

混凝土检测标准解析 与检测鉴定技术应用指南

HUNNINGTUJIANCEBIAOZHUNJIEXI
YUJIANCEJIANPINGJISHUYINGYONGZHINAN

王文明 著



YZLI0890108647

中国建筑工业出版社

混凝土检测标准解析与 检测鉴定技术应用指南

王文明 著



YZLI0890108647

中国建筑工程出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土检测标准解析与检测鉴定技术应用指南/王文

明著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-112-13066-5

I. ①混… II. ①王… III. ①混凝土-质量检
验-指南 IV. ①TU528.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 044358 号

本书对现行最新混凝土检测规范标准与技术规程进行了全面解析, 对重要的混凝土检测鉴定技术进行讲解, 并提供了混凝土裂缝检测鉴定与诊断处理实例。

本书可供建筑、铁路、公路、水利、港口等工程领域从事混凝土检测鉴定的技术人员查阅、参考, 也可作为相关科研院所及大、中专院校的学习用书。

* * *

责任编辑: 石枫华

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 马 赛

混凝土检测标准解析与
检测鉴定技术应用指南

王文明 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京华艺制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12¼ 字数: 292 千字

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-13066-5

(20434)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

混凝土广泛用于各种工程建设项目,是目前我国乃至世界上用量最大的建筑结构材料。混凝土工程的质量,关系到建筑物及构筑物的结构安全,关系到千家万户的生命财产安全。因此,混凝土工程质量检测工作一直受到业内人士的重视与关注。

2010年,国家有关部门相继发布的《建筑工程检测试验技术管理规范》(JGJ 190—2010)、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)、《混凝土耐久性检验评定标准》(JGJ/T 193—2009)等工程检测方面的新标准正式开始实施,尤其是根据剪压法和后锚固法这两种最新的混凝土现场检测方法制定的相应检测技术规程《剪压法检测混凝土强度技术规程》(CECS 278:2010)和《后锚固法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 208—2010),也正式发布实施。而最新发布的与混凝土强度紧密相关的《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010),自2010年12月1日起开始实施,为现代混凝土的检验与评定提供了更为科学的依据。所有这些有关混凝土的检测标准,其中涉及的很多技术条文和制(修)订内容,迫切需要广大工程技术人员尤其是质量检测监督人员的理解和掌握。同时,混凝土裂缝作为混凝土工程检测鉴定的常见问题,由于其成因复杂,涉及面广,也一直困扰着广大工程技术人员。

为促进混凝土各项检测标准的贯彻实施,推动我国工程质量检测技术的应用与发展,探讨解决工程质量检测鉴定中的各种疑难问题,本书以现行的混凝土相关检测规范标准为依据,在系统解析各有关检测规范标准的基础上,结合作者自己理解和实际应用,对混凝土检测鉴定技术进行解析。本书从混凝土裂缝产生的原因、类型和特征入手,系统阐述了混凝土裂缝检测预防、控制及故障鉴定修复技术。通过混凝土裂缝的检测鉴定与诊断实例,本书系统全面地讲解了主要检测鉴定的方法和技巧。

本书编写力求理论与实践相结合,以期为广大工程技术人员和管理人员提供实用的借鉴与指导,提高对规程的理解和实际应用能力。由于作者水平有限,书中难免有纰漏和不妥之处,恳请从事混凝土工程质量检测鉴定工作的专家学者以及相关方面的人员批评指正。

王文明

2011年2月 新疆

目 录

第1章 绪论	1
1.1 混凝土的定义和分类	1
1.1.1 混凝土的定义	1
1.1.2 混凝土的分类	1
1.2 混凝土的主要技术性质	5
1.2.1 新拌混凝土的技术性质	5
1.2.2 硬化混凝土的技术性质	6
1.3 混凝土配合比设计	14
1.3.1 基本步骤	14
1.3.2 混凝土配合比设计的几点经验	16
1.4 混凝土的现状和发展趋势	19
1.4.1 混凝土的现状	19
1.4.2 混凝土的发展趋势	20
第2章 混凝土检验相关标准解析	21
2.1 《建筑工程检测试验技术管理规范》(JGJ 190—2010) 内容解析	21
2.1.1 《建筑工程检测试验技术管理规范》(JGJ 190—2010) 编制背景及意义	21
2.1.2 《建筑工程检测试验技术管理规范》(JGJ 190—2010) 具体内容解读	21
2.2 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009) 内容解析	27
2.2.1 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009) 修订 背景及意义	27
2.2.2 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009) 具体 内容解读	28
2.3 《混凝土耐久性检验评定标准》(JGJ/T 193—2009) 内容解析	38
2.3.1 《混凝土耐久性检验评定标准》(JGJ/T 193—2009) 编制背景及意义	38
2.3.2 《混凝土耐久性检验评定标准》(JGJ/T 193—2009) 具体内容解读	39
2.4 《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010) 内容解析	41
2.4.1 《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010) 修订背景及意义	41
2.4.2 《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010) 具体内容解读	42
2.5 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011) 内容解析	46
2.5.1 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011) 修订背景及意义	46
2.5.2 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011) 具体内容解读	47

