

第6章 混凝土工程





➤ 混凝土工程施工顺序：

混凝土制备→运输→浇筑→养护

➤ 混凝土生产方式：

✓ 现场搅拌：混凝土离散性大，浪费大，适用小批量生产。

如：构件厂混凝土施工。

✓ 集中搅拌：效率高，质量好，要求严，适用于大批量生产。如：商品混凝土。

◆ 6.1 混凝土的制备

● 6.1.1 混凝土的配制

➤ 混凝土配合比设计基本要求

✓ 设计要求——强度等级，保证结构安全性；

✓ 施工要求——施工性（和易性、流动性等）和经济性。

➤ 1) 混凝土施工配制强度

——由于混凝土是非匀质材料，强度会有波动。为保证混凝土实际施工强度 \geq 设计强度标准值，则施工配制强度比设计强度标准值提高一个等级，并具有95%保证率，即：

$$f_{cu.o} = f_{cu.k} + 1.645\sigma$$

式中： σ ——施工单位的混凝土强度标准差，MPa；

$f_{cu.o}$ ——混凝土的施工配制强度，MPa；

$f_{cu.k}$ ——设计的混凝土强度标准值，MPa；

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N f_{cu,i}^2 - N\mu_{cu}^2}{N-1}}$$

✓当施工单位有近期（不超过3个月）同一品种混凝土的强度资料时，计算求得：

- 当强度等级C20、C25时，如计算 $< 2.5\text{MPa}$ 时，取 $\sigma = 2.5\text{MPa}$ ；
- 当强度等级 \geq C25时，如计算 $< 3.0\text{MPa}$ 时，取 $\sigma = 3.0\text{MPa}$ 。

✓当施工单位没有近期的同一品种混凝土的强度资料时：

- 当强度等级 $<$ C25， $\sigma = 4.0\text{MPa}$ ；
- 当强度等级C25~C35， $\sigma = 5.0\text{MPa}$ ；
- 当强度等级 \geq C35， $\sigma = 6.0\text{MPa}$ 。

例如：C40混凝土的施工配制强度为： $f_{cu.o} = 40 + 1.645 \times 6 = 49.87\text{MPa}$

➤ 2) 混凝土的施工配料计算

——施工时混凝土各种配料的计量必须正确，特别是混凝土的水灰比对混凝土的强度和收缩影响很大。

- ✓ 计量误差的产生主要有二方面的原因：
 - 施工方面：多加水，流动度较好，浇筑方便；
 - 经济方面：偷工减料。

材料名称	允许偏差
水泥及混合料	± 2%
粗，细骨料	± 3%
水和外加剂	± 2%

✓ 施工配料实际用水量的计算

——施工配料的砂石均有一定的含水率，为保持水灰比不变，则施工配料的用水量须扣除砂石中的含水量。

设： 试验室配合比为：水泥：砂：石子 = 1：X：Y；

水灰比为：W/C；

现场测得的砂石含水率分别为：W_x、W_y。

则： 施工配合比为：水泥：砂：石 = 1：X(1+W_x)：Y(1+W_y)

实际用水量 = W（原含水量） - XW_x - YW_y

●6.1.2 混凝土搅拌

混凝土搅拌方式：

}	人工搅拌	}	自落式
	机械搅拌		强制式

➤1) 混凝土搅拌机理及搅拌机选择

✓自落式重力扩散机理——“自落式搅拌机”

——利用“重力”的作用自由下落，物料下落时，颗粒间相互穿插，翻拌，混合而扩散均匀。



✓强制式剪切扩散机理——“强制式搅拌机”
——利用转动的叶片强迫物料相互间产生剪切滑移而达到混合和扩散均匀化。



双卧轴强制式混凝土搅拌机



搅拌罐



✓选择搅拌机

- 搅拌机的“阶数”原材料上下一次称为“一阶”，现场搅拌机常为“一阶式”，加工厂的搅拌站常为“二阶式”或“三阶式”。

- 塑性混凝土宜选用“自落式搅拌机”；干硬性和轻骨料混凝土宜采用“强制式搅拌机”。

- 选用搅拌机容量不宜超载。超载会影响混凝土的均匀性，反之影响生产效益。

- 混凝土搅拌机容量以出料容积（ m^3 ） $\times 1000$ 标定规格，常用的有250，350，500，750和1000。

- 出料容积一般为装料容积的0.55~0.75，常取为0.65，即2/3左右

-

➤ 2) 投料顺序

✓ (1) 一次投料法

- 投料顺序：10%水→粗细骨料，水泥、80%的水→补10%的水。
- 优点：水泥裹在中间，防止水泥飞扬。

✓ (2) 二次投料法

分为：“预拌水泥砂浆法”、“预拌水泥净浆法”、“水泥裹砂法”

。

• 预拌水泥砂浆法

——先制成**水泥砂浆**，然后与石子搅拌成均匀的混凝土；

• 预拌水泥净浆法

——先制成**水泥净浆**，然后与砂和石搅拌成均匀的混凝土；

• 水泥裹砂法

——先将全部砂，石和70%水倒入搅拌机搅拌10~20S（将砂石润湿），然后与水泥搅拌约20 S（造壳），最后加余水搅拌80 S。

• 优点

水泥用量不变时，强度可提高15%；

强度不变时，水泥用量可节约15%~20%。

➤3) 搅拌时间

——从所有原材料倒入搅拌筒时开始，到混凝土出料止。

搅拌时间宜适中，其长短直接影响混凝土质量和混凝土的生产效率！

- ✓搅拌时间过短——混凝土不均匀，降低混凝土强度和工作性；
- ✓搅拌时间适中——适当延长搅拌时间，强度有所提高；
- ✓搅拌时间过长——较差的骨料可能会破碎，降低混凝土强度和工作性以及生产率。

