

文章编号 1001-8166(2004)增-0223-05

内昆铁路沿河谷地段主要工程地质问题与 线路方案的地质比选研究

苟定才², 屈科^{1,2}, 黄润秋¹, 蒋良文²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059;
2. 铁道第二勘察设计院地勘分院, 四川 成都 610031)

摘要 内昆铁路为国家一级单线铁路,北起成渝铁路的内江站、南至昆明,其中云南水富至贵州梅花山段为新建段,全长 357.643 km。新建河谷段不良地质极其发育,主要分布于水富至大关段,影响和控制着线路方案选择的主要工程地质问题有滑坡、岩堆、危岩落石、泥石流、“顺层”等。内昆线在勘察设计中,对河谷(大型)不良地质体及集中发育分布地段线路方案进行了由浅入深、由宏观至局部的方案研究和比选,采取了“裁弯取直”、“内移作隧”、“外移设桥”等不同工程类型的方案比选,方案多采取绕避。对一些难以绕避的,采取对通过该处具体线位的比选,选择有利于稳定的方案,并采取桩、锚索、挡墙等工程防治措施,比选累计长度逾 50 km,在线路方案选择中充分考虑地质因素,仅因地质问题提出的改线地段达 20 余处,充分体现了地质选线的重要性。内昆线施工开挖揭示及结合竣工工程现状,表明河谷地段线路方案的工程地质比选是合理的,工程措施是有效和可行的。

关键词 河谷地段;不良地质;地质选线;方案比选;内昆铁路
中图分类号 P642.2 **文献标识码** A

0 引言

内昆铁路为国家一级单线铁路。北起四川成渝铁路的内江站,经宜宾、昭通、六盘水至南昆明,其中云南水富至贵州梅花山段为新建段,全长 357.643 km。

新建段线路自水富起溯横江而上,至岔河后沿洛泽河而行至大关站,大关站后线路逐渐脱离河谷进入山区腹地。河谷段即指水富至大关段,该段线路长 137.60 km,限坡 6%,最小半径 450 m,到发线长度 850 m,电力牵引,年输送能力远期上行 1 760 万 t,下行 835 万 t,该段共设车站 13 个,土石方 499.32 万 m³,挡护圻工 82.34 万方,桥梁 89 座 18 943 延米,隧道 42 座 67 977 延米,桥隧合计 86 920 延米,占线路长度的 63.17%,主要重点工程

有青龙背隧道(4 104 m)、黄连坡隧道(5 306 m)、盐津 1 隧道、普渡河隧道、沙沙坡横江 7 号三线桥、滩头滑坡等。

1 地质环境概况

铁路线自四川盆地边缘、溯横江及其支流洛泽河行进,至大关后,逐渐脱离河谷紧坡而上,爬升至云贵高原。地势南高北低,地形陡峻,起伏较大,其中大关以北属中低山河谷地貌,线路海拔高程由水富的 300 m 爬升到大关的 700 m,大关以后,线路展转于四川盆地至云南高原的过渡带乌蒙山区,线路至闸上登上高原面,海拔高程 2 100 m。

水富至滩头线路长 44.1 km,属低山丘陵河谷区,河流顺直、较平缓,多呈“U”字型。河谷岸坡较陡,部分山包呈混圆状,多见基岩裸露,并有零星的

收稿日期 2004-04-10

作者简介:苟定才(1963-)男,博士生,高级工程师,主要从事工程地质及岩土工程研究。

级阶地分布 海拔 300 ~800 m 相对高差 50 ~200 m 自然横坡 20 ~30°。一般阶地、缓坡均辟为旱地、水田。

滩头至大关线路长 93.1 km,位于侵蚀中低山峡谷区 河床呈“V”字型,岸坡陡峻,河床最窄处逾 20 m 断续有级阶地分布,海拔高程 600 ~1 500 m 相对高差 100 ~500 m 自然坡度 25 ~50°,多为荒山,局部缓坡段已辟为旱地。

