

硅 酸 盐 水 泥

Portland Cement

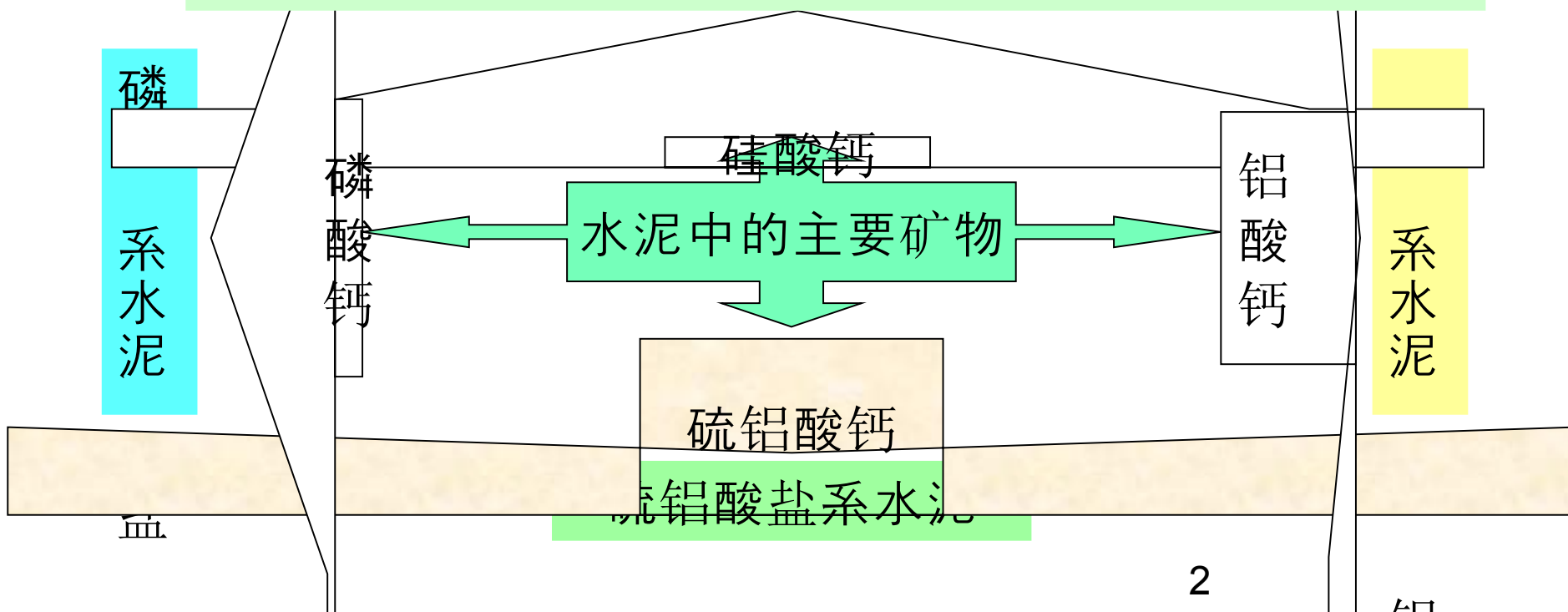
概述

❖ 什么是水泥 (cement) ?

水泥是以水化活性矿物为主要成分的水硬性胶凝材料。

❖ 水泥的种类有哪些？

➤ 根据水泥的主要矿物成分，有：硅酸盐系水泥、铝酸盐系水泥、硫铝酸盐系水泥、磷酸盐系水泥等。



概述

❖ 什么是水泥 (cement) ?

水泥是以水化活性矿物为主要成分的水硬性胶凝材料。

❖ 水泥按主要矿物成分分类

➤ 根据水泥的主要矿物成分，有：硅酸盐系水泥、铝酸盐系水泥、硫铝酸盐系水泥、磷酸盐系水泥等。

➤ 根据水泥的特性，有：膨胀水泥、快硬水泥、低热水泥、抗硫酸盐水泥等。

抗

水泥

碱

耐腐蚀性好

硬化时膨胀
水泥的特性

硬化速度快

水泥

水化热低
低热水泥

概述

❖ 什么是水泥 (cement) ?

水泥是以水化活性矿物为主要成分的水硬性胶凝材料

。

❖

- 根据水泥的主要矿物成分，有：硅酸盐系水泥、铝酸盐系水泥、硫铝酸盐系水泥、磷酸盐系水泥等。
- 根据水泥的特性，有：膨胀水泥、快硬水泥、低热水泥、抗腐蚀水泥等。

❖ 硅酸盐系水泥品种

- 硅酸盐水泥
- 普通硅酸盐水泥；
- 掺混合材的硅酸盐水泥
- 特性硅酸盐水泥

❖ 硅酸盐水泥有 P·I 和 P·II 两类，后者含有混合材料

水泥在土木工程中的重要作用

- ❖ **水泥是当今产量与用量最大的土木工程材料！**
- ❖ **水泥及其砂浆、混凝土与纤维水泥等水泥基材料普遍用于各种土木工程和钢筋混凝土结构！**
- ❖ **水泥的性能和正确选用对土木工程的功能与质量至关重要！**

主要内容

◆ 重点论述硅酸盐系水泥的矿物组成、凝结硬化机理和基本性质及其检测方法，以及硅酸盐水泥的应用。

- ❖ 1、什么是硅酸盐水泥？
- ❖ 2、硅酸盐水泥是怎样制造？
- ❖ 3、硅酸盐水泥的组成？
- ❖ 4、水泥浆如何转变成坚硬固体？
- ❖ 5、水泥应满足哪些技术性质？
- ❖ 6、水泥石如何防腐？
- ❖ 7、如何正确使用水泥？

