采矿岩层控制技术

【编者按】煤矿开采的岩石力学问题研究重点是采掘空间围岩控制、地表沉陷控制及矿山压力与岩层控制。在岩层控制方面,已逐步形成了独立的学科分支。从层状矿体开采来讲,岩层控制主要包括 3 个方面:①采场上覆岩层结构形态及其对“支架 - 围岩”的影响;②开采引起岩体的裂隙及离层分布状态及其对水与瓦斯流动的影响;③岩层移动规律和地表沉陷对建筑物的影响。目前,岩层控制技术研究取得了极大的进展,为系统报道岩层控制的研究成果,进一步促进学术交流和科研成果转化,本刊与“34 届国际采矿岩层控制会议”组委会合作开展“采矿岩层控制技术”专题,对岩层运动与控制、倾斜煤层开采技术与装备、煤岩动力灾害控制技术、巷道支护技术等方面的研究现状及发展趋势进行了详细报道。在此特别感谢"34 届国际采矿岩层控制会议"组委会在专题组稿、审稿过程中对编辑部的大力支持和帮助,同时对各位专家能在百忙之中积极为本刊撰稿表示衷心感谢。

大断面硐室顶板卸压机理及其应用技术研究

翟新献[1,2],秦龙头[1],赵高杰[1],陈成宇[3],李文杰[3]

(1. 河南理工大学 能源科学与工程学院,河南 焦作 454000;2. 煤炭安全生产河南省协同创新中心,河南 焦作 454000;
3. 河南神火煤电股份有限公司 新庄煤矿,河南 永城 476600)

摘 要:为了保持深部硐室的长期稳定,降低硐室维修费用,保证矿井的安全生产,以新庄煤矿暗斜井第 2 部大断面机头硐室为工程背景,采用数值计算研究了大断面硐室顶板卸压巷道的卸压机理。研究结果表明,顶板卸压以后硐室顶底板围岩垂直应力均大幅减小,且底板垂直应力减小的幅度较大;顶板卸压对硐室顶板的扰动较小;卸压以后硐室顶底板和两帮围岩水平应力、水平位移均明显减小,所以顶板卸压效果明显。在此基础上,设计了大断面硐室顶板卸压巷道的参数和卸压区域,并提出了卸压巷道掘出以后,采用定向抛掷爆破法进行顶板区域卸压的施工方法。

关键词:大断面硐室;顶板卸压;卸压参数;围岩应力场;暗斜井

中图分类号:TD354 **文献标志码**:A **文章编号**:0253 - 2336(2015)10 - 0001 - 06

Study on roof pressure - relief mechanism and application technology of large cross section chamber

Zhai Xinxian[1,2], Qin Longtou[1], Zhao Gaojie[1], Chen Chengyu[3], Li Wenjie[3]

(1. *School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo* 454000, *China*;
2. *Henan Provincial Coordinated Innovation Center for Coal Safety Production, Jiaozuo* 454000, *China*;
3. *Xinzhuang Mine, Henan Shenhuo Coal and Electric Power Company Limited, Yongcheng* 476600, *China*)

Abstract: In order to keep long stability of deep chamber, reduce the maintenance cost of chamber and ensure the safety production of mine, take the second large part cross section drive head chamber in blind shaft of Xinzhuang Mine as engineering background, numerical calculation was applied to study pressure - relief mechanism of roof pressure - relief roadway for large cross section chamber. The study results showed that after roof pressure - relief, the plumb stress of surrounding rock in roof and floor of chamber was sharply reduced both,

收稿日期:2015 - 06 - 28;**责任编辑**:王晓珍 **DOI**:10.13199/j.cnki.cst.2015.10.001

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51574110)

作者简介:翟新献(1964—),男,河南洛阳人,教授,博士。E - mail:zhaixx1963@126.com

引用格式:翟新献,秦龙头,赵高杰,等. 大断面硐室顶板卸压机理及其应用技术研究[J]. 煤炭科学技术,2015,43(10):1 - 6,50.

Zhai Xinxian, Qin Longtou, Zhao Gaojie, *et al*. Study on roof pressure - relief mechanism and application technology of large cross section chamber [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(10): 1 - 6, 50.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

but the plumb stress of floor was reduced sharplyer than roof. The roof pressure – relief would have less interference to roof of chamber. After pressure – relief, the horizontal stress and horizontal displacement of roof, floor and two sides surrounding rock of chamber were obviously reduced and therefore pressure – relief effect of roof was obvious. Based on these, the parameters of roof pressure – relief roadway and pressure – relief area of large cross section chamber were designed. After pressure – relief roadway driven, directional throw blasting method was applied to the construction method of roof pressure – relief area.

