

1006- 2106(1998) 03- 0069- 80

秦岭隧道施工对设计地质成果的验证分析

吴云生^{*} 李法昶

(铁道部第一勘测设计院 兰州 730000)

提 要 秦岭隧道由两座相距 30 m 的单线隧道组成,其中的Ⅱ线隧道作为平导先期施工。施工是对设计地质工作的验证。从秦岭隧道勘测的过程、方法、越岭方案的选择到对隧道内的地应力、岩爆、岩温和热害、突水、放射性异常、围岩失稳等的预测、验证的结果,进行分析。其工作方法对大型重点工程的地质工作有借鉴与指导作用。

主题词 隧道施工 地质预报 验证

分类号 U452/文献标识码 A

秦岭隧道由相距 30 m 的两座单线隧道组成。其中的Ⅱ线隧道作为平导先期施工,除对Ⅰ线隧道的掘进机施工有“保驾护航”作用外,还有查明全隧道(特别是秦岭岭脊附近深埋无钻孔地段)地质情况的探洞作用。因此,平导的贯通实际也是对秦岭地区施工前各勘测设计阶段所做地质工作成果、通称设计地质工作成果的一次全面检查和验证。

本文拟对这方面的验证情况作一浅析。

1 秦岭隧道设计地质工作回顾

为了更好地说明施工对设计地质的验证情况,有必要首先简要回顾一下秦岭隧道各勘测设计阶段所做的地质工作及其主要成果。

1.1 区域地质概况

秦岭隧道地区属于我国华北古陆与杨子古陆两大陆台结合部的北秦岭褶皱断裂带的中段。隧道进口附近的山前大断层 F₁以北属华北陆台南缘的渭河地堑,隧道出口附近的 F₂断层以南属扬子陆台北缘的南秦岭褶皱带。这个结合部为一复杂的构造带,经历了多期构造运动以及长期的发展演化,内部组成与构造变形十分复杂,加之,本段地势险要,山峦重叠,植被茂密,人烟稀少,交通十分不便,前人所做地质工作甚少,所以其地层时代归属,原岩建造等一直是中外地质界长期争论的问题。根据陕西省地质局 1980年编制完成的陕西省北秦岭地质图(1/50

^{*} 本文收稿日期:1998-08-04 吴云生 男 岁 高级工程师、铁道部第一勘测设计院副总工程师

万),北秦岭的地质是一套经历了多期变质作用,岩浆活动和混合岩化作用的复杂岩石组合。

北秦岭褶皱断裂带的主要造山作用期为印支——燕山期,该期活动所造成的秦岭的急剧隆起,使前期构造形态受到强烈改造。北秦岭褶皱断裂带的主要构造线均呈近东西方向,后期的构造运动均受到东西向构造线的控制。东西向区域性大断层主要有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 等。近东西向及北西、北东向的次一级断层还有近 20 条。西部越岭方案地区即位于南北为东西向大断层 F_1 、 F_2 所限,东西被北西向的陇县—首阳山、库峪—丹凤断层所切割的,相对较为稳定的终南山断块内。

1.2 越岭方案的选定过程

1.2.1 秦岭东、西部越岭方案的选定

早在 1958 年铁一院即对西安安康线翻越秦岭做过方案研究。1969 年至 1972 年国家从战略考虑,要求新建的西安安康线要远离西安市。因施工水平和装备所限,为翻越秦岭,当时选择的是距现今秦岭隧道东边约 40 km,越岭隧道长度短于 10 km 的东玉川垭口方案。1984 年铁一院重新编制“西安安康线可行性研究报告”时,根据选定的岭南沿乾佑河的基本走向和秦岭横贯于西安、安康间的情况,在 1:5 万航测图上,对翻越秦岭的线路方案,做了大范围、不同限坡的比较研究。并通过对石砭峪和东玉川两个垭口的重点比较,铁一院舍弃东部方案,推荐了西部越岭方案(详见图 1)。1986—1987 年铁道部、国家计委、国务院相继审批了该可行性研究报告。

1.2.2 在秦岭西部诸越岭方案中,石砭峪垭口越岭方案的选定

根据批准的“项目建议书”,在西部越岭方案中,除石砭峪垭口外,还有大峪、小峪、太峪等垭口方案(详见图 1),这是本次方案选择的“重头戏”,工作范围和难度都很大。根据这种情况,为了加快西康线的勘测设计工作,1987 年 7 月铁道部有关部门领导现场踏勘后提出该线地形异常困难,地质十分复杂,工程非常艰巨,建议把它作为地质勘测改革的试点项目,在初测中划出一个子阶段,采用综合勘探方法,做好地质工作。对此,孙永福副部长作了将“勘测设计工作要列为重点,下功夫抓好,要认真吸取以往的经验教训,贯彻改革精神,应用先进技术,提高勘测水平,创造优秀质量”的重要批示。为了认真落实部领导的指示,铁一院经多次研究,并经部组织有关院校、局 30 多位专家审查后制定了秦岭隧道地区“改革地质工作实施方案”。根据实施方案,铁一院打破常规,在勘测中采取了特殊的步骤和方法。首先对勘测程序进行改革,在路内首次安排了初测子阶段。其次是对地质调绘和勘探方法,进行了改革和加强,使用遥感、综合物探、钻探等多种勘测手段,加强地质调绘,开展了大面积、多层次、立体化的综合勘探。第三,根据铁道部关于“要拿出集中体现全路水平的勘测成果”的指示,在中国铁路工程总公司领导的支持下,铁一院邀请铁二院、铁四院、专院、隧道局设计院、西南交大等单位有丰富生产实践和科学研究经验的十多位专家,参加了初测子阶段的工作,从而大大提高了勘测成果的质量和水平。

