

采矿与井巷工程

动力现象频发矿区地应力测量及分布规律研究

庞 军 林

(内蒙古伊泰京粤酸刺沟矿业有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘 要: 为分析吕梁矿区动力现象频发的问题, 通过理论分析和现场实测的方法对井下地应力测量及分布规律进行研究, 采用应力解除法对井下的原岩应力进行测量, 得到该矿区地应力分布规律, 分析研究地应力与动力现象频发的相关性。结果表明: 吕梁矿区地应力场以水平构造应力为主, 并且水平应力的影响具有明显的方向性; 最大水平主应力方位角集中在 $96.96^{\circ} \sim 109.11^{\circ}$, 与工作面巷道轴向夹角较大, 平均为 77.85° , 是引起动力灾害频发的原因。

关键词: 原岩应力; 动力现象; 空心包体法; 地应力测量; 地应力场分布规律

中图分类号: TD324 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336 (2012) 12-0001-03

Study on Geostress Measurement and Distribution Law of Dynamic Phenomenon Frequently Occurred in Mining Area

PANG Jun-lin

(Inner Mongolia Yitai Jingyue Suancigou Mining Company Limited, Ordos 017000, China)

Abstract: In order to analyze the dynamic phenomenon frequently occurred of Lüliang Mining Area, the theoretical analysis and the site measurement method were applied to the study on the mine underground stress measurement and distribution law. The hollow inclusion type stress releasing method was applied to the measurement of the in-situ rock stress. The ground stress distribution law of the mining area was obtained and the correlation of the ground stress and dynamic phenomenon frequently occurred was analyzed and studied. The results showed that the ground stress field of Lüliang Mining Area was mainly as the horizontal structural stress and the horizontal stress influence had a remarkable orientation. The max azimuth angle of the horizontal stress was concentrated between $96.96^{\circ} \sim 109.11^{\circ}$ and had a high axial included angle to the gateway of the coal mining face. The max azimuth angle was 77.85° in average and was the reason to cause the dynamic disaster frequently.

Key words: in-situ rock stress; dynamic phenomenon; hollow inclusion method; geostress measurement; distribution law of ground stress field

矿井开采过程中动力现象频繁发生, 给矿井的安全生产带来了巨大的安全隐患, 地应力场是引发动力现象的重要因素之一^[1-2], 许多学者在地应力测量及分布规律研究方面做了大量工作。目前地应力测量一般以实测为主, 主要方法有水压致裂法和空心包体法。许多学者利用水压致裂法测量地应力, 曹允伟等^[3]为巷道锚杆支护设计提供了参数。康红普等^[4-5]应用实测结果指导晋城矿区巷道布置

和支护设计, 并对甘肃华亭矿区大型褶曲构造周围地应力分布规律进行研究, 根据实测结果分析向斜构造对地应力场的影响。孟召平等^[6]对沁水盆地南部45口煤层气井主采煤层地应力分布进行测量, 分析了地应力场对煤储层渗透性的影响。刘允芳等^[7]在利用空心包体法测量地应力方面进行了研究, 引入了修正系数并分析了各因素对地应力的影响。韩军等^[8]利用空心包体法对煤与瓦斯突出矿

收稿日期: 2012-07-19; 责任编辑: 杨正凯

项目基金: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB226806)

作者简介: 庞军林(1970—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 高级工程师, 现任内蒙古伊泰京粤酸刺沟矿业有限责任公司董事长、总经理。

网络出版时间: 2012-12-12 09:58:32; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20121212.0958.001.html>

引用格式: 庞军林. 动力现象频发矿区地应力测量及分布规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12): 1-3, 7.