Key words: large cross section chamber; roof pressure – relief; pressure – relief parameter; stress field of surrounding rock; mine blind inclined shaft

0 引　　言

中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，2014 年中国煤炭产量 38.7 亿 t，为世界的煤炭产量的 49.0%。截至 2015 年 1 月我国建成了神华集团补连塔煤矿等 442 处安全高效矿井(露天矿井)。随着我国 13 个大型煤炭生产基地和大型现代化矿井的建设，煤矿井下带式输送机逐渐向大型化、智能化方向发展，同时开采深度向中深部发展，这就需要带式输送机机头硐室的断面面积和支护规格不断加大和加强。

煤矿的大断面巷道和硐室，通常位于煤层及其顶底板附近的岩层中，围岩强度低。受采动影响后围岩应力升高，具有软岩流变特征，围岩变形破坏严重[1-3]。康红普等[4]在分析我国煤矿巷道类型与特点的基础上，介绍了高预应力、强力锚杆支护理论与技术的典型应用实例，包括千米深井巷道、软岩巷道、强烈动压影响巷道、大断面开切眼、松软破碎硐室加固。实践表明，采用高预应力、强力锚杆支护系统，必要时配合注浆加固，能够有效控制巷道围岩的强烈变形，并取得良好的支护效果。孟庆彬等[5]针对赵楼煤矿井底车场巷道(硐室)围岩强度低、应力高的地质条件，提出了以内注浆锚杆为核心的锚杆 + 锚索 + 锚注的“三锚”联合支护体系，对巷道围岩收敛变形与锚杆受力情况进行了实时监测，结果表明，“三锚”联合支护体系能够有效控制深部巷道围岩的大变形及底鼓，保持巷道的长期稳定。高明仕等[6]将三维锚索应用于煤矿煤层巷道的支护中，研究了三维锚索的支护原理。巷帮卸压以后，三维锚索支护技术能够解决松软厚煤层巷道的支护问题。郭东明等[7]利用数值计算研究了厚煤层运输大巷围岩破坏主要是由顶板上部岩层剪切与张拉作用，采用锚杆(索)非对称性耦合支护后，巷道围岩变形趋于稳定。何富连等[8]研究了综放工作面大断面回风巷道桁架锚索作用和锚索倾角对围岩变形量的影响，并提出了合理参数。韦四江等[9]通过数值模拟，研究了平顶山矿区深部回采巷道围岩变形的主要影响因素，得到了巷道断面收敛率与巷道埋深、采动状况、围岩岩体强度、锚杆参数之间的关系，对现场巷道围岩变形预测具有参考价值。张向阳等[10]研究了动压巷道或硐室围岩应力分布特点，通过留设合理的保护煤柱和围岩深孔松动(卸压)爆破来控制巷道变形。郭保华等[11]针对目前支架难以有效控制深井软岩大变形巷道的现状，提出了一种协调控制围岩变形、提高巷道围岩支护阻力、减少巷道整体变形量的新型支架，对于深部大变形巷道具有较好的推广应用价值。由此可见，深部硐室围岩变形控制一直是我国煤矿研究的重点和难点，笔者针对新庄煤矿机头硐室变形破坏的现状，研究硐室围岩变形破坏机理和顶板巷道卸压技术，对于保证硐室的长期稳定和矿井的安全高效生产具有重要的现实意义。

1　机头硐室工程地质条件

河南神火煤电股份有限公司新庄煤矿井田南北长约 7.5 km，东西宽约 3 km，面积约 20.366 km^2。矿井 1995 年 12 月投产，经过技术改扩建以后，2011 年矿井核定生产能力 225 万 t/a。由于新庄煤矿主暗斜井机头硐室断面尺寸大、围岩岩性差，第 2 部机头硐室服务年限已经超过十余年，受暗斜井保护煤柱的影响，硐室变形破坏明显。该硐室需要继续为深部二、三水平运输服务，直到矿井报废为止，所以，机头硐室的稳定与否直接影响到强力带式输送机的正常运行和矿井的稳产高产。

新庄煤矿处于黄淮冲积平原东部，黄河故道南缘，地势平坦，地面标高约 +31 m。井田采用立井多水平上下山开拓方式，二、三水平均采用暗斜井延深，其中 4 条暗斜井即主暗斜井、副暗斜井、行人暗斜井和回风暗斜井，沿着$二_2$煤层倾向方向平行布置。4 条暗斜井之间间距分别为 24、24、48 m。暗斜

