

[开关设备]

高压断路器配液压操动机构分闸速度特性优化

文/西安西电开关电气有限公司 周仙娥 陈保伦
西安西电高压开关操动机构有限责任公司 苟 轲

高压断路器的触头运动速度被视为最能表征断路器工作能力的参数。通过对断路器触头运动的分析,论述了液压操动机构缓冲系统对断路器分闸速度特性的影响;通过对某高压断路器用液压操动机构的阶梯柱塞缓冲结构的分析研究,应用MSC.EASY5计算分析软件建立了机构缓冲压力仿真模拟模型,通过仿真模拟得出缓冲压力曲线,并通过对缓冲压力曲线的分析对液压操动机构缓冲系统进行了优化,得出优化结构参数,进而对某高压断路器配液压操动机构分闸速度特性进行了优化。

高压断路器的触头运动速度被视为最能表征断路器工作能力的参数,操动机构是断路器产生断路器运动速度的动力来源,液压操动机构因动作快、反应灵敏、输出功大和可靠性高等特点得以广泛的应用。但液压操动机构在工作过程中当液压缸中的活塞高速运动至行程末端时,如果没有合适的缓冲装置,往往会产生强烈的压力冲击,使操动机构工作不平稳从而影响断路器速度特性。

液压操动机构缓冲结构的设计计算繁杂,影响因素较多,以往在实际产品的设计中大都采用经验或类比设计,往往会造成实际缓冲性能达不到设计要求,从而影响高压断路器的速度特性和运行的可靠性。将采用仿真技术对某断路器用液压操动机构的分闸缓冲结构进行计算和优化,进而达到对该断路器分闸速度特性优化的目的,并运用缓冲压力测试系统对仿真结果进行验证,从而提高断路器的可靠性。

机构缓冲系统对断路器分闸速度特性的影响

断路器在分闸过程中动触头的运动速度称为断路器的分闸速度。其特性参数主要有刚分点分闸速

度、最大分闸速度、平均分闸速度和分闸末尾速度(缓冲后到达运动终点前的速度),以上参数是控制断路器开断能力的重要技术参数。

所涉及的断路器属于压气式 SF_6 断路器,该断路器在开断过程中,不仅要使触头系统加速,而且为了有效地熄灭电弧,还需要一个预压缩过程,使压气室内压力 p_L 与周围低压区压力 p_0 之比(p_L/p_0)大于 SF_6 气体的临界值(1.7),以便使喷嘴最小截面处产生声速气流。按照灭弧过程,一般可将断路器分闸过程分为以下3个阶段。

1) 预压缩阶段。从合闸位置到弧触头分开位置,在该阶段中压气室内压力 p_L 压气上升至临界值。

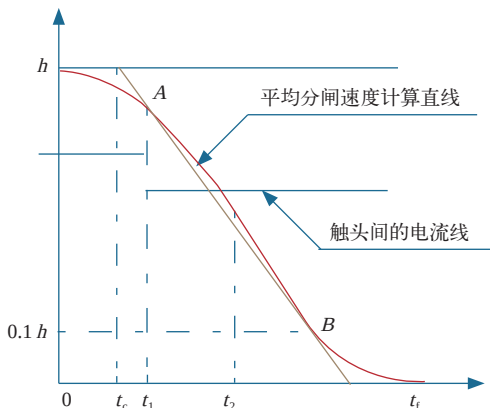
2) 气吹阶段。在该阶段中断路器灭弧室喷嘴口打开,产生强烈气吹,压气室内气体质量减少,压力下降。随后压气室继续运动,压气室内气体的体积减少,单位体积的气体密度上升。该阶段排气与压气的同时存在,它决定灭弧室内气体反力的大小。

3) 缓冲阶段。该阶段从外喷嘴打开到断路器运动停止,在此过程中,电弧熄灭后具有可靠的绝缘,压气室内的气体已经排尽,断路器灭弧室触头间又恢复到原始的充气压力 p_0 ,该阶段是由亚临界

