

智能高压开关设备 设计及工程应用

© 张 猛 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

智能高压开关设备 设计及工程应用

张 猛 主编



机械工业出版社

本书全面、系统地讲述了智能高压开关设备的新技术。全书共分 11 章, 主要内容包括: 绪论、高压开关设备的主要性能、互感器及合并单元、智能终端、合并智能单元、在线监测、智能控制柜、智能高压开关设备系统结构、智能高压开关设备性能试验、工程应用范例、智能高压开关存在的问题及未来发展展望。

本书概念清晰、文字流畅、图文并茂, 便于自学。书中附有工程应用实例和程序, 其中大部分系行业近年来工程项目的经验总结, 具有内容新颖、实用和工程性强的特点, 其目的是希望帮助读者在实际应用中能正确、合理地进行智能开关的设计及研究。

本书可供从事高压电器、电气工程、智能化仪器仪表、计算机应用、自动控制、设备管理等方面工作的工程技术人员参考, 也可作为高校电气工程类相关专业的教学参考书及职工培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能高压开关设备设计及工程应用/张猛主编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 11

ISBN 978 - 7 - 111 - 48194 - 2

I. ①智… II. ①张… III. ①智能装置 - 高压开关柜 IV. ①TM591

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 230735 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: 于苏华 责任编辑: 于苏华 张利萍

版式设计: 霍永明 责任校对: 张 征

封面设计: 张 静 责任印制: 李 洋

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2014 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.75 印张 · 289 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 48194 - 2

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

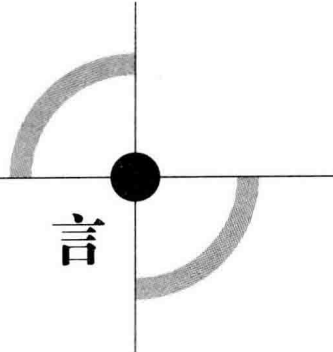
网络服务

社 服 务 中 心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版



前言

电力是国民经济的命脉，服务于千家万户。电力系统也是迄今为止最为复杂的人造系统之一。电以光速传输，不易储存，发、输、用电瞬间完成，为了保持瞬时的电力平衡和电网系统的供电可靠，调度控制技术已成为电网运行的重要工具。而智能电网的建设是有效提升调度系统的重要手段。

中国智能电网的建设目标是建成坚强智能电网，根据智能电网建设的整体规划，坚强智能电网的建设分为三个阶段。第一阶段是研究设计阶段，主要是完成坚强智能电网的整体规划，形成顶层设计，制定坚强智能电网建设标准，加强各级电网建设，开展关键性、基础性、共用性技术研究工作，进行技术和应用试点。第二阶段是全面建设阶段，主要是完善坚强智能电网建设标准，规范建设要求，跟踪发展需要、技术进步并进行建设评估，滚动修订发展规划，坚强智能电网建设全面铺开。第三阶段是引领提升阶段，主要是在全面建设的基础上，评估建设绩效，结合应用需求和技术发展，进一步完善和提升坚强智能电网的综合水平，引领智能电网的技术发展。

智能变电站是坚强智能电网的重要支撑节点，而高可靠性的开关设备是变电站安全、可靠运行的坚强基础，用于智能变电站的开关设备，必须是具有—、二次功能融合化，测控一体化，信息网络化，故障诊断智能化以及功能修复自动化的智能设备。它是一次设备和电子装置的高度融合体。随着智能开关设备的发展，未来的开关设备，必须是保护测控集成优化，同时应具有在线式一体化五防、程序化控制与系统联锁、设备状态监测及检修、事故异常专家分析自动系统、智能检测及控制（物联网）等功能。

本书对智能开关设备及各种智能组件进行了原理、实现和应用方面的介绍，同时列举了一些工程实例，综述了当前我国智能高压开关设备的研发和制造水平，使读者能够初步了解智能变电站的设备及在线监测技术，从而更好地为智能电网建设服务。

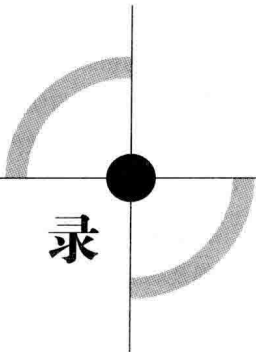
本书由张猛担任主编，曾林翠、白世军担任副主编，参加编写工作的有段继洲、王园园、杨彦刚、马洪义、张豪俊、石楠、马亮、王海强、张永强、雷蓓、张子剑、李毅、叶瑞、董瑞等。其中，第一章由段继洲编写，第二章由王园园、杨彦刚、王海强、雷蓓、张子剑编写，第

