

附件 5

《水泥工业污染防治最佳可行技术指南》  
(征求意见稿)

编制说明

**项目名称：**水泥工业污染防治最佳可行技术指南

**体系代码：**20.3.1

**起草单位：**中国环境科学学会、合肥水泥研究设计院、西安建筑科技大学、安徽海螺集团有限责任公司、中国联合水泥集团有限公司、中国水泥协会、西安西矿环保科技有限公司、南方水泥有限公司、河南中材环保有限公司、江苏科行环境工程技术有限公司

**主要起草人：**易斌、毛志伟、刘平、党小庆、张鉴秋、李光明、孔祥忠  
娄汉明、侯广超、陈幼荣、刘怀平等

**中国环境科学学会项目管理人：**刘平

**环保部科技标准司项目管理人：**何连生

# 目 录

图目录	4
表目录	4
1 任务来源	1
2 指南编制的意义	1
3 编制原则方法及依据	1
3.1 编制原则	1
3.2 编制方法	2
3.3 法律及技术依据	2
4 主要编制工作过程	3
5 国外水泥工业最佳可行技术指南体系概况	4
5.1 欧盟水泥工业 BAT 概况	4
5.2 日本水泥工业 BAT 概况	4
5.3 美国水泥工业 BAT 概况	5
6 我国水泥工业及污染防治状况	5
6.1 我国水泥工业概况	5
6.2 水泥工业污染现状	7
6.3 水泥工业发展趋势及特征	7
7 最佳可行技术的确定原则及评估筛选方法	8
7.1 最佳可行技术的确定原则	8
7.2 最佳可行技术的评估、筛选方法	8
8 指南主要技术内容及说明	8
8.1 生产工艺及污染物排放	10
8.2 水泥工业污染防治可行（备选）技术	13
8.3 水泥工业污染防治最佳可行技术的评估与筛选	28
9 指南实施的环境效益与经济技术分析	36
9.1 环境效益	36
9.2 技术经济分析	36
10 标准实施建议	37

## 图目录

图 1 水泥生产工艺及主要产污环节	9
图 2 水泥厂污水处理工艺图	26
图 3 直接干化污泥然后焚烧干化污泥工艺流程框图	25
图 4 间接干化污泥然后焚烧干化污泥工艺流程图	26
图 5 水泥窑协同处置焚烧生活垃圾工艺流程图	27
图 6 水泥工业污染防治最佳可行技术组合	29
图 7 最佳环境管理框架	36

## 表目录

表 1 2001~2010 年我国新型干法水泥产量统计表	6
表 2 2009 年底已投产的新型干法生产线统计	6
表 3 我国水泥行业 2006~2008 年主要污染物排放量 (中国水泥年鉴 2009)	7
表 4 最佳可行技术评估指标体系	8
表 5 水泥生产工艺主要大气污染物及来源	10
表 6 水泥生产主要设备产尘量及含尘浓度	11
表 7 水泥生产过程其它气体污染物排放浓度	11
表 8 主要设备的噪声级	12
表 9 各种氮氧化物 (NO <sub>x</sub> ) 减排技术措施的实际效果	17
表 10 水泥厂主要无组织排放点及推荐的除尘方式	19
表 11 可在水泥厂处置的典型废物名录	22
表 12 欧盟、美国关于水泥厂焚烧废弃物的大气污染物排放限值	23
表 13 瑞士熟料和水泥中的有害物质标准限值	24
表 14 水泥生产过程污染预防最佳可行技术评估筛选表	30
表 15 颗粒物防治最佳可行技术的评估与筛选表	31
表 16 水泥生产过程颗粒物排放控制最佳可行技术	31
表 17 NO <sub>x</sub> 排放控制最佳可行技术	32
表 18 SO <sub>2</sub> 排放控制最佳可行技术	32
表 19 水泥厂噪声污染防治最佳可行技术	32
表 20 水污染防治最佳可行技术	33
表 21 水泥窑协同处置污泥最佳可行技术	35

# 《水泥工业污染防治最佳可行技术指南》编制说明

## 1 任务来源

2010年2月5日，环境保护部给中国环境科学学会下达编制《水泥工业污染防治最佳可行技术指南》（以下简称水泥BAT指南）标准的任务。2010年3月23日，中国环境科学学会在北京召开了《水泥BAT指南》编制组启动会，并联合合肥水泥研究设计院、西安建筑科技大学、海螺水泥集团公司、中国联合水泥公司，中国水泥协会、西安西矿环保科技有限公司、南方水泥有限公司、河南中材环保有限公司和江苏科行环境工程技术有限公司共同组成编制组，开展水泥BAT指南编制工作。

## 2 指南编制的意义

### 1) 实现水泥工业可持续发展

水泥工业的污染防治技术，实际上是生产全过程中清洁生产及污染物末端治理技术的合理整合，即通过先进可行的清洁生产技术和污染治理技术，达到生产工艺的合理配置和资源的合理利用。

### 2) 促进节能减排

目前新型干法水泥生产线上普遍应用余热发电、高效粉磨技术、电机变频等技术，重点水泥企业加快建设能源管理中心。大城市周边的水泥企业基本形成协同处置城市生活垃圾和城市污泥的能力，使水泥工业转变为兼顾污染物处置的新兴环保产业。

### 3) 促进水泥工业污染防治先进技术的推广和发展

通过技术筛选和评估，淘汰落后的生产工艺，鼓励采用污染防治最佳可行技术，使先进的污染防治技术得以广泛地推广应用。

## 3 编制原则方法及依据

### 3.1 编制原则

#### 1) 科学性与实用性相结合

通过对水泥生产工艺调研，掌握水泥工业污染防治技术工艺和设备水平、资源能源利用水平、污染物产生状况、废物回收利用指标和环境管理水平，并进行技术经济比较分析，筛选确定不同条件下水泥工业污染防治最佳可行技术，使指南具有较强的科学性、指导性和可操作性。

#### 2) 全过程控制和管理原则

指南规定水泥生产中矿山开采和输送、原燃料制备、熟料烧成、水泥制备与包装等各工序的污染防治最佳可行技术及环境管理要求，实现对环境的整体保护。

#### 3) 因地制宜的原则

我国幅员辽阔，资源、能源分布不均，在选择水泥工业最佳可行技术时，紧密结合水泥企业所在的地域、资源等具体情况，因地制宜地选择水泥工业污染防治的最佳可行技术。

#### 4) 以水泥行业的产业及技术政策为依据

在水泥工业的清洁生产、节能减排、污染物末端治理过程中，国家制订了一系列产业及技术政策，制订水泥 BAT 指南以这些产业及技术政策为依据。

### 5) 清洁生产与循环经济的原则

水泥 BAT 指南推荐的最佳可行技术有利于水泥企业的实施全过程清洁生产，从源头上减少污染物的产生，降低和减轻污染物末端治理的压力，提高环境污染防治和管理水平。

## 3.2 编制方法

1) 采取国内外资料调研、典型水泥企业现场调研、全行业书面调研相结合的方式，以资料和现场调研为主，书面调研为辅；

2) 组织行业专家、管理部门座谈研讨，吸纳各方面意见；

3) 通过对我国典型水泥企业中污染防治技术的现场调研和测试，掌握水泥工业生产工艺与设备水平发展现状、资源能源利用水平、污染物产生指标、废物回收利用指标、生产工艺污染防治技术类型、运行参数、处理效果、经济性和环境管理水平。

4) 对调研结果进行综合评价分析，依靠系统科学的评价方法筛选确定水泥工业污染防治 BAT 技术；

5) 编写指南研究报告、指南文本及编制说明，公开征求社会意见，最后送审及报批。

## 3.3 法律及技术依据

### 1) 国外主要参考的有：

a. 欧盟： IPPC（综合污染预防与控制）指令（96 / 61 / EC）、《欧盟水泥工业 BAT 指南》（2009 年修订稿）等法律及技术文件；

b. 美国：《波特兰水泥制造业危险大气污染物国家排放标准》（NESHAP）、《清洁空气法》、《针对水泥工业的危险性空气污染物国家排放标准》等文件；

c. 日本：《大气污染防治法》、《日本水泥工业 BAT 指南》等文件。

### 2) 国内主要参考的有：

a. **标准技术文件：**《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915—2004）、《水泥生产设计规范》（GB 50295-2008）、《水泥单位产品能源消耗限额》（GB 16780-2007）、《水泥工业除尘工程技术规范》（HJ 434-2008）、《清洁生产标准 水泥工业》（HJ 467-2009）、工业和信息化部《关于水泥工业节能减排的指导意见》、《水泥工业环保工程手册》、《最新水泥行业环境污染控制政策与专项整治及达标治理标准实务手册》等；

b. **调研资料：**对北京、山东、重庆、浙江、广东、福建、安徽、河南、河北和四川等省市的43家水泥企业进行现场调研和考察，对500多家水泥企业进行书面调研。所调研的水泥集团有海螺水泥集团、中联水泥集团、南方水泥、山水集团、北京金隅集团、拉法基水泥等大型企业，还有一些地方上的中小水泥企业，编制组基本掌握了中国水泥行业的生产工艺、环保治理技术和管理措施等实际情况，获取了企业生产过程及环保治理的第一手材料。

### 本指南是在下列法律、法规、技术政策指导下制订的：

中华人民共和国环境保护法；

中华人民共和国环境影响评价法；

中华人民共和国大气污染防治法；

中华人民共和国水污染防治法；  
中华人民共和国固体废物污染环境防治法；  
中华人民共和国环境噪声污染防治法；  
中华人民共和国清洁生产促进法；  
中华人民共和国节约能源法；  
全国生态环境保护纲要；  
国务院转批国家经贸委等部门关于进一步开展资源综合利用的通知（国发[1996]36号）；  
水泥工业大气污染物排放标准（GB 4915—2004）；  
建设项目竣工环境保护验收技术规范水泥制造（HJ/T 256-2006）；  
水泥单位产品能源消耗限额（GB 16780-2007）；  
水泥工业除尘工程技术规范（HJ 434-2008）；  
清洁生产标准 水泥工业（HJ 467-2009）；  
国务院关于加快发展循环经济的若干意见（国发[2005]22号）；  
水泥生产设计规范（GB 50295-2008）；  
水泥窑协同处置工业废物设计规范(GB 50634-2010)等。

#### 4 主要编制工作过程

**1) 2010年3月成立编制组：**23日在北京成立《水泥BAT指南》编制组。主编单位：中国环境科学学会，参编单位：合肥水泥研究设计院、西安建筑科技大学、海螺水泥集团公司、中国联合水泥公司，中国水泥协会、西安西矿环保科技有限公司、南方水泥有限公司、河南中材环保有限公司和江苏科行环境工程技术有限公司。

**2) 2010年4月召开大纲讨论会：**收集国内外有关指南编制的资料；检索国内外最新发布的相关技术指南，翻译《欧盟水泥工业BAT指南》（2009年修订稿）和日本水泥BAT资料等，对编制的指南体例及内容进行研究。4月23日编制组在西安召开大纲讨论会，确定了指南编写大纲及工作进度安排。

**3) 2010年5-6月500份书面调研：**编制组制定了书面调研表和现场调研方案，从全国5000多家水泥企业中挑选了500多家企业进行书面调研。编制组向挑选出来的500多家企业发放了环境保护部科技标准司盖章的书面调研表550份，实际收回158份。

**4) 2010年6-9月42家水泥企业现场调研：**编制组组成三个调研组，分头到全国42家典型水泥企业进行现场调研。

**5) 2010年10-11月调研资料整理：**整理书面调研及现场调研资料，形成调研报告。

**6) 2010年12月完成研究报告：**编制组完成指南研究报告初稿。

**7) 2011年1月研究报告讨论会：**编制组21日在安徽芜湖召开研究报告（初稿）讨论会，对指南研究报告进行了讨论，并根据收集资料情况，提出了补充调研方案。

**8) 2011年2-5月补充调研及编写《水泥BAT指南》：**编制组完成对南方水泥及拉法基水泥集团的补充调研。编制组修改研究报告，并编制《水泥BAT指南》（初稿）。

**9) 2011年6月水泥BAT指南讨论会：**编制组9日在北京召开讨论会，对指南及编制初稿进行讨论，提出了修改意见。会后编制组修改形成了《水泥BAT指南》（第二稿）。

**10) 2011年7-8月指南(第二稿)在编制组内容征求意见:**通过书面形式征求编制组内部各家单位对水泥BAT指南及编制说明(第二稿)的意见。同时,合肥水泥研究设计院于2011年7月27日到都江堰拉法基水泥有限公司进行了补充调研。主要就氮氧化方面的防治和将采取的措施进行了交流,并增加到159份报告。

**11) 2011年9-10月形成《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿):**编制组根据编制组内部征求意见情况,修改形成了《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)。

**12) 2011年11月28日,《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)审查会:**环保部标准司技术处在北京召开《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)审查会,编制组根据审查意见,对该稿进行了修改,形成了《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)。

**13) 2012年3月30日,**中国环境科学学会在北京邀请了有关专家,再次对《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)进行了修改。

编制组在完成了《水泥BAT指南》及编制说明(征求意见稿)外,还同时完成指南研究报告、调研报告,并对欧盟水泥工业BAT指南2009年修订稿及日本水泥BAT进行了翻译和整理,做了大量基础性的工作。