通过 1987 年~1988 年初测子阶段艰苦工作,参战人员在岭北东到库峪,西到石砭峪,岭南东到黄土梁,西到西沟峡,西部越岭方案所可能涉及的共约 460 km²“梯形”范围内,选用不同限坡、不同峪口引线、不同高程或长度的越岭隧道,两端洞口不同的引线方式优化组合了四组

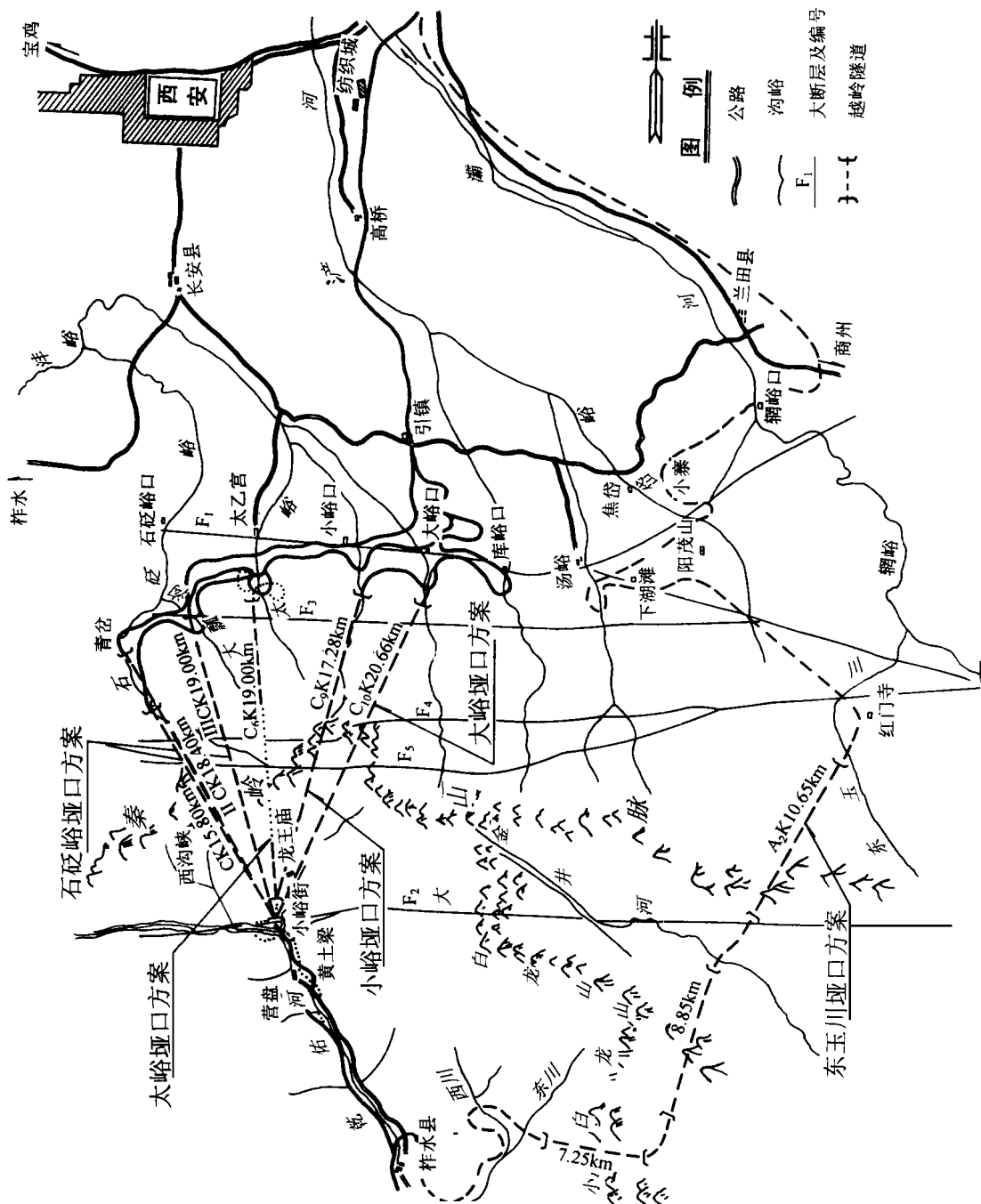


图 1 西安安康线秦岭地段线路方案示意图

十七个越岭线路方案,并本着优胜劣汰的原则,通过“地质调绘—线路优化—方案筛选”的多次反复,查明了这些方案的地质条件和控制因素,经过全面分析、综合评价,铁一院及各参战单位的专家提出了从石砭峪垭口越岭的推荐意见。推荐的依据主要是:

(1)综合研究西部各垭口及岭北引线的地质条件,工程设置条件,石砭峪垭口优势明显。

(2)在西部各垭口中,只有石砭峪垭口的越岭隧道可以同时避开岭北 F_3 岭南 E_2 两条具有一定活动性的区域大断层。

(3)从区域地应力状态考虑,石砭峪垭口越岭隧道的洞轴方向较为有利。

经 1988年和 1989年的铁道部及铁道部与国际工程咨询公司主持的两次路内外专家评议会对初测子阶段成果资料的慎重审查,认为上述推荐意见是可信的,也是合适的,铁道部决定予以采纳。

1.2.3 在石砭峪垭口诸越岭方案中,青岔II CK人字坡越岭隧道方案的选定

初测子阶段的突出成果是将线路方案的比选范围由 460 km^2 的大“梯形”;一下子缩小,集中到石砭峪垭口的约 100 km^2 的小“扇形”范围内。在随后进行的初测中,铁一院对越岭隧道,选择不同的进、出口高程位置,洞内分别采用单面坡或人字坡组合而成的四组越岭隧道方案进行了综合比选,然后提出其中四个较优方案。经过初测比选,首先放弃了条件较差的III CK。又经过对其余三个方案的初步设计比选,铁一院推荐采用青岔II CK人字坡方案。1993年 3月铁道部工程鉴定中心对上述方案进行现场审查后,最终同意秦岭越岭隧道采用铁一院的推荐方案。

1.3 秦岭隧道的地质条件

选定方案的定测于 1993年 3月开始,至 1995年 4月完成。在定测中除充分分析利用前期的成果和继续做好综合勘探外,采用的特殊手段是:在路内首次使用了 GPS定位、V5可控音频大地电磁测深和高度密电法测试技术,从而大大改善了劳动条件,提高了物探测试的深度(测深达 $2\,000 \text{ m}$)和精度,在地形相当困难的深埋长大隧道勘测中,首次实现了物性贯通测试,提供了贯通的隧道物性纵断面图。为了保证提供技术设计的地质资料的质量,定测中原拟在岭脊施钻 3个验证性特深钻孔,部 1993年 9月决定,将II 线隧道作为I 线隧道的平行导坑和地质探洞先期施工,用平导查清岭背深埋地段的地质情况,故特深孔未再施钻。

1.3.1 设计阶段查明的秦岭隧道的地质条件

设计阶段查明,秦岭隧道从地质条件考虑,可分为四段。

第一段,隧道进口至老鸦岔,长 4.3 km 。地层为混合片麻岩,间有较多的片岩、片麻岩残留体,并有自北向南逐步减少之势。

第二段,老鸦岔至南木南沟,长 2.15 km 。地层为混合花岗岩,局部夹混合片麻岩团块,与第一段地层呈渐变过渡接触。

第三段,南木南沟至小羊圈,长 7.915 km 。地层为混合片麻岩,间夹斜长度闪片麻岩及角闪片岩残留体及混合花岗岩团块。

第四段,小羊圈至隧道出口,长 4.091 km 。地层为含绿色矿物的混合花岗岩,岩体中有较多蚀变闪长玢岩、变安山岩、霏细岩、细碧岩脉穿插侵入。

1.3.2 预测施工中可能遇到的特殊地质和不良地质问题

1.3.2.1 高地应力及岩爆

高地应力: 设计阶段后期, 为获取隧道通过地段确切的地应力值及方向, 在部分深钻孔内开展了二维水压致裂法地应力测量, 并根据测量结果, 利用有限单元分析法进行了数值模拟和分析计算, 得到最大主应力沿隧道轴线分布曲线, 如图 2 所示。

