

## 2.1 工艺流程

投料井位于工业广场内,深350 m,冲积层段厚度为235 m,基岩段厚度为115 m.充填物料从地面通过料井投到井底,充填物料是否能顺利从井口投放到井底带式输送机上,投料管是否能经受住填充物冲击及磨损和地压力是本次设计需要解决的重要问题.

根据现场情况及其总体设计要求,其工艺流程如图3所示.

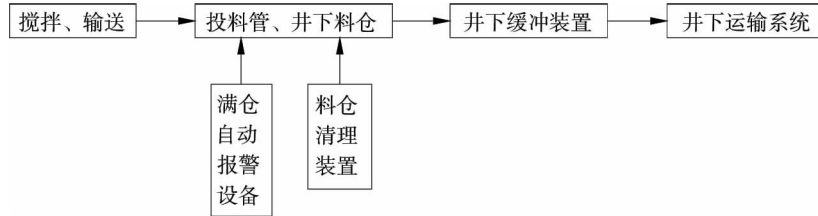


图3 投料系统工艺流程设计

## 2.2 投料孔及储料仓设计

考虑到投料孔及储料仓质量问题及服务年限,为了使该建筑达到最佳,需要使用一定范围直径的充填材料,因此选用 $\Phi 510\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 最强耐磨性圆柱形钢管输送充填材料.填充采空区需要充填物料在 $50\times 10^4\text{ t/a}$ 左右,由于在管道输送充填材料时难免会有一些量的充填材料粘在管道壁,因此要考虑富裕系数,管道运料能力不得低于 $450\text{ t/h}$ .投料运输管道选择双层最强耐磨型圆柱形钢管外直径为 $530\text{ mm}$ ,内直径为 $486\text{ mm}$ .使用管道直径 $\Phi 800\text{ mm}$ ,管道壁厚度为 $12\text{ mm}$ 的钢卷管保护孔.填充采空区需要充填物料在 $50\times 10^4\text{ t/a}$ 左右,由于井下空间有限考虑井底一天最大充填物料储存量,因此井底储料仓,需建设容积不小于 $520\text{ m}^3$ .所以设计储粮仓直径为 $4.0\text{ m}$ ,高度设计为 $42\text{ m}$ ,为了保证给采空区充足的充填物料防止出现断料等情况考虑,储料仓最上部安装一系列安全保护装置等因素,最终选择建设深度为 $50.0\text{ m}$ 储料仓.为了防止冲击力过大而对设备造成损坏等安全问题,设计缓冲器样式为“伞形”,即充填料下落的直接接触面为锥形面.

## 3 研石与粉煤灰直接充填关键设备选型

### 3.1 自夯式液压支架选型

通过对工作面地质、矿压的分析研究,同时考虑到液压支架需要有较高的支护强度,因此最终考虑选用ZCC4800/16/32四柱支撑掩护式液压支架,该液压支架主要结构采用四连杆.选用液压支架结构原理如图4所示.该液压支架既要满足对顶板有较强支护能力,同时还要在一定程度上满足充填采空区的目的.

