

高压开关设备国内外产品水平

HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR DEVELOPMENT WORLDWIDE



 西电三菱电机开关设备有限公司
西安经济技术开发区凤城二路33号
电话: (029)6227013
传真: (029)6238355
邮编: 710016



VPR型真空断路器



MA-EC型金属铠装柜

西安高压电器研究所
中国电器工业协会高压开关分会
机械工业高压电器科技信息网

前 言

随着科技和电力工业的迅速发展,性能优异的新型高压开关设备不断投放市场。应广大企业的要求,为使其能了解国内外高压开关设备水平及发展趋势,中国电器工业协会高压开关分会和高压电器科技信息网联合曾分别于1990年和1995年两次编写了《高压开关设备国内外产品水平》一书,以下简称《产品水平》。前两次《产品水平》出版后,深受广大读者的欢迎,使广大企业在了解、掌握国内外高压开关设备发展动态与水平的基础上,并以此为依据在制定工厂科技发展规划,进行产品结构调整,推动科技进步,以及为电力使用部门选用技术先进、经济适用的产品等方面确实起到了一定的指导作用。

自1995年第二次编写至今已相隔五年。在这五年间,老产品已经逐渐淘汰,也有的在原基础上不断完善和改进,但同时新的高科技含量的先进产品也不断涌现,产品水平得到长足发展。为了帮助企业跟踪国际科技前瞻,并能及时了解目前国内外高压开关设备最新发展水平,高压开关分会和高压电器科技信息网联合由高压分网牵头进行第三次重编,这样以保持《产品水平》内容的连续性、时效性和可读性;同时,此次编写正处于世纪之交,我国即将加入世贸组织(WTO),并又时逢国家正在大力进行城、乡电网工程改造的这一千载难逢时机,企业正处于风险与机遇并存的关键时刻,此《产品水平》为企业迎《世贸》,实施技术创新,开发新产品以及科学制定《十五规划》将展示新的思路,起到积极的指导作用。

此次编写在认真总结前两次编写的基础上,其内容有所增加,适当增加国内外产品的发展技术,特别在当前适销对路的产品及代表未来发展趋势的智能化、机电一体化产品上作了一定篇幅的介绍;同时加大了文字叙述,以文字叙述和表格结合的方式,尽量在占有详细资料基础上,以严谨的结构体系,简捷明了的表达方法作以充分介绍,以使读者充分领悟目前高压开关设备的最新发展技术。此次《产品水平》由十六章组成,共计约四十三万字,它涵盖高压开关设备、制造工艺、试验检测技术、直流输电设备及产品质量控制等全部内容。

在资料收集过程中,得到了广大企业及行业同仁的大力协助,在资料编写过程中,得到了编写人员所在单位的大力支持,同时得益于行业专家的真诚指导,谨此表示衷心感谢!

本资料由于编者水平所限,难免有不妥之处,甚至出现错误,恳请读者批评指正。

编 者

《高压开关设备国内外产品水平》

主 审：崔成恕

副主审：朱文熙 梁集贵

主 编：杨丽华

副主编：秦翠萍 马铜德

评审专家：赵伯楠 崔成恕 朱文熙 于锡源 杨成汉 吕德增

沈聿修 管日升 宁 静 胡 亮 徐东晟 王志德

李向春

编写单位：(按章节排序)

西安高压开关厂

平顶山天鹰集团有限责任公司

北京开关厂

湖北开关厂

沈阳高压开关有限责任公司

太原第一开关厂

天水长城开关厂

四川电器股份有限公司

上海华通开关厂

天津光明供电设备有限公司

西安高压电器研究所

机械工业局第七设计研究院

西电三菱电机开关设备有限公司

出版校核人员：马铜德 刘 丹 秦翠萍

编写人员

章节	编写人	审核人
第一章	秦翠萍	易志斌
第二章	杨九龙	黎斌 易志斌
第三章	杨丽华	吴维忠
第四章	夏丕恒	邓洪祥
第五章	李忠	唐小江
第六章	李忠	梁集贵
第七章	程长酉	颜莉萍
第八章	马雪萍	何利利
第九章	程长酉 王亚平	崔成恕 焦秋忠
第十章	程长酉	崔成恕 寇政理
第十一章		
第一节	孙邦喜 邵振华	王岩
第二节	马雪萍	何利利
第三节	邵振华	王平
第四节	同建辉	颜莉萍
第十二章	吴建强	王晋根
第十三章	杨济三	冯昌远 苟锐锋
第十四章	周福成	管日升
第十五章	严焕玲	齐忠毅
第十六章	王志清 秦翠萍	朱文熙

