

久长-永温铁路采用长大下坡的安全性及合理性研究

刘洪升

中铁二院工程集团有限责任公司，交通规划研究院，成都 610031

摘要：线路分方向选择限制坡度及长大下坡道一直都是铁路设计和运营中关注的问题。文章从运量预测、制动安全、适应地形条件、工程技术经济、工程实施难度、运输组织适应性等方面综合分析，得出久永铁路采用长大下坡是安全和合理的结论。

关键词：分方向限坡；长大下坡；制动安全

中图分类号：U212.32

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2011)01-0048-05

Study on the Safety and Rationality of Adopting Long and Large Downhill in Jiuchang-Yongwen Railway

LIU Hong-Sheng

Communication Planning & Research Institute , China Railway

Eryuan Engineering Group Co.Ltd, Chengdu 610031, China

Abstract: For a long time, it is the key issues to choose the slope limitation and long and large downhills considering its direction for railway. By in detail analyzing the respects to forecast of traffic volume, brake safety, adaption of terrain conditions, project technique and economic conditions, project implementation difficulty, applicability of transport organization, etc., this paper drew a conclusion that adopting long and large downhill in Shuangliuzhen-Yongwen section of Jiuchang-Yongwen railway was safe and rational.

Key words: Limitation slope with direction , long and large downhills, brake safety

收稿日期：2010-03-01.

作者简介：刘洪升（1978-），山东潍坊人，中国中铁二院工程集团有限责任公司交通规划研究院工程师。

0 引言

在支线铁路如地方铁路、铁路专用线的设计中，经常会碰到分方向选择限制坡度的问题。在我国西南山区，由于地形困难，工程条件艰巨，干线铁路的限制坡度大，一般在 10%以上，如果轻车方向为重车方向的双机牵引坡度，那么，支线铁路重车方向的下坡一般在 20%以上。山区铁路牵引质量一般不超过 4 000 t。虽不是重载列车，但是，在分方向限坡重车方向的长大下坡上，由于单机牵引，对列车安全性能的考验不亚于平原地区重载列车。在选择分方向限制坡度时，除了安全性，工程技术经济、工程实施难度和运输组织适应性等也是方案合理性需要综合考虑的重要因素。因此，本文结合目前设计的久长至永温铁路，对列车的制动安全性和方案的合理性进行分析研究。

1 项目概况

久长至永温铁路位于贵州省贵阳市境内。起点位于贵阳市修文县久长镇，从既有渝黔铁路久长站重庆端引出，经三脚岩村和大山水库西侧，至开阳县工业园区双流镇设双流镇站，经干沟林和旧寨，在永温工业园区设永温车站，线路全长 35.736km，是一条服务于地方企业为主的资源开发型铁路。项目的建设对于全面建设小康社会，发展地方经济，促进地区资源开发和优化产业布局，加快贵州磷化工产业发展，为开阳磷煤化工（国家）生态工业示范基地建设提供必要保障；对扩大路网规模，完善贵州地区路网结构等具有重要意义^[1]。

2 运量预测

分方向限坡的基本前提条件是轻重车方向货流显著不平衡。久永铁路为尽头线，没有通过运量。结合车站吸引范围的企业及项目的建设 and 规划情况，预测永温站 2020 年发送货物 72×104t，到达 275×104t；2030 年发送货物 100×104t，到达 380×104t。双流镇站 2020 年发送货物 688×104t，到达 182×104t；2030

年发送货物 817×104t，到达 317×104t。预测区段货流密度见表 1。

表 1 区段货流密度（单位：10⁴t）

Tab.1 Sectional freight flow density (unit: 10⁴t)

区段	2020 年		2030 年	
	上行	下行	上行	下行
久长—双流	751	448	900	680
双流—永温	72	275	100	380

由表 1 可知本线上、下行货流密度不均衡。久长至双流段上行为重车方向，近、远期轻车方向密度分别为重车方向密度的 59%和 75%；双流至永温段下行为重车方向，近、远期轻车方向密度为重车方向密度的 26%。双流至永温段研究年度轻、重车方向显著不平衡，预测将来也不会发生巨大变化，因此，双流至永温段具备分方向限坡的前提条件。

