

模块 3 水 泥

学习目标

- ◎ 了解水泥的定义和品种。
- ◎ 掌握建筑中常见的各种水泥的技术指标、特性和应用。
- ◎ 了解水泥石的腐蚀原因及防护方法。
- ◎ 了解水泥的验收与保管方法。

水泥是一种粉状水硬性无机胶凝材料,加水搅拌后成浆体,能在空气中硬化或者在水中更好的硬化,并能把砂、石等材料牢固地胶黏在一起。水泥是重要的建筑材料,用水泥制成的砂浆或混凝土坚固耐久,广泛应用于国民经济建设的各个领域,如土木工程、水利、交通、国防等基本建设。

3.1 水泥的定义与品种

凡能与水混合形成塑性浆体,经一系列复杂的物理、化学作用而凝结、硬化成坚硬石状体,并能将砂、石子等颗粒材料或砖、砌块等块体材料胶黏成整体的水硬性胶凝材料通称为水泥。由这一定义所界定的水泥品种繁多,按其产生水硬性作用的成分不同可大致划分为硅酸盐类水泥、铝酸盐类水泥、硫铝酸盐类水泥、铁铝酸盐类水泥等系列。

硅酸盐类水泥是指由以硅酸钙(CaSiO_3)为主要成分的水泥熟料、必要的混合材料(如粉煤灰、火山灰质材料、石灰石)和适量的石膏共同磨细制成的水硬性胶凝材料。按其性能和用途的不同,又可分为通用水泥、专用水泥和特性水泥三大类,每大类可再细分为具体品种。例如,通用硅酸盐类水泥可细分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥六大品种,即六大通用水泥。其中后五个品种可视为以硅酸盐水泥为基础,通过掺入较多的混合材料(超过5%的质量分数)而得到,故也常被称为掺混合材料的硅酸盐水泥。硅酸盐类水泥的分类详如图3-1所示。

虽然水泥品种繁多,分类方法各异,但我国水泥产量的90%左右属于以硅酸盐为主要水硬性矿物的硅酸盐水泥。本章在讨论水泥的性质和应用时,以硅酸盐水泥为基础。

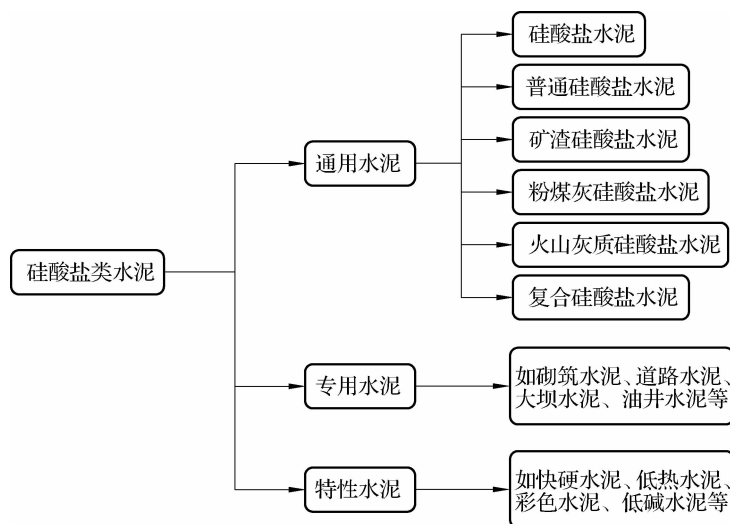


图 3-1 硅酸盐类水泥的分类

3.2 硅酸盐水泥

通用硅酸盐水泥是由硅酸盐水泥熟料和适量的石膏及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料。

通用硅酸盐水泥按混合材料的品种和掺量分为硅酸盐水泥(代号 P·I、P·II)、普通硅酸盐水泥(代号 P·O)、矿渣硅酸盐水泥(代号 P·S)、火山灰质硅酸盐水泥(代号 P·P)、粉煤灰硅酸盐水泥(代号 P·F)和复合硅酸盐水泥(代号 P·C)。

3.2.1 硅酸盐水泥的生产与矿物组成

1. 硅酸盐水泥的生产

生产硅酸盐水泥的原料主要是石灰质原料(如石灰石,主要成分为 CaO)、黏土质原料(如黏土、页岩,主要成分为 SiO₂、FeO)。为调整化学成分、控制焙烧温度,还需加入少量辅助原料(又称校正原料)。例如,用铁矿粉等铁质原料补充氧化铁的含量;以砂岩等硅质原料增加氧化硅的成分等。此外,为了改善煅烧条件,提高熟料质量,还常加入少量矿化剂,如氟石、石膏等。

硅酸盐水泥的生产过程分为破碎及预均化、制备生料、煅烧生料、粉磨熟料等几个阶段。硅酸盐水泥生产的简要过程如图 3-2 所示。

1) 破碎及预均化

水泥在生产过程中,大部分原料要进行破碎,如石灰石、黏土、铁矿石及煤等。石灰石是生产水泥时用量最大的原料,其开采后的粒度较大、硬度较高,因此石灰石的破碎在水泥机械的物料破碎中占有比较重要的地位。原料预均化技术就是在原料的存、取过程中,运用科

学的堆取料技术,实现原料的初步均化,使原料堆场同时具备贮存与均化的功能。

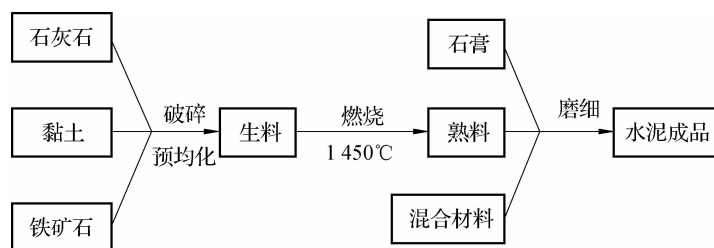


图 3-2 硅酸盐水泥生产的简要过程

2) 制备生料

在水泥的生产过程中,每生产 1 t 硅酸盐水泥,设备至少要粉磨 3 t 的物料(包括各种原料、燃料、熟料、混合料、石膏)。据统计,干法水泥生产线粉磨作业需要消耗的动力约占全厂动力的 60% 以上,其中生料粉磨占 30% 以上,煤磨约占 3%,水泥粉磨约占 40%。因此,合理地选择粉磨设备和工艺流程,正确操作,控制作业制度,对保证产品质量、降低能耗具有重大意义。在新型干法水泥生产过程中,稳定入窑生料成分是稳定熟料烧成的前提,生料均化系统起着稳定入窑生料成分的最后一道把关作用。

3) 煨烧生料

生料在旋风预热器中完成预热和预分解后,下一道工序是进入回转窑中进行熟料的烧成。在回转窑中碳酸盐进一步迅速分解并发生一系列的固相反应,生成水泥熟料中的矿物。熟料烧成后,温度开始降低,最后由水泥熟料冷却机将回转窑卸出的高温熟料冷却到下游输送、贮存库和水泥机械所能承受的温度。

