

超长地下室混凝土结构 防裂技术与应用

主编 孙晓光 张前国 窦南华

辽宁科学技术出版社

超长地下室混凝土结构 防裂技术与应用

主编 孙晓光 张前国 窦南华

辽宁科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超长地下室混凝土结构防裂技术与应用/孙晓光, 张前
国, 窦南华主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008.5
ISBN 978-7-5381-5468-9

I. 超… II. ①孙…②张…③窦… III. 地下室—混凝土
结构—防裂—研究 IV. TU929

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 047448 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁彩色图文印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 210mm × 285mm

印 张: 17

字 数: 460 千字

印 数: 1—500

出版时间: 2008 年 5 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 郭 健

封面设计: 魏 来

版式设计: 冯 硕

责任校对: 王春茹

书 号: ISBN 978-7-5381-5468-9

定 价: 78.00 元

联系电话: 024-23284536

邮购热线: 024-23284502

E-mail: tad4356@mail.lnpgc.com.cn

http: //www.lnkj.com.cn

《超长地下室混凝土结构防裂技术与应用》编委会

主 编 孙晓光 张前国 宾南华

编委会成员（按姓氏笔画排列）

王 元 王 红 王 强 刘 明 何振文 佟成豪 吴 健
张巨松 张春良 张毅斌 李庆钢 李莹莹 赵冠群 徐云飞
郭佩玲 康立中 隋明月 黄海春 彭成军

主编单位 沈阳市城乡建设委员会

参编单位 辽宁省建筑设计研究院

中国建筑东北设计研究院

沈阳建筑大学

辽宁省建设科学研究院

沈阳市建设工程质量监督站

江西萍乡众大高新材料有限责任公司

沈阳市建设工程施工图设计审查咨询中心

沈阳原筑建筑设计有限公司

沈阳兴玖玖商品混凝土有限公司

前 言

随着城市建设的发展,开发利用地下空间用做商业服务或停车场成为新的建设需求,超过国家规范设缝长度的超长地下室结构也越来越多,而此类结构较难解决的是混凝土的裂缝和渗漏问题,它不仅直接影响混凝土工程质量,还直接影响到建筑的使用功能。

针对工程建设的实际需要,沈阳市各专业领域20多位资深专家成立科研团队,对超长地下室混凝土结构进行研究。这项科研工作得到了在沈的大型设计院所、科研机构、原材料生产厂家、混凝土生产企业和施工单位的支持,众多专家付出了辛勤的努力。经过近2年时间的调研考察、理论分析、材料实验和试点工程的建设跟踪,完成了课题研究工作,同时还形成了能指导工程建设的技术规程,为今后同类工程的建设提供了宝贵的参考经验。

这是一次建设行业的技术创新,创新举措为各方面技术人员提供了一个参与和展示的平台,促使技术人员对工程实践进行总结和探索。建设行业的自主创新需要把握技术、材料的发展方向,发挥本地区技术、人才和工程实践方面的优势,吸纳产学研等各方面专家参与研究,开拓思路、创新方法,从而不断提高行业企业的核心竞争力。

现将研究成果及工程实际经验集结出版,各方面的专业技术人员从不同角度介绍了沈阳市建设超长地下室混凝土结构工程的实践经验,与工程界同行分享。当然,其中很多是作者个人的体会和经验总结,有些观点尚需进行探讨。相信通过大家的努力,将进一步带动行业的不断创新,促进行业的可持续发展。

目 录

第一章 防裂技术

超长地下室混凝土结构裂缝原因及防裂技术分析	张巨松 王 元 赵冠群 陈 苗 赵 燕 / 2
膨胀剂或抗裂防水剂在超长地下室混凝土结构中的应用	王 元 张巨松 倪有军 / 8
地下室混凝土结构后浇带间距分析	王 强 尹润杰 刘 明 / 15
超长地下室混凝土结构的防裂设计	张春良 吴 健 / 21
超长地下室结构混凝土生产技术	郭佩玲 黄 华 梁华文 金永升 / 28
浅谈超长地下室混凝土结构不设缝防裂施工技术	何振文 康立中 / 35

第二章 工程应用

超长地下室混凝土结构工程调查与分析	佟成豪 吴 健 / 42
混凝土膨胀剂的性能与应用	刘 立 赵顺增 刘福泉 黄有申 / 46
超长地下室混凝土结构抗裂防水外加剂的探讨	张巨松 倪有军 王 阳 邵 军 / 52
超长钢筋混凝土结构无缝设计施工技术	江云安 王发林 黄海春 / 57
CSA混凝土抗裂防水剂的性能与应用	陈智丰 姜伶俐 / 63
HA—P型抗裂防水剂产品性能及在沈阳超长结构工程中的应用	黄海春 王发林 林济亮 / 69
HCSA膨胀剂在沈阳宏发·长岛一期地下工程中的应用	赵顺增 刘 立 康春生 黄有申 李宝旺 赵 钢 郑泽云 刘永明 黄义鸣 夏杰山 / 74
TB—CSA及TB—HEA在超长钢筋混凝土结构中的应用	袁富荣 吴萍辉 施云峰 / 79
东北电力调度交易中心大楼超长地下室结构设计	李庆钢 陈宏亮 罗锐跃 张 旭 李万勇 / 83
业乔银河湾工程超长地下室设计	佟兴龙 黄 堃 张 叙 欧阳景明 / 90
美居世家家居商厦超长地下室设计浅论	刘冰冰 李 雷 宋后为 / 96
五里河大厦超长地下室的设计与施工	张春良 杜大忠 杨 旭 卢可英 / 100
未来城超长地下室无缝结构设计	陆 路 / 104
超长结构无缝设计的裂缝控制	孙科学 赵 阳 / 107
地下室超长混凝土结构工程实例	袁 朝 / 112

