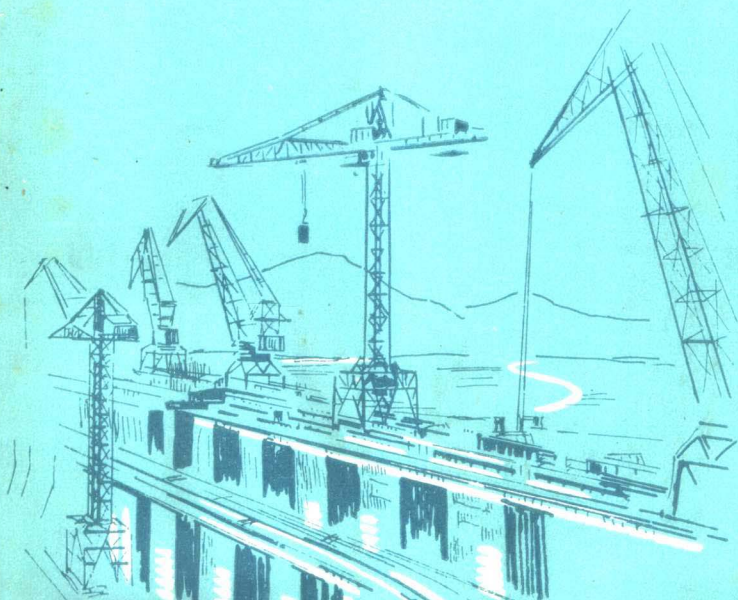


水利水电工程施工工人丛书



混凝土工

水利电力出版社

混 凝 土 工

武汉水利电力学院 水利施工及
建筑材料教研室編

水 利 电 力 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了水工混凝土的基本特点和要求，混凝土材料的准备和拌和，混凝土的运输，混凝土的浇筑与养护，水工混凝土的特殊施工等。

本书可供从事水利水电工程施工的混凝土工阅读，也可作为培训水利水电工程施工工人和水利院校工农兵学员的讲义。

水利水电工程施工工人丛书

混 凝 土 工

水利施工及
武汉水利电力学院 建筑材料 教研室编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外大柵栏)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1974年8月北京第一版

1974年8月北京第一次印刷

印数 00001—49250 册 每册 0.17 元

书号 15143·3109

前 言

在毛主席革命路线的指引下，无产阶级文化大革命以来，我们遵照伟大领袖毛主席有关教育革命的教导，走出校门，深入工地，“要向生产者学习，向工人学习”，接受工人阶级再教育。在深入三大革命实践斗争中，提高了我们执行毛主席革命路线的自觉性。为了学习总结工农兵在三大革命运动中的丰富实践经验，我们广泛听取了具有生产实践经验的同志，特别是工人师傅对水利水电工程施工的意见，并收集了这方面的资料。

当前，批林批孔运动正在深入发展，革命生产形势一派大好，为了适应广大工农兵抓革命，促生产的需要，满足他们为革命学技术的迫切要求，我们编写了《水利水电工程施工工人丛书》。这套丛书中除了介绍水利水电工程主要工种施工的一般知识外，也适当编写了一些基础理论及有关计算的内容。

本丛书主要是在330水利工地、101水利工地及湖北排子河工地编写和修改的。这些工地的领导、工人和技术人员给了我们大力支持和具体帮助。我院施工专业及水工建筑专业的工农兵学员也提出不少好的意见。这次正式出版前，又得到有关水电工程局寄来许多宝贵的建议，在此表示致谢。由于我们路线觉悟不高，施工经验不足，理论水平有限，因此丛书中的缺点、错误及不妥之处肯定不少，热诚地希望读者提出批评、指正。

编 者

1974年2月

目 录

前 言

第一章 水工混凝土的基本知识	1
第一节 水工混凝土的特点和技术要求.....	1
第二节 混凝土的组成材料.....	6
第三节 混凝土配合比的估算.....	12
第四节 水工混凝土的施工过程.....	20
第二章 混凝土材料的准备	23
第一节 混凝土骨料的加工.....	23
第二节 水泥的运输与保管.....	30
第三章 混凝土的拌和	31
第一节 混凝土的配料.....	31
第二节 混凝土的拌和.....	35
第三节 混凝土拌和厂.....	40
第四章 混凝土的运输	44
第一节 运送混凝土应注意的事项.....	44
第二节 混凝土的卸料和转运工作.....	45
第三节 混凝土的运输方法.....	47
第五章 混凝土的浇筑与养护	53
第一节 浇筑混凝土前的准备工作.....	54
第二节 分层铺料工作.....	56
第三节 平仓工作.....	58

