

吉青岭隧道浅埋偏压进口段施工风险分析 及综合防治措施

王海明

(中铁十六局集团路桥工程有限公司,北京 101500)

摘要:结合吉青岭隧道的工程实际,分析了浅埋偏压不良地质条件下隧道进口段的施工风险,提出了采取初期支护加强,短循环开挖,初期支护封闭等综合地质灾害预防措施。

关键词:吉青岭隧道;浅埋;偏压;进口段;风险分析;综合防治

中图分类号:U455.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)01-0079-03

Risk Analysis on Entrance with Shallow-buried and Unbalanced Pressure of Jiqingling Tunnel and the Measures/ WANG Hai-ming (China Railway 16th Bureau Road and Bridge Engineering Co., Ltd., Beijing 101500, China)

Abstract: Based on the engineering case in Jiqingling tunnel, risk analysis was made on the construction of tunnel entrance in poor geological condition with shallow-buried and unbalanced pressure. Integrated prevention measures for geological diseases were put forward with early support strengthening, short cycling excavating and early support closing.

Key words: Jiqingling tunnel; shallow-burying; unbalanced pressure; entrance; risk analysis; integrated treatment

一般情况下隧道洞口位置的地质情况均较差,多表现在覆盖层薄、土质松散、围岩体结构承载能力差,如果处理不当极易发生隧道塌方。如果还有偏压等其他不良地质存在,隧道进洞段出现塌方的可能性会更高。吉青岭隧道是汪延一级公路的重点性工程项目,隧道左幅进口地段属于偏压浅埋的V级破碎性围岩,就属于这类情况。

1 工程概况

吉青岭隧道位于延边朝鲜族自治州汪清县境内的仲坪村南约6 km处,轴线位于吉青岭条状山脊上,入口处地形坡度 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,入口轴线与地形等高线斜交,交角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$,洞身段轴线地形坡度 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

吉青岭隧道左、右幅分线布置,每幅长度均在1700 m左右。隧道左幅进口段地质较差,结构层由上至下依次是表土层(上覆植被)、风化砂土层、碎石土层;洞身在风化砂土层与碎石土层中间穿过,砂土层中夹有风化岩块,整个开挖断面节理发育非常严重,有些风化岩块一摔即碎,这一地段全风化层厚度达27 m。洞身由于穿过位置不在山体中间,故一侧形成偏压,又由于洞身轴线与山体走向线相偏过大,所以偏压较为严重。山体风化砂层和基岩裂隙

有潜水流水存在。

2 洞口段设计支护形式

2.1 超前支护设计

采用洞口超前长管棚和超前小导管复合支护设计。洞口长管棚采用 $\varnothing 108 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 的无缝钢管,在隧道开挖轮廓线外环向布置,环向间距45 cm,35根,拱顶加固范围 $132^{\circ} 37' 16''$,纵向外插角 1° ;超前小导管采用 $\varnothing 42 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢花管,环向间距41.3 cm,33根,拱顶加固范围 $120^{\circ} 00' 00''$,纵向外插角 10° 。管长4.1 m,循环长度3 m,前后循环小导管重叠量103.8 cm。

超前管棚和超前小导管注浆渗透加固开挖面外圍岩体,限制围岩松弛和变形,提高岩体的承载能力。

2.2 初期支护设计

环向打设中空注浆锚杆,铺挂 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 钢筋,架设间距50 cm的I18工字钢架,工字钢架间交错布置间距1 m的 $\varnothing 22 \text{ mm}$ 连接钢筋,喷射C25混凝土的锚喷支护设计。

3 施工方法和流程

隧道左幅进口采用短台阶法开挖进洞,上台阶

收稿日期:2009-08-19

作者简介:王海明(1971-),男(汉族),吉林扶余人,中铁十六局集团路桥工程有限公司工程师、注册安全工程师,交通土木工程专业,从事隧道不良地质研究工作,北京市密云县新北路29号,wanghm19710921@163.com。

开挖时,在洞口10 m范围内中间预留核心土,开挖进尺控制在50 cm。施工中各部工序前后紧跟,上、下台阶、仰拱、二次衬砌间留有必要的施工距离的情况下,尽可能缩短相互之间距离,做到及早封闭。

施工工序:上台阶开挖支护→下台阶开挖支护→仰拱开挖支护→防排水→二次衬砌。

4 风险分析

4.1 浅埋洞口段隧道围岩自承能力分析

在Ⅳ级及其更弱的围岩中,隧道开挖在掌子面前方1~4倍洞径内的岩体已经变形,沿切向、径向都受压缩。隧道已开挖段的围岩是在已经被压缩的岩体状况下进一步变形。隧道一开挖,周边岩体向洞内移动,发生张性变形,这样就在隧道周边岩体中形成由外向内的一个自承结构,最外层为松弛带,中间经过一个过渡带到压密区,然后是未受扰动的原岩。松弛带、过渡带、压密区和广义的加强支护,形成一个围岩自承载体系,见图1。