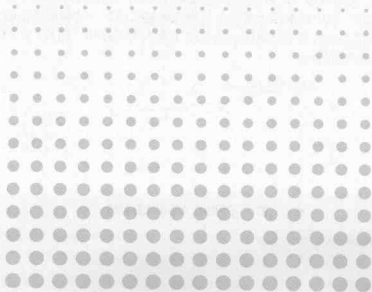
和平家园超长地下室结构的无缝设计	张 圆 李生武 / 118
汉旦城大厦超长地下室混凝土结构防裂设计与施工	朱森岩 宋 红 / 120
华锐世界广场地下室超长结构无缝设计介绍	赵 阳 刘华巍 / 125
曼哈顿广场工程地下室部分结构设计	宋作军 尹志明 / 130
沈阳万恒东方俪城三期超长地下室设计	董玉芬 / 134
阳光100国际新城超长地下室结构设计与施工	于非非 尚德群 / 136
沈阳保利百合花园超长地下室结构设计	高 诺 赵晓洁 董启源 毛爱江 冯 刚 / 139
辽宁省武警办公楼地下室超长设计浅谈	张 震 王怀宏 / 144
沈阳领先国际城 I 区超长地下室防裂的几点做法	何永津 方振武 赵 辉 / 147
沈阳金廊地标项目(第一期)超长地下室结构设计与施工	孙世健 孙 峰 / 151
泰丰五金机电大市场的超长地下室的防裂措施	张毅斌 / 154
沈阳中国女人街商场二期工程超长地下室结构设计	马立光 孙海霞 / 158
沈阳金路忆海长洲人防地下室工程设计与施工	吴 健 佟成豪 王发林 宋永清 / 162
大底盘多塔楼超长地下室的设计和施工	翁 威 董启源 / 166
中国医科大学附属第二医院滑翔分院病房楼超长地下室设计与施工	张大伟 陈 琼 / 171
本溪军区住宅超长地下室结构设计与施工	孙建华 张毅斌 郭 峰 / 174
地下室超长混凝土结构工程实例	贺文凯 康立中 赵 琢 张 健 黄修中 陈德重 何松泉 / 178
金路忆海长洲地下车库超长结构混凝土裂缝控制措施	孙国智 / 183
超长无缝结构混凝土生产体会	宋东升 / 187
超厚大体积底板混凝土生产技术探讨	宋东升 / 190
沈阳金廊地标工程地下室混凝土生产施工技术	黄 华 郭佩玲 梁华文 金永升 / 193
大福源超市底板超长结构混凝土浇筑技术	张翠英 / 200
东北金融广场地下室超长结构施工	郭建东 王文彪 李 晶 于成江 黄春生 吴茂军 赵德新 / 206
CSA抗裂防水剂在地铁车站混凝土中的应用	李正涛 姜伶俐 / 215
大福源超市底板混凝土施工技术	杨 军 卢伟然 吴长城 徐 烨 / 220
BM补偿收缩混凝土在超长地下工程中的应用	张海洋 崔凤军 黄有申 / 225
中国女人街地下室工程实例分析	王立勇 张晓丹 王发林 / 231
沈阳曼哈顿广场地下室施工经验总结	舒开明 孙成帅 / 234
克莱斯特北美家居广场地下室结构裂缝控制	朱海顺 / 241
CSA抗裂防水剂在沈阳中汇、第五大道地下工程中的应用	陆 路 姜伶俐 / 243

附 录

超长地下室混凝土结构防裂技术规定	247
------------------------	-----

第一章

防裂技术



超长地下室混凝土结构裂缝原因及防裂技术分析

张巨松¹ 王元² 赵冠群³ 陈雷¹ 赵燕¹

(1. 沈阳建筑大学材料学院 沈阳 110168 2. 辽宁省建设科学研究院 沈阳 110005

3. 沈阳市城乡建设委员会设计处 沈阳 110013)

摘要: 本文从材料、设计和施工等方面对超长地下室混凝土结构裂缝的原因进行了分析, 讨论了裂缝对混凝土结构的危害, 同时从技术、经济角度对超长地下室混凝土结构国内外常见防裂措施, 即预应力混凝土、纤维混凝土和补偿收缩混凝土进行了分析对比。

关键词: 超长地下室, 裂缝, 预应力混凝土, 纤维混凝土, 补偿收缩混凝土

超长地下室混凝土结构刚性自防水具有施工效率高、大量节约成本等优点, 备受施工单位、开发建设单位欢迎。但是近年来随着地下混凝土结构(大体积混凝土)刚性自防水工程的增加, 也出现了一系列问题, 有部分工程出现开裂。刚性自防水的工程取消了内外防水, 因此一旦开裂, 防水就无从谈起, 若进行后期堵漏, 虽技术上成熟, 但其成本低的优点就不存在了。超长地下室混凝土结构的长度往往超出国家规范规定的范围, 必须采用相应的抗裂措施, 目前国内外常见的混凝土结构防裂措施有三种: 即预应力混凝土、纤维混凝土和补偿收缩混凝土。本文针对超长地下室混凝土结构的防裂, 从技术、经济角度对上述三种技术进行分析探讨。

