

## 第 4 章

---

### 金属工业排放

## 作者

### 4.1 节

Jerry Marks (美国)

### 4.2 节

Jonathan Lubetsky (美国) 和 Bruce A. Steiner (美国)

### 4.3 节

Tor Faerden (挪威)、Jonathan S. Lubetsky (美国)、Tor Lindstad (挪威)、Sverre E. Olsen (挪威) 和 Gabriella Tranell (挪威)

### 4.4 节

Jerry Marks (美国)、William Kojo Agyemang-Bonsu (加纳)、Mauricio Firmento Born (巴西)、Laurel Green (澳大利亚)、Halvor Kvande (挪威)、Kenneth Martchek (美国) 和 Sally Rand (美国)

### 4.5 节

Gabriella Tranell (挪威) 和 Tom Tripp (美国)

### 4.6 节

Jonathan S. Lubetsky (美国) 和 Jerry Marks (美国)

### 4.7 节

Jonathan S. Lubetsky (美国)

## 参加作者

### 4.2 节

Robert Lanza (美国)

### 4.4 节

Vince Van Son (美国)、Pablo Alonso (法国)、Ron Knapp (澳大利亚)、Stéphane Gauthier (加拿大)、Michel Lalonde (加拿大)、Hélio Ávila de Oliveira (巴西) 和 Chris Bayliss (英国)

## 目录

4	金属工业排放.....	4.9
4.1	导言.....	4.9
4.2	钢铁和冶金焦生产.....	4.10
4.2.1	导言.....	4.12
4.2.2	方法学问题.....	4.18
4.2.2.1	方法选择：冶金焦生产.....	4.18
4.2.2.2	方法选择：钢铁生产.....	4.20
4.2.2.3	排放因子的选择.....	4.25
4.2.2.4	活动数据的选择.....	4.29
4.2.2.5	完整性.....	4.29
4.2.2.6	建立一致的时间序列.....	4.30
4.2.3	不确定性评估.....	4.30
4.2.4	质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档.....	4.31
4.2.4.1	质量保证/质量控制（QA/QC）.....	4.31
4.2.4.2	报告和归档.....	4.32
4.3	铁合金生产.....	4.33
4.3.1	导言.....	4.33
4.3.2	方法学问题.....	4.33
4.3.2.1	方法的选择.....	4.33
4.3.2.2	排放因子的选择.....	4.38
4.3.2.3	活动数据的选择.....	4.40
4.3.2.4	完整性.....	4.41
4.3.2.5	建立一致的时间序列.....	4.41
4.3.3	不确定性评估.....	4.41
4.3.3.1	排放因子不确定性.....	4.41
4.3.3.2	活动数据不确定性.....	4.41
4.3.4	质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档.....	4.42
4.3.4.1	质量保证/质量控制（QA/QC）.....	4.42
4.3.4.2	报告和归档.....	4.42
4.4	原铝生产.....	4.44
4.4.1	导言.....	4.44
4.4.2	方法学问题.....	4.44
4.4.2.1	源自原铝生产的CO <sub>2</sub> 排放的方法选择.....	4.44

4.4.2.2	原铝生产中CO <sub>2</sub> 排放的排放因子选择 .....	4.47
4.4.2.3	PFC的方法选择 .....	4.50
4.4.2.4	PFC排放因子的选择 .....	4.53
4.4.2.5	活动数据的选择 .....	4.55
4.4.2.6	完整性 .....	4.55
4.4.2.7	建立一致的时间序列 .....	4.55
4.4.3	不确定性评估.....	4.55
4.4.3.1	排放因子不确定性 .....	4.56
4.4.3.2	活动数据不确定性 .....	4.56
4.4.4	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档 .....	4.56
4.4.4.1	质量保证/质量控制 (QA/QC) .....	4.56
4.4.4.2	报告和归档 .....	4.57
4.5	镁生产.....	4.58
4.5.1	导言 .....	4.58
4.5.2	方法学问题.....	4.60
4.5.2.1	方法的选择 .....	4.60
4.5.2.2	排放因子的选择 .....	4.64
4.5.2.3	活动数据的选择 .....	4.65
4.5.2.4	完整性 .....	4.66
4.5.2.5	建立一致的时间序列 .....	4.66
4.5.3	不确定性评估.....	4.67
4.5.4	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档 .....	4.67
4.5.4.1	质量保证/质量控制 (QA/QC) .....	4.67
4.6	铅生产.....	4.70
4.6.1	导言 .....	4.70
4.6.2	方法学问题.....	4.70
4.6.2.1	方法的选择 .....	4.70
4.6.2.2	排放因子的选择 .....	4.72
4.6.2.3	活动数据的选择 .....	4.73
4.6.2.4	完整性 .....	4.74
4.6.2.5	建立一致的时间序列 .....	4.74
4.6.3	不确定性评估.....	4.74
4.6.3.1	排放因子不确定性 .....	4.74
4.6.3.2	活动数据不确定性 .....	4.74
4.6.4	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档 .....	4.75
4.6.4.1	质量保证/质量控制 (QA/QC) .....	4.75
4.6.4.2	报告和归档 .....	4.76
4.7	锌生产.....	4.77

4.7.1	引言 .....	4.77
4.7.2	方法学问题.....	4.77
4.7.2.1	方法的选择 .....	4.77
4.7.2.2	排放因子的选择 .....	4.79
4.7.2.3	活动数据的选择 .....	4.79
4.7.2.4	完整性 .....	4.80
4.7.2.5	建立一致的时间序列 .....	4.80
4.7.3	不确定性评估.....	4.80
4.7.3.1	排放因子不确定性 .....	4.81
4.7.3.2	活动数据不确定性 .....	4.81
4.7.4	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档 .....	4.81
4.7.4.1	质量保证/质量控制 (QA/QC) .....	4.81
4.7.4.2	报告和归档 .....	4.82
参考文献	.....	3.84

## 公式

公式 4.1	源自焦炭生产的排放 (方法 1) .....	4.18
公式 4.2	源自现场焦炭生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 2) .....	4.18
公式 4.3	源自离场焦炭生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 2) .....	4.19
公式 4.4	源自钢铁生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.22
公式 4.5	源自未加工成钢的生铁生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.22
公式 4.6	源自直接还原铁生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.22
公式 4.7	源自熔渣生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.22
公式 4.8	源自芯块生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.22
公式 4.9	源自钢铁生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 2) .....	4.23
公式 4.10	源自熔渣生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 2) .....	4.23
公式 4.11	源自直接还原铁生产的CO <sub>2</sub> 排放 (方法 2) .....	4.24
公式 4.12	源自熔渣生产的CH <sub>4</sub> 排放 (方法 1) .....	4.25
公式 4.13	源自鼓风炉内生铁生产的CH <sub>4</sub> 排放 (方法 1) .....	4.25
公式 4.14	源自直接还原铁生产的CH <sub>4</sub> 排放 (方法 1) .....	4.25
公式 4.15	方法 1 铁合金生产的CO <sub>2</sub> 排放.....	4.33
公式 4.16	方法 2 中铁合金生产的CO <sub>2</sub> 排放.....	4.34
公式 4.17	方法 3 中铁合金生产的CO <sub>2</sub> 排放.....	4.35
公式 4.18	方法 1 中铁合金生产的CH <sub>4</sub> 排放 .....	4.37
公式 4.19	铁合金还原剂的碳含量.....	4.39
公式 4.20	源自阳极和/或胶消耗的过程CO <sub>2</sub> 排放 (方法 1) .....	4.45

公式 4.21	源自预焙阳极消耗的CO <sub>2</sub> 排放（方法2和方法3） .....	4.46
公式 4.22	源自沥青挥发性物质燃烧的CO <sub>2</sub> 排放（方法2和方法3） .....	4.46
公式 4.23	源自烘培炉填料的CO <sub>2</sub> 排放（方法2和方法3） .....	4.46
公式 4.24	源自胶消耗的CO <sub>2</sub> 排放（方法2和方法3） .....	4.47
公式 4.25	PFC排放（方法1） .....	4.51
公式 4.26	PFC排放斜率法（方法2和方法3） .....	4.52
公式 4.27	PFC排放过压法（方法2和方法3） .....	4.52
公式 4.28	源自初级镁生产的CO <sub>2</sub> 排放（方法1） .....	4.60
公式 4.29	源自初级镁生产的CO <sub>2</sub> 排放（方法2） .....	4.60
公式 4.30	镁浇注中的SF <sub>6</sub> 排放（方法1） .....	4.61
公式 4.31	镁浇注中的SF <sub>6</sub> 排放（方法2） .....	4.61
公式 4.32	源自铅生产的CO <sub>2</sub> 排放 .....	4.71
公式 4.33	锌生产中的CO <sub>2</sub> 排放（方法1） .....	4.77
公式 4.34	锌生产中的CO <sub>2</sub> 排放（方法1） .....	4.78

## 图

图 4.1	综合钢铁生产主要过程的图解说明*.....	4.11
图 4.2	焦炭生产过程图解说明（能源部门 1A类中报告的排放） .....	4.14
图 4.3	熔渣生产过程图解说明 .....	4.15
图 4.4	生铁生产过程图解说明 .....	4.16
图 4.5	钢生产过程图解说明 .....	4.17
图 4.6	估算源自冶金焦生产的CO <sub>2</sub> 排放.....	4.20
图 4.7	估算源自钢铁生产的CO <sub>2</sub> 排放决策树 .....	4.21
图 4.8	估算源自钢铁生产的CH <sub>4</sub> 排放决策树 .....	4.21
图 4.9	估算源自铁合金生产中CO <sub>2</sub> 排放量的决策树 .....	4.36
图 4.10	估算源自FeSi 和Si 生产的CH <sub>4</sub> 排放的决策树.....	4.37
图 4.11	计算原铝生产中CO <sub>2</sub> 排放的决策树 .....	4.45
图 4.12	计算原铝生产中PFC 排放的决策树 .....	4.53
图 4.13	估算初级镁生产过程中原材料煅烧产生的CO <sub>2</sub> 排放的决策树 .....	4.62
图 4.14	估算镁加工中SF <sub>6</sub> 排放的决策树 .....	4.63
图 4.15	估算源自铅生产的CO <sub>2</sub> 排放的决策树.....	4.71
图 4.16	估算锌生产中CO <sub>2</sub> 排放的决策树.....	4.80

## 表

表 4.1	焦炭生产和钢铁生产中方法 1 缺省CO <sub>2</sub> 排放因子 .....	4.26
表 4.2	焦炭生产和钢铁生产中方法 1 缺省CH <sub>4</sub> 排放因子 .....	4.27
表 4.3	钢铁生产和焦炭生产所用的方法 2 特定材料碳含量 (kg C/kg) .....	4.28
表 4.4	不确定性范围 .....	4.31
表 4.5	铁合金生产的一般CO <sub>2</sub> 排放因子 (吨CO <sub>2</sub> /产品吨数) .....	4.38
表 4.6	铁合金生产的CO <sub>2</sub> 排放因子 (吨CO <sub>2</sub> /吨还原剂) .....	4.39
表 4.7	CH <sub>4</sub> 的缺省排放因子 (kg CH <sub>4</sub> /吨产品) .....	4.40
表 4.8	CH <sub>4</sub> 的排放因子 (kg CH <sub>4</sub> /吨产品) .....	4.40
表 4.9	不确定性范围 .....	4.41
表 4.10	计算源自阳极或胶消耗中二氧化碳排放的方法 1 技术特定排放因子 .....	4.48
表 4.11	源自预焙槽 (CWPB 和SWPB) 的CO <sub>2</sub> 排放量, 方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性, 参见公式 4.21 .....	4.48
表 4.12	源自沥青挥发性物质燃烧 (CWPB 和SWPB) 的CO <sub>2</sub> 排放, 方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性, 参见公式 4.22 .....	4.49
表 4.13	源自烘培炉填料 (CWPB 和SWPB) 的CO <sub>2</sub> 排放量, 方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性, 参见公式 4.23 .....	4.49
表 4.14	源自Söderberg 槽 (VSS 和HSS) 的CO <sub>2</sub> 排放, 方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性 .....	4.50
表 4.15	按槽技术类型计算铝生产中PFC排放的缺省排放因子和不确定性范围 (方法 1) .....	4.54
表 4.16	计算铝生产中PFC排放的特定技术斜率系数和过压系数 (方法 2) .....	4.54
表 4.17	按方法计算铝生产中CO <sub>2</sub> 和PFC 排放的优良作法报告信息 .....	4.57
表 4.18	与镁的生产和加工有关的可能GHG排放 .....	4.58
表 4.19	特定矿石初级Mg 金属生产的排放因子 .....	4.64
表 4.20	镁浇注过程中的SF <sub>6</sub> 排放因子 (方法 1) .....	4.65
表 4.21	各来源和炉子类型的铅生产的一般CO <sub>2</sub> 排放因子 (吨CO <sub>2</sub> /吨产品) .....	4.72
表 4.22	铅生产中特定材料的碳含量 (kg 碳/kg) .....	4.73
表 4.23	不确定性范围 .....	4.75
表 4.24	锌生产的方法 1 CO <sub>2</sub> 排放因子 .....	4.79
表 4.25	不确定性范围 .....	4.81

## 框

框 4.1	本节公式定义中使用的文字/符号 .....	4.34
框 4.2	阳极效应说明 .....	4.50



## 4 金属工业排放

### 4.1 引言

以下第 4.2-4.7 节介绍了估算由金属生产产生的温室气体排放的指南。

- 4.2 节论述了钢铁生产和冶金焦生产的排放；
- 4.3 节论述了铁合金生产的排放；
- 4.4 节论述了铝生产的排放；
- 4.5 节论述了镁生产的排放；
- 4.6 节论述了铅生产的排放；
- 4.7 节论述了锌生产的排放。

应当注意，避免在本章和第 2 卷能源部门中重复计算二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量，或避免遗漏 CO<sub>2</sub> 排放量，因为碳作为过程反应物与驱动化学反应的热源产生的 CO<sub>2</sub> 排放，在许多情况下，与所涉及的冶金过程是紧密相关的。如果在金属生产设施处安装了 CO<sub>2</sub> 捕获技术设备，则捕获的 CO<sub>2</sub> 在高层排放计算中应当扣除。任何计算 CO<sub>2</sub> 捕获的方法均应考虑：过程中捕获的 CO<sub>2</sub> 排放可能是燃烧造成的，也可能与过程有关。如果燃烧和过程排放要分别报告（例如钢铁生产），则清单编制者应确保 CO<sub>2</sub> 的同一数量没有重复计算。在这些情况下，捕获的 CO<sub>2</sub> 总量应最好报告在相应的能源燃烧和 IPPU 源类别中，且按照这些源类别生成的 CO<sub>2</sub> 量比例报告。缺省假设是没有出现 CO<sub>2</sub> 捕获和储存（CCS）。有关 CO<sub>2</sub> 捕获和储存的附加信息，请参见第 3 卷 1.2.2 节；有关更多详细信息，请参见第 2 卷 2.3.4 节。

## 4.2 钢铁和冶金焦生产

钢铁生产会导致二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）和氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）的排放。本章提供了估算CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>排放的指南。<sup>1</sup>

钢铁工业广义上由以下部分组成：

- 生产钢和铁的初级设施；
- 次级炼钢设施；
- 铁生产设施；和
- 冶金焦的离场生产。

图 4.1 说明了钢铁生产的主要过程：冶金焦生产、熔渣生产、芯块生产、铁矿加工、炼铁、炼钢、铸钢、很常见的鼓风机燃烧、以及用于其它使用的焦炉煤气。主要过程可能发生在所谓的“综合”设施中，通常包括鼓风机、碱性氧气炼钢炉（BOF）或某些情况下的平炉（OHF）。通常部分生产由离场的另一个操作人员负责，例如离场焦炭生产设施。

在某些国家，焦炭生产设施未与钢铁生产一体化（即“离场”）。本章论述了估算源自所有焦炭生产的CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>排放指南，以确保一致性和完整性。各国应用高层级的方法，分别估算源自现场和离场焦炭生产的排放，因为在钢铁生产期间，现场焦炭生产的副产品（例如焦炉煤气、焦粉等）经常被使用。

### 初级和次级炼钢：

钢生产可以在铁矿石的综合设施中进行，亦或在主要用回收的废钢来炼钢的次级设施中进行。综合设施通常包括焦炭生产、鼓风机和碱性氧气炼钢炉（BOF）或某些情况下的平炉（OHF）。使用碱性氧气炉以及鼓风机产生的生铁生产原钢，然后加工成钢成品。生铁也可以直接加工成铁产品。次级炼钢最常在电弧炉（EAF）中进行。2003年，全世界钢生产约有63%在基本氧气炼钢炉（BOF）生产，大约有33%在电弧炉（EAF）中生产；剩余的4%在平炉（OHF）中生产，目前这一数值有所下降。

### 铁生产：

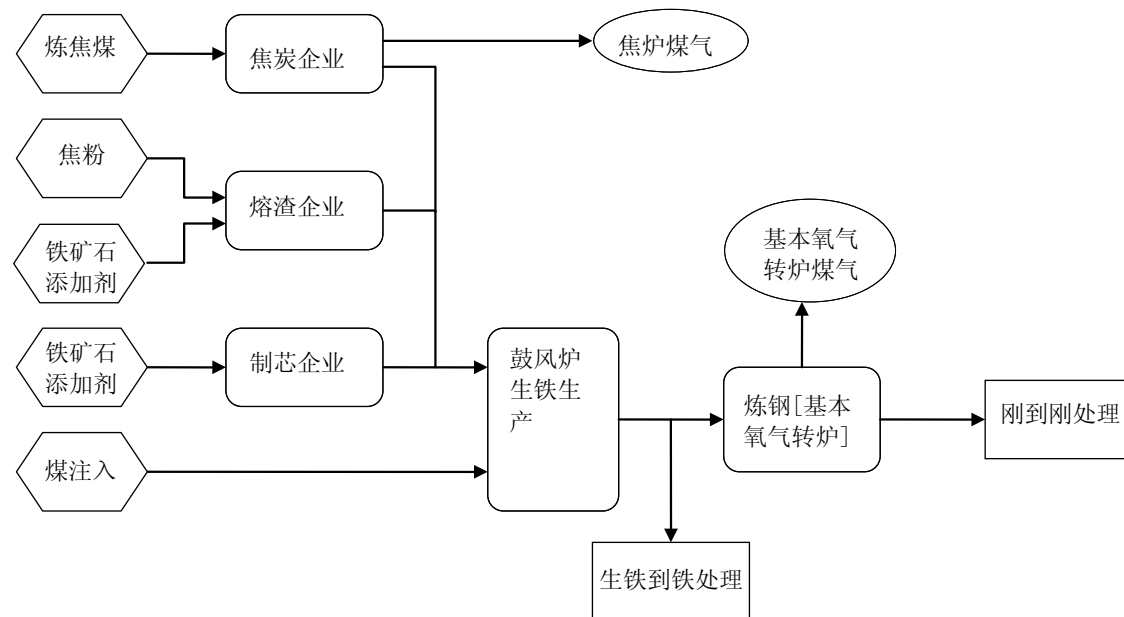
铁生产可以在现场综合设施中进行，或在包含鼓风机和碱性氧气炼钢炉（BOF）的单独离场设施中进行。除了通过鼓风机生产铁之外，还可以通过直接还原过程进行生产。直接还原，即在加工温度低于1000°C的情况下，将铁矿石还原为固态金属铁。

### 冶金焦生产：

冶金焦生产视为化石燃料的能源使用，因此其排放应报告在能源部门的子类 1A 中。第 3 卷此处介绍这些方法，因为在综合的钢铁生产中，用于估算能源和非能源排放的活动数据具有明显重叠。此源类别中消耗的所有燃料，未分配为熔渣工厂、制芯工厂和鼓风机的给料，应被视为燃料燃烧，这些燃料在能源部门中处理和报告（参见第 2 卷：能源）。

<sup>1</sup> 没有提供估算 N<sub>2</sub>O 排放方法。这些排放可能很少，但是如果各国根据研究数据开发特定国家方法，就可以计算有关估算。

图 4.1 综合钢铁生产主要过程的图解说明\*



\*改编自：欧洲会议有关“The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry”斯图加特，2000年4月6日和7日，BREF有关BAT的钢铁生产论点，Harald Schnenberger博士，弗莱堡地区政府办事处，2000年4月（Schoenberger, 2000）。

## 4.2.1 引言

### 冶金焦生产

冶金焦主要用于在鼓风机中炼铁。焦炭还用于其它冶金过程，例如铸铁、铁合金、铅、锌和炉窑中生产石灰及镁。冶金焦是在高温下，通过煤（主要是炼焦煤）的碳化作用获得的固体产品。水汽含量和挥发性物质含量较低。炼焦煤指某一品级的沥青煤，可生产适合于支持鼓风机装料的焦炭。在无灰而潮湿的条件下，总发热值大于 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg)。焦炉煤气是钢铁生产中制造冶金焦的副产品。图 4.2 说明了焦炭生产过程和 CH<sub>4</sub> 及 CO<sub>2</sub> 排放的相关来源。

注意，焦炉煤气可能在热焦炉中燃烧，或现场转移到综合钢铁工厂中，还可能用于熔渣生产或铁生产过程。焦炉煤气还可离场转移（例如转移到天然气分配系统），用作能源来源。钢铁冶炼过程期间，鼓风机内焦炭的燃烧产生鼓风机气体，然后这些气体经回收可从钢铁冶炼厂转移到现场焦炭工厂，燃烧以加热焦炉或用于熔渣生产。焦炭生产中，鼓风机气体和焦炉煤气的燃烧是 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放的主要来源。

### 熔渣生产

被引入鼓风机之前，铁矿石和其它含铁材料可能在综合钢铁工厂的熔渣厂里进行烧结。熔渣厂的原料可包括：精铁矿石、添加剂（例如，石灰、橄榄石）和源自炼铁及炼钢下游过程回收的含铁材料（例如，源自鼓风机气体清洗的灰尘）。焦粉（小型焦炉焦炭，颗粒大小 < 5 mm）是熔渣工厂最常用的过程材料。焦粉可以在综合钢铁工厂的现场焦炉中生产，也可以向离场焦炭生产商购买。综合钢铁生产期间，现场产生的鼓风机气体或焦炉煤气可用于熔渣工厂。熔渣工厂的运行产生二氧化碳排放，源自焦粉和其它给料的氧化过程。熔渣生产中的烟气还包含甲烷和其它碳氢化合物。图 4.3 说明了熔渣生产过程。

### 芯块生产

在极高温度的过程中，形成于含铁原材料（即精铁矿石和添加剂）的芯块变为 9-16 mm 球体。此过程包括原材料的研磨、烘干、结球和热处理。制芯工厂主要位于铁矿或船运港口，但是也可作为综合钢铁设施的一部分位于现场。天然气或煤可用作制芯工厂的燃料；若制芯工厂位于综合钢铁设施的现场，则焦炉煤气可用作燃料。此过程的能源消耗量和相关 CO<sub>2</sub> 排放量，部分取决于过程中所用铁矿石和其它原材料的质量。CO<sub>2</sub> 排放量还将取决于过程中所用燃料的碳含量和发热值。

### 炼铁与焦炭的作用

钢铁工业排放的大部分 CO<sub>2</sub> 与炼铁生产有关，更具体地说，与用碳将铁矿石转换为铁的过程有关。图 4.4 说明了炼铁过程及相关的排放来源。碳主要以焦炭的形式供应给鼓风机，焦炭从冶金级炼焦煤中产生（但是还可以按木材制成的木炭形式或其它形式的碳）。碳在炼铁过程中主要有两种使用，首先用作还原剂将氧化铁转化成铁，还可以在碳和氧气放热反应时，作为能量来源提供热量。焦炭在鼓风机中燃烧期间产生鼓风机气。通常，部分在工厂内回收并用作燃料，部分在其它工业过程内回收及用作燃料，或在配备的发电厂中燃烧发电。鼓风机气还可以从钢铁厂回收，转移到现场焦炭工厂，在焦炉内作为能源进行燃烧。鼓风机气也可以离场转移，在炉内和鼓风机气经燃烧以加热鼓风空气时可以作为能源来源。氧气炼钢炉煤气作为钢生产的副产品之一，在碱性氧气炉（BOF）中获得，在离开炉子时回收。鼓风机中使用的所有碳应当视为过程相关的 IPPU 排放。

此外，铁的生产可以采用直接还原过程。直接还原，即在加工温度低于 1 000°C 的情况下，将铁矿石还原为固态金属铁。名为直接还原铁（DRI）的固态产品就是通过直接还原过程生产的。DRI 的碳含量 < 2%。在电弧炉炼钢工艺中，DRI 通常用作废金属的替代物，但是还可能用作鼓风机炼铁的原料。当产品必须存储或运输时，DRI 还可熔化为压块，即热压块铁（HBI）。

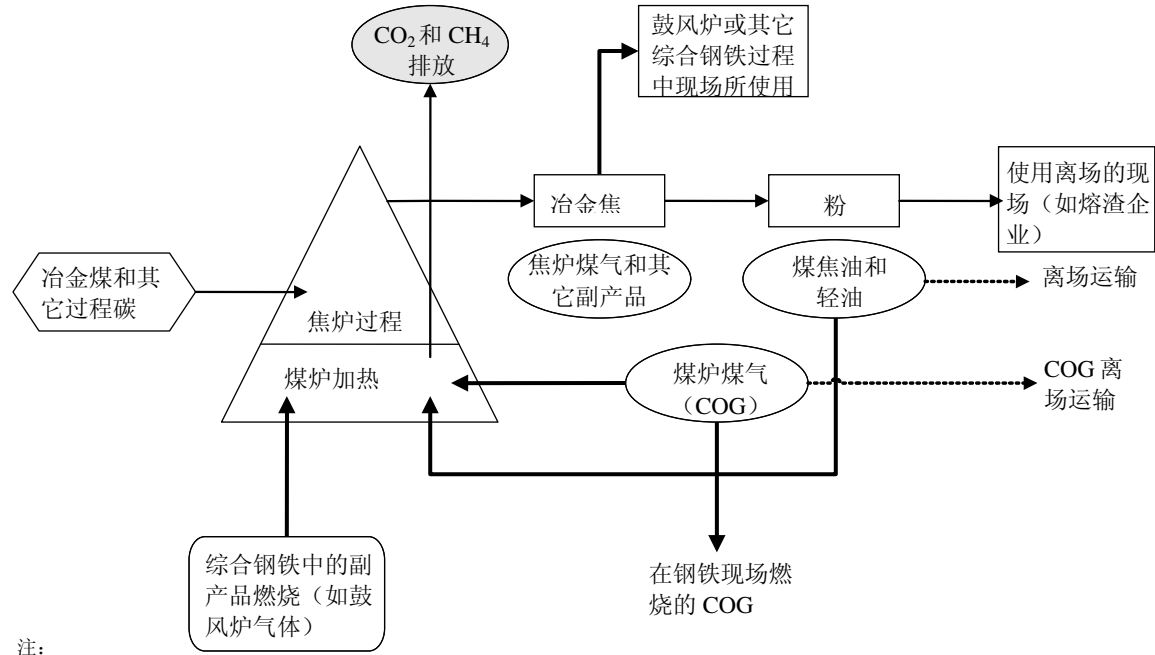
对源自燃料（例如天然气、煤）能源消耗和燃料碳含量的过程，清单编制者可以估算这些过程的 CO<sub>2</sub> 排放。**炼钢**

在 BOF 中生产钢时，首先在炉内添加 70-90% 熔化铁和 10-30% 废钢。然后，高纯度氧气与铁中的碳结合进行放热反应，在降低碳含量的同时熔化填料。鼓风机中的铁通常包含 3-4% 的碳，必须将其碳含量还原为小于 1%，经提炼和变成合金后生产出预期品质的钢。

在 EAF 中生产钢时，通常添加 100% 的回收废钢，通过碳电极使用赋予装料的电能熔化，然后经提炼和产生合金后生产出预期品质的钢。尽管 EAF 可能位于综合工厂中，但由于其依赖的基础原材料是废料而不是铁，所以通常这些工厂是独立运作的。因为 EAF 过程主要是熔化废料，而不是还原氧化物；碳的作

用也不像在鼓风炉/BOF 过程中那样重要。在填加废料的大部分 EAF 中，CO<sub>2</sub> 排放主要与碳电极的消耗有关。EAF 和其它炼钢过程使用的所有碳应视为过程相关的 IPPU 排放。图 4.5 说明了炼钢过程及相关的排放来源。

