

· 采矿工程 ·

高应力区卸压与锚杆支护对巷道稳定性影响分析^{*}

王文杰

(武汉科技大学)

摘 要 采用 FLAC^{3D} 分析了不同卸压率下,锚杆排间距参数改变对巷道变形程度及锚杆受力的影响;分析了赞比亚谦比西铜矿卸压开采及锚杆支护下巷道变形破坏程度以及武钢金山店铁矿喷锚网支护方式下的巷道变形破坏程度。理论分析和工程实例表明,卸压可以有效控制巷道围岩的变形大小,锚杆支护并不在于控制巷道围岩的变形程度,而在于协调巷道周围岩体的变形。因此,高应力区巷道维护中应以地压控制为主,并配合有效的支护方式和参数才能控制巷道变形并保持稳定性。

关键词 高应力区 地压控制 锚杆支护 稳定性

The Influence of Depressurized and Bolt support to Tunnel Stability in High Stress Area

Wang Wenjie

(Wuhan University of Science and Technology)

Abstract The influences of the variation of bolt space on the tunnel deformation and the bolt stress under different depressurized rate are analyzed with FLAC^{3D}. The tunnel deformation damage with the pressure relief mining under the bolting support in Chambishi copper mine of Zambia and that with the anchor bolt support in Jinshandian iron mine of Wusteel are compared. The theoretical analysis and the project cases show that the pressure relief can effectively control the tunnel deformation level. And the bolt support does not mean to control the tunnel distortion but coordinate the tunnel distortion of around rock mass. Therefore, in the high ground pressure area, the primarily work is to control the ground pressure. Also, together with effective support method and parameters, the stability of the tunnel deformation can be maintained well.

Keywords High stress area, Ground pressure control, Bolt support, Stability

在金属矿床地下开采中,地压变化严重影响着巷道及采场的稳定性。而随着地下开采深度的增加,地压显现日趋严重,成为影响金属矿山安全开采的主要问题。针对这一问题,国内外学者和采矿工作者经过多年探索和实践,总结出了许多控制地压的方法^[1-5]。同时,大量现场地压观测及实验室模拟研究也表明,影响采场和巷道围岩稳定的主要因素是矿山地质条件 and 生产技术条件,而围岩应力、围岩强度和支护形式则是决定围岩稳定的3个关键因素。因此,降低围岩应力,提高围岩强度并选择合理的支护方式是保证采场及巷道稳定的关键。

此外,随着锚杆支护理论的深入研究和不断发展,不但解释了锚杆与岩体的相互作用,而且为锚杆支护设计提供了理论依据^[6-11],因此,锚杆支护已经成为金属矿山最普遍的支护形式。然而,在高应力区域,采用锚杆支护的巷道仍然变形垮冒严重,如图1和图2所示。为此,研究地压变化和锚杆支护参数变化对巷道变形的影响,分析卸压支护的机理,对

