

WBCSD 水泥可持续倡议行动组织 (CSI)

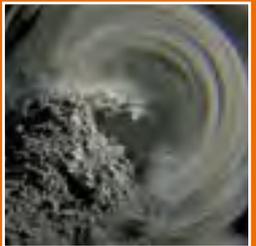


水泥行业  
排放监控与  
报告指南

排放监控  
与报告

2012年3月14日

第2.0版



1	简介	2
	1.1 背景	
	1.2 排放监控和报告	
2	水泥生产产生的排放	4
	2.1 概述	
	2.2 排放成分	
	2.2.1 排放成分概述	
	2.2.2 颗粒物/粉尘	
	2.2.3 氮氧化物(NO <sub>x</sub> )和硫氧化物(SO <sub>2</sub> )	
	2.2.4 碳氧化物(CO <sub>2</sub> 和CO)	
	2.2.5 挥发性有机化合物(VOCs)	
	2.2.6 酸性气体	
	2.2.7 微量金属	
	2.2.8 有机微量污染物	
3	主要排放源和污染物的选择	7
	3.1 主要排放源的选择	
	3.2 主要污染物的选择	
	3.3 其他污染物的选择	
4	排放监控(监测)	8
	4.1 建议的监测频率	
	4.2 质量验证	
5	关键绩效指标(KPIs)	10
6	报告	12
	6.1 所覆盖的设施	
	6.2 报告频率和期限	
	6.3 报告排放目标	
	6.4 排放监控报告的格式	
	6.5 排放数据的保证	
7	参考资料	14
	技术附件	15



## 1 简介

### 1.1 背景

水泥是世界上使用最广泛的人造材料。每年水泥的人均(不论男女老少)消耗量接近450kg。水泥生产是一个能源和资源密集型的工艺,并且对当地和全球都会产生影响。有鉴于此,几家水泥公司于1999年发起成立了由会员资助的水泥可持续倡议行动组织(CSI),隶属于世界可持续发展工商理事会(WBCSD)。

如今,CSI是由24家在全球100多个国家有运营的主要水泥生产商组成的全球性组织,以实现可持续发展为使命。这些公司的水泥总产量约占世界水泥产量的三分之一,它们中既有规模较大的跨国公司,也有较小的地方生产商。

有关CSI的信息,请访问网站:

[www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org)

### 1.2 排放监控和报告

自2002年发布行动纲领以来,CSI一直着手解决的问题之一就是管理水泥生产所产生的大气排放物。排放的监测、监管和报告对了解、记录并改善行业的环境绩效作出了贡献。没有足够的排放信息可能会引起当地社会对工厂运营的担心。

2005年,CSI发行了第一版排放监测和报告议定书,为所有CSI会员提供了一个共同的框架。各公司随后制定了各自的排放目标并每年报告这些目标的实现情况。

CSI议定书着重于对水泥生产所产生的排放进行监控和报告的实际工作。尽管各个国家和国际机构采用了不同分析标准,但这些标准并未在世界范围内被系统地运用。这可能导致某些地区不能合理地监控排放,且可能没有相关环境法规或不能充分执行。因此,特制定本议定书以实现以下三个主要目标:

- 鼓励统一地监控和报告水泥工艺排放。
- 提供可靠的、适宜的、且易于理解的排放信息。
- 为内部管理提供收集相关信息的工具,以制定水泥排放监控和报告计划。

本议定书覆盖了水泥厂主烟囱的排放。作为最大的单点污染源,这些排放可能对环境造成重大影响,但可通过合理的措施精确地监测。所建议的排放定量分析方法是由具有水泥行业实践经验的化学分析专家所制定的方法。这些方法有时可在不利的监测条件下得出具有代表性的结果。在可以考虑到精确性、仪器可维护性、充分校准和成本等因素时,建议优先选用连续排放监控法。

议定书详述了CSI成员公司所约定的排放监控行动。各公司已约定基于这些数据设定各自的排放目标并采用第5节中约定的关键绩效指标(KPIs)跟踪其减排进展。各公司已约定定期(每年)发布透明且综合的(但经充分整合)排放数据,并遵守适用的反托拉斯法。各公司还进一步约定了监控报告的频率和格式,以提高透明度并增强当地公众和监管者对其业务的理解。

## 第2版 (2012年)

本《水泥行业排放监控和报告指南》第2版修订版吸取了世界范围内多家水泥公司自2005年以来通过应用和评估第一版议定书所获得的经验。

本指南同时考虑了自第一版指南发布以来法规框架的发展，特别是欧洲于2010年6月颁布的《最佳可用技术参考文件》(BREF)，2010年秋季颁布的《工业排放指令》(IED)和美国于2010年9月颁布的《国家有害空气污染物排放标准》(NESHAP)。

修订指南的主要目的是使其与近年来的技术发展和利益相关方的期望变化相适应，以便为成员公司和监管者提供一份关于大气排放监测和报告的指导文件。



## 2 水泥生产产生的排放

### 2.1 概述

水泥生产产生的排放可能来自生产工艺中不同的点，根据所用原燃料、制备工艺和窑系统以及采用的排放控制系统而有所区别。主要的生产步骤(同时也是潜在的排放源)包括：

- 采石和原料制备
- 燃料处理
- 熟料制造
- 成品粉磨
- 包装
- 储存
- 混合
- 运输
- 材料装载

水泥生产过程中排放量最大的物质包括颗粒物(粉尘)、氮氧化物、二氧化硫、二氧化碳和一氧化碳。同时还可能排放微量的挥发性有机化合物、酸性气体、微量金属和有机微量污染物。水泥窑在稳定条件下常规运行期间(除启动和停机)，原燃料成分自然产生的变化可导致日常微小的排放变化。

### 2.2 排放成分

#### 2.2.1 排放成分概述

水泥厂排放多种污染物，其中一些污染物当前受到了管控。虽然水泥厂在减排上有显著的改善，但水泥厂仍然是一个污染物排放源。表1列出了2010年5月欧洲BREF文件<sup>1</sup>中报告的多种污染物的排放范围。

表1：欧洲水泥窑排放的平均值和范围

欧洲水泥窑报告的排放			
污染物	平均浓度	浓度范围 从/到	平均单位熟料排放
粉尘	20.3 mg/Nm <sup>3</sup>	0.3/227 mg/Nm <sup>3</sup>	46.7 g/吨熟料
NO <sub>x</sub> 按 NO <sub>2</sub> 计	785 mg/Nm <sup>3</sup>	145/2040 mg/Nm <sup>3</sup>	1.805 kg/吨熟料
SO <sub>2</sub>	219 mg/Nm <sup>3</sup>	Up to 4837 mg/Nm <sup>3</sup>	0.504 kg/吨熟料
CO		Up to 2000 mg/Nm <sup>3</sup>	
挥发性有机化合物/总碳氢化合物按碳计	22.8 mg/Nm <sup>3</sup>	1/60 mg/Nm <sup>3</sup>	52.4 g/吨熟料
HCl	4.3 mg/Nm <sup>3</sup>	0.02/20 mg/Nm <sup>3</sup>	9.8 g/吨熟料
HF	0.3 mg/Nm <sup>3</sup>	0.01/1.0 mg/Nm <sup>3</sup>	0.7 g/吨熟料
二噁英/呋喃按毒性当量计	0.016 ng/Nm <sup>3</sup>	0.000012/0.27 ng/Nm <sup>3</sup>	0.037 μg/吨熟料
金属			
Hg	0.02 mg/Nm <sup>3</sup>	0.0/0.03 mg/Nm <sup>3</sup>	0.046 g/吨熟料
Σ (Cd, Tl)	0.02 mg/Nm <sup>3</sup>	0.0/0.68 mg/Nm <sup>3</sup>	0.046 g/吨熟料
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0.14 mg/Nm <sup>3</sup>	0.0/4.0 mg/Nm <sup>3</sup>	0.322 吨熟料
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 浓度为基准浓度，即 273°k, 101.3 kPa, 10% O<sub>2</sub> 和干气</li> <li>• 单位排放基于 2300 m<sup>3</sup>/吨熟料的水泥窑排放量</li> </ul>			

数据来源：水泥、石灰和氧化镁制造业的最佳可用技术参考文件，2010年5月

### 2.2.2 颗粒物/粉尘

术语“粉尘”或“颗粒物”包括粗粉尘、细粉尘、烟灰、微粒和浮尘等排放物。

由于设计和运行水平的不断提升，包括越来越多地使用现代除尘设备，水泥窑的粉尘排放在过去二三十年中得到了大幅降低。但设备较差或运行不良的水泥窑仍会产生高粉尘排放。

尽管水泥行业在某些地方的颗粒物排放仍很高，但在大多数国家中其并不是主要的粉尘和颗粒物来源。表1中源自欧洲BREF的颗粒物排放数据与澳大利亚和美国水泥厂名录的数据类似(NPI 1999; EPA AP-42 1995)。

### 2.2.3 氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 和硫氧化物 (SO<sub>2</sub>)

在熟料生产过程中，NO<sub>x</sub>由空气和燃料中的氮在高温下与氧发生反应产生。二氧化硫(SO<sub>2</sub>)是SO<sub>x</sub>排放最主要的形式(99%)。SO<sub>2</sub>主要由原料中具有挥发性的硫经氧化产生，但在一些特殊的工艺配置中，SO<sub>2</sub>可能是燃料中的硫经氧化而成。

水泥行业的排放水平在过去30年中有显著改善，但其仍是一个NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>的排放源。表1中源自欧洲BREF的NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>排放数据同样与澳大利亚和美国水泥厂名录的数据近似(NPI 1999; EPA AP-42 1995)。

在某些国家中，该行业此类污染物的排放在国家排放总量中仅占很小的份额。例如据《英国国家大气排放名录》(NAEI 2009年)显示，2008年英国水泥行业的NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>排放量分别占全国排放总量的2.5%和1.0%。

### 2.2.4 碳氧化物 (CO<sub>2</sub> 和 CO)

水泥生产是温室气体二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的一个排放源。全球高达6%<sup>2</sup>的人为二氧化碳排放来自水泥生产。

