

技工学校教材

混凝土工艺

江西省水利技工学校 刘道南 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

技 工 学 校 教 材

混 凝 土 工 艺

江西省水利技工学校 刘道南 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国水利水电出版社

图书在版编目（CIP）数据

混凝土工艺/刘道南主编. —北京：中国水利水电出版社，2000.10
技工学校教材

ISBN 7-5084-0227-8

I. 混… II. 刘… III. 普通混凝土-混凝土施工-技工学校-教材
IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 56682 号

书 名	技工学校教材 混凝土工艺
作 者	江西省水利技工学校 刘道南 主编
出 版	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sale@waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机）、68331835（发行部）
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云新升印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 253 千字
版 次	2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月北京第一次印刷
印 数	0001 -2100 册
定 价	11.90 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

内 容 提 要

本书从水利水电工程建筑的角度,着重讲述了普通混凝土的施工工艺,并列入了整体结构混凝土、预制构件混凝土、预应力混凝土和季节性混凝土施工工艺等内容,还介绍了水下、碾压、泵送、喷射、防水、滑模、真空、膨胀、耐酸混凝土的施工方法,对混凝土的质量检验与控制、安全防护也作了阐述。

本书可作为技工学校水利水电建筑施工专业的教材和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。

前 言

本书是根据水利部颁发的水利技工学校水利水电工程建筑施工专业教学计划以及1998年10月在武汉市举办的全国水利技工学校教材编审研讨会上制定的《混凝土工艺教学大纲》，结合水利技工学校毕业生达到中级工的要求而编写的。

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，着重讲述水利水电建筑普通混凝土的施工工艺，并列入了整体结构混凝土、预制构件混凝土、预应力混凝土和季节性混凝土施工工艺等内容，还介绍了水下、碾压、泵送、喷射、防水、膨胀、耐酸混凝土的施工方法，对混凝土的质量检验与控制、安全防护也作了适当叙述。

全书按国家现行规范、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。

本书除满足水利类技工学校的有关专业教学要求外，同时也可作为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。

本书由江西省水利技工学校刘道南主编，并编写了绪论，第一、二章。山东省水利技工学校王美芬编写了第三、五、六章。新疆维吾尔自治区水利技工学校伍云编写了第四、七、十章。江西省水利技工学校林联明编写了第八、九章。全书由湖北省水利技工学校钟汉华主审。江西省水利技工学校林联明在定稿过程中对书稿提了大量的宝贵意见，谨此表示衷心感谢。

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

一九九九年三月

书 中 符 号

- A ——材料面积, 骨料试验系数
- a ——砂子含水率, 杠杆力臂
- B ——骨料试验系数
- b ——石子含水率, 杠杆力臂
- C_i ——混凝土强度等级
- D_i ——混凝土抗冻等级
- D_m ——石子最大粒径
- E ——阴角模板
- f_{ce} ——水泥实测抗压强度
- f_{cu} ——混凝土实测抗压强度, 28 天抗压强度
- $f_{cu,m}$ ——同一验收批混凝土的强度平均值
- $f_{cu,min}$ ——同一验收批混凝土的强度最小值
- $f_{cu,k}$ ——混凝土抗压强度标准值, 混凝土强度等级
- $f_{cu,o}$ ——混凝土配制强度
- f_{ct} ——混凝土推导强度
- f_{cz} ——混凝土早期抗压强度
- f_{puk} ——钢筋标准强度
- f_{pyk} ——钢筋标准强度
- f_{tk} ——混凝土抗拉强度
- G ——杠杆自重
- H ——水头 (m), 水压, 混凝土浇筑厚度
- i ——水力梯度
- J ——连接角模
- JZ ——自落式搅拌机代号
- k ——混凝土表观密度校正系数, 混凝土浇筑时间延误系数
- m_c ——水泥质量
- m_G ——石子质量
- m_{GO} ——施工配合比的石子质量
- m_s ——砂子质量
- m_{so} ——施工配合比的砂子质量
- MPa——兆帕, 强度单位 (N/mm^2)
- m_w ——水质量

m_{wo} ——施工配合比的水质量

n ——试件组数

P ——平面模板，节点荷载

Q ——荷重，混凝土生产能力

r ——机器转数

S_i ——混凝土抗渗等级

T_i ——混凝土按坍落度分级

T_1 ——混凝土运输、浇筑所占时间

T_2 ——混凝土初凝时间

VC ——碾压混凝土的稠度

V_i ——混凝土按维勃稠度分级

ω ——吸水率

Y ——阳角模板

ZX ——行星式振捣器代号

α ——混凝土含气量 (%)

β_s ——砂率

λ_1 ——混凝土强度合格判定系数

λ_2 ——混凝土强度合格判定系数

ρ_c ——水泥表观密度

ρ_{ch} ——混凝土拌合物假定表观密度或计算表观密度

ρ_G ——石子表观密度

ρ_h ——混凝土拌和物实测表观密度

ρ_s ——砂子表观密度

ρ_w ——水密度

σ ——混凝土的强度标准差 (MPa)

