

“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
智能制造与装备制造业转型升级丛书

第  
5  
版

# SF<sub>6</sub> 高压电器 设计

黎斌 著

高压 / 特高压电器设计、使用的帮手  
环保气体高压电器探索、研发的思路  
输变电同行后来者创新、攀登的基石



“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
智能制造与装备制造业转型升级丛书

# SF<sub>6</sub> 高压电器设计

第5版

黎 斌 著

机械工业出版社

本书总结了作者 50 年来在 SF<sub>6</sub> 高压电器开发工作中的研究成果与设计经验, 详尽地介绍了 SF<sub>6</sub> 气体的理化电气特性和 SF<sub>6</sub> 气体管理方面的研究成果, 总结了 SF<sub>6</sub> 高压电器的结构设计经验及设计计算方法。作者以超前意识对 SF<sub>6</sub> 金属封闭式组合电器小型化和智能化提出了许多有用的见解, 并对该产品的在线监测技术进行了有实用价值的论述。对困惑高压电器行业多年的技术难题 (如温度对 SF<sub>6</sub> 湿度测量值的影响、SF<sub>6</sub> 湿度的限值及其在线监测、断路器电寿命在线监测技术、产品局部放电特性及 UHF 法测量技术、日照对产品温升的影响、高寒地区产品的设计与选用等), 作者以自己的研究成果作了比较科学的回答。为减少温室气体的使用和排放, 作者总结了近年来国内外对 SF<sub>6</sub> 混合气体和替代气体的主要研究成果, 并提出了环保气体高压电器的研究方向和设计思路, 为开展环保电器的研发拉开了序幕。本书还系统地介绍了 SF<sub>6</sub> 电流互感器的设计计算方法, 对有暂态特性的 CT 绕组的工作特性作了深入的分析。

本书特点是: 理论分析精炼, 设计计算方法适用。

本书可供高压电器研究、设计人员, 电力部门研究、设计和管理人员阅读, 也可供高等院校相关专业教师、研究生参考。本书是相关专业毕业生和研究生快速适应工作的好帮手。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

SF<sub>6</sub> 高压电器设计/黎斌著. —5 版. —北京: 机械工业出版社, 2019. 6

(智能制造与装备制造业转型升级丛书)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-111-62849-1

I. ①S… II. ①黎… III. ①高压电器-设计 IV. ①TM510. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 097679 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 付承桂 责任编辑: 付承桂

责任校对: 杜雨霏 郑 婕 封面设计: 马精明

责任印制: 郜 敏

北京盛通印刷股份有限公司印刷

2019 年 8 月第 5 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 28.5 印张 · 2 插页 · 708 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-62849-1

定价: 180.00 元

电话服务

客服电话: 010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

机工教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

## 第 5 版前言

在幅员辽阔的国土上，从北向南、从西向东、纵横交错的超/特高压输电网为我国经济持续发展提供着强大的动力。为适应电力建设快速发展的需要，我国高压电器行业也面临着由制造大国跃升为制造强国的变革。

本书是 SF<sub>6</sub> 高压电器理论探讨、制造与运行经验交流的园地，理当与时俱进，不断修改完善，为高压电器这一重大变革提供理论支撑。为此，作者对第 4 版做了较大的调整与增补，分述如下。

(1) 鉴于目前可供 SF<sub>6</sub> 电器使用的微水传感器都是用湿敏薄膜制作的，传感器内残留水分的脱附十分困难，使湿度测量数据重复性太差，无法使用。借鉴露点检测仪在 GIS 体外测量 SF<sub>6</sub> 水分的使用经验，在第 5 版第 17 章中介绍了基于“冷镜”露点测湿原理采用微机电系统 (MEMS) 技术制作微型化、低成本的微水传感器的设想，希望 GIS/GIL 制造运行单位与中科院上海微系统与信息技术研究所合作将这一创新技术设想做成产品，为 GIS/GIL 和未来的环保气体高压电器实现湿度在线监测做出贡献。

(2) 针对我国一些电站 GIS/GIL 在配置局部放电监测装置时，对局放检测装置性能了解不够，对传感器的配置、局放信号的传输损失和检测裕度未研究、未计算，导致现场运行时故障多发：或平安无事的产品局放检测仪却谎报“军情”，或产品局放严重发展，绝缘件都爆炸了，局放检测仪还在“睡大觉”。为解决这些问题，本书第 5 版在第 18 章中补充了局放检测仪的灵敏度与传感器配置的相关知识及计算，并推荐使用检测灵敏度较高、适于在线监测与 GIS/GIL 体外巡检的介窗式局放检测系统。

