

文章编号: 1674—8247(2022)06—0069—05

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2022. 06. 013

地质横断面选线技术在铁路工程中的应用

王哲威 冯 涛 杜宇本 李沧海

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:横断面选线技术在以往铁路工程选线中主要用于地形横坡较陡地段,对地质界面横坡较陡地段考虑不充分。本文提出了地质横断面选线的概念,可适用于地质构造线与线路平行或小角度相交地段、顺河沿溪和横坡较陡地段、顺层地段、不良地质路段和并行既有道路等地段。在总结地质横断面选线适用地段和工作方法的基础上,通过一系列工程案例对地质横断面选线进行了详细说明。工程实践表明,采用地质横断面选线技术可进一步改善铁路工程的安全性、经济性和合理性。

关键词:铁路工程;地质选线;横断面选线;不良地质

中图分类号: U412. 32 **文献标识码:** A

Application of Geological Cross-section Route Selection Technology in Railway Engineering

WANG Zhewei FENG Tao DU Yuben LI Canghai

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

Abstract: In the previous route selection in railway engineering, cross-section route selection technology was mainly applied to sections with steep topographic cross slopes, but was less considered in sections with steep geological interface cross slopes. This paper proposes the concept of geological cross-section route selection, which can be applied to sections where the geological tectonic line is in parallel with or intersects with the railway line at a small angle, sections along the river, sections with steep cross slopes, bedding sections, sections with unfavorable geological conditions, and sections in parallel with existing roads. On the basis of summarizing the applicable sections and working methods of geological cross-section route selection technology, this paper explains the geological cross-section route selection technology in detail by giving a series of project cases. The engineering practice shows that applying the geological cross-section route selection technology can further improve the safety, economic efficiency and rationality of railway engineering.

Key words: railway engineering; geological route selection; cross-section route selection; unfavorable geology

铁路工程穿越不良地质路段时对地质条件考虑不足,极有可能导致施工和运营期投资增加、工程废弃和安全事故等严重后果,如1981年成昆铁路因利子依达泥石流导致列车坠桥^[1]、宝天铁路卧龙寺滑坡将铁路向南推移110 m致铁路废弃^[2]、南昆铁路八渡

滑坡治理增加近1亿投资等案例^[3]。上世纪修建的铁路工程中类似失败选线屡见不鲜,人们逐渐认识到了地质选线的重要性^[4-6]。

铁路工程横向地形地质条件的不同为线路走向提供了选择的余地,因此产生了横断面选线的概念。

收稿日期:2021-09-24

作者简介:王哲威(1983-),男,高级工程师。

引文格式:王哲威,冯涛,杜宇本,等.地质横断面选线技术在铁路工程中的应用[J].高速铁路技术,2022,13(6):69-73.

WANG Zhewei, FENG Tao, DU Yuben, et al. Application of Geological Cross-section Route Selection Technology in Railway Engineering [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(6):69-73.

朱颖^[7]提出了“地质选线、重大工程优先选址、环保选线、规划选线、资源选线、横断面选线”六位一体的选线理念,认为在“地面横坡较陡”时应采用横断面选线;高传东等^[8]认为横断面选线技术适用在地形复杂和不良地质地段;目前,学界普遍认为采用横断面选线技术可使线路在左右短距离内的工程建设条件明显改善,但现有研究中并未充分考虑地质条件的影响,具体适用条件并未提及,相关的工程支撑案例也罕有见刊。由此可见,如何将地质选线和横断面选线充分结合仍需进一步深化理论研究。

线路选线论证时,线路工程师在地形复杂地段考虑采用横断面选线技术,在地形横坡较陡地段为避免高陡路堑、高路堤、隧道进口严重偏压等问题进行横断面控制,从而确定最佳工程设置。然而,以上方法忽略了“地质横向变化较大地段”,对地质因素考虑不够,存在一定的局限性。地质工程师主要侧重于平面选线,地质选线基本工作步骤是由地质工程师在1:2 000~1:10 000等小比例尺平面图上标注出不良地质界限和类型、给出稳定性评价结果和比选意见,然后由线路工程师结合地形、地物、地方规划、环保、资源等其它因素综合确定线路方案。此类方案在多数情况下效果明显,但当地质条件横向变化较快时往往存在考虑不足的情况,导致后期工程风险和投资增加。由此可见,由于专业思维习惯的不同,横断面选线对地质条件没有充分考虑,进而导致部分地质横向变化较大地段选线不够细致。因此,在地质选线工程实践中仍需加强横向地质条件的对比分析。