2.6	《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03: 2007) 内容解析	51
2.6.1	《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03: 2007) 修订背景及意义	51
2.6.2	《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03: 2007) 具体内容解读	52
2.7	《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02: 2005)	
	内容解析	57
2.7.1	《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02: 2005) 修订背景及意义	57
2.7.2	《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02: 2005) 具体内容解读	57
2.8	《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69: 94) 内容解析	64
2.8.1	《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69: 94) 编制背景及意义	64
2.8.2	《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》(CECS 69: 94) 具体内容解读	65
2.9	《剪压法检测混凝土强度技术规程》(CECS 278: 2010) 内容解析	71
2.9.1	《剪压法检测混凝土强度技术规程》(CECS 278: 2010) 编制背景及意义	71
2.9.2	《剪压法检测混凝土强度技术规程》(CECS 278: 2010) 具体内容解读	72
2.10	《后锚固法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 208—2010) 内容解析	76
2.10.1	《后锚固法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 208—2010) 编制背景及意义	76
2.10.2	《后锚固法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T 208—2010) 具体内容解读	77
第3章	混凝土检测鉴定技术	82
3.1	混凝土检测鉴定基本要求	82
3.1.1	检测鉴定目的、范围与分类	82
3.1.2	检测鉴定工作程序与基本要求	83
3.2	混凝土检测鉴定项目抽样与检测方法	88
3.2.1	混凝土强度抽样方案与抽样方法	88
3.2.2	混凝土强度检测方法	90
3.3	回弹法检测混凝土技术	91
3.3.1	概述	91
3.3.2	回弹仪的类型、构造及回弹法的基本原理	91
3.3.3	影响回弹仪检测性能和测试误差的主要因素	93
3.3.4	回弹仪的操作、保养和校验检定	94
3.3.5	回弹法检测技术和数据处理	95
3.3.6	回弹法测强曲线的建立方法	97
3.4	钻芯法检测混凝土技术	98
3.4.1	概述	98
3.4.2	钻芯机及配套设备	99
3.4.3	钻芯法检测程序	100
3.4.4	钻芯法检测混凝土技术和数据处理	101
3.5	超声回弹综合法检测混凝土技术	103

3.5.1	概述	103
3.5.2	仪器的分类及技术要求、校验检定和保养	104
3.5.3	超声回弹综合法检测技术和数据处理	105
3.5.4	超声回弹综合法测强曲线的建立方法	107
3.6	后装拔出法检测混凝土技术	110
3.6.1	概述	110
3.6.2	后装拔出法试验装置的组成及技术要求	111
3.6.3	后装拔出法检测技术和数据处理	112
3.6.4	后装拔出法测强曲线的建立方法	115
3.7	剪压法检测混凝土技术	115
3.7.1	概述	115
3.7.2	剪压法试验装置的组成及技术要求	116
3.7.3	剪压法检测技术和数据处理	116
3.8	后锚固法检测混凝土强度技术	119
3.8.1	概述	119
3.8.2	后锚固法试验装置的组成及技术要求	120
3.8.3	后锚固法检测技术和数据处理	121
3.8.4	后锚固法测强曲线的建立方法	123
3.9	新的混凝土检测方法的开发及应用前景	124
3.9.1	概述	124
3.9.2	超声波成像和红外热像法检测技术	125
3.9.3	雷达法检测技术	125
3.9.4	射钉法检测技术	126
3.10	工程加固技术	126
3.10.1	概述	126
3.10.2	工程加固工作程序、原则	127
3.10.3	工程加固方法与作用和适用范围与特点	129
3.11	混凝土检测鉴定技术典型实例	132
3.11.1	某工业厂房原液车间混凝土现浇屋面坍塌事故检测鉴定	132
3.11.2	某工贸公司办公楼及厂房既有结构工程质量检测鉴定及思考建议	133
3.11.3	拟加层综合楼结构实体质量检测	136
第4章	混凝土裂缝的损伤预防与鉴定修复	139
4.1	概述	139
4.2	混凝土裂缝产生的原因	139
4.2.1	结构设计及受力荷载引起的裂缝	139
4.2.2	材料性质和配合比引起的裂缝	140
4.2.3	施工引起的裂缝	140
4.2.4	使用环境条件引起的裂缝	141

