

建筑施工工程师技术丛书

新型混凝土 及其施工工艺

(第三版)

赵志缙 赵 帆 编著

中国建筑工业出版社

建筑施工工程师技术丛书

新型混凝土及其施工工艺

(第三版)

赵志缙 赵 帆 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

新型混凝土及其施工工艺/赵志缙,赵帆编著. —3版.
北京:中国建筑工业出版社,2005
(建筑施工工程师技术丛书)
ISBN 7-112-07713-3

I. 新... II. ①赵...②赵... III. 混凝土施工-
施工技术 IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 102766 号

建筑施工工程师技术丛书
新型混凝土及其施工工艺
(第三版)

赵志缙 赵 帆 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京千辰公司制作
北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 8 $\frac{3}{4}$ 字数: 230 千字
2005 年 11 月第三版 2005 年 11 月第三次印刷
印数: 27901—31900 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-112-07713-3
(13667)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

《新型混凝土及其施工工艺》(第三版),是结合我国混凝土施工技术和理论研究的发展在第二版的基础上编写而成。书中删去了原来一些陈旧的内容,补充了一些新的成果,使此书更加实用,更加贴近时代。本书主要内容包括:高强混凝土、聚合物混凝土、高性能混凝土,纤维增强混凝土、轻骨料混凝土、防水混凝土、耐酸混凝土、防辐射混凝土(重混凝土)、水下不分散混凝土及泵送混凝土等,是广大从事混凝土材料研究和施工的技术人员必备的参考书。

* * *

责任编辑:郇锁林

责任设计:董建平

责任校对:刘 梅 李志瑛

第三版出版说明

《建筑施工工程师技术丛书》(第二版)自 1994 年出版至今已经 10 年。在这 10 年期间,《中华人民共和国建筑法》、《中华人民共和国招标投标法》、《建设工程质量管理条例》、《建设工程安全生产管理条例》等相继出台;2001 年以来,由建设部负责编制的《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2001 和相关的 14 个专业施工质量验收规范也已全部颁布,全面调整了建筑工程质量管理和验收方面的要求。

为了适应这一新的建筑业发展形势,我社对原丛书第二版的结构体系进行部分调整,同时根据这 10 年来国家新颁布的建筑法规和标准、规范,以及施工管理技术的新动向,对第二版的内容进行认真的修改和补充,以更好地满足广大读者的要求,并对第二版中存在的问题,尽可能一一作了订正。

我们希望本套丛书的第三版,能够继续对现场施工工程师更新知识结构,掌握最新的建筑工程施工技术和管理方法,有所帮助,同时对在职科技人员的继续教育,起到积极的推动作用。

中国建筑工业出版社

2005 年 8 月

第二版出版说明

建筑施工工程师技术丛书自1986年初版发行以来,深受在施工生产第一线的建筑施工工程师的欢迎。这些工程技术人员常年担负着繁忙而复杂的工程任务,无暇博览群书。这套丛书帮助他们用有限的时间,学习建筑工程的新技术,更新自己的知识结构,更好地适应现代化建筑施工技术的要求。因此,这套丛书对于在职科技人员的继续教育,起了积极地作用。同时,这套丛书也成为大专院校工民建专业学生的选修教材。

但是,丛书第一版出版至今已经八年。这八年的时间,在改革开放大潮的推动下,我国的建筑事业蓬勃发展,兴建了许多高新建筑,促使新材料、新工艺、新技术不断涌现,并形成了许多新的成套技术。在此期间,国家颁发了新的设计、施工标准规范。这些新的变化,使本套丛书第一版的内空已显得陈旧,不能满足建筑工程技术人员学习、更新知识的欲望。为此,我们组织了本套丛书第二版的修订。

本套丛书第二版,着重补充近几年我国建筑工程施工技术与管理方法的最新成果和成熟的施工经验,以及高新技术在建筑工程中的应用,适当介绍国外的最新技术,并按新颁国家标准、规范的要求进行修订。对第一版中存在的问题,本次修订时也尽可能一一作了订正。

我们希望本套丛书第二版,继续对现场施工工程师们学习新技术有所裨益。同时,我们也欢迎广大读者对本套丛书的内容提出宝贵意见,以便我们改进。谢谢!

