

附件 2

# 水泥行业清洁生产评价指标体系

## 编制说明

(征求意见稿)

# 目 录

1	前言.....	1
2	水泥行业概况.....	3
	2.1 我国水泥行业发展情况 .....	3
	2.2 企业情况 .....	3
	2.3 水泥行业规划情况 .....	4
	2.4 生产工艺概述 .....	5
	2.5 生产过程污染情况 .....	8
3	指标体系的指导思想及依据 .....	11
	3.1 指导思想 .....	11
	3.2 主要依据 .....	11
4	标准制定的主要工作步骤 .....	13
	4.1 资料查阅 .....	13
	4.2 对国内主要水泥企业进行调研 .....	13
5	国内外水泥行业污染物排放和能源消耗情况分析 .....	15
	5.1 水泥行业污染物排放情况 .....	15
	5.2 水泥行业相关能耗指标 .....	21
6	评价指标体系的建立 .....	25
	6.1 指标体系适用范围的确定 .....	25
	6.2 指标选取原则 .....	25
	6.3 指标体系主要内容 .....	25
7	清洁生产企业的评定 .....	28

# 1 前言

水泥作为一种建筑材料，在国民经济建设中占有十分重要的地位和作用，我国是世界上最大的水泥生产和消费国。

水泥生产是资源和能源消耗密集型的产业，原料开采矿区范围大，开采周期长，生态影响较大；水泥生产过程中涉及的污染因子多，污染物产生和排放量大，对环境的影响大，兼具生态影响型和污染影响型的双重特点。

随着 2012 年冬春季节雾霾天气频现，作为高耗能、高排放的水泥行业，环境约束加大，进一步规范水泥企业削减颗粒物及氮氧化物等污染物的排放、防治PM<sub>2.5</sub>、推进企业进行清洁生产工作的需求更加迫切。

2002 年 6 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议通过了《中华人民共和国清洁生产促进法》，并于 2003 年 1 月 1 日起施行，该法为我国今后清洁生产工作的开展指明了方向，提出了要求。

为贯彻落实清洁生产促进法，进一步深化清洁生产工作，进行加快推行清洁生产工作的基础研究是非常必要的。建立水泥行业清洁生产评价指标体系，对清洁生产活动进行有效规范以及评价其效果变得越来越重要。此外，清洁生产审核、示范技术和管理措施的推广也迫切需要一个合理的指标体系。因此，开展这方面的研究是推动水泥企业清洁生产工作向纵深发展和客观、科学考查企业清洁生产程度的一项十分重要的基础工作。

依照《清洁生产评价指标体系编制通则》，本次修订以 2009 年 3 月 25 日环境保护部发布《清洁生产标准 水泥行业》（HJ467-2009）和 2007 年 7 月国家发展和改革委员会发布《水泥行业清洁生产评价指标体系（试行）》为基础，根据我国现行的法律、法规、标准和产业政策，结合水泥行业的发展现状，更新、确定水泥行业发展中的基础数据，整合建立最新的水泥行业清洁生产评价指标体系。

为加快水泥行业清洁生产评价指标体系整合进程，经相关部门研究商定，决定将水泥行业作为行业清洁生产评价指标体系首批整合的试点行业之一，由中国环境科学研究院作为技术支撑单位，组织协调中材地质工程勘察研究院有限公司、中国水泥协会负责整合修订工作。

2013 年 5 月 17 日，中国环境科学研究院组织召开了《水泥行业清洁生产评价指标体系》（初稿）专家咨询会，会后，编制单位针对专家提出的意见进行了认真修改和完善，主要包括以下内容：

1、进一步优化完善指标项目、核实基准值，包括：

(1) 新型干法水泥熟料生产企业的窑外分解窑（窑尾）和熟料篦式冷却机（窑头）的颗粒物产生浓度可体现其清洁生产水平，其它较大颗粒物污染源如生料磨、水泥磨、煤磨由于生产工艺特点，其颗粒物产生浓度不能体现其清洁生产水平。因此，污染物产生指标中增加了新型干法水泥熟料生产企业的窑外分解窑（窑尾）和熟料篦式冷却机（窑头）的颗粒物产生指标；

(2) 生产工艺及装备指标中增加了环保设施指标；

(3) 清洁生产管理指标中增加了环保设施稳定运转率和节能管理指标。

2、扩大了企业试算范围，重新确定、核实相关指标的权重值，增大了生产工艺及装备指标的权重。

3、重新核定了综合评价指数计算及评价方法，水泥粉磨站企业仅对其涉及的指标项进行评分和清洁生产水平评价。

## 2 水泥行业概况

### 2.1 我国水泥行业发展情况

我国是水泥生产与消费大国，2012 年世界水泥产销量约 39 亿吨，我国水泥产量占世界总量的 56%，达到 21.8 亿吨。十几年来，我国水泥工业发展迅速，水泥产量由 2000 年的 5.97 亿吨，发展到 2012 年的 21.8 亿吨，增长了 2.66 倍。

截至 2012 年底，我国已拥有新型干法水泥生产线 1637 条，其中日产 2000 吨以上的熟料生产线有 1257 条，较 2011 年新增 124 条，同比增加 8.2%。

2000~2012 年我国水泥行业发展情况见表 2-1。

表 2-1 2000~2012 年我国水泥行业发展情况

年份	水泥产量(亿吨)	新型干法水泥产量(亿吨)	新型干法水泥比例(%)	新型干法生产线条数
2000	5.97	0.60	10.1	133
2001	6.64	0.94	14.2	170
2002	7.25	1.23	17.0	222
2003	8.62	1.90	22.0	320
2004	9.70	3.16	32.6	504
2005	10.6	4.73	44.6	624
2006	12.4	6.02	48.5	715
2007	13.6	7.15	52.6	802
2008	14.0	8.58	61.3	934
2009	16.5	12.7	77.0	1113
2010	18.8	14.9	79.3	1273
2011	20.9	18.6	89.0	1513
2012	21.8	——	——	1637

### 2.2 企业情况

截至到 2011 年末，我国有水泥生产企业 3854 家（含粉磨站企业 2185 家），其中新型干法水泥企业 1100 家（新型干法水泥生产线共 1513 条），水泥产能 28.97 亿吨，水泥熟料产能 17.18 亿吨。

截至 2012 年底，全国年产熟料 155 万吨以上的大型水泥企业 154 家，其熟料产能合计 138360.6 万吨，占全国熟料总产能的 86%。水泥生产规模前十位的企业集团包括中国建材、海螺水泥、中材集团、冀东水泥、华润水泥、台泥水泥、华新水泥、山水集团、红狮集团、北京金隅等，前 10 家企业集团水泥熟料产能 83309.3 万吨，占全国总产能的 52%，产业集中度已提前实现了水泥行业“十二五”规划目标。

目前，从国内水泥市场的分布来看，华东地区以海螺水泥、中国建材为龙头，华北地区以冀东水泥、金隅水泥为龙头，东北地区以亚泰水泥、北方水泥为龙头，西部地区以天山股份、祁连山股份为龙头，西南地区以中国建材、海螺水泥、台泥水泥为龙头。

从全国水泥产能分布来看，华东地区熟料产能最大、中南地区位居第二、东北地区熟料产能最小。

我国水泥生产线区域分布情况见表 2-2。

表 2-2 我国水泥生产线区域分布

区域分布	2010 年		2012 年	
	生产线(条)	熟料产能(万 t/a)	生产线(条)	熟料产能(万 t/d)
东北	86	8334	101	32.49
华北	155	13620	217	72.42
华东	358	40436	433	160.05
中南	272	33804	339	132.145
西南	260	21245	355	104
西北	143	10535	219	67.25
全国	1274	127974	1664	568.355

### 2.3 水泥行业规划情况

根据《水泥行业“十二五”发展规划》，水泥行业“十二五”发展的主要目标是：到 2015 年，规模以上企业工业增加值年均增长 10% 以上，淘汰落后水泥产能，主要污染物实现达标排放，协同处置取得明显进展，综合利用废弃物总量提高 20%，42.5 级及以上产品消费比例力争达到 50% 以上，前 10 家企业生产集中度达到 35% 以上。见下表 2-3。

