

基于在线监测的开关特性分析

闫海宁

(国网宁夏电力公司检修公司, 银川 750001)

摘要: 采用先进高压断路器状态在线监测系统监测断路器的分合闸运动状态及分合闸线圈的电流波形, 获得弹簧的运行状态, 随时监测断路器弹簧性能、弹簧的疲劳程度。解决了弹簧操作机构中重要元件弹簧在运行中的状态不易测量的问题, 同时, 从断路器分合闸线圈的波形, 能够判断出线圈是否卡滞, 辅助开关是否正常切换等常见故障, 为断路器可靠安全运行提供有效的保证。

关键词: 断路器; 操作机构; 弹簧; 线圈电流; 在线监测

中图分类号: TM56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)08-0119-05

Analysis of Switchgear Performance Based on On-line Monitoring

YAN Haining

(Maintenance Company, State Grid Ningxia Power Company, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The advanced on-line monitoring system is applied to monitor the circuit breaker closing and opening motions and current waveform of closing and opening coil in order to obtain the running state of the spring and to monitor the spring fatigue performance at any time. It solves the problem that the spring which is the most important component in the operating mechanism is difficult to monitor in the running status. Meanwhile, some common faults, such as whether the coil is binding or the auxiliary switch is failures etc. can be judged from the current waveform of the closing and opening coil. It provides effective guarantee to reliable and safety operation of the circuit breakers.

Key words: circuit breaker; operating mechanism; spring; coil current; on-line monitoring

0 引言

高压断路器是电力系统中的关键元件,用于开断故障情况下的短路电流并隔离故障回路。根据 CIGRE 报告,超过 90%的断路器故障都是机械原因引起的。断路器操动机构开关设备中起着重要作用^[1],开关设备的可靠性总体上取决于操动机构的成功操作。

弹簧操动机构是高压断路器普遍采用的一种机构形式^[2-3],弹簧操作机构的可靠性和安全性在很大程度上依靠弹簧的性能^[4]。在高压断路器运行过程中,随着断路器运行时间、操作次数的增加,其操作机构的主要动力部件——弹簧的性能将会发生变化,弹簧将出现疲劳现象^[5]。当弹簧疲劳达到一定程度,将无法产生足够的合闸、分闸动力,导致断路器合闸、分闸速度不够,合闸、分闸不到位,甚至可能发

生拒分或拒合,造成电网的重大事故^[6]。所以,随时了解断路器弹簧性能、弹簧的疲软程度对保证断路器可靠安全运行至关重要。

分合闸脱扣线圈是保证断路器能够分合闸正常动作的另一个重要因素^[7],在运行中,时常由于分合闸线圈的卡滞,造成断路器拒分或拒合现象,或由于辅助开关的不正常切换,造成分合闸线圈的烧损,最终导致断路器拒分或拒合,使电网在故障时无法正常切除故障段,造成重大损失。

1 断路器机械特性分析

通过对运行中的断路器机械性能监测,能够实现断路器的状态评估。

针对断路器的机械状态的评估,已有大量的文章,主要集中在监测装置的研制^[8-12],故障类型的统计^[13],算法的研究^[14],有些文章还说明了曲线上下限

值的报警值^[5],未有文章涉及产品中具体的故障模式,例如弹簧疲劳,线圈匝间短路等故障的评估。

对于弹簧操作机构驱动的高压断路器来说,在断路器运行过程中,虽然无法通过直接测量来得到弹簧操作机构中弹簧的运行状态,但是当断路器机构的弹簧疲劳时,断路器分/合闸速度、分/合闸时间,触头行程—时间曲线、分/合闸线圈电流曲线等都将发生变化,所以可以通过在线监测断路器机械特性参数来间接得到弹簧运行状态。通过机械特性参数的在线监测,不仅可以得到弹簧的运行状态,还可以判断机构是否出现卡滞、空行程是否太大、线圈匝间短路等其他故障。

通过对分合闸线圈电流的测量,能够判断分合闸线圈是否有卡滞现象,辅助开关是否正常切换等缺陷,以免造成分合闸线圈的烧损或断路器拒分拒合现象。

2 断路器机械特性参数在线监测

高压断路器状态在线监测系统能实时监测高压断路器的机械特性参数。测试波形见图1、2。图1、2中给出了断路器断口状态、合/分闸行程曲线、合/分闸线圈电流曲线等,根据这些曲线可以计算得到断路器分/合闸速度、分/合闸时间、操作电流/电压等。该系统将根据监测得到的数据对断路器特性进行纵向和横向对比,从而可以判断断路器的运行状态。图1为断路器合闸动作特性图,图2为断路器分闸特性图。