(3) 关于断路器灭弧室电寿命监测，本书做过详细分析。武汉华工先规电器公司根据本书第 19 章所述的相对剩余电寿命计算式开发的电寿命分析软件装在 Onstage - BK 型高压断路器在线监测装置中已运行多年，性能稳定，是智能式 GIS 必备的装置。近年来一些 GCB/GIS 使用单位企图通过断路器的分闸动态电阻和动态弧触头接触行程的测量来监视灭弧室电寿命。

本书在第5版第19章对此增写了专题论述——负荷电流频繁操作断路器电寿命监测。

(4) 为满足电力建设快速发展对交/直流 GIL 的多种需求, 第5版第21章增写了超/特高压过江河隧道 GIL 和大城市地下综合管廊 GIL 的可靠性和适用性设计; 对直流高压 GIL/GIS 的绝缘设计(如直流绝缘件形状优化设计、如何应对绝缘件表面电荷不良影响等)作了介绍, 并提出了直流 GIL/GIS 必须重视的7项重要的绝缘研究课题。

(5) 直流超/特高压输电的快速发展, 使高压电器制造行业感受到了不小的压力与鞭策, 至今国内外还没有适于交流滤波电容器和补偿电容器操作的专用断路器(ACF断路器), 用常规的线路保护断路器不适应这种特殊的工况, 事故多发。本书第5版第23章增写了开发专用 ACF 断路器的必要性和具体的设计措施, 对 ACF 断路器切容性负荷时可能出现的非自持性击穿(NSDD)现象提出了新见解和深入研究的建议。

(6) SF<sub>6</sub> 高压电器已为世界各地的电力建设服务了半个多世纪, 其不可磨灭的贡献应载入世界电力科技发展史册。但是, SF<sub>6</sub> 是典型的温室气体, 为保护人类生存环境, 减少 SF<sub>6</sub> 用量、寻找新的环保型替代气体, 已成为全世界相关行业科技人员的研究热点。本书第5版第26章综述并点评了国内外 SF<sub>6</sub> 混合气体和 SF<sub>6</sub> 替代气体的主要研究成果, 提出了环保气体高压电器设计的6项研究课题, 为我国环保高压电器的研发拉开序幕。

(7) SF<sub>6</sub> 混合气体及 SF<sub>6</sub> 替代气体产品开发的最难点是熄弧性能的研究, 是环保型高压断路器灭弧室的结构设计。环保电器的研发和设计需要相关理论的支撑, 也需要计算机仿真计算的助力。本书第5版第25章简介了沈阳工业大学在 SF<sub>6</sub> 及其混合气体中开断电弧的仿真计算的最新成果。

感谢全国高压电器研究、制造和使用的广大科技人员, 近20年来在 SF<sub>6</sub> 高压电器设计这块园地共同耕耘与收获, 也感谢机械工业出版社职工为其播种倾注热情、灌溉汗水。

作者多次强调: 本书不完全是纯理论的专著, 其中还涉及产品设计、运行经验的总结以及高压电器前沿新技术的探讨, 难免有不当之处。望读者与时俱进、去伪存真地吸收营养。为利于工作, 希望读者封存旧版本, 使用新的第5版本。

作者想干的事太多太多，但已进入力不从心之年，必须遵从人生交替传承的自然法则，只能把这只标有环保电器彩标的接力棒交给后来者，盼你们接稳棒朝着既定目标奋力奔跑吧！

黎斌

2019年8月于西安

## 第4版前言

800~1100kV 特高压 SF<sub>6</sub> 电器已在我国好几条特高压大容量远程输电线上安全运行多年，我国已成为高压/特高压 SF<sub>6</sub> 电器的制造大国。我国经济已进入中高速增长发展的新常态，和其他许多产业一样，输变电设备也将进入产业结构调整、产品创新升级的发展新时期；高压 SF<sub>6</sub> 电器的选型、使用、维护也必将思考和处理许多新的问题——这一历史使命已落在我国高压电器理论研究、设计制造、运行维护等同行年轻一代的肩上。近年来，看到我国高压电器产品的进步，听到本书第3版发行不久又传来脱销、希望再改版发行的呼声，让我感受到同行年轻人钻研理论、勤于实践、大胆创新的高潮热情。作者受鞭策而提笔修改本书，向读者介绍第4版。

第4版除了对一些章节内容作了少许补充修订之外，重点补充了以下内容：

(1) 在第2章中，作者再次强调了进一步修改 GB/T 8905—2012 国标的必要性，希望有更多的 SF<sub>6</sub> 电器制造和使用能理解和接受“按相对湿度进行水分的限值和控制在更科学”的理念，促进该国标的修改——尽管这一更改对 IEC 相关标准和传统水分限值观念是个挑战。

