

重力坝施工过程中质量控制与技术难点研究

卜崇财

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

DOI:10.61369/ERA.2025070020

摘要：重力坝施工过程中，质量控制是确保工程安全、稳定及长期耐用的关键。施工阶段涉及的主要技术难点包括混凝土浇筑质量控制、模板支撑系统的稳定性、裂缝控制及坝体沉降监测等。合理的施工方案和技术措施对于提高重力坝的施工精度与结构稳定性至关重要。通过对各项关键环节的严格管理，能够有效预防施工过程中的质量问题，保障重力坝的设计功能和使用寿命。

关键词：重力坝施工；质量控制；技术难点；裂缝控制；沉降监测

Research on Quality Control and Technical Difficulties in the Construction Process of Gravity Dams

Bu Chongcai

China Water Resources and Hydropower Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Xining, Qinghai 810000

Abstract： During the construction of gravity dams, quality control is crucial to ensure the safety, stability, and long-term durability of the project. The main technical difficulties involved in the construction stage include quality control of concrete pouring, stability of the formwork support system, crack control, and dam settlement monitoring. Reasonable construction schemes and technical measures are essential to improve the construction accuracy and structural stability of gravity dams. Through strict management of various key links, quality problems during the construction process can be effectively prevented, and the design function and service life of the gravity dam can be guaranteed.

Keywords： gravity dam construction; quality control; technical difficulties; crack control; settlement monitoring

引言

重力坝作为水利工程中的重要结构，其施工质量直接影响坝体的安全性和功能实现。然而，在施工过程中，由于复杂的环境因素和技术难题，质量控制面临着严峻挑战。如何在施工阶段有效解决混凝土质量、模板支撑、裂缝控制和沉降监测等问题，成为工程实践中的关键。精确的施工技术和科学的质量管理措施，不仅能提高坝体的稳定性，还能延长其使用寿命，对水利工程的长期效益具有重要意义。

一、重力坝施工质量控制的关键因素

重力坝作为水利工程中的重要结构，其施工质量直接关系到工程的安全性与稳定性。施工过程中，质量控制的关键因素不仅涉及技术操作，还与管理、材料选择、环境条件等多方面因素密切相关。在重力坝的施工中，混凝土质量的控制尤为重要，因为混凝土是坝体的主要结构材料，决定着坝体的承载力和耐久性^[1]。为了确保混凝土的强度和密实性，施工时必须严格控制水灰比、配合比和浇筑工艺，同时还需要在浇筑过程中对混凝土的振捣进行细致管理，确保混凝土充分密实，避免出现空洞、裂缝等质量隐患。

除了混凝土浇筑质量，模板支撑系统的稳定性也是重力坝施工中的关键因素。模板支撑系统不仅承载着浇筑混凝土的重量，

还需要在施工过程中维持精确的几何尺寸。如果模板系统不稳定，可能导致结构变形，影响坝体的整体性和稳定性。在实际施工过程中，应根据坝体的规模和施工要求，选择合适的模板支撑材料，并根据施工进度调整支撑系统的结构设计，以保证施工质量和施工安全。模板的精度直接关系到坝体的形状和结构稳定性，因此对模板的校准与调整要做到细致入微。

裂缝控制与沉降监测也是影响重力坝施工质量的重要因素。在混凝土浇筑后，坝体可能会由于温度变化、混凝土收缩、沉降等原因产生裂缝。如果裂缝控制不当，可能会导致坝体失稳，影响其使用寿命。因此，施工过程中必须采取有效的裂缝防控措施，如控制混凝土的浇筑温度、采用适当的养护措施、以及加强对混凝土表面裂缝的监测与修补。同时，沉降监测也对重力坝施工质量至关重要。通过对坝体各部分的沉降情况进行实时监测，

能够及时发现问题并采取相应的加固措施，确保坝体的稳定性和安全性^[2]。因此，重力坝施工质量控制涉及多个环节的协同管理，每一个环节都需要精确控制，才能确保工程的顺利完成。

