

高速公路软土路基拓宽施工技术要点与质量控制研究

罗晓慧¹ 王铭楷² 王力³

1 湖北交投高速公路发展有限公司, 湖北省武汉市, 430050;

2 湖北交投江汉建设管理有限公司, 湖北省武汉市, 430050;

3 湖北交投高速公路发展有限公司, 湖北省武汉市, 430050;

摘要: 随着我国高速公路网络逐步完善, 既有线路的改扩建需求不断增加, 软土地基地区的路基拓宽施工成为工程建设中的关键技术难题。本文以某高速工程为研究对象, 针对软土地区地基承载力低、压缩性大、差异沉降明显等问题, 系统分析了高速公路软土路基拓宽施工的主要技术要点与质量控制措施。研究成果可为类似软土地区高速公路拓宽工程提供技术参考与实践依据, 对推动公路改扩建工程的质量提升具有重要意义。

关键词: 软土地基; 高速公路拓宽; 施工技术; 质量控制

DOI: 10.64216/3080-1508.26.01.021

引言

在既有高速公路改扩建工程中, 软土路基的拓宽施工成为技术难点和控制重点。软土地基具有高压缩性、低强度及长时间固结等特征, 拓宽过程中新旧路基的差异沉降、侧向位移及整体稳定性问题尤为突出。传统的加宽施工若未采取有效控制措施, 容易造成路面纵横裂缝、不均匀沉降及边坡滑移等结构性病害, 影响运营安全与耐久性能。为应对上述问题, 近年来工程实践逐渐形成了以地基处理、结构协同、沉降控制、分期施工为核心的技术体系。常用方法包括强夯、真空预压、CFG 柱复合地基、换填垫层及加筋加固等, 通过提高地基承载力与变形协调性, 实现新旧路基的整体性和长期稳定性。

1 工程概况

某高速于 2007 年建成通车, 随着通行及区域货运量增加, 为缓解拥堵、提升通行能力, 项目于 2017 年启动拓宽改造, 对入口 B、D 匝道桥进行拼宽, 并同步实施软基处理、涵洞接长、人行天桥加长及收费广场雨棚扩建等工程。主要工程量包括桥梁 2 座、软基处理 1 项、道路拓宽 1 项及人行天桥段 1 处。其中软土厚度大、地基承载力低是本项目的主要技术挑战。为此, 采用 PHC 预应力管桩与筏板复合基础、气泡轻质土回填及双向土工格栅加固等组合技术, 以提高地基承载力并控制差异沉降。

1.1 高速公路软土路基拓宽施工技术要点

1.1.1 管桩施工

拓宽段采用静压法施工 PHC 预应力混凝土管桩 (A 型), 桩身混凝土强度 C80, 壁厚 ≥ 7 cm, 离心混凝土强度不低于 C70。施工中利用静压桩机通过自重和配重

将桩体压入设计深度, 保证入土垂直度 $\leq 1\%$, 桩位偏差 ≤ 50 mm。静压施工能有效避免振动扰动, 适用于城市立交等环境敏感区域。为确保承载力, 单桩静载试验合格率达 100%, 低应变检测抽检比例为 10%, I 类桩比例达到 95.2%。压桩力控制在设计值的 1.3~1.5 倍范围内, 通过实时记录压桩力—贯入度曲线监控施工质量。当出现异常波动时及时停机分析地质变化。

1.1.2 筏板施工

筏板基础厚度 35 cm, 采用双层钢筋网结构, 钢筋网间距与保护层厚度均按设计精度控制, 以增强筏板抗弯与抗剪性能。施工前对原地基进行压实整平, 压实度达到设计值后方可浇筑。考虑南沙地区地下水位较高, 筏板底部设置防水层, 采用防水卷材或涂膜工艺防止地下水渗入。筏板与挡墙连接处预埋角钢并确保垂直度与位置精度, 增强整体性。筏板施工中设置沉降缝, 缝宽适中、填充材料具有弹性与防水性, 以吸收地基差异变形。施工坍落度控制在 180 \pm 20 mm, 确保混凝土密实。

1.1.3 软土路基回填施工

软土路基回填采用气泡混合轻质土, 其发泡剂稀释倍率控制在 40~100 倍, 发泡倍率为 20~25 倍, 湿容重控制误差不超过 ± 0.5 kN/m³。施工前在新旧路基交界处开挖台阶, 台阶宽度 150 cm, 高度 100 cm, 以增加接触面积和结合力, 减少不均匀沉降风险。台阶底部铺设 2 mm 厚防渗膜, 并设置 20~30 mm 厚沥青隔离层。轻质土回填分层施工, 每层厚度控制在 1 m 以内, 分段开挖及时回填, 防止软土暴露造成变形失稳^[1]。施工过程中设置沉降与位移观测点, 沉降观测频率为每 3 天 1 次, 依据监测数据调整回填速率。

