

DL/T 728—2013

《气体绝缘金属封闭开关设备 选用导则》

学习读本

刘兆林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DL/T 728—2013

《气体绝缘金属封闭开关设备 选用导则》

学习读本

刘兆林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

DL/T 728—2013《气体绝缘金属封闭开关设备选用导则》规定了气体绝缘金属封闭开关设备（简称 GIS）的选用要求，是用户订购 GIS 时应满足的基本要求。为方便广大读者更好的理解、掌握 DL/T 728—2013，作者根据自己多年从事相关工作的经验，以标准修订中讨论过的问题、用户在设备选型中提出过的要求为基础编写了本书。本书在编写上未局限于条文解释，根据作者的实践和体会拓展了某些内容。

本书可供从事 GIS 设备科研、制造、规划、设计、采购、监造、调试、验收及运行维护人员使用，也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

DL/T 728—2013《气体绝缘金属封闭开关设备选用导则》
学习读本 / 刘兆林主编. —北京：中国电力出版社，2015.5
ISBN 978-7-5123-7461-4

I. ①D… II. ①刘… III. ①气体绝缘材料—金属
封闭开关—基本知识 IV. ①TM564

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 064854 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 141 千字

印数 0001—2000 册 定价 25.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为方便广大读者更好的理解、掌握 DL/T 728—2013《气体绝缘金属封闭开关设备选用导则》(简称“本标准”),作者根据自己多年从事相关工作的丰富经验以标准修订中讨论过的问题、用户在设备选型中提出过的要求展开为基础编写了本书。本书可作为标准内容的补充,通过对有关条款的释义和讨论,帮助读者去了解、掌握重点。本书在编写上未局限于条文解释,而是根据作者的实践和体会拓展了某些内容,在各个环节上从用户的角度提出了选用设备上要关注的问题,其中涉及的一些具体要求可在设备采购和签订技术协议时加以考虑,亦可供用户在设备监造和设备验收工作中参考。

气体绝缘金属封闭开关设备是一种电器产品的组合,其中包含的功能元件较多,有断路器、隔离开关、检修接地开关、快速接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线与分支母线、不同的进出线连接方式等。为了更好的应用本标准读者首先要了解、熟悉这些元件各自的性能和技术要求,这对使用标准会有很大的帮助;其次应结合读者自身经验,对设备在系统中运行时可能会遇到问题的基本概念有正确的认识,如隔离开关开合感应电流现象、断路器重合闸过程中的合-分时间要求等。

本标准主要是规范选用设备的要求,故并未对每个细节均进行详细地描述。限于技术发展对事物认识影响的局限性,且本标准的不同版本侧重点不一样,故在应用时需注意有所区别。另因篇幅所限,对一些背景知识和理论阐述可参见其他有关专业书籍。

限于本人水平,书中的某些个人观点仅供读者参考,并欢迎读者提出批评意见。

最后谨对在本书编写过程中给予帮助和提供资料的同行、朋友们表示衷心感谢!

编者

2015年2月

目 次

前言

1 背景介绍	1
参考文献	3
2 范围与规范性引用文件	4
3 工程基本要求与供货范围	7
参考文献	14
4 额定参数	15
参考文献	28
5 设计与结构	29
参考文献	52
6 试验	53
参考文献	64
7 包装、运输与贮存	65
参考文献	67
8 现场安装与调试	68
参考文献	82
9 运行维护与检修	83
参考文献	87
10 其他	88
参考文献	92

背景介绍

1

1.1 GIS 的起源

气体绝缘金属封闭开关设备 (Gas-insulated metal-enclosure switchgear, GIS) 于 1936 年源起美国, 当时使用的绝缘介质是氟里昂, 额定电压仅 33kV。1940 年代末, SF₆ 气体用于商业后, 各国在实际应用上开展了大量的研究并用 SF₆ 气体成功地取代了氟里昂。到 1960 年代中期, 欧洲和日本相继有 GIS 投入商业运行, 如 Alstom 公司于 1966 年已有 245kV 电压等级 GIS 提供给法国电力公司, 且至今还在运行^[1]; Siemens 公司的第一套 6 个间隔的 145kV GIS 于 1968 年问世^[2]; ABB 公司 (原 BBC 公司) 的 EBK-01 型产品 (额定电压 145kV, 额定电流 2000A, 额定短路开断电流 31.5kA) 于 1969 年投入运行^[3]; 日本的 GIS 于 1969 年投入商业运行, 电压等级为 72.5kV^[4]。GIS 因具有体积小、可节约土地资源、运行不受外界环境影响、维护简单和检修周期长等优点而得到用户的青睐, 从而发展迅速。到 20 世纪 80 年代中期, 最高额定电压达到 800kV, 该设备用于南非电网^[1]。20 世纪 90 年代中期, 日本又研制出额定电压 1100kV 产品, 并在东京电力公司投入带电试验至今。我国自 2004 年起决定发展 1000kV 电网, 经艰苦奋斗, 在大量试验研究的基础上完成了设备试制, 于 2009 年初成功地投入试运行, 迄今已有 10 个变电站、几十个间隔设备在商业运行。2014 年额定电压达 1200kV 的产品在印度也开始了带电试验。