表 2-3 水泥工业“十二五”主要发展目标

指标	2010 年	2015 年	年均增长
规模以上工业增加值年均增长 (%)	—	—	>10
淘汰落后产能 (亿吨)	—	[2.5]	—
前 10 家企业生产集中度 (%)	25	35	[10]*
水泥散装率 (%)	48	65	[17]*
低温余热发电生产线比例 (%)	55	65	[10]*
协同处置生产线比例 (%)	—	10	—
单位工业增加值二氧化碳排放量降低 (%)	—	—	[17]
氮氧化物排放总量降低 (%)	—	—	[10]
二氧化硫排放总量降低 (%)	—	—	[8]

备注：“[ ]”内为五年累计数；\*为 2015 年比 2010 年增加或减少的百分点。

## 2.4 生产工艺概述

一条完整的水泥生产线是从石灰石原料的开采到水泥成品的制造，包括石灰石矿开采、水泥熟料生产和水泥粉磨三个主要环节。

### 2.4.1 石灰石矿开采

目前，我国石灰石矿开采多为露天开采，采用自上而下水平分层开采法。

露天开采工艺流程为：表层剥离后，先用潜孔钻机钻孔，采用深孔多排孔微差挤压爆破，爆破后小块矿石用液压挖掘机采掘装车，由自卸车将矿石运到破碎车间，大块的矿石经液压锤破碎后再用自卸车将矿石运到破碎车间进行破碎。破碎后粒径合格的石料由皮带输送机或汽车运输进厂内的石灰石预均化库。

矿山生产中会造成地表扰动、植被破坏、水土流失，产生颗粒物、噪声、爆破振动等污染，其工艺流程及产污环节见图 2-1。

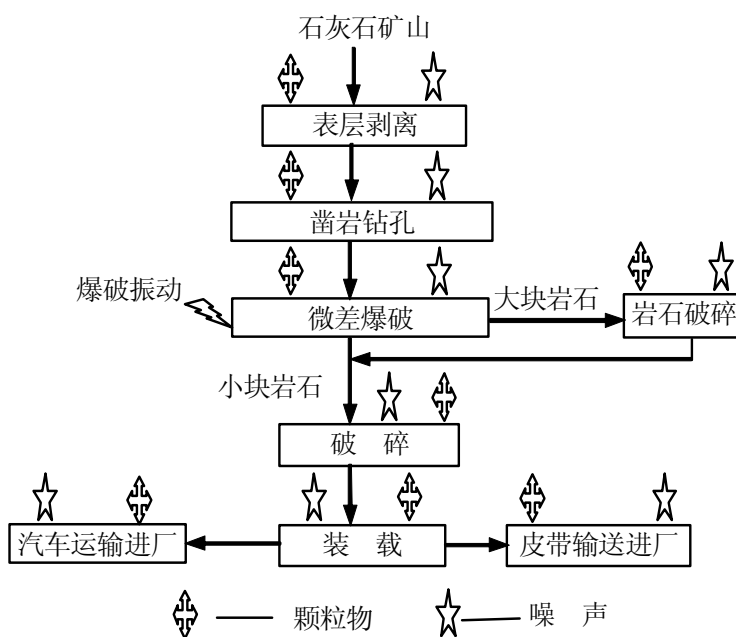


图 2-1 石灰石开采工艺流程及产污环节

### 2.4.2 熟料生产

熟料生产包括生料制备、煤粉制备和熟料煨烧三个主要工序。

#### 1、生料制备

生料制备是将生产水泥熟料的石灰质原料、黏土质原料与铁质校正原料破碎后，按一定配比磨细为成分适宜、质量均匀的生料粉的生产过程。

石灰石、黏土质原料和铁质校正原料预均化后，分别进入原料调配站的配料库中。

来自原料调配站的配合料经胶带输送机送入原料磨内，物料在原料磨系统经粉磨、烘干和选粉工序，选出细度合格的生料粉，经胶带机和斗式提升机送入生料均化库。选粉工序选出的粒径大、细度不合格的生料粉在磨机系统内再次粉磨。生料粉在生料均化库中均化后通过计量喂料系统准确的卸出，经空气输送斜槽和斗式提升机喂入窑尾预热器的进料口。

## 2、煤粉制备

进厂的原煤预均化后的原煤用皮带机送到煤磨车间的磨头仓，经喂料机进入煤磨磨制成煤粉，煤粉经过计量后经输送系统分别送返回转窑的窑头和分解炉。

## 3. 熟料煅烧

熟料煅烧是将生料在水泥窑内煅烧至部分熔融、得到以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料的过程。

新型干法工艺熟料煅烧过程中，合格生料首先进入预热器预热，再进入分解炉，在 850~950℃温度下，生料在悬浮或沸腾状态中进行无焰燃烧，同时完成传热和碳酸盐分解成为“中间料”，而后进入回转窑，在 1300~1500℃的高温条件下煅烧，产生 20%~25%的液相。通过固相反应、固液相反应，生成以硅酸钙为主要成分的水泥熟料，煅烧生成的熟料采用冷却机冷却，经熟料破碎机破碎后，经链斗输送机输送进熟料库。

熟料生产工艺流程及产污环节见图 2-2。



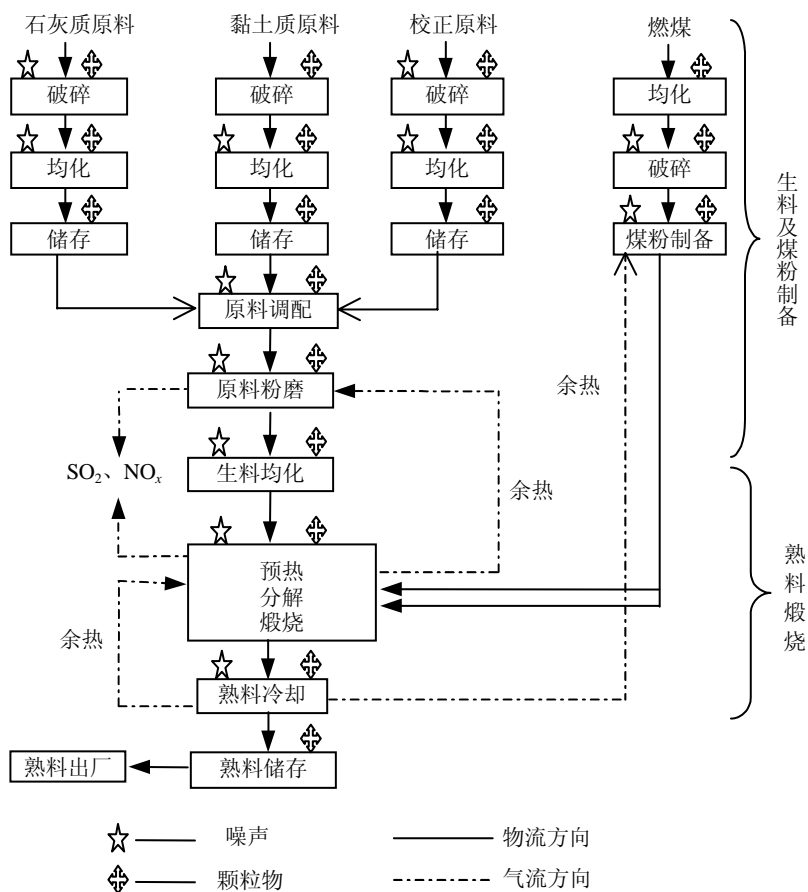


图 2-2 水泥熟料生产工艺流程及产污环节

### 2.4.3 水泥粉磨

水泥粉磨是将水泥熟料掺加适量缓凝剂（石膏）、混合材料或外加剂，共同磨细成为水泥。

来自水泥调配站的熟料、石膏、混合材料等经提升机、胶带输送机喂入水泥磨，出磨物料经选粉机选出合格细粉，粗料入磨继续粉磨，细粉作为成品由空气输送斜槽送入水泥库。

水泥成品有散装和包装两种形式，散装水泥直接可利用汽车、火车或船舶发运系统，由散装机从水泥库直接装车、装船外售。包装水泥通过包装车间的包装系统，将水泥包装成袋，经胶带输送机卸入水泥成品库。

