

HMB-4型液压弹簧机构缺陷处理与关键检修策略

曾令诚, 李新海, 林悦德, 孟晨旭, 梁景明, 曾新雄, 雷 旺

(广东电网有限责任公司中山供电局, 广东 中山 528400)

摘要: 为提高HMB-4型断路器机构现场缺陷处理及检修能力, 通过统计分析HMB-4型断路器机构的缺陷及其危害, 针对其常见缺陷, 从HMB-4型断路器的工作原理出发, 总结并制定了一套HMB-4型断路器机构关键检修技术; 论证了现场消缺及检修质量的好坏与对设备理论的掌握程度息息相关; 为现场作业提供了理论及经验参考。

关键词: HMB-4; 工作原理; 检修内容; 储能; 缺陷处理

Defect treatment and key maintenance strategy of HMB-4 hydraulic spring mechanism

ZENG Lingcheng, LI Xinhai, LIN Yuede, MENG Chenxu, LIANG Jingming, ZENG Xinxiong, LEI Wang

(Zhongshan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Zhongshan 528400, China)

Abstract: In order to improve the capacity of on-site defect treatment and maintenance of HMB-4 circuit breaker mechanism, the defects and hazards of HMB-4 circuit breaker mechanism are analysed. In view of its common defects, based on the working principle of HMB-4 circuit breaker, a set of key maintenance technologies of HMB-4 circuit breaker mechanism are summarized and developed. The quality of field defect elimination and maintenance is demonstrated, which is closely related to the degree of equipment theory. It provides theory and experience reference for field operation.

Key words: HMB-4; working principle; maintenance content; energy storage; defect treatment

0 引言

ABB生产的HMB-4型液压弹簧机构(简称HMB-4型机构)采用模块化集成设计, 模块间的连接均用法兰径向安装于工作缸周围, 无任何连接管道, 且其综合了液压操动机构和弹簧储能的优点, 能量的储存靠碟簧完成, 经高压油传递能量至操作杆实现分合闸操作, 相比于其他操动机构具有较高的操作稳定性以及

可靠性^[1]。其广泛运用于220 kV、110 kV GIS断路器中。

据运行经验表明, 该机构在运行过程中会出现储能电动机频繁打压、传动伞齿轮损坏、机械特性不合格、漏油和接点松动等缺陷。上述缺陷如不及时处理, 将可能引起断路器闭锁分闸, 导致越级跳闸, 扩大停电范围, 严重者将导致母线失电压或供电区域大面积停电, 影

响系统供电可靠性。按厂家规定,每6年应进行一次机构检修。相比于其他操动机构,该机构现场检修经验相当有限^[2]。因此,本文对HMB-4型机构工作机理、缺陷进行分析,提出了HMB-4型机构检修运维的关键技术,为HMB-4型机构规范化检修提供参考。

1 HMB-4型机构常见缺陷与危害

运行经验表明,中山供电局平均每年有15.3项缺陷发生,且因缺陷导致的停电天数平均每年约为22.3天,严重影响了供电可靠性。据统计,该机构发生缺陷概率较高的模块有动力模块、监测模块和控制模块。常见缺陷包括储能电动机频繁打压、储能故障、防慢分装置失效、储能锥齿轮损坏及机械特性试验数据不合格等,具体如表1所示。上述缺陷如不及时处理,将直接或间接导致断路器停运或被迫退出运行,给供电可靠性带来严重影响。

表1 中山供电局HMB-4型机构缺陷类型统计

Tab. 1 Statistics of defect types of HMB-4 institutions in Zhongshan Power Supply Bureau

缺陷模块	缺陷表象	缺陷次数
动力模块	电动机频繁打压、烧毁、回路故障和锥齿轮损坏	17
储能模块	储能不到位、无法储能	1
控制模块	分合闸线圈烧毁、机械特性试验不合格	9
工作模块	液压油有杂质、气泡	4
监测模块	接点接触不良、部件损坏	15