二、混凝土浇筑技术及其质量管理

混凝土浇筑技术是重力坝施工中至关重要的一环，其质量直接影响坝体的稳定性和使用寿命。为了确保混凝土浇筑质量，首先需要合理设计混凝土配合比，选择合适的材料，如水泥、骨料和外加剂等，确保其符合工程设计要求。其次，施工过程中应严格控制混凝土的水灰比，避免过高的水灰比导致混凝土强度不足或出现收缩裂缝。在实际施工中，混凝土的搅拌、运输和浇筑应在规定的时间内完成，防止混凝土因初凝而失去流动性，影响施工质量。因此，采用适当的运输工具和设备，确保混凝土的连续性和及时性，是提高浇筑质量的重要保障。

在混凝土浇筑过程中，振捣技术的运用至关重要。为了确保混凝土的密实性和均匀性，必须采用高效的振捣方法，防止混凝土出现空洞、气泡和分层现象。振捣过程中应根据混凝土的流动性和施工环境的不同，选择适当的振动频率和振动时间。特别是在大规模的重力坝施工中，由于坝体的结构复杂，浇筑量大，振捣工作需要特别精细和全面。对于大型坝体，通常需要分层浇筑，并在每层混凝土浇筑完毕后进行充分的振捣，以保证混凝土的密实性和整体性^[3]。在浇筑过程中，还要特别关注模板的稳定性和密封性，避免混凝土泄漏或溢出，确保施工精度和质量。

混凝土浇筑后的养护工作同样重要，直接关系到混凝土的强度发展和耐久性。混凝土浇筑完毕后，应采取适当的养护措施，控制温度和湿度，避免因温差过大或水分蒸发过快而引发裂缝。在炎热的夏季或寒冷的冬季，应特别注意混凝土表面的保护，避免由于外部环境因素导致温度应力的产生。在施工过程中，定期检查混凝土的温度和湿度变化，并采取相应的养护措施，如洒水、覆盖保温材料或采用养护剂等，以确保混凝土在硬化过程中得到良好的保护。此外，对于混凝土的强度和性能，也要进行定期检测，确保其达到设计要求，避免因质量问题影响坝体的安全性^[4]。通过科学的养护管理，能够有效提升混凝土的质量，确保重力坝的长期稳定运行。

三、模板支撑系统的稳定性与施工控制

模板支撑系统的稳定性在重力坝施工过程中起着至关重要的作用，它直接影响到坝体的形状、结构稳定性以及施工安全性。模板不仅是混凝土浇筑的支撑平台，而且决定了坝体的尺寸和结构精度，因此模板支撑系统的设计必须严谨。首先，选择合适的模板材料至关重要，常用的模板材料包括木材、钢板、铝合金等，依据施工现场的具体需求、坝体的形状及尺寸、施工周期等因素进行选择。同时，支撑系统的设计应考虑到模板所承载的混凝土重量、施工荷载以及外部环境因素，如风力、温度变化等，以确保模板的安全性和稳定性^[5]。

模板支撑系统的稳定性不仅与材料的选择有关，还与施工过程中的精确操作密切相关。在实际施工中，模板支撑系统的安装和调整必须严格按照设计要求进行，任何偏差都可能导致坝体形态不准确或结构受力不均。安装模板时，需要确保模板与支撑结构之间的连接牢固，支撑系统的高度、位置以及角度等参数必须精确计算并准确施工。此外，在施工过程中，模板系统还需要定期检查与维护，防止由于支撑系统不稳定或连接松动导致模板位移或变形，从而影响混凝土浇筑的质量。因此，施工人员需要具备一定的经验和技能，能够及时发现并解决模板支撑系统中出现的任何问题。

