

水泥中技电视录像教材

水泥生产基本知识

唐健雄 唐明晔 编

湖南省建筑材料工业局

武汉工业大学出版社

水 泥 中 技 电 视 录 像 教 材

水泥生产基本知识

湖南省建筑材料工业局

詹健雄 唐明晞 编

武 汉 工 业 大 学 出 版 社

〔内 容 提 要〕

本书为水泥工业中级技术工人岗位培训教材。全书共分十一章，系统地介绍了水泥生产的基本知识。主要内容包括：绪论；水泥生产概述；熟料的组成；原料、燃料及配料；生料制备；熟料的烧成；水泥的制成、贮存与包装发运；水化、凝结与硬化；质量控制及水泥品种介绍等。每章均配有复习思考题。

本书除供水泥工业各工种工人学习外，还可供管理干部、技术人员及中专、技工学校师生阅读参考。

水泥中技电视录像教材

水 泥 生 产 基 本 知 识

湖南省建筑材料工业局

詹健雄 唐明晔 编

武汉工业大学出版社出版（武汉市武昌珞珈路14号）

新华书店湖北发行所发行 各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：11.625 字数：257千字

1990年8月第一版 1991年8月第二次印刷

印数：8001—12000册 定价：4.20元

TSBN7—5626—0407—3/TQ·0027

前 言

当前,水泥行业进一步提高职工队伍素质,搞好企业岗位培训,普遍感到师资缺乏、工学矛盾突出、教材不相适应。于是湖南省建材局人事教育处组织湖南建材工业专科学校、湖南省建材工业学校、湖南省建材技工学校、湖南省建材干部中专学校的有关专业技术人员,按照国家建材工业局制订的水泥企业中级技工培训教学计划及教学大纲,编写了水泥工业工人中级技术培训教材,并与教材配套摄制了教学录像带。整套教材分为八个分册,即:《水泥生产基本知识》、《煅烧工艺与设备》、《粉磨工艺与设备》、《机械安装与维修》、《电工基础知识》、《水泥生产控制与检验》、《微机在水泥生产中的应用》、《收尘与输送设备》。

有关各册,除讲述基本的专业知识外,还注重对水泥工业新的工艺技术和装备、新的生产数据和操作管理经验以及新的发展趋势等进行概括和介绍,并贯彻了新的水泥国家标准和有关规范、规程。可供水泥行业几个主要工种岗位技术培训采用,也可供管理干部和技术人员阅读参考。

广大水泥工作者都要掌握水泥生产基本知识,水泥企业有关工种的“应知”、“应会”,一般也都列有水泥生产基本知识的内容,故这套电视录像教材将《水泥生产基本知识》列为有关工种的必修课。本分册共十一章,第一、二、三、四、十、十一章由管健雄编写,第五、六、七、八、九章由唐明晔编写,全书经陈政元审稿。

由于编者学识水平所限,经验不足,加之仓促成稿,谬误之处,尚希读者不吝指正。

编 者

1987年5月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 胶凝材料的定义和分类	(1)
1.2 胶凝材料发展简史	(1)
1.3 水泥的定义和分类	(2)
1.4 水泥在国民经济中的重要性	(2)
1.5 水泥工业发展概况	(3)
2 硅酸盐水泥生产概述	(6)
2.1 硅酸盐水泥的标准	(6)
2.2 硅酸盐水泥的生产方法	(9)
2.3 水泥生产工艺流程	(11)
3 硅酸盐水泥熟料的组成	(16)
3.1 熟料的化学成分	(16)
3.2 熟料的矿物组成	(17)
3.3 熟料的率值(系数)	(20)
3.4 熟料化学成分、矿物组成和各率值之间常用的换算公式	(21)
4 硅酸盐水泥的原料、燃料及配料	(26)
4.1 原 料	(26)
4.1.1 石灰质原料	(26)
4.1.2 粘土质原料	(29)
4.1.3 校正原料	(31)
4.1.4 矿化剂	(32)
4.1.5 缓凝剂	(33)
4.1.6 水泥混合材料	(34)
4.2 原料的采掘和运输	(35)
4.3 燃料	(37)
4.4 熟料组成的选择	(40)
4.5 硅酸盐水泥生料的配料计算	(43)
4.5.1 概 述	(43)
4.5.2 代数法	(45)
4.5.3 尝试误差法	(52)
4.5.4 物料平衡计算	(60)
5 生料制备	(66)
5.1 原料的破碎	(66)
5.2 物料烘干及设备	(70)
5.3 配料过程及设备	(73)

