

中等职业技术学校建筑类专业教材

# 混凝土工工艺与实习

JIANZHUCEI

中国劳动社会保障出版社

中等职业技术学校建筑类专业教材

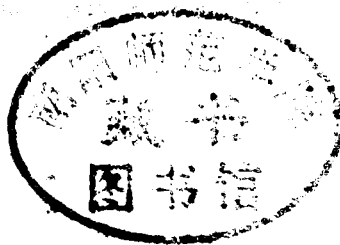
# 混凝土工工艺与实习

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

TU755  
6



南阳师院 211118093



中国劳动社会保障出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

混凝土工艺与实习/侯树基编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 1999  
ISBN 7-5045-2555-3

I. 混…

II. 侯…

III. 混凝土施工

IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41600 号

**中国劳动社会保障出版社出版发行**

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 唐云岐

\*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 321 千字

2000 年 3 月第 1 版 2008 年 1 月第 3 次印刷

定价: 20.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

## 编写说明

为适应建筑类中等职业技术学校教学的需要,我们从1998年开始组织北京、天津、山东、江苏、湖北、湖南、四川等部分建筑技工学校的教师,编写了适应三年制教学的建筑结构施工专业和管道专业两套教材。

建筑结构施工专业教材有:《建筑力学与结构》《建筑识图与构造》《建筑电工与建筑机械》《建筑预算与管理》《建筑材料》《建筑施工技术与测量》《瓦工工艺与实习》《木工工艺与实习》《抹灰工工艺与实习》《钢筋工工艺与实习》《混凝土工工艺与实习》《石工工艺与实习》;管道专业教材有:《管道制图与识图》《管道机械与电工知识》《建筑企业管理》《水暖工程》《锅炉安装与维护》《管道安装工艺与实习》。两套教材均编有部分配套使用的习题册。

考虑到国家对复合型人才的迫切需要,两专业的教学计划均定位为主、辅工种的复合形式,所编主、辅工种的专业课教材均以中级工应达到的要求为标准,各校在教学时可根据需要进行组合。此外,专业理论课教材也采用了相关知识尽量编入同一本教材的形式,便于教师集中授课。

本次新编教材,以建设部颁发的《建设行业职业技能标准》为依据,并力求理论联系实际,深入浅出,突出技能培训,同时注意反映建筑行业的新成果。

本次教材编写工作得到了有关省市的大力支持,在此表示感谢。由于时间仓促,编审人员水平有限,教材中缺点和差错在所难免,希望读者使用后提出意见,以便改进。

劳动和社会保障部教材办公室

1999年9月

## 简 介

本书是根据劳动和社会保障部教材办公室组织制定的《混凝土工艺与实习教学大纲》编写的中等职业技术学校建筑类建筑施工专业教材。本书第一篇为工艺篇，第二篇为实习篇。工艺篇共分12章，主要内容包括：混凝土的基本知识，混凝土常用材料，混凝土常用机具及保养，基础、墙、柱、梁、板、楼梯及悬挑构件的混凝土施工，混凝土防水屋面的施工，现浇框架混凝土施工，钢筋混凝土构筑物的施工，预制混凝土构件的制作，泵送混凝土的施工，混凝土质量检验评定与安全生产，混凝土的季节施工，混凝土质量缺陷及防治。实习篇有8个课题，供技能训练用。

本书也可作为工人在职培训教材。

本书由山东省建筑工程学校侯树基、侯旭华、张和良以及中南航空港建设公司赵纪伟和中国建筑第八工程局一公司侯旭魁编写，侯树基主编；天津市房管局工程质量监督管理站冉学政审稿。

# 目 录

## 第一篇 混凝土工艺

|                                           |               |
|-------------------------------------------|---------------|
| <b>第一章 混凝土的基本知识 .....</b>                 | <b>( 1 )</b>  |
| § 1—1 混凝土的基本概念 .....                      | ( 1 )         |
| § 1—2 混凝土的分类及技术性能 .....                   | ( 2 )         |
| § 1—3 混凝土配合比的一般知识 .....                   | ( 7 )         |
| § 1—4 混凝土拌制的一般要求和步骤 .....                 | ( 16 )        |
| § 1—5 混凝土试块的留制方法 .....                    | ( 18 )        |
| § 1—6 我国混凝土技术的发展前景 .....                  | ( 19 )        |
| 复习思考题 .....                               | ( 20 )        |
| <b>第二章 混凝土常用材料 .....</b>                  | <b>( 21 )</b> |
| § 2—1 骨料、水 .....                          | ( 21 )        |
| § 2—2 水泥 .....                            | ( 27 )        |
| § 2—3 特种水泥 .....                          | ( 32 )        |
| § 2—4 混凝土外加剂 .....                        | ( 36 )        |
| 复习思考题 .....                               | ( 42 )        |
| <b>第三章 混凝土常用机具及保养 .....</b>               | <b>( 43 )</b> |
| § 3—1 混凝土搅拌机 .....                        | ( 43 )        |
| § 3—2 混凝土振动器 .....                        | ( 49 )        |
| § 3—3 混凝土运输机具 .....                       | ( 51 )        |
| 复习思考题 .....                               | ( 53 )        |
| <b>第四章 基础、墙、柱、梁、板、楼梯及悬挑构件的混凝土施工 .....</b> | <b>( 54 )</b> |
| § 4—1 混凝土基础的浇筑 .....                      | ( 54 )        |
| § 4—2 混凝土柱的浇筑 .....                       | ( 61 )        |
| § 4—3 混凝土墙的浇筑 .....                       | ( 66 )        |
| § 4—4 混凝土梁、板的浇筑 .....                     | ( 69 )        |
| § 4—5 混凝土楼梯的浇筑 .....                      | ( 74 )        |
| § 4—6 混凝土悬挑构件的浇筑 .....                    | ( 75 )        |
| § 4—7 现浇混凝土施工缝处理 .....                    | ( 77 )        |

