

复杂承压水筏板施工关键难题及综合治理工程实践

廖白红

广州花都城兴建设有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/UAID.2026030054

摘 要 : 丰富水深基坑开展筏板基础施工时, 地下承压水突涌极易扰动基底原状土体, 导致混凝土成型缺陷、工期延误等一系列问题。针对广州市花都区多个工程项目出现的基底泉涌问题, 项目自主研发了泥沙过滤盒、带“止水翼环”镀锌管两类专用构件, 组合形成了一套动态调压控水、多级泥沙过滤、结构永久封堵于一体的标准化施工工艺。配套构建了水位在线监测 + 变频自动控水系统, 实现基坑降水 24 小时无人值守与精准调控; 同时融合了无人机航拍视觉采集、深度学习图像识别技术, 大体积混凝土振捣质量智能判别模型, 激光式浇筑厚度检测设备与桩筏施工数字孪生管控平台。多个项目工程实践表明, 整套综合处置方案可快速解决基底承压水泉涌隐患, 确保筏板混凝土成型质量, 有效压缩施工周期, 降低基坑降水用电能耗, 可为华南地区同类富水承压地层筏板施工提供实操参考。

关 键 词 : 深基坑; 筏板基础; 泉涌; 动态降水; 智能在线监测; 质量控制

Key Challenges and Comprehensive Treatment Engineering Practices in Complex Confined Water Raft Construction

Liao Baihong

Guangzhou Huadu Chengxing Construction Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : During the construction of raft foundations in deep excavations with abundant groundwater, sudden inrush of underground confined water can easily disturb the undisturbed soil at the base, leading to a series of issues such as concrete forming defects and construction delays. In response to the foundation spring inrush problems encountered in multiple engineering projects in Huadu District, Guangzhou, the project independently developed two types of specialized components: sediment filtration boxes and galvanized pipes with "water stop wing rings". These components combine to form a standardized construction process that integrates dynamic pressure regulation and water control, multi-level sediment filtration, and permanent structural sealing. A supporting system consisting of online water level monitoring and a variable frequency automatic water control system has been established, enabling 24-hour unattended operation and precise regulation of foundation pit dewatering. Additionally, it incorporates drone aerial photography and visual acquisition, deep learning image recognition technology, an intelligent judgment model for the vibration quality of mass concrete, laser-based pouring thickness detection equipment, and a digital twin control platform for pile-raft construction. Multiple project practices have shown that this comprehensive treatment plan can quickly address the hidden dangers of foundation spring inrush, ensure the forming quality of raft concrete, effectively shorten the construction period, reduce the energy consumption for foundation pit dewatering, and provide practical reference for raft construction in similar water-rich and confined strata in South China.

Keywords : deep foundation pit; raft foundation; spring gushing; dynamic dewatering; intelligent online monitoring; quality control

引言

近年随着城市地下空间开发规模持续扩大, 大量地下室开挖深度越来越深, 地下室土层孔隙水、基岩裂隙水交叉分布, 承压水水压越来越高, 基坑开挖至坑中坑、集水井等较深区域时极易发生承压水泉涌现象。传统明沟集中抽排方式存在明显劣势: 涌水会携带大量的细砂泥浆冲刷作业面, 工作面泥浆淤积严重导致正常施工无法开展; 泥土晾干混凝土浇筑间隔太久, 大幅拉长了总工期; 同时流动水环境下浇筑的混凝土极易产生夹泥、蜂窝麻面、内部孔洞等结构性质量缺陷, 后期渗漏修补反复, 结构堵漏治理成本居高不下。

现有的基坑降水、混凝土质量检测手段多为单一独立技术，缺少针对承压水泉涌工况下的一体化成套解决方法。依托本公司广州市花都区三项房建项目（智慧车辆研发检测中心、文旅城地块、城中村安置区）富水承压地层施工实践，项目团队自主研制过滤构件及开发全自动变频控水体系、混凝土质量监控平台。经现场工程应用表明，该综合技术体系可同步完成基底涌水治理与施工全过程自动质量管控，具备较强工程推广价值。

一、工程概况与泉涌风险分析

（一）实践工程概况

本技术应用于智慧车辆研发检测中心项目、文旅城地块项目、城中村改造安置区项目，三个项目在广州市花都区。各项目均采用了旋挖灌注桩+筏板基础形式，均含有地下室，基坑开挖深度约12~15m。地下水丰富，包括第四系孔隙水和基岩裂隙水，承压水头高度达6~8m，渗透系数约为 10^{-4} ~ 10^{-3} cm/s。基坑开挖三个项目共计发现25处承压水泉涌点，主要集中在集水井、坑中坑底位置。单点最大涌水量可达80m³/h，涌水裹挟了大量粉细砂、粉质黏土等，造成防水垫层破坏、防水卷材施工环境差，直接阻碍筏板混凝土连续浇筑施工。

