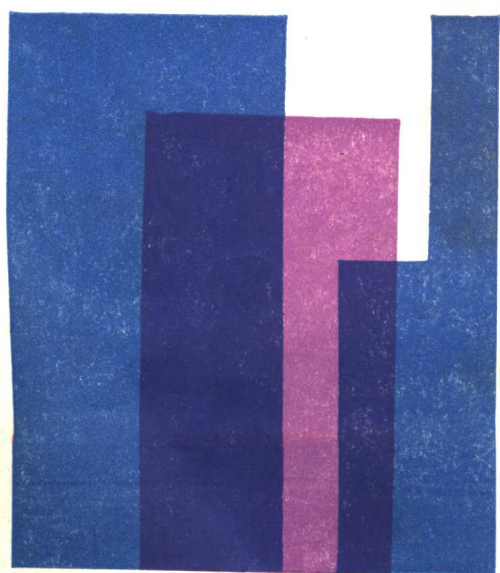


高等学校试用教材

水泥工艺学

沈 威 黄文熙 闵盘荣 编



中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

水 泥 工 艺 学

沈 威
黄文熙 编
闵盘荣

中国建筑工业出版社

本书系统地阐述了硅酸盐水泥的生产，硅酸盐水泥熟料的组成、原料及配料计算、煅烧、粉磨、生产控制和均化，及硅酸盐水泥的水化和硬化、性能和耐久性，亦分述了火山灰和粉煤灰水泥、矿渣水泥、高铝水泥以及特种水泥的生产、性能和使用等，对混凝土和砂浆也作了概要介绍。书中尽量反映了新工艺、新技术和新品种水泥研究等方面的进展，内容丰富，概念清晰。

本书系高等学校无机非金属材料、硅酸盐工程等专业的教学用书，也可供科研、设计、生产等单位的科技人员参考。

高等学校试用教材

水泥工艺学

沈威

黄文熙 编

闵盘荣

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：19½ 字数：473 千字

1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷

印数：1—15,100册 定价：2.65元

统一书号：15040·5020

前 言

本教材根据无机非金属材料类专业教材编审委员会水泥教材编审组1983年制订的《水泥工艺学》教学大纲编写，供高等学校无机非金属材料、硅酸盐工程以及材料科学等专业使用。

全书以硅酸盐水泥的组成、煅烧、粉磨和质量控制作为工艺方面的重点，将水泥的水化、硬化作为进一步掌握工艺要求、理解性能的基础，为合理应用、改善性能、研制新品种水泥提供必要条件。对火山灰质水泥、矿渣水泥和粉煤灰水泥着重于介绍工艺、水化和性能方面的特点；至于其他品种水泥则选具有代表性的典型品种，为生产应用和开发研究介绍方法，提供思路。

本教材在内容选择上力求突出重点，举一反三。考虑到与《硅酸盐物理化学》、《水泥热工过程及设备》、《水泥生产过程及设备》以及《水泥工厂工艺设计概论》等课程的衔接与分工，避免了不必要的重复，但仍能注意到必要的系统性。较全面地概括了基本工艺技术，适当地反映了新工艺、新技术以及水化、硬化、性能和新品种水泥研究等方面的进展。有关的计量单位全部采用国际单位制，必要时则与公制同时并用，在书后还附有常用单位换算表，以便对照查阅。

本书由同济大学沈威主编。编写分工是，沈威：第一、八、九、十、十五章；四川建材学院黄文熙：第二章至第七章；南京化工学院闵盘荣：第十一章至第十四章。全书由浙江大学楼宗汉、天津水泥工业设计院余裕嘉负责主审。参加审稿的有：国家建材局刘公诚、吴兆正、张礼本，南京化工学院王国宾、杨南如、唐明述，建材研究院薛君珩，山东建材学院张柏寿，抚顺水泥厂孙仲英等。还有华南工学院杨东生，洛阳建材学校汪开泰，武汉建材学院沈洪发、徐贤进，四川建材学院吴晓、吴继明、蒋友新、潘正卓等参加了审稿会议。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，谨请批评指正。

