

超高层建筑 大体积混凝土 设计与施工关键技术

王 强 阎培渝 周予启 左 强 著

Key Technologies For High-Volume
Concrete Design And Construction
In Super High-Rise Buildings



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超高层建筑 大体积混凝土 设计与施工关键技术

王 强 阎培渝 周予启 左 强 著

Key Technologies For High-Volume
Concrete Design And Construction
In Super High-Rise Buildings



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

超高层建筑的基础底板是典型的大体积混凝土结构,如何采用比较经济的手段大幅降低其在温降过程中的开裂风险是工程建设领域关注的焦点问题。本书将现代混凝土的材料学理论与几个典型的工程案例相结合,从矿物掺合料在混凝土中的作用机理、混凝土配合比的设计方法、大体积混凝土结构的开裂风险评估方法、连续无缝快速浇筑方法等方面对超高层建筑基础底板的混凝土配合比设计与施工关键技术进行了阐述。

本书可供混凝土领域的科研人员、混凝土生产企业及工程建设单位的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

超高层建筑大体积混凝土设计与施工关键技术/王强等著. —北京:中国电力出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5123-9250-2

I. ①超… II. ①王… III. ①超高层建筑-混凝土结构-结构设计②超高层建筑-混凝土施工 IV. ①TU97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 085053 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 未翠霞 联系电话: 010-63412611

责任印制: 蔺义舟 责任校对: 朱丽芳

汇鑫印务有限公司印刷·各地新华书店经售

2016 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

700mm×1000mm 1/16·10.25 印张·193 千字

定价: 48.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

近十年来，我国的超高层建筑数量迅猛增长，超高层建筑已经不是一线城市所独有的，在很多二线城市也开始快速发展。这与我国土木工程领域的技术进步是分不开的，同时，超高层建筑的发展也推动了建造技术的快速革新。从我国的经济发展和城市化进程的趋势来看，超高层建筑的建造会在相当长的时期内保持较快的发展速度，这需要相关的技术不断创新和完善。

建筑材料是建筑发展的重要基础之一，建筑材料在性能上的提升和新型建筑材料的不断出现能够使建筑工程师和结构工程师更加容易地实现其设计目标。在超高层建筑的设计和建造过程中，采用先进的建筑材料对于获得优异的工程品质至关重要，因此超高层建筑的技术革新应将开发和采用先进建筑材料作为重要组成部分。

大体积混凝土结构的建设技术一直是工程建设领域关注的焦点，因为混凝土在早期硬化过程中胶凝材料的水化放热会使结构内部温度明显升高，在降温的过程中产生的体积收缩会使混凝土遭受很大的开裂风险。尽管降低大体积混凝土开裂风险的措施有很多，但要充分考虑到经济性问题，凡是增加混凝土材料成本或增大施工难度或延长施工周期的措施，都可能会大幅增加建造成本，要慎重选用。

超高层建筑的混凝土基础底板是典型的大体积混凝土，底板厚度大、混凝土的浇筑方量大。为使整块底板具有更好的整体性和安全性，最好将混凝土一次性连续无缝浇筑；为控制建造成本并获得良好的经济性，不应增加额外的、复杂的降温或温控技术措施，同时宜降低混凝土的材料成本。

随着混凝土科学研究的深入和工程实践的经验积累，近十年来混凝土技术发展飞快，现代混凝土在材料组成和性能上都发生了明显的变化。在超高层建筑的建造中，应格外关注现代混凝土的技术发展，采用先进的混凝土技术。清华大学土木工程系与中建一局集团建设发展有限公司在 10 多年的产学研合作过程中，针对大体积混凝土和高强混凝土的配合比设计、泵送施工、养护等多个方面，依托北京国贸三期、天津津塔、深圳平安金融中心等工程，开展了系统的科学研究，总结出了一套“超高层建筑大体积混凝土底板连续无缝施工技术”。该技术成果经北京市住房和城乡建设委员会组织的科技成果鉴定，达到“国际先进水平”。将现代混凝土的材料学理论与工程实践相结合的研究成果“大掺量矿物掺合料在大体积混凝土中的作用机理及其工程应用”获得 2015 年华夏建设科学技

