

污染综合防治最佳可行技术参考丛书

欧盟委员会  
EUROPEAN COMMISSION



# 水泥工业

## 污染综合防治最佳可行技术

Reference Document  
on Best Available Techniques for  
Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries

欧洲共同体联合研究中心 编著  
Joint Research Center, European Communities

环境保护部科技标准司 组织翻译

中国环境科学学会 翻译



化学工业出版社

污染综合防治最佳可行技术参考丛书

欧盟委员会  
EUROPEAN COMMISSION



# 水泥工业污染综合防治 最佳可行技术

Reference Document on Best Available Techniques for  
Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries

欧洲共同体联合研究中心  
Joint Research Center, European Communities

编著

环境保护部科技标准司 组织翻译  
中国环境科学学会 翻 译



化学工业出版社

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

水泥工业污染综合防治最佳可行技术/欧洲共同体联合研究中心编著; 环境保护部科技标准司组织翻译; 中国环境科学学会翻译. —北京: 化学工业出版社, 2014. 3

(污染综合防治最佳可行技术参考丛书)

书名原文: Reference document on best available techniques for cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries  
ISBN 978-7-122-19336-0

I. ①水… II. ①欧…②环…③中… III. ①水泥工业-污染防治 IV. ①X781.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 305568 号

Reference Document on Best Available Techniques for Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries/by Joint Research Center.

Copyright © 2003 by European Communities. All rights reserved.

Chinese translation © Chemical Industry Press, 2014

Responsibility for the translation lies entirely with Tsinghua University.

Authorized translation from the English language edition published by European Communities.

本书中文简体字版由 European Communities 授权化学工业出版社出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2014-1713

---

责任编辑: 宋湘玲  
责任校对: 边涛

文字编辑: 刘莉娟  
装帧设计: 关飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司  
装订: 三河市万龙印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 361 千字 2014 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究



# 《污染综合防治最佳可行技术参考》丛书 翻译委员会

顾 问：吴晓青  
主 任：赵英明  
副主任：刘志全 王开宇  
编 委：冯 波 张化天 王凯军 左剑恶  
张鸿涛 胡华龙 周岳溪 刘睿倩

## 《水泥工业污染综合防治最佳可行技术》 翻译人员

主译人员：党小庆 嵇 鹰 庞 敏  
审校人员：毛志伟 丁奇生 刘 平  
参译人员：逯晋英 王 睿 易 斌 叶俊涛  
韩佳慧 王少霞 邵世云 王晓飞

# 〈序〉

中国的环境管理正处于战略转型阶段。2006年，第六次全国环境保护大会提出了“三个转变”，即“从重经济增长轻环境保护转变为保护环境与经济增长并重；从环境保护滞后于经济增长转变为环境保护与经济发展同步；从主要用行政办法保护环境转变为综合运用法律、经济、技术和必要的行政办法解决环境问题”。2011年，第七次全国环境保护大会提出了新时期环境保护工作“在发展中保护、在保护中发展”的战略思想，“以保护环境优化经济发展”的基本定位，并明确了探索“代价小、效益好、排放低、可持续的环境保护新道路”的历史地位。

在新形势下，中国的环境管理逐步从以环境污染控制为目标导向转为以环境质量改善及以环境风险防控为目标导向。“管理转型，科技先行”，为实现环境管理的战略转型，全面依靠科技创新和技术进步成为新时期环境保护工作的基本方针之一。

自2006年起，我部开展了环境技术管理体系建设工作，旨在为环境管理的各个环节提供技术支撑，引导和规范环境技术的发展和應用，推动环保产业发展，最终推动环境技术成为污染防治的必要基础，成为环境管理的重要手段，成为积极探索中国环保新道路的有效措施。

