

# 3

---

## 工业过程

## 联合主席、编辑和专家

### 工业过程和新气体排放专家会议联合主席

韦志洪(中国), Steve Seidel(美国)

### 评审编辑

Audun Rosland(挪威)

### 专家组: 工业 CO<sub>2</sub> 排放

#### 联合主席

Milos Tichy(捷克共和国)

#### 背景报告作者

David Conneely(美国), Michael Gibbs(美国), P. Soyka(美国)

#### 参加人员

Wiley Barbour(美国), Stanislav Bogdanov(保加利亚), Marvin Branscome(美国), Michael Gibbs(美国), Virginia Gorsevski(美国), Taka Hiraishi(日本), Heike Mainhardt(美国), Joe Mangino(美国), Katharina Mareckova (IPCC/OECD), Julia Martinez(墨西哥), Michael Miller(美国), Jos Olivier(荷兰), Astrid Olsson(瑞典), Hendrik van Oss(美国), Newton Paciornik(巴西), Kristin Rypdal(挪威), Arthur Rypinski(美国), Michael Strogies(德国), Pieter du Toit(南非)和 Matthew Williamson(美国)

### 专家组: 己二酸和硝酸生产的 N<sub>2</sub>O 排放

#### 联合主席

Mack McFarland(美国)

#### 背景报告作者

Heike Mainhardt(美国), Ron Reimer(美国)

#### 参加人员

Wiley Barbour(美国), Stanislav Bogdanov(保加利亚), Taka Hiraishi(日本), Joe Mangino(美国), Jos Olivier(荷兰), Astrid Olsson(瑞典), Michael Strogies(德国), Milos Tichy(捷克共和国), Matt Williamson(美国)

### 专家组: 铝生产的 PFC 排放

#### 联合主席

Michael Atkinson(澳大利亚), William Agyemang-Bonsu(加纳)

#### 背景报告作者

Vikram Bakshi(美国), Eric J. Dolin(美国), Michael J. Gibbs(美国), Karen Lawson, Diana Pape(美国)

#### 参加人员

Vikram Bakshi(美国), Willy Bjerke(英国), Guy Bouchard(加拿大), Eric Dolin(美国), Jochen Harnisch(德国), Purushottam Kunwar(尼泊尔), Bernard Leber(美国), Philippe Levavasseur(法国), Petra Mahrenholz(德国), Jerry Marks(美国), John Pullen(澳大利亚), Sally Rand(美国), Emmanuel Riviere(法国), Kristin Rypdal(挪威), Deborah Ottinger-Schaefer(美国)和 Kiyoto Tanabe(日本)

**专家组：镁生产的 SF<sub>6</sub> 排放****联合主席**

Bill Palmer(加拿大) , Pieter de Toit(南非)

**背景报告作者**

Bill Palmer(加拿大)

**参加人员**

Kay Abel(澳大利亚), Scott Bartos(美国), Lowell Brothers(美国), Kathryn Ellerton(美国), William Irving(美国), Toshiaki Ohgita(日本), Natalya Parasyuk(乌克兰), Takuya Suizu(日本), Tom Tripp(美国)和陈振林(中国)

**专家组：电器设备和其它源的 SF<sub>6</sub> 排放****联合主席**

Jos Olivier(荷兰), Newton Paciornik(巴西)

**背景报告作者**

Jos G.J. Olivier(荷兰), Joost Bakker(荷兰)

**参加人员**

Rainer Bitsch(德国), Lowell Brothers(美国), Eric Dolin(美国), Kathryn Ellerton(美国), Jochen Harnisch(德国), Petra Mahrenholtz(德国), Bill Palmer(加拿大), Natalya Parasyuk(乌克兰), Ewald Preisegger(德国), Michael Strogies(德国), Takuya Suizu(日本)和陈振林(中国)

**专家组：半导体制造业的 PFC、HFC 和 SF<sub>6</sub> 排放****联合主席**

Alexey Kokorin(俄罗斯), Sally Rand(美国)

**背景报告作者**

Scott Bartos(美国), C. Shepherd Burton(美国)

**参加人员**

Kenneth Aitchison(美国), Scott Bartos(美国), Laurie Beu(美国), Shepherd Burton(美国), David Green(美国), Philippe Levavasseur(法国), Michael Mocella(美国), Jerry Meyers(美国), Toshiaki Ohgita(日本), Emmanuel Riviere(法国), Deborah Ottinger Schaefer(美国), Pieter du Toit(南非)

**专家组：臭氧消耗物质替代品(ODS 替代品)的排放****联合主席**

Archie McCulloch(英国), Reynaldo Forte Jr.(美国)

**背景报告作者**

Reynaldo Forte, Jr. (美国), Archie McCulloch(英国)和 Pauline Midgley(英国)

**参加人员**

Radhy Agarwal(印度), Paul Ashford(英国), Ward Atkinson(美国), James Baker(美国), Pierre Boileau(加拿大), Marvin Branscome(美国), Margreet van Brummelen(荷兰), Nick Campbell(英国), Anita Cicero(美国), Denis Clodic(法国), Yuichi Fujimoto(日本), Francis Grunchard(比利时), Toshio Hirata(日本), Niklas Höhne(公约秘书处),

Eliisa Irpola(芬兰), Mike Jeffs(比利时), Fred Keller(美国), Alexey Kokorin(俄罗斯), Candido Lomba(巴西), Julia Martinez(墨西哥), Thomas Martinsen(IPCC/OECD), Arthur Naujock(美国), Yutaka Obata(日本), John Owens(美国), Christophe Petitjean(法国), Marit Viktoria Pettersen(挪威), Ewald Preisegger(德国), Erik Rasmussen(丹麦), Masataka Saburi(日本), Deborah Ottinger Schaefer(美国), Stephen Seidel(美国), Len Swatkowski(美国), Dwayne Taylor(美国), Gary Taylor(加拿大), Daniel Verdonik(美国), Duncan Yellen(英国)

#### **专家组： HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放**

##### **联合主席**

Nick Campbell(英国), Julia Martinez(墨西哥)

##### **背景报告作者**

Marvin Branscombe(美国), William Irving(美国)

##### **参加人员**

Marvin Branscombe(美国), Mark Christmas(美国), Taka Hiraishi(日本), William Irving(美国), Stephen Seidel(美国), Matthew Williamson(美国), 韦志洪(中国)

## 目 录

<b>3 工业过程</b>	
概述	3.9
3.1 工业过程的 CO <sub>2</sub> 排放	3.10
3.1.1 水泥生产	3.10
3.1.2 石灰生产	3.20
3.1.3 钢铁工业	3.25
3.2 己二酸和硝酸生产的 N <sub>2</sub> O 排放	3.31
3.2.1 方法学问题	3.31
3.2.2 报告和归档	3.37
3.2.3 清单质量保证和质量控制	3.37
3.3 铝生产中的 PFC 排放	3.39
3.3.1 方法学问题	3.39
3.3.2 报告和归档	3.46
3.3.3 清单质量保证和质量控制	3.46
3.4 镁生产中的 SF <sub>6</sub> 排放	3.48
3.4.1 方法学问题	3.48
3.4.2 报告和归档	3.51
3.4.3 清单质量保证和质量控制	3.51
3.5 电力设备和其它源产生的 SF <sub>6</sub> 排放	3.53
3.5.1 电力设备	3.53
3.5.2 SF <sub>6</sub> 的其它来源	3.63
3.5.3 SF <sub>6</sub> 的生产	3.67
3.6 半导体制造业的 PFC、HFC 和 SF <sub>6</sub> 排放	3.69
3.6.1 方法学问题	3.69
3.6.2 报告和归档	3.77
3.6.3 清单质量保证和质量控制	3.78
3.7 臭氧消耗物质替代品(ODS 替代品)的排放	3.79
概述 (3.7.1 至 3.7.7)	3.79
对 ODS 替代品的所有子排放源通用的方法论	3.79
所有 ODS 替代品子排放源的报告和归档	3.83
所有 ODS 替代品子排放源的清单质量保证和质量控制	3.84
3.7.1 气雾剂子类别	3.85
3.7.2 溶剂子源类别	3.89

3.7.3 泡沫材料子源类别.....	3.93
3.7.4 固定式致冷子源类别.....	3.100
3.7.5 移动式空调子源类别.....	3.107
3.7.6 消防子源类别.....	3.115
3.7.7 其它应用子源类别.....	3.119
3.8 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放估算.....	3.123
3.8.1 方法学问题.....	3.123
3.8.2 报告和归档.....	3.126
3.8.3 清单质量保证和质量控制.....	3.126
参考文献.....	3.128

### 图

图 3.1 估算水泥生产中 CO <sub>2</sub> 排放决策树 .....	3.11
图 3.2 石灰生产决策树 .....	3.21
图 3.3 钢铁工业的决策树 .....	3.27
图 3.4 己二酸和硝酸生产的 N <sub>2</sub> O 排放决策树.....	3.32
图 3.5 铝生产中的 PFC 排放决策树.....	3.40
图 3.6 镁生产中的 SF <sub>6</sub> 排放估算决策树.....	3.49
图 3.7 电力设备 SF <sub>6</sub> 排放决策树 .....	3.54
图 3.8 SF <sub>6</sub> 的其它利用决策树 .....	3.64
图 3.9 SF <sub>6</sub> 生产的决策树 .....	3.68
图 3.10 半导体制造业的 FC 排放决策树.....	3.70
图 3.11 所有臭氧消耗物质替代品的通用决策树.....	3.80
图 3.12 气雾剂子源类别实际排放估算决策树（方法 2） .....	3.86
图 3.13 溶剂子源类别实际排放估算决策树（方法 2） .....	3.90
图 3.14 泡沫材料子源类别实际排放估算决策树（方法 2） .....	3.95
图 3.15 固定式制冷子源类别实际排放估算决策树（方法 2） .....	3.101
图 3.16 移动式空调子源类别实际排放决策树（方法 2） .....	3.108
图 3.17 消防子源类别 ODS 替代品排放估算决策树 .....	3.116
图 3.18 其它应用子源类别实际排放决策树（方法 2） .....	3.120
图 3.19 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放估算决策树.....	3.124

## 表

表 3.1	水泥产品构成中的熟料百分比含量.....	3.14
表 3.2	水泥生产 CO <sub>2</sub> 排放计算的不确定性估算示例（基于图 3.1 的步骤）.....	3.15
表 3.3A	掺配水泥‘配方’（根据美国标准）中的熟料含量示例.....	3.18
表 3.3B	水泥产品分类[根据欧洲标准（DIN 1164 第一部分）].....	3.18
表 3.4	石灰生产排放因子计算的基本参数.....	3.22
表 3.5	熟石灰活动水平数据修正.....	3.23
表 3.6	金属生产的 CO <sub>2</sub> 排放因子（吨 CO <sub>2</sub> /吨还原剂）.....	3.28
表 3.7	己二酸生产的缺省因子.....	3.34
表 3.8	硝酸生产的缺省因子.....	3.35
表 3.9	计算铝生产中 PFC 排放量所需的缺省相关系数（方法 2）.....	3.44
表 3.10	计算铝生产中 PFC 排放量的缺省排放因子和不确定性范围（分技术类型）.....	3.44
表 3.11	铝生产中 PFC 排放量报告信息的优良作法（分方法）.....	3.46
表 3.12	电力设备 SF <sub>6</sub> 排放缺省排放因子—方法 2（SF <sub>6</sub> 比例/年）.....	3.58
表 3.13	电力设备 SF <sub>6</sub> 排放缺省排放因子的不确定性.....	3.61
表 3.14	电力设备 SF <sub>6</sub> 排放报告信息的优良作法.....	3.62
表 3.15	半导体制造过程中的 HFC、PFC 和 SF <sub>6</sub> 排放的缺省排放因子.....	3.74
表 3.16	使半导体制造业排放量具有充分透明性的信息需求.....	3.78
表 3.17	封闭式泡沫材料的 HFCs/PFCs 缺省排放因子.....	3.96
表 3.18	HFC-134a 发泡剂的缺省排放因子（泡沫材料子源类别） （源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）.....	3.96
表 3.19	HFC-245a/HFC-365mfc 应用的缺省排放因子（泡沫材料子源类别） （源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）.....	3.97
表 3.20	臭氧消耗物质（ODS）替代品在泡沫发泡剂工业的使用情况（ODS 替代品在泡沫产品中的化学气体的排放）.....	3.98
表 3.21	固定式制冷排放源报告文档管理的优良作法.....	3.105

表 3.22	固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值（专家判断） .....	3.106
表 3.23	MAC 子源类别 ODS 替代品的缺省排放参数（自下而上方法） .....	3.110
表 3.24	MAC 子源类别 ODS 替代品的 IPCC 缺省排放参数（自上而下方法） .....	3.112
表 3.25	移动式空调文档记录的优良作法 .....	3.114
表 3.26	消防子类别源的 IPCC 缺省排放参数（自下而上方法） .....	3.117
表 3.27	封闭式应用的 IPCC 缺省排放参数（其它应用子源类别） .....	3.121

# 3 工业过程

## 概述

本章讨论《1996年IPCC国家温室气体清单指南修订本》（以下简称《IPCC指南》）所述及的工业过程排放源类别，对以下关键排放源类别提供了《优良作法指南》，包括：水泥生产，石灰生产，钢铁工业，己二酸和硝酸生产，铝的生产，镁的生产，电气设备及其它源的六氟化硫（SF<sub>6</sub>）排放，半导体生产的全氟碳化物（PFC）、氢氟碳化物（HFC）和SF<sub>6</sub>排放，包括7个子源类别的臭氧消耗物质替代品（ODS替代品）和HCFC-22生产的排放。

对于《IPCC指南》第2章“工业过程”所述及的如下一些排放源，它们的《优良作法指南》尚未完成：石灰石和白云石的利用（包括用于钢铁工业）、纯碱的生产和利用、各种矿物产品的生产和利用、氨的生产、电石生产、其它化工产品的生产、铁合金、铝的CO<sub>2</sub>排放、其它金属的生产、SF<sub>6</sub>用于铝和镁的铸造、纸和纸浆工业、食品和饮料加工业。对这些排放源，清单机构当然应继续采用《IPCC指南》，《优良作法指南》第6章至第8章及附录中的交叉部分也可以应用于这些排放源类别。

根据《IPCC指南》，所有HFC、PFC和SF<sub>6</sub>排放，包括在非工业部门产生的排放，都应归总到工业过程部门中（参见指南第3.3-3.8节）。每一排放公式都应考虑“去除总量”，目前去除HFC、PFC或SF<sub>6</sub>的实际处理活动还不多，但将来可能开发去除处理方法以减少排放。

为表述清晰起见，本章中有时给那些《IPCC指南》中已描述但没有编号的方法引入层次编号。此外在定义一种特定排放源类别的《优良作法指南》过程中有时也引入新的编号。对工业过程排放源类别来说，章节中和决策树中所说的分级方法应作如下理解（参见指南第7章“方法学选择与重新计算”的第7.2节“确定国家关键源类别”）：

- 如果该排放源虽然不是**关键源类别**，但是清单机构的数据和资源条件允许采用方法2或更高级别的方法来计算排放量，应当鼓励清单机构采用高级别方法（而不是方法1）。
- 如果该排放源是**关键源类别**，但是清单机构未能收集到数据来采用《优良作法指南》所建议的方法，此时**优良作法**是采用方法1来计算排放量并记录采用该方法的原因。

## 3.1 工业过程的 CO<sub>2</sub> 排放

《IPCC 指南》第 3 卷第 2.1 节“工业过程概述”中指出，如何区分燃料的能源利用和原料利用、以及确定工业过程中的燃料副产品是能源统计中特别困难的领域。为避免重复计算或漏算 CO<sub>2</sub> 排放量，能源部门和工业部门的清单编制者应密切合作，并比较各自燃料利用方面的基础数据。这种密切合作对钢铁部门尤为重要，按照《IPCC 指南》，焦炭（或煤炭）消费属于工业过程，因为焦炭（或煤炭）氧化是为了生产生铁而不是给工序供热。另外一个可能产生重复计算的地方是“石灰石和白云石利用的 CO<sub>2</sub> 排放”，它应当被计入其指定的地方（《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节“石灰石和白云石的利用”），而不能被计入《IPCC 指南》的“其它工业过程排放源类别”下，后者需指明用途，例如钢铁子源类别。

### 3.1.1 水泥生产

#### 3.1.1.1 方法学问题

CO<sub>2</sub> 排放发生在熟料生产过程中，熟料是生产水泥的中间产品。生产熟料时，主要成分 (95%) 为碳酸钙 (CaCO<sub>3</sub>) 的石灰石被加热（煅烧）成石灰 (CaO)，同时放出 CO<sub>2</sub> 作为其副产品。CaO 进一步与原料中的硅、铝、氧化铁反应形成熟料（主要成分是水硬硅酸钙），不过这些反应不会排放 CO<sub>2</sub>。计算水泥生产的 CO<sub>2</sub> 排放量的主要困难是水泥中的熟料含量和熟料中的 CaO 含量都可能存在差异。

#### 方法选择

图 3.1 “估算水泥生产的 CO<sub>2</sub> 排放量决策树”描述了选择最恰当方法的 *优良作法*。由于 CO<sub>2</sub> 排放发生于中间产品熟料的生产过程，*优良作法* 是采用熟料产量、熟料中的 CaO 含量以及水泥窑尘 (CKD) 损失数据来计算 CO<sub>2</sub> 排放量（方法 2）。熟料产量数据如果不能直接获得，应从水泥产量推算，并用熟料进出口统计数据加以修正（方法 1）。估算出熟料产量以后，方法 1 计算 CO<sub>2</sub> 排放量的过程与方法 2 类似。《IPCC 指南》介绍的简化方法，即以水泥产量乘以一个基于水泥产量的缺省排放因子、不考虑熟料进出口修正的方法，不能被认为是 *优良作法*。

#### 方法 2：采用熟料产量数据

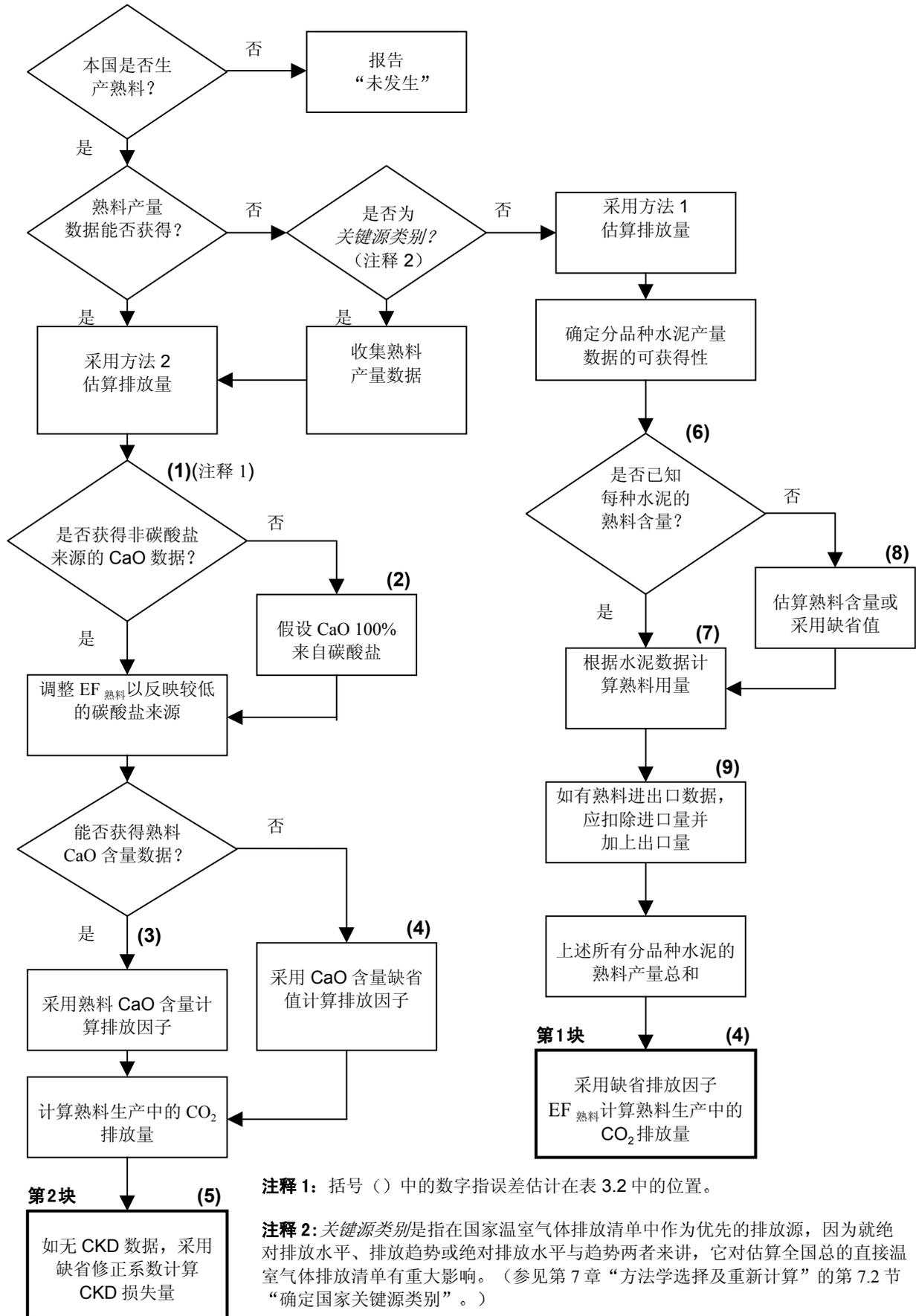
最严格的 *优良作法* 是采用企业总计熟料产量或全国熟料产量数据，以及用作排放因子 (EF) 的熟料 CaO 含量数据，如 3.1 式所示：

#### 公式 3.1

$$\text{排放量} = \text{EF}_{\text{熟料}} \cdot \text{熟料产量} \cdot \text{CKD 修正系数}$$

该方法假设所有 CaO 均来自碳酸盐（即石灰石中的 CaCO<sub>3</sub>），如果有非碳酸盐来源方面的数据，应对排放因子 EF<sub>熟料</sub> 进行调整（降低）。

图 3.1 估算水泥生产中 CO<sub>2</sub> 排放决策树



水泥窑尘(CKD)是窑中介于未烧成和全烧成之间的灰尘<sup>1</sup>。CKD 在窑中可能部分或全部回收，未回收的 CKD 对于 CO<sub>2</sub> 排放而言可以认为是系统损失。优良作法是修正未回收的 CKD 中的 CO<sub>2</sub>，因为这部分 CO<sub>2</sub> 排放从熟料产量中没有得到反映。CO<sub>2</sub> 的损失量有差异，其典型范围是从先进厂的约 1.5%到高烧成 CKD 损失较多的厂家的约 8%(van Oss, 1998)。由于 CKD 数据很缺乏，缺省的 CKD 修正系数被设定为 1.02（即将熟料 CO<sub>2</sub> 排放量提高 2%）。如果认为系统中没有烧成 CKD 损失，那么修正系数为 1.00(van Oss, 1998)。

#### 方法 1：采用水泥产量数据

如上所述，直接根据水泥产量计算 CO<sub>2</sub> 排放量（即采用固定的基于水泥的排放因子）不是优良作法。如果全国熟料产量不能获得，那么可以从水泥产量推算熟料产量，需要考虑水泥产品的类型，并用相关的熟料国际贸易（进出口）进行修整，如公式 3.2 所示：

#### 公式 3.2

$$\text{熟料产量估算值} = \text{水泥产量} \cdot \text{熟料含量} - \text{进口熟料} + \text{出口熟料}$$

如果企业有现成数据，应收集各企业的熟料含量数据，否则采用熟料含量缺省值。如果水泥产量不能按品种进行分别计算，而且怀疑同时生产掺配水泥和硅酸盐水泥，那么，优良作法是假定熟料含量为 75%。如果已知水泥产量基本上为硅酸盐水泥，优良作法是设定熟料含量缺省值为 95%。《IPCC 指南》推荐的 98.3%的熟料含量偏高<sup>2</sup>。

## 排放因子选择

方法 1 和方法 2 都要求按化学反应式计算熟料的排放因子，如公式 3.3 所示：

#### 公式 3.3

$$EF_{\text{熟料}} = 0.785 \cdot \text{熟料 CaO 含量 (重量比)}$$

系数(0.785)为方解石矿石(CaCO<sub>3</sub>)原料中 CO<sub>2</sub> 与 CaO 的摩尔数之比，反映了熟料中的全部或者绝大部分 CaO。CaO 含量可能随国家和设备不同而不同。

<sup>1</sup> 在一定程度上，可以说所有水泥窑都会产生主要成分为烧成和未烧成的进料和熟料混合物的窑尘。水泥窑尘(CKD)的数量、合成及处理方面的数据很少，它们主要与企业的技术相关而且可能因时而异。一般而言，CKD 的产出量可按熟料重量的 1.5%-2.0%估算(van Oss, 1998)。CKD 可以直接回收，或者通过烟气静电沉降或过滤（袋式除尘）方式回收（仅在发展中国家的一些落后水泥厂会将 CKD 排入大气中）。回收的 CKD 可能返回窑中作为原料、另作它用或者运往垃圾场。由于 CKD 容易集聚碱性杂质，所以其回收入窑的程度要受到限制。对 CO<sub>2</sub> 排放而言，所有未回收入窑的 CKD 都归入系统损失。CKD 损失量中烧成或部分烧成的碳酸盐比例表明从熟料产量计算中未能计入烧成石灰的 CO<sub>2</sub> 生成量。对发达国家采用现代生产工艺和 CKD 中等回收水平的水泥厂，这部分额外的 CO<sub>2</sub> 相当于按熟料产量计算 CO<sub>2</sub> 量的约 1.5%-2.0%(van Oss, 1998)，对很少回收 CKD 的水泥厂，比例可能高一些（例如 3%），如果损失的 CKD 大部已烧成，该比例可能会更高（例如 6%-8%），对多数国家而言，该比例的实际上限值不超过 5%(van Oss, 1998)。

<sup>2</sup> 该值是从水泥 CaO 含量缺省值(63.5%)和熟料 CaO 含量缺省值(64.6%)得出的计算结果，它高于大多数纯硅酸盐水泥的熟料含量。

## 方法 2

采用方法 2 时，*优良作法*是通过收集每一家水泥企业的数据来估算熟料 CaO 含量数据。一般而言，熟料的平均 CaO 含量不会逐年变化，因此各国可以定期估算（如每 5 年一次）<sup>3</sup>。如果不能获得本国 CaO 含量数据，可以采用 0.65 重量比的缺省值（参见《IPCC 指南》第 3 卷第 2.3 节：水泥生产）<sup>4</sup>。

公式 3.3 基于假设熟料中的所有 CaO 均来源于 CaCO<sub>3</sub>。石灰石及相关的碳酸盐物质是熟料 CaO 的主要来源，但对某些企业可能有其它来源（例如含铁炉渣）。这一假设大多数情况下通常只产生很小的误差。如果已知大量的 CaO 的其它来源物质被用作原料，这部分非碳酸盐来源 CaO 应从熟料中剔除，不过一般情况下缺乏熟料生产原料的定量数据。

## 方法 1

在方法 1 中，*优良作法*是采用与方法 2 相同的 65% 的 CaO 含量缺省值，折算为每吨熟料排放 0.51 吨 CO<sub>2</sub> 的排放因子。当然如果有充分的熟料 CaO 含量数据，应采用方法 2 所述的方法计算 CO<sub>2</sub> 排放因子（参见图 3.1 “估算水泥生产的 CO<sub>2</sub> 排放决策树”）。

## 活动水平数据选择

### 方法 2：熟料生产数据

收集该排放源类别的活动水平数据的目标是获得熟料产量数据。*优良作法*是直接从国家统计数据中收集，或者从各企业收集。企业也许能提供熟料 CaO 含量和 CaO 的非碳酸盐来源数据。

### 方法 1：水泥产量数据

如果没有现成的全国熟料产量数据，而且也不可能收集到，那么首选的替代方案是从水泥产量估算熟料产量，要求拥有具体的全国水泥产量及水泥熟料构成比方面的数据。如果仅采用水泥产量和假定一个熟料含量的缺省值来计算排放量，将会导致很大的误差。

估算熟料产量时应考虑到以下几个问题。

首先，选择自上而下或是自下而上的数据收集方法很重要<sup>5</sup>。从各生产者收集数据而不是利用全国总数将提高估算的准确性，因为这些数据能反映企业间的差异，对确定水泥成分的可能差异和年产量的不规则变化（如利用熟料库存代替在不同时间的产量）尤其重要。

其次，应考虑水泥中的熟料含量和熟料中的 CaO 含量。*优良作法*是收集分品种的水泥产量，因为水泥中的熟料含量因水泥品种而异。各国的熟料含量不同，必须注意应该与当地水泥类型定义一致（参见表 3.1 “水泥产品构成中的熟料百分比含量”，表 3.3A “掺配水泥‘配方’（根据美国标准）中的熟料含量”，表 3.3B “水泥产品分类（根据欧洲标准（DIN 1164 第一部分）”）。确定水泥产量数据中包含的水泥品种非常重要，因为水泥产量统计中除了硅酸盐水泥之外可能还包含许多其它水泥。这些水泥品种的熟料含量可能大相径庭，各种水泥熟料的 CaO 含量可能不一样，但对某一种水泥而言，其熟料 CaO 含量在不同年份间都基本一致。如果能同时获得熟料含量和 CaO 含量的企业一级数据，就可以用这些数据计算企业或全国的平均值。

<sup>3</sup> 全国的熟料 CaO 平均含量指按推断的产量水平（即乘以 CKD 修正系数）加权平均的熟料 CaO 含量。应该报告该平均值，以便进行比较和质量保证/质量控制分析。

<sup>4</sup> 尽管每种水泥的 CaO 含量由厂家进行控制（波动在 1%-3% 范围内），但熟料 CaO 含量则可能因所生产的水泥类型而异。

<sup>5</sup> 对水泥生产而言，这意味着是在国家层面还是在企业层面计算。

第三，如果没有分品种水泥产量，水泥中的熟料含量也不能可靠地估计，那么可以采用熟料/水泥比及其 CaO 含量的缺省值。如表 3.1 “水泥产品构成中的熟料百分比含量”所示，《IPCC 指南》缺省值 98.3%将导致高估 CO<sub>2</sub> 的排放量。许多清单机构报告水硬水泥产量数据，但水硬水泥包括数种水泥，如果假设全部都是硅酸盐水泥将高估排放量。熟料含量值可以从较高的标准硅酸盐水泥的 95%-97%到较低的矿渣水泥的 25%不等（参见表 3.3A “掺配水泥‘配方’（根据美国标准）中的熟料含量”，表 3.3B “水泥产品分类[根据欧洲标准（DIN 1164 第一部分）]”）。因此，如果没有分水泥品种产量，而且怀疑既生产掺配水泥又生产硅酸盐水泥，*优良作法*是假定熟料比例为 75%。如果已知水泥产量基本上为硅酸盐水泥，*优良作法*是设定熟料含量缺省值为 95%。两种情况下都假定熟料 CaO 含量为 65%。

**表 3.1**  
**水泥产品构成中的熟料百分比含量**

全国产量构成 (PC/Blend) <sup>a</sup>	掺配水泥添加剂（火山灰、矿渣）在产品中的百分比 <sup>b</sup>				
	10%	20%	30%	40%	75%
0/100	85	76	66	57	24
15/85	87	79	71	63	26
25/75	88	81	74	66	42
30/70	88	82	75	68	45
40/60	89	84	78	72	52
50/50	90	85	81	76	60
60/40	91	87	84	80	66
70/30	92	89	86	84	74
75/25	93	90	88	85	77
85/15	94	92	91	89	84
100/0	标准硅酸盐水泥熟料含量为 95%				

<sup>a</sup> 全国产量构成指其产品范围，例如‘75/25’指总产量的 75%为硅酸盐水泥，其余为掺配水泥。假定所有的水硬水泥为硅酸盐水泥、或者掺配水泥、或者两者兼而有之，或者假定全部为火山灰水泥。建筑业用品近似于构成比 60/40 到 70/30、添加剂为 75%的水泥。其它水硬水泥（如高铝水泥）假定为零。

<sup>b</sup> 添加矿渣后可以得到硅酸盐掺配水泥、硅酸盐矿渣掺配水泥或两者兼而有之。所有用于掺配的硅酸盐水泥熟料含量假定为 95%。计算式为： $\% \text{PC} \cdot 95\% + \% \text{Blend} \cdot [100 - \text{additive} \%] \cdot 95\%$ 。

资料来源：由 van Oss 计算（1998）。

## 完整性

每个国家的熟料生产厂一般都比较大而且为人熟知，因此，从国家统计数据库中也也许可以得到熟料产量数据，或者即使没有收录到国家统计数据中，也能够很容易地获得。在一些国家的统计数字中水泥和熟料产量可能不完整，因为有相当一部分产量来自于为数众多的小水泥窑，其中立窑的数据尤其难以获得。

## 建立一致的时间序列

*优良作法*是在整个时间序列中用同样方法计算每一年的熟料生产排放。如果没有数据来支持对时间序列中的所有年份采用更严格的方法，*优良作法*是根据第 7 章“方法学选择与重新计算”提供的指南来重新计算。

## 不确定性评估

有熟料数据时，排放因子的不确定性等于 CaO 含量的不确定性和假设 CaO 全部来源于 CaCO<sub>3</sub> 所带来的不确定性。化学分析的不确定性为 1%-2%，因此排放因子的不确定性也是 1%-2%，熟料产量数据的不确定性大约为 1%-2%。如果熟料产量根据水泥产量推算得到，那么其误差大约为 35%，如表 3.2 “基于图 3.1 步骤计算 CO<sub>2</sub> 排放的不确定性估算示例” 所示。作为例子，对排放量计算的每一步骤的误差进行了估算（参见图 3.1，估算水泥生产 CO<sub>2</sub> 排放决策树，(1)-(9)）。表 3.2 所示估算结果表明采用不同方法将引入多大的误差。

表 3.2 中的不确定性成分是组合后的结果，尽管它们是对称的最大-最小误差。采用这种方法的原因是因为许多不确定性是非高斯型的，而有些则可能是系统误差。误差分析的结论是通过水泥产量估算排放量的误差在 20%-40% 以上（取决于采用表 3.2 中数值的范围），通过熟料产量直接估算则可以把误差降低到 10% 左右。当采用第 6 章“不确定性的量化”所列方法时，这些误差范围应按照系统误差处理。

表 3.2 水泥生产 CO <sub>2</sub> 排放计算的不确定性估算示例 基于图 3.1 的步骤			
步骤	误差 <sup>a</sup>	述评	方法
(1)	1-2%	企业层面产量数据的不确定性；企业对熟料称重的（精确性）一般都不高于此；假设报告完整。	方法 2
(2)	1-3%	这个误差是假定熟料中所有 CaO 均来源于碳酸盐所产生的。	方法 2
(3)	1-2%	企业层面熟料 CaO 含量数据的不确定性；这是产品化学分析误差的最佳情形。	方法 2
(4)	4-8%	假设熟料平均 CaO 含量为 65%（一般为 60%-67%）带来的误差。	方法 1, 2
(5)	5%	假设已知水泥窑尘（CKD）的重量和构成所引入误差的最佳情形。	方法 2
(6)	1-2%	企业对水泥称重的（精确性）一般都不高于此；假设报告完整。	方法 1
(7)	20%	误报或非单一掺配水泥带来的误差。	方法 1
(8)	35%	‘最差情形’假设全部为采用 50%非熟料配方的 70%掺配水泥。	方法 1
(9)	5%	报告误差，水泥会更准确一些（一般不对熟料直接征税）。	方法 1
<b>排放量估算结果误差总结（参见第 6 章“不确定性的量化”）</b>			
	20-40%	<b>方法 1 误差：</b> 假设熟料产量数据从水泥产量推算（不包括从水泥产量估算国家熟料产量时所进行的熟料国际贸易修正而引入的误差）。	
	5-10%	<b>方法 2 误差：</b> 假设从熟料产量推算。	
<sup>a</sup> 数字参照图 3.1，为‘最大’误差，即假设为可能性最大的矩形分布函数。每一步骤的误差估算及总和根据数据收集和计算的进行。 资料来源：van Oss（1998）。			

### 3.1.1.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息整理成文并存档。下面给出与此排放源类别相关的文件和报告的一些例子。

## 方法 2

方法 2 包括如下数据：

- (1) 熟料产量和熟料 CaO 含量；
- (2) 非碳酸盐原料数据；
- (3) 水泥窑尘损失（如采用缺省值应注明）。

## 方法 1

方法 1 包括如下数据：

- (1) 分品种水泥产量；
- (2) 熟料进出口量；
- (3) 分品种水泥的熟料/水泥比（如采用缺省值应注明）；
- (4) 熟料 CaO 含量（如采用缺省值应注明）；
- (5) 水泥窑尘损失（如采用缺省值应注明）。

此外，对上述两种方法，清单机构还应该：

- (1) 明确说明采用何种数据：IPCC 缺省值或者本国数据；
- (2) 提供复制清单所需的所有信息以及质量保证和质量控制文件；
- (3) 为保持时间序列排放的内部一致性，每当国家方法改变时，需要重新计算所有年份的排放（从 1990 年到当前年份），同时要求提供与改变方法相关的其它文件和讨论。
- (4) 如果对某种产量需要保密，应进行最小程度的合并以维持保密性。

注：燃料燃烧 CO<sub>2</sub> 排放计算（《IPCC 指南》第 3 卷第 1 章“能源”）要求考虑能源平衡表未包括的水泥窑废弃物燃料燃烧，这些排放不应该在工业过程排放中报告。

### 3.1.1.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章的指南外，下面给出与该排放源类别相关的一些具体程序。

### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

如果采用自下而上方法收集活动水平数据，清单机构应当将估算结果与采用全国水泥或熟料产量（自上而下方法）的估算结果进行比较。内部文件应该记载这种比较的结果，包括对两者不一致方面的解释。

## 排放因子审核

清单机构应当将国家综合排放因子与 IPCC 缺省排放因子进行比较，以确定国家排放因子相对于 IPCC 缺省值是否合理。两者的差别应加以解释并成文，尤其是如果它们代表着不同的情形。

如果采用自上而下的综合方法，但只能获得有限的企业数据，清单机构应将综合排放因子与点源或企业排放因子进行比较，这种比较将反映出综合排放因子的合理性和代表性。

## 企业活动水平数据核对

对企业数据，清单机构应审核企业之间的不一致性，分析这种不一致是否表明有误差存在，或是由于采用了不同的测量技术，或是在排放、运行条件或技术存在实际差别。对水泥产量而言，清单机构应将各企业数据（熟料 CaO 含量、水泥熟料含量）作相互比较。

清单机构应保证排放因子和活动水平数据的推算与国际认可的并经证明的测量方法一致。如果实际测量达不到该指标要求，那么应当仔细评估这些排放量及活动水平的利用，重新估算其不确定性，并记载其合格性。如果有更高的测量标准而且多数地方执行了质量保证和质量控制，那么排放量估算的不确定性可相应调低。

## 专家审评<sup>6</sup>

清单机构应该请水泥和熟料生产行业的主要贸易机构参与审评过程。在清单编制过程的早期阶段就应当开始这种审评进程，以便使其能够对清单方法和数据采集的确定与审评有所贡献。专家审评对熟料 CaO 含量、CaO 来源、水泥组成成分差别以及年度产量的不规则性等方面尤其重要。

第三方审评对该排放源类别也有用，尤其是在原始数据收集、测量工作、抄录、计算和形成文件等方面。

---

<sup>6</sup> 专家审评在第 8 章“质量保证和质量控制”介绍，包括同行评议、第三方审评和审计。本章中的“专家审评”涵盖所有方式，包括审计。

### 附录 3.1.1A.1 水泥类型定义

水泥数据一般包括所有形式的水硬水泥，也可能包括不含大量熟料成分、相应的煅烧 CO<sub>2</sub> 排放较少的矿渣水泥。许多国家都生产和利用掺配水泥以及矿渣水泥或火山灰水泥，表 3.3A “掺配水泥‘配方’（根据美国标准）中的熟料含量示例”和表 3.3B “水泥产品分类[根据欧洲标准（DIN 1164 第一部分）]”分别给出了美国和欧洲国家最常见水泥类型的数据。

水泥名称	标号	配方	熟料百分比	备注
硅酸盐水泥	‘PC’	100% PC	95-97	
建筑水泥	‘MC’	2/3 PC	64	配方差别较大
矿渣改进型硅酸盐水泥	I (SM)	矿渣低于 25%	>70-93	
硅酸盐矿渣水泥	IS	矿渣 25%-70%	28-70	
硅酸盐火山灰水泥	IP 和 P	火山灰 15%-40%	28-79/81	基为 PC 或 IS
火山灰改进型硅酸盐水泥	I (PM)	火山灰低于 15%	28-93/95	基为 PC 或 IS
矿渣水泥	S	矿渣 70%	<28/29	可用石灰替代熟料

资料来源：van Oss（1998）基于 ASTM（1996a）。

水泥名称	标号	配方	熟料百分比
硅酸盐水泥	CEM I	—	95-97
矿渣改进型硅酸盐水泥	CEM II/A-S	矿渣 6%-20%	77-90
	CEM II/B-S	矿渣 21%-35%	62-76
硅酸盐火山灰水泥	CEM II/A-P	火山灰 6%-20%	77-90
	CEM II/B-P	火山灰 21%-35%	62-76
硅酸盐烟灰水泥	CEM II/A-V	烟灰 6%-20%	77-90
硅酸盐油页岩水泥	CEM II/A-T	油页岩 6%-20%	77-90
	CEM II/B-T	油页岩 21%-35%	62-76
硅酸盐石灰石水泥	CEM II/A-L	石灰石 6%-20%	77-90
硅酸盐烟灰矿渣水泥	CEM II/A-SV	烟灰 10%-20%	77-86
	CEM II/B-SV	矿渣 10%-21%	76-86
硅酸盐矿渣水泥	CEM III/A	矿渣 36%-65%	34-61
	CEM III/B	矿渣 66%-80%	19-33

资料来源：DIN（1994）。

水泥按其性质归纳为以下类型：

- **水硬水泥**在水中固化和硬化的任何水泥。

- **硅酸盐水泥**是熟料和石膏的混合物，其中熟料重量比约为 95%-97%（缺省值为 95%）。许多国家允许添加少量（1%-5%）的惰性或粘性添加剂，一些‘硅酸盐水泥’产量中也可能包含了掺配水泥产量。
- **掺配水泥**是硅酸盐水泥或其熟料与地面粒状高炉矿渣和火山灰（即烟灰、硅粉、烧页岩）等添加剂的混合物（有时相互研磨）。添加剂成分各异，在水泥中的比例也不尽相同，但一般在 15%-40%范围内，加上熟料一起占 57%-81%。
- **矿渣水泥**含有大量（>70%）的地面粒状高炉矿渣，其余要么是硅酸盐水泥（或熟料），要么是石灰，或者两者兼有。一些矿渣水泥根本不含硅酸盐水泥，粒状高炉矿渣本身就是一种潜在的水泥（作为粘合物），它具有中等水硬性，但与游离石灰（和水）反应后能提高粘性。
- **建筑水泥**配方各异，一般为 2/3 的硅酸盐水泥或硅酸盐熟料，加上 1/3 的添加剂，如石灰或石灰石等。
- **高铝水泥**是由石灰石和矾土的混合物煅烧而成的水硬水泥，典型高铝水泥的 CaO 含量一般为 30%-42%，相当于硅酸盐水泥熟料 CaO 含量的 45%-65%。
- **火山灰水泥**指含有大量火山灰的掺配水泥，但更确切的是指主要由火山灰和催化剂（如石灰）生产的水泥，催化剂提供 CaO，但不会含有大量的硅酸盐水泥或硅酸盐水泥熟料。
- **火山灰**是一种硅酸盐物质，本身没有粘性，但与游离石灰(CaO)和水反应后生成水硬性水泥。一般包括天然火山灰（即某火山的火山灰或凝灰岩、硅藻土、烧粘土和烧页岩）和合成火山灰（即硅粉、烟灰）。