4) 粉磨熟料

水泥粉磨是水泥制造的最后工序,也是耗电最多的工序。其主要功能在于将水泥熟料及胶凝剂、性能调节材料等粉磨至适宜的粒度(以细度、比表面积等表示),形成一定的颗粒级配,增大其水化面积,加速水化速度,以满足水泥浆体凝结、硬化的要求。概括地讲,水泥生产主要工艺就是“两磨”(磨细生料,磨细熟料)、“一烧”(生料煨烧成熟料)。

2. 硅酸盐水泥的矿物组成

硅酸盐水泥熟料的矿物组成非常复杂,其主要矿物和含量见表 3-1。

表 3-1 硅酸盐水泥熟料的主要矿物组成

矿物名称	分子式	含量范围
硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 简称为 C_3S	37%~60%
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 简称为 C_2S	15%~37%
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 简称为 C_3A	7%~15%
铁铝酸四钙	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, 简称为 C_4AF	10%~18%

各种矿物单独与水作用时所表现出的特性见表 3-2。



表 3-2 各矿物与水作用所表现出的特性

矿物名称	凝结硬化速度	水化热	耐化学腐蚀能力	强度
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	快	大	中	高
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	慢	小	最大	早期低、后期高
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	最快	最大	小	低
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	中	中	大	低

表 3-2 中所列各种矿物的强度是指最终强度,表中的水化放热量是指单位质量矿物水化放出的热量。 C_3S 在最初 4 周内强度发展迅速,硅酸盐水泥 4 周内的强度实际上就是由它决定的。 C_2S 大约从第 4 周起才发挥其强度作用,约半年才能达到 C_3S 4 周的强度。 C_3A 强度发展很快,但强度低,它对硅酸盐水泥 1~3 d 的强度起一定的作用。 C_4AF 的强度发展也较快,但强度较低,对硅酸盐水泥的强度贡献小。

3.2.2 硅酸盐水泥的水化与凝结硬化

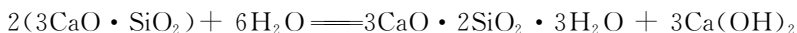
1. 硅酸盐水泥的水化

当水泥与适量的水调和时,开始形成的是一种可塑性的浆体,具有可加工性。随着时间的推移,浆体逐渐失去了可塑性,变成不能流动的紧密的状态,此后浆体的强度逐渐增加,直到最后能变成具有相当强度的石状固体。这整个过程叫做水泥的凝结和硬化。

水泥的凝结和硬化是连续进行的、复杂的物理化学过程,此过程决定了水泥石具有一系列性能。凝结是硬化的基础,硬化是凝结的继续。

水泥熟料矿物的结构不稳定,遇水后会发生水解或水化反应而变成水化物,由这些水化物按照一定的方式靠多种引力相互搭接和联结形成水泥石的结构,导致强度产生。水泥熟料中主要矿物的水化过程及产物如下。

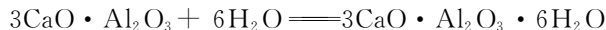
(1) 硅酸三钙的水化。在水泥矿物中,硅酸三钙含量最高,它与水作用时,反应较快,水化放热量大,生成水化硅酸钙及氢氧化钙。



(2) 硅酸二钙的水化。硅酸二钙的水化产物与硅酸三钙相同,但数量不同。其水化反应较慢,水化放热量小。



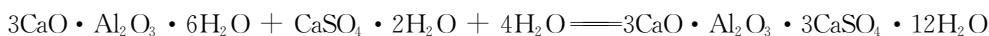
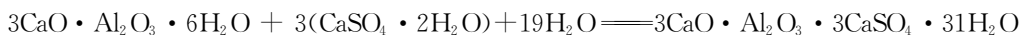
(3) 铝酸三钙的水化。铝酸三钙水化迅速,放热量很大,其水化产物组成和结构受液相 CaO 浓度和温度的影响很大,先生成介稳状态的水化铝酸三钙。水化铝酸三钙为晶体,易溶于水,它在石灰饱和溶液中能与氢氧化钙进一步反应,生成水化铝酸四钙。



(4) 铁铝酸四钙的水化。铁铝酸四钙的水化速率比 C_3A 略慢,水化热较低,即使单独水化也不会引起快凝。其水化反应产物为水化铝酸三钙及水化铁酸钙凝胶。



为调节凝结时间而掺入的适量石膏,与水化铝酸三钙反应生成高硫型水化硫铝酸钙(钙矾石)和单硫水化硫铝酸钙。



水化硫铝酸钙是难溶于水的针状晶体,它生成后即沉淀在熟料颗粒的周围,阻碍水化的进行,起到缓凝的作用。

综上所述,如果忽略一些次要的和少量的成分,则硅酸盐水泥与水作用后,生成的主要产物有:水化硅酸钙和水化铁酸钙凝胶、氢氧化钙、水化铝酸钙和水化硫铝酸钙晶体。水泥完全水化后,水化硅酸钙约占 50%,氢氧化钙约占 25%,水化硫铝酸钙约占 7%。

2. 硅酸盐水泥的凝结硬化

硅酸盐水泥的凝结硬化过程,按水化反应速度和水泥浆体结构的变化特征可分为四个阶段,如图 3-3 所示。

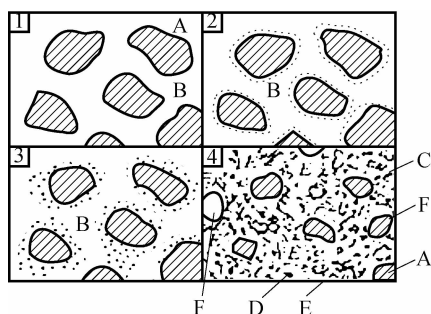


图 3-3 水泥浆体结构

A—水泥颗粒; B—自由水; C—凝胶 C-S-H; D—晶体[Ca(OH)₂等];

E—毛细孔; F—气孔

1) 初始反应期

水泥加水拌和成水泥浆的同时,水泥颗粒表面上的熟料矿物立即溶于水,并与水发生水化反应,或者固态的熟料矿物直接与水发生水化反应。这时伴有放热反应,此即初始反应期。该阶段时间很短,仅 5~10 min。这时由于水化物生成的速度很快,来不及扩散,因此便附着在水泥颗粒表面,形成膜层。膜层是以水化硅酸钙凝胶为主体,其中分布着氢氧化钙等晶体,所以,通常称之为凝胶体膜层。凝胶体膜层的形成,会妨碍水泥的水化。