1 裂缝的种类、原因及危害

超长地下室开裂的原因是多方面的, 总体来讲有设计、材料、施工等几个方面。

1.1 裂缝的种类及原因

1.1.1 导致开裂的材料因素

(1) 水泥。近几年我国执行ISO水泥标准, 该标准主要是针对较发达国家制定的, 而发达国家的水泥主要是纯熟料水泥(国外称之为波特兰水泥, Portland Cement), 其早期强度要求较高, 而我国水泥产业技术和装备相对落后, 熟料质量相对较差, 绝大多数水泥品种都不同程度地掺入混合材, 水泥的早期强度相对较低。各个水泥企业为了满足ISO标准都相应采取了一系列措施, 其中较常见的措施是: 增加水泥细度、增加水泥的铝质等。通过采取这些措施, 虽满足了标准要求, 但同时带来了水泥早期水化加快、收缩明显加大等问题。

(2) 混凝土强度。随着混凝土技术的日趋成熟, 采用混凝土的“双掺”技术较容易实现高强度等级, 100MPa混凝土已成功应用于工程; 随着建筑业的发展, 高层结构越来越多, 客观上大量需要高强度等级的混凝土。建筑工程中的混凝土的强度等级势必越来越高, 高强度等级必然需要较高胶凝材料掺量、外加剂掺量, 其结果必然带来高收缩。哈尔滨工业大学马新伟、钮长仁等^[1]测试了不同水灰比(W/C)混凝土自收缩, 结果如图1。

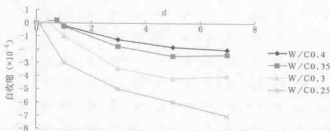


图1 不同水灰比混凝土自收缩

该结果表明,随着混凝土强度等级的提高,水灰比的减小,混凝土的自收缩也进一步加大。

(3) 混凝土的体积。传统的建筑工程中大体积混凝土很少,随着泵送混凝土技术的普遍使用、高层建筑结构的增多和混凝土大型箱形基础的普遍采用,建筑工程基础混凝土体积明显增加。加之大城市的土地价值越来越高,地下室的设计与使用非常普遍。高层建筑地下室的底板和侧墙从混凝土内部和表面的温差来看也属于大体积混凝土工程。由于水泥的水化热和体积等因素,大体积混凝土又增加了新的开裂因素——温差。

(4) 混凝土的泵送。泵送混凝土和传统混凝土相比不仅仅是施工速度的提高,泵送混凝土的配合与传统混凝土相比较发生了明显的变化:一方面胶凝材料量明显增加,必须使用与高效减水剂复合的泵送剂;另一方面必须提高混凝土的砂率。

针对不同水泥用量、水灰比、砂率的混凝土的无约束自由收缩测试^[2],因素水平如表1所示。

表1 混凝土空气中自由收缩因素水平

水 平	因 素		
	水泥用量/(kg)	水灰比	砂率/(%)
1	400	0.35	35
2	450	0.40	40
3	500	0.45	45
4	550	0.50	50

测试结果分析如下:

1d:各因素对自由收缩的影响大小次序是水泥用量、水灰比、砂率;

3d、7d、14d、28d:各因素对自由收缩的影响大小次序是水泥用量、砂率、水灰比;

60d:各因素对自由收缩的影响大小次序是砂率、水泥用量、水灰比。

可见,水泥用量(胶凝材料用量)是影响混凝土早期收缩的第一因素,对于3d、7d、14d、28d,砂率是第二位的因素,对于后期(60d),砂率变成第一位的因素。总之,泵送混凝土是导致混凝土收缩的重要因素。

1.1.2 导致开裂的设计和施工因素

设计因素主要有以下几个方面:外部荷载作用产生的直接应力引起的裂缝;外部荷载作用产生的结构次应力引起的裂缝;结构温度变化、混凝土自身的收缩和膨胀及基础的不均匀沉降等变形变化引起的裂缝;设计不合理(如没有采取密配筋)引起的开裂等。

施工因素主要有以下几个方面:模板及其支撑不牢固,产生变形或局部沉降;拆模不当引起开裂;养护不好引起裂缝;混凝土和易性不好,浇筑后产生分层产生裂缝;冬季施工拆除保温材料时温差过大引起裂缝;烈日曝晒后突然降雨产生裂缝;大体积混凝土的水化热使内部与表面温差过大产生裂缝;大面积现浇混凝土由于温度收缩产生裂缝;主筋位置严重移位使结构受拉区开裂;混凝土初凝后又受到振动产生的裂缝;构件受力过早引起的开裂等。

使用过程中由超载、基础不均匀下沉、使用不当引起的开裂等。

1.2 地下室混凝土结构裂缝的危害

混凝土一旦开裂,一方面防水功能实效,另一方面混凝土结构的耐久性受到威胁。

1.2.1 渗漏水

地下室混凝土结构防水是非常重要的,传统地下室混凝土结构采用刚性加柔性双保险,采用内外双防水,施工工艺比较复杂。混凝土一旦开裂,如外防水出现问题,内防水几乎很难发挥作用,地下室的渗漏必然发生。另外,由于内外防水维修非常困难,超长地下室结构一旦开裂,维修成本很高。