三章由马洪义、石楠、马亮编写，第四、五章由石楠、马亮、李毅、董瑞编写，第六章由段继洲、张豪俊、张永强编写，第七章由段继洲、叶瑞编写，第八、九章由段继洲、王园园、雷蓓编写，第十章由段继洲、马洪义、石楠、马亮编写，第十一章由段继洲编写。

感谢所有本书引用文献的作者，感谢为本书提供技术资料的个人和单位。开关行业的专家侯平印、陈建中、于锡源、张希捷等同志，他们为本书的编写提供了大量的意见和建议，同时本书引用了许多专家和学者的论文和著作，在此也致以衷心的感谢。

智能电网设备是一个迅速发展的高新技术领域，书中疏漏和欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者



目 录

前言

第一章 绪论 1

- 第一节 智能高压开关设备的基本结构 1
- 第二节 对智能高压开关设备的主要要求 3
- 第三节 智能高压开关设备的技术发展 4

第二章 高压开关设备的主要性能 5

- 第一节 绝缘性能 5
 - 一、额定电压与系统最高电压 5
 - 二、额定绝缘水平及绝缘强度 5
 - 三、影响绝缘强度的主要因素 6
- 第二节 高压开关设备的载流能力 8
 - 一、额定电流 8
 - 二、额定短时耐受电流 8
 - 三、额定峰值耐受电流 8
- 第三节 开断性能 9
 - 一、开断和关合短路故障的性能 9
 - 二、开断和关合电容电流的性能 10
 - 三、开断和关合电感电流的性能 12
 - 四、选相分合闸技术 14
- 第四节 高压开关设备的机械性能 21
 - 一、断路器的机械特性 21
 - 二、开关设备的机械寿命 23
- 第五节 高压开关设备的环境耐受性能 23
 - 一、影响耐受性的主要因素 23
 - 二、密封性能 24
 - 三、电磁兼容特性 25

第三章 互感器及合并单元 26

- 第一节 常规互感器的基本原理与结构 26

- 一、常规电流互感器的原理与结构 26

- 二、常规电压互感器的原理与结构 27

第二节 电子式互感器的基本原理与结构 28

- 一、电子式电流互感器的基本原理与结构 29
- 二、电子式电压互感器的基本原理与结构 32
- 三、电子式电流电压互感器的基本原理与结构 34

第三节 采集器 35

- 一、电子式互感器采集器的原理及功能 35
- 二、电子式互感器采集器的结构 35

第四节 合并单元 36

- 一、原理及功能 37
- 二、硬件结构及接口 37
- 三、安装 41
- 四、输出协议 42

第五节 光学电流互感器 46

第四章 智能终端 49

- 第一节 原理及功能 49

第二节 常规智能终端 50

- 一、外形与安装 50
- 二、硬件结构 51
- 三、通信协议 53
- 四、人机交互工具 55

第三节 数字控制智能终端 57

- 一、外形与安装 57
- 二、硬件结构 58

三、通信协议与人机交互工具	58	第七节 视频技术的应用	115
第四节 智能终端的工程应用调试	59	一、系统概述	115
一、配置文件的格式	60	二、视频传感器	115
二、配置工具的安装与使用	64	三、软件系统	116
三、SCD 文件解析工具软件的安装与 组成	66	第八节 三维技术的应用	117
第五章 合并智能单元	72	第七章 智能控制柜	119
一、原理及功能	72	第一节 智能控制柜的定义及组成	119
二、外形与安装	72	第二节 智能控制柜的尺寸及结构	119
三、硬件结构	74	第三节 智能控制柜的温湿度调节功能	121
第六章 在线监测	76	第四节 智能控制柜的电磁屏蔽结构	122
第一节 局部放电监测	76	第八章 智能高压开关设备系统结构	124
一、超声波检测法	76	第一节 系统结构	124
二、光测法	77	第二节 智能高压开关设备的信息流	126
三、化学检测法	77	一、测量信息流	126
四、特高频法	81	二、监测信息流	126
第二节 SF ₆ 气体状态监测	86	三、控制信息流	127
一、SF ₆ 气体状态监测原理及组成	87	第九章 智能高压开关设备性能试验	128
二、SF ₆ 气体状态监测传感器	87	第一节 试验依据标准	128
三、SF ₆ 气体微水的监测	94	第二节 一次设备试验	128
四、SF ₆ 密度（压力）监测	95	第三节 二次设备试验	128
五、SF ₆ 温度监测	95	第四节 一次设备与二次设备一体化 试验	128
六、SF ₆ 气体状态监测系统软件	95	一、型式试验项目	129
第三节 温、湿度监测	97	二、型式试验方法	129
一、系统原理及结构	97	第五节 出厂试验	132
二、传感器及监测装置	97	一、出厂试验项目	132
三、系统软件	98	二、出厂试验方法	132
第四节 机构特性监测	98	三、试验举例	132
一、断路器机构机械特性监测	98	第十章 工程应用范例	169
二、三工位机构行程监测	103	第一节 某 252kV GIS 变电站工程应用 示例	169
第五节 避雷器泄漏电流、放电次数 监测	105	一、变电站概况	169
一、系统原理及结构	105	二、变电站智能化配置	169
二、避雷器监测传感器	106	三、电子式互感器现场试验情况	174
三、系统软件	107	第二节 126kV GIS 样机应用示例	179
第六节 远程诊断与专家系统	108	一、概述	179
一、系统原理及结构	108	二、技术特点	179
二、远程诊断与专家系统软件	108	三、技术方案	181
三、远程诊断与专家系统手机平台	112	第三节 智能隔离断路器工程应用示例	184