于认识高应力区锚杆的支护作用以及维护巷道稳定性具有重要意义。

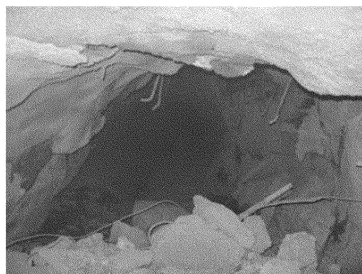


图1 金山店铁矿锚杆支护巷道破坏情况

1 高应力区锚杆支护机理

1.1 卸压支护原理

卸压支护是指卸压与支护相配合的巷道维护方

^{*} 国家自然科学基金项目(编号:50804036),武汉市晨光计划项目(编号:201050231045)。

王文杰(1978—),男,武汉科技大学资源与环境工程学院,博士,副教授,430081 湖北省武汉市武汉科技大学 293 信箱。

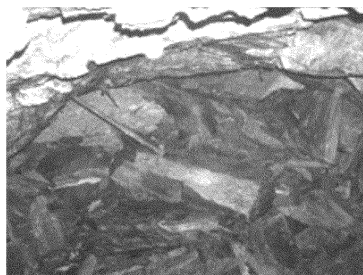


图 2 赞比亚谦比西铜矿锚杆支护巷道破坏情况

法^[12]。卸压即指卸压开采,是运用应力转移原理将回采区的高应力通过一定的卸压措施转移到四周,使区内应力降低,改善矿岩体的应力分布状态,控制由于多次采动影响而造成的应力增高带相互重叠的程度,实现顺利开采。卸压开采技术主要分垂直卸压和水平卸压工艺。垂直卸压是将回采区上部覆岩压力部分或全部转移到四周,从而使压力拱下的开采工程只承受矿岩自身重力,应力值显著降低而变得易于开采。水平卸压是将作用于开采矿体上的水平应力隔绝,形成水平应力降低区,以减小水平应力对采矿工程和人员的危害。目前国内外常用的卸压方法主要有:①在巷道围岩中开槽、切缝、钻孔或松动放炮;②在受保护巷道附近开掘专用的卸压巷道;③从开采上进行卸压或将巷道布置在应力降低区内^[13]。对于这 3 种卸压方式,可以简单称为周边卸压、巷道卸压和开采卸压。

卸压开采并不是通过开采来降低回采区域的压力,而是通过卸压分段的回采来改变岩体应力的区域分布规律和特征,形成新的应力分布状态,即形成应力降低区域和应力升高区域。根据回采引起的岩体应力变化规律和分布特征,选择合理的采场结构布置方式和参数,使卸压分段回采后其下分段回采工程处于应力降低区域,从而保证下分段回采工程的稳定性。无底柱分段崩落法卸压开采技术主要包括两方面:其一是卸压,即通过卸压分段的回采,在下分段形成一定范围的应力降低区域,并将下分段主要采准工程布置在应力降低区内,从而实现卸压的目的;其二是开采,开采既包括卸压分段的回采,也包括卸压分段以下分段的回采,为了实现对卸压分段以下分段的卸压目的,卸压分段回采时需要对回采顺序、回采范围、回采方式等进行调整。

因此,卸压支护即首先根据卸压开采原理进行卸压开采,形成应力降低区域并将主要工程布置在应力降低区内,或通过卸压开采将主要工程区域的应力降低,之后根据卸压方式及效果,选择合理的支护方式

和参数,从而达到共同维护巷道稳定性的目的。

1.2 锚杆支护数值计算

为了研究卸压与锚杆支护之间的关系以及卸压支护对巷道稳定性的影响,本文在相同岩体条件和相同锚杆参数条件下,通过改变计算模型垂向应力来模拟卸压开采,并采用 FLAC^{3D} 及其锚杆单元,设计不同计算条件的数值计算方案,分析高应力区锚杆支护机理以及锚杆支护与卸压开采间的协调关系,为高应力区巷道支护及锚杆支护参数的选取提供相应的理论依据。研究方案分为不支护和锚杆支护时锚杆间距×排距分为 0.6 m×0.6 m,0.8 m×0.8 m,1.0 m×1.0 m 4 种巷道维护形式,以及保持水平应力不变,垂向应力分别降低 0,10%,20%,30%,40% 和 50% 6 种地压条件,共计 24 种计算条件和计算模型。

根据数值计算结果,整理各种计算条件下的巷道最大位移量和锚杆最大轴力,分析卸压与锚杆支护分别对巷道稳定性的影响以及卸压与锚杆支护间的协调关系。

图 3 是不支护以及锚杆排间距不同时,卸压率与巷道最大位移量间的关系。从图中可以看出,不管是那种锚杆排间距参数,巷道最大位移量都随着卸压程度的增加而发生明显降低,卸压程度越大,巷道的最大位移也越小。此外,从图中可以看出,最大位移降低量与卸压程度几乎成反比关系。图 3 中的关系表明,巷道变形程度受地压影响严重,高应力区域,地压大小是影响巷道变形程度的重要因素。