编 者
一九八五年七月

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
一、胶凝材料的定义和分类	1
二、胶凝材料发展简史	1
三、水泥的定义和分类	2
四、水泥在国民经济中的重要性	2
五、水泥工业发展概况	3
第二章 硅酸盐水泥的生产	6
第一节 硅酸盐水泥的标准	6
第二节 硅酸盐水泥的生产方法	10
第三节 硅酸盐水泥生产的主要工艺过程	12
第三章 硅酸盐水泥熟料的组成	15
第一节 熟料的矿物组成	15
第二节 熟料的率值	23
第三节 熟料矿物组成的计算	27
第四章 硅酸盐水泥的原料及配料计算	31
第一节 原料	31
第二节 熟料组成的选择	39
第三节 配料计算	42
第五章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	50
第一节 生料在煅烧过程中的物理和化学变化	51
第二节 微量元素和矿化剂对熟料煅烧和质量的影响	69
第三节 回转窑内的煅烧	75
第四节 立波尔窑、悬浮预热窑和窑外分解窑内的煅烧	85
第五节 熟料冷却机	96
第六节 立窑内的煅烧	98
第七节 煅烧新技术的研究	107
第八节 窑用耐火材料	110
第六章 粉磨工艺	114
第一节 粉磨产品的细度要求和颗粒分布	114
第二节 粉磨流程	116
第三节 影响球磨机产、质量、能耗的主要因素	119
第七章 生产控制和均化	130
第一节 石灰石、粘土矿山的控制	130
第二节 原、燃料的预均化和控制	130

第三节	生料的均化和控制	131
第四节	熟料和水泥的质量控制	132
第五节	生产控制的自动化	135
第八章	硅酸盐水泥的水化和硬化	140
第一节	熟料矿物的水化	140
第二节	硅酸盐水泥的水化	147
第三节	水化速率	150
第四节	水泥的凝结、硬化过程	155
第五节	硬化水泥浆体的组成和结构	158
第九章	硅酸盐水泥的性能	172
第一节	凝结时间	172
第二节	强度	177
第三节	体积变化	186
第四节	水化热	191
第五节	泌水性和保水性	192
第六节	粉磨细度	193
第十章	硅酸盐水泥的耐久性	196
第一节	抗渗性	196
第二节	抗冻性	198
第三节	环境介质的侵蚀	201
第四节	碱集料反应	206
第五节	耐久性的改善途径	208
第十一章	火山灰水泥和粉煤灰水泥	214
第一节	火山灰质混合材料	214
第二节	火山灰质混合材料的活性检定	215
第三节	石灰火山灰质水泥	217
第四节	火山灰质硅酸盐水泥	218
第五节	粉煤灰硅酸盐水泥	220
第六节	沸腾炉渣水泥	223
第十二章	高炉矿渣和矿渣水泥	225
第一节	粒化高炉矿渣	225
第二节	矿渣硅酸盐水泥	230
第三节	石膏矿渣水泥	233
第四节	用钢铁工业渣配制的其他无熟料水泥	235
第十三章	高铝水泥	239
第一节	矿物组成和化学组成	239
第二节	高铝水泥的生产	241
第三节	高铝水泥的水化和硬化	244
第四节	高铝水泥的水化产物、孔隙率和强度间的关系	245
第五节	高铝水泥的性质	247
第六节	低钙铝酸盐水泥与耐火混凝土	250

第十四章	特种水泥	252
第一节	快硬水泥	252
第二节	抗硫酸盐硅酸盐水泥	258
第三节	油井水泥	259
第四节	白色和彩色水泥	263
第五节	大坝水泥	265
第六节	膨胀水泥	267
第七节	砌筑水泥	273
第八节	防辐射水泥	274
第九节	耐酸水泥	275
第十五章	混凝土和砂浆	278
第一节	混凝土的组成材料	278
第二节	混凝土拌合物的和易性	282
第三节	混凝土的强度	285
第四节	混凝土的耐久性	288
第五节	混凝土的配合比设计和工艺控制	290
第六节	混凝土外加剂	294
第七节	特种混凝土	297
第八节	砂浆	300
附录		302
一、	常用原子量与分子量	302
二、	常用单位及其换算	303
参考文献		304

第一章 绪 论

一、胶凝材料的定义和分类

凡能在物理、化学作用下，从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其他物料，且有一定机械强度的物质，统称为胶凝材料，又称胶结料。可分为无机和有机两大类。沥青和各种树脂属于有机胶凝材料。无机胶凝材料则按照硬化条件，又可分为水硬性和非水硬性两种。水硬性胶凝材料在拌水后既能在空气中又能在水中硬化，通常称为水泥，如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等。非水硬性胶凝材料不能在水中硬化，而只能在空气中硬化，故称为气硬性胶凝材料，如石灰、石膏、耐酸胶结料等。

