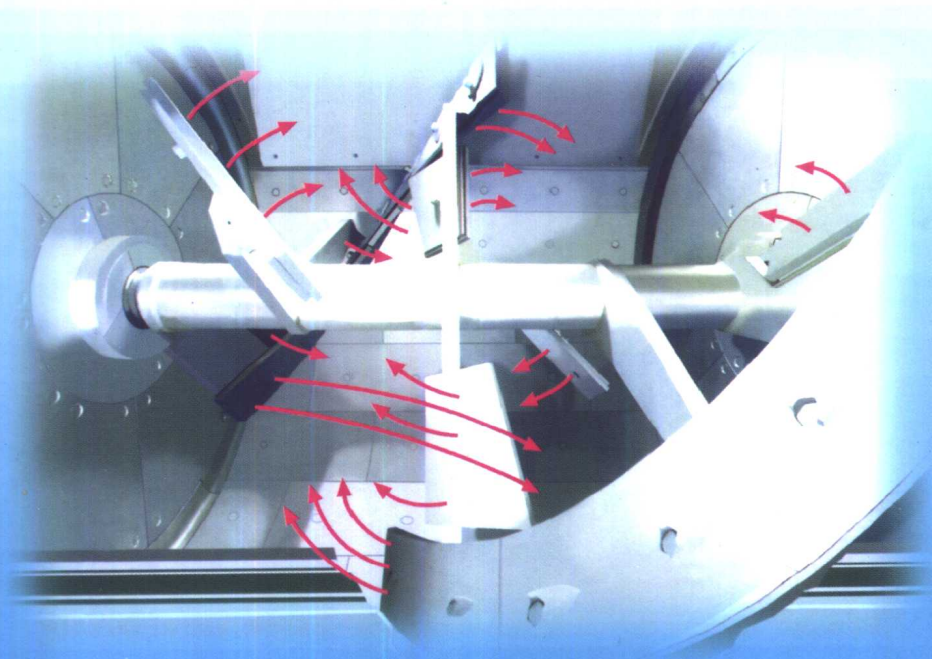


交通科技丛书  
JTKJCS

# 混凝土 搅拌理论与设备

Concrete Mixing  
Theory and Equipment

冯忠绪 主编



人民交通出版社

The People's Communications Press

交通科技丛书

Hunningtu Jiaoban Lilun yu Shebei

混凝土搅拌理论与设备

冯忠绪 主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为国家级重点图书,系交通科技丛书之一,是一部论述混凝土搅拌理论与设备的专著。通过对混凝土在搅拌过程中的结构—流变特性的试验和分析,提出了新的搅拌概念;探讨了对搅拌过程模拟和计算的方法;总结了近十年来振动搅拌理论及工艺的研究成果和研制的设备;较系统地介绍了各种搅拌设备结构及其设计和应用技术。

本书可供从事混凝土设备研制、设计和使用的技术人员参考,也可作为工程机械、设备管理、土木工程施工与管理等专业研究生、本科生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土搅拌理论与设备 / 冯忠绪主编. —北京:人民交通出版社, 2001. 8

(交通科技丛书)

ISBN 7-114-03950-6

I. 混... II. 冯... III. ①混凝土搅拌②混凝土搅拌机  
IV. TU528.062

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 029188 号

交通科技丛书

### 混凝土搅拌理论与设备

冯忠绪 主编

正文设计:王静红 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×980  $\frac{1}{16}$  印张:11.75 字数:207 千

2001 年 8 月 第 1 版

2001 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-3000 册 定价:22.00 元

ISBN 7-114-03950-6  
U·02875

## 前 言

我国水泥产量居世界第一,在建筑工程中,水泥混凝土的用量最大,搅拌设备是生产混凝土的必需设备。为适应土木工程建设的需要,作者从1990年底开始探索混凝土搅拌质量控制的对策。在科研过程中发现,尽管国内外论述混凝土搅拌设备的书不少,但内容仅局限在设备的构造、工作原理和设计方法上,内容基本雷同;尤其是缺乏理论体系的支撑,深度和广度都不够,没有系统性。