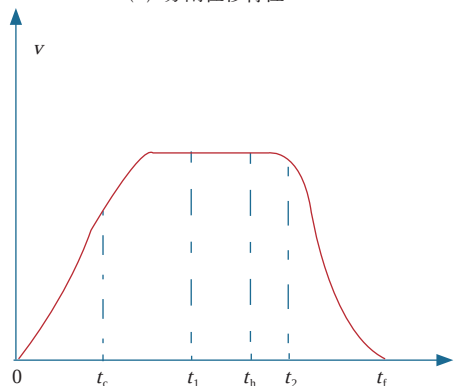
到平衡态的转化过程,在该阶段操动机构的分闸缓冲系统已起到作用。

可见操动机构缓冲特性影响断路器的分闸速度特性进而影响到断路器的开断性能。

图1为断路器分闸运动特性曲线,图1a为分闸位移随时间变化曲线,图1b为分闸速度随时间变化曲线。



(a) 分闸位移特性



(b) 分闸速度特性

图1 断路器分闸运动特性曲线

图1中, t_c 为触头刚分时间; t_1 为触头刚分时间 (t_c) + 短燃弧时间 (t_{ad}); t_2 为触头刚分时间 (t_c) + 长燃弧时间 (t_{ac}); t_f 为自触头刚启动到分闸终点的全分闸时间; t_h 为缓冲器投入时间。

通常情况下,在断路器操动机构设计过程中,首先要根据断路器灭弧室开断特性的要求设计图1b所示的曲线,规定各阶段的速度要求,如刚分速度、平均分闸速度等,分闸速度特性的确定要考虑机构运动与各种开断要求相适应。并在此基础上注意运动特征参数(速度、加速度和动力)之间的关系和变化,以求得有一个配合良好的机构。在图1b中,在触头分离前,动触头的运动是加速过程,此过程大致要延续到短燃弧之后长燃弧之前,速度达到最大值时为止。此后进入缓冲行程,在操动机构缓冲系统的作用下,运动过程变为减速过程,直到运动终止。

可知断路器分闸操作时,液压操动机必须在规定的时间内以一定的速度要求驱动灭弧室将电网断开以保障电网的正常安全运行。因此断路器速度特性的好坏将直接影响到断路器的开断特性,对于液压操动机构而言,缓冲特性是影响分、合闸速度特性的主要因素之一。机构缓冲系统缓冲压力过高,断路器分、合闸过程中,断路器触头运动到机构缓冲段有可能出现停滞,对于分闸,会影响其长燃弧时间,继而影响断路器的开断特性;对于合闸,会影响到触头能否关合到底。机构缓冲系统缓冲压力过低,断路器分、合闸末速度会很高,使断路器触头产生冲击或回弹,影响机械寿命,同时也会影响断路器的开断及关合特性。

在实际工程应用中,通常是通过断路器分、合闸位移随时间变化曲线来间接判断断路器分、合闸速度特性。图2和图3所示分别为断路器配液压操动机构缓冲压力过高和缓冲压力过低时断路器分闸位移随时间变化(速度)曲线。

