

Modern Electric Medium Voltage AC Vacuum
Switchgear Equipment

现代电力中压交流真空 开关设备

—— 基于柔性分合闸技术

江苏现代电力科技股份有限公司 红编

施文冲 主编



中国电力出版社

现代电力中压交流真空开关设备 ——基于柔性分合闸技术

江苏现代电力科技股份有限公司 组编
施文冲 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书提出了中压交流真空开关设备的柔性分合闸技术概念,使中压交流真空开关分合闸具有“柔性”特点;探讨了中压交流真空开关设备柔性分合闸的实用化技术参数和实施技术;介绍了基于柔性分合闸技术的以分相控制为特征的智能集成中压交流真空接触器设备和基于柔性分合闸技术的以三相控制为特征的智能集成中压交流真空断路器设备。

本书注重理论与实践相结合,可供从事坚强智能配用电电网建设的方案研究与确定、设备研发与制造、产品选择与使用的科研及技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代电力中压交流真空开关设备:基于柔性分合闸技术/施文冲主编;江苏现代电力科技股份有限公司组编. —北京:科学出版社,2016

ISBN 978-7-03-048246-4

I. ①现… II. ①施… ②江… III. ①真空开关-开关柜 IV. ①TM561.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 098626 号

责任编辑:裴 育 王迎春 王 苏 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 5 月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:434 000

定价:145.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编写人员名单

组 编 江苏现代电力科技股份有限公司

主 编 施文冲

编 写 施博一 宋玉锋 顾曹新 姚卫东 顾明锋
孟领刚 沈卫峰 王春华 单金明 丁 菊
顾 勇 纪陈平 王新明

序言

中压交流真空开关设备是智能配用电电网中的基础性设备之一,使用面广、使用量大,其性能的提高对于配用电电网安全性和可调度性的提升具有重要意义,故望电力设备科研单位和制造企业予以高度重视,使我国中压交流真空开关设备的各项技术性能有更大提高。

该书编者和组编单位采用新型电量与非电量传感器技术、电磁操动与传动技术、机械缓冲与阻尼技术以及现代自动控制技术等,对中压交流真空开关设备的动触头分合闸运动进行微行程精确导控,使产品具有分合闸时间短、时点可控、过程无弹跳等“柔性”特点,这是我国中压交流真空开关设备一次技术和性能的突破。

该书对中压交流真空开关设备的精密分合闸技术提出了实用化的技术参数,并讨论了其产业化的工艺问题,为我国中压交流真空开关产品质量的提升做出了实际贡献。对从事这类设备设计及制造的科技人员、工程师和制造业的技师、技工有重要的参考价值。建议我国为数众多的从事这类工作的人员仔细研读,必会从中受益。



2016 年元月于北京

卢强,中国科学院院士、清华大学电机系教授、瑞典皇家工程科学院外籍院士。

前言

中压交流真空开关设备主要是指中压交流真空断路器和中压交流真空接触器及其成套设备。经多年发展,其已具有结构紧凑、体积小、运行可靠和性价比高等特点,在配用电网中得到广泛应用,成为主流产品。

中压交流真空开关设备用于配用电电网的连接和隔断,面广量大,是配用电电网的重要和关键设备,也是建设坚强智能配用电电网的基础性设备,其技术进步和产品发展受到电力系统运行管理部门和电力设备科研、制造行业的高度重视,在坚强性、智能性和集成性等方面不断取得进步。

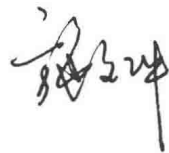
本书编者和组编单位在很长一段时间以来,投入了大量资源进行中压交流真空开关设备技术与产品的研究与开发。除了智能化和集成化方面以外,采用新型电量与非电量传感器技术、电磁操动与传动技术、机械缓冲与阻尼技术以及现代自动控制技术等,对中压交流真空开关设备的动触头分合闸运动进行微行程精确制导控制,取得了较好的效果,使其具有分合闸时间短、时点可控、过程无弹跳等“柔性”特点,大幅提高了中压交流真空开关设备的性能,使其变得更加“坚强”。

全书共三章:第一章探讨中压交流真空开关设备柔性分合闸技术的相关概念、柔性分合闸的技术参数和柔性分合闸的实施技术;第二章介绍基于柔性分合闸技术的以分相控制为特征的智能集成中压交流真空接触器设备产品;第三章介绍基于柔性分合闸技术的以三相控制为特征的智能集成中压交流真空断路器设备产品。

本书注重理论与实践相结合,探讨性地提出属于机电开关的中压交流真空开关设备的柔性分合闸的概念;探讨实用化的柔性分合闸的技术参数和能够具体实施的可用技术;同时,从原理、功能、指标、应用设计及与现有产品的对比等方面介绍业已形成实用产品的基于柔性分合闸技术的中压交流真空开关设备,可供从事坚强智能配用电电网建设的方案研究与确定、设备研发与制造、产品选择与使用的科研与技术人员参考。