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| § 4—8 混凝土的养护 .....                 | ( 79 )         |
| 复习思考题 .....                        | ( 81 )         |
| <b>第五章 混凝土刚性防水屋面的施工 .....</b>      | <b>( 82 )</b>  |
| § 5—1 施工前的准备工作 .....               | ( 83 )         |
| § 5—2 混凝土刚性防水屋面的施工 .....           | ( 85 )         |
| § 5—3 混凝土刚性防水屋面施工中的质量要求及注意事项 ..... | ( 87 )         |
| 复习思考题 .....                        | ( 88 )         |
| <b>第六章 现浇框架混凝土施工 .....</b>         | <b>( 89 )</b>  |
| § 6—1 施工前的准备工作 .....               | ( 89 )         |
| § 6—2 框架混凝土的操作工艺、方法与要求 .....       | ( 91 )         |
| § 6—3 现浇框架混凝土施工注意事项 .....          | ( 97 )         |
| 复习思考题 .....                        | ( 99 )         |
| <b>第七章 钢筋混凝土构筑物的施工 .....</b>       | <b>( 101 )</b> |
| § 7—1 钢筋混凝土筒仓的施工 .....             | ( 101 )        |
| § 7—2 钢筋混凝土烟囱的施工 .....             | ( 104 )        |
| § 7—3 钢筋混凝土水塔的施工 .....             | ( 107 )        |
| 复习思考题 .....                        | ( 109 )        |
| <b>第八章 预制混凝土构件的制作 .....</b>        | <b>( 110 )</b> |
| § 8—1 预制混凝土屋架的制作 .....             | ( 110 )        |
| § 8—2 预制混凝土吊车梁的制作 .....            | ( 114 )        |
| § 8—3 预应力混凝土空心板的制作 .....           | ( 117 )        |
| 复习思考题 .....                        | ( 122 )        |
| <b>第九章 泵送混凝土的施工 .....</b>          | <b>( 123 )</b> |
| 复习思考题 .....                        | ( 134 )        |
| <b>第十章 混凝土质量检验评定与安全生产 .....</b>    | <b>( 136 )</b> |
| § 10—1 混凝土质量检验与评定 .....            | ( 136 )        |
| § 10—2 混凝土施工的安全生产 .....            | ( 149 )        |
| 复习思考题 .....                        | ( 151 )        |
| <b>第十一章 混凝土的季节施工 .....</b>         | <b>( 152 )</b> |
| § 11—1 混凝土的冬期施工 .....              | ( 152 )        |
| § 11—2 混凝土的夏季施工 .....              | ( 157 )        |
| § 11—3 混凝土的雨季施工 .....              | ( 159 )        |
| 复习思考题 .....                        | ( 160 )        |
| <b>第十二章 混凝土质量缺陷及防治 .....</b>       | <b>( 161 )</b> |
| § 12—1 混凝土质量缺陷的分类及产生原因 .....       | ( 161 )        |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| § 12—2 混凝土质量缺陷的防治及处理 ..... | (163) |
| 复习思考题 .....                | (164) |

## 第二篇 混凝土工实习

|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| <b>第一单元 材料的试验与鉴别 .....</b> | <b>(165)</b> |
| 课题一 水泥试验 .....             | (165)        |
| 课题二 砂的试验 .....             | (172)        |
| 课题三 碎石、卵石的试验 .....         | (176)        |
| <b>第二单元 普通混凝土实习 .....</b>  | <b>(183)</b> |
| 课题一 无筋混凝土的制作 .....         | (184)        |
| 课题二 预制钢筋混凝土板的制作 .....      | (186)        |
| 课题三 独立基础的施工 .....          | (188)        |
| 课题四 框架柱的施工 .....           | (191)        |
| 课题五 现浇钢筋混凝土楼梯的施工 .....     | (195)        |