混凝土的搅拌时间与混凝土**坍落度**、搅拌机**机型**和**出料量**等因素有关。

混凝土坍落度 (mm)	搅拌机机型	搅拌机出料量(L)		
		<250	250 ~ 500	>500
30	强制式	60	90	120
	自落式	90	120	150
>30	强制式	60	60	90
	自落式	90	90	120

注：混凝土搅拌最长时间不宜超过表中规定最短时间的三倍！

◆ 6.2 混凝土运输

混凝土运输基本要求:

保持原有的均匀性，不离析；
开始浇筑时，坍落度满足要求；
必须在混凝土初凝前完成浇筑。

混凝土运输设备

水平运输：
——手推车、机动翻斗车、混凝土搅拌运输车、自卸汽车等；

垂直运输：
——井架、塔式起重机和混凝土泵等。

- 手推车和机动翻斗车运输
——常用于工地内短距离水平运输。
- 手推车——容量约 $0.07\sim 0.1\text{m}^3$ 左右；
- 机动翻斗车——容量约 0.45m^3 左右。

机动翻斗车

混凝土从搅拌机卸出到浇筑完毕的时间 (min)

混凝土强度等级	气温	
	25	>25
C30	120	90
>C30	90	60

注：强度越高，气温越高，砼初凝时间越短。



●混凝土搅拌输送车运输

——可在运输途中进行混凝土搅拌，适用于混凝土长距离、水平运输，如商品混凝土的运输。

➤每车容量约 6m^3 。

➤按工作性能分为两种方式运输：

✓扰动运输

- 运输已搅拌好的混凝土；
- 运输途中，不停以慢速旋转来扰动混凝土，防止离析；
- 运距受混凝土初凝时间限制。

✓搅拌运输

- 湿料搅拌运输——按配合比要求装入原材料（包括水），运至现场后搅拌。
- 干料注水搅拌运输——装入干料（砂、石和水泥），在运输途中或运到现场后加水搅拌。
- 运距可不受混凝土初凝时间限制。



- 井架和塔式起重机运输
——适用于混凝土的垂直输送。



- 混凝土泵运输
——适用于工地内混凝土的水平 and 垂直输送。



混凝土泵车

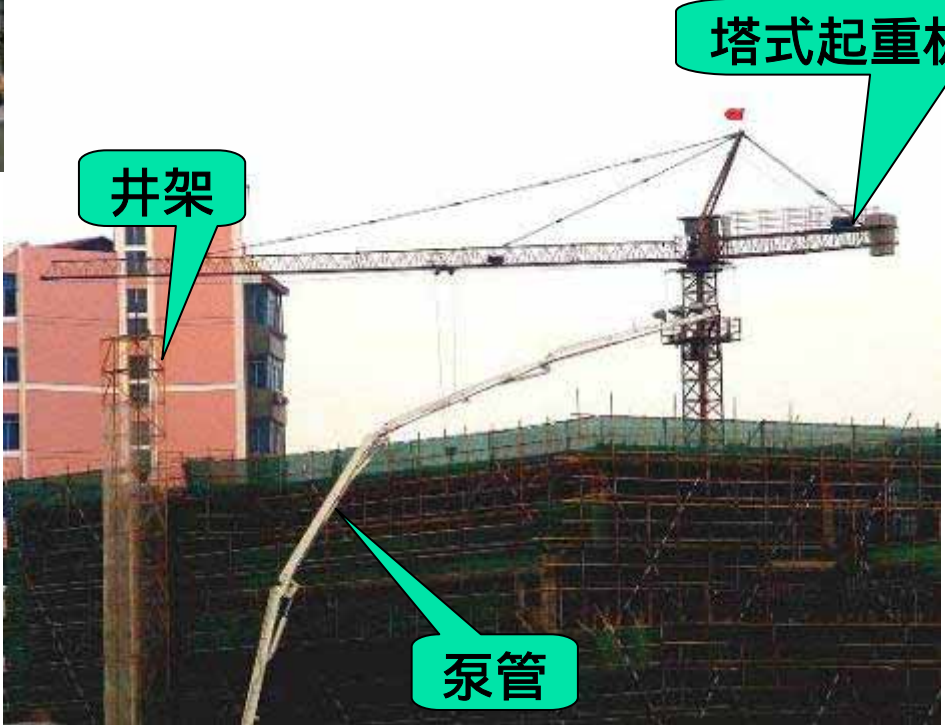
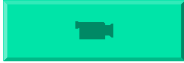