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

井一侧留设 242 m 宽的保护煤柱。目前暗井筒两侧已采空,暗斜井保护煤柱总宽度达到 580 m。

新庄煤矿主暗斜井中铺设 4 部强力带式输送机,实行串联连续运煤。第 2 部强力输送机机头硐室沿二$_2$煤层底板挑顶布置,硐室埋深 526 m。硐室断面为半圆拱型,净宽和净高分别 6.7 ~ 7.4 m 和 5.3 m,硐室长度为 17.7 m。硐室采用锚杆 + 锚索 + 锚网 + 喷浆联合支护。对机头硐室进行了系统的矿压观测,结果表明,硐室两帮移近速度 36.4 mm/月; 底鼓速度为 7.7 mm/月。当硐室底鼓量达到一定值以后,带式输送机底座基础将会发生倾斜,可能诱发硐室内输送机电机与减速箱连接轴之间发生错位或断裂,出现设备损坏,导致矿井出现停产整修的严重事故。

2　硐室顶板卸压机理

我国煤矿广泛采用在硐室顶部布置卸压巷道(卸压槽) 对底板硐室进行卸压,即在保护底板硐室上方形成卸压空间,使硐室围岩应力重新分布,硐室周边的集中应力峰值向远离硐室的深部围岩转移,从而在保持硐室周边岩体完整的前提下使硐室处于应力降低区内,显著降低硐室围岩应力集中,减少硐室围岩有效载荷系数,保证硐室围岩的长期稳定[12 - 13]。

2.1　硐室顶板卸压计算模型

2.1.1　数值计算力学模型

在新庄煤矿暗斜井第 2 部机头硐室中部,沿着煤层走向方向选取单位宽度的断面作为数值计算模型如图 1 所示。模型长度、宽度和高度分别为 58、1、50 m。模型下部边界属于位移边界条件,简化为固支座。左右两边属于位移边界条件,简化为简支边。模型上部未模拟的岩层用面力代替,简化为面力边界条件。

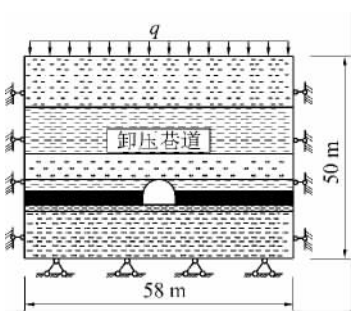


图 1　数值计算力学模型

Fig. 1　Mechanical model for numerical calculation

硐室设计为拱形断面,硐室宽度 7 m、高度 5.5 m。硐室埋深 526 m,上覆岩体平均密度2 500 kg/m^3,则硐室上覆岩层自重应力 13.15 MPa。假定硐室围岩为自重应力场,侧压系数 λ 为 1.5,则硐室围岩原岩水平应力为 19.725 MPa。

依据硐室顶板岩层的岩性,在距硐室顶板高度 6.5 m 的砂质泥岩岩层中,开掘高度 2.5 m、宽度 18 m 的卸压巷道。为了准确分析顶板卸压巷道开挖以后对底板硐室产生的卸压效果,对数值分析计算进行了假定: ①不考虑施工过程对岩石力学参数的影响。②岩体本构关系采用摩尔 - 库仑强度准则。③计算过程: 首先将模型中岩体在原岩应力状态下达到初始平衡,初始位移设置为零; 再将开挖部分用 null 模型代替,计算变化后的位移与应力。利用 FLAC 和 UDEC 数值模拟软件,分别模拟出顶板开挖卸压巷道前后,底板硐室围岩应力场和位移场。

2.1.2　硐室围岩物理力学参数

围岩岩体物理力学参数为影响模拟硐室变形结果的重要因素。根据新庄煤矿大断面硐室围岩赋存地质条件,依据室内煤岩物理力学参数测定结果,引用强度折减系数计算以后,得出硐室围岩物理力学参数,见表 1[14]。

2.2　数值模拟结果分析

通过数值模拟,得到卸压前后硐室围岩的水平应力场、垂直应力场、水平位移场、垂直位移场。通过对比分析硐室顶底板垂直对称线和两帮水平观测线不同观测点的应力和位移的变化,来考察顶板卸压巷道对底板硐室的卸压效果。

