

4

农业

联合主席、编者和专家

农业温室气体排放专家会议联合主席

Arvin Mosier(美国)和 Carolien Kroeze(荷兰)

评审编辑

Taka Hiraishi(日本)和 Wang Minxing(中国)

联合专家组：牲畜数量特征和牲畜肠道发酵产生的 CH₄ 排放

联合主席

Michael Gibbs(美国)和 Luis Ruiz-Suarez(墨西哥)

背景报告作者

Michael Gibbs(美国), Don Johnson(美国), Keith Lassey(新西兰), M. Ulyatt(新西兰), Paul Jun(美国), Kathryn Gaffney(美国)和 David Conneely(美国)

参加人员

David Beever(英国), Guillermo Berra(阿根廷), Budg Bujidmaa(蒙古), Ian Galbally(澳大利亚), Hongmin Dong(中国), Robert Hoppaus(IPCC/OECD), Jean Koch(以色列), Cecilia Ramos-Mane(乌拉圭), Michael Strogies(德国)和 Pravee Vijchulata(泰国)

专家组：粪便管理系统中的 CH₄ 排放

联合主席

Grietje Zeeman(荷兰)和 Bart Mupeta(津巴布韦)

背景报告作者

Kathryn Gaffney(美国), Sybren Gerbens(荷兰), Michael Gibbs(美国), Paul Jun(美国)和 Grietje Zeeman(荷兰)

参加人员

Sybren Gerbens(荷兰), Lowry Harper(美国), Paul Jun(美国), Erik Lyck(Denmark), Thomas Martinsen(IPCC/OECD)和 Kenneth Olsen(加拿大)

专家组：粪便管理系统中的 N₂O 排放

联合主席

Oene Oenema(荷兰)和 Lambert Gnapelet(中非共和国)

背景报告作者

Oene Oenema(荷兰)和 Otto Heinemeyer(德国)

参加人员

John van Aardenne(荷兰), Barbara Amon(奥地利), Andre van Amstel(荷兰), Karin Groenestein(荷兰)和 Otto Heinemeyer(德国)

联合专家组：热带草原和农业废弃物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放**联合主席**

Wei Min Hao(美国)和 Joseph Kwasi Adu(加纳)

背景报告作者

Wei Min Hao(美国)

参加人员

Kay Abel(澳大利亚), Jean Brennan(美国)和 Yahaiya Mohamed(科摩罗)

专家组：农业土壤中的 N₂O 直接排放**联合主席**

Keith Smith(英国)和 Bernard Siska(斯洛伐克)

背景报告作者

Lex Bouwman(荷兰), Barbara Braatz(美国)和 Keith Smith(英国)

参加人员

Sue Armstrong-Brown(英国), Lex Bouwman(荷兰), Barbara Braatz(美国), Martti Esala(芬兰), Jean Claude Germon(法国), Niels Kilde(丹麦), Katarina Mareckova(IPCC/OECD), Paul Ruysenaars(荷兰), Haruo Tsuruta(日本)和 Tom Wirth(美国)

专家组：农业用氮的 N₂O 间接排放**联合主席**

Cindy Nevison(美国)和 Michael Gytarsky(俄罗斯)

背景文件作者

Cindy Nevison(美国)

参加人员

Jochen Harnish(德国), Steve Jarvis(英国), Carolien Kroeze(荷兰), Riitta Pipatti(芬兰), Erik Rasmussen(丹麦), Kristin Rypdal(挪威), Martin Schmid(瑞士), Jeff Smith(美国)和 Kiyoto Tanabe(日本)

专家组：水稻生产中的 CH₄ 排放**联合主席**

Ron Sass(美国)和 Kazuyuki Yagi(日本)

背景报告作者

Ron Sass(美国)

参加人员

Hugo Denier van der Gon(荷兰), Bill Irving(美国), Leon Janssen(荷兰)和 Rhoda Lantin(菲律宾)

目 录

4 农业

4.1 牲畜种群的特征参数	4.8
4.1.1 方法学问题	4.8
4.1.2 报告和归档	4.21
4.1.3 清单质量保证和质量控制	4.21
4.2 牲畜肠道发酵 CH ₄ 排放	4.23
4.2.1 方法学问题	4.23
4.2.2 报告和归档	4.28
4.2.3 清单质量保证和质量控制	4.28
4.3 粪便管理系统中的 CH ₄ 排放	4.30
4.3.1 方法学问题	4.30
4.3.2 报告和归档	4.38
4.3.3 清单质量保证和质量控制	4.38
4.4 粪便管理中的 N ₂ O 排放	4.40
4.4.1 方法学问题	4.40
4.4.2 报告和归档	4.47
4.4.3 清单质量保证和质量控制	4.47
4.5 热带草原燃烧产生的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放	4.49
4.6 农业残留物燃烧产生的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放	4.51
4.7 农业土壤中的 N ₂ O 直接排放	4.53
4.7.1 方法学问题	4.53
4.7.2 报告和归档	4.64
4.7.3 清单质量保证和质量控制	4.65
4.8 农业氮肥施用中的 N ₂ O 间接排放	4.67
4.8.1 方法学问题	4.67
4.8.2 报告和归档	4.75
4.8.3 清单质量保证和质量控制	4.75
4.9 水稻生产中的甲烷排放	4.77
4.9.1 方法问题	4.77
4.9.2 报告和归档	4.82
4.9.3 清单质量保证和质量控制	4.83
附录 4A.1 热带草原燃烧中的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放：未来方法学建立的基础	4.84

4A.1.1 方法学问题	4.84
4A.1.2 报告和归档	4.87
4A.1.3 清单质量保证和质量控制.....	4.88
附录 4A.2 农业残留物燃烧中的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放: 未来方法学建立的基础.....	4.89
4A.2.1 方法学问题	4.89
4A.2.2 报告和归档	4.90
4A.2.3 清单质量保证和质量控制.....	4.90
附录 4A.3 水稻生产中的甲烷排放: 实地测量、报告和质量保证/质量控制	4.91
参考文献	4.92

图

图 4.1 动物特征参数决策树	1
图 4.2 肠道发酵 CH ₄ 排放决策树	24
图 4.3 粪便管理系统中 CH ₄ 排放决策树	33
图 4.4 动物粪便管理中的 N ₂ O 排放决策树	41
图 4.5 热带草原燃烧产生的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放决策树	50
图 4.6 农业残留物燃烧产生的 CH ₄ 和 N ₂ O 排放决策树	52
图 4.7 农业土壤中的直接氧化亚氮(N ₂ O)排放决策树	55
图 4.8 农业氮肥使用引起的氧化亚氮间接排放决策树	68
图 4.9 水稻生产中的甲烷排放决策树	79

表

表 4.1 代表性的家牛和水牛种类	4.11
表 4.2 代表性的绵羊种类	4.11
表 4.3 家牛、水牛、绵羊总能摄入量估算公式总表	4.14
表 4.4 计算 NE_m 的系数	4.14
表 4.5 动物饲养方式相应的活动系数	4.15
表 4.6 计算绵羊 NE_g 常数	4.16
表 4.7 用公式 4.8 计算 NE_p 的常数	4.19
表 4.8 家牛/水牛甲烷转化率(Y_m)	4.26
表 4.9 绵羊甲烷转化率(Y_m)	4.27
表 4.10 《IPCC 指南》定义的粪肥处理系统的 MCF 值（更新值用斜体表示）	4.36
表 4.11 《IPCC 指南》中未定义的粪肥处理系统的 MCF 值（专家组判定）	4.37
表 4.12 动物粪便管理中的 N_2O 排放的缺省排放因子	4.43
表 4.13 没有包括在《IPCC 指南》中的动物粪便管理中的 N_2O 排放的缺省排放因子	4.44
表 4.14 估算幼小动物的氮排泄率时，《IPCC 指南》（《参考手册》）表 4-20 中的缺省调整因子	4.45
表 4.15 不同动物种类保留在体内的氮占摄取量的比例的缺省值	4.46
表 4.16 所选作物残留物统计数据	4.58
表 4.17 估算农业土壤中的直接 N_2O 排放量的更新缺省排放因子	4.60
表 4.18 估算农业用氮的 N_2O 间接排放缺省排放因子	4.73
表 4.19 估算间接 N_2O 排放的数据	4.74
表 4.20 相对于持续性淹水稻田的水稻生态系统类型和水分管理体系的 IPCC 缺省甲烷排放换算系数	4.80
表 4.21 关于非发酵有机质添加物的计量反应表	4.81
表 4.22 缺省排放因子、缺省换算系数和稻田中的甲烷排放范围	4.82
表 4.A1 地面生物量燃烧量	4.85
表 4.A2 燃烧效率和相应的 CH_4 排放因子	4.86
表 4.A3 不同热带草原生态系统的 N_2O 排放因子	4.87

4 农业

4.1 牲畜种群的特征参数

4.1.1 方法学问题

估算牲畜生产系统的甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)的排放量, 首先需对牲畜进行定义分类、并收集有关年饲养量和牲畜采食量等数据。为确保在各种排放源类别中牲畜定义和相关特性参数数据的一致性, 每种牲畜都应该有各自的特征, 以下各源类别中所采用牲畜的特征是相同的。

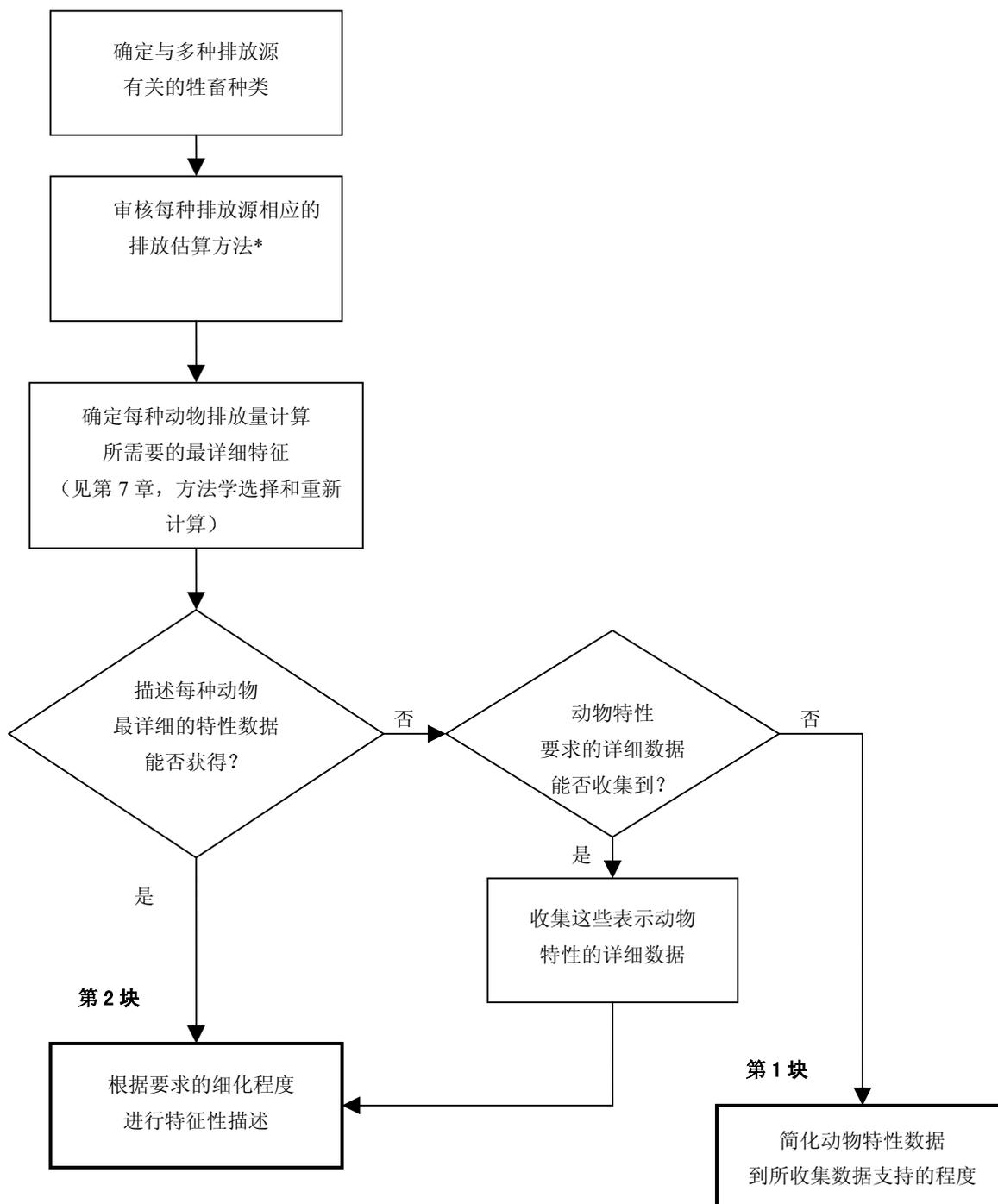
- 4.2 节 — 牲畜肠道发酵产生 CH₄ 排放;
- 4.3 节 — 动物粪便管理过程中的 CH₄ 排放;
- 4.4 节 — 动物粪便管理过程中的 N₂O 排放;
- 4.7 节 — 农业土壤中的 N₂O 直接排放;
- 4.8 节 — 农业用氮产生的 N₂O 间接排放。

4.1.1.1 牲畜特征的选择

*优良作法*是首先确定估算每种源类别排放量的方法, 然后根据各牲畜品种的特征值分别进行估算。我们尽可能详细地列出了每种牲畜所需要的资料。当然, 在估算各种牲畜 CH₄ 或 N₂O 排放量的过程(见图 4.1, 牲畜特征的决策树)中, 牲畜特征的各个选项要经过反复的推敲才能最后定稿。所需步骤如下:

- **确定多重排放源的牲畜种类。**首先列出具有多重排放源特性的牲畜种类, 主要有: 家牛、水牛、绵羊、山羊、猪、马、骆驼、骡/驴和家禽。
- **对每种排放源的排放估算方法进行审评。**对于各种排放源, 不论是肠道发酵 CH₄ 排放, 还是牲畜粪便管理过程中 CH₄ 和 N₂O 排放, 以及农业土壤 N₂O 的直接和间接排放, 都需要确定各排放源的排放估算方法。例如, 家牛、水牛、绵羊肠道发酵排放量都必须进行测定和评估, 以确定这些品种动物排放量是否能用方法 2 估算。同样, 家牛、水牛、猪和家禽粪便管理过程中的甲烷排放量也必须进行测定, 以确定方法 2 估算方法是否适用。可以用已有的清单对估算方法进行评估。如果没有现存的清单, 可以用方法 1 估算排放以对计算方法进行初步评估。可参见第 7 章(方法学选择与重新计算)方法选择指南。
- **确定每种牲畜的详细特征值。**以各排放源中每种动物的评估为基础, 确定对各种动物不同排放源估算所需要的特征值。一般来说, 如果肠道发酵和动物粪肥排放源都用方法 1 估算, “基本”的特征值可用于各相关的排放源。如果肠道发酵或动物粪肥排放使用方法 2 估算, 则应使用“强化”的特征值进行估算。

图 4.1 动物特征参数决策树



*这些排放源包括：肠道发酵 CH_4 排放、粪便管理中的 CH_4 排放、粪便管理中的 N_2O 排放、农业土壤的 N_2O 直接排放、农业氮肥使用间接 N_2O 排放。

基本特征参数

当牲畜的‘基本’特征用于排放估算时，优良做法是要收集以下相关资料：

牲畜种类：根据《1996 年 IPCC 国家温室气体清单编制指南修订本》（《IPCC 指南》）提供的缺省排放因子，列出所有有排放因子的动物品种（包括奶牛、其它牛、水牛、绵羊、山羊、骆驼、马、驴和骡、猪、家禽等）牲畜种类¹。如果有更详细的牲畜分类资料则更好。

年饲养量：清单机构应尽可能使用官方的国家统计资料或企业记录数据。如果没有国家数据，也可以利用联合国粮农组织（FAO）提供的数据。季节性的出生或屠宰会引起牲畜数量的变化，或者增加或者减少，因此牲畜的数量也应做相应的调整。对估算牲畜年饲养数量的方法要有详细的描述，尤其是对原始数据进行调整时应该如此。

产奶量：奶牛的年均产奶量是一个必需的数据，该数据在用方法 1 估算肠道发酵的甲烷排放因子时要用到。最好用各个国家的特定数据，如果没有这种特定数据，也可以用联合国粮农组织的数据。

气候：一些幅员辽阔的国家，同种牲畜所处地区的气候可能差别很大，因而必须对每个气候区牲畜数量的百分比进行估算。在《IPCC 指南》的《参考手册》中的表 4-1，根据年平均气温划分了三种气候区：寒带（<15℃）、温带（15℃-25℃）、热带（>25℃）。不同气候区牲畜的饲养量可以根据各个国家的气候分布图来推算。

强化特征参数

牲畜的强化特征包括：

- 定义每种牲畜亚类；
- 亚类的数量；
- 各亚类主要动物采食量估算。

尽可能使同一亚类具有共性。亚类的划分要反映出各个国家某种品种动物的年龄结构和特性的差异。

用方法 2 估算家牛、水牛和绵羊肠道发酵产生的甲烷排放量时要用到强化特征中的采食量估算值。此外，在估算动物粪便管理过程中的甲烷和氧化亚氮排放量，以及农田中氧化亚氮直接和间接排放量时，也要利用该采食量数据对动物粪肥和氮排出量估算值进行校正。

牲畜亚类定义：优良做法是将家牛和水牛分别细分为三个亚类：

- 家牛：成年奶用母牛、成年非奶牛、幼牛
- 水牛：成年奶用水牛（仅母牛）、成年非奶用水牛、幼牛

根据各排放估算方法的要求，以及动物和饲料特性将每种动物分成若干亚类。常用的家牛和水牛亚类见表 4.1（代表性的家牛和水牛种类），当然，也可视某些国家的具体情况划分出其它亚类。

可以根据动物和管理方式不同将绵羊分成几大类，见表 4.2（代表性的绵羊种类）。与家牛和水牛亚类的划分方法相似，绵羊也可以进一步划分为若干亚类。

当使用方法 2 估算猪粪管理过程中的甲烷排放时，最好把猪群分为母猪、成年公猪、生长猪三个子类。母猪还可进一步分为分娩母猪和妊娠母猪；生长猪还可进一步划分为保育仔猪、生长猪和育肥猪。值得注意的是，只有当

¹《IPCC 指南》中所指的‘奶牛’是指至少生育过一次并一直产奶的母牛。对于优良做法来说，将‘奶牛’名词改变为‘母奶牛’以免与其他与奶业有关的类型混淆（育成小母牛）。“其它牛”是指没有定义的类型。

粪便管理系统中的详细数据可以获取时，才有必要这样分类。

对幅员辽阔或区域差异明显的国家，可以指定区域然后对区域内的动物分类，再根据饲喂系统和日粮不同对区域进一步细分。

表 4.1 代表性的家牛和水牛种类	
主类	亚类
成年奶用母牛或成年奶用水牛	<ul style="list-style-type: none"> • 经产的高产奶用母牛或奶用水牛 • 经产的低产奶用母牛或奶用水牛
其它成年牛或非奶用成年水牛	母牛 <ul style="list-style-type: none"> • 肉用母牛 • 兼用母牛：产奶、肉用和劳役 公牛 <ul style="list-style-type: none"> • 种公牛 • 劳役小公牛 • 肉用阉牛
幼牛或幼水牛	<ul style="list-style-type: none"> • 断奶前牛犊 • 生长家牛或水牛 • 高谷物日粮的圈养家牛或水牛
资料来源：《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-7。	

表 4.2 代表性的绵羊种类	
主类	亚类
成年母羊	<ul style="list-style-type: none"> • 肉用或产毛或兼用种母羊 • 奶用母羊
其它成年羊 (>1 年)	<ul style="list-style-type: none"> • 无需划分亚类
幼羊	<ul style="list-style-type: none"> • 未阉割公羊 • 阉割公羊 • 母羊
资料来源：lassey 和 Ulyatt (1999)。	

亚类的牲畜数量：对每个牲畜亚类每年平均数量应根据每年的头数进行估算，但是有时候也用不足一年或一年中某阶段的数据。不论选择时间长短，确保从活动数据到排放因子在时间上的一致性是非常重要的。尽量鼓励清单机构利用自己国家官方统计数据或企业记录数据，必要时可以利用联合国粮农组织的数据。季节性的出生和屠宰会导致牲畜数量的变化，或者增加或者减少，因此牲畜的数量也应做相应的调整。对估算牲畜年均数量的方法要有详细的描述，尤其是对原始数据进行调整时应该如此。

采食量估算：对每个亚类中代表性动物的采食量的估算是为了支持方法 2 排放估算方法。采食量通常以能量（如：兆焦）或干物质（如：千克）计算。为支持肠道发酵方法 2（见 4.2 节），《IPCC 指南》中有对食量估算时需要的详细数据和公式。下面介绍的《优良作法指南》对《IPCC 指南》中家牛和水牛的部分进行了完善和更新，使各公式的实用性更强，适用的动物品种/类型和管理条件的范围更广。另外，考虑到在某些国家绵羊是重要的排放源，对支持绵羊方法 2 的强化特征也进行了介绍。其它种类动物的采食量可以用类似的适合各种动物的国家特定方法进行估算。

本部分的其它章节对家牛、水牛、绵羊采食量估算时需要的数据和采用的公式进行了介绍。对所有的采食量估算来说，优良作法是：

- 收集各亚类中典型动物的采食能力数据；
- 根据各亚类动物的采食能力数据估算采食量。

有时，估算公式的应用应以季节为基础。例如牲畜在某个季节增重，而在另一个季节却减重。

以下各牲畜亚类的生采食能力数据在估算其采食量时是必需的：

- **体重(Kg)**：应对活动物的体重进行称量，收集的每一亚类牲畜的活体重数据以此为基础。当然，称量所有动物的活体重的做法很不现实，但活体重数据可以根据研究资料、专家估计或统计资料获得。为保证每个国家的数据具有代表性，必须对活体重数据进行核实。验证活体重是否具有国家代表性的较好方法是将动物活体重与屠宰重数据进行比较，但是屠宰重数据不能替代活体重。另外值得注意的是，国家不同，活体重与屠宰重之间的关系也有所差别。家牛、水牛、成年羊，每种动物的年平均重量是必需的（如，成年母肉牛）。而对幼羊，需要以下几个阶段的体重数据：出生、断奶、一岁，若不到一岁时屠宰则需要屠宰时的体重。
- **平均日增重(或减重)(WG, kg/d)(家牛和水牛)**：通常收集的平均日增重的数据是有关育肥牛和生长幼牛的。一般认为成年牛体重在全年内没有变化。但是，成年牛在干旱季节和极端温度条件下减重，而在潮湿季节增重，因此在有干旱和潮湿季节、或有极端温度的国家，收集成年牛增重和减重的做法是合理的。在此条件下，对干旱、潮湿、热和冷季的采食量要分别进行估算。
- **成熟体重(MW kg)(家牛和水牛)**：成熟体重是指体脂达 28%时的成年动物体重(NRC 1996)。不同品种动物的成熟体重不同。成熟体重可能与不同国家使用的“参考体重”和“终缩体重”数值相似。一般可从畜禽专家和牲畜生产者处获得其成熟体重数据。
- **日均工作时数**：对役用动物，必须确定日均工作时数。
- **饲养方式**：饲养方式能准确反映牲畜亚类的实际情况，必须用下面定义来确定。如果饲养方式介于两个定义之间，必须对饲养方式进行详细描述，要用内插法赋予它们最合适的排放。家牛和水牛的饲养方式有以下几种：
 - (1) 栏养或舍饲 — 动物被限制在很小的范围内（即栓系、定位栏、小群栏等），这样动物获取食物消耗的能量很少；
 - (2) 牧场放养 — 在一定范围内有充足牧草供应的牧场放养，动物获取食物消耗的能量适中；
 - (3) 自由放牧 — 动物在山地或丘陵地带放牧，动物获取食物消耗的能量很大。
- 绵羊的饲养类型有如下几种：
 - (1) 母羊圈养 — 怀孕母羊在孕期最后三个月（50 天）时圈养；
 - (2) 平原放牧 — 动物每天行走达 1000 米，获取食物消耗的能量很少；
 - (3) 丘陵放牧 — 动物每天行走达 5000 米，获取食物消耗的能量很大；
 - (4) 羔羊舍饲育肥 — 羔羊舍饲育肥。
- **日平均产奶量(kg/d)**：产奶母羊、奶牛和母水牛、其它母牛和哺乳非奶用水牛需要这些数据。日平均产奶量可以用年产奶总量除以 365 得到，或者用平均日产奶量与年产奶天数表示，也可以用季度产奶量除以该季度的天数估算。（注意：如果用季度产奶数据，则必须也使用季节性排放因子）。
- **乳脂率(%)**：确定泌乳母牛和水牛牛奶中的平均乳脂率。

- **年产仔率:** 只用于成年家牛、水牛和绵羊。
- **饲料消化率, (DE):** 饲料消化率指粪能以外的能量占总能的比率, 常用百分数表示(%). 一般农作物副产品和山地放牧的饲料消化率的范围是 50%-60%, 对好牧场、好的贮存牧草、食草为基础日粮, 辅以谷物的消化率约为 60%-75%, 以谷物为基础日粮圈养动物的消化率为 75%-85%。饲料消化率应该以对消化的主要饲料或牧草的测定为基础, 同时考虑季节性差异。虽然对饲料消化率的全面普查不切实际, 但最低限度要借鉴一些研究资料中的数据。在建立饲料消化率数据时, 尽可能收集饲料的其它特性数据, 如中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和粗蛋白。NDF 和 ADF 是实验室测定的饲料营养指标, 用以表明饲料对反刍动物的营养学价值。饲料中粗蛋白含量可以用来推测动物的氮排泄量。
- **绵羊的年平均产毛量(kg/yr):** 产毛量(千克, 干燥后、洗涤前的重量)可用来推算产毛消耗的能量。

收集以上资料的第一步是调研国家统计资料、养殖记录资料、科学研究数据和 FAO 的统计资料。如果这些资料来源没有公开出版的数据, 可以拜访重要的养殖企业和请教相关专家。第 6 章“不确定性的量化”第 6.2.5 节叙述了如何使专家对不确定性进行判断。如果没有公开出版的数据和统计资料, 也可以用类似的方法获得所需要的信息。

总能是指动物的生产活动如生长、哺乳和妊娠所需要的能量, 它用动物的生产能力数据进行估算。如果清单机构有足够的资料和公认的根据动物生产能力数据估算动物摄取的总能量的本国特定方法, 优良作法是采用本国特定方法。表 4.3 (家牛、水牛和绵羊总能摄取量估算公式总表) 中所列出的代谢函数都应包括在总能摄取量估算中。如果没有本国特定方法, 总能摄取量也可利用表 4.3 中的公式进行估算。正如表中所示, 绵羊净能需要的估算公式与家牛和水牛的不同。总能的计算公式如下:

维持: NE_m 是动物的维持净能, 指动物处于平衡状态, 体内组织既不增加也不减少时所需要的能量。

公式 4.1

维持净能

$$NE_m = Cf_i \cdot (\text{体重})^{0.75}$$

其中:

NE_m : 动物需要的维持净能(MJ/day)

Cf_i : 系数, 随动物种类变化, 见表 4.4 (NE_m 计算系数)

体重: 动物活体重(kg)

活动: NE_a 是活动净能, 指动物觅食所需要的能量。在《IPCC 指南》中活动净能以前被称为饲料净能, 之所以对此名称进行修改, 是因为活动净能是指动物获取食物需要的能量, 与饲养方式有关; 而与饲料本身的特性没有关系。表 4.3 中绵羊活动净能的估算公式与家牛和水牛的不同。

公式 4.2a

活动净能 (家牛和水牛)

$$NE_a = C_a \cdot NE_m$$

其中:

NE_a : 动物的活动净能(MJ/day)

C_a : 与动物饲养方式对应的系数 (见表 4.5, 活动系数)

NE_m : 动物需要的维持净能(公式 4.1)(MJ/day)

公式 4. 2b

活动净能（绵羊）

$$NE_a = C_a \cdot (\text{体重})$$

其中：

NE_a ：动物的活动净能(MJ/day)

C_a ：与动物饲养方式对应的系数（见表 4.5，活动系数）

体重：动物活体重(kg)

公式 4.2a 和 4.2b 的中系数 C_a 对应的代表性动物饲养方式已经在前文中叙述。 C_a 数值见表 4.5。如果饲养方式介于所定义的条件之间或者只在一年中的部分时间使用，则要对 NE_a 进行加权。

表 4. 3

家牛、水牛、绵羊总能摄入量估算公式总表

代谢函数和其它估算	家牛和水牛公式	绵羊公式
维持净能(NE_m)	公式 4.1	公式 4.1
活动净能(NE_a)	公式 4.2a	公式 4.2b
生长净能(NE_g)	公式 4.3a	公式 4.3b
减重($NE_{mobilized}$)	公式 4.4a 和 4.4b	NA
哺乳(NE_l)*	公式 4.5a	公式 4.5b 和 4.5c
劳役能耗(NE_w)	公式 4.6	NA
产毛(NE_{wool})	NA	公式 4.7
妊娠(NE_p)*	公式 4.8	公式 4.8
{NEMa/ DE}	公式 4.9	公式 4.9
{NEga/ DE}	公式 4.10	公式 4.10
总能	公式 4.11	公式 4.11
资料来源：肉牛公式基于 NRC（1996），绵羊基于 AFRC（1993）。		
NA 表示暂缺。		
* 指仅用于部分母畜产仔。		

表 4.4 计算 NE_m 的系数		
动物种类	Cf_i	备注
家牛/水牛（非哺乳）	0.322	
家牛/水牛（哺乳）	0.335	NRC（1989）的数据更大
绵羊（从羔到一岁）	0.236	未阉割公羊增加 15%
绵羊（一岁以上）	0.217	未阉割公羊增加 15%
资料来源：NRC（1984）和 AFRC（1993）。		

表 4.5 动物饲养方式相应的活动系数		
方式	定义	C_a
家牛和水牛		
栏养	动物被限制在很小的范围内（即栓系、定位栏、小群栏等），这样动物获取食物消耗的能量很少或没有消耗能量。	0
牧场放养	在一定范围内有充足牧草供应的牧场放养，动物获取食物消耗的能量适中。	0.17
自由放牧	动物在山地或丘陵地带放牧，动物获取食物消耗的能量很大。	0.36
绵羊		
舍饲母羊	怀孕母羊在孕期最后三个月（50 天）时圈养。	0.0090
平原放牧	动物每天行走达 1000 米，获取食物消耗的能量很少。	0.0107
丘陵放牧	动物每天行走达 5000 米，获取食物消耗的能量很大。	0.024
羔羊舍饲肥育	羔羊舍饲肥育。	0.0067
资料来源：《IPCC 指南》。		

生长： NE_g 是动物生长需要的净能（即增重）。本文所用的 NE_g 公式是以 NRC（NRC，1996）为基础，与《IPCC 指南》中的 NE_g 公式不同。主要的差别在于本文中家牛和水牛的 NE_g 公式（见公式 4.3a）增加了成熟体重衡量因子。当一种动物在一定阶段表现为减重（如家牛在干旱季节），不要用公式 4.3a，直接用公式 4.4a 或 4.4b。对于绵羊，直接用公式 4.3b 估算 NE_g 。