二、胶凝材料发展简史

胶凝材料的发展，有着极为悠久的历史。

远在距今约4000~10000年的新石器时代，由于石器工具的进步，劳动生产力的提高，挖穴建室的建筑活动已经兴起。人们就逐渐使用粘土来抹砌简易的建筑物，有时还掺入稻草、壳皮等植物纤维加筋增强。但未经煅烧的粘土并无抗水能力，而且强度很低。另外，在我国新石器时代的遗址中，还发现用天然姜石夯实而成的柱础以及铺墁的地面和四壁等，甚为光滑坚硬。经测定，姜石是一种二氧化硅含量高的石灰质原料，是黄土中的钙质结核。在仅仅以大地为源的建筑活动中，能有意识地将黄土中的姜石挑选出来，捣碎成粉后应用于特定场合，不能不说是当时居室建筑的一大进步。

随着火的发现，大约在公元前2000~3000年，我国、埃及、希腊以及罗马等就已开始利用经过煅烧所得的石膏或石灰来调制砌筑砂浆。例如古埃及的金字塔，我国著名的万里长城以及其他许多宏伟的古建筑，都是用石灰、石膏作为胶凝材料砌筑而成。我国有关石灰的文字记载，最早可以上溯到公元前七世纪的周朝。从目前考古发掘的材料分析，至迟在汉朝（公元二世纪），人工烧制石灰已经达到相当高的水平。

随着生产的发展，逐渐要求有强度较高并能防止被水浸析和冲毁的胶凝材料。到公元初，古希腊人和罗马人都已经发现，在石灰中掺加某些火山灰沉积物，不仅强度提高，而且能抵御淡水或含盐水的侵蚀。例如罗马的“庞贝”城以及罗马圣庙等著名古建筑都是用石灰-火山灰材料砌筑而成。又由于当时较多应用的普佐里（Pozzoli）附近所产的火山凝灰岩，因此在意大利文中就将“Pozzolana”作为火山灰的名称，以后又扩大为凡是属于这类的矿物质材料都称做“Pozzolana”，并沿用至今。在我国古代建筑中所大量应用的“三合土”，即石灰与黄土的混合，或另加细砂等，实际上也是一种石灰-火山灰材料。随后，人们又进一步发现，将碎砖、废陶器等磨细后，可以代替天然的火山灰，与石灰混合，同样能使其具有水硬性。从而使火山灰质材料由天然的发展到人工制造，经过煅烧的粘土和石灰混合可以获得一定抗水性的胶凝材料。

直到十八世纪后半期，又先后出现了水硬性石灰和罗马水泥，都是将含有适量粘土的粘土质石灰石经过煅烧而得。并在此基础上，发展到用天然水泥岩（粘土含量在20~25%

左右的石灰石)煅烧、磨细而制得天然水泥。然后,逐渐发现可以用石灰石与定量的粘土共同磨细混匀,经过煅烧,能制成一种人工配料的水硬性石灰。这实际上可以看成是近代硅酸盐水泥制造的雏型。

十九世纪初期(1810~1825年),用人工配合原料,再经煅烧、磨细以制造水硬性胶凝材料的方法,已经开始组织生产,并着手高温煅烧至烧结程度,以获得烧块(熟料)作为提高质量的措施。因为这种胶凝材料凝结后的外观颜色与当时建筑上常用的英国波特兰出产的石灰石相似,故称之为波特兰水泥(Portland Cement,我国称为硅酸盐水泥)。英国阿斯普丁(J. Aspdin)于1824年首先取得了该项产品的专利权。由于含有较多的硅酸钙,不但能在水中硬化,而且能长期抗水,强度甚高。其首批大规模使用的实例是1825~1843年修建的泰晤士河隧道工程。

硅酸盐水泥出现后,应用日益普遍,对于工程建设起了很大的作用。但随着现代工业的发展,仅仅硅酸盐水泥、石灰、石膏等几种胶凝材料又远远不能满足工业建设和军事工程的需要。到二十世纪初,就逐渐发展出各种不同用途的硅酸盐水泥,如快硬水泥、抗硫酸盐水泥、大坝水泥以及油井水泥,等等。而在1907~1909年发明的以低碱性铝酸盐为主要成分的高铝水泥,具有早强快硬的特性。近二十多年来,又陆续出现了硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥等品种,从而使水硬性胶凝材料又进一步发展成更多类别。