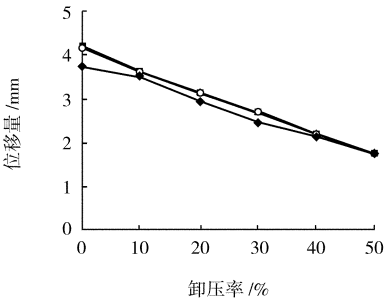


图 3 卸压率与巷道最大位移关系

◆—锚杆间距 0.6 m×0.6 m;■—锚杆间距 0.8 m×0.8 m;
▲—锚杆间距 1.0 m×1.0 m;○—不支护

图 4 是不同卸压条件下,不支护以及不同锚杆排间距参数与巷道最大位移量间的关系。从图中可以看出,在不同地压条件下,随着锚杆支护排距和间距的增大直至不支护,巷道最大位移增量都比较平缓。这表明,锚杆排距和间距的变化对巷道最大位移量的影响较小。此外,从图 4 可以看出,在相同应力条件下,不同锚杆排间距参数下的巷道变形量相差微小,

也就是说锚杆排距和间距的变化不能有效改变巷道的变形程度。这表明,在锚杆自身参数不变的情况下,以改变锚杆排间距支护参数为前提的锚杆支护方式并不能有效控制巷道围岩的变形程度。

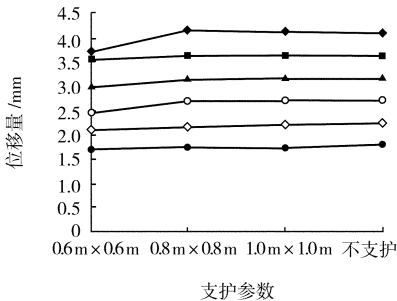


图 4 支护参数与巷道最大位移关系

◆—重向应力降低 0%; ■—重向应力降低 10%;
▲—重向应力降低 20%; ○—重向应力降低 30%;
◇—重向应力降低 40%; ●—重向应力降低 50%

对比图 3 和图 4 可见,巷道周围岩体应力场的改变所引起的巷道围岩变形率要远远大于改变锚杆支护排间距参数所引起的巷道围岩变形率。这说明,卸压引起的巷道位移变化要比改变锚杆排间距支护参数引起的巷道位移变化大,卸压对于维护巷道稳定性的效果要优于改变锚杆排间距支护参数对巷道稳定性的维护效果。因此,有效控制并降低岩体应力场及采动地压是控制巷道变形并维护巷道稳定性的关键。

图 5 是不同锚杆排间距支护参数下,卸压率与锚杆最大轴力关系。从图中可以看出,随着卸压程度的增加,锚杆所受最大轴力发生明显下降,其下降量与卸压程度几乎成正比关系。这说明,在相同开采技术条件及锚杆排间距支护参数下,改善巷道围岩应力大小,可以有效降低支护锚杆的受力状态,从而增加锚杆支护的可靠性,提高锚杆支护效果。图 6 是不同卸压程度下,锚杆排间距参数与锚杆所受最大轴力关系。从图中可以看出,随着排间距参数的增大,锚杆所受轴力也发生缓慢增加。这表明在相同开采技术及地压条件下,改变锚杆排间距支护参数可以有效改善锚杆受力状况,即增加单位体积内的锚杆数量,可以减小单根锚杆的受力大小,从而降低锚杆因受力过大而发生破坏失效的几率,增加锚杆支护的可靠性。

数值计算及结果分析表明,卸压可以有效控制巷道围岩的变形大小,锚杆支护并不在于控制巷道围岩的变形程度,而在于协调巷道周围岩体的变形,从而最大限度地利用岩体自身的稳定能力。虽然卸

