

## 复杂山区高速铁路长大坡道使用案例解析

刘源

中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司, 重庆 400023

**[摘要]**随着我国高速铁路建设向西部山区延伸,复杂山区地形地貌、岩溶地质水文条件给线路设计与施工带来严峻挑战。长大坡道可克服地形起伏大、降低桥梁高度,缩短隧道长度,显著改善隧道施工条件,尤其穿越岩溶区段可有效降低岩溶及岩溶水危害。是优化线路走向、控制工程投资的关键技术手段,其合理选用与应用成为山区高速铁路建设的核心课题。文中以宜涪高铁为核心案例,结合郑万高铁、张吉怀高铁等已运营山区高铁长大坡道应用实践,系统解析复杂山区高速铁路长大坡道的选型原则、技术难点、应对措施及应用效果,深入探讨长大坡道在列控系统适配、动车组运行适应性、应急救援保障等方面的关键技术要点,总结案例应用中的经验与启示,为后续复杂山区高速铁路长大坡道的设计、施工与运营提供可借鉴的理论依据与实践参考。

**[关键词]**复杂山区;高速铁路;长大坡道;应用

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19649

中图分类号: U212.35

文献标识码: A

### Case Analysis of the Use of Long and Steep Slopes on High-speed Railways in Complex Mountainous Areas

LIU Yuan

China Railway Eryuan Chongqing Survey and Design Institute Co., Ltd., Chongqing, 400023, China

**Abstract:** With the extension of high-speed railway construction to western mountainous areas in China, complex mountainous terrain, karst geological and hydrological conditions pose severe challenges to line design and construction. Long and steep slopes can overcome terrain undulations, reduce bridge height, shorten tunnel length, significantly improve tunnel construction conditions, especially when crossing karst sections, which can effectively reduce the hazards of karst and karst water. It is a key technical means to optimize the route direction and control engineering investment, and its rational selection and application have become the core issues in the construction of high-speed railways in mountainous areas. The article takes the Yifu high-speed railway as the core case, combined with the application practice of operating mountainous high-speed railways such as Zhengwan high-speed railway and Zhangjiuhai high-speed railway, systematically analyzes the selection principles, technical difficulties, response measures, and application effects of complex mountainous high-speed railway long ramps, deeply explores the key technical points of long ramps in train control system adaptation, EMU operation adaptability, emergency rescue support, etc., summarizes the experience and enlightenment in case application, and provides theoretical basis and practical reference for the design, construction, and operation of complex mountainous high-speed railway long ramps in the future.

**Keywords:** complex mountainous areas; high speed railway; long and steep slope; application

#### 1 复杂山区长大坡道应用核心难点

复杂山区高速铁路长大坡道的应用,受地形、地质、气候等多重因素影响,核心难点主要集中在四个方面:一是列控系统适配难度大,长大坡道上动车组制动距离显著增加,导致区间追踪间隔延长,影响运输效率,需优化列控系统参数,平衡安全与效率;二是动车组运行适应性要求高,山区

长大坡道多为连续上下坡,对动车组牵引能力、制动性能、电机温升控制提出严苛要求,尤其是故障状态下的自救与救援难度较大;三是应急救援保障难度高,长大坡道上动车组故障后,救援机车调度、牵引制动控制难度大,需合理设置救援设施;四是轨道结构稳定性要求高,山区长大坡道上列车制动产生的纵向力较大,易导致轨道位移、钢轨磨损,同

时不良地质易引发轨道病害，影响线路稳定性。

## 2 复杂山区高速铁路长大坡道典型案例解析

本文选取宜涪高铁（在建）作为核心案例，结合郑万高铁、张吉怀高铁（已运营）的长大坡道应用实践，从案例背景、长大坡道设计参数、技术难点及应对措施四个方面，系统解析复杂山区高速铁路长大坡道的应用要点，总结实践经验。

### 2.1 案例一：宜涪高铁长大坡道应用解析

#### 2.1.1 案例背景

宜涪高铁位于我国第二阶梯向第三阶梯过渡地带，属云贵高原区东北端中低山区，线路起于宜昌北站，止于涪

陵北站，全长约 488km，设计时速 350km/h，是沿江高速铁路的重要组成部分。该线路沿线河流切割强烈，山高壁陡，河谷深切，地形起伏大，高程差显著，同时沿线岩溶强烈发育，水文地质条件复杂，隧道工程占比高，是典型的复杂山区高速铁路。

为克服沿线高程障碍，优化线路走向，降低工程投资与施工难度，宜涪高铁广泛采用长大坡道设计，其中 30‰ 坡度段落共计 9 处，最长坡段长度达 12.95km，25‰~30‰ 坡度段落 5 处，长大坡道总长度约 73km，分散分布于全线各路段，是我国 350km/h 时速高速铁路中长大坡道应用较为集中的典型案例。

