

大体积混凝土施工裂缝综合控制技术研究与实践

杨煜轩

湖南省第六工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i2.18934

[摘要] 大体积混凝土结构因其体积庞大、水泥用量多、水化热集中释放等特点,在施工过程中极易因内外温差过大而产生温度裂缝,严重影响结构的整体性、耐久性与防水性能。本文以莆田市第二水厂迁建工程中的多个大型水池底板及池壁大体积混凝土施工为背景,系统阐述了从配合比优化、原材料控制、分层分段浇筑工艺、精细化振捣、系统化保温保湿养护到全过程动态温度监测的一整套综合防控技术体系。工程实践表明,通过科学的施工安排、严格的工艺控制与信息化监测手段,可有效将混凝土内部最高温度、内外温差及降温速率控制在规范允许范围内,从根本上抑制温度裂缝的产生,确保了工程实体质量与结构安全。

[关键词] 大体积混凝土; 温度裂缝; 水化热; 温度控制; 配合比优化; 养护监测

中图分类号: TV331 **文献标识码:** A

Research and Practice on Comprehensive Crack Control Technology in Mass Concrete Construction

Yuxuan Yang

Hunan Sixth Engineering Company Limited, Changsha

[Abstract] Mass concrete structures, due to their large volume, high cement content, and concentrated heat release from hydration, are highly susceptible to thermal cracking during construction caused by excessive temperature differentials between the core and the surface. These cracks can significantly compromise structural integrity, durability, and waterproofing. Taking the construction of large-volume concrete for the foundations and walls of multiple sizable water tanks in the Putian Second Water Plant Relocation Project as a case study, this paper provides a detailed exposition of a comprehensive technical system for crack prevention and control. This integrated system encompasses optimized mix design, strict raw material management, layered and segmented placement techniques, precise vibration, systematic curing for temperature and moisture retention, and full-process dynamic temperature monitoring. The project results confirm that through scientific construction planning, stringent process control, and data-driven monitoring, key parameters—including the maximum internal temperature, the core-to-surface temperature difference, and the cooling rate—can be effectively maintained within code-specified limits. This approach successfully prevents the formation of thermal cracks, thereby ensuring the quality and structural safety of the completed work.

[Key words] mass concrete; temperature cracks; hydration heat; temperature control; curing and monitoring

引言

随着我国基础设施建设的快速发展,大型水处理厂、高层建筑基础、大型设备基础等采用大体积混凝土的结构日益增多。所谓大体积混凝土,通常指最小截面尺寸不小于1m,且在施工过程中必须采取专门温控措施以防止因水化热引起有害裂缝的混凝土结构。其核心技术难题在于如何有效控制因水泥水化放热导致的混凝土内部温度剧烈上升、内外温差过大以及后续降温过程中的温度应力,从而防止温度裂缝的产生。莆田市

第二水厂迁建工程设计规模30万m³/d,包含取水泵房、絮凝沉淀池、V型滤池、中间提升泵房、活性炭滤池等多个大型钢筋混凝土水池,其中底板、厚大池壁等构件混凝土体量巨大,如絮凝沉淀池叠建清水池底板方量约5430m³,其中取水泵房池壁厚超过1.3m,方量达数千立方米,属于典型的大体积混凝土工程。本工程地处莆田沿海地区,气候潮湿多雨,对混凝土的抗渗性(普遍要求P8)及裂缝控制提出了极高要求。因此,本工程将大体积混凝土温度裂缝的防治作为施工质量控制的

点与难点,制定并实施了一套涵盖材料、施工、养护、监测全过程的综合性防控方案。

1 工程概况与施工难点分析

1.1 工程概况

莆田市第二水厂迁建工程坐落于福建省莆田市城厢区常太镇,厂区总用地面积约1.58公顷。工程内容涵盖取水、预处理、常规处理、污泥处理等多道工艺环节,涉及的建(构)筑物多达十余座,结构形式以钢筋混凝土水池及框架结构为主,抗震设防烈度为7度(0.10g)。其中,大体积混凝土主要集中于以下几类关键构筑物:首先是作为水处理核心单元的絮凝沉淀池叠建清水池,其底板与池壁需一次性浇筑大量混凝土;其次是取水泵房、V型滤池与活性炭滤池,其池底板块面积大,对防裂与平整度要求极高;再者是污泥组合池,结构复杂且处于地下,受约束作用强;此外,综合楼的大截面转换梁也属于大体积混凝土范畴。这些结构合计混凝土方量约2.7万立方米,强度等级从C20至C35,抗渗等级最高达P8,构成了项目混凝土施工的重中之重。

