

# 钻进揭露煤体瓦斯库喷突形成机理 及孔内事故处理方法

马沈岐

(中煤科工集团西安研究院钻探技术所,陕西 西安 710054)

**摘要:**松软煤层中钻进,揭露煤体瓦斯库形成的喷突,是造成孔内事故的重要原因。对瓦斯库喷突的形式和形成机理以及形成事故的原因进行了分析,在风力钻进工艺系统中,对常出现的问题和现场解决、处理问题的方法进行了总结,对松软煤层的钻进具有借鉴意义。

**关键词:**松软煤层;瓦斯喷突;风力钻进;机理分析;事故处理

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)06-0017-05

**Formation Mechanism of Gas Outburst by Drilling in Coal and the Treatment Method of Borehole Accident/MA Shen-qi** (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** Gas outburst is the important reason of borehole accidents in soft coal seam drilling. In this paper, the formation mechanism of gas outburst and the causes of borehole accidents were analyzed and the methods of common problems in air drilling technology were summarized. All of these have important reference in soft coal seam drilling.

**Key words:** soft coal seam; gas outburst; air drilling; mechanism analysis; accident treatment

煤层中富集瓦斯条带状分布状态明显,富集瓦斯条带状分布的特点具有:富集瓦斯条带范围明显、瓦斯压力高、突出强度大、形成的富集瓦斯库独立性较强,并且各瓦斯库之间的相互联系性较差、煤体松软。在钻进中形成的瓦斯喷突形式有团状独立喷突和连续型相交喷突、弥散状持续性溢出等,瓦斯喷突加速煤体破碎严重,形成大量的煤渣和粉尘,造成钻具瞬间被埋等严重孔内事故。本文结合科研和实践工作,针对钻进揭露煤体瓦斯库形成的喷突形式,喷突造成的孔内事故,以及事故的预防和处理方法,进行了分析和总结,希望对今后的工作能起到借鉴作用。

## 1 钻孔瓦斯喷突的形式

煤体中瓦斯库的存在,受煤层的物理特性影响和矿山压力作用等,形成差别各异的煤体瓦斯库存在形式,当钻头揭露煤体瓦斯库时,压力瓦斯产生不同形态的释放,形成的喷突状态也不同,常见的喷突形式如下。

(1)松软煤体相对稳定时,瓦斯库聚集成团状形态瓦斯形成的突出状况。其喷突状态表现为,瓦斯压力迅速释放,达到瓦斯库聚集的压力值,并且瓦

斯气体快速膨胀,向孔内低压区迅移,同时孔内产生鸣炮声,声音较脆,突出的渣量较少,颗粒粒径较大,喷出孔口的速度较高,当瓦斯压力释放后,其压力值快速降低恢复常态。图 1 为瓦斯库聚集成团状瓦斯压力释放曲线图。

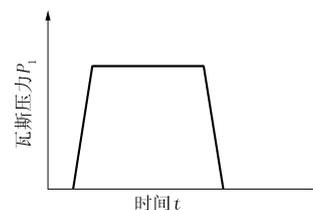


图 1 瓦斯库聚集成团状瓦斯压力释放曲线示意图

(2)松软煤体稳定性较差时,煤层的孔隙度、裂隙度也相对不发育,瓦斯库聚集成弥散状形态形成的突出状况。其喷突状况表现为,瓦斯压力释放较缓,达到瓦斯库聚集压力值的时间也较慢,在孔内聚集成高压瓦斯的空段较长,瓦斯气体膨胀的速度较缓,在向孔口低压区移动时,扰动孔壁造成大量的松软煤层发生坍塌,形成较大的煤渣量。突出状态表现为,鸣炮声沉闷、持续时间较长,突出的渣量大,煤渣颗粒与煤粉混合度高,在孔口时形成分层,表现为钻孔上部喷突出的煤渣颗粒较大、数量较少、出孔

收稿日期:2010-12-21;修回日期:2011-04-07

作者简介:马沈岐(1957-),男(汉族),山西平顺人,中煤科工集团西安研究院高级工程师,钻探工艺专业,从事煤矿瓦斯地质钻探工艺研究以及技术推广等工作,陕西省西安市高新开发区锦一路82号,mashenqi168@163.com。

口速度高,钻孔下部呈现大量混合的煤渣和煤粉,数量大、出孔口速度较低、形成的安息角较大。当瓦斯压力较缓释放后,其压力值也是较缓慢的恢复到正常值。图2为瓦斯库聚集成弥散状瓦斯压力释放曲线图。