水泥粉磨生产工艺流程及产污环节见图 2-3。

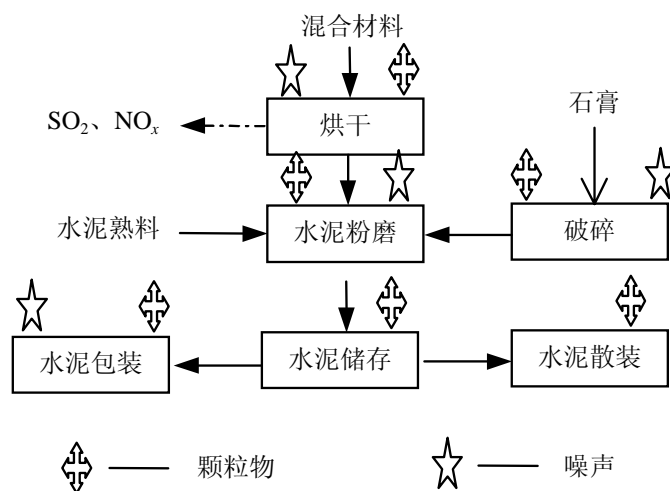


图 2-3 水泥粉磨站生产工艺流程及产污环节

## 2.5 生产过程污染情况

水泥生产是自然资源、能源消耗密集型的产业。原料开采矿区范围大，开采周期长，植被破坏，造成的矿区水土流失严重。水泥生产过程涉及的污染因子多，污染物产生和排放量大，环境影响范围大，环境污染重，兼有生态影响型和污染影响型的双重特点。

在水泥生产过程中，原料的破碎、烘干、粉磨，熟料的煅烧、冷却，以及水泥粉磨等，每道工序都存在着不同程度的颗粒物排放，而水泥窑系统则集中了 90% 的颗粒物有组织排放和几乎全部气态污染物（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、氟化物等）排放。

据测算，水泥工业颗粒物排放占全国颗粒物排放量的 15~20%，SO<sub>2</sub>排放占全国 SO<sub>2</sub>排放量的 3~4%，NO<sub>x</sub>排放占全国 NO<sub>x</sub>排放量的 10~12%，是典型的重污染行业。

### 2.5.1 石灰石矿开采产生的主要污染物

矿山在开采过程中，剥离、钻孔、爆破、采装、运输及破碎等工序均有颗粒物产生；矿山废气污染源主要为矿山爆破废气。爆破时产生的有害气体主要有 CO、NO、NO<sub>2</sub> 等。

矿山开采中穿孔、爆破、采装、运输、破碎等工序都将产生不同程度的噪声。根据矿山采用的生产工艺流程及所选设备，产生高噪声的设备主要有：液压潜孔钻机、挖掘机、空压机、破碎机、自卸式载重汽车，其中以爆破时产生的噪声强度最大，但它的影响是瞬时的。

矿山露天爆破产生爆破振动、个别飞石可能会对周边环境敏感点造成影响。

矿山开采产生的固体废物为采矿过程中剥离的围岩、夹石和表层剥离物，处置不当会对周围环境产生影响。

## 2.5.2 水泥生产产生的主要污染物

水泥生产过程产生的主要污染物是废气和噪声。

### 2.5.2.1 大气污染物

水泥生产过程中排出的大气污染物种类很多。一类是气溶胶状态的各种颗粒物（粉尘）；排放颗粒物的设备有破碎机、烘干机、粉磨设备和水泥窑等。另一类是气态的各种有害气体，如硫氧化物、氮氧化物、氟化物、碳氧化物、碳氢化合物等，排气设备主要是窑系统。

#### 1. 颗粒物

水泥生产过程中，原燃料破碎、烘干、粉磨、熟料冷却、水泥粉磨及水泥成品的包装、散装等工序均会产生不同程度的颗粒物排放。产尘量较大的生产工序包括回转窑窑头、窑尾、煤磨、水泥磨等，窑头窑尾含尘气体具有废气量大、高温等特点，煤磨粉尘还具有易燃、易爆等较难处理的特性。

《水泥工业除尘工程技术规范》（HJ434-2008）中对水泥厂不同的产尘工序，推荐了袋式除尘器或静电除尘器等不同的除尘方式，指导水泥厂设计控制生产中的颗粒物排放浓度。

#### 2. 硫氧化物

硫氧化物是指 $\text{SO}_2$ 和 $\text{SO}_3$ ，主要是 $\text{SO}_2$ 。在水泥生产过程中，由燃料带入的易挥发性硫化物是造成硫氧化物排放量增大的主要原因，其次是原料带入的硫化物。它们有易挥发的硫化物、中等挥发性的亚硫酸盐和难挥发的硫酸盐。硫化物主要以 $\text{FeS}_2$ 形式存在于黄铁矿或亚稳定的白铁矿中，在悬浮预热的条件下，于 $370\sim 420^\circ\text{C}$ 氧化成 $\text{SO}_2$ 并释放出来；在 $800\sim 1000^\circ\text{C}$ 的温度时，燃料燃烧产生的大部分 $\text{SO}_2$ 可被物料中的氧化钙等碱性氧化物吸收生成硫酸钙及亚硫酸钙等中间物质进入熟料或窑灰中。预分解窑由于物料与气体接触充分，吸硫率可高达98%以上。

近几年建成的国内新型干法水泥厂的验收监测结果表明，窑尾废气中二氧化硫的排放浓度都远低于现行的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915-2004）中的排放限值。

### 3. NO<sub>x</sub>

(1) NO<sub>x</sub>的产生 所谓NO<sub>x</sub>主要是指NO与NO<sub>2</sub>的混合气体。在水泥回转窑系统中主要生成NO，NO<sub>2</sub>的量很少，不足混合气体总量的5%（质量）。其主要是由燃料燃烧时部分含氮的有机物分解氧化和空气中的氮气在高温下氧化而生成的。燃烧温度愈高，产生的NO愈多；氧分子浓度愈高，NO生成速度愈快，NO愈多；高温区停留时间愈长，NO生成量愈多。

NO在高浓度下有毒，NO<sub>2</sub>则有剧毒。NO与NO<sub>2</sub>在光照条件下能相互转换，因此，在考虑排放限量时都将NO<sub>x</sub>折算到NO<sub>2</sub>，并以10% O<sub>2</sub>含量为基准，在监测受污染的量值时则以实测的NO<sub>2</sub>含量为准。

根据德国水泥研究所近30年的监测，水泥回转窑废气排放的NO<sub>x</sub>量，换算到NO<sub>2</sub>为300~2200mg/m<sup>3</sup>（标态，干基），相当于每t熟料0.8~2.5 kg。

氮氧化物对大气环境的危害越来越受到重视，“十二五”时期，氮氧化物已经列为污染物总量控制指标。由于水泥行业的氮氧化物产生量较大，为减轻对环境空气的影响，在工信部颁布的《水泥行业准入条件》（工原[2010]第127号）中要求，对水泥行业大气污染物实行总量控制，新建或改扩建水泥（熟料）生产线项目须配置脱除NO<sub>x</sub>效率不低于60%的烟气脱硝装置。新建水泥项目要安装在线排放监控装置，并采用高效污染治理设备。

#### 2.5.2.2 水泥生产产生的噪声污染

水泥工业的噪声源主要有破碎设备、粉磨设备、风机、空压机、电动机等。各类噪声源的噪声级值在75~115dB之间，水泥生产线噪声源数量较多，应根据各设备声源特点，采取有针对性的降噪措施，做到厂界环境噪声达标排放。

#### 2.5.2.3 水泥生产产生的废水污染

水泥产生的生产废水有两部分，一是设备循环冷却废水，二是辅助生产废水，水质中污染物较为简单，一般水质较好。废水中主要污染因子有pH、SS、油类等，经处理后，能够回用于生产系统，用于原料磨、增湿塔喷水。对生活污水，按照环保要求一般都设置污水处理站，处理达标后用于厂区绿化及道路、堆场洒水降尘，我国厂很多企业做到了废污水厂区自行消纳，实现废水“零排放”。

