

绳锯式坑道掘进法在矿产勘查中的应用前景

张飞¹, 张清林²

(1. 四川省地质矿产勘查开发局化探队, 德阳 618000; 2. 四川福庆隧道机械设备有限公司, 德阳 618000)

摘要 地质找矿工作中,常常需要施工大量的坑道,这些坑道的施工一般采用钻爆法,而采用钻爆法施工又存在着诸多的问题,例如:施工安全性差、工人劳动强度大、工人健康危害大、施工速度慢、炸药审批难、炸药管理成本高、废渣破坏环境、废渣不能综合利用、坑道超挖欠挖突出、坑道后期维护成本高、维护难度大、片帮掉块时常发生、需喷浆护壁等。针对上述问题,作者提出了使用绳锯式坑道掘进机施工矩形坑道的方案来解决。绳锯式坑道掘进机采用锯切法施工工艺,文章主要介绍了其施工方法在地质找矿中的应用及在地质找矿中的突出优势,并简单介绍如何利用绳锯式坑道掘进机的优势来对抗探矿风险,优化探、采矿投资结构。

关键词 洞采 矩形隧道 掘进 矿产勘查

中图分类号: TD802

文献标识码: A

文章编号: 1674-7801(2018)01-0137-05

1 施工工艺简介

目前坑道的施工工艺主要分为两大类:钻爆法、盾构法。其中,钻爆掘进存在严重的安全隐患、工人劳动强度大、炸药审批难、管理难、施工质量差、护壁成本高、坑道维护成本高、废渣污染环境等许多弊端;盾构法掘进是使用盾构机设备进行掘进开挖,盾构机(用于岩石地层的称为TBM)是集光、机、电、液、传感、信息技术于一体,具有开挖绞碎土体、输送土渣、拼装隧道衬砌、测量导向纠偏等功能的先进设备,但其成本高昂。此外,盾构机的掘进是将土体(包括岩石等)绞碎实现的,从而使开挖出的废渣可利用性大大降低。盾构机巨大的能耗使其很难在偏远地区使用,一般用于城市地下轨道交通的施工中。地质找矿工作一般都在偏远的山区,施工场地有限,能源供应紧张,因此目前地矿行业中施工坑道一般都是采用钻爆法施工。

绳锯式坑道掘进机(图1)采用全新的锯切施工理念,与目前普遍采用的钻爆法、盾构法施工工艺具有本质的区别。机器具有结构简单、操作方便、使

用成本低、安全可靠、维护成本低、能耗低的特点,特别是在施工坑道过程中,所产生的石料完整性较好,可以回收利用,基本无废料产生(张清林,2014a,2014b,2015),锯切法适用的岩石类型见表1。

施工矩形坑道时,先在工作面上钻孔,钻孔的具体位置布设在拟施工坑道的四角及水平中线处,为了保证坑道的掘进深度达到1.5 m,钻孔的深度应在1.8 m以上,钻孔的具体方法是使用绳锯式坑道掘进机自带的钻孔功能,同时钻进后续施工所需的6个孔。钻孔完成并取出孔内岩芯后,卸下撑杆前端的钻筒,安装锯绳导向轮,缠绕金刚石锯绳锯切岩石,待坑道轮廓线及辅助切割线都锯切完毕后,在辅助切割线位置打2~3个孔,然后将劈裂枪枪头插入孔中,利用劈裂枪巨大的劈裂力量(单枪劈裂力为400~600 t)使岩石背面与基岩分离,分离顺序是自上而下(图2)。

在分离石料前,应该在石料底部与地面之间插入一块金属板或金属箍,这样可以减小石料与地面的摩擦力,使下一步移动石料、特别是拖拽石料的操作更容易(廖原时和Giulio,2003)。石料从基岩中

[收稿日期] 2017-01-17

[第一作者简介] 张飞,男,1984年生,工程师、矿业工程建造师,从事固体矿产勘查、矿山建设、石材洞采技术和配套设备研究工作;E-mail:24895344@qq.com。



