基础设施施工中的软土地基处理技术优化与成本控制

作者：段玉豪

身份证号：533022199509263352

摘要：我国沿海、沿江及滨湖区域广泛分布软土地层，这类土体具备含水量高、孔隙比大、抗剪强度低、压缩性强、固结沉降周期长等典型特征，是市政道路、桥梁、管网等基础设施施工的主要地质难题。常规软土地基处理工艺存在施工针对性不足、工艺匹配度差、材料浪费严重、工期管控不合理等问题，极易引发路基不均匀沉降、路面开裂、后期返工维修等病害，同时造成工程建设成本超额增加。本文分析现阶段软土地基施工现存技术缺陷与成本管控漏洞，针对性优化排水固结、水泥搅拌桩、换填垫层三类主流施工工艺，从前期勘察、施工过程、后期验收全流程制定成本管控策略，同时融入岩土工程行业权威研究结论，实现地基施工质量达标、工期合理压缩与建设成本双向管控，为同类软土地基基建工程提供参考。

关键词：基础设施；软土地基；地基处理；工艺优化；成本控制

一、引言

随着国内新型基础设施建设持续推进，大量市政道路、综合管廊、市政桥梁工程需要穿越软土分布区域，地基施工质量直接决定构筑物整体稳定性与服役年限。软土自身结构性极差，在外加荷载作用下会产生持续性固结沉降，若处理工艺选型不当，后期地基沉降量可远超规范允许数值，直接破坏上部结构完整性。有岩土工程研究指出，真空联合堆载预压加固流塑状淤泥质土时，排水板周边极易形成低渗透性土柱，会大幅降低土体径向排水效率，延长地基固结周期，间接抬高人工与机械租赁成本。现阶段多数基建项目存在重施工质量、轻成本管控，重工艺落地、轻方案优化的问题，盲目选用高标准处理工艺，造成不必要的资金浪费。因此，因地制宜优化软基施工工艺，建立全过程精细化成本管控体系，具备重要的工程实用价值。

二、软土地基固有特性及施工现存问题

（一）软土地基工程固有特性

软土多为静水沉积形成的淤泥、淤泥质黏土，天然含水率普遍大于45%，土体内部孔隙发育，承载力普遍低于60kPa，无法直接承受道路、桥梁基础荷载。同时软土流变特性显著，即便荷载保持恒定，土体依旧会发生缓慢蠕变沉降，后期残余沉降难以消除。相较于普通土层，软土地基施工容错率极低，一旦施工参数把控偏差，短期内不会显现病害，运营1-2年后会集中出现路面沉陷、桥头跳车等工程通病，后期维修成本远高于前期地基处理投入。

（二）地基处理工艺应用现存问题

第一，工艺选型缺乏针对性，施工单位往往照搬通用施工方案，未结合现场软土厚度、含水率、土层分布差异化选工艺，浅层软土误用深层搅拌桩工艺，造成施工资源浪费。第二，施工参数控制粗放，搅拌桩注浆量、预压荷载、垫层铺设厚度完全依照经验取值，未开展现场试验段校准参数，地基加固效果参差不齐。第三，施工扰动管控不足，机械施工极易破坏原状软土结构，降低土体自身强度，反而增加地基处理难度。

（三）地基施工成本管控短板

成本管控贯穿地基施工全流程，当前项目普遍存在前期地质勘察精度不足，方案设计阶段成本预判偏差大；施工过程中水泥、砂石、排水板主材损耗超标，机械闲置时长过长；现场签证管理混乱，不合理变更增加额外施工费用三大问题。整体成本管控偏向事后核算，缺少事前预判、事中动态管控环节，最终导致地基分项工程成本超支率普遍达到10%以上。

三、主流软土地基处理施工工艺优化措施

（一）浅层换填垫层工艺优化

针对3m以内浅层软土地基，摒弃传统整体换填模式，采用分层换填+土工格栅加筋复合工艺。下层铺设级配碎石垫层提升整体刚度，中层铺设双向土工格栅约束土体侧向位移，上层铺设透水土工布阻断细颗粒流失。同时优化分层压实参数，将单层填筑厚度控制在20cm，压实速度匀速控制在2km/h，避免过快碾压扰