术奖一等奖。

本书既阐述了现代混凝土的特点、大掺量矿物掺合料在大体积混凝土中的作用机理、大体积混凝土结构开裂风险的有限元计算方法，又结合工程案例，介绍了超高层建筑大体积底板的混凝土配合比设计、关键性能试验、足尺模型试验、开裂风险计算、连续无缝浇筑技术等内容。希望本书能够为相关的科研和技术人员提供一点参考。

由于时间仓促，书中难免有疏漏之处，敬请各位读者和同行不吝指正。

2016年5月
于清华园

目 录

前言

上篇 理 论 篇

第 1 章 绪论	3
1.1 现代混凝土	3
1.2 高性能混凝土	7
1.3 大体积混凝土结构与大掺量矿物掺合料混凝土	8
第 2 章 粉煤灰和矿渣在大体积混凝土中的作用机理	11
2.1 粉煤灰和矿渣在胶凝材料水化过程中的反应机理	11
2.1.1 粉煤灰的特性	11
2.1.2 粉煤灰在胶凝材料水化过程中的反应机理	13
2.1.3 矿渣的材料特性	16
2.1.4 矿渣在胶凝材料水化过程中的反应机理	18
2.2 胶凝材料的水化放热与混凝土的绝热温升	23
2.2.1 水泥的水化放热	23
2.2.2 常温条件下粉煤灰和矿渣对胶凝材料水化热的影响	24
2.2.3 高温条件下粉煤灰和矿渣对水化热的影响	26
2.2.4 混凝土的绝热温升	28
2.3 粉煤灰和矿渣对混凝土性能的影响	31
2.3.1 强度	31
2.3.2 氯离子渗透性	36
2.3.3 收缩和徐变	40
2.3.4 工作性	43
2.4 在大体积混凝土中掺粉煤灰和矿渣的原则	44
参考文献	45
第 3 章 混凝土配合比设计的正交试验方法	46
3.1 正交试验方法简介	46
3.1.1 正交试验方法概述	46
3.1.2 常用的正交表	47
3.1.3 正交试验结果分析方法	49

3.2	正交试验方法实例	50
第4章	大体积混凝土结构开裂风险分析的有限元计算方法	55
4.1	开裂风险分析的基本理念	55
4.1.1	影响大体积混凝土结构应力的因素	55
4.1.2	大体积混凝土结构开裂风险分析的基本理念	56
4.2	大体积混凝土结构的温度场计算方法	65
4.2.1	温度场的热传导原理	65
4.2.2	边界条件	66
4.2.3	瞬态温度场的有限元计算	68
4.3	大体积混凝土结构的应力场计算方法	69
4.3.1	弹性体应力场有限单元法计算原理	69
4.3.2	混凝土弹性徐变应力计算方法	71
	参考文献	73

下篇 实 例 篇

第5章	深圳平安金融中心的底板混凝土的配合比设计	77
5.1	大体积底板混凝土工程简介	77
5.2	混凝土的配合比设计方法	79
5.2.1	混凝土配合比的正交试验	79
5.2.1.1	试验用配合比的设计	79
5.2.1.2	正交试验结果分析	81
5.2.2	混凝土配合比的平行对比试验	86
5.3	足尺模型的温度和应变监测	91
5.3.1	足尺模型的试验条件	91
5.3.2	温度传感器和应变传感器的布置方案	92
5.3.3	温度监测结果	95
5.3.4	应变监测结果	98
5.4	足尺模型的温度场和应力场计算	103
5.4.1	温度场的计算	103
5.4.2	应力场的计算	107
5.5	大体积混凝土底板的温度监测与混凝土性能检测	109
5.5.1	底板内部温度监测	109
5.5.2	混凝土的性能	111
第6章	天津津塔和北京国贸三期 A 塔楼的底板混凝土的配合比设计	114
6.1	天津津塔的底板混凝土的配合比设计	114