2) 潜伏期

初始反应以后,由于凝胶体膜层的形成,水化反应和放热速度变慢。在一段时间(30~60 min)内,水泥颗粒仍是分散的,水泥浆的流动性基本保持不变。

3) 凝结期

经过 1~6 h,放热速度加快,并达到最大值,说明水泥继续加速水化。原因是凝胶体膜层虽然妨碍水分的渗入,使水化速度减慢,但因为它是半透膜,水分向膜层内渗透的速度大于膜层内水化物向外扩散的速度,所以产生渗透压,导致膜层破裂,使水泥颗粒得以继续水化。

由于水化物的增多和凝胶体膜层的增厚,被膜层包裹的水泥颗粒逐渐接近,以致在接触点互相黏结,形成网状结构,水泥浆体变稠,失去可塑性,这就是凝结过程。

4) 硬化期

由于水泥颗粒之间的空隙逐渐缩小为毛细孔,水化生成物进一步填充毛细孔,毛细孔越来越少,使水泥浆体结构更加紧密,逐渐产生强度。在适宜的温度和湿度条件下,水泥强度可继续增长,此即硬化阶段。



水泥浆体硬化后的石状物称为水泥石。水泥石是由胶凝体、未水化的水泥颗粒内核和毛细孔等组成的非均质体。

3. 影响水泥石强度发展的因素

1) 水灰比

拌和水泥浆时,水与水泥的质量比,称为水灰比。水灰比越大,水泥浆越稀,凝结硬化和强度发展越慢,且硬化后的水泥石中毛细孔含量越多,强度越低;反之,凝结硬化和强度发展越快,强度越高。因此,在保证成型质量的前提下,应降低水灰比,以提高水泥石的硬化速度和强度。

2) 养护时间

随着养护时间的延长,水泥的水化程度增加,凝胶体数量增加,毛细孔减少,强度不断增长。

3) 温度和湿度

温度升高,水泥水化反应加速,强度增长也快;温度降低则水化减慢,强度增长也趋缓,当温度为 0°C 以下时,水化停止,并可能遭受冰冻破坏。因此,在冬季施工时,需要采取保温等措施。

水泥的水化及凝结硬化必须在有足够水分的条件下进行。环境湿度大,水分蒸发慢,水泥浆体可保持水泥水化所需的水分。若环境干燥,水分将很快蒸发,水泥浆体中缺乏水泥所需的水分,使水化不能正常进行,强度也不再增长,还可能使水泥石或水泥制品表面产生干缩裂纹。所以,混凝土工程在浇灌后 $2\sim 3$ 周内必须加强洒水养护,以保证水化时所必需的水分,使水泥得到充分水化。

3.2.3 硅酸盐水泥的技术指标

1. 实际密度、堆积密度、细度

硅酸盐水泥实际密度为 $3.10\sim 3.20\text{ g/cm}^3$ 。在进行混凝土配合比计算时,通常采用 3.1 g/cm^3 。

硅酸盐水泥的堆积密度,疏松堆积时为 $1\ 000\sim 1\ 100\text{ kg/m}^3$,紧密堆积时可达 $1\ 600\text{ kg/m}^3$ 。在进行混凝土配合比计算时,通常采用 $1\ 300\text{ kg/m}^3$ 。

2. 标准稠度及其用水量

水泥净浆标准稠度用水量是指拌制水泥净浆时为达到标准稠度所需的加水量,它是测定水泥的凝结时间、体积安定性等性能的依据。它以水与水泥质量之比的百分数表示,用标准稠度与凝结时间测定仪,按《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2001)测定。硅酸盐水泥的标准稠度用水量一般为 $24\%\sim 30\%$ 。

3. 体积安定性

水泥体积安定性是指水泥浆体硬化后体积变化的稳定性。体积安定性不良的水泥,在浆体硬化过程中或硬化后产生不均匀的体积膨胀,引起水泥石开裂,应用在工程中,可使结构构件产生膨胀性裂缝而引起严重质量事故。

水泥安定性不良的原因是由于其熟料矿物组成中含有过多的游离氧化钙或游离氧化镁,以及水泥粉磨时所掺石膏超量等所致。熟料中所含的游离氧化钙或游离氧化镁都是在高温下生成的,属过烧氧化物,水化很慢,它要在水泥凝结硬化后才慢慢开始水化,水化的化

学反应式如下：



水化时体积膨胀,从而引起不均匀的体积变化,破坏已经硬化的水泥石结构,引起龟裂、弯曲、崩溃等。当水泥中石膏掺量过多时,在水泥硬化后,硫酸根离子还会继续与固态的水化铝酸钙反应生成高硫型水化硫铝酸钙,造成体积膨胀,引起水泥石开裂。

国家标准规定,水泥熟料中游离氧化镁含量不得超过 5.0%,三氧化硫含量不得超过 3.5%。检测标准有《水泥压蒸安定性试验方法》(GB/T 750—1992)、《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2001)。

在建筑工程中,常定性研究其含量是否超标的检测方法有:游离的氧化钙用沸煮法,游离的氧化镁用压蒸法,三氧化硫用浸水法。

4. 不溶物、烧失量

不溶物是指水泥中含有的不能被一定浓度的酸和碱溶解的物质。烧失量是指水泥在一定的温度和灼烧时间内失去的质量和原有质量的比值。不溶物和烧失量可以间接地衡量水泥石的质量,是评定水泥是否掺假的重要指标。

国家标准规定:I型硅酸盐水泥中不溶物含量不超过 0.75%,II型硅酸盐水泥中不溶物含量不超过 1.5%;I型硅酸盐水泥烧失量不超过 3.0%,II型硅酸盐水泥烧失量不超过 3.5%。其检测方法按《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2008)进行试验。

5. 细度

水泥细度是指水泥颗粒粗细的程度,它是影响水泥性能的重要指标。水泥颗粒越细,与水反应的表面积越大,水化反应的速度越快,水泥石的早期强度越高。若颗粒过细,研磨时的耗能高且硬化时收缩也大,易产生裂缝。因此,水泥细度应适当。

根据国家标准规定,硅酸盐水泥比表面积应大于 300 m²/kg。水泥的比表面积是指水泥的面积,用水泥比表面积仪按《水泥比表面积测定方法 勃氏法》(GB/T 8074—2008)进行试验测定。

6. 凝结时间

水泥的凝结时间分初凝和终凝。自水泥开始加水拌和至水泥浆开始失去可塑性所需的时间称为初凝时间;自水泥开始加水拌和至水泥浆完全失去可塑性,并开始产生强度所需的时间称为终凝时间。

水泥的凝结时间在施工中具有重要作用。初凝时间不宜过短,以便有足够的时间在初凝之前对混凝土进行搅拌、运输和浇筑。当浇筑完毕,则要求混凝土尽快凝结硬化,产生强度,以利于下道工序的进行,为此终凝时间不宜过迟。

