

新奥法在铅锌矿巷道支护中的应用

杨 柳 斌, 李 超, 黄 地 义

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘 要:本文基于塔吉克斯坦铅锌矿项目巷道掘进施工情况,阐述了如何依据新奥法的基本原理优化巷道掘进支护施工流程的过程,经过试验分析得知:新奥法适用于该项目巷道的支护施工,既能保证支护强度,又能减少过度支护。

关键词:新奥法;塔吉克斯坦;铅锌矿;地下矿;巷道支护

中图分类号:TD8;TD3

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)增 2-0073-06

Application of New Austrian Method in Roadway Support of Lead-zinc Mine

YANG Liubin, LI Chao, HUANG Diyi

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: Based on the tunnel excavation construction situation of the lead-zinc mine project in Tajikistan, this article explains how to optimize the tunnel excavation and support construction process with principles of the New Austrian Method. After experimental analysis, it is concluded that the New Austrian Method is suitable for the tunnel support construction of this project, both it can ensure the support strength and reduce excessive support, making the support design and construction more scientific and reliable.

Key words: New Austrian method; Tajikistan; Lead-zinc mine; Underground mine; Roadway support

1 概 述

塔吉克斯坦铅锌矿项目位于塔吉克斯坦卡拉库姆市阿尔登-托普坎塔中业有限公司铅锌矿区,距离首都杜尚别约 400 km,距离塔国第二大城市胡占德(苦盏)约 100 km。该矿床位于具有丰富地质历史的天山西支脉库拉玛山的西南末端,其所在地经历了火山运动和断裂带的相互作用。在海拔 1 000~1 800 m 范围的矿区内,这种古老的地质活动形成了极其复杂、变化多端的构造格局。在矿区内部,断裂构造的发育尤为明显。例如,西部的阿尔登-托普坎断裂带与东部的安达巴依断裂带形成了明确的地质界限。这些断裂带不仅是矿床形成的直接证据,同时也为矿床的形成提供了有利的条件和空间。这一地区的岩层组成也为地下水的存在和活动提供了必要的条件。结晶灰岩、花岗闪长斑岩、矽卡岩和长石砂岩在该矿区中广泛发育,其中结晶灰岩和花岗闪长斑岩作为主要的含水层为地下水提供了储存和流动的空间,而矽卡岩和长石砂岩则作为隔水层确保了

地下水资源的稳定性。该矿区的主要水源依赖于大气降水及高山冰雪融水,这两种水源为该地区提供了持续的地下水补给。根据已有的地质条件资料,该矿床的工程地质条件被归类为中等复杂程度。该矿床的巷道掘进采用钻爆法全断面爆破掘进,巷道掘进的钻孔设备采用单臂凿岩台车和 YT-28 手风钻,采用毫秒微差非电导爆雷管起爆。出渣采用铲运机装渣、自卸汽车运往排渣溜井或充填空区,循环进尺采用 YT-28 手风钻时为 2~2.5 m,采用掘进台车时约为 3 m,支护施工按照设计图纸要求随掘进每循环及时跟进,支护方法主要采用锚网喷支护与钢拱架支护。

该项目以往的支护方案设计,主要依靠工程技术人员经验确定,其不能很好地适应现场的实际条件,存在过度支护、支护材料消耗大、影响施工进度情况,也存在支护强度不足、巷道顶板脱落、导致二次支护甚至巷道报废的情况。为优化支护流程,解决支护设计不合理的问题,技术人员经过对支护方案进行研究,引入新奥法作为支护设计的依据,尤其是新奥法引入了测量监测环节,从而为巷道的支护设计施工及后期评价提供