由上可见,胶凝材料的发展是经历着:天然胶凝材料(如粘土)——石膏、石灰——石灰-火山灰——水硬性石灰、天然水泥——硅酸盐水泥——不同品种水泥的各个阶段。可以相信,随着社会生产力的提高,胶凝材料还将有较快的发展,以满足日益增长的各种工程建设和人民生活的需要。

三、水泥的定义和分类

凡细磨成粉末状,加入适量水后,可成为塑性浆体,既能在空气中硬化,又能在水中硬化,并能将砂、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,按其用途和性能,可分为:通用水泥、专用水泥以及特性水泥三大类。通用水泥为用于大量土木建筑工程一般用途的水泥,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和粉煤灰硅酸盐水泥等。专用水泥则指有专门用途的水泥,如油井水泥、大坝水泥、砌筑水泥等。而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。

按照主要的水硬性矿物,水泥又可分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥以及少熟料和无熟料水泥等几种。目前水泥品种已达一百余种。

四、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。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。

水泥粉末与水拌和后,在其表面的熟料矿物立即与水发生水化反应,放出热量,形成一定的水化产物。由于各种水化产物的溶解度很小,就在水泥颗粒周围析出。随着水化作

用的进行，析出的水化产物不断增多，以致相互接合。这个过程的发展，使水泥浆体稠化而凝结。随后变硬，并能将拌在一起的砂、石等散粒胶结成整体，逐渐产生强度。因此，水泥或水泥混凝土的强度是随硬化龄期而逐渐增长的。早期增长甚快，往后逐渐减缓。但是，只要维持适当的温度和湿度，其强度在几个月、几年后，还会进一步有所增长。另一方面，也可能在几十年后尚有未水化的部分残留，仍具有继续进行水化作用的潜在能力。

作为胶凝材料，除水硬性外，水泥还有许多优点：水泥浆有很好的可塑性，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；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；硬化后可以获得较高强度，并且改变水泥的组成，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，维修工作量大，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，制成各种形式的混凝土、钢筋混凝土的构件和构筑物。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使用，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，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。

五、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问世的。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。到十九世纪末与二十世纪初，由于其他工业所提供的燃料、工艺技术和生产设备，使水泥工业一直进行着频繁的改造与更新。1910年立窑实现了机械化连续生产；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。五十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。

六十年代初，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 α 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,干法工艺已具有压倒的优越性。到七十年代中期,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。另外,在水泥的科学研究中,各种高效测试仪器的应用,使水泥有关的基础理论和应用研究也取得了长足的进展。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。微型电子计算机在设计工作中的应用,更会带来极大的经济效益。

由于新一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。而且在控制粉尘飞扬与有害气体的排放以保护环境方面,也有了重大改进。1980年世界水泥总产量达8.7亿吨。在五十年代平均年增长率为9%,六十年代为6.2%,七十年代则为4.3%。按不同预测,到本世纪末水泥总产量将为16~20亿吨。