# 第一篇 混凝土工艺

## 第一章 混凝土的基本知识

### § 1—1 混凝土的基本概念

混凝土是一种人造石材，它是由胶凝材料、细骨料、粗骨料和水，按适当比例拌和均匀后经浇捣、养护而成。为了改善和提高混凝土的某些性质，可加入适量的外加剂和外掺料，配制成具有各种特性的混凝土。目前建筑工程中使用最广泛、用量最多的还是普通混凝土。普通混凝土是指由水泥、普通碎（卵）石、砂和水配制而成的混凝土。

在混凝土中，石子和砂起骨架作用，称为“骨料”。石子为“粗骨料”，砂为“细骨料”。水泥加水后，形成水泥浆，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，使混凝土拌和物具有适于施工的和易性，水泥水化、硬化后把骨料胶结在一起形成坚固整体。混凝土的结构如图 1—1 所示。

混凝土能被广泛地应用于建筑工程，已经成为当代用量最大的建筑材料。混凝土具有下列优点：

(1) 混凝土的拌和物具有良好的可塑性，可以浇筑成任意形状和尺寸的构件或构筑物。

(2) 具有较高的抗压强度，能承受较大的荷载，在外力作用下变形小。并可以通过原材料和配合比的变化，配制出不同强度要求的混凝土。

(3) 与钢筋有牢固的黏结力，从而共同组成钢筋混凝土及预应力混凝土构件，以满足建筑结构的各种受力需要。

(4) 所用材料中的砂、石、水等占全部体积的 80% 以上，可以就地取材、成本低。

(5) 经久耐用，结构建成后维修费用较少。对于一般自然环境的干湿、冷热变化，风吹、日晒、雨淋、摩擦、碰撞等都有较强的抵抗能力，使用寿命可达 50 年以上。

(6) 混凝土有良好的耐火性，如遇火灾只能损伤其表面，不易损伤其内部结构。

混凝土也存在下列缺点：

(1) 自重大，其构件的运输和安装不方便。

(2) 抗拉、抗折强度低，易干缩，且干缩后产生裂缝，属脆性材料。

(3) 硬化前需要有较长的养护时间，因而增加了费用，延长了工期。

(4) 现浇混凝土受气候影响很大，尤其冬季低温对混凝土的凝结硬化很不利，必须采取

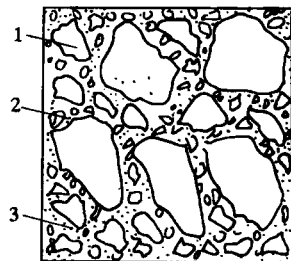


图 1—1 混凝土结构示意图

1—石子 2—砂子 3—水泥石

适当措施。

(5) 混凝土的加固维修较困难。

总之，随着建筑科学技术的发展，混凝土的缺点正在被逐步克服，其应用会更加广泛，今后的混凝土将向轻质、高强度、多功能方向发展。

## § 1—2 混凝土的分类及技术性能

### 一、混凝土的分类

混凝土的品种很多，它们的性质和用途也各不相同，因此分类方法也很多，通常可按下列方法进行分类：

#### 1. 按质量密度分类

有特重混凝土、重混凝土、轻混凝土、特轻混凝土等。

特重混凝土：质量密度  $> 2500 \text{ kg/m}^3$ ，用特别密实和特别重的骨料制成。主要用于原子能工程的屏蔽结构，具有防  $x$  和  $\gamma$  射线的性能。

重混凝土：质量密度在  $1900 \sim 2500 \text{ kg/m}^3$  之间，用天然砂石作骨料制成。主要用于各种承重结构。重混凝土也就是普通混凝土。

轻混凝土：质量密度  $< 1900 \text{ kg/m}^3$ ，其中包括质量密度为  $800 \sim 1900 \text{ kg/m}^3$  的轻骨料混凝土和质量密度  $500 \text{ kg/m}^3$  以上的多孔混凝土。主要用于承重和承重隔热结构。

特轻混凝土：质量密度在  $500 \text{ kg/m}^3$  以下，包括  $500 \text{ kg/m}^3$  以下的多孔混凝土和用特轻骨料制成的轻骨料混凝土。主要用作保温、隔热材料。

#### 2. 按胶凝材料的不同分类

可分为无机胶凝材料混凝土：有水泥混凝土、石膏混凝土和水玻璃混凝土等。

有机胶凝材料混凝土：有沥青混凝土、聚合物胶凝混凝土（又称树脂混凝土）等。

有机与无机复合胶凝材料混凝土：有聚合物水泥混凝土和聚合物浸渍混凝土。

#### 3. 按用途分类

有结构用混凝土、围护结构用混凝土、水工混凝土和特种混凝土（如耐火混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、防辐射混凝土、大坝混凝土、海洋混凝土等）。

