

文章编号:1001-1609(2003)02-0018-05

专题评述

金属封闭开关设备的发展简析

崔成恕¹, 高 华²

(1.西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077; 2.常州兰陵电器集团有限公司, 江苏 常州 213001)

DEVELOPMENT OF METAL ENCLOSED SWITCHGEAR

CUI Cheng-shu¹, GAO Hua²

(1.Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China;

2.Changzhou Lanling Electrical Group Co., Ltd., Changzhou 213001, China)

摘要: 介绍了国内外金属封闭开关设备的发展概况, 分析讨论了开关柜技术的近期进展, 着重阐明了不同类型开关柜的特点和发展关系。

关键词: 手车柜; 固定柜; 充气柜; 金属封闭开关设备; 一次配电; 二次配电

中图分类号: TM59 **文献标识码:** A

Abstract: The paper introduces the general development situation of domestic and overseas metal enclosed switchgear, analyzes and discusses the recent improvement of switchgear technology, and specially mentions the characters and development relationship of different kinds of switchgears.

Key words: withdrawable circuit breaker switchgear; fixed pattern switchgear; gas insulated switchgear; metal enclosed switchgear; primary distribution; second distribution

1 国内外概况

按照电力系统对电力设备高可靠性、少维护、小型化和智能化的要求, 国内外开关柜在近十年中有了很大进步, 现分述如下。

1.1 一次配电开关柜

一次配电开关柜的技术参数一般为额定电压 40.5 kV 及以下, 额定电流至 2 500, 3 150 A (4 000 A 强迫风冷), 热稳定电流至 40, 50 kA。

1.1.1 空气绝缘柜的进展

(1) 手车柜的发展

以断路器手车置于柜体(高度)中部为主要特征的中置柜成为当前的一次配电移开式开关柜的先进主流产品, 其典型的产品诸如:

①ABB公司的ZS1型和ZS1 plus新系列: 采用分相绝缘筒作真空灭弧室主绝缘和机械支撑(VD4型)、垂直布置的三相D型母线、设置内部故障泄压

通道、配置智能化控制单元REF542, 其外形尺寸(宽(mm)×深(mm)×高(mm), 以1 250 A, 31.5 kA为例, 下同)650×1 300×2 200。近年来, 该ZS1 plus新系列柜配有高可靠性、无维修VM1型断路器, 采用一次固封绝缘结构和永磁机构, 其机械寿命可达10万次。进一步提高了该柜的技术水平。

②Siemens公司的NXair系列: 采用分相型复合绝缘结构作为真空灭弧室的主绝缘和机械支撑, 母线水平排列, 有内部故障泄压通道, 配置SIPROTEC4控制保护单元。其外形尺寸800×1 554×2 200。

③Alstom公司的PIX型: 采用分相复合绝缘结构、兼容真空断路器(HVX)和SF₆断路器(FPX), 设置内部故障泄压通道, 采用DCX控制单元和MiCOMP121保护继电器, 外形尺寸650×1 405×2 130。

④Alstom公司的VISAX型: 其特点是断路器三相纵向排列与水平布置的母线一致, 真空灭弧室外带隔离触头, 分闸时真空灭弧室先分, 然后隔离触头旋转90°形成可见隔离断口。外形尺寸650×1 460×2 150。

⑤西安森源的GZS1(KYN28-12)系列。

(2) 固定柜的发展

免维护或少维护开关的出现、多种绝缘技术的成熟, 更显现固定式开关柜的优势。近年来, 以手车柜为主的西欧也出现了作为一次配电的固定柜。

①ABB公司AX1型的结构特点: 开关设备采用固体绝缘包封、圆形裸铜母线呈三角形布置, 全部一次回路处于同一外壳中, 且装有(内部)故障电弧消除器, 内部电弧产生10 ms内消弧器接地以消除电弧, 免去内部故障的泄压通道; 各间隔母线间用圆形弹簧触头连接。该柜可兼容SF₆断路器(HX)和真空断路器(VM1), 断路器母线侧设三工位隔离开关, 馈线侧无隔离元件。其外形尺寸为650×1 050×2 020。

