

国家职业技能鉴定培训教材（之四）

水泥生产制造

（立窑煅烧）

SHUINI SHENGCHAN ZHIZAO

主 编 徐洛屹

副主编 顾成正 陈本华

中国建材工业出版社

中国建材工业出版社 中国水泥网 中国水泥网

水泥生产制造

(立窑煅烧)

中国建材工业出版社 中国水泥网 中国水泥网

中国建材工业出版社 中国水泥网 中国水泥网



中国建材工业出版社 中国水泥网 中国水泥网

国家职业技能鉴定培训教材（之四）

水泥生产制造

（立窑煅烧）

主 编 徐洛屹
副主编 顾成正 陈本华

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥生产制造: 立窑煅烧/徐洛屹主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2006. 11

国家职业技能鉴定培训教材 (之四)

ISBN 7-80227-141-X

I. 水... II. 徐... III. 水泥—竖炉焙烧—职业技能鉴定—教材 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 095582 号

内 容 简 介

本书内容力求达到国家职业标准中对本专业 (工种) 的知识和技能要求, 适用于立窑水泥厂熟料煅烧工参加初级、中级、高级、技师、高级技师职业技能培训使用。

全书共分为 11 章。绪论和第 1 章介绍硅酸盐水泥生产基本知识。机立窑发展到现代化立窑阶段, 煅烧知识与配料知识融为一体, 为此编写了第 2 章和第 3 章的内容, 也是《国家职业标准》中要求学习和掌握的内容; 第 4 章至第 9 章介绍生料的配煤与成球、机立窑的结构、工作原理、熟料的形成原理、煅烧与操作, 异常窑况的处理; 第 10 章介绍了机立窑若干技术问题, 是生产中常见的问题与处理措施; 第 11 章介绍了机立窑监测与控制中热工仪表的选用及热工参数的影响因素。

国家职业技能鉴定培训教材 (之四)

水泥生产制造 (立窑煅烧)

主 编 徐洛屹

副主编 顾成正 陈本华

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 59.5

字 数: 1458 千字

版 次: 2006 年 11 月第 1 版

印 次: 2006 年 11 月第 1 次

定 价: 120.00 元 (全套共四册)

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

职业资格证书制度是劳动就业的一项重要内容，也是一种特殊形式的国家考试制度。它是指国家制定的职业技能标准或任职资格条件，通过政府认定的考核鉴定机构，对劳动者的技能水平或职业资格进行客观、公正、科学、规范的评价和鉴定，对合格者授予相应的国家职业资格证书（证书全国有效）。它分为：初级工（国家职业资格五级）、中级工（国家职业资格四级）、高级工（国家职业资格三级）、技师（国家职业资格二级）、高级技师（国家职业资格一级）五个等级。同时，国家劳动和社会保障部部长张左己同志指出：高科技专业人才是人才，高技能人才同样是人才。技术技能型人才是国家的宝贵财富，是科学技术转化为现实生产力的生力军，是生产效率和产品质量的重要保证。我们所建立的初级工、中级工、高级工、技师、高级技师的职业资格证书制度，就是为技术技能型人才铺设的一条成才之路。

我们具有多年的培训实践经验，了解水泥企业职工需要些什么，渴望学到什么，因此，思索着编写了这套书。培训教师可根据培训的对象：初级工、中级工、高级工、技师、高级技师，因人施教，由浅入深，从而达到相应工种等级的知识要求和技能要求（本书附中华人民共和国劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》的工作要求）。

本书立足于机立窑看火工（水泥熟料煅烧工）参加职业技能培训和水泥工厂实用的培训教材，共分为11章。绪论和第1章介绍硅酸盐水泥生产基本知识；第2章和第3章介绍硅酸盐水泥熟料的化学成分和矿物组成、配方参数选择，我国机立窑已发展到现代化立窑阶段，它的发展使我们认识到，煅烧知识与配料知识应融为一体，因此编写了第2章和第3章的内容，这也是中华人民共和国劳动和社会保障部制定的《国家职业标准》中要求学习和掌握的；第4章至第9章系统介绍了水泥煅烧工艺及立窑生产水泥熟料的有关设备。主要内容：生料的配煤与成球、立窑的结构与工作原理、机立窑熟料的形成原理、机立窑的煅烧与操作、异常窑况的处理；第10章介绍了机立窑若干技术问题，是机立窑生产中常见的问题与处理措施；第11章介绍了机立窑监测与控制，内容是：热工仪表的选用、热工参数的影响因素及利用热工参数进行立窑看火人工操作的基本方法。