## 3.1.2 石灰生产

### 3.1.2.1 方法学问题

石灰生产<sup>7</sup>的 CO<sub>2</sub> 排放通过生石灰(CaO)生产时石灰石中碳酸钙(CaCO<sub>3</sub>)的热分解(煅烧)、或者生产含镁生石灰(CaO·MgO)时白云石<sup>8</sup>(CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>)的分解进行。估算石灰生产排放量的*优良作法*是根据石灰产量确定全部的生石灰和含镁生石灰的产量,其准确性取决于获得完整的石灰产量统计和确定不同品种石灰产量的比例。《IPCC 指南》对这两点仅作了简要叙述,提供了排放因子的上限值作为缺省值以避免低估排放量。

### 方法选择

《IPCC 指南》提供了以下公式计算排放量:

$$\text{公式 3.4} \\ \text{CO}_2 \text{ 排放量} = \text{排放因子} \cdot \text{石灰产量}$$

其中:

排放因子= 785 kg CO<sub>2</sub> / 吨高钙生石灰, 以及  
913 kg CO<sub>2</sub> / 吨含镁生石灰

公式 3.4 可应用于全国统计和企业一级计算。*优良作法*是评价可获得的全国统计数据完整性以及石灰生产中所用石灰石和白云石的比例。完整性一节中列出了石灰用户行业,它们也可能是石灰的生产者。数据收集应包括总产量和平均构成情况,*优良作法*的方法选择取决于各国的具体情况(参见图 3.2 石灰生产决策树)。

### 排放因子选择

《IPCC 指南》所述的公式 3.4 中的缺省排放因子对应石灰中 100% (化学计量比) 为 CaO (或 CaO·MgO) 的情形,这将导致高估排放量,因为实际 CaO 和 MgO (如果存在) 含量可能低于 100%。*优良作法*是利用公式 3.5A 或公式 3.5B 或兼用这两公式来调整排放因子和计算 CaO 或 CaO·MgO 的含量(参见表 3.4, 石灰生产排放因子计算的基本参数):

$$\text{公式 3.5A} \\ \text{EF}_1 = \text{化学计量比 (CO}_2 / \text{CaO)} \cdot \text{CaO 含量}$$

其中: EF<sub>1</sub> = 生石灰排放因子

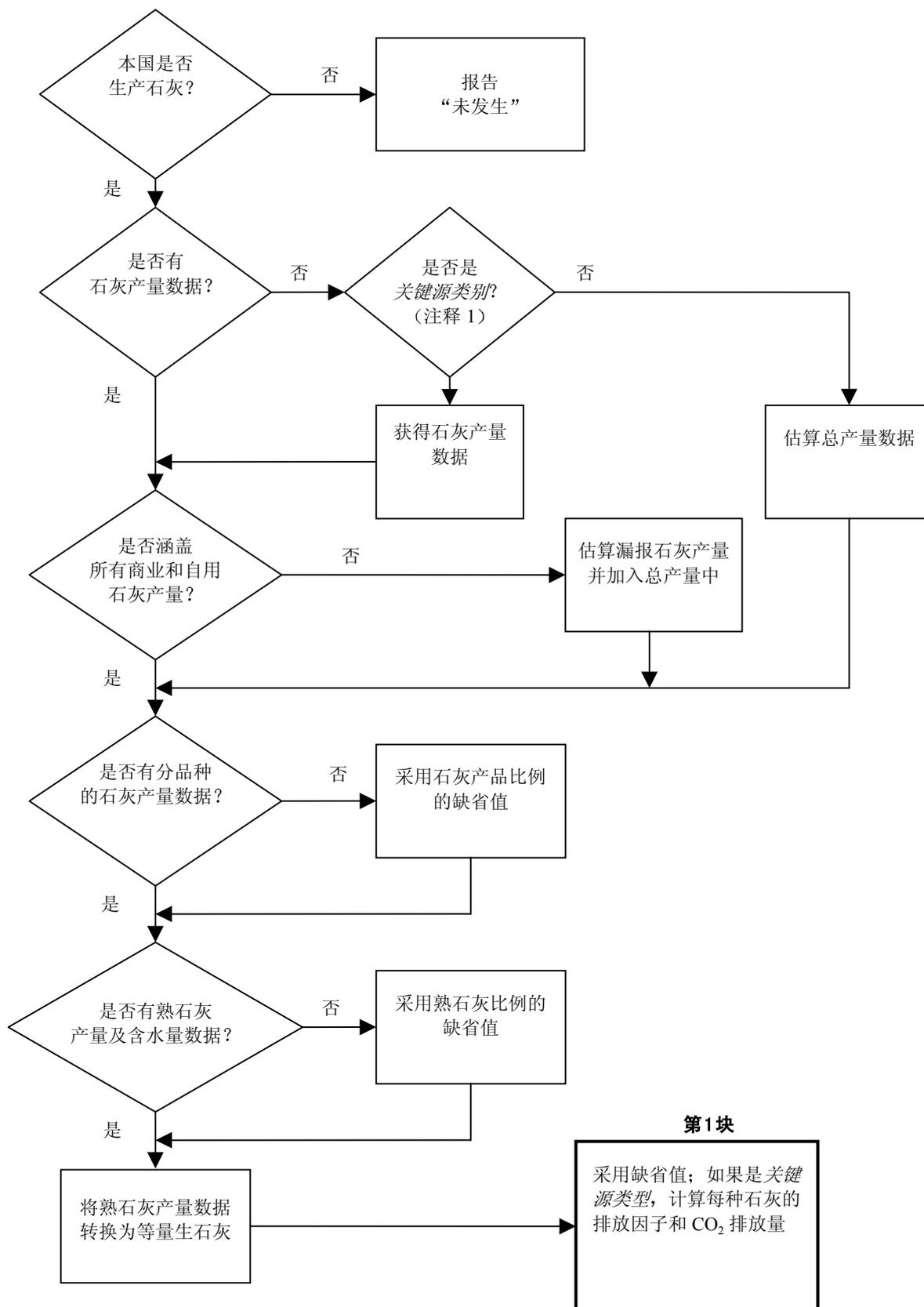
$$\text{公式 3.5B} \\ \text{EF}_2 = \text{化学计量比 (CO}_2 / \text{CaO} \cdot \text{MgO)} \cdot (\text{CaO} \cdot \text{MgO}) \text{ 含量}$$

其中: EF<sub>2</sub> = 含镁生石灰排放因子

<sup>7</sup> 《IPCC 指南》还分别讨论了石灰石利用的排放,本报告未提供这一排放源类别和其它相关排放源类别的《优良作法指南》。由于假设这些排放源类别的排放量很少而且缺乏相关数据,因此尚未制定这些排放源类别的《优良作法指南》。

<sup>8</sup> 非化学计量的化合物,例如 Ca 和 Mg 的氧化物和碳酸盐的同构结晶体,通常分别用化学分子式 CaO·MgO 和 CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>表示。

图 3.2 石灰生产决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

表 3.4 “石灰生产排放因子计算的基本参数” 提供了主要石灰品种的化学计量比、CaO 和 CaO·MgO 含量的范围以及对应的排放因子。主要石灰品种有以下三种：

- 高钙石灰 (CaO + 杂质)；
- 含镁石灰 (CaO·MgO + 杂质)；
- 水硬石灰 (CaO + 硅酸钙)，是一种介于石灰和水泥之间的物质。

区分这三种石灰的原因是因为前两种的化学计量比不同，而第三种 CaO 含量明显降低。没有每一种石灰准确的化学分子式，因为石灰的化学成分取决于生产石灰所用的石灰石或白云石的化学成份。

考虑石灰品种将改善排放量的估算，因此，确定石灰构成时，*优良作法*是检查以下两方面：（1）三种石灰的比例；（2）石灰产量中熟石灰的比例。

没有分品种石灰产量时，高钙石灰/含镁石灰比例的缺省值为 85/15 (Miller, 1999)，除非有其它信息，否则水硬石灰的比例应假定为零。

表 3.4 石灰生产排放因子计算的基本参数						
石灰品种	化学计量比 (1)	CaO 含量 范围 [%]	MgO 含量 范围 [%]	CaO/ CaO·MgO 含量 缺省值 (2)	缺省排放因子 (1) • (2)	排放量估算的不确定性
高钙石灰 <sup>a</sup>	0.79	93-98	0.3-2.5	0.95	0.75	±2%
含镁石灰 <sup>b</sup>	0.91	55-57	38-41	0.95 或 0.85 <sup>c</sup>	0.86 或 0.77 <sup>c</sup>	±2%
水硬石灰 <sup>b</sup>	0.79	65-92		0.75	0.59	±15%

资料来源：  
<sup>a</sup> Miller (1999b) 基于 ASTM (1996b) 和 Schwarzkopf (1995)。  
<sup>b</sup> Miller (1999a) 基于 Boynton (1980)。  
<sup>c</sup> 该值取决于所采用的石灰生产技术。建议发达国家采用较高值，发展中国家采用较低值。

## 活动水平数据选择

完整的活动水平数据包括石灰产量及其构成（包括石灰品种以及熟石灰的比例）。

**熟石灰比例的修正：**高钙石灰和含镁石灰都可以熟化成为熟石灰，即  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  或  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ <sup>9</sup>。

如果熟石灰比例为  $x$ ，其中所含水分为  $y$ ，*优良作法*是用产量乘以修正系数  $1 - (x \cdot y)$ 。表 3.5 “熟石灰活动水平数据修正” 给出了不同石灰品种的水分含量 ( $y$ ) 范围，缺省值为  $x = 0.10$ ， $y = 0.28$ ，对应修正系数为 0.97 (Miller, 1999)。

<sup>9</sup> ‘消石灰’ 可以指干燥熟石灰、熟石灰泥或其水溶液。假设水化完全而且是 100% 纯生石灰，则高钙石灰和含镁石灰水化所需要的水分分别为 24% 和 27%。实际水化时需要比该理论值更多的水分以达到完全水化 (Miller, 1999)。

表 3.5  
熟石灰活动水平数据修正

石灰品种	熟石灰水分含量理论值 [%]	熟石灰商品中的水分含量 [%]	水分修正系数缺省值
高钙石灰	24.3	26-28	0.28
含镁石灰	27.2	17-31	0.28
水硬石灰	-	-	-

资料来源：Miller(1999b)基于 ASTM(1996)和 Schwarzkopf(1995)。

## 完整性

活动水平数据（即石灰产量）的完整性是*优良作法*的关键。一般而言，如果认为石灰产量等于其销售量，那么实际上仅报告了石灰总产量的一部分。作为非市场化的中间产品而生产和利用的石灰不太好计算和报告。例如，许多生产钢铁、合成苏打、电石<sup>10</sup>、氧化镁和金属镁的工厂、以及铜冶炼厂和制糖厂都生产石灰，但可能没有向国家机构报告。此外，从碳酸盐废弃物中再生石灰的行业（例如木浆厂和造纸厂）也不大可能报告其石灰产量。忽略这些数据将可能成倍地低估全国石灰产量，甚至更严重。

## 建立一致的时间序列

*优良作法*是采用相同方法计算时间序列中每一年份石灰生产的排放量。如果没有数据来支持对时间序列中的所有年份采用更严格的方法，*优良作法*就根据第 7 章“方法学选择与重新计算”提供的指南来重新计算。

## 不确定性评估

化学计量比为精确数字，所以排放因子的不确定性就是石灰构成的不确定性，特别是水硬石灰部分排放因子的不确定性为 15%（其它品种为 2%）。因此，总的最大不确定性为 15%（参见表 3.4，石灰生产排放因子计算的基本参数）。

基于收集石灰数据的经验（参见上述完整性部分），活动水平数据的不确定性要比排放因子的更高。忽略非商品量的石灰产量可能导致+100%或更大的误差。熟石灰修正一般会进一步引入±5%的不确定性。

### 3.1.2.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

为保持时间序列排放的内部一致性，每当国家方法改变时，*优良作法*是重新计算所有年份的排放。如果对某种产量需要保密，应进行最小程度的合并来保证保密性。

<sup>10</sup> 一些电石生产者可能从氢氧化钙副产品中再生石灰而不排放 CO<sub>2</sub>。生产电石时，生石灰与焦炭混合后在电炉中加热，在该过程中可以利用废弃的氢氧化钙（熟石灰） $[\text{CaC}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，而不是碳酸钙 $[\text{CaCO}_3]$ 来再生石灰。因此，氢氧化钙在炉中被加热排除水分 $[\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{heat} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}]$ ，但没有 CO<sub>2</sub> 排入大气中。

### 3.1.2.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法确定这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章的指南外，下面给出与该排放源类别相关的一些具体程序。

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

如果采用自下而上方法，清单机构应当将估算结果与采用全国石灰产量（自上而下方法）的估算结果进行比较。内部文件应该记载这种比较的结果，包括对两者不一致方面的解释。

#### 活动水平数据审核

清单机构应确信对全国石灰产品类型进行了正确定义（即 CaO 与 MgO 含量、高钙生石灰(CaO)、含镁生石灰(CaO·MgO)。清单机构应将石灰石、石灰和白云石利用的全国统计与《IPCC 指南》第 3 卷第 2.9 页中提供的石灰石利用行业缺省名单进行比较，以检查全国统计的完整性）。

### 3.1.3 钢铁工业

#### 3.1.3.1 方法学问题

氧化铁矿石主要在高炉内被还原后生产出粗铁，一般用焦炭或木炭（有时补充煤或油）作为燃料同时作为还原剂。对多数炼铁炉，该过程都以碳酸盐（石灰石）熔剂作为辅助。当生铁在高炉内被还原时，石灰石或白云石熔剂会排放出额外的 CO<sub>2</sub>，这部分排在石灰石利用部分报告（参见《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节，石灰石和白云石的利用）。除少部分碳残留在粗铁中外，所有焦炭和熔剂中的碳都作为燃烧或煅烧产物而排放。炼钢过程本质上去除（一般通过氧化）生铁中的大部分碳的过程，因而会有更小程度上的排放发生。

碳起着燃料和还原剂的双重作用，如果焦炭或其它还原剂消耗量中的碳在能源部门已经被作为燃料消耗计入，很重要的一部分碳不能重复计算。由于碳被氧化的主要目的是把氧化铁矿石还原为粗铁或生铁（碳被用作还原剂），其排放属于工业过程排放，因此应该更适宜按工业过程排放报告。如果不是这样，应在清单中明确说明。如果在工业过程部门报告排放量，那么本排放源类别还应包括高炉煤气作为燃料利用的 CO<sub>2</sub> 排放。

#### 方法选择

《IPCC 指南》列出了计算钢铁生产 CO<sub>2</sub> 排放的几种方法，应参照图 3.3 “钢铁工业的决策树”所示，根据国家具体情况选择*优良作法*的方法。方法 1 根据还原剂（即来源于煤的焦炭、煤、石油焦）消耗量计算排放量，采用与估算燃烧排放相似的排放因子。方法 1 相当简单，对排放量稍有高估。方法 2 与方法 1 类似，但增加了由于金属产品固碳而作的修正。此外，《IPCC 指南》还提出了一种简单方法，用铁和钢的产量乘以基于产品的排放因子，然而这种方法不是*优良作法*。

石灰石在还原过程中作为‘熔剂’利用所产生的 CO<sub>2</sub> 排放不包括在此处，而包括在《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节“石灰石和白云石的利用”中<sup>11</sup>。

#### 方法 2

方法 2 基于对生产全过程碳的跟踪，它比方法 1 更准确，但需要更多的数据。方法 1 和方法 2 如果采用企业数据将可以避免重复计算或漏算。采用方法 2，炼铁和炼钢的排放被分别计算。为了使准确性最高，*优良作法*是在企业一级上估算排放量，因为各企业的技术可能有很大差别。如果不能获得企业一级的数据，*优良作法*是利用全国的生铁/钢产量汇编数据，并应从燃料燃烧部门分离出来。因此，为避免重复计算和漏算，需要详细了解国家能源统计和清单的规定。

**铁：** *优良作法*是利用《IPCC 指南》中的以下公式：

#### 公式 3.6A

$$\text{排放量}_{\text{生铁}} = \text{排放因子}_{\text{还原剂}} \cdot \text{还原剂质量}^{\text{注}} + (\text{铁矿石中碳的质量} - \text{粗铁中碳的质量}) \cdot 44 / 12$$

注：“质量”一词在此为物理学含义，它是物体的一种性质，通常指该物体所含物质的量（译者注）。

还原剂可以是焦炭、煤、木炭或者石油焦。表 3.6 “金属生产的 CO<sub>2</sub> 排放因子（吨 CO<sub>2</sub>/吨还原剂）”列出了《IPCC 指南》（第 3 卷表 2-12，一般金属生产的 CO<sub>2</sub> 排放因子（吨 CO<sub>2</sub>/吨还原剂））关于大多数常用还原剂的缺

<sup>11</sup> 炼铁炉要求石灰石纯度比熟料（水泥）生产的要求要高。《IPCC 指南》从美国环保局引用假设每吨铁矿石消耗为 250 公斤，但是该数值因铁矿石品位和高炉类型而异。

省排放因子。直接还原技术还利用 CO、H<sub>2</sub> 或天然气等其它还原剂，此时应当采用企业或各国具体的排放因子。根据《IPCC 指南》，石灰石熔剂的 CO<sub>2</sub> 排在石灰石和白云石的利用部分报告（参见《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节，石灰石和白云石的利用）。

铁矿石中的碳含量几乎为零，粗铁含碳量约为 4%。

**钢：** 炼钢[即利用转炉(BOF)、平炉(OHF)或电炉(EAF)]的排放来源于铁（3%-5%）和钢（0.5%-2%）的含碳量变化。此外，对电炉炼钢来说，*优良作法*是包括电极消耗的碳排放（约 1-1.5kg 碳/吨钢）：<sup>12</sup>

**公式 3.6B**

$$\text{排放量}_{\text{粗钢}} = (\text{炼钢生铁中碳的质量} - \text{粗钢中碳的质量}) \cdot 44 / 12 \\ + \text{排放因子}_{\text{电炉}} \cdot \text{电炉炼钢产量}$$

将公式 3.6A 与公式 3.6B 相加即得到钢铁生产的总排放量：

**公式 3.7**

$$\text{总排放量} = \text{排放量}_{\text{生铁}} + \text{排放量}_{\text{粗钢}}$$

**方法 1**

方法 1 不像方法 2 那样考虑生铁和粗钢中的固碳量，这样计算就简化了，因为不必收集产品中的碳含量数据。采用方法 1 时，*优良作法*是用以下公式计算排放量：

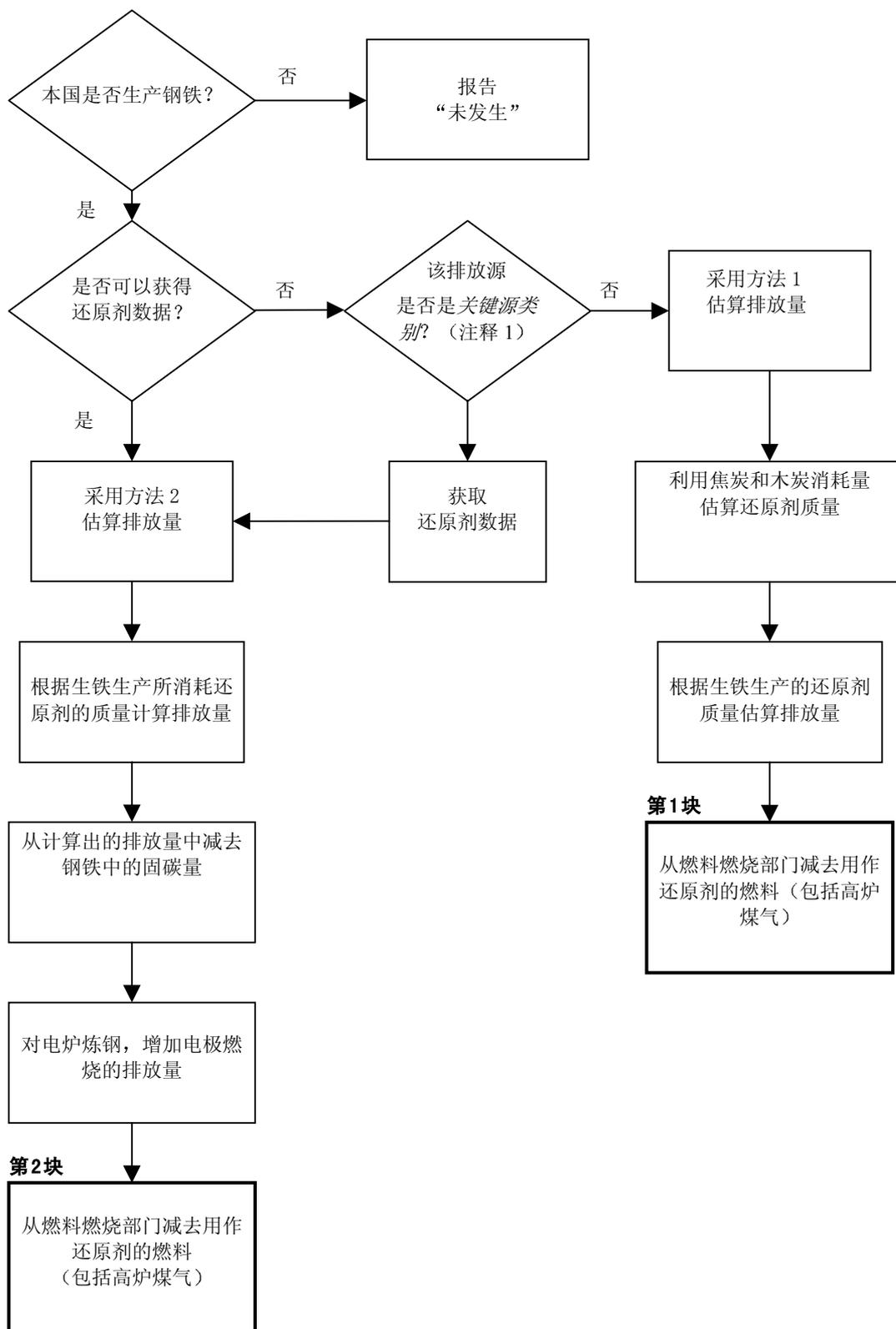
**公式 3.8**

$$\text{排放量} = \text{还原剂质量} \cdot \text{排放因子}_{\text{还原剂}}$$

如果企业没有现成的燃料用作还原剂方面的数据，可以利用钢铁生产的焦炭和木炭消耗量来估算还原剂的质量（同时需要从燃料燃烧部门减去相应的消费量）。这样处理只会影响 CO<sub>2</sub> 排在部门内的重新定位，而不会改变总排放量。如果所有生铁都用于炼钢，而且用于其它目的（如铸铁）的生铁最大限度不超过 10%，那么忽略方法 2 所考虑的固碳因素将导致 1%-5% 的误差。因此，方法 1 对该排放源的排放量估算结果略微偏高。

<sup>12</sup> 电炉（EAF）中加入了石灰，其 CO<sub>2</sub> 排放应计入石灰（应为石灰石，译者注）利用部分（参见《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节）。电极损失的碳排放因子是如下过程的平均值：电炉采用碳质电极，为石墨或者 Söderberg 胶。电极位于钢水之上时，电弧把碳氧化为 CO 或 CO<sub>2</sub>。生成气体的比率随电极类型以及其它各种因素而变化。此外，熔融时碳的热氧化使碳含量从粗铁的 4% 左右降低到钢的 2% 或以下（一般低于 1%）。有时将电极浸入钢水中以增加钢的碳含量，会烧掉很多的碳，此时碳脱离电极，但不一定都变成 CO<sub>2</sub>。如果电炉调整适当，电极的损失应刚好能够使钢的含碳量恢复到所希望的程度。如果电炉效率不高，工作电极过量损失并融入到钢水中，多余的碳将被烧掉。

图 3.3 钢铁工业的决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键排放源类别”。）

**注释 2:** 石灰石在还原过程中作为“熔剂”利用所产生的 CO<sub>2</sub> 排放不包括在此处，因为在《IPCC 指南》第 3 卷第 2.5 节“石灰石和白云石的利用”中有说明。

## 排放因子选择

如果不能得到企业一级的本国数据，可以采用《IPCC 指南》第 3 卷表 2-12 中的生铁生产还原剂的缺省排放因子（参见表 3.6，金属生产的 CO<sub>2</sub> 排放因子（吨 CO<sub>2</sub>/吨还原剂））。

还原剂	排放因子 <sup>a</sup>
煤 <sup>b</sup>	2.5
来源于煤的焦炭 <sup>b</sup>	3.1
石油焦	3.6

<sup>a</sup> 如果不能获得全国实际含碳量的更好的数据，或者不能从《IPCC 指南》第 3 卷第 1 章的数据计算。

<sup>b</sup> 从《IPCC 指南》第 3 卷第 1 章的数据推算得到。

资料来源：《IPCC 指南》的《参考手册》表 2-12。

直接还原技术还利用 CO、H<sub>2</sub> 或天然气等其它还原剂，它们有各自的排放因子。优良作法是采用电炉炼钢的企业排放因子，如果没有企业一级数据，那么应采用电极氧化的缺省排放因子。对方法 2 而言，电极氧化的缺省排放因子(EF<sub>EAF</sub>)为每吨电炉钢排放 5 千克 CO<sub>2</sub>(Tichy, 1999)。

## 活动水平数据选择

### 方法 2

应该在企业一级收集活动水平数据，最重要的数据是生铁生产的还原剂总消耗量。如果该排放源不是关键源类别，并且缺乏企业数据时可以采用方法 1（参见下文）来估算还原剂质量。此外，还应该收集生铁产量、用于炼钢的生铁数量、生铁含碳量、电炉钢产量、铁矿石的含铁量及其含碳量等数据。

### 方法 1

方法 1 仅要求生铁生产的还原剂消耗量，如果没有企业一级的还原剂质量数据，可以通过从能源部门报告的燃料用量中提取钢铁工业用于还原铁矿石的燃料总消耗量来估算(ISIC 1990)。用于还原目的的燃料总量可以从还原铁矿石的化学反应式的物质平衡关系推算。这种粗略估算仅影响 CO<sub>2</sub> 排放量在工业过程部门和能源部门之间的分配。

## 完整性

估算该排放源类别的排放量时，存在着在工业过程部门或者能源部门重复计算或漏算的风险。由于碳被氧化的主要目的是生产生铁，其排放属于工业过程排放，因此应该按工业过程排放报告。如果不是这样，应在清单中明确说明。清单机构应该进行重复计算/完整性核查，这要求对该排放源类别的排放清单要很在行。

## 建立一致的时间序列

应当采用相同方法计算时间序列中每一年份的钢铁生产排放量。如果没有数据来支持对时间序列中的所有年份采用更严格的方法，*优良作法*是根据第 7 章“方法学选择与重新计算”提供的指南来重新计算。

## 不确定性评估

对方法 1 和方法 2 而言，最重要的活动水平数据是生铁生产的还原剂消耗量。根据第 2 章“能源”，能源数据的不确定性一般为 5%（能源统计不发达的国家约为 10%）。方法 2 为计算固碳量需要生铁产量和粗钢净产量作为附加的活动水平数据，其不确定性一般为几个百分点。此外，方法 2 还要求生铁、粗钢和铁矿石中的含碳量数据，如果有企业一级的数据，其不确定性一般为 5%，否则为 25%-50%。还原剂（例如焦炭）排放因子的不确定性一般在 5%以内（参见第 2.1.1.6 节“固定源燃烧的 CO<sub>2</sub> 排放因子”中的不确定性评估）。

如果所有生铁都用于炼钢，而且用于其它目的（如铸铁）的生铁最大限度不超过 10%，那么方法 1 由于忽略了方法 2 所考虑的固碳因素将导致 1%-5%的系统误差。因此，方法 1 对该排放源的排放量估算结果将略微偏高。

### 3.1.3.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

#### 方法 2

*优良作法*是将排放量、所有活动水平数据（还原剂、固碳量、电炉钢产量、电极）以及相应的排放因子和推算出排放因子的假设等编写成文，还应该与燃料燃烧子部门的估算相关联，说明没有重复计算和漏算。

#### 方法 1

除了排放量之外，*优良作法*是同时报告还原剂总消耗量及其排放因子。在相关表格中，所报告的排放量仅是总排放量的一部分，其余部分在其它地方报告（燃料燃烧部分）。

此外，清单机构应当将重现两种方法的估算结果所需要的所有信息以及质量保证和质量控制过程编写成文件。

### 3.1.3.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章的指南外，下面给出与该排放源相关的一些具体程序。

#### 活动数据核查

对方法 2，清单机构应核查第 2.1.1.4 节所述的燃料燃烧，以保证热利用/还原剂（煤、焦炭、天然气等）的排放没有重复计算或漏算。

清单机构应检查不同企业的数据之间的任何不一致性，分析这种不一致性是否表明有误差存在、或是采用了不同的测量技术、或是起因于在排放、运行条件或技术方面真的存在差别。对企业估算的还原剂质量数据尤其如此。

如果可以获得碳和石灰石消耗等的贸易额数据，清单机构应当将企业累计结果与行业总量相比较。

## 3.2 己二酸和硝酸生产的 N<sub>2</sub>O 排放

### 3.2.1 方法学问题

在己二酸和硝酸(HNO<sub>3</sub>)的生产过程以及利用氮氧化物或硝酸作为原料的许多工业过程中（例如己内酰胺、乙二醛的生产、核燃料的再处理），将会无意识地产生氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)副产品。如果不加以控制，己二酸和硝酸将成为大气中 N<sub>2</sub>O 的大排放源<sup>13</sup>。这些过程中的 N<sub>2</sub>O 排放取决于在具体生产过程中的生成量和在后续的减排过程中的去除量。N<sub>2</sub>O 减排可能是有意识的，例如在己二酸厂安装消除 N<sub>2</sub>O 的专门设备；也有可能是在减排其它排放物如氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的系统被无意识地减排。进一步的讨论参见《IPCC 指南》的《参考手册》（第 2.9 和 2.10 节，硝酸生产和己二酸生产）。

#### 方法选择

应根据国家具体情况来选择优良作法方法。图 3.4 “己二酸和硝酸生产 N<sub>2</sub>O 排放的决策树”所示的决策树叙述了使《IPCC 指南》方法适应于国家具体情况的优良作法。应分别对己二酸和硝酸生产应用决策树。

《IPCC 指南》提供的估算 N<sub>2</sub>O 排放的基本公式是用产量数据乘以排放因子。考虑到目前及今后 N<sub>2</sub>O 减排技术的潜力，尤其是己二酸厂的潜力，优良作法是在公式中增加如下所示的一项：

公式 3.9

$$\text{N}_2\text{O 排放量} = \text{特定排放因子} \cdot \text{产量} \cdot [1 - (\text{N}_2\text{O 去除因子} \cdot \text{减排系统利用系数})]$$

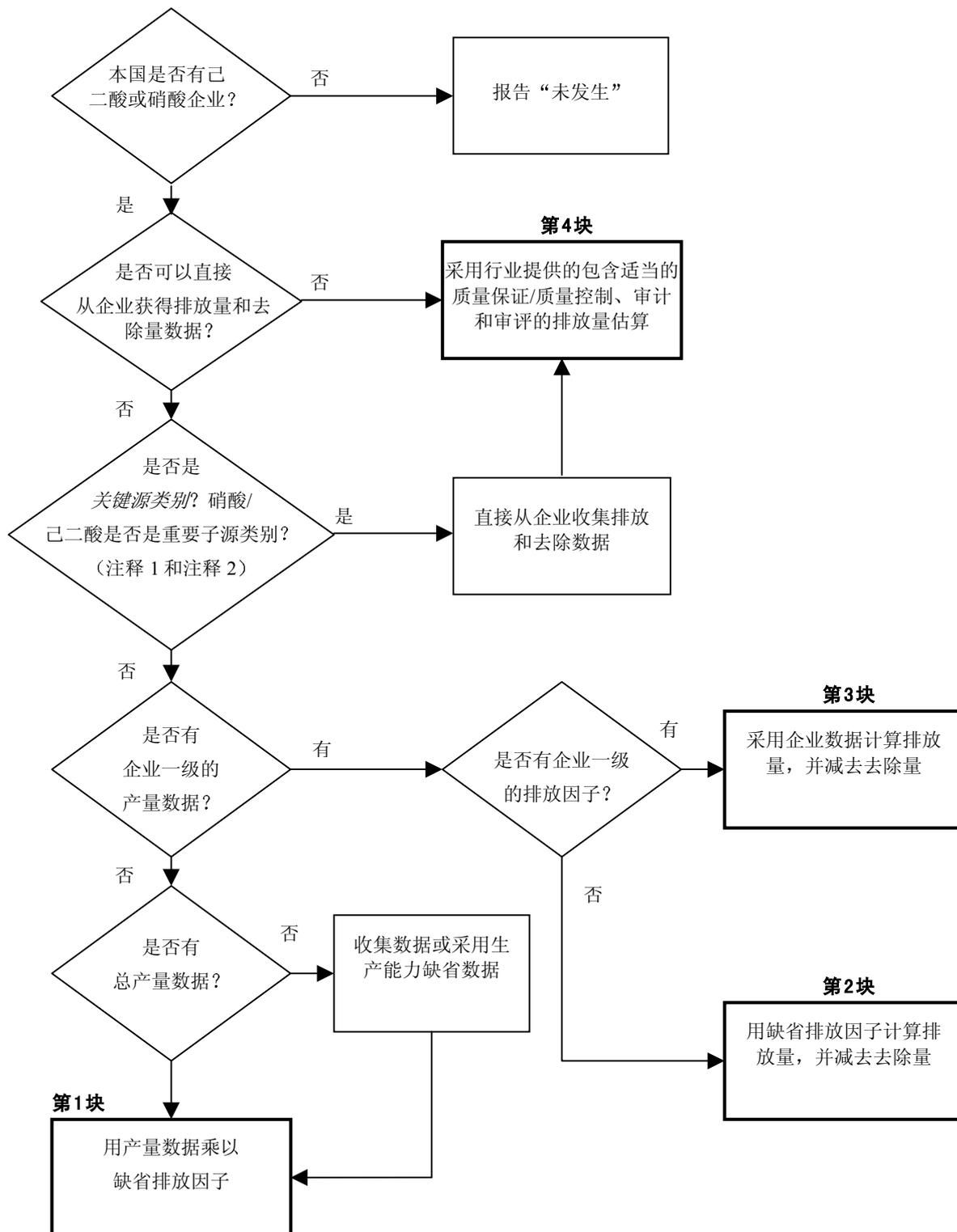
N<sub>2</sub>O 去除因子必须乘以减排系统的利用系数，以便反映减排系统的故障时间（即减排设备不运转的时间）。

为达到最高的准确性，优良作法是在企业一级应用公式 3.9，利用企业测量的 N<sub>2</sub>O 排放和去除因子。此时国家排放量就等于企业排放量的总和。如果不能得到企业数据，《优良作法指南》按企业类型和所采用的减排技术提供了如表 3.7 “己二酸生产的缺省因子”和表 3.8 “硝酸生产的缺省因子”所示的 N<sub>2</sub>O 生成因子和去除因子的缺省值。

己二酸生产企业数量有限（全球大约 23 家，Choe *et al.*, 1993），获取企业数据所要求的额外资源很少。但硝酸的生产企业较多（据估计有 255 家到 600 家，Choe *et al.*, 1993；Bockman 和 Granli, 1994），不同类型的企业的 N<sub>2</sub>O 生成因子差别更大，因此硝酸 N<sub>2</sub>O 排放估算采用缺省因子的机会更多一些。如果采用缺省值估算硝酸生产的排放，优良作法是将企业分类并尽可能采用恰当的 N<sub>2</sub>O 生成因子。

<sup>13</sup> 除了硝酸用于己二酸生产外，本节所述的化学工业及其它行业一般都不互相关联。各行业的生产技术以及可以采用的 N<sub>2</sub>O 减排技术都存在很大差异。

图 3.4 己二酸和硝酸生产的 N<sub>2</sub>O 排放决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

**注释 2:** 作为一种经验，如果某子源类别的排放量在该源类型中的比例达到 25%-30%，那么该子源类别很重要。

## 排放因子选择

企业测量提供了最严格的数据来计算净排放（即  $N_2O$  生成因子和去除因子），监测己二酸和硝酸生产的  $N_2O$  排放是可行的，因为生产厂属于点源而且数目有限。在现有技术条件下，对排放率进行采样和监测的仪器不会制约整个测量的精度或准确性。采样频率和采样时间通常都能充分避免系统误差并实现所期望的准确度水平。作为一项一般规则，*优良作法*是每当企业对工艺流程采取任何足以影响  $N_2O$  生成率的改动时都应进行采样和分析，而且要有足够多的采样次数，除非能够保证工况保持不变。此外，每年都应当向企业操作人员咨询以确定是否采用了特定的去除技术，并确认其利用情况。因为随着时间的推移，技术可能发生变化。排放率和减排效率的精确测量要求测量出口流量和无控制时的流量。如果只有出口流量的测量数据，*优良作法*是以此计算排放量，此时任何关于减排效率的数据应仅作为参考信息，不能直接用于计算排放量。

如果得不到企业一级的数据，*优良作法*是采用缺省因子。这些缺省值通常代表数据集的中位数或平均值（根据专家分析确定），很难说它们能在多大程度上代表一个企业的排放率，只有在无法得到企业的测量数据时才能采用缺省值。

表 3.7 “己二酸生产的缺省因子”给出了己二酸生产的缺省排放因子和通用减排技术的  $N_2O$  去除因子及其不确定性。该表提供的  $N_2O$  减排技术信息是对《IPCC 指南》缺省值的一种补充，如果不能确定是否采用了减排技术将导致高估排放量。

表 3.8 “硝酸生产的缺省因子”补充了《IPCC 指南》（第 3 卷第 2.9 节，表 2-7 “硝酸生产的  $N_2O$  排放因子”）提供的硝酸生产的排放因子，它还包括  $NO_x$  减排技术的额外排放和去除因子，以及相应的不确定性。表 3.8 中采用非选择性催化还原（NSCR）的企业的生成因子已经包含了减排措施的效果，因而表中 NSCR 的  $N_2O$  去除因子仅作为提供信息之用，不应当将其与 NSCR 缺省生成因子一起用于计算排放量，因为这将导致重复计算去除效果。

**表 3.7**  
**己二酸生产的缺省因子**

生产工艺	N <sub>2</sub> O 生成因子 <sup>a, d</sup>	不确定性估计
硝酸氧化	300 千克/吨己二酸	±10% (基于专家判断)。300kg ± 10% 划定了从纯酮到纯醇作原料时的变化范围, 其它多数厂家的情况都在这个范围内。 <sup>a</sup>
减排技术	N <sub>2</sub> O 去除因子 <sup>b</sup>	不确定性估计 (偏离去除因子范围)
催化去除	90-95%	±5% (基于专家判断)。已知采用该技术的厂家包括: BASF(Scott, 1998)和 DuPont(Reimer, 1999b)。
热去除	98-99%	±5% (基于专家判断)。已知采用该技术的厂家包括: Asahi、DuPont、Bayer 及 Solutia (Scott, 1998)。
回收用作苯酚的原料	98-99%	±5% (基于专家判断)。已知采用该技术的厂家包括: Alsachemie(Scott, 1998)。
回收用作己二酸的原料	90-98%	±5% (基于专家判断)。Solutia 公司将在 2002 年左右采用该技术 (Scott, 1998)。
减排系统	利用系数 <sup>e</sup>	
催化去除	80-98%	参见注 c
热去除	95-99%	参见注 c
回收到硝酸	90-98%	参见注 c
回收到己二酸	80-98%	参见注 c

<sup>a</sup>关于《IPCC 指南》提供的日本环境厅的数值 (264 千克 N<sub>2</sub>O/吨己二酸), 据信该企业采用纯环己酮 (醇) 的氧化来替代酮和醇的混合(Reimer, 1999)。这是已知的采用这种方法的唯一厂家。

<sup>b</sup>去除因子 (代表减排技术的效率) 应当与减排系统的利用系数相乘。注意该范围不是不确定性估计。

<sup>c</sup>注意这些缺省值基于专家判断, 不是行业提供的数据或者企业测量结果。减排技术实施的前 1-5 年, 其利用系数倾向于范围下限值。设备的利用率较低一般是由于需要学习如何运行减排系统, 而且因为在初始阶段会发生更多的维护问题。1-5 年以后, 随着运行经验的积累, 利用率系数将趋于范围的上限值。

资料来源:

<sup>d</sup>Thiemans 和 Trogler, 1991。

<sup>e</sup>Reimer, 1999b。

表 3.8  
硝酸生产的缺省因子

生产工艺	N <sub>2</sub> O 生成因子 (kgN <sub>2</sub> O/吨硝酸)	特殊考虑
加拿大 -没有采用 NSCR 的企业 <sup>a</sup> - 采用 NSCR 的企业	8.5  <2	基于欧洲技术的平均排放率 (Collis, 1999)  N <sub>2</sub> O 生成因子包含了 NSCR 对 N <sub>2</sub> O 的去除。不确定性 = ± 10% (基于专家判断 - Collis, 1999)。
美国 -没有采用 NSCR 的企业  -采用 NSCR 的企业	9.5  2	据估计 80%的硝酸(HNO <sub>3</sub> )厂没有采用 NSCR 系统(Choe <i>et al.</i> , 1993)。  N <sub>2</sub> O 生成因子包含了 NSCR 对 N <sub>2</sub> O 的去除。行业值范围是 1.12 - 2.5 kgN <sub>2</sub> O/吨 HNO <sub>3</sub> , 企业专家认为该范围的下限值更准确(Choe <i>et al.</i> , 1993; Collis, 1999)。选择 2 是偏于保守估计的缺省值。据估计, 20%的硝酸厂采用 NSCR 系统(Choe <i>et al.</i> , 1993)。不确定性 = ± 10% (基于专家判断)。
挪威 - N <sub>2</sub> O 综合去除工艺  - 常压工艺 (低压) - 中压工艺	<2  4-5 6-7.5	Norsk Hydro 公司开发了最新的反应器, 采用过程集成方式去除 N <sub>2</sub> O(Norsk Hydro, 1996)。这是安装运行这种类型技术的唯一厂家(Oonk, 1999)。  (Norsk Hydro, 1996)  (Norsk Hydro, 1996)
日本	2.2-5.7	(日本环境厅, 1995)
其它国家 - 欧洲技术, 双压, 双重吸收工艺  -没有采用 NSCR 的老式工艺 (1975 年前)	8-10  10-19	已有报告没有采用 NSCR 技术的企业排放因子达到了 19 kgN <sub>2</sub> O/吨硝酸(Choe <i>et al.</i> , 1993; EFMA, 1995), 这么高的排放率很可能适用于老式企业(Choe, 1993; Cook, 1999)。
<b>NO<sub>x</sub> 减排技术</b>	<b>N<sub>2</sub>O 去除率(%)</b>	<b>备注</b>
非选择性催化还原 (NSCR)	80-90	不确定性 = ±10% (基于专家判断)。NSCR 是美国和加拿大典型的尾气处理技术, 在世界其它地区不常用。
选择性催化还原 (SCR)	0	氨 SCR 不能减排 N <sub>2</sub> O。
延长吸收	0	
<sup>a</sup> NSCR 指非选择性催化还原。		

## 活动水平数据选择

优良作法是使活动水平（产量）数据的详细程度与生成和去除数据保持一致。如果采用企业一级的排放因子，优良作法是收集企业一级的产量数据。由于经济价值要求具有准确性，通常企业一级的产量数据可精确到 $\pm 2\%$ 。如果没有企业一级的数据，可以采用全国汇总的产量数据。不过对于硝酸排放源类别而言，这些统计有可能会漏掉全国总产量的一半（详细内容参见“完整性”部分）。

如果既没有企业一级的数据，也没有全国汇总的活动水平数据，可以采用生产能力方面的信息，优良作法是用全国的总生产能力乘以  $80\% \pm 20\%$ （即 60%-100%）的生产能力利用系数。

## 完整性

己二酸源类别的完整性是显而易见的，但硝酸的全球汇总产量统计有可能平均漏掉全国总产量的一半。从全国统计数据汇总得到的全球硝酸产量与行业估算的全球产量的比较研究认为，全国统计只覆盖了总产量的 50%-70%(Bouwman *et al.*, 1995; Olivier, 1999)。这可能是由于一部分硝酸生产被集成到更大的生产过程中并成为其中的一部分，由于这部分硝酸从来没有成为商品量，所以未能包括在国家统计中。例如己内酰胺的生产中，氨氧化后生成的氮氧化物直接用于工艺中而没有事先转化成硝酸。通过确定国家登记在册的  $\text{NO}_x$  排放量可以提高完整性，因为  $\text{NO}_x$  是硝酸生产的另一种无意识副产品。