## 3 指标体系的指导思想及依据

### 3.1 指导思想

随着工业生产规模的不断扩大，单纯依靠末端治理已不能有效消除工业污染、资源枯竭和生态环境破坏日益严重的状况。推行清洁生产，改变单一的末端污染治理，实行工业污染的全过程控制，走可持续发展道路，是促进经济与环境协调发展、开创工业污染防治新局面的战略性措施，也是我国今后工业污染防治的基本指导思想和方针路线。

建立水泥行业清洁生产评价指标体系，是推动水泥企业清洁生产工作向纵深发展和客观、科学考查企业清洁生产程度的一项十分重要的基础工作，有利于对企业清洁生产工作进行科学总结、考核，进而找出差距，积累经验，推动清洁生产工作持续有效地向前发展。

根据清洁生产的原则要求和水泥工业生产特点，水泥行业清洁生产指标体系规定了水泥行业企业清洁生产的要求，由一级指标和二级指标组成。其中，一级指标包括生产工艺及装备指标、资源能源消耗指标、资源综合利用指标、污染物产生指标、产品特征指标和清洁生产管理指标等六类，每类指标又由若干个二级指标组成。其中“资源和能源消耗指标”、“资源综合利用指标”，以及“污染物产生指标”属于定量指标；“生产工艺与装备要求”、“产品综合评价指标”，以及“清洁生产管理指标”属于定性指标。对于定量指标体系是根据选取有代表性的、能反映“节能”、“降耗”、“减污”和“增效”等方面的数据指标，研究建立评价方法，通过对指标和其相关数据进行科学计算、评价和分析，采用权重值评分的方法，综合考评企业实施清洁生产的状况和企业清洁生产程度。定性要求，则是主要根据国家有利于推行清洁生产的产业发展和技术进步政策、资源环境保护政策规定以及行业发展规划，定性考核企业政策法规的符合性、清洁生产实施工作情况。

### 3.2 主要依据

建立本指标体系的依据是国家有关产业发展、技术进步、环境保护政策和水泥行业发展规划等有关文件。这些文件涉及到企业的清洁生产工作，明确了鼓励和限制的技术发展方向，指出了加快淘汰的内容，并且提出了一些具体指标。这些均为本指标体系的建立奠定了基础。

本指标体系内容引用了下列文件中的条款。凡不注明日期的引用文件，其有效版本适用于指标体系。

- (1) GB 175 通用硅酸盐水泥
- (2) GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
- (3) JC 600 石灰石硅酸盐水泥
- (4) GB50295 水泥工厂设计规范
- (5) GB 13590 钢渣硅酸盐水泥
- (6) GB16780 水泥单位产品能源消耗限额
- (7) GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- (8) GB/T 24001 环境管理体系 要求及使用指南
- (9) GB50634 水泥窑协同处置工业废物设计规范
- (10) HJ 617 企业环境报告书编制导则
- (11) GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准
- (12) 《建材工业“十二五”发展规划》 工业和信息化部 2011年11月8日
- (13) 《水泥行业准入条件》 工业和信息化部公告 工原[2010]第127号
- (14) 国家发展改革委关于修改《产业结构调整指导目录（2011年本）》有关条款的决定 国家发展和改革委员会令 2013年2月27日 第21号
- (15) 《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局（2013年送审稿）
- (16) 《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》 环境保护部、国家质量监督检验检疫总局（2013年送审稿）
- (17) 《矿山生态环境保护与污染防治技术政策》 原国家环境保护总局 环发[2005]109号
- (18) 《水泥企业质量管理规程》 工业和信息化部公告 2010.12.28
- (19) 《清洁生产审核暂行办法》 国家发展和改革委员会、原国家环境保护总局令 第16号
- (20) 《环境信息公开办法（试行）》 原国家环境保护总局令 第35号
- (21) 《排污口规范化整治技术要求（试行）》 原国家环境保护总局 环监[1996]470号

## 4 标准制定的主要工作步骤

### 4.1 资料查阅

在标准制定的过程中，主要查阅了以下资料：

- (1) 我国水泥行业的概况调查：摸清我国水泥行业现状，包括企业数量、工艺水装备、水泥产能、环境管理水平等；
- (2) 国内水泥行业产业政策；
- (3) 国内、外水泥行业相关标准；
- (4) 国内、外水泥行业清洁生产工艺技术以及污染物相关处理技术。

### 4.2 对国内主要水泥企业进行调研

#### 4.2.1 调研方式

本标准调研工作采用了对重点水泥企业实地调研及收集中国水泥协会相关统计数据相结合的方式。

#### 4.2.2 调研主要内容

生产企业的生产工艺、生产规模、装备水平、自动化控制水平、资源能源消耗水平、资源综合利用水平、产品特征、污染物产排水平、环境管理水平等。

##### (1) 生产工艺

重点调研了水泥企业生产所采用的工艺过程、生产规模以及原辅材料、生产装备、资源能源消耗情况。

##### (2) 污染物产生情况

对所有重点调研水泥企业的生产工艺流程进行现场考察，重点了解工艺流程、清洁生产等情况，对生产全过程的污染物的产生节点、产生量及主要污染物种类、污染物排放去向等进行了重点调研。

##### (3) 污染物处理现状

对调研企业现有污染物处理装置的处理工艺流程、运行原理、污染物去除效果、主要设备及投资费用、处理费用、污染物排放去向进行了调查研究。

##### (4) 监测状况

对企业监测能力、监测项目、监测方法、主要仪器仪表、设备及人员配备情况进

行了调查研究。

#### （5）环境管理状况

对企业的环境管理体系执行情况、清洁生产审核情况、能源计量器具配备情况、固体废物处理处置情况、污染物总量控制执行情况、人员培训、信息公开情况进行了调查研究。



## 5 国内外水泥行业污染物排放和能源消耗情况分析

本次修订工作收集国内外水泥行业污染排放和能源消耗现状资料及相关标准，并对其进行了对比分析，以期合理确定《水泥行业清洁生产评价指标体系》中相关污染物产生指标、生产工艺及装备指标中的环保设施指标和能源消耗指标。

### 5.1 水泥行业污染物排放情况

#### 5.1.1 水泥行业相关污染物排放标准

##### 5.1.1.1 国外标准

###### 1、美国 NSPS & NESHAP 标准

美国关于水泥行业大气污染物排放控制的标准有两种，一种是针对常规污染物的新源特性标准（NSPS），列入联邦法规典 40 CFR 60 Subpart F；另一种是针对 189 种空气毒物的危险空气污染物国家排放标准（NESHAP），列入联邦法规典 40 CFR 63 Subpart LLL。上述标准均是基于污染控制技术而制订的，只是对应污染物不同，选择的控制技术也不同，例如 NSPS 是基于最佳示范技术（BDT），而 NESHAP 则是基于最大可达控制技术（MACT）。

###### 2、欧盟 IPPC 指令及 BAT 指南

除大型燃烧装置（2001/80/EC）、废物焚烧（2000/76/EC）以及 VOCs 排放控制（1999/13/EC、94/63/EC）外，欧盟将工业点源的污染物排放纳入综合污染预防与控制（IPPC）指令进行多环境介质（水体、大气、土壤、噪声等）的统一管理。如果说前三项是针对通用操作或设备的要求，IPPC 指令则是对典型行业的要求。它将工业生产活动划分为能源工业、金属工业、无机材料工业、化学工业、废物管理以及其它活动 6 大类共 33 个行业，水泥行业是其中之一。

为配合 IPPC 指令以及许可证制度的实施，根据各成员国和工业部门信息交流的成果，欧盟委员会出版了 33 份行业 BAT 参考文件（BREF）。水泥行业最新版的 BAT 文件于 2010 年 5 月发布，该文件中规定了水泥行业大气污染物排放要求。

###### 3、德国

德国是世界上环保要求最为严格的国家之一。《联邦排放控制法》（Federal Immission Control Act, BImSchG）是德国大气污染控制的基本法律，下辖各种条例 BImSchV 和指南 TA Luft。在《空气质量控制技术指南》（Technical Instructions on Air

