

文章编号:1671-251X(2015)08-0013-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.08.004

陈鑫,韩正铜,郝敬宾,等.井下超前支护用悬浮式单体液压支柱监测系统[J].工矿自动化,2015,41(8):13-16.

井下超前支护用悬浮式单体液压支柱监测系统

陈鑫, 韩正铜, 郝敬宾, 李宝林

(中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:介绍了一种井下超前支护用悬浮式单体液压支柱监测系统,阐述了该系统的工作原理及设计方案。该系统能够实现液压支柱压力及弯曲变形检测、LED灯报警和数据无线传输。基于某型号液压支柱的测试结果表明,该系统测量值与理论值之间的误差较小,表明该系统可真实地反映悬浮式单体液压支柱在承受顶板不同来压时的弯曲变形程度,为支护的安全预警提供准确数据。

关键词:悬浮式单体液压支柱;井下超前支护;弯曲变形检测;压力检测

中图分类号:TD355.4 文献标志码:A 网络出版时间:2015-07-31 15:22

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150731.1522.005.html>

Monitoring system of suspension type single hydraulic prop for underground forepoling

CHEN Xin, HAN Zhengtong, HAO Jingbin, LI Baolin

(School of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: A monitoring system of suspension type single hydraulic prop for underground forepoling was introduced, and working principle and design scheme of the system were focused on. The system can realize pressure and bending deformation detection of hydraulic prop, LED warning and wireless data transmission. The experimental result based on a type of hydraulic prop shows that the error between measurement value of the system and the theoretical one is small, which verifies that the system can actually reflect bending deformation degree of suspension type single hydraulic prop when the hydraulic prop suffers different stress from roof and provide accurate data for safety warning of forepoling.

Key words: suspension type single hydraulic prop; underground forepoling; bending deformation detection; pressure detection

0 引言

井下综采工作面的超前支护是保障煤矿安全生产的前提^[1]。目前,中国仍有不少煤矿采用悬浮式单体液压支柱与顶梁配合的方式对工作面端头及巷道进行超前支护,能否实时、准确监测悬浮式单体液压支柱的工作状态,直接影响综采工作面端头处的支护质量,进而影响煤矿生产过程的安全。

悬浮式单体液压支柱支撑性能的好坏直接受其密封质量的影响,因此大多数研究是通过检测液压支柱密封质量来对其进行压力检测。何健等^[2]研究了检测时间及压降率,为支柱密封质量短时间检测和危险报警提供了可靠依据;参考文献[3-10]介绍了几种悬浮式单体液压支柱密封检测仪,可显示液压支柱的工作压力、降压比等信息。上述研究均没有提及在顶板周期来压时对悬浮式单体液压支柱的

收稿日期:2015-03-27;修回日期:2015-06-20;责任编辑:李明。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA062100);江苏省自然科学基金资助项目(BK20130184);江苏高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:陈鑫(1991—),男,宁夏银川人,硕士研究生,研究方向为机械工程,E-mail:cx_energy@sohu.com。

弯曲变形进行检测的装置和方法。本文提出一种悬浮式单体液压支柱监测系统,其能够实时监测综采工作面端头超前支护区域液压支柱的工作状态,为煤矿一线工人的生命安全和开采过程的安全高效提供保障。

1 悬浮式单体液压支柱的静力学分析及支护形式

1.1 静力学分析

悬浮式单体液压支柱的结构特点为承载能力强,活柱体仅受 20% 左右的载荷,如图 1 所示。其中 l_1 为活柱体外伸长度,mm; l_2 为活柱体与油缸的套接长度,mm; d_1, d_2 分别为活柱体的外径和内径,mm; D_1, D_2 分别为油缸的内径和外径,mm; p 为乳化液压力,MPa; N 为地面支撑反力,kN; δ_1, δ_2 分别为活柱体和油缸的挠度,mm; F_1, F_2 为套接部分油缸对活柱体的作用力,kN。在现场使用中,一旦工作面顶板周期来压,悬浮式单体液压支柱所承受的压力 F_w 会突然达到或超过其工作阻力,如果安全阀不能迅速打开或安全阀流量过小,液压支柱会被压弯,为人员逃脱争取宝贵时间^[11]。

