

水利工程试验室检测在工程建设中的作用

侯娜

衡水华诚水利工程检测有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6419

[摘要] 论文深入分析了当前检测工作面临的挑战,如检测标准体系完善性、现场与试验室衔接、智能化应用深度、检测人员能力及结果运用效能等,并提出了强化标准建设、推动智慧检测、提升人员素质、深化数据分析与强化监管等对策。研究表明,充分发挥试验室检测的“哨兵”、“裁判”和“智库”作用,是保障水利工程结构安全、功能可靠、长效运行的关键环节,对推动水利工程建设高质量发展具有不可替代的战略意义,为工程质量提供了科学、客观、量化的判定依据。

[关键词] 水利工程; 试验室检测; 材料性能

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Water conservancy project laboratory testing plays an important role in engineering construction

Na Hou

Hengshui Huacheng Water Conservancy Engineering Testing Co., LTD.

[Abstract] The paper delves into the challenges currently faced in testing work, including the completeness of the testing standards system, the integration between on-site and laboratory operations, the depth of intelligent applications, the capabilities of testing personnel, and the effectiveness of result application. It proposes strategies to strengthen standardization, promote smart testing, enhance personnel skills, deepen data analysis, and reinforce supervision. The study highlights that fully leveraging the roles of laboratories as 'sentinels,' 'referees,' and 'think tanks' is crucial for ensuring the structural safety, functional reliability, and long-term operation of water conservancy projects. This plays an indispensable strategic role in promoting the high-quality development of water conservancy construction and provides a scientific, objective, and quantifiable basis for evaluating project quality.

[Key words] water conservancy project; laboratory testing; material properties

引言

水利工程是国家基础设施的重要组成部分,承担着防洪保安、水资源配置、水力发电、农业灌溉、水生态修复等重大使命。其工程规模宏大、结构复杂、服役环境严苛(如高水压、冻融、侵蚀、冲刷),且一旦失事后果不堪设想。因此,确保水利工程“建得成、管得好、长受益”,质量是根本保障。

1 试验室检测在水利工程建设各阶段的核心作用

1.1 前期规划与设计阶段: 奠定质量基石。

1.1.1 料源选择与评价。骨料品质检测: 对拟用天然砂石骨料进行级配分析、含泥量、泥块含量、坚固性、压碎指标、碱活性、表观密度、堆积密度等测试,确保其满足规范要求(如SL352, GB/T14684/14685),避免使用劣质骨料导致混凝土强度不足、耐久性差或碱骨料反应风险。

水泥性能验证: 检测水泥的细度、凝结时间、安定性、标准稠度用水量、胶砂强度(3d, 28d)等(GB175),为混凝土配合比

设计提供关键参数。

掺合料/外加剂适配性检验: 检测粉煤灰(GB/T1596)、矿渣粉(GB/T18046)、硅灰(GB/T27690)的细度、需水量比、活性指数; 外加剂(GB8076)的减水率、含气量、凝结时间差、抗压强度比等。通过试验筛选最优品种和掺量,提升混凝土性能和经济性。

1.1.2 岩土工程特性参数测定。地基勘察: 试验室对钻孔取得的岩芯、土样进行物理性质(密度、含水率、液塑限、颗粒分析)、力学性质(压缩性、抗剪强度-直剪、三轴)、渗透性、承载比(CBR)等测试(GB/T50123, SL237),为地基处理方案设计(如换填、桩基、灌浆)和边坡稳定性分析提供关键参数。

筑坝材料(土石料)评估: 对心墙防渗土料进行击实试验(最优含水率、最大干密度)、渗透试验、压缩试验; 对坝壳料进行颗粒分析、相对密度试验等(SL237),确保材料满足设计填筑标准。

1.1.3 混凝土/砂浆配合比设计与优化。基准配合比设计: 依据设计要求的强度等级(C15-C60甚至更高)、抗渗等级(W4-

W12)、抗冻等级(F50-F300)、耐久性指标(如氯离子扩散系数)等,通过大量试配试验(SL352),确定满足工作性(坍落度/扩展度)、强度、耐久性和经济性的最优水胶比、砂率、各材料用量。