4.3 混凝土裂缝的类型及特征	141
4.3.1 按裂缝深度分类	141
4.3.2 按裂缝形状分类	141
4.3.3 按裂缝动态发展情况分类	142
4.3.4 按裂缝产生时间分类	142
4.3.5 按裂缝开裂原因分类	142
4.4 混凝土裂缝的损伤预防	143
4.4.1 从设计方面进行防控	143
4.4.2 从材料和配合比方面进行防控	145
4.4.3 从施工方面进行防控	150
4.5 混凝土裂缝的鉴定修复	151
4.5.1 裂缝的鉴定	151
4.5.2 裂缝的修复	152
4.6 混凝土结构裂缝的检测鉴定与诊断处理实例	153
4.6.1 某校舍工程质量检测鉴定及思考建议	153
4.6.2 某桥梁工程桥板裂缝原因分析鉴定及处理	157
4.6.3 关于某文化中心舞厅厕所的工程质量鉴定	160
4.6.4 某电视台办公楼安全性鉴定	162
4.6.5 某小区住宅楼工程质量鉴定	164
4.6.6 某抗震加固工程质量安全性检测鉴定	165
 附录 A 全国统一回弹测强曲线及修正表	 171
 参考文献	 184

第1章 绪 论

1.1 混凝土的定义和分类

1.1.1 混凝土的定义

混凝土是由胶凝材料、粗细骨料、水及掺合料、外加剂等按照一定的比例配制再经养护硬化而成的建筑材料，俗称人造石材。混凝土是目前最主要的土木工程材料之一，原料丰富、价格低廉、生产工艺简单。混凝土具有抗压强度高，耐久性好，强度等级范围宽等特点。这些特点使混凝土不仅在各种土木工程中使用，而且也在其他建设工程中使用。

1.1.2 混凝土的分类

1. 按胶凝材料分

(1) 水泥混凝土

水泥混凝土是以水泥、水、粗细骨料，必要时掺入外加剂和矿物掺合料，按适当比例配合，经过均匀拌制、密实成型及养护硬化而成的人造石材。

(2) 石膏混凝土

胶凝材料为石膏的混凝土。

(3) 沥青混凝土

胶凝材料为沥青的混凝土。

2. 按表观密度分

(1) 特重混凝土

表观密度 $\geq 2500\text{kg/m}^3$ 的混凝土，常由重晶石和铁矿石配制而成。

(2) 重混凝土

表观密度为 $1900 \sim 2500\text{kg/m}^3$ 的混凝土，主要以砂、石子 and 水泥配制而成，是土木工程中最常用的混凝土品种，基本属于现行习惯叫法的普通混凝土范围（干密度 $1900 \sim 2800\text{kg/m}^3$ 的水泥混凝土）。

(3) 轻混凝土

表观密度为 $600 \sim 1900\text{kg/m}^3$ 的混凝土，包括轻骨料混凝土、多孔混凝土和大孔混凝土等。

(4) 特轻混凝土

表观密度 $< 600\text{kg/m}^3$ 的混凝土，一般指加气混凝土、泡沫混凝土等。

3. 按使用功能分类

(1) 结构混凝土

用于工程结构和构件的混凝土。

(2) 保温混凝土

导热系数小,保温性能良好的混凝土称为保温混凝土。这类混凝土实际上大多为轻骨料混凝土。

(3) 装饰混凝土

装饰混凝土又称清水混凝土,因其极具装饰效果而得名。普通混凝土,表面平整光滑、色泽均匀、棱角分明、无碰损和污染。而装饰混凝土是一次浇筑成型,不做任何外装饰,直接采用混凝土的自然表面效果作为饰面,只在表面涂一层或两层透明的保护剂,具有天然和庄重外观效果。

(4) 防水混凝土

防水混凝土是指具有高的抗渗性能,在 0.6MPa 以上水压下不透水的混凝土,也称结构自防水。可通过调整混凝土的配合比或掺加外加剂、钢纤维、合成纤维等,并配合严格的施工及施工管理,减少混凝土内部的空隙率或改变孔隙形态及分布特征,从而达到防水(防渗)的目的。在《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2008)中规定:一、二、三级明挖法地下工程防水设防应包括一道防水混凝土。

防水混凝土通常分为 3 类:

1) 普通防水混凝土。普通防水混凝土一般抗渗压力可达 0.6 ~ 2.5MPa,所用原材料与普通混凝土基本相同,但两者的配制原则不同。普通防水混凝土主要借助于采用较小的水灰比(不大于 0.6),适当提高水泥用量(不小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$)、砂率(35% ~ 40%)及灰砂比((1:2) ~ (1:2.5)),控制石子最大粒径,加强养护等方法,以抑制或减少混凝土孔隙率,改变孔隙特征,提高砂浆及其与粗骨料界面之间的密实性和抗渗性。普通防水混凝土施工简便,造价低廉,质量可靠,适用于地上和地下防水工程。

2) 外加剂防水混凝土。这类混凝土是在混凝土拌合物中加入微量外加剂,如引气剂、减水剂、三乙醇胺或氯化铁等,以改善其和易性,提高混凝土的密实性和抗渗性。引气剂防水混凝土抗冻性好,能经受 150 ~ 200 次冻融循环,适用于抗水性、耐久性要求较高的防水工程。减水剂防水混凝土具有良好的和易性,可调节凝结时间,适用于泵送混凝土及薄壁防水结构。三乙醇胺防水混凝土早期强度高,抗渗性能好,适用于工期紧迫、要求早强及抗渗压力大于 2.5MPa 的防水工程。氯化铁防水混凝土具有较高的密实性和抗渗性,抗渗压力可达 2.5 ~ 4.0MPa,适用于水下、深层防水工程或修补堵漏工程。