国家标准规定:硅酸盐水泥的初凝时间不得早于 45 min,终凝时间不得迟于 390 min (6.5 h)。

7. 强度等级

国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671—1999)规定,水泥强度必须按该标准的规定制作试件(试件尺寸 40 mm×40 mm×160 mm),在标准养护条件[(20±1)°C的水中]下,养护至 3 d 和 28 d,测定各龄期的抗折强度和抗压强度。该值是评定水泥等级的依据。

硅酸盐水泥的强度主要取决于水泥熟料矿物的相对含量、水泥细度、水灰比大小、水化



龄期和环境温度等,可分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5 和 62.5R 六个等级。水泥强度等级按规定龄期的抗折强度和抗压强度来划分,各强度等级硅酸盐水泥各龄期的强度值不得低于表 3-3 中的数值,否则视为不合格品。

表 3-3 不同品种各强度等级水泥各龄期的强度值

单位:MPa

品 种	强度等级	抗压强度		抗折强度	
		3 d	28 d	3 d	28 d
硅酸盐水泥	42.5	≥ 17.0	≥ 42.5	≥ 3.5	≥ 6.5
	42.5R	≥ 22.0		≥ 4.0	
	52.5	≥ 23.0	≥ 52.5	≥ 4.0	≥ 7.0
	52.5R	≥ 27.0		≥ 5.0	
	62.5	≥ 28.0	≥ 62.5	≥ 5.0	≥ 8.0
	62.5R	≥ 32.0		≥ 5.5	
普通硅酸盐水泥	42.5	≥ 17.0	≥ 42.5	≥ 3.5	≥ 6.5
	42.5R	≥ 22.0		≥ 4.0	
	52.5	≥ 23.0	≥ 52.5	≥ 4.0	≥ 7.0
	52.5R	≥ 27.0		≥ 5.0	
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	32.5	≥ 10.0	≥ 32.5	≥ 2.5	≥ 5.5
	32.5R	≥ 15.0		≥ 3.5	
	42.5	≥ 15.0	≥ 42.5	≥ 3.5	≥ 6.5
	42.5R	≥ 19.0		≥ 4.0	
	52.5	≥ 21.0	≥ 52.5	≥ 4.0	≥ 7.0
	52.5R	≥ 23.0		≥ 4.5	

3.2.4 硅酸盐水泥的特性与应用



图文
通用水泥特性
记忆口诀

(1) 凝结硬化快,水化热大。由于硅酸盐水泥中 C_3S 、 C_3A 的含量高,因此水化放热速率快、放热量大,凝结硬化迅速。这些特性使得硅酸盐水泥特别适用于冬期施工的水泥混凝土工程,但不适于用大体积混凝土工程(如水库大坝、深基础底板等)。

(2) 早期强度和长期强度高。硅酸盐水泥因其 C_3S 含量高,强度等级较高,适用于地上、地下和水中重要结构的高强度混凝土和预应力混凝土工程。这种水泥凝结硬化较快,还适用于要求早期强度高和冬期施工的混凝土工程。

(3) 抗冻性好,干燥收缩小。硅酸盐水泥的这两项特性均与其硬化后的内部结构致密有关。由于 C_3S 的含量较高,硅酸盐水泥水化生成的 C-S-H 凝胶体较多,因此水泥石中的大多数孔隙都可由该凝胶体填充。另外硅酸盐水泥的保水性也较好,这使得拌合水不易因向浆体外部泌出而形成内外连通的毛细孔道。这两项特性使得硅酸盐水泥适用于寒冷地区和干燥环境中的工程结构。

(4) 碱性强,抗碳化能力好。水泥石中的 $Ca(OH)_2$ 与空气中 CO_2 发生碳化作用。碳化

使水泥石的碱度(即 pH 值)降低,引起水泥石收缩和钢筋锈蚀。硅酸盐水泥石中含有较多的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,碳化时碱度不易降低。用这种水泥制成的混凝土抗碳化性好,适用于空气中 CO_2 浓度较高的环境,如翻砂、铸造车间。

(5)耐热性差。硅酸盐水泥使用期间若遭遇较高温度(超过 $250\text{ }^\circ\text{C}$)作用,则水泥石中的水化产物因脱水分解而变得疏松脆弱。当温度超过 $700\text{ }^\circ\text{C}$,硅酸盐水泥石将完全丧失强度甚至崩落。因此硅酸盐水泥不宜单独用于耐热混凝土工程(如高炉内衬、工业厂房内的高温设施)。

(6)耐腐蚀能力差。外部使用环境中侵蚀性介质的大量存在(如各种酸、碱、盐类);水泥石内部存在易被腐蚀的具有活性的水化产物[主要指 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙]、水泥石自身不密实,存在较多的与外界连通的毛细孔道。这三个因素综合作用即导致水泥石被腐蚀,而且其实际腐蚀过程往往表现为多种侵蚀性介质同时作用、相互影响。硅酸盐水泥由于熟料含量高,使得水化产物中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙的含量高,因此易受腐蚀而不宜用于侵蚀性介质多的使用环境中(如海水、盐碱地区的道路)。

3.2.5 水泥石的腐蚀与防止

1. 水泥石的腐蚀

由于本身成分和构造上的原因,在某些腐蚀性介质作用下,水泥石的结构会逐渐遭到破坏,强度逐渐降低以致全部溃裂,这种现象称为水泥石的腐蚀。水泥石的腐蚀作用主要有以下三种类型。

(1)软水腐蚀(溶出性侵蚀)。当水泥石长期与软水(暂时硬度低的水,如工业冷凝水、蒸馏水、天然雨水、天然雪水以及含重碳酸盐少的河水及湖水)接触时,由于水泥石中的氢氧化钙等成分溶解于水中,在静水或无水压的情况下,水泥石中的水被已溶解的氢氧化钙所饱和而使水泥石的溶出逐渐停止,软水的侵蚀作用仅限于表面,影响不大。但是,若水泥石在流动的水中或有压力的水中,溶出的氢氧化钙不断被冲走,侵蚀作用不断深入内部,使水泥石孔隙增大,强度下降,以致全部溃裂。

(2)盐类腐蚀。

①硫酸盐腐蚀。硫酸盐腐蚀实际上是膨胀性化学腐蚀。当水泥石受到侵蚀性介质作用后生成新的化合物,由于新生成物的体积膨胀而使水泥石破坏的现象,称为膨胀性化学腐蚀。

②镁盐腐蚀。在海水及地下水中常含有大量镁盐,主要成分是硫酸镁和氯化镁。它们与水泥石中的氢氧化钙反应,生成的氢氧化镁松软而无胶凝能力,氯化钙易溶解于水,生成的硫酸钙又将产生硫酸盐腐蚀。因此,镁盐腐蚀属于双重腐蚀,腐蚀特别严重。