#### 4. 按流动性分类

有干硬性混凝土、低流动性混凝土、塑性混凝土、流态混凝土等。

#### 5. 按配筋情况分类

一般分为无筋混凝土（又称素混凝土）、钢筋混凝土、预应力混凝土、劲性钢筋混凝土、纤维混凝土及钢丝网水泥等。

#### 6. 按施工工艺分类

一般可分为普通浇筑混凝土、泵送混凝土、喷射混凝土及离心成形混凝土等。

### 二、混凝土的技术性能

混凝土的各组成材料（水泥、粗细骨料、水等）按一定比例配合、搅拌，而得的尚未凝结硬化的塑性状态拌和物，称为混凝土拌和物，或称新拌混凝土。

混凝土的主要技术性质是：与施工条件相适应的工作性、符合设计要求的强度及与使用环境相适应的耐久性。

### 1. 混凝土拌和物的工作性

工作性又称和易性，是指由水泥浆和骨料拌和成的混凝土拌和物，在一定的施工条件下，便于施工工序的操作，以保证获得均匀密实的混凝土的性能。它是一项综合的技术指标，包括流动性、黏聚性及保水性等三方面的含义。

(1) 流动性 指混凝土拌和物在本身自重或机械振捣作用下，能产生流动，并均匀密实地填满模板的性能。反映了混凝土拌和物稀稠的程度。

(2) 黏聚性 指混凝土拌和物在施工过程中具有一定的黏聚力，使骨料在水泥浆中均匀分布，而不致产生分层和离析的性能。反映了混凝土拌和物的均匀性。

(3) 保水性 指混凝土拌和物在施工过程中具有一定保持水分的能力，不致产生严重泌水的性能。保水性差的混凝土，使浇筑面表层形成疏松层，并使硬化后的混凝土形成易于透水的孔隙。反映了混凝土拌和物的稳定性。

以上性能之间既互相联系，又互相矛盾。例如黏聚性好则保水性往往也好，但当流动性增大时，则黏聚性和保水性往往较差。因此，不同的工程，对拌和物工作性的要求也不同，应根据情况既有所侧重，又要互相照顾。

### 2. 工作性的测定和坍落度的选择

目前，尚没有能够全面地反映混凝土拌和物工作性的实验方法，在工地和试验室，通常以坍落度为指标测定拌和物的流动性（稠度），并辅以直观经验评定黏聚性和保水性。

坍落度试验用的模子，称为坍落度筒，是一个300 mm高、下口内径为200 mm、上口内径为100 mm的圆台形无底铁筒。试验时将坍落度筒放在平整的地面上，将混凝土拌和物按规定方法分三层填入铁筒内，每填一层用一直径为16 mm、长为600 mm的圆头钢棒插捣25次，顶面多余的料刮平。然后将筒小心地垂直提起移动一旁，则拌和物因自重将产生坍落现象，量出筒高与坍落后混凝土拌和物最高点之间的高度差，以mm表示，就叫该拌和物的坍落度，如图1—2所示。然后，用捣棒轻击拌和物锥体的侧面，观察其黏聚性。如果锥体逐渐下沉，则表示黏聚性良好；如果锥体倒塌、部分崩溃或出现离析现象，则表示黏聚性不好，如图1—3所示。

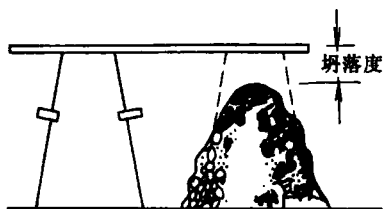


图 1—2 混凝土拌和物坍落度测定

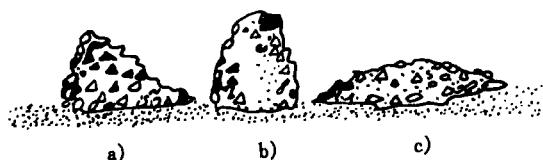


图 1—3 坍落度试验合格与不合格示意图

a) 部分（剪切）坍落型 b) 正常坍落型 c) 崩溃型

保水性的好坏可依观察判别，如坍落度筒提起后有较多稀浆从拌和物锥体底部析出，且因失浆过多而使砂石外露，则表明保水性不好，如坍落筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆从底部析出，且拌和物锥体含浆饱满，则表示保水性良好。因此，根据坍落度的测定，黏聚性、保水性的直观观察即可综合评定和易性。

坍落度值小,说明混凝土拌和物的流动性小,因过小的流动性会给施工带来不便,影响工程质量,甚至造成工程事故。坍落度过大,则会使混凝土分层,造成上、下不匀。所以,混凝土拌和物的坍落度值应在一个适宜的范围内。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。

表 1—1 混凝土浇筑时坍落度

| 项次 | 结 构 种 类                              | 坍落度 (mm) |
|----|--------------------------------------|----------|
| 1  | 基础或地面等的垫层,无配筋的大体积结构(挡土墙、基础等)或配筋稀疏的结构 | 10~30    |
| 2  | 板、梁和大型及中型截面的柱子等                      | 30~50    |
| 3  | 配筋密列的结构(薄壁、斗仓、筒仓、细柱等)                | 50~70    |
| 4  | 配筋特密的结构                              | 70~90    |

