

单元 水 泥

3



学习目标

知识目标

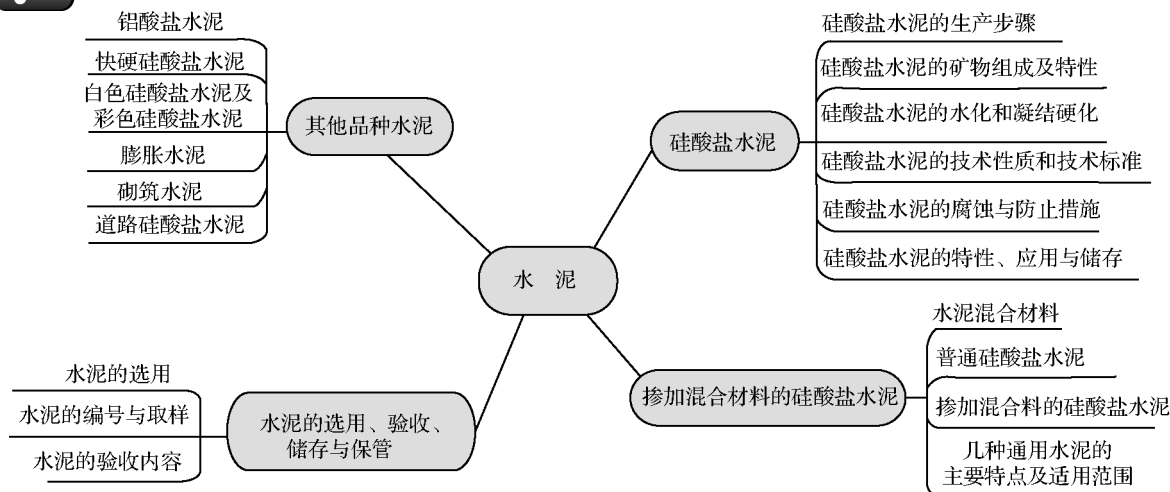
掌握硅酸盐水泥的矿物成分组成及水泥的水化、硬化特点；掌握硅酸盐水泥的技术性质和技术标准；掌握硅酸盐水泥的腐蚀和防止措施；了解矿渣水泥、火山灰质水泥、粉煤灰水泥等特点及适用范围；了解常用的其他品种水泥；掌握水泥检测的取样方法和各指标性能的检测方法；掌握水泥的选用、验收、储存与保管。

能力目标

能够根据水泥的特点、技术要求和适用范围等因素，合理选择水泥的品种；能够根据规范要求，对水泥进行取样；具备水泥性能指标检测的实际操作能力，并进行质量检验。



知识脉络图



3.1 硅酸盐水泥

水泥是国民经济建设的重要材料之一，是配制钢筋混凝土、预应力混凝土构件和水泥砂浆的最基本的组成材料，广泛适用于交通、建筑、电力、水利等工程建设中。

目前，我国正在使用的水泥品种很多，在建筑工程中，大多依据工程所处的环境来合理选用水泥品种，其中最常用的是硅酸盐系水泥。

3.1.1 硅酸盐水泥的生产步骤

硅酸盐水泥的生产工艺可分为以下三个阶段。

1. 制备生料

以黏土、石灰石和铁矿粉为主要原料，将其按一定比例混合并磨细，制得具有适当化学成分且质量均匀的生料。

2. 煅烧熟料

将制得的生料投入水泥窑中，经过 $1\ 400\sim 1\ 500^{\circ}\text{C}$ 的高温煅烧，直至部分生料达到熔融状态，冷却后得到以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料。

3. 粉磨水泥

将煅烧制得的熟料加入适量石膏、 $0\sim 5\%$ 的石灰石或粒化高炉矿渣等混合料，再次进行磨细，即得到成品水泥。

水泥的制备过程可概括为“两磨一烧”，即磨细生料、磨细熟料和生料煅烧熟料。其生产工艺流程如图 3-1 所示。

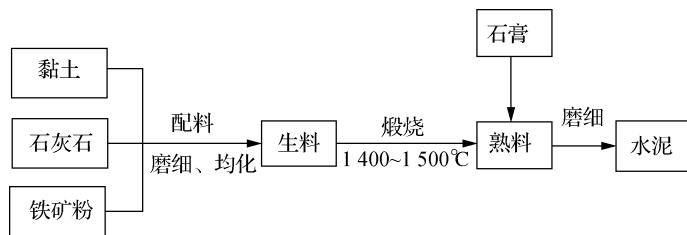


图 3-1 硅酸盐水泥的生产工艺流程

3.1.2 硅酸盐水泥的矿物组成及特性

水泥生料配合比的不同，会直接影响硅酸盐水泥熟料的矿物成分比例和主要性能，而且在不同的温度



环境也会生成不同的产物，因此水泥生料在煅烧过程中，水泥生料配合比会直接影响矿物成分的含量。

硅酸盐水泥生料(黏土、石灰石和铁矿粉)在煅烧过程中，分解生成 CaO ， SiO_2 ， Al_2O_3 ， Fe_2O_3 等产物，在高温下形成以硅酸钙为主的熟料矿物。硅酸盐水泥的主要矿物组成见表 3-1。

表 3-1 硅酸盐水泥的主要矿物组成

主要矿物成分	化学式(简式)	含量
硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_3\text{S})$	37%~60%
硅酸二钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_2\text{S})$	15%~37%
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{C}_3\text{A})$	7%~15%
铁铝酸四钙	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{C}_4\text{AF})$	10%~18%

除以上四种主要矿物外，硅酸盐水泥中还含有少量游离氧化镁、游离氧化钙和碱。

水泥中不同的熟料与水化合反应时，水硬化速度、28 d 水化放热量、强度、干缩性及耐化学腐蚀性各不同，见表 3-2。

表 3-2 硅酸盐水泥熟料的特性

矿物名称 性能指标	硅酸三钙	硅酸二钙	铝酸三钙	铁铝酸四钙
水硬化速度	快	慢	最快	快
28 d 水化放热量	多	少	最多	中
强度	高	早期低、后期高	最低	中
干缩性	中	小	大	最小
耐化学腐蚀性	差	中	最差	好

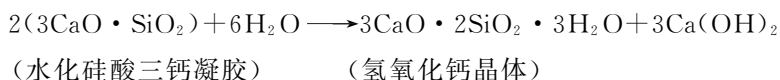
由表 3-2 可以看出，水泥中各熟料矿物成分的含量影响着水泥某一方面的性能。当改变各熟料矿物的含量时，水泥性质也会发生相应的变化。例如，提高硅酸三钙的含量，就可制得高强度水泥；提高硅酸二钙的含量，减少铝酸三钙和硅酸三钙的含量，可制得水化放热量低的水泥，如大体积水泥；增加铝酸三钙和硅酸三钙的含量，可制得早期强度发展较快的水泥。因此，可以通过改变矿物成分的含量来适应工程需要。



3.1.3 硅酸盐水泥的水化和凝结硬化

1. 硅酸盐水泥的水化

硅酸盐水泥与水作用后，立即发生一系列复杂的化学反应，生成新的化合物，同时放出热量，其化学反应式如下：



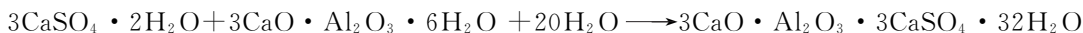


(水化铝酸三钙晶体)



(水化铁酸钙凝胶)

水泥熟料磨细时添加石膏的目的是延缓水泥的凝结硬化速度，避免水泥遇水后呈现“瞬凝”现象。这些石膏与部分水化铝酸钙反应，生成难溶的高硫型水化硫铝酸钙针状晶体，又称为钙矾石(AFt)，同时并伴有明显的体积膨胀。