图 4.2 焦炭生产过程图解说明（能源部门 1A 类中报告的排放）



注：

粗线仅应用到综合钢铁企业的现场焦炭生产；虚线将材料运输到离场过程。“离场过程”不包括在现场分类的综合钢铁生产过程。

图 4.3 熔渣生产过程图解说明

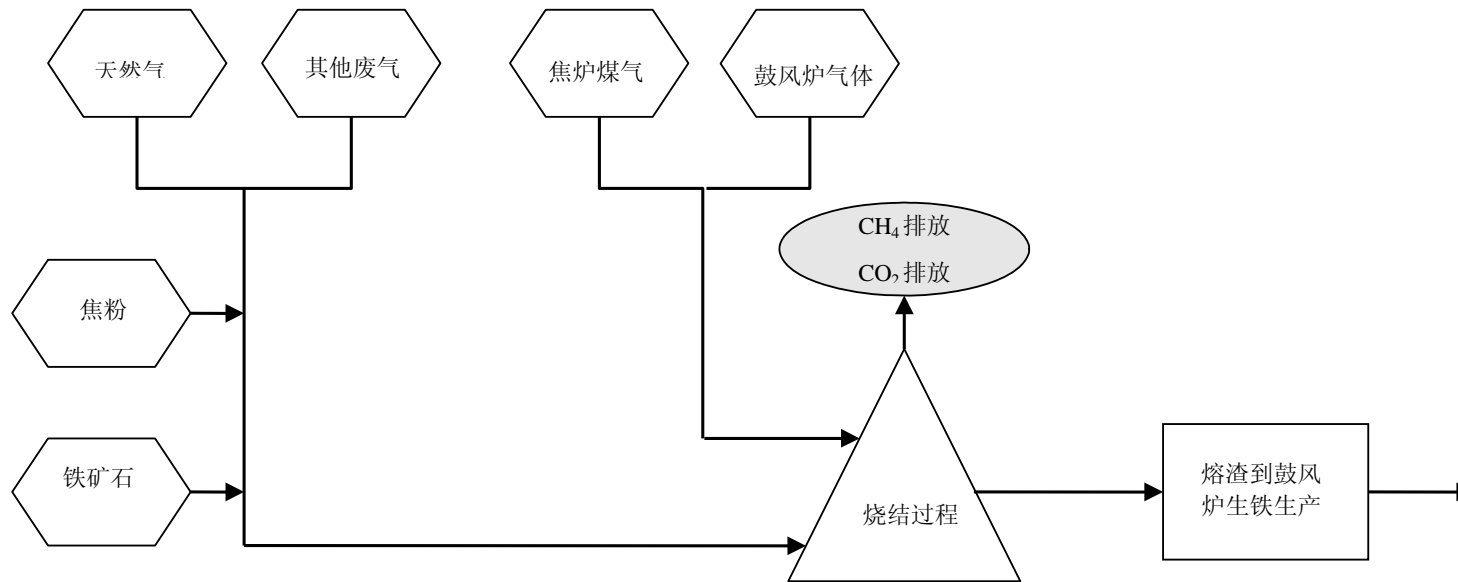
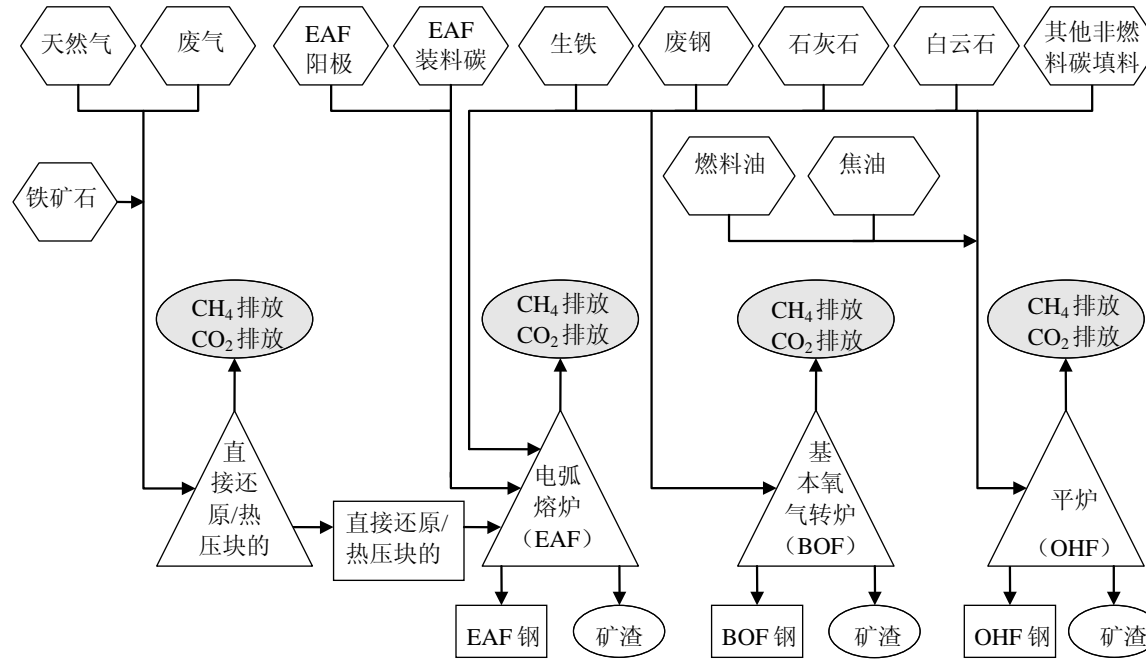






图 4.5 钢生产过程图解说明



## 4.2.2 方法学问题

### 方法选择：冶金焦生产

《IPCC 指南》概述了计算 CO<sub>2</sub> 排放的三个方法以及计算源自焦炭生产的 CH<sub>4</sub> 排放的两个方法。对于 CO<sub>2</sub> 排放估算，优良作法方法的选择取决于具体国情，如图 4.6 “源自冶金焦生产的 CO<sub>2</sub> 排放估算”的决策树所示。对于 CH<sub>4</sub> 排放，使用图 4.8 中的决策树。

冶金焦可以在钢铁设施（现场）和独立的设施（离场）中生产。方法 1 使用国家焦炭生产应用的缺省排放因子，来计算源自所有焦炭生产的排放。

估算 CO<sub>2</sub> 排放的方法 2 可区别现场与离场焦炭生产。这种方法采用过程材料（例如消耗的炼焦煤、生产的焦炭和生产的煤焦油产品）消耗量和产量的国家活动数据。如上所述，方法 2 不适用于估算 CH<sub>4</sub> 排放。方法 3 需要，特定工厂的 CO<sub>2</sub> 排放数据和特定工厂 CH<sub>4</sub> 排放数据，或特定工厂的活动数据。

#### 方法 1—基于产量的排放因子

公式 4.1 计算源自所有焦炭生产的排放。方法 1 假定：在钢铁生产设施现场生产的所有焦炭均在现场使用。方法 1 是，缺省排放因子乘以生产的焦炭吨数。排放应当报告在能源部门中。

<p><b>公式 4.1</b> <b>源自焦炭生产的排放（方法 1）</b></p> $E_{CO_2} = \text{焦炭} \cdot EF_{CO_2} \text{ 和 } E_{CH_4} = \text{焦炭} \cdot EF_{CH_4} \quad (\text{要报告在能源部门中})$
---

其中：

$E_{CO_2}$  或  $E_{CH_4}$  = 源自焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 或 CH<sub>4</sub> 排放量，单位为吨 CO<sub>2</sub> 或吨 CH<sub>4</sub>

焦炭 = 国家生产的焦炭量，单位为吨

EF = 排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨焦炭产量，或吨 CH<sub>4</sub>/吨焦炭产量

注：方法 1 假定，所有焦炉副产品转移到现场之外，而且产生的所有焦炉煤气在现场燃烧用于能源回收。

#### 方法 2

如果可以获取源自综合和非综合焦炭生产过程的有关过程投入及产出的国家统计资料，则方法 2 是适用的。方法 2 产生的估算比方法 1 更准确，因为方法 2 考虑的是实际投入量和实际产出量，而不是进行假定。

如公式 4.2 和公式 4.3 所示，方法 2 分别估算源自现场焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 排放和源自离场生产的 CO<sub>2</sub> 排放。此分离过程归因于重叠数据需求，即估算源自现场焦炭生产的排放和源自钢铁生产的排放。

<p><b>公式 4.2</b> <b>源自现场焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 2）</b></p> $E_{CO_2, \text{能源}} = \left[ CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) + BG \cdot C_{BG} - CO \cdot C_{CO} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$
---

其中：

$E_{CO_2, \text{能源}}$  = 要在能源部门报告的源自现场焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

CC = 现场综合钢铁生产设施中焦炭生产所消耗的炼焦煤量，单位为吨

$PM_a$  = 其它过程材料  $a$  的数量，不同于作为单独术语列出的材料（例如天然气和燃料油），材料  $a$  的数量是在现场焦炭生产和钢铁生产设施中，用于焦炭和熔渣生产的消耗量，单位为吨

$BG$  = 焦炉中消耗的鼓风机气体量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应遵照第 2 卷“能源”。）

$CO$  = 钢铁生产设施中现场生产的焦炭数量，单位为吨

$COG$  = 焦炉煤气转移离场的量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应遵照第 2 卷“能源”。）

$COB_b$  = 焦炉副产品  $b$  的数量，离场转移到其它设施，单位为吨

$C_x$  = 投入或产出材料  $x$  的碳含量，单位为吨 C/（材料  $x$  的单位）[例如，吨 C/吨]

对于离场焦炭生产，清单编制者应使用公式 4.3。排放总量是所有工厂排放量之和，使用公式 4.2 和 4.3 计算。

**公式 4.3**  
**源自离场焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 2）**

$$E_{CO_2, \text{能源}} = \left[ CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - NIC \cdot C_{NIC} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

$E_{CO_2, \text{能源}}$  = 要在能源部门中报告的源自离场焦炭生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

$CC$  = 非综合焦炭生产设施中使用的炼焦煤量，单位为吨

$PM_a$  = 非综合焦炭生产中消耗的其它过程材料  $a$ （例如天然气和燃料油）的数量，炼焦煤除外。单位为吨

$NIC$  = 国家非综合焦炭生产设施中离场生产的焦炭数量，单位为吨

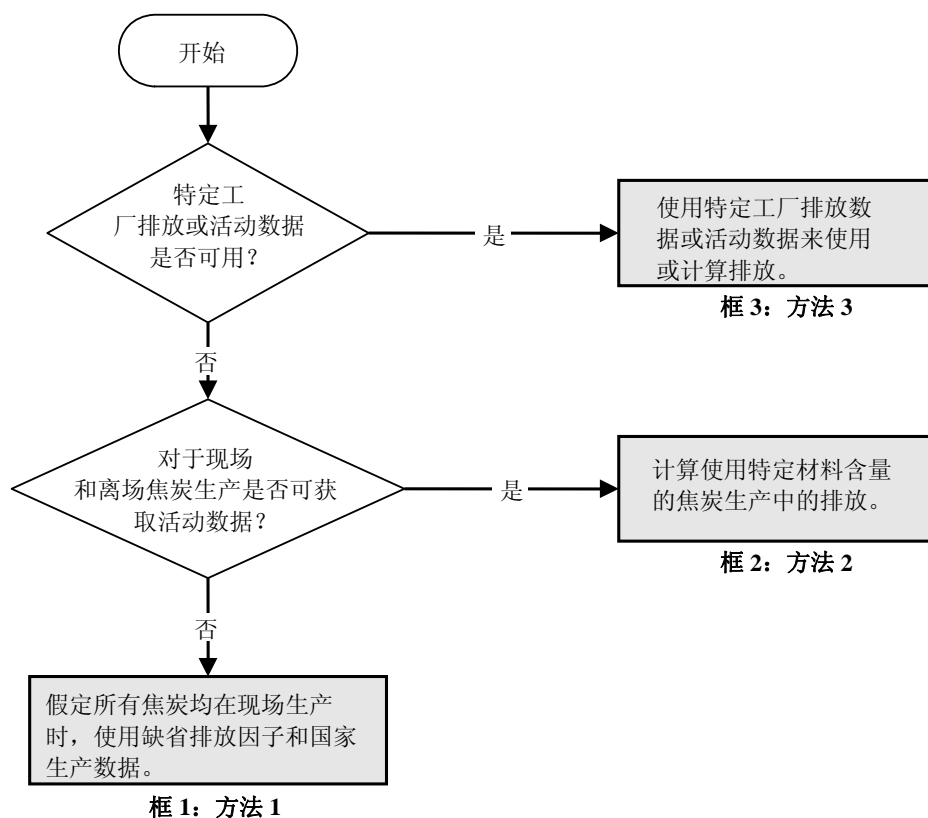
$COG$  = 在国家离场非综合焦炭生产设施中生产，并转移到其它设施的焦炉煤气数量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应遵照第 2 卷“能源”。）

$COB_b$  = 焦炉副产品  $b$  的数量，在全国离场非综合设施中生产，从离场转移到其它设施，单位为吨

$C_x$  = 投入或产出材料  $x$  的碳含量，单位为吨 C/（材料  $x$  的单位）[例如，吨 C/吨]

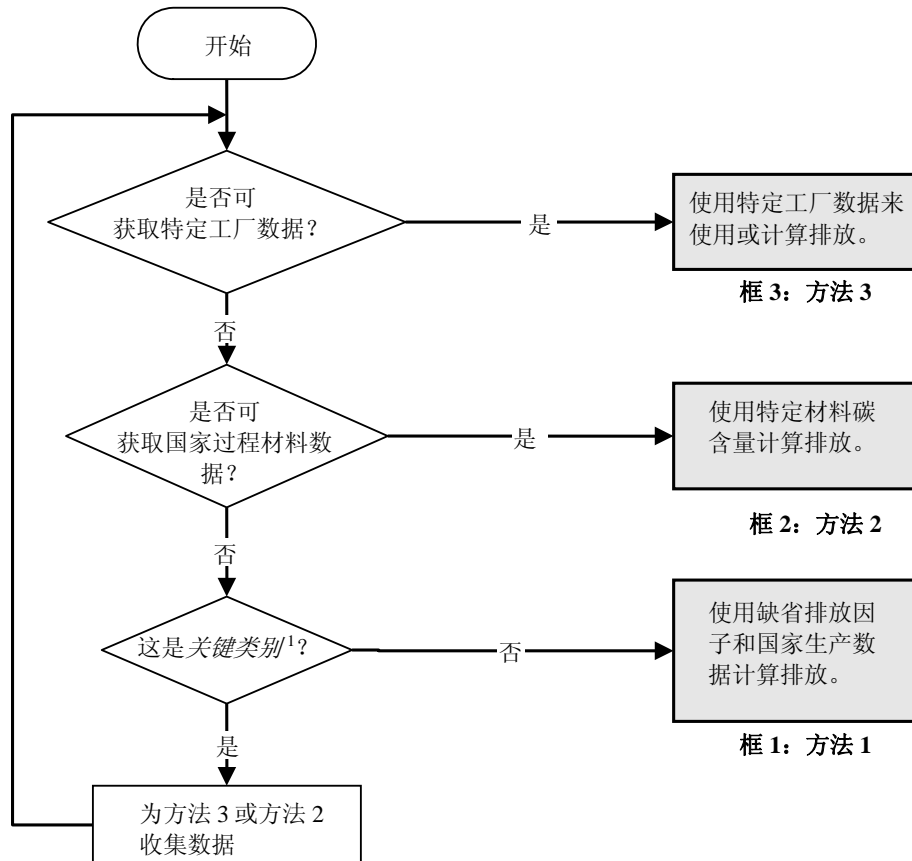
### 方法 3

与方法 2 不同，方法 3 采用特定工厂数据，因为各工厂在技术和加工条件上会有很大差异。如果实际测量的 CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> 排放数据可从现场和离场焦炭生产工厂中获得，则这些数据可以累计，并使用方法 3 直接用于计算冶金焦生产中的国家排放量。国家排放总量等于源自每个设施报告的排放量之和。如果特定设施的 CO<sub>2</sub> 排放数据不可获取，则可以采用方法 2、公式 4.2 和 4.3，依据特定工厂活动数据，来计算 CO<sub>2</sub> 排放量。国家排放总量等于源自每个设施报告的排放量之和。

图 4.6 估算源自冶金焦生产的 CO<sub>2</sub> 排放

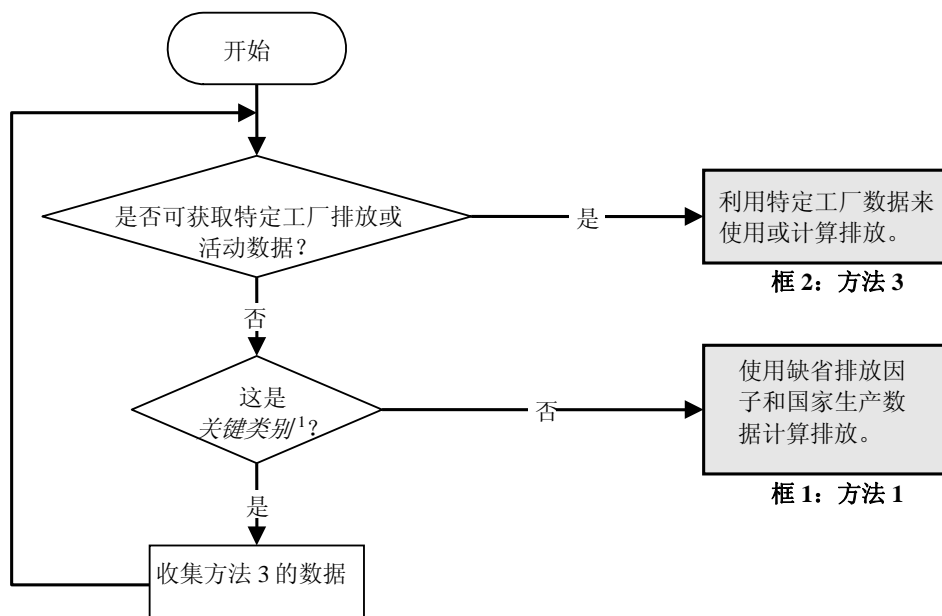
## 方法选择：钢铁生产

这些指南概述了源自钢铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放的三种计算方法和 CH<sub>4</sub> 排放的两种计算方法。优良作法方法的选择取决于具体国情，如图 4.7 估算 CO<sub>2</sub> 排放和图 4.8 估算 CH<sub>4</sub> 排放的决策树所示。估算源自钢铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放的决策树，以及估算源自钢铁生产的 CH<sub>4</sub> 排放的决策树。方法 1 基于国家生产数据和缺省排放因子。由于其依赖于假设而非熔渣生产和钢铁生产部门中促成 CO<sub>2</sub> 排放的给料量实际数据，所以可能导致误差。因此，只有钢铁生产不是关键类别时，方法 1 才适用。对熔渣生产、鼓风机炼铁、直接还原铁生产、制芯生产和各种炼钢方法，均提供缺省排放因子。排放的主要来源是鼓风机炼铁和炼钢。估算源自钢铁生产 CO<sub>2</sub> 排放的方法 2，基于包括还原剂在内的原材料已知消耗量的数据，和工业范围的数据。它采用质量平衡方式和特定材料碳含量。方法 2 不适用于估算 CH<sub>4</sub> 排放。方法 3 需要汇总为国家级的特定工厂排放或活动数据，用于估算 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放。

图 4.7 估算源自钢铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放决策树

注:

1 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

图 4.8 估算源自钢铁生产的 CH<sub>4</sub> 排放决策树

注:

1 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

## 估算CO<sub>2</sub>排放的方法

### 方法 1—基于产量的排放因子

估算源自钢铁生产排放的方法 1 是，缺省排放因子乘以国家产量数据，如公式 4.4 所示。每单位钢产量产生的排放量因钢生产的方法而有很大差异，因此优良作法是确定不同类型的炼钢过程生产的钢所占份额，计算各个过程的排放量，然后对估算值求和。公式 4.4 考虑了源自碱性氧气转炉（BOF）、电弧炉（EAF）和开炉（OHF）的钢生产。如果各过程的钢产量活动数据不可获取，则国家钢总产量在这三个炼钢过程中的缺省分配，见第 4.2.2.3 节的表 4.1。

公式 4.5 计算源自未转换为钢的生铁生产的排放。因为综合钢铁生产（BOF 和 OHF 过程）的排放因子考虑两个步骤的排放，所以最好分别估算源自此生产的排放。

对于使用某个 CO<sub>2</sub> 排放因子的方法 1，公式 4.6 计算源自直接还原铁（DRI）生产的 CO<sub>2</sub> 排放。

另外，优良作法是使用公式 4.7 和公式 4.8，分别估算源自熔渣生产和国家芯块生产的排放。如果清单编制者没有关于所用过程材料的详细信息，则应使用公式 4.7 和 4.8。如果过程材料已知，则应使用方法 2 计算排放。

排放总量是公式 4.4 - 4.8 之和。

#### 公式 4.4

##### 源自钢铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$\text{钢铁: } E_{CO_2, \text{非能源}} = BOF \cdot EF_{BOF} + EAF \cdot EF_{EAF} + OHF \cdot EF_{OHF}$$

#### 公式 4.5

##### 源自未加工成钢的生铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$\text{生铁产量: } E_{CO_2, \text{非能源}} = IP \cdot EF_{IP}$$

#### 公式 4.6

##### 源自直接还原铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$\text{直接还原铁: } E_{CO_2, \text{非能源}} = DRI \cdot EF_{DRI}$$

#### 公式 4.7

##### 源自熔渣生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$\text{熔渣生产: } E_{CO_2, \text{非能源}} = SI \cdot EF_{SI}$$

#### 公式 4.8

##### 源自芯块生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$\text{芯块生产: } E_{CO_2, \text{非能源}} = P \cdot EF_P$$

其中：

$E_{CO_2, \text{非能源}}$  = 要在 IPPU 部门报告的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

BOF = 生产的 BOF 粗钢量，单位为吨

EAF = 生产的 EAF 粗钢量，单位为吨

OHF = 生产的 OHF 粗钢量，单位为吨

IP = 未转化成钢的生铁产量，单位为吨

DRI = 国家生产的直接还原铁数量，单位为吨

SI = 国家生产的熔渣量，单位为吨

P = 国家生产的芯块量，单位为吨

EF<sub>x</sub> = 排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的 x

## 方法 2

如果清单编制者可以获得钢铁生产、熔渣生产、芯块生产和直接还原铁生产中过程材料使用的国家数据，则方法 2 是适用的。此外，如第 4.2.2.5 节中所述，采用方法 2 时还要考虑大量其它过程投入和产出。这些数据可以从如下机构获得：负责制造或能源统计资料的政府机构、商业或工贸协会、或个别钢铁公司。方法 2 产生的估算比方法 1 更准确，因为方法 2 考虑了促成 CO<sub>2</sub> 排放的实际投入量。

在计算芯块生产排放时，与其它方法类似，可使用能源消耗量和燃料的发热值及碳含量。

公式 4.9  
源自钢铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 2）

$$E_{CO_2, \text{非能源}} = \left[ PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE} + \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BG \cdot C_{BG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

公式 4.10  
源自熔渣生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 2）

$$E_{CO_2, \text{非能源}} = \left[ CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BG \cdot C_{BG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - SOG \cdot C_{SOG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

其中，对于钢铁生产：

E<sub>CO<sub>2</sub>, 非能源</sub> = 要在 IPPU 部门报告的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

PC = 在钢铁生产（不包括熔渣生产）中消耗的焦炭数量，单位为吨

COB<sub>a</sub> = 鼓风机中消耗的现场焦炉副产品 a 的数量，单位为吨

CI = 直接注入鼓风机中的焦炭数量，单位为吨

L = 在钢铁生产中消耗的石灰石数量，单位为吨

D = 在钢铁生产中消耗的白云石数量，单位为吨

CE = EAF 中消耗的碳电极数量，单位为吨

O<sub>b</sub> = 钢铁生产中消耗的其它碳气溶胶和过程材料 b 的数量，例如熔渣或废塑料。单位为吨

COG = 钢铁生产中在鼓风机内消耗的焦炉煤气数量，单位为 m<sup>3</sup>（或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应按照第 2 卷“能源”。）

S = 生产的钢数量，单位为吨

IP = 未转化成钢的铁产量，单位为吨

BG = 鼓风机气离场转移的数量，单位为 m<sup>3</sup>（或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应按照第 2 卷“能源”。）

C<sub>x</sub> = 投入或产出材料 x 的碳含量，单位为吨 C/（材料 x 的单位）[例如，吨 C/吨]

其中，对于熔渣生产：

E<sub>CO<sub>2</sub>, 非能源</sub> = 要在 IPPU 部门报告的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

CBR = 熔渣生产所用的购买和现场生产的焦粉数量，单位为吨

COG = 熔渣生产中在鼓风炉内消耗的焦炉煤气数量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应按照第2卷“能源”。）

BG = 熔渣生产中消耗的鼓风炉气体数量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应按照第2卷“能源”。）

PM<sub>a</sub> = 其它过程材料 *a* 的数量，不同于作为单独术语列出的材料（例如天然气和燃料油），材料 *a* 的数量是在综合焦炭生产和钢铁生产设施中，焦炭和熔渣生产消耗的量，单位为吨

SOG = 熔渣烟气从离场转移到钢铁生产设施或其它设施的量，单位为  $m^3$ （或其它单位，如吨或 GJ。单位的变换应按照第2卷“能源”。）

C<sub>x</sub> = 投入或产出材料 *x* 的碳含量，单位为吨 C/（材料 *x* 的单位）[例如，吨 C/吨]

根据燃料消耗量和燃料碳含量，公式 4.11 按照方法 2 计算源自直接还原铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放。源自 DRI 生产的排放衍生于燃烧的燃料、焦粉、冶金焦或其它碳气溶胶材料，应作为 IPPU 排放来报告。

**公式 4.11**  
**源自直接还原铁生产的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 2）**

$$E_{CO_2, \text{非能源}} = (DRI_{NG} \cdot C_{NG} + DRI_{BZ} \cdot C_{BZ} + DRI_{CK} \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

E<sub>CO<sub>2</sub>, 非能源</sub> = 要在 IPPU 部门报告的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

DRI<sub>NG</sub> = 直接还原铁生产所用的天然气量，单位为 GJ

DRI<sub>BZ</sub> = 直接还原铁生产所用的焦粉量，单位为 GJ

DRI<sub>CK</sub> = 直接还原铁生产所用的冶金焦量，单位为 GJ

C<sub>NG</sub> = 天然气的碳含量，单位为吨 C/GJ

C<sub>BZ</sub> = 焦粉的碳含量，单位为吨 C/GJ

C<sub>CK</sub> = 冶金焦的碳含量，单位为吨 C/GJ

### 方法 3

与方法 2 不同，方法 3 使用特定工厂数据。方法 3 提供的排放估算甚至比方法 2 更准确，因为各工厂在技术和过程条件方面有很大差异。如果可从炼铁和炼钢设施中获得实际测量的 CO<sub>2</sub> 排放数据，则这些数据可以累计以计算国家 CO<sub>2</sub> 排放量。如果不能获取特定设施的 CO<sub>2</sub> 排放数据，则可以依据单个还原剂、废气和其它过程材料及产品的特定工厂活动数据，来计算 CO<sub>2</sub> 排放。国家排放总量等于源自每个设施报告的排放量之和。公式 4.9-4.11 描述了使用方法 3 计算特定工厂排放所必需的参数，以及设施级特定工厂活动数据。对于方法 3，需要特定工厂各材料的碳含量。

### CH<sub>4</sub> 的方法学

在熔渣生产或铁生产的炉子中加热含碳材料时，会释放含甲烷的挥发性气体。使用开放式或半遮盖的炉子时，大部分挥发性气体会在罩壳和烟气槽中的装料之上燃烧成 CO<sub>2</sub>，而某些将保持未反应，例如 CH<sub>4</sub> 和非甲烷挥发性有机化合物（NMVOC）。这些量取决于炉子的运作。与批次加料方式相比，零散加料会减少 CH<sub>4</sub> 的量。罩壳（较少漏气）中升高的温度将进一步减少 CH<sub>4</sub> 的含量。

本节论述了方法 1 缺省方法，以及对源自熔渣生产或铁生产的 CH<sub>4</sub> 更高级方法 3 设施级方法，这两种方法与估算 CO<sub>2</sub> 排放所述的方法类似。没有方法 2。CH<sub>4</sub> 还可能会在炼钢过程中排放，然而假定这些排放忽略不计。因此，源自炼钢过程的 CH<sub>4</sub> 排放不在此处讨论。

CH<sub>4</sub> 的方法 1 基于排放因子和国家产量统计资料。



## 公式 4.12

源自熔渣生产的 CH<sub>4</sub> 排放（方法 1）

$$\text{熔渣生产: } E_{CH_4, \text{非能源}} = SI \cdot EF_{SI}$$

## 公式 4.13

源自鼓风炉内生铁生产的 CH<sub>4</sub> 排放（方法 1）

$$\text{生铁生产: } E_{CH_4, \text{非能源}} = PI \cdot EF_{PI}$$

## 公式 4.14

源自直接还原铁生产的 CH<sub>4</sub> 排放（方法 1）

$$\text{直接还原铁生产: } E_{CH_4, \text{非能源}} = DRI \cdot EF_{DRI}$$

其中：

$E_{CH_4, \text{非能源}}$  = 要在 IPPU 部门报告的 CH<sub>4</sub> 排放量，单位为 kg

SI = 国家生产的熔渣量，单位为吨

PI = 国家生产的铁数量，包括转化为钢和未转化为钢的铁，单位为吨

DRI = 国家生产的直接还原铁数量，单位为吨

$EF_x$  = 排放因子，单位为 kg CH<sub>4</sub>/吨生产的  $x$

方法 3 使用工厂特定排放数据。如果焦炭生产中实际测量的 CH<sub>4</sub> 排放数据可用，则可以累计这些数据来计算国家 CH<sub>4</sub> 排放。国家排放总量等于源自每个设施报告的排放量之和。

## 排放因子的选择

### 方法 1

#### 二氧化碳排放因子

表 4.1 介绍了焦炭、熔渣、芯块、铁和钢生产的缺省排放因子。三种炼钢方法的排放因子均基于专家判断，专家判断使用了列出的不同钢生产情景的典型作法。缺省排放因子说明了鼓风炉中的所有碳投入量。基于有关钢铁生产（欧洲 IPCC 局，2001 年）的综合污染预防与防治（IPPC）参考文档（本节中指的是“IPPC I&S BAT 文档”），假定鼓风炉的大部分碳投入量来自焦炭（60-90%）。

根据 IPPCI&SBAT 文档中报告的 11 家欧洲焦炭工厂的特定工厂 CO<sub>2</sub> 排放数据，对其求平均值，从而得出焦炭生产的缺省 CO<sub>2</sub> 排放因子。IPPC I&S BAT 文档表 6.2 报告了 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为千克 CO<sub>2</sub>/吨生产的液态钢。每吨液态钢产生的 CO<sub>2</sub> 排放范围从 175 到 200 kgCO<sub>2</sub> 不等。IPPC 文件表 6.2 提供的转换因子是，940 kg 生铁/吨液态钢和 358 kg 焦炭/吨生铁。根据这些转换因子，源自 11 家欧洲焦炭工厂的平均 CO<sub>2</sub> 排放是，生产每吨焦炭产生 0.56 吨 CO<sub>2</sub>。

根据 IPPCI&SBAT 文档中报告 4 家欧洲熔渣工厂的特定工厂 CO<sub>2</sub> 排放数据，对其求平均值，从而得出熔渣工厂产生的 CO<sub>2</sub> 排放因子。IPPC I&S BAT 文档的表 4.1 报告了 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为千克 CO<sub>2</sub>/吨生产的液态钢。每吨液态钢产生的 CO<sub>2</sub> 排放范围从 205 到 240 kgCO<sub>2</sub> 不等。IPPC I&S BAT 文档的表 4.1 提供的转换因子是：940kg 生铁/吨液态钢和 1,160 kg 熔渣/吨生铁。根据这些转换因子，源自 4 家欧洲熔渣工厂的平均 CO<sub>2</sub> 排放是 0.2 kg CO<sub>2</sub>/kg 生产的熔渣。