3) 膨胀水泥防水混凝土。这类混凝土是利用膨胀水泥水化时产生的体积膨胀,使混凝土在约束条件下的抗裂性和抗渗性获得提高,主要用于地下防水工程和后灌缝。

(5) 耐火混凝土

耐火混凝土是由适当的胶凝材料、耐火骨料、掺合料和水按一定比例配制而成的能在高温长期作用下保持所需要的力学性能的特种混凝土。耐火骨料可采用重矿渣、碎耐火砖、玄武岩、铝矾土熟料、烧结镁砂等。根据所用胶凝材料,可分为硅酸盐水泥耐火混凝土、铝酸盐水泥耐火混凝土、水玻璃耐火混凝土、磷酸盐耐火混凝土、镁质耐火混凝土等。耐火混凝土主要应用于冶金、石油、化工、建筑材料、机械等工业窑炉中,一般使用温度为 1300 ~ 1600℃。使用温度低于 900℃的耐火混凝土称为耐热混凝土,主要用于热工设备的基础、烟囱、烟道等构筑物中。

(6) 水工混凝土

水工混凝土是用于水电水利工程的挡水、发电、泄洪、输水、排沙等经常或周期性地受环境水作用的建筑物，密度为 2400kg/m^3 左右的水泥基混凝土。水工混凝土是水利工程中，尤其是大型水利工程中最主要的建筑材料。

(7) 港工混凝土

用于港口工程的混凝土称为港工混凝土。

(8) 道路混凝土

用于道路工程的混凝土称为道路混凝土。城市道路混凝土路面的设计以 100kN 轴载作为标准轴载，首要技术指标是抗折强度，其配合比设计须遵循《城市道路设计规范》(CJJ37—90)，混凝土的设计强度以龄期 28d 的弯拉强度为准，其值不得低于表 1-1 的规定值。水泥混凝土的弯拉弹性模量 E_c 宜采用实测值。无实测值时，可按表 1-2 选用。

水泥混凝土设计强度

表 1-1

交通等级	特重	重	中等	轻
设计强度 f_{cm} (MPa)	5.0	4.5	4.5	4.0

水泥混凝土弯拉弹性模量

表 1-2

设计强度 f_{cm} (MPa)	5	4.5	4
弯拉弹性模量 E_c (MPa)	31000	28000	27000

(9) 防辐射混凝土

防辐射混凝土是指采用水化热较低的硅酸盐水泥、高铝水泥或钡水泥、锶水泥、镁氧水泥等特种水泥，用重晶石、磁铁矿、褐铁矿、废铁块等作骨料，加入含有硼、镉、锂等的物质，可以减弱中子流的穿透强度，用于屏蔽 X 射线、 γ 射线和中子辐射作用的混凝土，又称屏蔽混凝土、防射线混凝土。这类混凝土用于原子能反应堆、粒子加速器以及工业、农业和科研部门的放射性同位素设备的防护。这类混凝土容重较大，表观密度 $>3000\text{kg/m}^3$ 。

4. 按施工工艺分

(1) 普通浇筑混凝土

普通浇筑混凝土是指以水泥为主要胶凝材料，与水、砂、石子，必要时掺入化学外加剂和矿物掺合料，按适当比例配合，经过均匀搅拌采用普通的振捣、密实成型及养护硬化而成的人造石材。

(2) 离心成型混凝土

采用离心施工工艺成型的混凝土称为离心成型混凝土。

(3) 灌浆混凝土

灌浆混凝土是以高强度材料作为骨料、以水泥作为胶结剂，辅以高流态、微膨胀、防离析等物质配制而成。它在施工现场加入一定量的水，搅拌均匀后即可使用。灌浆混凝土特点有：自流性好，快硬、早强、高强、无收缩、微膨胀；无毒、无害、不老化、对水质及周围环境无污染，自密性好、防锈。在施工方面，这类混凝土质量可靠、使用方便，可降低成本、缩短工期。此外，这类混凝土从根本上改变设备底座受力情况，使之均匀地承受设备的全部荷载，从而满足各种机械、电器设备（重型设备高精度磨床）的安装要求，

是无垫安装时代的理想灌浆材料。

(4) 喷射混凝土

喷射混凝土是指借助喷射机械，利用压缩空气或其他动力，将按一定配比的拌合料通过管道运输并高速喷射到受喷面上，迅速凝结固化而成的混凝土。常用于灌筑隧道内衬、墙壁、顶棚等薄壁结构和岩石峒库、地下工程和矿井巷道的衬砌和支护以及钢结构的保护层。

