

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2026.03.028

液压机构内部泄漏故障的诊断方法

王峰, 张家瑞, 刘永, 王岩, 张建磊, 苏伟, 辛承运, 常浩
(山东泰开高压开关有限公司, 山东泰安 271000)

摘要: 通过利用液压机构各模块高压油泄漏后必将经过回油孔流入到低压油箱的特点,设计监测工装,监测各模块回油孔油位的变化,从而直观快速诊断出内部泄漏的模块,予以针对性的清除。文中通过一起液压机构泄漏故障的诊断验证了此方法的正确与有效性,提高了检修的准确性与效率,为液压机构内部泄漏故障的诊断提供新的思路。

关键词: 液压机构; 油位; 监测工装; 内部泄漏

Diagnostic Method for Internal Leakage in Hydraulic Operating Mechanism

WANG Feng, ZHANG Jiarui, LIU Yong, WANG Yan, ZHANG Jianlei, SU Wei,
XIN Chengyun, CHANG Hao
(Shandong Tai Kai High Voltage Switch Co., Ltd., Shandong Taian 271000, China)

Abstract: In this paper, the monitoring tool is designed by adopting the characteristics that high-pressure oil leakage from various modules of the hydraulic operating mechanism inevitably flows through the oil return hole into the low pressure oil tank so to monitor the variation of oil return hole of each module and intuitively and quickly diagnose the module with internal leakage and as well as provide specific removal. In this paper the correctness and effectiveness of this method are verified through the diagnosis of a leakage fault of a hydraulic operating mechanism, which improve the accuracy and efficiency of maintenance and provide new ideas for the diagnosis of internal leakage faults in hydraulic mechanism.

Key words: hydraulic mechanism; oil level; monitoring tooling; internal leakage

0 引言

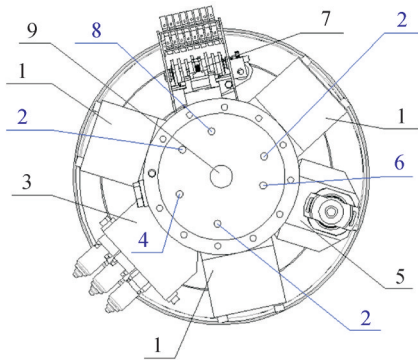
受益于液压机构输出功率大、负载匹配特性较好、可靠性高等特点,液压机构在电力系统中得到了广泛应用^[1-4]。内部泄漏故障为液压机构的常见故障^[5-10]。引起内部泄漏故障的原因主要是机构各密封部位密封不良引起的,由于密封部位较多,结构比较复杂,所以查找到具体的部位比较困难^[11-14]。目前排除故障采用分步检修法,即设备停电、机构泄压将机构的各个功能模块拆下后,全面分解检查。这种工作方法工作量大,费用高,工作重点不明确,工作需要的时间长^[15-18]。

文中利用液压机构各模块高压油泄漏后必将

经过回油孔流入到低压油箱的特点,在各模块回油孔处插上监测工装,监测各模块回油孔油量的变化,从而快速准确的诊断出泄漏模块,予以有针对性的清除,并通过一起液压机构泄漏故障的诊断验证了此方法的正确与有效性,提高检修的准确性与效率。

1 基本结构

液压机构在工作时为高油压状态,存在内部泄漏故障可能性的模块分别为储能模块、控制模块、充压模块、监测模块、工作模块,除工作模块的回油孔通向控制模块外,其余各模块都有通向低压油箱的回油孔,见图1。



1—储能模块; 2—储能模块回油孔; 3—控制模块;
4—控制模块回油孔; 5—充压模块; 6—充压模块回油孔;
7—监测模块; 8—监测模块回油孔; 9—工作模块。

图1 液压机构结构图

Fig. 1 Hydraulic mechanism structure diagram

根据液压机构原理,在合闸状态时,液压机构各模块的油压状态见图2。

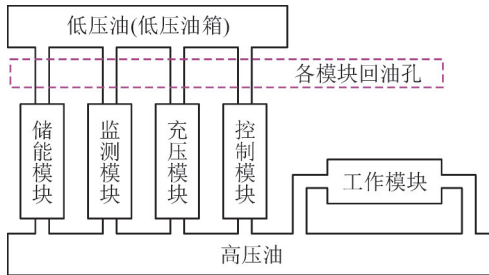


图2 液压机构各模块在合闸时的油压状态图

Fig. 2 Oil pressure status diagram of each module of the hydraulic mechanism during closing