根据 IPPCI&SBAT 文档中报告欧洲熔渣工厂的特定工厂 CO<sub>2</sub> 排放数据，对其求平均值，从而得出鼓风炉炼铁的 CO<sub>2</sub> 排放因子。在 IPPCI&SBAT 文档的表 7.2 和表 7.3 中，报告了炼铁过程产生的鼓风炉气体中 CO<sub>2</sub> 和 CO 含量，单位为千克 CO<sub>2</sub>/吨生产的生铁和千克 CO/吨生产的生铁。CO<sub>2</sub> 含量范围是生产每吨生铁产生 400 到 900kgCO<sub>2</sub>，CO 含量范围是生产每吨生铁产生 300 到 700 kgCO。基于的假定是：综合钢铁工厂内所有鼓风炉气体均燃烧用于能源回收（且燃烧产生 CO<sub>2</sub>），而且没有鼓风炉气体离场转移，这对应于排放因子 1.35 kgCO<sub>2</sub>/kg 生产的生铁。

**表 4.1**  
**焦炭生产和钢铁生产中方法 1 缺省 CO<sub>2</sub> 排放因子**

过程	排放因子	源
熔渣生产 (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的熔渣)	0.20	熔渣生产: 欧洲 IPPC 局 (2001), 综合污染预防与防治 (IPPC) 有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档, 2001 年 12 月, 第 29 页表 4.1。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
焦炉 (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的焦炭)	0.56	焦炭生产: 欧洲 IPPC 局 (2001), 综合污染预防与防治 (IPPC) 有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档, 2001 年 12 月, 第 122 页表 6.2。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
铁生产 (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的生铁)	1.35	铁生产: 欧洲 IPPC 局 (2001) 综合污染预防与防治 (IPPC) 有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档, 2001 年 12 月, 表 7.2 和 7.3。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
直接还原铁生产 (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的 DRI)	0.70	直接还原铁生产: 欧洲 IPPC 局 (2001), 综合污染预防与防治 (IPPC) 有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档, 2001 年 12 月, 第 322 页表 10.1 和第 331 页表 10.4。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
芯块生产 (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的芯块)	0.03	芯块生产: 欧洲 IPPC 局 (2001) 综合污染预防与防治 (IPPC) 有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档, 2001 年 12 月, 第 95 页表 5.1。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
<b>炼钢方法</b>		
碱性氧气转炉 (BOF) (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的钢)	1.46	钢生产: 专家共识与 IISI 环境绩效评估指标 2003 STEEL (国际钢铁协会, 2004 年)
电弧炉 (EAF) (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的钢)**	0.08	钢生产: 专家共识与 IISI 环境绩效评估指标 2003 STEEL (国际钢铁协会, 2004 年)
平炉 (OHF) (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的钢)	1.72	钢生产: 专家共识与 IISI 环境绩效评估指标 2003 STEEL (国际钢铁协会, 2004 年)
全球平均因子 (65%BOF, 30%EAF, 5%OHF)* (吨 CO <sub>2</sub> /吨生产的钢)	1.06	钢生产: 专家共识与 IISI 环境绩效评估指标 2003 STEEL (国际钢铁协会, 2004 年)
*2003 年, 全世界钢生产大约有 63% 在碱性氧气转炉 (BOF) 中生产, 大约有 33% 在电弧炉 (EAF) 中生产; 剩余的 4% 在平炉 (OHF) 中生产, 目前这一数值有所下降。 **EAF 炼钢的排放因子不包括源自铁生产的排放。BOF 和 OHF 炼钢的排放因子包括源自鼓风机铁生产的排放。 注意, 此表中 EAF 炼钢的 CO <sub>2</sub> 排放因子基于废金属的钢生产, 因此, EAF 排放因子不会计算源自鼓风机炼铁的任何 CO <sub>2</sub> 排放。因此, 此表中 EAF 的方法 1 CO <sub>2</sub> 排放因子不适用于将生铁用作原材料的 EAF。		

芯块生产的排放因子基于 IPPC I&S BAT 文档, 此文档提供的排放因子范围是 15.6kg CO<sub>2</sub>/吨产品到 31.8 kgCO<sub>2</sub>/吨产品。然而, 特定过程的 CO<sub>2</sub> 排放因子将取决于过程中使用的原材料和燃料的特性。根据煤、天然气或焦炉煤气是否用作初级燃料, 排放因子会有所差异。提供的“缺省”排放因子是范围的上限, 即 30kgCO<sub>2</sub>/吨产品, 如果清单编制者不知道有关所用燃料或原材料的任何数据, 则应使用此缺省排放因子。如果清单编制者了解所用的给料, 则应使用方法 2 计算 CO<sub>2</sub> 排放, 计算时要考虑燃料消耗量、燃料发热值及碳含量。

为了计算方法 1 排放, 假定直接还原铁生产的缺省燃料为天然气。基于天然气的过程占了全世界大部分已安装直接还原铁 (DRI) 的产能, 其中 63% 属于 MIDREX 过程。假定 100% 的大块铁矿石被熔炼, 则使用 MIDREX 过程生产直接还原铁的燃料消耗量通常是, 10.5-14.5GJ 天然气/公制吨固体 DRI。报告的铁粉制成热压块铁的燃料消耗量是: FINMET 过程为 12.5GJ 天然气/吨产品, 以及 CIRCORED 过程为 14 GJ 天然气/吨产品。缺省能源消耗量 12.5GJ 天然气/吨生产的 DRI, 而天然气缺省碳含量 15.3kg 碳/GJ 天然气, 二者对应于 CO<sub>2</sub> 排放因子即 191.3 kg 碳/吨生产的 DRI (0.7 吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的 DRI)。

### 甲烷排放因子

下表 4.2 介绍了缺省 CH<sub>4</sub> 排放因子。根据 IPPC I&S BAT 文档中报告的 11 家欧洲焦炭工厂的特定工厂 CH<sub>4</sub> 排放数据，对其求平均值，从而得出焦炭生产的方法 1 缺省 CH<sub>4</sub> 排放因子。IPPC I&S BAT 文档的表 6.2 和表 6.3 中报告了 CH<sub>4</sub> 的排放，单位为克 CH<sub>4</sub> /吨生产的液态钢。每吨液态钢产生的 CH<sub>4</sub> 排放报告范围从 27 克到 32 克 CH<sub>4</sub> 不等。根据这些转换因子，源自 11 家欧洲焦炭工厂的平均 CH<sub>4</sub> 排放量是 0.1 克 CH<sub>4</sub>/吨生产的焦炭。

根据 EMEP/CORINAIR 排放清单指南（EEA，2005）和其它排放清单报告中报告的欧洲熔渣工厂的特定工厂 CH<sub>4</sub> 排放数据，对其求平均值，从而得出熔渣生产的方法 1 CH<sub>4</sub> 排放因子。对于熔渣和制芯工厂，EMEP/CORINAIR 排放清单指南的表 8.2a 中报告了 CH<sub>4</sub> 的排放量。对于使用焦粉的熔渣工厂，报告的排放因子为 50 mg CH<sub>4</sub>/MJ，报告的焦炭输入量范围是 38kg 焦炭/吨熔渣到 55kg 焦炭/吨熔渣。这对应于使用缺省值 28.2 TJ/Gg 焦炭，其平均排放因子为 0.07 kg CH<sub>4</sub>/吨生产的熔渣。对于芬兰运作的熔渣工厂，报告的排放因子为 0.05 kg CH<sub>4</sub>/吨熔渣。（Pipatti，2001）

过程	排放因子	源
焦炭生产	0.1 g/吨生产的焦炭	焦炭生产：欧洲 IPPC 局（2001）综合污染预防与防治（IPPC）有关钢铁生产的最佳可行技术参考文档，2001 年 12 月，第 122 页表 6.2-3。 <a href="http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm">http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm</a>
熔渣生产	0.07 kg/吨生产的熔渣	EMEP/CORINAIR 排放清单指南（EEA，2005）。接触过程： <i>熔渣和制芯工厂：熔渣和制芯工厂（不包括燃烧 030301）</i> 表 8.2a 气态化合物的排放因子
DRI 生产	1kg/TJ（基于净发热值）	能源卷中天然气燃烧时 CH <sub>4</sub> 排放的缺省排放因子。[参见第 2 卷第 2 章的表 2.3。]

### 方法 2

如果清单编制者没有与钢铁生产设施和焦炭生产设施情况有关的信息，而有与过程材料和离场转移的详细活动数据，则应使用表 4.3 中的缺省碳含量。如方法 2 所述：公式 4.2 用于综合焦炭生产，公式 4.9 - 4.11 用于钢铁生产，公式 4.3 用于非综合焦炭生产，包括了钢铁制造和焦炭生产中造成排放的大多数材料流程。表 4.3 中的碳含量基于第 2 卷第 1 章表 1.2 和表 1.3 提供的内容。

**表 4.3**  
钢铁生产和焦炭生产所用的方法 2 特定材料碳含量 (kg C/kg)

过程材料	碳含量
鼓风机煤气	0.17
木炭*	0.91
煤 <sup>1</sup>	0.67
煤焦油	0.62
焦炭	0.83
焦炉煤气	0.47
炼焦煤	0.73
直接还原铁 (DRI)	0.02
白云石	0.13
EAF 碳电极 <sup>2</sup>	0.82
EAF 装料碳 <sup>3</sup>	0.83
燃料油 <sup>4</sup>	0.86
气焦	0.83
热压块铁	0.02
石灰石	0.12
天然气	0.73
氧气吹炼钢炉煤气	0.35
石油焦	0.87
购买的生铁	0.04
废铁	0.04
钢	0.01

来源：缺省值与第 2 卷中提供的值一致，已采用如下假定计算。碳含量数据的完整参考纳入到第 2 卷第 1 章的表 1.2 和表 1.3 中。

注：

<sup>1</sup> 假定其它沥青煤

<sup>2</sup> 假定 80%石油焦和 20%煤焦油

<sup>3</sup> 假定焦炉焦炭

<sup>4</sup> 假定汽油/柴油燃料

\* 源自木炭的 CO<sub>2</sub> 排放可使用此碳含量值来计算，但是在国家温室气体清单中应报告为零。（参见第 1 卷第 1.2 节）。

### 方法 3

方法 3 基于汇总特定工厂排放估算或工厂特定级别的方法 2 公式应用。清单编制者应确保每个设施都记录了所用的排放因子和碳含量，并确保这些排放因子表明了设施所用的过程和材料。方法 3 需要所有过程材料和离场转移的碳含量和产量/消耗量质量速率，如表 4.3 中所列的值。如果表 4.3 提供了缺省碳含量时，则按照方法 3 的优良作法是，调整这些值以反应表中所列缺省值在工厂级的变化。如果特定工厂信息表示缺省因子与实际情况对应，则表 4.3 中列出的缺省因子仅适用于方法 3。预期方法 3 中特定工厂数据将包括碳含量和产量/消耗量质量速率数据，因此表 4.3 中的缺省值在大多数情况下不适用于方法 3。

## 活动数据的选择

### 方法 1

方法 1 仅需要按过程类型在国家中生产的钢产量、未加工成钢的生铁总产量，以及焦炭、直接还原铁、芯块和熔渣总产量；这种情况下生产的焦炭总量假定为在综合焦炭生产设施中生产的产量。这些数据可从以下机构获得：负责生产统计资料的政府机构，商业或工贸协会，亦或个别钢铁公司。如果国家仅能获得综合数据，则应使用加权因子。粗钢生产总量定义为可用锭铁、连续铸造半成品和铸造用液态钢的产出总量。

### 方法 2

方法 2 还需要钢铁、焦炉煤气、鼓风机气体总量，以及除现场和离场焦炭生产之外国家钢铁生产、直接还原铁生产和熔渣生产所用过程材料（例如石灰石）的总量。这些数据可从以下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构、商业或工业贸易协会、或个别钢铁公司。然后可将这些量乘以表 4.3 中适当的缺省碳含量，加总以后便可确定部门 CO<sub>2</sub> 排放总量。但是，最好采用在工厂级收集的活动数据（方法 3）。如果这不是关键类别，且没有工业范围还原剂总量和过程材料总量的数据，则可使用方法 1 估算排放。

### 方法 3

方法 3 需要收集、编制和汇总以下数据：特定设施测量的排放数据，特定设施过程材料产量/消耗量质量数据，以及碳含量数据。方法 3 可基于特定工厂质量平衡方式（对于 CO<sub>2</sub> 排放）或特定工厂直接排放监控数据（对于 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放）。方法 3 还可能需要在工厂级收集活动数据并在部门内汇总。特定工厂数据最好应汇总各钢铁和焦炭生产公司提供的数据。按这种方式确定的过程材料量更准确。这些数据还可从负责制造或能源统计的政府机构或商业及行业协会获得。然后将适当的量乘以设施的特定碳含量数据，加总以确定部门中的 CO<sub>2</sub> 排放总量，得出的排放总量将比使用方法 2 得出的值更准确。通过允许个别公司提供与方法 2 所用的缺省因子不同但更加准确的特定工厂数据和/或使用更多相关碳含量，此方法还可以更加准确。

## 完整性

### 与能源部门的关系

在估算此源类别的排放时：对于焦炭生产（能源）和钢铁生产（IPPU），在工业过程或能源部门中存在重复计算或漏算的风险。

由于碳来源（主要是焦炭，还可能有煤、油、天然气、石灰石等）的主要使用是生产生铁，所以源自钢铁生产（包括熔渣生产在内）的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放被视为工业过程排放，应按此报告。

源自焦炭生产（燃料燃烧和转换损耗）的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放按能源生产进行分类，应按此报告。但是，对于含现场焦炭生产的钢铁综合生产，焦炭生产设施和钢铁生产设施之间可能有副产品（例如，焦炉煤气、鼓风机气体、焦炉副产品）流程，这样可能会出现重复计算问题。钢铁制造设施中以焦炉煤气形式消耗的碳以及生成的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放，归类为 IPPU 排放，并按此类报告。现场焦炭生产设施中以鼓风机气体形式消耗的碳以及生成的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放，归类为能源排放，并按此类报告。跟踪这些碳流程需要很好的理解其源类别中的清单。

由于焦炭的主要作用，至关重要的要考虑设施处存在焦炭生产以及定义钢铁制造设施处碳平衡的边界极限值，以确保不重复计算 CO<sub>2</sub> 排放。与现场和离场焦炭制造有关的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放要报告在能源部门中（参见第 2 卷）。

### 其它形式的碳

尽管生产粗铁或生铁的主要方式是使用焦炭的鼓风机，但是还可使用其它形式的碳（例如粉煤、煤衍生物、回收塑料或轮胎、天然气或燃料油）替代鼓风机中的部分焦炭。在这些情况下，应按照与焦炭相同的方式作为碳的过程来源来计算这些材料。如果包括这些材料，要考虑从任何一般能源统计资料中扣除这些材料。铁还可在除鼓风机之外的其它类型炼铁炉中生产，通常使用天然气或用煤代替焦炭来生产，由于这些碳来源具有相同的使用，所以应按照与焦炭同样的方式来计算这些碳源。

在大多数鼓风炉中，使用碳酸盐熔剂（石灰石或白云石）来帮助炼铁过程。因为这些材料是此过程必需的原材料，所以应算作钢铁制造清单中的一部分。但是，如果在采掘部门单独计算，则须注意不能重复计算与石灰石和白云石使用有关的排放。（参见本卷第2.5节“碳酸盐的其它过程使用”。）

### 熔渣

某些综合设施还利用熔渣工厂将含铁的精矿石转换为一种铁块（或熔渣），这种铁块适合用作鼓风炉原材料。通常，焦粉（或焦炭屑）在熔渣过程中用作燃料，是  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  排放的来源。如果焦粉在焦炭厂炭工厂设施内生产，在煤进入设施时计算  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  排放；或者如果焦炭屑作为购买的焦炭计算，则熔渣制造过程中所用焦炭产生的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  排放不应重复计算。将源自熔渣生产的排放归类为 IPPU 排放，应按此类报告。

### 废气

重要的是不要重复计算鼓风炉衍生副产品气体的使用，例如鼓风炉气体，或在能源部门作为能源回收且是  $\text{CO}_2$  来源的 BOF 烟气，前提是这些气体已经计算为过程排放。过程排放应包括鼓风炉中用作初级还原剂的所有碳给料。在典型的焦炭和钢铁工厂充分整合的情况下，需要对焦炉副产品和运输钢的碳含量进行调整，这在来源说明中应有明确的叙述。在某些情况下，还可能必须调整鼓风炉气体以及可能出售或离场转移的铁。图 4.1-4.5 清晰地阐述了废气的过程流程。

### 电极消耗量

EAF 炉子的电极消耗量大约为 3.5kg/吨。但是，根据添加材料的特征，某些碳可能添加到 EAF（通常为 20kg/吨）用于过程控制，或可能包含在添加材料中作为铁的替代物，这种趋势日益频繁。在这些情况下，源自这些附加含碳材料的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  排放应视为与过程相关，并在清单中计算，因为它们的碳含量不可能已计算在清单的其它地方。此外，如果天然气作为还原剂用于增强 EAF 中反应，则应作为碳来源进行计算，像钢铁制造中使用的所有过程材料那样，作为 IPPU 排放类报告。

某些特种钢生产在感应电炉中进行，这种情况下的加料为 100% 废钢，没有碳电极。这种炼钢过程中不会出现可察觉的  $\text{CO}_2$  或  $\text{CH}_4$  排放。

### OHF过程

尽管 OHF 不再流行，但是在某些国家，还必须将源自这种炼钢过程的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  排放编入清单。平炉类似于 BOF，通常添加熔化的铁和废料，将氧气注入炉中，而在原材料池的表面点燃化石燃料（例如天然气、燃料油、煤或焦油），还可还原铁中的碳及熔化装料。与 BOF 情况类似，铁中的碳可能会被忽略，因其已算为炼铁中碳的来源。但是，平炉过程所用燃料中的碳应作为 IPPU 排放来计算。

## 建立一致的时间序列

在时间序列中每年应使用相同的方法，计算焦炭生产、熔渣生产和钢铁生产中的排放。如果没有数据来支持所有年份的时间序列采用更严格的方法，则应根据第1卷第5章“时间序列一致性和重新计算”论述的指南来重新计算这些空白。

### 4.2.3 不确定性评估

方法1中所用焦炭生产和钢铁生产的缺省排放因子，可能具有 $\pm 25\%$ 的不确定性。预期方法2特定材料碳含量具有10%的不确定性。如果可获得特定工厂碳含量和质量速率数据，则预期方法3排放因子不确定性小于5%。表4.4介绍了排放因子、碳含量和活动数据的不确定性概况。

**表 4.4**  
**不确定性范围**

方法	数据来源	不确定性范围
方法 1	缺省排放因子 国家生产数据	± 25% ± 10%
方法 2	特定材料缺省碳含量 国家还原剂和过程材料数据	± 10% ± 10%
方法 3	公司得出的 = 过程材料数据 特定公司测量的 CO <sub>2</sub> 和 CH <sub>4</sub> 数据 特定公司的排放因子	± 5% ± 5% ± 5%

对方法 1，最重要的活动数据类型是使用各种方法的钢产量。国家统计资料应可获得，不确定性可能为±10%。对于方法 2，钢铁生产所用还原剂和过程材料的总量可能小于 10%。方法 3 需要与还原剂和过程材料数量有关的特定工厂信息（不确定性约 5%）。另外，预期方法 3 的实际排放数据不确定性为 5%。根据分析收到的实际数据，方法 3 得出的不确定性可能更准确。

## 4.2.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

### 质量保证/质量控制（QA/QC）

优良作法是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。采用第 1 卷的 6 章介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是运用较高级方法来确定源自这种源类别的排放更是如此。对于第 1 卷第 4 章确定的关键类别，鼓励清单机构采用较高层次的 QA/QC。

除第 1 卷的指南外，与该源类别相关的具体程序概述如下。

#### 排放因子和碳含量审核

清单编制者应当将国家综合排放因子和碳含量与 IPCC 缺省因子进行比较，以确定国家的值相对于 IPCC 缺省值是否合理。国家缺省值之间的差别应予解释并归档成文，尤其是它们代表着不同的情形时更要如此。

#### 工厂活动水平数据核对

对工厂数据，清单编制者应审核工厂之间的不一致性，以确定这些不一致性是否表明存在误差、采用了不同的测量技术，或起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。

清单编制者应确保：排放因子和活动数据的推算符合国际认可并经证明的测量方法。如果实际测量达不到该指标要求，那么应当认真评估这些排放量及活动数据的使用，重新考虑不确定性估算，并记载其合格性。如果有更高的测量标准且多数地方执行了 QA/QC，那么排放量估算的不确定性可相应调低。

#### 专家评审

清单编制者应当吸纳铁合金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，以便对确定及审评方法和数据采集有所贡献。

第三方审评对该排放源类别亦会有益，尤其是在收集原始数据、测量工作、抄录、计算和归档成文等方面。

#### 活动数据核查

对于所有层级方法，清单编制者应核查第 2 卷第 2 章（能源部门固定源燃烧），以确保还原剂和过程材料（煤、焦炭、天然气等）的排放没有重复计算或漏算。

清单编制者应检查不同工厂的数据之间的任何不一致性，以确定这些不一致性是否表明存在误差、采用了不同的测量技术，或起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。这是与特定工厂估算的还原剂量或报告的过程材料碳含量尤其有关。

如果可以获得这些贸易数据，则清单编制者应当将过程材料消耗量的工厂级累计估算与工业总量相比较。

## 报告和归档

*优良作法*是按照第1卷6.11节的概述，记录和归档生产国家排放清单估算需要的所有信息。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。

### 方法 1

除报告估算的排放外，*优良作法*是按过程和使用的相应排放因子来报告钢总产量，并报告未加工成钢的铁的产量。在对应的表中，应注意到报告的排放仅是部门排放总量的一部分，焦炭生产排放归类为能源排放，并在第2卷第2章“能源部门固定源燃烧”中报告。

### 方法 2

*优良作法*是记录以下数据：估算或计算的排放量，所有活动数据，对应的排放因子，以及证明备用排放因子的任何假定或数据。对于综合焦炭生产排放，应详细阐述与源类别 1A（燃料燃烧）估算的关系，以证明没有重复计算或漏算排放。

### 方法 3

*优良作法*是记录计算的排放和所有数据源，如果某些数据是商业敏感或涉及产权的，则必须考虑保护特定设施数据的机密性。此外，清单机构应当将重现所有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。



## 4.3 铁合金生产

### 4.3.1 引言

铁合金这一术语用于说明铁和一种或多种金属聚合而成的合金，这些金属有硅、镁、铬、钼、钒和钨等。因为硅金属生产过程非常类似于硅铁过程，所以硅金属生产通常包括在铁合金组中。这些合金用于脱氧和改变钢的物理性质。铁合金设施制造出浓缩的化合物，这些化合物交付到钢生产工厂后整合为合金钢。在铝合金中使用硅金属，用于生产硅和电子材料。铁合金生产涉及冶金还原过程，该过程会造成大量的二氧化碳排放。

在铁合金生产中，原矿石、碳材料及矿渣形成材料经混合，加热到高温进行还原和熔炼。碳气溶胶还原剂通常是煤和焦炭，但是生物碳（木炭和木材）还常常用作初级或次级碳来源。源自焦炭生产的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）和甲烷（CH<sub>4</sub>）排放在第 4.2 节估算，在能源部门内报告。使用具有石墨电极或可消耗 Söderberg 电极的潜电弧炉。填料的电弧和电阻产生热量。这些炉子可能开口、半开口或封口。常用的技术是潜弧不封顶电炉（EAF）。在 EAF 中，通过悬挂在杯形耐火线钢壳上的石墨电极传输电流，完成加热。如同时消耗焦炭和石墨电极，金属氧化物中的碳会还原。电极中的碳从金属氧化物中捕获氧气形成 CO，而矿石被还原为熔化的基本金属。然后金属部分化合到溶液中。

除了源自还原剂和电极的排放，使用石灰石或白云石等碳酸盐溶剂进行煅烧，亦会促成温室气体排放。

由于强势的还原环境，封口电弧炉中的主要排放完全由与 CO<sub>2</sub> 相对的 CO 组成。此 CO 可在锅炉中用作能源生产，或进行喷焰燃烧。假定：产生的能源要在现场使用，随后 CO 的碳含量在厂内转化为 CO<sub>2</sub>。

开口和半封口炉子中产生的 CO 气体在加料水平之上燃烧，产生 CO<sub>2</sub>。假定排放到大气中的任何 CO 在之后数日内皆转化成 CO<sub>2</sub>。CO<sub>2</sub> 是源自铁合金生产的主要温室气体，但最近研究表明：CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 计算的等价温室排放最多为硅铁（FeSi）和硅金属（Si 金属）生产中 CO<sub>2</sub> 排放的 5%。本节陈述了计算 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放的方法。要更好地调查源自所有铁合金生产的这些排放，对源自 FeSi 和 Si 金属生产的这些排放应进行更多测量。

### 4.3.2 方法学问题

#### 方法的选择

##### CO<sub>2</sub> 的方法学

《IPCC 指南》概述了计算源自铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放的若干方法。为实际考虑，本节采用了质量平衡方式，排放的所有 CO 报告为排放的 CO<sub>2</sub>。优良作法方法的选择取决于具体国情，如图 4.9 决策树所示。方法 1 计算用于国家铁合金总产量的一般排放因子的排放。方法 1 非常简便，但是由于其依赖于假定而不是实际数据，所以可能造成错误。因此，只有铁合金生产不是关键类别时，才可以采用方法 1。方法 2 计算源自已知还原剂消耗量尤其是特定工厂消耗量数据的排放，或者源自使用排放因子的工业范围数据类似于估算燃烧排放的数据。方法 3 基于特定设施排放数据。

##### 方法 1：基于产量的排放因子

最简单的估算方法是，缺省排放因子乘以铁合金产品类型，如公式 4.15 所示。

公式 4.15  
方法 1 铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放

$$E_{CO_2} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

其中：

$E_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

$MP_i$  = 铁合金类型  $i$  的产量，单位为吨

$EF_i$  = 铁合金类型  $i$  的一般排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨特定铁合金产品

**方法 2：基于产量的特定原材料排放因子**

备用方法是使用还原剂的排放因子。对于其它原材料和产品，应考虑其碳含量。

**框 4.1**

本节公式定义中使用的文字/符号

含量指在所有公式中的权重比例

$\Sigma$  指所有  $i$ 、 $h$ 、 $j$ 、 $k$  或  $l$  的和

**公式 4.16**

方法 2 中铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放

$$E_{CO_2} = \sum_i (M_{\text{还原剂},i} \cdot EF_{\text{还原剂},i}) + \sum_h (M_{\text{矿石},h} \cdot \text{碳含量}_{\text{矿石},h}) \cdot \frac{44}{12} \\ + \sum_j (M_{\text{矿渣形成的材料},j} \cdot \text{碳含量}_{\text{矿渣形成的材料},j}) \cdot \frac{44}{12} \\ - \sum_k (M_{\text{产品},k} \cdot \text{碳含量}_{\text{产品},k}) \cdot \frac{44}{12} \\ - \sum_l (M_{\text{非产品输出流},l} \cdot \text{碳含量}_{\text{非产品输出流},l}) \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

$M_{\text{还原剂},i}$  = 还原剂  $i$  的质量，单位为吨

$EF_{\text{还原剂},i}$  = 还原剂  $i$  的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨还原剂

$M_{\text{矿石},h}$  = 矿石  $h$  的质量，单位为吨

$C_{\text{矿石含量},h}$  = 矿石  $h$  中的碳含量，单位为吨 C/吨矿石

$M_{\text{矿渣形成的材料},j}$  = 矿渣形成材料  $j$  的质量，单位为吨

$C_{\text{矿渣形成材料的含量},j}$  = 矿渣形成材料  $j$  的碳含量，单位为吨 C/吨材料

$M_{\text{产品},k}$  = 产品  $k$  的质量，单位为吨

$C_{\text{产品含量},k}$  = 产品  $k$  中的碳含量，吨 C/吨产品

$M_{\text{非产品输出流},l}$  = 非产品输出流  $l$  的质量，单位为吨

$C_{\text{非产品输出流含量},l}$  = 非产品输出流  $l$  的碳含量，吨 C/吨

常数 44/12 是所用碳总量的每个质量单位排放的 CO<sub>2</sub> 质量乘法因子。

**方法 3：基于还原剂量和分析的计算**

生产商使用的煤和焦炭具有不同的灰尘、固定碳和挥发性物质含量。而且，碳酸盐矿石和矿渣形成的材料中，碳的含量有所差异。因此最准确的方法是计算 CO<sub>2</sub> 排放，此排放源自还原剂、电极胶、矿石、矿渣形成的材料和产品中碳的总量，并对产生的每个铁合金进行这样的计算。

公式 4.17  
方法 3 中铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} = & \sum_i (M_{\text{还原剂},i} \cdot \text{碳含量}_{\text{还原剂},i}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & + \sum_h (M_{\text{矿石},h} \cdot \text{碳含量}_{\text{矿石},h}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & + \sum_j (M_{\text{矿渣形成的材料},j} \cdot \text{碳含量}_{\text{矿渣形成的材料},j}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & - \sum_k (M_{\text{产品},k} \cdot \text{碳含量}_{\text{产品},k}) \cdot \frac{44}{12} \\
 & - \sum_l (M_{\text{非产品输出流量},l} \cdot \text{碳含量}_{\text{非产品输出流量},l}) \cdot \frac{44}{12}
 \end{aligned}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

