

第三章 水泥

- ☞ 3.1 水泥种类
- 3.2 常用水泥原料及生产
- 3.3 硅酸盐水泥
- 3.4 其它常用水泥
- 3.5 水泥技术要求



3.1.1 水泥的种类

水泥有很多种类。

按化学成分
可分为：

硅酸盐水泥

铝酸盐水泥

硫铝酸盐水泥

硅酸盐系列水泥可分为：

硅酸盐
系列水泥

常用水泥

特种水泥

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

3.1.2 水泥的特点

1. 制品强度高，坚固耐用；

2. 制品耐震、耐火、耐潮湿；

3. 凝结前可流动，凝结硬化速度快，凝结时间可调；

4. 来源广，成本低；

5. 使用简单，维护方便。

3.1.3 水泥的发展

1. 最早的水泥

水泥是水硬性胶凝材料的代表。

最早使用水硬性胶凝材料制备混凝土的是中国人。

在甘肃省秦安县的大地湾（黄河支流渭水之畔，西安以西约600公里处），1980～1983年间，先后发掘出两个大型的新石器时代住宅遗址。经考察研究发现，该遗址的地坪是用“礞石”——一种富含碳酸钙的粘土为原料煅烧而成，在与其它材料混合而成的。这是迄今为止发现的最早的混凝土材料，距今已有五千年历史。

3.1.3 水泥的发展

2. 十八世纪~十九世纪——罗马水泥

中世纪，罗马人用石灰和煅烧的粘土混合，配制获得水硬性石灰和罗马水泥，“庞贝”城遗址系用此材料建成。

3. 十九世纪初——波特兰水泥

1824年，英国泥瓦工约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin）申报了波特兰水泥专利：把粘土和焙烧过的石灰石混合，经煅烧后磨细成粉，这种细粉与水拌合具有水硬胶凝性。由于它硬化后外观象波特兰（英国一个港口城市）的石头，故起名为波特兰水泥（Portland Cement），即我国称谓的“硅酸盐水泥”。

第一次大规模使用波特兰水泥是1825~1843年间修建的泰晤士河隧道。后来，1824年即被视作现代水泥的问世时间。

3.1.3 水泥的发展

4. 现代水泥的生产

- 原料预均化；
- 生料均化；
- X射线化学成分分析；
- 预分解回转窑煅烧；
- 计算机自动控制。

我国已是世界上水泥生产和使用大国，年产水泥超过10亿吨。

第三章 水泥

3.1 水泥种类



3.2 常用水泥原料及生产

3.3 硅酸盐水泥

3.4 其它常用水泥

3.5 水泥技术要求



3.2.1 常用水泥的原料

1. 主原料

石灰质原料

提供CaO;
常用石灰石、泥灰岩、白垩土、贝壳、珊瑚类等。

硅铝质原料

提供SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃;
常用粘土、黄土、页岩、粉砂岩等。

3.2.1 常用水泥的原料

2. 校正原料

铁质校正原料

生料中 Fe_2O_3 含量不足时加入；
常用的有低品位铁矿石、硫铁渣、铜矿石、铝矿渣等。

硅质校正原料

生料中 SiO_2 含量不足时加入；
常用的有硅藻土、硅藻石、蛋白石、砂岩等。

铝质校正原料

生料中 Al_2O_3 含量不足时加入；
常用的有铝钒土、煤灰渣、煤矸石等。

3.2.1 常用水泥的原料

3. 矿化剂

莹石、石膏、重晶石等。

促使原料分解，降低煅烧温度要求，降低热耗成本，提高产量，缩短生成周期。

4. 缓凝剂

石膏

水泥熟料单独与水拌和，会很快凝结，使得施工无法进行。熟料中 C_3A 含量越高，这一现象越严重。在熟料中掺入适量石膏，可起到缓凝作用，还可提高水泥强度。石膏掺量一般为3%~6%。

3.2.1 常用水泥的原料

5. 工业废渣

粉煤灰、高炉矿渣、煤矸石、石煤、钢渣、铝渣、炉渣等等工业废料，富含 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等，可作为生产水泥的原料。

