

Analysis on technical quality management of large volume concrete nuclear power engineering construction

Xuyang Zhang¹ Lili Wu^{2*}

1. Shanghai Heyun Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai, 200233, China

2. Rongcheng Tengjian Construction Engineering Co., Ltd., Rongcheng, Shandong, 264300, China

Abstract

Nuclear power engineering projects inherently involve complex design requirements, particularly with the widespread application of large-volume concrete structures in nuclear and conventional island construction, which imposes higher demands on quality management of construction techniques. The implementation of quality control measures for large-volume concrete construction significantly impacts the overall construction quality and effectiveness of nuclear power projects. Construction units need to conduct in-depth analysis of these quality management approaches, optimize construction workflows based on structural characteristics and technical specifications, thereby achieving comprehensive improvement in project quality. This paper analyzes and discusses the application of quality management techniques in large-volume concrete construction for nuclear power projects, aiming to provide valuable references for enhancing construction standards and optimizing overall project efficiency.

Keywords

large volume concrete; nuclear power engineering construction; construction technology quality management; application

大体积混凝土核电工程施工技术质量管理分析

张旭阳¹ 吴丽丽^{2*}

1. 上海和运工程咨询有限公司, 中国·上海 200233

2. 荣成滕建建筑工程有限公司, 中国·山东 荣成 264300

摘 要

核电工程项目本身设计复杂,尤其是核岛、常规岛大体积混凝土结构施工的广泛应用,对核电核电建筑工程施工技术质量管理的应用提出了更高要求。大体积混凝土施工技术质量管理的应用在较大程度上影响着整个核电建筑工程的施工质量与施工效果,需要施工单位加强对大体积混凝土施工技术质量管理应用的深入分析,结合大体积混凝土结构施工的特点、要求等进行施工流程的合理优化,实现核电建筑工程整体施工质量的有效提升。基于此,文章对大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理的应用及其相关进行了分析、探讨,希望能够为提高大体积混凝土结构施工水平,实现核电建筑工程整体施工效益提升提供有益参考。

关键词

大体积混凝土; 核电建筑工程; 施工技术质量管理; 应用

1 引言

社会、经济发展水平的不断提升,对核电建筑工程的建设水平提出了更高要求,尤其是城市的现代化建设背景下建筑需求不断增长,核电建筑工程项目施工的复杂性也在不断增加,对施工技术质量管理的应用提出了更高要求。核电建筑、地下工程、水利水电、桥梁隧道等工程的施工过程中,大体积混凝土施工因其具备施工效率高、结构成型效果好、

可塑性强等显著优势,得到了广泛应用。然而,大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理也较为复杂,尤其是在结构固化过程中极易受到结构内外因素的影响而产生结构裂缝,对核电建筑工程整体施工质量产生不良影响,严重时还会造成极大安全隐患。

2 核电建筑工程大体积混凝土施工相关概述

在核电建筑工程中,大体积混凝土结构应用十分普遍,尤其是在大型核电建筑工程施工中更是不可或缺。核电建筑工程中的大体积混凝土结构指的是单体结构的最小体积在 1m^3 以上的混凝土结构。大体积混凝土结构的固化、硬化过程在水化反应放热的影响下会出现内部温度集中且大幅上升的现象,而大体积混凝土的体积大、断面面积大、表面系

【作者简介】张旭阳(1989-),男,中国山东荣成人,本科,工程师,从事核电核岛土建质量管理研究方向的工作。

【通讯作者】吴丽丽(1988-),女,中国山东荣成人,本科,工程师,从事建筑工程管理研究。

数小，在自然条件下无法将水化放热的热量快速释放到外部环境当中，温度在结构中过度积聚出现了较大的内外温差，进而产生较大的材料内部热应力直至超出其抗裂性能，此时则会产生温度裂缝 [1]。虽然在大型核电建筑工程施工过程中大体积混凝土结构施工表现出了明显的便利性和经济性效益，但是也正因为其施工规模较大，性能要求较高，所以难以采用传统的混凝土施工技术质量管理进行施工，特别是在温度控制与裂缝问题防治方面，需要从施工技术质量管理应用的整体进行优化调整，实施精细化的温度管理和裂缝防控措施，如选择低热水泥、优化材料配比、冷却控制、做好保温保湿等措施，以确保大体积混凝土核电建筑工程施工的较好质量。

3 大体积混凝土核电建筑工程施工特点分析

大体积混凝土结构施工的体量极大，且结构较为厚实，必须在实际施工过程中采取特殊技术质量管理措施以及做好后续的特殊养护，才能实现理想的结构功能。较之普通的混凝土结构施工，大体积混凝土施工最为明显的特点就是会产生大量的水化热量。在浇筑施工之后，随着混凝土固化进程的推进，水泥与水之间产生的水化放热现象也越来越明显，混凝土的水化热温度甚至会超过 25°C ，进而使得混凝土结构产生较大的内外温度差，引发混凝土结构的温度变形。若是未能采取有效的温度控制措施，大体积混凝土结构极易出现结构损伤、裂缝等问题，进而削弱核电建筑工程整体施工质量 [2]。除此之外，较大的平面尺寸使得大体积混凝土结构在受热时受到的结构约束作用不断增加，内部的温度应力也在不断增强。若是大体积混凝土的内部应力处理不当极易出现裂缝问题，特别是在混凝土温度快速变化的情况下，裂缝问题尤为明显。因此，大体积混凝土核电建筑工程施工需要重视做好对温度应力的有效控制，确保大体积混凝土较好的结构性能。

