

文章编号: 0258-2724(2010)04-0527-06 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.04.007

复杂山区高等级铁路选线工程地质的若干问题

吴光¹, 肖道坦², 蒋良文², 屈科²

(1. 西南交通大学地球科学与地质灾害研究所, 四川 成都 610031; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘要: 为科学地进行复杂山区高等级铁路选线, 提出了高山峡谷区重力地质作用与物质运动、地壳形变与断裂活动振动力学、大高差高位铁路选线工程地质以及深埋隧道山体变形与物质运动等与之相关的问题。基于近年来复杂山区新线建设的实践, 提出了活动断裂区隧道洞口位置选择与隧道洞口结构工程设计动力学、重力地质强烈发育区桥位选择与评价原则以及桥位岸坡稳定性评价等复杂山区高等级铁路选线工程地质若干新的重大课题。

关键词: 复杂山区; 铁路选线; 工程地质

中图分类号: U212; P642 **文献标识码:** A

Problems about Engineering Geology of High-Grade Railway Route Selection in Complicated Mountainous Areas

WU Guang¹, XIAO Daotan², JIANG Liangwen², QU Ke²

(1. Institute of Geoscience and Geodisaster, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to scientifically carry out high-grade railway route selection in complicated mountainous areas, some major engineering geological problems in railway route selection were put forward. These problems are the gravitational process and movement of substance in high-mountain gorge areas, the crustal deformation and fault vibration mechanics, the engineering geological route selection of large elevated railway with a large difference in elevation, and the rock mass deformation and substance movement of deep-seated tunnels and so on. Based on the construction cases of the new railway lines in mountainous areas in China, several new research topics on the engineering geology of high-grade railway in complicated mountainous areas were advanced. They are the theory, principle and method of tunnel location selection and the slope stability evaluation of tunnel portal, and the location selection and slope stability evaluation of bridge sites in alpine-gorge areas.

Key words: complicated mountainous area; railway route selection; engineering geology

铁路工程意义上的复杂山区,是指山体高差大、岩层褶皱错杂、构造活动频繁、风化剥蚀强烈和重力卸荷广泛的山区,尤其是高山区。这是我国西南、西北山区的典型特征。常规的平原铁路选线技术标准将这类地区定义为不宜修建铁路的地区,在这样地形地貌、地质条件极其不良的复杂山区,要

修建坡降平顺、弯道舒缓、时速 200 km/h 以上的高等级铁路,使工程地质选线的地位得到提升,要求拓展选线工程地质的新思路 and 新技术。

以往在平原、丘陵区,铁路选线遵守平、顺、直及填挖方平衡原理,由于地形地貌、地质条件简单,故可使用。而在地形地貌、地质条件极为复杂的山

区,如果选线一味追求填挖平衡,不顾具体地质条件,往往造成大挖大填,破坏山体的自然平衡,线路质量低劣.复杂山区的铁道线路,为了穿山、越岭、跨河,通过活动断裂区(带),躲避“崩滑流”地质不良区(带),又要满足高等级铁路的技术标准,不得不采用隧道和桥梁作为主体工程,从而“出峒是边坡问题,进峒是水气问题”成为复杂山区铁路工程地质的主要问题.

所谓“出峒是边坡问题”,就是跨江河沟谷桥梁岸坡和隧道进出口斜坡的稳定性问题;所谓“进峒是水气问题”,指的是穿山越岭隧道的涌水突水和涌气突气问题.

对铁路线有持久影响的是出峒的边坡问题.进峒的水气问题主要是施工阶段的问题.

1 铁路选线的工程地质问题

选线工程地质是铁道线路各勘测设计阶段的重要环节,复杂山区更为重要.目前选线工程地质在可研、初测和定测三阶段,从解决线路若干大方案问题入手,进而决定线路的基本走向,最后落实到局部方案平、剖面合理位置的选择.

就各阶段选线工程地质而言,必须研究的线路方案的工程地质条件主要有八大要素:①地形地貌;②岩土组合;③构造层及新老构造应力;④动力工程地质;⑤水文及水文地质;⑥气象及地温;⑦工程活动方式及规模;⑧天然建筑材料.这八大要素在地壳形变和地质历史演化到现阶段的表现形式,构成了空间上各不相同的组合特征,即为复杂山区的工程地质条件.

