

大体积混凝土裂缝控制的研究与进展

路璐, 李兴贵

(河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 大体积混凝土的裂缝大部分是由于混凝土降温产生的温度应力引起的, 采取有效措施防止温度应力造成混凝土表面和内部出现有害裂缝, 一直是大体积混凝土结构施工中的技术难题。根据温度裂缝产生的原因从设计、施工、监测和裂缝的修补四个方面来概述目前大体积混凝土裂缝控制的各种方法, 分析了各方面存在的问题及其实用价值, 讨论了其发展趋势和应用前景, 以及进一步的研究方向, 为今后工程中混凝土裂缝控制提供了有益的借鉴。

关键词: 大体积混凝土; 温度; 温度应力; 裂缝控制

中图分类号: TU37

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)01—0146—05

Research and Progress of Control for Mass Concrete Temperature Crack

LU Lu, LI Xing-gui

(College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: Most cracks of mass concrete are due to thermal stress caused by concrete cooling, so taking effective measures to prevent the harmful surface and internal cracks caused by thermal stress has been a technical problem in mass concrete construction. Here, based on the cause of thermal cracks, crack control methods are summarized from design, construction, monitoring and crack repairing. Then the problems existing in all aspects and their practicability are analyzed, the prospects of application are discussed, and some future research directions are suggested, which could provide some useful references for similar subjects in the future.

Keywords: mass concrete; temperature; thermal stress; crack control

0 前言

随着社会的进步和发展,混凝土在向高强度、高性能发展的同时,混凝土的裂缝控制技术难度也大大增加。水泥用量的增加,水泥细度的减小,各种外加剂和掺合料的使用,增加了混凝土的早期放热和收缩^[1],使得大体积混凝土的裂缝问题更加严重。

大体积混凝土结构断面尺寸较大,导热性能差。在升温阶段,由于内部水化热升温,大体积混凝土的内外形成温差,冷缩的外部受到内部热膨胀约束而处于受拉状态,当拉应力超过混凝土极限抗拉强度时,会在表面产生裂缝;在降温开始的冷缩阶段,由于受到基础或相邻部件的约束,会在内部形成拉应力,当拉应力超过其极限抗拉强度,则从约束面开始产生裂缝。

大量的工程裂缝处理和调查结果显示,混凝土结构特别是大体积混凝土结构,80%~90%的裂缝都是由于混凝土降温产生的拉应力超过了混凝土的抗拉强度引起的^[2]。因此,大体积混凝土的裂缝控制首先要从温度控制开始,减小内外温差,降低温度应力;其次是裂缝的及时修补,这对于大体积混凝土裂缝的控制具有重大的意义。本文将概述大体积混凝土裂缝控制的研究进展,并在此基础上探讨其所存在的问题和发展方向。

1 裂缝控制措施

大体积混凝土很难完全防止裂缝的产生,只能控制裂缝,裂缝不仅是混凝土的缺陷,更是混凝土结构的一种物理力学性质^[2],但是如果重视温控设计以及各种影响的因素,是可以最大限度的减少裂缝,

用无害裂缝代替有害裂缝。

1.1 设计方面

现代混凝土的设计不仅要考虑荷载的作用,更要考虑变形作用的问题。对于大体积混凝土,温度收缩应力的影响远比荷载效应来的突出。大体积混凝土裂缝大都是由于降温收缩导致,目前工程中在设计方面采取很多方法来抑制混凝土的收缩,从而减少裂缝。

1.1.1 后浇带法及跳仓法

在现浇整体式钢筋混凝土结构中,只在施工期间保留的临时性变形缝,称为“后浇带”,后浇带的浇筑时间宜选在气温较低的时候,其强度等级应该高于构件强度。跳仓法的原理与后浇带的原理相同,是后浇带的进一步发展,它充分利用“抗与放”特性原理,采用跳棋的模式,隔一段浇一段,免去后浇带法后续施工的不便。我国最早1979宝钢初轧超长箱型设备基础就采用跳仓法,至今为止,已经完成很多类似工程,均经过长期的使用考验。

1.1.2 膨胀剂的使用

为控制裂缝,工程上采取的技术措施之一是掺加膨胀剂来补偿混凝土的收缩,减小收缩开裂问题。目前有三类膨胀剂,硫酸铝钙类、氧化钙类及氧化镁类膨胀剂,硫酸铝钙类膨胀剂水化较快,膨胀主要发生在14d前,其膨胀根源是钙矾石在70℃~80℃左右可能产生分解^[3-5],氧化钙类膨胀剂水化也较快,两类膨胀剂的膨胀源在水压力下均易发生溶解。氧化镁膨胀物理化学性质较为稳定,且其膨胀主要发生在大体积混凝土的降温收缩阶段,适用于水工等大体积混凝土^[6]。