1.2.2 降低混凝土结构耐久性

钢筋混凝土耐久性很大程度上取决于钢筋的耐久性,地下室混凝土结构一旦开裂,没有有效的办法防止钢筋锈蚀。此外,开裂后的混凝土耐久性也同样无法保证。

2 现有常见混凝土防裂技术

2.1 预应力混凝土

从经济技术、建筑使用及美观要求来讲,通过主动施加预应力并采取其他配套手段来解决超长结构的抗裂问题是合理的技术方案。其原因在于:

(1)通过预先施加预应力可以在混凝土中建立预压应力,抵抗混凝土后期收缩和温度变形产生的拉应力,可以有效防止结构间接裂缝的产生。对于部分约束较小的超长混凝土结构,采用预应力还可以少留或不留后浇带,或者可以适当提前封闭后浇带,从而极大地缩短工期。

(2)结构跨度大也是此类工程的共同特点,采用预应力可减小梁的高度,减少竖向荷载作用下的挠度,控制截面应力,避免受力裂缝的产生。但超长结构的裂缝控制是一门综合系统工程,必须同时在结构形式、设计方法、建筑材料和施工工艺等多个方面采取措施,才能达到理想效果。

预应力混凝土施加预应力前后,常在构件的不同部位出现各种各样的裂缝,有的甚至超出允许裂缝限值,给构件的使用留下隐患。裂缝产生的主要原因有:未按设计要求施工,在混凝土强度过低的情况下进行预应力筋的张拉,导致张拉时混凝土脆裂,甚至破碎脱落;预制构件基面不坚硬、不密实,导致构件裂缝;灌浆压力未依据设计计算书执行,灌浆压力过高导致构件裂缝;混凝土养护不及时,水泥水化热反应过大,引起构件裂缝;预应力筋焊接不合格,突然断裂,引起构件裂缝;预应力筋、锚具等设备不合格,张拉中突然断裂、破坏,引起构件裂缝;预应力筋、锚具等因油污过多,引起预应力筋突然滑丝,导致构件裂缝;预应力构件脱模不当引起裂缝;冬、雨季施工未采取任何防护措施,引起构件裂缝;预应力构件顶面未设通长纵向钢筋,放张后构件起拱及收缩引起裂缝;预应力筋张拉应力过高,放张后反拱过大(20~30mm),构件产生拉应力,加之混凝土干缩影响,导致构件裂缝;预应力筋张拉时,对构件端部产生较大的横向劈裂拉应力,引起构件裂缝;预应力构件浇筑完毕后,未能在满足设计要求下及时张拉预应力筋,引起构件裂缝。由此可见,预应力技术在实施的过程中也很难完全控制裂缝。

超长预应力混凝土结构裂缝控制的核心内容之一是对混凝土收缩应力及温度应力的分析及如何将这种间接应力与荷载作用下的直接应力一起综合考虑来保证结构的使用性能。混凝土的抗拉强度、弹性模量、收缩及徐变等随时间变化,材料性能对接应力的计算有着较大的影响,确立其计算模型是计算间接应力的基础。由于收缩、徐变等材料性能试验测试期长且需较多资金,除重要的工程外,工程技术人员在考虑收缩、徐变影响时大都根据经验直接选用各国规范中相应的计算模型公式。随着商品泵送混凝土和高强高性能混凝土的广泛应用,混凝土的材料性能与以往混凝土有所不同,且各种外加剂的掺入使混凝土的材料性能发生某些改变,同等级不同组分混凝土的性能也有所差别。从裂缝控制的材料层次上讲,增强混凝土的抗拉强度和极限拉应变,减少混凝土的收缩,有利于混凝土结构的抗裂。

总之,预应力混凝土技术从理论上讲能够有效地解决超长地下室混凝土结构的裂缝问题,由于预应力技术不仅仅涉及钢材材质的问题,又涉及混凝土材质的问题,加之施工技术等存在一系列问题,很难通过大量应用预应力技术来解决超长地下室混凝土结构的裂缝问题。

2.2 纤维混凝土

常用于混凝土结构的纤维主要有钢纤维、聚丙烯纤维,它们的抗裂性见表2。纤维的抗拉强度比素

表2 纤维的抗裂性能

品 种	抗拉强度/(MPa)	弹性模量/(MPa)	极限延伸率/(%)
钢纤维	600~900	$(2.1\sim 2.5) \times 10^5$	1.5~2.5
聚丙烯纤维	300~450	$(3.5\sim 5.0) \times 10^4$	15~18
素混凝土	3~5	$(3.0\sim 4.0) \times 10^4$	0.02~0.03

混凝土高100~1000倍,而极限延伸率比素混凝土高100倍左右。钢纤维的弹性模量比素混凝土高10倍,而聚丙烯纤维的弹性模量比素混凝土低10倍。这三项综合性能,都表明纤维具有非常好的抗裂性能。

纤维的直径很细,例如,杜拉纤维是100%的高强聚丙烯束状单丝纤维,其长度为19mm,直径0.0048mm,实用体积掺率为0.05%~0.1%,即每立方米混凝土仅需掺入0.7~1kg聚丙烯纤维,纤维丝数量可达2000多万条,每立方厘米混凝土中有20多根纤维。钢纤维的直径为0.6mm左右,长度为33mm,实体体积掺率为1%~2%,即每立方米混凝土需要掺入60~120kg钢纤维,钢纤维数量多达100~150万条。