6.1.1	工程简介	114
6.1.2	正交试验设计	114
6.1.3	混凝土配合比初步确定	117
6.1.4	两组混凝土(16号和17号)的性能对比试验	118
6.1.5	温度监测试验设计	121
6.1.6	足尺模型的材料性能试验结果	122
6.1.7	足尺模型的温度监测结果	123
6.1.8	温度场与应力场计算	127
6.2	北京国贸三期A塔楼的底板混凝土的配合比设计	128
6.2.1	工程简介	128
6.2.2	正交试验设计	128
6.2.3	混凝土的性能测试	131
第7章	大体积混凝土的连续无缝浇筑施工	135
7.1	大体积混凝土施工中溜槽的设置	136
7.1.1	溜槽的适用范围	136
7.1.2	溜槽的平面布置原则	137
7.1.3	溜槽细部节点设置	138
7.1.4	溜槽架体的构造设置	139
7.2	深圳平安金融中心的底板混凝土浇筑	139
7.2.1	施工准备	140
7.2.2	溜槽的布置和施工	141
7.2.3	混凝土浇筑	143
7.2.4	施工现场图片	144
7.3	天津津塔的底板混凝土浇筑	145
7.3.1	溜槽的布置和施工	145
7.3.2	施工现场图片	147
7.4	北京国贸三期A塔楼的底板混凝土浇筑	147
7.4.1	溜槽的布置和施工	148
7.4.2	施工现场图片	150
7.5	沈阳恒隆市府广场的底板混凝土浇筑	150
7.5.1	溜槽的布置和施工	151
7.5.2	施工现场	155

上篇 理 论 篇





绪 论

随着我国经济的快速发展和建筑科学技术的进步,我国的超高层建筑迅猛发展。超高层建筑集成了新结构、新材料和新工艺,代表了现代建筑技术的发展水平,成为现代城市中的地标。深圳平安金融中心、上海中心大厦的建筑高度超过600m,天津117大厦、上海环球金融中心、长沙国金中心、中国尊的建筑高度接近或超过500m,目前我国超过250m的超高层建筑的数目已超过100幢。

超高层建筑的基础是建筑结构的关键部分,其工程质量关系着建筑的安全性。超高层建筑的底板厚度通常较大,厚度超过3m是很常见的,深圳平安金融中心、天津津塔等建筑的底板厚度达4.5m。超高层建筑的混凝土底板是典型的大体积混凝土结构,混凝土的强度等级通常不低于C40。现代混凝土技术的进步在很大程度上加快了超高层建筑的大体积混凝土底板的施工速率,提高了工程质量,并降低了材料成本和施工成本。

1.1 现 代 混 凝 土

用硅酸盐水泥配制的混凝土面世已经将近两百年了。两个世纪以来,随着科学技术的发展,硅酸盐水泥的组成与性能发生了很大变化,混凝土施工技术也发生了翻天覆地的变革。这两方面的变革使得现代混凝土的组成、性能与制备方式都完全改变了。

现代混凝土是以工业化生产的预拌混凝土为代表,以高效减水剂和矿物掺合料的大规模使用为特征。现代混凝土减小了混凝土强度对水泥强度的依赖,拌和物的流变性能更加突出,保证混凝土结构耐久性的要求日益增强,在生产和使用过程中需满足可持续发展的原则。现代混凝土最重要的特征是高均质性,至于是否一定包含某特定组分、要求某个特定的性能,则完全由工程实际需要而定。

传统混凝土一般由水泥、砂、石、水四种原料拌和而成;而现代混凝土除了上述四种原料外,还需要掺加矿物掺合料和多种化学外加剂,其组分可以达到十

种以上,某些组分的掺量只有胶凝材料用量的万分之几。如此多的组分、如此少的掺量,如果不采用高精度的计量装置和强力的机械搅拌设备,很难做到快速均匀搅拌。现代混凝土对于均质性的要求很高,这就要求原材料的品质稳定,并采取严格的生产质量控制等重要措施。而这些现在只能在自动化程度高的混凝土搅拌站才能实现。

化学外加剂与胶凝材料的相容性好坏是现代混凝土需要重点考察的问题之一。现代混凝土组成复杂,在加水拌和后,各种组分都开始化学反应和物理变化,相互间有可能产生冲突,从而导致不相容。目前,最严重的不相容现象发生在聚羧酸减水剂与萘系减水剂同时使用时,这会导致拌和物板结,流动性迅速降低,无法浇筑。减水剂与硅酸盐水泥之间偶尔也发生不相容现象,表现为减水剂掺量饱和点大、流动性损失加大及泌水、离析等。