目 录

第一章	SF ₆ 气体绝缘金属封闭开关设备	(1)
第二章	交流高压 SF ₆ 断路器	(16)
第三章	交流高压真空断路器	(42)
第四章	交流高压油断路器	(64)
第五章	发电机保护断路器	(71)
第六章	交流高压隔离开关及接地开关	(79)
第七章	交流高压负荷开关	(107)
第八章	交流高压接触器	(117)
第九章	交流高压熔断器	(127)
第一节	高压限流式熔断器	(127)
第二节	高压喷射式熔断器	(130)
第三节	新型熔断器的发展	(135)
第十章	柱上配电开关设备	(146)
第一节	柱上断路器	(146)
第二节	柱上负荷开关	(149)
第三节	交流高压自动重合器	(153)
第四节	交流高压自动分段器	(156)
第五节	配电自动化开关	(159)
第十一章	交流金属封闭开关设备	(174)
第一节	通用型交流金属封闭开关设备	(174)
第二节	交流高压接触器——熔断器组合电器 (F—C 回路开关柜)	(198)
第三节	柜式气体绝缘金属封闭开关设备(C—GIS)	(205)
第四节	负荷开关柜、负荷开关——熔断器组合电器柜	(212)
第十二章	高压/低压预装式变电站	(226)
第十三章	直流输电开关设备	(233)
第十四章	高压开关设备制造工艺	(245)
第十五章	高压开关设备检测及试验	(257)
第十六章	质量控制	(267)

第一章 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备

一、概述

SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(以下简称 GIS)是一种封闭式组合电器,它将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、避雷器、母线、套管或电缆终端等电气元件封闭组合在接地的金属外壳内,以 SF₆ 气体作为绝缘介质。GIS 的断路器由液压/气动/弹簧机构操作。隔离开关和接地开关用气动、手动、电动或电动弹簧机构操作。由于 GIS 体积小,占地面积少,不受外界环境影响,运行安全可靠,配置灵活,维护简单,检修周期长等特点,特别是在超高压和特高压领域,GIS 更显示出无与伦比的优点。

GIS 按结构分有以下几种:

- 1) 分相式。主回路分别装在独立的金属圆筒外壳内,有环氧树脂浇注绝缘子支撑,内充 SF₆ 气体;制造容易,不会发生相间故障;但体积较大,外壳材料消耗多,密封面多。
- 2) 主母线三相共筒。仅三相主母线共用一个外壳,利用绝缘子将三相母线均匀支撑在圆筒内,其它元件均为分相结构。这样可以缩小 GIS 占地面积,结构相对简单,且容易实现。
- 3) 全三相共筒。每个元件的三相集中安装于一个圆筒外壳内,用环氧浇注件支撑和隔离,外壳数量少,外形尺寸小,减少密封环节,外壳电流小,但相间相互影响大。
- 4) 复合化式(或称混合式)。将元件功能复合化,在同一外壳内同时装入具有几个功能的复合元件,结构进一步简化,尺寸更小。
- 5) 箱式。将整个间隔各元件集中于一矩形箱内,充入略高于大气压的 SF₆ 气体绝缘,空间利用率高,安装使用方便。

二、国外 GIS 技术发展水平

1. 国外产品水平

从 1965 年世界上第一台 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)投运以来,GIS 已广泛应用到 72.5~800kV 电压等级的电力系统(试验系统已达到 1100kV)中,GIS 产品技术得到了很大发展。随着 SF₆ 断路器开断容量增大,GIS 在参数水平上也不断提高。氧化锌避雷器的成功使用,降低了 GIS 绝缘水平,使 GIS 小型化,可靠性也提高了;800kV GIS 已在世界各地电网中运行。550kV 单断口断路器的研制成功不仅大幅度缩小产品体积,也使双断口特高压 GIS 成为可能。目前 1100kV GIS 的试运行也结束了,计划在二十一世纪投入电网。开发特高压的技术(绝缘技术、通电技术等)已应用在各较低电压等级的产品上,使 GIS 在小型化和提高可靠性上更进一步。近年来,热膨胀式 SF₆ 断路器的发展和断路器弹簧操动机构的应用,不但大大缩小了 GIS 尺寸,可靠性也得到提高;最近又研制出来高性能高电阻元件氧化锌避雷器,又向小型化和高可靠性方向迈出一步。智能化技术大量应用在 GIS 产品上,用新型传感器逐步取代传统继电器和互感器及辅助开关,引入的寿命周期成本概念已成为推动 GIS 进一步发展的动力,特别是在 126kV 等级上,各大公司都从不同角度(一次或二次上)进行改进,使 GIS 产品大幅度缩小,可靠性提高。可以说,GIS 发展进入了一个新时代。

现在国外生产 GIS 的厂家主要有 ABB、西门子、Alstom、三菱、东芝、日立等。目前的参

数水平达到 550kV GIS 开断电流 80kA,800kV GIS 开断电流 63kA,额定电流达到 8000A,单断口最高电压做到 550kV,热膨胀式断路器最高达到 420kV,混合压气灭弧断路器达到 550kV,用于 GIS 的自能式断路器一般在 245kV 以下。三相母线共筒可达到 550kV,全三相共筒达到 300kV,箱式 GIS 达到 204kV。126kV 等级产品间隔宽最小到 0.8m,252kV 等级产品最小达到 1.2m。二次控制都可带智能化监控系统。特高压 GIS 虽已成功开发出来,但目前还没有应用到实际运行中。