(石膏) (高硫型水化硫铝酸钙)

当掺入的石膏消耗完毕后，水泥中尚未水化的铝酸三钙将会与高硫型水化硫铝酸钙(钙矾石)发生反应，生成低硫型水化硫铝酸钙(AFm)。



(低硫型水化硫铝酸钙)

生成的钙矾石覆盖在水泥颗粒表面，降低了水泥的水化速度，延缓了水泥浆体的凝结。而且因钙矾石是难溶的晶体，还可以提高水泥的早期强度，加固结构。但需要注意的是，石膏的掺入量必须是适量的，因为过量石膏所生成的钙矾石会引起明显的体积膨胀，从而造成水泥的体积安定性不良。

2. 硅酸盐水泥的凝结和硬化

水泥加水拌和后，水泥颗粒在水中分散，此时水泥颗粒表面立即发生水化反应，反应初期会形成具有塑性的水泥浆体，聚集在颗粒表面，从而使化学反应减慢。当水化产物溶于水后，水泥颗粒表面重新暴露出新的层面，使得水化反应能够继续进行。因生成的胶体状水化产物不断增多，构成疏松的网状结构，使浆体逐渐失去流动性和可塑性，形成具有一定强度的石状体，这就是水泥的凝结过程。

此后，因生成的水化硅酸钙凝胶、氢氧化钙和水化硫铝酸钙晶体等产物不断增多，并且产物之间相互接触连生，达到一定程度后，便可建立起较为紧密的网状晶体结构，并且水化产物也会在网状结构内部不断填充，从而使水泥具有初期的强度，随着硬化时间(龄期)的延续，晶体逐渐增多，毛细孔越来越少，胶体逐渐密实，水泥石的胶结力和强度也越来越高，最后形成具有较高强度的水泥石，这就是水泥的硬化过程。

硬化后的水泥石是不均质的结构体，主要由凝胶体、未水化完全的水泥熟料颗粒、游离水分子及大小不等的毛细孔等组成，水泥石结构如图 3-2 所示。在硬化过程中，水泥石中的凝胶体、未水化完全的水泥颗粒等组分所占比率是不断变化的，在完全水化的水泥石中，水化硅酸钙所占比例约为 50%，氢氧化钙所占比例约为 25%。

水化阶段中，不同的组分的比率会直接影响水泥石的强度等其他技术性质。另外，水泥强度的增长还与环境温度、湿度有关。温度、湿度越高，水化速度越快，凝结硬化也越快，反之越慢。当水泥石处在完全干燥的情况下时，水化便无法进行，硬化停止，强度也就不再增长。因此混凝土在浇筑完成后，



应加强其洒水养护。当环境温度低于 0°C 时,水化基本停止。因此混凝土在冬期施工时,应采取保温措施,以保证水泥凝结硬化的正常进行。

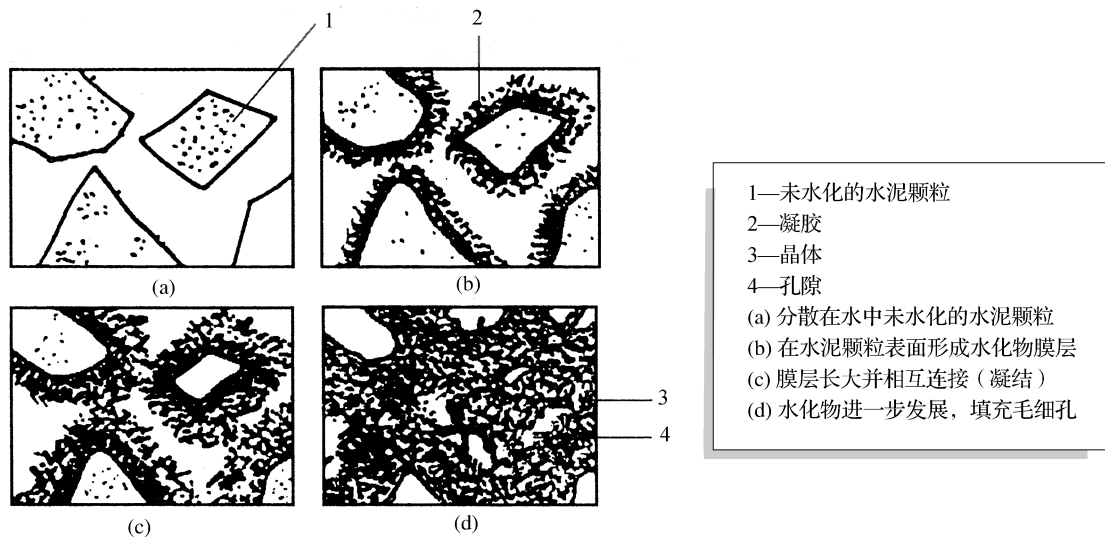


图 3-2 水泥石结构



3.1.4 硅酸盐水泥的技术性质和技术标准

1. 技术性质

根据《通用硅酸盐水泥》(GB 175 - 2007)中规定,硅酸盐水泥的主要技术性质包括标准稠度用水量、凝结时间、安定性、强度、细度和碱含量,其中细度和碱含量为选择性指标。

2. 技术标准

(1) 标准稠度用水量

为使水泥凝结时间和安定性的测定结果有可比性,必须采用标准稠度的水泥净浆进行对比。标准稠度用水量是指水泥净浆达到规定标准稠度时所需的拌和用水量,以水占水泥质量的百分率表示。水泥的标准稠度用水量主要取决于水泥的细度,水泥越细,标准稠度用水量也越大。另外还与熟料矿物组成、混合材料的种类和品种有关。对于不同品种的水泥,标准稠度用水量也各不相同。其中,硅酸盐水泥的标准稠度用水量在 $24\% \sim 30\%$ 。

国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346 - 2011)规定:以标准法维卡仪的试杆沉入净浆距底板的距离为 (6 ± 1) mm时水泥净浆的稠度为标准稠度,水泥净浆达到标准稠度时所需的拌和水量称为标准稠度用水量。

(2) 凝结时间

水泥的凝结时间分为初凝时间和终凝时间。初凝时间是指从水泥加水拌和开始至水泥标准稠度净浆开始失去塑性所需的时间。终凝时间是指从水泥加水拌和开始至水泥标准稠度净浆完全失去塑性,并开

始具有一定的强度所需的时间。

GB 175 - 2007 规定：硅酸盐水泥的初凝时间不小于 45 min，终凝时间不大于 390 min。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初凝时间不小于 45 min，终凝时间不大于 600 min。

凝结时间的规定在实际工程中有着重要的意义。为了保证有足够的时间进行混凝土的搅拌、运输、浇筑等工序的操作，初凝时间不宜过长。同时为了使混凝土在浇捣完毕后能尽早完成凝结硬化，并产生强度，以提高模具的周转率，并尽快进行下一道工序，因此终凝时间也不宜过长。

GB 175 - 2007 规定：初凝时间和终凝时间的检测用试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间表示。有一项不符合规范要求的都为不合格品。

(3) 安定性

水泥的安定性也称为体积安定性，是指水泥浆体在凝结硬化过程中，体积变化的均匀程度。各品种水泥的体积变化不尽相同。当水泥浆体在硬化过程中发生不均匀变化时，水泥混凝土构件会出现膨胀开裂、翘曲等不良现象，导致建筑物质量降低，甚至引起严重的事故，这就是水泥的体积安定性不良。

GB 175 - 2007 规定：安定性不良的水泥为不合格品。

导致水泥体积安定性不良的原因，一般是因水泥熟料中含有的游离氧化钙或游离氧化镁过多，或者粉磨熟料时掺入的石膏过量。熟料中所含的游离氧化钙和游离氧化镁都是过烧的，熟化速度很慢，只有在水泥凝结硬化以后才慢慢熟化，生成膨胀性物质，进而导致水泥石开裂。掺入过量的石膏会与已固化的水化铝酸钙作用，生成水化硫铝酸钙针状晶体，体积约膨胀 1.5 倍，造成已硬化的水泥石开裂。