<p>公式 4.3a</p> <p>生长净能（家牛和水牛）</p> $NE_g = 4.18 \cdot \{0.0635 \cdot [0.891 \cdot (BW \cdot 0.96) \cdot (478/(C \cdot MW))]^{0.75} \cdot (WG \cdot 0.92)^{1.097}\}$
--

其中：

NE_g ：生长需要净能（MJ/day）

BW：动物的活体重（kg）

C：系数，母牛为 0.8，阉割公牛为 1.0，公牛为 1.2（NRC，1996）

MW：成年动物的成熟体重（kg）

WG：日增重（kg/day）

公式 4. 3b

生长净能（绵羊）

$$NE_g = \{ WG_{lamb} \cdot [a + 0.5b (BW_i + BW_f)] \} / 365 \text{ 天/年}$$

其中：

NE_g ：生长需要的净能(MJ/day)

WG_{lamb} ：相应的增重($BW_i - BW_f$)(kg)

BW_i ：断奶时体重(kg)

BW_f ：一岁时体重，如果一岁前屠宰则用屠宰体重(kg)

注意：羔羊几周断奶后，放牧辅以母奶，或人工饲喂。当一半的能量来源于乳汁时进行断奶。

绵羊 NE_g 公式中的两个常数随动物品种变化。见表 4.6 “计算绵羊 NE_g 常数”。

表 4. 6

计算绵羊 NE_g 常数

动物种类	a	b
未阉割公羊	2.5	0.35
阉割公羊	4.4	0.32
母羊	2.1	0.45
资料来源：AFRC（1993）。		

家牛和水牛减重：当动物减重时， $NE_{mobilized}$ 表示可以用于维持体内平衡的减重净能。编制清单时，减重往往很难被注意到，因为收集的数据通常表示一年内体重的变化值，而成年家牛和水牛一年与下一年的体重一般没有明显的变化。但是，动物有时在一年中某个阶段减重，在另一阶段增重。如在某些国家，动物在干旱季节减重而在潮湿季节增重。另外，高产奶牛在泌乳早期动用体组织能量产奶，往往表现为减重，但是这些失去的体重通常在年末补回来。

公式 4.4a 和 4.4b 用于估算高产泌乳奶牛及其它牛和水牛的 $NE_{mobilized}$ 。在估算一年中某个阶段减重动物的采食量时，常常用此公式。

泌乳奶牛每千克减重就有大约 19.7MJ 的净能被动用。因而净能用下式进行计算（NRC，1989）：

公式 4. 4a

减重净能（泌乳奶牛）

$$NE_{mobilised} = 19.7 \cdot \text{减重}$$

其中：

$NE_{mobilised}$ ：减重净能（动员）(MJ/day)

减重：动物每天减重 (kg /day)

注意公式 4.4a 中的减重用负数，因此估算的 $NE_{mobilised}$ 也是负数。

对其它的家牛和水牛，通过减重动用的能量计算如下：（1）将减重 (kg/day) 的绝对值代入公式 4.3a 中的 WG

以计算 NE_g ; (2) 用负 0.8 乘以 NE_g 值计算出 $NE_{mobilised}$ (NRC, 1996)。

$$\text{公式 4.4b} \\ \text{减重净能 (水牛和其它家牛)} \\ NE_{mobilised} = NE_g \cdot (-0.8)$$

其中:

$NE_{mobilised}$: 减重净能 (动员) (MJ/day)

NE_g : 生长需要的净能 (MJ/day)

公式 4.4b 的结果也是负数。

泌乳: NE_l 是泌乳需要的净能。对家牛和水牛, 泌乳净能用产奶量与乳脂率百分数 (如: 4%) 的函数表达 (NRC, 1989):

$$\text{公式 4.5a} \\ \text{泌乳净能 (家牛和水牛)} \\ NE_l = \text{日产奶千克数} \cdot (1.47 + 0.40 \cdot \text{Fat})$$

其中:

NE_l : 泌乳净能 (MJ/day)

Fat: 乳脂率 (%)

绵羊泌乳净能的估算方法有两种。当产奶量已知用第一种方法 (公式 4.5b), 当产奶量未知用第二种方法 (公式 4.5c)。一般来说, 用于商品奶生产的母羊产奶量已知, 但是断奶前哺乳母羊的产奶量未知。用已知的年产奶量除以 365 天估算出日平均产奶量 (公式 4.5b); 产奶量未知时, AFRC (1990) 认为单胎母羊的产奶量是羔羊增重的 5 倍。因此, 年产奶总量可以根据羔羊断奶前增重的 5 倍进行估算, 日平均产奶量用以上的估算结果除以 365 进行估算, 如公式 4.5c 所示。

$$\text{公式 4.5b} \\ \text{绵羊泌乳净能 (产奶量已知)} \\ NE_l = \text{日产奶 kg 数} \cdot EV_{milk}$$

其中:

NE_l : 泌乳净能 (MJ/day)

EV_{milk} : 奶的能量值。可用缺省值 4.6MJ/kg (AFRC, 1993)

$$\text{公式 4.5c} \\ \text{绵羊泌乳净能 (产奶量未知)} \\ NE_l = (5 \cdot WG_{lamb}) / 365 \text{ 天/年} \cdot EV_{milk}$$

其中:

NE_l : 泌乳净能 (MJ/day)

WG_{lamb} : 羔羊出生到断奶期间的增重 (kg/day)

EV_{milk} : 奶的能量值。可用缺省值 4.6MJ/kg (AFRC, 1993)

公式 4.5_b 和 4.5c 假设特征值对全年适用（365 天），如果只估算较短时间范围（如潮湿季节），天数则要相应调整。

劳动： NE_w 是指动物劳动需要的净能，用来估算家牛和水牛劳役消耗的能量。不少作者对劳役的能量需要进行总结（如 Lawrence, 1985; Bamualim 和 Kartiarso, 1985; Ibrahim, 1985）。动物的劳动强度越大，需要的能量越多，因而对很宽范围内的能量进行了估算。Bamualim 和 Kartiarso 的估算数值表明役用动物 1 小时典型劳动需要的能量约为每天维持净能的 10%。该值用于下式：

<p>公式 4.6</p> <p>劳动净能（家牛和水牛）</p> $NE_w = 0.10 \cdot NE_m \cdot \text{日劳动时数}$
--

其中：

NE_w ：劳动净能（MJ/day）

NE_m ：动物维持需要的净能（公式 4.1）（MJ/day）

产毛： NE_{wool} 是指绵羊一年产毛需要的净能，用下式进行计算：

<p>公式 4.7</p> <p>产毛净能（绵羊）</p> $NE_{wool} = (EV_{wool} \cdot \text{每头羊年产毛量, kg/年}) / (365 \text{ 天/年})$
--

其中：

NE_{wool} ：一年产毛需要的净能(MJ/day)

EV_{wool} ：产 1 千克毛需要的能量值（晾干后清洗前称量）

AFRC 提供的 EV_{wool} 值是 24 MJ/kg，对大约 4kg/羊/年的典型产毛量，能量需要往往较小。

妊娠： NE_p 是妊娠的能量需要。对家牛和水牛，将 281 天妊娠期需要的总能量对全年进行平均为 NE_m 的 10%。对绵羊， NE_p 用同样的方法对 147 天妊娠期的能量需要进行估算，其百分率因产仔数不同而有所不同（表 4.7 “用公式 4.8 计算 NE_p 的常数”）。公式 4.8 为此估算公式：

<p>公式 4.8</p> <p>妊娠净能（家牛/水牛和绵羊）</p> $NE_p = C_{\text{pregnancy}} \cdot NE_m$
--

其中：

NE_p ：妊娠的净能需要(MJ/day)

$C_{\text{pregnancy}}$ ：妊娠系数(见表 4.7)

NE_m ：动物维持需要的净能(公式 4.1) (MJ/day)

当用 NE_p 计算家牛和绵羊的 GE 时，要用一年中实际的妊娠母畜数对估算值进行校正。例如，如果一年中某种成熟母畜有 80%产仔，那么 NE_p 值的 80%用于以下 GE 公式的计算。

表 4.7 用公式 4.8 计算 NE_p 的常数	
动物种类	$C_{\text{pregnancy}}$
家牛和水牛	0.10
绵羊	
单胎	0.077
双胎	0.126
三胎或以上	0.150
资料来源：家牛和水牛的值由 NRC（1996）数据得出，绵羊的值由 AFRC（1993）数据得出。	

为使绵羊系数准确，需要用母羊单胎、双胎和三胎的比例来估算平均 $C_{\text{pregnancy}}$ ，如果没有这些数据，系数可以用以下方法估算：

- 如果一年中出生的羔羊数除以全年妊娠母羊数的值小于或等于 1.0，可以用单胎的妊娠系数。
- 如果一年中出生的羔羊数除以全年妊娠母羊数的值大于 1.0 和小于 2.0，妊娠系数用下式计算：

$$C_{\text{pregnancy}} = [(0.126 \cdot \text{双胎比例}) + (0.077 \cdot \text{单胎比例})]$$

其中：

$$\text{双胎比例} = [(\text{出生羔数}) / (\text{妊娠母羊数})] - 1$$

$$\text{单胎比例} = 1 - \text{双胎比例}$$

- 如果一年中出生的羔羊数除以全年妊娠母羊数的值大于 2.0，则请专家决定如何估算 NE_p 。

NE_{ma}/DE ：对家牛、水牛和绵羊，日粮中维持净能与可消化能之比用以下的公式估算：

<p>公式 4.9</p> <p>日粮中维持净能与可消化能之比</p> $NE_{ma}/DE = 1.123 - (4.092 \cdot 10^{-3} \cdot DE) + [1.126 \cdot 10^{-5} \cdot (DE)^2 - 25.4/DE]$
--

其中：

NE_{ma}/DE ：日粮中维持净能与可消化能之比

DE：消化能占总能的百分数

NE_{ga}/DE ：对家牛、水牛和绵羊，日粮中生长净能（包括长毛）与可消化能之比用以下公式估算：

<p>公式 4.10</p> <p>日粮中生长净能与可消化能之比</p> $NE_{ga}/DE = 1.164 - (5.160 \cdot 10^{-3} \cdot DE) + (1.308 \cdot 10^{-5} \cdot (DE)^2) - (37.4/DE)$

其中：

NE_{ga}/DE ：日粮中生长净能与可消化能之比

DE：消化能占总能的百分数

总能(GE): 从公式 4.11 可以看出, GE 是用净能估算值和饲料特性值计算得出的。公式 4.11 与《IPCC 指南》中的公式 4.13 相似, 但是纠正了排版错误并改变了部分术语的脚标以便区别饲料中以满足净能需要提供的净能(如 NE_{ga}) 和动物的净能需要(如 NE_g)。优良作法是用公式 4.1 所示的经校正的公式。尽管在《IPCC 指南》中, 绵羊没有专门的公式, 用上文中的计算结果和公式 4.11 估算绵羊总能需要也是优良作法。

公式 4.11

家牛、水牛和绵羊的总能

$$GE = \{[(NE_m + NE_{mobilized} + NE_a + NE_l + NE_w + NE_p) \times (NE_{ma}/DE)] + [(NE_g + NE_{wool}) / (NE_{ga}/DE)]\} / (DE/100)$$

其中:

GE: 总能(MJ/day)

NE_m : 动物维持需要的净能(公式 4.1) (MJ/day)

$NE_{mobilized}$: 减重净能(动员) (公式 4.4a 和 4.4b) (MJ/day)

NE_a : 动物的活动净能(公式 4.2a 和 4.2b) (MJ/day)

NE_l : 泌乳净能(公式 4.5a、4.5b 和 4.5c) (MJ/day)

NE_w : 劳动净能(公式 4.6) (MJ/day)

NE_p : 妊娠需要的净能(公式 4.8) (MJ/day)

NE_{ma}/DE : 日粮中维持净能与可消化能之比(公式 4.9)

NE_g : 生长需要的净能(公式 4.3a 和 4.3b) (MJ/day)

NE_{wool} : 一年产毛需要的净能(公式 4.7) (MJ/day)

NE_{ga}/DE : 日粮中生长净能与可消化能之比(公式 4.10)

DE: 消化能占总能的百分比

当计算出每种动物亚类的 GE 值时, 也应计算动物每天采食的干物质质量(kg/day)并与该亚类典型动物的体重进行比较。如果将 GE 的能量单位换算成干物质摄入量时, 除以饲料的能量密度。如果没有具体饲料的数据, 也可以用缺省值 18.45MJ/kg。算出的日干物质摄入量近似于动物体重的 1%到 3%。

暂无排放估算方法之动物的特征

目前一些国家的部分牲畜暂时还没有方法 1 和方法 2 排放估算方法(如: 大羊驼、羊驼、麋鹿、鹧鸪和鸵鸟)。对这些动物排放估算的优良作法是首先评估这些动物的排放是否足够大并有必要对其特征进行归纳, 以及是否有必要建立本国特定排放因子。第 7 章(方法学选择与重新计算)介绍了对国家清单中单个排放源类别的重要性进行评估的指南, 也可用类似的方法对诸如肠道发酵等不同排放源类别中的各子排放源(如各品种)的重要性进行评估。如果特定亚类的排放重要, 就应该确定本国特定排放因子以及支持排放因子确定的特征。家牛肠道发酵的方法 2 排放估算方法所用的特征就是一个确定排放因子的范例。应全面记录对鉴定动物特性所用的数据和方法。

如果某些动物没有现成的排放估算方法, 用‘根据数值计算’得出近似排放因子对其排放的重要性进行评估也是可行的。计算近似排放因子的一种方法是用与该动物有相同消化系统的其它某种动物的方法 1 排放因子, 并用两种动物体重比的 0.75 次方对排放因子优化。根据消化系统可以将方法 1 排放因子分成以下几类:

- 反刍动物: 家牛、水牛、绵羊、山羊和骆驼
- 非反刍草食动物: 马、骡子/驴
- 家禽: 鸡、鸭、火鸡
- 非家禽单胃动物: 猪

例如羊驼近似的肠道发酵甲烷排放因子可以用绵羊（也是反刍动物）的排放因子估算如下：

近似排放因子 = [(羊驼体重)^{0.75} / (绵羊体重)^{0.75}] • 绵羊排放因子

同样，鸵鸟的近似粪肥甲烷排放因子也可用鸡的方法 1 排放因子估算。用这种方法计算出的近似排放因子只能用于评估动物排放的重要性，如果用于国家清单的排放估算则准确度不够。

4.1.1.2 建立一致的时间序列

建立一个连续的时间序列需要估计过去的动物特性。典型的特性参数，如动物数量、牛奶产量及肉产量等数据可以从国家完整的时间序列统计中获得。至于其它的关键因子，虽然不易于从过去的生产数据记录里得到，但是并不是快速地变化，所以基于现在正在发展趋势（如动物体重变化趋势）得到的回溯估算结果也是可信的。然而需要注意的是，一些国家由于经济结构的调整和市场环境的改变导致了牲畜种群数量的快速变化，所以需要提供更多附加调查资料以保证在这些情况下可以得到恰当的时间序列。为确保建立连续时间序列的相关*优良作法*请参见第 7 章“方法学选择与重新计算”。

4.1.1.3 不确定性评估

牲畜种群特性数据中的每个数据要素都和取决于该数据如何获得的不确定性有关。对于采食量敏感性影响最大的因子应该被鉴别出来，以便集中精力估算这些因子的不确定性。这些因子的不确定性应当延伸到采食量的最终估算中去，以估算采食量总的不确定性。

牲畜种群数量的不确定性较之典型认可的数据要大一些。上报给国家统计员的牲畜数量可能存在着有意的偏差（正的或负的）。牲畜在国内或国家之间的转移可能导致一些动物数量重复计算或未被计算。国家全年的统计数据也可能没有充分反映牲畜数量的季节性变化。动物的数量数据需要与考虑这些因素的统计机构合作得到。

4.1.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。目前 IPCC 报表没有提供关于牲畜种群数量特性的详细资料，而*优良作法*提供了关于牲畜特性的详细资料。详细的牲畜特性资料可以在一个总报表里给出，就像《IPCC 指南》的《参考手册》中第 4 节表 A-1（页 4.31）及表 A-2（页 4.32-4.33）给出的一样。总表中数据来源应当清楚地指出。

4.1.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章“质量保证和质量控制”的方法 2 程序和质量保证程序进行附加质量控制核查，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。对排放源数据处理、管理和报告的综合检查，可用下面讨论的程序加以补充：

活动性数据审核

- 清单机构应当检查每种相关牲畜排放源类别中用来估算排放的数据。标准的质量控制检查应核实所用排放源数据之间具有一致性。
- 如果数据可用，清单机构应利用每种动物或其亚类的数量、出生和死亡率、屠宰率和出口/进口率等数据计算牲畜总数量随时间的变化，然后与统计机构给出的总数量进行比较以保证一致性。清单机构应当对

不同季节、不同年份之间进行计算和比较。季节分析对于那些一年内由于季节的原因牲畜数量有较大变化的国家尤为重要。

- 清单机构应当按照牲畜种类及亚类，对总产量与统计数据中的总产量（像肉、奶、毛）进行比较，以保证数据的一致性。
- 应该对用以支持肠道甲烷排放估算方法 2 的采食量估算进行检查，以确保合理性。对于反刍动物，采食量以干物质计(kg/day)应当是牲畜体重的 1%-3%。
- 清单机构应当审评与质量保证和质量控制相关的二级数据源（像国家食品和农业机构、农业贸易委员会及农业研究组织）。其中许多准备牲畜相关数据的组织，基于各自的应用，有它们自己的程序来评估数据的质量。如果质量保证和质量控制人员满意质量保证和质量控制工作计划中列出的保守数据，那么就可以参照统计机构推导出的数据；如果数据可信度不充分，就要对二级数据源进行独立的质量控制检查，重新评估由这些数据推导出的排放估算，或者考虑这些数据如何使用。
- 清单机构应当采用其它来源可用数据交叉检验活动数据。例如，对国家数据和 FAO 对于牲畜数量、奶产量等统计数据进行比较，调查大的差异和出入。

外部审评

- 清单机构应当邀请专家（包括农业专家和学者）对牲畜种群特性数据进行审核和评估。

4.2 牲畜肠道发酵 CH₄ 排放

4.2.1 方法学问题

世界各国都饲养的牲畜是全球重要甲烷(CH₄)排放源。肠道发酵甲烷排放量主要受动物数量、消化系统类型、采食饲料的种类和数量影响。家牛、水牛和绵羊是最大的肠道甲烷排放源。

4.2.1.1 方法选择

《IPCC 指南》建议将每种动物的数量乘以适当的排放因子以对某种动物的肠道发酵甲烷排放量进行估算。然后将各种动物的排放量加总得到总排放量。为了保持基础数据的一致性，*优良作法*要求采用统一的动物特性参数估算肠道发酵甲烷排放量以及粪便管理过程中的 CH₄ 和 N₂O 排放量。*牲畜种群的特征参数部分*（参见 4.1 节）提供了关于动物特性参数的指南。

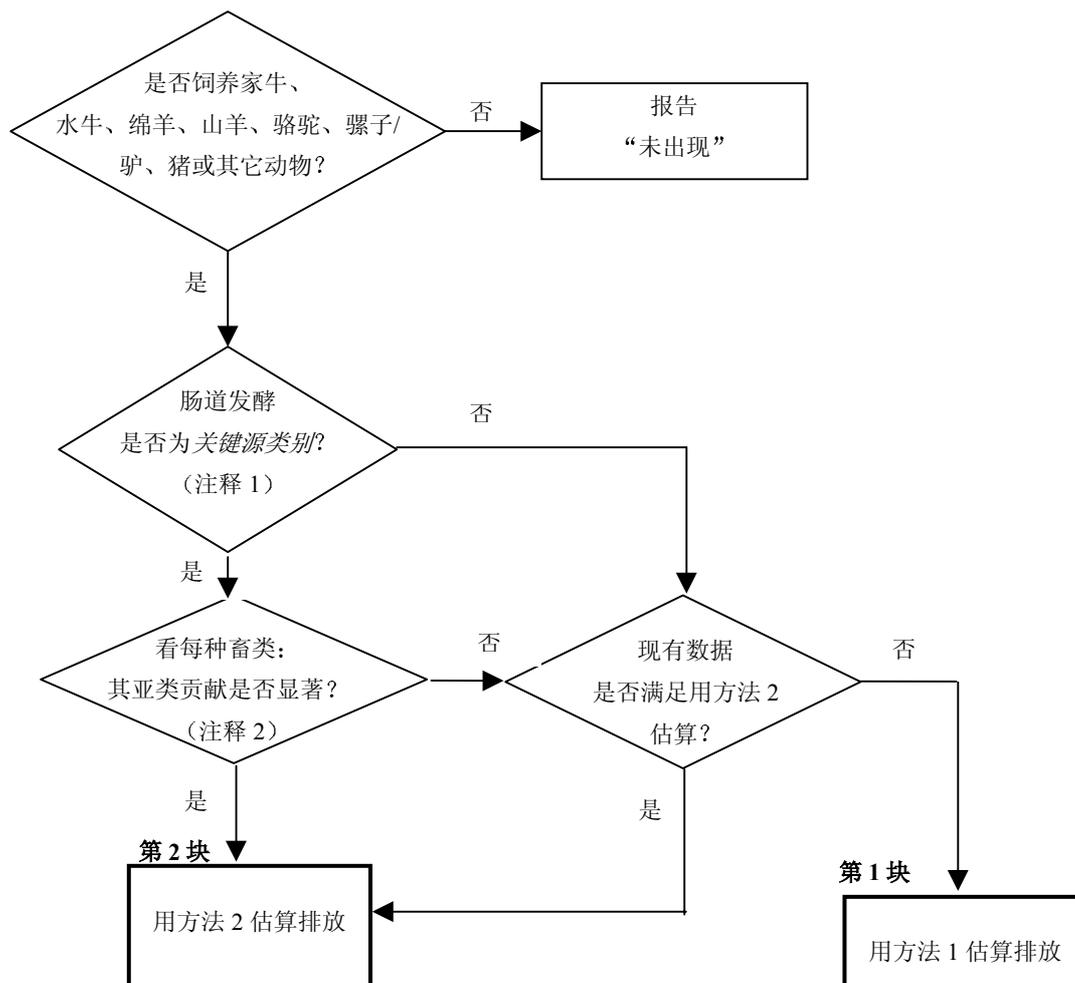
《IPCC 指南》描述了两种估算肠道发酵甲烷排放的方法（见图 4.2，肠道发酵 CH₄ 排放决策树）。

- 方法 1 是一种利用以前研究得出的缺省排放因子进行估算的简化方法。方法 1 可能对许多国家已经足够，可以用方法 1 对以下动物的排放进行估算：奶牛、其它牛、水牛、绵羊、山羊、骆驼、马、骡子、驴和猪。
- 方法 2 是一种较复杂的方法，要求有详细的本国特定营养需要、采食、特定饲料的 CH₄ 转化率等数据，以确定该国牲畜种类特有的排放因子。如果肠道发酵是重要的 CH₄ 排放源类别，动物的排放量在国家总排放量中所占的比例很大，则应该用方法 2（第 7 章“方法学选择与重新计算”）²。

方法 1

用方法 1 时，要利用有关动物分类和产奶量选择缺省的排放因子。《IPCC 指南》的《参考手册》中表 4.3 和表 4.4 提供了各种动物的缺省排放因子。正如公式 4.12 表示的那样，动物数量乘以排放因子得出每种动物的排放量。动物排放总量由所有动物的排放量加总（如公式 4.13 所示）。*优良作法*是对方法 1 排放因子进行审核，确保用来确定排放因子的动物基本特性（如体重、生长率和产奶量）与该国家的基本情况相似。《IPCC 指南》中有关于家牛和水牛的详细资料。如果基本特性与指南提供的数据差别很大，国家的畜牧专家应对其进行评审，对排放因子也要作相应的调整。

² 对某些牲畜的饲养量很大，而 IPCC 中暂时没有这些牲畜的缺省排放因子（如大羊驼和羊驼），鼓励这样的国家根据详实的研究记录（如果确定了这些动物的排放很重要）去研究开发与方法 2 相似的国家，参见 4.1 节（没有估算方法的动物特征）以获得更多的信息。

图 4.2 肠道发酵 CH₄ 排放决策树

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

注释 2: 根据经验，如果子源类别占该排放源排放总量的 25%-30%，那么该子源类别非常重要。

公式 4.12**牲畜排放量**

$$\text{排放量} = \text{EF} \cdot \text{动物数量} / (10^6 \text{kg/Gg})$$

其中:

排放量: 肠道发酵甲烷排放(Gg CH₄/年)

EF: 特定种群的排放因子(kg/头/年)

数量: 动物的数量(头数)

公式 4.13**牲畜的总排放量**

$$\text{总 CH}_4 \text{排放量} = \sum_i E_i$$

其中:

总排放量: 肠道发酵甲烷总排放量(Gg CH₄/年)

指数 i: 所有牲畜品种及亚类之和

E_i: 第 i 种动物及其亚类的排放量

方法 2

方法 2 也是利用公式 4.12 计算排放量, 但该方法对动物的分类更细, 不用缺省的排放因子而是利用计算出的排放因子。用公式 4.13 计算每种动物亚类的排放量之和, 然后计算国家所有动物的排放量总和。方法 2 的主要问题是确定排放因子和收集详细的活动数据。下一节介绍了排放因子的计算方法, 解决有关收集详细活动数据问题的方法在 4.1 节“牲畜种群特征”中作了介绍。

4.2.1.2 排放因子选择

使用方法 1 时, 如果没有本国特定的排放因子, 则可以从《IPCC 指南》表 4-3 和 4-4 中查找缺省的排放因子。与之不同的是, 使用方法 2 时, 需要确定本国特定及其动物品种特定的排放因子。正如第 7 章(方法学选择与重新计算)中介绍的那样, 如果某些品种动物可能在肠道发酵甲烷排放中占的比例较大, 鼓励清单机构对子排放源亚类的重要性进行判定。确定对估算甲烷排放非常重要的子排放源中各个动物亚类的排放因子是一种*优良作法*。

使用方法 2 时, 根据牲畜种群特征部分介绍(见 4.1 节)的详细数据估算各种动物的排放因子。《IPCC 指南》对如何计算家牛的排放因子进行了讨论。计算这些因子的*优良作法*在下文讨论。在没有水牛数据时, 如果两个品种的牛相似, 可用家牛的方法计算水牛的排放因子。另外, 计算绵羊排放因子的*优良作法*也将下面介绍, 因为在许多国家绵羊是重要的动物品种。

各种动物的甲烷排放因子可以根据公式 4.14 进行计算:

公式 4.14

排放因子计算

$$EF = (GE \cdot Y_m \cdot 365 \text{days/yr}) / (55.65 \text{MJ/kg CH}_4)$$

其中：

EF：排放因子 (kg CH₄/头/年)

GE：摄取的总能 (MJ/头/年)

Y_m：甲烷转化率，是饲料中总能转化成甲烷的部分

本排放因子公式假设所计算的是各种动物的全年 (365 天) 排放因子。一般使用的是全年排放因子，有时动物分类定义的时间较短 (如一年中的潮湿季节或 150 天的育肥期)，这时要对特定时期的排放因子进行估算 (如潮湿季节)，并用此期间的实际天数替代 365 进行计算。排放因子应用的时间范围的定义也是牲畜特征的一部分。

每种动物的总能摄入量(GE)从 4.1 节中的牲畜特性中能查到。

计算甲烷转化率 (Y_m)

饲料能量转化成甲烷的程度取决于几个饲料和动物间的交互作用。如果没有本国特定的甲烷转化率，可以采用表 4.8 “家牛/水牛甲烷转化率”提供的数值进行计算。这些估算数据是基于许多发达国家和发展中国家的一般饲料特性和生产实践的粗略指南。如果有好的饲料 (如高消化性和高能值)，则应该用低限值；当饲料较差时，用高限值更合适。假定只吃奶的幼畜的甲烷转化率为零 (即吃奶羔羊和牛犊)。

由于 Y_m 在甲烷排放中的重要性，正在进行的大量研究致力于提高对不同动物和饲料组合的 Y_m 估算的准确度。关于热带牧场放牧动物的数据非常少，因而这样的改进对其非常必要。例如，最近的研究 (Kurihara 等，1999) 获得的 Y_m 值范围见表 4.8。

国家	牲畜种类	Y _m ^b
发达国家	育肥牛 ^a	0.04 ± 0.005
	其它牛	0.06 ± 0.005
发展中国家	奶母牛 (家牛和水牛) 和它们的幼崽	0.06 ± 0.005
	主要饲喂低质量作物残余和副产品的其它牛和水牛	0.07 ± 0.005
	非洲放牧的其它牛和水牛	0.07 ± 0.005
	非洲以外的发展中国家放牧其它牛和水牛	0.06 ± 0.005

^a 饲喂的日粮中 90%以上为浓缩料。

^b ±值表示范围。

资料来源：《IPCC 指南》。

绵羊的 Y_m 值可能与家牛的不同，Lassey 等 (1997) 建议 8 月龄羔羊的 Y_m 值 (0.045) 比相近质量的牧场中饲养的泌乳奶牛的 Y_m 值 (0.062) 小。不应该根据营养性能将绵羊看成小奶牛，因为它们的行为不同 (饲料选择)，瘤胃中的微生物学反应也可能不同。运用表 4.9，绵羊甲烷转化率 Y_m 值可根据饲料质量 (通过消化性测得) 和绵羊的

成熟度进行选择, 这个方法是基于 Lassey 等 (1997)、Judd 等 (1999) 数据, 同时也参考了同一研究小组 [K.R.Lassey 和 M.J.Ulyatt 个人联系] 的未公布数据。也可用每个范围的中值, 如所有牧场放牧成年绵羊用 0.07。这些数值与其他科学家 (Murray 等, 1999; Leuning 等, 1999) 的研究结果相一致, 但是可能没有覆盖所有牧场实际情况。

类别	日粮消化率小于 65%	日粮消化率大于 65%
羔羊 (小于 1 岁)	0.06 ± 0.005	0.05 ± 0.005
成年羊	0.07	0.07
注: \pm 值表示范围。		
资料来源: Lassey 等(1997); Lassey 和 Ulyatt(1999)。		

4.2.1.3 活动水平数据选择

应根据牲畜种群特征部分 (见 4.1 节) 的指南收集活动水平数据。本方法能确保与其它相关源类别保持一致。

4.2.1.4 完整性

一个国家所有的主要动物很有可能都是已知的, 因而应保证清单的完整性。有时某种动物可能没有缺省数据, 清单指南中也没有提供, 应根据已讨论的如何估算方法 2 排放因子的方法相同的一般原则进行排放估算。

4.2.1.5 建立一致的时间序列

建立一致的时间序列有关的主要问题在牲畜种群特性部分 (4.1 节) 进行了讨论。需要注意的是甲烷转化率也要用与时间相一致的估算值。有时可能需要随着时间的变化对甲烷转化率的数值进行调整, 这些调整可能是由于采取了明确的温室气体减排措施, 也可能是由于农业实践的变化, 如饲养方式或没有考虑温室气体的其它管理因素的改变。不论引起改变的原因是什么, 用来估算甲烷排放的数据和甲烷转化率都必须反应这些数据和方法的变化, 并对结果进行完整的记录。如果时间序列的甲烷转化率在农场生产中产生了变化, 和/或采取了温室气体减排措施, 鼓励清单机构在清单数据中反应这些活动的变化, 并且在清单报告中对农场生产变化、和/或采取温室气体减排措施如何影响甲烷转化率的时间序列进行详细的解释。建立一致的时间序列 *优良作法* 见第 7 章 (方法学选择与重新计算) 7.3.2.2 部分提供的指南。