区的地应力进行测量,分析地应力场对煤与瓦斯突出的影响。但吕梁矿区地应力测量及分布规律研究工作尚未开展,因此,笔者采用空心包体法对吕梁矿区的动力现象频发区域进行地应力测量,以期利用测量结果分析地应力分布规律与动力现象之间的关系,达到防止动力灾害事故发生的目的。

1 地应力测量方法

利用空心包体式孔壁应变计作为位移传感器,采用套孔取心式应力解除法对岩石中的地应力进行测量。应力解除法是常用的一种地应力测量方法,该方法通过测量应力解除前后孔壁应变的量值,采用自动应变测量和记录系统计算原岩应力^[10-11]。在测定原岩应力方面具有较强的适用性和可靠性^[9]。应力解除后的岩心和岩心围压率定设备分别如图 1 所示。空心包体应变和三维应力分量之间的关系式^[9]为

$$\varepsilon_{\theta} = (\sigma_x + \sigma_y) K_1 / E - 2(1 - \nu^2) [(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta - 2\tau_{xy} \sin 2\theta] K_2 - \nu \sigma_z K_4 \quad (1)$$

$$\varepsilon_z = \sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (2)$$

$$\gamma_{\theta z} = (1 + \nu) (\tau_{xy} \cos \theta - \tau_{zx} \sin \theta) K_3 / E \quad (3)$$

式中: ε_{θ} 、 ε_z 、 $\gamma_{\theta z}$ 分别为空心包体所测周向应变、轴向应变和剪切应变; K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为修正系数; θ 为孔径方向与水平方向的夹角; E 为岩石弹性模量; ν 为泊松比; σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{zx} 为原岩不同方向的应力分量。

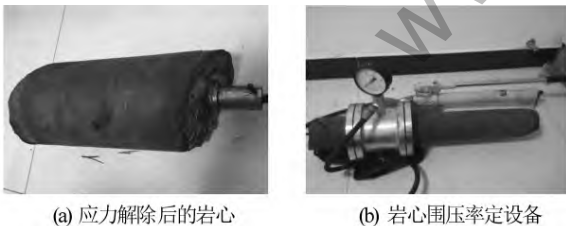


图 1 应力解除后的岩心与设备

2 地应力测量结果

1) 井下地应力测点的布置。吕梁矿区主采 10 号煤层,煤层赋存于太原组中下部,上距山西组 5 号煤层 40.90~56.15 m,平均 50.63 m。煤层厚度 9.00~13.55 m,平均 11.80 m,煤层倾角 10°~18°,平均 15°,属于缓倾斜煤层。该煤层呈单斜构造,倾向为东西向,走向为南北向。煤层顶板为石灰岩和钙质泥岩,不规则裂隙及斜交裂隙发育,

大部分充填方解石、含贝壳等动物化石,分布不均,含泥灰岩薄层。10 号煤层掘进过程中发生煤炮、顶煤局部大面积下沉、顶煤中的锚索被拉断、托盘被顶煤推挤变形等动力现象,但两帮和底板较为完整,没有发生大的变形。10 号煤层为首采煤层,掘进中没有受到煤柱、采空区、邻近工作面等引起的采动应力影响,原岩应力是煤层及顶板中的主要应力。由于岩层的倾角较小,为比较简单的单斜构造,因此测量布置 3 个测点,测量钻孔深度均大于巷道跨度的 2.5 倍,以保证测点测得的是原岩应力。测点布置见表 1。

表 1 测点布置

| 测点 | 水平标高/m | 埋深/m | 孔深/m | 位置 |
|-----|--------|------|------|-----------------|
| 1 号 | +678 | 380 | 11 | 750 运输大巷 2 号联络巷 |
| 2 号 | +695 | 372 | 12 | 750 运输大巷机尾绕道 |
| 3 号 | +902 | 405 | 11 | 702 泄水巷口 |