通过工程地质综合勘察手段,将其反映在平、剖面图上,并按选线不同阶段的技术标准要求及制图编图原理,编制成工程地质条件图和分区图.UNESCO/IAEG(联合国科教文组织/国际工程地质学会)在持续不断地研究工程地质图的一般编制方法和原理^[1-2],当今CAD技术十分成熟,因此在工程地质制图方法上进步较大,但在编制原理上我国仍延续基于原苏联模式的工程地质图编制原理至今,有些环节还有些削弱,实际生产中重视工程地质条件图,往往忽视工程地质分区图.实际上,工程地质条件图是工程地质分区图的细部描述和说明.

铁路工程地质分区图在不同勘察阶段侧重不同.在可研阶段,分区图应重点反映断裂构造与地貌,以便初测阶段拟定比选线路方案;在初测阶段,

分区图则重点反映岩土组合建造及区域构造,方可依次选定优选线路方案;在定测阶段,则重点反映岩土组合及其结构面的某些几何、物理力学特征参数,采用统计分析编制岩体结构工程地质分区图.上述三阶段分区图的作用在于,它能反映出建筑场地的有利和不利条件组合特征和分布规律,配合地质纵、横断面图以及分区说明文字、图表等资料,即可作为选线的工程地质依据.

复杂山区选线工程地质不同于平原、丘陵区的显著特征是:高山峡谷陡峻斜坡,大高差高位选线,活动断裂相伴,地下水动力学复杂.在如此复杂的地质条件下,选线工程地质的重要对象有以下几方面^[3-4].

1.1 高山峡谷区的重力动力作用和物质运动

高山峡谷区重力地质十分发育,陡峻斜坡风化剥蚀十分强烈,山体坡面物质往往处于极限平衡状态.以往主要采用静力学理论和原理来分析、处理斜坡和河谷的物质运动问题,效果常常不理想.实际情况是,在地质历史进程中,不同时期的重力地质和风化剥蚀是一个动力学过程,这在复杂山区表现十分明显.所以,其物质运动形式表现为崩塌、滑坡、泥石流、高边坡以及浅埋隧道失稳.

1.2 地壳形变与断裂活动的振动动力学问题

复杂山区往往地壳构造运动活跃,断裂活动频繁,地震多发.断裂活动性曾经成为铁路选线工程地质不宜的地区.“5·12”汶川地震有上帝给我们活生生地演义了一个实体的模型试验,通过对震中地区在建工程的调查表明,地壳形变和断裂活动对铁路工程建筑物的破坏是有选择性的.以隧道方式通过活动断层作为可实施的工程类型成为共识,但桥梁墩台基础所在的岸坡和隧道进、出口所在的斜坡的振动动力学问题成为选线工程地质的新课题.

这里提出重力动力学和断裂活动振动动力学问题,是基于中国100 a铁路建设实践中,工程技术人员和铁路工程地质研究人员越来越将工程岩土体作为“有生命载体”的认识的提高.

1.3 大高差高位铁路的选线工程地质

中国地形的基本特点,是由东向西三大台阶跨越式爬高,在大台阶内,还发育多级平面形成的次一级台阶.高山大川形成“V”型和“U”型河谷,盆地和高原面之间高差很大.平原、丘陵区的“低位选线”原则^[5]在复杂山区行不通.大量山区铁路选线的工程地质经验认为,“高位选线”原则在复杂

山区成效显著,也使复杂山区高等级铁路的修建成为可能。

1.4 深埋隧道的山体变形和物质运动

“高位选线”原则的采用,以及为了穿越活动断层区,经常采用深埋长隧道。目前,中国铁路已修建的单隧道长度超过30 km,修建长20 km以内的隧道已不再是难事。这表明了中国铁路隧道修建技术的巨大进步。但是,在山体内开挖深埋长隧道,岩体松动卸荷和地下水动力扰动造成深埋长隧道特有的山体变形和物质运动形式,主要有涌泥突泥、涌水突水、涌气突气、硬岩层岩爆和高地温热害。这些问题仍然是选线工程地质的疑难杂症。

1.5 铁路工程和复杂山区地质环境的相互作用

铁路作为一种线性工程,一旦修建后,与其所通过的地区形成了一个相互作用的整体。我们现在往往只注重复杂山区上述地质背景对铁路工程的影响,忽视了铁路工程修建对所在区域地质环境的工程作用。长大隧道作为一个地下线性集水建筑物,对建筑物影响区的岩土体性状、地下水动力状