- ABB 公司已生产了 72.5~800kV GIS 约 7500 间隔。ABB 的 GIS 分为 EXK 和 ELK 型。EXK 为智能化产品,有 72.5/123kV 电压等级,结构上是全三相共箱,灭弧室采用热膨胀式原理,配碟形弹簧操动机构,间隔宽仅为 800mm,重量为 2500kg;ELX 型最高电压达到 800kV,额定电流 2500~4000A,额定开断电流 40~63kA,动静密封均装有双道丁腈橡胶 O 型圈。ABB 在高电压等级上,其产品很有特点。其中 EXK-01 型 Smart-GIS 在二次技术中,用数字信息进行处理,用光纤进行传输,利用新型传感器和操动器代替了感应式互感器和电磁继电器及辅助开关,实现自我监视、带电测量、减少维护、减少寿命周期成本和自动诊断预测系统。传感器采集的信息存贮在分散的 PISA(传感器和执行器的处理接口 Process Interface for Sensors and Actuators)中,经光纤数据总线传输到主控计算机中进行处理,取消了辅助开关和互感器。计算机进行的趋势分析为具体维护方案提高依据,使开关设备停运时间减小到最少,直接提高变电站经济性。

- 西门子从 1968 年起已提供了 6000 多间隔的 GIS,电压等级从 72.5~800kV,额定开断电流最高达 80(定开距 100)kA,其断路器采用定开距灭弧室,开断容量大,喷嘴和燃弧环采用耐弧性极强的石墨,既使开断 20 次后,触头表面亦无烧毛现象。因而触头系统寿命特别长。开断速度也快,利用气缸和活塞双向运动,气缸增压快,开断时间短,可达 2 周波。变开距灭弧室也在使用。145kV 三相共筒式 8DN8 型 GIS 被认为是世界上最小的 GIS,间隔宽仅为 0.8m,只占传统 GIS 空间的 50%。电动机构在寿命期内自润滑,主触头和隔离触头寿命长,检查期在 25 年以上。在 245kV 电压等级以下,最新型 8DN9 型 GIS 断路器灭弧室利用电弧能量熄弧,采用圈柱形弹簧操动机构;在小型化上,采取的措施有:改进绝缘材料,优化外壳形状,采用 CAD 技术及现代铸造技术,改进生产技术等。产品采用计算机进行控制和监测。用电流和电压传感器取代传统电流电压互感器。带间隔处理能力的数字间隔控制系统用于监测和记录所有基本运行参数。这样可进行系统发展趋势分析,实现“状态检修”。LSA678 集成控制系统通过统一微处理系统取代二次控制装置已应用在 GIS 上;DBC 数字控制系统也用微处理器和软件代替普通接线逻辑块,这种装置控制断路器状态并分辨故障,进行显示。

- Alstom 公司 1966 年生产第一台 GIS 以来,已销售近 8000 间隔,电压等级 72.5~800kV,额定电流 800~8000A,短路开断电流从 12.5~80kA,分为 T 型、B 型和 F 型。T 型为分相式,72.5~800kV,焊接铝合金外壳,B 型为分相式,72.5~550kV,铸铝合金外壳,F 型为三相共筒式,72.5~145kV 铸铝合金外壳。开断电流 40~63kA,断路器采用自能吹弧灭弧室可达到 420kV,配电动圈盘式弹簧操动机构或液压操动机构。Alstom 利用二维和三维的 CAD 进行设计,300kV 及以下都可以整个间隔运输。F35 型产品设计成相与相间无杆件和调节装置;盆式绝缘子用添加氧化铝的环氧树脂浇注而成;密封垫圈非常独特,截面为非 O 型,呈水字型,共有三处密封点,用合成高弹物质制成(见图 1);每个气室除装有吸附剂

外,还有一个充气阀和安全片,安全片用来测量气体密度;释压装置为不老化的零件;连接导体用铝或铜管制成,前端镀银并装有镀银的滑动触头,以便在膨胀时不会将机械应力传到支撑绝缘子上;FB9 和 B65 型 GIS 断路器利用电弧能量灭弧,能减少 40% 的操作功。安装在就地控制柜中计算机控制二次功能,数字技术和计算方法及所有所需信息不仅用于间隔的自动控制,也用于监测整个设备;用密度计、光电传感器、电流传感器和局放测量传感器对 GIS 进行周期性或永久性的状态监测,用光纤或屏蔽电缆传送信号。