众所周知,在混凝土的搅拌过程中,混合料的状态、结构、性能都发生着变化。由于这一过程的复杂性,长期以来,对其难以进行数学描述,致使搅拌的概念模糊,许多问题有待研究。作者认为,搅拌是机械与混合料相互作用的动态过程,它涉及机械工程和建筑材料两个学科的理论。只有将两者结合起来,才可能找到深入研究的突破口。基于混凝土结构一流变特性的理论分析和试验研究,笔者提出了搅拌的定义;完善的搅拌过程应由循环流动与扩散运动良好地配合来完成。这才能保证混凝土在宏观及微观上的均匀。为实现这一目标,作者及课题组成员通过近十年的研究,提出了混凝土搅拌过程的强化方法、搅拌过程的模拟方法、搅拌设备性能的评价指标体系和参数的优化方法,特别是提出了振动搅拌理论及其工艺。在研制新型的连续式和周期式搅拌设备过程中,积累了丰富的资料,获得了大量的翔实数据。作者想尽快把这些结果无私地奉献给读者,为我国工程机械的发展和施工质量的提高尽一份力量。

应该说,该书主要内容是我校课题组研究成果的较全面、较系统的总结,尤其是研究生于丽娟、江建卫、赵悟付出了艰辛的劳动,书中的数据主要来源于他们的学位论文。同时,作者还参考了国内外不少作者的著作,介绍了搅拌设备的现状和设计、使用、管理等技术。为了便于分析搅拌过程,在第一章简介了混凝土的组成及其特性等基础知识,这也是设计、使用和管理人员应该了解的。出版社和编辑人员为此书的出版也出了力,借此机会,向他们表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,加之该课题研究正在进一步深入,错误或不足之处在所难免,敬请读者指正。

作者于长安大学校本部

2000年10月16日

# 目 录

第 1 章 混凝土	1
1.1 水泥混凝土	1
1.1.1 普通混凝土的组成、结构与混凝土的基本要求	1
1.1.2 混凝土的质量控制与评定	5
1.2 沥青混凝土	10
第 2 章 混凝土搅拌设备	15
2.1 水泥混凝土搅拌设备	15
2.1.1 概述	15
2.1.2 分类、特点及适用范围	16
2.1.3 主要结构与工作原理	19
2.2 沥青混凝土搅拌设备	26
2.2.1 概述	26
2.2.2 分类、特点及适用范围	28
2.2.3 工艺流程及主要结构	29
2.2.4 骨料干燥的振动沸腾层法	43
2.3 稳定土厂拌设备	48
2.3.1 概述	48
2.3.2 分类及用途	50
2.3.3 主要结构与工作原理	51
第 3 章 混凝土搅拌机	57
3.1 混凝土搅拌机的种类	57
3.1.1 自落式搅拌机	58
3.1.2 强制式搅拌机	62
3.1.3 连续式搅拌机	76
3.1.4 二次搅拌装置	77
3.1.5 其他搅拌机	77
3.2 搅拌机的上料装置	81

<b>第 4 章 振动搅拌技术</b> .....	88
4.1 现有搅拌机的不足之处 .....	88
4.2 改善混凝土使用性能的强化方法 .....	90
4.3 振动搅拌技术的研究概况 .....	93
4.4 混凝土的多频振动搅拌装置 .....	97
4.5 本章小结 .....	99
<b>第 5 章 新的搅拌概念</b> .....	100
<b>第 6 章 搅拌过程的模拟</b> .....	104
6.1 搅拌过程的模拟方法 .....	104
6.2 连续式搅拌过程的模拟 .....	108
6.3 周期式搅拌过程的模拟 .....	116
6.4 振动搅拌的自模性 .....	123
6.5 搅拌机参数的优化 .....	125
<b>第 7 章 连续式振动搅拌机的试验研究</b> .....	127
7.1 结构与工作原理 .....	127
7.2 动力学分析 .....	129
7.3 振动搅拌叶片的计算 .....	133
7.4 搅拌性能试验 .....	137
7.5 本章小结 .....	140
<b>第 8 章 周期式振动搅拌机的试验研究</b> .....	142
8.1 结构与工作原理 .....	142
8.2 振动搅拌机的设计 .....	144
8.3 性能试验 .....	144
8.4 功率消耗的测定分析 .....	154
8.5 本章小结 .....	162
<b>第 9 章 振动拌和 RCC 及 SFRC 的试验研究</b> .....	164
9.1 RCC 及 SFRC 的概念及其物理性质 .....	164
9.2 RCC 及 SFRC 的制备 .....	165
9.3 振动拌和 RCC 及 SFRC 的试验 .....	166
<b>参考文献</b> .....	176

# 第 1 章 混 凝 土

混凝土是由胶凝材料将骨料(又称集料)胶结而成的固体复合材料。根据所用胶凝材料的不同分为水泥混凝土、沥青混凝土等。建筑工程中用量最大的为水泥混凝土,沥青混凝土是现代高速公路的主要路面材料。

