

软弱围岩浅埋偏压隧道洞口施工工法研究

程川芸

中铁十五局集团第五工程有限公司

摘要:我国的交通运输网已形成“五纵七横”的主干线网络格局。其中隧道这一地下交通结构形式已然成为公路设计者在山地和丘陵地区的首选。本文以马家寨隧道工程为背景,从偏压隧道的根源上入手。阐述了偏压形成的原因,简明分析了其受力特点,同时结合已有科研成果,探讨软弱围岩浅埋偏压洞口的施工方法,掌握浅埋偏压洞口的施工技术,并形成工法。以期能为今后类似地质条件的偏压隧道施工提供一定的理论依据和参考价值。

关键词:隧道工程;浅埋;偏压洞口;施工工法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.055

一、绪论

(一) 选题背景及研究目的

1. 选题背景

交通运输在国民经济发展中有着举足轻重的地位,世界各国的经济发展均离不开畅通便捷的交通网。迄今为止,我国的交通运输网已经大规模成型,高速公路总里程突破17万公里,已形成“五纵七横”的主干线网络格局^[1]。但我国幅员辽阔,崇山峻岭遍布,近70%的国土面积是山地丘陵地带,尤其西南地区峰峦层叠,鳞次栉比,地质条件复杂异常。隧道这一地下交通结构形式已然成为公路设计者在山地和丘陵地区的首选^[2]。

隧道通常位于高山峡谷遍布地区,在受到地形构造不对称或地质岩层因素的影响时容易导致其两侧的荷载不对称而产生偏压。其次在洞口段的山体区域较易遇到大体积厚层堆积体,这类堆积体会加剧隧道洞口段的偏压受力。且隧道周边岩体会因洞口施工而产生应力,其支护结构也容易出现变形,甚至可能出现冒顶、塌方等工程灾害^[3]。鉴于此,隧道施工前一定要充分考虑洞口段的地质情况,合理选用偏压隧道的施工工法。

2. 研究目的

隧道开挖过程中遇到偏压情况,围岩失稳,会对工程质量、安全、进度产生一系列影响。因此需要加强隧道洞口施工力学分析,选择科学合理的施工工法,才能确保围岩和支护结构的可靠性^[4]。本文以马家寨隧道工程为背景,该隧道出口端洞口段属富水软弱V级围岩,受地形引起的偏压影响。且围岩为白云质灰岩,强、中风化,碎裂结构,结合力差。拱部无支护时会产生大塌方,侧壁常失去稳定,开挖时有点滴状出水。根据该段复杂地质条件情况,对其施工工法进行研究。

(二) 研究现状及研究内容

1. 研究现状

目前浅埋偏压隧道的研究在隧道工程领域中相对较少,浅埋偏压隧道此前的研究对象主要以大跨度、小净距、不良地质等类型为主^[5],研究的方向多侧重于洞口边仰坡安全稳定性、周边围岩稳定性、二次衬砌等支护结构受力等方面,在隧道施工技术探讨上多侧重于施工过程分析等方面。而实际工程的施工条件往往复杂多变,不同空间条件下的偏压隧道施工顺序该如何选择没有统一的方案。

2. 研究内容

本文以云南省“十三五”规划的重点项目临清高速公路马家寨隧道工程为背景,着重从以下几个方面进行探究:

(1) 隧道地质探究。对常见不同类型的偏压隧道进行地质分析。

(2) 成因探究。从公路隧道偏压成因入手分析,分析研究造成偏压的各个因素,以便做到从根源上“对症下药”。

(3) 方案选取。通过模拟计算探究、结合以往施工经验和相关规范要求,综合考量之下选取最优的施工方案。

(4) 工法。确定方案后,优化施工方法,研究偏压隧道整个施工过程中的控制要点,并形成工法。

二、偏压隧道洞口段地质条件及偏压特征分析

(一) 工程概况

1. 工程地质及水文条件

本隧道是云南省“十三五”规划的重点项目临沧临翔至清水河高速公路。由中铁十五局集团有限公司承建的马家寨隧道。左幅全长2543m,右幅全长2603m。相对最大高差578.1m。