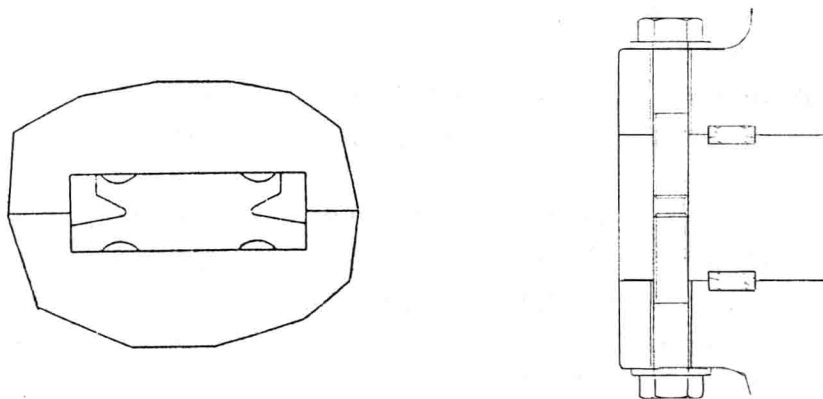


图 1 Alstom 的密封垫圈

日本由于受地理环境限制,变电站多采用 GIS。GIS 的发展较为完善。在较低电压等级上,采用先进技术使产品大幅度小型化;在 550kV 电压等级上有 30% 装上维护和操作的专家系统,不仅监视设备状态,并支持通常操作和维修。

- 三菱公司生产 GIS 从 1968 年开始已有 30 多年经验,电压等级从 72.5~1100kV,已生产 7000 多间隔 GIS。三菱的 GIS 在 SF_6 气体泄漏到大气压力时,产品也能承受最高运行相电压。使用温度补偿压力开关来检测 SF_6 气体压力。其喷口材料选用高纯聚四氟乙烯。三菱拥有先进的加工设备,如 4 站电子束焊接机。三菱公司在 GIS 小型化方面研究出一次设备缩小的技术,在 170kV 以下灭弧室采用自能与压气混合灭弧原理,配弹簧操动机构,最近又开发了 66~550kV GIS 用高电阻高性能氧化锌避雷器。这种避雷器可使氧化锌元件串联片数减少,高度减少一半,体积减小 40~60%。最新 72kV/144kV 小型化 GIS,宽 1.2m,深度和高度只有 2.4m,主要采用了新的设计和新技术,包括三相灭弧室和连接导体采用并列配置而不是三角形配置,从而可以使用椭圆形的外壳(其厚度不同,以减小应力集中),减小体积;DS 和 ES 一体化,共用一个装置,减少部件数;另外采用的技术还有:使技术参数合理化;使用最新元件,如混合灭弧室、小型化弹簧机构、高性能避雷器、小型化电压互感器(PT);将 DS/ES 和 PT 及避雷器装在一个电缆终端外壳内等。

- 东芝公司从 1969 年开始已提供了 4500 多间隔 GIS,电压范围在 72kV~1100kV,混合压气式断路器可用到 550kV 单断口 GIS 上,全三相共筒式做到 300kV,母线共筒式做到 550kV。东芝在 GIS 元件设计上尽量采用标准化元件,在气体密封系统上也用标准封闭系统减少管道阀门数量,保证气密性能。混合压气式断路器也简化结构,减少组件,提高可靠性,也减少维护工作量。在制造上有一些先进设备,如自动机加工中心、三维测量仪,法兰焊接机器人等,还使用了计算机集成制造系统(CIMS)。

• 20 多年来日立公司的 GIS 已销售 4500 多间隔。电压范围涉及 72.5~1100kV,除标准相分离型 GIS 外,还有全三相共筒型 GIS,母线三相共筒达到 550kV,全三相共筒达到 300kV。在制造上用三维精密机床制造加工零件,绝缘件采用三氧化二铝为填料的环氧树脂浇注件,喷口材料为陶瓷(加 BN 的聚本氟乙烯),密封垫圈为丁晴橡胶制 O 形圈,壳体采用无针孔和气泡的低碳钢和不锈钢,母线导体连接用插入式梅花触头;断路器用气动/液压/弹簧机构;隔离开关为电动或手动机构,快速接地开关可为电动或电动弹簧机构。

国外各大公司的 GIS 主要技术参数见表 1。

2. GIS 的技术进步

GIS 产品的技术进步与 SF₆ 断路器产品发展密切相关。GIS 的技术参数水平随 SF₆ 断路器断口电压和开断容量增加而显著提高。已研制出 1100kV、开断短路电流 80kA、额定电流 8000A 以下的 GIS。

1) 断路器灭弧原理改进,充分利用电弧能量加热气体,使气体膨胀,形成很强的气吹进行熄弧,改善喷口形状,精确计算气流场和电场,使所需灭弧能量减少 40%~60%,这样操作功减小,就可使用可靠、小型的弹簧机构,目前这种原理的灭弧室可以做到 420kV。这种自能灭弧原理,不仅用在断路器灭弧室上,也用于带开断能力的隔离开关上;加上采用弹簧机构,使 GIS 的可靠性提高,体积大幅度减小;

2) GIS 其它一次元件也有相当大的变化,隔离开关、接地开关带有切小电容、电感或转换电流的灭弧装置,电流、电压互感器开始由电流、电压传感器或光电互感器代替,体积减小,可靠性提高。避雷器制造工艺的改进,使避雷器氧化锌材料晶体排列形式按要求完成,形成高电阻值的高性能、小型化避雷器,使 GIS 整体体积和可靠性得以改善。GIS 体积大幅度缩小,126kV 的间隔宽度最小只有 0.8m;252kV 的间隔宽度最小只有 1.2m。套管采用非瓷质的复合绝缘材料,其性能超过瓷质套管,重量减轻,避免不必要的损坏,可靠性提高。

