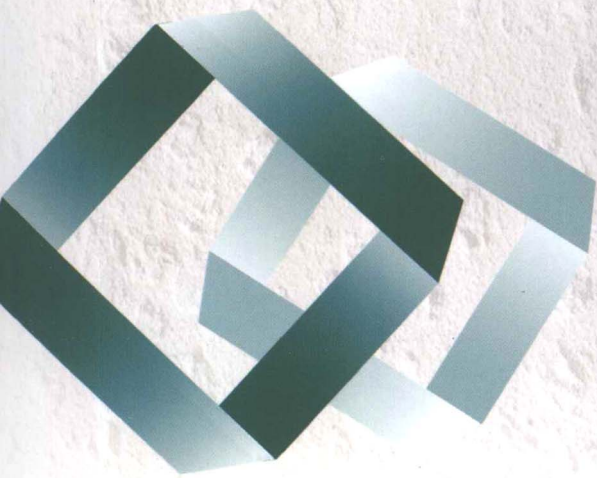




大体积流态混凝土工程

裂缝控制研究

黄祚继 著



黄河水利出版社

大体积流态混凝土工程 裂缝控制研究

黄祚继 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书结合临淮岗洪水控制船闸底板混凝土工程,系统地进行了大体积流态混凝土裂缝控制研究,对裂缝控制领域许多新观点、分析和处理方法以及引起裂缝的原因进行了系统的论述,并结合裂缝计算理论,采取相应的措施,成功地解决了大体积流态混凝土裂缝问题。

本书适用于各类工程建设领域,可供土建工程广大技术人员、科研工作者及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大体积流态混凝土工程裂缝控制研究/黄祚继著. —郑州:黄河水利出版社,2008.4

ISBN 978-7-80734-411-7

I. 大… II. 黄… III. 水利工程-大体积混凝土施工-裂缝-控制 IV. TV544

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 051327 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:3.25

字数:60 千字

印数:1—2 200

版次:2008 年 4 月第 1 版

印次:2008 年 4 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

前 言

近年来,工程建设规模迅猛发展,施工机械日新月异,混凝土结构形式日趋大型化、复杂化,如何因地制宜地把古老而又新颖的裂缝控制在无害范围内是工程技术人员的艺术。

混凝土结构物的裂缝,不仅会影响工程外观和正常运行,还可能影响工程安全,缩短工程寿命。防止混凝土结构物产生裂缝,历来是结构物设计和施工的重大课题,由于混凝土裂缝大部分属于温度裂缝,温度控制防裂成为解决问题的关键。本书结合大体积流态混凝土裂缝控制问题,研究了混凝土工程发展的历程,分析了存在的问题,并重点对混凝土添加剂的作用进行了探讨,分析了多种添加剂的性能以及对防止混凝土裂缝产生的效应;分析了产生温度应力的条件,研究了混凝土抗裂性能,并从混凝土裂缝形成和发展机理方面,分析了裂缝对结构物的危害性。

针对临淮岗洪水控制船闸工程,通过试验,研究了粉煤灰及外加剂的性能,对混凝土的配合比进行优化设计,并对底板混凝土的温度裂缝进行了验算分析。通过对船闸底板混凝土的温度观测资料进行分析,研究了混凝土温度变化对底板混凝土应力的影响,提出了温度控制的措施。在工程实践中,临淮岗洪水控制船闸工程混凝土裂缝得到了很好的控制。

本书共分6章,第1章为绪论,第2章为混凝土工程技术发展分析,第3章为水工混凝土裂缝的形成和危害性分析,第4章为临淮岗船闸底板混凝土温度应力计算分析,第5章为临淮岗船闸底板混凝土温度观测与控制,第6章为总结与展望。

本书是大体积流态混凝土裂缝控制方面的科研成果专著,可供从事工程设计、施工和科研人员使用,同时也可供大专院校师生参考。因时间仓促,著者水平所限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

