

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.02.038

复杂地形地质条件下隧道进洞方案研究

庞小冲, 袁永新

(甘肃省交通规划勘察设计院有限责任公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 由于特殊地形及不良地质条件的影响, 隧道进洞方案各不相同。结合武罐高速公路洛塘至罐子沟(甘川界)段工程实际, 针对洞口复杂的地形、地质条件, 基于安全、环保设计理念, 详细介绍了松散坡积体、顺层岩体、陡峻狭窄地形条件下的进洞方案和“零开挖”的洞口设计, 采用了斜交、台阶式套拱结构等创新性的设计。提出的设计优化方案, 解决了相应的工程难题, 对类似工程有一定的借鉴、指导意义。

关键词: 隧道工程; 进洞方案; 零开挖; 台阶式套拱

中图分类号: U445.7+2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)02-0189-04

Tunnel Entrance Plan Selection in Complicated Terrain and Geology Area

PANG Xiaochong, YUAN Yongxin

(Gansu Provincial Transportation Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730030, China)

Abstract: Because of the special terrain and complicated geological conditions, the selection of tunnel entrance plan is a complicated problem. This paper took the real world project of Wudu - Guanzigou highway, Luotang to Guanzigou (The boundary of Gansu and Sichuan) section as an example. The complicated terrain, geological condition was considered and analyzed, based on the concepts of safety, environmental friendly, this paper proposed a suitable plan for tunnel entrance, which include loosed posit, bedding rock and steep-narrow conditions, the plan does not need any excavation at all, skew and step cover-arch structure design was adopted. The paper can provide guidance to similar projects.

Keywords: tunnel; tunnel entrance plan; zero excavation; step cover-arch

国家兰(州)至海(口)高速公路武都至罐子沟(甘川界)段位于甘肃省陇南市境内,是甘肃、新疆等西北地区与四川、重庆联系的便捷交通要道,该项目地处西秦岭山地,以侵蚀构造切割的高中山地貌类型为主,地质条件复杂,地形高低起伏,相对高差较大,山大沟深,河谷狭窄深切,河岸陡直多呈“U”字型,悬崖峭壁随处可见,并有泥石流、滑坡、崩塌等不良地质分布^[1-2]。本项目路线全长 130.32 km,分离式路基,双向四车道,设计车速为 80 km/h^[3]。为了适应地形,路线整体顺沟谷布设,其中本项目后段(路线长 46.37 km)桥梁 21.3 km/84 座,隧道 22.1 km/51 座,桥隧比例高达 91.2%,桥隧规模位于全国前列。

由于受复杂地形、地质条件制约,本项目路线布设困难,为了适应复杂地形条件以及满足路线走向

要求,设计中隧道结构除采用了常规的分离式双洞外,还采用了小净距、连拱隧道等特殊的形式^[4-5];洞门形式除了少数采用传统的端墙式外,结合地形、地质条件,重视环保理念,多数采用斜削式、直削式、倒削式、环框式、斜交折线式、桥隧相接、隧包桥等形式^[6],其中连拱隧道、隧包桥等结构形式为甘肃省内首次采用。施工完成后,洞门整体景观达到了预期的理想效果。

1 工程地质概况

武罐高速公路总体沿河谷布线,地势上西北(起点)高,东南(终点)低,河谷两岸边坡陡直,基岩出露,路线所在区域总体上属中高山区漫滩型峡谷地貌。隧址区地层主要为第四系松散堆积体及前志留系碧口群千枚岩、薄层变砂板岩等软弱围岩,沿线地

质构造发育,地震活动频繁且烈度大,生态环境脆弱,以滑坡、错落、松散堆积层、软弱围岩等为主的不良地质体极为发育且危害严重^[7],对隧道进洞施工造成很大困难。

2 基于安全、环保理念的进洞方案^[8]

根据区域工程地质特点,隧址区洞口地形虽险峻,但多伴有松散坡积层厚、风化节理严重、顺层滑塌、倾倒变形等不良地质,加之一般洞口段埋深较浅,承载圈的厚度大于覆盖层厚度,地形、地质综合因素决定了洞口段难以形成具有自承能力的承载圈,按照经典的“新奥法”原理,必须重视限制洞口浅埋段围岩的变形,进而有效的减小围岩松动圈的范围(厚度);从受力原理讲,洞口边、仰坡开挖后,破坏了围岩的原始平衡状态,洞口浅埋段围岩就会产生沿路线纵向和横向的土压力,边、仰坡开挖越大,临空面越高,边坡越不稳定,从而可能会出现失稳坍塌,造成洞口浅埋段衬砌结构不仅承受围岩松动圈松散土压力,而且还要承受开挖边、仰坡后产生的侧向土压力。

