

隧道穿越沟谷浅埋地段的施工方法探讨

方梁正¹,王永东²,胡强²,张化川²,张如²,孙安实²

(1. 宁波市交通规划设计研究院有限公司,浙江 宁波 315192; 2. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘要:通过总结和比较明挖法、盖挖法及浅埋暗挖法在浅埋地形下的适用性,结合沟谷地形特征和地质情况,提出隧道在穿越沟谷浅埋段时应分区设计施工方案,并对过渡段在施工及支护方面的差异进行分析和对策探讨。结果表明:以超浅埋界限深度和浅埋界限深度作为U、V形沟谷施工方法选取的界限是切实可行的;采用设置变形缝或预留变形量的措施能有效消除结构间刚度差异;桩长渐变是结构基础埋深差异过渡的可行方案。

关键词:隧道工程;沟谷浅埋段;过渡段;界限深度

中图分类号:U455.49 文献标志码:B

Discussion on Construction Method for Tunnel Crossing Shallow Buried Section of Valley

FANG Liang-zheng¹, WANG Yong-dong², HU Qiang², ZHANG Hua-chuan²,
ZHANG Ru², SUN An-shi²

(1. Ningbo Communications Planning Institute Co., Ltd., Ningbo 315192, Zhejiang, China;
2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: By summarizing and comparing the applicability of the excavation method, the digging method and the shallow burial method in shallow buried terrain, combined with the terrain features and geological conditions of the valley, it was proposed that zoning design and construction should be applied when the tunnel crosses the shallow buried section of valleys. And the differences in construction and support of the transition section and the countermeasures were analyzed. The results show that it is feasible to set the boundaries for U and V-shaped valleys as the boundaries of ultra-shallow buried depth and shallow buried depth. The use of measures to set the deformation joints or reserve an amount of deformation can effectively eliminate the difference in stiffness between structures; gradient pile length is a feasible solution for structural transition.

Key words: tunnel engineering; shallow buried section of valley; transition section; boundary depth

0 引言

随着中国高等级公路建设持续推进,原有低等级公路加速改扩建,山岭隧道得到充分发展的同时,其面临的地形、地质情况也更为复杂多变^[1],修建难度越来越大。浅埋段地层较薄,隧道开挖最危险的是围岩破碎^[2]。工程技术人员对浅埋地形下的隧道

施工进行了大量研究,总结出较为系统的施工经验。王伟锋和毕俊丽^[3]研究了常见的几种浅埋暗挖工法在软岩浅埋隧道中的施工,提出双侧壁导坑法在围岩变形和塑性区控制方面较其他工法效果更好。黄忠财等^[4]研究了拱顶盖挖法在浅埋与超浅埋隧道中的适用性,给出了相应的技术要点和适用条件。陶坤等^[5]研究了隧道洞口浅埋段长大管棚机械化施工

收稿日期:2016-09-10

基金项目:宁波市交通运输科技与成果转化项目(201404)

作者简介:方梁正(1974-),男,浙江金华人,高级工程师,硕士,研究方向为隧道结构与施工优化。

通讯作者:王永东(1974-),男,湖北鄂州人,副教授,工学博士,研究方向为隧道设计、施工与运营管理。

的相关问题,分析并提出了解决方法。尹学平和唐红宁^[6]研究了大断面隧道浅埋段采用盖挖法施工的适用性,提出采用盖挖法替代浅埋暗挖法的施工条件。聂建春等^[7]研究了不同偏压情况下的大断面浅埋隧道施工中的位移控制效果和支护承载情况,给出了不同地表倾角条件下的最优施工方法。董鑫等^[8-9]对浅埋隧道洞口施工过程中的围岩变形特征进行分析,总结了浅埋段隧道的施工经验。刘建中^[10]研究了隧道在浅埋、偏压及软岩条件下的进洞施工特点,给出了相应的施工关键技术和处理措施。李永^[11]研究了软流塑状地层条件下隧道的进洞施工技术,提出隧道进洞应采用适当的辅助工法进行地层加固。