水泥熟料煅烧工是中华人民共和国工人技术等级标准中，建材行业规范的工种名称，定义是：从事水泥生产制造，操作水泥窑将生料煅烧成熟料的人员。它归类为中华人民共和国职业分类大典——水泥生产制造工中。本书名正是以该工种名称命名的，是为水泥熟料煅烧工（立窑煅烧）参加国家职业技能鉴定而编写的培训教材，谨以此书献给广大水泥企业第一线的水泥熟料煅烧工，祝你们成为国家的宝贵财富——技术技能型人才。

本书不但适用于水泥熟料煅烧工（立窑煅烧）职业技能鉴定的培训使用，对水泥企业管理和技术人员、大中专院校及技工学校对口专业的教学人员及学生也有一定的参考价值。在此对本书参考文献资料的所有作者深表谢意！

本书难免有不当之处，敬请批评指正。

编者

2006 年 7 月

目 录

0 绪 论	1
0.1 胶凝材料的定义和分类	1
0.2 胶凝材料发展简史	1
0.3 水泥的定义和分类	2
0.4 水泥在国民经济中的作用	2
0.5 水泥工业发展概况	3
0.6 现代化立窑	4
1 硅酸盐水泥生产概述	9
1.1 通用硅酸盐水泥国家标准 (送审稿)	9
1.2 硅酸盐水泥的生产方法	13
1.3 硅酸盐水泥生产工艺流程	15
1.4 硅酸盐水泥的性能和使用范围	19
2 水泥生产工艺知识	21
2.1 硅酸盐水泥熟料的化学成分与矿物组成	21
2.2 硅酸盐水泥熟料的率值及其意义	28
2.3 熟料化学成分、矿物组成和各率值之间的关系	29
3 配料方案选择	31
3.1 由 SiO_2 适宜含量求 KH, n, P 组合	31
3.2 由液相适宜含量求 KH, n, P 组合	32
3.3 从烧成指数 K 求 KH, n, P 组合	34
3.4 由回归分析法求 KH, n, P 组合	37
3.5 全黑生料中掺煤量的确定方法	39
3.6 几种配方及煅烧操作	40
4 生料的配煤与成球系统	43
4.1 生料的配煤系统	43
4.2 生料的成球系统	57

4.3 预加水成球	63
5 立窑的结构与工作原理	73
5.1 立窑的结构	73
5.2 立窑的供风与排气	96
5.3 立窑的窑衬和隔热层	104
6 机立窑熟料的形成原理	113
6.1 机立窑熟料的形成原理	113
6.2 水泥熟料的理论热耗	119
6.3 物料与气体在机立窑内的运动	120
6.4 燃料的燃烧及传热	122
7 机立窑的煅烧	126
7.1 煅烧方法	126
7.2 机立窑热工制度	129
7.3 加速煅烧的措施	135
7.4 配煤与成球的质量要求	142
8 机立窑煅烧操作	154
8.1 煅烧操作方法	154
8.2 填窑、烘窑及点火	168
8.3 看火操作方法	170
9 机立窑异常窑况处理	190
9.1 偏火	190
9.2 中间火深	198
9.3 架窑	201
9.4 塌边	202
9.5 炼边、结圈	203
9.6 滋火	204
9.7 埂堤与流态	204
9.8 窑喷	207
10 机立窑若干技术问题	209
10.1 扩口角度问题	209
10.2 $\phi 2.5\text{m} \times 10\text{m}$ 塔式机立窑的扩径优化改造	210
10.3 播料问题	212
10.4 两个三平衡问题	213