目前,对于洞口边、仰坡加固防护,基本上为“喷、锚、网”防护,喷混凝土的厚度为 8 cm ~ 12 cm,配合直径 6 mm 或 8 mm 的 20 cm × 20 cm 的钢筋网,且锚杆长度一般在 2.0 m ~ 3.5 m,但施工过程及后期运营中难免出现各种洞口病害。对于洞口边、仰坡的加固,应根据具体地形、地质条件,针对性的采取框架锚杆、半明半暗、斜交套拱,同时再辅以超前管棚注浆预加固支护等方式处理,以实现安全进洞,同时利于环保。

2.1 松散坡积体洞口加固

当洞口松散的坡积体规模较大,厚度达到 6 m ~ 8 m 时,抑或洞口有顺层构造时,传统长度不超过 5 m 的锚杆达不到预期的加固效果,所以必须针对具体洞口的地形、地质条件,确定相对性的坡面加固措施,以下选取代表性的洞口进行说明(见图 1)。



图 1 洞口松散坡积体滑塌

如图 1 所示,洞口的松散坡积体厚度达到了 7 m ~ 8 m 左右,加之存在一个明显的岩土界面,按照我们常规长度为 3.5 m 锚杆的加固措施显然是不合理的,位于松散体内的锚杆锚固段提供不了足够的摩擦力,随着洞口的开挖,坡面自然也就处于一个失稳的状态。因此,针对如此的洞口地质条件,采用长度达到 10 m ~ 12 m 的砂浆锚杆是可以保证锚杆的锚固端深入基岩并提供足够的拉拔力,同时,考虑坡面堆积体的松散,而锚杆是“点加固”效果,采用框架长锚杆“面加固”,效果更为理想^[9]。

2.2 顺层岩体进洞处置^[10]

如图 2 所示,洞口地形陡峻,存在明显的顺层结构,产状顺洞口向,坡脚为省道 S206 线,洞口明暗相接桩号应充分的考虑到坡脚明洞的开挖会使洞顶的顺层结构出现“断脚失稳”的现象:

(1) 对坡面的顺层结构采用 $\Phi 36$ 的三根锚杆束进行加固,重点加强“抗剪”效果,防治其在开挖扰动的过程中顺坡面下滑;

(2) 采用超前支护穿越洞口浅埋段顺层体,为减小开挖对围岩的扰动影响,采用小导洞扩挖进洞。



图 2 洞口顺层结构滑塌

2.3 陡峻狭窄地形进洞方案^[11-12]

武罐高速公路项目一个典型特点就是隧道洞口的地形陡峻狭窄,造成个别隧道的施工场地选取都很困难,大多洞口的施工便道宽度仅有 4 m ~ 5 m,且洞口距离河床的高差达到 30 m ~ 50 m,山体坡面陡直,并有错落、倾倒变形、滑坡及崩塌等不良地质分布,施工条件极其艰苦。因此,设计中为了防止洞口因开挖扰动造成滑塌,结合地形特点采用了斜交套拱和台阶式套拱等新型结构。

葦岩隧道进出口均位于洛塘河岸,植被发育,山势陡峻,洞口距离河床高差达 20 m,坡面近乎直立,由于地形条件的限制,隧道洞口施工便道仅 3 m 左右,无法满足施工车辆的通行,洞口前移,基础需从河床砌筑,洞口后移,坡面的开挖量很大,经过综合评价洞口的地质情况,采用斜交套拱辅助进洞掘

进^[13](见图 3)。



图 3 葦岩隧道洞口施工现场

斜交套拱相对于传统的正交套拱,采用了变断面、变角度和变长度的形式,山体外侧套拱后移保证了施工便道的宽度要求,同时套拱内侧前移以尽可能的减少开挖。岩面开挖之后,首先将第一榀异型钢拱架紧贴开挖面斜交布设,再通过一定长度的过渡段,将洞口段斜向布置的钢拱架逐渐调整过渡为与隧道轴线正交。此种施工方法既减小了开挖,保证了洞口边、仰坡的安全与稳定,又避免破坏了植被,实现了环保进洞(如图 4、图 5 所示)。

