

全国中等职业教育水利类专业规划教材

SHUIGONG HUNNINGTU SHIGONG

# 水工混凝土施工

主 编 刘道南  
副主编 谷明锐 李文奇



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

全国中等职业教育水利类专业规划教材

# 水工混凝土施工

主 编 刘道南  
副主编 谷明锐 李文奇



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书从水利水电工程建筑的角度,着重讲述了水工混凝土的施工工艺,介绍了混凝土的拌制、运输、浇筑等过程的施工方法,并列入了碾压混凝土、泵送混凝土、预应力混凝土施工工艺等内容,对混凝土的养护、缺陷修补、质量检验与控制、安全防护也作了阐述。

本书可作为水利水电工程技术专业的教材和水利水电类技术工人技术等级考核培训用书,也可供从事混凝土工作的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土施工 / 刘道南主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 3

全国中等职业教育水利类专业规划教材  
ISBN 978-7-5084-7364-2

I. ①水… II. ①刘… III. ①水工建筑物—混凝土施工—专业学校—教材 IV. ①TV544

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第047958号

书 名	全国中等职业教育水利类专业规划教材 <b>水工混凝土施工</b>
作 者	主编 刘道南 副主编 谷明锐 李文奇
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 12.25印张 290千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	<b>24.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

本书是根据教育部《关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》(教职成[2008]8号)及全国水利中等职业教育研究会2009年7月于郑州组织的中等职业教育水利水电工程技术专业教材编写会议精神组织编写的,是全国水利中等职业教育新一轮教学改革规划教材,适用于中等职业学校水利水电类专业教学。

本书在编书过程中注重基本理论,同时力求紧密联系生产实际,着重讲述了水工混凝土的施工工艺,介绍了混凝土的拌制、运输、浇筑等过程的施工方法,并列入了碾压混凝土、泵送混凝土、预应力混凝土施工工艺等内容,对混凝土的养护、缺陷修补、质量检验与控制、安全防护也作了阐述。

本书按国家现行规范、标准、规程和法定计量单位编写,并按有关标准统一了全书的符号和基本术语,力求概念清楚、简明实用、便于自学。

本书除满足水利水电类中等专业学校的有关专业教学要求外,同时可作为水利水电类技术工人技术等级考核培训用书,也可供从事水利水电工程建设和从事混凝土工作的技术人员参考。

本书由江西省水利水电学校刘道南任主编,四川省绵阳水利电力学校谷明锐、河南省水利水电学校李文奇任副主编。其中:刘道南编写绪论、第一章、第十章,谷明锐编写第八章,李文奇编写第三章、第四章。另外,宁夏水利电力学校宋华栋编写第五章。甘肃省水利水电学校徐洲元编写第二章、第十一章,新疆维吾尔自治区水利学校唐革编写第九章,河南郑州水利学校卞书贞编写第七章,唐革、卞书贞共同编写第六章。

由于编者的水平有限,本书难免存在不妥之处,希望广大师生和读者批评指正。

编 者

2010年1月

## 符号对照表

$A$	浇筑仓面最大水平面积, $m^2$ ; 混凝土强度关系的回归系数;
$A_p$	预应力筋的截面面积;
$B$	混凝土强度关系的回归系数;
$Fi$	混凝土抗冻等级;
$f_{cu,0}$	混凝土配制强度, MPa;
$f_{cu,k}$	混凝土设计龄期的立方体抗压强度标准值, MPa;
$f_{cu,z}$	混凝土早期的立方体抗压强度, MPa;
$f_k$	混凝土抗拉强度, MPa;
$f_{cu,z}$	混凝土早期的立方体抗压强度标准值, MPa;
$f_{cu,t}$	混凝土推定的立方体抗压强度标准值, MPa;
$f_{cu,min}$	$n$ 组混凝土立方体抗压强度中的最小值, MPa;
$f_{ce}$	水泥 28d 龄期抗压强度实测值, MPa;
$i$	水力梯度 (作用水头与抗渗混凝土厚度的比值);
$H$	浇筑厚度、水头, m;
$K$	混凝土浇筑时间延误系数、合格判定系数;
$K_1$	泵送混凝土黏着系数, Pa;
$K_2$	泵送混凝土速度系数, Pa/( $m \cdot s$ );
$L_{max}$	混凝土泵的最大水平输送距离, m;
$L_0$	预应力钢筋冷拉后需要长度, mm;
$l$	张拉台座长度 (包括横梁), mm;
$l_1$	锚粗头长度 (包括锚板), mm;
$l_2$	夹具长度, mm;
$l_3$	千斤顶需要长度 (顶脚至尾部夹具末端之间的距离), mm;
$m f_{cu,k}$	混凝土立方体抗压强度平均值, MPa;
$m_w$	每立方米混凝土用水量, kg;
$m_c$	每立方米混凝土水泥用量, kg;
$m_p$	每立方米混凝土掺合料用量, kg;
$m_s$	每立方米混凝土砂子用量, kg;
$m_g$	每立方米混凝土石子用量, kg;
$m_{c,e}$	每立方米混凝土拌和物质量假定值, kg;
$m_{c,c}$	每立方米混凝土拌和物质量计算值, kg;
$m_{c,t}$	每立方米混凝土拌和物质量实测值, kg;
$m_{s,g}$	每立方米混凝土中砂、石的总质量, kg;
$m_{w0}$	施工配合比每立方米混凝土用水量, kg;
$m_w$	施工配合比每立方米混凝土水泥用量, kg;
$m_{p0}$	施工配合比每立方米混凝土掺合料用量, kg;