我国自主研制、开发 GIS 的工作于 20 世纪 60 年代中期开始起步, 1966 年长江流域规划办公室 (1988 年更名为长江水利委员会) 提出了研制全封闭组合电器的建议, 西安高压电器研究所和西安高压开关厂接受了这项任务, 从 1967 年始到 1971 年 6 月完成了第一台 126kV 的样机, 经过各项试验考核, 1973 年 10 月在丹江口电站投入商业运行, 用于一个线路间隔。之后国内其他几家大型开关厂相继有产品推出。到 1980 年, 已经小批量生产的 ZF1-110D 型 GIS 具备了开断 31.5kA 短路电流的能力, 单断口的 252kV/40kA 的 GIS 完成型式试验将投入试运行^[5]。但是, 当年我国的制造水平还不高, 可供参考的资料也很少, 限于材料、设计与工艺水平, GIS 的产量和成本无法满足用户的需求。早期国内使用 GIS 较多的地方主要是水电站和大型钢铁、石化企业。相比一个水电站的投资, GIS 的成本能够被用户接受, 而水电站特殊的坝内或洞内安放条件, GIS 也更容易布置下, 故很长一段时间电力行业中水电系统是 GIS 的最大用户。改革开放后的 20 世纪 80 年代, 结合国家重点工程配套设施和城市电网改造, 电网系统进口过一批设备, 典型的有与上海宝钢配套的三菱 252kV GIS, 当时有 9 个间隔就感觉很大了。到了 90 年代中期, 随着电网建设和电器

制造业的发展,进口产品进入市场多起来,特别是合资产品在国内开始生产后,促进了GIS的制造技术和产品的应用,用户范围不断扩大。以国家电网公司华东分部为例,2000年之前GIS总的间隔数为496个,到2004年底有1812个,2008年底达到3925个,目前已超过10000个,增长量相当可观,说明其技术性能和优势已被用户广泛认可并接受。近年来,在高电压领域GIS的装用量比空气绝缘开关设备多得多,据统计,截至2013年底国家电网公司系统GIS的装用量达48498间隔,与前一年同比增加7339间隔,增幅17.8%。而同期空气绝缘断路器、隔离开关的增幅分别为4.8%和1.5%^[6]。实际上这种情况已延续了数年,说明GIS的使用量已超过常规的开关设备,而且今后一个时期内仍将作为电网中的主力设备得到发展。

1.2 相关标准的编制过程

本标准是电力行业标准,与国家标准的区别在于对某些条款根据用户需求、运行经验和使用习惯提出了具体的规定,要求上比国家标准严。众所周知,设备标准是指导用户(这里包括各个行业)与有关设计、制造、试验等方面的使用者如何去共同遵守的准则。

国家标准GB 7674—1987《六氟化硫封闭式组合电器》是我国第一部关于组合电器的标准,其编写基础是等效采用国际电工委员会IEC 517:1986《72.5kV及以上封闭式组合电器》标准,当年我国的材料工业和制造业还处于一个较低的水平,实际投运的间隔数也不多,故先采纳IEC标准来指导GIS的制造和应用是很现实的。等效采用实属有些内容需适应国情而修改,如电压等级国家标准是从35kV到500kV,且规定用系统电压作为额定电压;绝缘水平也未能与我国的绝缘配合标准对应起来,不仅是在330kV和500kV等级上相对地工频耐受电压只有参考值,相间和隔离断口的数据还提不出来;对结构设计和要求也提不出自己的要求等。但不可否认的是该标准对促进GIS在我国的发展起了重要作用。

GB 7674第一次修订后的名称是GB 7674—1997《72.5kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备》,修订仍等效采用IEC 517:1990《72.5kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备》标准。修订中对1987年版的标准编写结构做了调整,并新增了GIS选用导则、查询和订货时提供的资料、投标时提供资料的章节。GB 7674—1997与GB 7674—1987的差异主要有:

- (1) 统一了专业术语,用名称“气体绝缘金属封闭开关设备”取代“六氟化硫封闭式组合电器”,同时提出额定电压取电气设备的最高电压,与IEC的定义保持一致。
- (2) 正常使用条件直接引用GB 11022—1989《高压开关设备通用技术条件》。
- (3) 有部分条文直接引用了IEC 517:1990中的规定。
- (4) 取消了2.12条SF₆年漏率的名词解释,将其纳入新版的4.3条的密封性要求中。

GB 7674第二次修订后的名称是GB 7674—2008《额定电压72.5kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备》。随着我国制造水平提高、GIS使用量快速增长,以及我国在实际应用中某些方面与IEC标准存在的差异,作为国家标准应该反映中国在这方面的需求,修订是修改采用IEC 62271.203—2003标准,可以认为这一版反映出我国当前的GIS水平和现实状况。GB 7674—2008与GB 7674—1997的差异主要有:

