

欧中ETS项目网站下载资料合规声明

以下内容的编制仅限用于支持本项目项下开展的培训与研究活动，且仅用于信息传递及参考目的，未经内容提供方事先书面许可，不得以任何形式、通过任何手段，全部或部分复制、分发或用于商业目的。对于因使用该内容所含信息而导致的任何损失或损害，内容提供方不承担任何责任。



注：相关情景中采用虚构装置，不涉及任何真实装置。

1. 引言

1.1 案例研究目的

本案例研究是“支持中欧碳市场政策对话与合作项目”下“师资培训”强化培训课程的第二部分。其内容旨在确保学员深入理解水泥生产过程，并初步考虑温室气体（GHG）碳排放交易体系（ETS）下的监测、报告与核查（MRV）要求。

需注意，第二部分是在第一部分的基础上展开的。在强化培训中，本案例研究将对水泥行业监测、报告与核查进行更深入的分析。强烈建议学员回顾先前提供的自学初始案例研究内容，特别是参考标准答案版本，以加深记忆。在参加相应的强化培训讲解之前，提前熟悉本案例研究的两部分内容将有助于学员充分利用培训时间，提高培训效率。

第 1.2 节概述了水泥行业导致温室气体排放的活动及流程。第 2 节详述案例研究内容，包括水泥生产厂生产活动、核算边界及现行监测措施。新增内容包括已批准的监测计划信息和更详细的数据流。第 3 节为问题清单。其中，第 3 节还提出了两个特定问题，计划在强化培训案例研究环节的中段进行小组讨论。这两个特定问题与不确定度评估和数据缺口等跨领域议题紧密相关。为准备强化培训，请再次熟悉案例研究内容。第 1.2 节和第 2 节内容基本保持不变，但新增了关于监测计划的章节和水泥装置的详细数据流。

学员需在 8 月 31 日前通过平台提交问题答案。

1.2 水泥行业简介¹

通常而言，水泥生产厂选址于采石场附近，以便开采石灰石、泥灰岩或白垩岩等原材料，并将其运送至一级和二级破碎机进行破碎。随后，加入少量其他原材料（如铁矿石、铝土矿、页岩、黏土或砂），并将这些物料一起研磨成生料。

¹本节的水泥行业简介基于欧洲水泥协会（CEM bureau）发布的资料页《水泥制造介绍》。

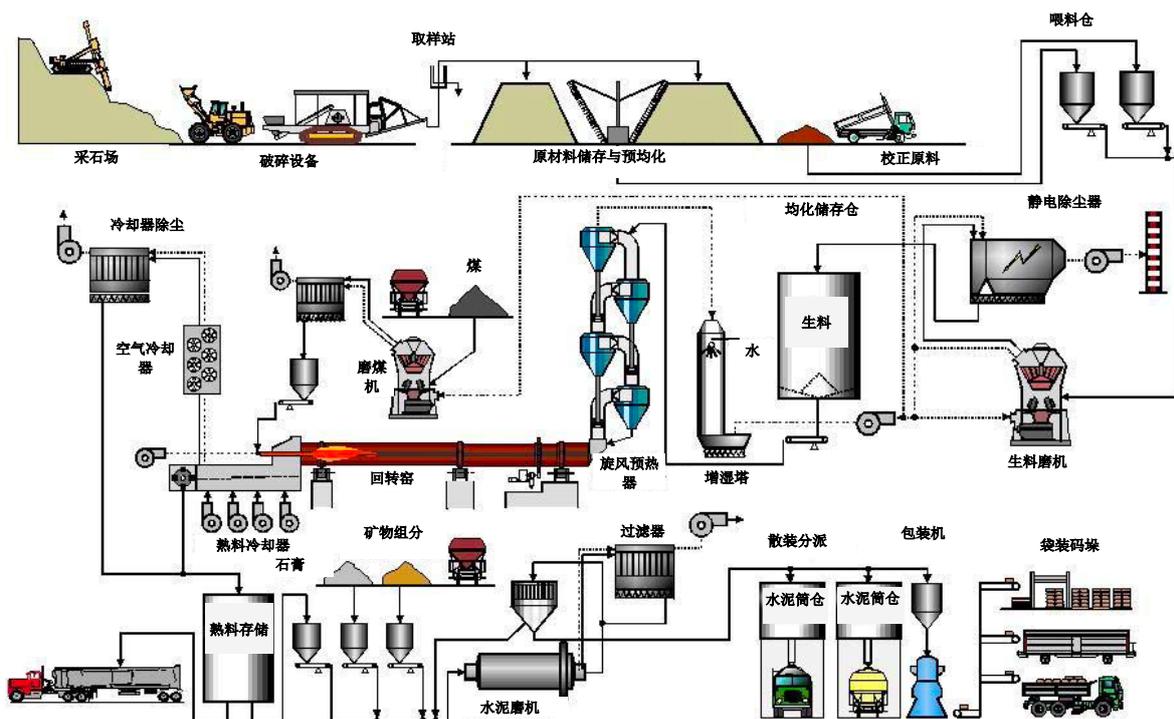
生料通过窑炉产生的高温废气实现多级预热²。预热过程中，会从高温燃料气中回收热量，并且随着每级预热的推进，热回收率会相应提高。生料在窑炉中被加热至 1450°C，从而发生反应。为确保生料达到所需温度，回转窑使用煤炭、石油焦、燃气、燃油及其他燃料进行加热。在欧盟，90%的水泥熟料是通过所谓的干法窑工艺生产的³。

