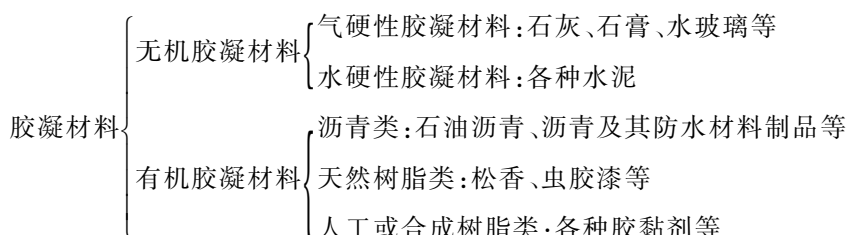


## 无机胶凝材料

建筑工程中能将砂、石子、砖、石块、砌块等散状或块状材料黏结为一个整体的材料统称为胶凝材料。胶凝材料品种繁多,一般分类如下:



在无机胶凝材料中:

气硬性胶凝材料是指只能在空气中硬化,并在空气中保持或发展其强度的胶凝材料。这种胶凝材料主要用于干燥的环境,并且对强度要求不高的建筑物。

水硬性胶凝材料是指既能在空气中硬化,又能很好地在空气中硬化,并保持或发展其强度的胶凝材料。这种胶凝材料主要用于各种环境下对强度要求较高的建筑物。

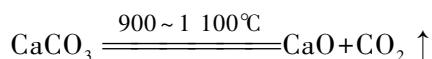
### 3.1 气硬性胶凝材料

#### 一、建筑石灰

建筑石灰有生石灰(块灰)、石灰膏、消石灰粉和生石灰粉四种,它是气硬性胶凝材料。

##### 1. 建筑石灰的生产

建筑石灰的生产是将石灰岩或其他原料(如大理石块、贝壳等)在高温下煅烧分解为生石灰与  $\text{CO}_2$ ,其反应式如下:



在煅烧过程中,除了生产出合格的生石灰以外,还可能有不熟化的欠火石灰和熟化过缓的过火石灰。

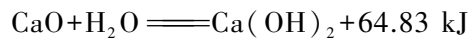
欠火石灰实质上是未分解的石灰石,它在煅烧后使用前可用过筛除去,对施工质量影响不大。

过火石灰是因煅烧温度过高而造成的。它的主要特点是熟化速度比合格生石灰要慢得多。未熟化好的细小颗粒在石灰施工后才开始熟化,并产生体积膨胀,致使已硬化的砂浆产生“崩裂”或“鼓泡”现象,严重影响工程质量。

煅烧出来的生石灰呈块状,故又称为块灰,块灰经过研磨包装后成为生石灰粉。

## 2. 建筑石灰的熟化

生石灰(块灰)不能直接应用于工程,必须进行熟化,即生石灰加水在常温下生成熟石灰,其反应式如下:



在熟化过程中会产生以下现象:① 迅速熟化;② 体积膨胀 1.5~3 倍;③ 放出大量热量。

石灰熟化成石灰膏时,为使过火石灰充分熟化,要保证足够的熟化时间。制备抹灰用石灰膏时,生石灰熟化时间不得少于 15 d,磨细生石灰粉熟化时间不得少于 3 d;制备砌筑用石灰膏时,生石灰熟化时间不得少于 7 d,磨细生石灰粉熟化时间不得少于 2 d。

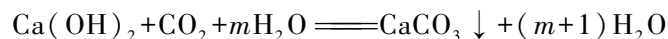
将生石块淋以适当水,使之充分熟化成粉状,再过筛后制得干粉,即为熟石灰粉(又称为消石灰粉)。

## 3. 建筑石灰的硬化

石灰浆体在空气中逐渐硬化,是经过干燥硬化和碳化硬化两个过程同时完成的。

干燥硬化是指石灰浆体在干燥过程中,因水分蒸发, $\text{Ca}(\text{OH})_2$  逐渐从饱和溶液中结晶析出。

碳化硬化是指  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  与潮湿空气中的  $\text{CO}_2$  化合生成  $\text{CaCO}_3$  结晶,并放出水分,简称为碳化,即



碳化硬化实际是  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$  形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ (碳酸),然后与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应生成  $\text{CaCO}_3$  结晶。所以碳化硬化不能在全干状态下进行。而且,碳化硬化在长时间内只限于表面, $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的结晶则主要在内部发生。所以石灰浆体硬化后,是由  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  两种不同的结晶组成的。由于空气中  $\text{CO}_2$  的含量过于稀薄,故碳化反应进行得很慢。此外,表面的石灰一旦碳化,所生成的  $\text{CaCO}_3$  形成坚硬外壳,又阻碍了  $\text{CO}_2$  的进入,而且内部水分不易析出,致使结晶无法较快进行。同时石灰硬化过程收缩大、易裂,所以石灰硬化后的制品强度不高。纯石灰浆不能单独使用,必须掺入填充材料。例如:掺入普通砂配成石灰砂浆使用;加入纤维材料,制成石灰麻刀灰、石灰纸筋灰等。

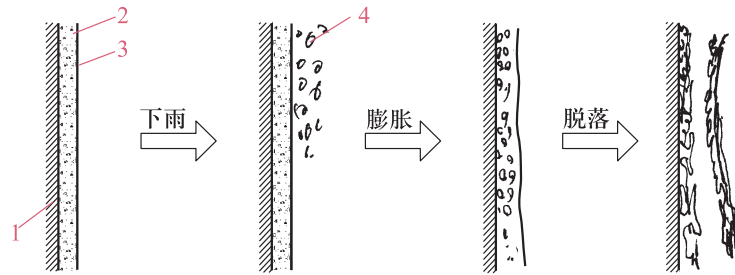
## 4. 建筑石灰的特性

(1) 可塑性和保水性好。熟石灰中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  颗粒极细,它与水拌合后,其表面吸附一层较厚的水膜。由于颗粒数量多,总表面积大,可吸附大量的水,保持水分不泌出(即保水性好)。

(2) 硬化速度慢,强度低。

(3) 纯石灰浆干燥收缩大,除调成石灰乳涂料作薄层涂刷墙面外,不宜单独使用。

(4) 耐水性差。未硬化的石灰浆体处于潮湿环境中,由于石灰中的水分不能蒸发,硬化停止;已硬化的石灰,由于  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  遇水溶于水后体积膨胀,石灰制品如墙面抹面易脱落,故耐水性差(图 3-1),所以石灰砂浆不能用作外墙抹灰的材料。