一、主接线形式	184	一、集成式智能隔离断路器技术	186
二、一次设备结构	184	二、高压开关远程专家诊断技术	188
三、智能化配置方案	184	三、高压开关网络服务终端建设	188
第十一章 智能高压开关存在的问题及		第三节 高压断路器电动机驱动操动	
未来发展展望	186	机构	192
第一节 智能高压开关存在的问题	186	第四节 智能控制技术	193
第二节 智能高压开关发展展望	186	参考文献	195

第一节 智能高压开关设备的基本结构

智能高压开关设备的基本结构按物理划分可分为三层：

第一层：开关设备层，包括断路器、隔离开关、接地开关、母线和套管等一次设备。

第二层：传感器层，包括电子式电流、电压或电流电压互感器，机械特性电流传感器，位移传感器，局放超高频传感器，SF₆水分、密度、压力传感器等设备。

第三层：智能电子装置层，包括开关设备控制器、合并单元、在线监测装置和网络通信设备等智能组件。

智能高压开关的基本结构按系统划分，主要包括三个方面：

第一：智能高压开关设备测量系统。

第二：智能高压开关设备控制系统。

第三：智能高压开关设备在线监测系统。

测量系统通过对主设备的电流、电压信号的转化及传输并通过合并单元对信号进行合并处理，最后上送测控、保护装置，其系统结构图如图 1-1 所示。

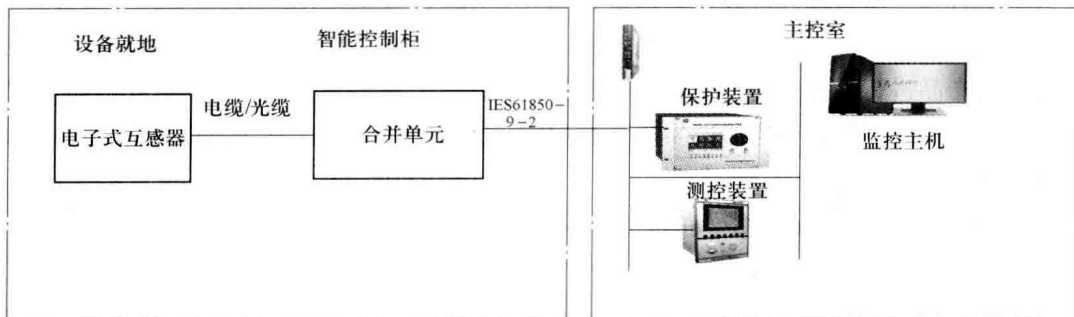


图 1-1 智能高压开关设备测量系统结构图

控制系统通过对主设备的控制及监测信号的数字化转化及传输，并通过开关控制器对开关设备进行控制和监测，其系统结构图如图 1-2 所示。

在线监测系统通过对开关设备本体所安装的各种传感器信号的分析及处理,实现开关设备由定期维修到状态检修的转变,其网络结构图如图 1-3 所示。

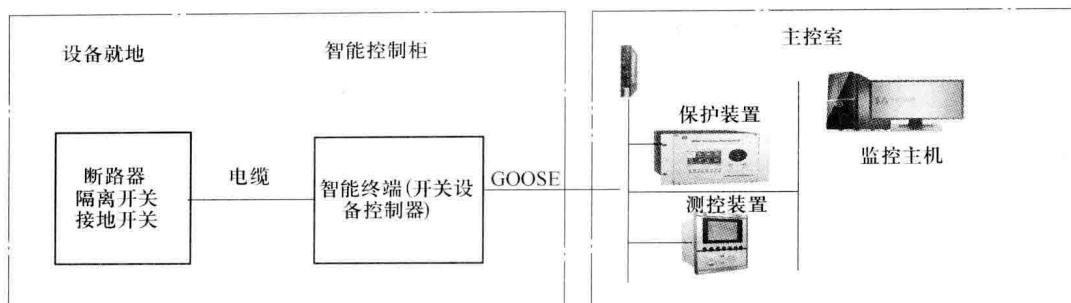


图 1-2 智能高压开关设备控制系统结构图

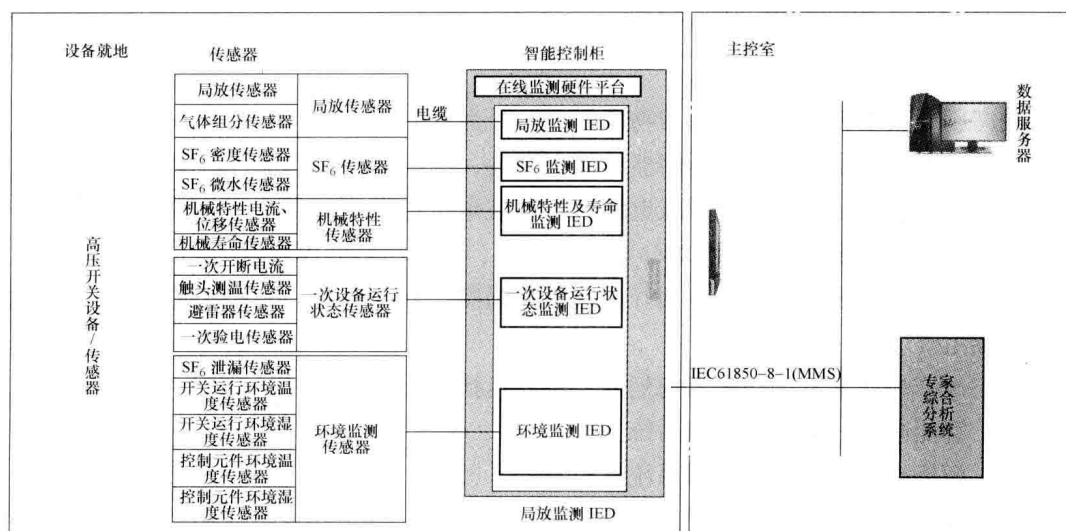


图 1-3 智能高压开关设备在线监测系统网络结构图

为了更好地了解智能开关设备,需对智能开关相关的名词及术语进行解释。