## 5 国外水泥工业最佳可行技术指南体系概况

### 5.1 欧盟水泥工业BAT概况

#### 1) 欧盟BAT体系的建立及完善

1996年欧盟颁布IPPC指南(96/91/EC,后修订为2008/1/EC)(综合预防和控制指令)要求建立能够在各成员国之间实现综合污染防治和管理排污许可证的立法,提出建立最佳可行技术(BAT)体系,并把最佳可行技术(BAT)作为对整个环境进行高水平保护的重要手段。到2004年,欧盟的BAT体系已经基本建立完成,并在各行各业建立起相应的指南文件,开始发挥其指导作用。

欧盟BAT文件在实施的过程中,定期进行评审,根据所依据法令和法规的变化随时保持更新,同时保持与科学技术的同步发展,并根据BAT执行经验的反馈,对BAT技术水平进行修正。

#### 2) 欧盟水泥工业BAT文件及内容

1997年,欧盟IPPC局成立水泥工业BAT编制工作组制订水泥工业BAT指南文件,2000年完成该草案,2001年12月经欧盟委员会批准发布水泥工业第一份BAT文件(水泥和石灰工业最佳可行技术参考文件,简称BAT-CL)。2005年9月欧盟IPPC局成立BAT-CL修订工作组,2009年5月完成草案(水泥、石灰及氧化镁工业最佳可行技术参考文件,简称(BAT-CLM))。

欧盟水泥BAT指南2009年修订稿提供了欧盟27国23个地区377个窑炉的水泥企业的消耗和排放水平的数据,包括六部分内容:欧盟水泥工业的概况、水泥工业的工艺及技术、能源消耗和污染物排放程度、现有技术状况、水泥行业的最佳可行性技术和水泥行业中的新兴技术。

### 5.2 日本水泥工业BAT概况

2010年10月,日本社团法人、水泥协会等17家单位共同出台《为实现低碳社会计划



的水泥产业的方针》，即日本水泥工业 BAT 文件。

该文件主要内容是：日本水泥产业的现状及减排量、各国水泥节能设备的普及率、第三方机构对减排的评价、替代原料的利用、节能减排的工作计划（2008-2012 年）、实行低碳社会计划的目标和意义、最佳可行性技术、节能设备的节能量及对策成本、替代燃料利用率的增大、多种多样的废弃物、副产品的使用、国际贡献（中国、印度的节能审计调查（APP））、新型的二氧化碳削减技术开发、在其他部门的贡献（混凝土铺修的效果）、为可持续型社会做贡献的水泥产业等。

### 5.3 美国水泥工业 BAT 概况

美国现有 143 家水泥厂，近几年来，美国水泥工业得到较快发展，传统的湿法生产和干法生产基本被以预分解窑为核心的新型干法生产技术所代替，一大批约为 5000t/d 的生产线相继投入。目前，全美水泥生产总产能约为 8000 万 t，2010 年实际生产水泥 6000 万 t。

节能减排是水泥工业发展的共同主题。由美国环境总署主持的“能源之星”评审项目，通过对水泥厂能效评审、分级，最终评定低能耗的优秀生产企业，即通过对标，引领水泥生产企业不间断的节能降耗。美国波特兰水泥协会也设有“环境改善引领者”评选项目，以表彰水泥生产企业在节能减排活动中作出的成就。

水泥生产环境保护标准则由美国环保总署空气和放射司主持制定。空气和放射司是位于华盛顿之外的美国环保总署下属的司局级管理及研究机构，包括空气质量和计划标准等四个处室。空气质量和计划标准处室的主要职能包括编制和检查空气污染数据、制定规范以限制和减少空气污染、协助地方政府机构管理和控制大气污染、发布空气质量报告等。制定行业部门污染物排放限额标准也是空气质量和计划标准处的一项重要职能。

关于水泥生产有害污染物排放限额，空气质量和计划标准处室制定并发布有“波特兰水泥工业有害气态污染物排放标准（National Emission Standards For Hazardous Air Pollutants From the Portland Cement Manufacturing Industry）”及“波特兰水泥厂新排放源运行标准（The New Source Performance Standards）”，即对主要排放源要增加汞、全碳氢化合物、颗粒物、氯化氢的测定，对 2008 年后投产的水泥厂要增加颗粒物、氮氧化物和二氧化硫的测定。

目前美国部分水泥厂已采用了替代燃料，还有十多家水泥厂进行有害废物协同处置。针对协同处置有害废物的窑炉，由美国环保总署资源保护和恢复司能源回收和废物处理处支持制定了相应的排放标准，并将在 2013 年发布、实施。

## 6 我国水泥工业及污染防治状况

### 6.1 我国水泥工业概况

水泥工业是我国国民经济的重要基础行业，也是我国高耗能、高污染的行业之一。截至 2009 年底我国水泥行业企业数量为：各类水泥生产企业约 5103 家，规模以上水泥（或熟料）生产企业 3077 家，水泥粉磨站 1846 家，粉磨企业水泥产量 5.01 亿吨，占水泥产量 30.37%。水泥行业在国家“十五”开始，通过宏观调控政策的影响，新型干法水泥的比重迅速提高，截止 2010 年底，国内新型干法水泥已占水泥生产总量的 80% 以上。目前，水泥行业正处

于快速结构调整阶段，新型干法水泥生产线的数量、规模和比重都在急速的提高，产业集中度也在快速上升，有利于水泥工业的污染防治工作。

目前我国新型干法水泥单线规模已达到日产熟料 12000 吨以上，每公斤熟料热耗降至)700 千卡 (2926 千焦)，吨水泥综合电耗不超过 90 千瓦时，粉尘排放率 0.01%以下，全员劳动生产率达到 1~1.5 万吨/人·年。

我国近十年的水泥产量及新型干法水泥情况见表 1。

**表 1 2001~2010 年我国新型干法水泥产量统计表**

年份	水泥总产量 (万吨)	其中新型干法水泥产量 (万吨)	新型干法水泥比例 (%)
2001	66400	9370	14.1
2002	72500	12340	17.0
2003	86200	18970	22.0
2004	97000	31630	32.6
2005	106000	47270	44.6
2006	124000	60210	48.6
2007	136000	71490	52.6
2008	138800	85810	61.8
2009	165000	126850	76.9
2010	186800	149440	80.0

截止 2009 年已投产的新型干法生产线的产能及生产线情况统计见表 2。

**表 2 2009 年底已投产的新型干法生产线统计**

生产线规模 (t/d)	生产线数量 (条)		熟料产能 (万吨)	产能比重 (%)
≥5000	270		43313	44.83
4000~4200	46		5493	5.68
3000~3500	53	453	35504	36.75
2500	324			
2000	76			
1500~1800	53	344	12308	12.74
1100~1400	99			
1000	151			
700~900	41			
合计	1113		96618	100

(以上数据来源于中国水泥协会)

## 6.2 水泥工业污染现状

1) 我国水泥工业的主要污染物为颗粒物和有害气体，颗粒物主要是由于水泥生产过程中原料、燃料和水泥成品储运，物料的破碎、烘干、粉磨、煅烧等工序产生的废气排放或外逸而引起的。

2) 对大气环境产生影响的有害气体主要是：二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、氟化氢（HF）等，近年来NO<sub>x</sub>排放污染呈加重趋势，我国水泥工业硫化物、氮氧化物等有害气体排放远高于国际先进水平。近年来我国水泥行业主要污染排放量见表3。

表3 我国水泥行业 2006~2008 年主要污染物排放量（中国水泥年鉴 2009）

年度	烟、粉尘排放量		SO <sub>2</sub> 排放量		NO <sub>x</sub> 排放量		CO <sub>2</sub> 排放量	
	排放量 (万吨)	增长率%	排放量 (万吨)	增长率%	排放量 (万吨)	增长率%	排放量 (亿吨)	增长率%
2006	515	-9.55	105.83	1.56	59.84	/	7.27	/
2007	444	-13.7	94.83	-10.39	68.48	14.44	7.98	1.1
2008	368	-17.03	86.37	-8.92	76.48	11.65	8.15	1.02

从表3中可以看出，氮氧化物排放量随水泥总产量的增加而增大，我国水泥行业氮氧化物排放量占全国总排放量的10%，是排在电力和汽车尾气排放后的第三大行业，是氮氧化物的重要排放源；二氧化碳排的排放仅次于电力行业，位于全国第二；二氧化硫排放量占全国的5%左右。

## 6.3 水泥工业发展趋势及特征

当今世界水泥工业发展的总体趋势是向新型干法水泥生产技术发展，具有如下特征：

### 1) 水泥生产线大型化

新型干法水泥生产技术提供了提高水泥设备的单机能力和功能的可能性，而追求高效率、高性能、低成本促进了水泥生产装备大型化的进程。当前国内外已出现12000t/d 的水泥熟料烧成系统，用于生料粉磨的600t/h立式磨已经问世，水泥企业的规模为年产数百万吨到1亿吨以上。

### 2) 生产工艺节能化

现代立式磨、辊压机和辊筒磨三种新型挤压粉磨装置显示了巨大的节能潜力，比传统磨机有很大的优越性。在生料粉磨中采用带磨外循环的立式磨已成为首选方案，在水泥粉磨工艺中采用料间挤压粉磨设备逐步取代直到完全取代传统球磨机已经成为一种必然的趋势，而与之配套的各种高效节能的新型选粉机使生产效率提高，系统电耗进一步降低。采用五级旋风预热器系统和改进型分解炉、余热发电、新型低氮燃烧器及第四代篦式冷却机实现高效冷却并高效热回收，熟料热耗可降至3000kJ/kg熟料以下，热效率提高60%左右。

### 3) 操作管理自动化

由于计算机控制技术、通讯技术和图形显示技术的飞速发展，DCS这种分散控制、集中管理的集散型控制系统已经在世界水泥工业中得到广泛应用。管理信息系统（MIS）作为全厂的生产、财务、营销、节资、备品备件、预检修计划制订与实施的管理并把DCS 作为生

产子系统纳入其中，从而形成自下而上的过程控制层、系统监控层、调度协调层、计划管理层和经营决策层。操作管理的自动化使操作控制方便、管理科学化，具有无可比拟的优越性。

#### 4) 环保措施生态化

当前，世界水泥工业的环保工作已开始从被动治理转向主动治理。各种运行可靠，除尘效率在99.9%以上的电除尘器和袋式除尘器及其辅助设备已普遍采用，工业发达国家对废气粉尘的排放标准已控制到3~50mg/Nm<sup>3</sup>以下，并全面控制高温废气中的SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>等气体含量以保护生态环境免受污染。利用水泥工业自身大量处理利用其他工业的废料、废渣的“绿色型”水泥工业已初具雏型。水泥工业将从仅为人类提供低价、高性能的建筑材料发展和过渡到对生态环境友好型的工业。

## 7 最佳可行技术的确定原则及评估筛选方法

### 7.1 最佳可行技术的确定原则

1) 最佳可行技术需与现阶段国民经济发展水平相适应，体现先进性、适用性、经济性、稳定性的原则。

2) 最佳可行技术需在满足水泥生产质量与安全运行的前提下，有利于实现水泥企业的清洁生产、循环经济和节能减排，充分体现以防为主、防治结合、资源能源高效利用的思想。

### 7.2 最佳可行技术的评估、筛选方法

1) 编制组通过查阅文献、考察现场、书面调查、个别实测等方法，针对资源能源消耗水平、污染物产生节点、污染物特征及浓度、控制措施、运行管理等指标，汇集了的水泥工业污染预防和治理技术。

2) 依靠水泥行业专家、环境保护及管理专家的咨询、判断，从现阶段可行的水泥工业污染防治技术中确定备选可行技术，缩小技术评估和筛选的范围。

3) 运用综合评估方法，从技术、经济、环境、社会因素等多个角度对水泥工业污染防治备选可行技术进行评价，最后确定综合效果最佳的技术为水泥工业污染防治最佳可行技术。评估指标体系见表4。

**表4 最佳可行技术评估指标体系**

污染防治技术	技术性能			经济性能		环境影响性能	资源能源回收再利用性能	
	资源能源消耗	污染物产生	自动化程度	投资成本	运行费用		能源	替代原燃料
XX 技术								