大关以南 属强侵蚀中山峡谷区 线路已逐渐脱离河谷。本段山高谷深 地形起伏大,山脉走向与区域构造线近于一致,局部发育岩溶地貌。海拔高程 650 ~2 500 m 相对高差约 500 ~1 000 m 自然横坡 30 ~80°。基岩大多裸露,悬崖、峭壁连绵不断,部分缓坡段已辟为旱地。

河谷地段地层从志留系至第四系均有出露,其中水富至普渡河,主要分布侏罗系、白垩系的红色砂泥岩地层,普渡河以后主要为志留系至三叠系的碳酸岩盐、玄武岩、砂页岩夹煤层。第四系分布零星,主要为重力堆积的崩坡积、坡残积物,河流沉积物少见。

大地构造上,河谷地带分属扬子准地台两个次级构造单元,即四川台拗和上扬子—滇东—黔西台褶带。

四川台拗 水富至普渡河属于此区,由一系列走向 N55°~80°E 的宽缓褶曲组成。断裂不发育。线路与构造线大角度斜交,局部地段为小角度斜交或顺层。

上扬子—滇东—黔西台褶带:普渡河以南大关站属此区。以一系列北东或近东西向的褶皱为主,褶皱不对称,一般北翼陡而南翼缓。多数褶皱与线路大角度相交,对线路影响不大,但部分褶皱与线路平行或小角度斜交,线路有“顺层”威胁。断层不发育,多与线路大角度相交,一般规模不大,但个别断层影响带宽度可达百米,对线路有一定影响。

天星场到昭通构造格局复杂,褶皱、断层发育,已属线路的越岭地段。

沿线地震烈度大部分为Ⅴ度,其中大关附近地震活动强烈,历史上曾发生 7.1 级地震,受其影响在豆沙关至岔河一带属Ⅴ度。

2 沿河谷地段主要工程地质问题及选线处理原则

内昆线沿河不良地质集中,且规模大、数量多,尤以重力地质作用引起的不良地质现象最为突出。影响和控制着线路方案选择的主要工程地质问题有

滑坡、岩堆、危岩落石、泥石流、“顺层”等。

2.1 滑坡

沿河谷分布大小滑坡 40 余处,分为堆积体滑坡和基岩滑坡两大类,厚度一般 6 ~60 m,多发生于砂页岩河谷段,受构造影响强烈的玄武岩河谷段滑坡也较集中,且规模较大,灰岩地区滑坡数量较少。堆积层滑坡规模大者,如两碗滑坡、水富车站滑坡等;基岩滑坡,以顺层滑坡居多,大者如二坪子滑坡、滩头滑坡等,此外断层附近滑坡常集中分布,如盘河两岸,在 10 km 落围内发育有大小滑坡 17 个,滑坡体积从 80 ×10⁴ m³ 至 600 ×10⁴ m³ 不等,其中头寨滑坡于 1991 年 9 月发生,体积达 1 800 ×10⁴ m³,造成掩埋一个村庄,伤亡 216 人的巨大损失。

沿线滑坡除少数处于蠕变发展阶段,其余多已稳定,对许多大型活动性滑坡通过方案比选,多已绕避,但由于地形、线路条件和经济要求等方面的原因,仍有部分滑坡线路难避开。对一些难以绕避的,采取对通过该处具体线位的比选,选择的前提是有利于工点稳定的工程方案,并采取合理的工程防治措施,例如滩头滑坡、盐津县城滑坡、盐津南滑坡等。

(1) 滩头滑坡。滩头滑坡位于横江右岸,该处为侏罗系砂页岩地层,岩层软硬相间,倾向左岸。滑坡呈圈椅状地貌,主轴长 620 m,宽 300 ~500 m,厚 10 ~60 m,滑体约 1 200 万 m³,由块石土和滑动岩块组成,滑动带为炭质页岩,滑床为厚层砂岩,滑动面倾角 15 ~20°,属砂岩沿炭质页岩滑动的顺层滑坡。前缘已伸入现代河床下 20 m。滩头乡即位于古滑坡上,建筑物密集,目前无变形和开裂现象,表明滑坡处于稳定状态。为提高古滑坡稳定程度和有利于挡护工程,经结合轴向断面分析,决定将线位较原内昆线已成路基位置再向外移,改挖为填,从其更前缘以填方通过。