水泥生产产生的二氧化碳排放中约有50%来自石灰石(CaCO<sub>3</sub>)转化为水泥主要中间体氧化钙(CaO)的化学反应。另有约40%来自水泥生产过程中化石燃料的燃烧。其余排放来自原料运输(约5%)和生产水泥的电耗所需的化石燃料燃烧(约5%) (Battelle, 2002年)。根据CSI所开发的涵盖全球约三分之一水泥产量的“把数据搞准”数据库(GNR)，2010年CO<sub>2</sub>平均单位排放量达到了652千克/吨水泥产品<sup>3</sup>。

降低CO<sub>2</sub>排放是CSI工作的一大核心。2001年，CSI成员公司约定了一项计算和报告CO<sub>2</sub>排放的方法，即《水泥行业二氧化碳和能源议定书》。该议定书符合《WBCSD / WRI温室气体议定书》，并分别于2005年和2011年进行了修订。所有CSI成员公司至今均依照该议定书计算并报告其CO<sub>2</sub>排放<sup>4</sup>。

熟料生产过程中的一氧化碳(CO)排放由一些原料中少量有机成分不充分燃烧形成。大多数水泥窑的CO含量大大低于2000 mg/Nm<sup>3</sup> (BREF 2010年)。

### 2.2.5 挥发性有机化合物 (VOCs)

虽然水泥生产不是主要的VOC来源，但在熟料生产过程中天然原料会释放少量的有机成分。一般情况下，水泥窑排放的气体中VOC含量范围在1-60mg/Nm<sup>3</sup>之间(BREF 2010年)。根据国家污染物名录，VOC的排放主要来自道路交通和航空运输、有机溶剂的使用、石油和化工行业生产流程以及工业和民用的燃烧。

### 2.2.6 酸性气体

水泥生产中氯化氢(HCl)和氟化氢(HF)排放量较少，两种气体是由原料和燃料中存在的微量氯和氟产生。

1 《水泥、石灰和氧化镁制造的最佳可用技术参考文件》，2010年5月，欧盟委员会。<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

2 《IPCC二氧化碳捕集与封存特别报告》，联合国环境规划署政府间气候变化委员会，2005年  
[www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf](http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf)，第113页。

3 见[www.wbcscement.org/co2data](http://www.wbcscement.org/co2data)

4 可直接在[www.cement-co2-protocol.org/v3](http://www.cement-co2-protocol.org/v3)阅读

### 2.2.7 微量金属

原料和燃料中存在多种微量金属，其含量不一，但通常很低<sup>5</sup>。微量金属在水泥窑中的状态取决于其挥发性。无挥发性的金属和金属化合物成为熟料的一部分而离开水泥窑。有挥发性的金属在预热器和生料磨机系统中凝结并随生料返回水泥窑。这种浓缩效应可导致排放增多，比如在生料磨机系统未运行或窑系统运行不正常时。不在生料磨机系统中凝结的挥发性金属随燃烧废气以低浓度排出。

### 2.2.8 有机微量污染物

下列物质在特定工艺中释放的绝对质量通常低于NO<sub>x</sub>或其它空气污染物若干个数量级，因此有时被统称为“微量污染物”。

- 多氯代二苯并二噁英和多氯代二苯并呋喃 – 统称为“二噁英和呋喃”或“PCDD/PCDFs”
- 多氯代联苯 – 常称为“PCBs”
- 多环芳烃 – 称为“PAHs”。

二噁英和呋喃是在较低温度下产生的，最常见于各种燃烧过程产生的废气中(包括森林火灾和家庭烹饪)，是空气冷却时在450~200°C这一温度范围时形成的。为了尽量降低二噁英产生的可能性，很重要的一点是尽量加快水泥窑尾废气在该关键温度范围内的冷却速度。基于对现有数据和CSI成员采集的新样品的详细分析，在运行良好的现代水泥窑中，二噁英的排放与所用的燃料类型无关(SINTEF第二版2006年1月)。

很多国家已执行了国家二噁英名录。在一些国家中，这些名录显示水泥行业通常是一个较小的二噁英排放源(低于总量的3%)。城市垃圾焚烧炉、居民燃烧木材、农业烧荒和炼钢厂等是二噁英的主要排放源。<sup>6</sup>

5 例如参见CSI对燃料和材料使用的研究中确定的典型浓度：[www.wbcdcement.org](http://www.wbcdcement.org)

6 例如，加拿大1999年二噁英排放目录显示城市垃圾焚烧占二噁英排放总量的58%。水泥行业的排放量仅占不足1%：《二噁英、呋喃和六氯苯排放目录》加拿大环保署，1999年1月。可从加拿大环保法网站下载。



## 3 主要排放源和污染物的选择

本议定书旨在确保CSI成员公司着力于水泥行业最重要的排放源和污染物的监控、监测和报告。本章明确了本议定书所指的主要排放源和污染物。

### 3.1 主要排放源的选择

一些规范体系为特定的工艺指定了具体的监测点。通过对水泥窑系统、除尘设备和工厂的不同地理位置进行比较，熟料生产工艺中其主烟囱被证实是水泥行业最主要的大气排放源，这是因为在此工艺点的气体流量和排放浓度相对较高。

在多数情况下，地面附近的无组织粉尘排放并不是由燃烧工艺产生的，而是由采石、原料制备、燃料处理和储存以及运输产生(有时因风力作用和其它自然因素会加剧排放)的。此类无组织排放难以监测且主要影响当地的环境(因此应由当地工厂负责处理)，而高烟囱产生的排放则会影响更广区域的空气质量。

因此本议定书仅考虑由水泥窑主烟囱产生的排放，但鼓励各公司监测本参考文件所述范围之外的更广排放。

### 3.2 主要污染物的选择

本议定书根据排放量和/或重要性确定了重点关注水泥窑主烟囱产生的以下排放，并在CSI系统内进行报告。

- 粉尘/颗粒物
- 氮氧化物( $\text{NO}_x$ )
- 二氧化硫( $\text{SO}_2$ )

### 3.3 其他污染物的选择

利益相关方(包括当地社区和监管机构)关注的其它需要监测的污染物包括：

- 微量金属及其化合物如：汞(Hg)、镉(Cd)、铊(Tl)、锑(Sb)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、钴(Co)、铜(Cu)、锰(Mn)、镍(Ni)和钒(V)
- 挥发性有机化合物(VOCs)或总碳氢化合物(THC)；包括甲烷、乙烷及其它碳氢化合物，并视作碳进行报告。
- 多氯代二苯并二噁英和二苯并呋喃(PCDD/PCDFs)；包括国际通用的NATO体系中的17种同系物，并按国际毒性当量(I-TEQ)<sup>7</sup>进行报告。

该选择很大程度上与其它重要的国际方针一致，如欧洲的《最佳可用技术参考文件》(BREF)和《工业排放指令》(IED)，美国《国家有害空气污染物排放标准》(NESHAP)。同时还考虑了其它指南，如美国环保署(US EPA)文件AP-42和澳大利亚《国家污染物名录指南》。

其它污染物如酸性气体鉴于原料和燃料中仅存在微量的氯和氟，可被视为较小的污染物而不予考虑。

<sup>7</sup> 参考《技术附件》，表A6



## 4 排放监控(监测)

可通过连续或不连续监测来监控排放。可依照度量学认可的规则或依照相关国家环境法规认可的方法进行监测。

本协议书的技术附件介绍了多种适用于连续监测的技术：“现场”和“取样”监测仪器、“冷态”和“热态”取样仪器以及不同的物理分析方法。

技术附件给出了用于污染物测量包括取样和分析的建议标准和参数。这些标准为ISO国际标准(见：[www.iso.org](http://www.iso.org))、美国环保署方法(见：[www.epa.gov](http://www.epa.gov))及欧洲标准(见：[www.cen.eu](http://www.cen.eu))。还可采用国家标准中确定的方法或与推荐标准等效的方法。采用的方法需经鉴定。

技术附件建议连续排放监控器(CEMs)的选择标准应包括：依照法规和运行许可中规定的要求以及这些指南所述承诺正确地识别待测污染物；还应包括氧、水分和气流速率等参数。应评估水泥窑系统在各种运行状态下的排放水平和排放值。分析工具应经权威认证机构认证或经性能测试充分证明。应注意供应商提供本地技术支持的能力。

技术附件建议负责不连续监测和分析的承包商或

机构执行ISO 9001: 2008和ISO 17025: 2005《检测和校准实验室能力的通用要求》等国际标准的质量管理体系。应审核承包商或机构分析相关成分的经验。

### 4.1 建议的监测频率

监测频率应基于排放污染物的性质和利益相关方的关注度来决定。遵守这些指南的公司应通过连续排放监控设备(CEMs)连续地监测主要污染物(粉尘、NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>)。在进行现场连续监测前，这些污染物应至少每年监测一次。

挥发性有机化合物或总碳氢化合物(VOC/THC)首选连续监测或每年至少监测一次。

其它污染物应依照表2中报告的频率定期监测。监测应在能体现水泥生产工艺正常运行的条件下进行。

定期监测应根据工艺中重大变化<sup>8</sup>(包括燃料特性、原料、或大气污染控制设备等)在六个月内进行更新。

8 参考《技术附件》第7章

表2：污染物监测频率

污染物	监测频率...
"粉尘"	连续
"NO <sub>x</sub> "	连续
"SO <sub>2</sub> "	连续
"VOC/THC"	连续或至少每年一次
"PCDD/F"	每两年一次
"Hg"	每年一次
"其它重金属"	每两年一次

当检测的汞排量低于表3中的临界值时，可以降低汞的监测频率；但当检测值超过临界值时，监测频率应恢复到表2中的正常频率。

连续监测PCDD/F或汞时，无需进行定期监测。

表3：汞的临界值

污染物	临界值...	监测频率...
"Hg"	25 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	每两年一次

## 4.2 质量验证

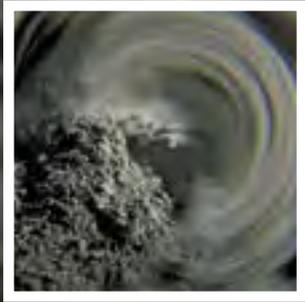
监测和报告的质量取决于能否成功地完成连续的工作步骤——取样、分析和报告。公司应为排放的监控、验证和记录配置资源并明确责任。应对人员进行操作和维护检查的培训。