(5) 碾压混凝土

碾压混凝土是使用硅酸盐水泥、火山灰质掺合料、水、外加剂、砂和分级控制的粗骨料拌制，采用与土石坝施工相同的运输及铺筑设备，用振动碾分层压实的一种干硬性贫水泥的混凝土。碾压混凝土既具有混凝土体积小、强度高、防渗性能好、可溢流等特点，又具有施工程序简单、快速、经济、可使用大型通用机械的优点。

(6) 挤压混凝土

采用挤压式混凝土输送泵将混凝土拌合料输送配制成型的混凝土。

(7) 泵送混凝土

泵送混凝土是指在泵的作用下，经管道运输混凝土。要求其流动性好，骨料粒径一般不大于管径的 $1/4$ ，需加入防止混凝土拌合物在泵送管道中离析和堵塞的泵送剂，以及使混凝土拌合物能在泵压下顺利通行的外加剂，减水剂、塑化剂、加气剂以及增稠剂等均可用作泵送剂。加入适量的混合材料（如粉煤灰等），可避免混凝土施工中拌合料分层离析、泌水和堵塞输送管道。

(8) 真空混凝土

真空混凝土就是采用混凝土真空密实成型机配制成型的混凝土。其工作原理是利用大气压的负压差，来完成产品的成型，即：将流动的混凝土装入模具中经过轻微的振捣，使混凝土充模，并得到初步的密实，在初步密实的混凝土表面，放上真空室并形成真空状态，使与之接触的混凝土表面形成负压差，将混凝土中的水挤出。随着抽真空的时间增加与真空度的提高，负压差向混凝土深度传播，同时受外部压力数值增加，多余的水不断被挤出。试验结果表明，真空混凝土不存在影响水泥水化问题，并且具有类似固体性质的粘结力，掺加任何外加剂的普通混凝土都无此特性。真空混凝土的塑性结构强度，为机械化生产混凝土制品创造了有利条件。在整个混凝土生产过程不但没有振动，而且不产生任何噪声，挤出的水还可以再利用。可以说，真空混凝土既环保，又节能，是真正的“绿色混凝土”。

5. 按配筋方式分

(1) 无筋混凝土

在混凝土里面没有钢筋，这种混凝土称作无筋混凝土，也称素混凝土。由于这种混凝土脆性大，因此这样的混凝土只能用于房屋的基础、柱子等主要承受压力的结构。

(2) 钢筋混凝土

在混凝土里面加入钢筋，混凝土将钢筋紧紧地包裹在一起，这样的混凝土叫做钢筋混凝土。钢筋混凝土在受到外来荷载的时候，两种材料发挥了各自的受力特性，混凝土主要用来承受压力，钢筋主要用来承受拉力。钢筋混凝土被广泛应用于建筑结构中，浇筑混凝土之前，先进行绑筋支模，也就是用铁丝将钢筋固定成想要的结构形状，然后用模板覆盖

在钢筋骨架外面，最后将混凝土浇筑进去，经养护达到强度标准后拆模。

(3) 钢丝网混凝土

钢丝网混凝土是钢纤维混凝土在工程应用中的纵深发展，由长细钢丝编织成方格网增强的混凝土。

(4) 纤维混凝土

纤维混凝土就是纤维和水泥基料（水泥石、砂浆或混凝土）组成的复合材料的统称。

(5) 预应力混凝土

为了避免钢筋混凝土结构的裂缝过早出现，充分利用高强度钢筋及高强度混凝土，设法在混凝土结构或构件承受使用荷载前，预先对受拉区的混凝土施加压力后的混凝土就是预应力混凝土。

6. 按混凝土拌合物的和易性分

(1) 干硬性混凝土

干硬性混凝土是指混凝土拌合物坍落度小于 10mm 且需用维勃稠度表示其稠度的混凝土。干硬性混凝土几乎没有什么流动性，但可通过调整水灰比及掺加减水剂等来实现。

(2) 塑性混凝土

混凝土拌合物坍落度为 10 ~ 90mm 的混凝土。

(3) 流动性混凝土

混凝土拌合物坍落度为大于 90mm、小于等于 150mm 的混凝土。（JGJ 55—2000 中大流动性混凝土所指坍落度为 100 ~ 150mm 的混凝土。）

(4) 高流动性混凝土

高流动性混凝土是指混凝土拌合物坍落度为大于 150mm 的混凝土，也称大流动性混凝土。（JGJ 55—2000 中大流动性混凝土所指坍落度为大于 160mm 的混凝土。）

(5) 流态混凝土

流态混凝土是指拌合料坍落度值大于 200mm 的混凝土，也称特大流动性混凝土。一般采用适量的流化剂（高效减水剂或普通减水剂）作为外加剂，加到坍落度为 50 ~ 100mm 的混凝土混合物中使其流动性大幅度提高，达到便于浇灌，减轻甚至免去振捣成型工序的目的。流化剂除了能减少用水量外，还有一定的早强性能。流态混凝土不需提高水灰比与单位用水量，故其强度比普通混凝土的强度有所提高。其他物理力学性能与普通混凝土相近。流态混凝土适用于泵送、管道输送、漏斗浇灌及快速施工等场合。

