

第 2 章

采掘工业排放

作者

Lisa Hanle (美国)

Pedro Maldonado (智利)、Eiichi Onuma (日本)、Milos Tichy (捷克共和国)、和 Hendrik G. van Oss (美国)

参加作者

Victor O. Aume (美国)、George H. Edwards (美国) 和 M. Michael Miller (美国)

目录

2	采掘工业排放.....	2.6
2.1	导言.....	2.6
2.2	水泥生产.....	2.7
2.2.1	方法学问题.....	2.7
2.2.1.1	方法选择.....	2.7
2.2.1.2	选择排放因子.....	2.11
2.2.1.3	选择活动数据.....	2.13
2.2.1.4	完整性.....	2.15
2.2.1.5	建立一致的时间序列.....	2.15
2.2.2	不确定性评估.....	2.16
2.2.2.1	排放因子不确定性.....	2.16
2.2.2.2	活动数据不确定性.....	2.16
2.2.3	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档.....	2.18
2.2.3.1	质量保证/质量控制 (QA/QC).....	2.18
2.2.3.2	报告和归档.....	2.18
2.3	石灰生产.....	2.19
2.3.1	方法学问题.....	2.19
2.3.1.1	方法选择.....	2.19
2.3.1.2	选择排放因子.....	2.21
2.3.1.3	选择活动数据.....	2.23
2.3.1.4	完整性.....	2.24
2.3.1.5	建立一致的时间序列.....	2.24
2.3.2	不确定性评估.....	2.24
2.3.2.1	排放因子不确定性.....	2.25
2.3.2.2	活动数据不确定性.....	2.25
2.3.3	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档.....	2.25
2.3.3.1	质量保证/质量控制 (QA/QC).....	2.25
2.3.3.2	报告和归档.....	2.26
2.4	玻璃生产.....	2.26
2.4.1	方法学问题.....	2.26
2.4.1.1	方法选择.....	2.27
2.4.1.2	选择排放因子.....	2.29
2.4.1.3	选择活动数据.....	2.29
2.4.1.4	完整性.....	2.30

2.4.1.5	建立一致的时间序列	2.30
2.4.2	不确定性评估	2.30
2.4.2.1	排放因子不确定性	2.30
2.4.2.2	活动数据不确定性	2.30
2.4.3	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档	2.31
2.4.3.1	质量保证/质量控制 (QA/QC)	2.31
2.4.3.2	报告和归档	2.31
2.5	其它碳酸盐过程使用	2.31
2.5.1	方法学问题	2.31
2.5.1.1	方法选择	2.32
2.5.1.2	选择排放因子	2.34
2.5.1.3	选择活动数据	2.35
2.5.1.4	完整性	2.35
2.5.1.5	建立一致的时间序列	2.37
2.5.2	不确定性评估	2.38
2.5.2.1	排放因子不确定性	2.38
2.5.2.2	活动数据不确定性	2.38
2.5.3	质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档	2.38
2.5.3.1	质量保证/质量控制 (QA/QC)	2.38
2.5.3.2	报告和归档	2.38
参考文献	2.40

公式

公式 2.1	方法 1：基于水泥生产的排放	2.8
公式 2.2	方法 2：基于熟料生产数据的排放	2.10
公式 2.3	方法 3：基于炉窑中碳酸盐原材料给料的排放	2.11
公式 2.4	熟料的排放因子	2.12
公式 2.5	未回收到炉窑中 CKD 的修正因子	2.13
公式 2.6	方法 2：基于分类型的国家石灰生产数据的排放	2.20
公式 2.7	方法 3：基于碳酸盐给料的排放	2.21
公式 2.8	石灰生产的方法 1 缺省排放因子	2.22
公式 2.9	石灰生产的方法 2 排放因子	2.22
公式 2.10	方法 1：基于玻璃生产的排放	2.27
公式 2.11	方法 2：基于玻璃生产过程的排放	2.27
公式 2.12	方法 3：基于碳酸盐给料的排放	2.28

公式 2.13	玻璃生产的方法 1 缺省排放因子	2.29
公式 2.14	方法 1：基于消耗的碳酸盐质量的排放	2.32
公式 2.15	方法 2：其它碳酸盐过程使用的方法	2.33
公式 2.16	方法 3：其它碳酸盐过程使用的碳酸盐给料方法	2.33

图

图 2.1	估算水泥生产中 CO ₂ 排放的决策树	2.9
图 2.2	估算石灰生产中 CO ₂ 排放的决策树	2.20
图 2.3	估算玻璃生产中 CO ₂ 排放的决策树	2.28
图 2.4	估算碳酸盐其它过程使用中 CO ₂ 排放估算的决策树	2.34

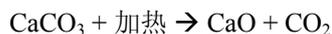
表

表 2.1	分子式、分子量和常见碳酸盐物种的二氧化碳含量*	2.7
表 2.2	掺配水泥‘配方’和综合产品混合的熟料含量（根据美国标准 ASTM C-150 和 C-595；美国数据可用于描述其它国家的情况）	2.14
表 2.3	水泥生产的缺省不确定性值	2.17
表 2.4	计算石灰生产的排放因子的基本参数	2.22
表 2.5	估算石灰生产中 CO ₂ 排放的缺省不确定性	2.25
表 2.6	不同玻璃类型的缺省排放因子和碎玻璃比率	2.29
表 2.7	碳酸盐的排放和非排放使用	2.36
表 2.7（续）	碳酸盐的排放和非排放使用	2.37

2 采掘工业排放

2.1 引言

本章概述了与过程有关的二氧化碳（CO₂）排放的估算方法，这些排放产生于生产中使用碳酸盐原材料和各种采掘工业产品。从碳酸盐中释放 CO₂ 有两大途径：煅烧和酸引起的 CO₂ 释放造成 CO₂ 释放的主要过程是碳酸化合物的煅烧，在煅烧期间通过加热形成金属氧化物。对于方解石矿石或碳酸钙，此处显示的典型煅烧反应为：



酸引起的 CO₂ 释放示例公式为：



这种情况出现在各种工业中，但通常是因为在升级非碳酸材料的酸化过程中存在少量碳酸盐杂质。例如，在用硫酸处理磷酸盐矿石产生磷酸时，要酸化的磷酸盐浓度可能包含少量比例的碳酸盐矿石。总之，这些碳酸盐杂质酸化释放的 CO₂ 量比较少。

因此本章的重点是煅烧碳酸盐材料造成的排放。尽管释放煅烧相关排放的主要过程类似于采掘工业中的源类别，但是因为它们对全球排放的贡献相对重要，所以强调这三个源类别。这些源类别是水泥生产、石灰生产和玻璃生产。除了这些源类别外，本章考虑了其它各种采掘工业中消耗碳酸盐产生的排放，包括水泥、纯碱使用和非冶金镁生产的碳酸消耗。

石灰石和其它碳酸盐材料还消耗在各种其它工业，本章未予尽述。示例包括碳酸盐在金属熔炼和提炼（例如钢铁生产和诸如铜等基本金属）中用作熔剂¹和调渣²剂，还包括用作化学工业（例如肥料）中的给料。本章概述了估算碳酸盐使用排放的方法，这些方法也适用于其它工业。优良作法是将使用石灰石、白云石和其它碳酸盐的排放分配到产生排放的工业源类别（例如钢铁生产）。

如整个第3卷对工业过程和产品使用（IPPU）所述，以下概述的排放估算方法仅考虑过程相关的排放，不考虑能源相关的排放。清单编制者应确保能源部门考虑了这些工业中能源相关的排放，而且要确保能源部门和 IPPU 部门之间没有重复计算排放。例如，水泥制造中消耗燃料时产生的 CO₂ 排放计算应考虑化石燃料和废弃物燃料（轮胎、废油、油漆等）的燃烧。但是这些燃烧相关的排放应纳入能源相关的排放，不应纳入 IPPU，IPPU 应仅包括煅烧中产生的排放。

尽管甲烷（CH₄）和氧化氮（N₂O）的排放源可能是某些采掘工业源类别，在当前的科学知识基础上，这些排放假定为可以忽略不计，因此本章没有详细阐述。CO₂ 排放可能产生于本章未说明的其它采掘相关活动，若知道并可以估算这些活动，则应将这些活动纳入清单。

本章中的源类别有着方法层的共同方式。方法1和2基于消耗的原材料或制造的产品数量估算，同时采用表示每单位质量 CO₂ 排放量的排放因子。方法3说明了根据特定地点的原材料化学物质直接计算。如果使用特定地点的原材料数据，至关重要的是要考虑原材料和燃料中碳酸盐的所有来源（不仅仅是石灰石）。所有碳酸盐燃烧工业的基本排放计算都很类似。这些计算均基于常见的分子量和 CO₂ 比率，为了方便使用，这些在下表2.1中列出。

¹ 熔剂是用于降低矿物热处理（如熔化金属）的热量或其他能量要求的原材料，如石灰石、白云石、石灰和硅砂。熔剂还可能发挥调渣剂的双重作用。

² 矿渣是在在金属矿石熔炼或后续炉（例如钢）中通过添加调渣剂（通常由石灰、石灰石和/或白云石）有意形成的残余硅酸盐熔化物。矿渣包含大多数非挥发性杂质，这些杂质可能是从矿石中剥离的，也可能是产生于在熔炼过程中添加的任何熔剂产生的成分。

表 2.1
分子式、分子量和常见碳酸盐物种的二氧化碳含量*

碳酸盐	矿石名称	分子量	排放因子 (吨 CO ₂ /吨碳酸盐) **
CaCO ₃	方解石*** 或文石	100.0869	0.43971
MgCO ₃	菱镁石	84.3139	0.52197
CaMg (CO ₃) ₂	白云石***	184.4008	0.47732
FeCO ₃	菱铁矿	115.8539	0.37987
Ca (Fe,Mg,Mn) (CO ₃) ₂	铁白云石****	185.0225–215.616 0	0.40822–0.47572
MnCO ₃	菱锰矿	114.9470	0.38286
Na ₂ CO ₃	碳酸钠或纯碱	106.0685	0.41492

来源：CRC 化学物理手册 (2004)

* 使用这些数据的最终结果 (即, 排放估算) 应四舍五入为不超过两位有效数字。

** 排放的 CO₂ 比例假定为 100% 煅烧, 例如 1 吨方解石如果完全煅烧, 会产生 0.43971 吨的 CO₂。

*** 方解石是石灰石中主要的矿物。像高镁或含镁石灰石这些术语指得是在一般的 CaCO₃ 分子式中用少量 Mg 来代替 Ca, 常见于石灰石。

**** 铁白云石所示的分子量范围假定 Fe、Mg 和 Mn 的含量至少为 1.0%。

2.2 水泥生产

2.2.1 4.1.1 方法学问题

在水泥生产中, CO₂ 是在生产熟料的过程中产生的, 熟料是一种球状中间产品, 然后磨细与少量硫酸钙 [石膏 (CaSO₄·2H₂O) 或硬石膏 (CaSO₄)] 加入到水凝水泥 (通常是波特兰水泥)。生产熟料时, 主要成分为碳酸钙 (CaCO₃) 的石灰石被加热或煅烧成石灰 (CaO), 同时放出 CO₂ 作为其副产品。然后 CaO 与原材料中的二氧化硅 (SiO₂)、氧化铝 (Al₂O₃) 和氧化铁 (Fe₂O₃) 进行反应产生熟料 (主要是水硬硅酸钙)。非 CaCO₃ 的碳酸盐的原材料比例通常很小。其它碳酸盐 (如果有) 主要以杂质的形式存在于初级石灰石原材料之中。在熟料制造过程中最好有少量 MgO (通常为 1-2%) 用作熔剂, 但是如果含量超过就会对水泥造成问题 (van Oss 和 Padovani, 2002)。水泥可以完全由进口熟料制成 (磨成), 这种情况下水泥生产设施可以考虑为具有零过程相关 CO₂ 排放。如 2.2.1.2 节所述, 在制造熟料期间可能会生成水泥窑尘 (CKD)。排放估算应考虑与 CKD 有关的排放。

没有与建筑水泥生产有关的其它排放。若通过将石灰加到波特兰水泥 (或其熟料) 生产建筑水泥, 在石灰生产项下还应考虑与石灰有关的排放。将重质碳酸钙添加到波特兰水泥或其熟料生产建筑水泥时, 不会导致其它排放。

2.2.1.1 方法选择

图 2.1 中的决策树说明了 *优良作法* 是根据国情选择最合适的方法。在方法 1 中, 排放基于从水泥生产数据推断出的熟料生产估算, 并按熟料的进出口量进行修正。直接来自水泥产量的排放估算 (即, 在未首先估算熟料产量的情况下, 直接将排放因子应用于水泥产量) 不会被视作 *优良作法*, 因为这种作法未考虑熟料进出口量。

在方法 2 中, 排放估算直接依据熟料生产数据 (而不是从水泥产量推断出熟料产量) 和国家或缺省排放因子。方法 3 的计算, 根据所有原材料和燃料来源中所有碳酸盐给料的权重和成分、碳酸盐的排放因子和实现煅烧的比例。方法 3 取决于特定工厂的数据。如果清单编制者将企业级数据视为不可靠或高度不确定, 则 *优良作法* 是采用方法 2。

方法 2 和方法 3 还应包括 CKD 的修正。方法 2 包括未回收到炉窑中与 CKD 有关排放修正。方法 3 还应考虑 CKD。与方法 2 不同, 当使用方法 3 时, 因未煅烧的 CKD 且未回收到炉窑中而造成的排放将从总排放估算中减去。

如果工厂中安装和采用了 CO₂ 捕获技术，*优良作法*是在高层方法排放计算中扣除捕获的 CO₂。缺省假设是没有出现 CO₂ 捕获和储存（CCS）。任何计算 CO₂ 捕获的方法均应考虑，在过程中捕获的 CO₂ 排放可能与燃烧和过程有关。如果燃烧和过程排放要单独报告（例如水泥生产），则清单编制者应确保 CO₂ 的相同数量没有被计算两次。在这些情况下，捕获的 CO₂ 总量应最好报告在相应的能源燃烧中，且应该按照这些源类别中生成的 CO₂ 量的比例在 IPPU 源类别中报告。有关 CO₂ 捕获和储存的更多信息，请参见第3卷 1.2.2 节；有关捕获和储存的更多详细信息，请参见第2卷 2.3.4 节。

方法 1：通过使用水泥产量数据估算熟料产量

如上所述，直接根据水泥产量计算 CO₂ 排放量（即采用固定的基于水泥的排放因子）不是 *优良作法*。相反，如果缺少碳酸盐给料或全国熟料生产数据，那么通过考虑水泥产量和类型、熟料含量并按熟料进出口量进行修正，可使用水泥产量数据估算熟料产量。在估算这种来源的排放时，考虑熟料的进出口量是重要的因素。进口熟料生产中的排放不应列入国家排放估算，因为这些排放将列入另一个国家的产生和计算。类似的，最终要出口的熟料排放应作为生产熟料的国家估算因子。然后应用熟料的排放因子，并根据公式 2.1 计算 CO₂ 排放。

公式 2.1
方法 1：基于水泥生产的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = \left[\sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex \right] \cdot EF_{clc}$$