3) 在二次元件上,近年来微电子技术、数字化技术、计算机技术的应用,使 GIS 进入智能化阶段,可控操作的概念已促成相应产品的问世。在状态监测、选相操作、自动控制等方面取得了飞速进展,为无人变电站提供可靠设备。利用智能化技术,变“定期维修”为“状态维修”,这不仅仅在经济上取得优越性,在设备的可利用率上也大大提高,某些厂商确保 25 年不检修。

三、国内 GIS 技术发展水平

1. 国内产品水平

我国自行研制生产的第一套 126kV GIS 于 1973 年投入运行以来,特别是近十几年来,GIS 在电网中的应用越来越广泛。截止 1997 年在国内运行的 252kV 以上的 GIS 有 369 个间隔,而国内厂家生产的就有 86 间隔,占 23.3%。目前国内有能力生产 GIS 的厂家已有 9 家,1995 年 126kV GIS 国内产量是 372 间隔,1996 年产量是 294 间隔。其中西开厂为天生桥/五强溪,沈高厂为伊敏/绥中/乌兰电厂都提供过代表 GIS 制造水平的 550kV GIS,GIS 生产已形成规模。

八十年代国内各大厂家相继引进国外先进的 GIS 制造技术,逐步赶上国际先进水平,目前除个别绝缘件外,我国已有能力生产出 550kV 及以下 GIS 的所有零部件。在参数水平上,国内 GIS 产品达到 126kV 单断口三相共箱,2000~4000A,40kA;252kV 单断口,2000~4000A,40~50kA;550kV 双断口,4000A,63kA。在元件方面,套管、氧化锌避雷器、电压互

感器、电流互感器、隔离开关、接地开关、断路器(包括关键部件方面,完成了触头部件、喷口、陶瓷并联电容器、自力型触头、灭弧室压气缸、动静密封件、表面涂敷等材料的制造)、母线基本上实现了国产化,不仅能满足国内产品要求,还有部分元件返销发达国家。在检测内部故障方面,进行了 GIS 内部局放、光纤压力传感器等方面的研究,并已取得成果。在利用计算机方面,已普遍实现 GIS 设计中 CAD 辅助设计,并已经试用生产管理 CIMS 系统。在质量管理上,近年来与国际市场接轨后,实行全面质量管理,各大生产厂都已通过 ISO9001 质量体系认证,并普遍贯彻 ISO9001 系列标准,按照标准控制产品在各个环节的质量,加入了可靠性管理。目前各生产厂家都在积极研究开发智能化、小型化 GIS。

- 西安高压开关厂从 1985 年与日本三菱公司合作生产以来,引进三菱 GIS 产品技术,已销售 126kV~550kV GIS700 多间隔,除供应中国市场外,还整机出口到南美和东南亚地区。330kV 及以下 GIS 采用单断口断路器。西开厂 GIS 的技术特点是 126kV GIS 全三相共筒结构。设计参数高,压气活塞小,采用自力型触头,结构简单,可靠。波纹管寿命长。密封结构采用 O 形橡胶圈和密封胶双道密封,防止了漏气和大气水分的渗入;应用表带触头,使产品尺寸缩小;弧触头为一整体,避免焊接缺陷;超长屏蔽罩改焊接为旋压,避免了可能的电场劣化;可靠性指标高,维修周期达 12~20 年。另外,引进德国两条浇注件生产线和一套 750kV SF₆ 浇注件试验设备,环氧浇注件的制造能力已能满足 SF₆ 产品对各种浇注件的需求,生产的盆式绝缘子的机械强度达 4.6MPa,局放量小于 1pC,喷口材料选用聚四氟乙烯,树脂填料为氧化硅和氧化铝两种。大型壳体加工由进口的自动焊接机、X 射线探伤仪等先进设备来保证,意大利进口的数控加工中心可对壳体进行多维加工,实现高精度多角度一次完成。采用世界先进的冷翻边技术对壳体进行翻边。西开厂已鉴定的 ZF7A-126 型 GIS 为国内首创断路器采用自能灭弧室和全弹簧机构的 GIS。

- 沈阳高压开关有限责任公司的 GIS 是引进日立公司技术产品,电压等级在 72.5~550kV,已销售 600 多间隔,72.5/126/145kV GIS 为三相共筒式;252kV 主母线为三相共筒式,其它元件为三相分相式;363kV/550kV 为三相分相式。断路器灭弧室采用单压同步双向吹气方式。550/363kV 断路器配液压操动机构;252kV 断路器配气动操动机构,72.5/126/145kV 断路器配气动操动机构或液压操动机构。产品适于-35℃或更低环境温度。户外采用防水注胶槽(硅橡胶)结构,单断口最高电压达到 363kV。252kV 单断口不带并联电容器开断 50kA,550kV 双断口开断 63kA,喷口为陶瓷(加氮化硼的聚四氟乙烯),不检修开断额定短路电流次数达 20 次。产品绝缘裕度大,绝缘件单件绝缘水平是整机的 1.2 倍。壳体为钢板、不锈钢板或铝板卷制焊接而成。在壳体、绝缘杆、精密加工件、温挤压件和旋压件的制造、装配和试验上进行了研究和攻关,建成加工生产线和洁净厂房,配置了外环缝埋弧自动焊接机和直缝自动焊接机、数控火焰等离子切割机、液压翻边机、环氧树脂浇注生产线、喷口等静压生产线、铝合金压气缸温挤压生产线、屏蔽罩旋压生产线等设备和一些试验设备。