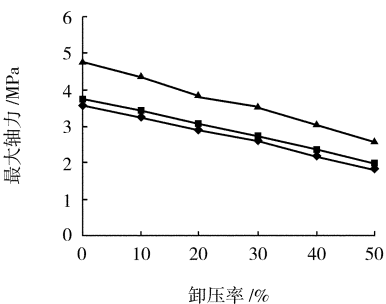


图 5 卸压率与锚杆最大轴力关系

◆—锚杆间距 0.6 m × 0.6 m; ■—锚杆间距 0.8 m × 0.8 m;
▲—锚杆间距 1.0 m × 1.0 m

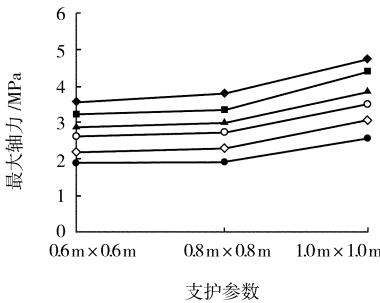


图 6 支护参数与锚杆最大轴力关系

◆—重向应力降低 0%; ■—重向应力降低 10%; ▲—重向应力降低 20%;
○—重向应力降低 30%; ◇—重向应力降低 40%; ●—重向应力降低 50%

压对于维护巷道稳定性有着明显作用,但并不能忽视锚杆支护的作用,而应采用卸压与锚杆支护协调并重的方式来维护巷道稳定性。因此,在实现卸压开采的矿段,可以增大锚杆排间距支护参数,减少锚杆数目;在无法实现卸压开采的矿段,则应减小锚杆排间距支护参数,增加锚杆数目;在同排锚杆支护中,可以根据不同部位受力不同而采取不同锚杆间距参数,从而最大程度地维护巷道的稳定性并降低支护成本。

2 工程实例对比分析

针对上述理论研究结果,本文分别采用武钢金山店铁矿巷道喷锚网支护方式及收敛变形监测数据和赞比亚谦比西铜矿卸压支护方式及收敛变形监测数据进行对比,并对研究结论可靠性进行验证。

2.1 金山店铁矿喷锚网支护

金山店铁矿矿体主要由磁铁矿矿石组成,上盘围岩主要为角页岩和大理岩,下盘围岩主要为石英闪长岩,矿岩比较破碎。该矿主要采用无底柱分段崩落法开采,受构造应力及采动地压影响,巷道变形破坏极其严重。在巷道维护中,主要采用喷锚网支护方式,没有采取其它地压控制措施,其锚杆支护形式如图 7 所示。其中,锚杆排距 1.0 m,锚杆间距分别为两帮 1.0 m,拱角 0.5 m,拱顶 0.8 m。

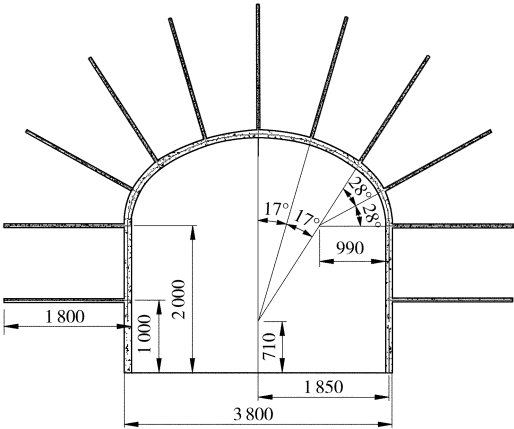


图 7 金山店铁矿巷道锚杆支护式

本研究在金山店铁矿余华寺采区 -228 m 中段 505 矿块的 16[#], 17[#], 18[#], 19[#] 进路掘进并支护后分别埋置了巷道收敛变形监测点, 从巷道掘进并支护后到回采, 持续进行了收敛变形监测, 监测结果随时间的变化关系如图 8 和图 9 所示。