特殊性能验证:对大体积混凝土进行绝热温升试验(SL352),预测温控需求;对泵送混凝土进行压力泌水试验;对水下不分散混凝土进行坍落扩展度及水中成型强度试验等。

1.2 施工阶段:实施全过程动态监控。

1.2.1 原材料进场复验与过程抽检。强制性把关:对所有进场原材料(水泥、骨料、外加剂、掺合料、钢筋、钢材、止水材料、土工合成材料等)按批次进行规定项目的复验(依据相关产品标准和验收规范),杜绝不合格材料流入施工现场。这是质量控制的第一道防线。

混凝土拌合物质量控制:工作性监测:在拌合站和浇筑现场,频繁检测混凝土坍落度/扩展度、含气量、温度、泌水率(SL352),确保其满足运输、浇筑和振捣要求。

试件制作与标准养护:按规范要求(SL352, GB/T50081)在浇筑地点取样,制作标准立方体试件(抗压)、棱柱体试件(抗折、弹性模量)或抗渗试件,在标准条件(温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度 $>95\%$)下养护至规定龄期(3d, 7d, 28d, 60d, 90d等),用于评定结构混凝土的强度、弹性模量及抗渗性能是否达到设计要求。

同条件养护试件:制作与结构实体同条件(同温同湿)养护的试件,其强度可作为结构拆模、张拉或吊装等施工工序的重要依据,更贴近实体实际强度发展。

1.2.2 土方填筑与地基处理质量监控。压实质量控制:通过室内击实试验确定的最大干密度作为标准。在现场,采用灌砂法、环刀法、核子密度仪/灌水法快速测定填筑层的压实度(实测干密度/最大干密度 $\times 100\%$),确保达到设计压实标准(如 $\geq 96\%$),这是保证土石坝、堤防、路基强度和稳定性的核心指标(SL237, GB/T50123)。

施工参数验证:对灌浆工程的水泥浆液进行比重、粘度、析水率、凝结时间试验;对深层搅拌桩、CFG桩等取芯进行无侧限抗压强度试验,验证施工工艺的有效性。

1.2.3 金属结构及机电设备制造安装监造。原材料检验:对钢板、型钢进行力学性能(拉伸、弯曲、冲击韧性)和化学成分分析(GB/T2975, GB/T228.1)。

焊接质量检验:无损检测(NDT)是关键,试验室人员或授权机构进行超声波检测(UT):探测焊缝内部缺陷(裂纹、未熔合、夹渣等),适用于厚板(JB/T4730.3, DL/T820)。

射线检测(RT):直观显示焊缝内部缺陷形状和大小,有底片记录(JB/T4730.2, DL/T821)。

磁粉检测(MT):检测铁磁性材料表面和近表面缺陷(裂纹、折叠)(JB/T4730.4)。

渗透检测(PT):检测非多孔性材料表面开口缺陷(JB/T4730.5)。

防腐涂层检测:测量涂层厚度(干膜DFT)、附着力(划格法或拉开法)、针孔检测(电火花)等(GB/T5210, GB/T4956)。

机电设备出厂试验与现场调试:在厂内或现场进行设备的空载、负载、效率、振动、噪声、绝缘等性能测试(依据设备技术协议和相关IEC/GB标准)。

2 验收与运行初期:科学评价工程实体

2.1 实体结构质量综合评定。无损检测(NDT)应用。

回弹法/超声回弹综合法:快速推定结构混凝土表面强度(JGJ/T23),常用于大面积普查。

钻芯法:在结构非重要部位钻取芯样,进行抗压强度试验(CECS03),是验证混凝土实体强度的最直接、最可靠方法之一(属微破损)。

超声法:探测混凝土内部缺陷(空洞、不密实区)和裂缝深度(CECS21)。

钢筋探测与保护层厚度检测:使用钢筋扫描仪确定钢筋位置、分布和保护层厚度(GB/T50784),对耐久性评估至关重要。

冲击回波法(IE)、探地雷达(GPR):用于探测结构内部缺陷(脱空、分层)和厚度测量。

荷载试验(静载/动载)

