

大型地下高铁站房防水施工及渗漏控制技术研究

窦拥军 张志钊 王国鹏

中铁济南工程建设监理有限公司 山东 济南 250022

摘 要: 地下高铁站房防水工程的质量高低, 直接决定了结构使用寿命以及运营安全, 是大型交通枢纽建设成功与否的决定性因素之一。本文以济南遥墙机场综合交通枢纽高铁站房为例, 从建设监理的角度出发, 对地下一级防水系统的建立方法及施工过程的控制措施进行了全面的总结和提炼。研究表明, 采用结构自防水为基础, 多层防水系统的联合作用, 细部节点的精细处理的方式进行施工, 再配合全过程的实时监控系统, 可以大大减少渗漏水的几率; 从渗漏的原因分析得出包含注浆、封堵及综合治理的系统解决方案。本工程实践表明, 提出的管理和技术措施有效、实用, 对类似高水位、大体量的地下工程有一定的指导意义。

关键词: 地下站房; 防水工程; 监理控制; 节点防水; 渗漏治理

引言: 大型地下交通枢纽的防水工程长期面临高水压、多缝面与构造复杂三重制约, 其质量管控在监理层面需从单一工序验收延伸至体系化过程监督。济南遥墙机场综合交通枢纽高铁站房工程地处黄河冲积平原, 地下水位埋深浅且砂层渗透性强, 站房结构埋深超过二十米, 防水等级按一级标准设防。本文基于该工程实践, 围绕结构自防水、柔性防水层与细部节点三个维度, 系统阐述防水体系构建与施工管控要点, 剖析渗漏成因并提出分类治理技术路径。

1 防水体系构建与技术路线优化

1.1 结构自防水性能的源头控制策略

地下防水工程防水主要采用多层设防的方式, 结构自防水是抵御地下水的的第一道防线, 也是决定整体成败的关键。济南遥墙机场高铁站房工程埋深较深, 地下水位高并且有较大的压力差, 如果混凝土本身抗渗性能不够, 即使附加防水层完好无损, 水压也可以渗透混凝土内部的毛细孔隙而造成大面积渗漏。由此出发, 监理工作对混凝土配合比审核及施工过程质量监督工作摆在首位。对于本工程采用的补偿收缩混凝土, 重点检查了膨胀剂的添加比例及水胶比是否符合要求, 防止由于添加过多造成的开裂或过少导致的膨胀率不足的现象发生。对于原材料方面, 要求使用低水化热水泥和良好颗粒级配的粗集料, 以减少内部温度变化以及干燥引起的原生裂缝^[1]。对于混凝土浇筑方面, 严格控制分层厚度及振捣时间, 避免振捣过量产生离析或者振捣不足造成蜂窝麻面。养护方案落实到位也很重要, 带模养护以及保湿覆盖要衔接起来, 保证前期水化反应顺利进行, 防止表

面失水过快造成干裂。通过一系列包括材料、工艺、养护等全方位的监管, 使结构主体具有较强的抗渗能力, 给后面防水卷材施工创造一个良好的开端。

1.2 柔性防水层选材与协同设防机制

在结构自防水基础上, 附加柔性防水层承担着阻断地下水接触结构表面的屏障功能。针对明挖法地下工程受力特点, 柔性防水层需兼顾抗水压、适应基层变形及耐久耐穿刺等多重要求。本工程底板采用双层高聚物改性沥青卷材复合铺贴, 利用其良好的延伸性与厚质胎体抵抗基层沉降变形; 侧墙则选用聚氨酯涂料与自粘卷材的组合形式, 涂料层封闭毛细孔, 卷材层提供整体强度, 二者互补增强界面粘结可靠性。顶板因承受覆土与车辆荷载, 采用耐根穿刺防水材料与普通防水层叠加构造。监理控制中, 特别关注了卷材搭接缝的粘结质量与涂料厚度的均匀性, 要求搭接宽度严格执行规范下限并辅以热熔封边处理, 涂料则通过多次涂覆达到设计厚度, 杜绝因局部薄涂导致薄弱点存在。不同部位选用差异化材料组合, 形成协同受力、共同变形的防护整体, 有效消解结构变形对防水层产生的拉裂风险。

1.3 细部节点防水的强化处理路径

结构节点是防水体系中最薄弱的环节, 也是渗漏发生率最高的部位。本工程施工缝、变形缝及穿墙管道数量庞大, 每个节点均是潜在的进水通道。针对施工缝, 采用止水钢板与遇水膨胀止水条复合设置, 止水钢板埋设位置须准确居中, 接头搭接满焊并错开转角部位; 止水条嵌填密实, 防止浇筑混凝土时移位。变形缝因适应结构伸缩与沉降, 设置中埋式橡胶止水带与外涂防水层