在混凝土中掺入上述的数量巨大的单丝纤维,形成乱向分布的重重网状撑托系统,有效地减小骨料的离析,减少了混凝土泌水和离析。当胶凝材料收缩时,由于纤维这些微细配筋作用,有效地消耗了收缩拉应力的能量,对克服混凝土凝结期间的塑性裂缝十分有利。混凝土硬化过程中产生水化热温差收缩和干燥收缩,难免出现收缩裂缝,但裂缝要扩展必然受到乱向分布的纤维的重重阻挡,阻止扩散成为大的可见裂缝,这是纤维提高混凝土抗裂性的基本原理。同时,加入纤维后的混凝土性能得到大大改善,以杜拉纤维为例,每立方米混凝土掺入0.5~1.0kg纤维后,与普通混凝土相比其抗裂性能提高近70%,抗渗性能提高60%~70%,抗拉强度提高15%~20%,抗冲击性能提高15%~25%。掺入钢纤维混凝土与普通混凝土相比,抗拉强度提高20%~40%,抗弯强度提高20%~50%。由此可见,纤维在混凝土中起到的主要作用是阻止基体中原有的微裂缝扩展并延缓新裂缝出现,提高混凝土的变形能力,从而改善其韧性与抗冲击性能。然而,不同纤维各有自己的技术特性,所增强的方面各有所长,亦各有缺点。纤维混凝土专家李士恩指出,要真正认识每一种纤维材料的特性和优劣,才能综合解决工程中所遇到的问题。

2.2.1 钢纤维

主要有熔抽碳钢纤维(长度为33.3mm,当量直径为0.634mm)和铣削型钢纤维(长径比40)。钢纤维的抗拉强度高,弹性模量高于混凝土,是混凝土的优良抗裂材料,其掺量为60~100kg/m³,增加造价约为100~120元/m³。由于掺入钢纤维后的混凝土在搅拌和泵送等工艺中还存在其他问题,难以在混凝土工程中大量应用,目前主要应用于高层建筑转换层大梁、高强混凝土框架节点、桩头及桩帽、防水屋面、铺装道路及桥梁铺装层等。

2.2.2 聚丙烯纤维

混凝土中掺入聚丙烯纤维对减少塑性裂缝和防止裂缝扩展是有好处的。由于其弹性模量比混凝土低10倍,对已硬化混凝土的变形裂缝只能起分散和阻抗作用,对提高混凝土结构的抗裂性贡献很小。聚丙烯纤维在大体积混凝土中应用会大大提高工程造价,目前国外聚丙烯纤维产品约8万元/t,国内约5万元/t,在混凝土中掺量约0.7~1.0kg/m³,增加造价约50~80元/m³,目前主要应用于铺装路面、桥面、屋面、地面、衬砌薄壁和结构转换层等。

总之,由于成本偏高,且在混凝土硬化的初期与混凝土粘结还存在着问题,纤维对混凝土的早期开裂还很难充分发挥作用。

除上述两项技术之外,工程中常采用补偿收缩混凝土技术。

3 补偿收缩混凝土

补偿收缩混凝土在建筑结构中有三大用途,分别是结构自防水、减免后浇带无缝施工和大体积混凝土裂渗控制。就一项工程而言,这三种施工情况或独立存在,或交互存在,采用补偿收缩混凝土技术,可以将这些技术难题集中解决。

3.1 膨胀剂及抗裂防水剂

混凝土膨胀剂及抗裂防水剂是从膨胀水泥发展而来的,分硫酸铝钙类、氧化钙类和氧化镁类膨胀剂。国内外绝大多数生产的硫酸铝钙类膨胀剂以8%~12%(等量取代胶凝材料率)掺入混凝土中,与水泥水化反应形成钙矾石($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)膨胀结晶,使混凝土结构产生如下变化:

(1) 由于钙矾石产生体积膨胀,在钢筋和邻位限制下可在混凝土结构中建立0.2~0.7MPa预压应力,改善了混凝土的应力状态,从而提高了混凝土的抗裂性能。

(2) 由于钙矾石具有填充,堵塞毛细孔缝的作用,改善了混凝土孔结构,降低总孔隙率,从而提高混凝土的抗渗性能。

掺膨胀剂的补偿收缩混凝土和填充用膨胀混凝土,在潮湿环境中可保持50~200微应变的膨胀状态,

在干空气中也会产生一定干缩。由于它能推迟收缩起始时间, 此间混凝土的抗拉强度得到足够的增长, 从而可减免有害裂缝的发生。基于补偿收缩混凝土的这些特征, 在我国已大量应用于地下、水工、海工和二次浇筑的抗裂防渗工程。补偿收缩混凝土的另一个优点是以膨胀加强带取代后浇带实现连续式或间歇式无缝施工, 目前已在国内上千个超长混凝土结构工程中成功应用。20年来, 我国膨胀剂及抗裂防水剂用量累积达 $500 \times 10^4 \text{ t}$, 折合补偿收缩混凝土约 $10000 \times 10^3 \text{ m}^3$, 在混凝土的抗裂防渗材料中, 膨胀剂的用量最多。膨胀剂掺量为 $8\% \sim 12\%$, 一般等量取代胶凝材料为 $30 \sim 40 \text{ kg/m}^3$, 混凝土增加成本 $20 \sim 30 \text{ 元/m}^3$ 左右。