其中

CO₂ 排放 = 来自水泥生产的 CO₂ 排放，单位为吨

M_{ci} = 生产的 I 类水泥重量（质量）³，单位为吨

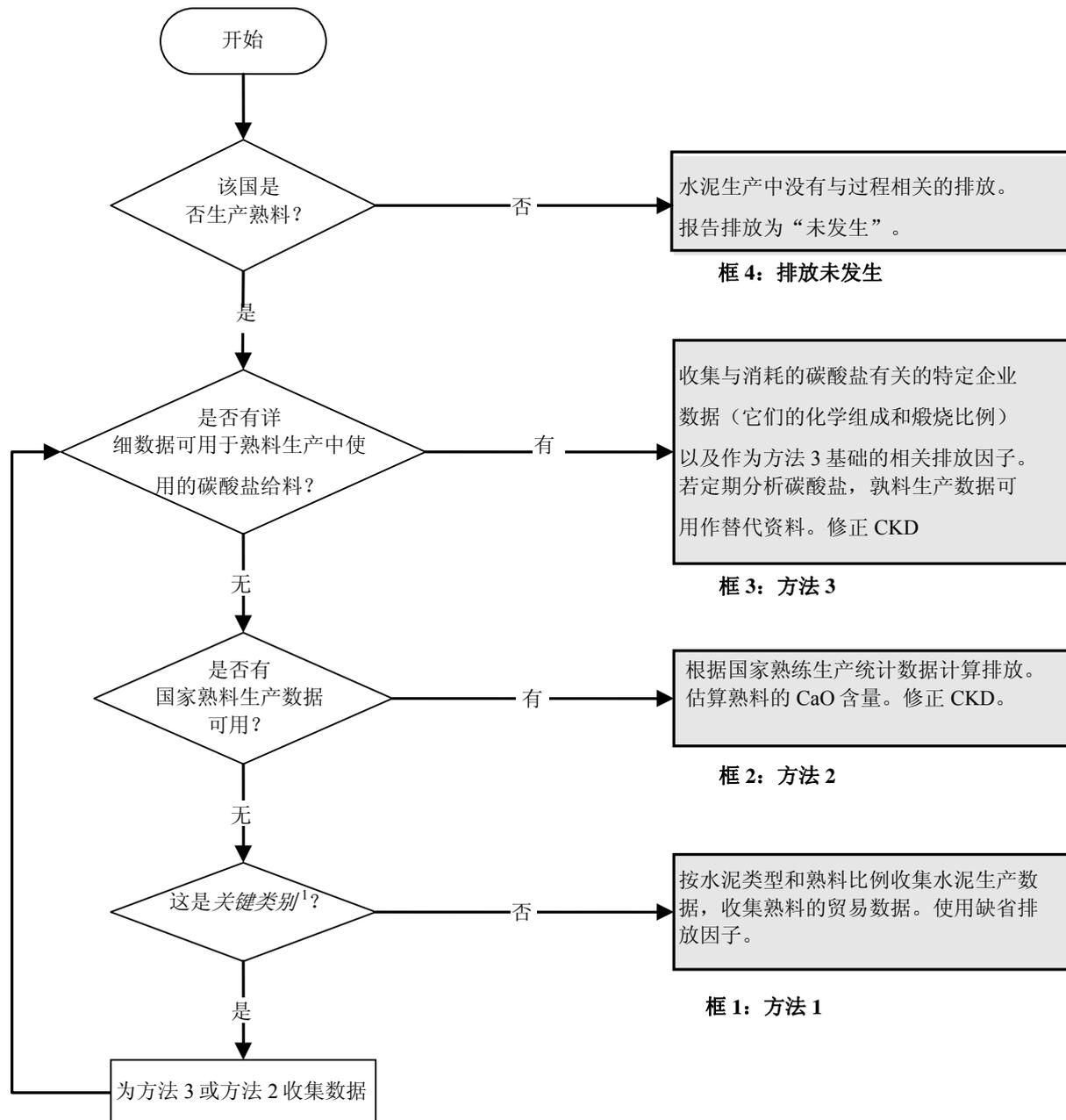
C_{cli} = I 类水泥的熟料比例，比例形式

Im = 熟料消耗的进口量，单位为吨

Ex = 熟料的出口量，单位为吨

EF_{clc} = 特定水泥中熟料的排放因子，吨 CO₂/吨熟料
缺省熟料排放因子（EF_{clc}）经修正用于 CKD。

³ 在某些统计概略中，水泥产量就是指水泥产量加上熟料的出口量。如果是这种情况，则 *优良作法*是从公式 2.1 中的 M_{ci} 因子中减去熟料出口量。

图 2.1 估算水泥生产中 CO₂ 排放的决策树

注：

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

方法 2：熟料生产数据的使用

如果没有（方法 3）熟料生产中消耗的碳酸盐详尽数据（包括权重和组成成分），或如果在其他情况下严格的方法 3 视为不切实际，则**优良作法**是使用综合工厂或国家熟料生产数据以及熟料中 CaO 含量的数据，在以下公式 2.2 中表示为排放因子：

公式 2.2

方法 2：基于熟料生产数据的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

其中

CO_2 排放 = 来自水泥生产的 CO_2 排放，单位为吨

M_{cl} = 生产的熟料重量（质量），单位为吨

EF_{cl} = 熟料的排放因子，吨 CO_2 /吨熟料（有关以下方法 1 和方法 2，参见 2.2.1.2 节“排放因子选择”中的讨论）。熟料排放因子（ EF_{cl} ）未修正用于 CKD。

CF_{ckd} = CKD 的排放修正因子，无量纲（参见公式 2.5）

方法 2 基于有关水泥工业和熟料生产的如下假定：

1. 大部分水硬水泥不是波兰特水泥就是类似的水泥，这类水泥需要波兰特水泥熟料；
2. 在熟料中 CaO 成分的范围非常有限，且 MgO 含量保持在非常低的水平；
3. 工厂通常能够在严格的容限内，控制原材料给料的 CaO 含量和熟料的 CaO 含量；
4. 即使在熟料输出量由工厂计算而非直接测量，通常在执行审计时两个决定方法非常一致；
5. 特定工厂中熟料的 CaO 含量往往多年之内不会出现明显变化；
6. 多数工厂中 CaO 的主要来源是 $CaCO_3$ ，CaO 的任何主要非碳酸盐源头，至少在工厂一级都很容易量化（参见以下 2.2.1.2 节）；
7. 对于熟料生产的碳酸盐给料，会获得 100%（或非常接近）的煅烧因子，包括（通常为较少的程度）系统中不可回收 CKD 的损失材料；和
8. 工厂的除尘器可捕获几乎所有的 CKD，不过这种材料不一定全回收到炉窑中。

方法 3：碳酸盐给料数据的使用

方法 3 基于：生产熟料时消耗的碳酸盐类型（成分）和数量有关的非集合数据集，以及所消耗碳酸盐的各个排放因子。然后使用公式 2.3 计算排放。方法 3 包括这样一种调整，即减去 CKD 内未返回炉窑的任何未煅烧的碳酸盐。如果 CKD 完全煅烧或全部返回炉窑，则此 CKD 修正因子为零。即使清单编制者不能使用未煅烧的 CKD 数据，方法 3 仍被视为优良作法。然而，不包括未煅烧的 CKD 可能会稍微高估排放。

石灰石和页岩（原材料）还可能包含一定比例的有机碳（油原），而其它原材料（例如烟灰）可能包含碳残渣，这些物质会在燃烧时产生额外的 CO_2 。在能源部门通常不考虑这些排放，但是如果使用的范围很广，清单编制者应努力查看是否在能源部门中纳入了这些排放。但是目前对于采掘过程中非燃料原材料的油原或碳含量，存在的数据非常少，因此不能在本章中提供与原材料平均油原含量有关的有意义的缺省值。对于油原含量较高（即在总热量中贡献值超过 5%）的工厂级基于原材料的计算（方法 3），优良作法是包括对排放做出贡献的油原。

对于能够使用有关碳酸盐原材料的详细工厂级数据的单个工厂和单个国家，可能只有方法 3 切实可行。然后应当汇总在工厂级收集的排放数据，用于报告国家排放估算。人们认识到，根据直接的碳酸盐分析来频繁计算排放，对于某些工厂来说可能成为一种负担。只要对碳酸盐给料实施足够次数的详细化学物质分析，确定工厂级所消耗碳酸盐与熟料生产之间的良好关系，那么熟料产出就可以用作有关期间排放计算的碳酸盐替代物。也就是说，工厂可根据对碳酸盐给料的周期性校准，得出严格限制的工厂熟料排放因子。

公式 2.3
方法 3：基于炉窑中碳酸盐原材料给料的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d + \sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)$$

碳酸盐中的排放

来自未回收到
炉窑中未煅烧
CKD 中的排放

来自碳类非燃料中
的排放

其中

CO_2 排放 = 来自水泥生产的 CO_2 排放，单位为吨

EF_i = 特定碳酸盐 i 的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐（参见表 2.1）

M_i = 炉窑中消耗的碳酸盐 i 重量或质量，单位为吨

F_i = 碳酸盐 i 中获得的部分煅烧，比例^a

M_d = 未回收到炉窑中的 CKD 重量或质量（= ‘丢失的’ CKD），单位为吨

C_d = 未回收到炉窑中 CKD 内原始碳酸盐的重量比例，比例^b

F_d = 未回收到炉窑中 CKD 获得的比例煅烧，比例^a

EF_d = 未回收到炉窑中 CKD 内未煅烧碳酸盐的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐^b

M_k = 有机或其它碳类非燃料原材料 k 的重量或质量，单位为吨^c

X_k = 特定非燃料原材料 k 中总的有机物或其它碳的比例，比例^c

EF_k = 油原（或其它碳）类非燃料原材料 k 的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐^c

公式 2.3 的缺省注释：

- a: 煅烧比例：在缺少实际数据时，可以假定温度和水泥（熟料）炉窑中获得的停留次数，以及组成熟料的所有材料达到的煅烧程度是 100%（即， $F_i = 1.00$ ）或非常接近 100%。对于 CKD， <1.00 的 F_d 更有可能，但是数据可能显示高可变性和相对不可靠。在缺少 CKD 的可靠数据时， $F_d = 1.00$ 的假定将导致对 CKD 的修正等于零。
- b: 因为碳酸钙在原材料中绝对是主要的碳酸盐，所以可以假定它由 100% 的碳酸盐组成，这些碳酸盐残余在 CKD 中未回收到炉窑。因此可接受的优良作法是，将 C_d 设置为等于送入炉窑原材料中的碳酸钙比率。同样，对于 EF_d ，可接受的作法是使用碳酸钙排放因子。
- c: 如果油原或其它碳的热贡献量小于总热量（来自燃料）的 5%，非燃料原材料中来自非碳酸盐碳（例如油原中的碳、烟灰中的碳）的 CO_2 排放可以被忽略（设置 $M_k \cdot X_k \cdot EF_k = 0$ ）。

2.2.1.2 选择排放因子

方法 1

在方法 1 中，优良作法是对 65% 熟料使用缺省 CaO 含量；假定 100% 的 CaO 来自碳酸钙材料；并为 CKD 合并 2% 的修正因子（有关 CKD 的更多讨论，请参见方法 2 的以下讨论）。

对于缺省的 CaO 成分，1 吨熟料含来自 $CaCO_3$ 的 0.65 吨 CaO。此碳酸盐的重量中 56.03% 是 CaO，43.97% 是 CO_2 （表 2.1）。生产 0.65 吨 CaO 需要的 $CaCO_3$ 量（X）是： $X = 0.65/0.5603 = 1.1601$ 吨 $CaCO_3$ （未取整）。通过煅烧此 $CaCO_3$ 释放的 CO_2 量 = $1.1601 \cdot 0.4397 = 0.5101$ 吨 CO_2 （未取整）。假定另外修正 2% 来计算 CKD，则取整的熟料缺省排放因子（ EF_{clc} ）为：

公式 2.4
熟料的排放因子

$$EF_{clc} = 0.51 \cdot 1.02 \text{ (CKD 修正)} = 0.52 \text{ 吨CO}_2 \text{ /吨熟料}$$

按照方法 1，缺省的 EF_{clc} 纳入 CKD 的修正。不应与方法 2 的 EF_{cl} 混淆，因为其未考虑 CKD。 EF_{cl} 应与修正因子 CF_{ckd} （参见公式 2.5）相乘，为熟料和 CKD 生成组合的 EF 。

方法 2

熟料排放因子 (EF_{cl})

在方法 2 中，关于熟料 CaO 含量和非碳酸盐 CaO 来源给料，如果有足够的特定国家数据，则优良作法是估算特定国家的熟料 CO_2 排放因子。如上所述，熟料的排放因子推导要求了解熟料的 CaO 含量，以及从碳酸盐来源（通常为 $CaCO_3$ ）衍生的 CaO 比例。熟料的 CaO 含量通常在 60% 到 67% 的范围内。在特定的工厂内，CaO 含量稳定保持在 1% 到 2%。按照方法 1 的推荐，基本的缺省排放因子假定熟料是 65% 的 CaO，且它是 100% 从 $CaCO_3$ 衍生出的，并在炉窑中获得 100% 的煅烧。

在公式 2.4 中，基础（即，未修正用于 CKD）0.51 排放因子假定熟料中有 65% 的 CaO 含量。如果这些含量已知，则类似的计算将为不同的 CaO 含量产生排放因子。例如，对于所有从 $CaCO_3$ 衍生出的 CaO 含量为 60% 的熟料， EF_{cl} （不包括为 CKD 进行修正）是 0.47；而对于含量为 67% 的 CaO， EF_{cl} 为 0.53。

如果已知工厂从非碳酸盐来源（如钢渣或烟灰）中获得大比例的 CaO，则应首先减去这部分 CaO。例如，如果 65% 的 CaO 熟料中有 4% CaO 来自残渣，则碳酸盐中的 CaO 是 61%，而对其煅烧得出的 EF_{cl} 为 0.48。

缺省排放因子不包括对 MgO 的修正。对于从碳酸盐中衍生出的每 1% MgO，排放因子就额外增加 0.011 吨 CO_2 /吨熟料（即， $EF_{cl} = 0.510 + 0.011 = 0.52$ 吨 CO_2 /吨熟料）。因为 MgO 还可能来自非碳酸盐来源，而且有意在波特兰水泥中保持 MgO 低含量，所以来自碳酸盐的实际 MgO 可能非常少。假定 CaO 是 100% 碳酸盐来源已经造成排放估算过高（至少非碳酸盐来源对 CaO 做出某些贡献），且某些 MgO 还可能来自非碳酸盐来源，则对于方法 2 计算，对 MgO 不需要修正。对于与这些假定有关的不确定性，请参考表 2.3。

水泥窑尘的排放修正因子 (CF_{ckd})