(2) 在第6章中，着力纠正了盆式绝缘子设计中对“楔形气隙危害”的不理解和处理不当的种种表现，并指出这些不当的设计已随产品进入电网，其中有些也存在于进口产品中，望相关人员注意。

(3) 我国特高压产品有待进一步升级提高，第4版在第9章中补充了“特高压 GCB 灭弧室设计思路”，企图以敲边鼓的方式打开读者的研发思路。

(4) 为加快 GIS 小型化，作者在第17章明确提出：“现在，抓紧研发和积极使用 252kV 三相共箱式 GIS 是时候了”。并对其中的关键技术——GCB 短路开断三相热气流的冷却与排放，提出了结构设计思路。

(5) 由于高压电器产品的设计制造者、运行维护管理者大都毕业于高电压绝缘或高低电器制造专业，对与 SF<sub>6</sub> 电器局部放电息息相关的微波技术比较生疏——这对研究和应用 SF<sub>6</sub> 电器局部放电智能监测技术是个障碍。在第4版中增写了第18章“超高频 (UHF) 局放电磁波的辐射、传输与接收”，将与局放有关的微波技术引入高压行业，有助于从理论上对局放有更深入的理解；在这一章，作者对各种局放传感器的研制方向也提出了一些建议。

(6) 第19章中，作者首次提出了 GIS/H·GIS 与电容式复合绝缘母线联姻的可能性，指出了这种有机绝缘母线引入高压/超高压 SF<sub>6</sub> 电器后，具有减少 SF<sub>6</sub> 气体用量、减少开关站占地面积、降低电站投资等环保和经济上的重要

意义。

(7) 新增的第20章“SF<sub>6</sub>气体绝缘输电线 GIL 设计”，结合国内已投运的某些进口 GIL 技术提出了一些异议（如 GIL 外壳的支撑方式），对现场电焊连接 GIL 壳体和金属微粒的应对也提出一些新看法，可供有关工作人员参考。

(8) 在第22章中补入了“超高压交流滤波器开断”，介绍了 GCB 在这种工况下所遇到的新问题，分析了现有 GCB 不适应这种工况而发生开关爆炸的事故原因，提出了改进现有开关结构、提高断口绝缘能力的有关措施，也为用户方提出了选择这类开关的建议。

我国高压电器正跨入创新升级的新发展时期，我们怎样把“中国制造”变为“中国创造”，怎样把高压电器“制造大国”变为“制造强国”，是我国输变电行业相关理论研究、设计制造、运行管理人员共同关心的大事。创新发展、理论先行，作者愿为此给正在拼搏中的年轻同行助一臂微力。

鉴于第4版有以上多方面的修改补充，也鉴于本书旧版难免有因技术进步而落伍的内容或其他原因造成的词语差错，为利于工作，作者建议本书的爱好者封存旧版本、使用新版本。

黎 斌

2015年6月



## 第3版前言

我国电力建设的高速发展推动着输变电设备技术的进步和产品的发展，世界一流水平的800~1100kV输变电设备的先后问世，标志着我国跨进了同行业国际先进水平。本书再版仅一年多再次脱销，表现出行业内广大的科技人员学习和研究SF<sub>6</sub>高压电器技术的高涨热情。

近年来，作者也与国内外年轻的同行们一起共同学习与探索，深感自己知识不足，跟不上产品快速发展的需要，深感与时俱进的压力。压力之下催人奋进与思考，为更好地让本书为SF<sub>6</sub>高压电器的发展服务，作者再次对第2版进行修订，补充了一些新技术、新材料和新的产品结构设计信息，同时也修正了某些设计经验数据，清理了书中的个别差错，使本书所介绍的近似量化分析方法更贴近新品开发和工程设计的需要。第3版还补充了一些GIS重要零部件制造技术和工程实用的GIS在线监测技术（例如，不同温度时测量的SF<sub>6</sub>密度和湿度的温度折算式、灭弧室烧蚀电寿命折算式对指导其在线监测仪的开发具有工程适用的价值）。

技术在不停地发展，知识需要更新。作者期待读者对本书所提供的知识，一定要结合工作实践在阅读中不断地纠错、完善与发展。

社会责任感激励作者不断地总结、修正和充实SF<sub>6</sub>高压电器设计经验，第3版又与读者见面了。希望有更多的读者来到这块知识的园地，共同耕耘，开拓高压电器的新天地。

