

软弱地层土木构筑物基础施工关键技术研究

高建雄 李 明

陕西煤业化工建设（集团）有限公司路桥分公司 陕西 西安 710021

摘 要：软弱地层因含水量高、承载力低、变形量大等特性，给土木构筑物基础施工带来诸多难题，易引发基础沉降、坍塌等质量安全隐患。本文界定了软弱地层类型及核心工程特性，分析其对基础施工的关键影响，明确常用基础类型及选型原则，重点研究施工前准备与勘察、浅基础、深基础施工关键技术，建立质量控制体系并明确检测与验收标准。研究成果可有效解决软弱地层基础施工中的技术难点，规范施工流程，保障构筑物基础施工质量与长期稳定性，为同类工程施工提供实践参考。

关键词：软弱地层；土木构筑物；基础施工；关键技术；质量控制

引言：随着土木建筑工程向复杂地质区域延伸，软弱地层施工场景日益增多，其不良工程特性严重制约基础施工质量与效率，成为工程建设中的重点和难点问题。当前，软弱地层基础施工中仍存在选型不合理、施工工艺不规范、质量控制不到位等问题，易导致构筑物出现沉降、倾斜等隐患。基于此，结合陕西地区软弱地层分布特点及工程施工实践，开展软弱地层土木构筑物基础施工关键技术研究，明确施工核心要点、质量控制及验收标准，对提升工程施工水平、保障工程安全稳定具有重要的工程实践意义。

1 软弱地层工程特性及对基础施工的影响

1.1 软弱地层的界定与分类

软弱地层是土木施工中常见的不良地层，界定标准主要依据地层物理力学指标，通常指含水量高、孔隙比大、承载力低、变形量大的土层或岩层。结合工程实际，软弱地层主要分为三类：一是淤泥及淤泥质土，多分布于沿海、河湖沉积区域，由水流搬运的细颗粒物质沉积形成，土质细腻、渗透性差；二是软粘土，广泛存在于平原及河谷阶地，具有较强的可塑性和蠕变性；三是其他特殊软弱地层，包括冲填土、杂填土及风化残积土等，这类地层成分复杂，工程性质不均匀，易对基础施工造成隐患。

1.2 软弱地层的核心工程特性

软弱地层的工程特性直接决定其施工难度，核心特性主要体现在三方面。物理力学特性上，其含水量普遍高于液限，孔隙比大于 1.0，饱和状态下承载力仅为 50-150kPa，远低于普通粘性土；变形特性上，压缩性高、沉降量大，且沉降稳定时间长，易产生不均匀沉降；渗

透性方面，多数软弱地层渗透性差，排水固结速度慢，施工中易出现基坑积水、边坡失稳等问题，同时抗渗性能弱，易引发管涌、流砂等地质灾害，给基础施工带来安全风险。

1.3 软弱地层对土木构筑物基础施工的关键影响

软弱地层对基础施工的影响贯穿全过程，核心影响集中在三点。（1）降低基础承载力，软弱地层自身承载力不足，若未进行有效加固，难以支撑构筑物荷载，易导致基础下沉、开裂；（2）影响施工稳定性，基坑开挖时，软弱地层易发生坍塌、滑坡，尤其是在降水施工中，易引发周围土体沉降，影响周边建筑物安全；（3）增加沉降控制难度，施工过程中及竣工后，软弱地层会产生长期蠕变沉降，若控制不当，会导致构筑物倾斜、损坏，需采取针对性措施控制沉降速率，保障施工质量和构筑物使用安全^[1]。

2 软弱地层土木构筑物基础类型及选型原则

2.1 软弱地层常用基础类型

根据软弱地层低承载力、高变形性的工程特点，常用基础类型主要分为浅基础、深基础两类，具体如下：（1）浅基础，适用于软弱地层较薄、构筑物荷载较小的场景，核心包括扩展基础和联合基础。扩展基础通过扩大基础底面积，分散构筑物荷载，降低对地层承载力的要求，施工简便、经济性好；联合基础用于多柱式构筑物，通过整体基础结构协调各柱受力，避免局部地层受力过大导致沉降不均。（2）深基础，适用于软弱地层较厚、荷载较大的工程，核心为桩基和地下连续墙基础。桩基可穿透软弱地层，将荷载传递至下部坚硬土层或岩层，常用钻孔灌注桩、静压预制桩；地下连续墙

基础整体性强、抗渗性好,可兼顾支护与承重功能,适用于深基坑、高荷载构筑物。

2.2 基础选型的核心原则

软弱地层基础选型要遵循以下核心原则,确保选型科学合理:(1)贴合地层特性与工程需求,根据软弱地层类型、厚度、承载力及构筑物荷载、用途,选择适配的基础类型,避免基础与地层特性不匹配导致施工隐患。(2)兼顾经济性与施工可行性,在满足工程质量和安全的前提下,优先选择施工工艺简便、工期短、造价合理的基础类型,同时结合施工场地条件、机械设备配置,确保施工顺利开展。(3)保障耐久性与安全性,选型需考虑软弱地层的蠕变性、渗透性等特性,避免基础长期受地层影响出现沉降、开裂等问题,确保构筑物长期稳定运行^[2]。

