

# 枝万线选线中的主要工程地质问题研究

邓谊明

(铁道部第四勘测设计院,湖北武汉 430063)

**摘要:** 枝万铁路工程地质条件极为复杂,控制线路方案的选择,所进行的研究为工程前期工作的技术储备.通过对区域地质背景的分析,在总结工程地质和水文地质特征和规律的基础上,找出控制线路方案的关键工程地质问题,经充分研究,确定选线原则,指导线路方案的综合比选.

**关键词:** 枝万铁路;重大地质问题;地质选线.

中图分类号: TU44 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0419-04

**作者简介:** 邓谊明(1939—),男,教授级高级工程师,1961年毕业于中南矿冶学院,现从事铁路工程地质工作.

枝万线位于鄂西构造侵蚀山区,山体走向与构造线一致,线路与其近垂直.沿线出露地层从古生界—新生界基本齐全,岩性可归为三大类型,即松散岩、碎屑岩、碳酸盐岩.其中,碳酸盐岩占整个线路的70%~80%;线路穿越东西向构造体系、新华夏构造体系以及两体系的交接复合地段,较为复杂.

鄂西地形地质的复杂性决定了枝万线的总体复杂程度,其存在的工程地质问题颇多,经分析,笔者认为控制线路方案选择的重大工程地质问题尤以岩溶、岩溶水、不良地质现象(滑坡)更为突出.

## 1 岩溶及岩溶水对选线的控制作用

鉴于可溶岩分布广,占整个线路的70%~80%,因而岩溶及岩溶水问题成为枝万线普遍的问题.由于控制岩溶、岩溶水发育的地貌、岩性、地质构造、水文地质条件等依地而异,因此造就各部位、各区域岩溶、岩溶水发育的不均匀性和复杂程度的差异.这种不均匀性和差异性的特征,控制线路方案的优化选择.

### 1.1 岩溶发育特征及选线

**1.1.1 区域岩溶发育特征** (1)剥夷面反映了岩溶发育的多层性和垂直分带性特征.本区不同时期形

表1 剥夷面特征

Table 1 Characteristics of razed plane

分级	时期	时代	标高 $h/m$	岩溶发育特征
$S_1$	鄂西期	白垩纪末	1700~2000	峰丛洼地,洼地深小,垂直岩溶十分发育,数量多,规模小
$S_2$	山原期	老第三纪末	1250~1550	峰丛槽谷,垂直或陡斜岩溶发育,数量多,规模较小
$S_3$	山盆地	新第三纪 — 早更新世	950~1200	溶丘洼地,水平管道、洞穴发育;槽谷、洼地、岩溶数量多,规模大
$S_4$	云梦期	早更新世	750~900	溶丘谷地,水平管道强烈发育,暗河规模大,发育大型岩溶湖
$S_5$	三峡期	早更新世末	350~700	谷地和阶地,以水平管道为主,表流和暗河皆发育,暗河规模巨大

成的各级剥夷面的组合,既反映各级剥夷面的分层性和岩溶发育的差异,也反映了岩溶的分层性和垂直分带性(表1).从表1中可看出如下特征:①各剥夷面相应的高程发育各自一套岩溶体系,显示出其分层性,且各具特征;② $S_1$ (一级剥夷面)、 $S_2$ (二级剥夷面)以垂直岩溶为主; $S_4$ (四级剥夷面)、 $S_5$ (五级剥夷面)则以水平岩溶为主,且十分发育,规模大;③ $S_1$ 、 $S_2$ 处在深厚的地下水垂直循环带,为渗漏区即补给区,补给较低级的剥夷面,地表不产流,流失快; $S_3$ 为径流区或排泄区, $S_4$ 、 $S_5$ 为排泄区,强富水,暗河径流量大.因此,各级剥夷面间既独立又有联系;④较高级的剥夷面的槽谷或洼地附近,若被阻水层阻隔时,也常发育暗河、岩溶湖;⑤线路位于清江北

岸,河流皆呈 NNE 向南流入清江.清江为区域相对侵蚀基准面.鉴于地壳长期处于抬升期,且上升速度大于溶蚀速度,故各级剥夷面的河床底岩溶欠发育或不发育.

(2)岩性控制凸显其重要性.各时代地层的碳酸盐岩,由于其化学成分和物理特征的差异决定了它们的岩溶化程度(溶解程度、溶解速度、岩溶发育率等),其强烈顺序为:

$T_{1j} + T_{1d} \rightarrow \epsilon_3 \rightarrow O_1 \rightarrow \epsilon_1 \rightarrow C+P \rightarrow \epsilon_2 \rightarrow O_{2+3}$ .  
其中:  $T_{1j}$ .嘉陵江组;  $T_{1d}$ .大冶组;  $\epsilon_3$ .上寒武统;  $\epsilon_2$ .中寒武统;  $\epsilon_1$ .下寒武统;  $C+P$ .石炭系与二叠系;  $O_1$ .下奥陶统;  $O_{2+3}$ .中、上奥陶统.