混凝土组分间不相容现象发生的原因尚不十分清楚,因为减水剂在水泥水化过程中随时间变化的作用机理仍没有完全明确,多种组分间的相互作用机理更待研究。对于聚羧酸减水剂与萘系减水剂不相容的问题,最简单的解决办法是将两者彻底分开,不使其接触。减水剂从一种换用到另一种时,需要将搅拌机、输送系统、混凝土罐车和泵清洗干净,不能马虎。减水剂与胶凝材料不相容时,一般都认为是减水剂的问题,当然,通过调整减水剂配方,大多也能够改善,但是胶凝材料也是关键的一方。某些水泥与大多数减水剂的相容性都不好,这主要就是水泥的问题了。影响水泥与减水剂的相容性的因素有:水泥中可溶碱含量、 SO_3 含量、可溶碱与 SO_3 比值、熟料中 C_3A 含量、混合材的种类与掺量等。一些因素涉及水泥生产的原料和烧成工艺,难以调整。水泥中混合材的偶然变化是混凝土搅拌站难于知晓的因素,例如,由于原料供应的原因,临时将矿渣换成煤矸石,虽然水泥强度基本不受影响,但与减水剂的相容性却改变了。这时,如果减水剂不作相应调整,就容易发生相容性不良的问题。

矿物掺合料已是现代混凝土中不可缺少的组分,但是如何合理正确地使用矿物掺合料却仍然是混凝土材料供应商、结构工程师、工程监理和标准制定者需共同面对的问题。

首先是胶凝材料的定义尚不明确。20世纪50年代我国的标准体系开始建立时,混凝土所使用的胶凝材料只有硅酸盐水泥,其混合材掺量范围很小。所以当时制定的标准中均写明最低水泥用量,但不规定所使用的硅酸盐水泥品种。沿袭至今,许多标准中仍然规定有最低水泥用量,但观念已经发生了变化,标准中的“水泥”实际上是指广义的胶凝材料,包括工厂内生产的成品水泥和现场掺加的矿物掺合料。狭义地理解标准中的最低水泥用量必须是工厂内生产的成品水泥已没有意义。 $\text{P}\cdot\text{S}$ 矿渣硅酸盐水泥中矿渣的含量可达70%,而 $\text{P}\cdot\text{I}$ 硅酸盐水泥中不含混合材。即使同样的用量,这两种水泥提供的硅酸盐水泥熟料量是完全不

同的,对于混凝土性能的影响也有很大差异。所以配制混凝土时,重要的不是控制最低水泥用量,而是最低硅酸盐水泥熟料用量。虽然许多标准在涉及水泥用量时,都在注解或条文说明中讲明,水泥用量包括硅酸盐水泥和各种矿物掺合料。但是监理工程师和行政管理部门却常常忽略了这些说明,僵硬地执行标准的条文规定,这非常不利于混凝土配合比的科学设计。

矿物掺合料的合理使用必须考虑具体的应用对象。目前硅酸盐水泥的强度较高,调控混凝土强度的手段也多,所以对于一般强度等级的混凝土,如果仅考虑满足其设计强度要求,矿物掺合料的掺加比例可以很大。但是如果同时考虑耐久性,则某些部位的混凝土,其矿物掺合料的掺加比例就要有所限制。但底板混凝土长期处于较为潮湿、不接触 CO_2 的环境,没有发生碳化的危险,只要能满足强度要求,其矿物掺合料的比例可以不用控制。矿物掺合料比例高,则混凝土的水胶比相应较低,故抗渗性较好,抵抗水溶性侵蚀介质作用的能力强,耐久性好。所以大掺量矿物掺合料混凝土特别适用于大体积底板。在大体积混凝土结构内部,胶凝材料水化放出的热量不易散失,长期维持较高温度,可促进矿物掺合料的水化反应,激发其潜在活性,使混凝土的强度发展加速。所以大体积结构内部的大掺量矿物掺合料混凝土的强度高于标准条件下养护的试件强度,这与纯硅酸盐水泥的特性不同。

大掺量矿物掺合料混凝土如果养护不充分,则会大大阻碍其微结构发展,增加孔隙率,从而影响其各种性能发展。处于大气环境中的结构,如果所用混凝土中掺入的矿物掺合料比例过大,则其抗碳化的性能可能变差。因此对于上部结构,所用混凝土中的矿物掺合料比例要加以限制。目前,一些涉及耐久性的标准对于矿物掺合料的掺加比例是有所限制的。但是,许多人常常忽略了这种限制是以硅酸盐水泥熟料量为计算基准的。当前,最常用的普通硅酸盐水泥至少含有20%的混合材。如果以水泥为基准计算矿物掺合料的掺加量,则硅酸盐水泥熟料的量就大大减少了,可能达不到耐久性的要求。