2 HMB-4型机构的工作原理

HMB-4型机构由储能模块、控制模块、动力模块、工作模块和监测模块组成。它通过碟簧储能、液压驱动、传递和控制能量。工作原理是:通过储能电动机将低压油打压至高压油腔并推动碟簧储能,控制液压油流向,实现分合闸操作。具体工作机理如下。

2.1 储能机理

储能电动机起动打压时,油泵将低压油箱

的油压入高压油腔,三相相同结构的储能活塞在高压油压力的作用下,推动支撑环向下压缩碟簧而储能,为断路器合闸积蓄了能量。同时,由于支撑环的向下运动,释放了防慢分装置中压缩的弹簧使其恢复至与操作杆平行的状态。如图1所示,红色表示高压油,蓝色表示低压油,此时充满高压油的部位有高压油腔、操作杆上部、换向阀下部及合闸线圈下侧(上侧与低压油腔连通,使其两侧存在压力差)。此时,换向阀与合闸线圈阻断了高压油与低压油腔的通路,高压油使断路器保持在储能状态,为合闸做准备。此刻断路器在分闸位置,机构已储能。

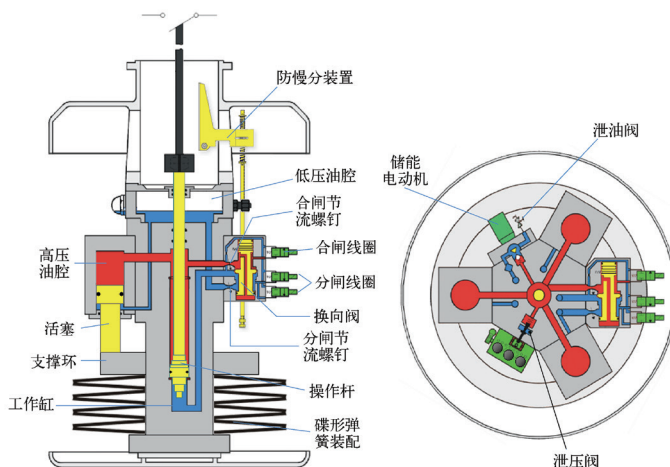


图1 已储能(分闸状态)

Fig. 1 Stored energy (Open position)

2.2 合闸机理

合闸线圈带电时,合闸电磁阀动作,使合闸线圈上下两侧导通,从而使合闸线圈下侧的高压油流经合闸电磁铁导通孔进入合闸线圈上部的低压油侧,此时换向阀的顶部充满了高压油,驱动换向阀阀体向下动作。换向阀阀体的向下运动打开了高压油与操作杆下部的通道,以及使分闸线圈上部充满高压油(建立压差),同时还切断了与低压油腔的通道。此刻操作杆上部与下部均充满了高压油,即操作杆上部、下部的压强 P 相等(压强 P 的大小由碟形弹簧压缩的势能决定,即高压油起到传递能量的作用),但由于操作杆下部的受力面积 S 大

于上部的受力面积，根据压力计算公式 $F=PS$ 可知，操作杆下部的受力大于上部的受力，形成了压力差，操作杆在此压力差的推动下克服了自身重量快速向上运动，从而实现了断路器的合闸过程（靠合闸阻尼环和触头插入产生的摩擦力、操作杆摩擦力使其合闸到位后停止运动）。待合闸完成后，靠高压油继续保持断路器处于合闸位置，如图2所示。