②FKI公司(英)的Eclipse型: 主要参数为630~2 000 A, 25 kA, 似为介于一次配电与二次配

收稿日期: 2002-11-22; 修回日期: 2003-01-17

电的产品。该柜断路器三相纵向排列与水平排列母线一致、真空断路器配单线圈永磁机构、母线侧设闸刀式三工位隔离开关、馈线侧无隔离元件,设有内部故障泄压通道,外形尺寸为500×1 125×2 100。

③西安高压电器研究所的KGN6-12固定柜系列。

1.1.2 气体绝缘柜

一次配电充气柜的主要技术参数:12~40.5 kV, 1 250~2 500 A, 25~40 kA;一般以断路器为主开关,有单、双母线方案;在总体布置、元器件的选用、母线联接实现可扩展性等方面各具特色。

(1)ABB公司的ZX2/ZX1/ZX0系列产品:单、双母线水平排列、采用插入式母线联接器直接联接柜与柜间母线、选用直动式三工位隔离开关、水平布置真空断路器、组合式电压电流传感器、内锥式电缆接口及内部故障泄压装置和通道、配置REF542控制保护单元及压力、位移等状态监测传感器。外形尺寸为600×1 710×2 300^[1]。

(2)Siemens公司的NXPLUS系列产品:单母线水平排列、双母线前后三角形排列,用组件联接方式将柜与柜间母线联接,不涉及SF₆气体,真空断路器水平布置,选用转动式三工位隔离开关,内锥或外锥式电缆接口及内部故障泄压装置和通道,电压、电流互感器外置(于SF₆气室外),配置SIPROTEC4综合测控保护单元及压力、位移传感器等。外形尺寸为600×1 600×2 450^[2]。

1.2 二次配电开关柜

满足二次配电要求的开关柜基本是固定柜,其主要特点为:参数不高,额定电流以630 A为主,少数1 250 A,热稳定电流25 kA及以下,额定电压一般12~24 kV,少数达36 kV;主开关以隔离负荷开关为主(包括负荷开关-熔断器组合电器),也有部分采用断路器^[3]。

1.2.1 空气绝缘柜

(1)Schneider公司的SM6型、Alstom公司的FLUOKIT型、Siemens公司的SIMOSEC型、ABB公司的UNISWITCH型、VEI公司的UNIFLUORC型、我国的HXGN15,17型等系列。其主要特征是:主开关的三相沿纵向布置与母线水平布置一致;以SF₆三工位负荷开关为主开关。目前,该类产品有如下变化:采用不锈钢外壳取代环氧树脂浇注外壳;用于该系列柜的断路器三相沿纵向排列,断路器与电流互感器或传感器组合,可兼容真空断路器和SF₆断路器,并可配置相应的智能控制保护单元。

(2)ABB公司的ZS8型、Siemens公司的8AA20型。该类产品为箱式柜,母线有单独隔室,三相正面排列、选用断路器手车,用作控制和保护母线分断、

联络和进线间隔(1 250 A)。

1.2.2 气体绝缘柜

(1)Siemens公司的8DH/8DJ系列产品:三工位隔离开关为旋转型隔离负荷开关,母线位于气室下部,柜间或柜与组合间采用绝缘的插入式母线,断路器水平布置,传动杆通过焊接波纹管保证SF₆气室在断路器操作时的密封;额定气压0.15 MPa,外形尺寸为350×780×1 400(负荷开关柜),500×780×2 000(断路器柜)。

(2)ABB AS公司的Safeplus/Safering系列产品:采用SF₆负荷开关和真空断路器,柜间或柜与组合体间用柜顶的电缆接插件联接,该系列按不同回路数构成环网柜系列SaFeRing,并可装设外部母线,使母线电流增至1 250 A;额定气压0.14 MPa,外形尺寸为325×751×2 096。

(3)Ormazabal公司的CGM系列产品:采用SF₆断路器,柜间或柜与组合体间母线联接采用硅橡胶插件,外形尺寸为370×850×1 800,断路器柜宽度480 mm。