## 建立一致的时间序列

当排放量计算方法改变时，应重新计算所有年份的  $\text{N}_2\text{O}$  排放量（即如果清单机构从利用缺省值改为利用企业的实测值）。如果不能得到时间序列中所有年份的企业一级数据，应考虑如何用目前的企业测量数据来重新计算以往年份的排放。如果企业运行情况没有大的变化，可以把企业目前的排放因子应用于往年的产量。这种重新计算是为了保证排放趋势的变化是真实的，而非来源于人为的程序性变化。优良作法是按照第 7 章“方法学选择与重新计算”提供的方法对整个时间序列进行重新计算。

## 不确定性评估

缺省值的不确定性基于专家判断。一般来说，由于己二酸的缺省排放因子是从有目的的化学反应（硝酸氧化）以及  $\text{N}_2\text{O}$  减排系统的化学计量式推算得来，它的可靠性要高于硝酸的缺省排放因子。己二酸排放因子的不确定性反映了各厂家所采用的环己酮和环己醇原料（即酮和醇）的不同组合配比导致  $\text{N}_2\text{O}$  生成情况的差异。酮含量较高时产生的  $\text{N}_2\text{O}$  较多，而醇含量较高时产生的  $\text{N}_2\text{O}$  较少 (Reimer, 1999a)。各个企业应该能够（根据硝酸消耗量）将  $\text{N}_2\text{O}$  的生成量精确到 1%以内。与此相反，硝酸生产缺省值具有更大的不确定性，首先， $\text{N}_2\text{O}$  可能作为无意的副产品在滤网式反应器中生成(Cook, 1999)；其次，废气  $\text{NO}_x$  的治理或许进行或许不进行，而且  $\text{NO}_x$  减排系统可能降低也可能不降低（或者甚至提高）处理后的气体中的  $\text{N}_2\text{O}$  浓度<sup>14</sup>。

虽然硝酸比己二酸具有更大的不确定性，但是每吨己二酸的潜在  $\text{N}_2\text{O}$  排放远远高于硝酸，因此如果按  $\text{N}_2\text{O}$  排放量来衡量，己二酸的不确定性可能比硝酸更具有显著性。维护和校准较好的监测系统可以使采用上述 3.9 公式计算的排放量的不确定性控制在 95%置信区间的 $\pm 5\%$ 范围内。

<sup>14</sup> 某些情形下， $\text{NO}_x$  减排过程可能产生额外的  $\text{N}_2\text{O}$ ，在许多采用  $\text{NO}_x$  非催化还原技术的电厂已经测量到由于  $\text{NO}_x$  减排技术而导致  $\text{N}_2\text{O}$  浓度升高(Cook, 1999)，此外至少已有一个硝酸厂由于控制  $\text{NO}_x$  而增加了  $\text{N}_2\text{O}$  排放 (Burtscher, 1999)。

### 3.2.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。

下面给出与此排放源类别相关的文件和报告的一些例子：

- 描述采用的方法；
- 己二酸厂和硝酸厂的数量；
- 排放因子；
- 产量数据；
- 生产能力；
- 采用减排技术的企业数；
- 减排技术的类型、去除效率和利用率；
- 其它假设。

企业操作人员应向清单机构提供上述信息以便汇总，并对现场情况记录存档。如果进行企业实测，操作人员还应将测量的频度、仪器校准记录等记入工作日志并存档。

如果全国仅有一两家生产企业，例如己二酸生产的情形，活动水平数据有可能需要保密。在此情况下，操作人员和清单机构应该决定汇总到什么层面上既可以报告信息又可以保证保密性。在企业一级，还是应该对包括仪器记录在内的详细信息进行存档。

要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

### 3.2.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章的指南外，下面给出与该排放源类别相关的一些具体程序。

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

如果采用企业数据计算的己二酸和硝酸排放量（自下而上方法），清单机构应当将其与按照全国产量数据估算的结果（自上而下方法）进行比较，并对结果加以记录并对任何无法解释的差异进行调查和分析。

由于工业  $N_2O$  排放源与其它人为排放和自然排放源相比较小，将其与观测到的大气中  $N_2O$  浓度趋势进行比较不可行。

#### 框 3.1 其它潜在的工业 $N_2O$ 排放源

《IPCC 指南》的《参考手册》指出了  $N_2O$  的其它几种潜在的排放幅度未知的排放源类别，但肯定排放量不大。 $N_2O$  的非燃烧型潜在工业排放源有：己内酰胺生产、尿素生产、石化生产、推进剂和发泡剂、硝烟、月桂二酸（DDDA 或 3DA）生产以及己二酸和硝酸罐的挥发烟雾。能够量化这些排放源类别的清单机构，应当在其清单中报告相关数据并提供其方法文件。这类信息可能成为继续修改《IPCC 指南》的基础。

## 企业数据

清单机构应当将全部的信息存档，以保证能够对从起始年开始的时间序列排放进行独立审评，以及在做历史比较时解释排放趋势，这对需要进行重新计算的情形尤其重要，例如清单机构从利用缺省值改为采用企业一级的实际数据时需要重新计算。

## 直接测量排放量的修正

如果可以得到企业一级的 N<sub>2</sub>O 测量结果，清单机构应当采用国际认可的标准方法进行确认。如果实际测量达不到该指标要求，清单机构应当对能否采用这些排放量数据进行评估，此外，还应该根据质量保证和质量控制结果重新考虑不确定性估算。

清单机构应当将企业一级的排放因子与 IPCC 缺省因子进行比较，以确保企业一级排放因子的合理性。清单机构应对这两种排放因子的差异做出解释并整理成文，尤其要解释可能导致这些差异的企业具体情况。

## 3.3 铝生产中的 PFC 排放

### 3.3.1 方法学问题

众所周知，原铝熔炼过程中会排放两种 PFCs，即四氟化碳(CF<sub>4</sub>)和六氟乙烷(C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)。这些 PFCs 是在一种称为阳极效应(AE)的过程中产生的，此时还原槽电解液中的氧化铝浓度很低。

#### 方法选择

选择一种*优良作法*要根据国情而定。如图 3.5 “铝生产中的 PFC 排放决策树”所示的决策树，描述了根据各国国情对《IPCC 指南》方法进行调整的*优良作法*。该决策树应分别应用于 CF<sub>4</sub> 和 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 的排放量估算。

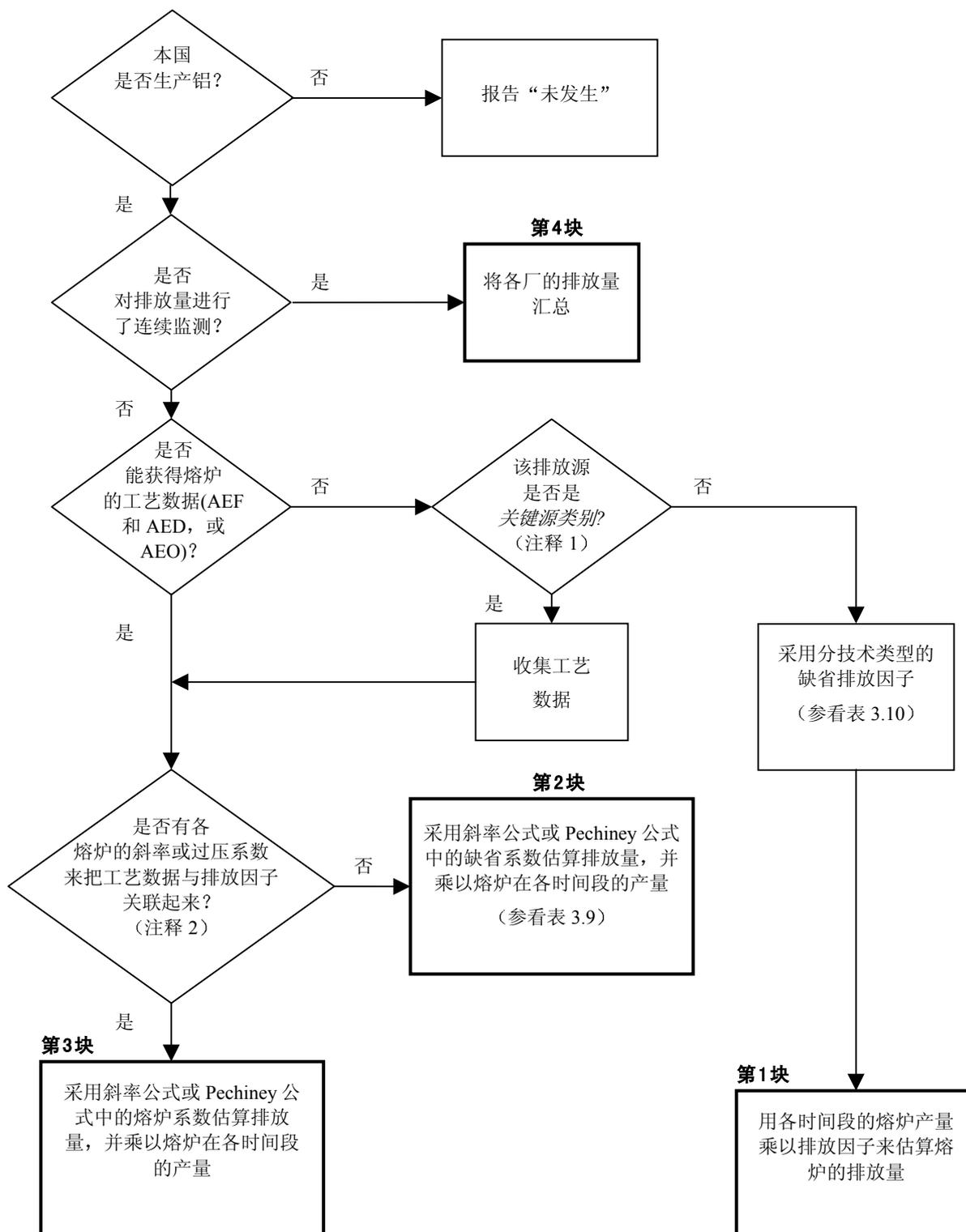
《IPCC 指南》提供了三种一般方法来估算铝生产中的 PFC 排放量（第 3 卷第 2.13.6 节，铝生产中的 PFC 排放），三种方法基本上对应于三个层次，但还未经过充分确定。为了与《IPCC 指南》和《优良作法指南》中的其它部分保持一致，本节将《IPCC 指南》中所列的方法按层次编号。

最准确的方法是对熔炉产生的排放进行连续监测（方法 3a），或者是建立每种熔炉的排放量测量值和运行参数之间的长期对应关系函数，再结合活动水平数据得到排放量（方法 3b）。方法 3b 需要通过综合测量来确定每种熔炉的关系函数，并收集现有的运行参数数据（比如阳极效应的频率和持续时间，以及阳极效应过压<sup>15</sup>）和产量数据。如果无法获得每种熔炉的关系函数但能够获得运行参数和产量信息，可以采用每种技术的缺省斜率和过压系数（方法 2）。如果仅能获得每年的铝产量数据，则采用分技术类型的缺省排放因子（方法 1）。用方法 1 进行排放量估算的不确定性会远远大于用方法 2 或方法 3 估算的排放量。

---

<sup>15</sup>阳极效应过压表示在阳极效应中发生的电压波动情况。

图 3.5 铝生产中的 PFC 排放决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

**注释 2:** 如果一座熔炼炉有两个以上不同技术的电解池，必须分别测量/使用每种电解技术各自的排放系数。

### 方法 3a — 连续排放监测

对排放量进行连续监测不仅可能，也是确定排放量最准确的方法。但考虑到可能的成本和其它因素，这种方法并不是一种必需的优良作法。直接测量技术的详细内容可参看下面框 3.2：直接测量技术。

#### 框 3.2 直接测量技术

采样和测量都必须遵循优良作法的标准，以保证数据的准确性，这意味着：

- 熔炉 PFC 的测量必须考虑电解还原槽加罩产生的减排和排烟管对排放的吸收，以及电解车间的逃逸排放<sup>16</sup>。最好通过直接测量排烟管中的 PFC 量和逃逸排放的 PFC 量获得这些数据。否则将需要在允许对逃逸排放量进行计算的情况下，直接测量排烟管排放中的 PFC 量并仔细测量电极槽加罩的减排率。
- 运用分析技术可以同时测量  $CF_4$  和  $C_2F_6$  气体。可用的分析技术有很多，但最后选择的分析技术必须具有合适的动态量程，可以满足排烟管排放和逃逸排放中预期浓度的测量需要。对测量灵敏度的要求是在逃逸排放超过总 PFC 排放 5% 的情况下，对电解槽排烟管中预期的最低水平排放仍能获得可信的测量结果。测量设备的动态量程应保证在测量最高浓度时仍能获得可信的测量结果。对排烟管的排放来说，这意味着浓度测量量程应在 0-1000ppmv（百万分之一体积浓度）之间。对测量结果要进行温度和压力校正，并且要记录和报告测量浓度时的测量条件，以备将来计算质量排放时使用。
- 排烟管气体体积流量的测量应按照国家或国际认可的标准进行。它可以在测量浓度的过程中进行，但必须有足够的测量间隔，以确保能准确反映气体的体积流量。测量结果应进行温度和压力校正，并且要记录和报告测量浓度时的测量条件，以备将来计算质量排放量时使用。
- 分析设备的校准应在测量期内定期进行，校准时间表因分析设备类型及其稳定性而异，但必须确保能将设备校准漂移的影响降到最小。校准结果应与浓度测量结果一起进行记录和报告。漂移对测量结果的影响应该可以忽略。校准气应符合认可的国家标准或国际标准，校准方法应同排放量测量一起进行全面的文档描述和记录。第 8 章“质量保证和质量控制”将就抽样代表性给出一般性建议。

<sup>16</sup>电解车间是放置电解还原槽或罐的大型房间的标准工业术语。在熔融电解槽上装有护罩，护罩的集尘率依熔炼炉设计和使用年限的不同而不同。被吸收的烟尘通过排烟管送入烟尘洗涤装置以去除其它污染物。逃逸到护罩外的气体一部分被烟尘集管收集并送到烟尘洗涤装置中，另一部分则穿过电解车间排放到大气中。由于电解车间可能会长达 1 公里、高达 20 米或更高，所以不可能对逃逸排放进行准确测量。因此，必须测量集尘和逃逸烟尘中的 PFC 量，或者是在综合确定集尘率的情况下对集尘量进行测量，这样才能保证最终的 PFC 排放量估算中包括了洗涤设备收集的 PFC 和逃逸排放的 PFC。

### 方法 3b—根据现场测量得到每种熔炉的排放量和运行参数之间的关系函数

本方法通过定期测量来确立各个熔炉的运行参数（即阳极效应频率及持续时间或阳极效应过压）与  $\text{CF}_4$  和  $\text{C}_2\text{F}_6$  排放量之间的关系函数。待关系函数建立以后，就可以结合现有的工艺数据来估算排放因子，再将排放因子同熔炉生产量（吨）相乘得到熔炉的排放量。将所有熔炉的排放量汇总就得到全国排放量。

可以采用以下的估算关系式：

**斜率法：**本方法用一个线性最小二次幂关系式来反映每槽天<sup>17</sup>的阳极效应时间（分钟）和排放量之间的关系，用排放因子表示：

#### 公式 3.10

$$\text{排放因子 (kg CF}_4\text{ 或 C}_2\text{F}_6\text{/吨铝)} = \text{斜率} \cdot \text{AE}_{\text{分}}/\text{槽天}$$

为了对斜率进行准确估计，需要同时对适当时间段内的排放量和阳极效应数据进行测量和收集。斜率法是在《IPCC 指南》中提到的 **Tabereaux 方法**的变型：

#### 框 3.3

#### TABEREAUX 方法

$$\text{斜率} = 1.698 \cdot (p/CE) \quad \text{和} \quad \text{AE}_{\text{分}}/\text{槽天} = \text{AEF} \cdot \text{AED}$$

其中：

$p$  = 阳极效应过程中  $\text{CF}_4$  在电解槽气体中所占的平均比例（ $\text{CF}_4$ 斜率）

或

阳极效应过程中  $\text{C}_2\text{F}_6$  在电解槽气体中所占的平均比例（ $\text{C}_2\text{F}_6$ 斜率）

$CE$  = 铝生产工艺现有效率，用比例而不用百分数的形式表示

$AEF$  = 每槽天的阳极效应数

$AED$  = 以分钟表示的阳极效应持续时间

**Pechiney 过压法：**本方法用阳极效应过压作为相关工艺参数。阳极效应过压是指由阳极效应引起的超过 8V 的额外电极电压在 24 小时内的平均值（mV/天）。该方法通过对使用 Pechiney 技术的熔炉的 PFC 产生量进行测量得到相关关系式，用排放因子表示：

#### 公式 3.11

$$\text{排放因子 (kg CF}_4\text{ 或 C}_2\text{F}_6\text{/吨铝)} = \text{过压相关系数} \cdot \text{AEO} / \text{CE}$$

其中：

$AEO$  = 阳极效应过压(mV)/槽天

$CE$  = 铝生产工艺现有效率(%)

<sup>17</sup> “槽天”意思是“在运行的电解槽数与运行时间数的乘积”。对单个熔炉来说，（一定时间段如一月或一年内的）槽天通常用“熔炉在该时间段内平均运行的电解槽数乘以该段时间内的天数”得到。

## 方法 2—根据每种技术的缺省斜率和过压系数得到每种熔炉的排放量和运行参数之间的关系函数

当无法通过测量数据确定每种熔炉的斜率或过压系数时，缺省系数可同时和特定熔炉的运行参数使用。*优良作法*中的缺省系数如表 3.9 “计算铝生产中的 PFC 排放量所需的缺省系数（方法 2）” 所示。

## 方法 1—基于生产量的排放因子

最简单的估算方法是用缺省排放因子同铝生产量相乘。如果只能得到每种熔炉的金属产量统计等活动水平数据，用缺省排放因子（见“排放因子选择”）是一种*优良作法*。

缺省斜率相关系数（方法 2）和排放因子（方法 1）根据国际原铝研究所(IPAI)的测量数据和其它一些现场测量数据(Bouzat et al., 1996; Leber et al., 1998; Marks, 1998; Roberts et al., 1994a 和 1994b, Kimmerle et al., 1998; Marks et al., 2000)得到。对某些数据有用的信息比较少，还需要就测量结果的适用性进行专家判断。举例来说，方法 1 中的 Horizontal Stud Söderberg(HSS)缺省排放因子是用 1991 年而不是 1990 年的数据计算得到的。

如有可能，应对不同时间段和不同熔炉的测量数据的一致性进行检验，以确保排放因子和相关系数在数量级和趋势上具有高置信度。

## 排放因子选择

### 方法 3b

对本方法来说，确定模型的相关系数的*优良作法*是采用每种熔炉的测量数据。每种熔炉的相关系数应基于对  $CF_4$  和  $C_2F_6$  排放量的综合测量及同时收集到的工艺数据，其排放因子应反映工厂的实际条件和技术。排放因子的测量应在能充分反映工艺变化的时间段内进行，同时还要考虑到集尘系统的减排和逃逸排放（当该子源类别的排放量明显高于烟尘控制系统的减排量时）。框 3.2 “直接测量技术”给出了一些直接测量技术指南，按这些方法进行取样和测量是一种*优良作法*<sup>18</sup>。

### 方法 2

如果无法对每座熔炉进行测量，则可以使用缺省相关系数。表 3.9 “计算铝生产中的 PFC 排放量所需的缺省相关系数（方法 2）” 中提供了分技术类型的缺省相关系数<sup>19</sup>。每座熔炉必须按其技术类型使用缺省相关系数。如果某熔炉使用了两种以上技术，对每种技术组分的 PFC 排放量估算必须使用各自的缺省相关系数。

<sup>18</sup>其它方法可能会包括反映新电极影响的显性因子，按方法 3b 得到的每种熔炉的斜率相关系数考虑了这些排放。

<sup>19</sup>测量程序目前正在改进可获得数据的数量和质量，预计在 2000 年早期应该能获得这些数据，到时它们可能会取代表 3.9 中的数据。

**表 3.9**  
计算铝生产中 PFC 排放量所需的缺省相关系数  
(方法 2)

技术 <sup>a</sup>	斜率 <sup>b,d</sup> [ (kg PFC/t <sub>Al</sub> ) / (AE-分钟数/槽天) ]				过压相关系数 <sup>b</sup> [ (kg PFC/t <sub>Al</sub> ) / (mV/槽天) ]	
	CF <sub>4</sub>	不确定性	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	不确定性	CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>
CWPB	0.14	±0.009	0.018	±0.004	1.9	NA
SWPB	0.29	±0.02	0.029 <sup>c</sup>	±0.01	1.9	NA
VSS	0.068 <sup>g</sup>	±0.02	0.003 <sup>g</sup>	±0.001	参见注 e	—
HSS	0.18 <sup>f</sup>		0.018		—	—

<sup>a</sup> Centre Worked Prebaked (CWPB), Side Worked Prebaked (SWPB), Vertical Stud Søderberg (VSS), Horizontal Stud Søderberg (HSS)。  
<sup>b</sup> 资料来源: IPAI、EPA 现场测量和其它公司测量数据。  
<sup>c</sup> 仅基于测量数据还不足以确定 SWPB 电解槽排放的 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 的斜率相关系数, 因此采用与《IPCC 指南》相一致的方法将 CF<sub>4</sub> 相关系数的十分之一作为其缺省值是一种优良作法。  
<sup>d</sup> 斜率相关系数中假定了以下的排放收集效率: CWPB 95%、SWPB 90%、VSS 85%、HSS 90%。这些收集效率基于专家估算。虽然 HSS 电解槽的收集效率可能会发生变化, 但用于计算相关系数的企业测量数据与收集效率至少有 90% 的一致性。  
<sup>e</sup> 过压相关系数与 VSS 和 HSS 技术无关。  
<sup>f</sup> HSS 的斜率相关系数基于 IPAI 1991 年的测试数据。  
<sup>g</sup> 对 VSS 还需要进行进一步的排放测量和不确定性分析工作。其缺省相关系数仅基于少量数据得到, 不确定性可能会大于其它相关系数 (Bjerke, 1999a 和 Bjerke *et al.*, 1999b)。  
 NA = 暂缺。

### 方法 1

最简单的方法是用铝生产量乘以缺省排放因子。《IPCC 指南》中提供了分技术类型的缺省排放因子。根据最新的测量结果对这些因子进行修正是一种优良作法, 修正后的缺省排放因子及其不确定性范围在表 3.10 “计算铝生产中 PFC 排放量的缺省排放因子和不确定性范围 (分技术类型)” 中列出。由于三种方法中方法 1 的不确定性最高, 所以优良作法是仅在只能获得产量统计数据的情况下才使用缺省排放因子。

**表 3.10**  
计算铝生产中 PFC 排放量的缺省排放因子和不确定性范围 (分技术类型)

技术	CF <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	
	kg/吨 Al <sup>e</sup>	不确定性范围 <sup>a</sup>	kg/吨 Al <sup>e</sup>	不确定性范围 <sup>a</sup>
CWPB	0.31	0.0003-1.3	0.04	0.00004-0.2
SWPB	1.7	0.8-3.8	0.17 <sup>b</sup>	0.08-0.4
VSS	0.61 <sup>c</sup>	0.4-1.1	0.061 <sup>c</sup>	0.04-0.1
HSS	0.6 <sup>d</sup>	0.0006-1.4	0.06 <sup>d</sup>	0.00006-0.13

<sup>a</sup> 根据 IPAI 1990 年 (或对 HSS 是 1991 年) 的调查数据显示, 每种技术类型的阳极效应时间数据都有差异, IPCC 华盛顿专家会议工作组估计不确定性的置信区间为 95%。  
<sup>b</sup> 仅基于测量数据还不足以确定 SWPB 电解槽的 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 排放因子, 因此采用与《IPCC 指南》相一致的方法将 CF<sub>4</sub> 相关系数的十分之一作为其缺省因子是一种优良作法。  
<sup>c</sup> VSS 缺省排放因子基于 IPAI、EPA 现场测量数据和其它企业 1990 年的测量数据。这些缺省因子仅基于少量数据, 估计不确定性会大于其它因子 (Bjerke, 1999a 和 Bjerke *et al.*, 1999b)。  
<sup>d</sup> HSS 的缺省排放因子基于 IPAI 1991 年的调查数据。  
<sup>e</sup> 资料来源: IPAI、EPA 现场测量数据, 其它企业 1990 年的测量数据。只有 HSS 的数据是基于 1991 年的数据 (Bjerke, 1999a 和 Bjerke *et al.*, 1999b)。

优良作法是根据 1990 年（对 HSS 是 1991 年）的阳极效应频率和持续时间数据的中位数，得出所有缺少工艺数据（阳极效应）的年份的缺省排放因子，除非某些年份能以其它方式佐证排放因子。

## 活动水平数据选择

优良作法是将方法 3b 和方法 2 所需的企业阳极效应频率和持续时间、阳极效应过压以及生产数据等相关信息进行记录。通过向各个企业和工业组织进行咨询，以确保数据的可获得性，并形成有利于清单估计的格式。对方法 1 来说，活动水平数据是从企业得到的企业产量统计数据，大多数国家的产量统计数据（吨铝）的不确定性较低。由于通常情况下可以获得生产量数据，生产能力数据仅被用来检验生产量数据。

## 完整性

原则上，所有熔炉的产量统计数据都可以得到。优良作法是汇总所有熔炉的排放量得到全国的排放量。占 1999 年世界生产能力 60% 的 IPAI 成员都要对其生产量进行报告。如果无法获得熔炉的产量数据，可以利用熔炉的生产能力数据和全国总产量数据来估算熔炉产量。所有的清单机构都应该至少用方法 1 编制清单并保证其报告的完整性，没有理由说暂缺或没有估算。当通过连续监测确定排放量或是计算排放相关系数或排放因子时，为了确保此排放源类别的熔炉排放量的完整性，需要估算排烟管排放和电解车间排放的  $CF_4$  和  $C_2F_6$  数量，或是确定集尘效率。

## 建立一致的时间序列

如果能获得所有必需的历史数据（如产量统计数据、阳极效应持续时间和阳极效应频率或阳极效应过压），采用适当的优良作法方法可以估算整个时间段的排放量。

如果有些历史数据已经丢失，优良作法是利用可获得的每种企业的测量数据以建立基年排放量和活动水平数据之间的相关联系。利用这种相关联系来推断历史数据还需要有工艺数据记录，除某些地区以外，大部分熔炉都有这种记录。此外，还要能证明这种相关联系在熔炉运行的历史条件下可用（如果没有任何明显的技术或操作变化）<sup>20</sup>。为了保证整个时间段内的一致性，当熔炉估算方法变化后，优良作法是分别用过去和现在的方法对排放量进行重新估算，以确保确实是由于排放量发生了变化而不是由于方法变化而引起排放量估算值的变化。重新计算按第 7 章“方法学选择和重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中提供的指南进行，对其中的各种假定要进行清楚的记录。

## 不确定性评估

通过经典统计量化方法就可以估算方法 1、2、3 的不确定性范围。表 3.9 “计算铝生产过程中 PFC 排放量所需的缺省相关系数（方法 2）”和表 3.10 “计算铝生产过程中 PFC 排放量所需的缺省排放因子和不确定性范围（分技术类型）”提供了对方法 1 和方法 2 排放因子的不确定性估计，这些估计值是经典统计学（2- $\sigma$  估计）和专家判断相结合得出的结果。由于方法 1 不考虑熔炉的运行条件，因此方法 1 的缺省因子的不确定性明显高于方法 2 和方法 3。

<sup>20</sup> 使用方法 3b 时，应通过专家判断决定当熔炉的操作或技术条件发生显著变化时是否需要建立新的熔炉斜率系数。

如果加以测量，预计阳极效应频率和阳极效应持续时间或阳极效应过压的不确定性会比较低，但这取决于现场的计算机扫描率（长扫描率意味着较高的不确定性）和数据收集体系。

### 3.3.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。

以下列出一些与此源类别相关的具体文档和报告的例子。

要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

为了提高透明性，*优良作法*是将铝生产中的 PFC 排放量估算同其它排放源类别分开，进行单独报告。此外，将 CF<sub>4</sub>和 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>排放的实物量以及 CO<sub>2</sub>当量进行单独报告也是一种*优良作法*。<sup>21</sup>

*优良作法*要求获得所有电解槽类型准确的阳极效应频率(AEF)和阳极效应持续时间(AED)值，对 Pechiney 技术来说是阳极效应过压(AEO)值。应当报告阳极效应频率、阳极效应持续时间、阳极效应过压估算值的统计误差。

*优良作法*要求企业对以下的计算机控制体系信息进行归档，它们也属于统计误差估算的一部分：

- (1) 阳极效应启动电压：阳极效应开始时的电压；
- (2) 阳极效应终止电压：阳极效应终止时的电压；
- (3) 扫描率：对电解槽电压进行测量的频率；
- (4) 电压平均周期：用来计算平均电压（同启动电压和终止电压相比）的时间段。

表 3.11 “铝生产中 PFC 排放量报告信息的*优良作法*（分方法）”中列出了为确保所报告的排放量估算的透明性需要的支持信息。

很多生产数据和工艺数据被厂家视为专有，特别是对全国只有一个熔炉的情况。*优良作法*是通过数据合并等适当方法来保护保密数据（同时不影响估算排放量）。

数据	方法 3	方法 2	方法 1
熔炉年产量（分技术类型）	x	x	x
每天的阳极效应持续时间（非 Pechiney 电解槽）	x	x	
阳极效应过压（mV/槽天）（Pechiney 电解槽）	x	x	
排放相关系数	x	x	
排放因子	x	x	x
全球变暖潜力(GWP)	x	x	x
支持性文档	x	x	x

### 3.3.3 清单质量保证和质量控制

<sup>21</sup>按照*优良作法*的要求，所用的全球变暖潜力(GWP)值应与附件一国家《准备国家信息通报指南》第一部分“UNFCCC 年度清单报告指南”(UNFCCC 指南)相一致。

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

下面给出与铝生产排放相关的其它具体程序。

### 排放因子比较

清单机构应该检查排放因子估算值是否在方法 1 提供的缺省排放因子范围之内。如果超出这一范围，应该对产生这种差异的特定熔炉的条件进行评估和文档记录，如有必要还需进行重复测量以进一步确认。

### 企业数据审核

对排放量估算值的充分审计需要以下企业数据：

- 产量数据；
- 工艺数据记录；
- 计算和估算方法；
- 假定条件列表；
- 取样测量方法和测量结果的文档记录。

如果收集各企业的排放量测量数据，清单机构应保证该测量是按国家或国际认可的标准进行。现场所用的质量控制过程也应直接来自质量控制计划。如果测量过程同质量控制标准不一致，清单机构应重新考虑这些数据的使用。

### 排放量估算校验

对  $CF_4$  和  $C_2F_6$  浓度的全球大气测量为所有排放源类别的 PFC 排放全球总量提供了一个上限值（Harnisch *et al.*, 1998）。用它可以对国际铝生产排放源类别的排放量估算值进行检验，也可以对排放因子和相关系数的一致性进行潜在评估。尽管通过对熔炉的烟流进行外部测量可以实现对此类源类别排放的交叉检验，但考虑到现有技术水平和优良作法并未对此提出要求，此过程并不必要。

## 3.4 镁生产中的 SF<sub>6</sub> 排放

### 3.4.1 方法学问题<sup>22</sup>

镁生产中，铸造车间用 SF<sub>6</sub> 作为保护气来防止熔融镁的氧化，估计所有用作保护气的 SF<sub>6</sub> 最终都排放到大气中。在编制镁生产中的 SF<sub>6</sub> 排放量估计清单时，*优良作法*是尽可能考虑所有使用 SF<sub>6</sub> 的工序，这些工序包括：原镁生产、压铸、重力浇注和再加工（二次生产）。对使用和产生 SF<sub>6</sub> 排放的其它镁生产过程进行评估也是*优良作法*。

#### 方法选择

*优良作法*的方法选择取决于国家的具体情况。决策树（见图 3.6，镁生产中的 SF<sub>6</sub> 排放量估算决策树）说明了根据国家具体情况对《IPCC 指南》（第 3 卷第 2.13.8 节，铝和镁铸造车间所使用的 SF<sub>6</sub>）进行调整时的*优良作法*。《IPCC 指南》提供了计算镁生产中 SF<sub>6</sub> 排放量的通用公式，它是以下所有方法的基础。

#### 公式 3.12

$$\text{SF}_6 \text{ 排放量} = \text{镁熔炉和铸造车间中使用的 SF}_6 \text{ 量}$$

因为这些数字反映的是表观消费量而不是排放量，所以对该公式最准确的运用是要求从镁工业中所有 SF<sub>6</sub> 消费者处收集得到 SF<sub>6</sub> 的直接消费量。消费量指用作保护气的 SF<sub>6</sub> 使用量。如果没有直接数据，*优良作法*是通过产量数据以及与各种制造过程相关的排放因子，用自上而下方法估算排放量。如果只有部分直接消耗数据，*优良作法*是采用混合方法，即能用直接数据的地方就用直接数据，其余的通过基于产量的排放因子对估算结果进行完善。混合方法最好也只用自上而下方法。

如果没有直接数据，一种准确性较低的替代方法是估算全国每年的 SF<sub>6</sub> 消费中镁工业所占的份额。这需要收集每年的 SF<sub>6</sub> 销售数据，并假定所有销售给镁工业的 SF<sub>6</sub> 在当年都排放到大气中。

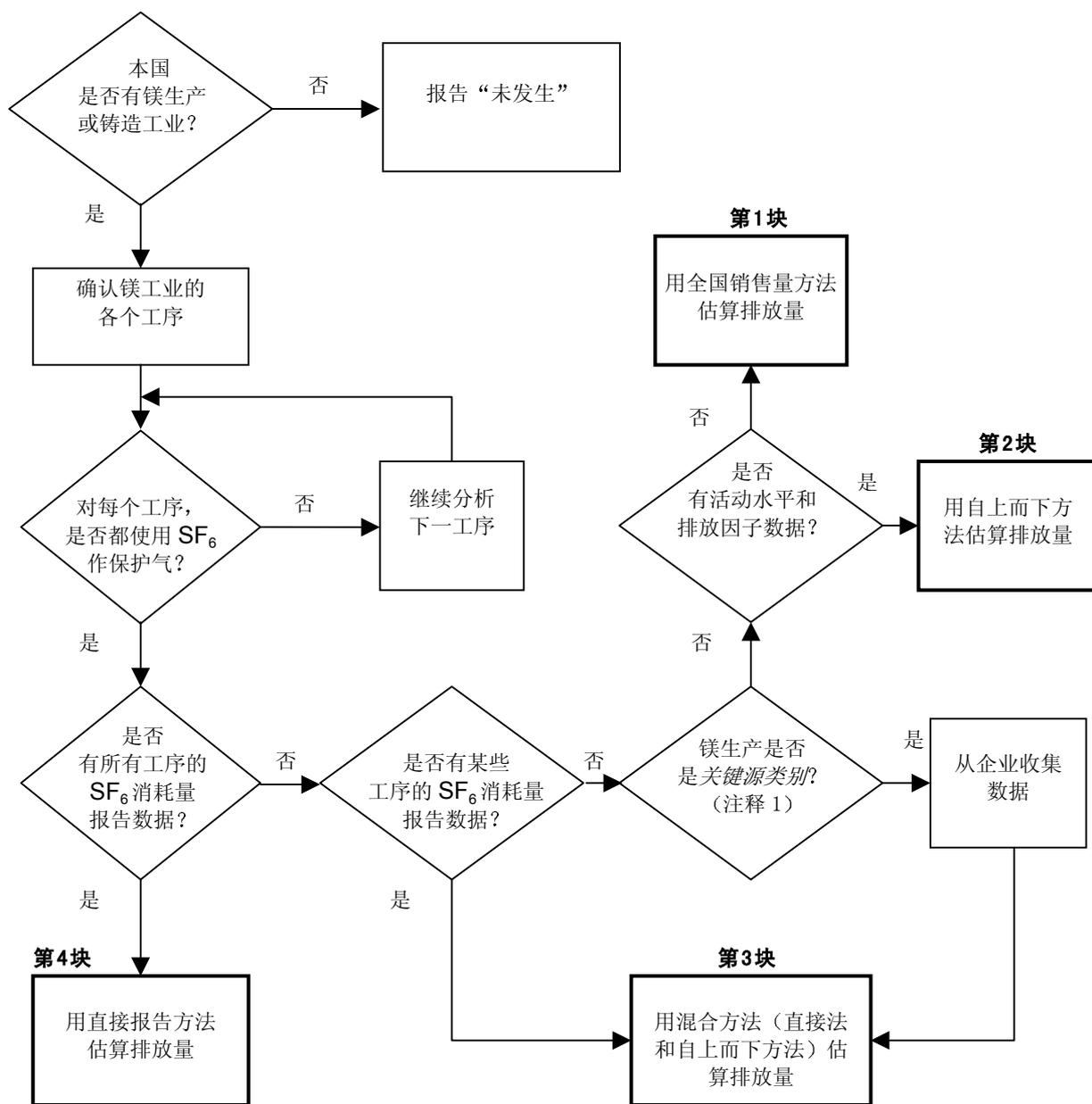
#### 排放因子选择

因为直接报告方法假定所有消费的 SF<sub>6</sub> 都排放到大气中，所以如果有 SF<sub>6</sub> 消费量数据，就没有必要再使用排放因子或相关系数。若无法获得全部的报告数据，*优良作法*是按图 3.6 “镁生产中 SF<sub>6</sub> 排放量估计的决策树”所示的决策树，为每个工序确定相应的排放因子。这些排放因子能将相同层面上（如全国或区域）的 SF<sub>6</sub> 排放量同活动水平数据即镁的产量联系起来。基于企业测量数据的国家排放因子优于国际缺省值，因为这些因子可以反映各国的具体状况。这类数据可以从行业协会、或通过调查和研究获得。

《IPCC 指南》没有提供镁生产中 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子。在推荐的压铸条件下，SF<sub>6</sub> 的消耗率大约是每生产或熔融 1 吨镁产生 1 千克的 SF<sub>6</sub> (Gjestland, 1996)。在没有更准确数据的情况下，用此数值也是一种*优良作法*，但这一缺省值是非常不确定的。比如对行业普查显示，压铸工序的 SF<sub>6</sub> 消耗率范围为 0.1-10 千克 SF<sub>6</sub>/吨镁 (Palmer, 1999)。

<sup>22</sup>有时在铝工业中 SF<sub>6</sub> 也被用作保护气或其它方面，并被假定为是惰性的。因此，SF<sub>6</sub> 的排放量被假定为等同于其消费量，可以用类似于镁生产的基于消费量的方法对其排放量进行估算。镁生产中所用的排放因子和全国销售量方法不适用于铝生产。

图 3.6 镁生产中的 SF<sub>6</sub> 排放量估算决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

### 活动水平数据选择

直接报告方法中的活动水平数据是每个企业的 SF<sub>6</sub> 消耗量。对没有报告 SF<sub>6</sub> 消费量数据的企业，必须获得其镁生产产量数据。如果只有部分企业直接报告 SF<sub>6</sub> 消耗量，*优良作法*是评估这些直接报告 SF<sub>6</sub> 数据的企业在该生产工序镁的生产量中所占的份额。至于其它企业，*优良作法*是使用基于产量的排放量估算值。

*优良作法*要求尽可能地将产量数据拆分到各个使用 SF<sub>6</sub> 的生产工序（如原镁生产、压铸、重力浇注工序等），以便在各工序使用各自的排放因子。如果无法得到拆分数据，可以用更综合的产量数据（如有可能，再结合不同工艺的产量数据）进行估算。如果没有 SF<sub>6</sub> 消费量或镁产量数据，一种替代方法是收集全国每年对镁工业的 SF<sub>6</sub> 销售量数据。此类数据可以直接从 SF<sub>6</sub> 生产商处或从国家统计数据中得到。在估算镁工业的消费份额的同时，考虑其它使用 SF<sub>6</sub> 行业（如电力设备）的消费量数据是一种 *优良作法*。

## 完整性

对原镁生产工序来说，不完整的直接报告或活动水平数据可能并不是一个关键问题，因为知名且记录一般保存较好的原镁生产企业数量很少。铸造工序可能会存在数据的完整性问题，因为相关设备更为分散，生产能力和技术差别很大，一些企业可能会做因市场不大而别人不做的产品，因此其数据没有包括在国家数据中。清单机构应该确认是否缺乏这一小部分活动水平数据，而不能简单地假定其没有发生。*优良作法*是对该行业进行定期调查，并通过同地方工业协会建立紧密的联系来检验估算值的完整性。

## 建立一致的时间序列

对历史排放量的估算可能会带来数据适用性的问题，特别是对直接报告方法。*优良作法*是使用可获得的 SF<sub>6</sub> 历史数据，但镁生产商可能没有对以前的 SF<sub>6</sub> 销售记录进行存档。

如果缺乏上述数据，也可用活动水平数据和假定的排放因子数据相乘的缺省方法。有时由于环境意识的提高、经济因素或技术和操作的改善，排放因子可能会下降，*优良作法*是按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的原则对历史排放因子进行评估。有时由于缺乏这一时期的原始记录或者工业结构发生的变化，可能无法获得历史生产量数据，此时可以采用国际产量数据。如果在国际数据也缺乏的情况下，可以采用国民经济活动和镁生产量之间的通用关系式。为了保证随时间变化的一致性，*优良作法*是用以前的方法和新方法分别对排放量进行重新计算，以确保排放量的变化趋势是实际情况的反映，而不是由估算方法不同所引起的变化。将所有的假定进行文档记录并在清单机构进行存档是一种 *优良作法*。

## 不确定性评估

由于通过购买量数据可以很容易地准确衡量企业的 SF<sub>6</sub> 消费量，因此企业 SF<sub>6</sub> 消费量数据的不确定性很低（通常认为直接报告数据的不确定性低于 5%），但假定所消耗的 SF<sub>6</sub> 100% 都排放到大气中则具有一定的不确定性。有证据表明，在极端条件下，生产过程中可能有很少量的 SF<sub>6</sub> 参与了反应或发生了分解。但从清单编制的角度考虑，除非有经同行认定的进一步研究能证明该结论，否则仍假定所有用作保护气的 SF<sub>6</sub> 都排放到大气中。对于如前所述的无法获得企业数据的情况，不确定性可能会很高，实际排放量可能会高于或低于用 IPCC 缺省值计算得到的数据。

从国家清单角度看，镁生产活动水平数据的准确性与其它国家生产统计数据类似（即±5%）。对未直接报告的生产份额数据进行估算可能会带来额外的不确定性。将不同工序的产量合并，再利用总的排放因子估算也会带来不确定性。例如，尽管压铸和重力浇注生产过程的潜在 SF<sub>6</sub> 排放因子并不相同，但国家层面只有总铸造生产数据，难以将二者分开。通过每年销售给镁生产行业的 SF<sub>6</sub> 数量来估算 SF<sub>6</sub> 排放量也会带来很大的不确定性，因为某些 SF<sub>6</sub> 可能来年才用，此时不确定性范围将是总销售量。

### 3.4.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

为了增加透明度，*优良作法*是按照不同工序单独报告此排放源类别的排放量估算值。

以下是可以增加报告透明度的一些额外信息：

#### 直接报告

- 报告的企业数目；
- 镁和镁产品产量；
- SF<sub>6</sub>排放量；
- 排放因子数据（和参考资料）。

#### 基于国家 SF<sub>6</sub> 销售量的潜在排放量估算：

- 国家 SF<sub>6</sub> 消费量（和参考资料）；
- 镁生产中 SF<sub>6</sub> 的使用分配情况的假定；
- 对全国 SF<sub>6</sub> 消费中用于镁生产的比例的估算（和参考资料）；
- 其它假定。

大部分国家的镁工业仅有很少量企业，其活动水平数据和 SF<sub>6</sub> 排放量（与活动水平直接相关的排放）数据可能被认为是保密性商业信息，对这些数据的公开报告必须要满足保密性要求。

### 3.4.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

下面给出与镁生产排放相关的其它具体程序。

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

如果排放量是用企业数据计算得来（自下而上方法），清单机构应将其与通过国家镁生产量数据或国家 SF<sub>6</sub> 消费量数据得到的排放量估算结果（自上而下方法）进行比较。比较结果应进行记录，如出现差异应进行调查。