作为**原料之一**，直接与其它原料一起混合磨细后，送入窑内煅烧成水泥。

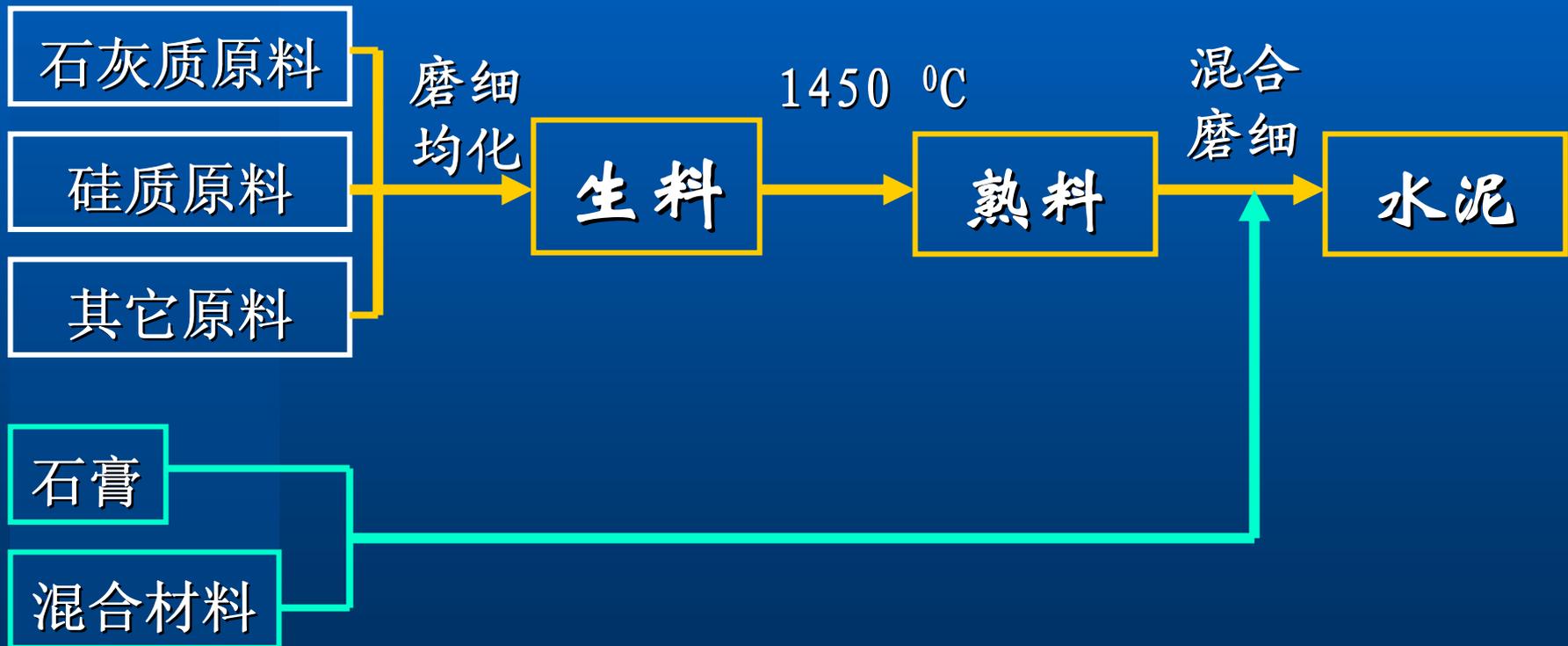
用途之一

作为**混合材料**，在水泥烧成之后，掺入水泥熟料中，一起磨成水泥。

用途之二

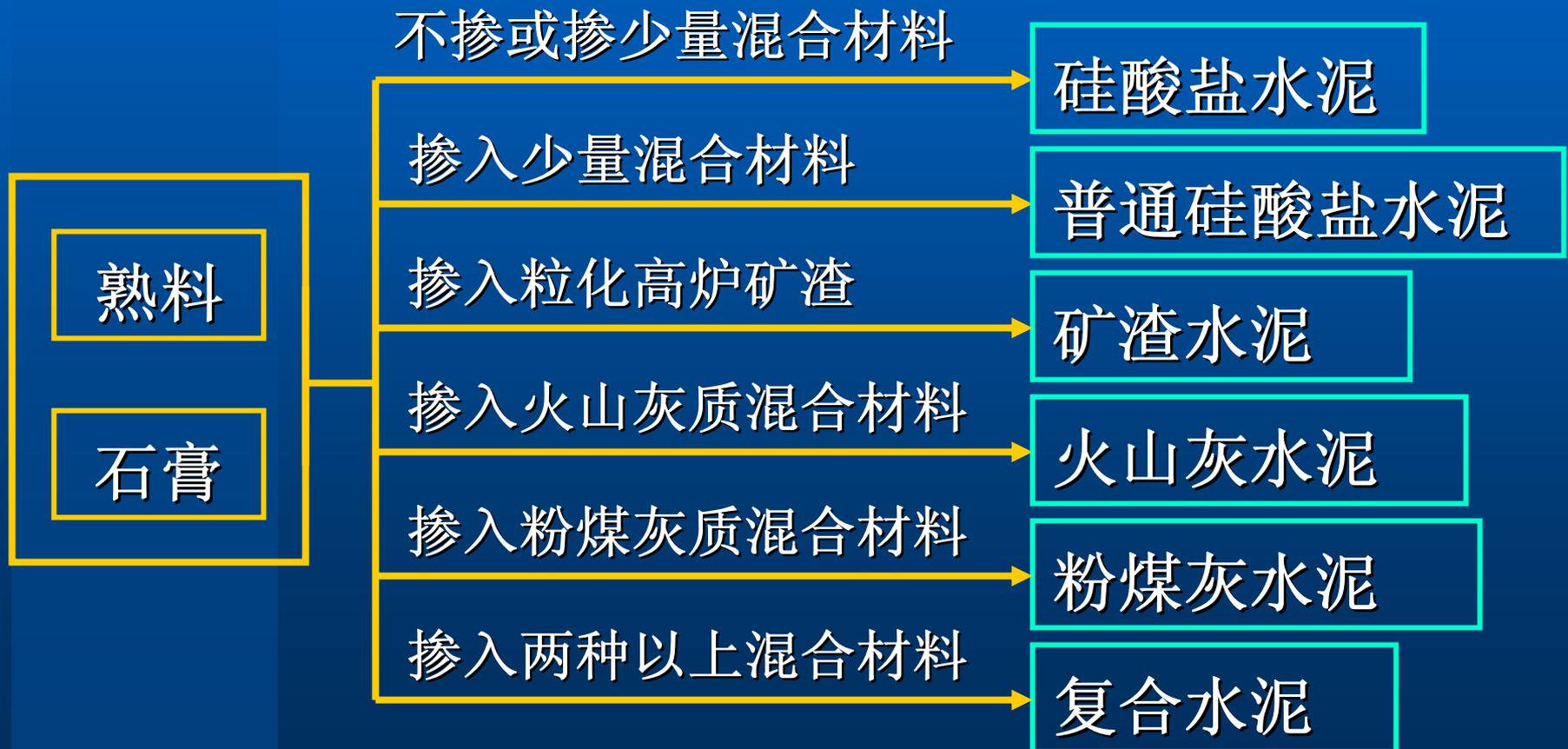
3.2.2 常用水泥的生产

生产程序——“两磨一烧”：



3.2.2 常用水泥的生产

在熟料中掺入混合材料——获得不同品种水泥：



第三章 水泥

3.1 水泥种类

3.2 常用水泥原料及生产

 3.3 硅酸盐水泥

3.4 其它常用水泥

3.5 水泥技术要求



3.3.1 硅酸盐水泥概述

1. 硅酸盐水泥定义

国标GB175—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、0~5%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”，即“波特兰水泥”（Portland Cement）。

硅酸盐水泥分两种类型：

不掺混合材料的，为 I 型硅酸盐水泥，代号P. I；

掺入5%以下混合材料的，为 II 型硅酸盐水泥，代号P. II；

3.3.1 硅酸盐水泥概述

2. 硅酸盐水泥四大熟料矿物

名称	表达式	简写	含量
硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	37%~60%
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15%~37%
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7% ~15%
铁铝酸四钙	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10%~18%

