

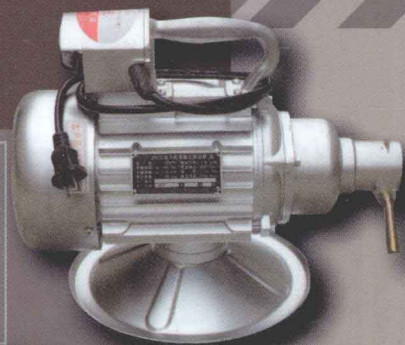
混凝土机械 构造与维修手册

靳同红 王胜春 张青 等编著

HUNNINGTU
JIXIE

GOUZAO YU
WEIXIU

SHOUCE



化学工业出版社

混凝土机械 构造与维修手册

靳同红 王胜春 张 青 等编著

HUNNINGTU
JIXIE

GOUZAO YU
WEIXIU

SHOUCE



化学工业出版社

本书从混凝土机械的使用、维护、维修的实际需要出发,系统、全面地介绍了混凝土搅拌机、混凝土搅拌站(楼)、混凝土搅拌运输车、混凝土泵和混凝土泵车、混凝土振动器、混凝土喷射机等常用混凝土设备的结构、工作原理、性能规格、使用和维护要点、故障检测和故障排除。

本书可供从事混凝土机械的使用维护、维修的工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土机械构造与维修手册/靳同红等编著. —北京:
化学工业出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-122-12707-5

I. 混… II. 靳… III. ①混凝土机械-构造-技术手册
②混凝土机械-维修-技术手册 IV. TU64-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 220783 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 边 涛

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 438 千字 2012 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着我国经济建设及科学技术的高速发展，基础建设规模不断扩大，机械设备在建筑施工中的地位也日益显著。加强建设施工队伍的装备，是改善施工条件，提高施工速度、工程质量和经济效益的保障。

混凝土机械是建筑工程中使用最广泛、用量最大的施工设备之一。中国是世界上水泥产量最大的国家，这就决定了中国混凝土机械在世界工程建设中的地位。混凝土机械中的一站三车，即混凝土搅拌站（楼）、混凝土搅拌运输车、混凝土泵车和散装水泥车是商品混凝土生产的关键设备，是一个国家实现混凝土施工现代化不可缺少的产品。

由于混凝土机械的工作对象是砂子、石子、水泥等混合料，且用量大，工作环境恶劣，因此，现代混凝土施工机械已经在向高技术、高效能、多品种、自动化和智能化的方向发展，以改善工作条件及提高生产率。

考虑到混凝土在生产与施工过程中对工艺要求较高，为了便于机械工程人员的学习，本书第1章介绍了有关混凝土的基本知识。全书比较系统、全面地阐述了混凝土设备的性能、结构、工作原理、维修、使用方法等。并借助于近年来发展较快，性能、质量比较先进且有代表性的一些生产企业，如三一重工、中联重科等的产品和有关技术介绍给读者，以便能更好地了解国内外混凝土机械的水平和发展趋势。

本书可供混凝土机械操作、维修、使用单位的技术人员和管理人员参考使用，也可作为大中专院校工程机械及相关专业的师生参考教材。本书在编写上理论联系实际，图文结合，深入浅出，便于自学。

本书共7章。其中第1章由山东省济南四建有限公司高嵩编写，第2、3章由靳同红编写，第4章由王胜春编写，第5、7章由山东省农业机械集团总公司郑德亮编写，第6章由张青编写，全书由靳同红统稿、定稿。在此特别感谢山东建筑大学张瑞军教授在百忙之中对本书进行了细致的审校，提出了许多宝贵的意见和建议。为本书的完成做出大量工作的还有王晓伟、宋世军、史宝军、王积永、沈孝芹、马爱梅、周海涛、姜华、张岩、朱冬梅、杨正凯等。

在本书编写过程中，参考了相关文献资料，在此一并表示诚挚谢意。

由于编者水平有限，编写时间仓促，而混凝土设备的种类繁多，因此收集的资料不一定能够全面反映混凝土生产与施工机械，加之各类新产品更新迅速，难免有不足之处，衷心希望读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 混凝土的分类	1
1.1.2 混凝土的特点	1
1.1.3 混凝土的技术性质	1
1.1.4 混凝土配合比设计	5
1.2 混凝土机械及其发展概况	10
1.2.1 混凝土机械的种类	10
1.2.2 混凝土机械的发展概况	10
1.3 商品混凝土	15
1.3.1 商品混凝土的发展概况	15
1.3.2 商品混凝土的机械设备	15
1.3.3 商品混凝土的优点	16
第 2 章 混凝土搅拌机	17
2.1 概述	17
2.2 自落式混凝土搅拌机	20
2.2.1 锥形反转出料搅拌机	20
2.2.2 锥形倾翻出料混凝土搅拌机	26
2.3 强制式混凝土搅拌机	28
2.3.1 强制式卧轴混凝土搅拌机	28
2.3.2 立轴强制式混凝土搅拌机	47
2.4 连续式搅拌机	51
2.5 混凝土搅拌机的选择	52
2.6 混凝土搅拌机的使用与维护	53
2.6.1 混凝土搅拌机的使用操作要点	53
2.6.2 混凝土搅拌机的检查和调整	54
2.6.3 混凝土搅拌机的维护	55
2.7 混凝土搅拌机的常见故障及排除	57
第 3 章 混凝土搅拌站(楼)	59
3.1 概述	59
3.2 混凝土搅拌站(楼)的工艺流程	62