5.4	生料的粉磨	(76)
5.5	原料预均化与生料均化	(82)
6	熟料烧成	(89)
6.1	生料在煅烧过程中的物理化学变化	(89)
6.2	煤粉制备	(92)
6.3	煅烧熟料的方法和设备	(92)
6.3.1	回转窑	(93)
6.3.2	立窑	(102)
6.4	影响熟料产质量的主要因素	(107)
7	水泥的制成、贮存与包装发运	(112)
7.1	水泥熟料的贮存	(112)
7.2	水泥熟料的粉磨	(112)
7.2.1	水泥熟料粉磨的目的	(112)
7.2.2	水泥熟料粉磨系统	(113)
7.2.3	影响粉磨效率的主要因素	(113)
7.2.4	粉磨系统的自动调节控制	(116)
7.3	水泥的贮存	(117)
7.4	水泥的包装与发运	(119)
8	硅酸盐水泥的水化、凝结和硬化	(121)
8.1	熟料矿物的水化	(121)
8.2	硅酸盐水泥的水化	(123)
8.3	水泥的凝结和硬化	(124)
9	水泥生产的质量控制和水泥的物理性能	(128)
9.1	水泥生产的质量控制	(128)
9.2	水泥的物理性能	(135)
10	矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥及混合硅酸盐水泥	(139)
10.1	粒化高炉矿渣	(139)
10.2	矿渣硅酸盐水泥	(143)
10.3	火山灰质混合材料	(146)
10.4	火山灰质硅酸盐水泥	(148)
10.5	粉煤灰硅酸盐水泥	(149)
10.6	混合硅酸盐水泥	(151)
11	其他品种水泥	(153)
11.1	高铝水泥	(153)
11.2	快硬水泥	(153)
11.3	膨胀水泥和自应力水泥	(158)
11.4	油井水泥	(161)

11 • 5	抗硫酸盐水泥	(165)
11 • 6	大坝水泥	(166)
11 • 7	白色水泥和彩色水泥	(167)
11 • 8	耐火水泥	(171)
11 • 9	砌筑水泥	(172)
附件一	湖南省建筑材料工业局文件	(174)
附件二	水泥工业中级技术工人培训教学计划	(175)

1 绪 论

1.1 胶凝材料的定义和分类

胶凝材料又称胶结料。在水的物理、化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其它物料，制成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胶凝材料和非水硬性胶凝材料两大类。

水硬性胶凝材料是一种和水成浆后，既能在空气中硬化，又能在水中硬化的胶凝材料。

非水硬性胶凝材料是一种不能在水中硬化但能在空气中或其它条件下硬化的胶凝材料。其种类很多，既有无机的也有有机的。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。气硬性胶凝材料是非水硬性胶凝材料的一种，它只能在空气中硬化。

1.2 胶凝材料发展简史

胶凝材料已有几千年的发展历史。古代，人们就知道用粘土（有的还掺入一些纤维材料）来抹砌简易建筑物。约在公元前2000~3000年，我国以及埃及、希腊、罗马就已开始用煅烧石膏、石灰调制砌筑砂浆。如我国万里长城是用石灰胶凝材料砌筑，埃及的金字塔则是用经过煅烧的石膏胶泥所筑成。这个阶段可称为胶凝材料发展史上的石膏——石灰时期。

在公元初，人们就开始用因掺火山灰（硅铝化合物）而具有水硬性的石灰砂浆来兴修建筑物。古罗马的“庞贝”城，罗马圣庙，法国南部里姆斯附近的加德桥以及我国很早就使用的“三合土”建筑物等都是用石灰火山灰材料。随着陶瓷的发展，人们用废陶器、碎砖磨细后混合石灰做胶凝材料时，发现这种砂浆可在水中硬化、具有较高的强度和较好的抗水性能；由此，进一步发现可用石灰和烧粘土来制成胶凝材料。这一阶段可称为石灰——火山灰时期。

由于资本主义的兴起，对胶凝材料有更高的要求，18世纪后半期，1756年出现了水硬性石灰，1796年出现了罗马水泥。在此基础上，又进而用含适量（20~30%左右）粘土的石灰石（天然水泥岩）经煅烧磨细，制得天然水泥。

19世纪初（1810~1825年）已出现用人工配料、高温煅烧和磨细等方法来制造水硬性胶凝材料，并开始组织生产。1824年，英国人约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin）设厂制造水泥成功，并以“改进人造石块的生产方法”一文申请获得专利权。因由他制成的水泥凝结后的外观颜色与英国波特兰城建筑岩石的颜色相似，故称之为波特兰水泥（Portland Cement）。（苏联国家标准称之为硅酸盐水泥。我国于1952年起，亦将