连续排放监测设备在试运行后开始用于连续监测时，需对其进行例行检查、良好维护和定期校准。

连续监测和不连续监测的质量保证流程应包括：

- 数据的技术评估：数据处于水泥生产工艺的常规范围内且一致。
- 将同一个水泥窑和同种污染物不同年份和月份监控的排放进行比较。
- 公司应执行一项数据验证流程。

其它指示请见《技术附件》。



## 5 关键绩效指标 (KPIs)

CSI成员公司意识到有必要跟踪减排的进展并向利益相关方清楚说明该进展。因此，本议定书包含了一些简单可靠且典型的关键绩效指标 (KPIs)。

### KPI 1: 报告覆盖率

本KPI用于表明一个监测系统(连续或不连续监测粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、VOC/THC、重金属(Hg、Cd、Tl、Sb、As、Pb、Cr、Co、Cu、Mn、Ni和V)、PCDD/F)所覆盖的水泥窑的熟料产量百分比。仅在监控所有污染物(列出全部17种污染物)的排放时，该水泥窑的总产量方可计入KPI，否则该水泥窑所占产量百分比应被视为零。

#### KPI 1 的计算示例：

A公司运行50个水泥窑，年产五千万吨熟料。在报告时间框架内，对35个年产四千万吨熟料的水泥窑的污染物(之前确定的)排放进行监控。

在这种情况下得出： $KPI\ 1 = (40,000,000\text{吨} / 50,000,000\text{吨}) \times 100 = 80\%$

因此公司A的KPI 1为80%，意味着80%的熟料产量来自于按照本议定书要求进行监控的水泥窑。

### KPI 2: 连续监测覆盖率

本KPI表明连续监测粉尘、NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>的水泥窑生产的熟料所占百分比。仅在所有的污染物(粉尘、NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>)的排放得到监控时，该水泥窑的总产量方可计入KPI，否则该水泥窑所占产量百分比应被视为零。

### KPI 3 “X”：污染物“X”<sup>9</sup>的排放数据

本KPI用于表明水泥窑向大气排放的粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、VOC/THC、Hg、重金属1 (Cd和Tl之和)、重金属2 (Sb、As、Pb、Cr、Co、Cu、Mn、Ni和V之和)和PCDD/F(之前确定的污染物)。表4中指定的各种污染物或污染物组群均有单独的KPI。应同时报告单位排放值和绝对排放值。

表4：每种污染物的KPI 3 “X” 定义

指标	注释
KPI 3 “粉尘”	
KPI 3 “NO <sub>x</sub> ”	一氧化氮和二氧化氮之和，以二氧化氮表示
KPI 3 “SO <sub>2</sub> ”	
KPI 3 “VOC/THC”	包括甲烷和乙烷在内的总碳氢化合物，以碳(C)表示
KPI 3 “PCDD/F”	NATO体系涵盖的17种同系物之和，以I-TEQ表示
KPI 3 “Hg”	汞和汞化合物，以汞(Hg)表示
KPI 3 “HM1”	镉和铊及其化合物之和，以镉(Cd)和铊(Tl)表示
KPI 3 “HM2”	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍、钒及其化合物之和，以锑(Sb)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、钴(Co)、铜(Cu)、锰(Mn)、镍(Ni)、钒(V)表示

9 “X” 泛指任一种污染物

按单位排放量(g/吨熟料、mg/吨熟料、ng/吨熟料)计算排放量时必须使用水泥窑的加权平均值以确保数据准确，但排放量的绝对排放量(吨/年、千克/年、毫克/年)可通过每个水泥窑的总排放量相加计算。

运转率(运行能力或时间)每年低于50%的设施无需监测其重金属(Hg、Cd、Tl、Sb、As、Pb、Cr、Co、Cu、Mn、Ni、V)和PCDD/F排放。在该情况下，为了避免影响指标KPI 1和KPI 4的覆盖率，在计算这些指标时不考虑此类设施生产的熟料。

根据绝对值推断公司生产的熟料总量。

计算粉尘单位排放量和绝对排放量的示例：

A公司运行3座水泥窑：

- A水泥窑年产100万吨熟料，单位粉尘排放量为10克/吨熟料，绝对粉尘排放量为10.0吨/年，
- B水泥窑年产50万吨熟料，单位粉尘排放量为40克/吨熟料，绝对粉尘排放量为20.0吨/年，
- C水泥窑年产40万吨熟料，单位粉尘排放量为100克/吨熟料，绝对粉尘排放量为40.0吨/年，

$KPI\ 3\ \text{“粉尘”} = (10\text{克} \times 1,000,000\text{吨} + 40\text{克} \times 500,000\text{吨} + 100\text{克} \times 400,000\text{吨}) / (1,000,000\text{吨} + 500,000\text{吨} + 400,000\text{吨}) = 36.8\text{克/吨熟料}$ ，

$KPI\ 3\ \text{“粉尘”} = 10.0\text{吨} + 20.0\text{吨} + 40.0\text{吨} = 70.0\text{吨/年}$

如果A公司运行一座年产20万吨熟料的D水泥窑且未报告单位粉尘排放量，则指标将为：

$KPI\ 3\ \text{“粉尘”} = 36.8\text{克/吨熟料}$

$KPI\ 3\ \text{“粉尘”} = 70.0\text{吨} \times (1,000,000\text{吨} + 500,000\text{吨} + 400,000\text{吨} + 200,000\text{吨}) / (1,000,000\text{吨} + 500,000\text{吨} + 400,000\text{吨}) = 77.4\text{吨/年}$

如因汞在前一年低于临界值而在当年未监测其排放，或未依照指南中设定的频率测定其它重金属或二噁英和呋喃，则在进行报告时应使用最近监测的单位值。绝对值通过报告年份生产的熟料总质量乘以单位值得出。

汞的单位排放量的计算示例：

2009年，监测A窑烟囱的单位汞排放量为20毫克/吨熟料。2010年未进行监测，且A窑生产了100万吨熟料，则2010年报告的汞排放应为：

$KPI\ 3\ \text{“Hg”} = 20.0\text{毫克/吨熟料}$ ，与

$KPI\ 3\ \text{“Hg”} = 20\text{毫克} \times 1,000,000\text{吨} = 20.0\text{千克/年}$

重金属排放涵盖相关重金属及其化合物，以气态、蒸气和冷凝形式的排放。

#### KPI 4 “X”：污染物“X”的覆盖率

本KPI表明对污染物“X”实施监控的水泥窑生产的熟料所占百分比。



## 6 报告

环境报告的目的是为读者提供报告实体真实的环境足迹。因此，排放报告需要符合若干标准：

- 数据必须一致、透明、可靠
- 数据必须以清楚标准的格式呈现
- 数据必须符合质量保证要求(见第4.2节)
- 数据必须以绝对排放量和单位排放量报告
- 报告必须提供一个灵活的工具，以适应不同监控和报告目的的需要。

### 6.1 覆盖了哪些设施？

公司可从下列方式中选一种来设定本协议定书涵盖的排放数据报告的组织边界。

- 股权法
- 控制法(经营或财务)
- 以上两种方法的组合

公司需在公共报告中明确说明采用了何种方法以及确切的报告范围。

本协议定书适用《WRI/WBCSD公司温室气体报告和统计标准》中概括的定义。

新建或购买的实体/设备/设施最迟应在其熟料产出后的第二年或购买后第二年即遵守本协议定书。

停止运行或出售当年的实体/设备/设施数据在该议定书中不按整年计入。

然而，在计算公司报告的绝对排放时应考虑两种情况下熟料的产量。

示例：

如果在2009年5月购买了一条生产线，则应在2011年遵守该议定书，即在2012年报告2011年的数据。

### 6.2 报告频率和期限

各公司应每年各自报告KPI值。各公司可自行决定选用何种文档进行报告(如环境或可持续性报告、网站等)。

排放报告可基于财务年而不是自然年。如能始终如此，无时间中断或重叠，其将有助于降低报告成本且不会引起任何问题。报告年度期间的任何变化均应明确表明。同时应遵守国家规定和适用的反托拉斯法规。

### 6.3 报告排放目标

根据CSI《行动日程》，各CSI成员公司将制定、发布并报告各自的粉尘、NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>目标值。

### 6.4 排放监控报告的格式

应按表5中的格式报告KPI。

表5: KPI报告表格

公司名称				
报告期				
KPI 1整体覆盖率				%
KPI 2连续监测覆盖率				%
KPI 3排放数据和KPI 4覆盖率				
污染物	单位排放量	绝对排放量		覆盖率
"粉尘"	克/吨 熟料	吨/年		%
"NO <sub>x</sub> "	克/吨 熟料	吨/年		%
"SO <sub>2</sub> "	克/吨 熟料	吨/年		%
"VOC/THC"	克/吨 熟料	吨/年		%
"PCDD/F"	纳克/吨 熟料	毫克/年		%
"Hg"	毫克/吨 熟料	千克/年		%
"HM1"	毫克/吨 熟料	千克/年		%
"HM2"	毫克/吨 熟料	千克/年		%

## 6.5 排放数据的验证

为制定一项标准的验证方法，并提高CSI排放关键绩效指标报告对利益相关方的透明性、可靠性和准确性，必须依照下列要求独立验证这些关键绩效指标：

表6: 验证要求

项目	要求
验证等级	公司级的有限鉴证
验证人的声誉	验证人必须为权威独立的第三方验证从业者。
验证数据的范围	CSI关键绩效指标(KPI): KPI 1: 整体覆盖率 KPI 2: 连续排放监控的覆盖率 KPI 3 "粉尘、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> ": 粉尘、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 的排放数据 KPI 4 "粉尘、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> ": 污染物粉尘、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 的覆盖率
验证频率	每两年一次，验证来自两年的数据
覆盖的厂址	由验证人确定并明确说明核查的业务部门的数量和地点，以及报告污染物的平均质量百分比。
验证标准	验证人必须采用ISAE3000* (或等效标准)和CSI排放指南，并在验证书中明确引用这些标准。
实质性临界值	5%
验证声明	验证人必须向CSI成员提供一份验证声明，概述排放KPIs的结论并明确说明CSI排放指南的使用、核查地点的数量和相应的排放覆盖百分比。