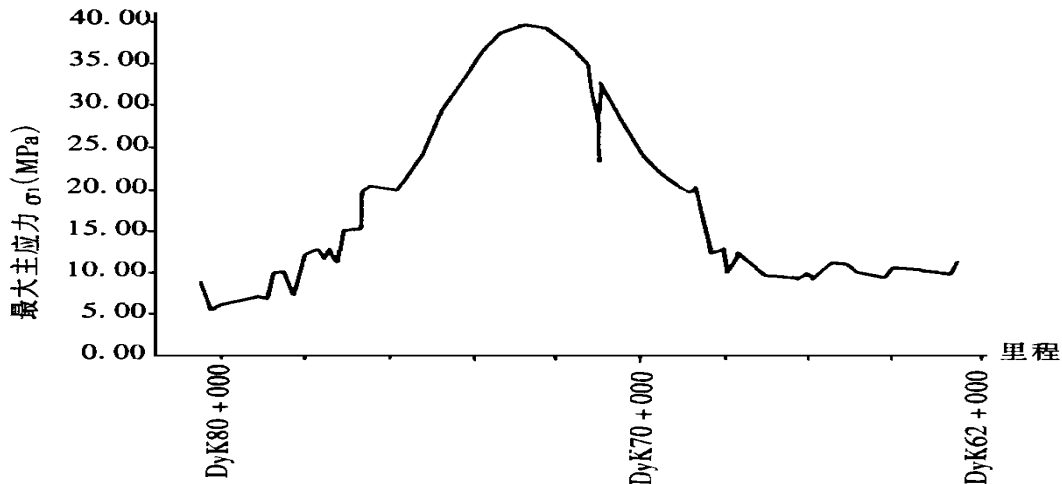


图 2 主应力沿隧道轴线分布曲线图

从图 2 曲线可以看出, 隧道埋深大于 600 m 左右的 DyK69+000~DyK79+000 的隧道中段, 地应力大于 20 MPa, 属高地应力区。

岩爆: 经验表明, 岩爆一般主要发生在高地应力、干燥无水、岩石硬脆完整的地质环境中。工程实践表明, 当干燥状态下的岩石单轴抗压强度 R_c 与最大水平主应力 σ_1 的强度应力比 < 6 时, 就可能有岩爆发生; 当强度应力比 $R_c / \sigma_1 < 3$ 时, 就可能有严重岩爆发生。秦岭隧道主要通过混合花岗岩、混合片麻岩地层, 其干燥状态下的单轴抗压强度 R_c 一般为 130~200 MPa, R_c 平均约为 147 MPa, 据此及图 2, 可绘制沿隧道轴线的强度应力比分布曲线, 如图 3 所示。

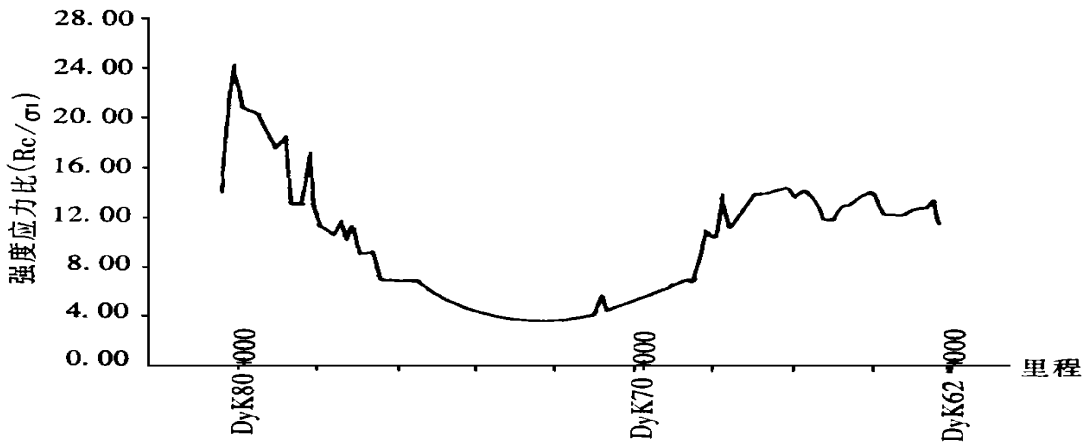


图 3 沿隧道轴线的应力比分布图

通过图 3 预测,在埋深 $> 600\text{ m}$ 的秦岭隧道中段 DyK69+000~DyK77+000 有岩爆发生的可能。

设计阶段后期,为查清浅埋地段的地应力情况,又结合工程需要钻探了六个较深钻孔,发现在个别钻孔的较浅深度处,岩芯出现了饼状新鲜劈裂面和等间距短柱状,均表明为应力释放的结果。据此,确认秦岭隧道不仅在 $> 600\text{ m}$ 的深埋高地应力地段有发生岩爆的可能,而且在局部斜坡应力集中的浅埋地段也有发生岩爆的可能。

由于引起岩爆的原因很多,影响因素复杂,除上述地质环境条件外,还与开挖断面形状、方式及每个循环的进尺等施工因素有关。因此,设计地质只能大致划分可能发生岩爆的地段,而尚难具体预测和划分岩爆发生的确切地段和强度。

对秦岭地区的地应力状态,在设计地质阶段,尽管在洞轴取向上大家意见比较一致,但对深埋地段的最大主应力方向到底是水平还是铅直,实际上是存在着争论的。一部分同志根据秦岭 4 个钻孔的应力随深度变化,认为秦岭地区主应力随深度增加的斜率有 $\epsilon_H > \epsilon_V$ 的趋势,若综合考虑深钻孔的地应力测试成果,在秦岭岭脊地段,钻直应力会大于最大水平主应力。因此认为隧道深埋地段的最大主应力方向应是铅直的。对于这个争论,当时大家商定留在施工地质阶段再加以解决。

1.3.2.2 岩温及热害

地表测温表明,隧道通过地段,无隐状地热区。但在大的断裂带附近,岩温一般比正常背景值高 $1.5\sim 4^{\circ}\text{C}$,说明断带是地下热源的通道。

