

文章编号: 1674—8247(2012)06—0014—04

# 高烈度地震山区成兰铁路综合选线研究

钟 新

(中铁二院工程集团有限责任公司土木建筑设计研究一院, 成都 610031)

**摘 要:**以成兰铁路为对象,结合沿线复杂的地形条件和区域特殊的地质条件,分析总结出铁路建设面临的主要工程地质问题。并就这些问题对铁路选线的影响进行分析,提出选线对策。同时,从工程建设和运营安全角度,对影响成兰铁路选线的主要工程地质问题进行详细分析和评价,从而进一步提出基于区域地质特点的成兰铁路主要设计原则,在此基础上总结归纳出高烈度地震山区成兰铁路综合选线技术的研究结论。

**关键词:**成兰铁路; 综合选线; 高震地区

**中图分类号:**U212.32      **文献标识码:**A

## Research on Integrated Route Selection of Cheng-Lanzhou Railway in Highly Seismic Mountain Area

ZHONG Xin

(First Civil Construction Design & Research Institute, China Railway Eryuan Engineering  
Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:**In the paper, taking Cheng-Lanzhou railway as the object, the main engineering geological problems of railway construction are analyzed and concluded, together with the complex terrain conditions along the line and special geological conditions in the region, while, by which, the influence on route selection is analyzed and countermeasure is put forward. Meanwhile, from the angles of engineering construction and operational safety, the main engineering geological problems impacting on Cheng-Lanzhou route selection are analyzed in details and evaluated, consequently, the main design principles of Cheng-Lanzhou railway on the basis of regional geological features are further put forward, thus, research results of integrated route selection of Cheng-Lanzhou railway in highly seismic mountain area are summarized.

**Key words:**Cheng-Lanzhou railway; integrated route selection; highly seismic mountain area

### 1 成兰铁路概况

成都至兰州铁路位于四川省和甘肃省境内,起于成都,经广汉、什邡、绵竹、茂县、松潘至九寨沟,向北延伸连接在建兰渝铁路的哈达铺站。该线建成后,向北连通兰渝铁路,与既有宝成铁路、在建兰渝铁路及规划的川青线、川藏线共同构建沟通西北与西南及华南沿海的区际干线铁路通道。

成兰铁路所途经的区域地处由成都平原向青藏高原东部边缘急切过渡的高山峡谷地带,是我国第一阶

梯向第二阶梯的过渡地带,北西高、南东低。成兰铁路跨越成都平原低山丘陵、龙门山低中山、龙门山岷山西秦岭高山峡谷、黄土地貌四个地貌单元,其选线问题的复杂性和典型性具有重要的研究意义。

### 2 成兰铁路区域地质问题对铁路选线的影响分析及选线对策

选线区域位于我国著名的南北地震带中部龙门山地震带,地震活动强烈、频繁。区内山势巍峨,河谷深切,岩质软弱,气候多变,降雨集中,生态脆弱,自然环境恶劣、敏感,不良地质分布广、类型多、规模大。沿线控制线路方案和工程设置面临许多工程地质问题。

收稿日期:2012-04-20

作者简介:钟新(1966-),男,高级工程师。

## 2.1 地震对铁路选线的影响及对策

高烈度地震山区铁路选线,须综合考虑地质、地震因素,重视活断层、不良地质等特殊场地的地震放大效应、近场区的地震近场效应,线路必须绕避大型不良地质发育地段、绕避地震及潜在地震次生灾害严重地段。必须通过时,采用简单易修复的工程形式通过;地形条件复杂的山区,宜采用长大隧道群通过。

## 2.2 活动断裂对铁路选线的影响及对策

活动断裂带岩层破碎,地震及地震次生地质灾害往往沿活动断裂呈带状分布,对铁路工程危害极大。因此,铁路工程应绕避活断层。无法绕避时要选择活动性相对较弱的安全岛通过;或在断层宽度较窄处以大角度通过,尽量降低地震及地震地质灾害对铁路的影响。

铁路重大、复杂工程需尽量绕避断裂束,线路不宜在断裂束中,特别是断裂密集处、交汇处及活动断裂的端点、拐角处,不宜设置大中桥、高桥、高填深挖等难以修复的大型建筑物。同时,在此段内不宜修建重大的或难于修复的建筑物,如大桥和高桥等,最好是以易于抢修的低填浅挖路基通过,在地形条件受限制时可采用隧道形式通过。

