

文章编号: 1674—8247(2019)04—0066—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.014

## 克服大高差铁路线路创新设计的探讨

黄志相<sup>1</sup> 杨丽玲<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 中铁城市发展投资集团有限公司, 成都 610218)

**摘 要:**西南山区地形起伏大,地势陡峻,高差悬殊,给铁路设计带来了较大困难。本文以西南山区某铁路设计为研究背景,为克服大高差,结合最新颁布 TB 10098—2017《铁路线路设计规范》中关于线路纵坡折减的新规定,文章提出了一种创新设计方法:针对线路紧坡地段,首先尽量选用最大坡度,适当加大隧道断面积,以减小纵坡减缓值,最大限度地用足坡度,达到缩短线路长度和节省工程投资的目标。此创新设计思路和方法可为类似铁路选线设计提供参考。

**关键词:**铁路; 大高差; 创新; 设计

**中图分类号:**U212.34 **文献标志码:**A

## Discussion on Innovative Design of Railway Line Overcoming Great Elevation Difference

HUANG Zhixiang<sup>1</sup> YANG Liling<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. China Railway City Development and Investment Group Co., Ltd., Chengdu 610218, China)

**Abstract:** The southwest mountain area is characterized by undulated landform, steep terrain and high elevation difference, which brings great difficulties to railway design. Based on the research background of a railway design in the southwest mountainous area, in order to overcome the large elevation difference, and combined with the new regulations on the line vertical slope reduction in the newly-issued "Code for Design of Railway Line" (TB10098—2017), an innovation design method is presented that for the tight slope section of the line, it is necessary to try to select the maximum gradient first, and increase appropriately the sectional area of the tunnel so as to reduce the longitudinal slope slowdown value and maximize the gradient, which can shorten the line length and save the engineering investment. The innovative design idea and method can provide reference for route selection design of similar railway ideas.

**Key words:** railway; great elevation difference; innovation; design

大高差铁路线路是指位于地形高差大的复杂山区铁路,尤其是地形高差超过铁路的最大纵坡,并需要展长线路,以降低最大桥跨和最长隧道的铁路。我国西南山区山高谷深,地势陡峻,河流切割剧烈,常形成深“V”型和“U”型河谷,构造发育,岩性多变,不仅造成

地质异常复杂,还需面临克服地形巨大高差的铁路选线设计难题。

为克服地形的巨大高差,常规做法是根据 TB 10098—2017《铁路线路设计规范》<sup>[1]</sup>(以下简称《线规》),适当选取最大限制坡度和加力坡度的前提

收稿日期:2018-09-03

作者简介:黄志相(1982-),男,高级工程师。

引文格式:黄志相,杨丽玲. 克服大高差铁路线路创新设计的探讨[J]. 高速铁路技术,2019,10(4):66-69.

HUANG Zhixiang, YANG Liling. Discussion on Innovative Design of Railway Line Overcoming Great Elevation Difference [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 66-69.

下,通过展长线路<sup>[2]</sup>,从而获得技术可行且经济合理的大跨桥梁和最长隧道工程,最终取得较佳的线路方案。

本文以西南山区某铁路工程设计为背景,提出了一种创新的思路和方法,不仅能够有效缩短线路长度和节省工程投资,还绕避了更多不良地质,降低了工程风险,效果显著。

1 西南山区某铁路概况

该铁路位于西南省份,地形地质十分复杂,主要不良地质为:活动断裂、高地温、高地应力、滑坡、岩溶、放射性、有害气体等,线路总长 332 km,其中桥隧长度为 307 km,占线路长度比重为 92.5%,其中隧道占比为 84%<sup>[3]</sup>。主要设计标准,如表 1 所示。

表 1 主要技术标准表

主要技术标准	标准
铁路等级	国铁 I 级
正线数目	单线
速度目标值	160 km/h
牵引种类	电力
机车类型	客车 HXD3D,货机 HXD2
限制坡度	12‰,加力坡 24‰
最小曲线半径	一般 2 000 m、困难 1 600 m
牵引质量	3 000 t
到发线有效长度	680 m、预留 880 m
闭塞类型	自动站间闭塞