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**。

二、硅酸盐水泥是怎样制造的？

❖ 原 料：

- 硅质：粘土
- 钙质：石灰
- 调节原料：

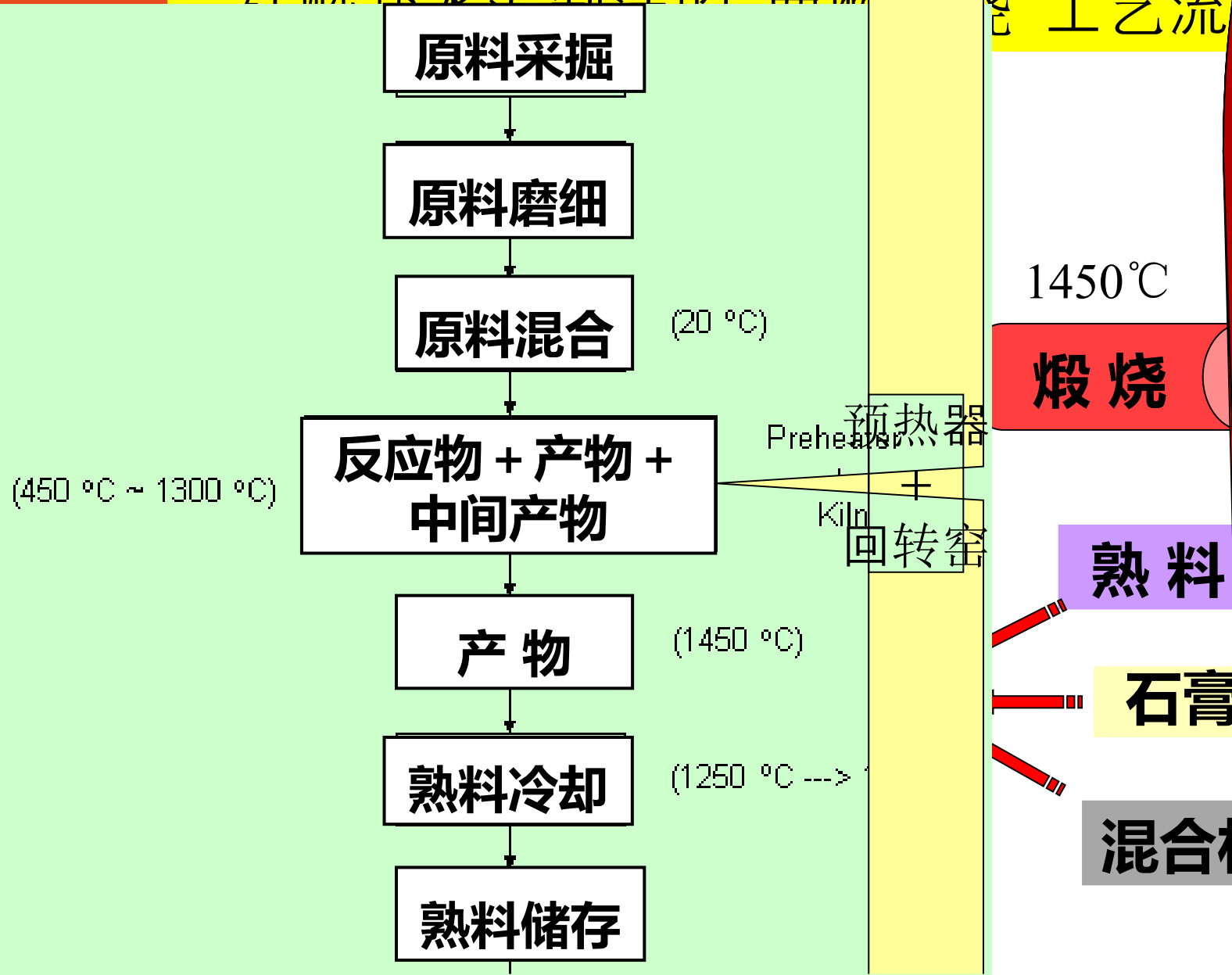
水泥生料可以是：

- ◆ 与水混合成浆体—湿法工艺
- ◆ 加少量水制成料球—半干法工艺
- ◆ 加稍多水制成湿球—半湿法工艺
- ◆ 干粉混合物—干法工艺

❖ 制造工艺：

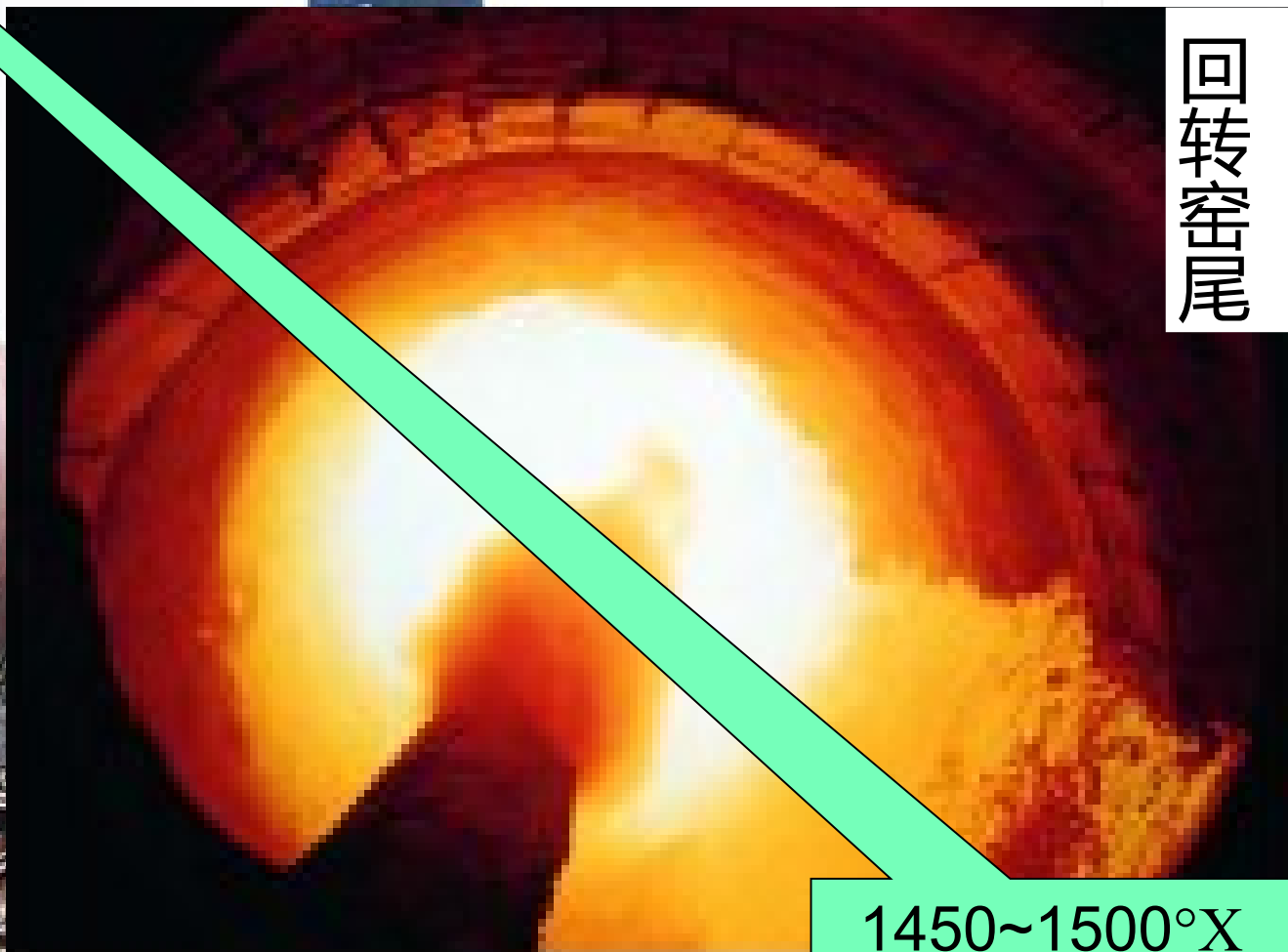
- 原料经粉磨混合制成水泥生料
- 生料经窑内煅烧得到水泥熟料
- 水泥熟料与石膏（或混合材）一起经粉磨混合后得到水泥

“两磨一烧”



硅酸盐水泥熟料制造工艺流程

水泥制造厂全貌



回转窑尾

1450~1500°X

水泥生料煅烧回转窑

三、硅酸盐水泥的组成

❖ 硅酸盐水泥是由下列物质混合组成的水泥

- 硅酸盐水泥熟料 Clinker
- 石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Gypsum
- 混合材 (矿渣或石灰石粉末) Mineral Additives

必要组分

❖ 各物质的作用

- 熟料：主要胶凝物质，能水化硬化；
- 石膏：调节水泥的凝结时间；
- 混合材：调节水泥的强度等级；

硅酸盐水泥熟料的组成

❖ 化学组成：

- 主要成分： $\text{CaO}(=\text{C})$ ， $\text{SiO}_2(=\text{S})$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3(=\text{A})$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3(=\text{F})$
- 少量杂质： MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 SO_3 、 P_2O_5 等。

❖ 矿物组成：

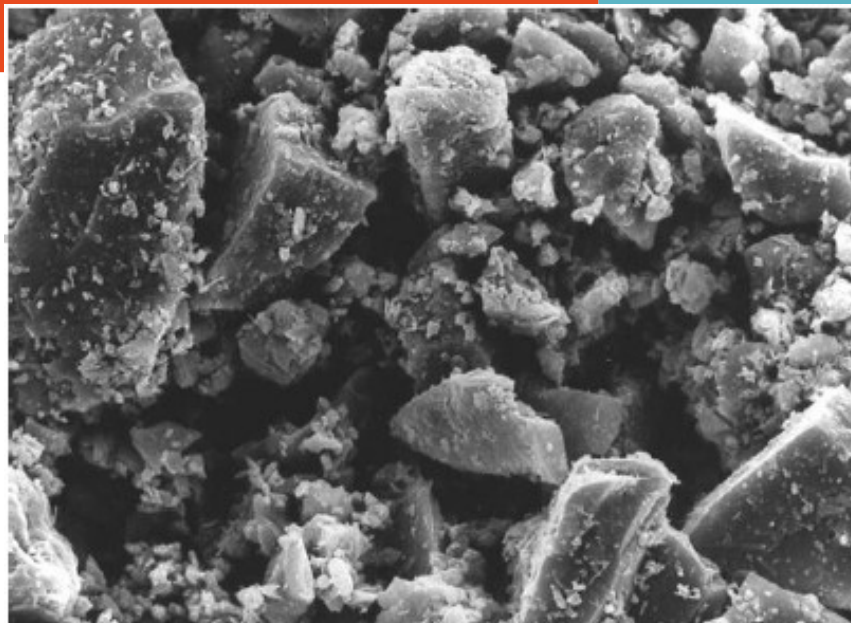
硅酸盐水泥熟料主要含有四种矿物：

矿物名称	英文名称	缩写	分子式	含量 (mass%)
硅酸三钙	Alite	C3S	Ca_3SiO_5	36~60
硅酸二钙	Belite	C2S	Ca_2SiO_4	15~37
铝酸三钙	Aluminate	C3A	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	7~15
铁铝酸四钙	Ferrite	C4A F	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$	10~18