3.2.1	单阶式工艺流程	62
3.2.2	双阶式工艺流程	63
3.2.3	混凝土搅拌站的总体构造	63
3.3	输送设备	64
3.3.1	骨料输送设备	64
3.3.2	水泥输送设备	72
3.4	储料系统	78
3.4.1	松散物料的性质	78
3.4.2	储料系统	80
3.4.3	卸料设备	85
3.4.4	料斗装置的自动化	89
3.5	计量系统	91
3.5.1	计量方式的分类	91
3.5.2	对计量系统的要求	92
3.5.3	计量斗	93
3.5.4	计量斗数量的确定	96
3.6	混凝土搅拌装置的其他系统	96
3.6.1	供液系统	96
3.6.2	气路系统	97
3.6.3	主楼框架	98
3.6.4	控制室	98
3.6.5	附属设备	99
3.7	混凝土搅拌装置的总体设计	99
3.7.1	总体设计	100
3.7.2	单阶式搅拌楼	101
3.7.3	双阶式搅拌站	109
3.7.4	移动式搅拌站的设计	119
3.7.5	连续式搅拌站	121
3.8	混凝土搅拌站（楼）的使用与维护	122
3.8.1	混凝土搅拌站（楼）的合理选择	122
3.8.2	搅拌站（楼）的维护和保养	124
3.8.3	搅拌站（楼）的安全操作注意事项	125
3.9	混凝土搅拌站（楼）的常见故障及排除	126
第4章	混凝土搅拌运输车	133
4.1	概述	133
4.1.1	混凝土搅拌运输车的工作特点	134
4.1.2	混凝土搅拌运输车的分类和型号	135
4.2	混凝土搅拌运输车的结构	137
4.2.1	搅拌筒的构造和工作原理	137

4.2.2	搅拌筒的加料和卸料机构	142
4.2.3	搅拌筒的驱动动力和驱动装置	144
4.2.4	混凝土搅拌运输车的液压系统	147
4.2.5	混凝土搅拌运输车的供水系统	150
4.3	混凝土搅拌运输车的使用、保养与检修	151
第5章	混凝土泵送机械	155
5.1	概述	155
5.1.1	混凝土泵的发展概况	155
5.1.2	混凝土泵送机械的工作特点	156
5.1.3	混凝土泵的发展趋势	156
5.1.4	混凝土泵的分类、特点及型号	157
5.2	混凝土泵的结构及工作原理	158
5.2.1	液压活塞式混凝土泵的基本构造及工作原理	159
5.2.2	活塞式混凝土泵的液压系统	171
5.2.3	活塞式混凝土泵的电气控制系统	177
5.2.4	混凝土泵的输送管道	179
5.2.5	其他形式的混凝土泵	182
5.3	混凝土布料装置	185
5.3.1	移置式布料杆	186
5.3.2	固定式布料杆	186
5.3.3	移动式布料杆	187
5.3.4	自升塔式布料杆	188
5.4	混凝土泵车	188
5.4.1	混凝土泵车的基本构造	190
5.4.2	混凝土泵车的支腿	190
5.4.3	混凝土泵车的布料装置	191
5.4.4	混凝土泵车液压传动系统	197
5.5	混凝土泵送机械的合理选择	203
5.5.1	混凝土泵基本参数的确定	203
5.5.2	混凝土泵送机械排量的计算	208
5.5.3	混凝土泵送机械各主要参数之间的关系	210
5.6	混凝土泵送机械的使用、维护及检修	212
5.6.1	混凝土泵的使用	212
5.6.2	混凝土泵的使用注意事项	216
5.6.3	混凝土泵车安全技术操作规程	217
5.6.4	混凝土泵送机械的维护及检修	218
5.7	混凝土泵及泵车常见故障及排除	223
5.7.1	堵管故障	223
5.7.2	液压系统故障	225

