

云南地区农村公路“提质升级”工程技术标准与典型结构研究

马定文

云南省红河哈尼族彝族自治州弥勒市综合交通建设中心 云南弥勒 652399

摘要：农村公路“提质升级”是促进乡村振兴和经济社会发展的关键举措，为了全面提升农村公路的通行能力，保障公路运行安全，本文聚焦于云南地区农村公路“提质升级”工程，针对云南独特地形地质、气候生态条件，剖析现行标准存在的问题，构建融合“地形地质修正系数”与“功能附加值”的分层级技术标准体系，提出山区重载抗滑耐久型、软基及高烈度地震区柔性基层水泥混凝土型、生态环保与就地取材型三种典型路面结构，集成生态防护、交通安全保障、“交通+旅游+文化”融合等关键配套技术，为云南农村公路高质量发展提供指导。

关键词：云南农村公路；提质升级；地域化标准；抗灾结构；生态技术；交旅融合

随着社会经济的快速发展及城乡一体化进程的持续加快，农村公路作为连接农村地区和外界的关键交通纽带，其提质升级改造具有重要现实意义。农村公路不但承担着农产品运输及人员流动等丰富功能，同时与农业经济的发展、农民生活质量和社会的和谐稳定密切相关。在此背景下，对农村公路实施科学、系统的提质升级改造，增强其通行能力和安全性，是实现乡村振兴目标和经济发展的关键举措。在具体工作实践中，需要综合分析农村公路的路网结构、交通流量、地形地势、气候条件及环境保护等因素。除此之外，还需要紧密围绕当地经济社会发展需求，全面优化农村公路的服务功能，提高其可持续发展能力。云南地处中国西南边陲，地形以山地高原为主，占比高达94%，且横跨多个地震带，气候垂直变化显著，生态环境脆弱敏感。农村公路作为连接边疆民族地区、巩固脱贫攻坚成果、推动乡村振兴的“生命线”，战略地位特殊，其畅通与安全对民族团结和边疆稳定意义重大。但是前云南农村公路建设面临诸多挑战。现行通用标准在应对云南复杂地形地质时灵活性不足，导致工程造价大或安全隐患突出；许多早期公路结构存在缺陷，抗灾能力薄弱，生态扰动明显，且公路特色彰显不足。在此背景下，开展针对云南地域特点的农村公路“提质升级”专项研究刻不容缓。

1、云南农村公路提质升级的必要性及核心问题

1.1 云南农村公路提质升级的必要性

云南地处中国西南边陲，地形以山地高原为主（占比高达94%），横跨多个地震带，气候垂直变化显著，生态

环境脆弱且敏感。这一独特的省情，决定了其农村公路“提质升级”不能简单套用平原地区的标准与模式。

战略地位特殊：农村公路是连接边疆民族地区、巩固脱贫攻坚成果、推动乡村振兴的“生命线”，其畅通与安全事关民族团结和边疆稳定。

自然挑战严峻：复杂的地形地质（滑坡、泥石流、软土等）、高烈度地震设防要求、显著的温差与降雨侵蚀作用，对公路的线形、结构、材料和养护提出了极高要求。

发展需求多元：随着全域旅游、高原特色农业的发展，农村公路不仅要满足基本出行，还需承担旅游廊道、产业运输、应急抢险等复合功能。如通往景区的农村公路，按旅游特色路标准建设，线形与周边山水景观协调，沿线设观景台、休憩区，还设置彩色沥青骑行道。游客驾车或骑行途中，能随时驻足欣赏美景，优化了旅游体验。再比如，连接农业园区的产业物流路，强化荷载等级和路面结构，采用高模量沥青混凝土等材料。重载运输农产品车辆频繁往来，公路能稳定承受重压，保障农产品及时、高效运往各地市场，促进农业产业发展。