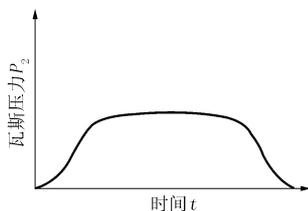


图2 瓦斯库聚集成弥散状瓦斯压力释放曲线示意图

(3)松软煤体中瓦斯子库相互关联又具有一定的独立性时,首先坍塌的松软煤体形成喷突,接着扰动后续煤体,引发持续性的喷突。连续喷突的特性是先鸣炮时,孔内喷突的煤渣量相对较少,煤渣颗粒大、突出孔口速度较高,有时伴有鸣哨声,接下来的喷突就会发生煤渣量大量增加的情况,并且鸣爆声变得沉闷,由于一定量的煤渣阻塞了钻孔通道,导致孔内聚集的瓦斯压力会逐渐升高,并且释放较慢,延迟时间拖长。由于喷涌出的渣量大、力度强,有时甚至能把孔内的钻杆推出,把钻场的钻机涌到一边。图3为瓦斯库交互影响喷突压力释放曲线图。

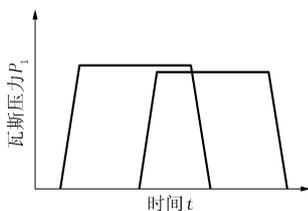


图3 瓦斯库交互影响喷突压力释放曲线示意图

(4)受矿山压力作用,压缩富集的瓦斯,受矿山压力作用煤体遭到严重破坏,受压形成的高压瓦斯库与遭到破坏的煤体发生突出。形成的突出状态表现为,沉闷的煤炮声连同煤体坍塌物,瞬间将钻具埋住,煤粉、煤渣和瓦斯气体无法排出。因坍塌煤体上部形成松散的空间,随后瓦斯气体和压力风会逐渐排出,但钻具仍无法活动。

松软煤层瓦斯喷突的发生具有一定的突然性,非正常钻进参数区间有时候反应的时间很短,来不及进行调整,因此提前的设计和预防就十分重要,需要对瓦斯地质工作进行详细的勘察和探测,做到心中有数,就能更好地实施松软煤层中的钻进工作,采用新型工艺方法,保持钻孔能长效的工作,有效地进行瓦斯抽采,解决松软煤层中的瓦斯突出问题和保

持钻孔通道持续应用问题。

## 2 煤体中瓦斯库具备的3个条件

煤体中瓦斯库的存在是一种自然状态,瓦斯库的形成具备3个条件:(1)具备一定的空间,并且通过裂隙等与煤体中的通道联系,同时煤体的顶底板具备密封条件;(2)成煤过程中伴生的瓦斯等气体,通过煤体中的裂隙等通道向存在的空间运移聚集,形成瓦斯气体子库;(3)受矿山压力等地质条件的作用,瓦斯气体子库受压,集合形成具有一定压力的瓦斯气体库。在深部煤层开采条件下,具备瓦斯库的条件更充分,高压瓦斯存在的条件更复杂。

针对具有喷突性质的煤层,进行钻探施工的难度更大,由瓦斯喷突引发的孔内事故更多。

## 3 钻孔瓦斯喷突机理

钻进揭露瓦斯库形成瓦斯喷突的机理是,在钻头钻进揭露瓦斯库的瞬间,瓦斯库中的瓦斯压力迅速得到释放,向钻孔环隙中喷涌而出,受瓦斯压力释放扰动引起坍塌的松软煤层,形成煤、风与瓦斯气体的混合物,在瓦斯压力作用下共同向钻孔环隙中喷涌,高压瓦斯气体的迅速膨胀、挤压钻孔中的空气形成鸣爆声。

喷突的瓦斯、煤渣和煤粉在钻孔中存在的形式是不同的,根据煤与瓦斯喷突形成的混合物,将其划分为3个阶段:

第一阶段为喷突的初始阶段,在钻孔前端由于喷突的煤渣煤粉与瓦斯气体形成的混合物密度很大,以一种混合的拥挤状态向外移;