3.3.1 硅酸盐水泥概述

3. 硅酸盐水泥水化、凝结、硬化的含义

水化——水泥加水拌和，与水发生反应，生成水化产物的过程。

凝结——水泥加水拌和，成为可塑性浆体，随水化产物不断生成而变稠，逐渐失去塑性并开始产生强度的过程。

硬化——随水化产物产生，失去塑性后强度逐渐增加，直至成为坚硬水泥石的过程。

3.3.1 硅酸盐水泥概述

4. 四大熟料矿物水化特性及强度特性



水化反应快，水化热高，强度高，是决定水泥强度和水化热的主要矿物。



水化反应慢，水化热低，早期强度低而后期强度高，一年后的强度可与 C_3S 相比，是决定水泥后期强度的主要矿物。



水化反应最快，水化热高，强度值低但增长速度快，3d强度接近28d强度的80%~90%，但后期强度会有所下降。是决定水泥水化热的主要矿物。



水化反应速度居第二位，水化热较高，对水泥抗折强度贡献大。

3.3.4 硅酸盐水泥特性

1. 凝结硬化快，强度高。

无论是 I 型硅酸盐水泥（不掺混合材料，代号P. I），还是 II 型硅酸盐水泥（掺入5%以下混合材料，代号P. II），由于不加混合材料或加量较少，其凝结硬化特性基本上取决于熟料矿物的特性。

3.3.4 硅酸盐水泥特性

2. 水化热大，不适于大体积浇筑。

水化热大的原因是——

C_3S 和 C_3A 含量高

[3.3.1 硅酸盐水泥概述](#)

3.3.4 硅酸盐水泥特性

3. 干缩小，抗冻性好，适于严寒地区使用。

凡掺入较多混合材料的水泥，都有较明显的干缩现象，同时，拌和时对水的需求也较大（同样流动性能下）。因此，相比之下，硅酸盐水泥因不掺或少掺混合材料，故其干缩性小，拌和水量需求也较小。

3.3.4 硅酸盐水泥特性

4. 耐热性差，不适于高温环境使用。

硅酸盐水泥主要水化产物在高温下会发生脱水和分解。
后果是——水泥石结构破坏。

3.3.4 硅酸盐水泥特性

5. 耐腐蚀性差，不适于在腐蚀性环境中使用。

耐腐蚀性差的原因——

- (1) 水泥石处于腐蚀性盐类和酸类介质环境以及压力流水环境；
- (2) 水泥石不密实，有介质侵入的毛细通道；
- (3) 水泥石中存在易被侵蚀的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙 C_4AH_{13} 、 C_3AH_6 以及易流失的 Ca^{2+} ；



3.3.4 硅酸盐水泥特性

5. 耐腐蚀性差，不适于在腐蚀性环境中使用。

防止腐蚀的办法——

- 提高混凝土的致密性；对混凝土表面做防腐处理；
- 改变熟料矿物组成，如减少 C_3S 含量，减少 C_3A 含量，增加 C_4AF 含量等；
- 掺入火山灰质混合材料，利用所含的活性 SiO_2 与 $Ca(OH)_2$ 结合，生成低碱性水化硅酸钙。



第三章 水泥

3.1 水泥种类

3.2 常用水泥原料及生产

3.3 硅酸盐水泥

 3.4 其它常用水泥

3.5 水泥技术要求



3.4.1 普通硅酸盐水泥

1. 普通硅酸盐水泥定义

国标GB175—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、6%~15%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”，代号P.O。

2. 普通硅酸盐水泥特点

- 因混合材料掺量不大，性能及用途与硅酸盐水泥相似；
- 相对于硅酸盐水泥，普通水泥早期凝结硬化速度略慢，3d强度略低，抗冻性和耐磨性略差；
- 强度等级比硅酸盐水泥多32.5、32.5R两个级别，少了62.5、62.5R两个级别。

3.4.2 矿渣水泥

1. 高炉炼铁废料——高炉矿渣

高炉炼铁时，主要废渣有：

- 铁矿石中的废石、燃料（焦炭）中的灰份及未燃尽物资等；
- 助熔剂石灰石和白云石等，在高炉中分解出氧化钙、氧化镁，与铁矿石中的废石和焦炭的灰份相熔化，生成以硅酸钙（镁）和铝酸钙（镁）为主要成分的矿渣；
- 这些矿渣密度低于铁水，会浮在铁水上，定期由排渣口排出，故称其为高炉矿渣。