（二）泉涌形成机理与传统工艺缺陷

1. 泉涌发生机理

基坑开挖剥离了上部土层后，垫层及坑底结构自重荷载不足以平衡下层承压水水头的压力；承压水流击穿上部较弱隔水层，或沿着土体内部微裂隙形成贯通渗流通道，在基坑低洼处形成集中泉涌。此类泉涌具有水压高、含砂量大、突发性强的特点，渗流位置可在数分钟内持续扩大，若处置不及时会引发基底大面积涌砂涌水、更可能造成基坑支护结构侧向变形，地面塌陷、基底土体隆起、围护失稳、周边地表沉降等重大安全质量事故。

2. 传统处置工艺局限性

工程中常用挖汇水沟、集中抽排的治理方式，该方法存在三个突出问题：

- （1）泉涌水混合着泥砂持续渗流，作业面泥浆遍布，垫层、防水卷材铺设无正常施工条件；
- （2）持续排水基底泥土晾晒、混凝土浇筑间隔时间长，严重拖慢整体施工进度；
- （3）持续流动水干扰混凝土正常成型，结构内部易形成夹泥、孔洞等质量缺陷，完工后渗漏问题频发，堵漏修补工作循环反复。

二、泉涌综合处置核心工艺

针对基底泉涌处理中过滤、抽排、封堵等技术难题。项目攻关小组“头脑风暴”借鉴等方式自主研发过滤盒、带“止水翼”封堵镀锌管部件，构建出了“动态控水控压+多重过滤层+永

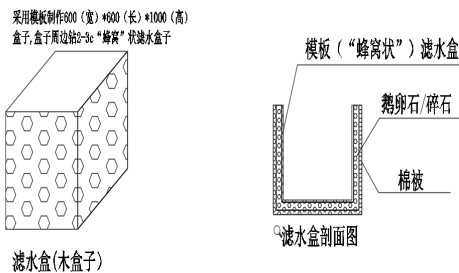
久封堵技术”的一体化施工工艺，适用于集水井、坑中坑泉涌处置、大筏板泉涌处置两种工况。

（一）核心构件研发

1. 预制过滤盒

过滤盒外轮廓尺寸长×宽×高为600mm×600mm×1000mm，可根据项目施工周期决定：短期临时施工选用现场模板制作过滤盒（时间快成本低），时间长可采用不锈钢材质。过滤盒内部设置三层分级过滤系统：外侧包裹高密度过滤棉，拦截粗颗粒砂石及净化水质；过滤盒身除上口面均匀开设10mm左右导流带“蜂窝”孔，实现二次泥沙阻隔；水泵吸水口外侧包覆高精度滤网，截留细微粉砂，确保水泵运行不被堵塞顺利抽排水。

过滤盒顶部采用钢筋伸入两侧垫层位置，抵消承压水水体浮力防止箱体上浮移位。现场实量该装置整体泥砂拦截效率达95%以上，大幅减少细砂进入水泵降低管道堵塞风险。



一种有效过滤装置

图1 预制过滤盒结构

2. 预制封堵镀锌管

封堵镀锌管以直径150厘米的热镀锌钢管为主体，管身焊接“止水翼”，防止水沿管壁造成渗漏。过滤盒内设置水位球阀，镀锌管底设置不锈钢拉线，便于后期撤出水泵闭合钢板阻止水上溢。配套盲板、卡箍、密封胶圈共同组成后期封堵体系，盲板与管口的衔接采用密封胶圈强化止水效果。

管道预埋高过于过滤盒顶部，筏板位置管顶则低于筏板面8厘米，集水井处则外露10厘米，兼具抽水导流与永久封堵功能。筏板混凝土达强度后加大抽水功率降低水位随后关闭阀门，闭合合页钢板，管内采用速凝高强微膨胀混凝土，管口用盲板加卡箍密封，彻底阻断涌水。

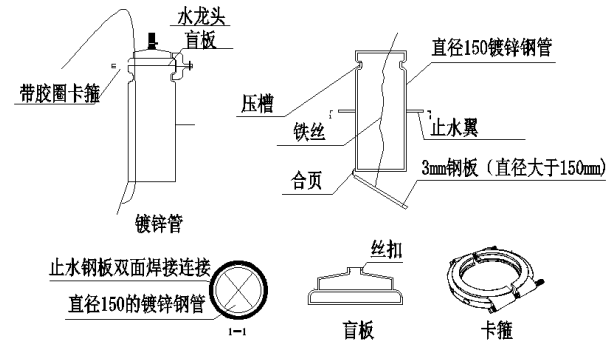


图2 预制封堵镀锌管构造示意图

（二）标准化施工流程

1. 集水井泉涌处置流程

发现泉涌开挖预埋过滤盒洞口，预埋过滤盒及在箱体四周填充碎石滤料，预埋镀锌封堵套管（预埋管与筏板钢筋焊接进行固定），安放抽水泵进行动态控水，将地下水位控制在垫层底面以下 500mm；随后开展垫层浇筑、防水卷材施工、筏板大体积混凝土浇筑等施工，同步进行混凝土测温养护；养护不少于 14 天，混凝土达到设计强度撤出抽水泵，关闭套管内合页钢板采用速凝高强微膨胀混凝土，盲板加卡箍对套管进行双重封堵，定期对套管周围进行渗漏检查。