我国在1889年就在河北唐山首先建立了启新洋灰公司(今启新水泥厂)正式生产水泥,以后又相继建立了大连、上海、中国、广州等水泥厂。但是,解放前由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫和剥削,水泥工业的发展非常缓慢。一直到新中国成立以后,我国的水泥工业才得到了新生。解放后水泥产量快速上升,从1952年到1982年三十年期间,水泥产量从286万吨提高到9411万吨,增长了近33倍之多,1984年则达12108万吨,比1983年增长11.8%,而且水泥工业布局也获得很大改善。近十多年,小水泥工业蓬勃发展,对支援农业和地方工业建设起了重要的作用。建国以来,水泥工业的科学研究工作也得到了很快的发展。我国的水泥品种,在多品种、多标号的方针指导下,已经由建国初期仅有硅酸盐水泥和白水泥等3~4种,发展到现在的六十余种;从仅能生产用于建筑工程的一般水泥,发展到能够生产石油、水电、冶金、化工、机械等工业部门以及海港和国防工程所需的特种水泥。我国还相当重视工业废渣和天然资源的综合利用。早在1953年,就已推广使用矿渣硅酸盐水泥,经济效益十分显著。同时,又不断发展新技术、新工艺,促进水泥工业的技术进步。例如,我国在五十年代已经进行过悬浮预热器的研究;六十年代初在太原水泥厂的试验通过了鉴定。至于窑外分解技术,自从1976年在石岭建成第一台悬浮分解炉以来,已较快地在多处推广使用。日产700吨熟料的窑外分解生产工艺线已于1983年分别在江苏邳县水泥厂和新疆水泥厂建成。并自行研究、设计、制造了日产2,000吨熟料的窑外分解生产工艺线,使我国水泥生产工艺的改造进入了一个新的阶段。另一方面,我国在煅烧、粉磨、熟料形成、水泥的新矿物系列、水硬化、混合材、外加剂、节能技术等有关的基础理论以及测试方法的研究和应用,也取得了较好的成绩。特别是根据材料科学的主要任务,加强了组成、结构及其与性能的关系以及生产、应用过程中的变化和行为等方面的研究,获得了可喜的进展。还要提出的是,我国又在冀东、淮海、宁国、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,当也有助于我国水泥基本建设的发展,而且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。但是也应该看到,与世界先进水平相比,我国水泥工业还存在不少问题,主要是供需矛盾突出,生产技术落后,经济效益较差和各类人才不

足。我国水泥总产量虽已居世界第二位，但人均产量仍低。现有大中型厂的生产设备，陈旧落后的有相当数量，能耗高的湿法工艺仍占总生产能力的较大比例。而小型水泥厂成本较高，劳动生产率低。有些厂质量不够稳定，环境污染比较严重。水泥工业技术队伍力量不足，人才相当缺乏。

当前，世界水泥工业的中心课题仍是能源、资源和环境保护。我们一定要依靠技术进步来加速发展水泥工业，才能保证到本世纪末水泥产量翻两番的任务得以胜利完成。必须要在现有的技术基础上，因地制宜地采用先进技术，减少能耗，提高质量、降低成本，改善环境，增加产量，不断提高经济效益，大力开发智力人才。发展以窑外分解为中心的新工艺以及其他煅烧技术；并在我国的特定条件下，发展以机立窑为中心的小型生产线；同时以节能为中心，对具有改造价值的水泥厂采用不同方法进行技术改造，逐步淘汰普通立窑。从而形成一个具有中国特色的水泥工业体系，以低能耗、高质量的水泥，通过经济合理的流通渠道，保证工农业建设、国防建设和人民生活的需要。对此，我们这一代人负有重大的历史责任，我们必须奋发学习，努力工作，积极推动技术进步，才能为加速实现水泥工业和水泥科学技术的现代化作出更大贡献。展望未来，任重而道远！

第二章 硅酸盐水泥的生产

第一节 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。当熟料成分虽仍以硅酸钙为主，但适当调整熟料矿物组成、石膏掺入量、水泥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。按照我国国家标准GB175—85，硅酸盐水泥还专指一种不掺任何混合材料的水泥品种。在国外，硅酸盐水泥统称为波特兰水泥。

一、国家标准

根据国家标准GB175—85的定义：

(一) **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。

(二) **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）。水泥中混合材料掺加量按重量百分比计：

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%。

(三) 组分材料

1. **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为硅酸盐水泥熟料（简称熟料）。

2. **石膏**：天然石膏。必须符合国家标准《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。

3. **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。如粒化高炉矿渣、火山灰质混合材料以及粉煤灰等，其品质要求必须分别符合GB203—78、GB2847—81和GB1596—79的要求。

4. **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。采用石灰石时其中的 Al_2O_3 含量不得超过2.5%。以限制石灰石中的泥土含量。

5. **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，在水泥粉磨时还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。

二、标号

按标准规定硅酸盐水泥分为425、525、625、725四个标号；普通水泥分275、325、425、525、625、725六个标号。为了提高水泥的早期强度，加速工程进度，提高经济效益，又将同一标号的水泥分为两种类型，其中快硬型（R型）对3天强度有较高要求，7天强度不作规定，28天的强度指标则完全相同。