项目区地处云贵高原之西南边缘,其地形高差悬殊巨大。隧道出口地形较陡,仰坡由强风化灰岩组成,坡体自然状况下稳定,受扰动后易失稳。隧道出口端左幅ZK55+390~ZK55+437段,右幅K55+430~K55+503段围岩均为白云质灰岩,结合力很差。拱部无支护时可产生大塌方,侧壁常失去稳定。洞口仰坡稳定性较差,地下水类型为基岩裂隙水。

2. 工程特点及施工难点

(1) 该隧道洞口围岩常年经受不同程度雨水冲刷以及地下水流动的影响,且夏秋两季会出现连续降雨,所以马家寨隧道的施工有一定的安全隐患,对整体的施工亦存在挑战。

(2) 该隧道出口地形较陡,坡度约65°,出口端浅埋偏压。

(3) 该隧道洞口围岩稳定性差, 开挖易引起洞顶斜坡土体滑塌失稳。

(4) 该隧道出口端洞身岩体风化严重, 岩体极破碎, 多呈碎石状碎裂结构, 施工挑战性巨大。

(5) 该隧道出口端属富水软弱围岩, 存在偏压情况, 其岩体强度、刚度、稳定性都很差, 开挖时易产生较大变形。

(二) 隧道偏压成因

1. 地形因素

地形偏压隧道的特点是大多地表自然坡度较大, 侧向压力较大且两侧不对称, 靠近山体的隧道洞口段尤为明显。而且有一定规律性。如图2-1所示, 压力较小和较大的一侧分别称为被动压力区和主动压力区。围岩和衬砌结构承受非对称压力, 形成偏压现象的根本原因是地表存在坡度, 导致隧道承受非对称荷载^[6]。隧道洞口处地质岩层较为松软, 产生的偏压对隧道洞口处的影响尤为显著, 地形是造成隧道偏压受力主要原因。

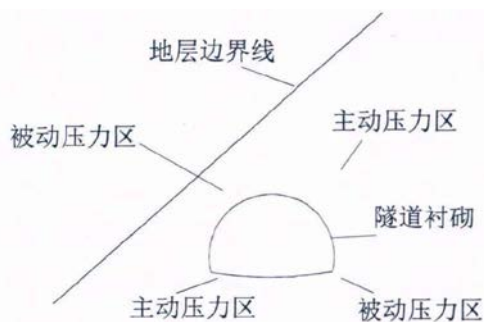


图2-1 地形偏压示意图

2. 地质因素

地质因素影响一般存在两种情形。其一是由于隧道所在区域岩体节理发育, 岩体间有的掺杂软弱面层。此围岩特性造成围岩自稳能力极差, 在没有过强的外力予以干扰时, 其自身可以保持稳定状态。一旦受到外力干扰, 如在隧道掘进施工时, 围岩受到扰动会失稳、滑动, 如图2-2所示。此类偏压情况一般是由于各岩层间有滑动面或软弱结构面; 其二是当隧道所处区域为岩溶区时, 在流水、地质运动等多种因素的影响下, 洞内多为黏土、淤砂, 加之洞内含水充分, 在此状态进行施工掘进, 隧道受偏压概率非常之高。

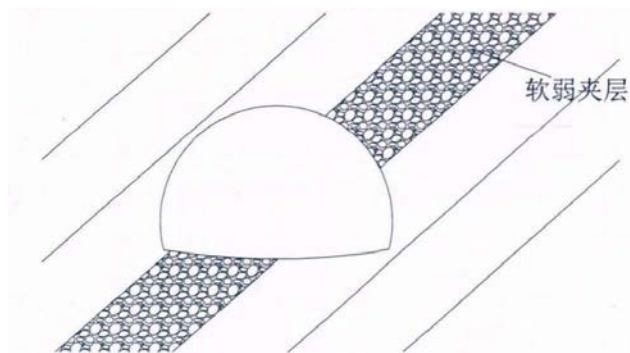


图2-2 地质偏压示意图

3. 施工因素

隧道在施工过程中, 开挖方法不当, 进而破坏围岩压力的相对稳定性, 就会造成局部应力不平衡, 甚至产生应力集中现象, 形成偏压, 进而形成开挖断面局部坍塌的潜在风险。隧道施工方法不正确所引起的偏压主要有两种情况, 一种情况是当施工时两侧施工进度出现非对称性, 在一定程度上会导致隧道偏压; 另一种情况是因施工方法不当导致隧道局部坍塌, 进而引发隧道的局部偏压。