- $m_s$ ——施工配合比每立方米混凝土砂子用量, kg;  
 $m_g$ ——施工配合比每立方米混凝土石子用量, kg;  
 $P_i$ ——混凝土抗渗等级;  
 $P_m$ ——掺合料的掺量, %;  
 $P_{\max}$ ——混凝土泵的最大出口压力, Pa;  
 $Q$ ——混凝土浇筑的实际生产能力,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  
 $r$ ——预应力钢筋冷拉伸长率, %;  
 $S_v$ ——砂率, %;  
 $S_1$ ——泵送混凝土混凝土坍落度, cm;  
 $S_{10}$ ——混凝土拌和物加压至 10s 时的相对泌水率, %;  
 $t$ ——概率度系数;  
 $T_1$ ——混凝土运输、浇筑所占时间, h;  
 $T_2$ ——混凝土初凝时间, h;  
 $T_i$ ——混凝土按坍落度分级;  
 $T_l$ ——试配时混凝土要求的坍落度, mm;  
 $T_v$ ——混凝土入泵时要求的坍落度, mm;  
 $\frac{t_2}{t_1}$ ——混凝土泵分配阀切换时间与活塞推压混凝土时间之比;  
 $V_{s,g}$ ——每立方米混凝土中砂、石的绝对体积,  $\text{m}^3$ ;  
 $V_i$ ——混凝土按维勃稠度分级;  
 $V_2$ ——泵送混凝土拌和物在输送管内的平均流速, m/s;  
 $V_{10}, V_{140}$ ——混凝土拌和物加压至 10s 和 140s 时的泌水量, mL;  
 $w/(c+p)$ ——水胶比;  
 $w/c$ ——水灰比;  
 $\alpha$ ——混凝土含气量, %;  
 $\alpha_2$ ——泵送混凝土径向压力与轴向压力之比;  
 $\delta$ ——混凝土配合比校正系数、预应力钢筋冷拉后的弹性回缩率;  
 $\sigma$ ——混凝土抗压强度标准差, MPa;  
 $\sigma_{\text{con}}$ ——预应力筋的张拉控制应力, MPa;  
 $\rho_w$ ——水的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho_c$ ——水泥密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho_p$ ——掺和料密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho_s$ ——砂子表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho_g$ ——石子表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\Delta$ ——钢筋每个对焊接头的压缩长度, mm;  
 $\Delta P_H$ ——混凝土在水平输送管内流动每米产生的压力, Pa/m;  
 $\Delta T$ ——试验测得在预计时间内的坍落度损失, mm;  
 $O$ ——泵送混凝土输送管半径, m。

# 目 录

前言	
符号对照表	
绪论	1
第一章 混凝土基础知识	4
第一节 混凝土的组成材料	5
第二节 混凝土的主要技术性质	8
第三节 混凝土的配合比设计	19
复习思考题	32
第二章 混凝土拌制	33
第一节 混凝土配料	33
第二节 混凝土拌和	34
第三节 混凝土拌制设备	37
第四节 混凝土拌制操作	43
复习思考题	47
第三章 混凝土运输	48
第一节 混凝土运输要求	48
第二节 混凝土运输机具	49
第三节 混凝土运输辅助工具	51
第四节 混凝土运输道路要求	53
复习思考题	54
第四章 混凝土浇筑	55
第一节 混凝土入仓与振捣	55
第二节 整体结构混凝土施工	62
复习思考题	74
第五章 水工混凝土养护与缺陷修补	75
第一节 水工混凝土养护	75
第二节 水工混凝土施工质量缺陷及修补	79
第三节 水工混凝土养护与缺陷修补工程实例	83
复习思考题	86

<b>第六章 混凝土特殊季节施工</b> .....	87
第一节 混凝土冬季施工 .....	87
第二节 混凝土夏季施工 .....	90
第三节 混凝土雨季施工 .....	91
复习思考题 .....	92
<b>第七章 泵送混凝土施工</b> .....	93
第一节 泵送混凝土 .....	93
第二节 泵送混凝土设备类型及选择 .....	93
第三节 泵送混凝土配合比 .....	101
第四节 泵送混凝土施工工艺 .....	105
第五节 泵送混凝土事故处理 .....	108
复习思考题 .....	110
<b>第八章 预应力混凝土施工</b> .....	111
第一节 预应力混凝土结构概述 .....	111
第二节 预应力混凝土结构材料 .....	114
第三节 预应力筋用锚具、夹具和连接器 .....	119
第四节 预应力混凝土施工 .....	129
第五节 预制构件混凝土施工 .....	146
复习思考题 .....	153
<b>第九章 碾压混凝土施工</b> .....	155
第一节 碾压混凝土的材料要求 .....	155
第二节 碾压混凝土拌和物的性质及参数 .....	156
第三节 碾压混凝土的配合比要求 .....	157
第四节 碾压混凝土的施工工艺 .....	158
复习思考题 .....	161
<b>第十章 混凝土施工质量控制</b> .....	162
第一节 普通混凝土的质量控制 .....	162
第二节 预制构件的结构性能检验 .....	169
第三节 特种混凝土的质量检验和控制 .....	171
复习思考题 .....	177
<b>第十一章 安全防护</b> .....	178
第一节 安全防护及安全技术 .....	178
第二节 施工现场安全事故紧急救护 .....	181
复习思考题 .....	183
<b>参考文献</b> .....	184