3.2 结构自防水

与混凝土相比, 有机防水材料寿命较短, 因此就存在外防水寿命与结构寿命不同步的问题。外防水失效后, 混凝土结构本身能不能防水是决定结构能否持久防水的关键因素。混凝土结构自防水是根本, 只有解决混凝土结构的抗裂和抗渗问题, 才能彻底解决构筑物的防水问题, 强度等级 C30 以上泵送混凝土, 抗裂比抗渗更重要。补偿收缩混凝土结构自防水技术从改善混凝土收缩应力着手, 立足于解决混凝土的收缩裂缝, 兼有提高混凝土密实度、大幅度降低混凝土渗透性的作用, 是理想的结构自防水技术。

补偿收缩混凝土结构自防水技术施工简便, 有机柔性防水材料对施工环境要求高, 在潮湿基面上不易粘接, 易空鼓, 一旦出现渗水点, 整个防水体系全部作废, 维修起来十分复杂。另外, 卷材防水节点处理复杂, 特别是在桩基础、下反梁结构中, 无法保证施工可靠性。而采用补偿收缩混凝土结构自防水技术, 防水与混凝土施工同步完成, 施工操作简单, 受环境限制少, 即使因施工造成蜂窝麻面导致渗水也比较直观, 可在内部处理, 维修方便。采用补偿收缩混凝土结构自防水技术, 和传统外防水相比, 材料成本明显降低, 若计算加快工期等综合费用, 采用补偿收缩混凝土结构自防水技术的综合效益明显。

3.3 超长钢筋混凝土结构连续施工和大体积混凝土裂渗控制技术

解决超长混凝土结构施工过程中混凝土收缩开裂问题的常用办法是设置后浇带, 但是设置后浇带的弊端很多, 首先, 影响施工进度, 按照规范规定, 后浇带至少 42d 以后, 才能用膨胀混凝土回填。其次, 施工工艺繁杂, 后浇带贯穿整个地下、地上结构, 所到之处遇梁断梁、遇板断板, 给施工带来很多不便, 模板支撑处理工艺繁琐。另外, 在后浇带留置期间, 将不可避免地落进垃圾杂物和施工用水, 钢筋将会出现锈蚀; 在后浇带填充混凝土之前, 须将两侧混凝土凿毛, 清理, 由于此处钢筋密布, 凿毛、清理工作异常艰难, 极其复杂, 处理不好往往会成为小渗漏和结构安全的隐患。过去大体积混凝土施工时采用的分层浇筑或铺装冷却水管及加冰等冷却措施, 也存在施工工艺复杂、影响工程进度的问题。

采用补偿收缩混凝土超长结构连续施工技术, 取消防止混凝土收缩而留置的后浇带, 连续浇筑混凝土, 可以避免这些问题。在超长钢筋混凝土结构中可采用补偿收缩混凝土连续施工, 在大体积混凝土中可采用补偿收缩混凝土进行裂渗控制, 经济效益体现在缩短工期、提高工程质量和简化施工工艺, 而且直接节约降水和止水带的费用。

4 抗裂技术及材料的复合应用

除上述的纤维材料和膨胀剂及抗裂防水剂外, 近年来又出现了一种抗裂材料即混凝土减缩剂, 减缩剂是由聚醚或聚醇类有机物或它们的衍生物组成, 能降低孔隙水的表面张力, 从而减少失水时产生的毛细收缩压力, 降低混凝土的干缩率 $20\% \sim 30\%$ 。减缩剂能起到减少混凝土塑性裂缝和干缩裂缝的作用, 尤其适用于难以养护的混凝土结构。目前我国已研制成功几种牌号的减缩剂, 其掺量为胶凝材料的 $3\% \sim 4\%$ 。但由于该产品造价高, 每立方米混凝土成本将增加 $50 \sim 60 \text{ 元}$, 且对其实际防裂效果尚需全面评估, 目前尚未大范围推广应用。

上述混凝土的抗裂材料及技术各有优缺点, 应用时要考虑混凝土的造价, 如表 3, 并根据工程结构的耐久性设计要求合理选用。例如, 钢筋纤维适用于抗裂耐磨的铺面层和高强混凝土, 聚丙烯纤维适用于铺装面层、薄壁结构和楼板等, 减缩剂适用于难以养护的混凝土薄壁结构, 膨胀剂适用于地下、水工和大体积混凝土与超长混凝土结构工程。

从以上分析可见, 作为提高混凝土抗裂性能的材料, 根据其性能的可靠性、施工难易性和单方增加

表3 各种抗裂材料及技术的成本

抗裂材料	抗裂原理	掺量	增加成本 (元/m ³)
钢纤维	增强抗拉分散应力集中	60~100kg/m ³	100~120
聚丙烯纤维	增强韧性分散应力集中	0.7~1.0 kg/m ³	50~80
减缩剂	降低表面张力降低干缩	(3%~4%) C	50~60
膨胀剂	建立预压应力补偿收缩	(8%~12%) C	20~30

成本来看,膨胀剂较好,聚丙烯纤维次之。近年来,设计界根据抗裂材料的特性,取长补短,成功地进行了复合应用:墙体、转换层、大跨度梁和自防水结构采用聚丙烯纤维和膨胀剂复合应用;高强混凝土结构和耐磨面层采用膨胀剂与钢纤维复合应用;混凝土结构减少收缩裂缝可采用膨胀剂与减缩剂的复合应用;大体积混凝土结构采用膨胀剂、细磨掺和料和缓凝减水剂的复合应用等。