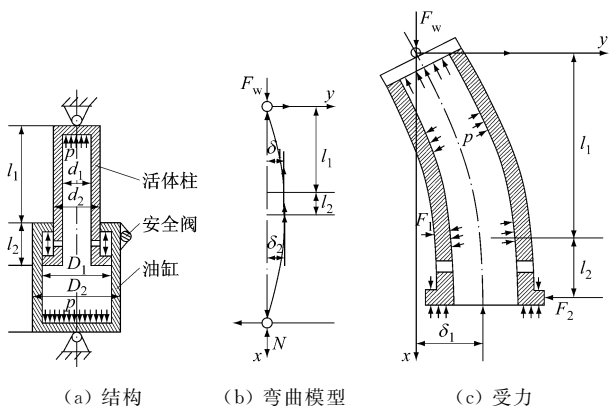


图 1 悬浮式单体液压支柱示意

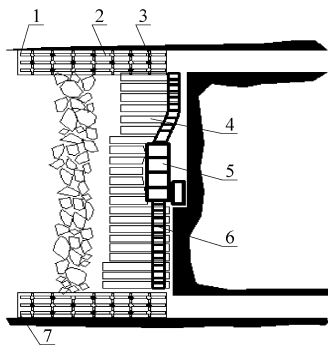
对于悬浮式单体液压支柱,弯曲变形的静力学分析关键在于活柱体与油缸的套接部分^[12]。如图 1(b)所示,活柱体和油缸之间的最大相对位移取决于相应的密封间隙。由于采用空芯结构,活柱体内腔与油缸内腔是相通的,所以二者所受的内压相同,受力如图 1(c)所示。由图 1(c)可看出,液压支柱在受压工况下的最大挠度发生在 $x = l_1$ 处。活柱体最大挠度为^[13]

$$\delta_{1\max} = \frac{F_{\max}}{A} + \frac{F\delta_{2\max}}{W} \quad (1)$$

式中: $F_{\max}$ 为液压支柱最大工作阻力,kN; A 为活柱体的横断面积,mm²; $\delta_{2\max}$ 为油缸的最大挠度,mm; W 为活柱体的断面模数。

1.2 工况条件和液压支柱分布

实际应用中,悬浮式单体液压支柱多与顶梁配合对工作面及巷道进行超前支护,其具体实现形式往往取决于工作面巷道的实际条件。例如鹤壁煤业(集团)有限责任公司三矿采用悬浮式单体液压支柱与 3.5 m 长金属 π 型顶梁的支护方式;宁夏王洼煤矿采取工字钢梁、悬浮式单体液压支柱及一字形铰接金属梁的组合方式,对其 E1108 大倾角综采工作面的上下端头进行支护^[14],如图 2 所示。



1—上端头;2—顶梁;3—悬浮式单体液压支柱;4—液压支架;
5—采煤机;6—刮板输送机;7—下端头

图 2 悬浮式单体液压支柱与顶梁联合支护示意

2 悬浮式单体液压支柱监测系统原理

悬浮式单体液压支柱监测系统主要包括压力传感器、光纤传感器、单片机、LED 灯和无线传感器。液压支柱感受到工作面顶板来压时,活柱体腔内乳化液压力升高,压力传感器测量到压力超过液压支柱承受压力时,会控制开关控制电路闭合,将压力信号传送至单片机。单片机控制 LED 灯报警,并控制无线传感器将压力数据发送至地面监控室。在顶板周期来压期间,液压支柱的安全阀有可能没有及时打开或安全阀流量过小,导致液压支柱被压弯。安装于手把体内的光纤传感器可检测支柱沿任意方向的弯曲压力,并将测量信号转换为电信号发送至单片机,单片机控制 LED 灯及无线传感器做出响应,及时提醒井下工人及地面监测人员采用应急措施。

3 悬浮式单体液压支柱监测系统设计

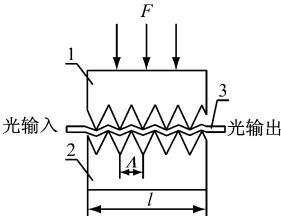
3.1 压力传感器

压力传感器主要包括隔膜膜片、灌充液、波纹管 and 螺旋弹簧、导压块和导压杆等。隔膜膜片作为弹性敏感元件,感受活柱体腔内乳化液压力;灌充液等值传递活柱体腔内乳化液压力;波纹管和螺旋弹簧将压力值转换为位移,并带动导压块和导压杆做垂直移动。压力传感器工作过程:隔膜膜片在活柱体

腔内乳化液的作用下发生形变,通过灌充液将压力作用于波纹管 and 螺旋弹簧底部,使波纹管产生垂直向上位移,并带动导压块和导压杆做垂直向上移动,从而触控上方的开关控制电路。

