

沉管碎石桩在机场改扩建地基处理中的应用及安全质量控制要点研究

张晓东

北京京航安机场工程有限公司 北京 100176

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19691

[摘要] 在机场改扩建过程中,地基处理是核心关键工序。改扩建场地多为原有机场周边区域或既有场地改造,常存在软土、淤泥质黏土等不良土层,此类土层具有含水量高、孔隙比大、承载力低、压缩性高等特点,若处理不当极易引发地基不均匀沉降、结构失稳等问题。传统地基处理技术如换填法、强夯法等,在处理深厚软土时存在成本高、工期长、加固效果有限等弊端。沉管碎石桩通过振动或锤击方式将钢管沉入土层,形成桩孔后填充碎石并密实,与桩间土共同构成复合地基,可显著提高地基承载力、降低压缩性,同时兼具排水固结作用,能有效解决软土地基处理难题。

[关键词] 沉管碎石桩; 机场改扩建; 地基处理; 应用; 安全质量

1 工程概况

阿拉尔塔里木机场改扩建项目(民航专业工程)飞行区地势中部高、东西两侧低,起伏不大且局部有沙丘分布,场地土为中软场地土,场地类别为III类。工程区10km内无区域性活动断裂,近期无不稳定现象,地质构造相对稳定。

勘察深度范围内,场地地层属第四系冲积地层(Q4al),表层多为风积砂,局部为回填砂砾石,下伏较厚砂性土层并夹有粉质黏土层,具体分为四层:第①层杂填土(杂色,层底埋深0.8~1.5m,平均厚度1.2m,稍密、稍湿);第②层粉砂(土黄色~浅灰色,层底埋深3.6~5.8m,平均厚度2.6m,稍密、稍湿~饱和);第②-1层粉质粘土(棕褐色,层底埋深4.0~5.3m,层厚0.5~3.2m,可塑,水平向不连续分布);第③层细砂(灰褐色~青灰色,层顶埋深3.6~5.8m以下,本次勘察未揭穿,最大可见厚度21.4m,水平向连续分布,承载力随深度增加而提高)。本场地为季节性冻土,标准冻深0.80m,冻胀类别为不冻胀~强冻胀土,冻胀等级I~IV级。

水文地质方面,勘探深度内各勘探孔均见地下水,飞行区地下水水位在自然地面下约0.6~2.0m,属潜水,主要由附近灌溉补给,通过下游渗漏及蒸发排泄。场地无滑坡、崩塌等不良地质作用,但埋藏深度2.0~6.5m的饱和细砂层为轻微液化土,属抗震不利地段。

碎石桩施工区域为道面影响区(道肩边线两侧外扩5m范围),该区域土基顶面设置1.0m垫层(0.9m级配砂砾石+0.05m细砂保护层+复合土工膜+0.05m细砂保护层),并用复合土工膜包裹,土工膜以下采用碎石桩处理。碎石桩施工前需填挖整平至施工标高,采用振动沉管施工工艺,桩径0.5m,

桩长7.0m,等边三角形布置,间距1.5m,施工完毕后对成桩区进行6~8遍一般振动碾压。

2 沉管碎石桩在机场改扩建地基处理中的应用

2.1 施工准备

施工准备阶段需组织技术管理人员全面审阅设计图纸,深入了解现场实际情况,召开专项会议部署具体施工任务,施工队长需合理调配人员并清晰界定岗位职责,技术人员应详细说明各项工艺参数标准。

测量作业前必须对检测设备进行校准检定,保证测量误差控制在规范限值内,需仔细核对项目部移交的基准点与配套测量数据,杜绝桩位编号与实测数值不匹配的现象。

正式施工前应由项目部测量组牵头,协同施工队伍完成砂石桩作业区域的测设放样工作,采用木质标桩配合彩色旗帜进行边界标记定位。

①依据施工规范对砂石桩作业区域进行场地整平,准确测定桩顶设计高程。同步修建机械运输通道,完善地表排水系统,在施工区域外围设置截水沟以保证场地无积水隐患。

②实施测量定位工序,参照设计图纸编制碎石桩平面布置图,运用全站仪配合测距仪实施桩位实地测设,设立醒目标示桩,测设精度控制在20毫米以内。定位作业与沉桩施工时间差应控制在1日内,在施工全过程中需重点防范标识损坏导致的定位偏差,并实施动态复核,针对挤土效应造成的桩位偏移需立即修正。

2.2 定位

完成场地整平后,由专业测量人员依据试桩编号,借助基准控制网点逐点进行现场放样,设置明显标记。

2.3 桩机就位

在指挥人员的引导下, 缓慢将桩管下放至桩管底部活瓣距离地面约 10cm 的位置。随后固定桩管, 通过细微调整桩机使桩尖(活瓣)精确对准地面预设的桩位标记。确保桩管垂直度误差不超过 1.5%, 同时核对桩管长度是否符合设计要求。成孔中心与设计桩位的偏移量需控制在套管外径的 30% 范围内, 桩径允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$, 桩长误差不得超过 100mm。