混凝土泵



混凝土
泵车

混凝土搅
拌运输车



塔式起重机

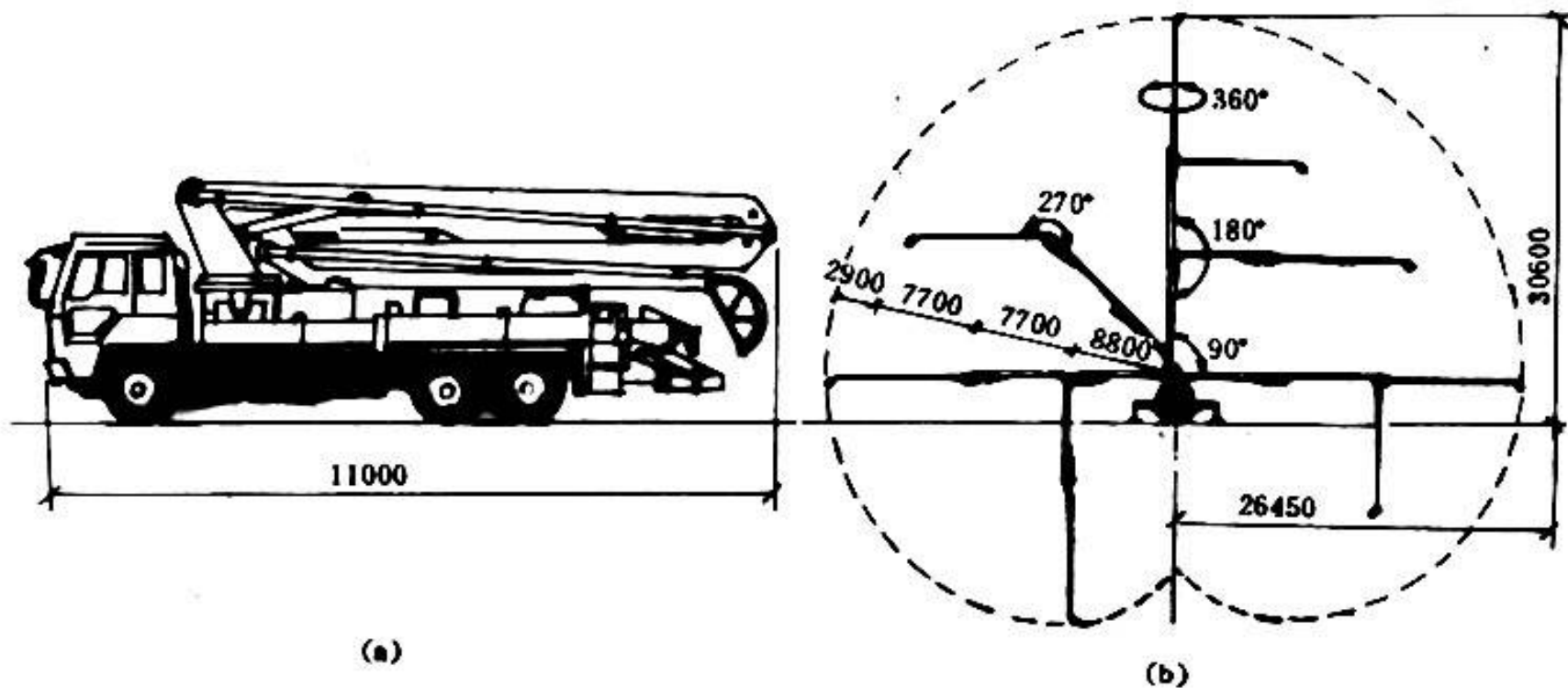
井架

泵管



➤ 输送泵泵送范围

- 输送量为：30~90m³/h，最大可达160m³/h；
- 水平运输量为：200~500m，最大可达700m；
- 垂直输送量为：50~130m，最大可达200m。



➤ 泵送混凝土应注意的问题

✓ 水泥用量

——起润滑作用，泵送混凝土最小水泥用量不宜少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

✓ 坍落度

——应适中，过低则泵送阻力大，泵送能力下降；过大则易漏浆、混凝土易收缩、易离析。

不同泵送高度入泵时混凝土坍落度选用值表

泵送高度 (m)	30以下	30 ~ 60	60 ~ 100	100以上
坍落度 (mm)	100 ~ 140	140 ~ 160	160 ~ 180	180 ~ 200

✓ 骨料种类

——泵送混凝土骨料以卵石和河砂最为合适。

✓ 粗骨料最大粒径与输送管径之比

泵送高度 (m)	50以下	50 ~ 100	100以上
粗骨料最大粒径与输送管径之比	不大于1:3 (碎石) 和1:2.5 (卵石)	宜在1:3 ~ 1:4	宜在1:4 ~ 1:5



✓骨料级配和含砂率

——为防止堵管，骨料级配要保证均匀性。

- 石子粒径：一般为5mm~1/4(或1/5)管径的连续级配；
- 砂率：比一般混凝土要高，一般在38%~45%，应有一定比例的细砂。

✓水灰比和外加剂

- 水灰比：一般控制为0.4~0.6。
- 外加剂：根据混凝土的实际情况，由试验确定。

✓其它

- 输送管——弯头少、管子直、转弯缓、接头严、少用锥形管等，以减少压力损失；
- 使用——开始时用稀浆润滑管道、连续工作、受料斗灌满混凝土、清洗等；
- 混凝土养护——加强养护，以防混凝土出现裂纹。