1994年8月

第一版出版说明

当前,新技术革命浪潮冲击着一切经济部门,建筑业也不例外。许多现代化的科学技术方法和管理手段正逐步地应用在建筑业中,取得了越来越大的经济效益。党的十一届三中全会以来,我国的建筑事业得到了蓬勃发展,各种现代化的建筑如雨后春笋,逐年增多。常年奔波在施工生产第一线的建筑施工工程师们,担负着繁重而复杂的施工任务。他们渴望学习新技术,提高业务水平,渴望更新自己的知识以适应现代化的要求。从科学技术的发展和四化建设的需要考虑,对在职科技人员进行继续教育的重要性和迫切性也日益突出。为此,我们组织出版了这套丛书,希望这套书能对他们有所裨益,并在工程实践中广泛应用新技术,建造出更多优良的工程,取得更佳的经济效益。

城乡建设环境保护部曾委托同济大学、重庆建筑工程学院、哈尔滨建筑工程学院从一九八一年开始举办建筑施工工程师进修班。这套丛书就是根据这些班的教学内容,结合当前施工技术的发展,将施工新技术、新材料、新结构的课题适当加多,以同济大学的老师为主组织编写的。可作为工程师进修班的教材,也可作为建筑施工工程师和有关人员自学参考。计划列题十余种,三年左右出齐。成书时尽量做到内容完整系统,文字叙述深入浅出,以便于现场施工工程师和技术员自学。当然,书中的内容选材是否适当,能否满足读者的要求,还希望广大读者提出意见,以便我们改进。谢谢!

城乡建设环境保护部干部局

中国建筑工业出版社

1986年6月

第三版前言

《新型混凝土及其施工工艺》是建筑施工工程师技术丛书中的一册,初版于1986年,1996年出了第二版,至今已九年了。这期间我国进行了大规模的建设,在混凝土施工技术和理论研究方面有了很大进步。为顺应形势的发展,这次又进行了改写。第三版删除了原来一些陈旧的内容,补充了一些新的成果,如高性能混凝土、水下不分散混凝土等,以期望此书更加实用,也更加贴近时代。

我们力求写好这本书,但限于我们的水平,不当之处在所难免,热忱欢迎读者给予批评指正,以便不断完善。

编 者

2005年4月

目 录

1 高强混凝土	1
1.1 高强混凝土的定义	1
1.2 高强混凝土的特点	1
1.3 高强混凝土的发展与应用	3
1.4 高强混凝土的配制	4
1.5 高强混凝土的物理力学性能	19
1.6 高强混凝土施工	22
2 聚合物混凝土	26
2.1 概述	26
2.2 聚合物浸渍混凝土	27
2.3 聚合物混凝土(树脂混凝土)	41
2.4 聚合物改性混凝土(聚合物水泥混凝土)	49
3 补偿收缩混凝土	56
3.1 概述	56
3.2 混凝土的收缩	57
3.3 膨胀水泥和膨胀剂	62
3.4 限制膨胀率的选定	68
3.5 补偿收缩混凝土的技术性能	70
3.6 补偿收缩混凝土的施工	75
4 高性能混凝土	78
4.1 概述	78
4.2 高性能混凝土的定义	78
4.3 配制高性能混凝土的技术途径	79
4.4 高性能混凝土的原材料	79

4.5	高性能混凝土的配合比设计	84
4.6	高性能混凝土的施工	86
5	纤维增强混凝土	88
5.1	概述	88
5.2	纤维增强混凝土的增强机理	90
5.3	纤维增强混凝土的物理力学性能	94
5.4	纤维增强混凝土的配合比	109
5.5	纤维增强混凝土的施工	116
6	轻骨料混凝土	118
6.1	概述	118
6.2	轻骨料的性能	120
6.3	轻骨料混凝土的配合比设计	131
6.4	轻骨料混凝土的物理力学性能	135
6.5	轻骨料混凝土的施工	141
7	防水混凝土	145
7.1	概述	145
7.2	普通防水混凝土	147
7.3	外加剂防水混凝土	155
7.4	膨胀水泥防水混凝土	172
7.5	防水混凝土的施工	172
8	耐酸混凝土	174
8.1	水玻璃混凝土	174
8.2	硫磺混凝土	182
8.3	沥青混凝土	185
9	防辐射混凝土(重混凝土)	188
9.1	防辐射混凝土的特点	188
9.2	防辐射混凝土的原材料	189
9.3	防辐射混凝土的配合比	193
9.4	防辐射混凝土的施工	197
10	水下不分散混凝土	199

