



普通高等教育材料类“十二五”规划教材

简明水泥工艺学

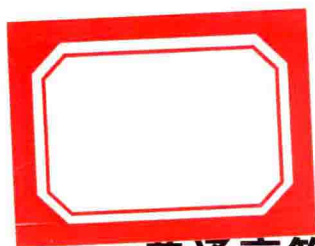


许荣辉 编

JIANMING
SHUINI
GONGYIXUE



化学工业出版社



普通高等教育材料类“十二五”规划教材

简明水泥工艺学

许荣辉 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了硅酸盐水泥的最新国家标准、水泥熟料的组成、原料及配料计算、粉磨工艺、熟料煅烧、水化和硬化、化学性能等。

本书主要是为工科院校无机非金属材料专业学生提供一本切合实际生产的简明水泥工艺学教材，除此以外，也可以供建材、轻工、化工乃至大型硅酸盐设备制造厂家的技术人员与管理干部参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

简明水泥工艺学/许荣辉编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 6

普通高等教育材料类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-17042-2

I. ①简… II. ①许… III. ①水泥-生产工艺-高等学校-教材 IV. ①TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 076047 号

责任编辑: 彭喜英
责任校对: 吴 静

装帧设计: 刘丽华

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 9 字数 216 千字 2013 年 9 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: 22.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书是根据建材工业的发展及其在新形势下对工科院校硅酸盐专业人才培养的要求，针对新的水泥国家标准及总结长期教学积累情况下而编写的。

二〇〇六年十月十七日，中华人民共和国国家发展和改革委员会印发了关于水泥工业发展专项规划，通知里在肯定我国水泥工业基本面良好的同时，也指出了发展中存在的主要问题。《加快水泥工业结构调整的若干意见的通知》（简称《意见》），表示为解决目前水泥工业存在的总量过剩、结构不合理等问题，在“十一五”期间将采取一系列措施，加快水泥工业的结构调整。2010年我国水泥预期产量12.5亿吨，累计淘汰落后生产能力2.5亿吨，企业户数减少到3500家左右。实际上，2008年世界性金融危机重创了各国的经济，新型干法水泥生产线相应地由135条增加到1113条，新型干法水泥占总产量的比重由16%上升为72.8%。

二〇〇七年十一月九日发布，并于二〇〇八年六月一日正式实施的GB 175—2007，替代了原来的GB 175—1999、GB 1344—1999及GB 12958—1999，并进行了较大的修改。但是，迄今为止，大部分无机非金属材料工艺学教材对新国标与水泥工业发展专项规划这两部分都没有及时地反映和调整。紧跟时代脉搏，反映新技术与变革，为硅酸盐专业学生提供一部新的教材就成了我们的追求，也是本书编写的初衷。

作为一本无机非金属材料专业的专业教材，本书力求突出以下特点：

1. 紧扣国家标准GB 175—2007展开，在厘清水泥的一些基本概念的同时，介绍一些新的生产工艺流程，拓宽知识面，强化概念理解。
2. 本书以简练文字提供大量的信息，尤其是生产实践中的知识和经验，配以大量的图文与公式，力争做到条理清晰，易学易懂。一切求新，与生产实际接轨。
3. 去除了传统水泥工艺学教材中高铝水泥、特性水泥部分的内容。

本书主要是为工科院校无机非金属材料专业学生提供一本切合实际的简明水泥工艺学教材，除此以外，也可以供建材、轻工、化工乃至大型硅酸盐设备制造厂家的技术人员与管理人员参考。

本书编写出版过程中，得到河南科技大学各级领导和同仁的大力支持，谨一并致谢。

随着时代的进步，市场经济对人才需求会提出更高的要求，相应的对教材也会提出新的调整与要求，加之编者也会出现挂一漏万、考虑不周的情况，本书不完善之处在所难免，希望同行专家和读者批评指正。

编者
2013年2月

目 录

第一章 引言	1
一、胶凝材料的定义与分类	1
二、胶凝材料发展简史	1
三、水泥的定义与分类	2
四、水泥工业发展概况	3
作业及思考题	8
第二章 硅酸盐水泥国家标准及其生产	9
第一节 硅酸盐水泥的国家标准	9
第二节 硅酸盐水泥的生产方法	17
一、生产方法	17
二、硅酸盐水泥生产的主要工艺过程	17
作业及思考题	24
第三章 硅酸盐水泥熟料的组成	25
第一节 熟料的矿物组成	25
一、硅酸三钙 (C_3S)	25
二、硅酸二钙 (C_2S)	28
三、中间相	31
四、游离氧化钙和方镁石	33
第二节 熟料的率值	35
一、水硬率 (Hydraulic Modulus)	35
二、硅率或硅酸率 (Silica Modulus)	35
三、铝率或铁率 (Iron Modulus)	36
四、石灰饱和系数 KH	36
第三节 熟料矿物的计算	37
一、石灰饱和系数法	37
二、鲍格 (R. H. Bogue) 法	38
三、熟料真实矿物组成与计算矿物组成的差异	39