#### 企业数据审核

对以下企业信息应进行存档以便进行独立评估：

- SF<sub>6</sub> 消费量或镁生产量（如采用排放因子）；
- 企业质量保证和质量控制结果（包括取样文档记录、测量方法和对企业数据的测量结果）；

- 所有综合机构（如行业协会）进行的质量保证和质量控制结果；
- 计算和估算方法；
- 如有可能，列出将全国 SF<sub>6</sub> 消费量或生产量分摊到企业一级的假定。

清单机构应确认对具体企业的 SF<sub>6</sub> 消费量或镁生产量的测量是否依据国家标准或国际标准进行，如果没有采用标准的方法和质量保证和质量控制程序，清单机构应重新考虑是否使用这些活动水平数据。

### 全国活动水平数据审核

应对与镁生产量数据相关的质量保证和质量控制活动进行评估和参照引用。清单机构应对汇总国家生产量数据的贸易组织或机构是否使用了合格的质量保证和质量控制程序进行检查，如果认为该质量保证和质量控制程序合格，清单机构应引用此质量控制活动，并作为质量保证和质量控制文档的一部分。

### 排放因子评估

如果使用了国家 SF<sub>6</sub> 排放因子，清单机构应审核基础数据的质量控制水平。尽管没有 IPCC 缺省排放因子，*优良作法*要求清单机构用企业排放因子对国家缺省排放因子进行交叉检查，以确定其代表性。

### 同行评估

在考虑保密性问题的前提下，清单机构应组织镁行业专家对清单估算结果进行全面评估。历史数据可能并不像现有数据一样对保密性问题敏感，因此可以对企业的历史排放量进行外部同行评估。

### 排放量数据的校验

清单机构应将不同工业部门（如镁、电力设备）的 SF<sub>6</sub> 消费量进行合并，同全国的 SF<sub>6</sub> 消费量（通过进出口和生产量数据获得）进行比较，这也为潜在排放量提供了一个上限值<sup>23</sup>。

<sup>23</sup> 消费量合并数据并不总是排放量的上限。根据各国 SF<sub>6</sub> 消费行业特征的不同，有时 SF<sub>6</sub> 的实际排放量可能会大于 SF<sub>6</sub> 消费量。举例来说，半导体制造业的规模可能不大，镁压铸中消耗的 SF<sub>6</sub> 可能也很少，但电力设备中使用的罐装 SF<sub>6</sub> 数量却逐年提高。这样，由于罐的泄漏或电力设备的分解所导致的实际排放可能会超过 SF<sub>6</sub> 消费量（潜在排放量）。参见表 3.12：电力设备 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子——方法 2（SF<sub>6</sub> 比例/年）。

## 3.5 电力设备和其它源产生的 SF<sub>6</sub> 排放

### 3.5.1 电力设备

#### 3.5.1.1 方法学问题

电力传输和分配设备中六氟化硫(SF<sub>6</sub>)被用于电绝缘、电弧猝熄和电流断路, 电力设备中的 SF<sub>6</sub> 大部分用于高压气体绝缘开关(GIS)和断路器, 还有一些用于高压气体绝缘传输线和其它设备。电力设备的 SF<sub>6</sub> 排放是全球最大的 SF<sub>6</sub> 排放源类别。

#### 方法选择

*优良作法*依国情而定。图 3.7 “电力设备 SF<sub>6</sub> 排放决策树”说明根据具体国情对《IPCC 指南》进行调整的*优良作法*。

《IPCC 指南》方法包括对电力设备 SF<sub>6</sub> 潜在排放量的估算方法(方法 1)和 SF<sub>6</sub> 实际排放量的估算方法(方法 2)。本节描述使用方法 1 及方法 2 的两种变型方法时的*优良作法*, 还描述了更为准确的方法(定义为方法 3)的三种变型方法。用方法 3 得到的排放量估计最准确, 用方法 1 最不准确, 因为其数据反映的是表观消费量而不是排放量。

#### 方法 3—质量平衡方法

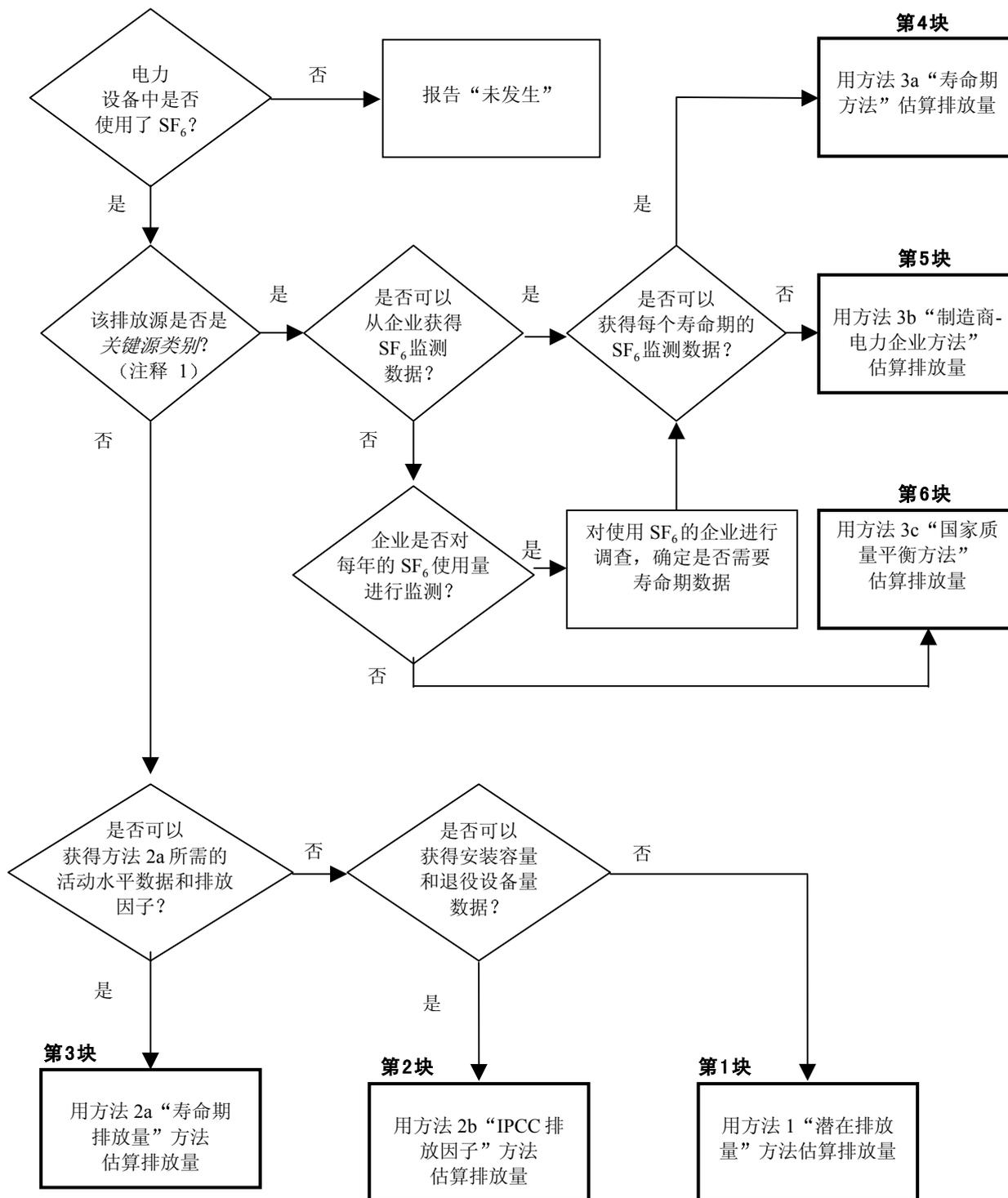
方法 3 是估算电力设备 SF<sub>6</sub> 实际排放量的最准确方法。它是一种质量平衡方法, 反映了每年电力工业新使用的 SF<sub>6</sub> 数量。新购买的 SF<sub>6</sub> 一部分用于补充以前逃逸排放到大气中的 SF<sub>6</sub>; 剩余部分用来满足电力设备新增容量的需要, 不包括补充漏气。为了获得准确的估算值, 需要将用作漏气补充的 SF<sub>6</sub> 与用来满足电力设备新增容量需求或补充已销毁气体的 SF<sub>6</sub> 分开考虑<sup>24</sup>。

该方法的主要优点是: (1) 设备制造商和企业可能正准备对所需信息进行记录; (2) 未采用不确定性很高的全球缺省排放因子。根据数据及其来源的可获得性, 该方法可在不同集合层面上实施。最准确的方法是估算企业设备在寿命期各阶段内的排放量(方法 3a)。替代方法是不用寿命期方法计算, 而是估算企业的总排放量(方法 3b)或全国总排放量(方法 3c)。鼓励清单机构采用最详细也最能反映实际情况的方法估算排放量, 并用替代方法对结果进行检验。

---

<sup>24</sup>举例来说, 假定一个国家在一段时间内有 100 个断路器退役, 并安装了 150 个新的断路器(与老的断路器具有相同容量)。此时即使可以用原先 100 个老断路器中的 SF<sub>6</sub> 气体充填新的 100 个断路器, 该国断路器的制造商或使用商也必须购买足够的气体来充填 50 个新增的断路器。用来充填 50 个新增断路器的 SF<sub>6</sub> 气体就是被用来满足新增容量的需要, 而不是用来补充泄漏的气体。检查过程中被污染的部分气体用热消除方法销毁。

图 3.7 电力设备 SF<sub>6</sub> 排放决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

### 方法 3a—设备在寿命期内各阶段的排放量

本方法不仅有利于清单机构或企业估算其电力设备的 SF<sub>6</sub> 排放总量，而且还能帮助它们确定这些排放是在设备寿命期内的哪个阶段以及如何产生的。有关在哪个阶段和如何产生排放的信息非常重要，通过它们可以在最有效的地方实施减排措施。本方法将设备寿命期分成几个阶段，包括设备制造阶段、安装阶段、使用阶段和清理阶段。理论上讲，收集全国所有设备制造商和电力企业的排放量数据，将其加总即得到全国的排放量估算值。其基本公式是：

#### 公式 3.13

$$\begin{aligned} \text{总排放量} = & \Sigma \text{ 制造阶段排放} + \Sigma \text{ 安装阶段排放} \\ & + \Sigma \text{ 使用阶段排放} + \Sigma \text{ 清理阶段排放} \end{aligned}$$

在上述公式中，每个阶段的全国排放总量等于所有设备制造商和电力企业（原文不包括电力企业。译者注）在该阶段排放量的总和。

每个设备制造商的排放量可按下面的三个步骤进行计算：

- (1) 收集每年已有清单中 SF<sub>6</sub> 排放的净减少量数据（注意：如果清单显示数量增加，则为负值）；
- (2) 加上当年增加的 SF<sub>6</sub> 量（包括从生产商或经销商处购买的 SF<sub>6</sub> 量、设备用户处返还的 SF<sub>6</sub> 量、从用户回收返还的 SF<sub>6</sub> 量）；
- (3) 减去当年转到其它地方的 SF<sub>6</sub> 量（包括给消费者新设备中的 SF<sub>6</sub> 量、装在容器中给设备用户的 SF<sub>6</sub> 量、以及返还给 SF<sub>6</sub> 生产商、给回收企业或被销毁的 SF<sub>6</sub> 量）。

设备安装阶段的排放量按以下方式估算：从所有用于充填新设备的实际 SF<sub>6</sub> 量中减去用于充填新设备的标称充填量<sup>25</sup>。

设备使用阶段的排放按设备使用的 SF<sub>6</sub> 量进行确定。如果某些 SF<sub>6</sub> 在维修前进行回收，维修后又被重新填入，这部分 SF<sub>6</sub> 量不能计算在排放量中。

设备清理阶段的排放按以下方式估算：从已退役设备的标称充填量中减去从退役设备中回收的 SF<sub>6</sub> 量和已销毁的 SF<sub>6</sub> 量。

### 方法 3b—制造商和电力企业层面的质量平衡法

如果寿命期阶段排放估算所需的数据无法获得，可以通过收集所有制造商和电力企业的 SF<sub>6</sub> 消费量和清理量数据来估算排放量。从方法 3a 的公式出发，将安装、使用和清理阶段的排放合并成 *电力企业排放*。因此，方法 3a 给出的公式简单如下：

#### 公式 3.14

$$\text{总排放} = \Sigma \text{ 制造商的排放} + \Sigma \text{ 电力企业的排放}$$

设备制造商的排放按方法 3a 方法进行估计。

<sup>25</sup>标称充填量——是保证某设备正常运转的必要 SF<sub>6</sub> 充填量。也可被称为“充填量”，通常在设备的铭牌上予以标识。一个国家或企业的“总标称充填量”是该国或该企业中所有在用设备被恰当地充满时的充填量的总和。

电力企业排放等于所有电力企业排放的总和，它的排放量通过以下七个步骤来确定：

- (1) 确定报告年份储存罐中 SF<sub>6</sub> 储存量的净减少量；
- (2) 加上从生产商/经销商和设备制造商处购买的 SF<sub>6</sub> 量，包括购买设备中已充填的 SF<sub>6</sub> 量；
- (3) 减去返还给供应商的 SF<sub>6</sub> 量；
- (4) 加上回收利用的 SF<sub>6</sub> 量；
- (5) 减去给回收企业的 SF<sub>6</sub> 量、卖给其它企业的 SF<sub>6</sub> 量、使用或安装过程中销毁的 SF<sub>6</sub> 量；
- (6) 加上已退役设备的标称充填量；
- (7) 减去新设备的标称充填量。

### 方法 3c—国家级质量平衡方法

有些情况下，清单机构无法获得设备制造商和电力企业的排放数据，或只能获得其中的部分排放数据，此时应根据全国每年销售给电力部门的 SF<sub>6</sub> 量（现有的和历史的）数据、设备进出口量、SF<sub>6</sub> 销毁量以及在可能情况下包括用全国平均设备寿命期假定来估算全国总的 SF<sub>6</sub> 排放量。基本公式如下：

**公式 3.15**

$$\text{排放量} = \text{年销售量} - (\text{标称充填量净增加值}) - (\text{SF}_6 \text{ 销毁量})$$

年销售量等于新充填或重新充填入电力设备（不管是充填入储存罐或是设备本身）的 SF<sub>6</sub> 量。

标称充填量净增加值按以下步骤计算：

- (1) 收集新增设备的标称充填量，包括运送前已充填的设备和安装后充填的设备；
- (2) 减去所有已退役设备的标称充填量。

优良作法是将所有电力设备销毁的 SF<sub>6</sub> 量归入已销毁 SF<sub>6</sub> 量中。

### 方法 2a—寿命期排放因子方法

如果仅能获得有限的设备制造商和电力企业的年销售 SF<sub>6</sub> 量数据，可以利用设备寿命期各阶段的排放因子估算排放量。优良作法是采用如下公式：

**公式 3.16**

$$\begin{aligned} \text{总排放量} = & \text{制造阶段的排放量} + \text{安装阶段的排放量} \\ & + \text{使用阶段的排放量} + \text{清理阶段的排放量} \end{aligned}$$

制造阶段的排放因子根据设备制造商购买的 SF<sub>6</sub> 量或者是新增设备的标称充填量得到。

同样，安装阶段的排放量也根据基于购买量的排放因子或基于标称充填量的排放因子得到。所需要的数据包括电力企业（非设备制造商）为新增设备购买的 SF<sub>6</sub> 量或新增设备的标称充填量数据。有时知道新增设备的标称充填量，但并不知道其中由制造商和电力企业充填的比例，此时可用新增设备的总标称充填量乘以制造/安装排放因子获得排放量。

设备使用阶段的排放量通过已安装设备的总标称充填量乘以“使用阶段排放因子”得到。“使用阶段排放因子”包括由于泄漏、使用和维护（一般每 12 年进行一次）产生的排放。

设备清理阶段的排放量通过已退役设备的标称充填量乘以假定设备最终退役时剩余的 SF<sub>6</sub> 比例得到。如果对 SF<sub>6</sub> 进行了回收，优良作法是考虑回收因素，在估算结果基础上乘以 (1 - 回收因子)。缺省的回收因子为零。其它一些因素根据具体国情和现场情况而定。

### 方法 2b—IPCC 缺省排放因子

如果清单机构仅有已安装设备和退役设备的总充填量数据，则可以在国家层面上使用排放因子，如《IPCC 指南》所述：

#### 公式 3.17

$$t \text{ 年 SF}_6 \text{ 排放量} = (t \text{ 年在役设备的总 SF}_6 \text{ 充填量的 } 2\%) + (\text{退役设备的 SF}_6 \text{ 标称充填量的 } 95\%)$$

公式中的第一项按总充填量的固定比例（如 2%）估算泄漏和维护损失的 SF<sub>6</sub> 量。每年的在役设备包括所有当年安装的和以前安装当年仍在使用的设备。第二项是计算退役设备（如 30 年寿命期以后）的排放量，并假定最小充填量为 90%。从最近的情况看，《IPCC 指南》中假定的 70% 的缺省值低估了退役设备的排放量，因为充填量如果低于 90%，设备无法正常工作，在寿命期内必须进行重新充填（Bitsch, 1999b）。因此，在采用此方法时，鼓励清单机构审评排放因子的适用性，并在适当时采用本国排放因子—特别是对有回收过程的情况。

### 方法 1—潜在方法

《IPCC 指南》中最简单的方法认为所有的 SF<sub>6</sub> 消费量等于 SF<sub>6</sub> 的潜在排放量。

#### 公式 3.18

$$\text{SF}_6 \text{ 潜在排放量} = \text{生产量} + (\text{进口量} - \text{出口量}) - \text{销毁量}$$

清单机构需要确定总 SF<sub>6</sub> 销售量中有多少销售给了电力企业和设备制造商。这些数据可以通过直接（收集销售相关数据）或间接（收集其它用途的销售量数据）方法得到。直接方法如下式所示：

#### 公式 3.19

$$\text{电力设备 SF}_6 \text{ 排放量} = \text{销售给设备制造商的 SF}_6 \text{ 量} + \text{销售给电力企业的 SF}_6 \text{ 量} + (\text{进口设备中的 SF}_6 \text{ 量} - \text{出口设备中的 SF}_6 \text{ 量})$$

间接方法如下式所示：

#### 公式 3.20

$$\text{排放量} = \text{生产量} + (\text{进口量} - \text{出口量}) - \text{销毁量} - \text{其它用途的 SF}_6 \text{ 消费量 (如镁熔融、半导体制造业和其它用途消费的 SF}_6 \text{ 量)}$$

两个公式都假定所有销售给电力部门的 SF<sub>6</sub> 都排放到大气中，但其中一部分实际上是用于补充已安装设备标称充填量的净增加量，或是替代已销毁的 SF<sub>6</sub>。优良作法是将方法 1 的结果作为排放估算的上限。

## 排放因子选择

由于地区间的排放率有所不同，鼓励采用方法 2 的清单机构使用自己的排放因子。选取本国一个有代表性的设备制造商和电力企业进行调查是确定此类排放因子的有效方法。

### 方法 2a

方法 2a 的排放因子来源于有代表性的设备制造商和电力企业，要求这些企业用方法 3a 对其所辖单位一年中各寿命期阶段设备的排放量进行测量。将这些通过测量数据得到的排放量加总，再除以被测量单位的所有新增设备充填量就得到排放因子。结合全国新增设备充填量就可以将该排放因子应用于整个制造部门。

### 方法 2b

对方法 2b 的排放因子来说，*优良作法*是让选定的电力企业测量其设备再充填用的 SF<sub>6</sub> 总量、设备总标称充填量、退役设备的 SF<sub>6</sub> 回收量和退役设备的总标称充填量。将选定电力企业的设备维修和清理排放量进行合并也是一种*优良作法*。用设备维修和清理总排放量除以已安装设备的总充填量或退役设备的总充填量就可以分别得到维修排放因子和清理排放因子。

《IPCC 指南》没有提供设备各寿命期阶段的缺省排放因子，但根据最近的研究提供了某些地区适用的推荐排放因子。这些因子列于表 3.12；电力设备 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子—方法 2 (SF<sub>6</sub> 比例/年)。

阶段	制造阶段		安装阶段		使用阶段		已退役设备		
	1996 年之前	从 1996 年起	1996 年之前	从 1996 年起	1996 年之前	从 1996 年起	寿命期	保留期	回收期
欧洲 <sup>b</sup>	0.15	0.06	NA	0.06	NA	NA	NA	NA	NA
日本 <sup>a</sup>	0.3	0.3	NA	NA	0.001	0.001	NA	NA	NA
全球 <sup>c</sup>	NA	NA	0.15	0.15	0.05	0.02	30 年	0.95	NA

<sup>a</sup>使用阶段排放因子仅适用于全国排放量 (Denki Kyodo Kenkyu, 1998 和化工产品理事会, 1999)。  
资料来源:  
<sup>b</sup> Bitsch, 1999a。  
<sup>c</sup> Olivier 和 Bakker, 2000。  
NA = 暂缺。

## 活动水平数据选择

下面给出的对方法 3 的指南使用了与方法 2 和方法 1 相同的参数。方法 2 中唯一不同的是需要设备的总标称充填量。标称充填量可以通过向电力企业直接调查获得，也可以通过向制造商调查寿命期内（如至少 30 年）设备的销售量获得。

### 方法 3a—寿命期各阶段排放量

由于方法 3a 不基于排放因子，其估算值的质量就取决于活动水平数据调查的准确性和完整性。这些数据可直接从制造商处获得，或通过制造商协会获得。

**设备制造阶段：**对设备制造商的完整调查至少要包括：生产和装配阶段的 SF<sub>6</sub> 流量数据、运到生产场所后气体加工排放的 SF<sub>6</sub> 数据。调查需要有足够的信息，以便能充分考虑生产过程所有消耗和损失的 SF<sub>6</sub> 量。年度质量平衡表能用于估算排放损失的 SF<sub>6</sub> 气体量和它们占已有电力设备正常 SF<sub>6</sub> 充填量的比例。

如果无法获得所有制造商的调查数据，可以使用替代方法（如根据生产能力进行推测）。*优良作法*是尽可能用测量数据，仅在无法获得测量数据时才采用推测方法。对推测方法的指南参看第 7 章“方法学选择与重新计算”中第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”。

**设备安装阶段：**所有电力企业和其它电力设备用户都应测量并记录设备的标称充填量。电力企业能通过对充填气体前后的气缸称重获得用于充填设备的  $SF_6$  量，并获得运来设备中的原有  $SF_6$  量数据（比如说，在设备运送过程中必须保持少量正压）。如果气体的充填由设备制造商而非电力企业完成，则设备制造商应该将这些信息提供给电力企业<sup>26</sup>。如果测量结果有出入或遗漏，可以采用安装过程中的  $SF_6$  附加充填量和缺省排放率的估算值。

**设备使用阶段：***优良作法*是通过对充填气体前后的气缸称重计算用于重新充填设备的  $SF_6$  量。

**设备清理阶段：**通过对回收前后的气缸称重可以计算从设备中回收的  $SF_6$  量。所有设备（包括进口设备）清理阶段的数据都应包括在内。

### 方法 3b—制造商和电力企业层面的质量平衡方法

**设备制造商：**同上述方法 3a。

**电力企业：**为了收集方法 3b 所需的相关信息，必须调查所有的电力企业。*优良作法*是调查在电力设备中大量使用  $SF_6$  的工业场所、军事设备和其它非电力企业场所。上述信息的一部分（而非全部）可以从设备制造商处获得。

如果电力企业没有自己进行设备的安装、维护和清理工作，那么相关服务提供人员应该将数据（如重新充入设备的气体量数据，如果这些气体不是来自电力企业的话）提供给电力企业。还需要收集处理和充填过程中损失排放的全部  $SF_6$  量数据，该数据基于年度质量平衡表，表中考虑了设备运送到位前已充入设备的  $SF_6$  量数据。负责记录  $SF_6$  处理和充填操作的机构应予以明确，因为根据地点的不同机构也有所不同。

### 方法 3c—国家层面的质量平衡方法

**年销售量：**化学品制造商和进口商两者或其中之一应该提供最完整的数据。如果无法从化学品制造商处获得数据，*优良作法*是联系设备制造商和电力企业，以确保获得用于充填新旧设备的  $SF_6$  量的完整数据。

**新设备和退役设备的标称充填量：**从以下数据源可以获得标称充填量数据：(1)从设备制造商或进口商处获得的制造设备或进出口设备的总标称充填量信息；(2)从电力企业处获得的每年购买和安装设备的总标称充填量信息；(3)从化学品制造商/进口商处获得的销售给设备制造商的  $SF_6$  量信息。前两项数据源要优先于第三项数据源，因为销售给新设备制造商的气体量一定程度上并不等于新设备的标称充填量。在估算新设备和退役设备的标称充填量时，清单机构应加入进口设备的标称充填量，减去出口设备的标称充填量。（参见第 3.7.4 节“固定式致冷子排放源”方框 3.4“致冷剂及设备的进出口量核算”，其中对如何估算进出口量有详细讨论）。

对于退役的设备，充填量或销售量信息是历史数据，应从设备安装的年份算起。电力设备的缺省寿命是 30 年。如果无法获得退役设备的总标称充填量信息，可以通过设备充填量年增长率估计值和新设备标称充填量进行估算。在估算设备充填量增长率时，同时考虑设备的年销售数量和设备平均标称充填量是*优良作法*<sup>27</sup>。

下式可用于在无法直接获得数据时估算退役标称充填量：

<sup>26</sup>运来设备的原有充填量可以通过用设备的内部容积乘以运送压力下的  $SF_6$  密度计算得到，也可以用设备的标称充填量乘以运送压力与标称压力（换算成绝对量，如 Pa 或 psi）的比值得到。理论上，达到使用要求的设备没有必要再进行这些计算，因为设备中的  $SF_6$  量就等于标称充填量，二者可以相互抵消。但是，鼓励电力企业记录其安装设备的总标称充填量数据，因为这些数据在用方法 3 和方法 2 计算排放量时和了解设备使用过程中的排放非常有用。

<sup>27</sup>由于设备销售量每年都在上升，平均标称充填量一般都在下降。

## 公式 3.21

$$\text{退役标称充填量} = \text{新标称充填量值} / (1 + g)^L$$

其中：

L = 设备寿命

g = 增长率

根据 1997 年的一项调查，1991 年到 1996 年间销售给设备制造商的 SF<sub>6</sub> 数量年均增长率是 6.7%，而 1986 年到 1996 年间的平均年增长率为 5.3%（科学和政策协会，1997）。如果没有本国数据，*优良作法*是使用缺省因子 6%。

**销毁量：**销毁的 SF<sub>6</sub> 量可以通过电力设备制造商、电力企业、化学品制造商或执行销毁的企业提供的信息得到。必须确保所报告的 SF<sub>6</sub> 销毁量中没有包括非电力设备用的 SF<sub>6</sub> 销毁量。

## 完整性

按本源类别的完整性要求，对电力企业和电力设备制造阶段的排放都要进行考虑。如果采用方法 3，还要求确定所有的 SF<sub>6</sub> 用户（包括制造商和电力企业）。

对制造部门，要求评估以下排放源：

- GIS 和断路器制造商；
- 高压气体绝缘线、变电站（小型电站）和变压器制造商；
- 小型 SF<sub>6</sub> 用户，包括中压设备制造商和设备重制商；
- 从生产商和经销商处转给制造工厂的 SF<sub>6</sub>。

对电力部门，需要考虑下述过程中的所有 SF<sub>6</sub> 损失：

- 新增电力设备的安装；
- 泄漏、再充填和维护；
- 废弃电力设备清理。

如果工业、军用和小型电力企业的排放量在总排放量中有较大贡献的话，*优良作法*还要求明确这些企业，并将其排放量计入工业排放。

## 建立一致的时间序列

在估算某时间段内的排放量时，必须考虑选定年份内制造阶段的 SF<sub>6</sub> 排放和电力企业已安装设备产生的 SF<sub>6</sub> 排放。对已安装设备的准确历史估算需要有选定年份前 20 到 30 年安装的设备的充填量和运行方面的信息。

对制造阶段来说，如果基准年（1990/1995 年）排放量估算所需的历史数据无法获得，可以采用经当前年份排放量校准而提高了准确性的自上而下方法进行估算。由于从 1995 年开始设备制造商对 SF<sub>6</sub> 的处理发生了显著变化（如回收更多的气体），将目前损失率应用于历史估计并不是一种 *优良作法*。从全球和地区销售数据和排放分析得到的综合损失率可以为以前年份提供一个无偏估计值。*优良作法*是按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的指南对排放量进行重新计算，并对所有假定进行详细的文档记录。

在电力部门，如果 1970-1995 年的数据无法获得，*优良作法*是采用自上而下方法估算排放量，再按上述方法进行校正。从 1970 到 1995 年，新设备的平均泄漏率、重新充填频率和常规维护频率都有下降<sup>28</sup>，*优良作法*是对历史年份不采用目前（1995 年之后）的总损失率。在此处也可使用综合损失率。

## 不确定性评估

使用方法 3 得到的排放量估计值的准确性可能要比方法 2 或方法 1 高±10%左右。如果调查数据不够完整或只能采用自上而下方法，其不确定性将非常高。方法 3 估计值的不确定性来源有：

- 设备制造商出口的 SF<sub>6</sub> 量（出口整套设备或储气罐）；
- 外国设备制造商进口的 SF<sub>6</sub> 量（进口整套设备或储气罐）；
- 转移到外国回收公司的 SF<sub>6</sub> 量；
- 排放和维修之间的时间滞后<sup>29</sup>；
- 设备寿命。

方法 2 推荐的缺省排放因子的不确定性如表 3.13 “电力设备 SF<sub>6</sub> 排放缺省排放因子的不确定性”所示。因为方法 1 估算的是潜在排放量，而不是实际排放量，所以方法 1 的不确定性可能比实际排放量要高出 100%或更多。

阶段	制造阶段		安装阶段		使用阶段		退役设备		
地区	<1996	1996-	<1996	1996-	<1996	1996-	寿命期	保留	回收
欧洲	±30%	±30%	NA	±30%	NA	NA	NA	NA	NA
日本	±30%	±30%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
全球	更大	更大	±30%	±30%	±40%	±50%	±30%	±5%	NA

NA= 暂缺。  
资料来源：Olivier 和 Bakker（2000）。

### 3.5.1.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

与本排放源类别相关的一些确保报告的排放量估算值的透明性的文档记录和报告的例子如表 3.14 “电力设备 SF<sub>6</sub> 排放报告信息的优良作法”所示。

如果仅有少量的制造商或电力企业，可能会牵涉到保密性问题，此时需要对总电力设备部门甚至全国的 SF<sub>6</sub> 使用情况进行综合报告。如果测量数据不能公开，可能需要通过第三方审核对调查数据的可信度进行验证。

<sup>28</sup>目前 GIS 的泄漏标准是 1%，但在 1980 年以前是 3%左右。而且，断路器和 GIS 的维护间隔已经从 3-5 年分别增加到 8 年和大约 12 年。

<sup>29</sup>基于销售量的方法可以很好地估算给定年份中对已排放化学品进行补充的化学品量。但由于某些设备在泄漏一定气体、低于满充填量的情况下仍能正常工作，已排放的化学品并不总是在当年得到补充。因此，有些时候基于销售量的方法可能会稍微高估或低估实际排放量。（时间的滞后效应也使排放发生在实际应该发生的阶段之后。）应对设备维修频率和设备充填量增长率数据进行调查，以确定任何可能的误差范围。

**表 3.14**  
**电力设备 SF<sub>6</sub> 排放报告信息的优良作法**

数据	方法 3a	方法 3b	方法 3c	方法 2a	方法 2b	方法 1
对设备制造商和电力企业的年 SF <sub>6</sub> 销售量			X			X
新设备的标称充填量	X	X	X	X		
现有设备的标称充填量				X	X	
退役设备的标称充填量	X	X	X	X	X	
销毁的 SF <sub>6</sub> 量	X	X	X			X
起始年清单中的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
终止年清单中的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
企业购买的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
企业卖出或回收的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
运离现场进行回收的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
回收后返回现场的 SF <sub>6</sub> 量	X	X				
用于充填新设备的 SF <sub>6</sub> 量	X					
用于维修设备的 SF <sub>6</sub> 量	X					
从退役设备回收的 SF <sub>6</sub> 量	X					
排放/回收因子				X	X	
有国家因子时对因子的文档记录				X	X	
SF <sub>6</sub> 的生产量						X
其它用途消耗的 SF <sub>6</sub> 量						X
SF <sub>6</sub> 进口量						X
SF <sub>6</sub> 出口量						X

### 3.5.1.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

下面给出与电力设备排放相关的其它具体程序。

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

清单机构应将自下而上方法所需的企业数据合并，并用 IPCC 缺省值（方法 2a）或用国家表观消费量法（方法 1）计算的国家排放量值或潜在排放量进行交叉检验。如果 SF<sub>6</sub> 储存设备的年度使用量呈增加趋势或保持不变，则由方法 1 估算得到的排放量值就是由各工厂数据加总所得排放量的上限。如果新设备的充填量呈下降趋势，则由方法 1 算得的排放量可能会低估实际的年排放量。

#### 企业活动水平数据审核

如果是通过调查获得现场活动水平数据，清单机构应对不同现场的活动水平数据（按规模和生产能力调整）进行比较以发现一些非正常值。清单机构应对这些非正常值进行调查，以确定这种差异是可以解释的或是由于所报告的活动水平有误而引起。

清单机构应将已进行进出口调整后的 SF<sub>6</sub> 生产量数据同全国总 SF<sub>6</sub> 活动水平数据进行比较，全国总消耗量可以看作是 SF<sub>6</sub> 排放量的上限。

### 排放量估算结果的确认

对大国来说，如果对排放量的反向模型计算具有合理的准确性，则通过当地大气浓度测量值导出的自上而下方法估算结果，可以对全国 SF<sub>6</sub> 总排放量估算值进行独立的交叉校验。

清单机构应将有效排放因子（损失率）与同一地区其它国家的报告值进行比较，或是与在科学刊物上公开发表的、已通过全球大气浓度校准的缺省值进行比较。如上所述，清单的透明性是进行国际比较的必要基础。

## 3.5.2 SF<sub>6</sub> 的其它来源

《IPCC 指南》（第 3 卷第 2.17.4.7 节“其它 HFC 和 PFC 排放量估算”）描述了其它 SF<sub>6</sub> 消耗产生的排放。本排放源不包括以下类别（这些类别在其它地方进行报告）：

- 电力设备的生产和使用；
- 镁和铝的生产；
- 半导体制造业；
- 对臭氧消耗物质如 CFC 和哈龙（如气雾剂、灭火剂）的替代。

本排放源类别包括：

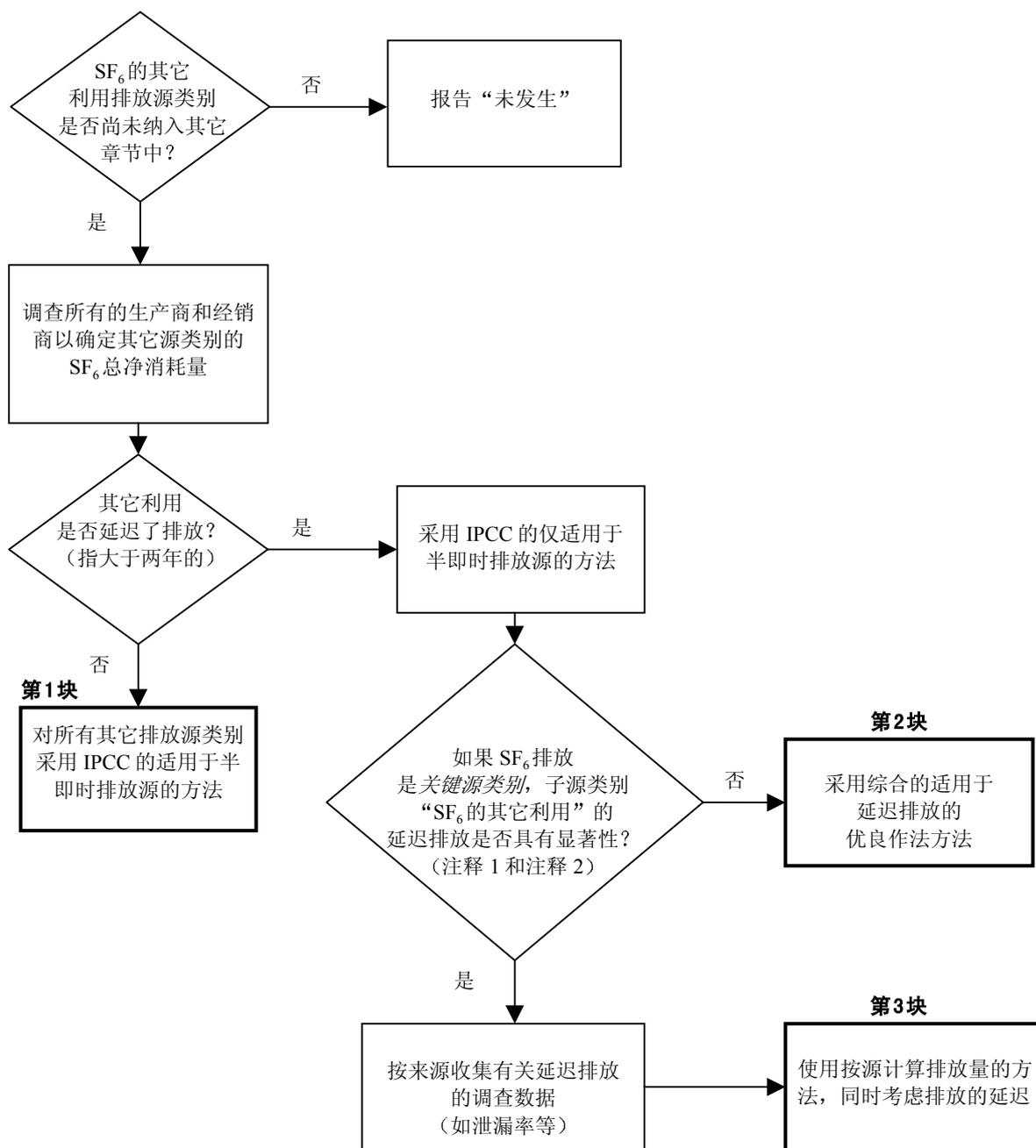
- 在研究和泄漏检测器中使用的气体-空气示踪器；
- 医疗用 SF<sub>6</sub>；
- 加速器、激光和夜视镜用设备；
- 军事用 SF<sub>6</sub>；
- 隔音玻璃；
- 利用其绝热性的情形，如汽车轮胎和运动配件如网球或鞋底等（即运用了它在橡胶中的低渗透性）。

### 3.5.2.1 方法学问题

#### 方法选择

优良作法是采用从全国的 SF<sub>6</sub> 制造商和经销商处得到的、分主要用途类型的自上而下的 SF<sub>6</sub> 进口、出口和消费量数据（见图 3.8，SF<sub>6</sub> 的其它利用决策树）。获得这些数据需要对所有的 SF<sub>6</sub> 生产商和经销商进行调查，以确定总的 SF<sub>6</sub> 净消费量。取得数据以后，就可以按 SF<sub>6</sub> 的用途分别估算其排放量。

图 3.8 SF<sub>6</sub>的其它利用决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

**注释 2:** 作为一种经验方法，如果某子源类别的排放量在该源类别中的比例达到 25%-30%，就认为该子源类别重具有显著性。

上述某些用途的 SF<sub>6</sub> 是在两年之内排放的（如示踪器和医疗排放）。在计算这些“半即时”排放时，优良作法是用《IPCC 指南》提供的如下公式计算 SF<sub>6</sub> 排放量：

**公式 3.22**

$$t \text{ 年的排放量} = (0.5 \cdot t \text{ 年的销售量}) + (0.5 \cdot (t-1) \text{ 年的销售量})$$

上述公式类似于估算卤化烃排放时所用的公式，假定平均延迟时间为 1 年。

如果初步调查显示某个延迟排放具有显著性，*优良作法*是对该源类别的排放单独计算，同时还要考虑排放的延迟。对两种延迟排放来说，可以使用下面的公式（基于德国的经验）：

- 绝热性应用：假定汽车轮胎的延迟排放时间为 3 年(Schwarz et al., 1996)，其它如鞋和网球排放的延迟时间也一样。

#### 公式 3.23

$$t \text{ 年的排放} = (t-3) \text{ 年的销售量}$$

- 双层隔音玻璃窗：安装（将 SF<sub>6</sub> 充填入双层玻璃中）过程中有大约 33% 的 SF<sub>6</sub> 排放到大气中，假定余下的玻璃窗中气体以每年 1% 的泄漏率排放到大气中（包括玻璃破损的情况），则在达到 25 年的寿命期时，玻璃窗中的气体容量大约还剩当初的 78%。由于玻璃充气起始于 1975 年，所以目前刚开始对淘汰玻璃进行处理。该子源类别的排放量用公式 3.24 到公式 3.26 进行计算。

#### 公式 3.24

$$\text{安装排放} = 0.33 \cdot \text{玻璃窗充填量}$$

#### 公式 3.25

$$t \text{ 年泄漏排放量} = 0.01 \cdot \text{玻璃窗充填量存量}$$

#### 公式 3.26

$$\text{清理排放} = \text{寿命期末玻璃窗中剩余的气体量} \cdot (1 - \text{回收因子})$$

除非能获得本国数据，否则公式 3.26 中的回收因子缺省值一般假定为零。军用和粒子加速器用 SF<sub>6</sub> 也能导致延迟排放。如果无法获得这些子源类别的具体信息，*优良作法*是采用与半即时排放相同的方法处理。

## 排放因子选择

在《IPCC 指南》中可以找到这些排放类别所需的排放因子。如果清单机构使用了国家或地区排放因子，*优良作法*是将这些排放因子清楚地记入文档。

## 活动水平数据选择

这些子源类别所需的的活动水平数据应与其它源类别（如电力设备）SF<sub>6</sub> 排放计算所需的的活动水平数据保持一致，以确保估计的完整性和没有重复计算。

## 完整性

如果具备以下条件，从生产商和经销商处获得每种用途的进口、出口和消费量数据就足够了：(1)能明确所有的 SF<sub>6</sub> 生产商和经销商；(2)国内消费者仅从国内供应方购买 SF<sub>6</sub>；(3)产品（如运动配件）进出口量可以忽略。*优良作法*是对其它经销商进行定期检查，以确保没有从终端用户处（以储气罐的形式）直接进口 SF<sub>6</sub> 和没有大量进口充有 SF<sub>6</sub> 的产品。

## 建立一致的时间序列

对基年的估计需要基年前几年的数据，半即时排放需要一年前的数据，延迟排放需要更多年的数据。*优良作法*是对时间序列内所有年份采用相同的方法来估算 SF<sub>6</sub> 排放量。如果因为无法获得数据而不能对时间段内各年采用更准确的方法，*优良作法*是按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的指南进行重新计算。

## 不确定性评估

如果国内 SF<sub>6</sub> 生产商和经销商对各种用途的国内销售情况的调查是完整的，那么年度表现消费数据的准确性将非常高。如果所有的 SF<sub>6</sub> 消耗都是半即时排放，则排放量估算的不确定性也同样很小。延迟排放的不确定性是：

- 绝热性应用的缺省延迟时间为：3±1 年；
- 隔音玻璃窗的缺省值为：50±10%的充填排放和 1±0.5%的泄漏/破损排放。

### 3.5.2.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

从透明性角度来看，*优良作法*是将“其它 SF<sub>6</sub> 消耗”源类别的实际和潜在排放同其它的 SF<sub>6</sub> 排放分开，进行单独报告。而且，本排放源类别中某些特殊用途的信息还有助于比较本国实践与其它国家、地区或全球（估算）的差别。另外，对所用方法和参考资料应进行文档记录。对延迟排放源类别来说，应该报告各子源类别的年排放量、延迟时间和排放因子。

### 3.5.2.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

下面给出与电力设备排放相关的其它具体程序。

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

清单机构应该用全国的 SF<sub>6</sub> 潜在排放总量（减去电力设备消耗排放量、半导体制造业消耗排放量、金属制造消耗排放量和 SF<sub>6</sub> 生产排放量）与其它用途消耗 SF<sub>6</sub> 排放量估计值进行比较。国家潜在排放量可以作为排放量的上限。