值得注意的是,目前的工法研究大部分局限于工法自身的优化和工法间的比较,对多种工法的综合运用研究程度不够,对工法过渡段的关键技术认识不足。同时,工法的研究主要基于浅埋地形上覆土层厚度小、围岩条件差、开挖后难以形成承载拱的特征,对变化显著的沟谷地形尚没有针对性的研究。故本文以隧道穿越沟谷浅埋段为背景,着手研究各种地形地质条件下多种工法组合的施工方案,并对组合施工中存在的技术难题进行探讨,寻求切实可行的解决方案,为实际工程提供技术指导。

1 浅埋隧道施工方法

常见的浅埋隧道施工方法包括明挖法、盖挖法和浅埋暗挖法三类^[12]。在实际施工过程中,应依据现场的地形、地质、隧道埋深等情况,选择最适宜的施工方法。

明挖法是指向下挖土至设计标高后,在基坑中进行隧道主体结构的修建,之后回填基坑,恢复地面^[13-14]。由于明挖法开挖基坑深度较大,在地形陡

峻的情况下,基坑的防护工程量较大,不仅增加了施工费用,也增大了施工的难度。工程施工中,明挖法一般用于埋置深度浅、山体横纵坡度小的情况。

盖挖法是指先开挖隧道拱部范围内的一定土体,修建护拱后,进行上覆土体回填,并在护拱的保护下进行下部土体开挖^[15]。相比于明挖法,盖挖法基坑开挖深度显著减小,有利于基坑的防护工作,且其受地形条件的限制较小,适用于大多数浅埋的情况。

浅埋暗挖法是采用小导管超前支护、格栅拱架支护等支护措施,配合分部开挖的方法,在距离地面较近的地下进行洞室暗挖施工。浅埋暗挖法对隧道埋深有一定的要求,同时需要一系列的辅助工法来保证施工的安全和质量,工程造价较高。

2 沟谷浅埋段施工方法选择

沟谷是暴雨侵蚀所成的槽形洼地,小的仅长10 m,大的可达数十公里。在沟谷的发育过程中,受到流水、跌水和涡流的冲刷及重力的崩塌作用,沟谷处的围岩破碎且富水,工程性质较差。沟谷两侧坡体的坡度与坡体岩土体性能密切相关,岩质边坡坡度较陡,而土质边坡坡度较缓。坡度各异的边坡与宽窄不一的沟谷组合,构成了自然界迥异的沟谷类型。隧道穿越沟谷时,选择施工方法主要考虑沟谷类型及隧道的埋置深度2个因素,围岩的工程性质对具体的隧道施工有较大影响。

当隧道穿越沟谷的长度较短时,从简便施工的角度考虑,忽略沟谷局部间的差异,以整个沟谷的情况作为施工方法选择的依据。此时,隧道施工方法的选择主要考虑隧道穿越沟谷段的平均覆跨比,并结合相应的地形地质情况、地下水状况、工程造价等因素,具体参数指标见表1。

表1 浅埋隧道施工方法比较

施工方法	地形(坡度)	地质	埋深要求	环境影响	边坡工程量	工程造价
明挖法	坡度缓	各种地层均可	超浅埋	大	土方量及边坡防护量均较大	中
盖挖法	坡度适中	松散软弱地层需局部处理	浅埋或超浅埋	中	土方及防护工程量小	低
浅埋暗挖法	无要求	有水地层需特殊处理	浅埋	小	无	高

当隧道穿越沟谷的长度较长时,沟谷内的地形地质情况对隧道施工影响较大,此时再采用单一的施工方法穿越整个沟谷浅埋段将无法保证施工的质量和安。工程中常用的做法是:根据沟谷的类型,将地形差异明显的区段分割出来(图1),各区段单