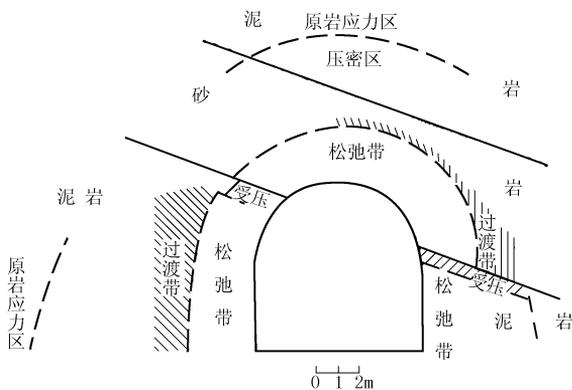


图1 隧道周边围岩自承载体系

如果及时做支护,及时保护了松弛带,随着对岩体径向和切向变形的约束,松弛带就可能情况改善,张性变形减少,松弛带缩小,过渡带成为压密区的一部分,压密区扩大并均匀化,最后达到稳定。

对于浅埋情况下,隧道自承体系不完整。拱部以上土体靠原生结构,靠土、砂的粘滞性和摩擦维持短暂的平衡。所以施工过程中,要通过对围岩补强,以控制松弛带的发展,减少围岩变形为原则进行隧道设计和组织施工。

4.2 左幅进口浅埋偏压段设计安全风险分析

洞身开挖中将面临着开挖跨度大、侧压力、围岩土质松散等几种不利因素,成洞非常困难,设计的超前支护能力不足。

(1)浅埋大跨,围岩稳定性差。本隧道是圆拱形设计,正常断面开挖宽度达到1262 cm;加宽断面

开挖宽度达到1486 cm。开挖跨度大,应力调整的范围相应加大,主要表现在围岩自承体系中松弛带范围变宽、变厚,洞口段覆盖层薄,自承结构层不完整,形成不了结构承载力。

同时圆拱形设计承载效果最好,不会出现局部应力集中,避免隧道支护结构产生裂缝,影响防水效果,能有效提高隧道使用年限,但缺陷是起拱线以下由于开挖轮廓内收,在没有施工仰拱和二衬混凝土前,围岩受压变形的可能性增大。

(2)超前支护能力不足。超前长管棚和超前小导管加固的机理是采用一定的压力灌注水泥浆液,通过岩体中的裂隙扩散到周边围岩,在开挖轮廓线的外围形成拱形的一个加固层,承托固岩径向和切向的压力。浆液的扩散效果与岩石类别、岩石裂隙率、裂隙宽度、岩石间的填充物和填充情况有关,洞口浅埋段全风化土质,节理发育,但节理间粘土充填,缝隙非常小,注浆扩散效果差。

4.3 左幅进口浅埋偏压段施工安全风险分析

4.3.1 上台阶开挖支护施工安全风险分析

(1)在开挖后与初期支护完成前,由于周边土体本身松散,不能提供承载力,而管棚超前支护又不足的情况下,在周边围岩侧向压力的情况下,覆盖层薄的一侧洞身出现坍塌,形成“神仙洞”;

(2)初期支护施工完后,在侧向压力持续作用的情况下,初期支护层向一侧推移,隧道出现变形和移位。

4.3.2 下台阶开挖支护施工安全风险分析

下台阶开挖后,围岩体本身横向支撑约束解除,洞内净空放大,隧道周边岩体进行应力重分布,产生新的松弛带,拱圈外部围岩松散,压力有新的增长。

下台阶开挖范围在起拱线以下(曲边墙范围),开挖支护轮廓内收。一方面,围岩对曲边墙的径向压力将产生较大的水平分力,产生拱圈收敛变形;另一方面,曲边墙支撑上部岩体和初期支护的重力所形成的反力会致使曲边墙底端部产生向上位移。曲边墙本身属柔性衬砌层,抗变形能力较差,而在Ⅴ级围岩地段由于岩体本身结构承载力低,所以对曲边墙的压力较Ⅲ、Ⅳ级围岩要大,在这种情况下,支护变形产生可能性增大。