4.2.1.6 不确定性评估

下面介绍的是方法 1 和方法 2 中主要的不确定性问题。

方法 1

方法 1 中排放因子不是以本国特定数据为基础, 不能准确表示一个国家的牲畜特性, 不确定性较大。用方法 1 估算的排放因子的不确定性可能超过 $\pm 30\%$, 还可能达到 $\pm 50\%$ 。

另外, 还有与牲畜种群特性有关的不确定性 (见 4.1 节), 如果用牲畜种群特性部分概括出的 *优良作法* 数据调研方法, 可以减小这些不确定性。

方法 2

方法 2 的不确定性与牲畜特性的准确性（如牲畜种类的同质性）有关，也与该国根据国家情况而采用的计算净能方法的各种关系式中的系数的确定方法、应用范围有关。全面减小不确定性的方法首先考虑的是提高牲畜特性的准确性，用方法 2 估算排放因子的不确定性大约为±20%。鼓励用方法 2 的清单机构对反应特殊条件的不确定性进行分析。如果没有进行分析，假设方法 2 的不确定性与方法 1 的不确定性相似。

4.2.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。为提高透明度，对该源类别的甲烷排放估算应与活动水平数据和用于估算的排放因子一起报告。

对以下信息应进行记录并存档：

- 所有活动水平数据包括：
 - (1) 按种类和区域划分的动物数量。
- 存档的活动水平数据包括
 - (1) 计算中所有活动水平数据的来源（即完整引用获取数据的统计数据库）；
 - (2) 当不能直接从数据库中获得活动水平数据，用以推算活动水平数据的信息和假设；
 - (3) 收集数据的频率，估算值的正确度和精确度。
- 如果用方法 1，估算特定类别的动物种群排放的缺省排放因子。
- 如果用方法 2
 - (1) Y_m 值；
 - (2) 估算或从其它研究中得出 GE 值；
 - (3) 数据来源文件，包括它们的参考文献。

应用国家或地区特定排放因子，或使用新方法（与《IPCC 指南》中的不同）的清单，对这些排放因子的科学依据和方法要存档。存档的内容包括描述如何获得这些排放因子和方法的过程的输入参数的定义，同时介绍资料来源和不确定性的范围。

4.2.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章的方法 2 程序和质量保证程序进行附加质量控制核查，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。除第 8 章“质量保证和质量控制”的指南外，与该排放源相关的特定程序简述如下：

排放因子审核

- 如果用方法 2，清单机构应将本国特定排放因子与 IPCC 的缺省值进行交叉检验，如果本国特定排放因子与 IPCC 的缺省值之间的差异明显，则要进行说明并存档。

外部审评

- 如果用方法 2，清单机构应组织包括生产单位、研究机构和推广专家进行专家评审。
- 保留有关评审结果的内部材料非常重要。

4.3 粪便管理系统中的 CH₄ 排放

4.3.1 方法学问题

牲畜粪肥的主要成分是有机物。当有机物在厌氧环境降解时，在甲烷菌作用下产生甲烷(CH₄)。当大量动物规模化饲养时（如：奶牛场、猪场和鸡场、肉牛育肥场，粪肥主要堆放储存或清理到储粪池或化粪池）这种情况常常发生。

4.3.1.1 方法选择

要想对粪便管理系统中排放的 CH₄ 进行估算，首先必需对动物种群进行分类以便反应出每头动物的粪肥产生量和粪肥的处理方法。有关此排放源牲畜种群的详细特征在牲畜种群特征部分（参见 4.1 节）介绍。

正如《IPCC 指南》中介绍的一样，估算牲畜粪肥 CH₄ 排放主要分四步进行：

- (1) 从牲畜种群特征参数中收集动物种群数量；
- (2) 用缺省的 IPCC 排放因子或根据每种相关牲畜（品种、类型或亚类）的粪肥特性（如 B₀、VS、MCF）以及粪便管理方式计算排放因子；
- (3) 排放因子乘以牲畜数量即得出该种群粪肥 CH₄ 排放的估算值；
- (4) 对所有牲畜种群排放量的估算值进行加总即为国家排放量。

排放估算报告以百万千克(Gg)为单位。报告中排放因子单位为千克/头/年，除以 10⁶ 即得到 CH₄ 排放量。公式 4.15 为如何计算特定种群的甲烷排放量的公式。

公式 4.15

粪便管理系统中的 CH₄ 排放

$$\text{CH}_4 \text{ 排放}_{(\text{mm})} = \text{排放因子} \cdot \text{数量} / (10^6 \text{kg/Gg})$$

其中：

CH₄ 排放_(mm)：某种牲畜粪便管理系统中的 CH₄ 排放量(Gg/year)

排放因子：某种牲畜粪便管理的排放因子(kg/头/年)

数量：某种牲畜数量

《IPCC 指南》有两种方法估算牲畜粪肥中的 CH₄ 排放。方法 1 是一种简化方法，用它估算甲烷排放只需要关于各品种动物的数量和气候区（冷、温和热）的数据。

方法 2 是粪便管理系统中 CH₄ 排放的详细估算方法。鼓励所有的国家，尤其是某种动物品种的排放量很大的国家采用此方法。该方法要求有关于动物特性和粪肥处理方式的详细资料。根据这些资料，确定本国特定的排放因子。

方法选择取决于数据的有效性和自然环境。优良作法估算粪肥处理系统的 CH₄ 排放需要多方面的努力运用方法 2，包括用本国特定因子计算排放因子。只有在运用方法 2 的所有途径都行不通时，才使用方法 1，确定方法的选择过程见决策树（见图 4.3）。

4.3.1.2 选择排放因子

确定排放因子的理想方法是在对实际生产过程（育肥、放牧）无任何干扰和无侵害条件下测量动物粪便管理的排放因子。这些实地测量结果可以用于开发估算排放因子的模型。但这样测量非常困难，它要求大量的财力、专门技术专家和可能买不到的特有设备。因此，推荐运用实测方法以便提高精度，但**优良作法**不要求必须采用实测，而是根据国家情况确定。

用方法 1 时，采用缺省的排放因子。《IPCC 指南》的《参考手册》的表 4-6 列出了各亚类缺省的排放因子³。

如果没有各国或各地区的测量数据，可根据《IPCC 指南》中的方法 2 估算排放因子。方法 2 估算排放因子的步骤包括确定动物排泄的挥发性固体重量(VS, kg)，和粪肥产生甲烷的最大值(B_0 , m^3/kg)。另外，还必须有表明气候对粪肥甲烷产量产生影响的每种粪便管理系统的甲烷转化因子(MCF)。

排放受地区和动物种类影响很大，排放估算时应尽可能反应出国内不同地区动物种类和粪便管理方法的多样性与范围，这需要对每个地区进行单独估算。排放因子要定期更新以适应粪便管理方法、动物特性和技术的变化，但是排放系数的修改和更新必须以最可靠的、经过科学评审的数据为基础。希望经常监测以验证重要模型参数，但这可能并不可行。

VS 排泄率：获得平均日 VS 排泄率的最好办法是用公开出版的本国特定数据。如果没有平均日 VS 排泄率，可以根据采食量水平估算本国特定的 VS 排泄率。家牛和水牛的采食量可以用牲畜种群特性部分（见 4.1 节）的强化特性方法估算，这也保证了数据的连续性和一致性。对猪，需要用国家特有的牲畜生产数据估算采食量。一旦有了采食量估算值，VS 排泄率可以用下面的公式进行估算：

公式 4.16

挥发性固体排放率

$$VS = GE \cdot (1\text{kg-dm}/18.45\text{MJ}) \cdot (1 - DE/100) \cdot (1 - ASH/100)$$

其中：

VS：以干物质重为基础的日挥发性固体排泄量(kg-dm/day)

GE：日平均采食量(MJ/ day)

DE：饲料中可消化能的百分比(如 60%)

ASH：粪肥中的灰分含量百分比(如 8%)

注意：18.45 是饲料的能量密度，表示为每千克干物质的 MJ 数。尽管动物摄入的草料和谷物等基础饲料的范围很广，但这个值则相对稳定。

对家牛，所用的 DE 值必须是牲畜种群特性部分（见 4.1 节）的强化特性方法中所用的数值。家牛和水牛粪肥的灰分含量一般在 8%左右（IPCC，1996）。对猪，发达国家和发展中国家的消化率的缺省值分别为 75%和 50%，发达国家和发展中国家灰分含量可分别采用 2%和 4%（IPCC，1996）。

如果没有本国特定 VS 值，可用《IPCC 指南》的《参考手册》（表 B1-B7）中的缺省 VS 排泄率。这些缺省因子是以平均采食量和饲料消化率数据为基础而确定的，所以相当可靠。

B_0 值：获得 B_0 测定值的首选方法是使用标准方法测量的已出版的本国特定数据。重要的是 B_0 测量方法要标准

³ 应该注意：《IPCC 指南》的表 4-6 中有处错误。拉丁美洲气候温和地区非奶牛的缺省甲烷排放因子是错误的。这个值应该是 1 而不是 2。《IPCC 指南》第 3 卷的附录 B 是正确的。

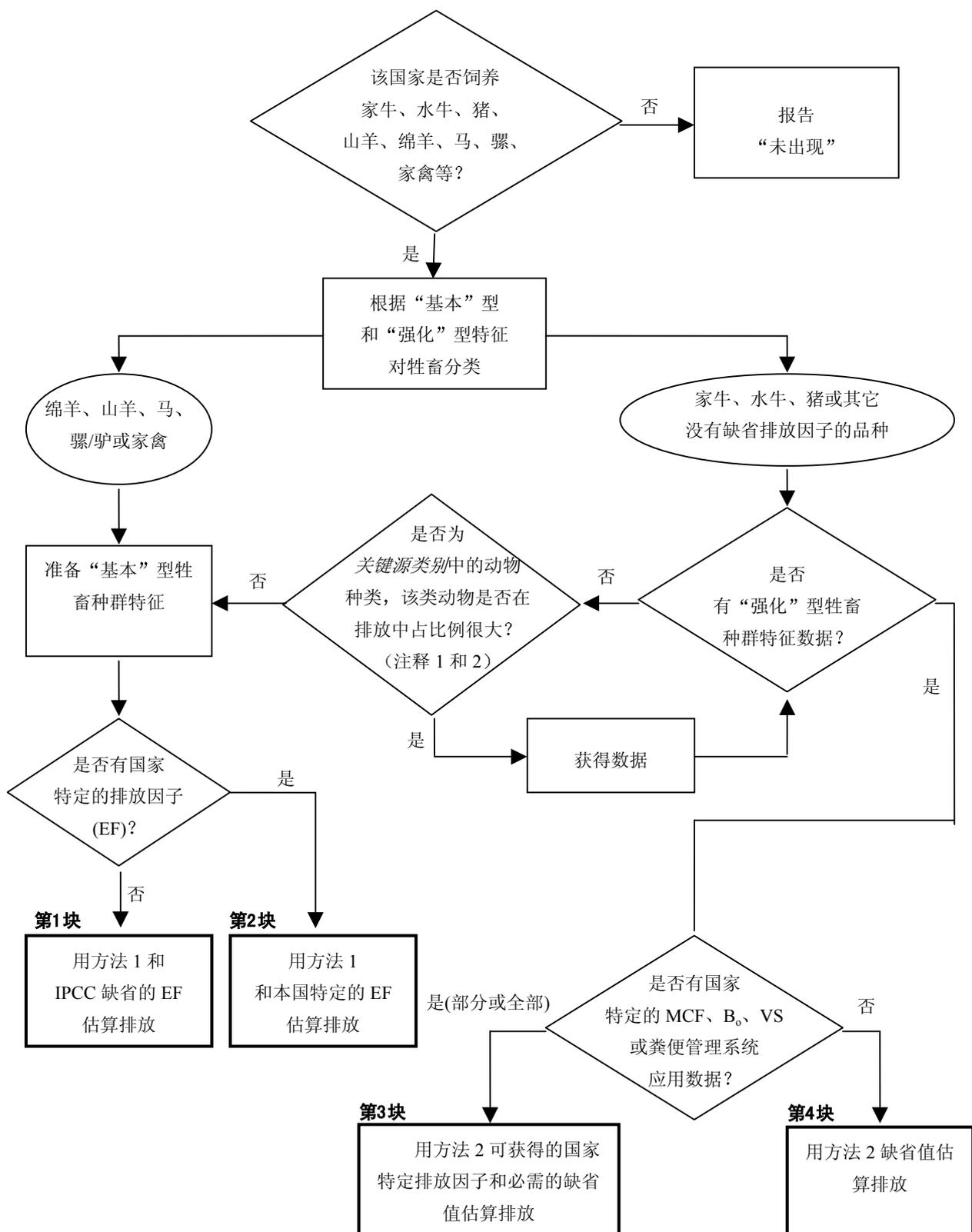
化，包括取样方法。如果没有本国特定的 B_0 测量值，运用《IPCC 指南》的《参考手册》附录 B 中的缺省值⁴。

MCF 值:《IPCC 指南》中有不同粪便管理系统和不同气候带的 MCF 缺省值，但是，这些缺省值不可能包括管理系统各大类别的潜在变化。因此，应尽可能研究出本国特定 MCF 值，以反应国家或地区使用的独特的粪便管理系统，这对动物品种多和气候区多样的国家尤其重要。在这种情况下，如有可能，应对每个气候区进行实地测量，以代替以实验室研究为基础的 MCF 缺省值。实际测量应包括以下因素：

- 储存/应用时间；
- 储存期；
- 粪肥特性；
- 储存设施中残留的粪肥量（产甲烷接种体）；
- 室内和室外储存的时间和温度分布；
- 日温度波动；
- 季节性温度变化。

如果没有本国特定 MCF 测定值，可用《IPCC 指南》的《参考手册》（表 4-8）中的 MCF 缺省值。表 4-10 列出了 MCF 一些修订缺省值，在表 4-10 中经修订的值用斜体表示。表 4-10 的修订提供了一种根据沼气的回收、燃烧和利用对沼气池和化粪池进一步分类的方法，这种分类非常重要，以贯彻鼓励这些系统将甲烷回收的策略。表 4.11 “《IPCC 指南》中未定义的粪便管理系统的 MCF 值”列出了旧版《IPCC 指南》中未确定但目前许多国家正在使用的粪便管理系统的 MCF 值，鼓励应用这些系统的国家照此分类。如果没有本国特定数值，可以用表 4.11 列出的缺省 MCF 值。

⁴ 采用缺省的 B_0 值时，如果发展中国家的生产方式与发达国家相似，也可选用发达国家的数值。

图 4.3 粪便管理系统中 CH₄ 排放决策树

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

注释 2: 根据经验，排放量占该排放源的 25%-30% 的子排放源很重要。

排放因子公式：公式 4.17 展示了如何计算粪便管理系统中 CH₄ 排放因子。

公式 4.17
粪便管理系统中甲烷排放因子

$$EF_i = VS_i \cdot 360 \text{day/year} \cdot Bo_i \cdot 0.67 \text{kg/m}^3 \cdot \sum_{(jk)} MCF_{jk} \cdot MS_{ijk}$$

其中：

EF_i: 某种动物的年排放因子(kg)

VS_i: 第 i 种定义种群中每头动物每日 VS 排泄量(kg)

Bo_i: 第 i 种定义种群中每头动物所产粪肥的最大 CH₄ 潜力(m³/kgVS)

MCF_{jk}: k 气候区第 j 种粪便管理系统的 CH₄ 转化因子

MS_{ijk}: k 气候区使用第 j 种粪便管理系统的第 i 种动物比数

4.3.1.3 活动水平数据选择

估算粪便管理系统中 CH₄ 排放的活动水平数据主要有两种：(1) 动物数量；(2) 粪便管理系统使用率。

运用牲畜种群特性部分（见 4.1 节）介绍的方法获取动物数量的数据。如同该节讲述的那样，*优良作法*要求的各种动物种类特性的方法，就是根据每种牲畜种群的数据得到单独种类的特性，用以提供所有排放源的活动水平数据。但重要的是：用于粪便管理排放源的排放估算的动物分类水平可能与其它排放源，如肠道发酵 CH₄ 排放的分类水平不同。例如，对一些牲畜种群，如家牛，方法 2 肠道发酵 CH₄ 排放要求的强化特征，可以合并成更广的足够本排放源使用的类别。

鼓励有多种气候条件的国家清单机构去获取每个主要气候带中的动物数量数据。因为粪便管理系统中的 CH₄ 排放根据气候的不同，变化相当大，分区收集数据能提高精确度。理想的是，从出版的国家统计资料中查到区域划分情况。如果没有区域资料，应就区域生产（如奶、肉和毛）模式或土地分布的问题咨询有关专家，他们可能提供估算区域动物分布所需要的信息。

获取粪便管理系统分布数据的最好方法是定期查阅出版的国家统计资料。如果没有这样的统计资料，首选的替代办法是对粪便管理系统的使用情况进行独立调查。如果调查也无法进行，则咨询专家，征求有关系统分布的意见。第 6 章（不确定性的量化）的 6.2.5 节描述了如何引导专家判断不确定性的范围。也可用相同的专家引导方法获取粪便管理系统分布数据。

对区域排放分析来说，重要的是要采用该区域动物数量数据和粪便管理系统利用数据。另外，必须获取一个国家内区域间气候差异的信息，以便有正确的 MCF 供应用。如果区域层面的所有这些数据都没有，区域性分析将不比国家层面排放研究更准确。

4.3.1.4 完整性

不论应用哪种方法方法，完整的清单将包括一个国家所有牲畜种群粪肥排放源。IPCC 中列出的牲畜种类很清楚，并且种群数据一般都可以从国家参考文献或 FAO 资料中查到。因此，清单机构应该能够编制出包括所有要求的动物种群类别的排放估算清单。

4.3.1.5 建立一致的时间序列

建立方法 1 一致的时间序列要求收集和编辑该时间段内的动物数量和粪便管理数据。在下列情况下建立方法 1 的时间序列会有一些困难：

- 没有整个时间段内的动物数量；
- 整个时间段内的动物数量没有按照 IPCC 推荐的动物品种/类别分开；
- 随时间改变粪便管理方法影响 CH₄ 排放。

动物数量可以通过 FAO 收集的综合历史数据获得，并利用现在数据将历史数据分组。如果随时间的变化粪便管理方法有大的变动，使用方法 1 将不能建立准确的排放时间序列，这时就应该考虑使用方法 2。

除了方法 1 提到的数据问题外，建立方法 2 的时间序列要求收集和编辑本国特定的粪便管理系统数据，在下列情况下建立方法 2 的时间序列会有一些困难：

- 没有时间序列中部分时段的粪肥处理系统数据；
- 没有按照 IPCC 推荐的系统将粪便管理数据分类；
- 在整个时间序列内不只是使用方法 2。

如果气候条件相似（即温度和降雨），缺乏可靠粪便管理系统数据的解决方法是通过样板地区的粪便管理系统推断出整个国家的粪便管理系统趋势。如果排放估算方法发生改变，需要用现有的方法收集历史数据并用这些数据重新计算此期间的排放。如果这些数据也没有，较为合适的做法是从近期的数据找出趋势，然后用这种趋势反推时间序列内的粪便管理方法。还可利用其它资源，如出版物、工业界和大学的专家，推导出动物种群和粪肥特点的趋势。第 7 章“方法学选择与重新计算”中为如何解决这些问题提供了指南，4.1 节推荐了一些有关动物种群各方面问题的解决方法。

4.3.1.6 不确定性评估

在可能没有经验数据时，要求专家对本排放源的不确定性进行评估。第 6 章（不确定性的量化）对如何获取专家判断并将其与其它不确定性结合提出了建议。

专家能通过对排放估算的各成分进行评估来估算不确定性。不确定性的主要资料来源是准确的排放因子、粪便管理系统分布和活动水平数据。缺省值（不论方法 1 还是方法 2）对单个国家都有很大的不确定性，因为它们不可能反应出国家中的实际环境。不确定性减小的方法是：建立和使用一个能够反映不同国家/地区特定因子与 MCF 和 B₀ 值之间关系的模型。

表 4.10
《IPCC 指南》定义的粪便管理系统的 MCF 值（更新值用斜体表示）

系统	定义	不同气候的 MCF 值			备注
		寒冷	温和	热带	
牧场/山地/围场	允许牧场和山地放牧动物的粪肥保留在动物排出的地方，不经过处理。	1%	1.5%	2%	
每天施用	利用刮板等方式收集粪尿，收集的排泄物用于农田。	0.1%	0.5%	1%	
固体存放	粪和尿排到畜栏中，收集和存储的固体（有或没有垫草）部分在处理前将在很大的储粪池中停留很长时间（数月），有或没有液体径流到储粪系统。	1%	1.5%	2%	
干燥育肥场	在气候干燥地方，动物通常饲养在地面未经过铺设的育肥场中，这样粪肥可以自然干燥，然后对其进行定期清理，一经清出，粪肥便施用到农田。	1%	1.5%	5%	
液体/泥肥	将粪和尿一起收集，呈液体状态输送到储粪池存储，液体可能存放很长时间（数月）。为方便处理，可能加水。	39%	45%	72%	当泥肥存放池用作分批进料储存池或发酵反应器时，MCF 应按照公式 1 计算。
化粪池	用水冲洗系统使粪肥流到化粪池。粪肥在化粪池存储 30 至 200 多天不等。化粪池中的液体可再循环用作冲洗水或用于农田的灌溉和肥料。	0-100%	0-100%	0-100%	如果进一步分类，应考虑回收沼气和燃烧沼气百分比。 用公式 1 计算。
牲畜舍 蓄粪池	牲畜舍下部的粪尿一起存放： <1 月 >1 月	0 39%	0 45%	30% 72%	分批进料储存池或发酵反应器时，MCF 应 按照公式 1 计算。 注意确定气候条件时，用环境温度，而不是恒 定温度。
无氧发酵池	收集的液体/泥肥状粪尿进行无氧发酵，产生的甲烷进行燃烧或排出。	0-100%	0-100%	0-100%	如果进一步分类，考虑回收沼气、燃烧沼气和 发酵后储存的数量。
作为燃料	粪和尿排到地面，将晒干的粪饼用作燃料燃烧。	10%	10%	10%	

资料来源：《IPCC 指南》和专家组判断（见联合主席、编者和专家；粪便管理系统的甲烷排放）

$$\text{公式 1: } \text{MCF} = \left[\frac{\text{CH}_4_{\text{prod}} - \text{CH}_4_{\text{used}} - \text{CH}_4_{\text{flared}} + \text{MCF}_{\text{storage}} * (\text{B}_0 - \text{CH}_4_{\text{prod}})}{\text{B}_0} \right] * 100\%$$

其中：

$\text{CH}_4_{\text{prod}}$ 是发酵池中甲烷产量（1 $\text{CH}_4/\text{g VS}$ ）。注意：如果已发酵粪肥的蓄粪池有密封顶，那么此蓄粪池中产生的气体也应包括在内。

$\text{CH}_4_{\text{used}}$ ：用作能量的甲烷量（1 $\text{CH}_4/\text{g VS}$ ）； $\text{CH}_4_{\text{flared}}$ ：燃烧甲烷量（1 $\text{CH}_4/\text{g VS}$ ）； $\text{MCF}_{\text{storage}}$ ：已发酵的粪肥存放池中排放的甲烷(%)；

如果用不漏气存放池， $\text{MCF}_{\text{storage}} = 0$ ，否则， $\text{MCF}_{\text{storage}}$ = 液体存贮的 MCF 值。

表 4.11

《IPCC 指南》中未定义的粪便管理系统的 MCF 值（专家组判定）

其它系统	定义	不同气候的 MCF 值			备注
		寒冷	温和	热带	
家牛和猪厚垫料	家牛/猪的粪尿排到畜栏的地面并蓄积，很长时间后将排泄物清出： <1 月 >1 月	0 39%	0 45%	30% 72%	MCF 值与液体/泥肥相同，受温度影响。
集约化堆肥	将收集的粪尿存放于容器中或槽道中，并对排泄物进行强制通风。	0.5%	0.5%	0.5%	MCF 值比固体存放的一半还小，不受温度影响。
分散堆肥	收集、堆放粪尿，并定期翻动以通风。	0.5%	1%	1.5%	MCF 值比固体存放的稍小，受温度影响较小。
带垫草的禽粪	粪肥排泄到有垫草的地面，鸡在粪污上行走。	1.5%	1.5%	1.5%	MCF 值与固体存放的相近，但一般温度恒定且暖和。
没带垫草的禽粪	粪肥排泄到没有垫草地面，鸡不在粪肥上行走。	1.5%	1.5%	1.5%	MCF 值与温暖气候条件下干燥育肥场的相近。
好氧处理	收集的粪尿为液态，对排泄物进行强制曝气，或在好氧池或湿地系统中处理，以进行硝化和反硝化。	0.1%	0.1%	0.1%	MCF 值接近 0。 好氧处理导致泥肥大量堆积，泥肥需要清理并且 VS 值高。重要的是要明确泥肥下一步的处理过程，如果后处理排放量很大，要估算其处理过程排放量。
资料来源：专家组判断（见联合主席、编者和专家；粪便管理系统的甲烷排放）。					

4.3.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。为提高透明度，对该排放源的甲烷排放估算应与活动水平数据和用于估算的排放因子一起报告。

对以下的信息应进行记录并存档：

- 所有活动水平数据，包括：
 - (1) 能用的按种类和区域划分的动物数量；
 - (2) 能用的区域气候条件⁵；
 - (3) 能用的按种类和区域划分的粪便管理系统数据。
- 存档的活动水平数据，包括
 - (1) 计算中所用的所有活动水平数据的来源（即获取数据的统计数据库完整引用），万一不能直接从数据库中获得活动水平数据，可以用有关的信息和假设推算活动水平数据；
 - (2) 收集数据的频率，以及估算值的正确度和精确度。
- 如果用方法 1，估算特定类别的动物种群排放的缺省排放因子。
- 如果用方法 2，排放因子的计算组成部分包括：
 - (1) 不论是国家、地区特定的，还是 IPCC 缺省值，提供清单中所有动物种群的 VS 和 B₀ 值；
 - (2) 不论是本国特定的还是 IPCC 缺省值，所有粪便管理系统应用的 MCF 值。
- 排放因子文档，包括：
 - (3) 排放因子引用的参考资料（IPCC 缺省值或其它）；
 - (4) 在使用国家或地区特定排放因子，或使用除《IPCC 指南》以外新方法编制清单时，这些排放因子和所用方法的科学依据要存档，包括获得排放因子和方法使用的输入参数的定义与过程描述，同时介绍资料来源和不确定性的范围。

4.3.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章“质量保证和质量控制”的方法 2 程序和质量保证程序进行附加质量控制核查，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。第 8 章“质量保证和质量控制”所列举的有关数据处理、管理和报告的综合质量保证和质量控制，可用下面讨论的程序加以补充：

活动水平数据审核

- 清单机构应该评审数据收集方法、检查数据，以保证数据的正确性。还应与前些年的数据进行交叉核对以保证数据的合理性。清单机构应记录所有的数据收集方法，鉴别潜在的偏差区并对有代表性的数据进行评估。

⁵ 粪便储存阶段的平均温度。

排放因子审核

- 如果用缺省值，清单机构应对所有的缺省排放因子值进行评审，并记录选用特定值的理由。
- 如果用方法 2（即采用各国家特有的不同动物和粪便管理方式的排放因子计算排放）。清单机构应该将本国特定因子参数（即 VS 排泄率、 B_0 和 MCF 值）与 IPCC 缺省值进行交叉核对，并对本国特定因子参数与缺省参数之间的明显差异进行解释并记录。
- 如果用方法 1（即用 IPCC 缺省排放因子），清单机构应该评估缺省 VS 排泄率和 B_0 值的与国家动物种群和粪肥特性的一致性。
- 使用所有可用的本国特定数据来核实缺省值。
- 清单机构应按照前述的标准程序对确定国家或地区特定 VS 和 B_0 值所用的方法进行审核。对用来估算排放因子的公式的详细叙述，包括每个计算数值和任何数据的来源也要进行审核。

外部审评

- 如果用方法 2，清单机构应组织专家，邀请那些在与制定计算粪肥处理系统排放因子（粪便管理和动物营养）有关的各参数领域拥有经验的人士，对粪便管理的实践做法进行评审。
- 如果用方法 2，清单机构应根据专家评审的文件对本国特定排放因子提出正确的判断。

4.4 粪便管理中的 N₂O 排放

4.4.1 方法学问题

本节估算的氧化亚氮(N₂O)排放是指在施入到土壤之前动物粪肥储存和处理所产生的 N₂O。这儿的‘粪肥’是指牲畜排泄的粪肥和尿（如固体部分和液体部分）。动物粪肥在储存和处理过程中的 N₂O 排放量取决于粪肥中氮及碳含量、储存时间和处理方式。这儿的‘粪便管理’⁶是动物粪肥储存和处理所有类型的集合名词。本章描述了利用《IPCC 指南》中提供的方法估算粪便管理系统（MMS）中 N₂O 排放的优良作法。没有管理的动物粪肥（如草场和草地上放牧过程中动物排泄的粪肥、动物在寻觅食物时排放的粪肥和在围场饲养的动物以及住宅周围围圈饲养的动物排泄的粪肥），粪肥没有被储存而直接排泄在地上。这种粪便管理系统在《IPCC 指南》中被分类为‘草原、牧场和围场’。‘草原、牧场和围场’粪便管理系统产生直接和间接的 N₂O 排放，因此，这些内容将在 IPCC 的分类‘农业土壤’中讨论。然而，由于估算‘草原、牧场和围场’N₂O 排放的方法与其它粪便管理系统的方法相同，所以，在本节中讨论估算草原、牧场和围场 N₂O 排放的优良做法。

4.4.1.1 方法选择

在《IPCC 指南》中估算动物粪肥 N₂O 排放的方法为，每种动物粪便管理系统的氮数量（所有动物类别）乘以每种动物粪便管理类型的排放因子，然后合计所有动物粪便管理系统的 N₂O 排放量。估算粪便管理系统中的 N₂O 排放时采用优良作法的详细程度取决于国家的具体情况。图 4.4 为估算动物粪便管理系统中的 N₂O 排放决策树，描述了在《IPCC 指南》中考虑国家具体情况的优良作法。