该线路主要穿越无量山山脉、哀牢山山脉及四角山山脉,跨李仙江、红河等大江(河),山高谷深、沟谷深切,地形起伏剧烈,沿线地形高程,如表 2 所示。

表 2 沿线地形高程表

地点	地面高程/m	高程差/m	直线距离/km	自然坡度/‰
起点	1 315	-185	97	-1.9
无量山脉	1 130	-690	21	-32.8
李仙江	440	780	25.4	30.7
哀牢山脉	1 220	130	25.5	5.1
	1 350	-990	41	-24.2
	360	-100	29.4	-3.4
红河	260	1 080	41.4	26.1
四角山脉	1 340	-10	12.7	-0.8
终点	1 330			

由表 2 可知,有 4 处自然坡度大于 20‰,其中 2 处自然坡度超过 30‰。根据《线规》及结合目前成熟的运营经验,取限制坡度为 12‰<sup>[4]</sup>,双机牵引加力坡为 24‰为基础,作进一步研究。

2 创新设计

根据《线规》规定,160 km/h 客货共线铁路,单洞单线隧道内(其隧道轨面以上净空面积 42.11 m<sup>2</sup>)的

线路坡度,线路坡度的折减系数应符合(如表 3 所示)规定。

表 3 内燃、电力牵引铁路隧道内线路最大坡度折减系数表

隧道长度/m	内燃牵引	电力牵引	
		160 km/h 及以下客货共线铁路单洞单线	重载铁路单洞单线
400 < L ≤ 1 000	0.9	0.95	
1 000 < L ≤ 4 000	0.8	0.90	
L > 4 000	0.75	0.85	

本线隧线比高达 84%,且多数为大于 4 km 的长隧道,折减系数为 0.85<sup>[5]</sup>。如按 10 km 的线路长度,且均位于隧道内,按最大加力坡 24‰以及 0.85 的折减系数,实际坡度值仅为 20.4‰,在 10 km 范围内爬升 204 m。相比较 24‰的坡度损失了 36 m 的高差,为弥补这一损失,只能通过展线,通过线路长度来弥补。

换一种思路,如能通过减少隧道地段的纵坡折减值,则可最大限度地用足坡度,达到缩短线路展线长度和降低工程投资<sup>[6]</sup>。根据《线规》规定,不同的设计速度、隧道断面积和隧道长度,所采用的折减系数不同,并且隧道断面越大,隧道附加空气阻力越小<sup>[7]</sup>,线路纵坡的减缓值越小。另外隧道空气附加阻力与线路坡度标准或隧道拟设坡度无关,相对于最大坡度的影响,隧道断面对隧道坡度折减的影响更大。故可适当加大隧道断面积,以达到缩短线路长度和降低工程投资的目标。

《线规》规定,长度大于 1 000 m 的电力牵引客货共线铁路 120 km/h 及以上单洞双线和 200 km/h 单洞单线隧道内的线路坡度,线路坡度的减缓值,如表 4 所示。

表 4 电力牵引客货共线铁路隧道内线路最大坡度减缓值(‰)

隧道长度/m	设计速度			
	200 km/h		160 km/h	120 km/h
	单洞单线	单洞双线	单洞双线	单洞双线
1 000 < L ≤ 5 000	0.46	0.09	0.13	0.29
5 000 < L ≤ 15 000	0.76	0.27	0.32	0.53
15 000 < L ≤ 25 000	0.89	0.35	0.40	0.62
L > 25 000	0.93	0.37	0.43	0.66

客货共线铁路速度标准对应隧道断(净空)面积<sup>[8]</sup>,如表 5 所示。

表 5 速度目标值对应隧道断(净空)面积(m<sup>2</sup>)

速度目标值	120km/h		160km/h		200km/h	
	单洞单线	单洞单线	单洞单线	单洞双线	单洞双线	单洞双线
普货	30.39	63.62	42.11	76.46	52.01	81.37
普货、双箱	40.67	74.23	46.80	83.90	53.16	85.65

故同样在最大加力坡 24‰和 10 km 长隧道条件

下,通过加大隧道断面至 200 km/h 单洞单线标准(隧道轨面以上净空面积 52.01 m<sup>2</sup>),纵坡减缓值为 0.76,实际坡度值为 23.24,在 10 km 范围内可爬升 232.4 m,较按 0.85 的折减系数,多爬升 28.4 m,可节省线路长度 1.39 km,节省静态投资 1.32 亿元。如在较长的线路长度范围内比较,则节省工程投资更为明显。

这一创新设计经过牵引计算,可满足列车运输需求,但由于仅为理论计算和推导,尚缺乏运营实践证明。尤其是对于非正常工况下的检验和实验,如在双机或三机加力坡条件下采用更大线路纵坡,列车是否能够正常启动,尚需要进一步实践检验。另外从运输组织看,本段采用更大线路纵坡后,还需结合相邻路网牵引质量、到发线有效长及最大纵坡的采用情况,进一步分析影响和适应性。