合闸状态时,液压机构若发生内部泄漏故障,高压油必然通过储能模块、控制模块、充压模块、监测模块的回油孔流入低压油箱,工作模块因两侧都是高压油,暂不考虑。

在分闸状态时,液压机构各模块的油压状态见图3。

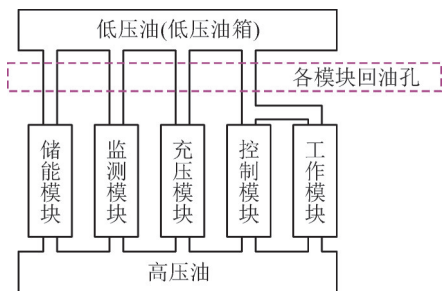


图3 液压机构各模块在分闸时的油压状态图

Fig. 3 Oil pressure status diagram of each module of the hydraulic mechanism during opening

分闸状态时,液压机构若发生内部泄漏故障,高压油也必将通过4个模块的回油孔流入低压油箱。其中,工作模块通过控制模回油孔流入低压油箱。

因此,低压油箱各模块回油孔的液压油变化量可作为各模块是否发生内部泄漏的准确判据。

2 诊断方法

2.1 监测工装

设计各回油孔的监测工装,以储能模块回油孔的监测工装为例,见图4。

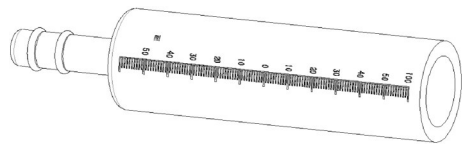


图4 储能模块的监测工装

Fig. 4 Monitoring fixture for energy storage module

监测工装由接头和监测棒组成,接头内部为通孔,一端设有两道密封圈与储能模块回油孔配合,另一端通过密封圈与监测棒螺纹连接。监测棒为透明材质,外部有刻度,中间为细监测孔,以准确监测油位变化,端部有粗监测孔,以便于注油及防止油液漏出。各模块监测工装见图5。

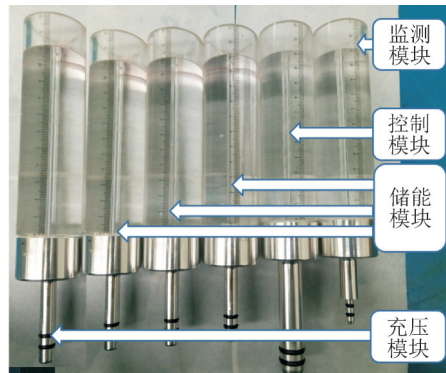


图5 各模块的监测工装

Fig. 5 Monitoring fixtures for each module

2.2 诊断方法

液压机构内部泄漏故障的诊断方法分为以下步骤:

- 1)将液压机构储满能,电机断电,拆除油箱上盖。
- 2)将监测工装插入对应的各个模块回油孔,见图6,使用滴管将各监测工装的油位调整至0刻度。
- 3)一段时间后观测各监测工装油位刻度值变化,确定泄漏模块。

2.3 诊断实例

2021年3月14日,国内某252 kV变电站三相联动瓷柱式断路器发生储能电机打压频繁现象,查看运行人员工作站告警数据,8 h内打压12次,液压机构外部无漏油痕迹。