(2) 盐津县城滑坡。该段线路通过盐津县城,县城地形狭窄,座落于一古滑坡上,建筑物密集,原方案以盐津 1 号隧道从滑坡中上部通过,隧道位于滑动面以下仅 20 m,且围岩类别仅Ⅱ级,埋深约 40 m。为避免隧道开挖塌顶引起地面建筑物损坏,将线路内移加长隧道,从滑坡后缘通过,保证了隧道和地面建筑物的安全。

(3) 盐津南滑坡。该滑坡双沟同源,具典型的圈椅状地貌,主轴长 500 m,宽 400 m,厚 30 ~75 m,体积约 1 000 万 m³,为巨型顺层古滑坡,滑坡舌部已伸入横江河床,前缘隆起呈小丘,后缘形成洼地。滑体物质为块石土和巨大的滑动岩块,滑动带为一层

软塑状砂粘土夹角砾,滑动面上陡下缓,倾角 $10 \sim 20^\circ$,前缘反翘,具明显的抗滑坡段,地表无变形现象,该处原曾设站和内移增大挖方以解决前后相邻段填方借土之用的考虑,经分析,设站或内移均将在抗滑段减载,于滑坡稳定不利,故决定调整站位,以单线路基在原老内昆线已动工的线位上通过。

2.2 岩堆

沿河谷分布大小岩堆 90 余处,主要分布于水富至天星场的中低山河谷地段,约 60 余处,其余分布于天星场~昭通越岭地段中、低山峡谷区。其中路基通过岩堆 58 处(次),隧道通过岩堆 28(次),桥通过岩堆 28 处(次)。岩堆数量多、规模大,结构复杂,形成具多期性。一般岩堆轴向长度 $50 \sim 1\,000$ m,宽 $100 \sim 2\,000$ m,厚 $50 \sim 60$ m,岩堆体积 $10 \times 10^4 \sim 4\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,有的巨型堆积体挤压河床,甚至使古河床改道。

岩堆的形成是由于本地区地壳长期持续大面积抬升,河流强烈下切,自然山坡或河谷岸坡形成高陡临空面,在一定构造、岩性条件下,受各种地质营力作用而使岩体失稳,其产物堆积于缓坡或坡脚,经过漫长的地质时期形成了现在的各种形态的岩堆。

由于大型岩堆的形成时期久远,其组成物质经过无数次的搬移,目前多已处于稳定阶段,但岩堆体后缘基床坡度较陡,组成物质密实程度差异较大,挖方边坡稳定性较差,容易产生滑坡,均采取了不同形式的挡护措施,如大关站岩堆。

大关站岩堆:大关站地处中山峡谷区,地形陡峻,基岩受构造影响严重,经长期重力地质作用,形成了大型岩堆,其轴向长 $300 \sim 460$ m,宽 $1\,040$ m,厚 $5 \sim 30$ m,以块石土为主,地面横坡约 $10 \sim 25^\circ$,基床纵坡 $20 \sim 30^\circ$,中下部 $5 \sim 10^\circ$,岩堆中无软弱夹层,地下水不发育,岩堆处于稳定状态,后缘山体稳定,亦无危岩落石。经多方案比选,选定线路以路基形式在基床较缓的岩堆中下部通过,对路基边坡工程采取桩、锚索、挡墙等综合治理措施以保证线路安全。

2.3 危岩落石

沿河谷危岩落石分布广泛,共计 46 段,累计长度逾 $9\,000$ m,主要集中于水富—天星场河谷段,其成因为巨厚层砂岩或灰岩、白云岩形成陡崖,岩体受构造节理、卸荷裂隙、风化裂隙切割失稳而发生崩落,或为砂页岩互层地段,由于差异风化常在页岩中形成“凹腔”,当“凹腔”达到一定深度时,砂岩块体就可能性顺某条节理面坠落,如主要分布于水富—

普渡河段的侏罗系地层,可分为 $5 \sim 7$ 套沉积韵律,每套沉积韵律中均有一层厚层—巨厚层砂岩,在线路上方相应形成 $5 \sim 7$ 层砂岩危岩,对线路有较大影响。此外,早期上方落石停积于斜坡坡面,雨季一旦地表水将落石前缘土体冲失,则可导致该落石再搬移至更低点,形成新的落石。对于危岩落石分布集中且较严重地段,线路采取了绕避措施。