动下层软土。该工艺无需大型深层施工设备，机械使用费更低，适配浅层软土低成本施工需求。

（二）深层水泥搅拌桩工艺优化

针对 3-15m 中厚层软土，优化传统双向搅拌桩施工流程，采用四搅四喷施工工艺，提升水泥浆液与土体混合均匀度。结合权威岩土试验结论，水泥掺量按照土体天然含水率动态调整，含水率每提升 5%，水泥掺量同步增加 1.2%，杜绝固定掺量造成的加固不足或水泥浪费。同时控制桩体垂直度偏差不大于 1%，桩顶预留 50cm 保护土层，消除桩头开挖带来的桩体破损问题，减少返工修补费用。

（三）真空-堆载联合预压工艺优化

针对深厚淤泥质地基，优化排水板布设方式，采用正方形不等间距布设，土层深处加密排水板间距，浅层适度放宽间距，缓解排水板周边土柱效应带来的透水能力下降问题。分阶段分级施加预压荷载，避免一次性加载过快造成土体剪切破坏，缩短整体预压固结工期。工期缩短能够直接减少现场管理人员、施工机械租赁费用，实现工艺优化与成本节约双向统一。

四、软土地基施工全过程成本控制策略

（一）勘察设计阶段：源头控制方案成本

细化前期地质勘察点位，加密横断面勘察取样数量，精准划分软土分层厚度与物理指标，依托真实地质数据定制专项施工方案，杜绝高标准工艺滥用。开展多方案经济性比选，对比不同工艺的施工工期、材料成本、后期维护费用，在满足地基承载力与沉降指标的前提下，优先选择性价比最高的施工技术，从设计源头压缩无效成本。

（二）现场施工阶段：动态管控现场消耗

建立主材定额领用制度，限定水泥、砂石、排水板单日损耗率，安排专人管控浆液配比与材料堆放，避免雨水浸泡造成材料失效。优化机械施工排班，衔接各道施工工序，减少桩机、压路机等大型机械空载闲置时间。严格管控工程变更，非地质突发变化不予审批现场签证，杜绝人为变更抬高施工造价。

（三）验收运维阶段：降低后期隐性成本

严格落实地基承载力、沉降量双指标验收，不合格部位及时返工处理，避免隐蔽病害遗留至工程运营阶段。完整留存施工监测数据，依托监测数据分析地基长期沉降规律，提前制定运维防护方案。相关工程监测数据表明，地基施工阶段多投入3%的质检成本，可减少后期20%以上的运维维修费用，具备良好的长期经济效益。

五、结论

软土地基处理是基础设施地下施工的关键分项工程，工艺选型合理性直接决定工程质量，施工管控水平直接影响项目整体造价。当前软基施工存在工艺匹配度低、施工参数粗放、全过程成本管控缺失等问题，容易引发工程质量隐患与成本超额支出。结合软土分层厚度差异化优化换填垫层、水泥搅拌桩、真空预压三类核心工艺，同时从勘察设计、现场施工、竣工验收三个阶段搭建全流程成本管控体系，既可以有效控制地基不均匀沉降，保障上部基础设施运行安全，又能够合理削减材料、机械、工期三类无效开支。后续基建软基施工中，可结合智能化监测设备实时采集土体沉降数据，进一步动态调整施工参数，实现地基施工质量、工期、成本三者的最优平衡。

参考文献

1. 王卫东,吴江斌.滨海软土地基加固技术发展现状与优化方向[J].岩土工程学报,2024,46(02):201-210.
2. 陈永辉,张景钰.真空预压下排水板周边土柱形成机理及防控措施[J].水利水运工程学报,2023(04):89-96.
3. 李建峰.市政道路软土地基处理施工工艺及造价管控研究[J].工程经济,2024,34(01):45-48.
4. 赵峰.深层水泥搅拌桩施工参数优化与施工成本控制[J].施工技术,2023,52(11):132-135.

5. 孙晓东.基础设施软基工程全过程造价动态管控路径[J].工程造价管理,2024(03):78-83.