

公路工程路基施工质量控制技术

彭 瑶 杨晓波

陕西交通控股集团有限公司西禹分公司 陕西 渭南 710018

摘要：本文围绕公路工程路基施工质量控制技术展开，探讨路基材料力学特性与施工工艺关联性，提出填筑材料质量控制、压实工艺优化、排水系统协同设计等关键技术，并阐述过程监控、质量缺陷识别修复及多工序协同管理等实施方法，为提升路基施工质量提供理论支持与实践指导。

关键词：路基施工；质量控制；材料力学特性；关键技术；实施方法

引言：公路工程路基作为道路结构基础，其施工质量直接影响道路使用寿命与行车安全。路基施工涉及材料选择、工艺实施、质量检测等多个环节，各环节相互关联、相互影响。随着交通流量增长与地质条件复杂化，对路基施工质量提出更高要求。深入研究路基施工质量控制技术，对保障公路工程整体质量具有重要意义。

1 路基施工质量控制理论基础

1.1 路基材料力学特性

路基填筑常用的土、石料，其压实特性与承载能力存在复杂且紧密的关联。在压实过程中，材料内部颗粒结构不断重塑。颗粒之间相互移动、重新排列，原本松散分布的状态逐渐改变，孔隙空间持续被压缩减小。随着压实程度的不断加深，颗粒之间的接触愈发紧密，彼此嵌挤程度显著增强，最终促使材料的密实度得到逐步提升。当材料密实度提高后，其内部结构变得更加稳定有序。这种稳定的结构在承受外部荷载时，能够发挥更好的应力分散作用。应力不再集中于局部区域，而是更均匀地在材料内部传递，从而有效提升了材料的承载能力。反过来，承载能力的增强又会影响材料在后续荷载作用下的压实特性^[1]。当承载能力提升后，材料在进一步受压时，其内部颗粒的移动和变形规律会发生变化，二者之间相互影响、相互作用，共同决定了路基材料在实际工程中的性能表现。路基应力分布遵循特定规律。当外部荷载施加在路基表面时，应力会以一定的扩散角度向路基内部传递。在应力扩散的路径上，随着深度的不断增加，应力的大小逐渐衰减。这种应力分布情况直接影响着路基的变形机制。路基的变形主要来源于材料颗粒在应力作用下的运动以及材料自身的压缩。颗粒会在应力作用下发生滑动、滚动等位移，同时材料本身也会因受力而产生压缩变形。如果填筑材料的力学性能较差，在相同的应力条件下，颗粒更容易发生较大幅度的位移，材料自身的压缩量也会增大，最终导致路基产生

过量变形，对路基的整体稳定性构成威胁。

1.2 施工工艺与质量关联性

填筑材料的适配性对压实效果有着显著的影响。不同类型的填筑材料，在颗粒组成、级配、含水率等方面存在明显差异，这些差异决定了其各自所需的压实条件不同。以黏性土为例，由于其黏聚力较大，颗粒之间相互吸引的作用较强，想要达到理想的压实效果，就需要控制合适的含水率，并施加较大的压实功。而砂性土与之不同，其颗粒间黏聚力小，但内摩擦力大，在压实过程中，对压实机具的类型、碾压的次数等参数有着特殊要求。只有充分考虑材料的这些特性，选择与之适配的压实工艺，才能让材料达到最佳的密实状态，实现良好的压实效果。施工工序的逻辑性在保障路基整体质量方面起着关键作用。路基施工包含多个相互关联的工序，各工序之间存在着严格的先后顺序和内在逻辑关系。基底处理作为施工的首要环节，是整个路基工程的基础。只有确保基底稳固，其承载力满足设计要求，后续的填筑和压实工序才能够顺利开展并发挥作用。若基底处理不到位，即便后续的填筑和压实工作严格按照规范进行，路基在后期使用过程中仍然可能出现沉降、失稳等严重问题。在填筑过程中，分层填筑厚度、碾压顺序等细节也需要严格把控。分层填筑厚度过大，会导致下层材料难以被有效压实；不合理的碾压顺序，则会使路基受力不均，从而产生局部变形。每一个施工工序都相互影响、相互制约，共同决定着路基的最终质量。

2 路基施工质量控制关键技术

2.1 填筑材料质量控制

填料级配优化与含水率调控是填筑材料质量控制的核心内容。级配设计时，连续级配与间断级配的选择需依据工程实际需求^[2]。连续级配的填料，颗粒粒径呈连续分布状态，小颗粒能充分填充大颗粒之间的空隙，在压实过程中，易形成紧密堆积结构，可有效提升材料密