从我国客运电力机车发展方向看,和谐系列将逐步取代 SS 系列客车,且机车性能将不断提高,是完全可以满足线路采用更大纵坡的需求。

3 案例分析

为更好总结和分析创新方法的工程对比和实际效果,拟分别按照越岭地段、隧道密集段、过渡展线隧道段等三个典型场景进行详细分析。

根据表 2 中的 4 处自然坡度大于 20‰ 段落,按照标准隧道断面标准(42.11 m<sup>2</sup>)和加大隧道断面后(52.01 m<sup>2</sup>)的不同纵坡折减标准两方案,进行具体线路方案设计,并统计各自主要技术指标。

3.1 越岭段(哀牢山脉-红河段)

本段主要受哀牢山越岭控制,线路展线长度较长,用更大的坡度能有效缩短展线长度,并节省工程投资。根据研究,分别按照不同隧道断面积所对应的纵坡折减值,进行线路方案设计。两方案主要技术指标,如表 6 所示。

表 6 方案主要技术指标表

技术指标	方案 1		方案 2	备注
	标准隧道断面方案 1	加大隧道断面方案 2	差值 方案 1 - 方案 2	
线路长度/km	62	54.603	7.397	缩短
隧道断面积/m <sup>2</sup>	42.11	52.01	-9.9	加大
最大坡度/‰	20.4	23.11	-2.71	
最长隧道/km	17.685	18.363	-	
隧道总长度/km	51.6	47.083	3.502	
隧道占线路比重/%	83	86	-	
桥隧比重/%	94.2	94.5	-	
地质	加大隧道断面方案多绕避了 5 处不良地质段落			
环保	均绕避了元阳观音山省级保护区和红河阿姆山省级自然保护区			
总投资估算/亿元 (静态)	51.62	49.11	2.51	节省

由表 7 可知,本段线路方案采用标准隧道断面,按照《线规》折减坡度,最大坡度为 20.4‰,线路总长 62 km,投资 51.62 亿元。加大隧道断面后,同样按照《线规》折减坡度,最大坡度高达 23.11‰,与原标准隧道断面比较,线路长度缩短 7.397 km,总投资节省 2.51 亿元。

3.2 隧道密集段(无量山脉-李仙江-哀牢山)

本段隧道占线路总长度比例高达 93% 以上,同时受李仙江桥跨控制,李仙江水面较宽,水较深,从不设水中墩角度考虑,使用较大坡度并不能缩短桥梁主跨长度,故在维持李仙江同一主跨桥梁方案情况下缩短线路长度。根据研究,推荐李仙江桥跨为(42 + 154 + 280 + 154 + 126 + 112) m 连续双层钢-混结合桁梁桥方案。基于这一桥跨,分别按照不同隧道断面积所对应的纵坡折减值,进行线路方案设计。两方案主要技术指标,如表 7 所示。

表 7 方案主要技术指标表

技术指标	方案 1		方案 2	备注
	标准隧道断面方案 1	加大隧道断面方案 2	差值 方案 1 - 方案 2	
线路长度/km	59.9	55.539	-4.361	
隧道断面积/m <sup>2</sup>	42.11	52.01	-9.9	
最大坡度/‰	20.4	23.11	2.71	
李仙江桥	(42 + 154 + 280 + 154 + 126 + 112) m 连续双层钢-混结合桁梁桥		-	
最长隧道/km	15.777	17.262	-	
隧道总长度/km	55.746	52.244	3.502	
隧道占线路比重/%	93	94	-	
桥隧比重/%	97.5	98	-	
地质	加大隧道断面方案多绕避了 4 处不良地质段落			
环保	均绕避了黄连山国家级自然保护区及水源保护区			
总投资估算/亿元 (静态)	51.88	49.96	1.92	节省

由表 6 可知,本段线路方案采用标准隧道断面,按照《线规》折减坡度,最大坡度为 20.4‰,线路总长 59.9 km,投资 51.88 亿元。加大隧道断面后,同样按照《线规》折减坡度,最大坡度高达 23.11‰,与原标准隧道断面比较,线路长度缩短 4.361 km,总投资节省 1.92 亿元。

3.3 过渡展线隧道段(红河-四角山脉段)

