

# Control of Roadbed Compaction and Optimization of Slope Protection Technology

Yanliang Yang

Xinjiang Sanli Construction Co., Ltd., Yili, Xinjiang, 833200, China

## Abstract

The compaction degree of subgrade engineering and the quality of slope protection directly determine the overall stability and durability of roads. Focusing on construction control in subgrade engineering, this paper explores the key points of the entire compaction process, from pre-compaction parameter determination and precise construction control to post-compaction quality inspection, establishing a closed-loop control system. Additionally, by integrating the characteristics of rigid, flexible, and ecological protection techniques, targeted optimization strategies are proposed to construct a composite protection system adaptable to various scenarios. The mutual influence mechanism between compaction quality and slope protection is clarified, and the collaborative control logic between the two is analyzed. Through coordinated control, the overall performance of the subgrade is enhanced. The research findings provide technical references for subgrade engineering construction, effectively addressing issues such as insufficient compaction and slope instability, thereby improving project quality and service life.

## Keywords

subgrade engineering; compaction control; slope protection; process optimization; durability

## 路基压实度控制与边坡防护工艺优化

杨彦亮

新疆三利建筑有限责任公司, 中国·新疆 伊犁 833200

## 摘要

路基工程的压实度与边坡防护质量直接决定道路整体稳定性和耐久性。本文以路基工程施工管控为核心, 探讨压实度控制的全流程要点, 从压实前参数确定、施工中精准管控制到压实后质量检测, 构建闭环管控体系。同时, 结合刚性、柔性生态防护工艺的特点, 提出针对性优化策略, 构建适配不同场景的复合型防护体系。明确压实质量与边坡防护的相互影响机制, 分析二者协同控制逻辑, 通过协同管控提升路基整体性能。研究成果可为路基工程施工提供技术参考, 有效解决压实不足、边坡失稳等问题, 助力提升工程质量与使用寿命。

## 关键词

路基工程; 压实度控制; 边坡防护; 工艺优化; 耐久性

## 1 引言

随着交通工程建设的迅速发展, 路基作为道路工程的核心承载结构, 路基质量的好坏直接影响道路的安全使用和使用寿命。目前路基施工中压实度不达标、边坡防护失效等问题屡见不鲜, 容易造成路基沉降、边坡滑坡等病害, 影响工程稳定性。压实度控制与边坡防护是路基施工的两个关键环节, 施工质量的好坏和两者的配合程度对路基的整体性能起着决定性作用。因此本文结合已有研究成果和工程实践, 对路基压实度控制的核心要点及实施途径进行系统地分析, 优化边坡防护工艺, 探索二者协同控制的方法, 为提高路基工程施工质量、确保道路长期稳定运行提供理论支持和技术

借鉴。

## 2 路基压实度控制的核心要点与实施路径

路基压实的本质在于通过外力的作用减小土颗粒间的孔隙率, 提高土颗粒的密实度和黏聚力, 进而提高路基的承载能力、抗渗性、稳定性。压实度是衡量压实效果的主要指标, 压实度的控制要围绕影响压实效果的关键因素, 从“前期准备、施工过程、质量检测”三个方面建立全流程管控体系, 确保压实质量符合工程标准。

### 2.1 压实前的基础准备与参数确定

压实前的准备工作是确保压实效果的前提, 主要从土料特性的控制和压实参数的优化两方面入手。土料的颗粒级配、含水量、塑性指数等特性会直接影响压实效率和密实度, 需要对路基填筑土料进行严格的检测, 剔除杂质、超粒径颗粒, 确保土料达到填筑标准。含水量是影响压实效果的关键

【作者简介】杨彦亮 (1985-), 中国新疆哈密人, 本科, 工程师, 从事公路工程路基工程研究。

因素，土料含水量过低时，土颗粒之间摩擦力大，外力作用下不易压实；含水量过高时，会形成橡皮土，不仅不能达到预期的压实度，还会造成路基后期沉降变形。因此需要通过室内试验来确定土料的最佳含水量，施工时根据现场土料含水量的不同采取晾晒、洒水等措施进行调节，将含水量控制在最佳含水量  $\pm 2\%$  范围内。同时要根据土料特性、路基设计要求，通过试验段施工确定合理的压实参数，包括压实机械类型、压实遍数、压实速度、铺筑厚度等。不同的压实机械作业效率和压实效果存在较大差异，重型压路机适合深层压实，轻型压路机适合表层修整，应根据填筑厚度和土料类型合理选型；压实遍数要通过试验确定，避免遍数不足造成压实度不足，或遍数过多造成土料结构破坏<sup>[1]</sup>。

