

第 8 章

其它产品制造和使用

作者

8.1、8.2 和 8.3 节

Deborah Ottinger Schaefer（美国）

Friedrich Plöger（德国）、Winfried Schwarz（德国）、Sven Thesen（美国）、Ewald Preisegger（德国）、Ayite-Lo N. Ajavon（多哥）和 Dadi Zhou（中国）

8.4 节

Nigel Harper（英国）

目录

8	其它产品制造和使用.....	8.7
8.1	导言.....	8.7
8.2	电气设备中的SF ₆ 和PFC排放.....	8.7
8.2.1	导言.....	8.7
8.2.2	方法学问题.....	8.7
8.2.2.1	方法选择.....	8.8
8.2.2.2	排放因子的选择.....	8.14
8.2.2.3	活动数据选择.....	8.16
8.2.2.4	完整性.....	8.18
8.2.2.5	建立一致的时间序列.....	8.18
8.2.3	不确定性评估.....	8.19
8.2.4	质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档.....	8.20
8.2.4.1	质量保证/质量控制.....	8.20
8.2.4.2	报告和归档.....	8.20
8.3	其它产品中SF ₆ 和PFC的使用.....	8.22
8.3.1	导言.....	8.22
8.3.2	方法学问题.....	8.22
8.3.2.1	方法选择.....	8.22
8.3.2.2	排放因子的选择.....	8.31
8.3.2.3	活动数据的选择.....	8.31
8.3.2.4	完整性.....	8.31
8.3.2.5	建立一致的时间序列.....	8.31
8.3.3	不确定性评估.....	8.31
8.3.4	质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档.....	8.32
8.3.4.1	质量保证/质量控制.....	8.32
8.3.4.2	报告和归档.....	8.32
8.4	2G3 产品使用产生的 N ₂ O.....	8.32
8.4.1	导言.....	8.32
8.4.2	方法学问题.....	8.33
8.4.2.1	方法选择.....	8.33
8.4.2.2	排放因子的选择.....	8.34
8.4.2.3	活动数据的选择.....	8.34
8.4.2.4	完整性.....	8.34

8.4.2.5	建立一致的时间序列	8.34
8.4.3	不确定性评估.....	8.35
8.4.3.1	排放因子不确定性	8.35
8.4.3.2	活动数据不确定性	8.35
8.4.4	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档	8.35
参考文献		8.36
附件 8A	方法 3 国家SF ₆ 清单系统举例	8.38

公式

公式 8.1	缺省排放因子方法.....	8.9
公式 8.2	按特定国家排放因子方法的设备处置排放	8.9
公式 8.3	方法 3 排放总量	8.10
公式 8.4A	设备制造排放—纯质量平衡	8.10
公式 8.4B	设备制造排放——混合	8.11
公式 8.5A	设备安装排放——纯质量平衡	8.11
公式 8.5B	设备安装排放——混合	8.11
公式 8.6A	设备使用排放——纯质量平衡	8.11
公式 8.6B	设备使用排放——混合	8.12
公式 8.7A	设备处置和最终使用排放——纯质量平衡	8.12
公式 8.7B	设备处置和最终使用排放——混合	8.12
公式 8.8	SF ₆ 重复利用中的排放*	8.13
公式 8.9	SF ₆ 去除中的排放	8.13
公式 8.10	利用级质量平衡方式	8.13
公式 8.11	退役铭牌容量	8.17
公式 8.12	AWACS (缺省排放因子) 中排放	8.23
公式 8.13	AWACS (用户质量平衡) 中的排放	8.24
公式 8.14	大学和研究粒子加速器排放 (国家级)	8.26
公式 8.15	大学和研究粒子加速器排放 (加速器级排放因子)	8.26
公式 8.16	研究加速器总排放	8.26
公式 8.17	研究加速器排放 (加速器级质量平衡)	8.26
公式 8.18	工业/医学加速器排放 (国家级)	8.28
公式 8.19	隔热特性应用	8.30
公式 8.20	双面玻璃窗户：组装	8.30
公式 8.21	双面玻璃窗户：使用	8.30
公式 8.22	双面玻璃窗户：处置	8.30

公式 8.23	即时排放.....	8.31
公式 8.24	其它产品使用中的 N_2O 排放.....	8.33

图

图8.1	电气设备中SF ₆ 的决策树	8.8
图 8.2	AWACS中SF ₆ 的决策树.....	8.23
图 8.3	研究加速器中SF ₆ 的决策树	8.25
图 8.4	工业和医学粒子加速器的决策树.....	8.28
图 8A.1	方法 3 举例：德国高电压设备.....	8.39
图 8A.2	方法 3 举例：德国中压设备.....	8.41

表

表8.1	避免重复计算或漏算排放：两个例子.....	8.13
表 8.2	含SF ₆ 的密封压力电气设备（MV 开关设备）：缺省排放因子.....	8.15
表 8.3	含SF ₆ 的密闭压力电气设备（HV 开关设备）：缺省排放因子	8.15
表 8.4	含SF ₆ 的煤气绝缘变压器：缺省排放因子.....	8.16
表 8.5	缺省排放因子和寿命的不确定性.....	8.19
表 8.6	按方法报告电气设备中SF ₆ 排放信息的优良作法	8.21
表 8.7	每年每架飞机的SF ₆ 排放	8.23
表 8.8	国家AWACS 机队	8.24
表 8.9	按过程说明在粒子记刷起内SF ₆ 平均充填量	8.29
表 8.10	每个过程说明的排放因子，（工业和医疗粒子加速器中的SF ₆ 排放）	8.29

8 其它产品制造和使用

8.1 引言

本章概述了制造和使用电气设备和大量其它产品产生的六氟化硫 (SF₆) 和全氟碳 (PFC) 排放的估算方法。还提供了几个产品产生的氧化亚氮 (N₂O) 排放的估算方法。在大多数这些应用场合中, SF₆、PFC 或 N₂O 被精心纳入产品中, 以利用化学物质的一种或多种物理特性, 例如 SF₆ 的高绝缘强度、PFC 的稳定性和 N₂O 的麻醉效果。然而此处讨论的应用场合具有大量排放情形, 从所有化学物质 (例如将 PFC 用作大气跟踪剂) 的即时和不可避免的释放, 到使用 40 年后防漏产品中基本可避免的延期释放 (例如密封压力电气设备的制造和使用)。本章所述的估算方法已作适当调正以反映排放情形中的这些差异。

8.2 节详细说明了电气设备中 SF₆ 和 PFC 排放的估算方法。8.3 节详细说明了制造和使用各种含 SF₆ 和 PFC 的其它工业、商业和消费产品产生的排放的估算方法, 不包括本卷其它章节讨论的估算方法 (例如第 6 章讨论的电子制造中的 PFC 排放)。(请参见 8.3 节的介绍, 了解排除的来源清单)。最后, 8.4 节讨论了麻醉剂、推进剂和其它产品使用中 N₂O 排放的估算方法。

8.2 电气设备中的 SF₆ 和 PFC 排放

8.2.1 引言

在电力传输和配电期间使用的设备中, 六氟化硫 (SF₆) 用于电气绝缘和电流断开。排放出现在设备生命周期的每个阶段, 包括制造、安装、使用、维修和处理。电力设备中使用的大多数六氟化硫 (SF₆) 用于煤气绝缘开关设备和变电站 (GIS) 以及煤气电路断路器 (GCB) 中, 不过某些 SF₆ 用于高压煤气绝缘线路 (GIL)、户外煤气绝缘仪器变压器和其它设备。上述应用可分为两类容器。第一类是“密封压力系统”或“永封式设备”, 其定义是在使用寿命期间不需要用气体做任何充填 (加料) 的设备, 通常每个功能单元包含不足 5 千克气体的设备。¹ 配电设备通常属于此类。第二类是“密闭压力系统”, 其定义包括需要在其寿命期内用气体充填 (加料) 的设备。这类设备通常每个功能单位包含 5 到数百千克。传输设备通常属于此类。两类设备的寿命均超过 30-40 年。在亚洲, 大量 SF₆ 用于煤气绝缘电力变压器 (GIT)。

从全球来看, 电气设备是 SF₆ 的最大消费装置和最重要的使用。对全球的 SF₆ 排放有重大贡献。然而这种来源的重要性会因国家和地区而出现很大差异。此类别中的排放不仅取决于已安装 (装箱) 的或消耗的 SF₆ 量, 而且还取决于产品的紧密性和应用的处理过程。目前地区平均排放速率从小于 1% 到大于 10% 不等。总之, 自从 1995 年排放速率已经明显下降。在欧洲和亚洲, 目标工业措施已经将排放减少了 50%-90% (Ecofys, 2005; Aoyama, 2004)。这些措施包括 (1) 设计需要充填更少 SF₆ 且更防漏的设备和 (2) 改善所有生命周期阶段的处理过程和处理设备。²

在一些地区 (例如北美和日本), 全氟碳 (PFC) 在电力变压器中用作绝缘体和热传导液体。PFC 还用于对 CFC-113 冷却的变压器改造。此应用场合中所用的一个 PFC 是全氟化己烷 (C₆F₁₄)。按照绝对和碳权重排放, 电气设备的 PFC 排放通常被认为大大少于电气设备的 SF₆ 排放; 然而这种模式可能会有地区例外。

8.2.2 方法学问题

¹ “密封压力系统”和“密闭压力系统”的正式定义已纳入国际电工委员会 (IEC) 标准 60694。(IEC, 1996)

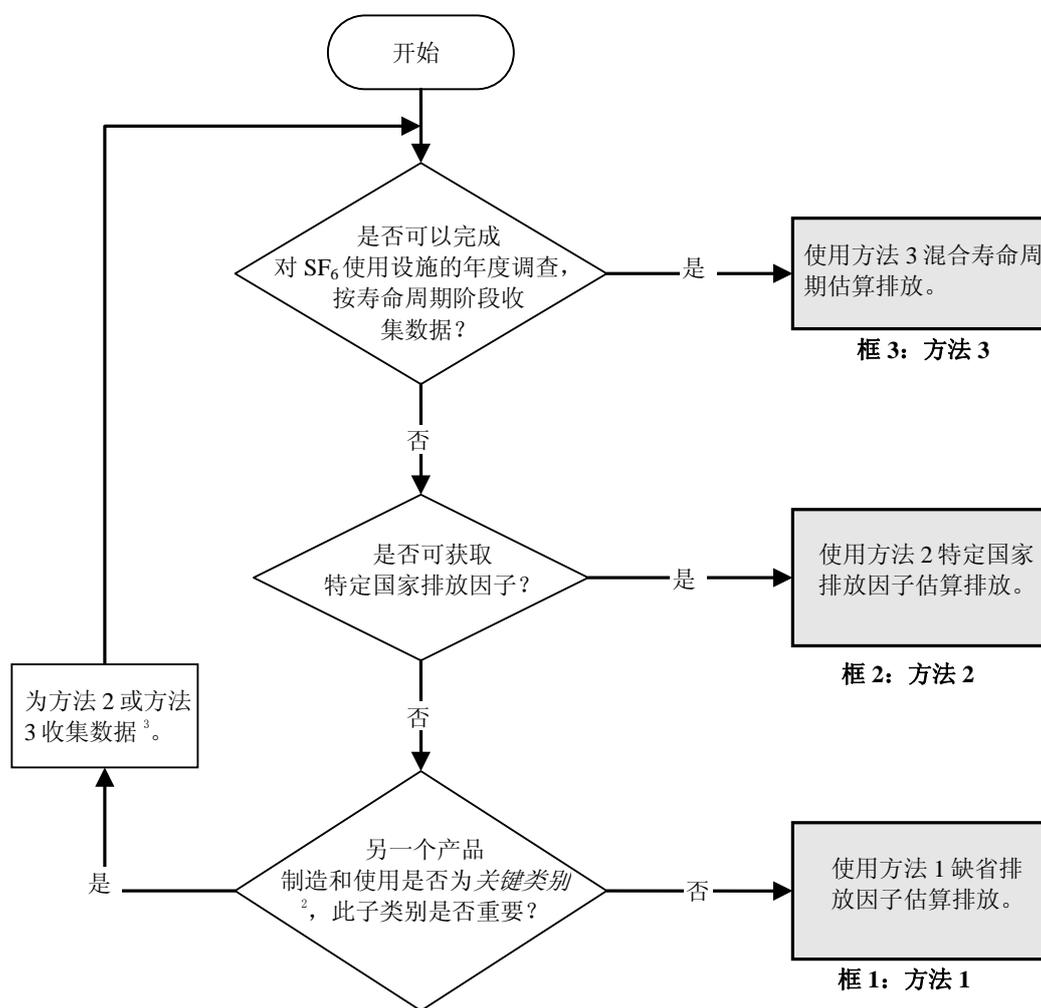
² 国际大电网协会 (CIGRE) 已经发布了有关处理 SF₆ 的指南、准备自定义实际 SF₆ 处理说明的指南, 工作组 B3.02.01, CIGRE 出版号 276, 2005 年 8 月。(CIGRE, 2005)

8.2.2.1 方法选择

电气设备的 SF₆ 排放可以按照复杂程度和数据强度多变的各种方式进行估算。本节说明了使用方法 1（缺省排放因子方法）、方法 2（特定国家排放因子方法）和方法 3（根据具体国情，可以对不同生命周期阶段使用质量平衡方式或排放因子方法的混合方法）的优良作法。总之，在设施级实现的使用方法 3 确定的排放估算将最为准确。使用方法 1 确定的估算最不准确。

如同对其它排放源一样，选择的方法取决于可用的数据以及类别是否为关键。图 8.1 “电气设备中 SF₆ 的决策树” 概述了在方法 3、方法 2 和方法 1 间的选择过程。在方法 3 的质量平衡和排放因子变体之间选择的优良作法将在第 1 章的第 1.5 节中详细讨论。此选择将取决于可用的数据和具体国情。作为评估电气设备和本章讨论的其它类别的 SF₆ 排放的重要性，鼓励清单编制者联系化学生产商和供应商以及电气设备制造商和公用事业和/或工业协会。这些组织可以提供有关化学消耗量和设备库存以及应用的基本信息，这些信息可以帮助清单编制者估算排放和查明值得进一步调查的来源。它们还为建立更广泛数据收集系统以支持方法 2 和方法 3 估算，提供了重要的建议和支持。