独考虑覆跨比、围岩状况、地下水等因素,确定区段内的施工方法,而整个沟谷段的隧道施工是几种方法的组合。

如图1(a)所示,整个沟谷地形变化平缓,谷底平坦开阔,两侧坡体坡度适中,属于U型沟谷。图

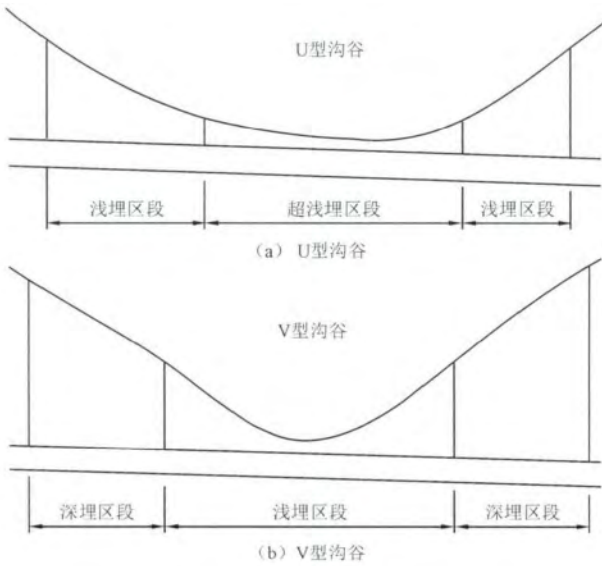


图1 沟谷地形

中所示隧道埋置深度浅,上覆土层厚度在谷底部位较小,向两侧缓慢增加。以超浅埋界限深度、浅埋界限深度为界,将沟谷划分为5个区段。在谷底超浅埋段,考虑施工安全性,可选用明挖法或盖挖法进行隧道施工,不宜采用浅埋暗挖法;浅埋范围内的坡体视具体的围岩情况,选择盖挖法或浅埋暗挖法;深埋区段正常施工。

如图1(b)所示,沟谷地形变化较大,沟谷两侧坡体较陡,沟谷为狭窄的冲沟,属于V型沟谷。浅埋隧道在沟谷凹槽处覆盖层厚度较小,向两侧快速增厚。此时,忽略可能存在的超浅埋区段,仅以浅埋界限深度作为沟谷分区的界限。在谷底浅埋段,围岩破碎且富水,宜优先考虑盖挖法施工;深埋区段正常施工。

上述的分区设计是针对2种典型的沟谷类型给出的一般性施工建议。实际工程中,工程设计人员应在探明沟谷地形地质情况的基础上,结合隧道的实际埋深、施工队伍的技术水平、工程预算费用等因素,确定出一套完整的分区施工方案。

3 组合施工过渡段技术方案

针对沟谷浅埋段地形地质特征,采用多种施工方法组合开挖是保证施工质量和安全的有效措施。但是,组合施工中必然存在着施工接头的过渡问题。在实际工程中,由于结构间刚度差异或基础承载能力不同,接头成为结构渗漏水、基础差异沉降等问题频繁出现的部位,严重影响隧道的后期运营。为了

消除这些安全隐患,保证隧道的营运安全,工程技术人员应采取一定的措施,尽量避免上述问题的出现,或实施行之有效的预防措施,对可能出现问题的部位提前设防。

3.1 明挖法与浅埋暗挖过渡段

明挖与浅埋暗挖过渡段一般采用套拱加管棚作为进洞和出洞的超前支护措施。在隧道明挖到明暗交界断面的一定位置时,采用留核心土法开挖基坑,以核心土的抗推力保证明暗交界断面的稳定;其后施作套拱和管棚,并反过来施作明洞衬砌;待衬砌达到一定强度后,分层对称回填土体,再进行暗洞的开挖,如图2所示。