1.1.3 掺入纤维

纤维具备独特的抗拉强度和分散性,能够三维分散在砂浆、水泥混凝土中,抑制混凝土的早期塑性收缩以及裂缝的扩展,大大提高混凝土的各项力学指标。工程中使用较多的是钢纤维、聚丙烯纤维和玻璃纤维,其对混凝土增韧抗裂性能已得到认可^[7-10]。近几年又有大量研究表明,碳纤维能显著改善混凝土的力学性能和电学性能,具备自感知内部应力、应变和损伤程度的功能,可实现桥梁、大坝等土木工程的实时健康监测和损伤评估^[11],目前已应用到三峡大坝的围堰上。

1.1.4 配置温度钢筋

温度裂缝的控制标准^[12-13]按建筑对裂缝控制等级的要求不同而分为两类,一是不允许出现裂缝,即严格抗裂,二是允许开裂,但对裂缝的宽度有所限

制,即限裂。配置温度钢筋的目的是限裂,而非抗裂,这类在实际工程中占大多数^[14]。相对于一般的大体积混凝土(不超过C40),配筋率是较低的,一般在表面或孔洞附近等薄弱位置配置钢筋,对于防止一些浅层裂缝非常有效。

1.1.5 设置滑动层

根据平面建筑的布置,可在岩石基础或旧混凝土基础上设置滑动层,降低对结构的约束,从而降低由于温度产生的应力。任何柔性防水层都可兼做滑动层,沥青砂垫层、筏式底板的碎石垫层等都可以起到一定的隔离和软化约束效应^[2]。一般滑动层较多的应用在装配式结构、预应力路面结构等方面,这个概念已经在国家标准规范中使用。

1.1.6 导控

根据应力集中原理及圆环应力扩散原理,在混凝土表层埋设应力释放装置^[1](见图1),引导产生规则浅层裂缝,以缓解表面温度应力。应力释放装置由应力集中锥和应力扩散环两部分组成,埋设在混凝土中,在混凝土温差应力消失后,将应力集中锥拆除后形成的三角凹槽进行填平抹光。目前这项技术已运用在新川东港闸闸墩混凝土,试验证明导控装置在控制温度裂缝方面确实是有效的。

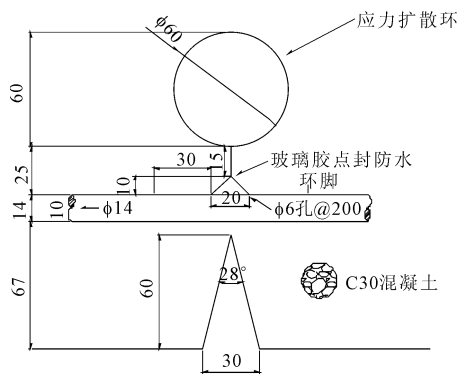


图1 导控原理示意图

1.2 施工工艺与材料选取

对于大体积混凝土的施工,为了防止裂缝,可从施工工艺和材料两方面着手,减小温差,降低温度应力,从而达到控制裂缝的目的。

在施工方面,可以采用以下措施:(1)大体积混凝土可采取分层分块的浇筑方式,降低浇筑速度和浇筑层的厚度,利用浇筑层面散热^[15],合理安排施工工序,避免过大的高差;(2)施工现场应严格控制混凝土的水灰比及坍落度,保证振捣质量,不应在雨中浇灌混凝土,提高混凝土的浇筑质量;(3)根据施工的季节,采取不同的温控措施,如在夏季施工,尽

可能在早、晚或夜间浇筑,根据浇筑温度的要求,可加冰拌和,冷却骨料,布置水管通水冷却,国外也有用液氮冷却混凝土的实例^[16],但成本过高,一般不采用;如在冬季施工,尽量避开冬季最低温度时施工,可采用蓄热法和暖棚法浇筑;(4)施工过程中应注意保温保湿,采取蓄水法和覆盖法来减小内外温差,夏季着重蓄水养护,但蓄水时间要长。由于夏季温度较高,突然脱离蓄水状态,加上高温,会导致混凝土产生更为严重的裂缝;冬季则着重保温养护,一般采用保温模板,也可以利用砂层保温和积水保温,砂层厚度要在 0.5m 以上才能起到保温作用,而积水保温是作为浇后临时保温措施,且必须保证积水深度必须大于可能结冰的厚度^[16]。