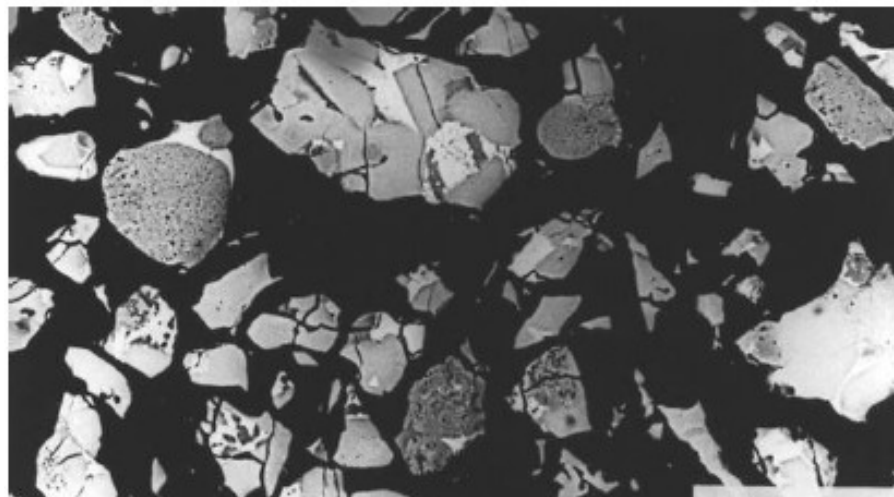
水泥颗粒的结构



水泥颗粒宏观形貌



水泥熟料颗粒细观形貌



水泥熟料矿物微观结构

四、水泥浆如何转变成坚硬固体？

水泥浆通过水泥熟料矿物的**水化反应**、浆体的凝结硬化过程变成坚硬固体

- ❖ **凝结**——水泥与水混合形成可塑浆体，随着时间推移、可塑性下降，但还不具备强度，此过程即为“凝结”；
- ❖ **硬化**——随后浆体失去可塑性，强度逐渐增长，形成坚硬固体，这个过程即为“硬化”。

水泥浆体转变成坚硬固体的过程是一个复杂的物理化学变化过程。

为什么水泥能由浆体变成固体？

- ❖ 水泥与水能发生化学反应——水化反应；
- ❖ 水化反应将结合占水泥质量 30 %左右的拌和水；
- ❖ 水化反应的产物——水化物能相互凝聚成三向网络结构；
- ❖ 水化反应产物有很大的表面能，而且相互间有很强的次价键力。

1. 水泥熟料矿物的水化反应

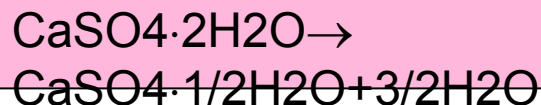
❖ 特征：

- 水泥熟料颗粒中的四种主要矿物同时进行水化反应；
- 其水化反应均是放热反应；
- 水化反应是固-液异相反应。

❖ 反应速度排列

- 半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 和游离氧化钙 $f\text{-CaO}$ 的水化
- 铝酸三钙 **C3A** 的水化
- 铁铝酸四钙 **C4AF** 的水化
- 硅酸三钙 **C3S** 的水化
- 硅酸二钙 **C2S** 的水化

来自水泥粉磨过程中二水石膏的脱水分解：



熟料矿物磨细加水，均能单独与水发生化学反应，其特点见下表。

矿物名称	硅酸三钙	硅酸二钙	铝酸三钙	铁铝酸四钙
含量范围（质量 %）	36 ~ 60	15 ~ 37	7 ~ 15	10 ~ 18
水化反应速度	较快	慢	最快	快
强 度	早期高 后期低	早期低 后期高	低	低（含量多时对抗折强度有利）
水 化 热	较高	低	最高	中

小结

水泥的水化过程：

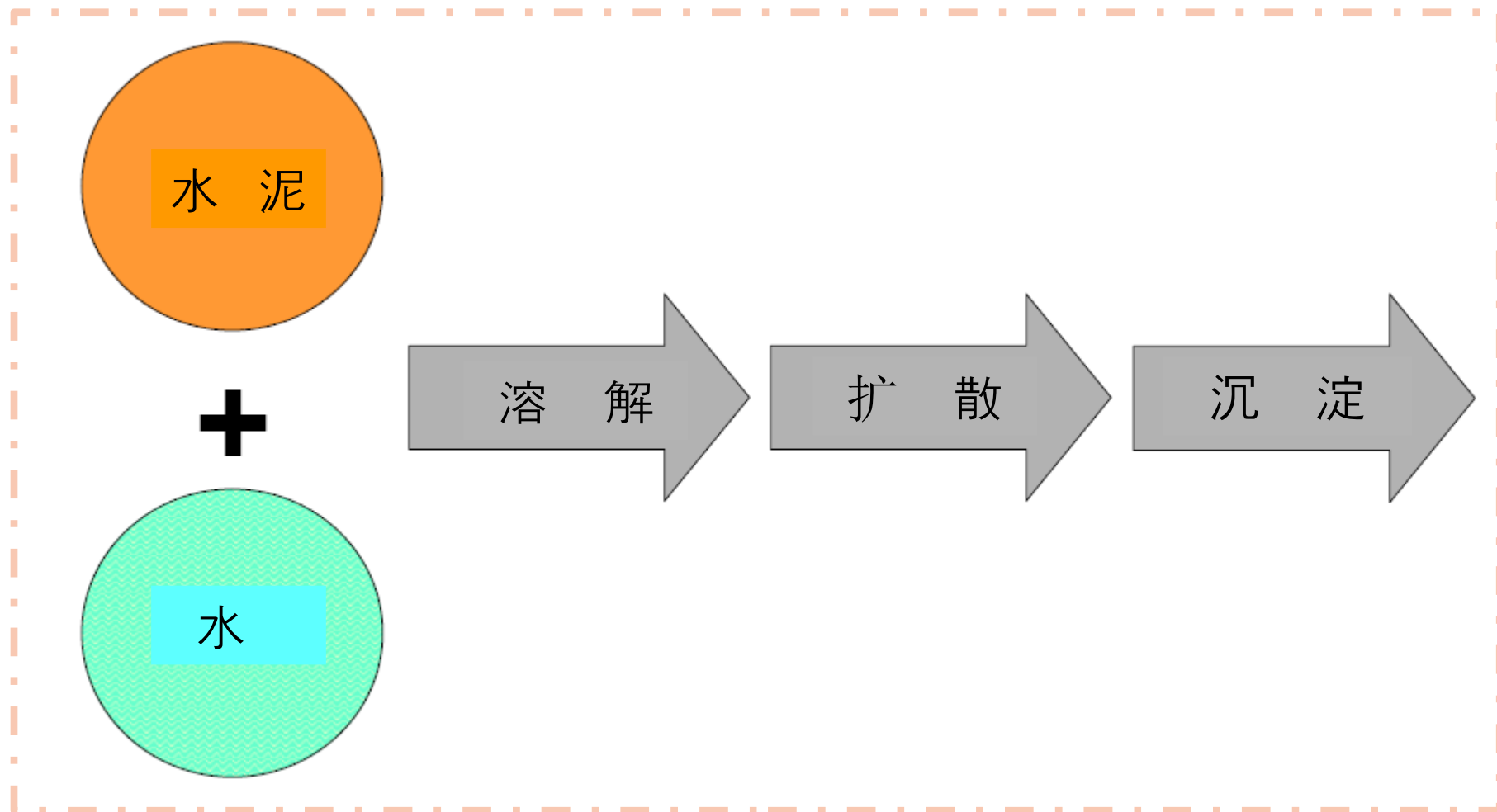
- ❖ 当水泥颗粒分散在水中，石膏和熟料矿物溶解进入溶液中，液相被各种离子饱和；
- ❖ 几分钟内， Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Al^{3+} 、 OH^- 离子间反应，形成钙矾石；
- ❖ 几小时后， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体和硅酸钙水化物 C-S-H 开始填充原来由水占据并溶解熟料矿物的空间；
- ❖ 几天后，因石膏量不足，钙矾石开始分解，单硫型硫铝酸钙水化物开始形成。
- ❖ 此后，水化物不断形成，不断填充孔隙或空隙。