图 8.1 电气设备中 SF₆ 的决策树¹



注:

1 在选择估算方法时，优良作法还要考虑本卷第 1 章第 1.5 节表 1.7 中所列标准，用于选择质量平衡方法还是排放因子变体。

2 有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和关键类别识别”（参见关于有限资源的 4.1.2 节）。

3 优良作法是联系要收集、检查和累积实际和历史数据的公用事业/用户和制造商的国家/地区协会。

方法 1 – 缺省排放因子

方法 1 是估算电气设备的 SF₆ 和 PFC 排放的最简便方法。（在本节的下文中，“SF₆”将用于表示“SF₆ 和/或 PFC”）。在此方法中，酌情将缺省地区排放因子乘以设备制造商的合适的 SF₆ 消耗量和/或国家内制造之外每个生命周期阶段的设备的铭牌 SF₆ 能力。术语“安装排放”在以下情况下可以忽略：

（1）预期安装排放不会发生（即对于密闭压力设备）或（2）安装排放纳入制造或使用中排放的排放因子。缺省排放因子见表 8.2 和表 8.4。

优良作法是使用以下公式：

<p>公式 8.1</p> <p>缺省排放因子方法</p> <p>总排放 = 制造排放 + 设备安装排放 + 设备使用排放 + 设备处置排放</p>
--

其中：

制造排放 = 制造排放因子 • 设备制造商的 SF₆ 消耗总量

设备安装排放 = 安装排放因子 • 现场（不是工厂）充填的新设备的铭牌总能力。

设备使用排放 = 使用排放因子 • 已安装设备的铭牌总能力。“使用排放因子”包括因泄漏、维修和维护以及故障产生的排放

设备处置排放 = 退役设备的铭牌总能力 • 退役剩下的 SF₆ 比例

方法 2 – 特定国家排放因子方法

方法 2 使用与方法 1 相同的基本公式，但是需要每个寿命周期阶段可靠的特定国家排放因子。特定国家排放因子将更加准确，因为这些因子反映了在给定国家使用电气设备的独特情形。此外，如果可以获得设备退役的详细数据，可以更准确地估算由于退役产生的排放。方法 2 中设备处置排放的表述包括在退役和处置时考虑回收 SF₆ 的项，如下所示：

<p>公式 8.2</p> <p>按特定国家排放因子方法的设备处置排放</p> <p>设备处置排放 = 退役设备的铭牌总能力 • 退役时剩余的 SF₆ 比例 • (1 - 回收 SF₆ 的退役设备比例 • 回收效率 • 重复利用、重用但不会进一步处理或销毁的已回收的比例*)</p>

*这最后一项旨在考虑化学重复利用和去除期间的排放。

注意若要考虑方法 2，必须仅使用特定国家排放因子确定估值。

混合方法 3—设备寿命周期阶段的排放

方法 3 是估算电气设备中 SF₆ 实际排放时的最准确方法。此方法既详细又灵活，可以适应多种国情。此方法在设施级实施，包括设备每个寿命周期阶段，即设备制造、安装、使用和处置的独立公式。根据设备类型、寿命周期阶段和具体国情，可以使用质量平衡方式或特定国家（或设施）排放因子。总之，优良作法是使用质量平衡方式，除非（1）过程中的排放速率接近或低于质量平衡方式所需的测量精确度（例如每年 3% 的铭牌容量或更少），（2）设备在其寿命期间从未维修（如同预期的密封压力设备情况）或（3）设备库存增长非常快速，如同最近 10-20 年内引入电气设备的国家的可能情况。

混合方法允许对一些过程和寿命周期阶段使用质量平衡方式并对其它过程和寿命周期阶段使用排放因子方法，因而增强了准确性。然而不同方法的组合还引入了重复计算或漏算排放的可能。清单编制者需要认识这个问题，并采取步骤避免这个问题。表 8.1 “避免重复计算或漏算排放”提供了此问题和一些潜在解决方案的例子。

本章的附件（附件 8A）简要描述了方法 3 的例子，该方法已经在德国应用。此例旨在阐述而不是规定如何做；任何给定国家采纳的准确方式将取决于具体国情。

理想情况下，要获得每个设备制造商、电力传输和配电设施（公用事业）、设备处置商（可能是一个制造商、电力公用事业或其它实体）、国家内的 SF₆ 循环利用或去除设施的数据，以及所有制造商、公用

事业、处置商、循环利用或去除设施的排放数据，然后对这些数据求和，确定国家估值。基本的公式是：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.3} \\
 & \text{方法 3 排放总量} \\
 \text{总排放} = & \sum \text{设备制造排放} \\
 & + \sum \text{设备安装排放} \\
 & + \sum \text{设备使用排放} \\
 & + \sum \text{设备处置和最终用途排放} \\
 & + \sum SF_6 \text{ 重复利用和去除中排放}
 \end{aligned}$$

其中：

设施级的 *设备制造排放* 可以通过公式 8.4A 和公式 8.4B 进行估算。

设施级的 *设备安装排放* 可以通过公式 8.5A 和公式 8.5B 进行估算。

设施级的 *设备使用排放* 可以通过公式 8.6A 和公式 8.6B 进行估算。

设施级的 *设备处置和最终使用排放* 可以通过公式 8.7A 和公式 8.7B 进行估算。

设施级的 *SF₆ 重复利用和去除中排放* 可以通过公式 8.8 和公式 8.9 进行估算。

在以上公式中，每个阶段的国家排放等于此阶段所有设备制造商、设备用户、设备处置商或 SF₆ 循环利用方/去除方的排放之和。实际上，不可能始终获得每个设施的数据；在这些情况下，各国可以使用 8.2.2.3 节“活动数据选择”中讨论的某种外推法。

设备制造排放

估算 *设备制造排放* 时可对一些过程采用 *纯质量平衡* 方式或质量平衡的混合方式，而对其它过程采用基于排放因子的方式。除了大量比例的制造商排放来源于排放速率低于质量平衡方式所需的测量精确度（例如每年 3% 的铭牌容量或更少）之内的过程，对于其它过程最好采用纯质量平衡方式。在这些情况下，*优良作法* 是使用排放因子估算具有极低排放速率的过程中的排放，并使用质量平衡方式估算从其它制造过程中的排放。

纯质量平衡方式：使用纯质量平衡方式，每个设备制造商的排放总量可以使用以下公式来估算：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.4A} \\
 & \text{设备制造排放—纯质量平衡} \\
 \text{设备制造排放} = & SF_6 \text{ 清单的减少量} + SF_6 \text{ 的获得量} \\
 & - SF_6 \text{ 的支出量}
 \end{aligned}$$

其中：

SF₆ 清单的减少量 = 年初容器中储存的 SF₆ - 年末容器储存的 SF₆

SF₆ 的获得量 = 从化学生产商或分销商处批量购买的 SF₆ + 设备用户或分销商用设备或在设备内部返回的 SF₆ + 离场回收后返回到现场的 SF₆

SF₆ 的支出量 = 交付给客户时新设备中包含的 SF₆ + 交付给设备用户时容器内的 SF₆ + 退回给供应商的 SF₆ + 离场发送用于重复利用的 SF₆ + 去除的 SF₆

混合方法：此方法首先需要制造商把使用质量平衡方式的过程有关的气流与使用排放因子方法的过程有关的气流区别开来。然后可以使用公式 8.4A 概述的方法来估算前者的排放。后者排放的估算可将经历每个过程（如充填）的设备的铭牌总能力乘以该过程的特定国家或特定设施排放因子。然后使用以下公式，将两组过程中的排放相加，估算出每个制造商的排放总量：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.4B} \\
 & \text{设备制造排放——混合} \\
 & \text{设备制造排放} = \text{公式 8.4A} \\
 & + \sum \text{每个过程涉及的设备的铭牌容量}^* \\
 & \bullet \text{此过程的排放因子}
 \end{aligned}$$

* 不包括公式 8.4A 包含的排放

设备安装排放

设备安装排放可以使用质量平衡或排放因子方式来估算。另外，除了排放速率极低的情况外，最好采用质量平衡方式。

纯质量平衡方式：使用质量平衡方式，每个设备安装方的排放总量可以使用以下公式来估算：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.5A} \\
 & \text{设备安装排放——纯质量平衡} \\
 & \text{设备安装排放} = \text{用于填充设备的} SF_6 \\
 & \quad - \text{新设备的铭牌容量}
 \end{aligned}$$

混合方法：此方法首先需要用户把使用质量平衡方式的设备有关的气流与使用排放因子方法的设备有关的气流中区别开来。然后前者的排放可以使用公式 8.5A 概述的方法来估算。后者排放的估算可将每个设备类型新安装的铭牌容量乘以这类型设备特定国家或特定设施的排放因子。然后使用以下公式，将两组设备中的排放相加，估算出每个安装方的排放总量：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.5B} \\
 & \text{设备安装排放——混合} \\
 & \text{设备安装排放} = \text{公式 8.5A} \\
 & + \sum \text{现场填充的新设备的铭牌容量}^* \bullet \text{安装排放因子}
 \end{aligned}$$

* 不包括公式 8.5A 包含的排放

设备使用排放

设备使用排放可以使用纯质量平衡或混合方式来估算。纯质量平衡方式可能适合这些国家（1）使用 SF_6 的电气设备已达 10-20 年或更长年限，（2）密封压力系统中的排放可能忽略不计。混合方式可能适合其它国家。

纯质量平衡方式：使用纯质量平衡方式，每个设备用户的排放总量可以使用以下公式来估算：

$$\begin{aligned}
 & \text{公式 8.6A} \\
 & \text{设备使用排放——纯质量平衡} \\
 & \text{设备使用排放} = \text{在维修时用于重新充填密闭压力设备的} SF_6 \\
 & \quad - \text{维修时从密闭压力设备中回收的} SF_6
 \end{aligned}$$

混合方法：此方法首先需要用户把使用质量平衡方式的设备有关的气流与使用排放因子方法的设备有关的气流中区别开来。然后可以使用公式 8.6A 概述的方法来估算前者的排放。后者排放的估算可将每个设备类型新安装的铭牌容量乘以这类型设备特定国家或特定设施的排放因子。对于各地使用的密封压力设备和电气设备使用年限少于 10—20 年的国家内所有设备类型，排放因子方法可能更准确。然后使用以下公式，将从两组设备中的排放相加，估算出每个用户的排放总量：

公式 8.6B

设备使用排放——混合

设备用途排放 = 公式 8.6A

+ \sum 安装的设备的铭牌容量* • 用途排放因子

* 不包括公式 8.6A 包含的排放

设备处置和最终使用排放

根据具体国情，设备处置排放和最终使用排放可以使用纯质量平衡或混合方式来估算。在纯质量平衡方式和混合方式中，使用质量平衡公式来估算密闭压力设备的排放。在纯质量平衡方式中，密封压力系统中的排放也使用质量平衡公式来估算。在混合方式中，密封压力系统中的排放也使用基于排放因子的项来估算。

纯质量平衡方式：在未很好开发或广泛应用气体收集基础设施（包括回收设备、技术员培训以及回收的经济或法律鼓励措施）的各国内，优良作法是使用纯质量平衡方式，如下所示：

公式 8.7A

设备处置和最终使用排放——纯质量平衡

处置和最终用途排放 = 从密闭压力设备中的排放

+ 从密封压力设备中的排放 (MB)

其中：

密闭压力设备中的处置和最终使用排放 = 退役的密闭压力设备的铭牌容量 - 退役的密闭压力设备中回收的 SF₆，和

密封压力设备中的处置和最终使用排放 (MB) = 退役的密封压力系统的铭牌容量 - 退役的密封压力系统中回收的 SF₆

注意，如果清单编制者使用排放因子方式估算密封压力设备的“使用排放”，则应从第二个公式中减去一项，避免重复计算。参见表 8.1 “避免重复计算或漏算排放”：这一项有两个例子。

混合方法：在设备处置得到良好控制和理解（即，存在有效气体收集基础设施时）和将密封压力设备使用的排放计算到上述“使用”下的各国内，可以使用混合方法，如下所示：

公式 8.7B

设备处置和最终使用排放——混合

处置和最终用途排放 = 从密闭压力设备中的排放

+ 从密封压力设备中的排放 (EF)

其中：

密闭压力设备中的处置和最终使用排放 = 退役的密闭压力设备的铭牌容量 - 退役的密闭压力设备中回收的 SF₆，和

密封压力设备中的处置排放 (EF) = [(退役密封压力系统的铭牌容量) - (退役密封压力系统的铭牌容量 • 使用排放因子 • 设备的寿命)] • (1 - 回收 SF₆ 的退役设备比例 • 回收效率)

如上所述，使用上述方法估算的排放应定期检查，例如使用纯质量平衡方式和/或评估回收频率和作法。清单编制者应特别注意回收 SF₆ 的退役设备比例以及回收时回收的充填比例（回收效率）。即使在从退役设备中回收 SF₆ 作为标准的国家，也可能出现某些排放，而且在退役设备中只有几个百分点的 SF₆ 排放会驱使排放速率高于从技术上可以达到的最小值，在另外一些情况下此排放将成为排放因子的合理基础。

SF₆ 重复利用和去除的排放

一些 SF₆ 排放出现在回收化学物质之后。这些排放包括（1）与重复利用 SF₆ 有关的排放，（2）与去除 SF₆ 有关的排放。（与将 SF₆ 运输到离场重复利用装置或去除设施有关的排放被视为忽略不计）。通常预期 SF₆ 重复利用的排放较小—低于进入重复利用过程总量的 1%。然而，如果未使用最新处理设备和

作法，这些排放可能更高。在大多数情况下，预期重复利用会出现在设备制造商或用户的现场。在其它情况下，重复利用可能出现在与化学品生产商无关的集中的重复利用设施处。最后，重复利用可能出现在化学生产商处。从化学生产商中重复利用的排放将在化学生产下计算（参见本卷第 3.10 节），不应纳入此处。