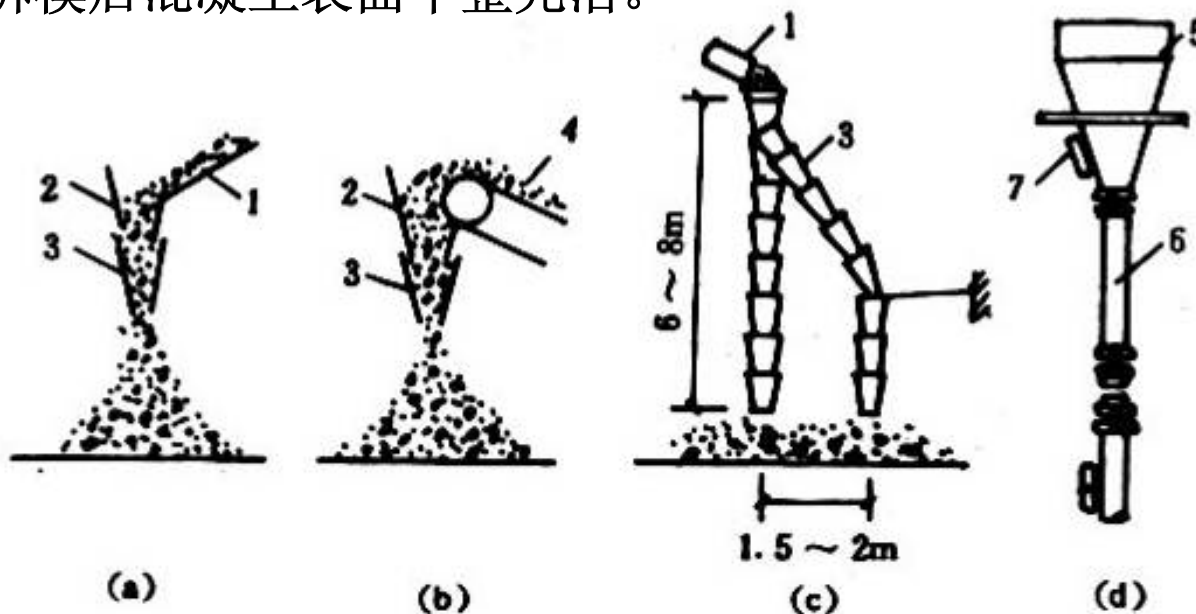
◆ 6.3 混凝土浇筑

——须使混凝土振捣密实，强度符合设计要求，保证结构整体性，尺寸准确，拆模后混凝土表面平整光洁。

● 6.3.1 基本要求

➤ 1) 防止离析

- ✓ 运输途中防止剧烈颠簸；
- ✓ 浇筑时混凝土从料斗内卸出，其自由倾落最大高度不应超过2m；
- ✓ 浇筑竖向结构混凝土，浇筑高度不应超过3m；
- ✓ 浇筑高度过高，则应采用串筒、溜管或振动溜管下料，并保证混凝土出口下落方向垂直；
- ✓ 出现混凝土离析和坍落度不满足要求时，必须在浇筑前进行二次搅拌。



➤ 2) 正确留置施工缝

✓ (1) 施工缝定义

重要概念

上的原因,不能连续将结构整体浇筑完成,且可能超过混凝土初凝时间时,预先确定在适当的部位留设的缝。停歇时间——由于施工技术(绑扎钢筋,安装模板等)或施工组织(工人换班、设备损坏、待料等

- 从空间上

——施工缝为浇筑过程中新老混凝土的接触面;

- 从时间上

——施工缝为混凝土浇筑的临时停歇点;

- 从性质上

——施工缝既非结构缝(沉降缝、伸缩缝和抗震缝),也不同于后浇带。

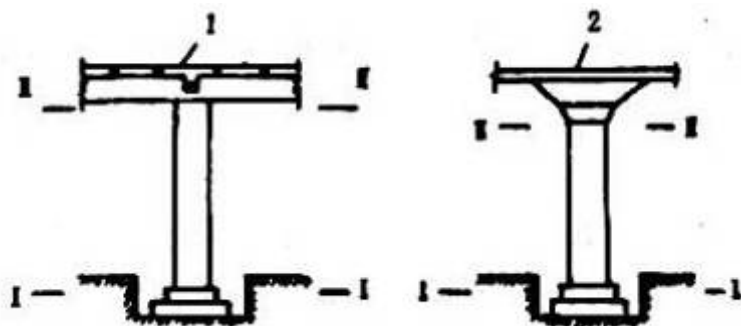
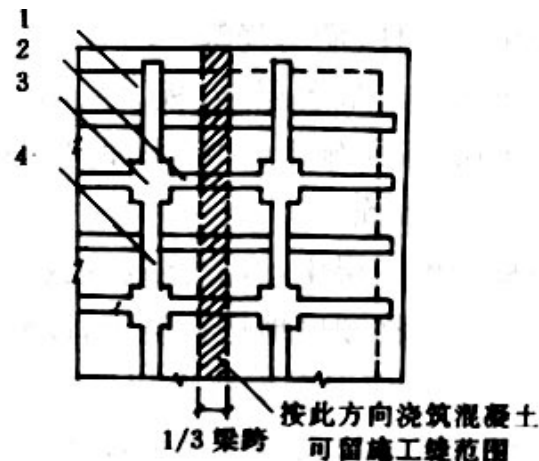
✓ (2) 施工缝留设位置

——施工缝是结构中薄弱环节，宜留在“结构剪力较小，施工较方便”处。

- 柱子——基础或楼面的顶面，梁的下面，无梁楼板柱帽下面，吊车梁牛腿下面或吊车梁上面，一般为2~5cm；
- 有主次梁楼板——宜顺着次梁方向浇筑，施工缝留在次梁跨度中间1/3范围内。
- 梁和双向板——跨中1/3 范围内；
- 单向板——平行于板短边的任何位置；
- 楼梯——跨中1/3 范围内。

✓ (3) 施工缝处理方法

- 已浇混凝土的抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$ ；
- 清理已硬化混凝土表面的水泥和松动的石子以及软弱混凝土层；
- 冲洗表面干净，充分湿润，不得积水；
- 在老混凝土表面铺设一层水泥浆或与混凝土成分相同的水泥砂浆，然后浇筑新混凝土。



●6.3.2 浇筑方法

➤分层浇筑

- ✓在下层混凝土凝结前，完成上层的浇筑和振捣；
- ✓每层浇筑厚度约为200~300mm。

捣实混凝土的方法		浇筑层厚度 (mm)
插入式振捣		振动器作用部分长度的1.25倍
表面震动		200
人工捣固	在基础、无筋混凝土中	250
	在梁、墙板、柱结构中	200
	在配筋密集的结构中	150
轻骨料混凝土	插入式振捣	300
	表面震动 (振动时需加荷)	200

➤ 连续浇筑

- ✓ 应在前层混凝土凝结前将次层浇筑完毕；
- ✓ 混凝土运输、浇筑和停歇全部时间不得超过下表规定，否则应留设施工缝。

混凝土强度等级	气温	
	不高于25℃	高于25℃
不高于C30	210min	180min
高于C30	180min	150min

注：影响因素包括混凝土强度等级、气温、外加剂等。

➤ 梁、板、柱、墙的浇筑

- ✓ 对于结构层——逐层浇筑；
- ✓ 对于同一层：
 - 先浇筑竖向构件（柱、墙），后浇水平构件（梁、板）；
 - 一般分二次浇，也可一次浇筑完成。
- ✓ 浇筑须注意对称，防止模板及其支架倾斜；
- ✓ 每一施工层的每一施工段中，墙、柱应连续浇筑到顶。