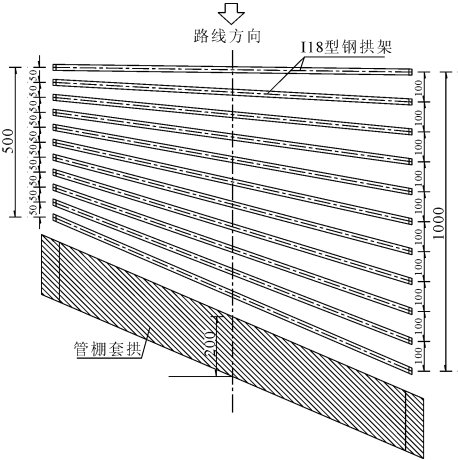


图 4 葦岩隧道洞口斜交套拱平面图



图 5 柿树沟隧道洞口台阶式套拱施工现场

由图 5 可看出,柿树沟隧道洞口山势陡峻,相对高差大,洞口仰坡分布有错落体,受切层节理控制,充填碎裂岩块,局部架空,错落体厚达 60 m,并形成

临空面。为了保证洞顶错落体的稳定,洞口结合地形条件设置了台阶式套拱,套拱拱脚一侧支撑于坡面,另一侧拱脚落底,管棚长度顺地形阶梯布置;外侧采用双侧钢筋网喷混凝土封闭,形成护拱结构以防落石,即避免了洞口边仰坡大的开挖,同时又减少了坡面的扰动,保证了进洞的安全。

2.4 洞口零开挖理念^[14-15]

目前隧道洞口段基本都采用纵向拉槽的方式进洞,在洞口(明洞)长度范围内,自上而下分级开挖,对边、仰坡一般采用“喷、锚、网”方式加固防护,一般在保证洞顶有 3 m~5 m 的覆盖层厚度的情况下,采用超前管棚套拱辅助,通过上下台阶预留核心土土的方式进洞,这种进洞方式形成的边、仰坡一般较高,有的甚至需要设台阶分级开挖,形成高边坡,对原有生态植被破坏非常大。为了解决具体工程中基于传统进洞方案的不足,经过实践总结,提出了一套新的环保进洞理念“零开挖进洞理念”,其核心是根据洞口位置地形条件以及坡体天然坡度,在保证洞口段基底稳定的前提下确定最小刷坡线,亦或在满足施工要求的条件下尽量避免刷坡,利用护拱来保证安全,实现快速、环保进洞施工工法^[16];该方法与传统方法相比,并非完全不刷坡,只是其边、仰坡均较低,这样洞口段纵、横向土压力大幅减小,施工安全、经济,同时洞口地貌易于恢复。

零开挖进洞与传统的进洞方式相比,把传统的洞口边仰坡开挖所需的支挡结构相关的工程措施向洞口零开挖的超前支护等措施上转化,充分的实现了安全、环保的设计新理念。

3 结 论

(1) 对于复杂地形地质条件下隧道洞口方案,应在综合比选洞口地形、地貌和地质条件后确定,合理的选择隧道洞口位置与进洞方式,确定针对性的洞口坡面加固措施,是保护环境和保证顺利施工、安全运营及节省工程造价的重要条件。

(2) 基于安全、环保理念的洞口掘进方案,零开挖是首选的进洞方式,应根据隧道具体地形、地质条件进行设计。零开挖是结果,而不是过程,即应理解为隧道洞门建成能够最大限度的恢复至原地貌、基本无边、仰坡;在施工过程中应允许适当开挖,但应尽可能降低边、仰坡的开挖高度,充分利用山体自稳,避免过多工程加固措施。

(3) 在确定进洞方案时,应尽可能减小对洞口围岩和自然环境的扰动与破坏,但允许有适当开挖,

灵活采取斜交套拱、台阶套拱等进洞掘进方式,具备成洞条件时及早进洞,可有效降低工程造价,避免后期运营过程中的洞口工程病害,保护自然环境。

(4) 针对洞口软弱地层,对充分的重视超前小导管的作用,小导管应与施工循环进尺配合,同时,结合洞口覆盖层的厚度、围岩条件,合理确定超前小导管的长度。

(5) 对于洞口浅埋软弱地层,除了通过主动加强工程措施来抵抗围岩的失稳破坏外,加强施工工法的针对性也是一种途径。通过合理的施工工法,减小对山体的扰动和围岩的失稳变形,避免造成各种工程事故。