注:1.本表系指采用机械振捣的坍落度,采用人工振捣可适当增大。

2.需要配制大坍落度混凝土时,应参加外加剂。

3.曲面或斜面结构的混凝土,坍落度值应根据实际另行选定。

4.轻骨料混凝土的坍落度,宜比表中数值减少 10~20 mm。

根据坍落度的不同,混凝土拌和物可分为塑性的(坍落度 30~80 mm)、低流动性的(坍落度 10~30 mm)。当坍落度大于 10 mm 时,以坍落度值来评定混凝土拌和物的流动性。当坍落度小于 10 mm 时,以一种维勃稠度测定仪测定“工作度”来评定流动性,维勃稠度主要是测定干硬性混凝土和特干硬性混凝土的流动性。

### 3. 影响混凝土拌和物工作性的主要因素

(1) 水泥浆的数量 在水灰比不变的情况下,增加混凝土单位体积中的水泥浆用量,而骨料用量相对减少,增大了骨料之间的润滑作用,从而使混凝土拌和物的流动性有所提高。水泥浆的数量对混凝土拌和物流动性的影响,可以用单位用水量(1 m<sup>3</sup> 混凝土的用水量)来反映。要使混凝土拌和物获得一定的坍落度,所需要的单位用水量基本上是一个定值,见表 1—2。

表 1—2 混凝土用水量选用表 kg/m<sup>3</sup>

| 所需坍落度 (mm) | 卵石最大粒径 (mm) |     |     | 碎石最大粒径 (mm) |     |     |
|------------|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|            | 10          | 20  | 40  | 15          | 20  | 40  |
| 10~30      | 190         | 170 | 160 | 205         | 185 | 170 |
| 30~50      | 200         | 180 | 170 | 215         | 195 | 180 |
| 50~70      | 210         | 190 | 180 | 225         | 205 | 190 |
| 70~90      | 215         | 195 | 185 | 235         | 215 | 200 |

注:1.本表用水量系采用中砂时的平均取值。如采用细砂,每 1 m<sup>3</sup> 混凝土用水量可增加 5~10 kg;采用粗砂则可减少 5~10 kg。

2.掺用各种外加剂或掺合料时,可相应增减用水量。

3.混凝土的坍落度小于 10 mm 时,用水量按各地现有经验或经试验取用。

4.本表不适用于水灰比小于 0.4 或大于 0.8 的混凝土。

水泥浆数量不宜过多或过少,过多会产生流浆及泌水现象,过少,则会产生崩坍现象,使黏聚性变差。

(2) 水泥浆的稠度 水泥浆的稠度主要取决于水灰比的大小。水灰比较小时,水泥浆较

稠，混凝土拌和物流动性也较小，当水灰比小至某一极性值以下，会造成混凝土施工困难。反之水灰比过大，水泥浆变稀，产生严重的离析及泌水现象。因此水灰比值不宜采用过小或过大。

(3) 砂率 指混凝土内砂的用量所占砂、石总用量的百分数。当砂率过大，骨料的空隙率及总表面积增加，在水泥浆数量一定的条件下，混凝土拌和物会显得干稠，流动性减小，如砂率过小，砂浆数量不足，不能保证粗骨料周围形成足够的砂浆层，也会降低混凝土拌和物的流动性，同时还严重影响黏聚性和保水性。

砂率的选择，既影响混凝土拌和物的工作性，又影响混凝土的水泥用量。采用合理砂率的原则，是在用水量及水泥用量一定的条件下，能使混凝土拌和物获得最大的流动性，并且能保持良好的黏聚性及保水性。

此外，水泥的品种和细度、骨料的物理性质及其粒形和级配，以及外加剂、温度与时间等，都对混凝土拌和物的工作性有影响。

#### 4. 混凝土的强度

混凝土的强度是混凝土的主要技术特性，也是施工生产过程中必须达到的首要指标。它包括抗压、抗拉、抗剪、抗弯及握裹强度等，其中以抗压强度最大，抗拉强度最小。工程上混凝土主要承受压力，因此着重介绍混凝土的抗压强度。

(1) 抗压强度 把混凝土拌和物制成  $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$  的立方体试件，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，进行抗压强度试验，所测得的抗压强度值称为混凝土立方体抗压强度。

混凝土强度等级采用符号 C 与立方体抗压强度标准值（以 MPa 计）表示。等级分为 12 级 C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 及 C60。其中符号 C 表示混凝土，C 后面的数字表示立方体抗压强度标准值。例如 C20 表示混凝土立方体抗压强度标准值为 20 MPa 的混凝土强度等级。