- (1) 额定电压中增加了800、1100kV两个电压等级及相应的参数要求。
- (2) 绝缘水平普遍有所提高,特别是对额定电压363kV及以上的电压等级。

(3) 增加了防腐蚀的相关要求以及接地回路电气连续性的要求。

DL/T 728—2000《气体绝缘金属封闭开关设备订货技术导则》。编制的目的是为用户在向国内外制造厂订货时提供技术指导。电力行业气体绝缘金属封闭电器标准化技术委员会认为进入 21 世纪将会迎来一个使用 GIS 设备的快速发展阶段,有必要提出基本的技术参数和结构要求,规范用户在订货各环节中的质量标准。作为行业标准,与国家标准差异是:在内容编排上提出了以往标准中尚未采用过的“工程概况”和“供货范围”的规定,增加的最后一章内容也具有实际意义,对工程设计中技术协调和图纸交付提出了要求,提请用户与制造厂在商讨技术协议中给予关注,编写中较国家标准还有一些更具体的内容描述。

本标准是 DL/T 728 第一次修订,并更名为《气体绝缘金属封闭开关设备选用导则》。时隔这么多年,我国的电器设计、制造工艺水平和材料工业的发展都有了显著的提高,且用户的运行经验有了极大地丰富,现在回过头去看,上一版中有些内容已不太合适,故在修订中增加了一些新的内容,以增加使用的实际意义,同时对目前用户在订货时遇到的一些问题也提出了要求。DL/T 728—2013 与 DL/T 728—2000 的差异主要区别有:

(1) 根据现场安装的需要增加了对环境条件的有关规定。

(2) 补充 GIS 与相关设备连接结构要求的描述,包括电缆连接终端、与变压器之间的直接连接、与气体绝缘金属封闭线路的直接连接。

(3) 增加了气体监测系统、局部放电监测装置、振动等内容。

参 考 文 献

- [1] GIS from 60kV to 800kV [R]. Alstom Catalog. 2010.
- [2] GIS from 72.5kV to 800kV [R]. Siemens Catalog. 2013.
- [3] 52~1100kV GIS 的研制经验 [J]. ABB Review. 2009 (1): 92-98.
- [4] 日本输配电系统 20 世纪高压开关设备发展回顾 [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 2006 (2).
- [5] 李名骥. 我国第一套 110kV 全封闭组合电器运行七周年 [J]. 高压电器技术, 1980.
- [6] 杨堃, 李炜. 2013 年高压开关设备运行分析 [J]. 智能电网, 2014 (9): 119~123.

2

范围与规范性引用文件

2.1 范围

本标准适用于额定电压 72.5kV 及以上、频率为 50Hz 的户内外 GIS 设备的订货，且是用户在选用设备时应满足的基本技术要求。此外，也适用于复合式组合电器设备（Hybrid gas-insulated switchgear, H-GIS）。使用中对于因实际工程中需要提出的特殊要求或根据用户使用习惯、运行经验提出的要求，用户可与制造厂协商解决。同时，本标准也可供选用额定电压低于上述水平的 GIS 设备作参考。需要说明的是，近年来中压（40.5kV）GIS 发展很快，最初该设备借助充气开关装置的概念，密封的箱形结构、灭弧元件可能是真空灭弧室，发展到今天外形采用了圆筒形、全 SF₆ 气体断路器且和母线一样为三极封闭在一个公共外壳内、三工位隔离/接地开关等结构，选用中压 GIS 时可借鉴本标准。

2.2 相关标准

按 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》要求，在本标准中使用规范性引用文件来描述引用的相关标准。通常一个技术标准在编写中会涉及许多内容，出于标准的严谨和简要明了要求，标准中的条款内容不会像教科书那样进行解释，也不会将其他标准说明的问题再照搬过来，仅注明是引用何标准，这样就要求使用者要了解这些相关标准的内容，增加这方面的背景知识。相关标准包括国家标准和电力行业标准，由于这两类标准均与 IEC 标准有关，故标准的规范性引用文件中未再出现 IEC 标准。规范性引用文件中涉及的相关标准可分为基础标准、设备标准和辅助标准，以下将逐一进行介绍。

2.2.1 基础标准

GB/T 311.1 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则

GB/T 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求

DL/T 593—2006 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

本标准共引用了 4 个基础标准，绝缘配合标准主要是为设备的绝缘水平规定提供依据，这里面不乏有系统中性点接地方式的影响、断路器断口反相耐受电压选取、超高压系统带串联补偿装置运行时电压变化影响等问题，还有与避雷器保护配合、系统和设备要承受过电压的要求。高电压试验技术标准对 GIS 设备，包括其主要元件的试验方法、条件和判据进行了规定，GIS 设备所进行型式试验、出厂试验和现场试验要求都是在此标准基础上提