3.4.2 矿渣水泥

2. 粒化高炉矿渣特性

高炉矿渣在高温下排出，经冷水或冷空气急冷，变成具有活性的颗粒状材料，称为粒化高炉矿渣。

粒化高炉矿渣的化学成分与水泥相似。其主要活性物质是 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等。它们与水泥熟料中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应，生成水化硅酸钙和水化铝酸钙等水化产物。

3.4.2 矿渣水泥

4. 矿渣水泥定义

国标GB1344—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、20%~70%粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为“矿渣硅酸盐水泥”，简称“矿渣水泥”，代号P.S。

3.4.3 火山灰水泥

1. 火山灰质材料

以氧化钙、氧化铝为主要成分的矿物质材料。磨细后，在高碱石灰溶液中，能激发其活性，发生水化反应，生成水化产物。

火山灰质材料分类：

(1) 天然类

火山灰、凝灰岩、浮石、沸石岩、硅藻土、硅藻石、蛋白石等。

(2) 人工类

烧页岩、烧粘土、煤矸石、煤渣等。

3.4.3 火山灰水泥

2. 火山灰质水泥定义

国标GB1344—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、20%~50%火山灰质混合材料、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”，简称“火山灰水泥”，代号P.P。

火山灰水泥可在水泥厂配制，也可在施工现场就地配制，即将混合材料、石膏一起磨细，再与熟料混合均匀即可。掺入水泥中的火山灰质材料可由多种材料混合而成，其掺量多少由熟料质量、混合材料活性、工程强度要求及其它性能要求而定，通常要通过实验配制决定。

3.4.3 火山灰水泥

3. 火山灰质水泥特点

- (1) 早强强度低，但强度增长率大，后期强度较高；
- (2) 水化热低，耐腐蚀性好；
- (3) 需水量大（颗粒表面粗糙，内部多孔），干缩性大；
- (4) 低温下凝结硬化缓慢，宜进行蒸气养护。

3.4.4 粉煤灰水泥

1. 粉煤灰

从粉煤炉烟道气体中收集到的粉末称为粉煤灰。对粉煤灰加以利用，能变废为宝，有效减少环境污染。

在粉煤灰化学成分中， SiO_2 占35%~55%， Al_2O_3 占15%~40%，当它们从炉内排出，快速冷却后，具有一定的化学潜能，能与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生水化反应，生成水化硅酸钙和水化铝酸钙等水化产物。

3.4.4 粉煤灰水泥

2. 粉煤灰水泥

国标GB1344—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、20%~40%粉煤灰质混合材料、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”，简称“粉煤灰水泥”，代号P.F。

3.4.4 粉煤灰水泥

3. 粉煤灰水泥特点

- (1) 早强强度低，但强度增长率大，后期强度较高；
- (2) 水化热低；耐腐蚀性好；耐热性好；
- (3) 需水量小（多为球形玻璃体颗粒，结构致密），干缩性小；
- (4) 低温下凝结硬化缓慢，宜进行蒸气养护。

3.4.5 复合水泥

1. 复合水泥的定义

国标GB1344—1999规定：凡由硅酸盐水泥熟料、15%~50%的两种以上混合材料（允许用不超过8%的窑灰代替部分混合材料）、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”，简称“复合水泥”，代号P.C。

2. 复合水泥的特性

复合水泥特性与所掺入的混合材料种类、掺量及相对比例有关。其基本特性与矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥相似。