石膏的作用

- ❖ 避免水泥浆的闪凝和假凝现象。
- ❖ 调节水泥的凝结时间。
- ❖ 导致钙矾石和单硫型硫铝酸钙水化物的形成。

2. 水泥浆的凝结硬化——物理过程

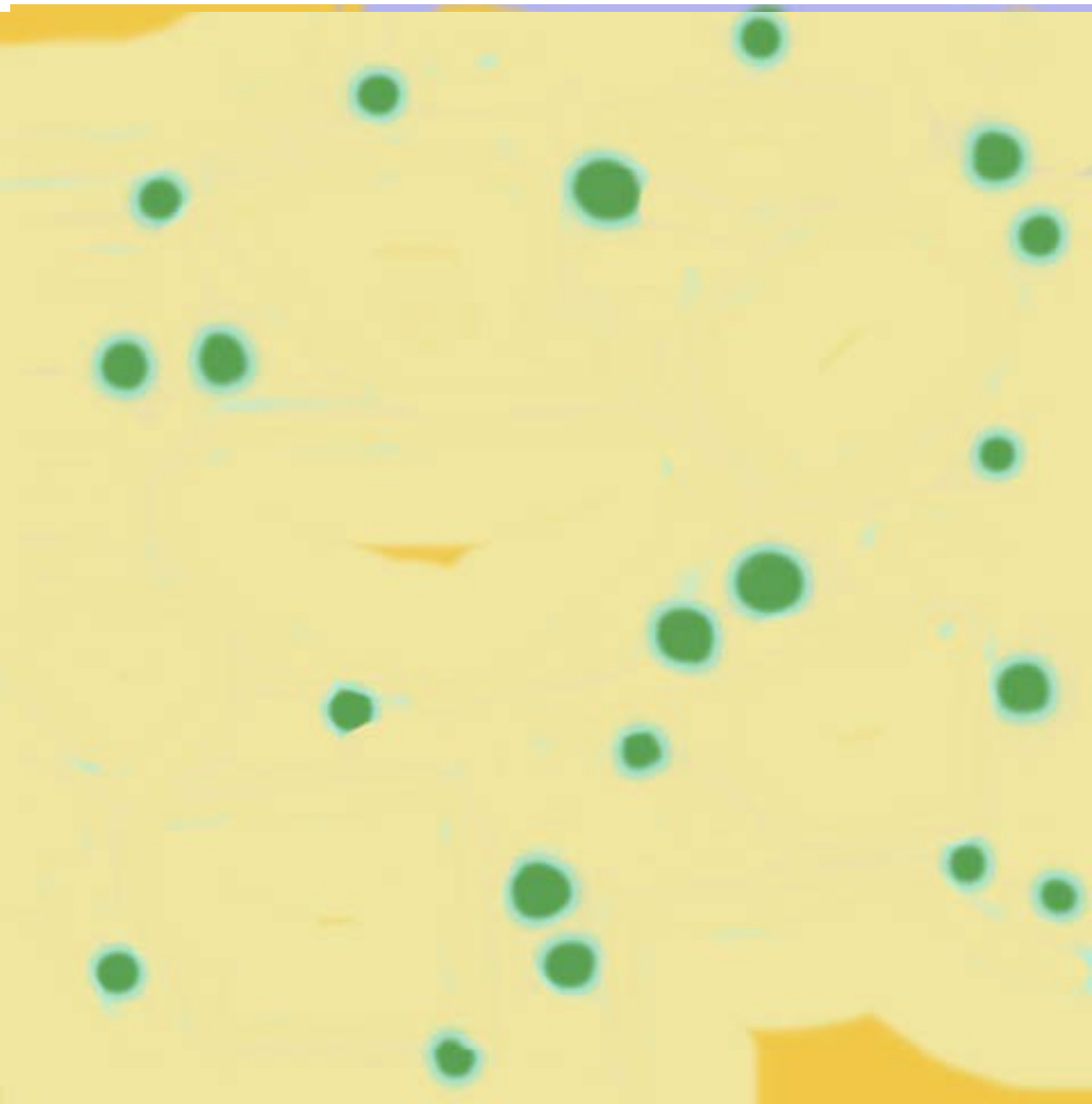


水泥浆的凝结硬化过程

单一水泥颗粒在大量水中的水化过程模型



硅酸盐水泥水化过程物理模型



随着水泥颗粒的不断水化，水化物不断填充毛细孔和水所占据的空间，固体相成为连续相，并具有一定强度。进入硬化期。

水泥浆凝结硬化的物理过程

- ❖ 先在固—液界面发生，水化物围绕每颗水泥颗粒未水化的内核区域沉积；
- ❖ 早期水化物在颗粒上形成表面膜层，阻碍了进一步反应——进入潜伏期；
- ❖ 因渗透压或 Ca(OH)_2 的结晶或二者，水化物膜层破裂，导致水化继续迅速进行——进入水化的加速期；
- ❖ 随着水化的不断进行，水占据的空间越来越少，水化物越来越多，水化物颗粒逐渐接近，构成较疏松的空间网状结构，水泥浆失去流动性，可塑性降低——凝结；
- ❖ 由于水泥内核的继续水化，水化物不断填充结构网中的毛细孔隙，使之越来越致密，空隙越来越少，水化物颗粒间作用增强，导致浆体完全失去可塑性，并产生强度——硬化。

水泥浆水化放热过程

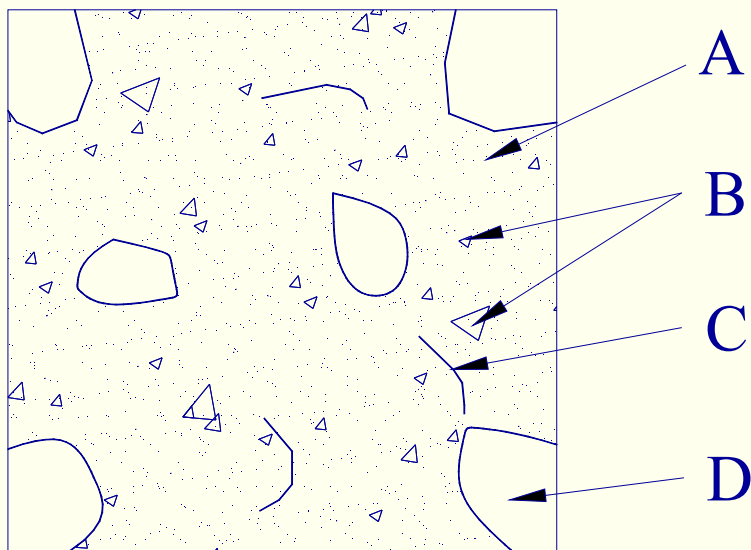
- ❖ 水泥熟料矿物的水化是放热反应，C3S 和 C3A 放热最大，最快；而 C2S 放热最小，最慢。
- ❖ 水泥水化放热有明显的四个阶段：
 1. 初始放热—水泥与水一接触，立即放热，放热速度 dQ/dt 很快，表明反应激烈。
 2. 放热停滞期—放热很慢，接近停滞，表明反应停顿。
 3. 放热加速期—放热速度逐渐加快，达到放热峰值，表明反应逐渐加快。
 4. 放热减速期—放热达到峰值后，放热速度逐渐减慢，表明反应逐渐减速。

3、硬化水泥浆体—水泥石的组成与结构

❖ 水泥石的组成

- 固相—水泥水化物与未水化的水泥颗粒
 - ◆ 胶体相：水化硅酸钙 C-S-H 凝胶和铁相凝胶等；
 - ◆ 晶体相：硫铝酸钙水化物、水化铝酸钙与氢氧化钙晶体等；
- 气相—各种尺寸的孔隙与空隙
 - ◆ 凝胶孔
 - ◆ 毛细孔
 - ◆ 工艺空隙
- 液相—水或孔溶液
 - ◆ 自由水
 - ◆ 吸附水
 - ◆ 凝胶水

❖ 水泥石的结构



A——凝胶体

(C - S - H 凝胶 , 水化硅酸钙凝胶) ;

B——晶体

(氢氧化钙、水化铝酸钙、水化硫铝酸钙) ;

C——孔隙

(毛细孔、凝胶孔、气孔等) ;

D——未水化的水泥颗粒

水泥石的结构

- ◆ 水泥石主要由凝胶体、结晶体、孔隙、水、孔隙和未水化的水泥颗粒等组成，存在固相、液相和气相。
- ◆ 硬化后的水泥石是一种多相多孔体系。
- ◆ 水泥石的结构（水化产物的种类及相对含量、孔的结构）对其性能影响最大。

❖ 水泥石的结构强度的影响因素

➤ 1、水泥的品种一定，则水化产物的类型也是确定的，此时，水泥石的强度主要取决于：

- ◆ 水化产物的相对含量：可用水化程度表示
- ◆ 孔隙的数量、大小、形状及分布状态：与水胶比密切相关

- 水胶比相同，水化程度越高，水泥石结构越密实、强度高、耐水性好
- 水化程度相同，水胶比越大，水泥石强度和耐久性越差

➤ 2、水化产物的数量

- ◆ 相同水泥品种及水胶比，水化物质数量随着水化时间（龄期）延长而增加。
- ◆ 28d 内增长较快，以后渐慢，3 个月以后更为缓慢

➤ 3、水化时环境温度和湿度

➤ 4、施工方法



1、下列那项不是生产硅酸盐水泥的原料 ()

A、石灰质原料 (CaO)

B、铁铝酸四钙 (C_4AF)

C、粘土质原料 (SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3)。

D、铁矿粉 (Fe_2O_3)

E、石膏 (CaSO_4)

2、由硅酸盐水泥熟料，6%~15% 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 ()

A、硅酸盐水泥

B、普通硅酸盐水泥

C、矿渣硅酸盐水泥

D、石灰石硅酸盐水泥

3、在生产水泥时必须掺入适量石膏是为了 ()

