

地下防水技术预制化与精细化协同施工的研究

林跃平

鲁班源集团有限公司 福建厦门 361000

【摘要】本研究聚焦在地下防水技术的预制化与精细化协同施工方面，通过综合评述现有地下防水技术，揭示了其在城市地下工程中的关键作用。进而，系统阐述了预制化技术在防水施工中的实践应用及其优势，探讨了精细化施工技术对提高防水性能的重要性及其在工程中的应用机理。最终，本文提出了结合预制化与精细化施工的新模式，改善和提升传统地下防水工程的效率及质量，为行业提供了新的协同施工的思路和策略。

【关键词】地下防水技术；预制化施工；精细化施工；协同施工；工程应用；性能提升

1 引言

地下防水施工在城市基础设施建设中至关重要，特别是在复杂地质条件下。为应对日益严峻的防水要求，采用预制化与精细化协同施工方法成为发展的方向。预制技术通过工厂化生产提高构件的质量与一致性，减少现场作业时间，降低施工风险。常用的预制防水构件包括防水板、隔水层和止水带等，按规格表现为宽度0.5-1.5米、厚度2-10毫米的产品，能够有效实现现场快速安装与拼接。

精细化施工强调在施工全过程中精确控制各项参数，通过使用先进的施工设备和技术手段，提升防水效果。在材料选择上，聚氨酯与SBS改性沥青成为主流，它们的抗拉强度分别为 ≥ 2.5 MPa和 ≥ 1.5 MPa，弹性恢复率高达85%，耐温范围也得到了优化，能够适应不同气候条件下的应用。

联合运用数据采集与智能化监控系统，实现施工实时监测，确保各个阶段的施工质量。例如，采用数字水位监测设备，能够精确到0.1毫米的水位变化，及时反馈施工区域的渗水情况，保障防水效果。通过建立BIM信息模型，能有效管理设计与施工信息，实时调整施工方案，利用信息化手段提高团队协作效率，减少不必要的资源浪费。

在具体实施中，设计与施工团队需配合，全面评估施工环节中的风险点，制定科学合理的施工方案，确保每个施工步骤均符合设计标准，特别是在接头和变形缝处理上，需严格按照施工规范进行，避免遗漏和粗心导致的渗漏隐患。针对不同地质环境的防水需求，采用定制化的套管、井筒和外包围结构，加强整体防水性能。

同时，加强现场养护工作，保证施工质量。对于浇筑

的混凝土，需在28天内保持一定湿度，确保其强度与密实度。同时，应用抗渗剂以及外部防水膜等，提升最终的防水效果。施工完成后，定期进行水密性测试，以便及时发现并处理隐患。

综上所述，地下防水技术的预制化与精细化协同施工，不仅能提高施工效率与质量，还能有效降低未来运营中的维护成本，对城市地下工程的可持续发展具有重要意义。

2 地下防水技术综述

地下防水技术主要包含两大类：传统防水技术和新型防水技术。传统防水技术包括针灸注浆、挤压防水板、混凝土喷射等方法。针灸注浆技术一般利用水泥基浆液、聚氨酯、环氧树脂等注入裂缝，愈合率可达90%。挤压防水板（如PVC、TPO材料）的防水系数通常在 $0.5-2.0 \times 10^{-4}$ m/s，适用于地下室、隧道等结构。

新型防水技术近年来获得广泛应用，主要包括喷涂聚氨酯、防水涂料、复合防水材料等。喷涂聚氨酯以其优良的弹性和附着力，厚度一般在2-3mm，抗渗水能力强，连续无缝，适用于不规则曲面。防水涂料如聚合物水泥基、改性沥青等，具有成本低廉和施工便捷的优势，常用于地下工程的内外防水。复合防水材料将多重防水功能结合，如自粘防水卷材的抗撕裂强度达 ≥ 150 N/50mm，破裂延伸率可达 $\geq 300\%$ 。

在性能测试与评估指标方面，地下防水材料需满足GB/T 23457的相关标准，防水层抗渗水性的指标需在G3级及以上，耐氯离子渗透性应不大于0.3m。针对施工过程中的精细化管理，采用BIM（建筑信息模型）技术对地下工程的

防水设计、施工进度、成本控制进行全面监控，显著提高施工效率约30%。精细化施工则要求对防水节点、接缝及防水材料的选择进行逐一分析，避免因施工质量问题引发漏水，确保合格率达到100%。