第四节	混凝土振捣工作	59
第五节	混凝土的养护	65
第六节	混凝土浇筑工作中的质量控制	65
第六章	水工混凝土的特殊施工	67
第一节	混凝土的冬季施工	67
第二节	埋石混凝土的浇筑	68
第三节	水下混凝土浇筑	69

第一章 水工混凝土的基本知识

混凝土和钢筋混凝土是水利水电工程中最主要的建筑材料之一。在大体积水工混凝土建筑物施工中，混凝土工程量往往很大，浇筑强度高，而且施工过程十分复杂，工艺要求也比较严格。混凝土从制备、运输到入仓、浇筑、养护，每一施工环节都必须采取相应的技术措施，以保证混凝土质量，满足其设计强度及抗渗、抗冻等性能要求。

毛主席指出：“什么事情都应当执行勤俭的原则。”因此，在保证工程质量的前提下，应采取有效措施，节约原材料，节约劳动力，贯彻执行毛主席的无产阶级革命路线。

第一节 水工混凝土的特点和技术要求

1. 混凝土的形成过程

用水泥、水、砂和石子四种主要材料，按照适当的配合比配料，用人工或机械搅拌均匀，浇灌到模型内捣固密实，经过一定的养护时间，便硬化为混凝土。

在组成混凝土的材料中，水泥加水成为灰浆，它是混凝土中的胶结成分。砂、石是混凝土的骨料，砂叫做细骨料，石子叫做粗骨料。密实的混凝土，石子的空隙由砂及灰浆填满，砂的空隙由灰浆填满，灰浆起化学变化，逐渐硬化成水泥结石，把砂和石子牢固地胶结成一个整体。

2. 水工混凝土的特点

在水利水电工程中，用于水工建筑物的混凝土，通常

称为水工混凝土。那么，它和普通混凝土有那些不同特点呢？

（1）要具有抗渗性、抗侵蚀性 闸坝是挡水的，上游水头较高，在水压力作用下，水可以使闸坝产生渗透破坏，这就要求水工混凝土抗渗性和抗侵蚀性好。

（2）要具有抗冲耐磨、抗冻性 滚水坝或泄水闸，坝身的泄洪、排砂底孔，它们经受高速水流及泥砂的冲磨作用，要求混凝土能够抗冲耐磨。在水位变化区，抗冻要求也比普通混凝土为高。

（3）防止温度裂缝 水工建筑物不少是大体积的，对于大体积的水工混凝土，由于体积大不易散热，容易使混凝土产生温度裂缝，所以要求采用水化热较低的水泥，并且在施工过程中要采取防止温度裂缝的措施。

3. 混凝土的强度和标号

材料的“强度”，就是它“强”到什么程度。一般用1厘米²面积能够承担多大的力来衡量。例如，一根细木条断面面积是2厘米²，两端用力拉，加到1000公斤的力拉断了，它的极限抗拉强度就是 $1000/2=500$ 公斤/厘米²。

由于受力种类不同，混凝土的强度有抗压、抗拉、抗剪等多种。混凝土的抗拉、抗剪能力较低，但和抗压强度有比例关系。一般所说的混凝土强度都是指它的抗压强度。

怎样知道混凝土的强度呢？这就要按照统一规定的方法去试验。通常是把混凝土装入长、宽、高都是20厘米的模子里，在标准条件（温度 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度90%以上）下，养护28天，再拿到压力机上加压得到的。这个强度就用“ R_{28} ”来表示。例如，试块在加力52吨时破坏，极限抗压强度 R_{28} 就是 $52\times 1000/20\times 20=130$ 公斤/厘米²。

试验得到的强度不一定是个整数，人们又用强度标号来代替强度。如水泥混凝土一般分为：75、100、150、200、250、300及400等标号。常用的标号是“100*”、“150*”、“200*”和“250*”。标号100*，表示它的抗压强度范围是100~149公斤/厘米²；标号150*，表示它的抗压强度范围是150~199公斤/厘米²……。

混凝土的强度是随着混凝土的养护龄期逐步发展的。在正常养护条件下，混凝土的强度在最初7~14天内发展较快，以后便逐渐缓慢，28天以后更慢，但如果养护得好，强度的增长可以延续几十年。表1中列出某工程对两种水泥拌制的混凝土强度与龄期关系的试验结果。