➤大体积混凝土的浇筑

✓大体积的混凝土定义

——任何就地浇筑大体积混凝土，其尺寸之大，必须采取措施解决水化热及随着引起的体积变形问题，以最大限度减少开裂。

✓大体积混凝土结构

——工业建筑中的设备基础；在高层建筑中地下室底板、结构转换层；各类结构的厚大桩基承台或基础底板以及桥梁的墩台等。

如：南京娄子巷高层住宅2m厚转换板、润扬大桥锚锭（长69m、宽50m，深50m）等。

✓大体积混凝土裂缝产生的原因

——由于混凝土水化热和自身体积收缩，在内外温差以及外界约束条件下，产生拉应力，当拉应力超过该龄期混凝土抗拉强度，则混凝土开裂，产生裂缝。



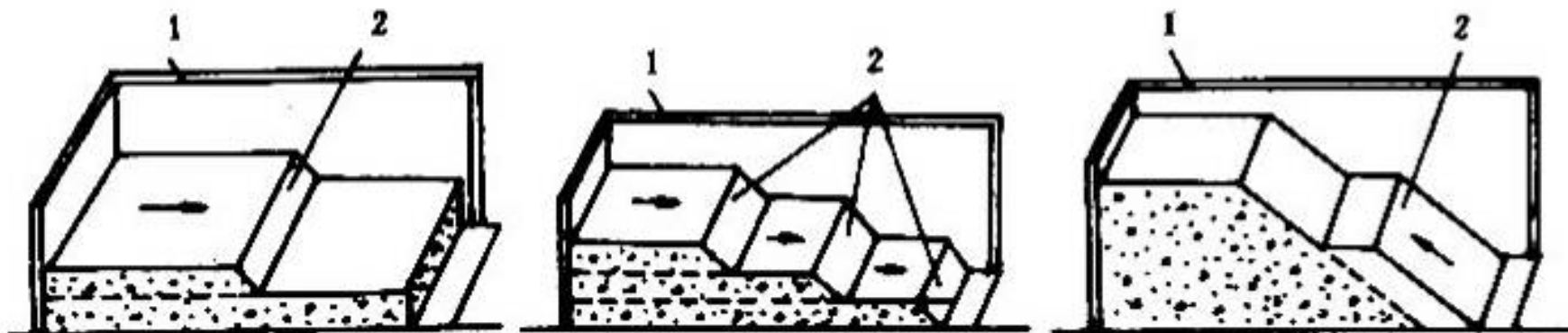
润扬大桥锚锭

✓大体积混凝土裂缝控制措施

——关键是减小温度应力，为此须减小混凝土内外温差、自身体积收缩和外界约束。

具体措施

- 优先选用水化热低的水泥，如：矿渣水泥、火山灰水泥或粉煤灰水泥等；
- 降低水泥用量，掺入适量的粉煤灰；
- 掺入具有缓凝、微膨胀或减缩作用的外加剂；
- 采取蓄水法或覆盖法降温，或人工降温措施，控制内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 。
- 减小约束的刚度或摩擦系数；
- 测温测试，信息化施工；
- 分段、分层浇筑，降低浇筑速度和减小浇筑层厚度，等。



(a) 全面分层

(b) 分段分层

(c) 斜面分层

●6.3.3 混凝土的振捣

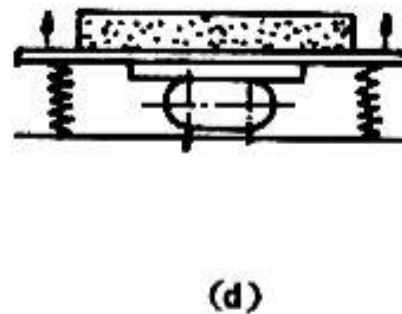
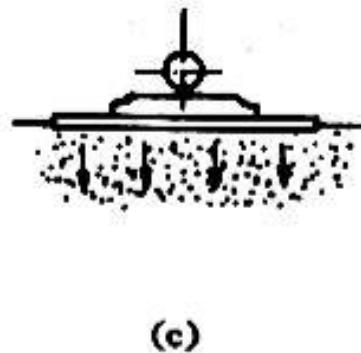
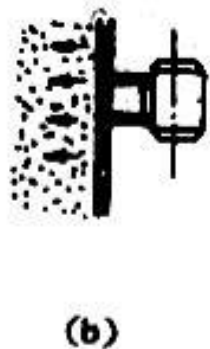
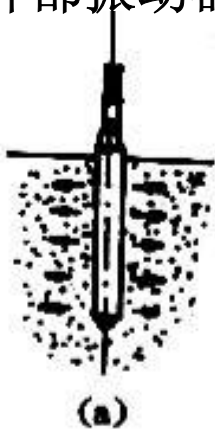
➤1) 原理

——混凝土的颗粒在振动力作用下引起颤动，破坏了混凝土颗粒间的粘结力和摩擦力，使混凝土由“塑性状态”变换成“重质液体状态”，骨料下沉、气泡向上排出、水泥浆充满整个模板，混凝土密实。振动停止，混凝土又由“重质液体状态”恢复回“塑性状态”。

注：“塑性状态” \leftrightarrow “重质液体状态”是可逆的。

➤2) 振动机械

——按工作方式分为：内部振动器（a）、表面振动器（b）、外部振动器（c）和振动台（d）。



➤3) 振动棒振捣方法——“快插慢拔”



◆ 6.4 混凝土的养护

混凝土水化的基本外界条件：温度 ($\geq 5^{\circ}\text{C}$) 和湿度 ($> 80\%$)。

重要概念

● 1) 标准养护

- 定义——混凝土在温度为 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度为90%以上的潮湿环境或水中的条件小进行的养护。
- 用于对混凝土试件进行养护。

