

锚固注浆支护专题

单根锚杆不同工作载荷下支护 应力场特征相似模拟研究

林健^{1,2,3}, 王洋^{1,2,3}, 杨景贺^{1,2,3}, 王正胜^{1,2,3}, 蔡嘉芳^{1,2,3}

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 煤炭科学研究总院 开采设计研究分院, 北京 100013;
3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院), 北京 100013)

摘要 采用实验室相似模拟测试和分析了单根锚杆在不同工作载荷条件下围岩横向和纵向应力场分布特征。测试结果表明: 锚固体轴向应力场由压应力核心区和扩散区构成, 核心区位于锚固体近锚杆区域, 由3个压应力集中区组成, 整体呈“酒精灯”状分布。随着锚杆工作载荷的加大, 轴向应力场在垂直轴向方向上无论应力值还是分布范围均明显增大, 在锚杆轴线方向虽然应力值明显增大, 但应力分布范围基本无明显变化。锚固体横向应力场沿锚杆轴向在锚杆周围形成前后2个比较明显的压应力集中区, 浅部应力集中区在锚杆托板下方呈倒扣的碗状, 锚固段附近压应力集中区呈对扣碗状。锚固体横向应力场整体应力值较小, 约为轴向应力场应力值的1/4左右。随着锚杆工作载荷的加大, 锚固体内横向应力集中区范围不断扩大, 应力值不断提高, 但位置和形态基本保持不变。

关键词 单根锚杆; 工作载荷; 支护应力场; 相似模拟

中图分类号 TD315 **文献标识码** A **文章编号** 1006-6225(2015)05-0087-06

Analogue Simulation of Supporting Stress Field Characteristic of Single Anchored Bolt under Different Working Loads

LIN Jian^{1,2,3}, WANG Yang^{1,2,3}, YANG Jing-he^{1,2,3}, WANG Zheng-sheng^{1,2,3}, CAI Jia-fang^{1,2,3}

(1. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2. Coal Mining & Designing Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

3. State Key Laboratory of Coal Resource High-efficiency Mining & Clean Utilization (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

Abstract: Applying analogue simulation, surrounding rock lateral and vertical stress field distribution characteristic of single anchored bolt was test under different working loads. Results showed that axial stress field was composed of compression stress core zone and diffusion zone. Core zone was located in anchored body which was near anchored bolt, included 3 compression stress zones and took on “alcohol burner” shape distribution. With working load increased, stress value and distribution range of axial stress field along vertical direction obviously rose, but along axial direction, stress distribution range kept basically invariable although stress value increased largely. Lateral stress field formed 2 compression stress zones along axial direction: shallow stress concentration zone took on inverted bowl shape under plate, and the other stress concentration zone took on erect bowl shape near anchorage section. Whole stress value of lateral stress field was small, only 1/4 of axial stress. With working load increasing, lateral stress concentration zones' range expanded and stress value rose continuously, but their location and shape varied slightly.

Keywords: single anchored bolt; working load; supporting stress field; analogue simulation

煤矿井下应力场分为原岩应力场、采动应力场和支护应力场, 应力是煤矿巷道变形和破坏的根本驱动动力。巷道开挖后, 在原岩应力和采动应力双重作用下, 巷道围岩开始出现由表及里的渐进破坏。针对特定岩层, 原岩应力和采动应力越大, 围岩破坏深度越大, 矿压显现越剧烈, 甚至出现长时蠕变现象。要想保持巷道的稳定性, 必须通过各种

形式的支护所形成的支护应力场对巷道围岩的变形和破坏进行及时约束和限制, 确保巷道安全。

锚杆支护作为巷道支护的最重要手段之一, 以其及时主动的优越性能, 在国内外巷道支护中广泛使用。特别是近年来, 随着高预应力锚杆支护体系的逐步建立和完善, 锚杆支护得到了进一步的推广和应用, 先后在超千米深井巷道、松软破碎围岩巷

收稿日期 2015-05-14

DOI 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.05.024

基金项目 国家自然科学基金资助项目(U1261211); 国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B06); 中国煤炭科工集团科技创新基金项目(2013MS010)

作者简介 林健(1969-), 男, 山东曹县人, 研究员, 硕士生导师, 从事煤矿巷道支护技术与推广工作。

引用格式 林健, 王洋, 杨景贺, 等. 单根锚杆不同工作载荷下支护应力场特征相似模拟研究[J]. 煤矿开采, 2015, 20(5): 87-92.

