

文章编号:0253-9993(2010)01-0145-04

# 液压支架泄漏检测方法的分析与实践

张守宝<sup>1</sup>, 谢生荣<sup>2</sup>, 何富连<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083; 2. 北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083)

**摘要:**对液压支架产生故障的主要形式进行了统计和总结,并对故障产生的主导因素进行了分析,得出大多数故障的产生都是由泄漏引起的;根据液压支架泄漏特点提出了通过检测泄漏产生的高频声波实现故障检测和准确定位的支架故障检测原理,运用概率论的方法得出了信号检测接收机的表达式,并成功研制了新型支架液压泄漏检测仪。液压泄漏检测的现场实践表明,该仪器能适应煤矿现场的复杂条件,不但能检测出液压支架外部泄漏的故障部位,而且还能检测出人用直观方法不能检查出的内部泄漏、串液等故障,提高了故障检测成功率,实现了井下支架泄漏故障的无损检测。

**关键词:**液压支架;泄漏故障;检测机理

**中图分类号:**TD355.47 **文献标志码:**A

## Analysis and practice of detection method on hydraulic powered support leak failures

ZHANG Shou-bao<sup>1</sup>, XIE Sheng-rong<sup>2</sup>, HE Fu-lian<sup>1</sup>

(1. Faculty of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The main forms of support failures were collected and analyzed, and the main reason for failures was leakage of high pressure liquid. According to the high-frequency character of leak signals, the detection theory was put forward, that is the failures and its positions could be found by detecting the high-frequency leak signals. And then the signal receiver was drawn out by using the method of probability theory. Based on the theory, the detector of leak failures was developed. The practice of the detector shows that it can adapt to the complex conditions and works well, its accuracy to find failures is higher than direct method.

**Key words:** hydraulic support; leak failures; detection theory

综采工作面开采后,关键层顶板的运动必然会在支架上产生强烈的动压现象,这就要求工作面支架在工作过程中要保持良好的控制顶板的效果。但是国产支架普遍存在支架构件易损坏、失效率高等突出问题,进而造成支架支护能力不能充分发挥,给综采工作面带来安全上的隐患,形成煤壁片帮或者端面冒顶;而端面顶板垮落形成的垮落带会反作用于支架,使支架工况出现不合理状态,形成支架支护性能不合理和顶板破碎冒漏的恶性循环<sup>[1-2]</sup>。随着高产高效

综合机械化开采在国际采煤和中国煤炭行业的广泛推广,如何保障占整套综采设备总重80%、成本60%以上的液压支架的可靠性,成为采煤业亟待解决的重要课题。

目前,国内外对综采工作面液压支架工作状态的监测监控主要采用压力监测,但是这种方法要在每一架支架上安装压力监测仪器,来实现综采工作面所有支架的监测监控;如果每架支架都采用实时监测系统,则投资巨大,而且不能检测到支架发生故障的具

体位置<sup>[3-5]</sup>。

因此,研制一种能够在综采工作面实现实时检测支架泄漏故障、实现故障定位、随检随修的仪器成为提高支架检测效率和综采工作面安全可靠性的迫切要求。

## 1 支架故障形式及其产生的主导因素分析

支架液压系统主要由液压泵、液压缸、液压阀和各种辅助装置等组成。液压支架通常采用的动力液压缸有液压支柱和液压千斤顶,他们均由液压阀来控制,完成支架的各种动作,如升、降、推、移等。支架液压系统(立柱、千斤顶、安全阀、单向阀、操纵阀、管路及连接件)出现乳化液泄漏(内部泄漏和向外侧泄漏)故障,必然导致支架出现失效故障,使其支护能力难以充分发挥<sup>[6-8]</sup>。

液压支架常见故障有两大类:支柱升降故障和千斤顶伸缩故障,如图1所示。

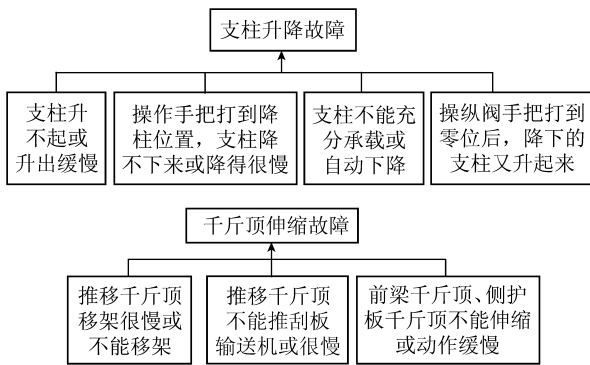


图1 支柱升降故障和千斤顶伸缩故障分类

Fig. 1 Classification of support lifting failures and jack expansion failures

在以上两大类所有故障的可能原因中,小部分是泵、管路、支柱活塞的液压系统故障及支柱、千斤顶的机械故障,绝大部分则是由于液压阀故障导致的。支架所用的液压阀数量要比支柱和千斤顶多,但在整个支架中,液压阀又往往处于次要地位,不像支柱和千斤顶那样受人重视。由于数量上的优势和重视程度上的劣势,所以支架使用中的事故往往发生于液压阀。统计表明,液压阀故障90%以上是泄漏故障,液压阀故障在液压支架常见故障中比较突出。