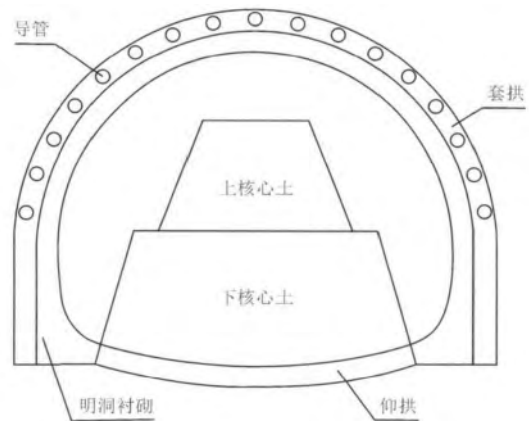


图2 明挖与浅埋暗挖过渡段

3.2 边桩盖挖法过渡段

在采用盖挖法进行隧道施工的区段,由于地基承载能力不同,极可能出现有边桩盖挖法和无边桩盖挖法配合施工的情况,此时就涉及到2种不同类型盖挖法的过渡问题。

无边桩盖挖法适用于地基承载力较好的情况,其护拱承受的荷载通过设置在地基上的枕梁传递到地基上,具体结构如图3所示。

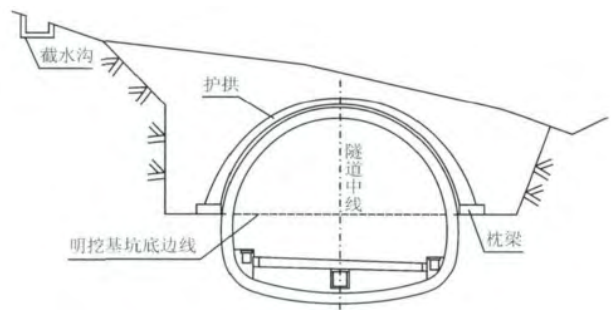


图3 无边桩盖挖法

有边桩盖挖法适用于地基承载力较差的情况,护拱上的荷载传递到托梁,再通过桩基传递到隧底

基岩上,具体结构如图4所示。

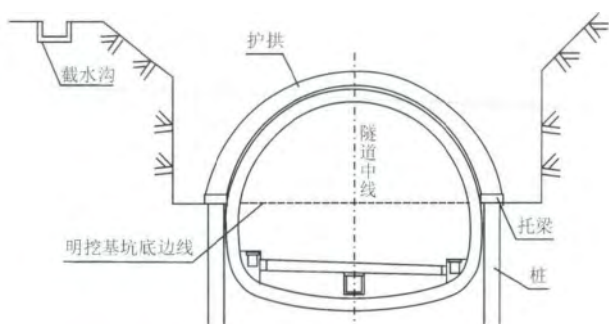


图4 有边桩盖挖法

在上覆荷载相当的情况下,基础埋深对结构沉降影响较大。在盖挖法过渡段,通过调整桩长使有边桩基础均匀过渡到无边桩基础,将衔接部位的基础埋深高差控制在一定的范围,是预防结构差异沉降的有效措施。同时,由于托梁与枕梁的受力情况不同,在两者的衔接部位应该设置1道变形缝,释放结构的内部应力,具体结构如图5所示。

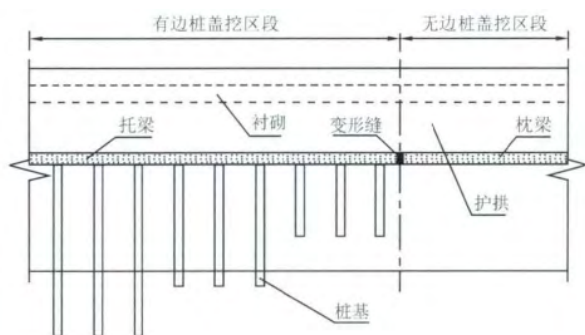


图5 盖挖过渡段

3.3 盖挖法与浅埋暗挖过渡段

施工过程中,使用套拱加管棚作为盖挖法与浅埋暗挖法的过渡方式。关于过渡段的施工工序,可以参照明挖法与浅埋暗挖法。本过渡段的研究重点在于盖挖法护拱与管棚套拱的过渡问题。此2种结构在结构尺寸、基础形式及受力特性上存在着明显的差异,突兀的转变将引起衬砌内力局部不均匀、基础差异沉降等问题,会影响隧道后期运营。

护拱作为隧道开挖的保护结构,仅承受上部填土的压力,结构厚度相对较薄。套拱作为固定和支撑管棚端部的受力结构,在稳定性和承载力方面要求较高,结构相对较为厚实。工程中,为了确保初期支护和二次衬砌在过渡段的连续性,应控制护拱与套拱的内表面平整过渡。