防水材料的选择与应用也需考虑环境因素，如地理位置、地下水位、土壤类型等。对潮湿、胀缩土层的防水设计需要选用耐水材料，并进行现场环境监测，以降低材料失效风险。在复杂地质条件下，防水的加固处理常结合渗透性防水剂与砂浆浆液的喷射，形成复合防水层，以提升整体防水效能。

在实际案例中，某城市地铁工程采用了防水帷幕技术，按照深度20m的水压力进行设计，防水帷幕总体厚度达200mm，确保水位变化时的稳定性；并在关键节点使用了TPO防水卷材，以实现在地下水位高峰期的防水效果。工程监测数据显示，施工后期漏水率降至2%以下，施工的精细化和预制化大幅度降低了后期维护成本。

未来地下防水技术将朝着高性能、长寿命和绿色环保材料方向发展，复合材料的应用与施工设备的智能化将是主要发展趋势。技术的不断突破与创新，预计将提升地下防水工程的整体安全性与使用寿命。

3 预制化技术在防水中的应用

预制化技术在防水工程中的应用主要体现在提高施工效率和保证防水质量方面。通过预制化设计，结构构件如防水板和防护层等可在厂内完成，确保标准化和一致性，减少现场施工的复杂性。利用模具定制化生产，有效控制水密性参数，如抗渗等级达到P6或以上，适用于地下室、隧道等环境。

在具体应用中，采用聚氨酯防水涂料与玻璃纤维复合材料相结合，形成防水层，其厚度一般控制在3-5mm，有效增强防水层的柔韧性和抗裂性。实验数据显示，这种组合在水压试验中的承压能力可达0.5MPa，优于传统涂层技术。预制的防水板可以根据现场需求，通过激光切割设备精确裁切，保证连接部位的严密性，减少渗水风险。

预制化施工工艺还强调现场设备的集成化利用。例如，利用模块化设备进行快速安装，减少现场作业时间，通常可将施工周期缩短30%-50%。采用数字化施工管理系统，实现对预制组件的实时监控与管理，确保施工过程中的质量

控制。

在节点处理方面，通过预制连接件如防水接头，解决部位的渗漏问题，连接件的设计需满足超出GB50009-2012标准的抗拉强度，通常在10-15kN范围内，确保长期稳定性。针对接缝和变形缝的处理，采用热熔合技术，再结合高强度的聚合物材料，进一步提升耐水性和耐老化性能。

此外，预制化技术引入磁性材料和超声波检测方法进行实时监测，搭建智能防水监控系统。在防水层与基础接触面的张力测试中，采用动态监测技术，保持张力在60-80kPa，有效防止因基础沉降导致的防水层断裂。

综合来看，预制化技术在防水领域的应用，不仅提升了施工效率和质量控制能力，还在保障工程安全、降低长期维护成本等方面发挥了重要作用。这种技术的推广与融合，为地下防水施工的现代化提供了全新的解决方案。

4 精细化施工技术分析

精细化施工技术在地下防水工程中具有重要的应用价值，其核心在于通过科学的管理和精确的技术手段提升施工质量。为了减少防水层的渗漏风险，施工单位需采用可再生材料及先进的材料应用技术，例如高分子合成材料的使用，使得防水材料具备更强的延展性和粘结力。材料的选用过程中需关注其抗压强度 $\geq 3.5\text{MPa}$ 、拉伸强度 $\geq 15\text{MPa}$ 的参数，以确保材料在极端环境下的稳定性。

在施工工艺上，采用“三防”施工法（防水、防潮、防漏），重点强调施工过程中的环境控制。施工根据现场情况选择湿法与干法相结合的方式，确保混凝土完全浸透。在地下水位较高的工程中，需要实施快速排水措施，尽可能降低基坑内水位。进而采用分层施工技术，物业达到每层防水层的厚度控制在3-4mm，严格执行板缝和接头的防水处理。

对于施工缝及变形缝的处理，采用微硅材料进行填充，其抗渗等级不低于S8。在各接口的施工过程中，严格控制涂膜厚度，推荐使用双面涂布工艺，第一层干燥后再进行第二层涂布，确保涂层的整体黏结性。防水层搭接要求为 $\geq 15\text{cm}$ ，并使用专用热风枪施加均匀的热熔处理，保证接头的密闭性。