最后，作者对华东电器集团在本书第3版修订出版工作中给予的关注与支持表示衷心的感谢。

黎 斌

2009年7月于上海

## 第 2 版前言

本书自 2003 年初次与输变电设备研究、制造与运行单位的科技人员见面后，受到热烈的欢迎与关注，书店很快脱销，作者常接到求书者关于再版的询问。

高压电器（尤其是断路器）的设计，涉及高电压绝缘、热力学、气体动力学、等离子体物理、机械制造与材料等多学科的知识，科技人员至今对高压电器一些本质上的理性认识远不够深入，致使产品开发设计工作数十年来一直处在经验传承阶段。可喜的是，通过近半个世纪的努力，我国高压电器研制行业的广大科技人员一代接一代地学习、继承和积累国内外同行的经验，并通过思考加工，使之完善和丰富，使产品开发设计工作和对产品运行状态的分析，脱离了单纯的经验估计，而开始进入到通过近似量化分析之后再行进行结构设计的新阶段。虽然对某些问题（如灭弧室的设计）我们还处在比较朦胧的探索之中，但我们毕竟向着科学精确地分析计算目标前进了一大步。

本书进行修订的目的，就是为了对这种近似量化分析设计方法进行一次阶段性的小结，对本书初版中某些尚未说清楚的问题进行修正与补充。希望这本书能帮助有关人员进行产品结构设计和运行状态分析时，运用书中所介绍的近似量化分析手段，使我们的工作有更高的准确度和效率。这次修订也纠正了本书初版时因种种原因所造成的差错，作者在此向初版读者致歉，并希望参照修订版本改正。

本书修订再版之所以称为是对近似量化分析设计方法的一次“阶段性的小结”，是因为作者工作经历、经验与知识的局限。这种“小结”还有待后来的同仁们进一步地纠错、完善与发展。

黎 斌

2007 年 10 月

# 第 1 版代序

高压电器制造业已走过了半个世纪的历程。在这 50 年中，建立起我国自己的产品系列，满足了电力系统和工业部门各个方面的需要。西安高压开关厂承担了一大部分高压和超高压电器的开发工作，近 10 多年来又与日本三菱公司合作生产 126 ~ 550kV SF<sub>6</sub> GCB 和 GIS，这些产品遍及全国各地，运行于各大电站之中，而 SF<sub>6</sub> 电器仍将是今后高压和超高压领域的主导产品和致力于开发的方向。

高压开关的设计，过去多依赖于经验和试验中的验证，于是经验的积累对于产品的开发有着极其重要的意义，随着技术的进步和大型计算机的应用，电弧物理和开断技术的研究有了广阔的前景，这是十分可喜的事。然而对于灭弧室的设计，不论对作用于其内的等离子体的物理过程掌握得如何，仍然要通过反复模拟、计算和实物验证来确定结构和尺寸。因而在实际工作中，认真总结经验教训，将感性知识理性化起来，实为不断开发新产品和提高学术水平的不二法则。

黎斌同志将毕生精力贡献在西安高压开关厂，主管过多种新产品的科研、设计和试制工作，尤其在 SF<sub>6</sub> 电器方面他涉足较早、经历得多、考虑尤深，所以他的著作《SF<sub>6</sub> 高压电器设计》一书，当能对现代电力装备的设计、制造、运行和科技管理具有启迪性和先导作用。对于产品设计，经验是具有普遍意义的，但不是全部；只有重视经验，又不囿于经验，善于学习，勇于探索，才能持续深入地把工作或事业推向前进。这些就是我所想的，也是寄希望于后来同仁的。