5.7.3	分配阀故障·····	227
5.7.4	混凝土缸与活塞磨损·····	227
5.7.5	臂架与支腿机构故障·····	228
5.7.6	搅拌系统常见故障·····	228
5.7.7	电气系统故障·····	229
5.7.8	混凝土泵车底盘的故障诊断与排除·····	229
第6章	混凝土振动器 ·····	231
6.1	概述·····	231
6.1.1	混凝土振动机械的工作特点及密实原理·····	231
6.1.2	混凝土振动器的分类、特点及型号·····	231
6.2	混凝土振动器的结构·····	233
6.2.1	内部振动器·····	233
6.2.2	外部振动器·····	242
6.2.3	振动台·····	243
6.3	混凝土振动器的合理选择·····	244
6.3.1	混凝土振动器的选择·····	244
6.3.2	混凝土振动器的生产率·····	245
6.4	混凝土振动器的使用、维护及检修·····	247
6.4.1	插入式振动器的使用要点·····	247
6.4.2	外部振动器的使用要点·····	250
6.4.3	振动台的使用要点·····	251
6.5	混凝土振动器常见故障及排除·····	252
第7章	混凝土喷射机 ·····	254
7.1	概述·····	254
7.1.1	喷射混凝土的施工特点·····	254
7.1.2	喷射混凝土的应用范围·····	255
7.1.3	喷射混凝土施工法的分类及其工艺特点·····	255
7.1.4	混凝土喷射机的发展趋势·····	256
7.1.5	混凝土喷射机的结构设计要求·····	256
7.2	混凝土喷射机的构造及工作原理·····	257
7.2.1	转子式混凝土喷射机·····	257
7.2.2	螺旋式混凝土喷射机·····	262
7.2.3	鼓轮式混凝土喷射机·····	263
7.2.4	双罐式混凝土喷射机·····	264
7.2.5	软管挤压泵式湿喷机·····	265
7.2.6	柱塞泵式湿喷机·····	266
7.2.7	风动式湿式混凝土喷射机·····	266
7.2.8	混凝土喷射机的喷嘴·····	267

7.3	混凝土喷射机的使用、维护及检修	269
7.3.1	混凝土喷射机的使用条件.....	269
7.3.2	混凝土喷射机的使用和操作.....	271
7.3.3	转子式混凝土喷射机的维护.....	273
	参考文献	275

第 1 章 绪 论

1.1 概述

混凝土机械的工作对象是混凝土，所以在研究、设计及使用混凝土机械时，必须对混凝土的组成、性质及性能指标有所了解。

混凝土是由胶凝材料、骨料按适当比例配合，与水拌和制成具有一定可塑性的浆体，再经浇筑成形，养护硬化而成的人造石。新拌制的未硬化的混凝土，通常称为混凝土拌和物（或新鲜混凝土）。经硬化有一定强度的混凝土亦称硬化混凝土。

1.1.1 混凝土的分类

混凝土按所用胶凝材料的不同可分为水泥混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土、沥青混凝土、聚合物水泥混凝土、树脂混凝土等。

混凝土按照表观密度的大小可分为重混凝土（表观密度大于 2600kg/m^3 ）、普通混凝土（表观密度为 $1950\sim 2600\text{kg/m}^3$ ）和轻混凝土（表观密度小于 1950kg/m^3 ）。其中表观密度在 2400kg/m^3 左右的最为常用。

混凝土按用途可分为普通混凝土、道路混凝土、防水混凝土、耐热混凝土、膨胀混凝土、防辐射混凝土等。

混凝土按生产方式可分为预拌混凝土和现场搅拌混凝土；按施工方法可分为泵送混凝土、喷射混凝土、离心混凝土、预应力混凝土、钢筋混凝土、挤压混凝土、碾压混凝土、压力灌浆混凝土、水工混凝土等。

混凝土按强度等级可分为低强度混凝土（抗压强度小于 20MPa ）、中强度混凝土（抗压强度 $20\sim 60\text{MPa}$ ）、高强度混凝土（抗压强度大于 60MPa ）、超高强混凝土（抗压强度在 100MPa 以上）。中强度混凝土是现今土木工程中的主要混凝土类型，应用于各种工程中，如房屋、桥梁、路面等。

通常将水泥作为胶凝材料，砂、石作为骨料的混凝土称为普通混凝土或水泥混凝土。

1.1.2 混凝土的特点

混凝土是现代土建工程上应用最广、用量最大的建筑材料。其主要优点是：具有较高的强度及耐久性，可以调整其配合成分，使其具有不同的物理力学特性，以满足各种工程的不同要求；混凝土拌和物具有可塑性，便于浇筑成各种形状的构件或整体结构；能与钢筋牢固地结合成坚固、耐久、抗震且经济的钢筋混凝土结构。

混凝土的主要缺点是：抗拉强度低，一般不用于承受拉力的结构；在温度、湿度变化的影响下，容易产生裂缝。此外，混凝土原材料品质及混凝土配合成分的波动以及混凝土运输、浇筑、养护等施工工艺，对混凝土质量有很大的影响，施工过程中需要严格的质量控制。

