# 桥梁承台深基坑开挖支护施工技术要点分析

文 / 潘斌斌　浙江华安泰工程集团有限公司

**摘　要：**为提升桥梁承台深基坑施工的安全性与技术水平，采用案例分析与技术归纳的方法，研究开挖分层控制、支护结构优化、降水处理、风险识别与监测应用等关键技术。分析认为，科学的施工组织与全过程控制措施可有效降低变形风险、提升施工效率，为复杂环境下深基坑工程提供了可靠技术支撑。

**关键词：**桥梁承台；深基坑施工；支护结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.062

## 引言

随着城市基础设施建设的加速推进，桥梁承台深基坑施工面临地质复杂、水文条件严峻及环境敏感性强等诸多挑战。为保障基坑结构安全与周边环境稳定，需系统研究开挖与支护施工关键技术。本文围绕深基坑施工过程中的分层控制、降水处理、支护选型、风险防控与监测机制进行深入探讨，期望提升工程实施的安全性与规范性，为类似项目提供可借鉴的技术路径与实践依据。

## 一、工程概况

本工程为城市主干道桥梁建设项目的重要组成部分，承台基础采用深基坑形式施工，基坑开挖深度达6.5米，属复杂地质条件下的深基坑作业。项目位于城区繁华地段，周边环境复杂，毗邻高层建筑及市政管线，对基坑支护与变形控制提出了较高要求。地质条件主要为粘性土夹粉质黏土，局部存在砂层，地下水位较高，具备一定的涌水风险。根据勘察资料和设计要求，施工中需结合地层特点合理选取支护方式，并采取有效降水及基底加固措施，确保基坑结构安全与周边环境稳定，为桥梁下部结构顺利施工提供坚实保障。

## 二、开挖与支护施工技术

### （一）分层与稳定控制

在桥梁承台深基坑施工过程中，分层开挖是确保边坡稳定与施工安全的核心环节。如图1所示，结合本工程基坑开挖深度较大、地层结构变化明显、地下水位较高等特点，采用放坡开挖配合灌注桩支护的方式进行施工。支护结构在开挖前整体施工完成，形成连续止水帷幕与初步支护体系，为后续分层开挖提供结构支撑保障。开挖过程遵循“自上而下、分层分段、土方开挖与监测联动”的施工原则，单层开挖厚度控制在1.0～1.5米之间，有效控制地应力释放速度，避免边坡扰动引起的滑移与沉降。针对基坑边坡采用3:1或2:1的放坡比，根据土质强度与稳定性等级动态调整，转角及坡脚区域设立临时支挡设施，提升局部稳定性。施工期间严格执行“分区、分段、分批”作业组织模式，边开挖边观察监测数据，实时掌握坡体变形与支护响应状态。对于局部软弱地层或含水砂层，辅以表层加固、抗滑桩或反滤措施，进一步增强整体稳定性。通过将一次成型的支护结构与科学分层开挖策略相结合，实现了深基坑放坡开挖的安全、高效、稳定目标，为桥梁下部结构施工提供坚实保障。

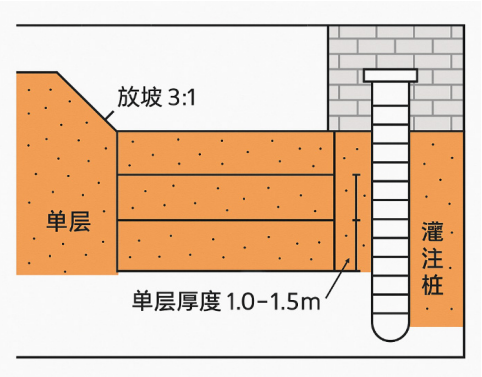


图1 施工分层示意图

### （二）降水处理与基底防护

深基坑施工中地下水位较高，将直接影响基坑稳定性和基底承载力，因此合理的降水处理及基底防护措施尤为关键。本工程采用轻型井点与深井联合降水方式，根据基坑面积与土层渗透系数布设降水井点，降低地下水位至基底以下1.0～1.5米，有效防止基坑侧壁渗水及基底突涌。降水量估算依据达西渗流定律，计算公式如下：

