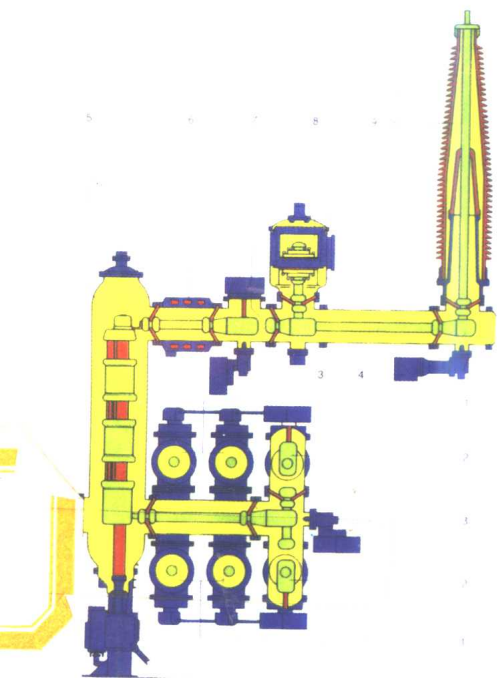


罗学琛 编

SF₆

气体

绝缘全封闭组合电器
(GIS)



中国电力出版社

SF₆ 气体绝缘 全封闭组合电器(GIS)

罗学琛 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书全面阐述了 GIS 设备的基本理论和实践方面的知识,共分五章,主要内容有: SF₆ 气体的特性; GIS 设备的结构; GIS 设备的设计、安装和运行、检修等。全书内容理论和实践并重,对我国 GIS 设备的发展、普及和提高有一定的促进作用。

本书可供电力系统的管理、设计、施工、运行、检修部门的科技人员以及电力科研人员、大专院校有关专业的师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

SF₆ 气体绝缘全封闭组合电器 (GIS) / 罗学琛编. — 北京: 中国电力出版社, 1998.11

ISBN 7-80125-911-4

I. S… II. 罗… III. 六氟化硫-全封闭式成套电器: 组合电器 IV. TM595

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 26782 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999 年 1 月第一版 1999 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 12.375 印张 270 千字 1 插页

印数 0001—5000 册 定价 14.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

SF₆ 气体具有优异的绝缘性能和灭弧性能。50 年代，高压电器的绝缘介质就用 SF₆ 气体代替了空气；60 年代中期，美国制造了第一套 GIS 设备，使高压电器发生了质的飞跃，也给配电装置带来了一次革命。它具有占地面积少、元件全部密封、不受环境干扰、可靠性高、运行方便、检修周期长、维护工作量少、安装迅速、运行费用低等优点，引起世界电力部门的普遍重视。30 年来，GIS 设备发展很快，欧洲、美洲、中东的电力公司都规定配电装置要用 GIS 设备，在亚洲、非洲、澳洲的发达国家也基本上规定要用 GIS 设备，在南非有 800kV GIS 设备投入运行。国际大电网会议在 1992 年统计，各国已投入运行的 GIS 变电站近 2000 所。

我国 GIS 设备的研制工作起步于 60 年代，与世界其他国家基本同步，1971 年我国首次试制成功 110kV GIS 设备，并投入运行。自改革开放以来，我国大型的核电站、火电站、水电站、变电站先后都选用了 GIS 设备。例如：大亚湾、秦山核电站，广州抽水蓄能电站，四川二滩水电站，浙江北仑港、上海石洞口、广东沙角等火电厂，广东江门、云南草铺等变电站，三峡水电站的升压变电站。自 80 年代开始，国产大型 GIS 设备也投入电网系统运行，共达 407 个间隔，较大的有广西天生桥水电站的 500kV GIS 设备、渭南变电站的 330kV GIS 设备、上海杨树浦电厂的 220kV GIS 设备等。

GIS 设备除了具有优越的技术性能外，其最大的优点就

是设备所占用的土地只有常规式设备的 15% ~ 35%，这对我国节约土地的国策是非常有利的，十分合乎我国国情。

本书作者根据多年来从事电力建设工程的经验，结合国内、外有关的资料系统地介绍了 GIS 设备的管理、设计、安装、调试、运行、检修方面的知识，理论与实践并重，以便帮助读者了解 GIS 方面的一些问题。