出的,当然开关设备还有自己的特殊性,如作为联络开关的断路器要承受两个系统的电压,需要用联合电压试验进行考核。

GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》对开关设备提出基本规定,与开关设备有关的设备如断路器、隔离开关、负荷开关、接触器等都要遵从其规定,这是一个非常重要的标准。虽然国家标准和电力行业标准都有这个要求,但基本内容是一致的,仅在某些方面电力行业标准要求更高些,如绝缘水平、对环境条件的要求以及某些具体的参数等。

以往可能有读者,特别是用户在应用《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》标准中总感到有些不易理解的问题,这主要是因为用户对标准中出现的数据和要求的背景知识不甚了解,想查找资料又缺少来源。这个问题现在可通过查阅 2012 年 IEC 出版的技术报告: IEC/TR 62271—306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers (高压开关设备与控制设备—第 306 部分: IEC 62271-100、IEC 62271-1 以及交流断路器相关的其他 IEC 标准的导则)得到解决。该报告对高压开关设备和控制设备标准系列中涉及的数据、现象和计算方法等问题进行了很好的说明、解释和应用举例,为制定高压开关设备技术标准提供了充分依据。

2.2.2 设备标准

GB 1207—2006 电磁式电压互感器

GB 1208—2006 电流互感器

GB 1984—2003 高压交流断路器

GB 1985—2004 高压交流隔离开关和接地开关

GB/T 4109—2008 交流电压高于 1000V 的绝缘套管

GB/T 5273—1985 变压器、高压电器和套管的接线端子

GB 7674—2008 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备

GB 11032—2010 交流无间隙金属氧化物避雷器

GB/T 20840.7—2007 互感器 第 7 部分: 电子式电压互感器

GB/T 20840.8—2007 互感器 第 8 部分: 电子式电流互感器

GB/T 22381—2008 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与充流体及挤包绝缘电力电缆的连接 充流体及干式电缆终端

GB/T 22382—2008 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与电力变压器之间的直接连接

GB/T 22383—2008 额定电压 72.5kV 及以上刚性气体绝缘输电线路

DL/T 402—2007 交流高压断路器订货技术条件

DL/T 486—2010 高压交流隔离开关和接地开关

DL/T 555—2004 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则

DL/T 617—2010 气体绝缘金属封闭开关设备技术条件

DL/T 618—2011 气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程

DL/T 978—2005 气体绝缘金属封闭输电线路技术条件

设备标准基本上涵盖了 GIS 中各个主要元件,用户在选用 GIS 设备中若涉及某元件的

具体规定就需要查询这些，特别是有关试验标准对设备验收和投运不可或缺，在应用本标准时需给予关注。

2.2.3 辅助标准

GB 4208—2008 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 12022 工业六氟化硫

与 GIS 设备相关的辅助标准有很多，本标准仅引用了两个，但并不代表其他的辅助标准不重要。外壳防护等级标准重点针对户外设备，该标准通过 IP 代码对防护要求做出了规定，用户看到代码即可知晓应达到防尘还是防水，以及可用何种试验方法进行检验，这点很重要，特别是对使用户外设备的用户，环境条件对安全运行的影响不可忽略。工业六氟化硫（以下称为 SF_6 ）的标准规定了作为绝缘、开断电流用介质的技术性能，用户除了要知道温度对气体影响、湿度的变化，对气体的纯度、分解物的含量也应给予重视，这些要求在标准中都有规定。此外经常会使用到的还有 GB/T 8905—2012《六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则》。虽然标准针对的是新气，但对运行中性能发生变化的气体也有参考价值。

至于其他的辅助标准，读者可从基础标准和设备标准中的规范性引用文件中查得，必要时可通过查找那些标准去判断和解决问题。

工程基本要求与供货范围

3

这两部分内容是根据用户选用设备的要求专门编写的，国家标准和 IEC 标准中均没有这两部分内容，仅提出使用条件的规定。工程基本要求是用户在选用设备时应该提出的条件，相当于用户或设备采购方对选用设备将来使用情况的描述，以便让供应方或制造厂对用户要求有一个初步概念。供货范围则明确提出采购设备的具体需求，应包括主设备、辅助设备和备件的数量与品种；供需双方的责任和权益、交割界面的划分以及对技术服务的要求。通过这些规定可规范设备采购的行为。

3.1 工程基本要求

首先要提出的是设备最终安装使用的地点，为便于管理也应告知工程名称，并对所在地的交通条件要有一个介绍，对国内用户，制造厂一般可通过铁路或公路运输将设备运至使用地点，当然有条件也可利用水路运输，用户只需提示下即可，届时制造厂将会制定专门的运输方案去实施，因为运输途中有何限制（如超高、超长等）是很重要的问题，否则可能会增加不少额外的费用。若是国际招标，制造厂对用户情况一定要注意询问清楚，因为多数情况下是通过海运运输，目的港应明确，至于目的港到工程所在地的运输条件则与国内运输相同。