强岩溶化区:主要为厚层、质纯、缓倾角的  $T_{1j}$ ,  $T_{1d}$ ,  $\epsilon_3$ ,  $O_1$  地层组成.其特征有:①组成褶皱核部;②占据区内绝大部分槽谷、洼地,且规模最大.面岩溶率  $K > 1\%$ ;③绝大部分暗河的中下游段或全段暗河体系及其配套的地表漏斗、落水洞等,都分布在此区域.中等岩溶化区:以  $C, P, \epsilon_1, \epsilon_2$  为主.质欠纯,多组成山脊、陡崖或陡坡,大洼地少见.面岩溶率  $K \approx 0.1\% \sim 1\%$ .弱岩溶化区:主要为  $O_{2+3}$  地层.含较多的泥质(泥质岩、钙质页岩等),岩溶微弱.常组成相对阻水层.

一般岩溶发育受地貌、岩性、构造、水文条件等诸多因素控制.枝万线大部分属新华夏系构造(NNE 向).构造形迹以褶皱为主,断层一般欠发育.背斜以  $S-P$  地层为主体组成较陡立的线型紧密褶皱,构成山脊,占据  $S_1, S_2$  剥夷面;向斜多由  $T_{1j}$ ,  $T_{1d}$  地层组成宽缓褶皱,占据  $S_3, S_4$  剥夷面.所以,向斜构造是区域控制岩溶发育的主要部位.而向斜构造的展布地段和剥夷面地貌控制的岩溶发育部位,与易岩溶化的  $T_{1j}$ ,  $T_{1d}$  地层分布区域基本一致,且有较强的对应性,因而凸显了易岩溶化地层和剥夷面在选线中的重要作用.

**1.1.2 选线原则** 本区岩溶发育特征反映了地貌控制、岩性控制、构造控制的一致性,并集中凸显了剥夷面、岩性控制的重要性.因此,充分考虑此两项因素,也就基本抓住了地质选线的关键.选线原则主要有以下 4 点.(1)越岭隧道应尽量穿越  $S_1-S_2$  剥夷面区,因为:①  $S_1, S_2$  为补给区,以垂直岩溶为主,隧道埋深较大,洞体在深部循环带,岩溶不发育,地下水微弱.②进出口多在高剥夷面的峰丛、洼地区,或洼地斜坡地带,即使分布  $T_{1j}, T_{1d}$  地层,其面积也不大,岩溶一般规模较小;(2)线路穿越  $S_1, S_2$  山

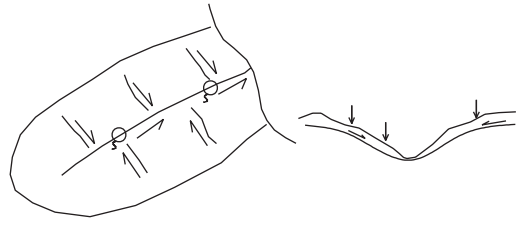


图 1 向斜纵谷排水型

Fig. 1 Drainable type of synclinal vertical valley

岭和  $S_3$  宽阔槽谷组合地貌时(即峰丛槽谷组合)应尽量选在山岭的分水岭和槽谷的收敛端通过.分水岭和槽谷的收敛端岩溶水文地质条件较好;(3)尽量选择有利的地层、构造、岩溶水文部位;(4)河溪峡谷.由于挽近地壳长期处于抬升运动,缺乏宁稳期,同时地壳上升速度(河流下切速度)大于岩溶化速度,因此河床底岩溶微弱或不发育;岸壁岩溶发育强度随河流逆源方向即剥夷面等级增高的部位而减弱.同时越往上游,河床越高,河谷越窄,可大大减少桥高,且深谷特高桥地段可实现一孔跨越.因此,线路应尽量往河流的上游靠,使特高桥争取较好的地质环境和技术条件.

## 1.2 岩溶水动力类型及选线

由于区内各处地貌、构造、岩性组合的差异,形成各自独特的岩溶水补给、径流、排泄等水动力特征,构成不同的水动力类型,并综合反映了岩溶水文地质特性,同样是选线考虑的重要因素.