组合构造,止水带安装时必须保持平展,定位钢筋固定牢靠,浇筑时避免混凝土直接冲击导致偏位。穿墙管加设止水环并采用密封胶填充管壁间隙,迎水面附加卷材防水层包裹管根。后浇带部位因滞后封闭,其钢筋清理与界面处理尤为繁复,采用止水钢板与超前止水构造共同作用。将节点防水提升至与大面积防水同等重要的管控层级,能够显著压减结构薄弱处的渗漏概率,避免因局部失效引发系统性隐患。

2 防水施工全过程监理控制要点

2.1 混凝土浇筑与养护环节的质量监督

防水混凝土的最终抗渗性能很大程度上取决于浇筑与养护作业的执行质量,任何工序层面的疏漏均可能导致结构本体抗渗能力显著下降。监理工作在浇筑阶段将监督重点置于混凝土供应连续性、入模温度控制及振捣密实度三大方面。混凝土运输至现场后,检测每车坍落度并观察流动性状态,判定是否满足泵送要求,严禁以加水方式调整坍落度,此种行为直接改变设计水胶比,增加毛细孔数量与孔径,削弱抗渗性能。大体积底板浇筑采用斜面分层推进方式,每层厚度控制在合理范围,保证下层混凝土初凝之前上层混凝土完成覆盖,防范冷缝形成。振捣作业遵循快插慢拔操作要领,振捣棒移动间距不超过有效作用半径,插入下层混凝土一定深度确保层间结合紧密。振捣合格判据以混凝土表面呈现均匀泛浆、不再显著沉降、气泡充分排出为准。侧墙混凝土因竖向高度较大,采取分层浇筑配合串筒入模,每层浇筑厚度适宜,避免一次性下料过多造成底部模板侧压力超限或振捣不实。顶板混凝土浇筑后及时进行二次抹压,消除表面塑性收缩裂缝^[2]。养护阶段监督施工方严格执行保湿保温措施,底板采用覆盖塑料薄膜与土工布洒水养护,侧墙带模养护期间保持模板湿润,拆模后立即涂刷养护剂并覆盖。大体积混凝土内部温度监测资料定期报监理审阅,内外温差超过预警值时启动降温或保温预案。

2.2 防水层施工作业条件与工艺标准核查

柔性防水层的施工质量受基层状态、环境温湿度及操作工艺等多重因素综合影响,任一条件偏离均可能造成防水层缺陷。监理工作从基层验收开始介入,检查底板垫层有无空鼓、起砂、开裂,侧墙混凝土基面是否留有模板残留物或油污,所有缺陷部位在防水层施工前须整改达标。基层阴阳角部位必须做成圆弧或钝角过渡,便于卷材服帖铺贴,避免应力集中导致卷材断裂。基层含水率控制是防水层粘结牢固的前提条件,采用仪器检测含水率指标,超限时要求施工方采取晾晒或热

风干燥措施,直至含水率降至材料允许范围。卷材铺贴作业中,监督施工人员按照预先弹线的位置进行试铺与定位,确保卷材铺展方向正确、搭接宽度满足规范下限值。热熔法施工时,火焰加热器的喷嘴与卷材表面保持适当距离,加热均匀程度以卷材表面沥青熔融至光亮黑色状态为宜,随即滚压排气,使卷材与基层或卷材层之间紧密贴合。搭接缝处须溢出连续沥青条,证明加热与压实充分。涂料防水施工对每遍涂布量实施称重核查,换算为湿膜厚度与设计厚度比对,涂刷遍数不得缩减,前后两遍涂刷方向相互垂直,确保涂层均匀致密。环境条件方面,雨天、雪天或五级风以上天气严禁露天防水作业,环境温度低于材料施工温度下限时不得施工^[3]。

2.3 隐蔽验收组织与质量缺陷追溯整改

防水工程属于典型隐蔽工程,其质量缺陷在后续工序覆盖后难以直观发现,因此过程验收与问题整改的闭环管理尤为重要。监理部建立了涵盖材料进场、工序交接、隐蔽验收的三级检验制度。材料进场后,除核查质量证明文件外,按规范频率见证取样送检,复试合格方准使用。每道工序完成后,施工方自检合格并填写报验资料,监理人员对照设计图纸与规范要求现场量测核查。隐蔽验收时,重点检查卷材搭接宽度、涂料厚度、止水带埋设位置及节点构造做法,对不符合项签发整改通知单,明确整改时限与复查标准。整改完成后,附图像资料申请复验,复验合格方可进入下道工序。建立质量问题台账,对反复出现的同类问题组织专项分析,查找管理或技术层面的系统原因。底板与顶板防水层验收合格后,及时进行细石混凝土保护层浇筑,侧墙防水层采用聚苯板或砌砖保护,防止后续钢筋绑扎与模板安装时的机械损伤。通过严谨的验收流程与问题追踪机制,保证每一项质量隐患均被识别并妥善处置,确保隐蔽工程不留隐患。