● 2) 自然养护

- 定义——混凝土在平均气温高于 $+5^{\circ}\text{C}$ 的条件下，相应地采取保湿措施（如浇水）所进行的养护。

注：自然养护在混凝土浇筑完毕后12小时以内进行。

➤ 浇水养护

- 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥：养护时间 ≥ 7 天；
- 粉煤灰水泥、火山灰水泥：养护时间 ≥ 14 天；
- 掺有缓凝剂或有抗渗要求的混凝土时：养护时间 ≥ 14 天；
- 有特殊要求的混凝土，如高强度商品混凝土，要特殊对待，引起重视。
- 表面隔离养护——混凝土表面覆盖薄膜，防止自由水过早过多蒸发。

● 3) 加热养护

——主要为蒸汽养护，一般是对加工厂混凝土构件进行养护。



◆ 6.5 混凝土的缺陷修整

- 对数量不多的小蜂窝或露石的修理处理方法

——先用钢丝刷或压力水冲洗，再用1：2～1：2.5水泥砂浆抹平。

- 对于较大面积的蜂窝、露石和露筋的处理方法

——应凿去全部深度内薄弱混凝土层和个别突出骨料，用钢丝刷或压力水冲洗后，用比原混凝土强度等级提高一级的细骨料混凝土填塞，仔细捣实，加强养护。

◆ 6.6 混凝土的质量检查

● 1) 施工全过程的控制

——包括施工前，施工中和施工后，重点在于施工前和施工中。

施工前主要检查：原材料和配合比；

施工中主要检查：配合比执行情况、坍落度等；

施工后主要检查：结构构件轴线、标高、外观、混凝土强度等；

对有特殊要求的，尚应检查混凝土抗冻性和抗渗性等。

● 2) 混凝土的强度评定

➤ (1) 混凝土试块取样

✓ 立方体试块尺寸：150×150×150mm；

✓ 同一盘中的三块为一组；

✓ 同强度，同配合比，同生产工艺为一个验收批次；

✓ 随机抽样数量：

• 每拌制100盘且不超过100m³的同配合比的混凝土，取样不得少于一次；

• 每工作班拌制的同一配合比的混凝土不足100盘时，取样不得少于一次；

• 当一次连续浇筑超过1000m³，同一配合比的混凝土每200m³取样不得少于一次；

• 每一楼层、同一配合比的混凝土，取样不得少于一次；

• 每次取样应至少留置一组标准养护试件，同条件养护试件的留置组数应根据实际需要确定。

➤ (2) 试块强度代表值

- ✓ 最大值和最小值与中间值相比都不超过中间值的15%时：
——取该组三个试块的平均强度值；
- ✓ 最大值或最小值与中间值相比超过中间值的15%时：
——取该组三个试块的中间值；
- ✓ 最大值和最小值与中间值相比都超过中间值的15%时：
——该组试块不作为强度评定的依据。

➤ (3) 评定方法

- ✓ 统计法——大批量混凝土

$$m_{f_{cu}} - \lambda_1 S_{f_{cu}} \geq 0.9 f_{cu,k} \quad f_{cu,min} \geq \lambda_2 f_{cu,k}$$

式中： $m_{f_{cu}}$ ——同一验收批混凝土强度的平均值；

$f_{cu,k}$ ——设计的混凝土强度标准值；

$f_{cu,min}$ ——同一验收批混凝土强度的最小值；

λ_1, λ_2 ——合格判定系数；

$S_{f_{cu}}$ ——混凝土强度标准差， $S_{f_{cu}} \geq 0.06 f_{cu,k}$

- ✓ 非统计法——小批量混凝土

$$m_{f_{cu}} \geq 1.15 f_{cu,k} \quad f_{cu,min} \geq 0.95 f_{cu,k}$$

n	10 ~ 14	10 ~ 24	25
λ_1	1.70	1.65	1.60
λ_2	0.90	0.85	

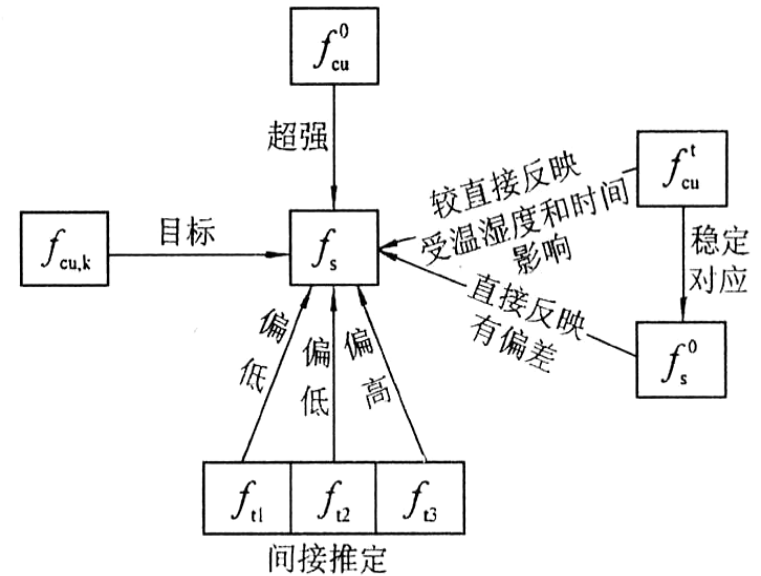
3) 混凝土结构强度实体检验

➤ (1) 对涉及混凝土结构安全的柱、墙、梁等结构构件的重要部位《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204) 规定应进行结构实体检验。

结构实体检验的内容包括混凝土强度、钢筋混凝土保护层厚度以及工程合同约定的项目混凝土试块取样

➤ 同条件养护立方体试件抗压强度可以较真实地反映结构物的实际混凝土强度。

➤ 对混凝土强度的检验，以标准养护试件混凝土强度作为第一次验收，以在混凝土浇筑地点制备并与结构实体同条件养护的试件的混凝土强度作为第二次验收，要求第一次和第二次的检验批均应合格