注:测点处围岩岩性为石灰岩。

2) 应力解除结果分析^[12-13]。取心钻杆每前进 2 cm 对应力解除结果采集一次,共采集 20~25 次。以 3 号测点为例,应力解除时采集的应变变化曲线如图 2 所示。从图 2 中可以判断各个应变片的工作状况。如果应变片工作正常,每条曲线的变化规律应基本相同,并且最终各条曲线都趋于平稳。由图 2 看出,随着取心套筒的不断深入,12 个应变值的变化规律基本相同,呈逐渐增大的趋势,在取心钻头超过应变片一定距离后,应变值逐渐稳定。这个稳定值即为测得的地应力值。

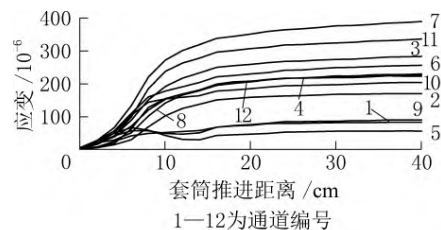


图 2 3 号测点应力解除曲线

3) 岩心围压率定试验结果分析。以 3 号测点取得的岩心为例分析岩心围压率定曲线,得到的 3 个岩心的 4 个方向,如图 3 所示。岩心弹性模量率定结果见表 2。岩石的泊松比 ν 为 0.24。

4) 各测点地应力计算结果。根据式 (1) — 式 (3) 编写程序,对测点的地应力值进行计算,结果见表 3。

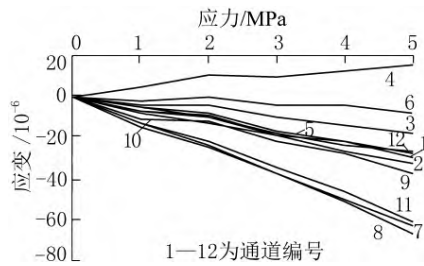


图3 3号测点岩心围压率定曲线

表2 岩心弹性模量测定结果

| 测点 | 弹性模量 /MPa | | | |
|-----|-----------|----------|--------|-----------|
| | 轴向 | 与轴向成 45° | 横向 | 与轴向成 135° |
| 1 号 | 88 000 | 31 000 | 11 000 | 26 000 |
| 2 号 | 150 000 | 82 500 | 49 000 | 100 000 |
| 3 号 | 175 000 | 160 000 | 80 000 | 174 000 |

表3 吕梁矿区地应力测量计算结果

| 项目 | 750 运输大巷 2 号联络巷 | | | 750 运输大巷机尾绕道 | | | 702 泄水巷口 | | |
|-----------|-----------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_1 | σ_2 | σ_3 |
| 主应力值 /MPa | 15.66 | 10.95 | 10.79 | 14.13 | 10.53 | 9.38 | 17.73 | 12.69 | 10.92 |
| 方位角 / (°) | 100.36 | 338.16 | 190.80 | 109.11 | 21.68 | 139.18 | 96.96 | 10.72 | 182.94 |
| 倾角 / (°) | 10.41 | 72.72 | 13.67 | 16.16 | -8.79 | -71.48 | -3.88 | 83.87 | 45.86 |

注： σ_1 为最大主应力； σ_2 为中间主应力； σ_3 为最小主应力。

3 地应力场分布规律

按式 (4) 计算该矿原岩应力值为 γH (γ 为上覆岩层的容重； H 为深度)。计算结果如下：钻孔埋深为 380、372、405 m 时，理论垂直应力分别为 10.26、10.04、10.94 MPa，实测垂直应力分别为 10.95、9.38、12.69 MPa，由此可知，垂直向主应力随埋深的增加而变大，但与理论计算所得单位面积上覆岩层的重力具有一定差别，其原因与该区地层的倾向及构造运动有关。