道、松散弱胶结围岩巷道、强烈动压巷道、膨胀性软岩巷道得到成功应用^[1-7]。

但目前锚杆支护的参数设计主要还是靠工程经验和数值模拟分析进行,缺乏可靠的理论依据。锚杆支护作用是如何发挥的、锚杆支护在围岩中形成的应力扩散形态和范围、各种组合构件对锚杆支护应力扩散的影响等方面的研究有待于进一步深化。

在锚杆支护应力场基础研究方面,目前主要集中在数值模拟方面,实验室研究较少。在数值模拟方面,康红普等^[8-10]提出了支护应力场概念,并根据井下实测数据和数值模拟结果,论述了原岩应力场对采动应力场的影响以及采动应力场与支护应力场的相互作用与关系;采用 FLAC^{3D} 软件计算分析了掘进工作面周围应力、位移及破坏区分布特征与变化规律,研究了掘进工作面附近锚杆支护应力场的分布特征;采用有限差分数值计算软件分析了不同预应力下锚杆、锚索产生的应力场分布特征,以及钢带对锚杆预应力扩散的作用,提出锚杆主动支护系数、强度利用系数、预应力长度系数、有效压应力区、预应力扩散系数、有效压应力区骨架网状结构及临界支护刚度等概念。张镇等^[11]采用有限差分数值计算软件 FLAC^{3D} 对锚杆(索)施加不同组合预紧力时围岩产生的应力场分布特征与规律进行模拟分析。范明建^[12]利用 FLAC^{3D} 数值模拟软件对锚杆预应力在巷道围岩中的扩散状态、锚杆预应力与巷道支护效果的关系进行数值模拟分析。

在实验室研究方面,总参工程兵科研三所顾金才院士等^[13]考虑锚杆长度以及预应力大小不同的情况下,采用相似模拟试验对均质体中单根预应力锚杆加固范围的影响进行了研究。顾金才等还对锚索预应力在岩体内引起的应变状态进行了模型试验研究^[14]。李铀等^[15]为了探求预应力锚索作用机理,在室内均匀介质中开展了大型仿真模拟试验,得出锚固围岩体在拉拔力作用下,其轴向应变随扩散半径变化的分布曲线。康红普等^[16]利用对穿锚索研究了单根锚杆作用下与两根锚杆共同作用下的应力场分布情况。

本文为探讨小尺寸相似模型在进行锚杆支护应力场系列研究方面的可行性,在实验室采用小尺寸相似模型,在模型前端面打设锚杆孔安装锚杆、对锚杆施加不同轴向载荷,在无围压条件下测试和分析单根锚杆不同工作载荷条件下在围岩中产生的横向和纵向应力场分布特征,以期锚杆支护应力场研究提供一条方便、快捷、有效的途径。

1 试验设计

1.1 相似模型设计

试验根据相似模拟原理选择 300mm × 300mm × 300mm 的正方形模型,几何相似比 1: 6,容重相似比 C_γ 为 1,强度相似比 C_E 为 1: 6,力相似比 C_F 为 1: 216,应力相似比 C_σ 为 1: 6。

试验设计模拟中硬煤层锚杆支护应力分布状态。原型强度选定为 20 ~ 30MPa,根据强度相似比,模型强度应为 3.3 ~ 5MPa。试验选用水泥砂浆作为相似模拟材料,试验前通过进行水泥砂浆配比试验选定配比为水泥: 河砂 = 1.5: 8.5,28d 试块单轴抗压强度平均 3.75MPa。

1.2 模型制作

模型采用分层振捣法制作,由于应变片在湿水泥砂浆内无法有效粘贴,同时湿水泥砂浆和填筑振捣会损坏应变片,因此本试验制模采用上下分块制模,在同一模具内制作 2 块(长) 300mm × (宽) 300mm × (高) 150mm 模型,先制作下分块,块体达到初凝后制作上分块,在水泥标准条件养护完成后布设应变片,最后采用树脂胶对两分块黏合。

1.3 支护构件选取

锚杆选用国标 M10 螺杆,长度 500mm,杆体最大拉断力 51kN,满足试验要求。托盘先用自制正方形平托盘,规格 40mm × 40mm × 10mm,孔径 $\phi 12$ mm,螺母选用高强度 M10 螺母。

1.4 数据采集系统设计

试验数据采集系统主要分为两部分,分别为模型应力场测量系统和锚杆工作载荷测量系统。

对模型内应力的测量,主要测量模型轴向应力和横向应力。本试验采用丝绕式纸基 SZ120-3AA 型电阻应变片进行应力测量,该应变片具有灵敏度高、横向变形小和适应性强等优点,栅长 3mm,栅宽 2mm,电阻 120 Ω 。应变片分 3 排布置,分别距模块中心线 20mm,70mm 和 120mm,共布设 21 个测点。应变片通过 60P 型排线与 YJZA-32 型智能静态电阻应变仪相连,构成模型应力场采集系统,如图 1 所示。