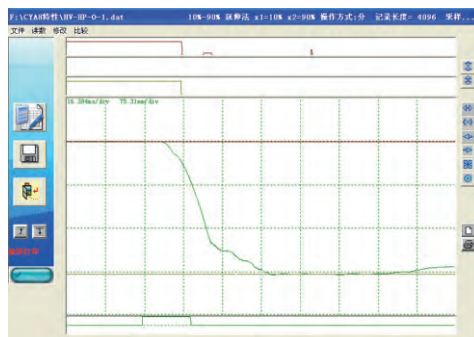


图2 缓冲压力过高时断路器分闸速度曲线

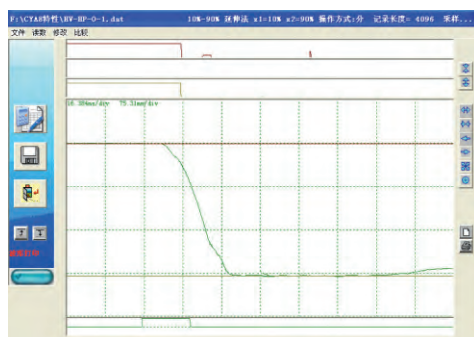


图3 缓冲压力过低时断路器分闸速度曲线

机构分闸缓冲系统压力模拟计算与仿真分析

1. 缓冲系统压力计算的数学模型

所研究的断路器用液压操动机构的分闸缓冲结构采用阶梯型柱塞内缓冲形式,是在活塞杆直接加工梯形台阶,直径为 $\phi D1 \sim \phi D5$,其具体结

构如图4所示。

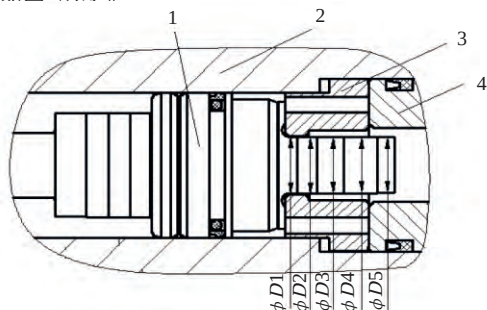


图4 高压断路器用液压操动机构分闸缓冲结构

1—活塞杆 2—工作缸 3—分闸缓冲环 4—分闸限位座

图4中,当机构分闸时,活塞杆快速运动,进入缓冲段时阶梯形柱塞与缓冲环之间仅有很小的间隙,此时缓冲柱塞,分闸缓冲环及工作缸形成局部封闭空间,工作油液从该间隙流出时,液压油流出通道突然变小,另一方面由于此时活塞杆运动速度极高,因此在封闭空间形成瞬间高压,给活塞杆一个运动反力,从而使活塞杆减速实现缓冲。

分闸缓冲过程中工作缸内活塞杆活塞的受力示意如图5所示。

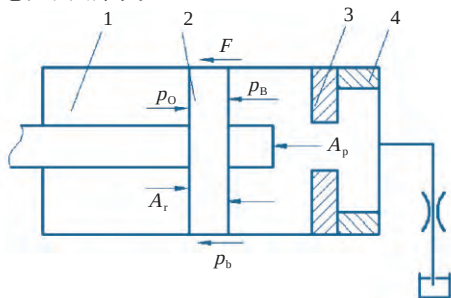


图5 分闸过程活塞杆受力示意图

1—工作缸内腔 2—活塞杆 3—分闸缓冲环 4—分闸限位座

根据牛顿第二运动定律,分闸过程中,液压操动机构工作缸内活塞杆的运动方程为

$$p_B A_p - p_0 A_T - F - F_b = m_1 \frac{dx^2}{dt^2}$$

式中, x 为活塞杆在工作缸内的位移,单位为m; m_1 为负载当量质量,单位为kg; p_B 为工作缸无杆腔压力,单位为Pa; A_p 为工作缸无杆腔压力作用的活塞面积,单位为 m^2 ; p_0 为工作缸有杆腔压力,单位为Pa; A_T 为工作缸有杆腔压力作用的有效面积,单位为 m^2 ; F 为机构承受的负载力,单位为N; F_b 为机构缓冲反力,单位为N; t 为活塞杆在工作缸的运动时间,单位为s。

m_1 为断路器灭弧室动触头以及传动机构折算到机构活塞杆上的负载当量质量,其大小在断路器开断过程中不断变化,实际仿真计算中输入的是当量质量随机构活塞杆行程变化的函数;负载力 F 受断路器灭弧过程中气体流动性影响,最大值可达75 kN,由断路器灭弧室内压气缸的气压反力来提供。

$$Q_b = A_T \frac{dx}{dt} + \frac{V_p}{\beta} \frac{dp_B}{dt}$$

由以上分析和贝努力方程可得到液压操动机构缓冲腔的流量连续方程为

式中, Q_b 为机构缓冲腔流量,单位为 m^3/s ; p_B 为工作缸缓冲腔压力,单位为Pa; A_T 为工作缸有杆腔压力作用的有效面积,单位为 m^2 ; x 为活塞杆在工作缸内的位移,单位为m; V_p 为工作缸内缓冲腔的容积,单位为 m^3 ; β 为液压油弹性模量,单位为Pa; t 为活塞杆在缓冲区的运动时间,单位为s。

