

交通工程施工中常见技术问题与优化对策探析

韩 刚

宁波市交通工程管理中心 浙江 宁波 315000

【摘 要】：针对滨海软土地区交通工程施工中易出现的路基稳定性不足、路面结构性能下降及交通设施安装精度偏差等问题，结合某国道重点公路工程项目实例，对施工过程中的关键技术问题进行了系统分析。通过对软土地基路基施工、沥青路面结构施工以及交通设施安装施工中的典型问题进行梳理，揭示了影响工程质量与施工效率的主要因素。在此基础上，引入信息化监测、Superpave 混合料设计方法以及 BIM 协同技术等手段，提出相应的施工优化措施。工程实践表明，上述技术能够有效提升路基沉降控制水平，改善路面结构性能，并提高交通设施安装精度，为复杂地质条件下交通工程施工质量控制提供参考。

【关键词】：交通工程施工；软土地基处理；沥青路面结构；信息化监测；施工技术优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.060

引言

随着交通基础设施建设规模不断扩大，高等级公路工程数量持续增加，施工环境与技术要求也日趋复杂^[1]。滨海软土地区由于地基压缩性大、承载力低及地下水位高等特点，使路基稳定性与沉降控制成为施工中的关键问题。同时，重载交通和复杂气候条件对沥青路面结构性能提出更高要求，而交通安全设施的安装精度也直接关系到道路运行安全。在实际工程建设过程中，传统施工技术在路基质量控制、路面结构施工及交通设施安装方面仍存在一定局限。基于此，结合实际工程案例，对交通工程施工中的常见技术问题进行分析，并提出相应的优化措施。

1 工程概况

本工程为某国道重点公路工程项目，全长约 8.993km，设计时速 80 km/h，采用双向六车道标准。工程沿线地质条件复杂，大部分区域穿越典型的滨海软土区，土层主要为淤泥质粉质黏土，具有含水率高、压缩性强、承载力低的特点。地下水位较高，常年维持在地表下 0.8 m 至 1.5 m。工程内容涵盖高填方路基、大跨度连续梁桥、沥青混凝土路面以及全线的交通安全设施、监控系统与照明系统。复杂的工程地质条件与较高的建设标准，使该项目在路基稳定性控制、路面结构耐久性 & 交通设施安装精度等方面面临较大技术挑战，因此具有较强的工程研究代表性。

2 交通工程施工技术问题分析

2.1 路基施工质量问题

本工程沿线穿越的典型滨海软土区，其土层主要为高饱和度的淤泥质粉质黏土，天然含水率介于 45%至 55%之间，压缩指数 C_c 普遍大于 0.8，无侧限抗压强度低于 25 kPa，属于高压缩性、低强度的土体。这些固有特性直接导致了路基施工中的核心技术难题。首先是路基承载力与稳定性不足。在快速填筑荷载作用下，软弱地基内孔隙水压力迅速升高，而有效应力增长缓慢，极易在填土荷载达到设计高程前发生承载力失稳，具体表现为路基坡脚外的地表隆起和侧向挤出^[2]。现场曾观测到在填筑速率超过 0.6 m/d 时，坡脚处出现宽度超过 20 cm 的拉伸裂缝，并伴有 30 cm 以上的侧向位移，这表明地基已处于极限平衡状态，施工被迫中断。

其次是压实质量难以控制。高含水率的填料在碾压荷载下，表现出明显的“橡皮土”特性，即土体产生较大弹性变形而非塑性变形，压实能量被水分吸收和弹性变形消耗，无法有效提高土体密实度。即便采用高功率振动压路机，其影响深度也有限，常出现“表硬里软”的假象，现场取样发现，表层以下 30 cm 处的压实度可能低于 85%，远未达到规范要求的 90%，为后期不均匀沉降埋下隐患。最后，工后沉降控制是长期存在的难题。由于软土的渗透性极低，主固结沉降过程漫长，且次固结沉降占总沉降量的比例较大。在桥台、箱涵等结构物与路基的结合部，由于结构物基础沉降小而路基沉降大，形成了沉降梯度极大的过渡区，若处理不当，后期差异沉降可达 10 cm 以上，直接导致桥头跳车。

2.2 路面结构施工问题

作为直接承受行车荷载与环境作用的结构层，沥青路面的施工质量决定了其服务性能和寿命^[3]。本工程作为国道重点公路，交通流量大、重载车辆比例高，且地处高温多雨的沿海地区，对沥青混合料的高温稳定性、水稳定性及耐久性提出了严格要求。然而，传统施工技术在应对这些挑战时暴露出明显不足。一个核心问题是基于马歇尔设计法配制的沥青混合料性能与实际需求的匹配度不高。马歇尔法是一种经验性的击实方法，其成型方式与现场碾压的剪切、揉搓作用差异较大，有时难以真实反映混合料在高温、重载下的抗车辙能力。