## 8 指南主要技术内容及说明

本指南共五章：总则、水泥生产工艺及污染物排放、水泥生产工艺污染预防技术、水泥工业污染治理技术、水泥工业污染防治最佳可行技术。

主要内容（除总则外）说明如下：

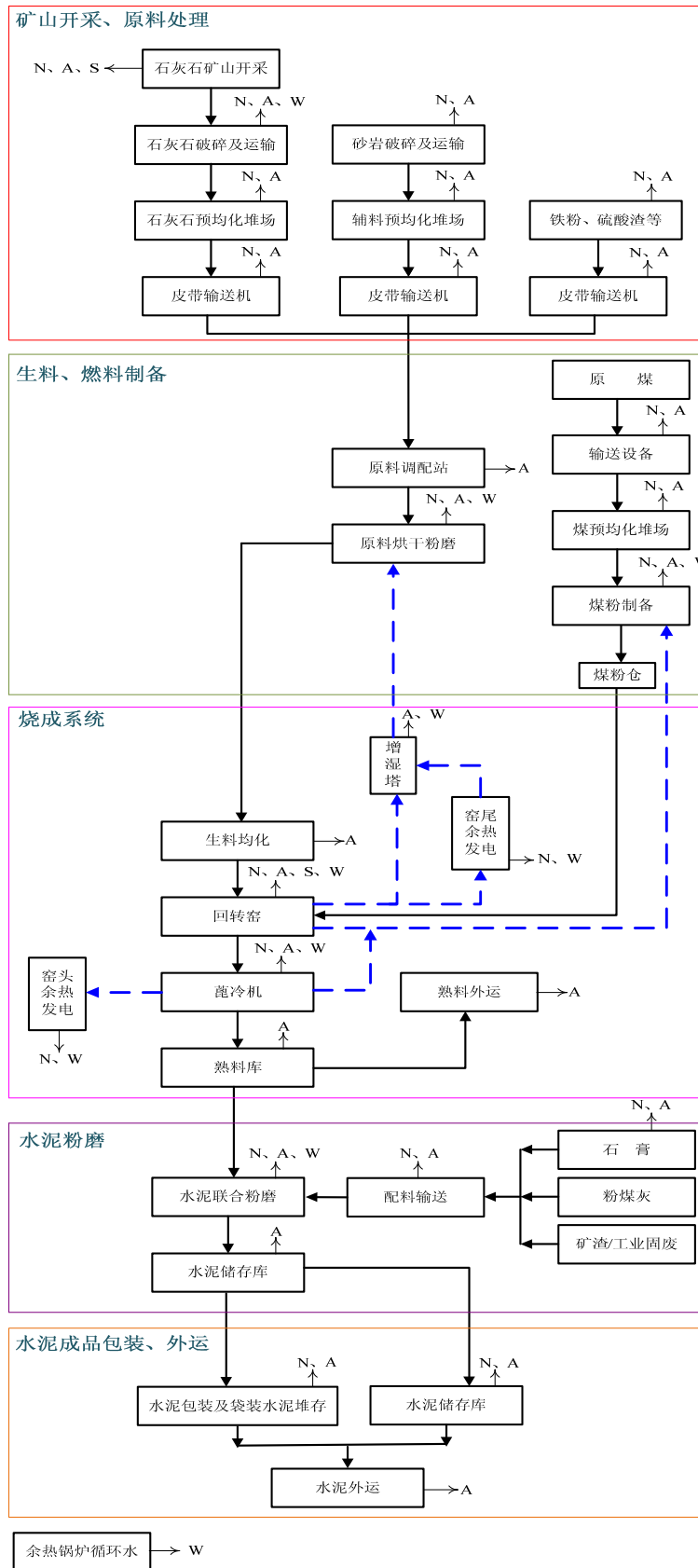


图 1 水泥生产工艺及主要产污环节

## 8.1 生产工艺及污染物排放

### 8.1.1 生产工艺及产污环节

**新型干法水泥生产工艺（包括水泥粉磨站）**通常包含以下生产过程：矿山开采、原料破碎、原料/燃料预均化、原料配料、生料粉磨、煤粉制备、生料均化及窑尾喂料、生料预热分解、回转窑煅烧、熟料冷却、熟料储存与输送、水泥配料、水泥粉磨、水泥储存、水泥包装和散装发送出厂。

**水泥粉磨站（单独）**通常包含以下生产过程：水泥熟料、混合材、石膏等原料运输进厂，水泥配料、水泥粉磨、水泥库储存、水泥散装或包装后发运出厂。

水泥生产过程产生的污染包括大气污染、噪声污染、水污染和固体废物污染，其中大气污染是最主要环境污染。

生产工艺流程及主要产污环节见图 1。

### 8.1.2 大气污染物排放

水泥生产过程中产生的大气污染物主要有：颗粒物、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳、氟化物等，还产生少量或微量总有机碳、重金属、二噁英、氯化氢等有害气体及大量温室气体二氧化碳。颗粒污染物产生于水泥生产的各个工序，其它气体污染物主要产生于水泥熟料生产的回转窑煅烧工序。

水泥生产工艺主要大气污染物及来源见表 5，主要生产设备产尘量及浓度见表 6，其它气体污染物排放浓度见表 7。

表 5 水泥生产工艺主要大气污染物及来源

工序	产污环节	主要污染物	排放行式
石灰石矿山	开采	粉尘	无组织
	破碎、输送	粉尘	有组织
原料均化、调配	石灰石予均化堆场	粉尘	无组织
	辅料予均化堆场	粉尘	无组织
	煤予均化堆场	粉尘	无组织
	原料调配站	粉尘	有组织
	原料输送	粉尘	有组织
生料制备、均化	原料烘干、粉磨	粉尘	有组织
	煤粉制备	粉尘	有组织
	生料均化	粉尘	有组织
	生料输送	粉尘	有组织

熟料生产	回转窑、立窑	颗粒物；NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO等；少量或微量有机化合物；焚烧固废时有二噁英产生。	有组织
	篦冷机	颗粒物	有组织
	增湿塔、冷却器	颗粒物	有组织
	熟料库	颗粒物	无组织
	熟料外运	颗粒物	无组织
水泥制成	水泥添加剂及配送	粉尘	无组织
	水泥粉磨	粉尘；在使用有机化合物的助磨剂时、会有2%~8%的助磨剂挥发。	有组织
	水泥储库	粉尘	无组织
	水泥包装、散装及袋装水泥储存	粉尘	无组织

表 6 水泥生产主要设备产尘量及含尘浓度

设备名称	新型干法窑	篦式冷却机	立式磨粉磨			水泥管磨	高效选粉机
			生料	熟料	煤粉		
含尘浓度 /g/m <sup>3</sup> (标)	30~80	2~20	400~800	300~500	250~500	20~120	800~1100
单位产品产尘量/kg / t	75~120	5~44	1000	1000	1000	60~180	1000

表 7 水泥生产过程其它气体污染物排放浓度

气体名称	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	氯化氢	一氧化碳	二氧化碳	二噁英/呋喃类	有机残碳	重金属
排放浓度 /mg/m <sup>3</sup> (标)	0~50	500~1000	0~5	10	4.3		0.1ngI-TEQ/m <sup>3</sup>	10	0.5
单位产品排放量/kg / t	0~15	1.5~3.0	0~0.015		0.013	0.254~0.279			

表 5 和表 6 说明：

1. 粉尘浓度是采用有关的成熟资料（水泥工业环保工程手册）；
2. 二氧化硫、氮氧化物、氟化物及一氧化碳是根据此次调研的统计数据；
3. 二氧化碳是根据熟料煤耗统计计算得到的；
4. 二噁英/呋喃类、有机残碳及重金属（主要是汞、镉和铊挥发性的）主要根据水泥生产设计规规范（GB50295-2008）来定的；
5. CO 属易燃物质，若使用电除尘器处理窑尾废气时，以前曾有因废气中 CO 浓度过高而引起爆炸的事故，废气中 CO 浓度为 0.5%以下；当其浓度达到 1.5%时须报警，超过 2%时则自动切断电源。

### 8.1.3 噪声污染

噪声污染贯穿于水泥生产的各个环节：矿山开采、原料制备、生料制备、熟料烧成、水泥制成、水泥厂附属服务等。其中磨机、破碎机、物料输送机工作时产生机械噪声；风机、空压机工作时产生空气动力噪声；电机工作时产生电磁噪声等。因此，水泥企业噪声源的性质较复杂、噪声污染相对严重。经这次调研统计，新型干法水泥生产线其主要设置和生产运行中所产生的噪声见表 8。

表 8 主要设备的噪声级

序号	设备名称	台数	噪声级/dB(A)	声源位置
1	煤磨	1	85~105	煤磨车间内
2	原料磨(立磨)	1	~85	原料磨车间内
3	窑尾预热器风机	1	90~115	窑尾
4	原料磨风机	1	~95	原料磨车间
5	电收尘器排风机	1	~85	窑尾
6	生料均化库罗茨风机	2	~85	均化库底
7	生料入窑罗茨风机	2	~85	窑尾
8	熟料篦式冷机风机	6	~110	窑头
9	熟料电收尘风机	1	~85	窑头
10	水泥磨	1	~115	水泥磨房内
11	空压机	3	~85	空压机房内

从表 8 可看出，水泥厂噪声的特点是：声源固定，声源种类复杂、声源分布广，声压级别高，如原料磨、煤磨、水泥磨、风机、空压机等声压级都在 85~115dB(A)，属于强噪声源。

### 8.1.4 固体废弃物污染

水泥生产过程中产生的固体废弃物和副产品有窑灰、炉渣、粉尘、废旧耐火砖、废水泥袋、废机油、废油桶、油棉纱、废钢材、废滤袋、废水泥石块等。

### 8.1.5 水污染

水泥生成过程中只产生少量设备冷却水。如果水泥厂协同处置污泥或生活垃圾，会产生一定量的污泥干化污水或垃圾渗滤液。

### 8.1.6 水泥窑协同处置废物所产生的污染物

各种废物运输贮存时，会有有害物的泄漏和散发包括臭气。所产生的渗滤液和干化液也是需要处理的废水。



水泥窑在焚烧废物（尤其是危险废物）时，会增加有害气体的排放量，如总有机碳、挥发性重金属、二噁英等。

## 8.2 水泥工业污染防治可行（备选）技术

### 8.2.1 水泥生产工艺污染预防技术

#### 8.2.1.1 矿山开采与矿石输送

##### 1) 合理利用石灰石矿山的原生资源

高品位与低品位矿石搭配开采，将剥离量减少到最低程度，充分利用开采出来的所有矿石、碎屑及剥离土。

##### 2) 防尘与除尘

为防止钻孔过程中的粉尘排放，应选用带有干式除尘器的全液压潜孔钻机。在选用汽车运输时，应采取防撒落措施。出矿山破碎机的输送采用密闭式皮带输送机。

##### 3) 噪声防治

选用带有密封性能的操作室、并配有空调设施的新型潜孔钻，在移动式空压机上安装消声器。

##### 4) 减少水污染

为避免对矿山周围水源的污染，矿山的废水一般均往对主导水系无大影响的地带排放。

##### 5) 复垦并环境绿化

矿山开采以后，有一定量的废土排放，为改善生态环境，矿山开采期间加强复土造林工作，使废石场尽快变成林区，使矿区的生态环境破坏降到最低，已开采过的矿山最终成为与周边环境相协调的生态循环系统。

#### 8.2.1.2 熟料生产线

##### 1) 原料/燃料的选择及贮存

###### a. 选择合适的原料/燃料

为了在熟料煅烧时排出的烟气、含有更少的有毒有害物质，选择合适的原料是必要的。为降低SO<sub>2</sub>的排放浓度，需要选择低硫含量的原材料，特别是要选择低硫含量的原煤。

###### b. 运输储存过程的防尘技术

粉状物料输送采用提升机和斜槽输送机等密闭式设备，采用胶带机输送的物料尽量降低物料落差，并在落差处采用管道负压集尘器；对块石、粘湿物料以及车船装、卸料过程，采用带有吸尘作用卸料装置；粉状物料储存采用密闭圆库。

##### 2) 生料及煤粉制备采用立式磨技术

立式磨技术是电动机通过减速机带动磨盘转动产生离心力，使物料进入磨辊和磨盘间的辊道内，在液压装置和加压机构的作用下碾压成粉；同时，来自风环由下而上的热气流对物料进行悬浮烘干，并将其带至磨机上部的动态分离器中进行分选。

立式磨系统简单，集粉磨、烘干、选粉于一体。随着装备技术的成熟，生料和煤粉粉磨设备由过去的球磨机为主，发展到高效率的立式磨、辊压机等多种形式并用。其中立式磨的运用最为广泛和成熟。

与传统球磨机相比，立磨具有系统简单、电耗低、烘干能力强、噪音低、运转率高、磨

耗小等优点，它在新建生产线中，生料磨选型中已占90%。立式磨粉磨生料还能减少SO<sub>2</sub>的排放量。

### 3) 余热发电技术

余热发电技术是在水泥窑窑头、窑尾废气出口安装余热锅炉（通常窑头 AQC 炉和窑尾 SP 炉），利用水泥窑系统废气，通过余热锅炉产生过热蒸汽，进入汽轮发电机组进行发电。

目前，按热力循环方式主要有单压系统、闪蒸系统、双压系统三种基本模式，应依据企业的具体情况来选择。

该技术一般能提供熟料生产线 50%~60%的生产用电。

该技术适用于 2000t/d 及以上规模水泥熟料生产线熟料烧成工序。

### 4) 变频调速器

通过改变电机工作电源频率来改变电机的转速。变频调速具有效率高、调速范围宽、精度高、调速平稳、无级变速等优点，一般可为电机节电 20%~30%。该技术适用于水泥生产中要求调速的风机、泵类设备及其它设备。

### 5) 第四代篦式冷却机

与传统篦冷机相比，其特点是：采用步进式新型列运动熟料输送方式，输送效率高，是推动式的四倍；无漏料，无细料斗和细料输送设备，降低整个工程投资；熟料冷却中无运动部件，可靠性、运转率高，具有超长的部件使用寿命；采用模块化标准立体建模设计，安装方便。每个充气单元下设一个机械空气流量调节阀，自动连续调节所需风量，使熟料得以均匀冷却，热交换效率高；带中段破碎的第四代篦冷机冷却效果更好，热回收效率更高。

单位冷却电耗降低20%，土建投资降低25%，维护费用降低70%。该技术适用于水泥企业的新、改、扩建项目。

### 6) 低氮节能燃烧器

煤粉燃烧器是水泥熟料烧成系统的关键组成部分，其性能及操作的好坏直接影响到系统产量、熟料质量、热耗、回转窑耐火砖使用寿命、水泥窑尾气成分是否环保等问题。

在降低煤耗方面，主要是要使燃料最大限度的充分燃烧，这样就要尽量降低温度较低的一次风量，提高温度较高的二次风的用量；在降低氮氧化物排放量方面，要提高外风的喷射速度，降低氧和氮分子在火焰高温区的停留时间，减少形成NO<sub>x</sub>的机会。