对供给电力用户的设备，制造厂还需关注有关工程名称发生变化的问题，由于用户在招标时使用的是工程建设名称，随着工程建设结束，临近产品交付时变电站正式的运行调度名称将会发布，若由制造厂负责提供一次接线的标识（主要是设备的双重命名）就需要按此制作，故该工作须放在最后时间去做；同时制造厂还需在设备档案中对工程名称加以备注，以便日后开展技术服务可对应起来。此问题对其他用户影响不大，因一般工程名称不太会发生变化。

其次是工程特征的要求，用户要给出 GIS 设备布置的平、剖面图，图中对安放设备的各种限制均要明确给出，对户外 GIS 布置，道路、构架、建筑物等的相对位置应标出并给出具体尺寸；对户内 GIS 布置，设备室的土建图应清晰、尽可能多的提供信息，例如是地下布置还是高层（二楼或以上）布置，土建结构中可承重的梁、柱、墙等要专门标注出来，可利用的起重设备也要标注，此外运输要经过的门、洞尺寸也非常重要。制造厂根据用户提供的图纸进行 GIS 设备布置时，一方面要考虑设备能安放得下，另一方面还要考虑设备安装时的空间，安装后现场交接试验安全距离、设备检修时拆装部件的空间，以及故障抢修时要有足够的场地开展工作等因素。

与 GIS 连接设备的相对位置对 GIS 布置有很大的影响,一般户外布置可适当地进行调整,而对户内或地下变电站、水电站坝内或洞内布置,由于主变压器、电抗器体积庞大,需有专门的地方安放,且一旦固定后不可能进行改变;进出线间隔也因线路通道开凿工程量巨大不允许变动;相对来讲 GIS 布置还比较灵活,结果只能靠改变 GIS 布置去满足要求。制造厂可从产品制造尺寸、合理的相对安放位置以及连接方式上想办法来解决,如采用分支母线加油气套管用于与变压器或电抗器的连接,分支母线加电缆终端或气体绝缘金属封闭输电线路(以下简称 GIL)连接进出线,有这些要求的用户需要与制造厂专门进行讨论,研究解决。当然这两种连接方式在户外设备上也有采用,只不过户内布置上用得多些。由此还引出另一个问题,即地下变电站、水电站坝内或洞内布置 GIS 的现场耐压试验,一个有限的空间内要安放常规的空气绝缘试验设备以及保持试验时的安全距离很困难,因此在选用设备时有用户就明确要采用与 GIS 对接的充 SF₆ 气体谐振试验变压器进行现场试验,目前该装备普及程度还不够,但国内已有使用的经验。

用户须专门对 GIS 的结构提出要求,特别是对断路器的布置是采用卧式还是立式、主母线是三极封闭在一个公共外壳内的结构(三相共箱式)还是单极封闭在一个独立外壳内的结构(分相式或单相隔离相式),这对 GIS 整体布置和工程投资会产生较大的影响,有关布置中 GIS 结构上的一些细节问题将放在后面的章节介绍。通常断路器采用卧式布置,虽然占地面积要大些,但运行可靠性要好,因为灭弧室内如果有异物只会掉落在罐体底部,而不会像立式布置掉落在下方的绝缘隔板上有诱发绝缘故障的可能;当然立式布置因为高度要增加还有对空间的要求。主母线结构反映出一家制造厂的水平,特别是在高电压等级的产品上采取三相共箱式结构将体现其在电场设计中的先进性,目前国外已有 550kV 三相共箱式结构的 GIS 在运行。采用分相式母线布置需注意有相序问题,即相序始终应保持一致,例如从主母线开始 A 相就不可受到与各部件连接的影响,必须一直保持到出线始终是同相相连,否则安装后将无法运行。

GIS 布置还与电气主接线密切相关,到设备选用阶段电气主接线方式应已确定,国内普遍采用的有桥形接线、双母线、双母线加分段、3/2 断路器接线等,由此即可得出 GIS 元件的配置数量;对分期建设的变电站需明确最终接线与本期接线的关系,以及本期建设范围中主接线上是否有为今后扩建预留间隔或过渡措施的要求。对用户而言,希望扩建时对运行设备的影响可降至最低;对制造厂来说考虑更多的是扩建时施工和试验的方便性,显然两者目的不一样对 GIS 布置会有影响,需通过协商解决。随着市场的开放,因种种原因扩建工程并不一定选用原制造厂的设备(实际上以往也曾有过),故制造厂对此并不是很关注,反倒是用户更为关心。