1—墙体;2—砂浆内  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  结晶;3—砂浆  $\text{CaCO}_3$  外壳;4—雨滴。

图 3-1 外墙石灰砂浆不耐水的原因

(5) 装饰效果差。石灰制备容易,价格低廉,但易掉粉发黄,所以在墙面粉刷中已很少使用,而被涂料、壁纸等新型装饰材料代替。

### 5. 建筑石灰的应用

(1) 制造硅酸盐制品,如灰砂砖(图 3-2)、硅酸盐砌块(图 3-3)、粉煤灰砌块(图 3-4)等。



图 3-2 灰砂砖



图 3-3 硅酸盐砌块墙体



图 3-4 粉煤灰砌块

(2) 用于内墙面粉刷,如配制石灰砂浆、麻刀灰(图 3-5b)、纸筋灰(图 3-6b)等。



图 3-5 麻刀、麻刀灰

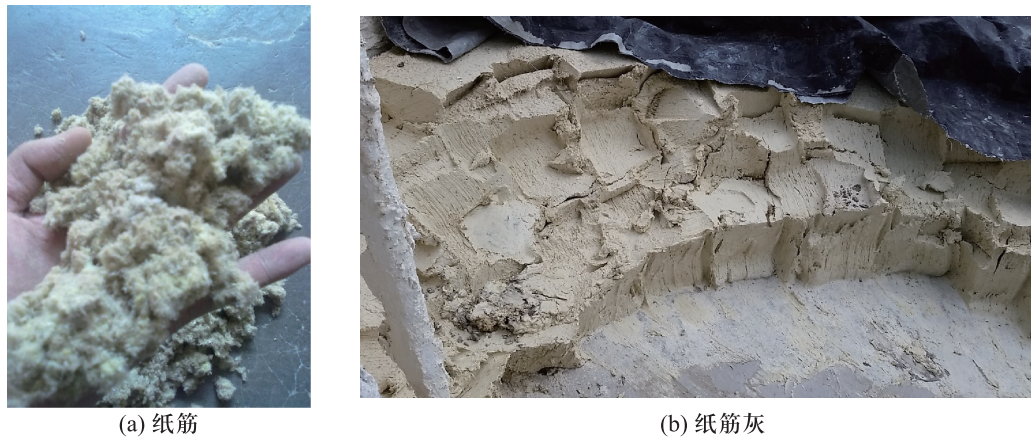


图 3-6 纸筋、纸筋灰

(3) 石灰和砂、碎砖(水泥)一起可配制碎石、三合土(四合土),或把石灰掺入土中形成石灰稳定土,用于基础垫层。

(4) 现场熟化成石灰膏,用于配制墙体砌筑砂浆和抹灰砂浆。

(5) 在建材厂生产消石灰粉(熟石灰粉)。由于消石灰粉熟化不充分,在砌筑和抹灰中不得直接使用。

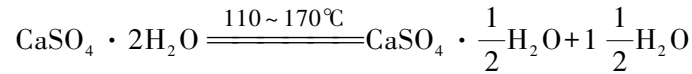
## 二、建筑石膏

石膏是以硫酸钙为主要成分的气硬性胶凝材料。由于石膏本身的特性和施工时创造的优势,使石膏制品具有轻质、高强、隔热、耐火、吸声、美观及容易加工的优良性能。因此,在装饰工程中使用的品种和数量日益增多。

### 1. 建筑用石膏的品种和生产

建筑上用的石膏有建筑石膏、模型石膏、高强石膏、粉刷石膏等,常用的是建筑石膏。

建筑石膏主要是由天然石膏矿(主要成分为  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 又称生石膏)经过煅烧、磨细而制成的。其反应式如下:



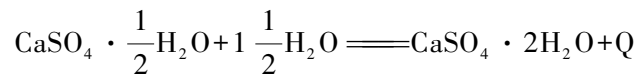
石膏矿主要成分

半水石膏(熟石膏)

### 2. 建筑石膏的水化和凝结硬化

建筑石膏在其使用过程中按一定的比例加水调成浆,通过物理化学变化过程,最后形成有一定特性和强度的石膏制品。建筑石膏的水化、凝结硬化过程如下:

(1) 半水石膏加水后产生以下化学反应:



生石膏

(2) 伴随化学反应的同时也产生物理变化,即石膏溶于水后继续溶解(水化)、胶化、结晶(图 3-7)。

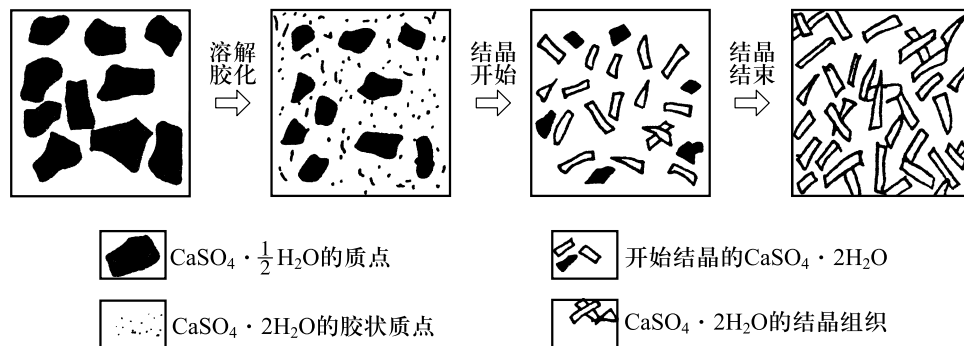


图 3-7 建筑石膏硬化示意图

首先,半水石膏(即熟石膏)溶于水后,很快形成了熟石膏的饱和溶液,其溶解度为  $8.12 \text{ g/L}$ 。同时,熟石膏与水进行化学反应生成了生石膏,生石膏的溶解度变小,仅为  $2.05 \text{ g/L}$ ,因此,很快形成生石膏的过饱和溶液。于是,在同一溶液中,既有熟石膏的饱和溶液,又有生石膏的过饱和溶液。

