

水利工程混凝土施工质量通病成因及防控措施研究

李奕霖

第五师水利工程质量安全中心，新疆 双河 833408

摘 要： 水利工程作为国家基础设施建设的关键组成部分，在防洪、灌溉、供水、发电以及航运等多个领域发挥着不可替代的重要作用，与国家经济发展、社会稳定以及生态环境保护紧密相连。我国作为水资源分布不均且水旱灾害频发的国家，水利工程建设更是具有举足轻重的战略意义。诸如三峡大坝、南水北调等大型水利工程的成功建设，不仅极大地推动了经济的发展，显著提高了人民的生活水平，还在水资源的合理调配与高效利用、生态环境的有效保护等方面发挥了关键作用。深入研究水利工程混凝土施工质量通病的成因，并探寻切实有效的防控措施，具有极其重要的现实意义。

关 键 词： 水利工程；混凝土施工；质量通病；成因分析；防控措施

Research on the Causes and Preventive Measures of Common Quality Problems in Concrete Construction of Water Conservancy Projects

Li Yilin

Water Conservancy Project Quality and Safety Center of the Fifth Division, Shuanghe, Xinjiang 833408

Abstract： As a key component of national infrastructure, water conservancy projects play an irreplaceable role in various fields such as flood control, irrigation, water supply, power generation, and shipping, closely linked to national economic development, social stability, and ecological environmental protection. In China, where water resources are unevenly distributed and floods and droughts occur frequently, the construction of water conservancy projects has strategic significance. The successful construction of large-scale water conservancy projects such as the Three Gorges Dam and the South-to-North Water Diversion Project has not only greatly promoted economic development and significantly improved people's living standards but also played a key role in the rational allocation and efficient use of water resources, as well as the effective protection of the ecological environment. It is extremely important to conduct in-depth research on the causes of common quality problems in concrete construction of water conservancy projects and explore practical and effective preventive measures.

Keywords： water conservancy projects; concrete construction; common quality problems; cause analysis; preventive measures

一、水利工程混凝土施工质量通病概述

（一）蜂窝麻面

蜂窝麻面是水利工程混凝土施工中较为常见的质量通病之一。蜂窝通常表现为混凝土结构局部出现疏松，砂浆少、石子多，石子之间形成类似蜂窝状的空隙，这些空隙深度一般未达到钢筋位置，但会严重影响混凝土的外观和内部结构的密实性。在大坝、水闸等水利工程的混凝土浇筑中，若振捣不密实，就容易出现蜂窝现象，使得混凝土表面呈现出凹凸不平、石子外露的状态。麻面则是指混凝土表面局部出现缺浆和许多小凹坑、麻点，形成粗糙面。这种缺陷主要是由于模板表面粗糙或粘附杂物未清理干净，拆模时混凝土表面被粘坏；木模板未充分浇水湿润，构件表面混凝土水分被吸去；模板拼缝不严，局部漏浆；模板隔离剂涂刷不均或失效，混凝土表面与模板粘结等原因造成的。^[1]

（二）孔洞露筋

孔洞和露筋对水利工程的危害极大。孔洞的存在减小了混凝土结构物的有效截面尺寸，直接降低了其承载能力，使其难以承

受设计荷载。对于储水类水利构件，如水池、水箱等，孔洞会严重破坏其抗渗性能，导致漏水，影响工程的正常使用。露筋则会使钢筋直接暴露在外界环境中，加速钢筋的锈蚀。^[2]钢筋锈蚀后体积膨胀，会进一步挤压周围的混凝土，造成混凝土开裂、剥落，形成恶性循环，严重削弱结构的耐久性和安全性，缩短水利工程的使用寿命。若不及时处理，可能引发结构坍塌等严重事故，给人民生命财产安全带来巨大威胁。