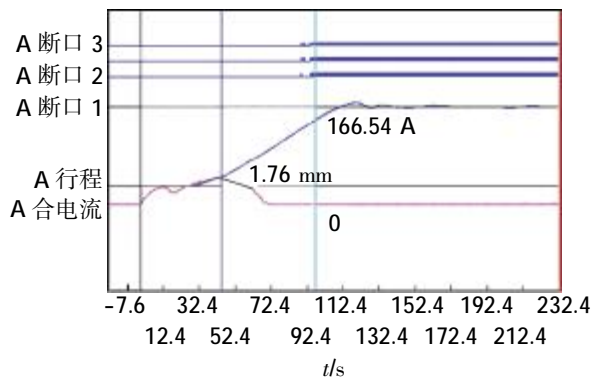


图1 断路器合闸动作特性图
Fig. 1 The closing characteristics of circuit breaker

目前,高压断路器状态在线监测系统将在以下几个方面对断路器弹簧疲软情况进行判断。

通过实测曲线与断路器出厂参数曲线及历史动作曲线进行叠加对比,可以看到断路器机械特性曲线的变化趋势,判断断路器动作特性发展趋势及发展速度,见图3,进而可以判断弹簧疲软的趋势及疲软发展速度。还可通过是否偏离与标准行程曲线对比的5%包络线,提示操作人员操作机构出现异常,

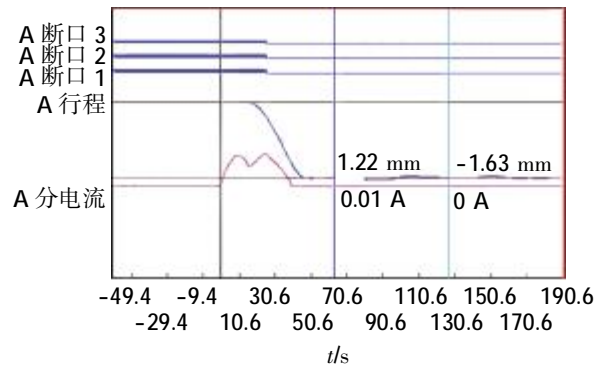


图2 断路器分闸动作特性图

Fig. 2 The opening characteristics of circuit breaker

见图4,从而为操作机构的维护、弹簧的更换提供科学的理论依据。

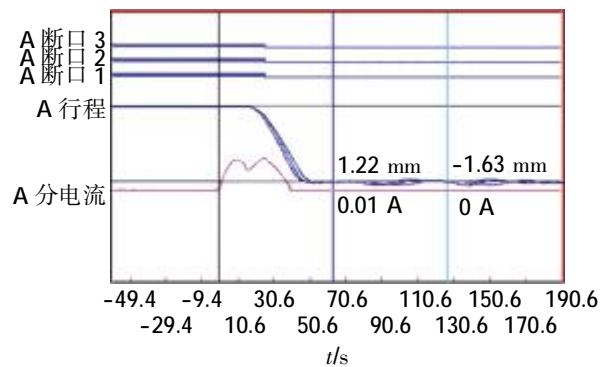


图3 断路器分闸特性趋势分析

Fig. 3 The analysis of opening characteristics of circuit breaker

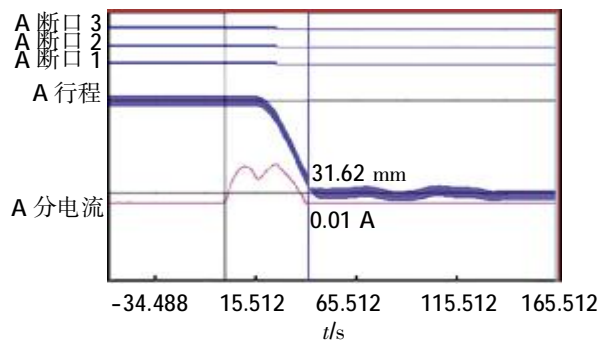


图4 断路器分闸特性包络线

Fig. 4 The envelope line opening characteristics of circuit breaker

3 实验验证案例

3.1 朱家坝220 kV变电站断路器状态在线监测

测试项目包括:

1)110 kV 断路器分合闸时间、分合闸速度,分合闸行程曲线;

2)110 kV 断路器分合闸线圈电流、线圈带电时间,分合闸线圈电流波形。

测试内容包括:

1)110 kV 断路器弹簧操作机构调整前对高压断

路器机械特性监测;

2)110 kV 断路器弹簧操作机构调整后(换弹簧)对高压断路器机械特性监测。

对测试波形和数据分析进行分析:

1)110 kV 断路器弹簧调整前后机械特性曲线比对。图 5 为弹簧调整前后机械特性曲线比对,曲线 1 是调整前的机械特性曲线,曲线 2 是调整后的机械特性曲线。通过对曲线分析,可以计算得到调整前断路器合闸速度为 2.76 m/s,调整后(换弹簧)断路器合闸速度为 3.25 m/s(该断路器合闸速度的正常范围为 3.0 ~3.60 m/s)。从图 5 中可以看出行程曲线变化,断路器弹簧疲劳后造成弹簧力变小,相应的带动机构拉杆的力量变小,导致开关的触头合闸速度降低,超出了正常范围。

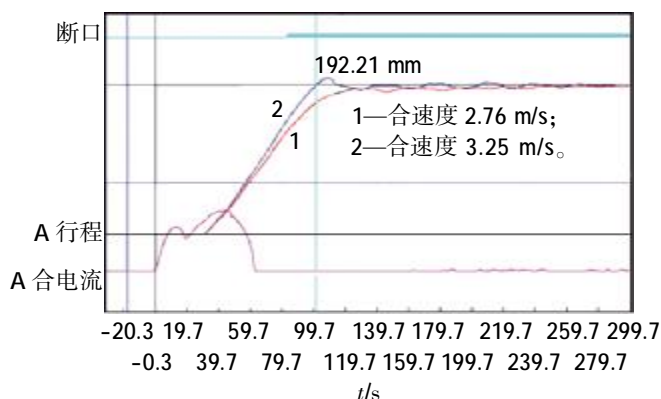


图 5 调整前后断路器机械特性曲线比对图

Fig. 5 The comparison of front and rear closing characteristics of circuit breaker

2)调整前断路器机械特性合分闸行程与包络线比对。图 6 为弹簧调整前合闸机械特性和包络线,曲线 1 是弹簧机构调整前的机械特性行程包络曲线,曲线 2 是开关机械特性行程包络曲线。从图 6 中可以看出,在弹簧疲劳后,断路器触头行程曲线升降趋势变得相对缓慢,超出断路器出厂时所设定的预警包络范围,弹簧已经出现疲劳现象,应及时检修维护。

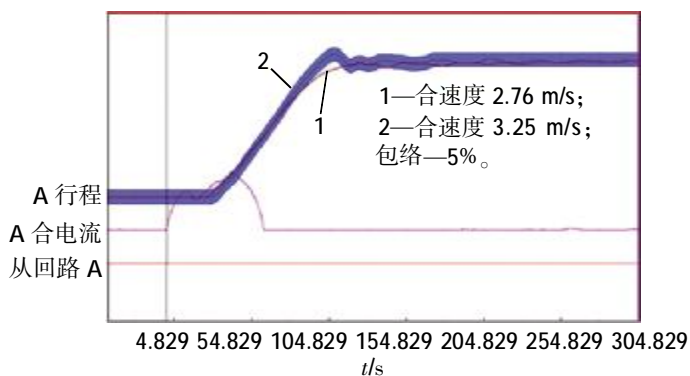


图 6 调整前后断路器机械特性合分闸行程包络线比对图

Fig. 6 The comparison of front and rear envelope line of closing characteristics of circuit breaker

3.2 35 kV 真空断路器分合闸线圈电流波形监测及断路器运行状态评估

对 35 kV 真空断路器分合闸线圈电流波形、线圈带电时间等参数进行测量,从而判断出,断路器分合闸线圈的动作状态,断路器分合闸动作状态以及辅助开关切换是否正常等。