四、率值与化学成分的关系	39
作业及思考题	40
第四章 硅酸盐水泥的原料及配料计算	41
第一节 原料	41
一、石灰质原料的种类和性质	41
二、黏土质原料的种类和性质	45
三、校正原料	47
第二节 物料的破碎与均化技术	48
一、物料破碎的目的	48
二、破碎的方法	48
三、破碎比及破碎的工艺流程	49
四、破碎机的类型	49
五、物料的均化技术	51
第三节 水泥生料的易烧性	55
一、易烧性含义与表示方法	55
二、影响生料易烧性的主要因素	56
第四节 熟料组成的选择（率值的选取）	56
一、水泥品种和标号	56
二、原料品质	57
三、燃料品质	57
四、生料细度和均匀性	58
五、窑型与规格	58
六、生料的易烧性	59
第五节 配料计算	59
一、尝试误差法	60
二、微机编程计算	63
作业及思考题	63
第五章 粉磨工艺	64
第一节 粉磨的目的和要求	64
一、生料粉磨的目的和要求	64
二、水泥粉磨的目的及要求	65
三、煤的粉磨目的和要求	65
第二节 粉磨系统和粉磨设备	66
一、粉磨系统	66
二、生料粉磨流程	66
三、水泥粉磨流程	70
第三节 提高粉磨系统产量、质量，降低能耗的主要途径	70
一、入磨物料粒度	70

二、易磨性	71
三、入磨物料温度	71
四、入磨物料水分	71
五、磨内通风	72
六、助磨剂	72
七、设备及流程	72
作业及思考题	78
第六章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	79
第一节 硅酸盐水泥熟料的形成	80
一、生料在煅烧过程中的物理与化学变化	80
二、熟料形成的热化学	86
第二节 微量元素与矿化剂对熟料煅烧和质量的影响	87
一、碱	87
二、氧化镁	88
三、氧化磷	89
四、氧化钛	89
五、矿化剂	89
第三节 回转窑内的煅烧	94
一、回转窑的煅烧方法	94
二、回转窑内“带”的划分	94
三、回转窑内物料的运动	96
四、回转窑的热工特点	96
第四节 悬浮预热器窑与预分解窑	98
一、悬浮预热器窑	98
二、预分解窑	100
第五节 熟料冷却机	103
一、单筒冷却机	103
二、多筒冷却机	104
三、篦式冷却机	105
作业及思考题	109
第七章 硅酸盐水泥的水化和硬化	110
第一节 硅酸盐水泥熟料矿物与水泥的水化	110
一、水泥的水化反应类型与水化原因	110
二、熟料单矿物的水化	111
三、硅酸盐水泥的水化	116
四、影响水泥水化速率的因素	117
第二节 硅酸盐水泥的凝结、硬化过程	118
第三节 硬化水泥浆体的结构	120

一、水泥石的组成	120
二、孔结构	121
三、水及其存在形式	122
作业及思考题	123
第八章 硅酸盐水泥的性能及化学侵蚀	124
第一节 硅酸盐水泥的性能	124
一、凝结时间	124
二、强度	126
三、体积变化	127
四、水化热	129
第二节 硅酸盐水泥的化学侵蚀	129
一、淡水	129
二、酸和酸性水	130
三、硫酸盐侵蚀	131
四、含碱溶液的侵蚀	132
五、提高水泥抗性的措施	133
作业及思考题	134
参考文献	135

第一章

引言

一、胶凝材料的定义与分类

胶凝材料又称胶结料。在物理、化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其他物料，制成有一定机械强度的复合固体。它可以分为无机的和有机的两种，沥青和树脂属于有机类胶凝材料；无机类胶凝材料按照硬化条件，又可以分为水硬性胶凝材料和非水硬性胶凝材料两大类。

1. 水硬性胶凝材料：和水成浆后，既能在空气中硬化，又能在水中硬化的胶凝材料。这类材料通称为水泥，如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等。

2. 非水硬性胶凝材料：不能在水中硬化，但能在空气中或其他条件下硬化的胶凝材料，只能在空气中硬化的被称为气硬性胶凝。一般用途的有石灰、石膏等；特殊用途的有耐酸胶结料、磷酸盐胶结料及环氧树脂胶结料等。石灰在空气中的硬化，源于熟石灰吸收空气中的二氧化碳，变成坚硬的碳酸钙。