图 1 隧道施工过程及效果图

表 1 绳锯式坑隧道掘进机适用的岩石类型

土的分类	土的级别	土的名称	坚实系数 f	适用情况
一类土 (松软土)	I	砂土、粉土、冲积砂土层;疏松的种植土、淤泥(泥炭)	0.5~0.6	冻结法辅助施工(黄德发等, 2010),及时支护
二类土 (普通土)	II	粉质粘土,潮湿的黄土,夹有碎石、卵石的砂,粉质混卵(碎)石,种植土、填土	0.6~0.8	冻结法辅助施工(黄德发等, 2010),及时支护
三类土 (坚土)	III	软及中等密实粘土,重粉质粘土、砾石土,干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质粘土,压实的填土	0.8~1.0	冻结法辅助施工(黄德发等, 2010),及时支护
四类土 (砂砾坚土)	IV	坚硬密实的黏性土或黄土,含碎石、卵石的中等密实黏性土或黄土,粗卵石,天然级配砾石,软泥灰岩	1.0~1.5	冻结法辅助施工(黄德发等, 2010),及时支护
五类土 (软石)	V~VI	硬质粘土,中密的页岩、泥灰岩、白垩土,胶结不紧的砾岩,软石灰岩及贝壳石灰岩	1.5~4.0	直接施工,及时支护
六类土 (次坚石)	VII~IX	泥岩、砂岩、砾岩,坚实的页岩、泥灰岩,密实的石灰岩,风化花岗岩、片麻岩及正长岩	4.0~10.0	直接施工,选择性支护
七类土 (坚石)	X~XII	大理岩、辉绿岩、玢岩,粗、中粒花岗岩,坚实的白云岩、砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩,微风化安山岩、玄武岩	10.0~18.0	直接施工,一般无需支护
八类土 (特坚石)	XIV~XVI	安山岩、玄武岩,花岗片麻岩,坚实的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩、角闪岩	18.0~25.0 以上	直接施工,一般无需支护

完全脱离后,可使用绞盘或重型移动设备(如:拖拉机、装载机、叉装机、履带式挖掘机等),从矩形隧道内将分离出的石料移出。当岩石破碎时,为保证石料的完整性,可在切割石料前进行钻孔注胶作业,使破碎的岩石形成一个整体。

绳锯式坑隧道掘进机的有效切割深度一般控制在 1.5 m,可以完成垂直、水平两个方向面的切割。因此,它能够在岩壁上完成矩形坑道的切割,矩形通道规格是 2.2 m(宽)×2.0 m(高)。

对比钻爆法、盾构法施工坑道,锯切法施工有其优势也有其劣势,在地质勘查过程中,我们应当结合现场情况,综合评判后确定坑道施工工艺。为便于

技术人员选择施工工艺,现将 3 种坑道施工工艺的各项指标进行对比,详见表 2。

2 在地质找矿中的突出优势

施工矩形坑道来进行地质勘查的技术手段源于石材矿山的地下开采(崔玉宁,2014)。我们在进行地质勘查时,需要施工大量的坑道来控制矿体。由于施工坑道的目的是为探矿工作服务,而探矿往往又伴随着较高的风险,因此在勘查工作中施工的坑道一般都是断面规格较小的坑道,在后期探矿成果较好时,如转为采矿坑道则需要进一步扩大坑道断面,费时费力,且成本高昂。本文提出的施工矩形坑

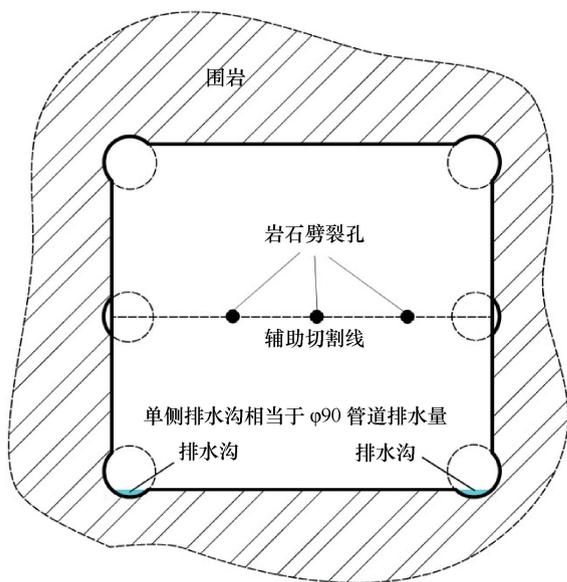


图2 锯切法施工坑道断面示意图

道在地质探矿过程中具有以下几点优势。

(1) 施工后的坑壁平整美观,在施工过程中不扰动围岩,一般不会形成岩石松动圈,因此在坑道使用过程中一般不会产生掉块、片帮等现象,坑道后期维护成本低。

(2) 施工过程中不使用炸药,免除了购买、保管、使用炸药的高昂费用。

(3) 在穿越地质条件复杂,涌水量、瓦斯量较大的地层时,可进行远程控制施工,最大程度地保障职工的生命安全。

(4) 锯切法施工的坑道,坑顶、坑壁、坑底均具有极高的平整度,可以依据设计尺寸,精确定位坑道方位、坡度、宽度、高度等。坑道内左右两边各有一条排水沟与主体坑道一次成型,无需再增加排水沟施工工程。

(5) 在地质编录工作中,样品的采取及数据记录的准确性对后期资料整理有很大的影响。平整的坑壁可以保证坑道刻槽样的准确采取,最大限度地降低采样误差对最终储量计算的影响。

