

XIANDAI HUNNINGTU JIEGOU JISHU

现代 混凝土结构 技术

郑建岚 编著

人民交通出版社

Xiandai Hunningtu Jiegou Jishu

现代混凝土结构技术

郑建岚 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍高强高性能混凝土、钢纤维混凝土、钢管混凝土、钢筋混凝土的物理力学性能、结构受力原理、设计方法。书中较系统地阐述了国内外有关的最新研究成果、设计规范或规程,同时介绍了大量的工程应用实例和计算实例,力求做到理论与实践紧密结合。

本书可供土木建筑、道路桥梁专业的科研、设计、施工技术人员以及大专院校土木工程专业本科生、研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代混凝土结构技术/郑建岚编著. - 北京:人民交通出版社, 1999

ISBN 7-114-03367-2

I. 现… II. 郑… III. 混凝土结构 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 18176 号

现代混凝土结构技术

郑建岚 编著

版式设计:周 园 责任校对:张 捷 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:10.125 字数:265

1999 年 8 月 第 1 版

1999 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:20.00 元

ISBN 7-114-03367-2

TU·00059

序

近年来随着我国土木建筑业高潮迭起,混凝土技术领域有了迅速发展。随着结构技术的革新和结构需求的增加,加强了混凝土作为结构材料的地位。传统的混凝土技术已无法满足日新月异的工程建设的需要。各种新材料、新结构、新工艺不断从科学研究阶段过渡到实际应用阶段。其发展之快、成果之丰富令人鼓舞,使混凝土这门古老的学科焕发了青春。

本书以高强高性能混凝土为主干,阐述了高强高性能混凝土的组成,高强高性能混凝土的力学性能 and 设计方法,以及高强高性能混凝土的工程应用实例。随着混凝土强度的提高,混凝土变形能力有所下降,使结构件的延性降低。为了在抗震地区既充分发挥高强混凝土强度高、刚度大的优势,又保证结构具有足够的承受变形的能力,本书还介绍了钢纤维混凝土、钢管混凝土、钢骨混凝土等行之有效的现代混凝土结构技术,内容涉及材料性能和配合比设计、结构受力原理与设计方法等,使其在不同的领域发挥出各自独特的优势。

本书较为系统地、全面地阐述了国内外有关的研究成果、设计规范或规程,涉及面广,内容新颖。其中有些方面,作者根据自己多年的研究成果提出了个人见解,有些观点很有独到之处。为了理论联系实际,本书还介绍了大量工程应用实例和计算实例,使本书更加生动和实用。

本书可供土木建筑、道路桥梁专业的科研、设计、施工技术人员借鉴,也可供土木类高等学校师生参考,还可以作为结构工程专业研究生的教学参考书。

郑作枢

前 言

改革开放以来,我国土木工程建设日新月异,各种有关的新材料、新结构、新工艺不断从科学研究阶段过渡到实际应用阶段,并在应用中发展和完善。在钢筋混凝土领域,高强高性能混凝土适应了高层、大跨、重载等现代土木工程对结构强度高、刚度大、耐久性好的要求,同时满足现代化生产施工,因此它是钢筋混凝土的一个重要发展方向。

高强高性能混凝土的应用具有显著的技术、经济和社会效益。但是,随着混凝土强度的提高,混凝土的变形能力明显下降,延性变差。因此,在抗震地区如何既发挥高强混凝土强度高、刚度大的优势,又保证结构具有足够的承受变形的能力,一直为人们所关心。研究与工程应用表明,采用钢纤维混凝土、钢管混凝土、钢骨混凝土可以有效地增大高强混凝土的延性,大大减小构件截面尺寸,在不同的应用领域发挥出各自独特的优势。钢纤维混凝土主要通过乱向分布的钢纤维抑制混凝土中裂缝的发生和发展,从而大大提高混凝土的抗拉、抗弯、抗剪等以主拉应力为主的混凝土强度,同时显著增大混凝土的极限压应变,提高延性;钢管混凝土中,由于钢管的套箍作用,混凝土处于三向约束状态之中,这种受力特点使之特别适用于高强混凝土轴心受压和偏心受压构件,在钢材用量相等的情况下与钢筋混凝土结构相比可以减小截面尺寸50%以上;钢骨混凝土中,型钢与混凝土共同工作使钢骨混凝土构件具有强度高、刚度大、延性好的特点,特别适合于抗震结构。