表 1　硐室围岩物理力学参数

Table1　Physical and mechanical parameters of chamber surrounding rock

岩层	厚度/m	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	抗拉强度/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
细粒砂岩	11.0	14.00	6.46	2.20	0.37	44.6
砂质泥岩	10.0	1.34	1.09	0.82	0.28	29.2
中粒砂岩	5.5	5.31	3.50	1.40	0.31	39.8
砂质泥岩	2.5	1.34	1.09	0.82	0.28	29.2
二$_2$煤层	3.0	0.57	0.26	0.08	0.40	30.5
砂质泥岩	1.5	1.34	1.09	0.82	0.28	29.2
粉砂岩	16.5	1.70	1.50	2.10	1.20	30.0

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

2.2.1　硐室围岩垂直应力场变化

图 2 为顶板卸压巷道掘出前后硐室围岩垂直应力场。在硐室垂直方向对称线上，分别在底板和顶板围岩中选取观测点。比较卸压前后，硐室顶底板各个观测点应力变化。硐室顶底板垂直应力分布曲线如图 3 所示。卸压以后硐室顶底板 0 ~ 5 m 内围岩的垂直应力均小于 1 MPa; 与卸压前相比，硐室顶底板围岩垂直应力均大幅减小，并且底板垂直应力减小的幅度较大，而顶板围岩垂直应力平均减少 61.5%。其中底板浅部 0 ~ 2 m 内围岩垂直应力接近零，2 ~ 4 m 内围岩垂直应力为 0 ~ 0.2 MPa，4 ~ 5 m内围岩垂直应力为 0.2 ~ 1.0 MPa。此外顶板卸压期间，对硐室围岩扰动较小，其中卸压前后硐室底板位移变化较小，如图 4 所示。

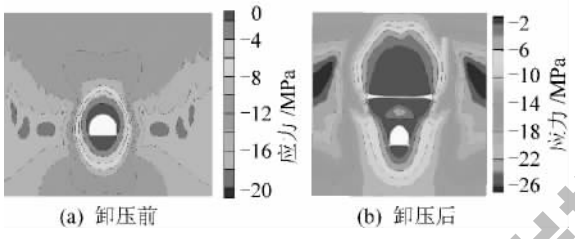


图 2　卸压前后硐室围岩垂直应力场

Fig. 2　Vertical stress field of chamber surrounding rock before and after pressure – relief

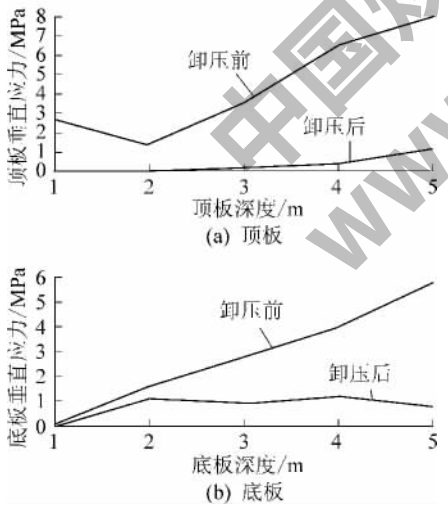


图 3　卸压前后硐室顶底板垂直应力分布曲线

Fig. 3　Distribution curves of vertical stress of chamber roof and floor before and after pressure – relief

2.2.2　硐室水平应力场和位移场的变化

图 5 为顶板开卸压巷道前后硐室围岩水平应力分布云图。为了研究硐室围岩水平应力的变化，在硐室高度 2 m 位置布置 1 条水平观测线，在距硐室表面不同深度选取观测点，研究硐室围岩水平应力、水平位移变化规律。

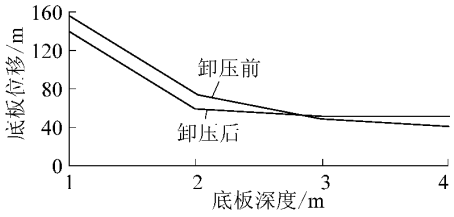


图 4　卸压前后硐室底板位移曲线

Fig. 4　Floor displacement curves of chamber before and after pressure – relief

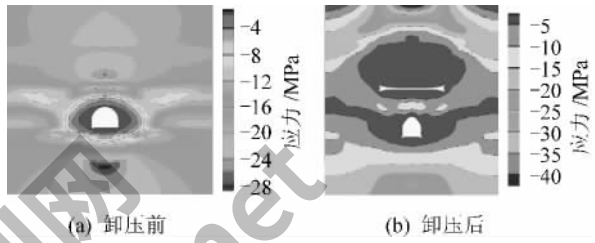


图 5　卸压前后硐室围岩水平应力场

Fig. 5　Horizontal stress field of chamber surrounding rock before and after pressure – relief