#### 活动水平数据审核

清单机构应对不同生产商和经销商提供的活动水平数据（按规模和生产能力调整）进行比较以发现非正常值。清单机构应对这些非正常值进行调查，以确定其差异是可以解释的或是由于活动水平的误报引起。

#### 与其它国家排放量进行比较

清单机构应该将本国清单中 SF<sub>6</sub> 的其它终端消费的排放量同其它类似国家的相关信息进行比较，还应比较每种排放源的人均排放量或单位 GDP 排放量。如果本国数字太高或太低，应说明理由。

### 3.5.3 SF<sub>6</sub>的生产

#### 3.5.3.1 方法学问题

《IPCC 指南》没有提供有关 SF<sub>6</sub> 生产和处理阶段的无意识损失排放的缺省排放因子。尽管此类排放量一般很少，但在某些国家可能具有显著性。举例来说，日本的经验表明，如果加上回收气缸余气处理时的损失，SF<sub>6</sub> 生产的排放因子将为 8%(Suizu, 1999)。如此高的排放因子是因为对高纯 SF<sub>6</sub> 气体的需求量大，而不纯的气体会被放空。

#### 方法选择

优良作法是按图 3.9 “SF<sub>6</sub>生产的决策树”来选择方法。主要的 SF<sub>6</sub> 生产商数量非常少：全球有大约 6 个企业利用其全球范围内的约 10 个工厂生产 SF<sub>6</sub>(Preisegger, 1999)。尽管近期内小型生产商的数量可能增加，特别是在经济转型国家和中国，但对国内生产商的调查应该不困难，这些企业将提供其排放量数据。

生产过程中和新气体的现场处理过程都有可能产生 SF<sub>6</sub> 排放。根据德国经验，对于主要终端用户（如电力设备、绝缘玻璃）并不需要 SF<sub>6</sub> 高纯气体的国家，可以用总 SF<sub>6</sub> 生产量的 0.2% 作为缺省排放因子(Preisegger, 1999)。如上所述，对于主要使用 SF<sub>6</sub> 高纯气体（如半导体制造业）的国家，缺省排放因子应为 8%。如果没有本国数据，可以使用这些缺省值。

新气体生产商或其它回收公司可能会对用过的气体进行回收。在处理和净化旧气体或处理已回收气体时可能也会产生排放，对此类排放没有专门的排放因子。因此，优良作法是采用新生产气体的缺省因子(0.2%)。

#### 不确定性评估

生产排放可以忽略不计（如洗涤塔可以将泄漏的 SF<sub>6</sub> 气体收集起来），因此缺省排放因子的不确定范围为 0.2±0.2(%)。8%的缺省因子的相对不确定性也具有相同数量级。

#### 完整性

对某些清单机构来说，搞清楚小型生产商特别是回收企业可能较为困难，但如果这些企业的排放量对国家总排放量的贡献很大，应该根据全国 SF<sub>6</sub> 质量平衡对其进行初步估算。

#### 3.5.3.2 报告和归档

当生产商数量很少时可能会涉及保密性问题，此时有必要以更综合的形式报告全国的 SF<sub>6</sub> 消耗情况。如果调查反馈不能公开，可能需要通过第三方审核对调查数据进行确认。

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，优良作法是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

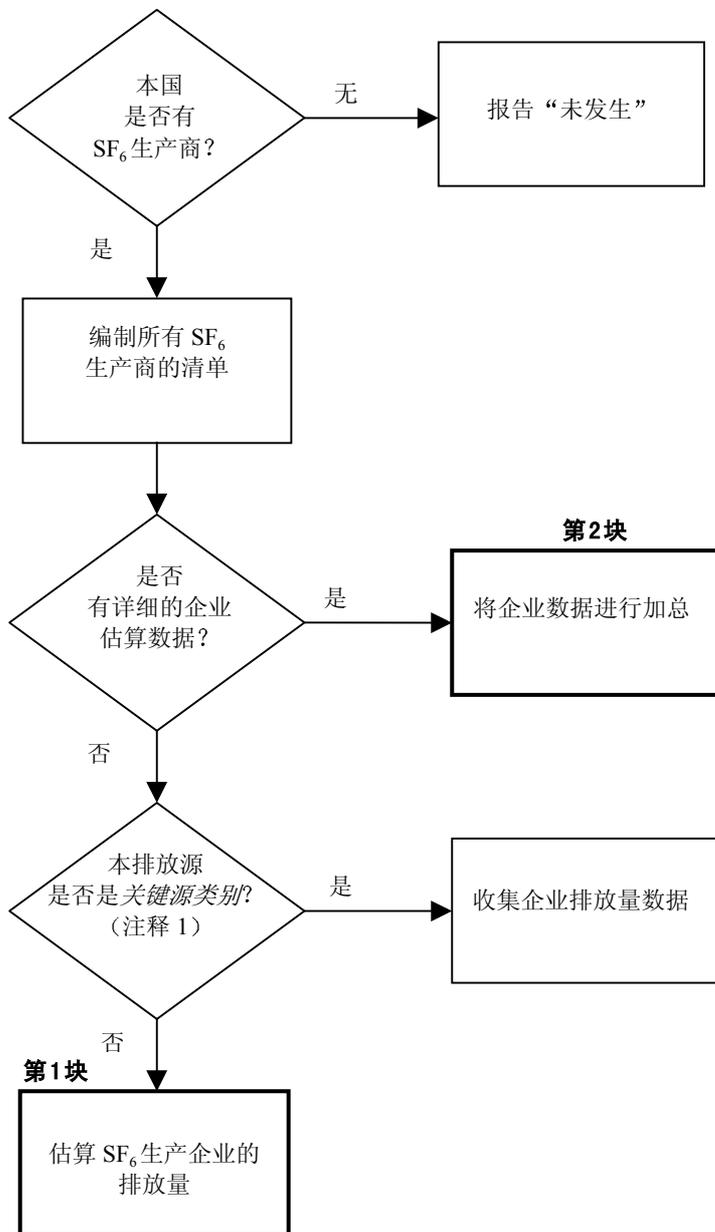
#### 3.5.3.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1 “方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

对采用不同方法估算的排放量进行比较

清单机构应该对根据生产商综合数据得到的估计值和根据全国产量数据和推荐缺省排放因子(0.2%)得到的估计值进行比较。清单机构应和生产商一起对重大偏差进行调查，以确定是否存在无法解释的误差。

图 3.9 SF<sub>6</sub>生产的决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

## 3.6 半导体制造业的 PFC、HFC 和 SF<sub>6</sub> 排放

### 3.6.1 方法学问题

半导体工业的生产过程中排放碳氟化合物(CF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、CHF<sub>3</sub>)、三氟化氮(NF<sub>3</sub>)和六氟化硫(SF<sub>6</sub>)<sup>30</sup>，这些气体合称氟化合物(FCs)，主要用于半导体生产的两个重要阶段：(1)等离子蚀刻薄膜；(2)清洗化学蒸汽沉积法(CVD)工具室。此外，生产过程中也有一部分碳氟化合物转变为 CF<sub>4</sub>。

#### 方法选择

随着半导体类型、工艺[或更笼统地称为工艺类型(化学蒸汽沉积法或蚀刻)]、所用工艺装置品牌及所实施的大气减排技术的不同，所产生的排放量也不同。

《IPCC 指南》没有为半导体制造业的温室气体排放估算提供专门的指南。但根据《IPCC 指南》对其它源类别的基本原则，有以下四种估算 FC 排放量的方法。本节用“方法”来表示数据需求量的增加和排放估算过程的复杂性。方法的选择将取决于数据的可获得性，如图 3.10“半导体制造业的 FC 排放决策树”所示。

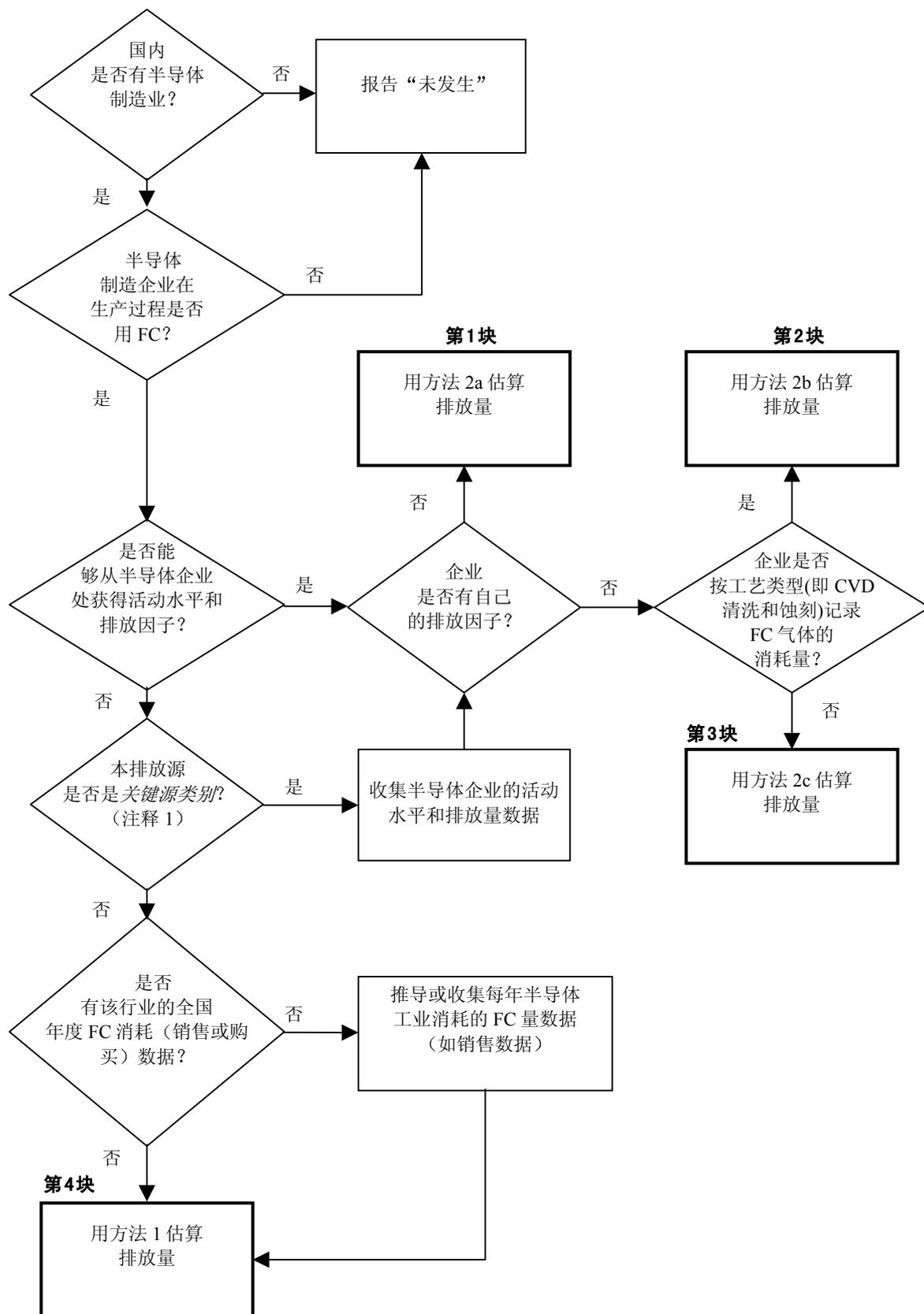
连续监测排放量方法对该行业来说在技术上和经济上都不具有可行性，因此，所有四种方法都基于气体销售/购买量数据和一系列影响排放量的参数。方法 2a 所有参数都采用企业数据而不是缺省值，是最精确的方法。方法 2b 在蚀刻与清洗用气比例、排放控制技术过程用气比例上采用的是企业数据，其余参数采用的是缺省值。方法 2c 对排放控制技术过程用气比例采用的是企业数据，但对蚀刻和清洗不加区分，对其它参数采用的是缺省值。方法 1 对所有参数均采用缺省值，也不考虑排放控制技术。

#### 方法 2A—工艺参数法

本方法适用于可获得公司或企业的以下参数时的情形：每种工艺或装置（或工艺或工具的子集）的用气量、使用后残留于运送容器中（底部）的气体比例、半导体制造过程中“消耗”的（销毁的或转化的）气体比例、半导体制造过程中转化为 CF<sub>4</sub> 的气体比例、带有排放控制技术的工艺的用气比例以及排放控制技术销毁的气体比例。为了保证透明性和可比性，对排放参数所用数值要进行认真的文档记录（参见“排放因子的选择”）。

<sup>30</sup>尽管 IPCC 目前还没有确定 NF<sub>3</sub> 的全球变暖潜力 (GWP)，本章还是对其排放进行讨论。Molina 等已经估计其 100 年尺度的全球变暖潜力 (GWP) 值为 8000，大气寿命为 740 年 (Molina, 1995)。

图 3.10 半导体制造业的 FC 排放决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

某种 FC ( $FC_i$ ) 使用所产生的排放包括  $FC_i$  本身的排放和使用过程中产生的副产品  $CF_4$  排放。应对每种气体和工艺类型重复使用下式计算：

公式 3.27

$$FC_i \text{ 排放量} = (1 - h) \cdot \sum_p [FC_{i,p} \cdot (1 - C_{i,p}) \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{i,p})]$$

其中：

$p$  = 工艺或工艺类型（蚀刻或化学蒸汽沉积室清洗）

$FC_{i,p}$  = 用于工艺/工艺类型  $p$  的气体  $i$  的千克数( $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ 、 $CHF_3$ 、 $NF_3$ 、 $SF_6$ )

$H$  = 使用后运送容器（底部）残留的气体比例

$C_{i,p}$  = 气体  $i$  在工艺/工艺类型  $p$  中的消耗率（销毁或转化比例）（单位为千克）

$a_{i,p}$  = （企业或工厂的）带有排放控制技术的工艺用气比例

$d_{i,p}$  = 气体  $i$  被排放控制技术去除的比例（如果在工艺/工艺类型  $p$  中使用了两种以上的排放控制技术，则此比例采用每种排放控制技术去除比例的平均值，每一比例按充填入使用该技术的装置中的气体量进行加权）。

公式 3.28

$$FC_{i,p} \text{ 副产品 } CF_4 \text{ 的排放量} = (1 - h) \cdot \sum_p [B_{i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{CF_4,p})]$$

其中：

$B_{i,p}$  = 每种工艺/工艺类型中气体  $i$  转化为  $CF_4$  的比例

$d_{CF_4,p}$  = 附带产生的  $CF_4$  被排放控制技术（如表 3.15 “半导体制造业的 HFC、PFC 和  $SF_6$  缺省排放因子”中所列的控制技术类型）销毁的比例

有了每种气体的  $CF_4$  排放估计值，清单机构或企业就可以将这些排放量合并得到  $CF_4$  排放总量。

### 方法 2b—工艺类型参数法

方法 2b 也使用公式 3.27 和 3.28，但该方法仅按工艺类型（蚀刻和化学蒸汽沉积室清洗）分类，而不按工艺或工艺子集分类，因此，方法 2b 需要的数据为每种气体在所有蚀刻工艺和所有清洗工艺中的总用气量( $FC_{i,p}$ )，而不是每种气体在某个单独工艺中的具体用气量。对以下数据采用行业通用缺省值：运送容器中的残留气体比例( $h$ )、每种工艺类型消耗（销毁或转化）的气体比例( $C_{i,p}$ )、每种工艺类型中转化为  $CF_4$  的气体比例( $B_i$ )。对排放控制技术消除的气体比例也用缺省值( $d_{i,p}$  和  $d_{CF_4,p}$ )。如果有公司或企业的排放因子，可用它们代替这些缺省值。该方法的公式中考虑每个工厂对排放控制设备的使用情况，但没有考虑具体工艺或装置之间的差异或制造厂在工艺和装置使用比例上的差异，因此，方法 2b 的准确度要低于方法 2a。

### 方法 2c—FC 参数法

本方法根据企业的气体销售或购买量数据以及排放控制技术的相关数据来计算每种 FC 的排放量。对使用后运送容器中残留的购买气体比例( $h$ )、半导体制造过程消耗（销毁或转化）的气体比例、半导体制造中转化为  $CF_4$  的气体比例采用行业通用缺省值。与方法 2a 和方法 2b 类似，该方法中的总排放量等于生产中消耗气体  $FC_i$  的总排放量

加上气体  $FC_i$  消耗附带产生的  $CF_4$  排放量（如公式 3.29 和 3.30 所示）。但与方法 2a 和方法 2b 不同的是，方法 2c 没有按工艺或工艺类型分类。

正如下面排放因子部分所述，方法 2c 对工艺类型（化学蒸汽沉积或蚀刻）使用排放因子，此时半导体行业中主要使用的是某一种 FC。本方法反映了一种趋势，即半导体行业中的某一工艺类型（化学蒸汽沉积法或蚀刻）越来越倾向于使用一种 FC。对于某些企业或公司的使用模式与整个行业使用模式有很大差别的国家（如这些企业主要将某种气体用于蚀刻过程，而其它企业主要用于化学蒸汽沉积过程），清单机构应评估用方法 2c 代替方法 2b 所带来的潜在误差。

**公式 3.29**

$$FC_i \text{ 排放量} = (1 - h) \cdot [FC_i \cdot (1 - C_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_i)]$$

其中：

$FC_i$  = 气体 i 的销售/购买量(kg) ( $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $c-C_4F_8$ 、 $CHF_3$ 、 $NF_3$ 、 $SF_6$ )

$h$  = 使用后运送容器（底）中的残留气体比例

$C_i$  = 气体消耗率（工艺损耗或转化比例）

$a_i$  = （企业或工厂的）气体 i 在带有排放控制技术的工艺中的消耗比例

$d_i$  = 气体 i 被排放控制技术销毁的比例

**公式 3.30**

$$FC_i \text{ 附带产生的 } CF_4 \text{ 排放量} = (1 - h) \cdot [(B_i \cdot FC_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_{CF_4})]$$

其中：

$B_i$  = 每千克气体 i 消耗所产生的量(kg)

$d_{CF_4}$  = 附带产生的  $CF_4$  被排放控制技术去除的比例

有了每种气体产生的  $CF_4$  排放量估计值，清单机构或企业就能将所有气体的排放量加总得到  $CF_4$  总排放量。

本方法不考虑不同工艺类型（蚀刻和清洗）、单独工艺或装置之间的不同。

### 方法 1—缺省方法

方法 1 的准确度最低，它仅在没有企业数据时才采用。该方法通过国家气体销售或购买量数据来计算每种 FC 的排放量。该方法对以下数据采用行业通用缺省值：使用后运送容器中残留的气体比例、半导体制造过程中的气体消耗（销毁或转化）比例、半导体制造中转化为  $CF_4$  的气体比例。与方法 2 类似，总排放量等于生产过程中气体消耗产生的总  $FC_i$  排放量加上  $FC_i$  气体消耗产生的副产品  $CF_4$  的排放量，如公式 3.31 和 3.32 所示。

**公式 3.31**

$$FC_i \text{ 排放量} = (1 - h) \cdot [FC_i \cdot (1 - C_i)]$$

其中：

$FC_i$  = 气体 i 的销售/购买量(kg) ( $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $c-C_4F_8$ 、 $CHF_3$ 、 $NF_3$ 、 $SF_6$ )

$h$  = 使用后运送容器（底）中残留的气体比例

$C_i$  = 气体消耗率（工艺销毁或转化比例）

公式 3.32

$$FC_i \text{ 气体产生的 } CF_4 \text{ 排放量} = (1 - h) \cdot (B_i \cdot FC_i)$$

其中：

$B_i$  = 每千克气体  $i$  产生的  $CF_4$  量(kg)

有了每种气体产生的  $CF_4$  排放量估计值，清单机构或企业就能将所有气体的排放量加总得到  $CF_4$  总排放量。

本方法不考虑不同工艺类型（蚀刻和清洗）、单独工艺或装置之间的不同。也忽略了大气排放控制设备在生产中的使用。

## 排放因子选择

如上所述，仅根据简单的半导体生产变量得到的排放因子还不足以反映所有影响排放的因素。编制一份准确的清单需要收集以下参数相关的数据：

- 气体消耗量；
- 所用工艺类型（化学蒸汽沉积法或蚀刻）；
- 工艺装置品牌；
- 大气减排技术。

通过相关文献和专家判断，方法 1、方法 2b 和方法 2c 中已经建立起这些参数的缺省值（见表 3.15：半导体制造业的 HFC、PFC 和  $SF_6$  排放的缺省排放因子）。由于缺省排放参数很难反映半导体制造业的各种生产条件，其本身就具有不确定性。当相同化学配方或相似工艺的测量数据很多时，排放因子的准确性将有所提高。目前认为，比起制造工艺排放因子，销毁（减排）技术排放因子具有更高的不确定性和可变性。化学品和设备供应商的技术革新很快，预计半导体行业在未来 10 年的排放量将会明显减少，这些革新很可能对排放因子产生影响。通过全球半导体理事会，半导体行业已经建立起对全球排放因子的评估机制，清单机构可以通过对其定期咨询来更好地了解全球或本国的详细情况。

运送容器中（底）的残留气体比例的缺省值为 0.10。

**表 3.15**  
**半导体制造过程中的 HFC、PFC 和 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子**

	CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	CHF <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	NF <sub>3</sub>	SF <sub>6</sub>
<b>方法 1</b>							
1 - C <sub>i</sub>	0.8	0.7	0.3	0.4	0.3	0.2	0.5
B	NA	0.1	NA	0.2	NA	NA	NA
<b>方法 2c</b>							
1 - C <sub>i</sub>	0.8	0.7	0.3	0.4	0.3	0.2	0.5
B	NA	0.1	NA	0.2	NA	NA	NA
<b>方法 2b</b>							
蚀刻 1 - C <sub>i</sub>	0.7	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3 <sup>a</sup>	0.5
化学蒸汽沉积 1 - C <sub>i</sub>	0.8	0.7	NA	0.4	ND	0.2	0.2
蚀刻 B	NA	0.1	NA	ND	NA	NA	NA
化学蒸汽沉积 B	NA	0.1	NA	0.2	NA	NA	NA
<b>排放控制技术 (d)</b>							
方法 2c <sup>b</sup>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
<b>方法 2b</b>							
热管 <sup>c</sup>	0.1	0.3	NT	NT	NT	0.5	0.1
燃料燃烧 <sup>d</sup>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
等离子体 (水蒸汽为添加剂) <sup>e</sup>	0.9	NT	0.9	NT	0.9	0.9	0.9
等离子体 (O <sub>2</sub> 为添加剂)	0.9	NT	0.9	NT	0.9	0.8	0.8
催化 <sup>f</sup>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
低温吸附	0.7	0.9	0.9	NT	NT	NT	0.9
膜分离	0.8	0.9	NT	NT	NT	NT	0.9

<sup>a</sup> 化学蒸汽沉积比蚀刻工艺使用的 NF<sub>3</sub> 少得多。通常情况下，按方法 2b 计算的来自蚀刻和化学蒸汽沉积工艺的总排放量不高于按方法 2c 和方法 1 计算的结果。

<sup>b</sup> 方法 2c 的排放控制技术排放因子仅适用于用来减少 FC 排放的燃料燃烧、等离子体和催化设备，对其它技术如热管技术，方法 2c 假定其减排率为 0%。

资料来源：

<sup>c</sup> 《SEMATECH 技术转让报告》，SEMATECH，1994。

<sup>d</sup> 经半导体制造商确认的销售商数据。

<sup>e</sup> 《SEMATECH 技术转让报告草案》，SEMATECH，1999。

<sup>f</sup> 《Semicon SW 1999》，Austin, Texas, 美国。文献中提供的催化、低温吸附和膜分离数据。

NA = 暂缺，ND = 待定，NT = 未经检验。

## 工艺装置排放因子

方法 1、方法 2c 和方法 2b 计算工艺装置排放因子的步骤相同。工艺装置排放因子指工艺中的温室气体排放量与温室气体消耗量的比值。方法 1 和方法 2 公式中的  $(1 - C_i)$  项表示的就是排放因子。例如， $CF_4$  的排放因子为 0.8（见表 3.15，方法 1 数值）表示在生产过程中使用的  $CF_4$  有 80% 以  $CF_4$  的形式排放。副产品排放因子也要计算。专家组认为， $CF_4$  是唯一明显的副产品排放，并进一步确认，仅有  $C_2F_6$  和  $C_3F_8$  会产生大量的副产品  $CF_4$ 。因此，仅计算  $C_2F_6$  和  $C_3F_8$  的副产品  $CF_4$  排放因子。例如， $C_3F_8$  的排放因子为 0.2（见表 3.15，方法 1 数值）说明所消耗的  $C_3F_8$  有 20% 转化为  $CF_4$ 。

为了计算方法 2b 的工艺装置排放因子，需要从工艺设备制造商和半导体制造商处收集数据。数据按工艺类型（化学蒸汽沉积(CVD)和蚀刻）和气体类型（如  $C_2F_6$ 、 $CF_4$ ）进行收集。排放量测试用的是实时四极质谱仪(QMS)和傅立叶变换红外光谱法(FTIR)，并用校准标准气（通常混有 1% 的平衡氮）对结果进行量化，之后再按照《设备环境特性指南》第三次修订版进行质量分析和质量控制检验。方法 2b 的排放因子（见上表 3.15）是将所收集到的蚀刻和化学蒸汽沉积工艺中每种气体的相关数据进行简单平均，并四舍五入成一个主要数值。

为了确定方法 1 和方法 2c 的工艺装置排放因子，需要知道典型半导体制造工艺使用的气体量信息。如果确定了每种工艺类型（化学蒸汽沉积和蚀刻）最常用的气体类型，就可以获得方法 1 和方法 2c 的排放因子。方法 2b 的  $SF_6$  排放因子是 0.5（蚀刻）和 0.2（化学蒸汽沉积）。因为半导体工业中大部分  $SF_6$  用于蚀刻工艺，所以方法 1 的  $SF_6$  排放因子与方法 2b 的相同。

对于方法 2a 的排放因子，半导体制造商使用的是企业或生产专有数据<sup>31</sup>，而不是表 3.15 中的缺省数据。为了保证排放因子的质量，应按已经认可的方法对排放量进行检验<sup>32</sup>。如果由第三方供应商做排放量检验，则半导体制造商应该确保其满足《设备环境特性指南》第三次修订版的要求。在使用由工艺装置设备供应商提供的排放因子时，半导体制造商应确保这些因子适用于其制造过程。当制造方法的工艺参数（如压力、流速）偏离中间条件时，其排放因子可能与装置制造商提供的排放因子不同<sup>33</sup>。

## 排放控制技术因子

### 方法 2b 排放因子

对方法 2b 的排放控制技术排放因子的假定包括：

- (1) 所列结果是实际生产排放测试结果，不是实验室测试结果；
- (2) 等离子减排技术仅适用于蚀刻装置（小于或等于 200mm）；
- (3) 捕获/回收（低热吸附和膜分离）排放因子仅用于工艺中的捕获部分，对回收效率需要进一步分析；
- (4) 不同技术的专利成本和适用性相差很大；
- (5) 未分析 200mm 以上晶片工艺排放各种技术的适用性。

表 3.15 “半导体制造业的 HFC、PFC 和  $SF_6$  排放的缺省排放因子”提供的数值是对各种技术类型和输入气体相关的数据取平均值，再对后 10% 进行下舍得到数值（如平均值为 98%，下舍后为 0.9）。对平均值进行下舍反映了：(1) 所选择去除的气体种类不同，排放控制设备的去除效率有很大不同；(2) 对用在处理大型晶片(>200mm) 新装置上的排放控制设备的效率没有完整的分析。如果某排放控制设备在其优化设计的对应装置上能去除某种 FC 的 99%，但当它用于去除其它气体或用于不为此设备而优化设计的装置上时，它对该种 FC 的去除效率有可能不到 95%。

<sup>31</sup> “生产专有”指生产工厂专有。

<sup>32</sup> 在半导体工业协会(2000)的《设备环境特性指南》(3.0 版，2000 年 2 月)中有国际认可的测试方法的实例。

<sup>33</sup> 中间条件指设备制造商对其销售设备标准化后的条件，半导体制造商出于自身目的经常会修改这些条件。

工业中现有的一些新兴排放控制技术正在高速发展。表 3.15 “半导体制造业的 HFC、PFC 和 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子”中的缺省控制技术排放因子仅依据对少量工艺和装置的控制设备的有限测试。如果所用装置和气体流速不同，预计结果将相差很大。而且，单独的一种减排技术也不可能适用于半导体制造厂中的所有装置或工艺。

### 方法 2c 排放因子

方法 2c 所列的排放控制技术因子是根据设备供应商、减排供应商和半导体制造商提供的数据计算得到，其值也是对各种输入气体的所有数据取平均值后，对后 10% 进行下舍得到。值得注意的是在平均计算中只采用专门设计用于减排 FC 的减排设备的数据。数据来源包括燃烧减排设备（所有设备使用同一种燃料）、等离子体减排设备和催化减排设备。方法 2c 的缺省控制技术排放因子只适用于专门设计和安装用于减排 FC 的排放控制技术，如果企业使用了其它类型减排设备，如热管等，按方法 2c 的假定，这些设备的减排率应该为零。预计排放控制技术会不断发展，因此应对排放因子进行定期重新评估。

### 活动水平数据选择

本行业的活动水平数据包括气体销售、购买或消耗量数据。对于数据量较多的方法 2，需要企业或工厂的气体购买量数据。对于方法 1，如能有企业的气体购买量数据最好，如果没有购买量数据，可以使用气体制造商或经销商提供的销售量数据。销售量数据应包括每种气体销售给半导体工业的比例数据，即使从气体制造商或经销商处无法获得这些数据，也必须对其作出假定。

### 不确定性评估

方法 2a 的不确定性最低，方法 1 的不确定性最高。如果有一定量的企业数据，而且企业对其生产过程也进行了严密监测，则方法 2b 或方法 2c 所用数据的收集从技术上是可行的。方法 1 的不确定性程度最高，清单机构应通过第 6 章“不确定性的量化”中的获取专家判断方法来征求工业界对这些不确定性的意见。

### 完整性

因为半导体行业的企业和工厂数量非常少，大部分国家都可以获得对该行业排放量的完整估算。与完整性相关的问题包括四个方面：

- **其它副产品：**很多转化副产品是由室清洗和蚀刻消耗的 FC 产生，但除了 CF<sub>4</sub>，FC 的其它副产品的量都可以忽略。如果本行业使用了新气体，清单机构应对此假定进行重新评估。
- **新化学品：**当本行业为改进产品质量而开发和采用新化学工艺时，应该对完整性问题加以考虑。减排 FC 的行业性努力也会加速对新化学品的审核。因此，本行业的优良作法是引入一种机制，对 IPCC 第二次评估报告中未列出的温室气体种类（如 NF<sub>3</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>、HFEs 等）进行考虑。这些新气体可能还会产生一些全球变暖潜力（GWP）值很高的副产品。
- **其它源：**气体处理（如分配）过程和一些研发（如大学）规模的工厂和装置供应商可能也会产生少量的 FC 排放。这些排放被认为是不明显的（低于该行业总排放量的 1%）。
- **其它产品或工艺：**电子工业中的散发性应用 FC 的场合包括：平板显示器制造<sup>34</sup>、硬盘驱动器可靠度检验（惰性液体）、冷却剂<sup>35</sup>（电力和电子设备的直接挥发性冷却、在电力和电子设备闭合回路中的间接冷却剂）、气态回流锡焊和精确清洗<sup>36</sup>。

<sup>34</sup> 平板显示器（薄膜晶体管（TFT）液晶）制造产生的排放可以按类似半导体制造产生排放的估算方法进行，需要确定企业的排放量和减排因子。还有很少量的 FC 可能还会用于微电子机械（MEM）制造和实验室/企业研发过程。

<sup>35</sup> “硬盘驱动器可靠度检验”和“冷却剂”产生的排放计入在第 3.7.6 节“其它应用子源类别”中。

<sup>36</sup> 精确清洗的排放在第 3.7.2 节“溶剂子源类别”中进行了考虑。

## 建立一致的时间序列

半导体工业对 FC 的使用起始于 20 世纪 70 年代末期，在 90 年代初期有了迅速发展。建立基准年排放水平可能会有困难，因为很难获得 1995 年以前的排放数据。如果对历史排放的估计是基于简单的假定（如排放量等于消费量），则通过上述方法可以对这些估计值进行改进。如果不允许按方法 2 对历史数据进行排放量估计，也可通过方法 1（使用缺省排放参数）进行回推。对于能获得更多数据的年份，可以同时采用方法 1 和方法 2 进行估计，这样能获得一个比较值或基准值。可以按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”提供的指南进行。

为了确保排放记录在时间上的一致性，当排放计算步骤变化时（如清单机构从使用缺省值转为使用企业实际值时），清单机构应该重新计算所有报告年份的 FC 排放量。如果在该时间序列内无法获得所有年份的企业数据，则清单机构应该考虑如何用现有企业数据来计算没有数据年份的排放量。假设企业运作没有发生明显变化，则通过现有的企业排放量参数可以推算以往年份的销售量数据。这种重新计算非常必要，它可以保证任何排放趋势的变化是真实的而不是由于估算步骤变化所引起的假象。

### 3.6.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。要在国家清单报告中包括所有文件是不现实的，但是清单中应包括所用方法的概述以及数据来源参考资料，以便所报告的排放量估算具有透明性、计算步骤具有可追溯性。

对本行业排放量进行清楚报告能提高排放量的透明性和可比性，比如说，在 IPCC 报告表格中，应在表 2F 后面加上针对半导体制造业的一行。由于该行业排放了大量的 FC 气体，按气体类型而不按化学类型进行报告能增强数据的透明性和有用性。增强透明性的同时要考虑对与具体气体消耗相关的保密性商业信息进行保护，在有三个或三个以上制造商的国家，在将全国每种气体的排放数据进行合并时应保护此类信息。表 3.16 “使半导体制造业排放量估算值具有充分透明性的信息需求”中提供了保证报告的排放量估算值具有充分透明性的信息需求。

对方法 2a 而言，*优良作法*是对国家排放因子的推算过程进行文档记录，并解释它与通用缺省值不同的原因。出于保密性考虑，清单机构可能希望将不同制造商的信息进行合并。如果国内制造商对某种 FC 和工艺或工艺类型的排放或转化因子给出了不同的值，清单机构可以提供报告因子和使用因子的范围。

在处理  $\text{NF}_3$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{HFCs}$  和其它 FC 气体的决定出台之前，对它们的排放量应该进行单独报告，而不应包括在总排放量中。

**表 3.16**  
**使半导体制造业排放量估算值具有充分透明性的信息需求**

数据	方法 1	方法 2c	方法 2b	方法 2a
每种 FC 的排放量（而不是所有 FC 的排放总量）	X	X	X	X
每种 FC 的销售/购买量	X	X		
每种工艺或工艺类型所用的各种 FC 量			X	X
在带有排放控制技术工艺中使用的各种 FC 的比例		X	X	X
每种工艺或工艺类型对各种 FC 的消耗率（此项及以下信息只在无法使用缺省值时需要）				X
每种工艺或工艺类型中各种 FC 转化为 CF <sub>4</sub> 的比例				X
运送容器中残留气体的比例				X
每种 FC 被排放控制技术去除的比例				X
CF <sub>4</sub> 副产品被排放控制技术去除的比例				X

### 3.6.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

第 8 章中还包括另外一些对较高级别质量保证和质量控制程序的一般性指南。由于半导体行业本身具有高竞争性，对处理保密性商业信息的规定也应引入到验证过程中。对所用方法要进行文档记录，同时还要对数据的测量和计算进行定期审核。此外还应进行工艺和工序的质量保证审计。

## 3.7 臭氧消耗物质替代品(ODS 替代品)的排放

### 概述 (3.7.1 至 3.7.7)

本章提供了有关臭氧消耗物质 (ODS) 替代品产生的七种排放源的 *优良作法*，并分别对以下用途进行讨论：

- 气雾剂和定量吸入器；
- 溶剂使用；
- 泡沫材料；
- 固定式致冷；
- 移动式空调；
- 消防；
- 其它应用。

## 对 ODS 替代品所有子源类别通用的方法论

### 方法选择

《IPCC 指南》对 ODS 替代品产生的排放提供了两个层面的方法：高级或实际方法（方法 2）和“基本”或“潜在”方法（方法 1）<sup>37</sup>。实际方法（方法 2）考虑了 ODS 替代品在消费和排放时间上的滞后性，而潜在方法则假定化学品的生产或销售给某特定终端消费部门在同一年份发生排放。

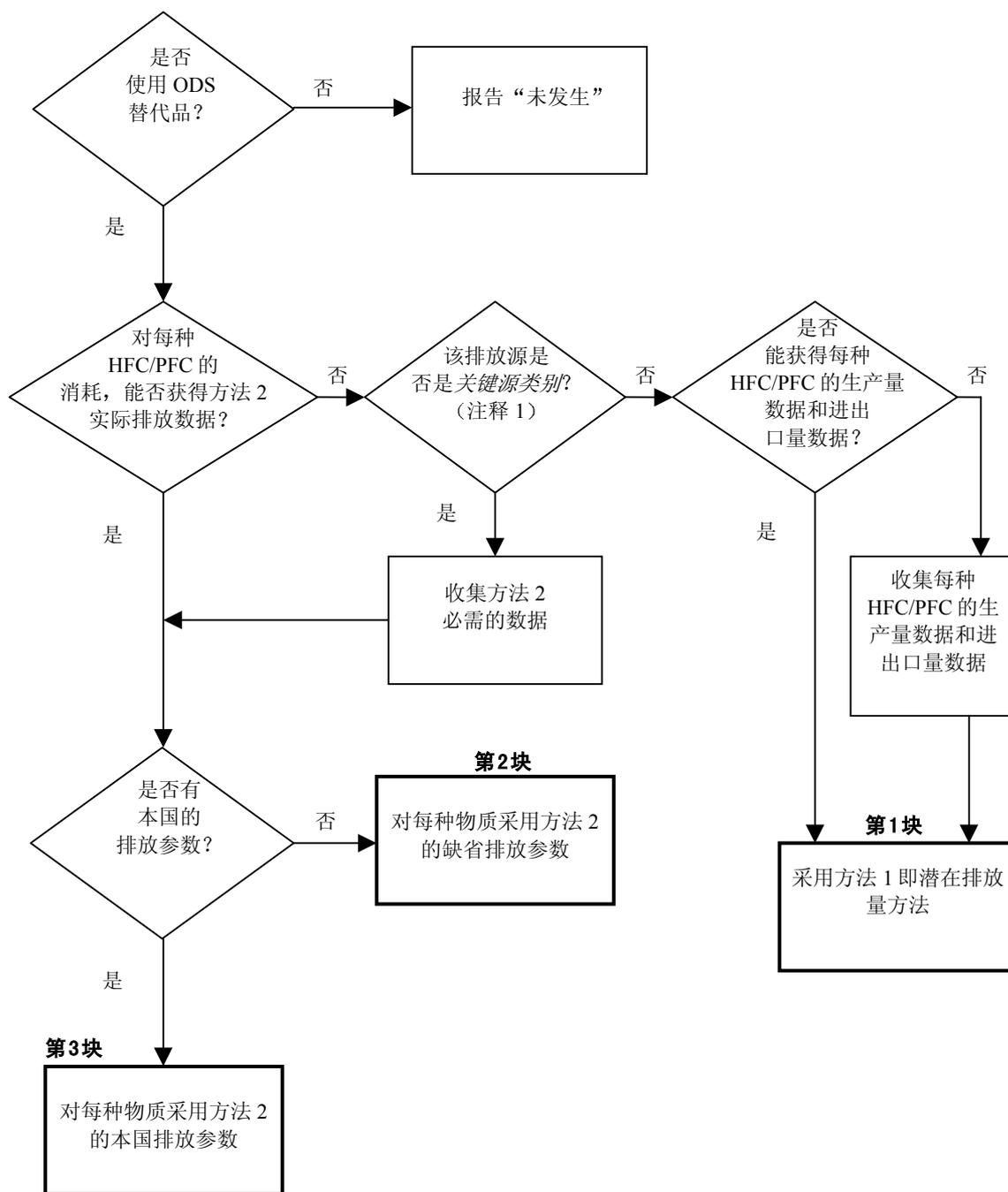
尽管方法 1 需要的数据较少，但对短期排放的估计可能不准，因为对许多长寿命的排放源如冰箱来说，化学品可能会在几年内排放。化学品排放的时间段越长，“潜在”方法产生的不准确性就越大。如果国家每年的设备销售量增加（许多国家目前的情况也正是这样），则终端消费设备中存储的化学品数量必然会增加，这样，用潜在方法很可能会高估排放量。

*优良作法*是对此源类别中所有的子源类别采用方法 2 即实际方法。从一致性角度出发，也要求清单机构尽量在整个 ODS 替代品排放源范围内使用实际方法。如果清单机构不能对所有的子源类别采用实际方法，*优良作法*是计算和报告所有子源类别的潜在排放，并将排放量进行合并。*清单机构不能将实际排放和潜在排放估算结果合并在一起。*

通用的决策树如图 3.11 “所有臭氧消耗物质替代品的通用决策树”所示，该决策树描述了对以下七个子部分中每种终端消费是采用方法 1 还是方法 2 的 *优良作法*。*优良作法*是对已确定为“*关键子源类别*”（如第 7 章“方法学选择与重新计算”中所述）的那些子源类别采用方法 2。该排放源的确定是在 IPCC 源类别层面（此处即“ODS 替代品”）上进行，而不是在子源类别层面上进行。

<sup>37</sup>UNFCCC 第三次缔约方会议确认“... 如果可以获得数据，应估算氢氟碳化物、全氟碳化物和六氟化硫的实际排放量，并将其用于排放量报告。缔约方应尽可能地开发所需的数据来源”（第 2/CP.3 号决定，与《京都议定书》相关的方法学问题）。

图 3.11 所有臭氧消耗物质替代品的通用决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源, 因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲, 它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。(参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。)

本部分的《优良作法指南》主要针对方法 2 的变型，而非针对潜在方法。各部分分别讨论如何用这些方法来确定臭氧消耗物质（ODS）子源类别、对现有数据源进行审核以及确定其中的差异。对实施方法 1 的指南，可参照《IPCC 指南》（第 3 卷）第 2.17.3 节。

通常情况下，当 ODS 替代品源类别是国家清单的重要部分时，采用本国适用数据并用方法 2 进行估算是一种优良作法。此时可能需要建立一个本国模型。对每种子源类别都有更为详细的决策树来帮助进一步确定数据需求和对方法 2 的选择。

清单机构在采用方法 2 时需要确定是采用自下而上还是自上而下的方法。自下而上的方法通过排放因子来反映消费与排放之间的时间滞后性。自上而下方法通过跟踪指定年份的原始化学品消费量并以此消费量代替排放量来隐含地反映这种时间滞后性。

### 方法 2a—自下而上方法

自下而上方法基于消费和排放 ODS 替代品的产品和终端消费数量。该方法估计了使用这些化学品的设备单元数量、平均化学品充填量、平均服务期、排放率、回收、清理和其它相关参数。通过与设备单元寿命期内的这些参数建立一种函数关系，就可以估算出年排放量。由于设备单元在化学品使用量、服务期和排放率上差别很大，确定这些设备的特性需要进行大量的工作。终端设备的使用寿命越长，具体的设备类型越分散，为估算排放量所需的自下而上方法就越复杂<sup>38</sup>。如果对所有相关类型和寿命期的设备都可以得到以下公式所需数据，则通过自下而上方法就可以得到精确的排放量估计。

#### 公式 3.33

$$\text{每种 PFC 或 HFC 的总排放量} = \text{设备装配排放量} + \text{设备运行排放量} + \text{设备清理排放量}$$

*装配排放量*指给设备充填或重新充填化学品时的逃逸排放量。设备排放还包括泄漏或运行过程中的有意排放。当设备到达寿命期后或被清理时，设备中剩余的 HFC/PFC 气体或是逃逸到大气中，或是被回收，或是被销毁。

对只有有限资源的清单机构来说，对设备清单进行更新使之以年为基准是一个很大的挑战。如果能够获得年度化学品消费量数据，可以将其作为一种质量保证工具，但是自下而上方法并不需要年度化学品消费量数据。

### 方法 2b —自上而下方法

自上而下方法也估算装配、运行、清理过程中产生的排放，但不依靠排放因子，而是通过全国或选定企业中每种化学品的消费量（即销售量）测量值进行估计。下面为通用公式<sup>39</sup>：