(3)酸类腐蚀。

①碳酸腐蚀。工业污水、地下水中常溶解有较多的二氧化碳。水中的二氧化碳与水泥石中的氢氧化钙反应生成的碳酸钙如继续与含碳酸的水作用,则变成易溶于水的碳酸氢钙。由于碳酸氢钙的溶失以及水泥石中其他产物的分解,而使水泥石结构破坏。

②一般酸的腐蚀。工业废水、地下水中常含无机酸和有机酸;工业窑炉中烟气常含有二氧化硫,遇水后即生成亚硫酸。各种酸类对水泥石有不同程度的腐蚀作用。它们与水泥石



中氢氧化钙作用后生成的化合物,或者易溶于水,或者体积膨胀而导致水泥石破坏。对水泥石腐蚀作用最快的是无机酸中的盐酸、氢氟酸、硫酸和有机酸中的醋酸、蚁酸、乳酸。

2. 腐蚀的防止

水泥石发生腐蚀的基本原因是:水泥石中存在着易受腐蚀的氢氧化钙和水化铝酸钙;水泥石本身不密实而使侵蚀性介质易进入其内部;外界因素的影响,如腐蚀介质的存在,环境温度、湿度、介质浓度的影响等。

根据以上腐蚀原因的分析,可采取下列防止腐蚀的措施。

(1)根据侵蚀环境特点,合理选用水泥品种。例如,选用水化物中氢氧化钙含量少的水泥,可以提高对软水等侵蚀作用的抵抗能力;为了抵抗硫酸盐腐蚀,可使用铝酸三钙含量低于5%的抗硫酸盐水泥等。

(2)提高水泥石的密实度。水泥石越密实,抗渗能力越强,侵蚀介质越难渗入内部,水泥石的抗侵蚀能力也越强。为了提高水泥混凝土的密实度,应该合理设计混凝土的配合比,尽可能采用低水灰比,并且选择最优施工方法。

(3)表面加做保护层。当侵蚀作用比较强烈时,需在水泥制品表面加做保护层。保护层材料常采用耐酸石料(石英岩、辉绿岩)、耐酸陶瓷、玻璃、塑料、沥青等。

3.3 掺混合材料的硅酸盐水泥

掺混合材料的硅酸盐水泥是由硅酸盐水泥熟料,掺入适量的混合材料及石膏共同磨细制成的水硬性胶凝材料。掺混合材料的硅酸盐水泥可分为普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥等。

1. 普通硅酸盐水泥

普通硅酸盐水泥中掺入少量混合材料的主要作用是扩大强度等级范围,以利于合理选用。由于混合材料掺量较少,其矿物组成的比例仍在硅酸盐水泥的范围内,因此其性能、应用范围与同强度等级的硅酸盐水泥相近。

与硅酸盐水泥比较,普通硅酸盐水泥早期硬化速度稍慢、强度略低,抗冻性、耐磨性及抗碳化性稍差,耐腐蚀性稍好,水化热略有降低。

2. 矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥

这三种水泥的组成及所用混合材料的活性来源基本相同,所以这三种水泥在性质和应用上有许多相同点,在许多情况下可以替代使用。但由于混合材料的活性来源和物理性质(如致密程度、需水量大小等)存在着某些差别,故这三种水泥又各有其特性。

1) 三种水泥的性能与应用的相同点

(1)早期强度低,后期强度增进率大。与硅酸盐水泥及普通水泥比较,其熟料含量较少(即快硬的矿物 C_3S 和 C_3A 较少),而且二次反应很慢,所以早期强度低。后期,由于二次反应不断进行和水泥熟料的水化产物不断增多,使得水泥强度的增进率加大,后期强度可赶上甚至超过同强度等级的硅酸盐水泥。因此,这三种水泥不宜用于早期强度要求高的混凝土,如现浇混凝土、冬期施工混凝土等。

(2)硬化时对湿热敏感性强,强度发展受温度影响较大。这三种水泥强度的发展受温度的影响较硅酸盐水泥或普通水泥更为敏感。这三种水泥在低温下的水化明显减慢,强度较低。采用高温养护时,加大二次反应的速度,可提高早期强度,且不影响常温下后期强度的发展。硅酸盐水泥或普通水泥采用高温养护也可提高早期强度,但其后期强度较一直在常温下养护的强度低。因此,这三种水泥不宜用于有早期强度要求的现浇混凝土,适用于蒸汽养护的构件。

(3)水化热少。由于熟料含量少,水化时发热量高的 C_3S 、 C_3A 含量相对减少,因而水化放热量少,适用于大体积混凝土工程。

(4)耐腐蚀性好,具有较强的抗溶出性侵蚀及抗硫酸盐侵蚀的能力。这三种水泥中熟料数量相对较少,水化生成的 $Ca(OH)_2$ 数量也较少,而且还要与活性混合材料进行二次反应,使水泥石中易受腐蚀的 $Ca(OH)_2$ 含量大为降低。同时,由于熟料数量较少,使水泥石中易受硫酸盐腐蚀的水化铝酸三钙含量也相对降低,因而它们的耐腐蚀性较好。但当采用含活性 Al_2O_3 含量较多的混合材料(如烧新土)时,水化生成较多的水化铝酸钙,因而耐硫酸盐腐蚀性较差。因此,这三种水泥适用于受溶出性侵蚀以及硫酸盐、镁盐腐蚀的水工建筑工程、海港工程、地下工程。

(5)抗冻性及耐磨性较差。因为水泥石的密实性不及硅酸盐水泥和普通水泥,所以抗冻性和抗磨性较差,不宜用于严寒地区水位升降范围内的混凝土工程,也不宜用于受高速夹砂水流冲刷或其他具有耐磨要求的混凝土工程。

(6)抗碳化能力较差。由于水泥石中 $Ca(OH)_2$ 含量少,因此抵抗碳化的能力差,表层的碳化作用进行得较快,碳化深度也较大,这对钢筋混凝土极为不利,故不适用于 CO_2 浓度高的环境(如铸造、翻砂车间)中的混凝土工程。

2)矿渣水泥的性能与应用

(1)泌水性和干缩性较大。由于粒化高炉矿渣是玻璃体,对水的吸附能力差(即保水性差),成型时易泌水而形成毛细通路及粗大的水隙,降低混凝土的密实性及均匀性,同时,增加水分的蒸发,因此其干缩较大,易使混凝土表面产生很多微细裂缝,从而降低混凝土的力学性能和耐久性。矿渣混凝土不宜用于要求抗渗的混凝土工程和受冻融干湿交替作用的混凝土工程。

(2)耐热性好。由于矿渣水泥硬化后 $Ca(OH)_2$ 的含量低,矿渣本身又是耐火掺料,当受高温(不高于 $200\text{ }^\circ\text{C}$)作用时,强度不致显著降低,因此矿渣水泥适用于受热的混凝土工程,若掺入耐火砖粉等材料可制成耐更高温度的混凝土。在这三种水泥中矿渣水泥的活性混合材料的含量最多,耐腐蚀性最好、最稳定。