参考文献:

- [1] 赵井东,王 杰,沈永平,等.西秦岭迭山西北部冰川地貌分布及其特征[J].冰川冻土,2013,35(4):841-847.
- [2] 赵井东,王 杰,殷秀峰.中国第四纪冰川研究的现状与争议—兼记首届“中国第四纪冰川与环境变化”研讨会[J].冰川冻土,2013,35(1):119-125.
- [3] 中华人民共和国交通部.公路隧道设计规范:JTG D70-2004[S].北京:人民交通出版社,2004:14-20.
- [4] 中华人民共和国交通部.公路隧道设计细则:JTG/T D70-2010[S].北京:人民交通出版社,2010:132-158.
- [5] 廖朝华,郭小红.公路隧道设计手册[M].北京:人民交通出版社,2012:194-286.
- [6] 王毅才.隧道工程[M].2版.北京:人民交通出版社,2000:39-54.
- [7] 杨立波.复杂地形地质条件下隧道进洞施工技术[J].山西建筑,2012,38(3):180-181.
- [8] 余 顺,肖 博,王建华.基于环保理念的山区隧道进洞设计探讨[J].公路隧道,2013(2):31-35.
- [9] 程良奎,张培文,王 帆.岩土锚固工程的若干力学概念问题[J].岩土力学与工程学报,2015,34(4):668-682.
- [10] 于跃勋.地质顺层偏压隧道施工力学研究[D].重庆:重庆交通大学,2012:21-28.
- [11] 杨 墨.特殊地质地段隧道进洞方案研究[D].武汉:华中科技大学,2013:1-42.
- [12] 王玉锁,杨国柱.隧道洞口段危岩落石风险评估[J].现代隧道技术,2010,47(6):33-39.
- [13] 王永刚.武罐高速公路隧道斜交偏压段进洞方案[J].公路隧道,2010(4):27-30.
- [14] 李 明,刘 强,相 晕,等.隧道“零开挖”进出洞施工方法的探讨[J].公路交通科技,2012,87(3):187-190.
- [15] 何小波.坡积体中隧道“零”开挖进洞技术研究[D].长沙:中南大学,2012:21-28.
- [16] 赵永国,龙 涛,韩常领.基于环保新理念的山区公路隧道进洞设计与施工方案[J].公路,2009(10):328-334.

(上接第 188 页)

- [2] Fredlund D G, Xing A, Fredlund M D. The relationship of the unsaturated soil shear strength function to the soil-water characteristics[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(3):440-448.
- [3] 龚壁卫,吴宏伟,王 斌.应力状态对膨胀土 SWCC 的影响研究[J].岩土力学,2004,25(12):1915-1918.
- [4] 刘奉银,张 昭,周 冬,等.密度和干湿循环对黄土地-水特征曲线的影响[J].岩土力学,2011,32(S2):132-136.
- [5] 刘艳红,龚壁卫,苏 鸿.非饱和土的土水特征曲线研究[J].工程勘察,2002(3):8-11.
- [6] 宋亚亚,卢廷浩,季李通.应力作用下非饱和土土-水特征曲线研究[J].水利与建筑工程学报,2012,10(6):147-150.
- [7] 中华人民共和国建设部.土工试验方法标准:GB/T 50123-1999[S].北京:中国计划出版社,1999.
- [8] 宋亚亚.干湿循环作用下非饱和土持水与变形特性研究[D].南京:河海大学,2013.
- [9] 毛尚之.非饱和膨胀土的土水特征曲线研究[J].工程地质学报,2002,10(2):129-133.
- [10] Fredlund D G, Xing A. Equations for the soil-water characteristic curve[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31(4):521-532.
- [11] 吴宏伟,陈守义,庞宇威.雨水入渗对非饱和土坡稳定性影响的参数研究[J].岩土力学,1999,20(1):1-14.
- [12] Pham H Q, Fredlund D G, Barbour S L. A study of hysteresis models for soil-water characteristic curves[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42(6):1548-1568.