1.1.3 混凝土的技术性质

混凝土的主要技术性质包括混凝土拌和物的和易性、凝结特性、硬化混凝土的强度等。

(1) 混凝土拌和物的和易性

和易性是指混凝土拌和物在一定的施工条件下, 便于施工操作并获得质量均匀、密实混凝土的性能。和易性包括流动性、黏聚性及保水性三方面的含义。

① 流动性 流动性指混凝土拌和物在自身质量或施工振捣的作用下产生流动, 并均匀、密实地填满模型的性能。流动性的大小, 反映拌和物的稀稠, 它关系着施工振捣的难易和浇筑的质量。

② 黏聚性 黏聚性也称抗离析性, 指混凝土拌和物有一定的黏聚力, 在运输及浇筑过程中不致出现分层离析, 使混凝土拌和物保持整体均匀的性能。黏聚性不好的拌和物, 砂浆与石子容易分离, 振捣后会出现蜂窝、空洞等现象, 严重影响工程质量。

③ 保水性 保水性指混凝土拌和物具有一定的保持水分不致泌出的能力。如果混凝土拌和物保水性差, 浇筑振实后, 一部分水分就从内部析出, 不仅水渗过的地方会形成毛细管孔隙, 成为今后混凝土内部的渗水通道, 而且水分及泡沫等轻物质浮在表面, 还会使混凝土上下浇筑层之间形成薄弱的夹层。在水分泌出过程中, 一部分水还会停留在石子及钢筋的下面形成水隙, 减弱水泥石与石子及钢筋的黏结力。这些都将影响混凝土的密实及均匀性, 并降低混凝土的强度和耐久性。

混凝土拌和物的流动性、黏聚性和保水性三者是相互联系的。一般来说, 流动性大的拌和物, 其黏聚性及保水性相对地较差。所谓拌和物具有好的和易性, 就是其流动性、黏聚性及保水性都较好地满足具体施工工艺的要求。

到目前为止, 还没有确切的指标能全面地反映混凝土拌和物的和易性。一般常用坍落度定量地表示拌和物流动性的大小, 根据经验, 通过对试验或现场的观察, 定性地判断或评定混凝土拌和物黏聚性及保水性的优劣。

坍落度的测定是将混凝土拌和物按规定的方法装入标准截头圆锥筒内, 将筒垂直提起后, 拌和物在自重作用下产生一定的坍落, 然后量出向下坍落的尺寸 (mm) 就叫坍落度, 如图 1-1 所示。坍落度越大, 表明流动性越大。坍落度大于 10mm 的称为塑性混凝土, 其中, 坍落度在 10~30mm 的常称为低流动性混凝土。坍落度小于 10mm 的称为干硬性混凝土。

在测定坍落度的同时, 应检查混凝土的黏聚性及保水性。黏聚性的检查方法是用捣棒在已坍落的拌和物锥体一侧轻打, 若轻打时锥体渐渐下沉, 表示黏聚性良好; 如果锥体突然倒塌、部分崩裂或发生石子离析, 则表示黏聚性不好。保水性以混凝土拌和物中稀浆析出的程度评定。提起坍落筒后, 如有较多稀浆从底部析出, 拌和物锥体因失浆而骨料外露, 表示拌和物的保水性不良; 如提起坍落筒后, 无稀浆析出或仅有少量稀浆自底部析出, 混凝土锥体含浆饱满, 则表示混凝土拌和物保水性良好。

对于坍落度小于 10mm 的干硬性混凝土拌和物的流动性, 采用维勃稠度 (VB) 作为和易性指标。维勃稠度试验的主要仪器是维勃稠度仪, 如图 1-2 所示。其测定方法是: 将混凝土拌和物按标准方法装入 VB 仪容量桶中的坍落筒内; 缓慢垂直提起坍落筒, 将透明圆盘置于拌和物锥体顶面; 启动振动台, 同时用秒表开始计时, 到透明圆盘的底面完全为水泥浆布满时, 秒表计时停止, 关闭振动台。此时可以认为混凝土拌和物已密实。所读秒数称为维勃稠度。该法适用于骨料粒径不超过 40mm, 维勃稠度在 5~30s 的混凝土拌和物稠度测定。