1) 智能开关设备 (Intelligent Switchgear Equipment, ISE): 是以一次开关设备为核心基础,通过对产品进行开关设备的整体设计和智能组件的合理配置,及对一次开关设备的智能控制、在线状态监测和评估,最终实现测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化功能。

2) 智能组件 (Intelligent Component, IC): 由若干智能电子装置集合组成的系统,一般包括电子式电流互感器、电子式电压互感器、合并单元、传感器 (SF_6 、局放、机械特性、电流和电压等) 及其智能电子装置、开关设备控制器、选相控制器和智能控制柜等。智能组件承担开关设备的测量、控制和监测等基本功能。在满足相关标准要求时,智能组件还可实现计量、保护等功能。

3) 智能电子装置 (Intelligent Electronic Device, IED): 一种带有处理器、具有以下全部或部分功能的电子装置:

①数据采集或处理；②数据接收或发送；③接收或发送控制指令；④执行控制指令。

4) 电子式电流互感器 (Electronic Current Transformer, ECT): 在正常适用条件下, 电子式互感器由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流传感器 (如罗氏线圈、光纤线圈) 组成, 用以传输正比于一次电流的量, 供给测量仪器、仪表和继电保护或控制装置。电子式电流互感器二次转换器的输出正比于一次电流, 且相位差在一、二次电流极性相同时符合标准要求。

5) 电子式电压互感器 (Electronic Voltage Transformer, EVT): 在正常适用条件下, 电子式互感器由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电压传感器 (如电容分压环、光电电极) 组成, 用以传输正比于一次电压的量, 供给测量仪器、仪表和继电保护或控制装置。电子式电压互感器二次电压正比于一次电压, 且相位差在一、二次电压极性相同时符合标准要求。