收稿日期:2023-07-25

了数据支撑,减少了对技术人员以往经验的依赖,解决了该项目支护过程中存在的问题。

2 新奥法的基本原理

新奥法为奥地利隧道新施工方法的简称,是一种地下工程支护方法,其以岩体力学理论为基础,注重维护和利用围岩的自承能力,主要采用锚杆和喷射混凝土。该方法将围岩作为支护体系的一部分并通过量测和监控指导施工。新奥法认为围岩可以起到支撑作用,其通过喷射混凝土、锚杆以及轻型钢拱架等手段,构筑薄层支撑环形成与围岩紧密结合的支护结构承受压力。该方法在多种地层情况下均可应用,包括软弱破碎不良地层。笔者将新奥法的基本要点归纳如下:

(1)爆破方法与开挖设计方案的选择:为了降低对围岩的扰动和减少应力集中,开挖作业需要采用特定的爆破技术。例如,光面爆破或预裂爆破被认为是开挖中的优选方法,这些方法能有效减少围岩的损伤和不稳定性。

(2)围岩自承能力的利用:施工时,选择合适的支护方法并在正确的时间进行支护以利用围岩的自承能力,选择圆顺的巷道断面轮廓并避免因应力集中导致的岩体失稳。

(3)初期围岩变形的控制:尽管允许围岩存在有限的变形,但为了防止其出现过大的变形和脱落,必须及时采取初期支护措施。例如,使用柔性喷射混凝土和锚杆可以有效地控制围岩的初期变形。

(4)动态观察与施工程序的调整:随着施工的进展,围岩和支护的状况可能会发生变化。因此,动态观察和测量成为施工中的关键,据此可以合理安排施工程序并在必要时灵活调整设计方案。

(5)二次衬砌支护的应用:当围岩与初期支护的变形达到基本稳定时,为了进一步确保隧道或工程的安全性,需要进行二次衬砌支护^[1]。

2.1 喷射混凝土支护的原理

首先,开挖后立即对围岩进行喷射混凝土作业能有效封闭岩体,将其与外部的水和空气隔离进而防止了围岩的风化,保护了围岩不受进一步的侵蚀或削弱其承载能力;第二,当喷射混凝土以高速从喷嘴喷向岩面时不仅能形成一个密实的外表面,且其部分混凝土浆液甚至还能渗入裂隙或节理中。这种渗透作用能够实现胶

结加固的效果,进而增强了围岩的整体强度;第三,为了应对不同的地质条件和应力环境,可以采用特定的喷射混凝土配比或将其与金属网、钢纤维等材料配合使用。这样的组合不仅能够增强喷射混凝土的柔性,而且有助于应力更均匀地分布,从而有效地减少了应力集中现象,为巷道提供了更高的安全保障。

2.2 锚杆支护原理

锚杆具有三种主要的支护作用:悬吊、组合梁和挤压加固。锚杆的悬吊作用是通过其顶端锚固在坚硬且稳定的岩层中实现的。锚杆可以有效地阻止其下部不稳定岩层的移动和滑落、抵抗地质运动和重力引起的岩体不稳定性,从而为岩体的整体结构稳定提供基础。锚杆在层状岩层中的组合梁作用亦不容忽视,这种作用是通过将多层薄层状岩层锚固在一起实现的,仿佛是将叠置的板梁组合成一个更强的组合梁,该方法特别适用于处理由多个薄层构成的岩体,进而增强了岩层的自支撑能力,减少了对外部支护结构的需求;而锚杆的挤压加固作用则是在受拉状态下发挥的,当围岩发生位移或对锚杆施加了预应力,在受拉锚杆附近的围岩会形成一个锥形压缩区,该压缩区可以进一步扩展为一个均匀的压缩带,进而显著提高了围岩的整体稳定性^[2]。锚杆支护起到的挤压加固作用见图1。