(2) 混凝土拌和物的凝结时间

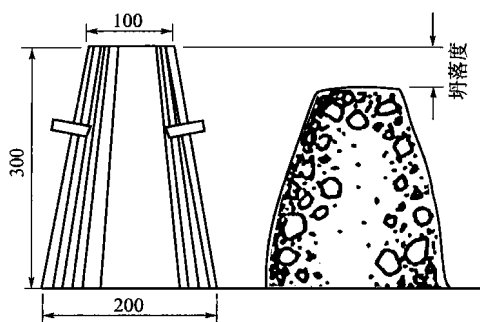


图 1-1 混凝土拌和物坍落度的测定

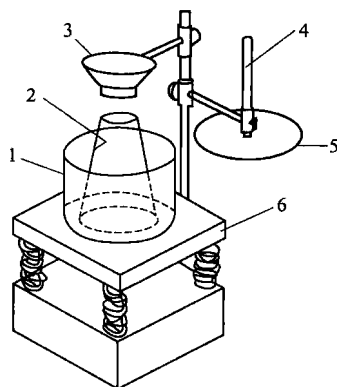


图 1-2 维勃稠度仪

1—圆柱形容器；2—坍落度筒；3—漏斗；
4—测杆；5—透明圆盘；6—振动台

水泥的水化反应是混凝土拌和物产生凝结的根源，但是混凝土拌和物的凝结时间与配制该混凝土所用水泥的凝结时间并不相等。水泥的凝结时间是水泥标准稠度净浆在规定温度及湿度条件下测得的。而且一般配制混凝土时所用的水灰比与水泥标准稠度是不同的。此外，混凝土拌和物的凝结时间还会受到其他各种因素的影响，如混凝土掺入的掺和料、外加剂，混凝土所处环境温度、湿度条件等。

在其他条件不变时，混凝土所用水泥的凝结时间长，则混凝土拌和物凝结时间也相应较长；混凝土的水灰比越大，混凝土拌和物的凝结时间越长；一般情况下，掺用粉煤灰将延长拌和物的凝结时间；混凝土掺用缓凝剂将明显延长拌和物的凝结时间；混凝土所处环境温度高，拌和物凝结时间缩短。

混凝土拌和物的凝结时间（分为初凝和终凝时间）通常是用贯入阻力法测定的。先用5mm筛孔的筛从拌和物中筛取砂浆，按规定方法装入规定的容器中，然后用贯入阻力仪的试杆每隔一定时间插入待测砂浆一定深度（25mm），测得其贯入阻力，绘制贯入阻力与时间关系曲线，贯入阻力3.5MPa及28.0MPa对应的时间即为拌和物的初凝时间和终凝时间。这是从使用角度人为确定的指标。初凝表示可施工时间的极限，终凝表示混凝土的力学强度开始快速发展。

（3）混凝土的强度

混凝土强度分为抗压强度、抗拉强度、抗弯强度及抗剪强度等。其中以抗压强度最大，故混凝土主要用于承受压力。

① 混凝土抗压强度及强度等级 抗压强度是混凝土的重要指标，它与混凝土其他性能指标密切相关。抗压强度用单位面积上所能承受的压力来表示。

根据国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》（GB/T 50081—2002）规定，以边长150mm的立方体试件为标准试件，按标准方法成形，在标准养护条件（温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度90%以上）下，养护到28d龄期，用标准试验方法测得的极限抗压强度，称为混凝土标准立方体抗压强度。

在混凝土立方体抗压强度总体分布中，具有95%保证率的抗压强度，称为立方体抗压强度标准值。根据立方体抗压强度标准值（以MPa计）的大小，将混凝土分为不同的强度等级：C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60等。如强度

等级 C20 系指立方体抗压强度标准值为 20MPa。建筑物的不同部位或承受不同荷载的结构应选用不同强度等级的混凝土。

② 影响混凝土抗压强度的因素 影响混凝土抗压强度的因素很多,主要有水泥强度及水灰比、骨料种类及级配、养护条件及龄期和施工方法、施工质量等。

普通混凝土受力破坏一般首先出现在骨料和水泥石的分界面上,即所谓的黏结面破坏形式。另外,当水泥石强度较低时,水泥石本身首先破坏也是常见的破坏形式。在普通混凝土中,骨料首先破坏的可能性小,因为骨料的强度常大大超过水泥石和黏结面的强度。所以混凝土的强度,主要决定于水泥石的强度及其与骨料间的黏结力。而它们又取决于水泥强度及水灰比的大小,即水泥强度与水灰比是影响混凝土强度的主要因素。

拌制混凝土拌和物时,为了获得必要的流动性,常需用较多的水,即较大的水灰比。一般塑性混凝土的水灰比常在 0.40~0.75。而水泥完全水化所需的化学结合水一般只占水泥质量的 25% 左右。这样,混凝土中就常有多余的水分,它是使混凝土中产生毛细孔及微细裂缝的主要原因。水灰比大,多余的水分多,水泥石的密实度小,孔隙较多,水泥石的强度较低,水泥石的收缩也较大。同时,多余水分所造成的泌水多,混凝土的微细裂缝也多,水泥石与骨料的黏结也弱。因此,水泥强度愈高,混凝土强度愈高;水灰比愈大,混凝土强度愈低。试验证明,在原材料一定的条件下,混凝土强度随水灰比增大而降低的规律呈曲线关系,如图 1-3(a) 所示;混凝土强度与灰水比(水灰比的倒数)则呈直线关系,如图 1-3(b) 所示。需要指出的是,当水灰比过小时,水泥浆过分干稠,在一定振捣条件下,混凝土拌和物不能被振捣密实反而导致混凝土强度降低,如图 1-3(a) 中的虚线所示。