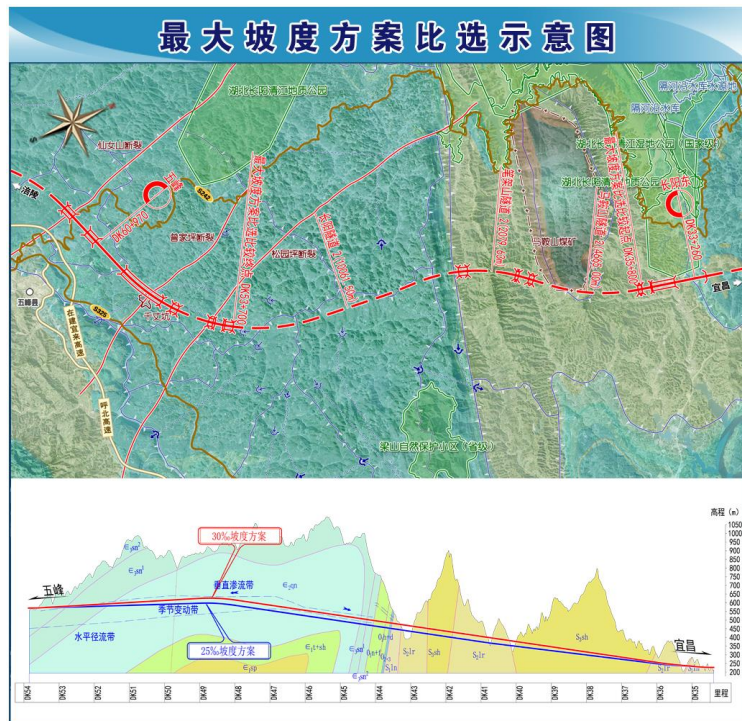


图 1 最大坡度方案比选示意图

#### 2.1.2 长大坡道设计参数

宜涪高铁长大坡道设计严格遵循山区高铁设计规范，结合线路地形高程差、动车组性能及列控系统要求，确定核心设计参数如下：坡度分为 20‰、25‰、30‰ 三个方案，其中 30‰ 为主要采用坡度，坡长控制在 2~12.95km 之间；线路上下行方向长大坡道分布不均衡，上行方向为困难方向，最困难区段为恩施南至长寿北段，坡度以 30‰ 为主；长大坡道与隧道、桥梁衔接紧密，多数坡道穿越岩溶隧道，需兼顾轨道结构稳定性与地质灾害防控。

结合列控系统适配要求，宜涪高铁长大坡道区间追踪间隔设计参数如下（单位：s）：

下行方向：宜昌北至五峰段，20‰ 方案 162.1s、25‰

方案 173.2s、30‰ 方案 207.1s；五峰至恩施南段，20‰ 方案 181.3s、25‰ 方案 219.7s、30‰ 方案 244.2s；恩施南至长寿北段，20‰ 方案 185.4s、25‰ 方案 225s、30‰ 方案 266.8s。

上行方向：宜昌北至五峰段，20‰ 方案 194.4s、25‰ 方案 201.7s、30‰ 方案 239.2s；五峰至恩施南段，20‰ 方案 172.1s、25‰ 方案 189.3s、30‰ 方案 228.4s；恩施南至长寿北段，20‰ 方案 171.1s、25‰ 方案 188.4s、30‰ 方案 228.3s。

#### 2.1.3 核心技术难点及应对措施

宜涪高铁长大坡道应用面临的核心技术难点是动车组运行适应性、列控系统适配及应急救援保障，针对上述

难点, 采取了针对性的应对措施, 具体如下:

(1) 动车组运行适应性优化: 针对 30%长大坡道, 选取 CR400AF、CRH380 系列等 350km/h 时速动车组, 开展牵引制动性能与电机温升测试, 优化动车组运行参数。通过试验验证, CR400AF 短编动车组切除 1 个动力、长编动车组切除 2 个动力时, 可在 30%坡道正常启动; 考虑牵引电机温升, 30%坡道长度控制在 5.2km 以内, 21%坡道可实现持续运行。同时, 优化动车组制动策略, 针对 30%下坡道, 限制初速 350km/h 时制动距离不超过 5.0km, 初速 300km/h 时可匀速运行 6.5km, 确保制动性能满足安全要求。