将液压机构从断路器拆下,首先将液压机构储满能,电机断电,测量储能活塞此时行程为83 mm,

拆除油箱上盖。

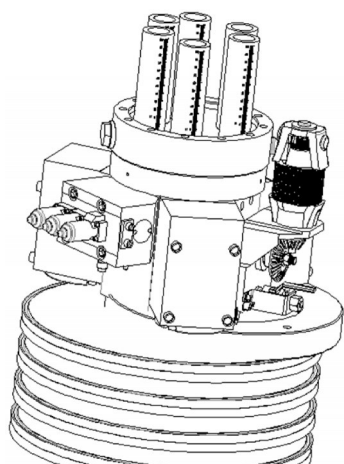


图6 液压机构插入监测工装状态图

Fig. 6 Hydraulic mechanism inserted monitoring fixture status diagram

将监测工装插入对应的各个模块的回油孔,使用滴管将各监测工装的油位调整至0刻度,见图7,记录此时时刻。

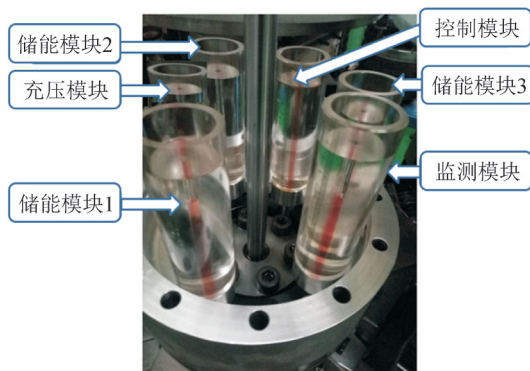


图7 各模块监测工装状态图

Fig. 7 Monitoring fixture status diagram for each module

4 h后,测量储能活塞此时行程为68.3 mm,观测各监测工装油位刻度值,见图8。

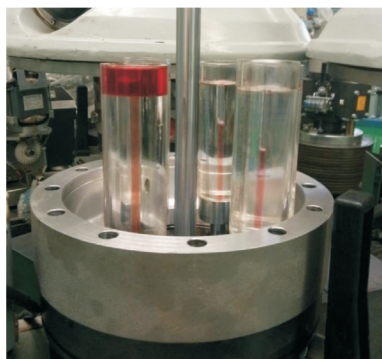


图8 各模块监测工装4 h后状态图

Fig. 8 Status diagram of each module monitoring fixture after 4 h

储能活塞行程在4 h的变化量为14.7 mm,储能缸的内径65 mm,忽略储能缸加工误差的影响,

在4 h内高压油泄漏的油量 $V=3\times(\pi\times 65^2/4)\times 14.7/1\ 000=146.3\text{ mL}$ 。各模块监测工装油位刻度值见表1。

表1 各模块监测工装油位刻度值表

Table 1 Oil level scale value table for monitoring tooling of each module

监测工装	油位刻度值/mL
储能模块1	89.0
储能模块2	-47.0
储能模块3	-46.0
充压模块	0.0
监测模块	1.5
控制模块	5.0

一般厂家规定断路器在无操作状态下电机每天启动的次数不能超过20次^[19-20]。电机启动1次,此液压机构的储能活塞行程3 mm,一天内高压油泄漏量不得超过 $20\times(\pi\times 65^2/4)\times 3/1\ 000=199\text{ mL}$,即每小时泄漏量不得超过8.3 mL。

储能模块在无内部泄漏的情况下,储能活塞行程变小,必然会导致储能模块监测工装的油位下降,油位下降量为 $(\pi\times 58^2/4)\times 14.7/1\ 000=48.8\text{ mL}$ 。储能模块1油位不降反而增高89 mL,4 h泄漏量 $89+48.8=137.8\text{ mL}$,每小时泄漏量34.5 mL,各模块泄漏信息表见表2。

表2 各模块泄漏信息表

Table 2 Leakage information table for each module

监测工装	4 h 泄漏量/mL	泄露速率/(mL·h ⁻¹)
储能模块1	137.8	34.50
储能模块2	1.8	0.45
储能模块3	2.8	0.70
充压模块	0.0	0.0
监测模块	1.5	0.38
控制模块	5.0	1.25

各模块的泄漏量总和为148.9 mL,与储能活塞行程计算的高压油泄漏的油量 $V(146.3\text{ mL})$ 误差在2%以内。由表2可知,储能模块1的泄漏速率34.5 mL/h 远大于厂家规定的液压机构泄漏速率8.3 mL/h,储能模块1为引起液压机构内部泄漏故障的模块。