当前，环境技术管理体系建设已初具雏形。根据《环境技术管理体系建设规划》，我部将针对30多个重点领域编制100余项污染防治最佳可行技术指南。到目前，已经发布了燃煤电厂、钢铁行业、铅冶炼、医疗废物处理处置、城镇污水处理厂污泥处理处置5个领域的8项污染防治最佳可行技术指南。同时，畜禽养殖、农村生活、造纸、水泥、纺织染整、电镀、合成氨、制药等重点领域的污染防治最佳可行技术指南

也将分批发布。上述工作已经开始为重点行业的污染减排提供重要的技术支撑。

在开展工作的过程中，我部对国际经验进行了全面、系统的了解和借鉴。污染防治最佳可行技术是美国和欧盟等进行环境管理的重要基础和核心手段之一。20世纪70年代，美国首先在其《清洁水法》中提出对污染物执行以最佳可行技术为基础的排放标准，并在排污许可证管理和总量控制中引入最佳可行技术的管理思路，取得了良好成效。1996年，欧盟在综合污染防治指令（IPPC 96/61/CE）中提出要建立欧盟污染防治最佳可行技术体系，并组织编制了30多个领域的污染防治最佳可行技术参考文件，为欧盟的环境管理及污染减排提供了有力支撑。

为促进社会各界了解国际经验，我部组织有关机构翻译了欧盟《污染综合防治最佳可行技术参考》丛书，期望本丛书的出版能为我国的环境污染综合防治以及环境保护技术和产业发展提供借鉴，并进一步拓展中国和欧盟在环境保护领域的合作。

环境保护部副部长

Handwritten signature in black ink, consisting of the characters '孟京' (Meng Jing) in a stylized cursive script.

# 《前言》

本书是最佳可行技术参考系列文件之一，是欧盟成员国和各行业之间就最佳可行技术、相关监测以及进展进行信息交流的成果。

本书的翻译目的是准确反映欧盟成员国和各行业按照欧盟《综合污染预防与控制（IP-PC）2008/1/EC 指令》第 17（2）条款中信息交流的成果，为主管当局在确定水泥企业的经营资格时提供参考。同时，通过污染防治最佳可行技术提升环境效益。

本书是《Reference Document on Best Available Techniques for Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries》中水泥部分的中文译本，主要包括以下内容。第 1 章介绍了水泥工业概况；第 2 章论述了水泥工业的工艺及技术；第 3 章阐述了水泥工业的原料、能源消耗和污染物排放情况；第 4 章介绍了制订最佳可行技术时需考虑的技术因素；第 5 章介绍了当前水泥行业领域的新兴技术；第 6 章得出了水泥工业最佳可行技术的相关结论；第 7 章为结束语及工作建议；第 8 章为附录，提供了本书所述内容中涉及的相关数据和信息。

本书紧密结合实际，具有内容翔实、操作性强等特点，适用于从事环境技术评估管理人员和水泥企业环境部门参考使用。基于此，中国环境科学学会承担了该书的翻译工作。本书的翻译获得了欧盟综合污染与预防控制局的许可与支持，与此同时该书作为《污染综合防治最佳可行技术参考》丛书之一，在环境保护部科技标准司组成的丛书翻译委员会的指导和帮助下开展的各项工作。

我们本着忠实原文、对读者负责的原则进行翻译工作。但是限于译者能力和时间有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

译者  
2014 年 3 月

# ◀ 目录 ▶

<b>1</b>	<b>水泥工业概况</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>水泥工业的工艺及技术</b>	<b>9</b>
2.1	原料及其获得	10
2.2	原料——贮存及制备	12
2.2.1	原料的贮存	12
2.2.2	原料粉磨	13
2.3	燃料——贮存及制备	14
2.3.1	常规燃料的贮存	16
2.3.2	常规燃料的制备	16
2.4	废物利用	17
2.4.1	一般方面/性质	17
2.4.2	使用废物作为原料	19
2.4.3	使用废物作为燃料	21
2.5	熟料煅烧	25
2.5.1	窑的点火	26
2.5.2	长回转窑	26
2.5.3	装备预热器的回转窑	27
2.5.4	具有预热及预分解装置的回转窑	29
2.5.5	立窑	31
2.5.6	窑炉废气	31
2.5.7	熟料冷却机	32
2.5.8	热电联产	34
2.6	水泥粉磨和贮存	35
2.6.1	熟料贮存	35



