

CFG 桩在道路软基处理中的应用分析

蔡耀东

厦门中平工程监理咨询有限公司 福建 厦门 361001

【摘要】：软土地基易引发道路沉降、开裂等病害，严重影响工程质量。CFG 桩凭借协同加固优势成为道路软基处理主流技术。本文梳理其加固原理与应用流程，剖析桩身质量缺陷、承载力不足等常见问题，提出针对性优化对策，旨在明确技术应用核心要点，为提升软基处理成效、保障道路工程长期稳定运行提供实践指引。

【关键词】：CFG 桩；道路工程；软基处理；复合地基；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.016

交通基础设施建设不断向软土区域拓展，软土地基含水量高、承载力低的特性，易导致路基滑移、路面破损等问题，增加养护成本且威胁行车安全。CFG 桩复合地基技术因承载力提升显著、施工便捷、经济性优，成为破解软基难题的关键。理清其加固机理、规范应用流程、破解实践难题，对提升工程质量、推动交通建设高质量发展具有重要现实意义。

1 CFG 桩的加固原理

CFG 桩对软基的加固依托“桩体置换+荷载分担+排水固结+褥垫层协调”的协同效应实现。CFG 桩以高强度桩体替换部分低强度软土，大幅降低地基压缩性；上部荷载作用下，因桩体刚度远大于桩间土，荷载优先传递至桩体并传导至深层持力层，减少桩间土受力。施工成孔过程会形成竖向排水通道，挤压桩周软土排出孔隙水，加速软土固结提升强度；桩顶褥垫层则能协调桩与桩间土变形，避免桩顶应力集中，确保二者共同承载，充分发挥复合地基的协同承载价值^[1]。

2 CFG 桩在道路软基处理中的应用流程

2.1 前期工程地质勘察与设计

前期工程地质勘察与设计是保障 CFG 桩软基处理效果的前提，勘察人员需聚焦软土地基核心参数查明工作，通过“钻探取样+原位测试+室内试验”的组合方式，全面掌握软土分布范围、土层厚度、天然含水量、孔隙比、抗剪强度等物理力学性质，同时明确地下水埋藏深度与水质情况，为设计提供精准地质依据。设计人员需结合道路工程的荷载要求与沉降控制标准，完成核心参数设计与验算：确定桩径、桩长、桩间距及桩身强度等级等桩体参数，明确褥垫层的厚度、材料级配与压实度要求；采用复合地基承载力计算公式完成承载力验算，综合考量瞬时沉降、固结沉降与次固结沉降确保工后沉降达标。整个过程需形成完整的勘察报告与设计图纸，为后续施工提供清晰指引，避免因参数偏差导致处理效果不佳。

2.2 施工工艺选择与实施

2.2.1 施工准备

场地准备方面，先清理施工区域内的杂草、树木、建筑垃圾及表层浮淤，对场地进行平整压实；若场地存在低洼积水区

域，需设置排水盲沟或集水井及时排水，避免积水影响钻机就位与施工质量。测量放线方面，依据施工图纸与设计坐标，采用全站仪精准放线定位，用木桩或钢筋桩清晰标注每个桩位，标注内容需包含桩号、桩径等关键信息；放线完成后需进行复核，确保桩位偏差不超过 50mm，同时设置控制桩与水准点，为施工过程中的高程控制提供依据。设备与材料准备方面，全面检查施工所需设备性能，重点调试长螺旋钻机、混凝土输送泵、搅拌站等核心设备的运行状态，更换老化部件并进行试运转，确保设备协同运行稳定；严格落实材料进场检验制度，对水泥、粉煤灰、碎石、砂等原材料逐一核查，水泥需查验出厂合格证并抽样检测强度、安定性，粉煤灰需确认等级不低于 II 级，碎石需控制粒径与含泥量，砂需选用中粗砂且含泥量不超过 3%；按设计配合比进行混合料试拌，确定最佳搅拌时间与坍落度参数，确保混合料具备良好的流动性与黏聚性，无离析现象^[2]。

2.2.2 钻孔成孔

钻孔成孔是 CFG 桩施工的关键工序，钻机操作人员需严格按照规范流程作业，精准控制各项施工参数。首先进行钻机就位，将钻机平稳移动至桩位处，调整钻机机身水平与钻杆垂直度，采用水平仪与垂直度检测仪双重校验，确保桩身垂直度偏差不超过 1%，避免桩身倾斜影响承载受力性能。钻孔作业前，需根据勘察报告中的土层分布情况，确定钻孔速度控制方案：在表层松散土层中可适当加快钻孔速度，进入高含水量软土或淤泥层时需放慢速度，防止孔壁坍塌；若遇硬夹层或孤石，需暂停钻孔，严禁强行钻进，及时与设计、监理单位沟通，制定针对性处理方案（如采用冲击钻进辅助破碎）。钻孔过程中需实时监测钻孔深度，通过钻机深度计数器与测绳双重复核，确保钻孔深度达到设计桩底标高；钻孔至设计标高后，需在孔底停留 30-60s 进行清孔作业，采用空转钻机或高压射水的方式清理孔底沉渣，确保沉渣厚度不超过 100mm，避免沉渣影响桩端承载力传递。钻孔全过程需做好施工记录，详细记录钻孔时间、各土层钻进速度、孔底标高及清孔情况，若出现孔壁坍塌、钻孔偏斜等异常情况，需及时记录并分析原因，采取对应整改措施后再继续施工。