GB 175 - 2007 规定：水泥体积安定性检验应采用沸煮法。沸煮法包括试饼法(代用法)和雷氏法(标准法)两种。当试饼法和雷氏法两者有矛盾时，以雷氏法为准。

用沸煮法只能检测出游离氧化钙造成的体积安定性不良。因游离氧化镁引起的体积安定性不良，必须用压蒸法才能检测出来，原因在于游离氧化镁的水化作用比游离氧化钙缓慢。而石膏所导致的体积安定性不良不便于快速检验，需经过长期浸在常温水中才能发现。因此，通常在水泥生产中严格控制其含量。国家标准规定：硅酸盐水泥中游离氧化镁质量分数不得超过 5.0%，如果水泥的压蒸法合格，则水泥中氧化镁的质量分数可放宽至 6%。

(4) 强度

水泥强度是评定水泥质量的最基本的指标，也是划分水泥强度等级的重要依据，该指标可直接反映水泥的质量。硅酸盐水泥的强度主要取决于熟料的矿物组成和细度，另外还与水胶比、实验方法、实验条件、养护龄期等因素有关。

国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO)》(GB/T 17671 - 1999)规定，采用胶砂法测定水泥强度。该法是将水泥、ISO 标准砂和水按照 1 : 3 : 0.5 的比例拌制一组塑性胶砂，用标准方法制成 40×40×160 mm 的标准试件，在标准条件[温度(20±1)℃，相对湿度不低于 90%]下养护，分别测定 3 d 和 28 d 的抗压强度和抗折强度，根据测定结果，按照表 3-3 的规定，确定硅酸盐水泥的强度等级。硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5，42.5 R，52.5，52.5 R，62.5，62.5 R 六个等级。

国家标准规定各强度等级的强度值不得低于表 3-3 的规定。



表 3-3 硅酸盐水泥的强度等级要求

强度等级	抗压强度 (MPa) \geq		抗折强度 (MPa) \geq	
	3 d	28 d	3 d	28 d
42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0

注：R——早强型。

(5) 细度(选择性指标)

细度是指水泥颗粒的粗细程度。水泥颗粒的粗细直接影响水泥的水化速度和强度。通常情况下，水泥颗粒越细，总表面积就越大，与水接触的面积也就越大，水化作用也越快越充分。

GB 175 - 2007 规定：硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的细度以比表面积来表示，其比面积不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ ；矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥的细度以筛余表示，其 $80 \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10% 或 $45 \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 30%。

(6) 碱含量(选择性指标)

碱含量是指水泥中 Na_2O 和 K_2O 的含量，按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。若使用活性骨料，用户要求提供低碱水泥时，水泥中的碱含量应不大于 0.6% 或由买卖双方协商确定。

当混凝土骨料中含有活性二氧化硅时，会与水泥中的碱相互作用形成硅酸盐凝胶，引起混凝土膨胀，破坏混凝土结构，该现象称为“碱-骨料反应”，这是影响混凝土耐久性的重要因素。



3.1.5 硅酸盐水泥的腐蚀与防止措施

1. 硅酸盐水泥腐蚀的类型

通常情况下，硅酸盐水泥硬化后，会具有较好的耐久性。水泥的腐蚀是指水泥石长期处在某些腐蚀液化环境中或气体中，其强度会逐渐降低，甚至被破坏的现象。常见的水泥石腐蚀有软水侵蚀(溶出性侵蚀)、酸类侵蚀(溶解性侵蚀)、盐类腐蚀、强碱腐蚀等。除上述四种侵蚀类型外，对水泥石有腐蚀作用的还有糖类、酒精、脂肪、氨盐和含环烷酸的石油产品等。

(1) 软水侵蚀(溶出性侵蚀)

软水是不含或仅含少量钙、镁等可溶性盐的水。雨水、雪水、蒸馏水、工厂冷凝水以及含重碳酸盐甚少的河水与湖水均属软水。软水能使水泥水化产物中的氢氧化钙溶解，并促使水泥石中其他水化产物发生分解，强度下降，故软水侵蚀称为溶出性侵蚀。

各种水化产物与水作用时，因为氢氧化钙溶解度最大，所以首先被溶出。在水量不多或无水压的情况下，由于周围的水迅速被溶出的氢氧化钙所饱和，溶出作用很快中止，破坏仅发生于水泥石的表面部位，危害不大。但在大量水或流动水中，氢氧化钙会不断溶出，特别是当水泥石渗透性较大而又受压力水作用时，水不仅能渗入内部，而且还能产生渗透作用，将氢氧化钙溶解并渗滤出来，因此不仅减小了水泥石的密实度，影响其强度，而且由于液相中氢氧化钙的浓度降低，还会破坏原来水化物间的平衡碱度，从而引起其他水化产物，如水化硅酸钙、水化铝酸钙的溶解或分解，最后变成一些无胶凝能力的硅酸凝胶、氢氧化铝、氢氧化铁等，水泥石结构彻底遭到破坏。

软水侵蚀的轻重程度与水泥石所承受的水压及与水中有无其他离子存在等因素有关。当水泥石结构承受水压时，受穿流水作用，水压越大，水泥石透水性越大，腐蚀越严重。

软水侵蚀的速度还与环境水中重碳酸盐的含量有很大关系。

(2) 酸类侵蚀(溶解性侵蚀)

硅酸盐水泥水化产物呈碱性，其中含有较多的氢氧化钙，当遇到酸类或酸性水时则会发生中和反应，生成比氢氧化钙溶解度大的盐类，导致水泥石受损破坏。

碳酸的侵蚀：这种反应长期进行会导致水泥石结构疏松、密度下降、强度降低。另外，水泥石中氢氧化钙浓度的降低又会导致其他水化产物的分解，进一步加剧了水泥石的腐蚀。

一般酸的腐蚀：各种酸类都会对水泥石造成不同程度的损害。其损害机理是酸类与水泥石中的氢氧化钙发生化学反应，生成物或者易溶于水，或者体积膨胀导致水泥石中产生内应力而引起水泥石破坏。无机酸中的盐酸、硝酸、硫酸、氢氟酸和有机酸中的醋酸、蚁酸、乳酸的腐蚀作用尤为严重。

(3) 盐类腐蚀

① 硫酸盐及氯盐腐蚀(膨胀型腐蚀)。在一些湖水、海水、沼泽水、地下水以及某些工业污水中常含有钠、钾、铵等的硫酸盐，它们会先与硬化的水泥石结构中的氢氧化钙起置换反应，生成硫酸钙。硫酸钙再与水泥石中的水化硫铝酸钙起反应，生成高硫型水化硫铝酸钙，高硫型水化硫铝酸钙含有大量结晶水，其体积较原体积膨胀 2.22 倍，产生巨大的膨胀应力，因此对水泥石的破坏很大，高硫型水化硫铝酸钙呈针状晶体，俗称水泥杆菌。

当水中硫酸盐浓度较高时，硫酸钙会在孔隙中直接结晶成二水石膏，造成膨胀压力，引起水泥石的破坏。

② 镁盐的腐蚀(双重腐蚀)。在海水及地下水中，常含有大量的镁盐，主要是硫酸镁和氯化镁。它们与水泥石中的氢氧化钙起置换作用，生成的氢氧化镁松软无胶凝能力，氯化钙易溶于水，二水石膏则引起硫酸盐的破坏。由此可见镁盐腐蚀属于双重腐蚀，镁盐对水泥石的破坏特别严重。