深钻孔测温表明,岩温随深度增加而增加。但表层一定深度内岩温增加缓慢,大致是一恒温带,其深度变化与地形有关,数十米至二百米不等,以下岩温近线性增加。断裂带处温度随深度增加较快,其中 $F_4\sim F_5$ 断带内每千米深度增温 $22\sim 36^{\circ}\text{C}$,其余地段每千米深度增温约 15.8°C 。据此,初步设计时,预测隧道埋深 $1\ 190\text{ m}$ 以上的岭脊地段,洞内岩温在 28°C 以上,施工中有可能出现热害。技术设计时,考虑到上述实测资料系在钻孔有水条件获得,可能偏小,为安全计,参考其他深埋长隧道岩温资料,改为预测埋深 900 m 左右地段,洞身岩温可大于 28°C (岭背下最高可达 39°C ,属高温施工地段)。

1.3.2.3 突然涌水

初、定测 9 个深钻孔揭示,秦岭隧道地区地下水的循环深度为 $150\sim 300\text{ m}$ 左右;下部虽仍有少量裂隙水,但水量甚微,且连通性较差;各断裂带多为坚硬的碎裂岩、糜棱岩,其中水量都不大。因此,预测隧道施工中有水,但出水点不匀,预测可能出现突然涌水的地段有两处:一是隧道通过石砭峪沟底的 $F_4\sim F_5$ 断裂带地段;二是隧道平行通过大东沟沟底地段及小羊圈断层 (f_{12})至兴隆沟断层 (f_{15})一带。

1.3.2.4 放射性异常

通过钻孔及地表测试,隧道地区的放射性异常分布主要来源于后期侵入的伟晶花岗岩脉,其异常强度不高,且分布无一定规则。预测对施工、运营没有影响,但需在施工中加强监测,逐段核实。

1.3.2.5 围岩失稳

根据地面调查和钻孔分析,在断层附近和节理密集带、长大节理地段的隧道施工中,有可

能发生坍塌、掉块等围岩失稳现象

1.3.2.6 环境地质问题: 秦岭特长隧道施工后, 由于隧道埋深一般均大于地下水循环深度, 预计本地区的水文地质环境不会有大的改变。

2 秦岭隧道II 线平导施工地质工作概述

根据铁道部的批示, 秦岭隧道II 线平导, 除对I 线隧道的施工具有运输、通风、疏排地下水, 特殊不良地质地段实施围岩预加固等作用外, 更主要的是要查清秦岭隧道 (特别是岭脊深埋无钻孔地段) 的地质条件, 验证和补充修正设计地质资料, 保证I 线隧道掘进和施工的顺利进行。为此, 要求铁一院在平导施工的同时, 同步开展施工地质工作

2.1 施工地质工作的主要内容及方法

施工地质工作包括工程地质、水文地质、物探和长大断层超前预测预报四个部分。其主要内容和方法归纳起来有:

2.1.1 利用地质编录、素描并配合微光摄像等手段, 对平导内的地层岩性, 其受构造影响程度、节理发育程度、岩石完整程度、围岩稳定状态等情况进行详细编录

2.1.2 在平导内分段取代表性岩样、水样进行物理、力学测试和水化学分析。

2.1.3 进行岩体裂隙网络的空间及渗透能量测试, 进行洞内涌水量和洞外相关浅埋地段地表水径流量动态变化观测, 对平导进行富水性分段, 并预测预报掌子面前方富水地段的位置及涌水量

2.1.4 对全隧道围岩进行地球物理常规测试

2.1.5 在隧道不同埋深处选点作三维地应力测量

2.1.6 对 F_4 F_3 $f_{12} \sim f_{16}$ 等 7 条断层在施工到达前进行超前预报。

2.1.7 在平导上述各项测试工作的基础上, 编制预测的I 线隧道洞身工程地质、水文地质纵断面图, 作为I 线隧道施工图设计的依据

2.2 施工地质工作的主要成果

在西康建设总指挥部和承担秦岭隧道II 线平导施工任务的两大总公司各级领导的支持配合下, 通过 1995 年元月至 1998 年 3 月三年度的地质工作, 铁一院在平导施工的同时, 同步开展和完成了该平导的施工地质综合测试和预测预报工作, 并取得了一整套成果资料

这些成果主要有:

(1) 编制完成了平导施工地质综合测试报告、综合测试图、II 线隧道施工工程地质、水文地质纵断面图等图件;

(2) 对平导掌子面前方不良地质现象进行了超前预测预报;

(3) 进行了地应力测量, 获取了隧道的地应力状态资料;

(4) 取得了水文地质监测成果资料

3 秦岭隧道施工地质与设计地质资料的对比分析

3.1 地层岩性

3.1.1 岩性分段情况: 平导揭示的秦岭隧道的岩性种类及特征与设计地质所述的四个岩性分段基本一致,仅分布范围和接触关系稍有差异。

3.1.2 岩石的物理力学指标差异: 经在平导取样试验,岩石的主要物理力学指标与设计地质资料比较稍有变化,但变化不大。

3.1.3 围岩类别变化情况: 根据统计分析,平导施工前后围岩类别长度有变化,但基本相当。其中第一、二、三段总的趋势都是变好,第四段为变差,但幅度仅为 6% 左右。详见表 1

