

大坝混凝土培厚质量检查验收中的裂缝控制与强度检测技术研究

林靖顺

深圳市金勘岩土工程有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6637

[摘要] 本文系统研究了大坝混凝土培厚质量检查验收中的裂缝控制与强度检测技术。在裂缝控制方面,文章深入剖析了温度裂缝、干缩裂缝及新旧混凝土结合面裂缝的产生机理,并分别提出了以优化配合比、分层浇筑、加强养护和界面处理为核心的针对性控制措施。在强度检测方面,文章探讨了回弹法、超声法等无损检测技术的应用要点与局限性,并倡导采用综合无损检测方法以实现“表面-内部”强度的全面、准确评估。在此基础上,文章构建了质量检查验收的综合评价体系,通过对裂缝形态分布进行系统性评估、对强度检测结果进行整体性分析,并对二者进行关联性评判,确保验收结论的科学性与可靠性。该研究旨在为大坝混凝土培厚工程提供一套从源头控制到科学验收的完整技术路径,保障培厚结构的安全与稳定。

[关键词] 大坝混凝土; 培厚; 裂缝控制; 强度检测

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Research on Crack Control and Strength Detection Technology in the Quality Inspection and Acceptance of Dam Concrete Thickening

Jingshun Lin

Shenzhen Jinkan Geotechnical Engineering Co., LTD

[Abstract] This paper systematically studies the crack control and strength detection technology in the quality inspection and acceptance of dam concrete thickening. In terms of crack control, the article deeply analyzes the generation mechanisms of temperature cracks, dry shrinkage cracks and cracks at the junction of new and old concrete, and respectively proposes targeted control measures centered on optimizing the mix proportion, layer-by-layer pouring, strengthening curing and interface treatment. In terms of strength testing, the article discusses the key points and limitations of the application of non-destructive testing techniques such as the rebound method and ultrasonic method, and advocates the adoption of a comprehensive non-destructive testing method to achieve a comprehensive and accurate assessment of "surface-internal" strength. Based on this, the article constructs a comprehensive evaluation system for quality inspection and acceptance. By systematically assessing the distribution of crack morphology, conducting an overall analysis of the strength test results, and evaluating the correlation between the two, it ensures the scientificity and reliability of the acceptance conclusion. This research aims to provide a complete technical path from source control to scientific acceptance for the concrete thickening project of DAMS, ensuring the safety and stability of the thickened structure.

[Key words] Dam concrete; Pei Hou; Crack control; Strength testing

大坝混凝土培厚是提升坝体稳定性与承载能力的重要措施,施工质量关乎坝体安全运行。但培厚施工中,因水化热、环境及界面处理等,裂缝难以避免,培厚混凝土强度达标也是质量控制核心。传统检查方法检测手段单一、评价标准割裂,难反映真实质量。所以,系统研究裂缝成因与控制技术,探索强度无损检测方法,建立综合评价体系,对确保工程质量、防范安全风险有重要理论与实践意义。

1 大坝混凝土培厚裂缝的成因与控制技术

1.1 温度裂缝的产生机理与控制措施

温度裂缝是大坝混凝土培厚中最常见的裂缝类型,其产生机理与混凝土水化热释放及内外温差相关。培厚混凝土浇筑后,水泥水化反应会持续释放热量,导致混凝土内部温度快速升高,而表面热量通过空气散热较快,形成“内部高温、表面低温”的温差梯度。当温差超过混凝土抗拉强度限值(通常为1.5-2.0 MPa)

时,表面易出现横向或纵向裂缝,若内部温度持续升高,裂缝可能向深层扩展,影响培厚结构整体性。

针对性控制措施需围绕“降低温差、延缓热释放”展开。一是优化混凝土配合比,选用低热矿渣水泥或粉煤灰掺合料,减少水泥用量(通常控制在280-320kg/m³),降低水化热峰值;二是采用分层浇筑工艺,每层浇筑厚度控制在1.0-1.5m,层间间隔时间不少于72小时,待下层混凝土温度降至50℃以下再浇筑上层,避免热量叠加;三是布设冷却水管,在培厚混凝土内部按1.5m×1.5m间距布置镀锌钢管,浇筑完成后通入20-25℃循环水,通过温控系统实时监测内部温度,确保内外温差不超过25℃,有效抑制温度裂缝产生^[1]。