2.4 泥石流

沿河谷泥石流沟 11 条,主要分布于横江、洛泽河两岸,一般补给区不远,规模不大,线路均以大跨桥通过,避开了泥石流的影响。

2.5 “顺层”

河谷沿线“顺层”地段,集中分布于小儿坪至沙沙坡,曾家坪子至彝良,共计 36 段,长约 20.57 km。岩层倾向线路夹角 $0 \sim 40^\circ$,岩性为砂页岩互层或灰岩、白云质灰岩夹泥岩。“顺层”段岸坡往往形成与岩层倾角相同的单面坡。“顺层”地段,线路已跨河或已改作桥、隧绕避,路基通过的“顺层”地段,均已采取较强的挡护措施。

3 典型地段河谷线路方案的工程地质比选

内昆线在可行性研究、初步设计、技术设计中,对线路方案进行了由浅入深、由宏观至局部的方案研究和比选,在线路方案选择中充分考虑地质因素,仅因地质问题提出的改线地段达 20 余处,充分体现了地质选线的重要性。

3.1 路基和桥隧方案比选

水富至大关段先后对 19 段线路采取了“裁弯取直”、“内移作隧”、“外移设桥”等不同工程类型的方案比选,比选累计长度逾 50 km,其中以下几段较为典型。

(1) 沿河路基与内移作隧的比选。黄连坡隧道 50 年代末已动工的路基和复工可研方案,线路均沿横江右岸江边走,但沿江延续数千米地形陡峻,陡崖高达 $100 \sim 200$ m,其地层为三叠系须家河组厚层砂岩夹薄层泥岩,并处于黄连坡背斜轴部,构造节理密集,危岩落石极为发育,危岩数量多、块体大,难以根治,且陡崖上一系列自然沟沟水—临雨季,以瀑流形成壮观的瀑布群,携带陡崖危石直冲下方路基。经多方案比选,确定线路靠山内移以 $5\,260$ m 的黄连坡隧道绕避,隧道虽属越岭地段的傍河长隧,投资有所增大,但一劳永逸地避开了所有不良地质的威胁和隐患。

三仙隧道 该段地层为侏罗系沙溪庙组的砂泥岩互层,由于差异风化,形成了三级陡崖,其长度达 4 km,单层厚度 20~30 m,最高一级达 200 m,陡崖上危岩密集,危岩块径 0.5~3.5 m,每年雨季均有落石发生。坡脚分布有 2 处大型岩堆,轴长 180~400 m、宽 70~960 m、厚 5~40 m,有新的物质补给,处于发展阶段。原线路方案以沿河路基通过岩堆和危岩落地段,由于危岩落石难以防治,岩堆处理亦难度较大,故内移线路以 3 600 m 的隧道绕避。

手扒岩隧道 该处为一巨型顺层滑坡,滑坡主轴线长 1 200 m,宽 300~500 m,厚 20~50 m,滑坡由巨大的滑动岩体构成,滑坡前缘伸入古河床,挤压河床使河道突然变窄,滑体上由 9 条裂缝,原线路方案从其前缘以路基通过,通过比选,线路内移以 3 055 m 的隧道方案从滑坡体下面通过,完全绕避了滑坡体。

(2) 裁弯取直,改路为隧。普渡河隧道 线路位于横江右岸,原线路以路基为主,仅在河流转折处以短隧取直,而短隧道出口段,又有危岩落石、岩堆、泥石流等不良地质威胁,对线路安全极为不利。由于横江在此段正好形成由南西折为南东的大转弯,线路具取直条件,经比较,舍弃出口端处于地质不利位置的临江路基,线路内移取直。

(3) 线路外移,改路为桥。开厂沟 2 特大桥:线路走行与横江右岸,地形陡峻,部分陡坡节理发育,有岩堆和危岩落石分布,线路原以路基通过,边坡高度过大,且通过岩堆地段边坡稳定差,由于是车站所在,内移改隧困难,故将线路外移设 580 m 顺河桥,改善了工程条件。