表 1 围岩类别对比表

段序	围岩类别	设计地质		施工地质		施工后围岩类别 长度变化分析
		长度 (m)	占段长%	长度 (m)	占段长%	
全隧道总长 18 456 m	II	599	3.3	523	2.8	II、V 类长度施工前后基本一致。IV 类减少约 14%, III、VI 类分别增加 6%、8%
	III	859	4.7	1990	10.8	
	VI	10530	57.0	7911	42.9	
	V	3256	17.6	3425	18.5	
	VI	3212	17.4	4607	25.0	

3.2 断裂构造

设计地质所述的三条区域性断层和 10 条次一级断层,除 f₁₀ 一条施工中未见到,平导施工已全部揭示,其对比情况详见表 2

表 2 断层分布情况对比表

编号	阶段	埋深 (m)	洞身位置	长度 (m)	围岩类别及长度 (m)	施工后变化情况
F ₂	设计地质	0~ 40	Dy K82+ 788~ + 821	33	II - 11 III - 22	基本一致
	施工地质		Dy K82+ 786~ + 821	35	II - 21 III - 14	
F ₄	设计地质	300~ 350	Dy K69+ 127~ + 340	213	II ~ III	宽度变窄 51 m,并有 59 m 围岩提高一类
	施工地质		Dy K69+ 141~ + 303	162	II - 33 III - 70 IV - 59	
F ₅	设计地质	670~ 800	Dy K70+ 465~ + 565	100	III	位置南移 60 m,围岩提高一类
	施工地质		Dy K70+ 526~ + 634	108	IV	
f ₂	设计地质	50	Dy K 64+ 600 附近	3	IV	围岩降低一类
	施工地质		Dy K64+ 603~ + 609	6	III	
f ₄	设计地质	110	Dy K67+ 505~ + 545	40	II	断带变宽 48 m,围岩提高一类
	施工地质		Dy K67+ 495~ + 583	88	III	
f ₇	设计地质	570	Dy K70+ 025~ + 075	50	IV	位置北移约 35m
	施工地质		Dy K69+ 985~ + Dy K70+ 043	58	IV	
f ₉	设计地质	850	Dy K73+ 095~ + 097	2	IV	位置北移约 90 m
	施工地质		Dy K73+ 002~ + 007	5	IV	
f ₁₂	设计地质	550~ 650	Dy K78+ 735~ Dy K79+ 250	515	III - 475 IV - 40	位置北移 13 m,围岩降低一类
	施工地质		Dy K78+ 722~ Dy K79+ 235	513	II - 80 III - 433	

续表

编号	阶段	埋深 (m)	洞身位置	长度 (m)	围岩类别及长度 (m)	施工后变化情况
f ₁₃	设计地质	650	Dy K79+ 400~ + 480	80	III	倾角变缓近 30°, 故位置南移 400 m
	施工地质		Dy K79+ 805~ + 890	85	III	
f ₁₄	设计地质	550	Dy K79+ 705~ + 840	135	III	位置南移约 40 m, 围岩类别有 40 m 降低一类
	施工地质		Dy K79+ 742~ + 890	148	II - 40 III - 108	
f ₁₅	设计地质	350~ 420	Dy K80+ 470~ + 730	260	II	有 205 m 围岩提高一类
	施工地质		Dy K80+ 465~ + 730	265	II - 60 III - 205	
f ₁₆	设计地质	220	Dy K81+ 170~ + 210	40	II	平面位置南移约 85m
	施工地质		Dy K81+ 260~ + 290	30	II	

秦岭隧道最大埋深 1 650 m,其中埋深大于 1 000 m的地段长约 3 700 m,占全长的 20% ;埋深大于 500 m的地段长约 10 690 m,占全长的 57. 9%。对这样大埋深的隧道,勘测期间能将断层控制到这样的水平,应该说是很不容易的

除设计地质提供的上述断层外,在平导施工中,还新揭示出对工程有一定影响的小断层 41条。其中 34条宽度在 0. 5~ 5. 6 m之间,仅有条宽度达到 10~ 20 m

3. 3 水文地质条件

由于秦岭山区基岩裂隙水和构造裂隙水存在分布上的不均匀,设计地质预测的富水性分区虽然在宏观上对施工起到了指导作用,但部分富水性分段长度及单位涌水量,与平导施工实测的情况有较大出入。具体情况详见表 3