关于水硬性胶凝材料需要做一个说明。和水成浆所用水的量是有限制的，不能无限稀释地；在水中硬化的含义是经初凝、初步硬化后放入水中可以继续硬化成石状体，而不是和水后立即放入水中。

二、胶凝材料发展简史

胶凝材料发展历史就是建筑材料的发展史。

(1) 黏土、料姜石时期 在原始社会里，古人类住在天然的洞穴里，这时没有建筑材料的概念。距今 4000~10000 年前的新石器时代人类社会有了很大发展，除了求生存外，还懂得了有意识地从事土木建筑活动，出现了半穴式居住，开始利用天然的建筑材料，诸如树木、竹子、黏土石块等，建造简单的居所。人们逐渐使用黏土来抹砌建筑物，并掺入稻壳等植物性纤维进行加筋增强，然而，未经烧结的黏土不抗水、强度差。此阶段，还发现古人用天然姜石做建筑材料，经夯实以成柱基、铺墁的地面及墙壁。姜石主要成分为二氧化硅和石灰质原料，是黏土中的钙质结核。那时的古人懂得挑选黏土中的姜石，经过捣碎磨细后用作建材，无疑是建材发展史上的一次飞跃。

(2) 气硬性胶凝材料时期 随着火的使用，大约公元前 3000~公元前 2000 年，中国、希腊、埃及及罗马都开始使用煅烧过的石膏或石灰（即生石灰）来调制砌筑砂浆。古代很多

著名建筑，如被称为世界七大奇观之一的埃及金字塔以及我国的万里长城等，都是用石灰、石膏作为胶凝材料砌筑而成的。这段时间内的石材结合胶凝材料的应用，给人类留下了许多宝贵而丰富的文化遗产。古人类利用煅烧石灰或石膏应用于建筑，这是最早的胶凝材料应用。

(3) 石灰-火山灰材料时期 公元初，古希腊和古罗马人已经利用石灰中掺入某些火山灰沉淀物，得到了强度较高并能耐淡水、含盐水侵蚀的建筑材料。著名的罗马“庞贝”古城以及罗马圣庙都是这一类建筑。

我国古代建筑中大量使用的“三合土”，即石灰、黄土加细砂，或者石灰、磨细的碎砖或者废陶器，也属于这一类建筑材料。这一类建材已经具备了水硬性，而且火山灰质混合材取材广泛，不仅有来自天然的火山灰，也有人工制造的火山灰质混合材。

(4) 水硬性石灰与罗马水泥时期 1756年，英国工程师J. 斯米顿在研究某些石灰在水中硬化的特性时发现：要获得水硬性石灰，必须采用含有黏土的石灰石来烧制；用于水下建筑的砌筑砂浆，最理想的成分是由水硬性石灰和火山灰配成。这个重要的发现为近代水泥的研制和发展奠定了理论基础。1796年，英国人J. 帕克用泥灰岩烧制出了一种水泥，外观呈棕色，很像古罗马时代的石灰和火山灰混合物，命名为罗马水泥。因为它是采用天然泥灰岩作原料，不经配料直接烧制而成的，故又名天然水泥。具有良好的水硬性和快凝特性，特别适用于与水接触的工程。1813年，法国的土木技师毕加发现了石灰和黏土按3:1混合制成的水泥性能最好。到18世纪后半期，先后出现了水硬性石灰与罗马水泥，它们都是含适量黏土的石灰石经过煅烧、磨细制成的。在此基础上，出现了进一步煅烧天然水泥岩（黏土含量在20%~25%的石灰石），经过磨细，得到天然（配料）水泥。随后，通过不断地摸索与实践，发现并逐渐掌握了用石灰石与定量黏土混合、磨细，经过煅烧制成人工配料的水硬性石灰。这些探索成果奠定了近代硅酸盐水泥生产的基础。

(5) 硅酸盐水泥（Portland Cement）时代 1824年，英国建筑工人J. 阿斯普丁取得了波特兰水泥的专利权。他用石灰石和黏土为原料，按一定比例配合后，在类似于烧石灰的立窑内煅烧成熟料，再经磨细制成水泥。因水泥硬化后的颜色与英格兰岛上波特兰地方用于建筑的石头相似，被命名为波特兰水泥，它具有优良的建筑性能，在水泥史上具有划时代意义，并于1825~1843年首次大规模用于修筑泰晤士河隧道工程。1871年，日本开始建造水泥厂。1877年，英国的克兰普顿发明了回转炉，并于1885年经兰萨姆改造成更好的回转炉。1889年，中国河北唐山开平煤矿附近，设立了用立窑生产的唐山“细绵土”厂。1906年在该厂的基础上建立了启新洋灰公司，年产水泥4万吨。1893年，日本远藤秀行和内海三贞二人发明了不怕海水的硅酸盐水泥。20世纪，人们在不断改进波特兰水泥性能的同时，研制成功了一批适用于特殊建筑工程的水泥，如高铝水泥、特种水泥等。全世界的水泥品种已发展到100多种，2012年我国水泥产量达21.84亿吨。

