

超长混凝土结构裂缝在结构设计中的控制方法讨论

张兴和

中科(北京)建筑规划设计研究院有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050027

[摘要] 超长混凝土结构因其长度和整体性要求, 在现代土木工程中得到了广泛应用, 如大跨度桥梁、超高层建筑和大型地下设施等。然而, 超长混凝土结构在施工和使用过程中常面临裂缝问题, 裂缝的产生不仅影响美观, 还可能会危及到结构安全。近年来, 随着监测技术、材料科学及施工工艺的发展, 裂缝控制的方法也在不断地改进。然而, 超长混凝土结构的裂缝问题依然复杂多变, 亟需通过系统的研究和工程实践, 提出更加有效的控制策略。文中根据混凝土裂缝成因, 结合作者参与的多个超长混凝土结构项目所采用的设计方法及结构措施, 探讨超长混凝土结构设计及裂缝控制的方法。

[关键词] 超长混凝土; 结构设计; 裂缝控制; 预应力

DOI: 10.33142/ec.v7i10.13740

中图分类号: TU755

文献标识码: A

Discussion on Control Methods for Cracks in Ultra Long Concrete Structures in Structural Design

ZHANG Xinghe

Hebei Branch of Beijing Zhongke Construction Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050027, China

Abstract: Ultra long concrete structures have been widely used in modern civil engineering due to their length and integrity requirements, such as large-span bridges, super high-rise buildings, and large underground facilities. However, ultra long concrete structures often face cracking problems during construction and use, which not only affect aesthetics but may also endanger structural safety. In recent years, with the development of monitoring technology, material science, and construction technology, the methods of crack control have also been continuously improved. However, the cracking problem of ultra long concrete structures is still complex and variable, and it is urgent to propose more effective control strategies through systematic research and engineering practice. Based on the causes of concrete cracks and the design methods and structural measures adopted by the author in multiple ultra long concrete structure projects, this article explores the methods of designing and controlling cracks in ultra long concrete structures.

Keywords: ultra long concrete; structural design; crack control; prestress

引言

随着城市化进程的加快和基础设施建设规模的不断扩大, 超长混凝土结构的应用愈加广泛, 它们具有跨度大、长度长的特点, 在桥梁、隧道、地下车库、机场跑道等大型工程中尤为常见。然而, 超长混凝土结构的裂缝问题始终是工程界关注的焦点。裂缝的产生不仅影响到结构的耐久性和使用寿命, 还可能导致结构功能的失效, 甚至引发安全事故。因此, 如何有效控制超长混凝土结构中的裂缝, 成为了土木工程领域的重要课题。

1 超长混凝土结构裂缝成因

1.1 混凝土收缩引起的裂缝

混凝土的干缩是裂缝产生的主要原因之一。在硬化过程中, 由于水分蒸发, 混凝土体积会缩小。研究表明, 普通混凝土的干缩应变可达到 $300 \sim 800 \mu\epsilon$ (微应变)。当混凝土受到约束时, 这种收缩应变会引起拉应力。当拉应力超过混凝土的抗拉强度 (通常为 $2 \sim 4 \text{MPa}$) 时, 就会产生裂缝。在超长结构中, 混凝土的收缩累积效应更为显著。例如, 对于 100m 长的混凝土结构, 假设混凝土的平均干缩应变为 $500 \mu\epsilon$, 则该结构在无约束情况下可能会产生

高达 50mm 的总收缩量。这种收缩一旦受到外部或内部约束, 就可能导致显著的裂缝。

1.2 混凝土构件受荷裂缝

超长混凝土结构由于其大尺寸, 常常承受较大的自重和外部荷载。研究表明, 混凝土的抗拉强度标准值通常在 $1.5 \sim 3.0 \text{MPa}$ 之间, 而其抗压强度标准值可以达到 $10 \sim 50 \text{MPa}$ 。当结构受到外部荷载作用时, 如风荷载、地震作用或车辆荷载, 拉应力集中在结构薄弱部位, 容易超过混凝土的抗拉强度标准值, 从而产生裂缝。假设某超长混凝土梁长 100m , 截面尺寸为 $0.5 \text{m} \times 1 \text{m}$, 外部荷载引起的拉应力为 2.8MPa (接近混凝土抗拉强度标准值上限)。在荷载反复作用下, 裂缝很可能在最大拉应力点处首先出现, 并随着荷载的增加而扩展。