(4) 强碱腐蚀

硅酸盐水泥水化产物呈碱性，一般碱类溶液浓度不大时不会对水泥石造成明显损害。但铝酸盐含量较高的硅酸盐水泥遇到强碱会发生反应，生成的铝酸钠溶于水。当水泥石被氢氧化钠浸透后又在空气中干燥，则溶于水的铝酸钠会与空气中的二氧化碳反应生成碳酸钠。由于水分失去，碳酸钠在水泥石毛细管中结晶膨胀，引起水泥石疏松、开裂。



2. 硅酸盐水泥腐蚀的防止措施

(1) 根据四周环境的特点，合理地选择合适品种

在水泥石中，主要会引起腐蚀的组合成分是氢氧化碳和水化铝酸钙。所以当水泥受到软水的侵蚀时，可以选择水化产物中含氢氧化碳和水化铝酸钙少的水泥。其他的情况也是如此，都是同样的道理。

(2) 提高水泥石的密实度

提高水泥石的密实度可以很有效地防止水泥石腐蚀，相对而言是一个不错的办法，同时也可以让水泥石的性质得到改善。

(3) 表面加保护层

当侵蚀越发强烈时，可以在水泥制品的表面增加一层保护层，抵挡住一点其他物体所带来的侵蚀。



3.1.6 硅酸盐水泥的特性、应用与储存

1. 硅酸盐水泥的特性与应用

(1) 凝结硬化快，强度高

由于没有掺加混合材料或掺量很低，凝结硬化快，有明显的早强，后期强度发展较慢，故该水泥适用于冬期施工或要求早强的混凝土结构中。另外，硅酸盐水泥强度等级较高(42.5~62.5 R)，可用于高强度混凝土或高性能混凝土。

(2) 水化热大

因硅酸盐水泥水硬化速度快，水化热相应较高，不宜用于大体积混凝土或需控制水化热的混凝土中，但适于冬期施工，这时可利用它水化热高的特点，进行蓄热养护。

(3) 耐蚀性差

由于不掺或少掺混合材料，相应硅酸三钙(C_3S)和硅酸二钙(C_2S)的含量较高，与水化合生成的氢氧化钙 $[Ca(OH)_2]$ 和水化铝酸钙较多，若该类物质与硫酸盐类作用，生成膨胀性的水化硫铝酸盐或易溶盐，则会导致混凝土破坏，因此水泥的耐蚀性较差。

(4) 抗裂性差

由于硅酸盐水泥中的熟料矿物铝酸三钙(C_3A)的含量较多，细度较细，故需水量较大，易产生收缩裂缝，又由于水化速度快，早期水化热较高，易在混凝土结构中产生温度裂缝，因而有抗裂要求的混凝土最好不采用硅酸盐水泥。

(5) 抗冻性较好

由于水泥的强度等级高，水胶比较小，水化速度快，使混凝土很快达到一定强度，故其抗冻性较好，因此适用于早期强度要求较高及有抗冻要求的混凝土。

2. 硅酸盐水泥的储存

硅酸盐水泥在储存时不得受潮和混入其他杂物，不同品种和强度等级的水泥应分开堆放，避免混杂，同时应按照到货先后，依次堆放，尽量做到先存先用。硅酸盐水泥的储存期不宜过长，一般为3个月，当存放时间超过3个月时，其强度将降低15%左右，且超期时间越长，强度降低越大。过期水泥再次使用前，必须重新检测其强度，合格后方可使用。

常见问题解析

生产硅酸盐水泥时，为什么掺入适量石膏对水泥石不起破坏作用？

解答：生产硅酸盐水泥时，掺入适量的石膏会与水化产物水化铝酸钙反应，生成膨胀性产物水化硫铝酸钙，该水化物主要在水泥浆体凝结前产生，而凝结后产生较少。由于此时水泥浆还未凝结，仍具有流动性及可塑性，因而对水泥浆体的结构没有破坏作用，且在硬化初期的水泥石中，毛细孔含量较高，可容纳少量膨胀的钙矾石，不会使水泥石开裂，因而生产水泥时所掺入的适量石膏对水泥石不会产生腐蚀作用，而只起到了缓凝的作用。

3.2 掺加混合材料的硅酸盐水泥

掺加混合材料的硅酸盐水泥是指以硅酸盐水泥熟料为主，加入一定比例的混合材料和石膏，经共同磨细制成的水泥。

3.2.1 水泥混合材料

在水泥生产过程中，为改善水泥性能，调节水泥的强度等级、增加品种、提高产量、降低成本、扩大水泥的使用范围而加到水泥中的矿质材料，称为混合材料。此类材料有活性混合材料和非活性混合材料之分。

1. 活性混合材料

活性混合材料是指具有火山灰性或潜在水硬性的，以及兼有火山灰性和潜在水硬性的矿质材料。火山灰性，是指单独不具有水硬性，但在常温下与石灰等一起与水拌和后，能形成具有水硬性化合物的性能。常用活性混合材料包括符合GB/T 203、GB/T 18046、GB/T 1596、GB/T 2847标准要求的粒化高炉矿渣、粒化高炉矿渣粉、粉煤灰、火山灰质混合材料。

粒化高炉矿渣是在高炉冶炼生铁时所得，以活性氧化硅和氧化铝为主要成分的熔融物，经淬冷成粒



后的产品。由于熔融矿渣经水淬骤冷，而形成玻璃结构，使其具有较高的潜在活性，粒化高炉矿渣所含的氧化铝和氧化钙越高，掺加到水泥中时，其强度越高。

2. 火山灰质混合材料

火山灰质混合材料是指具有火山灰性的天然或人工的矿质材料，统称火山灰质混合材料。此类材料的有效成分主要是活性氧化硅和活性氧化铝。目前国产水泥常用的火山灰质混合材料，天然的如火山灰、凝灰岩、浮石、沸石岩、硅藻石等；人工的如煤矸石、烧页岩、烧黏土、煤渣、硅质渣等。

粉煤灰是从煤粉炉烟道气体中收集的粉末，以氧化硅和氧化铝为主要成分，含少量氧化钙，具有火山灰性。粉煤灰的活性主要取决于玻璃体、氧化硅和氧化铝的含量、原煤的成分及生产条件。

上述的混合材料都含有大量的活性氧化硅和活性氧化铝，它们在氢氧化钙溶液中，会发生水化反应，生成水化硅酸钙和水化铝酸钙。当液相中有石膏存在时，将与水化铝酸钙反应生成水化硫铝酸钙。水泥熟料的水化产物氢氧化钙和熟料中的石膏具备了使活性混合材料发挥活性的条件，即氢氧化钙和石膏起着激发水化、促进水化硬化的作用，故称为激发剂。常用的激发剂有碱性激发剂和硫酸盐激发剂两类。硫酸盐激发剂的激发作用必须在有碱性激发剂的条件下，才能充分发挥。



3.2.2 普通硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、大于5%不超过20%的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为硅酸盐水泥，简称普通水泥，代号P·O。活性混合材料掺加量大于5%且不超过20%，其中允许用不超过水泥质量8%且符合要求的非活性混合材料或不超过水泥质量5%且符合要求的窑灰代替。

普通硅酸盐水泥与硅酸盐水泥相比，熟料用量稍有减少，混合材料的用量略有增多，因此其性能与硅酸盐水泥基本接近。

按国家标准规定，普通硅酸盐水泥的强度等级分为42.5，42.5R，52.5，52.5R四个等级。各强度等级水泥的各龄期强度要求见表3-4。

表3-4 普通硅酸盐水泥各龄期的强度要求

强度等级	抗压强度 (MPa) \geq		抗折强度 (MPa) \geq	
	3 d	28 d	3 d	28 d
42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0