三、硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的品质指标

（一）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%。

（二）三氧化硫 水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

（三）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%。

（四）细度 0.080mm方孔筛筛余不得超过12%。

（五）凝结时间 初凝不得早于45分钟，终凝不得迟于12小时。

（六）安定性 用沸煮法检验，必须合格。

（七）强度 425、525、625标号按早期强度高低分两种类型。各标号、各类型水泥

GB175—84各龄期、各类型水泥强度

表 2-1

品种	标号	抗压强度 kg/cm ² (MPa)			抗折强度 kg/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)	56(5.5)	—	80(7.8)
	725R	377(37.0)	—	725(71.1)	63(6.2)	—	88(8.6)
普 通 水 泥	275	—	160(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)	626(61.3)	50(4.9)	62(6.1)	80(7.8)
	625R	316(31.0)	—	625(61.3)	56(5.5)	—	80(7.8)
	725R	367(36.0)	—	725(71.1)	63(6.2)	—	88(8.6)

的各龄期强度不得低于表2-1数值。

四、验收规则

(一) 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本标准规定或强度低于该品种水泥最低标号规定的指标时，均称为废品。

(二) 不合格品 水泥出厂后细度、烧失量、终凝时间和混合材料掺加量中的任一项不符合本标准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）与凝结終了（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SO₃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。

五、世界各国标准概况

由于水泥品种繁多，硅酸盐水泥一大类中就有几十个品种。因此，世界各国通常根据各自国民经济发展的需要和各国具体条件，制订本国的标准。1948年，水泥技术统计协会曾经对全世界34个国家水泥标准的特点以列表的形式发表了第一个出版物。随着科学技术的发展，水泥标准也迅速发展，至1980年有自己标准的国家已逐步增至68个。国际标准化

组织 (ISO) TC74 委员会于1964年曾推荐“水泥塑性胶砂抗压和抗折强度试验法”(R 679) 草案, 企求统一水泥的某些品质标准和技术要求。但由于各国意见分歧, 最后宣布于1980年1月1日起无效。

各国水泥标准按其特点主要为: 标准水泥的品种及其组成, 制定的品质指标、技术要求, 以及标准的试验方法等。

如: 美国材料试验协会 (ASTM) 规定的波特兰水泥 (纯熟料) 分为五类: I 类为波特兰水泥; II 类为中等水化热波特兰水泥和中等抗硫酸盐波特兰水泥; III 类为快硬波特兰水泥; IV 类为低水化热波特兰水泥; V 类为高抗硫酸盐波特兰水泥; 并对 I、II、III 类均附有加气波特兰水泥。对于掺加不同混合材料 (如火山灰、矿渣等) 的水泥, 则分在混合水硬性水泥一类中, 而称为火山灰派生波特兰水泥或波特兰火山灰水泥、波特兰高炉矿渣水泥等, 而对每一品种水泥则不再分等级或标号。法国标准 (NF) 规定, 波特兰水泥按有、无次要组分 (混合材料) 分为不掺次要组分的波特兰水泥和掺次要组分的波特兰水泥两种。每一品种又按水泥强度的不同分为几个等级 (标号)。苏联所生产的波特兰水泥, 可以不加混合材料; 或者加入不超过水泥重量15%的符合苏联国家标准 (ГОСТ) 规定的活性矿物质混合材料。当混合材料超过一定数量时, 则称为混合波特兰水泥或矿渣波特兰水泥、火山灰波特兰水泥等, 同时对每一品种还分为若干强度等级, 与我国标准类似。

至于品质指标和技术要求, 由于各国制定的标准与试验方法的不同而有所差别。

各国力学强度试验方法特点比较表

表 2-2

国 家	美 国	英 国		苏 联	ISO/CEN	中 国	日 本
标 准 号	ASTM C-109-77	BS4550第三部分 3.4节: 1978		ГОСТ 310.4-76	ISO(a) R679草案	GB177-84	JIS R5201-1977
灰/砂或灰/ 砂/集料	1/2.75	1/2.5/3.5	1/3	1/3	1/3	1/2.5	1/2
水/灰	P: 0.485 (c) AEP: 0.460	0.60 (b)	0.40	0.40	0.50	(d) 0.44、0.46	0.65
砂(S)、集料 (A)的来源或 性质	渥太华(I 11)	S=雷顿勃什砂 A=破碎花岗岩			天然圆柱 硅质砂	福建平潭 标准砂	丰浦砂
粒度尺寸(mm)	0.15/0.60	S=0.09/2.36 A=5/10	0.60/0.85 <0.60最大 10%	0.50/0.90	0.08/2.00	0.65; <3%(*) 0.40; 40±5% 0.25; >94%	0.10/0.30
胶砂稠度	其他水泥流 动度=110±5			流动度 ≤115 >106			
试体尺寸(cm)	5×5×5	10×10×10	7×7×7	4×4×16	4×4×16	4×4×16	4×4×16
捣实方式	手 捣	手工棒捣	振 动 台	振 动 台	机械振击	振 动 台	手 捣
应力性质	抗 压	抗 压		抗折、抗压	抗折、抗压	抗折、抗压	抗折、抗压