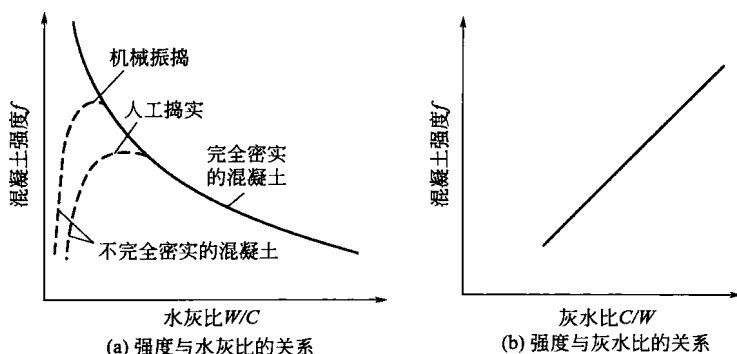


图 1-3 混凝土强度与水灰比及灰水比的关系 (原材料一定)

骨料中有害杂质过多或品质低劣时,将降低混凝土的强度。表面粗糙并富有棱角的碎石骨料,与水泥石的黏结较好,且骨料颗粒间有嵌固作用,故所配制混凝土的强度较高。当骨料级配良好,砂率适当时,砂石骨料填充密实,也使混凝土获得较高的强度。

混凝土强度受养护条件及龄期的影响很大。在干燥环境中,混凝土的强度发展会随水分逐渐蒸发而减慢或停止。养护温度高时,硬化速度较快,养护温度低时,硬化比较缓慢。当温度低至 0℃ 以下时,混凝土停止硬化,且有冰冻破坏的危险。因此,混凝土浇捣完毕后,必须加强养护,保持适当的温度和湿度,以保证硬化的不断进行,强度不断增长。

在正常养护条件下,混凝土的强度在最初几天发展较快,以后逐渐缓慢,28d 以后更慢。如果能长期保持适当的温度和湿度,混凝土强度的增长可延续数十年之久。

混凝土施工过程中若搅拌不均匀,振捣不密实或养护不良等,均会降低混凝土的强度。

混凝土拌和物的搅拌可分为机械搅拌和人工拌和。机械搅拌比人工拌和能使拌和物拌和得更均匀,尤其是采用强制式搅拌机效果更好,可获得强度更高的混凝土。对于掺有减水剂或引气剂的混凝土,机械搅拌的作用更为突出。近年来研究的多次投料搅拌工艺配制出造壳混凝土,具有提高强度的效果。所谓造壳,就是在粗、细骨料表面裹上一层低水灰比的水泥薄壳,以提高水泥石和骨料之间界面黏结强度。

1.1.4 混凝土配合比设计

混凝土配合比设计就是根据工程要求、结构形式和施工条件来确定水泥、粗细骨料和水等各项组成材料之间的比例关系,使所得混凝土满足工程所要求的各项技术指标,并符合经济的原则。

(1) 混凝土配合比设计的基本要求

- ① 满足与使用环境相适应的耐久性要求;
- ② 满足混凝土结构设计的强度等级;
- ③ 满足施工规定所需的和易性要求;
- ④ 满足业主或施工单位渴望的经济性要求,做到节约水泥和降低混凝土成本;
- ⑤ 满足可持续性发展所必需的生态性要求。

(2) 混凝土配合比表示方法

混凝土配合比表示方法常用的有两种:

一种是以 1m^3 混凝土中各项材料的质量表示,如某配合比:水泥 (C)300kg、水 (W)180kg、砂 (S)720kg、石子 (G)1200 kg,该混凝土 1m^3 总质量为 2400kg。

另一种表示方法是以各项材料相互间的质量比来表示(以水泥质量为1),将上例换算成质量比为:C(水泥):S(砂):G(石)=1:2.4:4.0, W/C(水灰比)=0.6。

(3) 混凝土配合比中的三个参数

混凝土配合比设计实质上就是确定水泥、水、砂与石子等各项组成材料用量之间的比例关系,可用三个对比关系表达,它们是水灰比、含砂率及单位用水量(即 1m^3 混凝土用水量)。这三个对比关系与混凝土性能之间存在着密切的关系,故将它们称为混凝土配合比的三个参数。进行混凝土配合比设计就是要正确地确定这三个参数。下面分别讨论这三个参数的确定原则和方法。

① 水灰比 水灰比是单位体积混凝土中水和水泥的质量之比,是影响混凝土强度和耐久性的主要因素。水灰比较小时,混凝土的强度、密实性及耐久性较高,但耗用水泥较多,混凝土发热量也较大。因此,应在满足强度及耐久性要求的前提下,尽可能采用较大的水灰比,以节约水泥。此外,对于强度及耐久性要求均较低的混凝土(如大体积内部混凝土),在确定水灰比时,还需要考虑混凝土的和易性,不宜选用过大的水灰比。因为当水灰比过大时,混凝土拌和物的黏聚性及保水性难以得到满足,将会影响混凝土质量并给施工造成困难。