## 1.1 水泥混凝土

水泥混凝土按其体积密度的大小分为以下三种。

重混凝土,体积密度大于  $2600\text{kg}/\text{m}^3$  的混凝土,采用体积密度大的骨料(如重晶石、铁矿石、铁屑等)配制而成。因具有良好的防射线性能,故又称为防射线混凝土,主要用于核反应堆及其他防射线工程中。

普通混凝土,体积密度为  $2000 \sim 2500\text{kg}/\text{m}^3$  的混凝土,采用普通天然密实的的骨料配制而成。是各种工程中用量最大的混凝土,故简称为混凝土,广泛用于建筑、桥梁、道路、水利、码头、海洋等工程。

轻混凝土,体积密度小于  $1950\text{kg}/\text{m}^3$  的混凝土,采用多孔轻质骨料配制而成,或采用特殊方法在混凝土内部造成大量孔隙,使混凝土具有多孔结构,保温性较好,主要用于保温、结构保温或结构材料。

混凝土还可按其主要功能或结构特征、施工特点来分类,如防水混凝土、耐热混凝土、高强混凝土、泵送混凝土、流态混凝土、喷射混凝土、纤维混凝土等。

本节主要简介普通混凝土,其基本理论或基本规律对其他水泥混凝土也基本适用。

### 1.1.1 普通混凝土的组成、结构与混凝土的基本要求

#### 一、普通混凝土的组成及其作用

混凝土是由水泥、砂、石和水组成。硬化前的混凝土称为混凝土拌和物,或新拌混凝土。水和水泥组成水泥浆,硬化后的水泥浆体称为水泥石。水泥浆包裹在砂的表面,并填充于砂的空隙中成为砂浆,砂浆又包裹在石子的表面,并填充石子的空隙。水泥浆和砂浆在混凝土拌和物中分别起到润

滑砂、石的作用,使混凝土具有施工要求的流动性,并使混凝土成型密实。硬化后,水泥石将砂、石牢固地胶结为一整体,砂、石在混凝土中起到骨架的作用,故称为骨料。骨料主要起到限制混凝土的干缩、减少水泥用量和水化热、降低成本的作用,并可起到提高混凝土强度和耐久性的作用。

混凝土的组成中,骨料一般占混凝土总体积的 70%~80%,水泥石占 20%~30%。此外,还含有少量的气孔。

## 二、混凝土的结构

混凝土是一种非均质多相复合材料。从亚微观上来看,混凝土是由粗骨料、细骨料、水泥的水化产物、毛细孔、气孔、微裂纹(因水化热、干缩等致使水泥石开裂)、界面微裂纹(因干缩、泌水等所致)及界面过渡层等组成。即混凝土在受力以前,内部就存在有许多微裂纹。界面过渡层是由于泌水等原因,而在骨料表面处形成的宽度约为 30~60 $\mu\text{m}$ 的水泥石薄层,其结构相对较为疏松,且界面过渡层中常含有微裂纹。界面过渡层对混凝土的强度和耐久性有着重大的影响,特别是粗骨料与砂浆(或水泥石)的界面。从宏观上看,混凝土是由骨料和水泥石组成的二相复合材料(见图 1-1),因此,混凝土的性质主要取决于混凝土中骨料与水泥石的性质、它们的相对含量以及骨料与水泥石间的界面粘结强度(或界面过渡层的强度)。

就混凝土的强度而言,由于骨料的强度一般均高于水泥石的强度,因而普通混凝土的强度主要取决于水泥石的强度和界面粘结强度(或界面过渡层的强度),而界面粘结强度(或界面过渡层的强度)又取决于水泥石的强度和骨料的表面状况(粗糙程度、棱角的多少、粘附的泥等杂质的多少、吸水性的多少等)、凝结硬化条件及混凝土拌和物的泌水性等(参见图 1-2)。界面是混凝土中最为薄弱的环节,改善界面过渡层的结构或界面粘结强度是提高混凝土强度及其他性质的重要途径。