波特兰水泥改称为硅酸盐水泥)。这种水泥含有硅酸钙,能在水中硬化,并能长期抗水。其首批大规模使用的例子是1825~1843年兴建的泰晤士河隧道。这就是水硬性胶凝材料的初创时期。

此后,硅酸盐水泥压倒了其它胶凝材料。近百年来,各国科学家应用物理、化学和物理化学的方法研究了熟料矿物组成和水泥硬化机理,提出了用熟料率值控制水泥生产的方法;同时在水泥生产方法和技术装备方面也不断向前发展。1826年建立了第一台间歇立窑,以后逐步发展为连续作业、机械送风的立窑。1885年和1886年相继出现了第一台回转窑和多仓磨机,以后又研制了更多的新型煅烧、粉磨设备,使硅酸盐水泥的生产技术和产品质量不断提高。

进到20世纪后,因仅有石膏、石灰、硅酸盐水泥等几种胶凝材料远远不能满足现代工业建设和军事工程的需要,这种情况促进了对水泥生产工艺过程、原理和熟料成分与性质的研究,发明了各种不同用途的硅酸盐水泥,如快硬高强水泥、膨胀水泥、抗硫酸盐水泥、大坝水泥、油井水泥等等。1907~1909年还发明了以低碱性铝酸盐为主要成分的高铝水泥。这一时期可称为水硬性胶凝材料,尤其是各种不同用途水泥的发展时期。近期,更出现了硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、磷酸盐胶结材料以及各种复合胶结材料,用以满足各种工程建设的需要。

1.3 水泥的定义和分类

凡细磨材料,加入适量水后,成为塑性浆体,既能在空气中硬化,又能在 水中硬化,并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料,通称为水泥。

水泥的种类很多,国家标准(GB4131~84)《水泥命名原则》规定,水泥按其用途及性能分为三类:通用水泥,专用水泥,特性水泥。通用水泥是用于一般土木建筑工程的水泥,以水泥的主要水硬性矿物名称冠以混合材料名称或其它适当名称命名,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和粉煤灰硅酸盐水泥等。专用水泥系指有专门用途的水泥,以其专门用途命名,并可冠以不同型号,例如:75°C油井水泥、大坝水泥、砌筑水泥等。特性水泥是某种性能比较突出的水泥,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,例如快硬硅酸盐水泥、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。

《水泥命名原则》还规定:水泥按其 主要水硬性物质名称分为:硅酸盐水泥(波特兰水泥)、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、以火山灰性或潜在水硬性材料以及其它活性材料为主要组分的水泥(如:石膏矿渣水泥、石灰火山灰水泥等)。

目前水泥品种已达一百余种。

1.4 水泥在国民经济中的重要性

水泥是建筑工业三大基本材料之一,使用广,用量大,素有“建筑工业的粮食”之

称。生产水泥虽需较多能源，但是水泥与砂、石等集料所制成的混凝土则是一种低耗能型建筑材料。例如，在荷载相同的条件下，混凝土柱的耗能量仅为钢柱的七分之一，砖柱的四分之一；混凝土空心砌块墙体的综合能耗约为粘土砖墙的二分之一。故在建设工程中，多用水泥和水泥制品，能促进多用砂石、多处理工业废渣、多开发保温隔热材料，这样就能少烧煤，少砍伐森林，少挖毁土地，有利于生态平衡和环境保护。根据预测，到公元2000年以后，水泥还将是主要的建筑材料，水泥的生产和研究仍然极为重要。

作为水硬性胶凝材料，水泥还有许多优点：水泥浆有很好的粘结性和可塑性，与砂、石拌合后仍能使混合物具有必要的和易性，可浇筑成各种形状及尺寸的构件，以满足设计上的不同要求；硬化后可以获得较高的机械强度，硬化过程中体积变化小，能和钢筋配合制成钢筋混凝土构件或用于其他混凝土工程中；适应性强，还可用于海上、地下、深水或者严寒、干热的地区，以及耐侵蚀、核电站、防辐射等特殊要求的工程；改变水泥的组分，可以适当调节其性能，满足某些工程的不同需要；尚可与纤维或者聚合物等多种无机、有机材料匹配，制成各种水泥基复合材料，有效发挥材料潜力；与普通钢铁相比，水泥制品不会生锈，也没有木材这类材料易于腐朽的缺点，更不会有塑料年久后要老化的问题，耐久性好，维修工作量小，等等。