## 2 液压支架泄漏信号的检测

### 2.1 液压支架泄漏信号检测原理

对于支架液压系统,泄漏基本上是由于密封失效或破坏引起的,因液压系统内外压差很大,泄漏液体的雷诺数一般较高,不会形成层流,而是形成了射流。对于射流,由于射出的液体较周围气体速度大得多,

所以周围的气体会不断地被卷吸进流动区域,因而会不断地形成漩涡。这样在其喷射空间分布着无数大小和形状各异的漩涡,这些漩涡在靠近泄漏处的空间范围内,不断受液体喷射的影响,不断地发展、破裂和产生新的漩涡。根据涡动力学理论,涡就是流体的声音,关于射流产生波的研究,Lighthill早在1952年就有论述<sup>[9-10]</sup>。

液压支架泄漏高频信号检测原理:高压液体泄漏致使附近区域气体产生漩涡,而漩涡又转变为声波,也就是泄漏产生高频声波。由于泄漏所产生的声波大多为高频成分,当检测此种声波信号时,环境噪声干扰较小,利用高频声波传感器对普通环境噪声不敏感的特点,可采用高频声波传感器检测高压液体通过小孔、狭缝时所发出的通过空气传播的高频声波,从而找出泄漏位置。

### 2.2 液压支架泄漏信号检测接收机的确定

根据实验室泄漏试验所测出的3~19 kHz的频段范围,设计确定滤波器的电路参数,有效滤除低频成分,由此来检测高压液体的泄漏。因此可以确定液压支架高压液体泄漏时产生的高频声波特征信号位于载波频率 $f_c$ 附近带宽 $B$ (其功率谱密度为 $N_0$ )为3~19 kHz,并且这个信号是随着时间逐渐衰落的<sup>[11]</sup>。可以假设支架液压泄漏声波信号为一个弱平稳的随机过程,其振幅的衰落符合瑞利衰落幅度。设信号符合以下假设:

$$\begin{cases} H_0: r(t) = A \cos(\omega t + \theta) + n(t) & (0 \leq t \leq T) \\ H_1: r(t) = n(t) & (0 \leq t \leq T) \end{cases} \quad (1)$$

式中,信号幅度 $A$ 为符合瑞利密度的一个未知量。

假定载波相位角 $\theta$ 未知,且是一个均匀分布的随机变量,在未知的多普勒频率 $f_D$ 的作用下,假设信号的似然比可以表达为

$$\lambda[\tilde{r}(t) | \omega_D] = I_0\left(\frac{2Aq}{N_0}\right) \exp\left(\frac{-A^2 T}{2N_0}\right) \quad (2)$$

式中, $\tilde{r}(t)$ 为假设信号的复包络; $\omega_D$ 为多普勒频移处理为相位 $\varphi(t)$ 的频率,即 $\varphi(t) = \omega_D t$ ;  $I_0(\gamma)$ 为第1类零阶修正贝塞尔函数,  $I_0(0) = 1$ ;  $q$ 为检验统计量;  $N_0$ 为带宽 $B$ 内的功率谱密度;  $A^2 T/2$ 为假设信号的能量表达式。

对未知多普勒频率 $f_D$ 假定某些密度,并在此密度上为式(2)的期望设置门限,可以得到针对式(1)的接收机表达形式。

例如假设在 $f_L \leq f_D \leq f_U$ 的范围内取某个指定密度 $p(f_D)$ 。将频率范围离散为以 $f_i$ 为中心、以 $\delta f$ 为宽

度的  $M = (f_U - f_L) / (\delta f)$  个单元,由此可以写出式(2)的期望

$$\varepsilon(\lambda) = \delta f \exp\left(-\frac{A^2 T}{2N_0}\right) \sum_{i=1}^M p(f_i) I_0\left(\frac{2Aq_i}{N_0}\right) \quad (3)$$