在材料方面,合适的原材料决定了混凝土的力学性能,也影响温控的难易程度。理想的原材料是导热系数大,收缩性小,碱反应及水化热较低,抗拉强度好的骨料和水泥。对于大体积混凝土,选用水化热和含碱低的水泥,避免采用产生水化热高的早强水泥,选择有利于混凝土抗拉性能的级配。在满足强度的同时,掺入适量粉煤灰可减少水泥用量,降低水化热。根据混凝土的使用性能选择合适的减水剂,降低拌合水用量,减小收缩。

1.3 温度监测

混凝土温度应力取决于其浇筑温度、水泥水化热以及混凝土表面温度,温度控制是大体积混凝土施工中的一个重要环节,也是防止温度裂缝的关键。除了在设计、施工和材料方面减小温差外,应实时掌握大体积混凝土的温度变化规律,及时了解温差对大体积混凝土的影响,对温度和温度应力采取及时的控制措施,将温差控制在一定范围内以减少裂缝的产生,也可为今后工程的应用以及混凝土温度场的模拟提供必要的依据。

传统的测量方法使用玻璃泡温度计、电子测温仪等设备,由人工定时在预留孔洞的不同深处进行测温并记录^[17],浪费大量人力,且检测误差较大。现在较为常用的是采用温度传感器结合计算机的全自动测量方法,将其预埋在混凝土中,通过网络线与计算机相连,一般对混凝土构件的上、中、下进行布点观测,也可根据需要采取不同布点,但这种方法布线繁琐,抗干扰能力差,耗费人力物力大,一般适用于简单较小的工程。我国的三峡三期大坝混凝土内部测温则采用了简易测温管监测方式^[18],获得了与埋设温度计相同的精准度。现也有采用无线通信的大体积混凝土温度监测系统,抗干扰能力强,精度

高,可连续监控,实现超温预警。

1.4 裂缝修补

混凝土一旦出现裂缝,为了保证建筑物的安全、改善建筑物的美观以及延长建筑物的使用年限,必须及时对裂缝进行修补。

传统方法有表面处理法、灌浆法、填充法、结构加固法和电化学方法。表面处理法适用于表面的浅层裂缝,在裂缝表面涂膜,以提高防水性和耐久性,但无法深入到裂缝深处;灌浆法是通过外部压力向裂缝内注入树脂类或水泥类材料,按灌浆材料不同可分为水泥灌浆和化学灌浆,水泥灌浆适用于结构物较长、较宽的裂缝修补,化学灌浆一般适用于漏水较为严重的部位;填充法适用与结构允许开槽且宽度较大的裂缝,沿裂缝凿槽,在槽中嵌入弹塑性或刚性止水材料^[19],达到封闭裂缝的目的;结构加固法适用于对整体结构、承载能力有较大影响的深度裂缝或贯穿性裂缝,常用方法有粘贴加固法、预应力加固法、加大截面法和增设杆件法;电化学法适用于水环境中的钢筋混凝土。

国内外比较新兴方法的是混凝土裂缝的仿生自修复法^[20],它是模仿生物组织损伤愈合的性能,在混凝土传统组分中复合特殊组分,在其内部形成智能型自修复系统,一旦出现裂缝,自动触发修复反应,修复裂缝。目前有三类,一类是采用形状记忆合金自修复,一类是在混凝土内预埋含有修复剂的空心胶囊或纤维,一类是利用生微生物反应引起的矿物沉积来修复混凝土^[21-22]。

2 存在问题及发展方向

大体积混凝土的温度控制方法的应用已经较为成熟,从设计到施工工艺及材料的选取,以及裂缝的处理,在工程中已经取得很多的应用,但仍然有很多方面的问题需要考虑,完善温度控制的理论。

2.1 膨胀剂的使用

对于大体积混凝土,水泥水化产生的热量释放过程较为缓慢,普通的膨胀剂在早期就膨胀,对后期的补偿作用不明显,MgO 的延迟微膨胀特性更适用于大体积混凝土。利用 MgO 的膨胀产生的化学应力来补偿大体积混凝土的温度收缩应力,在各大工程得到成功的应用,应加快推广 MgO 膨胀剂的使用。(1)MgO 膨胀剂的掺量。氧化镁混凝土的膨胀量随 MgO 掺量的增大而增加,掺加过少起不到后期的补偿收缩的作用,掺加过多则会过大膨胀导致混凝土损坏。不同的混凝土工程、不同结构部位的混