2. 缓冲系统压力模拟计算与仿真分析

根据上述的缓冲系统压力的数学模型,本节将运用MSC.EASY5仿真软件平台对某高压断路器用液压操动机构的缓冲系统建模并进行仿真分析。

图6为某高压断路器用液压操动机构分闸过程MSC.EASY5系统模型。

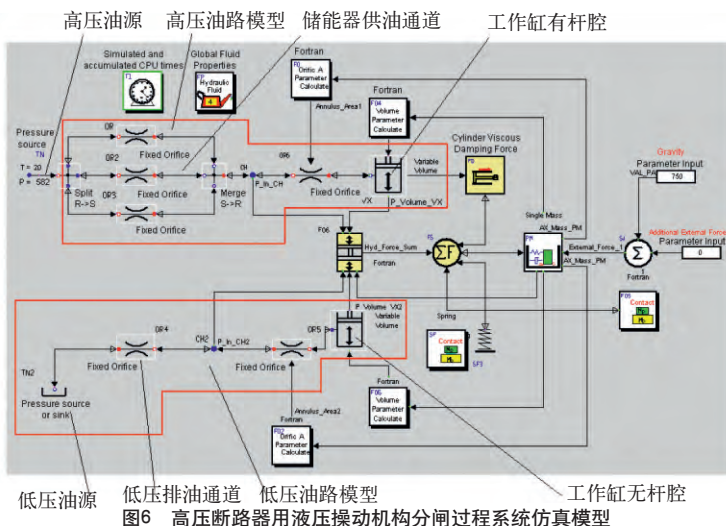


图6 高压断路器用液压操动机构分闸过程系统仿真模型

缓冲腔压力的大小是衡量一个缓冲系统好坏的重要依据,过高的压力峰值会影响液压操动机构的安全性,降低液压操动机构的寿命,同时也会使断路器分、合闸运动出现停滞,影响断路器的开断、合闸特性。图7为根据以上所建立的分闸过程MSC.EASY5系统仿真模型对某高压断路器用液压操动机构分闸过程中工作缸缓冲腔分闸缓冲压力的仿真模拟曲线。

分析图7的缓冲压力曲线,可以看出该缓冲压力曲线并非理想曲线,还有待优化。图7的分闸缓冲压力曲线中最高缓冲压力为139.9 MPa,而机构系统额定压力为58.2 MPa,分闸缓冲压力峰值是机构系统额定系统压力的2.3~2.4倍,在高压断路器用液压操动机构中,根据已有的经验一个好的缓冲系统缓冲压力最高值应该在系统额定压力的1.5~2倍之间(即79.2~116.4 MPa)。从模拟曲线图可以看出分闸缓冲压力峰值出现在活塞杆刚进入缓冲腔时,而出现压力峰值后的缓冲压力又急剧降低。这是由于阶梯缓冲柱塞进入缓冲腔的第一个台阶的间隙过小,使得缓冲腔压力突增,产生很大的冲击力,这样会使分闸速度突降,同时影响到后几个台阶的缓冲压力,这样会导致机构分闸缓冲末速度无法降低到要求值。

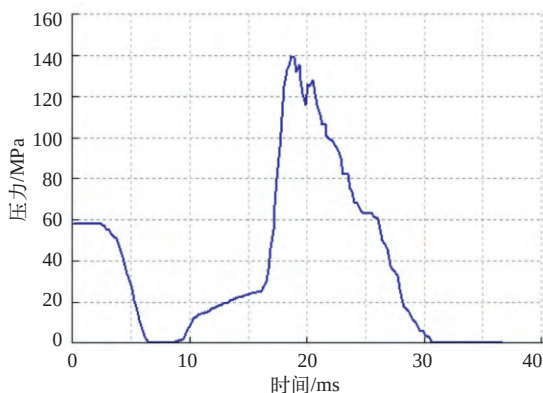


图7 MSC.EASY5系统仿真工作缸缓冲腔分闸缓冲压力曲线

根据以上的分析,对某断路器用液压操动机构分闸缓冲结构进行优化。在分闸缓冲结构中,将阶梯缓冲柱塞进入缓冲腔的第一个台阶的间隙加大,同时减小该台阶的长度,同时对后面的几个台阶稍作调整,将阶梯缓冲柱塞进入缓冲腔的最后一级台阶加长,尽量减小缓冲末速度。