现代混凝土中,除了常规的胶凝材料、砂、石、减水剂和水外,还可能使用一些特种材料,如膨胀剂、纤维材料、引气剂、稠度调节材料、密度调节材料、耐久性增强材料等。这些材料只在一些特殊场合使用,产品变化也快,所以业主、施工承包商和混凝土生产企业对其原理和用法了解不多,需要在材料供应商和专家的指导下使用。材料供应商为了促进销售,常会夸大材料的作用,诱导业主使用一些不必要的材料。最常见的例子是普通合成纤维在混凝土中的应用,这种低弹性模量的合成纤维对于刚浇筑的混凝土薄板结构抵抗塑性开裂,或增加砂浆的抗裂性是有作用的,但是利用它增加硬化混凝土的抗裂性能是不切实际的。纤维生产商常忽略这种差异,仅宣传掺加合成纤维能增加混凝土的抗裂性。现在一些大体积混凝土结构也使用合成纤维,这对于防止其产生温度裂缝基本没有作

用,反而降低了混凝土拌和物的工作性,增加了浇筑难度。另外,还有一些常常被夸大其词的材料,如混凝土防腐剂、混凝土增效剂等。一种每吨售价达数千元的混凝土防腐剂,检测结果显示,其主要成分是粉煤灰和石膏。混凝土增效剂号称“可以分散普通减水剂不能分散的特细胶凝材料颗粒聚集体”,因而可以使胶凝材料颗粒更充分与水接触,提高其反应活性,从而降低混凝土的水泥用量。但这种机理并无科学根据,也没有实验数据支持。另外从混凝土结构耐久性的角度考虑,如果进一步降低目前常用混凝土中已经很低的水泥用量,可能会对其长期性能产生不利影响,降低结构安全保证系数。对于种类繁多的特种材料,混凝土制造商需要多学习、多了解,亲自试验验证其作用,然后再决定是否使用。

现代混凝土的强度范围很宽,目前我国的建筑结构设计规范涵盖的钢筋混凝土强度等级从 C20 到 C80,在实际工程中,还有使用 C15 强度等级混凝土的案例。虽然所用水泥的强度等级都是 32.5、42.5 或 52.5,但是混凝土的强度等级却可以大幅度变化,混凝土强度和水泥强度之间不再有线形关系。虽然 Abrams 水胶比定则仍然有效,但是现代混凝土配合比设计时,已不再用其来计算混凝土的配制强度。

减水剂的普遍使用,可以在保持混凝土拌和物工作性不变的前提下,大幅度改变其水胶比,获得不同强度等级的混凝土。现在使用的胶凝材料,除硅酸盐水泥外,还有各种矿物掺合料。有的矿物掺合料可以提高混凝土的早期和后期强度,如硅灰;有的则会降低其强度,如粉煤灰。近年来一些基本是惰性的矿物细粉,如石灰石粉,也作为矿物掺合料加入到混凝土中,以改善混凝土的某些性能。不同组成的胶凝材料,其强度发展性能各不相同。在实际生产时,不可能事先测定所用复合胶凝材料的强度发展规律,然后开始混凝土配合比设计。在传统混凝土中,用水量和水泥用量通过水胶比定则保持线性关系;而在使用减水剂和矿物掺合料的现代混凝土中,用水量和复合胶凝材料用量是作为两个独立的变量加以考虑。在现代混凝土配合比设计时,需要同时考虑用水量和复合胶凝材料用量的变化对于强度的影响。所以现代混凝土的配合比设计远比传统混凝土复杂,需要考虑的因素多。由于现代混凝土的复杂多变,其配合比设计的技术水平就相差很大。目前商品混凝土搅拌站多是根据经验设计混凝土的配合比,尚没有一个被广泛接受的实用化现代混凝土配合比设计方法。近年来,许多人致力于发展基于人工智能原理的计算机化的混凝土配合比设计方法,如利用“神经元”和“灰色系统”等,开发出全计算设计程序。但是大量配合比设计人工智能方法的研究都在低水平上重复进行,所开发的方法存在这样那样的缺陷,而且需要大量的原始参数,计算过程不能灵活调整,难于适应复杂多变的施工现场情况,都不能得到实际应用。研究与应用脱节的现象在这里表现得很突出。