10.5	明火问题	214
10.6	看火操作问题	215
10.7	预湿问题	216
10.8	硬底深度问题	217
10.9	预加水成球系统的调试问题	218
10.10	预加水成球系统如何采用微机	219
10.11	机立窑熟料外观质量问题	219
10.12	机立窑喇叭口几何形状问题	222
10.13	提高机立窑产量、质量及降低能耗	226
10.14	机立窑更换扩大口耐火砖应注意的问题	228
10.15	如何改善料层透气性与均匀性	229
10.16	操作中注意的问题	230
10.17	机立窑生产仪表化、自动化问题的探讨	231
10.18	烧失量	233
10.19	结大块问题	235
10.20	烧结差	235
10.21	凝结时间	237
10.22	安定性分析	241
10.23	水泥细度	246
10.24	提高熟料强度	247
10.25	水泥强度的匹配与稳定	248
10.26	料变我变操作要点	250
10.27	稳定底火	255
10.28	再述稳定底火	257
10.29	上火速度问题	260
10.30	烟气特性、玻纤袋除尘器与看火操作	262
10.31	提高熟料质量的实例剖析	266
10.32	水泥颜色的影响因素及对策	267
10.33	用工业水表读数计算机立窑熟料班产量公式介绍	269
10.34	发挥腰风在纠偏中的作用	270
10.35	切实搞好安全生产	270
10.36	抢时间、不抢产量	271
10.37	机立窑看火工操作指导书	271
11	立窑的监测与控制	273
11.1	热工仪表的选用	273
11.2	热工参数的影响因素	282
11.3	人工控制热工参数	285
11.4	机立窑热工参数微机测控系统	287

11.5 偏火自动监测控制系统.....	289
附录 A 机立窑看火操作三十六法.....	294
附录 B 中华人民共和国劳动部和社会保障部《国家职业标准》水泥熟料煅烧工工作 要求.....	304
主要参考资料.....	312

0 绪 论

0.1 胶凝材料的定义和分类

凡在物理、化学作用下,能从浆体变成坚固的石状体,并能胶结其他物料而具有一定机械强度的物质,统称为胶凝材料。胶凝材料分为水硬性和非水硬性两大类。

水硬性胶凝材料是在拌水后不仅能在空气中硬化,并能在水中硬化的材料,如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥等无机材料。

非水硬性胶凝材料是只能在空气或其他条件下硬化,而不能在水中硬化的材料,如无机的石灰、石膏及有机的环氧树脂胶结料等。

0.2 胶凝材料发展简史

胶凝材料是人类在生产实践中,随着社会生产力的发展而发展起来的。黏土以及黏土掺加一些纤维材料是人类使用最早的一种胶凝材料,但黏土不耐水且强度低。

大约在公元前 3000~2000 年,人们开始用石灰、石膏来调制砌筑砂浆用作胶凝材料。我国的万里长城、古埃及的金字塔、狮身人首石像建筑,就是由这种胶凝材料建造的。

随着生产的发展,人们注意到在石灰砂浆中掺入火山灰,能使砂浆具有一定抗水性。我国很早就使用的“三合土”建筑物等都用的是石灰火山灰材料。随着陶瓷生产的发展,人们用废陶器、碎砖磨碎后混合石灰来作胶凝材料时,发现它的砂浆可以在水中硬化,具有较高的强度和较好的抗水性。由此,进一步发现可用石灰和煅烧的黏土来制成胶凝材料。

18 世纪到 19 世纪初期,在历史上是探求真理成为一种潮流的时代,化学和物理学被广泛地用于解释自然现象。在这样一个时期内,许多学者、工程师注意到了水泥的神秘。于 1756 年和 1796 年先后制成了水硬性石灰和罗马水泥。在此基础上,进而又用含适量(20%~25%)黏土的石灰石(天然水泥)经煅烧磨细,制得天然水泥。

19 世纪初期(1810~1825 年)已经将石灰石和黏土细粉按一定比例配合,在类似石灰窑的炉内经高温烧结成块(熟料),再进行粉磨制成水硬性胶凝材料。因为这种水硬性胶凝材料,有与英国波特兰城建筑岩石相似的颜色,故称之为波特兰水泥(我国称为硅酸盐水泥)。

硅酸盐水泥出现后,应用日益普遍。100 多年来,由于各国的科学家和水泥工作者的不断研究、探索及生产工艺的改进,使硅酸盐水泥生产不断提高和完善。同时水泥制品也相应得到发展。