3.2 光纤传感器

光纤传感器包括光源、一定长度的传感或传输用光纤、光接收器^[15]。为了在检测液压支柱发生弯曲变形时挠度的同时,检测作用于液压支柱顶盖上的顶板来压,采用微弯式光纤传感器,如图3所示,其中 F 为施加外力, l 为微弯段长度, Δ 为微弯结构的机械周期。



1—上齿形板;2—下齿形板;3—传感或传输用光纤

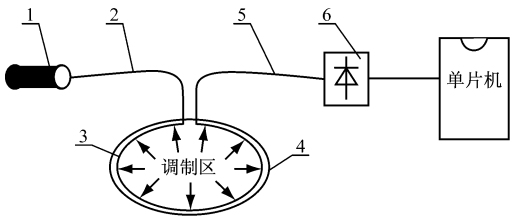
图3 微弯式光纤传感器

微弯式光纤传感器由2个相对放置的齿形板组成。2个齿形板之间留有空隙,传感或传输用光纤从空隙穿过,在上齿形板上施加外力 F ,光纤在齿形板挤压下产生一定周期性的弯曲变形,光纤的弯曲变形程度随施加外力的变化而变化。齿形板位移与施加外力之间的关系为^[16]

$$\Delta T = \left(\frac{\Delta T}{\Delta X}\right) F \left(K_f + \frac{A_s Y_s}{l_s}\right)^{-1} \tag{2}$$

式中: ΔT 为光强损耗; ΔX 为齿形板位移; $\Delta T/\Delta X$ 为灵敏度; K_f 为光纤的力学常数; A_s 为光纤截面积; Y_s 为光纤的杨氏模量; l_s 为微弯结构的垫片长度。

系统采用的光纤传感器包括光源发射器、3根光纤和光接收器,如图4所示。光源发射器发出光耦合,光纤一将光耦合传至调制区。来自液压支柱任意方向的弯曲压力作用于光纤二上,使其光学性质发生变化,生成被调制的光信号,该信号经过光纤



1—光源发射器;2—光纤一;3—光纤二;
4—手把体;5—光纤三;6—光接收器

图4 光纤传感器组成及测量原理

三传送至光接收器。光接收器对接收的光信号进行转换后输出电信号,再通过导线输入单片机。

3.3 LED报警装置

LED报警装置包括开关控制电路、单片机和LED灯,如图5所示。导压杆垂直向上移动时,触碰开关 K_1 闭合,开关控制电路接通,单片机输入端接收到高电平,输出端输出高电平,NPN型三极管 Q 导通,电磁继电器 K 得电, K_2 被吸合,LED灯点亮,实现报警。

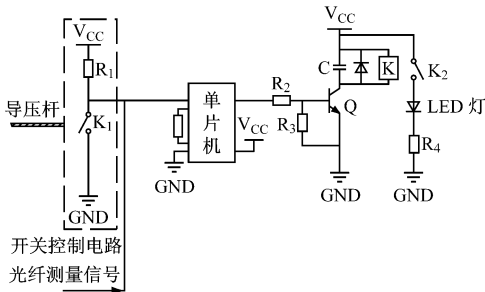


图5 LED报警装置电路

3.4 无线传感器

无线传感器包括编码器、调制解调器、放大器、RF射频器、天线、环形天线、选频器、放大器、调制解调器、RS422收发器,如图6所示。单片机输入端接收到一定的电平信号后,单片机响应并将信号依次送入编码器、调制解调器、放大器、RF射频器,经天线发射信号,再经过布置于分支巷道和主巷道内的若干射发器将信号发送至环形天线。环形天线将所载信号送入选频器、放大器、调制解调器、RS422收发器,经双绞线传至地面计算机^[17]。