1.2 施工难点

基于上述工程特征,可将施工面临的核心难点归纳为以下三个层面:

(1)水化热控制与环境耦合的复杂性。本工程混凝土设计强度与抗渗要求较高,导致单方水泥用量相对较大。在莆田地区夏季高温环境下,混凝土出机温度与入模温度控制难度增加,水泥水化反应速率加快,使得内部温升峰值更高、出现更早。而水池结构通常具有较大的暴露表面,受昼夜温差、日照辐射及风速影响显著,表层热量散失快,极易在浇筑后1-3天内形成超过25℃规范限值的内外温差。这种热学上的不平衡,是诱发深层温度裂缝与表面收缩裂缝的物理根源。

(2)超长结构连续浇筑与施工缝设置的矛盾。为保障水池整体的防水性能,设计上力求减少永久性接缝。然而,如絮凝沉淀池等结构长度超百米,若组织一次性连续浇筑,不仅对混凝土供应、输送和浇筑设备的可靠性提出极限挑战,更可能导致因浇筑间歇而产生的“冷缝”质量缺陷。因此,必须依据结构应力分布与后浇带设计,科学划分施工流水段,在保证每一区段连续浇筑的同时,确保段与段之间的接缝质量可控,这需要极为精细的施工组织与现场协调。

(3)长期保湿保温养护的实践难题。大体积混凝土的养护并非简单的浇水覆盖,而是一个动态的、基于实时反馈的“保湿保温”系统管理过程。养护初期需防止水分过快蒸发导致塑性收缩裂缝;升温峰值期需重点控制内外温差;降温期则需延缓降温速率,避免产生过大的收缩应力。本工程多个池体为露天作业,如何在海边多风、多雨、日照强的不利气候下,建立并维持一个稳定有效的养护微环境,是对施工方案细节设计与现场执行力的严峻考验。

2 大体积混凝土施工裂缝综合控制技术的实践分析

2.1 混凝土配合比优化与原材料控制

混凝土配合比优化与原材料控制是控制水化热的基础和关键环节,具体控制措施如下:

(1)低热水泥与用量控制。选用水化热较低的42.5级普通硅酸盐水泥。在保证设计强度和耐久性的前提下,通过掺加优质掺合料,最大限度地减少水泥用量。本工程配合比设计中,每立方米混凝土水泥用量控制在268kg左右。

(2)掺合料技术。掺加II级及以上优质粉煤灰(掺量约60kg/m³)。粉煤灰的“形态效应”、“微集料效应”和“活性效应”不仅能有效改善混凝土和易性、降低水化热温峰、延缓温峰出现时间,还能提高混凝土后期强度和密实度,增强抗渗抗裂性能。

(3)骨料优选。选用5-20mm连续级配碎石,含泥量严格控制在1%以内;采用中粗砂,含泥量小于1%。良好级配可减少水泥浆用量,降低收缩。

(4)外加剂应用。采用高效减水剂,在保证工作性的同时降低水胶比,提高强度与耐久性。此外,在抗渗要求高的部位及后浇带、膨胀加强带中,掺加相当于胶凝材料含量一定比例的膨胀纤维抗裂防水剂(如QH-D型、HEA型),利用其补偿收缩性能,抵消部分温降和干缩产生的拉应力。

(5)出机与入模温度控制。要求搅拌站对骨料采取遮阳、洒水降温等措施,控制混凝土出机温度。现场通过加快运输、减少暴晒,确保入模温度符合要求(本工程要求不宜超过30℃)。