# 绪 论

由胶结材料（无机的、有机的或无机有机复合的）、颗粒状骨料以及必要时加入化学外加剂和矿物掺合料组分合理组成的混合料经硬化后形成具有堆聚结构的复合材料称为混凝土。

## 一、混凝土的分类

### （一）按混凝土的结构分类

（1）普通结构混凝土。它由（重质或轻质）粗骨料、（重质或轻质）细骨料和胶结材料制成。若以碎石或卵石、砂和水泥制成者，即是普通混凝土。

（2）细粒混凝土。它仅由细骨料和胶结材料制成。

（3）大孔混凝土。它仅由（重质或轻质）粗骨料和胶结材料制成。骨料粒子外表包以水泥浆，粒子彼此为点接触，粒子之间有较大的空隙。

（4）多孔混凝土。这种混凝土既无粗骨料、也无细骨材，全由磨细的胶结材料和其他粉料加水拌成的料浆用机械方法或化学方法使之形成许多微小的气泡后再经硬化制成。

### （二）按密度分类

（1）特重混凝土。密度大于  $2500\text{kg}/\text{m}^3$ ，主要用于原子能工程的屏蔽材料。

（2）重混凝土。密度在  $1900\sim 2500\text{kg}/\text{m}^3$  之间，主要用于各种承重结构中。

（3）轻混凝土。密度在  $500\sim 1900\text{kg}/\text{m}^3$  以上的多孔混凝土，其中包括了密度为  $800\sim 1900\text{kg}/\text{m}^3$  的轻骨料混凝土和密度在  $500\text{kg}/\text{m}^3$  以上的多孔混凝土，主要用于承重结构和承重隔热制品。

（4）特轻混凝土。密度在  $500\text{kg}/\text{m}^3$  以下，包括密度在  $500\text{kg}/\text{m}^3$  以下的多孔混凝土和用特轻骨料（如膨胀珍珠岩、膨胀蛭石泡沫塑料等）制成的轻骨料混凝土，主要用作保温隔热材料。

### （三）按胶结材料分类

#### 1. 无机胶结材料混凝土

（1）水泥混凝土。它以各种水泥为胶结材料，其水化矿物胶凝物质由水泥熟料矿物的水化反应获得。

（2）石灰—硅胶结材料混凝土（即硅酸盐混凝土）。它由石灰和各种含硅原料（砂及工业废渣等）以水热合成方法来产生水化矿物胶凝物质。

（3）石膏混凝土。它以各种石膏为胶结材料制成。

（4）水玻璃—氟硅酸钠混凝土。它以水玻璃为胶结材料，以氟硅酸钠为促硬剂制成。

#### 2. 有机胶结材料混凝土

（1）沥青混凝土。它以沥青为胶结材料制成。

(2) 聚合物胶结混凝土。它以纯聚合物为胶结材料制成。

### 3. 无机有机复合胶结材料混凝土

(1) 聚合物水泥混凝土。它是在水泥混凝土混合料中掺入聚合物或者用掺有聚合物的水泥制成。

(2) 聚合物浸渍混凝土。它是以水泥混凝土为基材，用有机单体液浸渍和聚合制成。

#### (四) 按用途分类

主要有结构用混凝土、隔热混凝土、装饰混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、耐火混凝土、道路混凝土、大坝混凝土、收缩补偿混凝土、防护混凝土等。此外，还有按混凝土性能和制造工艺分类等。

尽管混凝土的类别很多、性能各异，但它们大都属于堆聚结构，都服从于某些控制混凝土行为和性质的共同规律。混凝土工艺的基本任务之一就是要应用这些规律。

## 二、混凝土的特点

清水混凝土是无表面装饰的混凝土，表面平整、颜色均匀一致，没有蜂窝、麻面、露筋、平渣、粉化、锈斑、明显气泡，在结构的部位无缺棱掉角，梁、柱的接头平滑方正，接缝无明显痕迹。国内已在桥梁结构、道路设施、大坝和大型公共建筑的地下室、车库等工程中应用，这些混凝土结构在施工中一次成型，无须抹灰装饰，因施工工期短而降低工程造价，是建筑工程发展的一个重要方向，并广泛应用于工业建筑，公路桥梁、铁路、水利、港口码头、市政等。