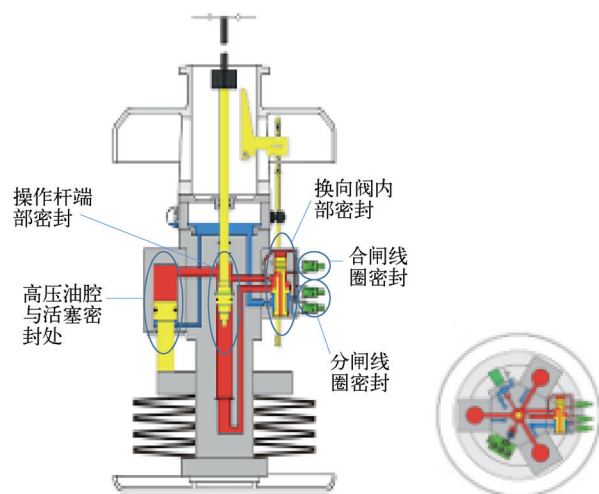


图2 合闸位置（高压油保持）

Fig. 2 Close position(High pressure oil retention)

2.3 分闸机理

由图2的位置状态信息可知，分闸线圈上部充满高压油，下部充满低压油，两侧形成压差，当分闸线圈带电时，分闸电磁铁动作，高压油经分闸电磁铁导通孔进入分闸电磁铁下部，迫使换向阀向上运动。换向阀的向上运动使得操作杆下部的高压油与低压油腔导通而迅速失电压，操作杆上部的高压油与下部的低压油形成压差，在此压差与操作杆自重的双重作用下，操作杆迅速向下运动实现分闸过程（靠分闸阻尼环、操作杆摩擦力使其分闸到位后停止运动）。

2.4 防慢分装置工作机理

如图3所示，断路器在合位，若高压油缸中的高压油由于某些原因（如管路渗漏、密封破损等）而失电压，此时压缩的碟形弹簧由于失去高压油的束缚而恢复到拉伸状态，促使支撑

环向上运动，其将推动防慢分装置拉杆向上运动，从而使防慢分装置的拐臂在固定销的作用下发生偏转，顶住断路器操作杆使其不往下运动，同时压缩防慢分装置内部的弹簧储能。一旦启动电动机打压储能，使高压油腔充满高压油，压缩碟形弹簧向下运动储能，防慢分装置由于自身储能弹簧的作用而恢复到初始状态，不至于影响断路器的正常分合闸操作。

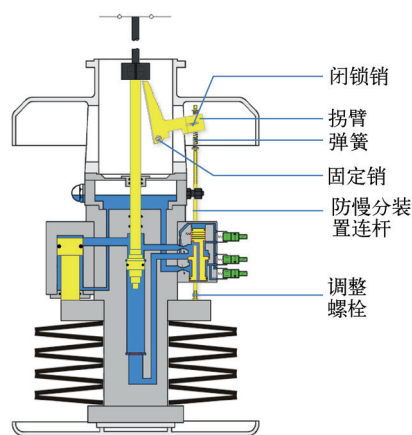


图3 合闸位置（失电压状态）

Fig. 3 Close position(Loss of pressure state)

3 HMB-4型机构检修关键技术

3.1 动力模块检修关键技术

图4为动力模块结构，其主要包括储能电动机、齿轮传动装置、偏心轴、液压泵和油位表等，动力模块位于工作缸外部。主要功能是储能电动机将低压油腔内油通过偏心轮打压至高压油腔，建立压差，并压缩碟簧储能。

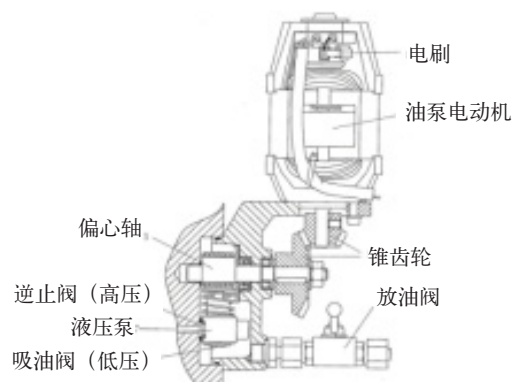


图4 动力模块

Fig. 4 Power module

该模块在运行中可能出现储能电动机频繁打压、无法储能及锥齿轮批量损坏等缺陷,给设备安全带来了威胁。

(1) 储能电动机频繁打压检修关键策略

通过运行记录分析,HMB-4型机构每天储能打压超过10次可确认为储能电动机频繁打压。出现电动机频繁打压的最直接原因是油路发生了泄漏或电动机二次控制回路接点问题^[3]。油路发生泄漏包括外部泄漏与内部泄漏^[4-5]。