σ_{con} ——钢筋张拉控制应力

ω ——碾压混凝土的含水率

ϕ ——钢筋直径 (mm)

@——间距 (mm)

#——标号

[——槽钢符号

Σ ——代数和

目 录

前 言

书中符号

绪论	1
第一章 混凝土的基础知识	4
第一节 混凝土的组成材料	4
第二节 混凝土的性质	8
第三节 混凝土配合比设计	11
复习思考题	16
第二章 普通混凝土施工工艺	18
第一节 施工准备	18
第二节 模板	23
第三节 计量配料	32
第四节 混凝土拌和	35
第五节 混凝土运输	40
第六节 混凝土铺料与平仓	44
第七节 混凝土振捣	47
第八节 混凝土养护	52
第九节 混凝土施工缺陷及修补	55
复习思考题	57
第三章 整体结构混凝土的浇捣	59
第一节 大体积混凝土的施工	59
第二节 现浇框架结构混凝土的施工	61
第三节 水电站厂房下部结构混凝土的施工	64
复习思考题	71
第四章 季节性混凝土施工工艺	72
第一节 夏季混凝土施工	72
第二节 混凝土冬季施工	73
复习思考题	78
第五章 预制构件混凝土的浇筑	80
第一节 预制构件的施工工艺	80
第二节 装配式钢筋混凝土渡槽预制构件的施工	83
第三节 混凝土涵管的施工工艺	85
第四节 钢筋混凝土预制方桩的制作工艺	87

复习思考题	88
第六章 预应力混凝土施工工艺	89
第一节 预应力混凝土的基本知识	89
第二节 先张法预应力混凝土施工工艺	90
第三节 后张法预应力混凝土施工工艺	95
第四节 无粘结预应力混凝土施工工艺	103
复习思考题	105
第七章 混凝土特殊施工工艺	107
第一节 水下混凝土施工工艺	107
第二节 碾压混凝土施工	119
第三节 泵送混凝土施工	129
第四节 喷射混凝土施工	133
第五节 滑模混凝土施工	138
第六节 真空混凝土施工	139
复习思考题	140
第八章 特种混凝土施工工艺	142
第一节 防水混凝土施工	142
第二节 膨胀混凝土施工	146
第三节 耐酸混凝土施工	148
复习思考题	151
第九章 混凝土施工质量控制	153
第一节 普通混凝土的质量控制	153
第二节 预制构件结构性能检验	156
第三节 特种混凝土的质量检验和控制	158
复习思考题	163
第十章 安全防护	164
第一节 安全防护及安全技术	164
第二节 施工现场可能出现安全事故的紧急救护	166
复习思考题	167
参考文献	169

绪 论

混凝土是由胶结材料（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和料组成的混合料，经硬化后形成具有堆聚结构的复合材料。目前应用最广的仍然是由无机胶结材料制成的混凝土。这类混凝土的组成结构类似于某些天然岩石，故又称人造石，工程上常用“砼”字表示。

一、混凝土的主要分类

（一）按胶结材料分

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） 它有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。

（二）按混凝土的结构分

（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、砂和水泥制作者，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。

（三）按密度分

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

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

（3）轻混凝土 密度 $500\sim 1900\text{kg/m}^3$ 的多孔混凝土，其中包括了密度为 $800\sim 1900\text{kg/m}^3$ 的轻骨料混凝土和密度在 500kg/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 500kg/m^3 以下, 包括密度在 500kg/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。

(四) 按用途分

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

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、高压贮罐、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 $0.25 \sim 0.30$) 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。因此, 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 $2 \sim 4$ 倍 (最高抗压强度已达 $250 \sim 280\text{MPa}$)。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, 抗压比总是保持在 $1/10$ 左右。混凝土破损时, 表现出典型的脆性材料突然破坏的特点。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，最高标号已达 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趋向小于 500kg/m^3 方向发展，用这种轻骨料制成的混凝土的强度应为 $5\sim 10\text{MPa}$ ，而密度则在 1000kg/m^3 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。

尽管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。利用当地材料和工业废渣生产硅酸盐混凝土，是节约水泥、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 $25\%\sim 30\%$ 。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《混凝土工艺》的目的

《混凝土工艺》是培养学生牢固掌握各类混凝土的各种参数、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，以适应混凝土工艺日益发展的需要。

第一章 混凝土的基础知识

水利水电工程建筑中，应用最多的是水工混凝土。水工混凝土的表观密度为 $1950 \sim 2500 \text{kg/m}^3$ 。以下简称水工混凝土为“混凝土”。

在水泥混凝土中（图 1-1），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由于水泥浆硬化和水泥石干燥而产生的收缩。