对混凝土配筋虽然使混凝土可用于受弯和受拉构件，但并未解决混凝土容易产生裂纹的问题。用张拉钢筋对混凝土预先施以压应力的方法可以保证混凝土构件在荷载作用下既能抗拉又不致形成裂纹，特别是应用高强材料时，预应力方法最为有效。预应力混凝土的出现，是混凝土技术的一次飞跃。它是通过预应力锚具张拉钢筋或高强钢丝的外部条件对混凝土改性。由于预应力技术在大跨建筑、高层建筑以及在抗震、防裂、抗内压等方面的卓越效果，从而大大地扩展了混凝土的应用范围。混凝土的应用已从一般的工业与民用建筑、交通建筑、水工建筑等领域扩展到了海上浮动建筑、海底建筑、地下城市建筑、高压储罐、核电站容器等领域。

利用膨胀水泥生产收缩补偿混凝土和自应力混凝土是混凝土技术的另一突出成就，其本质是变混凝土的收缩性为膨胀性以克服混凝土收缩裂纹的产生并应用膨胀性能来张拉钢筋。这是一种内外条件相结合的改性。膨胀水泥广泛用于工业与民用建筑、路面、贮罐自应力管、防水防渗结构、管道接头、二次灌浆等方面。

高效能减水剂的应用是混凝土技术的重大发展。在混凝土混合料中掺入减水剂可以大幅度地降低水灰比（降至 0.25~0.30）和提高强度，或者急剧地提高混凝土的流动性（坍落度可达 200mm 以上），混凝土的拌制、运送、浇注和成型等工艺过程变得容易，使混凝土性能得到改善。目前，由于技术上和经济上的优越性，减水剂已成为混凝土应用极广的外加剂。

制作聚合物浸渍混凝土、聚合物水泥混凝土以及聚合物胶结混凝土，使混凝土利用了有机无机复合胶材和高分子有机胶结材。由于聚合物进入混凝土材料中，大大提高了混凝土的物理力学性能。例如，聚合浸渍混凝土的抗压强度和抗拉强度较其基材可提高 2~4

倍（最高抗压强度已达 250~280MPa）。这种混凝土有很高的耐腐蚀性能，它几乎不吸水、不渗水，抗渗压力可达 50MPa，抗冻融循环在 1000 次以上。

由于混凝土技术的不断进步，特别是近期以来的快速发展，世界各国使用的混凝土平均强度不断提高。目前，在工业发达国家，C60 的混凝土已经普遍采用，C80 的混凝土用量不断增加，而 C100 以上的混凝土则已应用于工程上。在混凝土用量方面，全世界平均每年每人超过 1000kg 以上。

尽管混凝土可以达到很高的抗压强度，但相对而言，其抗拉强度却提高不快，拉压比总是保持在 1/10 左右。混凝土破损时，表现出典型的脆性材料突然破坏的缺点。这个缺点大大地限制了混凝土材料的应用范围。为了降低混凝土的脆性、提高其延性，人们进行了长期的研究，提出了分散配筋的主张，使得配筋混凝土具有某些匀质材料的性能，于是出现了大跨度的钢筋混凝土建筑物和薄壳结构。后来，人们更进一步提出了纤维配筋的概念。由于纤维对混凝土的分散配筋，大大地提高了混凝土的抗裂性，增加了混凝土的延性。目前，石棉纤维、有机合成纤维、金属纤维等均应用于纤维增强混凝土中。

混凝土及其制品另一缺点是自重大。随着建筑技术的发展，建筑物趋向高层和大型化。因此，减轻高层建筑和大跨度结构的自重是十分重要的课题。除采用高强度混凝土以减小构件的截面外，降低混凝土本身的自重也是十分重要的任务。为了有效地减轻混凝土的自重：一是采用轻骨料制成轻骨料混凝土；二是在混凝土中加入气泡，制成多孔混凝土。目前，结构用轻骨料混凝土多为 C30~C50，最高强度等级已达 C80。这些高强度轻骨料混凝土广泛用于高层建筑、大跨度桥梁以及高强度预制构件上。墙体用轻料的密度主要向着小于 500kg/m<sup>3</sup> 方向发展，用这种轻骨料制成的混凝土的强度为 5~10MPa，而密度则在 1000kg/m<sup>3</sup> 以下。多孔混凝土，特别是加气混凝土的自重很轻，保温隔热性能好，并且具有可加工的优点。

虽然混凝土的价格比其他建筑材料（钢材、有色金属、木材等）低，消耗的能源也较小。但是，由于它的用量甚大，因此，节约资源和能源仍然具有极为重要的经济意义。利用地方性材料和工业废渣生产硅酸盐混凝土是就地取材、节约水泥、降低建筑成本、节约能源的有效途径之一。特别是灰砂硅酸盐混凝土具有优良的物理力学性能，其抗压强度可达 70MPa 以上。和水泥混凝土相比，硅酸盐混凝土的成本要低 25%~30%。如用硅酸盐混凝土代替水泥制作构件（以 1000kg 水泥制作的混凝土计），平均可以节约 200kg 标准燃料。除此之外，应用工业废渣制作硅酸盐混凝土制品，不但可以节约大量的工业废料处理费用和堆置废渣所需的场地，而且是保护环境、化害为利的有效措施。