- A、提高水泥产量 B、延缓水泥凝结时间
C、防止水泥产生腐蚀 D、提高强度

4、硅酸盐水泥熟料的四个主要矿物组成中 () 水化反应速度最快，() 的早期强度高，() 后期强度高。
() 对水泥抗折强度起重要作用。

- A、C₂S B、C₃S C、C₃A D、C₄AF

5、水泥熟料水化产物主要有哪些？注意 $\text{Ca}(\text{OH})_2$

6、简述凝结硬化的概念。

7、简述水泥石的组成成分和基本结构？

五、硅酸盐水泥应满足哪些技术性质？

(一) . 技术性

质

化学性质

物理性质

化学性质	质 量 标 准
不溶物	I 型：不溶物不得超过 0.75 %；II型：不溶物不得超过 1.50 %
烧失量	I 型：烧失量不得大于 3.0 %；II型：烧失量不得大于 3.5 %
氧化镁	水泥中氧化镁含量不宜超过 5.0 %。如果水泥经压蒸法检验安定性合格，则水泥中氧化镁含量可放宽至 6.0 %
三氧化硫	3.5 %
碱含量	水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示。若使用活性集料，用户要求提供低碱水泥时，水泥中碱含量不得大于 0.60 %或由供需双方商定

1. 细度

❖ 定义

细度是指水泥粉体的粗细程度。

❖ 测量方法

- 筛分析法 以 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量表示；
- 比表面积法 以 1kg 水泥颗粒所具有的总表面积来表示。

❖ 国标要求

- 硅酸盐水泥的比表面积应大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。
- 普通水泥 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量不得超过 10.0% 。

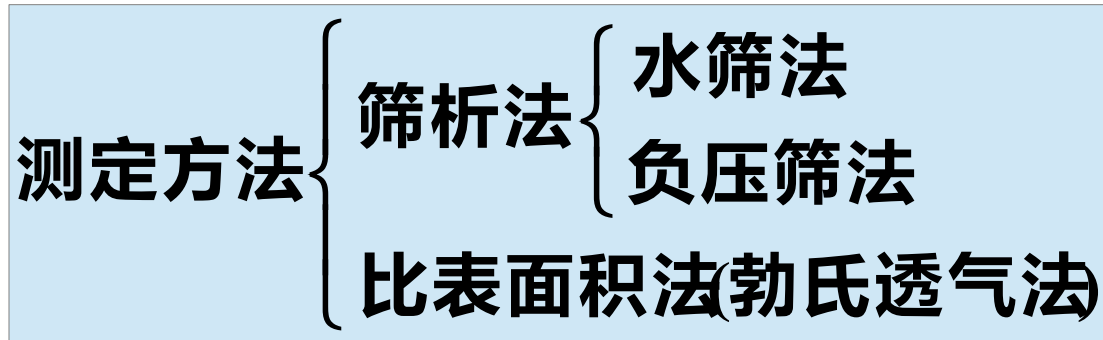
❖ 细度不符合要求的水泥为不合格品！

问题：为什么需要规定水泥的细度？

解答：

- ❖ 水泥颗粒细度影响水化活性和凝结硬化速度，水泥颗粒太粗，水化活性越低，不利于凝结硬化；
- ❖ 虽然水泥越细，凝结硬化越快，早期强度会越高，但是水化放热速度也快，水泥收缩也越大，对水泥性能不利；
- ❖ 水泥越细，生产能耗越高，成本增加；
- ❖ 水泥越细，对水泥的储存也不利，容易受潮结块，反而降低强度。

水泥的细度如何测定？



标准规定：

- ◆ 硅酸盐水泥的细度为：其比表面积大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。
- ◆ 普通硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥在 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量百分率不得超过 10.0%

2. 水泥净浆标准稠度及用水量

- ◆ 为使水泥的凝结时间和体积安定性的测定结果具有可比性，必须用标准稠度的水泥净浆。
- ◆ 国家标准规定，以标准试杆沉入净浆并距底板 $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$ （标准法）或以水泥净浆稠度仪的试锥沉入深度为 $28\text{mm} \pm 2\text{mm}$ （代用法）时的净浆为“标准稠度”。
- ◆ 水泥标准稠度用水量：指拌制水泥净浆时为达到标准稠度所需的加水量。它以水与水泥质量之比的百分数表示。

水泥标准稠度及凝结时间测定仪



3. 凝结时间

❖ 概念：

凝结时间—水泥加水开始到水泥浆失去流动性，即从可塑性发展到固体状态所需要的时间。

➤ **初凝时间** 从水泥加水拌和到水泥浆开始失去可塑性所需的时间；

➤ **终凝时间** 从水泥加水拌和到水泥浆完全失去可塑性，并开始具有强度所需的时间。

❖ **测定方法**
用标准稠度的水泥净浆，在规定的温度及湿度下，用凝结时间测定仪来测定。

❖ **国标要求：（ GB175 - 2007 ）**

硅酸盐水泥初凝不得早于 45min ，终凝不得迟于 6.5h ；

普通硅酸盐水泥初凝不得早于 45min ，终凝不得迟于 10h 。

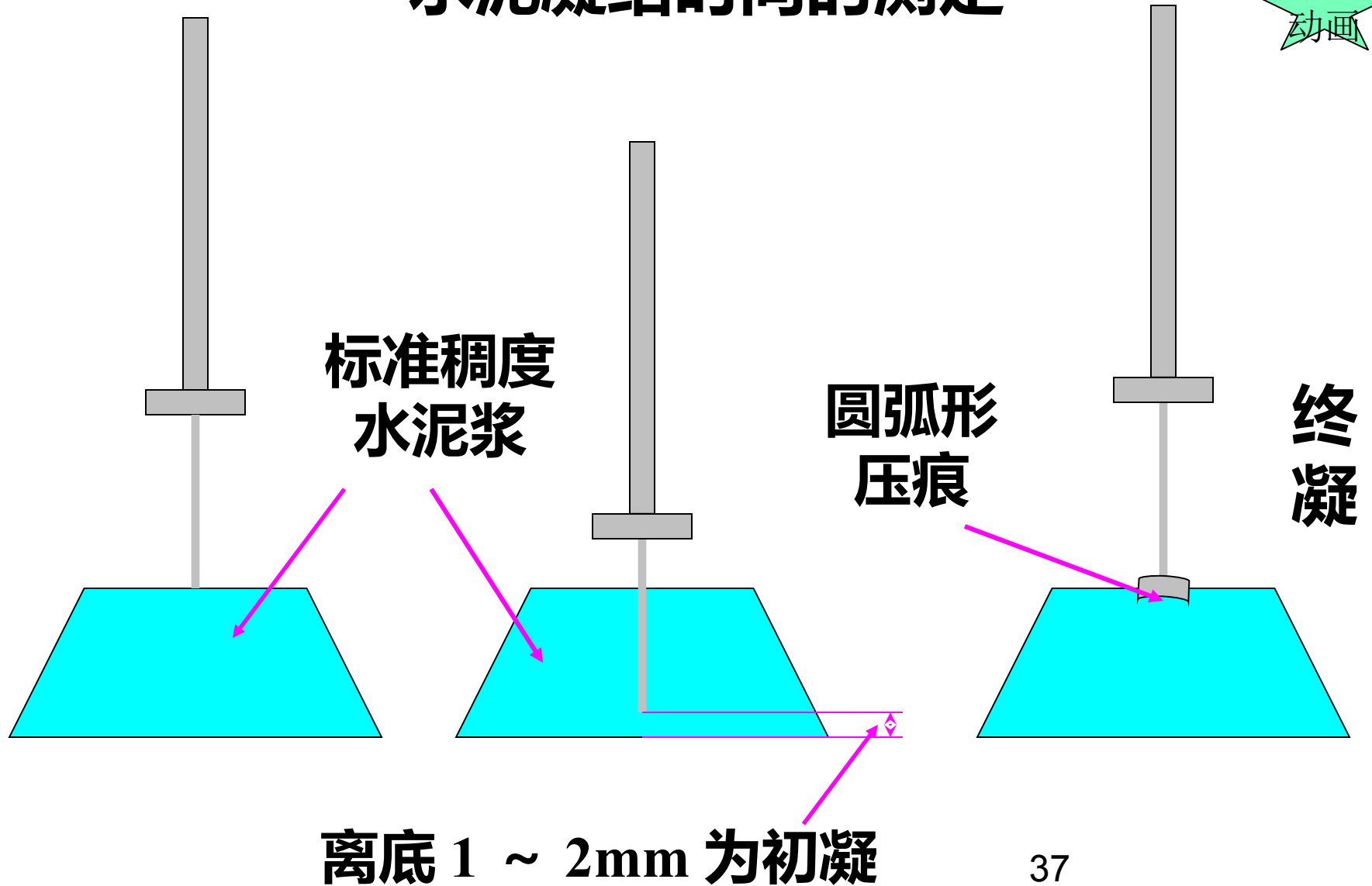
3. 凝结时间

❖ 工程实际应用：

水泥混凝土的拌和、运输、浇灌、振捣等一系列工艺均要在水泥的初凝之前完成，故水泥初凝不能过早。

混凝土成型后，为了不拖延工期，要求尽快硬化，产生结构强度，以利下一工序尽早进行，所以终凝时间不能太迟。

水泥凝结时间的测定



4. 体积安定性

❖ 基本概念：

- 水泥凝结硬化过程中，体积变化是否均匀适当的性质称为体积安定性。
- 若水泥石的体积变化均匀适当，则水泥的体积安定性良好；
- 若水泥石发生不均匀体积变化：翘曲、开裂等，则水泥的体积安定性不良。