### 7) 熟料散装防尘工艺技术

出厂熟料一般通过卡车或者船来运输，水泥厂利用水泥散装头将熟料装入卡车的过程中，往往会扬起很大的粉尘、污染厂内环境。采用密封式散装房，两端开口，采用电动帆布帘实现开启和关闭，房顶加装袋式除尘器。

## 8.2.1.3 水泥粉磨节能工艺（包括水泥粉磨站）

### 1) 联合粉磨系统

指采用辊压机、打散分级机、选粉机、球磨机（开路高细高产磨）为基本设备组成的粉磨系统，将经过辊压机挤压后的物料（包括料饼）先经打散分级机分选，小于一定粒径的半成品（一般小于0.5~3mm）送入球磨机粉磨，粗颗粒返回辊压机再次挤压。

### 2) 半终粉磨系统

半终粉磨系统是将辊压机挤压后的物料经打散送入选粉机选出一部分成品，选粉机的粗粉进入球磨机继续粉磨，该部分成品未经过球磨机而直接由辊压机和选粉机产生，这种系统

是带选粉机的闭路系统。

### 3) 终粉磨工艺技术

终粉磨系统的成品完全由辊压机产生，经过打散机，送入选粉机直接分选出成品。挤压物料中的成品含量将直接影响整个系统的产量。

立式磨用于水泥粉磨，目前正处于初步研发阶段。国内水泥行业出现的立磨粉磨水泥当前有两种工艺模式：立磨终粉磨，立磨配球磨机。

### 4) 筒辊磨粉磨

筒辊磨是20世纪90年代出现的节能粉磨设备。它以料层间挤压为粉磨原理，用圆筒的内表面与辊子的外表面挤压工作（而辊压机是两个辊子的外表面挤压工作），筒体转动带动磨辊，通过液压调整磨辊位置来调节磨机粉磨压力，采用中等压力、多次挤压方式，以近似于辊压机的粉磨效率，近似于球磨机的运行可靠性。筒辊磨的研磨原理决定了其粉磨效率和电耗比球磨机更有优势。

### 5) 助磨剂

助磨剂原理：助磨剂可以降低颗粒间的摩擦力和粘附力，阻止微粒聚集，从而起到降低粉磨能耗和提高粉磨产量的效果。常见水泥助磨剂有液体和粉体（固体）两种，复合型助磨剂既可起助磨作用、又能够提高水泥强度。

通过调研，在上述多种水泥粉磨节能工艺中，目前使用最多是联合粉磨系统及助磨剂技术。

## 8.2.2 大气污染治理技术

### 8.2.2.1 除尘技术

水泥厂除尘技术包括袋式除尘器、电除尘器和电-袋复合式除尘器。上述三种除尘器都是效率很高的颗粒物去除装置，水泥厂选择使用何种除尘器主要取决于入口粉尘性质、含尘浓度，排放限值，使用场合及用户习惯等。

#### 1) 袋式除尘技术

##### a. 消耗及污染物排放

影响袋式除尘器性能的主要因素是粉尘特性、滤料的选择、过滤风速及清灰方式的影响等，其中滤料的选择十分关键。滤料对袋式除尘器的性能、造价、使用寿命及运行费用影响很大。颗粒物排放浓度可控制在  $30 \text{ mg/m}^3$  以下，有的可达到  $10 \text{ mg/m}^3$  以下。运行费用主要是更换滤袋（使用寿命：普通滤袋为 1~2 年，高端滤袋为 3~5 年）及引风机电耗。

5000t/d 水泥窑袋式除尘器综合功耗：窑头大约为 300~450 kW，窑尾大约为 435~650 kW（阻力按 1000~1500Pa 计）。

##### b. 技术实用性及特点

袋式除尘技术适应性强，不受烟尘比电阻等性质的影响，可在线检修，能在范围较宽的温度、压力和粉尘负荷条件下运行，除尘效率随粉尘浓度的升高而升高、排放浓度几乎不受粉尘浓度的影响，运行稳定。适用于水泥行业通风设备及热力设备的除尘，并大量用于电除尘器的改造。

该技术可去除烟气中的部分重金属(如汞)，对烟气中的  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  有一定的吸附作用。

袋式除尘器设备阻力较大、通常在 1000~1500Pa 之间，占地面积和电除尘器相当；滤袋破损需更换，运行维护工作量较大；对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

## 2) 电除尘器

### a. 消耗及污染物排放

电除尘器性能与粉尘比电阻、集尘电极的总表面积、气体的体积流量以及颗粒物的迁移速度等因素有关，排放浓度可满足达标。

消耗主要为电能，5000t/d 水泥窑四电场电除尘器综合功耗：窑头为 320kW 左右，窑尾为 500kW 左右（阻力按 300Pa 计）。使用三相工频电源或高频电源可明显节能、减排。

### b. 技术实用性及特点

电除尘技术适用于烟尘比电阻在  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm} \sim 5 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  范围内粉尘的除尘，并可在范围很宽的温度、压力和烟尘负荷条件下运行，独特优点是压力降最低，但对烟气中 CO 浓度有严格的限制（小于 1.0%）；可用于水泥厂的窑头、窑尾烟气除尘，排放要求能达国标（ $30 \sim 50 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ），且应根据用户要求、选用四电场或五电场电除尘器。在经济条件允许及排放要求较严地区或单相工频电源不能达标的电除尘器，建议采用三相工频电源或高频电源。

电除尘器占地而积较大，对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

## 3) 电-袋复合除尘技术

### a. 消耗及污染物排放

电-袋复合式除尘技术除尘效率和烟尘排放浓度可达到袋式除尘技术的水平。

### b. 技术适用性及特点

电-袋复合式除尘技术适应性强，不受烟尘比电阻性能影响；能够显著降低滤袋的阻力，延长喷吹周期，缩短脉冲宽度，降低喷吹压力，延长滤袋的使用寿命；适用于环境敏感地区水泥厂的窑头、窑尾及老电除尘器的改造。该技术可去除烟气中的部分重金属(如汞)，对烟气中的  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  有一定的吸附作用。对制造、安装、运行及维护都有较高要求。

## 8.2.2.2 氮氧化物减排技术

### 1) 一次减排技术

#### a. 采用低氮燃烧器

在水泥窑头，这类燃烧器的燃烧推动力较大，一次空气的比例很小，空气和燃料的混合点燃迅速，火焰形状粗壮，燃料在高温区的停留时间短、氮氧化物形成量减少。

#### b. 保持全窑系统稳定均衡运行

保持适宜的火焰形状和温度，减少过剩空气量，确保喂料量和喂煤量准确均匀稳定，保障篦冷机的正常稳定运行，可有效降低氮氧化物的排放。

#### c. 分解炉阶段燃烧

分解炉阶段燃烧是使燃料先在空气不足的环境中燃烧、后在空气充分的环境中燃烧以减少氮氧化物排放。虽然在管道和阀门方面的改动工作量较大，但其效果明显，约可减排氮氧化物 10%~20%。综合上述技术，可将氮氧化物排放量控制在  $800 \text{mg}/\text{Nm}^3$  以内。

### 2) 二次治理技术

#### a. 选择性非催化还原法

选择性非催化还原法(SNCR)是往高温烟气（ $850^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ ）中喷入还原剂，在还原剂的作用下将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水，还原剂常用氨或尿素。

该技术系统简单，水泥厂可在窑尾的某些部位（如分解炉）喷入氨水或尿素等溶液。

减排效果达 30%~40%，氮氧化物排放浓度可降到 500 mg /Nm<sup>3</sup> 以下。

### b. 选择性催化还原法

选择性催化还原技术（SCR）是在适当的温度（300℃~400℃）下，在水泥窑预热器出口处，安装催化反应器，且在反应器前，往管内喷入还原剂（如 NH<sub>3</sub> 或尿素），在催化剂的作用下，提高脱硝效率，将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水。

SCR 工艺还原效率高（一般为 70%~90%）。但 SCR 工艺一次性投资较大，运行成本主要视催化剂的寿命。同时水泥窑废气粉尘浓度高，且含有碱金属，易使催化剂磨损、堵塞和中毒。需要采用可靠的清灰技术和合适催化剂。

该技术适用于 100~200 mg/Nm<sup>3</sup> 的氮氧化物排放要求。

各种氮氧化物减排技术措施的实际效果见表9。

**表 9 各种氮氧化物（NO<sub>x</sub>）减排技术措施的实际效果**

序号	采用下列某一种措施为主，辅以其 他相应措施的情况下	窑 废 气 可 能 达 到 的	
		NO <sub>x</sub> 的削减率(%)	NO <sub>x</sub> 排放浓度 (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	低氮燃烧器	5~20	1000~800
2	保持全窑系统稳定均衡运行	5~10	
3	阶段燃烧	10~20	
4	选择性非催化还原技术—SNCR 法	30~40	400~500
5	选择催化还原技术—SCR 法	70~90	100~200

### 8.2.2.3 二氧化硫治理技术

因水泥窑中大部分的 S 以硫酸盐的形式保留在水泥熟料中，二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放并不是突出问题，精心选择和控制进入水泥窑的物料品质，如较低的 S、N、Cl、金属含量，以减少 SO<sub>2</sub> 等有害大气污染物的排放。但使用较高挥发性 S 含量的原燃料，点窑时仍会造成 SO<sub>2</sub> 超标排放。水泥生产过程降低 SO<sub>2</sub> 排放的措施很多，主要分为三类：即优化水泥生成过程、自行脱硫，改变水泥生产工艺和采取 SO<sub>2</sub> 二次脱除技术。

#### 1) 优化生产过程

控制 SO<sub>2</sub> 的排放首先要保证回转窑的平稳运行，控制物料在预热器、分解炉、回转窑中均匀分布，加大硫与碱性物质的接触面积，同时控制合适的硫碱比，提高物料的易烧性。控制烧成带的 CO 含量及火焰形状等。

#### 2) 优化燃烧器的设计

在新型干法窑气中存在的 SO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 以及物料在烧成带的停留时间较短等因素、会阻碍 CaSO<sub>4</sub> 分解反应的进行；但当烧成带温度超过 1250℃ 时，该反应还是会剧烈进行。应该通过改善水泥燃烧器的设计和操作（气氛调整加温度控制等技术措施），控制窑和预热器之间的硫循环、进一步降低 SO<sub>2</sub> 排放量。

#### 3) 采用窑磨（立式生料磨）一体机运行和袋式除尘器

采用窑磨一体机，用预热器废气作生料立式磨烘干热源，立式磨中的生料具有很高的活性加上原料中水分的蒸发，有大量水蒸汽存在，加速了  $\text{CaCO}_3$  吸收  $\text{SO}_2$  的过程，把烟气中的部分  $\text{SO}_2$  转变成  $\text{CaSO}_4$ 。

袋式除尘器的滤袋表面捕集的碱性物质与通过滤袋的酸性物质结合成盐类，降低酸性气体的浓度。

#### 4) 二次脱除技术

##### a. 吸收剂喷注法

吸收剂主要采用  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。在预热器  $350\sim 500^\circ\text{C}$  区间均匀喷入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，控制合适的钙硫比，脱硫效果明显。

##### b. 采用湿式洗涤器

湿式涤气器可以处理预热器和窑旁路放风系统的废气，可以明显降低  $\text{SO}_2$  排放，但造价昂贵。

##### c. 活性炭吸附技术

当烟气中有氧和水蒸气时，由于活性炭表面积大且具有催化作用，使其吸附的  $\text{SO}_2$  被烟气中的  $\text{O}_2$  氧化为  $\text{SO}_3$ ， $\text{SO}_3$  再和物料反应生成硫酸盐

##### d. 热生料注入法

从分解炉出口抽取部分窑废气进入外加的旋风除尘器，收集废气中含有的热生料喷入预热器最上面两级旋风筒的出风管。

### 8.2.2.4 氟化物、氯化氢排放控制技术

防治氟化物污染的可行办法之一是控制原料中氟的含量，采用含氟低的原料。

水泥窑烟气中的氯化氢主要来源于所焚烧废弃物中的 PVC 及其它氯代碳氢化合物，由于水泥烧成过程有吸酸作用，吸收率可达 98%，烟气中氯化氢排放浓度可达到《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18484-2001) 的要求。

### 8.2.2.5 二氧化碳减排技术

在水泥生产过程中的二氧化碳气体主要来源于水泥原料中碳酸盐分解、燃料燃烧和电力消耗，因此二氧化碳减排的途径主要从采用新型干法水泥生产线代替其它高热耗水泥工艺、低温余热发电、替代原燃料等减排入手。

### 8.2.2.6 二噁英减排技术

水泥窑一般排放的二噁英量非常低，采取一些主要措施及技术，可将其排放量稳定减至最低：

1) 窑系统运行平稳和稳定，在设置好的工艺参数（使原料混合均匀，添加燃料量稳定）附近运行；

2) 选择和控制入窑废物有害物质和量，选择和使用含有硫、氮、氯、重金属和挥发性有机物等含量低的原料和燃料；

- 3) 限制和避免把废弃物（含有有机氯等物质）当做原料加入到原料混合部分；
- 4) 窑启动和停机时不使用废物燃料；
- 5) 分解炉燃烧时不应使用卤素含量高的燃料，如果二噁英排放浓度较大，可以考虑使用活性炭吸附，并尽量采用袋式除尘器。