为将横断面选线和地质选线充分结合,本文提出了地质横断面选线的定义,并通过一系列工程实例来证明地质横断面选线重点适用地段和工作方法的合理性。

1 地质横断面选线的重点适用地段

地质横断面选线的定义为:横断面选线除了适用在“地面横坡较陡地段”外,亦适用在“地质横向变化较大地段”,在地质条件横向变化大甚至有突变的地段。具体方法为:首先,在平面图上选出控制性横断面,经调查和勘探后填绘大比例尺(1:500,1:200)地质横断面,对比分析横向地质条件的差异,优选横向地质条件较好地段设置合理的工程,再交由设计专业结合其它条件选出最优方案。地质横断面选线技术适用于地形横坡较陡地段以及地质横向变化较大地段。

1.1 地质构造线与线路平行或小角度相交地段

地质构造线主要指区域性构造在地面上的延伸线,如褶皱轴迹、大的断层线、岩层走向线、区域性片理或劈理的走向线等。当铁路工程沿着构造线行进时,线路可能长距离压着地层界线、岩性分界线、断层界线行进。当界线两侧存在显著差异的工程地质条件,如可溶岩和非可溶岩界线,煤系地层与非煤系地层界线,断层上下盘等,充分考虑构造线两侧的地质条件差异、开展地质横断面选线意义重大。横断面控制可使铁路工程避开断层破碎带、可溶岩和非可溶岩的接触带等不利情况,优选硬质岩、非可溶岩、非煤系地层、断层下盘、隔水地层等地段通过,进而达到降低工程造价,减轻工程风险的效果。

1.2 顺河沿溪和横坡较陡地段

当线路顺着河流、溪沟行进时,横向可能跨越不同的微地貌单位,坡脚通常存在较厚的土层且地下水丰富,而斜坡上往往覆盖层较薄且地下水贫乏。当填方工程放坡至坡脚时往往存在滑坡失稳的风险,横断面控制采取内移或下挡收坡的方式可消除工程滑坡风险。另外,坡脚线两侧地质条件差异大,沟谷中常年积水存在软土,而坡麓地段多为旱地,地质横断面控制可减少软土处理工程。

1.3 顺层地段

受线路走向、站位选址等因素控制,线路不可避免地需通过顺层段落,顺层边坡开挖常会发生较大规模的工程滑坡。对地形和地质条件充分研究,对挖方最大的横断面进行分析,采用线路适当外移消除挖方或最大限度降低挖方高度等方案,可有效降低工程滑坡风险。另外,若线路通过段存在既有地下工程时,新建的隧洞存在顺层偏压,极有可能影响既有硐室。地质横断面分析可使工程设置避让既有工程的塌落拱范围,从而达到降低工程风险的目的。

1.4 滑坡、岩堆、采空区等不良地质路段

线路首先应绕避这些不良地质路段,当线路必须通过上述不良地质地段时,需进行横断面控制使线路在影响最小的地段以合理的工程形式通过,如通过滑坡和岩堆时采取“前缘加载,后缘减载”来降低工程滑坡风险、通过采空区时应避开“冒落带”以降低工程塌陷的风险。

1.5 并行既有道路工程地段

既有工程一般走行于最优侧段,也可能存在一些施工教训,在这些地段地质横断面选线技术可得到大量使用。笔者在渝怀二线工作期间,通过横断面选线提出了多达26段改线建议。其中,秀山段圈马隧道最为典型,既有铁路揭示每公里至少有2~3处岩溶

大厅,增建二线由于开展地质横断面选线,尽管和既有铁路相距不足 100 m,但施工期间仅揭示 3 处小型溶洞,其成功经验值得借鉴。

2 地质横断面选线的工作步骤

地质横断面选线的工作步骤为:

(1) 选择控制性横断面。通过综合分析,选择地质横向变化可能对选线有影响的地段,比如线路和可溶岩界线最近的地段、顺层挖方最高地段和顺河地段最靠近河谷的断面。为了不遗漏,应尽量多做几个横断面进行控制。

(2) 填绘地质断面。根据外业调查情况绘制地质剖面,必要时应进行钻孔控制。

(3) 分析地质条件在横向的优劣。通过综合勘察资料,分析横向地质条件,在平面图上投影出不安全位置的分界线。

(4) 综合比选。将地质横断面分析成果交由线路专业,并结合其它控制性条件综合确定最优方案。

3 工程实例

为进一步说明地质横断面的重要性、地质横断面选线的重点适用地段和工作步骤,通过渝怀增建二线 3 个典型工点进行说明。

3.1 渝怀增建二线圈马隧道段顺构造线段地质选线

3.1.1 地质概况

溶蚀丘陵谷地地貌,地面高程 480~610 m,地势较为平缓。下伏寒武系中统平井组(\in_{2p})白云岩、高台组(\in_{2g})泥质白云岩、白云岩夹页岩、寒武系下统清虚洞组(\in_{1q})灰岩、杷榔组(\in_{1p})页岩,各地层间均呈整合接触关系。隧道位于上碕背斜 SE 翼,背斜轴部伴随断层发育,岩层以单斜形式产出,层理产状为: $N5 \sim 27^\circ E/55 \sim 85^\circ SE$,线路走向和岩层走向基本一致。