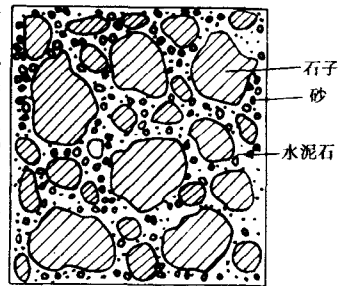


图 1-1 混凝土的宏观结构

## 三、混凝土的基本要求

工程上使用的混凝土,一般须满足以下四项基本要求。

### (一)混凝土拌和物的和易性

混凝土拌和物的和易性也称工作性或工作度,是指混凝土拌和物易于施工,并能获得均匀密实结构的性质。为保证混凝土的质量,混凝土拌和物



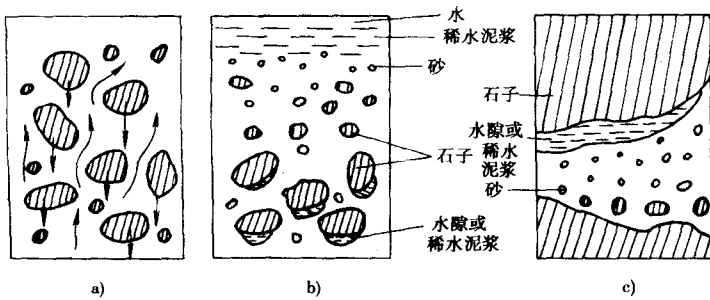


图 1-2 混凝土的分层现象

a)分层开始;b)分层离析;c)局部放大

必须具有与施工条件相适应的和易性。混凝土拌和物的和易性包括以下三项含义：

(1)流动性。指混凝土拌和物在自重或机械振动力作用下,易于产生流动、易于运输、易于充满混凝土模板的性质。一定的流动性可保证混凝土构件或结构的形状与尺寸以及混凝土结构的密实性。流动性过小,不利于施工,并难以达到密实成型,易在混凝土内部造成孔隙或孔洞,影响混凝土的质量;流动性过大,虽然成型方便,但水泥浆用量大,不经济,且可能会造成混凝土拌和物产生离析和分层,影响混凝土的均质性。流动性是和易性中最重要的性质,对混凝土的强度及其他性质有较大的影响。

(2)粘聚性。指混凝土拌和物各组成材料具有一定的粘聚力,在施工过程中保持整体均匀一致的能力。粘聚性差的混凝土拌和物在运输、浇注、成型等过程中,骨料容易与砂浆产生分离,即易产生离析、分层现象(见图 1-2),造成混凝土内部结构不均匀。粘聚性对混凝土的强度及耐久性有较大的影响。

(3)保水性。指混凝土拌和物在施工过程中保持水分的能力。保水性好可保证混凝土拌和物在运输、成型和凝结硬化过程中,不发生大的或严重的泌水。泌水会在混凝土内部产生大量的连通毛细孔隙,成为混凝土中的渗水通道。上浮的水会聚集在钢筋和石子的下部,增加了骨料和钢筋下部水泥浆的水灰比,形成薄弱层,即界面过渡层,严重时会在骨料和钢筋的下部形成水隙或水囊,即孔隙或裂纹,从而严重影响它们与水泥石之间的界面粘结力。上浮到混凝土表面的水,会大大增加表面层混凝土的水灰比,造成混凝土表面疏松,若继续浇注混凝土,则会在混凝土内形成薄弱的夹层(图 1-2)。保水性对混凝土的强度和耐久性有较大的影响。

混凝土拌和物的流动性、粘聚性及保水性,三者相互联系,但又相互矛盾。当流动性较大时,往往混凝土拌和物的粘聚性和保水性较差,反之亦然。因此,混凝土拌和物和易性良好是指三者相互协调,均为良好。

混凝土拌和物和易性是一项综合性质,目前还没有一种能够全面反映和易性的测定方法。通常是按《普通混凝土拌和物性能试验方法》(GBJ 80—85)规定,对于流动性较大的混凝土拌和物采用坍落度法,对流动性较小的混凝土拌和物采用维勃稠度法,测定混凝土拌和物的流动性(稠度)。混凝土拌和物流动性的分级见表 1-1。

混凝土拌和物流动性的分级(GB 50164—92)

表 1-1

坍落度的级别			维勃稠度的级别		
级别	名称	坍落度 (mm)	级别	名称	坍落度 (mm)
T <sub>1</sub>	低塑性混凝土	10~40	V <sub>0</sub>	超干硬性混凝土	≥31
T <sub>2</sub>	塑性混凝土	50~90	V <sub>1</sub>	特干硬性混凝土	30~21
T <sub>3</sub>	流动性混凝土	100~150	V <sub>2</sub>	干硬性混凝土	20~11
T <sub>4</sub>	大流动性混凝土	≥160	V <sub>3</sub>	半干硬性混凝土	10~5

## (二)强度

硬化后的水泥混凝土在路面结构和桥梁构件中,受到复杂的动态复合应力,因此对水泥混凝土材料要求具备各种力学强度(如抗压、抗拉、抗剪、抗弯、耐磨、抗冲击……)。但是各种力学强度都与抗压强度有一定的相关性,在结构设计时,各种强度均可通过抗压强度折算。因此,水泥混凝土的强度往往是以抗压强度为基准。《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ 81—85)规定,将混凝土制作成边长为 150mm 的立方体试件,在标准养护条件(温度为 20℃ ± 3℃,相对湿度为 90%以上)下,养护到 28d 龄期,测得的抗压强度值称为立方体抗压强度,简称抗压强度。测定混凝土的抗压强度时,也可用非标准尺寸的试件,但应乘以换算系数以换算成标准尺寸试件的强度值。边长为 100mm、200mm 的非标准立方体试件的换算系数分别为 0.95、1.05。