在水化反应的作用下,溶液中,一方面有熟石膏的溶解和生石膏的生成,另一方面还有生石膏的结晶析出。如此循环,最后使熟石膏完全溶解,完成生石膏结晶,多余水分由于水化反应放出的大量热而很快蒸发。整个过程可在  $7 \sim 12 \text{ min}$  内完成,形成具有一定强度的人造石。

### 3. 建筑石膏的特性

(1) 着色性好 建筑石膏是白色微红的粉末,可加入其他颜料形成颜色鲜艳的装饰材料。

(2) 孔隙率大 孔隙率可达 50%~60%。石膏的理论需水量为 18.6%。在施工过程中,为使石膏浆具有必要的流动性,通常加水 60%~80%。硬化后,由于多余水分的蒸发,内部具有很大的孔隙率,是轻质多孔材料。

(3) 凝结硬化快 初凝时间为 3~5 min,终凝时间 $\leq$ 30 min。大批量使用石膏时可加入缓凝剂,缓凝剂中有硼砂(硼砂:水=1:40)、动物胶(加水质量的 0.1%~0.2%)、亚硫酸盐酒精废液(1%)等。

(4) 硬化过程中有微膨胀性 体积膨胀率约 1%,故石膏浆可以单独使用,并可以利用模具塑造出形体饱满密实、表面光滑细腻的造型。

(5) 耐火性强 石膏制品的主要成分是  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,当遭到火灾时,结晶水脱出,形成水蒸气幕,阻止火势的蔓延。脱水后的  $\text{CaSO}_4$  是热的绝缘体。在装饰工程中,提倡利用具有防火作用的石膏制品。

(6) 耐水性、抗冻性差 石膏制品孔隙率大、吸水率高、软化系数小,是不耐水且抗冻性差的材料。

#### 4. 建筑石膏装饰制品的种类

##### (1) 纸面石膏板

纸面石膏板是以半水石膏和护面纸为主要原料,掺加适量纤维、胶黏剂以及其他助剂,经料浆配制、成形、切割、烘干而成的轻质薄板,它分为普通纸面石膏板、纸面装饰石膏板和特种纸面石膏板三类。纸面石膏板在装饰设计中,主要用于吊顶、内墙贴面、吸音板。

① 普通纸面石膏板 普通纸面石膏板以石膏为芯材,与护面纸黏合而成。护面纸起抗拉和加固作用,它与石膏黏结牢固后,使板材产生一定的刚度,便于运输。普通纸面石膏板的护面纸是毛坯纸,表面可以粉刷涂料及贴墙纸、薄木面板或其他覆盖材料。规格一般为长 2 400 mm、2 600 mm、2 800 mm、3 000 mm、3 500 mm、4 000 mm,宽 900 mm、1 200 mm,厚 9(9.5)mm、12.15 mm。普通纸面石膏板的棱边有短形棱边、楔形棱边、圆角棱边、45°倒角棱边等。

普通纸面石膏板的主要技术性能如下:

a. 质量轻、强度高 厚度为 12.15 mm 的普通纸面石膏板的质量 $\leq$ 12 kg/m<sup>2</sup>。双层石膏板加龙骨组成的复合墙的质量 $\leq$ 30 kg/m<sup>2</sup>,比烧结普通砖墙轻 1/5,其抗折强度可达 6~10 MPa。而烧结普通砖抗折强度为 MU20 级时要求平均值不小于 3.9 MPa。

b. 收缩小 由于有护面纸的拉固作用,在干湿交替环境作用下,其收缩变形值小,可满足建筑结构使用要求。

c. 隔热性能好 石膏板生产过程中加入一定量的发泡剂,使芯材内形成均匀的小气孔,板材的表观密度为 0.8~0.9 g/cm<sup>3</sup>,热导率为 0.19~0.209 W/(m·K)。因此具有良好的隔热性能。

- d. 孔隙率大,可调节室内湿度。
- e. 防火性能和隔声性能好。
- f. 可加工性好 可刨、锯、切、钉,施工简便,布置灵活,是一种理想的室内装饰材料。

普通纸面石膏板不能长期用于相对湿度 $>70\%$ 的场合。在这种条件下使用,应对石膏板表面进行防水处理或选用防水纸面石膏板。

② 纸面装饰石膏板 在纸面石膏板的表面加工出圆孔、长孔、毛毛虫等花纹图案,或喷涂各种花色,或粘贴装饰墙纸的石膏板。

③ 特种纸面石膏板 有防火纸面石膏板和防水纸面石膏板等。

## (2) 石膏装饰板

石膏装饰板是以建筑石膏为基料,掺入适量纤维增强材料、胶黏剂、改性剂等,与水一同搅拌均匀料浆,浇筑成形干燥后制成的。目前除普通石膏装饰板以外,还发展了防潮石膏装饰板、嵌装式石膏装饰板、吸声石膏装饰板和复合型石膏装饰板等。

① 普通石膏装饰板(图 3-8 和图 3-9) 其产品有平板、孔板。形状为小块正方形,规格尺寸一般有  $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}\times 9\text{ mm}$ 、 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}\times 9\text{ mm}$ 、 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}\times 12\text{ mm}$  等。普通石膏装饰板适用于民用建筑的室内吊顶封面板和墙面装饰。



图 3-8 普通石膏装饰板(一)

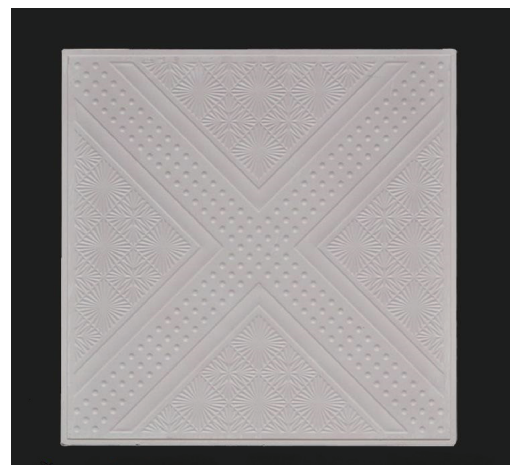


图 3-9 普通石膏装饰板(二)