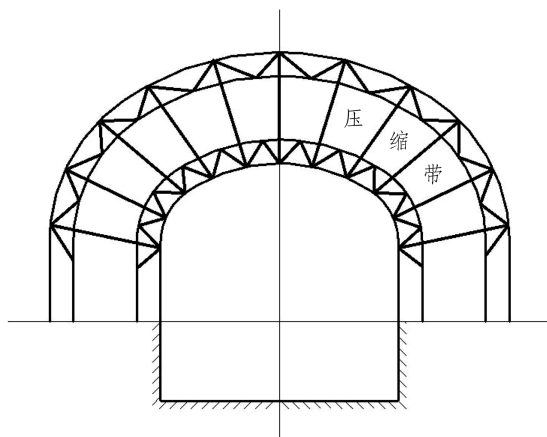


图1 锚杆支护起到的挤压加固作用示意图

3 新奥法的施工程序

3.1 测量

测量工作是验证设计、监视施工的重要手段,也是监控围岩安全稳定的关键。测量项目主要包括目测观察、巷道位移测量和锚杆抗拔力测试。其

中细致的目测观察在监视围岩稳定性方面具有省时且作用很大的优势。通过目测观察,可以获得与围岩稳定状态有关的直观信息,其在新奥法量测中占据重要的地位。目测观察能够确定岩石的性质、节理特征、断层情况以及地下水的类型和涌水量等,从而为工程设计和施工提供重要的依据^[3]。

(1)围岩稳定性分析。围岩稳定性分析常用的方法大致分为工程类比法、理论计算法和实测法。工程类比法是根据已有的支护类似工程取得的经验、通过类比的方式直接提出支护参数。该方法依赖于设计者的实践经验并与其密切相关;另一方面,由于地下工程的复杂性,包括岩体强度与变形特征等问题,使用理论分析方法在定量化和理论化解答时仍存在困难。鉴于理论分析方法的基本假设与客观状态存在一定的差异,因此,目前取得的计算结果只能作为定性参考。而实测法具有可靠且实用的特点,因此需要对每条巷道甚至不同条件的巷道段进行大量的实测,但其会增加测量的工作量,导致出现较高的测量费用。

在该铅锌矿项目中采用了工程类比与现场实测相结合的方法。首先,通过对地质资料和巷道目测结果进行分析后确定了巷道围岩的类别,然后根据以往施工的工程资料和施工经验选择出合适的支护形式和支护参数。在施工过程中,技术人员对巷道的顶板沉降和两帮的收敛情况进行了实测并观察了支护的稳定状况,用以检验设计支护参数的合理性。同时,在施工过程中持续不断地完善设计参数,使支护参数更加合理、适用、经济和方便。

考虑到该项目围岩主要为花岗岩、灰岩,其含矿岩石为矽卡岩,岩石硬度系数 $f=6\sim 12$,原岩强度较高且其围岩压力主要为松脱压力,未发现明显的构造压力及冲击压力,分析认为影响围岩稳定性的主要因素是节理裂隙。因此,针对该项目围岩稳定性分类采用了按岩石质量指数(RQD)的分类方法。当 RQD 大于 75% 时,不进行支护或采用局部素喷混凝土;当 RQD 为 50%~75% 时,采用锚网喷支护;当 RQD 为 25%~50% 时,采用锚网喷支护或钢拱架支护;当 RQD 小于 25% 时,采用钢拱架支护。为了便于通过现场目测确定围岩的稳定性,RQD 值与平均裂隙的间距关系对应见表 1。

表 1 RQD 值与平均裂隙的间距关系对应表

序号	RQD / %	平均裂隙间距 / mm
1	75~100	>170
2	50~75	100~170
3	25~50	70~100
4	0~25	<70

(2)巷道位移测量。巷道位移测量包括顶板沉降及边墙位移,该项目在顶板及两边墙设置了 3 个测点。测点布置形式见图 2。顶板沉降通过水准测量测定其绝对位移,而边墙位移则通过测距仪测定其对应两测点的相对位移。开挖后变形量初期较大、逐渐减缓,最后趋于稳定,巷道的预留位移量设置为 70 mm^[4]。前 15 d 每天测量 1~2 次,16~30 d 每 2 d 测量一次,30~60 d 每周测量 1~2 次。