2. 垫层底泉涌处置流程

筏板区域（不含集水井、坑中坑）的处置流程，与集水井处基本一致，施工中加装直径 50 厘米排水管，将积水引流到就近集水井。以此构建起全域排水网络，实现整片基坑水位的统一管控。如图 3 所示

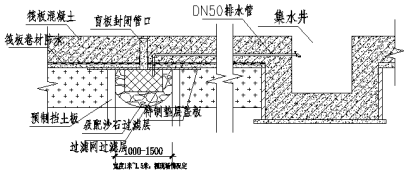


图3 筏板泉涌处置流程

三、筏板基底水位智能控制技术

传统降水设备需 24h 满负荷持续运行，不仅电能消耗量大，水位波动也幅度大，还极易诱发基底不均匀沉降。本系统依托物联网、自动控制技术搭建水位 + 流量远程监测变频控水系统，实现全天候无人值守及精准降水调控。

（一）系统硬件组成

水位智能控制系统由四大模块组成：

1. 变压供电模块：将施工现场 220V 的交流电转换为 24V、5V 直流电，为传感器、控制器、网络传输设备提供稳定电源；
2. 传感采集模块：搭配 0~10m 量程液位变送器、涡轮流量变送器，统一输出 4~20mA 标准模拟信号；

3. 核心控制模块：以“树莓派”4B 为主控单元，配套直流隔离变送器、RS485 信号转换器，完成信号解析，逻辑运算，设备启停指令下发；

4. 云端传输模块：搭载 4G 物联网通信卡，设备数据实时上传阿里云服务器，网页端可视化展示降水运行参数。

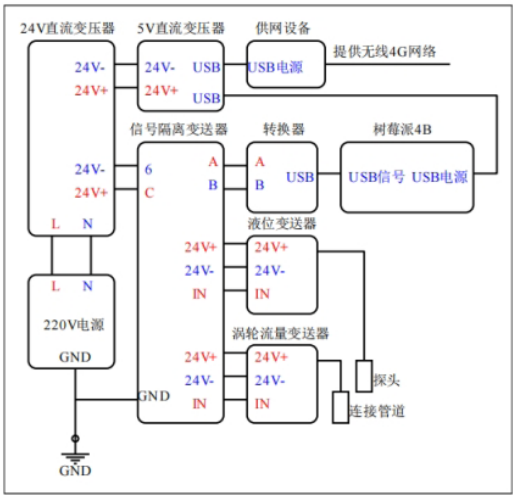


图4 智能监测设备整体接线示意图

（二）系统软件与控制逻辑

控制程序是基于 Python 语言自主编写，系统每 5min（也可以情况调整时间）自动采集一次基坑水位、管道流量数据，内置数据纠错、运行日志存储、定时重启功能，保障设备长期稳定不间断运行。

1. 水泵启停逻辑：设定水位上下限阈值，水位超过上限自动启动水泵，降至下限自动停机，避免设备频繁启停损耗；
2. 变频调控：匹配通用变频器划分 6 档功率档位，根据实时涌水量动态调节水泵转速，现场实测基坑水位波动幅度可控制在 ± 50mm 以内，实现按需降水；
3. 自动预警机制：程序内嵌邮件推送模块，当水位突升、传感器故障、水泵停机等异常情况出现时，自动向项目管理人员推送预警信息。

（三）设备调试

设备进场后先在实验室完成传感器率定，建立电信号与实际水位、流量的换算关系；现场安装后联动云端平台，实现数据查询、曲线绘制、报表导出。该系统可降低人力值守成本 80% 以上，综合节电 30%~40%。

四、混凝土施工质量智能监控技术

筏板混凝土振捣、浇筑厚度直接决定结构密实度与整体质量，传统人工目视检查主观性强、时效性差。本文融合无人机视觉、深度学习、激光测距技术，实现施工质量全过程智能管控。