注: (a)从1980年1月1日起无效; (b)超硫酸盐水泥水灰比=0.55, 高铝水泥水灰比为0.45; (c)P为波特兰水泥、AEP为加气波特兰水泥; (d)硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥为0.44, 火山灰水泥和粉煤灰水泥为0.46; (e)为累计百分数。

力学强度的试验方法，过去有不少国家采用硬练法（干硬胶砂，水灰比一般为0.35左右），目前较多采用软练法（塑性胶砂，水灰比0.4~0.6），使得到的强度值更能代表混凝土的强度。我国国家标准从1977年开始也改用软练法，以代替硬练法。美国、英国、苏联、日本、国际标准化组织与我国的力学强度试验方法的比较示于表2-2。

力学强度的龄期标准各国也各有特点。如我国、苏联、美国、日本等不少国家的波特兰水泥均以3、7、28天三个龄期试体进行试验。智利等国家对所有品种只设7、28天两个龄期而不设3天龄期。巴拉圭的普通波特兰水泥也不设3天龄期。非洲的加纳、尼日利亚、赞比亚、津巴布韦等和美洲的牙买加、亚洲的巴基斯坦、新加坡等国家均不设28天龄期，而只有3、7天两个龄期。加拿大与芬兰有的品种除3、7、28天龄期外，还规定了91天龄期。乌拉圭对早强波特兰水泥规定1天和7天龄期，普通波特兰水泥只规定7天一个龄期。法国、希腊均规定2、7、28天三个龄期。有的国家还列出某几个龄期的最高强度与最低强度；另外如摩洛哥、埃塞俄比亚、尼日利亚等国还规定了混凝土立方试体的强度作为标准，等等。

物理品质的测定方法和要求也不完全相同。如细度：有筛析法、勃氏法（透气法测定比表面积）和华格纳法（用浊度计测比表面积）等；凝结时间有维卡法（我国等大部分国家使用）和吉尔摩法（美国等某些国家使用）；安定性试验有雷氏法、试饼法、压蒸法等；水化热测定有溶解热法，保温法和传导法等。

化学品质有用重量法、络合法、原子吸收法等，不一一赘述。

第二节 硅酸盐水泥的生产方法

硅酸盐水泥的生产分为三个阶段：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，称为生料制备；生料在水泥窑内煅烧至部分熔融所得到的以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，称为熟料煅烧；熟料加适量石膏，有时还加适量混合材料或外加剂共同磨细为水泥，称为水泥粉磨。

水泥的生产方法按照生料制备方法的不同，有干法和湿法两种：将原料同时烘干与粉磨或先烘干后粉磨成生料粉，而后喂入干法窑内煅烧成熟料，称为干法生产；将生料粉加入适量水分制成生料球，而后喂入立窑或立波尔窑内煅烧成熟料的方法亦可归入干法，但也可将立波尔窑的生产方法称之为半干法；将原料加水粉磨成生料浆后喂入湿法回转窑煅烧成熟料，则称为湿法生产；将湿法制备的生料浆脱水后，制成生料块入窑煅烧，称之为半湿法，亦可归入湿法。

湿法生产热耗较高，但电耗较低，生料易于均化，成分均匀，熟料质量较高，且输送方便，粉尘少，所以在二十世纪三十年代左右得以迅速发展。

随着生产技术发展，如烘干兼粉磨机的出现，均化技术的发展，收尘设备的改进等，使干法生产的熟料质量逐步提高，干燥过程的热耗相应降低，在环境保护方面也得到改善，加之投资较低，因此在一些煤价高、电价低的国家，在三十年代到四十年代，立波尔窑得到进一步发展。

五十年代末、六十年代初期，我国和苏联对湿法长窑和立波尔窑的技术经济指标进行了比较，见表2-3。当时我国曾确定南方以湿法生产（湿法长窑）为主，北方以干法生产（立波