将优化后的分闸阶梯缓冲柱塞结构参数带入分闸过程MSC.EASY5系统仿真模型中,重新进行模拟仿真,得到如图8所示的优化后某高压断路器用液压操动机构分闸过程中工作缸缓冲腔分闸缓冲

压力的仿真模拟曲线。

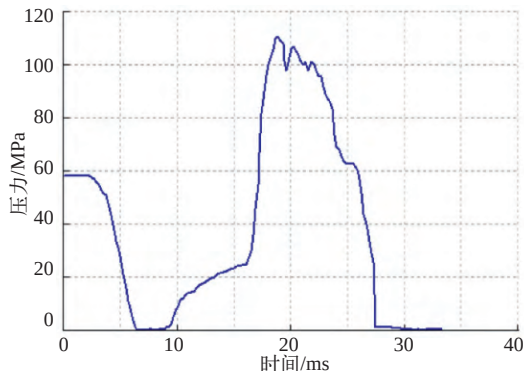


图8 优化后MSC.EASY5系统仿真工作缸缓冲腔分闸缓冲压力曲线

对比图7、图8所示的优化前后分闸缓冲压力的仿真模拟曲线,优化后的液压操动机构在分闸过程中缓冲腔的压力曲线峰值从139.9 MPa降低到110.6 MPa,减小了缓冲过程中的压力冲击,同时后续几个台阶的缓冲压力衰减也较慢,保证了分闸缓冲的末速度不会太高。综合比较,优化后的分闸缓冲压力曲线比较理想,即优化后的分闸阶梯缓冲柱塞结构达到了预期效果。

机构分闸机械特性及系统分闸缓冲压力测试

通过MSC.EASY5仿真软件平台对某断路器用液压操动机构的缓冲系统建模及仿真分析,得到较为理想的分闸缓冲压力曲线以及优化的缓冲系统结构参数,但是还需通过试验测试来验证模拟仿真结果,通过试验测试结果与模拟仿真结果的对比,可验证仿真模型的正确性,修正仿真模型的有关不确定因素,这对于机构优化具有重要的指导价值。

某高压断路器用液压操动机构分闸过程中工作缸缓冲腔分闸缓冲压力的测试是通过高压断路器液压操动机构动态压力测试系统来实现的。该动态压力测试系统可以直接测试出液压操动机构配高压断路器操作时整个过程的动态压力值,能直接测出机构在缓冲阶段的最大压力;并可将液压操动机构配断路器运动的时间再议位移曲线以及机构压力与其储能器的活塞位移对应测试出来。

图9为应用高压断路器液压操动机构动态压力测试装置测得的缓冲机构参数优化前某高压断路器用液压操动机构分闸过程中工作缸缓冲腔分闸缓冲压力、断路器位移曲线以及储能器碟簧位移曲线示波器显示图。图10为将示波器数据经过计算机软件分析处理后的分闸缓冲压力、断路器位移以及储能器碟簧位移相对于时间的曲线。

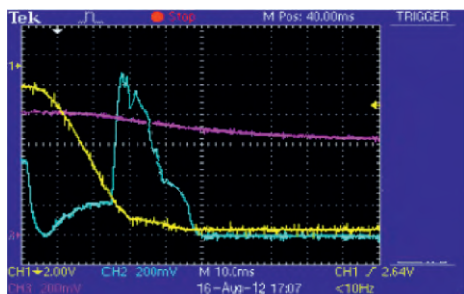


图9 高压断路器动态测试系统示波器中机构分闸过程缓冲压力、速度和碟簧位移信号曲线

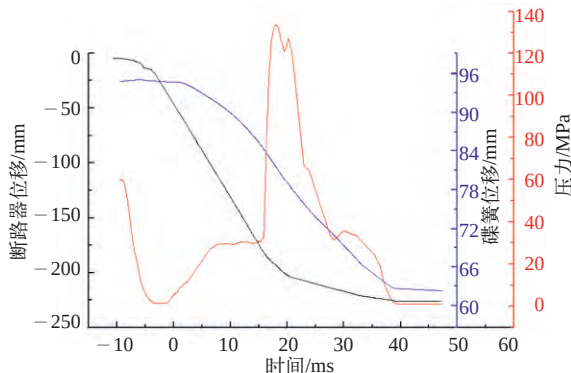


图10 数据处理后机构分闸过程缓冲压力、速度和碟簧测试曲线

将图10中的缓冲压力曲线与图7中 MSC.EASY5 系统仿真得出的工作缸缓冲腔分闸缓冲压力曲线进行对比,两个曲线的缓冲压力峰值、缓冲压力峰值出现的时间、缓冲压力结束时间以及缓冲压力趋势均比较吻合,由此可验证以上建立的某高压断路器用液压操动机构分闸过程MSC.EASY5系统仿真模型正确可行,对液压操动机构缓冲系统结构优化及机构分闸特性优化具有一定的指导意义。