图 7 为 35 kV 真空断路器正常的分闸线圈的电流波形图,当线圈带电,由于线圈电感的作用,使电流以指数形式缓慢上升,同时电磁力也随着电流的上升而增大,当线圈电磁力能够等于或大于阻力时,线圈开始动作,线圈电流基本到达最高点,此时,由于线圈动作导致线圈电感的变化,磁链变化,线圈两端产生反电势,使线圈的电流下降,同时,线圈推动开关脱扣器动作,并运动到位,线圈铁心静止,开关分闸。由于线圈运行而产生的反电势为零,电流又开始上升,当开关分闸到位时,辅助开关切换,将分闸线圈的电流切断,由于电感存在,线圈电流缓慢下降为零。

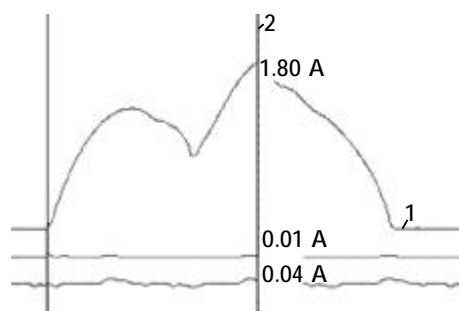


图 7 35 kV 真空断路器正常分闸线圈电流波形图

Fig. 7 The normal opening coil current oscillogram of 35 kV vacuum circuit breaker

图 8 为 35 kV 真空断路器正常的合闸线圈的电流波形图,原理同分闸线圈电流波形。

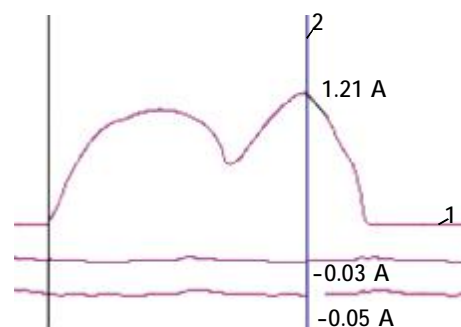


图 8 35 kV 真空断路器正常合闸线圈电流波形图

Fig. 8 The normal closing coil current oscillogram of 35 kV vacuum circuit breaker

图 9-12 分别为 35 kV 断路器操作时的分、合闸线圈电流波形与正常分、合闸电流曲线波形进行比对的波形,1 线为正常波形,2 线为故障波形。图 9 线圈电流出现微小的毛刺,可能是辅助开关

在切换时出现打火现象所致,但并不影响断路器的正常操作;图10中,开关分闸时,线圈电流异常增大,经分析可能为线圈两端出现并联电阻故障,辅助开关在切换时会有较大的电流产生,可能出现触点融毁;图11中,分闸时脱扣器出现卡滞现象,故障进一步发展,很有可能造成机构无法

法脱扣,开关不能实现分闸动作,即出现断路器拒分现象;从图12可以看出脱扣器卡滞,机构未脱扣,开关未完成分闸动作,线圈电流未能及时切断,很容易引起线圈烧毁,出现开关拒分。表1为35 kV 断路器故障记录表。表1通过对比曲线分析故障原因,判断故障类型。

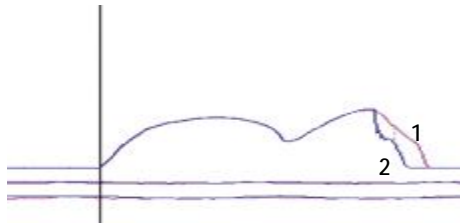


图9 35 kV 断路器合闸线圈电流波形与历史正常曲线对比图

Fig. 9 Closing coil current oscillogram vs history normal chart of 35 kV vacuum circuit breaker

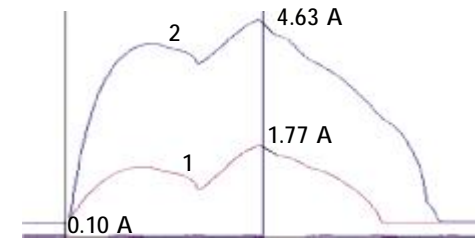


图10 分闸时线圈电流与正常曲线对比图

Fig. 10 Opening coil current oscillogram vs history normal chart of 35 kV vacuum circuit breaker