态和径流特征有影响。目前,隧道施工堵水工艺还不成熟,采用排水工艺开挖隧道,改变了地下甚至地表水环境状态,表现形式为农田干涸,井泉消失,水土流失。这些将是选线工程地质的前沿课题。

2 复杂山区选线工程地质的几个案例

下面试图用近几年若干新线建设中几个看似互不相联系的案例,说明复杂山区高等级铁路修建中选线工程地质的重大课题。

2.1 隧道通过活动断裂区

位于“5·12”汶川地震震中的龙溪单线双峒公路隧道^[6],左峒长3 658 m,右峒长3 691 m,单向坡度为2%,进口为岷江左岸都江堰龙溪镇,出口为汶川映秀镇,穿越茶坪山以南地段。地震发生前,隧道已经贯通,并已完成二衬衬砌。隧道峒身穿过龙门山活动断层,汶川地震发震断裂在隧道中为F8。震后施工单位绘制了隧道峒身震害展示图,其中进口、出口、F8断层段和峒身4个典型断面图如图1所示。

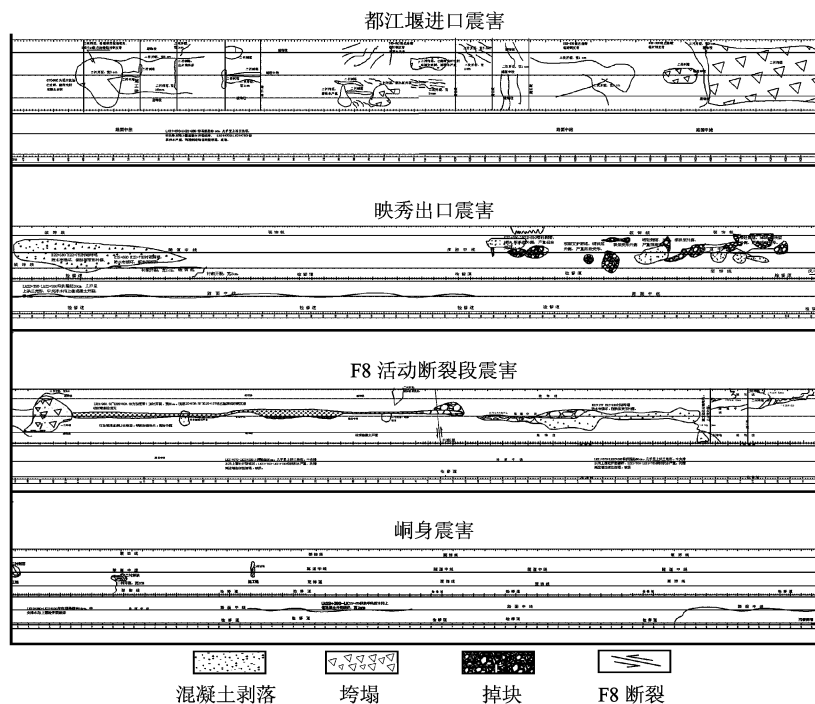


图1 龙溪隧道震害示意

Fig. 1 Schematic diagram of earthquake-induced disasters on Longxi tunnel

龙溪隧道峒身震害展示图(图1)表明:

(1) 隧道进口端、出口端和F8活动断层段峒身二衬衬砌破坏严重,隧道峒身二衬衬砌基本完好。

(2) 地震对岩体的破坏是由于弹性波在临空

面释放。隧道截面尺寸与通过的岩体尺寸相比很小,因此不足以满足弹性波释放的空间效应。在岩体深处,活动断裂的位移量小于地表。龙溪隧道内F8断层的地震位移量小于10 cm,可能有断裂活动振动动力学效应的临空面狭小,释放效应不大的缘

故. 由于弹性波在半无限临空面释放及斜坡效应, 峒口斜坡坡体产生了厚约 60 m 与坡面平行的振动松动层, 斜坡破坏严重. 如果通过活动断裂的隧道进、出口选择在缓坡和矮坡位置, 弹性波释放和斜坡效应将大大降低, 即使在汶川地震那样强烈的地震振动动力学效应下, 隧道工程形式也能够满足“低破坏, 及时抢通恢复”的抗灾救灾要求.

因此, 以隧道方式通过活动断裂带是目前可行的工程形式. 然而, 在活动断裂区, 隧道峒口位置的选择和隧道峒口结构设计的动力学问题成为新的

研究课题.