图5为电动机频繁打压时的检修关键策略。当储能电动机发生频繁打压时,首先检查HMB-4型机构表面及机构箱底部,若发现有外漏油迹或部件(如锥齿轮)损坏,则更换外漏部件及伞齿轮。同时,检查储能电动机二次回路是否存在问题。若外部检查与二次回路均正常,则判定该机构为内渗漏。根据HMB-4型机构的工作机理可得,可能的内渗漏点有(见图2):①换向阀内部;②高压油腔与活塞密封处;③操作杆端部;④合闸线圈底部;⑤分闸线圈底部。根据断路器位置状态,储能电动机频繁打压可分以下三种情况:①断路器在分位时,储能电动机频繁打压,在合位时,储能电动机频繁打压现象消失;②断路器在合位时,储能电动机频繁打压,在分位时,储能电动机频繁打压现象消失;③断路器在分位、合位时,储能电动机均频繁打压。

当断路器在分位时,储能电动机频繁打压;而在合位时,储能电动机频繁打压现象消失。由工作机理可知,在分位出现打压频繁时,可能的内渗漏点有:①换向阀内部;②高压油腔与活塞密封处;③操作杆端部;④合闸线圈底部。而断路器在合位时,储能电动机频繁打压消失,可排除以下两处内渗漏点存在内渗漏:①换向阀内部;②高压油腔与活塞密封处。因此,可能的内渗漏点为合闸线圈底部和操作杆端部两处。此时可采取更换合闸线圈的措施,确认该频繁打压缺陷是否消失,若消失则断定为合闸线圈内渗漏;否则,为操作杆端部内渗漏,需联系厂家进行解体检修。