与 SF₆ 去除有关的排放取决于过程的去除效率和进入过程的 SF₆ 量。因为 SF₆ 的高稳定性和分裂温度时，去除效率可能低至 90%。因此，给入去除过程中最多有 10% 的 SF₆ 可能会被排放。与重复利用的气体量相比，预期进入去除过程的气体量通常较少。然而对于不同的国家，这个数量会有所差异。

对于根据充分考虑特定国家物流以及重复利用和去除 SF₆ 作法的重复利用和去除，*优良作法*是开发特定国家排放因子。

SF₆ 重复利用的排放可能使用以下公式估算：

<p>公式 8.8 SF₆ 重复利用中的排放*</p> <p>重复利用的排放 = 重复利用排放因子 • 进入重复利用过程的 SF₆ 数量</p>
--

*应排除在化学生产设施处出现的重复利用的排放。

SF₆ 去除的排放可使用以下公式估算：

<p>公式 8.9 SF₆ 去除中的排放</p> <p>去除的排放 = 去除排放因子 • 进入去除过程的 SF₆ 数量</p>

表 8.1	
避免重复计算或漏算排放：两个例子	
示例 1 – 重复计算	示例 2 – 漏算
情形： 排放因子方式用于估算在密封压力设备使用期间排放，而质量平衡方式用于估算密封压力设备处置期间的排放。	情形： 质量平衡方式用于估算密封压力设备使用期间的排放，而排放因子方式用于估算密封压力设备处置期间的排放。
潜在问题： 使用期间的排放可能被重复计算，因为发现处置设备时要丢失的一些 SF ₆ 已经作为使用期间的排放进行了计算。	潜在问题： 设备最后维修与处置之间发生的排放可能会被漏算。这些‘最终使用’排放可能占使用总排放的重要比例，特别是每隔 10 年或更长时间重新充填设备时。
解决方案： 从处置期间排放中减去整个使用寿命期间的排放（退役密封压力系统的铭牌容量 • 使用排放因子 • 设备的寿命）。	解决方案： 对密封压力设备生命周期的使用和处置阶段，使用质量平衡方式。

方法 3 的特例：利用级别、纯质量平衡方式

符合在设备制造（即，设备安装、使用和处置期间的排放为 3% 或更多设施级气流的国家，电气设备已经使用 10-20 年或更多年限的国家，以及密封压力设备中的排放可忽略的国家）之外使用纯质量平衡方式的*优良作法*标准的国家，可使用简化版本的方法 3 来估算设备使用期间的排放，这样做几乎不会损失准确性。按照设施级气流加总和重新用公式表示时，公式 8.5A、8.6A 和 8.7A 会产生以下公式：

<p>公式 8.10 利用级质量平衡方式</p> <p>用户排放 = SF₆ 清查的减少量 + SF₆ 的获得量 – SF₆ 的支出量 – 设备铭牌容量中的净增长量</p>

其中：

$$SF_6 \text{ 清单的减少量} = \text{年初容器储存的 } SF_6 - \text{年末容器储存的 } SF_6$$

SF_6 的获得量 = 从化学生产商或分销商处批量购买的 SF_6 + 随同设备或设备内从设备制造商或分销商处购买的 SF_6 + 离场重复利用后返回到现场的 SF_6

SF_6 的支出量 = 出售给其它实体时设备中包含的 SF_6 + 退回给供应商的 SF_6 + 离场发送用于重复利用的 SF_6 + 去除的 SF_6

设备铭牌容量中的净增长量 = 新设备的铭牌容量 - 退役设备的铭牌容量

尽管利用级方法没有整个寿命周期方法详细，但其简便，对于国情允许其使用的国家，其提供的估算与实际气体损耗紧密相关。

电气组件制造中的 SF_6 排放

按产品的绝缘介质中 SF_6 的权重，某些电气设备组件可能包含 1% 或更少的百分比。这些组件包括但不限于中压浇注树脂仪器变压器和高压套管。在中压（最大 52kV）浇注树脂仪器变压器中， SF_6 用于填充树脂绝缘装置中的微孔，以改善绝缘质量和产品的耐久性。在高压（高于 52kV）套管中， SF_6 在绝缘系统的某些零件中用作聚氨酯树脂的发泡剂，以改善绝缘质量和产品的耐久性。

SF_6 排放仅来源于产品固体绝缘的浇注/发泡过程。假定使用的所有 SF_6 在制造阶段中排放。若要估算此来源的排放，可以对设备制造商使用纯质量平衡方式（公式 8.4A），将新设备包含的 SF_6 设置为等于零。

减排措施着重于通过吸风装置和/或改善的浇注过程来限制损耗/提高重复利用的速率。今后这类高压套管中的 SF_6 可以用另一个发泡剂替代。

8.2.2.2 排放因子的选择

因为排放速率不但会因国家而有所差异，也会因设施而有所差异，所以鼓励使用基于排放因子方法的清单编制者开发和使用自己的排放因子。调查国家内设备制造商和公用事业的代表性示例是开发这类因子的有效方法。总之，优良作法是归档这些证据和支持所选排放因子的原因，并至少每隔 5 年评审一次这些因子。

影响排放速率的因子包括设备的设计（根据设备制造的时间和地点，这会有所差异）、处理 SF_6 的作法、最新处理设备的可获性、 SF_6 价格和规定（例如回收要求）。其中任意一项的变化可能会随着时间或国家而更改排放速率。

方法 1

根据最近的研究，已经为某些地区开发了建议的缺省排放因子。这些因子如以下表 8.2-8.4 所示。

优良作法是从下述国家和地区中选择缺省排放因子，其设备设计和 SF_6 处理作法类似于正估算其排放的国家。因为日本和欧洲提供了大多数电气设备的全球需求，所以设备设计可能类似于日本或欧洲的。除了美国的因子之外，地区缺省排放因子是 1995 年归档的因子，即实施任何特殊工业减排措施之前。1995 年在日本，制造期间用于测试设备中大约有 70% 的 SF_6 被回收，在额定 110 kV 或更高额定值的设备维护期间回收类似的百分比。（70% 回收比例反映了从大约绝对 5 巴的初始压力绝对到最终压力为绝对 1 - 1.5 巴的回收）。从额定值低于 110 kV 的设备中没有回收气体（Maruyama 等人，2000）。1995 年在欧洲，设备制造的煤气供应系统通常是分散的，且充填管道不是自闭的。在制造和维护期间，气体回收为大约绝对 0.05 巴（Ecofys，2005）。

表 8.2
含 SF₆ 的密封压力电气设备（MV 开关设备）：
缺省排放因子

阶段 地区	制造 (制造商的 SF ₆ 消耗比例)	使用(包括泄漏、主要故障/电弧故障和维护损耗) (安装的所有设备铭牌容量 的每年比例)	处置 (处置设备的铭牌容量比例)	
			寿命(年)	退役时剩余的充填比例 ^b
欧洲 ^a	0.07	0.002	>35	0.93
日本 ^c	0.29	0.007	未报告	0.95

^a 来源：“欧洲高压和中压电气设备中 SF₆ 排放的减少”，Ecofys，2005 年 6 月。

^b 这指的是寿命结束时设备中剩余的原始充填料或铭牌容量百分比；表示重复利用或处置设备之前潜在排放的铭牌容量比例。

^c 基于电力公司联盟（FEPC）和日本电气制造商协会报告的数据（FEPC 和 JEMA，2004）。这些组织在报告平均排放因子时没有区分设备类型。因此这些因子旨在应用于所有设备类型，包括密封压力系统、密闭压力系统和煤气绝缘变压器。

注：以上排放因子反映了 1995 年采用的作法和技术，即实施减排措施之前。脚注 a 和 c 的参考显示了如何根据以后的各种自愿测量的连续实施情况来进一步开发这些因子。另一个参考（Schwarz，2006）将最新排放因子用于德国的减排测量。

表 8.3
含 SF₆ 的密闭压力电气设备（HV 开关设备）：
缺省排放因子

阶段 地区	制造 (制造商的 SF ₆ 消耗比例)	使用(包括泄漏、主要故障/电弧故障和维护损耗) (安装的所有设备铭牌容量 的每年比例)	处置 (处置设备的铭牌容量比例)	
			寿命(年)	退役时剩余的充填比例 ^c
欧洲 ^a	0.085 ^b	0.026	>35	0.95
日本 ^d	0.29 ^b	0.007	未报告	0.95
美国 ^e	f	0.14 ^g	>35	h

^a 来源：“欧洲高压和中压电气设备中 SF₆ 排放的减少”，Ecofys，2005 年 6 月。

^b 包括安装中的排放。

^c 这指的是寿命结束时设备中剩余的原始充填料或铭牌容量百分比；表示重复利用或处置设备之前排放的铭牌容量比例。

^d 基于电力公司联盟（FEPC）和日本电气制造商协会报告的数据（FEPC 和 JEMA，2004）。这些组织报告了包括所有设备类型中排放的平均排放因子，包括密封压力系统、密闭压力系统和煤气绝缘变压器。

^e 源于美国的温室气体和汇清单，1990-2002（U.S. EPA，2004）。此值来源于可以获得代表性特定国家数据的第一年，即 1999 年。

^f 不能获得特定国家值。

^g 包括安装中的排放。

^h 处置排放纳入美国的使用排放因子中。

注：以上排放因子反映了 1995 年采用的作法和技术，即实现减排措施之前。脚注 a 和 d 的参考显示了如何根据以后的各种自愿测量的连续实施情况来进一步开发这些因子。Schwarz（2006）将最新排放因子用于德国的减排测量。

表 8.4
含 SF₆ 的煤气绝缘变压器：缺省排放因子

地区 \ 阶段	制造 (制造商的 SF ₆ 消耗比例)	使用(包括泄漏、主要故障/电弧故障和维护损耗) (安装的所有设备铭牌容量 的每年比例)	处置 (处置设备的铭牌容量比例)	
			寿命(年)	退役时剩余的充填比例 ^a
日本 ^b	0.29	0.007	未报告	0.95

^a 这指的是寿命结束时设备中剩余的原始充填料或铭牌容量百分比；表示重复利用或处置设备之前排放的铭牌容量比例。

^b 基于电力公司联盟 (FEPC) 和日本电气制造商协会报告的数据 (FEPC 和 JEMA, 2004)。这些组织在报告平均排放因子时没有区分设备类型。因此这些因子旨在应用于所有设备类型，包括密封压力系统、密闭压力系统和煤气绝缘变压器。

注：以上排放因子反映了 1995 年采用的作法和技术，即实现减排措施之前。脚注 b 的参考显示了如何根据以后的各种自愿测量的连续实施情况来进一步开发这些因子。Schwarz (2006) 将最新排放因子用于德国的减排测量。

方法 2

方法 2 的排放因子的开发通常根据从跟踪各寿命周期阶段排放的代表性制造商和公用事业中收集的数据，至少一年在设施处基本上使用方法 3 纯质量平衡方式。（处置排放因子还应计算公用事业现场下游出现的排放，如下所述。）然后各寿命周期阶段的这些排放除以该生命周期阶段的对应 SF₆ 消耗量或设备容量（即制造排放的 SF₆ 消耗量、使用排放的现有设备总容量，和最终使用和处置排放的退役设备容量）来开发排放因子。例如，若要开发制造的排放因子，将对制造商的调查中的排放总量相加，然后除以调查的制造商的 SF₆ 消耗总量。然后此排放因子可用到整个制造部门，使用各制造商的国家 SF₆ 消耗量。类似的方法可用于估算和应用设备使用的排放因子。

处置的排放因子应完全计算三个因子：（1）回收频率（回收充填料的设备比例），（2）回收效率（实施回收时回收的充填料比例）和（3）回收气体的重复利用和去除中的排放。（1）和（2）中的数量将自动计算在根据在代表性设施处使用方法 3 质量平衡方式的排放因子中。然而（3）中的数量反映了出现在公用事业/用户的现场和下游中的两种排放。因此，必须单独计算。参见以下的方法 3 讨论，了解有关估算重复利用和去除排放因子的指南。

方法 3 的设施级变化还可用于开发排放因子，但是这些将用于以更高的累计级别，即设备制造和使用（后者包括安装、使用和处置），而不是每个寿命周期阶段。

方法 3

因为方法 3 鼓励只在过程中的排放速率极低（例如每年铭牌容量 3% 或更低）或电气设备仅在最近引进某个国家时，才使用排放因子，此方法的排放因子可能难以直接使用质量平衡方式进行测量。因此为了估算方法 3 排放因子，可以使用工程研究，明确潜在泄漏点和损耗机制，并对其分配概率和排放速率。服务和维护中的预期损耗应算入综合排放速率，如同造成大多数设备充填料损耗的灾难性事件中的损耗。应考虑类似过程和设计的以往经验。为了确认和验证使用的排放因子，使用数年之后可以在现场实施设备调查，并用预期泄漏速率和测量设备的检测限制来确定年数。应监控有关设备故障速率的制造商统计信息，以帮助确保灾难性或渐进损耗速率不高于预期值。处置排放对回收频率（回收充填料的设备比例）和回收效率（实施回收时回收的充填料比例，由于时间上的考虑，这一比例可能低于技术上可以达到的比例）极其敏感。因此在建立处置排放因子之前，应周密监控和归档这些数据。

重复利用回收 SF₆ 的排放因子可基于专业判断。去除的排放因子可基于去除技术的额定去除效率，假定按照维持额定去除效率的方式来维持和操作此技术。

8.2.2.3 活动数据选择

实施各种估算方法必需的活动数据可以取自从国家或地区内的化工制造商、设备制造商、设备用户和设备处置商和/或工业协会。最佳数据来源会因方法和国情而有所差异。

方法 1

设备制造商的 SF₆ 消耗量：设备制造商的 SF₆ 消耗量估算可以使用来源于制造商的下列信息：其 SF₆ 的采购量、退回化工生产商的 SF₆ 和容器中 SF₆ 的清单变化。如果来源于设备制造商的信息不能获得或不完整，可以使用来源于化工生产商和/或经销商关于销售给设备制造商（无退货）的信息。