$M_{\text{还原剂},i}$  = 还原剂  $i$  的质量，单位为吨

$C_{\text{还原剂含量},i}$  = 还原剂  $i$  中的碳含量，单位为吨 C/吨还原剂

$M_{\text{矿石},h}$  = 矿石  $h$  的质量，单位为吨

$C_{\text{矿石含量},h}$  = 矿石  $h$  中的碳含量，单位为吨 C/吨矿石

$M_{\text{矿渣形成的材料},j}$  = 矿渣形成材料  $j$  的质量，单位为吨

$C_{\text{矿渣形成材料的含量},j}$  = 矿渣形成材料  $j$  的碳含量，单位为吨 C/吨材料

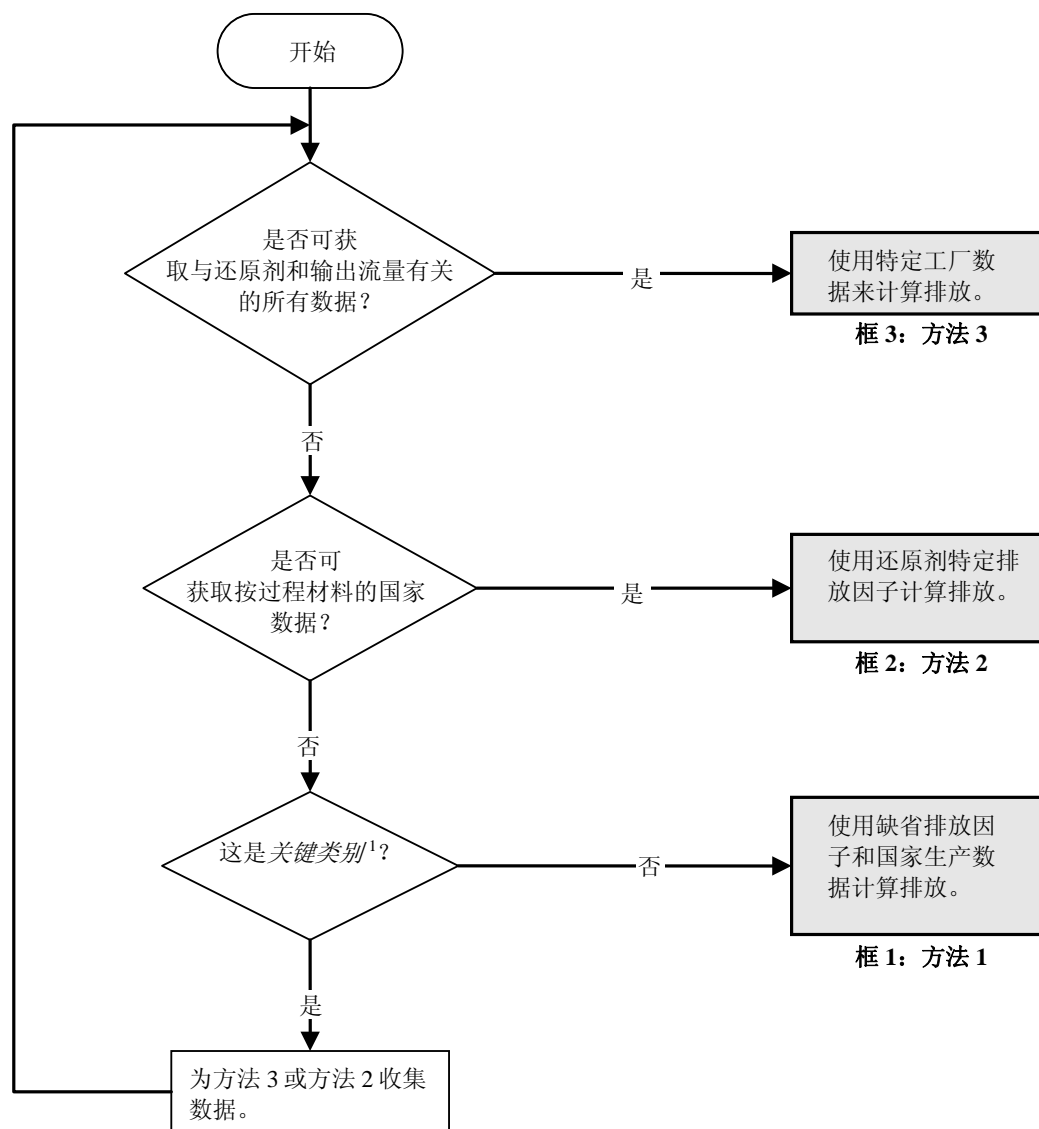
$M_{\text{产品},k}$  = 产品  $k$  的质量，单位为吨

$C_{\text{产品含量},k}$  = 产品  $k$  中的碳含量，单位为吨 C/吨产品

$M_{\text{非产品输出流},l}$  = 非产品输出流  $l$  的质量，单位为吨

$C_{\text{非产品输出流含量},l}$  = 非产品输出流  $l$  的碳含量，单位为吨 C/吨

常数 44/12 是所用碳总量的每个质量单位排放的 CO<sub>2</sub> 质量乘法因子。如果可以获得所有还原剂中碳总量的分析，则这种计算的准确度很高。

图 4.9 估算源自铁合金生产中 CO<sub>2</sub> 排放量的决策树

注:

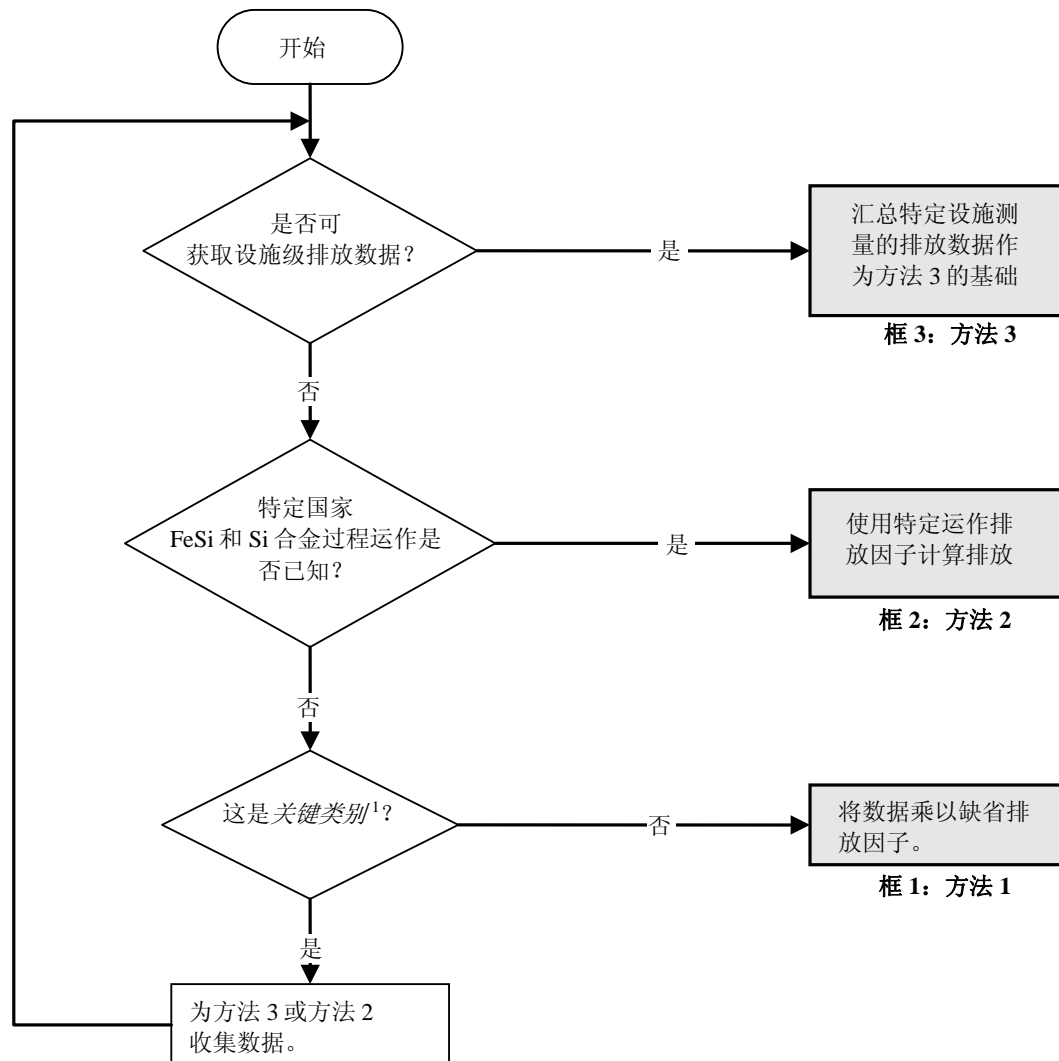
1 有关关键类别和决策树使用的讨论, 请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”(参见 4.1.2 节有关有限资源部分)。

## CH<sub>4</sub> 的方法和 N<sub>2</sub>O 排放的讨论

炉子中碳材料的发热释放出包括甲烷在内的挥发性物质。开口或半开口炉子主要用于 FeSi 和 Si 铁合金生产, 大部分挥发性气体会在罩壳和烟气槽中的装料之上燃烧成 CO<sub>2</sub>, 而有的将保持未反应, 例如 CH<sub>4</sub> 和 NMVOC。这些量取决于炉子的运作。与批次加料方式相比, 零散加料会减少 CH<sub>4</sub> 的量。罩壳(较少漏气)中升高的温度将进一步减少 CH<sub>4</sub> 的含量。

《IPCC 指南》概述了源自 FeSi 和 Si 铁合金生产的 CH<sub>4</sub> 排放的若干方法。优良作法方法的选择取决于具体国情, 如图 4.10 的决策树所示。方法 1 计算用于国家铁合金总产量的一般排放因子的排放。方法 1 非常简便, 但是由于其依赖于假定而不是实际数据, 所以可能造成错误。因此, 只有铁合金生产不是关键类别时, 才可以采用方法 1。方法 2 计算特定操作排放因子的排放。方法 3 使用特定设施排放数据。

与铁合金工业中 N<sub>2</sub>O 排放的估算或测量有关的误差很大, 因此未提供方法。

图 4.10 估算源自 FeSi 和 Si 生产的 CH<sub>4</sub> 排放的决策树

注：

1 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

### 方法 1：基于 FeSi 和 Si 合金产量的排放因子

最简单的估算方法是，缺省排放因子乘以 Si 合金产品类型。

总排放量计算依据：

**公式 4.18**  
方法 1 中铁合金生产的 CH<sub>4</sub> 排放

$$E_{CH_4} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

其中：

$E_{CH_4}$  = CH<sub>4</sub> 排放量，单位为 kg

$MP_i$  = Si 合金  $i$  的产量，单位为吨

$EF_i$  = Si 合金  $i$  的一般排放因子，单位为 kg CH<sub>4</sub>/吨特定 Si 合金产品

**方法 2：基于 FeSi 和 Si 合金产量的特定操作排放因子**

方法 2 还基于排放因子，但与方法 1 不同，这些是与特定操作有关的。

**方法 3：**

**直接测量**当铁合金行业中的排放是**关键类别**时，还强烈鼓励清单编制者测量 CH<sub>4</sub> 排放。

**排放因子的选择****CO<sub>2</sub> 的排放因子****方法 1：基于产量的排放因子**

当只有可用数据是国家铁合金生产统计资料时，*优良作法*是使用缺省排放因子。但是因为取决于铁合金生产类型的广泛不同因子，必须确定哪种方法产生多少吨排放，然后对表 4.5 中所列因子的积与合适的产量吨数相加求和。这些因子基于专家判断，使用列出的铁合金产量情景的典型作法。如果使用任意生物碳，除用于 FeSi 和 Si 金属生产的某些碎木屑，则不能采用这些因子。

表 4.5 铁合金生产的一般 CO <sub>2</sub> 排放因子 (吨 CO <sub>2</sub> /产品吨数)	
铁合金类型	排放因子
硅铁 45% Si	2.5
硅铁 65 % Si	3.6
硅铁 75% Si	4.0
硅铁 90% Si	4.8
锰铁 (7% C)	1.3
锰铁 (1% C)	1.5
硅锰	1.4
碳金属	5.0
铁铬合金	1.3 (熔渣生产为 1.6)

来源：IPCC (1997)、IPCC (2000)、奥斯陆 (2004) 和 Lindstad (2004)

对于锰合金已由 Olsen (2004)，硅合金已由 Lindstad (2004)，FeCr 已由 Olsen、Monsen 和 Lindstad (1998)，评估了这些缺省排放因子。

对于 FeMn 合金，这些排放因子基于含 Mn 原材料是矿石氧化物、碳酸盐矿石和进口的 Mn 熔渣的产量。如果熔渣在海外生产，则不会对国家温室气体清单有任何贡献。熔渣生产中的排放必须在生产所在地报告。

FeSi90 和 Si 金属的因子基于，减少 SiO<sub>2</sub> 所需的 110% 化学计量比的固定 C 消耗量。对于其它 FeSi 合金，此因子基于 114% 固定 C 的化学计量比值。

**方法 2：基于产量的特定原材料排放因子**

镁和硅合金生产中使用的还原剂排放因子如表 4.6 所示。Olsen (2004) 评估的因子用于镁合金生产，Lindstad (2004) 评估的因子用于硅合金生产。

**表 4.6**  
铁合金生产的 CO<sub>2</sub> 排放因子  
(吨 CO<sub>2</sub>/吨还原剂)

还原剂 (使用)	排放因子
煤 (用于 FeSi 和 Si 金属)	3.1
煤 (用于其它铁合金)	* (见下文)
焦炭 (用于 FeMn 和 SiMn)	3.2-3.3
焦炭 (用于 Si 和 FeSi)	3.3-3.4
焦炭 (用于其它铁合金)	* (见下文)
预焙电极	3.54
电极胶	3.4
石油焦	3.5

\*: 鼓励清单编制者根据每个铁合金生产商的煤和/或焦炭平均掺混使用特定生产商值。  
来源: Olsen (2004)、Lindstad (2004)

### 方法 3：基于还原剂量和分析的计算

对于方法 3，必须确定生产过程中所用的还原剂的碳含量。但是大多数铁合金生产商仅根据灰尘、挥发性物质分析并计算：

固定 C % = 100 % - % 灰尘 - % 挥发性物质。

这种情况下，通过以下公式计算还原剂的总体 C 含量。

**公式 4.19**  
**铁合金还原剂的碳含量**

$$\text{碳含量}_{\text{还原剂},i} = F_{\text{FixC},i} + F_{\text{挥发性物质},i} \cdot C_v$$

其中：

$C_{\text{还原剂含量},i}$  = 还原剂  $i$  的碳含量，单位为吨 C/吨还原剂

$F_{\text{固定C},i}$  = 还原剂  $i$  中固定 C 的质量比例，单位为吨 C/吨还原剂

$F_{\text{挥发性物质},i}$  = 还原剂  $i$  中挥发性物质的质量比例，单位为吨挥发性物质/吨还原剂

$C_v$  = 挥发性物质中的碳含量，单位为吨 C/吨挥发性物质

(除非可获取其它信息，否则对于煤采用  $C_v = 0.65$ ，对于焦炭采用 0.80)

### CH<sub>4</sub> 的排放因子

#### 方法 1：基于 FeSi 和 Si 合金产量的排放因子

当只有可用数据是国家铁合金生产统计资料时，*优良作法*是使用缺省排放因子。但是因为取决于铁合金生产类型的不同因子，必须确定哪种方法产生多少吨排放，然后对表 4.7 中所示因子的积与合适的产量吨数相加求和。CH<sub>4</sub> 的缺省排放因子基于少量特定操作测量（如方法 2 的表 4.7 中所示）的平均值，这些测量是 SINTEF 和 DNV 主要在 1995 年和 1998 年（FFF (2000)）实施的。

表 4.7  
CH<sub>4</sub> 的缺省排放因子 (kg CH<sub>4</sub>/吨产品)

排放量	合金	排放因子
CH <sub>4</sub>	Si 金属	1.2
	FeSi 90	1.1
	FeSi 75	1.0
	FeSi 65	1.0

来源：FFF (2000)

### 方法 2：基于 FeSi 和 Si 合金产量的特定操作排放因子

方法 2 还基于排放因子，但与方法 1 不同，这些因子是与特定运作有关的。否则程序与公式 4.18 中概述的程序相同，此公式要使用表 4.8 中的值。

表 4.8  
CH<sub>4</sub> 的排放因子 (kg CH<sub>4</sub>/吨产品)

排放量	合金	炉子运作		
		批量加料	零星加料 <sup>1)</sup>	零星加料和>750°C <sup>2)</sup>
CH <sub>4</sub>	Si 金属	1.5	1.2	0.7
	FeSi 90	1.4	1.1	0.6
	FeSi 75	1.3	1.0	0.5
	FeSi 65	1.3	1.0	0.5

<sup>1)</sup> 零星加料是每分钟间歇加料。  
<sup>2)</sup> 热偶不能“看到”炉罩中燃烧时测量的烟气槽温度。

### 方法 3：直接测量

方法 3 基于测量数据，而不是排放因子。清单编制者应参考如下指南：第 1 卷第 2 章中概述的工厂级测量，以及第 1 卷第 6 章的 QA/QC 测量。

## 活动数据的选择

### 方法 1

方法 1 仅需要国家按产品类型生产的铁合金量。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别铁合金公司。然后这些吨数乘以表 4.5 中对应的排放因子，以估算源自部门的 CO<sub>2</sub> 排放；乘以表 4.7 中对应的排放因子，以估算源自部门的 CH<sub>4</sub> 排放。

### 方法 2

方法 2 需要国家内铁合金生产所用的还原剂和其它过程材料的总量，以及使用的过程知识。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别铁合金公司。然后这些数值乘以表 4.6 和表 4.8 中适当的一般排放因子，加总以后，确定部门中的 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放总量。但是，最好采用在工厂级收集的活动数据。

### 方法 3

方法 3 需要收集、编译和汇集特定设施排放数据。这些数据可直接从公司获得。



## 完整性

估算该源类别的排放量时，在工业过程部门或能源部门存在重复计算或漏算的风险。由于碳来源（煤、焦炭、石灰石、白云石等）主要用于生产铁合金，其排放将视为工业过程排放，应按此报告。应注意，方法 1 重复计算的风险特别高。源于工业过程报告排放的任何偏差应在清单中叙述清楚，应执行重复计算/完整性检查。

## 建立一致的时间序列

在时间序列中，应当采用相同方法计算每一年源自铁合金生产的排放。如果没有数据来支持时间序列中所有年份的方法 3，则应根据第 1 卷第 5 章介绍的指南，重新计算漏缺。

### 4.3.3 不确定性评估

铁合金生产的不确定性主要源于与活动数据相关的不确定性，其次源于与排放因子有关的不确定性。尽管某些铁合金生产可能使用木材或其它生物作为碳来源，但却不能获得与这些做法有关的信息和数据。源自用木材或其它生物量生产铁合金的排放不会计算在此类来源中，因为基于木材的碳是生物成因。源自用炼焦煤或石墨给料生产铁合金的排放将按国家趋势计算，但是与石油焦的使用相比，生产每单位铁合金生成的 CO<sub>2</sub> 量可能不同。

## 排放因子不确定性

对于方法 3，预期实际排放数据的不确定性低于 5%。对于方法 2，预期特定材料排放因子小于 10%，其总体不确定性比方法 1 小。如果可以获得特定工厂碳含量数据，则预期排放因子将小于 10% 或 5%。方法 1 中使用的缺省排放因子可能具有 25% 到 50% 的不确定性。

## 活动数据不确定性

对方法 1，最重要的活动数据类型是按产品类型的铁合金产量。国家统计资料应可获得，且不确定性可能小于 5%。方法 2 采用与还原剂量和过程材料数量有关的特定工厂信息，其不确定性不应大于 5%。

方法	数据来源	不确定性范围
方法 1	国家产量数据 缺省排放因子	< 5% < 25 %
方法 2	公司得出的还原剂和过程材料 国家还原剂和过程材料数据 特定公司的排放因子 特定材料缺省排放因子	< 5% < 5% < 5% < 10%
方法 3	特定公司测量的 CO <sub>2</sub> 数据	< 5%

## 4.3.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

### 质量保证/质量控制（QA/QC）

*优良作法*是实施第1卷第6章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。亦可以采用第1卷第6章介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是运用较高级方法来确定源自这种源类别的排放。对于第1卷第4章确定的*关键类别*，鼓励清单机构采用较高层次的QA/QC。

除第1卷的指南外，与此源类别相关的具体程序概述如下。

#### 排放因子审核

清单编制者应当将国家综合排放因子与IPCC缺省排放因子进行比较，以确定国家因子相对于IPCC缺省是否合理。国家因子与缺省因子之间的差别应加以解释并成文归档，尤其是当它们代表着不同的情形时。

#### 特定工厂活动数据核对

对特定工厂数据，清单编制者应审核工厂之间的一致性，以确定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、或是起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。对于铁合金生产，清单编制者应将工厂数据与其它工厂的数据进行比较。

清单编制者应确保：排放因子和活动水平数据的推算符合国际认可并经证明的测量方法。如果实际测量达不到该指标要求，那么应当认真评估这些排放量及活动数据的使用，重新考虑不确定性估算，并记录其合格性。如果有更高的测量标准而且多数地方执行了QA/QC，那么排放量估算的不确定性可相应调低。

#### 专家评审

清单编制者应当吸纳铁合金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，以便对确定及审评方法和数据采集提供投入。

第三方审评对该排放源类别亦会有益，尤其是在收集原始数据、测量工作、抄录、计算和归档成文等方面。

#### 活动数据核查

对于所有方法，清单编制者应核查第2卷第2章（能源部门固定源燃烧），以确保还原剂和过程材料（煤、焦炭、天然气等）的排放没有重复计算或漏算。

清单编制者应检查不同工厂的数据之间的任何不一致性，以确定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、或是起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。这尤其与特定工厂估算的还原剂量或报告的过程材料碳含量有关。

如果可以获得这些贸易数据，则清单编制者应当将过程材料消耗量的工厂级累计估算与工业总量相比较。

### 报告和归档

*优良作法*是按照第1卷6.11节的概述，记录和归档生产国家排放清单估算需要的所有信息。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。

#### 方法1

除了报告估算的排放之外，*优良作法*是要按过程和使用的对应排放因子来报告铁合金总产量。在对应的表中，应注意到报告的排放量仅是部门排放总量的一部分，剩余的排放在其他处第2卷第2章“能源部门固定源燃烧”中报告。

**方法 2**

*优良作法*是记录以下数据：估算或计算的排放量、所有活动数据、对应的排放因子，以及调整备用排放因子的任何假定或数据。应清晰阐释与燃料燃烧子部门估算的关系，以证明没有重复计算或漏算排放。

**方法 3**

*优良作法*是记录计算的排放和所有数据源，如果某些数据是商业敏感或涉及产权的，则必须考虑保护特定设施数据的机密性。此外，清单机构应当将重现所有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。

## 4.4 原铝生产

### 4.4.1 引言

本节论述了源自原铝生产的过程排放<sup>2</sup>。全世界的原铝是专门通过霍尔-赫鲁特电解过程生产的。在此过程中，电解还原槽的碳阳极及氧化铝供应系统形式和配置有所不同，属于以下四种技术类型之一：中间下料预焙（CWPB）<sup>3</sup>、侧插下料预焙（SWPB）、水平接线柱Søderberg（HSS）和垂直接线柱Søderberg（VSS）。

最重要的过程排放为：

在将氧化铝转化为金属铝的反应中，源自碳阳极消耗的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放；

阳极效应期间 CF<sub>4</sub> 和 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 的全氟碳（PFC）排放。

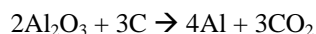
另外排放出的是少量过程排放，例如CO、SO<sub>2</sub>和NMVOC。在电解过程期间SF<sub>6</sub>不会排放出来，且SF<sub>6</sub>很少用于铝生产过程，只有在稀释特别高的镁铝合金时才会出现少量排放<sup>4</sup>。

图 4.11 和图 4.12 中的决策树，为选择估算源自铝生产的排放的方法提供了指南。国家铝生产的所有清单编制者应能够执行最低水平的方法 1，据此确保报告的完整性。尽管本章对 CO<sub>2</sub> 和 PFC 排放均给出缺省排放因子，但各国应尽力使用更高层的方法，因为排放速率的差异会很大，且与方法 1 相关的不确定性非常高。铝熔炉例行收集计算方法 2 排放因子所需的过程数据。

### 4.4.2 方法学问题

#### 源自原铝生产的CO<sub>2</sub>排放的方法选择

在正常运作期间，每个电解生产反应中，铝在阴极产生，碳在阳极消耗。



大多数二氧化碳排放产生于碳阳极与氧化铝（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）的电解反应。预焙碳阳极和 Søderberg 胶的消耗，是源自原铝生产的过程相关二氧化碳排放的主要来源。与预焙阳极烘烤有关的过程相关二氧化碳排放的其它来源，占非能源相关二氧化碳排放总量的不足 10%。

对造成二氧化碳排放的反应已有很好理解，这些排放与生产的铝吨数直接相关，通过碳阳极的氧化铝还原和热处理中氧化过程的基础电化学公式。这两种产生二氧化碳的基础过程皆纳入生产设施处例行监控的过程参数，预焙设施阳极碳净消耗，或 Søderberg 设施阳极胶消耗。

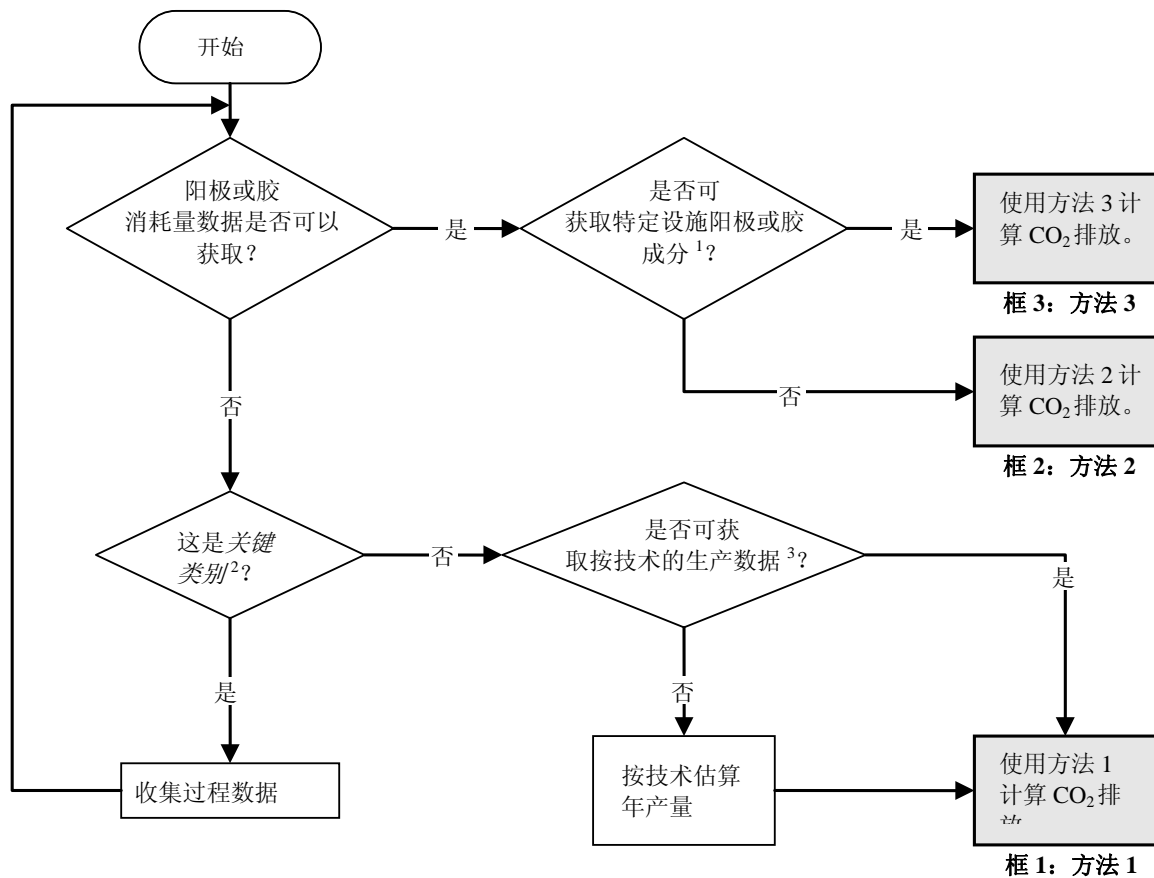
对于 CO<sub>2</sub> 排放计算，生产数据需要有 Søderberg 或预焙技术区分，而对于特定类型的 Søderberg 或预焙技术，无须进一步区分。

图 4.11 中所示的决策树描述了根据国情选择最适当 CO<sub>2</sub> 清单方法的优良作法。

<sup>2</sup> 第 2 卷能源撰论及回收源中与原铝生产、矾土采掘、矾土矿石提炼和铝生产有关的化石燃料燃烧中的排放。另外，第 2 卷还讨论了源自化石燃料燃烧来生产铝、与电能生产有关的二氧化碳排放。

<sup>3</sup> 包括点给料预焙和条断裂预焙槽

<sup>4</sup> 2004 IAI 调查表明，通过霍尔-赫鲁特电解生产过程熔炼的原铝，没有 SF<sub>6</sub> 排放的证据。

图 4.11 计算原铝生产中 CO<sub>2</sub> 排放的决策树

注:

1 参见国际铝学会《2005年铝部门温室气体议定书》。

2 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第1卷第4章“方法选择和类别识别”（参见4.1.2节有关有限资源部分）。

3 对于CO<sub>2</sub>排放计算，产量数据需要区分Søderberg或预焙的技术。对于特定类型的Søderberg或预焙的技术，没有必要进一步区

### 方法1 CO<sub>2</sub> 排放

计算CO<sub>2</sub>排放的方法1，仅将宽槽技术特性（预焙或Søderberg）用作原铝生产中CO<sub>2</sub>排放的较下层估算。假设不确定性与方法1有关，若源自原铝的CO<sub>2</sub>是关键类别，则优良作法是使用更高层的方法。

根据公式4.20来计算CO<sub>2</sub>排放总量。

#### 公式 4.20 源自阳极和/或胶消耗的过程CO<sub>2</sub>排放（方法1）

$$E_{CO_2} = EF_P \cdot MP_P + EF_S \cdot MP_S$$

其中:

$E_{CO_2}$  = 源自阳极和/或胶消耗的CO<sub>2</sub>排放量，单位为吨CO<sub>2</sub>

$EF_P$  = 预焙技术特定排放因子（单位为吨CO<sub>2</sub>/吨生产的铝）

$MP_P$  = 预焙过程中的金属生产（单位为吨Al）

$EF_S$  = Søderberg技术特定排放因子（单位为吨CO<sub>2</sub>/吨生产的铝）

$MP_S$  = Søderberg过程中的金属生产（单位为吨Al）

## 方法 2 或方法 3 CO<sub>2</sub> 排放

对于预焙和 Söderberg 过程，使用质量平衡方式计算 CO<sub>2</sub> 排放量，假设是净阳极消耗或胶消耗的碳含量最终以 CO<sub>2</sub> 形式排放。预焙和 Söderberg 过程的方法 2 均利用典型的工业杂质值，而方法 3 使用杂质的实际浓度。选择方法 2 还是方法 3 将取决于，是否可以获得单个工厂级阳极或胶的成分数据。

### 预焙槽的 CO<sub>2</sub> 排放 (CWPB 和 SWPB)：

采用方法 2 和方法 3 时，预焙槽的 CO<sub>2</sub> 排放根据公式 4.21 计算。方法 3 需要公式 4.21 中所有组件的特定操作设施数据，而方法 2 是基于其中某些组件的缺省值。以下 4.4.2.2 节介绍了使用这些参数的详细信息。

公式 4.21  
源自预焙阳极消耗的 CO<sub>2</sub> 排放 (方法 2 和方法 3)

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自预焙阳极消耗的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨 CO<sub>2</sub>

MP = 金属生产总量，单位为吨 Al

NAC = 每吨铝的净预焙阳极消耗量，单位为吨 C/吨 Al

$S_a$  = 烘培阳极中的硫含量，单位为 wt %

$Ash_a$  = 烘培阳极中的灰尘含量，单位为 wt %

44/12 = CO<sub>2</sub> 分子量：碳原子质量比率，无量纲

公式 4.21 应适用于国家内各个预焙熔炉，对这些结果求和，得出国家排放总量。如果不能获得每个熔炉的灰尘或硫含量数据，则可以使用混合方法 2/3。

第 2 卷“能源”论述了源自烘培阳极生产所用化石燃料燃烧的排放。然而，CO<sub>2</sub> 排放的其它两个来源与阳极烘培炉有关——烘培操作期间释放的挥发性物质的燃烧和烘培炉填料（焦炭）的燃烧。可利用公式 4.22 和公式 4.23 来计算这些排放。<sup>5</sup>

公式 4.22  
源自沥青挥发性物质燃烧的 CO<sub>2</sub> 排放 (方法 2 和方法 3)

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自沥青挥发性物质燃烧的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨 CO<sub>2</sub>

GA = 生阳极的最初重量，单位为吨

$H_w$  = 生阳极中的氢含量，单位为吨

BA = 烘培的阳极产量，单位为吨

WT = 收集的废焦油，单位为吨

公式 4.23  
源自烘培炉填料的 CO<sub>2</sub> 排放 (方法 2 和方法 3)

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

<sup>5</sup> 关于应用这些公式估算挥发性物质燃烧排放的其它信息，请参见 IAI 温室气体议定书 (IAI, 2005a)。

$E_{CO_2}$  = 源自烘焙炉填料的  $CO_2$  排放量，单位为吨  $CO_2$

PCC = 填充的焦炭消耗量，单位为吨/吨 BA

BA = 烘焙的阳极产量，单位为吨

$S_{pc}$  = 填充的焦炭中的硫含量，单位为 wt %

$Ash_{pc}$  = 填充的焦炭中的灰尘含量，单位为 wt %

### Söderberg 槽的 $CO_2$ 排放 (VSS 和 HSS)：

采用方法 2 和方法 3 时，Söderberg 槽的  $CO_2$  排放可根据公式 4.24 计算。方法 3 需要公式 4.24 中所有组件的特定操作设施数据，而方法 2 是基于某些组件的缺省值。以下 4.4.2.2 节论述了所用参数的详细信息。

公式 4.24<sup>6</sup>

源自胶消耗的  $CO_2$  排放 (方法 2 和方法 3)

$$E_{CO_2} = \left( PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_p + Ash_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_c + Ash_c}{100} - MP \cdot CD \right) \cdot \frac{44}{12}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自胶消耗的  $CO_2$  排放量，单位为吨  $CO_2$

MP = 金属生产总量，单位为吨 Al

PC = 胶消耗量，单位为吨/吨 Al

CSM = 环己胺可溶物质的排放量，单位为 kg/吨 Al

BC = 胶中的粘合料含量，单位为 wt %

$S_p$  = 沥青中的硫含量，单位为 wt %

$Ash_p$  = 沥青中的灰尘含量，单位为 wt %

$H_p$  = 沥青中的氢含量，单位为 wt %

$S_c$  = 煅烧焦炭中的硫含量，单位为 wt %

$Ash_c$  = 煅烧焦炭中的灰尘含量，单位为 wt %

CD = Söderberg 槽内撇渣中的碳，单位为吨 C/吨 Al

44/12 =  $CO_2$  分子量：碳原子质量比率，无量纲

公式 4.24 应适用于国家内使用 Söderberg 过程的各个熔炉，对这些结果求和，得出国家排放总量。如果不能获得每个熔炉的灰尘或硫含量数据，则可以使用混合方法 2/3。

## 原铝生产中 $CO_2$ 排放的排放因子选择

### 方法 1 $CO_2$ 排放

表 4.10 列出了  $CO_2$ /吨铝的缺省排放因子。预焙和 Söderberg 技术的 1.6 和 1.7 排放因子均基于国际铝学会 (IAI) 全球调查数据 (国际铝学会，铝的生命周期评估，2000)。

<sup>6</sup> 可接受的备用方法是，使用“沥青焦化”的参数代替公式 4.24 中  $S_p$ 、 $H_p$ 、灰尘 p 及 CSM 的扣除已测量值或缺省值。沥青焦化值通常是用 Söderberg 槽对许多设施确定的参数，执行沥青焦化测试的标准方法在 ASTM D2416 中有说明。

**表 4.10**  
计算源自阳极或胶消耗中二氧化碳排放的方法 1 技术特定排放因子

技术	排放因子 (吨 CO <sub>2</sub> /吨 Al)	不确定性 (+/-%)
预焙 <sup>7</sup>	1.6	10
Söderberg	1.7	10

来源：国际铝学会，铝的生命周期评估 (IAI, 2000)。

### 方法 2 和方法 3 CO<sub>2</sub> 排放的排放因子

#### 预焙槽的 CO<sub>2</sub> 排放 (CWPB 和 SWPB)：

公式 4.21 中最重要的因子是预焙技术的金属产量和净阳极消耗量。应从个别运作的设施中收集这些参数，与方法 2 或方法 3 一起使用。公式中的其它项对阳极的非碳组成部分做少量调整（例如硫和灰尘），因此这些不是很关键。方法 3 基于这些次要组成部分的特定操作设施数据的使用，而方法 2 基于表 4.11-4.13 中列出的缺省值。方法 3 提高了结果的准确性，然而预期准确性的提高不会超过 5%。生产每吨铝消耗的碳通常由原铝生产设施根据其经济重要性进行记录。使用预焙槽的设施将此消耗量称作“净阳极或净碳消耗量”，而使用 Söderberg 槽的设施将其称作“阳极胶消耗量”。

**表 4.11**  
源自预焙槽 (CWPB 和 SWPB) 的 CO<sub>2</sub> 排放量，方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性，参见公式 4.21

参数	方法 2		方法 3	
	数据来源	不确定性 (+/-%)	数据来源	不确定性 (+/-%)
MP: 金属总产量 (吨铝/年)	个别设施记录	2	个别设施记录	2
NAC: 每吨铝的净阳极消耗量 (吨/吨 Al)	个别设施记录	5	个别设施记录	5
S <sub>a</sub> : 焙阳极中的硫含量 (wt %)	使用工业典型值, 2	50	个别设施记录	10
灰尘 <sub>a</sub> : 焙阳极中的灰尘含量 (wt %)	使用工业典型值, 0.4	85	个别设施记录	10

来源：IAI (2005b)。

<sup>7</sup> 预焙槽的排放因子包括焙阳极中沥青挥发性物质燃烧中的 CO<sub>2</sub> 排放和填充焦炭燃烧中的 CO<sub>2</sub> 排放。



**表 4.12**  
源自沥青挥发性物质燃烧（CWPB 和 SWPB）的 CO<sub>2</sub> 排放，方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性，参见公式 4.22

参数	方法 2		方法 3	
	数据来源	不确定性 (+/-%)	数据来源	不确定性 (+/-%)
GA: 处理的生阳极最初总量 (吨生阳极/年)	个别设施记录	2	个别设施记录	2
H <sub>w</sub> : 生阳极中的氢含量 (吨)	使用工业典型值 0.005 • GA	50	个别设施记录	10
BA: 烘培的阳极产量 (吨/年)	个别设施记录	2	个别设施记录	2
WT: 收集的废焦油 (吨) a) 里德哈默炉 b) 其它所有炉子	使用工业典型值 a) 0.005•GA b) 不重要	50	个别设施记录	20

来源: IAI (2005b)。

**表 4.13**  
源自烘培炉填料（CWPB 和 SWPB）的 CO<sub>2</sub> 排放量，方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性，参见公式 4.23

参数	方法 2		方法 3	
	数据来源	不确定性 (+/-%)	数据来源	不确定性 (+/-%)
PCC: 填充的焦炭消耗量 (吨/吨 BA)	使用工业典型值 0.015	25	个别设施记录	2
BA: 烘培的阳极产量 (吨/年)	个别设施记录	2	个别设施记录	2
S <sub>pc</sub> : 填充的焦炭中的硫含量 (wt %)	使用工业典型值, 2	50	个别设施记录	10
Ash <sub>pc</sub> : 填充的焦炭中的灰尘含量 (wt %)	使用工业典型值, 2.5	95	个别设施记录	10

来源: IAI (2005b)。

### **Söderberg 槽的 CO<sub>2</sub> 排放 (VSS 和 HSS) :**

胶的粘合料含量 BC 的差值通常少于 1%，是设施运作方法的一部分。它是公式 4.24 中的重要项，因为作为粘合料的沥青，其碳含量低于组成其余胶的焦炭的碳含量。如之前对预焙阳极消耗量的叙述，公式 4.24 中最重要的组分是金属产量和胶消耗量。根据杂质和胶材料碳含量中的微小差异，对公式 4.24 中的其它项做少量修正。方法 3 基于这些次要组分的特定运作设施数据的使用，而方法 2 基于表 4.14 中列出的缺省值。方法 3 提高了结果的准确性，但预期对结果的影响低于 5%。

**表 4.14**  
源自 SÖDERBERG 槽 (VSS 和 HSS) 的 CO<sub>2</sub> 排放, 方法 2 或方法 3 中所用参数的数据来源和不确定性

参数	方法 2		方法 3	
	数据来源	数据不确定性 (+/-%)	数据来源	数据不确定性 (+/-%)
MP: 金属总产量 (吨铝/年)	个别设施记录	2	个别设施记录	2
PC: 胶消耗量 (吨/吨 Al)	个别设施记录	2-5	个别设施记录	2-5
CSM: 环己胺可溶物质的排放量 (kg/吨 Al)	使用工业典型值 HSS - 4.0 VSS - 0.5	30	个别设施记录	15
BC: 胶中的粘合料含量 (wt %)	使用工业典型值 干胶-24 湿胶-27	25	个别设施记录	5
S <sub>p</sub> : 沥青中的硫含量 (wt %)	使用工业典型值 0.6	20	个别设施记录	10
Ash <sub>p</sub> : 沥青中的灰尘含量 (wt %)	使用工业典型值 0.2	20	个别设施记录	10
H <sub>p</sub> : 沥青中的氢含量 (wt %)	使用工业典型值 3.3	50	个别设施记录	10
S <sub>c</sub> : 煅烧的焦炭中的硫含量 (wt %)	使用工业典型值 1.9	20	个别设施记录	10
Ash <sub>c</sub> : 煅烧的焦炭中的灰尘含量 (wt %)	使用工业典型值 0.2	50	个别设施记录	10
CD: 阳极中灰尘的碳 (吨漂浮的碳/吨 Al)	使用工业典型值 0.01	99	个别设施记录	30

## PFC 的方法选择

电解期间, 氧化铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 溶解到熔化的氟化物中, 其中 80% 的重量来自冰晶石 (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>)。在称为“阳极效应”的过程干扰情形下, 碳阳极与熔化的冰晶石反应形成全氟碳 (CF<sub>4</sub> 和 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 统称为 PFC)。当电解液中的氧化铝浓度过低, 不能支持标准的阳极反应时, 则出现阳极效应。

### 框 4.2 阳极效应说明

阳极效应是一种过程干扰情形, 此时没有足够的氧化铝溶解到电解液中, 使得电压超过正常运作范围, 导致排放出含 PFC 的气体。

对于 PFC, 方法 2 和方法 3 均基于定期收集的阳极效应的特定工厂过程数据。在选择 PFC 的方法时, 应注意到, 与高层方法有关的不确定性明显低于方法 1 的不确定性, 而如果这是**关键类别**, 强烈推荐采用方法 2 和方法 3。根据生产技术类型, PFC 方法的不确定性范围对于方法 1 可能达到百分之几百, 而对于方法 3 可能小于 20%。PFC 清单的方法 3 应与斜率或过压系数一起使用, 其计算采用良好的测量作法 (美国 EPA 和 IAI, 2003) 获得的测量数据。与原铝生产商的协商将决定是否可以获得过程数据, 然后决定用于计算排放的方法。工厂按照每个槽-天阳极效应的分钟数或阳极效应过压, 例行测量阳极效应状况。PFC 排放通过系数与阳极效应状况发生直接关联, 系数是斜率系数或过压系数。

图 4.12 中的决策树描述了根据国情选择最合适方法的优良作法。对于排放出极少量 PFC 的高性能设施，与方法 2 相比，方法 3 可能不会在综合设施 GHG 清单中提供很大改进。<sup>8</sup> 因此，优良作法是在为使资源优化选择方法之前，确定这些设施。标识这些高性能设施的参数取决于设施收集的过程数据类型。高性能设施是测量阳极效应分钟数时，每个槽-天运作小于 0.2 阳极效应分钟数的设施。当记录过压时，高性能设施运作的过压小于 1.4 mV。此外，对于这些高性能设施，方法 3 PFC 系数很难准确测量，因为阳极效应的最低频率需要扩展时间以获得统计方面的稳定结果。作为高性能设施的设施状态每年都应评估，因为经济因子（例如，停业期过后生产线的重启等）或过程因子（例如，周期性功率削减）可能会临时增加阳极效应频率。此外，随着时间的推移，通过实施新技术或改良工作作法，先前未达到高性能要求的设施可能会成为高性能设施。注意，在所有情况下，对不同年代采用不同方法都要认真实施，以确保时间序列的一致性。

对于其它所有设施，因为特定工厂系数会使得估算更加准确，所以最好选用方法 3。如果还未进行 PFC 测量来建立特定工厂系数，则可在进行测量和建立方法 3 系数之前，使用方法 2。根据从个别设施中获得的数据类型，各国可综合使用方法 2 和方法 3。

### 方法 1：使用基于技术的缺省排放因子

方法 1 使用四种主要生产类型（CWPB、SWPB、VSS 和 HSS）的基于技术的缺省排放因子。PFC 排放可以根据公式 4.25 计算。方法 1 中的不确定性更大，因为个别设施阳极效应性能未直接纳入考虑，而该性能是阳极效应和 PFC 排放的关键因素。只有原铝中的 PFC 不是关键类别且有关过程数据不能从操作设施中获得时，方法 1 才会符合优良作法。

**公式 4.25**  
**PFC 排放（方法 1）**

$$E_{CF_4} = \sum_i (EF_{CF_4,i} \cdot MP_i)$$

和

$$E_{C_2F_6} = \sum_i (EF_{C_2F_6,i} \cdot MP_i)$$

其中：

$E_{CF_4}$  = 源自铝生产的  $CF_4$  排放量，单位为 kg  $CF_4$

$E_{C_2F_6}$  = 源自铝生产的  $C_2F_6$  排放量，单位为 kg  $C_2F_6$

$EF_{CF_4,i}$  =  $CF_4$  槽类型  $i$  的缺省排放因子，单位为 kg  $CF_4$ /吨 Al

$EF_{C_2F_6,i}$  =  $C_2F_6$  槽技术类型  $i$  的缺省排放因子，单位为 kg  $C_2F_6$ /吨 Al

$MP_i$  = 槽技术类型  $i$  的金属产量，单位为吨 Al

### 方法 2 和方法 3：基于阳极效应性能

有两个不同的公式用于估算个别工厂的  $CF_4$  排放，这两个公式均基于阳极效应和性能之间的关系。即斜率和过压系数公式。两种系数的类型都基于 PFC 的直接测量数据。方法 2 利用各种设施测量数据的平均系数，而方法 3 基于个别设施的测量数据。因为产生 PFC 排放的过程机制类似于  $CF_4$  和  $C_2F_6$ ，所以估算 PFC 排放时应同时考虑两种气体。 $C_2F_6$  排放在此处说明的所有方法中作为  $CF_4$  排放的比例计算。

确定了阳极效应过程数据与 PFC 排放之间关系，根据持续收集的过程数据则可用于计算 PFC 排放，代替 PFC 的直接测量。两个估算关系之间的选择取决于现用的过程控制技术。当记录每个槽-天的阳极效应分钟数时应使用公式 4.26，而记录过压数据时应使用公式 4.27。

<sup>8</sup> 为 PFC 排放选定高性能设施的过程参数级别，是方法 2 系数中的量级和不确定性的综合结果。通过使用方法 2 系数 95% 置信极限的正负极限值，代替这些设施的方法 3 系数的可能值范围，从而计算这些级别。然后对于同时考虑 PFC 和  $CO_2$  排放的生产设施，评估其综合温室气体排放的潜在差异。如果设施运作在此处注明高性能设施的阳极效应过程参数级别或其下，则对 PFC 从方法 2 变为方法 3 的影响，不会导致综合 GWP 加权的 GHG 排放变化大于 5%。根据 IAI 2004 阳极效应调查数据，高性能设施中的 PFC 排放小于全球 PFC 排放的 3%。

**斜率系数：**斜率系数表示生产每吨铝产生的CF<sub>4</sub> kg数除以每个槽-天阳极效应的分钟数<sup>9</sup>。因为PFC排放以生产的每吨铝进行测量，所以其包括槽安培数和现有效率的结果，这两个主要因子确定槽中的铝产量。公式 4.26 说明了CF<sub>4</sub> 和C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>的斜率法。

**公式 4.26**  
**PFC 排放斜率法（方法 2 和方法 3）**

$$E_{CF_4} = S_{CF_4} \cdot AEM \cdot MP$$

和

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

其中：

$E_{CF_4}$  = 源自铝生产的 CF<sub>4</sub>排放量，单位为 kg CF<sub>4</sub>

$E_{C_2F_6}$  = 源自铝生产的 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>排放量，单位为 kg C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>

$S_{CF_4}$  = CF<sub>4</sub>的斜率系数，单位为 (kg CF<sub>4</sub>/吨 Al) / (AE 分钟数/槽-天)

AEM = 每个槽-天的阳极效应分钟数，单位为 AE 分钟数/槽-天

MP = 金属产量，单位为吨 Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$  = C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub>的重量比例，单位为 kg C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/kg CF<sub>4</sub>

**过压系数：**通过计算阳极效应过压<sup>10</sup>（AEO）统计资料，某些过程控制系统描绘了阳极效应的特性。AEO定义为超过目标工作电压的额外槽电压，且此参数业经证明可很好地预测过程控制系统记录时的PFC排放。AEO过程控制技术目前用于很多现代化熔炉。通过加总超过目标工作电压的时间与电压之乘积，并将此数值除以收集数据所用的时间，计算得出AEO。

**公式 4.27**  
**PFC 排放过压法（方法 2 和方法 3）**

$$E_{CF_4} = OVC \cdot \frac{AEO}{CE/100} \cdot MP$$

和

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

其中：

$E_{CF_4}$  = 源自铝生产的 CF<sub>4</sub>排放量，单位为 kg CF<sub>4</sub>

$E_{C_2F_6}$  = 源自铝生产的 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>排放量，单位为 kg C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>

OVC = CF<sub>4</sub>的过压系数，单位为 (kg CF<sub>4</sub>/吨 Al) / mV

AEO = 阳极效应过压，单位为 mV

CE = 表示的铝生产工艺现有效率，单位为百分比（例如 95%）

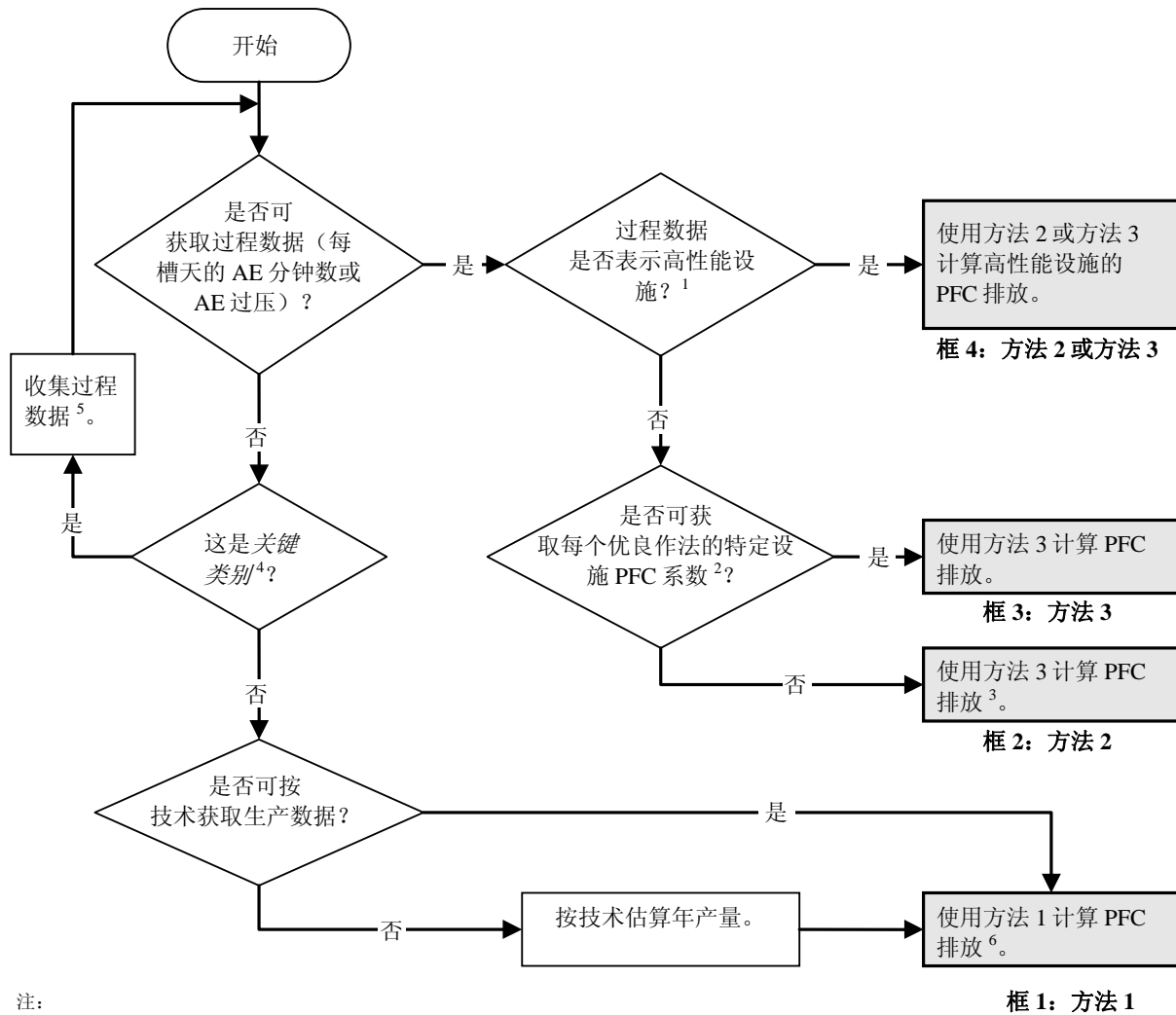
MP = 金属产量，单位为吨 Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$  = C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub>的重量比例，单位为 kg C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/kg CF<sub>4</sub>

<sup>9</sup> 术语槽-天指的是运行的电解槽数与运行时间数的乘积。

<sup>10</sup> 根据使用的软件版本，计算机控制系统报告正“过压或代数”过压。使用过压这种表述时，不要与典型电化学术语混淆，后者通常指的是电化学反应所需的额外电压。

图 4.12 计算原铝生产中 PFC 排放的决策树



注：

1 高性能设施排放出如此之少的 PFC，通过使用方法 3 而非方法 2，预期在综合设施 GHG 清单中没有明显的改善。根据收集何种过程数据将高性能设施定义为：运作时每槽-天少于 0.2 阳极效应分钟数或少于 1.4mV 过压。在这类设施中，对于 PFC 将方法 2 转换为方法 3 时，设施 GHG 清单中准确性的改进少于 5%。

2 获取特定设施 PFC 公式系数的优良作法的详细说明见 IAI GHG 议定书（IAI，2005）。

3 在这种情况下，在可获取特定点方法 3 系数之前，应使用方法 2，除非 PFC 排放不再重要，否则采用方法 3。在此情况下，这些设施可以选择使用方法 2 或方法 3。

4 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

5 对于关键类别，优良作法是收集个别生产设施的阳极效应过程数据和生产活动数据。

6 原铝设施定期记录包括金属生产和阳极效应过程数据的活动数据，这样至少可便于方法 2 计算方法。对 PFC 使用方法 1 可能会产生

## PFC 排放因子的选择

### 方法 1：基于技术的缺省排放因子

方法 1 的缺省排放因子，如表 4.15 所示。

**表 4.15**  
按槽技术类型计算铝生产中 PFC 排放的缺省排放因子和不确定性范围（方法 1）

技术	CF <sub>4</sub>		C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	
	EF <sub>CF<sub>4</sub></sub> (kg/吨 Al) <sup>a</sup>	不确定性范围 (%) <sup>b</sup>	EF <sub>C<sub>2</sub>F<sub>6</sub></sub> (kg/吨 Al) <sup>c</sup>	不确定性范围 (%) <sup>d</sup>
CWPB	0.4	-99/+380	0.04	-99/+380
SWPB	1.6	-40/+150	0.4	-40/+150
VSS	0.8	-70/+260	0.04	-70/+260
HSS	0.4	-80/+180	0.03	-80/+180

<sup>a</sup> 从中值阳极效应性能计算的缺省 CF<sub>4</sub> 值源自 1990 IAI 调查数据 (IAI, 2001)。  
<sup>b</sup> 基于按技术计算的特定 CF<sub>4</sub> 排放范围的不确定性源于 1990 IAI 阳极调查数据 (IAI, 2001)。  
<sup>c</sup> 按技术从全球平均 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>: CF<sub>4</sub> 比率中计算得出的缺省 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 值, 乘以缺省 CF<sub>4</sub> 排放因子。  
<sup>d</sup> 按技术基于全球平均 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>: CF<sub>4</sub> 比率的不确定性范围, 乘以源自 1990 IAI 调查数据 (IAI, 2001) 中经计算的最小和最大的特定 CF<sub>4</sub> 排放。  
 注: 只有在缺少方法 2 或方法 3 数据时, 才使用这些缺省排放因子。

### 方法 2: 基于阳极效应性能和 PFC 排放之间的特定技术关系的 PFC 排放因子。

对于表 4.16 中列出的合适还原槽和过程控制技术, 方法 2 基于使用特定技术斜率或过压系数。<sup>11</sup>

**表 4.16**  
计算铝生产中 PFC 排放的特定技术斜率系数和过压系数（方法 2）

技术 <sup>a</sup>	斜率系数 <sup>b, c</sup> [ (kg PFC/t <sub>Al</sub> ) / (AE 分钟数/槽天) ]		过压系数 <sup>b, c, d</sup> [ (kg CF <sub>4</sub> /t <sub>Al</sub> ) / (mV) ]		重量比例 C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> / CF <sub>4</sub>	
	CF <sub>4</sub>	不确定性 (+/-%)	CF <sub>4</sub>	不确定性 (+/-%)	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> /CF <sub>4</sub>	不确定性 (+/-%)
	CWPB	0.143	6	1.16	24	0.121
SWPB	0.272	15	3.65	43	0.252	23
VSS	0.092	17	NR	NR	0.053	15
HSS	0.099	44	NR	NR	0.085	48

<sup>a</sup> 中间下料预焙 (CWPB)、侧插下料预焙 (SWPB)、水平接线柱 Søderberg (HSS) 和垂直接线柱 Søderberg (VSS)。  
<sup>b</sup> 来源: 向 IAI 报告的测量、US EPA 发起的测量和多个地点测量 (美国 EPA 和 IAI, 2003)。  
<sup>c</sup> 内嵌在每个斜率和过压中的系数是假定的排放收集效率, 如下所示: CWPB 98%、SWPB 90%、VSS 85%、HSS 90%。假定的这些收集效率均基于测量的 PFC 收集比例、测量的氟化气体收集效率和专家意见。  
<sup>d</sup> 所述的系数反应了在某些设施处进行的测量, 这些设施记录了正过压和代数过压。正过压和代数过压之间还未建立确切的关系。正过压应提供比代数过压更好的 PFC 排放关系。过压系数与 VSS 和 HSS 技术无关联 (NR)。

<sup>11</sup> 这些斜率系数得自于: PFC 的测量数据, 求出 100 多个铝熔炉测量的 PFC 排放与每个槽-天的阳极效应分钟数的关联。表 4.16 中的值是编制本文档时 (2005 年 3 月) 从现有测量数据中得出的特定技术因子。至关重要的是要注意, 方法 2 斜率系数基于 IAI GHG 议定书 (IAI, 2005a) 中定义的每槽-天的阳极效应分钟数。优良作法系指, 按照 IAI GHG 议定书所述计算 PFC 排放的最新数据, 以及 IPCC 排放因子数据库。

### 方法 3：基于特定设施阳极效应性能与PFC排放之间的关系的PFC 排放因子

方法 3 基于特定设施斜率或阳极效应过压 PFC 系数。此系数描绘了定期或连续测量的设施阳极效应性能与测量所得 PFC 排放之间关系的特性，这些测量符合已有的测量作法（美国 EPA 和 IAI，2003）和国际铝学会 GHG 议定书（IAI，2005a）。