《混凝土强度检验与评定标准》(GBJ 107—87)规定,混凝土的强度等级按立方体抗压强度标准值划分。混凝土的立方体抗压强度标准值(简称抗压强度标准值)是测得的抗压强度总体分布中的一个值,强度低于该值的百分率不超过 5%,或具有 95%强度保证率的抗压强度值。混凝土的强度等级用符号 C 和立方体抗压强度标准值(MPa)来表示,共分为 C7.5、C10、C15、

C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60 十二个等级。道路路面或机场路面用的水泥混凝土,以抗弯拉强度(或称抗折强度)为重要强度指标,抗压强度作为参考强度指标。根据我国实验研究,道路水泥混凝土抗折强度与抗压强度的关系见表 1-2。

道路水泥混凝土的抗折强度与抗压强度关系 表 1-2

抗折强度 $R_{ft}$ (MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度 $R_{cc}$ (MPa)	25	30	35.5	40

### (三)耐久性

混凝土应具有与环境相适应的耐久性,以保证混凝土结构使用寿命。耐久性包括抗冻性、抗渗性、抗侵蚀性、抗碳化性等。影响混凝土耐久性的因素及改善措施见图 1-3。

### (四)经济性

在满足上述三项要求的前提下,混凝土中的各组成材料应经济合理,即应节约水泥用量,以降低成本。

## 1.1.2 混凝土的质量控制与评定

### 一、混凝土质量的波动与控制

由于受各种因素的作用或影响,混凝土的生产质量总是有所波动。引起混凝土质量波动的因素主要有原材料质量的波动,组成材料计量的误差,搅拌时间、振捣条件与时间、养护条件等的波动与变化,以及试验条件等的变化。

为减小混凝土质量的波动程度,即将其控制在最小范围内,应采取以下措施。

#### (一)严格控制各组成材料的质量

各组成材料的质量均应满足相应的技术规定与要求,且各组成材料的质量与规格应满足工程设计与施工等的要求。

#### (二)严格计量

各组成材料的计量误差须满足 GBJ 50164—92 的规定,即水泥、掺合料、水、外加剂的误差不得超过 2%,粗细骨料的误差不得超过  $\pm 3\%$ ,且不得随意改变配合比,并应随时测定砂、石骨料的含水率,以保证混凝土配合比的准确性。