著 者

2008 年 3 月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 混凝土裂缝产生的原因及控制措施研究进展	(1)
1.2 水工混凝土裂缝研究的意义和目的	(9)
1.3 本书的研究内容和预期目标	(16)
第 2 章 混凝土工程技术发展分析	(17)
2.1 概 述	(17)
2.2 高性能混凝土发展分析	(22)
2.3 我国混凝土外加剂发展分析	(29)
2.4 小 结	(38)
第 3 章 水工混凝土裂缝的形成和危害性分析 ...	(39)
3.1 产生温度应力的条件	(39)
3.2 混凝土抗裂能力	(40)
3.3 大体积混凝土裂缝的形成和发展	(43)
3.4 裂缝的危害性	(48)
3.5 小 结	(50)
第 4 章 临淮岗船闸底板混凝土温度应力计算分析	(51)
4.1 临淮岗船闸底板混凝土力学变形性能	(51)
4.2 底板混凝土温度裂缝验算	(62)

4.3 小 结	(73)
第5章 临淮岗船闸底板混凝土温度观测与控制	(74)
5.1 临淮岗船闸底板混凝土温度观测结果	(74)
5.2 底板混凝土气温观测与成果分析	(85)
5.3 小 结	(87)
第6章 总结与展望	(88)
6.1 全书总结	(88)
6.2 展 望	(89)
6.3 建 议	(90)
参考文献	(93)

第 1 章 绪 论

1.1 混凝土裂缝产生的原因及 控制措施研究进展

1.1.1 混凝土早期裂缝产生的原因及控制措施

随着水泥和混凝土技术的发展,混凝土工程中相当普遍地出现早期开裂的现象。所谓早期裂缝是指混凝土和钢筋混凝土结构在使用荷载作用前,甚至在拆模后就出现的裂缝。这种早期裂缝出现在大体积混凝土,裂缝宽度有 $0.1 \sim 1 \text{ mm}$ 的,也有宽达 1 cm 贯穿结构的大裂缝。

从机理上分析,混凝土早期裂缝的产生是因为混凝土的收缩(或膨胀)以及温度(水泥水化热)与混凝土的力学性能(弹性模量 E_p 和抗拉强度 f_p)不相适应。混凝土的早期收缩包括两部分:塑性阶段的收缩和硬化初期的干燥收缩。塑性收缩是由泌水、沉降和水泥—水系统最早期水化引起的化学收缩,早期裂缝取决于混凝土内部的温度和湿度分布梯度、收缩值。从水泥和混凝土发展看,过去混凝土构件裂缝少而近来裂纹多,其原因主要有:

(1) 现在窑外分解的高级水泥产量增加,许多大城市用的水泥大多是这种高级水泥。这类硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥 C_3S 和 C_3A 含量高(有的 R_2O 含量也较高)、比表面增大(从过去 $3\,000\text{ cm}^2/\text{g}$ 增加到 $3\,600\text{ cm}^2/\text{g}$ 左右),因此早期水化快,水化热发展快,凝结硬化较快,1~3 d 的早期强度也较高。

(2) 从工程设计和施工角度看,现在混凝土设计强度等级比过去高了,这是技术的进步。施工单位和建设单位又特别强调加快工程进度,要求过高的早期强度,特别喜欢用 R 型水泥和早强型外加剂。

(3) 从混凝土材料角度看,商品混凝土和泵送混凝土有较大发展,坍落度往往要求 $18\sim 22\text{ cm}$,因此单方水泥用量大大增加,实际施工所用混凝土超标号现象很普遍。

混凝土技术发展了,水泥与混凝土的变化都易导致早期裂缝的产生:水泥用量大,细度大,收缩增大,水化热增大;水泥 C_3S 、 C_3A 、 R_2O 含量大,细度大,再加上某些外加剂使水泥凝结加速, E_p 的增加大于 f_p 。过去浇水养护是为了增加强度,因而不注意早期的保护。

预防早期裂缝的措施主要包括以下几个方面:

(1) 必须转变几个观念。不要过度追求水泥的高早强,尤其不要不分场合地使用早强型(R 型)水泥。不要以为水泥强度越高、混凝土中水泥用量越多越保险。越是早强,越是高强,水泥用量越多,早期开裂的风险越大。