（三）裂缝

不同类型的裂缝对水利工程的危害程度各不相同。表层裂缝虽然对结构的承载能力影响相对较小，但会削弱混凝土的耐久性，为外界侵蚀性介质提供入侵通道，加速混凝土的碳化和钢筋的锈蚀。贯通裂缝则严重破坏了混凝土结构的整体性和抗渗性，极大地降低了结构的承载能力和稳定性，对水利工程的安全运行构成严重威胁。横向、纵向和斜向裂缝也会不同程度地降低混凝土结构的强度和稳定性，影响工程的正常使用，若不及时处理，裂缝可能会进一步发展，导致结构损坏甚至坍塌。

（四）错台

错台是指在混凝土墩墙分层浇筑处，上下层在垂直面上错开一定的位置，形成台阶状；或者不同分块的墩墙垂直分缝处明显不在同一平面，导致相邻面错开的现象。在一些水利工程的挡土墙施工中，由于模板安装和固定的问题，就容易出现这种错台现象。其产生原因较为复杂，后浇筑结构模板与先浇筑结构已拆模的混凝土接触不严密，支撑、固定不牢靠是常见原因之一。在实际施工中，若模板安装时未能与已浇筑混凝土紧密贴合，在混凝土浇筑过程中，受到混凝土侧压力和振捣的影响，模板容易发生位移，从而导致错台。^[3,4] 模板拼缝经反复拆装，企口变形严重或支模时模板垂直度控制不好，相邻两块模板错缝，也会引发错台。长期使用的模板，其企口部位容易磨损变形，在重新拼装时难以保证精度，致使相邻模板之间出现错缝，进而形成错台。

二、质量通病成因分析

（一）原材料因素

1. 水泥质量问题

水泥作为混凝土中关键的胶凝材料，其质量优劣直接关乎混凝土的性能与质量。水泥的安定性是一项极为重要的质量指标，它反映了水泥在硬化过程中体积变化的均匀性。若水泥安定性不良，在混凝土硬化后，会因水泥中某些成分的化学反应而产生不均匀的体积膨胀，进而导致混凝土开裂、变形，严重影响混凝土结构的稳定性与耐久性。例如，当水泥中游离氧化钙（f-CaO）含量过高时，f-CaO 在水泥硬化后会缓慢水化，生成氢氧化钙，体积膨胀约 98%，产生巨大的内应力，使混凝土结构出现裂缝，降低结构的承载能力。

2. 骨料问题

骨料作为混凝土的主要组成部分，约占混凝土体积的 70% - 80%，其质量对混凝土的和易性、强度以及耐久性等性能有着至关重要的影响。骨料的含泥量是一个关键指标，当骨料含泥量过高时，泥土会吸附大量的水泥浆，降低水泥浆与骨料之间的粘结力，从而削弱混凝土的强度。同时，含泥量过高还会增加混凝土的需水量，导致混凝土的和易性变差，容易出现泌水、离析等现象。^[5]

（二）施工工艺因素

1. 混凝土搅拌不均匀

混凝土搅拌是混凝土生产过程中的关键环节，搅拌效果直接影响混凝土的质量。搅拌时间不足是导致混凝土搅拌不均匀的常见原因之一。当搅拌时间过短时，水泥、骨料、外加剂等原材料无法充分混合，水泥浆不能均匀地包裹骨料表面，使得混凝土各组分之间的粘结力不足，从而影响混凝土的和易性。在一些小型水利工程的混凝土搅拌中，由于搅拌机容量较小，为了提高生产效率，缩短了搅拌时间，导致混凝土出现泌水、离析现象，浇筑后表面出现蜂窝麻面，严重影响混凝土的外观质量和内部结构的密实性。

2. 浇筑方法不当

混凝土浇筑是将混凝土拌合物浇筑到设计位置并使其成型的过程，浇筑方法是否得当对混凝土质量有着重要影响。在水利工

程中，当混凝土浇筑高度过大时，若未设置串筒、溜槽等辅助设施，混凝土在自由下落过程中，由于受到重力作用，粗骨料与砂浆会发生分离，导致混凝土离析。

3. 振捣不充分

振捣是保证混凝土密实性的关键工序，振捣不充分会导致混凝土内部存在大量气泡和空隙，严重影响混凝土的质量。振捣时间不足是导致振捣不充分的常见原因之一。当振捣时间过短时，混凝土中的气泡无法充分排出，水泥浆不能充分包裹骨料，使得混凝土内部结构疏松，强度降低。