1.2 干缩裂缝的产生机理与控制措施

干缩裂缝主要源于混凝土硬化过程中水分的快速流失,导致体积收缩受约束而产生裂缝。大坝混凝土培厚施工多在露天环境进行,若遇高温、大风天气,混凝土表面水分蒸发速度加快(蒸发速率超过0.5kg/(m²·h)),而内部水分补充不及时,表面层会因干缩产生拉应力,当拉应力超过混凝土早期抗拉强度时,易出现不规则细裂缝(宽度多为0.05-0.1mm),此类裂缝虽深度较浅(通常小于100mm),但会降低混凝土抗渗性能,长期运行可能引发内部侵蚀。

控制措施需聚焦“减少水分流失、增强混凝土抗缩能力”。首先,加强浇筑后养护管理,浇筑完成12小时内覆盖土工布或保湿膜,采用喷雾养护(每天喷雾3-4次),确保混凝土表面始终处于湿润状态,养护周期不少于14天,延长水分蒸发时间;其次,调整混凝土外加剂,掺入缓凝型减水剂(掺量为胶凝材料总量的0.8%-1.2%),延缓初凝时间,为水分充分水化提供时间,同时减少单位用水量(控制在160-180kg/m³),降低干缩率;最后,在混凝土表面铺设抗裂纤维(如聚丙烯纤维,掺量0.9kg/m³),通过纤维的拉结作用抑制干缩变形,减少裂缝产生概率。

1.3 新旧混凝土结合面裂缝的防控技术

新旧混凝土结合面裂缝的产生,核心原因是新旧混凝土黏结强度不足,受外力或温度变化影响时出现界面分离。大坝培厚中,旧坝体混凝土表面可能存在浮浆、风化层或油污,若处理不当,新浇筑混凝土无法与旧混凝土形成有效黏结,在培厚结构受力或温度收缩时,结合面易出现贯通性裂缝,严重影响坝体整体承载能力^[2]。

防控技术需重点解决“界面清洁与黏结强化”问题。第一步是旧混凝土表面处理,采用机械凿毛(或高压水射流)去除表面浮浆与风化层,露出新鲜骨料(露出率不低于70%),并清理表面粉尘、油污,确保界面无杂质;第二步是界面剂涂刷,在处理后的旧混凝土表面均匀涂刷水泥基界面剂(厚度1-2mm),界面剂采用水泥、硅灰与减水剂按质量比1:0.1:0.01配制,增强新旧混凝土黏结力;第三步是同步振捣与养护,新混凝土浇筑时,振捣棒距结合面不超过500mm,确保界面处混凝土密实,浇筑完成后加强结合面区域养护,延长保湿时间至21天,促进界面水化反应充分,避免因黏结不足产生裂缝。

2 大坝混凝土培厚强度的无损检测技术

2.1 回弹法在强度检测中的应用

回弹法是基于混凝土表面硬度与抗压强度的相关性,通过回弹仪测量混凝土表面回弹值,间接推算强度的无损检测技术,适用于大坝混凝土培厚表面强度的快速检测。其核心原理是:混凝土表面硬度随抗压强度提高而增大,回弹仪的弹击锤撞击混凝土表面后,回弹距离(即回弹值)与表面硬度正相关,通过建立回弹值与抗压强度的校准曲线,可计算出混凝土强度。

应用过程中需注意三个要点:一是表面预处理,检测前清除混凝土表面浮浆、油污及疏松层,用砂轮打磨至露出新鲜混凝土表面,确保回弹仪弹击面平整、清洁,避免表面状态影响检测精度;二是检测点布置,按“梅花形”布置检测点,每个检测区域(面积不小于2m×2m)布置16个检测点,点间距不小于20mm,避开钢筋、预埋件及裂缝部位(距裂缝边缘不小于50mm);三是数据修正,若检测面与水平面夹角大于30°,需进行角度修正(根据回弹仪操作规程,角度每增加15°,回弹值修正系数为0.95-0.98),同时考虑混凝土碳化深度影响(用酚酞试剂测定碳化深度,深度超过3mm时需进行碳化修正),确保强度计算结果准确^[3]。