第二个阶段为喷突的运移阶段,在钻孔中段随着突出过程的延长,瓦斯气体压力的释放,煤渣、煤粉受重力作用逐渐产生分层,同时部分颗粒较大的煤渣在风力悬浮状态下,以较高的速度在环隙上部快速突出,而另外大部分混合煤渣煤粉则沉积在钻孔中下部,一部分煤渣反复被小螺旋钻杆搅动升起,随压力风排出,而多数煤渣混合瓦斯和压力风向孔口常压区推移排出,向孔口运移突出的速度较为迟缓,因此喷突的煤渣和混合煤渣粉喷突成分层状;

第三个阶段为喷出阶段,经过钻孔内长距离的运移过程,喷突的煤渣、煤粉、瓦斯和压力风,在接近孔口时开始迅速减压,形成一定的下降坡度,而钻孔环隙中上部的空间增大,喷突煤渣颗粒的密度减小,煤渣的运移速度加快,而钻孔环隙的下部,也因煤渣数煤粉量的减少,密度降低,被瓦斯和压力风气体推

移的速度加快,因此喷出孔口的煤渣、煤粉、瓦斯和压力风状态就是:钻孔环隙上部多以较大的煤渣颗粒喷出,并且喷出的速度快,数量较少,往往能听到喷出的煤渣颗粒带有鸣哨声音;而钻孔环隙中下部则会突出大量的混合煤渣和煤粉,出口速度相对较低,渣量大(如图4所示)。

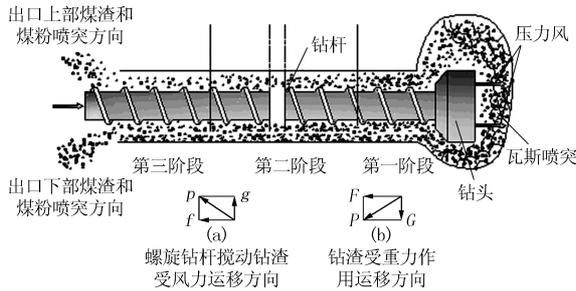


图4 小螺旋钻杆风力排渣示意图

#### 4 钻孔瓦斯喷突的征兆

钻孔内瓦斯喷突的征兆判断,常用的方法有以下几种:(1)根据掌握的矿井瓦斯地质资料提前预防法;(2)钻进中根据瓦斯鸣爆声音判断法;(3)根据钻进工艺参数变化情况判断法;(4)根据实践经验总结判断法。

##### 4.1 根据掌握的矿井瓦斯地质资料提前预防法

矿井瓦斯地质精查工作做得越详细,各种构造规律、瓦斯赋存条件、地下水赋存条件、煤的物理性质等资料掌握得越好,钻进工艺参数就越好控制,对瓦斯库的赋存条件、瓦斯压力值的范围、煤层松软等级、瓦斯喷突造成的影响程度掌控得越好,钻孔成孔的概率就会高,酿成事故的几率就小,钻孔通道维持时间长,瓦斯抽采治理的效果就会提高。

##### 4.2 根据瓦斯鸣爆声判断法

高压瓦斯气体释压产生鸣爆,受煤层松软条件、瓦斯压力高低、煤层透气性、煤层受瓦斯喷突扰动所造成的坍塌程度、钻孔环隙的畅通程度、孔深等诸多条件影响,瓦斯喷突所形成的鸣爆声相差较大,有经验的工人很容易就能判别出鸣爆声所产生的喷突结果,给处理瓦斯喷突所造成的后果,创造了有利的条件。一般情况下将鸣爆声分为清脆声、连续清脆声、沉闷声、连续沉闷声、无声但有时候会冒白烟,喷出的煤渣速度高时会带哨音,涌出的煤渣和煤粉量大时,会挤压空气发出闷响的呼呼声。

##### 4.3 钻进工艺参数判断法

一般来讲,瓦斯突出前所产生的压力会提前传递到钻机操作台上的各相关压力表,最先影响压力表数值反应的是回转压力表,压力表指针所产生的

波动幅度,表明孔底瓦斯突出的强弱与渣量的多少,根据压力表数值的变化,及时采取相应的正确措施操作,能较好地保持钻具工作状态,减少孔内事故的发生。

##### 4.4 根据经验判断法

在煤矿瓦斯地质钻进中,大量的实践经验积累,是解决瓦斯喷突综合问题的研判、遇事故采取相应的快速处理措施、采用新工艺处理事故的有效方法、发生喷突事故时的安全避让等诸多问题的好方法。