❖ 体积安定性不良的水泥为废品！

为什么？

4. 体积安定性

❖ 产生原因：

- 水泥熟料中含有过多的游离氧化钙（ $f - \text{CaO}$ ），或含有过量的游离氧化镁（ $f - \text{MgO}$ ）；
- 生产水泥时掺入的石膏过量；
- 因为水泥熟料中的游离 CaO 、 MgO 都是过烧的。水化速度很慢。在已硬化的水泥石中继续与水反应，其固体体积增大 1.98% 和 2.48 倍。产生不均匀体积变化，造成

❖ 水泥石开裂、翘曲、检验方法：沸煮法

- 石膏量过多，在水泥凝结硬化后，会有钙矾石形成，产

5. 强度及强度等级

水泥胶砂强度试验方法（ISO法）：

将水泥：ISO标准砂：水按 1：3：0.5 混合后，经标准试验方法搅拌成型，制成 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ 的标准试件，在标准条件（1d 温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相对湿度 90 % 以上的空气中带模养护；1d 以后拆模，放入 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 的水中养护）下养护，测定 3d、28d 的抗折、抗压强度，且强度值不得低于规范规定的强度指标。

5. 强度及强度等级

硅酸盐水泥：强度等级划分为

42.5 , 42.5R , 52.5 ,

52.5R , 62.5 , 62.5R 共六个等级。

各等级硅酸盐水泥在不同龄期的强度指标见表 5.2

两种型号：普通型和早强型（也称 R 型）。

早强型水泥早期强度发展较快，3d 强度可达到 28d 强度的 50 %，可用于早期强度要求高的工程中，有利于缩短水泥的养护时间。

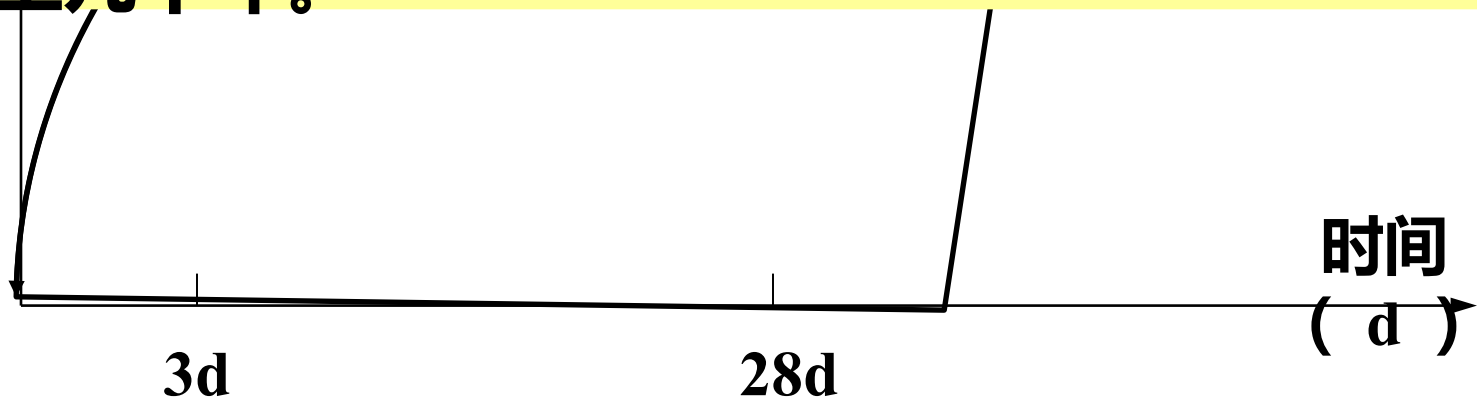
物理性质

强度等级：根据 3 天和 28 天强度测试结果，将水泥强度划分若干个强度等级

水泥品种	强度等级	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
		3 天	28 天	3 天	28 天
硅酸盐水泥	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.4	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	7.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0
普通硅酸盐水泥	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0

水泥强度发展规律

- ❖ 早期增长快，随后逐渐减慢；
- ❖ 28 天，基本达到极限强度的 80 % 以上；
- ❖ 在合适的温湿度条件下，强度增长可以持续几十天乃至几十年。



6. 水化热

❖ 概念：

水泥的水化是放热反应，放出的热量就是水化热。

❖ 放热特征：

水泥放热过程可持续很长时间，但大部分在 3d 内释放。

❖ 水化热的益处与危害：

水化热有利于水泥的快硬，尤其是在冬天施工，但如果水化热发散不均匀，容易在混凝土中引起裂缝，尤其是大体积混凝土，更是如此。

❖ 水化热和放热速度的影响因素：

- 水泥矿物组成
- 水泥细度

五、硅酸盐水泥应满足哪些技术性质？

(二)、技术标准

标准规定：



- ★ 废品水泥：氧化镁、三氧化硫含量、初凝时间、体积安定性中的任一项不符合标准规定；
- ★ 不合格品水泥：细度、终凝时间、不溶物、烧失量和混合材料掺加量中的任一项不符合规定，或强度低于商品强度规定的指标；
- ★ 水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。



强化训练

1、水泥中的石膏掺量过多时，会导致（  ）。

A、缓凝 B、快凝 C、体积安定性不良 D、水泥石收缩

2、国家标准规定：普通硅酸盐水泥初凝（  ） 45min，终凝（  ） 6.5h

A、等于 B、小于 C、不得小于 D、大于等于

3、引起水泥安定性不良的原因有（  B ）、（  C ）和（  D ）。

A、石膏掺量不足

B、石膏掺量过多

C、游离氧化钙含量超标

D、游离氧化镁含量超标

强化训练

4、普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥的细度指标是 ()

A、80 μm 方孔筛筛余量

B、比表面积

C、0.2mm 方孔筛筛余量

D、破碎指标

5、水泥的体积安定性用 () 检测必须合格。

A、沸煮法 B、坍落度法 C、维勃稠度法 D、筛分
析法

6、根据水泥品种不同，分别测定 ( C)，即为水泥的胶
砂强度。

A、3d、7d、28d 抗压强度
压强

B、7d、28d 抗

六、水泥石如何防腐？

❖ 基本概念：

在使用环境中，硅酸盐水泥石受某些腐蚀性介质的作用，其组成和结构会逐渐发生变化或受到损害，导致性能改变、强度下降等。水泥石抵抗这种作用、而保持不变的能力称为其耐腐蚀性。

(1) 导致水泥石腐蚀性破坏的原因

❖ 外因：

环境中的腐蚀性介质，如：软水；酸、碱、盐的水溶液等。

❖ 内因：

- 水泥石内存在原始裂缝和孔隙，为腐蚀性介质侵入提供了通道；
- 水泥石内有在某些腐蚀性介质下不稳定的组分，如： Ca(OH)_2 ，水化铝酸钙等；
- 腐蚀与毛细孔通道的共同作用 加剧水泥石结构的破坏。

① 软水侵蚀（溶出性侵蚀）

❖ 机理：

- 当水泥石处在软水中，软水能使水泥石中的 Ca(OH)_2 溶解，并溶出水泥石，留下孔隙；
- 另一方面，水泥石中游离的钙离子的减少，使钙离子的浓度低于水化物的溶度积，导致水化物分解、溶失和转变，产生大量孔隙。尤其是处于压力水或流水条件下，腐蚀越快。