### 2.2 压实过程中的精准管控

压实过程是压实度控制的关键环节，需按照分层填筑、分层压实、循序渐进的原则，确保每一层土料都达到设计压实度的要求。路基填筑应分层进行，每层铺筑厚度需按试验段确定的参数执行，一般情况下，重型压路机压实的铺筑厚度不宜超过 30cm，轻型压路机不宜超过 20cm，若铺筑过厚，下层土料将难以受到足够的压实作用力，进而容易形成分层离析现象。压实顺序应遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则，先用轻型压路机对表层土料进行初压，消除土料孔隙，避免重型压路机作业时造成土料推移；再用重型压路机进行复压，使土料密实度达到设计要求；最后用轻型压路机进行终压，修整路基表面平整度，消除轮迹。压实时要控制压路机行驶速度，初压速度不大于 2km/h，复压速度不大于 4km/h，终压速度不大于 5km/h，使压路机与土料充分接触，提高压实效果。同时加强路基边坡、转角等薄弱部位的压实控制，该类部位容易出现压实不到位的问题，可以采用小型夯实机械进行补充压实，防止局部沉降。

### 2.3 压实后的质量检测与反馈调整

压实后的质量检测是检验压实效果、及时发现施工隐患的重要手段，需采用科学规范的检测方法和合理的检测频率，确保检测结果准确可靠、有指导意义。常用的压实度检测方法有环刀法、灌砂法、核子密度仪法等，其中灌砂法由于检测精度高、适用范围广，不受路基材料类型的限制，因此被广泛应用于路基压实度的检测。检测频率需按工程规范执行，每压实一层至少检测 3-5 个点位，检测点位要均匀分布在路基全断面，避免局部遗漏。若检测结果不合格，应及时分析原因，区分是含水量超标的、压实功不足的还是填料级配不合理的，采取补压、晾晒调整含水量或者更换填料等针对性措施进行处理，直到压实度达到设计要求为止。同时需要建立完善的检测数据反馈机制，将检测结果和施工参数进行对比分析，反推优化后续压实作业的碾压遍数、碾压速度等关键参数，形成施工、检测、优化的闭环管控体系，持续提高路基压实质量<sup>[2]</sup>。

## 3 边坡防护工艺的优化策略与应用要点

边坡防护工艺的优化要以“因地制宜、按需防护、经济高效、生态环保”为原则，根据边坡坡度、岩土性质、气候条件、水文环境等选择适合的防护类型，优化施工工艺，提高边坡防护的稳定性和耐久性。传统的边坡防护工艺大多采用刚性防护，适用范围较小、生态效益欠佳，要综合利用柔性防护和生态防护技术来构成复合型防护体系。

### 3.1 刚性防护工艺的优化与完善

刚性防护工艺适合于边坡坡度大、岩土稳定性差、雨水冲刷严重的地区，核心目标是提高防护结构的承载能力以及抗侵蚀性。浆砌片石护坡是传统刚性防护的常用工艺，优化重点在于材料质量的控制以及砌筑工艺的改进。选用强度等级满足要求的片石和砂浆，片石要质地坚硬、表面平整，砂浆要严格控制配合比，确保粘结强度。砌筑过程中，采用坐浆砌筑、错缝搭接的方式，避免通缝现象，提高防护结构的整体性；设置排水孔与伸缩缝，排水孔间距控制为 2 ~ 3m，坡度不小于 3%，确保边坡内部积水能及时排走，防止积水压力破坏防护结构；伸缩缝间距控制在 10 ~ 15m，用柔性材料填充，适应温度变化及边坡轻微变形，防止结构开裂。

除浆砌片石护坡外，锚杆框架梁结构也是刚性防护中经常用到的加固形式（见图 1）。锚杆深入边坡底部提供锚固力，框架梁将坡面的荷载传递到锚杆上，配合边坡的防护层和排水孔的设计来降低边坡滑动、冲刷的风险。施工时需严格控制锚杆深度、锚头张拉应力、框架梁浇筑质量，确保结构整体受力协同。混凝土预制块护坡工艺优化可以从预制块设计和铺设工艺两方面入手，优化预制块形状和尺寸，采用连锁式预制块，提高铺设后整体性、稳定性；铺设前平整边坡坡面，铺设时确保预制块拼接紧密，缝隙用砂浆填充充实，配套设置排水系统，提高防护效果。