\* 《国际鉴证业务标准》



## 7 参考资料

### **EIPPC 2010**

水泥和石灰制造业最佳可行技术参考文件。EIPPC (欧洲污染防控综合局), 塞维利亚, 2010年5月

### **IED 2010**

欧洲议会和理事会关于工业排放的指令, 布鲁塞尔, 2010年11月。

### **NPI 1999**

水泥生产排放评估技术手册。国家污染物名录, 1999年8月。

### **EPA AP-42 1995**

AP-42, 第5版, 第1卷, 第11章: 矿物产品行业; 第11.6节: 波特兰水泥的制造, 1995年1月。

### **NAEI 2009**

英国国家大气排放物名录, 2009年。数据见 <http://www.naei.ork.uk>。

### **Battelle 2002**

走向可持续的水泥行业 - 子课题研究10: 提高环境、卫生和安全业绩。WBCSD的AEA技术研究, 2002年12月。可从[www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org) 网站获得。

### **VDZ 2001**

2001年德国水泥行业环境数据。德国水泥协会, 杜塞尔多夫, 2002年。

### **SINTEF 2006**

水泥行业持久性有机污染物(POP)的形成和排放。挪威工业和科技研究基金会, 第2版, WBCSD, 2006年1月

### **WBCSD-WRI 2004**

温室气体议定书: 公司统计和报告标准, 修订版, 2004年。

## 技术附件

A1	简介	16
A2	排放监测——术语	17
A3	连续排放监控系统 (CEMs)	18
	A3.1 CEMs 的选择标准	
	A3.2 CEMs 的质量验证	
A4	不连续监测	20
	A4.1 承包商的选择和评估标准	
	A4.2 监测标准：取样和分析	
	A4.3 检出限的最低要求	
	A4.4 测试厂发布的报告建议	
A5	数据的代表性和验证	23
A6	数据报告	24
A7	重大变化	28
A8	附加信息和其它参考资料	29
附录		31
	AA 连续排放监控系统：技术概述	
	AB 检出限：参考值	



## A1 简介

本技术附件是水泥可持续倡议行动组织(CSI)发行的《水泥行业排放监控和报告指南》第2版(2012年)的配套文件,其中详细说明了在排放监控和报告过程中对监控、检测设备的维护、报告和质量验证的要求。

本文中的要求一般与下列事项相关:

- 粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、挥发性有机化合物(VOCs)连续排放监控(CEM)设备安装,运行相关专门技术,和CEM设备在正常预定周期内的校准和维护;
- 上述污染物和挥发性有机化合物、二噁英/呋喃、重金属(HM)按确定频率的间断监测;
- 执行测定的机构的能力水平,能力合格证明;以及
- 应以标准格式报告排放数据,使公司能够对内或对外交流排放数据。



## A2 排放监测—术语

**分析函数：**仪器的响应与(表观)真实数值之间通过标准程序确定的(数学)关系。

**自动监测系统(AMS)：**永久安装在现场用于连续监控排放的监测系统；又称为**连续排放监控器**

**校准：**通过比较由基准方法获得的数值与监测仪器的响应以确定响应偏差。校准是在工厂连续运行的情况下确定或检查监测仪器分析函数的一种手段

**校准气体：**具有准确成分的气体。校准气由专业公司制备

**浓度：**排放物质的质量与排放气体体积之间的关系(如每立方米毫克数[mg/m<sup>3</sup>])

**数据验证：**保证分析用数据准确(正确)的一种方法

**数据核准：**保证数据准确(正确)的一种方法

**排放：**直接或间接排出的存在于废气中的大气污染物

**排放限值(ELV)：**标准条件下确定和计算的某种排放物质在一个或多个周期内不可超过的质量，以特定参数(浓度、排放水平)表达

**废气：**从烟囱向大气释放的气体，其中可能含有气态、颗粒或气溶胶的污染物。

**检出限(LOD)：**某种物质的最小检出量

**定量限值(LOQ)：**某种物质按规定的确定度(通常为95 [%])可定量的最小浓度；又称为**检出限**

**质量流：**某种物质在单位时间内排放的质量(如每小时克数[g/h])

**运行模式：复合运行：**水泥窑废气被系统除尘器处理前全部或部分流经生料磨机

**直接运行：**水泥窑废气不通过生料磨机系统直接流向系统除尘器(如生料磨机未运转时)

**基准材料：**具有足够均质的一种或多种属性，并且适用于校准和/或验证检测系统的材料或物质

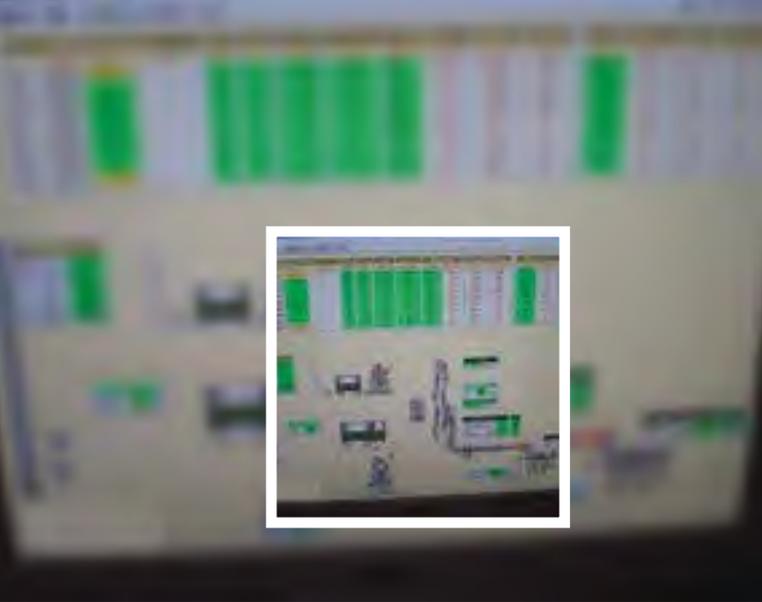
**基准方法：**由权威技术组织制定的，用于确定一个变量的检测程序。

**取样周期：**在充足的时间间隔内进行检测活动

**取样位置：**废气通道内进行取样的位置

**取样站：**用于进行监测并装有监测设备的工作平台

**标准基准方法(SRM)：**公认的标准化检测方法，出于核准目的而在现场临时使用。



## A3 连续排放监控系统(CEMs)

### A3.1 CEMs的选择标准

需监测的污染物应依照法规和运行许可要求,指南的承诺和公司签订的其它自愿性协议确定。除污染物外,还必须有其它相关参数。这些参数包括氧气、水分、气流、压力、温度和窑系统的熟料产量。

对于每种确定的污染物和参数,应评估其在水泥窑不同运行情况:启动、停机、复合或直接模式(气体通过生料磨机或直接通往除尘器)下,以及原燃料特性下的排放水平和值。

监测范围应依照许可条件和预计浓度设定。

应特别注意采样。可参考

国际标准ISO 10396:2007《固定源排放 – 用于永久安装监测系统的气体排放浓度自动测定的取样》中的取样方法示例。

应在本文件介绍的成熟技术范围内选择CEMs。

表A1: 粉尘和气体监控一览表

污染物	推荐的测定方法
粉尘浓度 <20 mg/Nm <sup>3</sup>	散射光法
粉尘浓度 >20 mg/Nm <sup>3</sup>	光传输法
NO	非分光红外光谱(NDIR) (冷和热)/傅里叶转换红外光谱(FTIR)/差分紫外吸收光谱(DOAS-UV)
NO <sub>2</sub>	FTIR/NDIR(冷)和转换器/计算 <sup>1</sup>
SO <sub>2</sub>	NDIR(冷和热)/FTIR/DOAS-UV
VOC	FID(火焰离子化监测器)

表A2: 参数一览表

参数	推荐的测定方法
O <sub>2</sub>	ZRO <sub>2</sub> 法(氧化锆)/顺磁法
水分	NDIR(热)/FTIR/激光法/ 固定值 <sup>1</sup>
体积流量	超声法/差压原理
温度	Pt100-传感器/ 安装的原位分析器
绝对压力	综合原位分析器/固定值 <sup>1</sup>
气体压力	单独传感器/综合体积流量 (差压)/固定值 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> 可使用基于实测或计算结果的默认值作为替代

供应商能否提供本地技术支持极为重要；如果没有良好的本地技术支持，最好的制造商生产的最好的分析仪也无法高效使用。

除分析仪本身外，还应注意与分析仪的运行和排放数据的可获得性相关(或对其是必须)的辅助设备和服务：如分析仪的遮罩/柜、空调、总体布局、电力和压缩空气的供应、零点和校准气、保护规程、数据记录等。

分析仪的适用性应通过权威机构认证，或根据国家的要求进行性能测试以通过证明和正式批准。

检测结果的质量同样非常重要，检测结果由供应商报告，可通过监测不确定度来量化）。在国际标准ISO 14956:2002《通过与规定的监测不确定度进行比较来评估检测方法的适用性》和EN 15267-3:2008《自动检测系统的认证——用于固定源排放监控的自动检测系统的性能标准和试验程序》中可找到监测不确定性以实现量化的示例。

### A3.2 CEMs的质量保证

为了让CEMs能够得到并持续提供高质量的数据，需要从CEMs试运行开始就制定并实施一些行动规范，包括例行检查、维护和定期校准。

验收检测舱时，工厂对CEMs试运行的管控应包括设备试验、仪器保护规程、泄露检查、使用基准材料检查零点和量程。粉尘监控器和气态污染物用CEMs须经校准。根据粉尘的浓度可采用不同的手工重量分析法进行粉尘校准，如国际标准ISO 9096和ISO 12141中的校准方法，后一

种国际标准主要是针对废气中低浓度的情况。应采用与气态污染物用CEMs并行的标准基准方法(SRM)进行校准，并且无论哪种情况都必须建立分析函数。在国际标准ISO 11095:1996《基于基准材料的线性校准》中可找到校准方法的示例。对其建立分析函数的工艺条件和污染物浓度范围(或区间)须经准确评估。在条件发生重要更改，如工厂运行的重要变化(改变废气回收系统、更换或大修CEMs)，或污染物浓度显著超出校准范围时需要建立新的分析函数。采用标准基准方法(SRM)的分析函数必须至少每五年重建一次。如有必要，应确定不同运行条件下的分析函数。