注：R——早强型。

普通硅酸盐水泥的技术要求，除不溶物和碱含量未加限定外，对于氧化镁含量、三氧化硫含量和安定性的规定，与硅酸盐水泥同。此外，烧失量、细度、凝结时间的指标见表3-6。



3.2.3 掺加混合料的硅酸盐水泥

1. 矿渣硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，均称为矿渣硅酸盐水泥(以下简称矿渣水泥)，代号 P·S。

水泥中粒化高炉矿渣掺加量按质量百分比计为大于 20%且不超过 70%，并分为 A 型和 B 型。A 型中矿渣掺加量大于 20%且不超过 50%，代号 P·S·A；B 型矿渣掺加量大于 50%且不超过 70%，代号 P·S·B。允许用石灰石、窑灰、粉煤灰和火山灰质混合材料中的一种材料代替矿渣，代替数量不得超过水泥质量的 8%，替代后水泥中粒化高炉矿渣不得少于 20%。

2. 火山灰质硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，均称为火山灰质硅酸盐水泥(以下简称火山灰水泥)，代号 P·P。水泥中火山灰质混合材料掺加量按质量百分比大于 20%且不超过 40%。

3. 粉煤灰硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，均称为粉煤灰硅酸盐水泥(以下简称粉煤灰水泥)，代号 P·F。水泥中粉煤灰掺加量按质量百分比为 20%~40%。

这三种水泥的组成物料与普通硅酸盐水泥比较，混合材料掺加量较多，且品种不同。因此在使用性能方面，矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥与普通水泥明显不同。

矿渣水泥、火山灰水泥及粉煤灰水泥的强度等级分为 32.5，32.5R，42.5，42.5R，52.5，52.5R 六个等级，各强度等级水泥的各龄期强度要求见表 3-5。

表 3-5 矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥各龄期的强度要求

强度等级	抗压强度 (MPa) \geq		抗折强度 (MPa) \geq	
	3 d	28 d	3 d	28 d
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5
42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

注：R——早强型。



矿渣水泥、火山灰质水泥、粉煤灰水泥的技术要求包括氧化镁含量、三氧化硫含量、细度、凝结时间、安定性、碱含量七项技术指标。

按照国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175 - 2007)规定：矿渣水泥、火山灰质水泥、粉煤灰水泥中氧化镁的含量不宜超过 6.0% (如果水泥以压蒸法测安定性实验合格，则熟料中氧化镁的含量允许放宽到 6.0%)。矿渣水泥中三氧化硫含量不得超过 4.0%。火山灰水泥、粉煤灰水泥及复合水泥中三氧化硫含量不得超过 3.5%，普通水泥的烧失量不得大于 5.0%，见表 3-6。

表 3-6 常用水泥的技术指标

项 目		水泥品种					
		P·I	P·II	P·O	P·S	P·P	P·F
细度	比表面积(m ² /kg)	≥300			—		
	80 μm 筛筛余(%)	—			≤10		
	45 μm 筛筛余(%)	—			≤30		
凝结时间	初凝时间(min)	≥45					
	终凝时间(min)	≤390			≤10		
安定性		用沸煮法检验必须合格					
氧化镁含量(%)		≤5.0			≤6.0	≤6.0	
三氧化硫含量(%)		≤3.5			≤4.0		≤3.5
不溶物(%)		≤0.75	≤1.5	—	—		
烧失量(%)		≤3.0	≤3.5	≤5.0	—		
氯离子(%)		0.06					
碱含量按 Na ₂ O+0.658K ₂ O 计算值表示(%)		要求低碱水泥时≤0.6 或协商			协商		

注：对于 P·S 水泥的“氧化镁含量≤6.0%”的指标仅适用于 P·S·A，不适用于 P·S·B。



3.2.4 几种通用水泥的主要特点及适用范围

1. 主要特点

其他几种通用水泥包括矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥，其特性与硅酸盐水泥有明显差别，这三种水泥的共同特性如下。

(1) 凝结硬化慢

这三种水泥的共同点是熟料的用量相对较少，混合材料用量相对较多。这种水泥的硬化首先是水泥熟料矿物与水反应生成水化硅酸钙、水化铝酸钙、水化铁酸钙和氢氧化钙。其中氢氧化钙和掺入水泥中的石膏作为混合材料的激发剂，与混合材料中的活性氧化硅、氧化铝进行二次水化反应生成水化硅酸钙、水化铝酸钙和水化硫铝酸钙等水化物。由于水化分两步进行，因此凝结硬化速度较慢。

(2) 早期强度低，后期强度增长较快

由于凝结硬化速度慢，所以早期(3 d、7 d)强度较低，但二次反应后生成的水化硅酸钙凝胶逐渐增多，因此后期强度发展较快，将赶上甚至超过硅酸盐水泥。

(3) 水化热低

由于这几种水泥中熟料的成分相对减少，水泥的水化放热较低，可用于大体积混凝土。

(4) 耐腐蚀性强

由于水泥熟料含量相对较少，水泥中的铝酸三钙和氢氧化钙含量较少，并且通过二次反应，耗用了较多的氢氧化钙，因此掺加混合材料的硅酸盐水泥抵抗软水及硫酸盐介质的侵蚀能力较强，可优先用于水下或有硫酸盐侵蚀的混凝土结构。

(5) 硬化时湿热敏感性较强

掺加混合材料的水泥虽然凝结硬化较慢，但在温度较高、湿度较大的情况下，其强度发展较快。

(6) 抗碳化、耐磨、抗冻等性能较差

此三种水泥水化产物中氢氧化钙含量少，碱度较低，其中尤以矿渣水泥最为明显。在配置钢筋混凝土时，低碱度使得碳化作用进行得较快且碳化深度也较大，当碳化深度达到钢筋表面时，就会导致钢筋的锈蚀，最后使混凝土产生裂缝。

由于此三种水泥中加入较多的混合材料，使水泥的需水量增加，水分蒸发后易形成毛细管通路或粗大孔隙，水泥石的孔隙率较大，导致抗冻性和耐磨性差。

以上是这几种掺加混合材料的硅酸盐水泥的共性。由于混合材料不同，因此每种水泥又有自己的特性。矿渣是一种耐热材料，故矿渣水泥具有较好的耐热性，可用于配制耐热混凝土。由于矿渣是较疏松的材料，亲水性差，因此矿渣水泥保水性差、泌水性大、干缩性大，容易在混凝土内部形成毛细通路，造成混凝土孔隙多，降低混凝土的密实性及均匀性，因此矿渣水泥干缩性大、抗裂性差，不宜用于有抗渗要求的混凝土。

火山灰水泥的特点是需水量大，因此干缩性更大，极易发生收缩裂缝，在混凝土养护不好，环境十分干燥的情况下，收缩尤为严重，所以该水泥抗裂性较差，不宜用于有抗裂要求的结构。即使用于普通混凝土，也应加强养护，使混凝土保持潮湿环境。但它泌水性小，具有较高的抗渗性，因此火山灰水泥宜用于有抗渗要求的工程。

粉煤灰水泥的混合材料是一种致密的球状物，与水化合反应时需水量低，同时它的水化热低，可有效地防止温度裂缝的产生，因此粉煤灰水泥干缩性小、抗裂性好，可优先用于有抗裂性要求的混凝土结构。

R型水泥即早强型水泥。其标志是在强度等级后面加“R”，此种水泥的3 d抗压及抗折强度比不带“R”的同强度等级的水泥要高。早强型水泥主要是通过调整水泥的细度达到的，水泥粉磨得越细，水泥强度越高，同时早期强度也越高。

虽然R型水泥的早期强度提高了，但随着水泥粉磨细度的提高，其水化速度大大加快，水化热也提高了，而且集中于早期，使混凝土极易产生裂缝，同时水泥的需水量也相应增加，使混凝土易出现收缩裂缝，这就是采用R型水泥的混凝土往往出现裂缝的主要原因。