生料中的石灰石会转化为石灰，石灰与其他成分发生反应后形成新的矿物，进而生成熟料。热熟料通过空气冷却后，在水泥磨机中与石膏一起研磨，形成名为“普通硅酸盐水泥”的灰色粉末。若在其中混入额外的矿物成分，则会生产出复合硅酸盐水泥。多数情况下，熟料在厂内研磨，但也可通过卡车、火车或船舶运输至其他研磨厂进行加工。最终产品经过均化处理并储存于水泥筒仓内，随后被运送至包装站，或装入筒仓通过水路、公路或铁路运输。

水泥行业是欧盟的重要行业，其排放量约占欧盟碳排放交易体系总排放量的 8%。欧盟有 25 个国家设有水泥生产装置。水泥行业 60% 的排放量来自煅烧过程，属于工艺排放量，其余排放量则与能源消耗相关。

2. 案例研究：水泥生产⁴

CEMA 是一家灰色水泥熟料⁵生产厂，配备 2 台回转窑。该厂紧邻一条水路，每年排放 78.5 万吨二氧化碳。下图展示了其生产流程概况。



资料来源：【103，欧洲水泥协会，2006 年】

²预热器由一系列旋风预热器组成。在旋风预热器中，热烟气按与物料流动相反的方向流经生料。

³干法熟料工艺：该工艺是指将原材料加工成原材料粉末，其含水量通常低于 1%。干法工艺可降低热耗与用水需求。但是，窑内物料的流动性较差，易导致混合不均。与干法工艺不同，湿法工艺生产的原材料浆体含水率达 32%~40%。原材料浆体的流动性较好，让混合更加均匀，从而生产优质熟料。尽管如此，湿法工艺需要消耗更多热量。

⁴本案例研究基于 SQ 咨询公司为“2020 年欧盟委员会认证与核查培训活动”编写的案例研究。本案例研究经过改编，以适用于本次师资培训计划。

⁵欧盟碳排放交易体系对灰色水泥熟料和白色水泥熟料加以区分。灰色水泥是建造桥梁、楼宇等结构的坚固材料，其生产成本约为白色水泥的一半，且其供应范围比白色水泥更广。白色水泥具有与灰水泥相似的结构性能，同时能提升拱廊、酒店、教堂等建筑的装饰效果，且无需再次粉刷。在水泥生产过程中，可通过添加指定彩色颜料，使白水泥获得永久性装饰色彩。白色水泥的温室气体排放量比灰色水泥高出约 40%，其仅占熟料温室气体排放总量的 2.4%。