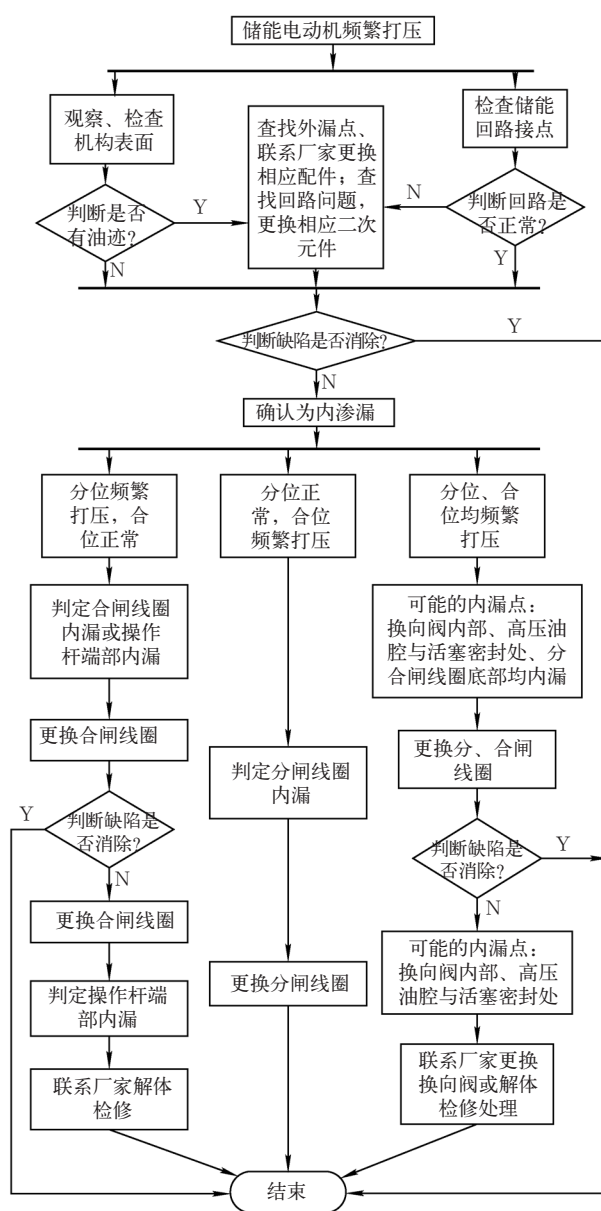


图5 电动机频繁打压检修关键策略

Fig. 5 Key strategy of frequent pressure maintenance for motor

当断路器在合位时,储能电动机频繁打压;在分位时,储能电动机频繁打压现象消失。同理可推得,分闸线圈底部存在内渗漏。因此,需更换分闸线圈,储能电动机频繁打压即可消除。

当断路器在分位、合位时,储能电动机均频繁打压。推得可能的内渗漏点为:①换向阀内部;②高压油腔与活塞密封处;③分合闸线圈底部同时内渗漏。因此其关键检修策略为:同时更换分合闸线圈,若频繁打压缺陷未消

失，则可能的内渗漏点为换向阀内部和高压油腔与活塞密封两处，此时，可联系厂家更换换向阀或解体检修，直至频繁打压缺陷消失。

(2) 机构无法储能检修关键策略

机构无法储能主要有以下两种情况：电动机无法启动和电动机有运转但无法储能。

1) 当电动机无法启动时，其检修关键策略如下：①检查控制电源断路器是否跳闸；②检查电动机电刷运行情况，要求为表面清洁、无污垢，电刷厚度应大于11 mm，否则需更换^[6]，电刷固定应牢固；③检查电动机是否损坏^[7]；④检查电动机二次控制回路是否有接点松动等问题。

2) 当电动机有运转但无法储能时，其检修关键策略如下：动力模块中检查锥齿轮是否损坏（如存在裂痕等），因该锥齿轮有部分厂家采用塑料材质，在运行中已发生多起因锥齿轮破裂而无法打压储能的严重缺陷。

3.2 储能模块检修关键技术

储能模块主要包括碟簧装置及三个活塞。其功能是利用高压油通过三个活塞作用在碟形弹簧上压缩碟形弹簧变形储能。

根据运行经验，该模块发生缺陷的概率很小，运行比较稳定。该模块中的活塞与高压油腔如发生内漏，将造成储能电动机频繁打压。同时，该模块中碟簧的压缩量可通过监测模块中的限位开关反映其是否处于储能状态。如限位开关未指示至储能状态，则需检查动力模块。

3.3 控制模块检修关键技术

控制模块主要是换向阀，通过电磁阀控制换向阀的活塞运动，实现断路器的分合闸，同时，调整节流阀可调节分合闸速度。

该模块若发生内漏将造成储能电动机频繁打压，同时，该模块可控制分合闸速度。因此，该模块的检修关键策略为：测量分合闸线圈电阻在合格范围内，如不合格，需更换分合闸线圈。其标准参数如表2所示。

2) 对断路器进行机械特性试验^[8-9]、分合闸线圈低动作电压试验，220 kV断路器参数如表

表2 标准参数

Tab. 2 Standard parameters

(单位: Ω)

项目	额定电压 220 V	额定电压 110 V
合闸线圈电阻	154	36
分闸线圈电阻	154	36

3所示。若分合闸时间不合格时，除机构卡涩、弹簧疲劳和渗漏油等机械原因造成分合闸时间不合格外，还包括液压油中含杂质等原因，因此须考虑重新更换新的合格液压油，并对液压油反复抽真空排出气泡，重新测量分合闸时间直至合格。同时，液压油中的杂质颗粒及污染物沉积会造成该模块中的液压阀阀芯动作失常，出现电磁阀拒动作的现象^[10]。