3 软弱地层土木构筑物基础施工关键技术

3.1 软弱地层基础施工前准备与勘察关键技术

软弱地层基础施工前,勘察与准备工作直接决定施工质量与安全,核心技术要点如下:(1)勘察技术要点,勘察范围需覆盖构筑物基础周边 1.5-2 倍基础宽度,对于荷载较大的构筑物需扩大至 2 倍,勘察深度需穿透软弱地层,到达下部坚硬土层或岩层不少于 3m,若遇透镜体软弱夹层需延伸至稳定地层。勘察方法采用钻探与原位测试结合,钻探采用回转式钻机,钻孔直径不小于 110mm,取样时采用薄壁取土器,取土器内径不小于 80mm,全程避免土样扰动,确保原状性;原位测试重点采用静力触探试验、十字板剪切试验,静力触探探头速率控制在 1.2-1.5cm/s,十字板剪切试验在饱和状态下进行,测定承载力、抗剪强度等指标,同步记录地层分布、含水量、孔隙比及液塑限,形成完整勘察报告。(2)勘察数据处理要点,对勘察获取的土样进行室内试验,采用环刀法、固结试验测定物理力学指标,结合原位测试数据,分析软弱地层分布规律、工程特性及施工风险,明确基坑开挖边坡稳定性、降水方案可行性及施工难点。(3)施工前准备要点,场地平整需清除地表杂物、淤泥及腐殖土,采用轻型压路机碾压密实,碾压次数不少于 3 遍,压实度不低于 90%;排水处理采用明沟排水与轻型井点降水结合,井点间距 1.5-2.0m,降水周期不少于 7 天,将地下水位降至基坑底面以下 0.5-1.0m;机械设备选型匹配软弱地层特性,钻孔设备选用带泥浆护壁的回旋钻机,支护设备选用 SP-IV 型轻型钢板桩,提前调试设备,确保施工顺畅。

3.2 软弱地层浅基础施工关键技术

软弱地层浅基础施工重点控制基坑稳定与基底处理,核心技术要点如下:(1)基坑开挖技术,根据软弱地层类型确定开挖坡度,淤泥、淤泥质土地段控制在 1:1.5-1:2.0,软粘土地段控制在 1:1.2-1.5,采用分层开挖、分层支护方式,每层开挖深度不超过 1.5m,坡度偏差不得超过 5%。开挖过程中,边坡采用轻型钢板桩支护,采用振动沉桩法打入,打入深度不少于基坑深度的 1.2 倍,且嵌入下部稳定土层不少于 0.5m,桩间用 50mm 厚木挡板填充,缝隙用水泥砂浆封堵防渗漏,开挖过程中实时监测边坡位移,位移速率控制在 2mm/d 以内。(2)基底处理技术,基底开挖至设计标高后,清除 10cm 以上浮土、淤泥,采用换填垫层法处理,换填材料选用级配砂石(含泥量 $\leq 3\%$,粒径 5-30mm)或 3:7 灰土,换填厚度 0.5-1.0m,分层铺设(每层 20-30cm)、分层夯实,采用小型压路机夯实,夯实系数不小于 0.95,夯实后采用轻型动力触探试验,检测点间距不大于 10m,每 100m²不少于 3 个检测点,合格后方可浇筑。(3)基础浇筑与养护技术,浇筑前检查基底平整度(偏差 $\leq 5\text{mm}$),采用 C30 及以上商品混凝土,坍落度控制在 120-140mm,分层振捣(间距 $\leq 400\text{mm}$,振捣时间 15-20s),振捣密实无蜂窝、麻面缺陷;浇筑后覆盖土工布洒水养护,养护期间环境温度不低于 5℃,洒水频率保持土工布湿润,养护时间不少于 14 天,期间严禁扰动基底、堆放重物^[3]。

3.3 软弱地层深基础施工关键技术

软弱地层深基础施工核心是确保基础穿透软弱地层、施工过程稳定,核心技术要点如下:(1)桩基施工技术,钻孔灌注桩采用膨润土配制泥浆,比重 1.1-1.3、粘度 18-22s、含砂率 $\leq 8\%$,钻孔速度 0.5-1.0m/min,垂直度偏差 $\leq 1/100$,钻孔至设计深度后采用换浆法清孔,清孔后孔底沉渣厚度端承桩 $\leq 50\text{mm}$ 、摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$;钢筋笼安装后及时采用导管法浇筑,导管直径 200-300mm,提前做水密性试验,浇筑前导管底部距孔底 300-500mm,埋入混凝土深度 2-6m,浇筑速度不小于 2m/h。静压预制桩分段压入,每段 $\leq 12\text{m}$,桩节采用双面焊接,焊接接头需进行超声波探伤检测,压桩速度 1-2m/min,压桩力不超过桩身极限承载力的 1.2 倍,压桩过程中监测桩身垂直度。(2)地下连续墙施工技术,导墙采用 C20 钢筋混凝土,厚度 $\geq 200\text{mm}$ 、高度 $\geq 1.2\text{m}$,中心线偏差 $\leq 10\text{mm}$,垂直度偏差 $\leq 1/500$;成槽采用液压抓斗机,宽度 600-800mm,泥浆液面高于地下水位 0.5m 以上,槽壁垂直度偏差 $\leq 1/300$,成槽后及时清槽,锁口管安装垂直,拔出速度与浇筑速度匹配,避免接头出现夹泥。(3)施工质量控制要点,桩