表1 15°C养护温度下混凝土强度与龄期的关系

水 泥 品 种	不同龄期(天)混凝土的相对强度%							
	3	5	7	10	14	28	90	180
600*硅酸盐大坝水泥	46	54	61	71	81	100	126	130
500*矿渣硅酸盐大坝水泥	26	36	45	57	70	100	132	143

有的工程中，考虑到混凝土浇筑后不会很快挡水，为了节约水泥，有时设计上不用28天的强度，而用90天或180天的强度，用“ R_{90} ”或“ R_{180} ”表示。

4. 水工混凝土的耐久性要求和表示方法

对于水工混凝土，例如对混凝土闸坝的各个部位，除了要求具有设计的强度，能够保证建筑物安全承受荷载外，还要求在周围的自然环境中、在使用条件下，能够经久耐用。这就要求提高水工混凝土的耐久性，使它具有抗渗、抗冻、耐磨和抗侵蚀的能力。

混凝土的抗渗、抗冻能力，用抗渗、抗冻标号来衡量。

混凝土的抗渗标号有 S_2 、 S_4 、 S_6 、 S_8 及 S_{12} 等。 S 是“渗 (Shen)”的汉语拼音的第一个字母（以前习惯用 B ，是俄文“渗透”的第一个字母）。例如 S_8 ，表示养护 28 天的标准试件（高 15 厘米、直径 15 厘米的圆柱体），开始承受 1 个大气压的水压力，以后每隔 8 小时增加 1 个大气压，一直加到承受 8 个大气压的水压力时，一组 6 个试件中有 4 个试件没有发现渗水现象。

混凝土的抗冻标号有 D_{25} 、 D_{50} 、 D_{100} 、 D_{150} 及 D_{200} 等。 D 是“冻 (Dong)”的汉语拼音的第一个字母（以前用 M ，是俄文“冻”的第一个字母）。例如 D_{50} ，表示养护 28 天的试件，在水饱和状态下，经受 50 次冻融循环作用后，强度降低不超过 25%。

混凝土的耐磨性和抗侵蚀性，现在还没有统一的试验方法和衡量指标，在施工时按照设计要求的规定去办。

5. 水工混凝土的标号分区

混凝土闸、坝的不同部位，要求不同的强度标号和耐久性标号，叫做标号分区。在施工时不能弄错，否则就会造成质量事故，或者造成浪费。

我们举一个混凝土重力坝的挡水坝段作例子，如图 1，图上按照坝的工作条件不同，分成四个区：

a 区，是位于水位变动范围内的上游面混凝土，它有抗渗要求，又有较高的抗冻要求；

b 区，是始终位于水下的表层混凝土和与基岩接触的底部混凝土，它一般没有抗冻要求，但抗渗的要求较高。根据各部位水压力大小的不同，抗渗标号可以不一样；

c 区，是上游最高水位和下游尾水位以上的表层混凝土

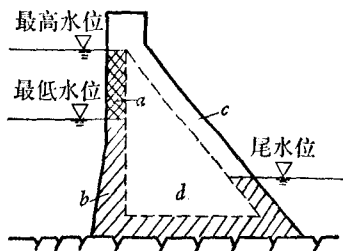


图 1 坝按工作条件不同的分区图

土，它的特点是受大气的影 响，有抗冻要求；

d 区，是坝的内部混凝土，这个区的区域范围大，没有抗冻要求，抗渗和强度要求也比较低。

另外，滚水坝和泄水闸的溢流部位，有耐磨要求和一般的抗冻要求。坝内泄水孔洞周围，也有比较高的抗渗、耐磨要求。

a 、 b 、 c 区表层混凝土，一般厚度不大，2~3 米就够了。抗渗要求最小厚度为 2 米，越向下越要厚一些，到坝底处要求厚度能达到 0.05~0.1 倍水头。

除上述按工作条件不同来分区外，还要考虑强度要求，一般越靠近坝基，强度要求越高，尤其是坝踵和坝趾。因此，同一区的上下部位，也可以按强度要求不同，采用不同的混凝土标号，但也不要变得太多。