(6) 掘进过程中基本不产生废渣,不破坏环境,免去了环境恢复治理费,同时减少了征占用土地费。

(7) 施工坑道时,取出的石料体积较大,经过简单的加工后可以作为建筑石料使用。

(8) 掘进机体积小,运输方便,功率小,一般工程上使用的发电机即可满足设备运行所需。机器自

动化程度高,操作简单,一般情况下,无需考虑岩石内部结构,可直接进行盲切。

(9) 使用绳锯式坑隧道掘进机施工坑道,其直接施工成本略低于钻爆法施工。若综合石料回收利用的收益,并考虑护壁工程的成本,其综合成本远低于钻爆法施工。

3 矩形坑道施工主要耗材

运用绳锯式坑隧道掘进机施工坑道,每次掘进深度为 1.5 m,有利于石料的整体拔出,同时较为大块的石料也为后期回收利用创造了条件。如果按每班施工 1.5 m 计算,则主要工艺参数及直接施工成本概算见表 3、表 4。

由表 3、表 4 中的数据可以看出,如果其他成本控制的合理,使用绳锯式坑隧道掘进机来施工矩形坑道探矿是可行的,其施工总成本一般不会超过传统钻爆法施工坑道。

根据石材市场实地调查得知,目前市面上的石材板材价格差距较大,见表 5。假设某矿山年施工 1000 m 坑道(规格 2.2 m×2.0 m),在不考虑松散系数的情况下,其理论出渣量应为 4400 m³,如果这部分石料能得到回收和利用,不仅综合成本降低许多,石材资源的节约也是很可观的。按回收 25% 的石料并加工成板材,每立方米石料(荒料)可加工 32 m² 厚度为 20 mm 的板材,则可加工板材总量为: 4400 m³×25%×32 m²·m⁻³=35 200 m²,按最低板材售价概略计算年综合成本可降低 300 万元以上。

4 如何综合降低勘查风险

我们在矿产勘查项目中,主要的深部工程分别是钻探、坑探,通过回收坑道施工过程中的石料来降低综合勘查费用的理念源自矿产开发过程中共(伴)生矿产的综合利用。下面我们在不考虑设备搬运、安装、场地修建费的情况下,对两种探矿手段直接施工成本进行对比(表 6)。土等级划分共有 8 类 12 个级别,以灰岩为例,其级别为Ⅶ级,属次坚硬类岩石,依据《地质调查项目预算标准(2010 年试用)》,当钻孔深度在 200 m 以内时,灰岩钻探单价为 811 元/米;当坑道施工深度在 200 m 以内时,灰岩钻爆法施工坑道断面面积小于 3.6 m² 的基价为 1099 元/米,断面面积在 3.6~4 m² 时价格上浮 30%,即 1428.7 元/米(地质调查项目预算标准,2010)。

表 2 施工工艺主要指标对比

施工方法	安全系数	环保系数	难易程度	施工速度	施工质量	是否护壁	机械维修成本	废石综合利用	隧道维护成本	综合施工成本
钻爆法	低	低	简单	慢	差	是	低	不能	高	一般
盾构法	高	低	复杂	快	好	是	高	少量	低	极高
锯切法	高	高	简单	快	好	否	低	大量	低	极低—一般

表 3 矩形坑道规格及主要耗材

项目	参数	项目	参数	
矩形坑道尺寸	宽/m	2.2	金刚石锯绳单价/元·m ⁻¹	200~300
	深/m	1.5	金刚石锯绳寿命(按灰岩计算)/m ² ·m ⁻¹	10~30
	高/m	2.0	金刚石钻筒单价/元·m ⁻¹	600
水平锯缝锯切面积/m ²	9.9	金刚石钻筒寿命(按灰岩计算)/m		20~40
垂直锯缝锯切面积/m ²	6.0	人工费/(人·班)		3~4
锯缝宽度/mm	12	主电机功率/Kw		100 以上
钻孔(6个孔)深度合计/m	9.0	其他设备功率合计/Kw		50 以上
循环水消耗量/L·min ⁻¹	100	电费(元/度)		0.84

表 4 1.5 m 矩形坑道施工直接成本概略计算

项目	计算式	价格/元	备注
钻孔费	9×(600÷20)	270.00	共计 6 个钻孔,每个钻孔 1.5 m 深,共计 9 m 深
锯切费	15.9×(300÷10)	477.00	水平锯缝、垂直锯缝共计 15.9 m ²
人工费	3×300	900.00	施工时需要 3 人协同作业
电费	55×0.84×3.5	161.70	按设备额定用电量为 55 度·h ⁻¹ ,1.5 m 矩形坑道锯切时间约为 3.5 h
水费		0	切割时用水量很小,且循环使用,可忽略该成本
合计		1808.7	1205.8 元·m ⁻¹