3)火山灰水泥的性能与应用

(1)抗渗性高。由于水泥中含有大量较细的火山灰,泌水性小,当在潮湿环境下或水中养护时,会生成较多的水化硅酸钙凝胶,使水泥石结构致密,因而具有较高的抗渗性,适用于要求抗渗的水中混凝土工程。

(2)干缩大,易起粉。火山灰水泥在硬化过程中的干缩现象较矿渣水泥更显著。若处在干燥的空气中,水泥石中的水化硅酸钙会逐渐干燥,产生干缩裂缝。在水泥石表面,由于空气中 CO_2 的作用,可使水化硅酸钙分解成 $CaCO_3$ 和 SiO_2 的粉状混合物,使已硬化的水泥石表面产生“起粉”现象。为此,施工时应加强养护,较长时间保持潮湿,以免产生干缩裂缝和



起粉。所以,火山灰水泥不宜用于干燥或干湿交替环境下的混凝土工程,以及有耐磨要求的混凝土工程。

4) 粉煤灰水泥的性能与应用

(1) 早期强度低。由于粉煤灰呈球形颗粒,表面致密,不易水化,因此粉煤灰活性的发挥主要在后期,这种水泥早期强度的增进率比矿渣水泥和火山灰水泥更低,但后期可以赶上。

(2) 干缩小,抗裂性高。由于粉煤灰的吸水能力弱,拌和时需水量较小,因而干缩小、抗裂性高。但球形颗粒保水性差、泌水较快,若养护不当易引起混凝土产生失水裂缝。

另外,复合水泥由于掺入了两种以上的混合材料,改善了上述矿渣水泥等三种水泥的性质。其性质接近于普通水泥,并且水化热低,耐腐蚀性、抗渗性及抗冻性较好。

3.4 特性水泥和专用水泥

3.4.1 白色硅酸盐水泥

凡以适当成分的生料烧至部分熔融,所得以 CaSiO_3 为主要成分、 Fe_2O_3 含量很少的白色硅酸盐水泥熟料,再加入适量石膏,共同磨细制成的水硬性胶凝材料,称为白色硅酸盐水泥,简称白水泥。

白水泥与硅酸盐水泥的区别在于水泥熟料中 Fe_2O_3 的含量限制在 0.5% 以下,其他着色氧化物(MnO 、 TiO_2 等)含量降至极微。为此,应精选原料,生产应在无着色物污染的条件下进行,严格控制水泥中的含铁量。白水泥比普通的硅酸盐水泥凝固得快。其主要特点是矿渣微粉的用量为 85%~90%,碱性添加物的用量不超过 5%。混制出的白水泥的白度和强度不低于原料白水泥,而且早期强度还有明显的提高。白水泥的白度分为特级、一级、二级和三级,其各等级白度不得低于表 3-4 中规定的数值。

表 3-4 白水泥白度等级

等级	特级	一级	二级	三级
白度/%	86	84	80	75

白水泥多为装饰性用,而且它的制造工艺比普通水泥要好很多,主要用来勾白瓷片的缝隙,但由于其强度不高,故一般不用于墙面。

3.4.2 快硬高强水泥

快硬水泥是初期强度增加速率较快的水硬性胶凝材料,其 C_3S 和 C_3A 的含量高于普通水泥,具有硬化快、初期强度高特性。快硬水泥初凝不得早于 45 min,终凝不得迟于 10 h,主要用于紧急抢修工程、军事工程、预应力钢筋混凝土构件、配制干硬性混凝土等。高强、早强混凝土在土木工程中的应用日益增加,高早强水泥的品种与产量也随之增多。目前,我国快硬、高强水泥已有很多个品种,是世界上少有的品种齐全的国家之一。

1. 快硬硅酸盐水泥

凡以 CaSiO_3 为主要成分的水泥熟料,加入适量石膏,经磨细制成的具有早期强度增进率较快的水硬性胶凝材料,称为快硬硅酸盐水泥,简称为快硬水泥。

快硬硅酸盐水泥的原料和生产过程与硅酸盐水泥基本相同,只是为了快硬和早强,生产时适当提高了熟料中 C_3S 和 C_3A 的含量,其中 C_3S 的含量达 50%~60%, C_3A 为 8%~14%,两者总量应不少于 60%~65%,同时适当增加石膏的掺量,并提高水泥的粉磨细度(通常比表面积达 $450 \text{ m}^2/\text{kg}$)。

快硬硅酸盐水泥的早期、后期强度均较高,抗渗性和抗冻性也较好,水化热大,耐腐蚀性差,适用于早强、高强混凝土工程,以及紧急抢修工程和冬期施工等工程。快硬硅酸盐水泥不得用于大体积混凝土工程与与腐蚀介质接触的混凝土工程。由于快硬硅酸盐水泥易吸收空气中的水蒸气,因此存放时应特别注意防潮,且存放期一般不得超过一个月。

2. 快硬硫铝酸盐水泥

以适当成分的生料,烧成以无水硫铝酸钙 $[3(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \text{CaSO}_4]$ 和 β 型 C_2S 为主要矿物成分的熟料,加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为快硬硫铝酸盐水泥。

快硬硫铝酸盐水泥按 3 d 的强度划分为 425、525、625、725 四个标号。这是一种早期强度很高的水泥,其 12 h 强度即可达 3 d 强度的 60%~70%。

快硬硫铝酸盐水泥具有快凝、早强、不收缩的特点,可用于配制早强、抗渗和抗硫酸盐侵蚀的混凝土,适用于负温施工(冬期施工),浆锚、喷锚支护,抢修、堵漏,水泥制品及一般建筑工程。但使用时需注意以下问题。

(1) 硫铝酸盐系列水泥不能与其他品种水泥混合使用。

(2) 硫铝酸盐系列水泥泌水性大,黏聚性差,应避免用水量大。

(3) 硫铝酸盐水泥的水化产物钙矾石在 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上时会脱水,强度会大幅度下降,故其耐热性较差,一般应在常温下使用。

(4) 硫铝酸盐水泥制品的碱度较低,对钢筋的保护作用较弱,混凝土保护层薄时则钢筋锈蚀加重,因此在潮湿环境中使用时,必须采取相应措施。

由于这种水泥的碱度较低,因此用于玻璃纤维增强水泥制品可防止玻璃纤维腐蚀。

3.4.3 膨胀水泥

一般硅酸盐类水泥在空气中硬化时,通常都表现为收缩,常导致混凝土内部产生微裂缝,降低了混凝土的耐久性。在浇筑构件的节点、堵塞孔洞、修补缝隙时,由于水泥石存在干缩,也不能达到预期的效果。膨胀水泥在硬化过程中能产生一定体积的膨胀,因此采用膨胀水泥配制混凝土,能克服或改善一般水泥的上述缺点,解决由于收缩带来的不利后果。