② 防潮石膏装饰板 它是在普通石膏装饰板的料浆配比中加入乳化沥青、石蜡乳液、松香-石蜡乳液和有机硅乳液等石膏防水剂,减少板的吸水率和受潮挠度值,从而提高石膏装饰板的防潮性能而制成的。防潮石膏装饰板广泛应用于厂房、商业大楼办公室及住宅的分隔、天花板和贴面装饰等。

③ 嵌装式石膏装饰板 这种石膏板是周边带有企口的厚棱装饰石膏板。在采用 T 形暗装吊顶龙骨时,不但可使吊装龙骨不外露,而且大大加强了板材装饰图案的整体性,增强了装饰效果。

④ 吸声石膏装饰板 它是在普通石膏装饰板的平板上钻穿透孔,或直接浇筑成带穿透孔的板,再粘贴或不粘贴衬垫材料而制成的。这类板材被认为是目前国内使用的良好的吸声降噪、防火、保温、装饰美观的多功能新型吸声装饰材料。

⑤ 复合型石膏装饰板 它是以石膏板为基材,和其他材料复合而制成的石膏装饰板。例如,高强石膏板是石膏板与自熄型聚苯乙烯泡沫塑料板复合制成的复合型石膏装饰板。又如,在石膏板基材表面上,用以不饱和聚酯树脂为主的材料做成大理石花纹的人造大理石石膏装饰板等。

### (3) 粉刷石膏粉

粉刷石膏粉是二水硫酸钙或无水硫酸钙经适当工艺处理得到粉状生成物 $(\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O})$ ,再配以适量外加剂而制成的抹灰用胶黏材料。它可代替传统的水泥砂浆和石灰砂浆,主要用于各种建筑物室内抹灰。用粉刷石膏粉装修的墙面,具有无粉尘、无裂缝、光洁度高、防火、隔声、绝热、可调节室内湿度等特点,适用于高中低档宾馆、饭店、办公楼、影剧院、医院、学校等建筑的基底抹灰装饰。

### (4) 深浅浮雕石膏装饰件

深浅浮雕石膏装饰件是选用优质石膏为主要原料,以玻璃纤维为增强材料,加入胶黏剂和其他添加剂,经精心加工而制成的。它的品种繁多,有石膏装饰线、灯圈浮雕图饰、圆柱、方柱、角花等;也可按用户要求加工,专门定制。

石膏装饰线(图 3-10)以石膏为主要原料,加入骨胶、麻丝、纸筋等纤维增强材料,增强石膏的强度。其上的雕花凹凸可在 10 mm 以上,花纹制造很精细。石膏装饰线具有防火、阻燃、防潮、质轻、强度高、不变形、施工方便、可加工性和装饰效果好等特点,用于室内墙体构造角线、柱体的装饰。

深浅浮雕石膏装饰件适用于具有古典型、现代型、未来型、东方型、西方型等各种装饰效果的建筑。



图 3-10 石膏装饰线

## 5. 建筑石膏装饰制品的选购

### (1) 石膏板的选购要点(表 3-1)

表 3-1 石膏板的选购要点

序号	项目	优质	劣质
1	观察纸面	纸轻且薄、强度高、表面光滑、无污渍、纤维长、韧性好,表面可以直接涂刷涂料	制工粗糙,用料低劣,有时可以看到油污斑点,易脆裂,表面需要批腻子才能做最终装饰

续表

序号	项目	优质	劣质
2	观察板芯	板芯用高纯度的石膏矿物质作为原材料,板芯洁白	板芯原材料的纯度低,板中有大量杂质,板芯发黄(含有黏土),颜色暗淡
3	观察纸面黏结	用裁纸刀在石膏板表面划一个 45° 的“叉”。然后揭开交叉处的纸面观察,纸张依然黏结在石膏芯上,石膏芯体没有裸露	用裁纸刀在石膏板表面划一个 45° 的“叉”。然后揭开交叉处的纸面观察,纸张出现剥落,甚至整张纸脱落,石膏芯体完全裸露
4	衡量单位面积质量	相同厚度的石膏板,优质板材一般比劣质板材轻	相同厚度的石膏板,劣质板材比优质板材重,否则难以达到标准强度

## (2) 石膏线的选购要点(表 3-2)

表 3-2 石膏线的选购要点

序号	项目	优质	劣质
1	观察石膏线断面	石膏线内有多层纤维网,整体性好,强度较高	石膏线内纤维网未铺满或层数很少,甚至以草、布代替。经常出现边角破裂,甚至断裂的现象
2	观察图案花纹深浅	石膏线雕花凹凸可在 10 mm 以上	石膏线雕花凹凸难以做到 10 mm 以上
3	观察表面光洁度	石膏线表面细腻,手感光滑	石膏线表面粗糙,不光滑,有破旧的感觉
4	观察材料厚薄	石膏线具有一定厚度,使用年限长	石膏线厚度太薄,使用年限短
5	比较价格高低	价钱合理	价格是优质石膏线的 1/2,甚至更低

## 3.2 水硬性胶凝材料

凡细磨材料,加入适量的水后形成浆体,既能在空气中凝结硬化,又能在水中凝结硬化发展其强度,并能把砂、石等散粒或纤维材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料,通称为水泥。

水泥是极其重要的建筑材料和工程材料,它和钢材、木材和塑料同为基本建设的四大材

料。水泥除用于建筑、水利、道路、国防、海洋开发等工程外,还可以制造轨枕、坑木、水泥管、水泥船、电杆等,以代替钢材与木材。

水泥的品种繁多。按用途分有通用水泥、专用水泥(砌筑水泥、油井水泥等)、特性水泥(快硬水泥、白色硅酸盐水泥、彩色水泥、高铝水泥、自应力水泥等)。

## 一、通用硅酸盐水泥

### 1. 通用硅酸盐水泥的名称、定义

通用硅酸盐水泥是以硅酸盐水泥的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,简称通用水泥。

通用水泥在建筑工程中使用最多的六大种硅酸盐系水泥是硅酸盐水泥、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(表3-3)。