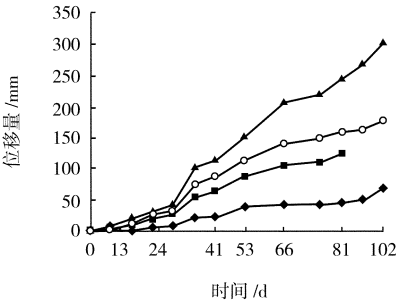


图 8 金山店铁矿监测巷道侧向位移随时间变化关系

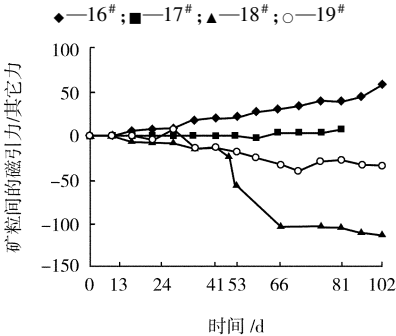


图 9 金山店铁矿监测巷道顶板位移随时间变化关系

从监测结果来看, 金山店铁矿在采用掘支一体化及喷锚网支护技术后, 巷道顶板及两帮均发生了较大变形, 且在锚杆托盘脱落后, 巷道周围 30 ~ 50 cm 范围内岩体发生了离层冒落破坏, 如图 10 所示。金山店铁矿锚杆支护巷道的破坏形式表明, 受高应力及采动影响, 巷道围岩的持续大变形是引起巷道破坏的主要原因。在较大围岩变形下, 巷道周围一定深度内的围岩发生相互挤压并产生剪切破坏, 而

由于巷道开挖产生一定的拉应力, 使得巷道围岩在这种复杂的剪切及拉伸作用下发生离层破坏。而采用的喷锚网支护并不能有效控制巷道变形, 仅协调了巷道周围岩体的变形程度, 并延缓了围岩的破坏进程。因此, 金山店铁矿在没有采取有效卸压措施的情况下, 只能采用被动的巷道维护方式, 即在巷道变形破坏严重后进行扩帮和二次喷锚网支护, 在破坏极其严重的巷道则采用喷锚网 - 工字钢联合支护的方式来确保后续开采的安全性。

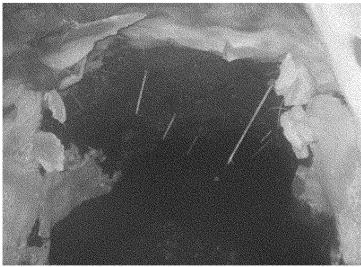


图 10 喷锚支护监测巷道变形破坏情况

2.2 赞比亚谦比西铜矿卸压支护

赞比亚谦比西铜矿是泥质沉积变质岩型铜矿床, 矿体倾角缓, 平均矿体厚度约 10 m。矿体及围岩层理和节理发育, 稳定性较差。开采过程中地压活动频繁, 沿脉凿岩巷道屡遭破坏, 严重影响着生产的安全性和开采活动的正常进行。为此, 该铜矿试验了崩落法卸压开采及支护技术。在实施无底柱分段崩落法开采卸压技术后, 其下分段回采巷道位置应力降低了 30% 左右, 有效地改善了巷道围岩的受力情况。

根据卸压与锚杆排间距支护参数之间的协调关系, 在实现卸压开采的矿段, 可以降低支护强度; 在无法实现卸压开采的矿段, 则加强支护强度, 从而达到经济合理的维护巷道稳定性的目的。为此, 该铜矿在卸压开采后, 采用锚杆支护方式, 其锚杆支护参数为拱顶间距 0.8 ~ 1.0 m, 拱顶以外部位 1.0 ~ 1.2 m, 排距 1.0 ~ 1.2 m; 对于岩体比较破碎的区域采用的锚杆间距是拱顶 0.6 ~ 0.8 m, 拱顶以外部位 0.8 ~ 1.0 m, 锚杆排距 0.8 ~ 1.0 m。巷道采用掘支一体化施工技术后, 在 529 m 水平三盘区 6[#] 采联巷部位进行了巷道变形监测, 监测结果见图 11 和图 12, 其中正数表示位移方向指向巷道外, 负数表示位移方向指向巷道内。

监测数据表明, 该矿采用无底柱分段崩落法卸压开采并对锚杆支护排间距参数优化后, 巷道变形量较之前明显减小, 巷道冒落破坏等地压显现特征减弱。这说明, 谦比西铜矿在采用以卸压为前提, 并