(2) 轴心抗压强度 确定混凝土强度等级采用立方体试件，在混凝土结构设计、计算轴心受压构件时，应采用混凝土的轴心抗压强度为设计依据。混凝土轴心抗压强度试验采用  $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 300\text{ mm}$  的棱柱体作为标准试件。

(3) 影响混凝土抗压强度的主要因素 混凝土的抗压强度主要取决于水泥标号与水灰比。其次，骨料的强度与级配、养护条件、施工条件等都对混凝土的抗压强度产生影响。

1) 水泥标号、水灰比 混凝土的强度来自水泥的强度及其与骨料之间的黏结力。而水泥的强度及其与骨料的黏结力，又取决于水泥的标号及水灰比的大小。因此，在相同条件下，水泥标号越高，混凝土的强度就越高；水泥标号越低，混凝土的强度就越低。当水泥标号一定时，混凝土的强度也取决于水灰比。在一定范围内，水灰比越小，混凝土强度越高；水灰比越大，混凝土强度越低。

2) 骨料 骨料级配优良和质地坚硬，能增加混凝土的强度和密实性。表面粗糙而多棱角的骨料，与水泥浆的黏结力大，也能提高混凝土的强度，特别是在强度等级较高的混凝土中，骨料对混凝土强度影响较大。一般来说，在水灰比相同的条件下，碎石混凝土的抗压强度要略高于卵石混凝土。

3) 养护条件 混凝土硬化过程中，在保持一定的湿度条件下，温度越高，强度增长越快；温度越低，强度增长越慢。此外，混凝土浇筑后，必须保持一定时间的潮湿状态，若湿

度不够,导致失水,会严重影响强度,使混凝土结构疏松,产生干缩裂缝,而影响耐久性。一般混凝土在灌注后,应在 12 h 内加以覆盖和浇水养护。混凝土的浇水养护日期,对硅酸盐水泥、普通水泥和矿渣水泥拌制的混凝土,不得少于 7 昼夜。当平均温度低于 5℃ 时,就不得浇水。

4) 施工条件 施工中浇灌混凝土时,必须充分捣实,才能得到密实坚硬的混凝土,捣固不密实,会出现蜂窝等缺陷,从而影响混凝土的强度。同样的混凝土,机械振捣比人工振捣质量高。一般情况下,振捣时间越长,振力越大,混凝土越密实。但对塑性混凝土,振力过大或振捣时间过长,会使混凝土产生泌水离析现象,反而强度降低。

5) 试验条件 试验条件是指试件的尺寸、形状、表面状态及加荷速度等。实验证明,即使混凝土原材料、施工工艺和养护条件完全相同,试验条件不同,所得的强度试验结果也不同。所以在试验时,必须严格按国家标准的规定执行。

### 5. 混凝土的耐久性

混凝土耐久性的涵义很广,有的认为耐久性是对破坏或侵蚀作用的抵抗能力;也有的认为耐久性是抵抗随时间引起的性能与状态改变的能力,这些都说明混凝土对破坏的抵抗力是受外界与内部引起破坏的作用力所决定的。因此对混凝土耐久性的理解只能是在满足设计要求的状态下,经过一定时期使用而不破坏,这种混凝土则可称为具有耐久性的混凝土。混凝土耐久性涉及安全使用时间、混凝土内在质量和外界侵蚀作用三个方面。

因此,混凝土建筑物除要求具有设计的强度,以保证建筑物能安全承受荷载外,还应具有所处环境及使用条件下经久耐用的性能,例如抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性及抗碳化性等,都称为混凝土的耐久性。

(1) 混凝土的抗渗性 混凝土的抗渗性是指混凝土抵抗压力水渗透的能力。抗渗性是混凝土的一个重要性质,它除了关系到混凝土的防渗性能外,还直接影响混凝土的抗冻性及抗侵蚀性。

混凝土的抗渗性用抗渗标号表示,抗渗标号是以 28 天龄期的标准抗渗试件,按规定方法试验,以不渗水时所能承受的最大水位来确定。如抗渗标号为  $S_2$ 、 $S_4$ 、 $S_6$ 、 $S_8$ 、 $S_{12}$  等,分别表示能抵抗 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.2 MPa 的水压力,而不被渗透。

(2) 混凝土的抗冻性 混凝土的抗冻性是指混凝土在水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不破坏,同时也不严重降低强度的性能。抗冻性是评定混凝土耐久性的主要指标。

混凝土的抗冻性用抗冻标号表示,抗冻标号是 28 天龄期的混凝土标准试件,在浸水饱和状态下,进行冻融循环试验,以同时满足强度损失率不超过 25%,质量损失率不超过 5% 时的最大循环次数来表示。

混凝土设计抗冻标号有  $D_{25}$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{100}$ 、 $D_{150}$ 、 $D_{200}$ 、 $D_{250}$ 、 $D_{300}$  等七个等级,它们分别表示混凝土能承受反复冻融循环次数为 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 次。