表3 220 kV断路器参数

Tab. 3 220 kV circuit breaker parameters

项目	合闸速度 /(m/s)	分闸速度 /(m/s)	合闸时间 /ms	分闸时间 /ms	合闸 不同期	分闸 不同期
参数	4.2±0.6	8.3±0.6	60±10	19±5	≤5	≤3

若分闸速度不合格，可微调分闸节流螺钉（见图1），顺时针微调可降低分闸速度，逆时针微调可提高分闸速度。同理，若合闸速度不合格，需微调合闸节流螺钉。节流螺钉的作用是控制高压油的油流速度。当分合闸线圈低动作电压试验不合格时，需更换分合闸线圈，并重新做机械特性试验。

3.4 工作模块检修关键技术

该模块为主模块，包括工作缸、液压油、操作杆和集成的阻尼系统。其功能是通过操作杆直接实现断路器的分合闸操作。该模块发生的故障率较小，根据前述可知，其内漏可导致机构频繁打压。

如果液压油含气泡，可能导致电动机频繁打压或无法储能。因此，现场对液压机构的液压油进行抽真空处理可消除该缺陷。

此外，高压油中的杂质不仅影响分合闸时间，而且杂质随着油流进入工作缸时有可能粘附在工作缸壁上，并随操作杆一起上下运动而划伤工作缸壁或阻尼系统。因此定期更换液压

油是十分必要的，电力检修试验规程规定，“运行24年需更换液压油；或在检修过程中出现机械特性试验不合格时，需立即更换液压油。”

3.5 监测模块检修关键技术

监测模块主要包括限位开关、反映碟簧压缩量的信号灯和压力释放阀。限位开关监测碟簧的储能状态，可直接反映碟簧的压缩量，也可闭锁分合闸操作。压力降低时，可自动起动机打压。该模块关键检修策略为：辅助开关传动机构的检查，辅助开关传动机构中的连杆连接，辅助开关切换应无异常；辅助开关应安装牢固，转动灵活，切换可靠，接触良好，并进行除尘清洁工作。

3.6 防慢分装置检修关键技术

某变电站HMB-4型断路器的防慢分装置被撞坏的情形如图4所示。其直接后果为防慢分装置严重变形且卡入机构内部，进一步使断路器操作杆发生偏移断裂、辅助开关无法正常切换等严重后果。

经分析其原因为：①检修前未将防慢分装置闭锁销拔出是其最直接的原因，若将闭锁销拔出，防慢分装置中的拐臂将不受连杆的驱动，始终与操作杆平行，将不影响断路器的分合闸操作；②碟形弹簧还处于半压缩状态（未完全储能完成），高压油未完全卸能，储能电动机由于无电源未继续储能，此时对断路器进行分闸操作，势必损坏防慢分装置。因此检修时，必须将防慢分装置闭锁销拔出。分合闸操作时，必须待储能完成后再进行相应操作。同时，应检查该防慢分装置是否能可靠动作。当断路器本体在合闸时，由零压开始建压至额定压力过程中，检查本体合闸位置应保持无变化，失电压防慢分装置应正确动作。

4 实施效果

针对该机构类型断路器，中国南方电网有限责任公司《电力设备检修试验规程》规定每六年对断路器进行一次规范化检修，并编制了



图4 防慢分装置损坏

Fig. 4 Damaged interlocking device

相应的作业指导书。严格按照指导书的规定要求执行检修并验收。在实际的现场检修中按文中提出的检修策略对HMB-4型液压弹簧机构进行消缺，保证了缺陷消除的及时性，并取得了良好的效果，提高了HMB-4型液压弹簧机构的可靠性。截止2018年，已完成了207台HMB型机构检修，发现并解决了以下问题：

①机械特性试验不合格；②因现场检修经验缺乏，导致防慢分装置损坏；③因锥齿轮采用塑料材质、运行年限较久的机构，锥齿轮易发生裂纹而导致电动机无法储能；④储能电动机烧毁。上述问题的发现与解决为该机构断路器的检修积累了经验。