对测得的地应力进行分析研究得出吕梁矿区地应力分布规律：①每个测点至少有 1 个主应力方向接近水平方向，其倾角在 $\pm 15^\circ$ 之间；每个测点的最大主应力均接近水平方向，说明吕梁矿区地应力场以水平应力为主；②地应力场具有较为显著的各向异性，最大水平主应力与最小水平主应力在方向上基本呈正交关系，两者比值为 1.34 ~ 1.62，在量值上相差较大，使水平应力的影响具有明显的方向性，且最大水平主应力量值约为垂直方向主应力的 1.40 ~ 1.51 倍，说明吕梁矿区地应力场以水平构造应力为主；③测点最大水平主应力方位角集中在 $96.96^\circ \sim 109.11^\circ$ ，与吕梁矿区多数工作面巷道轴向夹角较大，平均 77.85° ；④随着埋深的增加，主应力有所增加。回归分析表明，该矿区的垂直应力、最大主应力的大小与测点的埋深呈线性增长的关系。不同的是最大主应力的线性回归方程中的常数项比垂直应力线性回归方程中的常数项数值大^[12-13]。

4 结 论

1) 采用应力解除法对吕梁矿区 3 个测点的地应力状态进行测量，获取了各测点的最大主应力大小及方向，地应力测点最大主应力范围为 14.13 ~ 17.73 MPa，各测点的最大主应力均接近水平方向，约为垂直方向主应力的 1.40 ~ 1.51 倍，说明地应力场以水平构造应力为主，通常水平构造应力对巷道顶板的作用要大于对两帮的作用，因此，煤层顶板中易出现动力现象。

2) 动力现象发生的原因是测点水平方向最大主应力方位角集中在 $96.96^\circ \sim 109.11^\circ$ ，与工作面巷道轴向夹角较大，平均为 77.85° 。

3) 针对频发的煤层顶板中的动力现象，应调整巷道的掘进方向，减小巷道轴向与最大主应力的夹角，同时增加锚索的让压量，确定合理的锚索安装时间。既保证将煤岩中多余的局部应力释放掉，又防止由于变形量过大而导致的顶板垮落，密切监测动力显现区顶板下沉量，必要时采取架棚支护等措施。

参考文献：

- [1] 白新华, 孙明闯, 吴财芳, 等. 基于低临界值的瓦斯动力现象分析 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (12): 48-50.
- [2] 何炳银. 复合顶板顺槽锚索的破断及其预防 [J]. 水力采煤与管道运输, 2007 (1): 27-31.
- [3] 曹允伟. 基于地应力测量的锚杆支护设计与应用 [J]. 煤炭科学技术, 2005, 33 (7): 23-25.

(下转第 7 页)

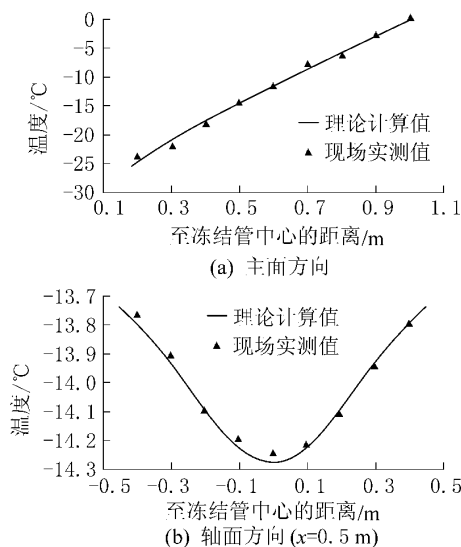


图5 主面与轴面方向不同位置计算温度与实测温度对比,表明理论预测值能够较好地反映出现场冻结壁温度场的分布情况,验证了理论计算公式的科学性和可行性。

4 结 论

1) 竖向直排冻结工程主面方向(垂直冻结管轴向布置的方向)温度变化呈近似线性分布,而轴面方向(沿冻结管布置方向)温度变化呈下凹形抛物线分布,最低点为轴面与主面交汇处。在垂直主面的方向上,主面位置的降温速度最快,冻结壁向外发展速度快,强度相对更高,降温速度随到主面距离的增大而减小;在平行主面的方向,轴面位置降温速度最快,冻结壁强度更高,位置距离轴面越远,降温速度越慢,冻结壁强度增长越慢。因此,冻结壁内部界面位置的土体强度较弱且发展速度较慢,这些位置应作为预防冻结壁软弱破坏的重点监测区域。