#### 5 瓦斯喷突的类型

按照瓦斯喷突方式将其分为5类:直接喷突型、间歇喷突型、连续喷突型、滞后喷突型、坍塌喷突型。

(1)直接喷突型:钻头揭露瓦斯库的瞬间,高压瓦斯气体以集中突出的方式为主,向钻孔常压区内喷突。

(2)间歇喷突型:由煤层裂隙发育分布的不均匀性,形成瓦斯不均匀的聚集,钻进中钻头连续揭露瓦斯库时,发生间歇性的喷突,喷突的强度受裂隙联系的程度有关,裂隙联系密切时,喷突的强度会增强,裂隙联系较疏时,喷突的强度具有各自的独立性。

(3)连续喷突型:煤体中瓦斯富集的程度受煤质的硬度影响很大,松散煤体中存在的裂隙、孔隙等条件较差,吸附性瓦斯大量存在,当钻进中钻头揭露煤体中的瓦斯库,即发生瓦斯喷突,由于喷突的煤渣量相对较小,对钻进影响较小,往往是采取继续钻进的方法。

(4)滞后喷突型:煤体中瓦斯库赋存的瓦斯压力相对较小时,瓦斯喷突的力度会暂时较小,钻头揭露煤体坍塌下来的煤渣和煤粉,会堵塞钻孔形成阻碍,同时煤体的坍塌能够形成一定的空间,会游进大量的瓦斯气体,随着煤体错位移动,增加了煤体的压力,致使缩小的空间压缩瓦斯气体,是瓦斯气体的压力增高,当瓦斯气体压力大于钻孔中堵塞的煤渣和煤粉柱时,高压瓦斯气体会推动煤渣和煤粉柱体运移并向孔口喷突。

(5)坍塌喷突型:受矿山压力的作用,煤体中瓦斯压力较大时,对煤体的破坏程度严重,受瓦斯喷突造成的大量煤渣和煤粉形成坍塌造成极端事故。

#### 6 瓦斯喷突煤层事故的处理方法

松软煤层瓦斯喷突造成的孔内事故,根据煤层硬度的差别、煤体软分层构造的不同、煤层受压程度

的不同、煤层释放瓦斯时间长短的关系等,划分为轻度埋钻事故、中度埋钻事故和重度埋钻事故。

### 6.1 轻度埋钻事故

在瓦斯鸣炮情况下,应立即停止回转,回撤钻具,保持压力风的输送,将钻具停放在较为安全的孔段,减轻钻具对煤层的扰动影响,让聚集的高压瓦斯得到释放。该类瓦斯喷突出的煤渣颗粒较大,棱角明显,出孔口速度较高,但煤粉数量较少。由于宽叶片小螺旋钻杆受煤渣的阻绊,螺旋钻杆回转受阻,不能连续匀速回转,在试钻时钻机系统压力表上指针发生大幅度的摆动,但回转力矩相对较小,给进与起拔压力变化不大。在处理这类事故时,采用的方法是,先停钻,回撤一定距离的钻杆,视瓦斯压力变化、瓦斯喷突影响程度、钻渣和煤粉量的多少而定,在瓦斯喷突停止后,再在压力风的切割下,对钻孔壁周围进行适当的洗孔,继续释放瓦斯,试着缓慢钻进。经验告诉我们,在瓦斯喷突情况下忌用快速钻进方法,试图采用快速钻进通过瓦斯聚集区的做法是危险的,因为钻进揭露瓦斯库,揭露的面积越大,越是能激荡瓦斯溢出,增大瓦斯的喷突量。利用瓦斯释放会增强煤层的硬度的条件,有利于保护钻孔孔壁。

### 6.2 中度埋钻事故

在瓦斯发生连续性喷突或者发生滞后性喷突时,突出的大量煤渣和煤粉,因钻孔环隙较窄,不能快速将坍塌的煤渣和煤粉排出,形成环柱状堵塞物,将瓦斯气体与坍塌物封堵在孔内,形成埋钻事故。埋钻的表现形式是钻具无法回转,给进起拔活动范围很小,并且随着活动钻具次数的增多而活动距离减小,直至动弹不得。在继续通风的情况下,初始风压会受阻,风压升高,但随后返风通道疏通后,孔内能形成风力循环,但很少能排除煤渣和煤粉。形成事故后,首先要将钻机的参数调整为低转速、大扭矩工况,并且要缓慢的给钻具施加给进与起拔工况,同时进行低速试回转。因为此时喷突坍塌的煤渣和煤粉柱体还处于松散状态,给钻具的活动留有一定的空间,在处理事故时,把握住这个最佳的时机是非常重要的。如果钻具被埋住无法回转时,采用间歇冲击回转,逐渐活动钻具处理事故。处理事故的时间一般较长,要有足够的耐心和合理的操作技术运用。

