

# 阿家岭隧道穿越既有铁路线综合施工技术

吴世友, 徐忠山, 李维高, 刘则启

(辽宁省第三地质大队, 辽宁 朝阳 122000)

**摘要:**阿家岭隧道穿越既有铁路线,通过采取洞室管棚预支护、沉降反馈开挖法、加强初期支护、监控量测技术、管棚变形监测等综合治理技术,有效地控制了既有铁路的线路沉降量,保证了顺利穿越既有铁路线。该综合技术根据隧道施工条件,突破常规施工方法和工艺,为施工类似隧道提供了参考。

**关键词:**隧道;洞室管棚;沉降反馈开挖法;围岩量测;管棚变形量测

中图分类号:U455 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)11-0081-04

**Comprehensive Construction Technology for Ajialing Tunnel Passing the Existing Railway/WU Shi-you, XU Zhong-shan, LI Wei-gao, LIU Ze-qi** (The Third Geological Brigade of Liaoning Province, Chaoyang Liaoning 122000, China)

**Abstract:** Ajialing tunnel was planned passing the existing railway. By the comprehensive control technology of pre-support with cavern pipe shed, settlement feedback excavation method, primary support strengthening, monitoring measurement technology and monitoring on cavern pipe shed deformation, the settlement of the existing railway is effectively controlled. According to the tunnel construction conditions, this comprehensive technology breaks through the conventional construction methods and process, and provides the reference for the similar tunnel construction.

**Key words:** tunnel; cavern pipe shed; settlement feedback excavation method; measuring method of tunnel surrounding rock; monitoring on pipe shed deformation

## 1 工程概况

阿家岭隧道工程为沈环线改扩建工程,隧道位于辽宁省本溪市兴安社区,隧道起讫桩号为 ZK100+135~ZK102+130,长 1995 m。技术标准:设计速度 120 km/h,隧道基本宽度 10.5 m,建筑限界净高 5.0 m,检修道净高 2.5 m。

隧道出口(本溪段)距铁路较近,并下行穿越既有铁路线。隧道洞身于 ZK100+262.377 处与铁路中心线小角度下穿相交,相交角度为  $22^\circ$ ,铁路轨道面高程为 159.75 m,隧道路面标高为 138.627 m,交叉处隧道埋深为 12.97 m。隧道与铁路相交涉及范围 42 m,即桩号 ZK100+240~282 段(见图 1)。

根据隧道地质情况和设计提供的地质情况,本段位于沟谷中,围岩中有地下水,特别是受地表水影响很大,下雨时地表水直接经裂隙流至洞内。洞身围岩为弱风化石灰岩,灰黑色,泥质胶结,泥晶结构,中厚~厚层状,花纹状结构,为较坚硬岩,节理裂隙较发育,节理间距 18 mm,沿裂隙有溶蚀现象。围岩分级为 V 级,岩溶较发育,受构造影响严重,无自稳能力,属于不稳定围岩,易坍塌、片帮。

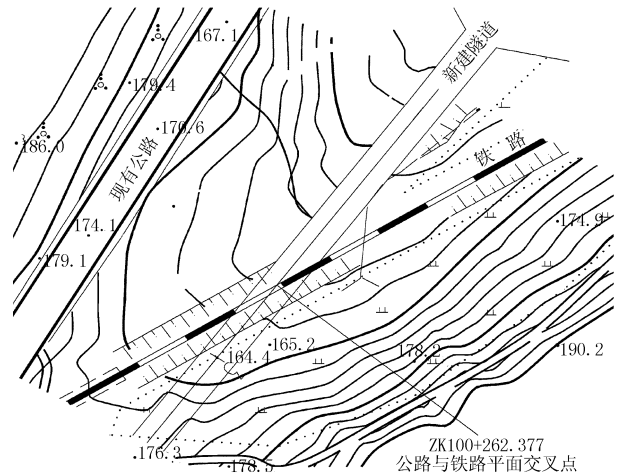


图 1 公路与铁路平面交叉位置图

## 2 穿越既有线路概况

隧道下穿铁路为辽(阳至本)溪线 II 级正线,设计行车速度 120 km/h,为单线无缝线路,60 kg/m 钢轨,II 型混凝土轨枕,碎石道床。穿越段铁路位于涵洞至路堑过渡位置,日行车时间客车按规定时间通过,货车不定时通过,列车行驶较频繁。