#### 公式 3.34

$$\text{排放量} = \text{新气体年销售量} - (\text{新设备总充填量} - \text{退役设备原总充填量})$$

该行业还从制造商处购买新化学品来补充现有设备充填气体的泄漏（即排放）或设备总充填容量发生变化时的净变化量<sup>40</sup>。新设备总充填量减去退役设备原总充填量就是设备充填量的净变化量。如果净变化量为正，说明某些新化学品被用来满足总充填量增加的需要，因此这部分化学品就不能再看成是对以前年份排放量的替代。

<sup>38</sup>大约有 20 种不同的 HFC 和 PFC 化学品可以用作臭氧消耗物质替代品，排放源不仅多而且相当分散，因此，采用自下而上方法需要处理大量数据并具有相当大的复杂性。

<sup>39</sup>临界条件：如果总设备充填量没有变化，则年销售量等于排放量。如果总设备充填量的净变化量等于年销售量，那么排放量为零。

<sup>40</sup>工业中还需要用新化学品替代被销毁气体和补充库存。可以在通用公式中加入相关项来反映此类消耗，此处为简化没有包括这些项。

用本方法计算排放量不必知道每种化学品在设备中的总充填量，仅需要知道新增设备和退役设备的总充填量。本方法可以直接应用于致冷、移动式空调和消防等子源类别。对本方法的进一步确立和改进可参看每种子源类别的具体描述。除此以外，正在建立可以将化学品销售分配到不同终端消费和世界不同地区的模型，并正在将这些模型扩展用于具体的 ODS 替代品终端消费领域如泡沫和消防等用途<sup>41</sup>。

## 排放因子选择

排放因子类型取决于所实施的方法 2。

### 方法 2a—自下而上方法

对自下而上方法来说，主要设备类型和部门排放量的估算率需要专门的排放因子。排放因子应该基于对现有设备单元的国家研究，以确定其剩余服务期、平均充填量、更新率、泄漏率、清理量和回收情况。《IPCC 指南》中有一些此类参数的缺省数值，但不是国别数据。《优良作法指南》为某些子源类别提供了一些其它缺省值。

通常认为在服务寿命末期对设备的处理进行管理可以给总排放量带来很大影响。系统（称为“罐”）中残留的化学品量可以高达最初使用量的 90%。与排放因子相关的一些具体问题在子源类别部分具体讨论。

### 方法 2b—自上而下方法

如前所述，自上而下方法一般依靠化学品销售量数据，而非设备排放因子。如有例外情况，在每个子源类别部分都提供了《优良作法指南》（如在设备充填 HFC 和 PFC 时的逃逸排放）。

## 活动水平数据选择

### 方法 2a—自下而上方法

自下而上方法需要一个现有单元（即“罐”）中现有 HFC/PFC 量的清单。某些清单机构也许能从贸易杂志或者技术报告上获得国家数据，但更可能通过某项研究来估算现有单元或化学品的清单，通过专家小组也能有助于这些信息的收集。清单机构还可以通过年度研究来更新部门单元清单，另外一种替代方法是计算或估算每种子源类别生产量的增长情况。所收集数据还要能反映每年引入的新单元和淘汰的旧或过期单元的数量。

### 方法 2b—自上而下方法

自上而下方法注重化学品使用情况，而不是源排放量。对某些终端消费如消防和泡沫来说，正在开发可以将已有产品数据准确分配到具体地区的终端消费的全球模型，从这些模型得到的活动水平数据对进口大量化学品和设备的国家来说特别有用。

对基于销售量的方法来说，国家化学品消费数据要比产生排放的国家排放设备清单更容易获得。优良作法是从气体制造商或进口商处获得总的年销售量数据<sup>42</sup>。新设备总充填量的最好数据源很可能是设备制造商或代表这些制造商的贸易协会。对退役设备的总充填量来说，必须知道或估算：(1) 设备寿命期；(2) 或者是 (a) 设备的历史销售量和设备的历史平均充填容量，或者是 (b) 设备销售量和充填容量的增长率。

<sup>41</sup> 实例参见 [www.greenhousegases.org](http://www.greenhousegases.org)。

<sup>42</sup> 《IPCC 指南中》第 3 卷第 2.17.3.3 节方法 1b 提供了适用于年销售数据的缺省方法。

与主要依靠国内生产化学品的国家不同，所有化学品或大部分化学品依赖进口的国家的清单机构可能面临不同的数据可获得性问题。如果大部分的化学品（无论是以成批形式还是充填在设备和产品中）都依靠进口，必需通过进口数据表来计算排放量。理想情况下，海关官员应记录并提供这些化学品的进口量统计数字，对某些产品如泡沫和 aerosol，海关官员还可能记录产品中的化学品类型（如 aerosol 中的 CFC 和 HFC），或者是进口设备中的使用情况（如汽车座椅中的闭孔泡沫塑料）。在这种情况下，可能需要在主要经销商和终端用户的帮助下收集或估算排放量数据。

## 完整性

就可能排放的化学品总量而言，完整性就是根据所消费的化学品数量来记录自上而下方法的活动水平数据。对采用方法 2 “自下而上的基于设备的方法”的国家来说，完整性是一个重要问题。

每种物质生产过程中都会有一部分新化学品逃逸到大气中，但生产过程的逃逸排放在方法 2（或方法 1）中都没有考虑。对有国内化学品的国家来说，在清单中包括这种逃逸排放是一种 *优良作法*。推荐方法是采用一个化学品生产排放因子，或是假定化学品销售量中的一部分（额外的）比例在生产过程中排放了。缺省排放因子是 0.5%，但日本的经验表明排放量可能更高<sup>43</sup>。*优良作法*是确定每一个企业的实际排放因子。

## 建立一致的时间序列

鼓励已有潜在方法（方法 1）估计值的清单机构提高能力，在未来用方法 2 进行排放估算。*优良作法*是不在同一时间段内同时使用实际和潜在估算，在方法改变时，清单机构要用实际方法对历史排放量进行重新计算。如果无法获得数据，应该按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的指南对两种方法进行比较，以保证其一致性。对重新计算过程进行完整的文档记录也是保证透明性的 *优良作法*。

排放因子通常来源于现有市场上使用的其它化学品（如 CFC）的历史数据，且必须适用于新市场中的新化学品（如 ODS 替代品）。现在已有与基年配置相关的国家数据（或可以在已知不确定性的基础上进行计算）。

## 不确定性评估

一个国家长期（超过 20 年）的 ODS 替代品的排放量与同时期内的总消费量将趋于一致。对给定年份来说，由于各种排放源数量众多，排放模式相差很大，对 ODS 不确定性的量化非常困难。对方法 2 的自上而下途径来说，总不确定性与化学品销售和进口数据的质量及完整性直接相关。而对方法 2 的自下而上途径来说，不确定性反映了设备调查的完整性和用于分析排放量的排放函数的适用性。在以下各子源类别部分将对不确定性有进一步的建议。

## 所有 ODS 替代品子源类别的报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。

如上所述，清单机构应将尽可能多的终端子源类别的实际排放估计进行编制和报告。对不可能进行实际排放估算的子源类别来说，清单机构应编制和报告其潜在排放估算值。采用实际/潜在混合方法报告的清单机构应该对每种子源类别都进行潜在估算，以保证能计算 ODS 替代品的总排放量。如上所述，实际排放与潜在排放估算值不能进行合并。

<sup>43</sup>资料来源：防全球变暖委员会第六次会议和日本化学品理事会，1999 年 5 月 21 日。

需要特别注意保持数据的保密性和透明性之间的平衡。通过数据的合并可以解决一些问题，但仍需要通过别的方法（如第三方审核）对结果进行检验。在为保证专利信息的保密性而对数据进行合并的时候，还需要对使用的合并方法和方式进行定性说明。

## 所有 ODS 替代品子源类别的清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

清单机构应当用方法 1 的潜在排放方法对方法 2 的实际排放估计值进行检验。清单机构可以考虑开发计算模型来协调潜在排放和实际排放量的估计结果，并帮助确定随时间变化的排放因子。

既然自下而上排放因子的不确定性最高，清单机构应比较方法 2 中自下而上和自上而下方法的估算结果，这样可以最大程度地防止在自下而上方法中漏掉某些终端消费量。

### 国家活动水平数据审核

对方法 2a（自下而上方法）来说，清单机构应该评估与设备和产品清单相关的质量保证和质量控制过程，以保证它们既能满足质量保证和质量控制计划中提到的通用过程的需要，又能保证其抽样过程的代表性。对 ODS 替代品子源类别来说，由于设备和产品数量众多，这一点显得尤为重要。

对方法 2b（自上而下方法）来说，清单机构应该评估和参考负责化学品使用信息的机构所执行的质量保证和质量控制程序。销售量数据来自于气体制造商、进口商、经销商或贸易协会。如果与二次数据相关的质量控制不够充分，则清单机构应该对二次数据建立起自己的质量控制检验过程，重新评估由这些数据得到的排放量估算值的不确定性，并重新考虑如何使用这些数据。

### 排放因子审核

方法 2a（自下而上方法）的排放因子应基于国家研究。清单机构应将这些因子和缺省值进行比较，并在考虑国家源类别和缺省排放源之间的相似性或差异性的前提下，分析确定本国数据是否合理。对任何国家因子和缺省因子之间的差异都应进行说明并进行文档记录。

## 3.7.1 气雾剂子源类别

### 3.7.1.1 方法学问题

大多数气雾剂产品使用碳氢化合物(HC)作为推进剂，但是也有一小部分产品可能使用氢氟碳化物(HFC)和全氟碳化物(PFC)作为推进剂或溶剂使用。气雾剂产品通常在制成之后不久就会成为排放源，一般在销售后六个月左右。气雾剂在使用期间，其所含有的化学品百分之百都被排放到大气中(Gamlen et al.,1986; USA EPA,1992a)。5个主要的排放源如下：

- (1) 定剂量吸入器 (MDI) ；
- (2) 个人护理品 (例如，护发品、除臭剂、刮须膏) ；
- (3) 家庭用品 (例如，空气清新剂、烤箱以及织物清洁剂) ；
- (4) 工业产品 (例如，某些特殊的清洁雾化器、润滑剂、管道冷却器) ；
- (5) 其它的一般产品 (例如，墨线、轮胎充气机、电喇叭) 。

目前用作推进剂的氢氟碳化物有 HFC-134a、HFC-227ea 以及 HFC-152a。而 HFC-43-10mee 和全氟己烷 (一种全氟碳化物) 通常在工业上用作气雾剂产品的溶剂<sup>44</sup>。

### 方法选择

添加到产品中的气雾剂在产品销售之后的一至两年内几乎全部释放到大气中，气雾剂的排放非常即时。因此，估算气雾剂的排放必须知道供出售的包装产品最初加入了多少气雾剂。《IPCC 指南》给出下式来计算每种气雾剂在第 t 年的排放量：

#### 公式 3.35

$$\begin{aligned} \text{HFC 在第 } t \text{ 年的排放量} = & \\ & [ \text{(在第 } t \text{ 年销售的气雾剂产品所含 HFC 和 PFC 的量)} \cdot \text{排放因子} \\ & + \text{(在第 } t-1 \text{ 年销售的气雾剂产品所含 HFC 和 PFC 的量)} \cdot (1-\text{排放因子}) ] \end{aligned}$$

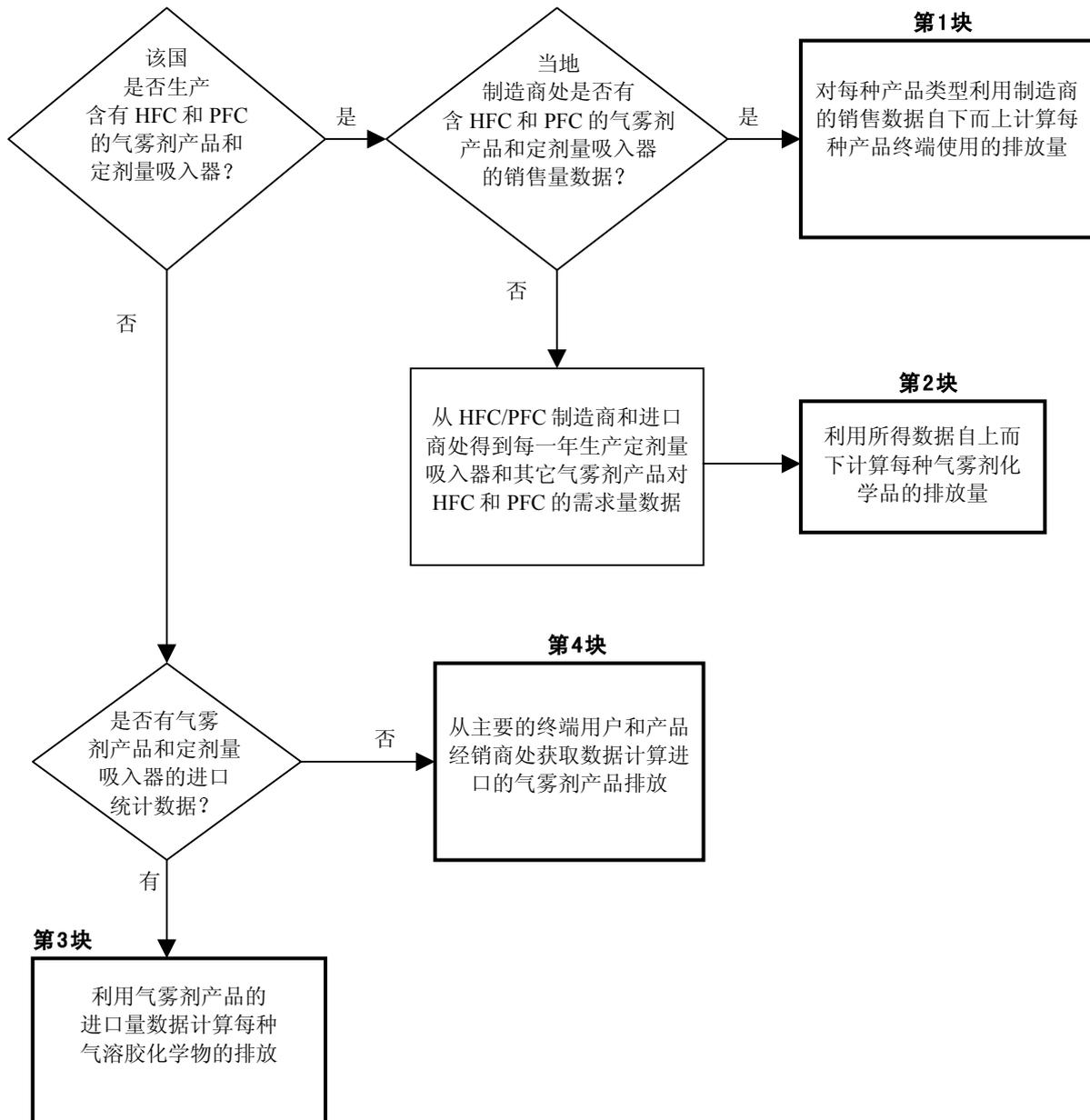
值得指出的是，对每种化学品应该独立地采用该公式来计算它的排放量。每种化学品的碳当量排放之和就是第 t 年气雾剂总的碳当量排放。

由于假定气雾剂产品的使用寿命为两年，按照这种假设，在第一年没有释放掉的任何气雾剂必然在第二年也即产品寿命期的最后一年排放到大气中。事实上，绝大多数的气雾剂排放发生在产品被购买后的第一个年头，但是计算气雾剂排放量还要考虑到产品从被购买到被使用的一段滞后时限<sup>45</sup>，估算气雾剂实际排放的决策树流程见图 3.12 “气雾剂子源类别实际排放估算决策树 (方法 2)”。数据收集过程描述如下：

<sup>44</sup> HFC-43-10mee 一般单独作为溶剂使用，但是当它和喷雾剂封装在一起出售时就视为一种喷雾剂产品。

<sup>45</sup>对于诸如剂量监测吸入器和气溶胶产品之类的短期排放源，估算其潜在排放量可以使用 100%的排放因子。在该类气溶胶产品的销售量没有明显增长的情况下，这样计算出来的潜在排放量同实际排放量是十分接近的。

图 3.12 气雾剂子源类别实际排放估算决策树（方法 2）



## 排放因子选择

优良作法是对种类繁多的气雾剂产品统一以 50% 作为其每年排放因子的缺省值。这意味着气雾剂产品中的化学添加剂的一半在第一年释放出来，其它的残余物在第二年全部释放完毕(Gamlen et al., 1986)。只有在得到实验或实践证据的前提下，清单机构才需要为大多数气雾剂产品使用其它的排放因子。但无论如何，在整个气雾剂化学品释放期限内其排放因子之和一般都应该等于 100%。清单机构如果要开发本国特色的排放因子，则必须对开发过程进行详尽充分的阐述和论证。一般来说，气雾剂产品和定剂量吸入器的制造商都有能力提供在制造工序中气雾剂的损失数据。

## 活动水平数据选择

所需要的活动水平数据就是本国消耗的全部气雾剂产品（国内销售加上进口）中所包含的每种气雾剂化学品的总量。如果本国消耗的气雾剂产品百分之百来自进口，则活动水平数据就等于进口量。

各类子源类别终端消耗的气雾剂活动水平数据既可以通过自下而上方式来收集，也可以通过自上而下的方式得到，这取决于数据的可获得性和质量。自下而上方式要求收集的数据是气雾剂产品的销售量和进口量（比如，每种定剂量吸入器、护发品、轮胎充气机等气雾剂产品的销售量和进口量），以及每种产品平均罐装的气雾剂数量。自上而下方式则需要收集气雾剂制造商直接出售给气雾剂制品业的气雾剂化学品以及 MDI 药剂的数量。在很多情形下，活动水平数据的收集可能必须结合自下而上方式和自上而下方式进行。

**国产气雾剂产品：**对那些本国生产气雾剂产品的国家，气雾剂制造商和 MDI 制造商通常能够提供关于国产气雾剂产品的国内消费量、出口量、每种产品平均罐装的气雾剂数量以及所使用的推进剂或溶剂（即采用氢氟碳化物还是全氟碳化物）等方面的数据和信息。这样，将目标年内国产气雾剂产品的国内销售量同每件产品平均罐装的 HFC/PFC 数量相乘，就可算出该国本年度消耗的国产气雾剂总量。如收集不到自下而上的数据，则国内化学品生产商也能够提供其出售给 MDI 制造商及其它气雾剂产品（即上文列举的 2 类、3 类、4 类、5 类气雾剂产品）制造商的各种氢氟碳化物数据。如果存在国内的气雾剂制造商和 MDI 制造商进口气雾剂的情况，那么从化学品出口商处有可能获得这类信息，但由于涉及商业机密，出口商有可能不会提供出口到各个国家的气雾剂的具体数据。海关机构以及化学品经销商则是收集化学品进口数据的另一个可能渠道。

**进口气雾剂产品：**大多数国家的气雾剂产品相当大一部分来自进口，但由于官方关于气雾剂产品的进口统计资料通常不会将含 HFC 的气雾剂产品与其它气雾剂产品加以区分，因此收集含 HFC 的气雾剂产品的进口量数据存在一定的困难。如果从海关不能得到有用的进口统计数据，那么气雾剂产品经销商或某些特别的终端消费者有可能提供有效数据。以 MDI 产品的进口量数据为例，通常情况下只有少数几个药品公司进口 MDI 产品，因此研究人员通过对有限的这些药品公司进行调查就可以得到所需要的信息。

## 完整性

活动水平数据的完整性取决于数据的可获得性。那些本国不生产气雾剂的国家清单机构可能需要借助于专家判断来估算活动水平数据，其原因就是因为进口统计资料很可能是不完整的（参见第 6 章“不确定性的量化”第 6.2.5 节“专家判断”）。

## 建立一致的时间序列

对时间序列范围内每一年的气雾剂排放量进行计算，应该使用同样的估算方法和数据来源。假如无法获得时间序列范围内某一年的一致性数据，则应该按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的指南重新计算。

## 不确定性评估

普通气雾剂产品制造部门的 HFC 使用量比 MDI 产品制造部门的消耗量要大很多。来自 HFC 制造商以及进口商渠道出售给普通气雾剂产品制造部门的 HFC 数据，与全球范围内的 HFC-134a 消费量一样，目前还没有很好的界定。这些数据可以通过额外的数据收集活动来加以完善。普通气雾剂产品制造部门的分散性意味着如果想得到可靠的自下而上的数据，必须由当地的行业专家进行专门的全国摸底调查，并利用第 6 章“不确定性的量化”提出的专家判断方法来处理这些当地专家对数据不确定性的建议。

获得 MDI 产品制造部门可靠的活动水平数据渠道有多种，因此在排放清单估算上反映出来的这部分数据可靠度就比较高。然而，就一个国家的气雾剂排放清单报告而言，因为普通气雾剂产品制造部门的活动水平数据缺乏可靠性，这意味着估算出来的排放量数据可能比实际情况高估或低估 1/3 到 3 倍的范围。

### 3.7.1.2 报告和归档

清单机构必须将 MDI 产品的排放估算同其它气雾剂产品的排放估算分开报告。清单机构应当在报告中论述他们所采用的排放因子，如果采用的是基于本国实际情况的排放因子而非缺省的排放因子，清单机构应对排放因子的推算过程进行文档记录。清单必须提供详细的活动水平数据，涉及商业机密的信息可不予披露，但应该提供定性化的信息比如国内消费、进口以及生产的气雾剂产品种类等。用作推进剂或溶剂的气雾剂种类、以及出口的 MDI 产品和普通气雾剂产品的具体数据等信息很可能被视为机密<sup>46</sup>。如果某国生产专作溶剂用的气雾剂化学品的制造厂商不超过三家，则清单机构可以把气雾剂的推进剂和溶剂合并起来计算活动水平数据，因为两者都可以视为百分之百的挥发性化学品（参见下文第 3.7.2.2 节）。

### 3.7.1.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章提供的指南之外，下面列出针对该子源类别的其它“质量控制”方法。应该同时应用自下而上和自上而下的数据来对比检查排放量估算。用来估算 t-1 年排放量的数据应该和估算前一年清单所用数据一致，这样就确保了两年排放率之和为 100%。如果两年之间的数据不一致，则应加以解释。对数据的收集应进行质量控制。为了便于第三方对清单的数据质量进行独立评估，清单报告中还应列出所调查的气雾剂制造商以及终端消费者的数量。

<sup>46</sup> 量化每一个普通气雾剂产品部门的使用量可以保证未来的预测研究更加准确，并且制定的减排对策更加可行。

## 3.7.2 溶剂子源类别

### 3.7.2.1 方法学问题

氢氟碳化物和全氟碳化物在以下四个主要领域用作溶剂：

- (1) 清洗精密仪器；
- (2) 清洗电子器件；
- (3) 清洗金属；
- (4) 喷镀。

氢氟碳化物用作溶剂的历史不长。已经或即将用作溶剂的氢氟碳化物或全氟碳化物包括 HFC43-10mee、全氟己烷（一种全氟碳化物）以及 IPCC 第二次评估报告中没有论及的其它氢氟碳化物和全氟碳化物，包括 HFC-365mfc<sup>47</sup>。

### 方法选择

同气雾剂产品一样，溶剂排放通常也是“即时”排放，因为溶剂所含化学品在两年内将百分之百挥发到大气中。估算排放量需要了解每年出售的溶剂产品中所含化学品的总量。《IPCC 指南》给出如下公式来计算第 t 年溶剂使用所产生的 HFC 和 PFC 排放量。

#### 公式 3.36

$$\begin{aligned} \text{第 } t \text{ 年排放量} = & [ (\text{第 } t \text{ 年的溶剂产品销售量}) \cdot \text{EF} ] \\ & + [ \text{第 } (t-1) \text{ 年的溶剂产品销售量} \cdot (1 - \text{EF}) ] \end{aligned}$$

如同计算气雾剂产品的排放一样，应依据数据的可获得性分别对每种化学品独立应用该式来计算排放量。此外，还可以划分不同设备类型分别采用该式计算溶剂排放。总的碳当量排放等于每种溶剂化学品的碳当量排放之和。

排放因子 EF 代表溶剂在第 t 年排放出的化学品的百分比。由于假定溶剂产品的使用寿命为两年，在第一年没有释放掉的任何化学品必然在第二年也即产品寿命期的最后一年排放到大气中。估算溶剂实际排放的决策树见图 3.13 “溶剂子源类别实际排放估算决策树（方法 2）”。数据收集过程在下面描述。

### 排放因子选择

优良作法是使用缺省排放因子，即溶剂产品第一个使用年排放因子为 50%<sup>48</sup>。某些新设备对溶剂的使用可以实现较低的损失率，从而溶剂的排放期会超出两年。在这种情况下，可以有针对性地利用这些自下而上的新设备使用数据以及可替代排放因子开发的经验<sup>49</sup>，开发其它的可替代排放因子。这些国别排放因子应详细归档。

一般来说，无需考虑溶剂的回收和循环利用而修正排放因子。尽管 HFC 和 PFC 溶剂因为成本高而在使用期间会被多次回收和循环利用，但在绝大多数的挥发性终端使用情况下，溶剂化学品在出售后平均 6 个月就将排放到大气中。

<sup>47</sup> 《IPCC 指南》仅为那些在第二次评估报告中列出了全球增温潜势的温室气体提供了“报告指南”。

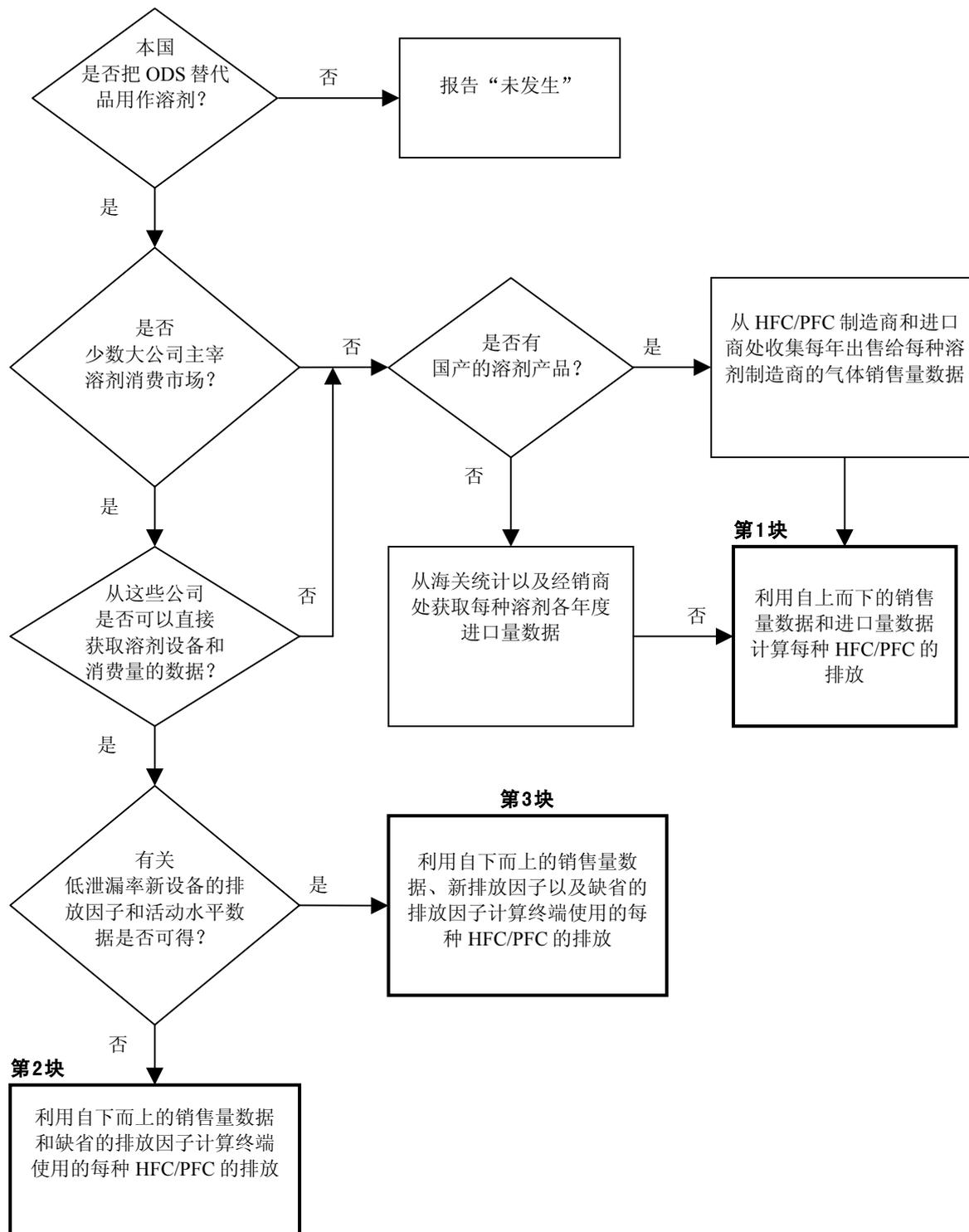
<sup>48</sup> 参见脚注 47。

<sup>49</sup> 一种指导性意见是，对新设备的溶剂销售量，设备里贮存的剩余气体的排放比率为 10%~20%。在随后年份里的销售量作为维修用，其排放比率可认为是 100%。

### 活动水平数据选择

终端使用的活动水平数据等于特定年份里每种相关化学品作为溶剂使用的销售量。同气雾剂一样，应该收集国产溶剂以及进口溶剂的数据。这些数据可以采用自上而下方法或者自下而上方法收集，主要取决于本国溶剂工业的特点。大多数国家的终端使用极具多样性，因此采用自上而下方法收集活动水平数据比较可行。

图 3.13 溶剂子源类别实际排放估算决策树（方法 2）



## 自上而下的数据

自上而下的数据等于本国每年溶剂化学品的销售量或进口量。国产溶剂的销售量可从化学品制造商处直接得到。由于只有少数几个国家能够生产化学溶剂，大多数国家的溶剂消耗量部分或者全部来自进口。溶剂的进口量数据可以从出口制造商处收集，但是出口到各国的详细数据很可能属于商业机密。一种替代的数据收集方法是从海关或者进口溶剂的经销商处得到进口统计数据。一般来说，溶剂的进口数据比气雾剂的进口数据更容易得到，这是因为溶剂通常是装在大容器里进口的，而不像气雾剂那样以小型包装罐进口。

如果针对某些特种设备制定专门的排放因子，那么必须按照设备种类拆分溶剂的消耗量数据。此时通常需要清单机构采用自下而上的方法来收集活动水平数据。

## 自下而上的数据

自下而上的活动水平数据包括储存或充填溶剂的设备或容器罐的数量。如果溶剂销售量主要由少数几个大公司消费，那么比较适合采用自下而上方法收集活动水平数据，因为此时从少数几个大型溶剂消耗实体就可获得比较详细的溶剂终端消费数据。另一种比较适合采用自下而上方法的情形是清单机构已经获得了分设备的排放因子。

## 完整性

数据的完整性取决于活动水平数据的可获得程度。对于那些本国不生产溶剂的国家来说，其清单机构可能需要借助专家的判断来估算活动水平数据，因为溶剂的进口统计数据很可能是不完整的（参见第 6 章“不确定性的量化”第 6.2.5 节“专家判断”）。

## 建立一致的时间序列

应该采用相同的估算方法和数据来源计算出时间序列中每一年份的化学溶剂排放量。如无法获得某一年的一致性数据，应按照第 7 章“方法论选择与重复计算”中提供的指南重新计算这种不一致性所造成的排放量差异。

## 不确定性评估

所有溶剂均在两年内完成排放的假定已经得到广泛认同，该假定通常不会给估算带来明显误差。同样，由于化学溶剂的制造商通常只有少数几个大型公司，溶剂小量贮存的成本很高，以及大多数溶剂使用具有 100% 的挥发特性，这些因素决定了化学溶剂的活动水平数据应比较可靠。

### 3.7.2.2 报告和归档

清单机构应报告所使用的排放因子，并说明本国排放因子的经验基础。对于活动水平数据而言，应报告化学品的销售量和进口量，除非由于仅有非常有限的溶剂企业在少数地方进行生产而需要保密。（举例来说，目前每一种化学品可能只有一个生产商）。如果生产化学溶剂的企业不超过三家，清单机构可以把溶剂排放并入气雾剂排放部分，因为两者均为 100% 的挥发性应用（参见第 3.7.1.2 节）。在此情况下，为保护商业机密，无需具体说明每种气体的排放，排放量应以 CO<sub>2</sub> 当量报告。

### 3.7.2.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍

的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第7章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第8章“质量保证和质量控制”指南之外，下面还介绍了针对该子源类别的具体程序：

- 为准确进行清单质量保证和质量控制，清单机构应该汇总自上而下数据和终端消费数据。为便于第三方对数据报告质量进行独立评估，应给出调查过的制造商、经销商及终端用户数目的量化数据。
- 如果采用各种溶剂的排放因子和活动水平数据，那么活动水平数据应该具有相应的详细程度。

### 3.7.3 泡沫材料子源类别

#### 3.7.3.1 方法学问题

在泡沫材料的应用中，例如绝缘、垫衬和包装等，氢氟碳化物(HFCs)正越来越多地被用作 CFC 和 HCFC 的替代物，可能采用的化合物包括 HFC-245fa、HFC-365mfc、HFC-134a 以及 HFC-152a。对于开放式单元的泡沫，用作发泡剂的 HFC 在生产过程中可能产生排放。对于封闭式泡沫，排在更长时间后发生（如 20 年）。

#### 方法选择

图 3.14 “泡沫材料子源类别实际排放估算决策树（方法 2）” 所示的决策树描述了估算排放量的 *优良作法*。

《IPCC 指南》建议分别计算开放式和封闭式泡沫材料的排放量。

*开放式泡沫*：由于作为开放式泡沫发泡剂的 HFC 和 PFC 的排放即时发生，所以全部排放发生在生产国。《IPCC 指南》给出如下公式计算排放量<sup>50</sup>：

#### 公式 3.37

$$\text{开放式泡沫排放量} = \text{开放式泡沫生产中 HFC 和 PFC 的年度总消耗量}$$

*封闭式泡沫*：封闭式泡沫的排放发生在 3 个不同的时点：

- (1) 泡沫生产和安装初年损失：排放发生在泡沫的生产地点。
- (2) 每年的年度损失（泡沫使用现场损失）：封闭式泡沫在使用过程中每年会损失一部分初始充填量，排放发生在泡沫的使用地点。
- (3) 退役损失：退役时也会在使用地点产生排放。

《IPCC 指南》第 3 卷第 2.17.4.3 节“估算泡沫材料发泡的 HFC 和 PFC 排放”给出的计算泡沫材料发泡排放量的公式考虑了前两项排放。为了全面估算其排放量，*优良作法*是在公式中增加一项，在数据可获得时计入退役损失和化学品销毁量。如下式所示：

#### 公式 3.38

$$\begin{aligned} \text{封闭式泡沫的排放量} = & [ (\text{第 } t \text{ 年新生产的封闭式泡沫的 HFC 和 PFC 消耗总量}) \cdot (\text{初年损失排放因子}) ] \\ & + [ (\text{第 } t \text{ 年到第 } t-n \text{ 年期间封闭式泡沫的 HFC 或 PFC 的初始充填量}) \cdot (\text{年度损失排放因子}) ] \\ & + [ (\text{第 } n \text{ 年的退役损失}) - (\text{HFC 或 PFC 的销毁量}) ] \end{aligned}$$

其中：

$n$  = 封闭式泡沫产品的寿命期

退役损失 = 设备报废时泡沫中残余的化学品

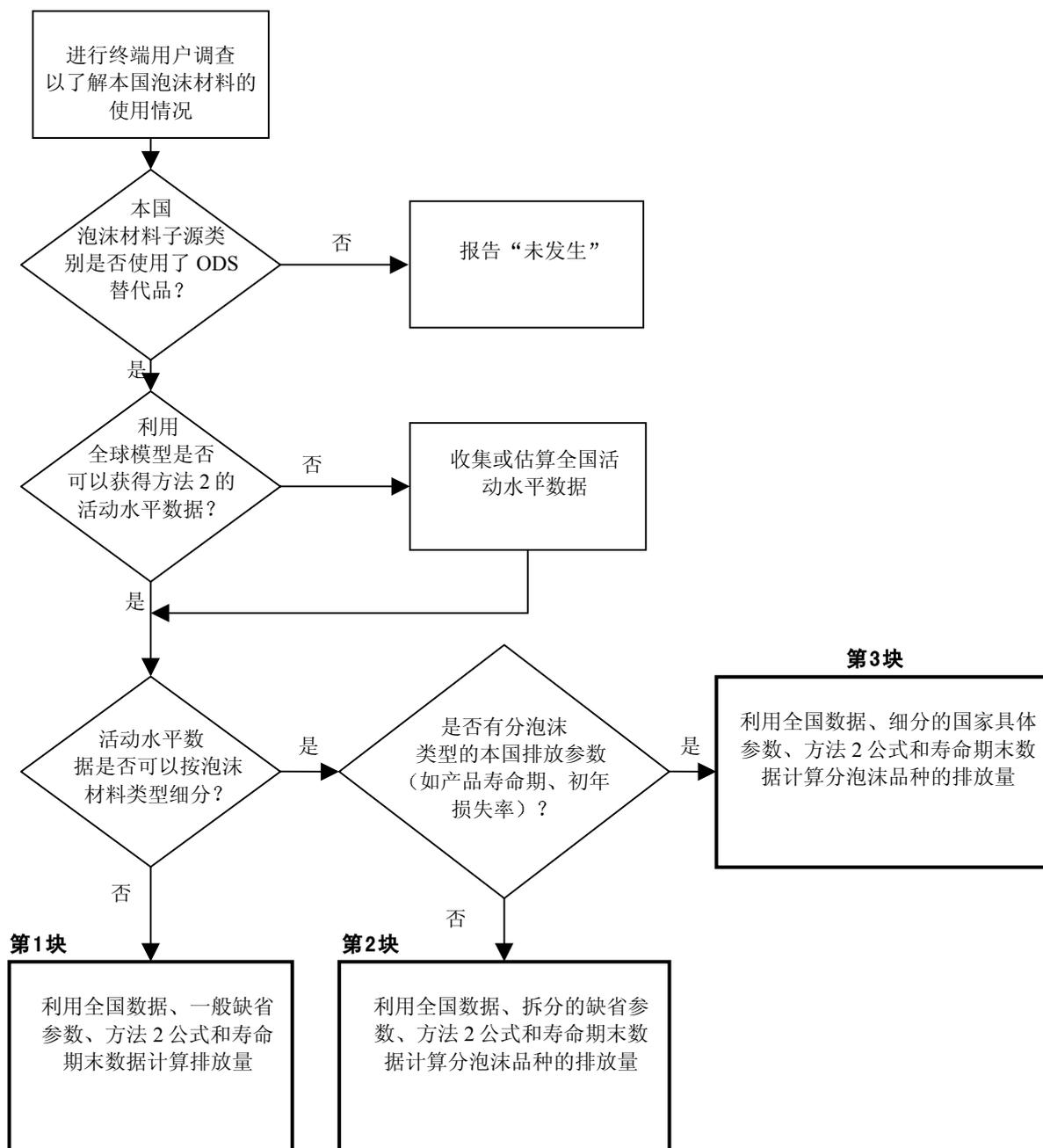
应运用该式分别对每种化学品和主要泡沫材料的排放进行估算。总的 CO<sub>2</sub> 当量排放等于每种泡沫的每种化学品和泡沫排放的 CO<sub>2</sub> 当量之和。

<sup>50</sup> 对这些用途而言，每种化学品的实际排放量等于潜在排放量。

采用该方法要求收集泡沫工业的年度化学品销售量的当前及历史数据，包括从当前年份往前追溯封闭式泡沫平均寿命期的时段内的数据（比如，最近 20 年以来）。如果泡沫材料退役时的潜在损失数据难以收集，清单机构应当假定在生产过程中没有排放的化学品全部在泡沫材料的使用寿命期内排放了。

该计算方法的一种修正是利用全球模型将已知的全球生产量的准确数据分配到世界各地，这些数据可与表 3.17 “封闭式泡沫材料的 HFC/PFC 缺省排放因子” 拆分的排放因子一起使用。

图 3.14 泡沫材料子源类别实际排放估算决策树（方法 2）



### 排放因子选择

同其它子源类别一样，泡沫材料排放因子的首选是采用本国排放因子，这些因子根据经同行评议的现场测试数据得来，并有很好的文档记录。如前所述，如无退役损失数据，初年损失和年度损失的排放因子应对应于化学品的全部消费量<sup>51</sup>。

<sup>51</sup> 退役并不一定当场造成残余发泡剂的全部排放。残余发泡剂可在一定程度被二次利用，或被完好无损地丢弃（如，许多电冰箱）。可以认为它们也可能是国家寿命期末管理的不同方式，但显然远不如正确的销毁或者回收技术有效。未来的排放模型应适当关注寿命期末问题。

如果无法得到本国排放因子，可以采用缺省排放因子。表 3.18 “HFC-134a 应用的缺省排放因子（泡沫材料子源类别）－（源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）”和表 3.19 “HFC-245a/HFC-365mfc 应用的缺省排放因子（泡沫材料子源类别）－（源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）”给出了目前最重要的封闭式泡沫应用的最新优良作法的排放因子假设。使用这些排放因子要求化学品销售量数据以及相关设备中的化学品贮存量数据。

如果只能得到封闭式泡沫材料的汇总销售量数据而不能得到分泡沫材料品种的数据，那么应采用《IPCC 指南》中列出的一般性缺省排放因子<sup>52</sup>。表 3.17 “封闭式泡沫材料的 HFC/PFC 缺省排放因子”列出了这些缺省排放因子。

表 3.17	
封闭式泡沫材料的 HFC/PFC 缺省排放因子	
排放因子	缺省值
产品使用寿命期	n = 20 年
初年损失排放	尽管在生产过程有明显回收时损失率可能降到 5%，但还是以 HFC/PFC 初始充填量的 10%为缺省值。
年度损失排放	HFC/PFC 初始充填量的 4.5%。
资料来源：Gamlen <i>et al.</i> (1986)。	

表 3.18			
HFC-134A 发泡剂的缺省排放因子（泡沫材料子源类别）			
（源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）			
HFC-134a 发泡剂	产品使用期（年）	第一年损失率（%）	年度损失率（%）
聚氨酯泡沫-整体外壳 <sup>a</sup>	12-15	95	2.5
聚氨酯泡沫-连续镶板	50	10	0.5
聚氨酯泡沫-不连续镶板	50	12.5	0.5
聚氨酯泡沫-器具	15-20	7.5	0.5
聚氨酯泡沫-注入	15	12.5	0.5
单组分泡沫材料（OCF） <sup>a</sup>	50	95	2.5
模压聚苯乙烯/聚乙烯（XPS/PE） <sup>a</sup>	50	40	3
<sup>a</sup> HFC-152a 作发泡剂。			
资料来源：Ashford (1999)。			

<sup>52</sup> 由于开放式泡沫材料的排放全部发生在第一年，此处不必提供其排放因子。

**表 3.19**  
**HFC-245a/HFC-365mfc 应用的缺省排放因子（泡沫材料子源类别）**  
**（源自各国以及国际上对 CFC/HFC 研究的成果总结）**

HFC-245a/HFC-365mfc 发泡剂	产品使用期（年）	第一年损失率(%)	年度损失率(%)
聚氨酯泡沫-连续镶板	50	7.5	0.5
聚氨酯泡沫-不连续镶板	50	10	0.5
聚氨酯泡沫-器具	15	4	0.25
聚氨酯泡沫-注入	15	10	0.5
聚氨酯泡沫-连续塑模	15	40	0.75
聚氨酯泡沫-不连续塑模	15	45	0.75
聚氨酯泡沫-单组分泡沫	50	10	1
聚氨酯泡沫-连续层压	25	10	1
聚氨酯泡沫-喷涂	50	25	1.5
酚醛塑料-不连续塑模	15	45	0.75
酚醛塑料-不连续层压	50	10	1