锚杆工作载荷测量采集系统由载荷传感器和应变仪构成。载荷传感器采用 BK-1A 型载荷传感,量程 3t, $k = 0.09 \mu\epsilon/N$,全桥接法;数据采集使用 YJZA-16 型智能静态电阻应变仪。

1.5 加载方式

本试验加载主要通过不同锚杆工作载荷实现。加载分为 3 个水平: 500N,900N,2kN,分别对应

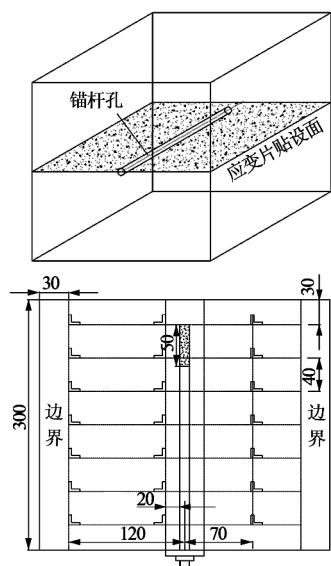


图1 模型内部应变片布置示意

现场锚杆 108kN, 194.4kN 和 432kN 工作载荷。

2 锚固体轴向应力场分析

不同锚杆工作载荷条件下锚固体轴向应力分布曲线见图 2。

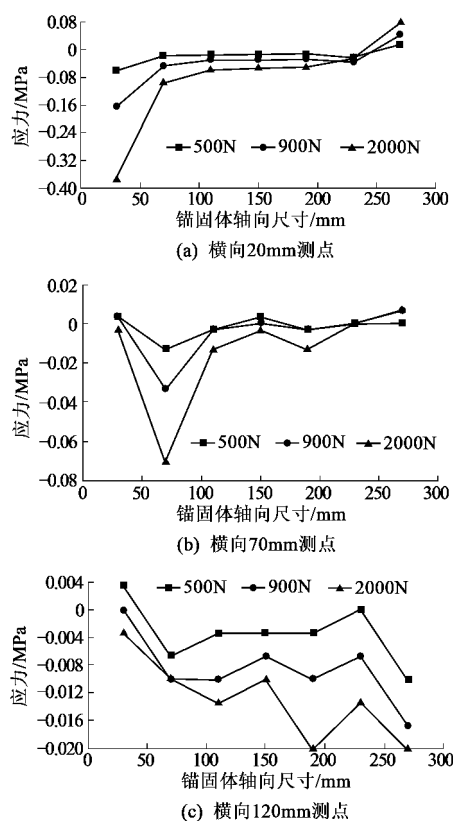


图2 锚固体轴向应力变化曲线

在距锚杆横向 20mm 处, 除锚固段后部出现拉应力区外, 从模型外表面至锚固段之间出现大范围压应力区。从模型外表面由外及里大致分为 4 个应力区域。

(1) 第 1 个区域为轴向 0 ~ 70mm 范围 该区域为显著影响区, 区域内压应力值较大, 在 500N 工作载荷条件下测点处观测到的最大值达到 0.06MPa 以上, 相当于实际 0.36MPa 以上。随着距模型表面的距离加大, 应力值迅速降低, 在距模型表面 70mm 处出现明显拐点, 应力变化趋于平缓。按几何相似比, 相当于实际尺寸 420mm。随着加载级别的提高, 压应力值基本呈正比例增加, 但该区域在锚杆轴线方向的范围并未随工作载荷的增加而增加, 而是保持基本稳定。

(2) 第 2 个区域为轴向 70 ~ 190mm 范围 该区域内压应力值呈现缓慢较小甚至稳定趋势, 应力值很小, 在 500N 工作载荷条件下基本保持在 0.0134MPa 左右, 相当于实际 0.08MPa 的应力水平。该区域随着锚杆工作载荷的增加压应力值也基本呈正比例增加, 在锚杆轴线方向范围保持基本稳定。

(3) 第 3 个区域为锚杆轴向 190 ~ 250mm 范围 在该区域内压应力值较第 2 个区域有所增加, 呈现一个小范围的压应力集中区, 最大压应力值出现在该区域的中后部, 也就是锚杆锚固段的前部, 测点处最大压应力值达到 0.0236MPa, 相当于实际 0.14MPa 的应力水平。该区域应力值随着锚杆工作载荷的增加呈现先增大后减小的趋势, 并且在锚杆轴线方向范围逐渐缩小和前移。