5 结束语

HMB-4型机构由于相比其他机构具有较高的可靠性而广泛运用于GIS断路器中，对其工作原理、检修关键技术和常见缺陷进行分析，为GIS设备检修技术添砖加瓦，为现场工作提供了一定的理论及经验参考。

参考文献

- [1] 张安平. HMB-4型液压弹簧机构[J]. 华通技术, 2002(4): 35-38.
ZHANG Anping. HMB-4 hydraulic spring mechanism [J]. Hua Tong Technology, 2002 (4): 35-38.
- [2] 韩筱慧, 闻飞翔, 费宇, 等. HMB-4型液压弹

- 簧操动机频繁打压故障的现场检修[J]. 浙江电力, 2015, 34(4): 69-72.
- HAN Xiaohui, WEN Feixiang, FEI yu, et al. On-site maintenance of frequent pressurizing for HMB-4 hydraulic spring operating mechanism[J]. Zhejiang Electric Power, 2015, 34 (4): 69-72.
- [3] 由建, 焦建红. 高压SF₆断路器机构故障及二次回路分析[J]. 电气应用, 2009, 28(13): 36-37.
- YOU Jian, JIAO Jianhong. Fault analysis of high voltage SF₆ circuit breaker mechanism and secondary circuit[J]. Electrotechnical Application, 2009, 28 (13): 36-37.
- [4] 朱莎, 付震东. 断路器液压机构频繁打压处理分析及自动排气辅助装置设计[J]. 电工技术, 2018(9): 89-91.
- ZHU Sha, Fu Zhendong. Analysis and treatment on the frequent bulge of hydraulic mechanism for circuit breaker and design of automatic exhaust auxiliary device[J]. Electric Engineering, 2018 (9): 89-91.
- [5] 张作状. 液压弹簧操动机缓冲结构的仿真研究[J]. 液压与气动, 2018(4): 115-119.
- ZHANG Zuozhuang. Design and research on buffer structure of hydraulic spring operating mechanism[J]. Chinese Hydraulics and Pneumatics, 2018 (4): 115-119.
- [6] 马丽, 李凯, 吴鹏飞, 等. 电动机拖动实验中常见故障的分析与解决办法[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2017(2): 24-26.
- Ma Li, Li Kai, Wu Pengfei, et al. Analysis and solution of common faults in motor drive experiment[J]. Journal of Hebei Engineering Technical College, 2017 (2): 24-26.
- [7] 曾令诚, 陈发广. 开关机械特性实验原理 [J]. 云南电力技术, 2017, 45(4): 58-61.
- ZENG Lingcheng, CHEN Faguang. The principle and case analysis of breaker mechanical characteristics test[J]. Yunnan Electric Power, 2017, 45(4): 58-61.
- [8] 王文勇. 液压弹簧操动机分闸动作电压限值的改进[J]. 高压电器, 2008, 44(1): 78-80.
- WANG Wenyong. Improverment of release coil voltage action limit of hydrarlic-spring operating mechanism[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(1): 78-80.
- [9] 田阳, 林莘, 徐建源, 等. 液压弹簧机构永磁液压阀设计及特性分析[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 40-43.
- TIAN yang, LIN Xin, XU Jianyuan, et al. Design and characteristic analyze of permanent magnet hydraulic valve in hydraulic spring mechanism[J]. High Voltage Appliances, 2009, 45 (1): 40-43.
- [10] 陈强. 断路器液压弹簧操动机故障分析及处理[J]. 电气技术, 2017(8): 122-124, 128.
- CHEN Qiang. Fault analysis and treatment of the hydraulic spring mechanism of circuit breaker[J]. Electrical Technology, 2017 (8): 122-124, 128.

作者简介



曾令诚

曾令诚(1986—),男,工程师,主要从事变电站检修等相关工作。

李新海(1971—),男,高级工程师,主要从事变电设备运行、检修管理及研究工作。

(收稿日期:2018-06-22)EA