工厂必须格制定并全面执行操作例行检查和维护。操作规程必须包括对报警电话的仪器检查、使用基准材料定期检查泄漏、零点和量程。

尽管使用SRM进行校准，但还必须依照制造商的建议使用参照材料检查CEMs的零位偏移和跨度，并在必要时进行调整。

维护规程必须包括根据制造商建议检查取样点(预过滤器)、气体处理系统、分析仪和辅助设备以及更换旧零件(工厂应储存备件)。

维护周期取决于当前的运行参数，如粉尘浓度和性质、气体温度、气体成分和环境条件等。应依照设备制造商的建议/规定维护CEM设备并对仪表进行例行检查。至关重要的一点是各工厂的内部维护人员须经培训有能力解决CEMs日常运行中可能产生的问题。因此，在评估不同供应商的设备时很重要的一点是考虑对工厂人员进行维护培训。



## A4 不连续监测

### A4.1 承包商的选择和评估标准

检测和分析应由经验丰富的承包商或主管机关认可的机构(测试厂)进行。在国家规范要求时,公司应验明测试厂的认可和认证,或主管机关对其测试协议的批准。

公司应检查测试厂在成分分析方面的经验。

测试厂应已实施质量保证体系。质量保证方法的示例可从国际标准ISO 9001:2008和ISO 17025:2005《测试和校准实验室能力的通用要求》中找到。其中规定了测试厂应符合的要求以证明其执行合格的体系并在技术上有能力得出有效结果。

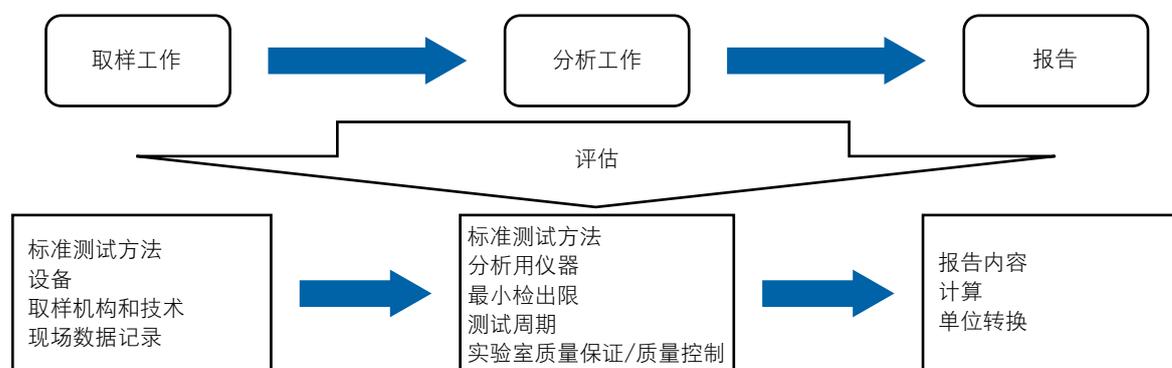
评估应基于对烟囱活动的监测:取样、分析和报告。每个工作步骤均影响结果的准确性。

在工厂、业务部门和/或技术中心需要测试厂提供烟囱取样服务时,建议书中应包括以下内容供全面评估:

- 现场具体方法说明、风险评估和安全记录;
- 采用的标准和参照方法,包括正确的标题和修订日期;
- 使用设备的详述;
- 团队资质和经验;
- 质量保证/质量控制程序;
- 实验室设备的详细介绍;
- 分析用实验室设备的检出限,取样方法和样品制备;以及
- 测试厂烟囱排放测试的经验(如证明信)

公司的评估应建立在对建议书进行文件审查的基础上。技术和质量方面的评估要符合标准及参考方法的要求。图A1给出了建议的评估流程。

图A1: 承包商选择的建议评估流程



## A4.2 检测标准：取样和分析

下表汇集了可用于不连续监测的标准和参照方法。其中指出了可能给出现场数据或连续数据(通过分析仪)的取样和检测类型，以及仅能进行取样或可同时进行取样和分析的标准和方法的范围。

工厂应依照标准和参照方法提供合适的取样位置。确定合适的取样位置可参考标准 **EN 15259:2007** 《固定源排放的监测 - 监测区域和场所的要求及监测对象、规划和报告的要求》。标准和参照方法可指导工厂正确确定取样位置和工作平台。

表A3：取样的标准和参照方法(污染物)

污染物	标准/基准方法	现场/连续	取样/分析
粉尘	EN 13284-1:2002	现场	取样和分析
	US EPA方法5, 5i, 17	现场	
	ISO 9096:2003	现场	
	ISO 12141:2002	现场	
氮氧化物 (NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> )	EN 14792:2006	连续	取样和分析
	US EPA方法7 E	连续	
	US EPA方法7 (A to D)	现场	
	ISO 10849:1996	连续	
硫氧化物 (SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> )	ISO 11564:1998	现场	取样和分析
	EN 14791:2006	现场	
	US EPA方法6 C	连续	
	US EPA 6, 6A, 8	现场	
	ISO 7935:1992	连续	
汞Hg	ISO 7934:1998	现场	取样
	EN 13211:2001-2005	现场	
	EN 14884:2005	连续	
重金属	US EPA方法29, 101A	现场	取样和分析
	EN 14385:2004	现场	
挥发性有机化合物 (VOC/THC)	US EPA方法29	现场	取样和分析
	EN 13649:2002	现场	
	EN 12619:2000	连续	
二噁英/呋喃(PCDD/F)	US EPA方法25A	连续	取样和分析
	EN 1948-1/2/3/4:2006	现场	
	US EPA方法23	现场	

表A4：取样的标准和参照方法(参数)

参数	标准/参照方法	现场/连续	取样/分析
气体速率、水分和氧气浓度			
流量和流速	US EPA 1, 2	连续	监测
	ISO 10780:1994	连续	
水分(水蒸气)	EN 14790:2005	现场	取样和分析
	US EPA 4	现场	
氧气浓度	EN 14789:2006	现场	取样
	US EPA 3, 3B	现场	
	US EPA 3A	连续	取样和分析

建议使用这些标准和参照方法。此外，还可采用国家标准确定的方法与推荐标准和参照方法等效的经过认可的方法。使用等效方法前应通过重复至少一次的试验将其与推荐标准和参照方法进行比较。

### A4.3 检出限的最低要求

检出限(LOD)是通过分析方法可检测浓度的最低值。LOD值取决于取样、样品制备和采用的分析方法，因此采用不同方法或不同测试厂的检出限可能不同。LOD值并不限于分析部分，还应包括整个工艺、取样和分析。测试厂应报告检出限，且LOD其应成为选择合适测试厂的一个决定因素。

应注意与重金属(HM)、二噁英和呋喃相关的LOD。

附件B报告了检出限。

### A4.4 测试厂发布的报告建议

报告应提供监测对象和监测方案的说明和监测的综合统计。报告应提供足够详细的资料以便通过计算将结果追溯到采集的基本数据和工艺运行条件。在标准EN 15259:2007《固定源排放的监测 – 监测区域和场所的要求及监测对象、规划和报告的要求》中可找到报告信息的参考。

报告应包括以下信息：

- 提供以下信息的综合摘要：
  - 进行监测的工厂的介绍
  - 测试厂和实验室的介绍
  - 监测对象
  - 监测的污染物和参数
  - 取样时间
  - 监测不确定度
  - 采用的检测方法
  - 来自检测计划和方法的偏差
  - 监测结果
- 按监测对象的要求界定项目
- 工厂和运行条件描述
- 监测点确定
- 依照标准对于检测方法和设备的确定
- 监测期间工厂的运行条件
- 介绍如何获取并使用原始数据进行核准
- 监测结果和其它用于解释结果的必要相关数据
- 计算过程
- 结果的表述
- 应遵守标准中的报告要求。应报告并记录与标准和监测计划的任何偏差



## A5 数据的代表性和验证

各公司必须建立各自的数据验证程序。

各公司必须为排放的监控、验证和记录分配资源并指定责任。

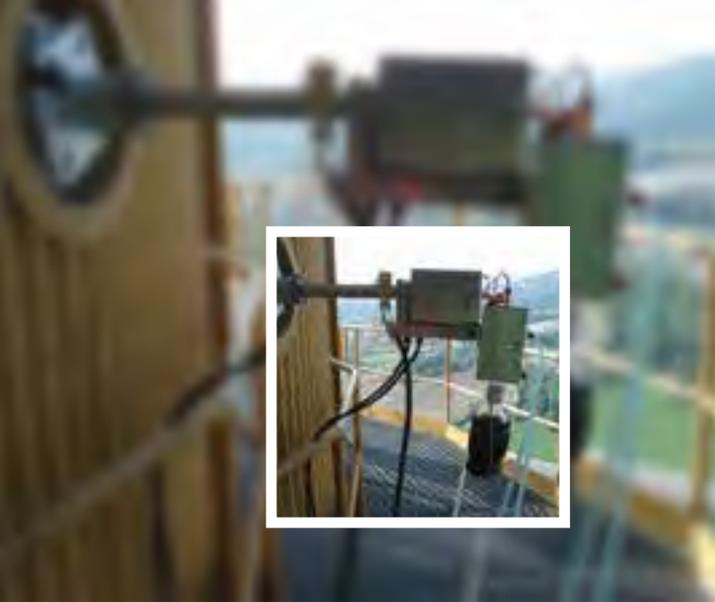
必须对需要评估数据一致性的连续监测和不连续监测实施一项质量保证程序。如果浓度、流速和排放因子超出水泥窑的常规范围，则可能出现监控错误。

验证程序应比较同一水泥窑和污染物在不同年份和月份监控的排放。如果排放出现的差异不能通

过活动水平的变化、燃料和原料性质的变化或工艺升级等来解释，则可能出现监控错误。

测试厂应向公司提交一份报告初稿供评审。负责人应检查报告是否与提交给测试厂的订单一致且包括订单中规定的信息，以及数据是否符合上述保证程序。

报告初稿被公司接受后成为终稿，之后记录报告并存档。



## A6 数据报告

世界范围内的排放报告应有统一标准，为了促成统一的标准，建议安装一个排放数据处理和评估系统(即使权威机构未明确要求)，或至少安装一个可快速准确地获取并报告每个水泥窑排放信息的工具。