第三章 水泥

3.1 水泥种类

3.2 常用水泥原料及生产

3.3 硅酸盐水泥

3.4 其它常用水泥

 3.5 水泥技术要求



3.5.1 影响水泥性能的因素

1. 水泥组分的影响

熟料

混合材料

石膏

- (1) 熟料组分的影响——
- (2) 石膏掺量的影响——
- (3) 混合材料种类及掺量的影响——

3.5.1 影响水泥性能的因素

2. 细度的影响

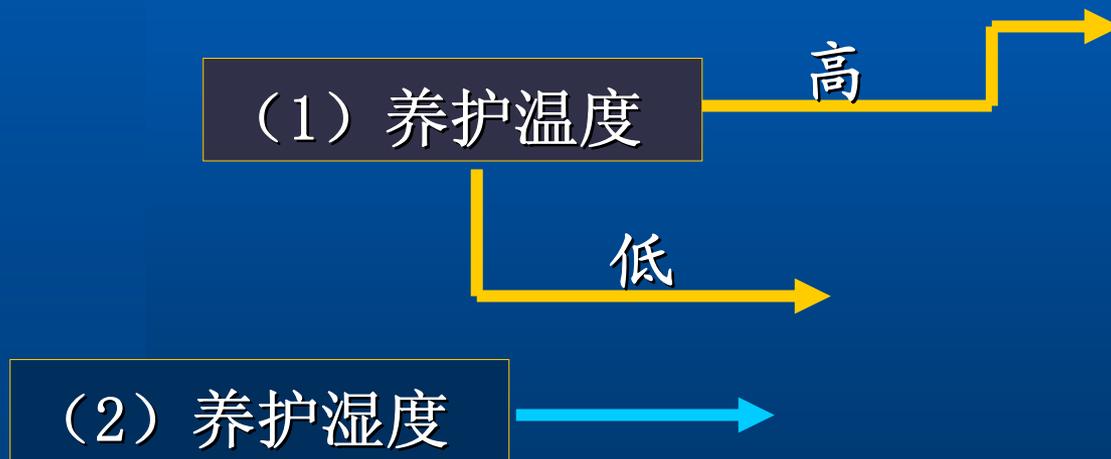
水泥颗粒越细——

与水接触面积越大；
水化反应越快；
凝结硬化越快；
早强强度越大。



3.5.1 影响水泥性能的因素

3. 养护条件（温度、湿度）的影响



3.5.1 影响水泥性能的因素

4. 龄期的影响

水泥凝结硬化产生强度，其强度的增长与时间长短，即与龄期有关。

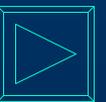
标准强度龄期——3d、7d、28d。

3.5.1 影响水泥性能的因素

5. 拌和水用量的影响

温度湿度适当条件下，水化反应需水量一般只为水泥质量的1/4左右，即 $W/C=0.25$ 左右即可满足水化反应要求。

考虑到水泥浆、混凝土的搅拌、浇筑、振捣要求，一般常用水灰比为 0.4~0.6。



3.5.1 影响水泥性能的因素

6. 贮存条件的影响

贮存时间长，水泥颗粒易因吸潮水化而失效。

- 袋装水泥，干燥环境，二~三个月；
- 散装水泥，密封仓，二~三个月，简易仓，一个月。

3.5.2 常用水泥的技术要求

1. 细度

国标规定：

硅酸盐水泥——比表面积大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ ；

其它五种水泥—— 0.080mm 方孔筛的筛余量不超过10%。

细度影响到：

3.5.2 常用水泥的技术要求

2. 标准稠度

为了使水泥的凝结时间、体积安定性的测定有可比性，规定水泥净浆处于一种特定的可塑状态，称为“标准稠度”。

3.5.2 常用水泥的技术要求

3. 凝结时间

初凝——加水拌和至水泥失去塑性的时间。

终凝——加水拌和至水泥开始产生强度时间。

为什么要做出标准稠度限定？

3.5.2 常用水泥的技术要求

4. 体积安定性

体积安定性的含义——教材24页
为什么会出现体积不安定？



熟料中有：过多游离氧化钙f-CaO

过多游离氧化镁f-MgO

过量二水石膏CaSO₄•2H₂O

3.5.2 常用水泥的技术要求

5. 强度及强度等级

强度等级划分：

硅酸盐水泥：

42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R。

其它五种水泥：

32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

3.5.2 常用水泥的技术要求

6. 碱含量

水泥的碱含量是指水泥中 Na_2O 、 K_2O 的含量。

水泥碱含量过高，配制混凝土时， Na_2O 、 K_2O 会与骨料中含有活性 SiO_2 的蛋白石、玉髓、玛瑙、安山岩等发生“碱—骨料反应”，生成硅酸盐凝胶。硅酸盐凝胶吸水膨胀，导致混凝土开裂。