因此，水泥不但大量应用于工业与民用建筑，还广泛应用于交通、城市建设、农林、水利以及海港等工程。而水泥管、水泥船等各种水泥制品在代钢代木方面，也越来越显示出技术经济上的优越性。同时，也正是由于钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土和钢结构材料的混合应用，才使高层、超高层、大跨度等以及各种特殊功能的建筑物、构筑物的出现有了可能。还值得注意的是，新产业革命已经为水泥行业提出扩大水泥品种和应用范围的崭新课题。开发占地球表面71%的海洋是人类社会前进的标志，而海洋工程的建造，如海洋平台、海洋工厂乃至海洋城市，其主要建筑材料就是水泥。此外，象宇航工业、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，其中最为基本的则都是以水泥基为主的新型复合材料。因此，水泥工业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。当然，其他领域所发展的新一代技术，也自然会渗透到水泥工业当中，传统的水泥工业势必会受到崭新的科学技术的影响而带来新的工艺变革和品种演变，应用领域必将有新的开拓，从而使其在国民经济中起到更为重要的作用。

1.5 水泥工业发展概况

水泥工业性产品的实际应用，至今一个半世纪以来，生产持续扩大，工艺和设备不断改进，品种和质量也有极大的发展。实际上，硅酸盐水泥是在第一次产业革命中间世的。当时，用间歇式的土窑烧成水泥熟料。随着以冶炼技术为突破口的第二次产业革命的兴起，推动了水泥生产设备的更新。1877年用回转窑烧制水泥熟料获得专利权，继而出现单筒冷却机、立式磨以及单仓钢球磨等，有效地提高了产量和质量。到19世纪与20世纪初，由于其他工业所提供的燃料、工业技术和生产设备，使水泥工业一直进行着频繁的改造与更新。1910年实现了立窑机械化连续生产，1928年立波尔窑的出现，使

窑的产量明显提高, 热耗降低较多。特别是在第二次世界大战后, 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, 水泥工业又相应发生了深刻的变化。50年代初悬浮预热器窑的应用, 更使热耗大幅度降低, 其他的水泥制造设备也不断更新换代。到1950年全世界水泥产量为1.33亿吨。

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得到应用。同时, 日本将联邦德国的悬浮预热器技术引进以后, 于1971年开发了水泥窑外分解技术, 从而带来了水泥生产技术的重大突破。又随着原料、生料预均化等多种生产技术以及X射线荧光分析等在线检测方法的发展和逐步完善, 使干法生产的熟料质量明显提高, 在节能方面取得了突破性的进展, 干法工艺已具有显著的优越性。到70年代中期, 先进的水泥厂通过电子计算机和自动化的控制仪表等设备, 已经采用全厂集中控制、巡回检查的方式, 在生料、烧成车间以及包装发运、矿山开采等环节分别实现了自动控制。微型电子计算机在水泥工业中推广应用, 更带来巨大的经济效益。

在水泥的科学研究中, 各种高效测试仪器的应用, 促使水泥有关的基础理论和应用研究进步更快。世界水泥工业围绕传统的水泥改性进行研究取得了重要进展, 如英帝国化学公司和丹麦人分别研制出MDF水泥和DSP水泥, 据说它们可以代替塑料、铝、青铜和钢。瑞典、澳大利亚和我国的台湾地区均搞出类似的水泥品种。近年来有我国研究这类水泥取得初步成果的报导。据研制MDF水泥的英国伯骚教授的说法, 人们用有代表性的材料来划分人类文明发展的不同阶段, 如石器时代、青铜时代, 未来的一代可能称我们这一代为水泥时代。

为了加速发展水泥工业, 许多国家都在进行煅烧和粉磨的新工艺和新设备的研究。在新的水泥生产工艺尚未取得成功之前, 普及和发展窑外分解工艺, 提高其自动化的水平, 仍是今后一定时期内水泥工艺发展的主要内容。

由于现代技术促进了水泥工业的进步, 在发达国家的劳动生产率一般可达10000吨/人·年以上, 高的甚至可达数万吨/人·年。热耗则降低到3015kJ/kg熟料(720kCal/kg熟料)。水泥散装方式达70%, 有的高达90%。人均年消费量在500~700公斤/人·年之间。而且在保护环境方面, 控制粉尘飞扬和控制有害气体的排放, 也有了重大改进。1985年世界水泥总产量达9.6亿吨。按不同预测, 到本世纪末世界水泥总产量将为16~20亿吨。

我国水泥工业的发展概况:

建国前, 我国水泥工业基础十分薄弱。从1886年在澳门开办第一个立窑水泥厂(青州细棉土厂)至1949年的60多年中, 发展十分缓慢, 最高水泥年产量仅229万吨(1942年), 且只能生产普通水泥和矿渣水泥等2~3个品种。1949年, 中小型企业38个, 总生产能力314.6万吨, 当时能勉强维持生产的只有17个厂(不包括台湾省的三个厂), 当年全国水泥产量仅66万吨。

