

关于煤矿机械造穴增透工艺的研究

黄楠楠 赵 震

(山西兰花科技创业股份有限公司大阳煤矿分公司)

摘 要:某煤矿主采3#煤层,受地质和瓦斯赋存条件的影响钻孔成孔后易发生塌孔现象,导致抽采浓度低、纯量小,钻孔抽采效果差,抽采达标时间长。为解决上述问题,自2019年开始在井下使用水力造穴增透措施,但在使用过程中发现一系列问题,2021年开始探索机械造穴工艺。

关键词:水力造穴;机械造穴;设备优化;施工效益;改进计划

1 简介

1.1 水力造穴增透工艺简介

水力造穴增透工艺是通过水压形成高压射流冲击煤体,形成孔洞达到扩孔、增透、泄压提升抽采效率的目的。

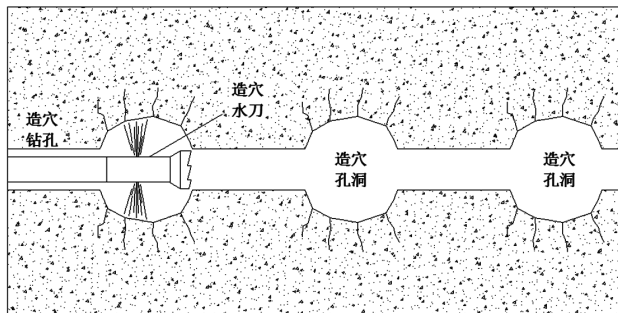


图1 水力造穴示意图

水力造穴增透工艺可明显提升单孔抽采浓度及抽采纯量,但也存在一系列问题:1、水力造穴工艺在施工时对软煤破坏程度大,对硬煤破坏程度小,造穴不均匀,且造穴形成的孔洞形状不可控,钻孔下部容易积煤。2、水力造穴不符合监管要求,造穴使用压力过大(15-25MPa),经常发生瓦斯预警、超限事故且可能诱发煤与瓦斯突出事故。《煤矿安全规程》第二百一十七条明确规定“突出煤层的采掘工作面,应当根据煤层实际情况选用防突措施,并遵守下列规定:(1)不得选用水力冲孔措施,倾角在 8° 以上的上山掘进工作面不得选用松动爆破、水力疏散措施。”;3、水力造穴使用设备过多,并且电、压风、静压水使用量较大。

鉴于以上原因某煤矿自2021年开始联合厂家

开始探索引入机械造穴增透工艺以期解决上述问题。

1.2 机械造穴工艺简介

机械造穴工艺是通过机械刀臂的旋转对煤体进行切削,形成规则的圆柱形孔洞,增加钻孔的暴露面积,提升钻孔的透气性。该技术即可保留水力造穴的优点,亦可降低施工过程的危险性。

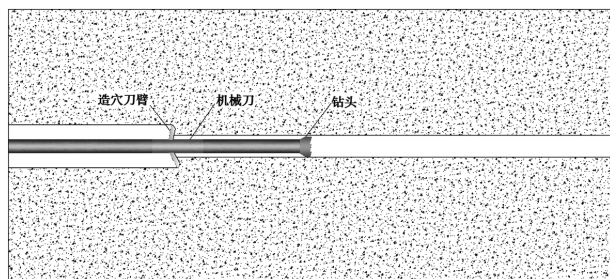


图2 机械造穴示意图

2 机械造穴发展历程

2.1 第一阶段 初期探索

2021年10月在2301回风巷试验机械造穴工艺,该阶段通过对施工工艺、施工流程的对比确定施工设备,并对机械造穴钻孔抽采浓度、纯量、出煤量进行考察确定最佳造穴方案。