三、水泥的定义与分类

(1) 水泥定义 凡细磨成粉末状，加入适量水后成为塑性浆状，既能在空气中硬化，又能在水中硬化，并能将砂、石等散粒或纤维材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料，通称为水泥。

(2) 水泥分类 水泥按用途及性能可分为通用水泥、专用水泥及特性水泥三大类。水泥种类很多，目前全世界多达100多个水泥品种。

① 通用水泥 用于大量土木建筑工程一般用途的水泥或强度性能为主的水泥,如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等。

② 专用水泥 专用水泥是指有专门用途的水泥,如油井硅酸盐水泥、砌筑水泥等。

③ 特性水泥 特性水泥是某种性能比较突出的一类水泥,如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥等。对水泥特性给予明确地划分,如快硬性分为快硬和特快硬两类;水化热分为中热和低热两类;抗硫酸盐性分为抗硫酸盐和高抗硫酸盐两类;膨胀性分为膨胀和自应力两类等。

如果按照其组成为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥以及少熟料或无熟料水泥等几种。

三类水泥分别按照水泥的主要水硬性矿物、混合材料、用途和主要特性命名。

通用水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以混合材料名称或其他适当名称命名。包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。

专用水泥以其专门用途命名,并可冠以不同型号,例如 A 级油井水泥、砌筑水泥等。

特性水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以水泥的主要特性命名,并可冠以不同型号或混合材料名称,如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥等。

以火山灰性或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥,是以主要组分的名称冠以活性材料的名称进行命名,也可再冠以特性名称,如石膏矿渣水泥、石灰火山灰水泥等。

四、水泥工业发展概况

(一) 我国水泥工业发展概况

1. 产量持续增长

改革开放以来,随着经济建设规模扩大,我国水泥工业发展很快。1978 年全国水泥产量 6524 万吨,2005 年水泥产量 10.60 亿吨,水泥年产量净增 9.95 亿吨(见表 1-1)。从 1985 年起我国水泥产量已连续 21 年居世界第一位。2007 年全国水泥产量 13.6 亿吨,2008 年年产水泥 14.2 亿吨,只增加了 6 千万吨,但是 2009 年,由于 4 万亿投资计划的刺激,水

表 1-1 1978 年以来我国历年水泥产量

年 份	全国产量/万吨	增长量/万吨	增长率/%	年 份	全国产量/万吨	增长量/万吨	增长率/%
1978	6524	959	17.2	1992	30822	5561	22.0
1979	7390	866	13.3	1993	36788	5966	19.4
1980	7986	596	8.1	1994	42118	5330	14.5
1981	8290	304	3.8	1995	47561	5443	12.9
1982	9520	1230	14.8	1996	49118	1557	3.3
1983	10825	1305	13.7	1997	51174	2056	4.2
1984	12302	1477	13.6	1998	53600	2426	4.7
1985	14595	2293	18.6	1999	57300	3700	6.9
1986	16606	2011	13.8	2000	59700	2400	4.2
1987	18625	2019	12.2	2001	66104	6404	10.7
1988	21014	2389	12.8	2002	72500	6396	9.7
1989	21029	15	0.1	2003	86200	13700	18.9
1990	20971	-58	-0.3	2004	97000	10800	12.5
1991	25261	4290	20.5	2005	106000	9000	9.3

泥产量一下子到了 16.5 亿吨，2010 年达到 18 亿吨，2012 年超过 21 亿吨。水泥产量的快速增长，从数量上基本满足了国民经济持续快速发展和大规模经济建设的需要。

2. 布局趋于合理

目前，我国 31 个省、自治区、直辖市都建有水泥厂。从布局上看，水泥的生产和消费主要集中在东部地区，供需基本保持平衡，没有大量的调入调出，布局已基本趋于合理。

3. 结构调整加快

从 20 世纪 70 年代初开始研制新型干法水泥技术装备开始，在国家的推动下，我国水泥产业结构调整步伐不断加快。1995 年新型干法水泥 2853 万吨，仅占总产量的 6%。2000 年上升到 7188 万吨，占总产量的 12%。2004 年上升到 3.2 亿吨，占总产量的 33%。到 2005 年底新型干法水泥产量达到 4.73 亿吨，新型干法水泥占水泥总产量的比重为 45%。一年间增长 12%。目前，新型干法水泥发展已经形成了由政府导向、市场拉动、企业自主发展的良好局面，对促进水泥工业结构调整将起到重要的推动作用。