因此，开展针对云南地域特点的专项研究，制定“量身定制”的技术标准与结构方案，具有极其重要的现实意义和紧迫性。

1.2 云南现状农村公路核心问题剖析

标准“水土不服”：现行通用标准在应对云南连续陡下坡、回头弯、高填深挖等复杂线形时灵活性不足，导致要么工程造价巨大，要么安全隐患突出。

结构“先天不足”：许多早期公路缺乏规范的路基处理和路面结构，在充沛降水和重载作用下，路基沉陷、路面早期损坏现象普遍。

抗灾能力“薄弱”：排水系统不完善，边坡防护措施单一（多为简单砌石或无防护），在雨季极易发生水毁、塌方等地质灾害，保通压力巨大。

生态“扰动突出”：传统大开大挖的建设模式对山体和水系破坏较大，与云南建设“中国最美丽省份”的要求不相适应。

特色“彰显不足”：公路设计与沿线独特的自然风光、民族文化景观结合不够，未能充分发挥“公路+”的增值效益。

2、融合云南特色的分层级技术标准体系构建

基于云南特点，建议在通用分级基础上，引入“地形地质修正系数”和“功能附加值”，建立更具弹性的标准体系。

2.1 基于多功能导向的路线分级

在通用 I、II、III 级基础上，增设特色子类：

I-S 类（旅游特色路）：通往核心景区、服务最美乡愁地的公路，强调线形与景观的协调、沿线服务设施的观景与休憩功能。

I-C 类（产业物流路）：连接特色农业园区、物流集散地的公路，重点强化荷载等级和路面结构。

II-B 类（边疆惠民路 / 沿边公路）：强调战略安全和应急保障能力，提高抗灾设防标准。

2.2 关键技术的云南化调整与弹性设计

技术指标	云南特色考量与弹性建议
设计速度	地形折减：山岭重丘区可在规范值基础上降低 10–20%。局部放宽：对于无法避免的回头弯等特殊路段，不以单一设计速度控制全线，而是确保线形指标的协调性。
路面宽度	保障错车道：在 III 级路受限路段，可通过增加错车道密度（如每 300 米一处）来弥补路面宽度的不足。旅游路附加值：I-S 类路可设置 2.5 米宽的彩色沥青骑行道或慢行道。
圆曲线半径	灵活运用：在地形极其复杂的路段，经技术论证并加强安保措施（如强制减速带、凸面镜、高性能护栏）后，可谨慎使用极限最小值。
纵坡与坡长	重点控制连续长陡下坡：对于平均纵坡 >5.5%、坡长 >3km 的路段，必须强制设置避险车道、冷却场，并铺装抗车辙路面。
荷载等级	差异化提升：I-C 类产业路和主要桥梁，建议按公路 II 级或更高标准进行验算和设计。
抗震设防	强制性要求：所有构造物（挡墙、桥梁、涵洞）的抗震设防标准必须严格按照《中国地震动参数区划图》和云南省相关规范执行，并提高一度采取抗震构造措施。
排水系统	强化生态排水：推广使用植草沟、渗沟、雨水花园等生态排水设施，减少硬化，促进雨水下渗和汇集，并与自然水系顺畅衔接。
安全设施	主动预防与容错设计：在急弯、陡坡、临崖路段，除常规护栏外，强制设置震荡标线、视觉减速标线、太阳能警示灯。推广使用可导向防撞垫和高性能绳索护栏。