(4) 第 4 个区域为 250mm 以后的区域 该区域为拉应力区, 随着锚杆工作载荷的增加, 呈现应力值不断增加, 拉应力区不断增大和前移的趋势。

在距锚杆横向 70mm 处, 在 500N 锚杆工作载荷情况下, 模型轴线方向应力分布呈现“拉-压-拉-压-拉”交错分布现象。从模型外表面至 37.5mm 范围, 模型处于受拉状态, 从模型外表面往里呈现拉应力降低趋势, 至 37.5mm 降至 0; 37.5 ~ 130mm 之间呈现压应力状态, 应力分布先从低至高, 然后由高至低, 压应力峰值达到 0.0133MPa; 130 ~ 170mm 之间呈现拉应力状态, 应力分布先从低至高, 然后由高至低, 拉应力峰值达到 0.0033MPa; 170 ~ 230mm 再次出现压应力状态, 应力变化趋势由低至高, 然后由高至低, 压应力峰值达到 0.0034MPa; 230mm 以后呈现拉应力状态。随着锚杆工作载荷的增加, 除前后端面附近拉应力区内拉应力值随之不断增加外, 其余区域拉应力逐渐减小直至变为压应力区, 整个压应力区域连成一片, 应力值不断增加。

在距锚杆横向 120mm 处, 在 500N 锚杆工作载

荷情况下,模型轴线方向应力分布呈现“拉-压-拉-压”交错分布现象。从模型外表面至 43mm 范围,模型处于受拉状态,从模型外表面往里呈现拉应力降低趋势,至 43mm 降至 0; 43~330mm 之间呈现压应力状态,应力分布先从低至高,至 70mm 处达到峰值,压应力值为 0.0067MPa,然后由高至低,至 110~190mm 范围压应力保持基本恒定,压应力值保持在 0.0034MPa 左右,190~230mm 之间压应力呈现逐渐降低趋势,直至出现小范围拉应力区; 230mm 以后呈现压应力区,应力值呈现逐渐增大趋势,直至模型边界。随着锚杆工作载荷的不断增加,拉应力区逐渐减小,压应力区逐渐增大,压应力值也逐渐增大。

不同锚杆工作载荷条件下锚固体轴向应力云图见图 3。

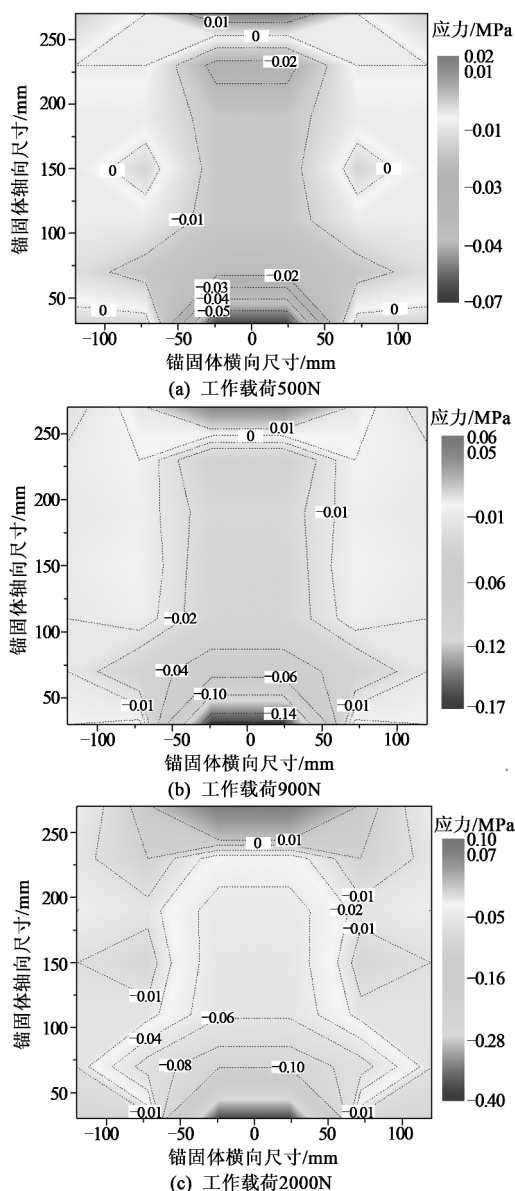


图 3 锚固体轴向应力分布

由图 3 (a) 可看出,锚固体应力场由应力核心区域和应力扩散区域构成,应力核心区域位于锚固体近锚杆区域,由 3 个压应力集中区域组成,整体呈“酒精灯”状。

模型表面轴向压应力区集中范围与锚杆托板面积、锚杆工作载荷大小和模型材料弹性模量等有关。其中,在保证足够刚度的条件下锚杆托板面积影响程度最大,托板面积越大,模型表面轴向压应力集中区范围越大。本试验采用 40mm×40mm×10mm 托板,模型表面轴向压应力集中区直径约为 124mm 左右,约为锚杆托板的 3.1 倍。