4. 规模生产扩大

经过 20 多年发展，水泥生产规模不断扩大，一批大企业集团发展壮大，对提高我国水泥工业的竞争力，加快结构调整和产业升级，起到了重要促进作用。2000 年，国家重点支持的十大水泥企业集团产量合计 2640 万吨，仅占全国水泥总产量的 4.4%。到 2012 年底，这一比例已提高到 48%，其中安徽海螺集团产量已超过 1.51 亿吨。

5. 装备水平提高

水泥行业科研创新与技术开发能力不断提高，装备制造水平有了很大进步。目前日产 2000 吨新型干法水泥生产技术装备已全部国产化，日产 4000 吨、5000 吨新型干法水泥生产技术装备国产化率达到 90% 以上，日产 8000 吨水泥熟料生产线和日产 10000 吨水泥熟料生产线已经投产。工艺先进、技术成熟的大型国产化装备为我国新型干法水泥加快发展提供了技术保证，同时也为我国大型水泥技术装备出口奠定了基础。

6. 效益同步增长

水泥行业实现了产量和效益的同步增长。2005 年全行业实现利润 80.5 亿元。按统计口径计算，60 万吨规模以上企业效益显著，占全行业的 73%，小型企业只占 27%。大型新型干法水泥企业的规模经济优势和技术经济优势得到了充分体现，不具备经济规模和落后工艺的水泥项目已普遍不被认同。

(二) 我国水泥工业发展中存在的主要问题

尽管我国水泥工业发展取得了很大成绩，但结构性矛盾仍比较突出，主要表现为企业规模小、产品档次偏低、落后生产能力仍占相当比重、能耗大、资源消耗高、环境污染严重等。这些问题的产生，既有长期低水平发展积累的原因，也有近两年在市场需求拉动下，一些企业不顾产业政策，低水平盲目扩张所带来的后果。

1. 厂点分散规模小，质量不稳标号低

全国共有规模以上（年销售收入 500 万元以上）水泥企业 5000 多家，企业数量超过世界其他国家的总和，平均规模仅为 22 万吨，远低于世界平均水平。

截至 2006 年，水泥生产能力中 55% 左右仍为落后的立窑和小型干法中空窑，32.5 级水泥等低端产品约占总产量的 85%，42.5 级及以上的约占 12%，其余为特种水泥。2008 年以来，新型干法水泥占总产量的比重由 16% 上升为 72.8%。我国混凝土标号大部分为 C20、

C30, 而国外多为 C50、C60。由于混凝土标号标准低, 特别是立窑水泥产品质量不稳定, 给工程质量带来隐患, 直接影响建筑工程的寿命。

2. 工艺落后能耗高, 环境破坏污染大

与新型干法水泥相比, 小立窑、湿法窑等落后工艺能耗高 (见表 1-2)。由于目前采用立窑等落后生产工艺的能力还占相当比重, 造成我国水泥工业整体能耗还比较高。

表 1-2 我国各类水泥窑平均热耗对比

窑 型	新型干法窑	机立窑	湿法窑	干法中空窑
吨熟料千克标准煤	115	160	208	243
热耗指数	100	139	181	211

水泥工业对环境影响主要是粉尘污染, 其粉尘排放量占全国工业行业粉尘排放总量的 40% 左右。虽然国家对水泥行业的环保问题日益重视, 水泥生产中的粉尘排放总量逐年降低, 但污染问题仍很严重。目前多数立窑和干法中空窑企业粉尘排放浓度严重超标。

3. 人均产出效率低, 国际比较差距大

2005 年我国水泥企业全员人均实物劳动生产率约 800 吨/人·年, 其中小型企业仅 200 吨/人·年, 中型企业为 400~600 吨/人·年, 日产 2000 吨以上新型干法生产线, 已提高到 2500~4000 吨/人·年。但与发达国家相比仍存在很大差距, 如德国为 3015 吨/人·年, 法国为 3273 吨/人·年, 日本已达到 15000 吨/人·年。

4. 盲目扩张结构差, 矿产资源浪费大

在市场需求快速增长的拉动下, 新增水泥产量中有相当一部分是国家明令禁止新建的立窑水泥, 当前落后生产能力的重复建设仍未得到完全有效的遏制。主要原因: 一是闲置立窑生产能力在市场的刺激下恢复了产能, 并扩径改造提高产量; 二是相当一部分已淘汰关闭的小水泥企业又投入生产, 形成虚关实开的现象; 三是在水泥市场形势较好的西部地区, 不但一些应淘汰的立窑没有关闭, 而且还有新建立窑的现象, 东部地区一些水泥企业将拆除的立窑转移到西部地区恢复生产。盲目扩张进一步加大了结构调整的难度, 严重影响了水泥工业的可持续发展。特别是一些水泥企业不建矿山, 采用民采民运方式, 不重视环境保护和资源的合理开采利用, 资源和生态环境的破坏也较严重。

