

重力坝围护基坑临边施工道路加固方式优化设计与实践

顾燕青

上海市浦东新区建设(集团)有限公司 上海 200120

摘要:本研究针对上海地区重力坝围护基坑临边施工道路布置受限问题,提出一套基于拉森钢板桩的加固技术方案。通过在重力坝内外两侧分别打入两排拉森钢板桩并设置对拉钢筋连接,形成复合受力体系,有效解决了基坑临边道路与围护结构之间的空间矛盾。工程实践表明,该加固方式可使施工道路紧贴基坑边缘布置,道路使用期间基坑变形控制在规范允许范围内,为同类场地受限条件下的基坑工程施工提供了可复制的技术路径。

关键词:重力坝围护;基坑临边施工道路;加固方式;优化设计

引言

上海地区 5-7m 深度的基坑工程,在场地条件允许、周边环境保护要求不高时,普遍采用重力式水泥土搅拌桩作为围护结构,具有施工快、造价低的优势。重力坝宽度通常达到 3.2m 至 5.2m,占据较大的场地空间。当地块红线紧贴基坑边缘时,地下结构施工阶段的材料运输车辆通道与重型吊装设备行走路线不可避免地需要布置在重力坝附近,车辆动荷载产生的侧向压力对坝体稳定性构成直接威胁。本文结合浦东新区合庆镇川沙北社区 D06D-15 地块征收安置房项目基坑工程的实际需求,提出一种利用拉森钢板桩加固重力坝的技术方案,使施工道路可以安全地布置在基坑临边区域。

1 工程背景与场地条件

1.1 基坑工程概况

浦东新区合庆镇川沙北社区 D06D-15 地块征收安置房项目基坑面积约 22000m²,周长约 750m。地下车库普遍区域开挖深度为 4.85m 至 5.00m,北侧邻近明浜区域开挖深度为 3.75m,局部落深区开挖深度达到 5.10m 至 7.80m。基坑安全等级为三级,周边环境保护等级为三级。基坑围护采用水泥土重力式挡墙结构,双轴水泥土搅拌桩桩径 700mm,桩心距 500mm,水泥掺量 13%,明浜及暗浜区域提高至 18%。重力坝宽度根据开挖深度不同分别为 2.7m 至 5.2m,坝体插入坑底以下深度为 5.0m 至 9.2m。场地地层以淤泥质粉质粘土和淤泥质粘土为主,第 ③ 层灰色淤泥质粉质粘土呈流塑状,压缩性高,层厚 6.0m 至 7.5m,直接位于开挖面范围内,土体自身稳定性较差。

1.2 场地空间约束条件

项目东侧紧邻已通车的华洲路,道路宽度 35m,场地与道路之间设有围墙及 L 型挡土墙。基坑地下室外墙距离东侧用地红线仅 7.0m,而重力坝本身宽度达到 4.2m 至 4.7m,坝体外边缘距离地下室外墙约 4.0m 至 4.5m。这意味着重力坝外边缘与用地红线之间的距离仅剩 2.5m 至 3.0m,完全无法满足施工车辆通行与材料堆场布置的基本要求。北侧规划锦沙路尚未施工,场地北侧为空地,但地下室外墙距离北侧用地红线仅 4.5m,同样面临空间紧张的问题。东侧华洲路作为主要材料进场通道,施工车辆需沿基坑边缘行驶进入场地,若无法解决临边道路布置问题,整个施工现场的物流组织将陷入瘫痪。

2 加固方案设计与受力机制

2.1 双排钢板桩复合加固体系

针对重力坝临边道路长期受车辆荷载作用、坝体侧向变形风险较高的加固需求,结合场地工程地质条件,设计方案采用两排 IV 型拉森钢板桩形成复合挡护结构,兼顾挡土、抗变形及荷载传递双重功能。内侧一排钢板桩紧贴重力坝临边侧垂直打入,作为坝体的刚性挡护屏障;外侧一排钢板桩布置于施工道路外侧边缘,承担车辆荷载并传递至深层土体,桩顶严格与坝顶齐平,顶部采用 C15 混凝土封帽处理,防止雨水渗入桩体与坝体间隙,其核心功能是限制坝体侧向位移,相当于在坝体前端增设一道刚性防护屏障,有效阻挡土体侧压力对坝体的侵蚀,避免坝体出现裂缝、沉降等病害。外侧一排钢板桩布置于施工道路外侧边缘,两排桩的排距根据施工道路设计宽度合理确定,本工程道路宽度为 6m,结合土体承载力及荷载传递需求,排距取 3.5m 至 4.0m,确保两排桩协同受力且不影响道路正常通行。外侧桩的