基于柔性分合闸技术的中压交流真空开关设备在研发过程中得到了清华大学徐国政教授和中国电器工业协会高压开关分会的袁大陆、田恩文、刘兆林、高山以及电力行业的汤效军、储农、高继鸣、姜宁、陈少波、冯迎春等诸多专家的指导和支持,在此表示感谢。基于柔性分合闸技术的中压交流真空开关设备以“坚强智能配用电开关设备关键技术研发及产业化”为项目名称获得了2014年度江苏省科技成果转化专项资金,在此表示感谢。同时,感谢本书中参考引用和未曾引注的所有文献作者;感谢现代电力中压交流真空开关设备领域所有专家、学者的智慧与辛勤劳动。

由于现代电力中压交流真空开关设备技术和产品仍在不断发展,以及编者水平限制,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。希望本书能在坚强智能配用电电网建设过程中起到抛砖引玉的作用。



2016 年元月于南通

目录

序言

前言

第一章 中压交流真空开关设备柔性分合闸技术	1
第一节 中压交流真空开关设备	3
一、中压交流开关设备的应用	3
二、中压交流开关设备的性能要求	7
三、中压交流开关设备的结构与技术发展	12
四、中压交流真空开关设备的真空熄弧技术	14
第二节 中压交流真空开关设备柔性分合闸技术相关概念	26
一、目前中压交流真空开关设备使用中存在的问题	26
二、柔性分合闸技术	35
三、柔性分合闸的意义	38
四、柔性分合闸与柔性交流输电技术	43
五、柔性分合闸的实用化要求	45
第三节 中压交流真空开关设备柔性分合闸技术参数	47
一、中压交流真空开关装置的结构与工作原理	47
二、柔性分合闸的静态技术参数	51
三、柔性分合闸的动态技术参数	53
四、柔性分合闸的瞬态技术参数	57
五、柔性分合闸的相控技术参数	58
第四节 中压交流真空开关设备柔性分合闸实施技术	60
一、柔性分合闸的中压交流真空开关设备的整机结构技术	60
二、柔性分合闸的中压交流真空开关设备的运动机构技术	63
三、柔性分合闸的运动机构优化设计技术	74
四、柔性分合闸的运动缓冲与阻尼技术	93
五、柔性分合闸的采样传感器技术	96
六、柔性分合闸的自动控制硬件技术	109
七、柔性分合闸的自动控制软件技术	125
八、柔性分合闸的电磁兼容技术	142