（一）基于计算机视觉的振捣质量识别系统

1. 数据集构建

使用搭载工业相机的无人机采集混凝土振捣视频，每 30 帧抽取 1 张图像。振捣质量划分为不合格、过渡、合格三类，初始样本

1500张。采用 StyleGAN2生成对抗网络进行数据增强，样本扩至2100张，按7:3比例分为训练集与验证集。

2. 识别模型与应用平台

采用 SE-ResNet50网络，嵌入注意力机制增强图像特征提取，可准确区分漏振、欠振、过振等状态。基于 PyQt5开发桌面端系统，支持图片上传、实时识别、结果输出与置信度展示，便于管理人员远程指导施工，实现振捣质量实时调整。

（二）混凝土浇筑厚度实时检测装置

研发激光厚度检测装置，含支撑架、激光传感器、调平水泡与升降组件。浇筑及收面过程中实时测厚，变事后检测为过程管控，偏差即调，从源头控制误差，适用于大体积筏板连续作业。

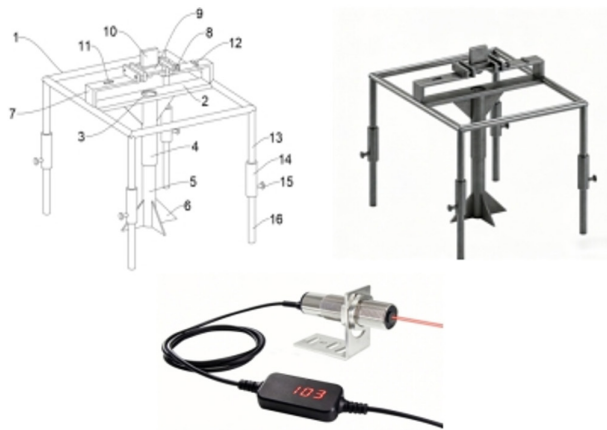


图5 混凝土浇筑厚度检测装置

（三）桩筏施工数字孪生管控系统

建立桩筏基础全流程数字孪生平台，汇集传感器、视频及设备运行数据，构建施工偏离指数并量化风险等级。系统自动生成协同管控方案，经虚拟仿真验证后执行，实现风险预判、工序协同与全流程数字追溯。

五、工程应用效果

（一）质量控制效果

三个项目共发现25处泉涌点采用本套技术处理后，持续数

周观察均未见渗漏。通过钻芯取样显示，筏板混凝土骨料分布均匀，无夹泥、蜂窝、孔洞等质量缺陷，强度及抗渗指标满足设计规范要求。振捣识别系统与激光测厚装置检测准确，混凝土厚度及施工质量均控制在允许范围内。

（二）工期与经济效益

与传统明排抽排及后期可能造成的反复注浆堵漏相比，本技术省去基底长时间抽排水，排污等工序，单个项目整体施工工期缩短15d以上。按日均投入9名施工人员、3台抽水泵、1台挖掘机测算，单项目可节约人工、机械闲置成本12~15万元。

基坑抽排地下水经三级沉淀池净化处理后，可循环用于现场喷淋降尘、车辆冲洗、场内道路洒水降尘，三个项目累计回收利用地下水约1500余吨，减少市政自来水支出约4500元，契合了绿色施工政策要求。

（三）安全与管理效益

智能监测、视觉识别系统替代大量人工现场值守，降低人员在潮湿基坑作业的安全风险；全流程数据可追溯，完善工程质量管理管控体系，工艺标准化、模块化程度高，可直接推广至同类富水基坑项目。

六、结束语

针对深基坑筏板承压水泉涌施工难题，项目团队研发过滤盒与带“止水翼”封堵镀锌管，形成了动态降水、多级过滤及永久封堵一体化的工艺。同时搭建了水位智能监测与变频控水系统，实现了无人值守及精准降水。结合无人机视觉与深度学习，构建振捣质量识别模块及厚度检测装置。工程应用表明，该成套技术可高效治理泉涌，保障混凝土质量，缩短施工工期，降低水电能耗，兼顾了绿色施工，工艺标准化程度高，可为丰富水地层筏板施工提供技术借鉴。

参考文献

- [1] 龚晓南. 岩土工程地下水控制理论、技术及工程实践 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2020.
- [2] 刘创，周千帆，许立山，等. “智慧、透明、绿色”的数字孪生工地关键技术研究及应用 [J]. 施工技术，2019, 48 (01): 4-8.
- [3] 陆磊. 浅析建筑混凝土质量检测 [J]. 四川水泥，2017 (12): 278.
- [4] 杨士超. 基于 BIM 技术的建筑工程施工质量过程管理研究 [D]. 北京：中国科学院大学 (工程管理与信息技术学院)，2016.
- [5] 王要武，吴宇迪，薛维锐. 基于新兴信息技术的智慧施工理论体系构建 [J]. 科技进步与对策，2013, 30 (23): 39-43.
- [6] 姚礼杨. 大数据在工程质量监管中的应用研究 [D]. 聊城：聊城大学，2017.