本书承中国出版工作者协会科技出版工作委员会副主任罗见龙编审的推荐，西北电力设计院冯宗蕴高级工程师为本书提供了资料，全书由北京送变电工程公司副总蔡新华高级工程师审阅。在此一并表示谢意。

由于编者水平有限，书中谬误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

罗学琛

1997 年 12 月

目 录

前言

第一章 SF₆ 气体的性质	1
第一节 SF ₆ 气体的基本特性	1
一、SF ₆ 气体的基本特性	1
二、SF ₆ 气体的制造方法	4
第二节 气体的状态参数	5
一、概述	5
二、SF ₆ 气体的工作特性图	7
第三节 SF ₆ 气体分解物的毒性和其他性质	9
一、概述	9
二、影响 SF ₆ 分解过程中的主要因素	11
三、电弧作用下 SF ₆ 分解物的性质	16
第四节 GIS 设备中的水分	19
一、水分的来源	19
二、SF ₆ 气体中含水量的单位及其换算	21
三、水分对 GIS 设备的危害性	22
四、GIS 中水分的控制	24
第五节 GIS 设备中的吸附剂	25
一、吸附剂的性能	25
二、吸附剂用量的计算	27
第六节 SF ₆ 气体杂质的检测	29
一、概述	29
二、SF ₆ 气体杂质和水分的检测方法	30
第七节 SF ₆ 气体的绝缘特性	31

一、在不同电场下气体被击穿的特性	31
二、SF ₆ 气体的击穿特性	34
第八节 各种因素对 SF ₆ 气体击穿电压的影响	37
一、电场均匀性对 SF ₆ 气体击穿电压的影响	37
二、间隙对 SF ₆ 气体击穿电压的影响	42
三、SF ₆ 气体的压力对击穿电压的影响	45
四、GIS 设备结构与电场的关系	47
五、SF ₆ 气体的绝缘冲击特性	47
六、电极表面状态对 SF ₆ 气体击穿电压的影响	53
第九节 SF ₆ 气体中沿固体介质表面的放电	61
一、影响绝缘表面闪络电压的因素	61
二、绝缘子表面状况	64
三、SF ₆ 气体中含有水分对绝缘子的影响	65
第十节 SF ₆ 气体的灭弧性能	66
一、电弧的产生	66
二、SF ₆ 气体的分解和电离	68
三、电弧的散热	71
四、SF ₆ 气体的优良灭弧性能	81
第二章 SF₆ 全封闭组合电器的设计	83
第一节 概述	83
第二节 GIS 优越性与常规设备的经济比较	86
一、GIS 设备的优越性	86
二、GIS 与常规配电装置的经济比较	88
第三节 GIS 设备的主接线	91
一、主接线的设计原则	91
二、主接线的类型	92
三、设计 GIS 主接线时应注意的问题	102
第四节 GIS 配电装置的布置方式	105

一、概述	105
二、110kV GIS 配电装置的布置方式	106
三、220kV GIS 配电装置的布置方式	114
四、500kV GIS 配电装置的布置方式	119
五、220kV 与 500kV GIS 配电装置布置实例	125
第五节 GIS 的伸缩节头和气室及其测量仪表	
的配置原则	126
一、伸缩节的配置原则	126
二、GIS 设备与外部的连接	127
三、GIS 设备气室的布置原则	129
四、GIS 设备气室的测量仪表配置	130
第六节 GIS 设备的外壳保护	131
一、GIS 设备故障时气室的压力和外壳烧穿时间的计算	131
二、外壳保护方式的选择	133
三、防爆膜的面积和快速接地隔离开关的整定时间计算	135
第七节 GIS 外壳感应电压计算及其接地方式	135
一、概述	135
二、GIS 外壳感应电压的计算	138
三、GIS 外壳与管路、电缆外皮的接地	143
四、GIS 接地母线的截面选择	144
第八节 GIS 的过电压保护	146
一、GIS 过电压保护的主要特点	146
二、避雷器的保护范围	148
第九节 GIS 设备的土建设计	152
一、GIS 设备的基础设计	152
二、GIS 设备配电室的防火装饰设计	155
三、GIS 设备配电室的通风设计	156
第十节 GIS 设备的技术条件	159
一、GIS 设备的一般规定	159