由于工业不断发展,以及军事工程和特殊工程的需要,先后制成了各种特殊用途的水泥,如高强快硬水泥、矾土水泥、膨胀水泥、抗硫酸盐水泥、油井水泥等。

0.3 水泥的定义和分类

0.3.1 水泥的定义

加水拌合成塑性浆体，能胶结砂、石等适当材料并能在空气和水中硬化的粉状水硬性胶凝材料。

0.3.2 水泥的分类

0.3.2.1 水泥按其用途及性能分为三类：

(1) 通用水泥——一般土木建筑工程采用的水泥，例如，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、复合硅酸盐水泥。

(2) 专用水泥——专门用途的水泥，例如，G 级油井水泥、32.5 级道路硅酸盐水泥。

(3) 特性水泥——某种性能比较突出的水泥，例如，快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥。

0.3.2.2 水泥按其主要水硬性物质名称分为：

(1) 硅酸盐水泥，即国外通称的波特兰水泥；

(2) 铝酸盐水泥；

(3) 硫铝酸盐水泥；

(4) 铁铝酸盐水泥；

(5) 氟铝酸盐水泥；

(6) 以火山灰质或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥。

0.3.2.3 水泥按需要在水泥命名中标明的主要技术特性分为：

(1) 快硬性：分为快硬和特快硬两类；

(2) 水化热：分为中热和低热两类；

(3) 抗硫酸盐腐蚀性：分中抗硫酸盐腐蚀和高抗硫酸盐腐蚀两类；

(4) 膨胀性：分为膨胀和自应力两类；

(5) 耐高温性：铝酸盐水泥的耐高温性以水泥中氧化铝含量分级。

0.4 水泥在国民经济中的作用

水泥是基本建设中最重要建筑材料。随着现代化工业的发展，它在国民经济中的地位日益提高，应用也日益广泛。

目前，水泥已广泛应用于工业建筑、民用建筑、水工建筑、道路建筑、农田水利建设和军事工程等方面。由水泥制成的各种水泥制品，如坑木、轨枕、水泥船和石棉水泥制品等广泛应用于工业、交通等部门；在代钢、代木方面，也越来越显示出技术经济上的优越性。

在建筑施工中有了钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土和钢结构材料的混合使用，才有高层、超高层、大跨度以及各种特殊功能的建筑物。新的产业革命，又为水泥行业提出了扩大水泥品种和扩大应用范围的新课题。开发占地球表面 71% 的海洋是人类进步的标志，而海洋工程的建造，如海洋平台、海洋工厂，其主要建筑材料就是水泥。此外，如宇航工业、核工业以及其他新型工业的建设也需要各种无机非金属材料，其中最为基本的是以水泥为主的复合材料。因此水泥的发展对保证国家建设计划的顺利进行起着十分重要的作用。

0.5 水泥工业发展概况

硅酸盐水泥出现后的一个半世纪,水泥生产技术经历多次变革。

硅酸盐水泥是在第一次产业革命中问世的,开始是间歇作业的土立窑。随着以冶炼技术为突破口的第二次产业革命,推动了水泥生产设备的更新,1885年出现了回转窑,继而出现了单筒冷却机、立式磨和单仓球磨,使水泥生产质量有所提高。到19世纪末至20世纪初,水泥工业一直进行不断地改造与更新,1910年立窑实现了机械化连续生产,1928年出现立波尔窑,使得回转窑产量有明显提高,热耗降低。

以原子能、合成化工为标志的第三次产业革命达到了高度工业化阶段。水泥工业也出现变革,1950年悬浮预热器的应用,使热耗大幅度降低;20世纪60年代初,以电子计算机为代表的新技术在水泥工业中开始应用;1971年开发了窑外分解技术,是水泥生产技术的重大突破。同时,随着原料预均化及生料均化等多种生产技术的不断完善,以及X射线检测方法 & 计算机自动控制技术在水泥生产过程中的应用,使干法窑的产量和质量明显提高,在节能方面取得极大进展,使新型干法工艺逐步取代湿法、老式干法、半干法及立窑生产,将水泥工业推向一个新的阶段。

1876年我国在河北唐山首先建立启新洋灰公司(即今唐山启新水泥厂),以后又相继在大连、上海、广州建立其他一些水泥厂。但在解放前水泥工业也与其他工业一样,发展一直非常缓慢。旧中国水泥工业不仅产量低而且品种少,历史上水泥最高年产量仅229万t(1942年),只能生产普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥两个品种。1949年前我国水泥年产量只有66万t。