表 5 常见石材品种、地质层位及价格

石材商业名称	岩石种类	产出地层	产地	市场单价/元·m ⁻²
白海棠(普通)	含贝类化石灰岩	石炭系(C)	四川	100~200
杭灰(普通)	灰色灰岩	三叠系(T)天井山组	四川	200~300
木纹黄砂岩(普通)	黄色砂岩	三叠系(T)须家河组	四川	100~150
古青玉(普通)	蛇纹石化大理岩	元古宇(Pt)麻窝子组	福建	800~1600
灰木纹(普通)	纹层状灰岩	二叠系(P)	贵州	100~200
汉白玉(普通)	白色大理岩	元古宇(Pt)麻窝子组	四川	200~500

从以上分析可以看出,绳锯式坑隧道掘进机除了在施工质量、安全、成本等方面优势突出外,在地质勘查过程中也具明显的优势。

绳锯式坑隧道掘进机在盘活已经停止勘查工作的探矿区有其无可比拟的优势。主要表现在绳锯式

坑隧道掘进机施工矩形坑道可以回收坑道中所产生的石料,通过销售石料回收一定的勘查资金。特别是在一些探矿区石材品质较佳时,石料售价较高,这样施工矩形坑道探矿的成本完全可以被石料销售的资金所抵消,甚至是在探矿阶段就创造一定的利润。

表6 钻探、坑探成本对比

方法	综合单价	备注
锯切法	800 元以下/m	综合回收利用后的全成本,断面 4.4 m ²
	1205.8 元/m	岩石无回收利用价值时的成本,断面 4.4 m ²
钻爆法	1428.7 元/m	全成本,断面 3.6~4 m ²
地质钻探	811 元/m	全成本

5 结论及展望

在隧道施工项目中,最主要的两项成本是隧道掘进与支护,有效降低施工成本的技术措施应从这两个方面入手,使用绳锯式坑隧道掘进机施工隧道,通过回收利用石料使施工综合成本大大降低,在自承力较好的岩石中施工隧道时采用锯切法对围岩扰动微弱,一般不会产生松散岩块,免去了护壁工作,进一步降低综合成本。综上所述,使用绳锯式坑隧

道掘进机施工矩形坑道在地质矿产勘查与开发中具有较强的实用和经济价值。不论从环保、安全、质量,还是从行政管理等方面,绳锯式坑隧道掘进机都十分有必要在地质矿产勘查与开发中推广。

参考文献

- 张清林,2014a.绳锯式掘进机[P].中国专利:ZL201420077892.0.
- 张清林,2014b.一种绳锯式坑隧道掘进机[P].中国专利:ZL201420077889.9.
- 张清林,2015.绳锯式坑隧道掘进机[P].中国专利:ZL201520250375.3.
- 黄德发,赵社邦,等.2010.冻结法凿井施工技术应用与管理[M].煤炭工业出版社,2010.
- 地质调查项目预算标准[S].2010.
- 廖原时,Giulio Milazzo.2003.山洞型大理石矿山的开采方法与成本分析[C]//新型建筑材料技术与发展—中国硅酸盐学会2003年学术年会新型建筑材料论文集.
- 崔玉宁.2014.地下开采在北京市汇源隆大理石厂的研究应用[J].中国矿业,(S1):169-171.

Application prospect of rope-saw tunnelling method in Mineral Exploration

ZHANG Fei¹, ZHANG Qing-lin²

(1. Geochemistry Exploration Brigade of Sichuan Bureau of Exploration and Development of Geology and Minerals Resources, Deyang 618000;

2. Sichuan Fuqing Tunnelling Machinery & Equipment Co., Ltd, Deyang 618000)

Abstract: A large amount of tunnels are commonly required during geological prospecting work, of which borehole-blasting method is generally adopted during construction. However, this method produces many problems, such as poor construction safety, heavy labor intensity, great hazard to workers' health, slow construction speed, difficult approval of explosive material, high cost on managing explosive material, environmental damages from waste residue, incomprehensive utilization of waste residue, prominent over-break and under-break of tunnels, high expenditure on later maintenance, big maintenance difficulty, frequent occurrence of sloughing and chip off-falling, requiring concrete-jetting and wall protecting mortar etc.. Therefore, this paper proposes a scheme of using rope-saw tunnelling machine and sawing construction technology to drift rectangular tunnels to solve the above mentioned problems, mainly introduces the application of the construction method on geological exploration and its prominent advantages, and briefly presents how to use the advantages of the machine to prevent prospecting risk, as well as to optimize the investment structure of prospecting and mining.

Key words: cave mining, rectangular tunnel, tunnelling, mineral exploration