模板支撑系统的施工控制必须注重细节管理，特别是在大规模重力坝施工中，施工周期长、工序复杂，模板支撑系统需要经历多个阶段的安装、调整和拆除。在模板安装前，应该进行详细的技术交底，明确每个环节的工作任务，确保施工人员理解施工规范和操作要求。同时，应制定严格的质量检测标准，对模板支撑系统进行全面检查，确认其安装是否符合设计要求。施工过程中，还需要密切关注外部环境的变化，如天气条件和施工进度等，及时调整施工计划，确保模板支撑系统能够始终保持稳定状态，避免任何影响施工安全和质量的风险。在模板的拆除阶段，必须按照正确的程序逐步拆除，避免因过早拆除导致结构变形或损坏。通过科学的施工控制和精细的管理，可以有效保障模板支撑系统的稳定性，为重力坝的顺利施工提供有力保障^[6]。

四、裂缝控制技术在重力坝施工中的应用

裂缝控制技术在重力坝施工中具有重要作用，因为裂缝的产生不仅影响坝体的美观，还可能降低其结构强度和使用寿命。混凝土作为重力坝的主要构建材料，在施工过程中容易因温度变化、收缩、沉降等因素产生裂缝。如果裂缝未得到有效控制和修复，可能会导致坝体的稳定性受到影响，甚至危及整个工程的安全。因此，在重力坝施工中，采取有效的裂缝控制技术至关重要。

控制裂缝的产生首先应从混凝土配比和施工工艺入手。在混凝土的配合比设计过程中，合理的水泥、骨料和外加剂的选择及比例控制，可以有效降低混凝土的收缩率，减少裂缝的产生。特别是在浇筑过程中，水泥的品种和质量选择要保证其在硬化过程中具有良好的抗裂性，同时，外加剂的使用能够改善混凝土的工作性和抗裂性能。施工时，合理控制混凝土的浇筑温度是预防裂缝的重要手段之一。过高或过低的浇筑温度都会引发温度应力，导致裂缝的产生。因此，控制浇筑环境的温度，避免温差过大，是确保混凝土质量和防止裂缝的关键措施^[7]。

裂缝的预防和修复离不开科学的施工监测和管理。在施工过程中，需要对混凝土的硬化过程进行实时监控，特别是浇筑后初期和养护阶段，监测混凝土的温度、湿度变化，及时采取有效措施。对于高温季节施工，应采取降温措施，如喷水降温或使用冷却管道，避免混凝土内部温差过大产生裂缝。在冬季施工时，应通过保温措施保持混凝土的温度，避免因冻融循环造成的裂缝。

此外，混凝土浇筑完成后的养护工作至关重要，合理的养护可以有效避免水分蒸发过快引起的裂缝。常用的养护措施包括覆盖养护、洒水养护和使用养护剂等，这些措施可以保持混凝土表面的湿润，防止因快速干燥引发的表面裂缝^[8]。

裂缝的修复同样是保证重力坝施工质量的重要环节。一旦发现裂缝，应根据裂缝的类型、大小和位置，选择合适的修复方法。对于表面细小裂缝，可以采用灌浆技术进行修补；而对于较大裂缝，可能需要进行结构加固和重新浇筑。修复过程中，应特别注意选择与原混凝土相兼容的材料，确保修复后的坝体强度和稳定性不受影响。通过有效的裂缝控制技术，能够提高混凝土的整体性能，确保重力坝施工的顺利进行和坝体的长期安全运行。

五、沉降监测与坝体稳定性评估方法

沉降监测在重力坝施工过程中起着至关重要的作用，它直接影响到坝体的稳定性和安全性。随着施工的进行，坝体的沉降会受到多种因素的影响，如混凝土的自重、施工荷载、温度变化以及土壤的物理性质等。沉降不仅可能导致坝体形态变化，还可能影响坝体的整体稳定性。因此，对重力坝进行沉降监测，是确保施工质量和坝体安全运行的重要手段。通过及时获取沉降数据，施工团队可以评估坝体的变形情况，确保在出现异常沉降时能采取有效的补救措施。