图 6 为卸压前后硐室两帮围岩水平应力分布曲线。与卸压前相比，顶板卸压以后硐室顶底板和两帮围岩水平应力、水平位移明显减小。其中硐室两帮 0 ~ 4 m 围岩水平应力小于 1 MPa，0 ~ 5 m 围岩水平应力平均减小 75.4%，且高水平应力向深部围岩转移。

图 7 为卸压前后硐室两帮围岩水平位移分布曲

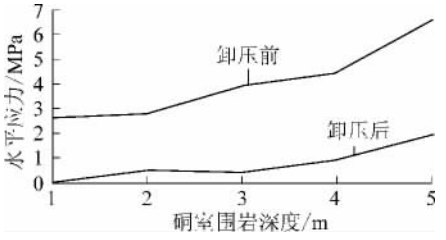


图 6　卸压前后硐室围岩水平应力分布曲线

Fig. 6　Distribution curves of horizontal stress on chamber surrounding rock

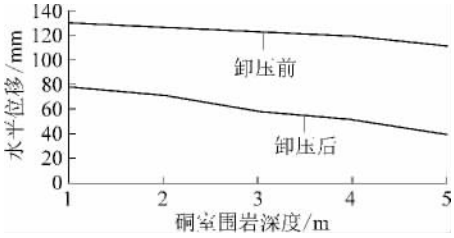


图 7　卸压前后硐室围岩水平位移分布曲线

Fig. 7　Distribution curves of horizontal displacements on chamber surrounding rock

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

线,与卸压前相比,硐室两帮围岩水平位移量均增加,平均增加 76.4%,这是硐室两帮集中应力向深部岩体传递的结果。

3　顶板卸压保护技术

新庄煤矿机头硐室变形治理分 2 个阶段实施: ①首先对硐室进行翻修和加固处理,对硐室翻修以后,实施锚(索) 网支护和围岩注浆加固,同时对底板开卸压槽和两帮采用注浆束锚索进行深孔注浆加固。②对硐室顶板卸压保护,硐室顶板开掘卸压巷道且硐室围岩应力重新分布以后,围岩应力明显下降,硐室围岩集中应力向深部围岩转移,从而在保持硐室锚固体围岩完整性的前提下,使硐室处于应力降低区内。

3.1　顶部卸压巷道参数确定

1) 卸压巷道位置。顶部卸压巷道的位置要根据现场的地质条件确定。卸压槽距离硐室越近,卸压效果就越明显。但卸压巷道产生的拉伸区与硐室顶板连通,使硐室顶板稳定性降低。为保持硐室顶板完整性,卸压巷道与硐室顶板应有不小于 2 m 厚的原岩核区。

2) 卸压巷道宽度。卸压巷道宽度是顶部卸压技术中的一个主要参数,决定着卸压效果。在硐室断面确定的情况下,卸压巷道宽度受 2 个参数影响: ①高应力区的边界线与水平线的夹角 φ,其大小取决于岩性。②卸压巷道与硐室之间的岩柱高度决定了卸压巷道所在的位置。根据不同的地质条件,顶板卸压巷道的一般形式为矩形断面,如图 8 所示,依此可以推出顶板卸压巷道宽度 M 的计算式[15-16]:

$$M = 2(H + h)\cot\varphi + 2b + B \tag{1}$$

式中: H 为卸压巷道与硐室之间岩柱高度,m; h 为硐室高度,m; b 为硐室至高应力区边界线的距离,m; B 为受动压影响的硐室宽度,m。

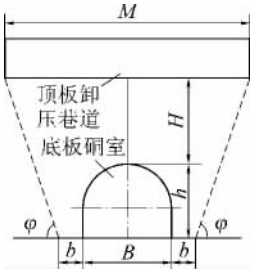


图 8　顶板卸压巷道与底板硐室剖面

Fig. 8　Cross – section of roof pressure – relief roadway and floor chamber

3) 卸压巷道长度。卸压巷道长度即卸压区域的长度,要根据所需维护的底板硐室的长度确定,两端一般要超出底板硐室高度的 1/2,则卸压巷道长度 L 为[15-16]

$$L = S + h \tag{2}$$

式中: S 为底板硐室长度,m; h 为底板硐室高度,m。

3.2　顶板卸压方案

选定顶板卸压巷道宽度为 18 m,卸压巷道区域长度 23 m。卸压巷道底板与硐室顶板相距 6.5 m。由于在硐室顶部开掘并维护跨度 18 m 的卸压巷道难度较大,为此采用定向抛掷爆破法。在硐室上方两侧开掘 2 条与硐室轴线平行的小断面巷道,对巷道之间的岩柱进行一次抛掷爆破,最后在硐室上方形成一个宽度 18 m、长度 23 m 的顶板岩层松动区,如图 9 所示。