国内外对高强高性能混凝土、钢纤维混凝土、钢管混凝土、钢骨混凝土进行了不断的理论与应用研究。我国已有《高强混凝土结构设计与施工指南》(HSCC 93—2)、《钢纤维混凝土结构设计与

施工规程》(CECS 38:92)、《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)、《钢骨混凝土结构设计规程》(YB 9082—97)等,这些规程与规定反映了我国科研工作者在这些方面的研究成果。

本书由六章组成:第一章,高强高性能混凝土;第二章,高强混凝土结构的力学性能 and 设计方法;第三章,高强高性能混凝土的工程应用实例;第四章,钢纤维混凝土及其工程应用;第五章,钢管混凝土结构;第六章,钢骨混凝土结构。内容涉及材料性能和配合比设计、结构的受力原理、设计方法等。本书较全面地系统阐述了国内外有关的最新研究成果、设计规范或规程,在讲清概念之后介绍了大量的工程应用实例和计算实例,力求做到理论与实践紧密结合。

作者在编写本书及进行有关课题的研究过程中得到福州大学郑作樵教授、浙江大学钱在兹教授的精心指导,同时得到“福建省百、千、万人才工程”、福州大学结构工程研究所的大力支持,作者谨表示衷心的感谢。

罗素蓉老师、黄鹏飞研究生在本书的编录中做了许多工作,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编写的时间和作者的水平有限,书中不当之处,敬请读者提出宝贵意见。

作者于福州大学

1999年4月9日

目 录

第一章 高强高性能混凝土	1
第一节 高强高性能混凝土技术的现状和发展	1
第二节 高强混凝土的配合比设计	9
第三节 高强混凝土配合比设计实例	22
第四节 粉煤灰高性能混凝土的回顾与展望	28
第五节 粉煤灰的成分及其在混凝土中的作用	39
第六节 粉煤灰混凝土配合比设计	53
主要参考文献	79
第二章 高强高性能混凝土结构的力学性能和设计方法	81
第一节 高强混凝土的强度与主要力学性能	81
第二节 高强混凝土受弯构件正截面承载能力	91
第三节 高强混凝土受压构件正截面承载能力	102
第四节 高强混凝土构件斜截面抗剪承载力	108
第五节 抗扭承载力和局部受压承载力的计算	112
第六节 高强混凝土结构的有关构造规定	115
主要参考文献	119
第三章 高强高性能混凝土的工程应用实例	121
第一节 上海金茂大厦	121
第二节 深圳贤成大厦	126
第三节 深圳经协大厦	129
第四节 北京西站北站房及综合楼工程	133
第五节 武汉长江二桥斜拉桥主梁	136
第六节 东方明珠——上海广播电视塔	140
主要参考文献	145