2.2 复杂山区重力地质强烈区段的桥位问题

丽香线(丽江—香格里拉)金沙江特大桥初测桥位, 位于虎跳峡上游的“V”型河谷地段^[7], 如图 2(a) 和 2(b) 所示.

金沙江河谷自加里东以来经历了多次构造活动和冰川活动, 河谷两岸坡重力地质现象极发育. 桥位右岸岸坡表现为台阶状“先构造, 后重力下错”, 如图 2(c) 所示; 左岸岸坡重力卸荷现象深度约 20 m, 如图 2(d) 所示.

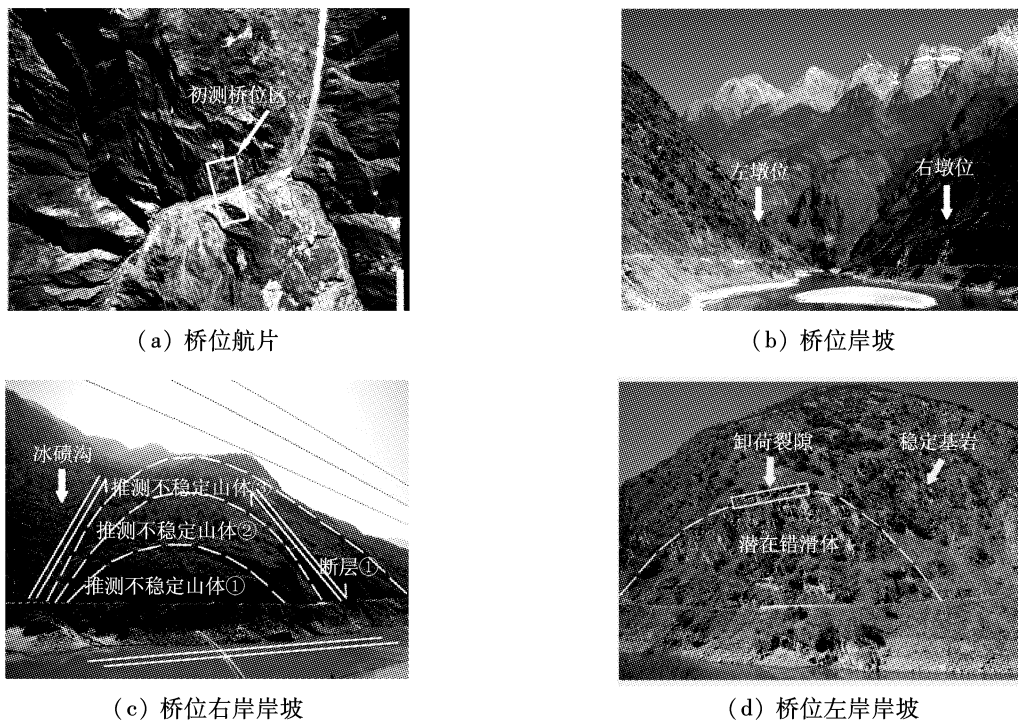


图2 丽香线金沙江特大桥初测桥位示意

Fig.2 Schematic diagram of the preliminary surveying site of Jinshajiang River bridge on Lijiang-Shangrila railway

桥位自然岸坡处于稳定状态, 经过对岸坡岩体结构的详细测量计算, 综合岩体结构、岩土组合和施加桥梁荷载等因素的稳定性评价, 工程边坡不稳定, 因此放弃了此桥位方案. 此桥位方案的变更对全局线路选线影响较大. 平原、丘陵地区选线工程地质的一般原则是, 避开重力地质发育区段, 由于复杂山区“V”型河谷区的重力地质现象不但非常发育, 而且表现为成群联片展布的特征, 因此, 这一原则在复杂山区选线工程地质中难以实现. 由这一工程案例引发了一个新的思考: 复杂山区重力地质极发育区的桥位选择与评价原则如何确定.

2.3 复杂山区滑坡部位的桥位问题

成兰线(成都—兰州)黑河特大桥初测桥位在黑河“V”型河谷地段, 初测初期桥位右岸选择在一

个古滑坡坡体上, 见图 3^[8].