实度,适用于对整体强度和稳定性要求较高的常规路基填筑场景。间断级配则有意剔除部分中间粒径颗粒,形成骨架-空隙结构,这种结构能赋予路基良好的透水性和抗变形能力,常用于需要快速排水或应对特殊荷载工况的路段。含水率对填筑材料压实效果影响显著,需进行动态调整。当填料含水率过高,水分会在颗粒间形成水膜,增加颗粒间滑动阻力,阻碍颗粒紧密排列,导致压实困难。此时采用晾晒处理,通过自然风干或机械通风等方式加速水分蒸发,使含水率降至合适范围。若填料含水率过低,颗粒间摩擦力大,难以相互移动填充空隙,需进行洒水操作,增加颗粒表面湿润度,降低摩擦阻力,便于压实机械作用,促使材料达到最佳压实状态。特殊土质处理技术是应对复杂地质条件的关键。膨胀土遇水体积膨胀、失水收缩开裂,严重威胁路基稳定性。采用石灰或水泥进行化学改良,将其按一定比例掺入膨胀土中,石灰中的钙离子与土颗粒发生离子交换和胶结反应,水泥则通过水化反应生成具有胶凝性的物质,两者均可改善土颗粒表面性质,增强土体整体性,抑制膨胀土的胀缩特性。软土地基承载能力弱、压缩性高,换填法将软土全部或部分挖除,换填砂砾、碎石等强度高、压缩性低的材料,直接提升地基承载力;排水固结法通过设置砂井、塑料排水板等竖向排水体,配合水平排水垫层,形成排水通道,加速软土中孔隙水排出,使土体在自重或预压荷载作用下逐渐固结,提高土体强度和密实度。

2.2 压实工艺优化

压实工艺优化聚焦机械选型与参数匹配,确保路基达到设计密实度。压实机械选型需综合考虑填料类型、施工厚度与工程规模。振动压路机通过高频振动使颗粒重新排列,适用于砂石、砾石等非黏性土,能有效降低空隙率;静碾压路机依靠自身重力压实,常用于黏性土表层修整,可消除振动压实后的松散层。协同作业模式下,先由振动压路机进行初压与复压,利用振动能量实现深层密实;再以静碾压路机终压,提升表面平整度与密实度,避免因单一机械作业导致压实不均。压实参数动态匹配是保障压实质量的核心。压实遍数、速度与松铺厚度相互关联,需依填料特性与机械性能调整。压实遍数不足无法达到设计密实度,过多则可能破坏已成型结构;压实速度过快导致压实功作用时间短,影响颗粒位移,过慢则降低施工效率。松铺厚度直接影响压实深度与均匀性,厚层摊铺易造成下层压实不足,薄层摊铺则增加施工成本与时间。施工前需通过试验段确定参数组合:在不同松铺厚度下,以梯度遍数与速度进行压

实,检测密实度变化曲线,选取满足设计要求且经济高效的参数方案。作业中根据填料含水量、天气变化动态调整,如雨后含水量增加时,适当降低速度、增加遍数,确保压实效果。

2.3 排水系统协同设计

排水系统设计需实现地表与地下排水联动,防止水侵害路基稳定性。地表排水设施拦截、排除坡面与路面水流,地下排水设施疏导地下水,二者功能互补。地表排水沟渠(边沟、截水沟)需依地形与汇水量确定尺寸与坡度,确保水流顺畅排出^[1]。截水沟设置于山坡路段上方,拦截山坡汇水,防止冲刷路基边坡;边沟沿路基边缘布置,收集路面与坡面水流并引入排水管网。地下排水设施针对地下水丰富区域,盲沟通过填充透水性材料(砂石、砾石)形成排水通道,将地下水引入集水井;渗井则垂直贯穿含水层,将浅层地下水导入深层透水层。排水设施布局遵循系统性原则。其位置、走向需结合地形地貌与地质条件规划,避免穿越不良地质区域。盲沟布置需考虑地下水流向,沿垂直水流方向设置,确保拦截效果;渗井间距依地下水位与透水层厚度确定,避免排水盲区。排水系统需与路基填筑同步施工,各设施衔接处采用防渗材料密封,防止水流渗漏侵蚀路基。路面排水与路基排水需一体化设计,路面横坡、路肩排水槽与边沟连通,将路面雨水迅速排出;地下排水设施出口与地表排水沟渠衔接,确保地下水顺畅排出路基范围,形成完整的防排水体系,降低水对路基的软化、侵蚀作用,提升路基长期稳定性。