#### (三)加强施工过程的管理

采用正确的搅拌与振捣方式,并严格控制搅拌与振捣时间。按规定的

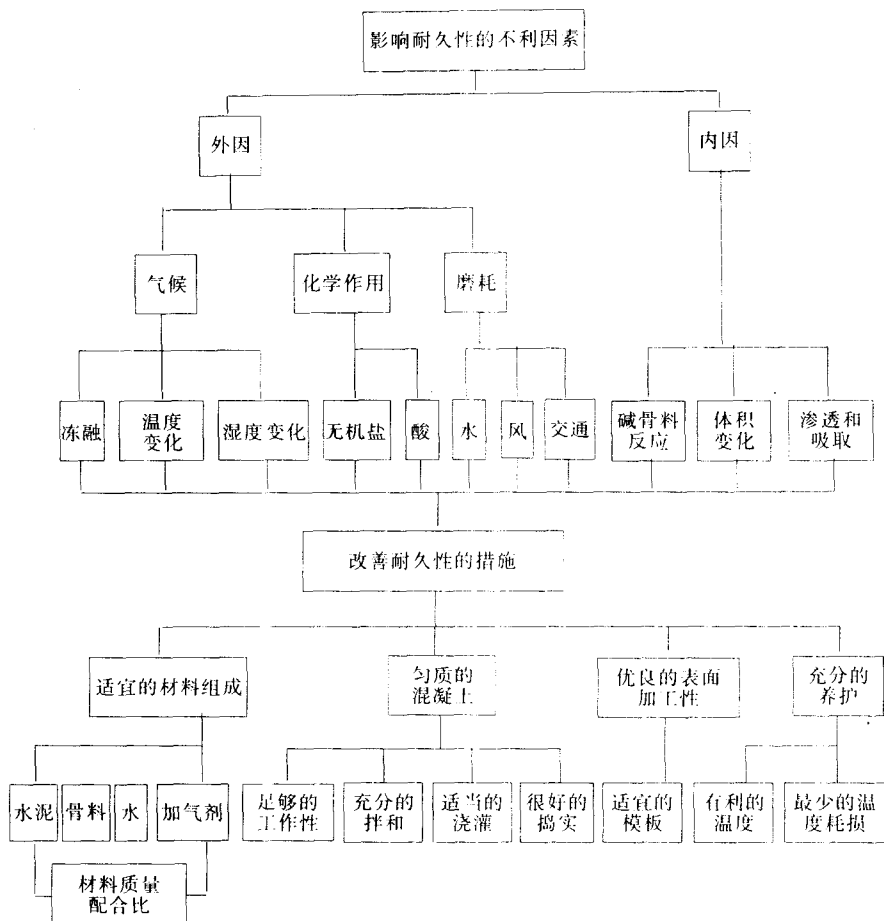


图 1-3 影响混凝土耐久性的因素及改善措施

方式运输与浇注混凝土。加强对混凝土的养护,严格控制养护温度与湿度。

#### (四)绘制混凝土质量管理图

对混凝土的强度,可通过绘制质量管理图来掌握混凝土质量的波动情况。利用质量管理图分析混凝土质量波动的原因,并采取相应的对策,达到控制混凝土质量的目的。

混凝土质量控制的具体要求、方法与过程详见 GBJ 50164—92、GBJ 50204—92 以及 CECS 40:90(混凝土及预制混凝土构件质量控制规程)。

## 二、混凝土强度的波动规律与正态分布曲线

### (一)强度波动的统计计算

### 1. 强度的平均值 $\bar{R}$

混凝土强度的平均值  $\bar{R}$  按式(1-1)计算:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (1-1)$$

式中  $n$ ——为混凝土强度试件的组数;

$R_i$ ——为第  $i$  组混凝土试件的强度值, MPa。

强度平均值只能反映混凝土总体强度水平,即强度数值集中的位置,而不能说明强度波动的大小。

### 2. 强度标准差 $\sigma$

混凝土强度标准差  $\sigma$  按式(1-2)计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - n\bar{R}^2}{n-1}} \quad (1-2)$$

标准差  $\sigma$  反映强度波动的大小(或离散程度),标准差  $\sigma$  越小,说明混凝土强度波动越小。

### 3. 离差系数(变异系数) $C_v$

离差系数按式(1-3)计算:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}} \quad (1-3)$$

离差系数  $C_v$  反映强度的相对波动程度,离差系数  $C_v$  越小,说明强度越均匀。

## (二) 混凝土强度的波动规律与正态分布曲线

在正常生产条件下,混凝土的强度受许多随机因素的作用,即混凝土的强度也是随机变化的,因此可以采用数理统计的方法来进行分析、处理和评定。

为掌握混凝土强度波动的规律,对同一强度要求的混凝土进行随机取样,制作  $n$  组试件( $n \geq 25$ ),测定其 28d 龄期的抗压强度。然后以抗压强度为纵坐标,以混凝土强度出现的频率作为横坐标,绘制抗压强度—频率分布曲线,如图 1-4。大量实验证明,混凝土的抗压强度频率曲线均接近于正态分布曲线,即混凝土的强度服从正态分布。

正态分布曲线的高峰对应的横坐标为强度平均值,且以强度平均值为对称轴。曲线与横坐标所围成面积为 100%,即概率的总和为 100%,对称轴两边出现的概率各为 50%。对称轴两侧各有一个拐点,对应于  $\bar{R} \pm \sigma$ ,拐点之间曲线向下弯曲,拐点以外曲线向上弯曲。离强度平均值越近,出现的

概率越大。正态分布曲线高而窄时,说明混凝土强度的波动较小,即混凝土的施工质量控制较好,如图 1-5。当正态分布曲线矮而宽时,说明混凝土强度的波动较大,即混凝土的施工质量控制较差。

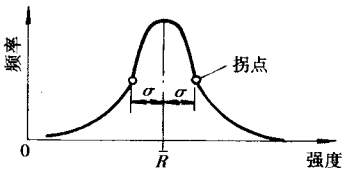


图 1-4 强度正态分布曲线

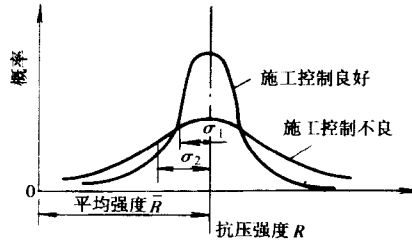


图 1-5 离散程度不同的两条强度分布曲线

### (三)混凝土强度保证率与质量评定

混凝土强度保证率  $p(\%)$  是指混凝土强度整体中,大于设计强度等级值  $P_d$  的概率,即图 1-6 中阴影的面积。低于强度等级的概率,即不合格率,为图 1-6 中阴影以外面积。