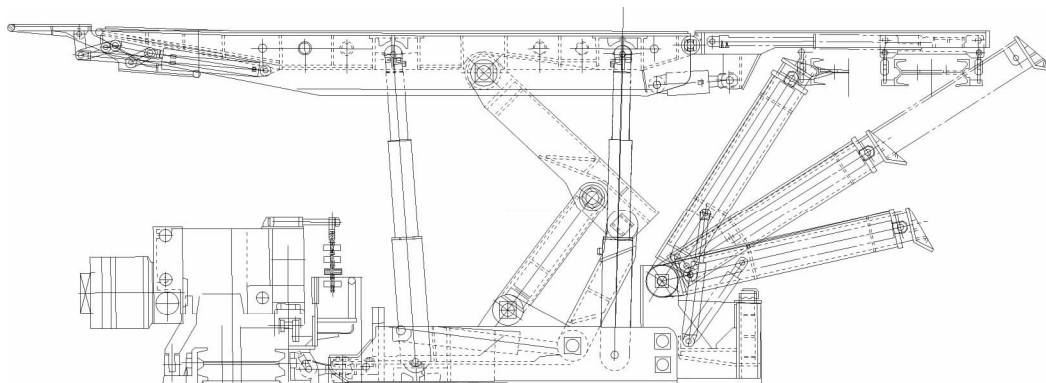


图4 研石与粉煤灰充填液压支架结构原理图

### 3.2 充填开采输送机选型

为了保证工作面正常生产,考虑到充填材料必须要满足采空区的充填,因此要考虑输送机的运输能力,通过现查结合理论论证后,最终选择SGB630/150(改)型刮板输送机.该输送机的结构设计要求:

- 1)将卸料孔设计在刮板输送机的溜槽中板上;

2)设计一个插板插口在溜槽内,同时安设液压缸机械式插板是为了对充填材料的充填量等一些参数进行有效的控制;

3)为了增加刮板输送机的可调节范围,对溜槽两头进行改造,使插接式溜槽联接方式改造为螺栓连接方式;

4)为了使充填效果达到最佳状态保证顶板下沉量最小,因此经过现场观测决定在支架尾量上增设一个输送机,采用可调控高低单挂链悬挂溜槽.

## 4 现场实测

### 4.1 充填体压力观测

在完成一刀采煤工作后进行采空区充填,并在工作面分别推进到 15,40,65 m 时,安装充填体在线观测压力计.经过连续观测分析可知:

1)在工作面推进到 28 m,即充填体在线观测压力计距离工作面 13 m,距离切眼 15 m 时,压力数值又开始逐步上升.这说明,在工作面推进到 28 m 左右时,充填体下沉量达到了一次压实高峰,充填体压力计开始受压,这与基本顶的初次来压步距基本吻合.

2)第 2 排压力计在安装后距离工作面 16 m 时数据开始显现,第 3 排压力计在安装后距离工作面 15 m 时数据开始显现,均与普通工作面 15 m 的周期来压步距吻合.这说明在距离工作面 15 m 左右时,充填体的下缩量达到一个峰值,下缩速度逐渐减小,充填体承载逐步增大.

3)在工作面推进到 55 m 左右时,充填体压力的增长速度减慢,压力数值逐渐开始稳定,在工作面最近到 130 m 时,即压力计距离工作面 115 m 时,压力值达到 2.5 MPa.第 2 排仪表从压力值开始显现开始,数值一直增幅较快,在距离工作面 90 m 时压力值达到 5.5 MPa,压力增幅又下降至稳定的趋势.造成这种差异的原因是,第 1 排压力计后方 15 m 处为煤壁,没有下缩量,承载能力较高,而第 2 排和第 3 排压力计前后方均是充填体,有下缩量.第 3 排压力计目前距离工作面 75 m 压力值已经达到了 2.4 MPa,而增幅并没有稳定,这与第 2 排压力计的情况基本一致.

### 4.2 地表岩移观测

考虑到工业广场设施布局的真实情况,特设地表移动式观测线 2 条和铁路、建筑等一系列重要建筑物观测站.为了证实充填效果是否达到设计的目的,矿压观测及地面沉陷的连续观测是从工作面从开切眼为起点.通过长时间观测发现 7606 充填开采工作面基本上没有表现出明显的顶板来压现象,沿着铁路线发现地表最大下沉值为 16 mm,位于该工作面东侧大约 37 m 处,沿南外环公路的观测线并没有发生较明显地表下沉现象.所以通过大量观测,该工作面的开采几乎没有影响到地表的建筑和设施.

## 5 结论

1)提出并设计了 350 m 大落差垂直投料井用于输送地表矸石与粉煤灰混合充填材料至煤矿井下的运输系统,研发了防冲击力的缓冲装置以及防止堵仓的快速起闭器和井上下调度监控系统等设备.

2)研发了充填开采关键设备,主要包括可安设夯实机的充填开采液压支架、自动开启式充填开采输送机、自移式矸石与粉煤灰转载机等关键设备.

3)7606 首采充填工作面共置换出  $11.5 \times 10^4$  t 煤炭,处理掉  $7.42 \times 10^4$  t 矸石,处理掉  $2.23 \times 10^4$  t 粉煤灰.