现场更换储能模块1,冲洗油路后,注入新液压油,在额定压力保压试验(分合闸位置各8 h)中,电机分别启动1次,打压频繁消失,内部泄漏故障消除,随后恢复断路器。

将更换下来的储能模块1回厂拆解,发现储能活塞的斯特封处有划伤,见图9。有触感,深度约0.2 mm。

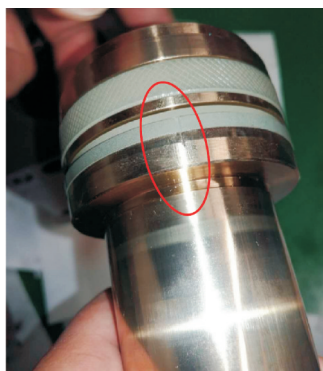


图9 储能活塞划伤图

Fig. 9 Scratches on the energy storage piston

3 结语

文中利用液压机构各模块高压油泄漏后必将经过各模块的回油孔流入到低压油箱的特点,设计各模块的监测工装,通过监测各回油孔油量的变化,从而快速准确的诊断出泄漏模块,予以针对性的清除,此方法简单可靠,实用性强,大大提高了检修的准确性与效率。这为液压机构内部泄漏故障的诊断提供新的思路。

参考文献:

- [1] 刘亚芳. 国内外高压SF₆断路器运行状况及维修策略综述[J]. 电力设备, 2002, 3(1): 26-29.
LIU Yafang. Strategy review of operating conditions and maintenance of high voltage circuit breaker in the domestic and aboard[J]. Electrical Equipment, 2002, 3(1): 26-29.
- [2] 苑 舜. 高压断路器液压操动机构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
YUAN Shun. High voltage circuit breaker hydraulic operating mechanism[M]. Beijing: China Machine Press, 2000.
- [3] 徐国政. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
XU Guozheng. Principle and application of high voltage circuit breaker[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.
- [4] 范兴明, 许洪华, 张思舜, 等. 基于改进蜣螂优化算法深度混合核极限学习机的高压断路器故障诊断[J]. 电工技术学报, 2025, 40(12): 3994-4003.
FAN Xingming, XU Honghua, ZHANG Sishun, et al. Fault diagnosis of high voltage circuit breaker based on improved dung beetle optimizer algorithm deep hybrid kernel extreme learning machine[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2025, 40(12): 3994-4003.
- [5] 常 广, 张振乾, 王 毅. 高压断路器机械故障振动诊断综述[J]. 高压电器, 2011, 47(8): 85-90.
CHANG Guang, ZHANG Zhenqian, WANG Yi. Review on mechanical fault diagnosis of high-voltage circuitbreakers based on vibration diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(8): 85-90.