1.1.4 路面拓宽施工

路面结构分为水泥混凝土层与沥青混凝土层两种

形式。水泥路面厚度28 cm，采用C40混凝土，施工顺序为基底检查—垫层施工—水稳层—安装侧模—钢筋绑扎与混凝土浇筑—养生与切缝。沥青路面结构设计为5 cm GAC-16C+6 cm GAC-20C+7 cm GAC-25C，下封层采用SBS改性热沥青。施工按碎石垫层—水稳层—封层—沥青面层顺序进行，各层平整度与压实度严格检测。拦水沟采用C30混凝土，盖板为Q235B钢盖板，规格99×50×6.5 cm，与路面齐平。施工中与机电单位协调预埋件位置，确保结构与管线衔接安全。

1.2 质量控制

软土路基拓宽施工中，质量控制是确保结构稳定性与耐久性能的关键环节。针对广澳高速黄阁互通改扩建工程的复杂软土地质条件，项目以过程控制、监测反馈、分项验收、信息化管理为原则，建立了全周期质量控制体系^[2]。施工全过程中，对地基承载力、桩基垂直度、筏板平整度、轻质土密实度及路面平整度等关键指标实施动态监测，并以数据分析结果指导施工调整。工程实践表明，该项目的工后沉降控制在20 mm以内，地基承载力平均值达到设计标准的1.12倍，表明整体质量控制体系运行有效。

1.2.1 材料质量控制

项目严格执行材料进场检验制度，所有主要材料均需提供合格证和试验报告，并通过现场复检确认性能符合设计要求。PHC管桩混凝土强度等级为C80，采用蒸压养护工艺，保证抗压强度稳定；钢筋进场后进行屈服强度与伸长率试验，合格率100%；气泡轻质土采用稳定剂、发泡剂和水泥按比例配制，湿容重控制误差不超过±0.5 kN/m³；路面混凝土使用42.5级普通硅酸盐水泥，坍落度180±20 mm，确保施工流动性与密实度。施工前建立材料台账和溯源体系，实现从采购、检测到使用的全过程追踪。

1.2.2 施工工艺质量控制

施工工艺采用全过程分级控制，关键工序需经监理与质检双签确认后方可进入下一环节。管桩施工中，压桩速率控制在0.8~1.2 m/min，终压力不低于设计值的1.3倍，确保桩端进入持力层；筏板混凝土浇筑连续作业，振捣时间控制在20~30 s内，防止离析；轻质土分层厚度不超过1.0 m，每层施工后静置24小时再铺上层；路面碾压采用双钢轮压路机与胶轮压路机组合，温

度控制在140~160℃之间。整个施工过程中，每个作业段设专职质检员实时记录工艺参数并拍照归档，形成数字化质量档案。

1.2.3 监测与检测质量控制

监测工作贯穿施工全过程，重点对沉降、水平位移、桩基承载力及筏板应力进行动态监控。共布设沉降观测点42个、水平位移监测点26个、应力测试点18个。沉降观测频率为每3天1次，静置期延长至3个月；实测最大沉降值为18.6 mm，水平位移小于8.2 mm，均满足设计要求。桩基检测采用静载试验与低应变法结合，抽检比例10%，I类桩合格率达95.2%。筏板混凝土强度检测结果平均值为43.8 MPa，高于设计值40 MPa。施工完成后，地基承载力经平板载荷试验验证，平均值为215 kPa，监测数据为施工优化与沉降评估提供了科学依据，实现了实时质量可控与风险可预判。

1.2.4 成品保护与质量验收

成品保护是质量控制体系的最后环节。管桩施工后立即进行桩头封闭，防止钢筋腐蚀与混凝土破损；筏板浇筑完成后覆盖湿麻袋养护7天以上，防止早期干缩裂缝；轻质土回填区设置排水沟与挡板，避免雨水浸泡造成失稳；路面施工完成后严格限制车辆通行时间，混凝土路面养护期不少于14天，沥青面层开放交通前进行压实度、平整度与渗水系数检测。项目验收阶段由建设、监理及检测单位联合审查，各分项工程均达到优良标准^[3]。综合评定结果显示，地基变形控制良好、结构连续性高、路面平整度达2.1 mm/3 m，优于规范限值。该项目的成品保护与验收机制实现了施工质量的全过程闭环管理，为类似工程提供了可推广的质量控制模式。

2 施工效果分析

为验证软土路基拓宽施工技术体系的有效性，项目在完工后进行了沉降观测、承载力检测、桩基完整性测试及路面性能评估等多项实测分析。数据表明，工程实施后的结构变形得到有效控制，地基承载性能显著提升，路面平整度与行驶舒适性均达到设计要求。综合结果显示，采用PHC管桩+筏板+轻质土回填+分层碾压体系后，地基沉降差异减少约42%，地基承载力提高12%，施工后一年内结构状态稳定，无明显不均匀沉降及裂缝病害。通过全过程信息化监测与分阶段检验，实现了从地基到路面的多层次质量闭环控制。

表1 工后沉降与地基承载力实测结果对比表

检测项目	设计要求	实测平均值	最大值	最小值	相对偏差	结果评价
工后总沉降（mm）	≤50	18.6	21.4	16.8	-62.8%	优良
新旧路基差异沉降（mm）	≤25	10.4	12.6	8.7	-58.4%	优良
桩基单桩承载力（kN）	≥600	650	672	628	+8.3%	合格