表 3 水文地质条件对比表

设计地质				施工地质				预测与实测的主要差别
可能单位涌水量 (m ³ /d° km)	富水性评价	段长 (m)	富水性分段里程	富水性分段里程	段长 (m)	富水性评价	实测单位涌水量 (m ³ /d° km)	
210~ 252	弱富水段	2 920	Dy K64 370	Dy K64 370	3 730	贫水段	63. 9	富水性降低一级
718~ 2267	富水段	3 635	67+ 290	68+ 100	975	富水段	700. 5	富水段长度缩短较多,单位涌水量仅相当预测的低限
≤ 180	贫水段	5 362	70+ 925	69+ 075	5 585	贫水段	70. 0	
			76+ 287	74+ 660	1 580	贫水段	107. 6	
390~ 468	弱富水段	1 243	77+ 530	76+ 240	570	弱富水段	403. 0	贫水段增加较多
649~ 1131	富水段	3 194	80+ 724	77+ 490	680	贫水段	58. 8	弱富水段缩短约一半
320~ 674	弱富水段	976	81+ 700	79+ 230	1 740	富水段	3327. 6	
≤ 180	贫水段	1 126	82+ 826	80+ 720	1 490	贫水段	34. 1	
				81+ 720	1 100	弱富水段	217. 1	单位涌水量比预测高限约增加二倍
				82+ 826	1 006	贫水段	100. 4	与预测基本吻合
预测全隧道最大涌水量 (m ³ /d)			24 200	全隧道实测最大涌水量 (m ³ /d)			37 290为预测的 154%	
预测全隧道稳定涌水量 (m ³ /d)			12 100	全隧道实测稳定涌水量 (m ³ /d)			7 978为预测的 66%	

3.4 特殊地质和不良地质问题

设计阶段预测的施工中可能遇到的特殊地质和不良地质问题,在平导施工中,基本上得到了验证,具体情况如下:

3.4.1 地应力状态: 为查明秦岭隧道洞身实际地应力状态,铁一院在平导内开展了三维水压致裂法测量

本次在平导内进行了五个点的地应力测试。

经分析,平导内的三维测试成果与设计地质阶段的二维测试结果有同有异。相同之处是:

(1)最大水平主应力方向两次均为 NW 向,证明秦岭隧道轴向选择是合理的。

(2)最大主应力绝对值两次均有随隧道埋深增加而变大的趋势。小于 500 m 的浅埋地段属中等应力水平。大于 600 m 的地段,逐渐变为高地应力水平。

不同之处是:在隧道埋深 < 1 000 m 的地段,最大主应力为最大水平主应力;在埋深 > 1 000 m 地段,最大主应力接近铅直方向,而中间主应力,才是最大水平主应力,趋向于静水压力场。本次实测也使设计地质阶段有关秦岭隧道深埋地段最大主应力方向的争论,暂时划上了句号。

3.4.2 岩爆

设计地质预测的岩爆,在平导施工的 43 个点,长约 1 894 m 范围内(约占隧道总长的 10%)断续有不同程度的发生。详见表 4。

表 4 岩爆类型及分布表

岩爆类型	全隧道		< 300 m 浅埋段		> 700 m 的深埋段	
	段(点)数	长度(m)	段(点)数	长度(m)	段(点)数	长度(m)
轻微岩爆	27	1 124	3	135	24	989
中等岩爆	12	650	2	33	10	617
强烈岩爆	4	120	0	/	4	120
总 计	43	1 894	5	168	38	1 726

表 4 中发生在 DyK69+ 100~ DyK77+ 850 深埋地段的岩爆基本上(38 个点中的 29 个点,占 80%)是在设计地质预测到的 DyK69+ 000~ DyK77+ 000 范围内。发生在岭北 DyK64+ 500~ DyK66+ 760 浅埋地段(最浅仅 58 m)长 168 m 的岩爆,设计地质阶段虽然根据岩芯鉴定,揭示其地应力较高,预测有可能发生岩爆,但在埋深仅 58 m 的地段,也发生了岩爆却是始料不及的。

3.4.3 岩温

平导施工实测证明,设计地质根据钻孔测温分析得出的以下结论是正确的:

(1)隧道通过地区属地热正常区,无地热异常;

(2)大断裂带附近,若无地下水,则地温一般比正常背景值高 2~ 4℃;

(3)岩温随隧道埋深增加而增加,每千米增温约 15.8℃;

(4)隧道埋深 900 m 左右的地段,洞身岩温可达 28℃左右。

地质与施工实测有出入的是:

(1) 实测表明,地下水大量出露地段,岩温一般偏低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 实测表明,岭背附近隧道深埋地段岩温为 30°C ,比设计地质预测的 39°C 偏低较多。

3.4.4 突然涌水

平导施工中共有 9 个地段发生了每昼夜涌水 300 m^3 以上的较大涌水。这些地段大部分集中在设计地质预测的可能出现突然涌水的两个地段内,即隧道通过石砭峪沟底的 F_4 断裂带附近地段,隧道平行大东沟沟底地段及通过 f_{12} 断裂带附近地段。

3.4.5 围岩失稳

平导施工证明,设计地质关于秦岭隧道边所地区区域稳定性较好,围岩稳定性也较好的预测结论是正确的。

在平导施工中,共发生坍塌 42 处。其中大坍塌 9 处,中坍塌 9 处,其余 24 处为小型坍塌。均在设计地质预测的断带、节理密集带和长大节理发育带等围岩稳定性较差地段。