二、GIS 设备的额定技术参数	160
三、GIS 设备的试验项目	171
第三章 GIS 设备的结构	173
第一节 断路器	173
一、断路器总体结构	173
二、断路器本体结构	175
三、断路器开断装置结构	178
四、断路器引出线装配结构	180
五、断路器灭弧室结构	181
六、断路器的灭弧过程	182
七、GIS 过滤器结构	184
八、吸附剂用量计算	184
第二节 断路器操作机构动作原理	186
一、氮气贮能的操作机构	186
二、氮气贮能操作机构的分闸操作	191
三、氮气贮能操作机构的合闸操作	194
四、弹簧贮能操作机构的结构和其动作原理	195
五、弹簧贮能操作机构的合闸操作和分闸操作 及释能操作原理	199
第三节 隔离开关	201
一、概述	201
二、隔离开关结构和其动作原理	205
三、有 90°分支电路隔离开关结构和动作原理	207
四、角型隔离开关结构和动作原理	209
五、接地隔离开关结构和动作原理	212
六、弹簧贮能操作机构与快速接地隔离开关结构和 动作原理	217
第四节 母线膨胀补偿器	220
一、母线膨胀补偿器的基本原理	220

二、母线膨胀补偿器的结构	223
三、母线膨胀补偿器的拆卸	225
四、母线膨胀补偿器的复原	230
第五节 GIS 侧分解装置	231
一、侧分解装置的结构	231
二、侧分解装置的拆卸和复原	231
第六节 密度计	235
一、密度计的结构	235
二、密度计的动作原理	237
三、密度计校正	238
第七节 GIS 设备仪用互感器和避雷器	241
一、电流互感器结构	241
二、电压互感器结构	243
三、避雷器结构	244
第八节 GIS 设备的连接套管	245
一、GIS 设备与主变压器连接套管的结构	245
二、GIS 设备与架空线连接的 SF ₆ /空气套管的结构	254
三、GIS 设备与高压电缆连接套管的结构	256
第九节 GIS 设备的绝缘子和其密封系统	257
一、概述	257
二、绝缘子的种类	258
三、GIS 设备双密封系统的构造	259
第四章 GIS 设备的安装	261
第一节 概述	261
第二节 GIS 设备安装前的准备工作	263
一、技术准备	263
二、工器具、测量仪表的准备工作	265
三、消耗材料的准备工作	266
四、SF ₆ 气体和氮气的准备工作	266

五、GIS 设备的接收装卸、开箱和保管	267
第三节 GIS 设备安装的主要施工工艺	267
一、螺栓紧固	267
二、元件的检查和清洗	269
三、法兰盘接口的密封	270
四、导体接触面电力脂的使用	271
五、卡套接头组装	271
六、二次线路的连接工艺	274
第四节 GIS 设备断路器安装	275
一、断路器基础划线	275
二、卧式断路器的就位	277
三、立式断路器的就位	279
第五节 GIS 元件的组装	284
一、概述	284
二、母线管法兰间的连接	285
三、母线的安装	286
第六节 隔离开关的安装	294
一、概述	294
二、三相连动隔离开关的安装	295
第七节 GIS 套管的吊装	298
一、220kV 套管的吊装	298
二、500kV 套管的吊装	299
第八节 GIS 设备接地线安装	301
一、概述	301
二、接地线的跨越	301
第九节 GIS 设备就地控制柜的安装	302
一、概述	302
二、就地控制柜的安装	303
三、就地控制柜的二次线连接	304

