



1.5~2.0米。在碾压时,采取错轮滚动,轮距为车轮宽度的1/3~1/2,保证了碾压没有盲区。对于机械压实不能达到路基边缘和转角的部位,应使用小震锤回填,并在原压实面积上再加2次,以保证压实效果<sup>[3]</sup>。

#### 1.4 含水率控制技术

在整个工程中,必须对路基的含水量进行严格的监控,以保证路基的最大含水率在±2%以内。在施工期之前,先对料堆处的含水量进行测试,如果含水量小于规定的标准,则要用喷洒器进行喷洒,然后将料面压2~4个小时,让水完全渗入;当含水率超过规定的标准时,要用铲斗耙进行翻松,并在干燥期间定时测定水分,直到满足标准。在气温较高的情况下,应在路面铺筑30min以内进行碾压,以防止路面的水分迅速挥发;如遇下雨,应停止摊铺工作,对已经铺设而没有压实的填料用防水布遮盖,降雨后检查含水量,若超过标准应采取烘干或补洒等措施。

### 2 现阶段土石混填路基施工中存在的问题与挑战

#### 2.1 材料不均匀性导致的质量问题

土石混合物自然级配的离散性是引起路基质量问题的主要原因,其不均一是在整个工程建设中普遍存在的,直接导致了离析、压实不均和强度—变形不连续等级联问题。由于沥青混合料在路面施工时会大量出现的大颗粒(尺寸>20cm),使得沥青混合料无法充分填实,导致路面出现脱空。这一现象源自沥青混合料在运输和运输过程中产生的级配和分选问题,而细粒含量较高的地区由于未充分发挥其嵌挤效应,在车辆荷载重复荷载下容易产生结构性疏松,而脱空部位又是降雨入渗的渠道,从而加重了路基的内在冲刷。

#### 2.2 施工工艺控制难点

对于土石混合料,其压实能耗有较大的要求,例如:当土石比为7:3时,需要300kN的振动力大于300kN,当为5:5时,由于击实误差较大,容易导致粒料粉碎。在工程实践中,由于各种级配的变化,按实测断面计算得到的压实参数很难与现场实测数据进行及时地配合,从而产生了“欠压”“过压”等现象<sup>[4]</sup>。由于道堑坡区受到压路机作用范围的制约,不能进行大吨位的机械对其进行压实,而小夯的压实厚度也很难达到设计标准,致使路堤压实度较中心地段的10%~15%偏低。由于“边缘薄弱”的特点,在降雨和重力的共同影响下,边坡极容易出现滑坡,从而对整个公路的稳定产生严重的危害。

### 3 土石混填路基施工技术的优化策略与发展方向

#### 3.1 材料与配合比的精细化控制优化

土石混填路堤的品质基础是其性质稳定,而传统“一刀切”的调控方式很难适应自然混合料的离散特性。建立“在线监测—动力分配—性能改进”的精细调控系统,从根源上解决因不均一引起的质量隐患,为以后的建设奠定坚实的基础。其关键思想是:打破传统混凝土配合比的“静止配合”限制,以实际工程中的测试结果为动力,使填充材料的各项指标与建造需求达到精确匹配。

(1) 基于现场情况的动态配比设计:借助高速测试手段,建立闭环控制链,实时获得现场填充材料特性指标,并对其进行优化调控,突破了以往依靠实验室静态测试的局限性。在原料堆场进口建立可移动的智能化检测设备,将高频振筛仪、便携式水分测定仪和含砾量快速分析装置相结合,实现对每一批进料的15min以内的快速检测,并对其进行颗粒级配(粒径分布、颗粒含量>20mm)、含水率和压实潜能等关键参数进行实时监测,并将监测结果及时上传到工程监控系统中<sup>[5]</sup>。根据试验结果,采用基于计算机的智能化配合比算法,根据试验结果(最大干密度和最优含水率),采用不同掺量(8%~12%)掺入不同级配(5%~8%)的细粒土掺量,填补大颗粒之间的空隙,提高密实度。在块石含量较低的情况下,采用10~20mm的级配来加固路堤的承载结构。

(2) 应用改良剂:根据不同性质和缺陷的填料,选择适宜的改性系统,并通过微量添加来达到整体和水稳定性的方向上的提高。针对细颗粒土掺量(40%)且遇水易软的情况,提出水化—石灰联合改性技术,即以2%~3%的水泥土为原料,利用1%~2%的石灰(1%~2%)来减小填料的亲水性,提高其后期的稳定性能;利用离子交换和水化胶结的双重效应,将混合料CBR提高30%~50%,水饱和和抗压强度提高25%~40%,从而有效地解决细粒土富集区压实后易产生裂缝的问题。针对大掺量(70%)且嵌挤性较差的沥青路面,通过添加0.5%~1%的高分子乳化改性剂(如丙烯酸酯乳化),在沥青路面上生成一层橡胶薄膜,提高沥青路面的润滑性和黏附力,加速沥青路面的密实程度,降低路面脱空<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 施工工艺与机械组合的创新优化