1.3 温度作用产生的裂缝

温度变化是引发超长混凝土结构裂缝的另一主要因素。温度变化会导致混凝土体积发生热膨胀或收缩, 研究表明, 普通混凝土的线膨胀系数约为 $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。在长 100m 的混凝土结构中, 如果温度变化幅度为 20°C , 则该结构的自由伸缩量可达到 20mm 。如果结构受到外部

约束,产生的温度应力可能会达到或超过混凝土的抗拉强度标准值,从而导致开裂。图1展示了温度裂缝在实际工程中的表现形式。温度裂缝通常沿温度梯度显著的部位形成,例如在靠近外墙的区域,温度裂缝更为常见。

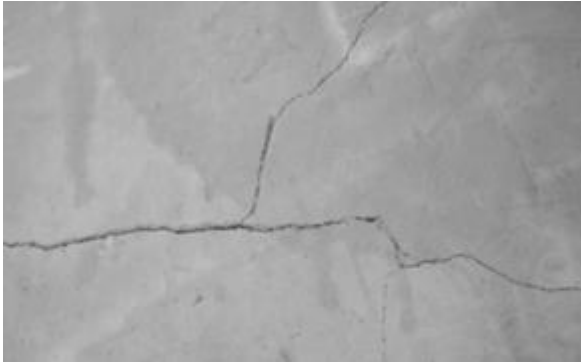


图1 混凝土温度裂缝图

超长混凝土结构中,尤其是在夏冬季节交替期间,温度裂缝更为普遍。例如,在昼夜温差达到 20°C 的条件下,超长混凝土结构极易在温度变化较大的部位出现裂缝,图1中的裂缝就是典型的温度裂缝表现。

2 裂缝控制原则

2.1 降低混凝土内应力

控制和降低内应力是裂缝控制的核心原则之一。常见的措施包括设置合理的变形缝、后浇带以及施加预应力等。

①变形缝设置:变形缝的设置间距通常根据结构的类型和环境条件确定。例如,对于100m长的混凝土结构,变形缝的间距一般为20~30m,这样可以有效减少由于温度变化或收缩引起的内应力,避免因内应力集中而产生裂缝。

②后浇带:后浇带的设置有助于减缓因不同阶段施工引起的应力集中。工程实践表明,在温差较大的地区,后浇带宽度通常要在800~1000mm之间,具体宽度应根据结构的具体受力情况和环境条件确定。

③施加预应力:通过施加预应力,可以在混凝土中引入预压应力,从而抵消一部分由外荷载或收缩产生的拉应力。数据表明,预应力混凝土结构的裂缝宽度需要控制在0.1mm以下,而未施加预应力的普通混凝土结构裂缝宽度可能达到0.2~0.3mm。

2.2 合理控制混凝土材料的收缩和温度变形

控制混凝土的收缩和温度变形对减少裂缝尤为关键。混凝土的水灰比直接影响其干缩性。研究表明,水灰比从0.6降低到0.4,可以减少混凝土的干缩应变约30%~40%。例如,某工程中采用低水灰比混凝土后,其裂缝发生率显著降低,裂缝宽度控制在0.1mm以内。掺加减缩剂后,混凝土的干缩应变可减少20%~30%。在实际工程中,通过优化配合比和掺加减缩剂,混凝土的裂缝数量和宽度明显减少。研究表明,降低浇筑温度 5°C 可以减少裂缝宽度约20%。在夏季施工时,可以通过采取降温措施(如在拌合水中加入冰块等),可以减少温度裂缝的产生。