3、适应复杂环境的典型路面结构研究与关键技术

针对云南三大典型困境，提出以下针对性结构方案。

3.1 结构一：山区重载抗滑耐久型沥青路面（适用于 I-C 类产业路及长陡坡路段）

应用场景：交通量大、重载车辆多、纵坡较大的骨干路。

推荐结构：

面层：4cm 高模量 /SBS 改性沥青混凝土（AC-16C）（抗车辙）+ 粘层

下面层：5cm 高模量沥青混凝土（AC-20C）

基层：20cm 水泥稳定碎石（5%）

底基层：18cm 低剂量水泥稳定碎石（3%）

总厚度：47cm

云南特色关键技术：

重载与长坡强化：采用高模量沥青混凝土或 SBS 改性

沥青，显著提高高温稳定性和抗车辙能力。

层间粘结：在基层顶面铺设同步碎石封层，既防水又增强层间粘结，防止滑移。

抗滑处理：面层石料采用云南本地优质的玄武岩、辉绿岩等耐磨石料，保证长期抗滑性能。

3.2 结构二：软基及高烈度地震区柔性基层水泥混凝土路面（适用于坝区、河谷软基路段及地震带）

应用场景：地下水位高、存在软土地基，或设防烈度 8 度及以上的地区。

推荐结构：

面层：22cm 钢纤维 / 合成纤维混凝土（C35）（抗裂增韧）

基层：20cm 级配碎石（柔性排水基层）

垫层：30cm 片碎石或砂砾石（应力扩散与排水）

总厚度：72cm

云南特色关键技术：

柔性基层抗震：采用级配碎石柔性基层，能更好地吸收和消散地震能量，减少对上部面板的破坏。

纤维增韧技术：在混凝土中掺加钢纤维或聚丙烯纤维，有效提高混凝土的弯曲韧性、抗冲击性和抗裂性，适应地基微小变形。

强化排水：“垫层+基层”构成双层排水体系，迅速排除渗入水，保持路基干燥，是软基处理的关键。

3.3 结构三：生态环保与就地取材型简易路面（适用于 II、III 级低交通量公路及旅游公路）

应用场景：交通量小、对生态和景观要求高的路段，特别是旅游公路和村内道路。

推荐结构 A（彩色沥青/透水沥青）：

面层：4cm 彩色沥青玛蹄脂碎石（SMA）或透水沥青混合料

基层：15cm 透水水泥稳定碎石

底基层：15cm 级配碎石

优势：色彩美观（I-S 类路）、透水环保，与周边环境融为一体。

推荐结构 B（本地块石/卵石路面）：

面层：干砌/浆砌本地青石、鹅卵石（可拼出民族图案）

垫层：10cm 天然砂砾

优势：极致低成本、彰显地域文化特色、透水性强。

推荐结构 C（工业废渣利用路面）：

面层：8cm 沥青表面处治

基层：18cm 水泥-磷石膏/钢渣稳定碎石（消纳工业固废）

关键技术：对云南丰富的磷石膏、铜渣、钢渣等工业废渣进行路用性能研究与环境评估，实现“变废为宝”，降低工程成本。

4、云南特色关键配套技术集成

4.1 生态防护与复绿技术

客土喷播：对石质边坡，采用客土喷播技术，快速恢复植被。

柔性防护网：在崩塌落石路段，优先采用主动/被动防护网，替代高大笨重的圪工挡墙，减少对山体开挖。

乡土植物应用：选择云南本地耐旱、固土能力强的先锋植物进行边坡绿化。

4.2 交通安全综合保障技术

“一路一策”安保设计：对每条路的危险点进行精细化排查，制定个性化的安保方案。

本地化避险车道：针对长陡坡，因地制宜地设计砂坑型或重力型避险车道，并配套完善的警示预告系统。

智能预警系统：在急弯、穿村路等视距不良路段，试点应用太阳能物联网弯道预警系统，自动提示对向来车。

4.3 “交通+旅游+文化”融合设计

观景台与休息区：在风景绝佳处设置具有民族建筑特色的观景台和休息区。

文化元素植入：将傣族、白族、彝族等民族文化符号、图案融入护栏、挡墙、标识牌的设计中。

慢行系统配套：在旅游公路旁同步建设骑行道、步行道，打造“快旅慢游”交通网络。

5、实施建议与政策保障

5.1 编制《云南省农村公路提质升级技术指南》：将本研究形成的本地化标准、典型结构和特色技术纳入省级规范性文件，指导全省实践。

5.2 推行“地质选线”和“生态选线”：在项目前期，优先考虑地质稳定、对生态环境破坏小的路线方案，哪怕线路稍长。

5.3 建立“建管养一体化”长效机制：推广“路长制”，将提质升级后的农村公路养护资金和责任落到实处，确保投资效益的长期性。

5.4 加强本地技术人才培养：组织基层技术人员进行云南特殊地质条件下公路建管养的专项培训，提升其解决复杂问题的能力。

6、结论与展望

本文研究针对云南地区农村公路“提质升级”的特殊需求，得出以下结论：

（1）必须建立以“地形适应性、结构抗灾性、生态友好性、功能复合性”为核心的四位一体技术理念。

（2）所构建的融合“四维要素”的分层级技术标准体系和三种针对典型困境的路面结构，能够有效解决云南农村公路面临的主要技术难题，具有极强的实践指导价值。

（3）生态技术、安保技术、融合设计等配套技术的集成应用，是实现云南农村公路高质量发展的关键支撑。

展望未来，随着技术的进步，云南农村公路的提质升

级应进一步探索基于 BIM 技术的全生命周期管理、适用于高原山区的自动驾驶辅助公路技术、以及更智能化的地质灾害监测预警系统,最终将云南的农村公路打造成安全、便捷、美丽、智慧和富有活力的“幸福小康路”。

参考文献:

[1] 云南省交通运输厅. 云南省“四好农村路”建设技术指南(试行)[Z]. 2021.

[2] JTG D81-2017, 公路交通安全设施设计规范[S].

[3] 王硕, 等. 高原山区农村公路特殊路基处治技术研

究[J]. 公路交通科技, 2022,39(4).

[4] 李志清, 等. 云南地震高烈度区公路工程抗震技术对策[J]. 地震工程学报, 2020,42(S1).

[5] 中共云南省委, 云南省人民政府. 关于贯彻乡村振兴战略的实施意见[Z].2022.

[6] 谢先武, 等. 磷石膏在云南公路基层中的应用研究与工程实践[J]. 中外公路, 2021,41(3).

作者简介: 马定文(1976—), 男, 汉族, 云南弥勒人, 本科, 高级工程师(副高), 研究方向: 公路工程管理。