建国初期的1950年,我国水泥总产量仅为141万t,之后,随着国民经济建设的提高,水泥产量逐年提高;至1960年和1970年,我国的水泥产量分别增长到1565万t和2575万t。

改革开放以来,中国坚持以经济建设为中心,坚持改革开放,大力推进经济体制改革和结构调整,保持了经济的持续增长。国民经济的快速增长,带来了全社会固定资产投资规模的不断增长,也带来了人民生活水平的提高,城乡住宅建设得到稳步发展,这就带动了水泥工业的快速发展。2005年,我国水泥总产量10.5亿t,同比增长10%左右。

在我国水泥发展过程中,我国水泥企业始终注意加强对世界先进水泥技术的学习和借鉴。我国在20世纪50年代已进行过悬浮预热器的研究;20世纪60年代初太原水泥厂的四级旋风预热器回转窑通过了技术鉴定。1969年又在杭州水泥厂建成第一台带立筒预热器回转窑。1976年在石岭建成第一台窑外分解窑,随着对这一新型干法水泥技术的不断创新和技术的不断成熟,以其质量好、消耗低、污染少、自动化程度高等优势,得到了社会和市场的认可,并得以蓬勃发展。中国是水泥生产工艺的博物馆,拥有预分解窑、预热器窑、立筒预热器窑、立波尔窑、湿法窑、带余热发电的回转窑、干法中空窑、立窑等多种生产工艺。

改革开放以后,特别是“九五”以来,中国水泥的发展由量的增长转到质的提高的新阶段,即“发展高强度等级的优质水泥、促进结构优化和产业升级”的新阶段。1980年以前,我国水泥工业以湿法回转窑为主要生产工艺,湿法水泥比重占60%;1980~1997年期间,由于经济高速增长,水泥供求矛盾十分突出,立窑水泥得到高速发展,到后期立窑水泥比重高达80%以上。1997年以后,我国的水泥工业进入了结构调整期,以淘汰落后的生产能力

为主,发展新型干法窑外分解水泥,促进大型企业发展,改善水泥结构。目前,世界上仅有的7条日产万吨生产线,我国就占有4条;水泥成套技术装备的出口规模逐年扩大,并占有了20%以上的国际水泥工程技术装备及工程服务市场的份额。

我国水泥品种以六大通用水泥(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、复合硅酸盐水泥)为主,其余为特性和专用水泥,有中热、低热、快硬、油井、抗硫酸盐、道路、自应力、白色等硅酸盐水泥系列;硫铝酸盐水泥系列;铁铝酸盐水泥系列;膨胀、钢渣、高铝、型砂等。目前,我国特性水泥和专用水泥已达60多个品种,特性水泥和专用水泥产量约1200万t(不含砌筑水泥)。

伴随世界新型干法水泥生产技术的发展,我国水泥工作者历经30多年的研究开发和实践探索,在推动我国新型干法水泥技术发展上取得了很大的成绩,主要表现在:在原材料利用方面,对低品位原料的处理和利用、粉煤灰等工业废弃料的再利用等积累了丰富的经验;在原材料的预均化技术方面,已研究开发了圆形、长形、露天原料预均化堆场等多种技术;国产化和大型化机械装备已趋成熟,在生料制备系统设备方面,其单机生产能力已达400~1400t/h,有带组合式高效选粉机的风扫磨、尾卸磨、中卸磨及立式磨等多种粉磨系统。目前国产化的烧成系统装备(包括烧成窑尾、窑中和窑头),第三代空气梁篦冷机,均已成功应用于各种规格的生产线上。水泥粉磨系统配置,目前有带组合式高效选粉机的国产化圈流管磨系统、国产辊压机+管磨系统、引进CKP+国产管磨系统等多种方案。还有多项专有技术得到成功开发和应用,如新型干法回转窑煅烧无烟煤技术、环保技术、低温发电技术等都有重大突破。