坝身廊道、竖井的周围，由于受力条件复杂，一般要用标号比较高的混凝土。

图 2 是滚水（溢流）坝混凝土标号分区的一个例子。图 2 中的符号表示方法举例如下：

$R_{90}150^*S_4D_{50}$ 表示：要求混凝土养护 90 天能达到 150^{*}；

抗渗标号要求达到 S_4 ；

抗冻要求达到 D_{50} 。

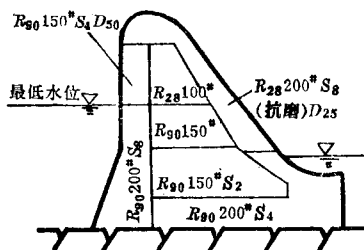


图 2 溢流坝混凝土标号分区示例

第二节 混凝土的组成材料

1. 水 泥

水工混凝土常用的水泥，主要有：普通水泥、大坝水泥和矿渣大坝水泥。

普通水泥：全名是普通硅酸盐水泥，它是以石灰石、粘土等为原料，按适当比例配合并磨成细粉，放入窑中高温煅烧（达 1450°C ），烧到部分熔融得到以硅酸盐为主要成分的熟料，再加入少量石膏，磨成细粉而成。

大坝水泥：全名是硅酸盐大坝水泥，它是特为大体积水工混凝土生产的低热水泥。它是在普通水泥的制作过程中，控制其中某些化学成分的含量而得到的。在大坝水泥中，加入20~50%高炉水淬矿渣（磨细均匀掺入），就是矿渣大坝水泥，它的全名是矿渣硅酸盐大坝水泥。

各种水泥的性能比较列入表2。

对于水泥需要了解以下几个技术指标：

（1）标号 普通水泥分为200、250、300、400、500及600等六个标号；大坝水泥分为400、500及600三个标号；矿

表 2 各种水泥性能比较

水泥品种	特 点		适 用 范 围	
	优 点	缺 点	适 用 于	不 适 用 于
普通水泥	早期强度高 低温下凝结快 抗冻性好	耐侵蚀与抗渗 性较差	(1)混凝土及钢筋混凝土各种结构要求抗冻部位; (2)早期强度要求高的混凝土	(1)大体积混凝土; (2)受化学侵蚀的部位
大坝水泥	水化热低 抗溶出性及抗 侵蚀性较强 抗冻耐磨性好	早期强度低于 普通水泥	大坝溢流面, 水位变化区 的表层混凝土	一般混凝土及 钢筋混凝土 工程
矿渣大坝 水泥	水化热更低 后期强度增长 快	抗冻耐磨性差 初期强度低 粘聚性差,常 有泌水现象	大坝内部混凝土以及水下 部位的表层 混凝土	(1)一般混凝土 及钢筋混凝土; (2)有抗冻耐磨 要求的部位

渣大坝水泥分为 300、400 及 500 三个标号。水泥的标号是把水泥和标准砂（福建平潭石英砂）以 1:3 的比例加适量的水拌成灰浆，用“硬练法”制成 $7.07 \times 7.07 \times 7.07$ 厘米³ 的水泥砂浆试块，在标准条件下养护 28 天后，做抗压强度试验而得。例如试验得到的抗压强度达到了 400 公斤/厘米² 以上，但又未超过 500 公斤/厘米²，则其标号即为 400 号。同时 3 天和 7 天的抗压强度及各个龄期的抗拉强度值也应该达到规定的要求。

(2) 细度 就是指水泥磨细的程度。水泥越细，性能

越好，标号也越高。对水泥细度的标准的要求是：用每平方厘米4900孔的筛子过筛，筛余量一般不得超过15%。它是检定水泥品质的主要项目之一。

(3) 凝结时间 水泥加水拌和后，成为水泥浆，具有可塑性。经过一段时间，浆体可塑性开始降低，通常认为这是凝结的开始，称为“初凝”。自加水时起到开始凝结所需的时间，称为初凝时间。初凝之后，塑性越来越降低，又经过一段时间后，浆体变为固体状态，失去塑性，通常认为这是凝结終了，称为“终凝”。自加水时起到凝结終了所需的时间，称为终凝时间。我国水泥标准规定，水泥的初凝时间一般不得早于45分钟，终凝时间一般不得迟于12小时。实际上，我国生产的水泥初凝时间为1~2小时，终凝时间为5~8小时，这样既能保证足够的施工工作时间，也不致使后一步的施工工作受到很大影响。

2. 骨 料

对于拌制混凝土的骨料，总的要求是质地坚硬、清洁、级配良好。骨料中粒径在0.15~5毫米的是砂，粒径大于5毫米的是石子，对石子和砂又有不同的要求。

(1) 石子 石子是混凝土中的粗骨料，常用的有碎石和卵石两种。二者各有特点，应本着就地取材与工程需要的原则来选用。

一般规定石子中的含泥量应不超过1%，对于水下混凝土亦不应超过2%。石子的形状，以近正方形或近于卵形的较好，针状（长度大于宽度三倍）的或片状（宽度大于厚度三倍）的颗粒含量，应不超过15%。卵石中软弱颗粒应不超过5%（对水位变化区）和10%（对其他混凝土）。至于要求抗冲、耐磨的混凝土基本上不允许含软弱颗粒。