② 混凝土单位用水量 单位用水量是控制混凝土拌和物流动性的主要因素。确定混凝土单位用水量的原则以满足混凝土拌和物流动性的要求为准。

影响混凝土单位用水量的因素很多,如骨料的品质及级配、骨料最大粒径、水泥需水性及使用外加剂情况等。对于具体工程,可根据原材料情况,总结实际资料得出单位用水量经验值。当缺乏资料时,可根据混凝土坍落度要求,参照表 1-1 初步估计单位用水量,再按此单位用水量试拌混凝土,测定其坍落度。若坍落度不符合要求,则应调整单位用水量(注意

应保持水灰比不变), 再做试验, 直到符合要求为止。

表 1-1 混凝土单位用水量参考

kg

混凝土坍落度/mm	卵石最大粒径/mm					碎石最大粒径/mm				
	10	20	40	80	150	10	20	40	80	150
10~30	185	160	140	120	100	200	175	155	130	110
30~50	190	165	145	125	105	205	180	160	135	115
50~70	195	170	150	130	110	210	185	165	140	120
70~90	200	175	155	135	115	215	190	170	145	125

③ 含砂率 混凝土含砂率(简称砂率)是指砂的用量占砂、石总用量(按质量计)的百分数。混凝土中的砂浆应包裹石子颗粒并填满石子间的空隙。砂率过小, 砂浆量不足, 不能在石子周围形成足够的砂浆润滑层, 将降低拌和物的流动性, 更主要的是严重影响混凝土拌和物的黏聚性及保水性, 使石子分离、水泥浆流失, 甚至出现溃散现象。砂率过大, 石子含量相对过少, 骨料的空隙及总表面积都较大, 在水灰比及水泥用量一定的条件下, 混凝土拌和物显得干稠, 流动性显著降低。在保持混凝土拌和物流动性不变的条件下, 会使混凝土的水泥浆用量显著增大。因此, 混凝土含砂率不能过小, 也不能过大, 应取合理砂率。

合理砂率是在水灰比及水泥用量一定的条件下, 使混凝土拌和物保持良好的黏聚性和保水性, 并获得最大流动性的砂率。也即在水灰比一定的条件下, 当混凝土拌和物达到要求的流动性, 且具有良好的黏聚性及保水性时, 水泥用量最省的含砂率。在设计好的混凝土中, 其含砂率应当是合理砂率(也称最佳砂率)。

由于影响合理砂率的因素很多, 因此尚不能用计算的方法准确地求得合理砂率。通常确定砂率时, 可先参照经验图表初步估计, 然后再通过混凝土拌和物和易性试验确定。其方法是: 预先估计几个砂率, 拌制几组混凝土, 进行和易性对比试验, 从中选出合理砂率。

(4) 普通混凝土配合比设计的方法与步骤

混凝土配合比的设计方法很多, 但基本上大同小异, 其主要步骤可归纳为: 首先利用经验公式和图表进行计算, 得到“初步计算配合比”; 再经试验室试拌调整, 得出满足和易性要求的“基准配合比”; 然后检验强度及耐久性, 确定出满足各项设计指标和施工要求的“试验室配合比”; 最后根据现场原材料实际情况(如砂、石的实际含水率等)修正试验室配合比从而得出“施工配合比”。

① 初步计算配合比的确定

a. 确定配制强度。在实验室配制强度能满足设计强度等级的混凝土, 但应考虑到实际施工条件与实验室条件的差别。在实际施工中, 影响混凝土强度的因素较复杂, 混凝土强度难免有波动。为使混凝土强度保证率能满足规定的要求, 在混凝土配合比设计时, 必须使混凝土的配制强度高于设计强度等级。根据《普通混凝土配合比设计》(JGJ 55—2000)的规定, 混凝土配制强度应按下式计算:

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + t\sigma \quad (1-1)$$

式中 $f_{cu,o}$ ——混凝土配制强度, MPa;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, MPa;

t ——强度保证率系数, 当强度保证率为 95% 时, t 取 1.645;

σ ——混凝土强度标准差, MPa。

强度标准差 σ 大小取决于混凝土生产水平的高低, 当施工单位具有近期的同一品种混凝土

土强度资料时,其混凝土强度标准差按下列公式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n\bar{f}_{cu}^2}{n-1}} \quad (1-2)$$

式中 $f_{cu,i}$ ——统计周期内同一品种混凝土第 i 组试件的强度值, MPa;

$\bar{f}_{cu}$ ——统计周期内同一品种混凝土组试件的强度平均值, MPa;

n ——统计周期内同品种混凝土试件的总组数, $n \geq 25$ 。

当混凝土强度等级为 C20 或 C25 时,如计算值 $\sigma < 2.5 \text{ MPa}$,取 $\sigma = 2.5 \text{ MPa}$;当强度等级等于或大于 C30 时,如计算值 $\sigma < 3.0 \text{ MPa}$,取 $\sigma = 3.0 \text{ MPa}$ 。