(4)Alstom公司的GMB系列产品:采用垂直布置的真空断路器,隔离开关与接地开关之间联锁,柜间或柜与模块间的母线用联接器联接。外形尺寸为600×800×2 300,断路器柜深度为1 000 mm。

2 分析与讨论

2.1 开关柜的安全性

根据IEC60298的修订草案(17C/266/CD),开关柜的分类不再按产品结构(铠装、间隔和箱式),而按照隔室运行功能分类(SC1A,SC1B和SC2级)。显然这一变化来自于使用部门,对产品设计要求较明确,有利于产品的发展,特别是对于元件可靠性提高的情况下,可简化某些结构。在安全性的提高方面有如下进展。

(1)内部故障电弧试验已普遍实施,且有多方面的研究论文公布,有积极预防内部故障的措施及检测气室压力迅速切断故障的方法,有研究内部故障电弧的压力、温度特性的试验数据,也有为减少故障效应的材料选择和设计方法的研究结果。这些成果有助于提高开关柜的安全性能^[4,5]。

(2)安全结构措施,如利用模拟图的整体式机械开关位置指示,所有开关只有在柜门关闭的情况下操作,以减少误操作、加强操作人员的安全。

(3)限制内部故障电弧的新措施,已在ABB、MCH公司等采用。如ABB的AX1型柜配置了限制故障电弧系统,该系统利用光纤传感器作监视器检

测柜内电弧,监视器检测到电弧后,立即触发限弧器在电弧产生 10 ms 内快速接地,消除电弧并防止内部电弧对人身和设备的损害。因此,可免除开关柜内部故障电弧的泄压通道。用快速接地减小内部故障电弧的损害早已在高压 GIS 中应用,但将光纤传感消弧系统用于中压开关柜,且 10 ms 内消弧尚属首次,其安全性和经济性值得关注^[6]。

2.2 缘绝结构

2.2.1 均匀导体电场仍是值得考虑的手段

采用圆角铜排母线、D 型母线已很普遍,但母线与支母线间仍采用螺栓联接,电场较差,是柜体绝缘的薄弱环节。AX1 型采用预制的 T 接圆母线,将母线的联接变成管状直母线的对接,电场大为改善。该方案使母线按柜分段,增加了母线接头数量,且要有良好的管状对接触头结构。但母线现场安装方便。

2.2.2 复合绝缘的进展

环氧树脂真空浇注和自动压力凝胶技术的发展,为复合绝缘的进步创造了条件。

(1)真空灭弧室的环氧树脂包覆,即“固封极柱”,既是真空灭弧室的主绝缘、又是它的机械支撑,其电场分布和应力分布优于各种形状的隔板结构。但这必须基于高水平的绝缘工艺和稳定的灭弧室质量。

(2)电器设备的整体组合,利用环氧树脂优越的电气、机械性能和良好的成型工艺,将相邻元件结合成一体,如较早采用的触头盒与电流互感器、电流电压传感器。近来出现的断路器与隔离接地开关(ZX0)、充气断路器与隔离接地开关共处于一个气室的组合(AX1),组合的基础仍是元件的高可靠性。

2.2.3 气体绝缘的进展

充气开关柜早有应用,该项技术的进步在于密封可靠性和避免现场的气体处理:①采用计算机分析软件(如 I-deas),提高壳体设计水平;先进的数控加工设备,如激光切割、焊接机械,提高壳体的加工精度,减小形位公差和焊接变形;使用抽真空、氦检漏、充气专用的设备。从设计、加工、检验等方面防止焊缝缺陷、提高密封的可靠性。②使用波纹管作动密封结构,消除密封橡胶件因磨损、老化降低密封可靠性。③采用各种母线连接器(介面绝缘或套管连接),解决柜与柜或柜与模块的连接及扩展性,消除现场气体的处理问题。

2.2.4 介面绝缘的拓宽

由于介面绝缘的尺寸小,与气体绝缘较匹配,故大量用于充气柜的电缆连接、PT 接插,也有用作母线结构(8DC11 型),用于母线连接器,进一步拓宽了介面绝缘的使用范围。