第四章 钢纤维混凝土	146
第一节 钢纤维混凝土概述	146
第二节 钢纤维混凝土原材料的技术要求及配合比设计	161
第三节 钢纤维混凝土的施工	167
第四节 钢纤维混凝土的物理力学性能	169
第五节 钢筋钢纤维混凝土构件正截面承载力	196
第六节 钢筋钢纤维混凝土构件受剪承载力	211
第七节 钢纤维钢筋高强混凝土压弯构件的延性研究	214
第八节 钢筋钢纤维混凝土构件正常使用极限状态验算	220
主要参考文献	225
第五章 钢管混凝土结构	228
第一节 钢管混凝土结构的基本概念	228
第二节 钢管混凝土受压构件的工作性能	231
第三节 钢管混凝土结构设计的基本规定	237
第四节 钢管混凝土单肢柱的承载力计算	242
第五节 钢管混凝土格构柱的承载力计算	257
第六节 钢管混凝土的局部受压计算	270
第七节 钢管混凝土结构的节点构造	272
第八节 钢管混凝土的工程应用实例	276
主要参考文献	283
第六章 钢骨混凝土结构	285
第一节 钢骨混凝土结构的基本概念	285
第二节 钢骨混凝土构件承载力计算方法	287
第三节 钢骨混凝土结构设计的基本规定	293
第四节 钢骨混凝土受弯构件的承载力计算	298
第五节 钢骨混凝土压弯构件的承载力计算	304
主要参考文献	315

第一章 高强高性能混凝土

第一节 高强高性能混凝土技术的现状和发展

一、高强高性能混凝土的定义及特性

各国对高强混凝土与普通混凝土的划分不尽相同,我国定义强度等级达到或超过 C50 时为高强混凝土。高强混凝土或普通混凝土,是与本国当前的混凝土技术水平相对而言的。长期以来,我国现场施工现浇混凝土的强度等级大量低于 C30,预制混凝土构件普遍低于 C40;同时混凝土结构设计规范的计算公式大部分是根据较低强度的混凝土构件的试验数据得出,有的明显不适合于强度较高的 C50 或更高等级的混凝土;另外从混凝土的制作技术来看,C50 及更高等级的混凝土在施工时需要严格的质量管理制度和较高的施工技术水平。因此,从我国目前的设计施工技术水平出发,划分强度等级达到或超过 C50 的混凝土为高强混凝土;相对而言,将强度等级不高于 C25 的混凝土称为低强混凝土,C30 到 C45 之间的混凝土为中强混凝土。

在美国,混凝土强度以直径 6 英寸、高度 12 英寸 ($\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$) 圆柱体试件抗压强度的特征值或设计强度表示,日本和欧洲混凝土学会 CEB - FIP 规范也采用这一标准。美国的混凝土学会 ACI 提出以设计强度 f'_c 为 6000psi (41MPa) 的混凝土为高强混凝土,而圆柱体强度 41MPa 换算到我国 15cm 边长的立方体强度约 52MPa,所以 f'_c 等于 6000psi 的混凝土与我国 C50 级的混凝土大体相当。

高性能混凝土(High Performance Concrete,简称 HPC)一词的提出至今只有 10 年左右的时间,它是伴随着高强混凝土而问世的。1993 年美国混凝土协会定义高性能混凝土是这样一类混凝土,它需要满足特定性能和匀质性要求,其“高性能”包括:易浇捣而不离析、长期力学性能良好、强度高、异常坚硬、高体积稳定性或在严酷环境中使用寿命长久。各国对高性能混凝土的要求不完全一样,但新拌混凝土的工作性、硬化混凝土的强度和耐久性,这三者是高性能混凝土的基本要素。

高性能混凝土不仅满足工业化预拌生产和机械化泵送施工、具有足够的强度,而且是一种耐久性优异的混凝土。长期以来,混凝土一直被看成为坚固耐久的材料,但实践证明普通混凝土并不总是耐久的。许多国家当初修建的一些基础设施工程很多已进入老化期,这些设施又往往是重要的生命线工程,其维修和更新不仅耗资巨大而且影响社会生产和生活秩序。以美国为例,美国现有桥梁约 57.5 万座,其中不少已经损坏,带有众多缺陷甚至处于报废状态。1991 年提交美国国会的一份报告“国家公路和桥梁现状”中指出:为修理或更换已存在缺陷的桥梁,所需投资约 910 亿美元。我国钢筋混凝土结构规范组 1978 年的一项调查表明,在一般环境下有 40%工业民用建筑结构的混凝土已碳化到钢筋表面,而在较潮湿的环境下 90%构件已经锈蚀。因此混凝土的耐久性问题应该受到普遍的重视,高性能混凝土是解决结构物耐久性最有效和最经济的途径。