建国后, 我国水泥工业得到迅速发展。通过改造老企业与建立新厂, 1986年水泥产量达到16156万吨, 比解放前年产量最高的1942年增长约70倍。通过熟料矿物新系列的研究以及天然资源和工业废渣的综合利用, 研究并生产了大量新品种水泥。对煅烧、粉磨、熟料形成、水泥的水化硬化等理论和各种测试技术进行的研究, 也取得了很大的进展。

我国60年代就开始了窑外分解技术的研究,自行研制的窑外分解悬浮预热器窑已于70年代投入生产,随后完成了日产700吨、2000吨工艺线设计。1979年以来,我国又在冀东、宁国、淮海、柳州等水泥厂先后引进了若干套国外的窑外分解技术和成套、半成套设备,这当然有助于我国水泥工业基本建设的发展,在提高我国的设计水平、工厂管理素质或者设备改进等方面,都可作为很好的借鉴。

从目前我国已投产的窑外分解生产线的主要技术经济指标看,与国外先进水平相比仍有较大的差距:热耗约比国外高418~627kJ/kg熟料,电耗普遍比国外高约30%,设备运转率一般都还低于80%,设备的重量、金属材料的消耗和自动化水平都不如国外先进。从整个行业来看,技术装备和产品包装、流通方式等都还很落后,能耗高,回转窑高标号水泥少,品种、质量满足不了建设的需要,防尘问题普遍没有得到解决,管理水平较低,技术力量严重不足。目前主要承担国家水泥生产任务的57个大中型水泥企业(2950万吨/年),多数为50、60年代装备水平,其中有34个工厂(60%)为耗能高的湿法厂,而完成全国水泥总产量的75%、统计数达5000多家的立窑和小型干法中空回转窑厂,其熟料质量一般都比较低、热耗较高,劳动条件很差。所以,老厂技术改造的任务十分艰巨。为满足城乡建设发展的需要,我国“建材工业发展纲要”提出了“2000年生产水泥三亿吨左右”的奋斗目标。从技术发展和提高经济效益着眼,今后要着重发展大中型水泥企业;现有企业的技术改造和扩建要以提高经济效益为中心,围绕节约能源、提高质量、发展品种来开展工作,要因地制宜、积极采用对我国适用的先进技术和科研成果,逐步改造和淘汰落后的工艺、装备。总之,我国水泥工业生产、建设和技术发展的前景都是十分广阔的。

复 习 思 考 题 1

- 1-1 何谓胶凝材料、水硬性胶凝材料和气硬性胶凝材料?请举例说明。
- 1-2 什么叫水泥?水泥如何分类和命名?常用水泥品种有哪些?
- 1-3 简略了解世界水泥工业的发展过程。
- 1-4 我国水泥工业的发展历史及生产现况如何?与国际先进水平相比,我国还存在哪些差距?

2 硅酸盐水泥生产概述

2.1 硅酸盐水泥的标准

硅酸盐水泥是以硅酸钙为主要成分的熟料所制得水泥的总称。如掺加混合材料达一定数量时,则在硅酸盐水泥名称前冠以混合材料的名称,如:矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。当熟料成分虽然仍以硅酸钙为主,但适当调整熟料矿物组成、石膏掺入量、粉磨细度或掺入少量某些外加剂,使水泥具有某种特殊性质或特种用途时,则在硅酸盐水泥名称前冠以特殊性质或用途,而成为硅酸盐水泥一大类中的一个品种,如低热硅酸盐水泥,抗硫酸盐硅酸盐水泥、白色硅酸盐水泥等。在国外,硅酸盐水泥统称为波特兰水泥。在我国,按照国家标准GB175—85,硅酸盐水泥还专指不掺混合材料的,在水泥熟料中加适量石膏共同磨细而成的一种强度较高的水泥。

我国的几种通用水泥标准,于1953年制订,1956年正式颁布,1962年第一次修订,1977年第二次修订,1983年着手进行第三次修订的现行新标准是1985年10月1日开始实施的。以硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥为例,国家标准GB175—85分别对这两种水泥的定义、标号、品质指标及验收规则作了以下规定。

2.1.1 定义

2.1.1.1 硅酸盐水泥 凡由硅酸盐水泥熟料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥。

2.1.1.2 普通硅酸盐水泥 凡由硅酸盐水泥熟料、少量混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥)。水泥中混合材料掺量按重量百分比计:

掺活性混合材料时,不得超过15%,其中允许用不超过5%的窑灰或不超过10%的非活性混合材料来代替;

掺非活性混合材料时,不得超过10%。

2.1.1.3 组分材料

硅酸盐水泥熟料:凡以适当成分的生料烧至部分熔融,所得以硅酸钙为主要成分的产物称之为硅酸盐水泥熟料(简称熟料)。

石膏:

天然石膏:必须符合GB5483—85《用于水泥中的石膏和硬石膏》的规定。

工业副产石膏:工业生产中以硫酸钙为主要成分的副产品。采用工业副产石膏时,必须经过试验,证明对水泥性能无害。

活性混合材料:系指具有火山灰性或潜在水硬性的混合材料。如符合GB1596—79的粉煤灰,符合GB2847—81的火山灰质混合材料和符合GB203—78的粒化高炉矿渣。

非活性混合材料:系指活性指标不符合标准要求的潜在水硬性或火山灰性的混合材

料,以及砂岩和石灰石。采用石灰石时其中 Al_2O_3 含量不得超过2.5%,以限制石灰石中的泥土含量。

窑灰:从水泥回转窑窑尾废气中收集下的粉尘。其质量必须符合ZBQ12001—84《掺入水泥中的回转窑窑灰》的规定。

另外,标准还规定:水泥粉磨时允许加入主要起助磨作用而不损害水泥性能的助磨剂,其加入量不得超过水泥重量的1%。加入其他外加剂时,必须经过试验,并呈报国家建材主管部门批准。

2·1·2 标 号

测定水泥的强度,一方面可以确定水泥的标号,进行质量对比,另一方面可以根据强度指标,设计混凝土,因此有很重要的实用意义。

水泥强度的测定,要掺入砂子和先制得标准试体后,才能进行。因此除了水泥本身的质量以外,砂子的质量和用水量的多少,也直接影响试体的试验结果。为了准确地对比水泥的强度指标,必须对试验过程中所有的影响因素加以统一。所以,国家标准规定,强度试验所用的标准砂规格及一整套的试验操作规程,都必须严格执行,才能得到可靠的结果。

测定水泥强度,可以分为硬练胶砂和软练胶砂两种方法。我国1956年制定的水泥标准采用硬练法,1977年制定的水泥标准改用软练法。硬练法与软练法的主要差别为:

(1) 加水量不同 软练法加水量多,系塑性成型,硬练法加水量少,系非塑性成型;

(2) 成型方法不同 软练系用振动的方法使试体密实,而硬练则用捣压的方法使试体密实;

(3) 标准砂的规格及掺用量不同,我国原来硬练法系用1:3胶砂,新标准软练法系用1:2.5胶砂。

(4) 试模形状不同,硬练系测定抗拉强度和抗压强度,分别制成8字形试体和立方形试体。软练系测定抗压、抗折强度,用 $40 \times 40 \times 160$ 毫米的模型,先测定抗折强度,再测定抗压强度。

不同的工程,对水泥强度的要求也不同。国家标准规定各种水泥有多种标号,如硅酸盐水泥为425、525、625、725四个标号;普通水泥分275、325、425、525、625、725六个标号。标号越高,强度越高,质量也越好。为了提高水泥的早期强度,加速工程的进度,提高经济效益,新标准又将425、525、625号硅酸盐水泥、普通水泥分为两种类型(725号只有725R),其中快硬型(R型)对3天强度有较高要求,对7天强度不作规定,28天的强度指标则完全相同。

2·1·3 品质指标

在国家标准中规定了化学成分和物理性质两方面的指标。

2·1·3·1 氧化镁 熟料中氧化镁的含量不得超过5.0%。如水泥经压蒸安定性试验合格,则熟料中氧化镁的含量允许放宽到6.0%。

2·1·3·2 三氧化硫 水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

2·1·3·3 烧失量 普通水泥中的烧失量,回转窑厂的不得大于5.0%,立窑厂的

不得大于7.0%。

2·1·3·4 细度 0.080mm方孔筛筛余不得超过12%。

2·1·3·5 凝结时间 初凝不得早于45分钟，终凝不得迟于12小时。

2·1·3·6 安定性 用沸煮法检验，必须合格。

2·1·3·7 强度 425、525、625标号，按早期强度分两种类型。各标号、各类型水泥的各龄期强度不得低于表2-1中的数值，表中括弧里的数值为MPa（兆帕）。