4 大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理的应用

4.1 对原材料进行科学选择

大体积混凝土结构施工，原材料的选择至关重要，甚至会直接影响整体的施工成效。大体积混凝土施工中粗骨料的选择需要结合核电建筑工程的实际情况与具体要求，选择类型、规格合适的粗骨料，并需要确保骨料配级的较好连续性，确保混凝土结构施工较好的紧密度与力学性能。大体积混凝土核电建筑工程施工需要结合实际施工条件对粗骨料的粒径进行灵活选择，以满足不同结构的施工要求。在细骨料的选择方面，需要尽可能地选择细度模数较高的中砂，降低空隙率，提高结构的耐久性，有助于提高大体积混凝土结构整体性能。在外加剂的选择方面，则需结合大体积混凝土施工特点选择合适的缓凝剂与减水剂。借助缓凝剂的作用来增加水泥凝结时长，达到控制水化放热的速度与体量，降低

温度应力导致的裂缝问题发生概率。减水剂的使用则主要是通过降低水泥浆用水量，优化混凝土流动效果与密实性，同时也有助于水化放热的抑制。对于矿渣粉、粉煤灰等掺合料的选择，则需要结合其与骨料的兼容效果考虑，选择合适的掺合料，以此来达到降低水泥使用量，优化结构耐久性等良好效果 [3]。

4.2 对材料配比进行合理设计

大体积混凝土施工中材料配比设计的合理性会对结构的强度、耐久性等施工效果产生直接影响，需要对材料配备进行优化设计以实现较好的结构整体性能，满足工程的实际需求。大体积混凝土的材料配比设计需要确保混凝土的坍落度小于 180mm ，避免后续浇筑施工因混凝土工作性不足而出现浇筑不均匀的问题。在混凝土绝热温升值控制方面，也需要从材料的合理选择与比例设计上进行调控，如水胶比需要低于 0.45 才能有效降低孔隙率，实现结构较好的抗渗性与耐久性。无论是出于降低成本考虑，还是降低水化放热防裂，掺合料的使用都是十分必要，但是粉煤灰、矿渣粉等的使用需要控制在水泥总量的 50% 以内，以避免对结构强度造成不良影响。在一些大体积混凝土施工中，适当添加片石有助于提高结构的总体强度，获得较好的抗冻效果。但是片石的厚度需要控制在 15cm 以上，使用总量小于结构总体体积的 20% ，且需要确保片石材料无裂缝、无夹层，特别是在低温施工环境中与受拉结构条件下，需要注意对热胀冷缩产生应力的把控，以免出现应力裂缝。

4.3 做好浇筑施工控制

大体积混凝土浇筑施工需要重视对混凝土入模温度的合理控制，避免混凝土在固化过程中产生较大的热应力，以及削弱结构的稳定性。水化放热升温的控制需要将混凝土入模温度控制在 $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 以内，浇筑模板的表面温度也需要控制在 25°C 以下，结合实际情况合理选择分层浇筑、推移连续浇筑的施工方法。其中，分层浇筑包括了全面分层浇筑、分段分层浇筑、斜面分层浇筑这三种施工方式，需要结合具体施工设计选择合适的施工方式，并做好浇筑细节的精准控制，才能实现对浇筑温度的有效控制，提高混凝土结构浇筑的完整性 [4]。比如，横断面积小于 200m^2 、 300m^2 ，浇筑分段分别应控制在 2 段、3 段以内。在实际施工中应尽可能地将竖向施工缝设置在截面较小的模板上，并采用相邻施工缝错开设置的方式避免出现裂缝集中、传递等现象。浇筑过程中混凝土的泵送厚度需要确保小于 500mm ，不需要泵送的结构施工也需要将浇筑厚度控制在 300 以内，确保混凝土得到均匀固化，降低温度分布不均的内部应力影响。

4.4 加强振捣施工控制

大体积混凝土结构施工的致密性、整体性会受到振捣施工的直接影响。大体积混凝土的振捣施工需要遵循“快插慢拔”的施工原则，才能确保充分振实。出于施工均匀效果考虑，可采用直径为 500mm 的内嵌式振动锤沿着浇筑施工