2.1.1 机械造穴方案工艺选择

在实验初期,对全国范围内的机械造穴工艺进行了调研,机械扩孔器打开方式整体可分为3大类:即高压水开机械刀、高钻速开机械刀、顶杆芯开机械刀。

高压水开机械刀以铁福来公司为代表,此种机械造穴需要配备高压清水泵站才能正常使用,不符合预期;高钻速开机械刀以中国矿业大学为代表,此种机械造穴要求钻机转速较高、钻杆所受的扭矩较大,且需要施工人员凭经验判断机械刀打开情况,无法直观的对机械造穴情况进行调整,仅在2303工作面进行了科学性试验,便不再使用;顶杆芯开机械刀

以益矿钻采为代表,造穴时使用钻杆的杆芯顶开机械刀,使用刀臂截割煤体,在可靠性、经济性、可控性、安全性都较前两者有明显的优势。

2.1.2 顺层钻孔试验

2021年10月将ZYWL-6000型普通钻机改造为机械造穴钻机,在2301回风巷进行使用,并对抽采效果进行了观察。钻孔孔距为2.5m,钻孔深度129m,钻孔孔径 $\phi 120\text{mm}$,钻孔倾角 $0^{\circ}\sim 1^{\circ}$,每孔造穴8个,钻孔30m、35m 错峰造穴,造穴间距10m,单穴出煤量 1m^3 。

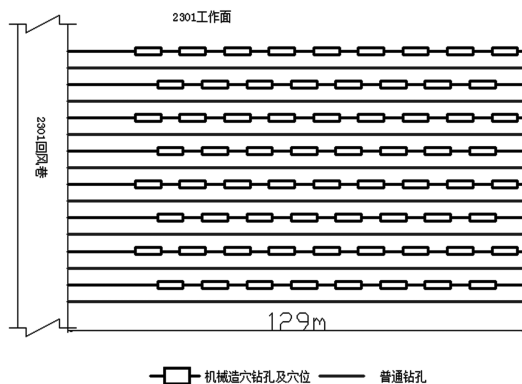


图3 2301回风巷机械造穴钻孔布置图

2.1.3 抽采效果

施工结束后对水力造穴增透工艺和机械造穴增透工艺的单孔抽采浓度、抽采纯量及衰减情况进行了180天的观测,观测情况如下。

表1 机械造穴与水力造穴抽采纯量对比

井网时间 (d)	机械造穴单孔抽采量 (m^3/min)	水力造穴单孔抽采量 (m^3/min)	对比值 (m^3/min)	差率 (%)
10	0.085	0.094	-0.009	-10.59
20	0.071	0.083	-0.012	-16.90
30	0.053	0.069	-0.016	-30.19
40	0.051	0.042	0.009	17.65
50	0.043	0.028	0.015	34.88
60	0.038	0.028	0.010	26.32
70	0.032	0.025	0.007	21.88
80	0.028	0.022	0.006	21.43
90	0.028	0.021	0.007	25.00
100	0.024	0.016	0.008	33.33
110	0.023	0.014	0.009	39.13
120	0.020	0.012	0.008	40.00
130	0.016	0.010	0.006	37.50
140	0.014	0.010	0.004	28.57
150	0.014	0.008	0.006	42.86
160	0.01	0.008	0.002	20.00
170	0.01	0.008	0.002	20.00
180	0.01	0.006	0.004	40.00

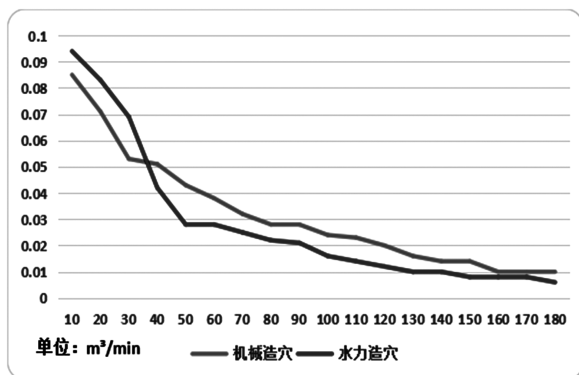


图4 机械造穴与水力造穴180天抽采纯量对比

由试验可知机械造穴钻孔初始抽采量比水力造穴钻孔初始抽采量低10.59%,稳定抽采量比水力造穴高40%;机械造穴钻孔的半衰期约为50天,水力造穴钻孔的半衰期约为35天;自第40天开始水力造穴钻孔的抽采纯量便低于机械造穴钻孔;在累积抽采量方面两者在80天时基本持平,80天以后机械造穴钻孔的累积抽采量便高于水力造穴。由此可知机械造穴增透工艺增透效果优于水力造穴增透工艺。