就我国水泥现状而言,产业结构还不合理,新型干法水泥比例太低;水泥生产技术与世界先进技术相比差距正在缩小,但在大型机械设备的制造加工和材料加工上还需要进一步研究开发;从节约资源、节约能源、减少污染的角度出发,我们不应该一味地扩大水泥生产规模来满足经济发展的需要,而应该提高技术水平、生产优质水泥来减少混凝土中水泥用量,或利用高炉矿渣、粉煤灰等工业废渣生产水泥或在混凝土中替代水泥来降低水泥消耗量;环境保护和高效利用资源方面要引起高度重视,才能保证可持续发展。因此,水泥科技工作者重任在肩,应立足本职,奋发学习,为实现水泥工业现代化和水泥科学技术现代化而努力奋斗。

0.6 现代化立窑

我国立窑水泥工业的发展历程,大体上可分为三个阶段,即三代立窑。第一代 of 普通(土)立窑,第二代为机械立窑,第三代为现代立窑。通过“八五”实施的综合节能工程全面推广14项新技术,使我国立窑水泥工业上了一个新台阶,基本上完成了立窑的机械化改造阶段,并培育出少数初具现代立窑水平的水泥生产企业。从“九五”开始,在这些先进企业的带动下,开始了由机械立窑向现代立窑发展的新阶段,目前正处在向现代立窑过渡的时期。

现代立窑的技术内涵与20世纪50年代以前国外的机械化立窑相比,已经发生了很大的变化,它包含了我国立窑水泥工作者的许多技术创新,如原燃料预均化、微机配料、全黑生料、复合矿化剂、预加水成球及小料球快速煅烧、暗火操作、窑体隔热保温,垂直送风卸料篦子、卸料管料位锁风等。像新型干法一样,由原料预均化、悬浮预热、窑外分解、高效篦

式冷却机和自动控制技术等新技术构成，有别于普通干法，被称为新型干法。2002 年 7 月 10 日在北京召开的立窑研究会专家委员会全体会议上，根据部分先进立窑水泥企业已经达到的实际水平，并结合我国立窑生产技术的现状，本着既体现现代立窑技术经济指标的先进性，又不是高不可攀难以实现的原则，制定了现代立窑水泥企业八项指标：

- (1) 企业规模：年产水泥 30 万 t 以上；
- (2) 工艺设备完善，全面应用先进适用的现代立窑新技术，生产关键环节实现自动化控制及计算机管理；
- (3) 产品质量：能够稳定生产 32.5、42.5 等级水泥，出厂水泥实物质量 3d、28d 抗压强度分别超过国家标准 40MPa、50MPa 以上，并通过产品质量认证。熟料 28d 抗压强度 52MPa 以上， $f\text{-CaO}$ 2.5% 以下；
- (4) 水泥质量均匀稳定，均匀性不大于 1.1R（R 为同品种、不同强度等级水泥 28d 抗压强度上月平均值）；
- (5) 环境保护：粉尘排放浓度及车间岗位粉尘浓度，全面达到国家标准，逐步实现环保认证；
- (6) 能耗指标：可比熟料热耗 $900 \times 4.18\text{kJ/kg}$ 以下，可比水泥综合电耗 $80\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 以下；
- (7) 全员实物劳动生产率：1000/（人·a）以上（不含矿山）；
- (8) 企业管理：建立起现代企业管理机制，追求技术进步，坚持文明安全生产，并形成具有特色的企业文化，通过 ISO 9001 质量管理体系认证。制定现代立窑企业指标的主要目的是推动立窑水泥企业技术进步。能够全面达到现代立窑企业指标的立窑企业，在今后相当长的历史时期里，将与新型干法水泥企业共存。

0.6.1 现代立窑企业能够生产优质水泥

从 1995 年开始，全国大中型立窑水泥企业的熟料平均强度，一直与大中型回转窑企业居同一水平，维持在 60MPa（GB）左右。实施新标准后除生产少量市场需求的砌筑水泥外，基本上都顺利转为生产 32.5、42.5 等级水泥，为了统一人们对立窑与回转窑水泥质量的认识，澄清立窑水泥与回转窑水泥的质量差异，原国家建材局于 1996 年向中国建筑材料科学研究院下达了“立窑与回转窑熟料、水泥、混凝土性能特点及机理的研究”任务。经历了四年的试验研究工作，他们选择了 20 家回转窑企业和 30 家立窑企业，先后三次现场取样和一次综合调查，试验结果证明，先进的立窑企业生产的熟料、水泥与先进的回转窑企业（包括三家外资企业）生产的熟料、水泥，其物理性能基本一致，同属一个档次的优质品。表 0-1、表 0-2 是实物熟料及同强度等级实物水泥的对比试验结果。表 0-1、表 0-2 所列试验数据，完全证实了立窑与回转窑生产的水泥同属一个档次的优质品的结论。