2.2 超声法在强度检测中的应用

超声法通过测量超声波在混凝土中的传播速度,结合速度与强度的关联关系,实现对培厚混凝土内部强度的检测,尤其适用于评估混凝土内部密实度与强度均匀性,弥补回弹法仅能检测表面强度的局限。其工作原理是:超声波在混凝土中传播时,速度会随混凝土密实度提高而增大,而密实度与抗压强度正相关,通过超声波检测仪发射高频声波(频率为50-100kHz),接收穿过混凝土后的声波信号,计算传播速度,进而推算强度。

应用时需关注检测工艺与干扰排除。一是探头布置,采用“对测法”布置发射探头与接收探头,两探头中心连线与混凝土表面垂直,间距根据培厚厚度确定(通常为200-500mm),检测前在探头与混凝土接触面涂抹耦合剂(如凡士林),确保声波有效传播;二是干扰因素排除,检测区域需避开钢筋密集区(钢筋间距小于100mm时,声波会沿钢筋传播,导致速度偏大),若无法避开,需记录钢筋位置并对检测结果进行修正;三是数据处理,同一检测区域采集5-8组声速数据,去除异常值(超出平均值±10%的数据)后取平均值,代入超声法强度计算公式(如 $v = \alpha f^\beta$,其中 v 为声速, f 为抗压强度, α 、 β 为地区校准系数),得到混凝土内部强度值。

2.3 综合无损检测方法的应用

综合无损检测方法是将回弹法与超声法结合使用,通过两种技术的互补性,提高培厚混凝土强度检测的准确性与全面性。回弹法能快速获取表面强度信息,但受表面状态、碳化深度影响较大;超声法可检测内部强度与密实度,但对表面缺陷敏感性较低。两者结合可实现“表面-内部”双重检测,有效规避单一方法的局限性。

实际应用中需遵循标准化流程。以某水库大坝培厚工程为例,首先采用回弹法对培厚区域(面积约500m²)进行表面强度普

查,按2m×2m网格布置检测点,共采集800组回弹数据,经角度与碳化修正后,初步筛选出3个强度偏低区域(回弹强度低于设计值的85%);随后对这3个区域采用超声法进行内部检测,布置对测探头间距300mm,采集声速数据,发现其中1个区域声速明显偏低(低于3.5km/s),判断内部可能存在疏松或微裂缝;最后结合两种检测结果,对该区域采用钻芯法(破损检测)验证,钻取3个芯样检测强度,结果与综合无损检测结果误差小于5%,证明综合方法可有效提高检测精度。此外,综合方法还可通过建立“回弹值-声速-强度”三维关联模型,进一步优化数据处理,为强度评价提供更可靠依据。

3 质量检查验收中的裂缝与强度综合评价

3.1 裂缝形态与分布的系统性评估

质量验收中,裂缝评估需通过标准化观测手段,实现对裂缝形态、分布的全面记录与分类。首先明确观测工具与指标,采用测缝仪(精度0.01mm)测量裂缝宽度,采用超声波测深仪测量裂缝深度,记录裂缝长度、走向及所在部位(如表层、新旧结合面、内部);其次确定观测范围,按培厚区域划分若干观测单元(每个单元不大于100m²),逐单元排查,重点关注温度裂缝易发生的浇筑层间、干缩裂缝集中的表面区域及新旧结合面;最后进行分类统计,将裂缝按宽度分为“微裂缝(<0.1mm)、细裂缝(0.1-0.2mm)、宽裂缝(>0.2mm)”,按深度分为“表面裂缝(<100mm)、浅层裂缝(100-500mm)、深层裂缝(>500mm)”,记录各类裂缝的数量与分布密度。

以某重力坝培厚验收为例,观测发现培厚区域共存在12条裂缝,其中10条为宽度0.05-0.1mm的表面微裂缝,分布于浇筑层表面,2条为宽度0.15mm、深度80mm的细裂缝,位于新旧结合面附近;通过统计分析,裂缝分布密度为0.024条/m²,且无深层宽裂缝,判定裂缝形态与分布满足验收要求(规范要求:表面微裂缝密度≤0.05条/m²,无深层宽裂缝)。