三、有无超前支护施工方案选取

通过一系列的模型、参数、地质条件等的分析, 结合无超前支护和长管棚超前支护两种工况下隧道围岩应力及塑性变化规律, 充分考虑实际情况, 以此选取最佳的超前支护方案。

(一) 有无长管棚超前支护数值模拟分析

1. 工况计算

建立相关模型对有无超前支护两种不同工法的偏压段施工进行分析, 从围岩稳定性、围岩应力以及围岩塑性区三方面分析其力学规律。

2. 工法结果对比分析

(1) 围岩稳定性分析

a. 隧道拱顶沉降分析

长管棚超前支护和无超前支护的拱顶沉降情况如图3-1所示。

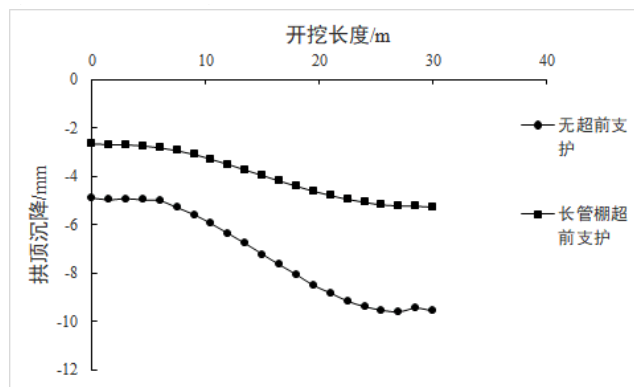


图3-1 拱顶沉降图

由图3-1可知, 总体来看两种工法的拱顶沉降变化规律大致相同。可以看出隧道开挖作业越深, 其拱顶沉降度越来越大。而且刚开挖洞身时拱顶沉降最为明显。长管棚超前支护隧道开法最大拱顶沉降为5.27mm, 无超前支护隧道开法最大拱顶沉降为9.56mm, 由此不难看出, 长管棚超前支护工法安全性更高, 性能越好。

b. 围岩变形分析

由图3-2可知, 无超前支护工况下开挖完成后围岩最大竖向变形为13.45mm, 长管棚超前支护工况下围岩最大竖向变形为6.9mm。从围岩变形量来看, 无超前支护工况下开挖的变形量远大于后者。所以长管棚超前支护施工有利于有效控制围岩变形。

(2) 衬砌应力分析

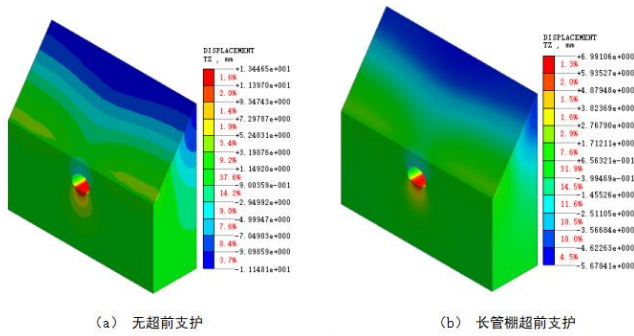


图3-2 竖向围岩变形

如图3-3所示，分别为长管棚超前支护和无超前支护的衬砌最大压应力。

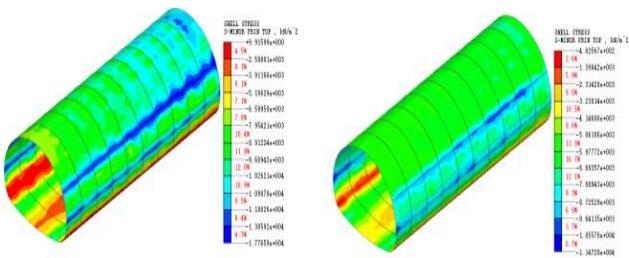


图3-3 衬砌最大压应力图

由图3-3可知，隧道开挖时无超前支护衬砌最大压应力为17.77MPa，后者的最大压应力为11.47MPa。采用超前支护手段，衬砌所受最大应力远小于无超前支护。显而易见，采用长管棚超前支护施工是最优方案。