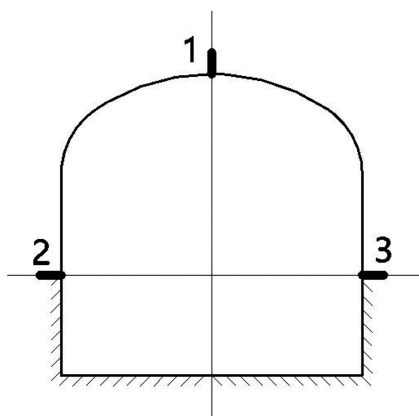


图 2 测点布置形式图

需要指出的是:现场实测数据是评估围岩稳定性和支护结构可靠性的重要依据。这些数据需要经过计算得到一系列量测参数,包括测量时间间隔、累计量测时间、隧道水平收敛差值、累计收敛差值、当日收敛速率、平均收敛速率以及测量断面至开挖面的距离。这些数据可以用来绘制收敛差值与时间、当日收敛速率与时间等关系曲线。通过分析这些关系曲线,可以用于研究围岩的变形与时间的关系,找出不同时刻围岩的变形量和变形趋势。通过预估围岩的最大变形量并将其与变形临界值进行比较,可以判断巷道围岩的变形是否在允许范围内。如果预估的最大变形量超过变形临界值,则可能需要采取相应的支护措施。通过这样的比较可以为进一步的工程决策提供重要的参考。此外,还可以讨论变形速率及其加速度以判断巷道围岩的稳定性和支护结构的可靠

性。对变形速率和加速度进行的分析有助于评估岩体的变形趋势和可能的不稳定情况,从而及时采取相应的措施维护工程的安全性。

3.2 锚网喷支护

(1)素喷混凝土

爆破出渣完成后先进行素喷混凝土支护,素喷厚度为3~5 cm。喷射前,必须先用水对岩面进行冲洗以确保喷射的质量。喷射过程中,应先给水再进行送料;喷射结束时,应先停风,然后停止供水。

(2)施工锚网

现场采用管缝式锚杆,其长度为1.8 m,直径为40 mm,布置呈矩形,纵横间距均为0.8 m,垫片的尺寸为100 mm×100 mm。钻孔过程中,采用手持式风钻并随时检查和调整孔的距离和角度,确保锚杆孔的轴线偏差不超过设计要求的3%。钻孔结束后,使用高压风和水将孔壁清理干净并确保孔内不残留废渣或岩粉。若锚杆暂时不需要插入,则应及时加盖或堵塞孔口以保护其免受外界环境的影响。安装锚杆时,将垫片套在管体上,使用凿岩机通过连接器将锚杆推入孔中,直到垫片紧压在岩面上。在锚杆安装过程中,使用锚杆托盘将网片分卷压挂并使用钢丝绳将网片接头联结在一起。

(3)二次喷射混凝土

①首先,在送风之前先打开计量泵,以避免高压混凝土拌合物堵塞速凝剂环喷射孔。送风后,需要调整风压并将其控制在0.45~0.7 MPa之间。若风压过大,粗骨料在与围岩接触后会产生回弹现象;而风压过小,则其喷射动能不足,将导致粗骨料无法冲入砂浆层而脱落,以上情况均会增加回弹量。

②喷嘴与岩面的距离应保持在80~150 cm。过于接近或过于远离岩面都会增加回弹量。为了保持适当的喷射距离,可以将喷嘴固定在机械手上进行作业。

③喷射方向应与受喷面垂直,特别是在拱部区域,应尽可能地以直径方向进行喷射。当受喷面被钢架或钢筋网覆盖时,可以略微偏斜喷嘴的角度。

④在喷射混凝土厚度大于5 cm时,应分两层进行喷射作业达到要求的厚度,并且两层喷射之间的时间间隔应为15~20 min。首次喷射时,需

要先找平岩面。第二次喷射混凝土应在第一层混凝土终凝1 h后,进行并清洗第一层混凝土表面。喷射混凝土终凝2 h后进行喷水养护,养护时间不少于7 d。喷射混凝土开挖时,下次爆破距离上一次喷射混凝土完成的时间间隔应不小于4 h。