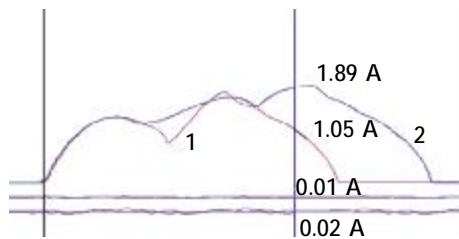


图11 分闸时线圈电流与正常曲线对比图

Fig. 11 Opening coil current oscillogram vs history normal chart

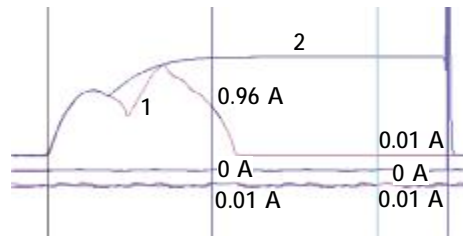


图12 分闸时线圈电流与标准曲线对比图

Fig. 12 Opening coil current oscillogram vs history normal chart

表1 35 kV 断路器故障记录表

Tab. 1 The fault recode of 35 kV vacuum circuit breaker

操作	现象	故障原因	结果
合闸图9	线圈电流切断时,有毛刺。	辅助开关切换时打火。	不影响正常操作。
分闸图10	线圈电流异常增大。	线圈电流的线路误接,线圈两端并联电阻。	辅助开关需切换较大电流,触点有可能烧损,应及时处理。
分闸图11	脱扣器动作时间增加,波形改变。	脱扣器有卡滞现象。	故障发展的结果,将可能出现拒分现象。
分闸图12	波形异常,线圈电流未及时切断。	脱扣器卡滞,开关未动作,辅助开关未切换。	出现拒分现象,引起线圈烧毁。

4 结论

1)110 kV 断路器弹簧操作机构调整前与调整后(换弹簧)机械特性监测波形差异表明调整前的分合闸速度不够,行程太小是由于弹簧的疲劳造成的,与监测结果一致;

2)通过对35 kV 断路器出现故障时的线圈电流监测波形的分析,能及时找出故障原因并排除故障,其结果显示大部分故障由弹簧操作机构故障引起的;

3)通过高压断路器状态在线监测系统对断路器机械特性的在线监测,使得现场运行维护人员随时掌握弹簧及操作机构的现状从而采取相应的维护、

检修措施,对于保证断路器安全可靠运行具有重要意义。

参考文献:

[1] 盛明学.真空断路器常见故障的原因分析及处理[J]. 电气开关,2001,1004(4):39-42.
SHENG Mingxue. Analysis and treatment of causes for common faults of a vacuum circuit breaker [J]. Electrical Switches, 2001, 1004(4): 39-42.

[2] 谭蓉,姜琪.高压真空断路器弹簧操动机构的设计[J]. 甘肃工业大学学报,2000,26(1):36-40.
TAN Rong, JIANG Qi. The design of mechanics of high voltage vacuum circuit breaker [J]. Journal of Gansu University of Technology, 2000. 26(1), 36-40.