10.1	概述	199
10.2	水下不分散混凝土的原材料	199
10.3	水下不分散混凝土拌合物的技术性能	200
10.4	硬化后水下不分散混凝土的技术性能	203
10.5	水下不分散混凝土的配合比设计	204
10.6	水下不分散混凝土的施工	208
11	泵送混凝土	210
11.1	概述	210
11.2	泵送混凝土的原材料与配合比	212
11.3	泵送混凝土的施工	236
	参考文献	258

1 高强混凝土

1.1 高强混凝土的定义

混凝土强度达到多高才算高强混凝土？所谓高强是相对的，是与当前混凝土技术的一般水平相比较而言的。1990 年美国混凝土协会(ACI)在提出的《高强混凝土的搅拌、配比与浇筑指南》中，把高强混凝土定义为强度 6000 磅/平方英寸(即 41MPa, 相当于我国的 C50)为起始的混凝土。中国土木工程学会高强与高性能混凝土委员会提出的 CECS98《高强混凝土结构设计施工指南》中，将强度等级等于和大于 C50 的混凝土称为高强混凝土。这一标准近年来在我国基本上已得到公认，也比较符合我国的国情。因为 C50 及以上等级的混凝土，从原材料选择、生产工艺要求和施工质量控制都更加严格，有别于普通混凝土，而且受压破坏也表现出更大的脆性，在设计和构造方面也与普通混凝土有所差别。所以，在目前把 C50 及以上等级的混凝土定为高强混凝土是恰当的。

1.2 高强混凝土的特点

高强混凝土的优点是强度高、变形小和耐久，这特别能适应现代工程结构向高耸、大跨和重载方向发展，以及承受恶劣环境条件的需要。

高强混凝土的上述优点，在应用中会产生较好的综合经济效益。

高强混凝土的抗压强度高,可使混凝土柱子、拱壳等受压构件大幅度增加承载能力,在相同荷载作用下则可减小构件截面。对于混凝土受弯构件,它能降低截面受压区的混凝土高度,允许有较高的配筋率,通过提高配筋率来增加受弯构件的抗弯能力或降低构件的截面高度。高强混凝土的变形小,可提高构件的刚度,这对由变形控制截面尺寸的梁板特别有利。对于预应力混凝土构件来说,可以施加更大的预应力,可以早施加预应力,可因徐变小而减少预应力损失。

对于结构物减小截面尺寸意味着降低结构自重和减轻地基基础的负荷。减小截面尺寸还意味着增加使用面积或有效空间。

高强混凝土的抗渗、抗冻性能均优于普通的混凝土,对于露天、受海水侵蚀、受高速流体冲刷的或易遭碰撞的工程构筑物,均宜采用高强混凝土。

另外,用高效减水剂配制的高强混凝土,一般具有坍落度大和早强的特性,不但便于浇筑,而且能加快模板的周转。在工程中同时使用不同强度的混凝土,还可尽量统一构件尺寸,为统一施工模板提供了可能。

高强混凝土也有其不足之处。首先在材料性能上,高强混凝土的延性比普通强度混凝土差,素混凝土的延性都随着强度提高而降低。但是材料的延性不等同于构件或结构的延性,对高强混凝土构件可通过适当的配筋构造措施,来使其满足设计要求。此外,高强混凝土的抗拉、抗剪强度虽然也随着混凝土抗压强度的增长而提高,但抗拉、抗剪强度与抗压强度的比值都随之而降低。因此,对于高强混凝土的力学性能,不能利用其单轴抗压强度指标按低强混凝土的概念去进行推论。另外,高强混凝土对于原材料有严格的要求;对于生产、施工的各个环节有较高的质量管理要求;其质量还特别容易受到生产、运输、浇筑和养护过程中环境因素的影响。这些都需要在混凝土施工全过程中加以密切的注意。