粉煤灰混凝土是一种高性能混凝土,由于其环保效应,又称为绿色高性能混凝土(GHPC)。粉煤灰具有三项比较公认的基本效应,即形态效应、活性效应和微集料效应,它使粉煤灰混凝土与基准混凝土(即强度等级相同的普通混凝土)相比,其性能从拌制、施工到硬化整个过程都发生了很大变化。其优异的性能使粉煤灰混凝土成为优质高性能混凝土:大大提高新拌混凝土的工作性,即流动性、粘聚性和保水性;明显降低混凝土硬化阶段的水化热;提高混凝土强度,特别是后期强度;提高混凝土的抗渗性、抗侵蚀性、耐

磨性等耐久性。工程应用的粉煤灰混凝土有高强的,也有中、低强的。本章各节所述及的高性能混凝土主要是中高强的粉煤灰优质混凝土。

二、高强高性能混凝土的发展及应用范围

从本世纪 30、40 年代以来,随着水泥品种的改善以及化学外加剂(普通减水剂、引气剂等)的使用,工程中普遍应用的混凝土强度在国际范围内得到稳步的增长。到 60 年代,美国已有强度相当于 C50 ~ C60 的商品混凝土,在工程中大量应用的混凝土强度已达到相当于我国的 C30 ~ C35。在此以前,也有少量工程的混凝土强度达到相当高的水平,如早在 40 年代日本就曾有抗压强度达到 100MPa 的高强混凝土用于工程的报道。1960 年前后,我国也曾应用立方强度高达 100MPa 的混凝土在北京建成跨度为 18m 的预应力屋架,用于 6000m² 的工业厂房建筑,从而使屋架自重减轻了 40%。但是这些高强混凝土都是干硬性的,施工相当困难,无法普遍推广。作为现代工程结构中可以普遍应用的混凝土,应该具有工厂生产预拌混凝土的基本要求,具有良好的工作度,必要时可以泵送。美国在 60 年代通过应用普通减水剂和外加粉煤灰等技术,制出工作度较好的高强混凝土,但能达到的强度上限还比较低。如 1967 年在芝加哥建成的最早应用高强混凝土的高层建筑 Lake Point 塔楼,总高 197m,共 70 层,底层柱的混凝土强度相当于 C65。

尽管普通减水剂也能用来制造强度较高的混凝土,可是只有高效减水剂的问世,才使混凝土技术跨向了一个新时代。高效减水剂使混凝土的高强和高流态变得相当容易,使高强混凝土的广泛应用有了可能。用高效减水剂配置普通工艺的高强混凝土是 1964 年在日本兴起的。到 70 年代末期,当时的日本工地已能获得强度相当于 C80 ~ C90 的高强混凝土。1972 年起德国等西欧国家也陆续应用高效减水剂,但更多的是用来配置流态混凝土而不是高强混凝土。大约从 1976 年起,北美才采用高效减水剂,并成功地配置出高强混凝土用于当时兴建的蒙特利尔奥林匹克体育馆的

5000 个预制构件中。近年来,美国、加拿大等国的工地已能获得强度相当于 C100,最高可达 C120 的高强混凝土。

高强混凝土的应用范围很广,根据国外的实践经验主要有:桥梁工程、高层建筑以及港口和海洋工程等,下面列举一些高强混凝土在一个时间阶段的国外应用实例。这些高强混凝土,其成分除了水泥、水、砂石外,另加有粉煤灰、硅粉、高效减水剂、超塑化剂、缓凝剂等以增加新拌混凝土的工作性,满足泵送施工要求,属于高强高性能混凝土。