**1.2.1 宽缓向斜纵谷汇流排水型** 向斜轴部为负地形,两侧为各级剥夷面.地下岩溶水自两侧高地循层面、横张裂隙向向斜轴部汇集,然后再沿轴向层面和纵张裂隙向排泄基准面排泄(图 1).该岩溶水动力类型多组成补给、径流、排泄独特的岩溶地下水、暗河体系,水文地质条件复杂,各部位差异明显,横穿该类型的线路选择应充分考虑这些差异,择优选位.

**1.2.2 背斜山地分流纵向(汇集)排水型** 背斜山地接受降雨补给,岩溶水沿层面倾向和层间裂隙、横张裂隙向背斜两翼分流,于翼部洼地、河谷排出,或被阻水层阻隔汇流,沿走向(纵向)排泄(图 2).很明显两翼为岩溶管道发育、岩溶水富集地段.线路平行翼部并沿走向以隧道通过时,应慎重,最好绕避.如贺家坪—长瓦屋区段(图 2)选线.线路沿长阳背斜(东西向构造)北翼傍坡而行.于贺家坪—长瓦屋之间以堡镇隧道(10 840 m)穿越地形障碍,因为该隧道是全线最长隧道之一,它的合理选线显得更为重要.

长阳背斜为典型的背斜山地分流纵向汇集排

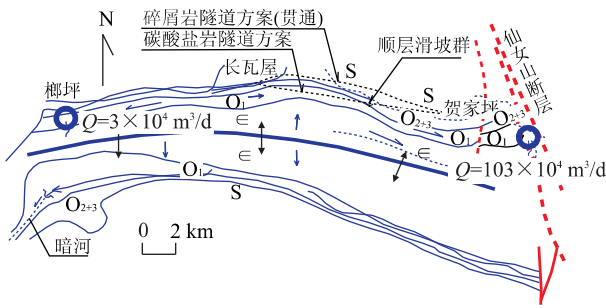


图 2 山地背斜纵向排水型

Fig. 2 Vertical drainable type of serrated anticline

水型. 降雨从背斜核部山地, (高级剥夷面) 补给地下, 往翼部分流, 并受阻于  $O_{2+3}$ , S 阻水层而汇集, 沿  $O_1, O_{2+3}$  岩性界面附近发育的岩溶管道、暗河, 顺走向排泄. 其特征为流程长、流量大而稳定. 暗河径流量可达  $103 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (图 2). 堡镇隧道洞体位于  $O_{2+3}$  阻水层下部岩溶水汇集强富水区 (暗河发育区), 洞轴平行暗河走向, 成为集水廊道, 并遭遇大型暗河, 水文地质条件恶劣; 加之进出口线路处在泥灰岩 ( $O_{2+3}$ ) 的顺层地段, 顺层滑坡体密布, 工程地质条件差, 且产生偏压. 建议予以放弃, 并将线路绕避至溪沟对侧志留系碎屑岩地层中通过, 隧道和线路工程地质条件得到明显的改善, 作为贯通方案.

**1. 2. 3 宽缓背斜分流排水型** 以利川小青垭背斜为例 (图 3). 该背斜由  $T_{1d}, T_{1j}, T_{2b}$  组成; 非可溶岩  $T_{2b}$  包围背斜. 背斜轴向  $N50^\circ E$ , 向西南倾伏, 两翼倾角  $5^\circ \sim 20^\circ$ . 翼部洼地、谷地第四系覆盖较厚. 背斜核部为岩溶水补给区 (渗漏区), 岩溶水向两翼分流, 由于两翼洼地和核部山地间的高差不同, 南翼水力梯度大于北翼, 使南翼横向径流向源袭夺结果, 位于轴部地下水分水岭解体, 水动力边界向北翼推移至  $T_{2b}$ , 横向径流贯通两翼, 形成横向岩溶管道和大型暗河, 截流、汇集纵向 (轴向) 径流, 统一向清江排泄 (图 3).

清江绕两翼和倾覆端环流, 为该区岩溶地下水的排泄基面. 清江南北两岸地质结构不同, 造成南北两岸的岩溶水文地质差异: 北岸大片分布强岩溶化地层 ( $T_{1d}, T_{1j}$ ), 南岸大片分布非岩溶化地层 ( $T_{2b}$ ). 因此强岩溶发育区和大型暗河大泉等都分布在北岸, 南岸则微弱.