1.3 高强混凝土的发展与应用

混凝土强度是随着水泥品种的改善和化学外加剂的应用而逐渐提高的。至 20 世纪 60 年代,美国已有强度相当于我国 C50 到 C60 的商品混凝土。高强混凝土首先用于高层建筑和大跨桥梁。1967 年,高 197m、70 层的芝加哥 Lake Point 塔楼的底层柱即应用了相当于 C65 的高强混凝土。1975 年,高 262m、79 层的芝加哥 Water Tower 广场大厦从地下室至 25 层的柱子应用了 C75 的高强混凝土,25 层以上混凝土强度从 C60 逐渐降低,楼板则应用了 C35 的轻骨料混凝土。由于高强混凝土的应用,出现了钢筋混凝土高层建筑取代钢结构高层建筑的趋势,在 70 年代初期,纽约曼哈顿地区的高层建筑几乎全部是钢结构,到了 80 年代初则已有 1/4 用混凝土建造。国外经验认为,30 层以上的高层建筑宜用高强混凝土,40~50 层的高层建筑底层柱宜用 C70~C75 混凝土,超过 50 层者可用更高的强度。如 1988~1989 年在西雅图建成的 58 层的 Two Union Square 大厦和 Pacific First Center 大厦,都应用了强度达 110MPa 的钢管混凝土柱。90 年代初施工的 79 层的芝加哥 311 South Wacker 塔楼,也采用了相当于 C95 的高强混凝土。随着混凝土技术的不断完善,混凝土强度等级会愈来愈高。

日本从 1964 年起就用高效减水剂配制高强混凝土,至 70 年代末期,日本已获得强度相当于 C80~C90 的高强混凝土。日本建设省在 1988 年就规定要求研制高达 C100 的高强混凝土。

澳大利亚从 70 年代初期亦开始应用高强混凝土,开始时为 C50~C60。至 1987 年在墨尔本的三个高层建筑中,就应用了 C60~C65 的泵送高强混凝土。

此外,德国和西欧各国以及加拿大等工业化国家,从 70 年代开始亦陆续应用高强混凝土。

我国于 1960 年前后曾用立方强度达 100MPa 的混凝土在北京建成跨度 18m 的预应力屋架。70 年代清华大学研制出抗压强

度为 100MPa 的高强混凝土,并施工了 80MPa 的高强混凝土。1988 年在沈阳建成的 18 层高层建筑辽宁省工业技术交流馆,其柱子的混凝土强度达到 60MPa。1990 年北京新世纪饭店在 10 层以下部分的部分框架中采用了 C60 高强混凝土。

目前 C60 混凝土已在高层和超高层建筑中较普遍地得到应用,在一些大城市的预拌混凝土企业中,也可以商品供应。在上海、北京等大城市中,在少数工程中已开始应用预拌的 C80 的高强混凝土。

随着高效减水剂和矿物超细粉的发展,采用双掺技术配制高强混凝土也日益成熟,已为现代高强混凝土的发展打下坚实基础,相信不久将来 C100 及以上强度等级的高强混凝土将在工程中的应用。

1.4 高强混凝土的配制

混凝土的强度,取决于粗细骨料的强度、水泥石的强度以及水泥石与骨料的粘结强度。在这三者中,水泥石与骨料的粘结强度最弱,是提高混凝土强度的关键。而粘结强度又与水泥石的强度有关,它随水泥石强度的提高而提高。因此,提高水泥石强度是提高混凝土强度的重要因素。

水泥石的强度,与水泥强度等级、水泥石中的孔隙及孔结构有关。提高水泥等级,特别是改善水泥石中孔隙的状况与结构,对增加混凝土的强度有特别重要的意义。因此,配制高强混凝土的关键在于提高混凝土的密实度。

进一步分析可以看出,混凝土中的孔隙,主要来源于为满足混凝土和易性而在制备混凝土时增加的水分。一方面这些水分在蒸发迁移过程中形成孔隙;另一方面混凝土浇筑时,处于游离状态的水在上浮过程中受到骨料的阻挡时,就在骨料下部形成水膜,隔离了水泥与骨料,使之不能很好地粘结。因此,降低水灰比就成为提高混凝土密实度的一个重要手段。