2.4 振动沉管

桩套管定位完成后, 启动振动装置, 依靠设备自重及激振力将套管逐步压入砂土层直至达到设计标高。施工期间需持续监测电流强度、下沉速度及作业时间等参数, 并实时调整确保桩锤与桩身中心线保持一致, 避免发生偏斜。若在振动过程中出现下沉速率骤减的情况, 表明可能遇到坚硬土层, 此时应暂停下沉, 将桩管提升 0.6~1.0m 后重新进行快速振动下沉, 以有效穿透硬土层实现顺利下沉。

2.5 终孔投料

当桩管贯入深度达到预定标高时, 应立即停止振动并终孔。随后采用人工配合小型装载机的方式, 将经过检验且符合设计标准的砂砾石材料分批灌入套管内部。接着将桩管提升至特定高度, 在提升过程中桩尖自动开启, 使管内的砂砾石顺利流入钻孔内。

2.6 振密

在砂砾石通过桩管投料口注入的过程中, 需同步实施振动密实与拔管操作。拔管速度应保持一致, 确保形成均匀密实的砂石桩体。当桩套管提升至规定标高后, 需再次下沉套管, 通过振动作用及桩尖的挤压效应增强砂砾层的密实度。该工序需进行多次反插作业, 反插深度不得超过桩管总长的 50%, 直至管内碎石完全排出。密实度控制以标高测量为主要依据, 电流监测作为辅助手段。单桩砾石灌入量必须满足设计指标要求。

2.7 桩套管拔出

循环执行上述振动密实与反插工序, 通过桩管的往复运动持续补充砾石材料, 使桩体逐步增高, 最终将套管完全拔出地面。在孔口实施加压操作直至前机架抬升, 即完成单桩施工。随后移动作业设备至下一桩位继续施工。

3 沉管碎石桩在机场改扩建地基施工安全质量控制要点

3.1 组织保障措施

项目团队组建专门的质量监督机构, 全面负责工程质量管理事务。该机构配备专业质量检验工程师及检验人员, 建立完整的质量管控方案与岗位责任制度, 实施全过程质量监

控和任务目标管理, 确保质量要求得到切实执行, 对不达标情况采取零容忍态度。

3.2 技术保障措施

依据各分项工程的技术规程及现行施工规范开展作业, 项目启动后立即结合工程特性和质量创优目标, 编制详细的工艺技术规范和质量验收标准。严格执行图纸会审分级制度和技术交底流程, 由专业工程师向施工班组详细传达: 施工方法说明、设计理念解析、质量验收要求、安全保障方案等内容, 并留存完整的交底记录。

3.3 土方工程的质量控制要点

3.3.1 严格控制填料料源质量

为确保运输车辆不混入超标粒径物料, 现场施工人员需对每车装载填料进行外观检查(重点核查颗粒尺寸及湿度状态), 详细观察已卸载材料的级配分布、有机成分及含水率是否达标, 发现不合格物料须立即清理出场。依据设计规范与技术标准, 必须对填料物理性质、工程参数及适用性开展专项检测, 形成专业评估报告, 在施工过程中持续强化材料抽检频次, 有效降低填料质量波动幅度。

3.3.2 进行填筑压实工艺专项试验

在施工启动之前, 需开展填筑压实工艺的专项测试。试验过程需实现以下目标: 明确填料碾压次数与干密度之间的关联性; 分析含水率波动对压实质量的作用机制; 确定不同压实区域中填料含水率的适宜区间; 获取精确的压实工艺参数, 涵盖压实区域的松铺系数; 掌握各压实区域达到标准密实度所需的碾压次数; 优化压实设备的行进速度; 验证并确定检测方案及具体操作方法。通过系统化的压实试验, 收集完整的技术数据, 经综合分析后编制《压实工艺试验报告》, 提交监理单位审批后作为现场压实作业的指导依据。

3.3.3 严格控制含水量

在压实作业过程中, 需综合考量填料的物理特性、工程规范要求的密实度标准以及压实设备的荷载参数, 据此确定施工含水量的合理波动区间。现场需实时检测填筑层土体的含水率数据, 基于实测结果做出“适宜碾压”或“暂缓施工”的决策。通过动态监测填筑材料的含水状况, 有效规避无效碾压作业和多余的水分调节工序, 切实保障工程实体质量。

3.4 安全管理体系

“施工安全”是工程建设的首要条件。在项目全周期实施过程中, 必须严格遵循“安全优先、预防为主”的基本原则, 构建完善的多层级安全防护网络。

构建安全生产管理架构。项目团队成立由项目经理担任

组长, 技术主管、安全副总监、专职安全员及各施工班组负责人共同参与的安全生产领导小组, 全面统筹工程实施过程中的安全管控事务。配备经过专业培训并具备相应资质的专职安全人员, 专职负责施工期间的安全监督与风险防控工作; 各施工班组选派工作认真负责的兼职安全协管员, 实施全天候现场巡查, 切实发挥安全监督职能, 将各类安全隐患及时消除在初始阶段。