3.1.2 控制性地质问题

不良地质主要为岩溶,其中清虚洞组(\in_{1q})厚层质纯灰岩中岩溶强烈发育,高台组(\in_{2g})和平井组(\in_{2p})由于岩性较杂,岩溶弱发育,杷榔组(\in_{1p})为非可溶岩。既有线圈马隧道和新建圈马隧道走向基本一致,全长 1 453 m,最大埋深 117 m,由于线路基本穿越岩溶强烈发育的清虚洞组(\in_{1q})厚层质纯灰岩,施工中揭示岩溶极发育。相关设计方案共发生 30 余次变更,并在线路两侧增设 2 条泄水洞,地质条件极差。

3.1.3 方案研究

选线中比选了 3 个线路方案,分别为右线方案、

左侧方案一和左侧方案二,均顺着构造线行进,和既有铁路走向一致。右线方案主要穿越清虚洞组质纯灰岩地层,隧道专业认为既有铁路施工中增设的泄水洞位于左侧,地下水流向为由左至右,因此隧址应选择在右侧,这样可充分利用既有铁路泄水洞截排地下水;左侧方案一同样穿越清虚洞组质纯灰岩地层,为线路专业主推方案,主要优点是线路直顺,借鉴既有铁路施工经验可以有效应对岩溶风险;地质专业经详细调查后发现在既有铁路左侧 60~100 m 外分布岩溶弱发育的高台组(\in_{2g})地层,因此提出了左侧方案二。代表性横断面示意图如图 1 所示。

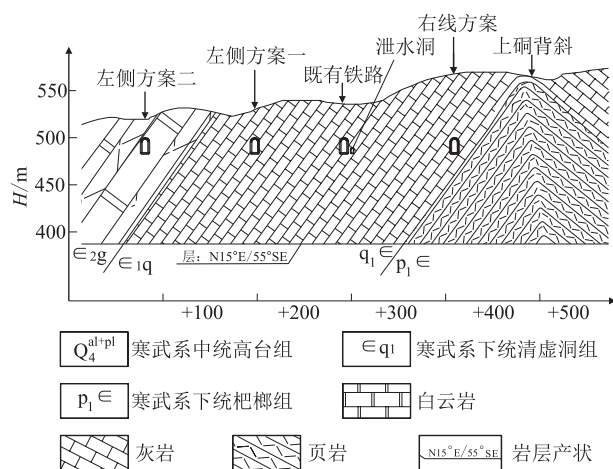


图 1 圈马隧道段代表性横断面示意图

3.1.4 方案比选结论

由方案综合比选结果可知:(1)右线方案行进于岩溶强烈发育的清虚洞组中,且紧靠上碕背斜和上碕断层,地质条件最差;(2)左侧方案一行进于岩溶强烈发育的清虚洞组中,和既有线地质条件类似,施工开挖将会揭示大量岩溶现象;(3)左侧方案二避开了岩溶发育区、断层、背斜核部、可溶岩和非可溶岩的接触带,工程地质条件相对最优。

综合以上比选结果和其他控制条件后,选定左侧方案二为最终推荐方案,该隧道施工中仅揭示 3 处小溶洞,较既有铁路优化较大,节省了投资,保证了安全。

3.2 渝怀增建二线K 502+700桃映车站顺河行进段地质选线

3.2.1 地质概况

测区为中低山河谷地貌,行进在翁达河左岸,地形左高右低,起伏较大。河谷地带上覆软塑状粉质粘土和卵石土,总厚度一般 3~12 m,丘坡地带覆土薄,下伏基岩为砂质板岩。

3.2.2 控制性地质问题

主要地质风险为填方工程易沿着原地地面或土石界面产生工程滑坡;另外,河谷地段表层分布1~4 m厚的松软土。

3.2.3 方案研究

既有车站左侧紧靠山体,增建二线只能在线路右侧设站,线路只能在河谷侧小范围通过,场地非常狭窄。选线期间研究了3组方案,分别为方案一(放坡)、方案一(桩基托梁)和方案二。其中方案一为路基方案,和既有线完全并行,线间距5.3 m;方案二为绕行方案,顺着线路右侧河谷行进,部分站位设在桥上。为选出最优线路方案,按5 m填绘1根地质横断面进行控制,最不利断面如图2所示。