### 三、学习《水工混凝土施工》的目的

《水工混凝土施工》是培养学生牢固掌握各类混凝土的各种参数与结构和性能之间关系的基本理论以及各种混凝土的基本试验技术和施工工艺，使学生能根据实际工程针对各种混凝土的使用要求，正确地选用原材料，合理地设计和选用它们的配合比，最后制成经济、适用、耐久的混凝土，为学生今后从事混凝土工作准备必要的理论基础和基本的工艺技能，使学生今后能适应混凝土工艺日益发展的需要。

# 第一章 混凝土基础知识

水利水电工程建筑中，常常使用水工混凝土。水工混凝土是用于水利水电工程的挡水、发电、泄洪、输水、排沙等建筑物，密度为  $2400\text{kg/m}^3$  左右的水泥基混凝土。

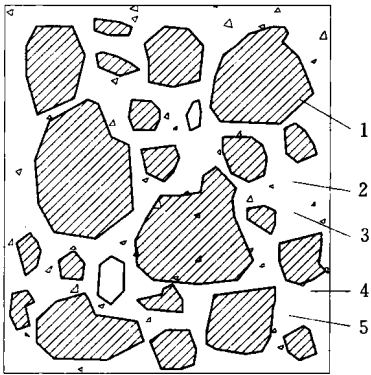


图 1-1 水工混凝土结构示意图  
1—石子；2—砂；3—水泥；  
4—掺合料；5—气孔

水工混凝土由石子、砂、水泥、掺合料、水等组成（图 1-1），胶凝材料或水泥浆的作用是包裹在骨料表面并填满骨料间的空隙，作为骨料之间的润滑材料，使尚未凝固的混凝土拌和物具有流动性，并通过胶凝材料或水泥浆的凝结硬化将骨料胶结成整体。石子和砂起骨架作用，称为“骨料”。石子为“粗骨料”，砂子为“细骨料”。砂子填充石子的空隙，砂石构成的坚硬骨架可抑制胶凝石（未加掺合料的称水泥石）干燥而产生的收缩。在水工混凝土中，胶凝石或水泥石约占混凝土体积的  $25\% \sim 35\%$ ，骨料占  $65\% \sim 75\%$ （图 1-2）。

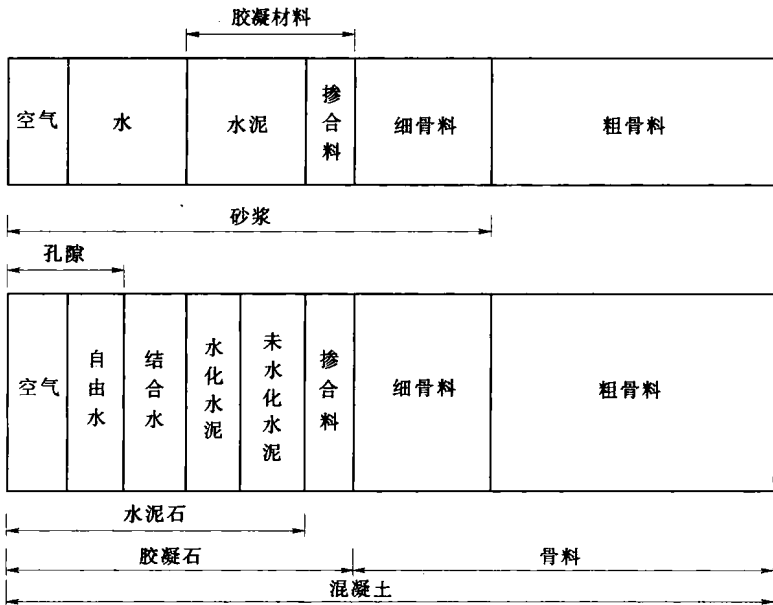


图 1-2 水工混凝土组成示意图

## 第一节 混凝土的组成材料

水工混凝土的主要组成材料是水泥、掺合料、水、砂子、石子。为了改变混凝土的某些特性，在混凝土中往往还要加入一些外加剂。

### 一、水泥

#### 1. 水泥品种的选择

选择水泥品种的原则是根据环境条件、建筑物的特点及混凝土所在的部位，力求做到在满足工程质量要求的前提下造价最低。例如，水位变化区的外部混凝土、建筑物的溢流面和经常受水流冲刷部位的混凝土、有抗冻要求的混凝土，应优先选用中热硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀时，应选用抗硫酸盐水泥。大体积建筑物的内部、位于水下及基础中的混凝土，应选用低热硅酸盐水泥。