### 8.2.2.7 重金属排放量控制

国内外对用于水泥窑协同处置的替代原燃料中重金属含量的限值要求比较严格，明确规定了各重金属元素的限值。

对易挥发性元素汞（Hg）、铊（Tl）及可形成剧毒物质三氧化二砷的 As 元素的限值都比较严格，因为它们将导致更高的排放量。使 Hg 排放量减少到最小的一种方法是降低排气装置的温度。而其它非挥发性重金属组份被固化到水泥熟料中带走。Tl 的积累，在水泥窑系统内外的循环会影响操作工况，增加排放量，它可以通过中段外部循环，即可以通过放调部分灰斗内的粉尘，而这部分粉尘可以直接加如水泥磨内。

如果重金属排放过高，可采用活性炭吸附、高效袋式除尘器来去除。

### 8.2.2.8 无组织排放控制措施

在物料储存、进/出料、输送、水泥包装过程中难免有粉尘外溢，还有管道、设备的含尘气体泄漏等形成无组织排放。无组织排放应符合《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915）的要求，可采取的控制措施如下：

1) 尽可能减少物料露天堆放，露天储料场应采取防起尘、防雨水冲刷流失的措施；生产线的物料处理、输送、装卸、贮存过程应当封闭；对块石、粘湿物料以及车船装、卸料过程，应采取有效防扬尘措施；取消生产中间过程各种车辆运输；消除生产中物料的跑、冒、漏、撒。

2) 对库顶、库底、配料、转运、包装等、多发生无组织排放的分散扬尘点，可选用带集尘罩的袋式除尘器转化成有组织排放进行治理。

水泥厂主要分散扬尘点转化成有组织排放的治理方案见表 10。

**表 10 水泥厂主要无组织排放点及推荐的除尘方式**

无组织排放场合	推荐的除尘方式
库顶	脉冲单机袋式除尘器或气箱脉冲袋式除尘器
库底卸料器	脉冲单机袋式除尘器或分别用集尘罩抽吸，集中用袋式除尘器处理
散装车	集尘罩+袋式除尘器
皮带机转运处	集尘罩抽吸后集中用袋式除尘器处理
包装机	集尘罩+ 袋式除尘器

## 8.2.3 噪声治理技术

### 8.2.3.1 单项噪声治理技术

#### 1) 设备选型与布置原则

#### **a. 源头控制**

对新建水泥厂，应从根本上降低噪声。尽量采用噪声小的、功能及其它方面较优良的设备。

#### **b. 优化布置**

整体设计时，应综合考虑各功能区域的分区布局，使高噪声设备及工段远离厂内、外对噪声敏感的区域。

#### **c. 设备状况**

对运行时产生高噪音的设备要定期检修维护。

#### **d. 人员防护**

每个车间要设置隔音工作间、观察间(注意门窗观察孔的隔音处理)及对岗位工发放防噪声劳保工具。

#### **2) 设备隔声/吸声**

常用的隔声方法是设置隔声车间、隔声罩来阻隔噪声的传播。

吸声是通过在车间或房屋的内墙面上、安装吸声材料或者放置吸声结构，降低噪声。

#### **3) 消声器**

对风机进排气产生的空气动力性噪声，可通过在风机进出口加装消声器来降噪。

#### **4) 减震**

设备运行时都会产生振动并产生噪音。可使用弹簧、橡胶等材料制作的减震器进行减震降噪。也可在振动传递的位置喷涂阻力较大的阻尼材料，消耗振动能量，对高噪音设备加装减震并定期维护，降低噪音。

### **8.2.3.2 主要高噪声工段降噪措施**

#### **1) 原料矿山**

矿山使用微差爆破，控制炸药在深孔内以毫秒级时间间隔、以一定顺序起爆。尽可能减少破碎时的物料落差，降低噪声。将破碎机置于封闭车间或地下、起到封闭隔声的效果，必要时在破碎机基础加装减震装置，降低破碎机振动引起的噪声。在破碎车间内部的墙面安装吸声材料。

#### **2) 生料、燃料和水泥制备系统**

将球磨机置于封闭隔声车间，阻隔噪声传播。采用可拼装结构的隔声罩，将球磨机密封。球磨机使用带有阻尼效果的耐磨衬板。在球磨机筒体外喷涂隔声层或用吸声材料进行筒体包扎。生料粉磨采用噪声较低的立式磨替代管磨。

#### **3) 烧成系统**

将噪声大的风机置于封闭隔声车间并加装消音器。提高风机装配精度，降低安装精度引起的噪声。

#### **4) 其它**

其它高噪声环节，如空压站以及余热发电系统等，参照上述降噪措施。



## 8.2.4 水污染防治技术

### 8.2.4.1 各类废水处理工艺

#### 1) 设备循环冷却水

设备冷却废水占生产废水的绝大部分，水质无多大变化，主要是水温有所升高，或含微量机油。进厂区生活污水集中处理设施

#### 2) 生活污水

生活污水日产生量不大，可选用成熟的污水生化处理工艺处理，例如生物接触氧化污水处理系统、整体地理式污水处理成套设备等。

#### 3) 化验室废水

化验室废水昼夜排放量不大，其中大部分为水泥试件养护水，另有少量化学分析洗涤水，水质无严重恶化（其pH值略变化，SS增加），经过加药剂絮凝沉淀、调整pH值后，即可回用或达标排放。

### 8.2.4.2 废水集中处理技术

处理工艺根据污水进水水质情况和出水水质要求等条件确定。采用“预处理+物化+生化+消毒+循环回用”处理工艺，确保处理后达到循环回用要求，实现污水“零排放”。

图2是前段A/O后端接触氧化法的两段生化集中处理工艺。

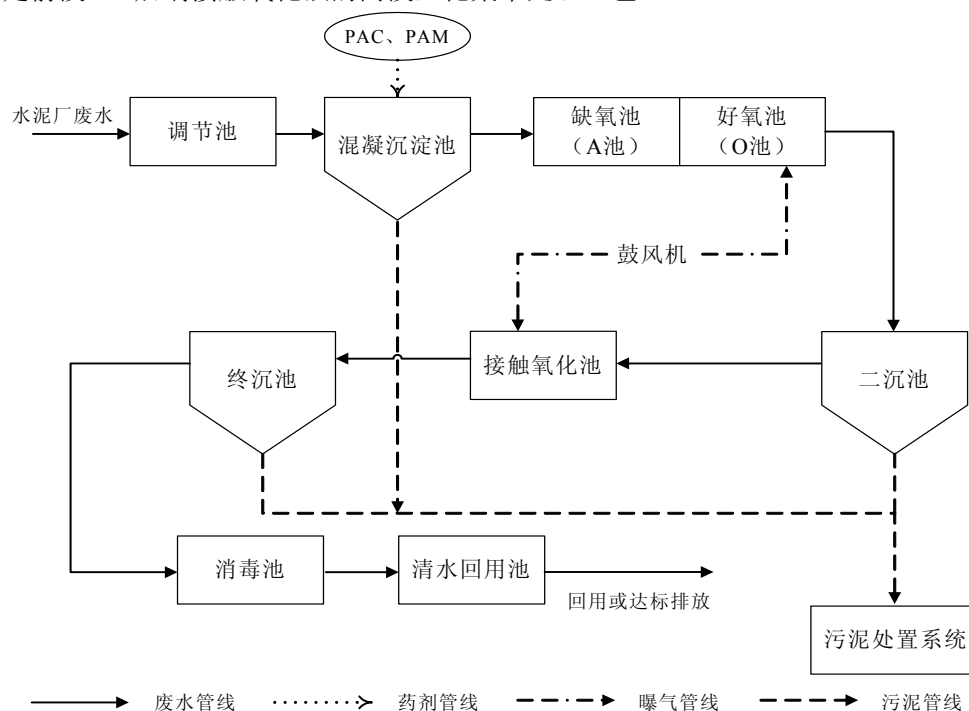


图2 水泥厂污水处理工艺图

水泥厂废水的种类很少，水量不大，但废水水质差别较大，按照废水处理回用或排放的要求，宜采用集中处理和分类处理相结合的处理方式。

### 8.2.4.3 垃圾渗滤液及污泥析出污水治理技术

在协同处置生活垃圾时产生的垃圾渗滤液，可喷入窑内焚烧处理，处置污泥时污泥析出水需使用专门污水处理设施处理。

### 8.2.5 水泥窑协同处置工业废物技术

#### 8.2.5.1 水泥窑协同处置工业废物分类

水泥窑协同处置工业废物，按在水泥窑系统中的主要作用，分为替代原料、替代燃料、销毁处置三种类别，见表 11。

表 11 可在水泥厂处置的典型废物名录

废物应用方式	废物类型	
替代燃料	固体废物	秸秆（包括稻米壳）、木屑、屠宰业废料、棕榈油壳
		旧轮胎、塑料（粒状或混合物）、纺织废料、废皮革
		废油墨、废油漆、废白土、干化后污泥
		废纸，废纸板、塑料制品、分捡后的生活垃圾
	液态废物	城市污泥、工业污泥、河湖淤泥、活性炭污泥
		废油、石化废物、油漆厂废物、溶剂废物
		蜡状悬浊物、沥青废浆、油泥、纸浆
		聚酯材料、聚氨酯材料
替代原料	钙质替代原料	干化污泥、工业石灰、石灰浆、电石渣、饮用水淤泥
	硅质替代原料	铸造沙、微硅、废催化剂载体、硅石废料、石英岩粉、石英岩尾矿
	铁质替代原料	炉渣、硫铁矿尾矿、赤铁矿渣、赤泥、锡渣、转化炉灰
	硅铝钙综合替代	洗矿场废物、飞灰、流化床灰渣、石材废物
销毁处置		各种废农药、杀虫剂、多氯联苯、废药品
不适于水泥窑处置的废物		核废弃物、电子废弃物、各类电池
		具有传染性和生物活性的医疗废弃物、无机酸和腐蚀剂、爆炸物
		包含石棉的废弃物、放射性废弃物、含高浓度的氧化物废弃物
		将要销毁的化学武器或生物武器、未分类市政垃圾、其它不知组成成分的废弃物

#### 8.2.5.2 水泥窑协同处置工业废物有害物控制要求

从 20 世纪 70 年代开始，国外发达国家就已经开始利用水泥工业处置废弃物，至今已有

30 多年的研究和应用历史，积累了大量的经验，已经建立起从废物产生源头到水泥厂处置的质量保证体系，既考虑污染物排放、又要保证水泥和混凝土的质量，形成一套基于全生命周期考虑的体系。

与发达国家对比，而关于水泥窑用替代原料和替代燃料方面的标准、法规才起步，还缺乏水泥工业处置废物（包括危险废物）的法规、标准和有关政策。国内针对水泥工业处置和利用危险废物，建立法规、标准和政策典定了基础。最近出台的《水泥工业协同处置工业废物设计规范》（GB 50634-2010）才是第一步。本指南根据国内外现有的标准，就水泥窑协同处置工业废物有害物提出控制要求：

**1) 对用于协同处置的废物中有害物质限量的规定（国内无此类标准，可作为参考）**

在针对用于协同处置的废弃物中有害物质限量问题上，国际上没有统一的规定，各国根据具体情况制定本地区的出台限量标准。如奥地利、瑞士和德国等国家对“可用于协同处置的废弃物中各种有害物质含量”的提出了限值要求；西班牙、比利时、法国对替代燃料中各种有害物质的限值提出了要求；而西班牙、比利时、法国、瑞士对替代原料中各种有害物质的限值提出了要求，而各国的标准各有侧重面。

**2) 对进行协同处置的水泥窑大气污染物排放限值的规定（国内见《水泥工厂设计规范》）**

欧盟关于水泥回转窑污染物排放标准 2000/76/EC 中对水泥回转窑有毒有害物质的排放限制作了更为严格的规定，美国国家环保局（EPA）提出了危险废弃物焚烧设施有害大气污染物排放的最大可实现控制技术标准，欧盟、美国关于水泥厂焚烧废弃物的大气污染物排放限值及与中国标准比较见表 12。

**表 12 欧盟、美国关于水泥厂焚烧废弃物的大气污染物排放限值**

污染物	欧盟标准限值 (mg/m <sup>3</sup> )	美国标准限值 (mg/m <sup>3</sup> )	中国
粉尘	30	30	30
NO <sub>x</sub>	800(老设备); 500(新设备)		500
SO <sub>2</sub>	50 <sup>①</sup>		50-
TOC <sup>③</sup>	10 <sup>①</sup>		10-
CO	-	100ppmv	
HCl	10 <sup>①</sup>	120ppmv	10
HF	1 <sup>①</sup>		1-
二噁英	0.1ng I ·TEQ/m <sup>3</sup> <sup>②</sup>	0.2	0.1ng I ·TEQ/m <sup>3</sup>
Cd+Tl	0.05		0.05-
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0.5		0.5
Hg	0.05	0.072	0.05
Cd+Pb	-	0.67	
As+Be+Cr	-	0.063	

注：①由原料条件所限产生的排放不计在内；② I 表示 1 级，TEQ 表示毒性当量；

③TOC 表示总有机碳含量。

由表 12 可见，欧盟对水泥窑协同处置废弃物过程中大气污染物的排放要求更加严格。

### 3) 对熟料和水泥中有害物质含量限值的规定

瑞士环境森林与地形局 (SAEFL) 颁布的水泥厂处置废弃物导则中规定：熟料和水泥中的污染物含量必须满足规定的标准限值要求，否则必须减少废弃物处置量，瑞士熟料和水泥中的有害物质标准限值见表 13。