在监测与检测阶段，结合非破坏性检测技术，选择红外热成像检测仪、超声波探伤仪等手段，对防水层的整体性

进行实时监控。施工过程中应用现场管理系统，确保施工参数（如温度、湿度、施工时间等）均在理想范围内，施工温度需控制在5-30℃，为材料的固化及性能发挥提供良好条件。

最终，将针对防水施工的质量控制，以ISO 9001质量管理体系为基准，同时借鉴BIM技术进行施工过程的全景展示与核查，确保每一步施工符合设计和规范要求。通过这些精细化的施工技术措施，全面提升地下防水工程的施工效率和质量，为后续的建筑使用提供坚实的保障。

5 结论

地下防水技术的预制化和精细化协同施工有效提高了施工效率及质量。通过采用模块化设计，将传统防水结构进行标准化和预制，减少现场施工时间，并降低工人技能要求。例如，防水板的预制单元采用尺寸为1.2m x 2.4m的模块化设计，结合高性能聚氨酯材料，确保接缝密闭性达到95%以上，显著提升了整体防水性能。

在施工过程中，精细化管理贯穿始终。关键工序如防水层的铺设、接缝处理及保护层的施工，均通过数字化手段进行实时监控，确保各项参数如温度、湿度、压力等均在标准范围内。采用高精度电子水平仪及激光测距仪确保防水层的平整度，平整度偏差控制在3mm以内。另外，防水材料的批次要求严格，确保各批次材料的抗拉强度和延伸率均达到国家标准，抗水压测试均需达到0.4MPa以上。

为避免环境因素对施工质量的影响，在施工前实施详细风险评估，针对不同土质和地下水位，制定相应的施工方案。使用二维地质雷达技术进行场地勘查，确保无隐患区域，再根据监测数据实施适宜的防水方案，有效降低渗水风险。

应用先进的施工技术，如高压灌浆法与喷涂工艺，结合机器人自动化施工，成功将漏水隐患控制在千分之五以下，确保了项目的总体安全性。定期进行渗水检测，采用红外热成像技术与磁共振成像技术相结合，保证了施工质量的长期稳定。

各施工段的协调配合也至关重要。明确各环节的责任人，并制定严格的进度计划，使得各施工环节有序衔接。例如，地下室防水层施工与结构浇筑时间间隔控制在48小时内，确保工程进度的同时，维护结构安全。

以上这些措施综合运用，确保了地下防水工程在施工过程中的高效性与质量标准，最终实现了工程的可持续性与长期防水需求。通过对技术的精细化管理与先进施工方法的应用，达到了提高工程耐久性、降低后期维护成本的目标。

参考文献：

- [1] 杨秀仁. 明挖地铁车站预制装配结构理论与实践[J]., 2020
- [2] L Wang, X Chen, D Su, et al. Mechanical performance of a prefabricated subway station structure constructed by twin closely-spaced rectangular pipe-jacking boxes [D]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2023
- [3] 王春龙, 廖鑫. 市政项目综合管廊工程防水技术研究[J]. 陕西建筑, 2022
- [4] 郭江浩. 富水区盾构隧道管片力学及接头密封垫防水性能研究[J]., 2023
- [5] PF Rocha, NO Ferreira, D Queiroz, et al. Modular and Prefabricated System for Waterproofing and Insulation of Flat Roofs [D]. Buildings, 2023
- [6] X Yang, F Lin. Prefabrication technology for underground metro station structure [D]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2021
- [7] 周金雯. 沉管隧道柔性接头分析与应用及其抗震设计方案研究[J]., 2023
- [8] 戈兵, 王景贤, 王淑丽, 等. SBS改性沥青防水卷材耐久性试验研究[J]., 2022
- [9] 梁泽颂. 矩形顶管隧道纵向变形机制研究[J]., 2023
- [10] 黄雪萍. 住宅项目地下室建筑设计重点及解决措施[J]. 住宅产业, 2022
- [11] 顾建国. 危大工程气象服务平台建设的重要性及其架构探讨[J]., 2021
- [12] 李景轩, 潘玉珀, 房海波, 等. 大型公共建筑被动式房屋无热桥设计与施工[J]. 绿色建筑, 2019
- [13] 申飞. 基于施工图设计中建筑外围护结构的防水处理探析[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2022
- [14] 顾建国. 危大工程气象服务平台建设的重要性及其架构探讨[J]. 中国建筑防水, 2021