6) 传感器 (Sensor): 开关设备的状态感知元件, 用于将设备的某一状态参量转变为可采集的信号。传感器可分为内置传感器、外置传感器两种。内置传感器是置于高压开关设备中且其传感元件与非空气介质直接接触的传感器, 包括传感器用测量引线和接口。外置传感器是置于高压开关设备中且其传感元件与空气介质直接接触的传感器, 包括传感器所用测量引线和接口。

7) 智能控制柜 (Intelligent Control Cabinet, ICC): 在保有原控制柜对高压开关设备就地控制、保护等功能的基础上, 它为智能组件提供了安装空间、通信接口、运行环境, 与高压开关设备共同安装在变电站过程层。

8) 合并单元 (Merging Unit, MU): 是电子式互感器的一个组件, 用以对来自二次转换器的电流/电压数据进行时间相关组合。

9) 开关设备控制器 (Switchgear Controller, SC): 用以对一次开关设备 (如断路器、隔离开关、接地开关) 进行控制和监测的一种智能电子装置 (IED)。它与一次设备采用线缆或光纤连接, 与测控、保护等变电站二次设备采用光纤连接。

10) 选相控制器 (Phase Selection Controller, PSC): 是一种用于控制断路器分合操作的智能电子装置, 与具有稳定分/合闸时间的分相动作断路器配合使用, 以在适当的电压相位准确开合, 达到减小瞬变电压电流对系统及负载冲击和危害的目的。

11) 在线监测装置 (Online Monitoring Device, OMD): 是用以对一次开关设备 (如断路器、隔离开关、接地开关、SF₆ 气体、母线和操动机构等) 的运行健康状态进行监测的一种智能电子装置 (IED)。它与一次设备采用线缆或光纤连接。

第二节 对智能高压开关设备的主要要求

一般来说, 对智能高压开关设备的主要要求包含以下几个原则:

- 1) 一次设备和智能元件物理结构相匹配原则。
- 2) 一次设备与传感器的机械性能相适应原则。
- 3) 一次设备与智能元件的电气性能相适应原则。

4) 智能元件与传感器及上位机通信设备的通信规约标准化原则。

通过一次设备与智能电子产品一体化设计、一体化制造、一体化试验、一体化调试和一体化交付运行,使智能开关设备具有状态监测、诊断分析和智能控制的功能。

智能高压开关设备的物理结构示意图如图 1-4 所示。

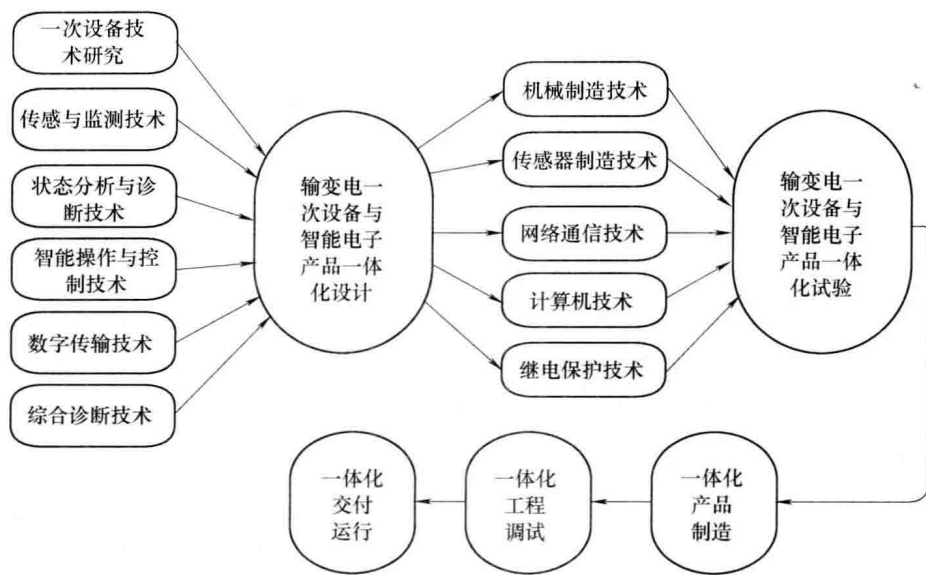


图 1-4 智能高压开关设备的物理结构示意图

第三节 智能高压开关设备的技术发展

随着智能电网建设及物联网、互联网技术的发展,智能高压开关设备的发展方向应主要包含以下四项技术:

- 1) 集成式智能隔离断路器技术。
- 2) 高压开关远程专家诊断技术。
- 3) 高压断路器电动机驱动操动机构技术。
- 4) 智能控制技术。
- 5) 高压开关的可视化技术。