3 与地形相适应的限制坡度

既有渝黔线贵阳至南宫山段限制坡度 6‰，加力坡 13‰，其中久长至阁老坝采用 20‰三机加力坡。本线货流主要去往贵阳方向，从货物流向和运输组织考虑，为便于组织路企直达列车，避免在久长接轨站增减轴作业，提高机车车辆运用效率和送达速度，本线应与贵阳至久长段限坡一致，采用 6‰，加力坡 13‰限制坡度。但是，从双流镇至永温一直是下坡，双流镇地面高程约 1400m，永温地面高程约 1170m，直线距离约 7.2km。若采用 13‰方案，则展线系数至少达 2.45（如图 1 所示），形成一个巨大的灯泡线，相比之下 24‰方案则较顺直，能更好的与地形地貌相适应。

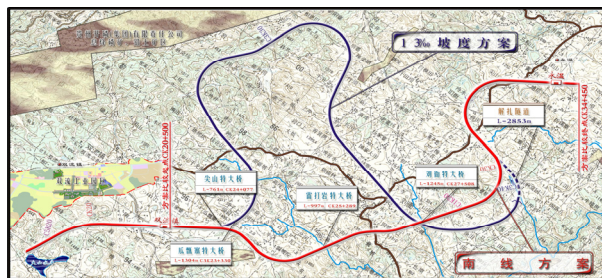


图 1 13‰、24‰坡度线路平面示意

Fig.1 Route schematic plans of 13‰ and 24‰ gradients

4 制动安全检算

4.1 检算原则

动力制动主要用于列车下坡调速。当列车在长大下坡上单用动力制动不能控制列车在规定速度内运行时，需要追加空气制动，以空气制动的周期制动进行调速，即制动、缓解、再制动、再缓解…，直至列车驶出长大下坡道。每次制动前，车辆制动机的副风缸空气压力应当恢复到规定压力，恢复到规定压力所需的时间为充风时间 (t_c)。列车缓解后到再制动的时间为增速时间 (t_z)。增速时间应等于或大于充风时间 ($t_z \geq t_c$)^[2]，以保证列车有足够的充风时间。充风不足，导致车辆制动机的副风缸空气压力还没有恢复到规定压力，就需再次制动。如此循环制动，最终会导致列车失去制动力，列车失控发生事故。

4.2 计算方法

列车在长大下坡道上运行工况可以用电算法计算，也可以分析法计算。用分析法按速度间隔计算运行时间、距离公式如下^[3]

$$\Delta t = \frac{30(v_2 - v_1)}{c} \text{ (s)} \quad \Delta s = \frac{4.17(v_2^2 - v_1^2)}{c} \text{ (m)}$$