Quality Control, TA Luft) 中规定了大气污染物排放限值。2002 年最新版的 TA Luft 中规定的水泥行业污染物排放要求。

#### 4、日本

日本是按污染物项目制订排放标准，而不是按行业，类似我国的《大气污染物综合排放标准》。其排放标准包括两种情况，一是对于二氧化硫，按各个地区实行 K 值控制，同时配合燃料 S 含量限制。K 值标准是基于大气扩散模式，根据 SO<sub>2</sub>环境质量要求、排气筒有效高度确定 SO<sub>2</sub>许可排放量。K 值与各个地区的自然环境条件、污染状况有关，需要划分区域确定 K 值。

二是对于烟尘、粉尘（含石棉尘）、有害物质（Cd 及其化合物、Cl<sub>2</sub>、HCl、氟化物、Pb及其化合物、NO<sub>x</sub>）、28 种指定物质，以及 234 种空气毒物（其中 22 种需要优先采取行动），由国家制定统一的排放标准。对某一行业的大气排放要求分散在不同的污染物项目标准里。

#### 5.1.1.2 国内标准

##### 1、国家标准

2004 年 12 月 29 日，原国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布了《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915-2004），于 2005 年 1 月 1 日起实施。

2013 年《水泥工业大气污染物排放标准》（送审稿）中规定的大气污染物排放限值更加严格。

##### 2、地方标准

我国一些省（直辖市）制定了比较严格的地方水泥工业污染物排放标准，如北京市、广东省、福建省。此外湖南、重庆等省、直辖市正在制定地方水泥工业污染物排放标准。

#### 5.1.1.3 国内外标准污染物排放限值对比情况

国外相关标准中水泥工业污染物排放限值对比情况见表 5-1、国内水泥工业污染物排放限值对比情况见表 5-2。

由表 5-1、5-2 可知，《水泥工业大气污染物排放标准》2013 年送审稿中，自 2014 年 7 月 1 日起规定的现有企业和新建企业各大气污染物排放限值均等于或优于地方水泥工业大气污染物排放限值，且达到了国际较先进的控制水平。

表 5-1 国外水泥工业相关排放标准中限值对比表 单位: mg/m<sup>3</sup>

名称	标准名称	NO <sub>x</sub>	颗粒物	SO <sub>2</sub>	F
美国	40 CFR 60 Subpart F	300	2	80	—
欧盟	泥行业最新版的 BAT 文件	200~450	10~20	50~400	1
德国	2002 年最新版的 TA Luft	500	20	350	3
日本	日本水泥工业执行的大气污染物排放限值	500/700	一般地区 100 特殊地区 50	K 值法	— —
限值范围		200~700	2~100	50~400	1~3

表 5-2 国内水泥工业污染物排放相关标准限值对比表 单位: mg/m<sup>3</sup>

名称	标准名称或文号	区域	时段	企业建设性质	NO <sub>x</sub>	颗粒物	SO <sub>2</sub>	F
国家标准	GB4915-2004	所有	2010 年 1 月 1 日起	现有企业	800	30/50	200	5
			2005 年 1 月 1 日起	新建企业				
	《水泥工业大气污染物排放标准》2013 年送审稿	重点区域以外的区域	2014 年 7 月 1 日前	现有企业	800	30/50	200	5
			2014 年 7 月 1 日起至 2016 年 6 月 30 日止	现有企业	500	30/50	200	5
			2016 年 7 月 1 日起	现有企业	400	20/30	100	5
			2013 年 7 月 1 日起	新建企业	320	20/30	100	5
			国务院环境保护行政主管部门或省级人民政府规定	全部企业	200	10/20	50	3
地方标准	北京市 DB11/237-2004	A 区	自 2007 年 1 月 1 日起	全部企业	禁排	禁排	禁排	禁排
		B 区	自 2007 年 1 月 1 日起	全部企业	500	30	30	2
	广东省 DB44/818-2010	A 区	2012 年 1 月 1 日起	现有企业	550	30	100	3
		B 区	2014 年 1 月 1 日前	现有企业	800	30/50	200	5
		所有	2010 年 11 月 1 日起	新建企业	550	30	100	3
	福建省 DB35/1311-2013	所有	2013 年 4 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日止	现有企业	800	30/50	200	5
		所有	2014 年 1 月 1 日起	现有企业	400	20/30	100	5
		所有	2013 年 4 月 1 日起	新建企业	400	20/30	100	5

### 5.1.2 水泥企业污染物排放现状统计分析

本次修订引用《水泥工业大气污染物排放标准》（2013 年送审稿）编制说明中的水泥企业污染物排放现状的抽样调查结果、相关研究数据和分析结论。

#### 1、颗粒物

与 2003 年抽样调查结果对比，窑尾颗粒物浓度从平均  $100.9\text{mg}/\text{m}^3$  下降到目前的平均  $27.4\text{mg}/\text{m}^3$ ，接近了欧洲的排放水平。

绝大多数水泥窑（约 95%）颗粒物排放浓度低于  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ；60% 的水泥窑颗粒物排放控制在  $30\text{mg}/\text{m}^3$  以下；32% 的水泥窑颗粒物排放控制在  $20\text{mg}/\text{m}^3$  以下。

水泥窑颗粒物排放现状见表 5-3，窑尾颗粒物排放浓度的累积分布情况见表 5-4。

表 5-3 水泥窑颗粒物排放统计表 单位： $\text{mg}/\text{m}^3$

数据来源 统计项目	标准修订抽样调查			2003 年抽样 调查结果	中国建材院 2009 年数据	欧洲 2004 年监测数据
	布袋	静电	合计			
水泥窑数量（条）	85	75	160	90	31	253
平均排放浓度	25.2	30.0	27.4	100.9	42.39	20.3
最大值	49.3	78.9	78.9	371.5	221.5	227.0
最小值	0.23	4.12	0.23	12.6	7.8	0.27

表 5-4 水泥窑颗粒物排放浓度累积分布 单位： $\text{mg}/\text{m}^3$

比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
颗粒物排放浓度	10.8	15.7	19.6	23.0	25.6	30.0	33.6	39.7	45.0	78.9

#### 2、SO<sub>2</sub>

与 2003 年抽样调查结果对比，SO<sub>2</sub> 浓度从平均  $159.2\text{mg}/\text{m}^3$  下降到目前的平均  $59.6\text{mg}/\text{m}^3$ ，与欧洲监测数据对比，我国的水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放浓度更低。

几乎所有水泥窑（约 98%）SO<sub>2</sub> 排放浓度均低于  $200\text{mg}/\text{m}^3$ ；78% 的水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放可控制在  $100\text{mg}/\text{m}^3$  以下；65% 的水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放可控制在  $50\text{mg}/\text{m}^3$  以下。

水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放现状见表 5-5，水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放浓度的累积分布情况见表 5-6。

表 5-5 水泥窑 SO<sub>2</sub> 排放统计表 单位： $\text{mg}/\text{m}^3$

数据来源 统计项目	标准修订抽样调查	2003 年抽样 调查结果	中国建材院 2009 年数据	欧洲 2004 年监 测数据
水泥窑数量（条）	153	40	31	253
平均排放浓度	59.6	159.2	35.52	218.9
最大值	310	520	391	483.7
最小值	0.25	10	0	0

表 5-6 水泥窑SO<sub>2</sub>排放浓度累积分布 单位: mg/m<sup>3</sup>

比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
SO <sub>2</sub> 排放浓度	4.6	10.5	15.0	18.8	30.3	43	65	119	178	310

### 3、NO<sub>x</sub>

#### (1) 抽样调查结果

抽样调查 148 个水泥窑NO<sub>x</sub>平均排放浓度为 621.5mg/m<sup>3</sup>，最低值为 234mg/m<sup>3</sup>（采用分级燃烧+SNCR），最高值为 1233mg/m<sup>3</sup>。

目前 95%的水泥窑NO<sub>x</sub>平均排放浓度在 800mg/m<sup>3</sup>以下；近 20%的水泥窑NO<sub>x</sub>排放可控制在 500mg/m<sup>3</sup>以下；10%的水泥窑NO<sub>x</sub>排放可控制在 400mg/m<sup>3</sup>以下。