灰尘可能产生用于制造熟料的炉窑生产线设备的各点。根据产生灰尘的位置，此灰尘的成分会有所差异，但产生的这些灰尘均可纳入术语“水泥窑尘（CKD）”。CKD 包括从原材料中产生的微粒，而灰尘的原始碳酸盐成分可能未完全煅烧。CKD 可通过除尘技术有效捕获，然后回收到炉窑中（首选作法），或者直接返回燃烧气体中的炉窑，或（在捕获后）可以进行处理。CKD 可回收到炉窑中的程度取决于，这是否会对熟料或后续成品水泥造成质量问题（例如过量碱含量）。任何未回收到炉窑中的 CKD 被视为过程的“损失量”，与其有关的排放不会在熟料中考虑。只要已损失 CKD 可表示煅烧碳酸盐原材料，从这些煅烧原材料产生的排放即表示方法 1 和方法 2 计算中熟料排放的增加，方法 3 计算中熟料排放的减少。

因为产生 CKD 的含量数据可能稀缺（除可能用于工厂级报告之外），根据缺省值估算来自损耗 CKD 的排放可视为优良作法。来自损耗 CKD 的 CO_2 量会有所差异，其典型范围是：现代厂家仅约 1.5%，而高度煅烧 CKD 损失较多的厂家高达约 20%（van Oss 2005）。数据缺失时，缺省的 CKD 修正因子 (CF_{ckd}) 为 1.02（即将熟料的 CO_2 排放量提高 2%）。如果认为系统中煅烧的 CKD 没有损失，那么 CKD 修正因子为 1.00（van Oss, 2005）。除了 CKD，世界可持续发展工商理事会（WBCSD）单独处理来自旁路灰尘（完全煅烧）的排放。如果数据可获，各国可参考 WBCSD 协议来估算这些排放（WBCSD, 2005）。

在数据可获时，可使用公式 2.5 计算“损失的” CO_2 排放量的修正因子（公式 2.2 中的 CF_{ckd} ）。

公式 2.2 中使用的 CKD 修正因子 (CF_{ckd}) 可以按以下方式得出：

公式 2.5

未回收到炉窑中 CKD 的修正因子

$$CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (EF_c / EF_{cl})$$

其中

CF_{ckd} = CKD 的排放修正因子，无量纲

M_d = 未回收到炉窑中的 CKD 重量，单位为吨^a

M_{cl} = 生产的熟料重量，单位为吨

C_d = CKD 内原始碳酸盐的比例（即煅烧之前），比例^b

F_d = CKD 内原始碳酸盐的煅烧比例，比例^b

EF_c = 碳酸盐的排放因子（表 2.1），吨 CO₂/吨碳酸盐

EF_{cl} = 对于 CKD 未修正的熟料排放因子（即 0.51 吨 CO₂/吨熟料），吨 CO₂/吨熟料

注：

- a: 假定首先捕获 100% 的 CKD。如果任何 CKD 排放到大气中，则必须对此排放量就行估算并纳入 M_d 。
- b: 可接受的假定为原始碳酸盐全部为 CaCO₃ 且 CKD 中原始碳酸盐的比例基本上等于原始混合炉窑进料的比例。

例如，对于 $M_d/M_{cl} = 0.2$ ， $C_d = 0.85$ ， $F_d = 0.5$ ，原始碳酸盐全部为 CaCO₃（因此 $EF_c = 0.4397$ 吨 CO₂/吨碳酸盐），且 $EF_{cl} = 0.51$ 吨 CO₂/吨熟料的缺省值， $CF_{ckd} = 1.073$ （未取整），也就是说这表示只对熟料的 CO₂ 计算约增加 7%。

方法 3

方法 3 排放因子基于碳酸盐造成的实际 CO₂ 含量（参见公式 2.3 和表 2.1）。方法 3 需要完全计算碳酸盐（物种和来源）。

2.2.1.3 选择活动数据

方法 1

在方法 1 中，应根据生产的水泥类型和水泥的熟料比例收集国家级（或可用的工厂级）数据，以便估算熟料产量。全世界生产的多数水硬水泥，不是波特兰水泥，就是基于波特兰水泥（即波特兰水泥（或熟料）加上火山灰或粘性添加剂）或建筑水泥（波特兰水泥加上塑化材料，例如重质碳酸钙）的掺配（组合）水泥。如果水泥产量不能按品种进行分别计算，而且怀疑生产波特兰水泥时还生产了大量掺配和/或建筑水泥，那么可接受的优良作法是假定综合熟料含量为 75%。如果已知水泥产量几乎全是波特兰水泥，则优良作法是使用缺省值 95% 的熟料。不巧的是，即使某个国家生产的水泥类别已知，在给定的掺配或建筑水泥类别内，水泥的熟料含量也会出现很大的变化。表 2.2 提供了各个水泥类别熟料含量范围的图解说明。有关更多信息，请参见 DIN（1994）和 ASTM（2004a, 2004b）。各国应清晰记录用于估算排放的水泥成分和熟料比例等任何假定。

表 2.2
掺配水泥“配方”和综合产品混合的熟料含量（根据美国标准 ASTM C-150 和 C-595；美国数据可用于描述其它国家的情况）

水泥名	化学符号	配方	% 熟料	注
波特兰	“PC”	100% PC	95 - 97 90 - 92	某些美国的州允许包含 3% GGBFS。 最新标准允许包含≤5% 重质碳酸钙。
建筑水泥	“MC”	2/3 PC	64	差异很大
矿渣改良的波特兰	I (SM)	矿渣 < 25%	>70 - 93	
波特兰 BF 矿渣	IS	矿渣 25-70%	28 - 70	
波特兰火山灰	IP 和 P	火山灰 15-40%	28 - 79/81	基于 PC 和/或 IS
火山灰改良的波特兰	I (PM)	火山灰<15%	28 - 93/95	基于 PC 和/或 IS
矿渣水泥	S	矿渣 70+%	<28/29	可以使用 CaO 代替熟料

混合产品中的熟料百分比						
掺配水泥中的添加剂百分比（火山灰 + 矿渣）*						
产品混合（PC/掺配）**	0%	10%	20%	30%	40%	75%
100/0	95 - 97	0	0	0	0	0
0/100	0	85.5	76	66.5	57	23.8
15/85	14.2	86.9	78.9	70.8	62.7	26.4
25/75	23.8	87.9	80.8	73.6	66.5	41.6
30/70	28.5	88.35	81.7	75.1	68.4	45.2
40/60	38	89.3	83.6	77.9	72.2	52.3
50/50	47.5	90.3	85.5	80.8 ***	76	59.4
60/40	57	91.2	87.4	83.6	79.8	66.5
70/30	66.5	92.2	89.3	86.5	83.6	73.6
75/25	71.1	92.6	90.1	87.8	85.4	77.1
85/15	80.8	93.6	92.2	90.7	89.3	84.3

注：
* 矿渣的包容性允许掺配波特兰和/或波特兰鼓风机矿渣水泥。
除了 100%波特兰范围本身，所有其它波特兰假定为 95%熟料。
** 波特兰混合指的是一个国家产品的范围，例如 75% 总产量是波特兰，而剩余的是掺配水泥。
假定所有水硬水泥是波特兰和/或掺配水泥，或纯火山灰。建筑水泥是近似混合 60/40 到 70/30 波特兰/掺配水泥，而添加剂有 75%。其它水硬水泥（例如铝水泥）假定为零。
*** 例如：某国水泥产出为 50% 波特兰水泥和 50% 掺配水泥的熟料比例，而掺配水泥含 70% 波特兰水泥和 30% 添加剂。

方法 1 还需要对熟料的进出口量进行修正。一个国家进出口熟料数量的有关资料，通常可从国家海关局、联合国、国家水泥协会或贸易协会和/或商务部获取。通常用于熟料贸易的关税代码为 661.21 (SITC) 和 2523.10.00 (HTS)。重要的是要从水硬水泥和熟料的组合类别中区分出熟料本身的贸易数据：[代码 661.2 (SITC) 和 25.23.0000 (HTS)]，以及水泥进口数据：[代码 661.22 – 661.29 (SITC) 和 2523.21 – 2523.90 (HTS)]。

方法 2

方法 2 需要收集熟料生产数据。建议，如果国家调查机构目前彻底检查水泥生产数据，清单编制者应调查扩展这些数据收集熟料生产数据的可能性。优良作法是直接从国家统计数据中或最好从各工厂中收集熟料生产数据。还建议清单编制者收集有关熟料中 CaO 含量的信息以及碳酸盐中 CaO 的比例。有关非碳酸盐来源中 CaO 的数据可获时（例如矿渣和烟尘），此 CaO 不应纳入熟料的 CaO 含量中用于计算排放。如果可能，应收集数据以记录工厂的 CKD 收集和回收作法，以及 CKD 的平均或典型成分和煅

烧比例。从单个制造商收集数据（如果完整）而不是使用国家总数据，会减少估算的不确定性，因为这些数据考虑了工厂级情况的变化。

方法 3

方法 3 所需的活动数据类型可能仅在工厂级可获得。任何使用方法 3 的报告实体应当确保，对炉窑的所有碳酸盐给料（即，类型、量、所有来源）进行全面调查，作为方法 3 初始实施的一部分，在材料或过程中出现任何重大变化时均应重复完整的调查。完成对碳酸盐给料的完整分析之后且假定材料或生产过程中没有出现重大变化，*优良作法*是根据碳酸盐给料分析开发严格的特定工厂级排放因子，并将其应用于熟料生产（通常为每天计算）。接着，熟料生产数据可用作碳酸盐计算的替代资料，以估算排放。为了与*优良作法*一致，此联系应定期重新校准。

总之，石灰石或类似的碳酸盐石头将成为典型水泥工厂的主要（80-90%）原材料，且应每年收集这些数据。但是，在粘土、页岩、砂石和其它补充原材料以及煤和可能某些其它燃料内，可能存在碳酸盐成分。如果在全面调查期间确定非主要来源的碳酸盐含量较少（例如，少于碳酸盐总量的 5%），则在下一次完全调查之前工厂可以对期间各年的次要来源应用常数值。认识到估算这些少量来源的活动数据，可能导致分析（和其它）错误，为了排放计算目的可以假定，碳酸盐的次要来源是 CaCO_3 ，但是此假定应清晰地记录。

活动数据应排除未给入炉窑但只引入成品（研磨）加工的任何碳酸盐。例如，工厂可能掺配少量百分比（1~5%）的重质石灰石以“稀释”其完成的波特兰水泥。添加到成品加工的碳酸盐不会煅烧，因此不会贡献 CO_2 。

2.2.1.4 完整性

使用方法 1 时，清单编制者应确保考虑熟料的进出口量。对于纯粹进口熟料的国家，不能扣除净熟料进口量会造成高估水泥生产中的排放。对于纯粹出口熟料的国家，不能包括净熟料出口量会造成低估水泥工厂中的排放。贸易数据潜在来源的讨论见 2.2.1.3 节。

熟料生产数据可取自国家统计数据库，即使这些数据还未在国家统计资料中发布也可以收集。在一些国家的统计数字中水泥和熟料产量可能不完整，因为有相当一部分产量来自于为数众多的小水泥窑，其中立窑的数据尤其难以获得。

对于考虑哪些特定工厂数据用于按方法 3 估算国家排放，完整性尤其重要。按照方法 3，重要的是要考虑所有熟料生产工厂，而且制造熟料消耗的所有碳酸盐均将纳入排放计算。熟料生产工厂在各国都有良好的标识，但是消耗的碳酸盐比重数据可能还不易获得。为了使方法 3 被视为“完整的”，必须记录消耗的所有碳酸盐。

在只有方法 3 的熟料工厂报告数据子集或方法 2 向方法 3 过渡的国家，也许无法使用方法 3 报告过渡期间的所有设施的排放。在并非所有工厂均可获得碳酸盐给料的数据来使用方法 3 提供报告时，可以确定非报告工厂表示的生产份额，并使用此信息按方法 2 估算剩余的排放，以确保过渡期间的完整性。对于从方法 1 过渡到方法 2 的国家，可以采用类似的方式。

还应考虑重复计数的可能性。例如，清单编制者应检查用于估算源类别“碳酸盐的其它过程使用”的统计资料，确保该源类别中报告的排放并非产生于水泥生产中使用这些碳酸盐。在碳酸盐用作水泥生产的地方，排放应在水泥生产项下报告。最后，清单编制者应在此源类别中仅纳入来自水泥生产的相关过程排放。若要避免重复计数，*优良作法*是考虑能源卷中燃烧相关的排放。

还有另一个问题，未纳入目前的方法中，却可能会成为以后的相关注意事项。加工混凝土（即熟料矿物的水化过程）期间释放的游离石灰（ CaO 不是上述熟料矿物的分子式成分）有可能重新吸收大气中的 CO_2 ，这一过程称为碳化过程。但是，碳化的速度非常低（几年到几百年），而在实际操作中，不应将此视为*优良作法*。这是纳入国家清单之前的未来工作范围。

2.2.1.5 建立一致的时间序列

本《指南》在估算水泥生产的排放中引入了两个变化。首先在方法 1 下，缺省排放因子现在包括了 CKD 2% 的修正因子。CKD 的修正因子现在包括在方法 1 中，因为它能更好地反应熟料生产期间的排放来源。*优良作法*是使用 2.2.1.2 节中介绍的排放因子重新计算先前方法 1 的排放估算。

另外，已经引入新的方法 3，这种方法基于对熟料生产的碳酸盐给料。历史上的这些数据可能有，也可能无。如果清单编制者选择为当前和未来清单实施方法 3（与历史方法 2），则鼓励他们收集这些历史年份的数据确保时间序列一致。这些数据不可获得时，清单编制者可以参考“重叠方式”（参见第 1 卷 5.3 节），尝试重新计算以前的估算。碳酸盐给料方法（方法 3）中估算的排放与基于产出的熟料生产方法（方法 2）之间的关系，对于特定工厂应在长时间内保持相对稳定，但是如果随着时间推移工厂数、采用的技术或原材料出现显著变化时则可能失效。一旦建立这种关系，就可以根据此关系（参见第 1 卷 5.3 节）重新计算先前的估算。清单编制者从方法 1 过渡到方法 2 时，可以使用类似的方式。

2.2.2 不确定性评估

水泥生产的不确定性评估主要来源于与活动数据关联的不确定性，其次产生于与熟料排放因子有关的不确定性。

2.2.2.1 排放因子不确定性

对于方法 1，主要不确定性成份是生产水泥的熟料比例。如果没有可靠的熟料进出口数据，则熟料生产估算的不确定性会更高。尽管缺省 CKD 修正因子本身具有很大的不确定性，但其对综合排放计算的影响仍然小于与熟料比例关联的不确定性。在方法 2 中，不确定性的主要来源与确定熟料的 CaO 含量有关。有熟料数据时，排放因子的不确定性等于 CaO 含量的不确定性和假设 CaO 全部来源于 CaCO₃ 所带来的不确定性（表 2.3）。对于方法 3，来源碳酸盐的排放因子具有相对较小的不确定性，因为它们基于化学计量比。在方法 3 中可能有一些与假定关联的不确定性，即 CKD 中碳酸盐的 100% 煅烧。