- 平顶山天鹰集团有限公司生产的 ZF5-126 型 GIS 为引进法国 MG 技术制造的产品,已提供了 550 多个间隔供应国内及东南亚地区。GIS 结构为分相式,母线为三相共箱,壳体有钢制和铝制;主要密封面采用双密封结构,并在两密封圈之间设置检漏孔;自制加 Al₂O₃ 填料的复合喷口;断路器采用单压双喷变开距灭弧室,液压机构操作;绝缘拉杆采用真空浸胶玻璃布管,产品喷涂面漆采用机器人生产线;并采用筒体拔口的拉伸成型工艺。

- 北京开关厂生产的 ZF4-126 型 GIS 为自行开发设计的产品。从 1985 年开始已生产

700 多个间隔,装配了 100 多个变电站。产品采用分相式结构。断路器采用定开距双喷式灭弧室结构,配液压操动机构;单分开断电流达 40kA,喷口为铜钨 80、石墨和聚四氟乙烯三种材料制成,耐弧性能好;隔离开关的外壳为球形结构,连接处采用拔脖圆弧过渡。互感器可满足高精度、小变比。充气压力低,可适应低温地区,曾在 -43°C 的地区使用,外壳为钢板卷制焊接而成;环氧绝缘件采用 APG 工艺加工,盆式绝缘子局放小于 3pC。

- 上海华通开关厂生产的 ZF3—126 型 GIS 为自行研制开发的产品,其中的断路器 LF—126 灭弧室采用了 ABB 技术,并消化吸收后全部国产化。ZF3—110 采用三相分箱布置,母线筒三相共箱;断路配液压操动机构,开断电流达 40kA;喷口材质为聚四氟乙烯(填料为二硫化钼)。

- 西安高压电器研究所于 1980 年研制了 ZF1—252 型 GIS。最近,又与重庆博森电气公司联合,根据城网建设改造需要,研制出 ZF10—126(L)型 GIS。这是一种主母线三相共筒,其它为分相式的产品,元件经过小型化优化设计,最小间隔宽度仅为 1.2m,二次控制与监视回路集中配置在每个间隔的就地控制柜中,利用计算机可以就地或远方进行操作与监视。断路器采用气压与热阻塞相结合的灭弧原理,在满容量下的电寿命可达 25 次。由于气体压力和密度、液压机构油压和断路器的机械动作和特性等可以自动监视,故通常的维护量较少。

国内 GIS 主要技术参数见表 2。

2. 存在的差距

产品在可靠性上,特别是机械可靠性上急待大幅度提高;设计水平、工艺材料和生产管理上与国外差距较大;生产批量未达到经济规模;GIS 产品大多引进国外 80 年代产品技术,经过改进和移植,自行开发力量薄弱;产品外观质量与国外相差较大,铸铝件和壳体表面处理等有待提高,原材料、元器件的总体质量水平及稳定性差距较大;还需加速开发新型高可靠、免维护的 GIS 产品;一些高技术产品尚有空白,智能化新技术尚在刚刚起步;另外应积极进一步采用新工艺、新材料,大力发展小型化产品。

四、特高压 GIS

前苏联早在八十年代就开始了特高压 GIS 的研究,1150kV 的 GIS 也投入降压试运行。ABB 公司曾与美国 AEP 联合进行特高压研究。意大利 ENEL 公司也研究试验过特高压开关设备。但由于电力市场需求减缓,输电技术,特别是柔性输电技术的发展使超高压的输送能力大大增加,加之担心特高压对环境的影响,因此近几年来原先热心于特高压的国家先后放弃了研究,目前只有日本三大公司在特高压领域的研究开发较为活跃。我国国内的特高压技术发展目前还在论证阶段。日本东芝、日立和三菱相继于 1994~1995 年研制出双断口 1100kV GIS,额定电流 8000A,开断电流 50kA,已于 1996 年 4 月每个公司各做一相送往东京电力公司新榛名特高压试验所进行为期两年的长期带电试验。

日本三家公司首先于 1992~1994 年相继开发出 550kV 63kA 单断口 SF₆ 断路器,进而开发出 1100kV 双断口 GCB 和 1100kV 隔离开关、接地开关、互感器和避雷器等元件。

三家公司都在 GCB 开发上采用了一些新技术,例如采用主触头与电阻断口并联成双断口的形式,用 700 Ω 的电阻进行合闸和开断;改进喷嘴形状;采用高效能液压操动机构等技术。