三、防控措施研究

（一）原材料质量控制

1. 严格原材料进场检验

为确保水利工程混凝土施工质量，必须建立完善的原材料进场检验制度，对每一批进场的原材料进行严格细致的检验，从源头上把控质量关。

对于水泥，应依据《通用硅酸盐水泥》（GB 175 - 2007）等相关标准，对其品种、级别、包装、出厂日期等进行全面检查。同时，按照规定的抽样频率和方法，对水泥的强度、安定性等关键指标进行复检。同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥，袋装不超过 200t 为一批，散装不超过 500t 为一批，每批必须抽样不少于一次。

2. 合理选择原材料

水泥品种的选择应结合工程的具体需求。普通硅酸盐水泥应用广泛，适用于一般的水利工程；对于大体积混凝土工程，如大坝等，为降低水泥水化热，防止混凝土因温度应力产生裂缝，宜选用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥。在三峡大坝的建设中，选用了低热水泥，并通过优化配合比和施工工艺，有效控制了混凝土的水化热温升，减少了裂缝的产生，确保了大坝的安全稳定运行。

骨料级配的合理性对混凝土性能至关重要。良好的骨料级配能够使骨料在混凝土中相互填充，形成紧密的堆积结构，减少空隙率，提高混凝土的密实度和强度。在选择骨料时，应根据工程结构的特点和施工条件，确定合适的骨料粒径和级配。对于水工结构物，如闸墩、挡土墙等，宜选用粒径较大、级配良好的骨料，以提高混凝土的抗渗性和耐久性。同时，要严格控制骨料的含泥量和针片状含量，避免其对混凝土性能产生不利影响。

（二）优化施工工艺

1. 规范混凝土搅拌工艺

混凝土搅拌工艺对混凝土质量起着决定性作用，明确并严格遵循科学合理的搅拌工艺参数至关重要。搅拌时间是搅拌工艺中的关键参数之一，不同类型的混凝土由于其配合比和原材料特性的差异，所需的搅拌时间也各不相同。一般而言，普通混凝土的搅拌时间应控制在 90 - 120 秒之间，以确保水泥、骨料、外加剂等原材料能够充分混合，水泥浆均匀地包裹骨料表面，使混凝土各组分之间形成良好的粘结力，保证混凝土的和易性。^[6,7]

2.改进混凝土浇筑方法

根据水利工程不同部位和结构特点,选择合适的浇筑方法是保证混凝土浇筑质量的关键。对于大体积混凝土结构,如大坝、基础底板等,由于混凝土浇筑量大、施工时间长,宜采用分层分段浇筑法。这种方法可以将混凝土浇筑区域划分为若干个分层和分段,按照一定的顺序依次进行浇筑,使混凝土在浇筑过程中能够充分散热,避免因水化热积聚导致混凝土内部温度过高,产生温度裂缝。在三峡大坝的混凝土浇筑中,采用了通仓薄层浇筑法,每层浇筑厚度控制在 1.5 – 3.0 米之间,通过合理安排浇筑顺序和时间间隔,有效地控制了混凝土的水化热温升,确保了大坝的施工质量和安全。

3.加强混凝土振捣

合理的振捣是保证混凝土密实度的关键,确定并严格控制振捣时间、振捣点间距等振捣参数至关重要。振捣时间应根据混凝土的坍落度、骨料粒径等因素进行调整,一般以混凝土表面不再出现气泡、不再显著下沉、表面泛浆为准。振捣点间距应根据振捣设备的作用半径进行合理确定,一般不宜大于振捣器作用半径的 1.5 倍。^[8]