水泥窑NO<sub>x</sub>排放现状见表 5-7，窑尾NO<sub>2</sub>排放浓度的累积分布情况见表 5-8。

表 5-7 水泥窑NO<sub>x</sub>排放统计表 单位: mg/m<sup>3</sup>

数据来源 统计项目	标准修订抽样调查	2003 年抽样 调查结果	中国建材院 2009 年数据	欧洲 2004 年监 测数据
水泥窑数量（条）	148	20	9	258
平均排放浓度	621.5	508.6	868.7	784.9
最大值	1233	920	1619.5	2040
最小值	234	105	376.38	145

表 5-8 水泥窑NO<sub>x</sub>排放浓度累积分布 单位: mg/m<sup>3</sup>

比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
NO <sub>2</sub> 排放浓度	400	520	554	596	640	685	715	735	780	1233

在抽样调查的水泥窑中，有 45 条线明确报告了采用的NO<sub>x</sub>控制措施，见表 5-9。

由表可见，采用最佳工艺控制措施（低NO<sub>x</sub> 燃烧器+分级燃烧），NO<sub>x</sub>平均排放浓度为 584.6mg/m<sup>3</sup>，而采用SNCR或工艺控制+SNCR，则可做到 300~500mg/m<sup>3</sup>，甚至更低一些。

表 5-9 NO<sub>x</sub>控制措施采用情况

NO <sub>x</sub> 控制措施	样本数	平均排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	消减效率 (%)	最大值 (mg/m <sup>3</sup> )	最小值 (mg/m <sup>3</sup> )
原始浓度	17	929.1	—	1827	706
低NO <sub>x</sub> 燃烧器	17	668.1	28.1	798	525
分级燃烧	6	670.8	27.8	761	520
低NO <sub>x</sub> 燃烧器+分 级燃烧	9	584.6	37.1	707	470
SNCR	10	384.3	58.6	475	267
低NO <sub>x</sub> 燃烧器+ SNCR	2	260.5	72	273	248
分级燃烧+ SNCR	1	234.0	74.8	—	—

#### (2) NO<sub>x</sub>工艺控制措施

##### 1) 清洁生产工艺

新型干法水泥生产用燃料分别从窑头和分解炉喷入，窑头煤粉燃烧最高温度可达1600℃以上，且烧成废气在高温区停留时间较长；煤粉在分解炉处于无焰燃烧状态，燃烧温度为900℃左右。由于60%的燃料在分解炉内燃烧，燃烧温度低，在此几乎没有热力型NO<sub>x</sub>生成，只产生燃料型NO<sub>x</sub>，因此与普通回转窑（2.4 kgNO<sub>x</sub>/t 熟料）相比，削减了约1/3的NO<sub>x</sub>排放，可使新型干法工艺NO<sub>x</sub>排放量控制在1.6 kgNO<sub>x</sub>/t 熟料。

## 2) 工艺控制措施

工艺控制措施主要是应用低NO<sub>x</sub>燃烧器、分解炉分级燃烧，以及保证水泥窑的均衡稳定运行。低NO<sub>x</sub>燃烧器具有多通道设计，一般为三、四通道，分为内风、煤风、外风，各有不同的风速和方向（轴向、径向），在出口处汇合形成同轴旋转的复杂射流。操作时通过调整内、外风速和风量比例，可以灵活调节火焰形状和燃烧强度，使煤粉分级燃烧，减少在高温区的停留时间，相应减少了NO<sub>x</sub>产生量。

分解炉分级燃烧包括空气分级和燃料分级两种，都是通过对燃烧过程的控制，在分解炉内产生局部还原性气氛，使生成的NO<sub>x</sub>被部分还原，从而实现水泥窑系统NO<sub>x</sub>减排。

工艺波动会造成水泥窑NO<sub>x</sub>浓度的剧烈变化（NO<sub>x</sub>浓度可作为水泥窑工艺控制参数），需要保持水泥窑系统的均衡稳定运行。通过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，可有效降低NO<sub>x</sub>排放。

上述工艺控制措施综合使用，大约可降低30%的NO<sub>x</sub>排放量，相应NO<sub>x</sub>排放浓度可控制在500—800 mg/m<sup>3</sup>。

## 4、氟化物

水泥窑氟化物目前平均排放浓度为1.67 mg/m<sup>3</sup>。

95%的水泥窑氟化物排放浓度均低于5mg/m<sup>3</sup>；83%的水泥窑氟化物排放可控制在3mg/m<sup>3</sup>以下。

水泥窑氟化物排放现状见表5-10，窑尾氟化物排放浓度的累积分布情况见表5-11。

**表 5-10 水泥窑氟化物排放统计表 单位：mg/m<sup>3</sup>**

统计项目	数据来源	
	标准修订抽样调查	2003年抽样调查结果
水泥窑数量（条）	69	5（干法窑） 6（立窑）
平均排放浓度	1.67	2.48 28.7
最大值	9.31	5.9 62.56
最小值	0.013	0.143 6

表 5-11 水泥窑氟化物排放浓度累积分布 单位: mg/m<sup>3</sup>

比例	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
氟化物排放浓度	0.07	0.18	0.29	0.7	1	1.54	2.05	2.64	3.9	9.31

综上，本次修订《水泥行业清洁生产指标体系》中污染物产生指标依据《水泥工业大气污染物排放标准》（2013 年送审稿）及其编制说明选取，并采用水泥企业污染物排放现状统计数据进行了分析、验证。

## 5.2 水泥行业相关能耗指标

### 5.2.1 水泥行业相关单位产品能耗限额标准

#### 5.2.1.1 国外标准

对国外相关水泥单位产品能耗限额要求进行了调研，查找了国外主要水泥生产国家的标准目录，包括日本、德国、美国、印度等国家的相关标准目录，没有发现相关标准。

#### 5.2.1.2 国内标准

2007 年 12 月 3 日，国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会发布了《水泥单位产品能源消耗限额》（GB16780-2007）。

2012 年 12 月 31 日发布修订的《水泥单位产品能源消耗限额》（GB16780-2012），于 2013 年 10 月 1 日开始实施，标准中规定了现有水泥企业能耗限定值、新建水泥企业能耗准入值和水泥企业先进能耗值，详见表 5-12、5-13、5-14。

表 5-12 现有水泥企业水泥单位产品能耗限定值

项目	可比熟料综合煤耗限定值 kgce/t	可比熟料综合电耗限定值 kW·h/t	可比水泥综合电耗限定值 kW·h/t	可比熟料综合能耗限定值 kgce/t	可比水泥综合能耗限定值 kgce/t
熟料	≤112	≤64	—	≤120	
水泥	无外购熟料	—	≤90	—	≤98 <sup>a</sup>
	外购熟料	—	≤40	—	≤8
<sup>a</sup> 如果水泥中熟料占比超过或低于 75%，每增减 1%，可比水泥综合能耗限定值应增减 1.2kgce/t					

**表 5-13 新建水泥企业水泥单位产品能耗准入值**

项目	可比熟料综合煤耗限定值 kgce/t	可比熟料综合电耗限定值 kW·h/t	可比水泥综合电耗限定值 kW·h/t	可比熟料综合能耗限定值 kgce/t	可比水泥综合能耗限定值 kgce/t
熟料	≤108	≤60	—	≤115	
水泥	无外购熟料	—	≤88	—	≤93 <sup>a</sup>
	外购熟料	—	≤36	—	≤7.5

<sup>a</sup>如果水泥中熟料占比超过或低于 75%，每增减 1%，可比水泥综合能耗准入值应增减 1.15kgce/t

**表 5-14 水泥企业水泥单位产品能耗先进值**

项目	可比熟料综合煤耗限定值 kgce/t	可比熟料综合电耗限定值 kW·h/t	可比水泥综合电耗限定值 kW·h/t	可比熟料综合能耗限定值 kgce/t	可比水泥综合能耗限定值 kgce/t
熟料	≤103	≤56	—	≤110	
水泥	无外购熟料	—	≤85	—	≤88 <sup>a</sup>
	外购熟料	—	≤32	—	≤7