模型第 1 压应力区域浅部应力传递角为 70°,深部传递角约为 35°,该区域压应力在距模型表面 70mm (相当于现场 420mm) 左右横向扩散范围最大,在锚杆工作载荷 500N 条件下,0.01MPa 压应力扩散直径达到 184mm (相当于实际尺寸为 1100mm) 左右,约为锚杆托板宽度的 4.6 倍;整个第 1 压应力区沿锚杆轴线扩散深度达到 112mm (相当于实际尺寸为 670mm)。

模型第 2 压应力区域轴向位于 112~180mm 之间,应力近似呈圆柱形分布,其中 0.01MPa 压应力在垂直锚杆轴向上分部直径约为 74mm (相当于实际 444mm) 左右,约为锚杆托板宽度的 1.85 倍。

模型第 3 压应力区域分布在轴向 180~250mm 之间,应力近似圆锥形分布,浅部细深部粗,其中 0.01MPa 压应力在垂直锚杆轴向上分部直径约为 74~100mm (相当于实际 444~600mm) 左右。

从图 3 (b)、(c) 与 (a) 对比分析,随着工作载荷的加大,模型表面轴向压应力集中区范围呈现小幅度加大趋势; 3 个压应力区域在垂直锚杆轴向方向上无论应力值还是分布范围均呈现明显增大趋势,在锚杆轴线方向虽然应力值明显增大,但应力分布范围基本无明显变化。说明在特定围岩条件下,锚杆预应力在围岩中的纵向传递深度基本不受锚杆工作载荷大小的影响。

3 锚固体横向应力场分析

不同锚杆工作载荷条件下锚固体横向应力分布曲线见图 4。

在距锚杆横向 20mm 处,锚固体横向应力整体处于受压状态。在锚杆工作载荷为 500N 时,锚固体内部应力主要分为 3 个区域:

第 1 区域 沿锚杆轴向 0~70mm 范围,该区域明显为压应力集中区,锚固体内部压应力从锚固体

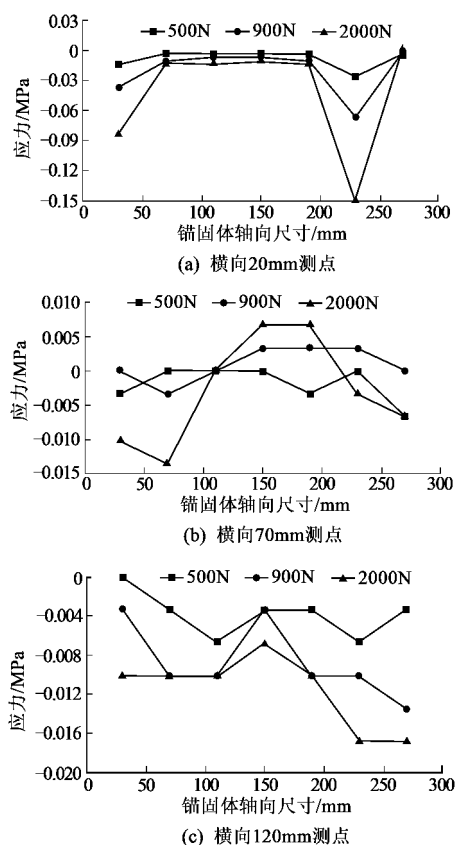


图4 锚固体横向应力变化曲线

表面向深部呈明显降低趋势, 横向应力值与锚固体轴向应力相比明显较低, 锚杆轴向 30mm 位置测点处的横向压应力值 0.0135MPa, 为该处轴向应力的 22.5%。随着锚杆工作载荷的不断增加, 压应力值基本成正比例增加。

第2区域 锚杆轴向 70~190mm 范围内, 锚杆横向应力基本保持不变, 压应力值为 0.0034MPa, 为该处轴向应力的 25.4%, 随着锚杆工作载荷的不断增加, 压应力值基本成正比例增加。

第3区域 190~270mm 为压应力集中区 (220mm 处为锚固与非锚固分界面), 该区域内压应力呈现先增加后减小的现象, 压应力峰值集中在轴向 230mm 位置处, 压应力值为 0.027MPa, 为该处轴向应力值的 1.14 倍, 随着锚杆工作载荷的增加, 压应力值也基本呈正比例增加。