(三) 模板施工质量控制

1.保证模板质量

模板及其支架作为混凝土浇筑过程中的重要支撑结构,必须具备足够的承载能力、刚度和稳定性,以确保在混凝土浇筑过程中能够承受混凝土的自重、侧压力以及施工荷载等各种作用力,不发生变形、倾斜或倒塌等情况,从而保证混凝土结构的尺寸精度和外观质量。在模板制作过程中,应严格按照设计图纸和相关标准进行加工。模板的平整度、垂直度、尺寸精度等指标必须符合要求,以保证混凝土结构的成型质量。木模板的制作应选用质地坚硬、无腐朽、无裂缝的木材,模板的拼接应严密,采用硬拼缝,避免漏浆。钢模板的制作应采用优质钢材,经过精确的切割、焊接和打磨等工艺,确保模板表面平整光滑,拼接缝严密。^[9,10]

2.控制模板拆除时间

混凝土的强度增长是一个渐进的过程,受到水泥品种、配合

比、养护条件等多种因素的影响。在混凝土浇筑初期,水泥水化反应逐渐进行,混凝土内部结构逐渐形成,强度也随之增长。一般来说,普通硅酸盐水泥配制的混凝土,在标准养护条件下(温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度 95% 以上),1 天强度可达设计强度的 5% – 10%,3 天强度可达设计强度的 25% – 40%,7 天强度可达设计强度的 60% – 75%,28 天强度可达到设计强度的 100%。在实际工程中,由于养护条件的差异,混凝土的强度增长速度会有所不同。在高温干燥的环境下,混凝土水分蒸发过快,强度增长可能会受到抑制;而在低温潮湿的环境下,水泥水化反应速度减慢,混凝土强度增长也会变慢。

为了确保混凝土结构在拆除模板后能够承受自身重量和施工荷载,必须根据混凝土的强度增长规律,制定科学合理的模板拆除时间标准。对于底模及其支架,当构件跨度不大于 2m 时,混凝土强度应达到设计强度的 50%;当构件跨度大于 2m 且不大于 8m 时,混凝土强度应达到设计强度的 75%;当构件跨度大于 8m 时,混凝土强度应达到设计强度的 100%。

四、结束语

本文深入研究了水利工程混凝土施工质量通病的成因及防控措施,通过对常见质量通病的类型、成因进行详细分析,提出了一系列针对性的防控措施,旨在提高水利工程混凝土施工质量,确保水利工程的安全稳定运行。通过严格控制原材料质量,能够从源头上保障混凝土的性能;优化施工工艺可以确保混凝土在搅拌、浇筑和振捣过程中达到最佳状态,提高混凝土的密实性和强度;加强模板施工质量控制能够保证混凝土结构的尺寸精度和外观质量;强化施工管理可以提高施工人员的素质和责任心,确保各项施工规范和质量要求得到有效执行。只有综合运用这些防控措施,才能有效预防和减少水利工程混凝土施工质量通病的发生,提高水利工程建设质量和运行效益,为国家的经济发展和社会稳定提供坚实的水利保障。

参考文献

- [1] 陈鹏. 水利工程施工质量控制问题及应对措施分析 [J]. 水上安全, 2023, (07): 22–24.
- [2] 蔡跃飞. 水利工程混凝土施工技术及其质量控制策略 [J]. 工程与建设, 2024, 38(02): 412–413+439.
- [3] 张剑. 水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术研究 [J]. 工程与建设, 2023, 37(06): 1775–1777.
- [4] 房广云. 水利工程施工混凝土裂缝的产生原因及防治措施 [J]. 水上安全, 2023, (13): 188–190.
- [5] 房广云. 水利工程施工混凝土裂缝的产生原因及防治措施 [J]. 水上安全, 2023, (13): 188–190.
- [6] 杨正平. 水利工程施工中的混凝土裂缝的防治技术 [J]. 石材, 2023, (11): 92–94.DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2023.0488.
- [7] 聂培, 周娟. 水利工程混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术 [J]. 水上安全, 2024, (04): 187–189.
- [8] 周秋露. 水利工程施工中混凝土裂缝控制策略探讨 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(01): 103–105.DOI: 10.19537/j.cnki.2096–2789.2024.01.033.
- [9] 蒋宜英. 水利工程施工中混凝土裂缝的防治策略研讨 [J]. 水上安全, 2023, (16): 169–171.
- [10] 李汉林. 水利施工的大体积混凝土抗裂技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (36): 178–180.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202336059.