2.3 温升技术

采用无油开关、镀银技术后,允许温升有较大提高,导体和触头结构的合理设计,自然通风和强迫通风技术的应用,使开关柜的额定电流水平与小型化取得了较好的协调。

(1)额定电流 630 A 及以下,影响柜体尺寸主要是绝缘和结构。超过 800 A,需考虑温升因素,且主要影响(散热面积)柜宽尺寸。

(2)目前的产品水平是:①对空气绝缘柜,一般情况下,至 1 250 A,最小柜宽可做到 600 mm,个别可做到 500 mm;2 000 A 及以下柜宽 800 mm;大于 2 000 A,柜宽 1 000 mm(加自然通风措施),4 000 A 需加强迫通风。②对充气柜,除柜壳散热外,柜壳与充气壳体之间的散热十分重要。一般情况下,1 250 A,柜宽 600 mm;2 500 A,柜宽 800 mm,散热良好的设计,柜宽也可为 600 mm。

2.4 结构设计

开关柜的结构设计包括总体布置、元件和通用件的选择、传动和联锁的设计等,这是开关柜小型化的重要方面。

(1)断路器三相沿深度方向排列,与水平布置的母线一致。这已在二次配电开关柜中盛行,并尝试向额定电流超过 1 250 A 领域推进。但从已有产品看(VISAX 型),如无其他散热措施,小型化效果有限。

(2)固定柜的隔离开关设计思路。近几年推出的一次配电固定柜,包括充气柜,基本不设馈线侧隔离开关,母线侧则设三工位隔离、接地开关。这一思路不无道理。断路器可靠性较高,属无维护或少维护断路器、电缆线路故障率低,不设隔离开关一般不会影响正常运行。据西高所对 40.5 kV 充气柜取消下隔离开关的调查,电力部门认为,只要电缆连接可以解开,可以不设隔离开关。ABB 公司 500 kV PASS 气体绝缘开关设备,断路器出线侧也不设隔离开关,也基于断路器的可靠性高。如取消馈线侧隔离开关,开关柜的总体结构、操作和联锁将大为简化,可靠性、经济性将显著提高。

2.5 关于数字化和智能化技术的应用

数字化和智能化,首先是电力部门配电自动化和设备状态维修对开关设备的要求,同时是开关柜利用高新技术提升产品水平的重要方面,也是开关柜简化结构、提高控制保护水平、简化二次系统、提高可靠性的必然选择。例如只有数字化才能选用电流电压传感器或小电流电压互感器,采用接近传感器取代辅助开关。

各大公司均已批量生产以微处理器为主的集成

电路,集控制、测量和保护为一体的(间隔)控制单元,如ABB的REF542, Siemens的SIPROTEC, Schneider的Sepam等;也有将保护与控制分开的配置,如Alstom的DCX控制单元和MiCOMP121保护继电器。此外,对于负荷开关,也有相应的数字控制装置。

但是由于配电自动化的水平各不相同,各种数字化智能化产品的成熟程度不一、使用习惯的差异,则选用数字化智能化设备的配置应不同。同时,根据配电自动化的要求,开关柜应具备手动、电动操动机构及相应的开关位置信号、远程通讯装置(RTU)、直流电源等供选用。

3 几点看法

3.1 手车柜与固定柜的关系

手车柜的突出优点是便于断路器的检查和维修,且手车的隔离插头是开关柜中尺寸最为紧凑的上下隔离结构,故手车柜易于满足最高安全等级SC1A级的要求。手车柜易于发展为双层或多层柜。

手车柜的弱点是:手车的推进拉出、联动隔离触头的接插、活门的开闭以及相关联锁和信号的切换,涉及运动零部件较多,加工装配工艺稍有不慎,将导致温升、绝缘和机械故障;中置柜的推出,因中置手车尺寸小、重量轻、导轨精度改善、活门传动简捷等使手车操作可靠性大为提高。但隔离开关操作仅动闸刀运动,与之相比,手车推拉仍是弱点。此外,手车柜用于双母线时尺寸较大、成本较高,缺乏竞争力。