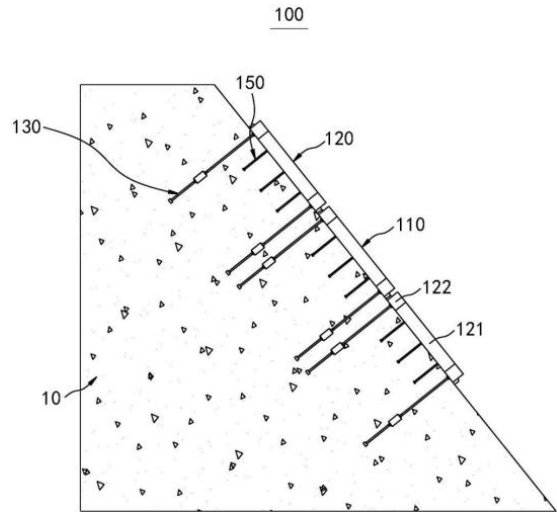


图 1 锚杆框架梁复合型边坡防护结构示意图

### 3.2 柔性防护工艺的推广与应用

柔性防护工艺具有适应性强、抗震性好、施工方便等

优点,适用于边坡岩土破碎、易发生滑坡的区域,可与刚性防护工艺相结合,形成复合型防护体系。主动防护网工艺优化重点在于网体选择、固定方式的改进,使用高强度钢丝绳网或者聚酯纤维网来提高网体抗冲击能力、耐腐蚀性能,固定系统采用锚杆、锚索组合方式,锚杆深度根据岩土特性确定,确保锚固力足够,防止网体脱落。施工中可以采用智能化张拉设备,精确控制锚杆张拉力,确保固定效果,对网体做防腐处理,延长使用寿命。被动防护网工艺要改善网体结构和支撑体系,选用菱形网体结构,加强网体的缓冲能力,减小落石对边坡的冲击;支撑柱要使用高强度钢材,固定牢靠,在落石冲击时不会产生变形破坏。另外可以优化支撑柱的布置间距,根据边坡高度和落石冲击能量计算确定,在确保防护效果的前提下降低施工成本,对于高陡破碎边坡,可以采用主动和被动防护网联合布置的方式,形成立体防护体系,全面拦截落石和滑坡体。柔性防护工艺施工时,需严格控制网体铺设张力及固定点间距,确保网体与边坡坡面贴合紧密,起到防护作用。

### 3.3 生态防护工艺的融合与升级

生态防护工艺以生态优先、可持续发展为原则,通过植被种植、生态材料铺设等手段实现边坡防护与生态修复的有机结合,适用于气候适宜、边坡稳定性好的区域。喷播植草工艺要改良喷播材料、优化喷播设备,采用适应当地气候、抗旱耐贫瘠的草种,添加腐殖土、有机肥、粘结剂等材料来提高植被成活率;用高压喷播机喷播,确保均匀覆盖边坡坡面,厚度控制在 3 ~ 5cm,用防护网防止雨水冲刷喷播材料。可以优化草种配比,用灌木、草本混播模式来提高植被群落的稳定性以及抗侵蚀能力,在干旱地区边坡可加入保水剂和缓释肥,改善植被生长环境。客土喷播工艺适合于岩石边坡,需要先对边坡坡面进行处理,清除松动的岩石,铺设土工格栅,提高客土与坡面的黏结力;客土材料应选用与当地土壤特性相近的土料,配合植被种子和营养基质,提高植被生长环境质量。施工过程中可以采取分层喷播技术,底层铺设粘结层和营养层,表层喷洒种子层,设置灌溉系统确保植被初期生长。生态袋护坡工艺的改善,主要是生态袋材料及堆叠方式的改进,使用耐老化、抗腐蚀的生态袋装填种植土和种子,叠放采用错缝搭接法确保结构的稳固,设置排水口,防止积水影响植被生长。生态防护工艺要加强后期养护管理,定期浇水、施肥、补植,确保植被覆盖度,充分发挥植被的固土、保水、抗侵蚀作用<sup>[1]</sup>。

## 4 路基压实度与边坡防护的协同控制

路基压实度和边坡防护是路基工程的两个主要环节,二者之间存在着密切的协调关系,压实度不够会造成路基不均匀沉降,从而影响边坡防护结构的稳定性;而边坡防护失效会造成路基土体被侵蚀、失稳,反过来影响路基的压实质量。所以路基工程施工时应该实现二者的协同控制,提高路基整体稳定性和耐久性。

在路基压实作业中,需重视边坡部位的压实质量,防止边坡部位压实不足造成后期沉降,从而拉裂边坡防护结构。对于边坡表层土体,应采用小型压实机械进行精细压实,确保边坡土体的密实度与路基主体一致,为边坡防护结构提供良好的基础。同时边坡防护工艺设计与施工要充分考虑路基的变形特征,选用变形成性好、与路基协调的防护结构和材料,避免因路基沉降造成防护结构破坏。边坡防护结构的施工要与路基压实作业合理衔接,待路基压实度达标后再进行边坡防护施工,确保防护结构与压实后的路基紧密结合,形成协同受力体系。另外建立路基压实度和边坡防护质量联合检测制度,在工程验收阶段,对路基压实度及边坡防护结构的完整性、稳定性进行同时检测,确保二者均符合设计要求,提高路基工程整体质量。

## 5 结论

本文通过研究路基压实度控制和边坡防护工艺优化,得出压实度全流程管控的逻辑,即通过前期参数优化、过程精准控制、后期检测反馈来确保压实质量。边坡防护工艺优化要根据实际情况来决定采用刚性、柔性和生态防护技术相结合的方式,既可达到防护效果又能兼顾生态效益。二者相互配合控制可以有效提高路基的总体稳定性,需加强对压实和防护工作的协调以及联合检测。研究构建的技术体系可以有效地解决路基施工中常见的病害问题,具有较强的工程实用性,对同类路基工程施工质量控制有重要的指导意义,可推广应用于各类交通路基项目。

### 参考文献

- [1] 王增帆.市政道路路基压实度的检测方法与控制标准[J].大众标准化,2025,(24):184-186.
- [2] 魏育青.市政道路路基压实度的检测方法分析及控制要点[J].散装水泥,2025,(06):248-250.
- [3] 苏相岗,赖世民,陈振林,等.高边坡防护工艺设计与施工技术研究[J].工程建设与设计,2023,(02):137-139.