## 活动数据的选择

生产统计资料应可从每个设施处获得，以使得方法 1 能用于 CO<sub>2</sub> 和 PFC 排放。在大多数国家，生产的铝吨数的不确定性可能较低。预计一般可以获得生产量数据，产能数据仅被用来检验生产量数据。

PFC 排放的优良作法方法需要如下数据：每槽-天的准确阳极效应分钟数，或所有槽类型的准确过压（AEO）。年度统计资料应基于每月阳极效应数据的产量加权平均值。方法 2 和方法 3 都采用每槽-天的阳极效应分钟数或阳极效应过压，以及铝产量数据。应当咨询各个铝公司或工业集团、国家铝协会或国际铝学会，以确保可获得数据，并形成可用于清单估算的格式。

对于 CO<sub>2</sub> 排放，所有炼铝厂均应收集数据以支持方法 2 或方法 3。Söderberg 冶炼厂收集阳极胶消耗量数据，而预焙冶炼厂记录烘培的阳极消耗量。方法 2 和方法 3 使用相同的公式计算 CO<sub>2</sub> 排放；然而，方法 3 使用阳极材料的特定设施成分数据，而方法 2 使用工业平均阳极成分数据。

## 完整性

原铝设施通常会很好地记录清单涵盖的整个时间序列期间产生的铝吨数。此外，碳消耗量数据通常可在相同的周期里获得。阳极效应过程数据在整个时间序列中可能会不完整，且可能不得不采用测量，例如 4.4.2.7 节“开发一致的时间序列”中所述的这些测量，以计算清单期某些部分的 PFC 排放。原铝生产还使用大量电能，要注意避免漏算或重复计算与电能输入量有关的二氧化碳。

## 建立一致的时间序列

通常可获得该设施整个历史的铝生产统计资料。制定二氧化碳排放的一致时间序列应不存在问题，因为大多数设施始终测量和记录了阳极消耗量或胶消耗量。如果缺少关于阳极消耗量或胶消耗量的历史数据，则可以根据使用方法 1 的铝生产来估算二氧化碳排放。

PFC 相关的活动数据的完整时间序列，例如每槽-天的阳极效应分钟数或过压，可提供最佳时间序列结果。因为对于全球铝工业，PFC 排放在 20 世纪 90 年代早期才成为主要焦点，某些设施可能具有的与所需阳极效应数据有关信息很有限，无法在清单覆盖的整个时间内实施方法 2 或方法 3 PFC 清单作法。对于不能获得活动数据的年份，若再使用 PFC 排放的方法 1，则可能会引起大量错误和不连续性。将方法 2 或方法 3 PFC 排放因子回溯用于给定设施的适当性，以及详细过程数据的可用性，会随着特定条件而有所差异。通常，对于使用方法 1 排放因子，最好选用接合或替代数据的方法 2 或方法 3 的回溯。具体来说，如果只能获得阳极效应频率数据而不能获得阳极效应周期数据，则优良作法是根据阳极效应频率数据来接合或回溯每吨铝的 PFC 排放。目前许多设施正采用 PFC 测量，以便于方法 3 PFC 清单方法的实施。对于方法 3 PFC 排放因子是否可以推断出过去的清单周期，存在大量对其有影响的问题。应该考虑的因素包括：该设施是否可实现任何技术升级，工作作法是否存在大量变化，计算基础过程数据时是否出现任何变化，以及为确定方法 3 系数所做的测量的质量。优良作法是直接或通过代表整个行业的地区或国际组织，咨询运作设施的代表，以制订国家清单中纳入的特定组别运作地点的最佳策略。其它对接合方法的有益信息以及与构建原铝时间序列有关的详细信息，可查阅 IAI（IAI，2005）。还可从国际铝学会（英国伦敦）获得与铝生产中温室气体排放和典型工业排放有关的专家建议。

### 4.4.3 不确定性评估

根据选择的是方法 1、方法 2 还是方法 3，PFC 排放的不确定性有很大差异。在二氧化碳排放方面，方法选择所引起的不确定性差异远小于 PFC 排放方面的差异。除了特定类型生产技术和国家或地区内使用的工作做法产生的差异，没有证据表明：在铝生产中造成排放的国家或地区差异。上述计算方法便反映了这些差异。

## 排放因子不确定性

对于方法 2 和方法 3，计算源自碳阳极或胶消耗量的二氧化碳排放的排放因子，其不确定性应小于  $\pm 5\%$ ，而方法 1 的不确定性小于  $\pm 10\%$ 。对造成二氧化碳排放的反应已有很好理解，这些排放与生产的铝吨数直接相关，通过碳阳极的氧化铝还原和热处理中氧化过程的基础电化学公式。这两种产生二氧化碳的基础过程均已纳入生产设施处例行监控的过程参数，即消耗的净碳和/或胶消耗量。不确定性的主要来源是，预焙技术消耗的净碳和 Söderberg 槽的胶消耗量。这些因子都要谨慎监控，它们在设施的经济性能中都是重要因子。从方法 1 转用方法 2 可以实现二氧化碳排放清单准确性的改善，因为设施有减少碳阳极材料的消耗量的一系列功能。选择方法 3 代替方法 2，预期准确性的改善较小。这是因为计算的主要因子是：消耗的净阳极碳或胶消耗量，以及铝产量。计算公式中这两种成分的不确定性较低，为 2%-5%，这些不确定性支配了方法 2 和方法 3 中二氧化碳排放的整个计算。特定设施数据用于方法 2 和方法 3 计算这些参数。方法 3 改进了此计算，以使用碳阳极材料的实际成分。虽然阳极材料的次要成分可能有相当大的可变性，但此可变性不会对二氧化碳排放的总体计算做出很大贡献。

当从方法 1 转用方法 2 和方法 3 时，考虑 PFC 排放清单中不确定性的变化，若选择方法 2 或方法 3 替代方法 1，则不确定性会大大减少。方法 1 的大量不确定性，直接产生于使用相似生产技术的操作员之间阳极效应性能的重大变化。方法 1 基于各类技术类型所有操作员使用的单个缺省系数。因为使用相同技术 (IAI, 2005c) 的操作员之间因子 10 的阳极效应性能 (频率和周期) 可能会有所变化，使用方法 1 会导致相同量级的不确定性。在选择方法 3 代替方法 2 时，对不确定性量级的影响较少；然而，不确定性减少程度取决于槽技术类型。工业平均系数的不确定性范围从 CWPB (测量和使用最广泛的技术) 的  $\pm 6\%$  到 HSS 的  $\pm 44\%$ 。方法 2 和方法 3 均基于可确定在阳极效应性能与 PFC 特定排放之间关系的直接 PFC 测量。方法 2 使用工业平均公式系数，而方法 3 使用基于设施处进行的直接 PFC 测量的特定设施系数。因为进行更多设施测量，尤其是采用 Söderberg 技术运作的那些设施，所以平均系数的不确定性应会减少。使用方法 3 时，PFC 排放计算达到最低不确定性。然而，若要在方法 3 PFC 计算中获得此较低的不确定性，重要的是在进行特定设施 PFC 测量时使用 *优良作法*。这些测量 *优良作法* 已经确定在全球可用的议定书中并归档成文 (USEPA/IAI, 2003)。当适当确定后在测量这些系数时，这些方法 3 系数将具有  $\pm 15\%$  的不确定性。

## 活动数据不确定性

铝年产量数据的不确定性很小，小于 1%。将碳消耗量记录为烘烤阳极消耗量或焦炭和胶消耗量的不确定性经估算，仅略高于铝产量的不确定性，低于 2%。使用方法 2 或方法 3 计算特定设施排放的其它成分是阳极效应活动数据，即每槽-天的阳极效应分钟数或阳极效应过压。这些参数通常为过程控制系统记录为几乎所有铝生产设施运作的一部分，这些数据的不确定性很低。

### 4.4.4 质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档

#### 质量保证/质量控制 (QA/QC)

*优良作法*是，在所有原铝生产设施处保存所有必要活动数据的记录，以支持这些指南中建议的排放因子计算。这些记录将包括预焙或 Söderberg 槽中所用的铝产量、阳极效应性能和碳材料消耗量。此外，国际铝学会保存了这些相同参数累积活动数据的全球汇总，地区数据可从地区铝协会获得。*优良作法*是汇总所有冶炼厂的排放量，从而估算全国的排放量。然而，如果无法获得冶炼厂的产量数据，则可以利用冶炼厂的产能数据和全国总产量数据来估算冶炼厂产量。

*优良作法*是，通过比较表 4.10 和表 4.11 所述二氧化碳特定排放的变化而预测的预期变化范围，来验证每吨铝的设施 CO<sub>2</sub> 排放因子。还有，用于计算每吨铝的 PFC 排放因子的基础公式系数，应与表 4.15 中所述的系数进行比较。建议超出数据群变化的 95% 置信范围的任意清单值，应采用数据来源进行确认。

使用标准测量方法可增强生成数据的一致性，增进对数据统计特性的理解。对于原铝，测量源自原铝生产的四氟化碳 (CF<sub>4</sub>) 和六氟乙烷 (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) 排放的 EPA/IAI 议定书是国际认可的标准 (美国 EPA 和 IAI, 2003)。清单编制者应鼓励工厂使用此方法来确定方法 3 PFC 公式系数。根据 PFC 测量计算得出的系数与类似还原技术的工业平均值方法 2 系数之间的大量差异，应引出进一步评审和对计算进行检



查。重大差异应进行解释并归档成文。阳极效应性能的国际数据集可从国际铝学会获得，可用于标识局外点数据。此外，最新的 PFC 测量数据库亦由 IAI 维护，在评估报告数据的适当性时应进行查询。

根据产生二氧化碳的基础过程的一致性，每吨铝的二氧化碳排放年度间变化不应超过 $\pm 10\%$ 。相反，每吨铝的 PFC 排放年度间变化的变化值最大为 $\pm 100\%$ 。过程不稳定会使特定 PFC 排放增加。阳极效应频率和周期的增加可能是由各种因素造成的，例如意外电源中断、氧化铝给料来源的变化、槽运行问题和用于提高铝产量的电解槽阳极数目的增加。特定 PFC 排放中的减少可能产生于阳极效应频率和持续时间的减少，这归咎于槽过程中使用的计算机算法的变化，诸如点进料器安装等槽技术的升级，工作规范的改进和原材料的控制加强。

## 报告和归档

如第 1 卷第 6 章“质量保证和质量控制、内部文件和存档”概述，*优良作法*是记录和归档要制定国家排放清单估算所需的所有信息。以下列出一些与此源类别相关的具体文档和报告的例子：

不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。为了提高透明性，*优良作法*是将铝生产中的 PFC 排放同其它排放源类别分开，进行单独报告。此外，*优良作法*是*根据质量*分别报告  $\text{CF}_4$  和  $\text{C}_2\text{F}_6$  排放。

表 4.17 “源自铝生产的 PFC 排放量报告信息的*优良作法*”，列出了为确保报告的排放量估算的透明性所需的支持信息。

很多生产数据和工艺数据被厂家视为专有，特别是全国只有一个冶炼厂的情况下。*优良作法*是运用适当技术（包括数据汇总）来保护机密数据。

数据	方法 3	方法 2	方法 1
<b>PFC</b>			
国家年产量（按 CWPB、SWPB、HSS 或 VSS 技术）			X
冶炼厂的年产量（按 CWPB、SWPB、HSS 或 VSS 技术）	X	X	
每槽天的阳极效应分钟数或阳极效应过压（mV）	X	X	
与阳极效应性能有关的特定设施排放系数	X		
与阳极效应性能有关的特定技术排放系数		X	
缺省技术排放系数			X
支持的文档	X	X	X
<b><math>\text{CO}_2</math></b>			
国家年产量（按预焙或 Söderberg 技术）			X
冶炼厂的年产量（按预焙或 Söderberg 技术）	X	X	
预焙槽的净阳极消耗量或 Söderberg 槽的胶消耗量	X	X	
Söderberg 槽的碳材料杂质级别和碳灰尘	X		

## 4.5 镁生产

### 4.5.1 引言

在镁工业中，有大量潜在排放来源和气体。源自镁工业的排放量和排放类型，将反映初级镁金属生产使用的原材料和/或铸造和回收厂中使用的保护气体混合物类型（为避免熔化镁的氧化过程）。*优良作法*是按分解的方式（如果可能）考虑镁工业及其相关排放的所有工序。可能的温室气体排放清单，可能与初级镁、次级镁金属生产及铸造过程有关，如表 4.18 所示。

次级镁指从矿石来源得出的金属镁。初级镁可以产生于电解反应或热还原过程。用于初级镁生产的原材料是白云石、菱镁石、光角石、蛇纹石、盐水或海水。碳酸盐原材料（菱镁石和白云石）加工制造期间，将释放 CO<sub>2</sub>。CO<sub>2</sub> 释放在基于碳酸盐矿石（白云石/菱镁石）的煅烧期间——主要电解/热还原过程的“预处理”步骤。该过程类似于采掘工业中 CO<sub>2</sub> 的生成过程（参见第 2 章）。

次级镁生产包括从各种含镁废料中回收和再利用金属镁，例如消费后零件、机械切屑、铸造废料、炉渣等废料。而镁铸造过程可能涉及初级镁生产和次级镁生产的金属。镁铸造过程涉及处理熔化的纯镁和/或熔化的高含量镁合金。熔化的镁（还指高含量镁合金）可能通过各种方法进行铸造，包括重力浇注、砂型铸造、压铸等。

所有熔化的镁可在大气的氧气中自然燃烧。所有镁金属的生产和铸造均需要一个保护系统，以避免燃烧。常用的各种保护系统是使用具有很高 GWP 值的气态成分，例如通常会逸入大气的 SF<sub>6</sub>。源自各个过程和来源的冶金镁铸造均需要保护方法，因此具有与 GHG 排放的类似潜力。

表 4.18  
与镁的生产和加工有关的可能 GHG 排放

过程	过程关联的潜在 GHG 排放			
	SF <sub>6</sub>	HFC	CO <sub>2</sub>	其它*
<b>准备初级生产的原材料</b>				
基于白云石/菱镁石	-	-	X	-
其它原材料	-	-	-	-
<b>铸造（初级和次级）</b>				
初级锭铁铸造	X	X	X	X
压铸	X	X	X	X
重力浇注	X	X	X	X
其它浇注方法	X	X	X	X
<b>次级 Mg 生产**</b>	X	X	X	X
*其它包括氟化酮和各种氟化分解产品，例如 PFC				
** 包括涉及金属镁还原/回收的过程				

关于次级镁生产（回收利用）、加工、熔炼和浇注，熔化的金属在整个过程中进行保护以防氧化，保护的方式是：使用含诸如 SF<sub>6</sub> 或 SO<sub>2</sub> 等保护气体（运载气体（通常是空气和/或 CO<sub>2</sub>）和 SF<sub>6</sub> 或 SO<sub>2</sub><sup>12</sup>）或某些情况下为熔剂的保护系统。高含量镁合金通常使用含保护气体的 SF<sub>6</sub> 进行保护。由于近来科技发展，推动了 SF<sub>6</sub> 替代物的出现，镁工业已经引入替代保护气体。预计在未来的十年中，SF<sub>6</sub> 最常用的替

<sup>12</sup> 与第 1 卷所述这些指南的范围一致，本章未提供方法来估算 SO<sub>2</sub> 排放量。

代物将是氟化碳氢化合物HFC-134a和氟化酮FK 5-1-12 ( $C_3F_7C(O)C_2F_5$ )，市场名为Novec™612<sup>13</sup>，而且个别镁生产商/加工商保护气体的选择将受到国家/地区情形的很大影响 (Tranell 等，2004)。

### 源自初级生产的CO<sub>2</sub> 排放

如表 4.18 所示，在煅烧期间释放CO<sub>2</sub> 的含镁矿石是白云石 ( $Mg\cdot Ca(CO_3)_2$ ) 和菱镁石 ( $MgCO_3$ )。对于生产的每千克镁，理论上在煅烧期间分别排放出 3.62 kg<sup>14</sup> (白云石) 或 1.81 kg (菱镁石) CO<sub>2</sub>。由于过程链中的镁损耗，生产每千克镁产生的实际CO<sub>2</sub> 排放将高于理论排放。

### 镁浇注过程 (初级和次级)

在镁浇注过程中，GHG 排放的大小和类型将取决于保护液态镁所用的保护气体系统。除了保护气体本身的活性保护化合物 ( $SF_6$ 、HFC-134a 或 FK5-1-12) 的排放之外，可能存在各种氟化分解产品 (例如 PFC) 和潜在运载气体 (取决于空气和/或 CO<sub>2</sub> 或 N<sub>2</sub>) 的排放。

#### SF<sub>6</sub>

通常的假定为：镁保护气体中的  $SF_6$  是惰性气体，因此镁工业中使用的几乎所有  $SF_6$  将被排放出。然而，最近独立的研究 (Bartos 等，2003 和 Tranell 等，2004) 表明， $SF_6$  在常见镁保持/加工温度下一经与液态/气态镁接触，在某种程度上就会毁坏。炉子中销毁的  $SF_6$  比例以及与镁的反应中生成的次级气体产品的类型/数量，将取决于相关的运行条件，例如保护气体中的  $SF_6$  浓度、保护气体总流速、反应中镁表面的大小、所用运载气体类型、炉装料作法等。

#### HFC-134a、FK 5-1-12 和分解产品 (例如PFC)

HFC-134a 和FK 5-1-12 比 $SF_6$  的热力学稳定性低 (因此具有更低的GWP)。因此，预期这些气体将在接触液态/气态镁时广泛分解/反应，生成各种氟化气体 (例如PFC)。Tranell等人于 2004 年发现一个一般经验法则，当用HFC-134a替换 $SF_6$  时，若要保护给定的镁表面 (或其它等同的情况)，按分子计算只需要少于一半的活性氟化合物量。当 $SF_6$  为FK 5-1-12 替换时，需要少于四分之一的活性化合物。报告称与 $SF_6$  的情形相同，炉子中销毁的当前保护气体中活性化合物的数量取决于实际情况，例如当前保护气体的化合物浓度、保护气体总流速、反应镁表面的大小、所用运载气体的类型、装料作法等。应注意，按照等价的CO<sub>2</sub>，因为两者的相对辐射效果，作为分解产品的PFC排放将比FK 5-1-12 排放量更大<sup>15</sup>。

#### 运载气体

许多保护气体系统将 CO<sub>2</sub> 单独用作运载气体或与干空气组合用于稀释活性氟化合物，以减少炉中氧气的部分压力。定量的合理假定是，保护气体中使用的所有 CO<sub>2</sub> 均作为 CO<sub>2</sub> 排放。所用二氧化碳保护气体的量远低于保护气体系统中的常见活性助剂，通常可以忽略。

<sup>13</sup> FK 5-1-12 ( $C_3F_7C(O)C_2F_5$ ) 市场名为 Novec™612，是 3M 生产的氟化酮 (Milbrath, 2002)。

<sup>14</sup> 这表示矿石化学计量比 Mg/Ca 为 1 的情况。

<sup>15</sup> FK 5-1-12 的 GWP 值未标在 IPCC 第三评估报告 (IPCC, 2001) 中，但是根据此气体的生产商，此值估计与 CO<sub>2</sub> 的值相类似。

## 4.5.2 方法学问题

### 方法的选择

#### 初级生产中的CO<sub>2</sub> 排放

对于初级镁（原材料）生产工序中二氧化碳排放的清单编制，*优良作法*方法的选择将取决于具体国情。决策树（参见图 4.13 “估算初级镁生产中 CO<sub>2</sub> 排放的决策树”）说明的*优良作法*，是调正这些方法以适应这些国家的特定情形。

#### 方法 1

方法 1 取决于国家初级产量数据以及对国家所用原材料的认识。国家生产数据可能无法公开获得，因为只有少数国家生产镁，或通常在一个国家内只有一个或个别生产商，所以国家生产数据经常定为机密。在缺少国家初级镁生产统计资料时，像国际镁协会（<http://www.intlmag.org/>）等工业协会可能能够提供地区统计资料。若得不到其它数据，则可以根据国家镁金属年销售量来估算初级镁产量。此方法增加了不确定性，因为它没有计算国家产品制造中使用的镁。

使用公式 4.28 来计算 CO<sub>2</sub> 排放。

$$\begin{aligned} & \text{公式 4.28} \\ & \text{源自初级镁生产的 CO}_2 \text{ 排放 (方法 1)} \\ & E_{CO_2} = (P_d \cdot EF_d + P_{mg} \cdot EF_{mg}) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自初级镁生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为 Gg

$P_d$  = 源自白云石的国家初级镁产量，单位为吨

$P_{mg}$  = 源自菱镁石的国家初级镁产量，单位为吨

$EF_d$  = 源自白云石中初级镁生产的 CO<sub>2</sub> 排放的缺省排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的初级 Mg

$EF_{mg}$  = 源自菱镁石中初级镁生产的 CO<sub>2</sub> 排放的缺省排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的初级 Mg

#### 方法 2

除了特定公司产量数据之外，确定初级镁中 CO<sub>2</sub> 排放的方法 2 还要求收集特定公司/工厂经验排放因子。特定公司排放因子可能与缺省排放因子有很大差异，这取决于过程材料处理。如果排放为*关键类别*，则会出现此类收集。

使用公式 4.29 来计算 CO<sub>2</sub> 排放。

$$\begin{aligned} & \text{公式 4.29} \\ & \text{源自初级镁生产的 CO}_2 \text{ 排放 (方法 2)} \\ & E_{CO_2} = \sum_i (P_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自初级镁生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为 Gg

$P_i$  = 工厂  $i$  生产的初级镁，单位为吨

$EF_i$  = 从公司/工厂  $i$  中获得的源自初级镁生产的 CO<sub>2</sub> 排放的特定公司/工厂排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的初级 Mg

#### 方法 3

如果可从个别初级镁设施中获得实际测量的 CO<sub>2</sub> 排放数据，则可以汇总这些数据，直接用于计算国家排放。

## 镁浇注过程（初级和次级）

### SF<sub>6</sub>

对于镁浇注过程工序中 SF<sub>6</sub> 排放的清单编制，*优良作法*方法的选择还取决于具体国情。决策树（参见图 4.14 “排放的决策树”）说明的*优良作法*，是调正这些方法以适应这些国家的特定情形。

#### 方法 1 – 缺省排放因子

方法 1 基于国家内镁浇注或加工的总量（公式 4.30）。方法 1 的基本假定是：镁工业工序中的所有 SF<sub>6</sub> 消耗将排放为 SF<sub>6</sub>。如 4.5.1 节所述，此假定可能高估 GHG 排放，然而高估将位于 4.5.3 节介绍的总不确定性范围内。在 SF<sub>6</sub> 用于氧化过程保护时，基本方法 1 使用单个值作为缺省排放计算的基础，但是不同浇注操作和操作员之间的 SF<sub>6</sub> 消耗量会有很大差异（有时会差几个数量级）。只有清单编制者不了解镁加工类型或浇注操作（回收利用、钢坯浇注或压铸等）时，才使用方法 1。

**公式 4.30**  
**镁浇注中的 SF<sub>6</sub> 排放（方法 1）**

$$E_{SF_6} = MGc \cdot EF_{SF_6} \cdot 10^{-3}$$

其中：

$E_{SF_6}$  = 镁浇注中的 SF<sub>6</sub> 排放，单位为吨

$MGc$  = 国家内镁浇注或加工的总量，单位为吨

$EF_{SF_6}$  = 镁浇注中 SF<sub>6</sub> 排放的缺省排放因子，单位为 kg SF<sub>6</sub>/吨浇注的 Mg

#### 方法 2 – 特定公司 SF<sub>6</sub> 消耗量

像方法 1 一样，方法 2 还假定：消耗的所有 SF<sub>6</sub> 随后被排放出来。然而方法 2 不采用镁浇注量，而是采用工业报告的镁行业中国家（或地区）SF<sub>6</sub> 数据或从国家统计资料（公式 4.31）等其它来源获得的国家（或地区）数据。

此方法最准确的运用通常是有关 SF<sub>6</sub> 消耗量的直接数据集合，从镁工业中气体的所有单独用户获得。如果没有直接数据，则准确性较低的一种替代方法是，估算全国 SF<sub>6</sub> 年消耗量在镁工业所占的份额。这需要收集 SF<sub>6</sub> 年销售数据，并假定所有销售给镁工业的 SF<sub>6</sub> 气体在当年都排放到大气中。

**公式 4.31**  
**镁浇注中的 SF<sub>6</sub> 排放（方法 2）**

$$E_{SF_6} = C_{SF_6}$$

其中：

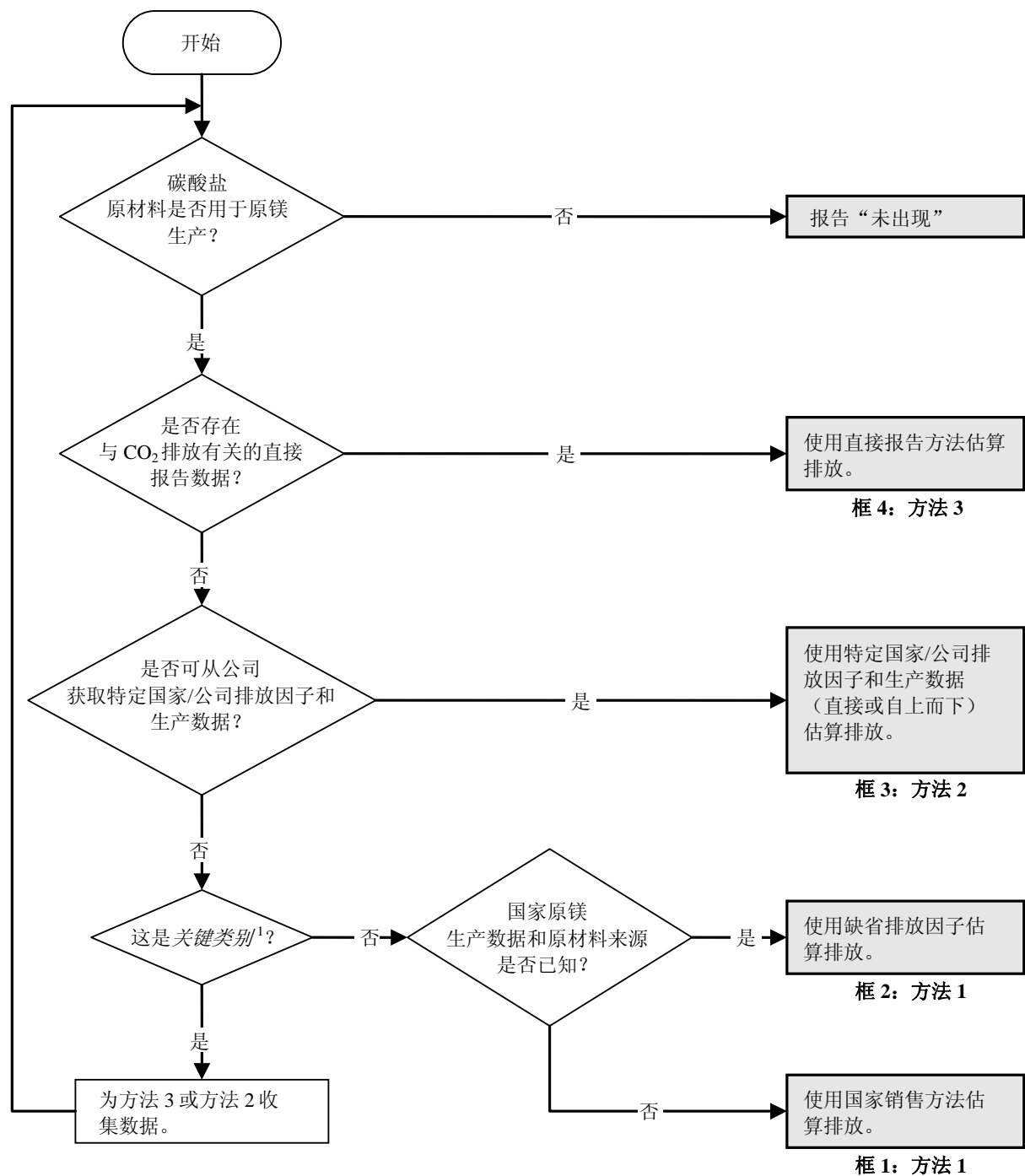
$E_{SF_6}$  = 镁浇注中的 SF<sub>6</sub> 排放，单位为吨