3 路基施工质量控制实施方法

3.1 过程监控技术

路基施工过程中,填筑层厚度与平整度实时监测是保障施工质量的基础。填筑层厚度直接影响压实效果,过厚的填筑层会导致下层材料无法被有效压实,而过薄则影响施工效率。借助激光测距仪、全站仪等设备,可对填筑层厚度进行动态测量。在施工过程中,沿路基纵向和横向设置多个监测点,及时获取各点位的填筑层厚度数据,若发现偏差,立即进行调整。平整度监测同样关键,不平整的填筑面会使压实机械受力不均,影响压实质量。通过三维激光扫描技术,可快速获取填筑面的三维数据,精准分析平整度情况,一旦出现凹凸不平,及时采用平地机进行修整。压实度与含水率的快速检测技术对把控施工质量意义重大。核子密度仪利用放射性原理,能够快速测定路基材料的密度和含水率,只需将仪器放置在检测部位,短时间内即可得出数据,适用于大面积快速检测。环刀法操作相对简单,通过在路基材

料中切取一定体积的土样,测定其质量和体积,从而计算出密度和压实度,该方法常用于现场抽样检测。两种检测技术相辅相成,核子密度仪提供大范围的快速检测结果,环刀法则作为补充,对关键部位或有疑问的区域进行精准检测,确保压实度和含水率符合施工要求。

3.2 质量缺陷识别与修复

早期病害识别对保障路基长期稳定至关重要。裂缝和沉陷是路基常见的质量缺陷,通过观察其形态特征可进行初步判断。裂缝可分为表面裂缝和深层裂缝,表面裂缝多因材料失水收缩、压实不均等原因产生,常呈现不规则的网状或条状;深层裂缝可能与地基不均匀沉降、材料强度不足有关,其长度和深度较大,有时会贯穿整个填筑层。沉陷表现为路基表面局部或大面积的下陷,下陷区域周边可能出现隆起或裂缝。当发现这些病害特征时,需进一步采用地质雷达、探地成像等技术,深入检测路基内部结构状况,确定病害的范围和严重程度。针对质量缺陷,需制定合理的修复策略。对于局部病害,如较小的裂缝或局部沉陷,可采用局部补强的方法。对于裂缝,先清理裂缝内的杂物,然后注入填充材料,如水泥浆、环氧树脂等,使其填充裂缝并与周边材料粘结牢固^[4]。对于局部沉陷区域,挖除下陷的材料,换填强度较高的材料,并进行分层压实。若路基出现较为严重的整体质量问题,如大范围的沉陷或强度不足,则需采取整体加固措施。可通过增设土工格栅增强路基的整体性,或采用注浆加固法,将浆液注入路基内部,填充空隙、加固土体,提高路基的承载能力和稳定性。

3.3 多工序协同管理

路基施工包含填筑、压实与排水等多个工序,各工序间的衔接控制是施工顺利进行和质量保障的关键。填筑工序为后续压实和排水奠定基础,填筑完成后,需及

时进行压实作业,避免填筑层暴露时间过长,受雨水冲刷或水分散失影响压实效果。在压实工序中,要考虑排水设施的保护,避免压实机械对已铺设的排水管道、盲沟等造成破坏。排水工序需在路基填筑和压实过程中同步规划和实施,确保排水系统能及时发挥作用,排除路基范围内的水分。建立明确的工序交接验收标准与责任划分机制,能有效保障施工质量。每个工序完成后,需按照既定标准进行验收。例如,填筑工序验收时,检查填筑材料的质量、填筑层厚度和平整度是否符合要求;压实工序验收时,检测压实度、含水率等指标。验收合格后,进行工序交接,明确责任归属。若后续工序发现前一工序存在质量问题,可追溯到相应责任方,要求其进行整改。清晰的责任划分促使各施工环节人员严格控制质量,保障路基施工质量的稳定性和可靠性。

结束语

公路工程路基施工质量控制是确保道路安全与耐久性的关键。通过优化填筑材料、压实工艺与排水系统设计,强化过程监控与质量缺陷修复,实现多工序协同管理,可有效提升路基施工质量。未来,需进一步探索新技术、新材料在路基施工中的应用,不断完善质量控制体系,推动公路工程高质量发展。

参考文献

- [1]马国宁.公路工程路基施工质量控制的关键技术研究[J].运输经理世界,2024,(34):40-42.
- [2]张新宇.关于公路工程路基施工质量控制技术探析[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):147-150.
- [3]任庭海.公路工程施工技术要素及公路工程质量控制研讨[J].汽车周刊,2024,(07):140-142.
- [4]牟加磊.公路路基施工技术及其质量控制措施探讨[J].四川建材,2024(11):127-129.