此外，R型水泥也会加快混凝土的凝结速度。对于低强度的混凝土，水泥用量不大，上述问题不是很严重，而对于高强度混凝土，问题就严重得多。因此，在选择早强型水泥时，不能只顾及早强，还应全面考虑混凝土的其他性能要求。对于大体积混凝土，或薄壁长墙结构，应尽量不采用早强水泥，必须使用时，也应采取其他措施，防止混凝土开裂。通用水泥的技术特性见表3-7。



表 3-7 通用水泥的技术特性

品 种	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
主要特性	①凝结硬化快 ②早期强度高 ③水化热大 ④抗冻性好 ⑤干缩性小 ⑥耐蚀性差 ⑦耐热性差	①凝结硬化较快 ②早期强度较高 ③水化热较大 ④抗冻性较好 ⑤干缩性较小 ⑥耐蚀性较差 ⑦耐热性较差	①凝结硬化慢 ②早期强度低, 后期强度增长较快 ③水化热较低 ④抗冻性差 ⑤干缩性大 ⑥耐蚀性较好 ⑦耐热性好 ⑧泌水性大 ⑨抗碳化能力差	①凝结硬化慢 ②早期强度低, 后期强度增长较快 ③水化热较低 ④抗冻性差 ⑤干缩性大 ⑥耐蚀性较好 ⑦耐热性较好 ⑧抗渗性较好	①凝结硬化慢 ②早期强度低, 后期强度增长较快 ③水化热较低 ④抗冻性差 ⑤干缩性较小, 抗裂性较好 ⑥耐蚀性较好 ⑦耐热性较好

2. 适用范围

实际工程中, 根据水泥品种的主要特性, 确定各种水泥的适用范围。合理选用水泥品种, 对确保工程质量, 提高经济效益, 都能起到重要作用。各种水泥的使用范围见表 3-8。

表 3-8 常用水泥的使用范围

混凝土工程特点及所处环境条件		优先选用	可以选用	不宜选用
普通混凝土	1 在一般气候环境中的混凝土	普通水泥	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥	
	2 在干燥环境中的混凝土	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥
	3 在高湿度环境中或长期处于水中的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥		
	4 厚大体积的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥		硅酸盐水泥
有特殊要求的混凝土	1 要求快硬、高强(>C40)的混凝土	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥
	2 严寒地区的露天混凝土、寒冷地区处于水位升降范围内的混凝土	普通水泥	矿渣水泥(强度等级>32.5)	火山灰水泥、粉煤灰水泥
	3 严寒地区处于水位升降范围内的混凝土	普通水泥(强度等级>42.5)		矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥
	4 有抗渗要求的混凝土	普通水泥、火山灰水泥		
	5 有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥、普通水泥	矿渣水泥(强度等级>32.5)	火山灰水泥、粉煤灰水泥
	6 受侵蚀性介质作用的混凝土	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥		硅酸盐水泥



常见问题解析

大体积混凝土工程为什么采用低水化热水泥？在工程上如何解决水化热过高的不良影响？

解答：大体积混凝土工程采用低水化热水泥，是因为大体积混凝土浇筑后混凝土内部产生大量的热量，使混凝土内部高热、混凝土表面与室外接触面温差增大，混凝土外表面湿度低，这样就会使混凝土表面开裂。为防止混凝土表面开裂，对于大体积混凝土施工，混凝土浇筑后表面与混凝土内部温度的温差控制不超过 25°C ，这样就能防止混凝土表面开裂问题。

防止大体积混凝土开裂措施如下：

- ① 混凝土使用低水化热水泥，如矿渣水泥、火山灰水泥等。
- ② 在混凝土结构中布设冷却水管，终凝后通水降温。
- ③ 一次性连续浇筑完成，掺入质量符合要求的速凝剂。
- ④ 降低混凝土入模温度，控制混凝土内外温差小于 25°C 。
- ⑤ 采取保温与降温措施，及时对混凝土覆盖保温、保湿材料等。

3.3 其他品种水泥

前面讲述的几种水泥，按其水硬性物质品种而论，均属硅酸盐系的水泥。这里再介绍几种除以上几种，以其他水硬性为主要成分的水泥，或某种性能比较突出的特性水泥。



3.3.1 铝酸盐水泥

1. 铝酸盐水泥概述

铝酸盐水泥旧称矾土水泥、高铝水泥，是以铝矾土和石灰石为原料，经高温煅烧得到以铝酸钙为主要成分的熟料，经磨细而成的水硬性胶凝材料，属于铝酸盐系列的水泥。

铝酸盐水泥的主要矿物成分包括铝酸一钙及其他的铝酸盐，以及少量的硅酸二钙等。

铝酸盐水泥以 3 d 强度划分强度等级。除保证强度、细度、初凝时间、终凝时间等技术指标外，对其化学成分，需限定氧化硅和氧化铁的含量。

2. 铝酸盐水泥的主要特性和应用

① 快凝早强。与水反应生成水化铝酸钙和氢氧化钙凝胶，凝结硬化十分迅速，1 d 强度可达最高强度的 80% 以上，致使水泥石密实并具有高强，后期强度增长不显著。因此，铝酸盐水泥适用于抢建、抢修和冬期施工等特殊需要工程。



②水化放热大。与一般高强度硅酸盐水泥大致相同，但其放热速度特别快，且放热量集中，1 d内即可放出水化热总量的70%~80%。因此铝酸盐水泥不能应用于大体积混凝土工程。

③具有较高的抗矿物水和硫酸盐的侵蚀能力。

④铝酸盐水泥抗碱性极差，不得用于接触碱性溶液的工程。

⑤具有较高的耐火性。当采用耐火粗细骨料时，可制成使用温度达1 300~1 400℃的耐热混凝土，且强度能够保持53%。因此铝酸盐水泥适用于高温车间。

⑥长期强度。铝酸盐水泥长期强度及其他性能略有降低的趋势。铝酸盐水泥不能用于长期承重的结构及处于高温、高湿环境的工程中。

还应注意，铝酸盐水泥制品的养护方式不得使用蒸汽养护；铝酸盐水泥不得与硅酸盐水泥或石灰相混，以免引起水泥的闪凝和强度下降；铝酸盐水泥也不得与尚未硬化的硅酸盐水泥接触使用。



3.3.2 快硬硅酸盐水泥

1. 定义

凡以硅酸盐水泥熟料和适量石膏磨细制成的，以3 d抗压强度表示标号的水硬性胶凝材料，称为快硬硅酸盐水泥。

2. 技术标准

快硬硅酸盐水泥的细度要求为80 μm方孔筛筛余量不得超过10.0%，初凝时间不得早于45 min，终凝时间不得迟于10 h，安定性必须合格。快硬硅酸盐水泥强度等级分为32.5，37.5，42.5三个等级，各强度等级的快硬硅酸盐水泥在对应龄期的强度等级要求见表3-9。

表3-9 快硬硅酸盐水泥强度等级要求

强度等级	抗压强度 (MPa) ≥			抗折强度 (MPa) ≥		
	1 d	3 d	28 d	1 d	3 d	28 d
32.5	15.0	32.5	52.5	3.5	5.0	7.2
37.5	17.0	37.5	57.5	4.0	6.0	7.6
42.5	19.0	42.5	62.5	4.5	6.4	8.0

3. 特性与应用

快硬硅酸盐水泥可用于配置早强、高标号混凝土，适用于紧急抢修工程、低温施工工程和高标号混凝土预制件等。

快硬硅酸盐水泥凝结时间正常，而且终凝和初凝之间的时间间隔很短，早期强度发展很快，后期强度持续增长。用快硬硅酸盐水泥可配置高早强混凝土。该水泥还适用于制作蒸养条件下的混凝土制品，快硬硅酸盐水泥的其他性能，如干缩、与钢筋黏结等与硅酸盐水泥相似。与使用普通水泥相比，可加快施工进度，加快模板周转，提高工程和制品质量，具有较好的技术经济效益和社会效益。因水化放热比