特高压 GIS 的工作电压尽管比 550kV 系统上升一倍,但其雷电冲击水平(LIWV)限定

在 550kV 级的 1.5 倍,所以需要使用高性能 ZnO 避雷器,将 LIWV 降至 2250kV;断路器为两个串联的 550kV 灭弧室组成。为了抑制操作过电压,除主断口外,还有电阻断口。电阻值选定为 700Ω 以便使传输线上的操作过电压降至 1.7p.u. 以下,变电站周围降至 1.6p.u. 以下。电阻为分合闸共用。灭弧室采用混合压气式结构,并利用了电弧能量加热 SF_6 气体,增加压气室压力,形成强烈的双向吹弧。灭弧室额定气压从 0.5MPa 提到 0.6MPa,绝缘性能提高 15%。尺寸最佳化,开断速度是 550kV 双断口的 130%。主触头和电阻开断触头间采用机械延时驱动方式。操作 GIS 隔离开关可能会产生高达 2.8p.u. 的重击穿过电压,超过 LIWV,所以在隔离开关断口并联 500Ω 的电阻,在最可能重击穿电压 1700kV 下,将最大操作过电压限制在 1.3p.u.,隔离开关采用 550kV GIS 的压气式灭弧室,隔离开关上的电阻为陶瓷型或无电感环氧树脂浇注双丝缠绕金属电阻,将动静触头之间产生的重击穿电弧在初始阶段转移到电阻屏电极与动触头间区域,达到控制过高重击穿电压的目的。快速接地开关各带一个压气灭弧室和一个液压操动机构,具有与断路器相同的机械操作速度,当断路器切断输电线上的单相接地故障之后,快速接地开关 HSGS 熄灭来自其它线路上的感应电流,从而可使断路器进行快速重合闸。HSGS 是在线路其它相带电情况下操作的,在耐受 80ms 燃弧时间之后能开断正常的感应电流。为使设备小型化,采用了不会饱和的空心电流互感器和光电压互感器,另外开发了小型母线和环氧树脂浇注绝缘件,如盆式绝缘子,保证 50 年的绝缘特性。

特高压 GIS 参数见表 3。

五、发展趋势

随着对 GIS 研究的不断深入和电力系统发展需要,GIS 的发展趋势是:

1. 小型化

1) 采用小型化元件

灭弧室采用自能灭弧原理,使操作功减小,可以配用弹簧操作机构。此外,利用计算机进行优化设计,使技术参数合理化,进一步改善电场,缩小外壳尺寸。

2) 提高单断口电压

单断口电压提高,使零件用量减少,体积减小。如 550kV 单断口断路器比双断口零件减少 25%。

3) 元件功能复合化

隔离开关的功能可以与断路器结合在一起,隔离与接地功能也可合在一起,某些隔离开关就可取消。例如,采用三工位隔离、接地开关,使几个元件共用一个外壳等,可以使 GIS 结构更合理,体积更缩小,经济性更强,可靠性更高。

4) 三相共筒

虽然 300kV 以上电压等级 GIS 实现全三相共箱较难,但在 170kV 及以下电压等级上三相共箱是 GIS 小型化的一个方向。

5) 光电元件的使用

光电流电压传感器代替传统电流电压互感器,可将传感器集成在断路器中,使用数字信号通讯和控制设备,不仅使 GIS 更小,可靠性也大大提高。

6) 采用新型氧化锌避雷器

采用新型高性能氧化锌避雷器,元件数减少,体积缩小。

2. 提高对环境的适应性,减少对环境的污染

在严重污染地区,对 GIS 的要求越来越严酷。GIS 在壳体材质和表面涂敷材料上要求能抗严重的盐污和其它污染,采用新材料(如敷铝锌板用在控制柜等),出线套管采用复合绝缘套管等措施。在严寒地区,用 SF_6 与其它气体(如 CF_4 或 N_2 或 He)混合的方法来防止由于 SF_6 气体液化而引起的绝缘性能的降低;用弹簧操动机构代替液压机构,以适应寒冷地区的使用。在狭小地方安装 GIS,就要让 GIS 在寿命周期内无需检修,寿命期后整体更换。日本在城市中高层建筑狭缝中安装的 GIS 就是这样,因无检修空间,所以 GIS 要设计成在寿命周期内无需检修的设备。另外要减少设备发出的噪音及无线电干扰的污染,尤其是消除 SF_6 气体对大气产生的影响。这里,除努力减少 SF_6 气体从密封设备里泄漏到环境中,还要进行 SF_6 的重复利用。

3. 智能化

智能化是目前 GIS 发展的最重要的方向之一,也是研究的热门课题。不仅将微电子技术、计算机技术和传感技术以及数字处理技术应用在二次方面对 GIS 的各项指标进行监测、分析、判断、控制、保护和测量,及时发现异常,将定期维修改为按需要维修,并进行状态预测,以便提前采取措施(这是实现 GIS 免维护的技术之一),而且对信息进行数字传输(光纤传导)和智能判定及断路器的智能操作也提出要求。智能操作可使开关设备进入智能化的高级阶段,可使产品寿命及运行可靠性进一步提高。目前已有理论研究成果。