新设备和退役设备的铭牌容量：可以使用一个或多个以下数据源估算铭牌容量：（1）来源于设备制造商/进口商处与制造或进出口设备的铭牌总容量有关的信息，（2）来源于公用事业处有关每年安装和退役设备的铭牌总容量的信息，（3）如果来源于（1）或（2）的信息不能获得，来源于化工制造商/进口商有关 SF₆ 销售给设备制造商的信息。前两个数据源优于第三个，因为销售给设备制造商的气体将不同于国家内安装的新设备铭牌容量，尤其是设备进出口量大时。在估算新设备和退役设备的铭牌容量时，清单编制者应纳入进口设备的铭牌容量，排除出口设备的铭牌容量。（参见第 7.5 节“制冷”框 7.1 “计算制冷剂和设备的进出口”，了解在估算这些数量时如何处理进出口的完整讨论。此指南可直接适用于此类别。）

对于退役设备，容量或销售信息应是历史数据，始于构建当年退役设备的年份。电气设备寿命的典型值范围介于 30-40 年。如果不能获得有关退役设备铭牌总容量的信息，则可以使用估算的设备容量年增长率来估算新铭牌容量。在估算增长率时，*优良作法*是考虑每年售出的设备数以及设备的平均铭牌容量。³

如果此信息不能直接获得，以下公式可用于估算退役铭牌容量：

公式 8.11
退役铭牌容量

$$\text{退役铭牌容量} = \text{新铭牌容量} / (1 + g)^L$$

其中：

L = 设备寿命

g = 增长率

根据 2004 全球调查，1970-2000 年间出售给设备制造商的 SF₆ 平均年增长率大约为 9%。（Smythe, 2004）。在缺少特定国家信息时，可以使用缺省因子 9%。

已安装设备的铭牌总容量：估算设备的铭牌总容量以及新设备和退役设备的铭牌容量时，可使用相同的数据源。如果使用设备制造商的数据，应包括设备整个寿命期间（30-40 年）的销售数据。

方法 2

数量的估算可类似于以上方法 1。

方法 3

若要实施方法 3，信息必须在两级收集。在设施级，气流必须根据方法 3 正确跟踪。在国家级，来源于设施（设备制造商、设备用户和设备处置者）的信息必须收集、检查、汇总，并在必要时进行外推，以纳入未收集数据的国家内来源于设施的排放估算。需要设施跟踪信息的相关指南见以上方法 3 的说明。气体消耗量的测量，可以在充填前后，或回收操作前后，或年初和年末测定气缸重量，或使用流量计（例如设备制造期间）。在国家级，设备制造商和公用事业的贸易协会可以帮助将有关方法 3 的知识转播给其成员，还可以帮助其成员一致和透明地跟踪及报告数据。贸易协会还可以作为第三方累积保密或敏感数据，以便可向公众发布（以累积形式）。如果没有贸易协会，国家清单编制者可以开发模型排放跟踪议定书或采用包含方法 3 在内的现有工业议定书，以促进设施级的信息收集以及报告和验证此信息。然后可将这些议定书分发给电气设备的制造商、用户和处置者。像电子数据表等电子议定书进一步便利了排放的跟踪、归档和报告，将出现算术错误的可能降到最低。

因为不同地区和不同设施的排放速率各有不同，所以*优良作法*是尽可能多地调查这些设施。除了制造商和公用事业之外，如果工业地点和其它非公用事业地点对电气设备中的排放做出大量贡献，各国应对其调查。如果某国内的设施数量很大（例如超过 50 个），可能难以获得完整的报告。在这些情况下，各

³ 一般当每年出售的设备数已经增长时，一般平均铭牌容量会出现下降。

国可以将方法 2 应用到这些设施或使用第 1 卷第 2 章“数据收集方法”所述的备选活动数据，估算未报告设施的排放。选择和使用备选活动数据的特定部门注意事项见下文讨论。

对于密封压力设备（广泛分散于工业用户和公用事业之中），制造商和分销商可能是国家储藏库大小和排放速率有关完整信息的最佳来源。若要开发准确的估算，清单编制者应调查目前至安装当前退役设备之时的制造商的设备销售情况，如果设备尚未退役时，应调查目前至设备引入国内时之时制造商的设备销售情况。

选择和使用备选活动数据的特定部门注意事项

如上所述，即使在实施方法 3，可能也无法获得所有设施的数据。若要获得设施的完整范围，可以使用备选的活动数据。为了估算未报告制造商的排放，可以使用未报告制造商的制造能力和/或综合市场份额（按照功能单位）。为了估算非报告公用事业中的排放，可能的备选数据集或驱动因素包括（但不限于）传输线路的长度、传输和配电线路的组合长度或非报告公用事业的变电站数目。采用传输公里数可以很好地预测大多数 SF₆ 用于高压传输设备时产生的排放，如同在美国（有关传输公里数如何用于估算美国产生的排放的讨论可见于第 1 卷第 2 章“数据收集方法”）。在很大比例的 SF₆ 用于中压配电设备或煤气绝缘变电站时，可以采用一种其它类型的数据。

无论在哪里使用备选数据集，重要的是从一组代表性设施中推导出排放因子，以确保产生的国家 SF₆ 排放估算没有偏差。注意，例如对于不同大小的公用事业或城市与乡村地区的公用事业，可能宜采用多个因子。因为 SF₆ 使用和排放模式可能会随时间变化，所以优良作法是至少每 5 年更新一次分析和排放因子。（例如，随着紧凑防漏设备替换泄漏较多的较大设备，以及随着密封压力设备重要性的提高，排放速率可能会出现变化）。在某些情况下，各国可以利用在具有类似电气网格的国家内开发的排放因子。这些情况下，优良作法是首先记录归档网格间的相同点，然后再应用来自另一个国家的排放因子。

8.2.2.4 完整性

此源类别的完整性需要计算设备制造、使用和处置以及从设备中回收 SF₆ 的重复利用或去除期间的排放。使用方法 3 时，完整性需要明确所有重要的 SF₆ 用户（制造商和公用事业）。不能从所有这些用户处获得设施级排放数据时，应使用第 8.2.2.3 节“活动数据选择”所述的一个外推方法求出排放估算。

在制造部门中，这需要评估以下排放：

- 煤气绝缘开关设备（GIS）、煤气电路断路器（GCB）、高压煤气绝缘线路（GIL）、室外煤气绝缘仪器变压器、重合闸、开关和两种类型的环网柜（密封压力系统和密闭压力系统，分别高达 52kV 和高于 52kV）和其它设备的制造，这里所指的其它设备包括但不限于将 SF₆ 用作浇注过程的气体或发泡剂的浇注树脂仪器变压器和某些类型的套管；
- 煤气绝缘电力变压器（GIT）的制造商；
- 次要 SF₆ 用户，包括设备改造商和维修公司；
- 从生产商和分销商到制造设施的 SF₆ 分销链。

在公用事业和处置部门中，这需要计算与以下操作有关的所有 SF₆ 损耗：

- 新电气设备安装；
- 泄漏、充填、维护和设备故障；
- 处置丢弃的电气设备；
- 从设备处回收的 SF₆ 的重复利用或去除（但是来自化学生产商的重复利用排放应算在化学生产下，这些将在本卷的 3.10 节中叙述）。

优良作法是识别和纳入工业、军事和小型公用事业应用，前提是据信这些应用场合对电气设备源类别的总排放做出重大贡献。

8.2.2.5 建立一致的时间序列

当估算设备用户随着时间序列的排放时，必须考虑关注年份在用户地点与全套设备有关的 SF₆ 排放。因此当使用基于库和排放因子的方法时（例如方法 2），各国将需要关注年份之前 30-40 年内购买及安装的设备容量和排放速率的信息。

在用户部门，如果不能获得历史数据，优良作法是使用自上而下的方法进行估算，即根据工业专家和清单编制者的专家判断来开发模型，然后按照如下所述进行校准。新设备的平均泄漏速率和充填频率以及例行维护 1970-1995 年间全部出现减少，这个趋势一直持续到目前。将当前（2000 年之后）综合损耗速率应用到历史年份不是优良作法。从历史销售数据估算的累积损耗速率也可用于这种情况。

在制造方面，如果不能获得为 1990/1995 年开发基准年排放的历史数据，则可以为当前年份采用自上而下的方法校准为更加准确的估算。因此自从 1995 年以来设备制造商的 SF₆ 处理作法已经出现了重大变化（例如更多气体被回收），所以采用当前损耗速率进行历史估算不是优良作法。从全球和地区销售数据以及排放分析确定的累积损耗速率可以协助提供早些年无偏差的估算。优良作法是按照第 1 卷第 5 章中提供的指南重新计算排放，所有假设都要清楚地记录归档。

8.2.3 不确定性评估

当使用方法 3 时，产生的排放估算将具有±10%的准确性，可能比使用方法 2 或方法 1 得出的估算更准确。如果调查不完整，则关联的不确定性会更大。不确定性的特定来源可能包括：

- 设备制造商出口的 SF₆（在设备中或单独的容器中）；
- 外国设备制造商进口的 SF₆（在设备或容器中）；
- 返回外国重复利用设施的 SF₆；
- 质量、密度和压力的测量（通常准确到总质量的 1%或 2%之内，但是如果排放速率较低，则占这些速率的较大比例）；
- 排放因子；
- 排放和维修之间的时滞；⁴
- 设备的寿命；
- 与任何外推法有关的回归错误。

方法 1 的缺省排放因子中的估算不确定性如表 8.5 “电气设备中 SF₆ 排放的缺省排放因子的不确定性”。这些值基于欧洲排放因子中注意到的变化。如果表 8.2-8.4 中的因子应用在开发这些因子的国家和/或地区外，则不确定性会更高。

阶段 设备类型	制造	使用（包括泄漏、主要故障/电弧故障和维护损耗）	处置	
			寿命（年数）	退役时剩余的充填比例
密封压力 ^a	±20%	±20%	-20%/+40%	^d
密闭压力 ^b	±30%	±30%	-10%/+40%	^d
煤气绝缘变压器 ^c	±30%	±30%	-10%/+40%	^d

^a 据“欧洲高压和中压电气设备中 SF₆ 减排”估算，Ecofys，2005 年 6 月，没有从日本获得不确定性；与美国无关。

^b 据“欧洲高压和中压电气设备中的 SF₆ 减排”估算，Ecofys，2005 年 6 月，美国排放因子在制造方面具有更高的不确定性（±70%），而在使用方面具有较低的不确定性（±15%）（温室气体和汇的美国清单（美国 EPA，2004））。没有从日本获得不确定性。

^c 类似于密闭压力系统的估算；实际不确定性有时可能较高。没有来源于日本的不确定性。

^d 没有获得退役时剩余充填料比例的不确定性。

⁴ 参见本卷第 1 章了解这个问题的讨论。

8.2.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

8.2.4.1 质量保证/质量控制

*优良作法*是实施第1卷第6章概述的质量控制检查以及专家评审排放估算。也可以采用第1卷介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是当运用较高级方法来估算这种排放源类别的排放时。对于第1卷第4章确定的*关键类别*，鼓励清单编制者采用较高层次的QA/QC。

专用于电气设备的其它程序如下所述：

对采用不同方法的排放量估算进行比较

清单编制者应对设施级数据求和，用作自下而上的方法3一部分，并依据国家级数据（方法2）计算的国家级排放的数据和/或具有IPCC缺省排放因子（方法1）的国家级数据对相关数据进行交叉检查。可依据方法1对方法2进行类似检查。各国还可能将它们的结果与使用国家级质量平衡方式得出的结果进行比较，如第7章的公式7.3和公式7.9中所述。如果各国没有制造设施，则还可将它们的估算与使用国家表现消耗数据估算的潜在排放进行比较。

设施级排放数据的审查

在通过调查获得特定地点排放数据的所有情形中，清单编制者应比较各地之间的排放速率（调节相对大小或容量）以识别重要的局外点。他们应调查任何局外点，以确定是否可以说明不同点，或确定报告的排放中是否有误差。如8.2.2.3节所述，国家清单编制者可以通过分配体现方法3的排放跟踪议定书，促进设施级信息的收集和验证。例如电子数据表等电子议定书尤其有用，因为它们会将算术错误的可能性降到最低。这些议定书（不论是否为电子的）中包含的计算在提交之后可以进行检查。

与其它国家的排放速率进行比较

清单编制者应将有效排放因子（损耗速率）与地区中其它国家报告的值进行比较，或与具有类似设计或类似排放控制级别的设备的科学文献中公布的缺省值进行比较。如上所述的透明报告是进行国际比较不可或缺的。

8.2.4.2 报告和归档

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

与此源类别有关的特定归档和报告（为了确保报告的排放估算中的透明性）的某些示例见表8.6“按方法报告电气设备中SF₆排放信息的优良作法”。

如果制造商或公用事业数量有限，可能会出现保密性问题。在这些情况下，总电气设备部门的累积报告或甚至国家SF₆总体应用的累积报告可能是有必要的。国家或地区用户和制造商协会可能愿意收集、检查和累积数据，尤其是它们历史上已经收集了这些数据时。它们然后将这些累积信息报告给清单编制者，解决保密性问题。如果调查回复不能作为公共信息发布，则可能需要由第三方评审调查数据以支持数据验证工作。

表 8.6
按方法报告电气设备中 SF₆ 排放信息的优良作法

数据	方法 3	方法 2	方法 1
设备制造商每年在全国消耗的 SF ₆		X	X
新设备的铭牌容量	X	X	X
现有设备的铭牌容量	X*	X	X
退役设备的铭牌容量	X	X	X
去除的 SF ₆	X		
年初清单中的 SF ₆	X		
年末清单中的 SF ₆	X		
按设施购买的 SF ₆	X		
按设施出售或返回的 SF ₆	X		
离场发送用于重复利用的 SF ₆	X		
重复利用后返回现场的 SF ₆	X		
用于充填新设备的 SF ₆	X		
用于维修设备的 SF ₆	X		
从退役设备中回收的 SF ₆	X		
排放/回收因子	X*	X	
特定国家因子的归档	X*	X	
*这些方法的某些变体所需。			

8.3 其它产品中SF₆和PFC的使用

8.3.1 引言

此源类别不包括《2006年指南》其它地方阐述的以下源类别。

- SF₆和PFC的生产（3.10节）；
- 电气设备的生产和使用（8.2节）；
- 镁和铝的初级生产和次级生产（第4章）；和
- 半导体和平板显示器制造（第6章）。