较集中，不宜用于大体积混凝土工程。



3.3.3 白色硅酸盐水泥及彩色硅酸盐水泥

1. 白色硅酸盐水泥

白色硅酸盐水泥简称白水泥，代号 P·W，是由白色硅酸盐水泥熟料加入适量的石膏，磨细制成的水硬性胶凝材料。白水泥熟料中氧化铁的含量少，因而色白。水泥的颜色与含铁量有关，含铁量越高，水泥的颜色越深。严防在生产过程中混入铁质，也必须控制锰、铬等的含量，因为锰、铬的氧化物也会导致水泥白度的降低。

白水泥的性能与硅酸盐水泥基本相同。根据国家标准《白色硅酸盐水泥》(GB/T 2015-2005)的规定，白水泥分为 32.5，42.5，52.5 三个强度等级，各强度等级水泥在不同龄期的强度不得低于表 3-10 规定的数值。

表 3-10 白水泥强度等级要求

强度等级	抗压强度 (MPa) \geq			抗折强度 (MPa) \geq		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
32.5	12.0	20.5	32.5	3.0	3.5	6.0
42.5	17.0	26.5	42.5	3.5	4.5	6.5
52.5	22.0	33.5	52.5	4.0	5.5	7.0

白水泥以其表面对红、绿、蓝三原色光的反射率与氧化镁标准白板的反射率比较，用相对反射百分率表示，称为白度。白度是白水泥的一项重要的技术性能指标，是衡量白水泥质量高低的关键指标，要求不低于 87。白水泥的白度可分为特级、一级、二级和三级四个等级。

白水泥的细度要求为 80 μm 方孔筛筛余量不超过 10%；其初凝时间不得早于 45 min，终凝时间不迟于 10 h；体积安定性用沸煮法检验必须合格，同时熟料中氧化镁的含量不得超过 4.5%，白水泥中三氧化硫含量不得超过 3.5%。

2. 彩色硅酸盐水泥

彩色硅酸盐水泥根据其着色方法不同，有三种生产方式：一是直接烧成法；二是染色法；三是将干燥状态的着色物质直接掺入白水泥或硅酸盐水泥中。当工程中使用彩色水泥量较少时，常使用第三种方法。

彩色硅酸盐水泥有红色、黄色、蓝色、绿色、棕色、黑色等。根据标准《彩色硅酸盐水泥》(JC/T 870-2012)的规定，彩色硅酸盐水泥强度等级分为 27.5，32.5，42.5 三个强度等级。各级彩色硅酸盐水泥在不同龄期的强度不得低于表 3-11 的规定。



表 3-11 彩色硅酸盐水泥的强度等级要求

强度等级	抗压强度 (MPa) \geq		抗折强度 (MPa) \geq	
	3 d	28 d	3 d	28 d
27.5	7.5	27.5	2.0	5.5
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5

彩色硅酸盐水泥的细度要求为 $80\ \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不得超过 6.0% ；其初凝时间不得早于 $1\ \text{h}$ ，终凝时间不迟于 $10\ \text{h}$ ；体积安定性用沸煮法检验必须合格，水泥中三氧化硫含量不得超过 4.0% 。

根据 JC/T 870-2012 的规定，凡三氧化硫、细度、凝结时间、安定性、强度、颜色耐久性任意一项不符合本标准规定，均为不合格品。

白色硅酸盐水泥和彩色硅酸盐水泥主要应用于建筑装饰工程中，常用于配制各类彩色水泥浆、水泥砂浆，用于饰面或陶瓷铺贴的勾缝，配制装饰混凝土、彩色水刷石、人造大理石及水磨石等制品，并以其特有的色彩装饰性，用于雕塑艺术和各种装饰部件。



3.3.4 膨胀水泥

膨胀水泥在水化过程中能产生体积膨胀，在硬化过程中不仅不收缩，而且有不同程度的膨胀。使用膨胀水泥能克服和改善普通水泥混凝土的一些缺点，能提高混凝土构件的密实性和混凝土的整体性。

膨胀水泥按主要成分分类有硅酸盐型、铝酸盐型、硫铝酸盐型和铁铝酸盐型。其膨胀机理都是水泥石中所形成钙矾石的膨胀。其中硅酸盐型膨胀水泥凝结硬化较慢；铝酸盐型膨胀水泥凝结硬化较快。



3.3.5 砌筑水泥

砌筑水泥是由一种或一种以上活性混合材料或具有水硬性的工业废料为主要原料，加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏，经磨细制成的水硬性胶凝材料，代号 M。这种水泥的强度较低，不能用于钢筋混凝土或结构混凝土，主要用于工业与民用建筑的砌筑和抹面砂浆、垫层混凝土等。

根据国家标准《砌筑水泥》(GB/T 3183-2003)规定，砌筑水泥分为 12.5，17.5 及 22.5 三个强度等级，其中 7 d 抗压强度分别不低于 $7.0\ \text{MPa}$ 及 $10.0\ \text{MPa}$ ，28 d 抗压强度分别不低于 $12.5\ \text{MPa}$ 及 $22.5\ \text{MPa}$ 。



3.3.6 道路硅酸盐水泥

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和较多量的铁铝酸钙的硅酸盐水泥熟料称为道路硅酸盐水泥熟料。由道路硅酸盐水泥熟料， $0\sim 10\%$ 活性混合材料和适量石膏磨细制成的水硬

性胶凝材料，称为道路硅酸盐水泥（简称道路水泥）。

道路硅酸盐水泥的技术要求如下：

道路硅酸盐水泥的细度应满足 $80\ \mu\text{m}$ 筛筛余量不得超过 10%；初凝时间不得早于 1 h，终凝时间不得迟于 10 h；用沸煮法检验必须合格；强度符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB 17671 - 1999）中规定。

道路水泥中氧化镁含量不得超过 5.0%；28 d 干缩率不得大于 0.10%；耐磨性以磨损量表示，不得大于 $3.60\ \text{kg}/\text{m}^2$ ；三氧化硫含量不得超过 3.5%；烧失量不得大于 3.0%；游离氧化钙，旋窑生产不得大于 1.0%，立窑生产不得大于 1.8%；碱含量由供需双方商定；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%。



常见问题解析

膨胀水泥适用于哪类工程中？

解答：膨胀水泥由于在硬化过程中其自身体积进行膨胀，因此能形成较密实的水泥石结构，故水泥石具有良好的抗渗性能。在道桥工程中，膨胀水泥常用于水泥混凝土路面、机场路面或桥梁修补工程。此外，还可在越江隧道或山区隧道工程中用于配置防水混凝土、自应力混凝土，也可用于浇筑装配式构件的接头或建筑物之间的连接处以及填塞孔洞、修补缝隙等工程中。

3.4 水泥的选用、验收、储存及保管

水泥在工程建设中发挥着巨大的作用，是建筑材料中重要的材料之一。正确合理选择水泥，并妥善保管尤为重要，是保证工程质量的重要措施。



3.4.1 水泥的选用

水泥的选用包括品种和强度等级两方面，水泥的强度等级应与混凝土或砂浆的配制强度相适应，而且还需考虑水泥品种。

1. 按工程特点选择

冬期施工或有早期强度要求的工程应优先选择硅酸盐水泥；对大体积混凝土，应优先选择低水化热水泥；对有耐热要求的工程应优先选择耐热性高的水泥；抢修工程、军事工程应优先选择快硬性水泥。

2. 按环境条件选择

环境条件是指工程所处的温度、湿度及周围所存在的腐蚀性介质等外部条件，如寒冷地区露天混凝土应优先选择抗冻性好的混凝土，如环境具有腐蚀性介质，应优先选择掺加混合料的水泥。