⑤喷射混凝土作业应分段、分块进行,按照先墙后拱、自下而上的顺序进行。一般将其分为小片,长2 m、宽1.5 m。喷射之前,需要先找平受喷面的凹处。喷射时,为了避免回弹物附着在未喷的围岩面上而影响到喷层与岩面的粘结力,应将喷头呈“S”形缓慢地均匀移动,每圈前半圈压前面。力求喷出的混凝土层面平顺光滑并确保混凝土喷射密实。

⑥当所面临的涌水点较少时,可以设置导管引导排水后再进行喷射。当涌水量范围较大时,可以设置树枝状导管进行喷射。在涌水严重的情况下可以设置泄水孔,边排水、边喷射混凝土。此外,增加水泥用量,改变配合比可以使喷射混凝土由远处向涌水点逐渐逼近,然后在涌水处设置导管将水引出,再向导管附近喷射混凝土。

3.3 U型拱架支护

(1)用电锤或风镐清理出钢拱架的拱脚位置,在达到设计要求的深度后,将钢拱架两侧拱脚部位安装到位,采用钢筋临时焊接的方式将两侧拱脚部位固定在相应的位置后采用施工台车将钢拱架顶拱部分安装在相应位置,采用焊接的方式将其固定在两侧接头部分,之后使用配套的U型钢连接套按照图纸要求将各部分之间进行连接,对于薄弱部位进行加固焊接。

(2)一榀钢拱架安装固定完成后,将拱架间的专用连接槽钢焊接在对应的位置。对于顶部围岩较差的情况,在两榀顶拱部位加密焊接连接筋,之后,在两榀钢拱架腰线以上部位安装固定钢筋网片。

(3)钢拱架安装时一定要贴紧岩面,尤其在顶拱部位,如果钢拱架顶部未能接触到岩壁则需进行接顶加固处理,在钢拱架与岩壁之间填充沙袋。

(4)对于顶部塌方区域,钢拱架拱脚部位需施打锁脚锚杆进行加固。锁脚锚杆采用长2.4 m的钢筋锚杆,每侧布置3排锁脚锚杆,每排2根,锚杆端部采用U型钢筋焊接,纵向间距为1 m^[5]。

4 新奥法在铅锌矿工程中的应用

该项目原有的支护设计主要采用工程类比法,通常在技术人员现场观察后根据经验确定其支护形式与支护参数,其主观性较大,出现过因支护强度不足导致巷道坍塌的情况,也存在过度支护浪费人力物力的情况。在支护设计前的现场观察过程中,其缺少具体的观测指标,难以形成统一的意见,在设计方与施工方意见分歧较大时还会导致工程停滞而影响施工进度。为克服以上缺陷,最终决定采用新奥法进行工程支护,进行了以下试点并予以应用,取得了较好的效果。

4.1 现场试点

该项目选取北阿矿高程 1 230 m 分层主开拓巷为试点,在施工至 3 线附近时巷道掌子面出现了岩石破碎、节理发育的情况,经目测,岩石为砂卡岩,受断层错动影响岩石呈薄层状,连续性差,断层走向与巷道垂直,没有涌水,顶板有少量剥落,经测量,裂隙的平均间距为 80 mm,其对应的 RQD 值在 25~50 之间。对此,先进行了锚网喷支护并设置了测点观察巷道顶板沉降及边墙位移,测点每隔 2 m 布置一组,一组三个:顶板一个,边墙两个。待掘进 7 m 后巷道掌子面岩石完整性变好,裂隙平均间距为 150 mm,故对其仅进行了素喷混凝土支护并继续设置测点观察巷道的变形情况,直至巷道穿过该段破碎区域,累计布设测点 8 组,观测周期为 30 d,前 7 d 每天测量 2 次,8~15 d 每天测量 1 次,16~30 d 每周测量 2 次。各边墙测点测得的累计位移小于 10 mm,故可以忽略边墙位移对巷道稳定性的影响。当第 2 组、第 3 组顶板测点测得的累计位移超过 70 mm 时,在其相应的位置增加了钢拱架支护,其余的顶板测点变形均在观测期间相继收敛,故没有继续增加支护;在第 2 组与第 3 组测点处增加了拱架支护后,巷道变形趋于稳定、不再增加。