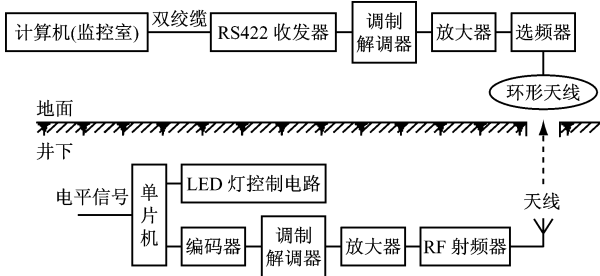


图6 无线传感器组成

4 测试结果分析

选用某型号悬浮式单体液压支柱对该系统的可靠性和准确性进行测试。该悬浮式单体液压支柱具体参数见表1。

根据式(1)计算该悬浮式单体液压支柱活柱体的最大挠度,采用系统中安装于手把体凹槽内的光纤传感器采集液压支柱在承受不同压力时的最大挠

度数据。理论计算值与测试值见表 2。同时,根据力,结果见表 2。
测试采集的活柱体最大挠度,采用式(2)计算施加外

表 1 某型号悬浮式单体液压支柱具体参数

最大 高度/mm	最小 高度/mm	工作 行程/kN	工作 阻力/kN	额定 液压/MPa	初撑 阻力/kN	泵站 压力/MPa	整柱 重量/kg	支柱工作 范围/mm	工作 液体
3 500	1 970	1 530	350	39.6	132	15	81	1 970~3 500	乳化液

表 2 理论计算值与测试值

指标	施加外力/kN								
	400	450	500	550	600	650	700	750	800
最大挠度理论值/mm	2.097	4.160	6.347	8.733	10.693	12.695	14.598	16.990	18.897
最大挠度测试值/mm	2.049	4.099	6.148	8.197	10.25	12.30	14.35	16.39	18.44
最大挠度误差/%	2.34	1.49	3.24	6.54	4.32	3.21	1.73	3.67	2.48
施加外力计算值/kN	386	426	479	538	564	621	663	724	766

从表 2 可看出,活柱体实际弯曲值与测试值的最大相对误差为 6.54%<10%,表明该系统监测数据准确性较高。

5 结语

井下超前支护用悬浮式单体液压支柱监测系统的实验值与理论值非常接近,最大误差在可接受范围内,说明该系统可真实反映液压支柱在承受顶板不同来压时的弯曲变形程度,为支护的安全预警提供准确数据。下一步的研究重点是使系统更智能、更精确和更可靠地监测悬浮式单体液压支柱的弯曲变形。

参考文献:

[1] 尚彦亭. 关于煤矿综采工作面支护技术问题的探究[J]. 科协论坛,2013(7):45-46.
[2] 何建,席振宇. 单体液压支柱压力变化分析与快速检测的研究[J]. 液压气动与密封,2012(8):34-36.
[3] 秦玉鑫. 基于 89S52 单片机的单体液压支柱智能压力检测仪设计[J]. 云南大学学报:自然科学版,2009,31(增刊 2):284-287.
[4] 张建中,姜海燕,苑红波,等. 基于 VB 的单体液压支柱智能检测系统[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2006,25(3):29-31.
[5] 秦海忠,吴志刚. 单体液压支柱动(静)态检测系统设

计与实现[J]. 煤矿开采,2010,15(5):76-77.
[6] 武装. KJDT 单体支柱密封质量监测系统[D]. 泰安:山东科技大学,2004.
[7] 赵胜民. 基于智能传感器的单体液压支柱压力检测系统[D]. 泰安:山东科技大学,2007.
[8] 董韶妮. 振动唤醒式单体支柱支撑压力测量仪的研究[D]. 泰安:山东科技大学,2009.
[9] 金璐. 单体液压支柱低压密封监测系统 CPU 设计[D]. 上海:华东师范大学,2010.
[10] 程媛,周连拴,韩继光,等. 单体液压支柱密封质量检测系统[J]. 煤矿机械,2011,32(12):232-234.
[11] 张金荣,刘韧. 浅议悬浮单体液压支柱的维修工艺[J]. 江西煤炭科技,2010(2):67-68.
[12] 陈世其,王忠民,李炳文. DWX 型单体液压支柱静力稳定性分析[J]. 煤矿机械,2004,25(2):68-71.
[13] 郝旭,邬瓦尼,朱维兵,等. 外注式单体液压支柱的静强度分析[J]. 液压与气动,2012(12):24-27.
[14] 张鹏程. 综采工作面端头及超前支护关键技术和装备研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2013.
[15] 张勇东,祁耀斌,陈逢春. 光纤传感器及其在安全监测系统中的应用[J]. 电光与控制,2004,11(4):60-62.
[16] 李学金. 光纤微弯传感器及反射式强度调制光纤传感器研究[D]. 天津:天津大学,2005.
[17] 王桃,刘晓文,乔欣,等. 基于无线传感器网络的液压支架压力监测系统设 计[J]. 工矿自动化,2014,40(6):7-10.