抛掷爆破期间对加固后硐室顶板的影响较小。爆破实施以后底板硐室处于低应力区,对硐室起到卸压作用,从而保证硐室长期处于稳定状态。底板硐室顶部卸压区域的施工参数: M 为 18 m, H 为 6.5 m, h 为 5.4 m, b 为 2 m, B 为 6.7 m, φ 为 73°,施工分以下 4 个过程。

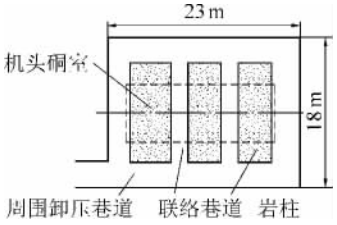


图 9　硐室顶部卸压区域平面

Fig. 9　Pressure – relief area plane at the top of chamber

1) 在硐室正上方长度 23 m、宽度 18 m 范围内,施工宽度 3.0 m 和高度 2.5 m 的周围卸压巷道,该巷道为矩形断面,裸体支护或锚杆支护。

2) 在周围卸压巷道施工以后,在中间岩柱中间隔 6 m 施工 2 条宽度 2.0 m、高度 2.0 m 的中间联络巷,将中间岩柱切割成宽度 4 ~ 5 m、长度 12 m 的矩形岩柱。

3) 在卸压巷圈定的范围内,用 2 m 长的钎杆在联络巷两帮岩柱中打眼装药,进行抛掷爆破。

4) 在卸压巷外围岩,用长度 1.5 m 的钎杆打眼、装药,进行松动爆破。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

上述施工结束以后在机头硐室正上方形成一个长度大于 23 m、宽度大于 18 m 的松动区域,即顶部卸压区域,保证底板硐室处于低应力区。

4 结　论

1) 新庄煤矿第 2 部带式输送机大断面机头硐室围岩变形破坏严重,顶板卸压有利于硐室的长期稳定。利用数值计算研究了硐室顶板卸压机理。研究结果表明,顶板卸压以后硐室顶底板围岩垂直应力均大幅度减小,卸压后硐室顶底板和两帮围岩水平应力、水平位移明显减小。

2) 确定了机头硐室变形治理方案。首先对硐室进行翻修和加固处理。实施锚杆 + 锚索 + 围岩注浆以后,对底板开卸压槽和两帮采用注浆束锚索进行深孔注浆加固。在此基础上,依据硐室围岩变形情况,对硐室实施顶板卸压处理。设计了硐室顶板卸压巷道的参数和卸压区域,提出了利用抛掷爆破进行顶板卸压的方法。研究结论为新庄煤矿暗斜井机头硐室变形治理提供了技术指导。

参考文献:

[1] 康红普. 深部煤矿应力分布特征及巷道围岩控制技术[J]. 煤炭科学技术,2013,41(9):12 – 18.
Kang Hongpu. Stress distribution characteristics and strata control technology for roadways in deep coal mines[J]. Coal Science and Technology,2013,41(9):12 – 18.

[2] 蒋绍永,肖同强,陈贵阳. 特大断面硐室底鼓控制技术研究[J]. 煤炭科学技术,2015,43(3):36 – 40.
Jiang Shaoyong, Xiao Tongqiang, Chen Guiyang. Study on floor heave control technology of ultra large cross section chamber in underground mine[J]. Coal Science and Technology,2015,43(3):36 – 40.

[3] 张向阳,涂　敏,杨　科,等. 保护层卸压开采两煤层终采线合理位置确定[J]. 煤炭科学技术,2012,40(2):15 – 18.
Zhang Xiangyang, Tu Min, Yang Ke, *et al*. Determination on Rational location of final terminal mining line for protective seam pressure releasing and mining in two seams[J]. Coal Science and Technology,2012,40(2):15 – 18.

[4] 康红普,王金华,林　健. 煤矿巷道锚杆支护应用实例分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(4):649 – 664.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. Case studies of rock bolting in coal mine roadways[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2010,29(4):649 – 664.

[5] 孟庆彬,韩立军,乔卫国,等. 赵楼矿深部软岩巷道变形破坏机理及控制技术[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(2):165 – 172.
Meng Qingbin, Han Lijun, Qiao Weiguo, *et al*. The deformation failure mechanism and control techniques of soft rock in deep roadways in Zhaolou Mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2013,30(2):165 – 172.