基检测数量:低应变法、超声波透射法 $\geq$ 总桩数10%,单桩静载试验 $\geq$ 1%且 $\geq$ 3根;地下连续墙检测垂直度、强度及抗渗性(抗渗等级 $\geq$ P6),采用水压试验检测抗渗性能,及时处理孔壁坍塌、桩体缺陷、墙体渗漏等问题,确保施工质量达标^[4]。

4 软弱地层基础施工质量控制与验收标准

4.1 软弱地层基础施工质量控制体系

软弱地层基础施工质量控制需构建全流程管控体系,核心要点如下:(1)建立分级管控机制,明确施工班组、技术部门、监理单位的职责,施工班组负责工序自检,技术部门负责过程复检,监理单位负责全程旁站监督,确保各环节质量可控。(2)设定关键工序控制点,重点管控基坑开挖、基底处理、基础浇筑、桩基成孔及清孔等核心工序,每个控制点需留存施工记录、检测数据,实现可追溯。(3)落实原材料质量管控,钢筋、混凝土、换填材料等进场时,需查验出厂合格证、检测报告,现场抽样复检,不合格材料严禁投入使用,其中混凝土配合比需结合软弱地层特性调整,确保强度达标。

4.2 软弱地层基础施工质量检测技术

质量检测需针对性适配软弱地层特性,核心技术要点如下:(1)基底质量检测,采用轻型动力触探试验,检测基底承载力,每100m²不少于三个检测点,检测结果需符合设计要求;同时检查基底平整度、洁净度,清除浮土、淤泥等杂物,确保基底条件达标。(2)基础结构检测,浅基础检测混凝土强度、外观质量,采用回弹法检测强度,重点检查是否存在蜂窝、麻面、裂缝等缺陷;深基础中,桩基采用低应变法检测桩身完整性,超声波透射法检测桩身缺陷,单桩竖向抗压静载试验检测承载力;地下连续墙检测墙体垂直度、强度及抗渗性能。(3)沉降与变形监测,施工期间及竣工后,设置沉降观测点,定期观测基础沉降量、沉降速率,观测频率根据施工进度调整,发现异常及时采取防控措施。

4.3 软弱地层基础施工验收标准

验收需遵循规范要求,结合软弱地层施工特点,核心标准如下:(1)验收流程,施工单位完成自检并提交验收申请后,监理单位组织初验,初验合格后,由建设单位组织设计、施工、监理等单位进行竣工验收,验收合格后方可进入下一道工序。(2)验收内容,包括施工资料验收和实体质量验收,施工资料需完整规范,涵盖勘察报告、施工记录、检测报告、原材料合格证等;实体质量需符合设计及规范要求,基底承载力、基础强度、垂直度等指标达标,无明显质量缺陷。(3)合格判定标准,基底承载力偏差不超过设计值的10%,混凝土强度达到设计强度的100%,桩基桩身完整性合格率不低于95%,沉降量控制在设计允许范围内,验收资料齐全、真实,方可判定为合格^[5]。

结束语:本文围绕软弱地层土木构筑物基础施工关键技术展开系统研究,结合工程实际需求,梳理了软弱地层的特性及对施工的影响,优化了基础选型原则,明确了各环节施工关键技术及质量控制、验收标准。通过针对性研究,有效解决了软弱地层基础施工中基坑稳定、基底处理、质量管控等核心难题。由于软弱地层地质条件复杂多变,后续可进一步优化施工工艺参数,完善质量管控体系,为软弱地层基础施工提供更具针对性的技术支撑,推动相关施工技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 李宏远.淤泥质土软弱地层深基坑地下连续墙施工关键技术研究[J].建筑机械,2026,47(02):316-320.
- [2] 杜传球,李馨芳,张博,等.软弱富水地层大断面隧道挑顶施工技术研究[J].工程地质学报,2023,31(03):1116-1123.
- [3] 王晨.深江铁路滨海区软弱地层重载道路创新设计与施工技术[J].建筑技术开发,2025,52(8):41-43.
- [4] 施冠洲.泥水盾构下穿软弱地层建筑群地基变形控制技术[J].山西建筑,2022,48(2):138-140+143.
- [5] 梁桥欣.富水软弱地层顶管施工关键技术研究[J].大众科技,2023,25(06):16-19.