2.6.2	熟料研磨	35
2.6.3	水泥贮存	38
2.7	包装和外运	38
<b>3</b>	<b>当前消耗和污染物排放水平</b>	<b>39</b>
3.1	用水量	41
3.2	原材料消耗量	41
3.2.1	固体废物作为原料的消耗量	41
3.3	能源消耗量	42
3.3.1	热能消耗量	43
3.3.2	电能消耗量	45
3.3.3	废物燃料消耗量	45
3.4	大气污染物	49
3.4.1	粉尘（颗粒物）	51
3.4.2	氮氧化物	55
3.4.3	二氧化硫	58
3.4.4	碳氧化物（CO <sub>2</sub> ，CO）	62
3.4.5	总有机碳（TOC）	63
3.4.6	多氯二苯并二噁英（PCDD）和多氯二苯并呋喃（PCDF）	64
3.4.7	重金属及其化合物	66
3.4.8	氯化氢和氟化氢	72
3.4.9	氨	76
3.4.10	苯、甲苯、乙苯和二甲苯（苯系物）	78
3.4.11	多环芳烃（PAH）	78
3.4.12	其他有机污染物	79
3.4.13	利用废弃物产生的排放量影响因素和能源效率	79
3.4.14	使用废物对产品质量的影响	80
3.5	生产过程自产废弃物	80
3.6	水排放	81
3.7	噪声	81
3.8	恶臭	82
3.9	监测	82
3.9.1	监测参数和排放	82
<b>4</b>	<b>制订最佳可行技术时的技术因素</b>	<b>84</b>
4.1	原材料消耗	86

4.2	降低能耗（能源效率）	86
4.2.1	减少热能消耗	86
4.2.2	减少电能消耗	92
4.2.3	工艺选择	93
4.2.4	水泥窑和冷却器/余热发电助能源回收	94
4.3	常规技术	96
4.3.1	优化控制过程	96
4.3.2	燃料和原料的选取	97
4.3.3	使用废物作为燃料	98
4.4	粉尘排放（颗粒物）	100
4.4.1	粉尘无组织排放的控制技术	100
4.4.2	散装贮存区及堆放的相关技术	101
4.4.3	减少管道中粉尘排放	102
4.5	气态污染物	110
4.5.1	减少 NO <sub>x</sub> 排放量	110
4.5.2	减少 SO <sub>2</sub> 排放量	126
4.5.3	减少碳氧化物（CO）排放量和 CO 爆炸风险	131
4.5.4	减少总有机碳（TOC）排放量	134
4.5.5	减少氯化氢（HCl）和氟化氢（HF）排放量	135
4.6	减少多氯二苯并对二噁英（PCDD）和多氯二苯并呋喃（PCDF）排放量	135
4.7	减少重金属排放量	136
4.8	不同烟气减排方法/技术的费用数据实例和用于降低排放物浓度的主要方法/技术	138
4.8.1	不同烟气减排方法/技术的费用实例	138
4.8.2	NO <sub>x</sub> 减排方法/技术的费用实例	140
4.8.3	SO <sub>x</sub> 减排方法/技术的费用实例	142
4.9	生产过程自产废弃物	144
4.10	噪声	144
4.11	恶臭	145
4.12	环境管理工具	146
<b>5</b>	<b>水泥行业中的新兴技术</b>	<b>153</b>
5.1	流化床水泥制造技术	153
5.2	结合 SNCR 的分级燃烧技术	154
5.3	用干碳酸氢钠处理水泥窑烟气及其化学再利用技术	155
<b>6</b>	<b>BAT 结论</b>	<b>157</b>
6.1	BAT 总结论	160