现代混凝土配合比设计时需要同时考虑强度发展、工作性和耐久性。这些性能的一个重要影响因素是混凝土的“浆骨比”。一般认为高性能混凝土的最佳浆骨比大约为 35 : 65。对于传统混凝土,人们认为浆骨比不会明显影响其强度性能和耐久性,因此主要根据工作性高低来决定浆骨比的大小,并通过根据经验选择用水量来实现。现在许多地方所用骨料的空隙率超过 40%,而混凝土的各种性能要求又很高,优化混凝土的浆骨比就非常重要了。在复合胶凝材料中,各种组分的密度差别较大,例如,硅酸盐水泥的密度为 $3.2\text{g}/\text{cm}^3$,粉煤灰的密度小于 $3\text{g}/\text{cm}^3$,石灰石粉的密度只有 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。在同样的浆体量的情况下,不同组成的胶凝材料的浆体体积可有较大变化,导致混凝土的浆骨比发生变化,最终影响混凝土的性能。对于组成复杂的现代混凝土,应该使用体积法计算配合比,而不是用重量法。

1.2 高性能混凝土

高性能混凝土自 20 世纪 80 年代提出以来,其含义一直较为模糊。美国混凝土学会(ACI)给出的较为正式的定义为:高性能混凝土是符合特殊性能组合和匀质性要求的混凝土,采用传统的原材料和一般的拌和、浇筑与养护方法,往往不能大量地生产出这种混凝土。所指特性有:易于浇筑,振捣不离析,早强,长期力学性能,抗渗性、密实性良好,低水化温升,韧性好,体积稳定性好,恶劣环境下的较长寿命。该定义仍然强调拌和物的均质性,认为高性能混凝土不是混凝土的一个品种而是强调混凝土的“性能”(performance)或者质量、状态、水平,或者说是一种质量目标,是一种重视混凝土生产与施工全过程质量控制的理念。对不同的工程,高性能混凝土有不同的性能强调重点,即“特殊性能组合”。ACI 的定义提出后,逐渐被世界各地的混凝土研究者和工程技术人员所接受,成为混凝土研究和工程应用的行为准则。

我国高性能混凝土的工程应用开始于一些需要长的安全使用寿命或处于恶劣环境中的重点工程,如高速铁路、跨海大桥、超高层建筑、大型水利工程和地铁等。近年来各行业制定了一些标准规范,指导高性能混凝土的应用。这些标准规范对于高性能混凝土的定义大同小异。

《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)关于高性能混凝土的定义:用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺合料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。

铁道部 2005 年颁布施行的《客运专线铁路高性能混凝土技术条件》详细规定了各种环境中使用的高性能混凝土的原材料、配合比设计、制备、施工与质量

检验等。

中国工程建设标准化协会发布的《高性能混凝土应用技术规程》(CECS 207:2006)关于高性能混凝土的定义:采用常规材料和工艺生产的能保证混凝土结构所要求的各项力学性能,并具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性的混凝土。

《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)关于高性能混凝土的定义:采用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺合料和严格的质量控制措施制作的,具有良好的施工工作性能且硬化后具有高耐久性、高尺寸稳定性及较高强度的混凝土。

中国建筑科学院编写的《高性能混凝土应用技术指南》关于高性能混凝土的定义:以建设工程设计和施工对混凝土性能特定要求为总体目标,合理选用优质常规原材料,掺加外加剂和合理掺量的矿物掺合料,采用较低水胶比并优化配合比,通过绿色和预拌生产方式以及严格的施工措施,制成符合本指南技术要求的、具有优异综合性能的混凝土。