水 泥 的 强 度

表2-1

品 种	标 号	抗 压 强 度 kgf/cm^2 (MPa)			抗 折 强 度 kgf/cm^2 (MPa)		
		3天	7天	28天	3天	7天	28天
硅 酸 盐 水 泥	425	180 (17.7)	270 (26.5)	425 (41.7)	34 (3.3)	46 (4.5)	64 (6.3)
	425R	224 (22.0)	-	425 (41.7)	42 (4.1)	-	64 (6.3)
	525	230 (22.6)	340 (33.3)	525 (51.5)	42 (4.1)	54 (5.3)	72 (7.1)
	525R	275 (27.0)	-	525 (51.5)	50 (4.9)	-	72 (7.1)
	625	290 (28.4)	430 (42.2)	625 (61.3)	50 (4.9)	62 (6.1)	80 (7.8)
	625R	326 (32.0)	-	625 (61.3)	58 (5.5)	-	80 (7.8)
	725R	377 (37.0)	-	725 (71.1)	63 (6.2)	-	88 (8.6)
普 通 水 泥	275	-	180 (15.7)	275 (27.0)	-	33 (3.2)	50 (4.9)
	325	120 (11.8)	190 (18.6)	325 (31.9)	25 (2.5)	37 (3.6)	55 (5.4)
	425	160 (15.7)	250 (24.5)	425 (41.7)	34 (3.3)	46 (4.5)	64 (6.3)
	425R	214 (21.0)	-	425 (41.7)	42 (4.1)	-	64 (6.3)
	525	210 (20.6)	320 (31.4)	525 (51.5)	42 (4.1)	54 (5.3)	72 (7.1)
	525R	265 (26.0)	-	525 (51.5)	50 (4.9)	-	72 (7.1)
	625	270 (26.5)	410 (40.2)	625 (61.3)	50 (4.9)	62 (6.1)	80 (7.8)
	625R	316 (31.0)	-	625 (61.3)	58 (5.5)	-	80 (7.8)
	725R	367 (36.0)	-	725 (71.1)	63 (6.2)	-	88 (8.6)

2·1·4 验收规则

国家标准规定：出厂水泥应保证出厂标号。其余品质不符合标准要求的不得出厂。

废品：水泥出厂后凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中的任一项不符合国家标准规定或强度低于该品种水泥最低标号规定的指标时，均为废品。

不合格品：水泥出厂后凡细度、终凝时间、烧失量和混合材料掺加量中的任一项不符合国标规定，或强度低于商品标号规定的指标时，称为不合格品。

上述标准不仅直接规定了硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥等的三项重要建筑性质指标（凝结时间、安定性与强度），而且还特别规定了氧化镁、三氧化硫的允许含量以及水

泥细度等，以保证水泥的品质指标。

水泥的凝结过程是水泥拌水后，逐渐失去流动性，从稠浆状转变为更紧密的具有一定强度状态的过程。这个转变过程的快慢即凝结时间的长短，直接影响到施工。凝结时间过短，使砂浆与混凝土在浇灌前即已失去流动性而无法使用；时间过长，则降低施工速度与模板周转率。通常硅酸盐水泥熟料，初凝时间往往只有几分钟，要加入适量石膏以调节凝结时间，才能达到标准所规定的要求。如果石膏掺量过多，不仅会使水泥强度降低，导致安定性不良，而且还增加了水泥成本。因而，标准规定了水泥开始凝结（初凝）与凝结终了（终凝）的时间，亦规定了水泥中三氧化硫的极限含量。石膏掺入量应通过试验，作出水泥凝结时间、强度与石膏加入量的关系曲线以确定适宜的掺量。

在水泥凝结硬化过程中，或多或少会发生一些体积变化。如这种变化发生在硬化之前，或者即使发生在硬化过程中，但不很显著，则对建筑物不会有什么影响。如果在硬化过程中产生剧烈而不均匀的体积变化（体积膨胀），即安定性不良，要降低建筑物质量甚至发生崩溃。引起安定性不良的原因主要有：熟料中游离氧化钙、氧化镁含量过高以及水泥中石膏掺加量过多。熟料中游离氧化钙含量由工厂自行控制，但标准规定水泥试饼用沸煮法检验必须合格。过多的氧化镁在烧成温度下会形成方镁石晶体，水化很慢。其危害程度用压蒸法可以检验出来。因此，标准规定熟料中氧化镁含量不得超过5.0%，只有压蒸安定性试验合格才允许放宽到6.0%。石膏掺加量则由水泥的 SO_3 含量控制。

强度既是水泥的一个重要指标，又是设计混凝土配合比的必要数据。由于水泥在硬化过程中，强度是逐渐增长的，常以各龄期的耐压、抗折或水泥标号来表示水泥的强度及其增长速率。一般，3天、7天以前的强度称为早期强度，28天及其后的强度称为后期强度，也有将三个月以后强度称为长期强度。施工要求水泥早期强度愈高愈好，而设计既要考虑早期强度，又要保证后期强度。由于水泥到28天时强度已大部分发挥出来，以后强度增长相当缓慢，所以通常用28天的强度作为水泥质量的分级，划分为不同的标号。凡符合某一标号与某一类型的水泥，必须同时满足表2—1规定的各龄期的抗压、抗折强度的相应指标。若其中任一龄期的抗压或抗折强度指标达不到所要求标号的规定，则以其中最低的某一个龄期强度指标计算该水泥的标号。