5 结语

超长地下室开裂的因素概括起来有设计、施工和材料等方面。开裂的危害一方面体现在刚性自防水失效,另一方面是钢筋混凝土的耐久性受到影响。预应力混凝土技术从理论上讲能够有效解决超长地下室混凝土结构的裂缝问题,但预应力混凝土技术不仅仅涉及钢材材质的问题,还涉及混凝土材质的问题,加之施工技术等一系列原因,采用预应力混凝土技术解决超长地下室混凝土结构裂缝的方式很难大量推广应用。纤维混凝土成本偏高,纤维在混凝土硬化的初期与混凝土粘结存在问题,对混凝土的早期开裂还很难发挥作用。补偿收缩混凝土成本相对低廉、易于施工,在超长地下室混凝土结构中应用越来越多。

参考文献

- [1] 建设部标准定额研究所. 补偿收缩混凝土应用技术导则[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [2] 游宝坤, 李乃珍. 膨胀剂及其补偿收缩混凝土[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2005.
- [3] 杨伯科. 混凝土实用新技术手册[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1998.

膨胀剂或抗裂防水剂在超长地下室混凝土结构中的应用

王元¹ 张巨松² 倪有军³

(1. 辽宁省建设科学研究院 沈阳 110005 2. 沈阳建筑大学 沈阳 110168 3. 辽宁省建筑材料研究所 沈阳 110032)

摘要: 本文通过对膨胀剂或抗裂防水剂的机理分析, 通过补偿收缩混凝土试验和应用实践, 证明了利用膨胀剂或抗裂防水剂在超长地下室混凝土结构中应用是可行的, 而且是一条有效的技术路线。

关键词: 膨胀剂, 抗裂防水剂, 限制膨胀率, 超长地下室

1 前言

解决超长地下室混凝土结构的技术路线主要是通过合理选用原材料、合理的结构设计和相配套的施工技术来实现。本文是使用混凝土膨胀剂或抗裂防水剂来实现超长地下室混凝土结构的配套应用技术研究。我们对在沈阳市市场上常用的几种膨胀剂和抗裂防水剂进行大量相关试验研究, 系统地分析了这些外加剂在超长地下室混凝土结构中应用的可行性和配套应用技术, 为沈阳市超长地下室混凝土结构工程合理选用膨胀剂或抗裂防水剂提供了必要的理论依据。

2 膨胀剂和抗裂防水剂的作用机理

2.1 膨胀剂作用机理

中国从20世纪50年代开始, 在吴中伟教授带领下研究膨胀水泥混凝土。50年代末以高铝水泥为基础的石膏膨胀水泥和以普通硅酸盐水泥为基础的硅酸盐膨胀水泥研制成功; 20世纪70年代以来, 在低碱度条件下钙矾石形成机理研究的基础上, 研制出两种高自应力值和高抗渗性的膨胀水泥, 同期还研制了明矾石膨胀水泥; 1985年以来重点转向对膨胀剂的研究, 先后研制出了多种膨胀剂产品, 从此膨胀剂在中国得到了普遍的推广应用。

图1为与硫铝酸钙矿相联系的三元系统膨胀剂的相图。当包含这些矿物的一个组分水化时, 会产生各种水化产物。在这些水化产物中, 下列产物具有膨胀性: 钙矾石 ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$), 在T点表示; 单硫型水化硫铝酸钙 ($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$), 在M点表示; 在CaO处表示的氢氧化钙 [$Ca(OH)_2$, CH]。

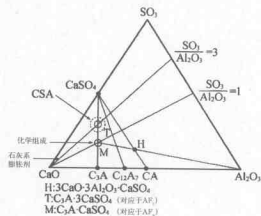


图1 CaO—Al₂O₃—SO₃三元系统膨胀剂相图

膨胀水泥混凝土的几种膨胀机理如下:

- (1) 结晶态膨胀组分由于晶体生长穿透周围物质而向外生长(晶体生长理论)。
- (2) 凝胶态膨胀组分由于吸水而体积增大(吸水膨胀理论)。
- (3) 在水化过程中通过膨胀成分的分离而形成共存孔。在各种情况下,对于与“化学收缩”共存的“膨胀”而言,“硬化结构中孔的形成”或“低密度凝胶态水化物的形成”是需要的。为了定量考察孔和凝胶态水化物的形成,需作进一步研究和讨论,包括化学收缩和自收缩(或自膨胀)。在由钙矾石或CH形成发生膨胀的情况下,在膨胀成分表面发生的局部化学反应理论比进入溶液反应理论更为广泛地被接受。膨胀中重要的因素不仅仅是膨胀组分的水化,而且在于其周围水化物的形成,其驱动力来自于膨胀组分的物质传递。也就是说膨胀不会发生,除非硬化基体结构由于水泥水化而形成。同样重要的是膨胀剂与水泥二者的水化必须在适当的时间发生。

国内在20世纪80年代、国外(以美国、日本和前苏联为代表)在20世纪70年代均对膨胀混凝土的材料的组成、制备、性能、水化硬化机理及在荷载与环境作用下的行为进行了较系统的研究,形成了补偿收缩混凝土的基本理论。其核心内容如下:膨胀水泥混凝土在水化硬化过程中膨胀与强度要协调发展。