1.2 混凝土的主要技术性质

混凝土的主要技术性质包括新拌混凝土技术性质和硬化混凝土的技术性质。新拌混凝土技术性质主要指混凝土的工作性，也称和易性。硬化混凝土的技术性质主要指混凝土的强度、变形及耐久性。

1.2.1 新拌混凝土的技术性质

新拌混凝土是混凝土组成材料拌合后尚未凝结硬化的混合物，也称混凝土拌合物。混

混凝土拌合物的性能就是指的和易性。它是指新拌混凝土易于施工操作（搅拌、运输、浇筑、捣实）并能获得质量均匀、成型密实的混凝土性能。这是一项综合的技术性质，不仅影响拌合物的制备、运输、浇筑、振捣设备的选择，而且还影响硬化后混凝土的性能。

1. 和易性的概念

和易性主要包括流动性、黏聚性和保水性三方面的含义。

(1) 流动性

流动性是指混凝土拌合物在本身自重或施工机械振捣的作用下，能产生流动，并均匀密实地填满模板的性能。

(2) 黏聚性

黏聚性是指混凝土拌合物在施工过程中其组成材料之间有一定的黏聚力，不致产生分层和离析的现象。

(3) 保水性

保水性是指混凝土拌合物在施工过程中具有一定的保水能力，不致产生严重的泌水现象。发生泌水现象的混凝土拌合物，由于水分分泌出来会形成容易透水的孔隙，而影响混凝土的密实性、降低质量。

由此可见，混凝土拌合物的流动性、黏聚性和保水性有其各自的内容，而它们之间是互相联系的，但常存在矛盾。因此，所谓和易性就是这三方面性质在某种具体条件下矛盾统一的概念。

2. 新拌混凝土的凝结时间

水泥的水化反应是混凝土产生凝结的主要原因，但是混凝土的凝结时间与配制该混凝土所用水泥的凝结时间并不一致，因为水泥浆体的凝结和硬化过程要受到水化产物在空间填充情况的影响。因此，水灰比的大小会明显影响其凝结时间，水灰比越大，凝结时间越长。一般配制混凝土所用的水灰比与测定水泥凝结时间规定的水灰比是不同的，所以这两者的凝结时间便有所不同。而且，混凝土的凝结时间还会受到其他各种因素的影响，例如环境温度的变化、混凝土中掺入某些外加剂，如缓凝剂或速凝剂等等，将会明显影响混凝土的凝结时间。

混凝土拌合物的凝结时间通常是用贯入阻力法进行测定的，所使用的仪器为贯入阻力仪。先用5mm筛孔的筛从拌合物中筛取砂浆，按一定方法装入规定的容器中，然后每隔一定时间测定砂浆贯入到一定深度时的贯入阻力，绘制贯入阻力与时间的关系曲线，以贯入阻力3.5MPa及280MPa划两条平行于时间坐标的直线，直线与曲线交点的时间即分别为混凝土拌合物的初凝和终凝时间。这是从实用角度人为确定用该初凝时间表示施工时间的极限，终凝时间表示混凝土力学强度的开始发展。

1.2.2 硬化混凝土的技术性质

硬化后的混凝土在未受外力作用之前，由于水泥水化造成的化学收缩和物理收缩引起砂浆体积的变化，在粗骨料与砂浆界面上产生了分布极不均匀的拉应力。它足以破坏粗骨料与砂浆的界面，形成许多分布很乱的界面裂缝。另外还因为混凝土成型后的泌水作用，某些上升的水分为粗骨料颗粒所阻止，因而聚积于粗骨料的下缘，混凝土硬化后就成为界面裂缝。混凝土受外力作用时，其内部产生了拉应力，这种拉应力很容易在具有几何形状

为楔形的微裂缝顶部形成应力集中,随着拉应力的逐渐增大,导致微裂缝的进一步延伸、汇合、扩大,最后形成几条可见的裂缝。试件就随着这些裂缝而破坏。以混凝土单轴受压为例,通过显微观察查明:当荷载到达“比例极限”(约为极限荷载的30%)以前,界面裂缝无明显变化;荷载超过“比例极限”以后,界面裂缝的数量、长度和宽度都不断增大,界面借摩阻力继续承担荷载,但尚无明显的砂浆裂缝。此时,变形增大的速度超过荷载增大的速度,荷载与变形之间不再接近直线关系。当荷载超过“临界荷载”(约为极限荷载的70%~90%)以后,在界面裂缝继续发展的同时,开始出现砂浆裂缝,并将邻近的界面裂缝连接起来成为连续裂缝,此时变形增大的速度进一步加快,荷载—变形曲线明显地弯向变形轴方向。超过极限荷载以后,连续裂缝急速地发展,此时混凝土的承载能力下降,荷载减小而变形迅速增大,以至完全破坏,荷载—变形曲线逐渐下降而最后结束。