黎斌  
31/IV-2002

# 目 录

第5版前言	
第4版前言	
第3版前言	
第2版前言	
第1版代序	
符号说明	
第1章 SF <sub>6</sub> 的基本特性	1
1.1 SF <sub>6</sub> 的物理性能	1
1.2 SF <sub>6</sub> 的气体状态参数	2
1.3 SF <sub>6</sub> 的化学性能	3
1.3.1 SF <sub>6</sub> 具有良好的热稳定性	3
1.3.2 SF <sub>6</sub> 电弧分解过程	4
1.3.3 SF <sub>6</sub> 与开关灭弧室材料的化学 反应	4
1.3.4 水和氧等杂质产生酸性有害 物质	4
1.3.5 SF <sub>6</sub> 电弧分解物中有剧毒的 S <sub>2</sub> F <sub>10</sub> 吗?	5
1.4 SF <sub>6</sub> 的绝缘特性	5
1.4.1 SF <sub>6</sub> 气体间隙的绝缘特性	5
1.4.2 SF <sub>6</sub> 中绝缘子的沿面放电特性	11
1.4.3 减小金属微粒危害的措施	13
1.5 SF <sub>6</sub> 气体的熄弧特性	15
1.5.1 SF <sub>6</sub> 气体特性创造了良好的熄弧 条件	15
1.5.2 SF <sub>6</sub> 中的气流特性	17
第2章 SF <sub>6</sub> 电器的气体管理	20
2.1 SF <sub>6</sub> 气体的杂质管理	20
2.1.1 SF <sub>6</sub> 气体的毒性	20
2.1.2 生物试验方法	21
2.1.3 电弧分解气体的毒性及处理	21
2.2 SF <sub>6</sub> 气体的湿度管理	23
2.2.1 水分进入开关的途径	23
2.2.2 水分对开关性能的影响	23
2.2.3 温度对SF <sub>6</sub> 湿度测量值的影响	25
2.2.4 SF <sub>6</sub> 湿度测量值的温度折算	28
2.2.5 用相对湿度标定湿度限值科学 准确	28
2.2.6 SF <sub>6</sub> 湿度限值与国标 GB/T 8905 的 修改	30
2.2.7 SF <sub>6</sub> 湿度测量方法	30
2.2.8 SF <sub>6</sub> 湿度控制方法	31
2.2.9 运行开关的水分处理	32
2.3 SF <sub>6</sub> 气体的密封管理	32
2.3.1 SF <sub>6</sub> 开关设备的密封结构	32
2.3.2 密封环节的清擦与装配	32
2.3.3 工程适用的检漏方法(真空监视、 肥皂泡监视、充SF <sub>6</sub> 及充He 检漏)	32
2.3.4 SF <sub>6</sub> 密度的监控及误差分析	37
附录2.A SF <sub>6</sub> 湿度测量值的温度折算表	41
附录2.B 充SF <sub>6</sub> 检漏一个密封环节允许 漏气浓度增量ΔC及单点允许 漏气率F <sub>漏</sub> 的计算	46
附录2.C 充氮检漏允许泄漏率计算	48
第3章 GCB/GIS总体设计	49

3.1 设计思想的更新 .....	49	4.4.3 瓷套外屏蔽设计 .....	62
3.2 简单就是可靠、简单就是效益 .....	49	4.5 瓷套机械强度设计 .....	64
3.3 GCB/GIS 总体设计的核心 .....	50	4.5.1 瓷套法兰胶装比 .....	64
3.4 GCB/GIS 总体结构设计要求 .....	50	4.5.2 瓷质与工艺 .....	64
3.4.1 GCB 灭弧室及操动机构的选择 .....	50	4.5.3 瓷套内水压与抗弯强度设计 .....	65
3.4.2 罐式与瓷柱式 GCB 的合理 分工 .....	51	4.6 550kV SF <sub>6</sub> 电流互感器支持套管中间 电位屏蔽设计实例 .....	66
3.4.3 高低档参数有机搭配 .....	51	4.6.1 中间电位屏蔽尺寸的优化设计 .....	66
3.4.4 结构整体化设计 .....	52	4.6.2 中间电位屏蔽的加工工艺方案 设计 .....	67
3.4.5 环境因素的影响 .....	52		
3.5 GCB/GIS 可靠性的验证试验 .....	53	<b>第5章 硅橡胶复合绝缘子的特点和     设计</b> .....	69
3.5.1 电寿命试验 .....	53	5.1 复合绝缘子的特点和应用 .....	69
3.5.2 机械强度试验 .....	53	5.2 伞裙材料的选用 .....	70
3.5.3 高低温环境下的操作试验 .....	53	5.3 绝缘子芯体(筒、棒)材料的 选择 .....	71
3.5.4 耐风沙、暴雨、冰雪及污秽试验 .....	53	5.4 复合绝缘子设计的四点要求 .....	72
<b>第4章 T·GCB/GIS 出线套管     设计</b> .....	54	5.4.1 机械强度设计要求 .....	73
4.1 40.5~145kV 出线套管内绝缘设计 .....	54	5.4.2 刚度设计要求 .....	74
4.1.1 中心导体设计 .....	54	5.4.3 电气性能设计要求 .....	74
4.1.2 允许雷电冲击场强值 $E_1$ 的 选择 .....	55	5.4.4 胶装及密封设计要求 .....	75
4.2 252~363kV 出线套管内绝缘设计 .....	56	5.5 复合绝缘子长期运行的可靠性 .....	76
4.3 550~1100kV 出线套管内绝缘设计 .....	57	5.5.1 绝缘子表面亲(疏)水性与 污闪 .....	76
4.3.1 中间电位内屏蔽的作用 .....	57	5.5.2 硅橡胶疏水性的迁移与运行 可靠性 .....	76
4.3.2 中间电位内屏蔽的设计 .....	58	5.5.3 HTV 硅橡胶的高能硅氧键与运行 可靠性 .....	77
4.3.3 中间电位及接地屏蔽设计尺寸的 验算 .....	59	5.5.4 抗电蚀能力与运行可靠性 .....	77
4.3.4 中间屏蔽支持绝缘子设计 .....	60	5.5.5 硅橡胶护套及伞裙组装工艺设计 与运行可靠性 .....	77
4.4 套管外绝缘设计 .....	60	5.5.6 水分入侵芯体对复合绝缘子机械	
4.4.1 瓷件基本尺寸及耐受电压的 计算 .....	60		
4.4.2 高海拔、防污秽型瓷套设计 .....	62		