工艺与活动说明：

天然存在的钙质沉积物（如石灰石、泥灰岩或白垩岩）是碳酸钙的来源。二氧化硅、氧化铁和氧化铝则存在于多种矿石与矿物中，例如砂、页岩、黏土和铁矿石。石灰石、白垩岩、泥灰岩、页岩或黏土等主要原材料，从工厂附近的采石场开采而来，经一级破碎后储存，待进一步加工处理。铝土矿、铁矿石、高炉矿渣或铸造砂等其他原材料，则需外购调入。

水泥生产工艺中的基本化学反应始于窑炉内碳酸钙（ CaCO_3 ）在约 900°C 下的分解，生成氧化钙（ CaO ，即石灰）并释放出气态二氧化碳（ CO_2 ）。这一过程被称为“煅烧”。随后是“熟料烧成”过程：氧化钙在高温（通常为 $1400^\circ\text{C}\sim 1500^\circ\text{C}$ ）下与二氧化硅、氧化铝和氧化亚铁发生反应，形成钙的硅酸盐、铝酸盐和铁酸盐，这些物质共同构成熟料。之后，熟料与石膏及其他添加剂一起被研磨，最终制成水泥。

CEMA 的两台窑炉使用多种常规化石燃料、替代化石燃料、混合燃料，以及少量生物质燃料（如下文所述的污泥颗粒）。成品水泥储存于筒仓内直至发运。大部分水泥以散装形式销售，通过驳船或卡车运输。大约 5%~10%的水泥以袋装形式销售。

工厂办公室负责管理、质量控制和控制室运营工作，内设实验室。实验室是一个使用柴油便携式加热器的场所。

厂区配备使用液化石油气与轻柴油的小型设备，以及由轻柴油驱动的应急发电机与消防泵。

窑炉产生的余热经回收后输送至地方政府的区域供暖系统，为社会住房供暖。

窑炉燃料

窑炉能够混烧多种不同类型的燃料，包括：

监测计划中列明的燃料	
固体	
(F1) 煤炭	
(F2) 石油焦	
(F4) 废旧轮胎	
(F8) 污泥颗粒*	
(F10) 城市废弃物衍生燃料	
液体	
(F3) 煤油*	
(F9) 废溶剂	
气体	
(F5) 天然气	
(F6) 液化石油气	
(F7) 轻柴油	
*微量燃料	

窑炉所用燃料取决于运行时的供应情况与经济性。

煤炭和石油焦通过驳船运至装置的港口，平均每艘驳船卸载 2500 吨。货物的数量由经认可的特许测量师采用水置换法测定，该方法可保证将测量不确定度控制在 $\pm 1\%$ 以内。

卸载后，煤炭和石油焦储存在两个料堆中，并通过传送带从料堆输送至磨机，随后送入窑炉。每年 1 月 1 日，特许测量师会对每个料堆的体积和密度进行库存盘点测量。

煤炭/石油焦的消耗量通过库存盘点法计算：

$$\text{燃料 } C = \text{燃料 } P + \text{燃料 } S - \text{燃料 } E$$

式中：

燃料 C = 第 y 年消耗的燃料

燃料 P = 第 y 年交付的燃料

燃料 S = 第 y 年的年初库存量

燃料 E = 第 y 年的年末库存量

每批煤炭或石油焦均按照 ISO 1988 标准取样，所有样品均由外部实验室进行分析。

其他燃料及物料/添加剂采用经校准的地磅称重进厂，其相关活动数据通过库存盘点法确定。除轮胎外，这些燃料均会采集代表性样品并送往实验室，测定生物质占比、净热值（NCV）、碳含量及相关排放因子（EF）。由于难以获取轮胎的代表性样品，其相关计算采用国家特定缺省值：排放因子为 0.088 吨二氧化碳/太焦，净热值为 28.2 吉焦/吨。