(三) 我国水泥工业发展环境及需求预测

1. 发展环境

当前我国正处于全面建设小康社会的关键发展阶段, 国内国际环境总体上都有利于我国加快发展。水泥工业作为基础性原材料行业, 与国民经济关联度比较高, 随着推进工业化和城镇化进程, 基础设施建设步伐加快, 城乡居民住房水平升级, 都将拉动水泥工业的快速发展。此外, 在国家鼓励新型干法水泥技术推广和实施装备国产化政策的引导下, 已经解决了制约新型干法水泥设备依赖进口的问题, 降低了投资成本, 为大力发展新型干法水泥创造了有利条件。

2. 需求预测

综合考虑国情及水泥生产和消费现状, 借鉴国际工业化国家水泥消费变化经验, 在今后较长一段时间内, 水泥消费都将保持在较高的水平。

根据对美国、德国、法国、日本等发达国家水泥消费量的分析, 当人均累积水泥消费量达到 12~14 吨, 年人均水泥消费量为 600~700 公斤的时候, 水泥消费量达到饱和, 消费总

量和人均消费量开始呈缓慢下滑的趋势。2005年我国人均水泥消费量806公斤，人均累积消费量8.69吨。与发达国家相比，人均累积消费量还比较低，随着城镇化进程的加快，水泥消费还有较大增长空间。据测算，2011—2015年间，人均水泥累积消费量将达到14吨，人均水泥消费量为900公斤，水泥年需求总量约为12.5亿吨。

党的十六大提出到2020年实现国民经济总量翻两番的目标，综合考虑水泥与国民经济各领域的关联因素，预测2010年需求量为12亿吨。随着科学发展观的深入贯彻和落实，考虑到技术进步和厉行节约等因素，水泥实物消耗量将逐步减少，预测到2020年，水泥需求量也将基本维持在13亿吨左右。

（四）我国水泥工业发展指导思想、基本原则和发展目标

1. 指导思想

贯彻落实科学发展观和走新型工业化道路的原则，控制总量，以优化地区布局和结构调整为重点，以市场为导向，以效益为中心，大力发展循环经济，保护生态环境，依靠技术进步，推动企业联合重组，实现水泥工业可持续发展，满足国民经济发展需要。

2. 基本原则

水泥工业的发展，要坚持以下基本原则。

（1）坚持资源保护和综合利用，走循环经济道路 建设大中型水泥项目必须有可靠的资源保障。禁止采用破坏资源的开采方式，加强对民办矿山环境污染的治理和整顿，对民采民运方式要进行有效监督。要重视资源综合利用，鼓励企业利用低品位原、燃材料以及砂岩、固体废弃物等替代黏土配料，支持采用工业废渣做原料和混合材。推广节能粉磨、余热发电、利用水泥窑处理工业废弃物及分类好的生活垃圾等技术，发展循环经济。

（2）坚持技术进步和保护环境，树立科学发展观 水泥工业发展要坚持技术进步，广泛推广使用成熟、可靠的先进技术装备，严格禁止低水平建设。要依法保护环境和生态，对矿区采后要复垦，恢复景观地貌。对文化、旅游、高新技术和第三产业为发展重点的大城市市区及风景名胜区，今后一律不再建设水泥项目。现有水泥厂也要逐渐向远郊或周边地区转移。要按照科学发展观的要求，切实转变增长方式，努力降低消耗，提高产品质量和资源开发利用水平，实现可持续发展。

（3）坚持结构调整和淘汰落后，培育优势大集团 国家鼓励建设日产4000吨及以上规模的大型新型干法水泥生产线，西部地区建设规模也应达到日产2000吨及以上，除一些受市场容量和运输条件限制的特殊地区外，原则上不再建设日产2000吨以下规模的水泥项目。禁止建设任何落后工艺的水泥生产能力，对环境污染大、资源破坏严重的小水泥厂，要依法淘汰。通过兼并重组，实行产业整合，积极培育优势企业，提高竞争能力。鼓励大企业在消费市场兼并小企业，将具备条件的小企业改建为粉磨站、中转库或预拌混凝土等接替产业。努力提高散装水泥比例。

（4）坚持合理布局和发展西部，统筹地区发展 各地区要从我国区域经济发展不平衡、水泥消费水平相差较大的实际情况出发，根据水泥产品附加值较低、保质期有限、不宜远距离运输的特点，综合考虑资源、能源、环境容量等配套条件，合理布局，协调发展。东部地区经济相对发达，水泥工业已形成较大规模，随着土地、环保压力不断加大，应严格控制产能的扩张，以重点改造现有企业为主，不再铺新摊子；中部地区石灰石资源比较丰富，交通运输便利，水泥工业正处于快速发展时期，在满足本地区水泥需求的同时也可兼顾周边地区