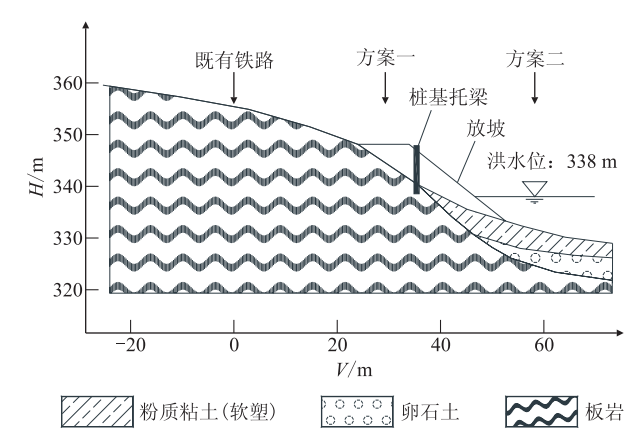


图2 桃映车站最不利工程地质横断面示意图

3.2.4 方案比选结论

由方案比选结果可知:(1)方案一(桩基托梁)利用实体挡墙收坡,有效防止了工程滑坡风险,且规避了河流冲刷作用,地质风险最小;(2)方案二沿着河床行进,桥梁长度较其余方案多120 m,部分地段需处理表层松软土,工程投资最大,地质条件次之;(3)方案一(放坡)在近200 m长度范围内沿着翁达河右岸行进,坡脚存在松软土,斜坡稳定性差,河流冲刷作用强烈,坍岸问题严重,地质条件最差。经过综合比选,推荐方案一(放坡)为最终方案。

3.3 渝怀增建二线K 583 + 700顺层工点地质选线

3.3.1 地质概况

丘陵地貌,下伏地层为白垩系紫红色泥质砂岩,岩层产状为N50°W/20°NE,倾向线路左侧,右侧山体顺层,视倾角为20°。

3.3.2 方案研究

选线期间共研究了3个方案,其中C1K并行既有铁路方案最为顺直,主要在既有铁路左侧以隧道通

过;C2K路堑方案在既有铁路的基础上向左侧偏移约70 m,主要以路堑方式通过;K线方案向在既有铁路的基础上向左侧偏移约70 m,主要以填方通过,局部为挖方。选线过程中按20 m 1根地质横断面进行控制,最不利断面如图3所示。

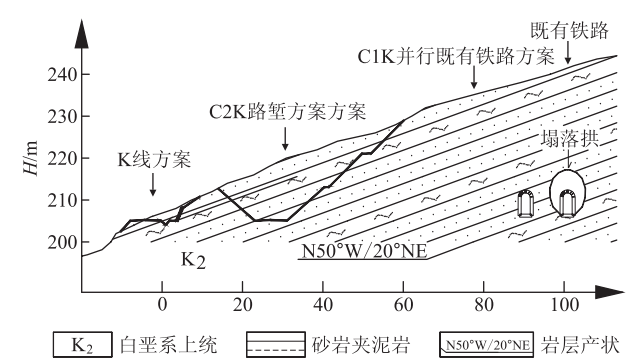


图3 最不利顺层位置工程地质横断面示意图

3.3.3 控制性地质问题

主要工程地质问题为顺层,施工开挖极易引起大面积的工程滑坡,也可能影响既有线安全。

3.3.4 方案比选结论

方案比选结果表明:(1)C1K并行既有铁路方案和既有铁路相距太近,右侧存在顺层偏压,施工可能导致既有线变形开裂,安全风险最大;(2)C2K路堑方案边坡高度达25 m以上,且为软质岩顺层边坡,施工极易导致工程滑坡;(3)K线方案虽绕行远,但避开了顺层边坡,亦保证了二线施工对既有线无影响,且无其它病害问题。最终,经综合比选后,以K线方案作为推荐方案。

4 结论

本文总结了地质横断面选线适用地段和工作方法,并通过具体案例进行说明,得出以下主要结论:

(1)地质横断面选线技术主要应用在地质界面横坡较陡地段,具体包括:构造线与线路平行或小角度相交地段、顺河沿溪和横坡较陡地段、顺层地段、滑坡、岩堆、采空区等不良地质路段和并行既有道路工程地段。

(2)地质横断面选线的基本工作步骤为:在平面上分析选出最不利断面,在精细勘察的基础上填绘地质断面,分析地质条件横向优劣,使线路优选地质条件较好地段通过。

(3)工程实践证明地质横断面选线可使工程设置的合理性、经济性和安全性进一步提高。

参考文献:

- [1] 蒋忠信. 泥石流固体物质储量变化的定量预测[J]. 山地研究, 1994, 12(3): 155-162.
JIANG Zhongxin. Aquantitative Forecast to Reserves Change of Solid Loose Materials in Debris Flow Ravine [J]. Mountain Research, 1994, 12(3): 155-162.
- [2] 钟立勋. 中国重大地质灾害实例分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(3): 1-10.
ZHONG Lixun. Case Study on Significant Geo Hazards in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1999, 10(3): 1-10.
- [3] 刘传正. 南昆铁路八渡滑坡成因机理新认识[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(5): 1-5.
LIU Chuansheng. A New Discussion about Genesis and Failure Mechanism of Badu Landslides in Nanning-Kunming Railway [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 34(5): 1-5.
- [4] 何振宁. 区域工程地质与铁路选线[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
HE Zhenning. Regional Engineering Geology and Railway Route Selection [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004.
- [5] 朱颖, 王国生. 铁路设计理念的回顾和展望[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(1): 1-5.
ZHU Ying, WANG Guosheng. Review and Prospects for Railway Design Concept [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(1): 1-5.
- [6] 李永贵. 铁路选线设计中常见问题分析[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(4): 67-72.
LI Yonggui. Analysis on Common Problems in Railway Route Selection Design [J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(4): 67-72.
- [7] 朱颖. 铁路选线理念的创新与实践[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(6): 1-5.
ZHU Ying. Innovation and Practice on Railway Location Concept [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(6): 1-5.
- [8] 高传东, 崔鹏, 陈晓清. 山区道路选线及其相关的环境问题[J]. 世界科技研究与发展, 2004, 26(1): 59-64.
GAO Chuandong, CUI Peng, CHEN Xiaoqing. Road Route-Selection and Its Correlative Environment Problem in Mountain Areas [J]. World Sci-Tech R & D, 2004, 26(1): 59-64.
- [9] 周宏, 刘钊. 基于时间序列的高速公路短时交通流最优组合预测[J]. 工程与建设, 2018, 32(6): 812-814.
ZHOU Hong, LIU Zhao. Optimal Combination Prediction of Short-Time Traffic Flow in Highways Based on Time Series Approaches [J]. Engineering and Construction, 2018, 32(6): 812-814.
- [10] 李万, 冯芬玲, 蒋琦玮. 改进粒子群算法优化 LSTM 神经网络的铁路客运量预测[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(12): 3274-3280.
LI Wan, FENG Fenling, JIANG Qiwei. Prediction for Railway Passenger Volume Based on Modified PSO Optimized LSTM Neural Network [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15(12): 3274-3280.
- [11] 吕柏行, 郭志光, 赵韦皓, 等. 标准粒子群算法的优化方式综述[J]. 科学技术创新, 2021(28): 33-37.
LV Bailing, GUO Zhiguang, ZHAO Weihao, et al. A Review on Optimization Methods of Standard Particle Swarm Optimization [J]. Scientific and Technological Innovation, 2021(28): 33-37.
- [12] 南敬林. 铁路客运量预测影响因素分析[J]. 综合运输, 2016, 38(2): 35-40.
NAN Jinglin. The Analysis of Influencing Factor about Railway Passenger Forecast [J]. China Transportation Review, 2016, 38(2): 35-40.
- [13] 徐森. 改进的神经网络及其时序组合模型在铁路客运量上的预测[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.
XU Sen. Forecast of Railway Passenger Volume Based on Improved Neural Network and Its Time Series Combination Model [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2020.
- [14] 陶海龙, 李小平, 张胜召, 等. 基于 IPSO-BP 神经网络的铁路客运量预测[J]. 铁道运输与经济, 2011, 33(9): 78-82.
TAO Hailong, LI Xiaoping, ZHANG Shengzhao, et al. Forecast of Railway Passenger Traffic Volume Based on IPSO-BP Neural Network [J]. Railway Transport and Economy, 2011, 33(9): 78-82.
- [15] 温正, 孙华克. MATLAB 智能算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
WEN Zheng, SUN Huake. MATLAB Intelligent Algorithm [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017. [LinkOut]
- [16] 姜永杰, 张书豪, 吴光, 等. 基于灰色系统及 BP 神经网络算法的边坡变形预测精度影响分析[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 13-19.
JIANG Yongjie, ZHANG Shuhao, WU Guang, et al. Influence Analysis of Slope Deformation Prediction Accuracy Based on Grey System and BP Neural Network Algorithm [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 13-19.