表3-3 通用水泥的定义和强度等级

水泥名称	代号	定义	强度等级	备注
硅酸盐水泥(又称波特兰水泥)	P·I P·II	由硅酸盐水泥熟料、0~5%的石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为硅酸盐水泥。 I型:不掺混合材料 II型:含≤5%混合材料	42.5、42.5R 52.5、52.5R 62.5、62.5R	国家标准 GB 175—2007 规定
普通硅酸盐水泥(简称普通水泥)	P·O	由硅酸盐水泥熟料、大于5%且小于等于20%的混合材料、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	42.5、42.5R 52.5、52.5R	国家标准 GB 175—2007 规定
矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥)	P·S·A	由硅酸盐水泥熟料、大于20%且小于等于50%的粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为A型矿渣硅酸盐水泥	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	国家标准 GB 175—2007 规定
	P·S·B	由硅酸盐水泥熟料、大于50%且小于等于70%的粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为B型矿渣硅酸盐水泥		
火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥)	P·P	由硅酸盐水泥熟料、大于20%且小于等于40%的火山灰质、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为火山灰质硅酸盐水泥	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	国家标准 GB 175—2007 规定

续表

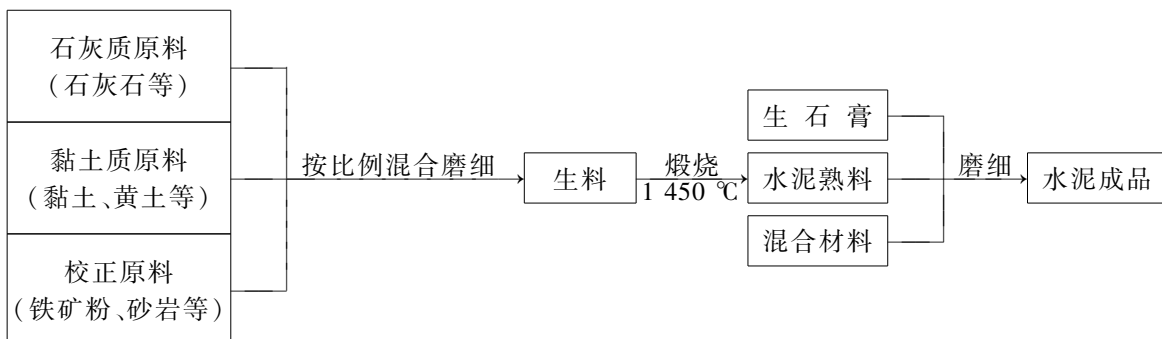
水泥名称	代号	定义	强度等级	备注
粉煤灰硅酸盐水泥(简称粉煤灰水泥)	P·F	由硅酸盐水泥熟料、大于 20% 且小于等于 40% 的粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为粉煤灰硅酸盐水泥	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	国家标准 GB 175—2007 规定
复合硅酸盐水泥	P·C	由硅酸盐水泥熟料、大于 20% 且小于等于 50% 的两种或两种以上规定的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为复合硅酸盐水泥	42.5、42.5R 52.5、52.5R	国家标准 GB 175—2007 规定

注:强度等级中,R 为早强型水泥。

## 2. 通用水泥的生产

生产通用水泥的原料为石灰质原料(如石灰石等)、黏土质原料(如黏土、黄土等)、校正原料(如铁矿粉、砂岩等)。

生产工艺流程是二磨一烧,即两头磨,中间煅烧。六大种硅酸盐系水泥生产过程如下:



通用水泥的组成及性能见表 3-4。

在表 3-4 所列的水泥成分中,改变熟料矿物成分的比例,水泥性能会发生变化。例如:提高  $C_3S$  含量,可制成高强水泥;降低  $C_3A$  和  $C_3S$  含量,可制成水化热低的大坝水泥。

## 3. 通用水泥的凝结与硬化

在施工过程中,水泥中加入适量水调成水泥浆后,经过一定时间,由于本身的物理和化学变化,会逐渐变稠,失去塑性,但尚未具有强度,这一过程称为水泥的“凝结”。随着时间的增长,其强度继续发展提高,并逐渐变成坚硬的水泥石,这一过程称为水泥的“硬化”。水泥的凝结和硬化是一连续复杂的物理化学变化过程。

(1) 水泥粉与水混合后,产生一系列的化学反应,生成水泥石:

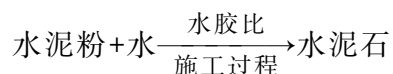
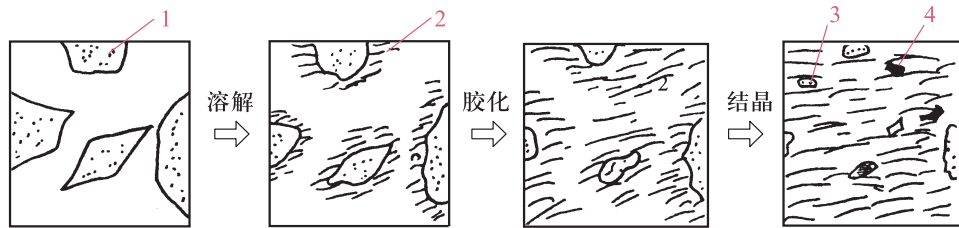


表 3-4 通用水泥的组成及性能

水泥组成	硅酸盐水泥熟料				石膏	混合材料
化合物名称	硅酸三钙	硅酸二钙	铝酸三钙	铁铝酸四钙	生石膏	分活性混合材料和非活性混合材料两类。混合材料在通用水泥中的作用:①调节水泥强度;②改善水泥某些性能;③增加水泥品种;④扩大水泥使用范围;⑤降低水泥成本
分子式	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
缩写符号	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$	—	
相对含量/%	44~62	18~30	5~10	10~18	3~5	
凝结、硬化速度	快	慢	最快	较快	石膏在通用水泥中的作用:①增加水泥稠度;②起缓凝作用	
28 d 水化放热量	大	小	最大	中		
强度高(发展)	高(快)	早低后高(快)	低(最快)	低(中)		
耐化学腐蚀性	中	最大	小	大		
干燥、收缩性	中	大	大	最大		

这些水泥石的化学组成是水化硅酸钙和水化铁酸钙凝胶、氢氧化钙、水化铝酸三钙、水化硫铝酸钙和碳酸钙。这些生成物决定了水泥石的一系列特性。

(2) 水泥的凝结和硬化过程在产生化学反应的同时也产生了物理变化,即在水泥组成物与水产生化学反应的同时,产生了水泥颗粒的溶解和生成物的胶化、结晶过程,最后形成了水泥石(图 3-11)。