同时在试验过程中也发现一些问题:

第一机械刀打开速度不易控制,打开速度过快容易造成机械刀与煤体急速大面积接触,容易造成机械刀截齿变形损坏,需控制机械刀的开启速度,使机械刀缓慢匀速切削煤体打开。

第二顶芯杆在控制机械刀打开过程中,由于顶芯杆材质偏软,在推力传送过程中弯曲变形,推力不能完全作用在机械刀开启齿轮上,导致机械刀不能完全打开,易对机械刀产生损伤,并使造穴不能达到设计直径影响抽采效果,需要更换材料、优化设计,使开启推力完全作用在机械刀上。

第三液压推进器未实现同轴旋转,在打开机械刀后需要拆除液压推进器再进行造穴,机械刀在造穴过程中由于重力影响易产生机械刀刀臂自动启闭的动作,易造成机械损坏,需实现液压推进器与钻杆同轴旋转,在造穴过程中持续保持机械刀的打开状态。

第四机械造穴相较水力造穴要求工人操作技能较高,需优化机械造穴整套设备的设计,使工人更易掌控。

2.2 第二阶段 优化施工设备及流程

经过第一阶段的探索试验结果,联系设备厂家对钻机、钻杆、机械扩孔器、控制水尾等设备进行了改造优化,并制定了新的施工流程。

2.2.1 机械造穴工艺主要设备

机械造穴整套设备主要核心设备由机械造穴泵站、双翼扩展机械扩孔器、外三棱顶芯传动钻杆、液压推进器4种设备组成。

2.2.1.1 机械造穴泵站

机械造穴钻机采用液压履带式钻机,原先普通钻机经过专项改造油路后作为机械造穴钻机使用,用此各方法改造了2台钻机。发现普通钻机油路老化在改造后有可能影响钻机的正常使用。

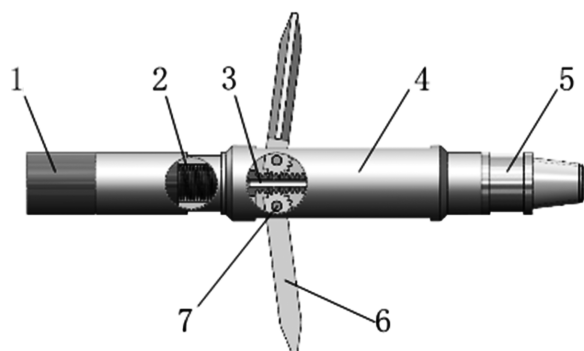


图5 机械造穴专用泵站

改进优化:配套独立的液压推进专用泵站,实现打钻动力与推进动力的分离,两者不再相互影响,且保持了钻机的完整性。

2.2.1.2 双翼扩展机械扩孔器

扩孔器是机械造穴施工的核心,采用芯杆顶进式机械扩孔器,扩孔器仅通过钻杆中心的顶芯杆传递机械推力打开两翼刀臂,使刀臂切削煤体进行扩孔造穴。



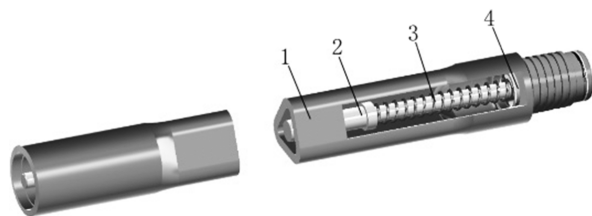
1.后接头 2.阻尼弹簧 3.机械芯杆 4.刀体 5.前接头 6.刀臂 7.铰接