数据的获取和管理应能报告下列参数：

- 连续监测的粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>以及一些情况下 VOCs 的浓度可用于基于小时、日、月和年的平均浓度计算。
- 连续监测的粉尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>以及某些情况下 VOCs 的质量可用于按小时、日、月和年来确定排放量。CSI 报告仅包括年质量值，所附有的更短期限的质量值可以增加年质量值的准确性。
- 依照所有法定要求的数据验证<sup>10</sup>。

此外，还应符合下列要求：

- 用于测定质量的浓度和流量被转换为测定质量的相同基准。
- 除主管机构另有规定外，建议将所有浓度和流量值转换为基准条件：O<sub>2</sub> (10%)，干基。

- 获取的数值的整合期最长为每小时一次，建议每半小时一次为佳。用于计算平均值的整合期应在运行周期范围内。
- 运行周期由地方主管部门确定。如无地方法规，则依照除启动和停机时间外的有效运行时间确定。

### A – 报告约定

#### 参考状态

温度和压力：

$$T_{\text{参考值}} = 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{参考值}} = 101,3 \text{ kPa (1013 mbar)}$$

水分和氧气浓度

$$f_{\text{参考值}} = 0\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$O_2_{\text{参考值}} = 10\% \text{ O}_2$$

可使用其它氧气浓度的基准值，但在使用时应明确说明。

<sup>10</sup> 建议监控连续排放监控器的状态信号(错误、维护等)，并计算每项测量的适用性。

## 转换

监测数据 ( $C_{\text{测量值}}$ ) 应根据检测方法依照基于 ( $C_{\text{测量值}}$ ) 确立的条件计算:

$$C_{\text{修正值}} = C_{\text{测量值}} \times \frac{21 - O_{2\text{参考值}}}{21 - O_{2\text{测量值}}} \times \frac{T_{\text{测量值}} + 273}{T_{\text{参考值}} + 273} \times \frac{P_{\text{参考值}}}{P_{\text{测量值}}} \times \frac{100 - f_{\text{参考值}}}{100 - f_{\text{测量值}}}$$

## 浓度 ([ppm] 到 [mg/Nm<sup>3</sup>])

$$C[\text{mg}/\text{Nm}^3] = \frac{\text{摩尔质量}[\text{kg}/\text{kmole}]}{22.4[\text{Nm}^3/\text{kmole}]} \times C[\text{ppm}]$$

## 浓度 (对于参考 O<sub>2</sub>)

$$C_{O_2\text{参考值}} = C_{O_2\text{测量值}} \times \frac{21 - O_{2\text{参考值}}}{21 - O_{2\text{测量值}}}$$

## 体积流量:

$$Q_{\text{参考值}}[\text{Nm}^3/\text{h}] = Q_{\text{测量值}}[\text{m}^3/\text{h}] \times \frac{T_{\text{参考值}}[\text{K}]}{T_{\text{测量值}}[\text{K}]} \times \frac{P_{\text{测量值}}[\text{kPa}]}{P_{\text{参考值}}[\text{kPa}]}$$

## 体积流量 (湿基到干基)

$$Q_{\text{干}} = Q_{\text{湿}} \times \frac{100 - \%H_2O}{100}$$

表A5: 气态、蒸气或颗粒状态的无机物

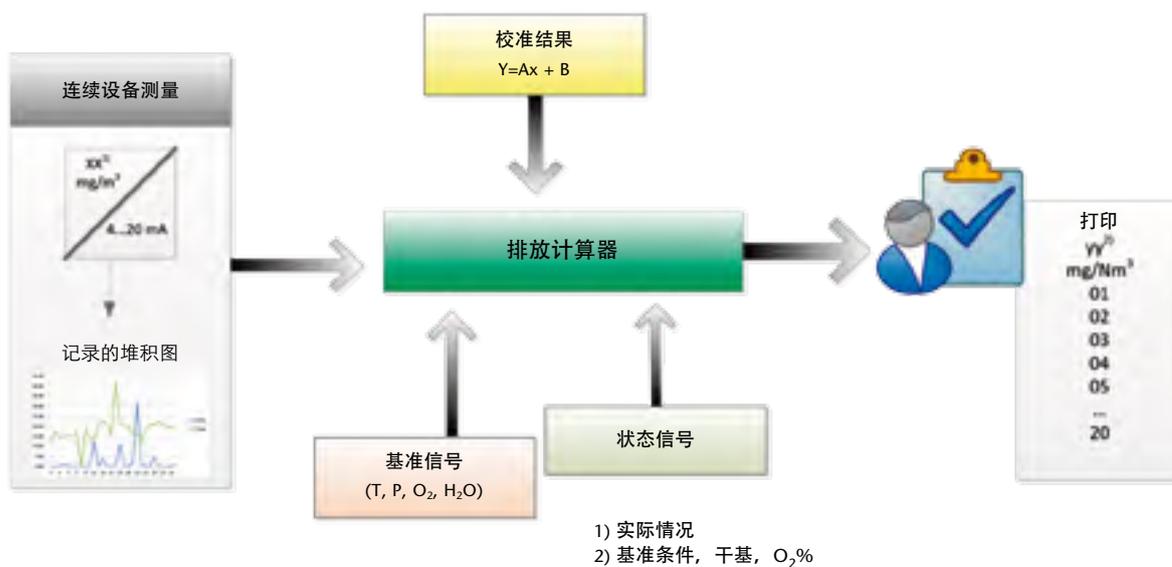
物质	注释
氮氧化物(NO <sub>x</sub> ) = 一氧化氮(NO) + 二氧化氮(NO <sub>2</sub> )	a) 如果分析仪仅监测NO [ppm]: $NO_x[\text{mg } NO_2/\text{Nm}^3] = \frac{46}{22.4} \times NO[\text{ppm}]$ 注: NO <sub>2</sub> [≤监测的NO的5%]所占份额忽略不计:
以NO <sub>2</sub> 表达: mg NO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> 、干气、10% O <sub>2</sub>	b) 如果连续分析仪监测NO [ppm]和NO <sub>2</sub> [ppm]: $NO_x[\text{mg } NO_2/\text{Nm}^3] = \frac{46}{22.4} \times (NO[\text{ppm}] + NO_2[\text{ppm}])$
硫化物(SO <sub>x</sub> ) = 二氧化硫(SO <sub>2</sub> ) + 三氧化硫(SO <sub>3</sub> )	连续分析仪仅监测SO <sub>2</sub> [ppm]: $SO_2[\text{mg } SO_2/\text{Nm}^3] = \frac{64}{22.4} \times SO_2[\text{ppm}]$
以SO <sub>2</sub> 表达: mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> 、干气、10% O <sub>2</sub>	注: SO <sub>3</sub> 可忽略, 实际操作中仅考虑SO <sub>2</sub>
重金属(Hg, Cd, Tl, Sb, Cr, Pb, Cu, Co, Mn, As, Ni和V). 表达为mg/Nm <sup>3</sup> 、干气、10% O <sub>2</sub>	重金属包括气态、蒸气和冷凝状态的重金属及其化合物的排放。

表A6：气态、蒸气或颗粒形式的有机物

物质	注释
挥发性有机化合物(VOCs) 以碳表达： mg碳/Nm <sup>3</sup> 、干气、10% O <sub>2</sub>	VOCs包括多种有机化合物并按挥发性有机化合物(VOC)或总碳氢化合物(THC)监测，其中包括甲烷和乙烷。
二噁英和呋喃(PCDD/F) 按ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> 、干气、10% O <sub>2</sub> 表达	其中I TEQ是2,3,7,8四氯苯并二噁英的国际毒性当量。

建议依照技术附件中的基准条件处理自动监测系统的数据。自动监测系统得到的数据必须能在任何情况下可整合到本文件规定的年排放量中。

图A2：自动监测系统



## B – 不连续监测—测试厂

必须对测试厂提交的不连续监测数据进行处理以获得报告的年单位排放量和绝对排放量。

年度数据：

浓度为按基准条件表示的各监测浓度的平均值。

质量流量可按下式确定：

浓度 × 气体流量 × 水泥窑运行时间

或：

浓度 × 单位气体流量 × 熟料产量

如何某个监测值低于检出限，按水泥窑报告的值应取检出限的一半。如有两个及以上监测值，其中至少一个值在报告中带有“<”号(小于检出限)，后面的值按检出限的一半计算并相应地计算最终的平均值。

如按照指南中设定的监测频率未进行某项监测并导致在报告年度缺少数据，可使用最近的单位排放(如浓度乘以单位气体流量)乘以熟料产量来报告特定污染物的质量排放。

无CEMs以及年度内未进行现场监测的年排放数据的报告：

如果无有效监测值，依照指南第2.0版第5章，公司平均单位排放可适用于未监测的水泥窑的产量。

### 确定水泥窑烟囱的单位流量

如果没有水泥窑烟囱气体流量的监测数据，可选用以下两种方法提供单位流量：(A)按热耗计算(B)不能按热耗计算时使用默认流量系数。

单位流量按0°C、1013mbars条件下表达。

A – 按传统燃料热耗计算：

$$v_{\text{tot}} = (0.25 \cdot q + 0.27) \cdot \left( 1 + \frac{O_2}{(21 - O_2)} \right)$$

$v_{\text{tot}}$ : 0°C、1013mbar和干气状态时的单位废气量；单位：Nm<sup>3</sup>/kg熟料，

q: 水泥窑的单位热耗；单位：MJ/kg熟料，

O<sub>2</sub>: 监测点的氧含量；单位：体积% (干)。

在能使公司报告保持一致的情况下，可使用其它公式。在这种情况下公式必须适用，并经过充分地证明。

B – 基准条件下的默认系数(单位Nm<sup>3</sup>/kg熟料)按水泥工艺类型确定：

表A7：不同水泥窑型的烟囱单位流量的默认系数。

工艺	系数(Nm <sup>3</sup> /kg-熟料)
AS预分解炉	2.2
AT预分解炉	2.2
预热器	2.2
半干法	2.3
干法长窑	2.7
半湿法	3.1
湿法	4.1