高压开关设备的主要性能

高压开关设备作为输变电设备的主要组成部分，是电力系统中最重要设备之一。高压开关设备在绝大部分运行期间处于静止状态，在电力系统中它或可靠地隔断路，或接通电路。一旦电力系统发生故障，还要求其中的断路器能可靠地切断短路电流，保障电力系统正常工作。高压开关设备在运行期间，除了要经受电的和机械力的作用，还会受到大气环境的影响。为了使高压开关设备能可靠地长期运行，在设计高压开关设备时要充分考虑其绝缘耐受能力、通流能力、开合性能、对大气环境的耐受性，以及高压开关设备的机械可靠性。

第一节 绝缘性能

一、额定电压与系统最高电压

电力系统根据电力的传输容量和输送距离两大关键因素，进行综合评估和分析，选用适当的系统额定电压，从而形成了不同的电压等级，例如 110kV、220kV、330kV 等。为了使电力工业和电器制造行业实现标准化、系统化和统一化，世界上许多国家和相关国际组织（如 IEC）都制定了相应的额定电压等级标准。我国也制定了符合我国国情的额定电压标准《标准电压》（GB/T 156—2007）。高压开关设备的额定电压等于所运行的电力系统的最高电压，是高压开关设备的重要技术参数。高压开关设备的额定电压标准值如下：

- 1) 范围 I，额定电压 252kV 及以下，包括 12kV、24kV、36kV、40.5kV、72.5kV、126kV、252kV。
- 2) 范围 II，额定电压 252kV 以上。包括 363kV、550kV、800kV、1100kV。

二、额定绝缘水平及绝缘强度

高压开关设备绝缘水平及绝缘强度的考核除了需考核工频耐受电压外，还需考核雷电冲击耐受电压和操作冲击耐受电压。高压开关设备的额定绝缘水平按照 GB/T 11022—2011 采用表 2-1 与表 2-2 所示的标准值。额定电压范围 I 指的是额定电压 252kV 及以下，额定电压范围 II 指的是额定电压 252kV 以上。

表 2-1 额定电压范围 I

额定电压 U_t/kV (有效值)	额定短时工频耐受电压 U_d/kV (有效值)		额定雷电冲击耐受电压 U_p/kV (峰值)	
	通用值	隔离断口	通用值	隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3.6	25	27	40	46
7.2	30	34	60	70
12	42	48	75	85
24	50 *	60 *	95 *	110 *
	65	79	125	145
31.5#	85	118	185	215
40.5	95	118	185	215
63	140	140	325	325
72.5	140	140(+42)	325	325(+59)
	160	160(+42)	380	380(+59)
126	185	185(+73)	450	450(+103)
	230	230(+73)	550	550(+103)
252	395	395(+146)	950	950(+206)
	460	460(+146)	1050	1050(+206)

表 2-2 额定电压范围 II

额定电压 U_t/kV	额定短时工频耐受电压 U_d/kV		额定操作冲击耐受电压 U_a/kV			额定雷电冲击耐受电压 U_p/kV (峰值)	
	相对地和相间	开关断口和 隔离断口	相对地和 开关断口	相间	隔离断口	相对地和 相间	开关断口和 隔离断口
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
363	460	460(+210)	850	1275	800(+295)	1050	1050(+205)
	510	510(+210)	950	1425	850(+295)	1175	1175(+205)
550	680	680(+318)	1175	1760	1050(+450)	1550	1550(+315)
	740	740(+318)	1300	1950	1175(+450)	1675	1675(+315)
800	900	900(+462)	1425	2420	1300(+650)	1950	1950(+455)
	960	960(+462)	1550	2635	1425(+650)	2100	2100(+455)
1100	1100	1100(+635)	1675	2510	1550(+900)	2250	2250(+630)
			1800	2700	1675(+900)	2400	2400(+630)

三、影响绝缘强度的主要因素

绝缘是指将电位不同的导体分隔开,使导体间没有电气连接,从而保持不同的电位。按工作条件可分为两大类——内绝缘和外绝缘;但对于两种绝缘结构来说,影响其电气强度的因素和程度存在一定的差异。

1. 内绝缘

内绝缘是指高压电器内部以油、 SF_6 气体、真空以及套管内壁绝缘、绝缘拉杆和绝缘子等为绝缘介质的绝缘结构，例如 SF_6 断路器的灭弧室内部断口间。

内绝缘的电气强度由绝缘介质的击穿强度和介质中固体绝缘介质表面的闪络强度决定。间隙距离增大，电场不均匀度加大而使击穿电压的增长呈饱和趋势。对于不同的绝缘介质，影响其绝缘强度的因素也不同。