无边桩盖挖法的护拱基础为条形枕梁,设置于隧道起拱线部位;有边桩盖挖法的护拱基础主要取

决于地基的承载力情况,以满足上部结构要求的桩基埋深为准;而套拱的基础深度则需要综合考虑管棚长度、管棚支护范围内的围岩条件、地基承载力等因素,往往深入隧道基底。3种结构的基础埋深存在着一定差异,而基础埋深、基础形式及结构受力方面的差异,必然导致结构差异沉降现象,进而引发结构渗漏水、衬砌开裂等一系列问题。实际工程中,采用护拱和套拱间设置变形缝、衬砌与护拱(或套拱)间预留变形量的方式,将差异沉降的不利影响控制在隧道衬砌外部,从而有效预防护拱与套拱差异沉降对隧道的后期运营产生实质性的不利影响,具体结构如图6所示。

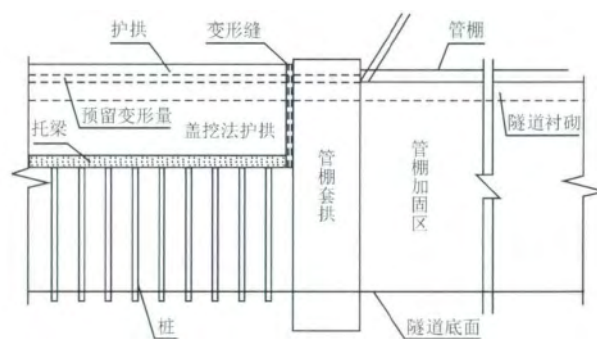


图6 盖挖与浅埋暗挖过渡段

3.4 明挖法与盖挖法过渡段

明挖法和盖挖法的施工槽在开挖宽度和深度上都存在一定差异,实际施工中应注意衔接断面土体的稳定。同时,盖挖法护拱将上覆荷载传递给基础,大大增加了基础处土(石)体的应力。隧道两侧的土(石)体受施工扰动大,应力集中现象显著,应该重点防护。

对于有边桩盖挖法,护拱传递的上覆荷载通过桩基传递到基底土层中,故对两侧土(石)体影响较小。无边桩盖挖法上覆荷载通过枕梁传给下部土(石)体,在隧道暗挖过程中,该部分土(石)体因一侧临空,极易失稳破坏。实际工程中,采用在护拱枕梁处设置外倾的锁脚锚杆措施(图7),将上覆荷载传递到隧道两侧更广的土(石)体中,避免应力集中引起的土(石)体坍塌问题。

盖挖法的隧道结构包括护拱、初期支护及二次衬砌,而明挖法只有明洞衬砌,两者的结构刚度差异较大。对于结构刚度上的差异,工程中常用的方法是在衔接位置设置变形缝。此衔接位置变形缝设置在明洞衬砌与二次衬砌之间,位置属于隧道衬砌范畴,故变形缝不仅要能够释放两墙体的不均匀内力,

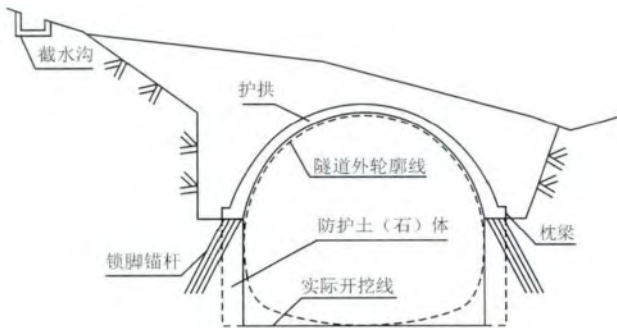


图7 无边桩盖挖法防护

还应该有良好的防渗水能力。此处可以参考地铁基坑施工中相应的接头处理设计^[16]。

4 结 语

沟谷地形变化大,地质条件差,隧道施工难度大。通过总结和比较浅埋隧道的常见施工方法,分析沟谷地形地质特征,得出以下几点结论。

(1)隧道穿越沟谷浅埋地形时,根据隧道穿越长度的不同,采用不同的施工设计理念。穿越长度较短时,忽略沟谷地形地质变化情况,以沟谷整体情况进行分析,选择一种最适宜的施工方法;当隧道穿越长度较长时,应根据具体的沟谷特征分区段选择施工方法。