[6] 高明仕,张　农,郭春生,等. 三维锚索与巷帮卸压组合支护技术原理及工程实践[J]. 岩土工程学报,2005,27(5):587 – 590.
Gao Mingshi, Zhang Nong, Guo Chunsheng, *et al*. Mechanics and practice of combined supporting technology of 3D anchor – cable and unloading technology of wall of roadway[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(5):587 – 590.

[7] 郭东明,李　铁,吴　尚,等. 大倾角极软厚煤巷围岩破坏机理与支护参数优化[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版,2014,33(5):569 – 576.
Guo Dongming, Li Tie, Wu Shang, *et al*. Deformation failure mechanism and supporting parameters optimization of steeply inclined weak coal[J]. Journal of Henan Polytechnic University,2014,33(5):569 – 576.

[8] 何富连,吴焕凯,王志留,等. 大断面厚顶煤巷道围岩控制与支护参数优化[J]. 河南理工大学学报,2014,33(4):421 – 425.
He Fulian, Wu Huankai, Wang Zhiliu, *et al*. Surrounding rock control and support parameter optimization in large – section thick top – coal roadway[J]. Journal of Henan Polytechnic University, 2014,33(4):421 – 425.

[9] 韦四江,孙　闯. 深部回采巷道支护参数的正交数值模拟[J]. 河南理工大学学报,2013,32(3):270 – 276.
Wei Sijiang, Sun Chuang. Research on support parameters of mining roadway of deep mining with orthogonal numerical simulation[J]. Journal of Henan Polytechnic University,2013,32(3):270 – 276.

[10] 张向阳. 动压影响下大巷围岩变形机理与卸压控制研究[D]. 淮南: 安徽理工大学,2007.
Zhang Xiangyang. Deformation mechanism and depressurizing control of the surrounding rock of roadway under dynamic pressure influence[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology,2007.

[11] 郭保华,席可峰,陈　岩,等. 一种协调控制巷道围岩变形的新型支架[J]. 河南理工大学学报,2014,33(3):276 – 279.
Guo Baohua, Xi Kefeng, Chen Yan, *et al*. A new type of support for large deformational roadway[J]. Journal of Henan Polytechnic University,2014,33(3):276 – 279.

[12] 沈　杰. 软岩大断面硐室卸压与支护技术研究[J]. 煤炭工程,2011,58(4):67 – 68.
Shen Jie. Pressure – relief and support technology of large – section chamber in soft rock[J]. Coal Engineering,2011,58(4):67 – 68.

(下转第 50 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

矿火区范围内的采空区探测受到限制，这是下一步亟待解决的关键问题。

参考文献:

[1] 过　江，罗周全，邓　建，等. 三维动态空区监测系统 CMS 在矿山的应用[J]. 地下空间与工程学报，2005，1(7)：994－996.
Guo Jiang，Luo Zhouquan，Deng Jian，*et al*. Application of cavity monitoring system in underground mines [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering，2005，1(7)：994－996.

[2] 罗周全，罗贞焱，徐　海，等. 采空区激光扫描信息三维可视化集成系统开发关键技术[J]. 中南大学学报: 自然科学版，2014，45(11)：3930－3935.
Luo Zhouquan，Luo Zhenyan，Xu Hai，*et al*. Key technologies of 3D visualized integrated system for cavity's laser－scan information [J]. Journal of Central South University: Science and Technology，2014，45(11)：3930－3935.

[3] 崔晓荣，陆　华，叶图强，等. 三维空区自动扫描系统在露天矿山中的应用[J]. 有色金属，2012，64(3)：7－10.
Cui Xiaorong，Lu Hua，Ye Tuqiang，*et al*. Applications of 3D auto－scanning laser system in mined－out areas detection in open pit mine [J]. Nonferrous Metals Engineering，2012，64(3)：7－10.

[4] 江文武，李国建. 基于 C－ALS 的空区顶板覆岩冒落分析研究[J]. 有色金属科学与工程，2012，3(5)：66－69.
Jiang Wenwu，Li Guojian. Roof strata analysis on the empty area falling based on C－ALS [J]. Nonferrous Metals Science and Engineering，2012，3(5)：66－69.

[5] 张耀平，彭　林，刘　圆. 基于 C－ALS 实测的采空区三维建模技术及工程应用研究[J]. 矿业研究与开发，2012，26(1)：91－94.
Zhang Yaoping，Peng Lin，Liu Yuan. 3D modeling technology of Cavity based on C－ALS detection and its engineering application [J]. Mining R&D，2012，26(1)：91－94.