计算强度保证率  $p(t)$  时,首先计算出概率度系数  $t$  (又称保证率系数),计算式见式(1-4):

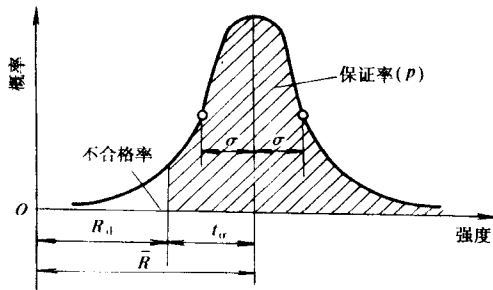


图 1-6 混凝土强度保证率

$$t = \frac{R_d - \bar{R}}{\sigma} \quad (1-4)$$

$$\text{或 } t = \frac{R_d - \bar{R}}{C_v \bar{R}} \quad (1-5)$$

混凝土强度保证率  $p(\%)$ ,由下式计算:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1-6)$$

实际应用中,当已知  $t$  值时,可从数理统计书中查得  $p$ 。部分  $t$  值对应的  $p$  见表 1-3。GBJ 107—87 规定,工程中  $p(\%)$  可根据统计周期内混凝土试件强度不低于要求强度等级的组数  $N_0$  与试件总数  $N(N \geq 25)$  之比求得,即  $p = (N_0/N) \times 100\%$ 。同时按混凝土强度标准差  $\sigma$  及强度保

证率  $p$  评定混凝土的生产质量水平,分为优良、一般、差三个等级(表 1-4)。

不同  $t$  值的保证率  $p$ 

表 1-3

$-t$	0.00	0.50	0.80	0.84	1.00	1.04	1.20	1.28	1.40	1.50	1.60
$p$ (%)	50.0	69.2	78.8	80.0	84.1	85.1	88.5	90.0	91.9	93.3	94.5
$-t$	1.645	1.70	1.75	1.81	1.88	1.96	2.00	2.05	2.33	2.50	3.00
$p$ (%)	95.0	95.5	96.0	96.5	97.0	97.5	97.7	98.0	99.0	99.4	99.87

混凝土生产质量管理水平(GBJ 107—87)

表 1-4

生产质量		优良	一般	差
混凝土强度等级		$< C20 \geq C20$	$< C20 \geq C20$	$< C20 \geq C20$
评定指标	混凝土强度标准差 $\sigma$ (MPa)	商品混凝土厂	$\leq 3.0 \leq 3.5$	$\leq 4.0 \leq 5.0$
		预制混凝土构件厂	$\leq 3.0 \leq 3.5$	$\leq 4.0 \leq 5.0$
	集中搅拌混凝土的施工现场	$\leq 3.5 \leq 4.0$	$\leq 4.5 \leq 5.5$	$> 4.0 > 5.0$
混凝土强度不低于规定 强度等级值的百分率(%)	商品混凝土厂	$\geq 95$	$> 85$	$\leq 85$
	预制混凝土构件厂	$\geq 95$	$> 85$	$\leq 85$
	集中搅拌混凝土的施工现场	$\geq 95$	$> 85$	$\leq 85$

### 三、混凝土的配制强度

为保证混凝土强度具有 GBJ 107—87 所要求的 95% 保证率,混凝土的配制强度  $R_h$  必须大于设计要求的强度等级。令  $R_h = \bar{R}$ , 代入式(1-4), 即得:

$$t = \frac{R_d - R_h}{\sigma} \quad (1-7)$$

由此得混凝土配制强度  $R_h$  为:

$$R_h = R_d - t\sigma \quad (1-8)$$

保证率  $p = 95\%$  时,对应的概率度  $t = -1.645$ , 因而上式可写为:

$$R_h = R_d + 1.645\sigma$$

式中  $\sigma$  可由混凝土生产单位的历史统计资料得到,无统计资料时,可按表 1-5 取值。

混凝土的  $\sigma$  取值表(GB 50204—92)