$$= \cdot \cdot \qquad (1)$$

式中，$Q$为单位时间内降水量，$k$为土层渗透系数，$A$为渗流面积，$i$为水力坡度[1]。通过现场抽水试验校核参数，确保设计与实际一致性。

基底防护方面，采用10cm厚中粗砂反滤层加30cm厚C15素混凝土垫层，以增强地基整体性、防止基底扰动。施工期间严禁超挖，基底清槽后立即浇筑垫层，防止曝气软化或积水回渗引发承载力下降。在软弱土段，局部增设钢筋混凝土支撑垫块，并结合地基加固措施（如注浆加固）提升基底稳定性。通过系统降水与合理防护设计，有效保障了深基坑施工过程中的安全与质量控制[2]。

### （三）支护结构选型与施工要点

针对本工程深基坑地质条件复杂、地下水丰富、周边建筑密集等特点，支护结构采用“钻孔灌注桩+内支撑”组合形式，确保基坑稳定性与周边环境安全。支护桩直径为800mm，间距为1000mm，桩长视地层变化控制在16～20m之间，形成连续止水帷幕，有效阻挡地下水

侧渗。桩身混凝土强度等级为C30，钢筋笼按设计配筋布设，施工中严格控制垂直度与灌注连续性，防止断桩与缩颈。

支撑结构采用两道钢支撑，采用Q345型钢，布置位置结合基坑深度及变形控制要求进行精细计算，支撑轴力根据静力平衡原理初步估算：

$$N=\frac{p\cdot H^2}{2L} \quad (2)$$

式中，$N$ 为支撑设计轴力，$p$ 为支护墙后土压力，$H$ 为支撑高度，$L$ 为支撑间距[3]。土压力 $p$ 按简化朗肯土压力理论计算：

$$p=\gamma\cdot H\cdot K_a \quad (3)$$

式中，$\gamma$ 为土体容重，$K_a=\tan^2(45^\circ-\phi/2)$，$\phi$ 为土的内摩擦角。通过力学分析合理确定支撑布置与构件选型，并结合现场监测数据进行施工期调整，确保支护结构的稳定与高效。

## 三、风险预防与控制措施

### （一）风险识别

在桥梁承台深基坑施工过程中，风险识别是实现全过程安全管理的前提。根据工程特点与周边环境，主要风险包括基坑侧壁失稳、支护结构失效、基底突涌、降水不均引发不均匀沉降，以及对周边建筑物和市政管线的扰动风险；暴雨天气、突发涌水、夜间施工以及机械作业失误等也是不可忽视的风险源[4]。通过前期地质勘察、设计审核、施工方案评审以及专家论证会议，全面识别风险点，明确各类风险的诱因、表现形式及可能后果。施工前制定详尽的风险识别清单和责任分解表，并结合BIM技术与现场监测手段实现动态风险更新与分级预警，为后续制定有效的控制措施提供科学依据。

### （二）变形防控

基坑变形是影响深基坑施工安全与周边环境稳定的关键因素，主要包括支护结构侧移、地表沉降及邻近建构筑物沉降变形。为有效控制变形风险，本工程采取“监测先行、分层控制、刚柔结合、动态调整”的综合策略。施工中严格控制分层厚度与开挖速率，确保支护结构同步施工，避免支护滞后导致位移集中。支护结构设置双道钢支撑，结合支撑轴力实时监测，防止结构失稳。地表沉降控制指标为≤20mm，邻近建筑沉降控制在≤15mm。通过布设水准点、测斜管、沉降观测点等监测设施，实现全过程变形监控。监测数据一旦超出预警阈值，立即启动应急加固与施工调整措施，确保基坑结构安全与周边环境稳定。