由此可见,荷载与变形的关系,是内部微裂缝发展规律的体现。混凝土在外力作用下的变形和破坏过程,也就是内部裂缝的发生和发展过程,它是一个从量变发展到质变的过程。只有当混凝土内部的微观破坏发展到一定量级时才使混凝土的整体遭受破坏。

硬化混凝土的技术性质如下:

(1) 混凝土的强度

混凝土的强度包括混凝土立方体抗压强度、混凝土轴心抗压强度、混凝土抗拉强度等。

1) 混凝土立方体抗压强度

混凝土立方体抗压强度就是按照国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081—2002),制作边长为150mm的立方体试件,在标准条件下,养护到28d龄期,测得的抗压强度值为混凝土立方体试件抗压强度(简称立方体抗压强度),以 f_{cu} 表示。

混凝土立方体抗压强度是确定混凝土强度等级的依据,是混凝土结构设计时强度计算取值的依据,同时也是混凝土施工中控制工程质量和工程验收时的重要依据。评定混凝土立方体试件抗压强度,具体按照《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)进行。

采用标准试验方法测定其强度是为了能使混凝土的质量有对比性,但在实际的混凝土工程中,其养护条件(温度、湿度)不可能与标准养护条件一样。为了能说明工程中混凝土实际达到的强度,往往把混凝土试件放在与工程相同条件下养护,再按所需的龄期进行试验测得立方体试件抗压强度值,以此作为施工现场混凝土质量控制的依据。但由于标准试验方法检测周期长,不能及时预报施工中的质量状况,也不能据此及时设计和调整配合比,不利于加强质量管理和充分利用水泥活性。我国已研究制订出早期在不同温度条件下加速养护的混凝土试件强度推定标准养护28d(或其他龄期)的混凝土强度的试验方法,详见《早期推定混凝土强度试验方法标准》(JGJ/T 15—2008)。

2) 混凝土轴心抗压强度

确定混凝土强度等级是采用立方体试件,但实际工程中,钢筋混凝土结构形式极少是立方体的,大部分是棱柱体型(正方形截面)或圆柱体型。为了使测得的混凝土强度接近于混凝土结构的实际情况,在钢筋混凝土结构计算中计算轴心受压构件(例如柱子、桁架

的腹杆等)时,都是采用混凝土的轴心抗压强度作为依据,以 f_{cp} 表示。

按标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081—2002)规定,测轴心抗压强度,采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 棱柱体作为标准试件。如有必要,也可采用非标准尺寸的棱柱体试件,但其高(h)与宽(a)之比应在2~3的范围内。棱柱体试件是在与立方体相同的条件下制作的,测得的轴心抗压强度 f_{cp} 比同截面的立方体抗压强度值 f_{cu} 小,棱柱体试件高宽比(即 h/a)越大,轴心抗压强度越小,但当 h/a 达到一定值后,强度就不再降低。因为这时在试件的中间区段已无环箍效应,形成了纯压状态。但是过高的试件在破坏前由于失稳产生较大的附加偏心,又会降低其抗压的试验强度值。

3) 混凝土抗拉强度

混凝土在直接受拉时,很小的变形就要开裂,它在断裂前没有残余变形,是一种脆性破坏。混凝土的抗拉强度只有抗压强度的 $1/10 \sim 1/20$,且随着混凝土强度等级的提高,比值有所降低,也就是当混凝土强度等级提高时,抗拉强度的增加不及抗压强度提高得快。因此,混凝土在工作时一般不依靠其抗拉强度。但抗拉强度对于开裂现象有重要意义,在结构设计中抗拉强度是确定混凝土抗裂度的重要指标。有时也用它来间接衡量混凝土与钢筋的粘结强度等。

混凝土抗拉试验过去多用“8”字形试件或棱柱体试件直接测定轴向抗拉强度,但是这种方法由于夹具附近局部破坏很难避免,而且外力作用线与试件轴心方向不易调成一致,所以我国采用立方体或圆柱体的劈裂抗拉试验来测定混凝土的抗拉强度,称为劈裂抗拉强度,以 f_{ts} 表示。国际上多采用圆柱体进行劈裂抗拉试验。该方法的原理是在试件的两个相对的表面素线上,作用着均匀分布的压力,这样就能够在外力作用的竖向平面内产生均布拉伸应力,这个拉伸应力可以根据弹性理论计算得出。这个方法大大地简化了抗拉试件的制作,并且较为正确地反映了试件的抗拉强度。

(2) 混凝土的变形性能

混凝土在硬化和使用过程中将经历体积的变化。体积变化源于不同的起因,例如施加的应力,湿度和温度的变化等。混凝土对这些因素的响应是复杂的,可导致可逆的或不可逆的以及与时间有关的变形。当变形受到约束时常会引起拉应力,而拉应力超过混凝土的抗拉强度时,就会引起混凝土开裂,产生裂缝。混凝土的变形性能主要包括化学收缩、干湿变形。