1. 桥梁工程

大跨径桥梁的自重往往占总荷载中的大部分,例如 50m 跨径的预应力普通混凝土梁式桥,自重占总荷载的 60%。所以桥梁结构采用高强混凝土后,可以通过减少自重和降低截面高度,获得不少好处。因此,高强混凝土在大中型桥梁和城市立交桥中有广泛的应用前景。桥梁工程中高强混凝土应用的进展情况列于表 1-1。

用高强混凝土建造的桥梁

表 1-1

桥 名	所 在 地	建造时间	最大跨度 (m)	混凝土最大设计 强度 (MPa)
Willows Bridge	多伦多	1967	48	41(C51)
San Diego to Coronado	加利福尼亚	1969	43	41(C51)
Linn Cove Viaduct N	加罗连那	1979	54	41(C51)
Pasco-Kennewick	华盛顿	1978	299	41(C51)
Tower Road Bridge	华盛顿	1981	49	62(C72)
Houston ship channel	得克萨斯	1981	229	41(C51)
Nitta Highway Bridge	日本	1968	30	59(C69)
Kaminoshima Highway Bridge	日本	1970	86	59(C69)
Fukamitsu Highway Bridge	日本	1974	26	69(C79)
Ootanabe Railway Bridge	日本	1973	24	79(C89)
Akagawa Railway Bridge	日本	1976	46	79(C89)
Kylesku Bridge	英国		79	53(C63)

续上表

桥 名	所 在 地	建造时间	最大跨度 (m)	混凝土最大设计 强度 (MPa)
Deutzer Bridge	德国	1978	185	69(C79)
Parrot Ferry Bridge	加利福尼亚	1979	195	43(C53)
Pont du Pertuiset	法国	1988	110	65(C75)
Pont de Joigny	法国	1988		60(C70)
Giske	挪威	1989	52	55(C65)
Saundhornoya	挪威	1989	154	55(C65)
Boknasundet	挪威	1990	190	60(C70)
Helgelandsbrua	挪威	1990	425	65(C75)

2. 高层建筑

高强混凝土是高层建筑底部柱子和剪力墙的理想材料,在美国、加拿大和澳大利亚都有非常成功的应用实例。它不仅在结构造价上取得了明显的经济效益,更重要的是由于柱子尺寸减小,使建筑的使用面积增加,并满足建筑的功能和美观要求。美国用高强混凝土建造的高层建筑大多集中在芝加哥、纽约和休斯敦地区。从 1967 年到 1982 年的 15 年间,仅芝加哥地区就有 40 多幢高层建筑从高强混凝土的应用中获得显著效益。一般情况下,一个 50 层楼的底层柱如用普通 C35 级混凝土,截面直径需要 1.2m;而用高强混凝土后截面直径可减少到 0.8m。纽约 1981 年建成的 68 层 Trump 塔楼,由于建筑布置的需要,底层的外围柱承受很大的荷载,使构件配筋很密,通过采用高流态(坍落度为 230mm)的高强混凝土,其强度等级相当于 C65,成功地解决了截面过大和浇筑困难的问题。国外的经验是,30 层以上的高层建筑适宜采用高强混凝土,40~50 层的高层建筑底层柱适宜采用 C70~C75 混凝土,超过 50 层的可以用更高强度的混凝土。从 60 年代初期到 80 年代末期,芝加哥地区高层建筑中的混凝土设计强度从相当于 C50 提高到 C110,预计到本世纪末可以有 200MPa 的商品混凝土供应。

随着高强混凝土的应用,出现了钢筋混凝土高层建筑取代钢结构高层建筑的趋势。钢筋混凝土楼层不象钢结构那样必须有吊顶,房屋每层高度可减少约 30cm;也不象钢结构那样必须全部设计完毕后到工厂加工再发运到工地,所以钢筋混凝土高层建筑的建设周期要比钢结构短。在 70 年代初期,美国纽约曼哈顿地区的高层建筑几乎全部是钢结构,到了 80 年代初则有 25%用钢筋混凝土建造。