❖ 破坏形式：

水化物的分解、溶失，造成水泥石密实度下降，孔缝增多、强度降低，直至整体破坏。

② 盐类腐蚀

❖ 硫酸盐的腐蚀

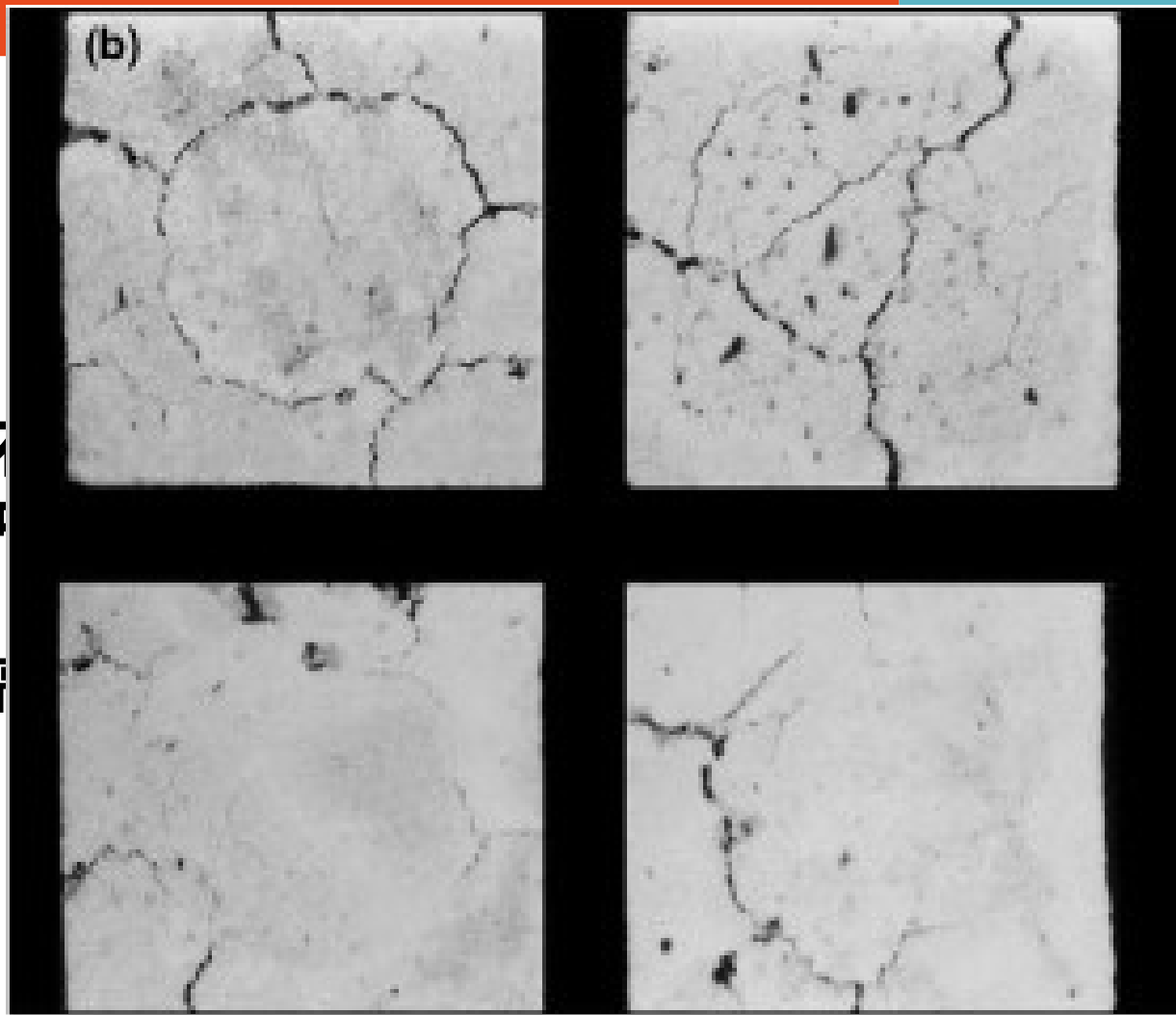
腐蚀机理：

- 硫酸盐与水泥水化产物中的氢氧化钙再与水泥水化产物中的水反应，生成石膏和氢氧化钙，体积增加 2.22 倍。
- 当硫酸钙浓度高时，会引起破坏。

❖ 镁盐的腐蚀

腐蚀机理：

主要是硫酸镁和氯化镁与水泥水化产物中的氢氧化钙反应，生成氢氧化镁和硫酸钙或氯化钙。



水泥石受硫酸盐侵蚀后，因膨胀性结晶产物引起的开裂

③ 酸类腐蚀



水泥石受酸腐蚀后，表面溶失、脱落

④ 强碱腐蚀

- ❖ **腐蚀机理：**氢氧化钠、氢氧化钾等强碱可与水泥石中的铝酸钙矿物或水化物反应，生成可溶性铝酸盐。当介质中强碱浓度较高是，会造成水泥石的严重破坏。

(2) 防止水泥石腐蚀的措施

主要针对引起腐蚀破坏的内因采取措施：

- ❖ 根据使用环境条件，合理选用水泥品种，降低水泥石中不稳定组分的含量；**
- ❖ 提高水泥石的密实度。减少腐蚀性介质的通道，如降低水灰比、掺加外加剂等；**
- ❖ 加做保护层。表面防护处理，堵塞通道如：防腐涂层（石料、陶瓷、塑料、沥青等）。**



七、硅酸盐水泥的应用和存放

- 凝结硬化快，早期及后期强度均高，适用于有早强要求的工程及高强度混凝土工程。
- 抗冻性好，适合水工混凝土和抗冻性要求高的工程。
- 耐腐蚀性差，因水化后氢氧化钙和水化铝酸钙的含量较多，不宜用于受流动的软水和有水压作用的工程，也不不宜用于受海水和矿物水作用的工程。
- 水化热高，不宜用于大体积混凝土工程。但有利于低温季节蓄热法施工。
- 耐热性差。因水化后氢氧化钙含量高。不适用于承受高温作用的混凝土工程。
- 耐磨性好，适用于高速公路、道路和地面工程。



七、硅酸盐水泥的应用和存放

❖ 运输和保管：

不得受潮、混入杂质；

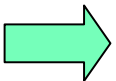
不同品种、不同等级分别储存和运输；

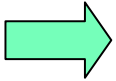
散装水泥使用专用运输车，分别存放。

❖ 袋装水泥堆放高度一般不应超过 10 袋，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后方能使用。

七、硅酸盐水泥的应用和存放

❖ 问题：

1. 硅酸盐水泥的适用领域有哪些？不适合的领域有哪些？为什么？ 

2. 硅酸盐水泥的性质中哪几项不合格为废品？哪几项不合格为不合格品？废品和不合格品应如何处理？ 

3. 施工工地对水泥应如何保管和存放？为什么？

掺混合材料的硅酸盐水泥

什么是掺混合材料的硅酸盐水泥？

❖ 概念：

凡在硅酸盐水泥中，掺入一定量的混合材料和适量石膏，共同磨细制成的水硬性凝胶材料，均属于掺混合材料的硅酸盐水泥

一、水泥混合材料

❖ 水泥混合材料的定义：

在水泥生产过程中，为改善性能、调节强度等级所加入的天然或人工矿物质材料，均称为水泥混合材料。

❖ 水泥混合材料的种类：

- 活性
- 非活性

❖ 水泥混合材料的作用：

在水泥中主要起填充作用，调节强度等级、节省能源、降低成本、增加产量、降低水化热等。

1. 非活性混合材料

❖ 定义：

主要起填充作用且与水泥矿物成分或水化产物不发生化学反应或化学反应很弱的混合材料，为非活性混合材料。

❖ 常见的有：

- 磨细石英砂
- 石灰石粉
- 粘土
- 慢冷矿渣（活性较低）

2. 活性混合材料

- ❖ **定义——具有水化活性的混合材料。**
- ❖ **活性组分： SiO_2 、 Al_2O_3**
- ❖ **常用品种：**
 - **粒化高炉矿渣——炼钢铁的废料**
 - **火山灰质粉末——天然岩石和人工煅烧物**
 - **粉煤灰——火电厂的废料**

二、活性混合材料水泥的共性

- ❖ 密度较小 ；
- ❖ 早期强度较低，后期强度增长率高；
- ❖ 对养护温湿度敏感，适合蒸汽养护；
- ❖ 水化热较小；
- ❖ 耐腐蚀性较好；
- ❖ 抗冻性、耐磨性不及硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。

石灰石
粘土
铁矿粉

磨细
按比例混合

生料

1450℃
煅烧

熟料

石膏

磨细

混合材料
0-5%

磨细

I 型
硅酸盐水泥
P•I

II 型
硅酸盐水泥
P•II

混合材料
Ordinary
6-15%

磨细

2. 普通
硅酸盐水泥
P•O

矿渣
Slag
20-70%

磨细

3. 矿渣
硅酸盐水泥
P•S

火山灰
Pozzolana
20-50%

磨细

4. 火山
灰硅
酸盐
水泥
P•P

粉煤灰
Fly ash
20-40%

磨细

5. 粉煤
灰硅
酸盐
水泥
P•F

几种混
合材
Complex
15-50%

磨细

6. 复合
硅酸
盐水
泥
P•C

1. 硅酸盐水泥

掺混合材料的水泥的品种及代号

水泥品种 号	组成特点	代
普通水泥	6 % ~ 15 %的混合材	P ·
O		
矿渣水泥	20 ~ 70 %矿渣	
P · S		
火山灰水泥	20 ~ 50 %火山灰	P
掺混合材料的硅酸盐水泥的凝结硬化和性能与所掺混合材的种类与掺量密切相关！		
复合水泥	15 ~ 50 %两种混合材	P

三、活性混合材料水泥的特性 P_{51~52}

❖ 矿渣水泥：

保水性差，泌水性大，干缩较大，耐热性较好。

❖ 火山灰水泥：

易吸水，易反应，结构较致密，抗渗性和耐水性较好，体积收缩较大，抗硫酸盐能力较差。

❖ 粉煤灰水泥：

吸水能力弱，需水量较低，干缩性较小，结构致密，抗裂性较好。

❖ 复合水泥：

取决于所掺的混合材种类。

其它品种水泥

一、道路硅酸盐水泥

❖ 组成特点：

- 水泥熟料主要矿物——硅酸钙和铁铝酸钙
- 铁铝酸四钙高， C_4AF 的含量 $\geq 16.0\%$ 。

❖ 性能特点：

- 初凝时间较长， $\geq 1h$ ；
- 抗折强度高；
- 耐磨性好，磨损率 $\leq 3.60\text{kg/m}^2$ ；
- 抗裂性好，28d 干缩率 $\leq 0.10\%$ ；