收稿日期:2013-09-18

作者简介:吴世友(1972-),男(汉族),辽宁朝阳人,辽宁省第三地质大队高级工程师,探矿工程专业,从事隧道、地质环境治理等工程施工工作,辽宁省朝阳市长江路四段 29 号, wus5498@139.com。

### 3 穿越段的不利因素及对下穿隧道施工的影响

穿越段的不利因素主要包括浅埋、地下水、溶洞、破碎、小角度斜交。

#### 3.1 浅埋

根据大量隧道工程的施工资料调查,上部覆盖层不足毛洞洞跨2倍的隧道或区段属于浅埋式隧道,同时,浅埋段工程包括隧道洞跨加强段。

《公路隧道设计细则》(JTG/T D70-2010)对浅埋隧道的定义为:作用在支护结构之上的土压力与隧道埋置深度、地形条件及地表环境基本无关的隧道。《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)浅埋与深埋的分界,按荷载等效高度值,并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。按荷载等效高度的判定公式为 $H_p = (2 \sim 2.5)h_q$ (其中 $H_p$ 为浅埋隧道分界深度, $h_q$ 为荷载等效高度)。

阿家岭隧道开挖顶部至轨道顶面为12.97 m,至道床下岩面约7.4 m,根据相关规范,属于浅埋。因浅埋而造成隧道开挖时沉降量加大,从而造成铁路路线沉降量加大。

#### 3.2 地下水

地下水的存在,可以使围岩溶解、冲蚀、软化,从而降低围岩强度,影响隧道的稳定性。隧道一旦失稳,就会出现坍方冒顶事故,直接影响地表铁路线路安全。地下水的存在,给隧道施工带来巨大困难,不仅增加施工难度,更带来安全隐患。

阿家岭隧道穿越既有有线段围岩中地下水涌水量平均为 $450 \text{ m}^3/\text{d}$ ,降雨时涌水量明显加大。

#### 3.3 岩溶

本隧道围岩为石灰岩,石灰岩地区普遍存在岩溶现象。

由于岩溶发育的因素错综复杂,发育的形态千姿百态,以及岩溶发育的不均衡性和不规则性,当在岩溶地区采取人工或爆破开挖隧道时,就会扰动围岩,改变地下水的流动状态,破坏围岩的原始力学状态和岩溶水平衡体系,从而遇到一系列问题。

岩溶对交叉段隧道的危害主要有:

(1)洞穴的存在使建筑物全部或部分悬空,极大地降低了隧道的使用可靠度;

(2)洞穴堆积物因松软易坍塌下沉,改变洞穴周围的应力分布状态,影响隧道的稳定;

(3)隧道中地下水流失,使隧道顶部地面岩溶塌陷,导致环境地质被破坏,也是造成隧道结构不稳定的原因。

从阿家岭隧道开挖情况看,洞口 ZK100+135 ~

240 段常见有大小不等的溶洞,其中 ZK100+135 ~ 200 段溶洞一般为  $0.5 \text{ m}^3$ ,但数量较多,内部有泥质充填。而 ZK100+200 ~ 240 段溶洞规模相对较大,多数内部充填。开挖时最大一处可见溶洞规模为  $0.8 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ (ZK100+205 位置左上方,进行了喷射混凝土充填处理)。钻管棚孔时亦发现有大小不等的溶洞,洞轴线方向跨度基本在  $0.5 \text{ m}$  以内,钻孔通过时有积水。

#### 3.4 小角度斜交

新建公路隧道中线与既有线相交角度较小,交角  $22^\circ$ ,且对轨道影响范围大,轨道方向隧道开挖影响跨度约  $40 \text{ m}$ 。与铁路交叉段洞身围岩情况为:

(1)人工回填碎石土,约  $6.0 \text{ m}$  厚,由碎石粉土组成,碎石占  $50\% \sim 60\%$ ;

(2)弱风化石灰岩,泥质胶结,为较坚硬岩,节理裂隙发育,沿裂隙有溶蚀现象;