对重要桥梁、闸门、启闭机等结构或设备,在验收前施加设计荷载或等效荷载,检验其变形、应变、裂缝是否满足要求(JTG/TJ21, SL27)。

2.2 关键性能参数验证。抗渗性能检测:对水工混凝土结构(如大坝廊道、隧洞衬砌、水池)进行现场渗漏观测或压水试验(SL31),或钻取芯样进行室内抗渗试验。

变形监测基准值建立:在工程投入运行初期,通过精密测量(水准、导线、GNSS、静力水准仪、测斜仪等)建立位移、沉降、倾斜等变形监测的初始基准值(“零点”),为后续长期安全监测提供参照(SL766)。

2.3 竣工资料重要组成。所有试验室检测报告(原材料、配合比、试件强度、实体检测、无损检测等)是工程竣工验收技术档案的核心组成部分,是证明工程质量合格的法律性文件。

3 运行维护阶段:保障长效安全的核心支撑

3.1 材料劣化与耐久性监测。混凝土碳化深度检测:使用酚酞试剂法定期检测,评估钢筋锈蚀风险(GB/T50784)。

钢筋锈蚀状况检测:使用半电池电位法、电阻率法、裂缝观测法等评估钢筋锈蚀状态和速率(GB/T50344)。

氯离子含量检测:钻取混凝土粉末,滴定分析氯离子含量及浸入深度(JTJ270),预测钢筋锈蚀。

冻融损伤检测:观察表面剥落、测量动弹性模量损失(超声波法)。

冲刷磨蚀检测:对泄水建筑物过流面进行形貌扫描、厚度测量。

3.2 结构健康诊断与安全评估。定期检测与特殊检测:结合日常巡查和定期检查(如SL601),运用前述无损检测技术,对结构裂缝、缺陷、材料性能退化进行详细检测和记录。

安全监测数据分析:试验室或专业机构对变形、渗流、应力应变、环境量等长期监测数据进行整编分析,建立数学模型,

评估结构当前状态和发展趋势, 识别异常。

结构安全复核与鉴定: 依据检测监测数据和结构分析, 对工程的安全性、适用性、耐久性进行综合评定(如SL258), 为维修、加固或退役决策提供科学依据。

3.3 应急抢险技术支持。在遭遇超标准洪水、地震等灾害后, 试验室检测是快速评估工程损伤程度、判断结构安全性和制定应急抢险方案的关键技术支撑。

4 水利工程试验室检测体系构成与关键技术

4.1 检测体系层级与机构。施工企业中心试验室/工地试验室: 承担原材料进场复验、过程控制检测(混凝土拌合物、土工压实)、标准养护试件试验等。是质量控制的前沿阵地。

第三方检测机构(CMA/CNAS认证): 独立承担重要材料复核、关键节点验证、实体结构质量检测、无损检测、竣工验收检测、运行期检测评估等。强调公正性和权威性。

业主/监理单位委托检测: 对关键项目或对施工/第三方结果有疑义时进行独立抽检或复核。

科研院所/高校专业实验室: 承担复杂、特殊的试验研究(如高性能混凝土、新型材料、复杂岩土、结构模型试验、长期耐久性研究)。

4.2 关键技术详解。水利工程检测体系覆盖从基础材料性能到工程整体安全的全链条。各技术模块通过试验设备与分析方法的协同, 实现对工程质量、安全性和耐久性的量化评估, 体现了“从微观性能测试到宏观结构监测”的技术逻辑。

4.2.1 材料性能测试技术。量化材料在力学、物理、化学及耐久环境下的特性。通过压力机、万能材料试验机测试混凝土、钢材等的抗压、抗拉强度, 为结构设计提供力学参数。密度、吸水率等指标影响材料抗渗性, 颗粒分析仪用于砂石料级配检测, 直接关联混凝土和易性。滴定、光谱技术用于检测材料成分(如水泥中的氯离子含量), 色谱分析可追踪污染物成分, 防止材料腐蚀。碳化箱模拟大气环境对混凝土的侵蚀, 冻融箱测试抗冻性, RCM法通过氯离子扩散系数评估钢筋锈蚀风险, 是水利工程长期安全的关键检测项。