近年来,将高强混凝土用于高层建筑中的钢-混凝土组合柱也取得了很大的成功。如美国 1989 年在华盛顿州西雅图建成的 58 层 Two Union Square 大厦,采用钢管混凝土柱,其中的混凝土设计强度相当于立方强度 115MPa。在这些柱中采用高强混凝土的目的并不是出于强度的需要,而是为了增加柱子的刚度,减少结构的压缩量和横向变形。高层建筑结构中高强混凝土应用的进展情况列于表 1-2。

用高强混凝土建造的高层建筑

表 1-2

建筑物名称	所在地	建造时间	层 数	混凝土最大设计强度(MPa)
Pacific Park Plaza	加利福尼亚	1983	30	45(C55)
S. E. Financial Center	迈阿密	1982	53	48(C58)
Petrocanada Building	加尔格莱	1982	34	50(C60)
Lake Point Tower	芝加哥	1965	70	52(C62)
Texas Commerce Tower	休斯敦	1981	75	52(C62)
Helmley Palace Hotel	纽约	1978	53	55(C65)
City Center Project	明尼阿波里斯	1981	52	55(C65)
Larimer Place Condominiums	丹佛	1980	31	55(C65)
Royal Bank Plaza	多伦多	1975	43	61(C71)
Richmond-Adelaide Toronto	多伦多	1978	33	61(C71)
Midcontinental Plaza	芝加哥	1972	50	62(C72)
Frontier Towers	芝加哥	1973	55	62(C72)

续上表

建筑物名称	所在地	建造时间	层数	混凝土最大设计强度(MPa)
Water Tower Place	芝加哥	1975	79	62(C72)
River Plaza	芝加哥	1976	56	62(C72)
Chicago Mercantile Exchange	芝加哥	1982	40	62(C72)
Columbia Center	西雅图	1983	76	66(C76)
Interfirst Plaza	达拉斯	1983	72	69(C79)
900 N. Mich. Annex	芝加哥	1986	15	97(C107)
South Wacker Tower	芝加哥	1989	79	83(C93)
Gateway Tower	西雅图	1989	62	94(C104)
Two Union Square	西雅图	1989	58	115(C125)
Pacific First Center	西雅图	1989	44	115(C125)

3. 高强高性能混凝土在我国的发展

我国与发达国家的土建行业相比,工程应用中的混凝土强度等级普遍较低。据报道,美国在 70 年代末期应用的混凝土强度平均已超过 40MPa,其中预应力构件达到 70MPa;原苏联混凝土的强度等级大量为 50 ~ 60MPa;德国应用的混凝土强度为 30MPa 和 50MPa 各半;日本应用的混凝土强度多在 30MPa 以上;而我国大量采用的混凝土强度多在 30MPa 以下。高强高性能混凝土在世界范围内已是一项比较成熟的技术,由于我国地理辽阔,施工队伍的技术水平和人员素质相差很大,同时各地混凝土基材的材性也不一样,这些都给我国混凝土技术水平的提高增加了困难。

近十余年来,我国对高强高性能混凝土的科研和工程推广应用做了大量的工作,取得了显著的成绩。全国混凝土技术委员会在 1987 年、1992 年分别将“高强混凝土结构性能及设计方法”和“高强混凝土(C60 ~ C80)结构基本性能”列入工程建设国家标准重点科研课题,对高强混凝土的研究越来越深入。同时高强高性能混凝土的工程应用也得到很大的发展,我国高强高性能混凝土

应用的大致情况为:

(1)1976年,海军工程设计研究局和清华大学合作,在连云港海军基地施工了 C60 级混凝土防护门。

(2)1980年,海军工程设计研究局和清华大学合作,在长山岛上施工了 13m 宽、21m 高的防护大门,坍落度达 15cm,强度达到 88.4MPa,高强混凝土量近 200m^3 。同期,我国第一座铁路预应力斜拉桥——湘桂线的红水河桥,主跨 96m,用了 C50 混凝土,实际 28d 强度达 70.9MPa。

(3)1986年,衡广复线花县的江村南桥 40m 跨 T 型简支梁的混凝土为 C80 级,28d 强度实际达到 92.8MPa。

(4)1988年,北京新世纪饭店 31 层,10 层以下及地下 2 层柱子用了泵送 C60 级混凝土,28d 强度实际超过 70MPa。同期,沈阳 18 层的辽宁省工业技术交流馆(现已改为宾馆),采用吊斗施工 C60 级混凝土,比原来 C30 级混凝土柱子断面减小了 56%,整体造价降低 1.2%。

(5)1990年以来,上海推广 C50 ~ C60 级混凝土,南浦大桥、杨浦大桥的塔身用了 C50 级混凝土。南浦大桥 488 块桥面预制板 $12\text{m} \times 4\text{m}$,平均强度达 75MPa。

(6)1992年~1993年,上海电视台(东方明珠塔)总高 454m,高程 0 ~ 180m 段采用 C60 级,高程 180 ~ 225m 段采用 C50 级,高程 225 ~ 350m 段采用 C40 级。于 1993 年 12 月 18 日,在 350m 高处,原施工 C40 级,专门试验了 30m 的 C60 级泵送混凝土,28d 强度达 62.5MPa,56d 强度达 67.7MPa。

(7)目前,C50 ~ C60 级泵送高强混凝土有很大推广,一些有名的大桥都用了高强混凝土,如:钱塘江二桥、汕头海湾大桥、黄石大桥、武汉长江二桥、珠海前山大桥、万县长江大桥、京津塘高速公路和首都机场路上的一些桥梁。

(8)自 1992 年以来,国内应用高强混凝土建造的高层建筑已不少。据不完全统计,高度超过 100m 的建筑就有 30 多座。建设地点包括:北京、上海、天津、广州、青岛、武汉、海口、深圳、沈阳、济

南、福州、乌鲁木齐、西安、南京、长春、长沙、柳州等地。

(9)1994年前后,大秦电气化铁路的接触网支柱混凝土,已达到 C80 级。

(10)预应力高强混凝土离心管桩,就广州羊城管桩有限公司一个厂,年产 C80 级混凝土 40 万立方米,采用掺加磨细砂及高压蒸养后,强度达到 100MPa 以上。

(11)1994 年 10 月在上海浦东的世界广场地下室工程,1995 年 7 月在上海国际大厦主楼工程第 21 层框架结构中,实施了 C80 级商品混凝土泵送。

(12)1995 年在辽宁省沈阳市物产大厦,用吊斗施工 C80 级混凝土。

(13)1995 年 10 月,北京城建集团混凝土公司在北京静安中心大厦(23 层)的地下三层柱中,用了 C80 级泵送混凝土,共 600m^3 。

(14)1995 年 11 月,北京城建集团总公司构件厂在北京财税大楼首层柱子施工中,选定 4 根柱子用 C110 级商品预拌混凝土,实际施工混凝土强度为 $124 \sim 131\text{MPa}$,平均达到 127.5MPa 。

(15)1997 年 8 月结构封顶的上海金茂大厦,是当今中国第一、世界第三的高楼,其 C60 级混凝土泵送高度为 230m, C50 级混凝土泵送高度为 265m, C40 级混凝土泵送高度为 383m,且均为一次泵送到位。

第二节 高强混凝土的配合比设计

一、高强混凝土对原材料的技术要求

1. 水泥

配置高强混凝土应采用矿物组成合理、细度合格的高标号水泥,并非所有水泥都能用于制作高强混凝土。一般常用规定标号较高的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,也有采用较高标号的矿渣水泥的。