图6 双翼扩展机械扩孔器

改进优化:1、机械刀设计阻尼装置,在机械刀开启阶段时刀臂缓慢匀速切削煤体打开,避免了机械刀与煤体急速大面积接触。2、将原有的点阵布置截齿改造为条状长割刀,使刀臂可以均匀受力,延长了割刀的使用寿命。

2.2.1.3 外三棱顶芯传动钻杆

钻杆采用“外三棱顶芯传动钻杆”(简称“机械造穴钻杆”),安装于芯杆顶进式机械扩孔器中心的机械芯杆能够前移和后退是机械扩孔器扩孔施工的关键,机械造穴钻杆可通过芯杆传递轴向推力推动扩孔器的机械芯杆前移,卸除外部轴向推力后通过芯杆在复合弹簧作用下复位。钻杆的外径为 $\Phi 73\text{mm}$,长度为1000mm。



1.外杆体 2.芯杆 3.复位弹簧 4.支撑环

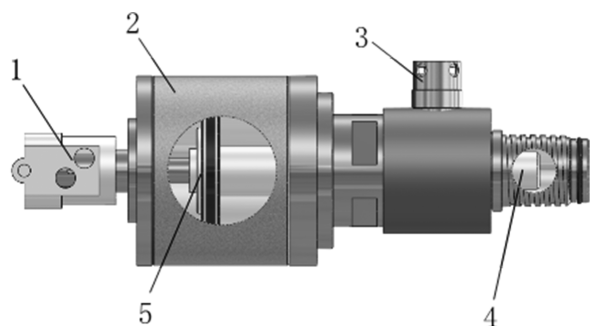
图7 外三棱顶芯传动钻杆

改进优化:1、更换机械造穴钻杆内部推杆材质,增加杆内支撑环,推进过程中芯杆不易弯曲变形,解决了使用过程中推力行程损失的问题。2、钻杆在机械造穴时由于受扭力及阻力相互作用力较大,钻杆

拆卸时不易打开,将原来的普通西安5.08mm细丝扣优化为8.466mm宽丝扣,钻杆拆卸更加轻松方便。

2.2.1.4 液压推进器

液力推进器安装于外三棱顶芯传动钻杆的尾部,液力推进器不仅具有向钻头处供压力水的功能,还具有液压芯杆机构,用于向造穴钻杆提供中心轴向推力。



1.进回液接头 2.液压缸 3.供水接头 4.液压芯杆 5.活塞

图8 液压推进器示意图

改进优化:1、优化供压系统,将原有辅泵供压改造为独立供压,使液压推进器在工作时可以更加稳定。2、改进液压推进器设计,使液压推进器可以同轴旋转,在造穴时持续对机械刀加力,减小机械刀臂在造穴时震动幅度,延长机械刀使用寿命。

2.2.2 机械造穴施工工艺简介

2.2.2.1 顺层钻孔机械造穴工艺

本煤层钻孔采用钻造分离大后退小前进机械造穴工艺,先采用风水联动方式进行钻孔施工,钻孔施工完毕后退钻,将钻头、导向钻杆、机械刀、机械造穴钻杆按照顺序连接,将机械刀送至钻孔里端设计造穴位置,安装推进器,按照机械造穴流程进行造穴,造穴完成后将钻杆后退至下一个设计造穴位置,进入下一个造穴循环,要求单穴出煤量 1m^3 。

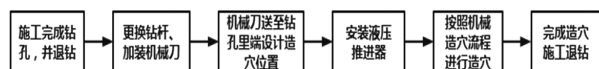


图9 机械造穴施工流程图

该工艺解决了钻杆下沉、轨迹偏移、返渣不畅等问题,同时极大提升了造穴效率,减少了机械事故,提高了造穴精准度避免了造穴空白带,保障了抽采效果,保证了施工安全。目前该工艺已在3301工作面推广使用。