### 6.3 重度埋钻事故

受地压作用瓦斯喷突造成的坍塌是严重的,常发生的结果是瓦斯发出沉闷的鸣爆声后,瞬间就将钻具埋住动弹不得,由于坍塌造成的密实度较大,压力风被憋死在孔内,造成空压机超压卸载。重度埋

钻事故是很难处理的,在无奈的情况下,只有强行打反转,能卸出多少钻杆算多少,被埋的钻杆用返丝钻杆进行打捞,能卸出一部分钻杆,被埋住的钻杆只好等以后采煤时再弄出。被埋住的钻杆遗留在煤层内,一方面会形成瓦斯通道,另一方面会给采煤割机造成威胁,在后续工作中都是要严格注意的。因此在实施钻进前,要做好瓦斯地质详勘工作,做好系统的防范工作,减少这类事故的发生。

在煤层瓦斯分布条带内施工钻孔,最好将钻孔的角度设计为仰角,这样有利于排渣,减少孔内的埋钻事故。另外,在瓦斯分布条带内,由于煤层中的裂隙较为发育,在密集布孔方式中,会发生串孔和裂隙导通,这样对风的损失很大,造成孔内风速减少、风压降低,致使钻渣不能有效排出,沉积在孔内造成埋钻事故。因此,在钻孔布局 and 设计中,要认真考虑煤层中裂隙等构造的影响,钻孔抽采瓦斯的影响半径与煤层透气性、裂隙发育程度等,有利于避开孔与孔之间发生串风的情况。

## 7 瓦斯喷突煤层钻进技术装备和钻具

### 7.1 主要装备

#### 7.1.1 大功率钻机

松软喷突煤层钻进时易发生喷孔造成的埋钻等事故,针对非平衡条件下的瓦斯地质钻进,需要钻机提供大扭矩和大起拔力。根据目前煤矿松软煤层瓦斯喷突的状况和解决该类地层所能实现的钻探技术装备和工艺系统,钻孔的设计深度一般200 m左右,并且要求施工周期短,钻机易搬迁、稳固牢靠等,根据钻场条件和瓦斯喷突状况,所采用的钻机型号有分体式结构和履带式整体结构的全液压坑道钻机。

#### 7.1.2 孔口除尘系统

孔口除尘系统是松软突出煤层中风压空气钻进重要的组成部分。主要由孔口集尘器、排尘管和多级无动力除尘器组成,孔口集尘器与孔口管配合收集钻孔产生的煤粉颗粒,煤粉颗粒在压力风的作用下顺着排尘管进入多级无动力除尘器中,孔口除尘器由三级除尘器组成,分别采用惯性除尘、水浴除尘和文丘里除尘等除尘原理,针对不同粒径的煤粉颗粒进行分离,达到除尘的目的。

#### 7.1.3 防爆空压机

目前井下供风管路提供的自压风存在供风压力低、供风流量不稳定、衰减较快的问题,故选用井下防爆移动空压机作为风源,铺设独立供风管路,满足松软突出煤层中风压空气钻进需求。目前在煤矿井

下应用较多、使用较好的有英格索兰(上海埃尔特)、复盛、中山艾能、开山等公司生产的煤矿井下用移动式防爆空压机。井下防爆移动空气压缩机主要技术参数:排气量  $17.5 \text{ m}^3/\text{min}$ , 排气压力  $1.25 \text{ MPa}$ , 原动机名义功率  $132 \text{ kW}$  等。

#### 7.1.4 检测仪器

空气钻进中压缩空气的流量、压力、温度是进行计算和理论分析的关键参数。一般在钻进供风入口处(钻杆入口之前)设置监测点,选用流量计实时检测并显示压力、温度、流量3个参数。通过流量计显示的风压、流量参数,配合观察钻机系统压力及钻进排粉情况及时掌握钻孔内钻进情况的变化,并进行适时调整各个参数之间的匹配需求。