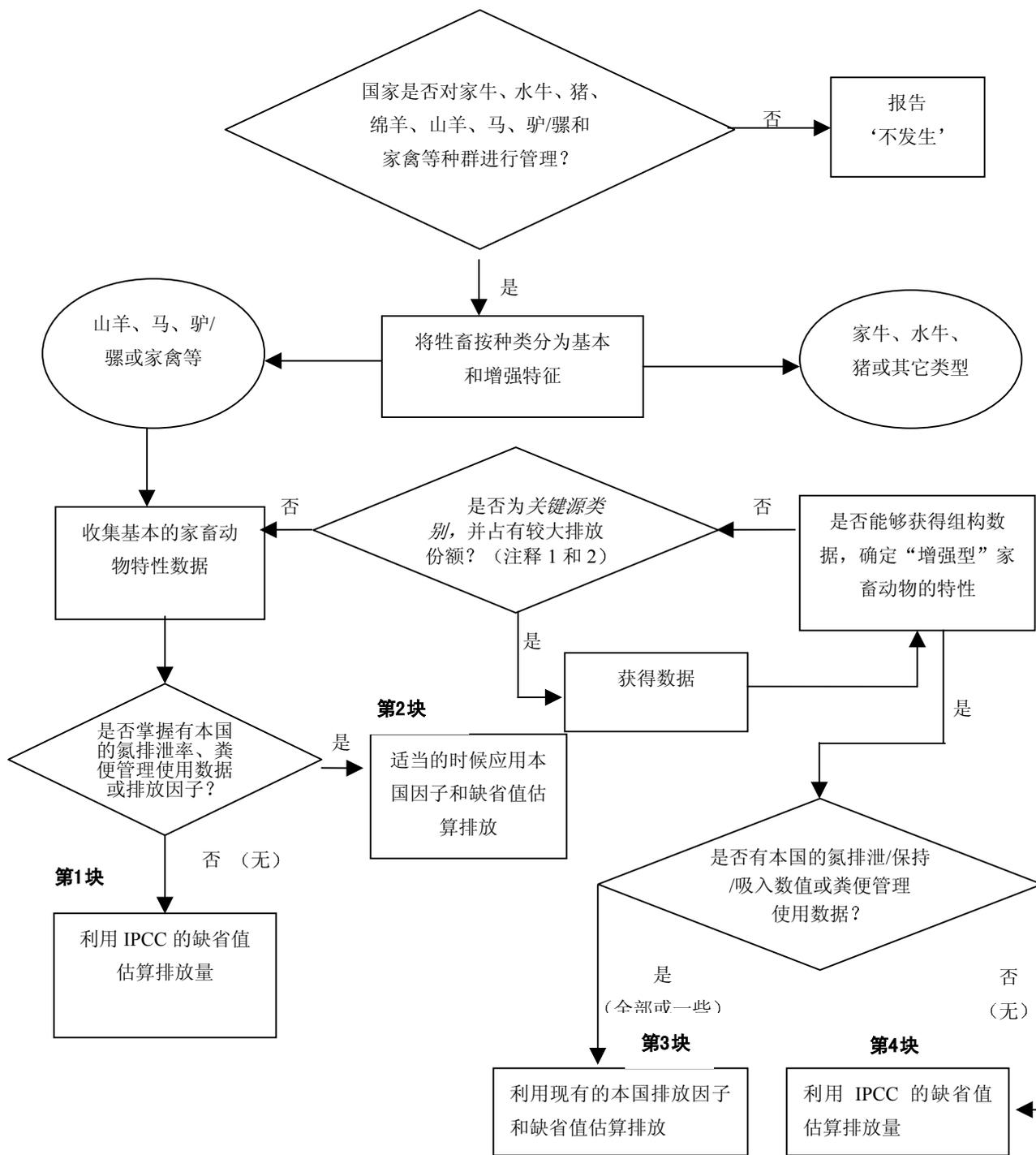
为了估算动物粪便管理系统中的 N₂O 排放，首先要对动物进行分类以反映每种动物产生的粪肥量不同以及动物粪肥处理方式的不同。在 4.1 节中提供了对本排放源动物进行分类的详细信息。

估算动物粪肥的 N₂O 排放包括以下 5 个步骤：

- (1) 收集动物饲养量数据，并详细分类；
- (2) 为定义的 T 类中各种动物确定每头年平均氮排放率(Nex_(T))；
- (3) 确定每年 T 类中各种动物排放的粪肥中不同粪便管理系统(MS_(T,S))的处理量；
- (4) 确定不同粪便管理系统 S 的 N₂O 排放因子(EF_{3(S)})；
- (5) 对每种粪便管理系统类型 S，用排放因子(EF_{3(S)})乘以氮排泄量（每种粪便管理系统所处理的所有动物类别的粪肥），估算出某种动物粪便管理系统中的 N₂O 排放量，然后求和，便计算出动物粪肥的 N₂O 排放总量。

⁶《IPCC 指南》中的‘粪便管理’和‘动物排泄物管理’两个术语是指产生 N₂O 的动物粪便，在这个指南中，采用了‘粪便管理’术语，以与 4.3 节中粪便管理 CH₄ 排放所用的术语一致。

图 4.4 动物粪便管理中的 N₂O 排放决策树



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

注释 2: 根据经验，如果子排放源占该排放源排放总量的 25%-30%，那么该子排放源非常重要。

根据《IPCC 指南》，粪便管理中的 N₂O 排放计算如下：

公式 4.18

动物粪便管理中的 N₂O 排放

$$(N_2O-N)_{(mm)} = \sum_{(S)} \{ [\sum_{(T)} (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)})] \cdot EF_{3(S)} \}$$

其中：

$(N_2O-N)_{(mm)}$ = 国家动物粪便管理中的 N₂O 排放量(kg N₂O-N/yr)

$N_{(T)}$ = 动物类型 T 的饲养量

$Nex_{(T)}$ = 动物类型 T 每头年平均 N 排泄量 (kg N/animal/yr)

$MS_{(T,S)}$ = 粪便管理系统 S 所处理每一种动物粪肥年排泄的百分数

$EF_{3(S)}$ = 动物粪便管理(S)中的 N₂O 排放因子 (kg N₂O-N/kg 粪便管理系统(S)中的 N)

S = 粪便管理系统

T = 动物类别

为便于报告，利用以下公式将 $(N_2O-N)_{(mm)}$ 排放转化为 N₂O_(mm) 排放：

$$N_2O_{(mm)} = (N_2O-N)_{(mm)} \cdot 44/28$$

4.4.1.2 排放因子的选择

利用充分说明和预先审评过的出版物中的国家特定排放因子可得到最精确的估算结果。利用反映每种动物粪便管理系统的实际储存时间和处理类型的国家特定排放因子估算排放量是*优良作法*。推导国家特定排放因子的*优良作法*包括不同粪便管理系统的排放量的测量（每单位动物粪肥中的氮）、考虑储存时间和处理类型的变化。在定义处理类型时，如通风和温度情况等条件应予以考虑。如果国家清单机构利用国家特定排放因子，应鼓励他们通过提交预先审评文件证明使用这些数据的理由。如果不能得到适当的国家特定排放因子，应鼓励清单机构采用缺省排放因子。在表 4.12 “粪便管理中的 N₂O 排放的缺省排放因子”中提供了 IPCC *优良作法*的排放因子。表 4.13 提供了在《IPCC 指南》中没有涉及到的粪便管理系统中的 N₂O 排放的缺省排放因子。这些表格中包括缺省排放因子以及对粪便管理系统的描述，其中包括一些在《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-22 中没有包括的粪便管理系统。

表 4.12
动物粪便管理中的 N₂O 排放的缺省排放因子
(没有包括在《IPCC 指南》中的其它粪便管理系统用斜体表示)

粪肥系统	描述	EF ₃ (kgN ₂ O-N/kg 排泄的 N)	排放因子的 不确定范围
牧场/山地/围场	放牧过程中排泄的粪肥，不经过处理。	0.02	-50%/+100
每天施用	粪肥排泄后直接清粪，然后施到农田，没有储存和处理的过程，所以假设储存过程中的 N ₂ O 排放量为 0。	0.0	不适用
固体存放 ^a	粪肥和尿液（有或没有垫草）收集后长时间散放，有或没有液体流向粪坑系统。	0.02	-50%/+100
干燥育肥场	在干燥的气候区，动物粪肥在饲养场任意堆放，在定期清除之前风干，动物粪肥被清除之后可能被施入到农田。	0.02	-50%/+100
液体/泥肥	将粪肥尿以液体的形式储存在储粪罐内。为了以液体方式处理动物粪肥，可能向粪肥和尿液中加水。	0.001	-50%/+100
化粪池	水冲系统处理粪肥，将粪肥排放到化粪池中，粪肥在化粪池中储存的时间在 30-200 天之间，化粪池中的水可以循环利用冲洗粪肥或用于灌溉作为肥料。	<i>0.001</i>	-50%/+100
粪坑	<i>在集约化饲养设施下面的粪坑</i>	<i>0.001</i>	-50%/+100
无氧发酵池	<i>动物粪肥和尿液无氧发酵产生甲烷</i>	<i>0.001</i>	-50%/+100
燃烧 ^b	收集、风干后作为燃料。 <i>牧场和围场放牧过程中动物尿液中的氮应包括在本项中。</i>	<i>0.007</i> <i>0.02</i>	-50%/+100

^a 应用定量的数据以区分管理系统是否判断为固体储存还是液体/泥肥。干燥或湿的区分标准是干物质含量达 20%。

^b 如果动物粪肥做为燃料，与粪肥燃烧有关的排在 IPCC 的分类系统‘燃料燃烧’中报告，如果动物粪肥燃烧但并没有做为能源回收，与粪肥燃烧有关的排在 IPCC 的分类系统‘废弃物焚烧’中报告。动物尿液沉积在农田处的直接和间接 N₂O 排在 4.7 和 4.8 节中报告。

资料来源：《IPCC 指南》和专家组判断（参见联合主席、编辑和专家：粪便管理中的 N₂O 排放）。

表 4.13
没有包括在《IPCC 指南》中的动物粪便管理中的 N₂O 排放的缺省排放因子
(专家组判断的结果)

其它系统	定义	EF ₃ (kgN ₂ O-N /kg 排泄的 N)	排放因子 EF ₃ 的不确定范围 (%)
家牛和猪厚垫料	家牛、猪的粪尿排泄到垫草上，在很长时间之后清除积累的排泄物： <1 月 >1 月	0.005 0.02	-50%/+100
集约化堆肥	将粪肥和尿液储存在容器或槽道中，并对排泄物进行强制通风。	0.02	-50%/+100
分散堆肥	将粪肥尿收集后堆放，定期翻动以达到通风的目的。	0.02	-50%/+100
带垫草的禽粪	家禽粪肥排泄在垫草上，家禽在排泄物上活动。	0.02	-50%/+100
没带垫草的禽粪	家禽粪肥排泄在没有垫草的地板上，家禽不在排泄物上活动。	0.005	-50%/+100
好氧处理	粪肥以液体的形式收集起来，对粪肥进行强制通风处理，或在好氧池或湿地系统处理进行硝化和反硝化。	0.02	-50%/+100

资料来源：专家组判断（参见联合主席、编者和专家；动物粪肥 N₂O 排放）。

4.4.1.3 活动水平数据选择

为估算粪便管理系统中的 N₂O 排放，主要有三种类型的活动水平数据：（1）牲畜饲养量；（2）每种动物粪肥氮的排泄量；（3）粪便管理系统的使用数据。

牲畜饲养量(N_(T))

应利用牲畜饲养数量特征描述（参见 4.1 节）的方法收集牲畜饲养数据。如果利用缺省的氮排泄率估算粪便管理系统中的 N₂O 排放，基本的牲畜饲养数量特征描述就足够了，如果采用计算的氮排泄率估算粪便管理系统中的 N₂O 排放，应采用强化的特征。像 4.1 节提到的那样，描述动物数量的优良作法是对特征逐个进行描述，依据牲畜数量为所有排放源提供活动水平数据。

年平均氮排泄量(Nex_(T))

应精确确定牲畜饲养量特征所定义的每种动物类别的氮年排泄量，国家特定数据可以直接从文献和报告中获得，如农业生产和科学文献，或通过动物摄入的氮量减去保留在动物体内的氮量（像如下解释的那样）获得。在一些情况下，也可以从饲养条件相似的国家获得。如果不能从以上渠道获得氮排泄数据，可以利用 IPCC 推荐的缺省氮排泄率（参见《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-20）。为了调整年轻动物的氮排泄值，用表 4-20 中的氮排泄率乘以表 4.14 中列出的缺省调整因子是一种优良作法。值得注意的是，如果估算动物粪肥作为燃料燃烧的 Nex_(T)时（表 4.12，粪便管理中的 N₂O 排放的缺省排放因子），粪肥被燃烧了，而尿液却留在土地上。根据经验，尿液中氮的含量占氮排泄总量的 50%，因此，这部分 Nex_(T)乘以表 4.12 中的排放因子得到这些子排放源的 N₂O-N 排放。如果动物粪肥作为燃料燃烧，排放量应在 IPCC ‘燃料燃烧’ 部分报告，如果粪肥燃烧了但并没有作为能源回收，则排放量应在 IPCC ‘废弃物焚烧’ 部分报告。

表 4.14
估算幼小动物的氮排泄率时，《IPCC 指南》（参考手册）表 4-20 中的缺省调整因子^a

动物分类	年龄范围（年）	调整因子
非奶牛	0-1	0.3
非奶牛	1-2	0.6
奶牛	0-1	0.3
奶牛	1-2	0.6
家禽	0-0.25	0.5
绵羊	0-1	0.5
猪	0-0.5	0.5

^a 当动物年龄超出了指明的年龄范围，调整因子为 1。
注：没有提供《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-20 中其它动物的调整因子。
资料来源：专家组判断（参见联合主席、编者和专家；粪便管理中的 N₂O 排放）。

每年每种动物排泄的氮量取决于氮的年摄取总量和保留总量。因此，氮的排泄量可以从氮的摄取量和氮在动物体内的保留量计算得出。氮的年摄取量（如动物每年消耗的氮量）取决于采食量和饲料中蛋白质的含量。总的采食量取决于动物生产水平（如生长率、产奶量、工作时间）。氮在动物体内的年保留量（如用于产奶、肉用和产毛）可以用于衡量来自饲料蛋白中的动物蛋白生产率。特定动物种类的氮摄取量和保留量可以通过国家统计数据或咨询动物营养专家获得，也可以根据牲畜种群特征部分提供的摄取饲料和粗蛋白数据计算出（参见 4.1 节）。表 4.15 “不同动物种类保留在体内的氮占摄取量的比例的缺省值”提供了不同动物缺省的氮保留数值。每种动物类别的年氮排泄量根据下式得到：

公式 4.19

年氮排泄量

$$N_{ex(T)} = N_{intake(T)} \cdot (1 - N_{retention(T)})$$

其中：

$(N_{ex(T)})$ = 每头动物每年排泄的氮量，氮(kg)/每头每年

$N_{intake(T)}$ = 动物类别 T 的每头动物每年摄取的氮量，氮(kg)/每头每年

$N_{retention(T)}$ = 动物类别 T 摄取的氮量保存在体内的比例，保留在体内的氮(kg)/每头每年/每年摄取的氮(kg)/每头每年

请注意，年氮排泄量还用于计算农业土壤直接和间接 N₂O 排放（见 4.7 和 4.8 节）。在估算动物粪便管理中的 N₂O 排放和估算农业土壤的 N₂O 排放时要采用相同的氮排泄量和推导方法。

粪便管理系统使用数据($MS_{(T,S)}$)

用于估算粪便管理中的 N₂O 排放和 CH₄ 排放的动物粪便管理系统使用数据应相同（参见 4.3 节）。如果不能得到国家特定的动物粪便管理系统使用数据，应利用《IPCC 指南》提供的缺省值。《IPCC 指南》的《参考手册》农业一章 4.2 节的附件 B 中的表 B-3 至表 B-6 提供了奶牛、非奶牛、水牛和猪的 IPCC 缺省值。《IPCC 指南》的《参考手册》农业一章的表 4-21 提供了其它动物种类的 IPCC 缺省值。

表 4.15
不同动物种类保留在体内的氮占摄取量的比例的缺省值
(不同动物保留在体内的氮的比例)

动物类别	保留在体内氮的比例 (保留氮(kg)/摄取氮(kg))	不确定性范围
奶牛	0.2	+/-50
非奶牛	0.07	+/-50
水牛	0.07	+/-50
绵羊	0.1	+/-50
山羊	0.1	+/-50
骆驼	0.07	+/-50
猪	0.3	+/-50
马	0.07	+/-50
家禽	0.3	+/-50

资料来源：通过专家组判断（参见联合主席、编者和专家；动物粪便管理中的 N₂O 排放）

4.4.1.4 不确定性评估

排放因子

本排放源的缺省排放因子有很大的不确定性（见表 4.12 和 4.13）。通过对粪肥和粪便管理系统进行特性分类，从而获得精确和设计优良的测量方法，有助于降低不确定性。这些测量方法必须考虑到温度、湿度条件、氧气、粪肥的氮含量、有机碳、储存的持续时间以及处理过程的其它方面。

活动水平数据—牲畜饲养量

参见 4.1 节-牲畜种群特征描述。

活动水平数据—氮排泄量

关于氮排泄量的不确定性范围（见《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-20）在±50%左右（资料来源：专家组判断。参见联合主席、编辑与专家；粪便管理中的 N₂O 排放）。《IPCC 指南》提供的缺省的氮保留值不确定性范围也在±50%（见表 4.15）。如果清单机构采用比较精确的关于氮的吸收与保留的国家统计值，那么相关氮的排泄率不确定值将可能降低为±25%。

活动水平数据—粪便管理系统使用情况

在一些国家，粪便管理使用数据的不确定性很高。虽然制定了严格定义的分类方案（见表 4.12 与 4.13），但除了在《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-21 所统计的数据外，即便是有可能，许多清单机构也只能得到非常有限的有关不同系统粪便管理的定量数据。

4.4.1.5 完整性

一个完整的 N₂O 排放清单应包括针对所有牲畜种类的全部粪便管理系统，鼓励国家使用与《优良作法指南》中表 4.12 和 4.13 保持一致的粪便管理定义。关于牲畜特征的进一步信息，请参见第 4.1 节。

4.4.1.6 建立一致的时间序列

建立一致的排放估算的时间序列要求收集的牲畜饲养量统计数据内部时间起码要具有连续性。4.1 节中提供了建立时间序列的指南，在大多数国家，还要求其它两种活动水平数据（如氮的排泄量和动物粪便管理系统使用数据）以及粪便管理排放因子在整个时间序列保持一致。然而，在一些情况下，有必要修改这些随时间而改变的数值，例如，农民可能改变饲养方法，或全部牲畜粪便管理系统发生变化，如一些动物种类的粪便管理以湿肥系统方式所占的比例越来越大，而干肥系统所处理的粪肥数量越来越少，或由于特定的粪便管理系统发生了变化，有必要对排放因子作修正。实际上，这些变化可能因采取温室气体减排措施而引起，或可能由其它与温室气体无关的农业实践的变化而引起。不管导致变化的原因是什么，采用的数据和排放因子必须反映这些变化，数据、方法和结果必须备有详细的证明文件。如果时间序列上的活动水平数据受到农业实践或温室气体减排措施的变化影响（如由于执行通过降低年氮摄入量降低 N₂O 排放的政策措施导致年氮排泄量的降低），应鼓励清单机构保证这些活动水平数据反映这些实践，清单报告要详细解释农业实践或减排措施的变化是如何影响活动水平数据或排放因子的。

4.4.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所述，*优良作法*要求将国家排放清单所需的所有信息编制成文并存档。在使用各国排放因子、氮排泄量或粪便管理系统数据或两种数据时，这些数据的来源与参考资料应清晰地记录并随适当的 IPCC 源类别清单结果一起报告。

必须依照《IPCC 指南》报告不同粪便管理系统中的 N₂O 排放，以下两种情况除外：

- 对于牧场、草原和围场的粪便管理系统中的排放，它应在 IPCC 农业土壤类别报告，因为动物将粪肥直接排泄到土壤上。
- 对于粪便管理系统中作为燃料燃烧的排放，如果粪肥用作燃料，则需在 IPCC 燃料燃烧类别下报告；如果粪肥燃烧但没有进行能源回收，则应在 IPCC 废弃物焚烧类别下报告。但是应注意到，如果没有将尿氮收集进行燃烧，则它必须在牧场、草原和围场的 N₂O 排放下报告。

动物粪肥经任何粪便管理系统储存或处理后，几乎全部将被施用到土地上，随后粪肥在土壤中产生的排放将在农业土壤下报告。这些排放的估算方法将在 4.7 节和 4.8 节讨论。

4.4.3 清单质量保证和质量控制

*优良作法*是指按照第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1，一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第 8 章“质量保证和质量控制”的方法 2 程序和质量保证程序进行附加质量控制核查，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。第 8 章“质量保证和质量控制”所列举的有关数据处理、管理和报告的综合质量保证和质量控制，可通过以下程序加以补充：

排放因子审核

- 如果用本国特定的排放因子，清单机构应比较它们与缺省值的差别。采用本国特定的排放因子应解释并且记录，鼓励清单机构保证运用 *优良作法* 并对结果进行预先审核。

活动水平数据审核

- 如果用本国特定的 Nex(T)和 MS(T,S)数据，清单机构应该比较这些数值与 IPCC 缺省值的差别，同时记录明显的差异、数据来源以及数据获得的方法。

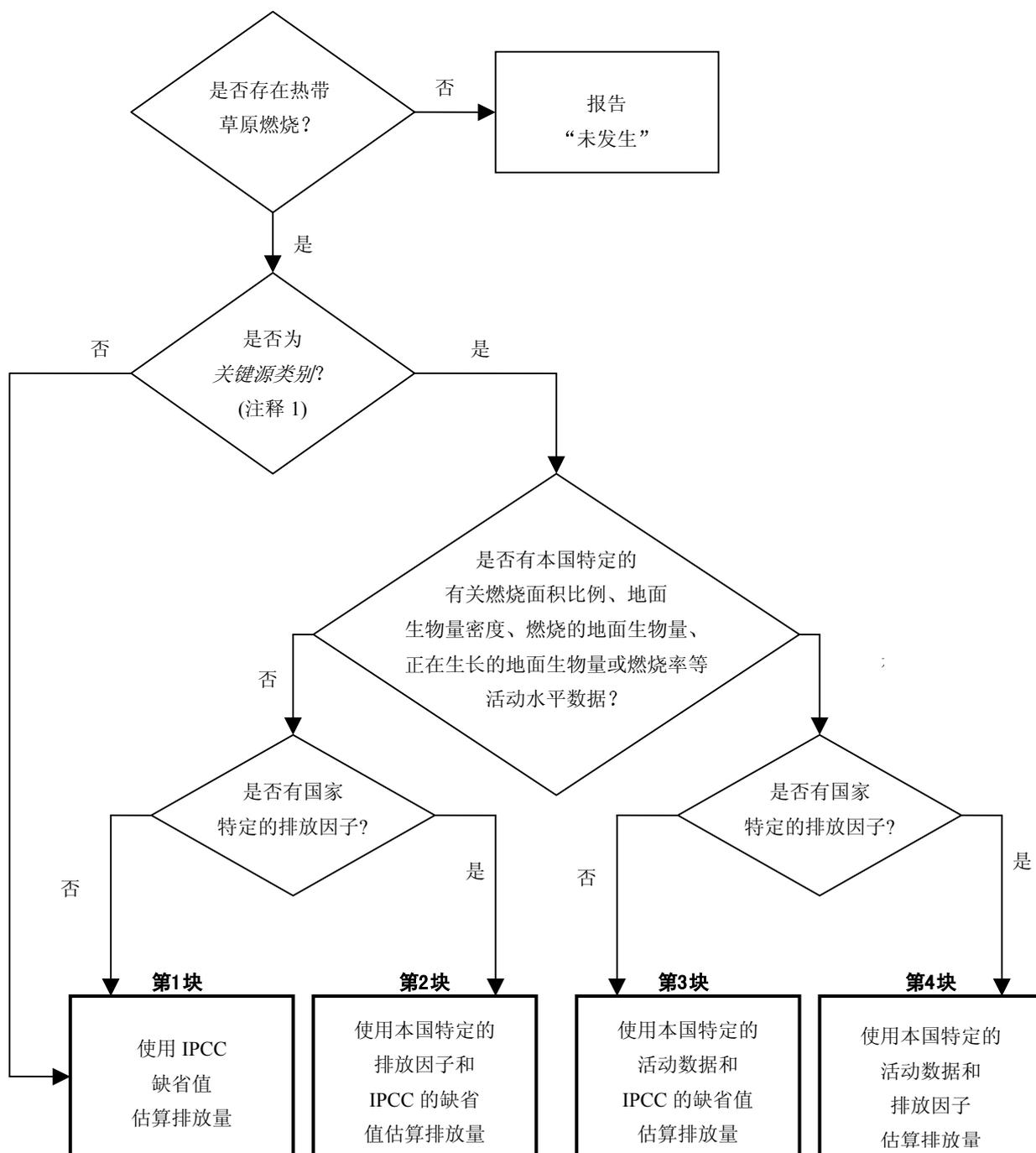
外部专家评审

- 清单机构应组织粪便管理、动物营养以及温室气体排放领域的专家，对采用的方法和数据进行专家评审。

4.5 热带草原燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放

目前，估算热带草原燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放的优良作法是应用《IPCC 指南》图 4.5 “热带草原燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放决策树”建议的方法对排放量进行估算。本章末尾附录 4A.1 对此方法进一步完善的可能性进行了简要说明。附录还对改进此方法的一些可能步骤的细节进行了描述。由于缺乏数据以及许多关键参数的不确定性很大，目前并不能证明附录 4A.1 中讨论的方法是优良作法。

图 4.5 热带草原燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放决策树

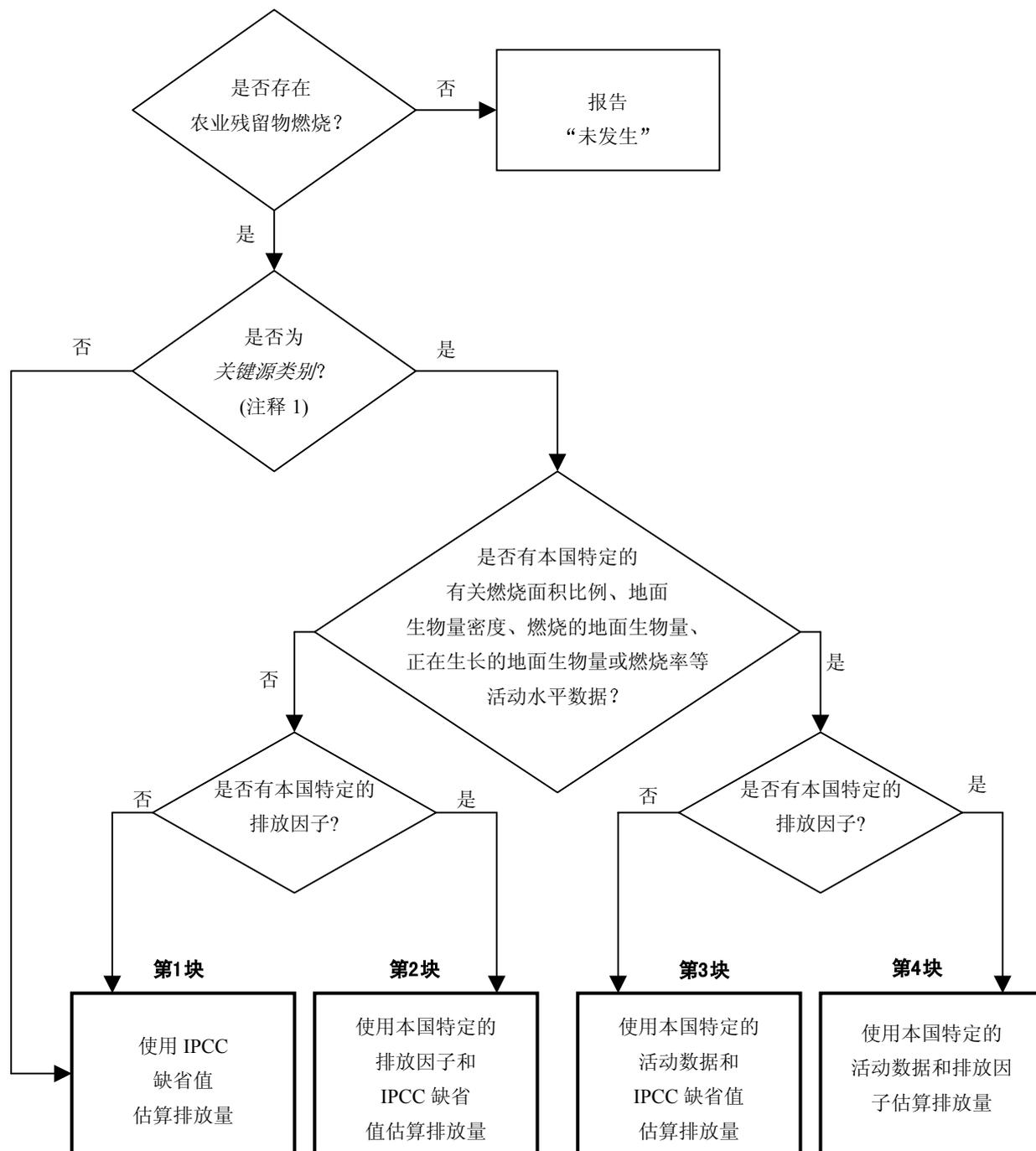


注释 1: 关键源类别是指在国家温室气体排放清单中作为优先的排放源，因为就绝对排放水平、排放趋势或绝对排放水平与趋势两者来讲，它对估算全国总的直接温室气体排放清单有重大影响。（参见第 7 章“方法学选择及重新计算”的第 7.2 节“确定国家关键源类别”。）

4.6 农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放

目前，估算农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放的优良作法是应用《IPCC 指南》图 4.6 “农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放决策树”建议的方法对排放量进行估算。本章末尾附录 4A.2 中对此方法进一步完善的可能性进行了简要说明。附录还对改进此方法的一些可能步骤的细节进行了描述。由于缺乏数据以及许多关键参数的不确定性很大，目前并不能证明附录 4A.2 中讨论的方法是优良作法。

图 4.6 农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放决策树



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

4.7 农业土壤中的 N₂O 直接排放

4.7.1 方法学问题

农业土壤中的氧化亚氮(N₂O)是通过微生物的硝化和反硝化过程产生的。许多农业活动向土壤加氮,增加了用于硝化和反硝化的氮量,从而增加了 N₂O 排放量。人为氮投入导致的 N₂O 排放包括直接排放(例如直接来源于加了氮的土壤)和两种间接排放(例如通过 NH₃ 和 NO_x 气体的挥发以及随后的再沉淀、淋溶和径流)。在《IPCC 指南》中,分别对农业土壤中的直接和间接 N₂O 排放进行估算。

《IPCC 指南》中估算农业土壤中直接 N₂O 排放的方法包括两部分:(1)向土壤加氮引起的直接 N₂O 排放(排除牧场、草原和围场的动物氮输入);(2)没经过处理的动物粪肥引起的直接 N₂O 排放(例如:牧场、草原和围场的动物粪肥)⁷。在这节讨论该方法的第一部分,第二部分关于估算牧场、草原和围场的动物粪肥引起的直接 N₂O 排放放在第 4.4 节“粪便管理中的 N₂O 排放”中说明⁸。然而在此要说明的是,牧场、草原和围场的动物粪肥引起的直接 N₂O 排放将在农业土壤类别中报告。

4.7.1.1 方法选择

在《IPCC 指南》中,对因施氮肥以及其它种植活动引起的农业土壤直接 N₂O 排放的估算方法进行了介绍,这些人造的氮投入包括化肥(F_{SN})及动物粪肥(F_{AM});固氮作物种植(F_{BN});还原到土壤中的作物残留物 F_{CR};有机土耕作引起的土壤氮矿化⁹(例如有机土)(F_{OS})¹⁰。由于在《IPCC 指南》中,直接和间接排放是分别计算的,因此化肥和动物粪肥施用后挥发的氮要从总量中减掉,并且这些挥发的氮最终排放的 N₂O 应作为间接排放的一部分(见 4.8 节)。

在《IPCC 国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理报告》(《优良作法报告》)的 4.7 和 4.8 小节中广泛采用了方法 1a 和方法 1b,来区分《IPCC 指南》中的公式(方法 1a)和这儿使用的新公式(方法 1b)。由于在方法 1b 公式中增加了变量,因此增加了其准确性。然而,当使用方法 1b 公式时,所需的水平数据有可能无法获得。在这种情况下,使用方法 1a 公式比较合适。联合使用方法 1a 和方法 1b 公式估算不同子源类别的排放也是可接受的,但这取决于活动水平数据是否能获得。在某些情况下,没有方法 1b 公式可供选择,因为在《IPCC 指南》中认为没有必要改进这个公式。

