

地下道路主体结构防水工程设计与施工研究

杨 行

中国华冶科工集团有限公司 北京 100176

【摘要】本文围绕邯郸市东部中央商务区综合路网项目中的地下道路主体结构防水工程展开深入研究，介绍了地下道路主体结构防水工程设计要点，包括防水设计原则与标准、结构自防水、外包防水层及细部构造防水设计。施工技术方面，从施工准备工作，到防水混凝土、外包防水层、细部构造防水施工工艺逐一阐述，还提出了相应的优化措施，为地下道路主体结构防水工程提供全面理论与实践指导。

【关键词】地下道路；主体结构防水；防水工程设计；防水工程施工

引言

随着城市建设的快速发展，地下道路工程日益增多。地下道路主体结构长期处于复杂的地下水环境中，防水工程质量直接关系到结构安全、耐久性以及地下道路的正常运行。一旦防水失效，渗漏水问题将引发钢筋锈蚀、设备故障等诸多危害。因此，开展地下道路主体结构防水工程设计与施工研究具有极其重要的现实意义，旨在确保地下道路在其服役期内稳定可靠，为城市交通顺畅保驾护航。

1 工程概况

该工程位于邯郸市丛台东路的中央商务区内，包含三大部分：地下道路工程、综合管廊工程和地面道路工程。其中地下道路工程结构为地下箱型结构，工程主线成“日”字形，地下交通空间为1条地下环道，其中环路主线单向3车道，单箱单室，长 2672.904 米，位于顺通路、永通路、军师堡街及马服君街地面以下；中间连通隧道双向4车道，单箱双室，西侧部分道路长427.843米，东侧部分道路长423.083米，位于廉颇大街（永通路~顺通路）地面以下，埋深13~15米。设置12条连接地下与地面道路的出入匝道，单向1车道，共长3131.726米。地下环道按顺时针组织交通，车辆通过地下环道进出各地块地下停车场，主线沿线设置地库出入口17处，设置人员安全疏散出入口19处（包括4个人行横通道，15个可通向地面的人行疏散口），设置人员安全疏散横通道3处，设置14个附属用房，1个地下两层的监控中心。

2 地下道路主体结构防水工程设计要点

2.1 防水设计原则与标准

地下结构防水设计应遵循“高标准、多设防、保质量”的方针，确保高标准要求、高水平设计、高品质材料和高质量施工。设计原则遵循“防、排、截、堵相结合，刚柔相济，因地制宜，综合治理”，根据环境条件、结构型式及施工方法，选择有效、可靠且操作方便的防水方案^[1]。防

水等级标准要依据《地下工程防水技术规范》（GB50108-2008）以及《建筑与市政工程防水通用规范》（GB55030-2022）等规范，且要综合考虑多方面因素，以本项目为例，地下环路监控中心内设置有大量的电气设备和监控系统，一旦发生渗水，可能会导致设备短路、故障，严重影响地下道路的正常运行和安全监控，所以防水等级被确定为一级，要求不允许有任何渗水现象，结构表面必须保持干燥，无任何湿渍。

2.2 防水构造设计

2.2.1 结构自防水设计

结构自防水设计是一种依靠建筑结构自身材料和构造来实现防水功能的设计理念与方法。它以混凝土等结构材料为基础，通过优化材料配合比、改善施工工艺以及合理设计结构构造等措施，使结构本体具备良好的防水性能。

在材料方面，通常采用抗渗混凝土，通过调整水泥品种、骨料级配、添加外加剂等手段，提高混凝土的密实性和抗渗性，减少孔隙和裂缝的产生，从而阻止水分渗透。施工过程中，严格控制混凝土的搅拌、浇筑、振捣和养护等环节，确保混凝土的质量均匀一致，避免出现蜂窝、麻面等缺陷，以保证结构的整体防水性能^[2]。