表 13 瑞士熟料和水泥中的有害物质标准限值

元素	瑞士环境		中国	
	熟料标准限值 (mg/kg)	水泥标准限值 (mg/kg)	熟料标准限值 (mg/kg)	水泥标准限值 (mg/kg)
As	40	-	40	
Sb	5	-		
Be	5*	-	5	
Pb	100	-	100	
Cd	1.5	1.5*	1.5	1.5
Cr	150	-	150	
Co	50	-	50	
Cu	100	-	50	
Ni	100	-	100	
Hg	无标准值	0.5*		0.5
Se	5	-	5	
Tl	2	2*	2	2
Zn	500	-	500	
Sn	25	-	25	
Cl	-	1000		
S	-	3.5%SO <sub>3</sub>		

注\*：废弃物处理和利用不会造成熟料和水泥中该元素的显著上升。

### 4) 我国水泥窑协同处置工业废物有害物控制要求

按《水泥窑协同处置工业废物设计规范》(GB 50634-2010) 的要求：

对废物硫、氯和碱等组分进行严格的限量控制，确保生产出的水泥产品应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175) 的规定；必须控制低挥发性汞和铊等重金属，水泥熟料和水泥产品中重金属含量应符合现行国家标准《水泥工厂设计规范》(GB 50295) 的规定。

入窑实物基废物热值一般应大于11MJ/kg，对替代燃料的检验应依据《固体生物质燃料检验通则》进行；入窑灰分含量应小于50%；入窑水分含量一般应小于20%，或经过干化预处理后，入系统水分一般应小于20%。

### 8.2.5.3 水泥窑协同处置污泥典型技术

水泥窑协同处置污泥技术也是协同处置工业废物的一种，相对于处置其它废物来说，不仅量大，也比较稳定，在国内水泥企业采用的比较多。特专门设一条来说明，国内《水泥窑协同处置污泥工程设计规范》标准已试行。

根据我们的调研，目前国内利用水泥窑协同处置的污泥技术主要有：直接送烟室焚烧处置、直接干化后焚烧处置、间接干化后焚烧处置等

#### 1) 水泥窑直接焚烧污泥处置技术

污泥直接输送到烟室燃烧，灰渣作为熟料成分。水泥窑直接焚烧污泥工艺流程图：专用汽车运输（湿污泥）→污泥接受仓（密闭）→带计量的污泥泵→烟室。

该技术工艺流程简单，设备少，占地面积小，运行费用低，对环境基本没污染；缺点是能耗较高，处理污泥量有限（一般处置量<4%熟量产量），对熟料产量有所影响。

该技术适用于对处理污泥补助相对较少的欠发达地区，另外对污泥量相对较少的城市比较合适。

#### 2) 利用水泥窑废气直接干化污泥处置技术

利用水泥窑废气直接干化污泥，然后把干化污泥输送到分解炉焚烧，干化污泥作为替代燃料和原料使用。工艺流程见图 3。

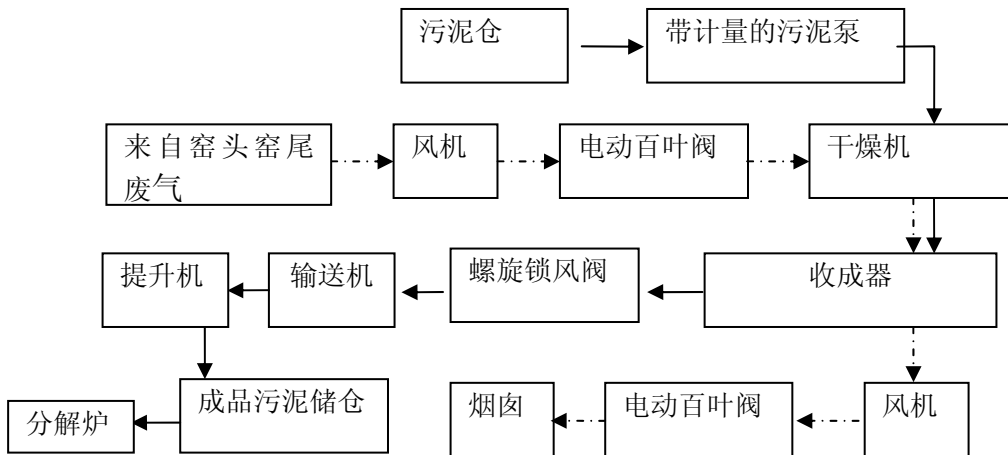


图 3 直接干化污泥然后焚烧干化污泥工艺流程框图

污泥直接干化过程必须控制的安全要素一般是：氧气含量<12%；粉尘浓度<60g/m<sup>3</sup>；颗粒温度<110℃。干燥器干化污泥后排出的烟气经过袋式除尘器（防爆）后排出。

该技术工艺流程较复杂，设备较多，占地面积大，运行费较高。利用废气的热量，产生的干化污泥热值高，可以代替部分燃料，提高水泥窑处理污泥量。排出的烟气量大，臭气气体量相应较多，需要采取适宜的处理臭气技术，否则对环境有一定影响。

该技术适用于水泥窑废气未被余热利用的企业、同时对产生污泥量相对较大的城市或地区。

#### 3) 间接干化污泥然后焚烧干化污泥处置技术

从分解炉和烟室抽取余热烟气进锅炉加热导热油，利用导热油间接干化污泥，然后直接输送干化污泥到分解炉焚烧。干化污泥作为替代燃料和原料使用。工艺流程见图 4。

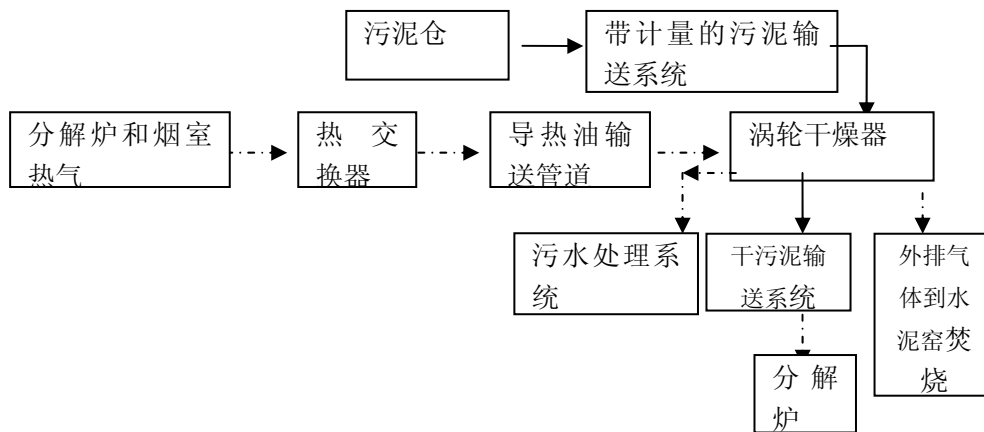


图4 间接干化污泥然后焚烧干化污泥工艺流程图

该技术工艺流程较复杂，占地面积大，间接式干化机采用进口设备，投资大，运行费高。产生的干化污泥热值高，可以代替部分燃料，提高水泥窑处理污泥量。从污泥中蒸发出来的水要经过处理达标后排放，排出的废气（包括二噁英）要达到水泥行业排放标准。

该技术适用于产生污泥量相对较大和对污泥补助较高的城市或地区。另外也可采用余热锅炉的蒸汽，统过间接干化机来干化污泥。

#### 8.2.5.4 水泥窑协同处置生活垃圾典型技术

由于城市生活垃圾是一种波动大，成份复杂，热值低且变化大，尤其是中国的垃圾不分类，水份高，处理处置比较难。按《欧盟水泥工业 BAT 指南》（2009 年修订稿）及《水泥窑协同处置工业废物设计规范》（GB50634-2010）中的规定，未经分类的生活垃圾，是不能直接投入到水泥窑处置的。

目前国内利用水泥窑协同处置生活垃圾技术主要有两种：

一是生活垃圾基本不分类，将垃圾焚烧炉，而该焚烧炉置于水泥窑边上，经焚烧后的垃圾炉渣，再进水泥窑系统作最终的处置，焚烧产生的热烟气（或燃气）进窑的预热分解炉系统，在给水泥窑提供热量的同时，有害气体将被窑内充满大量碱性物料 CaO 和气氛中和吸收。

二是将生活垃圾进行分类预处理，将可燃垃圾变为衍生燃料作为水泥窑的替代燃料，不可燃垃圾作其它处理。工艺流程见图 5。

#### 8.2.6 水泥厂自产废物利用及处置技术

窑灰、灰渣、粉尘等可以返回系统重新利用。水泥厂自产的少量生活垃圾（也可运送到垃圾处理厂处置和垃圾场填埋）、废油、油棉纱等可以入窑处置。不含铬的废旧耐火砖可以作为原料或作为混合材使用。含铬的废旧耐火砖必须由有资质单位回收利用处置。可燃的无毒无害的废滤袋入窑煅烧处置，不可燃烧的有毒有害的废滤袋必须送专门机构回收利用和处置。

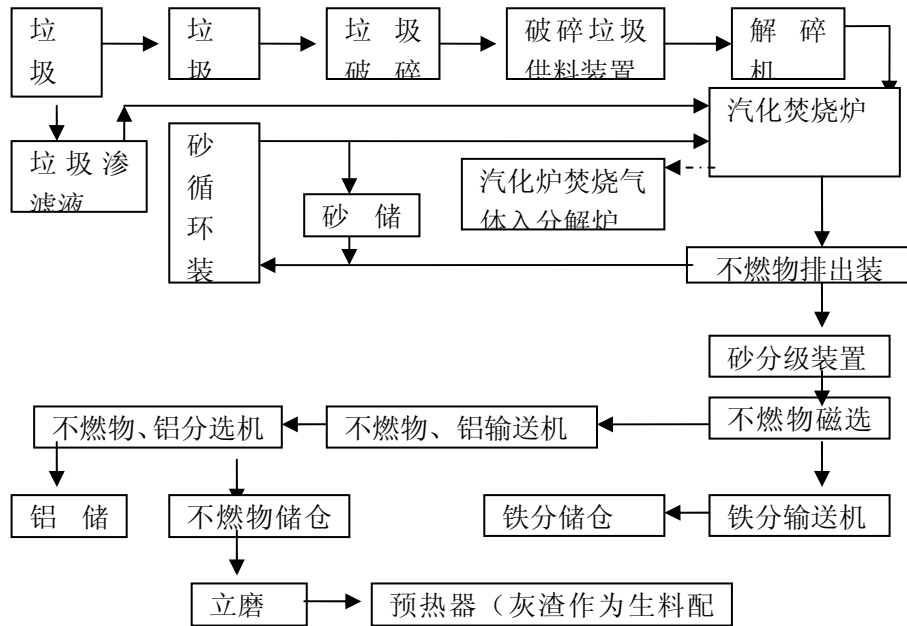


图 5 水泥窑协同处置焚烧生活垃圾工艺流程图

## 8.2.7 生料配料和水泥混合材综合利用技术

水泥熟料烧成之后，水泥配料时经常作为混合材用的废物有粉煤灰、煤矸石、低品位石灰石、矿渣、钢渣等；另外，电厂的脱硫石膏可以替代天然石膏应用在水泥配料中。在国标《通用硅酸盐水泥》（GB 175-2007）中，对掺入水泥中的混合材种类和数量做了明确的规定。

### 8.2.7.1 粉煤灰综合利用及处置技术

粉煤灰可作为生料配料或者混合材使用，粉煤灰能够提供水泥熟料所需的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，增加抗压强度。粉煤灰作为原料对能耗有两方面的影响：颗粒粗的粉煤灰粉磨较困难，会使能耗上升；颗粒较细的粉煤灰因达到产品成品质量要求，可直接入选粉机进行筛选，因而能耗降低。作为混合材使用在改善易磨性、提高产量、降低熟料消耗方面降低了水泥综合电耗和能耗。但使用粉煤灰对质量有一定的要求，粉煤灰的  $f\text{-CaO}$  不能过高，过高易使水泥的安定性不合格，对  $\text{SO}_3$ 、LOSS、水分和活性指数都有一定的要求。

### 8.2.7.2 脱硫石膏综合利用及处置技术

脱硫石膏是电厂烟气脱硫的产物。水泥厂使用脱硫石膏替代天然石膏，对脱硫石膏的质量有一定的要求：脱硫石膏的水分不能过高，否则会造成堵料、断料，并使水泥中的  $\text{SO}_3$  波动达不到控制标准。 $\text{SO}_3$  含量和不溶物也必须达到一定的要求，不溶物偏高时会严重影响水泥早期强度和凝结时间， $\text{SO}_3$  稳定性差时会引起水泥凝结时间波动，甚至导致水泥不合格。另外也要关注脱硫石膏的结晶水，要重点关注流动性，确保喂料畅通，不影响水泥质量。目前采取的防范措施为下料口贴树脂板、加振动器防堵处理。

### 8.2.7.3 钢渣综合利用及处置技术

钢渣作为生料配料使用时，钢渣贮存方式为堆场。钢渣作为补充铁质的原料，与其它的

原料一同进入生料磨进行粉磨。使用钢渣配料后，提高了熟料的品质，熟料的 3d 抗压强度由原来的 30.5MPa 提高到 31.52MPa，28d 强度由原来的 56.5MPa 提高到 58.7MPa，提高了 2.2 个 MPa。