根据这些特征, 工程地质选线原则为: (1) 线路尽可能选在岩溶和岩溶水微弱的南岸, 且尽可能在非可溶岩 ( $T_{2b}$ ) 区; (2) 必须经过清江北岸时, 应尽可能远避暗河. 因为暗河谷地第四系覆盖层较厚, 暗

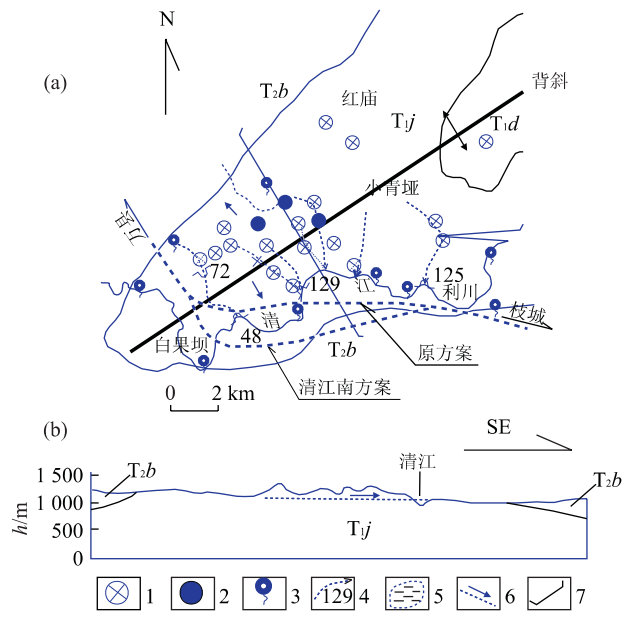


图 3 宽缓背斜排水型

Fig. 3 Drainable type of anticline

1. 干落水洞、漏斗、溶井; 2. 充水落水洞、溶洞; 3. 泉及流量 (L/s);
4. 暗河及流量 (L/s); 5. 岩溶湖; 6. 地下水水位及流向 (见剖面图 3b); 7. 剖面位置

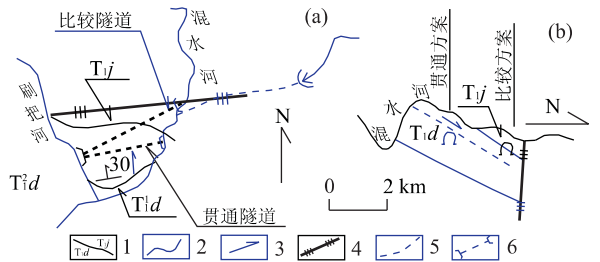


图 4 单斜山排水型平、剖面示意图 (核桃坪)

Fig. 4 Sketches of homocline mountain drainable type

1. 地层分界线; 2. 地表水系; 3. 地下水排向; 4. 挤压带; 5. 暗河;
6. 隧道

河季节性水位变化频繁, 在其影响范围内极易形成岩溶塌陷, 增加整治难度或留下后患.

利川地区清江南方案符合上述选线原则, 工程地质条件优于原方案 (图 3).

**1. 2. 4 单斜山同向排水型** 以核桃坪隧道为例 (图 4). 隧道穿越夹于刷把河、混水河之间的地块. 该地段由  $T_{1d}, T_{1j}$  组成, 构成单斜山 (倾角约  $30^\circ$ ). 单斜山高处为补给区; 斜坡为径流区, 漏斗、落水洞顺倾向成串分布; 斜坡下部分布走向洼地, 即构造挤压带, 为汇集区, 大型封闭洼地沿构造挤压带成带展布. 挤压带岩层陡立、破碎, 汇集的岩溶水再向两侧河流排泄. 总之, 岩溶、岩溶水自单斜山  $\rightarrow$  顺层坡  $\rightarrow$

表 2 枝万线主要大型滑坡

Table 2 Main landslides in Zhicheng-Wanxian railway

项 别	前缘宽/ m	轴长/ m	滑坡厚/ m	体积/ 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	滑 面 (顺层) 地层 倾角/(°)	滑坡类型	稳定性	平面示意图	滑轴断面示意图	备注
金龙坪 滑 坡	500	1 335	20~40	800	P <sub>2</sub> w 前缘19° (碳质 页岩) 后缘35°	沿层面、 顺向斜轴 的深层 滑 坡	不稳定			
庙 岭 上 滑 坡	2 600	1 800	100	20 000	T <sub>1</sub> d (页岩) 19°	巨型深层 多级复式 顺层滑坡	不稳定			
天楼地枕 滑 坡	2 500	1 500	100	17 000	P <sub>2</sub> w (碳质 页岩) 15°	巨型深层 多级、多 次牵引式 顺层滑坡	不稳定			天楼地枕 电站施工 中被迫 改址
木贡滑坡	4 000	3 000	20~30		P <sub>2</sub> w (碳质 页岩) 13°	中 深 层 巨 型 顺 层 滑 坡	不稳定 (发展 中)			
马者滑坡	2 000	2 500	20~40		P <sub>2</sub> w (碳质 页岩) 13°	中 深 层 巨 型 顺 层 滑 坡	不稳定 (发展 中)			