主要作用是将道路车辆行驶产生的竖向及水平荷载有效传递至深层稳定土体,减小浅层土体承受的水平推力,降低道路沉降及钢板桩倾斜风险^[1]。两排钢板桩桩长均严格控制在超过基坑开挖深度的2倍,本工程基坑开挖深度为4.5m,根据场地地层分布差异,分别采用9m和12m两种桩长规格。桩长的确定遵循“桩端嵌入稳定土层足够深度”的原则,场地第⑤1层灰色粘土层顶标高为-14.04m至-15.60m,层厚6.2m至8.0m,呈软塑状,土体密实度较高、抗剪强度良好,能够为钢板桩提供足够的嵌固力和抗拔力。其中9m桩长可进入该粘土层约2m至3m,满足一般路段荷载要求;12m桩长则可进入该层更深位置,适用于重型车辆通行频繁、荷载较大的关键路段,确保钢板桩整体稳定性。

2.2 围檩与对拉钢筋连接构造

为保证两排钢板桩能够协同受力、同步变形,避免单桩受力不均导致损坏,在桩顶以下0.5m位置设置双拼20a槽钢围檩,槽钢型号经承载力验算确定,确保其能够承受钢板桩传递的集中荷载。内侧围檩沿基坑走向通长布置,无断点、无拼接,与内侧钢板桩采用双面满焊方式连接,焊缝高度不小于8mm,焊缝质量达到二级焊缝标准,每延米焊接点数不少于3处,焊接完成后需进行超声波探伤检测,杜绝虚焊、漏焊等质量隐患。围檩的核心作用是将单根钢板桩承受的局部车辆荷载、土体侧压力分散传递给相邻桩体,形成整体受力体系,避免因局部车辆荷载过大导致单桩变形突增、桩体受损。为保障围檩安装稳定性,防止其因荷载作用发生坠落,在围檩下方每隔2m设置一道钢牛腿,牛腿采用L100×10角钢制作,角钢两端与钢板桩双面焊接固定,焊接长度不小于100mm,牛腿顶部与围檩紧密贴合,作为围檩的防坠落保险措施。两排围檩之间采用直径20mm的HPB300光圆钢筋进行对拉连接,钢筋沿基坑走向每1.5m布置一道,两端分别与内外两侧围檩采用穿孔焊接固定,焊接长度不小于钢筋直径的10倍。选用HPB300级光圆钢筋而非HRB400级带肋钢筋,核心原因是HPB300光圆钢筋伸长率更大、延性更好,能够在两排桩因土体沉降、荷载差异产生轻微变形时保持连接有效性,避免脆性断裂,且现场焊接操作更便捷,能够在两排桩因土体沉降、荷载差异产生轻微差异变形时,保持连接的有效性,避免发生脆断,确保传力路径畅通^[2]。

2.3 加固后道路使用条件

加固体系施工完成后,经现场承载力检测、桩体位移检测合格后,方可投入使用,其中外侧钢板桩外边缘至基坑边缘之间的区域作为施工专用道路,明确划分通

行区域与施工区域,设置明显警示标识。根据工程施工期间车辆通行需求,结合重型车辆(混凝土罐车、PC构件运输车等)通行尺寸,道路净宽度设置为6m,满足两台中型车辆交会需求,路面采用分层硬化处理,底层铺设500mm厚建筑渣土层,分层碾压密实,压实度不小于95%,起到承重、排水作用;上层铺设200mm厚C25混凝土面层,混凝土采用机械搅拌、振捣密实,表面拉毛处理,增强路面防滑性能,防止车辆行驶打滑。为避免路面积水渗入地基土体,导致土体软化、承载力下降,道路表面设置2%的单向排水横坡,坡向外侧排水沟,排水沟采用砖砌结构,断面尺寸为300mm×300mm,定期清理沟内杂物,确保排水畅通。道路使用期间的荷载限制条件需通过现场标识、安全交底等方式,明确告知所有运输车辆及操作人员:单辆车总重不得超过50t,轮压不超过0.7MPa,严禁两台重型车辆在同一断面内并行或交会,避免局部荷载过大导致路面破损、钢板桩位移。混凝土罐车、PC构件运输车等重型车辆需沿道路中线行驶,不得紧贴外侧钢板桩边缘通行,防止车辆荷载集中作用于外侧桩,引发桩体倾斜、变形。塔吊等大型设备的基础不得直接设置在加固区范围内的道路上,应单独设置独立桩基础承台,承台边缘与加固区边线保持不小于1m的安全距离,避免设备运行产生的振动影响加固体系稳定性^[3]。道路使用期间,安排专人负责日常巡查,每班巡查次数不少于两次,重点检查路面是否存在破损、裂缝、沉降,钢板桩是否出现明显位移、倾斜,焊缝是否完好,发现问题立即停止该路段通行,设置警示围挡,组织专业人员进行修复加固,经检测合格后方可恢复使用,确保道路及加固体系长期稳定。