<sup>a</sup>如果水泥中熟料占比超过或低于 75%，每增减 1%，可比水泥综合能耗先进值应增减 1.10kgce/t

### 5.2.2 水泥企业能源消耗现状统计分析

本次修订引用《水泥水泥单位产品能源消耗限额》(GB16780-2012) 修订说明中的水泥企业能源消耗现状相关实测、研究数据和分析结论。

#### 1、相关实测、研究数据

5000t/d 和 2500t/d 生产线熟料煤耗测试数据详见表 5-15、5-16，我国部分生产线运行指标见表 5-17，世界五大跨国公司与中国的生产技术数据对比见表 5-18。

**表 5-15 5000t/d 生产线熟料煤耗测试数据**

序号	测试煤耗 (kgce/t)	热耗 (kcal/kg 熟料)	吨熟料发电量 (kWh/t)	余热发电折标煤 (kgce/t)	熟料强度系数	可比熟料综合煤耗 (kgce/t)	熟料强度 (MPa)	统计煤耗 (kgce/t)
1	116.06	812.42	29.36	11.15	0.9667	101.41	60.1	116.05
2	107.50	752.50	37.48	14.42	0.9692	90.12	59.5	107.40
3	106.81	747.67	37.03	14.17	0.9658	89.80	60.3	107.15
4	111.14	777.98	31.22	12.08	0.9521	95.12	63.9	111.99
5	109.22	764.54	37.29	14.35	0.9611	93.83	61.5	111.98
6	108.00	756.00	30.46	10.73	0.9747	94.73	58.2	107.92
7	112.12	784.84	30.31	13.07	0.9642	95.04	60.7	111.64
8	106.09	742.63	13.48	5.43	0.9554	98.07	63.0	108.08
9	116.66	816.62	28.35	11.45	0.9758	100.50	57.9	114.44
10	111.81	782.67	28.66	11.58	0.9770	97.79	57.6	111.67
11	119.46	836.22	30.52	12.33	0.9751	106.77	58.1	121.83
平均	111.35	779.46	30.38	11.89	0.9670	96.65	60.07	111.83



表 5-16 2500t/d 生产线熟料煤耗测试数据

序号	测试煤耗 (kgce/t)	热耗 (kcal/kg 熟料)	吨熟料发电量 (kWh/t)	余热发电折标煤 (kgce/t)	熟料强度系数	可比熟料综合煤耗 (kgce/t)	熟料强度 (MPa)	统计煤耗 (kgce/t)
1	114.78	803.46	35.96	13.32	0.9720	98.51	58.8	114.67
2	122.17	855.19	32.51	12.37	0.9736	105.30	58.4	120.53
3	122.11	854.77	35.83	12.58	0.9696	98.60	59.4	114.27
4	118.23	827.61	31.61	12.77	0.9623	101.12	61.2	117.85
5	117.58	823.06	15.64	6.32	0.9701	107.79	59.3	117.43
6	122.18	855.26	29.55	11.94	0.9788	107.40	57.2	121.67
7	133.56	934.92	34.02	12.79	0.9579	103.98	62.4	121.34
8	127.13	889.91	23.14	9.35	0.9700	113.54	59.3	126.40
9	115.60	809.20	24.32	9.20	0.9667	102.00	60.1	114.71
10	116.17	813.19	29.36	11.15	0.9595	101.24	61.9	116.66
11	114.88	804.16	25.60	9.62	0.9661	102.69	60.3	115.91
平均	120.31	842.18	28.98	11.08	0.9679	104.05	59.83	118.57

表 5-17 我国部分生产线运行指标

序号	生产规模 (t/d)	实际产量 (t/d)	熟料烧成热耗 (kcal/kg 熟料)	熟料烧成电耗 (kWh/kg 熟料)	熟料综合电耗 (kWh/kg 熟料)
1	4200	5000	745	25.70	56.74
2	2500	2821	756	28.88	60.90
3	10000	10600	747	24.56	58.15
4	5000	5753	725	24.55	—
5	5000	5743	741	23.61	66.24
6	5000	6748	739	25.00	—
7	5000	5451	748	24.46	63.93
8	5500	6210	695	21.00	50.70

表 5-18 跨国水泥集团与中国单位水泥、熟料的热耗生产数据

项目	单位	HOLCIM	Lafra	Heide	Cemex	Itale	总量/平均	中国
水泥产量	百万吨	211.5	217.0	116.4	96.1	75.1	716	1880
熟料热耗	kJ/kg.吨熟料	3555	3660	~3703	3696	3915	3669	3366
	kg 标煤/吨熟料	123.1	125.4	126.0	126.1	135.6	125.34	115 <sup>①</sup>
代用燃料百分率 <sup>②</sup>	%	12.1	11.7	20.5	20.3	5.0	13.64	~<0.5
实际燃料使用百分率	%	87.9	88.3	79.5	79.7	95	86.36	>99.5
实际燃料热耗	kg 标煤/吨熟料	108.2	110.72	100.17	100.50	128.82	108.24	~114.42
熟料系数	%	71.5	74	76.1	76	81.6	74.66	~62.9 <sup>③</sup>
单位水泥热耗	kg 标煤/吨水泥	77.36	81.93	76.23	76.38	105.11	80.81	71.97

注 1: 2011 年我国吨熟料生产标煤未见统计数据, 2010 年为 115kg 标煤, 按代用燃料<0.5%估算, 估计约为 114kg 标煤/吨熟料。

注 2: 2011 年我国熟料煅烧代用燃料未见统计数据, 但热耗低的大型生产线数量增加, 实际熟料热耗低于 114kgce/t。

注 3: 2011 年我国吨水泥熟料系数为 62.68%, 2010 年为 62.9%。从热耗来看, 2010 年世界五大公司吨熟料平均耗用 125.34kg 标煤, 若将这些公司在中国的低热耗预分解窑在计算中扣除, 则热耗可能超过 126kg 标煤。2010 年世界五大公司燃料代用量平均为 13.64%, 扣除燃料代用量, 实际矿物燃料热耗为 108.24kg 标煤。

## 2、分析结论

(1) 实测的部分 5000t/d 和 2500t/d 项目可比熟料综合煤耗几乎全部能够达到 GB16780-2012 中标准中的现有企业能耗限额和新建企业能耗准入要求, 约 32% 的企业能够达到能耗先进值要求。

(2) 从收集的各水泥企业实际运行情况的资料来看, 4000t/d 以上 (包括 4000t/d) 生产线标定期间熟料烧成标煤耗为 98.5~119.6 kgce/t 熟料, 按年度统计熟料烧成标煤耗为 104.3~123 kgce/t 熟料; 2000~4000t/d (包括 2000t/d) 生产线标定期间熟料烧成标煤耗为 105.5~128.2 kgce/t 熟料, 按年度统计熟料烧成标煤耗为 110.9~132.3 kgce/t 熟料; 2000t/d 以下规模生产线能耗大部分较差, 1000~2000t/d (包含 1000t/d) 生产线水泥企业按年度统计的熟料标煤耗平均为 133.3 kgce/t 熟料左右; 1000t/d 以下新型干法生产线水泥企业按年度统计的熟料标煤耗平均为 140.8 kgce/t 熟料左右。

(3) 2010 年世界五大公司平均熟料系数为 74.66%, 折成单位吨水泥热耗为 80.81kg 标煤, 我国平均熟料系数为 62.9%, 折成单位吨水泥热耗为 71.97kg 标煤; 2010 年我国的预分解窑生产线的单位热耗在全世界是最先进的, 为 115 公斤。

(4) GB16780-2012 中, “现有水泥企业水泥单位产品能耗限定值” 对应国内一般水平, 20%~25% 左右产能的现有水泥生产线达不到 GB16780-2012 中 “现有水泥企业水泥单位产品能耗限定值” 的要求, 在经过一定的技术改造后仍有 15%~20% 左右产能的生产线达不到限额限定值; “新建水泥企业水泥单位产品能源消耗限额准入值” 对应的为国内先进水平, 保证水泥企业采用比较先进的工艺技术和装备才能达到; “水泥企业水泥单位产品能耗先进值对应国际先进水平, 保证国内有约 10%~20% 的水泥企业能达到先进值的要求。