#### 7.2 钻具

采用宽叶片小螺旋钻杆进行钻进。该钻杆可以通过钻机主轴中心孔,与常规螺旋钻杆相比,叶片宽度增加,可用回转器卡盘和夹持器抱紧或松开;钻杆采用锥形丝扣连接,可用钻机进行钻杆拧卸,减少工人劳动强度;该钻杆还具有强度高、排粉效果好等优点。采用的钻头包括三翼硬质合金钻头、四翼刮刀PDC钻头等,适合于松软煤层空气钻进。图5为小

螺旋钻具级配原理示意图。

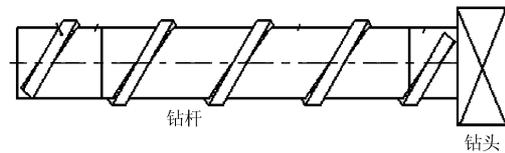


图5 小螺旋钻具级配原理示意图

#### 8 结语

我们在松软喷突煤层钻孔细化研究和具体工艺上取得了一定的成绩,在松软喷突煤层中实现了较大孔径和中深孔的钻进,提高了瓦斯抽采的效率。为提高松软喷突煤层的瓦斯治理效果,目前,关于松软喷突煤层钻进的技术装备和新工艺方面,正在深入地做着研究和实践工作。

#### 参考文献:

- [1] 马沈岐. 瓦斯地质钻探工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, (2).
- [2] 马沈岐, 刘桂芹. 煤矿瓦斯地质起拔钻探工艺技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, (9).
- [3] 马沈岐, 王力, 李乔乔. 松软喷突型煤螺旋钻进工艺发展[J]. 煤矿安全, 2010, (4).

## 湖南地勘局危机矿山找矿贡献大

国土资源网消息(2011-06-14) 最近,一份有关湖南危机矿山接替资源找矿成果的情况说明报告,引起湖南省委书记周强的关注。常务副省长于来山在情况报告上直接向省地勘局局长叶爱斌批示,盛赞湖南省地勘局危机矿山接替资源找矿工作做得很好,为湖南乃至全国的经济社会建设作出了重要贡献,在地质找矿系统引起强烈反响。

于来山在《湖南接替找矿项目使危机矿山重获新生》的报告中批示:“这是一项十分重要的工作,做得很好,这对我省乃至国家都是一个贡献!”省政府领导对找矿项目的肯定,湖南省地勘局上下深受鼓舞。

湖南素有“有色金属之乡”、“非金属之乡”等美誉,是全国的矿业大省。但随着全省经济社会的发展,工业化的深入推进,矿产资源供需矛盾日渐明显,众多老矿山经过数十年的开采,出现了不同程度的资源危机,有的甚至接近枯竭,造成矿山企业效益下降、职工收入减少,甚至面临下岗等诸多困难,而且严重制约了湖南经济和社会的可持续发展。近年来,湖南省地勘局开展了黄沙坪铅锌矿、柿竹园钨多金属矿、龙山锑金矿、渣滓溪锑(钨)矿、黄金洞金矿和民乐锰矿6个危机矿山的深边部找矿工作,并取得了危机矿山接替资源找矿工作的丰硕成果。

湖南危机矿山接替资源找矿项目实施五年来,在成矿理论研究和找矿成果上取得重要突破。至今年3月前,6个项目均通过了全国危机矿山接替资源找矿管理办公室组织的专家验收,其中5个项目均为优秀等级。6个危机矿山接替资源找矿项目共探获潜在经济价值800亿元以上的资源储量,其中金17 t,银1508.7 t,铅锌106.4万 t,铜2.7万 t,铋17.2万 t,钨锡铋钼44.4万 t,铁矿石3968万 t,萤石731.8万 t,可安置稳定职工队伍1.5万余人,展示出巨大的经济社会效益。龙山锑金矿、渣滓溪锑(钨)矿、黄金洞金矿等危机矿山延长5至70年不等的服务年限,其中黄沙坪铅锌矿、柿竹园钨多金属矿分别延长矿山服务年限70年和30年,获得找矿重大突破,被列为国土资源部向国务院领导汇报的全国危机矿山接替资源找矿的重大成果。

目前,该局在省国土资源厅的部署下,继续与矿山保持合作,正在申请黄沙坪铅锌矿等6个危机矿山找矿的续作项目,并争取在红旗岭钨矿、桃林铅锌矿、七宝山铜矿、柏坊铜矿等危机矿山进入第二轮全国危矿找矿项目,彻底解决一批湖南重大的资源危机矿山的资源接替问题,缓解全省资源短缺的状况。