分析了增强混凝土强度的机理,就可知道提高混凝土的强度有多种途径,如:

(1)改善原材料的性能。如提高水泥等级、增加细度;选用坚硬、致密、级配良好的粗、细骨料。

(2)优化配合比。如降低水灰比、降低砂率等。

(3)掺用外加剂、活性掺合料。如掺用高效减水剂;掺加超细矿粉(硅粉、优质粉煤灰等)。

(4)改进生产工艺。如采用强力搅拌、加强振捣、高压养护等。

上述各种方法,在实际施工中多是几种方法联合使用,以有效的提高混凝土的强度。

1.4.1 原材料

一、水泥

配制高强混凝土,宜选用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和早强型硅酸盐水泥。最好采用纯硅酸盐水泥,施工时再按需要的配合比加入优质粉煤灰或超细矿粉等活性材料,以进一步改善高强混凝土的性能。如果混凝土强度不是很高,利用 42.5 级硅酸盐水泥或掺有混合材的 52.5 级水泥亦可配制 C50 混凝土。

水泥的矿物成分和细度都对高强混凝土的强度产生影响。硅酸盐水泥的主要矿物成分(C_3S 37%~60%、 C_2S 15%~37%、 C_3A 7%~15%、 C_4AF 10%~18%)在较大范围内变化,所以同样等级的硅酸盐水泥,按照同一配合比得出的混凝土强度仍会有较大的变化。配制高强混凝土,所用水泥的 C_3A 含量应低,如 C_3A 含量高,再掺加高效减水剂时,则会使混凝土拌合物的工作度在短时间内损失,国内外试验已证明了这一点,所以其含量宜控制在不超过 8%。

高细度水泥能获得较高强度(主要是早期强度,后期强度很少增加),但同时也使水泥水化热增大,所以单纯增加细度并不合适。

在我国尚无高等级水泥情况下,配制高强混凝土往往需

用较多的水泥,随水泥用量的增加混凝土强度也随之提高,但增加水泥用量亦会增大水泥水化热和增加混凝土收缩,使出现裂缝的可能性增大。所以配制高强混凝土时水泥用量不应超过 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 。

二、骨料

(一)粗骨料

粗骨料在混凝土的组织结构中起骨架作用,对混凝土强度起重要作用。在普通混凝土中,质地致密的天然卵石和人工碎石,一般都具有足够的强度,因此,在经验公式中,混凝土强度仅与水泥强度、水灰比和骨料颗粒形状有关,而与骨料矿物成分等无关。但对于高强混凝土,由于水灰比的减小,混凝土中水泥石强度显著提高,骨料性能将对混凝土强度产生很大影响。

试验证明,在水泥砂浆相同的条件下,骨料品种不同时,混凝土强度有很大差异。尤其是当水灰比较小,砂浆强度较高时,混凝土强度的差别更大。

试验还表明,骨料—砂浆界面的粘结抗拉强度均低于砂浆抗拉强度,这表明骨料—砂浆界面为混凝土内最薄弱部位。对于同一种骨料,界面粘结强度随砂浆抗拉强度的提高而提高;对于不同的骨料,在水泥砂浆相当条件下,骨料—砂浆界面粘结强度有很大差别。这表明骨料—砂浆界面粘结强度取决于水泥和骨料两方面的性质。当骨料表面与水泥砂浆之间有良好的物理吸附及化学吸附时,界面粘结强度较高;当骨料表面性状不良或水泥砂浆强度较低时,则界面粘结强度降低。界面粘结强度影响混凝土抗压强度。

骨料弹性模量亦影响混凝土强度。骨料弹性模量越大,骨料在混凝土内的骨架作用也越大,即受力时骨料所受应力比例越大,当然骨料—砂浆界面的拉应力及剪应力也越大。因此,骨料的弹性模量过大和过小都对提高混凝土强度不利,骨料的强度和弹性模量应与骨料—砂浆界面粘结强度相匹配。为了提高混凝土强度,应同时从提高界面粘结强度和提高骨料强度两方面着手。

综上所述,在配制高强混凝土时应选用质地坚硬的粗骨料,其