2) 理论预测值与现场实测数据对比表明:理论计算曲线与现场实测数据点吻合得较好,说明理论预测对研究和防治竖向直排冻结中可能出现的冻结壁失效问题具有参考意义。

参考文献:

- [1] 刘善奎. 斜井冻结施工 [J]. 煤炭科学技术, 1989, 17 (1): 25-28.
- [2] Вахолдин Б. В. Model Selection Optional of Soil Freezing for Construction Purposes [M]. Москва: Госстройиздат, 1963: 71.
- [3] Барбакадзе В. Ш., Мураками С. Calculation and Design of

Structures and Facilities Strength in Deformable Media [M]. Москва: Стройиздат, 1989: 472.

- [4] 户部畅, 秋元攻. 凍土内温度分布計算式とその應用 [C] // 土木學會論文報告集, [S. l.]: [s. n.], 1983: 181-188.
- [5] 崔广心, 杨维好, 吕恒林. 深厚表土层中的冻结壁和井壁 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1997: 55-65.
- [6] Sanglerat G. The Penetrometer and Soil Exploration [J]. Engineering Geology, 1979, 13 (2): 93-121.
- [7] 肖朝钧. 人工地层冻结冻土帷幕形成与解冻规律研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [8] LIU Bo, LI Dong-yang. A Simple Test Method to Measure Unfrozen Water Content in Clay-water Systems [J]. Cold Regions Science and Technology, 2012, 78 (11): 97-106.
- [9] 汪仁和, 李晓军. 冻结温度场的叠加计算与计算方法 [J]. 安徽理工大学学报, 2003, 23 (1): 25-29.
- [10] 胡向东, 何挺秀. 多排管直线冻土墙平均温度的等效梯形计算方法 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (11): 1465-1469.
- [11] 陈祥恩, 杜长龙. 马泰壕煤矿斜井冻结施工技术 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37 (11): 21-23.
- [12] 刘文民, 程志彬. 软岩地层斜井冻结方案设计 [J]. 建井技术, 2010, 31 (6): 34-37.
- [13] 李功洲, 陈文豹. 陈四楼主、副井冻结段外层井壁位移实测研究 [J]. 煤炭学报, 1995, 20 (4): 403-407.

(上接第3页)

- [4] 康红普, 姜铁明, 张 晓, 等. 晋城矿区地应力场研究及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28 (1): 1-8.
- [5] 康红普, 吴志刚, 高富强, 等. 煤矿井下地质构造对地应力分布的影响 [J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31 (S1): 2674-2680.
- [6] 孟召平, 田永东, 李国富. 沁水盆地南部地应力场特征及其研究意义 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (6): 975-981.
- [7] 刘允芳, 朱杰兵, 刘元冲. 空心包体式钻孔三向应变计地应力测量的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (4): 448-453.
- [8] 韩 军, 张宏伟, 宋卫华. 煤与瓦斯突出矿区地应力场研究. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (S1): 3852-3859.
- [9] 蔡美峰, 乔 兰, 李华斌, 等. 地应力测量原理和技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [10] 田利军, 魏红轩. 大同矿区煤体地应力测量与分析 [J]. 阜新矿业学院学报, 1990, 9 (4): 62-68.
- [11] 蔡美峰, 乔 兰, 于 波, 等. 梅山铁矿地应力测量结果及其分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16 (3): 233-239.
- [12] 周 钢, 秦宝华, 赵国庆, 等. 矿井深部三维地应力场测量与特征分析 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (8): 21-23.
- [13] 刘 江. 伊泰矿区井下地应力测量及应力场分布特征研究 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (4): 562-566.