2.2.3 混合料浇筑

施工人员在浇筑过程中需严格遵循“边浇筑边提升钻杆”的原则,确保钻杆提升速度与混合料浇筑速度精准匹配,通常钻杆提升速度控制在1.2-1.5m/min,提升过程中需保持匀速,避免因提升过快导致混合料无法及时填充孔腔形成空隙,或提升过慢造成混合料离析。混合料浇筑需连续进行,不得中途停顿,若因设备故障等特殊情况下导致停顿,需在混合料初凝前恢复浇筑,且停顿时间不得超过30min;若超过初凝时间,需重新钻孔成孔。浇筑过程中需实时观察混合料的流动状态与浇筑量,若出现混合料离析、坍落度异常等情况,需立即停止浇筑,排查材料配合比、搅拌质量等问题,整改合格后再重新浇筑。混合料浇筑高度需超出桩顶设计标高500-1000mm,预留足够的桩头长度,用于后续凿除桩顶浮浆与缺陷部分,确保桩顶标高与强度符合设计要求。浇筑完成后,需及时清理钻杆与输送管道内的残留混合料,避免混合料凝固堵塞管道,影响后续施工^[3]。

2.2.4 桩头处理与养护

桩头处理需在混合料初凝后、终凝前完成,采用人工或小型机械凿除桩顶多余部分,凿除过程中需避免过度冲击桩体,防止桩身产生裂缝;同时清理桩顶表面的浮浆、杂物及松散混凝土,确保桩顶截面平整、密实,桩顶标高符合设计要求。若桩顶出现缺角、裂缝等缺陷,需及时采用高标号水泥砂浆修补,确保桩顶完整性。桩体养护需在桩头处理完成后立即开展,根据环境条件选择合适的养护方式:常温环境下,采用保湿土工布覆盖桩体表面,定期洒水保湿,确保桩体始终处于湿润状态;高温干燥环境下,需增加洒水频率,或采用覆盖塑料薄膜的方式减少水分蒸发;低温环境下,需采取保温措施,避免桩体受冻影响强度增长。养护时间不得少于7天,养护期间需设置明显的警示标识,划定养护区域,严禁任何施工机械在桩体周边碾压、通行或堆放重物,防止桩体受压受损。养护期满后,施工人员需对桩体外观质量进行初步检查,查看桩身是否存在裂缝、缺角、露筋等缺陷,确认合格后再进入后续褥垫层铺设环节。

2.2.5 褥垫层铺设

褥垫层铺设是协调桩与桩间土受力的关键环节,施工人员需严格控制材料质量与施工工艺。首先进行材料进场检验,褥垫层材料选用级配良好的砂石或碎石,粒径控制在20-50mm,含泥量不超过3%,进场后需抽样检测级配与含泥量指标,确保符合设计要求。铺设前需清理桩顶及周边区域的杂物、浮土,平整场地,确保铺设面平整坚实。采用“分层摊铺+分层压实”的施工方式,根据褥垫层总厚度合理划分摊铺层数,每层摊铺厚度不超过200mm,摊铺过程中采用人工或机械均匀布料,避免局部厚度不足或堆积过高。压实作业选用小型压路机或平板振动器,压实顺序从边缘向中心推进,采用往返碾压的方式,

碾压次数不少于3遍,直至压实度达到设计要求(不低于95%)。压实过程中需实时监测压实度,采用环刀法抽样检测,若压实度不达标,需增加碾压次数或调整摊铺厚度,确保褥垫层密实均匀。铺设过程中需注意保护已完成的CFG桩体,严禁压实设备直接碾压桩顶,必要时在桩顶铺设防护垫板。褥垫层铺设完成后,需检查其平整度、厚度及压实度,确保各项指标符合设计要求,同时确保褥垫层与桩顶紧密接触,无空隙,为后续路基施工及荷载传递奠定良好基础^[4]。

结合上述施工流程,CFG桩应用的控制要点为精准勘察地质参数,严控钻孔垂直度、混合料浇筑与钻杆提升同步性,做好桩体养护及褥垫层压实度。该施工技术优点在于:承载力提升显著、施工便捷、经济性优。