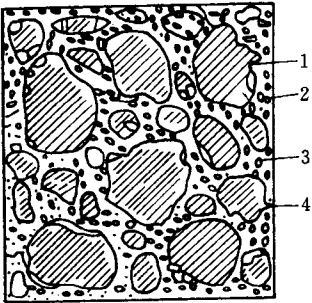


图 1-1 水泥混凝土结构示意图
1—石子；2—砂；
3—水泥浆；4—气孔

在水泥混凝土中，水泥浆约占混凝土体积的 $20\% \sim 35\%$ ，骨料占 $65\% \sim 80\%$ （图 1-2）。

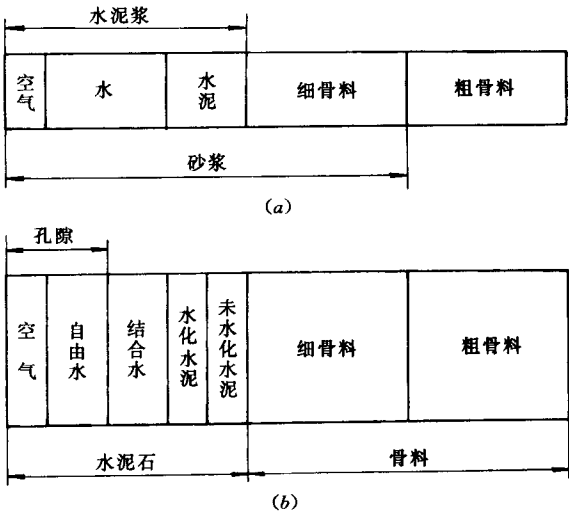


图 1-2 水泥混凝土组成示意图
(a) 新浇混凝土；(b) 硬化混凝土

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、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和混合材料。

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，应优先选用硅酸盐大坝水泥，普通大坝水泥或普通水泥。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，应选用矿渣大坝水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥或火山灰水泥。

2. 水泥标号选择

水泥标号的选择，应与混凝土的设计强度等级相适应。一般情况下，水泥标号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，水泥标号应是混凝土强度的 0.9~1.5 倍。用高标号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混合材料，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，所用水泥标号不宜低于 425[#]。

二、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生活饮用水。

三、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，并含有粘土及有机杂质等，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) 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%~45%，颗粒级配好的为 35%~37%，特细砂可达 50%。

(4) 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。对于其它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粘结不牢，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做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，是以混凝土混合物在施工中，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，包裹砂子表面的水泥浆用量则减少。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，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的比例。

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。

四、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 45%，松散状态卵石空隙率约为 35%~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下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，比较清洁；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，与水泥石粘结较牢。

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 D_m

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，可减少表面积，节约水泥。但从施工角度来看，最大粒径过大则操作有一定困难。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 $3/4$ 。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 50 mm，数量也不得大于 25%。

6. 颗粒级配

石子级配，其原理与砂基本相同，石子颗粒级配通常有连续级配的（六个粒级）和单粒级的（五个粒级）。粒级是指石子粒径按大小范围的分级。连续级配是指颗粒尺寸由大到小连续分级；单粒级是指颗粒尺寸只有一个的分级。

石子级配除了连续级配，还有间断级配。间断级配是人为地剔除骨料中的某些粒级颗粒从而使骨料级配不连续，大颗粒间的空隙由比它小几倍的小颗粒来填充，减少了空隙率，提高混凝土的密实度并节约水泥。由于颗粒相差较大，因此，采用间断级配时，应注意选择正确的砂率，以保证混凝土质量。间断级配只适用于机械震捣和流动性低的干硬性混凝土。

五、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 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。这就是水利水电工程对混凝土技术性质的基本要求。当然,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、密实混凝土的能力。

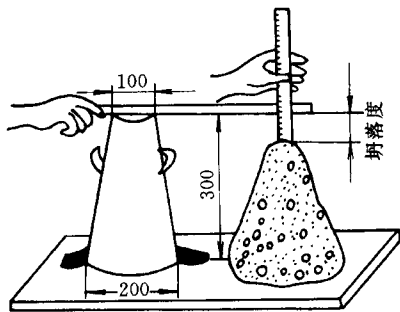


图 1-3 坍落度的测定

混凝土拌和物应具有良好的“和易性”。和易性是一个综合性能,通常包括三方面的涵义:流动性、粘聚性、保水性。

由于和易性是一项综合性的技术性能,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,辅以直观经验评定粘聚性和保水性,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 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 (mm) (图 1-3)。

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

坍落度值小,说明混凝土拌和物的流动性小,若流动性过小会给施工带来不便,影响工程质量;坍落度过大,又会使混凝土分层离析。所以,混凝土拌和物的坍落度应在一个适宜范围内。可根据结构种类、钢筋的疏密程度及振捣方法按表 1-1 选用。

(2) 维勃稠度 对于干硬性混凝土拌和物,采用维勃稠度仪 (图 1-4) 测定其和易性。

测定维勃值是按规定方法在振动台上的坍落截头圆锥筒内充填混凝土拌和物,然后提去坍落度筒,将混凝土加以振动,振至仪器

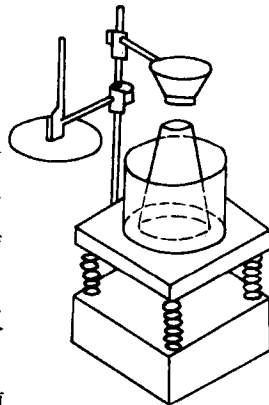


图 1-4 维勃稠度仪