资料来源：Ashford（1999）。

使用这些缺省排放因子计算的结果是，在首年度损失 10%后，原始充填量在 20 年内通过年度损失共排放其余的 90%。

## 活动水平数据选择

估算泡沫材料的排放需要两种类型的活动水平数据：本国泡沫材料生产中化学品的总消耗量；本国使用的泡沫材料中所包含的化学品总量。与此相关的数据收集问题全然不同。

- **泡沫材料生产过程的化学品利用量：**泡沫材料发泡工艺所使用的化学品总量应该包括国产及进口的 HFC 和 PFC 的使用量。泡沫工业的国产化学品销售量数据一般可从化学品制造商处直接得到。与其它 ODS 替代品子源类别类似，化学品进口量数据可从海关或者经销商处得到。

对于开放式泡沫材料，所有的排放都发生在泡沫材料的生产过程。因此，必须确定用于开放式泡沫材料生产所消耗的 HFC 和 PFC 化学品的比率。该数据可以通过终端用户调查获得，或者参照 CFC 和 HCFC 的终端消费数据近似估算。

- **封闭式泡沫材料在寿命期排放的化学品：**使用期间的年度排放和退役损失排放应该包括本国使用的所有种类的封闭式泡沫材料。要求考虑封闭式泡沫材料的进出口情况，因此数据的收集比较繁杂。

出口封闭式泡沫材料的国家的清单机构，应将出口量从年度损失排放和退役损失排放的计算总量中予以扣除，因为这些出口量的排放将发生在进口国。封闭式泡沫材料出口对应的化学品充填总量数据可从大的制造商处获得。

以此相反，进口封闭式泡沫材料的国家的清单机构，应加上这些进口产品的排放以保证活动水平数据的完整性。由于封闭式泡沫材料的进口统计数据难以收集，如果本国的封闭式泡沫材料完全来自进口，清单机构可能需要借助专家判断来估算进口量数据（参见第 6 章“不确定性的量化”第 6.2.5 节“专家判断”）。

未来，清单机构有可能利用国际 HFC/PFC 生产量和消费量数据库来估算进口封闭泡沫材料的化学品含量。例如，“碳氟化合物替代品环境评估研究（AFEAS）”的统计收集过程汇编了截止到 1997 年以前的全球泡沫材料工业的 HFC-134a 活动水平数据<sup>53</sup>。全球数据相对好理解，但目前还不能将其拆分为分地区的数据。

## 完整性

泡沫材料子源类别已经确认了 15 种泡沫材料以及 4 种潜在的发泡剂化学品（HFC-134a、HFC-152a、HFC-245fa 和 HFC-365mfc）。为保证完整性，清单机构应确定 4 种发泡剂在 15 种泡沫材料中的应用情况，理论上 60 种可能组合（参见表 3.20 “ODS 替代品在泡沫发泡工业中的应用”）。这里实际上只列出 32 种化学品/泡沫材料品种的生产组合，地区之间可能略有不同。此外还需指出，目前方法没有考虑到化学品混用的情况，实际上很难确定混用时的排放因子，混用的主要问题在于活动水平的检测。

工业子部门	作泡沫发泡剂用的 HFC 品种 <sup>b</sup>			
	HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc
聚氨酯 <sup>a</sup> —柔性泡沫	X	X	X	X
聚氨酯—柔性浇铸泡沫	X	X	X	X
聚氨酯—整体泡沫外壳	O	O	X	X
聚氨酯—连续镶板	O	X	O	O
聚氨酯—不连续镶板	O	X	O	O
聚氨酯—泡沫器材	O	X	O	O
聚氨酯—注入泡沫	O	X	O	O
聚氨酯—连续塑模	X	X	O	O
聚氨酯—不连续塑模	X	X	O	O
聚氨酯—连续层压	X	X	O	O
聚氨酯—喷涂泡沫	X	X	O	O
聚氨酯—单组分泡沫	O	O	X	X
模压聚苯乙烯/聚乙烯	O	O	X	X
酚醛塑料—塑模	X	X	O	O
酚醛塑料—层压	X	X	O	O

<sup>a</sup> PU = 聚氨酯。  
<sup>b</sup> X – 预期不会使用，O – 目前使用或者预期会使用。

## 建立一致的时间序列

清单机构应对整个时间序列保持估算方法的一致性。例如，如果开始时没有建立对实际退役损失排放的检测系统，想从“缺省”数据转向“实际”数据时，将难以获得倒推数据，因此，在清单报告的初始阶段必须深思熟虑后才能作决定。对估算结果的任何重新计算都应按照第 7 章的指南进行。

<sup>53</sup>HFC-134a 是最常用的氢氟化碳发泡剂。碳氟化合物替代品环境评估研究(AFEAS)数据可以在 <http://www.afeas.org> 网站上查阅到。

## 不确定性评估

从目前可获得的销售量数据的准确性看，全球排放量估算结果的不确定性在 10%以内，区域排放量估算结果的不确定性在 30%-40%范围内，各个国家采用自上而下数据估算结果的不确定性可能超过 50%（McCulloch, 1986）。排放因子的不准确将进一步加剧估算结果的不确定性，尤其是在清单机构采用缺省排放因子进行估算的情况下。需要进一步指出的是，任何一年的排放量估算结果的不确定性仅部分取决于当年新消费数据的准确性，其余部分将取决于当年在役的以及退役的泡沫设备数据的准确性。在许多情况下，由于泡沫设备的退役对排放很敏感，因此在采用缺省排放因子估算时，泡沫产品寿命期的假设会引入最大的不确定性。因此，清单机构应记录含 HFC 产品排放的估算过程，如有可能，应建立对设备实际退役情况的监测机制。这些记录将有助于确保排放量估算结果的总和不至于超过同期的总投入量。

### 3.7.3.2 报告和归档

应当报告排放因子，并对本国开发的数据进行归档。出售给泡沫材料工业的化学品销售量应该在保护商业机密的前提下予以详细说明。大多数的商业机密问题与那些带有高度集中特征的活动水平数据的收集过程有关。处理办法是泡沫材料整体报告一个数，前提是在适当的保密条款下可以对该汇总数据进行审评。当然，明确生产（初年）排放、利用（寿命期）排放和退役（寿期末）排放总是有助于不断完善这些领域的排放估算。在未来的清单报告中，如果清单机构可以利用全球和区域排放数据库，那么在清单报告中应详细说明如何将全球或区域性排放量分配到国家层面。

### 3.7.3.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

由于区域或全球的总排放量来自各个国家排放量估算结果的加总，因此清单质量控制的一个主要关注点就是如何保证区域性和全球性排放的数据完整性，对清单质量保证和质量控制的一个主要评审内容就是将排放清单与区域性和全球性排放的汇总结果进行相互对照。

### 3.7.4 固定式致冷子源类别

#### 3.7.4.1 方法学问题

氢氟碳化物(HFCs)和全氟碳化物(PFCs)在电冰箱和固定式空调设备上代替氟氯化碳(CFCs)和氢氟氯化碳(HCFCs)用作致冷剂。比如家庭冰箱、零售食品冷藏库、商用空调、家用空调以及低温冷藏仓库。目前固定式制冷子源类别还包括那些没有列入移动式空调子源类别的交通运输制冷设备（请参见第 3.7.5 节“移动式空调子源类别”）<sup>54</sup>。

#### 方法选择

《IPCC 指南》提出的方法 2 基于固定式制冷设备的装配、运行、报废处理三个阶段来估算其排放量。通用的计算公式如下：

公式 3.39

$$\text{总排放量} = \text{装配排放} + \text{运行排放} + \text{报废处理排放}$$

- **装配排放**包括与产品生产过程相关的排放，即便某些产品最终出口到其它的国家。
- **运行排放**包括库存备用设备每年的泄漏排放以及服役设备的运行排放。运行排放包括本国境内所有致冷设备的排放，而不管设备的制造产地是国内还是国外。
- **报废处理排放**包括从报废的制冷设备中释放出来的致冷剂数量。同运行排放一样，报废处理排放包括在本国境内报废处理的全部制冷设备，而不管这些设备的制造产地。

优良作法是采用方法 2 使用每年致冷剂的销售数据自上而下地估算排放量。而另一种替代方法，则使用自下而上的制冷设备数据和多样化的排放因子来估算排放，这种方法需要的数据量很大，从而不太可能提高估算的准确性，但在某些情况特别的国家仍不失为一种优良作法。图 3.15 “固定式制冷子源类别实际排放估算决策树（方法 2）”所示的决策树描述了估算固定式制冷源排放的优良作法。表 3.22 “对固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命期和排放因子的最佳估计（专家判断）”分别为自上而下方法和自下而上方法列出了排放因子，并解释了如何改进方法 2 的缺省排放因子的不足。

#### 自上而下方法

对自上而下方法，将三个排放阶段归总起来得到简化计算公式如下：

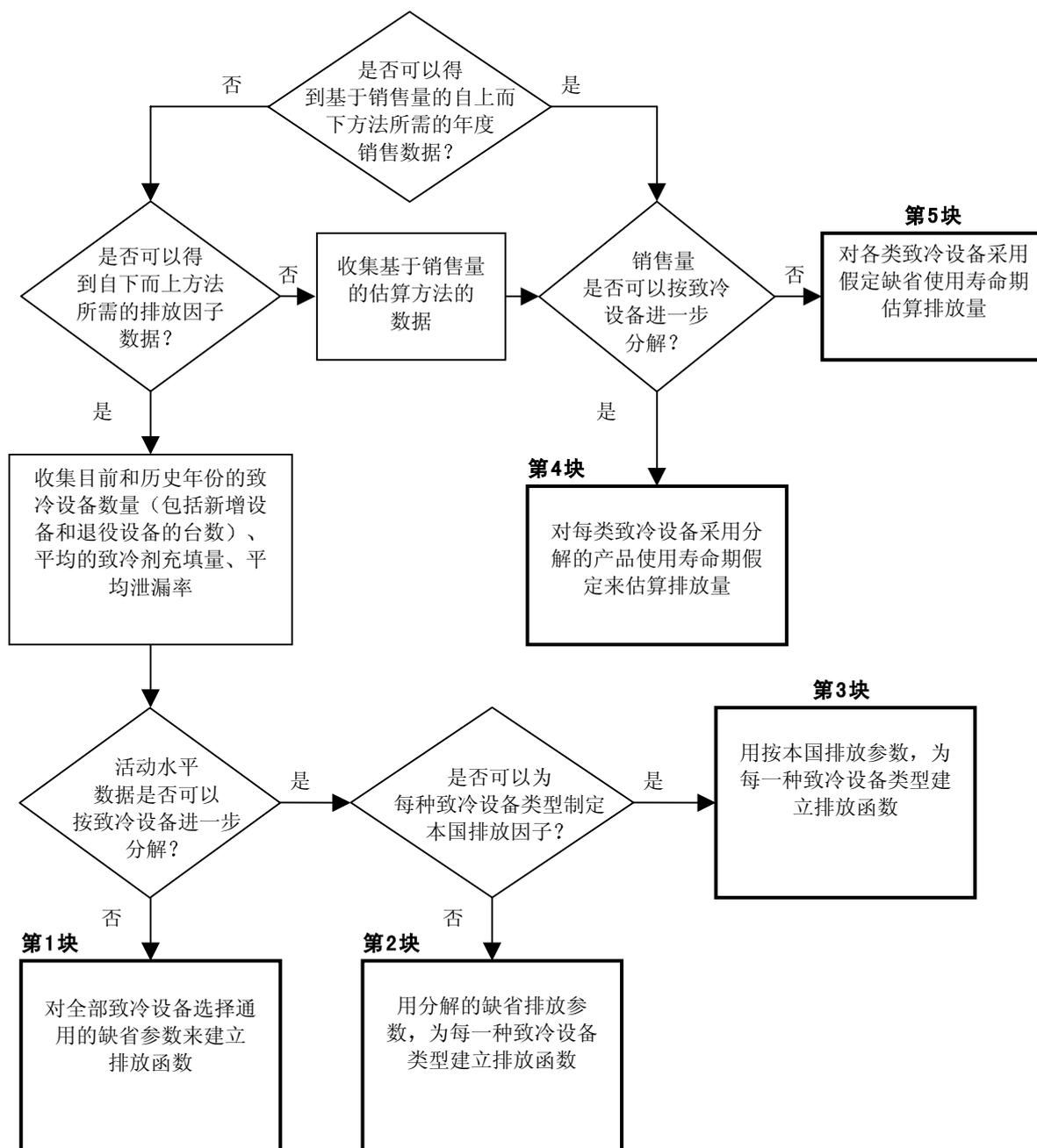
公式 3.40

$$\begin{aligned} \text{排放量} = & (\text{新生产的致冷剂的年度销售量}) - (\text{新生产的致冷设备充填的致冷剂总量}) \\ & + (\text{退役致冷设备初始充填的致冷剂总量}) - (\text{致冷剂被人为清除或者分解的数量}) \end{aligned}$$

**新生产的致冷剂的年度销售量**是本国在某一给定年份致冷设备工业购进的用作致冷剂的化学品总量，包括为致冷设备充填或者二次充填致冷剂所使用的化学品数量，不管致冷剂是在生产厂加入的或在致冷设备安装后加入的，还是为服役设备二次添加的。它不包括循环再利用的那部分化学品。

<sup>54</sup> 尤其是本身独立成套的致冷系统；依靠机车发动机驱动的致冷系统应该归入移动式空调子源类别（参见第 3.7.5 节“移动式空调排放源子类别”）。

图 3.15 固定式制冷子源类别实际排放估算决策树（方法 2）



**新生产的致冷设备充填的致冷剂总量**包括该国在某个给定年份出售的所有新生产出来的致冷设备的致冷剂充填总量，既包括在生产厂为致冷设备加入的致冷剂数量，也包括新致冷设备在安装后添加的致冷剂数量，但不包括致冷剂充填过程的排放以及设备在服役期间添加的化学品数量。

**退役致冷设备初始充填的致冷剂总量**是指该国在某个给定年度内退役的全部致冷设备的致冷剂初始充填量的总和，包括退役设备在生产厂最初充填的致冷剂数量以及安装后按规定需要补加的致冷剂数量，但不包括致冷剂在充填过程的排放以及设备在服役期间添加的化学品数量。

在每一个国家都有一批在役的致冷设备，这些在役设备中现有的致冷剂化学品就构成了本国的致冷剂储藏库。因此，每年出售的新致冷剂化学品的用途不外乎如下两种<sup>55</sup>：

- 增加在用的致冷剂化学品储藏库存；
- 补偿上一年致冷剂化学品储藏库的损失，例如由于泄漏或清理造成部分致冷剂被排放到大气中。

致冷剂的总销售量扣除其中用于满足当前致冷剂储藏库存量增加之后的剩余部分，就是释放到大气中的致冷剂数量。而致冷剂储藏库存量的增加就是新增致冷设备充填的致冷剂数量与退役设备中含有的致冷剂数量的差值。

排放量计算公式利用当年和历史年份的致冷剂销售量数据就可以算出当年的生产装配、运行以及退役清理等造成的化学品排放，不需要从文献中获得排放因子。基于销售量的计算方法可能比采用缺省排放因子的计算方法更准确，这是因为各国之间的排放因子有很大的不同，甚至一国之内不同地区的排放率也存在明显差异。清单机构可以将该计算公式应用于估算某一类致冷设备的排放，也可以更广泛地用于估算全国所有空调和冰箱的排放，取决于清单机构收集到的数据能够细分到何种程度。如果清单机构能够收集到比较细化的分类别的数据，就可以对每种致冷设备分别采用该计算公式来估算其排放量，并将每种设备类型的排放量加总得到整个致冷设备行业总的排放量。

### 自下而上方法

采用方法 2 利用自下而上的数据计算排放量，需要估算的数据包括已有致冷设备中储存的致冷剂数量以及每种致冷设备在各个排放阶段（即装配阶段、运行阶段以及报废处理阶段）的排放因子。

对装配阶段的排放，可以采用下面的公式：

#### 公式 3.41

$$\text{装配排放} = (\text{第 } t \text{ 年充填的 HFC 和 PFC 的总量}) \cdot (k / 100)$$

其中：k = 排放因子，表示初始充填的致冷剂在设备装配过程中释放到大气中的那部分的百分比。

运行排放要根据现役设备中贮存的 HFC/PFC 致冷剂库存量来计算，计算公式如下：

#### 公式 3.42

$$\text{运行排放} = (\text{第 } t \text{ 年现役设备中的 HFC/PFC 致冷剂库存总量}) \cdot (x / 100)$$

其中：x = 现役设备中的致冷剂库存总量的年度泄漏率。由于泄漏率因致冷设备类型而异，*优良作法*是按照设备的某些共性（比如设备已服役时间或者容量大小）将致冷设备分类，并针对不同类型的设备开发特定的排放因子。

为了计算致冷设备的报废处理排放，需要知道设备的平均使用寿命（比如 n 年）以及退役设备在 n 年以前致冷剂的初始充填量。然后按照如下的公式计算退役设备的报废处理排放：

#### 公式 3.43

$$\begin{aligned} \text{报废处理排放} = & (\text{第 } t-n \text{ 年 HFC/PFC 的初始充填量}) \cdot (y / 100) \cdot (1 - z / 100) \\ & - (\text{致冷剂被人为分解或清除的量}) \end{aligned}$$

其中：

y = 最初充填的致冷剂在设备退役前残余的百分比。

z = 报废处理时对致冷剂的回收百分比。报废处理时回收的致冷剂应从排放总量中予以扣除，如果报废处理时没有致冷剂回收工艺，则 z 值为零。

<sup>55</sup> 生产企业也需要新致冷剂作储备。可以在计算公式中增加一项来反映该储备量；为简化起见，此处未予以考虑。

## 排放因子选择

### 基于销售量数据的自上而下方法

基于销售量数据的自上而下方法是根据致冷剂化学品的销售量计算排放量，它不需要知道致冷设备的泄漏率，因而无需用到排放因子。

### 自下而上方法

自下而上方法 *优良作法* 是根据设备制造商、维修商以及报废处理公司提供的信息来选择本国的排放因子。清单机构在无法得到本国的排放因子时，可以使用表 3.22 “固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值（专家判断）”中列出的缺省排放因子，该表总结了专家们对固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值。这些缺省值都是区间估计而非点估计，它反映了人类目前对致冷设备工业信息了解的程度。清单机构应该根据本国的具体情况，从这些区间估计中选取适合的排放参数，并在清单报告中对选择情况加以解释说明。清单机构要求根据表 3.21 “固定式制冷文档报告的优良作法”对致冷设备分类，然后把收集到的自下而上的数据分解到各设备类型。如果无法分解到设备类型，*优良作法* 就是借助专家判断估算每种设备类型在自下而上数据中的相对贡献率，然后为最常用的几种致冷设备选择适当的缺省排放因子（参见第 6 章“不确定性的量化”第 6.2.5 节“专家判断”）。

## 活动水平数据选择

### 基于销售量数据的自上而下方法

生产致冷剂化学品的国家清单机构，应根据化学品制造商提供的信息估算每年度 *新生产的致冷剂的销售量*。化学品的进口数据可以从海关统计资料、进口商以及经销商处收集（参见方框 3.4 “致冷设备进出口数据收集的说明”，它讨论了清单机构在估算致冷剂年度销售量以及公式中的其它变量时应如何处理进出口数据）。

*新致冷设备的致冷剂充填总量* 可以采用如下任意一种方法来估算：

- 从设备制造商或进口商处调查所生产或进口的设备的致冷剂充填量；
- 从致冷剂化学品制造商或进口商处调查出售给致冷设备制造商的化学品数量。

第一种方法的数据来源可能比第二种更好，因为一些新致冷设备可能不是由设备制造商来充填致冷剂，而且设备制造商购买的致冷剂中可能有一部分没有用来充填新生产的致冷设备（例如，部分致冷剂可能用于对现役设备的售后服务）。

*对退役设备的致冷剂初始充填总量* 的估算可以使用与 *新设备的充填总量* 相同的数据来源。但在此必须调查退役设备制造年份的历史数据。退役设备的制造年份用当前年份减去设备的使用寿命来进行逆推。有关设备使用寿命的资料可以从设备制造商和用户处收集。表 3.22 “固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值（专家判断）”提供了 7 种不同设备类型的缺省值，在缺乏空调和致冷设备的分类数据时，所有制冷设备作为一个整体的使用寿命的缺省值为 10-15 年。

## 完整性

对于自上而下方法，只要获得当年新生产致冷设备以及退役设备的致冷剂使用数据，就可以保证完整性。但对自下而上方法，完整性取决于活动水平数据是否涵盖了目前已有的全部致冷设备存量，清单机构追需要追踪调查大量数据才能保证完整性。

## 建立一致的时间序列

应采用相同方法来估算时间序列中所有年份的排放量，如果其中某年份的数据无法获得，应按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中提供的指南进行重新计算。

### 框 3.4

#### 对收集致冷剂和致冷设备进出口数据的说明

在估算新生产致冷剂年度销售量、新设备总充填量和退役设备初始充填总量时，清单机构应该收集致冷设备以及致冷剂和致冷设备的进出口量数据，以保证获得本国致冷剂和致冷设备的实际消费数据。举例来说，如果一个国家消费的 HFC-134a 中有很大一部分来自进口，那么必须将这部分进口量统计到年度销售数量中去。又如，如果一个国家将大量的充填了致冷剂的家用电冰箱出口到国外，那么这些出口电冰箱的致冷剂充填量必须从该国生产的家用电冰箱的致冷剂充填总量中予以扣除，这样得到的才是新致冷设备的致冷剂充填总量的真实数据。

**通用方法：**估算致冷剂年度销售量的通用公式如下：

$$\text{致冷剂年度销售量} = \text{国内生产量} + \text{进口量} - \text{出口量} + \text{进口设备产地充填量} - \text{出口设备产地充填量}$$

所有数据年份均为排放估算目标年。同样，新生产致冷设备的致冷剂充填总量可以用如下公式估算：

$$\text{新设备致冷剂充填总量} = \text{国产设备充填总量} + \text{进口设备非产地充填量} + \text{进口设备产地充填量} - \text{出口设备产地充填量}$$

退役致冷设备的致冷剂初始充填总量应该采用与新生产致冷设备相同的方法来估算，不同之处在于所用数据为退役设备在制造年份或者进口年份的历史数据。

**简化方法：**在估算致冷剂年度销售量以及新设备充填总量时，有时由于进出口的致冷设备在产地充填的致冷剂数量在公式中相互抵消，上面两式中可以简化掉末尾两项。但是，清单机构使用简化公式时，必须保证：(1)在估算致冷剂年度销售量和新设备充填总量时，采用相同方式处理进出口量；(2)在估算退役致冷设备初始充填总量时，继续考虑进出口设备的产地充填量。由于新设备最终也会变成退役设备，虽然估算本年度排放并非必须严格考虑进出口量，但各国可能希望能够追踪产地充填量的进出口情况。

**致冷剂年度销售量的简化计算公式为：**

$$\text{致冷剂年度销售量} = \text{国内生产量} + \text{进口量} - \text{出口量}$$

**新致冷设备充填总量的简化计算公式为：**

$$\text{新致冷设备充填总量} = \text{国产设备充填总量} + \text{进口设备非产地充填量}$$

计算退役致冷设备初始充填总量时，必须采用没有简化的计算公式，即要求考虑进出口致冷设备在产地充填的致冷剂数量。

## 不确定性评估

从表 3.22 “固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值（专家判断）”列出的那些对缺省排放因子的区间估计表明对固定式制冷排放源的估算存在很大的不确定性。一般来说，基于排放因子的自下而上方法比基于致冷剂销售量的自上而下方法存在更大的不确定性。清单机构应使用第 6 章“不确定性的量化”中的方法，通过专家判断来寻求不确定性的行业建议。

### 3.7.4.2 报告和归档

表 3.21 “固定式制冷排放源报告文档管理的优良作法”列出了为保证所报告的排放量估算值的透明度而必须提供的支持信息。

表 3.21 固定式制冷排放源报告文档管理的优良作法		
优良作法应报告的信息	方法 2 (自上而下)	方法 2 (自下而上)
新制冷剂年度销售总量	X	
新设备的致制冷剂充填总量	X	X
退役设备初始充填总量	X	X
全部现有设备充填总量		X
设备的使用寿命	X	X
采用本国使用寿命数据时的解释说明	X	X
排放因子与回收因子		X
采用本国因子时的解释说明		X
资料来源：专家组判断（参见：臭氧消耗物质替代品专家组联合主席、编辑和专家）。		

### 3.7.4.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章“质量保证和质量控制”介绍的内容外，下面给出与该子源类别相关的其它具体程序。

- 同时采用自下而上方法和简化的自上而下方法时，可以进行最终排放估算的交叉检验。
- 用自上而下数据检查自下而上方法所采用的排放因子的准确性，因为自下而上方法的排放因子的不确定性最高。

这种检查也可以降低漏算一些终端用户的可能性。

以上程序类似于能源部门中的“参考方法”，两者都采用简化的自上而下方法对较详细的自下而上方法的估算结果进行交叉检验。

表 3.22  
固定式制冷设备的致冷剂充填量、使用寿命以及排放因子的最佳估算值（专家判断）

设备类型	充填量 (kg)	寿命期 (年)	排放因子（每年为初始充填量的%）		
			(k)	(x)	(z)
公式中的参数	( $E_{i \text{ 充填}}$ )	(n)	初始排放	寿命期排放	寿命期末排放（回收效率）
家用致冷设备	$0.05 \leq c \leq 0.5$	$12 \leq t \leq 15$	$0.2 \leq e \leq 1$	$0.1 \leq e \leq 0.5$	残余量的 70%
单机商用	$0.2 \leq c \leq 6$	$8 \leq t \leq 12$	$0.5 \leq e \leq 3$	$1 \leq e \leq 10$	残余量的 70% - 80%
中大型商用致冷	$50 \leq c \leq 2000$	$7 \leq t \leq 10$	$0.5 \leq e \leq 3$	$10 \leq e \leq 30$	残余量的 80% - 90%
交通运输制冷	$3 \leq c \leq 8$	$6 \leq t \leq 9$	$0.2 \leq e \leq 1$	$15 \leq e \leq 50$	残余量的 70% - 80%
工业致冷，包括食品 加工和冷藏	$10 \leq c \leq 10K$	$10 \leq t \leq 20$	$0.5 \leq e \leq 3$	$7 \leq e \leq 25$	残余量的 80% - 90%
冷却器	$10 \leq c \leq 2000$	$10 \leq t \leq 30$	$0.2 \leq e \leq 1$	$2 \leq e \leq 15$	残余量的 80% - 95%
居民和商业用空调， 包括热泵	$0.5 \leq c \leq 100$	$10 \leq t \leq 15$	$0.2 \leq e \leq 1$	$1 \leq e \leq 5$	残余量的 70% - 80%

注：致冷剂输配损失（运输损失以及用储罐运输的罐底残留）约占年度销售量的 2%—10%（ICF 1998: Analysis of Refrigerant Emissions Resulting from Improper Disposal of 30-lb Cylinders. Prepared by ICF Incorporated, Washington, DC. June 2, 1998）。应注意到每个国家在编制其温室气体清单时将使用本国数据。

资料来源：Clodic（1999）。

## 3.7.5 移动式空调子源类别

### 3.7.5.1 方法学问题

汽车工业自 1995 年起在新型汽车的移动式空调(MAC)上开始应用 HFC-134a。移动式空调为小汽车、卡车、火车、有轨电车及公共汽车的乘客提供制冷服务。此外，一些利用自身系统（安装在发动机上的压缩机）制冷的卡车也应用 HFC-134a。

过去，移动式空调系统使得空调在提供服务的同时将制冷剂排入了大气。当对 MAC 进行维修时，通过实行制冷剂循环程序，能够明显降低制冷剂的排放。

### 方法选择

应根据具体国情来选择*优良作法*（参见图 3.16 “移动式空调子源类别实际排放决策树”）。对所有类型的致冷和空调设备排放估算的方法 2 之下的一般方法参见《IPCC 指南》第 3 卷第 2.17.4.2 节“致冷及空调设备利用的 HFC 和 PFC 排放估算”、以及前文所述的固定式致冷的*优良作法*。方法 2 的一般公式如下<sup>56</sup>：

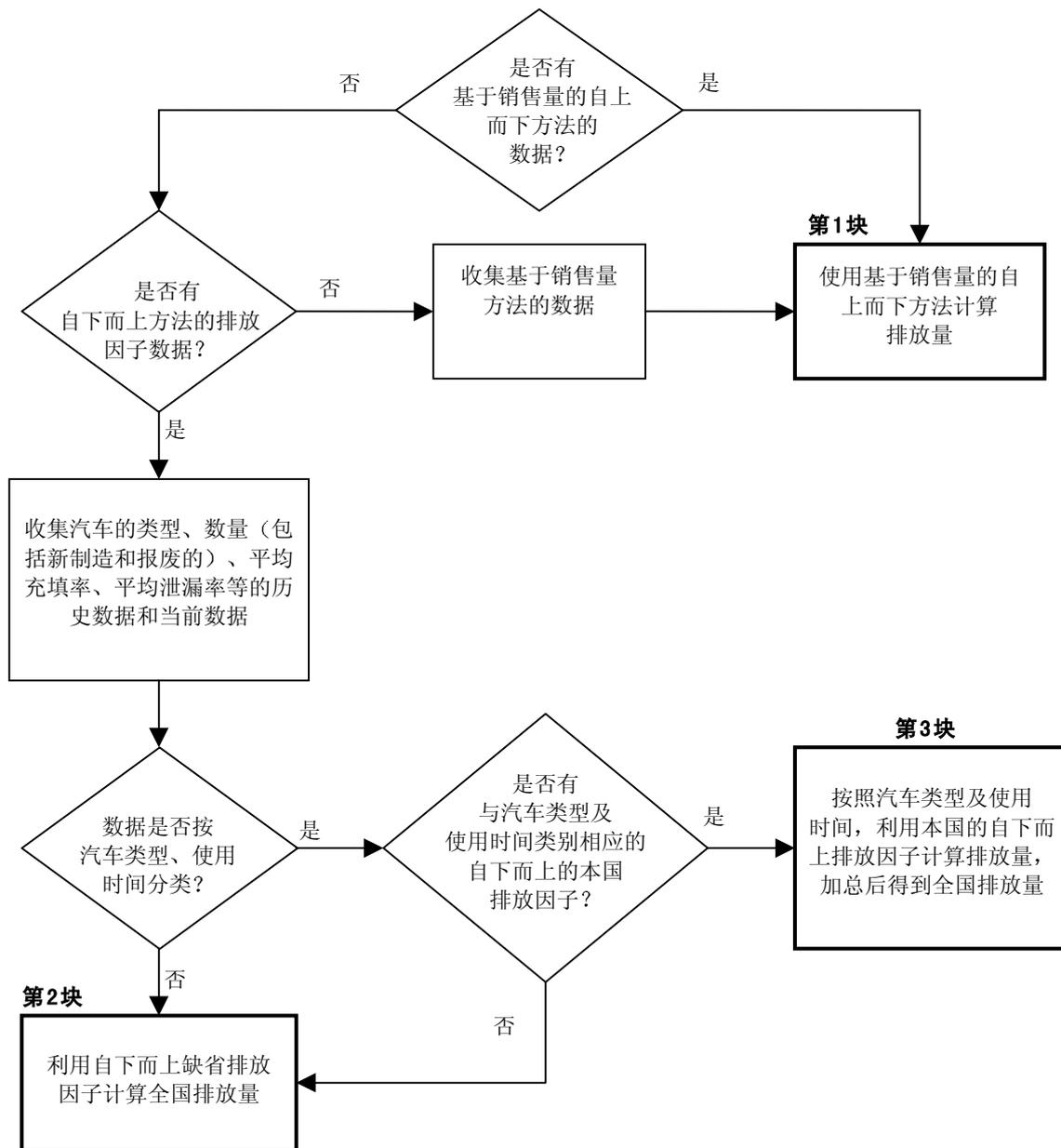
#### 公式 3.44

$$\text{HFC-134a 年排放量} = \text{初次充填排放} + \text{运行排放} + \text{清理排放} - \text{人为消除量}$$

初次充填排放包括汽车制造商或零配件市场 MAC 装配商在装配时对所有 MAC 单元进行充填过程中的制冷剂排放（潜在的未来排放），即使所生产车辆最终用于出口。运行排放包括不论产地的所有在役 MAC 的泄漏，包括维修排放。清理排放包括来自废弃的 MAC 系统的制冷剂释放量。

<sup>56</sup> 对于该子源类别，‘初次充填’排放等于固定式致冷子源类别的‘装配’排放。

图 3.16 移动式空调子源类别实际排放决策树（方法 2）



### 自上而下方法

自上而下的方法 2 是最准确的方法，因为这种方法数据少，只要求这些数据稳定可靠，所需的假设条件很少。自上而下方法的排放量估算采用化学品销售量数据折算出的移动式空调行业使用的全部 HFC-134a 的销售份额来替代制冷剂的泄漏量（例如汽车制造商、零配件市场装配商、维修公司）。该值与初次充填及清理排放量相加即为年度总排放量。自上而下的完整公式列于本节末。此公式可分解为几个部分，如下所示：

利用排放因子（EF）表示初次充填过程中逃逸排放（装配过程损失）的 HFC-134a 的比例（如 0.005）来计算初次充填排放量。

#### 公式 3.45

$$\text{初次充填排放量} = (\text{EF}) \cdot (\text{MAC 新设备的 HFC-134a 的年度新使用量})$$

既未在初次充填中逃逸排放又未充填入 MAC 新设备的新的 HFC-134a，必然被用于现有设备的维修并在上一年的运行中泄漏排放。因此，可根据下式计算运转排放量。

#### 公式 3.46

$$\text{运行排放} = (\text{每年出售给 MAC 企业的新的 HFC-134a 总量}) - (\text{每年用于 MAC 新设备的新的 HFC-134a 初次充填量})$$

上式中隐含了制冷剂的回收利用，因为回收利用会减少一个国家或地区对新制冷剂的总需求量<sup>57</sup>。

MAC 设备退役时的排放量在扣除销毁量后应等于该年度报废汽车中的 HFC-134a 总量。作为一个边界条件，即使 MAC 未来不再引入新的 HFC-134a，下式也可以用于继续估算寿命期内设备的未来排放。

#### 公式 3.47

$$\begin{aligned} \text{清理排放} = & (\text{使用 HFC-134a MAC 的汽车年报废率}) \\ & \cdot (\text{使用 HFC-134a MAC 的汽车数量}) \\ & \cdot (\text{HFC-134a 平均充填率/辆}) - \text{销毁量} \end{aligned}$$

如上所述，回收利用的制冷剂量不应包括在该式中，因为回收利用已降低了本国对新 HFC-134a 的需求量，因此也隐含地降低了排放。在此处减去 HFC-134a 的回收利用量将导致排放量的低估。

### 自下而上方法

方法 2 也能以自下而上方式应用，需要估算本国 MAC 设备的数量、每辆车的平均充填量和以排放因子表示的泄漏率。初次充填公式与自上而下方法类似：

#### 公式 3.48

$$\text{初次充填量} = (\text{t 年的 HFC-134a 充填总量}) \cdot (k / 100)$$

k 可与自上而下方法中的排放因子(EF)具有可比性，因为它们都代表初始充填的排放比例。

<sup>57</sup> 从维修和报废中进行回收利用的国家或地区的总排量将明显减少，据估计可减排 60%。

公式 3.49

$$\text{运行排放} = (\text{t年的 HFC-134a 存量}) \cdot (x/100)$$

其中排放因子  $x$  表示年排放率，也就是与总充填量的百分比。本公式应针对不同类型的 MAC，因为泄漏率与车型及使用年限有关，MAC 旧设备的泄漏率比新设备高。本国全部汽车的 HFC-134a 存量应该包括所有在役系统的使用量。汽车维修和废料的回收利用措施可以降低新制冷剂的使用量。

计算清理排放量需要了解汽车的平均使用寿命( $n$ )以及  $n$  年前的初次充填量。公式如下：

公式 3.50

$$\text{清理排放} = (\text{第 } t-n \text{ 年 HFC-134a 充填量}) \cdot (y/100) \cdot (1-z/100)$$

其中变量  $y$  是清理时 MAC 设备初始充填残留量的百分比， $z$  等于清理时的回收效率。如果制冷剂在清理过程有回收利用，则总量中应该减去这部分的比例。如果没有循环利用， $z$  等于 0。

## 排放因子选择

### 自上而下方法

自上而下方法只要求初始充填的排放因子。如果测量数据不可获得，*优良作法*是采用 0.5% (0.005)。如果采用其它假设，需要进行充分说明。

### 自下而上方法

使用自下而上方法的清单机构应尽力开发参数  $x$ 、 $n$ 、 $k$ 、 $y$ 、 $z$  的本国当前值。如果采用了本国的某个参数值，需要进行充分说明。如果没有本国数值，可采用表 3.23 “MAC 子源类别 ODS 替代品的缺省排放参数（自下而上方法）”所列的《IPCC 指南》缺省排放因子及根据行业最新情况更新的数据。

表 3.23  
MAC 子源类别 ODS 替代品的缺省排放参数（自下而上方法）

自下而上排放参数	IPCC 缺省值	更新缺省值
平均使用年限 ( $n$ )	12 年	12 年
MAC 系统排放率 ( $x$ )	10-30%	10-20%
初次充填排放率 ( $k$ )	4-5%	0.5%
典型残留量 ( $y$ )	75%	40%
回收率 <sup>a</sup> ( $z$ )	0%	0%

<sup>a</sup> 回收利用系统的回收比例是回收设备效率、技术人员的技能（HFC-134a 回收利用的潜能）及系统有效性（维修中采用回收系统的比例）的函数。

资料来源：Baker (1999)。

MAC 系统的排放率( $x$ )主要取决于是否有回收利用，对于有回收利用的国家采用下限（10%）比较合适；无回收利用时排放率在 20%左右。系统排放率选择与回收率选择相关。如果有回收利用，在汽车空调系统的维修过程及

寿命期末都能够降低排放量，此时该国家的清单机构使用的回收率（z）应该大于 0。反之，应选择使用较高的 x 值并取 z 值为 0%。

### 排放量确认

自上而下和自下而上方法的结果应该一致，差异应在 10% 以内。

## 活动水平数据选择

### 自上而下方法

自上而下方法要求的活动水平数据包括：销售给 MAC 工业的 HFC-134a 数量、初次充填量、确定报废汽车中 HFC-134a 数量所需要的变量以及 HFC-134a 销毁量。下面将分别加以讨论。

- **新 HFC-134a 总量**仅包括新生产的销售给 MAC 终端用户的数量。终端用户包括汽车制造商、零配件装配商及维修店（在销售前充填制冷剂）。在制冷剂经销商清单中所列的 HFC-134a 如果不是用于移动式空调系统，则不应计入当年的估算。如果有大量的终端用户，清单机构应该直接从化学品制造商和制冷剂经销商处获取资料。进口化学品数据应该从海关、进口商和经销商处获得。
- **HFC-134a 初次充填总量**是汽车制造商(OEM)或者零配件装配商购买并充填于移动式空调系统的 HFC-134a 数量，包括充填过程中的损失（初次充填排放）。有本国汽车工业的国家的汽车制造商能够提供这些数据。额外数据还可以从空调零配件装配商手中获得<sup>58</sup>。
- **清理排放**：如果每年含有 HFC-134a 的报废汽车的数量未知，那么应根据汽车报废率来估算。如果可能，报废率应该按照模型年进行分类，并使用每个模型年中充填了 HFC-134a 的 MAC 平均报废率。如果汽车注册统计数字不能提供报废率，可采用 8%的缺省值。一个国家的汽车注册总数来自正式的政府统计表。MAC 的装备率可以从汽车制造商和进口商处得到。HFC-134a 在 MAC 市场的占有率应该以行业专家判断为基础来估算。
- **HFC-134a 平均充填量**是国家汽车制冷剂充填的加权平均值，《IPCC 指南》中的缺省值为 0.8 千克/辆。
- **HFC-134a 销毁量**目前尚未广泛应用。但是清单机构如有这方面的数据，应在公式中加以考虑并进行说明，以避免对排放量的过高估算。

<sup>58</sup> 汽车在船运时，制冷剂被认为是贮于容器中（如：移动式空调系统），不会产生排放。

缺省参数见表 3.24 “MAC 子源类别 ODS 替代品的 IPCC 缺省排放参数（自上而下方法）”。

<b>表 3.24</b>	
<b>MAC 子源类别 ODS 替代品的 IPCC 缺省排放参数（自上而下方法）</b>	
自上而下排放参数	缺省值
HFC-134a 平均充填量	0.80 千克/辆 <sup>a</sup>
汽车报废率	8%
新车初次充填时制冷剂排放量	排放因子=系统平均充填量的 0.5%
<sup>a</sup> 适用于客车。轻型卡车为 1.2 千克/辆（Atkinson, 1999）。	
资料来源：Atkinson 和 Baker（1999）。	

### 自下而上方法

自下而上方法要求的数据有：每年 HFC-134a 充填量、每年度所有 MAC 中的 HFC-134a 存量、MAC 寿期末 HFC-134a 的残余量。

- **HFC-134a 充填总量**与自上而下方法需要的数值相同，此数据可从汽车制造商和 MAC 零配件装配商处获得。
- **HFC-134a 存量**等于使用 HFC-134a 的汽车数量乘以每辆汽车平均充填量。此项数据可从汽车制造商最近几年提供的数据中获得。如果某种汽车的数据无法获得，可以采用自上而下方法中的缺省值（0.8 千克/辆）。
- 以前充填入 MAC 设备中的 **HFC-134a 数量**不仅应包括国内生产并充填的设备，还应包括对进口设备的充填量。作为总量估算，需要初次充填量的历史数据。考虑到近几年 HFC 才开始广泛应用于 MAC，为得到所需数据不需要追溯很多年前的资料。

### 完整性

对于自上而下方法不需要区分进口汽车或者进口空调设备，因为从本质上说，它们不过是“容器”而已。初次充填排放量在生产国报告。汽车一经进口，以后所发生的其余排放量计算在进口国报告，包括当地销售商的制冷剂添加量以及从登记在册的汽车中（包括进口汽车）对进口汽车“售后维修排放”估算等来说明进口汽车的排放量。同样，也无需单独报告出口情况，因为在公式已经得到了说明。对生产国或地区仅计入初次充填排放（系统充填的 0.05%），其余排放将由进口国或地区来报告。

对于自下而上的方法，完整性依赖于汽车活动水平数据的覆盖面，尤其是进口汽车及零配件 MAC 设备的运行情况资料。

### 建立一致的时间序列

应采用相同方法和数据来源估算时间序列中所有年份的移动式空调排放量，如果其中某年份的数据无法获得，应按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中提供的指南进行重新计算。

## 不确定性评估

自下而上方法的不确定性高于自上而下方法，因为缺乏内部核查程序来保证其完整性。自上而下方法提供了上限值，因此真实值超过估计值的可能性较低。清单机构应该针对不确定性征求行业意见，按照第 6 章“不确定性的量化”中描述的方法获得行业专家评价。

### 3.7.5.2 报告和归档

应收集并报告表 3.25 “移动式空调文档记录的优良作法”的背景数据。

对于自下而上方法，清单机构有必要报告说明维修中对 HFC-134a 的回收方法（如：x 值的选择）。对回收率相关数值应作清楚说明。

### 3.7.5.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1 “方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放量估算的专家审评要求进行质量控制核查。其它如第 8.7 节“按排放源区分的质量控制程序（方法 2）”所列出的质量控制核查和质量保证程序也可以应用，尤其是采用较高级方法计算该排放源的排放量时。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

表 3.25  
移动式空调文档记录的优良作法

数据来源	需要报告的数据	自上而下	自下而上	数据来源 <sup>a</sup>
政府统计	报废车辆数	X	X	G
	国家汽车注册数	X	X	G
制冷剂经销商	MAC 市场对终端用户的新 HFC-134a 销售总量	X		I/G
汽车制造商	直接向制冷剂制造商购买的新 HFC-134a 总量（包括 HFC-134a 进口量）	X		I
	用于初次充填 HFC-134a 空调系统的新制冷剂（吨，自下而上方法）	X	X	I
	HFC-134a 空调系统充填量的加权平均	X	X	I
	汽车销售量及配备 HFC-134a 空调系统的比例	X	X	I
汽车进口商	进口汽车总量及配备 HFC-134a 空调系统的比例	X	X	I/G
零配件系统制造商/装配商	用于新系统的新 HFC-134a 初次充填量（吨，自下而上方法）	X	X	I
	国家或地区 HFC-134a 空调系统的销售量	X	X	I/G
新系统制造商和装配商	如果与缺省值有明显差异时的实际过程排放量	X	X	I
其它自下而上方法的信息	清理过程中 HFC-134a 的可回收比例 (z)		X	I/G
	现有系统的年泄漏率 (x)		X	I
	汽车平均寿命 (n)		X	I
	系统初次充填时间 t - n		X	I
	系统清理时 HFC-134a 残留量 (y)		X	I
	空调系统初始充填时间 t - n		X	I