线路须在查清区域性活动断裂结构和稳定性差异的基础上,选择相对稳定的部位通过,重点工程必须置于“安全岛”内,降低地震对重点工程的影响。

线路需避免在断裂主动盘迂回展线,降低地震及地震地质灾害对铁路的影响。线路与活动断裂平行时应将线路置于构造被动盘,减小地震及次生灾害对铁路的破坏。

特殊结构、高墩、大跨桥梁不得跨越活动性断裂,避免地表破裂产生位错而造成的桥梁断裂、落梁等重大灾害。特殊结构、高墩、大跨桥梁修复困难,因此特殊结构、高墩、大跨桥梁不得跨越活动性断裂。

## 2.3 次生灾害对铁路选线的影响及对策

线路选线需绕避潜在地震诱发次生地质灾害的地段,尽量选择在工程地质条件相对良好、地形开阔平坦或缓坡地段。

铁路线路要避免以傍山明线方式通过,尽量采取线路内移以隧道通过,躲避次生灾害对铁路的危害。

铁路工程须绕避潜在不稳定斜坡、松散的山坡堆积层以及可能发生大规模滑坡、崩塌的不稳定悬崖深谷、高耸孤立山丘等易发生地震次生地质灾害地段。

铁路工程必须绕避潜在产生大型滑坡、崩滑的顺

层地段,线路应尽量走反倾坡。

线路要避免短隧道群,洞口位置的选择须贯彻“早进晚出”的原则,尽量少削坡。

隧道洞口还须避开崩塌、滑坡、错落等不良地质发育地段和单薄的山脊、孤立山头等不良地段,洞口宜选择在坡面顺直、岩体完整地段。

铁路工程应选择在非液化土层或液化土层范围较窄的地段通过,并且不应将液化层直接作为建筑物的持力层。

## 2.4 高地应力对铁路选线的影响及对策

高地应力对铁路工程的影响主要表现在对隧道工程的影响。隧道选择尽可能避开高地应力集中区或从高地应力较小的区域通过;必须穿越高地应力区域的隧道,洞身应尽量与水平应力方向平行,以降低地应力对隧道的作用,同时减小埋深,降低围岩垂直压力。

# 3 对影响成兰铁路选线的主要工程地质问题研究

成兰铁路所处的区域地质问题十分突出,对铁路工程选线设计影响十分严重。因此,对区域地质问题进行专题研究,查明控制线路的主要工程地质情况,是工程设计的基本要求。

## 3.1 区域遥感地质判释及工程地质、灾害地质测绘

采用常规的印度 IRS - P<sub>5</sub> 卫星图像、航片立体镜判释,并运用微机数字测量工作站(JX - 4C),以不同放大倍数由小到大对遥感图像进行详细解译,尽量判释出遥感图像中的工程地质信息,提高遥感图像解译效果。主要解译了沿线滑坡、错落、崩塌、坍塌、岩堆、泥石流等重大不良地质现象及断裂构造等,针对判释结果,指导开展现场工程地质、灾害地质测绘工作,对工程选线起到极大的指导作用。

## 3.2 成兰铁路地震带及活动断裂专题研究与评价

研究区位于我国著名的南北地震带中部龙门山地震带,其北、中、南段分别位于甘东南地震构造区、龙门山地震构造区和成都地震构造区内。沿线活动断裂特征如表1所示。

## 3.3 地震次生灾害调查、评价及研究

借助航空遥感技术的应用,通过图像数字处理和三维模型的建立,对研究区拟建铁路沿线的地质灾害点进行详细科学的解译。根据现场的实际排查结果,2008年“5·12”汶川大地震后,四川灾区新增对人居环境构成直接威胁的地质灾害点达9 000余处,主要分布在39个重灾县。

表 1 成兰铁路区域典型活动断裂特征表

序号	断裂名称 及编号	长度 ( km)	性质	破碎带宽度 (m)	最新活动 时代	平均滑动速率 (mm/a)	未来发震 能力(级)	未来百年最大位错量评估 (m)
1	彭县—灌县断裂(F3) (龙门山前山断裂)	135	逆断	10 ~ 100	Q <sub>4</sub>	水平 0.78 ~ 1.25	8	水平 2.08 ± 0.54
						垂直 0.3		垂直 1.93 ± 0.66
2	北川—映秀断裂(F4) (龙门山中央断裂)	250	逆断兼右旋 走滑	30 ~ 200	Q <sub>4</sub>	水平 0.82 ~ 1.3	8	水平 2.08 ± 0.54
						垂直 0.54		垂直 1.93 ± 0.66
3	茂汶—汶川断裂(F5) (龙门山后山断裂)	120	逆断兼右旋 走滑	40 ~ 100	Q <sub>4</sub>	水平 0.9 ~ 1.1	7.6 ± 0.2	水平 2.79 ± 0.68
						垂直 0.9 ~ 1.1		垂直 3.32 ± 1.11
4	岷江断裂(F6)	180	逆断兼走滑	50 ~ 300	Q <sub>4</sub>	水平 1	7.6 ± 0.2	水平:南段 3.72 ± 0.51; 北段 2.95 ± 0.88
						垂直 0.37 ~ 0.53		垂直:南段 4.61 ± 0.32; 北段 3.58 ± 1.20
5	东昆仑断裂(F8)	>1 000	左旋走滑	50 ~ 100	Q <sub>4</sub>	水平 2 ~ 3	7.3 ± 0.2	水平 2.91 ± 0.65
6	迭部—白龙江断裂(F9)	270	左旋走滑 兼倾滑	30 ~ 150	Q <sub>4</sub>	水平 1.2 ~ 1.6	7.3 ± 0.2	水平 2.82 ± 0.60
						垂直 0.2 ~ 0.3		垂直 0.76 ± 0.22