膨胀水泥按膨胀值的不同,分为膨胀水泥和自应力水泥。膨胀水泥的线膨胀系数一般在 1% 以下,相当或稍大于一般水泥的收缩率,可以补偿收缩,所以又称为补偿收缩水泥或无收缩水泥。自应力水泥的线膨胀系数一般为 1%~3%,膨胀值较大,在限制的条件(如配有钢筋)下,使混凝土受到压应力,这种压应力能避免混凝土内部产生微裂缝,还能抵消一部分因外界因素(如水泥混凝土管道中输送的压力水或压力气体)所产生的拉应力,从而有效地



改善混凝土抗拉强度低的缺陷。

1. 膨胀水泥的分类

膨胀水泥按其强度组分的类型可分为如下几种。

(1) 硅酸盐膨胀水泥。硅酸盐膨胀水泥是以硅酸盐水泥为主要组分,外加高铝水泥和石膏配制而成的。其膨胀作用是由于高铝水泥中的铝酸盐矿物和石膏遇水后生成具有膨胀性的钙矾石晶体,膨胀值的大小可通过改变高铝水泥和石膏的含量来调节。

(2) 铝酸盐膨胀水泥。由高铝水泥和二水石膏混合后磨细或分别磨细后混合而成。

(3) 硫铝酸盐膨胀水泥。以含有适量无水硫铝酸钙的熟料,加入较多石膏磨细而成。

2. 在工程中的应用

膨胀水泥适用于补偿混凝土收缩的结构工程,作防渗层或防渗混凝土,填灌构件的接缝及管道接头,加固与修补结构,固结机器底座及地脚螺栓等。自应力水泥适用于制作自应力钢筋混凝土压力管及其配件。

3.4.4 低热硅酸盐水泥

低热硅酸盐水泥是以适当成分的硅酸盐水泥熟料加入适量石膏,经磨细制成的具有低水化热的水硬性胶凝材料,简称低热水泥,又称高贝利特水泥,代号为P·LH。

低热硅酸盐水泥是一种以 C_2S 为主导矿物, C_3A 含量较低的水泥。其 C_2S 的含量应不小于40%, C_3A 的含量应不超过6%,游离氧化钙的含量应不超过1.0%。生产该品种水泥具有耗能低、有害气体排放少、生产成本低的特点。经大量研究和实验证实,该品种水泥具有良好的工作性、水化热低、后期强度高、耐久性强、耐侵蚀性强等通用硅酸盐水泥无可比拟的优点。

低热硅酸盐水泥3d、7d水化热比中热水泥低15%~20%,而且水化放热平缓,峰值温度低。其早期强度较低,但后期强度增进率大,28d强度与硅酸盐水泥相当,3~6个月龄期强度高于硅酸盐水泥10~20MPa,特别适用于水工大体积混凝土、高强高性能混凝土工程。

3.4.5 低碱水泥

低碱水泥是指碱金属氧化物(K_2O 和 Na_2O)含量低的水泥。总碱含量以当量氧化钠($Na_2O+0.658K_2O$)计算,低碱水泥要求总碱含量(当量氧化钠)低于0.6%。

低碱水泥可以是硅酸盐系列水泥的任何品种。只要含碱量低于0.6%就是低碱水泥。生产低碱水泥,需要使用低碱熟料、低碱石膏和低碱矿物掺合料。低碱熟料又必须是用低碱石灰石和其他低碱原材料生产。

低碱水泥主要用来防止混凝土发生碱集料反应,以影响混凝土的耐久性。由于碱集料反应一般是在混凝土成型若干年后逐渐发生的,其结果造成混凝土的耐久性下降,严重时还会使混凝土丧失使用价值,且由于反应是发生在整个混凝土中的,因此,这种反应造成的破坏既难以预防又难以阻止,更不易修补和挽救,故被称为混凝土的“癌症”。目前,许多工程为了保证混凝土的质量及耐久性,都要求采用低碱水泥。

3.4.6 道路水泥

道路硅酸盐水泥简称道路水泥,是由道路硅酸盐水泥熟料、0~10%活性混合材料和适量石膏,经磨细制成的水硬性胶凝材料。

道路硅酸盐水泥熟料含有较多的铁铝酸钙。该熟料中铝酸三钙的含量不得大于5.0%,铁铝酸四钙的含量不得小于16.0%。水泥中氧化镁含量不得超过5.0%,三氧化硫含量不得超过3.5%。水泥的初凝不得早于1h,终凝不得迟于10h。在80 μm 方孔筛上的筛余不得超过10%,安定性用沸煮法检验必须合格。28d的干缩率不得大于0.1%。耐磨性以磨损量表示,不得大于3.60 kg/m^2 。道路水泥分为42.5、52.5和62.5三个强度等级。各龄期的强度值见表3-5。

道路水泥早期强度较高,干缩值小,耐磨性好。其适用于修筑道路路面和飞机场地面,也可用于一般土建工程。

表 3-5 道路水泥各龄期强度值

强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	3 d	28 d	3 d	28 d
42.5	22.0	42.5	4.0	7.0
52.5	27.0	52.5	5.0	7.5
62.5	32.0	62.5	5.5	8.5

3.4.7 油井水泥

油井水泥又称堵塞水泥或固井水泥,是专用于油井、气井的固井工程的水泥。油井水泥具有合适的密度和凝结时间、较低的稠度,用其配制的预拌油井混凝土具有良好的抗沉降性和可泵性。将其注入预定(温度、压力)的井段,能迅速凝结硬化并产生一定的机械度。混凝土固化后具有良好的抗渗性、稳定性和耐腐蚀性。油井水泥属特种水泥,是由以水硬性硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料,加入适量石膏和助磨剂磨细制成的。油井水泥有普通型、中抗硫酸盐型和高抗硫酸盐型三大类,分为A~H八个等级,分别用做常温、常压、中温、中压、高温、高压、超高温、超高压等不同条件和不同井深的油井水泥。因注入油井的条件不同,油井水泥还有与促凝剂或缓凝剂一起使用的。

3.5 铝酸盐水泥

铝酸盐水泥是以铝矾土和石灰石为原料,经煅烧制得的以铝酸钙为主要成分、氧化铝含量约50%的熟料,再磨制成的水硬性胶凝材料。铝酸盐水泥常为黄或褐色,也有呈灰色的,是一种快硬、早强、耐腐蚀、耐热的水泥。铝酸盐水泥按照生产用原料、水泥的纯度分为高铝水泥和纯铝酸钙水泥。纯铝酸钙水泥和高铝水泥由于原料的不同导致了杂质含量的差异,