3.2 河谷左、右岸线位的比选

线路沿横江、洛泽河河谷走行地段,先后跨横江 7 次,跨洛泽河 3 次,跨河的原因除部分是地形控制或线路条件所引起外,多属是为绕避地质灾害,其中因地质原因而引起的以下几段较为典型:

(1) 水富至小儿坪横江左右岸方案比选。该段比选长度 25 km,为侏罗系砂页岩地层,岩层倾角 10~20°,左岸“顺层”地形较缓,右岸切层地形较陡,原内昆线走行于左岸,桥涵多已成型。但左岸分布有大屋基滑坡、马山旦滑坡、九龙坝滑坡等巨型滑坡以及危害严重的新滩泥石流,且又处于顺层岸,部分地段路堑挖方存在“顺层”问题;右岸则地质条件明显有利,仅局部存在危岩落石和小型岩堆。经地质比选,决定采用右岸方案。

(2) 红沙坪横江左、右岸比选。该段线路初步设计走行于右岸,但右岸有大型岩堆分布,通过详细

勘探表明,岩堆规模大,稳定性差。其轴向长 400 m,宽 550 m,厚 10~40 m,基床纵坡 27~35°,岩堆物质较松散,且有地下水出露,坡脚受河水冲刷已产生两处塌岸,因此定测中提出了两跨横江取直长隧方案,避开了岩堆对线路影响。

(3) 岔河左、右岸方案比选。该段两岸均有不良地质现象分布,岩堆两岸均有分布,规模均较大,整体稳定性较差。且右岸危岩落石分布长达 1 400 m,分上、中、下三层,分别高出线路 400 m、600 m、800 m,危岩块体直径一般 0.3~2.5 m,个别达 5 m,在雨季频繁产生落石,对线路威胁甚大,又难于整治。两岸均有泥石流沟分布(右岸 5 条,左岸 4 条),属山坡型泥石流,虽规模不大,但纵坡陡,流程短,突发性强,破坏力大,对铁路危害大。针对该段复杂的地质条件,结合车站设置进行了左、右岸比选。右岸方案危岩落石分布地段,线路以路基和桥通过,被动挨打又极难防治。岩堆地段路基主要以挖方通过,边坡松散岩堆物质稳定性差,挡护工程投资颇大。左岸方案则在危岩落石地段之前即提出跨越横江,再以两座隧道绕避冲沟、岩堆等不良地质。两方案比较,虽然左岸方案隧道增长 609 m,工程投资增加 400 多万元,但避开了不良地质的威胁,消除了隐患,因而决定采用左岸方案。

3.3 盘河河谷不良地质集中分布段的方案比选

内昆线历次工作中均以经过盘河的方案作为拉通方案。初测前期亦提出以通过盘河的官寨方案拉通。通过进一步的深入工作对通过盘河的方案提出新的看法。

盘河为沿盘河断层发育的断层谷,右岸峨眉山玄武岩受盘河断层及与其相邻且平行的另一区域性断层影响,岩质破碎,风化厚度极大,风化极严重(严重带厚达 30 m),边坡稳定性差,发育有 6 处滑坡,其中 4 处为巨型滑坡,支沟短而陡峻,沟两侧破碎的玄武岩体为泥石流提供了固体物质,正在活动的泥石流沟有 4 条,其余支沟沟口也分布有泥石流扇,暂处于间歇期。盘河左岸支沟多较长缓,亦常有泥石流发育,而左岸最为严重的问题是发育巨型滑坡,其中一处曾堵断盘河,至今其上游仍属淤积河段。近年发生的一次滑坡碎屑流规模之大尤为罕见,造成摧毁村庄,人员严重伤亡的灾难性后果,据此提出必绕避盘河河这一严重不良地质河段的结论,通过反复研究,多方案比较和优化,选择了彻底避开盘河地段的新寨方案。