综上, 本次修订《水泥行业清洁生产指标体系》中资源能源消耗指标依据《水泥水泥单位产品能源消耗限额》(GB16780-2012) 中限额规定选取。

## 6 评价指标体系的建立

### 6.1 指标体系适用范围的确定

本指标体系适用于水泥生产企业，含水泥熟料生产、水泥粉磨站及水泥生产配套石灰石矿山开采企业的清洁生产审核、清洁生产潜力与机会的判断、清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告制度，也适用于水泥行业环境影响评价、环保核查、排污许可证和行业准入等环境管理制度。

### 6.2 指标选取原则

评价指标选取的原则是：

(1) 体现源头和过程控制：覆盖原材料、生产过程和产品的各个主要环节，全面反映产品生命周期对环境的影响。

(2) 体现污染预防思想：指标不需要涵盖所有的环境、社会、经济等指标，主要反映出水泥企业日常所使用的资源量及产生废物量，包括使用能源、水或其它资源的情况，通过对这些指标的评价能够反映出在保护自然环境，特别是在通过节约和资源的有效利用方面企业所做的工作。

(3) 容易量化：评价指标是反映水泥企业需要推行清洁生产的迫切性，指标涉及面较广，有些指标难以量化。为了使所确定的评价指标既能反映企业的主要情况，又简便易行，在选择指标时要充分考虑到指标体系的可操作性。因此，尽量选择容易量化的指标项，可以给清洁生产指标的评价提供有力的证据。

(4) 与现有政策的一致性：该指标体系必须与先前出台的水泥行业的环保政策法规标准保持一致，确保水泥行业朝着正确的方向发展。

### 6.3 指标体系主要内容

行业清洁生产评价指标体系由一级指标和二级指标组成。指标集  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ，其中  $x_i = \{x_{ij}\}$  表示一级评价指标， $x_{ij}$  表示二级评价指标，其中  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_i$ 。其中，一级指标包括生产工艺及装备指标、资源能源消耗指标、资源综合利用指标、污染物产生指标、产品特征指标和清洁生产管理指标等 6 类指标，每类指标又由若干个二级指标组成。应标示出二级指标中的限定性指标。

该指标体可将清洁生产指标划分为三个等级，指标等级集  $G = \{g_k\} = \{g_1, g_2, g_3\}$ ，即国内清洁生产领先水平、国内清洁生产先进水平和国内清洁生产一般水平。

### 6.3.1 指标选取

#### (1) 指标分类

上述六大类清洁生产一级指标当中，生产工艺与装备指标是通过调查国内外同行业的先进生产工艺与装备水平，在满足国家产业政策要求的基础上，采用资源消耗低、污染排放少的清洁生产工艺、装备和制造技术。具体指标可包括规模、装备、生产过程控制水平、环保设施等。

资源能源消耗指标为行业常用的经济指标。该指标目的是促进企业采用节能、节水、节材、生态设计技术工艺和装备，最大限度降低资源、能源的消耗，提高资源能源利用效率。具体指标包括：单位熟料新鲜水用量、低品位燃料利用、综合煤耗、综合能耗、综合电耗等指标。

资源综合利用指标的目的在于促进企业采取综合利用措施，充分利用企业内部产生的废物和副产品，减少废物的最终产生和排放。具体指标包括原料配料中使用工业废弃物、使用可燃废弃物燃料替代率、循环水利用率、窑系统废气余热利用率、窑灰除尘器收下的粉尘回收利用率、矿山资源综合利用率、废污水处理及回用、水泥混合材使用固体废物等。

污染物产生指标是根据总量控制要求以及国家和地方污染物排放要求，结合水泥行业的污染特征而确定的，其目的是从源头上采取有效措施，减少重点污染物的产生。相关二级指标包括颗粒物排放量、二氧化硫产生量、氮氧化物排放量、氟化物产生量、焚烧危险废弃物控制指标、焚烧生活垃圾控制指标、厂界噪声等。

产品特征指标的目的在于促使企业采用先进的企业质量管理规程，严格控制协同处置水泥产品的环保质量。具体指标可包括产品合格率、产品环保质量、放射性。

清洁生产管理水平是影响各行业清洁生产绩效的重要因素。清洁生产管理指标要求企业从清洁生产审核制度执行、清洁生产部门设置和人员配备、清洁生产管理制度、环评制度、“三同时”制度执行情况等管理环境中对环境影响大的方面，根据各行业的具体情况提出规范性要求。具体指标包括法律法规、产业政策执行情况、清洁生产审核制度的执行情况、生产过程控制、环境应急预案有效、环境信息公开等。

其中，限定性指标为对节能减排有重大影响的指标，或者法律法规明确规定严格执行的指标。原则上，限定性指标主要包括但不限于单位产品能耗限额、单位产品取水定额、有毒有害物质限量，行业特征污染物。

#### (2) 指标基准值的确定

考核基准值的选取，既要考虑政策要求，也要考虑当前的行业实际情况。因此，

在选取考核基准值时，在符合国家现行产业发展、环境保护政策和行业发展规划要求的前提下，充分考虑水泥行业的现有水平，将国际领先水平划分为一级基准值，将行业准入要求划分二级基准值，将现有水泥企业的平均水平划分为三级基准值。

此外，清洁生产是一个相对概念，它将随着经济发展和技术更新而不断完善，达到新的更高、更先进的水平。因此清洁生产评价指标的考核基准值，也应视行业技术进步趋势和国内企业情况进行不定期调整，不能一成不变，其调整周期最长不应超过 5 年。

### (3) 权重分值的确定

清洁生产评价指标的权重值反映了该指标在整个清洁生产评价指标体系中所占的比重。它原则上是根据该项指标对水泥企业清洁生产实际效益和水平的影响程度大小及其实施的难易程度来确定的。

一级指标的权重集  $w = \{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m\}$ ，二级指标的权重集  $\omega_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ij}, \dots, \omega_{in_i}\}$ 。其中， $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ ， $\sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij} = 1$ 。也就是一级指标的权重之和为 1，每个一级指标下的二级指标权重之和为 1。

### (4) 考核周期的确定

为使行业清洁生产工作持续有效地向前发展，使之不断深入，企业清洁生产工作的考核应当定期进行，一般宜以一个生产年度为一个考核周期，并与生产年度同步，这样有利于企业不断总结经验，也利于考核工作的顺利进行。

## 6.3.2 综合评价指数

为综合考核水泥企业清洁生产的总体水平，采用综合考核指标进行评价。

利用综合评价指数进行企业清洁生产总体水平的评价，就是综合考虑一级和二级指标的得分，在此基础上建立合适的数学模式，综合评价企业的清洁生产总体水平。

通过加权平均、逐层收敛可得到评价对象在不同级别  $g_k$  的得分  $Y_{g_k}$ ，公式为：

$$Y_{g_k} = \sum_{i=1}^m (w_i \sum_{j=1}^{n_i} \omega_{ij} Y_{g_k}(x_{ij}))$$

该方法可对所有被考核企业均采用这一相同比例进行计算，比较客观地反映被考核企业的清洁生产水平和企业间相对差距。

## 7 清洁生产企业的评定

对水泥企业清洁生产水平的评定，是以其清洁生产综合评价指数为依据的，根据目前我国水泥工业的实际情况，对达到一定综合评价指数的企业，分别评定为清洁生产领先企业、清洁生产先进企业或清洁生产一般企业。

根据目前我国水泥行业的实际情况，结合水泥企业的综合评价指数得分，不同等级的清洁生产企业的综合评价指数列于表 7-1。

表 7-1 清洁生产指标总体评价分值水平

清洁生产企业等级	清洁生产综合评价指数	清洁生产企业等级
清洁生产领先水平	$Y_{g_1} \geq 85$	清洁生产领先水平
清洁生产先进企业	$Y_{g_2} \geq 85$	清洁生产先进企业
清洁生产企业	$Y_{g_3} = 100$	清洁生产企业

考虑到清洁生产最终目的和现行环境保护政策法规要求，凡参评企业被地方环保主管部门认定为主要污染物排放未“达标”（指总量未达到控制指标或污染源排放超标）的，则该企业不能被评定为“清洁生产领先企业”、“清洁生产先进企业”或“清洁生产企业”。

经过对全国部分水泥企业的实际测算，本指标体系基本上能够反映企业清洁生产的实际水平，具有一定的可行性。