2.2.2 外包防水层设计

外包防水层通常设置在建筑物的外墙、屋顶、地下室等容易受到水侵害的部位。其设计理念是在建筑结构的外侧包裹一层连续的、具有良好防水性能的材料，形成一道坚固的防水屏障。邯郸市东区中央商务区综合路网项目的地下道路在材料选择上，外包柔性防水卷材可采用高聚物改性沥青类防水卷材，也可采用合成高分子类防水卷材。高聚物改性沥青类防水卷材具有良好的耐水性、耐腐蚀性和耐老化性，其拉伸强度和延伸率较高，能够适应一定程度的结构变形。合成高分子类防水卷材则具有优异的耐候性、耐化学腐蚀性和低温柔性，其防水性能稳定，使用寿

命长。

设计过程中，需要考虑建筑物的使用功能、所处环境、结构特点等因素。防水层的厚度、层数以及材料的具体性能指标都要根据具体情况进行计算和确定，以确保达到足够的防水等级。同时，在外包防水层设计中，节点部位的处理至关重要。如阴阳角、管根、变形缝等部位，容易出现防水薄弱环节，需要采用特殊的加强措施，如增加附加层、采用密封材料进行密封等，以保证防水的完整性和可靠性。

2.2.3 细部构造防水设计

细部构造防水设计作为防水工程中的关键环节，聚焦于建筑物中那些极易出现渗漏问题的特殊部位，旨在通过精细且针对性强的设计方案，确保整个建筑的防水完整性。这些细部构造涵盖范围广泛，像变形缝能够有效适应结构因温度变化、地基不均匀沉降以及地震等因素产生的变形，防止结构因变形而出现开裂、损坏等问题，防水措施包括中埋式钢边橡胶止水带和外贴式止水带，物理力学性能。施工缝则是在混凝土施工过程中，由于施工工艺的限制，按计划中断施工而形成的接缝。在地下道路主体结构施工中，施工缝的产生是不可避免的，常用的防水措施包括止水钢板、止水条等。穿墙管与主体结构的材质和施工工艺不同，其防水处理存在一定的难点。穿墙管与混凝土之间的缝隙容易成为地下水渗漏的通道，而且穿墙管在使用过程中可能会产生振动和位移，进一步增加了防水的难度，常用的防水措施包括防水套管、密封材料等。

3 地下道路主体结构防水工程施工技术

3.1 施工准备工作

施工场地布置是施工准备工作的重要环节，合理的场地布置能够确保施工材料、设备的有序存放和施工人员的高效作业。首先，要对施工现场进行详细勘察，根据工程规模和施工需求，划分出不同的功能区域。材料堆放区应设置在靠近施工现场且便于运输的位置，地面需进行硬化处理，以防止材料受潮或受到污染。同时，要设置合理的通道，确保施工车辆和设备能够顺畅通行，避免在施工过程中出现交通拥堵，影响施工进度。

材料设备采购与检验是保障工程质量的关键。在材料采购过程中，要严格按照设计要求和质量标准，选择具有良好信誉和质量保证的供应商。对于防水混凝土、防水卷材、防水涂料等主要材料，要仔细检查其产品合格证、质量检验报告等质量证明文件。在设备采购方面，要根据施工工艺和施工进度的要求，选择性能良好、质量可靠的设备，如混凝土搅拌机、输送泵、起重机等。设备进场后，要进行全面的调试和检查，确保设备能够正常运行。