#### 2. 水泥强度等级的选择

水泥强度等级的选择，应与混凝土的设计强度等级相适应。一般情况下，水泥强度等级为混凝土强度等级的1.5~2.0倍为宜。配置高强度等级混凝土时，水泥强度等级应是混凝土强度的0.9~1.5倍。用高强度等级水泥配制低强度等级混凝土时每立方米混凝土的水泥用量偏少，会影响混凝土的和易性和密实性，所以，混凝土中应掺一定数量的掺合料，如粉煤灰等。建筑物外部水位变化区、溢流面和经常受水流冲刷部位的混凝土以及受冰冻作用的混凝土，所用水泥强度等级不宜低于42.5。

### 二、掺合料

掺合料是指用于拌制水泥混凝土时，掺入的粉煤灰、凝灰岩粉、矿渣微粉、硅粉、粒化电炉磷渣、氧化镁等材料。粉煤灰、矿渣粉、硅粉等在水泥水化析出的氢氧化钙等碱性激发剂作用下具有较高的水化活性，所以将它们与水泥一起统称为胶凝材料。

掺合料掺用的品种和掺量应根据工程的技术要求、掺合料品质和资源条件，通过试验论证确定。掺合料每批产品出厂时应有产品合格证，主要内容包括：厂名、等级、出厂日期、批号、数量及品质检验结果等。掺合料的品质检验按现行国家和有关行业标准进行。掺合料应储存在专用仓库或储罐内，在运输和储存过程中应注意防潮，不得混入杂物，并应有防尘措施。

普通粉煤灰密度为 $1.8\sim 2.3\text{g/cm}^3$ ，约等于硅酸盐水泥的 $2/3$ 。粉煤灰堆积密度为 $0.6\sim 0.9\text{g/cm}^3$ ，表观密度为 $1.0\sim 1.3\text{g/cm}^3$ 。

### 三、水

混凝土用水按水源可分为饮用水、地表水、地下水、海水以及适当处理后的工业废水五大类。其中地表水包括江、河、淡水湖的水，地下水中包括井水，工业废水包括工厂排放的废水、混凝土生产的冲刷水等。

地表水和地下水情况很复杂，若总含盐量及有害离子的含量大大超过规定值时，必须进行适用性检验合格后，方能使用。

考虑到海岸地区的特点，素混凝土允许用海水，但不得用于钢筋混凝土和预应力混凝土中，有饰面要求的混凝土不能用海水，因海水有引起表面潮湿和盐霜的趋向。海水也不

能用于高铝水泥拌制的混凝土中。

各种混凝土所用的水应采用符合国家标准的混凝土拌和用水。

#### 四、砂子

粒径为 0.16~5mm 的骨料属于砂的范围。砂可分为天然砂和人工砂两类。

天然砂是由岩石风化等自然条件作用形成的。按产源天然砂可分为河砂、海砂和山砂等。河砂、海砂颗粒圆滑、质地坚固，但海砂中常夹贝壳碎片及可溶性盐类，会影响混凝土强度。山砂系岩石风化后在原地沉积而成，颗粒多棱角，并含有黏土及有机杂质等，坚固性差。河砂比较洁净，所以配制混凝土宜采用河砂。

人工砂是岩石经轧碎筛选而成。人工砂富有棱角，比较洁净，但细粉、片状颗粒较多，成本高。在天然砂缺乏时，也可考虑用人工砂。

##### 1. 砂的物理性质

(1) 砂的表观密度、堆积密度、空隙率。

1) 表观密度：砂的表观密度与造岩矿物有关，一般为  $2.6\sim 2.7\text{g/cm}^3$ 。

2) 堆积密度：堆积密度与堆积密实程度和含水量有关，一般为  $1450\sim 1650\text{kg/m}^3$ ，在捣实状态下约为  $1600\sim 1700\text{kg/m}^3$ 。

3) 空隙率：若砂处于潮湿状态，其堆积密度将会随砂中含水率增加而增大，而且砂子的体积也发生膨胀或回缩。砂子的空隙率一般为  $35\%\sim 45\%$ ，颗粒级配好的为  $35\%\sim 37\%$ ，特细砂可达  $50\%$ 。

(2) 砂子的含水量。由于砂中含水量不同，将会影响混凝土的拌和水量和砂的用量。所以，在混凝土配合比设计中为了有可比性，规定砂的用量应按干燥状态为准计算。也可以既不吸收混凝土中的水分，也不带入多余水的饱和面干状态为准计算。对于其他状态的含水率应进行换算。

##### 2. 有害物质含量

云母是光滑的薄片与水泥黏结不牢，会降低混凝土的强度；轻物质如煤，会降低混凝土的强度和耐久性；硫化物与硫酸盐的存在会腐蚀混凝土，引起钢筋锈蚀，降低混凝土强度和耐久性；有机质含量多，会延迟混凝土的硬化，影响强度的增长。

##### 3. 坚固性

砂子应该质地坚硬，应做坚固性试验。砂子坚固性是砂在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破裂的能力。砂的坚固性用硫酸钠溶液检验，试样经 5 次循环后砂样被破坏的百分数作为砂子的坚固性指标，称坚固性系数。水工混凝土用砂的坚固性系数应小于  $8\%$ 。