第十节 GIS 设备抽真空与充 SF ₆ 气体	304
一、概述	304
二、抽真空的方法	305
三、直接充入 SF ₆ 气体的方法	306
四、间接充入 SF ₆ 气体的方法	308
第十一节 SF ₆ 气体的充气设备	314
一、概述	314
二、SF ₆ 气体处理车的主要技术参数	314
三、SF ₆ 气体处理车的功能	315
四、SF ₆ 气体处理车的主要结构	316
五、SF ₆ 气体处理车的操作方法	317
六、德国 DILO3-020 型 SF ₆ 气体处理车的功能和操作方法	321
第十二节 GIS 设备的试验	327
一、概述	327
二、测量主回路的电阻值	331
三、GIS 的现场交流耐压试验	332
四、GIS 设备耐压推荐试验程序	337
五、GIS 设备密封试验	338
六、GIS 各元件的试验	339
第五章 GIS 设备的运行和检修	340
第一节 概述	340
第二节 GIS 设备的巡查与检修内容	341
一、日常巡视项目	341
二、临时性检查项目	342
三、GIS 设备小修项目	342
四、GIS 设备大修项目	342
第三节 SF ₆ 气体的管理	343
一、新的 SF ₆ 气体的管理	343

三、SF ₆ 气体的水分管理	345
四、SF ₆ 气体的泄漏管理	348
四、GIS 设备的备品、备件管理	353
第四节 GIS 设备的检修	354
一、GIS 设备的维护检修工器具	354
二、检修 GIS 设备的工艺流程	355
第五节 GIS 设备的故障	357
一、概述	357
二、产生故障的原因	358
三、GIS 设备故障率的统计	359
四、减少 GIS 设备故障的措施	360
第六节 GIS 设备的安全措施	362
一、SF ₆ 气体分解物对人类的危害性	362
二、防止 SF ₆ 气体分解物危害人体的措施	363
第七节 GIS 设备的监测技术	363
一、概述	363
二、检测装置的基本原理	364
附录	
附录一 GIS 设备安装检修工器具清单	368
附录二 GIS 设备安装检修仪表	374
附录三 GIS 设备安装检修主要消耗材料清单	375
附录四 国产电力脂的技术要求	376
附录五 国内外 SF ₆ 气体处理车性能分析对比表	377
参考文献	381

第一章 SF_6 气体的性质

第一节 SF_6 气体的基本特性

一、 SF_6 气体的基本特性

SF_6 气体是世界上目前最优良的绝缘介质和灭弧介质。它无色、无味、无嗅、无毒、不燃烧；在常温常压下，化学性能稳定；与传统绝缘油相比，其绝缘性能和灭弧性能都要好得多。

SF_6 气体是由最活泼的氟(F)原子和硫(S)原子结合而成，分子结构是个全对称的八面体，硫原子居中，六角是氟原子，见图 1-1。

SF_6 气体分子量较大，为 146，是氮气的 5.2 倍；它的密度在 20°C ，气压在 101325Pa 下是 $6.16\text{kg}/\text{m}^3$ ，为空气的 5.1 倍；同体积、同压力的 SF_6 气体比空气重。

SF_6 气体与氮气的基本特性参数如表 1-1 所示。

从表 1-1 中看到：临界温度 SF_6 气体为 45.6°C ，这是 SF_6 气体被液化的最高温度。气体的临界温度越低越好，表示它不容易被液化。氮气的临界温度为 -146.8°C ，液化温度很低，所以在气候较冷的地区，使用 SF_6 气体时应注意保

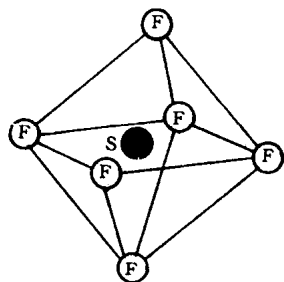


图 1-1 SF_6 气体
分子结构图

温，保持其温度在 45℃ 以上，使 SF₆ 气体处于气态。

表 1-1 SF₆ 气体与氮气的基本特性参数表

特 性 名 称	SF ₆	N ₂
分子量	146.07	28
分子直径 (m)	4.56×10^{-10}	
密度 (气态 0.1MPa, 20℃, kg/m ³)	6.16	1.205
临界温度 (℃)	45.6	-146.8
临界压力 (MPa)	3.84	3.32
熔点 (℃)	-50.8	-210
升华点 (0.1MPa,℃)	-63.8	-196
临界密度 (kg/m ³)	0.725	
介电系数 (0.1MPa, 25℃ 时)	1.002	1.0005
气体常数 [N·m/(kg·K)]	5.81	30.26
导热系数 (0.1MPa, 30℃, W/m·K)	0.014	0.0214
绝热指数	1.07	1.40
热容量 (0.1MPa, 30℃, J/kg·K)	94620	
定压比热 (0.1MPa, 30℃, J/kg·K)	650	191