3.2 防水混凝土施工技术

防水混凝土施工技术是确保地下道路主体结构防水性能的关键，主要包括混凝土搅拌与运输、浇筑与振捣以及养护三个环节。在搅拌过程中，依循既定设计配合比进行原料调配，保障水泥、骨料以及外加剂等各类原材料用量精确无误。水泥应选用质量稳定的矿渣硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，骨料需质地坚硬且级配科学合理，外加剂应具备减水、抗渗、抗裂等功能。搅拌时间一般不少于2分钟，确保混凝土均匀混合。运输过程中需预防混凝土出现离析现象以及坍落度损失，采用密封性好的搅拌运输车并合理调整运输时间和搅拌速度，必要时进行二次搅拌或添加缓凝剂。浇筑前需检查模板和钢筋，确保模板平整、接缝严密，钢筋布置符合设计要求。浇筑应分层进行，每层厚度不超过300-500mm，运用插入式振捣器进行充分振捣，确保混凝土质地密实。浇筑过程中需避免冷缝，合理安排施工顺序，墙体与底板浇筑时先底板后墙体，采用串筒或溜槽输送混凝土。养护对混凝土防水性能至关重要，浇筑后应尽早湿养护，养护水温与混凝土表面温度需适配，两者温差把控在15℃以内，养护周期不低于14天。可选用覆盖塑料薄膜保湿或定时洒水保湿，针对大体积混凝土，还需额外采取温控策略，例如埋置冷却水管或覆盖保温材料，防止温度裂缝产生。

3.3 外包防水层施工技术

外包防水层施工技术是地下道路主体结构防水工程的重要组成部分，主要包括基层处理、卷材铺设和质量检查与验收三个环节。基层处理需对基层表面实施全方位清理，彻底清除杂物、灰尘及油污残留，务必使基层达到坚实、平整、干燥的状态，含水率控制在9%以下。对于不平整的基层，需采用水泥砂浆或细石混凝土对基层表面的凹陷、裂缝等进行修补和找平，使用2m靠尺检查平整度，靠尺与基层间隙不应超过5mm。^[3]卷材铺设前需根据基层尺寸合理裁剪，铺设顺序一般为先平面后立面、先低跨后高跨、先排水集中部位后其他部位。铺设时需确保卷材平整、顺直，无扭曲、褶皱、空鼓等现象。卷材的固定、搭接与密封可采用空铺法、点粘法或满粘法，搭接宽度短边不低于100mm，长边不低于150mm，搭接缝和收头处等部位密封材料进行密封。质量检查包括外观检查和物理力学性能检验，确保卷材铺设规整平坦、搭接稳固牢靠、密封严丝合缝，物理性能符合标准，如发现问题，应及时进行整改，如对于卷材的空鼓、气泡等问题，可采用针刺排气、重新粘贴等方法进行处理。验收程序包括施工单位自检、监理单位验收，不合格部位需整改后重新验收，直至合格为止。

3.4 细部构造防水施工工艺

细部构造防水施工技术是地下道路主体结构防水工程

的关键环节，主要包括变形缝、施工缝和穿墙管的施工。变形缝施工中，需在混凝土垫层留缝并填充发泡聚氨酯等弹性材料，中埋式钢边橡胶止水带的安装位置应准确，其中间空心圆环应与变形缝的中心线重合，固定牢固，如图1为邯郸市东区中央商务区综合路网项目中的顶板变形缝防水构造。止水带的接缝原则上以一处为宜，且应选定在边墙相对较高的位置，坚决避开结构转角处，接头推荐运用热压焊接工艺以保障连接强度，而在转弯区域，止水带务必弯折成圆弧形，且转角半径不得小于200mm。施工缝施工中，止水钢板和止水条是主要防水措施，止水钢板采用3mm厚钢板，借助铁丝紧密捆绑于结构钢筋之上实现稳固固定，接头处应采用焊接连接，确保焊缝严密不渗水；止水条采用钢板橡胶（丁基橡胶）腻子止水条，在粘贴前，需对施工缝表面实施凿毛工序，彻底清除疏松、起皮、浮灰等杂质并确保表面洁净，随后在施工缝表面铺设净浆或均匀涂刷混凝土界面处理剂，保障止水条与基面紧密黏合，坚如磐石，还需特别防范在雨天或施工过程中因通水问题致使止水条提前膨胀，进而影响防水效果。穿墙管施工中，柔性防水套管是首选方案，其套管尺寸必须与穿墙管精准适配，安装位置准确，固定牢固。在实际安装穿墙管线之际，需将预埋套管断面范围内的外包柔性防水层小心割除，随后运用密封胶对周边区域进行严密封闭。施工过程中要注意保护防水套管和密封材料，避免损坏。在安装穿墙管时，应小心操作，避免对防水套管和密封材料造成碰撞和刮擦。