⁷ 和 4.4 节一样,这里使用的术语“粪便”全都包括粪便和尿液。

⁸ 虽然牧场、草原和围场的动物粪便的堆放没经过处理,但估算牧场、草原和围场的动物粪便排放方法与估算动物粪便管理系统的排放方法相同,这在 4.4 节有讨论。

⁹ 有机土壤的定义是:在表层 80 厘米的土壤中超过一半厚度的土层中含有有机土壤物质,或任何厚度的上层岩石或碎片物质的缝隙中填满了有机土壤物质。有机土壤物质的定义是:被水饱和的土壤中,如果矿质部分达到 500 克 kg⁻¹ 或更多粘粒含量而有机碳含量达到 174 克 kg⁻¹ 或更多;或者矿化部分没有粘粒或含有部分过渡矿物成分而有机碳含量达到 116 克 kg⁻¹;或者土壤从未被水饱和,含有 203 克 kg⁻¹ 或更多的有机碳(SSSA, 1996)。

¹⁰ 有机土是指富含有机质的表层土壤厚度至少达 40 厘米,而且如果其粘粒含量低,有机质含量最少达 20%,或者粘土含量超过 50%,有机质含量最少达 30%的土壤。

图 4.7 “农业土壤中的 N₂O 直接排放决策树”给出了依照《IPCC 指南》中的方法采取适合各国特定情况的优良作法。这个决策树介绍了怎样选择估算方法。如果排放因子和活动水平数据按照下面提供的指南收集，方法 1a 和方法 1b 都是优良作法。

在最基本的形式中，农业土壤中的 N₂O 直接排放按照下列公式估算：

<p>公式 4.20</p> <p>农业土壤中的 N₂O 直接排放 (方法 1a)</p> $N_{2O_{Direct-N}} = [(F_{SN} + F_{AM} + F_{BN} + F_{CR}) \cdot EF_1] + (F_{OS} \cdot EF_2)$

其中：

$N_{2O_{Direct-N}}$ = N₂O 排放量，单位为氮

F_{SN} = 每年施用到土壤的化肥氮施用量，根据 NH₃ 和 NO_x 挥发量调整

F_{AM} = 每年施用到土壤的动物粪肥氮量，根据 NH₃ 和 NO_x 挥发量调整

F_{BN} = 种植的固氮作物年固氮量

F_{CR} = 每年还原到土壤中的作物残留物量

F_{OS} = 每年耕作的有机土壤面积

EF_1 = 用于计算氮投入产生排放的排放因子(kg N₂O-N/kg N 输入)

EF_2 = 有机土耕作排放因子(kg N₂O-N/ha-yr)。

关于 N₂O-N 排放转化为 N₂O 排放的计算公式如下：

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

公式 4.20 是方法 1a 公式。如果能够获得针对本国的更详细的排放因子，可对公式中的各个条件进行更为详细的分解，如 4.21 公式所示，4.21 公式是方法 1b 的公式。例如，如果在不同条件 i 下，施用的化肥和动物粪肥的排放因子能得到，公式 4.20 应扩展为下面的公式：

<p>公式 4.21</p> <p>农业土壤中的 N₂O 直接排放(方法 1b)</p> $N_{2O_{Direct-N}} = \sum_i \{[(F_{SN} + F_{AM})_i \cdot EF_i] + [(F_{BN} + F_{CR}) \cdot EF_1] + [F_{OS} \cdot EF_2]\}$
--

其中：

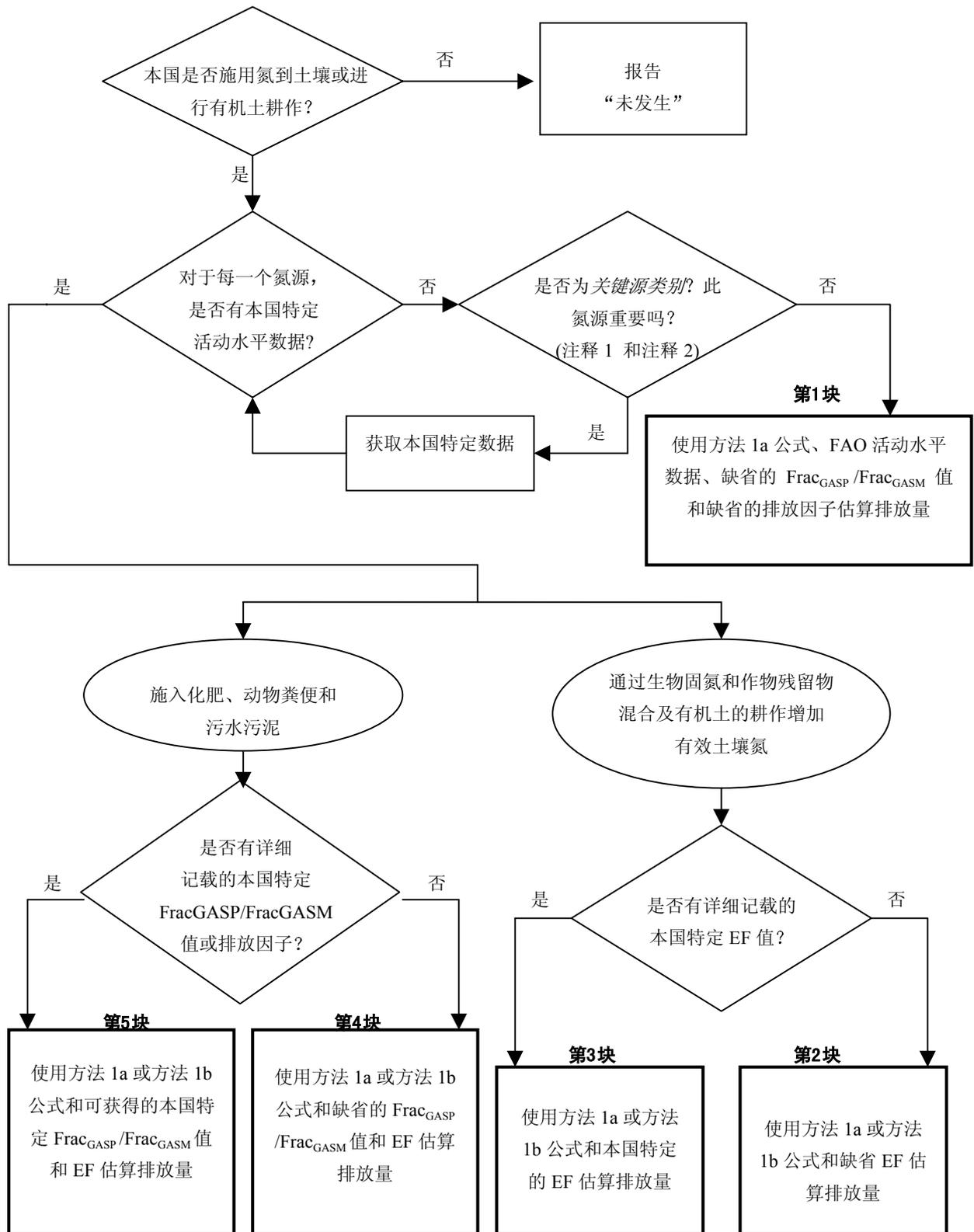
EF_i = 不同条件 i 下，化肥和动物粪肥的 N₂O 排放因子

为便于报告，可采用下面计算公式将 N₂O-N 排放转化为 N₂O 排放：

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

也可将方法 1a 进行扩展，以包括各种土壤类型上施用的其它形式的氮。例如，污水污泥作为其它形式的有机氮，经常施用于土壤作为土壤的改良物或作为污泥的一种处理方式。如果能得到足够的数数据，污泥氮($N_{SEWSLUDGE}$)能用这个公式计算。污泥投入量可通过以氮为单位的投入量乘以排放因子(EF_i)估算出（也就是说在公式 4.20 中， $N_{SEWSLUDGE}$ 应该加到公式的第一组圆括号中；在公式 4.21 中，它应该加到第二组圆括号中）。

图 4.7 农业土壤中的直接氧化亚氮(N₂O)排放决策树



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

注释 2: 作为一个主要判断标准，如果子源类别占该源类别排放总量的 25%-30%，那么这个子排放源是重要排放源。

要说明的是，由于没有 $N_{SEWSLUDGE}$ 这个新参数的缺省值或没有收集这些数据的指南，因此，只有当能够获得可靠的本国特定数据时才对公式进行改进。用来估算 N_2O 直接排放的污泥活动水平数据和用来估算 N_2O 间接排放使用的数据应该相同（见 4.8 节“农业用氮引起的间接 N_2O 排放”）。

为了能够应用公式 4.20 或 4.21，必须估算各种氮投入量 (F_{SN} 、 F_{AM} 、 F_{BN} 、 F_{CR} 、 F_{OS})。《IPCC 指南》介绍了如何计算这些量的方法。在某些情况下，为了纠正误差，确保这种排放源和其它农业排放源的一致性，并且结合自从《IPCC 指南》编写以来可利用的新信息，*优良作法*对这些方法进行了细化。另外，对某些氮投入，给出了更详细的公式来描述怎样去实现进一步细分的方法。利用各种综合或分解的公式来计算各种氮投入，与下面介绍的推导公式 4.20 和 4.21 中的各项变量的*优良作法*是一致的。

根据挥发调整后的化肥氮施用量 (F_{SN}): F_{SN} 是指根据挥发量调整后的年氮肥施用量，它的估算取决于年消耗的化肥总量 (N_{FERT})，以及根据 NH_3 和 NO_x 的挥发量 ($Frac_{GASF}$) 作调整。因此公式如下：

<p>公式 4.22</p> <p>化肥施用中的氮排放</p> $F_{SN} = N_{FERT} \cdot (1 - Frac_{GASF})$

根据挥发调整后的动物粪肥氮施用量 (F_{AM}): F_{AM} 是指根据挥发量调整后人为施用到土壤的动物粪肥氮量。它的估算取决于年动物粪肥产生的氮总量 ($\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$)¹¹，并根据作为燃料燃烧的动物粪肥 ($Frac_{FUEL-AM}$)¹²、放牧牲畜粪肥排放到土壤的量 ($Frac_{PRP}$) 以及 NH_3 和 NO_x 的挥发量 ($Frac_{GASF}$) 作调整。对这些变量计算，用下面的公式代替《IPCC 指南》提供的公式：

<p>公式 4.23</p> <p>动物粪肥施用的氮排放</p> $F_{AM} = \sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot (1 - Frac_{GASM}) [1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{PRP})]$

然而对所有国家来说，公式 4.23 并不完整，因为动物粪肥不仅仅只用于燃料。一些国家将部分动物粪肥用于动物饲料和建筑材料，因而一个完整的评估还应该分别确定用于这些途径的动物粪肥（如果有的话）的比例 ($Frac_{FEED-AM}$ 和 $Frac_{CNST-AM}$)。方法 1b 公式考虑了动物粪肥的这些用途并且避免了过高估算排放量，它假定不用于其它目的动物粪肥将全部施于土壤。因此*优良作法*推荐的方法 1b 公式如下：

<p>公式 4.24</p> <p>动物粪肥施用的氮排放（经扩展）</p> $F_{AM} = \sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot (1 - Frac_{GASM}) \cdot [1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{PRP} + Frac_{FEED-AM} + Frac_{CNST-AM})]$
--

要说明的是：如果 $Frac_{PRP}$ 中包括用作燃料、饲料或建筑材料的动物粪肥各部分，则公式 4.24 就不应再包括这些部分。

¹¹ 在《IPCC 指南》这部分，变量 Nex 代表总的动物粪便产生量。为了与*优良作法*第 4.4 节一致，此变量名被改为 $\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$ 。

¹² 公式 4.23 和 4.24 中在《IPCC 指南》里用到的术语 $Frac_{FUEL}$ ，为了与 4.29 公式中用作燃料的作物 $Frac_{FUEL-CR}$ 区别，已改为 $Frac_{FUEL-AM}$ 。

作物的固氮量(F_{BN}): 在《IPCC 指南》中估算每年种植固氮作物的固定氮量 (F_{BN}) 的方法是基于假定在地面植物体 (包括作物产品加残留物) 内含有的氮量合理地代表了被作物固定的总氮量。《IPCC 指南》还假定作物残留物与产量的质量比是 1 (也就是说, 地面植物生物量是作物产量的两倍)。因此估算作物固氮量的方法是用大豆和蚕豆作物 (F_{BN}) 的种子产量乘以缺省值 2 再乘以作物生物量含氮比例($Frac_{NCRBF}$)。在《IPCC 指南》中给出的方法 1a 公式如下:

公式 4.25

固氮作物的固氮量 (方法 1a)

$$F_{BN} = 2 \cdot Crop_{BF} \cdot Frac_{NCRBF}$$

为了更加精确地估算地面作物残留物和产品中的氮,《IPCC 指南》推荐的方法可以通过几种途径修改。例如: 公式 4.25 用一个缺省值 2 将 $Crop_{BF}$ 转化成地面作物残留物和产品之和, 这个因子对某些蚕豆或大豆作物来说太低了, 从而过低估计了地面作物残留物和总产量 (见表 4.16, 所选作物残留物统计数据)。地面生物量与作物产量的比值随不同的作物类型有较大变化, 如果能够使用特定作物值, 估算就更加精确。干物质含量也需要引入公式中以便通过含水量进行调整。另外, $Crop_{BF}$ 应该定义为代表所有固氮作物的产量, 而不仅仅是蚕豆和大豆的种子产量。还有, 固氮饲料作物如苜蓿应包括在计算中, 其计算方法见公式 4.26:

公式 4.26

固氮作物的固氮量 (方法 1b)

$$F_{BN} = \sum_i [Crop_{BF_i} \cdot (1 + Res_{BF_i}/Crop_{BF_i}) \cdot Frac_{DM_i} \cdot Frac_{NCRBF_i}]$$

公式 4.26 引入了两个新名词, 一个是 $Res_{BF_i}/Crop_{BF_i}$, 为 i 种作物的残留物与产量的比率 (见表 4.16)。另一个是 $Frac_{DM_i}$, 为 i 种作物地面生物量干物质含量。 $[(1 + Res_{BF_i}/Crop_{BF_i}) \cdot Frac_{DM_i}]$ 代替了《IPCC 指南》中的缺省数值 '2'。要说明的是, 这里假定作物残留物和产量的干物质含量是相同的, 因此在公式中只有一个干物质变量。各国可能有具体的作物产量和残留物的干物质含量数据, 当需要进一步工作提高准确性, 就可使用这些数据。另外,《IPCC 指南》中定义的 $Crop_{BF}$ 变量是一个国家蚕豆和大豆的种子产量。然而这没有考虑像苜蓿这样的作物, 它们是被当成产品收获的。因此, 如上所述, $Crop_{BF}$ 应定义为 '固氮作物产量'。对于固氮饲料作物如苜蓿, $Res_{BF_i}/Crop_{BF_i}$ 将为 0, 公式 4.26 变为:

公式 4.27

固氮饲料作物的固氮量

$$F_{BN} = \sum_i (Crop_{BF_i} \cdot Frac_{DM_i} \cdot Frac_{NCRBF_i})$$

要说明的是, 清单机构如果利用公式 4.26 估算固氮作物的固氮量, 并且如果这些作物的残留物在田间燃烧, 那么 $Crop_{BF}$ 、 $Res_{BF_i}/Crop_{BF}$ 和 $Frac_{DM_i}$ 必须采用与估算农业残留物燃烧排放量时采用的相同的值。 $Frac_{NCRBF_i}$ 的值也必须与估算作物残留物田间燃烧排放的 N/C 比率一致。表 4.16 中列出了一些作物在优良作法里的 $Res_{BF_i}/Crop_{BF_i}$ 、 $Frac_{DM_i}$ 和 $Frac_{NCRBF_i}$ 缺省值, 清单机构如果不能获得本国特定的数据, 可以使用此表中提供的数据。如果需要表 4.16 中没有列出的某种作物的缺省残留物氮含量数据, 可以使用《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 中列出的不是针对某一作物的缺省数据 (0.03 kg N/kg 干物质)。

表 4.16
所选作物残留物统计数据

作物	残留物/作物产量比率	干物质含量	碳含量	氮含量
小麦	1.3	0.82-0.88	0.4853	0.0028
大麦	1.2	0.82-0.88	0.4567	0.0043
玉米	1.0	0.70-0.86	0.4709	0.0081
燕麦	1.3	0.92		0.0070
黑麦	1.6	0.90		0.0048
水稻	1.4	0.82-0.88	0.4144	0.0067
粟米	1.4	0.85-0.92		0.0070
高粱	1.4	0.91		0.0108
豌豆	1.5	0.87		0.0142
菜豆	2.1	0.82-0.89		
大豆	2.1	0.84-0.89		0.0230
土豆	0.4		0.4226	0.0110
饲料甜菜	0.3		0.4072 ^a	0.0228 ^a
甘蔗秆		0.32	0.4235	0.0040
甘蔗叶		0.83	0.4235	0.0040
菊芋	0.8			
花生	1.0	0.86		0.0106

^a 这些数据针对甜菜叶。

数据来源：甘蔗数据(Turn *et al.*, 1997)，燕麦、黑麦、高粱、豌豆和花生的干物质和氮的含量(Cornell, 1994)，粟米和大豆的氮含量数据(Barnard 和 Kristoferson, 1985)，其它数据来源于 Strehler 和 Stützel (1987)。

返还到土壤的作物残留物中的氮量(F_{CR})：在《IPCC 指南》中，每年通过作物残留物还原到土壤的氮量(F_{CR})，是通过作物（包括固氮作物和非固氮作物）残留物的氮总量，以及对在收获期间或收获之后作物残留物田间焚烧部分进行调整后来估算的。作物残留物的年氮量等于固氮作物 ($Crop_{BF}$)和其它作物($Crop_O$)的年产量乘以各自的氮含量($Frac_{NCRBF}$ 和 $Frac_{NCRO}$)，然后将这两种氮量相加，乘以缺省值 2（得出地面作物生物量总量），再根据作为产品从田间去除的部分($Frac_R$)¹³和燃烧的部分($Frac_{BURN}$)进行调整。《IPCC 指南》中的方法 1a 公式为：

公式 4.28

返还到土壤的作物残留物中的氮量(方法 1a)

$$F_{CR} = 2 \cdot (Crop_O \cdot Frac_{NCRO} + Crop_{BF} \cdot Frac_{NCRBF}) \cdot (1 - Frac_R) \cdot (1 - Frac_{BURN})$$

可以用几种办法对 1a 方法进行修正，以便更精确地估算返还到土壤的作物残留物氮量：

¹³ 《IPCC 指南》将 $Frac_R$ 定义为‘从田间带走的作物残留物比例’，然而，目前正在采用的变量，被‘从田间去除的地面作物生物总量比例’所代替。

- 首先，公式 4.28 利用缺省值 2 将 $Crop_O$ 和 $Crop_{BF}$ 转化为地面作物残留物和产品总量，像前面 F_{BN} 提到的那样，对一些蚕豆和大豆作物来说，这个缺省参数太低，可能过低估计了地面作物残留物和产品总量。另外，缺省值 2 与《IPCC 指南》中的 $Frac_R$ 缺省值不一致¹⁴。
- 第二， $Crop_{BF}$ 应定义为所有固氮作物产量，而不仅仅是蚕豆和大豆的产量。
- 第三，在公式中需要包括干物质含量以便依据水分含量来调整。
- 第四，根据作物残留物的其它用途，特别是作为燃料、建筑材料和饲料，需对公式进行修改，公式 4.29 显示了这些修改：

公式 4.29

返还到土壤的作物残留物中的氮量(方法 1b)

$$F_{CR} = \sum_i [(Crop_{O_i} \cdot Res_{O_i}/Crop_{O_i} \cdot Frac_{DM_i} \cdot Frac_{NCRO_i}) \cdot (1 - Frac_{BURN_i} - Frac_{FUEL-CR_i} - Frac_{CNST-CR_i} - Frac_{FOD_i})] + \sum_j [(Crop_{BF_j} \cdot Res_{BF_j}/Crop_{BF_j} \cdot Frac_{DM_j} \cdot Frac_{NCRBF_j}) \cdot (1 - Frac_{BURN_j} - Frac_{FUEL-CR_j} - Frac_{CNST-CR_j} - Frac_{FOD_j})]$$

公式 4.29 允许使用可得到的特定作物参数用于以下变量（如每个其它作物类型 i 和每个固氮作物类型 j ）：(1) 作物残留物与作物产量的比值($Res_{O_i}/Crop_{O_i}$ 和 $Res_{BF_j}/Crop_{BF_j}$)；(2) 地面生物量的干物质含量($Frac_{DM_i}$ 和 $Frac_{DM_j}$)；(3) 地面生物量的氮含量($Frac_{NCRO_i}$ 和 $Frac_{NCRBF_j}$)；(4) 收获前后田间残留物燃烧比例($Frac_{BURN_i}$ 和 $Frac_{BURN_j}$)；(5) 残留物用作燃料的比例($Frac_{FUEL-CR_i}$ 和 $Frac_{FUEL-CR_j}$)；(6) 残留物用作建筑材料的比例($Frac_{CNST-CR_i}$ 和 $Frac_{CNST-CR_j}$)；以及(7) 残留物用作饲料的比例($Frac_{FOD_i}$ 和 $Frac_{FOD_j}$)。在表 4.16 中列出了一些作物类型的 $Res_{O_i}/Crop_{O_i}$ 、 $Frac_{DM}$ 和 $Frac_{NCRO_i}$ 的优良作法缺省参数。如果无法获得国家具体数据，清单机构可以使用这些参数。如果需要表 4.16 没有列出的作物类型的残留物氮含量缺省值，可以使用《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 中列出的不是针对某一具体固氮作物和非固氮作物的缺省值（分别为 0.03 kg N/kg 干物质和 0.015 kg N/kg 干物质）。

有作物收获的有机土壤面积 (F_{OS})：《IPCC 指南》定义 F_{OS} 为每年耕种的有机土壤的面积（以公顷计），这个定义适合于方法 1a 公式和方法 1b 公式。

4.7.1.2 排放因子选择

在估算农业土壤中的直接 N_2O 排放时需要考虑两类排放因子。第一类排放因子(EF_1)是各种投入到土壤中的氮引起的 N_2O 排放；第二类排放因子(EF_2)是有机土壤耕作引起的 N_2O 排放。

尽可能使用本国特定的排放因子，以便反映一个国家的特定条件和农业实践实际情况。这样的排放因子应基于长期大量的测量结果，能够反映生物地球化学过程的潜在变化，应采用优选的测量方法，并在权威的出版物上发表。框 4.1 描述了关于推导本国特定排放因子的优良作法。

如果没有本国特定排放因子，那么具有相似管理和气候条件的他国排放因子不失为好的选择。如果这不是关键源类别（见第 7 章，方法学选择和重新计算）或者没有推导国家或地区特定排放因子所必需的资料，可以利用缺省的排放因子。考虑到有的清单机构在本国特定排放因子不能覆盖全部的环境和管理条件下会混合使用缺省值和本国特定排放因子，如果使用本国特定或其它排放因子代替缺省值，这些排放因子的推导必须清楚地记录说明。

表 4.17 “估算农业土壤中的直接 N_2O 排放更新缺省排放因子”汇总了优良作法中的缺省排放因子。《IPCC 指南》中 EF_1 的缺省值是土壤施氮量的 1.25%。在许多情况下，这个因子将是合理的。然而，如果化肥施于已经施了

¹⁴ 《IPCC 指南》展示 $Frac_R$ 缺省值为 0.45，这与地面作物残留物 and 产品的缺省值不一致。如果 $Frac_R=0.45$ ，则 55% 的残留物加上作物产量等于残留物量。然而如果作物残留物加作物产品等于 2 倍作物产品的量，则 50% 残留物加上作物产品等于残留物量。

有机肥的土壤中，最近的研究数据显示将可能发生更高的 N_2O 损失 (Clayton 等, 1997)，此时建议不改变缺省值，因为这需要进一步证实。当需要修改时，*优良作法*要求使用《IPCC 指南》提供的更详细形式的基本方程，以保证对不同形式的氮输入使用合适的排放因子。

基于最近的测量结果，应更新《IPCC 指南》中 EF_2 的缺省值。这些测量结果显示中纬度有机土壤的排放因子比先前估计高 (Klemedtsson 等, 1999)。测量结果表明 EF_2 的值等于 8 比等于 5 更适合中纬度地区，这与《IPCC 指南》的方法一致，该方法中假定热带气候的矿化速率大约是温带气候的 2 倍，因而热带气候的排放因子 EF_2 的值应为 16。

表 4.17
估算农业土壤中的直接 N_2O 排放量的更新缺省排放因子

排放因子	IPCC 缺省值 EF_1 (kg N_2O -N/kg N) EF_2 (kg N_2O -N/ha-yr)	更新了的缺省值 EF_1 (kg N_2O -N/kg N) EF_2 (kg N_2O -N/ha-yr)
F_{SN} 的 EF_1	1.25%	无变化
F_{SN} 的 EF_1 ，当施肥区已施了有机肥/粪肥 (施入的或放牧排泄的)	1.25%	无变化
F_{AM} 的 EF_1	1.25%	无变化
F_{BN} 的 EF_1	1.25%	无变化
F_{CR} 的 EF_1	1.25%	无变化
中纬度有机土壤的 EF_2	5	8
热带气候有机土壤的 EF_2	10	16

来源：《IPCC 指南》，Klemedtsson 等(1999)，Clayton 等(1997)。

4.7.1.3 活动水平数据选择

估算土壤中直接排放的 N_2O 时需要用到几种类型的活动水平数据。下面将描述人为氮肥的投入，如通过人为施用化肥(F_{SN})、动物粪肥(F_{AM})投入到土壤中的氮，以及作物固定的生物氮(F_{BN})和作物残留物矿化返还到土壤中的氮(F_{SN})与有机土壤耕作矿化产生的氮(F_{OS})、活动水平数据的类型和来源、以及与更详细的针对本国或特定作物的方法(现在或未来)有关的重要考虑。即使清单机构目前不准备基于本国或特定作物的排放因子进行估算，尽可能地收集详细的活动水平数据也是一种*优良作法*，当有基于本国或特定作物排放因子的数据时，就可以对以前编制的清单进行更精确的修订。

F_{SN} ：为计算 F_{SN} 需要 N_{FERT} 和 $Frac_{GASF}$ 的投入值。

- 化肥消费量(N_{FERT})可从官方(例如国家统计局)年度统计报告中得到。大多数清单机构能很容易得到这些数据。如果没有本国特定的数据，则可以从国际肥料工业协会(IFA, 巴黎; www.fertiliser.org/stats.htm)获得不同肥料种类和作物种类的肥料总用量数据，或者从联合国粮农组织(FAO; www.apps.fao.org)得到关于化肥消费的数据。将国际数据库如 IFA 和 FAO 的数据与国家统计数据相比较非常有用。如果能获得足够全面的数据，可将 N_{FERT} 数据按肥料类型、作物类型和主要作物的气候区域进行细分。
- 对于施用的化肥以 NH_3 和 NO_x 形式损失的部分氮($Frac_{GASF}$)，《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 给出了一个 10% 的固定损失率。然而，这个损失率是很容易改变的，它取决于施用肥料的种类、施肥的方式以及气候。赞成使用合适的文献记载的本国特定损失率。

F_{AM} ：以上已总结了*优良作法*中使用方法 1a 或方法 1b 公式计算 F_{AM} 的方法。不管 F_{AM} 如何估算，建议如有可能，将施用的动物粪肥量和覆盖的地区按作物类型和气候区域进行细分。这些数据在未来清单编制方法改进后可以修正已估算的排放量。

- 一个国家动物排泄的总氮量 ($\Sigma_T(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)})$) 等于国内以种/类划分的动物数量($N_{(T)}$) 乘上每种/类动物的氮排泄率($Nex_{(T)}$)。在优良作法中, 牲畜数量数据可按照 4.1 节 ‘牲畜种群特征’ 描述的方法来获得, 而且必须与其它排放源类别的牲畜特征数据一致。每种/类动物的氮排泄率也必须与排泄源类别一致。在 4.4 节 ‘粪便管理中的 N_2O 排放量’ 中叙述了得到本国特定氮排泄率的优良作法。如果没有本国特定的 $\Sigma_T(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)})$ 数值, 可使用《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-20 中的缺省值。
- 在《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 中报告动物粪肥 ($Frac_{GASM}$) 以 NH_3 和 NO_x 形式挥发排放的氮的固定损失率为 20%。这种损失值变化很大, 它取决于动物粪肥的类型、贮藏方法、施用方式以及气候, 如果有合适的文献记载, 鼓励使用本国特定的 $Frac_{GASM}$ 因子。
- 除了用作肥料以外的那部分动物粪肥量 (用 $Frac_{FUEL-AM}$ 、 $Frac_{PRP}$ 表示, 如果用方法 1b 公式则用 $Frac_{CNST-AM}$ $Frac_{FEED-AM}$ 表示) 可从官方统计数据中或通过专家调查得到。计算中用到的 $Frac_{PRP}$ 值必须与动物粪便管理一节中计算放牧动物的 N_2O 排放时使用的值保持一致。

框 4.1

推导本国特定排放因子的优良作法

总的来说, *优良作法*要求对各个子排放源类别(例如化肥(F_{SN})、动物粪肥(F_{AM})、生物固氮(F_{BN})、作物残留物矿化(F_{CR})以及有机土壤的耕作(F_{OS}))的排放进行测量。对于代表一个国家环境和管理条件的排放因子,应在每个季节对国内主要作物种植区进行测量,如果要使测量结果更符合实际情况,还要在不同的地理和土壤区域以及不同的管理体制下进行测量。选择合适的区域和管理体制能减少得到可靠通量估算的观测点数量。地图或遥感数据能利用系统或场景的变化提供一个好的描述平台。如果有效的测量手段不能覆盖实际的环境和土壤管理条件以及年内气候变化的范围,可能发生累积错误。经过验证、校准和详细文献记载了的模拟模型可作为一种有用的工具,能利用测量数据得到区域平均排放因子(Smith等,1999)。

关于测量的时期和频率,排放量测量应该整年进行(包括休闲期),最好是连续几年进行测量,以便反映天气条件和年内气候变化的差异。能使排放量增加而高于基准值的主要扰动(例如雨中和雨后、犁地或施肥)应至少每日测量一次。当排放量与背景值极为接近时,减少测量的频率(每日一次或更少)也是可接受的。在IAEA(1992)中能得到关于测量技术的详细描述。

为保证排放因子的精确性,在代表站点监测那些可能影响 N_2O 排放年内变化的因素是一种*优良作法*。这些因素包括施肥、上季作物、土壤质地和排水条件、土壤温度和土壤水分。Firestone和Davidson(1989)给出了包括影响 N_2O 形成、消耗的规律以及土壤与空气之间交换的因子的完整列表。对于有机土壤耕作排放的 N_2O ,可以设定测量频率比矿质土壤测量低,测量的频率应该与土壤扰动频率相一致。排放量可能随不同地理区域而变化,特别是在不同的种植系统中变化更大。

工业来源的氮沉降可能导致排放因子没有代表性,但这可能并非一个严重的问题。总的来说,排放因子等于施肥小区的排放量减去对照小区(未施肥)的排放量。因为氮沉降对两小区都会有影响,可以认为如此推导出的排放因子不包括氮沉降,因此当前缺省排放因子基本上是正确的。