沉降监测技术包括对坝体的各个部位进行实时监测，特别是坝基和坝体接触面。常用的监测方法包括沉降标尺、激光测距仪、GPS定位系统等，这些设备能够精确地记录坝体各部分的垂直位移和变形情况。特别是在重力坝的大规模施工过程中，由于混凝土浇筑和坝体沉降的复杂性，监测设备必须具备较高的精度

和可靠性^[9]。此外，监测系统还应与其他施工设备协同工作，实现数据的实时传输和分析。这些沉降数据对于后期的坝体稳定性评估至关重要，有助于工程师及时发现潜在问题，采取相应的修正措施，避免坝体发生意外变形或失稳。

在沉降监测的基础上，坝体稳定性评估方法同样是确保重力坝安全性的重要内容。稳定性评估通常基于监测数据与理论分析相结合的方式。通过收集沉降数据，结合坝体的设计参数和环境条件，可以使用有限元分析等数值模拟方法对坝体的变形和应力分布进行计算。评估模型能够提供坝体在不同荷载和环境条件下的反应，预测可能出现的变形趋势以及是否存在风险。通过与设计标准进行对比，评估是否达到安全标准。在实际施工过程中，若发现坝体的沉降超过设计允许的范围，或者出现不规则的沉降趋势，工程师可以采取加固、调整施工方案等措施，确保坝体的稳定性得到有效保障^[10]。因此，沉降监测与坝体稳定性评估的结合，为重力坝的安全施工提供了科学依据，能够及时发现潜在问题并进行有效干预，确保工程的顺利进行。

六、结语

重力坝施工过程中的质量控制涉及多个关键环节，确保每一项技术措施的精确实施对于坝体的稳定性至关重要。混凝土浇筑、模板支撑系统、裂缝控制以及沉降监测等技术的有效应用，能够有效避免质量问题，保障坝体的长期安全运行。通过精细化管理与技术手段，重力坝的施工质量得以保障，为水利工程的稳定性和安全性提供了坚实基础。未来，随着技术的不断进步，重力坝施工的质量控制将更加精细和高效。

参考文献

- [1] 谢天智. 沥青青墙与常态混凝土组合重力坝施工的控制难点及处理办法 [J]. 陕西水利, 2015(06): 162-164. DOI: 10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2015.06.076.
- [2] 丁建丰. 细石混凝土砌石重力坝的施工管理与控制探讨 [J]. 低碳世界, 2017(18): 110-111. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2017.18.072.
- [3] 吴庆筑. 碾压混凝土重力坝施工技术和施工质量的管控 [J]. 水利科学与寒区工程, 2018, 1(10): 73-75.
- [4] 马璐, 程显皓. 碾压混凝土重力坝施工技术和施工质量的管控 [J]. 珠江水运, 2020(03): 53-54. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2020.03.025.
- [5] 易绍林, 黄国芳, 孙邵岗. 堆石自密实混凝土重力坝施工技术要点分析 [J]. 水利建设与管理, 2020, 40(08): 31-34+43. DOI: 10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2020.08.06.
- [6] 周易. 碾压混凝土重力坝施工技术要点分析 [J]. 湖南水利水电, 2021(02): 47-48. DOI: 10.16052/j.cnki.hnslsd.2021.02.010.
- [7] 陈才明. 自密实堆石混凝土坝施工质量控制过程分析 [J]. 陕西水利, 2021(06): 162-164. DOI: 10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2021.06.058.
- [8] 王俊杰, 占雄鹏. 堆石混凝土重力坝施工方法及质量控制研究 [J]. 珠江水运, 2022(07): 41-43. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.07.005.
- [9] 卞俊栋. 重力坝碾压混凝土施工技术要点 [J]. 大众标准化, 2023(08): 33-35.
- [10] 赵京燕. 自密实堆石混凝土重力坝施工关键技术研究与实践 [A]. 中国大坝工程学会. 水库大坝智慧化建设与高质量发展 [C]. 中国大坝工程学会: 中国大坝工程学会, 2023: 8. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.001587.