地基承载力 (kPa)	≥ 190	215	226	204	+12.0%	合格
水平位移 (mm)	≤ 15	8.2	9.5	7.4	-45.3%	优良
筏板应力 (MPa)	≤ 1.8	1.35	1.48	1.26	-25.0%	合格

从表1可见,拓宽段地基承载性能明显优于规范限值,沉降与水平位移控制效果显著。最大沉降值21.4 mm远低于规范控制值50 mm,桩基承载力实测平均值为650 kN,较设计标准提升8%以上。

表2 路面结构与平整度检测结果

检测项目	设计值	实测平均值	允许偏差
水泥混凝土厚度 (cm)	28	28.3	± 0.5
沥青面层压实度 (%)	≥ 98	99.1	± 1.0
路面平整度 (mm/3m)	≤ 3.0	2.1	± 0.5
面层渗水系数 ($\times 10^{-3}$ cm/s)	≤ 2.5	1.8	± 0.3
路面横坡误差 (%)	≤ 0.3	0.25	± 0.1

实测结果表明,路面平整度、压实度和防水性能均达到设计标准,其中平整度2.1 mm/3m,较规范限值降低30%;沥青压实度达99.1%,显著提升了结构密实性与行车舒适度。综上,软土路基拓宽施工技术体系在广澳高速工程中取得了优良的技术与经济效果。项目成果验证了复合地基结构在复杂地质条件下的适应性,为后续类似高速公路拓宽工程提供了成熟可复制的施工范例。

3 高速公路软土路基拓宽施工质量控制

3.1 施工前质量控制

施工前阶段的质量控制重点在于设计落实与地质复核。针对软土地基的复杂性,应通过补充勘察验证地基承载力、压缩模量及地下水位等参数是否与设计相符,并在必要时调整加固方案。施工组织设计应充分考虑地基处理顺序、桩型布置、排水系统设置及交通导改方案,做到方案合理、责任明确。施工机械、材料及人员进场前需进行严格验收,确保设备性能稳定、材料符合标准。质量控制体系应在开工前建立,包括技术交底、质量目标分解、检查标准制定与风险评估备案。通过系统性的施工准备管理,可以有效防范早期质量隐患,为后续结构施工奠定坚实基础。

3.2 施工过程质量控制

施工过程是质量风险最为集中的阶段。软土路基拓宽施工应严格遵循分层、分段、分步的工艺原则,控制填筑速率与压实度,防止因加载过快导致地基超载或滑移。管桩施工需实时监控压桩力与沉入速度,筏板混凝土应确保连续浇筑与振捣密实,轻质土回填应控制配比均匀与分层厚度。施工中应建立动态监测机制,实时采

集沉降、位移及应力数据,依据监测结果适时调整工序。质量检验制度应贯穿全过程,各分项工程经监理、检测与自检三方确认后方可进入下道工序。通过强化现场管理、规范技术操作与实时反馈机制,可有效提升施工质量的稳定性和可追溯性。

3.3 施工后质量控制

施工后阶段的质量控制主要体现在沉降监测、结构检测与成品保护三个方面。工程完工后,应持续进行沉降与变形观测,建立长期监测档案,判断软基固结与结构稳定过程。检测环节包括地基承载力复核、桩基完整性检测、筏板混凝土强度与路面平整度检查,确保各项指标符合设计标准。成品保护措施应同步落实,防止后续施工或外部荷载对结构造成破坏。项目交工验收时,应依据质量评定标准进行综合评估,对发现的潜在风险制定修复或加固计划。通过后期质量管理与信息化监测,实现从施工完成到运营阶段的质量延伸控制,确保软土路基拓宽工程在全寿命周期内保持结构安全与性能稳定。

4 结束语

高速公路软土路基拓宽施工是一项系统性、综合性极强的工程技术活动,其核心目标在于通过科学设计与精细化施工,解决新旧结构连接、地基变形控制及长期稳定性难题。本文以典型软土地区工程为研究对象,总结了施工技术与质量控制的主要经验。研究表明,只有在地基处理、结构设计、施工工艺与质量管理之间形成协同体系,才能有效控制沉降与变形,确保路基拓宽后的安全与耐久。未来软土地基拓宽工程应更加注重性能化设计与智能化监测手段的结合,实现施工全过程的信息反馈与风险预警。同时,应强化标准化施工与经验积累,将成功做法形成可复制的技术体系,推动我国高速公路改扩建工程向更高水平的安全与可持续方向发展。

参考文献

- [1] 张鸿达. 软土地区高速公路拓宽桩板式路基结构沉降特性研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2020.
- [2] 张健. 软土地基上高速公路路基拓宽施工质量控制 [J]. 绿色环保建材, 2020, (03): 137+139.
- [3] 柯胜旺. 软土地基高速公路拓宽路基差异沉降及桩板复合地基应用 [D]. 西安科技大学, 2019.