值得注意的是,为化肥和动物粪肥施用推导出的排放因子应包括挥发损失校正。换句话说,两种子排放源的排放因子应该表示为如下的值:排放的 $kg N_2O-N/$ (投入的 N -挥发的 N)¹⁵。

¹⁵ 用文字描述为:排放的 $N_2O(kg N)$,除以投入的 N 与挥发的 N 之差($kg N$)。

F_{BN}和 F_{CR}: 用方法 1a 公式计算 F_{BN} 和 F_{CR} 用到的因子包括 Crop_{BF}、Crop_O、Frac_{NCRBF}、Frac_{NCRO}、Frac_R 和 Frac_{BURN}:

- Crop_{BF} 和 Crop_O、Frac_{NCRBF}、Frac_{NCRO}、Frac_R 和 Frac_{BURN}: 固氮作物产量(Crop_{BF})及非固氮作物产量(Crop_O)数据通常可从官方统计中获得, 如果不能得到这些数据, 可参照 FAO 公布的作物产量数据(见网站: www.apps.fao.org)。如前所述, Crop_{BF} 应按《IPCC 指南》中的定义进行修订。它应该被定义为代表所有固氮作物而并非只代表大豆和蚕豆等作物的种子产量。对于固氮作物的固氮量(Frac_{NCRBF})、非固氮作物的固氮量(Frac_{NCRO})以及田间残留物的燃烧量(Frac_{BURN}), 《优良作法报告》表 4.16 提供了一些特定作物的缺省值, 《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 提供了非特定作物的缺省值。《IPCC 指南》中的 Frac_R 应该修改为作为产品从田间带走的地面生物质总量。另外, 前面已讨论过, 《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-19 提供的 Frac_R 缺省值与公式 4.28 的缺省值“2”一致。如果公式 4.28 被使用, Frac_R 值应该用 0.5, 对于残留物燃烧比例, 应使用与计算农业残留物燃烧时相同的值。
- 用方法 1b 公式计算 F_{BN} 和 F_{CR} 时要求一些附加输入。它们是 Res_{BF}/Crop_{BF}、Res_O/Crop_O、Frac_{DM}、Frac_{FUEL}、Frac_{CNST}、Frac_{FOD}。通常可从官方统计得到决定作物产量所需的固氮作物 Res_{BF}/Crop_{BF} 和非固氮作物 Res_O/Crop_O 的数据。因作物间有差异, 如有可能应尽量使用特定作物值。如果国内没有这些数据, 可以使用《优良作法报告》表 4.16 提供的 Res_{BF}/Crop_{BF} 和 Res_O/Crop_O 的缺省值。如有可能, 从国家统计局部门获得固氮作物和非固氮作物的地面生物量的干物质含量数据(Frac_{DM}), 还应区分特定的作物类型。另外, 可利用表 4.16 提供的干物质残留物的缺省值。对作物残留物作为燃料(Frac_{FUEL})、建筑材料(Frac_{CNST})和饲料(Frac_{FOD})的部分应使用本国特定值。Frac_{FUEL} 所用的值必须与在能源燃烧排放量的计算时所用的值一致。
- 还应指出的是, 《IPCC 指南》的作物残留物还田计算方法中并没有考虑到收获作物的根残留在土中的生物量的影响。从理论上讲, 要计算整个植物的氮, 无论地面还是根部的生物量都应考虑, 但是根部的生物量很难估计。对于固氮作物, 《IPCC 指南》方法没有考虑根部生物量, 因为假定地面作物的含氮量(作物产品和茎秆)代表了与根系中氮的固定及向地面运移相联系的 N₂O 排放量。

F_{OS}: 每年耕作的有机土壤面积 (F_{OS}, 公顷) 应能从官方统计中得到, 如果没有这些数据, 可使用 FAO 的数据。

4.7.1.4 完整性

完整性要求对该排放源所有的人为氮投入及活动(F_{SN}、F_{AM}、F_{BN}、F_{CR} 和 F_{OS}、F_{SEWSLUDGE})的排放量进行估算。虽然各国要获得所有子排放源类别准确的统计数据会很困难, 特别是作物残留物还原到土壤中的量(按作物类型)以及耕种的有机土壤面积, 但经验表明, 所有的子排放源类别似乎都不可能在排放清单中被忽略。

当前, IPCC 方法没有详细提出估算一些可能增加 N₂O 排放量的活动的方法, 包括:

- 除动物粪肥、作物残留物和污水污泥有机氮肥以外的其它商业或非商业有机肥的消耗;
- 苜蓿等固氮饲料作物的生产;
- 固氮饲料和固氮与非固氮牧草的生产;
- 种植作为绿肥的覆盖作物(填闲作物)来减少收获后氮的流失;
- 牧场的翻耕;
- 园艺土壤上塑料薄膜的使用;
- 工业源的氮沉降在农田(见框 1: 推导本国特定排放因子的优良作法)。

如果情况需要, 并且这些活动的国家活动水平数据已经收集, 那么可以考虑估算这些这些额外活动的排放量。

如果能够获得资料，这些活动中的一些可以很容易地包括在国家排放清单中。对于额外的商业和非商业的有机肥，可使用缺省的氮肥施用排放因子和缺省的动物粪肥氮挥发损失系数。对于固氮饲料作物，建议使用*优良作法*中生物氮固定的方法，并用收获的作物干物质量来表示地面生物总量。对覆盖（补种）作物，建议使用*优良作法*中作物残留物的方法。需要进一步研究以确定牧草和豆科牧草、草地翻耕及园艺塑料薄膜使用的排放因子的通量数据。

4.7.1.5 建立一致的时间系列

理论上讲，在整个时间序列应使用同样的方法。然而对这种排放源详细地和分别地估算排放量可能将随时间而改善。在一些历史数据丢失的情况下，可能需要使用其它的参考资料或数据集推导出所需数据。例如，每年种植的有机土壤的面积要基于长期变化趋势（如 20 或 30 年时间段内的十年统计数据）进行插值得出。估算每年作物残留物还田的数据也要依靠专家的判断。总的来讲，《优良作法指南》要保证时间序列的一致性（详见第 7 章‘方法学选择与重新计算’的第 7.3.2.2 节）。

对那些在减排中产生了良好效果的方法和结果进行详细的记载非常重要。如果活动水平数据受到政策措施贯彻执行的直接影响（如肥料利用效率的提高导致肥料消费量下降），在活动水平数据已经详细记载的情况下，政策措施对排放估算的影响就将非常明显。在政策措施对排放因子或活动水平数据有间接影响的情况下（如大规模动物饲养生产效率提高的变化导致每头动物排泄量的改变），清单输入数据应反映这些影响，清单说明文本应详细解释政策对输入数据的影响。

4.7.1.6 不确定性评估

农业土壤中直接 N_2O 排放估算的不确定性是由与排放因子和活动水平数据、测量覆盖范围不完全、缺乏空间的聚集以及缺少具体农业实践信息等有关的不确定性因素引起的。当使用的排放措施并不代表整个国家的情况时，清单的不确定性提高。采用*优良作法*中测量特定子排放源土壤中的直接 N_2O 排放（Smith 等，1999），不确定性约为 25%。一般而言，活动水平数据的可靠性比排放因子的可靠性高。举例来说，如果对处理与使用化肥和动物粪肥有关的法律和法规实施以及贯彻农业管理规定等信息的缺乏了解，也可能导致不确定性的进一步提高。总的来说，要获得有关法律的实际遵守情况和可能达到的减排量以及农业实践的信息目前还比较困难。

最近数据（Smith 等，1999；Mosier 和 Kroeze，1999）显示测量出的由于施氮引起的 N_2O 排放因子出现了偏斜分布，更接近对数正态分布，而不是正态分布，它的变化范围从 0.1%到 10%。对于 95%置信区间的最佳估计范围从缺省排放因子的 1.25%的 1/5 到 5 倍，也就是 0.25%到 6%。

对于有机土，在中纬度地区，土壤的不确定性范围是每公顷每年排放 1 到 80 千克 N_2O-N ，而在热带地区，排放量则是每公顷每年 5 到超过 100 千克 N_2O-N 。

此排放源类别的不确定性由许多不同的因素引起，这就要靠专家依据各种误差组成的知识来估计。第 6 章“不确定性的量化”对不确定性的量化提出了建议，包括蒙特卡罗分析方法的应用。

4.7.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。农业土壤中的 N_2O 排放（土壤的直接排放、放牧动物的直接排放和间接排放）在 IPCC ‘农业’排放源中报告，这三个排放源在清单报告中应单独报告。另外，为提高报告的透明度，这类排放源的排放量估算报告应包含下列内容：

- 化肥的消费量；
- 施入到土壤中的动物粪肥量（不包含作为商业肥料的部分）；

- 豆科（固氮）作物产量；
- 作物残留物还田量；
- 有机土壤的耕作。

如果包括商业有机肥料等其它组分，那么这些组分的排放量也应该单独报告。为了完善报告格式，下列补充信息对记录估算是必要的：

- **活动水平数据：**计算中用到的所有活动水平数据的来源（例如从已收集的统计数据库中完整引用）、不能直接从数据库中获取活动水平数据以及用于推导出活动水平数据的信息和假设。该文档还应包括数据收集和估算的频率以及估算的精确性和准确性。
- **排放因子：**使用的排放因子的来源（特定的 IPCC 缺省值或其它）。在排放清单中使用国家或地区特定的排放因子或使用新方法（不同于 IPCC 缺省的方法）时，这些排放因子和方法的科学根据应详细地说明和记录。这包括输入参数的定义、这些排放因子和方法的推导过程以及它们的来源和不确定性程度。
- **排放量结果：**要解释明显的年际排放量波动；找出年际间活动水平变化和排放因子变化的特性，并记录产生这些变化的原因。如果不同年份使用不同的排放因子，应解释其原因并记录备案。

4.7.3 清单质量保证和质量控制

根据第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家审评意见进行质量控制检查是*优良作法*，也可以采用第 8 章“质量保证和质量控制”的方法 2 和质量保证程序进行附加质量控制检查，尤其是运用较高层方法估算这种排放源的排放量更是如此。

第 8 章“质量保证和质量控制”所列举的有关数据处理、管理和报告的综合质量保证和质量控制，可通过下面讨论的具体源类别程序加以补充。数据收集人员要负责审评数据收集方法、检查数据以保证对这些数据进行正确的合并和分类，和与以前的数据进行交叉检验以保证这些数据的合理性。不管是统计调查还是‘在办公室内的估算’，作为质量控制的一部分工作，必须进行审评并说明。建立文档是审评的重要组成部分，有助于审评专家确定错误并提出改进的建议。

排放因子审核

- 清单机构应审核缺省排放因子和论证采用具体数值的理由。
- 如果使用本国特定排放因子，清单机构应将特定排放因子与 IPCC 缺省排放因子相比较，并且如果可能，与其它环境条件有可比性的国家的特定排放因子进行比较。对于本国特定排放因子与 IPCC 缺省值或其它本国特定排放因子之间的差别应予以解释并记录备案。

直接测量的审评

- 如果使用的排放因子基于直接测量的结果，清单机构应对测量进行审评，以保证它们代表实际的环境条件和土壤管理状况以及年内气候变化，并保证测量是按公认的标准（IAEA，1992）进行的。
- 质量保证和质量控制协议在各个站点的实施情况要予以审评，并将各站点的估计结果与基于缺省排放因子的估计结果进行比较。

活动水平数据审核

- 清单机构应将本国化肥使用量与 IFA 的肥料使用数据和 FAO 的化肥使用量数据进行比较。

- 清单机构应保证动物粪肥氮排泄数据与粪便管理系统排放源中使用的数据一致。
- 应将国家作物产量统计数据与 FAO 的作物统计数据进行比较。
- 清单机构应保证在 4.1 节中所述的牲畜种群特征的质量保证和质量控制能得到执行，并且对所有排放源都要使用一致的牲畜种群特征。
- 本国各种参数的特定值应与 IPCC 缺省值进行比较。

外部审评

- 当首次采用或修改这方法时，清单机构应聘请专家进行（预先）审评。鉴于在计算这些排放源时的本国特定因子时使用的参数具有复杂性和特殊性，在审评中应包括此领域的专家。

4.8 农业氮肥施用中的 N₂O 间接排放

土壤和水生系统通过微生物的硝化和反硝化过程自动产生氧化亚氮(N₂O)。许多农业和其它人为活动向土壤和水生系统输入氮，增加了可用于硝化和反硝化的氮量，从而最终增加 N₂O 的排放量。由于人为活动造成的 N₂O 排放有三种途径：直接排放（如直接从施氮土壤中排放）；间接排放，包括输入到水生系统中的氮通过渗漏、径流的排放；输入的氮以氨气(NH₃)和氮氧化物(NO_x)的形式挥发，继而又以铵(NH₄)和氮氧化物(NO_x)的形式沉降在土壤和水体后的 N₂O 排放。

4.8.1 方法学问题

《IPCC 指南》提供了估算直接和间接氧化亚氮排放的方法。本节提供如何估算氧化亚氮间接排放的优良作法，而 4.7 节讨论的是氧化亚氮直接排放。《IPCC 指南》的《参考手册》第 4.5.4 节讨论了水生系统和农业土壤中的氧化亚氮间接排放。估算排泄到河流或河口的生活污水的氧化亚氮间接排放的方法也包括在本节中，但这部分排放放在废弃物部分中报告。

4.8.1.1 方法选择

《IPCC 指南》中估算农业施氮引起的氧化亚氮间接排放的方法有 5 种途径：

- 由于施肥、燃烧和工业过程中的氮挥发，NO_x 和 NH₄¹⁶ 通过大气沉降渗入土壤；
- 土壤施肥或沉降到土壤的氮的渗漏和径流；
- 污水中氮的处理；
- 人为活动产生的 NH₃ 排放在大​​气中形成 N₂O；
- 食品加工和其它活动产生的污水的处理。

对于这 5 个排放源，《IPCC 指南》描述了如何估算以下几部分的排放量：(1) 与施入到土壤中的化肥和动物粪肥氮素有关的 NO_x 和 NH₄ 的大气沉降；(2) 与施入到土壤中的化肥和动物粪肥氮素有关的渗漏和径流；(3) 排泄到河流和河口中的污水氮。然而，目前没有提供估算大气中氨气(NH₃)转变为氧化亚氮的方法。《IPCC 指南》提供的估算氧化亚氮间接排放(N₂O_{indirect}) (kg N/年)的基本公式为：

公式 4.30

N₂O 间接排放

$$N_2O_{\text{indirect-N}} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} + N_2O_{(S)}$$

其中：

N₂O_{indirect-N} = 氧化亚氮排放，单位为氮

N₂O_(G) = 由施入的化肥和动物粪肥的氮的挥发而引起的 N₂O 排放，以及随后的 NO_x 和 NH₄ (kg N/yr) 沉降

¹⁶ 《IPCC 指南》提到的 NO_x 和 NH₃ 的大气沉降，但实际过程是施入的氮以 NO_x 和 NH₃ 形式的挥发（或直接以含氮的气体排放）、气体在大气中（或沉降时）的转化、随后沉降为 NO_x 和硝酸（HNO₃），特别是成为铵（NH₄）的微粒。NO_x 在大气中或沉降时发生水解形成 HNO₃，而 NH₃ 一般与大气中的硝酸或硫酸结合形成硝酸铵和硫酸铵气溶胶，并随后转变为铵的微粒。

$N_2O_{(L)}$ = 由施入的化肥和动物粪肥的氮的渗漏和径流而引起的 N_2O 排放(kg N/yr)

$N_2O_{(S)}$ = 由于向河流或河口排泄生活污水而造成的 N_2O 排放(kg N/yr)¹⁷

为便于报告, 将 N_2O-N 排放量转换为 N_2O 排放量的计算公式为:

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

要使用这种估算方法, 必须确定每种间接排放源的氧化亚氮排放量, 为了阐明这种方法和保证排放源类别间的一致性和完整性, 《优良作法指南》提供了如何使用《IPCC 指南》。图 4.8 ‘农业氮肥使用引起的间接 N_2O 排放决策树’ 说明了选择优良作法的方法。

《优良作法报告》中的 4.7 节和 4.8 节使用了术语方法 1a 和方法 1b, 以区分《IPCC 指南》中的公式(方法 1a)和本报告中的新公式(方法 1b)。由于公式中增加了新的变量, 提高了方法 1b 公式的精确度。然而, 当采用方法 1b 公式时, 可能无法获得公式中需要的活动水平数据, 在这些情况下, 采用方法 1a 公式比较合适。根据活动水平数据的可获得性, 采用方法 1a 和方法 1b 的混合方法估算不同子排放源类别的排放也是可以接受的。在一些情况下, 没有方法 1b 选择, 是由于认为《IPCC 指南》中的公式没有改进的必要。

NO_x 和 NH_4 的大气沉降($N_2O_{(G)}$): 含氮化合物如 NO_x 和 NH_4 的大气沉降向土壤和表层水体中输入氮素, 这将促进 N_2O 的形成。根据《IPCC 指南》, 农业投入的氮经挥发并随后沉降到附近土壤中的氮量等于施入到土壤中的化学氮肥总量(N_{FERT})加上动物粪肥氮的总排泄量($\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$)之和再乘以合适的挥发因子¹⁸。挥发的氮乘以大气沉降排放因子(EF_4)等于 $N_2O_{(G)}$ 排放。

《IPCC 指南》中的公式如下:

公式 4.31

大气沉降中的 N_2O 排放 (方法 1a)

$$N_2O_{(G)}-N = [(N_{FERT} \cdot Frac_{GASF}) + (\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot Frac_{GASM})] \cdot EF_4$$

其中¹⁹:

$N_2O_{(G)}$ = 大气氮的沉降产生的 N_2O 的量(kg N/yr)

N_{FERT} = 施入到土壤中的化学氮肥总量(kg N/yr)²⁰

$\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$ = 全国动物粪肥氮的排泄总量(kg N/yr)

$Frac_{GASF}$ = 化学氮肥以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例, kg NH_3-N 和 NO_x-N /氮的投入量 kg

$Frac_{GASM}$ = 动物粪肥中的氮以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的比例, kg NH_3-N 和 NO_x-N /动物粪肥中的氮量 kg

EF_4 = 沉降到土壤和水体表面的大气中的氮排放出的氧化亚氮的排放因子, 被排放的 kg N_2O-N / kg NH_3-N 和 NO_x-N

公式 4.31 与优良作法是一致的, 如果能够获得更详细的数据, 可以进行更完整的估算。

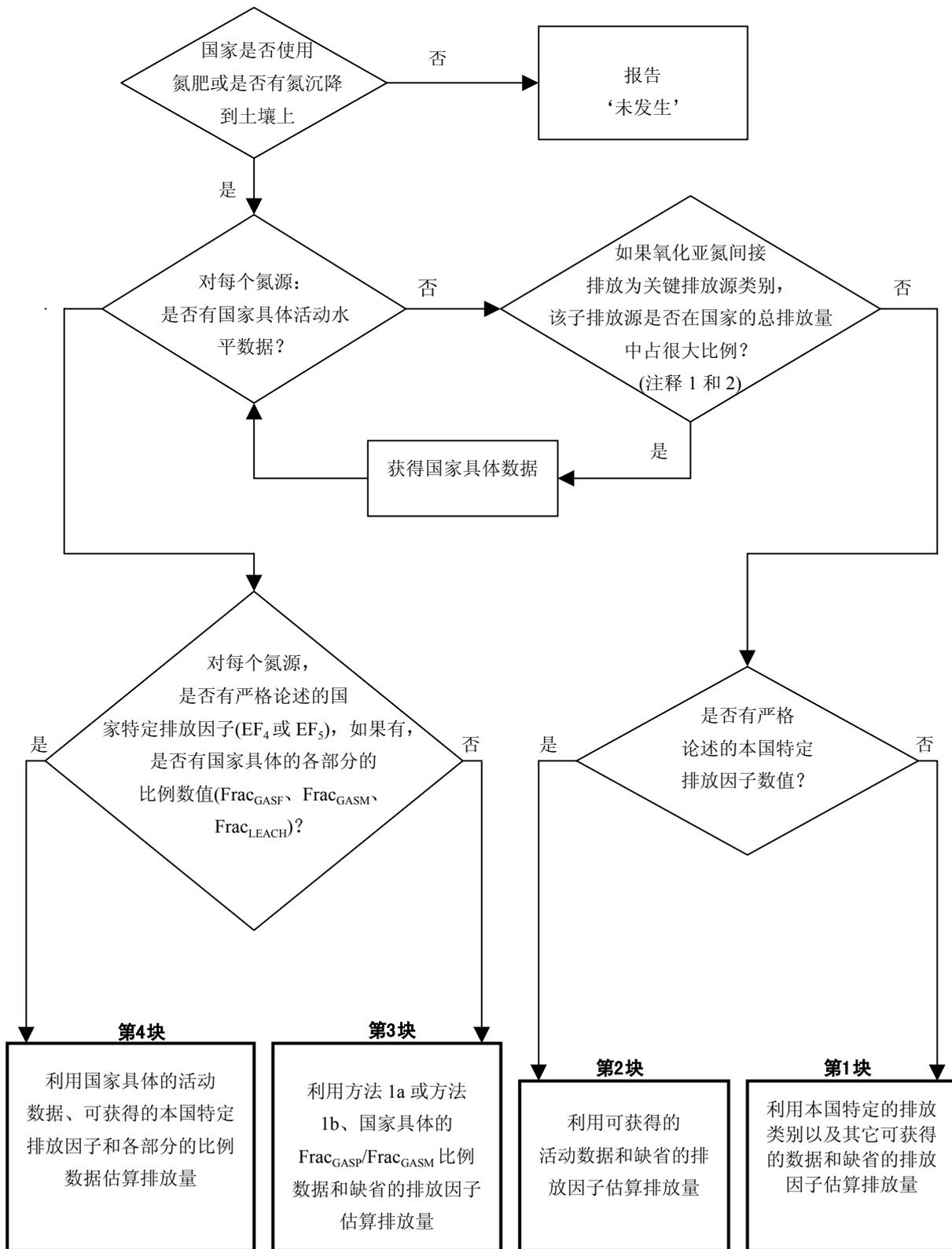
¹⁷ 生活污水产生的氧化亚氮排放($N_2O_{(S)}$)在废弃物一节报告。

¹⁸ 在《IPCC 指南》中, 动物粪便排泄的氮总量用变量 Nex 表示, 为了与‘优良作法’4.4 节一致, 将变量 Nex 修改为 $\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$ 。

¹⁹ 参考 4.7 节可以获得除 EF_4 之外的其它术语的更多信息。

²⁰ 化学氮肥施用总量 N_{FERT} 包括对森林土壤的施肥量。

图 4.8 农业氮肥使用引起的氧化亚氮间接排放决策树



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

注释 2: 作为一个主要判断标准，如果子排放源类别占该排放源排放总量的 25%-30%，那么这个子排放源是重要排放源。

首先，可以增加用于估算 $N_2O_{(G)}$ 的活动水平数据，将施到所有土壤的其它形式的氮包括进来，而不是仅仅包括施入到农业土壤中的化学氮肥和动物粪肥。例如，污水污泥作为一种其它形式的有机氮经常作为土壤改良物或污泥的处理方式施入到土壤中。如果可以获得足够的信息，污泥中的氮($N_{SEWSLUDGE}$)可以包括在计算过程中²¹。污水氮的输入应以氮为单位并乘以动物粪肥氮挥发因子($Frac_{GASM}$)，被重新命名为 $N_2O_{(G-SOIL)}$ 的估算大气沉降产生的氧化亚氮排放量的公式是：

公式 4.32

大气沉降中的 N_2O 排放 (方法 1b)

$$N_2O_{(G-SOIL)}-N = \{ (N_{FERT} \cdot Frac_{GASF}) + [\sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) + N_{SEWSLUDGE}] \cdot Frac_{GASM} \} \cdot EF_4$$

这个公式将保证更完整地估算施入到土壤的氮的挥发和再沉降所产生的氧化亚氮排放。这些排放应在农业部门报告。

其次，可以考虑沉降土壤的其它氮源的氧化亚氮排放($N_2O_{(G-i)}$)，在估算 $N_2O_{(G-i)}$ 排放时，尽量包括与农业活动有关的其它人为活动释放的 NO_x 和 NH_3 ，可以包括热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧排放的 NO_x 和 NH_3 ²²。

公式 4.33 为估算与农业活动有关的其它子排放源的氧化亚氮间接排放量的优良作法。对于每一子排放源“i”的排放量（热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧排放），用 NO_x 和 NH_3 形式排放的氮量乘以 EF_4 。

公式 4.33

其它子排放源的 N_2O 间接排放量

$$N_2O_{(G-i)}-N = (NO_{x-i} + NH_{3-i}) \cdot EF_4$$

尽管本节提供了估算这些额外子排放源的氧化亚氮间接排放的方法，但这些排放的估算值应在其初始活动阶段报告。

施肥或沉降的氮渗漏/径流排放的氧化亚氮($N_2O_{(L)}$): 由于渗漏和径流使大量农业土壤氮损失，这些氮进入地下水、水域、湿地、河流，最终进入到海洋，促进氧化亚氮的产生。使用《IPCC 指南》中的方法估算氮肥的渗漏或径流损失量(N_{LEACH})，它等于施入到土壤中的化学氮肥总量(N_{FERT}) 与全国动物粪肥中氮的排泄总量($\sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$)之和乘以渗漏和径流损失的氮比例($Frac_{LEACH}$)。 N_{LEACH} 乘以渗漏和径流的排放因子(EF_5)得到 N_2O 的排放量 ($N_2O_{(L)}$)，《IPCC 指南》中的公式为：

²¹ 由于没有新的 $N_{SEWSLUDGE}$ 缺省参数或收集这些数据的指南，只有获得可靠的本国特定数据后才采用改进的缺省参数。需注意的是，用于估算间接氧化亚氮排放的污水污泥活动水平数据应与估算直接排放的活动水平数据相同（参见 4.7 节）。

²² 大气沉降产生的氧化亚氮排放估算复杂化的原因是，大部分的 NO_x 和 NH_3 可能沉降在海洋，那么 EF_4 就不适用，目前信息很少还不足以确定一个更合适的排放因子，尤其对 NO_x 来说是个问题，因为 NO_x 在大气中的生命期比 NH_3 长，传输的范围也就更广 (Smil, 1999)，目前假设所有的 NO_x 和 NH_3 都沉积在陆地上。

公式 4.34

渗漏/径流沉积的氮²³

$$N_2O_{(L)}-N = [N_{FERT} + \sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})] \cdot Frac_{LEACH} \cdot EF_5$$

作为优良作法，这个基本方法应修正仅包括投入到土壤中的动物粪肥氮肥（参见 4.7 节）²⁴。目前定义的公式将过高估计此排放源的 N₂O 排放量，因为没有从全国动物粪肥总量($\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$)中减去没有施入到土壤的那部分动物粪肥量（如作为燃料($Frac_{FUEL-AM}$)、饲料($Frac_{FEED-AM}$)和建筑材料的部分($Frac_{CNST-AM}$)）²⁵。公式 4.35 是修正后的公式：

公式 4.35

渗漏/径流沉积的氮(包括动物粪肥)

$$N_2O_{(L)}-N = N_{FERT} + \{ \sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot [1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{FEED-AM} + Frac_{CNST-AM})] \} \cdot Frac_{LEACH} \cdot EF_5$$

如果生活污水施入到土壤引起的间接排放数据可以得到的话，它应包含在 N₂O_{G-SOIL} 估算中（方法 1b））。在这种情况下，N₂O_(L)被重新命名为 N₂O_{L-SOIL}，估算通过渗漏和径流将氮施入到土壤的氧化亚氮间接排放的公式为：

公式 4.36

渗漏/径流中沉积的氮(包括生活污水)

$$N_2O_{(L-SOIL)}-N = (N_{FERT} + \{ \sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot [1 - (Frac_{FUEL-AM} + Frac_{FEED-AM} + Frac_{CNST-AM})] \} + N_{SEWSLUDGE}) \cdot Frac_{LEACH} \cdot EF_5$$

应注意，当估算施入到土壤的动物粪肥的氮量时，需要考虑每一种主要动物种/类 ‘i’，因为每一种/类动物粪肥作为燃料、饲料和建筑材料的比例不一致。在这种情况下，将公式 4.36 改写为：

公式 4.37

渗漏/径流沉积的氮(包括主要动物种类)

$$N_2O_{(L-SOIL)}-N = \{ N_{FERT} + \sum_i(N_{(EX)_i} \cdot [1 - (Frac_{(FUEL-AM)_i} + Frac_{(FEED-AM)_i} + Frac_{(CNST-AM)_i})] \} + N_{SEWSLUDGE} \cdot Frac_{LEACH} \cdot EF_5$$

由公式 4.35、4.36 和 4.37 得到的估算结果作为农业土壤中的排放应在农业部分中报告。

N₂O_(L)也可以扩展为包括沉降到土壤的其它氮源 N₂O_(L-i)。如果有数据的话，要尽可能包括与农业有关的其它人

²³ 公式 4.34 综合了《IPCC 指南》中计算 N_{LEACH} 和 N₂O_(L)的公式。

²⁴ 这一修正保证了对该排放源的估算与 4.7 节描述的农业土壤中的直接 N₂O 排放的估算一致。

²⁵ 需注意，公式 4.35 没有考虑化肥和动物粪肥中氮的挥发比例，这不是疏忽，而是反映了对估算方法的假设，认为这部分氮在沉降后将发生渗漏。

为活动造成的 NO_x 和 NH_3 的挥发而导致的氮沉降，这将包括前面讨论过热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧排放的 NO_x 和 NH_3 （以 N 为单位计）。

公式 4.38 为估算其它子排放源的间接 N_2O 排放的优良作法，对每一种排放源 ‘i’（如前述的热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧），以 NO_x 和 NH_3 排放的氮乘以 $\text{Frac}_{\text{LEACH}}$ 和 EF_5 。

公式 4.38

渗漏/径流沉积的氮(包括其它的间接子排放源)

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{L-i})}\text{-N} = (\text{NO}_{x\text{-i}} + \text{NH}_{3\text{-i}}) \cdot \text{Frac}_{\text{LEACH}} \cdot \text{EF}_5$$

尽管在这儿描述了估算其它排放源的间接 N_2O 排放的方法，但估算结果应在各自隶属的原始排放源部分报告。

人的消费引起的城市污水处理($\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}$): 人的消费产生污水，可以通过腐化分解系统或废水处理设施处理，然后渗漏到地下水系统、浇灌在土地或排泄到水体中（如河流和河口）。污水中的氮通过消化和反硝化作用在所有的处理过程中都能产生 N_2O 。《IPCC 指南》假设污水处理和地下处置所产生的 N_2O 排放忽略不计，所以所有污水中的氮都流入能够进行硝化和反硝化作用的河流和河口，此方法也考虑到一些污水中的氮以污泥的形式施入到土壤中。采用《IPCC 指南》中的方法估算污水中的总氮量(N_{SEWAGE})²⁶，其方法是用年人均蛋白质消耗量（PROTEIN, kg 蛋白质/人一年）乘以国家人口数量($\text{Nr}_{\text{PEOPLE}}$)和蛋白质中的氮含量(Frac_{NPR})。然后用 N_{SEWAGE} 乘以污水处理氧化亚氮间接排放因子(EF_6)得到污水排泄中的 N_2O 排放量($\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}$)（单位为 N）。在优良作法中将《IPCC 指南》中估算污水排泄中的 N_2O 排放量的两个公式合并如下：