3.2 强度检测结果的整体性分析

强度检测结果分析需围绕“代表性、均匀性、达标率”三个核心指标展开,确保评价结果反映培厚混凝土整体强度水平。首先是检测点代表性,按“随机布点+重点布点”原则布置检测点,随机点覆盖整个培厚区域(每100m²不少于16个点),重点布点在荷载集中部位(如坝体迎水面培厚区)、施工薄弱部位(如浇筑接头),确保检测点能代表不同区域强度;其次是数据均匀性分析,计算所有检测点强度的变异系数(标准差与平均值的比值),变异系数小于0.15时,判定强度分布均匀,若大于0.15,需查找原因(如配合比波动、养护不均);最后是达标率计算,统计强度不低于设计值90%的检测点比例,达标率不低于95%时,判定强度整体达标。

某拱坝培厚工程中,设计强度等级为C30,采用回弹-超声综合法检测,共布置400个检测点,强度平均值为32.5MPa,标准差

为1.8MPa,变异系数为0.056(<0.15),强度不低于27MPa(设计值90%)的检测点有392个,达标率98%(≥95%),结合钻芯验证(芯样强度平均值33.2MPa),判定培厚混凝土强度满足验收标准。

3.3 裂缝与强度指标的关联性评判

关联性评判是质量验收的关键环节,需分析裂缝是否对强度产生不利影响,避免“裂缝合格但强度受影响”的隐患。首先建立关联评判标准:表面微裂缝(宽度<0.1mm、深度<100mm)仅影响表面外观,对整体强度无显著影响;细裂缝(0.1-0.2mm、深度100-500mm)若分布在非受力区域,强度损失率通常小于5%,可接受;深层宽裂缝(>0.2mm、>500mm)会削弱截面承载能力,强度损失率可能超过10%,需要处理后重新验收。

结合工程实例说明:某土石坝混凝土防渗墙培厚验收中,发现1条宽度0.22mm、深度600mm的深层裂缝,位于防渗墙迎水面(受力区域);通过超声法检测裂缝周边强度,发现裂缝两侧1m范围内强度平均值为28MPa,低于区域平均强度(31MPa),强度损失率约9.7%,接近10%限值;进一步分析裂缝成因,判定为新旧结合面处理不当导致,随后采用化学灌浆(环氧树脂浆液)处理裂缝,再次检测强度损失率降至3%,结合裂缝宽度缩小至0.08mm,判定验收合格。此外,关联性评判还需结合大坝运行工况,如高水位运行的坝体培厚,对裂缝控制要求更严格(表面裂缝宽度需<0.08mm),需根据实际工况调整评判标准,确保培厚结构安全。

4 结语

大坝混凝土培厚工程质量检查与验收,关键在于裂缝精准控制与强度科学检测。裂缝控制上,针对温度、干缩、新旧结合面三类裂缝不同成因,采取差异化技术,从源头减少裂缝。强度检测时,依需求选择无损技术,回弹法用于表面普查,超声法用于内部评估,综合方法可提高精度。质量验收通过评估裂缝形态分布、分析强度检测结果及评判两者关联性,构建完整评价体系,避免单一指标局限。该技术路径与评价思路已在多工程验证可行,可为同类工程质量管控提供参考。大坝混凝土培厚质量关乎坝体安全,将裂缝控制、强度检测与综合评价贯穿施工全过程,才能确保工程达到设计效果,保障大坝长期稳定运行。

[参考文献]

- [1]王磊.紫坪铺大坝趾板裂缝处理[C]//土石坝技术2019年论文集,2021.
- [2]吴猛.混凝土大坝裂缝成因分析与防治措施研究[J].信息周刊,2020(12):1.
- [3]刘豫.水电站大坝大体积混凝土浇筑裂缝控制技术及应用[D].中南大学,2023.

作者简介:

林靖顺(1989--),男,壮族,广西河池市都安县人,本科,二级建造师,研究方向:水工施工。