(2) 列控系统适配优化: 针对长大坡道制动距离增加导致的追踪间隔延长问题, 优化列控系统参数, 采用“坡度分区管控”模式, 对不同坡度段落设置差异化的追踪间隔标准。对于恩施南至长寿北段等最困难区段, 初始设计上行追踪间隔为 6.5min, 通过优化线路纵断面、调整列控参数, 部分地段追踪间隔缩短, 同时提出限速方案, 通过降低 DK95 至 DK89(约 5km)路段限速至 300km/h、DK263 至 DK245(约 18km)路段限速至 250km/h, 将区间追踪间隔缩短至 5min, 满足运输效率要求, 且限速对运行时间影响较小(增加 0.4~2min)。

(3) 应急救援保障优化: 结合长大坡道分布特点与救援需求, 合理设置应急救援热备机车存放设施。利用重庆机务段、宜昌东机务折返段、恩施机务折返段既有救援设施, 在利川站新建热备机车停留线 1 条, 有效长度按 4 台机车考虑, 预留双向救援需求。针对 30%长大坡道救援难点, 明确救援方案: 故障列车需 4 台热备机车(头、尾部分别连挂 2 台)进行救援, 由利川站与重庆机务段、宜昌东机务折返段分别出动 2 台机车对开, 在邻近车站完成反方向行车后连挂救援, 确保救援安全高效。

(4) 轨道结构稳定性保障: 针对长大坡道列车制动纵向力大、地质条件复杂的问题, 采用高强度钢轨与扣件, 优化轨道铺设工艺, 加强轨道锁定, 减少轨道位移; 对穿越岩溶隧道的坡道段落, 加强地质勘察与病害整治, 设置排水系统, 防止岩溶水侵蚀轨道结构; 定期开展轨道检测与维护, 及时处理钢轨磨损、轨道不平顺等问题, 确保轨道结构稳定。

## 2.2 案例二: 郑万高铁长大坡道应用解析

### 2.2.1 案例背景

郑万高铁是连接河南郑州与重庆万州的高速铁路, 设计时速 350km/h, 全长约 818km, 其中湖北段、重庆段穿越秦巴山区, 地形起伏剧烈, 高程差达 1000 余米, 是我

国较早大规模采用 30%长大坡道的 350km/h 时速高速铁路。该线路共计设置 12 处 30%长大坡道, 总长度达 87.9km, 最长坡段长度 14.5km, 穿越多个隧道群与不良地质区段, 其长大坡道应用经验对后续山区高铁建设具有重要借鉴意义。

### 2.2.2 长大坡道设计特点与应对措施

郑万高铁长大坡道设计结合秦巴山区地形特点, 采用“连续坡道+隧道群”的组合模式, 坡度以 30%为主, 坡长集中在 5~14.5km 之间, 主要用于克服秦巴山区的高程障碍, 缩短线路里程约 30km, 减少隧道长度约 15km, 大幅降低了工程投资与施工难度。

针对长大坡道应用难点, 郑万高铁采取了以下应对措施: 一是优化动车组选型, 选用 CR400 系列大功率动车组, 提升牵引制动性能, 确保动车组在 30%长大坡道上能够平稳启动、制动; 二是优化列控系统参数, 结合坡道坡度与坡长, 调整追踪间隔, 确保运输效率与运行安全; 三是加强应急救援能力建设, 在重点坡道区段附近设置救援站点, 配备充足的救援机车与设备, 建立快速救援机制; 四是强化轨道结构养护, 采用无缝线路与高强度扣件, 定期开展轨道状态检测, 及时处理轨道病害, 确保线路稳定性。

从运营实践来看, 郑万高铁长大坡道运行状况良好, 动车组牵引制动性能满足要求, 未发生因坡道问题导致的安全事故, 运输效率达到设计标准, 验证了 30%长大坡道在 350km/h 时速高速铁路中的可行性与合理性。

## 2.3 案例三: 张吉怀高铁长大坡道应用解析

### 2.3.1 案例背景

张吉怀高铁连接湖南张家界、吉首、怀化, 设计时速 350km/h, 全长约 246km, 线路穿越武陵山区, 地形起伏大, 地质条件复杂, 沿线多为岩溶、滑坡等不良地质区段。该线路采用多处 25%~30%长大坡道, 最长坡段长度达 10km, 主要用于克服武陵山区的高程障碍, 优化线路走向, 减少工程建设对生态环境的破坏, 是我国山区高速铁路长大坡道与生态保护协同发展的典型案例。

### 2.3.2 长大坡道设计特点与应对措施

张吉怀高铁长大坡道设计遵循“生态优先、安全适配”的原则, 结合武陵山区生态敏感区分布, 优化坡道走向, 尽量避开生态保护红线, 减少对植被的破坏。同时, 针对长大坡道应用难点, 采取了针对性措施: 一是优化动车组运行参数, 结合坡道坡度与坡长, 调整牵引制动曲线, 确保动车组运行平稳; 二是加强地质灾害防控, 对坡道沿线不良地质区段进行专项整治, 设置防护工程, 防止滑坡、泥石流等灾害影响线路安全; 三是优化养护方案, 建立长