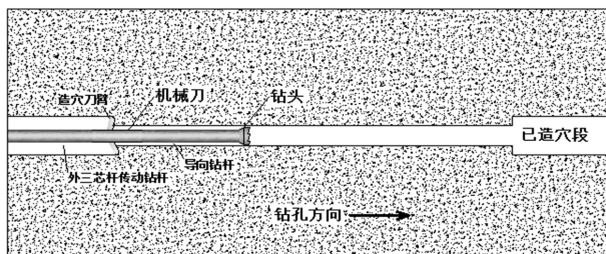


图10 钻造分离大后退小前进造穴示意图

本煤层预抽钻孔机械造穴工艺于2022年11月开始在3301进风巷推广应用。钻孔设计长度129m,钻孔孔径120mm,设计造穴钻孔405个,每孔造穴9个,截止7月31日已施工机械造穴2734个。

2.2.2.2 穿层钻孔机械造穴工艺

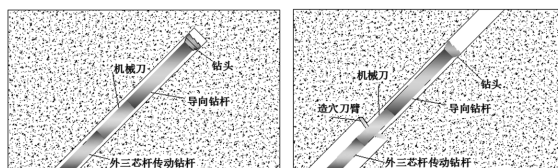
穿层钻孔采用“前进式钻造一体机械造穴工艺”,钻孔施工时依次安装钻头、导向钻杆、机械刀、机械造穴钻杆施工钻孔,钻孔施工完成后将机械刀退至钻孔见煤点1m处,使用液压推进器打开机械刀,全煤段造穴至距煤层顶板1m处停止,钻机空转30min排渣,将孔内煤渣冲洗干净后完成造穴施工退钻。造穴要求煤段小于7米出煤量不小于 2m^3 ,大于7米后造穴出煤量不小于 3m^3 。



图11 机械造穴施工流程图

底抽巷穿层预抽钻孔工程不能采取分段式施工方法(由于巷道空间有限,安装瓦斯管路后钻机无法在设计位置开钻),只能循序渐进施工。穿层预抽钻孔水力造穴施工时间长,一台钻机1天可以施工一组钻孔,但需要匹配两台水力造穴设备施工才能完成一组钻孔的造穴量。并且水力造穴移钻时需

要移动多台设备(钻机、清水泵、振动筛、集煤斗),还要完全对照已施工完成的钻孔开口位置及倾角,工序复杂且繁琐。机械造穴钻孔完成施工后可直接造穴,减少钻机移动、对孔、对角的流程,相较水力造穴流程简单。目前在西翼3#瓦斯治理巷推广使用。



钻孔施工时机械刀闭合状态 造穴施工时机械刀打开状态

图12 穿层钻孔造穴示意图

穿层预抽钻孔机械造穴于2023年6月开始在西翼2#瓦斯治理巷试验,设计每5m布置一组穿层预抽钻孔,钻孔孔径94mm,每组共有8个钻孔,单组钻孔单号孔进行造穴,双组钻孔双号孔进行造穴,单组钻孔设计总进尺240米,造穴11个;截止7月31日已施工17组钻孔,机械造穴187个。

3 机械造穴施工分析

3.1 施工效率

3.1.1 本煤层预抽钻孔

机械造穴施工时由于新工艺、新设备需要钻机操作人员操作技能较高,操作不当容易造成机械刀损坏,影响施工效率。在机械造穴打开机械刀时要求每次开刀时间不得低于10min;造穴时要求控制推进速度放至微动推进状态,要做到“压大不进、压小慢进,无压稳进”根据推进压力表的压力变化情况调整推进速度,造穴时推进速度不能超过 $0.3\text{m}/\text{min}$,钻机转速 $140\text{r}/\text{min}$ 左右,造穴出煤量达到 1m^3 后,停钻推进,保持5min空转利用静压水进行排渣,排渣完成后收刀造穴完,成退至下一个造穴设计位置。

表2 机械造穴单穴用时明细

序号	明细	单穴用时 (min)	施工要求
1	打开机械刀	10	开刀时长不得低于 10min
2	造穴用时	10-15	推进速度不能超过 0.3m/min
3	收刀及排渣	5	造穴完成后收刀及排渣时间不得低于 5min
4	总用时	25-30	单穴平均用时 28 分钟