<sup>a</sup> ‘I’ = 行业，‘G’ = 政府。

资料来源：专家组判断（参见臭氧消耗物质替代品专家组联合主席、编辑和专家）。

## 3.7.6 消防子源类别

### 3.7.6.1 方法学问题

消防设备使用哈龙及其部分代用品 HFC/PFC，通常有两种类型：便携式（小溪式）和固定式（洪水式）。HFC 和 PFC 作为哈龙的代用品主要用于固定式设备。

#### 方法选择

火灾事故发生时，消防设备需要释放灭火剂。研究表明消防设备年使用率不超过已有设备的 2%，此外泄露和意外排放占当年已有设备的近 5%。考虑到消防机构使用灭火剂的成本以及分阶段淘汰哈龙的经验，在消防设备达到有效期时有较高比例（85%）的 HFCs/PFCs 可以回收。消防设备的有效期基于其应用场合，例如，由于电子技术的迅速发展，用于电子设备的灭火器的有效期通常不到 10 年。要根据国情来选择优良作法方法（参见图 3.17 “消防子源类别 ODS 替代品排放估算决策树”）。《IPCC 指南》认为排放量是每年新设备中 HFC/PFC 充填量的函数。

#### 公式 3.51

$$t \text{ 年 HFCs 或 PFCs 排放量} = (\text{用于充填新消防设备的 HFCs/PFCs}) \cdot (\text{按百分比计的排放因子})$$

排放因子表示一年中新充填 HFCs/PFCs 的释放比例。事实上，HFCs/PFCs 的排放时间超过一年，因此该排放因子也表示来自往年充填量的排放。若选择基于年产量的排放因子来反映多年排放过程将导致相当大的误差<sup>59</sup>。

优良作法是采用自上而下方法来模拟排放，类似于《蒙特利尔议定书》哈龙技术选择委员会估算哈龙排放量的方法。然而，在该模型能够适用于 ODS 替代品之前，应修改 IPCC 公式以计入往年使用 HFC 和 PFC 的设备的排放。经此修改，该公式与固定式致冷和移动式空调的自上而下方法 2 具有可比性<sup>60</sup>。

#### 公式 3.52

$$\text{排放量} = \text{消防用 HFC/PFC 的年销售量} - (\text{新消防设备 HFC/PFC 充填量} \\ - \text{退役消防设备中 HFC/PFC 的原始充填量})$$

每年对消防工业的 HFC/PFC 销售量与保有量之间的差异，就等于化学品的大气排放量。HFC/PFC 保有量的变化等于新设备充填量与退役设备总含量之差。

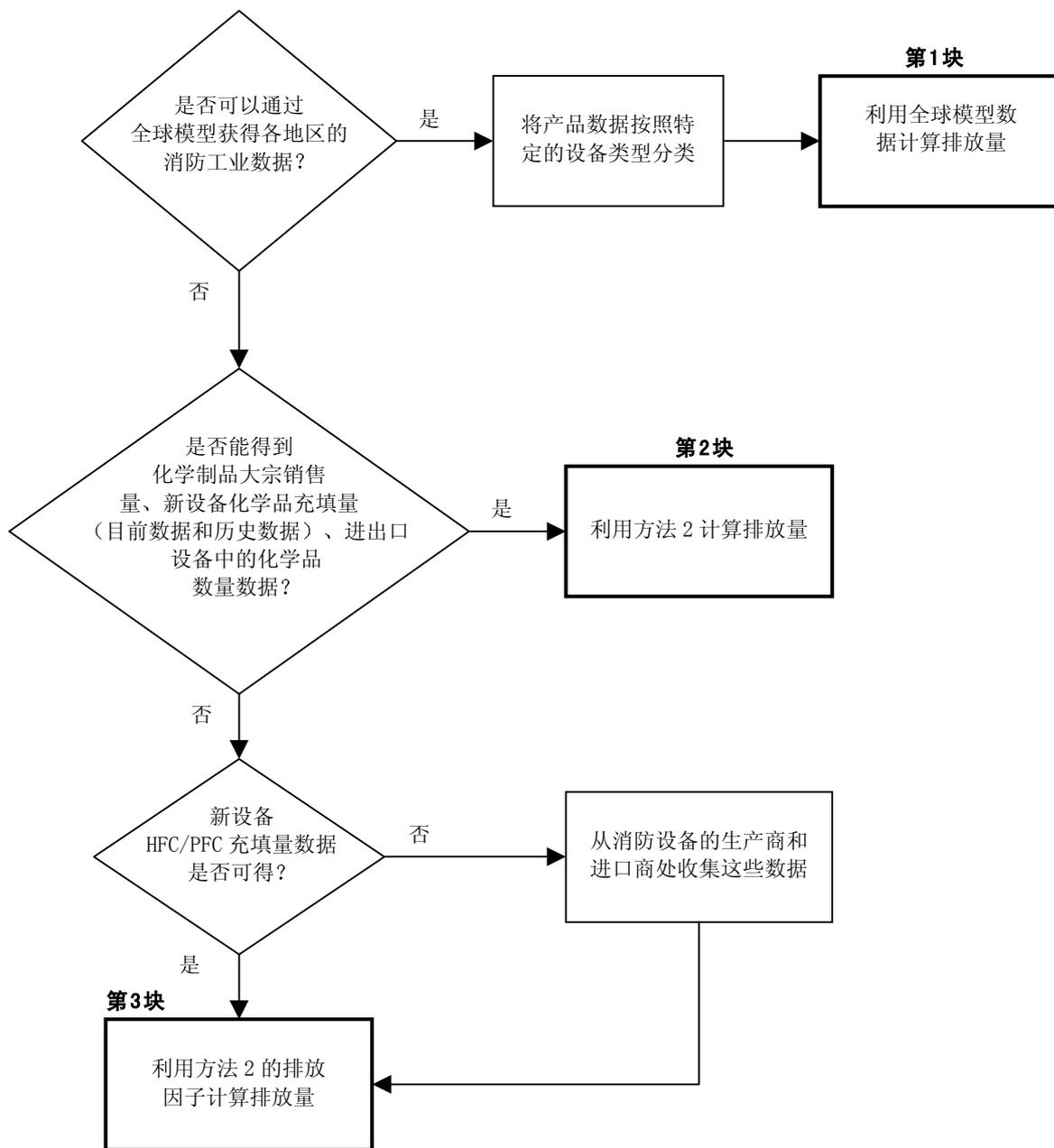
该式应分别应用于消防用 HFC 和 PFC。全部碳当量排放等于所有 HFC 和 PFC 碳当量排放的总和。跟踪使用 HFC 或 PFC 的消防设备的进出口量对保证准确估算排放量非常重要。

方法 2 的自下而上方法不适用于消防子源类别，因为多数国家没有所需要的活动水平数据。目前海关的编码及政府统计均没有区分设备中的 ODS 替代品与其它化合物。例如，即使考虑各个消防单位，目前尚无特殊措施来区别使用 ODS 替代品的单位和使用其它化学品的单位。

<sup>59</sup> 以设备保有量为基础比以设备生产量为基础计算排放率更重要。哈龙的经验表明，停产并不意味着停止排放，实际上保有设备还将按照原有模式继续排放。

<sup>60</sup> 消防子源类别的以销售量为基础的方法在本质上与固定式致冷子源类别的方法相同。

图 3.17 消防子源类别 ODS 替代品排放估算决策树



## 排放因子选择

方法 2 中自上而下方法不要求排放因子。但是，如果没有往年的活动水平数据则仍需要排放因子，可以使用《IPCC 指南》中给出的缺省值，见表 3.26 “消防子源类别的 IPCC 缺省排放参数（自下而上方法）”。

设备类型	HFCs/PFCs 安装比例
便携式	5%
固定式	5%
资料来源：HTOC (1998)。	

## 活动水平数据选择

自上而下方法所需活动水平数据集中于化学品的调配，而不是排放源。对于较高级方法，下述类型数据都需要。如果采用缺省排放因子，则只要求第二种类型数据。

- **用于消防工业的 HFC 和 PFC 的年销售量及进口量：**国内数据来源于 HFC/PFC 制造商，进口化学品数据来源于海关和化学品经销商。
- **新消防设备的 HFC 和 PFC 充填量：**从消防设备制造商或进口商处获得的信息可以估算生产品和出口品中的总充填量。
- **退役设备中 HFC 和 PFC 的初始充填量：**消防设备制造商和进口商能够提供设备的平均使用年限及退役设备的初始充填量。由于设备使用年限很长，可能长达 35 年，而 ODS 替代品最近才被引入该行业，因此目前退役设备中的 HFC 和 PFC 数量可能很少。

基于设备中哈龙充填量和可回收利用的供给量，1991 年开发了一个全球哈龙排放量的自上而下估算模型<sup>61</sup>。为了确定各地区消防工业的 HFC/PFC 销售量在全球总量中的份额，将来也可能开发同样的模型，还可以把这些产品推广到全球各地区<sup>62</sup>。该模型将对那些不易获得全国消防工业 HFC/PFC 数据的国家提供帮助。

## 完整性

清单机构应保证所作估算涵盖了所有应用于消防工业的 HFC 和 PFC。如果化学品的销售量及进口量数据完整，则最终估算结果也应当是完整的。

全球产量合计应等于全球排放总量加上设备中储存的 ODS 替代品的总量。对于未来准备应用全球模型的清单机构，如果能收集到准确的全球及地区数据，那么其估算结果就是完整的。

<sup>61</sup> 模型于 1992 年发表于《蒙特利尔议定书》哈龙技术选择委员会(HTOC)报告，得到广泛认同。

<sup>62</sup> 专家委员会建议模型包括如下 10 个地区：北美、欧洲、日本、澳大利亚/新西兰、印度次大陆、东北亚、东盟、非洲（含土耳其）、拉丁美洲、经济转型国家(CEITs)。

## 建立一致的时间序列

在一些国家，由于 HFC/PFC 近年才被引入，可能难以得到新设备充填量活动水平的历史数据。如果清单机构对这些年份采用基于哈龙历史数据得出的初步排放因子，然后又转到化学品销售量方法，那么应当遵循第 7 章“方法学选择与重新计算”中描述的优良作法以保证时间序列的一致性。

## 不确定性评估

方法 2 中的自上而下方法比简化的排放因子方法更准确，因为排放与年产量固定比例的相关性不是很好，排放因子不能很好地表达旧设备的排放。自上而下方法的准确性取决于所采用的化学品销售量的数据质量。这种方法估算年排放量的不确定性为 $\pm 10\%$ 。

预计全球模型的准确性更高，因为它基于已知数据并提供完整的物流平衡。在任何时候，全球产量应等于全球排放量加上设备中 ODS 替代品的全球总量。拆分到地区和国家的数据则有更大的不确定性。

### 3.7.6.2 报告和归档

保持数据机密性和透明性之间的平衡是一个重要问题，尤其对于消防这样使用率较低的子源类别。一种主要的 ODS 替代品只有一个制造商，其数量远远少于其它 ODS 替代品子源类别的情形。把数据以全球变暖潜力（GWP）加权准确汇总可能是解决这个问题的一种方法。

### 3.7.6.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是进行按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放量估算的专家审评意见进行质量控制核查。其它如第 8.7 节“按排放源区分的质量控制程序（方法 2）”所列出的质量控制核查和质量保证程序也可以进行，尤其是当采用较高级方法计算该排放源的排放量时。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的关键源类别采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章“质量保证和质量控制”的指南外，下面给出该子源类别的一些具体程序。全球使用化学品使用量及其数据来源的质量验证不能证实单个国家数据的情况。但是，可以通过以国家数据为子集的地区和全球排放量数据的交叉检验来进行质量控制。全球和地区排放因子的一致性将保证整个模型的完整性。

## 3.7.7 其它应用子源类别

### 3.7.7.1 方法学问题

HFC 和 PFC 代表着很大范围的气体种类，其特有的性质使其在上述子源类别中还没有涉及的一些特殊应用有着很好的前景，包括电子测试、传热、介质液、医疗应用以及潜在的尚未开发的新应用。这些应用中包括传统的 PFC 应用以及新兴的 HFC 应用，其年泄漏率变化范围在 100%（开放式应用）到 1% 之间。

### 方法选择

优良作法方法的选择取决于本国具体情况（参见图 3.18 “其它应用子源类别实际排放决策树（方法 2）”。这些特殊应用的终端用户极具多样性，不可能对每种应用都进行调查。作为替代方法，建议将这些应用分成类似于气雾剂和溶剂的高排放应用类型和类似于封闭式泡沫材料和冰箱的低排放应用类型。根据终端用户调查将年度气体消费量按上述两种类型用途划分。

建议采用如下划分方法：

- 开放式 = 总消费量的 X%
- 封闭型 = 总消费量的(100 - X)%

下面分别讨论这两种情形。

### 开放式应用

优良作法是采用自上而下方法，类似于气雾剂和溶剂的方法。这些液体平均售出 6 个月后将 100% 排放。换言之，t 年的排放量可按照溶剂和气雾剂的公式来计算：

公式 3.53

$$t \text{ 年的 HFC/PFC 排放量} = [t \text{ 年的 HFC/PFC 销售量} \cdot (EF)] \\ + [(t-1) \text{ 年的 HFC/PFC 销售量} \cdot (1-EF)]$$

排放因子 (EF) 表示第一年销售量中化学制品排放的比例。根据此定义，两年之后排放量应该达到 100%。每种化学制品应该单独使用此公式。总的 CO<sub>2</sub> 当量排放应该等于各种化学制品的 CO<sub>2</sub> 当量排放之和。

### 封闭式应用

某些特定应用损失率很低。如果能够获得自下而上数据，可以用一个单独的排放模型来调整这种低泄漏率。如果没有数据，可以采用自下而上缺省值的模型，公式如下：

公式 3.54

$$\text{排放量} = \text{生产排放} + \text{寿命期排放} + \text{清理排放}$$

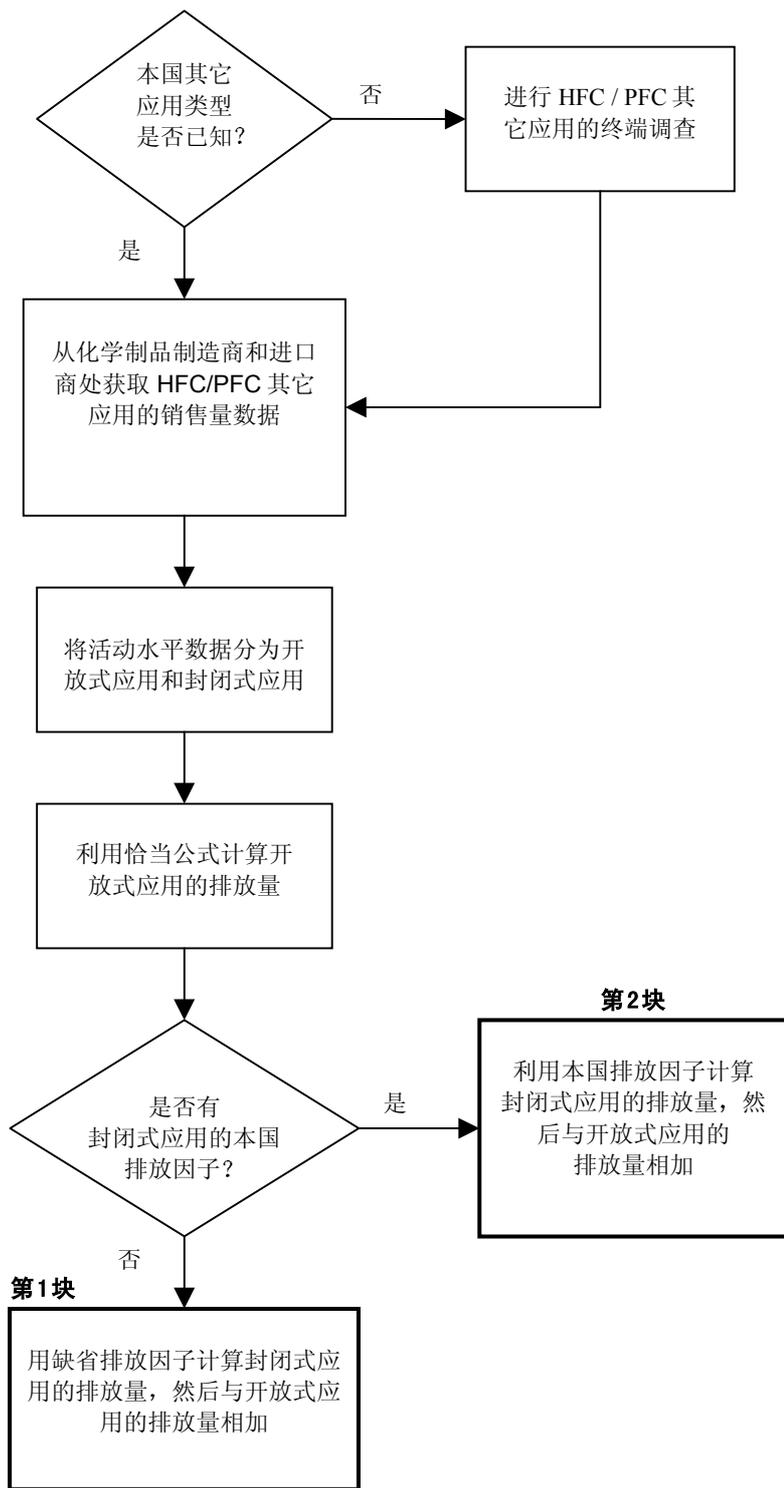
其中：

生产排放 = 年销售量 • 生产排放因子

寿命期排放 = 存量 • 泄漏率

清理排放 = 年销售量 • 清理排放因子

图 3.18 其它应用子源类别实际排放决策树(方法 2)



## 排放因子选择

### 开放式应用

如果没有终端使用的经验数据，*优良作法*是采用《IPCC 指南》中 50%的缺省排放因子，即第一年的排放为初始充填量的 50%，第二年排放剩余部分。如果采用其它排放因子，应加以解释说明。

### 封闭式应用

建议直接从终端用户获得数据。否则应采用表 3.27 “封闭式应用的 IPCC 缺省排放参数（其它应用子源类别）”所列出的缺省值。这些缺省值按照封闭式应用的特点，假设较低的年泄漏率和较长的设备寿命期。

排放参数	缺省值
生产排放因子	年销量的 1%
泄漏率	年销量的 2%
清理排放因子	年销量的 5%
设备寿命期	15 年
资料来源：Gamlen <i>et al.</i> (1986)。	

## 活动水平数据选择

其它应用的总销售量数据应该从 HFC/PFC 制造商和进口商处直接获得。HFC/PFC 的进口量可以从经销商处获得。多数国家由于本国产量很少而需要大量进口这些产品。也可以从终端用户处收集数据，但这种方式难度很大。开放式和封闭式应用的销售量比例通过终端用户调查确定。

对于封闭式应用，需要确定积液罐的容积大小，建议直接使用子源类别的终端数据来确定。如果得不到该数据，*优良作法*是采用缺省值 10 乘以年销售量。这样，包括生产和清理损失在内的年排放量平均值为封闭式应用的化学品销售量的 26%，而开放式应用的排放量则为 100%的年销售量。

## 完整性

由于没有固定的其它应用排放源名单，完整性很难保证。清单机构应通过化学品制造商和进口商，了解购买 HFC/PFC 的其它行业的定性信息来调查可能的终端应用。

## 建立一致的时间序列

应采用相同方法和数据来源估算时间序列中所有年份其它应用中的 ODS 替代品的排放量，如果其中某年份的数据无法获得，应按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中提供的指南进行重新计算。

## 不确定性评估

化学品制造商数量少而这些气体的高价格会促使对相关记录进行存档，活动水平数据应该比较准确。在拆分开式和封闭式应用方面的不确定性较大，尤其是在没有开展终端使用调查的情况下会更大。对于开放式应用，如果气体销售相对稳定，两年中每年各排放 50%的缺省排放因子将最准确。尽管来自终端使用部门的数据可能比缺省值

要准确，但封闭式应用的排放因子不确定性更高。*优良作法*是采用第 6 章“不确定性的量化”中的方法与化学品供应商和终端部门讨论不确定性的估算问题。

### 3.7.7.2 报告和归档

清单机构应当报告该子源类别的总排放量，如果数据可以获得，应定性地罗列这些其它应用的子源类别。应该报告开放式应用与封闭式应用使用的化学品比例及本国排放因子（如果采用）。由于化学品制造商的数量和分布区域有限，可能存在保密性问题从而影响了透明度。这种情况下，为了保证保密性，有必要避免详细说明各种气体的排放，只报告汇总的按全球变暖潜力(GWP)加权的碳当量排放量。

### 3.7.7.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章“质量保证和质量控制”的指南外，下面给出该子源类别的一些具体程序：

- 建议同时采用自上而下数据和终端使用数据，以实现准确的质量控制和质量保证。
- 为便于对数据的质量水平和假设进行独立评估，应该量化调查访问的制造商、经销商和终端用户的数量。

## 3.8 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放估算

### 3.8.1 方法学问题

氯二氟代甲烷 (HCFC-22 或  $\text{CHClF}_2$ )<sup>63</sup> 生产过程中会生成副产品三氟甲烷 (HFC-23 或  $\text{CHF}_3$ ) 并从工厂的冷凝器出口排放。全球仅有少数几个 HCFC-22 生产厂, 它们是全部 HFC-23 排放的点源。

#### 方法选择

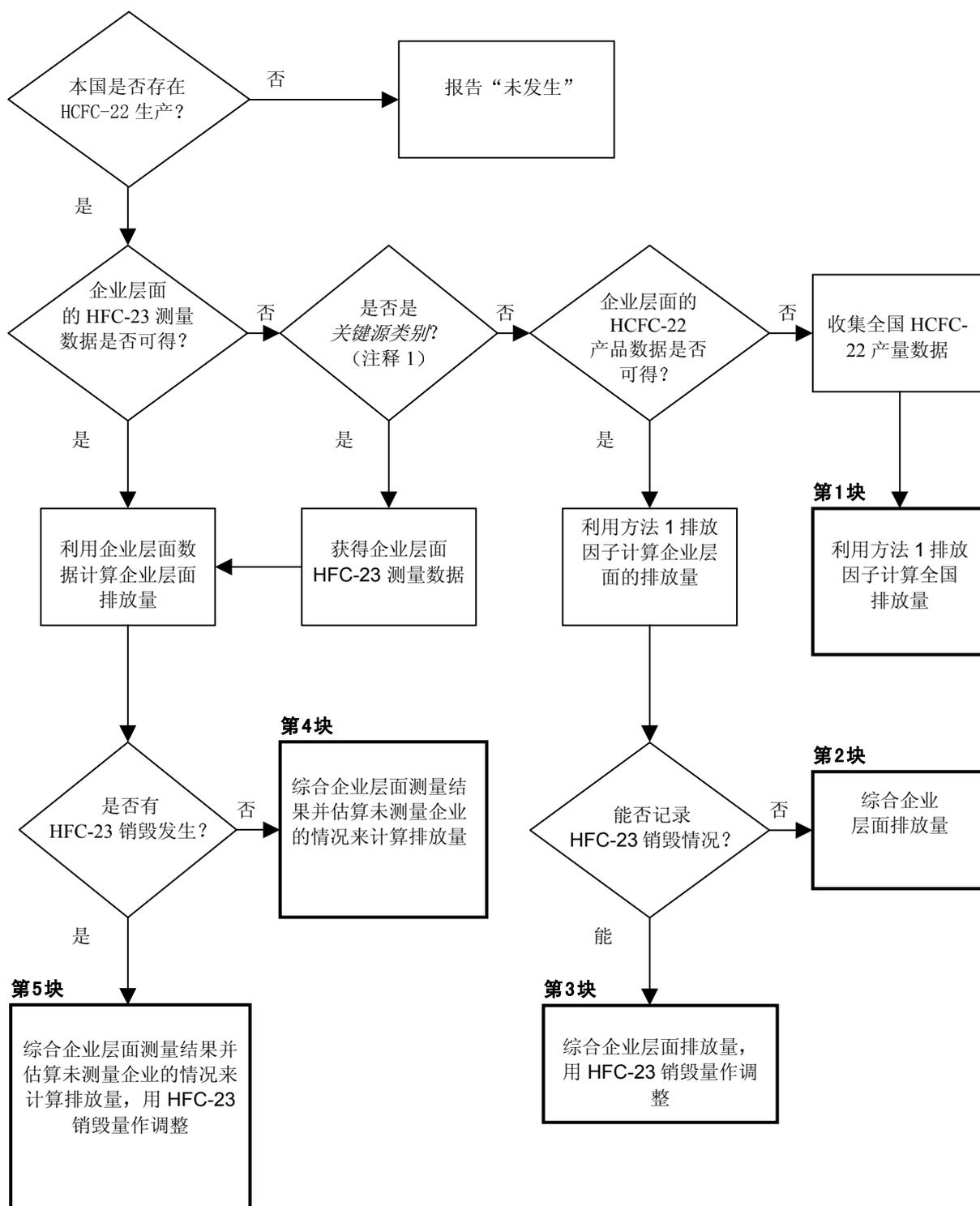
应根据国家具体情况来选择*优良作法*, 图 3.19 “HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放估算决策树” 所示的决策树描述了使《IPCC 指南》方法适应于国家具体情况的*优良作法*。

《IPCC 指南》(第 3 卷第 2.16.1 节“副产品排放”) 提供了估算 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放量的两种主要方法, 方法 2 基于对各企业的冷凝器出口浓度和流速的测量, HFC-23 浓度与其体积流量的乘积就是 HFC-23 排放的质量流量。方法 1 比较简单, 对 HCFC-22 产量采用缺省排放因子计算排放量, 可以在企业层面或国家层面应用。如果部分企业可以提供数据用方法 2 计算, 对其它企业则可以应用方法 1 计算以保证完整性。不管采用那种方法, 都应从估算出的总量中减去减排量以得到净排放量。

*优良作法*是尽可能采用方法 2。直接测量法显然比方法 1 更准确, 因为它反映了各企业生产设备的具体情况。多数情形下应该能够获得方法 2 的数据, 因为作为常规操作的一部分, 设备的良好运行要求对流程中或流程出口的工况进行经常或定期采样。对于采用去除 HFC-23 的减排技术的设备, 检查减排效率也是一项常规工作。方法 1 仅在极少数不能获得企业数据的情况下使用。

<sup>63</sup> HCFC-22 在几种不同场合中被用作致冷剂、泡沫发泡剂的混合剂以及合成纤维的原料。

图 3.19 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放估算决策树



**注释 1:** 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

## 排放因子选择

在方法 2 中有多种不同的采样频率及采样场所的测量方法可选择。通常，直接测量 HFC-23 排放量准确性最高。在生产流程内连续或多次测量的准确性与直接测量法几乎一样。两种方法要求足够的测量频率以表现生产过程中的变化（如：跨越催化剂寿命期）。有关测量频率的问题见方框 3.5 “企业测试频率”的总结。关于采样及其代表性的建议见第 8 章“质量保证和质量控制”。如果无法得到测量或采样数据而采用方法 1 时，在假定没有减排措施的情况下，可使用《IPCC 指南》中 4%的缺省排放因子（每生产 1 吨 HCFC-22 所产生的 HFC-23 吨数）。

### 框 3.5 企业测量频率

HFC-23 年度排放量估算的准确性和精确性与样本数量和采样频率直接相关。由于产品生产过程不是完全静态的，变化越快则要求的测量频率也越高。作为一般性原则，当企业生产过程明显改变时，需要重新进行采样和分析。确定抽样频率前，企业应首先设定准确性目标，然后利用统计方法决定样本数量。例如：HCFC-22 生产商的一项研究显示，每天一次抽样足以保证极其准确的年度估算。考虑到资源的可获得性，如有必要，可改变准确性目标。

RTI, Cadmus, *‘Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22’*, draft final report prepared for USEPA, February 1998.

## 活动水平数据选择

采用方法 1 时，产品数据应从生产企业直接获得。企业可以采用几种方法决定其产量水平，包括出货重量和使用流量计测量体积密度。这些数据应计入一年内所有的 HCFC-22 产量，无论是用以出售或作为原料供内部使用，并且企业需要描述如何决定 HCFC-22 的生产率。某些情况下，企业认为产量数据需要保密。《蒙特利尔议定书》已经要求提交国家层面的 HCFC-22 产量数据，因而在国家层面上不存在保密性数据问题。

## 完整性

因为每个国家只有少数 HCFC-22 生产企业，所以获得完整的采样数据是可能的，而且企业操作人员监测排放量也是规范做法。对企业数据的审评表明正常运行生产设施的 HFC-23 逃逸排放（如：阀门、水洗涤器、苛性冲洗）并不显著(RTI, 1996)。如果有信息显示逃逸排放具有显著性，则应加以报告并进行文档记录。

## 建立一致的时间序列

应采用相同方法来估算时间序列中所有年份 HCFC-22 生产中的 HFC-23 排放量，如果其中某年份的数据无法获得，应按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3.2.2 节“重新计算的替代方法”中的指南进行重新计算。

## 不确定性评估

方法 2 比缺省的方法 1 更准确。根据掌握的不同生产设备排放的变化情况，方法 1 的误差接近 50%。采用常规方法 2 出口流量采样得到的 HFC-23 排放量准确度可以在 95%置信度水平下达到 1%-2%的准确性。方法 1 的不确定性可以通过专家判断进行确定，而方法 2 的不确定性应建立在经验测量基础之上。

### 3.8.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。

下面给出与此源类别有关的文档记录和报告的一些例子：

- 为了提供完整透明的报告，HCFC-22 生产的 HFC-23 排放应该单独报告，而不能将其归入其它 HFC 排放。
- 文档记录应包括：
  - (1) 方法学描述；
  - (2) HCFC-22 企业数量；
  - (3) HCFC-22 产量（如果有多家企业）；
  - (4) 是否存在减排技术；
  - (5) 排放因子。

#### 保密性

- 采用方法 2 意味着企业 HFC-23 的排放需要从 HCFC-22 的生产中分离出来而单独报告。通过对 HFC-23 排放和 HCFC-22 生产进行解耦，HFC-23 的排放数据不能被认为是商业机密，因为如果没有掌握各生产设备的详细机密情况，HFC-23 排放量数据不可能揭示企业的 HCFC-22 生产水平。
- 如果生产企业少于 3 个，采用方法 1 可以从公布的 HFC-23 排放量来计算 HCFC-22 生产量。这种生产数据可以被认为是相关生产设备的商业机密。在这种情况下，需要采取措施保护商业机密，例如将所有 HFC 的排放汇总报告。考虑到透明性要求，如果采用汇总，应同时包括对 HCFC-22 生产的定性讨论。

### 3.8.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章第 8.7 节“特定排放源类别的质量控制程序（方法 2）”介绍的附加质量控制核查方法和质量保证程序，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。鼓励清单机构对第 7 章“方法学选择与重新计算”确定的*关键源类别*采用较高质量保证和质量控制方法。

除第 8 章“质量保证和质量控制”的指南外，下面给出与该子源类别相关的其它具体程序。

#### 对采用不同方法得估算的排放量进行比较

清单机构应该将所报告的企业排放与采用方法 1 的缺省因子和产量数据得到的结果进行比较。如果只能得到全国产量数据，应该将企业排放合计与全国的缺省值估算结果进行比较。如果比较发现有明显差异，则需要回答如下几个问题：

- (1) 各企业估算是否存在不准确性（即一个极其异常值可以说明不合理的排放量）？
- (2) 各企业的排放因子是否明显不同？
- (3) 企业的生产率是否与公布的国家层面的生产率相一致？
- (4) 对明显差异是否存在其它解释，如：控制效果、产量报告方式或未进行说明的假设？

### 直接排放测量的审核

- 清单机构应确认在企业测量中采用了国际公认的标准方法。如果未按这一要求进行测量，那么应当仔细评估这些排放数据的使用。也可能存在现场测量的标准和质量保证与质量控制采用了更高的标准，则排放估算的不确定性也可能调低。
- 如果给定生产过程的变化情况，应对每个企业的质量保证和质量控制过程进行评估，以确定样本数量及采样频率是否合适。
- 如果可能，清单机构应该通过与其它测量或计算系统进行比较来验证所有测量和计算的数据。例如：工艺流程中的排放测量能够通过出口流量测量得到周期性的验证。清单机构应该验证是否利用减排系统及其效率。
- 通过周期性地对企业测试技术及结果进行外部审计，可以比较企业间隐含排放因子的差异，并说明主要差异。

### 全国排放量的确认

- 当不可能验证单个国家的估算结果时，可以通过测量大气中的 HFC-23 水平来对估算排放量进行全球交叉核查。由于设备数量少，这种交叉核查可对全球范围的工业排放进行数量级核查，而全球工业排放也可以反过来与国家排放估算结果进行比较。

## 参考文献:

### 工业 CO<sub>2</sub> 排放

- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1996b). Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1996a). Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-92, and Standard Specification for blended hydraulic cement: C-595-92.
- Boynton, Robert S. (1980). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- Deutsche Industrie Norm (DIN) (1994). DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- International Standard Industrial Classification of all Economic Activities, (ISIC), group 271 and class 2731 Series M No.4, Rev.3, United Nations, New York, 1990.
- Miller, M. (1999b). US Geological Survey, Calculations based on ASTM, 1996b, and Schwarzkopf, 1985.
- Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Calculations based on Boynton (1980).
- Schwarzkopf, F. (1985). *Lime Burning Technology* (2nd Edition), Table 2, June 1985.
- Tichy, M. (1999). Personal communication with plant personnel, January 1999.
- van Oss, H. (1998). Personal communication with Andrew O'Hare (VP Environmental Affairs of the American Portland Cement Alliance). Personal communication with plant personnel of US Cement Industry, December, 1998.

### 己二酸和硝酸生产的 N<sub>2</sub>O 排放

- Bockman, O. and T. Granli (1994). 'Nitrous oxide from agriculture'. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12. Norsk Hydro Research Centre, Porsgrunn, Norway.
- Bouwman, A.F., K.W. van der Hoek, and J.G.J. Olivier (1995). 'Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide'. *Journal of Geophysical Research*, 100:D2, pp. 2785-2800, February 20, 1995.
- Burtscher, K. (1999). Personal communication between Kurt Burtscher of, Federal Environment Agency of Austria and plant operator of chemical industry in Linz, Austria, 1999.
- Choe, J.S., P.J. Cook, and F.P. Petrocelli (1993). 'Developing N<sub>2</sub>O Abatement Technology for the Nitric Acid Industry'. Prepared for presentation at the 1993 ANPSG Conference. Air Products and Chemicals, Inc., Allentown, PA.
- Collis (1999). Personal communication between Gordon Collis, plant administrator, Simplot Canada Ltd., Canada and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. March 3, 1999.
- Cook, Phillip (1999). Personal communication between Phillip Cook of Air Products and Chemicals, Inc., USA, and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. March 5, 1999.
- CW (Chemical Week) (1999). 'Product focus: adipic acid/adiponitrile'. *Chemical Week*, p. 31, March 10, 1999.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association) (1995). *BAT for pollution and control in the European fertilizer industry, production of nitric acid*. ERMA, Brussels, Belgium.
- Japan Environment Agency (1995). *Study of Emission Factors for N<sub>2</sub>O from Stationary Sources*.
- Johnson Matthey (1991). 'The Gauze Wire: A Technical Update for Users of Woven Precious Metal Catalysts'. *Nitrous oxide emissions control*, Vol. 3, p. 6, Johnson Matthey, West Chester, PA, USA, October 1991.
- Norsk Hydro (1996). Personal communication between Jos Olivier and Norsk Hydro a.s., Norway, March 2000.

- Olivier, J. (1999) . Personal communication between Jos Olivier of National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) , The Netherlands and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 2, 1999.
- Oonk, H. (1999) . Personal communication between Hans Oonk of TNO, The Netherlands and Jos Olivier of National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) , The Netherlands. February, 1999.
- Reimer, R., (1999a) . Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 8, 1999.
- Reimer, R., (1999b) . Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. May 19, 1999.
- Reimer, R.A. C.S. Slaten, M. Seapan, T.A. Koch, and V.G. Triner (1999) . 'Implementation of Technologies for Abatement of N<sub>2</sub>O Emissions Associated with Adipic Acid Manufacture. *Proceedings of the 2nd Symposium on Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG-2)* , Noordwijkerhout, The Netherlands, 8-10 Sept. 1999, Ed. J. van Ham *et al.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 347-358.
- Reimer, R.A., R.A. Parrett and C.S. Slaten (1992) . 'Abatement of N<sub>2</sub>O emission produced in adipic acid'. *Proc. of the 5<sup>th</sup> International Workshop on Nitrous Oxide emissions*, Tsukuba Japan, 1-3 July, 1992.
- Scott, Alex (1998) . 'The winners and losers of N<sub>2</sub>O emission control'. *Chemical Week*, February 18, 1998.
- Thiemens, M.H. and W.C. Troglor (1991) . 'Nylon production; an unknown source of atmospheric nitrous oxide'. *Science*, 251, pp. 932-934.

### 铝生产中的 PFC 排放

- Bjerke, W. (1999a) . Personal communication on VSS emission factors from IPAI Expert Group on PFCs between Willy Bjerke, International Primary Aluminium Institute, UK and Michael Atkinson Diamantina Technology, Australia, April, 1999.
- Bjerke, W. (1999b) , G. Bouchard, and J. Marks (1999) . Personal communication on measurement data and emission factors between Willy Bjerke, IPAI, London, UK, Guy Bouchard, Alcan, Quebec, Canada, Jerry Marks, Alcoa, Pittsburgh, USA and Michael Atkinson Diamantina Technology, Australia, March, 1999.
- Bouzat G, J.C. Carraz, and M. Meyer (1996) . 'Measurements of CF<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> Emissions from Prebaked Pots'. *Light Metals* , pp. 413-417.
- Harnisch, J., I. Sue Wing, H.D. Jacoby, R.G. Prinn (1998) . *Primary Aluminum Production: Climate Policy, Emissions and Costs*. Report No. 44, MIT-Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report Series, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPAI - International Primary Aluminium Institute (1996) . *Anode Effect And Perfluorocarbon Compounds Emission Survey 1990-1993*. IPAI, London, UK.
- Kimmerle, F., G. Potvin, and J. Pisano (1998) . 'Reduction of the PFC Emissions from Prebaked Hall Heroult Cells'. *Light Metals*, 1998, pp. 165-175.
- Leber, B.P., A.T. Tabereaux, J. Marks, B. Lamb, T. Howard, R. Kantamaneni, M. Gibbs, V. Bakshi, and E.J. Dolin (1998) . 'Perfluorocarbon (PFC) Generation at Primary Aluminium Smelters'. *Light Metals*, February 1998, pp. 277-285.
- Marks, J. (1998) . 'PFC Emission Measurements from Alcoa Aluminium Smelters'. *Light Metals*, pp. 287-291.
- Marks, J., R. Roberts, V. Bakshi, and E. Dolin (2000) . 'Perfluorocarbon (PFC) Generation during Primary Aluminium Production', *Light Metals*, in press.
- Roberts, R., and J. Marks (1994) . 'Measurement of CF<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> Evolved During Anode Effects from Aluminium Production.' Presented at the *International Primary Aluminium Institute (IPAI) PFC Workshop*, March 1994.
- Roberts, R., and P.J. Ramsey (1994) . 'Evaluation of Fluorocarbon Emissions from the Aluminium Smelting Process'. *Light Metals*, pp. 381-388.

### 镁生产的 SF<sub>6</sub> 排放

- Gjestland, H. (1996), and D. Magers. *Proceedings of the International Magnesium Association's annual World Magnesium Conference*, 1996.
- Palmer, B. (1999). Cheminfo Services, Inc. Personal Communication with plant personnel from leading primary magnesium smelters, January 1999.

### 电力设备和其它源的 SF<sub>6</sub> 排放

- Bitsch, R. (1999a). Statement on experiences of Siemens AG, Erlangen, Germany and other European switchgear manufacturers regarding emission factors at the *Expert group meeting on Good practice in Inventory Preparation*, Washington D.C., USA, Jan, 1999, IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Bitsch R. (1999b). Personal communication with plant personnel of Siemens A.G., Germany.
- Chemical Products Council (1999). *The Sixth Meeting of the Committee for Prevention of Global Warming*. The Chemical Products Council, MITI, Japan, May 21, 1999.
- Denki Kyodo Kenkyu (1998). Vol. 54, No.3, Electric Technology Research Association, Dec. 1998.
- Olivier, J.G.J. and J. Bakker (2000). *Historical emissions of HFCs, PFCs and SF<sub>6</sub> 1950-1995. Consumption and emission estimates per country 1950-1995 and global emissions on 1°x1° in EDGAR 3.0*. RIVM, Bilthoven, Netherlands.
- Preisegger, E. (1999). Statement on experiences of Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, Germany regarding an emission factor at the *Expert group meeting on Good practice in Inventory Preparation*, Washington D.C., USA, Jan, 1999, IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Science & Policy Associates (1997). *Sales of Sulphur Hexafluoride (SF<sub>6</sub>) by End-Use Applications*. Washington, D.C., USA.
- Schwarz, W. and A. Leisewitz (1996). *Current and future emissions of fluorinated compounds with global warming effect in Germany* (in German). Report UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. and A. Leisewitz (1999). *Emissions and reduction potentials of HFCs, PFCs and SF<sub>6</sub> in Germany*. Report UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlin.
- Suizu, T. (1999). 'Partnership activities for SF<sub>6</sub> gas emission reduction from gas insulated electrical equipment in Japan'. Proc. *Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, ECN, Petten, Netherlands, 26-28 May 1999.

### 半导体制造业的 PFC、HFC、SF<sub>6</sub> 排放

- Molina et al. (1995). *Atmospheric Geophysical Research Letters*, Vol. 22, No. 13, pp. 1873-6.
- Semiconductor Industry Association (2000). *Equipment Environmental Characterisation Guidelines*. Revision 3.0 as of February 2000. San Jose, CA, USA.

### ODS 替代品排放

- Ashford P. (1999). 'Emissions from Foams – Predicting, monitoring, reporting and reducing'. *Proceedings of the Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, ECN Petten, Netherlands, 26-28 May 1999.
- Baker, J. (1999). 'Mobile Air Conditioning: HFC-134a Emissions and Emission Reduction Strategies'. presented at the *Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, held at the Netherlands Energy Research Foundation (ECN), Petten, The Netherlands, 26-28 May 1999; sponsored by the Netherlands Ministry of Environment (VROM) and the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- Clodie D. (1999). Personnel communication with plant personnel, February 1999.

- Expert Group (1999) . Expert group judgement at the Washington *Expert Meeting on Good Practice Guidance for Emissions from Industrial Processes*, January 1999, IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Gamlen P.H., B.C. Lane, P.M. Midgley and J.M. Steed (1986) . ‘The production and release to the atmosphere of CCl<sub>3</sub>F and CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (Chlorofluorocarbons CFC 11 and CFC 12) ’. *Atmos. Environ.*, 20 (6) , pp. 1077-1085.
- HTOC (1998) . Halon Technical Options Committee, 1998. <http://www.TEAP.org>.
- McCulloch A., P.M. Midgley and D.A. Fisher (1994) . ‘Distribution of emissions of chlorofluorocarbons (CFCs) 11, 12, 113, 114 and 115 among reporting and non-reporting countries in 1986’. *Atmos. Environ.*, 28 (16) , pp. 2567-2582.

### **HCFC-22 生产的 HFC-23 排放**

- Research Triangle Institute (RTI) (1994) . *The Reduction of HFC-23 Emissions from the Production of HCFC-22*, final report. Prepared for Atmospheric Pollution Prevention Division, U.S. Environmental Protection Agency, July 1996.
- Research Triangle Institute (RTI) (1998) . *Verification of Emission Estimates of HFC-23 from the Production of HCFC-22: Emissions from 1990 through 1996*. Prepared for the Atmospheric Pollution Prevention Division, U.S. Environmental Protection Agency, February 1998.
- RTI, Cadmus (1998) . *Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22*, draft final report. Prepared for USEPA, February 1998.
- UNFCCC Secretariat (1998) . *Methodological Issues Identified While Processing Second National Communications*. UNFCCC/SBSTA/1998/7.