❖ 使用特点：

主要用于混凝土路面工程。

二、白色硅酸盐水泥

❖ 组成特点：

水泥中的氧化铁的含量低于水泥质量的 0.5% 。

❖ 性能特点：

外观为白色，按白色度分为一级、二级和三级；技术要求与普通水泥相同。

❖ 应用特点：

白水泥熟料与颜料、石膏共同磨细可制得彩色水泥；主要用于建筑室内外装饰等。

三、快硬硅酸盐水泥

❖ 组成特点：

熟料中 C3S、C3A 的含量较高，石膏的掺量略大。

。

❖ 性能特点：

水泥的细度较细，凝结硬化快，早期强度增进率高。

。

❖ 应用特点：

早期强度要求高、紧急抢修、低温施工工程和高标号混凝土预制构件等。

四、硫铝酸盐水泥

❖ 分类特点：

快硬硫铝酸盐水泥、低碱硫铝酸盐水泥

❖ 性能特点：

早期强度高，抗渗性、抗冻性和耐腐蚀性好；耐高温性能差。

五、膨胀水泥和自应力水泥

❖ 组成特点：

含有在水泥的凝结硬化过程中能产生适量体积膨胀的成分，如：氧化钙、氧化镁、硫铝酸钙、明矾石、石膏等。

❖ 种类：

硅酸盐型、铝酸盐型、硫铝酸盐型。

❖ 性能特点：

凝结硬化过程中体积不收缩，而略有膨胀，提高密实性和抗渗性。

❖ 应用特点：

可用于配制防水砂浆和防水混凝土、管道接头、堵缝和自应力钢筋混凝土结构工程和构件等。

六、铝酸盐水泥

- ❖ 高铝水泥的矿物组成
- ❖ 高铝水泥的水化
- ❖ 高铝水泥的技术性质
- ❖ 高铝水泥的特点与应用

(一) 高铝水泥的矿物组成

❖ 定义：

高铝水泥（矾土水泥）是以铝矾土和石灰石为原料，按一定比例配合，经煅烧、磨细所制得的一种以铝酸钙为主要矿物成分的水硬性材料，又称铝酸盐水泥。

❖ 主要矿物有：

- | | | |
|----------|--|----------------|
| ➤ 铝酸一钙 | $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | CA , 50%~70% ; |
| ➤ 硅酸二钙 | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C2S , |
| ➤ 七铝酸十二钙 | $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ | C12A7 |
| ➤ 二铝酸一钙 | $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, | CA2 |
| ➤ 硅铝酸二钙 | $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ | C2 |

水化活性很高

水化活性很低

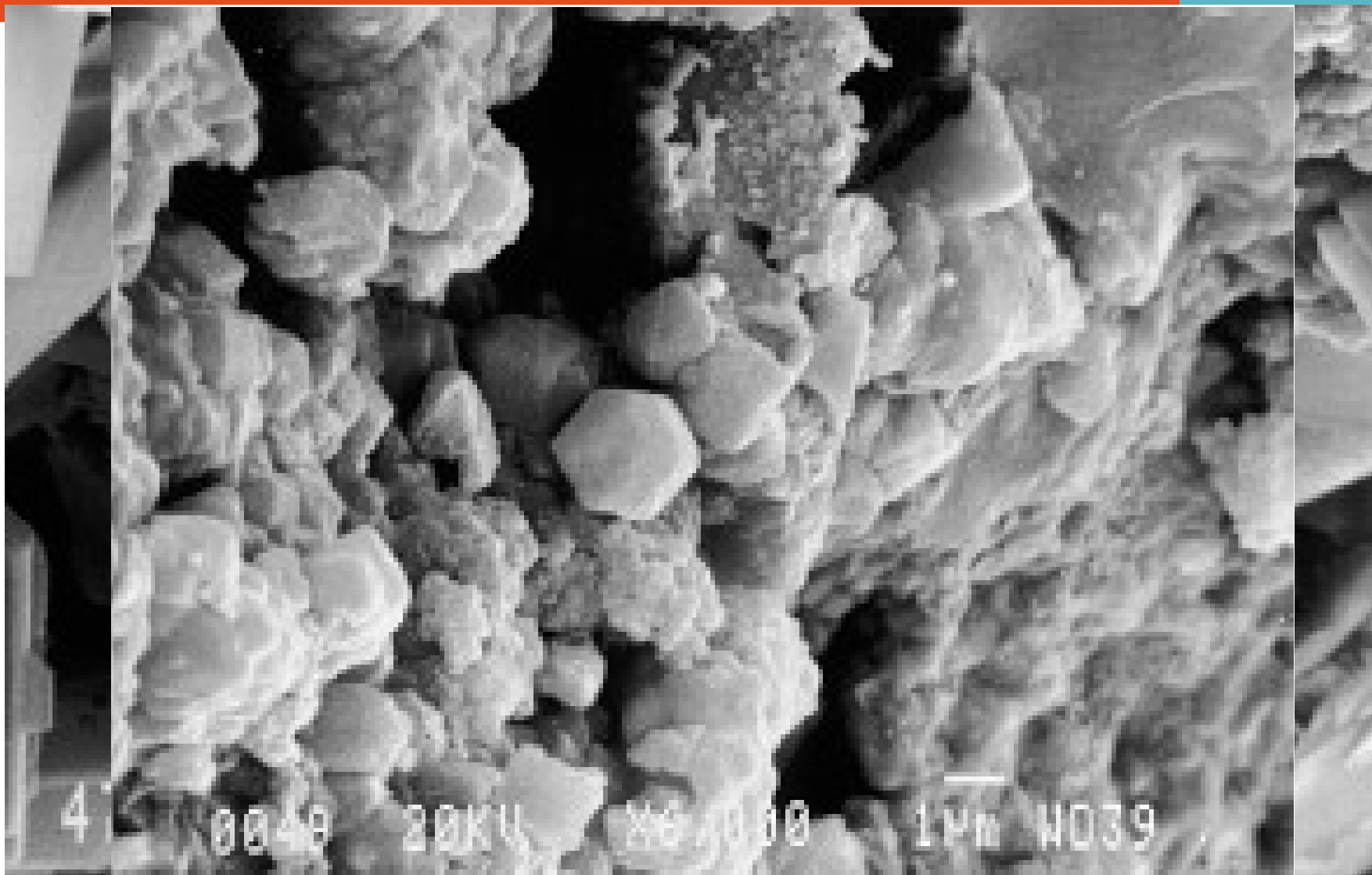
(二) 高铝水泥的水化和硬化

❖ 特点：

1. 高铝水泥的水化主要是铝酸一钙的水化和水化物的结晶；
2. 铝酸一钙的水化物组成与温度有关：



3. 水化反应集中在早期，而且，反应速度较快，因此，早期强度增长快；
4. 水化物都是晶体，而且，稳定性较差，容易发生相互间的转化，因而引起强度降低。



5°C

65°C 下铝酸盐水泥稳定水化物— C_3AH_6 (立方晶体)

76

;

(三) 高铝水泥的技术性质

1. 外观：黄色或黄褐色或灰色；
2. 密度与堆积密度：与硅酸盐水泥相近；
3. 细度：80 μm 筛余不得超过 10%；
4. 凝结时间：初凝 $\geq 40\text{min}$ ，终凝 $\leq 10\text{h}$ ；
5. 强度：见表 2-11。

(四) 高铝水泥的特点与应用

- 1. 耐高温性能好，配制耐高温混凝土或砌筑砂浆；**
- 2. 耐硫酸盐腐蚀性能较好，适用于有抗硫酸盐侵蚀要求的工程；**
- 3. 耐碱性较差，不能用于接触碱溶液的工程；**
- 4. 水化热较大，适用于冬季施工，不适用于大体积混凝土；**
- 5. 快硬早强，宜用于紧急抢修工程。**
- 6. 高铝水泥有强度倒缩现象，如需用于工程中，应按最低稳定强度设计。**

小结

- ❖ 本节中的特性水泥是通过改变水泥熟料矿物组成或水化物组成，获得不同的特定性质。
 - **道路水泥**， C_4AF 含量高，抗折强度与耐磨性好；
 - **白色水泥**，铁相含量很低，外观为白色；
 - **快硬水泥**， C_3A 和 C_3S 含量高，凝结硬化快，早强；
 - **中、低热水泥**， C_3A 和 C_3S 含量较低，水化热较小；
 - **抗硫酸盐水泥**， C_3A 和 C_3S 含量较低，抗蚀系数较大；
 - **膨胀、自应力水泥**，生产体积可膨胀的水化物；
 - **高铝水泥**，熟料矿物主要为铝酸钙，快硬，耐高温等。