1—未水化的水泥颗粒;2—水泥凝胶;3—毛细管孔隙;4— $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和含水铝酸三钙结晶。

图 3-11 水泥凝结硬化过程示意图

(3) 在适当的温度和湿度下,几十年内仍能继续强化,完成水泥的水化和水解作用的全过程。

#### 4. 通用水泥的技术性质

按国家标准 GB 175—2007 的规定验收水泥(表 3-5)。

(1) 细度 细度是指水泥颗粒的粗细程度。同样成分的水泥,颗粒过细,水化速度快,硬化时收缩较大,易产生裂缝,而且在加工粉磨过程中能耗大,使水泥成本提高;颗粒过大,会降低水泥的活性。所以细度应适中。国家标准中规定的各水泥的细度见表 3-5。

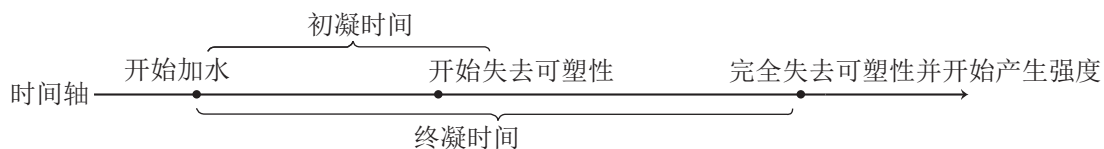
表 3-5 通用水泥的质量标准要求

标准号		GB 175—2007					
名称	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥	复合硅酸盐水泥	
代号	P·I P·II	P·O	P·S·A P·S·B	P·P	P·F	P·C	
强度等级	42.5、42.5R 52.5、52.5R 62.5、62.5R	42.5、42.5R 52.5、52.5R	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	32.5、32.5R 42.5、42.5R 52.5、52.5R	42.5、42.5R 52.5、52.5R	
技术要求	不溶物含量	I型≤0.75% II型≤1.5%	无要求	无要求	无要求	无要求	无要求
	氧化镁含量	氧化镁含量≤5.0%，经压蒸安定性检验合格可放宽至≤6.0%	氧化镁含量≤5.0%，经压蒸安定性检验合格可放宽至≤6.0%	P·S·A含量≤6.0%， P·S·B无要求	≤6.0%	≤6.0%	≤6.0%
	三氧化硫含量	≤3.5%	≤3.5%	≤4.0%	≤3.5%	≤3.5%	≤3.5%
	烧失量	I型≤3.0% II型≤3.5%	≤5.0%	无要求	无要求	无要求	无要求
	氯离子含量	≤0.06%	≤0.06%	≤0.06%	≤0.06%	≤0.06%	≤0.06%
	细度	比表面积不小于300 m <sup>2</sup> /kg	比表面积不小于300 m <sup>2</sup> /kg	80 μm方孔筛筛余≤10.0% 或45 μm方孔筛筛余≤30.0%	80 μm方孔筛筛余≤10.0% 或45 μm方孔筛筛余≤30.0%	80 μm方孔筛筛余≤10.0% 或45 μm方孔筛筛余≤30.0%	80 μm方孔筛筛余≤10.0% 或45 μm方孔筛筛余≤30.0%
	凝结时间	初凝≥45 min 终凝≤6 h 30 min	初凝≥45 min 终凝≤10 h	初凝≥45 min 终凝≤10 h	初凝≥45 min 终凝≤10 h	初凝≥45 min 终凝≤10 h	初凝≥45 min 终凝≤10 h
	安定性	沸煮法检验必须合格	沸煮法检验必须合格	沸煮法检验必须合格	沸煮法检验必须合格	沸煮法检验必须合格	沸煮法检验必须合格
强度	按标准要求	按标准要求	按标准要求	按标准要求	按标准要求	按标准要求	

(2) 凝结时间 水泥的凝结时间分初凝时间和终凝时间。

初凝时间是从水泥加水拌合起至水泥浆开始失去可塑性所需的时间；终凝时间是从水泥

加水拌合起至水泥浆完全失去可塑性并开始产生强度所需的时间。为了便于施工时有足够的时间来完成混凝土或砂浆的搅拌、运输、浇捣和砌筑等操作,水泥初凝时间不宜过早;水泥终凝时间不宜过迟,以便使混凝土能尽快地硬化达到一定的强度,以利于下道工序的进行。国家标准中规定的各水泥的凝结时间见表3-5。水泥初凝、终凝及产生强度的过程示意如下:



(3) 安定性 安定性指水泥浆体硬化后体积变化的稳定性。

安定性差的原因如下:

① 水泥熟料中含有过多的游离氧化钙或氧化镁。这些游离氧化钙和氧化镁属过火石灰,其水化速度极慢,往往在水泥硬化后才开始水化。水化后的物质  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  体积剧烈膨胀,使水泥石开裂。

② 水泥中掺入石膏过多。制品硬化后,石膏与水泥石中的水化铝酸三钙反应生成结晶水多的含水硫铝酸钙,体积膨胀,引起水泥石开裂。

使用安定性差的水泥,将使建筑物产生裂缝而引起严重事故,所以这种水泥严禁用于工程中。

(4) 标准稠度用水量 为了测定水泥的凝结时间和安定性,必须采用标准稠度的水泥净浆进行检测,这样才有可比性。按规定的标准方法测出达到标准稠度时的需水量称为标准稠度用水量。

(5) 强度 强度是表示水泥力学性能的一种量度,是划分水泥强度等级的技术依据。水泥的强度等级是按国家标准规定的试验方法配制水泥标准强度试件(40 mm×40 mm×160 mm),经一定龄期(3 d 和 28 d)标准养护后测得的抗压强度和抗折强度评定的。最后以28 d的水泥标准强度试件的抗压强度标准值定为该水泥的强度等级。例如,普通水泥42.5级,表示水泥品种为普通水泥,28 d的抗压强度不低于42.5 MPa。

五种水泥的主要技术特征及适用范围见表3-6。

### 5. 通用水泥的质量验收

(1) 水泥质量等级评定 通用水泥产品的质量水平,按水泥“质量等级评定原则”[《通用水泥质量等级》(JC/T 452—2009)]的规定,分为三个质量等级,即优等品(A)、一等品(B)、合格品(C)。