3.4.2 水泥的编号与取样

通用水泥出厂前，会按同强度等级、同品种进行编号和取样。水泥出厂编号应按厂家年生产能力规定：小于 100 000 t 的，不超过 200 t 为一编号；大于 100 000 t 小于 300 000 t 的，不超过 400 t 为一编号；大于 300 000 t 小于 600 000 t 的，不超过 600 t 为一编号；大于 600 000 t 小于 1200 000 t 的，不超过 1 000 t 为一编号；1200 000 t 以上的，不超过 1 200 t 为一编号。

水泥的取样若未具有代表性，既可连续取样，也可从不同的部位取样，总质量至少 12 kg。



3.4.3 水泥的验收内容

1. 核对包装及标志是否相符

水泥的包装及标志必须符合标准规定。通用水泥一般为袋装，也可以散装。袋装水泥规定净重 50 kg，且不得少于标志质量的 98%；随机抽取 20 袋，水泥总质量不得少于 1 000 kg。水泥包装袋应符合标准规定，袋上应清楚标明产品名称，代号，净含量，强度等级，生产许可证编号，生产者名称和地址，出厂编号，执行标准号，包装年、月、日。掺火山灰混合材料的普通水泥或矿渣水泥，还应标上“掺火山灰”字样；复合水泥应标明主要混合材料名称。包装袋两侧应印有水泥名称和强度等级，硅酸盐水泥和普通水泥的印刷采用红色，矿渣水泥采用绿色，火山灰水泥、粉煤灰水泥及复合水泥采用黑色或蓝色。散装供应的水泥应提交与袋装标志相同内容的卡片。

通过对水泥包装和标志的核对，不仅可以发现包装的完好程度，盘点和检验数量是否给足，还能核对所购水泥与到货产品是否完全一致，及时发现和纠正可能出现的产品混杂现象。

2. 校对出厂检验的实验报告

水泥出厂前，水泥厂按批号进行出厂检验，填写实验报告。实验报告应包括标准规定的各项技术要求及实验结果、助磨剂、工业副产品石膏、混合材料名称和掺加量、属旋窑或立窑生产。当用户需要时，水泥厂应在水泥发出日起 7 d 内，寄发除 28 d 强度以外的各项实验结果。28 d 强度数值应在水泥发出日起 32 d 内补报。

施工部门购进的水泥，必须取得同一编号水泥的出厂检验报告，并认真校核。要校对实验报告的编号与实收水泥的编号是否一致，实验项目是否遗漏，实验测值是否达标。

水泥出厂检验的实验报告，不仅是验收水泥的技术保证依据，也是施工单位长期保留的技术资料，直至工程验收时作为用料的技术凭证。



常见问题解析

某刚出厂的水泥做安定性实验不合格，该水泥放置一段时间后再对安定性进行检验，实验结果合格，请问为什么？

解答：安定性不合格的水泥中，有些是因为水泥在磨制后的存储时间太短，残存的游离氧化钙未完全水化消解，如果存放一段时间后，那么游离氧化钙会吸收空气中的水分消解，使其含量减少，安定性有可能变为合格了。由于这一原因，实验室收到水泥试样后通常放入标准间存放一周后再检测水泥安定性指标，以免发生误判。



知识拓展

水泥的常规检验

水泥交货时，标准规定了两种质量验收依据，第一种是抽取实物试样，以其检验结果为依据；第二种是以水泥厂同编号水泥的检验报告为依据。具体采用哪种，由买卖双方商定，同时在合同协议中加以注明。当合同规定以抽样实物试样的检验结果为验收依据时，买卖双方应在交货前或在交货地共同进行取样并签封。取样方法按 GB 175 - 2007 规定进行，即取样数量为 20 kg，缩分为二等份。其中一份由卖方保存 40 d，一份由买方按国家标准规定的项目和方法进行检验。在保存期 40 d 内，如果买方检验认为产品质量不符合标准要求，且卖方有异议时，双方应将卖方保存的另一试样送至省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。

施工单位购进水泥后，应进行复检，特别是重点工程所使用的水泥，对水泥质量有疑义，保管不当或水泥出厂超过三个月的，在使用前必须进行复检。

复检应在经认证的实验室进行，水泥复检项目可以全项，也可以抽重点项目检验。通常情况下，复检项目只做安定性、凝结时间和胶砂强度三项必试项目。复检的实验报告是需长期保留的技术资料，直至工程验收时作为技术凭证。

思考与练习

一、填空题

1. 硅酸盐水泥的生产工艺分为_____、_____、_____三个阶段。
2. 根据《通用硅酸盐水泥》(GB175 - 2007)中规定，硅酸盐水泥的主要技术性质包括_____、_____、_____、_____和_____，其中_____和_____为选择性指标。
3. 水泥腐蚀的类型包括_____、_____、_____、_____四种。
4. 水泥试样的安定性检测包括_____、_____两种，当两者发生矛盾时，应以_____为准。
5. 普通硅酸盐水泥的强度等级分为_____、_____、_____、_____四个等级。

二、单选题

1. 下列选项中，属于水硬性胶凝材料的是()。
A. 硅酸盐水泥 B. 水玻璃 C. 石膏 D. 石灰



2. ()适用于大体积混凝土。
- A. 火山灰质硅酸盐水泥 B. 普通硅酸盐水泥
C. 高铝水泥 D. 硅酸盐水泥
3. 国家标准规定, 硅酸盐水泥的强度等级是以水泥胶砂试件在()龄期的强度进行评定的。
- A. 3 d 和 28 d B. 7 d 和 28 d
C. 3 d、7 d 和 28 d D. 28 d
4. 国家标准规定, 硅酸盐水泥的细度用()来表示。
- A. 水泥颗粒粒径 B. 细度模数
C. 筛余百分率 D. 比表面积
5. 采用 80 μm 方孔筛检测水泥细度时, 筛余百分率不得超过()。
- A. 5% B. 10% C. 15% D. 20%
6. 有一水泥试样, 用雷氏法测定安定性时, 测得数据见下表, 经计算判断该水泥试样的安定性()。

编 号	A	C	C-A
1	11.2	14.5	3.3
2	10.9	14.6	3.7

- A. 不合格 B. 合格
C. 应立即重做 D. 应立即用试饼法重做, 以试饼法为准
7. 引起水泥安定性不良的原因是()。
- A. 未掺石膏 B. 石膏掺量过多
C. 存在游离氧化钙 D. 存在游离氧化镁
8. 水泥性试样制作试饼时, 表面光滑的试饼直径约为()。
- A. 10 cm B. 70~80 mm C. 70 mm D. 10 mm
9. 水泥胶砂强度实验中, 试件制作时, 水胶比为()。
- A. 0.4 B. 0.45 C. 0.5 D. 0.55
10. 水泥标准稠度用水量检测时, 水泥试样质量为()。
- A. 350 g B. 400 g C. 450 g D. 500 g
11. 硅酸盐水泥熟料由 4 种矿物组成, 其中对早期强度贡献最大的是()。
- A. C_3S B. C_2S C. C_3A D. C_4AF
12. 测定水泥标准稠度用水量时, 水泥净浆搅拌总时间为()。
- A. 300 s B. 240 s C. 180 s D. 120 s
13. 对高温车间工程施工, 各试块强度数值与平均值之差, 不应超过()。
- A. $\pm 5\%$ B. $\pm 10\%$ C. $\pm 15\%$ D. $\pm 20\%$
14. 华北地区, 夏季施工大型筏板基础, 选用 P·I 型水泥, 结果是()。
- A. 混凝土强度明显提高 B. 混凝土耐久性明显提高
C. 混凝土大面积开裂 D. 无影响