6.1.1	环境管理系统 (EMS)	160
6.1.2	噪声	161
6.2	水泥行业的最佳可行性技术的结论	161
6.2.1	主要通用技术	162
6.2.2	监控	162
6.2.3	能源的消耗和工艺的选择	162
6.2.4	废物利用	164
6.2.5	粉尘排放	165
6.2.6	气态污染物	167
6.2.7	PCDD/F 排放	170
6.2.8	生产过程自产废弃物	171
6.3	水泥工业的技术说明	171
6.3.1	粉尘排放	171
6.3.2	NO <sub>x</sub> 排放	172
6.3.3	SO <sub>x</sub> 排放	173
<b>7</b>	<b>结束语及工作建议</b>	<b>174</b>
7.1	水泥行业	175
7.2	论坛的磋商, 随后正式通过 BAT 程序的结论	177
<b>8</b>	<b>附录</b>	<b>178</b>
8.1	适用于欧盟 27 国的水泥和石灰生产的欧洲共同体环境立法	178
8.2	水泥生产附录	178
8.2.1	欧洲水泥协会的废物燃料分组与 EWC 的废物燃料分组对比	178
8.2.2	水泥生产——工厂特定数据	183
8.2.3	水泥生产——余热发电/回收	199
8.2.4	水泥生产——使用高效 SNCR 技术减排 NO <sub>x</sub> 的例子	201
8.2.5	水泥生产——SCR 技术减排 NO <sub>x</sub> 实例	205
8.2.6	水泥生产——CO 波动的控制方针	209
8.3	术语	211
	I. 国际标准化组织国家代码	211
	II. 货币单位	212
	III. 单位前缀	212
	IV. 单位与测量	213

V. 化学元素 .....	214
VI. 文件中常见的化学式 .....	215
VII. 英文缩写 .....	215
VIII. 专业术语 .....	218
<b>参考文献 .....</b>	<b>220</b>

# 1

## 水泥工业概况

水泥是一种磨细的无机非金属粉体，与水混合形成的浆体会凝结和硬化。这种水硬特性主要是因为水与水泥中的成分反应形成水化硅酸钙产物。如果是铝酸盐水泥，水化产物包含有钙铝水化物。

水泥是建筑和土木工程的一种基础材料。在欧洲，水泥和混凝土（水泥、骨料、砂子和水的混合物）在大型土木工程中的应用可以追溯到古代。在 1824 年取得专利的波特兰水泥——混凝土建筑中应用最多的水泥。一般情况下，水泥工业的产量直接关系到国家的建筑业的状况，因此紧密地记录了整个经济形势。

如图 1.1 所示，自 1950 年，世界水泥产量稳步增长，随着发展中国家产量的增加，特别是亚洲，占 20 世纪 90 年代世界水泥产量最大份额的增长。

在 2006 年，世界水泥产量是 25.40 亿吨。表 1.1 显示了水泥产量在地理区域上的分布。

表 1.1 2006 年世界水泥产量分布

地区	百分比	2006 年	地区	百分比	2006 年
中国	%	47.4	美国	%	3.9
印度	%	6.2	美洲其他国家	%	5.8
日本	%	2.7	非洲	%	4.0
亚洲其他国家	%	13.2	独联体	%	3.4
欧盟	%	10.5	大洋洲	%	0.4
欧洲其他国家	%	2.5			

资料来源：[72, CEMENT, 2006-2008]。

欧盟水泥产量从 1970 年每年每人 1700t 增加到 1991 年的 3500t。劳动生产率的增长应该归功于大规模生产系统的引入。应用这些先进的自动化操作系统，要求少量但是具有更高技术的员工来担任操作。2005 年，欧盟水泥工业雇佣员工人数为 54000 人。图 1.2 显示了