凝土,根据其收缩的要求不同,应配以不同膨胀性能的MgO膨胀剂^[23]。MgO的烧成温度越高,高温下的保温时间越长,其活性指标越大,水化活性越小,水化越慢,因此可尝试通过改变生产条件来改变MgO的膨胀速率和膨胀量,制得不同性能的膨胀剂。(2)MgO生产工艺。目前还没有专门生产MgO膨胀剂的窑炉与工艺,主要沿用煅烧耐火材料用MgO的生产设备和工艺,其设备与工艺比较简陋,不能严格保证MgO膨胀剂的品质^[24]。MgO的活性和产品煅烧的均匀性是其重要的性能指标。应开展MgO膨胀剂制备工艺的研究,建立其生产工艺的完备理论,实现稳定生产,确保其质量。

2.2 纤维的掺入

纤维的掺入有效提高了混凝土的极限抗拉强度,但在应用方面仍存在严重不足,目前纤维混凝土一般只用于一些具有特殊要求的结构当中。(1)纤维本身的不足。钢纤维耐腐蚀性能较差;玻璃纤维耐久性低,且质脆易断,普通玻璃纤维耐碱性不好,而耐碱玻璃纤维易受酸腐蚀;聚丙烯纤维的掺量较大的话,易产生泌水现象^[25];碳纤维是较为理想的增强增韧材料,但其造价太高。应对现有纤维进行改性研究,研究纤维的合适规格,增加其与水泥基的相容性,进一步改善生产工艺,降低生产成本,开发纤维新品种。(2)纤维混杂效应。单一纤维在混凝土中往往有利有弊,工程中将几种纤维混杂,则能发挥不同纤维的优势,在不同的阶段和不同的结构层次发挥其作用。目前对于混杂纤维混凝土在实际工程中应用的相关研究不足,尤其是对不同纤维混杂效应的研究并不明确,应建立纤维体系的体系增强模型,深入研究。

2.3 导控

应力释放装置已证明对抗裂有较好的效果,裂缝发展有序,裂缝深度可控,便于裂缝的修补。(1)影响范围。人为制造裂缝,以释放一定范围内的温度应力,但该应力释放装置能够影响多长的范围是必须要考虑的问题,现行是根据经验布置释放装置,如过少的埋设应力释放装置,则达不到控制裂缝的效果,如过多又会造成大量的裂缝,既影响结构的性能,也不美观。(2)装置尺寸。另一个要考虑的问题是装置应力环的直径、厚度以及布置深度,会对应力释放造成多大的影响。建议采用有限元模型进行仿真模拟,估算最佳值,解决这些问题对于混凝土大坝运行过程中至今尚未解决的表面裂缝难题具有重大意义。

2.4 裂缝修补

裂缝修补的常用方法已较为成熟,在仿生自修复混凝土上面技术还不够完善。(1)修复纤维和胶囊的材料。目前自修复混凝土中掺入的玻璃纤维或胶囊的制备工艺复杂,强度过高,不易裂开实行修复,强度过低,拌入混凝土中易破裂,因此,应开发与混凝土材料性能相匹配的修复纤维和胶囊的材料。(2)修复材料的数量。修复材料过少不能完全修复裂缝,过多则影响混凝土的性能。应进一步研究修复胶囊(或纤维)的掺入给混凝土性能带来的不利影响,以及修复后的混凝土的各个性能,确定数量的最佳范围。(3)修复时间。自修复的时间应越快越好,目前修复剂要修补裂缝都需要一定时间,而这种自我修复比人工要慢得多,应对修复剂的性能做进一步的研究,提高响应速度,快速修复。(4)裂缝宽度的控制。修复混凝土的裂缝宽度应加以控制,过宽的裂缝仅靠修复剂难以完全修复,且修复剂将顺着裂缝面在重力作用往下流,不会在裂缝面上渗透,修复效果差,且修复胶囊(或纤维)上方的裂缝也无法修复^[17],可以考虑用应力释放装置与仿生自修复法相结合的可行性。总之,自修复技术有待进一步的完善,但其自检测自修复性能的应用前景十分广泛。

3 结 语

本文总结了目前在工程中应用的温度控制的措施,包括设计、温度监测、施工工艺和原材料的选取、裂缝的处理四个方面,以及现行存在的问题。裂缝问题不可避免,但随着人们对材料、设计、施工工艺等各方面的深入研究,大体积混凝土的裂缝状况会不断好转。