工程特征中还包括了工程建设计划和交货期的要求,用户将告诉制造厂初步的建设计划,这与何时交货有关,可以让制造厂有一个时间上的概念,同时对交货期提出时间要求。制造厂需根据用户现场施工进度合理安排交货,如 GIS 采用预埋构件作为固定 GIS 设备的基础,而地脚螺栓又由制造厂提供,此时就需明确提前供货以配合土建施工。交货期安排上要考虑到设备出厂时间、运输时间、安装调试时间,而各个时间段中还需留出一些时间处理那些不可预见的情况。故当制造厂提出计划后,用户应进行核对和确认并将此作为采购合同的一部分加以实施。

进入 21 世纪来, 趋向于交钥匙工程要求的用户数量在增加, 反映出了用户希望更专业化地安装、使用设备的理念, 如有此需求在工程要求中应明确提出, 因为选用设备时不仅是采购一套设备, 还包括了设备安装、调试等服务内容, 国外还有在设备采购时一并将委托运行维护和检修要求的内容也包含在合同中的做法, 实际上这已将服务作为一种商品来看待, 今后当电力用户也开始推行业务外包模式, 这种做法可能会多起来。

作为一个标准需兼顾到各方面的利益, 因此在工程特征中还规定了要明确用户提供现场安装条件, 实际上无论是用户自己安装设备, 还是专业施工队伍或制造厂负责安装, 本标准中列举的这些要求都是不可缺少的, 用户应设法去达到。

最后工程在电网中的位置也要有说明, 若设备用于一个枢纽变电站或电压等级较高变电站的一部分, 除重要性外, 工程规模大、接线复杂, 可能还要考虑工程扩建等问题均是在选用设备时需要斟酌的。

3.2 环境条件

工程基本要求中的另一个重要内容是环境条件 (在其他标准中这部分内容作为使用条件单独列出)。本标准将该条件分为工程的自然环境和 GIS 使用环境, 对户外安装的 GIS, 两者是一样的; 对户内 (包括水电站坝内或洞内, 以及地下站) 安装的设备, 两者有区别, 因为无需考虑自然因素影响。环境条件提出了 8 个方面的要求, 具体的规定可参照 GB/T 11022 标准, 实际上 2013 年完成修订的 DL/T 593 更能反映出最新的标准要求, 建议优先按后者规定要求选取。需要指出的是, 最新标准中规定: “高压开关设备和控制设备及其操动机构和辅助设备, 均应在其额定特性和正常使用条件下工作。”这意味着 GIS 上所有的元器件, 包括二次元件, 均应能满足要求。

GB/T 11022 标准中对特殊使用条件的海拔、污秽、温度与湿度、振动、撞击或摇摆、风速、覆冰均有规定要求。选用设备时应注意海拔高度、污秽的影响仅对外绝缘有影响, 风速和覆冰条件只有 $>34\text{m/s}$ 风速和覆冰 $>20\text{mm}$ 的厚度才会专门去考虑。用户可根据 GIS 安装现场环境条件的历史数据确定使用条件, 并尽可能向标准中某一档数值靠拢, 这里应注意避免采用那些极端值而产生要求过度的浪费。所谓历史数据并不一定就是百年一遇, 可根据工程的重要性的发展规划, 如变电站只考虑某个时期在电网中的作用, 条件就可放松点; 但随着全球气候变暖现象持续, 不可避免还要考虑极端气象条件的影响, 两者又是矛盾的。对具体问题的分析如下:

3.2.1 温度与湿度

3.2.1.1 高寒地区的问题

低温会引起 SF_6 气体液化问题, 对常规的充气 0.6MPa 户外设备, 用于 -25°C 以下地区就会遇到此麻烦, 这里需注意充气压力是指设备额定充气压力, 而非最低功能气压, 对开关设备来说 SF_6 气体有绝缘和开断电流之用, 在最低功能气压下可以保证绝缘水平, 但开断性能则很难保持不变, 故对断路器没有低温条件下可降低气压运行一说, 当然在特殊情况下 (如寒流来袭) 为维持电网运行, 临时将断路器改成非自动的做法也可被动采用, 但此时断路器不具备开断能力。对要求在环境温度 -25°C 以下运行的开关设备还需考虑液压操动机构油黏度增加会改变动作特性, 密封圈低温老化变硬、密封胶开裂而

造成密封失效,伸缩节因冷收缩出现漏气、压力表与压力释放装置在低温下出现的性能变化等问题,这些情况在选用设备时需逐一与制造厂进行确认。

近些年来国内在高寒地区对罐式断路器采用加热带来保证安全运行的措施已积累了一定的经验^[1],显然该措施适用于 GIS 设备,但所用的加热带数量需要增加很多。对是否采用加热带的措施需要有一个综合的技术经济比较,加热带功耗大,高寒地区使用时间又长,这将会大大增加运行成本(站用电耗能),同时变电站的站用电源容量还要相应增加,另加热带和温控器的使用寿命有限,每年检修工作量不小,这些因素都须考虑,由此引出了是采用加热带还是选用较低 SF₆ 充气压力设备的问题。从设备资产全寿命周期管理的概念上讲,对此真要进行计算比较,毕竟采用了加热带在整个设备的寿命期内都是不能退出的。如再考虑到户外积雪清扫工作量的影响,因为冬季旷野中风会驱使降雪聚集到设备周围,若不及时清扫,加热带的效率会大打折扣,还将造成安全距离不足危及运行,由此会认为将 GIS 置于户内更安全、经济,或者就选用降低气压的产品,代价是设备性能要差些,如开断短路电流水平降一个等级且结构尺寸也要放大。