根据以上要求,本工程底板大体积混凝土的具体配合比如表1所示。

表1 本工程底板大体积混凝土配合比

材料	水泥	砂	石	水	掺合料	
					粉煤灰	膨胀抗裂剂
配合比系数	0.64	1.64	2.68	0.37	0.14	0.14
每立方米用量(kg)	268	694	1131	155	60	60

2.2 科学的分层分段浇筑与振捣工艺

合理的浇筑工艺是保证混凝土均匀性、密实性,减少施工冷缝和内部缺陷的关键。

(1)浇筑分段与顺序。根据结构尺寸和形状,以后浇带为界将大面积底板划分为若干流水段。例如,V型滤池划分为10个区,絮凝沉淀池划分为4个区。遵循“先深后浅、先低后高、分段推进、循序渐进”的原则,组织两个泵送点同时作业,确保各段在初凝前完成搭接。

(2)浇筑方法选择。全面分层法:适用于结构平面尺寸不大、厚度较大的部位(如部分泵房底板),在整个基础内全面分层浇筑,逐层上升。

斜面分层法:适用于长度超过厚度3倍的结构(如长条形水池底板)。本项目底板与承台连成一体,底板不分层,但承台需用“斜面分层法”即采用“一个坡度,循序推进,一次到顶”的浇

筑方法。该方法可避免冷缝,简化泌水排出。本工程底板及大体积承台混凝土分层浇筑如图1所示:

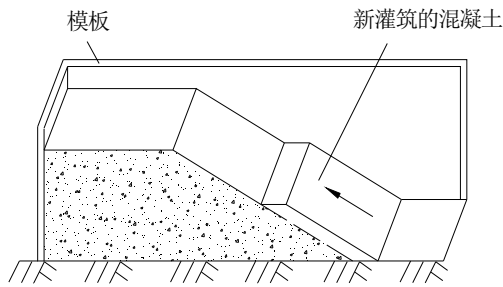


图1 底板及大体积承台混凝土分层浇筑示意图

(3) 精细化振捣。配备充足(含备用)的 $\Phi 50$ 振捣棒。振捣遵循“快插慢拔、垂直插入、布点均匀、上下搭接”的原则,插点呈行列式布置,间距约600mm,插入下层混凝土深度50~100mm。每台泵车浇筑面配备上下两道振动器,上道位于卸料点保证上部密实,下道位于坡脚处保证下部密实。特别强调在混凝土初凝前进行二次振捣,以排除泌水、气泡,增强混凝土密实度与钢筋握裹力,提高抗裂性。

(4) 泌水与表面处理。混凝土浇筑后至初凝期间,由于骨料和水泥浆下沉、水分上升,会在表面析出水分,形成泌水现象。这会导致表层混凝土含水量增加,产生大量浮浆,硬化后表面强度低于内部,并形成易剥落的“粉尘”。在分层浇筑施工时,若不清除泌水和浮浆,将严重影响混凝土层间的粘结能力,降低钢筋与混凝土之间的握裹强度,甚至引发裂缝。

泵送混凝土属于大流动性混凝土,振捣过程中部分水分会泌出并涌至表面,沿坡面流至坑底。为有效排除此类积水,施工时垫层按地面坡度留设坡度,使水自然流入集水坑或沉淀井,再用软轴泵排出。临近浇筑结束时,混凝土应反向浇筑,以避免水泥浆沉积于一侧,影响基础底板质量。此时若仍有积水汇集,同样采用软轴泵排除。对于大体积混凝土,表面浮浆较厚,应在浇筑后4~8小时内先用刮尺刮平,初凝前用铁滚筒滚压两遍,再用木抹子搓平压实。随后采用地面磨光机进行磨光,竖向构件接触部位则进行凿毛处理。表面处理完成后,覆盖薄膜并加盖保温地毯进行养护。