根据MSC.EASY5系统仿真模拟优化,按照优化后阶梯柱塞型分闸缓冲系统结构参数加工成新的活塞杆,该活塞杆装入液压操动机构后,应用高压断路器液压操动机构动态压力测试装置再次对其测试,采集到的数据经过计算机软件分析处理后得到的分闸缓冲压力、断路器位移以及储能器碟簧位移相对于时间的曲线如图11所示。

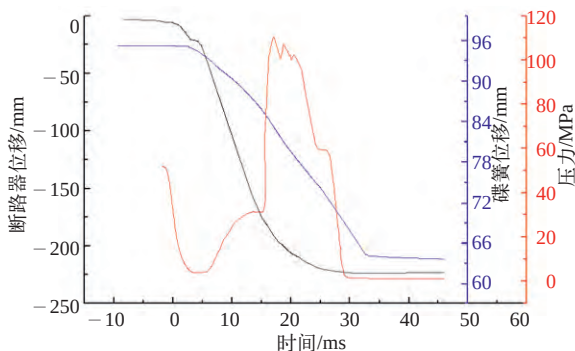


图11 优化后机构分闸过程缓冲压力、速度和碟簧测试曲线

对比图10与图11优化前后分闸过程测试曲线可以看出,除分闸缓冲压力峰值从139 MPa降低到110 MPa外,缓冲压力在缓冲区内下降也较为平缓,同时从图10中分闸速度曲线也可以看出优化前进入缓冲区内后分闸速度出现突变,且从进入缓冲到断路器分到低部持续时间(缓冲时间)长达26 ms,对断路器正常开断不利。图11中分闸速度曲线缓冲区内速度曲线则比较平缓,无速度突变,缓冲时间为15 ms,符合断路器正常开断要求。

对比图11中的缓冲压力曲线与图8中优化后 MSC.EASY5系统仿真工作缸缓冲腔分闸缓冲压力曲线,两个曲线比较吻合。图12为试验测试与模拟仿真所得出的某高压断路器用液压操动机构工作缸缓冲腔分闸缓冲压力曲线的对比图。

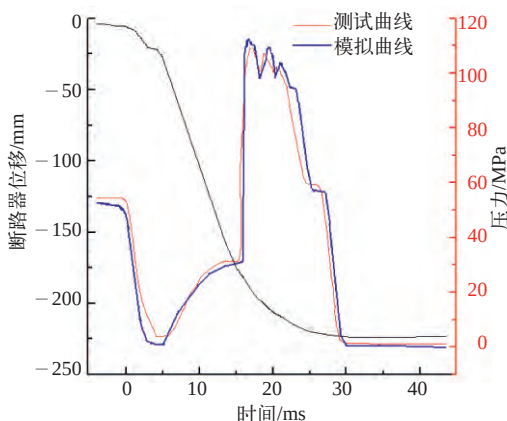


图12 模拟计算与试验测试的优化后分闸缓冲压力对比

图13为利用断路器制造企业在断路器出厂试验中广泛应用的HY-15型断路器机械特性测试试验台所测试的优化后某高压断路器分闸速度曲线图。

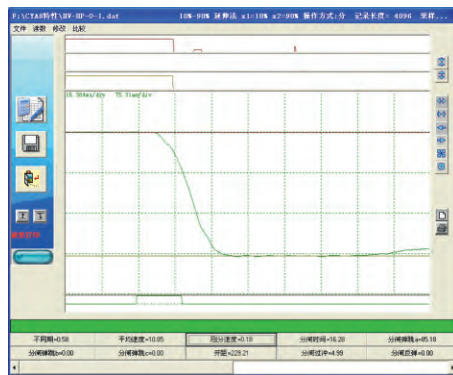


图13 优化后某高压断路器分闸速度曲线

对比图11及图13中的某高压断路器分闸速度曲线,两种试验测试装置测得的断路器分闸速度曲线较为一致,从二者的速度曲线可以看出,机构分、合闸尾部缓冲区的特性曲线比较平滑,无速度突变,缓冲末速度比较小,由此可见优化后的液压操