与金沙江特大桥岸坡一样, 滑坡也是一种重力地质现象, 不同的是, 黑河特大桥桥位坐落在多诺水库库区岸坡坡体上. 该桥位岸坡稳定性评价除了要考虑岩体结构、岩土组合和施加桥梁荷载等因素外, 还要考虑水库蓄水后水动力的作用. 虽然自然岸坡是稳定的, 但工程地质勘察遵循现有选线工程地质的避开原则, 同样放弃了这一桥位方案.

由于桥位位于龙门山构造和西秦岭构造区的复合部位, 此次方案变更同样对全局线路选线影响很大.

如果各方面的因素决定线路选线不能变更, 对于这样稳定的“V”型河谷短程古滑坡体, 在滑体岩体相对较完整的情况下, 有无可能设置特大桥桥

位,将是桥位岸坡稳定性评价理论和实践值得研究的新课题。



(a) 桥位岸坡



(b) 桥位右岸岸坡

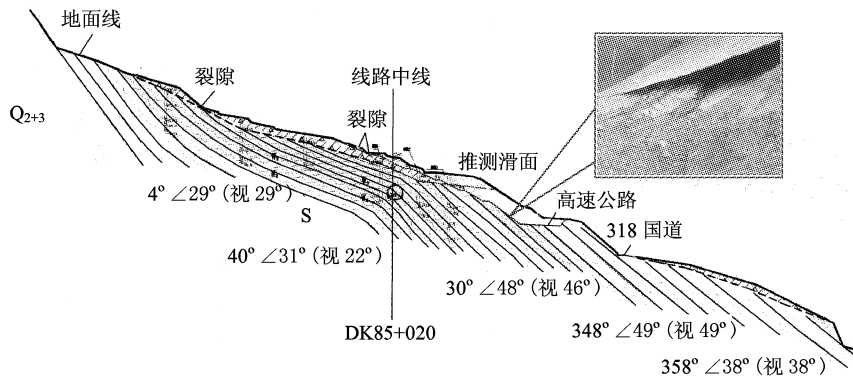
图 3 成兰线黑河特大桥初测桥位示意

Fig. 3 Schematic diagram of the preliminary surveying site of Heihe bridge on Chengdu-Lanzhou railway

2.4 复杂山区软岩傍山浅埋隧道

宜万线(宜昌—万州)石院子隧道全长 596 m, 隧道南侧依山,北侧下临正在施工的沪蓉高速公路^[9]. 斜坡自然坡度为 5°~30°,自坡外向坡内,隧

道围岩为志留纪砂页岩和奥陶纪厚层白云质灰岩. 岩层顺层,倾角 45°~65°,隧道最大埋深 45 m,最小埋深 3 m,是典型的浅埋、顺层、偏压软岩隧道. 隧道剖面见图 4.



注: 40°∠31° (视 22°)代表岩层倾向 40°,真倾角 31°,视倾角 22°

图 4 宜万线石院子隧道横剖面示意

Fig. 4 Cross section of Shiyuanzi tunnel on Yichang-Wanzhou railway

设计时已经考虑到浅埋、顺层、偏压和软岩等特殊工程地质条件,采取了强支护等措施,但在 2007~2008 年施工期间共发生了 4 次塌方,施工结束后(2009 年)又发生了二次衬砌开裂现象,病害整治费用远高于隧道修建造价.

该隧道采用 60 cm 厚的二次衬砌圆形峒室结构设计,静力学理论已经无法解释衬砌开裂的机理.实际上,这是一个典型的蠕变动力学问题,在复杂山区选线工程地质中常见.

在后壁为厚层硬岩、前缘为软岩共生的顺层斜坡地段,隧道设置在软岩层中时,软岩层在地质历史过程中发生蠕变动力运动现象,产生长期蠕变动力作用的偏压,这类现象目前还没有恰当的理论能进行解释和评价.

因此,选线的工程地质原则为:隧道不宜设置

在软岩岩层中,如果一定要通过软岩,应内移下埋,使得隧道衬砌结构受力均匀.

2.5 复杂山区跨沟隧道进出口问题

成兰铁路线通过太平沟时,采用了桥梁跨沟两侧连接隧道的工程方式通过,见图 5. 太平沟斜坡沟貌见图 6.

太平沟出口为岷江,岷江是一条活动断裂,太平沟是一条断层沟,走向与 20 世纪 30 年代岷江叠溪地震发震断裂平行.