3 渗漏成因剖析与系统治理技术

3.1 基于现场特征的渗漏诱因分类

地下工程渗漏产生的原因复杂多元,准确判定诱因是实施有效治理的前提。结合本工程现场检查与记录分析,将渗漏成因归纳为三类。第一类为混凝土自身缺陷型渗漏,主要表现为贯穿性裂缝、蜂窝孔洞及骨料离析导致的疏松带,此类渗漏通常呈面状或线状分布,水量随水压变化明显。裂缝成因包括大体积混凝土内外温差引起的温度裂缝、干缩裂缝以及不均匀沉降引发的结构裂缝。第二类为施工缝与变形缝处理不当型渗漏,止水钢板焊接不严密、止水带偏位或破损、界面凿毛不到位导致新旧混凝土结合不良,地下水沿缝隙渗出,常表

现为湿渍或滴漏。第三类为防水层局部失效型渗漏,卷材搭接缝脱开、涂料层破损或收口密封不严形成进水通道,水在防水层与结构之间窜流,最终从薄弱点溢出。现场检查需结合渗水量、出水点性状及结构部位综合研判,必要时采用钻孔取芯或示踪试验辅助定位,确保原因判定准确。

3.2 注浆封闭与材料匹配性选择

针对判定为裂缝或施工缝渗漏的情况,注浆技术是最直接有效的治理手段。注浆材料选择须依据渗漏类型与水压大小确定。化学浆液渗透性好、凝胶时间可调,适用于细微裂缝与快速止水需求;水泥基浆液固结强度高、耐久性好,适用于大裂隙与结构补强兼顾的工况。本工程实践表明,对于宽度小于的裂缝,选用丙烯酸盐类或聚氨酯类化学浆液,借助其遇水膨胀特性封堵渗水通道;对于宽度较大的裂隙或孔洞,采用水泥-水玻璃双液浆先行封堵,待水量减弱后再用化学浆液补强。注浆参数控制方面,注浆压力需根据结构厚度与裂缝宽度合理设定,避免压力过高引起结构抬升或劈裂^[4]。注浆顺序遵循由下往上、由一端向另一端推进的原则,设置排气孔保证浆液充填饱满。注浆结束后,须进行压水试验检验封堵效果,不合格部位重新补注。采用多材料组合与参数精细化调整的方式,能够适应不同渗漏工况的治理需求,确保止水效果持久可靠。

3.3 结构修复与系统性防水补强

表面封闭处理适用于渗水量微小或结构表面局部缺陷的治理。采用聚合物水泥防水砂浆或渗透结晶型防水涂料涂覆于渗水区域,通过材料自身密实性或结晶生长堵塞毛细孔道。封闭前须将基层凿除松动部分并清理干净,湿润界面后分层抹压防水砂浆,压实收光。该方法可作为注浆后的辅助密封层,也可独立用于潮湿基面的防潮处理。对于防水层大面积老化或破损情况,则需采取系统性补强措施^[5]。在结构内侧增设内衬防水层,选用喷涂聚脲或聚合物水泥涂料,形成连续封闭的附加屏

障。内衬施工前须处理基面渗漏点,使明水消失后方可涂刷,保证粘结强度。变形缝部位若止水带失效,可采用嵌缝注浆与表面密封复合治理,缝内嵌入遇水膨胀密封胶,表面粘贴丁基橡胶防水带,两端压条固定。治理完成后,建立定期巡查制度,雨后或融雪季节加强检查频次,发现异常及时处置。将定点修复与系统补强相结合,兼顾局部快速处置与整体性能恢复,能够有效遏制渗漏反复,保障结构长期处于干燥服役状态。

结语

济南遥墙机场综合交通枢纽高铁站房工程防水实践表明,大型地下结构防水目标的达成,依赖于从设计选型、材料控制、施工操作到验收管理全链条的协同发力。结构自防水作为根本性措施,其材料配比、浇筑工艺及养护条件的每项细节均对最终抗渗等级产生决定性影响;柔性防水层与节点强化构造构成第二道屏障,施工过程中对环境条件与作业标准的严格遵守是其功能发挥的必要前提。渗漏治理必须基于准确的原因诊断,综合运用注浆、封闭与结构补强等手段,杜绝单一措施的局限性。监理工作贯穿全过程,其核心在于标准落地与偏差纠正,将质量要求转化为可执行、可检验的现场行为,方能实现地下工程不漏水的根本目标。

参考文献

- [1] 郑冠雨,朱荣军,尤雪春,等.地下工程复合防水体系多层协同机理与防水性能研究[J].河南大学学报(自然科学版),2026,56(1):111-119.
- [2] 徐雷.EVA防水板与土工布复合结构在高铁隧道排水中的抗渗应用[J].交通世界,2026(12):132-135.
- [3] 逯长清.长大高铁明挖隧道变形缝防水工艺与创新[J].铁道建筑技术,2025(11):141-145.
- [4] 蔡培.高铁站房建筑物屋面渗漏水处理方案[J].中国建筑金属结构,2023,22(2):135-137.
- [5] 樊锡洪.高铁隧道渗漏与初期支护裂损研究[J].建筑技术开发,2023,50(7):142-144.