##### 4. 砂的颗粒级配与粗细程度

骨料的颗粒组成如何，是以混凝土混合料在施工中是否分层和硬化后是否满足设计的密实性和强度来评定的。砂的空隙率小，混凝土骨架较密实，填充砂子空隙的水泥浆则少；砂总面积小，包裹砂子表面的胶凝材料或水泥浆用量则少。因此，为保证混凝土质量，节约水泥用量，配制混凝土时，应采用空隙小和总表面积小的砂为佳。

砂的总表面积的大小取决于砂的粗细程度，而空隙率的大小又取决于颗粒级配的好坏。

(1) 粗细程度。砂子的粗细程度是按不同粒径的砂粒，混合后的平均粗细程度。在相同用量条件下，细砂的表面积大、粗砂的表面积小。为了获得比较小的表面积，并节约混凝土中的水泥用量，应尽量多采用较粗的颗粒。但颗粒过粗，易使混凝土拌和物产生泌水，影响和易性。若砂中粗颗粒过多，中小颗粒搭配又不好，会使砂空隙率增大。

(2) 颗粒级配。砂的颗粒级配是指大小不同颗粒相混合后比例。

砂的颗粒粗细与级配都可用标准筛进行的筛分析试验来确定。砂的粗细程度用细度模数表示，颗粒级配可用级配曲线来表示。

## 五、石子

由天然岩石或卵石经破碎、筛分而得的、粒径大于 5mm 的岩石颗粒称为碎石；岩石由自然条件作用而形成的、粒径大于 5mm 的颗粒称为卵石。

水工混凝土用石子（碎石、卵石）总的要求与砂子类似，即清洁、质地坚硬、级配良好、细度适当。

### 1. 物理性质

(1) 表观密度：石子包括内部封闭孔隙时，颗粒的单位体积质量称为表观密度，随岩石的种类而异，约为  $2.5\sim 2.7\text{g/cm}^3$ 。

(2) 堆积密度：颗粒状石子在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度，约为  $1400\sim 1700\text{kg/m}^3$ 。

(3) 空隙率：石子间空隙大小主要与石子的表观密度和堆积密度有关，松散状态碎石的空隙率约为  $37\%\sim 45\%$ ，松散状态卵石空隙率约为  $35\%\sim 45\%$ 。

### 2. 有害物质含量

碎石或卵石中的硫化物和硫酸盐以及卵石中的有机杂质等均属有害物质。

### 3. 坚固性

碎石或卵石在气候、环境变化或其他物理因素作用具有抵抗碎裂的能力，称为坚固性。碎石或卵石的坚固性用硫酸钠溶液法检验，试样经 5 次循环后，有腐蚀性介质并经常处于水位变化区的地下结构或有抗疲劳、耐磨、抗冲击等要求的混凝土用碎石或卵石，其质量损失不应大于  $8\%$ 。

### 4. 粒形

天然卵石有河卵石、海卵石和山卵石等。河卵石表面光滑，少棱角，比较洁清；而山卵石含土杂质较多，使用前必须加以冲洗；碎石比卵石干净，而且表面粗糙，颗粒富有棱角，与胶凝石黏结较牢。

岩石颗粒的长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径（该粒级上、下限粒径的平均值）2.4 倍者为针状颗粒；厚度小于平均粒径 0.4 倍者为片状颗粒。

### 5. 最大粒径

公称粒级的上限为该粒级的最大粒径。

石子的最大粒径应在条件许可下，尽量选用大的，可减少骨料表面积，节约水泥。但从施工角度来看，最大粒径过大则搅拌和操作有一定困难。所以，粗骨料最大粒径的选择，应当根据建筑物的种类、尺寸、钢筋间距以及施工机械等来决定。

混凝土用的石子，其最大粒径不得大于结构截面最小尺寸的  $1/4$ ，同时不得大于钢筋

最小净距的 2/3。对混凝土实心板，石子的最大粒径不宜超过板厚的 1/2，且不得超过 50mm，数量也不得大于 25%。

#### 6. 骨料级配

石子按粒径 5~20mm、20~40mm、40~80mm、8~150mm (120mm) 四个粒级依次分为小石、中石、大石、特大石。石子最佳级配 (或组合比) 一般以紧密堆积密度较大、用水量较小时的级配为宜。当无试验资料时，可按表 1-1 选取。

表 1-1 石子组合比初选 %

混凝土种类	级配	石子最大粒径 (mm)	卵石 (小:中:大:特大)	碎石 (小:中:大:特大)
常态混凝土	二	40	40:60:0:0	40:60:0:0
	三	80	30:30:40:0	30:30:40:0
	四	150 (120)	20:20:30:30	25:25:20:30
碾压混凝土	二	40	50:50:0:0	50:50:0:0
	三	80	30:40:30:0	30:40:30:0

注 表中比例为质量比。

## 六、混凝土外加剂

混凝土化学外加剂简称外加剂。它是在混凝土拌制时，除了通常使用的水泥、水、砂和石子以外，另外再加入掺量不大于水泥质量的 5% (特殊情况除外)，并能对混凝土的正常性能按要求加以改性的产品。