公式 4.39

污水排泄中的 N_2O 排放量²⁷

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}\text{-N} = \text{PROTEIN} \cdot \text{Nr}_{\text{PEOPLE}} \cdot \text{Frac}_{\text{NPR}} \cdot \text{EF}_6$$

如果估算大气沉降和渗漏/径流中的氧化亚氮(N_2O)间接排放采用了一种基本方法（如公式 4.31 和 4.35），那么，优良作法建议仍使用这个基本方法。如果对这些排放途径进行更详细的估算，那么，该子排放源的氧化亚氮排放估算也应采用更详细的方法。为了避免重复计算， N_{SEWAGE} 应为污水中的氮减去以污泥的形式施入到土壤的污水中的氮($\text{N}_{\text{SEWSLUDGE}}$)，因为这部分氮已经在 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{G-SOIL})}$ 和 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{L-SOIL})}$ 估算中加以考虑。因此，计算污水排泄产生的 N_2O 排放量($\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}$)的更详细的公式为：

公式 4.40

污水排泄产生的 N_2O 排放量(包括污水污泥)

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}\text{-N} = [(\text{PROTEIN} \cdot \text{Nr}_{\text{PEOPLE}} \cdot \text{Frac}_{\text{NPR}}) - \text{N}_{\text{SEWSLUDGE}}] \cdot \text{EF}_6$$

这些排放应在第 5 章“废弃物”的生活和商业废水（第 5.2 节）中报告。

4.8.1.2 排放因子选择

估算间接 N_2O 排放的方法包括三个排放因子：一个是与氮沉降有关的(EF_4)，第二个是与经渗漏和径流的氮损

²⁶ 在《IPCC 指南》（第 3 卷）的 6.4 节“生活污水中的氧化亚氮排放”提供了估算生活污水中的 N_2O 排放的一般指导。关于更为详细的建议方法，读者可以参见《IPCC 指南》的《参考手册》4.5.4 节。

²⁷ 公式 4.39 将《IPCC 指南》中计算 N_{SEWAGE} 和 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{S})}$ 的公式进行了合并。

有关的(EF₅), 第三个是与污水排泄的氮有关的(EF₆)。

从全球范围内, 关于详细的 EF₄、EF₅ 和 EF₆ 的数据几乎没有。因此, 尽管《IPCC 指南》鼓励国家清单机构利用本国特定数据代替缺省的排放因子, 但对于本排放源类别, 除非有严格说明的并经预先评估的数据, 否则还应使用目前的缺省排放因子。下面的讨论总结了缺省值并描述了一些改进, 在《优良作法》中, 表 4.18“估算农业用氮的 N₂O 间接排放量的缺省排放因子”列出了 IPCC 缺省排放因子。

- **氮沉降中的氧化亚氮排放因子(EF₄):** EF₄ 的缺省值是 0.01 kg N₂O-N/kg 沉降的 NH₄-N 和 NO_x-N。采用本国特定排放因子数据必须特别谨慎, 因为大气运输的传输边界特别复杂, 尽管清单机构可以测量氮的沉降和相关的 N₂O 排放, 但在很大程度上, 沉降的氮也许不源自本国。同样, 该国挥发的氮也许被运输和沉降在其它国家, 其不同的条件决定了 N₂O 排放的比例。
- **渗漏和径流中的氧化亚氮排放因子(EF₅):** 应根据最近推导出这一排放因子的所有因素的重新核查对缺省值进行更新, 但在确定新的缺省值之前需要做很多的研究工作。
- **污水排泄中的氧化亚氮排放因子(EF₆):** EF₆ 的缺省值为 0.01 kg N₂O-N/kg N, 该值来源于河流排放因子(EF_{5-r} = 0.0075)和河口排放因子(EF_{5-e} = 0.0025)。利用本国特定排放因子必须十分谨慎, 因为这一排放源的排放十分复杂。

表 4.18
估算农业用氮的 N₂O 间接排放缺省排放因子

排放因子	IPCC 缺省值
EF ₄ (kg N ₂ O-N/kg 沉降的 NH ₄ -N 和 NO _x -N)	0.01
EF ₅ (kg N ₂ O-N/kg 渗漏和径流的氮)	0.025
EF ₆ (kg N ₂ O-N/kg 生活污水排泄中的氮)	0.01

资料来源: 《IPCC 指南》《参考书册》表 4-23。

4.8.1.3 活动水平数据选择

为估算其它排放源类别的排放, 需要收集估算 N₂O 间接排放的许多活动数据, 如肥料消费量和动物粪肥排泄的氮, 表 4.19 列出了估算间接 N₂O 排放的关键活动数据和获得的途径。要保证排放估算的一致性, 各排放源之间所用的数据必须相同。

如表 4.19 所示的那样, 大多数的活动水平数据也可用于其它排放源的估算。《优良作法》在相应的章节中介绍了如何获得这些数据, 下面的讨论总结了如何收集这些数据的《优良作法》:

- **估算包括在优良作法中的新排放源类别的 NO_x 和 NH₃ 排放:** 在估算热带草原和作物残留物田间燃烧间接 N₂O 排放时, 需要估算这些排放源排放的 NO_x 和 NH₃。《IPCC 指南》中相应的各章节中包括了估算 NO_x 排放的方法和缺省排放因子(或排放比率)。可以利用相同的方法估算 NH₃ 的排放, 但应用 NH₃ 的排放因子替代 NO_x 的排放因子。如果不能得到本国特定排放因子, 可以利用缺省排放因子 0.038 Gg NH₃-N/Gg 燃料氮 (Crutzen 和 Andreae, 1990)²⁸ 来估算热带草原燃烧和农业残留物燃烧产生的 NH₃ 排放。

²⁸ Andreae 和 Crutzen (1990) 的表 2 是估算与生物质燃烧有关的 NO_x 和 NH₃ 的排放因子的基础。需注意的, 表 2 还列出了排放因子为 0.034 摩尔 RCN/摩尔生物量氮量, 与 NH₃ 的排放因子一样。RCN 是一种生物有效态氮, 因此它受微生物的硝化、反硝化和 N₂O 的产生的影响。另外, Andreae 和 Crutzen (1990) 的表 2 只说明了 70% 的生物氮, 这意味着剩余的部分可能由燃烧产生, 但没有确定生物有效态氮的形态。因此只考虑了 NO_x 和 NH₃ 的排放, 这种方法可能低估生物质燃烧排放的生物有效态氮总量。

表 4.19
估算间接 N₂O 排放的数据

活动数据	如何获得
N _{FERT}	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 N _{FERT} 数据
$\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{ex(T)})$	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 $\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{ex(T)})$ 数据
N _{SEWSLUDGE}	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 N _{SEWSLUDGE} 数据
PROTEIN	粮农组织(FAO)
N _{rPEOPLE}	粮农组织(FAO)
Frac _{NPR}	参见《IPCC 指南》的《参考手册》中的表 4-24
Frac _{LEACH}	参见《IPCC 指南》的《参考手册》中的表 4-24
Frac _{GASF}	参见《IPCC 指南》的《参考手册》中的表 4-19
Frac _{GASM}	参见《IPCC 指南》的《参考手册》中的表 4-19
Frac _{FUEL-AM}	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 Frac _{FUEL-AM} 数据
Frac _{FEED-AM}	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 Frac _{FEED-AM} 数据
Frac _{CNST-AM}	利用估算农业土壤中的 N ₂ O 直接排放收集的 Frac _{CNST-AM} 数据

- **挥发的比例(Frac_{GASF}、Frac_{GASM}):** 《IPCC 指南》中提供了化肥、动物粪肥和生活污水污泥以 NH₃ 和 NO_x 形式挥发的氮比例(Frac_{GASF})和(Frac_{GASM})，相应的缺省值分别为 10%和 20%。如果有合理的记录证明，应采用本国特定的挥发因子。
- **渗漏的比例(Frac_{LEACH}):** 《IPCC 指南》中给出的氮渗漏比例缺省值是 30%。然而，要指出的是，它主要是基于对农业投入的氮和河流重新获得的氮的比较总体平衡研究中得出的。农业实践（如灌溉、频繁的耕作和排水）可造成农业氮肥的巨大渗漏损失。然而，对于没有沉降在农业土壤里的氮，更低一些的 Frac_{LEACH} 数值可能更加合适，未来对方法进行修订时可考虑这一点。由于获得这个排放源类别可靠的因子比较困难，清单机构在采用本国特定因子时要谨慎并提供详细的记录说明。
- **蛋白质中氮的比例(Frac_{NPR}):** 《IPCC 指南》中提供的动植物蛋白质中的氮比例(Frac_{NPR})缺省值为 16%。这个变量的变化范围不可能太大，因此没有必要采用本国特定数据。

4.8.1.4 完整性

全面的农业氮肥利用产生的氧化亚氮(N₂O)间接排放要求估算所有的农业氮肥投入活动的排放(如 N_{FERT}、 $\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{ex(T)})$ 和 N_{SEWSLUDGE})。如果可以获得数据，也可以包括施入到所有土壤的 N_{SEWSLUDGE}。完整的生活污水间接排放的 N₂O 要求估算污水排泄中的氮量（如 N_{SEWAGE}、(N_{SEWAGE} - N_{SEWSLUDGE})）。

如果可以获得数据，清单也应包括热带草原燃烧和农业残留物燃烧间接排放的 N₂O。这些排放的估算要依据这些活动直接排放的 NO_x 和 NH₃。

4.8.1.5 建立一致的时间序列

在一定详细程度上，应采用同样的方法对某个时间序列上发生的排放进行估算。如果没有采取减排措施，每年的 Frac_{GASF}、Frac_{GASM}、Frac_{LEACH}、Frac_{NPR}、EF₄、EF₅ 和 EF₆ 就不应有变化。这些参数只有在有正当理由和详细记录时才可以改变。如果通过更深一步的研究，这些因子有了更新的缺省值时，清单机构可以重新计算历史排放。有关保证时间序列一致的一般优良作法指南，见第 7 章“方法学选择与重新计算”的 7.3.2.2 节。

4.8.1.6 不确定性评估

关于排放因子(EF_4 、 EF_5 和 EF_6)、渗漏和挥发比例的信息非常缺乏且变化也很大。专家判断表明排放因子的不确定性至少为一个数量级,挥发部分的不确定性为 $\pm 50\%$ 。活动水平数据估算的不确定性应从相应的直接排放源类别中获得,第6章“不确定性的量化”提供了如何在实践中定量分析不确定性的建议,包括将专家的判断和经验数据纳入到综合的不确定性评估。

4.8.2 报告和归档

如第8章“质量保证和质量控制”第8.10.1节“内部文件和存档”所示,优良作法是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。《IPCC 指南》的《工作手册》中计算农业土壤中的间接氧化亚氮排放的工作表提供了《IPCC 指南》中缺省方法的明确记录和利用这个方法计算的数据。然而,为了采用优良作法,这些工作表应增加一些新的变量,以便计算氮沉降和渗漏(如 $N_{SEWSLUDGE}$ 、 $Frac_{FUEL-AM}$ 、 $Frac_{FEED-AM}$ 和 $Frac_{CNST-AM}$),并应修改这些工作表以反映公式4.31和4.35或4.36。

《IPCC 指南工作手册》中用于计算生活污水间接氧化亚氮排放的工作表也提供了缺省方法的明确记录和利用这个方法计算的数据。然而,为了采用优良作法,这些工作表应增加一些新的变量以便进行计算(如 $N_{SEWSLUDGE}$),并应修改这些工作表以反映公式4.40。

为了采用优良作法估算热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧产生的间接氧化亚氮排放,应对每个子排放源类别建立新的工作表。热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧产生的间接氧化亚氮排放的工作表应反映公式4.33和4.38。

报告说明中的报告表格不充分,直接和间接的农业氧化亚氮排放源应以‘农业土壤’为题目一起报告而不是分开报告。此外,对于间接排放,这个题目也是不合适的,因为大部分间接排放发生在水体。为了提高报告的透明度,对氮沉降和渗漏中的排放的估算结果应分别报告。在废弃物部分中应增加生活污水间接排放的条目。在报告表格中也应增加新的间接氧化亚氮排放源的条目(热带草原燃烧和农业残留物田间燃烧)。

除了完整的报告格式,以下补充信息对于间接氧化亚氮排放估算归档非常必要:

- **活动水平数据:** 计算过程中利用的所有活动水平数据的参考文献(如要注明包括活动水平数据的数据库的完整信息),以及在不能直接从数据库中获得活动水平数据的情况下,用于推导出活动水平数据的信息和假设。文档应包括数据收集和估算的频率,以及估算的准确度和精度。
- **排放因子:** 计算过程中利用的所有排放因子的参考文献(特定的 IPCC 缺省值或其它排放因子)。对于采用了国家或地区特定排放因子的清单,或采用了新的方法(而不是 IPCC 缺省的方法),这些排放因子或方法的科学基础应完整地描述和记录。这包括得到排放因子或方法的输入参数的定义和过程的描述,以及描述不确定性的来源和量值。
- **排放结果:** 如果年份间排放量波动明显的话,应予以解释,对因年份和季节变化引起的活动水平的变化和排放因子的变化,应加以区别。如果不同年份采用了不同的排放因子,应解释原因并记录。

4.8.3 清单质量保证和质量控制

优良作法是指按照第8章“质量保证和质量控制”表8.1“方法1:一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家评审意见进行质量控制核查。也可以采用第8章“质量保证和质量控制”的方法2程序和质量保证程序进行附加质量控制核查,尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。

第8章“质量保证和质量控制”所列举的有关数据处理、管理和报告的综合质量保证和质量控制,优良作法是

采用下面讨论的具体源类别程序加以补充。收集数据的人员要负责审评数据收集方法、检查数据以保证对这些数据进行正确的合计和分类，并与以前年份的数据进行交叉检验以保证这些数据的合理性。不管是统计调查还是‘在办公室内的估算’，作为质量控制的一部分工作，必须进行审评并说明。建立文档是审评的重要组成部分，有助于审评专家确定错误并提出改进的建议。

排放因子审核

- 清单机构应审核确定排放因子的参数、公式和计算过程，这些质量控制的步骤对于这个排放源中的各个子排放源非常重要，因为在确立排放因子时利用了大量的参数。
- 如果使用本国特定排放因子，清单机构应将这些排放因子与 IPCC 的缺省因子相比较，这对于氮沉降和污水排泄的排放因子特别重要，在制定本国特定数据时要特别谨慎。

活动水平数据审核

- 用于本排放源的许多活动参数也用于其它农业排放源，因此保证所用数据的一致性非常重要。
- 如果使用本国特定的数据，清单机构应将这些数据（如 $Frac_{LEACH}$ ）与 IPCC 的缺省值相比较，应保留产生本国特定数据的详细记录文件。

外部审评

- 农业专家（特别是氮循环专家）以及农业加工和其他利益相关者，应预先对清单估算、所有重要参数和排放因子进行评估。

4.9 水稻生产中的甲烷排放

4.9.1 方法学问题

在淹水稻田中，土壤有机物厌氧分解产生甲烷(CH₄)，并通过水稻植物的传输作用逸散到大气中。一定面积的稻田甲烷年排放量是一个与水稻品种、水稻生长期和种植季数、土壤类型和土壤温度、水分管理方法、以及肥料的使用和有机无机物的添加有关的函数。

4.9.1.1 方法选择

《IPCC 指南》介绍了一种估算水稻生产中的甲烷排放的方法，即：使用基于年收获面积²⁹和季节性综合排放因子数据³⁰。在它最简单的结构中，使用国家活动水平数据（例如该国总的收获面积）和统一的排放因子，IPCC 方法就能够得到实现。然而在一个国家内，水稻生长的条件（例如：水分管理方法、有机肥使用、土壤类型）可能会有很大的变化，而这些条件能明显影响季节性 CH₄ 排放。我们可以修改上述方法以说明生长条件下的可变性，即将国家总的收获面积分为数个子系统（例如，在不同水分管理体系下的收获面积），然后将每个子系统的收获面积乘以该子系统所代表的条件的排放因子。用这个分解方法，总的年排放量就等于每个收获面积子系统排放量之和，用公式表达如下：

公式 4.41

水稻生产中的甲烷排放

$$\text{水稻生产中的甲烷排放量(Tg/yr)} = \sum_i \sum_j \sum_k (EF_{ijk} \cdot A_{ijk} \cdot 10^{-12})$$

其中：

EF_{ijk} = 在 i, j, k 条件下的季节性综合排放因子，单位为： $\text{g CH}_4/\text{m}^2$

A_{ijk} = 在 i, j, k 条件下的年收获面积，单位为： $\text{g CH}_4/\text{m}^2$

i, j, k = 分别代表不同的生态系统、水分管理体系和其它可以引起甲烷排放变化的条件（例如：有机质的添加）

不同的条件都应被考虑，其中包括水稻生态类型、水分管理体系、有机添加物的类型和数量以及土壤类型。表 4.20 “相对于持续性淹水稻田的水稻生态系统和水分管理体系的 IPCC 缺省的甲烷排放换算系数”，列出了主要的水稻生态类型、每一生态类型下的水分管理体系。如果国家的水稻生产以不同的地区作为界限（例如行政区、省），上面的公式应在每个地区应用。国家排放等于各个地区排放估算的总和。另外，如果在某特定地区一年中不只种植一种作物，耕作条件（例如有机物的添加使用）在作物生长季节中也有变化，对该地区，应根据每一作物季节进行排放量估算，然后将整个作物季节相加。在这种情况下，活动水平数据是耕作面积而不是收获面积。

如果水稻是**关键源类别**（在第 7 章“方法学选择和重复计算”定义），鼓励清单机构：

- 尽可能在分解水平下执行 IPCC 方法；
- 尽可能综合考虑影响甲烷排放的许多特性因子（例如 i, j, k 等）；

²⁹ 在一年中有多季种植时，收获面积等于每季种植面积的总和。

³⁰ 排放因子是指单位面积在整个种植季节（从整土到收获或收后排水）的总排放。正如附件 4A.3 所说，排放因子应基于对整个雨季的测量，并应计算在排水期间发生的典型的土壤夹带甲烷的通量。

- 最好通过收集实地数据，确定反映当地特性因子影响的各个国家的排放因子；
- 在同一集合水平下使用排放因子和活动水平数据。

图 4.9 “估算水稻生产中的甲烷排放决策树”通过应用 IPCC 优良作法方法，有步骤地指导清单机构工作。该决策树表明 IPCC 方法是按层级结构来实施的。在这个层级中，和水稻作为国家温室气体排放的贡献者一样重要，分解水平能否被清单机构利用将取决于活动水平数据和排放因子数据的可用性。在该决策树中，特定的步骤和变量以及它们的逻辑关系将在决策树后面讨论。

4.9.1.2 排放因子选择

理想情况是，通过标准的农田测量，清单机构对本国每一个常见的水稻生产系列条件都制定有相应的季节性综合排放因子。这种基于测量的当地排放因子说明了那些在具体某地影响甲烷排放的不同条件的特定结构。影响水稻排放的最重要条件概括在框 4.2 中。

框 4.2

确定水稻生产排放因子需考虑的几个方面

在确定排放因子时，应考虑下面的水稻生产特征：

关于水稻种植方法的地区差异：如果一个国家地域辽阔且有不同的农业区域，应对每个区域采用不同的测量体系。

复种：如果在一年中的同一块给定的土地上种植超过一种作物，并且在整个种植季节里作物生长条件发生变化，应对每个季节进行排放测量。

生态类型：在一个小区域内，对每个生态类型（例如灌溉、旱作作物及深水水稻生产）也应进行单独测量。

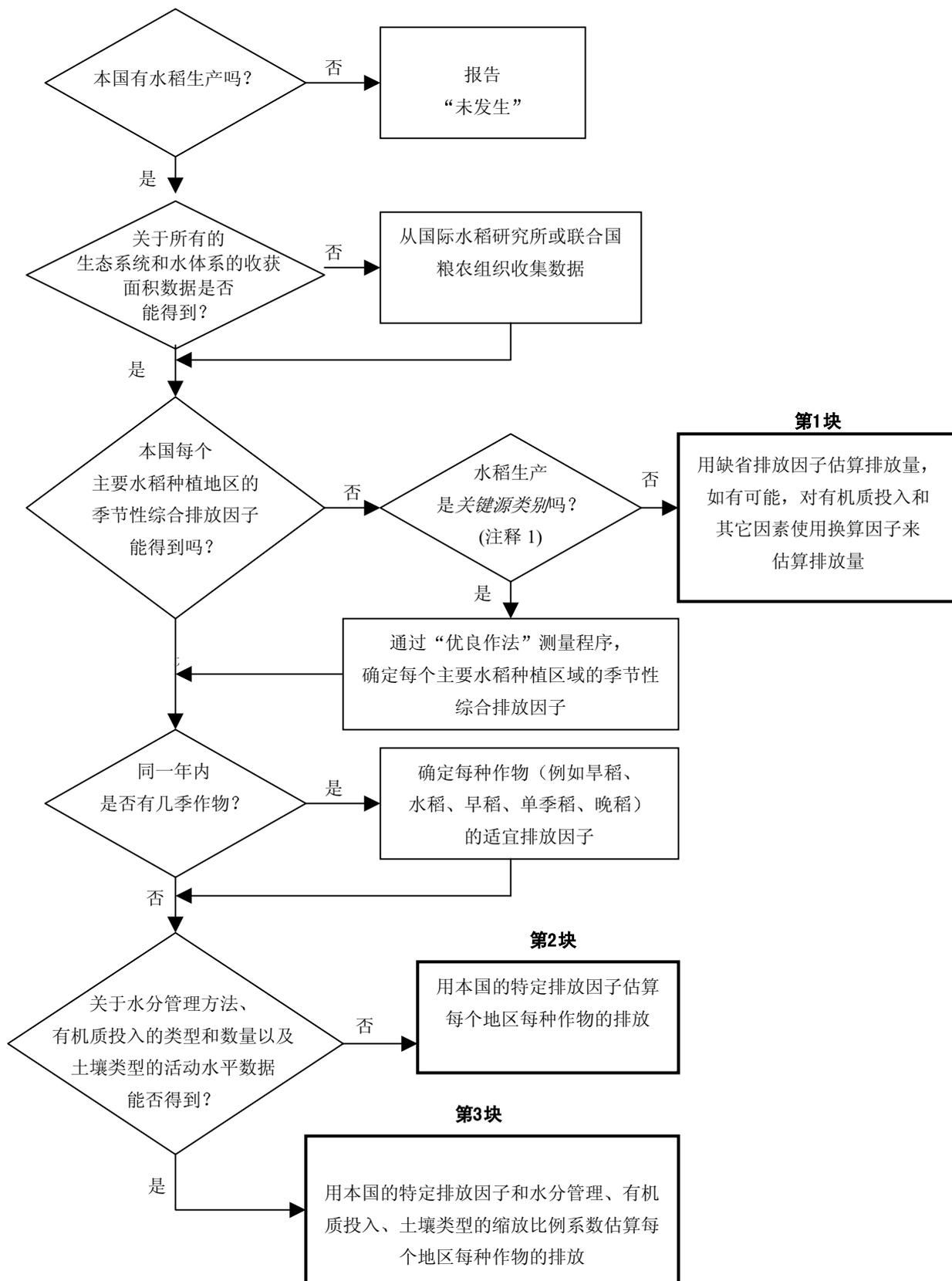
水分管理体系：为了说明不同水分管理方法（例如持续性淹水及间歇性淹水）对排放因子的影响，应对每个生态系统进行更详细地分类。

有机质的添加：为了对影响甲烷排放的有机质（例如绿肥、稻草、动物粪肥、堆肥、杂草和水生生物等）添加的效果进行量化，应制定测量计划。

土壤类型：鼓励清单机构尽最大努力对种植水稻的所有主要土壤类型进行测量，因为土壤类型对甲烷排放的影响非常明显。到目前为止，从标准活动水平数据源中不能获得主要的土壤类型收获面积数据，因此在《IPCC 指南》中还没有考虑土壤因子。然而，随着近来模拟稻田甲烷排放的模型的建立，在不久的将来就可能得到关于主要的播种水稻土壤类型的换算系数(Ding et al., 1996 和 Huang et al., 1998)。结合测量与模型模拟估算，如果根据土壤类型进行稻田面积细分并得到特定土壤类型换算系数，这将有利于提高清单的准确度。

一些国家在差异很大的条件下种植水稻，因此不可能获得基于当地测量的一整套排放因子。在这种情况下，鼓励清单机构首先得到没有有机物投入的持续淹水稻田的季节性综合排放因子(EF_c)，在这个基础上，使用换算系数对它进行调整以便得到不同条件下的排放因子。可用下面的公式来确定调整后的排放因子。

图 4.9 水稻生产中的甲烷排放决策树



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

公式 4.42
调整后的季节性综合排放因子

$$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_o \cdot SF_s$$

其中：

EF_i = 关于特定收获面积调整后的季节性综合排放因子

EF_c = 不含有机质的持续性淹水稻田的季节性综合排放因子

SF_w = 不同生态系统和水分管理区域的换算系数（来源于表 4.20）

SF_o = 随使用的有机质和类型变化的换算系数（来源于表 4.21，关于非发酵有机质计量反应表）

SF_s = 土壤类型的换算系数（如果可获得）

按照 *优良作法* 程序，属于主要土壤类型并且没有有机质添加物的持续性淹水稻田的季节性综合排放因子(EF_c) 应通过田间测量来确定，在附录 4A.3 中讨论。如果确定 EF_c 的数据不能得到，则可以使用 IPCC 缺省值 20 g/m²。

在框 4.2 中换算系数用来调整持续性淹水稻田的季节性综合排放因子，从而解决不同条件下的排放因子。按照顺序，三个最重要的换算系数分别是水稻生态系统/水分管理体系、有机质添加物和土壤类型。如果本国特定换算系数基于深入研究和有证明文件的测量数据，则换算系数应使用这些系数。如果确定换算系数的数据不能得到，则可使用 IPCC 缺省值。

水分管理体系：灌溉、雨养和深水稻田是排放甲烷的主要稻田生态系统类型。每一个生态系统都有水分管理体系，在种植季节影响甲烷的排放量。在无法得到本国特定数据时，可使用表 4.2 提供的 IPCC 缺省换算系数(SF_w)。如果本国特定数据可以得到，只能使用其它生态系统类型和水分管理体系的换算系数。

类型	水分管理体系		换算系数 (SF_w)
旱地	无		0
低地	灌溉	连续淹水	1.0
		间歇淹水 – 单次落干	0.5 (0.2-0.7)
		间歇淹水 – 多次落干	0.2 (0.1-0.3)
	雨养	淹水倾向	0.8 (0.5-1.0)
		干燥倾向	0.4 (0-0.5)
	深水	水位 50-100 cm	0.8 (0.6-1.0)
水位 > 100 cm		0.6 (0.5-0.8)	

来源：《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-12。

有机质添加物：*优良作法* 换算系数是结合所应用的有机质添加物（水稻秸秆、动物粪肥、绿肥、堆肥和农业废弃物）的类型和数量等信息确定换算系数(SF_o)。对同质量的物质，含有易于分解的碳量越高甲烷排放也较多，以及每种有机质应用得越多，排放也相应增加。表 4.21 介绍了一种方法，按照有机质添加物的数量而相应改变换算系数。

从理论上讲，按照每单位重量所含碳量将不同的有机质分成不同等级，但实际上我们只能得到所应用的有机质数量信息。在这种情况下，清单机构应该区分发酵与非发酵的有机质添加物。因为发酵有机质（如堆肥、沼气残渣）的甲烷排放明显低于非发酵有机质，这是因为发酵有机质所含易于分解的碳相对少得多。根据经验，

Denier van der Gon 和 Neue (1995)确定减缩系数为 6，即 12 t/ha 的堆肥的甲烷排放量相当于 2 t/ha 非发酵有机质添加物的甲烷排放量。

干物质应用量 (t/ha)	换算系数 (SF _o)	范围
1-2	1.5	1-2
2-4	1.8	1.5-2.5
4-8	2.5	1.5-3.5
8-15	3.5	2-4.5
15+	4	3-5

注：要将此表应用到发酵有机质添加物，须将得到的非发酵有机质排放因子除以 6。
资料来源：来源于 Denier van der Gon 和 Neue, 1995。

土壤类型：在一些情况下，不同土壤类型的排放数据能够得到并且可用来得到 SF_o。将土壤类型作为一个换算系数是因为通过实验和机理确定它是非常重要的。预计在不久的将来，模拟模型将用来制定特定土壤的换算系数。

4.9.1.3 活动水平数据选择

活动水平数据由水稻生产和收获面积统计数据组成。这些数据应该能从国家统计机构得到，并根据水稻生态系统或水分管理类型进行分类。如果这些数据在本国不能得到，还可以从 FAO 网站上下载，网址为：<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc> 或从国际水稻研究所(IRRI)的世界水稻统计资料中获得（如，IRRI, 1995）。在可能的情况下，将活动水平数据的准确性与排放因子的准确性进行比较。然而，对于不同的季节，面积统计可能会有偏差，故清单机构应使用遥感数据检查国家（或部分地区）的收获面积统计数据。

除了需要上述的基本活动水平数据，*优良作法*还将有机质添加物与土壤类型的数据与作为同分解水平的活动水平数据相匹配，它可能需要完成种植实践经验调查以获得所应用的有机质添加物的数量和类型。

4.9.1.4 完整性

对该排放源的完全估算需要对下面的活动进行排放估算：

- 如果土壤淹没不局限于实际的水稻生长季节，水稻生长季节之外的排放也应该包括（例如来源于休闲期的淹水土壤）；
- 其它的稻田生态系统，像沼泽地、内陆盐碱地或潮汐稻田，按照当地排放测量方法，可以在每个子类别中区分；
- 如果在一年中，超过一种水稻作物生长，则应按照当地定义（例如，早稻、晚稻、雨季水稻、旱季水稻），分别报告这些水稻作物。按照不同的季节性综合排放因子和由于其它变化（如有机质的添加）导致的不同修正因子，将这些水稻作物分成不同的类别。

4.9.1.5 建立一致的时间序列

在一个时间序列中，排放估算方法在同一分级层面上应每年连续使用。如果早年详细的活动水平数据不能得到，则这些年的排放应该按照第 7 章“方法学选择与重新计算”第 7.3 节提供的指南进行重新计算。在整个时间序列内，如果影响甲烷排放的农业实践存在明显变化，则水稻估算方法应分级使用，以充分体现变化的影响。例如，在亚洲出现了各种不同的水稻农业趋势，如采用新水稻品种、无机肥使用的增加、改良的水分管理、有机物添加的使用改变以及直接播种都可能导致全部温室气体的排放增加或减少。为了衡量这些变化的影响，使用模型来进行研究非常

必要。

4.9.1.6 不确定性评估

表 4.22 给出了缺省排放因子、缺省换算系数和缺省值的范围。这些缺省排放因子的数值范围用平均数的标准偏差来定义，表示源类别排放因子缺省数值的不确定性，这些不确定性可能受下列因素影响：

自然变易性：自然变易性是由自然控制的变量的变化引起的，例如年气候的变化，在一个系统中假定变化是同步的，例如在田间或土壤系统的空间变化。对该源类别而言，当有足够的实验数据可以利用，*优良作法*应使用标准统计方法确定不确定性。对某些这种不确定性的量化研究很少但可利用（例如土壤类型引起的变化）。在这样的研究中，通常假设变化有效。详细内容请参见 Sass (1999)。