(3)微风化石灰岩,灰黑色,泥晶结构,中厚 ~ 厚层状,泥质胶结,岩石较完整,为较坚硬岩;

(4)隧道穿越既有有线地段有溶洞,围岩中有地下水。

### 4 穿越段施工技术及工艺

本工程穿越段施工里程设为 ZK100+240 ~ 282,共  $42 \text{ m}$ 。为了保证安全顺利穿越既有铁路线,以“新奥法”(NATM)为施工指导思想。“新奥法”的主导思想就是保护围岩,充分发挥围岩的自承能力,同时通过监控量测进行信息反馈,了解开挖后围岩变形情况,判断施工方法是否正确,施工参数是否合理,从而确定是否修改施工设计。

新建隧道下穿既有铁路线通常采用大管棚预支护、钢轨加固、路基预加固、CRD 工法开挖、监控量测等。同时要采取线路停运或线路机车减速的措施。

阿家岭隧道在下穿既有铁路线施工过程中,突破常规技术束缚,根据工程实际条件,通过技术攻关和深入研究,通过新的综合技术应用,解决了施工影响既有线路运行的重大技术难题,实现了既有线路不封闭交通、不减速运行。主要技术措施有:洞室管棚预支护、沉降反馈开挖法、加强初期支护、监控量测技术、管棚变形监测。

#### 4.1 洞室管棚预支护技术

一般情况下,穿越段预支护采用洞室超前长大管棚支护。长大管棚预支护方法是隧道开挖施工中用于防止掌子面坍塌并限制围岩变形的一种预支护手段。

阿家岭隧道下穿既有有线段距离隧道入口  $105$

m,如果采用通常的做法,在洞口施作管棚,一是难度大,二是在下穿既有线洞段无法保证管棚精度。实际设计和施工时,突破传统思想,在穿越既有线洞段之前设一个工作洞室(工作腔),进行洞室管棚预支护作业。

(1)通过隧道下穿段管棚的设置,完成以下工作:在钻孔过程中初步探明下穿段围岩状况,包括围岩类别、岩溶(溶洞)情况、涌水量大小等;确定并设置管棚变形监测孔,埋置变形监测仪器;注浆堵水或引水,将隧道上部涌水隔断在管棚之上;注浆回填岩溶孔洞;注浆充填管棚管内外间隙。

(2)通过以上工作,为沉降反馈开挖法解决如下问题:判别围岩状况,提前设计好开挖参数;通过管棚管内监测反馈信息,与其他监测项目结合,为动态设置开挖参数提供数据支持;通过注浆堵水或引水,减少开挖施工难度和对开挖段围岩的影响;通过注浆回填岩溶孔洞,防止在开挖时产生应力集中,破坏开挖断面围岩的稳定性;通过注浆充填管棚管内外间隙,保证预支护质量,最大限度减少沉降值,为顺利实施开挖提供基础。

洞室管棚开挖方法见图 2。

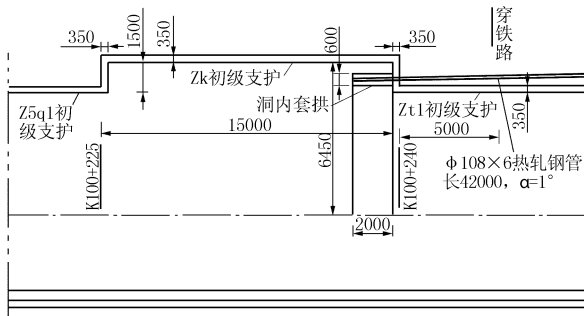


图 2 洞室管棚开挖方法

### 4.2 沉降反馈开挖法

针对隧道下穿既有铁路线的特殊性,项目组专门成立了技术攻关小组,认真开展了技术攻关,经过反复分析和总结,认为要对原设计的 CRD 工法进行重新设计。CRD 工法一般在 V 级围岩隧道中采用,围岩基本不需要爆破或少量的小爆破就可以挖,但对阿家岭隧道来说,下穿既有铁路线段围岩虽然不稳定,且有溶洞、涌水等,但围岩为弱风化灰岩,岩石单体强度较高,需要采取爆破手段,因此不宜采用 CRD 法施工。