另外现在已开始将钢渣通过采用联合粉磨系统工艺，且达到一定细度后，作为水泥与混凝土的混合材使用，并精选出内含的钢材回用，使的钢渣利用更加合利。

## 8.2.8 水泥工业污染防治新技术

### 8.2.8.1 节能减排新技术

#### 1) 两档支撑回转窑

本次调研发现，5000t/d 水泥熟料生产线回转窑直径多为 4.8~5.2m，长度一般为 70~80m，长径比一般为 13~17，一般为三档支撑。

为了追求熟料烧成过程中消耗的燃料更少，热效率更高，行业内出现了长径比为 9~11 的两档支撑超短窑。从国内外现已投入运行的几十条新型超短窑的生产实践看，其在工艺、机械运行以及基建方面都表现出其他窑型不可比拟的优势。

#### 2) 流化床水泥熟料煨烧技术

流化床水泥熟料煨烧技术是基于流态化技术的优点，将水泥熟料的烧成环节置于流态化状态下，以期获得更低的能源消耗。日本的工业试验结果是：流化床水泥窑大幅度地扩大了煤种的选择范围，可选用烟煤、无烟煤或低质煤；可降低 10%-25% 的热消耗量；较好的环保性能，CO<sub>2</sub> 排放减少 10%-25%，NO<sub>x</sub> 排放减少 40% 以上；与同规格的回转窑相比，设备投资节约 20%，运行成本降低 25%；

#### 3) 富氧助燃燃烧技术

煤炭在富氧环境下燃烧完全、速度快、温度高。富氧助燃是一项新技术，通过一定的方式增加水泥窑炉内氧气含量，提高热效率和系统产量。

### 8.2.8.2 大气污染治理新技术

#### 8.2.8.2.1 旋转电极式电除尘技术

旋转电极式电除尘技术可最大限度减少二次扬尘，节省场地和能源，在老电除尘器改造的末电场具有较好的应用前景。

该技术适用于高比电阻粉尘的治理。

#### 8.2.8.2.2 氮氧化物治理新技术——选择性催化还原技术

详见 8.2.2.2 节。

## 8.3 水泥工业污染防治最佳可行技术的评估与筛选

### 8.3.1 污染防治最佳可行技术概述

水泥工业污染防治最佳可行技术，包括工艺过程污染防治最佳可行技术和污染物最佳可行技术，前者包括矿山的开采和输送、原/燃料的选择、工艺节能/减排最佳可行技术等；后者包括烟尘、SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>x</sub> 的排放控制，废水处理与回用，噪声控制和固体废弃物处理处置



的最佳可行技术等。水泥工业污染防治最佳可行技术组合，见图 6。

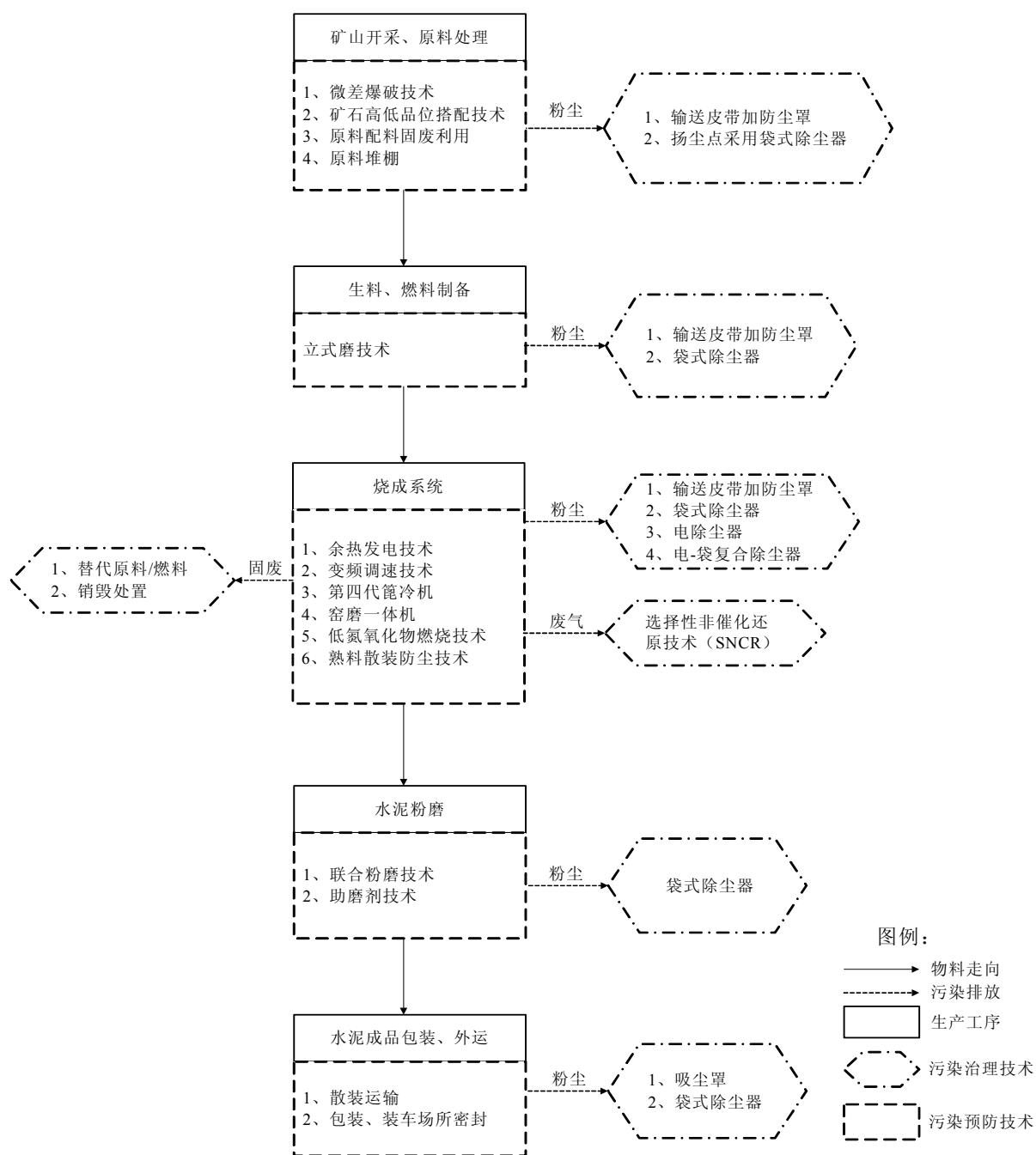


图 6 水泥工业污染防治最佳可行技术组合

### 8.3.2 水泥生产过程污染防治最佳可行技术的评估与筛选

水泥生产过程污染预防最佳可行技术的评估与筛选见表 14。

### 8.3.3 颗粒物防治最佳可行技术的评估与筛选

颗粒物防治最佳可行技术的评估与筛选见表 15。

水泥生产过程颗粒物排放控制最佳可行技术见表 16。

表 14 水泥生产过程污染预防最佳可行技术评估筛选表

治理技术		技术性能			经济性能		环境影响性能	能耗	
		资源能源消耗	污染物产生	自动化程度	投资成本	经济效益		产能	电耗
矿山 开采 与输 送	综合利用矿山资源， 实现零排放	无	无		好	好	无	大	低
	防尘与除尘技术	低	无	中	中	中	好	省	
	噪声防治技术	低	无	中	中	中	好	省	
	减少水污染技术	中	无铬	中	中	中	好	省	
	在扬尘点设置除尘可靠的袋式除尘器	中	无	高	稍高	高	好		
	减少堆棚的二次扬尘	稍高	无	高	稍高	高	好		
	选择合适的生产原材料（替代原料/燃料）	低	无	高	稍高	高	好		
生料 煤粉 制备	采用立磨技术	低	无	高	稍高	高	好	高	低 20%
	采用立磨技术	低	无	中	稍高	中	好	高	低 20%
熟料 生产 线节 能减 排技 术	回转窑采用两档支撑 短窑	低	无	中	低	中	好	高	低 10%
	低氮节能燃烧器	低	无		中	中	降低 NO <sub>x</sub> 排 放 20%		
	主要风机变频调速				稍高	高	好		低 15-35%
	中低温余热发电技术	低	无	高	中	高	好(减排 CO <sub>2</sub> )		低 40-50%
	余热锅炉循环冷却水 系统节水技术	低	无	高	低	好	好		节水 95-98%
	第四代步进式 篦式冷却机	低(提高 10%的 热效率)	无	高	中(投资 降低 10%)	好	好	高	低 20%
水泥 粉磨 节能 技术	采用联合粉磨系统 (辊压机+球磨机)	低	无	高	稍高	好	好(降低 噪声)	高	低 35-50%
	助磨剂	低	无		低	中	增加替 代原料	产量 提高 10%	电耗降 低 3%

表 15 颗粒物防治最佳可行技术的评估与筛选表

排放控制 BAT技术	除尘效率	排放浓度 (mg/Nm <sup>3</sup> )	投资 成本	运行 费用	适应对象和条件
袋式除尘器	99.8% ~ 99.99%	5-30	中	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>●适用水泥矿山及水泥厂所有新、老生产线通风及热力设备除尘或除尘改造；</li> <li>●对特殊工艺（如处置废弃污等）的烟气除尘；</li> <li>●袋式除尘器的入口烟气温度通常应&lt;200℃；</li> <li>●可去除烟气中的部分重金属。</li> </ul>
电除尘器（四/五电场电除尘器）	99.5% ~ 99.97%	30-50	高	低	<ul style="list-style-type: none"> <li>●可用于环境 I（A）地区水泥厂新、老生产线窑头、窑尾设备除尘；</li> <li>●窑尾电除尘器的入口烟气比电阻应在<math>1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}</math>之间。</li> </ul>
电-袋复合式 除尘器	99.8% ~ 99.99%	5-30	高	高	<ul style="list-style-type: none"> <li>●可用于水泥厂窑头、窑尾电除尘器改造，或新建水泥厂窑头、窑尾设备除尘；</li> <li>●除尘器的入口烟气温度通常应&lt;220℃；</li> <li>●可去除烟气中的部分重金属。</li> </ul>

表 16 水泥生产过程颗粒物排放控制最佳可行技术

生产过程	生产设备	BAT技术	可达到的排放水平(mg/Nm <sup>3</sup> )
矿山开采	破碎机及其它通风生产设备	袋式除尘器	<30
水泥制造	新型干法水泥窑尾及窑磨一体机	袋式除尘器、电除尘器或电-袋复合式除尘器	<30-50
	新型干法水泥窑头蓖冷机	电除尘器、袋式除尘器或电-袋复合式除尘器	<30-50
	煤磨	防爆袋式除尘器	<30-50
	烘干机、烘干磨	袋式除尘器	<30-50
	破碎机、磨机（水泥粉磨站）、包装机及其它通风生产设备	袋式除尘器	<30-30
水泥制品生产	水泥仓及其它通风生产设备	袋式除尘器	<30
无组织排放（分散扬尘）	库顶、库底卸料器、立窑卸料、散装车、皮带机转运处等	集尘罩+ 袋式除尘器	除尘器排放<30 岗位<6

### 8.3.4 有害气体防治最佳可行技术的评估与筛选

#### 8.3.4.1 NO<sub>x</sub> 排放控制最佳可行技术

NO<sub>x</sub> 排放控制最佳可行技术见表 17。

表 17 NO<sub>x</sub> 排放控制最佳可行技术

最佳可行技术		减排水平	投资成本	运行成本	环境影响性能
一次减排技术	低氮燃烧器（减少燃料在高温区的停留时间）	5%-20%	中	低	较好
	保持全窑系统稳定均衡运行（减少过剩空气量，确保喂料、喂煤量准确均匀稳定）	5%-10%	低	低	较好
	分解炉阶段燃烧（使燃料先在还原气氛的环境中燃烧、后在空气充分的环境中燃烧）	10%~20%	低	低	较好（会增加 CO 排放）
二次治理技术	选择性非催化还原法SNCR（水泥厂在窑尾管道的某些部位喷入氨水或尿素等溶液，使之与烟气中的NO <sub>x</sub> 化合，并将其还原成N <sub>2</sub> 和水）	30%~40%	稍高	高	能使 NO <sub>x</sub> 排放 <500 mg/Nm <sup>3</sup> ，有少量氨逸出

### 8.3.4.2 SO<sub>2</sub> 排放控制最佳可行技术

SO<sub>2</sub> 排放控制最佳可行技术见表 18。

表 18 SO<sub>2</sub> 排放控制最佳可行技术

最佳可行技术		减排水平	投资成本	运行成本	环境影响性能
一次减排技术	采用新型干法窑（熟料烧成热耗较低，大部分燃料在温度为 830~930℃ 分解炉内燃烧，此温度下生料中大部分 CaCO <sub>3</sub> 分解为 CaO，可加速 CaO 与 SO <sub>2</sub> 发生还原反应而减少废气 SO <sub>2</sub> 排放）	较好		低	较好
	优化生产过程（保证回转窑的平稳运行，控制物料在预热器、分解炉、回转窑中均匀分布，加大 S 与碱性物质的接触面积，同时，控制合适的硫碱比，提高物料的易烧性。控制烧成带的 CO、O <sub>2</sub> 含量及火焰形状等）	较好	低	低	较好
	优化燃烧器的设计（改善水泥燃烧器的设计和操作—气氛调整加温度控制等技术措施，控制窑和预热器之间的硫循环）	较	低	低	较好
	采用窑磨（立式磨）一体机运行和袋式除尘器	50%~70%	高	低	好