缺乏活动水平数据和记录：应用换算系数（例如有机质添加物和历史实践的数据）所必需的重要活动水平数据在当前的数据库或统计资料中不能得到，在水稻生产上农民使用特别措施或改良方法所占的比例和变化范围估计必须以专家判断为基础，关于上述所占比例的不确定性的缺省值建议为 ± 0.2 （例如使用有机质添加物的农民所占比例估计在 0.4，不确定性范围在 0.2-0.6）。第 6 章“不确定性的量化”为量化操作中的不确定性提供了建议，包括结合专家判断和经验数据对整个不确定性进行估算。

排放组分	缺省值	范围
标准排放因子(EF)	$20 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$	$12\text{-}28 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ season}^{-1}$
水分管理换算系数(SF_w)	见表 4.20	表 4.20
有机质添加物换算系数(SF_o)	2	1.5-5
土壤类型换算系数(SF_s)	1	0.1-2
来源：《IPCC 指南》和专家组判断（见联合主席、编者和专家；稻田生产中的甲烷排放）		

4.9.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。将《IPCC 指南》的《工作手册》工作表要求填写的水稻信息整理成文，作为排放估算报告不失为*优良作法*。不用工作表的清单机构应提供可比信息。如果排放估算按地区分级，每个地区都应该报告。

如果可能的话，应报告下列补充信息以保证透明度：

- 水分管理方法；
- 使用的有机质添加物的类型和数量（水稻秸秆或前一季非水稻作物残余物都应当作为有机质添加物，尽管这可能是正常的生产活动，并不以增加营养水平为目的）；
- 用于水稻生产的土壤类型；
- 一年内种植的水稻季数；
- 最重要的水稻种植品种。

当用简单的缺省排放因子估算甲烷排放时，不确定性明显增加。使用本国特定排放因子的清单机构应该提供该排放因子的由来和基本原理信息，同时与其它公布的排放因子进行比较，对所有明显的差异进行解释并尽力提供不确定性范围。

4.9.3 清单质量评估和质量控制

优良作法是根据第 8 章“质量保证和质量控制”表 8.1“方法 1：一般清单水平的质量控制程序”和排放估算的专家审评意见进行质量控制检查。也可采用第 8 章“质量保证和质量控制”介绍的方法 2 程序和质量保证程序进行附加质量控制检查，尤其是运用较高级方法估算这种排放源的排放量更是如此。

关于详细的田间实验的清单质量评估和质量控制可参考 Sass (1999)所写的有关文章以及附录 4A.3。一些重要的问题将在下面被进一步说明和总结：

编制国家排放：在目前，不可能对通过外部测量的该源类别的排放估算进行交叉检验。然而，清单机构应保证排放估算通过如下原则进行质量控制：

- 国家总的作物产量与报告的田地面积统计数据与国家总数据或其它作物产量/面积数据相互参照；
- 根据总排放量和其它数据反推国家排放因子；
- 国家总排放与其它国家的缺省值和数据相互参照。

附录 4A.1

热带草原燃烧中的 CH₄ 和 N₂O 排放： 未来方法学建立的基础

4A.1.1 方法学问题

在热带草原地区每年或几年就发生燃烧，燃烧立刻排放大量的二氧化碳(CO₂)。然而，植被在燃烧后会再生，排放到大气中的 CO₂ 在下一轮植被生长期间被吸收。正因如此，热带草原燃烧的净 CO₂ 排放应视为零。热带草原燃烧还排放其它微量气体，包括 CH₄、CO、NMVOCs、N₂O 和 NO_x。在本章只讨论温室气体 CH₄ 和 N₂O 的直接排放。

4A.1.1.1 方法选择

方法的选择取决于是否能获取活动水平数据和 CH₄ 与 N₂O 的排放因子。如果清单机构没有活动水平数据和排放因子，可使用《IPCC 指南》上的缺省值。

目前的方法需要有关地面现存生物量的值，《IPCC 指南》《工作手册》表 4-12 中提供了这些数据。另外，《IPCC 指南》表 4-13 需要现存的和死亡的生物量在燃烧过程中被氧化的比例和碳含量，以计算热带草原燃烧排放的碳和氮，这些参数在野外很难测量。燃烧效率能用来描述植被和燃烧条件，并最终确定 CH₄ 和 N₂O 的排放因子。燃烧效率是指热带草原燃烧中排放的 CO₂ 摩尔浓度占总排放的 CO 和 CO₂ 总摩尔浓度的比率。表 4.A1 包括有燃烧效率数据。汇编的燃烧效率数据来自于在热带美洲和非洲不同的热带草原生态系统中的生物量燃烧试验的结果。因此，在建议的方法中用来计算每年 CH₄ 或 N₂O 排放量的修订公式应为：

公式 4.A1

热带草原燃烧排放的 CH₄ 或 N₂O

$$\text{CH}_4 \text{ 或 N}_2\text{O 释放量} = \text{燃烧的生物量 (t dm)} \cdot \text{CH}_4 \text{ 或 N}_2\text{O 的排放因子 (kg/t dm)}$$

表 4. A1
地面生物量燃烧量

地区	每年热带草原 燃烧比例	地面生物量密度 (t dm/ha)	生物量实际 燃烧比例	燃烧效率
Tropical America	0.50	6.6±1.8	0.85	0.95
Campo limpo ^{a,b}	0.3-1.0	7.1±0.5	1.0	0.96
Campo sujo ^{a,b}	0.3-1.0	7.3±0.5	0.97	
Campo cerrado ^{a,b}	0.3-1.0	8.6±0.8	0.72	0.94
Cerrado sensu stricto ^{a,b}	0.3-1.0	10.0±0.5	0.84	0.94
Tropical Africa	0.75	6.6±1.6	0.86	0.94
Sahel zone	0.05-0.15	0.5-2.5	0.95	
North Sudan zone	0.25-0.50	2-4	0.85	
South Sudan zone	0.25-0.50	3-6	0.85	
Guinea zone	0.60-0.80	4-8	0.90-1.0	
Moist Miombo ^{c,d,e}	0.5-1.0	8.9±2.7	0.74±0.04	0.92
Semiarid Miombo ^{c,e}	0.5-1.0	5.1±0.4	0.88±0.02	0.91
Moist Dambo ^{c,d,e}	0.5-1.0	3.0±0.5	0.99±0.01	0.95
Fallow Chitemene ^{c,e}	0.1	7.3±0.7	0.71±0.05	0.96
Semiarid Woodland (South Africa) ^{c,e}	0.25-0.5	4.6±2.8	0.85±0.11	0.93

^aKauffman *et al.* (1994), ^bWard *et al.* (1992), ^cShea *et al.* (1996), ^dHoffa *et al.*(1999), ^eWard *et al.* (1996).

对于没有单独列出的地区，在《IPCC 指南》的《参考手册》表 4-14 中可以得到数据（与《IPCC 指南》的《工作手册》中的表 4-12 相同）。依据现有的热带草原统计资料，此表列出了基本的生态区域。表 4.A1 包括了额外的 4 个美洲热带生态区和 5 个非洲热带生态区的热带草原数据，这些数据是依据在巴西、赞比亚和南洲的野外试验结果而得出的。

如果清单机构有每年燃烧的热带草原面积比例、地面生物量密度及各个生态区实际燃烧的生物量的比例，就能较详细地计算出各区燃烧的生物量。

如果能得到有关数据，每个国家可以制定不同热带草原生态系统的热带草原燃烧的基于季节的活动水平数据和 CH₄ 与 N₂O 排放因子。在热带草原，旱季初期燃烧的面积和地面生物量的比例比末期少，因此，在不同的热带草原生态系统，在整个旱季期间必须监测：(1)热带草原燃烧面积的比例；(2)地面生物量密度；(3)地面生物量燃烧百分比；(4)燃烧效率。

4A.1.1.2 排放因子选择

对于热带草原燃烧，CH₄ 排放因子和燃烧效率存在线性负相关关系，即燃烧效率低则 CH₄ 排放因子大。不管在哪个气候区域、不管是哪种草本植物或多大的地面生物量总量，这种关系都大同小异。

表 4.A2 列出了不同的燃烧效率和相应的 CH₄ 排放因子。一旦依据不同的生态区域和燃烧时期确定了热带草原燃烧的燃烧效率，相应的 CH₄ 排放因子就可以用来计算每年热带草原燃烧中的 CH₄ 排放量。

表 4. A2 燃烧效率和相应的 CH ₄ 排放因子	
燃烧效率	CH ₄ 排放因子 (kg/t dm)
0.88	4.2
0.90	3.4
0.91	3.0
0.92	2.6
0.93	2.3
0.94	1.9
0.95	1.5
0.96	1.1

资料来源: Ward 等(1996)。

生物量燃烧排放的 N₂O 与排放的 CO₂ 线性相关并取决于植被的含氮量。N₂O 的排放因子通过下面的公式来计算:

公式 4.A2 N ₂ O 排放因子
$\text{N}_2\text{O 排放因子}(\text{kg/t dm}) = \text{CO}_2 \text{ 排放因子}(\text{kg/t dm}) \cdot 1/\text{CO}_2 \text{ 分子量} \cdot \text{排放的 N}_2\text{O 与 CO}_2 \text{ 的摩尔比} \cdot \text{N}_2\text{O 分子量}$

公式 4.A2 简化为:

公式 4.A3 N ₂ O 排放因子
$\text{N}_2\text{O 排放因子}(\text{kg/t dm}) = \text{CO}_2 \text{ 排放因子}(\text{kg/t dm}) \cdot \text{排放的 N}_2\text{O 与 CO}_2 \text{ 的摩尔比}$

因烟雾样品中的 N₂O 不稳定, 因此排放的 N₂O 与 CO₂ 的摩尔比是在实验室条件下对不同植被类型进行燃烧试验推导出来的(Hao *et al.*, 1991), 并可由下式表达:

公式 4.A4 排放的 N ₂ O 与 CO ₂ 的摩尔比
$\text{排放的 N}_2\text{O 与 CO}_2 \text{ 的摩尔比} = 1.2 \cdot 10^{-5} + [3.3 \cdot 10^{-5} \cdot \text{生物量中氮和碳的摩尔比(N/C)}]$

依据野外测量生物量燃烧的 CO₂ 排放和生物质中的 N/C 比值, 得出的几个热带草原生态系统的 N₂O 排放因子在表 4.A3 中列出。美洲和非洲热带地区的缺省 N₂O 排放因子是由美洲和非洲大陆平均的排放因子计算得到的。如果清单机构有生物量的 N/C 值并假定 CO₂ 的排放因子为 1700 kg/t dm, N₂O 的排放因子可以通过公式 4.A3 和 4.A4 计算得到。

表 4.A3
不同热带草原生态系统的 N₂O 排放因子

地区	CO ₂ 排放因子 (kg/t dm)	生物量的 N/C 比 (%)	N ₂ O 排放因子 (kg/t dm)
Tropical America	-	-	0.065
Campo limpo ^{a, b, c}	1745	0.60	0.055
Campo sujo ^{a, b, c}	1700	0.56	0.052
Campo cerrado ^{a, b, c}	1698	0.95	0.074
Cerrado sensu stricto ^{a, b, c}	1722	1.02	0.079
Tropical Africa	-	-	0.070
Moist Miombo ^{b, c, d}	1680	1.42	0.099
Semiarid Miombo ^{b, c, d}	1649	0.94	0.071
Moist Dambo ^{b, c, d}	1732	0.33	0.040
Fallow Chitemene ^{b, c, d}	1761	0.77	0.066
Semiarid Woodland	1699	0.98 ± 0.11	0.075

资料来源：^aWard *et al.* (1992), ^bSusott *et al.* (1996), ^cHao *et al.* (1991), ^dWard *et al.* (1996).

4A.1.1.3 活动水平数据选择

每个热带草原生态系统活动水平统计数据应包括：热带草原面积；热带草原燃烧比例；地面生物量密度；地面生物量燃烧比例以及生物量中碳和氮的含量。其它参数（例如现存的生物量与烧亡了的生物量的比例以及各自的 C/N 比例）在此并没有涉及，因为在野外收集这些数据很复杂。又因为 CH₄ 排放因子随着燃烧季节的推移会减少 50%-75%，故强烈建议每个清单机构收集各个季节热带草原燃烧面积的比例、地面生物量密度和每个热带草原生态系统从旱季初期到旱季末期地面生物量燃烧的比例。

4A.1.1.4 建立一致的时间序列

因确定每个热带草原生态系统的燃烧面积时存在很大程度的不确定性，使用至少 3 年的平均值为确定热带草原燃烧中的 CH₄ 和 N₂O 排放趋势提供了基年估算。在第 7 章“方法学选择与重新计算”中描述了保证一致的时间序列的方法。

4A.1.1.5 不确定性评估

依据在美洲和非洲的热带地区的野外扩大实验的结果，CH₄ 排放因子的不确定性大约是±20%。依据在实验室扩大实验的结果，N₂O 排放因子的不确定性也大约是±20%。热带草原生态系统中地面生物量密度的不确定性范围是±2%—±60%，较大的不确定性可能来自于不同地点地面生物量组成的变化。实际燃烧的生物量比例的不确定性小于±10%。目前，很难估计热带草原每年的燃烧面积比例或季节初期和末期燃烧量的不确定性。

4A.1.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，优良作法是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。很显然，报告《IPCC 指南》中的工作表很透明，然而，报告和归档中最重要的问题是不能获得或在野外很难收集大部分的活动水平数据（例如热带草原燃烧面积的百分比、地面生物量密度和实际燃烧的生物量的比例）。由于在收集燃烧面积和生物量实际燃烧比例方面也没有标准方法，造成所报告的数据不一致。

4A.1.3 清单质量保证和质量控制

如上所述，在计算热带草原生物量的燃烧量时，活动水平数据存在着很大程度的不确定性。关于热带草原燃烧面积、地面生物量密度和地面生物量燃烧比例的季节性变化趋势的数据非常有限，可通过使用各国和国际机构的卫星图像改进对正在燃烧的热带草原的地理位置和燃烧面积的监测。另外，为了保证数据的质量和一致性，必须建立测量地面生物量密度、生物量燃烧比例和燃烧效率的标准方法。

附录 4A.2

农业残留物燃烧中的 CH₄ 和 N₂O 排放： 未来方法学建立的基础

因为农业残留物燃烧排放到大气中的碳在作物的下一个生长季节会被重新吸收，所以并不认为农业残留物燃烧是二氧化碳的净排放源，但残留物燃烧却是许多微量气体（包括 CH₄、CO₂、N₂O 和 NO_x）的净排放源。这里要特别指出的是，一些农业残留物从田间带走后作为能源燃烧，特别是在一些发展中国家较普遍。这种燃烧产生的非 CO₂ 排在《IPCC 指南》中的能源部分进行报告。作物残留物燃烧必须在这两者之间正确分配以防止重复计算。以下讨论只集中温室气体 CH₄ 和 N₂O 的直接排放。

4A.2.1 方法学问题

4A.2.1.1 方法选择

方法的选择将取决于各国能否获得活动水平数据以及 CH₄ 和 N₂O 的排放因子。如果能获得这些数据，就使用本国详细而精确的活动水平数据以及 CH₄ 和 N₂O 的排放因子；如果没有这些数据，就用《IPCC 指南》中的缺省值代替。

在估算农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放清单时，最大的不确定性来源于田间燃烧的农业残留物的比例。田间燃烧的农业残留物的百分比必须依据残留物质量平衡的方法估算。要获得对 CH₄ 和 N₂O 排放估算结果的实质性改善，鼓励清单机构估计反映以下因子的当地和区域农业实践：(1)田间残留物燃烧比例；(2)田间残留物异地燃烧的比例（与作物加工有关）；(3)动物在田间食用比例；(4)残留物在田间的腐烂比例；(5)被其它部门利用的比例（例如生物燃料、牲畜饲养饲料、建筑材料等）。目前，发达国家农业残留物田间燃烧的比例估计占总量的 10%，在发展中国家为 25%。这些数据也许都太高了，*优良作法*认为对发展中国家比较合适的值大约为 10%。

4A.2.1.2 排放因子选择

《IPCC 指南》的《工作手册》表 4.16 中的 CH₄ 和 N₂O 排放因子总体来说是合乎情理的。在过去的 5 年里，测量农业残留物田间燃烧产生排放的野外试验很少，没有足够的数据来更新这些排放因子。然而，像热带草原 CH₄ 排放因子从旱季初期到旱季末期逐渐减少一样，残留物燃烧排放因子很可能取决于燃烧期间的天气状况。如果清单机构进行试验测量农业残留物燃烧的 CH₄ 和 N₂O 排放因子，那么残留物燃烧试验应该分别在旱季和雨季进行。

4A.2.1.3 活动水平数据选择

活动水平数据可从本国作物产量中获得，或从《FAO 生产年鉴》（联合国粮农组织）中获得。这些统计数据相当准确度，但几乎没有能用来更新不同作物残留物的残留物/作物比、干物质含量、碳比例和氮碳比的数据。天气状况会影响燃烧效率（见本章附录 4.A1）及 CH₄ 和 N₂O 的排放因子，当清单机构收集活动水平数据时，必需收集每月的天气数据和收获后每种残留物的燃烧量。

4A.2.1.4 完整性

当前的方法综合了所有必须的因子以估算农业残留物燃烧产生的 CH₄ 和 N₂O 排放。《IPCC 指南》的《工作手册》中的表 4.15 有几种作物没有包括（例如甘蔗以及根类作物如木薯和山药）。甘蔗和根类作物残留物的比率分别

为 0.16 和 0.4。对农业残留物总量平衡整体分配的说明非常重要。没有在田间燃烧的残留物，将被微生物分解、成为家用能源消耗或当作家庭废弃物，并成为 CH_4 和 N_2O 的排放源，这些排放源必须纳入到其它活动引起的 CH_4 和 N_2O 排放计算中。

4A.2.1.5 建立一致的时间序列

由于农产品的统计资料相对较准确，农业残留物燃烧排放 CH_4 和 N_2O 的趋势确定因此变得比较容易。计算的薄弱环节在于对农业残留物燃烧的百分比的估计，每个清单机构必须收集每种作物残留物处置的活动水平数据，特别是作物收获后残留物就地燃烧的百分比数据。

4A.2.1.6 不确定性评估

虽然很难确定其不确定性，但农产品包括经济作物和粮食作物的产量数据应是准确的。在旱季，农业残留物燃烧的 CH_4 和 N_2O 排放因子的不确定性约为 $\pm 20\%$ ，然而在雨季燃烧，排放因子的不确定性还不清楚。农业残留物田间燃烧的比例可能是估算农业残留物燃烧排放的 CH_4 和 N_2O 量的最大不确定因素，因此必须汇编说明收获后农业残留物用途的统计数据。

4A.2.2 报告和归档

如第 8 章“质量保证和质量控制”第 8.10.1 节“内部文件和存档”所示，*优良作法*是将编制国家排放清单所需的所有信息成文并存档。农产品数据很容易从本国或《FAO 生产年鉴》（联合国粮农组织）中获得。天气状况和每种作物在旱季和雨季田间燃烧的量必须在报告中体现，有必要测量每种作物残留物的干物质比例、碳比例和 N/C 比并报告，在旱季和雨季进行测量 CH_4 和 N_2O 排放因子的野外试验也显得非常重要。

4A.2.3 清单质量保证和质量控制

农业残留物燃烧中的 CH_4 和 N_2O 排放量估算的质量在不同国家将有很大的差距，这主要取决于田间残留物燃烧百分比数据的质量。其它活动水平数据和排放因子的质量很可靠，并能通过在旱季和雨季收集的残留物燃烧量数据加以改善。农产品数据可用商品贸易统计数据来检验。

附录 4A.3

水稻生产中的甲烷排放：

实地数据的测量、报告和质量保证/质量控制

田间测量：通过至少三个重复的标准稻田对照试验，获得标准的区域和国家排放因子。试验田从移栽作物前不久到作物成熟都保持淹水状态。除了根和残茬返还到土壤以外，试验田在近期内（如，五年）不应施有机肥。在整个淹水期间，每周至少对 CH_4 通量测量两次。对于种植两季或三季稻的地区，每一生长季的数据都应收集。关于灌溉水稻生态系统的标准测量的优良做法可参考 IGAC (1994)。仪器的性能和测量频率将影响不确定性的。对于典型测量，预计不确定性至少为 20%。

随着试验田数目和每一个试验站点测量频率和数量的增加，甲烷排放量估算的准确度和精确度也将随之提高。

应收集的其它数据包括测量位置及其代表的范围、土壤数据和气候资料等。收集农学数据如水稻产量和其它作物生产数据也是很重要的，因为这些数据可以用来确定试验测量是否具有代表性。一般来说，近期已出版的各种预测模型（例如，Huang et al., 1998）可能有助于甲烷排放的报告。如可行，*优良作法*将提供更多的国家或区域特定详细数据。

田间测量的报告：与通量测量一起收集的数据至少包括：(1)换算因子的确定；(2)利用模型验证清单；(3)质量保证/质量控制包括：

- 地理数据：包括试点所处的国家和省份、经纬度、平均海拔高度、位置的简要描述；
- 农业活动记载（例如：有机肥施用、水管理及除草的时间等），作物种植的方法和主要物候期（例如：移植、抽穗、收获日期）；
- 在每次测量通量的同时测量土壤 5 厘米深度的土壤温度和气温；
- 肥料类型、施肥量（包括化肥）、施肥时间和施肥方式；
- 按照美国农业部(USDA)的《土壤分类学》或联合国粮农组织/联合国教科文组织(FAO/UNESCO)的《土壤分类法》对土壤进行分类，至少在亚群层面。同时还应测量包括质地在内的一般土壤特性；
- 水管理（淹水天数、排水/干旱次数）；
- 有机添加剂对排放的影响（应该记录有机添加剂的类型和数量）；
- 使用的水稻品种（名称、生长期、高度、传统和现代品种、具体特性）；
- 不同生长时期的植物参数（例如：叶面积指数、地面生物量（水稻残留物和留茬）、产量、收获指数）。

田间测量的质量保证/质量控制：科学家通常通过田间层面的质量保证/质量控制程序来确定本国特定的排放因子。为了确保用于确定本国特定排放因子的大量数据的可比性和内部校准，应对所有的监测计划制定可靠的国际通用程序以获得‘标准排放因子’（参考 IGAC (1994), Sass (1999)）：

- (1) 在整个淹水季节，每周对 CH_4 通量至少测量两次；
- (2) 如果在试验点种植两季（或在两年内种植五季水稻），应收集每一生长季的数据；
- (3) 排水引发大量滞留在土壤中的甲烷排放，手动采样箱可能监测不到这一排放高峰，在这种情况下，应该对排放量进行修正，如果得不到特定数据，应使季节排放估算增加 10%-20%；
- (4) 应讨论作物种植前的土壤排放的重要性，在合适的情况下，应对此进行估算或测量。

参考文献:

牲畜种群特征

- Agricultural and Food Research Council (AFRC) Technical Committee on Responses to Nutrients (1993) Energy and Protein Requirements of Ruminants. 24-159, CAB International, Wallingford, U.K.
- AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients (1990) Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Energy. Rep. 5, CAB International, Wallingford, U.K.
- Bamualim, A. and Kartiarso (1985) 'Nutrition of draught animals with special reference to Indonesia.' In: Draught Animal Power for Production. J.W. Copland (ed.). Australian Centre for International agricultural Research (ACIAR), Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- Food and Agriculture Organisation (FAO) (1999) Statistical Database.
- Ibrahim, M.N.M. (1985) 'Nutritional status of draught animals in Sri Lanka.' In: Draught Animal Power for Production, J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Jurgen, M. H. (1988) Animal Feeding and Nutrition, Sixth Edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, U.S.A.
- Lassey, K.R., and M.J. Ulyatt (1999) Enterically fermented methane, with emphasis on sheep emissions. Report WLG99/5, National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, New Zealand.
- Lawrence, P.R. (1985) 'A review of nutrient requirements of draught oxen.' In: Draught Animal Power for Production. J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- National Research Council (NRC) (1984) Nutrient Requirements of Beef Cattle, National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.
- NRC (1989) Nutrient Requirements of Dairy Cattle, National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.
- NRC (1996) Nutrient Requirements of Beef Cattle, National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.

牲畜肠道发酵产生的 CH₄ 排放

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Judd, M.J., F.M. Kelliher, M.J. Ulyatt, K.R. Lassey, K.R. Tate, I.D. Shelton, M.J. Harvey, and C.F. Walker (1999) Net methane emissions from grazing sheep, *Global Change Biol.*, 5, pp. 647-657.
- Kurihara, M., T. Magner, R.A. Hunter, and G.J. McCrabb (1999) Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81, pp. 227-234.
- Lassey, K.R., and M.J. Ulyatt (1999) Enterically fermented methane, with emphasis on sheep emissions. Report WLG99/5, National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, New Zealand.
- Lassey, K.R., M.J. Ulyatt, R.J. Martin, C.F. Walker, and I.D. Shelton (1997) Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand, *Atmos. Environ.*, 31, pp. 2905-2914.
- Leuning, R., S.K. Baker, I.M. Jamie, C.H. Hsu, L. Klein, O.T. Denmead, and D.W.T. Griffith (1999) Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods, *Atmos. Environ.*, 33, pp. 1357-1365.
- Murray, B.R., A.M. Bryant, and R.A. Leng (1978) Methane production in the rumen and lower gut of sheep given lucerne chaff: effect of level of intake, *Br. J. Nutr.*, 39, pp. 337-345.

粪便管理系统中的 CH₄ 排放

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

粪便管理系统中的 N₂O 排放

- Gibbs, M.J., P. Jun, K. Gaffney (1999) N₂O and CH₄ emissions from livestock manure. Background paper for IPCC expert meeting on Good Practice in Inventory Preparation: Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide, 24-26 February 1999, Wageningen, The Netherlands.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Oenema, O., O. Heinemeyer, L. Erda, R. Sherlock (1999) Nitrous oxide from Animal Waste Management Systems. Background paper for IPCC expert meeting on Good Practice in Inventory Preparation: Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide, 24-26 February 1999, Wageningen, The Netherlands.

农业土壤中的 N₂O 直接排放

- Barnard, G.W. and L.A. Kristoferson (1985) Agricultural Residues as Fuel in the Third World. Technical Report No. 5. Earthscan, London, UK.
- Bouwman, A.F. (1996) Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, pp. 165-170.
- Clayton, H., I.P. McTaggart, J. Parker, L. Swan and K.A. Smith (1997) Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: A 2-year study of the effects of fertiliser form and environmental conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 25, pp. 252-260
- Cornell (1994) The Cornell Net Carbohydrate System for Evaluating Cattle Diets. Cornell Cooperative Extension, Animal Science Department, Ithaca, NY.
- Firestone, M. K. and E.A. Davidson (1989) Methodological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: M.O. Andreae and D.S. Schimel (eds.) *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley and Sons, Chichester, U.K., pp. 7-21.
- IAEA (1992) *Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture*. IAEA, Vienna, IAEA-TECDOC-674, ISSN 10111-4289.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Klemedtsson, L., A. Kasimir Klemedtsson, M. Escala, and A. Kulmala (1999) Inventory of N₂O emission from farmed European peatlands. In: Freibauer, A. and M. Kaltschmitt (eds.), *Approaches to Greenhouse Gas Inventories of Biogenic Sources in Agriculture*, Proceedings of the Workshop at Lökeberg, Sweden, 9-10 July 1998, pp. 79-91.
- Mosier, A.R. and C Kroeze (1999) Contribution of agroecosystems to the global atmospheric N₂O budget. *Proceedings of International Workshop on Reducing N₂O Emission from Agroecosystems*, Banff, Canada, March 1999.
- Smith, K.A., L. Bouwman, and B. Braatz (1999) Nitrous oxide: Direct emissions from agricultural soils. Background paper for IPCC Workshop on Good Practice in Inventory Preparation: Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide, 24-26 February 1999, Wageningen, The Netherlands.
- Soil Science Society of America (1996) *Glossary of Terms*, Madison WI, USA, p. 47 and p. 73.
- Strehler, A. and W. Stutze (1987) Biomass residues. In: *Biomass: Regenerable Energy*, D.O. Hall, and R.P. Overhead (eds.). John Wiley, Chichester, U.K., pp. 75-102.
- Turn, S.Q., B.M., Jenkin, J.C. Show, L.C. Pritchett, D. Campbell, T. Cahill, and S.A. Whalen (1997) Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: Wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102 (D3): pp. 3683-3699.

农业氮肥施用产生的 N₂O 间接排放

- Crutzen, P.J. and M.O. Andreae (1990) Biomass burning in the tropics: Impact on Atmospheric chemistry and biogeochemical cycles, *Science* 250: pp.1669-1678.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Smil, V., 1999, Nitrogen in crop production: An account of global flows, *Global Biogeochemical Cycles* 13: pp.647-662.

水稻生产中的甲烷排放

- Denier van der Gon, H.A.C. and H.U. Neue (1995) Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: pp. 11-22.
- Ding Aijiu and Wang Mingxing (1996) A model for methane emission from rice field and its application in southern China, *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol.13 pp. 159-168.
- Huang, Y., R.L. Sass, and F.M. Fisher Jr. (1998) A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils. *Global Change Biology* 4:247-268.
- IGAC (1994) Global Measurement Standardisation of Methane Emissions from Irrigated Rice Cultivation, A Report of the Rice Cultivation and Trace Gas Exchange Activity (RICE) of the International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Project, IGAC Core Office, Cambridge, MA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- International Rice Research Institute (1995) World Rice Statistics 1993-94. The International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
- Sass, R.L. (1999) Methane from Rice Agriculture, Background paper presented at IPCC/OECD/IEA programme on national greenhouse gas inventories, Expert Group Meeting on Good Practice in Inventory Preparation. Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide, 24-26 February 1999, Wageningen, The Netherlands.

附件 4A.1 和 4A.2: 热带草原和农业残留物燃烧中的 CH₄ 和 N₂O 排放

- Hao, Wei Min, D. Scharffe, J.M. Lobert and P.J. Crutzen, Emissions of N₂O from the burning of biomass in an experimental system, *Geophys. Res. Lett.*, 18, pp. 999-1002, 1991.
- Hao, Wei Min, D.E. Ward, G. Olbu and S.P. Baker, Emissions of CO₂, CO, and hydrocarbons from fires in diverse African savanna ecosystems, *J. Geophys. Res.*, 101, pp. 23577-23584, 1996.
- Hoffa, E.A., D.E. Ward, W.M. Hao, R.A. Susott and R.H. Wakimoto, Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna, *J. Geophys. Res.*, 104, pp. 13841-13853, 1999.
- Kauffman, J.B., D.L. Cummings and D.E. Ward, Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado, *J. of Ecology*, 82, pp. 519-531, 1994.
- Shea, R.W., B.W. Shea, J.B. Kauffman, D.E. Ward, C.I. Haskins and M.C. Scholes, Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia, *J. Geophys. Res.*, 101, pp. 23551-23568, 1996.
- Susott, R.A., G.J. Olbu, S.P. Baker, D.E. Ward, J.B. Kauffman and R.W. Shea, Carbon, hydrogen, nitrogen and thermogravimetric analysis of tropical ecosystem biomass, in *Biomass Burning and Global Change*, edited by J.S. Levine, pp. 249-259, MIT Press, Cambridge, Mass., 1996.
- Ward, D.E., R.A. Susott, J.B. Kauffman, R.E. Babbitt, D.L. Cummings, B. Dias, B.N. Holben, Y.J. Kaufman, R.A. Rasmussen and A.W. Setzer (1992) Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 14601-14619, 1992.
- Ward, D.E., W.M. Hao, R.A. Susott, R.E. Babbitt, R.W. Shea, J.B. Kauffman and C.O. Justice (1996) Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystems, *J. Geophys. Res.*, 101, pp. 23569-23576.