固定柜的突出优点是除开关的规定操作或动作(含相关联锁)外,没有可动零部件,相对可靠性高。它易于满足双母线方案的要求。

固定柜的弱点是维修不方便、尺寸偏大。随着断路器向无维修、少维修目标发展,维修问题相对淡化。充气柜的推广说明了这一点。同时,按新标准草案选择SC1B级要求,即馈线侧可不设隔离开关,则固定柜结构得以简化、尺寸缩小,将会提高其竞争力。习惯于手车柜的欧洲,某些公司近年推出固定柜就说明了这一点^[7]。

因此,两类柜型并行发展的局面仍然要持续相当时期。

3.2 关于充气柜

充气柜属于高技术的固定柜,要设计、生产精良的充气柜产品,必须基于高可靠性的元器件,高精度的钣金加工、焊接工艺装备, SF₆气体的处理技术等。

3.2.1 充气柜的优势

(1)高可靠性:充气柜的设计必须选用高可靠性

的开关元件,足够裕度的绝缘水平使充气柜成为无维修或少维修(机构部分的少量润滑、调整)开关柜。同时,一次回路处于充气壳体中不受外部环境的影响,所充 SF₆或氮气不含氧,水分含量控制在很低水平,可防止因污秽、凝露引起的绝缘故障和金属件的氧化锈蚀。原则上,它可使用于潮湿、污秽、沙尘等严酷使用场合,高海拔地区等非正常环境条件下。

(2)小型化:低气压 SF₆具有很高的绝缘性能和对电场的较低敏感性,因此,与空气绝缘柜相比,充气柜有最小的尺寸。对于充氮气的充气柜,绝缘结构因不考虑凝露和污秽而简化,尺寸也有所减小。这一优势对高电压等级,如40.5 kV产品特别显著。

(3)充气柜适用于双母线系统,且结构紧凑具有较强竞争力。

3.2.2 充气柜的弱点

SF₆气体泄漏带来的故障处理及对环境的负面影响。多年来, SF₆高压开关设备的漏气是最常见的缺陷,但目前在密封结构、材料和工艺多方面已有很大改进,对于中压充气柜更有其有利条件,保证密封可靠性。因中压充气壳体容积小、压力低、不锈钢板较薄,弯形、焊接工艺性好,焊缝长度较短;壳体可在工厂中切割、弯形、焊接、检漏流水线上完成,能保证焊接的可靠密封。可拆式静密封一般采用橡胶圈密封,因压力低、内外压差小,密封性能易于保证。传动密封可沿用高压GIS的密封结构,中压开关因行程小,也能选用波纹管作动密封结构,密封性能更好。

3.2.3 关于充气柜的 SF₆气体和环境

(1)SF₆气体是6种温室气体之一,但 SF₆排放量对温室效应的影响仅占6种气体影响总量的0.01%,即其影响仅为万分之一。全球 SF₆的气体总量中,用于高压电器及设备约占 SF₆气体总量的一半,而中压开关设备的用量仅为高压及超高压开关的1/10,可见,充气柜的影响不及二十万分之一^[8]。

(2)充气柜的允许年漏气率小于1%,故泄漏排放很少。中压充气柜中的 SF₆气体是可循环使用的气体。CIGRE制定的 SF₆再循环导则对回收处理再使用有具体规定。气体的再循环利用大大减少了 SF₆气体排放量^[9]。

(3)充气柜的异常泄漏,如安装、运行时出现损伤或内部电弧导致气体外泄,这是人们最担心的偶然情况。文[10]研究了36 kV开关柜分别在有无电弧分解物、不同电弧能量的不同情况下 SF₆泄漏进行了分析计算,将有害气体浓度计算结果与美国州立工业卫生联合会所要求的阈限值(TLV)相比较,其结论为:在以 SF₆作为绝缘和开断介质的36 kV