2.3 提高混凝土的抗裂性能

要使用高性能混凝土并优化配比数据来达到提高混凝土的抗裂性能的目的。高性能混凝土(HPC)具有较高的抗拉强度和韧性,有助于减少裂缝的产生。数据表明,使用HPC可以将裂缝宽度减少30%~50%。例如,在某桥梁工程中,采用HPC后,其裂缝宽度从普通混凝土的0.25mm减小到0.12mm。优化混凝土的配合比,可以提高其抗裂性能^[1]。实验表明,掺加纤维材料(如碳纤维、聚丙烯纤维)可以有效提高混凝土的抗裂性能,裂缝宽度可减少20%~30%。在某高层建筑工程中,采用掺加聚丙烯纤维的混凝土,其裂缝宽度控制在0.15mm以下。

2.4 严格控制施工质量

良好的施工工艺和养护措施可以有效减少裂缝的数量和宽度。混凝土的均匀浇筑和振捣可以减少因不均匀沉降引起的裂缝。数据表明,均匀浇筑后的混凝土裂缝宽度通常控制在0.2mm以内,而不均匀浇筑的结构裂缝宽度可能达到0.3mm以上。混凝土早期养护对裂缝控制尤为关键。研究表明,良好的养护措施(如保持表面湿润)可以减少裂缝的数量约30%~40%。

3 超长混凝土结构裂缝控制与工程实践

3.1 设置伸缩缝、双柱变形缝、诱导沟

伸缩缝的设置是控制超长混凝土结构裂缝的重要手段之一。伸缩缝可以吸收结构由于温度变化、湿度变化和地基不均匀沉降所产生的变形,避免这些变形集中在某一位置,导致裂缝的产生。一般来说,对于普通钢筋混凝土结构,伸缩缝的间距通常为30~40m,而对于预应力混凝土结构,可以适当加大到50m左右。双柱变形缝通常用于较大跨度或较长的结构中,用于吸收温度应力或地震应力。根据工程经验,双柱变形缝的宽度一般为20~30mm,且应布置在结构的应力集中区域。例如,在某大型桥梁工程中,双柱变形缝的设置有效减少了因温度变化导致的裂缝,结构的耐久性得到了显著提升。诱导沟的作用是引导混凝土内部应力向特定位置集中,从而避免不规则裂缝的产生。诱导沟的设置通常在混凝土浇筑过程中进行,位置应在应力集中区域或可能产生裂缝的位置。例如,在某地下停车场工程中,诱导沟的设置有效控制了结构的裂缝宽度,裂缝宽度控制在0.1mm以内,显著低于设计标准的0.2mm。

3.2 设置后浇带、膨胀加强带及加强施工养护措施

后浇带通常设置在结构应力较大的部位,并在主体结构混凝土强度达到设计要求后浇筑。后浇带的宽度通常为800~1000mm,具体宽度取决于结构的受力情况和施工条件。工程数据表明,合理设置后浇带后,混凝土结构的裂缝发生率显著降低。在某大体积混凝土工程中,后浇带的设置使得结构的裂缝宽度控制在0.2mm以内,远低于未设置后浇带情况下的0.35mm。膨胀加强带的设置是通过在混凝土中加入膨胀剂来补偿混凝土硬化过程中产生的收

缩应力,从而减少裂缝的发生。膨胀加强带的宽度一般为1800~2000mm,膨胀剂的掺量则根据混凝土的配合比和施工要求进行调整。实验数据显示,加入膨胀剂后的混凝土其体积稳定性提高了15%~25%,裂缝发生率降低了30%~40%。在某高层建筑工程中,膨胀加强带的设置使得结构裂缝的最大宽度由0.3mm降低到0.15mm,有效提高了结构的整体性能。加强施工养护措施是确保混凝土结构不开裂的重要手段。早期养护对于防止混凝土表面裂缝尤为重要,合理的早期养护可以将混凝土裂缝宽度减少20%~30%。