混凝土外加剂按主要功能分为四类：

- (1) 改善混凝土拌和物浇捣性能的外加剂，包括各种减水剂、引气剂和泵送剂等。
- (2) 调节混凝土凝结时间、硬化性能的外加剂，包括缓凝剂、早强剂和速凝剂等。
- (3) 提高混凝土耐久性的外加剂，包括引气剂、防水剂、阻锈剂和防冻剂等。
- (4) 提供混凝土特殊性能的外加剂。包括膨胀剂、着色剂等。

外加剂的应用范围十分广泛，常用在以下几个方面：

- (1) 在混凝土大坝等大体积混凝土工程中，用来降低温度应力，使混凝土的开裂程度减少到最低限度。
- (2) 在水工混凝土中，用来增强混凝土的抗渗性，使其耐久性得以提高。
- (3) 在冬季寒冷时期浇灌的混凝土工程中，用来降低混凝土的冰点，提高早期强度，使混凝土能硬化并具有一定的抗冻性。
- (4) 在混凝土构件的蒸汽养护中，缩短蒸养时间，并使混凝土构件的质量得以保证。
- (5) 在普通混凝土中用来节约水泥、或者改善和易性，或者提高强度。
- (6) 在钢筋混凝土中，用来防止钢筋的锈蚀，减轻混凝土中顺筋裂缝的危害。
- (7) 配制高强度的混凝土，配制泵送混凝土等。

## 第二节 混凝土的主要技术性质

硬化前的混凝土拌和物，应具备与施工条件相适应的和易性，硬化后的混凝土应达到



设计要求的强度等级，并具有与使用环境相适应的耐久性。在满足上述性能要求的同时，还应尽量降低成本，做到经济合理。

### 一、混凝土拌和物的和易性

#### 1. 和易性的概念

和易性是指混凝土拌和物在一定施工条件下，便于操作并能获得质量均匀、成型密实混凝土的能力。和易性是一个综合性能，通常包括三方面的含义：流动性、黏聚性、保水性。

(1) 流动性（即稠度）。流动性是指混凝土拌和物在本身自重或施工机械振动作用下，能产生流动，并且均匀密实的填满模板中各个角落的能力。流动性的大小，反映拌和物的稀稠，它将影响施工振捣的难度和浇筑质量。

(2) 黏聚性。黏聚性是指混凝土拌和物之间有一定黏聚力，在运输、浇筑过程中，保持均匀整体的能力。如果混凝土拌和物中各材料配合比例不当，则黏聚性差，在施工中易出现分层、离析等现象，致使混凝土硬化后产生蜂窝、麻面、孔洞等缺陷，严重影响混凝土的质量。

(3) 保水性。保水性是指混凝土拌和物保持水分、不易产生泌水的能力。保水性差的拌和物在混凝土浇筑过程中，由于较大骨料的重力作用，使水分被挤上升，并聚集到混凝土表面引起表面疏松，形成混凝土浇筑层间的薄弱部位；上升水在混凝土硬化后形成渗水通道；骨料颗粒和钢筋阻止上升的水，积聚在骨料和钢筋的下面，削弱了骨料或钢筋与水泥的黏结力。这些情况都将影响混凝土的强度和耐久性。

混凝土拌和物的流动性、黏聚性、保水性有其各自的内容，它们既互相联系，又互相矛盾，而良好的和易性正是这三个方面性质在某种具体条件下的矛盾统一。

#### 2. 和易性的评定

由于和易性是一项综合性的技术性质，因此，目前还没有一个能够全面反映混凝土拌和物和易性的测试方法和定量指标。通常采用在测定流动性的同时，辅以直观经验评定黏聚性和保水性，来综合说明拌和物的和易性。

混凝土拌和物的流动性，可用“坍落度”或“维勃稠度”指标表示。坍落度适用于塑性和流动性混凝土拌和物，维勃稠度适用于干硬性混凝土拌和物。

(1) 坍落度。是一定形状的新拌混凝土拌和物在自重作用下的下沉量。

将混凝土拌和物按规定方法装入坍落度筒内，垂直提起坍落度筒后，拌和物因自重而向下坍落，量出坍落的高度即为坍落度（图 1-3）。

测定坍落度的同时，应观察混凝土拌和物的黏聚性和保水性。最后根据坍落度、黏聚性、保水性来综合评定和易性。

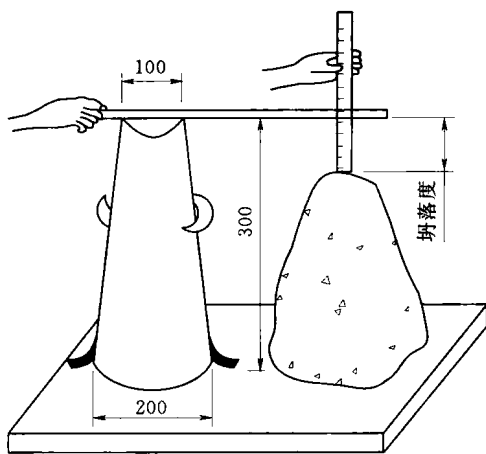


图 1-3 坍落度的测定（单位：mm）