构造挤压带, 渐趋强; 构造挤压带破碎、强富水。因此, 隧道选位应注意: (1) 尽量远避挤压破碎带; (2) 尽量选在单斜山的山岭区。

穿越该排水类型的地块有两个方案。(1) 混水河上游方案, 越混水河高桥置于挤压带中, 隧道洞身临近挤压带强富水、强岩溶区; (2) 混水河下游方案基本满足上述选位要求, 避免了上游方案的缺陷, 是一种较好的方案, 并以此作初测(图 4)。

## 2 不良地质因素对选线的控制作用

不良地质因素中以滑坡最突出, 重大的有两类: 一类为现实存在的大型滑坡; 另一类为顺层地段可能存在的工程滑坡。前者控制技术可行性; 后者存在潜在危害, 依然是控制方案选择的重要因素。

### 2.1 滑坡

与线路有关的大型滑坡主要有金龙坪滑坡、庙岭上滑坡、天楼地枕滑坡、马者滑坡、木贡滑坡等。其规模和稳定性列于表 2。

**2.1.1 枝万线大型滑坡的独特性** (1) 大型滑坡分布于清江及其支流的深切河谷中, 地貌上皆为一残留平台, 标高多为 730~950 m, 相当于区域四级剥夷面。台地上保留较厚的冲洪积物、坡积物、崩积物等混杂堆积物。当河流再下切至软弱岩面形成滑动

时, 则成为滑坡体的主体; (2) 大型滑坡体几乎都分布在河流强烈冲刷岸且平行构造线、层面倾向河流的地段; (3) 枝万线的大型滑坡形成都与河流切割 T<sub>1</sub>d 页岩、P<sub>2</sub>w 碳质页岩等软弱岩层, 并使其凌空成为滑面(倾角为 15°~20°)的地质结构有关; (4) 大型滑坡体边界皆为强岩溶化、强富水的 T<sub>1</sub>d, T<sub>1</sub>j 地层, 岩溶水大量补给滑坡体, 并汇集于作为滑面的软弱岩层上(即滑床上), 向河流排泄, 除强烈软化滑面降低其强度外, 且形成从滑体内向外的强渗流, 并与外部河流强冲刷等组成最不利的水动力条件。

这些特性构成了大型滑坡的必备条件, 也反映了枝万线大型滑坡形成的必然性和独特性(表 2)。

**2.1.2 大型滑坡对选线的控制作用** 这些滑坡不仅规模巨大, 而且处在最不利的地质结构、最不利的的水动力条件下; 不稳定的顺层滑坡长期接受高剥夷面强岩溶富水区的补给, 作为滑坡面的软弱岩层长期处于饱水软化状态; 滑体后壁陡岩崩坍仍在不断进行, 其堆积物不断在增加, 滑坡后缘不断增加大量荷载; 前缘河流仍在不断冲刷, 不断变形, 引起的牵引滑移在逐渐扩大。从而形成“后推、前拉”之势。恶劣环境使这些大型滑坡皆处在不稳定状态中, 其规模和危害性实属罕见, 在目前的技术、经济条件下是难以逾越的, 因此, 线路当需绕避。

### 2.2 顺层地段

顺层地段皆分布于线路平行构造线展布的地

段。顺层地段并非必成顺层滑坡。当溪沟岸坡分布厚层、中薄层灰岩,凌空面顺坡,未切层时、或缺乏不利水动力条件时,都未发现滑坡,只存在局部的顺层溜坍。然而这些顺层地段线路挖方切坡过高时,仍存在潜在滑动的可能,即所谓的工程滑坡。鉴于自然顺层斜坡很高,线路路堑收坡困难,整治工程浩大,尚可能留下隐患,因此线路经过此处应慎重,应多做比较。

## MAIN ENGINEERING GEOLOGICAL PROBLEMS IN OPTION OF ZHICHENG-WANXIAN RAILWAY

Deng Yiming

(*The Fourth Survey and Design Institute of MR, Wuhan 430063, China*)

**Abstract:** It is very important to choose the right controlling line scheme as the engineering geological conditions are very complicated in Zhicheng-Wanxian railway. The paper analyzes the geological background in the area and summarizes its characteristics and laws of engineering geology and hydrogeology and finally figures out the key geological problems of controlling line scheme in order to determine the principles of the engineering geological locations and the direction of alternative scheme.

**Key words:** Zhicheng-Wanxian railway; big geological problem; geological option.