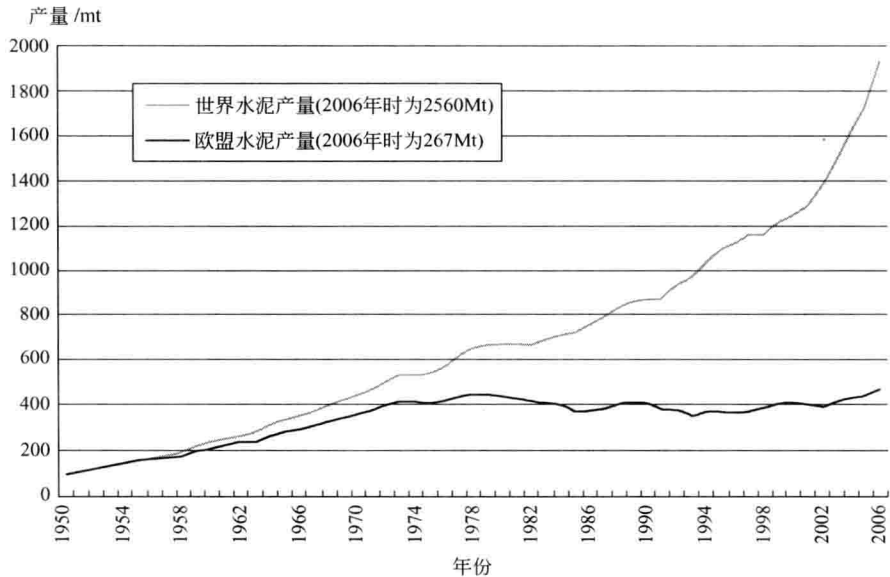


图 1.1 从 1950 年到 2006 年欧盟 27 国和世界水泥产量  
[72, CEMBUREAU, 2006~2008], [168, TWG CLM, 2007]

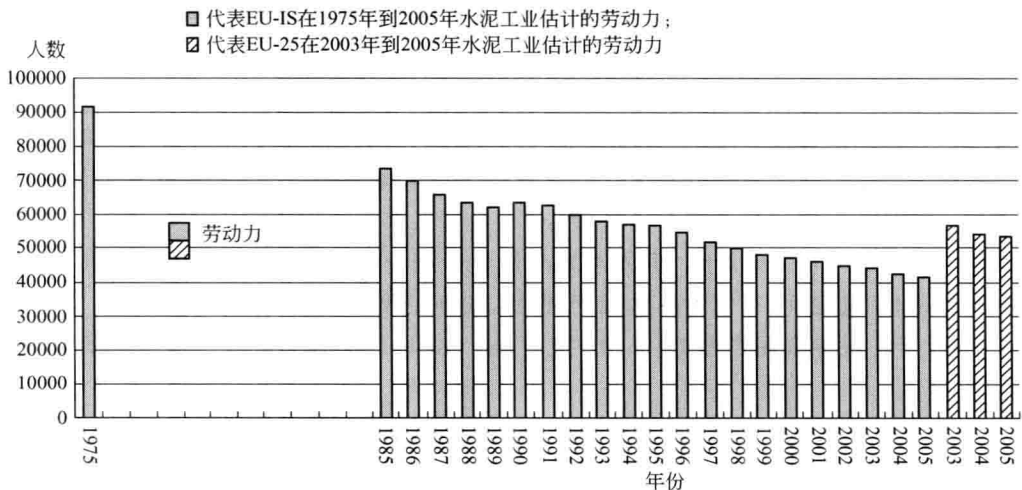


图 1.2 从 1975 年到 2005 年欧盟水泥工业估计的劳动力 [72, CEMENT, 2006~2008]

从 1975 年到 2005 年欧盟水泥工业估计的劳动力。1991 年前的图不包括从前民主德国来的雇员。

在 2006 年，EU-25 水泥产量总共 2.675 亿吨，消耗 2.606 亿吨。0.38 亿吨是进口，0.32 亿吨出口。这些图标包括欧盟国家之间的贸易。

2005 年，EU-25 水泥产量及消耗见图 1.3。

世界上 5 个最大水泥生产商是拉法基 (Lafarge)、华新 (Holcim)、墨西哥西麦斯 (Cemex)、海德堡 (Heidelberg) 水泥公司和意大利 (Italcementi) 水泥集团。除了生产水泥，这些公司也涉足其他建筑材料领域，像集料、混凝土、石膏板等。