◆ 6.7 混凝土的冬期施工

● 1) 混凝土受冻后的影响

- 当温度在 $+5^{\circ}\text{C}$ 时，混凝土强度增长速度仅为 $+15^{\circ}\text{C}$ 的一半；
- 当混凝土温度降至 $-1\sim-1.5^{\circ}\text{C}$ 时，游离水结冰，水化停止，强度停止增长；
- 水结冰后体积膨胀约9%，冰胀应力使混凝土开裂；
- 在钢筋表面形成冰膜，减弱混凝土和钢筋的粘结力；
- 受冻后混凝土在解冻以后，其强度继续增长，但已不可能达到原设计强度值。

重要概念

● 2) 混凝土受冻临界强度

——遭受冻结其后期抗压强度损失在5%以内的预养强度值。

硅酸盐和普通硅酸盐水泥为设计混凝土强度标准值的30%；

矿渣硅酸盐水泥为40%；

对C10及以下的混凝土不得低于5MPa。

重要概念

● 3) 混凝土冬期施工

——凡根据当地多年气温资料，室外日平均气温连续5天稳定低于 5°C 时，混凝土工程即进入冬期施工，应采取必要的冬期施工技术措施。

●4) 混凝土冬期施工方法和措施

➤ (1) 改善混凝土配合比

采用高活性水泥——优先采用普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥，水泥标号不应低于425号；

增加水泥用量——最小水泥用量不宜少于300kg/m³；

降低水灰比——不应大于0.6。

➤ (2) 原料加热，提高混凝土入模温度

——优先加热水, 其次为砂、石。（注意：防止水泥“假凝”现象。）

➤ (3) 蓄热保温养护，或加热养护

➤ (4) 掺外加剂

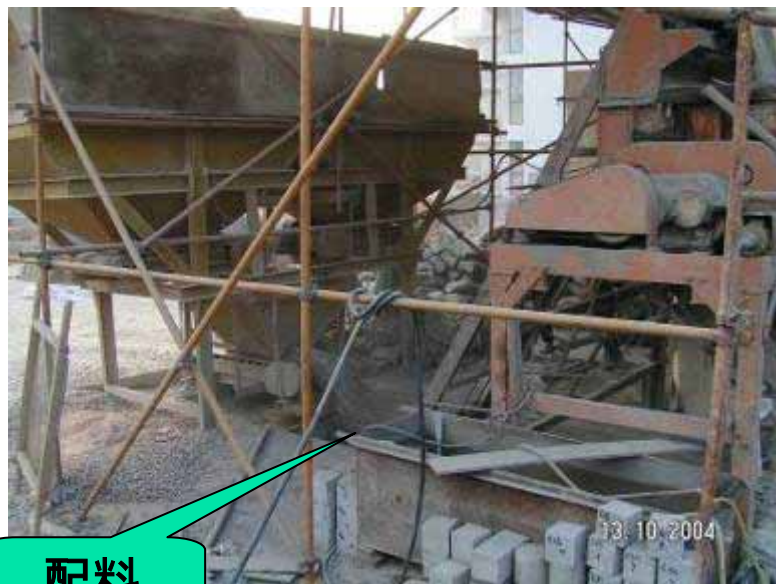
——使混凝土早强（加速硬化，提早达到临界强度）或降低冰点（使混凝土在负温下硬化）。