此源类别中识别的其余应用包括：

- 军事应用中所用的SF₆和PFC，尤其是机载雷达系统中所用的SF₆，例如机载预警及控制系统（AWACS）和在大功率电子应用中用作热传导液体的PFC；
- 大学和研究粒子加速器内设备中使用的SF₆；
- 工业和医学粒子加速器内设备中使用的SF₆；
- 通过SF₆橡胶和某些PFC采用低渗透性的“隔热”应用场合，例如汽车轮胎和运动鞋鞋底；
- 隔音窗户中使用的SF₆；
- 在商业和消费者应用场合用作热传导液体的PFC；
- 在化妆和医药应用场合中使用的PFC；
- 其它使用，例如研究中的煤气/空气指示剂和检漏仪。

8.3.2 方法学问题

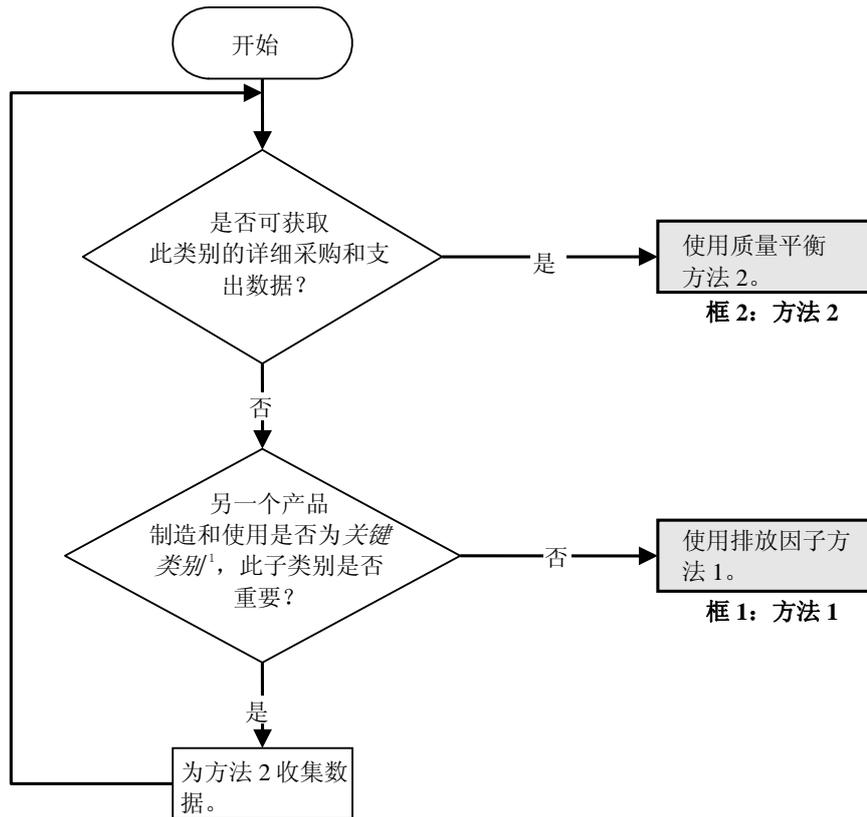
8.3.2.1 方法选择

优良作法方法是使用SF₆或PFC用户的消耗数据或来自国家SF₆生产商和分销商的自上而下的进出口和消耗数据，这按SF₆或PFC应用的主要类型进行分类。获得此数据将需要调查SF₆和PFC的所有生产商和分销商，以识别SF₆和PFC的净消耗总量。一旦获得此数据，应估算此源类别中应用场合消耗的SF₆和PFC量。

军事应用

AWACS操作中的SF₆排放

SF₆在波音E-3A型军事侦察机的雷达系统中用作绝缘介质，此雷达系统通常称为AWACS。SF₆的使用是为了避免在天线的空心导体中出现电火花，其间高压会超过135 kV。当飞机爬升时，SF₆自动从系统中释放出，进入大气中，以维持系统和机外空气之间相应的压差。当飞机下降时，SF₆自动从机载SF₆容器中充填到系统中。大多数排放出现在爬升的压力平衡过程中，但是系统泄漏的排放还可能出现在飞行的其它阶段或飞机着陆期间。每架飞机的年排放量经估算为740 kg，而每个系统的充填料大约为13 kg。

图 8.2 AWACS 中 SF₆ 的决策树

注:

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

方法 1—每架飞机的 SF₆ 排放

如果某个国家没有 AWACS 消耗的 SF₆ 数据, 则可以使用每架飞机的排放因子来估算排放。每年每架飞机的排放因子为 740 kg, 如下表 8.7 所示; 此图基于 NATO 波音 E-3As 中的 SF₆ 排放估算。注意每架飞机的实际排放会受到每年每架飞机平均起飞次数的很大影响。起飞频繁的飞机会使排放速率高于 740 kg; 起飞不频繁的飞机其排放速率也会有所降低。飞行或着陆期间的泄漏速率也会影响排放速率。

公式 8.12

AWACS (缺省排放因子) 中排放

用户排放 = 740 kg • AWACS 机队中的飞机数

表 8.7 每年每架飞机的 SF ₆ 排放	
每年每架飞机的排放 (kg SF ₆)	不确定性
740 kg	±100 kg
来源: Schwarz (2005)	

表 8.8 包括了世界有关国家 AWACS 机队的信息 (波音, 2005); 类似于其它活动数据, 可能会很快过时。各国最了解本国 AWACS 机队的飞机数。

表 8.8
国家 AWACS 机队

国家/组织	美国	日本	法国	英国	其它 NATO	沙特阿拉 伯	小计
无 AWACS	33	4	4	7	17	5	70

来源：波音（2005）

方法 2——用户质量平衡方法

估算 AWACS 中 SF₆ 排放的最准确方法是跟踪系统的 SF₆ 消耗。为此，可以使用以下类似于为电气设备方法 3 的公用事业级变体的公式。注意，对于 AWACS，SF₆ 容器的获得量和支出量与操作系统的获得量和退役量相比对于结果可能重要得多。

公式 8.13

AWACS（用户质量平衡）中的排放

$$\text{用户排放} = \text{SF}_6 \text{ 清单中的减少量} + \text{SF}_6 \text{ 的获得量} - \text{SF}_6 \text{ 的支出量} - \text{AWACS 机队充填料中的净增长}$$

其中：

SF₆ 清单的减少量 = 年初在容器中储存的 SF₆ - 年末在容器从储存的 SF₆

SF₆ 的获得量 = 从化学生产商或分销商处批量购买的 SF₆ + 用 AWACS 制造商或分销商处购买的新飞机或新飞机内部的 SF₆ + 离场重复利用后返回到现场的 SF₆

SF₆ 的支出量 = 转送到其它实体的 AWACS 中包含的 SF₆ + 退回给供应商的 SF₆ + 离场发送用于重复利用的 SF₆ + 去除的 SF₆

AWACS 机队充填料中的净增长 = 13 kg • (新的 AWACS - 退役的 AWACS)

其它军事应用中的 SF₆ 和 PFC 排放

PFC 或 SF₆ 在军事上应用很广泛。⁵ 据信 PFC 热传导液体因其稳定性和绝缘特性方面的优势，在军用电子方面的应用日益重要而且逐渐增长。这些液体用于地面和机载雷达（速调管）、航空电子设备、导弹制导系统、ECM（电子对抗措施）、声纳、两栖战斗车辆、其它侦察机、激光、SDI（战略防御活动）和隐身飞行器。PFC 还可用于冷却电机，特别是在减噪要求很高的应用场合，例如舰船和潜水艇。据信这些应用中使用的特定 PFC 类似于第 6 章中电子制造方面识别为热传导液体的部分。喷雾冷却、射流冲击冷却和池沸腾似乎是受到青睐的散热系统。在所有这些冷却应用场合中，PFC 包含在密闭系统中，似乎既不需要更换也不需要补充 PFC 液体。因此，出现排放的最大可能是设备制造、维护、尤其是处置期间。

SF₆ 用于高性能地面和机载雷达系统中空心导体，从速调管中传输高压高频能量脉冲。SF₆ 的另一个应用是作为储备化学能推进系统（SCEPS）中的锂氧化剂，例如海军鱼雷和红外诱饵中（Koch，2004）。显然，SF₆ 的这些应用类似于上述列举的 PFC 热传导液体的应用，通常或多或少是封闭的，但是在维修和测试程序中可能造成排放。还有报道称 SF₆ 用于鱼雷推进器的消音（NIST，1997）。

此外，SF₆ 可以作为燃料和核弹头生产中核原料处理的副产品排放。在民用核燃料生产期间，已知 SF₆ 是从中和过量氟中排放（AREVA，2005）。

尽管认为本部门中消耗和排放出的 SF₆ 和 PFC 总量可能较大，但是迄今尚未公布有关这些数量的数据。因此清单编制者应设法从相关政府机关及其供应商（如果可能）处收集更多信息。如上所述，这许多应用中最可能出现排放的似乎是设备制造、维护以及处置期间。因此如果清单编制者可以获得有关设备制造、维护和处置期间排放速率的信息，以及制造、使用和处置的设备数量的信息，他们就可以对电气设

⁵ David Harris 和 James Hildebrandt, “喷雾冷却电气和电子设备”, *COTS Journal*, 2003 年 11 月; C. Shepherd Burton, 电子部门中液态 PFC 热传导液体使用和空气排放, 为美国环保局 Scott C. Bartos 拟写的草案报告。

备使用方法 2 或方法 3 来估算排放。对于具有不同排放状况的应用场合（例如即时排放），可以使用 8.2 节中的相应公式。

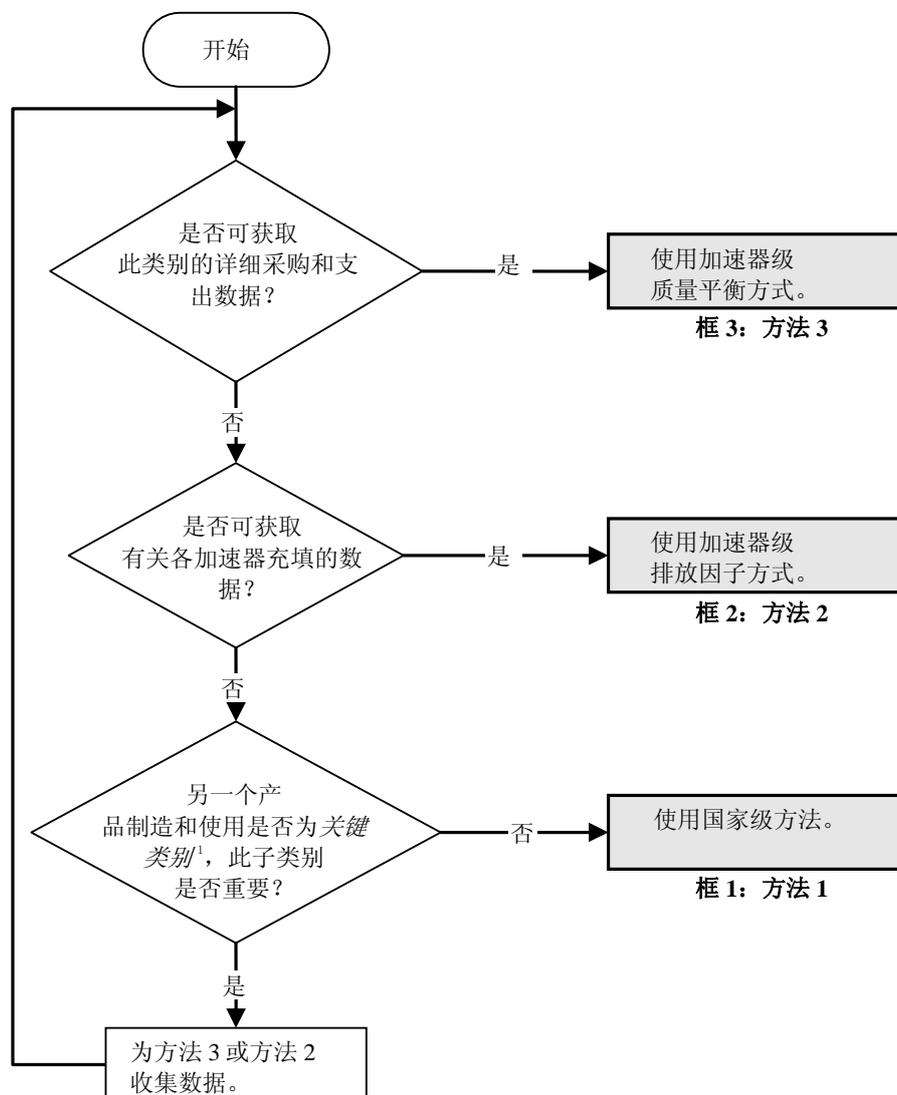
大学和研究粒子加速器中的 SF₆ 排放

SF₆ 在大学和研究运行的粒子加速器中用作绝缘气体。通常，高压设备包含且运行在以高于大气压的压力下用 SF₆ 充填的容器内。充填范围从 5 公里到 10 000 公里以上，典型的充填范围介于 500kg 和 3 000 kg 之间。当设备需要维护时，SF₆ 被转移到储存库。当压力释放阀被启动时，SF₆ 损耗主要通过缓慢泄漏出现在气体回收和传输期间。

根据最近的两项研究，每年的 SF₆ 损耗范围介于容器容量的 5%-7% 之间，通常取决于容器打开的频率和回收及传输设备的效率。全世界库存容量经估算大约为 500 吨，每年产生的 SF₆ 排放为 35 吨。

瑞士已经制定了一项自愿性计划来减少粒子加速器中的 SF₆ 排放。存在减少这些来源中 SF₆ 排放的建议和技术。

图 8.3 研究加速器中 SF₆ 的决策树



注：

1、有关关键类别和决策树使用的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见关于有限资源的 4.1.2 节）。