项目初期采用的 AC-20C 混合料，虽马歇尔稳定度满足规范要求，但在试验路段铺筑后，通过轮碾试验发现其动稳定度仅为 2650 次/mm，未能达到设计要求的 3000 次/mm，存在早期车辙的风险^[4]。另一个突出问题是施工过程中的温度控制离析。本项目采用的 SBS 改性沥青，其最佳摊铺温度窗口为 155℃ 至 165℃，最低碾压温度不宜低于 140℃。由于拌合站距离施工现场平均运距超过 20 km，加上滨海地区风速较大，运输过程中混合料表面温度散失快，易形成“硬壳”，导致卸料和摊铺过程中出现温度不均。红外热成像仪监测显示，同一摊铺面上温度差异可达 25℃ 以上。低温区域沥青黏度显著增大，混合料的压实性下降，压路机施加的压实能量难以有效克服骨料之间的内摩阻并实现重新排列，导致该区域的最终空隙率超过 8%，形成渗水通道和结构薄弱区，从而成为水损害与松散病害的重要诱因。

2.3 交通设施安装精度问题

交通工程设施的安装精度是实现其功能性、保障交通安全的基础，但在实际施工中，由于多专业协同不畅和数据传递误差，精度问题频发^[5]。以大型交通龙门架的基础施工为例，其基础尺寸为 4.0 m×4.0 m×2.5 m，预埋的 M36 地脚螺栓组对平面位置和高程的精度要求极高，通常要求平面误差在±10 mm 以内。在传统施工模式下，土建单位依据二维结构图纸进行基础模板和钢筋的施工，而龙门架的钢结构制造单位则依据另一套图纸进行加工。两套图纸间可能存在的微小差异，加上现场采用全站仪单点放样和人工拉线复核的传统测量方式所引入的累积误差，导致最终预埋的螺栓组与龙门架底座法兰盘的孔位不匹配，偏差量有时超过 30 mm。该偏差可能导致大型交通龙门架无法顺利安装，需进行代价高昂的现场扩孔或化学植栓补救，不仅延误工期，还影响了基础结构的完整性和耐久性。

同样的问题也体现在复杂互通立交的标线施划上。这些区域的导流标线、渐变段线形复杂，传统依靠人工计算坐标点再连线的方式，难以保证曲线的平滑顺畅，易出现折角和“S”形弯，影响了高速行驶状态下的视觉引导效果。此外，各类监控、

通信系统的管线预埋与土建结构的冲突也十分普遍，根本原因在于各专业设计均在二维平面上进行，缺乏一个统一的三维空间信息平台进行协同，导致信息孤岛和“错、漏、碰、缺”问题，直至施工现场才暴露出来。

3 交通工程施工技术优化措施

3.1 路基施工控制技术

为解决软土地基施工控制难题，项目引入了基于信息化监测的精细化控制技术。针对压实度不均的问题，在全部压路机上安装了 GPS 压实质量监控系统。该系统通过高精度 GPS 实时记录压路机的行驶轨迹、碾压遍数、行驶速度和振动状态，并将数据无线传输至中央监控平台。监控人员可在办公室通过可视化界面，直观地查看作业区域的压实覆盖情况，对欠压、漏压区域进行标注并及时通知现场操作手补压，确保了压实作业的均匀性和全面性，从过程上保证了压实质量。对于沉降控制，采用了自动化沉降监测系统。在路关键断面布设了多组静力水准仪和位移传感器，系统能够以 1 h 的频率自动采集并回传沉降数据。通过对连续数据的分析，可以精确掌握路基在填筑过程中及预压期的沉降速率和趋势，判断其稳定性，为卸载或进入下一道工序提供科学依据，避免了传统人工测量频率低、数据离散的弊端。

3.2 路面结构优化技术

为提升沥青路面的施工质量和耐久性，项目从材料设计和过程控制两方面进行了技术优化。在沥青混合料设计阶段，摒弃了传统的马歇尔设计法，转而采用 Superpave 设计方法。该方法综合考虑了宁波地区的气候特点（高温、多雨）和交通荷载等级，通过旋转压实仪模拟长期行车荷载作用下的压实过程，优化了集料级配和最佳沥青用量，设计的混合料具有更好的高温抗车辙性能和低温抗开裂性能。优化后的沥青混合料级配方案如表 1 所示。在施工过程控制中，引入了全过程温度监控与无核密度仪检测技术。在每辆沥青运输车上安装红外测温探头，实时监控运输途中的料温变化，确保混合料到达摊铺现场时温度符合规范要求。摊铺和碾压环节，使用手持式红外测温仪对“新铺油面”进行网格化测温，指导压路机在最佳温度窗口期内作业。同时，采用无核密度仪对碾压后的路面进行快速、无损的密度检测，实现了对压实度的实时反馈和动态调整，有效避免了局部区域的压实不足或过度。