根据现场统计,机械造穴孔施工单穴用时25-30分钟,平均28分钟。

表3 本煤层钻孔机械造穴与水力造穴时间对比

类型	机械造穴	水力造穴
单穴造穴平均用时 (min)	28	45
造穴个数 (个)	9	9
钻孔造穴总用时 (min)	252	405

由表3可以看出:本煤层钻孔机械造穴比水力造穴钻孔平均单孔用时少17分钟,整体造穴用时少153分钟,施工效率提升60%。

3.2 抽采效果

3.2.1 本煤层预抽钻孔

2022年9月在某煤矿3301工作面回风巷道完成8个机械造穴钻孔,钻孔设计深度129m,孔径 φ 120mm,钻孔倾角 -2° — -4° ,钻孔间距5m,钻孔设计造穴9个,从钻孔30米开始造穴,单穴间距10m,钻孔施工完成后对抽采情况进行了观测,具体情况如下:

表4 钻孔抽采参数观测表

编号	10月1日		10月6日		10月11日		10月16日		10月21日		10月26日		10月31日	
	浓度	纯量	浓度	纯量	浓度	纯量	浓度	纯量	浓度	纯量	浓度	纯量	浓度	纯量
72#	97.2	0.117	48.2	0.112	80.4	0.091	30.6	0.07	42.4	0.078	40.2	0.073	36.8	0.064
74#	83.4	0.103	64.2	0.108	58.2	0.101	43.2	0.099	48.8	0.09	33.8	0.091	30.4	0.073
76#	64.4	0.107	53.2	0.104	44.2	0.099	46.4	0.073	62.8	0.079	40.2	0.078	34.8	0.059
78#	65.4	0.101	62.8	0.109	38.4	0.088	34.6	0.096	38.2	0.073	47.6	0.09	30	0.073
80#	88.6	0.102	79.2	0.113	56.8	0.078	38.6	0.107	52.2	0.087	40.6	0.081	38.8	0.067
82#	78.4	0.096	68.8	0.107	42.2	0.082	58.2	0.109	50.4	0.109	50.8	0.084	42.2	0.073
84#	72.2	0.109	64.2	0.113	38.4	0.078	22.2	0.073	28.6	0.073	12.4	0.063	24.8	0.063
86#	83.8	0.116	76.4	0.078	76.2	0.07	86.8	0.087	50.2	0.107	52.4	0.098	13.8	0.064

由表4可见:机械造穴顺层钻孔单孔平均浓度为55.34%,平均纯流量为 $0.090\text{m}^3/\text{min}$ 。根据长久以来的抽采参数观测,某煤矿本煤层钻孔普通钻孔单

孔平均纯量为 $0.025\text{m}^3/\text{min}$ 。

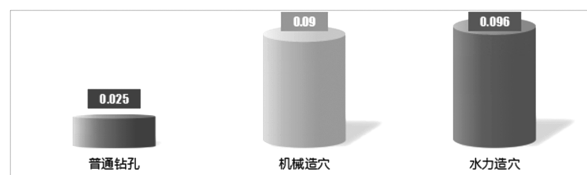


图13 单孔纯量对比

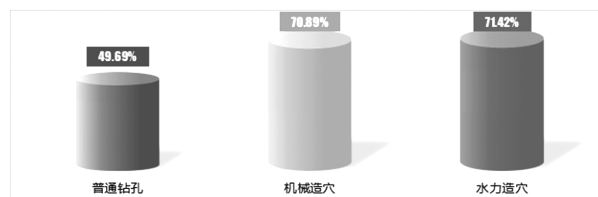


图14 穿层钻孔浓度对比

3.3 安全效益

机械造穴在试验机推广应用阶段均没有发生喷孔,未造成因喷孔引发的超限预警事故,相较水力造穴更为安全;机械造穴施工时由于设备的减少,可以减少设备操作人员及相关维护人员;清水泵在施工时需要将水压升至10-20MPa,施工前及施工时要对高压管及连接情况进行定时检查,使用机械造穴后可以杜绝高压水带来的安全隐患。