强度的影响 .....	78	7.4.1 合闸电阻投切动作原理 .....	106
<b>第6章 SF<sub>6</sub> 电器绝缘结构设计——</b>		7.4.2 电阻片安装方式设计 .....	107
<b>气体间隙、环氧树脂浇注件、</b>		7.4.3 电阻触头及分合闸速度设计 .....	108
<b>真空浸渍管(筒)件 .....</b>	<b>79</b>	7.5 并联电容器设计 .....	<b>110</b>
6.1 SF <sub>6</sub> 气隙绝缘结构设计 .....	79	7.5.1 并联电容器容量设计(800kV 双	
6.1.1 气隙电场设计基准 .....	79	断开串联 T·GCB 计算例) .....	110
6.1.2 SF <sub>6</sub> 气隙中电极优化设计 .....	79	7.5.2 电容元件及电容器参数选择 .....	111
6.2 环氧树脂浇注件设计 .....	81	7.5.3 电容器组的结构设计 .....	112
6.2.1 绝缘件电场设计基准 .....	81	<b>第8章 GCB/GIS 的电接触和温升 .....</b>	<b>113</b>
6.2.2 典型的绝缘筒(棒)结构设计 .....	82	8.1 接触电阻 .....	113
6.2.3 绝缘筒(棒)机械强度设计 .....	84	8.2 梅花触头设计 .....	114
6.2.4 盆式绝缘子设计 10 个要点 .....	86	8.2.1 动触头设计 .....	114
6.2.5 盆式绝缘子强度要求 .....	96	8.2.2 触头弹簧圈向心力计算 .....	114
6.3 真空浸渍环氧玻璃丝管(筒)设计 .....	96	8.2.3 触片设计 .....	115
6.3.1 真空浸渍管(筒)性能 .....	96	8.2.4 触指电动稳定性设计 .....	115
6.3.2 真空浸渍管(筒)绝缘件电气		8.2.5 触指热稳定性设计 .....	116
结构设计 .....	97	8.3 自力型触头设计 .....	117
6.3.3 真空浸渍管(筒)绝缘件机械		8.3.1 导电截面及触指数设计 .....	117
强度设计 .....	99	8.3.2 接触压力计算 .....	117
<b>第7章 合闸电阻及并联电容器</b>		8.3.3 触头材料及许用变形应力 .....	118
<b>设计 .....</b>	<b>101</b>	8.3.4 旋压成形插入式触头(自力型	
7.1 合闸电阻额定参数的选择 .....	101	触头的进化) .....	118
7.1.1 电阻值 $R$ .....	101	8.3.5 铜钨触头及其质量控制 .....	118
7.1.2 电阻投入时间 $t$ .....	102	8.4 表带触头的设计与制造工艺 .....	119
7.1.3 电压负荷 $U$ .....	102	8.4.1 表带触头的特点 .....	119
7.1.4 电阻两次投入的时差 $\Delta t$ .....	102	8.4.2 表带触头的设计 .....	119
7.2 电阻片的特性参数 .....	102	8.4.3 表带触头的材料、制作工艺及	
7.3 合闸电阻设计计算 .....	103	表面处理 .....	120
7.3.1 设计步骤 .....	103	8.4.4 电动稳定性与热稳定性核算 .....	120
7.3.2 计算实例(一) .....	103	8.5 螺旋弹簧触头设计 .....	121
7.3.3 计算实例(二) .....	105	8.5.1 螺旋弹簧触头的特点 .....	121
7.4 合闸电阻的触头及传动装置设计 .....	106	8.5.2 螺旋弹簧触头及弹簧槽设计 .....	121