3.4 高地应力、软岩变形及震裂岩体工程特性研究

工程区构造应力场发育,侧压力系数为 1.02 ~ 1.77,平均值约 1.31。水平构造应力值变化范围较大,一般随埋深增加而增大,最大为 17.6 MPa。龙门山断裂带至岷江断裂区域的水平构造应力相对较高,其次为西秦岭褶皱带,成都平原、秦岭以北的黄河河谷盆地区域的水平构造应力则相对较低。工程区最大水平主应力总体为 NW 向,但由于断层内部应力降低,而边缘应力增加,导致断层两侧的最大主应力方向趋于与断层平行。

易发生大变形段主要分布在软岩路段。地震对岩体工程特性的影响表现在两个方面:一是在地震作用下,隧道围岩内产生新的裂隙;二是在地震作用下,原有裂隙发生扩展和贯通。由此造成隧道围岩岩体强度降低,形成一定的松弛问题,从而对隧道围岩稳定性造成不利影响。在隧道中,硬质岩导致地震裂隙较为发育,软质岩造成整体或者局部位移松弛变形。

3.5 工程场地斜坡稳定性评价

完成 47 个工程边坡基本地质条件、岩体结构特征调查,对存在工程地质问题、灾害成因机制进行分析,并提出工程边坡防治措施初步建议:线路处于陡峻斜坡,稳定性差,建议采用隧道方案绕避,以规避风险;其余斜坡根据稳定性评价意见,经技术经济比较后采用加固处理、监测等不同程度的措施。

3.6 煤矿、磷矿等矿山采空区调查与评价

区域采空区主要分布于龙门山前山都江堰至安县雎水一带,因其规模较大且连续成片,线路应采取绕避通过。

3.7 岩溶水文地质条件评价

线路在穿越龙门山脉时,穿越区以非可溶岩为主,隧道埋深大,对浅层地下水系统影响不大,不会引起隧道附近区域性地下水位下降。九寨沟区域地下水

环境敏感,应采用远离九寨沟风景区、神仙池风景区和岷江源风景区域,避免对地下水系统产生大的影响。其它地区,地层以含水性弱和相对隔水的砂岩、页岩、千枚岩为主,其间夹的碳酸盐岩受非可溶岩限制,岩溶不发育,隧道对这些地区地下水系统影响有限,不会破坏区域性地下水环境,不会导致无法挽救的重大环境问题。

3.8 泥石流专题地质研究

开展了沿线安县段、茂县段、松潘段、九寨沟段、腊子口段 74 条泥石流沟的泥石流形成条件及活动特征研究,重点泥石流沟动力学特征和堆积成灾研究,危险性评价及趋势预测分析,对铁路工程影响评价。完成泥石流沟的相关参数的计算工作,对相关参数进行校核和修订,以指导工程设计。

4 基于区域地质特点的成兰铁路主要设计原则

4.1 选线原则

(1)掌握区域地质问题,对各类不良地质,尤其是重大的不良地质进行有效绕避。

(2)对于不能避免的穿越活动断裂带和地震、高地应力区域,通过综合选线,合理确定线路工程与它们的关系,采取有针对性的工程措施进行加强处理。

(3)对局部不能完全绕避的小型次生灾害等不良地质,进行工程处理,确保工程安全。

4.2 路基设计原则

(1)对于线路无法避绕的不良地质,路基工程按照“少挖多填”的原则,尽量避免扰动自然边坡,在必须挖方经过的路基地段采用预加固再开挖及分层稳定加固技术。

(2)对铁路主体工程有直接影响的滑坡、岩堆等不良地质,采用清方减载、引排地表水,设置抗滑桩、坡

面设置锚杆(索)框架梁护坡等地表加固措施。

(3)对铁路用地界以外的可能因为次生灾害对铁路造成危害的不良地质进行稳定性评价,根据评价结果,对应进行加固处理或长期监测、预警的预防措施,确保建设和运营安全。

#### 4.3 桥梁设计原则

(1)同一座桥中,尽量避免高墩与大跨的结合,桥梁宜采用等跨、减少结构自重并有利于抗震的结构形式。墩台顶帽上设置防止落梁措施,采用横向支挡纵向联系防止落梁,支座采用抗震性能好的双曲面球型减隔震支座。