- [6] 周仙娥, 史芳颖, 康子雄, 等. 断路器用液压操动机构储能碟簧的可靠性研究[J]. 高压电器, 2015, 51(1): 98-104.
ZHOU Xiane, SHI Fangying, KANG Zixiong, et al. Reliability research of storage disc springs of hydraulic operating mechanism for circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(1): 98-104.
- [7] 杨慧钦. 提高高压断路器可靠性的动向[J]. 高压电器, 1998, 34(2): 61-62.
YANG Huiqin. To enhance the reliability of high voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 1998, 34(2): 61-62.
- [8] 鄢呈阳, 王立军, 张闻哲, 等. 并联双线圈式直流接触器电磁机构合闸动作特性[J]. 电力工程技术, 2024, 43(1): 201-211.
YAN Chengyang, WANG Lijun, ZHANG Wenzhe, et al. Closing action characteristics of the electromagnetic mechanism of the parallel double coil type DC contactor[J]. Electric Power Engineering Technology, 2024, 43(1): 201-211.
- [9] 张旭宏, 陈保伦. 断路器用大功率液压操动机构的设计[J]. 高压电器, 2010, 46(1): 1-4.
ZHANG Xuhong, CHEN Baolun. Design of the high power hydraulic operating mechanism for CB[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(1): 1-4.
- [10] 杨会民, 宋明刚. HPL-550B2型断路器故障分析[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 114-115.
YANG Huimin, SONG Minggang. Fault analysis of HPL-550B2 circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 114-115.
- [11] 牛 博, 王 森, 李志忠, 等. 断路器机械特性的监测和故障诊断[J]. 低压电器, 2012(14): 16-21.
NIU Bo, WANG Sen, LI Zhizhong, et al. Mechanic characteristics monitoring and fault diagnosis of circuit breaker[J]. Low Voltage Apparatus, 2012(14): 16-21.
- [12] 马宏明, 周涛涛, 彭诗怡, 等. 一起220 kV SF₆断路器合闸不到位故障及分析[J]. 高压电器, 2018, 54(7): 224-230.
MA Hongming, ZHOU Taotao, PENG Shiyi, et al. Failure analysis of a 220 kV SF₆ circuit breaker closing not in place[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(7): 224-230.
- [13] 张东进, 何柏娜, 程 婷, 等. 基于振荡回路的光伏直流断路器拓扑结构设计[J]. 供用电, 2024, 41(6): 97-107.
ZHANG Dongjin, HE Baina, CHENG Ting, et al. Topology design of photovoltaic DC circuit breaker based on oscillation circuit[J]. Distribution & Utilization, 2024, 41(6): 97-107.
- [14] 巫环科, 陈永佳. 500 kV HGIS 液压操作机构打压频繁的分析及对策[J]. 高压电器, 2012, 48(2): 119-122.
WU Huanke, CHEN Yongjia. Analysis and countermeasures to frequent pressurizing of 500 kV HGIS hydraulic operating mechanism[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(2): 119-122.
- [15] 金旭明. 液压弹簧操作机构在高压断路器领域中的应用及故障处理[J]. 科技创新导报, 2013(3): 102-103.
JIN Xuming. Application and fault treatment of hydraulic spring operating mechanism in high voltage circuit breaker[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(3): 102-103.
- [16] 陈 曦, 梁灿强. GIS 设备安装调试中发现的两类主要问题及分析处理[J]. 广东输电与变电技术, 2004(1): 56-58.
CHEN Xi, LIANG Canqiang. Two main kinds of problem and its analysis/treatment in installing and testing GIS[J]. Guangdong

- Powertransmission Technology, 2004(1):56-58.
- [17] 施文耀.开关液压机构[M].北京:北京机械工业出版社,1990.
SHI Wenyao.Switch hydraulic mechanism[M]. Beijing: China Machine Press,1990.
- [18] 李海波,万荣兴.800 kV 罐式断路器液压机构渗油的分析及对策[J].高压电器,2012,48(9):104-107.
LI Haibo, WAN Rongxing.Analysis and countermeasures to oil leakage fault of 800 kV pot breakers hydraulic mechanism[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(9): 104-107.
- [19] 高压交流断路器:GB 1984—2024[S].2024.
High-voltage alternating-current circuit-breakers: GB 1984—2024 [S].2024.
- [20] 中国南方电网有限责任公司.电力设备检修规程:Q/CSG 1205001—2014[S].2014.
China Southern Power Grid Co., Ltd. Maintenance regulations for power equipment:Q/CSG 1205001—2014[S].2014.
- 王峰(1981—),男,高级工程师,研究方向为高电压与绝缘技术(E-mail:wangf@sdtaikai.com)。
- 张家瑞(1992—),男,工程师,研究方向为高电压与绝缘技术(通信作者)(E-mail: taikaizjr@126.com)。

《高压电器》2026年3期广告单位

封一:奥顿电气集团有限公司

封二:西安高压电器研究院股份有限公司(业务)

封三:史陶比尔(杭州)精密机械电子有限公司

封四:上海乐研电气有限公司

前彩1:杭州之江开关股份有限公司

前彩2:西安华伟电力电子技术有限责任公司

前彩3:温州昌泰电气有限公司

前彩4:中国振华电子集团宇光电工有限公司

前彩5:陕西龙翔电器有限公司

前彩6:陕西泰普瑞电工技术有限公司

前彩7:公益广告

前彩8:西安高压电器研究院股份有限公司(认证)

后彩1:扬州金源机器人自动化设备有限公司

后彩2:成都双高实业有限责任公司

后彩3:良信电器(海盐)有限公司

后彩4:广州创研智能科技有限公司