虽然 3 个压应力区域的应力值随锚杆工作载荷的增加基本成正比例增加, 但锚固体横向应力场各区域沿锚杆轴向的范围基本保持不变。

在距锚杆横向 70mm 处, 在 500N 锚杆工作载荷情况下, 锚固体横向应力沿锚杆轴线方向应力分布呈现“压-零-压-零-压”交错分布现象。

从锚固体外表面至 70mm 处, 该区域为压应力集中区, 锚固体内压应力从锚固体表面向深部呈逐渐降低趋势, 锚固体横向应力值与轴向应力相比明显较低, 锚杆轴向 30mm 位置测点处的横向压应力值 0.0033MPa, 仅为该处轴向应力的 24.4%, 至 70mm 处压应力降低为零; 锚杆轴向 70~150mm 范围应力值为零; 150~230mm 范围为压应力集中区 (220mm 处为锚固与非锚固分界面), 压应力随深度增加呈现“先增加后降低”趋势, 压应力峰值处在 190mm 处, 该处压应力值为 0.0033MPa; 230~300mm 为压应力区, 压应力随深度增加呈现“先增加后降低”趋势。

随着锚杆工作载荷的增大, 锚固体横向应力分布出现明显变化。浅部压应力峰值点逐渐向深部转移, 直至锚杆轴向 70mm 处后保持稳定不变, 该处压应力峰值随锚杆工作载荷提高基本呈正比关系增加; 中前部零应力区消失, 在锚杆轴向 110mm 处为压应力和拉应力转折点, 该点在高工作载荷条件下保持稳定不变; 在中后部压应力区转变为大范围拉应力区, 锚杆工作载荷越大, 拉应力范围越小, 但拉应力峰值越高; 后部压应力区范围和应力值呈现“先减小后增大”的趋势。

在距锚杆横向 120mm 处, 锚固体整体呈现压应力状态。在 500N 锚杆工作载荷情况下, 模型轴线方向应力分布呈现 4 个压应力区域: 0~30mm 为零应力区; 30~150mm 为前部压应力集中区, 压应力呈现先增大后减小的趋势, 应力峰值点在 110mm 处, 最大应力值为 0.0067MPa; 150~190mm 为中部零应力区; 190~300mm 为后部压应力集中区, 压应力呈现先增大后减小的趋势, 应力峰值点在 230mm 处, 最大应力值为 0.0067MPa。

随着锚杆工作载荷的不断加大, 前后 2 个压应力集中区域无论是范围还是应力值, 均呈现明显加大趋势。在 2 个压应力集中区中部均出现不同程度的应力稳定区, 并且范围逐渐加大。

不同锚杆工作载荷条件下锚固体横向应力云图见图 5。由图 5 (a) 可看出, 在锚杆工作载荷为 500N 条件下, 沿锚杆轴向在锚杆周围形成 2 个比较明显的压应力集中区: 锚固体前部应力集中区和锚固段附近应力集中区。前部压应力集中区出现在锚杆托板下方, 呈倒扣的“碗”状, 横向扩散直径 (压应力值大于 0.01MPa) 达 80mm 左右, 为锚杆托板直径的 2 倍, 沿锚杆轴向扩散深度达 42mm, 无论扩散范围还是应力值均远远小于轴向应力; 锚固段附近应力集中区明显比锚固体前部应

力集中区扩散大, 压应力值也大, 最大压应力集中在 230mm 附近, 即进入锚固段 10mm 处, 扩散形状呈 2 个扣在一起的“碗”状, 压力峰值达到 0.027MPa。在 2 个应力集中区中间位置, 虽然也存在压应力集中区, 但压应力值更小, 仅为上述 2 个应力集中区应力值的 $1/4 \sim 1/8$ 。