为了得到质量好、水泥用量少的混凝土，骨料的级配起很大的作用。所谓级配，就是指大小颗粒的搭配情况。搭配得好，骨架的空隙小，混凝土密实，水泥也省。

通常用筛分的方法，把石料分成几级，以便于控制级配，

小石：粒径5~20毫米；

中石：粒径20~40毫米；

大石：粒径40~80毫米；

特大石：粒径80~150（或120）毫米。

我们常说的一级配混凝土，就是只用小石；二级配，就是只用小石和中石；三级配，就是只用小石、中石、大石；四级配，就是四级全用了。

各级石子的适当比例，要通过试验决定，一般选择时可参考表3。

表3 粗骨料级配选择参考表

粗骨料最大 粒 径 (毫米)	分 级 (毫米)				总 计 (%)
	5~20	20~40	40~80	80~150 (或120)	
	各 级 石 子 的 比 例 (%)				
40	45~60	40~55	—	—	100
80	25~35	25~35	35~50	—	100
150(或120)	12~25	15~25	25~35	30~15	100

(2) 砂 砂是混凝土中的细骨料，一般采用天然砂，只是当缺乏合格的天然砂时，才采用坚硬岩石磨细的人工砂。

砂的粗细程度，常用细度模数(F.M.)来表示。细度

模数是用筛分析法来测定的，将通过5毫米筛的砂样烘干，称取500克，再用一套孔径为2.5、1.2、0.6、0.3和0.15毫米的标准筛，由大到小顺序过筛，然后称出筛子上的砂重，并计算各筛上“分计筛余”百分数及“累计筛余”百分数，则：

$$\text{砂的细度模数 (F.M.)} = \frac{\text{各筛累计筛余百分数总和}}{100}$$

例如，某砂样的筛分结果如表4：

表 4 砂的筛分举例

筛 孔 尺 寸 (毫米)	分 计 筛 余		累 计 筛 余 (%)
	重 量 (克)	百分数 (%)	
5.0	0	0	0
2.5	70	14	14
1.2	120	24	38
0.6	120	24	62
0.3	100	20	82
0.15	60	12	94
通过0.15毫米筛的部分	30	—	—

由表4可得：

$$\text{细度模数 (F.M.)} = \frac{14+38+62+82+94}{100} = 2.9$$

从上面的计算可以看到，如果砂的粗粒多，细度模数必定大；细粒多，细度模数必定小。按照细度模数的大小，可将砂分为粗砂、中砂及细砂。

粗砂：细度模数大于3.2；

中砂：细度模数等于2.5~3.2；

细砂：细度模数等于1.8~2.5。

水工混凝土一般用中砂，细度模数在2.4~3.2之间。因为砂过粗，容易产生离析、泌水现象，混凝土浆的粘聚性不好；砂过细，虽然粘聚性好，但耗费水泥要多。

砂的细度模数并不能表明它的级配，所以在选用砂时，希望砂的大、中、小颗粒能互相搭配起来，满足级配要求。同时，砂中如果含有泥土及其他有害杂质，也应通过试验加以控制，不能超过允许含量。

3. 水

水和水泥拌成灰浆，它有两个作用：

水和水泥起化学变化，凝结硬化，使混凝土产生强度。起这样作用的水，一般占水泥重量的15~25%；

稀的灰浆包裹在砂石的表面，好象涂了一层润滑油，使得拌好的混凝土具有和易性，便于施工。

由于后一个原因，在混凝土凝结后，多余的水将逐渐蒸发而留下空隙，这对混凝土的抗渗性和强度都不利。因此，在施工中应该切忌任意加水。

凡适于饮用的水，都可以直接作为混凝土拌和用水。水中影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质的含量，不得超过技术规范的规定。

4. 外加剂

拌制混凝土时，加入极少量的外加剂，可以改善混凝土的性能，方便施工，节约水泥。常用的外加剂有加气剂、塑化剂和促凝剂等。

(1) 加气剂 我国目前常用的加气剂主要有松香热聚物和松脂皂。掺用量一般为水泥重量的万分之0.6~1.2（以加气剂干物质计）。拌和混凝土时掺入加气剂，可以形成大量互不连通而稳定的气泡，改善混凝土的和易性。如果保持