(2)桥涵建筑物一般采用体形简单、自重轻、刚度和质量分布均匀、重心低的结构。

(3)位于地震后可能形成泥石流沟谷上的桥梁,采用一跨跨越,加强桥梁主体结构,并对泥石流采用拦挡、排导槽等措施进行防护处理。

#### 4.4 隧道设计原则

(1)隧道尽可能采用“无仰坡临界点”进洞,充分贯彻“早进晚出、保护环境”的原则,隧道洞口均采用有端墙的洞门结构形式,减少地震条件下危岩落石对线路的破坏。

(2)复杂地质地段及高地应力段落采用双洞单线。

(3)对穿越全新活动断层的隧道处理原则为:考虑断层活动幅度的百年预测值,适当扩大隧道断面,预留补强空间;加强初期支护,并采用圆形衬砌结构,提高衬砌结构强度;分节预留变形缝,使隧道具有较强适应地震时的变形、错动能力,以应对断层发展及地震可能产生的位移、变形,并给抢修创造条件。

(4)大变形处理原则为:围岩加固、变形留足、先柔后刚、衬砌加强。在具体处理时采用分级、分层次对应的处理措施,即:根据大变形的严重程度分为3级处理措施,分别通过增大预留变形量,增加初期支护强度,增加掌子面防护,改变支护形式,优化衬砌断面、必要时增设二次支护等一系列组合措施进行处理。

### 5 成兰铁路综合选线研究结论

新建成兰铁路出露地表工程均选择在地质条件较好的山坡;对严重影响隧道洞口安全的段落进行绕避,影响较小的洞口采用加强措施进行处理;连续以地表工程经过的路段基本位于地形开阔、次生灾害威胁较

小的高原平缓地带,工程设置基本采用简易工程,减小地震对工程的影响。全线共11次以大角度穿越活动断层,其中9次以隧道方式,1次以路基方式,1次以低矮简支梁桥方式,大大减低了断裂活动对工程的破坏。全线高墩或特殊桥梁无一座跨越活动断裂,两座重点桥梁处于峰值加速度0.15g区域。

通过成兰铁路的综合选线,基本避开区域大量分布的不良地质,并充分考虑活动断裂、地震、高地应力等突出地质问题以及不能完全绕避的局部较小规模的不良地质对铁路工程的影响,针对性地制定了相应工程的设计原则,以确保工程建设及建成后的运营安全。

#### 参考文献:

- [1] 韩康. 艰险山区地震区铁路选线初步研究[J]. 铁道工程学报, 2009(2):8-11.  
Han Kang. Preliminary Research on the Railway Route Selection in Seismic Region of Mountain Area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(2):8-11.
- [2] 朱颖,魏永幸,钟新. 高烈度地震山区铁路选线与总体设计研究——以成都至兰州铁路为例[C]. 汶川大地震工程震害调查与研究,2009(5):833-841.  
Zhu Ying, Wei Yongxing, Zhong Xin. The Study on Railway Route Selection & General Design of Highly Seismic Mountain Area-Taking Chengdu-Lanzhou Railway as An Example[C]. Chinese Society for Rock Mechanics & Engineering (CSRME), 2009(5):833-841.
- [3] 卿三惠,黄润秋,李东,等. 活动构造区山地环境铁路选线研究[J]. 地质力学学报,2006(6):243-251.  
Qing Sanhui, Huang Runqiu, Li Dong, et al. Railway Location in a Mountainous Environment in Areas of Active Structures [J]. Journal of Geomechanics, 2006(6):243-251.
- [4] 叶耀先,岡田憲夫. 地震灾害比较学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.  
Ye Yaolian, Okadanorio. Earthquake Disaster Comparison Theory [M]. China Architecture & Building Press, 2007.
- [5] 何振宇. 铁路地质选线及主要技术原则. 复杂艰险山区铁路选线与总体设计论文集[C]. 北京:中国铁道出版社,2010.  
He Zhenning. Railway Geologic Route Selection & Main Technology Principle. Proceedings on Railway Route Selection & General Design of Complicated Arduous Mountain Area[C]. Beijing:China Railway Publishing House,2010.
- [6] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路成都至兰州线初步设计总说明书[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2010.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification of New Chengdu-Lanzhou Railway Preliminary Design [R]. Chengdu:China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2010.