2.2 硅酸盐水泥的生产方法

水泥的种类很多，制造方法也有不同，就硅酸盐水泥而言，因原料的不同，工厂规模的大小、设备的不同，在制造方法上亦有差别。目前，硅酸盐水泥的生产技术概括起来，叫做“两磨一烧”，即（1）磨制生料：将石灰质原料、粘土质原料与少量校正原料经破碎后，按一定比例配合、磨细、并调配为成分合适，质量均匀的生料；（2）煅烧熟料：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；（3）水泥粉磨：熟料加适量石膏，有时还加一些混合材料或外加剂共同磨细为水泥。

水泥的生产方法因其生料的制备方法不同而分为干法与湿法两种：将原料先烘干后粉磨或同时烘干与粉磨成生料粉，而后喂入干法窑内煅烧成熟料，称为干法生产。但亦有将生料粉加入适量水制成生料球，再将生料球送入立窑或立波尔窑煅烧成熟料的方法

归入干法，或将立波尔窑的生产方法称为半干法。将原料加水粉磨成生料浆后喂入湿法窑煅烧成熟料，则称为湿法生产。亦有将湿法制备的生料浆脱水后，制成生料块入窑煅烧，或将生料块进一步烘干破碎成粉入窑煅烧，称之为半湿法或湿磨干烧法。

生料干法粉磨可采用开路管磨，闭路球磨以及同时烘干粉磨系统；而湿法粉磨则多采用开路管磨或棒球磨。出磨生料由于成分波动，须在贮存库内进行调配与均化后方可入窑。原料成分波动较大时，为保证生料质量，在入磨前可在堆场进行均化。

熟料煅烧设备可采用立窑与回转窑。从水泥制造的历史来看，先是由干法制造开始的，最早是用立窑，其主要特点是煤和料处在统一的料球中，以接触燃烧进行直接的热交换，适宜用无烟煤，热效率很高，热耗很低。由于这一特点，立窑直至60年代在一些燃料昂贵地区还保持一定的竞争能力。但是，立窑断面通风不均匀，窑内物料几乎没有翻滚运动，吸热不均匀，又不易控制和调节，产量质量的进一步提高都受到限制。所以立窑问世约半个多世纪后出现了干法回转窑，其生产能力大大超过立窑。因干法回转窑排出废气温度高，热量损失大，乃在窑尾装余热锅炉，成为余热发电的干法回转窑。但是由于湿原料尚需烘干，更因生料粉不易调合均匀以得到高质量的产品，乃采用湿法回转窑。这样原料粉磨前不需烘干，粉磨后的生料浆又易调合均匀，以至30至60年代初，湿法曾成为主导发展方向。为了减少燃料消耗，湿法回转窑虽采取加长窑体，窑内悬挂条条，加装热交换器，窑尾加装料浆过滤器和料浆加稀释剂等各种措施，但因窑身长，窑体重，机件增多，而热耗仍在5862千焦/公斤熟料左右，且窑身再扩大也很困难，于是干法制造者建立了立波尔窑，它将窑的预热带和部分分解带移至窑外加热机上进行，使高温气体与物料进行直接和充分的热交换，因而提高了窑的热效率。到60年代中，均化技术和悬浮预热器的出现，使干法生产以比湿法生产高得多的技术经济指标引起了人们的重视而重新得到发展，特别是70年代初，在技术经济上更先进的窑外分解技术出现后，干法生产又占据了当今水泥生产发展的主导地位。窑外分解是集中了立窑、立波尔窑、预热器窑的优点，将预热和分解移至窑外，不仅使高温气体与物料在悬浮状态下进行直接热交换，而且在吸热反应最大的分解带上加上一把火，进行无焰的接触燃烧，因而大大地提高了全窑的热效率，创造了最先进的热耗指标2967.8~3260.4千焦/公斤熟料。各种窑型的技术经济指标对比见表2-2。

各种窑型的技术经济指标对比

表2-2

窑型 指标	预分解窑	预热器窑	立波尔窑	湿法长窑	带余热 锅炉窑	立窑
先进热耗指标 千焦/公斤熟料	2967.8~3260.4	3051.4~3344	3135~3762	5643	6270	3720.2
(千卡/公斤熟料)	(710~780)	(730~800)	(750~900)	(1350)	(1500)	890
单位容积产量 公斤/米 ³ 小时	125~206	51.8~93.3	62.7	22.8	30	126
已达最大生产能力 (吨/日)	8000~10000	5500	2500	3600	3200	400