4. 与用户友好界面

引入计算机以后,GIS 设备将能很好地与用户对话,并使设备自动化程度提高,更方便用户的操作、管理,减少了运行人员等。

5. 环境协调

外观也越来越美观,使其与周围环境协调一致。国外生产厂家很重视这一点。

6. 整体变电站

GIS 与变压器结合在一起,成为真正意义上的整体变电站。现在出现的 SF_6 气体变压器很有可能与 GIS 装在一个壳体内,但这还有待于气体变压器进一步发展。国外已有公司在 126kV 级上研究这个课题。

表 1

国外 GIS 主要技术参数

产品型号	EXK-01 Smart	ELK-0	ELK-1~ELK-3	ELK-4	8DN8	8DN9	8DP3	8DQ1	8DR1
额定电压 kV	123(126)	72.5~170	252~525	800	~145	~245	~300	~550	~800
额定电流 A	800~2500	1250~3150	4000	5000	~3150	~3150	~5000	~6300	~8000
额定短路开断电流 kA	40	31.5~40	40~60	50~63	~40	~50	~50	~80	~63
额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV	550(630)	385~860		2100	~650	~1050	~1050	~1800	~2100
额定工频耐受电压(1min) kV	230(265)	195~376		960	~275	~460	~460	~740	~950
额定开断时间 周波		2.5	2.5	2.5					
每极断口数	1	1	1或2	2或4	1	1	1	1或2	2或4
配用机构	弹簧	液压	液压	液压	弹簧	弹簧	液压	液压	液压
断路器中额定 SF ₆ 气体压力 (20℃) MPa	0.6	0.6			0.65	0.6	0.6	0.6	0.65
生产厂家	ABB	ABB	ABB	ABB	西门子	西门子	西门子	西门子	西门子
备 注	智能化小型化				小型化、 二次控制智能化	小型化、 二次控制智能化			

国外 GIS 主要技术参数

续表 1

产品型号	F35	B65	B212	B95	B3	B4	YGS-145
额定电压	kV 72.5~100	145	245(170)	72.5~245	420	525	145
额定电流	A 2500~3150	2500~3150	3150	2500~3150	4000	5000	2500
额定短路开断电流	kA 31.5	40	40(50)	40	50	50	31.5
额定雷电冲击耐受电压(峰值)	kV 325~450	650	1050	325~950	1425	1550	650
额定工频耐受电压(1min)	kV 140~185	275	460	140~395	520	620	275
额定开断时间	周波 3	3	2.5	2.5			2.5
每极断口数	1	1	1	1		1 或 2	1
配用机构	弹簧	弹簧	弹簧	弹簧	液压	液压	弹簧
断路器中额定 SF ₆ 气体压力(20℃) MPa	0.63	0.55	0.55	0.38~0.55			0.5
生产厂家	Alstom	Alstom	Alstom	Alstom	Alstom	Alstom	雷诺(英)
备 注	自能灭弧	自能灭弧二次控制智能化					自能灭弧

续表 1

国外 GIS 主要技术参数

产 品 型 号	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
额定电压 kV	72.5~145	170~245	245~300	362~525	72.5~145	123~145	170	245~300	362	425~525		
额定电流 A	2000~3150	3150~4000	3150~4000	4000~8000								
额定短路开断电流 kA	20~40	40~50	40~63	40~63	31.5	31.5~40	40~50	40~63	40~63	40~63		
额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV	350~650	1050	1050	1425	325~650	550~650	750	950~1050	1175~1300	1425~1550		
额定工频耐受电压(1min) kV	140~275	460	460	620								
额定开断时间 周波												
每极断口数	1	1	1	1 或 2	1	1	1	1 或 2	1 或 2	1 或 2		
配用机构	弹簧			气动	弹簧	弹簧	气动	气动	气动	气动		
断路器中额定 SF ₆ 气体压力 (20℃) MPa	0.65				0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49		
生产厂家	东芝	东芝	东芝	东芝	日立	日立	日立	日立	日立	日立		
备 注	混合压气式											

* 为没有查到型号的产品

国外 GIS 主要技术参数

续表 1

产品型号	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
额定电压 kV	72~144	72.5~145	170	245~300	362	420	550	126	252	525
额定电流 A	800~3000	1250~3150	1250~3150	1250~4000	2000~6300	2000~6300	2000~8000	2000	2000~3150	3150~4000
额定短路开断电流 kA	31.5~40	25~40	25~40	25~63	40~63	50~63	50~63	40	40~50	40
额定雷电冲击耐受电压 (峰值) kV	400~650	325~650	750	950~1050	1175	1300	1425	630	950	
额定工频耐受电压 (1min) kV		140~275	325	395~460						
额定开断时间 周波		3~5	3~5	3~5	2~3	2~3	2~3			
每极断口数	1	1	1	1	1	1或2	2或4			
配用机构	弹簧	弹簧	弹簧	气动	气动	气动	液压			
断路器中额定 SF ₆ 气体 压力(20℃) mPa	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			
生产厂家	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	三菱	电力机械厂(俄)		
备 注	新型小型 化产品									

* 为没有查到型号的产品