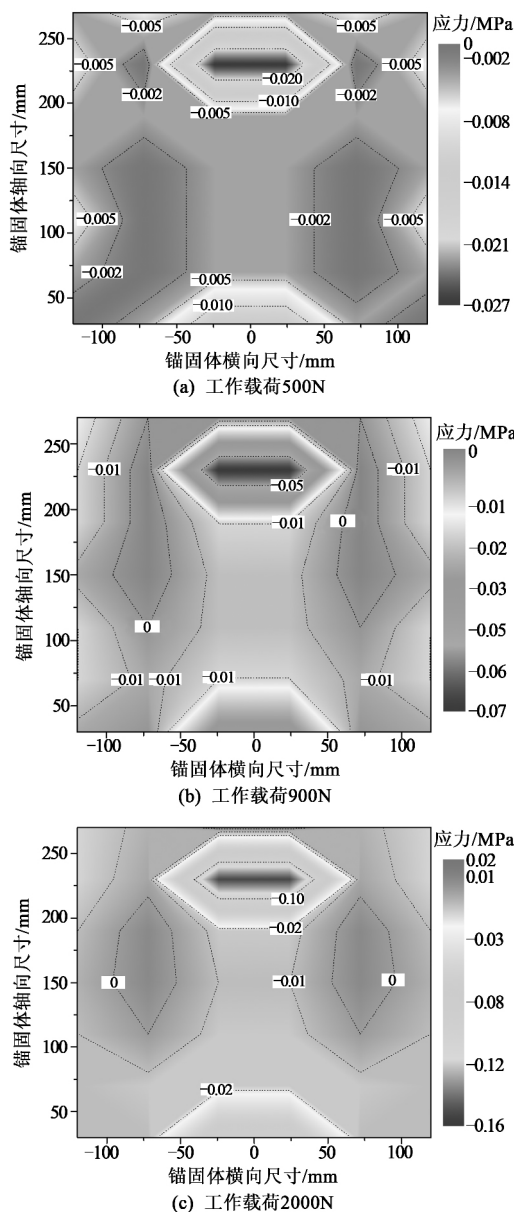


图 5 锚固体横向应力分布

随着锚杆工作载荷的不断加大, 锚固体内应力集中区范围不断扩大, 应力值不断提高, 但位置和形态基本保持不变。

4 结 论

(1) 试验表明, 小尺寸相似模型进行锚杆支护应力场模拟可大大缩短模型构建周期, 为一次进

行多方案对比试验和研究提供了可能性。

(2) 锚固体轴向应力场由压应力核心区域和扩散区域构成, 压应力核心区域位于锚固体近锚杆区域, 由 3 个压应力集中区域组成, 整体呈“酒精灯”状分布。

(3) 随着工作载荷的加大, 锚固体轴向应力场在垂直锚杆轴向方向上无论应力值还是分布范围均明显增大。在锚杆轴线方向虽然应力值明显增大, 但应力分布范围基本无明显变化。锚杆预应力在围岩中的纵向传递深度基本不受锚杆工作载荷大小的影响。

(4) 锚固体横向应力场沿锚杆轴向在锚杆周围形成 2 个比较明显的压应力集中区: 锚固体浅部应力集中区和锚固段附近应力集中区。浅部应力集中区出现在锚杆托板下方, 呈倒扣的“碗”状; 锚固段附近压应力集中区位于锚固段附近, 呈对扣“碗”状。

(5) 锚固体横向应力场整体应力值较小, 约为轴向应力场应力值的 $1/4$ 左右。随着锚杆工作载荷的不断加大, 锚固体内横向应力集中区范围不断扩大, 应力值不断提高, 但位置和形态基本保持不变。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 康红普, 王金华, 林 健. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道中的应用 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (12): 1233-1238.
- [3] 康红普, 牛多龙, 张 镇. 深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术 [J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29 (10): 1977-1987.
- [4] 林 健, 赵英利, 吴拥政, 等. 松软破碎煤体小煤柱护巷高预紧力强力锚杆锚索支护研究与应用 [J]. 煤矿开采, 2007, 12 (3): 47-50.
- [5] 范明建, 秦旭卫, 林 健, 等. 褐煤矿区弱胶结砂岩巷道支护技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (4): 5-8.
- [6] 康红普, 林 健, 吴拥政. 全断面高预应力强力锚索支护技术及其在动压巷道中的应用 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (9): 1153-1159.
- [7] 林 健, 范明建, 胡 滨, 等. 顶板砂岩含水“三软”破碎煤层小煤柱护巷技术研究 [J]. 煤矿开采, 2013, 18 (1): 43-46.
- [8] 康红普. 煤矿井下应力场类型及相互作用分析 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (12): 1329-1335.
- [9] 康红普, 王金华, 高富强. 掘进工作面围岩应力分布特征及其与支护的关系 [J]. 煤炭学报, 2009, 34 (12): 1585-1593.

(下转 22 页)

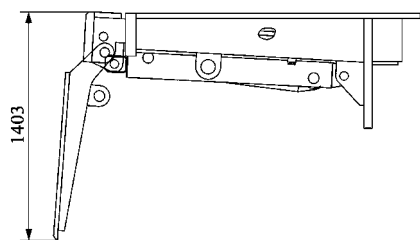


图 5 护帮板结构形式及尺寸

3.2 重型刮板输送机软启动方式

根据工作面前部和后部煤炭运输要求,确定工作面前部刮板输送机型号为 SGZ1000/2×1000,后部刮板输送机型号为 SGZ1200/2×1000。目前,国内外 3.3kV 供电的输送机软启动技术主要有双速电机传动系统、可控启动传输装置 (CST)、阀控充液式液力偶合器 (TTT) 和变频调速 4 种。双速电机驱动方式主要应用于 700kW 以下设备的软启动,当设备进一步增大时,双速电机经常发生启动失败、断链等事故。TTT, CST 及变频调速可有效解决双速电机重载无法启动的问题,但 TTT 和 CST 方式对水质或油质的要求及维护成本较高。综合分析变频器在起动性能、控制、节能等方面的优点,前后部刮板输送机选用 3300V 变频器进行驱动和保护。