方法 1—国家级方法

如果不能获得单个用户加速器充填数据，一个极其近似的方法是确定一个国家内大学和研究粒子加速器的总数，并使用几个因子来确定公式 8.14 中所述的国家级年排放速率。对于此方法 1，需要收集的唯一数据是给定国家内大学和研究粒子加速器的总数。

$$\begin{aligned} & \text{公式 8.14} \\ & \text{大学和研究粒子加速器排放（国家级）} \\ & \text{排放} = (\text{国家内大学和研究粒子加速器的数量}) \cdot (\text{SF}_6 \text{ 使用因子}) \cdot (\text{SF}_6 \text{ 充填因子, kg}) \cdot \\ & \quad (\text{SF}_6 \text{ 大学和研究粒子加速器排放因子}) \end{aligned}$$

其中：

国家内大学和研究粒子加速器的数量 = 国家内大学和研究粒子加速器的总数。这个近似的方法不需要各国确定使用 SF₆ 的加速器数量。若要确定一个国家是否具有粒子加速器，请访问 http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/Informationen/accelerator_list.html

SF₆ 使用因子 = 0.33，近似有 1/3 的大学和研究粒子加速器将 SF₆ 用作绝缘体。

SF₆ 充填因子 = 2400 kg，SF₆，大学和研究粒子加速器中的平均 SF₆ 充填量。

SF₆ 大学和研究粒子加速器排放因子 = 0.07，平均每年大学和研究粒子加速器排放速率，占总充填量的比例。

方法 2—加速器级排放因子方法

如果可以获得每个大学和研究加速器内包含的有关 SF₆ 数量有关的数据，则 7% 的缺省排放因子可以乘以国家内大学和研究加速器包含的 SF₆ 总充填量。因此从公式 8.15 中计算大学和研究加速器中 SF₆ 国家总排放速率。

$$\begin{aligned} & \text{公式 8.15} \\ & \text{大学和研究粒子加速器排放（加速器级排放因子）} \\ & \text{总排放} = \text{SF}_6 \text{ 大学和研究粒子加速器排放因子} \\ & \quad \cdot \sum \text{各加速器充填量} \end{aligned}$$

其中：

SF₆ 大学和研究粒子加速器排放因子 = 0.07，平均每年大学和研究粒子加速器排放速率，占总充填量的比例。

个别用户加速器充填量 = 每个大学和研究加速器内包含的 SF₆。

方法 3——加速器级质量平衡方法

大学和研究设施运行的粒子加速器中的 SF₆ 排放可能按照各加速器在用户级确定最为准确。通过跟踪加速器充填和 SF₆ 消耗和处置，估算排放计算。如公式 8.16 中的详细叙述，总排放等于各用户排放之和。注意采用此方法时，粒子加速器中的 SF₆ 总排放速率与其它 SF₆ 使用相比较少，制造中关联的 SF₆ 损耗被视为可忽略，不纳入此计算中。

$$\begin{aligned} & \text{公式 8.16} \\ & \text{研究加速器总排放} \\ & \text{排放总量} = \sum \text{个别加速器排放} \end{aligned}$$

每个粒子计数器的排放可以按如下计算：

$$\begin{aligned} & \text{公式 8.17} \\ & \text{研究加速器排放（加速器级质量平衡）} \\ & \text{加速器排放} = \text{SF}_6 \text{ 清单中的减少量} + \text{SF}_6 \text{ 的获得量} - \text{SF}_6 \text{ 的支出量} - \text{加速器充填中的净增长} \end{aligned}$$

其中：

SF₆ 清单的减少量 = 年初在容器中储存的 SF₆ - 年末在容器从储存的 SF₆

SF_6 的获得量 = 从化学生产商或分销商处批量购买的 SF_6 + 用加速器制造商或分销商处购买的新加速器组件或新加速器组件内的 SF_6 + 离场重复利用后返回到现场的 SF_6

SF_6 的支出量 = 转送到其它实体的组件中包含的 SF_6 + 退回给供应商的 SF_6 + 离场发送用于重复利用的 SF_6 + 去除的 SF_6

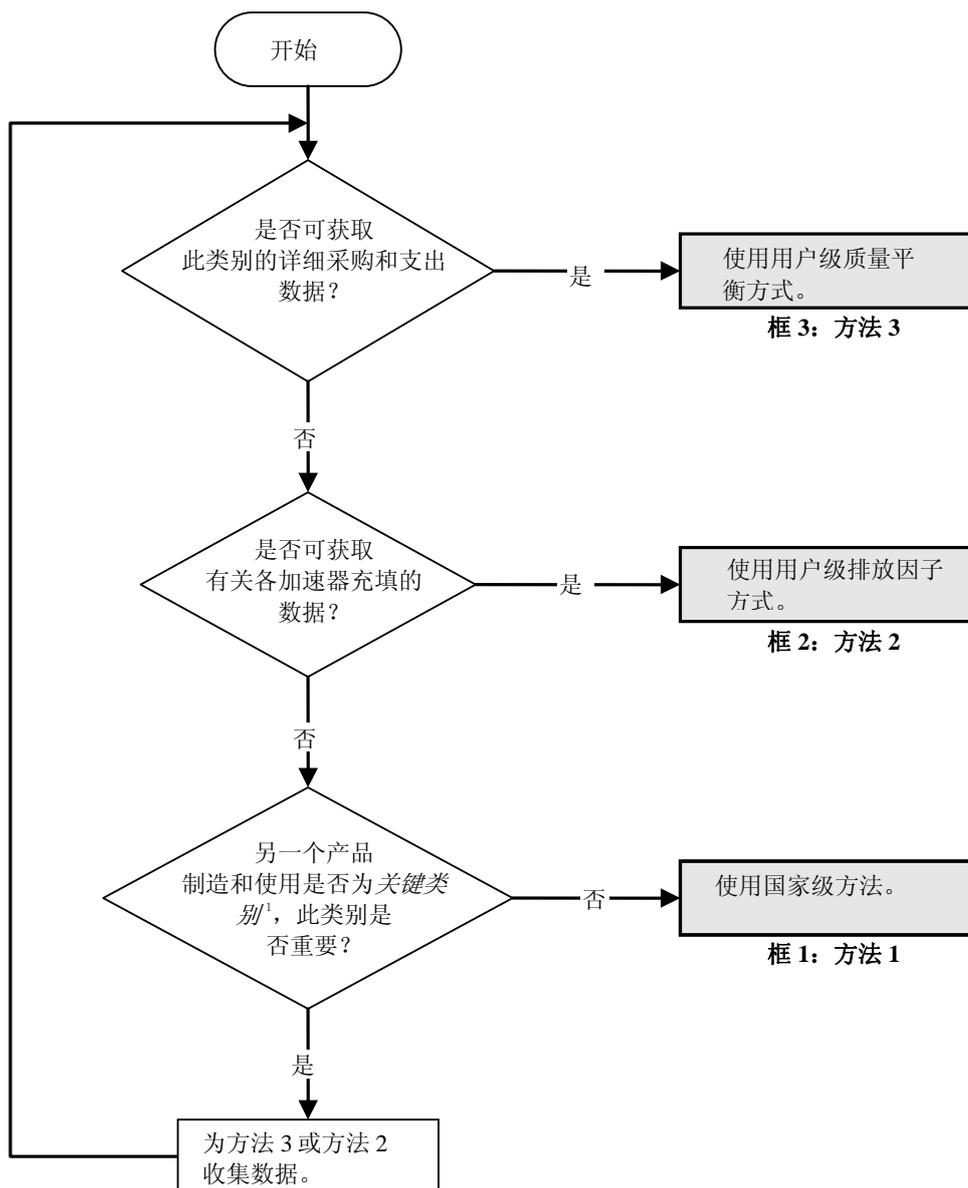
加速器充填量中的净增长 = 新组件的 SF_6 充填量 - 退役组件的 SF_6 充填量

工业和医学粒子加速器中的 SF_6 排放

SF_6 用作两类工业粒子加速器（低压和高压）以及医学（癌症治疗）粒子加速器中的绝缘气体，这类似于大学和研究粒子加速器的情形。然而工业和医学粒子加速器的排放因子和充填因子不同于大学和研究加速器的排放因子和充填因子，如下文所述。

工业粒子加速器的全球库存容量经估算大约为 500 吨，每年产生的 SF_6 排放为 35 吨。医学（放射治疗）粒子加速器的全球库存容量经估算大约低于 5 吨，每年产生的 SF_6 排放低于 5 吨。（Schwarz, 2005）。

图 8.4 工业和医学粒子加速器的决策树



注:

1、有关关键类别和决策树使用的讨论, 请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”(参见关于有限资源的 4.1.2 节)。

方法 1—国家级方法

如果不能获得单个用户加速器充填数据, 一个极其近似的方法是确定一个粒子加速器的总数, 并使用这些因子来确定公式 8.18 中所述的国家级年排放速率。对于此方法 1, 需要收集的唯一数据是给定国家内包含过程说明中 SF₆ 的粒子加速器总数。

公式 8.18
工业/医学加速器排放 (国家级)

$$\text{排放} = (\text{国家内过程说明中使用 SF}_6\text{ 的粒子加速器数量}) \cdot (\text{SF}_6\text{ 充填因子, kg}) \cdot (\text{SF}_6\text{ 适}\text{用的粒子加速器排放因子})$$

其中:

国家内各类粒子加速器数量 = 在国家、方法 1 和方法 2 等之内使用 SF₆ 的各类 (工业高压、工业低压和放射治疗) 粒子加速器总数 (仅计算使用 SF₆ 的粒子加速器。对于大学和研究粒子加速器的方法 1 计算, 这点有所差异)

SF_6 充填因子 = 按过程类型在粒子加速器内的 SF_6 平均充填量，如下文所述。

SF_6 粒子加速器排放因子 = 平均每年 SF_6 粒子加速器排放速率，与过程说明的充填量成比例。

过程说明	SF_6 充填因子, kg
工业粒子加速器——高压 (0.3-23 MV)	1300
工业粒子加速器——低压 (<0.3 MV)	115
医疗 (放射治疗)	0.5 ^a

^a 这是 0.05 kg 到 0.8 kg 以上范围内的平均值，取决于机型和制造商。
来源：Schwarz (2005)

方法 2—用户级排放因子方法

如果可以获得每个工业和医疗加速器内包含的与 SF_6 数量有关的数据，则为大学和研究设施使用方法 2；然而将以下提供的每个过程说明的排放因子乘以此过程说明的特定国家的 SF_6 充填量。

过程说明	排放因子, kg/kg SF_6 充填
工业粒子加速器——高压 (0.3-23 MV)	0.07
工业粒子加速器——低压 (<0.3 MV)	0.013
医疗 (放射治疗)	2.0a

^a 此排放因子是每千克充填量从 1 kg 到 10 kg 范围内的平均值，取决于机型、制造商和维修间隔。
来源：Schwarz (2005)

方法 3—用户级质量平衡方法

若要计算工业和医疗粒子加速器中的 SF_6 排放，请使用与大学和研究设施相同的方法 3。设备制造商和分销商的客户服务组织可能具有与设备库存、进出口和用于填充和重新填充设备的 SF_6 数量有关的信息。

SF_6 和 PFC 其它应用中的排放

优良作法是联系所有气体生产商/分销商，以查明 SF_6 和 PFC 用户并调查源类别的气体消耗量，而不是上述提及的气体消耗量。以下讨论的应用场合内的关键差异是 SF_6 或 PFC 的购买与化学物质释放之间的典型延迟。在某些情况下（例如隔音玻璃中使用的 SF_6 ，用作热传导液体的 PFC），在设备或产品的寿命期间化学物质密封良好，大多数排放与产品的制造和处置有关。在这些情况下，化学物质的购买及其最终排放之间的延迟取决于产品的寿命，轮胎和运动鞋为 3 年而隔音玻璃为 25 年。在其它情况下（例如将 SF_6 和 PFC 用作跟踪剂或用于医药应用中），化学物质全部在购买后一年内排放出。如果最初调查表明具有不同延迟排放的应用场合相当多，则优良作法是使用特定源类别排放计算，同时考虑排放中的延迟。

隔热使用

SF_6 和某些 PFC 的隔热使用利用这些气体对橡胶的低渗透性。在历史上， SF_6 已经成为这些应用场合的主要气体；然而最近还使用具有类似分子量（例如 C_3F_8 ）的 PFC。延迟期 3 年的应用包括汽车轮胎、运动鞋鞋底和网球（Schwarz 等人，1996）。对于延迟三年的排放应用，可以使用以下公式。

公式 8.19**隔热特性应用**

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

隔音玻璃

双面玻璃隔音窗户：大约有 1/3 的 SF₆ 总购买量在组装期间释放（即，双面玻璃窗户的充填）（Schwarz/Leisewitz, 1999）。对于窗户内剩余的气体库存（容量），假定为 1% 的年泄漏速率（包括玻璃破损）。因此，在 25 年寿命期结束时剩余大约有 75% 的最初库存。SF₆ 应用于窗户中始于 1975 年，因此从那时起才开始出现处置。这个源子类别中的排放应使用公式 8.20 到公式 8.22 计算：

公式 8.20**双面玻璃窗户：组装**

$$t \text{ 年中的组装排放} = 0.33 \cdot t \text{ 年中组装的充填窗户时购买的 SF}_6$$

公式 8.21**双面玻璃窗户：使用**

$$t \text{ 年中的泄漏排放} = 0.01 \cdot t \text{ 年中现有窗户的容量}$$

公式 8.22**双面玻璃窗户：处置**

$$t \text{ 年中的处置排放} = t \text{ 年中寿命结束时窗户中的剩余量} \cdot (1 - \text{回收因子})$$

除非可以获得特定国家的数据，在公式 8.22 中应假定缺省回收因子值为零。如果不能获得这些子源类别的特定信息，*优良作法*是将这些视为即时排放。

在消费者和商业应用场合用作热传导液体的PFC

PFC 在许多高功率密度商业和消费电子应用中用作热传导液体。商业应用包括超级计算机、电信和机场雷达系统以及高速火车上的驱动单元（整流器）的冷却（Burton, 2006）。这些应用消耗的液态 PFC 比电子生产少得多，但是据信在“小型”应用场合中量较大。消费者应用包括桌面计算机的冷却套件，计算机在高电压下运转提高计算机的处理速度。据信这些应用中使用的特定 PFC 类似于第 6 章中电子制造中识别为热传导液体的部分。在所有这些应用中，液态 PFC 用于密闭模块中，表示大多数排放出现在产品或设备的制造、维护和处置期间。因此，如果清单编制者可以获得有关设备制造、维护和处置期间排放速率的信息，以及每年制造、使用和处置的设备数量的信息，他们就可以对电气设备使用方法 2 或方法 3 来估算排放。对于具有不同排放状况的应用场合（例如即时排放），可以使用 8.2 节中的相应公式。