### （三）环境保护

深基坑施工过程中对周边环境的影响具有显著敏感性，必须严格落实环境保护措施，确保施工行为绿色、可控。本工程位于城区核心区域，周边有密集住宅与市政管线，环保要求高。施工中通过设置封闭围挡、洒水抑尘、出入口洗车平台等措施控制扬尘污染；采用低噪音设备、合理安排施工作业时段，降低施工噪声对周边居民的干扰。基坑降水排放经沉淀池处理后方可达标排入市政管网，严防施工废水直接外排污染环境。土方运输采用密闭车辆并限定时间，防止扬撒影响道路清洁。施工现场设立环保巡查机制，定期检查环保设施运行情况并做好记录，确保各项环保措施落实到位，维护良好施工生态环境。

### （四）应急管理

为有效应对深基坑施工过程中可能出现的突发事件，如边坡滑塌、基底突涌、支护结构失稳及极端天气等，本工程制定了科学完善的应急管理体系。施工前编制专项应急预案，明确各类事故的响应流程、处置措施与人员分工，实行“预防为主，响应及时”的管理原则；现场设置应急物资储备区，配备挡水板、抽水泵、钢支撑加固件、警示标识等器材，确保突发情况下迅速反应；组织施工人员定期开展应急演练，提升实际操作能力与协同处置效率；建立24小时值班与信息通报机制，确保突发事件发生后第一时间启动响应程序，快速开展现场封闭、险情控制与后续抢险处置，最大限度降低事故影响，保障施工安全与社会稳定。

## 四、现场施工与监测应用

### （一）组织安排

为保障桥梁承台深基坑施工高效有序推进，项目部建立“项目经理—技术负责人—施工班组”三级管理体系如图2，明确职责分工，强化施工组织管理。设置专职安全员、质检员、测量员与监测员，实行全过程动态监管；施工现场划分为作业区、材料堆放区、机械停放区和人员通道，合理布局，确保施工流程顺畅；采用倒排工期法制定施工进度计划，细化至每一道工序，确保各环节无缝衔接。关键工序如支护安装、降水施工、基底处理等，安排技术骨干专岗盯控，强化质量与安全双重保障；定期召开施工例会，及时总结问题、调整部署，提升施工组织协调效率，为工程顺利实施提供坚实的组织支撑。

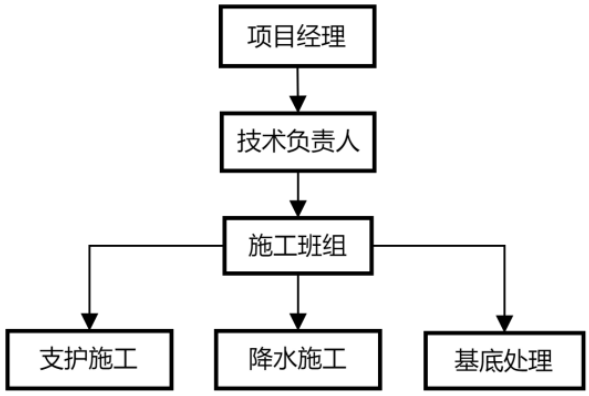


图2 管理体系结构

### （二）方案优化

在基坑施工过程中，为应对复杂地质条件和周边环

境敏感因素，项目部对原有支护与降水方案进行了优化调整。原设计采用单排灌注桩加钢支撑方式，降水布井密度较低，存在支护刚度不足、基底水压偏高等问题。经多轮专家评审与现场试验，将支护结构优化为双排灌注桩配合斜撑体系，并提高降水井布设密度。优化后，支护系统整体刚度提升，基坑侧壁变形显著减小，基底稳定性增强，施工效率同步提升。表 1 为优化前后关键指标对比。

**表 1 优化前后关键指标对比**

| 项目 | 优化前 | 优化后 |
|---|---|---|
| 支护形式 | 单排灌注桩 + 钢支撑 | 双排灌注桩 + 斜撑 |
| 最大侧向位移（mm） | 28.4 | 14.7 |
| 日平均开挖进度（m³ / 天） | 210 | 290 |
| 降水井布置间距（m） | 10 | 6 |
| 地表沉降控制值（mm） | 21.2 | 11.3 |