3.3 改良混凝土材料及配合比、参加混凝土添加剂

降低水灰比、调整砂率和加入纤维等,也可以提高混凝土的抗裂性能。混凝土的水灰比直接影响其强度和干缩性。降低水灰比不仅可以提高混凝土的抗拉强度,还可以减少干缩裂缝的产生。适当增加砂率,砂率从40%调整到45%时,混凝土的抗裂性能可提高15%~20%。加入适量的纤维(如碳纤维、聚丙烯纤维)可以显著提高混凝土的抗裂性能和韧性。

添加混凝土添加剂也是改良混凝土材料性能的有效措施之一。使用减水剂,可以在不增加水灰比的情况下提高混凝土的工作性和抗裂性能。实验数据显示,使用高效减水剂后,混凝土的流动性可提高20%~30%,干缩应变可降低10%~15%,裂缝宽度可减少约20%。膨胀剂的加入可以补偿混凝土硬化过程中的收缩应力,减少裂缝的产生^[2]。实验表明,膨胀剂掺量为水泥质量的8%时,混凝土的体积稳定性可提高18%,裂缝发生率可减少25%~30%。抗裂剂是一种专门用于提高混凝土抗裂性能的外加剂。其通过改变混凝土的内聚力和提高抗拉强度,有效减少裂缝的产生。

3.4 施加预应力

施加预应力是控制超长混凝土结构裂缝的有效手段,在结构中引入预压应力,从而抵消外荷载或收缩产生的拉应力,减少裂缝的产生。预应力的施加方式包括先张法和后张法两种。先张法是通过在混凝土浇筑前对预应力钢筋进行张拉,待混凝土达到一定强度后释放钢筋,从而在混凝土中引入预应力,适用于预制构件。后张法是在混凝土浇筑后通过预应力管道对钢筋进行张拉,从而在混凝土中引入预应力,适用于大跨度结构或需要现场浇筑的结构。

预应力计算公式:预应力的计算大小可通过以下公式计算:

$$P = \frac{A \cdot f_t}{Z}$$

式中: P 为施加的预应力; A 为混凝土截面面积; f_t 为混凝土的抗拉强度; Z 为结构截面的抗弯模量,此公式可以确定施加的预应力大小^[3]。

4 超长混凝土结构裂缝的监测、评估与维护

在超长混凝土结构的设计与施工中,裂缝的出现是不可

避免的。但是为了确保结构的安全性,就要对这些裂缝进行监测、评估与维护。

4.1 裂缝监测与评估

4.1.1 监测技术

随着科技的发展,裂缝监测技术不断进步,检测也更加地精准和高效。以下是常用的几种裂缝监测技术:①位移传感器:位移传感器可以通过测量裂缝的开合位移来监测裂缝的动态变化,具有高精度、响应快的特点,适用于实时监测。例如,某项目中使用的位移传感器精度可达±0.01mm,能够精准反映裂缝的动态变化。②光纤传感器:光纤传感器通过光信号的变化来反映裂缝的宽度和深度变化,因其抗电磁干扰、耐腐蚀、适应恶劣环境的优点,被广泛应用于裂缝监测。例如,在某工程中,光纤传感器检测到裂缝宽度的变化精度为±0.02mm,有效监测了裂缝的发展趋势。③超声波检测:超声波检测技术通过发射和接收超声波来检测裂缝的位置、深度和宽度,适用于检测隐蔽裂缝和评估裂缝的内在特征。在某个超长混凝土结构项目中,超声波检测系统发现了多处微裂缝,其检测深度可达500mm,宽度检测精度为±0.05mm。