在化妆和医药应用场合中使用的 PFC

具有相对较高分子量（例如 C₁₀F₁₈）的 PFC 用于化妆和医疗领域，利用将氧气携带到活性组织的能力（May, 2006）。化妆应用包括防皱霜，经估算消耗的量相当少。当前和潜在的医疗应用包括储存胰腺组织用于移植（使用两层法）、眼部外科（修复视网膜破缝）、肺切除术（肺部治疗和诊断）、在超声波和 MRI 检查中用作造影剂、血液蔓延、伤口复原和中耳疾病治疗。除前两个医疗应用之外所有应用仅涉及少量使用和/或处于研究阶段。胰腺组织的储存很少，但在逐渐增长。医疗使用中的排放不确定，但是公认量较小。

在所有这些应用中，据信 PFC 会在购买之后的一年内排放到大气中。因此，这些来源中的排放可以使用公式 8.23 估算为即时排放。

SF₆ 和 PFC 的任何其它使用

未在上文专门述及的SF₆和PFC的其它应用包括，将它们用作跟踪剂（在泄漏检测、气团的室内和室外跟踪以及油类回收⁶）并在光缆生产中使用SF₆（用于玻璃纤维的氟化物粘合过程⁷）。通常气体或液体在购买的一年内排放。这种情况下，计算这些‘即时’排放应用中的SF₆和PFC排放的*优良作法*是使用以下公式：

公式 8.23

即时排放

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

此公式类似于本卷第 7 章中述及的即时 ODS 替代应用（例如气溶胶和溶剂）的公式。此公式包含一年以上，因为该年的销售和排放假定是连续的；即，在 t-1 年中期出售的化学物质不会在 t 年中期之前完全排放。

8.3.2.2 排放因子的选择

对国家的 SF₆ 和 PFC 排放做出实质性贡献的 SF₆ 和 PFC 的“其它”源类别，鼓励各国根据对代表性来源子集的不时调查，开发特定国家排放因子。*优良作法*是清晰记录这些排放因子。以上提供了 AWACS、加速器、即时排放应用和包括窗户在内隔热应用的缺损排放因子。

8.3.2.3 活动数据的选择

这些子源类别的活的数据应与其它源类别（例如电气设备）中的 SF₆ 排放计算中使用的数据保持一致，以确保估算完整且没有重复计算。对于医疗线性加速器，设备制造商和分销商的客户服务组织可能具有与设备库存、进出口和用于填充及重新填充设备的 SF₆ 数量有关的信息。与其它来源的活动数据的可能来源有关的指南在每个源类别的方法下提供。

8.3.2.4 完整性

来自国家 SF₆ 和 PFC 生产商和分销商的进出口和消耗的各种应用数据将足敷使用，条件是 (i) 查明所有 SF₆ 和 PFC 生产商和分销商，(ii) 国内消费者仅从国家供应商处购买 SF₆ 和 PFC，(iii) 产品（例如运动类）中的进出口可忽略。*优良作法*是定期检查其它分销商，确保没有气体为最终用户直接进口（批量），且查明含 SF₆ 或 PFC 的产品未被大量进口。

另外，如果不能获得有关化学物质消耗量的自上而下数据，各国可以使用有关国家内使用的加速器、AWACS、窗户等的数量信息，同时应用为每个源类别的方法中提供的排放因子。

8.3.2.5 建立一致的时间序列

对于基准年估算，可能需要基准年之前几年的数据；即时排放的一年数据和延迟排放应用的多年数据。*优良作法*是采用相同方法计算在时间序列中每一年份的排放量。如果不能获得数据来支持对时间序列中所有年份使用更严格的方法，*优良作法*就根据第 1 卷第 5 章提供的指南进行重新计算。

8.3.3 不确定性评估

如果国家气体生产商和分销商对各种应用所做的国内销售调查很完整，则每年表现消耗量数据的准确性会很高。当所有使用均是即时排放时，排放估算的不确定性同样较小。如果未延迟排放应用，则不确定性为：

⁶ D. Vlachogiannis 等。（2005）本文指出注入的某些比例的 PFC 和 SF₆ 在燃料燃烧期间被销毁，但是此比例（与燃烧之前逃逸的已注入的化学物质比例相比而言）的数量不清楚。

⁷ 有关此应用的更多信息请参见 Schwarz（2005）。

- 隔热特性应用的缺省延迟时间：3±1 年；
- 隔音窗户的缺省值：50±10% 充填排放和 1±0.5% 泄漏/破裂排放。

如果不能获得气体消耗量数据，则与加速器和 AWACS 等的数量和使用有关的不确定性会很重。

- 对于加速器，SF₆ 总充填量和泄漏速率可确定排放和关联的不确定性
- 对于 SF₆ 在 AWACS 中的使用，每架飞机的飞行次数对排放和不确定性有重要影响。

8.3.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

8.3.4.1 质量保证/质量控制

*优良作法*是实施第 1 卷第 6 章概述的质量控制检查以及排放估算的专家评审。也可以采用第 1 卷介绍的附加质量控制核查和质量保证程序，尤其是当运用较高级方法来估算这种排放源类别的排放时。对于第 1 卷第 4 章确定的*关键类别*，鼓励清单编制者采用较高层次的 QA/QC。

专用于其它 SF₆ 来源的额外程序概述如下：

对采用不同方法估算的排放量进行比较

清单编制者应比较国家潜在的 SF₆ 和 PFC 总排放（减去按照 3.10、4、6 和 8.2 章所述源类别分配的量）与其它使用的 SF₆ 和 PFC 估算排放。这些经调整的潜在国家排放可用作有关排放的上限。

活动数据核查

清单编制者应比较不同生产商和分销商提交的活动数据，按公司的相对规模或能力进行调整，明确重要的局外点。应调查任何局外点，以确定是否可以说明不同点或报告的活动中是否有错误。

与其它国家的排放速率进行比较

清单编制者应比较国家清单中纳入的其它 SF₆ 和 PFC 最终使用的排放与其它类似国家提交的信息。对于每个来源，人均或单位 GDP 的排放应与其它国家的相应排放速率进行比较。如果国家数据看起来相对很高或很低，则应提供理由。

8.3.4.2 报告和归档

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

为提高透明性，*优良作法*是报告单独来自其它 SF₆ 和 PFC 排放中的源类别‘其它使用’的实际和潜在排放。此外，提供纳入此源类别的具体应用信息，可用于在区域或全球范围内与其它国家作法（的估算）进行比较。此外，应用的方法和引用应进行归档。对于延迟排放的子源类别，每类子源类别的年排放量、延迟时间和排放因子应予报告。

8.4 2G3 产品使用产生的 N₂O

8.4.1 导言

氧化亚氮（N₂O）的蒸发排放可能来自于各类产品使用，包括：

- 医疗应用（麻醉使用、止痛使用和兽医使用）；
- 在气溶胶产品中用作推进剂，主要用于食品工业（压力封装的鲜奶油等）；
- 半导体制造中使用的氧化剂和腐蚀剂；
- 在原子吸收光谱法中与乙炔用作氧化剂；
- 用于使气囊膨胀的叠氮化钠生产；

- 赛车中的燃料氧化剂；和
- 珠宝商和其它人在吹管中用作氧化剂。

总之，医疗应用和在气溶胶产品中用作助剂可能是比其它更大的来源。优良作法是估算和报告这些来源中的 N₂O 排放。如果可以获得数据，还鼓励清单编制者估算和报告其它来源中的 N₂O 排放。

医疗应用

N₂O 的麻醉使用

麻醉用 N₂O 供应采用最少含 98% N₂O 的钢瓶。N₂O 用于麻醉有两个原因：a) 麻醉和止痛以及 b) 挥发性氟化碳氢化合物麻醉剂的运载气体，例如异氟烷、七氟烷和地氟烷。N₂O 的麻醉效果可增强氟化碳氢化合物试剂的效果。

不是所有麻醉剂都需要使用 N₂O，在少量医疗情形中 N₂O 的使用是禁忌的。麻醉期间的运载气体可以是 N₂O 和氧气或避免采用 N₂O 的空气和氧气的混合物。

吸入麻醉剂日益受到管理，采用的呼吸系统在将气体送回给患者之前通过二氧化碳吸收剂的罐子重新循环患者呼出之气。使用此方法，当患者的摄入量很高时前几分钟的麻醉之后，运载气体流量可以显著降低。此技术称为低流量麻醉。低流量麻醉具有减少排放和成本的优势。采用将麻醉药通过外科程序连续注入静脉中的技术，某些麻醉可以完全避免 N₂O 和氟化碳氢化合物试剂。此技术称为全静脉麻醉。

N₂O 的止痛使用

在某些情形中，吸入的 N₂O 用于减缓疼痛。例如，提供 N₂O 的钢瓶中含预先混合的 50% N₂O 和 50% 氧气，类似于英国预先混合的氧化亚氮和氧气混合物。预先混合的氧化亚氮和氧气混合物在分娩减痛和短时间疼痛程序（例如对烧伤患者更换衣服）中用于止痛。预混合的氧化亚氮和氧气混合物在非常寒冷气候的国家中不使用，因为如果钢瓶储存温度低于零下 6 摄氏度，混合物可能分离，会产生向患者施用纯氧化亚氮而无氧的风险。

N₂O 的兽医使用

N₂O 还用于动物麻醉。给药方法类似于人体麻醉中的作法。

在气溶胶产品中用作助剂，主要用于食品工业

N₂O 还主要在食品工业中的气溶胶产品中用作助剂。典型用法是制作鲜奶油，其中用 N₂O 充填的盒子用于将奶油吹成泡沫。

8.4.2 方法学问题

8.4.2.1 方法选择

优良作法是从提供的 N₂O 数量数据中估算 N₂O 排放，其中这些数据可根据以下公式 8.24 从 N₂O 产品的制造商和分销商获得。在制造、交付和使用之间存在延时，但是在医疗应用中这可能较少，因为医院为了避免维持大量库存，通常会较频繁地接收交付的产品。因此合理假设为，提供的 N₂O 产品将在一年内使用。如果用作气溶胶产品中的助剂，没有可靠数据证明：制造、交付和使用之间存在大量延时。如果是这种情形，可行假设为：提供的 N₂O 产品将在一年内使用。公式 8.24 范围超过一年，因为该年供应和使用假定是连续的；即，在 t-1 年中出售的 N₂O 不会在 t 年中之前完全使用和排放。

不可能为此源类别规定不同方法，因为没有其它可靠的估算方法。例如在医疗应用情形中，可能考虑给定麻醉数量、手术床位或麻醉小时数的估算，但是这些方法可能不准确。（参见 8.4.2.3 节“活动数据选择”。）

公式 8.24
其它产品使用中的 N₂O 排放

$$E_{N_2O}(t) = \sum_i \{ [0.5 \cdot A_i(t) + 0.5 \cdot A_i(t-1)] \cdot EF_i \}$$

其中：

$E_{N_2O}(t)$ = t 年中的 N_2O 排放，单位为吨

$A_i(t)$ = 应用类型 i 中 t 年内提供的 N_2O 总数量，单位为吨

$A_i(t-1)$ = 应用类型 i 中 $t-1$ 年内提供的 N_2O 总数量，单位为吨

EF_i = 应用类型 i 的排放因子，比例形式

8.4.2.2 排放因子的选择

医疗应用

假设施用的 N_2O 没有通过人体出现化学变化，而全部返回大气。合理的假设为排放因子等于 1.0。

在气溶胶产品中用作助剂，主要用于食品工业

对于在压力和气溶胶食品产品中用作助剂的 N_2O ，没有 N_2O 在过程期间出现反应，所有 N_2O 排放到大气中，造成此来源 1.0 的排放因子。

其它

对于其它类型的产品使用，假设排放因子为 1.0 是不适合的。如果清单编制者估算和报告除医疗应用之外产品使用以及在气溶胶产品中用作助剂引起的 N_2O 排放，则鼓励他们根据文献或测量推导出该来源的合理排放因子。

8.4.2.3 活动数据的选择

医疗应用

按应用类型提供的 N_2O 总数量应从 N_2O 产品的制造商和分销商处获得。或者，对于医疗应用， N_2O 使用数量可以从各个医院的药剂部门获得，通常这些部门会记录每年购买的氧化亚氮钢瓶数和容量。

外科过程后在医院停放期差异很大，少则不到一天，多则几天或者几周不等。根据手术床位使用率计算的施用麻醉次数的估算可能不准确。

因为 N_2O 只有一部分用作麻醉剂，其使用不可能从给出的麻醉次数得出可靠的估算。

麻醉仪器传输 N_2O 的流量（升/分钟）在手术期间可能会因各个麻醉师而有所差异，通常介于 0-6 升/分钟之间。因为这个较大差异，所以根据麻醉期估算消耗量可能不准确。

将 N_2O 用于麻醉的比例对于各国以及给定国家内的各个麻醉师都是不同的。最近几年，在采用 N_2O 用作麻醉的比例出现减少，但是具体数据很稀少。

在气溶胶产品中用作助剂，主要用于食品工业

按应用类型提供的 N_2O 总数量应从 N_2O 产品的制造商和分销商获得。

8.4.2.4 完整性

来自国家 N_2O 制造商和分销商中的进出口和消耗的各种应用数据将足敷使用，条件是 (i) 查明所有 N_2O 制造商和分销商，(ii) 国内消费者仅从国家供应商处购买 N_2O ，(iii) 产品（例如运动类）中的进出口可忽略。优良作法是定期检查其它分销商，确保没有 N_2O 被最终用户直接进口（批量），并查明含 N_2O 的产品未被大量进口。