针对精确管控、提升质量这一关键问题,以智能化技术赋能、新型工艺推广和设备协同优化为手段,突破常规施工过程中压实不均和层间结合差等技术难

题。

(1) 智能化施工技术的应用: 基于 GPS 定位、多传感器监测和智能调控等功能的智能建造方法, 对路面和压实全过程进行精确的数字监控。在摊铺过程中, 使用基于 GPS 技术的、具有精确控制误差 ( $\pm 2$  cm) 的摊铺机, 配合铺设厚度和料位计, 对摊铺厚度、行进速度、填料流量等数据进行实时检测, 并对摊铺机和摊铺机的高度和速度进行自动调节, 以保证各层厚度的误差在  $\pm 3$  厘米以内。在此基础上, 通过在摊铺机上配置超声阵列传感器, 实现沥青混合料级配的在线监测, 在离析指标  $> 0.8$  的情况下, 实现土石混合料的有效调控。通过在压路机上加装加速度传感器和信息传送终端, 将车辆的振动加速度信息转换为压实品质指数 ( $CMV = \text{压实度}$ ,  $CCV = \text{压实度}$ ), 实现对压实过程中的压缩温度场的实时监测。现场可直接辨识“欠压区” (巨流量  $> 20$ ) 和“过压区” (巨流量  $> 40$ ), 并对欠压区加 1-2 轮的碾磨工艺进行动态调节, 即在过压区减小激振力。

(2) 新型压实技术的推广: 新型压实工艺针对传统技术短板, 采用差异化方案提升压实深度与均匀性。冲击碾压补强工艺针对深层 (1.5~3.0 米) 和老路基的改造, 采用三角形撞击压路机, 以 25-40 kJ 的撞击能, 以 1-2 公里/小时的运动速率, 在重复的撞击载荷作用下, 填充物发生塑性变形和嵌入, 提高深层压实度。经现场测试, 0-3 米处的压实度提高 3%~5%, 地基的承载力提高 15%~20%, 且在实际工程中需要严

格控制撞击次数 (20~30 次), 并进行多层撞击以防止表面裂缝的产生。强夯法对于含有大块 (50 cm)、软土地区的强夯加固方法, 按其承载能力设定为 1000-3000 kN.m, 夯点间隔 2.5-4.0 m, 采取“分段夯击一分层回强-满夯收光”的施工工艺, 在强夯过程中设置孔压传感器和地面沉降观测装置, 对强夯过程中的变形和孔压的耗散进行监测, 以保证夯点的合理性。为了解决边坡的压实问题, 提出了一种新型的“水力边坡紧固器+微型振夯”相结合的方法。小夯锤主要完成顶部和角部的压力补偿, 从而克服了机器工作范围的局限。另外, 针对土-土配比有较大差别的地区, 进行震动+撞击联合压实, 即 6~7 次, 然后 2~3 次的撞击夯实, 达到整体压实品质的均匀化。

#### 4 结语

土石混填路基的建设工艺是一项系统工程, 涉及材料科学、岩土力学和建设管理等多方面。从材料控制、工艺应用到品质检验等环节进行系统梳理, 深入认识到控制非均质性是保证路基整体一致性和稳定性的关键。针对目前材料分离、工艺粗放、测试适应性差等技术难题, 其发展方向必将转向材料精细化比例控制、施工过程智能反馈控制。只有把各个独立的工艺节点结合起来, 形成一个协调、优化的有机统一, 才能实现土石混合料路基的本质质量和长期使用寿命, 促进我国道路工程向资源节约、环境友好和本质优良的目标发展。

#### 参考文献:

- [1] 李建. 公路工程高填方段土石混填路基施工的稳定性的探讨[J]. 交通世界, 2024, (36): 63-65.
- [2] 林国辉. 公路工程土石混填路基施工技术[J]. 汽车画刊, 2024, (07): 112-114.
- [3] 洪林燕. 公路工程土石混填路基施工技术[J]. 交通世界, 2024, (Z1): 95-97.
- [4] 陈亮. 公路施工中的土石混填路基施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2023, (26): 22-24.
- [5] 王雄. 公路施工中的土石混填路基施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2022, (33): 53-55.
- [6] 李祥耀. 土石混填路基土的振动试验方法研究[J]. 新疆有色金属, 2022, 45(03): 24-25.