这也是纯铝酸钙水泥耐高温性能和抗腐蚀性能更好的原因。按照生产工艺来区分,则可以分为烧结法和熔融法。我国的铝酸盐水泥产品以烧结法为主。

3.5.1 铝酸盐水泥的矿物组成

铝酸盐水泥的主要矿物组成是铝酸一钙($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$,简称为 CA)和其他铝酸盐矿物以及少量的硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)。CA 具有很高的水化活性,其凝结正常,但硬化迅速,是铝酸盐水泥的强度来源。

CA 的水化反应因温度不同而异,温度低于 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,水化产物为水化铝酸一钙($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$);温度在 $20\text{ }^\circ\text{C} \sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ 时,水化产物为水化铝酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$);温度高于 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 时,水化产物为水化铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。在上述后两种水化物生成的同时有氢氧化铝凝胶($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)生成。

水化铝酸一钙和水化铝酸二钙为强度高的片状或针状的结晶连生体,而氢氧化铝凝胶填充于结晶连生体骨架中,形成致密的结构。经 $3 \sim 5\text{ d}$ 后水化产物的数量就很少增加,强度趋于稳定。

水化铝酸一钙和水化铝酸二钙属亚稳定的晶体,随着时间的推移将逐渐转化为稳定的铝酸三钙,其转化过程随温度增高而加剧。晶型转化的结果是使水泥石的孔隙率增大,耐腐蚀性变差,强度大为降低。一般浇筑 5 年以上的铝酸盐水泥混凝土,其强度仅为早期的 $1/2$,甚至更低。因此,在配制混凝土时,必须充分考虑这一因素。

3.5.2 铝酸盐水泥的技术要求

根据《铝酸盐水泥》(GB 201—2000)的规定,铝酸盐水泥按 Al_2O_3 的含量百分数分为 4 类:CA-50($50\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 60\%$)、CA-60($60\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 68\%$)、CA-70($68\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 77\%$)、CA-80($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 77\%$)。其细度要求为比表面积不小于 $300\text{ m}^2/\text{kg}$ 或 0.045 mm ,孔筛筛余不大于 20% ,水泥胶砂强度和凝结时间见表 3-6 和表 3-7。

表 3-6 铝酸盐水泥胶砂强度

水泥类型	抗压强度/MPa				抗折强度/MPa			
	6 h	1 d	2 d	28 d	6 h	1 d	2 d	28 d
CA-50	20 ^①	40	50	—	3.0 ^①	5.5	6.5	—
CA-60	—	20	45	85	—	2.5	5.0	10.0
CA-70	—	30	40	—	—	5.0	6.0	—
CA-80	—	25	30	—	—	4.0	5.0	—

注:①当用户需要时,生产厂应提供结果。

表 3-7 铝酸盐水泥凝结时间

水泥类型	初凝时间不得早于/min	终凝时间不得迟于/h
CA-50、CA-70、CA-80	30	6
CA-60	60	18

3.5.3 铝酸盐水泥的性质及应用

铝酸盐水泥与硅酸盐水泥比较有如下特点。

(1)早期强度增长快,属快硬型水泥。铝酸盐水泥适用于紧急抢修工程和早期强度要求高的特殊工程,但必须考虑其后期强度的降低。使用铝酸盐水泥应严格控制其养护温度,一般不得超过 25℃,宜为 15℃左右。

(2)水化热大。水化热放热量大而且集中,因此不宜用于大体积混凝土工程。

(3)抗硫酸盐腐蚀性强。由于水化时不生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,且水泥石结构致密,因此具有较好的抗硫酸盐及镁盐腐蚀的作用。铝酸盐水泥对碱的腐蚀无抵抗能力。

(4)耐热性高。铝酸盐水泥在高温下仍能保持较高的强度,甚至在高达 1 300℃时尚有 50%的强度,因此可作为耐热混凝土的胶黏材料。铝酸盐水泥在使用时应避免与硅酸盐类水泥混杂使用,以免降低强度和缩短凝结时间。

3.6 水泥的验收与保管

水泥出厂时,其各项技术指标及包装质量符合要求时方可出厂。检验报告内容应包括出厂检验项目、细度、混合材料品种和掺加量、石膏和助磨剂的品种及掺加量、属旋窑或立窑生产及合同约定的其他技术要求。当用户需要时,生产者应在水泥发出之日起 7 天寄发除 28 d 强度外的各项检验结果,32 天内补报 28 d 强度的检验结果。

1. 包装

水泥可以散装或袋装,袋装水泥每袋净含量为 50 kg,且应不少于标志质量的 99%;随机抽取 20 袋总质量(含包装袋)应不少于 1 000 kg。其他包装形式由供需双方协商确定,但有关袋装质量要求,应符合上述规定。水泥包装袋应符合《水泥包装袋》(GB 9774—2010)的规定。

2. 标志

水泥包装袋上应清楚标明:执行标准,水泥品种、代号、强度等级,生产者名称,生产许可证标志(QS)及编号,出厂编号,包装日期,净含量,如图 3-5 所示。包装袋两侧应根据水泥的品种采用不同的颜色印刷水泥名称和强度等级,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥采用红色,矿渣硅酸盐水泥采用绿色,火山灰质

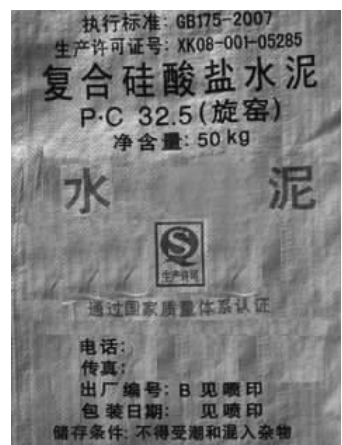


图 3-5 袋装水泥包装标志



硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥采用黑色或蓝色。

3. 运输与储存

水泥在运输和储存时不得受潮和混入杂物,不同品种和强度等级的水泥在储运中应避免混杂。散装水泥应分库存放。袋装水泥堆放时应考虑防水防潮,堆置高度一般不超过 10 袋,使用时应考虑先存先用的原则。存放期一般不应超过 3 个月,超过 6 个月的水泥必须经过试验才能使用。一般存放 3 个月以上的水泥,其强度降低 10%~20%,存放 6 个月降低 15%~30%,存放 1 年后降低 25%~40%。

思考与练习

1. 什么是水泥? 水泥有哪六大通用品种?
2. 硅酸盐水泥熟料是由哪几种矿物组成的? 它们的水化各有什么特点?
3. 简述硅酸盐水泥的凝结硬化过程。
4. 什么是水泥的体积安定性? 硅酸盐水泥产生体积安定性不良的原因是什么?
5. 简述白水泥、快硬高强水泥、膨胀水泥、道路水泥和油井水泥的特性及用途。
6. 如何进行水泥的验收与保管?