由表 1 可得，优化后基坑最大侧向位移由 28.4mm 降至 14.7mm，下降近 48%，有效提升了边坡稳定性；地表沉降控制值由 21.2mm 减小至 11.3mm，环境影响显著减轻；日均开挖进度提升约 38%，表明施工效率明显提高；降水井间距缩小至 6m，有效降低了基底水压风险。整体来看，优化方案在安全性、稳定性和施工效率等方面均取得了明显成效。

**（三）监测技术**

深基坑施工过程中，监测技术是实现风险预警与变形控制的核心手段。本工程监测内容涵盖基坑周边地表沉降、支护结构水平位移、支撑轴力、地下水位等关键指标。采用自动化监测与人工巡测相结合的方式，确保数据实时、准确。测斜管布设于支护桩后侧，实时监测水平位移变化；基坑顶部布设水准点，定期观测地表沉降，控制值为≤ 20mm；支撑节点设置应力传感器，监测轴力变化，防止结构超载失稳；同时布设水位观测井，掌握地下水动态变化。所有监测数据统一接入项目监测系统，自动生成曲线并设定预警阈值，一旦超限立即联动报警并启动应急响应机制，为基坑施工提供科学可靠的决策依据。

**（四）质量控制**

为确保桥梁承台深基坑施工质量可控、过程可溯、结果可验，项目部建立全过程质量管理体系（如图 3），覆盖材料进场、工序验收、关键节点控制等各环节。施工前严格审核图纸与技术交底，确保各项技术参数与施工要求一致。原材料按批次进场取样复检，混凝土强度、钢筋材质、止水材料等必须满足规范要求；施工过程中实施“三检制”，即自检、互检、专检，重点部位如灌注桩成孔、钢支撑安装、混凝土垫层浇筑等必须经过过程控制记录与现场签证。对隐蔽工程实行旁站监理与影像留档，确保质量可追溯。通过实施严格的质量控制体系，有效保证了基坑施工结构稳定性和使用安全性，为后续桥梁下部结构施工打下坚实基础。

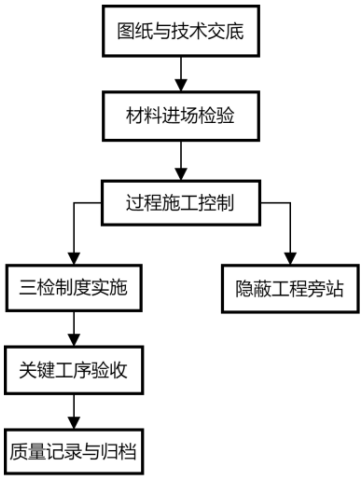


图 3 全过程质量管理体系

**结语**

深基坑施工中的支护结构优化、降水与基底防护措施，以及全面的风险管理和监测技术，为确保施工安全与环境稳定提供了科学依据。通过优化设计和精准施工，项目不仅提高了施工效率，降低了风险，还有效控制了基坑变形与周围环境影响。未来，随着技术不断进步，智能化监测与数据分析将进一步提升基坑施工的安全性与精确度，为类似项目提供更为可靠的参考。

**参考文献**

[1] 陈乃辉，杨逸航．近堤桥梁承台基坑开挖钢板桩支护探讨 [J]．治淮，2020,(09):58-59.

[2] 曹云峰．深基坑开挖支护关键技术及质量管理措施研究 [J]．城市建设理论研究（电子版），2025,(08):103-105.

[3] 王辉林．土建施工中深基坑开挖施工探讨 [J]．城市建设理论研究（电子版），2025,(03):87-89.

[4] 胡建伟．某基坑加深开挖支护体系加固结构数值模拟分析 [J]．土工基础，2024,38(06):931-937.

作者简介：潘斌斌，男，1983.10.24，浙江省瑞安市人，本科，副总经理，高级工程师，研究方向：道桥工程。