的需要,应依托老企业扩建日产4000吨以上生产线,尽快形成合理的经济规模;西部地区新型干法水泥发展薄弱,应重点支持,要以减少运输压力和满足本地区需求为原则,发展建设日产2000吨以上的新型干法水泥,加快淘汰落后,促进西部地区水泥工业结构升级。

3. 发展目标

提高新型干法水泥占比,新型干法水泥技术装备、能耗、环保和资源利用效率等达到中等发达国家水平。到2020年,基本实现水泥工业现代化,并具有较强的国际竞争能力。

(五) 我国水泥工业发展地区布局

各地区水泥工业的发展要按上述原则,科学规划、合理布局。

1. 华北地区

该区域石灰石资源主要分布在河北省和山西省,能源条件好,靠近经济中心,是水泥工业发展和调整的重点地区;北京和天津是重要的中心城市,环保要求高,原则上不再发展水泥,需求由周边地区供给;内蒙古自治区应结合地域特点和经济发展的需要,进一步完善生产力布局。

2. 东北地区

该地区是我国的老工业基地,大型石灰石矿区主要分布在辽宁大连、本溪、辽阳、凌原、朝阳以及吉林双阳、磐石、辉南等地。考虑到目前东北地区新型干法水泥比重偏低,应结合淘汰落后工艺、装备,加快发展大型新型干法水泥。

3. 华东地区

该地区是我国经济发展水平较高的区域,市场容量大,石灰石资源丰富,大型石灰石矿区广泛分布在安徽怀宁、枞阳、贵池、铜陵、含山、繁昌、芜湖等沿长江两岸地区以及山东济宁、枣庄、潍坊等地区。山东、江苏、浙江、安徽已成为我国水泥的主要产地。这些地区应在严格控制总量,进行等量淘汰的前提下,加快结构调整,发展大型新型干法水泥。上海是重要的中心城市,没有石灰石资源,生态和环保要求严格,应限制发展水泥工业。

4. 中南地区

该地区石灰石资源丰富,大型石灰石矿区主要分布在广西沿西江流域及西部地区、广东英德、广州及东部地区、河南南阳、洛阳、焦作等地区以及湖北沿长江流域。广东省经济发展水平高,但水泥工业结构不合理,是结构调整的重点地区,鼓励省内外大集团在广东通过兼并重组发展新型干法水泥;广西、湖北、湖南、河南水泥工业发展条件好,可适度发展大型熟料基地。

5. 西南地区

该地区经济基础相对薄弱,大型石灰石矿区主要分布在四川中南部的峨眉山、攀枝花一带以及重庆的涪陵、丰都、忠县等沿长江流域。目前新型干法水泥比重仍很小,需加快结构调整,努力提高新型干法水泥比重。

6. 西北地区

该地区经济发展相对落后,水泥消费水平低。甘肃、陕西石灰石资源丰富,可根据市场需求,建设大中型新型干法水泥生产线,加快淘汰落后工艺。

(六) 国外大型预分解窑的现状

20世纪90年代国际上水泥窑以预分解烧成技术为主,主要表现在进一步优化系统内各

单项装备技术,提高产量和质量,降低热耗和电耗。以提高劳动生产率,降低产品成本,增加经济效益。同时扩大原燃料的使用范围和减少粉尘及有害气体的排放,以保持可持续发展。

新型干法窑不断向大型化迈进,自动化水平不断提高。单机最大能力已达 10000t/d。泰国 9000~10000t/d 三条,韩国 9000~10000t/d 一条。7500~8500t/d 中国一条(山东大宇 7200t/d),泰国 7 条,印尼 8 条,韩国 2 条。5000~6500t/d 中国 2 条(京阳 5500t/d 华新 5000t/d),泰国 7 条。吨水泥综合电耗已降低到 $90\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$,热耗低于 $3000\text{kJ}/\text{kg}$ 熟料,劳动生产率已提高到 10000~15000 吨(水泥)/人。环境保护日益受到重视,目前德国、英国、法国环境保护标准较高。新建水泥 $\text{SO}_2 < 200\text{mg}/\text{Nm}^3$ (标), $\text{NO}_x < 500\text{mg}/\text{Nm}^3$ (标),工业废物利用,个别窑利用废燃料比例约占 50%~100%。欧洲工业发达国家废燃料平均使用量占总燃料量的 15%以上。