微量燃料处理方式：

- F3——采用估算值或非校准流量计确定活动数据，计算因子采用国家缺省值。
- F8——假设报告年度内所有交付量均在当年消耗完毕。污泥颗粒为 100% 固体生物质，运营商采用的排放因子为 0。

窑炉进料与窑灰：

监测计划中引用的物料	
窑炉进料（M1-9）	窑灰（M10-M11）
熟料	

每月月底，环境保护经理会收到生产部发来的电子邮件，其中包含计算窑炉进料所产生二氧化碳排放量所需的信息：

- **生产线 1：**消耗的生料磨机总喂料量（根据八台申克 Microcont FCO421 称重给料机 W1-W8 的读数得出）。计算时采用生料磨机进料的干重，需考虑生料磨机进料重量中的含水量。
- **生产线 2：**工艺过程中采用的窑炉喂料量通过申克科里奥利计量秤（W9）在入窑时称重。

各生料磨机的喂料量根据上述给料机的差值记录下来，测量结果会自动累加到给料机的电子计数器中。控制室操作员手动将仪表累计器的读数录入工厂的每日生产报表，并将这些测量数据上报给生产部。

生产用给料机测量设备的校准和维护工作，按照工厂制定的校准说明执行。

卸灰至运输车时，窑灰的单位时间排放量（质量流量）每月通过汽车衡（W10）在粉尘收集箱后测定一次。生产线 1 的称重工作由生产部人员每月进行一次，生产线 2 则每两个月称重一次。称重结果由生产部按照《作业指导书 WI 110-2》的要求保存。

- **生产线 1：**每月月底，经内部审核后，生产部会向环境保护经理发送电子邮件，说明根据汽车衡测量结果得出的废弃窑灰量，以及仪表测得的相关生料磨机干进料重量。计算得出的废弃窑灰

占生料磨机干进料的百分比，将用于估算下个月的生料磨机干进料消耗量，直至得出新的百分比。

- **生产线 2:** 每两个月月底，经内部审核后，生产部会发送电子邮件，说明根据汽车衡测量结果得出的废弃窑灰量，以及仪表测得的相关窑炉干进料重量。计算得出的废弃窑灰占窑炉干进料的百分比，将用于估算后续每个月的窑炉干进料消耗量，直至得出新的百分比。

生产:

出厂水泥通过经校准的地磅称重，同时结合进口水泥量进行库存盘点计算，库存盘点的结果即为水泥产量。

汽车衡每年由外部机构校准，其校准和内部维护工作均按照工厂制定的《作业指导书》执行。

此外，为计算二氧化碳排放量，生产质量部每月月底会向环境保护经理发送电子邮件，其中说明:

- (a) 生产线 1 生料磨机进料和生产线 2 窑炉进料的月平均成分。这些成分数据来自样品分析结果，样品每两小时采集一次。通过化学计量比将成分数据转换为排放因子。所有样品均由工厂实验室进行分析。
- (b) 各生产线进料的月平均含水量。对于每台生料磨给料机，每天采集一次样品，样品由工厂实验室进行分析。根据这些样品的含水量计算出月平均值，用于确定物料的干重。

两条生产线废弃窑灰中的碳酸盐二氧化碳总含量，（依据 EN-196-2 标准）通过“烧失量（LOI）”测试确定。每日在粉尘收集箱后的取样点采集样品，进行该测试。质量控制经理负责计算废弃窑灰中碳酸盐二氧化碳总量重量分数的月平均值。

生料中非碳酸盐的碳排放量，由工厂实验室每年测定一次。

环境保护经理利用这些数据，计算窑炉喂料加工过程的月度二氧化碳排放量。

已获批准的监测计划:

该装置按 C 类许可获批。获批监测计划采用 A 类计算方法：基于工艺投料中碳酸盐含量监测生料组分的过程排放。所有粉尘均离开了窑炉系统。

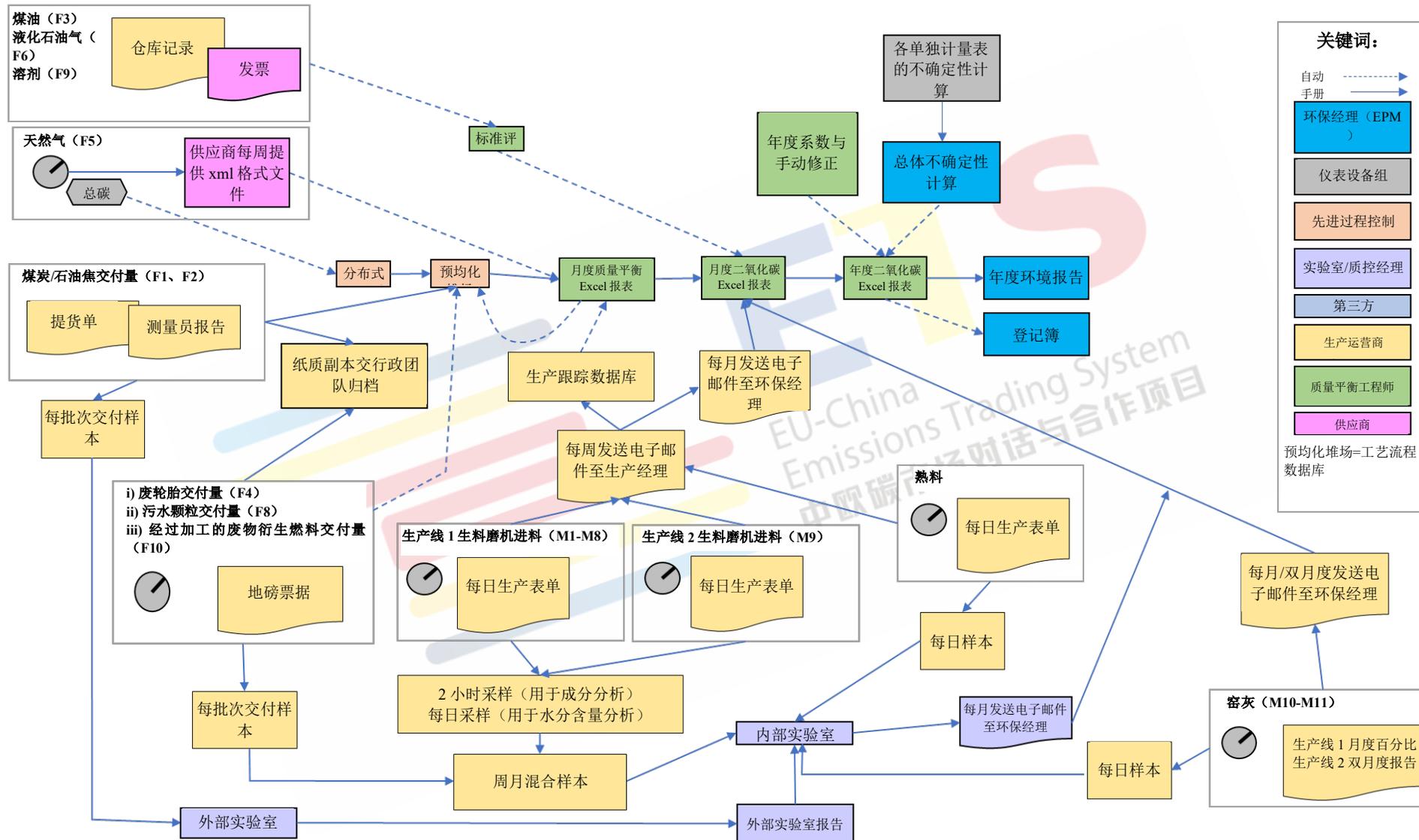
采样计划规定:

- **熟料**—每天取样一次，每月制成混合样品送至实验室，分析氧化镁和氧化钙的浓度。
- **白垩岩与生料**—每天取样一次，每月制成混合样品送至实验室，分析氧化钙、氧化镁含量、二氧化碳含量及总有机碳。
- **煤炭、石油焦及废料衍生燃料（F1、F4 和 F10）**—每批燃料送达时采集代表性样品并记录交付燃料水分；同时制备周/月混合样品送至实验室分析热值，以及碳、灰分、水分、生物质、非生物质与惰性物质的质量百分比含量。

除了煤炭与石油焦外，所取样品均在该装置的内部实验室完成分析。

附件 1 概述了该装置的数据流情况

附件 1: 水泥厂排放核算数据流



3.集中培训问题

全员讨论第一阶段问题

1. 水泥生产厂（CEMA）已与验证方签订合同，以验证其设施排放报告。验证方需要哪些信息来评估水泥装置的核算边界？
2. 请考虑与水泥生产装置（CEMA）排放监测和报告相关的各种源流。案例研究中概述的监测计划是否涵盖了所有燃料和材料？若未涵盖，验证方应采取何种行动？

小组讨论问题

3. 水泥生产厂（CEMA）旁有一家 A 公司所有的发电厂。CEMA 正在扩大生产规模，需要额外电力来运行水泥窑。A 公司将发电厂出售给 CEMA 装置所有者，CEMA 运营商接管了发电厂的运营和功能控制权。接管后，发电厂通过高压输电线路向水泥生产厂（CEMA）提供部分电力。发电厂进行燃烧活动，每年产生 2,000,000 吨二氧化碳排放，通过连续排放监测系统测量温室气体浓度和烟气流量来确定排放量。发电厂拥有三台 530MW 的双机组，燃烧煤炭、重燃料油和固体/液体生物质，为蒸汽轮机提供动力；还有三台较小的 17.5MW 涡轮机，使用柴油或生物液体运行。煤炭是主要源流，其他燃料为次要或微量源流。在为所有三台 530MW 涡轮机服务的烟囱中安装了连续排放监测系统。假设三台 530MW 涡轮机每台均负责排放超过 500,000 吨二氧化碳。在烟囱中安装连续排放监测系统（CEMS）之前，已根据 EN 15267-3 标准对测量系统进行了校准和测试，以证明其潜在适用性。该装置制定了程序，确保每五年进行全面校准和测试。此外，还至少每年进行一次小规模校准检查（可能还需按照 EN14181 标准进行）。在今天上午（第 3 天）的跨领域议题讲解中，已就不确定度和不确定度评估进行了介绍。请在小组讨论中回答以下问题：
 - a. 水泥生产厂中测量不确定度的来源有哪些？请列举五个最重要的不确定度来源。
 - b. 针对发电厂安装的连续排放监测系统，需要进行何种形式的不确定度评估，以确保不超过允许的不确定度水平？（请参考基础培训材料）
4. 请在小组中讨论以下两个问题：
 - a. 水泥生产厂按照 ISO1988 标准对每批煤炭或石油焦进行采样，并由外部实验室分析所有样品。送往认可实验室的两个样品被污染，导致结果无效。
 - 这是否构成数据缺口？
 - 如何解决该数据缺口？
 - b. 连续排放监测系统发生故障，导致一周数据丢失。水泥装置可采取何种措施来解决数据缺口，并防止类似情况再次发生？

全员问题

5. CEMA 数据流的关键方面是什么？数据流中存在哪些主要风险（如数据处理风险），也称为固有风险？
6. 减轻 CEMA 数据流中的风险，关键控制活动有哪些？这些控制活动无法有效运行的风险是什么？
7. 针对 CEMA，可采取哪些措施来减轻控制风险？
8. 数据流中的风险和控制活动如何影响验证过程中的检查类型和详细程度？
9. 验证方将如何检查案例研究中描述的运营商不确定度评估和数据缺口？
10. 用于称量燃料和添加剂的地磅未按照工厂作业指导书进行校准，导致读数存在不确定度。验证方应在验证报告中如何报告此问题？验证后应如何跟进？