- [3] 张福民,王富东,杨俊. ZN85A-40.5 真空断路器触头传动结构的动力学仿真[J]. 高压电器, 2010, 46(2):20-26.
ZHANG Fumin, WANG Fudong, YANG Jun. Dynamic simulation of ZN85A-40.5 vacuum circuit breaker contact transmission structure[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2):20-26.
- [4] 机械电子工业部弹簧产品质量监督检测中心. 弹簧标准汇编[Z]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [5] 王海峰, 蒋志超, 高雅利. 基于运动仿真技术的塑料外壳式断路器机构弹簧优化设计[J]. 低压电器, 2008(7): 14-23.
WANG Haifeng, JIANG Zhichao, GAO Yali. Mechanism spring optimization design of molded case circuit breaker based on dynamic simulation technology[J]. Low Voltage Apparatus, 2008(7): 14-23.
- [6] 舒服华. 高压断路器弹簧操动机构合闸弹簧可靠性分析[J]. 高压电器, 2007, 43(5):368-373.
SHU Fuhua. Closing switch spring reliability analysis & improvement of high voltage circuit breaker operating mechanism[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(5):368-373.
- [7] 金晓明, 邵敏艳, 王小华. 基于脱扣线圈电流的断路器机械状态预测算法研究[J]. 高压电器, 2010, 46(4):47-51.
JIN Xiaoming, SHAO Minyan, WANG Xiaohua. Research on prediction algorithm of circuit breaker's mechanical condition based on trip coil current[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(4): 47-51.
- [8] 易慧, 尹项根, 郑浩. 基于 DSP 的高压断路器综合在线监测装置[J]. 高压电器, 2007, 43(1):35-39.
YI Hui, YIN Xianggen, ZHENG Hao. On-line monitoring device for high voltage circuit breaker based on DSP[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(1): 35-39.
- [9] 刘亚东, 戚伟, 罗林根. 35 kV 真空灭弧室真空度在线监测系统的研制[J]. 高压电器, 2008, 44(5):449-452.
LIU Yadong, QI Wei, LUO Linggen. Development of an on-line monitoring system of vacuum pressure in 35 kV vacuum interrupter [J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(5):449-452.
- [10] 李中祥, 宋建成. 高压隔离开关触头温度在线监测系统的研制[J]. 高压电器, 2009, 45(2):11-13.
LI Zhongxiang, SONG Jiancheng. On-line temperature measurement system for contacts in HV switchgear [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2):11-13.
- [11] 王小华, 苏彪, 荣命哲. 中压开关柜在线监测装置的研制[J]. 高压电器, 2009, 45(3):52-55.
WANG Xiaohua, SU Biao, RONG Mingzhe. Development of on-line monitoring system of medium voltage switchgear [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3):52-55.
- [12] 赵洋, 刘汉宇, 曾庆军. 高压真空断路器机械特性在线监测系统研制[J]. 高压电器, 2009, 45(6):91-95.
ZHAO Yang, LIU Hanyu, ZENG Qingjun. Study on on-line monitoring for mechanical characteristics of high voltage vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(6): 91-95.
- [13] 郭江, 刘亚锦, 邹积岩. 面向优化检修的真空断路器状态监测与诊断[J]. 高压电器, 2007, 43(6):454-456.
GUO Jiang, LIU Yajin, ZOU Jiyan. Optimal maintenance oriented condition monitoring and diagnosis of vacuum circuit breaker [J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 454-456.
- [14] 赵洋, 刘汉宇, 曾庆军. 基于机械振动信号的高压真空断路器故障诊断研究[J]. 高压电器, 2010, 46(2):46-51.
ZHAO Yang, LIU Hanyu, ZENG Qingjun. Study on fault diagnosis of high voltage vacuum circuit breaker based on mechanical vibration signal [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2):46-51.
- [15] 钟家喜, 李保全, 李亚红. 高压断路器机械状态诊断与监测技术的探索与实践[J]. 高压电器, 2011, 47(2):53-60.
ZHONG Jiayi, LI Baoquan, LI Yahong. Exploration and practices of mechanical state diagnosis and monitoring techniques for high voltage circuit-breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2):53-60.

闫海宁(1977—), 男, 本科, 高级技师/工程师, 主要从事变电一次设备检修管理工作。

(上接第 118 页)

- YU AN Shun. Spring-type operating mechanism of high-voltage vacuum circuit breaker[M]. Beijing: China Machine Press, 2001.
- [13] 王恪典, 徐海波. 虚拟样机实验仿真技术及其在真空断路器操动机构中的应用[J]. 高压电器, 2003, 39(6):1-3.
WANG Kedian, XU Haibo. Experimental simulation technology of virtual prototype and its application in the design of operating mechanism of vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(6):1-3.
- [14] 戴德沛. 阻尼技术的工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
DAI Depei. Engineering application of damping technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1991.
- [15] 董军, 邓洪洲, 王肇民. 结构动力分析阻尼模型研究[J]. 世界地震工程, 2000, 16(4):112-117.
- DONG Jun, DENG Hongzhou, WANG Zhaomin. Studies on the damping models for structural dynamic time history analysis[J]. World Information on Earthquake Engineering, 2000, 16(4):112-117.
- [16] YOO W S, KINR S O, SOHRR J H. Dynamic analysis and design of a high voltage circuit breaker with spring operating mechanism [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2007(21):2101-2107.
- 刘雪扬(1990—), 男, 硕士, 主要从事微网的控制研究。
张文斌(1976—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为传感器信息融合、机器人传感技术、汽车电子、微网控制。
尹志宏(1962—), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为机械动力学。