2.3 质量检测与验收

桩体质量检测需在桩体混凝土强度达到设计强度70%以上后进行,采用低应变法检测桩身完整性,判断是否存在断桩、缩颈等缺陷,对检测存疑的桩采用钻芯法进一步核查桩体强度与完整性。复合地基承载力检测需在桩体强度达到100%后实施,采用静载试验法分级加载,记录沉降数据直至达到设计承载力标准值。验收阶段需由建设单位牵头,组织设计、施工、监理、勘察等单位联合参与,梳理施工记录、材料检验报告、检测报告等完整资料,确认各项指标达标后,方可通过验收并进入后续路基施工环节。

3 CFG桩在道路软基处理中的常见问题与优化对策

3.1 常见问题分析

CFG桩处理道路软基时,核心问题集中在四方面:一是桩身质量缺陷,像断桩、缩颈、夹泥及桩顶强度不足等,多因施工人员钻孔后未及时浇筑混合料致孔壁坍塌,或钻杆提升与浇筑速度不匹配使混合料填充不密实,桩顶浮浆清理不彻底也会加剧该问题。二是复合地基承载力不达标,根源是设计人员未精准匹配地质参数,桩长、桩间距设置不合理,或施工人员把控材料质量不严,褥垫层厚度不足、压实度不够,无法协调桩与桩间土受力。三是工后沉降过大,主要是软土固结不充分,或桩体刚度未适配深厚软土需求,导致地基整体变形超标。四是施工扰动周边环境,钻孔振动引发邻近土体位移,或地下水流失致地面沉降,常见于邻近构筑物的施工区域。

3.2 优化对策

针对桩身质量缺陷,施工人员需严格把控各工序衔接节奏,钻孔完成后立即启动混合料浇筑作业,杜绝孔壁因长时间暴露发生坍塌;精准把控钻杆提升速度,严格遵循“提升与浇筑同步”原则,一般控制提升速度在1.2-1.5m/min,避免因提升过快导致混合料无法及时填充形成空隙;桩顶浇筑完成后,需在混合料初凝前及时清理表面浮浆,预留“500-1000mm足额桩头”以保障桩顶强度,随后覆盖保湿土工布或洒水养护,

养护时间不少于7天,养护期间需设置明显警示标识,严禁任何施工机械在桩体周边碾压或堆放重物,防止桩体受损。针对复合地基承载力不足,设计人员需结合详细的工程地质勘察数据,精准确定桩长、桩间距及桩体布置形式,确保桩端嵌入稳定持力层不少于1m;施工人员需严格落实材料进场检验制度,对水泥、粉煤灰、碎石等核心材料逐一核查,水泥需检测强度与安定性,粉煤灰需确认等级不低于II级,同时严格遵循设计配合比搅拌混合料,搅拌时间不少于90s确保均匀无离析,浇筑前需检测坍落度指标;褥垫层铺设采用“分层摊铺+分层压实”模式,每层摊铺厚度不超过200mm,使用小型压路机碾压密实,实时监测压实度,确保厚度均匀一致且压实度不低于95%,保障褥垫层能有效协调桩与桩间土的受力传递。针对工后沉降过大,可采用“CFG桩+真空预压”联合加固技术,通过真空预压加速软土孔隙水排出,促进软土快速固结;同时结合地质条件合理增大桩径、加长桩长,进一步提升地基整体刚度与承载能力;施工完成后需设置合理预压期,预压期间定期

监测地基沉降数据,待沉降速率稳定后再进入后续工序,确保软土充分完成固结沉降。针对施工扰动周边环境的问题,优先选用长螺旋钻孔压灌桩法等低振动施工工艺及配套低振动钻机,在邻近构筑物、地下管线的敏感区域,额外增设防护桩或隔离沟削弱扰动影响;安排专人全程实时监测地下水水位与地面沉降,监测频率不低于每2小时1次,一旦监测数据超出预警值,立即暂停施工,及时采取地下水回灌补水、局部增设支护等加固措施,全面保障周边设施稳定运行^[5]。

4 结语

综上所述,CFG桩复合地基技术在道路软基处理中具备显著技术优势与应用价值,其加固效果依赖于清晰的加固机理、规范的应用流程及精准的问题应对。严格控制勘察设计、施工工艺、质量检测等关键环节,落实针对性优化对策,可有效提升地基承载力、控制沉降变形。未来需进一步推动技术与智能化监测手段融合,优化施工工艺,为道路工程软基处理提供更可靠的技术支撑,助力交通基础设施建设提质增效。

参考文献:

- [1] 童丹凤.水泥土搅拌桩与CFG桩在软土路基处理中的经济性分析[J].工程技术研究,2024,9(22):118-120.
- [2] 陈愿.CFG桩复合地基在深层软土路基处理中的应用[J].价值工程,2023,42(2):104-106.
- [3] 方鑫.CFG桩在公路软土地基治理中的优化研究——以绵阳市某道路工程为例[D].四川:西南科技大学,2024.
- [4] 叶文浩.市政道路施工中的软基处理技术应用分析[J].建筑工人,2024,45(11):43-45.
- [5] 谢永恒.软土处理技术在道路施工中的应用分析[J].建筑工程与管理,2025,7(3).