地下变电站或地下室电站中,在正常设备使用期间和寿命之后的设备修复中,从操作人员的健康观点看,意外泄漏的SF₆不会造成任何伤害。由此可见,过分担心是不必要的。

因此,充气柜是急需大力发展的高新技术产品,它需要较大的资金投入和较长的研制时间。另一方面,对于全新的、带有弱点的产品,用户普遍接受、全面推广可能有较长的时间。

3.3 一次配电与二次配电开关柜的关系

(1)技术参数:主要是额定电流和热稳定电流不同。一次配电为630~4000 A,20~40 kA;二次配电为小于630~1250 A,16~25 kA。

(2)安全等级:一次配电一般要求较高的安全等级,按老标准要求铠装式或间隔式,新标准草案的SC1A或SC1B级;二次配电则可降低为箱式或SC2级。

(3)性能与价格 由于使用场合的不同,一次配电处于馈线的电源首端、二次配电处于中段或末端,前者重要性高于后者,后者的使用数量数倍于前者,故一次配电侧重性能,二次配电在保证性能的同时也注重价格。

多年来,我国主要在一次配电开关柜方面发展。近几年来,二次配电柜有了很大进步,但与配电系统的需求有较大差距,应加大力度提高二次配电开关柜产品水平。

参考文献:

[1] A Aufermann. 配电盘的数字技术——新一代配电盘设计的关

键[A]. 第14届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1998.

[2] S Werner. 配电站在竞争环境中的创新[A]. 第15届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,2000.

[3] G Perrissin. 开发一种国际中压开关装置系列的创造性方法[A]. 第13届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1996.

[4] M Marchi. 耐内部电弧的开关装置,电弧模拟和有效保护[A]. 第14届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1998.

[5] M Binnendijk. 中压开关装置中内部电弧的预防和控制[A]. 第14届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1998.

[6] K Jakob. 空气绝缘及气体绝缘开关装置用新型智能数字式电弧检测系统[A]. 第14届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1998.

[7] J Rye, et al. The Advantages of Fixed Circuit Breaker Switchgear [A]. Trend in Distribution Switchgear, IEE Conference Publication[C], London, 1998.

[8] 李建基. 关于SF₆气体的有关问题[A]. 国外高压开关设备技术文集[C]. 西安高压电器研究,1997.

[9] M Marchi. 减少电力设备中SF₆气体释放的设计、制造、做法和信息[A]. 第15届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,2000.

[10] J F Martinez Canales, et al. 使用SF₆电压高达36 kV的小型化和模块化设备的致境影响及安全性评估[A]. 第14届国际供电会议论文集[C],中国电机工程学会供电专委会,1998.

作者简介:崔成恕(1941-),男,教授级高级工程师,从事高压开关设备的设计、研究、技术管理和标准化技术工作。

(上接第17页)

正三角形,可以有2次经过放电区域。即正六边形比正三角形或正四边形通过次数增加50%。但是,考虑到气泡内产生放电的时间越长越好,需要气泡速度较慢,因而有必要计算气泡通过放电区域的速度。在气泡单位时间通过任何断面的体积V为常量的情况下,气泡的速率为(S为断面面积)^[4]: $v=V/(S \cdot M)$ 。对正六边形 $2r/d=0.69$,正三角形 $2r/d=0.5$ 时: $v_6/v_3=1.613$,即正六边形比正三角形速率快61.3%。和正六边形通过次数增加的50%相比,正六边形的实际放电时间并没有正三角形长。

5 结论

从电场的均匀程度来看,正三角形电极分布最好;从水的处理量来看,正四边形电极分布最好,但

在 $2r/d=0.5$ 时,已和正三角形差异不大;从气泡放电时间的长短来看,正三角形电极分布最好。综合考虑,选择 $2r/d=0.5$,正三角形电极分布。

参考文献:

[1] 印永祥,程仕清,吴广军. 大气压下交流辉光放电等离子体气-液相化学反应器[J]. 核聚变与等离子物理,1997,17(4): 46-49.

[2] Satoshi Ihara, Tomoaki Miichi, Saburoh, et al. Ozone Generation by a Discharge in Bubbled Water[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1999, 38: 4 601-4 604.

[3] 郭硕鸿. 电动力学[M]. 北京:高等教育出版社,1979.

[4] 梁在潮. 多相流与紊流相干结构[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1994.

作者简介:叶齐政(1965-),男,博士,副教授,从事电工与环境工程的教学和研究。