### 8.3.5 噪声污染防治最佳可行技术的评估与筛选

噪声污染防治最佳可行技术的评估与筛选见表 19。

表 19 水泥厂噪声污染防治最佳可行技术

高噪声系统	噪声控制措施	降噪效果 /dB (A)	投资成本	运行成本	环境影响性能
原料矿山及石	(1) 矿山使用微差爆破。控制炸药在深孔内以毫秒级时间间隔，控制炸药以一定顺序起爆，这种爆破方法不仅能降低	10~20	低	低	较好

灰石破碎	炸药消耗、提高爆破质量，更能降低爆破震动，减低噪声。				
	(2) 将破碎机置于封闭车间或地下、起到封闭隔声的效果，在破碎机基础加装减震装置，降低破碎机振动引起的噪声。在车间内部的墙面安装吸声材料。	10~20	低	低	较好
生料、燃料和水泥制备系统	(1) 将球磨机置于封闭隔声车间，阻隔噪声传播。车间内部墙面安装吸声材料。	15~20	中	低	较好
	(2) 使用带有阻尼效果的耐磨衬板降低噪声。	15~20	中	中	较好
	(3) 用隔声涂料在球磨机筒体外喷涂隔声层或用吸声材料进行筒体包扎。	15~20	高	中	好
	(4) 采用立式磨替代管磨粉磨生料，立式磨的噪声较传统管磨低。	15~30	高	中	好
烧成系统	(1) 将电机置于封闭隔声车间，阻隔噪声传播。无法安装在隔声车间的电机可使用隔声罩或喷涂隔声涂层进行隔声。	15~30	高	中	好
	(2) 提高电机装配精度，降低安装不良引起的机械噪声。	15-20	中	中	较好
	(3) 窑头、窑尾风机及高温风机搭建风机房，安装消声器，在壳体上喷涂吸声材料涂层。	15-30	高	高	好
其他	(1) 在风机进、出风管道上安装消声器，风机和管道连接采用软连接。风机基础配备减震垫。	10~20	中	低	较好
	(2) 将高噪声风机置于隔声室（隔声罩）中，隔声室（罩）内可做吸声处理。	10-30	高	中	好
	(3) 安置库体内部的风机，可在库体建筑安装隔声门、窗进行隔声改造，必要时可在内部墙面安装吸声材料或者吸声结构、进一步降噪。	10-30	高	中	好
	(4) 余热发电汽轮机、发电机车间封闭，并在设备上安装吸声材料或者加装隔声罩。	10-30	高	中	好
	(5) 空压机房做好车间密封、为设备配置基础减震、在进风口加装消声器。	10-30	中	中	好

### 8.3.6 水污染防治最佳可行技术的评估与筛选

水污染防治最佳可行技术水污染评估与筛选见表 20。

**表 20 水污染防治最佳可行技术**

最佳可行技术		排放水平	投资成本	运行成本	环境影响性能
设备冷却水	集中收集后经隔油、沉淀处理，进厂区生活污水集中处理设施。	达标排放			

生活污水	采用物化（物理和化学）和生化（生物工程）相结合，以生化工艺为主导的工艺流程。推荐使用生物接触氧化法，生物接触氧化法具有活性污泥法和生物膜法特点的新型处理技术，目前应用广泛，技术成熟可靠。	达标排放或回用	中	中	较好
化验室废水	经过加药剂絮凝沉淀、调整 pH 值后，进入污水处理系统处理。	达标排放或回用	中	中	较好
污水集中处置系统	若水泥厂协同处置污泥或生活垃圾，污泥干化液和垃圾渗滤液与生活废水、化验室废水混合后一同集中处理。推荐的处理流程如下图：	达标排放或回用	高	中	好
<pre> graph LR     A[污水池] --&gt; B[调节池]     B --&gt; C[混凝沉淀池]     C --&gt; D[A/O池]     D --&gt; E[一沉池]     E --&gt; F[接触氧化池]     F --&gt; G[活性炭吸附塔]     G --&gt; H[终沉池]     H --&gt; I[消毒池]     I --&gt; J[清水回用池] </pre>					

### 8.3.7 水泥窑协同处置工业废物最佳可行技术的评估与筛选

#### 8.3.7.1 水泥窑协同处置工业废物最佳技术与管理

##### 1) 废物替代原燃料质量控制

a. 应采用质量保证体系以稳定来料的特性；具体是分析替代原燃料的组份和成份、物理特性（形状（固态或液态）、反应性、易烧性和热值）、有害元素含量（氯、硫、碱和硫酸盐含量及重金属含量），并保持来料的均质和稳定；

b. 控制废物入窑的相关数值：如氯、挥发性重金属（镉、汞、铊）、硫、卤素总量；

c. 对每种废物的添加量加以控制。

##### 2) 废物送入窑的投入点

a. 选择合适的废物喂入点，以保证废物焚毁的高温和停留时间；

焚毁一般废物的条件气体稳定的温度大于 850℃，且停留时间超过 2 秒，焚毁危险废物（其中卤化有机物超过 1%的温度），温度需大于 1100℃，停留时间超过 2 秒；

b. 对含有易挥发有机物的废物，要直接喂入到窑的高温带焚烧；

c. 在开或停窑时，由于温度和时间达不到要求，应停止废物的焚烧。

##### 3) 处置利用危险废物的安全管理

水泥窑协同处置危险废物时必需符合下列标准：《危险废物焚烧污染防治技术政策》、《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2001）、《危险废物鉴别标准》（GB 5085-1996）、《危险废物转移联单管理办法》、《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2004）、《水泥窑协同处置工业废物设计规范》（GB 50634-2010）等。

#### 8.3.7.2 水泥窑协同处置污泥最佳可行技术

国内在水泥窑协同处置废物中，污泥作为替代燃料和焚毁处置的比较多。

水泥窑协同处置污泥最佳可行技术有：污泥直接输送到烟室焚烧和污泥干化后作为燃料和原料，见表 21。

**表 21 水泥窑协同处置污泥最佳可行技术**

最佳可行技术	污染控制环节	投资成本	运行成本	环境影响性能	适用性
直接焚烧污泥	污泥储存和输送要密闭	低	中	好	一般每吨熟料处置污泥量不超过 0.04 吨，投资较小，适合于污泥量较小、对污泥补助不高的城市和地区。
间接干化后焚烧污泥	湿污泥和干化污泥储存和输送要密闭，干化污泥蒸发出来的水要处理达标后排放。	高	中	好	吨熟料处置污泥量较大，对 2500t/d 的水泥窑最大处理污泥（污泥含水 80%，污泥干化到含水 30%左右）量大约为 700t/d，投资较大。适合污泥量较大、对污泥补助较高的发达城市或地区。

### 8.3.8 水泥工业最佳环境管理实践

#### 8.3.8.1 总则

最佳环境管理是最佳可行技术的组成部分，环境管理是实施污染全过程有效控制，使环境技术得以正常运转的基础和保证。环境管理要贯穿于水泥厂的全过程，并落实到企业的各个层次，分解到生产过程的各个环节，与生产管理紧密结合。水泥厂必须建立健全岗位责任制，依靠生产管理机构，充分发挥各级管理部门作用，开展全面的、全员的、全过程的节能环保管理。规范运用现代、科学的管理技术，实现本企业合理使用能源，不断提高能源利用效率，降低污染物排放水平，使各项能耗和污染物排放指标达到最佳水平。

本节从矿山开采与输送、原料、燃料及材料贮存的预防尘、生料和煤粉制备、熟料生产线节能减排技术、水泥粉磨节能技术等生产过程，同时在水泥工业颗粒物治理、有害气体治理、水污染防治、噪声治理、水泥窑协同处置工业废物等方面在说明最佳可行技术时，也部分叙述了最佳环境管理实践的内容。

#### 8.3.8.2 环境管理要求及实践框架

水泥企业应按照 ISO14001 标准要求、实施适用于自身的动态环境管理体系，并不断发展和完善。方针目标：预防为主，防治结合，综合利用，化害为利，以管促治，讲求实效。环境管理主要包括：水泥厂建立环境管理体系并通过论证；建设项目“三同时”执行情况；建设项目环境影响评价制度执行情况；老污染源限期治理项目完成情况；污染物排放总量控制情况；环境监测制度建立及执行情况；开展全面清洁生产审核等。最佳环境管理框架见图 7。

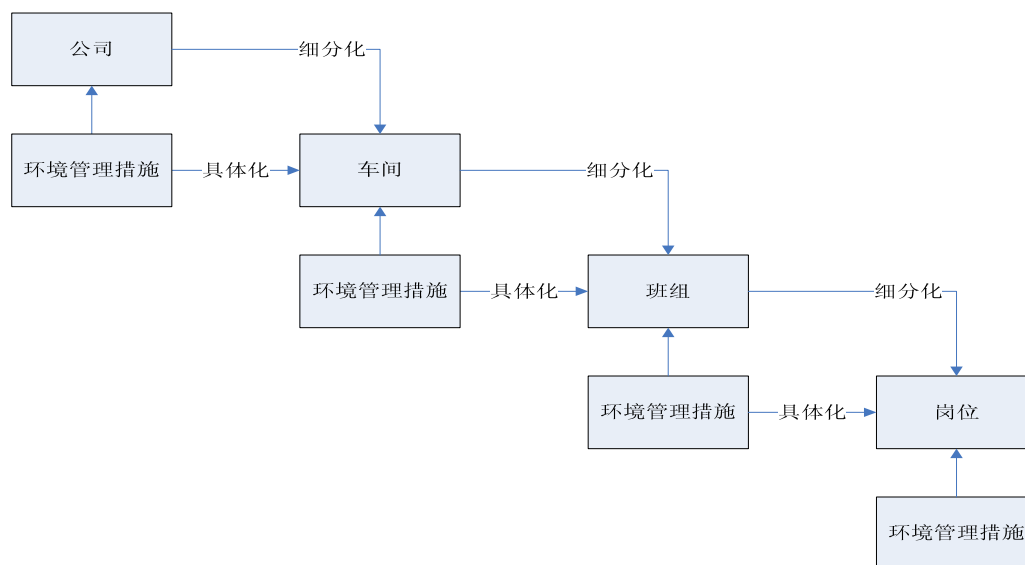


图 7 最佳环境管理框架

## 9 指南实施的环境效益与经济技术分析

### 9.1 环境效益

我国水泥行业氮氧化物的排放占全国总排放的 10%，位于电力和汽车尾气后的第三位，是氮氧化物的重要排放源，二氧化碳排的排放位于第二，二氧化硫的污染占全国的 5%，颗粒物排放量约占工业排放总量的 30%。

如果按照本指南的要求，水泥企业全部采用这些最佳可行技术：如立磨工艺、低氮节能燃烧器、风机变频调速、中低温余热发电、第四代步进式篦冷机、水泥辊压机联合粉磨等技术，再加上采取大气、噪声、水、固废等污染的综合治理技术，减少污染物的产生；并利用水泥生产的特殊优势，大量使用废物替代原料及燃料，不仅可以减少矿石原燃料的使用，减少 CO<sub>2</sub> 的排放，还能达到废物综合利用的效果，彻底将这些废物减量化、资源化和无害化。水泥企业在进行节能减排的同时，树立起循环经济的发展模式，其环境效益是非常显著的。

### 9.2 技术经济分析

通过本指南的实施，为水泥行业主要大气污染物（主要是颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 污染物和 CO<sub>2</sub> 减排）协同控制和减排找到一系列的技术和管理的方法，技术经济分析如下：

#### 1) 低成本的水泥工业颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 多污染物的协同控制

根据编制组 2010 年对 158 多家水泥企业的调研，对于每条 5000t/d 熟料新型干法水泥生产线而言，企业每年需缴纳排污费约 90~100 万元，其中，NO<sub>x</sub> 排污费约占 85%，即每年 NO<sub>x</sub> 排污费约 76~85 万元。如果通过技术改造和监管到位，颗粒物排放减少 50%，氮氧化物减少 25%，其每年可减少排污费约 30 万元，相当于年吨水泥少交费 0.15 万元，按全国水泥量为 18.6 亿吨，今后 5 年可减少排污费达 13.95 亿元。同时减少了粉尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 的污染，环境及社会效益是巨大的。

#### 2) 提高水泥窑的原料/燃料替代率来减少二氧化碳的排放

国外水泥工业的原料/燃料替代率已达 50%，先进的达到 70%，而我国这方面刚起步，只有少数企业在进行。水泥行业通过提高原料/燃料的替代率，减少化石原燃料的使用，是



十二五期间及以后必走的可持续发展道路。如果水泥行业能在今后五年内达到 30%的原料/燃料替代率，则每年可减少二氧化碳排放 2.8 亿吨，同时因降低化石燃料的使用而成本节省达 3720 亿元，产生巨大的环保及经济效益。

## 10 标准实施建议

1) 水泥 BAT 指南应与各种排放标准(包括地方标准)建立关联关系，并要具有一定的强制性，加强行政指导，促进水泥行业污染防治工作的开展。

2) 根据国务院“关于促进产业结构调整暂行规定”，以水泥 BAT 指南中的最佳可行技术为门槛，限制和淘汰水泥行业落后生产力，加快推进水泥行业的兼并重组及产业结构优化升级。

3) 建议各地区依据本指南提出的最佳可行技术，细化水泥行业的准入技术条件，加快水泥 BAT 指南中提出的最佳可行技术的推广应用。

4) 根据水泥行业污染防治技术的发展状况，适时修订本指南，吸纳各种新的最佳可行技术。