(3) 围岩塑性区分析

如图3-4所示，图a和图b分别表示无超前支护和长管棚超前支护的围岩塑性区图。

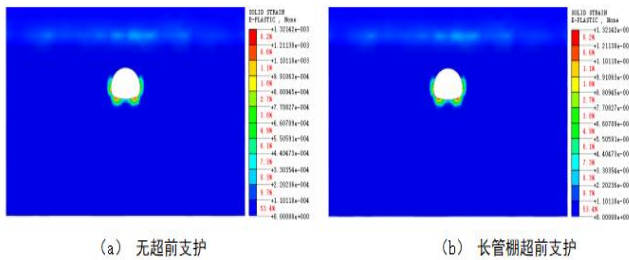


图3-4 围岩塑性区图

从图3-4可以看出，长管棚超前支护工况下围岩最大塑性应变最大值为 9.05×10^{-4} ，后者围岩最大塑性应变最大值为 1.32×10^{-3} ，故此采用长管棚超前支护施工其周围围岩稳定性更好，安全性也更高，可最大程度减少围岩塑性带来的影响。

(二) 结论

综上所述，富水软弱围岩偏压隧道洞口施工时，为了加固效果、质量效益、进度效益、长管棚超前支护施工方案是支护方案最优解。

四、施工工艺流程

(一) 施工工艺

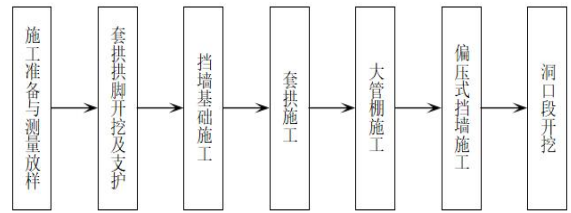


图4-1 施工工艺流程框图

图4-1为马家寨隧道洞口端施工工艺流程，开挖之前一定要注意套拱、挡墙、大管棚、偏压墙的施工，为开挖奠定良好基础。

五、工法效益分析

(一) 经济效益

在临清高速公路马家寨隧道出口端洞口段的施工中，应用了《浅埋偏压洞口施工工法》的关键技术，产生了较好的经济效益，极大地提高了施工效率，缩短了工期，节约了成本，降低了安全风险，保证了工程的顺利完成。节约成本480万元。

(二) 社会效益

该工法研究成果成功应用于临清高速公路马家寨隧道出口端浅埋偏压洞口段的施工。实施效果表明施工方案有效可行，在马家寨隧道洞口V级围岩段施工中采取《浅埋偏压洞口施工工法》增强了洞口围岩稳定性，达到了良好预期效果。

六、结论

本文以马家寨隧道工程为背景。开展了浅埋偏压洞口施工技术研究，从源头上分析偏压的原因及受力情况，以便“对症下药”^[7]。浅埋偏压洞口施工技术成功应用，为偏压等不良地质情况的施工提供了解决思路。通过和已有科研成果的结合，认真实践，结合相关的试验研究和技术应用研究，探讨浅埋偏压洞口的施工方法，全面掌握浅埋偏压洞口的施工技术、工艺，并形成工法。实施效果表明本工法有效可行，为今后类似地质条件的偏压隧道施工提供了一定的理论依据和参考价值。

参考文献

[1] 颜世成. 宜毕高速公路软弱围岩偏压隧道洞口段围岩变形及其控制[D]. 北京交通大学, 2018.
 [2] 崔洋. 厚层堆积体偏压公路隧道洞口施工力学及安全控制技术[D]. 西南交通大学, 2021.
 [3] 张进步. 破碎岩体对低山区隧道工程施工的影响[J]. 福建建材, 2022(11): 76-78.
 [4] 刘文杰. 基于灰色一变权理论的浅埋偏压隧道施工风险研究[D]. 重庆交通大学, 2021.
 [5] 邹超. 正习高速公路浅埋偏压隧道施工风险评估与控制研究[D]. 重庆交通大学, 2021.
 [6] 吴逆. 偏压隧道施工技术探讨[J]. 门窗, 2017(03): 93.
 [7] 张艺杰. 偏压隧道交叉口围岩变形和支护结构力学特性研究[D]. 长沙理工大学, 2019.