4 总结及改进计划

4.1 机械造穴总结

经过一段时间的应用,机械造穴相较与水力造穴在本煤层钻孔、穿层钻孔施工具有“两高两快四省”的优点。

(1)抽采纯量高。机械造穴增透工艺可以提升单孔抽采浓度及抽采纯量。顺层预抽钻孔水力造穴钻孔单孔抽采纯量与机械造穴单孔纯量相差不大,机械造穴单孔抽采纯量是普通钻孔的3.54倍,经过180天的长期观测,机械造穴增透工艺增透效果优于水力造穴增透工艺;穿层预抽钻孔机械造穴单孔平均浓度70.89%,与水力造穴单孔平均浓度基本相同,是普通钻孔的1.43倍;械造穴增透工艺在

保证抽采效果的前提下,抽采效率得到了提升,加长了钻孔抽采时长。

(2)安全系数高。可以有效降低钻孔喷孔次数及煤与瓦斯涌出能量,减少施工现场施工人员,杜绝高压水带来的安全隐患,相较于水力造穴安全系数较高。

(3)施工快。机械造穴相较于水力造穴施工具有施工快的优点,机械造穴工艺本煤层钻孔施工单穴用时25—30min,平均用时28min,相较于水力造穴可以提升施工效率60%;穿层钻孔施工单穴用时15—24min,平均用时22min,相较于水力造穴可以提升施工效率48%;

(4)并网快。在施工穿层预抽钻孔时单台钻机即可完成打钻和造穴的施工,缩短钻机之间的间距,加快钻孔封孔并网,将原来造穴的造穴封孔程序由“三五管理”变更为“零二管理”,因施工造成的未并网钻孔是原来的40%。

(5)省流程。机械造穴工艺实现了打造造穴一体化作业,相较水力造穴工艺在穿层预抽钻孔施工时可以减少移钻、调角度、对角度的流程。

(6)省设备。机械造穴减少了一台清水泵,省去了清水泵、开关、电缆及相关设备,减少了施工现场的“拖家带口”现象,现场易于管理且设备成本减少20.85万元。

(7)省电费。每套设备每年减少电费38.28万元,全部更换机械造穴工艺每年可以节约电费约574.2万元。

(8)省人工。水力造穴每台钻机需要5人,机械造穴每台钻机需要4人,每年工资成本减少21.9万元,全部更换机械造穴工艺每年可减少人工成本328.5万元。

4.2 改进计划

机械造穴增透工艺从试验阶段到推广应用阶段,对施工设备、流程、管理等多方面优化创新,已形成了一整套比较完整的施工工艺及管理体系,但仍需不断地优化创新,目前正在进行两项优化改进。

成了一整套比较完整的施工工艺及管理体系,但仍需不断地优化创新,目前正在进行两项优化改进。

(1)机械刀笨重,不易安装,且在施工过程中易造成钻孔倾角向下倾斜,影响钻孔施工精度,钻孔不能施工至设计深度。目前正在进行优化机械刀的设计和选材,目标将机械刀小型化、轻便化,便于使用和维护。达到随钻施工的目的,从而较大提升施工效率。

(2)机械造穴不易操作,对操作人员操作技能要求较高,操作不当易造成设备的损坏,出煤量少影响施工效率。目前从管理上已制定相应管理制度,规范各施工环节标准;加大培训力度,定期开展专项培训,提升施工人员操作技能及岗位素质,并且正在联合厂家改进机械刀提升其割煤速度,提升造穴效率。

目前大阳煤矿使用的钻机为ZDY4000LP(S)履带式液压钻机,转矩可达1050—4000Nm,最大转矩可达5500Nm。

结合矿实际提供两种工作方法:

第一种:适合钻深深度较深的情况(深度40米以上),先用钻机,常规钻杆正常打钻成孔,然后更换造穴钻杆,连接机械扩孔器,送钻至指定造穴位置后,连接液力推进器进行扩孔造穴作业。