### 参考文献:

- [1] 赵燕,闫常华.龙口市煤矿塌陷地复垦模式及综合开发技术研究[C]//第六届全国土地复垦学术会议.2001.
- [2] 张元功,董凤宝.城镇建筑群下矸石充填开采新技术的研究与实践[J].煤矿开采,2008,13(1):31-33.
- [3] 韩朝军,李延东.邢台矿粉煤灰充填技术可行性研究[J].中国矿山工程,2006,35(4):16-18.
- [4] 邓寅生,何莎莎,韩哲楠.粉煤灰井下填充时 PAHs 对地下水环境的影响[J].环境工程学报,2007,1(6):109-113.
- [5] 王新民,曹刚,龚正国.煤矸石作充填骨料的似膏体料浆流动性性能试验研究[J].矿业快报,2008,24(1):20-23.
- [6] 张延亮,孙滨,程风方.悬挂式刮板输送机的研制及应用[J].煤矿机械,2008,29(7):111-112.
- [7] 霍召峰,武长金,陈磊清.矸石充填法采煤地面岩移观测与分析[J].山东煤炭科技,2007(6):97.

# 深部高应力大变形巷道的工程特征及围岩稳定性

余伟健<sup>1,2\*</sup>, 吴根水<sup>1</sup>, 袁超<sup>1,2</sup>

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 针对深部高应力巷道围岩变形特征, 采用现场调查、室内试验与数值模拟等研究方法. 首先, 依据现场调研结果, 分析了高应力软弱围岩表面揭露特征、内部裂隙发育情况与岩石微观结构, 获得了一些有价值的结论, 深部巷道围岩整体的力学强度均较低; 其次, 进行了岩石力学试验和强度参数预测分析, 认为深部巷道中的岩石强度具有一定的差异性, 而且各岩体力学参数的空间分布与岩体密度存在很大差异性; 再次, 根据深部巷道围岩的力学强度、地应力释放方式与巷道围岩变形之间的关系, 认为在深部巷道中不同应力释放方式将会引起不同的围岩变形特征. 最后, 探讨了不同支护方式对高应力巷道围岩变形的控制作用机理, 提出了提高围岩体自身承载能力, 实现“柔”“刚”耦合、“内”“外”共同承载的综合控制支护理念.

**关键词:** 岩石力学; 大变形巷道; 工程特性; 力学强度; 变形特点; 巷道支护

**中图分类号:** TD325      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-9102(2017)02-0029-08

## Engineering Characteristics and Stability of Surrounding Rock in Deep High Stress Large Deformation Roadway

Yu Weijian<sup>1,2</sup>, Wu Genshui<sup>1</sup>, Yuan Chao<sup>1,2</sup>

(1. School of Resource, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In order to study the deformation characteristics of deep roadway surrounding rock which is under high stress, field investigation, laboratory test, and numerical simulation have been adopted. Firstly, according to the field investigation, rock microstructure, rock internal fracture, and the surface exposed feature of weak surrounding rock under high stress have been analyzed; in addition, some valuable conclusions have been gained, that is the mechanical strength of deep roadway surrounding rock is lower. Then, based on the analysis of rock mechanics test and strength parameters prediction, it is considered that rock strength is different, and the space distribution of different rock mass mechanical strengths is different too, the same as the rock density. According to the relation between the rock mass strength, the release way of crustal stress and the deformation of roadway surrounding rock, the weak surrounding rock stable and the release way of stress are important for the roadway stability, and the different release way of stress will cause the different deformation feature. Finally, the control mechanism of different support methods to the high-stress roadway surrounding rock has been studied. The comprehensive control support concept that improves the surrounding rock bearing capacity, and realize both the support of "soft+ rigid" coupling and "inside+ outside" bearing has been put forward.