(3) 混凝土的抗侵蚀性 当混凝土所处的环境水有侵蚀性时,对混凝土必须提出抗侵蚀的要求。混凝土的抗侵蚀性取决于水泥品种及混凝土的密实性。

(4) 混凝土的碳化 混凝土的碳化作用是指空气中的二氧化碳及水与石灰石中的氢氧化钙作用,生成碳酸钙和水。

碳化作用还会引起混凝土的收缩,使混凝土表面碳化层产生拉应力,及产生细微裂缝,从而降低了混凝土抗折强度。

碳化作用对混凝土也有一些有利的影响，主要是使混凝土抗压强度增大。

## § 1—3 混凝土配合比的一般知识

混凝土配合比是指混凝土中各组成材料的数量比例。混凝土配合比是在设计任务给定材料品种、规格的情况下，确定混凝土各组成材料的用量比例，以便制备满足有关工程在设计、施工及使用上所需求的混凝土。

混凝土配合比常用质量比（又称重量比）表示，即以水泥质量为1，并按水泥：砂：石：水的质量比来表示。

### 一、配合比设计要求

- (1) 应使混凝土拌和物具有良好的和易性。
- (2) 满足强度要求，即满足结构设计或施工进度要求的强度。
- (3) 具有耐久性，即满足抗冻、抗渗、抗蚀等方面的要求。
- (4) 在满足混凝土质量的前提下，作到尽量节约水泥，合理的使用材料和降低成本。

### 二、配合比设计的三个参数

混凝土由水泥、水、砂和石子组成。配合比设计，实质上是解决混凝土中这四种基本材料的三个比例关系，并用三个参数来表示，即：水和水泥的关系，用水灰比表示；砂与石子的关系，用砂率表示；水泥浆与骨料的关系，用单位用水量来反映。

- (1) 水灰比 即水与水泥的比例，是计算混凝土强度的关键参数。
- (2) 砂率 即粗细骨料的比例，指在粗、细骨料的总量中砂子应占的比例。砂率可以使骨料达到最优的级配，对新拌混凝土的工作性也起关键的作用。
- (3) 单位用水量 即水泥净浆与骨料的比例。水泥净浆即胶凝体，它的作用是胶结骨料，因而必须充分填满骨料之间的空隙。

### 三、普通混凝土配合比设计方法及步骤

#### 1. 确定混凝土配制强度

(1) 按混凝土强度等级确定配制强度 按《混凝土强度检验评定标准》(GBJ 107—87)要求，查表 1—3 确定。

表 1—3

混凝土施工配制强度

MPa

| 强度标准差 $\sigma$ | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 强度等级           |      |      |      |      |      |      |
| C7.5           | 10.8 | 11.6 | 12.4 | 14.1 | 15.7 | 17.4 |
| C10            | 13.3 | 14.1 | 14.9 | 16.6 | 18.2 | 19.9 |
| C15            | 18.3 | 19.1 | 19.9 | 21.6 | 23.2 | 24.9 |
| C20            | 24.1 | 24.1 | 24.9 | 26.6 | 28.2 | 29.9 |
| C25            | 29.1 | 29.1 | 29.9 | 31.6 | 33.2 | 34.9 |
| C30            | 34.9 | 34.9 | 34.9 | 36.6 | 38.2 | 39.9 |
| C35            | 39.9 | 39.9 | 39.9 | 41.6 | 43.2 | 44.9 |
| C40            | 44.9 | 44.9 | 44.9 | 46.6 | 48.2 | 49.9 |

续表

| 强度标准差 $\sigma$ | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 强度等级           |      |      |      |      |      |      |
| C45            | 49.9 | 49.9 | 49.9 | 51.6 | 53.2 | 54.9 |
| C50            | 54.9 | 54.9 | 54.9 | 56.6 | 58.2 | 59.9 |
| C55            | 59.9 | 59.9 | 59.9 | 61.6 | 63.2 | 64.9 |
| C60            | 64.9 | 64.9 | 64.9 | 66.6 | 68.2 | 69.9 |

注：混凝土强度标准差应按表 1—4 确定。

表 1—4

混凝土生产质量水平

| 评定指标                       |                             | 生产质量水平     |            | 优 良        |            | 一 般       |            | 差         |            |
|----------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                            |                             | 混凝土强度等级    |            | 低于<br>C20  | 不低于<br>C20 | 低于<br>C20 | 不低于<br>C20 | 低于<br>C20 | 不低于<br>C20 |
|                            |                             | 生产单位       |            |            |            |           |            |           |            |
| 混凝土强度标准差 $\sigma$<br>(MPa) | 预拌混凝土厂和预制混凝土构件厂             | $\leq 3.0$ | $\leq 3.5$ | $\leq 4$   | $\leq 5.0$ | $> 4.0$   | $> 5.0$    |           |            |
|                            | 集中搅拌混凝土的施工现场                | $\leq 3.5$ | $\leq 4$   | $\leq 4.5$ | $\leq 5.5$ | $> 4.5$   | $> 5.5$    |           |            |
| 强度不低于要求强度等级的百分率 $P$ (%)    | 预拌混凝土厂和预制混凝土构件厂及集中搅拌混凝土施工现场 | $\geq 95$  | $\geq 95$  | $> 85$     | $> 85$     | $\leq 85$ | $\leq 85$  |           |            |