总之，CKD 对于估算生产水泥时 CO₂ 排放具有最小的特征因子，这与实施的方法无关。

2.2.2.2 活动数据不确定性

根据水泥产量估算熟料生产数据时，活动数据的不确定性可能高达 35%。对于方法 2，熟料生产吨数可用数据的不确定性为大约 1-2%。从单个制造商收集数据（如果完整）而不是使用国家总数据，会减少估算的不确定性，因为这些数据考虑了工厂级情况的变化。这对于确定熟料成分和每年生产的不规则性之间的可能差异尤其重要（即使用熟料堆料代替各时期生产水泥的产量）。除了 CKD，与方法 3 有关的最大不确定性来源是与碳酸盐物种（1-5%）和原材料重量的鉴定有关的不确定性。

尽管排放大大小于碳酸盐，但是在方法 2 估算中与 CKD 估算排放有关的不确定性很大，且在方法 3 中如果工厂不能对未回收到炉窑或工厂缺少 CKD 洗刷物，则不确定性也很大。如果不知道工厂 CKD 的重量和成分，则不确定性会更大。例如，已经在公式 2.1-2.5 和/或熟料与水泥的制造步骤中尝试估算不同因素的近似不确定性。这些不确定性在表 2.3 中列出，且是近似的确定性成份，即它们是与熟料生产中特定步骤或活动有关的不确定性。为了量化水泥（熟料）生产的不确定性，表 2.3 中提供的缺省不确定性应根据第 1 卷 3.2.3 节进行合并。对不确定性值给出范围时，除非特定国家或工厂的环境要求采用其它值，否则均应采用中等范围。

表 2.3
水泥生产的缺省不确定性值

不确定性 ^a	备注	方法
化学分析/化学成份		
2-7%	假定波特兰水泥中 95%熟料因子	1
1-2%	确定 CaO 的熟料化学分析	2
3-8%	假定熟料中 65% CaO	2
1-3%	假定 100% CaO 来源于 CaCO ₃ （如果使用炉灰或矿渣给料但不考虑这些时，不确定性会更高）。	2
1%	假定旨在成为熟料的碳酸盐 100% 煅烧	2, 3
1-3%	油原（或其它非碳酸盐碳）确定方式	3
1-3%	适于碳酸盐含量（质量）与类型的综合化学分析	3
1-5%	假定碳酸盐物种为 100% CaCO ₃	3
生产数据		
1-2%	报告的（工厂级）水泥生产数据	1
35%	假定国家产出是 100% 波特兰水泥	1
10%	使用估算的国家（或综合工厂）生产数据（国家统计资料）。	1, 2
变量	使用水泥或熟料中报告的但未取整的重量数据（例如大单位的国家级报告）；不确定性是所示最重要数字的一个单位）	1, 2
1-2%	熟料生产的重量或计算，假定完整报告	2
1-3%	原材料工厂级称重的不确定性	3
CKD		
25-35%	缺省假定 CKD 的排放为来自熟料生产中过程有关排放的 2%。不确定性假定 33-50% 的熟料未回收。如果没有回收或如果煅烧百分比明显超过 50%，则不确定性可能是 50% 或更高	
1%	假定 CKD 中的原始成份与原始混合料相同	2, 3
1%	假定 CKD 中所有碳酸盐（煅烧或剩余的）均是 CaCO ₃	2, 3
10-35%	CKD 内 % 煅烧的估算	2, 3
20-80%	假定 CKD 100% 煅烧	2, 3
最大 60%	假定 CKD 50% 煅烧	2, 3
5%	洗涤设备捕获的 CKD 重量	2, 3
1-3%	回收到炉窑中洗涤设备捕获到的 CKD 重量	2, 3
5-10%	未回收到炉窑（其它处理方式）中洗涤设备捕获到的 CKD 重量	2, 3
10-15%	自动重新回收到炉窑中 CKD 的重量估算	2, 3
20-30%	没有任何物质被回收或洗涤时的 CKD 重量估算	2, 3
进出口		
10%	熟料的贸易数据（如果关税码被正确隔离且不包括水泥）	1
50% 进口吨数	未扣除消耗量的净熟料进口量造成的高估（这是因为按照公式 2.4，CO ₂ 将近为熟料重量的一半）	1

^a 估算基于专家判断。

2.2.3 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

2.2.3.1 质量保证/质量控制（QA/QC）

除 QA/QC 的一般指南外，下面给出与该排放源类别相关的一些具体程序。

对采用不同方法估算的排放量进行比较

可对使用不同的方法的估算排放进行比较。例如，如果采用自下而上方法收集活动数据（即，收集特定工厂的数据），则清单编制者应当将估算结果与采用全国水泥或熟料产量（自上而下方法）的估算结果进行比较。在过渡期间使用混合方法 1/2 或方法 2/3 方式时，则使用低级别方法估算所有设施的排放，还视为*优良作法*，目的是比较分析的结果与使用混合方式得出的结果。应该记载这种比较的结果作为内部文件，包括对两者不一致方面的解释。

排放因子审核

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

如果采用自上而下的综合方法，但只能获得有限的工厂数据，清单编制者应将综合排放因子与点源或工厂排放因子进行比较，这种比较将反映出综合排放因子的合理性和代表性。

工厂活动水平数据核对

对工厂数据，清单编制者应审核工厂之间的一致性，以确定是否表明有误差存在，或是不同的测量技术，或是在排放、运行条件或技术存在实际差别。对水泥产量而言，清单编制者应将国内各工厂数据（熟料的 CaO 含量、水泥的熟料含量）作相互比较。

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

2.2.3.2 报告和归档

*优良作法*是记录和归档生成国家排放清单估算的所需要的所有信息。与此源类别有关的归档和报告如下。

方法 1

除了水泥生产数据，还应报告熟料进出口量。应记录与熟料的 CaO 含量有关的任何信息，包括使用不同于 2.2.1.2 节中讨论的缺省值。

方法 2

方法 2 归档应包括描述报告实体如何估算熟料生产（即，直接称重、通过熟料堆料量确定的重量、从原材料给料中计算的重量等），以及收集活动数据的级别（即工厂级或国家级）。确定熟料 CaO 含量的方法（例如特定国家或 IPCC 缺省值）应与任何特定工厂信息一起记录，包括炉窑的非碳酸盐给料的数量和类型，例如矿渣或烟灰。应记录量化和确定 CKD 煅烧程度采用的所有程序。假定 CKD 的排放等于熟料生产排放的 2% 时，这应进行清晰的报告。

方法 3

当记录方法 3 时，重要的是要记录采取的所有程序和用于确定所有碳酸盐重量比例和特性的方法，包括并入任何粘土、页岩、砂石或其它补充原材料中的碳酸盐（作为原材料消耗），以及对应的排放因子。

如果碳酸盐未完全煅烧，来自碳酸盐给料的估算总排放可能高估排放。任何修正均应记录。这包括记录原材料的煅烧比例和 CKD 的数量及煅烧比例。

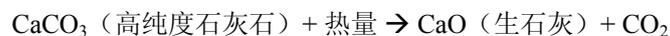
可能工厂会发现为计算 CO₂ 每天对所有原材料给料进行化学分析是不切实际的。相反，对每个设施在全年进行若干次全面调查，以对碳酸盐给料进行充分的特性化表述。这些设施可能开发出碳酸盐给料和熟料生产之间的关系，此关系将可适用于在工厂生产期间例行计算熟料产出。除了明确用于计算碳酸盐给料总排放的所有程序之外，还要记录明确碳酸盐给料和熟料生产之间关系必需的所有步骤。

应记录和报告所有基础信息，仅报告最终排放估算不应视为 *优良作法*。

2.3 石灰生产

2.3.1 方法学问题

通过加热石灰石分解碳酸盐，形成氧化钙（CaO 或生石灰）。这通常是在高温情况下在轴状炉窑或转炉中完成的，此过程会释放 CO₂。根据产品要求（例如冶金、纸和纸浆、建筑材料、排水处理、软化水、pH 控制和土壤平衡），按照以下反应采用主要高钙石灰石（方解石）：



白云石和白云（高镁）石灰石还可在高温下处理，按照以下反应获得白云熟石灰（并释放 CO₂）：
 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \text{ (白云石)} + \text{热量} \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{MgO} \text{ (白云熟石灰)} + 2\text{CO}_2$ 。在某些设施中，还使用其它水化过程操作生产水化合石灰（熟石灰）。

石灰的生产涉及一系列步骤，包括原材料采集、压碎和尺寸调整并煅烧原材料生产石灰，且（需要时）将石灰水合成氢氧化钙。

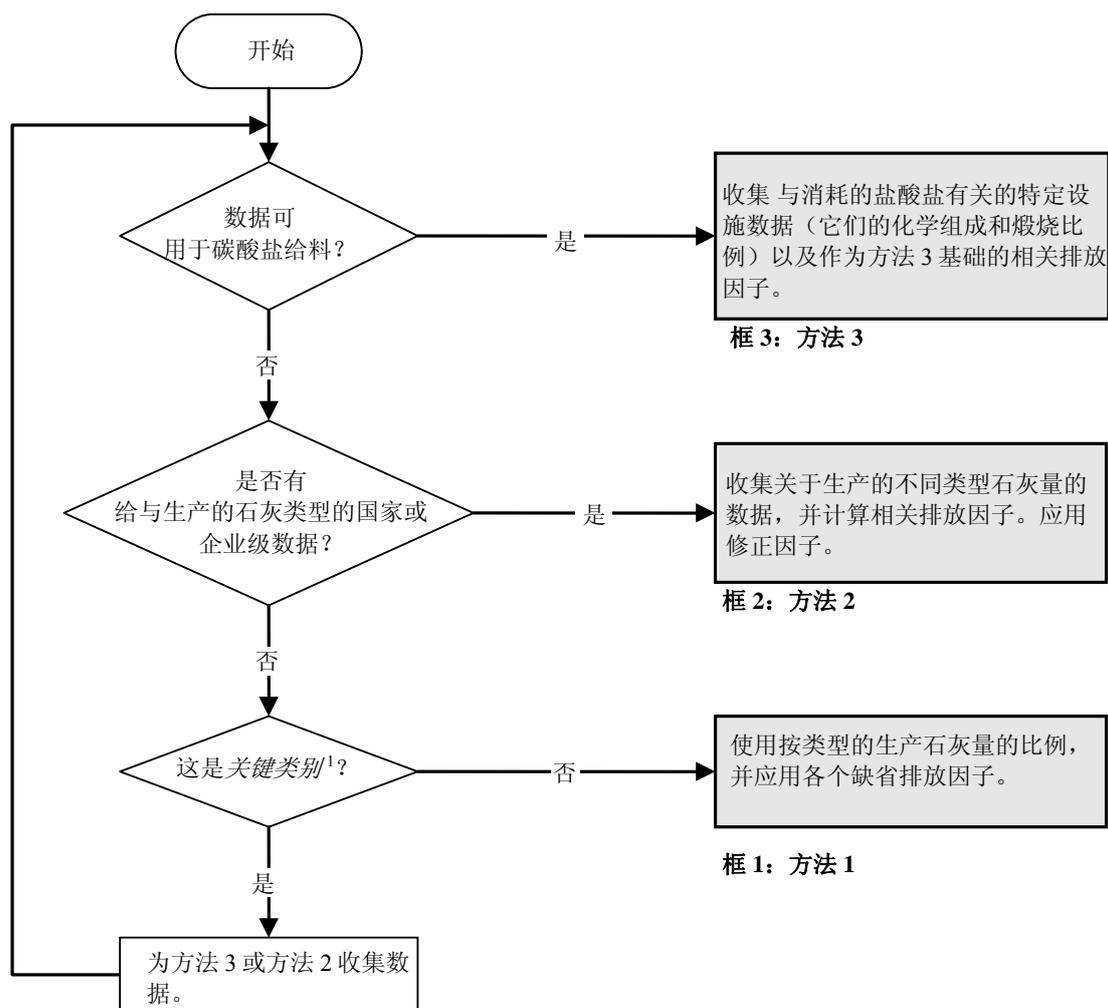
石灰产品的消耗在某些情况下不会导致 CO₂ 的净排放到大气中。例如，水软化时所用的熟石灰会产生 CO₂，与石灰反应重新形成碳酸钙，不会产生 CO₂ 净排放到大气中。类似的，用于造纸工业和其它工业应用场合中的沉淀碳酸钙是水合高钙生石灰与 CO₂ 反应生成的。在制糖过程中，石灰用于从原甘蔗汁去除杂质；任何多余的石灰均可通过碳化作用去除。只有经验证和校验的方法用于计算与石灰反应重新形成碳酸钙的 CO₂ 量，在这些特定工业中的任何重新碳化过程才可以计算和报告。满足这些条件时，可以在类别 2H “其他” 下报告。

如 2.3.1.3 节所述，石灰窑尘（LKD）可能会在石灰生产期间生成。使用方法 2 和方法 3 得出的排放估算应考虑与 LKD 有关的排放。

2.3.1.1 方法选择

如同从水泥生产中的排放，有三种基本的方法可以估算石灰生产中的排放：使用缺省值（方法 1）基于产出的方式；估算 CaO 和 CaO·MgO 生产中排放基于产出的方式，特定国家的修正因子信息（方法 2）；以及基于输入的碳酸盐方式（方法 3）。与需要特定工厂评估的方法 3 不同，方法 1 和方法 2 适用于国家或可能的工厂统计资料。应根据国家具体情况来选择 *优良作法* 方法，如图 2.2 所示。

优良作法 是评价可获得的全国统计数据完整性以及石灰生产中所用石灰石与白云石的比例。某些工业为其自身的生产过程，生产非商品化石灰试剂（例如钢铁工业生产调渣剂）。所有石灰生产，不管是作为商品化还是非商品化，均应报告于 IPCC 子类 2A2 “石灰生产” 项下。

图 2.2 估算石灰生产中 CO₂ 排放的决策树

注：

1、有关**关键类别**和决策树用途的讨论，请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和类别识别”（参见 4.1.2 节有关有限资源部分）。

方法 1

方法 1 基于将缺省排放因子应用于国家级石灰生产数据。有关各类型石灰生产量的特定国家信息（例如高钙石灰、含白云石石灰或水硬石灰）不是方法 1 优良作法的必要信息，但仍可以使用此类信息，在方法 1 中数据可用于识别国家中生产的特定石灰类型。对于优良作法，不必要考虑方法 1 中的 LKD。

方法 2

若可以获得有关生产的石灰类型的国家级数据，优良作法是使用公式 2.6 来估算排放。方法 2 需要与有关生产的熟石灰比例的特定国家信息。应获得石灰产品与 LKD 产量的典型工厂级比例。

公式 2.6

方法 2：基于分类型的国家石灰生产数据的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = \sum_i (EF_{\text{石灰},i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{\text{lkd},i} \cdot C_{h,i})$$

其中

CO₂ 排放 = 来自石灰生产的 CO₂ 排放，单位为吨

$EF_{石灰,i}$ = 类型 i 的石灰排放因子，吨 CO_2 /吨石灰（参见公式 2.9）

$M_{i,i}$ = 类型 i 的石灰产量，单位为吨

$CF_{LKD,i}$ = 类型 i 石灰的 LKD 修正因子，无量纲
此修正可按照与 CKD 类似的方式予以考虑（公式 2.5，但忽略因子 (EF_c/EF_{cl}) ）