3.4.6 放射性异常

平导施工揭示,设计地质关于“隧道地区的放射性主要来源于后期侵入的花岗伟晶岩脉,分布无一定规则”的判断是正确的。施工监测表明,全隧道仅有 6 处宽 $1\sim 20\text{ m}$ 不等的伟晶花岗岩脉或透镜状侵入体有异常反映,其峰值约为 200 r ,按照国标《辐射防护规定》检算,其辐射强度对施工、运营均无影响。

3.4.7 环境地质问题

3.4.7.1 地表水疏干问题:据地面调查和居民反映,平导施工虽然造成地下水的大量泄流,但其排泄的主要为存在于山体内部的静储量,并未对本地区的水文地质环境造成改变。特别是隧道通过顺石砭峪沟谷发育的 F_4 断层带时,并没有造成沟水和地表水漏失,影响当地居民生活,这是非常值得令人欣慰的。

3.4.7.2 对水库和河水污染问题:在隧道施工中,铁道部投入大量资金分别在岭北、岭南洞外修建了相当规模的污水净化设备。施工污水在排入岭北石砭峪水库、岭南太峪河之前,都进行了净化处理,所以到目前为止施工对环境水未造成危害。

秦岭隧道施工对设计地质成果的验证表明,其岩带划分基本吻合,围岩类别的符合率达 86%,主要断层带产状、位置、宽度基本一致,富水性分段、特殊地质及不良地质类型和分布大致或基本一致。从设计地质角度,对隧道的顺利施工起到了宏观指导和保证作用。

4 两点认识和体会

4.1 秦岭隧道施工对设计地质成果的验证情况再次证明,铁道部关于大型重点工程必须超前做好加深地质工作的决定是完全正确的。

随着秦岭隧道 II 线平导的胜利贯通,其设计地质成果资料也顺利经受了 II 线平导施工的严峻检验。通过这次施工验证,说明:

(1) 通过大量前期工作,在举世公认的地质条件相当复杂的秦岭地区,从东部到西部,从大范围到一个沟峪,选择的西康线越秦岭隧道方案是合理的。主要表现在:洞轴的方向合理,围岩稳定性较好,IV 类以上围岩占近 90%,断层带的围岩类别比预计的好,不良地质、特殊地质问

题危害程度不甚严重,地质条件相对简单,从而保证了施工的顺利进行等方面。

(2)秦岭隧道的设计地质成果资料是比较好的,主要表现在除富水性分段及涌水量、岩爆等预测有一定出入外,其余项目施工验证的符合率均较高。

在地质勘探手段依然落后的今天,面对国内长度第一、埋深第一、地形地质都异常复杂的这样一座隧道,所取得这样的成绩应该说是很不容易的。这个成绩的取得首先是铁道部各级领导十分重视的结果,孙永福副部长作有重要指示,在安排增加初测子阶段、做好越岭隧道地质选线、长隧道地质勘探、隧道设计方案优化、掘进机引进、安排重点关键问题科学研究、平导施工地质综合测试等各个方面,铁道部各部门、各级领导都适时地召开会议或现场办公,作了许多具体指导和大量组织工作。其次是承担本项目勘测设计任务的第一勘测设计院及有关协作单位的各级领导和广大参战人员,尤其是铁一院秦岭综合地质大队的新、老同志,前赴后继、艰苦奋斗十多年、辛勤劳动的丰硕成果。这个成绩的取得,再次证明铁道部关于大型重点工程超前做好加深地质工作的决策和安排是正确的、必要的,取得了事半功倍的成效。

4.2 大型重点工程的地质工作既要超前,还要向施工阶段延伸

由铁道部决策安排的秦岭隧道II线平导的施工地质工作,客观、真实和详细地反映了秦岭II线隧道的地质条件,预测了平导施工前方及I线隧道洞身的地质条件,既可验证、修正设计地质资料,有利于经验教训的总结和勘察水平的提高,又可从地质角度指导平导施工的顺利进行,并对I线隧道的掘进机施工起到“保驾护航”作用,还可以为地质复杂隧道的施工地质工作探索和积累经验。这项实践表明,地质工作向施工阶段延伸是必要的,也是有明显经验效益的。

ANALYSES BY CONTRAST AND VERIFICATION AGAINST DESIGN GEOLOGIC ACHIEVEMENTS THROUGH CONSTRUCTION OF QINLING TUNNEL

WU Yunsheng LI Fachang

First Survey and Design Institute of MOR

Abstract The Qinling Tunnel consists of two single track tunnels. The distance between these two tunnels is 30m. The No. II line of Qinling Tunnel was constructed as a parallel heading at first. The construction of the tunnel is a test and verification against the design geologic works. From the surveying procedure and method, as well as the selection of the scheme across the Qinling Mountain, so as to the forecast and verification results concerned with the crustal stress in tunnel, rock burst, thermal defect, water gushing, radioactivity, instability of surrounding rock, etc, the comparisons and analyses have been put forward. The working method is valuable as reference and has guiding role for geologic works of large-scale essential engineering projects.

Keywords tunnel construction; geologic forecast; test and verification