8.5.3 触头通流能力核算 .....	125	9.5.4 分闸特性与喷嘴的配合 .....	147
8.5.4 接触压力、接触电阻与热稳定性 核算 .....	125	9.5.5 调整分、合闸速度特性的 方法 .....	147
8.5.5 单圈接触压力的测试值 .....	126	9.6 缓和断口电场的屏蔽设计 .....	148
8.5.6 单圈接触电阻的测试值 .....	127	9.7 双气室自能式灭弧室的发展 .....	148
8.5.7 弹簧触头焊点强度分析及焊点 结构设计 .....	128	9.7.1 40.5~145kV 单动双气室自能式 灭弧室逐步完善稳定 .....	148
8.5.8 弹簧触头不能用于隔离开关主 触头 .....	130	9.7.2 触头双动灭弧室的产生 .....	149
8.5.9 铜丝线径 $d_0$ 的选择 .....	130	9.7.3 双动双气室灭弧室设计要点 .....	149
8.5.10 弹簧触头安放位置的选择 .....	130	9.7.4 对双气室和单气室灭弧室的 评价 .....	150
8.5.11 弹簧触头接触电阻的稳定性 .....	130	9.8 近似量化类比分析法在灭弧室设计 中的应用 .....	151
8.5.12 弹簧触头的选用和表面处理 .....	132	9.8.1 252kV、40kA 灭弧室开断试验 结果分析与改进 .....	151
8.6 导体发热与温升计算 .....	132	9.8.2 252kV、50kA 单气室自能式 灭弧室的增容设计 .....	154
<b>第9章 GCB 灭弧室数学计算模型的设计与估算 .....</b>	<b>135</b>	9.8.3 800kV 灭弧室设计要领 .....	155
9.1 平均分闸速度 $v_f$ 的设计 .....	135	9.8.4 特高压 GCB 灭弧室设计思路 .....	156
9.2 触头开距 $l_k$ 及全行程 $l_0$ 设计 .....	137	9.9 机构操作功及传动系统强度计算 .....	158
9.3 喷嘴设计 .....	137	9.9.1 运动件等效质量计算 .....	158
9.3.1 上游区设计 .....	138	9.9.2 机构操作功计算 .....	160
9.3.2 喉颈部设计 .....	139	9.9.3 弹簧机构的分、合闸弹簧 设计 .....	162
9.3.3 下游区设计 .....	142	9.9.4 液压机构储能碟簧设计 .....	162
9.3.4 喷嘴材料 .....	143	9.9.5 开关操作系统强度计算 .....	165
9.4 气缸直径的初步设计 .....	144	<b>第10章 密封结构设计 .....</b>	<b>167</b>
9.4.1 气缸直径 $D_c$ 与机构操作力 $F$ .....	144	10.1 密封机理 .....	167
9.4.2 气缸直径 $D_c$ 的经验设计值 .....	145	10.2 影响 SF <sub>6</sub> 电器泄漏量的因素 .....	167
9.5 分闸特性及其与喷嘴的配合 .....	146	10.3 O 形密封圈和密封槽的设计 .....	170
9.5.1 分闸初期应有较大的加速度 .....	146	10.3.1 O 形密封圈直径 (外径 $D$ ) 与 线径 $d_0$ 的配合 .....	170
9.5.2 分闸速度对自能式灭弧室开断 性能的影响 .....	147		
9.5.3 分闸后期应有平缓的缓冲 特性 .....	147		

10.3.2	密封圈材质的选用	170	12.4.5	焊接结构及焊缝位置设计	191
10.3.3	密封圈表面要求	172	12.5	铸铝壳体设计与计算	193
10.3.4	密封槽尺寸设计	172	12.5.1	铸铝壳体强度设计因素	193
10.4	SF <sub>6</sub> 动密封设计	173	12.5.2	铸造壳体厚度设计	193
10.4.1	转动密封唇形橡胶圈设计	173	12.6	壳体耐电弧烧蚀能力设计	195
10.4.2	X 形动密封圈设计	173	12.7	壳体加工质量监控设计	195
10.4.3	矩形密封圈直动密封设计	175	12.7.1	壳体强度监控	195
10.5	高严气密封设计	175	12.7.2	焊缝气密性监控	195
10.6	密封部位的防水防腐蚀设计	176	12.7.3	铸件壳体气密性监控	195
<b>第 11 章 GIS 中的 DS、ES 和母线设计</b>			12.8	壳体制造的质量管理	196
11.1	三工位隔离开关的基本结构	178	<b>第 13 章 吸附剂及爆破片设计</b>		
11.2	DS 及 ES 断口开距设计	179	13.1	吸附剂设计	197
11.3	DS 断口触头屏蔽设计	180	13.1.1	F—03 吸附剂性能简介	197
11.4	DS 分合闸速度设计	181	13.1.2	F—03 吸附剂活化处理	197
11.5	110kV GIS—DS、ES 设计的特殊问题	181	13.1.3	吸附剂用量设计	198
11.6	快速接地开关设计	183	13.2	爆破片设计	199
11.7	GIS 母线设计	184	13.2.1	爆破片的选型与安装	199
11.7.1	波纹管设计	185	13.2.2	爆破压力设计	199
11.7.2	可拆卸母线外壳设计	186	13.2.3	压力泄放口径设计	199
11.7.3	绝缘支持件设计	186	<b>第 14 章 环温对 SF<sub>6</sub> 电器设计的影响</b>		
<b>第 12 章 SF<sub>6</sub> 电器壳体设计</b>			14.1	日照对 SF <sub>6</sub> 电器及户外隔离开关温升的影响	200
12.1	壳体电气性能要求	188	14.1.1	考虑方法	200
12.2	壳体材质及加工工艺选择	188	14.1.2	日照温升试验	200
12.3	壳体电气尺寸设计	189	14.1.3	试验值分析	200
12.4	焊接壳体设计与计算	189	14.1.4	结论	201
12.4.1	焊接壳体强度设计因素	189	14.2	高寒地区产品的设计与应用	202
12.4.2	焊接壳体壁厚设计	190	14.2.1	降低额定参数使用	202
12.4.3	焊接圆筒端盖(法兰)及盖板厚度设计	191	14.2.2	开关充 SF <sub>6</sub> + N <sub>2</sub> 混合气体	203
12.4.4	焊接圆筒端部封头强度设计	191	14.2.3	(SF <sub>6</sub> + CF <sub>4</sub> ) 混合气体的应用	206