收稿日期: 2017-02-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51434006; 51574122); 湖南省教育厅科学研究重点资助项目(14A045)

\* 通信作者, E-mail: ywjlah@163.com

**Keywords:** rock mechanics; large deformation roadway; engineering characteristics; mechanical strength; deformation characteristics; roadway support

随着地球浅部煤炭资源的不断开采,向深部发展已成为我国煤炭资源的主要来源.但是,在深部开采过程中,我国矿井相继出现了许多岩层控制问题,煤矿软岩巷道控制已成为严重制约矿井安全、高效生产的重大难题之一<sup>[1-3]</sup>.尤其是深部软弱破碎围岩在高地应力、构造应力和采动应力等多重叠加作用条件下,矿压显现剧烈、破裂松动范围和变形量增大、出现持续的强流变效应,导致巷道围岩控制难度加大,支护结构失效增多,翻修频率增大,作业环境恶化,支护成本急剧增大,安全难于保障等一系列问题,深部高应力软弱破碎巷道围岩支护问题日显严重<sup>[4-8]</sup>.

在深部高应力软岩巷道围岩变形机理及其控制等方面,国内外专家学者进行了大量研究,提出了一系列支护理论与技术,如关键部位耦合支理论<sup>[9]</sup>、“三高一低”(高强度、高刚度、高可靠性与低支护密度)支护设计理念与侯朝炯提出的蠕变控制支护原则等<sup>[10,11]</sup>.王卫军与马念杰等人基于工程实践与理论计算,认为高地应力是造成深部巷道围岩产生大变形的根本原因,深部高应力巷道围岩存在“给定变形”,依靠现有的支护水平无法改变高应力带给巷道围岩的这种“给定变形”,由此提出了巷道围岩稳定性支护原理与方法<sup>[12-14]</sup>.然而,由于各个矿井巷道围岩赋存条件和影响因素的复杂性与不确定性,巷道围岩的变形机理也不尽形同,即使同一矿区的不同开采水平也会出现较大差异.

因此,在大量现场调查基础上,结合国内外目前的主要巷道围岩控制技术,分析高应力软弱巷道围岩变形破坏结构特征,研究岩体强度及参数分布规律,揭示深部地应力释放状态和巷道围岩变形规律,探讨不同支护方式对巷道围岩变形控制的作用机理等内容.

## 1 高应力软弱围岩揭露及内部变形特征

### 1.1 高应力软弱围岩揭露特征

由于地质条件差异较大,深部开挖所揭露的巷道围岩表现为多样形式,单块岩石强度不一样,巷道围岩整体强度较差,应力卸载之后的围岩损伤和变形明显.针对深部高应力巷道进行了大量调查,揭露后的岩体主要表现为如下基本特征:

1)地质软弱岩体,力学强度低.尤其是对于受构造带影响程度较大的高应力岩体,其力学强度低,呈块状构造,强风化,岩体强度极差,不稳定,受到扰动极易破坏.揭露后的岩石手捏易碎,遇水即崩解成泥.具体如图 1a 所示.

2)松散破碎岩体,完整性差.该种岩体整体呈松散破碎结构,属中等风化,并伴有挤压突出体,虽然单块岩石强度较高,但岩体结构较为松散破碎,整体强度要低于单块岩石强度,典型撑子面岩体实物见图 1b 所示.

3)岩体结构发育,整体性较好.此类岩体结构面与节理较为发育,岩石强度较高,围岩稳定性较好.在高应力或构造应力作用条件下,开挖后的巷道如果得不到及时地支护,应力卸载引起裂隙迅速扩展,使原本整体性较好的岩体转化为破碎松散状.其典型撑子面岩体实物见图 1c 所示.



图 1 几种典型的深部岩体揭露情况

### 1.2 高应力软弱围岩内部裂隙发育情况

针对 950 m 某一深部硐室进行了 10 m 钻孔的探视,结果表明在孔口到孔内 5.5~6.0 m 的岩体比较松

散、裂隙发育,但 6.0 m 之后岩体整体性较好,这说明松动圈在 5.5~6.0 m,结果如图 2 所示.现场窥视结果还发现,深部巷道围岩顶板岩层结构及质量复杂,同一巷道不同地段,顶板出现的裂隙和离层情况存在较大差异,钻孔中表现出岩层破碎和离层情况比较严重的.