(2) 混凝土振实成型后,应尽早覆盖表面,加强养护,

延长浇水养护时间,这是很重要的。

(3)现在水泥出厂强度都较高,为了降低水化热,控制早期水化热过快,最好的办法是在混凝土配比中加入适量Ⅱ级或Ⅱ级以上的粉煤灰或矿渣微粉。

1.1.2 混凝土裂缝产生的原因及控制措施

1.1.2.1 沉降收缩裂缝及控制

在泵送混凝土现浇的各种钢筋混凝土结构中,特别是板、墙面系数大的结构之中,经常出现一种早期裂缝,这些裂缝主要是沉降收缩裂缝。这种裂缝位于钢筋上部,裂缝中部较宽、两端较窄,呈梭状,与混凝土上表面垂直,其深度往往从表面一直延伸到钢筋表面,裂缝宽度1~4 mm,深度不一。如果不加以预防和消除,将会加速钢筋的锈蚀。混凝土沉降裂缝的主要控制措施有:

(1)混凝土用水量越大,越易引起沉降裂缝。所以,要严格控制混凝土单位用水量在 170 kg/m^3 以下,水灰比在0.6以下,对于泵送混凝土,在满足泵送和浇筑要求时,宜尽可能减小坍落度;还可以应用减水率大的高效减水剂或缓凝高效减水剂大幅度减少用水量;应用保水性好的普通硅酸盐水泥,连续级配的粗骨料,偏粗的中砂。

(2)掺加适量质量良好的送泵剂掺合料,可改善工作性能和减少沉陷。

(3)混凝土的搅拌时间要适当,时间过短、过长都会造成拌合物的均匀性变差而增大沉陷。

(4)混凝土的凝结时间越长,越易引起沉降裂缝。所

以,混凝土的凝结时间不宜过长。

(5)混凝土浇筑时,下料不宜太快,防止堆积或振捣不充分。

(6)混凝土应振捣密实,但应避免过振,时间以 10 ~ 15 s/次为宜。截面厚度相差较大的构筑物,可先浇筑较深部位,静止 2 ~ 3 h,待沉降稳定后再与上部薄截面混凝土同时浇筑;进行二次振捣,一般在混凝土浇筑 1 ~ 1.5 h 后,混凝土尚未凝结之前进行。此时,振捣棒振实再拔出时混凝土表面未留下任何明显的痕迹为宜。

(7)在炎热的夏季和大风天气,为防止水分蒸发强烈,形成内外硬化不均和异常收缩引起裂缝,应采取措施缓凝和覆盖。

1.1.2.2 塑性收缩裂缝及控制

塑性收缩裂缝出现在暴露于空气中的混凝土表面,裂缝较浅,长短不一,短的仅 20 ~ 30 cm,长的可达 2 ~ 3 m,宽 1 ~ 5 mm,裂缝互不连贯,类似干燥的泥浆面。影响混凝土塑性裂缝的主要因素与防止措施,一是降低混凝土表面游离水的蒸发速度,二是减小混凝土的面层干缩量,三是增大混凝土面层早期的抗裂强度。防止出现塑性裂缝的原理主要包括下列方面:

(1)选用干缩较小、早期强度较高的硅酸盐或普通硅酸盐水泥,严格控制水泥和掺合料的用量,选用级配良好的砂子和石子。气温较低时,在混凝土中掺加促凝剂,以加速混凝土的凝结和强度发展。掺加一定量的纤维,如

钢纤维、聚丙烯纤维等。

(2)浇筑混凝土前,将基层和模板浇水湿透,避免其吸收混凝土中的水分。

(3)振捣密实,减少混凝土的收缩量。

(4)混凝土浇筑后,在初凝前完成抹平工作,终凝前完成压光工作,建议推广二次抹压工艺。抹光后及时用潮湿的草袋或塑料薄膜覆盖,认真养护,也可喷涂混凝土养护剂。

(5)在气温高、风速大、干燥的天气施工时,加设挡风设施。混凝土浇筑后应及早进行喷水养护,使其保持湿润,大面积混凝土宜浇完一段,养护一段。在炎热季节,需加强表面的抹压和养护,必要时加设遮阳、挡风及喷雾设施等。

1.1.2.3 温度裂缝及控制

水泥水化过程中放出大量的热,且主要集中在浇筑后的前7 d内,一般每克水泥可以放出502 J的热量,如果以水泥用量 $350 \sim 550 \text{ kg/m}^3$ 来计算,每立方米混凝土将放出175~276 MJ的热量,从而使混凝土内部温度升高(可达70℃左右,甚至更高)。尤其对大体积混凝土来说,这种现象更严重。因为混凝土内部和表面的散热条件不同,所以混凝土中心温度低,形成温度梯度,产生温度变形和温度应力。温度应力和温度差成正比,当这种温度应力超过混凝土的内外约束应力(包括混凝土抗拉强度)时,就会产生裂缝。这种裂缝初期出现时很细,随