14.2.4	经济实用的低温产品设计 方案——加热保温套设计	207	绕组设计及误差计算	220
14.2.5	高寒地区产品的选择	209	15.5 暂态保护特性绕组的基本特性 参数	222
<b>第15章 SF<sub>6</sub> 电流互感器绕组设计</b>		210	15.5.1 设计暂态保护特性绕组的 原始数据	222
15.1	CT 误差及准确级	210	15.5.2 额定二次回路时间常数 $T_2$	223
15.1.1	CT 误差的产生	210	15.5.3 额定瞬变面积系数 $K_{if}$	223
15.1.2	CT 准确级	212	15.5.4 铁心剩磁系数 $K_{sc}$	223
15.2	影响 CT 电流误差的因素	213	15.5.5 暂态特性 CT 绕组的分级	223
15.2.1	一次电流的影响	213	15.6 暂态磁通密度增大系数 $K_{id}$ 与暂态 误差 $\varepsilon$	224
15.2.2	二次绕组匝数 $N_2$ 的影响	213	15.6.1 CT 铁心未饱和时的暂态过程	224
15.2.3	平均磁路长度 $l_p$ 的影响	213	15.6.2 CT 暂态面积系数 $K_{id}$	225
15.2.4	铁心截面积 $S$ 的影响	213	15.6.3 暂态误差计算式	226
15.2.5	铁心材料的影响	213	15.7 暂态特性绕组设计计算步骤和计算 示例	227
15.2.6	二次负荷的影响	214	15.7.1 TPY 绕组计算步骤	227
15.2.7	绕组阻抗 $Z_{CT}$ 的影响	214	15.7.2 550kV、1250/1A、10VA、TPY 绕组计算示例	228
15.3	测量级和保护级绕组设计及误差 计算步骤	214	15.7.3 550kV、2500/1A、15VA、TPY 绕组计算示例	230
15.3.1	绕组及铁心内径设计	214	15.8 铁心饱和及其对暂态绕组工作特性 的影响	231
15.3.2	铁心设计	214	15.9 影响 CT 暂态特性的因素及其改善 措施	232
15.3.3	确定绕组的结构及阻抗	215	15.10 CT 罩与 CT 线圈屏蔽设计	234
15.3.4	测量级绕组误差计算步骤	216	附录 15.A SMC101 等合金磁化曲线图	234
15.3.5	稳态保护级 (5P、10P) 绕组 误差计算步骤	217	<b>第16章 GIS 设计标准化</b>	
15.4	0.2 级和 5P 级 CT 绕组设计及误差 计算示例	217	16.1 GIS 设计非标准化的弊病	242
15.4.1	0.2 级、FS5、126kV、 $2 \times 300/5A$ 、 30VA 绕组设计及误差计算 (第一方案)	217	16.2 GIS 设计标准化的重要意义	242
15.4.2	0.2 级、FS5、126kV、 $2 \times 300/5A$ 、 30VA 绕组改进设计及误差计算 (第二方案)	219	16.3 GIS 结构设计标准化	242
15.4.3	252kV、5P25、 $2 \times 300/5A$ 、50VA		16.3.1 GIS 基本元件标准化	243