本段线路展长系数为,为过渡展线隧道段。线路受红河、龙岔河桥跨及越岭四角山控制,区域地质较复杂,沿线所经河流两岸滑坡、危岩落石等不良地质较发育,加上受采空区、活动断裂、地热异常区等因素影响,通过加大隧道断面后,使用更大坡度无法有效缩短线路长度,但能有效降低大跨桥梁工程和改善设站条件。

根据研究,分别按照不同隧道断面积所对应的纵坡折减值,进行线路方案设计。两方案主要技术指标,如表8所示。

表8 方案主要技术指标表

技术指标	方案1		方案2	备注
	标准隧道断面方案1	加大隧道断面方案2	差值 方案1-方案2	
线路长度/km	67.5	67.4	0.1	
隧道断面积/m <sup>2</sup>	42.11	52.01	-9.9	
最大坡度/‰	20.4	23.11	2.71	
红河特大桥	主跨500 m上承式混凝土拱桥,引桥孔跨样式:(24+32+16×45+32) m,总长826.15 m	主跨350 m上承式混凝土拱桥,引桥孔跨样式:14×38 m,长536 m	-	
龙岔河特大桥	(24+32)m+(88+2×168+88)m连续刚构+32 m,桥长615 m	(60+100+60)m连续梁+5×32,桥长398.9 m	-	
元阳设站条件	设于呼山山顶,设站条件差,与县城联络不便	设于省道旁,设站条件好,与县城联络便利	-	
桥隧比重/%	87.8	88.8	-	
地质	加大隧道断面方案多绕避了6处不良地质段落			
环保	均绕避了个旧蔓耗省级风景名胜区和红河合尼梯田世界遗产			
总投资估算/亿元(静态)	65.15	63.49	1.66	节省

由表8可知,本段线路方案采用标准隧道断面,按照《线规》折减坡度,最大坡度为20.4‰,线路总长67.5 km,投资65.15亿元。加大隧道断面后,同样按照《线规》折减坡度,最大坡度高达23.11‰,与原标准隧道断面比较,线路长度缩短0.1 km,总投资节省1.66亿元。

3.4 方案比选

上述三段线路方案,采用160 km/h单线单洞标准隧道断面进行隧道内线路最大坡度折减,线路紧坡段落线路长121.9 km,通过加大隧道断面,减少线路纵坡的折减,有效缩短了线路长度11.858 km,降低了大跨桥跨及改善了设站条件等,共节省工程投资6.09亿元,经济效果显著。

4 结束语

本文结合《线规》规定,根据工程实例,在克服地

形巨大高差的山区铁路选线设计中提出一种创新设计思路和方法。

为克服大高差,结合《铁规》中关于线路纵坡折减的新规定,提出了一种创新设计方法,针对线路紧坡地段,首先尽量选用最大坡度,适当加大隧道断面积,以减小纵坡减缓值,最大限度地用足坡度,达到缩短线路长度和节省工程投资的目标。

参考文献:

[1] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Routes [S].

[2] 朱颖. 复杂艰险山区铁路选线与总体设计论文集[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.  
ZHU Ying. Proceedings of Route Selection and Overall Design of Railway in Complex Dangerous Mountain Areas [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.

[3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建普洱至蒙自铁路可行性研究报告(线路)[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Feasibility Study Report on Pu'er-Mengzi Railway (Route Specialty) [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.

[4] 铁道令[1992]第1号,铁路技术管理规程[S].  
Tie Dao Ling [1992] No.1, Regulations for Railway Technical Management [S].

[5] 易思蓉,聂良涛,陈彦恒. 电气化铁路隧道最大坡度系数研究[J]. 中国铁道科学,2013,34(6):42-48.  
YI Sirong, NIE Liangtao, CHEN Yanheng. Discussion on the Method of Gradient Reduction in Railway Tunnel [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2013, 34(6): 42-48.

[6] 苏梅. 客货共线铁路隧道内最大坡度设计浅析[J]. 铁道工程学报,2009,26(8):73-76.  
SU Mei. Analysis of Design of the Maximum Track Gradient Tunnel for Mixed Passenger and Freight Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(8): 73-76.

[7] 唐亮. 铁路隧道坡度折减方法的探讨[J]. 交通运输工程与信息学报,2018,16(2):64-68.  
TANG Liang. Discussion on the Method of Gradient Reduction in Railway Tunnel [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2018, 16(2): 64-68.

[8] TB 10003-2016 铁路隧道设计规范[S].  
TB 10003-2016 Code for Design of Railway Tunnel [S].

(编辑:赵立红 张红英)