4.2.2 岩土工程测试技术。评估地基岩土的力学特性与稳定性。直剪仪测土体抗剪强度, 三轴仪模拟复杂应力状态, 固结仪分析压缩性, 渗透仪检测抗渗性(防止堤坝渗漏), CBR仪(加州承载比)用于路基材料强度评估。点荷载仪快速测定岩石强度, 单轴抗压机用于岩基承载力分析, 为坝基选型提供数据支撑。

4.2.3 无损检测(NDT)技术。在不破坏结构的前提下发现内部缺陷。回弹仪、超声仪结合测强, 取芯机验证强度真实性; 钢筋扫描仪、雷达定位钢筋分布与缺陷, 冲击回波仪检测内部空洞, 常用于大坝、渡槽等混凝土结构的隐患排查。UT(超声)、RT(射线)检测焊缝内部缺陷, MT(磁粉)、PT(渗透)检测表面裂纹, 保障闸门、压力钢管等金属构件的安全性。

4.2.4 水环境监测技术。水环境监测技术的核心任务是保障

水利工程周边水质与水文安全。在水质分析过程中, pH计、DO仪(溶解氧)监测水体健康, COD/BOD测定仪评估有机物污染, 原子吸收光谱仪检测重金属含量, 防止水源地污染。水文测验中流速仪、水位计、流量计用于河道、水库的水文数据采集, 为防洪调度、水资源管理提供依据(如大坝泄洪流量监测)。

5 未来趋势和发展

面对当前在标准体系、技术应用、数据挖掘、人才队伍、市场规范等方面存在的挑战, 未来水利工程试验室检测的发展方向有以下几点。

标准引领, 规范发展: 构建更加完善、先进、协调统一的标准规范体系, 强化执行监督和诚信建设。

技术驱动, 智慧赋能: 大力发展和应用智能化、自动化、高精度、非接触的检测技术与装备; 深度融入物联网、大数据、人工智能、数字孪生技术, 实现检测数据的实时获取、智能分析、深度挖掘与预测预警(智慧检测)。

数据融合, 价值提升: 打破“数据孤岛”, 推动检测数据与设计、施工、BIM、监测、运维数据的深度融合与关联分析, 构建工程全生命周期质量数据库, 为精准决策提供更强支撑。

人才为本, 能力提升: 加强高素质、复合型检测人才的培养和引进, 建立完善的职业发展通道和继续教育体系, 提升检测队伍整体技术水平与职业素养。

机制创新, 效能优化: 探索更高效的检测组织管理模式; 明确各方责任, 强化监管考核; 规范第三方检测市场, 确保公正、科学、权威。

关口前移, 预防为主: 更加注重基于检测数据的风险早期识别和预测性维护, 变被动处理为主动预防, 提升工程长期服役性能和安全裕度。

6 结语

唯有充分认识试验室检测的举足轻重地位, 持续加大投入、推动技术创新、完善管理体系、提升人才素质, 才能使其在新时代水利工程建设高质量发展的征程中, 更好地发挥“压舱石”和“护航者”的作用, 为建设安全、耐久、智慧、绿色的现代水网提供坚不可摧的质量保障。

[参考文献]

- [1]陈厚群.重大水利水电工程全生命周期质量安全保障技术研究[J].中国工程科学,2015,17(3):4-10.
- [2]李赞堂.智慧水利背景下工程检测技术发展趋势研究[J].水利技术监督,2021,(5):1-5.
- [3]王海龙.基于大数据的水利工程质量智能检测与预警平台构建[J].水利信息化,2022,(3):12-16.

作者简介:

侯娜(1984—),女,汉族,河北省沧州市献县人,大学本科,水利工程师,研究方向: 水利工程检测。