表 1 优化后的 AC-20 沥青混合料级配方案

筛孔尺寸(mm)	优化后通过率(%)	设计级配范围(%)
26.5	100	100

19	94.2	90-100
13.2	76.8	65-85
9.5	61.5	52-70
4.75	42.1	35-50
2.36	28.9	23-38
0.075	5.7	4-8

3.3 交通设施安装控制技术

为确保交通设施的安装精度，项目全面应用了 BIM 技术与高精度测量设备。在设计阶段，项目团队创建了包含道路、桥梁、地下管线以及所有交通设施的三维 BIM 模型。通过 BIM 的碰撞检测功能，在图纸阶段就识别并解决了超过 50 处交通设施基础与排水、通信等管线的空间位置冲突，避免了现场返工。施工前，将 BIM 模型中所有设施的精确三维坐标信息，直接导出至 GNSS-RTK 手簿和全站仪中。现场施工人员利用这些高精度设备进行放样，无论是龙门架基础的地脚螺栓预埋，还是交通标线的端点定位，其平面和高程精度均能控制在 10 mm 以内。对于复杂的互通区标线，采用了机器人放样车，该设备可自动接收设计数据，并快速、精确地在路面上标绘出复杂的标线轮廓，其线形流畅度和位置准确性远超人工放样。这种从设计到施工的数据无缝流转，极大减少了信息传递过程中的误差，保证了交通设施的安装精度与施工效率。

4 工程实施效果评价

通过实施上述一系列技术优化措施，本项目交通工程的施工质量得到了有效控制。在路基施工方面，自动化沉降监测数据显示，预压期结束后，主要路段的工后残余沉降速率均稳定在 2.1 mm/month 以下，远低于设计控制标准，有效避免了因不均匀沉降引发的路面病害。选取了三个代表性断面的沉降监测数据进行分析，具体情况如表 2 所示。从表中数据可以看出，

经过 6 个月的持续监测，各断面的沉降趋于稳定，为后续路面施工提供了可靠的基础。在路面质量方面，交工验收时对全线路面进行了检测，结果显示，路面平整度 (IRI) 平均值为 1.12 m/km，优于设计要求的 1.5 m/km，行车舒适性良好。

采用 FWD 对路面结构强度进行检测，各测点的弯沉值均满足设计要求，表明路面结构具有足够的承载能力。通过钻芯取样检测，芯样高度饱满，各结构层厚度达标，沥青混合料的空隙率、密度等指标离散性小，表明材料控制和压实控制措施取得了良好效果。在交通设施安装方面，经第三方测量单位复核，所有龙门架和悬臂标志杆的垂直度偏差均小于 H/1000，基础坐标偏差在 ±15 mm 以内，满足规范要求。BIM 技术的应用使得管线冲突导致的现场变更减少了约 90%，节约了工期和成本。

表 2 代表断面路基工后沉降监测数据

监测点编号	DK2+350	DK5+800	DK10+120
监测时长(月)	6	6	6
初始累计沉降(mm)	125.4	188.7	97.2
期末累计沉降(mm)	138.2	204.6	106.9
近一月沉降速率(mm/month)	1.9	2.1	1.6

5 结语

通过对滨海软土地区某国道重点公路交通工程施工过程的研究，总结了路基施工、路面结构施工及交通设施安装等关键环节中存在的主要技术问题，并提出相应的优化措施。研究表明，信息化监测技术能够实现路基压实与沉降变化的动态控制，提高施工质量稳定性；Superpave 混合料设计方法有助于提升沥青路面的结构性能与耐久性；BIM 技术与高精度测量设备的应用能够显著提高交通设施安装精度。工程实践结果表明，上述技术措施能够有效提升交通工程施工质量与运行性能。

参考文献:

- [1] 管龙威.公路施工中软土路基的施工技术处理研究[J].流体测量与控制,2026,7(01):111-114.
- [2] 党繁荣.软土路基施工技术在公路工程中的应用[J].汽车画刊,2025,(12):107-109.
- [3] 王健,陈仕文,黄素.深厚软土区管桩复合地基道路病害调查与防治策略[J].公路工程,2025,50(06):138-148.
- [4] 咎思明.软土地基桥梁桩基加固技术[J].交通世界,2025,(35):169-171.
- [5] 钟洪波.软土地基处理技术在市政路桥施工中的应用[J].中华建设,2024,(11):172-174.