$C_{h,i}$ = i 类熟石灰的修正因子，无量纲（参见 2.3.1.3 节“选择活动数据”的讨论）。

I = 在表 2.4 中列出的每个特定石灰类型

方法 3

方法 3 基于生产石灰时消耗的碳酸盐类型和数量有关的特定工厂集合数据以及所消耗碳酸盐的各个排放因子。用于估算石灰生产中排放的方法 3 类似于水泥产量的公式 2.3，除了有 LKD 的修正，与 CKD 相对，没有必要修正含碳非燃料材料的排放。与具有 CKD 和水泥炉窑的情况不同，LKD 很少回收收到石灰炉窑（但是 LKD 可用作石灰炉窑的给料）。为了用公式 2.7 估算排放，假定没有 LKD 回收收到炉窑。

公式 2.7

方法 3：基于碳酸盐给料的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d$$

其中

CO_2 排放 = 来自石灰生产的 CO_2 排放，单位为吨

EF_i = 碳酸盐 i 的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐（参见表 2.1）

M_i = 消耗的碳酸盐 i 重量或质量，单位为吨

F_i = 碳酸盐 i 中获得的比例煅烧，比例^a

M_d = LKD 的重量和质量，单位为吨

C_d = LKD 中原始碳酸盐的重量比例，比例^a。此因子可按与 CKD 类似的方式予以考虑。

F_d = 对于 LKD 达到的煅烧比例，部分^a

EF_d = LKD 中未煅烧碳酸盐的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐^b

公式 2.7 的缺省注释

- 煅烧比例：在缺乏实际数据时，为了与优良作法保持一致，假定获得的煅烧程度为 100%（即 $F_i = 1.00$ ）或非常接近。对于 LKD， <1.00 的 F_d 更有可能，但是数据可能显示高可变性和相对不可靠。在缺少 LKD 的可靠数据时， $F_d = 1.00$ 的假定将对 LKD 中未煅烧碳酸盐的提取修正等于零。
- 因为碳酸钙在原材料中绝对是主要的碳酸盐，所以在缺乏更好的数据时，可以假定它 100% 由 LKD 中剩余的碳酸盐组成。因此可接受的优良作法是将 C_d 设置为等于送入炉窑原材料的碳酸钙比率。同样，在缺乏更好数据时，可接受的优良作法是使用 EF_d 的碳酸钙排放因子。

2.3.1.2 选择排放因子

方法 1

方法 1 是基于产出的方法，将排放因子应用于生产的石灰总量。排放因子基于表 2.4 中所示的化学计量比，随生产的石灰类型而变化。化学计量比是碳酸盐前体释放的 CO_2 量与石灰之比，同时假定煅烧程度为 100% 并假定没有 LKD。例如，1 吨 CaO 需要煅烧 1.785 吨 $CaCO_3$ ，这在完全煅烧时会释放 0.785 吨 CO_2 。

在缺乏特定国家的数据时，优良作法是假定 85% 高钙石灰产量和 15% 的含白云石石灰产量（Miller, 1999）。据此，公式 2.8 说明如何为石灰生产计算方法 1 排放因子。

公式 2.8

石灰生产的方法 1 缺省排放因子

$$\begin{aligned}
 EF_{\text{石灰}} &= 0.85 \cdot EF_{\text{高钙石灰}} + 0.15 \cdot EF_{\text{含白云石石灰}} \\
 &= 0.85 \cdot 0.75 + 0.15 \cdot 0.77^a \\
 &= 0.6375 + 0.1155 \\
 &= 0.75 \text{吨 CO}_2 / \text{生产的吨石灰}
 \end{aligned}$$

公式 2.8 的缺省注释

a: 根据石灰生产所用的技术, 含白云石石灰的缺省 EF 可能是 0.86 或 0.77。参见表 2.4。

表 2.4
计算石灰生产的排放因子的基本参数

石灰类型	化学计量比[每吨 CaO 或 CaO·MgO 的 CO ₂] (1)	CaO 含量范 围[%]	MgO 含量 范围 ^d [%]	CaO 或 CaO·MgO 含 量的缺省值 [比例] (2)	缺省排放因子 [每吨石灰的 CO ₂ 吨数] (1) · (2)
高钙石灰 ^a	0.785	93-98	0.3-2.5	0.95	0.75
含白云石石灰 ^b	0.913	55-57	38-41	0.95 或 0.85 ^c	0.86 或 0.77 ^c
水硬石灰 ^b	0.785	65-92 ^c	NA	0.75 ^c	0.59

来源:
^a Miller (1999b) 基于 ASTM (1996) 和 Schwarzkopf (1995)。
^b Miller (1999a) 基于 Boynton (1980)。
^c 此值取决于石灰生产所用的技术。对于发达国家建议采用更高的值, 对于发展中国家建议使用较低的值。
^d 并不存在每一种石灰的准确化学分子式, 因为石灰的化学成分取决于生产石灰所用的石灰石或白云石的化学成份。
^e CaO 总含量 (包括硅酸阶段的含量)。

方法 2

类似于方法 1, 方法 2 中石灰生产的排放因子反应了 CO₂ 与 CaO 和/或 CaO·MgO 之间的化学计量比, 同时反应了考虑石灰中 CaO 或 CaO·MgO 含量的调整。然而, 与方法 1 不同, 方法 2 需要按类型使用有关石灰生产的国家级数据。优良作法是应用公式 2.9 开发排放因子并考虑 CaO 或 CaO·MgO 含量。

公式 2.9

石灰生产的方法 2 排放因子

$$\begin{aligned}
 EF_{\text{石灰},a} &= SR_{\text{CaO}} \cdot \text{CaO 含量} \\
 EF_{\text{石灰},b} &= SR_{\text{CaO} \cdot \text{MgO}} \cdot \text{CaO} \cdot \text{MgO 含量} \\
 EF_{\text{石灰},c} &= SR_{\text{CaO}} \cdot \text{CaO 含量}
 \end{aligned}$$

其中

EF_{石灰,a} = 生石灰 (高钙石灰) 的排放因子, 吨 CO₂/吨石灰EF_{石灰,b} = 含白云石石灰的排放因子, 吨 CO₂/吨石灰EF_{石灰,c} = 水硬石灰的排放因子, 吨 CO₂/吨石灰SR_{CaO} = CO₂ 和 CaO 的化学计量 (参见表 2.4), 吨 CO₂/吨 CaOSR_{CaO·MgO} = CO₂ 和 CaO·MgO 的化学计量比 (参见表 2.4), 吨 CO₂/吨 CaO·MgO

CaO 含量 = CaO 含量（参见表 2.4），吨 CaO /吨石灰

$\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ 含量 = $\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ 含量（参见表 2.4），吨 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ /吨石灰

方法 3

方法 3 排放因子基于实际碳酸盐物质。（参见公式 2.7 和表 2.1）方法 3 需要完全计算碳酸盐（物种和来源），且可以包括对未煅烧石灰窑尘的修正（即减掉）。

2.3.1.3 选择活动数据

某些工业生产石灰并为其操作消耗石灰。此数量的石灰可能从未引入市场。至关重要的是，收集的石灰生产活动数据应当包括用于商品和非商品石灰产量。在许多国家中，获得非商品石灰生产的统计资料可能有难度。建议清单编制者查明可以生产非商品石灰的潜在工业（例如冶金、纸和纸浆、制糖、沉淀碳酸钙、水软化），并查明是否存在这些产量。因为各工业和各国生产的非商品石灰量可能差异很大，所以不可能提供缺省值来估算此活动数据。

方法 1

在方法 1 中，清单编制者可以使用缺省值用于以下任一变量：（1）生产的石灰类型和/或（2）生产的熟石灰比例。表 2.4 提供了下列数据：主要石灰品种的化学计量比、 CaO 和 $\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ 含量范围以及对应的排放因子。没有分品种石灰数据时，*优良作法*是假定 85% 高钙石灰和 15% 含白云石石灰（Miller, 1999），除非有其它信息，否则水硬石灰的比例应假定为零。

石灰产量的方法 1 未包括 LKD 的修正。由于活动数据的某些问题，有可能排除国家清单中的某些石灰来源（参见 2.3.1.4 节和 2.3.2.2 节）。如果这些问题未得到认真考虑，方法 1 可能会明显低估排放。

方法 2

在实施方法 2 时，重要的是收集三类石灰的分解数据，因为这会改善排放估算。有三类非熟石灰：

- 高钙石灰；
- 含白云石石灰（ $\text{CaO}\cdot\text{MgO}$ + 杂质）；
- 水硬石灰（ CaO + 水硬硅酸钙）是一种介于石灰和水泥之间的物质。

区分这些类型的主要原因是前两类具有不同的排放因子。修正产量中熟石灰的比例很重要。类似于水泥生产的方法 2，应当收集有关 CaO 的所有非碳酸盐来源的数据（如果适用）。

在石灰生产期间可能产生大量 LKD 副产品。生成的数量取决于使用的炉窑类型和使用的碳酸盐特征。根据 Boynton (1980)，平均轴状炉窑每生产 1 吨石灰会产生 9% 到 10% 的灰尘损耗，而原材料给料为 16% 到 18%。LKD 的化学成分会因原材料给料不同而有所差异，然而通常的高钙石灰 LKD 可能包含 75% 组合氧化钙和未煅烧碳酸钙（约 50:50 比值），剩下的杂质是硅土、氧化铝和氧化铁以及硫磺（取决于使用的燃料）。方法 2 和方法 3 中的 LKD 修正类似于水泥生产中方法和缺省值的 CKD。如果可能，应收集有关石灰生产的 LKD 典型比值和 LKD 的典型成分的数据。在缺乏数据时，清单编制者可以假定 2% 的修正附加来考虑 LKD（即，1.02 多个排放）。

垂直轴炉窑生成相对少量的 LKD，且判断来自垂直轴炉窑的 LKD 修正因子可忽略且不必估算。

方法 3

*优良作法*是收集有关石灰生产消耗的碳酸盐重量比例和煅烧达到的比例等各个工厂的具体数据。还应收集有关生产的 LKD 数量（干重）和成分的数据。类似于水泥生产的方法 3，应从方法 3 的估算中减去 LKD 的排放。

估算碳酸盐消耗量数据时，应考虑几个关键问题。必须获得和收集工厂级数据，因为有关石灰生产的碳酸盐消耗量国家级统计资料可能不完整。类似于水泥生产，尽管石灰石和/或白云石可能是主要的碳酸盐，但重要的是确保要确定和考虑所有碳酸盐给料。

熟石灰比例修正

高钙石灰和含白云石石灰均可以熟化并转化为熟石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ 。优良作法是在方法 2 下包括方法 1（数据可用时）下的熟石灰的修正。如果方法 1 没有可用的数据，这优良作法是假定熟石灰的零产量。

如果熟石灰比例为 x ，其中所含水分为 y ，优良作法是用产量乘以修正系数 $1 - (x \cdot y)$ 。因为生产的大多数熟石灰是高钙（90%），所以缺省值为 $x=0.10$ 且 $y = 0.28$ （缺省水份含量），造成 0.97 的修正因子。熟石灰的缺省修正因子可能纳入公式 2.6 中。

2.3.1.4 完整性

优良作法需要完整的活动数据（即，石灰产量）。一般而言，报告的产量仅考虑了实际石灰总产量的一部分，因为石灰产量统计可能仅考虑了其销售量。

作为非市场化的中间产品的石灰使用量或生产量未适当计算和报告。例如，许多生产钢铁、合成苏打、电石、氧化镁和金属镁的工厂、以及铜冶炼厂和制糖厂都生产石灰，但可能没有向国家机构报告。忽略这些数据将可能成倍地低估全国石灰产量，甚至更严重。同样，出于卫生目的或粉刷等使用可能会有村庄或个体石灰生产。所有石灰生产均应在此源类别中报告，不管是作为商品的石灰炉窑产品，还是非商品化的中间试剂均应包括在内。

清单编制者应小心避免此源类别与石灰石以及白云石消耗量的排放之间产生重复计数或漏算。清单编制者应意识到，重复计数的另一潜在来源与熟石灰有关。如果不首先确定用于生产熟石灰的石灰是否包括在石灰总产量中，就为熟石灰修正石灰产量，此石灰产量可能会被重复计数。

类似于水泥的讨论，当使用方法 3 时，重要的是对于特定工厂，要考虑所有碳酸盐给料（例如石灰石、白云石等）。

最后，建筑中使用的基于石灰的灰泥通过吸收 CO_2 获得其强度，然而实际中出现的碳化反应速度非常不确定。因为人们认为灰泥碳化过程要用几个月到几十个月不等，所以还未作为排放计算的因子。此时将此因子纳入排放计算不会视为优良作法。这是纳入国家清单之前的未来工作领域。

2.3.1.5 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石灰生产的排放量。本《指南》引入了新的方法 3，这种方法基于对石灰生产的碳酸盐给料。历史上的这些数据可能可获，也可能不可获。如果清单编制者选择为当前和未来清单实施此方法，则鼓励他们收集这些历史年份的数据以确保时间序列一致。这些数据不可获得时，清单编制者可以参考“重叠方式”（参见第 1 卷 5.3 节），尝试重新计算以前的估算。

数据不可获得时，从方法 1 过渡到方法 2 的清单编制者可以假定，国家没有重大变化，使用一种碳酸盐给料代替另一种用于石灰生产。这可能是合理的假定，尤其是自从石灰石一般成为主要碳酸盐给料。

清单编制者应将石灰生产数据分解为三个提及的类型：高钙石灰、含白云石石灰和水硬石灰。没有特定国家数据可用于所消耗石灰部分的整个时间序列或熟石灰的部分，通过第 1 卷 5.3 节中概述的“内推法或趋势外推法”可估算缺少的年限，或通过假定当年可反映时间序列前些年中生产的石灰部分。

2.3.2 不确定性评估

石灰生产的不确定性评估主要来源于与活动数据关联的不确定性，其次源于与排放因子有关的不确定性。有关更多信息，请参见上述有关水泥生产的不确定性讨论。

表 2.5
估算石灰生产中 CO₂ 排放的缺省不确定性

不确定性	备注	方法
4-8%	假定石灰中平均 CaO 的不确定性	1, 2
2%	高钙石灰排放因子	1, 2
2%	含白云石石灰排放因子	1, 2
15%	水硬石灰排放因子	1, 2
5%	熟石灰修正	1, 2
	如果未估算非商品石灰生产, 则可能会出现几个数量级的错误	1, 2, 3
1-2%	工厂级石灰生产数据的不确定性工厂通常不能确定好于此的产出。假定完整报告。	2
参见表 2.3	LKD 的修正	2, 3
1-3%	假定石灰石中 100% 碳酸盐来源内的错误 (与其它给料)。	3
1-3%	工厂级原材料称重的不确定性	3

来源：基于专家判断。

2.3.2.1 排放因子不确定性

如上述水泥概述, 与方法 3 中排放因子成份有关的不确定性很小。在方法 2 和方法 1 中, 化学计量比是精确的数值, 因此排放因子的不确定性是石灰成分的不确定性, 特别是水硬石灰的含量 (水硬石灰的排放因子不确定性是 15%, 而其它石灰类型的不确定性是 2%)。确定生产的石灰中 CaO 含量和/或 CaO·MgO 含量有关的不确定性。