选择的开挖方案,要尽可能减小爆破后的围岩暴露面,减小围岩变形及沉降;在爆破施工中,要尽量减小同段装药量,减小爆破对围岩的扰动。这就

要求采取合适的开挖、支护方式,且要控制循环进尺。

根据围岩地质情况,结合类似工程经验,选择能够根据监测反馈的隧道围岩及地表沉降量,随时调整开挖、支护方法的开挖法。这样既可以随时调整开挖、支护方法,又能控制沉降量,还可以保证控制爆破振动。

阿家岭隧道采用的沉降反馈开挖法基本思路如下。

(1)选定相对应的监测项目,包括:管棚应力-应变监测;导洞爆破后观察;导洞临时支护沉降监测;洞顶沉降监测;初期支护变形监测;围岩收敛监测;地表沉降监测。

(2)按规范要求进行实测,建立沉降、应变数据库。

(3)通过实测数据分析,对比允许变形值,确定对既有铁路线有无影响。

(4)调整开挖、爆破参数及初期支护参数,采用新的开挖、支护参数进行开挖、支护,确保变形值在允许范围内。

开挖方法的优劣对控制既有铁路线路结构的变形起着主导作用。经分析研究,决定采用下导洞法施工(仰拱暂不开挖),下导洞开挖尺寸 8 m × 4.5 m(宽 × 高),开挖面积控制在 32.5 m<sup>2</sup>,下导洞循环进尺控制在 2 m 以内,下导洞超前大断面扩挖 4 ~ 5 m。大断面开挖每循环进尺控制在 1 m 以内,尽量减少对既有隧道的扰动。超前小导洞开挖方法见图 3,沉降反馈开挖法施工步骤和程序见图 4。

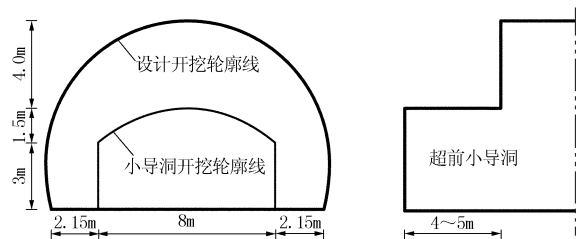


图 3 超前小导洞开挖方法

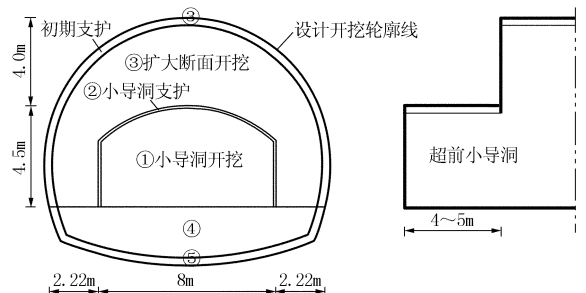


图 4 沉降反馈开挖法施工步骤和程序图

### 4.3 加强初期支护

新建阿家岭隧道与铁路路基交叉段围岩本身属V级围岩,但考虑浅埋、涌水、溶洞的情况以及新建公路隧道对铁路路基的影响,不能按V级围岩进行支护,要对该段衬砌采用提高衬砌等级加强支护,初期支护采用“大钢拱架+锚网喷”支护,以确保新建隧道和铁路路基的安全性及稳定性。

阿家岭隧道初期支护采用钢拱架(I25a工字钢),C25网喷混凝土,厚35cm,钢筋网为 $\phi 8@150\text{mm}\times 150\text{mm}$ ,双层钢筋网,系统锚杆拱采用 $\phi 22\text{mm}$ 砂浆锚杆,单根长4.0m,间距 $0.5\text{m}\times 0.8\text{m}$ (纵向 $\times$ 环向),梅花型布置,I25a钢架支撑,钢架纵向间距按每榀0.5m布置;二次衬砌采用C30钢筋混凝土,厚50cm。

为了保证开挖后的岩面达到“快封闭”,初期支护在断面扩挖后立即进行,初期支护施工程序如下:砂浆锚杆 $\rightarrow$ 钢筋网绑扎 $\rightarrow$ 架设钢拱架 $\rightarrow$ 喷射混凝土。