又由于假设信号幅度  $A$  符合瑞利密度选择的未知量,所以式(3)可以  $A$  为变量对式(2)求期望

$$\varepsilon(\lambda) = \delta f \left(1 + \frac{E_{av}}{N_0}\right)^{-1} \sum_{i=1}^M p(f_i) \times \exp\left[2\left(\frac{q_i E_{av}}{N_0^2 T}\right) / \left(1 + \frac{E_{av}}{N_0}\right)\right] \quad (4)$$

式中,  $E_{av}$  为假设信号能量的期望值,  $E_{av} = A_0^2 T$ 。

由于原先假设了多普勒频率具有均匀密度,因此可以将式(4)中的常数量折算进门限,则假设信号的接收机形式有

$$\gamma = \sum_{i=1}^M \exp\left[\frac{2q_i^2 E_{av} / (N_0^2 T)}{1 + E_{av} / N_0}\right] > \gamma_t \quad (5)$$

若有假设信号的信噪比很大的情况下,则对应于信号的频率单元的参量  $q_i$  就能决定式(5)中的和。此时求和的结果近似等于其最大项,式(5)的形式可以变为

$$\gamma \approx \max_i \exp\left[\frac{2q_i^2 E_{av} / (N_0^2 T)}{1 + E_{av} / N_0}\right] > \gamma_t \quad (6)$$

将常数折算进门限,则式(6)可以简化成

$$\gamma' = \max_i q_i > \gamma'_t \quad (7)$$

该接收机如图 2 所示。

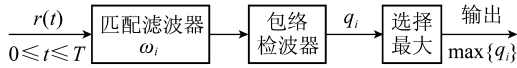


图 2 假设信号的检测接收机

Fig. 2 The detect receiver of hypothetical signal

### 2.3 支架液压泄漏检测的电路实现

任何一压电式传感器,包括加速度传感器和超声换能器,在其谐振频率附近均可由图 3 来等效,其中  $C_0$  为静态电容;  $C_1$ 、 $L_1$ 、 $R_1$  为动态电容、电感和电阻。一般来说,  $C_1$ 、 $L_1$ 、 $R_1$  为频率的函数,所测得的值是在其谐振频率上的值。

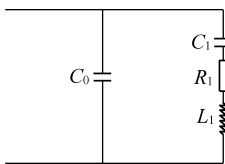


图 3 压电传感器在谐振频率附近的等效电路

Fig. 3 The equivalent circuit of piezoelectric sensor nearby its resonant frequency

由于  $C_0$  的影响,传感器在其谐振频率附近工作时整个电路呈电容性,故一般用电感进行匹配。其中

并联电感较易,只需并联电感上的值满足  $LC_0 = 1/W_0^2$ ,即达到调谐状态,整个电路呈现为一纯阻  $R_1$ ,如图 4 所示。

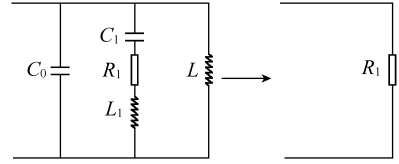


图 4 并联电感后的等效电路

Fig. 4 The equivalent circuit with shunt inductance

这样即可达到:① 调谐,使传感器输出电流和电压同相,以减少电路中的无功分量;② 调阻,使整个电路的有功电阻和传感器输出阻抗相接近,以达到最佳功率输出的目的。由于压电式传感器检测出的信号强度很弱,传感器所检测信号经过最佳匹配网络后才能输入给电荷放大器,经过放大、滤波、解调后才能进行显示。

### 3 支架液压泄漏检测的实践

根据支架液压泄漏检测原理与电路实现成功研制了支架液压泄漏检测仪,并在河南平顶山天安一矿 31060 工作面进行了液压支架泄漏故障的检测与泄漏位置的现场实测。

经过对整个工作面每一架液压支架进行了一个循环的检测之后得出如下结果:整个工作面支架共检测出故障 40 处。其中“外”泄漏串液 15 处,“内”泄漏串液 20 处,机械零件等损坏 5 处。将各类故障分为轻微故障、明显故障、严重故障和极严重故障,则各故障程度所占百分比如图 5 所示。

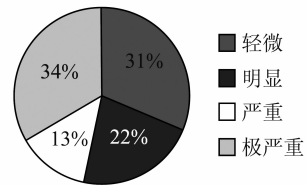


图 5 各故障程度占总故障数比例

Fig. 5 The proportion of every kind of failure

由图 5 可以看出,31060 工作面液压支架的严重故障和极严重故障占总故障的 47%,说明支架故障的维修率不高或者支架故障率较高。

通过实施综采工作面支架故障诊断及顶板安全保障技术,31060 工作面严格按照得出的支架-围岩控制指标来指导管理生产,产量从 60 586 t/月上升到 72 595 t/月,而且现场实际检测结果表明,KBF2 型支架液压泄漏检测仪在井下工作状况良好,支架检修工