沟左侧段隧道出口斜坡为断层壁,该隧道从龙潭沟进入平行岷江断裂 10 多 km,出峒与桥相接. 钻探发现,沟内断层泥深达几十米,断层承压水涌出.

出于抗震救灾考虑,此类沟谷宜采用矮墩短跨简单结构桥梁形式. 因此,选线工程地质应当考虑

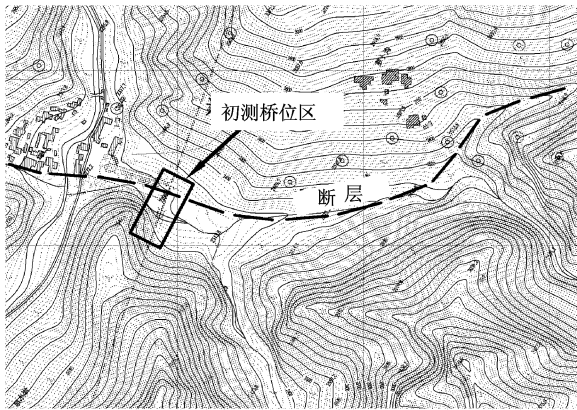


图5 太平沟线路平面示意
Fig.5 Plane view of Taipinggou line



图6 太平沟斜坡沟貌
Fig.6 Topographic feature of Taipinggou slope
线路标高与沟底标高之差不宜过大,隧道进、出口应选择在矮坡、缓坡斜坡段为宜。

3 结论

本文中结合近几年复杂山区铁路新线勘察的实践,针对复杂山区修建高等级铁路的选线工程地质研究了以下新问题:

(1) 复杂山区,指的是山体高差大、岩层褶皱错杂、构造活动频繁、风化剥蚀强烈和重力卸荷广泛的高山区。

(2) 复杂山区的主要工程地质是“出峒是边坡问题,进峒是水气问题”。所谓“出峒是边坡问题”,就是跨江河沟谷桥梁岸坡和隧道进、出口斜坡的稳定性问题;所谓“进峒是水气问题”,指的是穿山越岭隧道的涌水突水和涌气突气问题。对铁路线有持久影响的是出峒的边坡问题。进峒的水气问题主要是施工阶段的问题。

(3) 就各阶段选线工程地质而言,必须研究的线路方案的工程地质条件主要有八大要素:①地形地貌;②岩土组合;③构造层及新老构造应力;

④动力工程地质;⑤水文及水文地质;⑥气象及地温;⑦工程活动方式及规模;⑧天然建筑材料。这八大要素在地壳变形和地质历史演化到现阶段的表现形式,构成了空间上各不相同的组合特征,即为复杂山区的工程地质条件。

(4) 当前复杂山区选线工程地质突出的问题是:①铁路工程和复杂山区地质环境的相互作用;②深埋隧道的山体变形和物质运动;③大高差高位铁路的选线工程地质;④地壳变形与断裂活动的振动动力学问题;⑤高山峡谷区的重力动力作用和物质运动。

(5) “5·12”汶川大地震震害表明,以隧道方式通过活动断裂带是可行的工程形式。

本文中以在建的复杂山区的几个工程为案例,提出了选线工程地质的新课题,平原、丘陵地区选线的工程地质原则不能完全适应复杂山区的情况,目前大量复杂山区铁路工程的修建,使研究和制定复杂山区选线工程地质的原则迫在眉睫。

参考文献:

- [1] 晏同珍. 水文工程地质与环境保护[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1994: 202-208.
- [2] UNESCO/IAEG. Engineering geological maps: A guide to their preparation[M]. Paris: The UNESO Press, 1976: 79-81.
- [3] 吴光. 有关地质灾害工程地质研究的讨论[J]. 水文地质工程地质,1989(4): 55-56.
- [4] 吴光,蒋爵光,张剑标. 宝成铁路岩石边坡工程与地质环境相互作用研究[J]. 铁道学报,1999,21(增刊): 65-69.
- [5] 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: 68-95.
- [6] 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院. 5·12大地震后恢复重建施工图设计文件[R]. 成都:四川省交通厅公路规划勘察设计研究院,2008.
- [7] 中铁二院工程集团有限责任公司. 丽香线金沙江特大桥工程地质条件勘察报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2009.
- [8] 中铁二院工程集团有限责任公司. 成兰铁路线工程地质勘察报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2009.
- [9] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 宜万线石院子隧道工程地质条件分析评价[R]. 武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2009.