在欧盟，水泥主要是通过公路从生产商运输到客户那里。因此在正常贸易下，通过公路

运输的距离是有限的,因为相对较低的水泥销售价格,公路运输的成本较高。水泥通过公路运输的最大距离一般在 200~300km。然而,水泥厂坐落在靠近水的地方(海洋,内陆水运航道),可以运输很长的距离。而且,在某些情况下铁路线的使用解决了长距离运输问题。水泥销售并不存在全球贸易,但是在一些情况下,用船在全世界运输水泥是经济可行的。水泥码头的出现(例如浮动码头)对欧盟市场从其他国家进口水泥的增长有贡献。内部的竞争主要是对个别的厂子有影响,但是从东欧进口水泥的确实影响当地市场。在 2007 年,希腊、意大利、葡萄牙、西班牙、法国和英国成立了一个整体,作为主要的进口地区。这些地区占欧盟水泥产量的 60%。丹麦、挪威和瑞典也会受到负面影响。相比 2004 年的 0.135 亿吨,在 2005 年,没有碳的限制条件下欧盟从其他国家进口 0.155 亿吨。

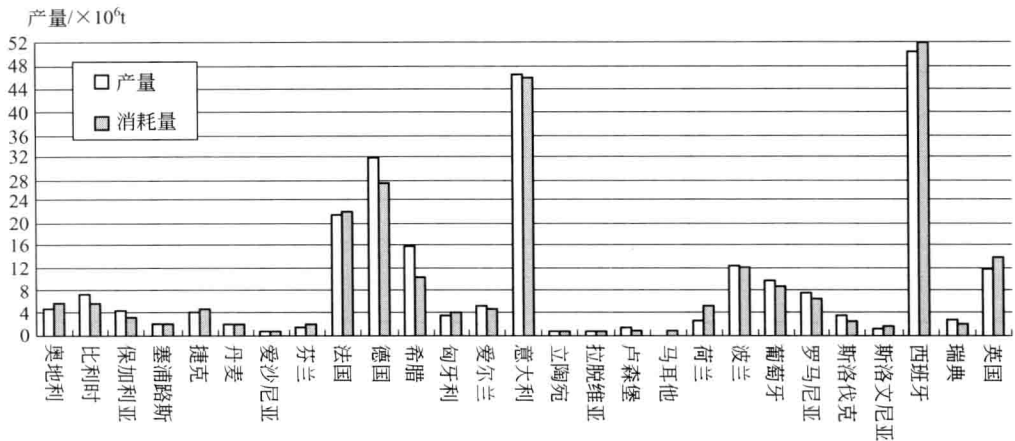


图 1.3 EU-25 的水泥产量 (包括出口的熟料) 和水泥消耗量 [72, CEMENT, 2006~2008]

在欧盟 27 国有 268 个生产水泥熟料和完整水泥的工厂。另外,有两个不带水泥粉磨机的熟料生产线和 90 个不带窑炉的水泥粉磨站(不带窑炉的水泥磨不包括在本文件),见表 1.2。

表 1.2 欧盟 27 国水泥厂数量

欧盟国家		水泥设备——带窑炉	水泥设备——只带水泥磨粉机
比利时 <sup>①</sup>	BE	5	4
保加利亚	BG	5	1
捷克	CZ	6	1
丹麦	DK	1	—
德国	DE	38	20
爱沙尼亚	EE	1	—
爱尔兰	IE	4	—
希腊	EL	8	—
西班牙	ES	37	13
法国	FR	33	6
意大利	IT	59	35
塞浦路斯	CY	2	—
拉脱维亚	LV	1	—