根据“综采工作面支架故障诊断及顶板安全保障技术观测专题报告”对综采工作面液压支架进行维修,维修过程反馈的信息表明,采用 KBF2 型支架液压泄漏检测仪诊断支架故障没有发生漏报或误判故障现象;提高了对工作面支架-围岩观测(特别是支架泄漏故障检测)的及时性和准确性,从而保证了对工作面支架-围岩故障的及时维修,提高了工作面的安全生产水平。

## 4 结 论

(1) 液压支架常见故障的形式为支柱升降故障和千斤顶伸缩故障;而产生大部分故障的主导因素是液压泄漏。

(2) 液压支架泄漏检测的主要原理是利用高频声波传感器检测高压液体泄漏时所发出的高频声波,从而找出泄漏位置;分析了泄漏声波信号的特点,并运用概率论方法得出了泄漏信号的特征值  $q_i$  和检测接收机表达式。

(3) 液压支架泄漏检测的实践表明,液压泄漏检测仪能够适应煤矿现场的复杂生产条件,不但检测出了液压支架外部泄漏的故障部位,而且还能检测出人用直观方法不能检查出的内部泄漏、串液等故障,提高了泄漏故障检测的成功率,提前避免了严重故障的产生,提高了支架的工作质量,保障了工作面的生产安全。

## 参考文献:

[1] 吴 健,张 勇. 综放采场支架-围岩关系的新概念[J]. 煤炭学报,2001,26(4):350-355.  
Wu Jian,Zhang Yong. The new concept of relationship between support and surrounding-rock in longwall top-coal caving face[J]. Journal of China Coal Society,2001,26(4):350-355.

[2] 宁 宇. 大采高综采煤壁片帮冒顶机理与控制技术[J]. 煤炭学报,2009,34(1):50-52.  
Ning Yu. Mechanism and control technique of the rib spalling in fully mechanized mining face with great mining height[J]. Journal of China Coal Society,2009,34(1):50-52.

[3] 何富连,张卫国,张守宝. 综采面顶板安全保障及支架故障诊断技术[J]. 中国煤炭,2006,32(12):39-40.  
He Fulian,Zhang Weiguo,Zhang Shoubao. Techniques for guarantee roof safety and diagnosis of support failure in fully mechanized coal face[J]. China Coal,2006,32(12):39-40.

[4] 张守宝,何富连,谢生荣. 综放面端面顶煤稳定性分析及控制[J]. 煤炭工程,2007(11):70-71.  
Zhang Shoubao,He Fulian,Xie Shengrong. Analysis and control of top-coal stability in the prop-free area of a longwall face with sub-level caving mining[J]. Coal Engineering,2007(11):70-71.

[5] Yao Zhichang,Yang Zhiyi,Lin Bin. Analysis and identification of leakage failure in hydraulic system of hydraulic powered support [A]. Mining Science and Technology 99[C]. London:A. A. Balkema Publishers,2002:743-746.

[6] 张中金,李金艳. 液压支架液压系统泄漏原因及对策[J]. 煤矿机械,2005(7):134-135.  
Zhang Zhongjin,Li Jinyan. Leak and countermeasure of hydraulic system of hydraulic support [J]. Coal Mine Machinery,2005(7):134-135.

[7] 杜文正. 基于小波多尺度边缘检测的液压缸内泄漏故障诊断[J]. 液压与气动,2003(3):52-53.  
Du Wenzheng. The inner leakage fault diagnosis of the hydraulic cylinder based on the wavelet multi-scale edge detection[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics,2003(3):52-53.

[8] 樊永生,郑钢铁. 振动信号检测技术研究及其在故障诊断中的应用[J]. 应用力学学报,2006,23(3):388-392.  
Fan Yongsheng,Zheng Gangtie. Vibration signal detection with applications to fault diagnosis[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics,2006,23(3):388-392.

[9] 马启明,王宣银,杜栓平. 振动噪声影响下的舷侧阵信号检测方法[J]. 上海交通大学学报,2008,42(4):634-638.  
Ma Qiming,Wang Xuanyin,Du Shuanping. Signal detection method for flank sonar mainly affected by vibration noise [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,2008,42(4):634-638.

[10] 国雁萌,付 强,颜永红. 复杂噪声环境中的语音端点检测[J]. 声学学报,2006,31(11):549-554.  
Guo Yanmeng,Fu Qiang,Yan Yonghong. Speech endpoint detection in real noise environments[J]. Acta Acustica,2006,31(11):549-554.

[11] Robert N Mcdonough,Anthony D. 噪声中的信号检测(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社,2006:51-53.