(2) 按混凝土标号确定配制强度 按《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)<sup>①</sup>设计的图样, 对于图样中所采用的混凝土设计标号, 应按表 1—5 的要求换算为相应的混凝土强度等级。并采用插值法由表 1—3 确定混凝土配制强度。

表 1—5

混凝土标号与强度等级的换算

| 混凝土标号   | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 混凝土强度等级 | C8  | C13 | C18 | C23 | C28 | C38 | C48 | C58 |

混凝土配制强度公式为:

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

式中  $f_{cu,o}$ ——混凝土的施工配制强度 (MPa); $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa); $\sigma$ ——施工单位的混凝土强度标准差 (MPa)。

上式中  $\sigma$  的确定: 由强度等级相同、混凝土配合比和工艺条件相同的混凝土 28 天抗压强度统计求得。对预拌混凝土厂和预制混凝土构件厂的统计期可取为 30 天; 现场集中搅拌站的施工单位, 其统计期可视具体情况确定。 $\sigma$  值的确定与混凝土生产质量水平有关。混凝土的生产质量可分为优良、一般和差三种。

优良: 一般需要对混凝土生产过程实行有效的质量控制, 具有健全的管理制度。

一般: 虽有质量管理制度, 但没有很好的执行。

注: 目前在相当长的时间内还会继续使用。

差：各项管理制度不健全，或不切实执行管理制度，不能推行全面的质量管理。  
有关混凝土质量水平的划分详见表 1—4。

## 2. 计算水灰比

按下式计算水灰比：

采用碎石时： $f_{cu} = 0.46 f_{ce} (C/W - 0.52)$

采用卵石时： $f_{cu} = 0.48 f_{ce} (C/W - 0.61)$

式中  $C/W$  ——水、灰比；

$f_{cu}$  ——混凝土立方体抗压强度 (MPa)；

$f_{ce}$  ——水泥的实际强度 (MPa)。

在无法取得水泥实际强度时，可按下式计算：

$$f_{ce} = \lambda \cdot f_{ce,k}$$

式中  $f_{ce,k}$  ——水泥标号 (MPa)；

$\lambda$  ——水泥标号富余系数 (不同质量的水泥波动在 1.00~1.13 之间。可按各地区实际统计资料确定，在尚无统计资料时，可按照全国平均水平取  $\lambda = 1.13$ )。

对于出厂期超过三个月或存放条件不良而变质的水泥，则应重新鉴定其标号，并按实际强度进行计算。

为了满足耐久性要求，计算所得混凝土水灰比值，应与表 1—6 规定值进行复核。如果计算所得的水灰比值大于表中规定值，应按表中规定取值。

表 1—6 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量表

| 项次 | 混凝土所处的环境条件                                              | 最大<br>水灰比 | 最小水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |        |     |
|----|---------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----|--------|-----|
|    |                                                         |           | 普通混凝土                       |     | 轻骨料混凝土 |     |
|    |                                                         |           | 配筋                          | 无筋  | 配筋     | 无筋  |
| 1  | 不受雨雪影响的混凝土                                              | 不作规定      | 225                         | 200 | 250    | 225 |
| 2  | (1) 受雨雪影响的混凝土<br>(2) 位于水中及水位升降范围内的混凝土<br>(3) 在潮湿环境中的混凝土 | 0.7       | 250                         | 225 | 275    | 250 |
| 3  | (1) 寒冷地区水位升降范围内的混凝土<br>(2) 受水压作用的混凝土                    | 0.65      | 275                         | 250 | 300    | 275 |
| 4  | 严寒地区水位升降范围内的混凝土                                         | 0.60      | 300                         | 275 | 325    | 300 |

注：1. 表中所列水灰比，普通混凝土系指水与水泥用量之比，轻骨料混凝土系指水与水泥的净水灰比。

2. 表中最小水泥用量：当人工捣实时应增加 25 kg/m<sup>3</sup>。

3. 强度等级 ≤ C10 的混凝土，可不受本表限制。

4. 寒冷地区指最冷月份的日平均温度在 -5°~-15℃ 之间，严寒地区则指最冷月份的日平均温度在 -15℃ 以下。

## 3. 确定用水量

设计混凝土配合比时，力求采用最小单位用水量，应按集料品种、规格、施工要求的坍落度等，根据本地区或本单位的经验数据选用。用水量也可参考表 1—7 数据选取。