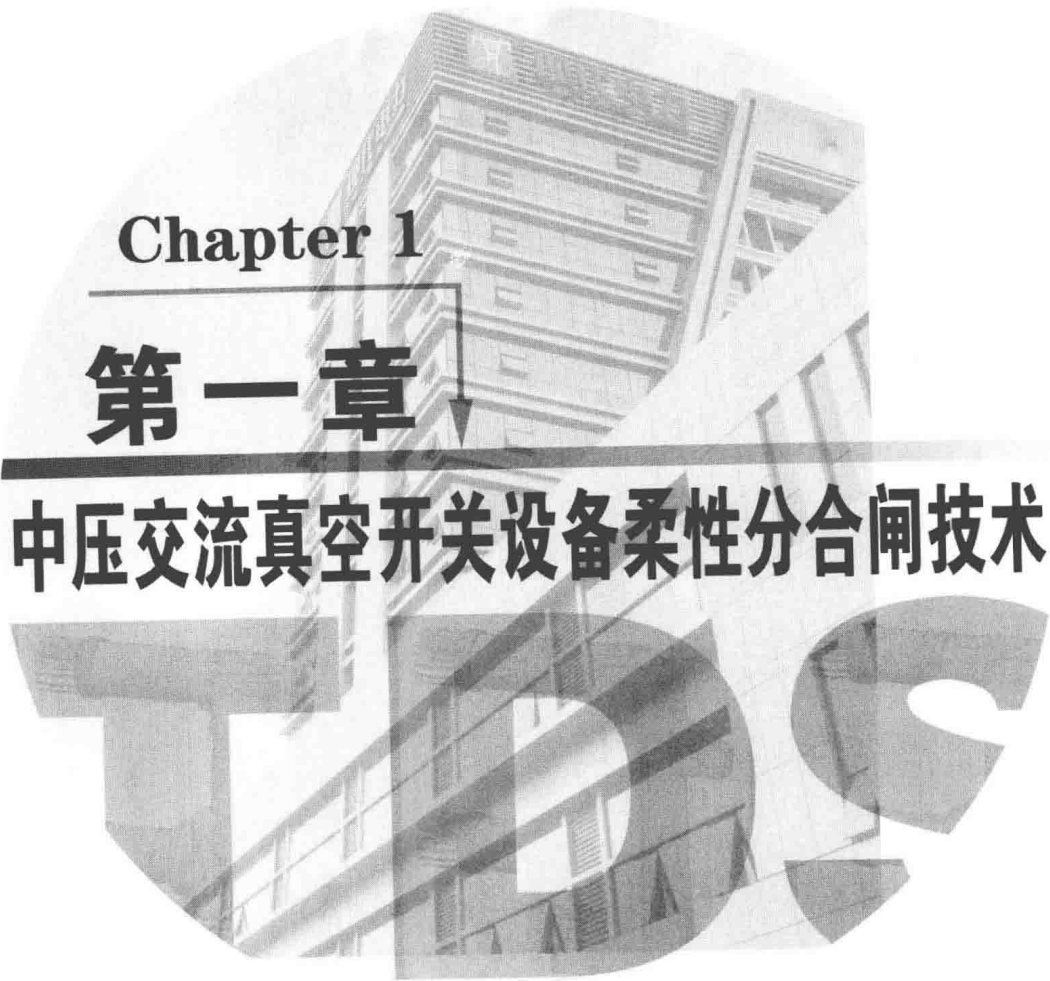


第二章 基于柔性分合闸技术的现代电力中压交流真空接触器设备	153
第一节 综述	155
一、组成与形状	155
二、型号与类型规格	156
三、技术与创新	157
四、使用中可替代的功能电器	157
五、在变电站类户内型中压无功自动补偿装置中的应用	158
六、在线路类户外型中压无功自动补偿装置中的应用	161
七、使用中与通用产品的比较	162
八、出厂报告	164
第二节 工作原理	169
一、本体工作原理	169
二、前置器工作原理	170
三、柔性分合闸原理	170
四、VQC 原理	171
五、关键技术与技术特点	172
第三节 主要功能	173
一、柔性分合闸功能	173
二、综合保护测控功能	174
三、VQC 功能	174
四、自诊断与评估功能	175
五、远动与组网功能	175
第四节 主要参数	176
一、工作环境参数	176
二、工作电源参数	176
三、安全参数	176
四、柔性分合闸参数	176
五、接触器技术参数	177
六、综合保护测控参数	178
七、VQC 参数	179
八、自诊断与评估参数	179
九、远动与组网参数	179
十、设备结构参数	179
第五节 应用设计	181
一、一次电气符号	181
二、二次接线端子	181
三、一次电气设备订货图设计	182
四、二次电气原理图设计	184
五、订货要点	186

第六节 使用说明	186
一、用户接收检查	186
二、变电站类户内型产品使用	187
三、线路类户外型产品使用	209
四、运行维护	215
第三章 基于柔性分合闸技术的现代电力中压交流真空断路器设备	217
第一节 综述	219
一、组成与形状	219
二、型号与智能级别	220
三、类型与额定参数	222
四、技术与创新	223
五、使用中可替代的功能电器	224
六、在通用中压交流金属封闭开关设备和控制设备(通用中压开关柜)中的应用	224
七、在智能中压交流金属封闭开关设备和控制设备(智能中压开关柜)中的应用	226
八、使用中与通用产品的比较	229
九、出厂报告	231
第二节 工作原理	236
一、本体工作原理	236
二、前置器工作原理	237
三、柔性分合闸原理	238
四、关键技术与技术特点	238
第三节 主要功能	239
一、前置器界面功能	239
二、智能级别与功能	249
第四节 主要技术参数	254
一、使用环境参数	254
二、断路器技术参数	255
三、智能化技术参数	256
四、设备结构参数	259
第五节 性能试验	261
一、电气性能试验	261
二、机械性能试验	262
三、智能化试验	263
四、配电与负载分析及评估试验	263
第六节 应用设计	263
一、一次电气符号	263
二、二次接线端子	264
三、电气原理图设计	265
四、电气接线图设计	267



五、订货要点	268
第七节 用户接收检查	272
一、移动与转移	272
二、外观检查	273
三、本体不带电操作试验	273
四、本体带电操作试验	274
五、前置器通电检查	274
六、储存保养	275
第八节 运行与维护	275
一、投运前检查	275
二、投运过程检查	276
三、投运后维护	276
第九节 配用设备	277
一、机柜隔室监控装置	277
二、温湿度监测器	280
三、柜门监控器	282
四、无线中压带电监测器	284
五、无线中压接插端温度监测器	285
六、智能中压机柜模拟屏	287
参考文献	292