(2) 合格、不合格的评定 合格水泥是指经检测后符合该品种该强度等级的所有技术要求的水泥。技术要求包括细度、凝结时间、安定性、强度、不溶物含量、烧失量、氧化镁和三氧化硫的含量,以及水泥包装标志齐全等内容。

表 3-6 五种水泥的主要技术特征及适用范围

名称	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
主要特征	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 快硬早强;</li> <li>2. 水化热高;</li> <li>3. 抗冻性好;</li> <li>4. 耐热性差;</li> <li>5. 耐腐蚀性差;</li> <li>6. 干缩性较小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早强;</li> <li>2. 水化热较高;</li> <li>3. 抗冻性较好;</li> <li>4. 耐热性较差;</li> <li>5. 耐腐蚀性较差;</li> <li>6. 干缩性较小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度低,后期强度增长较快;</li> <li>2. 水化热较低;</li> <li>3. 耐热性较好;</li> <li>4. 对硫酸盐类侵蚀抵抗力和抗水性较好;</li> <li>5. 抗冻性较差;</li> <li>6. 干缩性较大;</li> <li>7. 抗渗性差;</li> <li>8. 抗碳化能力差</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度低,后期强度增长较快;</li> <li>2. 水化热较低;</li> <li>3. 耐热性较差;</li> <li>4. 对硫酸盐类侵蚀抵抗力和抗水性较好;</li> <li>5. 抗冻性较差;</li> <li>6. 干缩性较大;</li> <li>7. 抗渗性较好</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度低,后期强度增长较快;</li> <li>2. 水化热较低;</li> <li>3. 耐热性较差;</li> <li>4. 对硫酸盐类侵蚀抵抗力和抗水性较好;</li> <li>5. 抗冻性较差;</li> <li>6. 干缩性较小;</li> <li>7. 抗碳化能力较差</li> </ol>
适用范围	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 快硬早强工程;</li> <li>2. 配制高强混凝土和预应力混凝土</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地上、地下及水中的混凝土工程、钢筋混凝土及预应力混凝土结构,包括受循环冻融的结构及早期强度要求较高的工程;</li> <li>2. 配制建筑砂浆</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大体积混凝土工程;</li> <li>2. 配制耐热混凝土;</li> <li>3. 蒸汽养护的构件;</li> <li>4. 地上、地下和水中的混凝土工程、钢筋混凝土结构;</li> <li>5. 配制建筑砂浆;</li> <li>6. 有抗硫酸盐侵蚀要求的工程</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大体积混凝土工程;</li> <li>2. 有抗渗要求的工程;</li> <li>3. 蒸汽养护的工程构件;</li> <li>4. 一般混凝土和钢筋混凝土工程;</li> <li>5. 配制建筑砂浆</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地上、地下、中和大体积混凝土工程;</li> <li>2. 蒸汽养护的构件;</li> <li>3. 一般混凝土工程;</li> <li>4. 配制建筑砂浆</li> </ol>
不适用处	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大体积混凝土工程;</li> <li>2. 受化学侵蚀及压力水作用的结构</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 大体积混凝土工程;</li> <li>2. 受化学侵蚀及压力水作用的结构</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度要求较高的混凝土工程;</li> <li>2. 严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度要求较高的混凝土工程;</li> <li>2. 严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程;</li> <li>3. 干燥环境的混凝土工程;</li> <li>4. 有耐磨性要求的工程</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 早期强度要求较高的混凝土工程;</li> <li>2. 严寒地区并在水位升降范围内的混凝土工程;</li> <li>3. 有抗碳化要求的工程</li> </ol>

若水泥存在以下情况之一,则为不合格品:

- ① 细度、终凝时间、不溶物含量和烧失量中的任一项不符合标准规定;
- ② 混合材料掺加量超过最大限量;
- ③ 强度低于商品强度等级规定的指标;
- ④ 袋装水泥包装标志中的水泥品种、强度等级、工厂名称和出厂编号不全。

在施工现场必须使用合格水泥,如发现有不合格水泥,要做处理。

### 6. 通用水泥的保管和贮存

(1) 水泥保管的质量要求 水泥易受潮,受潮后的水泥表现为结成块状、密度减小、凝结速度缓慢、强度低及烧失量增加等。若受雨淋,则产生凝固,水泥完全失去胶结能力。

为避免水泥因受潮而降低质量,在运输、贮存等各环节中均应采取防潮措施。运输时,应采用散装水泥专用车或有帆布盖顶的运输车作运输工具,以防途中下雨淋湿,避免水泥直接受潮。贮存时,要求仓库不得出现漏雨和尽量做到密封,窗户关闭,否则流动空气带来潮湿空气易使水泥受潮。为防止湿气通过地面和墙壁被水泥吸入,地面应采用木板垫 300 mm 以上,垫板面上铺改性沥青防水卷材,水泥堆离开墙身 300 mm 以上。

对于散装水泥,应在仓库地面预先铺好水泥砂浆层,减少水泥堆积在地面的浪费。

(2) 水泥贮存时间的要求 水泥贮存时间太长,即使放在条件良好的仓库,也会因吸湿结块而失效。水泥一般贮存三个月(强度降低 10%~20%)。保管得好,三个月内可按原强度等级使用。六个月后强度降低 15%~30%,不能按原强度等级使用,需以重新检测的实际强度为准。所以,为保证质量,水泥的使用不超过三个月,超过三个月的水泥应重新检验,重新确定强度等级,否则不得在工程中使用。

## 二、装饰水泥

用于装饰工程中的水泥主要是白水泥和彩色水泥。

### 1. 白水泥

将适当成分的生料烧至部分熔融,得到以白色硅酸钙为主要成分、铁质含量少的熟料(如白瓷土),加入适量的石膏,磨成细粉,制成的白色水硬性胶凝材料,称为白色硅酸盐水泥,简称白水泥。

白水泥可分为普通型白水泥、快硬型白水泥、憎水型(防潮型)白水泥和砌筑型白水泥四类。目前,快硬型白水泥是白水泥生产的主流。

(1) 白水泥的质量标准 按标准《白色硅酸盐水泥》(GB/T 2015—2017),白水泥的强度等级有 32.5、42.5、52.5。水泥的白度值应不低于 87%。白水泥的质量标准见表 3-7。