4.1.2 评估标准

裂缝的评估需要依据相关标准和规范,结合监测数据,进行综合分析,以判断裂缝对结构安全性的影响。①宽度评估:裂缝宽度通常被认为是衡量裂缝严重程度的重要指标。根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)2015版,对于暴露于空气中的混凝土结构,裂缝宽度一般不应超过0.3mm。某项目中,通过光纤传感器测得的裂缝宽度数据表明,结构的主要裂缝宽度在0.15mm至0.25mm之间,均符合规范要求。②深度评估:裂缝深度直接关系到结构的工作年限和使用安全。通过超声波检测,可以得到裂缝深度的数据。例如,某项目中的检测结果显示,裂缝深度在20mm~100mm之间,大部分裂缝深度较浅,对结构的整体稳定性影响有限。③发展趋势评估:通过长期监测数据,分析裂缝的发展趋势,可以预测裂缝的进一步扩展。某工程项目中的位移传感器数据表明,裂缝的扩展速率为0.01mm/月,裂缝的扩展速度较为缓慢,暂时不需要采取加固措施。

4.2 维护与修复

在对裂缝进行监测和评估后,需要采取适当的维护与修复措施,以保证结构的安全性和耐久性。

4.2.1 定期检查

根据裂缝的严重程度,制定合理的检查周期,及时发现裂缝的新变化。例如在某工程项目中,每季度进行一次裂缝的全面检查,记录好每条裂缝的宽度、深度,根据检查数据,如发现某些裂缝的宽度增长较快,在下一步维护中就重点检查。

4.2.2 裂缝修复

裂缝修复常用的修复方法包括注浆技术和加固措施。

注浆技术通过向裂缝内部注入修复材料,填充裂缝并提高结构的整体性。例如,某项目中采用环氧树脂注浆技术,对裂缝进行修复,注浆完成后,裂缝宽度从原来的 0.3mm 降低至 0.05mm,修复效果显著。对于较严重的裂缝,则可以采用加固措施,如外包碳纤维布或增加钢筋。某工程项目中,针对一条裂缝宽度达 0.5mm 的裂缝,采用碳纤维布包裹修复方法,提高了结构的抗裂能力。修复后,该裂缝未再发生明显扩展。

4.2.3 记录与维护

在裂缝修复过程中,详细记录裂缝的监测数据、修复过程和维护措施,这不仅可以为后续的评估提供依据,还是今后维护工作的重要参考。

在实际工程中,需根据工程的具体情况,选择合适的监测技术和修复方法,并通过科学的数据分析,提高结构的安全性和使用年限。在未来的发展中,结合新技术与材料,进一步优化裂缝控制策略,将成为超长混凝土结构设计施工的关键研究方向。

5 结语

超长混凝土结构的裂缝控制是一项复杂而系统的工程,在实际工程中,综合使用裂缝控制措施,可以显著减

少裂缝的产生和蔓延速度,保障结构的安全性和耐久性。此外,现代监测技术的发展也为裂缝的早期发现和及时修复提供了技术支撑,有助于延长结构的使用寿命。未来的研究应更加注重新材料、新技术的应用,以及施工过程中实时监控与反馈机制的建立,以实现更加精确和有效的裂缝控制。通过不断的技术创新与工程实践,超长混凝土结构的裂缝问题必将得到更加有效的解决,为现代土木工程的发展提供更为坚实的基础。

【参考文献】

- [1] 卢蕾文,侯之瑶,张秋晨. 预应力混凝土路面板自应力湿接缝力学分析[J]. 西部交通科技,2024,12(5):53-56.
 - [2] 李洪煊,王植林,李骄阳,等. 延迟膨胀持续补偿收缩防水混凝土在水池中的应用[J]. 特种结构,2024,41(3):104-110.
 - [3] 张昊. 加强带与后浇带影响超长混凝土底板早龄期性能的比较研究[J]. 建筑施工,2024,46(7):1009-1012.
- 作者简介: 张兴和 (1989.6—), 毕业院校: 中国矿业大学徐海学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 中科(北京)建筑规划设计研究院有限公司河北分公司, 职务: 结构专业负责人, 职称级别: 中级(工程师)。