21 世纪水泥企业发展趋向及其目标。在环境保护上的目标做到“三零一负”。

① 在水泥生产过程中实现对周围环境达到零污染排放。

② 实现废气余热发电量与水泥的综合电耗量持平,达到水泥企业对电能的零消耗。

③ 水泥企业保证废料、废渣、废水的零排放,实现对天然矿物燃料的零消耗。同时大幅度降低 CO_2 气体的排放。不仅如此,水泥企业还能治理和循环利用部分有毒、有害废弃物和城市垃圾等,作为二次原燃料,为减轻全社会的环境问题作出贡献^[1](全社会废料、废渣的负增长弥补其对环境的负面影响作出贡献)。成为环境保护补偿型的绿色工业。在烧废料方面,1999 年德国和瑞典已取代了全国熟料煅烧用燃料的 18%~20%,北欧诸国为 10%~14%,英国为 8%,法国为 5%。在瑞典和美国的个别水泥企业中,烧废料的例子已有高达 80%的实例。瑞典已制订了具体措施,计划 2008 年全国达到 50%以上,2020 年基本实现 100%。

④ 运用数学神经网络系统及专家系统,优化智能型过程控制,实现无人操作和远程调控或诊断,改变传统的管理模式。

⑤ 提供个性化服务,水泥企业将按不同客户的各种需求,设计其产品的最佳质量标准批量生产适时发运。

⑥ 继续提高工艺效率,机电装备的可靠性和运转率,窑系统的年运转率要稳定在 90%以上。

⑦ 水泥企业向互联网企业转型,发展电子商务。这涉及企业的经营管理模式及生存竞争能力,全方位地实现新经济时代水泥工业可持续发展。德国水泥工业首先进入绿色型,美国水泥企业在互联网和电子商务方面明显领先,大步走向网络经济。

随着我国拉动内需的举措出台,水泥作为最先收益行业,不仅可以为解决大学生就业作出贡献,在拉动 GDP 上也会有自己的贡献。新型水泥工业前程无量,大有可为,我国水泥工业必然大有发展。

作业及思考题

1. 胶凝材料定义与分类?
2. 水泥定义与分类?
3. 从设备、流程、产量规模、能耗及减排等方面讨论水泥工业发展趋势。

第二章

硅酸盐水泥国家标准及其生产

第一节 硅酸盐水泥的国家标准

为了便于学生熟悉完整版的国家标准，也为了让学生了解国家标准制定的目的性以及条款的强制性还是推荐性，本书将国家标准全貌奉献给读者。

GB 175—2007 于 2007 年 11 月 9 日发布，并于 2008 年 6 月 1 日正式实施。

本标准第 7.1、7.3.1、7.3.2、7.3.3、8.4 为强制性条款，其余为推荐性条款。

本标准与欧洲水泥标准 ENV197-1：2000《通用波特兰水泥》的一致性程度为非等效。

本标准自实施之日起代替 GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》、GB 1344—1999《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥》、GB 12958—1999《复合硅酸盐水泥》三个标准。

与 GB 175—1999、GB 1344—1999、GB 12958—1999 相比，本标准主要变化如下：

——全文强制改为条文强制（本版前言）；

——增加了通用硅酸盐水泥的定义（本版第 3 章）；

——将各品种水泥的定义取消（原版 GB 175—1999、GB 1344—1999、GB 12958—1999 第 3 章）；

——将组分与材料合并为一章（原版 GB 175—1999、GB 1344—1999、GB 12958—1999 第 4 章，本版第 5 章）；

——普通硅酸盐水泥中“掺活性混合材料时，最大掺量不超过 15%，其中允许用不超过水泥质量 5% 的窑灰或不超过水泥质量 10% 的非活性混合材料来代替”改为“活性混合材料掺加量为 $>5\%$ 且 $\leq 20\%$ ，其中允许用不超过水泥质量 8% 且符合本标准第 5.2.4 条的非活性混合材料或不超过水泥质量 5% 且符合本标准第 5.2.5 条的窑灰代替”（原版 GB 175—1999 中第 3.2 条，本版第 5.1 条）；

——将矿渣硅酸盐水泥中矿渣掺加量由“20%~70%”改为“ $>20\%$ 且 $\leq 70\%$ ”，并分为 A 型和 B 型。A 型矿渣掺量 $>20\%$ 且 $\leq 50\%$ ，代号 P.S.A；B 型矿渣掺量 $>50\%$ 且 $\leq 70\%$ ，代号 P.S.B（原版 GB 1344—1999 中第 3.1 条，本版第 5.1 条）；

——将火山灰质硅酸盐水泥中火山灰质混合材料掺量由“20%~50%”改为“ $>20\%$ 且 $\leq 40\%$ ”（原版 GB 1344—1999 中第 3.2 条，本版第 5.1 条）；