## A7 重大变化

在指南中，一些污染物可连续监测，但另一些却只能间断地监测。

根据污染物的不同，不连续监测的频率依照标准考虑到污染物典型排放水平、排放的变动性和潜在环境影响而设置为1年到2年不等。

但在工艺系统发生变化时，某种污染物的排放状况变化可能大于：

- 排放限值的20%，或
- 下表“浓度临界值”中的单位浓度，

此时，必须进行污染物不连续监测以评估烟囱的新排放状况。

表A8：浓度临界值

污染物	浓度 <sup>1</sup>
Hg	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
合计(Cd, Tl)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
合计(Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PCDD/PCDF按I-TEQ	20 $\text{pg}/\text{m}^3$

注  
<sup>1</sup> 基准条件下的浓度



## A8 附加信息和其它参考资料

ISO 10396:2007 – 固定源排放 – 用于永久安装监测系统的气体排放浓度自动测定的取样

ISO 14956:2002 – 通过与规定的监测不确定度进行比较来评估检测方法的适用性

ISO 9096:2003 – 固定源排放 – 颗粒物质量浓度的人工测定

ISO 12141:2002 – 固定源排放 – 在低浓度时颗粒物（粉尘）的质量浓度测定 – 手工重量分析法

ISO 11095:1996 – 基于基准材料的线性校准

ISO 10849:1996 – 固定源排放 – 氮氧化物质量浓度的测定 – 自动监测系统工作特性

ISO 11564:1998 – 固定源排放 – 氮氧化物质量浓度的测定 – 萘乙二胺分光光度法

ISO 7934:1998 – 固定源排放 – 二氧化硫质量浓度的测定 – 过氧化氢/高氯酸钡/钼试剂法

ISO 7935:1992 – 固定源排放 – 二氧化硫质量浓度的测定 – 自动监测的性能特征

ISO 11632:1998 – 固定源排放 – 二氧化硫质量浓度的测定 – 离子色谱法

ISO 10780:1994 – 固定源排放 – 管路中气流流速及流量的监测

ISO/IEC 17025:2005 测试和校准实验室能力的通用要求

EN 15259:2007 – 固定源排放的监测 – 监测区域和场所的要求及监测对象、规划和报告的要求

EN 13284.1:2002 – 固定源排放粉尘低质量浓度范围的测定手工重力法

EN 15267:2008 – 空气质量自动监测系统的认证 固定源排放监控用自动监测系统的性能标准和试验程序

EN 14792:2006 – 固定源排放 氮氧化物(NO<sub>x</sub>)质量浓度的测定 基准法：化学发光

EN 14791:2005 – 固定源排放 二氧化硫质量浓度的测定 参照法

EN 14884:2005 – 空气质量 固定源排放 总汞含量测定：自动监测系统

EN 14385:2005 – 固定源排放As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl和V总排放量的测定

EN 13649:2002 – 固定源排放 – 单项有机化合物的质量浓度的测定 – 活性碳和溶剂脱附法

EN 12619:2000 – 固定源排放 烟道气中总低浓度气态有机碳质量浓度的测定 连续火焰离子化监测器法

EN 13211:2001-2005 – 固定源排放 总汞浓度的人工测定法

EN 1948-1,2,3,4:2006或等效标准 – 固定源排放 PCDDs/PCDFs和二噁英类PCBs质量浓度的测定 PCDDs/PCDFs的取样

EN 14790:2005 – 固定源排放 管道中水蒸气的测定

EN 14789:2006 – 固定源排放 氧气体积浓度的测定

EN 14181:2004 – 固定源排放 自动监测系统的质量保证

US EPA方法5, 5i, 17 – 固定源排放 颗粒物的测定

US EPA方法6, 6a, 6c – 固定源二氧化硫排放的测定

US EPA方法7a至e – 固定源氮氧化物排放的测定

US EPA方法8 – 固定源硫酸和二氧化硫排放的测定

US EPA方法29 – 固定源重金属排放的测定

US EPA方法101a – 污水淤泥焚烧炉颗粒和气态汞排放的测定

US EPA方法25A – 使用火焰离子化分析仪测定气态有机物浓度

US EPA方法23 – 固定源多氯代二苯并-P-二噁英和多氯代二苯并呋喃排放的取样方法

US EPA方法1 – 固定源的采样和流速断面

US EPA方法2 – 烟道气速率和体积流率的测定

US EPA方法3 – 测定干分子量的气体分析

US EPA方法3A – 固定源排放中氧气和二氧化碳浓度的测定(仪器分析程序)

US EPA方法3B – 测定排放率修正因子或多余空气的气体分析

US EPA方法4 – 烟道气水分的测定

作为一家独立、中立、有资质的服务供应商，TÜV Rheinland在实施检查、控制和认证的过程中奉行完全公正的原则，并且与可能构成利益冲突进而降低行动结果客观性的制造商、安装商、营销商或其它机构不存在利益关系。

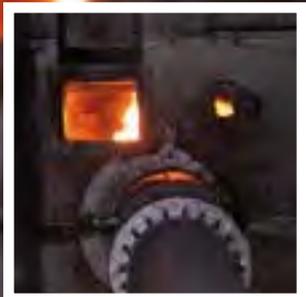
MCERTS是(英国)环保局的监控认证体系。环保局建立了其监控认证体系(MCERTS)以实现优质的环境监测。MCERTS的产品认证体系依照环保局的业绩标准(基于相关CEN、ISO和国家标准制定)为产品提供认证。

欧盟委员会 – 综合污染预防和控制(IPPC) – 监控总则的参考文件 – 2003年7月

欧盟委员会 – 水泥、石灰和镁行业最佳可用技术参考文件 – 2010年5月

欧洲议会和委员会2010年11月24日关于工业排放的欧盟指令2010/75/EU(IPPC)

国家有害大气污染物排放标准合规性监控(NESHAP)

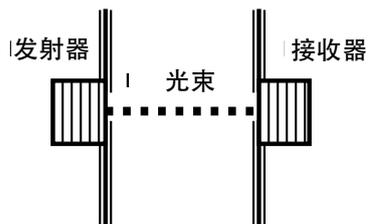


## 附录

### AA 连续排放监控系统：技术概述

直接在烟囱中进行原位监测，不提取气体。

图A3：原位监测装置原理



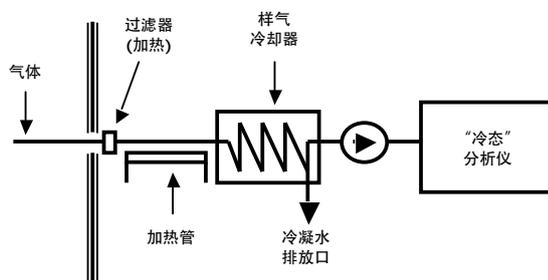
#### 提取监测仪器

在提取监测中从烟囱中提取一部分气流并输送到独立的分析系统。提取的气体在通过分析仪前须经净化。提取可通过“冷态”式(样品经冷却，水分已凝结)或“热态”式(保持样品热态)实现。

#### “冷态”提取监测装置

提取样品气体流后将其冷却至约4°C。水蒸气冷凝后将其排出系统，之后将气体输入分析仪。

图A4：“冷态”提取监测仪示例

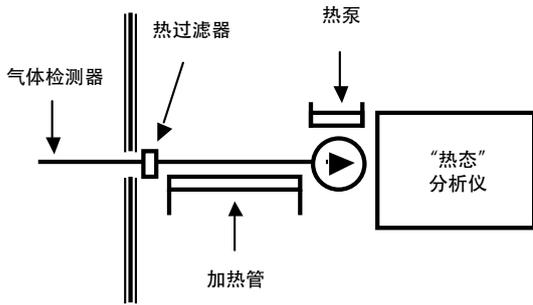


该装置的缺点与一些污染物与冷却器中的冷凝水发生的反应相关。因此，一些化合物如氨气、硫、氯化氢等随冷凝水被全部或部分“清洗”出去而导致无法实现准确监测。

#### “热态”提取监测装置

在不发生冷凝或化学反应的温度下提取并保存气体。根据监测的物质不同，该温度应保持在140°C至200°C之间。

图A5：“热态”提取监测仪示例



- **湿气粉尘浓度：**从废气流中收取定量的部分气流，直接在取样器中连续加热并通过清洁的热空气稀释。这样可立即降低热态样品中的相对湿度和气溶胶蒸发。之后在监测室内通过光学方法监测该部分气流。通过计量的稀释率校正信号并由此监测废气内的粉尘浓度。
- **提取式 $\beta$ 射线计微粒监测器：**通过监测从废气流中收集的颗粒对放射源发射的 $\beta$ 射线的吸收测定粉尘浓度。

## 粉尘分析方法

### 指示性

- **过滤器监测器/组合式探头传感器：**过滤器监视器通过摩擦电效应测定流动气体中的粉尘含量。由一个深入到烟道内的探头拾取灰尘微粒摩擦产生的电荷并通过电子设备将其转换为监测信号。

### 半定量

- **光学浊度/粉尘浓度监控器：**该仪器依照自准直原理通过双通道方法工作。光线两次穿过监测距离。监测并计算监测区域内粉尘浓度对光线的衰减。

### 定量

- **粉尘浓度监测器：**粉尘监视装置依照散射光法工作。一个卤素灯发射调制光并照射排气管道内的粉尘颗粒。监测并计算从颗粒反射的散射光。
- **粉尘浓度“前向散射”监测器：**粉尘监视器依照前向散射的原理工作。一个激光二极管发射集中的调制光束穿过监测空间。监测并计算粉尘颗粒大量反射的前向散射光。

## 无机气体的分析方法

- **DL(二极管激光器)：**监测原理基于不同气体成分对特定光线的吸收。如果气体分析仪使用单线分子吸收光谱，则二极管激光器发射一束穿过工业废气的近红外光并由一个接收装置探测。激光二极管输出的波长调制到特定的气体吸收线。激光以很高的光谱分辨率在该单吸收线连续扫描，结果为一条完全解析的单分子线并可按照吸收强度和线形进行分析。由于准单色激光在扫描光谱范围内仅能非常有选择性地被一条特定分子线吸收，因此监测不受交叉干扰。
- **IR(红外光谱)：**很多气态污染物吸收一个或多个光谱范围内的光能。每种污染物分子吸收特定波长的光，由此可将其从其它污染物种类中区分出来。将产生的一束红外光分为两束，使其中一束通过样品并使另一束通过参比池。两束光柱反射回监测器并比较两个信号。NDIR、DOAS和FTIR分析仪中通常使用一个红外源。