采用混合气体以适应低温环境运行的方法在国外应用得较多,国内虽有一些设备采用了该措施,由于担心维护工作不好做(主要是出现漏气后的补充有问题,混合气体多为 N₂ 与 SF₆ 按比例配置得到,因用量少,很难找到商品气供应,而现场配置不是件易事),故渐渐不再采用。据了解最近该状况有所改观,已有地方可提供这种混合气体了。

3.2.1.2 高温问题

户外 GIS 在夏季少不了经受高温考验,日照使得外壳表面温度与环境温度相比会显著增加,结果不仅对设备载流能力有影响,这可按温升试验数据来确定运行电流;金属外壳受热出现延伸对伸缩节、设备支架和底座均会有一个不同程度的机械应力作用, GIS 结构设计中须采取有效措施吸收该作用力,否则就会造成损伤。另外对液压操动机构而言,高温会使液压油黏度减低、氮气压力增加,其对断路器机械特性是否有影响尚需确认。这里还要指出的高纬度地区也会出现高温问题,例如夏天在我国北方的戈壁滩,午间的温度会很高,对此可能需要采取一些遮阳措施,而要在这些地方运行的 GIS 还会遇到日温差很大的特殊情况,这又是要专门研究解决的问题了。

3.2.1.3 湿度影响

高纬度地区也有高湿度现象,这是近年来出现的一种新的气象变化。以往我国长江以南地区一年中湿度较高(如雨季、黄梅天等)的时间较多,如今因气候变化,北方也变得多雨起来,以往降水不多的陕西、甘肃现在会经常有雨,东北每年还会有一定时间的汛期,故湿度的影响要加以考虑,湿度会引起机构箱、就地控制柜内凝露,对外露的金属件也有一定的腐蚀作用。此外对地下站、山洞或大坝内的设备运行也少不了要考虑湿度问题,在这些环境中只有采取辅助的除湿措施来解决。

3.2.2 对污秽、风沙影响与沿海地区使用的考虑

这几个问题均对设备外绝缘产生影响,即采用空气绝缘进出线套管的 GIS 要考虑,而这也是大多数用户的选择。套管的空心绝缘子从材质上又可分为瓷和硅橡胶,由于担心有材料老化问题,倾向使用瓷的用户占了多数,而电瓷外绝缘防污闪一直是用户所关心的问题之一,近年来再加上雾霾的影响更不容乐观,经验认为对瓷套管需关注的是爬电比距、

干弧距离和伞形,具体要求将在第 5 章进行讨论。套管也有使用合成材料的,一般是用硅橡胶,国内最早使用于 20 世纪 80 年代初,在原电力部组织进口的户外 36kV 真空开关上当作灭弧室外绝缘使用,同时期国产材料的研发也开始起步并逐步在输电线路上使用,迄今可以认为我国对硅橡胶材料配方研究和使用经验已有很好的积累,目前最高电压等级 1100kV 设备上也有在使用,但总体的用量并不是很大。硅橡胶材料因具有憎水性而表现出较好的耐污秽性能,适用于一些污染较严重的地区,选用时应注意爬电比距与电瓷材料一致,经验表明不能因为性能优越而减小爬电比距。邻近粉尘污染源地方要慎用,因为吸附在表面的粉尘遇水后会结壳使憎水性失效;常年处于风沙环境或有沙尘暴的地区也要斟酌使用,在实际应用中最早是中东地区有报道受风沙摩擦伞裙表面会出现很深的伤痕,之后我国的西北地区在运行中也发现存在该现象;最后是要考虑鸟啄食,硅橡胶固有的芳香会吸引鸟类,对此可从材料配方方面加以解决,最简单的方法是提高材料的抗撕裂强度,但选用时事先要提出。沿海地区的设备还要经受海雾的作用,雾中含有的等值附盐密度相当高,这对任何材料做成的套管都是不利的,将大大降低外绝缘的污秽耐受电压水平,因此最好的办法是不选用户外设备。

3.2.3 地震防护要求

我国属于地震多发的国家,特别是工程选址处于地震带上或邻近地区,设防要求须按 GB/T 13540—2009《高压开关设备和控制设备的抗震要求》去选择,制造厂应满足用户提出的条件。GB/T 13540—2009《高压开关设备和控制设备的抗震要求》较以往使用标准的区别有:地震烈度术语改为抗震水平,以方向加速度来表示,单位 m/s^2 ;扩展了地面水平加速度的范围,可分别对应的地震烈度有 <8 度、 $8\sim 9$ 度、 >9 度 3 种状况;有关的试验验证方法也有变化,使用时需注意。通常 GIS 的抗震性能用模拟计算来说明,由于 GIS 设备体积太大,很少有条件进行试验,有时难免会对计算的等价性有怀疑,因为不同布置时的计算条件得出的结果可能会有显著的差异,故从用户的角度讲还是希望能用试验来验证下(即使是用缩小比例模型也行)。