表 0-1 实物熟料 GB、ISO 强度对比

厂 别	品 种	比面积 (m ² /kg)	GB 强度 (MPa)		ISO 强度		ISO/GB		参加对比厂家
			3d	28d	3d	28d	3d	28d	
外资企业	P·I	307.2	30.44	62.30	24.08	53.48	0.791	0.863	3
回转窑	P·I	310.7	33.43	61.02	26.30	52.11	0.787	0.854	16
立窑厂	P·I	316	30.27	59.56	25.88	52.84	0.856	0.887	20

表 0-2 同品种同强度等级实物水泥 GB、ISO 强度对比

厂 别	品种强度等级	比面积 (m ² /kg)	GB 强度 (MPa)		ISO 强度		ISO/GB		参加对比厂家
			3d	28d	3d	28d	3d	28d	
回转窑	P · O42.5	337	36.45	63.16	28.93	54.18	0.793	0.858	6
	P · O32.5	350	27.51	53.50	21.43	43.28	0.779	0.808	4
立窑厂	P · O42.5	370	35.65	62.99	28.43	52.42	0.789	0.832	10
	P · O32.5	226	28.23	52.90	21.91	42.58	0.776	0.832	11

历时几年的立窑与回转窑实物水泥和实物熟料的基本物理性能，混凝土施工性能与力学性能及化学组成熟料岩相的试验研究，最终得出如下的结论：

(1) 从我国两种窑型好的厂抽取的实物水泥进行统一试验的结果与各省、市水泥质检站调查的好、中、差水泥厂实物的水泥检测结果一致表明：无论是回转窑厂还是立窑厂生产的水泥全部能满足国家标准要求，实际强度都超过商品强度，但立窑水泥的平均富裕强度不及回转窑水泥高。

(2) 实物水泥和实物熟料的普通物理性能测定表明，立窑厂和回转窑厂的水泥、混凝土强度发展规律一致，两种窑型产品在标准养护条件下的最终强度也一样，但立窑的平均早期强度偏低；对减水剂的适应性、单位混凝土的水泥用量和强度效果两种窑型基本一致，立窑的需水量比回转窑小，凝结时间比回转窑长。

(3) 立窑厂实物水泥在由 GB 强度向 ISO 强度过渡时，强度值降低幅度大于回转窑厂水泥，而立窑厂、回转窑厂的熟料在同一粉磨条件下制成的 P · I 品种，两者的降低幅度基本一致。

(4) 目前我国立窑熟料与回转窑熟料的水泥耐磨性、抗钢筋锈蚀、泌水率基本一样；但干缩率是回转窑大，立窑小；快速冻融试验是立窑差，回转窑好。

(5) 立窑熟料和回转窑熟料在某些化学成分含量上有明显的差异；立窑熟料的 SO₃，Fe₂O₃，f-CaO 比回转窑高，而 SiO₂ 比回转窑低。两种熟料的矿物相组成相同，但立窑熟料 A 矿平均尺寸和均齐程度不及回转窑，B 矿的结晶状态与回转窑相比差的更大。

从以上所得结论可以清楚证明：先进回转窑和先进立窑的产品同属优质水泥，其实许多名牌立窑水泥早已被市场公认为优质水泥。截至 2001 年，全国 766 家产品认证水泥企业中立窑或立窑、回转窑皆有的企业就占 584 家。目前已有部分先进立窑水泥企业进入国家产品免检企业行列。但我们也要清楚地看到，达到上述水平的立窑企业的数量还不多，多数立窑企业目前还处在中间层和落后层。

0.6.2 现代立窑企业能够实现无烟无尘文明生产

立窑水泥企业的环保形象很不好，主要是粉尘污染严重，大多数立窑水泥企业的粉尘排放浓度不达标。粉尘污染问题，不是立窑水泥企业的不治之症，而主要是企业领导思想重视不够，环保投资不到位造成的。目前治理立窑企业的粉尘污染不存在技术问题，可供选择的收尘设备很多。有些企业的成功实践有力地证明，现代立窑企业完全可做到无烟无尘文明生产，因此立窑研究会制定的会员条件中。环保治理一项必须全面达到国家环保标准。