(2)U型沟谷以超浅埋深度和浅埋深度作为分区的界限,V型沟谷以浅埋深度作为分区的界限。对沟谷超浅埋区段,不宜采用浅埋暗挖法施工,沟谷浅埋区段宜优先选用盖挖法进行施工。

(3)浅埋暗挖法与其他工法的过渡段宜采用套拱加管棚超前支护作为过渡手段,同时采用留核心土开挖保证明暗交接断面土体的稳定。

(4)通过桩长渐变的方式,使护拱基础从有边桩盖挖法的基础埋深平稳过渡到无边桩盖挖法的基础埋深,并在结构衔接部位设置变形缝,有效预防地基刚度差异所引起的结构破坏问题。

(5)采用设置变形缝及预留变形量的组合措施,有效预防盖挖法护拱与管棚套拱因结构刚度、受力

特性等方面的差异所引起的结构内力差异。同时,为了确保初期支护和二次衬砌在过渡段的连续性,应控制护拱与套拱的内表面平整过渡。

(6)对于无边桩盖挖法而言,应在枕梁底部设置外倾锁脚锚杆,避免施工槽两侧的土体因应力过大而发生破坏。同时,设置在隧道衬砌范围内的变形缝除满足释放结构内力的基本要求外,还应该有良好的防渗水能力。

参考文献:

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国隧道工程学术研究综述·2015 [J]. 中国公路学报, 2015, 28(5): 1-65.
- [2] 马一跃,董 辉,胡自然,等. 泥质粉砂岩山岭公路隧道围岩变形[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2014, 34(1): 70-75.
- [3] 王伟锋,毕俊丽. 软岩浅埋隧道施工工法比选[J]. 岩土力学, 2007, 28(S1): 430-436.
- [4] 黄忠财,刘敬霜,马国民. 拱顶盖板法在浅埋与超浅埋公路隧道施工中的应用[J]. 公路与汽运, 2015(3): 223-226.
- [5] 陶 坤,李小龙,石红磊. 长大管棚在隧道浅埋段的施工技术和质量控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010, 27(9): 65-69.
- [6] 尹学平,唐红宁. 大断面隧道浅埋段盖挖法施工实例[J]. 隧道建设, 2014, 34(S1): 282-285.
- [7] 聂建春,郑文博,袁成海. 不同偏压大断面浅埋隧道施工力学分析及优化[J]. 隧道建设, 2012, 32(3): 315-322.
- [8] 董 鑫,赵 能,刘财华. 浅埋偏压隧道洞口施工技术[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(10): 70-73.
- [9] 李 辉. 明挖法和盖挖法地连墙接头处防渗水措施[J]. 隧道/地下工程, 2015(12): 71-73.
- [10] 刘建中. 浅埋、偏压、软岩隧道进洞施工技术研究[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(6): 126-130.
- [11] 李永. 软流塑状地层隧道进洞施工技术探讨[J]. 筑路机械与施工机械化, 2014, 31(10): 76-80.
- [12] 杨晓杰,刘冬明,张 帆,等. 地铁隧道明挖法施工基坑支护稳定性研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(3): 516-520.
- [13] 萧 岩,汪 波,王光明. 盖挖法和盖挖法施工[J]. 市政技术, 2004, 22(6): 359-370.
- [14] 王梦恕. 隧道工程浅埋暗挖法施工要点[J]. 隧道建设, 2006, 26(5): 1-4.
- [15] 温智勇. 盖挖法在山岭隧道浅埋段施工中的应用[J]. 山西交通科技, 2007(4): 51-53.

[责任编辑:党卓钰]