3 施工工艺与效果验证

3.1 钢板桩打设与连接施工

拉森钢板桩采用振动锤打入法施工,打设顺序遵循从一端向另一端逐根推进的原则,每根桩的垂直度偏差控制在1/200以内。打设前,在钢板桩与重力坝之间设置200mm厚泡沫板隔离层,吸收振动能量。在预定位置开挖导向沟槽,沟槽深度0.5m,宽度略大于钢板桩宽度,槽底铺设一层碎石找平层,厚度100mm,确保桩尖准确定位。振动锤选型时需校核激振力与桩侧摩阻力的匹配关系,本工程选用激振力800kN的电动振动锤,能够满足9m及12m桩长在淤泥质土层中的打设要求。打设过程中每打入2m至3m应暂停一次,使用经纬仪在两个相互垂直的方向上校核桩身垂直度,发现偏差超过允许范围时通过调整振动锤偏心块夹角进行纠偏。打设过程中同步监测重力坝顶位移,单日位移超过2mm时立即暂停

施工,采取减振措施。两排桩全部打设完成后,进行围檩安装与焊接作业。围檩槽钢与钢板桩的焊接采用 E43 系列焊条,焊缝应饱满均匀,不得有气孔、夹渣、裂纹等缺陷^[4]。对拉钢筋安装时需保证钢筋处于张紧状态,钢筋两端与围檩焊接前应用花篮螺栓施加约 10kN 的预拉力,消除连接间隙,确保两排桩在受力初期即能协同工作。焊接完成后所有外露焊缝需涂刷两道防锈漆,防止地下水及雨水腐蚀。

3.2 施工道路硬化与使用管理

钢板桩加固体系施工完毕并经验收合格后,方可进行道路硬化层施工。道路基层采用 500mm 厚砖渣或混凝土碎块分层压实,每层虚铺厚度不超过 250mm,压实系数不小于 0.95。基层顶面铺设一层土工格栅,格栅的纵横向抗拉强度不低于 50kN/m,搭接宽度不小于 300mm。面层为 200mm 厚 C25 混凝土,浇筑时需设置横向缩缝,缝间距 6m,缝宽 5mm,缝内填充沥青麻丝。混凝土养护期不少于 14 天,养护期间禁止任何车辆通行。道路正式投入使用后,需建立车辆通行登记制度,记录每台重型车辆的进出时间、载重情况及行驶路线。钢板桩顶位移监测点沿道路方向每 20m 布置一处,监测频率在道路使用初期为每天一次,连续观测一周且位移趋于稳定后可调整为每三天一次。当地面车辆荷载引起的桩顶水平位移累计值超过 15mm 或单日位移增量超过 3mm 时,应立即暂停该路段通行,排查位移原因并采取加固措施后方可恢复使用。

3.3 基坑监测数据与效果评价

本工程东侧华洲路沿线约 180m 范围采用了拉森钢板桩加固方案,加固区重力坝顶水平位移监测数据表明,在整个地下结构施工期间,坝顶累计水平位移最大值出现在地库底板浇筑完成后第 5 天,为 22.6mm,远小于设计警戒值 40mm。位移速率最大值为 1.8mm/d,出现在土

方开挖至第二层支撑标高时,同样未超过 3mm/d 的警戒标准。坑外地面沉降最大值出现在紧邻加固区边缘的华洲路路面,累计沉降 14.3mm,沉降速率最大 1.2mm/d,对道路结构及地下管线未造成明显影响。对比未采用加固措施的西侧重力坝段(场地空间相对宽裕,道路距坝体边缘约 8m),其坝顶水平位移累计值为 18.4mm,沉降累计值为 11.2mm。加固区与非加固区的变形指标差异在 4mm 至 5mm 之间,考虑到加固区道路荷载直接作用于坝体附近而非加固区道路远离坝体,这一差异完全在可接受范围内。实践表明,双排拉森钢板桩加固体系能够有效分担车辆荷载对重力坝产生的侧向压力,将临边道路条件下的基坑变形控制在安全范围内,为同类场地受限工程提供了可靠的技术参照。

结语

重力坝围护基坑临边施工道路加固问题的核心在于平衡场地空间约束与结构安全要求。本研究提出的双排拉森钢板桩复合加固方案,通过在重力坝内外两侧建立刚性连接体系,将车辆水平荷载分散传递至深层土体,有效控制了坝体侧向变形。工程实践验证了该方案的可行性与可靠性,其施工工艺简单、材料可回收利用、对工期影响小等优点,使其在场地条件受限的城市建成区基坑工程中具有较高的推广应用价值。

参考文献

- [1] 匡小洪. 高层建筑工程中的深基坑支护加固施工[J]. 工程建设与设计,2026(2):154-156.
- [2] 李雪飞. 岩土工程基坑边坡失稳加固技术探讨[J]. 中国科技纵横,2025(16):119-121.
- [3] 吉星刚,朱弘扬. 岩土工程施工中基坑边坡失稳及加固处理方法[J]. 江苏建材,2025(2):101-102.
- [4] 姚士威,王家岳,刘聪,等. 浅谈复合重力坝围护施工质量控制[J]. 建筑科技,2023,7(6):84-87.