在通过量测反馈信息实施沉降反馈开挖后,通过加强初期支护,达到如下效果:

(1)及时对开挖后的断面进行支撑,为工程本身提供安全保障;

(2)通过加强支护的实施,下步开挖创造工作面和提供安全保障;

(3)在支护结构上设置监测点或埋置监测仪器,对围岩传递的信息进行监测,特别是沉降值的观测,为沉降反馈开挖法提供可靠的数据支持。

### 4.4 监控量测施工技术

隧道监控量测是隧道施工管理的重要组成部分,它不仅能指导施工,预报险情,确保安全,而且通过现场监测获得围岩动态的信息(数据),为修正和确定初期支护参数,混凝土衬砌支护时间提供信息依据,为完善隧道工程设计与指导施工提供可靠的足够的信息。监控量测技术在本工程施工中更是起着至关重要的作用,通过监控量测,掌握围岩变形数据,便于及时调整支护设计,保证围岩变形在安全范围之内,才可保证既有铁路线不受隧道施工影响。

阿家岭隧道通过设置相应的监控量测项目,提供相应的监测数据,主要是沉降数据(有些可以转换成沉降数据),通过数据的记录、汇总、分析、验证的反馈,特别是沉降数值反馈,对开挖施工方法进行总结、修正、改进。通过沉降值分析结果,决定开不开挖、采用什么方法和参数进行开挖。

在量测项目上除进行常规的地表沉降、洞内拱顶下沉、净空位移、地质及支护状况观察、围岩位移

等项目外,还增设了管棚变形位移量测。通过监控量测,紧抓围岩变形数据预警值,有效地反馈并指导施工,保证了围岩变形、地表轨道沉降控制在安全范围之内。

管棚变形位移量测布置点见图5。

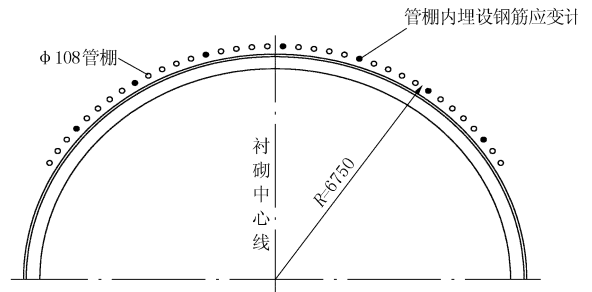


图5 管棚变形位移量测布置点

## 5 结语

(1)经过2.5个月的施工,采取了洞室管棚预支护、沉降反馈开挖法、加强初期支护、监控量测技术、管棚变形监测等综合施工技术,保证了既有铁路线的隧道段成功通过,施工期间既有铁路线未受任何影响,对来往列车也未受任何影响,说明此技术是可行的。

(2)本工程采取的沉降反馈开挖法,并非简单的围岩位移反馈施工法,它是根据铁路钢轨的沉降量进行反馈施工,从而决定开不开挖、采用什么方法和参数进行开挖。这一技术的应用使最终铁路钢轨量只为规范允许沉降量的55%,非常有效地控制了铁路钢轨的沉降量。

(3)本综合施工技术是以铁路钢轨的沉降量为中心,通过沉降量来决定其它技术措施,这是与以往施工技术相比最大的不同。

(4)采取本综合施工技术后,隧道提前8个月通车,相当于提前8个月解决了本溪—辽阳城市间大通道的交通“瓶颈”问题,具有显著的经济效益和社会效益。

## 参考文献:

- [1] JTG/T D70-2010,公路隧道设计细则[S].
- [2] JTG D70-2004,公路隧道设计规范[S].
- [3] 方德平,陆国方,杨刚.北京鹰山特大断面隧道开挖技术[J].探矿工程,1994,(2).
- [4] 黄松,周书明,闫国栋.浅埋大跨度隧道小角度下穿既有有线沉降控制技术[J].石家庄铁道大学学报,2011,(3).
- [5] 刘建国.下导洞超前施工技术在大断面山岭硬岩隧道中的应用[J].现代隧道技术,2009,(6).