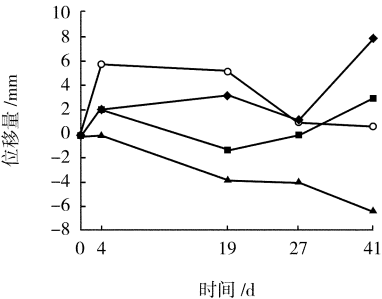


图 11 谦比西铜矿侧向位移随时间变化

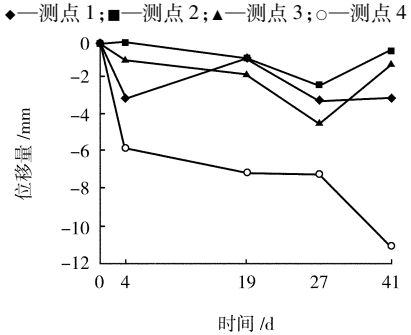


图 12 谦比西铜矿顶板位移随时间变化

配以合理的锚杆支护后,成功的控制了巷道变形程度,充分发挥了锚杆的支护作用,有效地保证了回采巷道的稳定性。

金山店铁矿和谦比西铜矿的工程实践及对比可以看出,在受地压作用影响严重的巷道维护中,采取卸压与支护相结合的措施可以有效控制巷道围岩变形,减小巷道破坏程度;而采用单一的支护方式难以控制巷道变形,也难以维护巷道稳定性。

3 结 论

理论研究和工程实例对比证明,高应力区巷道维护中,卸压可以有效控制巷道围岩的变形大小,锚杆支护并不在于控制巷道围岩的变形程度,而在于协调巷道周围岩体的变形,从而最大限度地利用岩体自身的稳定能力,而卸压程度的高低影响着巷道变形程度。因此,高应力区巷道维护中,采用卸压措施降低其所在区域的应力大小,并通过优化锚杆支

护方式及排间距参数来协调巷道围岩变形可以有效控制巷道变形大小并减少巷道围岩破坏程度,从而保证巷道的安全性。为此,在高应力区巷道维护中,采用卸压-锚杆支护相协调配合的方式可以取得良好的维护效果。此外,由于本研究中数据的局限性,对于卸压程度、锚杆排间距参数与巷道变形间的非线性关系,卸压程度、锚杆排间距参数与锚杆受力间的非线性关系目前还无法做出正确的判断,需要丰富数据后做进一步深入研究。

参 考 文 献

[1] 刘 斌. 难采矿体采准巷道的支护[J]. 化工矿山技术,1994(2):57-59.

[2] 朱建明,高 谦,林新平. 高应力区破裂岩体回采巷道一次强化支护技术及其应用研究[J]. 工程地质学报,2002,10(4):400-403.

[3] 解世俊. 卸压开采[J]. 矿山技术,1992(2):19-21.

[4] 王文杰,任凤玉,周宗红. 姑山铁矿后和陆山矿区卸压开采方案研究[J]. 中国矿业,2006,15(9):52-54.

[5] 王文杰. 中厚倾斜矿体卸压开采理论及其应用[J]. 金属矿山,2009(2):23-26.

[6] 张乐文,汪 稔. 岩土锚固理论研究之现状[J]. 岩土力学,2002(5):627-631.

[7] 杨双锁,张百胜. 锚杆对岩土体作用的力学本质[J]. 岩土力学,2003,24(S):279-282.

[8] 陆士良,刘长武. 锚杆锚固力与锚固技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998. 217-22.

[9] 康红普. 煤巷锚杆支护成套技术研究与实践[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(21):3959-3964.

[10] 王其胜,李夕兵,李地元. 深井软岩巷道围岩变形特征及支护参数的确定[J]. 煤炭学报,2008,33(4):364-367.

[11] 杨振茂,马念杰,孔 恒,等. 以地应力为基础的锚杆支护设计方法[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(2):270-275.

[12] 王文杰,任凤玉. 卸压支护技术在谦比西铜矿的应用[J]. 金属矿山,2008(6):16-19.

[13] 候朝炯. 采准巷道矿压与控制的技术发展途径[J]. 矿山压力与顶板管理,1995,3(4):105-108.

(收稿日期 2010-08-12)