着时间的发展而逐渐扩大,甚至达到贯穿的情况。

混凝土内部的温度与混凝土厚度及水泥品种、用量有关。对于大体积混凝土,其形成的温度应力与结构尺寸相关,在一定的尺寸范围内,混凝土结构尺寸越大,温度应力也越大,因而引起裂缝的危险性也越大。因此,防止大体积混凝土出现裂缝最根本的措施就是控制混凝土内部和表面的温度差。温度裂缝控制的主要措施有:

(1)考虑选择粉煤灰水泥、矿渣水泥、火山灰水泥或复合水泥,对于体积较大的结构,应优先选择中热水泥甚至低热水泥。另外,可充分利用混凝土后期强度,以减少水泥用量。大量试验研究和工程实践表明,每立方米混凝土的水泥用量增减 10 kg,其水化热将使混凝土的温度相应升高或降低 1°C 。因此,为了更好地控制水化热所造成的温度升高、减少温度应力,可根据工程结构实际承受荷载时的情况,并和设计单位协商,用 56 d 或 90 d 抗压强度代替 28 d 抗压强度作为设计强度。对于大体积钢筋混凝土基础的高层建筑,大多数的施工期限很长,少则 1~2 年,多则 4~5 年,28 d 不可能向混凝土结构特别是大体积钢筋混凝土基础施加设计荷载。因此,将试验混凝土标准强度的龄期推迟到 56 d 或 90 d 是合理的,正是基于这一点,国内外许多专家提出类似的建议。如果充分利用混凝土的后期强度,则可使每立方米混凝土中水泥的用量减少 40~70 kg,则混凝土温度相应降低 4~7 $^{\circ}\text{C}$ 。最后,减少水泥水化热和降低内外温差的办法是减

少水泥用量,将水泥用量尽量控制在 450 kg/m^3 以下,如果强度允许,可采用掺加粉煤灰来调整。

(2) 浇筑大体积混凝土结构不得已而采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时,应考虑在保证强度指标的情况下,掺加一定量活性掺合料(如粉煤灰、矿渣微粉等),活性掺合料对水泥的替代率越大,降低混凝土温升的效果越好。掺加粉煤灰混凝土的温度和水化热,在 $1 \sim 28 \text{ d}$ 龄期内,大致为:掺入粉煤灰的百分数就是温度和水化热降低的百分数,即掺加 20% 粉煤灰的水泥混凝土,其温升和水化热约为未掺粉煤灰的水泥混凝土的 80%,可见掺加粉煤灰对降低混凝土的水化热和温升的效果是非常显著的。

(3) 在混凝土中掺加一定量的具有减水、增塑、缓凝、引气的外加剂,可以改善混凝土拌合物的流动性、黏聚性和保水性。由于其减水作用和分散作用,在降低用水量和提高强度的同时,还可以降低水化热,推迟放热峰的出现时间,因而减少温度裂缝。

(4) 对于大体积混凝土,应控制混凝土料的入模温度,掌握好浇筑时间。加强养护,一般在浇筑完成后,对混凝土表面进行覆盖,并进行测温跟踪,以保证混凝土内外温差不超过 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$,否则应立即采取措施。

1.1.2.4 干缩裂缝及控制

干燥收缩主要是由混凝土在硬化后较长时间产生的水分蒸发引起的。由于集料的收缩很小,因此混凝土的

干燥收缩主要是水泥石干燥收缩造成的。水泥石干燥收缩理论有毛细管张力学说、表面吸附学说和夹层水学说等。混凝土的水分蒸发、干燥过程是由外向内、由表及里逐渐发展的。由于混凝土蒸发干燥非常缓慢,产生干燥收缩裂缝多数在一个月以上,有时甚至一年半载,而且裂缝发生在表层很浅的位置,裂缝细微,有时呈平行线状或网状,常常不被人们重视。但是要特别注意,由于碳化和钢筋锈蚀的作用,干缩裂缝不仅损害薄壁结构的抗渗性和耐久性,也会使大体积混凝土的表面裂缝发展成为更严重的裂缝,影响结构的耐久性和承载能力。干缩裂缝的控制措施有:

(1)选择合适的水泥品种和用量。一般来说,水泥的需水量越大,混凝土的干燥收缩越大,不同水泥混凝土的干燥收缩按其大小顺序排列为矿渣水泥、普通水泥、中低热水泥和粉煤灰水泥。所以从减少收缩的角度来看,宜采用中低热水泥和粉煤灰水泥。干燥收缩随水泥用量的增加而增大,但是增加量不显著。C20 ~ C60 混凝土的水泥用量一般为 $350 \sim 600 \text{ kg/m}^3$ 。

(2)混凝土的干缩受用水量影响很大,在同一水泥用量条件下,混凝土的干燥收缩和用水量成正比。综合水泥用量和用水量来考虑,水灰比越大,干燥收缩越大。因此,在混凝土配合比设计中应尽可能将每立方米混凝土的用水量控制在 170 kg 以下,对于浇筑墙体和板材的单方混凝土用水量的控制尤为重要。特别值得注意的是,

施工混凝土的用水量绝对不允许大于配合比设计给定的用水量。

(3)矿渣、火山灰、硅藻土等粉状掺合料掺加到混凝土中,一般都会增大混凝土的干缩值,但是质量好,含有大量球形颗粒的一级粉煤灰,由于内比表面积小,需水量少,故能降低湿混凝土的干缩值。

(4)掺加减水剂,特别是同时掺加粉煤灰的双掺技术不会增大干缩值,但是对于某些减水剂,尤其是当减水剂具有引气作用时,有增大混凝土干缩的趋势。因此,要选用干燥收缩小的外加剂。

(5)混凝土浇筑面受到风吹日晒,表面干燥过快,受到内部混凝土的约束,在表面产生拉应力而开裂。如果在混凝土终凝之前进行早期保温、保湿养护,对减少干燥收缩有一定作用。

1.2 水工混凝土裂缝研究的意义和目的

1.2.1 研究的意义和目的

为了兴修水利、防治水害,人类在几千年前就开始建造水坝,早期建造的有土坝、砌石坝、堆石坝和木坝。混凝土坝的建造始于 20 世纪初期,由于混凝土是脆性材料,其抗拉强度远小于抗压强度,在建造混凝土坝时,如何防止裂缝出现始终是一个问题。大体积混凝土水工结构,如大坝、船闸、泄洪建筑物、电站厂房等,体积大、结构

形式复杂。混凝土浇筑后,由于水泥在水化凝结过程中要散发大量的水化热,因而使混凝土体积膨胀,待达到最高温度以后,随着热量向外部介质散发,温度将由最高温度降至一个稳定温度或稳定温度场,由此将产生一个温差。如果浇筑温度大于稳定温度(或稳定温度场),这个温差就更大。这时,混凝土因为降温将发生体积收缩,混凝土的水化热发生过程,一般出现在浇筑后的3~5 d。这时由于体积膨胀,在基岩部位受基岩约束,将出现较小的压应力(这是因为浇筑初期混凝土的变形模量小,还处于塑性阶段),等到混凝土由最高温度开始下降以后,由于混凝土是热的不良导体,需要经过很长时间,几年、甚至几十年,才能达到稳定温度。在基岩部位,混凝土的收缩受基岩约束,将产生很大的拉应力(这是因为混凝土的变形模量随龄期的增加而迅速加大),如果超过混凝土的极限抗拉强度,就会出现基础贯穿裂缝。在脱离基岩约束的部位,如果混凝土的最高温度与外部介质的温差过大,内部热的混凝土约束外部冷混凝土的收缩,亦即内部温度场呈非线性分布,也可能出现深层裂缝或表面裂缝。最可能和最危险的情况是早期的表面裂缝形成了坝体表层的弱点,在继续降温过程中,最容易出现具有破坏性的裂缝。

大体积混凝土水工结构,通常要承受两种不同性质的荷载:第一种是结构荷载,包括水压、泥沙压、地震、渗压、风浪、冰凌以及结构自重与设备重量等;另一种是混