2.3.2.2 活动数据不确定性

基于收集石灰数据的经验 (参见以上 2.3.1.4 节“完整性”), 活动水平数据的不确定性很可能要比排放因子的高得多。忽略非商品量的石灰产量可能导致数量级低估。熟石灰修正通常会导致其它不确定性。

如上述 CKD, 量化生产的 LKD 质量和 LKD 的煅烧程度 (以及因此的排放) 具有显著的不确定性。可以假定与估算 LKD 有关的不确定性至少等于, 且可能大于与 CKD 有关的不确定性。

若表 2.5 中给出了缺省不确定性的范围, 除非高估或低估更能反应特定国家的情况, 否则应使用中范围。

2.3.3 质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档

2.3.3.1 质量保证/质量控制 (QA/QC)

除 QA/QC 的交叉指南外, 下面给出与该排放源类别相关的一些具体程序。

对采用不同方法的排放量估算进行比较

可以对根据石灰生产按照方法 2 估算的排放与基于碳酸盐给料的方法 3 估算的排放进行比较。类似的, 如果采用自下而上方法估算排放 (即, 收集特定工厂的数据), 则清单编制者应当比较排放计算与使用特定国家或特定工厂的石灰生产数据 (自上而下方法) 的计算结果。在过渡期间使用混合方法 1/2

或方法 2/3 方式，则使用低级方法估算所有设施的排放还视为*优良作法*，目的是比较分析的结果与使用混合方式得出的结果。应该记载这种比较的结果作为内部文件，包括对两者不一致方面的解释。

活动数据核查

清单编制者应确认国家内生产石灰的不同类型的正确定义。清单编制者还应认真考虑可能生产非商品石灰的工业，以确保这些数据已纳入清单的活动数据。

2.3.3.2 报告和归档

*优良作法*是记录和归档生成国家排放清单估算的所有信息。以下是适用于报告和归档石灰生产中排放以及减排的一般注释，以及各种方法要报告的特定信息。

- 如果清单编制者正将制糖、沉淀碳酸钙或水软化中的 CO₂ 回收量报告为 2H 类别，则应按照计算已回收排放的方式报告详细信息。排放和减排应分别报告，仅报告石灰生产中净排放不会视为*优良作法*。此外，应提供归档来说明来自重新碳化作用的减排仅报告于出现重新出现碳化的年代（参见上述 2.3.1 节）。
- 与实施的方法无关，清单编制者应记录采取的程序，以确保既报告商品又报告非商品石灰生产量（参见 2.3.1.4 节“完整性”中所述）。

方法 1

方法 1 是与方法 2 相同的方法论，但可能使用缺省值而不是特定国家的信息来估算各个参数。因此对于方法 1 的归档应按照以下方法 2，但要清晰标明使用缺省值的情况。

方法 2

方法 2 归档应包括对国家内生产石灰（包括熟石灰）类型的讨论以及如何做出决定（收集销售数据、收集特定工厂消耗数据等）。用于明确 CaO 和/或 CaO·MgO 石灰含量的程序以及对石灰炉窑的非碳酸盐给料均应报告。

方法 3

石灰生产方法 3 的报告和归档与上述水泥生产方法 3 相同，只有一个小差异。不收集有关 CKD 的信息，而应收集 LKD 达到的煅烧数量和煅烧比例等数据。应记录和报告所有基础信息，仅报告最终排放估算不应视为*优良作法*。

2.4 玻璃生产

2.4.1 方法学问题

许多玻璃商品和成分用作商业使用，然而玻璃工业可以分为四个主要类别：容器、平板玻璃（窗用）、纤维玻璃和专业玻璃。

大多数散装商业玻璃属于前两类，且完全是苏打石灰玻璃，由硅土（SiO₂）、苏打（Na₂O）和石灰（CaO）组成，具有少量氧化铝（Al₂O₃）和其它碱和碱土金属以及某些微量成分。绝缘级纤维玻璃（第三类主要成分）的成分类似。各个制造商将具有专用成分，然而这些制造商将具有基本成分的微小差异。

此源类别还包括玻璃丝，矿棉类别生产的排放，其中生产过程类似于玻璃生产。术语矿棉还可用于指代基于天然岩石和矿渣的棉。矿石棉的生产具有排放性，这些排放应报告于 IPCC 子类 2A5。与矿渣生产有关的排放应报告于相关冶金源类别。重新熔炼矿渣制造矿棉不会涉及与过程有关的重要排放，因此不需要报告。

熔炼过程中排放 CO₂ 的主要玻璃原材料是石灰石（CaCO₃）、白云石 Ca,Mg（CO₃）₂ 和纯碱（Na₂CO₃）。作为碳酸盐矿物采掘这些材料用于玻璃工业时，这些材料是 CO₂ 主要产生源，应包括于排放估算。通过氢氧化物的碳化作用生产碳酸盐材料时，不会造成净 CO₂ 排放，不应包括在排放估算中。次要 CO₂ 排放玻璃原材料是碳酸钡（BaCO₃）、骨灰（3CaO₂P₂O₅ + XCaCO₃）、碳酸钾（K₂CO₃）

和碳酸锶 (SrCO₃)。此外，可能添加粉末无烟煤或某些其它有机材料在熔融的玻璃中创建还原条件，且在玻璃融化生产 CO₂ 时与有效氧气化合。

玻璃融化时这些碳酸盐的作用是复合高温化学反应，但不能直接比为碳酸盐煅烧，生产生石灰或煅烧的含白云石石灰。不管怎样，此融化（在 1500°C 温区）具有相同的 CO₂ 排放净效应。

实际上，玻璃制造商不会仅用原材料生产玻璃，而使用某些回收的废玻璃（碎玻璃）量。大多数操作将使用可以获得的碎玻璃，有时会限制玻璃质量要求。碎玻璃比率（碎玻璃表示的平炉加料比例）对于容器应用，将处于 0.4 到 0.6 的范围，这些是大批量玻璃生产。绝缘纤维玻璃制造商通常属于此级别，然而将尽可能多使用购买的碎玻璃。

碎玻璃有两个来源：过程中破碎的玻璃件内部回收料和其它玻璃溢出或保持，以及来自回收项目或碎玻璃破碎服务的外部（即工厂外部）碎玻璃。在发达国家，第二个来源很重要，在发展国家玻璃件回收不常见，所以重要性稍低。

确定玻璃中溶解 CO₂ 的保持力相对不重要，对于 GHG 排放估算可以忽略。

2.4.1.1 方法选择

方法 1

关于过程制造玻璃或玻璃制造中使用的碳酸盐数据无法得到时，应采用方法 1（公式 2.10）。方法 1 将缺省排放因子和碎玻璃比率应用到国家级玻璃生产统计资料。与此方法有关的不确定性可能大大高于与方法 2 和方法 3 有关的不确定性。

$$\begin{aligned} & \text{公式 2.10} \\ & \text{方法 1: 基于玻璃生产的排放} \\ & \text{CO}_2 \text{ 排放} = M_g \cdot EF \cdot (1 - CR) \end{aligned}$$

其中

CO₂ 排放 = 来自玻璃生产的 CO₂ 排放，单位为吨

M_g = 生产的玻璃质量，单位为吨

EF = 玻璃制造的缺省排放因子，吨 CO₂/吨玻璃

CR = 过程的碎玻璃比率（国家平均值或缺省值），比例

方法 2

方法 2 是方法 1 的改进形式。不再收集有关玻璃生总产量的国家统计资料，而是根据国家中实施的不同玻璃制造过程估算排放。如下所述，不同玻璃制造过程（例如浮法玻璃、容器玻璃、纤维玻璃等）通常使用不同类型和比率的原材料。方法 2 将缺省排放因子应用到每个玻璃制造过程。然而，因为部分回收玻璃（碎玻璃）还可能提供到炉中（公式 2.11），所以必须为此修正排放估算。

$$\begin{aligned} & \text{公式 2.11} \\ & \text{方法 2: 基于玻璃生产过程的排放} \\ & \text{CO}_2 \text{ 排放} = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)] \end{aligned}$$

其中

CO₂ 排放 = 来自玻璃生产的 CO₂ 排放，单位为吨

M_{g,i} = *i* 类熔化玻璃的质量（例如浮法玻璃、容器玻璃、纤维玻璃等），单位为吨

EF_{*i*} = *i* 类玻璃制造的排放因子，熔化每吨玻璃产生的 CO₂ 吨数

CR_{*i*} = *I* 类玻璃制造的碎玻璃比率，比例

方法 3

方法 3 考虑了对玻璃熔炉中的碳酸盐给料（公式 2.12）。

公式 2.12
方法 3：基于碳酸盐给料的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i)$$

其中

CO_2 排放 = 来自玻璃生产的 CO_2 排放，单位为吨

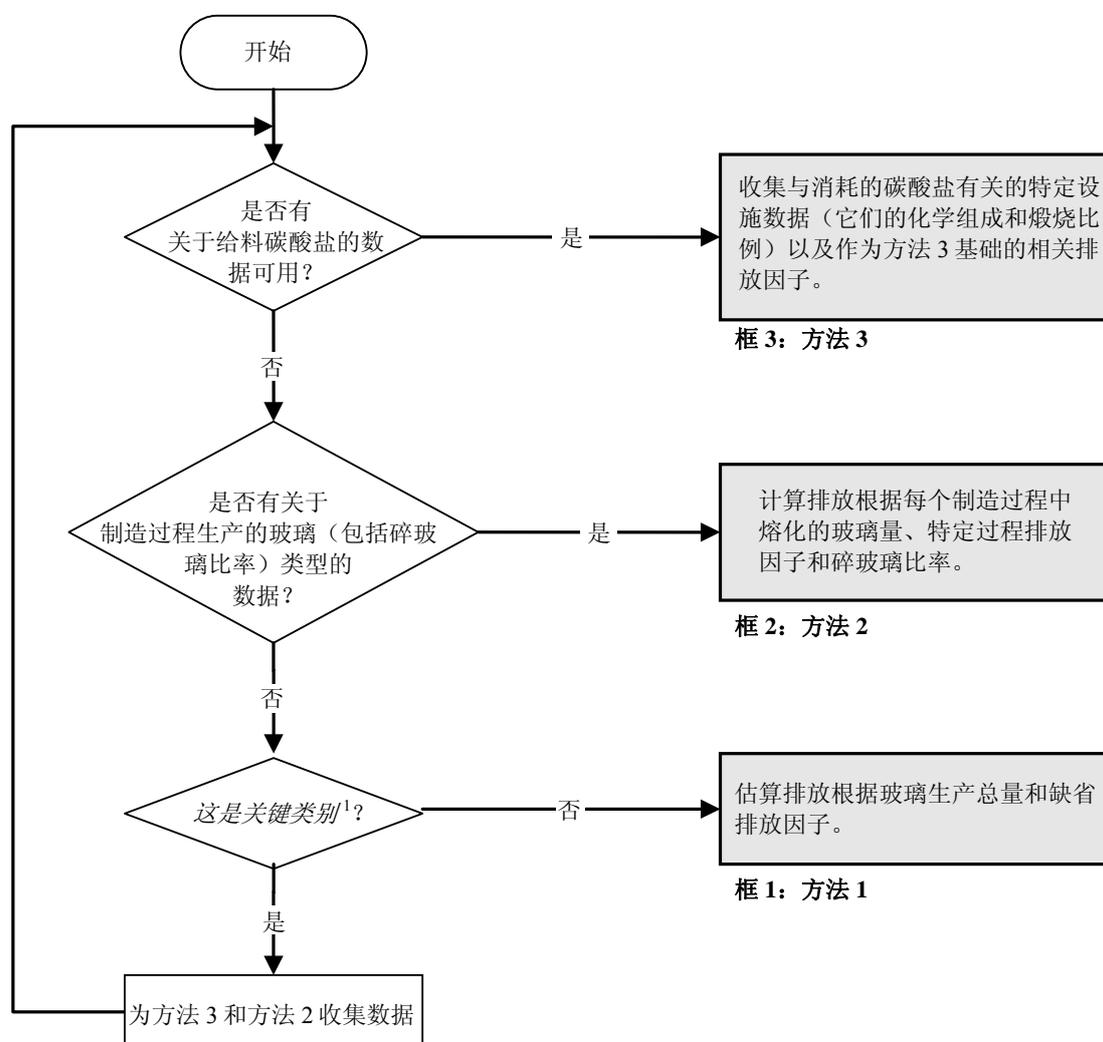
EF_i = 特定碳酸盐 i 的排放因子，吨 CO_2 /吨碳酸盐（参见表 2.1）

M_i = 消耗（采掘）的碳酸盐 i 重量或质量，单位为吨

F_i = 碳酸盐 i 中达到的比例煅烧，比例

若特定碳酸盐达到的比例煅烧未知，可以假定比例煅烧等于 1.00。

图 2.3 估算玻璃生产中 CO_2 排放的决策树



注：

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

2.4.1.2 选择排放因子

方法 1

方法 1 根据“典型”原材料混合，将缺省排放因子应用于国家级玻璃生产数据。“典型”苏打石灰批次可能含有砂（56.2%重量）、长石（5.3%）、白云石（9.8%）、石灰石（8.6%）和纯碱（20.0%）。根据此成分，一公吨原材料产生大约 0.84 吨玻璃，总量中大约损失 16.7%的挥发性物质，在此例中几乎完全为 CO₂。

公式 2.13
玻璃生产的方法 1 缺省排放因子

$$EF = 0.167 / 0.84 = 0.20 \text{ 吨 CO}_2 / \text{吨玻璃}$$

方法 2

方法 2 取决于将缺省排放因子和碎玻璃比率应用于国家内生产各类玻璃（表 2.6）。当特定国家或甚至特定工厂数据可获得时，鼓励各国使用这些数据补充或代替以下提供的缺省值。特别是碎玻璃比率可能会在一国内和各国间会有显著不同。

优良作法是使用提供的中点值，除非已知范围中的某些其它值对于国家特定情况来说更具代表性。

表 2.6
不同玻璃类型的缺省排放因子和碎玻璃比率

玻璃类型	CO ₂ 排放因子 (kg CO ₂ /kg 玻璃)	碎玻璃比率 (典型范围)
浮法玻璃	0.21	10% - 25%
容器 (弗林特)	0.21	30% - 60%
容器 (琥珀/绿色颜料)	0.21	30% - 80%
纤维玻璃 (E 玻璃)	0.19	0% - 15%
纤维玻璃 (绝缘)	0.25	10% - 50%
专业 (TV 面板)	0.18	20% - 75%
专业 (TV 显像管)	0.13	20% - 70%
专业 (餐具)	0.10	20% - 60%
专业 (实验室/医药)	0.03	30% - 75%
专业 (照明)	0.20	40% - 70%

来源：与 Victor Aume 沟通（2004）

方法 3

方法 3 排放因子基于熔炉中消耗的实际碳酸盐（相关化学计量比，请参见 2.1）。方法 3 需要完全计算碳酸盐（物种和来源）。

2.4.1.3 选择活动数据

方法 1

通过重量以及玻璃生产中使用的碎玻璃量修正，方法 1 的活动数据包括国家玻璃生产统计资料。方法 1 假定缺省碎玻璃比率 50%，因此有关生产玻璃量的国家级数据可以乘以 $0.20 \cdot (1 - 0.50) = 0.10$ 吨