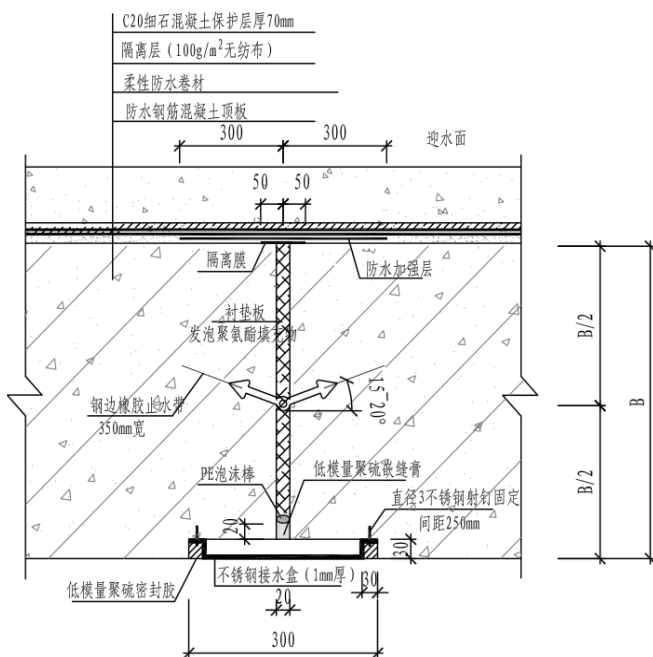


图1：邯郸市东区中央商务区综合路网项目中的顶板变形缝防水构造

4 地下道路主体结构防水工程优化策略

防水混凝土施工优化：安装自动化配料系统，与设计配合比数据库实时联动，精准控制水泥、骨料、外加剂等原材料投放量，误差控制在极小范围内，并自动记录配料数据，便于追溯分析。采用智能搅拌设备，内置混凝土均匀度传感器，根据实时监测结果动态调整搅拌时间和转速，确保混凝土搅拌均匀性达到最优，减少因搅拌不均导致的质量隐患。

外包防水层施工优化：采用无尘化基层清理设备，如真空吸尘器式清扫机，配合高压水枪冲洗，彻底清除基层表面杂物、灰尘和油污，确保基层达到超高清洁度标准。采用无线射频识别（RFID）技术对卷材进行标识，记录卷材生产批次、铺设位置、搭接情况等信息，便于质量追溯和检查，实时上传至质量管理平台，实现全过程可视化管控。

细部构造防水施工优化：运用BIM（建筑信息模型）技术进行变形缝施工模拟，优化中埋式钢边橡胶止水带安装方案，精确确定其位置、转弯半径等参数，并通过3D打印制作安装样板，指导现场施工。利用无损检测技术，如超声波探伤，对穿墙管周边防水密封情况进行定期检测，及时发现细微渗漏隐患，提前进行修补加固，保障防水效果长期稳定。

5 结论

地下道路主体结构防水工程需综合考量设计、施工各环节。在设计上遵循科学原则，依据规范确定防水等级，通过合理的结构自防水、外包防水层及细部构造防水设计构建严密防水体系。施工过程中，做好施工准备，严格把控防水混凝土、外包防水层及细部构造防水施工技术要点。同时，借助先进技术优化施工，如自动化配料、智能搅拌、无尘化清理、RFID技术、BIM技术与无损检测等，全方位保障地下道路主体结构防水效果，延长其使用寿命，推动地下道路建设高质量发展。

参考文献：

- [1] 白志杰. 刚柔结合屋面防水工程施工技术的应用[J]. 建材与装饰, 2018 (41): 27-28.
- [2] 李任忠. 砖混结构屋面渗漏水的原因及预防措施[J]. 山西建筑, 2013 (33): 101-102.
- [3] 白世有. 地铁车站预铺自粘防水卷材的施工工艺与质量控制[J]. 建材与装饰, 2016 (46): 247-248.