SF_6 气体绝缘介质中，随着气体压力升高，其绝缘强度也相应提高，但有饱和趋势，并且 SF_6 气体的最高工作压力受到与温度有关的液化压力限制， SF_6 气体中的电微粒和水分含量的增大都会导致绝缘强度下降， SF_6 气体中的场强对电极表面粗糙度十分敏感，电极表面的毛刺及较大的粗糙度都会降低其耐电强度。

油绝缘介质中，对电极表面粗糙度不太敏感，但油中的水分、碳粒子和纤维含量的增大以及温度的升高都会导致绝缘强度下降。真空中，真空度低于 10^{-2}Pa 时，其绝缘强度明显下降；真空中金属蒸气增多会使真空间隙的击穿电压降低；电极材料、表面粗糙度与清洁度、导电微粒等对击穿电压都有显著影响。

2. 外绝缘

外绝缘是指以大气为绝缘介质的绝缘结构，例如敞开式断路器的灭弧室套管和支柱套管、GIS 的进出线套管等。外绝缘的电气强度由大气间隙的击穿强度或大气中沿固体绝缘介质表面的闪络强度决定，因此大气的环境条件对外绝缘有直接影响。

1) 海拔和气温升高时，空气密度下降，外绝缘强度降低。

2) 大气污染将导致绝缘介质沿面闪络电压下降。

3) 雨水、空气湿度增加也会使外绝缘强度降低。

对于外绝缘，间隙长度在 3m 以内，击穿电压随间隙长度呈近似线性增加，超过 3m 则呈饱和趋势。电极外表面的尖棱使局部电场强度增大而导致耐受电压能力下降并使局部放电量增大。

3. 绝缘强度的要求

高压开关设备，其内、外绝缘应能长期耐受最高工作电压及大气过电压（雷电冲击电压）和内过电压（工频过电压、操作冲击过电压）以及开断过程的断口间瞬态工频恢复电压的作用，各绝缘部位不应损坏。因此，绝缘结构应符合以下要求：

1) 各种绝缘介质不得出现击穿或沿面闪络现象。

2) 开关电器中的固体绝缘材料在电弧作用下，不得出现影响绝缘性能的烧蚀或变形。

3) 支持绝缘件受机械力和热的长期作用，不得降低其绝缘性能。

4) 固体绝缘材料内部、复合介质中以及电极附近应避免或减少局部放电。

综上所述，高压开关设备的绝缘故障主要表现为外绝缘对地闪络击穿，内绝缘对地闪络击穿，相间（三相共箱结构）绝缘闪络击穿，雷电过电压闪络击穿，空气套管、电容套管、绝缘件表面闪络等。各类绝缘缺陷发展到最终击穿，酿成事故之前，往往先经过局部放电阶段，局部放电的强弱能够及时反映绝缘状态，因此通过传感器在线监测局部放电来判断绝缘状态是保证高压开关设备绝缘性能的有效手段。

第二节 高压开关设备的载流能力

一、额定电流

额定电流是指断路器及隔离开关在闭合状况下导电系统能够持续通过的电流的有效值，或在限定时间内能够安全通过的一定的负荷电流。

在高压开关设备正常使用条件下，通过这一电流时，开关设备各零件、材料及介质的最高允许温度不应超过国家标准中规定的数值。当使用在周围空气温度高于 40°C （但不高于 60°C ）时，在符合标准规定的最高允许温度下，允许降低负荷长期工作。标准上推荐周围空气温度每增高 1K ，减少负荷电流的 1.8% 。当设备使用在海拔超过 1000m （但不超过 4000m ）且最高周围空气温度为 40°C 时，标准规定的允许温升每超过 100m （以海拔 1000m 为起点）降低 0.3% 。当高压开关设备使用地点的海拔和最高周围空气温度符合表 2-3 的条件时，由于周围空气温度降低值足够补偿海拔对温度的影响，其额定电流值可以保持不变。

表 2-3 海拔与最高周围空气温度

海拔/ m	1000	2000	3000	4000
最高周围空气温度/ $^{\circ}\text{C}$	40	35	30	25

二、额定短时耐受电流

额定短时耐受电流又称额定热稳定电流，指的是在规定的使用 and 性能条件下，在规定的短时间内，高压开关设备在合闸位置时能够承载的电流的有效值。流过这一电流期间，高压开关设备的温度升高不应超过规定的数值。

对高压开关设备来说，当发生短路时只是靠近故障点的断路器动作开断，其他开关仍处于闭合状态。闭合状态下的开关设备在故障电流的持续时间内通过很大的电流，高压开关设备必须能够承受此电流。额定短时耐受电流等于额定短路开断电流，其值应从国家相应标准规定的系列中选取，如：