3.3 供货范围

3.3.1 主设备

本标准中为便于统计,将 GIS 主设备的需求数量用表格的形式(见表 1),根据不同的电气主接线,按功能元件分别列出。这里有必要对使用的单位进行解释,按习俗一个断路器间隔包含一台断路器,其两侧的隔离开关、接地开关和快速接地开关(如有),电流互感器;母线设备间隔(电压互感器间隔)包含电压互感器、避雷器和隔离开关(如有)。在 3/2 断路器接线中设备数基本如此,但在双母线接线中隔离开关的数量会增加。也有用户对 3/2 断路器接线按串来统计,这时完整串与非完整串的数量会有变化。本标准的表 1 中列出了主设备各个元件,选用时有些观点可供参考,以下逐一进行介绍。

近年来,随着用户使用 GIS 的数量快速增长,积累的运行经验也越来越多,普遍认为虽然 GIS 有许多优点,但是遇到分期建设或出现故障时处理起来却很麻烦,尤其没有那么长的停电时间可支配。因此,应尽量减少可以分得出去的元件数量以提高设备运行可靠性。

目前将出线避雷器和线路电压互感器移出的做法已很普遍,进一步还有取消母线避雷器的设想,因为按有关规程 GIS 所有出线均应配置线路避雷器,在这种接线方式下,其保护范围可涵盖到母线。

对分期建设的 GIS,按上节提到的尽可能减少扩建时停电影响原则,将母线一次上齐且配好下期分支回路上的隔离开关是比较合理的,虽然在本期工程中会增加投资,但今后扩建时只需拉开隔离开关即可进行新的分支回路设备安装,待新老设备对接和耐压时再停母线,可节约不少停电时间;如该方法做不到,则可退而要求在本期母线的端部设置一个独立小气室或将母线分段隔离开关(如有母线分段)装上,以减少扩建时的停电时间,因为有了该气室或母线分段隔离开关,扩建母线施工时无须停电,到对接时再停母线,这样可将母线停电带来的影响减至最小。如采取上述方案,在设备供货数量上须重新计算并计入表中其他设备栏。

主母线的长度单位是米,需注意母线是三相共箱式还是单相式的差别,两者长度相差 3 倍。但分支母线均是分相布置的,不存在此问题。

3.3.2 辅助设备

本标准中直接引用了 GB/T 11022—2011 的 5.4 条,但该条并不是对辅助设备品种规格、数量的规定,只是对涉及辅助和控制设备的有关内容提出技术要求,实际上所需的辅助设备将根据工程设计和产品自身具有的来确定,且后者还因各家制造厂在产品上的差异而不同。一般在设备的技术协议中对此并无特别的要求,足量并能满足工程需求即可。

为保证 GIS 安全运行和维修所需的附属设备和部件在本标准中也有提及,这些内容往往被忽视,有需要注意。如二次电缆槽盒或支架,带电显示装置,均衡端部外壳感应电流的相间导流排,立式布置 GIS 的操作检修平台,为便于长母线巡视设置人行便桥等。若断路器采用气动机构,往往会采取集中供气方式作为动力源,集中供气站与整个管路系统即成为附属设备,对有较多间隔的 GIS 而言,该系统将会很大;所有这些均要在供货范围中写明。

3.3.3 备品备件与专用工具

在采购设备时,备品备件与专用工具属于设备的一个组成部分,在供货范围中需要明确,具体要求在本标准第 8 章中已有阐述,这里再强调几点:原则上用户需要的备品备件与专用工具是为了解决运行维护、临时消除缺陷以及小修时用的,不考虑故障处理和大修时的需要。需要采购的品种和数量用户可根据自己的经验,也可让制造厂推荐一份清单参考。

本标准推荐的备品备件项目中关于 SF₆ 气体备品,是指除了满足 GIS 安装调试及正常运行所需之外的 SF₆ 气体,气体备品主要用于日常补气和临时消除缺陷,一般考虑是总用气量的 3%~5%,当 GIS 间隔很多或母线很长时,百分比可取小些,对 GIS 密封圈备品,由于 GIS 上所用的密封圈种类很多,且密封圈需真空包装存放,其质保期仅 3 年,故不宜多备,但对用量较多的规格可适量多备些。

按照上述观点,本标准推荐的专用工具中断路器喷口、触头,隔离/接地开关触头拆装工具就无需备了,因为若要动这些部件还是要靠制造厂的专业人员去处理,届时这些工具