表 1-5

混凝土的强度等级	$< C20$	$C20 \sim C35$	$> C35$
$\sigma$ (MPa)	4.0	5.0	6.0

注:在采用本表时,施工单位可根据实际情况,对  $\sigma$  做调整。

## 1.2 沥青混凝土

沥青混凝土混合料是沥青混凝土混合料和沥青碎石混合料的总称。

沥青混凝土混合料是由适当比例的粗骨料、细骨料及填料与沥青在严格控制下拌和的沥青混合料。

沥青碎石混合料是由适当比例的粗骨料、细骨料及填料(或不加填料)与沥青拌和的沥青混合料。

按结合料分类,沥青混合料可分为石油沥青混合料和煤沥青混合料。

按沥青混合料拌制和摊铺温度分类,可分为:

热拌热铺沥青混合料,简称热拌沥青混合料,它是沥青与矿料在热态拌和、热态铺筑的混合料;

常温沥青混合料,它为以乳化沥青或稀释沥青在常温状态下拌制、铺筑的混合料。

按矿质骨料级配类型分类,可分为:

连续级配沥青混合料 沥青混合料中的矿料是按级配原则,从大到小各级粒径都有,按比例相互搭配组成的混合料,称为连续级配混合料;

间断级配沥青混合料 连续级配沥青混合料矿料中缺少一个或两个档次粒径的沥青混合料称为间断级配沥青混合料。

按混合料密实度分类,可分为:

密级配沥青混凝土混合料 按密实级配原则设计的连续型密级配沥青混合料,但其粒径递减系数较小,剩余空隙率小于10%。密级配沥青混凝土混合料按其剩余空隙率又可分为:剩余空隙率3%~6%的I型沥青混凝土混合料和剩余空隙率6%~10%的II型沥青混凝土混合料;

开级配沥青混凝土混合料 按级配原则设计的连续型级配混合料,但其粒径递减系数较大,剩余空隙率大于15%。

亦有将剩余空隙率介于密级配和开级配之间的(即剩余空隙率10%~15%)混合料称为半开级配沥青混合料。

按最大粒径分类,沥青混凝土混合料的骨料最大粒径可分为下列4类:

骨料最大粒径等于或大于26.5mm(圆孔筛30mm)的沥青混合料为粗粒式沥青混合料;

骨料最大粒径为16mm或19mm(圆孔筛20mm或25mm)的沥青混合料为中粒式沥青混合料;



骨料最大粒径为 9.5mm 或 13.2mm(圆孔筛 10mm 或 15mm)的沥青混合料为细粒式沥青混合料;

骨料最大粒径等于或小于 4.75mm(圆孔筛 5mm)的沥青混合料为砂粒式沥青混合料,也称为沥青石屑或沥青砂。

沥青碎石混合料除上述 4 类外,尚有:特粗式沥青碎石混合料,骨料最大粒径在 37.5mm(圆孔筛 40mm)以上。

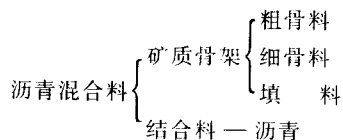
热拌沥青混合料是沥青混合料中最典型的品种,其他各种沥青混合料均为由其发展而来的亚种。本节简介它的组成结构和强度。

### 一、沥青混合料的组成结构

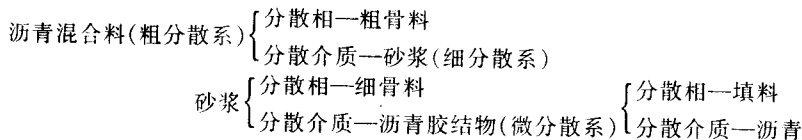
#### 1. 沥青混合料组成结构的现代理论

随着对沥青混合料组成结构研究的深入,沥青混合料的组成结构有下列两种互相对立的理论。

(1)表面理论。按传统的理解,沥青混合料是由粗骨料、细骨料和填料经人工组配成密实的级配矿质骨架,此矿质骨架由稠度较稀的沥青混合料分布其表面,而将它们胶结成为一个具有强度的整体。这种理论认识可图解如下:



(2)胶浆理论。近代某些研究从胶浆理论出发,认为沥青混合料是一种多级空间网状结构的分散系,它是以粗骨料为分散相而分散在沥青砂浆的介质中的一种粗分散系;同样,砂浆是以细骨料为分散相而分散在沥青胶浆介质中的一种细分散系;而胶浆又是以填料为分散相而分散在高稠度的沥青介质中的一种微分散系。这种理论认识可图解如下:



这 3 级分散系以沥青胶浆最为重要,它的组成结构决定沥青混合料的高温稳定性和低温变形能力。目前这一理论比较集中于研究填料(矿粉)的矿物成分、填料的级配(以 0.080mm 为最大粒径)以及沥青与填料内表面的交互作用等因素对于混合料性能的影响等。同时这一理论的研究比较强调采用高稠度沥青和大的沥青用量,以及采用间断级配的矿质混合料。