2.3 系统化的保温保湿养护体系

养护是控制内外温差、促进强度发展、防止干缩裂缝的决定性环节。

(1) 养护方式。采用“综合蓄热法”进行保温保湿养护。混凝土浇筑完毕并完成表面抹压后,须立即覆盖一层塑料薄膜,形成密闭保湿层,防止水分蒸发。随后在塑料薄膜上覆盖土工布(规格不低于 $300\text{g}/\text{m}^2$)及毛毯(厚度不小于1.5mm)等材料作为保温层。保温层铺设时,相邻材料的搭接长度不应小于10cm。对于边、棱角等易散热部位,其保温层厚度应增至平面标准厚度的2至3倍。在混凝土强度达到1.2MPa前,不得在其上进行任何作业或行走。

(2) 养护时间。混凝土浇筑完毕后,应于12小时内开始覆盖并浇水养护。标准养护时间不得少于14天,对于有抗渗等特殊要求的混凝土,此养护周期尤为重要,必须严格执行。

(3) 动态调整。养护措施需根据混凝土内部测温数据进行动态调整与优化。应建立信息化管理机制,确保测温数据能及时指导养护作业。核心控制指标为:混凝土内外温差不得超过 25°C ,表面温度与大气温度之差应小于 20°C ,浇筑体降温速率不应大于 $2.0^\circ\text{C}/\text{d}$ 。当监测温差接近警戒值(如 22°C)时,应立即增加保温层厚度;若遇气温骤降、大风或降雨等特殊天气,需及时采取加盖棉被、点灯烘烤等辅助升温措施,确保温控指标符合要求,实现平缓降温。

2.4 全过程动态温度监测与信息化控制

温度监测是贯穿大体积混凝土施工始终的“眼睛”,是实现精准控温的依据。

(1) 测温点布置。根据结构对称性,在代表性浇筑块内布置测温点。每个测温点沿厚度方向布置上、中、下三个传感器,分别监测表面下100mm、中心及底面以上100mm处温度。测点间距8~10m,并布置大气温度测点。测温点安装示意图见图2。

(2) 测温仪器与频率。采用JDC-2型手持式电子测温仪等设备。监测频率根据升温、恒温、降温三个阶段动态调整:升温期(1~4天)每4小时一次;恒温期(5~7天)每8小时一次;降温期(7天后)每12小时一次。当温差异常时加密监测。

(3) 温控指标。严格执行《大体积混凝土施工规范》(GB50496)要求:混凝土浇筑体在入模温度基础上的温升值不宜大于 50°C ;浇筑体里表温差不宜大于 25°C ;浇筑体表面与大气温差不宜大于 20°C ;浇筑体降温速率不宜大于 $2.0^\circ\text{C}/\text{d}$ 。

(4) 信息反馈与决策。设专人负责测温记录,绘制温度-时间曲线。及时计算内外温差、降温速率,并与控制指标对比。一旦发现异常,立即报警,项目技术负责人组织分析原因,并果断调整养护措施(如加盖保温被、调整洒水频率等),形成“监测-分析-决策-调整”的闭环管理。

实测结果表明,典型底板混凝土内部最高温升约为 45°C ,低于规范限值 50°C ;里表温差最大值为 22°C ,小于规范限值 25°C ;降温速率控制在 $1.5^\circ\text{C}/\text{d}$ 以内,亦优于规范要求的 $2.0^\circ\text{C}/\text{d}$ 。施工期间未发现贯通性温度裂缝。