CO₂/吨玻璃，以估算国家排放。如果特定国家信息可用于平均每年碎玻璃比率，鼓励各国相应修改排放因子 [即， $EF = 0.20 \cdot (1 - \text{特定国家碎玻璃比率})$]。

方法 2

方法 2 至少需要收集有关各制造过程熔化玻璃量的国家级数据。通常按不同单位提供玻璃数据（例如玻璃吨数、玻璃瓶数、玻璃平方米等），然后这些应转化为吨数。可能时，根据特定工厂收集数据并合计为国家级数据。尽管方法 2 提供了碎玻璃比率缺省因子，如果有特定国家或特定工厂数据，则鼓励各国收集这些数据。

方法 3

对于方法 3，应收集有关玻璃生产消耗的各类碳酸盐的工厂级活动数据。

2.4.1.4 完整性

当编制玻璃生产的排放估算时，清单编制者应考虑有关完整性的大量问题。首先，从各种原材料碳酸盐中生产玻璃。根据碳酸盐给料估算排放（方法 3）时，重要的是确保所有物种和来源纳入排放估算。

纯碱是许多国家玻璃制造的重要给料。鼓励清单编制者确保，没有重复计数玻璃生产中纯碱的排放（将报告于 2A3 类别“玻璃生产”下），也没有重复计数“纯碱其它使用”中的排放，这应单独在以下报告。然而重要的是考虑可能有少量设施（例如艺术玻璃和专业玻璃）没有考虑在国家统计资料内。应努力确保工业的完整性范围。

2.4.1.5 建立一致的时间序列

玻璃可能是获取活动数据的困难源头，如上所述，玻璃生产用各种不同的单位度量。为了开发一致的时间序列，重要的是对于清单中的所有年限使用相同的数据。有关确保时间一致的其它信息，请参见第 1 卷第 5 章。

2.4.2 不确定性评估

2.4.2.1 排放因子不确定性

类似于水泥和石灰，在根据碳酸盐给料估算玻璃生产中排放（方法 3）时，排放因子不确定性（1-3%）相对较低，因为排放因子基于化学计量比率。可能有一些与假定关联的不确定性，即碳酸盐给料（1%）中有 100% 煅烧。

因为估算排放根据每个制造过程中熔化玻璃的数量以及缺省排放因子，所以方法 2 的不确定性高于方法 3。预期此排放因子的不确定性为 +/- 10%。如表 2.6 所述，不同的玻璃类型的碎玻璃比率的典型范围有所差异。为了分析不确定性，可以假定“典型范围”反应了 95% 的置信区间。

与使用方法 1 排放因子和碎玻璃比率有关的不确定性明显较高，可能在 +/- 60% 左右。

2.4.2.2 活动数据不确定性

至于水泥和石灰生产，方法 3 下与原材料称重或比例有关的不确定性近似为 1-3%。包含原材料的某些碳酸盐可能被引入设施中，但炉尘损耗量（即从未煅烧）假定为可忽略。

对于方法 1 和方法 2，玻璃生产数据通常可准确度量（+/-5%）。如上所述，清单编制者应小心，活动数据最初未按质量，而按单位（例如，瓶）或按面积（例如 m²）。如果活动数据必须转换为质量，则可能导致其它不确定性。

2.4.3 质量保证/质量控制 (QA/QC)、报告和归档

2.4.3.1 质量保证/质量控制 (QA/QC)

如果使用方法 3 估算排放，则可以与使用方法 2 得出的结果进行比较，以查看这些结果是否具有类似的数量级。类似地，如果使用方法 2 自上向下估算排放，这些结果可能与少量设施更严格的方法 3 进行比较，以查看使用的方法 2 缺省值是否反应了国家情况。方法 2 取决于根据不同类型玻璃生产的估算排放。这些排放可以与玻璃工业中原材料各供应商的审计结果进行比较。例如，国家估算可以与销售到玻璃工业的石灰石、纯碱和其它碳酸盐的估算量进行比较。可以从单个供应商或贸易协会中引出某些贸易数据。

玻璃生产中排放估算（方法 1 和方法 2）内最大的不确定性来源之一是碎玻璃比率。使用的回收玻璃量可能会因某国各设施以及同一设施随着时间而有所差异。碎玻璃比率可能是良好的候选，可进行深入调查。

2.4.3.2 报告和归档

方法 1

对于方法 1，应记录和报告的数据表明生产的玻璃总量以及应用到估算排放的排放因子（包括是否使用缺省或特定国家碎玻璃比率）。收集活动数据的过程应进行记录（即工厂级或国家估算），作出的任何计算应将玻璃生产转化为常用单位（例如 kg）。

方法 2

方法 2 归档应包括表 2.6 中概述的每个制造过程内熔化的玻璃量，包括需要将不同类型玻璃转换为相同单位（例如，将瓶转化为千克）所需的任何计算。应报告按玻璃类型和碎玻璃比率的排放因子，表明是否使用缺省值和是否在工厂级或国家级收集数据。还可用于报告碎玻璃是在设施内部生成，还是消费后碎玻璃（即，购买的碎玻璃）。此信息对于确定或验证和基于回收的减排活动很重要。

方法 3

清单应包括使用的方法汇总以及源数据的参考，以使报告的排放估算是透明的，且计算步骤可以重复。实施方法 3 时，清单编制者应记录消耗的碳酸盐物种，并指明他们如何确保考虑到所有碳酸盐给料（参见 2.2.3.2 节中方法 3 的讨论）。

2.5 其它碳酸盐过程使用

2.5.1 方法学问题

石灰石 (CaCO_3)、白云石 ($\text{CaMg} \cdot (\text{CO}_3)_2$) 和其它碳酸盐（例如 MgCO_3 和 FeCO_3 ）是基本原材料，在大量行业中具有商业应用。除了已经单个讨论的那些工业（水泥生产、石灰生产和玻璃生产），碳酸盐消耗还会在冶金业（例如钢铁）、农业、建筑和环境污染控制（例如烟气脱硫）。如本章简介中所述，高温时碳酸盐煅烧会产生 CO_2 （表 2.1）。应注意的是，某些碳酸盐使用（例如将石灰石用作混凝土料），不会造成 CO_2 的释放，因此不需要纳入国家 GHG 清单（参见表 2.7）。

以下讨论提供了估算采掘工业内碳酸盐使用中 CO_2 排放的一般方法。然而在碳酸盐用作熔剂或其它源类别的调查剂时，这些方法亦适用。尤其是建议清单编制者考虑四个主要源类别：（1）陶瓷，（2）纯碱其它使用，（3）非冶金镁生产和（4）碳酸盐的其它使用。

*优良作法*是报告源类别中碳酸盐消耗量中的排放，其中碳酸盐被消耗而排放 CO_2 。因此将石灰石用于为土壤撒石灰时，排放应报告在农业、林业和其它土地使用 (AFOLU) 部门的各个源类别。将碳酸盐用作熔剂或调查剂（例如钢铁、化学和环境污染控制等）时，排放应报告在消耗碳酸盐的各个源类别中。如上述 2.3.1.1 节所述，所有商品和非商品石灰生产均应报告在石灰产量项下。以下讨论的特定源类

别（陶瓷、其它纯碱使用和非冶金镁生产）应报告在采掘类别内。其它源类别应包含不适用于下表 2.7 中所示的任何主要类别的排放估算。

陶瓷

陶瓷包括砖块和屋顶瓦片、陶瓷瓦管、耐火产品、粘土制品、墙壁和地板瓷砖、桌子和装修物件（家居陶瓷）、卫生器具、技术陶瓷和无机固结磨具的生产。陶瓷中与过程相关的排放产生于粘土中碳酸盐煅烧以及加入的添加剂。类似于水泥和石灰生产过程，在炉窑中将碳酸盐加热到高温，产生氧气和 CO₂。大多数陶瓷产品是由一种或多种类型的粘土制成的（例如页岩、耐火土和球粘土）。收集各种原材料并在连续的研磨操作中完全压碎原材料。土粒在炉窑中烧制成粉末（可能烧成液体）。随后加入添加剂，形成或模成或“机成”陶瓷，磨光粗糙边缘，从而获得陶瓷的预期特征。对于传统的陶瓷，在炉窑中烧制之前要先烘干陶瓷并为其上釉。烧制之后，某些陶瓷可能还要经过额外处理才能获得最终预期的品质。

CO₂ 排放产生于原材料煅烧（尤其是粘土、页岩、石灰石、白云石和碳酸钡矿），且将石灰石用作熔剂。

其它纯碱使用

纯碱用于各个应用场合，包括玻璃生产、肥皂和清洁剂、烟气脱硫、化学物质、纸和纸浆以及其它常见的消耗类产品。纯碱生产和消耗（包括碳酸钙 Na₂CO₃）会造成 CO₂ 的排放。纯碱生产中的排放将在化学工业中报告，而使用的排放将在使用纯碱的各个最终用户部门进行报告。上述已经考虑了玻璃生产中使用的纯碱排放。类似的，纯碱用于化学等其它源类别时，排放应报告在对应的源类别中。

非冶金镁生产

此源类别应包括未纳入其它地方的氧化镁（MgO）生产中的排放。例如，生产氧化镁用作肥料时，*优良作法*是在第3章“化学工业排放”的对应章节下报告排放。

氧化镁（MgCO₃）是氧化镁和最终熔合的氧化镁生产的某个关键给料。氧化镁产品有三种主要类别：煅烧的氧化镁、僵烧氧化镁（方镁石）和熔合的氧化镁。煅烧的氧化镁用于许多农业和工业应用场合（例如，家牛补充饲料、肥料、电气绝缘和烟气脱硫）。僵烧氧化镁主要用于耐火应用场合，而熔合的氧化镁用于耐火和电气绝缘商品。

通过煅烧 MgCO₃ 产生氧化镁，而释放 CO₂（表 2.1）。通常，96-98% 的 CO₂ 含量在煅烧氧化镁生产时释放，在进一步加热产生僵烧氧化镁期间释放接近 100% 的 CO₂。熔合氧化镁生产会造成接近 100% CO₂ 的释放。

其它

排放可能来源于未包括在上述部分的其它大量源类别中。当将排放分配到此源类别中时，清单编制者应小心不要重复计数已经记录在其它源类别中的排放。

2.5.1.1 方法选择

估算这些源类别的碳酸盐使用中排放有两种主要方法。方法 1 假定只有石灰石和白云石用作工业中的碳酸盐给料，且允许使用消耗的石灰石与白云石的缺省比例。方法 2 与方法 1 相同，不同之处是，方法 2 必须确定石灰石与消耗的白云石的比例有关的特定国家信息。方法 3 基于对碳酸盐所有排放使用的分析。

可能方法 3 可用于某些子类别，而方法 1 或方法 2 用于具有有限数据可供性的其它类别。这种混合方法与 *优良作法* 一致。方法的选择取决于国家情况。

方法 1

方法 1 基于公式 2.14。

公式 2.14

方法 1：基于消耗的碳酸盐质量的排放

$$CO_2 \text{ 排放} = M_c \cdot (0.85 EF_{ls} + 0.15 EF_d)$$

其中

CO₂ 排放 = 来自碳酸盐其它过程使用中 CO₂ 排放，单位为吨

M_c = 消耗的碳酸盐质量，单位为吨

EF_{ls} 或 EF_d = 石灰石或白云石煅烧的排放因子，吨 CO₂/吨碳酸盐（参见表 2.1）

建议清单编制者确保有关碳酸盐的数据反应了纯碳酸盐，而不是碳酸盐石头。如果数据仅可用于碳酸盐石头，则可以假定缺省纯度为 95%。如果没有其它可用信息，对于粘土，可以假定 10%的缺省碳酸盐含量⁴。

纯碱主要是碳酸钠，不是石灰石或白云石。因此，纯碱的方法 1 不需要缺省比例 85%/15%。用碳酸钠的缺省排放因子乘以国家级消耗的纯碱数量，来估算排放（参见表 2.1）。

方法 2

在方法 2 下，使用石灰石和白云石时排放的 CO₂ 量估算来自对消耗量和化学过程的化学计量的考虑。方法 2 使用与方法 1 类似的公式，然而方法 2 需要国家内消耗的石灰石和白云石数量有关的国家数据（公式 2.15）。在这两个初级碳酸盐之间使用分配的缺省值不是优良作法。

公式 2.15

方法 2：其它碳酸盐过程使用的方法

$$CO_2 \text{ 排放} = (M_{ls} \cdot EF_{ls}) + (M_d \cdot EF_d)$$

其中

CO₂ 排放 = 来自碳酸盐其它过程使用中 CO₂ 排放，单位为吨

M_{ls} 或 M_d = 各个石灰石或白云石质量（消耗量），单位为吨（参见上述有关纯度的公式 2.14）。

EF_{ls} 或 EF_d = 石灰石或白云石煅烧的各个排放因子，吨 CO₂/吨碳酸盐（参见表 2.1）

方法 3

方法 3 类似于上述水泥概述的方法，然而这种方法没有必要对灰尘或其它原材料给料（公式 2.16）进行修正。如上所述，不管在什么时候使用此方法，重要的是在分析中考虑所有碳酸盐给料。