- **NDIR(非分光红外)**: 在NDIR分析仪中, 从一个光源发射红外线并通过两个气体池: 一个为参比池, 另一个为样品池。参比池中的气体(氮气或氩气)不吸收仪器使用的特定波长的光, 样品池含有样气。当红外光束穿过样品池时, 污染物分子将吸收一些光线。因此, 当光线从样品池末端射出时其能量将比射入时少。NDIR用于基于提取和原位原理的分析。
- **DOAS(差分吸收光谱)**: 该系统使用参照波长替代上述参照池。使用一个光源发射多种不同波长的光线并穿过容纳样气池。使用未被吸收能量的波长上的探测信号作为参比, 监测在能量被吸收的波长上获得的信号。DOAS用于基于提取和原位原理的分析。
- **FTIR(傅里叶变换红外光谱)**: “热态”提取式FTIR分析仪具有多个组件包括一个迈克尔逊干涉仪用于分离并重组红外线以生成标准干涉(干涉图)。干涉图具有所有数据点的特征(一种活动镜位函数), 其构成的信号包含光源产生的所有红外线频率的信息。使用一种被称为傅立叶变换的数学技术“解码”单独的频率。

### 有机污染物的分析方法

- **FID(火焰离子化监测器)**: 将样气导入FID中的氢焰中。样品中的任何碳氢化合物在燃烧时均产生离子。离子由一个经高直流电压加偏压的金属捕捉器监测。由此通过该捕捉器的气流与离子化率成正比, 而离子化率取决于样气中的碳氢化合物浓度。

### 氧和流量的监测

- **流量监测(超声监测原理)**: 两个与气流轴线成特定角度安装的超声传感器交替作为发射器和接收器, 即每个传感器交替发射和接收超声脉冲, 脉冲在顺气流方向(“前向”tf)传送时加速, 逆气流方向(“逆向”tr)传送时减速。由此产生的传送时间之差用于确定平均气体速率。通过横断面面积可得出操作期间的体积流量。
- **二氧化锆氧分析仪**: 依照电流传感器监测原理可进行精确的监测。这意味着在设定固定物理零点的整个监测范围内可得到一个线性传感器信号。一股被连续监测的气流通过加热的固体电解池。对温度 $\geq 650^{\circ}\text{C}$  ( $\geq 1,200^{\circ}\text{F}$ )的电解池电极施加ADC电压以测定 $\text{O}_2$ 浓度。之后监测电解质中的 $\text{O}_2$ 离子流。该方法源自 $\text{O}_2$ 浓度和每时间常数内通过的气体量之间的线性关系。

## AB 检出限：参考值

图A9：检出限的参考值

污染物	单位	检出限 <sup>1)</sup>
Hg	μg/m <sup>3</sup>	3-6
Cd	μg/m <sup>3</sup>	2-5
Tl	μg/m <sup>3</sup>	4-6
Sb	μg/m <sup>3</sup>	5-8
As	μg/m <sup>3</sup>	5-8
Pb	μg/m <sup>3</sup>	10-20
Cr	μg/m <sup>3</sup>	10-15
Cu	μg/m <sup>3</sup>	8-12
Co	μg/m <sup>3</sup>	10-15
Mn	μg/m <sup>3</sup>	5-8
Ni	μg/m <sup>3</sup>	6-9
V	μg/m <sup>3</sup>	5-8
PCDD/PCDF	pg/m <sup>3</sup>	0.1-4 <sup>2)</sup>

注

<sup>1)</sup> 数据来源：德国水泥行业研究所(VDZ 2010)，不包括PCDD/PCDF。

<sup>2)</sup> 依照EN 1948 1/2/4:2006以I-TEQ来报告的17种同系物之和。

## 世界可持续发展工商理事会(WBCSD)简介

世界可持续发展工商理事会是一个由CEO领导的由具前瞻性的公司组成的组织，致力于唤醒全球工商界为商业、社会和环境创造一个可持续的未来。理事会运用其受尊重的思想领导力和广泛的拥护与其成员共同开发建设性解决方案并采取共同行动。凭借与商业主要利益相关方的坚实关系，理事会帮助推动有利于可持续发展解决方案的讨论和政策变更。

WBCSD为其200多家成员公司(代表了各大洲的所有商业部门，综合收入超过7万亿美元)提供了一个论坛供其分享与持续发展问题相关的最佳实践，并开发改变现状的创新性工具。理事会同样受益于一个由60多个主要分布在发展中国家的国家和地区商业理事会及成员组织构成的网络。

[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)

## 水泥可持续倡议行动组织(CSI)简介

CSI是由24家在全球100多个国家有运营的主要水泥生产商组成的全球组织。这些公司的总产量约占全球水泥产量的三分之一，它们中既有规模较大的跨国公司，也有较小的地方生产商。所有CSI成员在寻求强劲的财务业绩的同时承担着同等的社会和环境责任，因此它们均将可持续发展整合到了其发展战略和业务中。CSI是世界可持续发展工商理事会(WBCSD)的一项倡议行动。

[www.wbcsdcement.org](http://www.wbcsdcement.org)

## Disclaimer 免责声明

This report is released in the name of the WBCSD. It is the result of a collaborative effort by members of the secretariat and executives from member companies participating in the Cement Sustainability Initiative (CSI). Drafts were reviewed among CSI members, so ensuring that the document broadly represents the majority view of this group. This does not mean, however, that every member company agrees with every word.

本报告以WBCSD的名义发布。本报告是参加水泥可持续倡议行动组织(CSI)的成员公司选派的秘书处成员和执行官共同努力的成果。CSI各成员已审查了草稿以确保本文件广泛地代表了本集团的主流意见。但这并不意味每个成员公司对本文每一句话都完全赞同。

原始版面：  
Estelle Geisinger

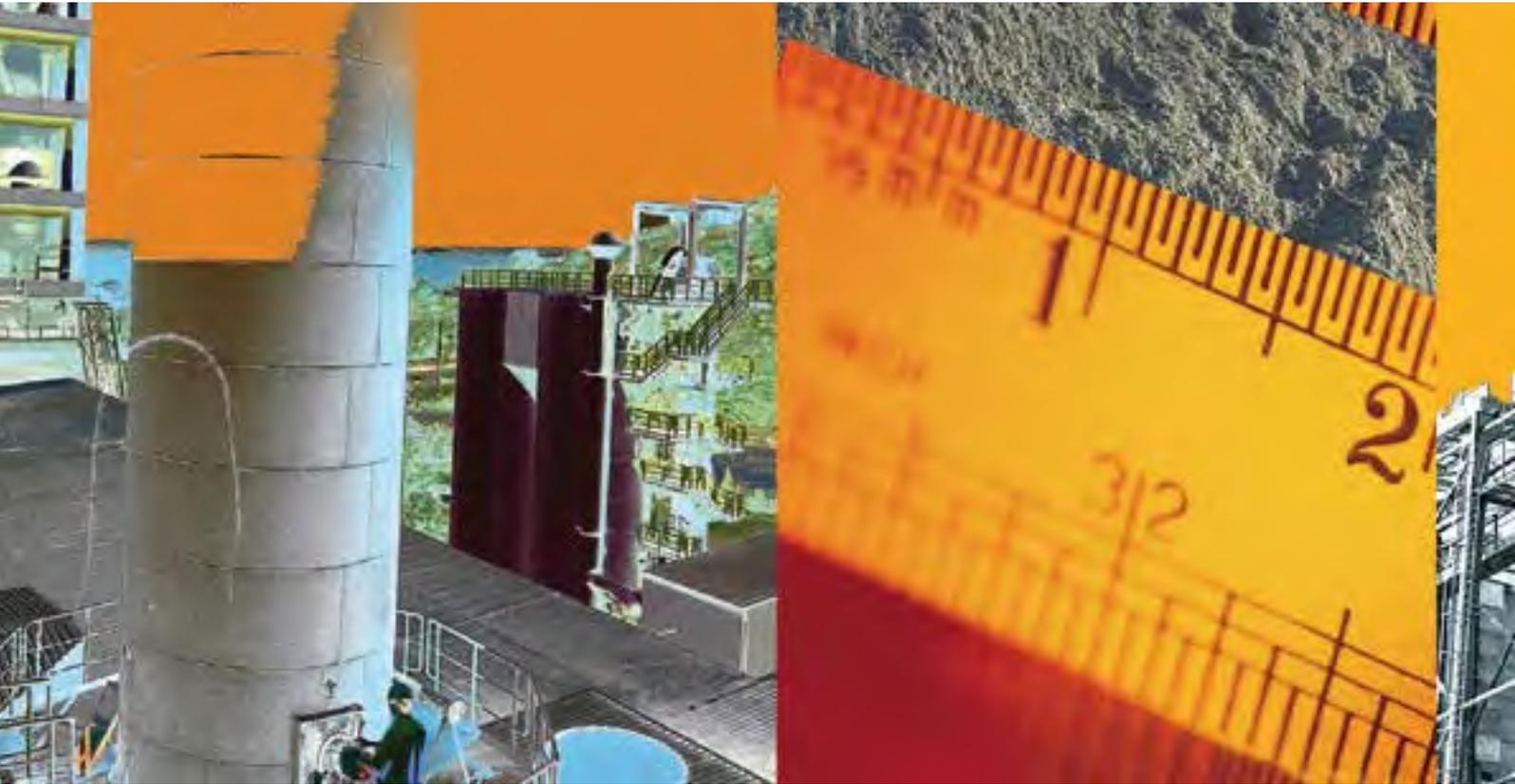
2.0版：  
服务理念

供图：  
感谢CSI成员公司

版权：  
© WBCSD, March 2012

ISBN：  
2-940240-77-9





World Business Council for Sustainable Development

4, chemin de Conches, CH-1231 Conches-Geneva, Switzerland, Tel: +41 (0)22 839 31 00, E-mail: [info@wbcsd.org](mailto:info@wbcsd.org)  
1500 K Street NW, Suite 850, Washington, DC 20005, US, Tel: +1 202 383 9505, E-mail: [washington@wbcsd.org](mailto:washington@wbcsd.org)

[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)