$C_{SF_6}$  = 镁冶炼厂和铸造厂中 SF<sub>6</sub> 的消耗量，单位为吨

#### 方法 3 – 直接测量方法

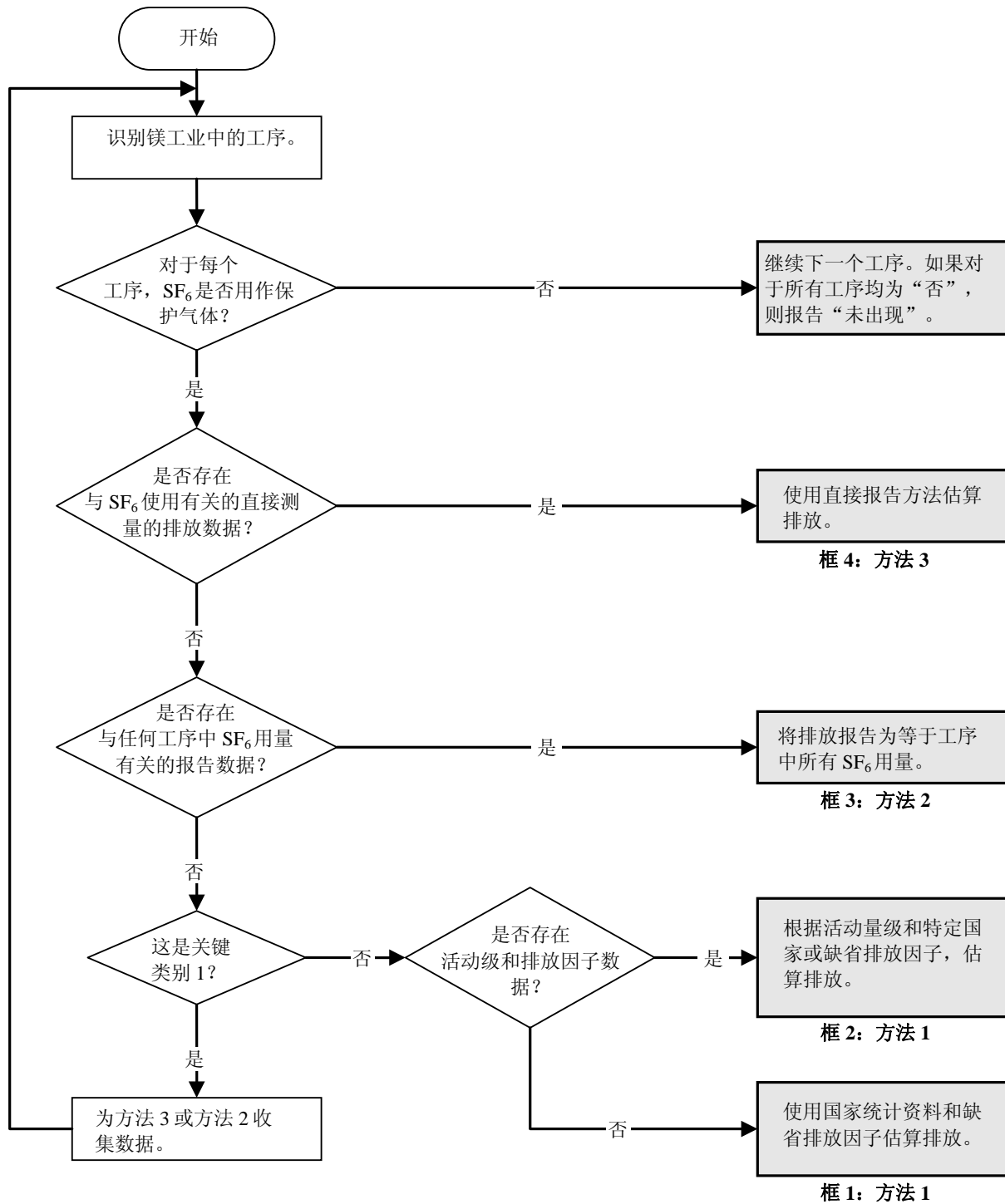
如果可从个别镁处理设施中获得实测排放数据，则可以汇总这些数据，直接用于计算国家排放。在这种报告中，*优良作法*是将 SF<sub>6</sub> 的销毁和次级气体产品的形成纳入报告。

图 4.13 估算初级镁生产过程中原材料煅烧产生的 CO<sub>2</sub> 排放的决策树



注:

1 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第1卷第4章“方法选择和类别识别”（参见4.1.2节有关有限资源部分）。

图 4.14 估算镁加工中 SF<sub>6</sub> 排放的决策树

注：

1 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

## HFC-134a、FK 5-1-12 和分解产品（例如PFC）

如 4.5.1 节所述，对于镁氧化过程保护， $\text{SF}_6$  之外的氟化合物用于工业开始于 2003-2004 年。因此，使用这些化合物用于保护镁的工业经验还非常有限。甚至个别工厂只有少量历史数据（如果有），关于其运作中其它氟化合物的实际排放。尽管该工业普遍认为这些替代气体的用量低于  $\text{SF}_6$ ，但目前无法获得基本排放因子依据的数据。因此，目前不可能制定基于排放因子的方法（方法 1 或方法 2）用于报告排放。

然而，如果镁保护气体使用中的 GHG 排放是国家关键类别，则优良作法是从将 HFC-134a 或 FK5-1-12 用作保护气体的镁铸造厂收集 GHG 排放（HFC134-a 和 FK5-1-12 的逃逸排放以及作为分解产品的 PFC 排放）直接测量数据或有意义的间接测量数据。这与方法 3 一致。

## 运载气体

保护气体系统使用的二氧化碳运载气体通常仅有少量比例促成潜在的全球变暖。一般来说，这些排放可以忽略。

## 排放因子的选择

### 源自初级生产的 $\text{CO}_2$ 排放

#### 方法 1 – 缺省排放因子

如前所述，方法 1 计算用于国家初级镁总产量的缺省排放因子的排放。缺省排放因子（表 4.19）考虑使用的材料类型以及基本化学计量比，通过一般制造过程损耗经验数据可以调整这些数值。生产每吨镁产生的  $\text{CO}_2$  排放远高于 4.5.1 节所述的理论量。

原材料	吨 $\text{CO}_2$ 排放/吨生产的初级 Mg
白云石	5.13
菱镁石	2.83

#### 方法 2 – 特定国家/公司排放因子

估算初级镁中  $\text{CO}_2$  排放的方法 2 包含收集特定公司/工厂经验排放因子。特定公司排放因子可能会与缺省排放因子有很大差异，这取决于处理的过程材料。如果排放为关键类别，则会出现此类收集。

#### 方法 3 – 直接测量方法

如果可从个别初级镁设施中获得实际测量的  $\text{CO}_2$  排放数据，则可以汇总这些数据，直接用于计算国家排放。

## 镁浇注过程（初级和次级）

### $\text{SF}_6$

#### 方法 1 – 缺省排放因子

方法 1 的基本假定是工业工序中的所有  $\text{SF}_6$  消耗被排放出来，不过如 4.5.1 节所述，此假定可能会高估 GHG 排放。方法 1 还假定不了解镁加工类型或浇注操作（回收、钢坯浇注或压铸等）。在推荐的压铸条件下，生产或熔化每吨镁，假定  $\text{SF}_6$  消耗率大约为 1 kg（Gjestland 和 Magers, 1996）。尽管不同浇注操作和操作员之间的  $\text{SF}_6$  消耗量会有很大差异（有时会差几个数量级），但当  $\text{SF}_6$  用于氧化保护时，基本方法 1 将此值用作缺省排放计算的基础。如果国家镁生产过程很好地归档成文，则方法 1 更准确的应用是根据各个制造过程来分解生产数据和排放因子。这些排放因子应按照与可用活动数据（例如国家、地



区)相同的分解级别,将 SF<sub>6</sub> 排放与镁生产相关联。基于工厂测量数据的国家排放因子最好采用国际缺省因子,因为这些因子反映了国家的具体情形。这类信息可以从工业协会或通过调查和研究获得。

公式 4.20 镁浇注过程中的 SF <sub>6</sub> 排放因子 (方法 1)	
浇注系统	kg SF <sub>6</sub> 排放/吨浇注产生的 Mg
所有浇注过程	1.0
来源: Gjestland 和 Magers (1996)	

### 方法 2 – 特定公司 SF<sub>6</sub> 消耗量

像方法 1 一样,方法 2 的基本原则是消耗的所有 SF<sub>6</sub> 均被排放。然而在方法 2 中,假定镁行业中国家(或地区) SF<sub>6</sub> 消耗量可由工业来报告,或可通过国家统计资料等其它来源获得。

此方法最准确的运用通常是有关 SF<sub>6</sub> 消耗量的直接数据集合,从镁工业中气体的所有单独用户获得。如果没有直接数据,则准确性较低的一种替代方法是,估算全国每年的 SF<sub>6</sub> 消耗量在镁工业所占的份额。这需要收集 SF<sub>6</sub> 年销售数据,并假定所有销售给镁工业的 SF<sub>6</sub> 气体在当年都排放到大气中。

### 方法 3 – 直接测量方法

如果可从个别镁处理设施中获得实测排放数据,则可以汇总这些数据,直接用于计算国家排放。在这种报告中,优良作法是将 SF<sub>6</sub> 的销毁和次级气体产品的形成纳入报告。

## HFC-134a、FK 5-1-12 和分解产品 (例如 PFC)

如上所述,排放因子基于的历史数据很少。然而,如果镁保护气体使用中的 GHG 排放是国家关键类别,则优良作法是为编制清单从将 HFC-134a 或 FK5-1-12 用作保护气体的镁铸造厂收集 GHG 排放 (HFC134-a 和 FK5-1-12 的逃逸排放以及作为分解产品的 PFC 排放) 直接测量数据或有意义的间接测量数据。这可视为方法 3。随着时间的推移,可能可以将方法 3 测量作为开发可用于方法 2 的排放因子的一种方式。

## 运载气体

如本章前文所述,保护气体系统使用的二氧化碳运载气体通常仅有少量比例促成潜在的全球变暖。一般来说,这些可以忽略。

## 活动数据的选择

### 初级生产中的 CO<sub>2</sub> 排放

对于方法 1,清单编制者需要获得国家初级生产数据,并理解国家内使用的原材料类型。如 4.5.2.1 节所述,这些数据可能无法公开获得,因此难以获得,特别是发展中国家小规模(尤其是热还原类型)生产单位数据。近似的国家镁产量数据可以通过工业协会获得,例如国际镁协会。对于方法 2,清单编制者需要收集初级镁产量数据和与每个公司/工厂中碳酸盐原材料的有关数据。采用方法 3 时,活动数据包括直接测量和报告的排放。

## 镁浇注过程 (初级和次级)

### SF<sub>6</sub>

对于方法 1,优良作法是将生产数据分解为使用 SF<sub>6</sub> 的(如果可能)工序(例如初级生产、回收利用、钢坯浇注、压铸、重力浇注等),并应用可用的特定工序排放因子。如果不能获得分解数据,则更多汇总的生产数据(可能是来自若干不同过程的组合产出)可用于提供估算。缺少 SF<sub>6</sub> 消耗量数据或镁产量数据时,备用方法是收集与镁行业 SF<sub>6</sub> 销售量有关的国家年度数据。SF<sub>6</sub> 生产商可能可直接提供这些数

据，或可能从国家统计资料中获得这些数据。*优良作法*是估算镁行业消耗的份额时，考虑使用 SF<sub>6</sub> 的有关其它工业消耗量的数据（例如电气设备）。

采用方法 2 和方法 3 时，报告了 SF<sub>6</sub>（和次级气体产品）排放或每个工厂中的 SF<sub>6</sub> 消耗总量的活动数据。对于方法 1，国家或个别工厂镁生产数据是必需的。如果工序中存在 SF<sub>6</sub> 使用的某些直接报告，则*优良作法*是评估直接报告的工厂所占的产量份额。至于其它工厂，*优良作法*是使用基于产量的排放量估算值。

### HFC-134a、FK 5-1-12 和分解产品（例如PFC）

采用方法 3 时，活动数据包括直接测量和报告的排放。未提供方法 1 或方法 2 的指南，因此亦不需要活动数据。

### 运载气体

清单报告中的*优良作法*是，运载气体所选的活动数据要类似于所用活性化合物的活动数据。即，如果 CO<sub>2</sub> 用作 SF<sub>6</sub> 的运载气体，则 CO<sub>2</sub> 的活动数据应反映 SF<sub>6</sub> 的活动数据。如果 CO<sub>2</sub> 用作 HFC-134a 或 FK 5-1-12 的载体，则 CO<sub>2</sub> 的活动数据应反映 HFC-134a 或 FK 5-1-12 活动数据。

## 完整性

对于发达国家的初级生产，不完整的直接报告或不完整的活动数据不应是重要的问题。通常，在发达国家中有少量著名的初级镁生产商，这些生产商可能保持了良好的记录。在发展中国家，完整性问题通常出现在浇注工序中，其中设施分布广泛，且具有广泛的能力和技术。某些工厂可能供应国家数据集未捕获的专供市场。清单编制者应确认缺少这些较小工业工序的估算，而不是仅仅假定它们不会出现。*优良作法*还要对工业实施定期调查，并与国际和当地工业协会建立紧密联系以检查估算的完整性。

因为替代（非 SF<sub>6</sub>）保护气体系统分解为各种氟化副产品，所以可能会出现某些未考虑亦未说明的全球增温潜势。预期这并不重要。

由于世界初级生产和镁加工比例的增加出现在发展中国家的许多小型生产工厂中，预期完整性会成为一个重要问题。

清单编制者应注意可能会重复计算以下排放：初级镁生产期间源自镁碳酸盐原材料煅烧的排放，与煅烧的石灰石、白云石和其它炭素矿石（参见本卷中第 2 章“碳酸盐的其它过程使用”）有关的排放。与初级镁生产中碳酸盐煅烧有关的所有排放，应报告为镁生产中的 GHG 排放。

## 建立一致的时间序列

就综合镁生产统计资料而言，这些数据通常可用于工厂的历史年份。然而，在某些情况下，由于缺少初始记录或期间工业结构的变化，可能不能获得历史生产数据。这种情况下，可以使用来自国际来源中的生产数据。

对于初级镁生产中的 CO<sub>2</sub> 排放，可能存在与建立一致的时间序列有关的问题，因为这些排放可能在 2006 年之前未报告（《1996 年 IPCC 指南修订本》（IPCC，1997）中没有报告指南）。然而，对于大多数初级镁生产设施，可能假定：按照生产的每吨镁，CO<sub>2</sub> 排放量级长期相对不变。

关于 SF<sub>6</sub> 排放，方法 1 的*优良作法*是将历史活动数据乘以目前使用的国家/地区或缺省排放因子，以建立一致的时间序列。应注意到，由于环境意识、经济因素、改进的技术和作法，特定工厂排放因子通常会随着时间减小。

因为 2003 年之前在任何国家内，镁行业未在很大范围内使用 HFC-134a 和 FK5-1-12 保护气体，其历史排放可能为零。鉴于报告排放的复杂性级别与这些气体的使用有关，对于清单编制者来说，开发一致的时间序列将是一个挑战。

*优良作法*是根据第 1 卷第 5 章评估适当的历史排放因子。若要确保长期一致性，*优良作法*是前使用的方法和新方法重新计算排放估算，以确保排放中的任何趋势是真实的，不是由估算方法的变化引起的。*优良作法*是记录所有情况的假定，并由清单编制者归档。

### 4.5.3 不确定性评估

#### 初级生产中的CO<sub>2</sub>排放

在工厂级，通常应存在良好归档的原材料类型/分析和使用以及生产的镁吨数。对于所有气体的方法 2 和方法 3 需要的直接报告的活动数据，其准确性的误差通常小于 5%。在国家清单级，镁生产活动和排放数据的准确性相当于其它国家生产统计资料的准确性（即，±5%）。估算未直接报告的生产份额，会引入额外不确定性。

#### 镁浇注过程（初级和次级）

##### SF<sub>6</sub>

在方法 1 中，汇总来自不同次级工序中的产量并使用缺省排放因子，会引入不确定性。例如，尽管它们潜在着不同的 SF<sub>6</sub> 排放率，浇注操作中的国家数据可能未分离成压铸和重力浇注工序。因此，缺省情况下，此方法给出非常近似的真实排放。鉴于不同的加工和浇注操作可能使用了保护气体中的 SF<sub>6</sub> 浓度，而其浓度可能差几个数量级，因而使用方法 1 的不确定性也可能覆盖几个数量级。对于方法 1 和方法 2，还存在与假设（即使用的 SF<sub>6</sub> 全部排放）有关的不确定性量级。在典型浇注运作中，此假定的不确定性应小于 30%（Bartos 等人，2003）。

对于方法 2，与工厂级 SF<sub>6</sub> 使用有关的不确定性很低，因为 SF<sub>6</sub> 用量易于测量，可从采购数据中准确获得。（小于 5% 的不确定性估算通常适用于直接报告的数据。）

对于方法 3，不确定性主要源自监控的设备校准/准确性。诸如传式转换红外线光谱术（FTIR）等典型的气体分析方法，其估算的不确定性通常为 ± 10%。除了 FTIR 和类似的分析技术之外，与代表性抽样和校准有关的问题会引起更多不确定性，这可能将 FTIR 总不确定性提高到 ± 20%。

##### HFC-134a、FK 5-1-12 和分解产品（例如PFC）

对于 SF<sub>6</sub> 的方法 3，主要的不确定性关系到使用 HFC-134a 或 FK5-1-12 保护气体的过程监控设备校准/准确性。不确定性近于 ± 10%。

#### 运载气体

最大的不确定性关系到忽略源自保护气体的 CO<sub>2</sub> 排放的方法 1。如果设施使用含很多 CO<sub>2</sub> 的混合运载气体，则尤其如此。其它方法具有与 SF<sub>6</sub> 有关的相同不确定性。

### 4.5.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

#### 质量保证/质量控制（QA/QC）

优良作法是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。亦可以采用第 1 卷第 6 章概述的附加质量控制核查，特别是对于较高级的方法还可以采用质量保证程序。对于第 1 卷第 4 章确定的关键类别，鼓励清单编制者采用较高层次的 QA/QC。

下节概述了镁生产专用的其它程序：

#### 对采用不同方法估算的排放量进行比较

如果用单个工厂的数据计算排放，清单编制者应与下述数据进行比较：使用国家镁生产数据计算的排放估算或（在 SF<sub>6</sub> 情况下）属于镁使用的国家消耗量数据。应记录比较的结果，并调查任何差异。

#### 工厂级数据的评审

以下特定工厂的信息应予归档，以便于独立评审：

- 镁产量和过程类型；
- 具有全球增温潜势（SF<sub>6</sub>、HFC-134a、FK 5-1-12、CO<sub>2</sub> 等）消耗量/成分或镁生产（使用因子时）的保护气体；
- 工厂级 QA/QC 结果（包括工厂级数据的抽样、测量方法和测量结果的文档）；
- 任何综合实体（例如，国际镁协会等工业协会）实施的 QA/QC 结果；

- 计算和估算方法；和
- 适用时，将国家 SF<sub>6</sub> 用量、HFC-134a、FK 5-1-12，或关注的其它保护气体或产量分配到工厂级的假定清单。

清单编制者应确定，国家或国际测量标准是否用于报告各个工厂全球变暖保护气体（SF<sub>6</sub>、HFC-134a、FK5-1-12 等）消耗量或镁产量数据。如果未遵循标准方法和 QA/QC 程序，则应重新考虑这些活动数据的使用。

### 国家活动数据的审核

应评估和参考涉及镁生产数据有关的 QA/QC 活动。清单编制者应检查编制国家生产数据的贸易协会或机构是否使用了可接受的 QA/QC 程序。如果 QA/QC 程序视为可接受，则清单编制者应将 QC 活动作为部分 QA/QC 文档引用。

### 排放因子的评估

在使用特定公司/国家因子时，清单编制者应评审与基础数据有关的 QC 量级。*优良作法*是清单编制者可根据工厂级因子来交叉检查国家级缺省因子，以确定其代表性。

### 同行评审

清单编制者应当吸纳镁工业专家参与整个清单估算的评审过程，同时要考虑潜在的保密问题。历史生产数据对公开披露的敏感性可能不如当前数据，可用于工厂级排放的外部同行评审。

## SF<sub>6</sub> 排放数据的校验

清单编制者应加总不同工业部门使用的SF<sub>6</sub>量（例如镁、电气设备），并将此值与国家SF<sub>6</sub>总用量比较，后者的数据可从进出口和生产数据中获得。这提供了潜在排放的上限。<sup>16</sup>

### 4.5.4.2 报告和归档

*优良作法*是按照第1卷第6.11节概述的内容，记录和归档所需的所有信息以得出国家排放清单估算。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。

为了提高透明性，*优良作法*是通过工业工序分别报告镁源类别中的排放估算，例如初级生产、次级生产和浇注。

以下附加信息可为报告提供适当的透明度：

#### 直接报告

- 镁工厂数报告；
- 采用的过程类型和制造类型；
- 生产的镁和镁产品；
- 与镁工序有关的 SF<sub>6</sub>排放；
- 具有全球增温潜势风险的其它保护气体使用；和
- 具有全球增温潜势风险的每个保护气体的排放因子数据（和参考）。

#### 基于国家保护气体销售的潜在排放的估算

- 国家 SF<sub>6</sub>消耗量（和参考）；
- 分配到镁部门的 HFC-134a 国家用量；
- 分配到镁部门的 FK 5-1-12 国家用量；
- 假定分配用于镁的 SF<sub>6</sub>、HFC-134a、FK 5-1-12；
- 镁（和参考）使用的国家 SF<sub>6</sub>、HFC-134a、FK 5-1-12 的百分比估算；和
- 所做的任何其它假设。

在大多数国家，镁工业将由少量工厂代表。在此工业中，活动水平数据和保护气体排放（直接与活动水平有关）可能视为机密的商业信息，公开报道时可能要注意机密注意事项。

<sup>16</sup> 这些合并的消耗量数据不可能始终提供有关排放的上限。可能的情况是，根据工业消耗的 SF<sub>6</sub> 的国家特征，某些年代 SF<sub>6</sub> 的实际排放可能大于 SF<sub>6</sub> 的消耗量。例如，镁压铸中的消耗量可能非常低，不可能存在很多半导体制造，但是电气设备中相当多的 SF<sub>6</sub> 储藏库是经过多年发展而形成的。在这种情况下，储藏库中的泄漏结合退役设备中产生的排放，可能导致实际排放超过 SF<sub>6</sub>（潜在排放）的消耗量。另见 8.2 节有关电气设备中的 SF<sub>6</sub> 排放。

## 4.6 铅生产

### 4.6.1 引言

#### 初级生产过程

用铅精矿生产粗铅条，有两个主要过程。第一类是烧结/熔炼，包括序列烧结和熔炼步骤，包含大约78%的初级铅生产。第二类是直接熔炼，消除了烧结步骤，包含发达国家其余22%的初级铅生产。（Sjardin, 2003）

在烧结/熔炼过程中，初始烧结将铅精矿与回收的熔渣、石灰石和硅、氧气和高铅含量污泥混合，通过燃烧去除硫和挥发性金属（冶金工业，1995）。由氧化铅和其它金属氧化物组成的熔渣烘烤生产过程，会从用于点燃氧化铅的天然气中产生二氧化硫（SO<sub>2</sub>）和能源相关二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的排放。然后熔渣烘烤放入鼓风炉中，同时加入含其它金属的矿石、空气、冶炼厂副产品和冶金焦炭（冶金工业，1995）。焦炭与空气反应会燃烧，产生一氧化碳（CO），通过化学反应来实际执行氧化铅还原（DOE, 2002）。熔炼过程出现在传统鼓风炉或密闭鼓风炉中，正是还原氧化铅在此过程中产生CO<sub>2</sub>排放（Sjardin, 2003）。熔渣过程会生产熔化铅条（冶金工业，1995年）。

跳过烧结过程，在直接熔炼过程中，铅精矿和其它材料直接进入熔炼和氧化的炉子中（Sjardin, 2003）。各种炉子用于直接熔炼过程，用 Isasmelt-Ausmelt、Queneau-Schumann-Lurgi 和 Kaldor 炉子进行池熔炼，用 Kivcet 炉子进行闪速熔炼。包括煤、冶金焦炭和天然气在内的大量还原剂，每个炉子以不同数量用于过程中，这样每种炉子会产生不同量级的CO<sub>2</sub>排放（Sjardin, 2003; LDA, 2002）。直接熔炼过程通过避免烧结过程，提供了重要的环境效益和潜在的成本节省效益，因此预期该过程提供的未来初级提炼厂铅产量会日益增加（LDA, 2002）。

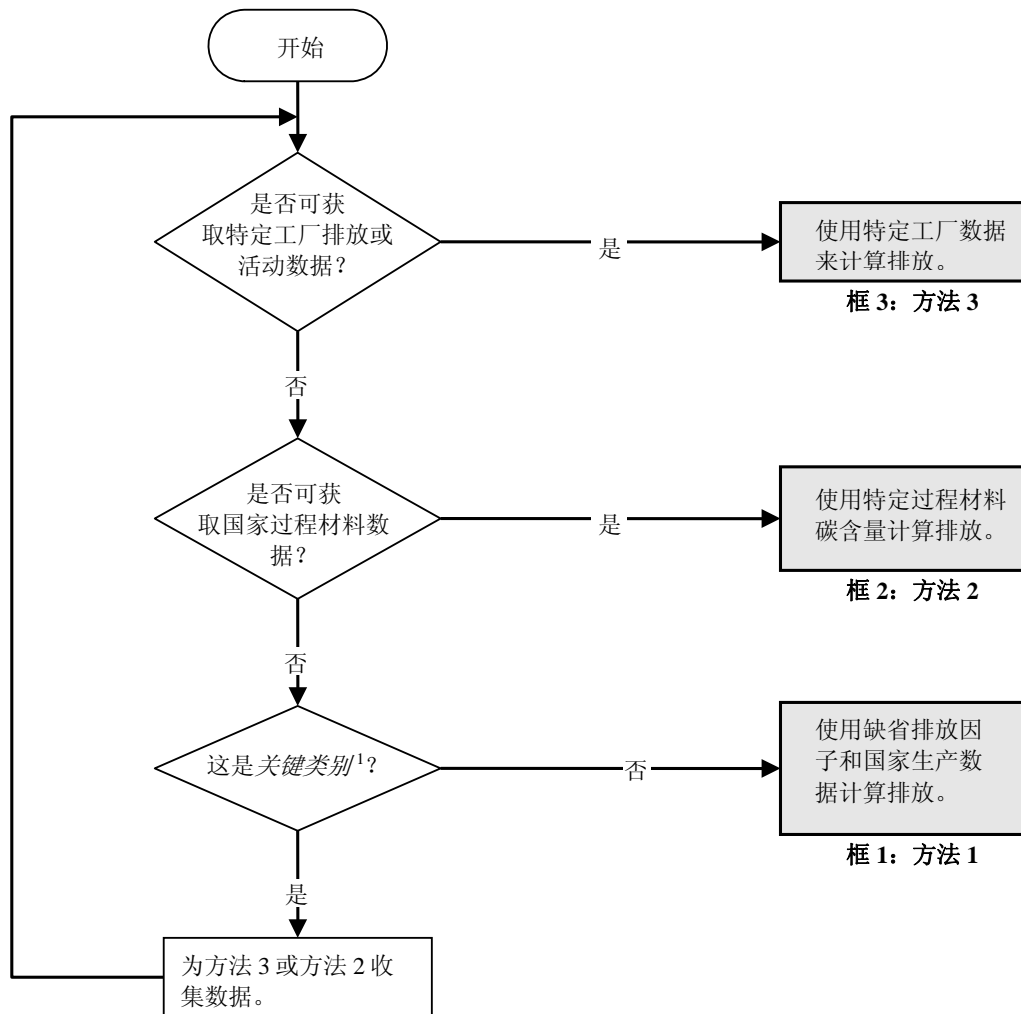
#### 次级生产过程

提炼铅的次级产量总计为回收铅的处理量，以备铅的再使用。这种回收的铅大部分来自废铅酸电池。铅酸电池用锤式粉碎机打碎，进入含脱硫或不含脱硫的熔炼过程，或者这些铅酸电池被整体熔炼（Sjardin, 2003）。传统鼓风炉、密闭鼓风炉、电弧炉、电阻炉、反射炉、艾萨炉、Queneau-Schumann-Lurgi 炉和 Kivcet 炉，均可用于熔炼这些电池和其它回收的废铅（Sjardin, 2003）。对于初级铅条生产所用的炉子，由于所用炉子类型不同和还原剂数量不同，这些炉子会生成不同量级的CO<sub>2</sub>排放。初级还原剂一般是煤、天然气和冶金焦，不过电阻炉使用石油焦（Sjardin, 2003）。

### 4.6.2 方法学问题

#### 方法的选择

《IPCC 指南》概述了计算源自铅生产的CO<sub>2</sub>排放的三个方法。优良作法方法的选择取决于具体国情，如图4.15的决策树所示。方法1根据应用于国家铅总产量的一般排放因子计算排放，其准确性最低。只有铅产量不是关键类别时，才采用方法1、方法2，使用初级和次级生产过程的特定国家过程材料数据乘以过程材料的适当碳含量。方法3需要特定设施的测量数据或排放数据。

图 4.15 估算源自铅生产的 CO<sub>2</sub> 排放的决策树

注：

<sup>1</sup> 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

## 方法 1

最简单的估算方法是缺省排放因子与铅生产量相乘。如果唯一数据是从国家铅生产统计资料获取，*优良作法*是使用缺省排放因子。公式 4.32 通过加总各来源排放并计算源自次级原料预处理的排放，计算铅生产中二氧化碳的总排放量。如果不可能区分生产过程的类型，则应使用缺省排放因子。缺省排放因子假定：80% 的生产采用密闭鼓风机或鼓风机熔炼（包括初级和次级生产），在 Kivcet、Ausmelt 和 Queneau-Schumann-Lurgi 炉子中使用直接熔炼方法来熔炼其余的 20% 铅时。此假定符合与全球铅产量数据（Sjardin, 2003）。

### 公式 4.32 源自铅生产的 CO<sub>2</sub> 排放

$$E_{CO_2} = DS \cdot EF_{DS} + ISF \cdot EF_{ISF} + S \cdot EF_S$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自铅生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

DS = 通过直接熔炼生产的铅量，单位为吨

$EF_{DS}$  = 直接熔炼的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨铅产品

ISF = 密闭鼓风机中的铅产量，单位为吨

$EF_{ISF}$  = 密闭鼓风炉的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨铅产品

S = 次级材料生产的铅量，单位为吨

$EF_S$  = 次级材料的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨铅产品

公式 4.32 中使用的 CO<sub>2</sub> 排放因子，如表 4.21 所示。

## 方法 2

方法 2 认为源自铅生产的二氧化碳排放有很大差异，取决于生产方法和原材料来源，来自次级来源（例如回收电池）或矿石初级生产。次级铅来源可能被预处理，以去除造成二氧化碳排放的杂质。根据还原剂使用、炉子类型和其它有关过程材料，可以使用特定国家排放因子来计算排放。根据适用于这些材料的碳含量，可以开发这些因子。表 4.22 提供了碳含量，可用于推导特定国家因子。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构、商业或工业贸易协会或个别铅公司。方法 2 比方法 1 更准确，因为方法 2 考虑了特定国家铅部门中所用的促成 CO<sub>2</sub> 排放的材料和各种炉子类型，而不是假定世界工业范围的作法。

## 方法 3

如果可从铅设施中可获得实际直接测量的 CO<sub>2</sub> 排放数据，则可以汇总这些数据，使用方法 3 可直接计算国家排放。国家排放总量等于源自每个设施报告的排放量之和。如果不能获得设施排放，则可以对个别还原剂和其它过程材料，根据特定工厂数据来计算排放。若要获得比方法 2 更高的准确性，*优良作法*是开发工厂级的排放估算，因为工厂在技术上可能有很大不同，尤其是炉子技术。这些数据可从负责制造或能源统计资料的政府机构、商业或工业贸易协会中获得，然而最好汇总个别铅设施提供的数据。