[6] 马玉涛，彭　威. 采空区三维激光扫描系统 C－ALS 及其在安庆铜矿的应用[J]. 有色金属，2005，57(4)：103－104.
Ma Yutao，Peng Wei. Study on cavity auto－scanning laser system (C－ALS) and its application in Anqing copper mine [J]. Nonferrous Metals Engineering，2005，57(4)：103－104.

[7] 马海涛，刘勇锋，胡家国. 基于 C－ALS 采空区探测及三维模型可视化研究[J]. 中国安全生产科学技术，2010，6(3)：45－51.
Ma Haitao，Liu Yongfeng，Hu jiaguo. Study on gob detection and visualization of three－dimensional model based on C－ALS [J]. Journal of Safety Science and Technology，2010，6(3)：45－51.

[8] 刘科伟. 露天开采隐患空区激光三维探测、可视化研究及其稳定性分析[D]. 长沙: 中南大学，2012.

[9] 王利岗，张　达，杨小聪. 井下空区安全监测三维激光扫描仪高精度运动控制技术[J]. 有色金属，2012，64(2)：1－4.
Wang Ligang，Zhang Da，Yang Xiaocong. 3D laser scanner high precision motion control technology in underground goaf safety monitoring [J]. Nonferrous Metals Engineering，2012，64(2)：1－4.

[10] 王运敏，刘海林，孙国权. CMS 实测地下矿采空区建模及稳定性分析研究[J]. 金属矿山，2009，39(8)：5－9.
Wang Yunmin，Liu Hailin，Sun Guoquan. Modeling and stability analysis of the mined－out area in underground mine by CMS [J]. Metal Mine，2009，39(8)：5－9.

[11] 陈　凯，张　达，张元生. 采空区三维激光扫描点云数据处理方法[J]. 光学学报，2013，33(8)：125－130.
Chen Kai，Zhang Da，Zhang Yuansheng. Point cloud data processing method of cavity 3D laser scanner [J]. Acta Optica Sinica，2013，33(8)：125－130.

[12] 任洪文，刘兆富，韩智尧，等. 三维激光扫描技术在测绘采空区中的应用[J]. 黄金科学技术，2013，21(3)：64－68.
Ren Hongwen，Liu Zhaofu，Han Zhiyao. Application of 3D laser scanning technology in the surveying and mapping goaf [J]. Gold Science and Technology，2013，21(3)：64－68.

[13] 张　达，王利岗. 三维激光扫描仪井下安全监测技术[J]. 有色金属，2011，63(4)：1－4.
Zhang Da，Wang Ligang. Underground safety monitoring technology based on 3D laser scanner [J]. Nonferrous Metals Engineering，2011，63(4)：1－4.

[14] 陈　凯，杨小聪，张　达. 采空区三维激光扫描变形监测系统[J]. 矿冶，2012，21(1)：60－63.
Chen Kai，Yang Xiaocong，Zhang Da. 3D laser scanning deformation monitoring system to the cavity [J]. Mining & Metallurgy，2012，21(1)：60－63.

[15] 夏永华，方源敏，孙宏生，等. 三维激光探测技术在采空区测量中的应用与实践[J]. 金属矿山，2009，39(2)：112－114.
Xia Yonghua，Fang Yuanmin，Sun Hongsheng，*et al*. Application practice of 3D laser monitoring technology in finished stope survey [J]. Metal Mine，2009，39(2)：112－114.

(上接第 6 页)

[13] 康红普. 软岩大断面硐室卸压机理及效果的研究[J]. 山西矿业学院学报，1994，12(1)：51－57.
Kang Hongpu. Study on the distressing mechanism and effect for large chamber in soft rock [J]. Journal of Taiyuan University of Technology，1994，12(1)：51－57.

[14] 赵高杰. 新庄煤矿机头硐室加固支护技术研究[D]. 焦作: 河南理工大学，2014.
Zhao Gaojie. Research on reinforcement technology of the chamber for conveyor head in Xinzhuang Coal Mine [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University，2014.

[15] 赵祉君，张同森. 顶部卸压技术卸压参数确定及应用[J]. 矿山压力与顶板管理，2005，22(2)：66－67.
Zhao Zhijun，Zhang Tongsen. Determine and application on distressing parameters of roof unloading pressure technology [J]. Groud Pressure and Strata Control，2005，22(2)：66－67.

[16] 杨战标. 大断面软岩硐室底板卸压槽合理深度分析[J]. 矿业安全与环保，2011，38(2)：46－48.
Yang Zhanbiao. Reasonable depth analysis of floor pressure－relief trough of large－section chamber in soft rock [J]. Mining Safety and Environmental Protection，2011，38(2)：46－48.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net