✓早强剂——氯盐(氯化钠, 氯化钙), 用量<1~3% 应与阻锈剂(亚硝酸钠)同用, 产生Fe₃O₄的保护膜。硫酸钠、三乙醇胺等也是早强剂。

✓防冻剂——亚硝酸钠, 硝酸钠, 硝酸钙, 尿素等复合性防冻剂。

➤ (5) 热拌混凝土

——混凝土温度出机时>10℃, 入模时>5℃, 搅拌时间增加50%(搅拌均匀)。





搅拌机



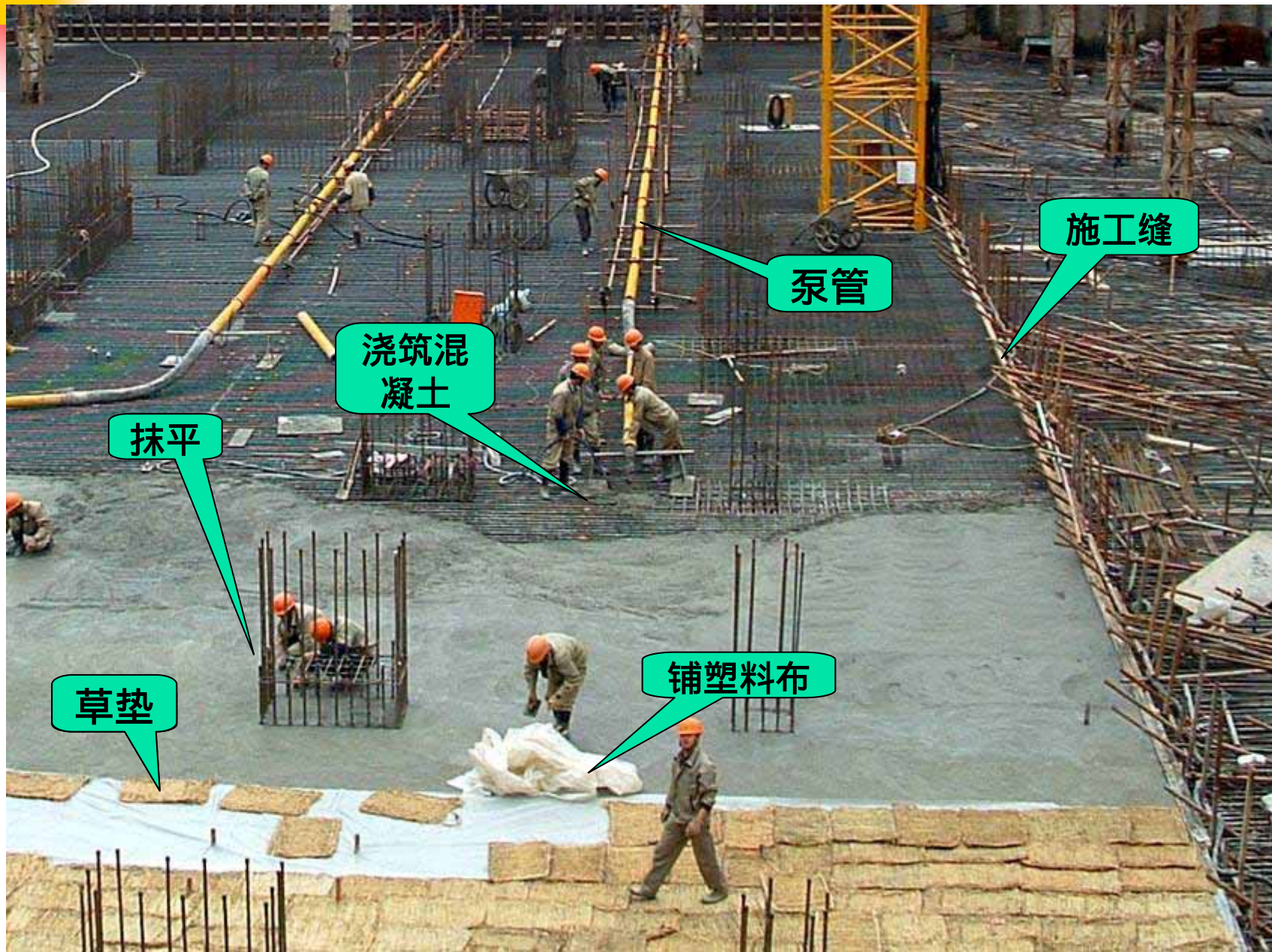
混凝土搅拌



塔吊输送



混凝土搅拌站



施工缝

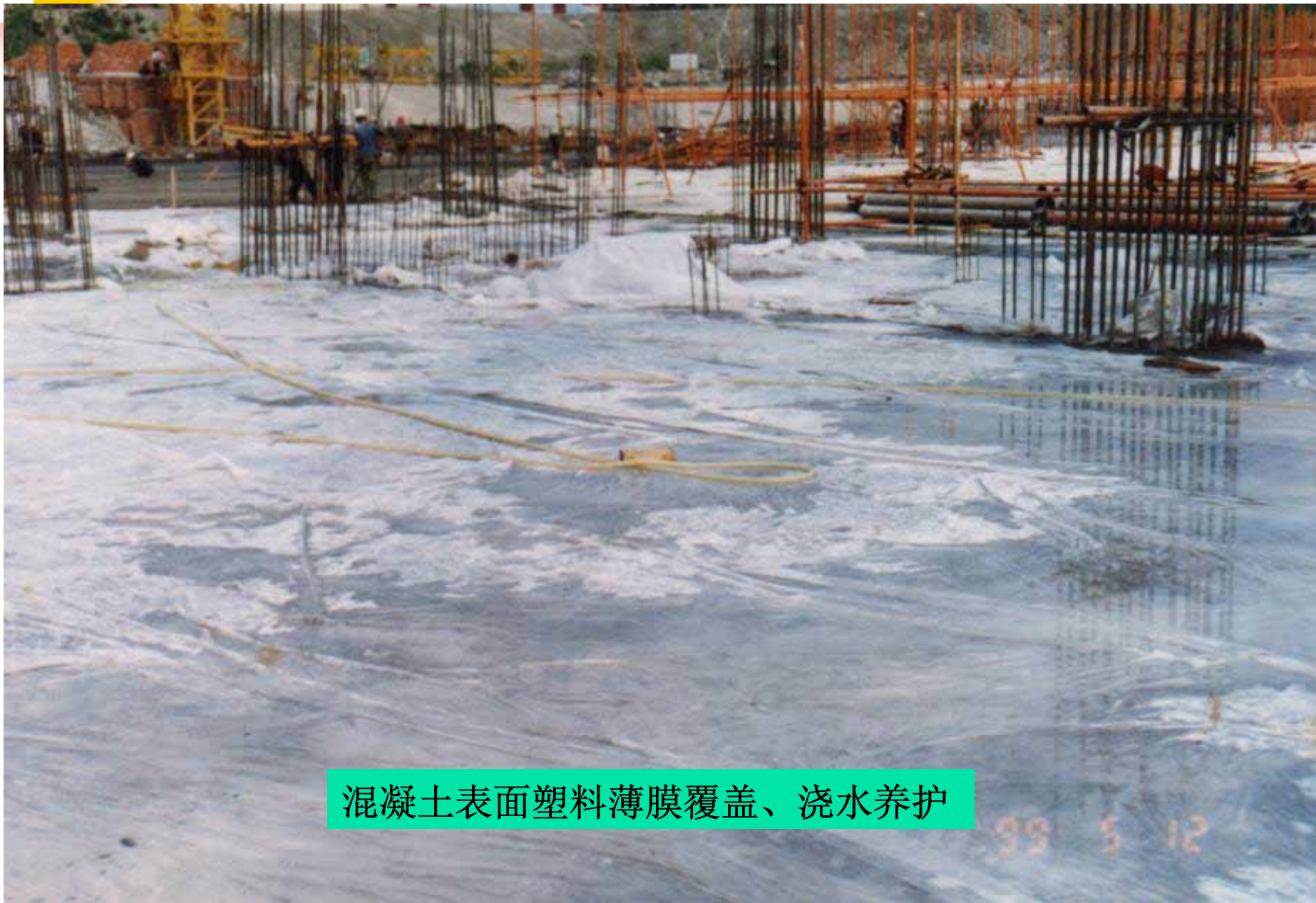
泵管

浇筑混凝土

抹平

草垫

铺塑料布



混凝土表面塑料薄膜覆盖、浇水养护

99 5 12