5 综合防治措施

5.1 加强初强支护

加强初强支护,提高初期支护对偏压的抵抗能力。具体方案是:工字钢由I18改为I22a,同时加设

I22a 临时仰拱横向支撑,横向支撑每米设置 1 道,长度为 30 m。I18 与 I22a 性能参数比较见表 1。

表 1 I18 与 I22a 几何参数比较表

型钢型号	惯性矩/cm ⁴		抗弯截面模量/cm ³		高度 h	腿宽 b	腰厚 d
	I _x	I _y	W _x	W _y	/mm	/mm	/mm
I18	1660	122	185	26.0	180	94	6.5
I22a	2370	158	237	31.5	220	110	7.5
增强程度/%	43	30	28	21	22	17	15

围岩对初期支护的作用力转化为钢架的轴力、剪力、弯矩 3 个方面,最终体现在钢架受力后的变形量上。我们从材料力学可知,表 1 中几何参数的改变,使得 I22a 较 I18 钢架本身承受轴力、剪力、弯矩的能力有很大的提高,从而提高了钢架的抗变形能力。同时增设临时仰拱后,初期支护的受力结构又得到改善和加强,避免了荷载的集中作用,使单位面积上的钢架受力和受弯减弱。

5.2 增设锁脚锚杆

在曲边墙的底部以上 40 cm 位置设置锁脚锚杆,克服周边围岩对曲边墙初期支护径向压力的水平分力,降低上部岩体和初期支护对曲边墙的压力。

5.3 严格控制围岩暴露时间

缩短围岩暴露时间,控制围岩松弛的范围和深度。

(1)短进尺,缩短开挖后围岩暴露时间。按经验估计,开挖支护 1 榀较开挖支护 2 榀,会使循环作业时间减少 30%,使围岩松弛量减少 40%。

(2)机械化作业缩短围岩暴露时间。机械作业较人工作业会成数倍缩短围岩暴露时间。

5.4 保护和加固围岩

保护和加固围岩,限制围岩松弛,提高围岩的自承力。

(1)机械开挖减少围岩的扰动。对局部机械难以开挖的地方,采取控制爆破,降低爆破对围岩的扰动,爆破前,能机械开挖的全部要机械开挖,这样局部爆破时,限制爆破震动力通过围岩扩散,缩小影响范围。

(2)预留核心土。核心土会起到平衡和稳定围岩变化的作用。当核心土解除后,马上施作临时横向钢支撑。李祖伟等^[2]对重庆万开高速公路铁峰山隧道工程的各工况的研究表明:开挖后隧道底部会形成较大的反向弯矩,产生竖向净空收敛,本条措施“留核心土或加临时仰拱”是克服负弯矩的作用。

(3)及时进行初期支护。开挖后立即封闭掌子面和周边围岩,构筑第一层柔性支护层,限制松弛带

的发展,使围岩自承能力尽快形成。也就是利用初喷土的抗拉强度和抗压强度来约束和限制围岩变形,使底部围岩在上部围岩的作用下压密,提高其本身的结构承能力。

6 效果评价

6.1 评价方案

以监控量测数据作为评价综合防治效果的依据。

本隧道开挖前在洞顶埋设地表沉降观测点,进洞支护后立即埋设了净空变化观测点,为了彼此进行印证,地表沉降点观测断面与洞内净空变化(拱顶下沉和水平收敛)观测断面设在同一断面上,洞口断面间距为 4 m,见图 2。

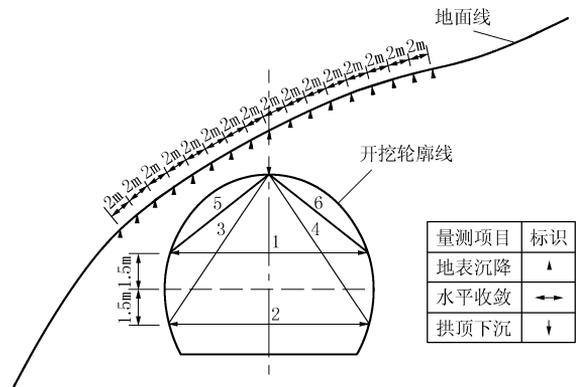


图 2 地表沉降与洞内净空变化监测点布置

监控量测工作分上台阶段施工期、下台阶段施工期、仰拱施工期 3 个阶段,降雨时段增加跟踪监测。每个阶段量测从开始量测至变形稳定止。量测初期,每天量测 2 次,分别是上午 9:00,下午 5:00,后期趋于稳定后每天量测 1 次,持续监测 1~2 星期。

每次量测完后立即将量测数据输入电脑,对数据指数回归分析,生成位移时态曲线,掌握岩体和支护变形的动态变化规律。按变形等级管理确定的三阶段原则指导施工,即实测变形在容许变形量(10 cm)1/3 范围内时,处于正常阶段;在 1/3~2/3 范围内时,需加强量测,密切关注,采取适宜的加强措施;超过 2/3,暂停施工,分析原因,采取特殊的处理措施。