8.4.2.5 建立一致的时间序列

优良作法是采用相同方法计算时间序列中每一年份的 N_2O 排放量。如果没有数据来支持对时间序列中所有年份采用更严格的方法，优良作法是根据第 1 卷第 5 章介绍的指南进行重新计算漏缺。

8.4.3 不确定性评估

8.4.3.1 排放因子不确定性

在公布的文献中，普遍假设患者在麻醉期间吸入的 N_2O 进入新陈代谢。 N_2O 因为溶于血液，所以可从肺中连续吸收。未吸收的比例会在下一次呼吸时呼出。患者最初的吸收量较高，随着时间其吸收量会呈近指数级递减。合理假设为所有给药的 N_2O 最终都返回大气中，排放因子为 1.0。这是实用的假设，因为没有可靠的数据。排放因子中的任何错误与其它不确定性相比都极少。

另外在用作气溶胶产品中的助剂时， N_2O 不可能会在过程期间进行反应。因此，实用假设排放因子等于 1.0，排放因子中的任何错误与其它不确定性相比都极少。

如果清单编制者估算和报告除医疗应用之外产品使用和和气溶胶产品中用作助剂引起的 N_2O 排放，则排放因子不确定性可能需要认真予以考虑。

8.4.3.2 活动数据不确定性

从 N_2O 产品的制造商和分销商处获得按应用类型提供的 N_2O 数量的不确定性，在各国间可能有很大差异。如果可从制造商和分销商处获得不确定性估算，则应使用这些估算。否则应通过专家判断估算活动数据不确定性。

8.4.4 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

如第 1 卷第 6 章中概述，*优良作法*是记录和归档要制定国家排放清单估算所需的所有信息。在国家清单报告中纳入所有归档是不切实际的。然而，清单应包括使用的方法汇总以及源数据参考，以使报告的排放估算保持透明，并使计算步骤具有可追溯性。

为提高透明性，提供纳入此源类别的具体应用信息可用于在区域或全球范围内与其它国家作法（估算）进行比较。此外，应用的方法和引用应进行归档。

*优良作法*是按照第 1 卷第 6 章的概述实施质量控制检查和质量保证程序。鼓励清单编制者对第 1 卷第 4 章中明确的*关键类别*使用更高层的质量保证/质量控制。

专用于此源类别的其它程序概述如下：

活动数据核查

清单编制者应比较 N_2O 的不同制造商和分销商提交的活动数据，根据公司的相对规模或能力进行调整，明确重要的局外点。他们应调查任何局外点，以确定是否可以说明不同点，或确定报告的排放中是否有误差。

比较各国排放

清单编制者应将国家清单中纳入的产品类型的 N_2O 排放与其它类似国家提交的信息进行比较。对于每个来源，人均或单位 GDP 的排放应与其它国家进行比较。如果国家数据显得相对很高或很低，则应提供理由。

参考文献

第8.1 - 8.3节

- Aoyama, T. (2004). Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "The Situation of Reduction in SF₆ Emissions from Gas-insulated Electrical Equipment In Japan" Paper and presentation delivered to the Conference on SF₆ and the Environment, Scottsdale, Arizona, December 1-3, 2004.
- AREVA (2005). AREVA, World energy experts, Activity and Sustainable Development Report 2004. (Registered office: rue Le Peletier – 75009 Paris – France, <http://www.areva.com/>), published in July 2005.
- Boeing (2005). "E-3 AWACS in Service Worldwide", March 2005. Boeing Integrated Defense Systems, P.O. Box 516, St. Louis, MO 63166, (Available from http://www.boeing.com/defense-space/ic/awacs/docs/E-3AWACS_overview.pdf)
- Burton, C. S. (2006). "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Report prepared for Scott C. Barstow, U.S. Environmental Protection Agency.
- Ecofys (2005). Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe, Final Report to CAPIEL, S, Wartmann and J. Harnisch, June 28, 2005
- FEPC and JEMA (2004). Federation of Electric Power Companies (FEPC) and the Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "Japanese Emission Factors." (Personal communication from Mr. Kiyoshi Saitoh of Japan Electrical Manufacturers Association (JEMA) to Mr. Kiyoto Tanabe, IPCC Technical Support Unit, November, 2004.)
- Harris, D., and Hildebrandt, J. (2003). "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," *COTS Journal*, November 2003.
- CIGRE (2005). International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Publication No.276: Guide for the Preparation of customized "Practical SF₆ Handling Instructions", Task Force B3.02.01, August 2005.
- IEC (1996). International Electro-technical Commission (IEC) Standard 60694: "Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards," Second edition, 1996-05. Geneva, Switzerland.
- Koch, E.C. (2004). "Special Materials in Pyrotechnics: III. Application of Lithium and its Compounds in Energetic Systems," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Volume 29, Issue 2, Pages 67 - 80, 2004
- May, G. (2006). F₂ Chemicals Limited. Personal communication with Deborah Ottinger Schaefer, January 23, 2006.
- Maruyama, S. and Meguro, M. (2000). "SF₆ Gas Emission Reduction From Gas-Insulated Electrical Equipment in Japan.", Paper presented at the Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Strategies in San Diego, USA (November 2000).
- NIST (1997). Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF₆; by L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, D. S. Green; NIST Technical Note 1425, National Institute of Standards, November 1997.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1996). Current and future emissions of fluorinated compounds with global warming effect in Germany (in German). Report UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1999). Emissions and reduction potentials of HFCs, PFCs, and SF₆ in Germany. Report UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2005). Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Research Report 201 41 261/01, UBA-FB 000811/e, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2006). "The German Monitoring System for SF₆ Emissions from Equipment for Electricity Transmission and Distribution."
- Smythe, K. (2004). 'Trends in SF₆ Sales and End-Use Applications: 1961-2003.' International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, December 1-3, 2004, Scottsdale, AZ.
- U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.
- Vlachogiannis, D., *et al.* (2005). Assessment of the impact of SF₆ and PFCs reservoir tracers on global warming, the AEOLUS study, Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-4), coordinated by A. van Amstel, Rotterdam, p. 389-396.

第 8.4 节

Austria [Umweltbundesamt] (2004), AUSTRIA'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2004, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change

Beatty PCW, Kay B and Healy TEJ (1984), *Measurement of the rates of nitrous oxide uptake and nitrogen excretion in man*. British Journal of Anaesthesia; 56: 223-232.

Environment Canada (2004), Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002

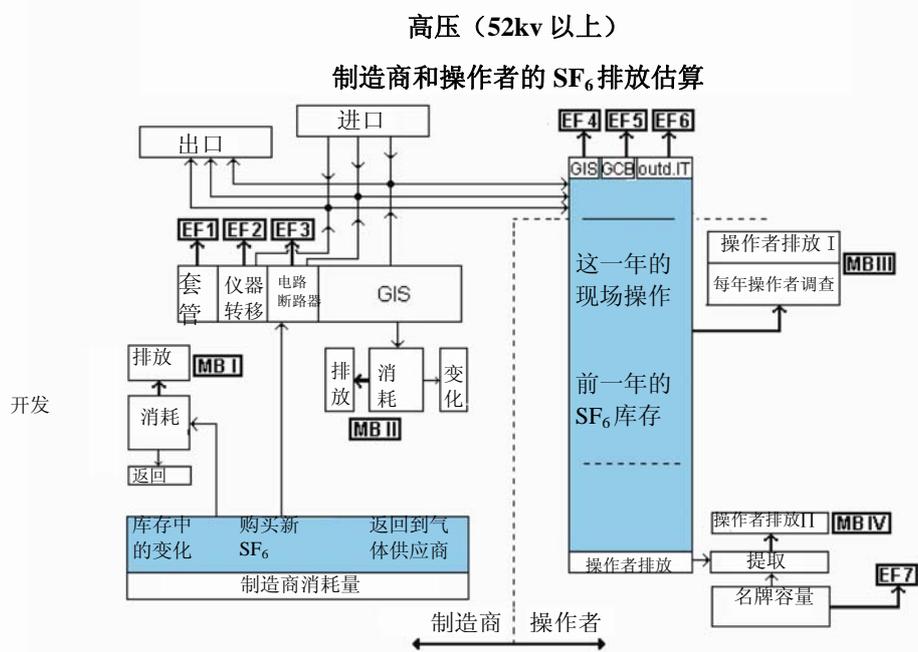
Jordan M. (1996), Pharmacology in the Practice of Anaesthesia p 43. Arold, London. Edited by Kaufman L and Tabener PV.

U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.

附件 8A 方法 3 国家SF₆ 清单系统举例

图 8A.1 和 8A.2 说明了方法 3 混合方法，该方法目前在德国用于密闭压力（高压）和密封压力（中压）设备（Schwarz, 2006）。在图中，“MB”表示使用质量平衡方法的过程或寿命周期阶段，而“EF”表示使用排放因子的过程和寿命周期阶段。例如在制造中，质量平衡方法用于估算煤气绝缘开关设备填充中的排放，而排放因子用于估算套管、仪器变压器和电路断路器充填中的排放。在德国，后一类过程的排放速率为 1%或更低，生成的排放难以使用质量平衡方法进行测量。注意此图仅意在举例；当实施方法 3 时，鼓励各国选择适合国情的方法和排放因子。

图 8A.1 方法 3 举例：德国高电压设备



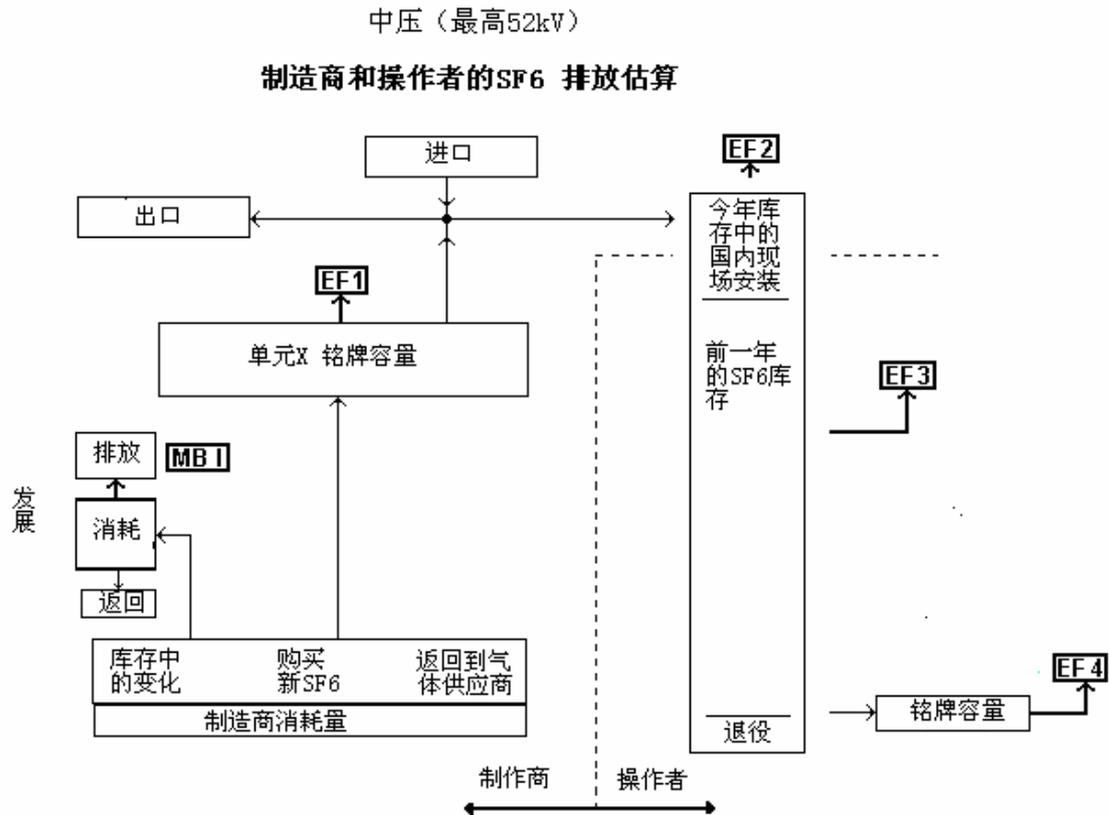
HV 中排放估算图例

HV 中排放估算图例		
质量平衡方式		
化学符号	公式	
MB I	开发排放 = 开发消耗量减去开发部门的返回量	
MB II	GIS 充填排放 = 充填消耗量减去充填量（铭牌容量）；还适用于煤气绝缘线路（GIL）	
MB III	操作的排放 I = 对设备操作者每年的加料调查	
MB IV	操作排放 II = 退役设备的铭牌容量减去此设备中回收的气体	
排放因子（EF）方式		
化学符号	排放因子（EF）种类	乘以
EF 1	工厂充埋 EF 套管*	工厂内充埋套管的 NC**
EF 2	工厂充埋 EF 室外仪器变压器（IT）	工厂内充埋的 IT 的 NC
EF 3	工厂充埋 EF 气体电路断路器（GCB）	工厂内充埋的 GCB 的 NC
EF 4	企业设置 EF GIS 和 GIL	现场充埋 GIS 和 GIL 的 NC
EF 5	企业设置 EF GCB	现场内充埋的 GCB 的 NC
EF 6	企业设置 EF 室外 IT	现场内充埋的室外 IT 的 NC
EF 7	处置 EF	退役设备的 NC

* 套管视为 GIS 和企业设置的集成部分。

**NC = 设备经历给定过程的铭牌总容量

图 8A.2 方法 3 举例：德国中压设备



MV 中排放估算图例		
质量平衡方式		
化学符号	公式	
MB I	开发排放 = 开发消耗量减去开发部门的返回量*	
排放因子 (EF) 方式		
化学符号	排放因子 (EF) 种类	乘以
EF 1	工厂充埋的 EF	工厂内充埋的 NC**
EF 2	企业设置 EF	现场充埋的 NC***
EF 3	操作的 EF	运行设备的 NC (当年和前年的总库存)
EF 4	处置 EF	退役的 NC

* 此质量平衡方式还适用于浇注树脂仪器变压器 (IT) 的制造。

**NC = 设备经历给定过程的铭牌总容量。

*** MV 设备已在工厂充气的国家内，企业设置排放可忽略。