经过高程 1 230.00 m 分层试点的试行后取得的效果良好,继而将其推广至其它工作面,边总结边推广经验,尤其是对目测项目的岩性、裂隙发育程度、岩层中的水量大小、断层性质、产状等项目进行记录总结归纳,以巷道位移变形为考核指标,对于累计变形小、收敛速度快的情况,下次在同类情况下适当减少支护;对于位移变形大、超过阈值的则需及时进行加强支护。经过 2 个月时间的新奥法巷道支护设计施工实践,拱架支护的工

程量明显减少,素喷混凝土支护工程量显著增加,围岩破碎区域的每 m 平均支护费用减少了 23% 且没有发生支护强度不足、巷道垮塌事件。实践证明:新奥法在保证巷道支护质量的前提下,有效地降低了支护工程量,取得了较好的技术与经济效果。

4.2 支护加强措施

施工过程中,当根据初期变位速度预测出最终变位量可能会超出允许的范围时,或者发现内空变位速度持续增长,特别是当开挖工作面已经前进到距离测量断面 2~3 倍巷道直径的位置时,且量测断面处的内空变位速度仍然保持一个常数或持续增长时,将被视为一种危险的征兆。面对这种情况,首先应立即停止开挖工作并根据具体的情况尽快采取以下一种或多种加强支护措施:

(1)为了应对岩质软弱破碎的情况,在继续开挖之前,可以使用 3~5 cm 厚的薄层喷射混凝土封闭开挖工作面,并配合水平超前锚杆进行先期加固。如果喷射混凝土层出现裂缝应及时进行第二次喷射,并逐步加厚喷射混凝土层以保持支护的连续性和强度。

(2)针对危险面,可以通过增加锚杆数量或增大锚杆长度的方式进行加固。一般来说,增加锚杆的长度比增加其数量更为有效。增加锚杆数量和长度的具体数值需要参考锚杆的拉拔力、轴向力和围岩变位等测量数据确定。

(3)采用仰拱开挖方式施工时,可以考虑将其改为台阶式开挖或缩短台阶长度。这样实施可以减小变位量并增强支护效果。另外,采用仰拱或临时仰拱的方法能够及时使断面闭合,形成闭合支撑环结构,从而显著减小其内部变位。即使使用的是 3~5 cm 厚的临时喷射混凝土做仰拱,也能明显改善其支护效果。因此,在选择台阶式开挖时笔者建议使用临时仰拱封闭每个台阶。

(4)首先在开挖工作面上方拱顶,设置斜锚杆进行预支护,然后再进行开挖。斜锚杆对于变位速度收敛和减少最终变位量具有显著效果。

巷道支护在采取上述加固措施后,一定要对已加固的围岩继续进行内空变位观测,直到准确判断出内空变位速度已经开始收敛时方能恢复开挖。恢复开挖前,一定要根据加强支护措施修改原设计方案。

5 结 语

与传统的被动承载荷载的支护理念不同,新奥法支护方法注重保护围岩的强度并能充分发挥围岩自身的承载能力。这种支护模式可以最大限度地提高支护的效果和稳定性。通过对整个工程施工过程的测量和监测,使新奥法支护方法的选择更具科学性。采用新奥法钢拱架锚网喷联合支护的方式能够有效控制破碎岩体的冒落,从而避免了采用不适当的方法延迟最佳支护时间的弊端,能够及时保护岩体。通过该方法的实施,成功控制了铅锌矿岩体的风化和片帮现象的发生。在保证巷道安全稳定的前提下,能够减少支护工程量,降低劳动强度,并且能够减少巷道维护的费用。从综合经济效果看,使用该支护方法具有显著的优势。

参考文献:

(上接第 53 页)