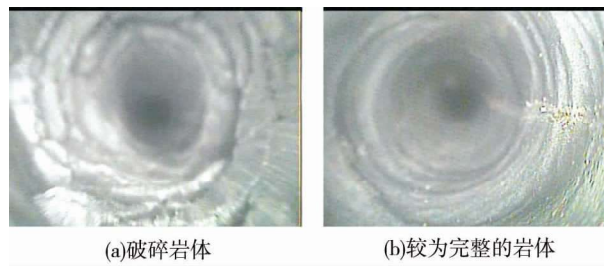


图2 深部围岩内部探视

### 1.3 深部高应力岩石微观结构特征

深部岩体微观结构如图 3 所示.由图 3 分析可知,深部岩体在不同应力环境下均呈现出不同的微观结构特征,整体而言,都较为松散.可知,断层构造带对岩体粘土矿物晶体结构影响较大,这些粘土矿物主要以聚积体的形式存在,分布于未风化的晶体结构表面.在聚集体之间存有大量微孔裂隙,聚集体内也存在因脱水而产生的微裂隙,这些微裂隙和胶结裂隙把大大小小的孔裂隙以网状形式联接起来,给水的侵入创造了良好通道,并且松散晶体结构也大致跟水流方向一致.因此,高应力软弱岩体都具有多微孔裂隙和低强度胶结的细微结构特征,其水理性特显著,浸水后的岩体迅速软化、膨胀、崩解,其强度急剧降低.

另外,在岩体受断层带的构造应力作用下,原来成规则排列的晶体结构被拉伸成纤维状,破坏了原来的结构,并转化成为弱强度的晶体结构.同时,高应力作用条件下的强风化带处围岩晶体结构排列具有一定的规律性,晶体节理面表现较为明显,节理裂隙比较发育,晶体呈松散结构.此处受构造影响小,晶体结构的弱化程度较小,表面少见粘土矿物覆盖.主要矿物为石英和长石,但也有少数片状云母聚集在一起呈现破碎结构.

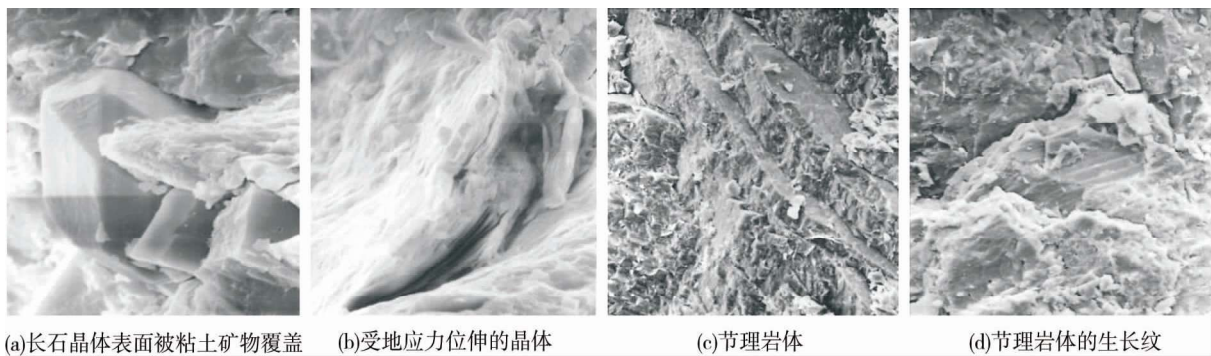


图3 深埋岩石晶体微观

## 2 深部高应力岩石力学强度及参数

### 2.1 岩石力学强度

图 4 为 900 m 埋深的岩石单轴抗压应力-应变全过程曲线.可知,深部巷道中的岩石强度具有一定的差异性,砂岩单轴抗压强度较高,平均 55 MPa 以上,局部地区甚至高达 120 MPa,且峰值后,很快破坏,能量释放较快.但对于受构造应力影响的岩体,其强度明显较低(如图 5 所示),一般不会超过 45 MPa,达到峰值后,存在较长的迂回曲线,即较长时间后岩体才能完全破坏,弹性能量释放较慢,具有典型的软岩特征.