混凝土变形与开裂的关系是:材料中两质点间相向变形(受压)不会开裂;背向变形(受拉)会引起开裂。据此推知,混凝土自由收缩不会开裂,限制收缩会引起开裂;混凝土自由膨胀会引起开裂,限制膨胀不会引起开裂。

2.2 抗裂防水剂作用原理

针对混凝土不同阶段的收缩特性和防水需要,一般采用了四个方面的措施。

(1) 对混凝土的塑性收缩进行补偿。对于硬化前的混凝土,有的抗裂防水剂中含有塑性膨胀组分,可以补偿混凝土的塑性收缩。

(2) 与膨胀剂一样,在约束下,硬化后的混凝土产生微膨胀,产生0.3~1.0MPa的预压应力,补偿混凝土的热胀和冷缩。

(3) 由于掺加了减缩组分和密实防水组分,进一步改善了混凝土的收缩性,可降低混凝土的后期收缩,进一步提高混凝土的密实性和防水性。

(4) 防水机理。掺加抗裂防水剂的混凝土,除了产生大量的钙矾石填充混凝土的毛细孔外,引入了有机防水组分,通过成膜原理,进一步封闭混凝土的毛细孔隙,使得混凝土抗渗性比膨胀混凝土的抗渗性得到进一步提高。

2.3 抗裂防水剂与膨胀剂的区别

(1) 抗裂防水剂主要组分之一是高效膨胀剂,该膨胀剂性能优良,其性能大大优于目前国内的其他膨胀剂。

(2) 抗裂防水剂有的含有塑性膨胀组分和减缩组分,能大幅度降低混凝土的硬化的塑性收缩。混凝土硬化后,与单纯的膨胀剂一样产生微膨胀;而单纯的膨胀剂是不具备塑性膨胀功能,仅仅是产生硬化后的微膨胀作用,即抗裂防水剂具有“双膨胀”功能,这与膨胀剂的“双膨胀源”是不同的两个概念。

(3) 由于含有有机防水组分,抗裂防水剂能同时满足防水剂和膨胀剂的“双标准”,而单纯的膨胀剂达不到防水剂的标准要求。

(4) 掺加膨胀剂的混凝土,早期产生微膨胀作用,在干燥状态下,也会产生收缩,形成了膨胀与收缩很大的“落差”,当落差过大时,达不到预期的抗裂效果,甚至可能起反作用。而抗裂防水剂的膨胀与收缩“落差”大幅度降低,即抗裂防水剂的后期收缩小。

(5) 目前水泥普遍较细,早期水化较快,抗裂防水剂的膨胀组分不是吸收水泥水化反应的氢氧化钙,而是直接与水反应产生膨胀。因此,与水泥水化反应比较匹配,在早期能发挥较好的膨胀作用。

(6) 防水机理不同,膨胀剂的防水机理是产生钙矾石填充毛细孔,而抗裂防水剂除产生钙矾石填充毛细孔外,同时掺加的有机防水组分封闭了混凝土的毛细孔。

3 影响膨胀剂或抗裂防水剂性能的因素分析

3.1 膨胀速率

膨胀速率是膨胀行为的一个重要指标,在一定条件下,它能够显著影响混凝土的最终膨胀率。例如高性能混凝土,由于水胶比低,它的强度发展很快,早期强度比一般混凝土高很多,根据膨胀与强度协调发展的原则,要求膨胀剂也必须具有较快的膨胀速率与之相适应,才能取得较好的膨胀效果。因此,不同的膨胀剂或抗裂防水剂具有不同的膨胀速率,工程中应选择合适的产品。

3.2 掺量对膨胀与强度性能的影响

所有的膨胀剂都一样,随掺量的增加,限制膨胀率也随之增大,见图2,膨胀剂掺量与抗压强度的关系见图3,随着掺量的增加,抗压强度呈现降低趋势。

3.3 水灰比对限制膨胀率的影响

水灰比对限制膨胀率的影响见图4,结果显示两种膨胀剂具有相同的规律,水灰比等于0.4时,限制膨胀率最大,大于0.4后,限制膨胀率显著减小。

水灰比的影响更多地体现在强度发展与膨胀速率的辩证关系方面,低水灰比导致早期强度高,这会制约膨胀的发展,高水灰比会降低早期强度,没有足够的强度骨架支撑,也会降低有效膨胀;其次是孔隙率的影响,高水灰比会导致高孔隙率,高孔隙率会消耗有效膨胀。

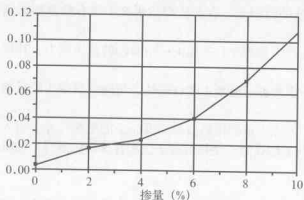


图2 掺量与膨胀率关系

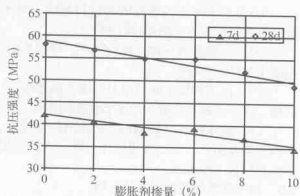


图3 掺量与强度关系

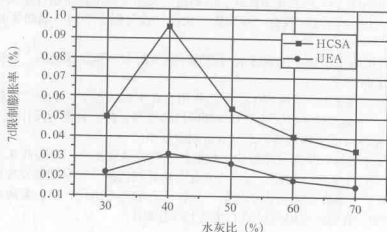


图4 水灰比与膨胀率关系