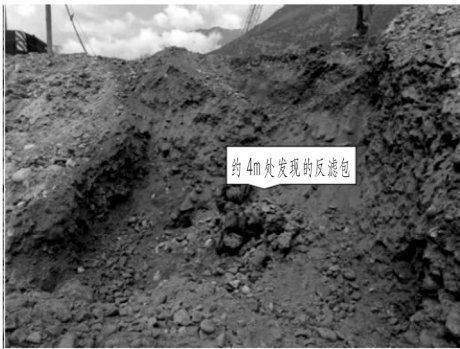


图 9 Z3-3-387 桩揭露试验示意图

撕裂能力和延展性能,在运输投放以及振冲情况下仍然能够保持原有形状不发生破坏且能在桩内形成有效的反滤层。经现场试验检测以及理论验证,文中提出的“香肠型”反滤包比传统单个反滤包更易形成均匀密实的反滤层,且其材料不易发生破坏,更能在相应位置形成有效的反滤层。

4 结 语

(1)文中提出的使用编织 PP 土工布替代传统长丝无纺土工布中发挥滤材具有的优势,有效解决了传统反滤管袋在运输、投放过程中出现的破损、遗撒等问题并且有效抵抗了振动挤密给反滤管袋带来的冲击力,减少了反滤管袋的损耗,增强了反滤管袋的抗挤压能力;

(2)针对硬梁包水电站深厚覆盖层地基性质差异较大且地基之间互层渗透性差异较大而导致

[1] 郭鸿德,靳艳红.新奥法在前坪铜矿破碎岩体掘进中的应用实践[J].有色金属,2016,68(3):79-82.
 [2] 薛顺勋,聂光国,姜光杰,等.软岩巷道支护技术指南[M].北京:煤炭工业出版社,2002.
 [3] 李晓红.隧道新奥法及其测量技术[M].北京:科学出版社,2002.
 [4] 童志鹏.软弱围岩井下巷道预留变形量的探讨[J].有色金属设计,2021,48(3):1-3.
 [5] 黄江宁,石平,阎海鹏,等.巷道施工技术[M].沈阳:东北大学出版社,2014.

作者简介:

杨柳斌(1993-),男,江西鹰潭人,项目副总工程师,工程师,学士,从事矿山工程施工技术与管理工作;
 李超(1986-),男,河南浚县人,项目总工程师,副高级工程师,学士,从事工程建设施工技术与管理;工作;
 黄地义(1973-),男,湖北汉川人,项目设备物资部部长,工程师,学士,从事矿山项目设备物资管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

的桩内存在较多泥浆、单个反滤包的投放很容易上浮的实际情况,笔者提出了一种“香肠型”振冲桩反滤管袋用于振冲桩反滤层施工,其相比长条形、圆柱形反滤管袋有利于小型反滤包袋两端串联连接及成型质量,并且能够提高反滤管袋的整体性,使反滤管袋挤密时具备良好的延伸变形和协调能力;

(3)在硬梁包水电站振冲桩反滤层施工过程中,“香肠型”振冲桩反滤管袋相比传统反滤层制作工艺能够使反滤管袋准确抵至所指定的标高位置,并且在指定位置可有效改善反滤段的施工质量,形成有效滤塞段。

参考文献:

[1] 游健,李木风,郝鑫.振冲桩在东洱河大坝上游坝脚加固处理中的应用[J].南水北调与水利科技,2015,13(增刊2):244-247.
 [2] 于华,张永山.砂砾料反滤层与土工织物反滤层施工要点[J].黑龙江水利科技,2011,39(1):259.
 [3] 周建,陈涛,何英建,等.一种振冲桩反滤层施工方法[P].四川省:CN114351681A,2022-04-15.
 [4] 赵明华,刘培培,朱信波.冷轧厂大型弃渣体稳定性分析及处理方案研究[J].岩土工程技术,2021,35(2):107-110.
 [5] 刘雅丽.水电站项目水土保持措施配置模式研究[J].甘肃科技,2019,35(8):76-79.

作者简介:

周建(1990-),男,重庆合川人,项目副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)