当施工单位无统计资料时,混凝土强度标准差 σ 可按表 1-2 取用。

表 1-2 普通混凝土强度标准差 σ 取值

混凝土强度等级	低于 C20	C20~C25	高于 C35
σ/MPa	4.0	5.0	6.0

正常情况下,式(1-1)可取等号。但在现场条件与试验条件有显著差异时,或重要工程对混凝土有特殊要求时,或强度等级 C30 及其以上的混凝土在工程验收可能采用非统计方法评定时,则应采用大于号,即应提高混凝土配制强度。

b. 初步确定水灰比 (W/C)。首先根据混凝土配制强度、水泥实际强度 (f_{ce}) 及石子类型,按混凝土强度经验公式计算水灰比,即:

$$f_{cu,o} = Af_{ce} \left(\frac{C}{W} - B \right) \quad (1-3)$$

推得水灰比计算公式为:

$$\frac{W}{C} = \frac{Af_{ce}}{f_{cu,o} + ABf_{ce}} \quad (1-4)$$

式中 A 、 B ——回归系数,与骨料品种及水泥品种等因素有关,按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ/T 55—2000)提供的 A 、 B 系数取用:

采用碎石: $A=0.46$, $B=0.07$;

采用卵石: $A=0.48$, $B=0.33$ 。

式(1-4)中的水泥实际强度若无法得到时,可采用下式计算:

$$f_{ce} = f_c \gamma_c \quad (1-5)$$

式中 f_c ——水泥强度等级标准值, MPa;

γ_c ——水泥强度等级富余系数,应按各地区实际统计资料定出,无统计资料时 $\gamma_c = 1.13$ 。

c. 确定 1m^3 混凝土的用水量 (m_{wo})。每立方米混凝土用水量的确定,应根据施工要求的坍落度值、已知的粗骨料种类及最大粒径、水灰比大小及所掺外加剂的性质等因素来合理确定,可按下式计算:

$$m_{wo} = \frac{10}{3}(T+K) \quad (1-6)$$

式中 m_{wo} ——每立方米混凝土用水量, kg;

T ——混凝土拌和物的坍落度, cm;

K ——系数,取决于粗骨料种类与最大粒径,可参考表 1-3 取用。

表 1-3 混凝土用水量计算公式中的 K 值

系 数	碎 石				卵 石			
	最大粒径/mm							
	10	20	40	80	10	20	40	80
K	57.5	53.0	48.5	44.0	54.5	50.0	45.5	41.0

d. 确定 1m^3 混凝土的水泥用量 (m_{co})。根据已初步确定的水灰比 (W/C) 和选用的单位用水量 (m_{wo})，可由下式计算出水泥用量 (m_{co})：

$$m_{co} = \frac{m_{wo}}{W/C} \quad (1-7)$$

为保证混凝土的耐久性，由上式计算得出的水泥用量还应满足最小水泥用量的要求，如计算得出的水泥用量少于规定的最小水泥用量，则应取规定的最小水泥用量值。

e. 确定砂率 (β_s)。使混凝土具有良好和易性（特别是黏聚性、保水性）的合理砂率，应通过试验求出。若无历史资料，则坍落度为 $10\sim 60\text{mm}$ 的混凝土砂率可根据粗骨料的种类、最大粒径及已确定的水灰比，在表 1-4 中给出的范围内选定。

表 1-4 混凝土砂率选用 %

水灰比	卵石最大粒径/mm			碎石最大粒径/mm		
	10	20	40	10	20	40
0.4	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.5	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.6	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.7	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

f. 计算粗、细骨料的用量。计算粗、细骨料用量的方法有质量法和体积法两种。

- 质量法。采用质量法时，按下式计算：

$$\begin{cases} m_{co} + m_{go} + m_{so} + m_{wo} = m_{cp} \\ \beta_s = \frac{m_{so}}{m_{so} + m_{go}} \end{cases} \quad (1-8)$$

式中 m_{co} —— 1m^3 混凝土的水泥用量，kg；

m_{go} —— 1m^3 混凝土的粗骨料用量，kg；

m_{so} —— 1m^3 混凝土的细骨料用量，kg；

m_{wo} —— 1m^3 混凝土的用水量，kg；

m_{cp} —— 1m^3 混凝土拌和物的假定质量（其值可取 $2350\sim 2450\text{kg}$ ），kg；

β_s ——砂率，%；

解联立两式，即可求出 m_{go} 、 m_{so} 。

● 体积法。体积法（又叫绝对体积法），它是假定混凝土拌和物的体积，等于各组成材料绝对体积和混凝土拌和物中所含空气体积之总和。因此，在计算 1m^3 混凝土拌和物的各材料用量时，可列出以下两式：

$$\begin{cases} \frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{go}}{\rho_g} + \frac{m_{so}}{\rho_s} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \\ \beta_s = \frac{m_{so}}{m_{so} + m_{go}} \times 100\% \end{cases} \quad (1-9)$$