式中，

v_1 、 v_2 ——所取速度间隔的初速和末速度，km/h；

c ——该速度间隔内作用在列车上的单位合力，

N/kN。

列车运行时单位合力 c 按下式计算

$$c = -(i_x + w_0 + b + 0.9b_d) \text{ (N/kN)}$$

注：当列车缓解充风时不计 b ，当动力制动故障

时不计 b_d 。

式中，

i_x ——列车所经过的下坡道加算坡度千分数，下坡取负值；

w_0 ——列车单位基本阻力，N/kN，按下式计算

$$w_0 = \frac{Pw'_0 + Gw''_0}{P + G} \text{ (N/kN)}$$

其中， w'_0 、 w''_0 ——分别为机车、车辆单位基本阻力，N/kN；

P 、 G ——分别为机车、车辆计算质量和牵引质量，(t)。

b ——列车闸瓦单位制动力，N/kN，按下式计算

$$b = 1000g_h\beta_c\phi_h \text{ (N/kN)}$$

其中，

g_h ——换算制动率；

β_c ——常用制动系数；

ϕ_h ——换算摩擦系数。

$$b_d = \frac{B_d \times 1000}{(P + G)g} \text{ N/kN}$$

其中， B_d ——机车动力制动力，kN。

4.3 参数选择

坡度：24‰；列车编组：SS3B 编挂 50 辆重车， $G = 4000t$ ；换算制动率：高摩合成闸瓦 0.18；制动限速：按紧急制动距离 800m 限速 60km/h^[4]；缓解初速：货物列车速度在 15km/h 以下时，不应缓解列车制动。长大下坡道区段因受制动周期等因素限制，最低缓解速度不应低于 10km/h，重载货物列车速度在 30km/h 以下不应缓解列车制动^[5]。实际运营中也有采用停车缓解的操纵方法，缓解初速为 0；列车主管压力：500kPa；副风缸再充风时间及常用制动系数：充风时间和常用制动系数依据减压量确定（如表 2），减压量不易过小或过大，过小不能满足减速需要，过大则不必要的延长充风时间。

表 2 不同减压量的充风时间和常用制动系数

Tab. 2 Air charge time and common braking coefficient of different pressure reductions

减压量/kPa	充风时间/s	常用制动系数 β_c
50	41	0.19
60	52	0.32
70	63	0.42
80	73	0.52
90	83	0.60
100	93	0.68
110	105	0.75
120	116	0.82

4.4 动力制动正常

正常情况下，降速过程动力制动和空气制动配合

使用，以动力制动为主，空气制动为辅，缓解时以动力 制动延缓列车的增速。不同减压量时计算数据如表 3。

表 3 动力制动数据

Tab. 3 Dynamic braking data

减压量/kPa	充风时间 t_c /s	最高 $v_{缓}$ / (km/h)	60km/h→ $v_{缓}$		$v_{缓}$ →60 km/h		一个制动周期内		
			t/s	s/m	t/s	s/m	t/s	s/m	$V_{平均}$
50	41				列车不能降速				
60	52	41	136	1 946	54	763	190	2 709	51
70	63	37	78	1 063	64	873	142	1 936	49
80	73	33	60	786	74	964	134	1 750	47
90	83	29	53	668	85	1 058	138	1 726	45
100	93	26	48	577	94	1 125	142	1 702	43
110	105	22	45	527	105	1 204	150	1 731	41
120	116	18	44	486	116	1 261	160	1 747	39

从表 3 可以看出，正常情况下，60kPa~120kPa 减压量均能满足充风要求。同时还可以看出，减压量每提高 10kPa，满足充风的最高缓解速度就降低 4km/h，列车平均运行速度降低 2km/h。因此，减压量应选择能使列车制动下来的最小减压量，提高列车运行速度和区间通过能力。

4.5 动力制动故障

动力制动故障时，列车用空气制动降速，惰行增速时缓解充风。经计算，减压量小于 80kPa，列车不能降速。列车从静止惰行到限速时间为 79s，因此，减压量大于 80kPa，即使停车不能满足充风要求。减压量为 80kPa 满足充风的最高缓解初速为 5km/h，降速时间 620s，距离 6775m。根据经验，带闸时间一般为 2min 左右，否则容易造成制动失效，因此 80kPa 不能满足要求。

4.6 运营建议

运营中确保列车动力制动性能正常有效，动力制动故障机车不能出车牵引列车。运行中遇动力制动故障时，应立即停车，请求救援。

5 合理性研究

5.1 工程技术经济

双流至永温段 13‰方案和 24‰方案方案主要工程数量见表 4:

表 4 主要工程数量

Tab. 4 Major engineering quantity

项 目	单 位	13‰坡度	24‰坡度
建筑长度	km	23.84	13.95
特 大 桥 梁	$H \geq 50m$	座-m	1-1304.0
	$H < 50m$	座-m	2-1594.21
	$H \geq 50m$	座-m	1-243
	$H < 50m$	座-m	14-2611
	小计	座-m	18-5752.24
隧 道	$L < 1 000m$	座-m	9-3060.39
	$1 000m \leq L < 3 000m$	座-m	2-3921.20
	$3 000m \leq L < 6 000m$	座-m	0-0
	$L \geq 6 000m$	座-m	0-0
	小计	座-m	11-6981.59
桥隧总长	km	12.73	5.948
桥隧占线路比	%	53.40	42.64
投资估算	万元	100985.31	54388.60

双流镇为全线最高高程控制，13‰坡度方案全线地形比较困难，桥隧比重均在 50%以上，从上表看出，24‰坡度比 13‰坡度线路短 9.89km，桥隧比降低到 42.6%，24‰坡度更适应地形条件，静态投资明显降低，比 13‰坡度方案节省 4.66 亿，工程技术经济较好。

5.2 工程实施难度

相对于 13‰方案而言，24‰方案高墩桥梁有所增加，但总体减少了近 1000 m 的桥梁；由于 24‰方案大量缩短线路长度，能迅速降低高程，因而减少隧道长度，工程难度大为降低。

5.3 运输组织适应性

在 24‰上坡道上，受持续牵引力限制牵引质量为

5 结 论

根据京津城际调研资料,结合维修作业基地的布局 and 检修周期可以得出京沪高速铁路综合维修天窗需要的时间长度为 3h。该时间长度通过计算维修作

业量易于量化且维修周期较固定的维修作业需要的时间得出,需要现场维修实践的进一步检验。一些途径可以用来缩短天窗时间长度,但会增加投资、降低设备和人员的利用效率、增加行车组织的复杂度,需要综合各方面的因素并权衡投入产出比。

参考文献

- [1] 闵国水,黄永柳.京沪客运专线铁路综合维修天窗设置方案的探讨[J].北京交通大学学报,2008,(3):16-20.
- [2] 董守清.我国铁路客运专线综合维修天窗设置方式研究[D].西南交通大学,2005:10-17.
- [3] 韩伯领,田长海,王钰滨.客运专线综合维修天窗形式比较[J].中国铁道科学,2009,(5):95-99.
- [4] 铁道部.京沪高速铁路设计暂行规定[S].北京:中国铁道出版社,2005:159-190.
- [5] 束永正.关于列车运行图综合维修天窗的研究[D].同济大学,2008:42-75.
- [6] 铁道第三勘察设计院等.京沪高速铁路初步设计总体说明书[R].天津:铁道第三勘察设计院,2007.

(中文编辑:刘娉婷)

上接第 51 页

2000t,列车编组可以全重车、全空车或重空车混编。按照货车平均静载重 56.865t,平均自重 22.133t,平均总重 78.998t,平均长度 13.914m,到发线有效长 880m,机车长 60m,安全距离 30m 计算,可以以 25 个全重车或者 56 个全空车编组,当编组定为 50 辆时,还可以用 15 个重车和 35 个空车重空混编,运输组织适应性较强,能够保证重车和空车辆的运输,因此,方案是可行的。

参考文献

- [1] 中国中铁二院工程集团有限责任公司.新建铁路久长至永温线可行性研究报告[R].成都:中国中铁二院工程集团有限责任公司,2009.
- [2] 孙中央.列车牵引计算实用教程[M].北京:中国铁道出版社,2005.
- [3] TB/T 1407-1998 列车牵引计算规程[S].北京:铁道部标准计量研究所,1999.
- [4] 中华人民共和国铁道部.铁路技术管理规程[S].北京:中国铁道出版社,2006.
- [5] 中华人民共和国铁道部.机车操作规程[S].北京:中国铁道出版社,2000.

(中文编辑:吴继屏)

6 结束语

久永铁路双流镇至永温段轻重车方向货流显著不平衡,采用 24%长大下坡方案对地形的适应性较好,使用电空配合制动能够保证制动安全,节省工程投资,降低施工难度,运输组织适应性较强,是安全和合理的。