6.2 观测和分析结果

各阶段地表沉降观测点最大下沉量在 1~1.5 cm,累计最大变形量在 2 cm 以内,地表沉降槽曲线未出现大的变化,各阶段变形均在 1~2 星期内趋于稳定。

(下转第 66 页)

经济性和工程环境的协调性,而且要按照系统方法对设计特征值的选取、稳定性系数的确定、安全等级的划分、计算方法的遴选、设计方案的比较进行优化。

同时,在设计过程中要贯穿动态的设计思想,根据施工信息反馈的资料,对设计参数及设计方案进行验证,如确认原设计条件有较大变化,及时补充、修改原设计。

所谓施工过程中的信息反馈主要指2个方面:一是指坡面开挖过程中对暴露出来的地质构造、地下水分布的变化及未知地下建筑物的信息反馈;二是指施工过程中对边坡位移及应力监测的信息反馈。岩土层面结构多变,影响因素多,物理力学性能各向异性大。其结构计算原理及各种参数取值有较大的不确定性,不可能一次计算到位。施工阶段的不稳定性因素多,边坡位移及应力监测能为施工提供直接的原始依据。

边坡的施工质量是确保边坡稳定的非常重要的环节。从原材料的购进、成孔设备的选取、成孔方法的确定、锚杆(索)的制作、注浆的质量、喷护的质量等等要严格把关,强调施工过程的质量。同时要采用信息法施工,就是将设计、施工、监测及信息反馈融为一体的现代施工方法。信息施工方法是动态设计的延伸,也是动态设计的要求。尤其对于地质情况复杂、稳定性差的边坡工程,施工期间的稳定安全控制更为重要。在施工过程中,应贯穿于全过程,使监控网、信息反馈系统与动态设计和施工活动有机结合在一起,不断的将现场水文地质变化情况及时反馈到设计和施工部门,以便调整设计和施工参数,

指导设计与施工。

对于大型边坡工程,边坡稳定性安全监测是监视边坡稳定性状况必不可少的手段,也是非常重要和必要的。通过安全监测,获取边坡变形的信息并对获取信息进行科学的分析和处理,掌握第一手的资料,以便及时地确定相应的处理方案,同时,为今后边坡的治理积累资料。所以,在监测方案设计方面,要把传统的监测手段和现代监测技术结合起来,把常规监测和重点监测、特殊监测结合起来;处理数据时,要把经验方法和现代信息技术结合起来。

5 结语

岩土边坡是一种复杂的地质体,岩土的物理力学性质、破坏模式,这些因素都存在着不确定性,如何从工程施工的各个环节预防边坡锚固事故的发生,如何把这些复杂的、不确定性的因素合理的考虑,把影响边坡工程安全的不利因素控制在一个可承受的范围,从源头上预防事故的发生,需要有一个整体系统的认识方法,这对于减少工程事故、避免不必要的工程损失具有重要意义。

参考文献:

- [1] 曾宪斌,麦荣强,林思波. 锚索结构梁在岩质滑坡治理中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4):72-75.
- [2] 霍宇翔,黄润秋,巨能攀,等. 高陡岩质碎裂结构临时边坡抢险治理方法研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):64-67.
- [3] 赵利铭,谭晓丽,王晓华. 高速公路高边坡锚固护坡综合治理施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(8):61-61.

(上接第81页)

各阶段洞内拱顶下沉和水平收敛最大变形量在0.5~2 cm,累计最大变形量在3 cm以内。时态位移曲线未出现反弯点,变形在1~3星期内趋于稳定,即水平收敛速度 $\geq 0.1 \sim 0.2$ mm/d;拱顶下沉位移速度 ≥ 0.1 mm/d。量测数据表明:进洞开挖方法和支护措施有效,施工控制效果明显。

7 结语

浅埋偏压隧道的综合防治首先从分析工程地质特点入手,了解围岩结构力学变化规律和自承能力的特点,采取适宜的超前加固措施,提高岩体本身的结构承载力和控制其变形;对初期支护进行加强,受

力结构进行完善,使其适应围岩后期变化对支护层产生的压力,限制其变形,确保最终沉降量在可控的范围内。任何支护和加强措施都有一个时效性,针对浅埋偏压不良地质,施工中选择合适的施工工法,作到“短进尺、强支护,早封闭”,同时辅以监控量测,对施工方案和加强措施进行验证,确保顺利进洞,安全施工。

参考文献:

- [1] 钟世航. 隧道围岩自承体系的形成及发展[J]. 铁道工程学报,1994,(9):678-684.
- [2] 李祖伟,袁通,等. 特长公路隧道建设工程技术——重庆万开高速公路铁峰山隧道工程[M]. 北京:人民交通出版社,2007.