从以上标准规范关于高性能混凝土的定义可以看出,中国工程界仍然强调高性能混凝土是具有优异综合性能的混凝土,多着眼于具体的原材料选择和配合比设计,对于全过程质量控制理念关注不够,不重视施工过程对于高性能混凝土在结构中的表现的影响。许多人认为使用高性能减水剂和合理掺量的矿物掺合料所配制的混凝土就是高性能混凝土,忽视了全过程的质量控制,因此将一些人为因素造成的工程质量事故归咎于高性能混凝土,对高性能混凝土提出质疑,认为应该取消“高性能混凝土”这个名词,在我国混凝土学术界与建设工程技术界引起很多争论。

多年来一直有人质疑“高性能混凝土”这个名词是否恰当地反映了其内涵,有人提出应对高性能混凝土进行反思,希望找到一个更科学、更合理的新名词来表征 High Performance Concrete。可见,“高性能混凝土”在不同的阶段和不同的应用领域有着不同的内涵。在现阶段,其内涵应该落实到有利于提高混凝土质量、有利于提高建筑品质、有利于节约资源和能源、有利于环保和促进可持续发展等方面。

近年来大型特殊结构不断出现,对于混凝土性能提出越来越特殊的要求。为了满足工程需要,混凝土的配制技术不断进步,混凝土的性能越来越高,比较突出的进步体现在自密实、高强、大掺量矿物掺合料、超高超远泵送施工等方面。

1.3 大体积混凝土结构与大掺量 矿物掺合料混凝土

超高层建筑的荷载巨大,通常采用厚大的钢筋混凝土筏板基础。这些结构施

工时,为了保证结构的整体性,满足承载要求,大多要求整体浇筑,除沉降后浇带外,不留其他后浇带。同时还要控制混凝土结构内部的温升不能过高,避免由于过大的温度收缩而导致开裂。施工方希望加快施工进度,满足工期要求,也不希望留温度后浇带。因此目前实际施工时,一次性浇筑的混凝土板块的尺寸越来越大,远远超出我国现行施工规范规定的范围。为了浇筑超出规范允许尺寸范围的大体积混凝土底板,发展了多种混凝土技术,最常用的是补偿收缩混凝土和大掺量矿物掺合料混凝土。

补偿收缩混凝土性能的影响因素众多,实际应用效果难以预测。虽然有大量成功案例,但也有许多失败的案例。对于膨胀剂的作用和补偿收缩混凝土的合适用途,目前混凝土学术界与工程界争论很大。而大掺量矿物掺合料混凝土可以避免补偿收缩混凝土的许多缺点,在大体积底板工程中使用效果很好,得到越来越多的应用。

大掺量矿物掺合料混凝土是指所用胶凝材料中的矿物掺合料的比例在40%以上的混凝土。对于大体积混凝土,通常使用粉煤灰,有时也复合使用粉煤灰和磨细矿渣粉。大掺量矿物掺合料混凝土配合比设计特点是低水胶比、高胶凝材料用量、低水泥用量。其性能特点为:早期强度发展较慢,后期强度持续发展;干缩较大,抗碳化性能稍差;水化温升值和温升速率较低。矿物掺合料的水化反应受温度影响很大,混凝土结构内部水泥的水化放热可增大其反应速率,使混凝土的性能提高。所以大掺量矿物掺合料混凝土,特别是大掺量粉煤灰混凝土在实际结构内的性能要优于实验室内制备的小试件。

表1-1为一些超高层建筑底板的混凝土配合比。这些底板最薄4m,最厚12m;混凝土都采用60d强度验收。对于C40强度等级的混凝土,P·O42.5普通硅酸盐水泥的用量最少只有200kg/m³,远低于现行规范要求的最低水泥用量;胶凝材料总量不到400kg/m³,也低于常规混凝土配合比的取值。一些工程已完工多年,性能良好,无开裂,无渗漏。所以大掺量矿物掺合料混凝土不但性能优良,其资源消耗也少,是名副其实的绿色混凝土。

表 1-1 一些超高层建筑底板的混凝土配合比 (kg/m³)

工程名称	混凝土等级	P·O42.5 水泥	矿物掺合料	砂	石	水
上海环球金融中心	C40/P8	270	70(S95 矿渣粉) 70(Ⅱ级粉煤灰)	780	1040	170
中央电视台新台址	C40/P8	200	196(Ⅰ级粉煤灰)	721	1128	155
国贸三期	C45/P10	230	190(Ⅰ级粉煤灰)	770	1020	165
天津津塔	C40/P10	252	168(Ⅱ级粉煤灰)	799	1059	172