1) 化学收缩

由于水泥水化生成物的体积,比反应前物质的总体积小,而使混凝土收缩,这种收缩称为化学收缩。其收缩量是随混凝土硬化龄期的延长而增加的,大致与时间的对数成正比,一般在混凝土成型后40d内增长较快,以后就渐趋稳定。化学收缩是不能恢复的。

2) 干湿变形

干湿变形取决于周围环境的湿度变化。混凝土在干燥过程中,首先发生气孔水和毛细孔水的蒸发。气孔水的蒸发并不引起混凝土的收缩。毛细孔水的蒸发,使毛细孔中形成负压,随着空气湿度的降低负压逐渐增大,产生收缩力,导致混凝土收缩。当毛细孔中的水蒸发完后,如继续干燥,则凝胶体颗粒的吸附水也发生部分蒸发,由于分子引力的作用,粒子间距离变小,使凝胶体紧缩。混凝土这种收缩在重新吸水以后大部分可以恢复。当混

混凝土在水中硬化时, 体积不变, 甚至轻微膨胀。这是由于凝胶体中胶体粒子的吸附水膜增厚, 胶体粒子间的距离增大所致。膨胀值远比收缩值小, 一般没有坏作用。在一般条件下混凝土的极限收缩值为 $(50 \sim 90) \times 10^{-5} \text{ mm/mm}$ 左右。收缩受到约束时往往引起混凝土开裂, 故施工时应予以注意。通过试验得知:

① 混凝土的干燥收缩是不能完全恢复的。即混凝土干燥收缩后, 即使长期再放在水中也仍然有残余变形保留下来。通常情况, 残余收缩约为收缩量的 30% ~ 60%。

② 混凝土的干燥收缩与水泥品种、水泥用量和用水量有关。采用矿渣水泥比采用普通水泥的收缩大; 采用高强度等级水泥, 由于颗粒较细, 混凝土收缩也较大; 水泥用量多或水灰比大者, 收缩量也较大。

③ 砂石在混凝土中形成骨架, 对收缩有一定的抵抗作用。故混凝土的收缩量比水泥砂浆小得多, 而水泥砂浆的收缩量又比水泥净浆小得多。在一般条件下水泥浆的收缩值高达 $285 \times 10^{-5} \text{ mm/mm}$, 三种收缩量之比约为 1:2:5。骨料的弹性模量越高, 混凝土的收缩越小, 故轻骨料混凝土的收缩一般说来比普通混凝土大得多。另外, 砂、石越干净, 混凝土捣固得越密实, 收缩量也越小。

④ 在水中养护或在潮湿条件下养护可大大减少混凝土的收缩, 采用普通蒸养可减少混凝土收缩, 压蒸养护效果更显著。因而为减少混凝土的收缩量, 应该尽量减少水泥用量, 砂、石骨料要洗干净, 尽可能采用振捣器捣固和加强养护等。在一般工程设计中, 通常采用混凝土的线收缩值为 $(15 \sim 20) \times 10^{-5}$, 即每米收缩 0.15 ~ 0.2mm。

3) 温度变形

混凝土与其他材料一样, 也具有热胀冷缩的性质。混凝土的温度膨胀系数约为 10×10^{-5} , 即温度升高 1°C , 每米膨胀 0.15mm。温度变形对大体积混凝土及大面积混凝土工程极为不利。在混凝土硬化初期, 水泥水化放出较多的热量, 混凝土又是热的不良导体, 散热较慢, 因此在大体积混凝土内部的温度较外部高, 有时可达 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ 。这将使内部混凝土的体积产生较大的膨胀, 而外部混凝土却随气温降低而收缩。内部膨胀和外部收缩互相制约, 在外表混凝土中将产生很大拉应力, 严重时使混凝土产生裂缝。因此, 对大体积混凝土工程, 必须尽量设法减少混凝土发热量, 如采用低热水泥, 减少水泥用量, 采取人工降温等措施。

一般纵长的钢筋混凝土结构物应采取每隔一段长度设置伸缩缝以及在结构物中设置温度钢筋等措施。

4) 在荷载作用下的变形

① 在短期荷载作用下的变形

a. 混凝土的弹塑性变形

混凝土内部结构中含有砂石骨料、水泥石 (水泥石中又存在着凝胶、晶体和未水化的水泥颗粒)、游离水分和气泡, 这就决定了混凝土本身的不匀质性。它不是一种完全的弹性体, 而是一种弹塑性体。它在受力时, 既会产生可以恢复的弹性变形, 又会产生不可恢复的塑性变形, 其应力与应变之间的关系不是直线而是曲线。

b. 混凝土的变形模量

在应力—应变曲线上任一点的应力 σ 与其应变 ε 的比值, 叫做混凝土在该应力下的变形模量。它反映混凝土所受应力与所产生应变之间的关系。在计算钢筋混凝土的变形、裂