4 结 语

内昆铁路为国家一级单线铁路,北起成渝铁路的内江站,南至昆明,其中云南水富至贵州梅花山段为新建段,全长 357.643 km。全线地质、地形复杂,线路从海拔 300 m 爬升至 2 260 m,地貌单元分别为低山丘陵河谷区,强侵蚀中低山峡谷区,高中山峡谷区及中低山溶蚀洼地谷地区。地层岩性从古生界至新生界均有出露,以碎屑岩及碳酸盐岩为主。新建河谷段不良地质极其发育,主要分布于水富至大关段,影响和控制着线路方案选择的主要工程地质问题有滑坡、岩堆、危岩落石、泥石流、“顺层”等;内昆线在勘察设计中,对河谷地段线路方案进行了由浅入深、由宏观至局部的方案研究和比选,采取了“裁弯取直,改路为隧”、“沿河路基与内移作隧”、“线路外移,改路为桥”等不同工程类型的方案比选,对许多(大型)不良地质体和集中河谷地段通过方案比选,多已绕避,但由于地形、线路条件和经济要求等方面的原因,仍有部分不良地质体线路难避开。对一些难以绕避的,采取对通过该处具体线位的比选,选择有利于工点稳定的工程方案,并采取了桩、锚

索、挡墙等工程防治措施,比选累计长度达 50 多公里,在线路方案选择中充分考虑地质因素,仅因地质问题提出的改线地段达 20 余处,充分体现了地质选线的重要性。内昆线施工开挖揭示及结合竣工工程现状,表明河谷地段线路方案的工程地质比选是合理的,工程措施是有效和可行的。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国行业标准·铁路工程地质勘察规范[M]·北京:中国铁道出版社,2001.
- [2] 中华人民共和国行业标准·铁路工程不良地质勘察规范[M]·北京:中国铁道出版社,2001.
- [3] 铁道部第一勘测设计院主编·铁路工程地质手册[M]·北京:中国铁道出版社,1999.
- [4] 张俾元,王士天,王兰生编著·工程地质分析原理[M]·北京:地质出版社,1994.
- [5] 铁道部第二勘测设计院地路处编著·岩溶工程地质[M]·北京:中国铁道出版社,1984.
- [6] 铁道部第一勘测设计院主编·铁路工程设计技术手册·线路[M]·北京:中国铁道出版社,1994.
- [7] 沈斌才,江仕琴编著·山区铁路选线[M]·北京:中国铁道出版社,1987.

A STUDY ON THE MAIN GEOLOGICAL PROBLEMS OF THE NEIJANG-KUNMING RAILWAY ALONG THE RIVER VALLEYS AND THE SELECTING OF ROUTE

GOU Ding-cai^{1,2}, QU Ke^{1,2}, HUANG Run-qiu¹, JIANG Liang-wen²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Geologic Institute of the Second Railways Survey & Design Institute, Chengdu 610031, China)

Abstract: The Neijiang-Kunming railway, single track railway, is our national Class I, which begins at the Neijiang railway station, and the terminal is Kunming railway station. The segment of the railroad between Shuifu in Yunnan province and Meihua Mountain in Guizhou province is a new construction, whose total length is 357.643 km. In the river valley of the new part, there are a lot of poor geological phenomena mostly distributing from Shuifu to Daguan. The engineering geological problems that can influence or control the railway selecting scheme are slopes, taluses, labile rock masses, mudflows and so on. In the survey and design processing, many works had been done to study or to select the route map. The work follows the principles for the poor geologic bodies the study should be from briefness to complexity and from entirety to local. The curve cut-off, tunneling, bridging and other plans had been compared to choose the proper plan, and the selected plans are mostly using the pass-by solution in bad geologic conditions. If the pass-by is impossible in some cases, the selected plan should be advantageous to the project's stabilization and the pile, cable earth-retaining wall and other engineering methods had been used. The length of the comparing and selecting sector of total railway road is about 50 km. In the selecting railway road plan the geological factors had been considered adequately, bringing on the result that the number of changing parts of the railway is about 20 km, that means the geologic factors are important in the project. The project's construction and the complete part show that geological comparing solution is reasonable in the selecting railway road processing of the river valley part, and the engineering methods are usable and effective.

Key words: River valley part; Poor geological condition; Geological selecting plans; Comparing Neijiang-Kunming railway.