目前南京工业大学在MgO膨胀剂工业化生产方面进行了一系列探索,已取得一定的成果^[23]。关于掺量的标准尚有较大争议,应深入研究其膨胀机理,完善膨胀性能调控机制,对MgO的推广使用有很大意义。纤维混凝土的纤维掺量以及多种纤维的混杂效果还有待进一步的研究,考虑到材料性质、经济成本等因素,应当选择满足使用性能要求、经济耐久的纤维或纤维组合。导控研究以及裂缝修补存在的问题亟待解决,通过温度监测的工程实例精确模拟温度场,可更好的解决温度控制的难题。

参考文献:

[1] 吴红燕,李兴贵,曹学仁,等.大体积混凝土温度裂缝观

- 测及分析[J].水利与建筑工程学报,2011,9(2):40-43.
- [2] 王铁梦.工程裂缝控制“抗与放”的设计原则及其在“跳仓法”施工中的运用[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] Yan P, Zheng F, et al. Relationship between delayed ettringite formation and delayed expansion in massive shrinkage-compensating concrete[J]. Cement & Concrete Composites, 2004, 26: 687-693.
- [4] Yan P, Qin X, et al. The semiquantitative determination and morphology of ettringite in pastes containing expansion agent cured in elevated temperature[J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31: 1285-1290.
- [5] Yan P, Qin X. The effect of expansive agent and possibility of delayed ettringite formation in shrinkage-compensating massive concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31: 335-337.
- [6] 高培伟,卢小琳,唐明述,等.膨胀剂对混凝土变形性能的影响[J].南京航空航天大学学报,2006,38(2):251-255.
- [7] 尚建丽,刑琳琳,梁航,等.钢纤维混凝土抗裂性能的试验研究[J].混凝土,2011,(7):59-61.
- [8] 李光伟,杨元慧.聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J].水利水电科技进展,2001,21(5):14-16.
- [9] 张登祥,杨伟军.外加剂及聚丙烯纤维对混凝土早期裂缝影响的实验研究[J].长沙交通学院学报,2008,24(4):42-45.
- [10] 丁一宁,杨楠.玻璃纤维与聚丙烯纤维混凝土性能的对比试验[J].水利水电科技进展,2007,27(1):24-26.
- [11] Chen P W, Chung D D L. Carbon fiber reinforced concrete as an intrinsically smart concrete for damage assessment during loading[J]. Journal of Ceramics Society, 1995, 78(3): 816-818.
- [12] 王铁梦.建筑物裂缝控制[M].上海:上海科学技术出版社,1981.
- [13] 赵国藩,等.钢筋混凝土结构的裂缝控制[M].北京:海洋出版社,1991.
- [14] 吴胜兴,任旭华.混凝土结构温度裂缝的特点及其配筋控制[J].水利水电科技进展,1996,16(5):10-13.
- [15] 刑长清,张锦光.大体积混凝土施工温度控制综述[J].长春工程学院学报,2008,9(1):32-34.
- [16] 彭立海,阎士勤,等.大体积混凝土温控与防裂[M].郑州:黄河水利出版社,2005.
- [17] 王艳娜.基于无线通信的大体积混凝土温度监测系统[D].青岛:中国海洋大学,2007.
- [18] 梁志林,简宜端.三峡三期工程大坝混凝土内部温度监测浅析[J].葛洲坝集团科技,2005,(4):38-40.
- [19] 鞠丽艳.混凝土裂缝抑制措施的研究进展[J].混凝土,2002,(5):11-14.
- [20] 匡亚川,欧进萍.混凝土裂缝的仿生自修复研究与进展[J].力学进展,2006,36(3):406-414.
- [21] 袁雄洲,孙伟,陈惠苏,等.水泥基材料裂缝生物修复技术的研究与进展[J].硅酸盐学报,2009,37(1):160-170.
- [22] Virginie Wiktor, Henk M Jonkers. Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete[J]. Cement & Concrete Composites, 2011, (33): 763-770.
- [23] 莫立武,邓敏.氧化镁膨胀剂的研究现状[J].膨胀剂与膨胀混凝土,2010,(1):2-9.
- [24] 朱伯芳.论微膨胀混凝土筑坝技术[J].水力发电学报,2000,(3):1-12.
- [25] 丁春林,张国防,张骅.新型棒状聚丙烯纤维混凝土抗剪性能试验与比较[J].同济大学学报,2011,39(6):802-806.