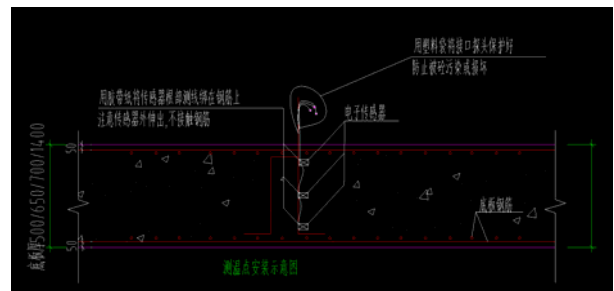


图2 测温点安装示意图

2.5 特殊部位与特殊气候施工措施

(1) 施工缝与后浇带处理。本工程严格按设计及规范留置与

处理施工缝、后浇带。地下室底板施工缝设于距底板面300mm的剪力墙上,大体积混凝土底板与侧墙连接处的施工缝及后浇带均采用钢板止水带作为核心防水措施,并以钢板或快易收口钢丝网作侧模。施工缝在继续浇筑前,须待已浇混凝土强度不低于 $1.2\text{N}/\text{mm}^2$,并经过凿毛、清除浮浆松动层、充分冲洗湿润、铺设同配比水泥砂浆等系列处理,确保新旧混凝土结合密实。后浇带钢筋需涂刷防水砂浆防锈,保留时间不少于42天,浇筑前应彻底清理凿毛、保持湿润并铺设水泥砂浆或界面剂,随后采用高一等级微膨胀混凝土(掺入适量膨胀抗裂防水剂)浇筑,浇筑后酒水覆盖养护不少于14天。

(2)特殊气候应对。针对莆田地区气候特点,制定专项施工预案。雨季施工时,提前备足防雨排水物资,基坑周边设排水沟,尽量避免雨中作业,新浇混凝土及时覆盖。炎热天气下,通过原材料降温、选择夜间浇筑等方式控制入模温度在 30°C 以下,并加强保湿养护。冬季施工则采取加热材料措施保证入模温度不低于 5°C ,并实施保温养护。遇大风天气,作业面采取挡风措施,增加表面抹压次数,及时覆盖。雨雪天避免露天浇筑,突发天气时立即合理留缝并中止作业,对已浇混凝土进行严密覆盖防护。

3 质量与安全保证体系

3.1 组织与管理保障

成立以项目经理为第一责任人的大体积混凝土施工专项领导小组,统一协调技术、物资、设备、劳务资源。实行全员技术交底,使作业人员明确工艺要点和质量标准。建立严格的工序交接、隐蔽验收制度。

3.2 材料与设备保障

对商品混凝土站进行严格考察与管理,签订技术协议,明确原材料、配合比、外加剂、初凝时间(要求8-10小时)、坍落度(10-14cm)等要求。每车混凝土核查发货单并测试坍落度。现场备足泵车、振捣设备、备用电源(1000KW发电机)、养护材料及测温仪器,并确保其状态完好。

3.3 应急预案

针对混凝土供应中断、运输受阻、设备故障、突发停电、恶劣天气等可能影响连续浇筑质量的情况,制定了详尽的应急预

案。包括备用搅拌站联系、备用设备调用、应急电源启用、防雨防洪措施等,确保问题发生时能快速响应,最大限度降低风险。

4 结论

莆田市第二水厂迁建工程大体积混凝土施工的成功实践证明,对于现代大型水工构筑物中的大体积混凝土工程,温度裂缝是可控、可防的。其核心在于建立并严格执行一套系统化的综合防控技术体系:通过优化配合比,采用低热水泥、掺加粉煤灰和高效外加剂,从材料层面降低水化热、提高抗裂性能;科学的分段分层浇筑、严密的振捣(尤其是二次振捣)、及时的泌水与表面处理,是保证混凝土均匀密实、减少内部缺陷的必要工艺;“保温保湿”的综合蓄热养护是控制温差的最直接手段,而全过程的动态温度监测则是实现科学养护、精准调控的“神经中枢”。两者结合,形成闭环控制;健全的质量保证体系、充分的资源准备、周密的应急预案,是技术措施得以有效落实的坚实基础。

本工程所采用的技术路线和管理方法,有效解决了大体积混凝土施工中的温度裂缝难题,保证了工程质量和结构安全,其经验对类似工程具有重要的参考价值 and 推广意义。未来,随着智能温控技术、更高性能抗裂材料的发展,大体积混凝土的裂缝控制将更加精准和高效。

[参考文献]

- [1]GB 50496-2018.大体积混凝土施工标准[S].
- [2]JGJ 55-2011.普通混凝土配合比设计规程[S].
- [3]王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4]刘秉京.混凝土技术[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [5]覃维祖.混凝土结构耐久性设计与施工指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.

作者简介:

杨煜轩(1996--),男,汉族,湖南长沙人,本科,中级工程师,研究方向为土木工程。