3.3 国产大功率自动化记忆截割采煤机

特厚煤层综放工作面煤层由于割煤高度相对稳定,可采用摇臂摆角传感器来定位摇臂高度。该传感器通过采样计算出滚筒高度及卧底量,位置传感器用以定位采煤机在工作面的精确位置,可以与摆角传感器配合,实现在系统中限定特定工作面区域的采高、挖底及牵引速度,实现采煤机在工作面中的自动记忆截割及自动调高。

4 结 论

(1) 园子沟煤矿特厚较软煤层通过工作面参数和采放工艺优化,设备选型协调配套日割煤约 10 刀,开机率 70%,可实现年产量 6Mt 的要求。

(2) 根据产量要求、端头煤损控制和瓦斯防治要求,确定工作面倾向长度为 200m;根据煤层赋存条件、胶带输送机可实现最大运输距离和技术经济最优化原则,工作面走向长度布置在 3000m 左右。

(3) 结合煤壁稳定性控制、顶煤采出率及设备参数设计综合考虑确定割煤高度为 3.5m,为进一步提高顶煤采出率可根据矿压规律的总结适当增大采高。

(4) 液压支架型号为 ZF16000/23/42 四柱支撑掩护式低位放顶煤液压支架,顶梁采用带铰接前梁的整体顶梁结构,可有效加强对煤壁与顶板交叉点的支撑;护帮板最大防护高度为 1403mm,可以挑平,具有护帮、护顶两种功能。

(5) 刮板输送机采用变频软启动,采煤机通过传感器实现自动记忆截割及自动调高。

参考文献

- [1] 王金华,黄曾华.中国煤矿智能开采科技创新与发展[J].煤炭科学技术,2014,42(9):1-6,21.
- [2] 王国法.综采自动化智能化无人化成套技术与装备发展方向[J].煤炭科学技术,2014,42(9):30-34,39.
- [3] 孟国营,李国平,沃磊,等.重型刮板输送机成套装备智能化关键技术[J].煤炭科学技术,2014,42(9):57-60.
- [4] 王国法,刘俊峰,任怀伟.大采高放顶煤液压支架围岩耦合三维动态优化设计[J].煤炭学报,2011,36(1):145-151.
- [5] 张金虎,王国法,侯刚,等.布尔台煤矿厚煤层大采高液压支架适应性分析[J].煤炭科学技术,2014,42(9):95-98,103.
- [6] 李明忠,刘珂珉,曾明胜.大采高放顶煤开采技术及其发展前景[J].煤矿开采,2006,11(5):28-29.
- [7] 闫少宏.大采高综放开采煤壁片帮冒顶机理及控制技术研究[J].煤矿开采,2008,13(4):5-8.
- [8] 毛德兵.综放开采割煤高度与顶煤回收率相互关系研究[J].煤矿开采,2009,14(4):13-15.
- [9] 刘啸.大采高综放工作面“三机”配套选型研究及工程应用[J].淮南:安徽理工大学,2013.

责任编辑:邹正立

(上接 92 页)

- [10] 康红普,姜铁明,高富强.预应力在锚杆支护中的作用[J].煤炭学报,2007,32(7):680-685.
- [11] 张镇,康红普,王金华.煤巷锚杆-锚索支护的预应力协调作用分析[J].煤炭学报,2010,35(6):881-886.
- [12] 范明建.锚杆预应力与巷道支护效果的关系研究[D].北京:煤炭科学研究总院,2007.
- [13] 顾金才,沈俊.预应力锚杆加固范围研究[A].第二届全国岩石力学数值计算与模型实验学术研讨会论文集[C].上海:同济大学出版社,1990.

- [14] 顾金才,沈俊,陈安敏,等.锚索预应力在岩体内引起的应变状态模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2000(S1):917-921.
- [15] 李铀,白世伟,朱维申,等.预应力锚索锚固效应的仿真试验与数值模拟研究[J].岩土力学,2004(S2):260-264.
- [16] 康红普,姜鹏飞,蔡嘉芳.锚杆支护应力场测试与分析[J].煤炭学报,2014,39(8):1521-1529.

责任编辑:王兴庵