大坡道常态化养护机制, 定期开展动车组牵引制动系统、轨道结构的检测与维护, 确保运营安全。

运营实践表明, 张吉怀高铁长大坡道的应用, 不仅有效克服了山区高程障碍, 还实现了工程建设与生态保护的协同发展, 其“生态优先”的设计理念与技术措施, 为复杂山区高速铁路长大坡道设计提供了重要借鉴。

### 3 案例对比分析与经验总结

#### 3.1 案例对比分析

(1) 坡度与坡长对比: 郑万高铁长大坡道以 30% 为主, 最长坡段 14.5km, 总长度 87.9km, 是三个案例中长大坡道应用最集中的项目; 宜涪高铁 30% 坡度段落 9 处, 最长坡段 12.95km, 总长度约 73km, 坡度分布较分散; 张吉怀高铁以 25%~30% 坡度为主, 最长坡段 10km, 总长度相对较短, 坡度设计更注重生态保护。(2) 技术难点对比: 郑万高铁核心难点是动车组牵引制动性能适配与轨道结构稳定性; 宜涪高铁核心难点是列控系统适配、应急救援保障及岩溶地质条件下的轨道防护; 张吉怀高铁核心难点是生态保护与地质灾害防控, 同时兼顾动车组运行适应性。(3) 应对措施对比: 三者均注重动车组选型与运行参数优化、列控系统适配及轨道结构养护, 但侧重点不同: 郑万高铁侧重大功率动车组应用与轨道无缝化建设; 宜涪高铁侧重应急救援设施优化与限速方案应用; 张吉怀高铁侧重生态保护与地质灾害专项整治。(4) 应用效果对比: 三者均实现了长大坡道的安全高效应用, 有效克服了山区高程障碍, 降低了工程投资, 提升了运输效率; 其中郑万高铁验证了 30% 长大坡道在 350km/h 时速高速铁路中的长期运营可行性, 宜涪高铁为在建项目提供了完整的长大坡道设计与应对方案, 张吉怀高铁实现了长大坡道与生态保护的协同发展。

#### 3.2 核心经验总结

(1) 合理选型是前提: 长大坡道的坡度与坡长需结合山区地形高程差、动车组性能、列控系统要求及工程经济性综合确定, 优先选用 30% 及以下坡度, 坡长控制在 15km 以内, 避免过度追求线路缩短而采用过大坡度, 确保运行安全与效率。(2) 动车组适配是核心: 需选用大功

率、高可靠性的动车组, 开展牵引制动性能、电机温升等专项测试, 优化动车组运行参数, 确保动车组在长大坡道上能够平稳启动、制动, 满足故障状态下的自救与救援要求。(3) 列控系统优化是关键: 针对长大坡道制动距离增加的问题, 优化列控系统参数, 采用坡度分区管控、限速调节等方式, 平衡运行安全与运输效率, 确保区间追踪间隔满足设计要求。(4) 应急救援保障是底线: 结合长大坡道分布特点, 合理设置应急救援设施, 配备充足的救援机车与设备, 制定科学的救援方案, 明确救援流程与责任分工, 确保动车组故障后能够快速、安全救援。

### 4 结论

动车组运行适应性、列控系统适配、应急救援保障及轨道结构稳定性是复杂山区长大坡道应用的核心难点, 通过优化动车组运行参数、列控系统参数, 完善应急救援设施, 强化轨道养护, 可有效解决上述难点, 确保运行安全与效率。宜涪高铁、郑万高铁、张吉怀高铁的应用实践, 为复杂山区高速铁路长大坡道提供了丰富的经验, 其差异化的应对措施可根据不同山区项目的特点灵活借鉴, 实现技术适配与工程需求的精准匹配。未来需通过技术研发、规范完善、管理优化等手段, 进一步提升复杂山区高速铁路长大坡道的设计、施工与运营水平, 解决当前存在的救援效率、轨道养护等问题, 推动山区高速铁路建设高质量发展。

#### [参考文献]

- [1]张黛,王凌,杜通道,等.高速铁路长大下坡道区段闭塞分区划分优化研究[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(11):20-26.
- [2]王利军,陈科.高原山区高速铁路应急热备机车布点研究[J].高速铁路技术,2025,16(1):35-41.
- [3]杨云,朱红军,张彩霞.适用于长大坡道的大功率轨道作业车研制及运用[J].铁道技术监督,2024,52(8):55-59.
- [4]李书强.高速铁路长大坡道设置影响因素分析及设计方法研究[D].北京:北京交通大学,2024.

作者简介: 刘源, 男, 汉族, 山东菏泽人, 本科, 研究方向为土木工程。