表 3-7 白水泥的质量标准

项目	品质指标
白度/%	1 级白度 $\geq 89$ , 2 级白度 $\geq 87$
细度	45 $\mu\text{m}$ 方孔筛筛余 $\leq 30\%$
凝结时间	初凝 $\geq 45$ min, 终凝 $\leq 600$ min
安定性	用沸煮法检验,必须合格

续表

项目	品质指标
MgO 含量	熟料中 MgO 含量 $\leq 4.5\%$
SO <sub>3</sub> 含量	水泥中 SO <sub>3</sub> 含量 $\leq 3.5\%$
抗压强度/MPa	略
抗折强度/MPa	略

(2) 白水泥的技术特性如下:

① 我国生产的白水泥属于早强型水泥。其早期强度与快硬硅酸盐水泥接近,后期强度与普通水泥基本相同,干缩率比普通水泥小。

② 白水泥的白度与色调。白度是指白水泥的白色程度,将白水泥与纯洁白净粉末状的 TiO<sub>2</sub> 标准样比较,以百分数计算等级。白度等级越高,说明白度越高。它除了作为白色色泽的材料用于装饰之外,还可以与其他的颜料混合形成各种不同的色调,是彩色水泥的半成品。

(3) 白水泥的应用 白水泥主要用于建筑物的内外装饰,可配成白色和彩色灰浆、白色和彩色混凝土,制造各种颜色的水刷石、假大理石及水磨石等制品,也是配制彩色水泥的原料。

## 2. 彩色水泥

彩色水泥是彩色硅酸盐水泥的简称。按着色方式有以下三种:

(1) 混合型彩色水泥 将白水泥熟料(或普通水泥熟料)、适量白色石膏和碱性颜料混掺在一起共同磨细而成。所用颜料有无机颜料和有机颜料两种,要求不溶于水,分散性好,耐碱性强,抗大气稳定性好,掺入后不明显影响水泥的性能。

常用的无机颜料是以氧化铁系列为基础的颜料,包括以下几种。

红色:三氧化二铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),俗称铁红。

紫色: $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的高温熟料,俗称铁紫。

黄色:含水氧化铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ),俗称铁黄。

棕色:( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 机械混合物,俗称铁棕。

黑色: $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,俗称铁黑。

其他颜料有:白色颜料为氧化钛,蓝色颜料为群青和钴蓝,绿色颜料为氧化铬或由群青和铁黄配制。此外,用铁黄与铁红可配成橘红色颜料。黑色颜料可用炭黑。

(2) 烧成型彩色水泥 在白水泥生料中加入少量金属氧化物直接烧成彩色水泥。例如,加入氧化铬可呈绿色,加入氧化钴可呈浅蓝色(还原气氛)或玫瑰红色(氧化气氛),加入氧化锰可呈浅蓝色(还原气氛)或浅紫色(氧化气氛),等等。

(3) 干掺式彩色水泥 在施工现场往白水泥中掺入耐碱性矿物颜料制成。这种水泥虽然制作简单,但必须少用,因为颜色不易均匀,颜料用量大。

以上三种水泥中,混合型彩色水泥的颜色不易褪色,耐久性较好,颜色比干掺式彩色水泥浓重。烧成型彩色水泥施工后容易出现“白霜”,使颜色变淡。

彩色水泥的凝结时间一般比白水泥短,强度也因加入颜料而降低。这一点在施工时要注意。

彩色水泥应用于装饰工程、雕塑石山景观,以及配制彩色混凝土和灰浆、水磨石、水刷石、人造大理石、花阶砖等。

## 小 结

1. 建筑石灰的硬化原理以及过火石灰的危害性。
2. 建筑石膏有着色性好,孔隙率大,凝结硬化快,微膨胀性,耐火性强和耐水性、抗冻性差的特点。
3. 通用水泥在建筑结构中是使用最广泛的材料。该材料的技术性能包括国家标准规定的质量标准 and 水泥在使用中表现出来的特性,这方面的知识对今后的应用有很大帮助,必须掌握。

4. 通用水泥的定义是:

硅酸盐水泥熟料+适量石膏+混合材料 $\xrightarrow{\text{磨成粉}}$ 通用水泥

其中以硅酸盐水泥熟料为主要成分,所以熟料中的四种成分在水泥性能中起重要作用。

5. 在建筑工程中必须使用合格水泥。
6. 白水泥在使用时,在质量合格的基础上,要重点关注白度和强度两个指标。

### 复习思考题

- 3-1 什么是气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料?
- 3-2 为什么在石灰浆体中存在过火石灰会严重影响工程质量?
- 3-3 建筑石灰的硬化是由哪两个过程完成的?为什么建筑石灰不耐水?
- 3-4 为什么纯石灰浆不能单独使用?
- 3-5 建筑石灰有哪些主要的技术性能?为什么石灰仅用于一般的装饰工程?
- 3-6 建筑石膏是怎样凝结硬化的?
- 3-7 建筑石膏有哪些特性?为什么它成为常用的装饰材料?
- 3-8 什么是纸面石膏板?为什么普通纸面石膏板是一种理想的室内装饰材料?
- 3-9 石膏装饰板有哪些类型?

- 3-10 石膏和混合材料在通用水泥中起了什么作用?
- 3-11 水泥熟料单独与水作用时有什么性能? 改变熟料矿物成分的比例,水泥的性能将会发生什么变化?
- 3-12 什么是初凝时间和终凝时间? 为什么要确定凝结时间?
- 3-13 为什么安定性不合格的水泥不能用于建筑工程?
- 3-14 通用水泥有哪些质量标准? 国家标准怎样规定这些质量标准的内容?
- 3-15 什么是合格水泥、不合格水泥?
- 3-16 现有下列工程和构件,试分别选用合理的水泥品种,并说明选用理由:  
(1) 现浇梁、板、柱及楼梯结构工程;(2) 应急抢修隧道工程;(3) 地下室防水混凝土工程;(4) 冬期施工工程;(5) 高温车间、高炉基础等要求耐热的工程。
- 3-17 使用白水泥时,其主要的技术指标是什么?
- 3-18 彩色水泥按着色方式分为哪三种? 哪一种的耐久性好?
- 3-19 常用的以氧化铁系列为基础的无机颜料有哪些?
- 3-20 采用彩色水泥施工,要注意什么问题?