方向进行均匀布设,确保整个施工区域得到充分振捣。对于新旧结合位置的振捣,需要深入到交接处旧混凝土的50cm处向新混凝土方向振捣,确保新旧浇筑较好的结合效果,实现混凝土体的均匀、无缝连接。每一处的振捣时间需严格控制在20~40秒以内,在混凝土无明显沉降且表面溢出灰浆之后停止振捣,避免过度振捣。每完成一层混凝土的浇筑振捣,需要对表面进行二次抹压、平整、收光等处理,然后采用塑料薄膜进行覆盖、保湿,避免初凝阶段水分蒸发过快而出现裂缝问题。待混凝土结构全部开始初凝之后才能进行新一层的浇筑,以确保层间浇筑结合牢固,避免钢筋错位、预埋件出现位移等现象,取得较好的整体施工效果。

4.5 优化温度控制与裂缝防治

大体积混凝土核电建筑工程施工过程中,温度控制避免热应力引发裂缝问题的关键。合理选择水化低热类型的水泥,以及合理使用掺合料都是降低混凝土水化放热的重要措施。在做好骨料、用水量等的配比优化之后,还需严格按照施工温控要求对混凝土的入模温度进行严格控制,并在浇筑过程中采用冰水混合物、冷却剂等做好相应的冷却处理,实现对混凝土温度的有效调节。若是施工结构规模较大可采用在混凝土内部安装冷却管,利用循环冷却水进行冷却的方式降低混凝土内部温度。或者采用合理设置伸缩缝、后浇带等方式减少结构约束,降低温度应力[5]。优化配筋设计也是大体积混凝土温度裂缝防控的重要措施,通过适当增加构造配筋的方式来提高混凝土的抗裂性能。一般采用细而密的钢筋分布,如直径较小、间距较密的钢筋网片,能约束混凝土的变形,减少裂缝问题的产生。此外,还可通过布置温度传感器的方式,对浇筑过程中混凝土内部温度变化情况的实时监测,结合监测结果采取调整保温层、内部降温等温控措施,降低内外温差,避免裂缝问题。对于大体积混凝土裂缝问题的处理,需要结合裂缝的类型、宽度、深度等进行合理选择。对于宽度小于0.3mm的裂缝,可采用表面涂抹法或者表面贴条法进行处理,利用裂缝修复剂、活缝剂进行处理;对于宽度大于0.3mm的裂缝,可采用开槽填充、压力注浆等方式进行修复。

4.6 落实有效的养护措施

在大体积混凝土施工过程中,养护措施的科学落实直接影响混凝土结构的耐久性及工程质量。首先,大体积混凝土的施工养护关键在于水分与温度的合理把控,避免出现水分蒸发过快、温度变化等引起的裂缝问题。保湿养护需要从浇筑完成、硬化初期开始,采用薄膜覆盖、湿布覆盖表面的

方式进行为期1个月的保湿养护,期间需要避免结构直接裸露。其次,保湿养护的关键在于降温与保温。其中,降温养护主要是通过设置冷却管道系统的方式来降低内部温度,减缓混凝土内部的热量释放速度。整个过程需要做好对冷却水温度、流量的精准控制,逐渐降低混凝土结构的内外温差。保温养护的核心在于减缓混凝土表面温度的流失,如采用覆盖保温材料、使用加热垫等,配合对温度传感器等监测设备的使用,延长散热时间,实现表面温度的均匀、缓慢下降,实现最佳的养护效果,获得较好的施工强度。再者,结合环境条件动态调整养护策略。夏季高温和干风环境下,可适当增加覆盖厚度与喷水频次;冬季低温环境下,则需采用加温或保温措施,确保混凝土在低温下不发生早期冻结裂缝。对于关键结构节点,如梁柱交接部位和大体积板块转角区域,应加强局部养护,采取局部覆盖、定期洒水或局部加温等措施,以控制应力集中。最后,建立详细的养护日志,记录温度、湿度、养护方式及持续时间,便于施工管理人员对养护效果进行评估和调整。同时,应配合早期强度检测,验证养护措施的实施效果,确保混凝土整体结构在养护期间得到充分湿润与温度控制,从而减少裂缝风险,提高工程整体施工质量。

5 结语

综述可知,大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理的应用具备较强的复杂性,需要施工单位在准确把握大体积混凝土施工特点的基础上,对各个施工环节进行有效把控,尽可能地排除不良因素影响,采用科学、合理、准确的施工技术质量管理措施,确保大体积混凝土核电建筑工程施工的较好整体效果,为核电建筑工程施工提供有效保障。

参考文献

- [1] 胡严藤.基于土木核电建筑工程中的大体积混凝土结构施工技术质量管理分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术质量管理, 2023.
- [2] 关昊,李兆博.大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理分析[C]//建筑科技发展论坛.中国智慧工程研究会, 2024.
- [3] 阮成意.探究大体积混凝土核电建筑工程施工技术质量管理[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术质量管理, 2023.
- [4] 贺浩科.大体积混凝土浇筑施工技术质量管理在核电建筑工程中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术质量管理, 2024(003):000.
- [5] 黄耀英,付雨晨,庄维,等.大体积混凝土上下层温差监控方法探讨[J].长江科学院院报, 2025, 42(8):153-161.