公式 2.16

方法 3：其它碳酸盐过程使用的碳酸盐给料方法

$$CO_2 \text{ 排放} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i)$$

其中

CO₂ 排放 = 来自碳酸盐其它过程使用中 CO₂ 排放，单位为吨

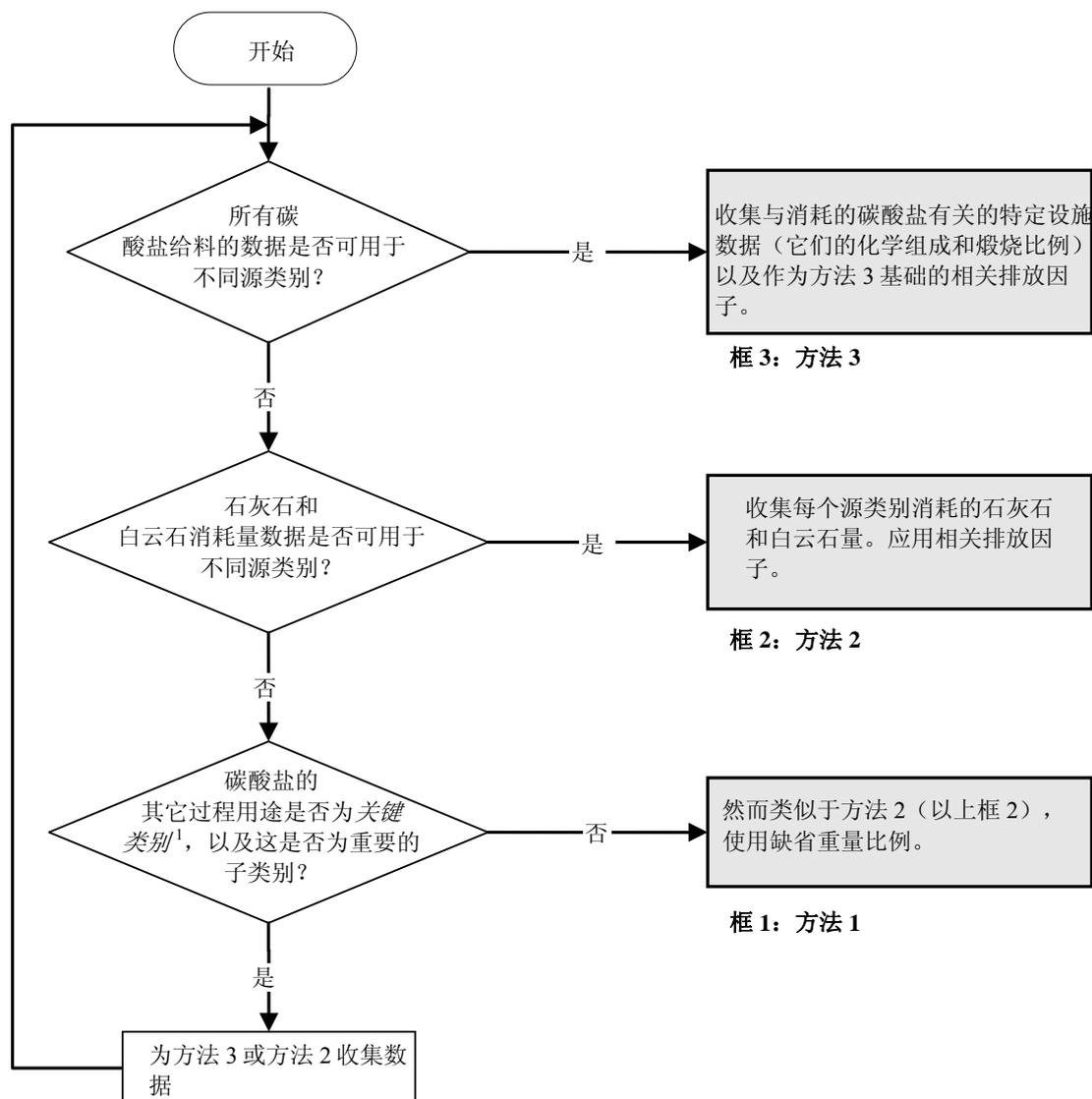
M_i = 消耗的碳酸盐 i 的质量，单位为吨（参见上述有关纯度的公式 2.14）。

EF_i = 碳酸盐 i 的排放因子，吨 CO₂/吨碳酸盐（参见表 2.1）

F_i = 特定碳酸盐 i 中达到的比例煅烧，比例。特定碳酸盐达到的比例煅烧未知，可以假定比例煅烧等于 1.00。

i = 某个碳酸盐使用

⁴ EU-BREF (2005) 报告了一系列陶瓷工业中使用的相关粘土内的碳酸盐含量，范围从 0 到 30%。

图 2.4 估算碳酸盐其它过程使用中 CO₂ 排放估算的决策树

注：

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

2.5.1.2 选择排放因子

方法 1 和方法 2

方法 1 和方法 2 的排放因子基于消耗的碳酸盐质量释放的 CO₂（参见表 2.1）。方法 1 和方法 2 之间的区别在于活动数据。

方法 3

方法 3 排放因子表示单个碳酸盐排放因子的称重平均值（参见表 2.1）。方法 3 需要完全清算碳酸盐（物种和来源）。

2.5.1.3 选择活动数据

方法 1

在方法 1 中，清单编制者应收集总碳酸盐消耗量的活动数据，用于排放使用（有关排放的碳酸盐使用，参见表 2.7）。在缺乏更好的数据时，为了与*优良作法*保持一致，清单编制者假定消耗的 85%碳酸盐是石灰石，而消耗 15%碳酸盐是白云石。对于纯碱使用，清单编制者应收集使用的纯碱总量有关的国家级或工厂级数据。对于陶瓷工业中使用的粘土，清单编制者应收集砖头和屋顶瓦片、陶瓷瓦管、耐火产品的国家生产数据，并将产量与缺省损耗因子 1.1 相乘计算消耗的粘土量。

方法 2

收集活动数据以说明每个最终使用部门中消耗的碳酸盐总量，被视为*优良作法*。没有可用的特定数据可确定这些最终使用部门中消耗的不同碳酸盐时，*优良作法*是收集关于消耗的石灰石和白云石的国家级活动数据。类似于方法 1，达到的煅烧比例是未知的，清单编制者与*优良作法*保持一致就需要假定达到 100%煅烧。清单编制者应小心不要假定国家中消耗的所有石灰石和白云石均造成了 CO₂ 排放的释放。例如，石灰石和白云石通常在大量过程中用作聚合剂，而这种粉碎石头的使用不会造成排放（表 2.7）。

方法 3

最准确的方法是收集各最终使用消耗的碳酸盐活动数据。*优良作法*是收集源类别消耗的碳酸盐的特定工厂数据以及碳酸盐达到的煅烧比例。碳酸盐消耗量假定为等于采掘（挖掘）的原材料加上进口的原材料减去出口的材料。若达到的煅烧比例是未知的，清单编制者与*优良作法*保持一致就需要假定达到 100%煅烧。对于陶瓷工业中的粘土使用，清单编制者应收集关于所有相关陶瓷产品的粘土消耗数据。

2.5.1.4 完整性

完整性对于消耗碳酸盐（煅烧）工业特别重要，因为不会造成高估或低估。如本章所述，在采用基于碳酸盐給料的方法时，可能会低估消耗的碳酸盐总量。因此，碳酸盐其它过程使用的方法 3 应仅适用于工厂级。

还可能存在重复计数。清单编制者应认真考虑如何开发有关石灰石、白云石和其它碳酸盐使用的国家统计数据。例如，钢铁行业的数据源可能包含作为熔剂消耗的石灰石总量，尤其是排放是部分鼓风机气体或其它可燃气体时的程度，其中这些气体包括在相关部门的燃料燃烧排放中。在国家级别中，有关石灰石的统计数据应认真审查，确定这些数据是否还包含了钢铁工业中石灰石的消耗量。

有关石灰石、白云石和其它碳酸盐使用的国家统计数据经常包含“其它未说明使用”等类别。清单编制者应小心在其它来源中还未考虑此消耗量。

本《指南》单独确定了两种类别（纯碱和非冶金镁生产的其它使用），这些类别是其它各源类别中使用的中间产品。尤其在各工业中使用纯碱，例如玻璃生产、肥皂和清洁剂。建议清单编制者认真检查这些源类别的统计数据，确保没有出现重复计数。例如，纯碱用于玻璃生产时，排放应报告在对应的类别中。纯碱用于其它工业时，排放应报告在此工业类别中。纯碱用于其它采掘工业，或信息不足以确定在何处消耗了这些纯碱时，这些排放则应报告在类别 2A4b “纯碱的其它使用”下。

表 2.7 突出显示了清单编制者可能会要求自己帮助确保这些排放被合适分配，而不是高估或低估。

表 2.7
碳酸盐的排放和非排放使用

碳酸盐消耗在哪儿？	是来源排放吗？	如果是，应将排放报告在何处？
农业：		
农用石灰石	是*	AFOLU：3C2 采掘
家禽砂和矿物饲料	否	
其它农业使用	否	
化工和冶金：		
水泥生产	是	IPPU：2A1 水泥生产
石灰生产	是	IPPU：2A2 石灰生产
白云石的僵烧	是	IPPU：2A2 僵烧的石灰生产；其它类别下石灰工业外部（2A4d）。
助燃石	是	IPPU：2C 消耗的金属工业；除非在能源内计数（用于离场销售的可燃烧烟气）
化学石	是**	消耗的源类别
玻璃生产	是	IPPU：2A3 玻璃生产
氧化硫去除	是*	消耗的源类别
肥料	是**	IPPU：2B 化学工业
陶瓷和矿棉：		
陶瓷	是	IPPU：采掘工业：2A4a 陶瓷
矿棉	是	IPPU：采掘工业：2A3 玻璃生产或 2A4d 其它，取决于生产过程。
特殊：		
矿尘或酸水处理	是*	消耗的源类别
沥青填料或混合剂	否	
漂白或漂白替代物	否	
其它填料或混合剂	否	
建筑：		
用作粗或细聚合物	否	

表 2.7 (续)
碳酸盐的排放和非排放使用

生产	是排放源吗？	如果是，应将排放报告在何处？
其它杂项使用：		
耐火石	否	
酸中和	是*	消耗的源类别
化学物质	否	
纸张生产	否	
研磨剂	否	
制糖	是	IPPU：制糖厂石灰生产的排放应报告在 2A2 “石灰生产”；所有其它排放应报告在 2A4 “碳酸盐的其它过程使用”。去除应报告在 2H2 “食品和饮料工业”。
其它	是*、否	如果是，IPPU：2A4 “其它碳酸盐过程使用”
* 酸化反应的排放。		
** 煅烧和/或酸化可能产生的排放。		

2.5.1.5 建立一致的时间序列

基本上，本《指南》按照与先前《IPCC 指南》文档中不同的作法，处理石灰石、白云石和其它碳酸盐使用的消耗量。以前的指南建议，除了水泥生产、石灰生产和农业土壤石灰处理中消耗的石灰石和白云石情况，石灰石和白云石的所有消耗均应报告在源类别“石灰石和白云石使用”。

在《2006 指南》中，来自碳酸盐其它过程使用中的排放应报告在消耗碳酸盐的源类别中，因此排放报告在排放的部门中。此变化可能需要重新计算，确保对于采掘工业中碳酸盐源类别的其它过程使用的时间序列一致，以及消耗碳酸盐的其它源类别中也保持一致。

清单编制者有很多方法可帮助确保时间序列一致：清单编制者的优良作法是根据第 1 卷第 5 章考虑以下内容。

- 如果数据可用于完成所有年份的方法 3（或方法 2），则应如此。
- 如果数据仅可用于某些年份，则通过趋势线的内推法或外推法估算其中的年份。
- 如果碳酸盐的其它过程使用数据仅可用于最近几年的分解级别，则清单编制者可以选择将最近几年每个工业中消耗的碳酸盐比例，应用于各个工业的产量趋势，类似于第 1 卷 5.3 节中概述的替代方法。然而应当使用此方法时，清单编制者应小心，并应当考虑是否有某些国家情况可能已导致随着时间发展某些工业会加大溶剂或调渣剂的使用。

2.5.2 不确定性评估

2.5.2.1 排放因子不确定性

在理论上，与本源类别的排放因子有关的不确定性应相对较低，因为排放因子是化学计量比，反映了碳酸盐煅烧时释放的 CO₂ 量。实际上，部分由于石灰石和其它碳酸盐化学组成中的变化，会有不确定性。例如，除了碳酸钙之外，石灰石可能也包含少量镁、硅土和硫磺。假定活动数据的收集正确，因此应用了正确的排放因子，则与排放因子有关的不确定性可忽略。在只有碳酸盐岩石数据可用时（+/- 1-5%），可能存在与假定石灰石和白云石比例纯度有关的某些不确定性。

2.5.2.2 活动数据不确定性

活动数据不确定性大于与排放因子有关的不确定性。假定碳酸盐消耗量分配到合适的消耗部门/工业，与任何给定工业中碳酸盐称重或比例化有关的不确定性为 1-3%。与碳酸盐含量和成分有关的综合化学分析不确定性也是 1-3%。与方法 1 和方法 2 使用有关的不确定性会因国家特定情况而所有差异，包括假定石灰石与白云石的缺省损耗为 85%/15%。

石灰石和白云石使用的活动数据可能难以收集，因为在不同工业中有各种最终使用，其中某些是排放的，而其它不是。国家统计数据可能包括“其它未说明使用”（或类似类别）的最终使用类别，且可能难以将“其它说明使用”分配到对应的消耗部门。若不能被正确识别所有使用，这会加大不确定性。

2.5.3 质量保证/质量控制（QA/QC）、报告和归档

2.5.3.1 质量保证/质量控制（QA/QC）

对采用不同方法的排放估算进行比较

即使方法 3 可能考虑未包括在方法 1 或 2 分析中的其它碳酸盐物种，从任何方法中得出的排放估算仍可以与其它方法进行比较。假定对于所有方法采用相同比例的煅烧，这使用各个方法估算的排放将可能具有类似的数量级，同时考虑到石灰石和白云石可能对这些来源贡献了最大的排放百分比。

活动数据核查

因为石灰石、白云石和其它碳酸盐消耗于各个工业，因此可能有大量不同的可用数据源包含了各个工业的碳酸盐消耗量。例如，钢铁工业中各个设施的石灰石消耗量数据可能经过比较，以了解设施级生产使用的溶剂比例量是否类似。

另外，将石灰石、白云石和其它碳酸盐用作溶剂的工厂特定信息可以与工业协会统计数据进行比较。这些工业协会统计数据有可以与有关石灰石、白云石和其它碳酸盐消耗量的国家级统计数据进行比较。

经常可用于检查长时间活动数据的趋势，查看若干年内是否可能有大的波动。当根据趋势数据得出结论时，清单编制者应小心，因为这些统计数据的年度波动可能很大。

2.5.3.2 报告和归档

清单应包括使用的方法汇总以及源数据的参考，以确保报告的排放估算是透明的，且计算步骤可以重复。如上所述，清单编制者在报告碳酸盐其它过程使用的排放时应关注的最重要注意事项为，这些排放应报告在消耗碳酸盐的源类别内。

方法 1 和方法 2

应报告每个工业消耗的石灰石和白云石数量信息。若特定工业中消耗的碳酸盐明细为未知，而使用了缺省分配，即石灰石 85%而白云石 15%，这些应进行归档记录。

方法 3

方法 3 所需的归档类似于本章内的其它源类别，根据碳酸盐给料计算排放。

参考文献

- ASTM (1996) .ASTM International. Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- ASTM (2004a) .ASTM International. Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-02.
- ASTM (2004b) .ASTM International. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements: C-595-03.
- Boyd, D. C. and Thompson, D. A. (1980) "Glass", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 11, pp 826-827.
- Boynton,R.S. (1980) .Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons , Inc., New York, USA.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004) . (David R. Lide, Ed in Chief) ; CRC Press, Boca Raton, FL; Sec. 1, p.12-14
- DIN (1994) . Deutsche Industrie Norm. DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- EU-BREF Ceramics (2005) . Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)
- Hendriks *et al.* (1998) .Proceedings of the 4th International Conference of GHG Control Technologies. August 30-September 2.Interlaken.
- Miller, M. (1999a) . US Geological Survey, Calculations based on Boynton, 1980.
- Miller, M. (1999b) . U.S.Geological Survey. Calculations based on ASTM, 1996b and Schwarzkopf, 1985.
- Schwarzkopf, F. (1985) . Lime Burning Technology (2nd Edition) , Table 2, June 1985.
- Van Oss, H. (2005) .Personal communication with Hendrik van Oss, January 2005.
- Van Oss, H. and Padovani, A. (2002) . Cement Manufacture and the Environment. Part I: Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*. Vol.6, Number 1, page 89-105.
- WBCSD (2005) . World Business Council for Sustainable Development The Cement CO₂ Protocol: CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Version 2. June 2005