临界压力值为 3.81MPa，表示临界温度下，SF₆ 气体液化所需要的压力。为了要保持 SF₆ 气体处于气态，其压力值不可太高。

SF₆ 在水中的溶解度很低，只有 0.001mL/mL，和氩气、氮气等差不多；但在某些有机溶剂中，它的溶解度还是比较高的，如表 1-2 所示。

表 1-2 SF₆ 气体在不同溶剂中的溶解度

溶剂名称	水	正庚烷	异辛烷	甲苯	四氯化碳	三氟三氯乙烷	二硫化碳
溶解度 (mL/mL)	0.001	2.01	3.07	0.68	1.31	5.57	0.18

注 温度在 25℃，压力在 101325Pa 的情况下。

SF_6 气体在常温甚至较高的温度下，一般不会发生化学反应，电器设备的最高允许温度在 150°C 时， SF_6 气态稳定。 SF_6 气体本身的分解温度为 500°C ；在铝和铜中，温度达到 200°C 以上，开始慢慢地发生化学反应；但与其余的金属不发生急剧的化学反应，在温度超过 150°C 时与塑料发生微弱的化学反应。

SF_6 气体的热传导性较差，导热系数只是空气的 $2/3$ 。但是气体的传热效应并不是单纯靠传导作用，还有对流。传热的能力与分子的比热有关， SF_6 分子的比热是空气的 3.4 倍，因此其对流散热能力比空气好。导体在空气和 SF_6 气体中的表面散热效果，以散热系数来表示，如表 1-3 所示。

表 1-3 导体在空气和 SF_6 气体中的表面散热系数

名 称	导热系数 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	表面传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]
SF_6	0.0141	15
空气	0.0214	6
比值	0.66	2.5

从表 1-3 中可以见到， SF_6 气体的散热性能比空气要好。

SF_6 气体是负电性的气体，所谓负电性就是分子容易吸收自由电子形成负离子的特性。由于 SF_6 气体中的负离子与电弧中的正离子结合，造成电弧中带电粒子迅速减少，以提高电弧中的击穿电压，使电弧间隙能很快恢复。这是 SF_6 气体能迅速灭弧，使之成为优良的灭弧介质的重要原因之一。 SF_6 气体的负电性主要是氟 (F) 元素的性能带来的。氟在

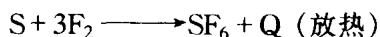
周期表上是Ⅶ族，它最外层为七个电子，很容易吸收一个电子，而成为稳定的八个电子。这是Ⅶ族元素共有的特性，但又以氟元素为首。其他元素的吸收电子的能力差，不如氟元素好。负电性的能力大小和电子在结合时，与电子亲和能的大小有关，亲和能越高，结合越稳定。某些元素的电子亲和能，如表 1-4 所示。

表 1-4 某些元素的电子亲和能

元 素 名 称	氟	氯	溴	碘	氧	硫	氮
与电子结合的亲和能 (eV, 电子伏)	4.10	3.78	3.43	3.20	3.80	2.06	0.04
在周期表中的位置 (族)	Ⅶ	Ⅶ	Ⅶ	Ⅶ	Ⅵ	Ⅵ	V

二、SF₆ 气体的制造方法

在工业上 SF₆ 的制造方法是单质硫磺与过量的气态氟直接化合，反应式为



合成的粗品中还含有多种杂质，经过水洗、碱洗、热解、用吸附剂吸净等一系列的净化处理过程，才能得到纯度合格的产品，再装入钢瓶用液态运输。使用时要减压变为气态充到设备里去。在气体运输和安装过程中，还可能有少量的空气、水分和杂质残存在 SF₆ 气体中。在 GIS 设备安装完毕后还要除去各种杂质和水分。

SF₆ 气体的质量，由国际电工委员会 (IEC) 和各国制定其标准。我国的标准按 GB8905—88 的规定执行，如表 1-5 所示。