动机构分闸缓冲系统在某高压断路器分闸过程中起到了应有的效果。

结束语

由以上的计算分析及试验可得到以下结论。

液压操动机构缓冲系统对断路器分闸速度特性有很大的影响。

通过建立的MSC.EASY5高压断路器用液压操

动机构分闸过程系统仿真模型,对液压操动机构缓冲系统进行了优化,得出优化结构参数,进而使某高压断路器配液压操动机构分闸速度特性得到了优化,并通过试验测试验证了仿真模拟优化结果具有较高的准确性。EA

(收稿日期:2015.05.21)

(编辑:刘群点)

斯洛伐克国家电力公司将出售中核有意竞购

意大利国家电力公司(ENEL)控股斯洛伐克国家电力公司(Slovenske Elektrarne)66%的股权,现正计划予以出售。中核集团公司(下称中核)或参与竞购。

路透社报道称,在2015年6月初的一场会议期间,斯洛伐克国家电力公司首席执行官Francesco Starace对外表示,中核有意参与该公司股权的收购。“虽然并未收到中核的报价,但我认为它会参与。”Starace说。

根据自媒体《核电观察》报道,其从多个渠道获悉,中核集团已聘请财务顾问,正在着手进行尽职调查,但是否由旗下上市公司——中国核电(601985.SH)出面收购,尚未确定。

意大利国家电力公司是意大利最大的发电供电商,为了削减债务,其计划在5年内出售50亿欧元(约合347.75亿元人民币)的资产,包括此次出售的斯洛伐克国家电力公司66%的股权。

斯洛伐克政府拥有斯洛伐克国家电力公司34%的股权。根据路透社报道,斯洛伐克政府希望提高对该公司的持股比例,达到51%,这与意大利国家电力公司发生了不同的意见。此外,对于斯洛伐克旗下未完成的Mochovce核电项目的不同态度,双方也争执不下,这减缓了该项目出售的进程。

目前,斯洛伐克国家电力公司正在建设Mochovce核电站三、四号机组,采用俄罗斯VVER技术,计划分别于2016年和2017年年底完工。

斯洛伐克政府曾表示,会阻止将斯洛伐克国家电力公司出售给任何第三方,直到意大利国家电力公司负责完成这两台核电机组。

正因为该未完成的核电站,彭博新闻社6月19日的报道称,根据意大利国家电力公司高层的最新意见,其控股斯洛伐克国家电力公司的资产可能将会分为两部分出售。“先出售一部分,剩下的之后再售。”该人士说。

早在2014年8月,捷克电力公司(CEZ)曾公开表示,正就收购斯洛伐克国家电力公司的股份进行谈判,希望以30亿欧元(约合208.65亿元人民币)价格成交。而此前,意大利国家电力公司就该项目密切接触的对象则是俄罗斯方面。

银行业消息人士曾告诉路透社记者,中核在2014年的时候就对入股斯洛伐克国家电力公司表示出了浓厚的兴趣。中核想要获得该项目,并非易事,必须同击败多个竞争对手。截至目前,意大利国家电力公司已经收到了3份竞标书,分别为能源投资机构EPH、芬兰公司Fortum以及来自匈牙利的竞标联合体。

根据资料显示,斯洛伐克国家电力公司运营的总装机容量为5267.46 MW,旗下拥有2个核电站,共4台核电机组,并建有3个水电站、2个太阳能电站和35个水电站,发电量占斯洛伐克全国市场的80.8%。

《核电观察》分析称,对于其他欧洲买家,中核拥有丰富的核电站建设和运营经验,如其最终中标,可能让意、俄、中三方都受益,这也是欧洲买家都已经提出约束性报价之后,意大利电力公司依然向中核集团开放尽职调查窗口的重要原因。