## 排放因子的选择

### 方法 1

如果唯一数据是从国家铅生产统计资料中获取，则*优良作法*是使用缺省排放因子，即 0.52 吨 CO<sub>2</sub>/吨铅（Sjardin 2003）。如果不能获得初级和次级材料生产的铅相关量信息，则应仅使用此缺省值。如果可以获得信息，则应使用表 4.21 中的适当因子来计算排放（Sjardin, 2003）。缺省因子的不确定性较高，视生产方法组合和二级处理的百分比而有所差异。此外，此因子假定：80%的世界铅产量使用密闭鼓风机来熔炼（包括初级和次级），而在 Kivcet、Ausmelt 和 Queneau-Schumann-Lurgi 炉子中使用直接熔炼方法来熔炼其余的 20% 铅（Sjardin, 2003）。

源自密闭鼓风机 (ISF) 生产	源自直接熔炼 (DS) 生产	源自次级原材料的处理	缺省排放因子 (80% ISF, 20% DS)
0.59	0.25	0.2	0.52
来源: Sjardin (2003)			

### 方法 2

此方法提供了调节排放因子的机遇，以根据这些材料碳含量的特定工厂数据和炉子类型，反映假定标准的变化。如果清单编制者没有有关铅设施情况的信息，而具有过程材料的详细活动数据，则应使用表 4.22 中的缺省碳含量。表 4.22 中的缺省值源自第 2 卷第 1 章表 1.2 和表 1.3 中的缺省值，应查询以获得更多信息。



表 4.22  
铅生产中特定材料的碳含量 (kg 碳/kg)

过程材料	碳含量
鼓风炉煤气	0.17
木炭*	0.91
煤 <sup>1</sup>	0.67
煤焦油	0.62
焦炭	0.83
焦炉煤气	0.47
炼焦煤	0.73
EAF 碳电极 <sup>2</sup>	0.82
EAF 装料碳 <sup>3</sup>	0.83
燃料油 <sup>4</sup>	0.86
气焦	0.83
天然气	0.73
石油焦	0.87

来源：碳含量数据的参考纳入第 2 卷第 1 章的表 1.2 和表 1.3 中。

注：

<sup>1</sup> 假定其它沥青煤

<sup>2</sup> 假定 80%石油焦和 20%煤焦油

<sup>3</sup> 假定焦炉焦炭

<sup>4</sup> 假定汽油/柴油燃料

\* 源自木炭的 CO<sub>2</sub> 排放量可通过使用此碳含量值来计算，然而在国家温室气体清单中应报告为零。（参见第 1 卷第 1.2 节）。

### 方法 3

方法 3 基于汇总的排放估算或方法 2 在特定工厂级的应用。清单编制者应确保每个设施均记录了所用的排放因子和碳含量，并确保这些排放因子表明了这些设施所用的过程 and 材料。方法 3 需要用于所有过程材料和离场转移的碳含量和生产量/消耗量质量比率，如表 4.22 中所列的值。如果表 4.22 提供了缺省碳含量，则按照方法 3 的优良作法是，调整这些值以反映表中所列缺省值在工厂级的变化。如果特定工厂信息表示缺省因子与实际情况对应，则表 4.22 中列出的缺省因子仅适用于方法 3。预期方法 3 中特定工厂数据将包括碳含量和产量/消耗量质量速率数据，因此表 4.22 中的缺省值在大多数情况下不适用于方法 3。

## 活动数据的选择

### 方法 1

方法 1 仅需要国家内生产的铅量和各炉子类型生产的量（若可获得）。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别铅公司。然后这些吨数可乘以表 4.21 中对应的排放因子，以估算部门中的 CO<sub>2</sub> 排放或炉子类型不可获取时的缺省因子。

### 方法 2

方法 2 仅需要国家内铅生产所用的还原剂总量和其它过程材料的总量。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别铅公司。然后将这些量乘以表 4.22 中适当的碳含量，加总以后便可确定部门的 CO<sub>2</sub> 排放总量。然而，最好采用在工厂级收集的活活动数据（方法 3）。如果这不是关键类别，且没有行业全范围还原剂总量和过程材料总量的数据，则可使用方法 1 估算排放。

### 方法 3

方法 3 需要收集、编译和汇总特定设施测量的排放数据或活动数据。如果不能获得排放数据，则方法 3 需要在工厂级收集活动数据，并在部门内汇总。所用还原剂量和炉子类型，可以按这种方式更准确地确定。这些数据可从负责制造或能源统计资料的政府机构、商业或工业贸易协会获得，然而最好汇总个别铅设施提供的数据。通过允许个别公司提供更准确的特定工厂数据和/或使用更相关的排放因子来反映碳含量和炉子类型（这与方法 2 中使用的缺省因子有所不同），此方法还可以更加准确。

### 完整性

估算该源类别的排放量时，在 IPPU 或者能源部门存在重复计算或漏算的风险。作为一般指导，源自铅生产的所有过程排放应在 IPPU 部门中报告。

### 建立一致的时间序列

对时间序列中每一年份，应当采用相同方法来计算源自铅生产的排放量。如果没有数据支持方法 3 用于时间序列的所有年份，则应根据第 1 卷第 5 章“时间序列一致性和重新计算”论述的指南来重新计算这些空白。

## 4.6.3 不确定性评估

铅生产的不确定性估算主要来源于与活动数据关联的不确定性，以及与排放因子有关的不确定性。表 4.23 提供了排放因子和活动数据的不确定性概览。

### 排放因子不确定性

方法 1 中使用的缺省排放因子可能具有 $\pm 50\%$ 的不确定性。预期方法 2 中碳含量具有 $\pm 15\%$ 的不确定性。如果可获得特定工厂碳含量数据，则预期方法 3 单位特定排放因子的不确定性小于 5%。

### 活动数据不确定性

国家生产统计资料应可获得，其不确定性可能为 $\pm 10\%$ 。对于方法 2，铅生产所用还原剂和过程材料的总量可能小于 10%。方法 3 需要与生产数据有关的特定工厂信息（大约 5%的不确定性）。另外，预期方法 3 的实际排放数据不确定性为 $\pm 5\%$ 。

表 4.23  
不确定性范围

方法	数据来源	不确定性范围
方法 1	国家产量数据	± 10%
	缺省排放因子	± 50%
	按过程类型的排放因子	± 20%
方法 2	使用的还原剂量和类型	± 10%
	过程材料碳含量	± 15%
方法 3	设施得出的 = 过程材料数据	± 5%
	特定设施测量的 CO <sub>2</sub> 数据	± 5%
	特定设施的排放因子	± 5%

#### 4.6.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

##### 质量保证/质量控制（QA/QC）

优良作法是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。亦可以采用第 1 卷第 6 章介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是运用较高级方法来确定源自这种源类别的排放。对于第 1 卷第 4 章确定的关键类别，鼓励清单机构采用较高层次的 QA/QC。

除第 1 卷第 6 章的指南外，与该源类别相关的具体程序概述如下。

##### 排放因子审核

清单编制者应当将国家综合排放因子与 IPCC 缺省排放因子进行比较，以确定国家因子相对于 IPCC 缺省是否合理。国家因子与缺省因子之间的差别应加以解释并归档成文，尤其是当它们代表着不同的情形时。

##### 工厂活动水平数据核对

对特定工厂数据，清单编制者应审核工厂之间的不一致性，以确定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、或是起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。对于铅生产，清单编制者应将工厂数据与其它工厂的数据进行比较。

清单编制者应确保：排放因子和活动水平数据的推算符合国际认可并经证明的测量方法。如果实际测量达不到该指标要求，那么应当认真评估这些排放量及活动数据的使用，重新考虑不确定性估算，并记录其合格性。如果有更高的测量标准而且多数地方执行了 QA/QC，那么排放量估算的不确定性可修正调低。

##### 专家评审

清单编制者应当吸纳铅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，以便对确定及审评方法和数据采集提供投入。

第三方审评对该排放源类别亦会有益，尤其是在收集原始数据、测量工作、抄录、计算和归档成文等方面。

##### 活动数据核查

对于所有方法，清单编制者应核查第 2 卷“能源”，以保证还原剂和过程材料（煤、焦炭、天然气等）的排放没有重复计算或漏算。

清单编制者应检查不同工厂的数据之间的任何不一致性，以确定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、或是起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。这尤其与特定工厂估算的还原剂量或报告的过程材料碳含量有关。

如果可以获得这些贸易数据，则清单编制者应当将过程材料消耗量的工厂级累计估算与工业总量相比较。

## 报告和归档

*优良作法*是按照第1卷第6.11节的概述，记录和归档所需的所有信息以得出国家排放清单估算。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。

### 方法 1

除报告估算的排放之外，*优良作法*还要按过程和使用的对应排放因子来报告铅总产量。

### 方法 2

*优良作法*是记录以下数据：估算或计算的排放量、所有活动数据、对应的碳含量，以及证明备用值的任意假定或数据。应清晰阐释与燃料燃烧子部门估算的关系，以证明没有重复计算或漏算排放。

### 方法 3

*优良作法*是记录计算的排放和所有数据源，如果某些数据是商业敏感或涉及产权的，则必须考虑保护特定设施数据的机密性。此外，清单编制者针对所有方法，记录复制估算需要的所有信息以及 QA/QC 程序。

## 4.7 锌生产

### 4.7.1 引言

#### 初级生产过程

有三种不同类型的初级锌生产。第一种方法是冶金过程，称为电热蒸馏。此过程用于将焙烧精矿和次级锌产品组合成熔渣给料，经燃烧去除锌、卤化物、镉和其它杂质。生成的富含氧化锌的熔渣在电气蒸馏炉中与冶金焦组合，从而减少了氧化锌，并产生可在真空压缩器中捕获的气化锌。这种减少会造成非能源二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的排放。在美国和日本采用电热蒸馏过程。（Sjardin, 2003；欧洲 IPPC 局, 2001）

锌生产的第二种方法是一个火法冶炼过程，此过程使用密闭鼓风机，可允许同时处理铅和锌精矿。此过程同时生产出铅和锌，并释放非能源 CO<sub>2</sub> 排放。此过程中使用的冶金焦/煤还原剂必须分配到铅和锌生产，以便执行排放计算时，不会出现重复计算。基于质量的分配会造成因子 0.74 吨焦炭/吨锌。

（Sjardin, 2003；欧洲 IPPC 局, 2001）

第三个锌生产方法是电解过程，称为湿式冶金技术。在此过程中，煅烧硫化锌，产生氧化锌。然后氧化锌浸入硫酸中，提纯以去除铁杂质、铜和镉。然后使用电解液从溶液中提取出锌。电解过程不会产生非能源 CO<sub>2</sub> 排放。（Sjardin 2003；欧洲 IPPC 局 2001）

#### 次级生产过程

有 40 多种湿式冶炼和火法冶炼技术，可用于从各种材料中回收金属锌。给定情形的首选方法取决于锌来源（污染程度和锌浓度）以及回收锌的预期最终使用。此过程通常包含锌精矿（通过物理和/或化学分离）、烧结、熔炼和提炼。在某些情况下，物理浓缩和其它工业（包括钢铁制造、铜制造和锌压铸）消耗之后，不用再经历其余的过程步骤，高品质锌便从此过程中去除。（Sjardin, 2003）

烧结、熔炼和提炼步骤与初级锌生产过程中使用的这些步骤是相同的，因此某些熔炼过程视为是放射性的，而非能源 CO<sub>2</sub> 排放的角度来看，烧结和提炼步骤却视为非放射性时。当浓缩步骤要使用含碳还原剂和高温以从源材料中产生挥发性或烟雾锌时，此过程可能会产生非能源 CO<sub>2</sub> 排放。威尔兹回转窑和炉渣还原即产生烟气的过程就是这样的两种浓缩方法。威尔兹回转窑过程用于在烟尘、污泥、炉渣和其它含锌材料中浓缩锌，要求将冶金焦用作还原剂。然而，在这些过程中还原的锌被重新氧化，冶金焦还用过程期间的发热源。炉渣还原即产生烟气的过程严格用于从铜和锌熔化中浓缩熔化炉渣中的锌，要求将煤或其它碳来源用作还原剂。（Sjardin,2003；欧洲 IPPC 局, 2001）

### 4.7.2 方法学问题

#### 方法的选择

《IPCC 指南》概述了计算源自锌生产的 CO<sub>2</sub> 排放的若干方法。优良作法方法的选择取决于具体国情，如图 4.16 的决策树所示。如果可以获得特定设施测量的排放数据，则可以使用方法 3。对于初级和次级生产过程，方法 2 使用特定国家排放因子。方法 1 非常简单，然而由于其依赖于假定而不是实际数据，所以可能造成错误。方法 1 根据应用于国家铅总产量的一般排放因子计算排放，其准确性最低。只有锌产量不是关键类别时，才可以采用此方法。

#### 方法 1

最简单的估算方法是，缺省排放因子乘以锌产品类型（公式 4.33）。当只有可用数据是国家锌生产统计资料时，优良作法是使用缺省排放因子。如果不能获得特定材料数据来使用方法 2 计算排放，但过程类型已知，则清单编制者可以使用公式 4.34 计算排放。

公式 4.33  
锌生产中的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）

$$E_{CO_2} = Zn \cdot EF_{缺省}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自锌生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

Zn = 生产的锌的数量，单位为吨

$EF_{缺省}$  = 缺省排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/生产的锌吨数

**公式 4.34**  
**锌生产中的 CO<sub>2</sub> 排放（方法 1）**

$$E_{CO_2} = ET \cdot EF_{ET} + PM \cdot EF_{PM} + WK \cdot EF_{WK}$$

其中：

$E_{CO_2}$  = 源自锌生产的 CO<sub>2</sub> 排放量，单位为吨

ET = 通过电热蒸馏生产的锌的数量，单位为吨

$EF_{ET}$  = 电热蒸馏的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/生产的锌吨数

PM = 火法冶炼过程（密闭鼓风机过程）的锌产量，单位为吨

$EF_{PM}$  = 火法冶炼过程的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/生产的锌吨数

WK = 威尔兹回转窑过程的锌产量，单位为吨

$EF_{WK}$  = 威尔兹回转窑过程的排放因子，单位为吨 CO<sub>2</sub>/吨生产的锌

## 方法 2

根据有关还原剂使用汇总工厂统计资料，可以使用特定国家排放因子来计算排放，根据适用于这些材料的缺省排放因子来开发有关炉子类型和其它过程材料。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别锌公司。方法 2 比方法 1 更准确，因为方法 2 考虑了特定国家锌部门中所用的促成 CO<sub>2</sub> 排放的材料和各种炉子类型，而非采用行业全范围的作法。

## 方法 3

如果可从锌设施中获得实际测量的 CO<sub>2</sub> 排放数据，则可以汇总这些数据，使用方法 3 直接计算国家排放。

## 排放因子的选择

### 方法 1

火法冶炼过程（密闭鼓风机）的排放因子是汇总的加权排放因子，包含了欧洲的初级和次级锌生产（Sjardin, 2003），没有数据可用于确定电热过程的排放因子。基于威尔兹回转窑炉中消耗每吨 EAF 而耗用的焦炭量所确定的排放因子，是根据 Viklund-White（2000）提供的材料平衡开发的，其中 Viklund-White 发现消耗每公吨 EAF 灰尘要耗用 400 kg 焦炭。

过程	排放因子	源
威尔兹回转窑 (吨 CO <sub>2</sub> /吨锌)	3.66	引自 Viklund-White C. (2000)。LCA 用于镀锌钢回收环境评估。《日本钢铁学会杂志国际版》。第 40 册，第 3 号：292-299。
火法冶炼（密闭鼓风机） (吨 CO <sub>2</sub> /吨锌)	0.43	Sjardin 2003。不含铁的金属、铁合金和无机物行业中非能源使用的 CO <sub>2</sub> 排放因子。哥白尼学院，乌特勒支，荷兰。2003 年 6 月。
电热	未知	
缺省因子 (吨 CO <sub>2</sub> /吨锌)	1.72	缺省因子基于已知排放因子的权重（60%密闭鼓风机，40%威尔兹回转窑）

### 方法 2

方法 2 需要计算特定国家排放因子，根据国家内锌生产所用的还原剂和其它含碳过程材料的总量。这些特定国家排放因子应基于汇总的工厂统计资料，这些资料关于还原剂使用、炉子类型和其它有关过程材料。排放因子的开发是根据消耗每吨 EAF 灰尘所耗用的冶金焦炭：0.4 吨焦炭/吨消耗的 EAF 灰尘（Viklund-White, 2000）。如果可以获得活动数据，则排放因子即 1.23 吨 EAF 灰尘/吨锌可用于计算排放。当在威尔兹回转窑炉中从 EAF 灰尘中生产锌时，过程的复杂性表明，如果排放因子基于消耗的 EAF 灰尘量，而不是基于锌总产量，则这些排放因子会更加准确。这是因为还原材料（冶金焦）的消耗量直接取决于消耗的 EAF 灰尘量和锌含量。在威尔兹回转窑过程中使用称重设备来控制进入炉窑的冶金焦炭量（Sjardin 2003；欧洲 IPPC 局，2001）。

## 活动数据的选择

### 方法 1

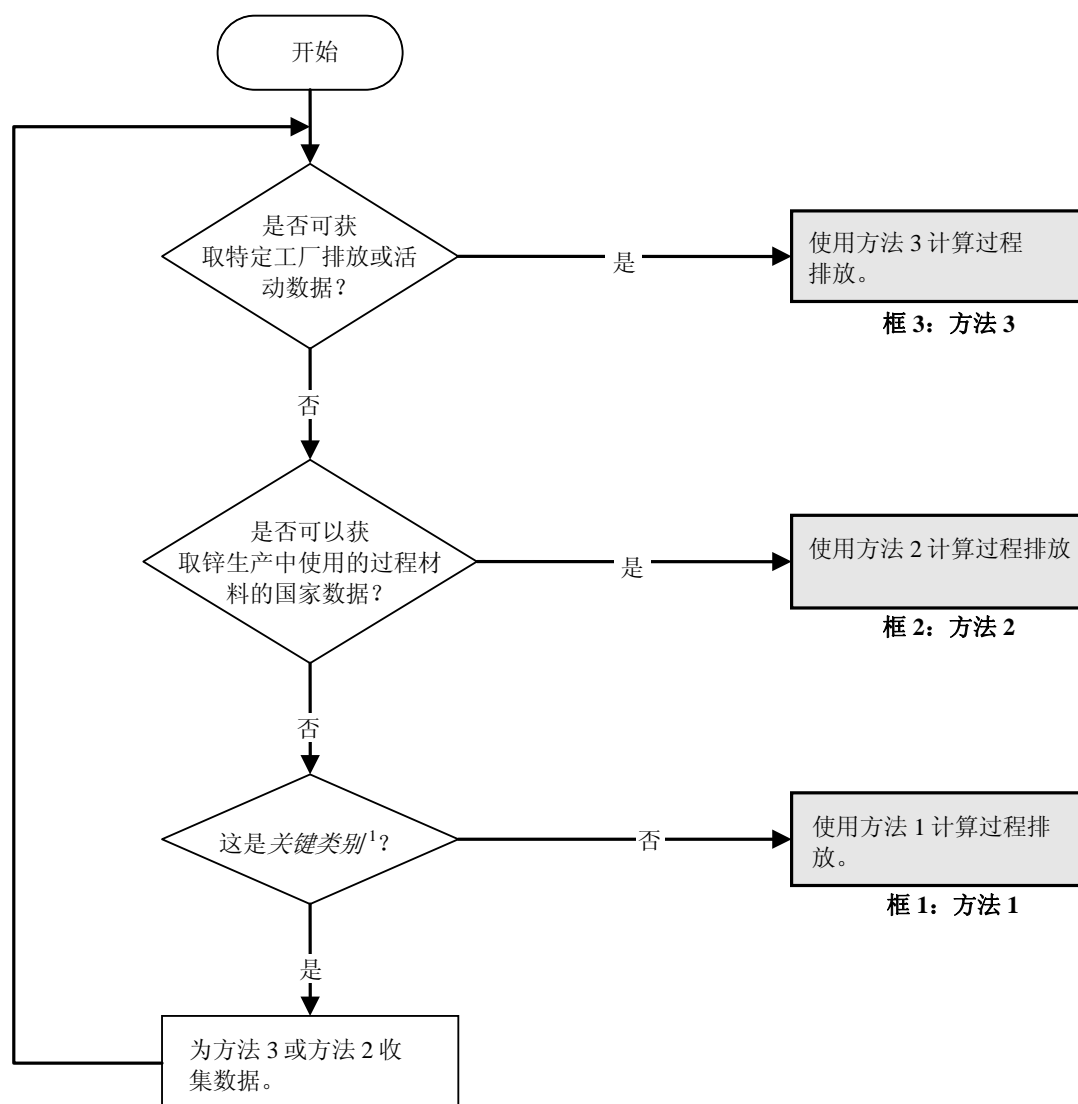
方法 1 仅需要国家内生产的锌量和（如果可以获得）过程类型。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别锌公司。然后这些吨数可乘以缺省排放因子，从而估算出 CO<sub>2</sub> 排放。

### 方法 2

方法 2 需要计算特定国家排放因子，根据国家内锌生产所用的还原剂总量和其它含碳过程材料的总量。这些数据可从如下机构获得：负责生产统计资料或能源统计资料的政府机构，商业或工业贸易协会，或个别锌公司。然后这些特定国家排放因子乘以生产量，从而确定部门的 CO<sub>2</sub> 总排放量。如果这不是**关键类别**，且不能获得行业全范围还原剂总量数据和过程材料总量数据，则可使用方法 1 估算排放。

### 方法 3

方法 3 需要收集、编辑和汇总特定设施测量的排放数据（如果有）。然而，还可以使用工厂级收集的**活动数据**，每个工厂的单独排放因子乘以特定工厂产量。如果这不是**关键类别**，且不能获得行业全范围还原剂总量数据和过程材料总量数据，则可使用方法 1 估算排放。

图 4.16 估算锌生产中 CO<sub>2</sub> 排放的决策树

注:

1 有关关键类别和决策树使用的讨论, 请参见第1卷第4章“方法选择和类别识别”(参见4.1.2节有关有限资源部分)。

## 完整性

估算该源类别的排放量时, 在工业过程部门或能源部门存在重复计算或漏算的风险。重要的是要注意, 方法1排放因子假定: 在煅烧、烧结、淋溶、提纯熔炼和提炼过程中, 发热生产所用各种燃料燃烧产生的CO<sub>2</sub>排放, 均捕获到源自化石燃料燃烧排放类别的CO<sub>2</sub>排放内。使用方法2或方法3可以避免重复计算。潜在重复计算的最大来源, 即源自焦炭生产的排放, 在4.2节计算, 在能源部门内报告。

## 建立一致的时间序列

对时间序列中每一年份, 应当采用相同方法来计算源自锌生产的排放量。如果没有数据来支持时间序列中所有年份的方法3, 则应根据第1卷“一般指导及报告”中介绍的指南, 重新计算差距。

### 4.7.3 不确定性评估



锌生产的不确定性评估主要来源于与活动数据关联的不确定性，以及与排放因子有关的不确定性。表 4.25 提供了排放因子和活动数据的不确定性概览。

## 排放因子不确定性

方法 1 中使用的缺省排放因子可能具有 $\pm 50\%$ 的不确定性。预期方法 2 特定排放因子具有 $\pm 15\%$ 的不确定性。如果可获得特定工厂碳含量数据，则预期方法 3 单位特定排放因子的不确定性小于 5%。

## 活动数据不确定性

国家生产统计资料应可以获得，其不确定性可能为 $\pm 10\%$ 。对于方法 2，铅生产所用还原剂和过程材料的总量可能小于 10%。预期方法 3 的实际排放数据不确定性为 $\pm 5\%$ 。

方法	数据来源	不确定性范围
方法 1	国家产量数据	$\pm 10\%$
	缺省排放因子	$\pm 50\%$
	特定过程排放因子	$\pm 20\%$
方法 2	国家还原剂和过程材料数据	$\pm 10\%$
	特定国家的排放因子	$\pm 15\%$
方法 3	设施得出的 = 过程材料数据	$\pm 5\%$
	特定设施测量的 CO <sub>2</sub> 数据	$\pm 5\%$
	特定设施的排放因子	$\pm 5\%$

## 4.7.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

### 质量保证/质量控制（QA/QC）

优良作法是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。除第 1 卷的指南外，与该源类别相关的具体程序概述如下。

#### 排放因子审核

清单编制者应当将国家综合排放因子与 IPCC 缺省因子进行比较，以确定国家因子相对于 IPCC 缺省值是否合理。国家因子与缺省因子的明显差别应加以解释并归档成文，尤其是当它们代表着不同的情形时。

#### 特定工厂活动数据核对

对特定工厂数据，清单编制者应审核工厂之间的不一致性，以确定是否表明有误差存在、采用了不同的测量技术，或是起因于排放、运行条件或技术的实际差别。对于锌生产，清单编制者应将工厂数据与其它工厂的数据进行比较。

清单编制者应确保：排放因子和活动水平数据的推算符合国际认可并经证明的测量方法。如果实际测量达不到该指标要求，那么应当认真评估这些排放量及活动数据的使用，重新考虑不确定性估算，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 QA/QC，那么排放量估算的不确定性可修正调低。

### 专家评审

清单编制者应当吸纳锌生产有关的主要工业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。

第三方审评对该排放源类别亦会有益，尤其是在收集原始数据、测量工作、抄录、计算和归档成文等方面。

### 活动数据核查

对于所有方法，清单编制者应核查，以保证还原剂和过程材料（煤、焦炭、天然气等）的排放没有作为能源的相关排放重复计算或漏算。

清单编制者应检查不同工厂的数据之间的任何不一致性，以确定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、或是起因于排放、运行条件或技术方面的实际差别。这尤其与特定工厂估算的还原剂量或报告的过程材料碳含量有关。

如果可以获得这些贸易数据，则清单编制者应当将过程材料消耗量的工厂级累计估算与工业总量相比较。

## 报告和归档

*优良作法*是按照第1卷第6.11节的概述，记录和归档所需的所有信息以得出国家排放清单估算。不可能在国家清单报告中纳入所有文档记录。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，且计算步骤可具有可追溯性。

### 方法 1

除了报告估算的排放之外，*优良作法*还要按过程和使用的对应排放因子报告锌总产量。

### 方法 2

*优良作法*是记录以下数据：估算或计算的排放量、所有活动数据、对应的排放因子，以及调整备用排放因子的任何假定或数据。

### 方法 3

*优良作法*是记录计算的排放和所有数据源，如果某些数据是商业敏感或涉及产权的，则必须考虑保护特定设施数据的机密性。此外，清单编制者应针对所有方法，记录重复估算需要的所有信息以及 QA/QC 程序。

## 参考文献

### 第4.2节

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- International Iron and Steel Institute (2004). Steel Statistical Yearbook 2004: International Iron and Steel Institute, COMMITTEE ON ECONOMIC STUDIES, Brussels.
- Pipatti, R. (2001). Greenhouse Gas Emissions and Removals in Finland, Report No. 2094, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2001. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2094.pdf>
- Schoenberger, H. (2000). European Conference on “The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry” Stuttgart, 6 and 7 April 2000, BREF on the Production of Iron and Steel - conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Governmental Office Freiburg, April 2000.

### 第4.3节

- FFF (2000). The Norwegian Ferroalloy Producers Research Association, “Emission factors standardized at meeting”, Oslo 2000.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- Lindstad, T. (2004). ‘CO<sub>2</sub> Emissions from the Production of Silicon Alloys’, STF80A04019, SINTEF, Trondheim 2004.
- Olsen, S.E., Mosen, B.E. and Lindstad, T. (1998). ‘CO<sub>2</sub> Emissions from the Production of Manganese and Chrome Alloys in Norway’, Electric Furnace Conference Proceedings Vol. 56, Iron & Steel Society, Warrendale PA 1998, pp 363-369.
- Olsen, S.E. (2004). ‘CO<sub>2</sub> Emissions from the Production of Manganese Alloys in Norway’, STF80A04010, SINTEF, Trondheim 2004.

### 第4.4节

- IAI (2000). International Aluminium Institute, International Aluminium Institute (2000) ‘Life Cycle Assessment of Aluminium’
- IAI (2001). International Aluminium Institute, Perfluorocarbon Emissions Reduction Programme 1990 - 2000, 2001, available at <http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/pfc2000.pdf>.
- IAI (2005a). International Aluminium Institute, The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol, [http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg\\_protocol.pdf](http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf), 2005.
- IAI (2005b). International Aluminium Institute, survey on composition of production materials, 2005 (unpublished)
- IAI (2005c). International Aluminium Institute, Annual Anode Effect Survey 2003, [www.world-aluminium.org](http://www.world-aluminium.org), 2005.

U.S. EPA and IAI (2003), U.S. Environmental Protection Agency and International Aluminium Institute, USEPA/IAI Protocol for Measurement of PFCs from Primary Aluminium Production, EPA 43-R-03-006, May 2003.

#### 第 4.5 节

Bartos, S., Kantamaneni, R., Marks, J. and Laush, C. (2003). "Measured SF<sub>6</sub> Emissions from Magnesium Die Casting Operations," Magnesium Technology 2003, Proceedings of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Conference, March 2003.

Gjestland, H. and Magers, D. (1996). "Practical usage of sulphur hexafluoride for melt protection in the magnesium die casting industry" Proceedings of the 53rd International Magnesium Conference, 1996, Ube City, Japan

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Milbrath, D. (2002). "Development of 3M™ Novac™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF<sub>6</sub> Over Molten Magnesium," International Conference on SF<sub>6</sub> and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.

Tranell, G and Engh, T.A. (2004). "Alternatives to SF<sub>6</sub> for the Magnesium Processor – A Technical, Environmental and Economic Assessment", Proceedings of the 61st Annual International Magnesium Association Conference, May 2004, New Orleans, LA, USA.

#### 第 4.6 节

DOE (2002). Mining Industry of the Future: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Prepared by BCS, Inc for the U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2002.

LDA (2002). Technical Notes: Primary Extraction of Lead., Lead Development Association International. Internet: <http://www.ldaint.org/technotes1.htm>

Metallurgical Industry (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>

Sjardin, M. (2003). CO<sub>2</sub> Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

#### 第 4.7 节

European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Sjardin, M. (2003). CO<sub>2</sub> Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

Viklund-White C. (2000). The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. *ISIJ International*. Volume 40 No. 3: 292-299.