构建安全生产责任分级管理体系, “第一层级”由企业安全生产工作领导小组构成, 指定专职领导统筹安全事务, 对施工项目安全管控实施全面督导; “第二层级”为项目部安全管理执行团队, 负责传达执行上级指示, 编制详细安全操作规范及违规处罚条例, 定期组织工程安全例会, 开展作业人员安全技术培训, 监督施工现场安全措施落实; “第三层级”由各工程作业班组组成, 须清晰界定管理人员安全职责, 严格执行安全防护方案, 督导作业人员规范施工, 对现场安全隐患做到即时处置并迅速上报, 由此构建全方位、立体化的安全监管体系, 确保安全生产要求贯穿业务全流程。

构建施工安全风险防控体系, 编制详实的管控方案与应急处置预案, 定期组织模拟演练。结合项目实际进展阶段, 持续开展安全风险评估工作, 采取针对性防控对策, 严格执行“安全隐患零容忍”管理原则。建立完善的安全管理规章制度体系。针对本工程特殊施工环境, 系统辨识潜在危险因素, 参照企业安全管理标准体系进行风险评估, 明确将电气作业、物料运输、高空施工等环节列为重点管控对象。配备符合标准的安全防护装备(包括防护头盔、防坠装置、消防器材等), 规范设置各类警示标识, 确保施工全过程安全可控。

3.5 设立安全保护标志

在工地现场需布置包含施工总平面布置图、综合管理规范、安全文明生产条例、环境保护要求、质量管控标准、物资管理制度等内容的公示牌, 同时标注主要参建单位信息及项目概况。按要求配置各类安全警示标识, 在施工区域周边安装并定期维护必要的指示标牌, 确保施工人员及公众安全通行。标识系统需涵盖警示标志、安全管控标识、导向标牌及标准交通标志等, 所有标识的规格尺寸、色彩搭配、文字内容及安装位置均须事先获得监理单位审批确认。针对突发安全事件, 如出现危及工程质量或人员安全的紧急情况, 必须立即启动应急预案, 暂停相关作业; 同时第一时间向监理单位、建设单位及质量监督机构报告事件概况; 全力配合事故调查工作, 落实整改措施, 保障后续施工有序开展。

3.6 制定施工机械安全措施

所有投入施工的机械设备均需通过主管部门检测认证, 具备有效检验合格证明文件, 并经过严格核查验收程序, 详细记录验收情况。投入使用的运输车辆必须持有合法行驶证。在启用前, 需由专职安全人员与设备操作人员共同确认安全防护装置的可靠性。各类施工机具及运输车辆在运行期间须建立定期维护保养制度, 严禁设备带故障运行, 所有维修保养情况均需如实登记在设备管理档案中。

机械操作人员必须严格遵守安全作业规范, 正确佩戴个人防护装备, 每日如实填写设备运行日志及日常维护记录。起重设备启用前必须重点检查钢丝绳、制动系统及防脱钩装置等关键部件。所有特种设备操作人员必须持有效证件上岗, 并按规定做好设备运行及维护记录。施工现场的大型机械设备和运输车辆必须指定专人管理, 吊装作业必须配备持证专业指挥人员。对存在安全隐患的作业区域, 施工前必须设置隔离区并安排专人监护。

结论

沉管碎石桩作为一种高效的复合地基处理技术, 通过挤密、置换、排水协同作用, 可显著提高软土地基承载力、降低工后沉降, 在机场改扩建地基处理中具有广泛的应用前景。其核心应用流程包括施工前期准备、桩位放样、沉管成孔、碎石填充与密实、桩顶处理与质量检测, 关键技术参数需根据场地地质条件与荷载要求优化确定。在施工过程中, 需重点控制桩机作业安全、防坍塌与防涌土安全及周边环境安全, 同时严格控制原材料质量、施工工序质量与施工后质量检测, 确保工程质量符合设计要求。

[参考文献]

- [1]原荔. 软土地基振动沉管碎石桩处理效果分析[J]. 西部交通科技, 2025, (03): 53-55.
- [2]吕剑. 沉管碎石桩复合地基处理及深基坑支护技术在南疆地区应用研究[J]. 建筑技术, 2025, 56(06): 671-674.
- [3]周鹏. 海外多震地区沉管碎石桩处理易液化地基的施工技术[J]. 中国水运, 2023, 23(24): 144-145+148.
- [4]杨城洲. 振动沉管碎石桩处理液化地基的应用[J]. 福建建材, 2020, (07): 65-67.
- [5]王建春. 软土路基处理中沉管碎石桩的应用[J]. 低碳世界, 2019, 9(02): 239-240.
- [6]姚栋. 软土路基处理中沉管碎石桩的应用[J]. 科技经济市场, 2018, (08): 1-2.