第二种:适合钻深深度较浅的情况(深度40米以内),直接把钻头,机械扩孔器,造穴钻杆,注水器连接好,正常打钻至指定位置后,然后再连接上液力推进器,开始扩孔造穴作业。

扩孔造穴过程排渣方式为水排渣,2—4MPa的常规水压即可,扩孔造穴为后退式,先把钻机的钻速及后退速度调整到最低,等钻速稳定后,孔口出现返水后再打开机械扩孔器,注意观察孔口返水情况,当孔口返水含有煤渣时开始稳定且慢速的让动力头后退,当动力头后退到轨道最大位置时,在往前推进动力头。反复重复此过程4—5次,这个过程既是洗孔,也是让成孔更好。第二次此过程时(下转第6页)

随着产品类别越来越多,制造产品的流程越来越长,环节越来越多,企业制造产品,提供服务的成本费用无法简单直接归集到某一产品或服务项目里面,需要经过细致的区分,才能准确归集,才能为企业定价,产品组合决策,客户盈利能力分析提供有价值的信息。

作业成本法(ABC)通过将企业经营活动分解为一系列的作业,根据作业来分配成本,从而更准确的计算产品和服务的成本的一种成本核算方法。

以“作业消耗资源,产出消耗作业”为原则,按照资源动因将资源费用追溯分配到各项作业,计算作业成本,再根据作业动因,将作业成本追溯分配至各成本对象,完成成本计算。每个运营工作达到什么目的,这个活动中有多少成本,都要准确核算,较传统的成本核算方法,以产品数量为基础分配间接成本更准确全面,有助于企业优化不必要的低效率的作业,从而进行优化或改进效率,提高生产和服务效益。

四、会计利润与经济利润的区别

由于会计成本与经济成本的不同,致使会计利润与经济利润的含义也有所不同。

会计利润是指企业在一定时期内,根据会计准则和财务制度计算的利润,是企业收入减去会计成本后的余额,是企业经营成果的直接体现。主要考虑企业实际发生的成本费用,如原材料、工资、利息、税金等。

经济利润是指企业在一定时期内,扣除所有机会成本的利润,不仅考虑了会计成本,还考虑了机会成本(如企业自有资金的机会成本等)。

经济利润为正,说明企业资源配置是有效的,创造了超过机会成本的价值,产生了剩余价值;经济利润为零,说明企业资源配置是正常的,没有创造剩余价值;经济利润为负,说明资源配置是低效的。

会计利润通常大于经济利润,因为会计利润只扣除会计成本,而经济利润还扣除了资源的机会成本。从企业的价值分析来判断,更应该注重经济利润的评估与考虑。近年来,国务院国资委对央企负责人经营业绩考核中增加的经济增加值项目的考核,实际上就是经济利润项目的考核。

从这个意义讲,对成本的分类、讨论与辨析,有助于对企业真实价值与真正利润的理解和认识,是本文的讨论意义所在。

(上接第13页)

可以适当加快前进和后退速度。建议每一米扩孔造穴时间维持在10-15分钟左右,后续当施工人员熟练及了解扩孔造穴情况后可以适当加快作业速度。

煤层式造穴泄压装置有独立的液压控制系统,只需要接电,该装置有水冷式冷却器,还需要单独连接一根水管,用于冷却液压油。钻机只提供造穴时的后拉和推进力,运行过程要稳定。建议每台钻机配备3-4名工人。

连接方式:从前往后依次为:钻头,机械扩孔器,造穴钻杆,液力推进器,注水器(打钻时和造穴时分别使用不同注水器),钻机,造穴泄压装置(移动液

压站)。

参考文献:

- [1] 王杰峰.本煤层模块化水力造穴扩孔增透抽采工艺试验研究,2021.
- [2] 武沛武.瓦斯抽采钻孔机械造穴的实践与认识,2021.
- [3] 毕猛;董群;周建伟等.瓦斯抽采孔离心式机械造穴增透机制及装备研发,2023.
- [4] 柴锡军;熊俊杰;杨程等.煤矿井下机械造穴卸压增透装置研究与应用,2023.