续表

欧盟国家		水泥设备——带窑炉	水泥设备——只带水泥磨粉机
立陶宛	LT	1	—
卢森堡 <sup>①</sup>	LU	1	1
匈牙利	HU	4	—
马耳他	MT		
荷兰	NL	1	2
奥地利	AT	9	3
波兰	PL	11	1
葡萄牙	PT	6	2
罗马尼亚	RO	8	1
斯洛文尼亚	SI	2	—
斯洛伐克	SK	6	—
芬兰	FI	2	—
瑞典	SE	3	—
英国	UK	14	1
总计		268	90

① 包括一条熟料生产线。

资料来源：[72, CEMBUREAU, 2006-2008]。

在欧盟 27 国总共有 377 个水泥窑炉，但是，在 2007 年，并不是所有的都在工作。最近几年，典型窑炉的规模大约是日产 3000t 熟料，即使窑炉规模不同、使用时间不同，但是几乎所有生产线的产量不少于日产 500t。

在 2007 年，大约 90% 的欧盟水泥产量来自干法窑，7.5% 的产量由半干法半湿法窑炉贡献，剩余的产量（大约 2.5%）来自于湿法窑。生产工艺的选择主要由使用的原料的性质决定。

对普通水泥的欧洲标准（EN 197-1），将列出的 27 种不同的水泥类型分为 5 组。另外，有一些为特别应用而生产的特殊水泥。表 1.3 显示了 2005 年 EU-25 供应给国内市场的每种类型的水泥的百分比，在欧盟 27 国用于水泥生产的欧洲标准如表 1.4 所示。灰色水泥的典型成分列于表 1.5。

表 1.3 在 EU-25 水泥类型的国内使用份额

水泥类型	百分比	2005 年
CEM II 普通水泥——成分	%	58.6
CEM I 普通水泥	%	27.4
CEM III 高炉/熟料 矿渣水泥	%	6.4
CEM IV 火山灰水泥	%	6.0
CEM V 复合水泥和其他水泥	%	1.6

资料来源：[72, CEMENT, 2006-2008]。

除了灰色水泥，也生产其他类型的水泥，如白水泥。除了颜色，这种水泥与灰色水泥有相同的性质。制白水泥，要用对这种水泥颜色没有影响的物质。表 1.6 列出了美国和欧洲市场与白水泥相关的一些参数。对白水泥的当地要求将会影响这些参数。而且，与灰色水泥最



表 1.4 欧盟水泥的类型和成分

主要类型	27种产品的记号 (普通水泥的类型)	成分(质量分数 <sup>①</sup> )/%													次要的 添加成分			
		主要成分																
		熟料	高炉 矿渣	硅灰	火山灰		粉煤灰		烧页岩	石灰石								
		K	S	D <sup>②</sup>	P	Q	V	W	T	L <sup>④</sup>	LL <sup>⑤</sup>							
CEM I	普通水泥	95~100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5	
	普通矿 渣水泥	CEM II/A-S	6~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
		CEM II/B-S	21~35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
	普通硅 土水泥	CEM II/A-D	90~94	—	6~10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
		CEM II/A-P	80~94	—	—	6~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
	普通火山 灰水泥	CEM II/B-P	65~79	—	—	21~35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
		CEM II/A-Q	80~94	—	—	—	6~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
		CEM II/B-Q	65~79	—	—	—	21~35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
		CEM II/A-V	80~94	—	—	—	—	6~20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
	普通粉煤 灰水泥	CEM II/B-V	65~79	—	—	—	—	21~35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5
CEM II/A-W		80~94	—	—	—	—	—	6~20	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5	
CEM II/B-W		65~79	—	—	—	—	—	—	21~35	—	—	—	—	—	—	—	0~5	
CEM II/A-T		80~94	—	—	—	—	—	—	—	6~20	—	—	—	—	—	—	0~5	
普通烧页 岩水泥	CEM II/B-T	65~79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5	
	CEM II/B-T	65~79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0~5	