10kA、12.5kA、16kA、20kA、25kA、31.5kA、40kA、50kA、63kA、80kA。

我国标准规定的额定短路持续时间为 2s ，即指能够承载额定短时耐受电流的时间间隔，在此时间内高压开关设备不出现异常现象。标准值定为 2s ，是考虑到后备段继电保护将故障切除所需要的时间。如果需要，可以选取小于或大于 2s 的值，推荐值为 0.5s 、 1s 、 3s 和 4s 。

短时间电流通过能力主要取决于触头的温升、熔焊、接触面的劣化和对于电动力的强度。当触头结构和形状设计不合理时，由于电动力的作用使触头压力减弱，造成显著温升，有时由于触头瞬时分离引起电弧，致使接触面劣化而熔焊在一起。

三、额定峰值耐受电流

额定峰值耐受电流也即额定动稳定电流，是指在规定的使用 and 性能条件下，开关设备在合闸位置能够承载的额定短时耐受电流第一个大半波的电流峰值。额定峰值耐受电流等于额定短路关合电流，是其额定短路开断电流交流分量有效值的 2.5 倍。短路电流的最大峰值一

般出现在短路发生后电流波形的第一周波内,常用这一峰值电流 I_{MC} 表示动稳定电流,如图 2-1 所示。

在通过这一电流时,开关设备应不受损坏而能继续正常工作。动稳定电流取决于导电部分及支持绝缘件部分的机械强度和触头的结构形式。动稳定电流表示开关设备对短路电流的电动稳定性或动稳定性,又称为极限通过电流。

高压开关设备的载流能力是其主要性能指标,而获得准确可靠的负载电流值,直接关系到电网的安全。随着电力系统的发展,发电和输电容量不断增加,电网电压等级逐渐提高,系统的测量

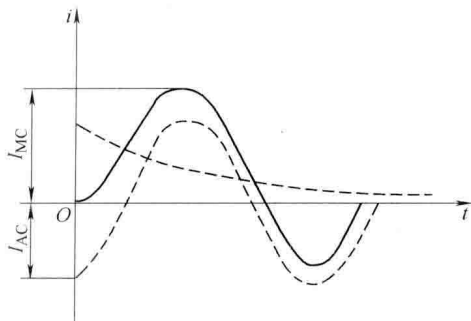


图 2-1 额定峰值耐受电流

和保护精度要求更加严格,传统式互感器暴露出许多不可克服的缺点,如绝缘结构复杂、体积大、造价高、线性度低和磁饱和等;而电子式互感器具有高精度、高可靠性、宽频带等特点,且在技术性能、技术参数、应用配置、检修管理和运行管理等方面有别于常规电磁式互感器。目前,现代电力系统正在走向数字化、智能化,电子式互感器作为数字电力系统的重要组成部分,在今后的发展中,将在高压开关设备在线监测技术的运用中发挥更大的优势。

第三节 开断性能

开断性能是高压开关设备中的断路器最重要的性能之一。在电力系统发生短路故障时,短路电流比正常负荷电流大得多,这时电路最难开断。当接地短路等故障的电流值、暂态恢复电压上升率及峰值和工频恢复电压超过某一限度时,显然断路器不能开断。因此,可靠地开断短路故障是高压断路器主要的也是最困难的任务。

一、开断和关合短路故障的性能

1. 额定开断电流

额定开断电流也即额定短路开断电流,是标志着高压断路器开断短路故障能力的参数。这是指在规定的使用和性能条件以及规定的电压下,断路器能够开断的预期开断电流值,也即所能开断的最大短路电流。断路器的额定短路开断电流一般比其所能开断的极限电流值稍低,以留有裕量。国家标准规定,断路器的额定短路开断电流是在标准规定的相应工频及暂态恢复电压下能够开断的最大短路电流,它由两个特征值表示:一是交流分量有效值,简称额定短路电流;二是直流分量百分数。标准上规定,若直流分量不超过 20%,则额定短路开断电流仅以交流分量有效值来表征。交流及直流的确定如图 2-2 所示。

如图 2-2 所示,设在起弧瞬间的交流分量幅值为 I_{AC} ,直流分量振幅为 I_{DC} ,通常需要开断的额定开断电流可用 $I_{AC}/\sqrt{2}$ (对称分量有效值) 表示。当需要特别指出非对称开断电流

时,可用 $\sqrt{\left(\frac{I_{AC}}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_{DC}^2}$ 表示。对于三相断路器采用通过最大电流一相的开断电流表示。