0.6.3 现代立窑企业的综合技术经济指标具有较强的竞争力

企业有无竞争优势，有多少优势，要通过对竞争力的分析评价确定。就是把参与市场竞

争的主要因素，即产品质量、销售服务等进行量化分析对比。产品质量的竞争优势，主要体现在水泥的实物质量上，即富裕强度、早期强度、均匀性及混凝土施工性能指标等。销售价格是竞争取胜的决定因素，价格的竞争优势，取决于生产成本，成本主要取决于投资成本、能源（煤、电）消耗和劳动生产率等，后两项分别占水泥生产成本的 50%，20% 左右。

对上述主要竞争因素进行量化对比后，便可清楚了解企业的竞争力所处水平。现将几种不同生产工艺的先进水平列于表 0-3 进行量化对比。从表 0-3 所列数据可以看出，现代立窑的综合技术经济指标，目前在我国水泥行业中，处于比较先进的水平，仅次于大型新型干法，优于湿法回转窑和 1000t/d 以下的小型新型干法回转窑。因此，可以得出如下结论，现代立窑具有较强的市场竞争力，在今后相当长的历史时期里，能与新型干法共存。如镇江长江水泥厂，距现代化的大型新型干法京阳水泥厂只有 3km。1997 年前还是一个年产 30 万 t 的一般机立窑厂，从 1998 年开始瞄准现代立窑的目标，推动企业技术进步，加强企业科学管理，在短短的四年里，已形成年产 120 万 t 水泥并初具现代立窑企业水平的大型立窑水泥企业，连续多年利税在 2000 万元以上，与大型新型干法企业共同发展、共享市场。镇江长江水泥厂之所以能与大型新型干法企业共存，其主要原因：一是产品质量与新型干法厂居同一水平，水泥的富裕强度比区域平均水平高 6MPa；二是生产成本低，比地区平均水平低 20 元/t。因此，在产品质量和销售价格上，都有明显的竞争优势。

表 0-3 国内不同窑型先进技术经济指标对比

窑 型		熟料 28d 抗压强度 (MPa)	熟料热耗 (kJ/kg)	水泥综合电耗 (kW·h/t)	全员劳动生产率 [t/(人·a)]	熟料吨投资 (元/t)
新型干法	700/d	53~60	900	125	700	280~350
	1000t/d	53~60	850	115	1000 以上	300~330
	2000t/d	53~60	760	105	2000 以上	230~260
	4000t/d	53~60	720	95	4000 以上	260~280
湿法		53~60	1300	100	600 左右	
湿磨干烧		53~60	900	110	1000 以上	100~150 (改造)
现代立窑 1000t/d		53~60	850	70	1000 以上	160~200

0.6.4 现代立窑和新型干法是立窑水泥企业生存及发展的必由之路

我国立窑水泥工业，由于起点低造成先天不足，后天的发展又不平衡，企业之间、地区之间先进与落后的差距很大。先进的立窑企业已基本达到现代立窑水平，产品质量可与先进的回转窑媲美，成为具有较高市场信誉的品牌；企业规模已达到经济规模，全国已出现了一大批年产 60 万 t 以上的大型立窑水泥企业，最大的年产 300 万 t。综合技术经济指标已跻身于全国水泥企业的先进行列，在市场竞争中表现出较强的竞争力。但达到上述水平的现代立窑水泥企业的数量还很少，大部分立窑水泥企业还处在一般机械立窑或初级机械立窑阶段，工艺设备不够完善，企业规模较小，产品质量的稳定性还不过硬，综合技术经济指标落后，缺乏市场竞争力，尤其是环保不达标，粉尘污染严重。立窑企业是我国水泥工业的最大群体，也是整体水平最落后的群体，因此也是结构调整，淘汰落后的重点。

可以预见，在产业政策的导向下，在市场竞争的推动下，今后的 5~10 年里，立窑水泥企业将处于大改造、大分化的时期。基础条件较好的立窑企业，通过系统升级、技术改造和