Chapter 1

第一章

中压交流真空开关设备柔性分合闸技术



第一节 中压交流真空开关设备

一、中压交流开关设备的应用

(一) 电力系统的交流开关设备

现代电力网是目前世界上结构最复杂、规模最大的用于电能量生产、输送和供给瞬间同时完成的整体性产业系统,包括发电、输电、变电、配电、用电和调度等环节。发电是将热能等其他能量转换成电能量;输电是将电能量从一地送往较远距离的另一地;变电是在电能量的输送过程中为了安全、经济地输送而对电能量输送电压进行改变;配电是对电能量的使用进行安全、优质、经济的分配;用电则是与用电设备联系在一起,使电能量转化为其他形式的能量。

电力网的安全、优质、经济运行和使用至关重要,需要坚强设备和高新技术的支持,而开关设备是其中重要和关键的设备。在电力网的发电、输电、变电、配电和用电的各个环节以及各个环节之间使用各种开关设备进行电网的连接和隔断,这些开关设备采用系统调度控制、局部自动控制或者就地人工控制等方式断开或者闭合,确保电能量的安全、优质、经济和按需流向。

由于交流电有助于发电、输电、变电、配电和用电,所以除特殊情况外,电能量均采用交流输送方式,在其中所使用的开关设备称为交流开关设备。

在一般概念中,电力系统中控制电能量流向的有开关和开关设备。开关是指用于开断和关合导电回路的电器,而开关设备则是指开关与控制、测量、保护、调节装置以及辅件、外壳和支持件等部件及其电气和机械的连接组成的设备总称。近年来,由于各种相关技术的进步,不少开关与控制、测量、保护、调节装置紧密集成在一起,不再是原有意义上的开关,本书将所有这些开关、开关设备统称为开关设备,在具体讨论某种开关设备时将其赋予特性,如智能开关、智能集成开关,而开关与辅件、外壳和支持件等部件及其电气和机械的连接组成的设备,如金属封闭开关设备和控制设备(开关柜)等称为开关成套装置。

(二) 开关设备的电压分类

电能量在发电、输电、变电、配电和用电各环节中传输,需要相应的传输设备,电能量在传输设备中传输有能量损耗,能量的传输损耗除了与传输设备有关外,也与其所采用电压等级有关,传输相同电能量时电压越高损耗越小,但电压越高,存在的技术难度越大,安全风险也越高。

在电能量传输电压等级实际选择过程中,会综合考虑技术难度、投资成本、传输损耗、安全可靠性等因素,电压等级的确定也与发电、输电、变电、配电和用电各环节相关,同时与电网的历史和逐步发展过程有关。

电能量传输电压目前分为较多等级,而且随着电力网的快速发展,将出现更多电压等级。为了表述方便和简洁,将某些电压等级进行归类,但这些归类存在一定不准确性,且随着更多电压等级的出现而不断变化。例如,传统上将低于 1000V 的电力称为低压、

1000V 及以上的统称高压,但目前一般又将 1000V 及以上的高压分为中压、高压、超高压、特高压等类别。表 1-1 是目前常用电压等级约定俗成的归类及其所在电网环节。

表 1-1 电网电压等级、类别及所在电网环节

序号	等级	类别	电网环节
1	110V、220V、380V、660V	低压	用电
2	6kV、10kV、20kV、35kV、66kV	中压	用电、配电、发电
3	110kV、220kV、350kV	高压	变电、输电、发电
4	500kV	超高压	输电
5	800kV、1000kV	特高压	输电

表 1-1 中未将应用较少的电压等级列入,如矿用低压 36V 等。

与电网电压等级、类别相对应,其中使用的交流开关设备也有电压等级与类别,如表 1-2 所示。

表 1-2 电网电压等级、类别及与此对应的交流开关设备的电压等级、类别

序号	电压类别	电网电压等级	交流开关设备电压等级
1	低压	110V、220V、380V	400V
2		660V	800V
3	中压	6kV、10kV	12kV
4		20kV	24kV
5		35kV	40.5kV
6		66kV	72.5kV
7	高压	110kV	126kV
8		220kV	252kV
9		350kV	363kV
10	超高压	500kV	550kV
11	特高压	800kV	800kV
12		1000kV	1000kV

表 1-2 所示交流开关设备的电压等级为其额定电压值,一般高于其所在电网电压等级。电压等级低的交流开关设备因安全性问题而不能应用于电压等级高的电网,而电压等级高的交流开关设备因体积大、价格高而一般不用于电压等级低的电网。

额定电流是交流开关设备重要的技术指标。同样额定电流的交流开关设备,电压等级高的交流开关设备所能开合、关断的能量大于电压等级低的交流开关设备,二者与电压等级高低成正比,因此前者比后者体积大、成本高。

电力网的发电、输电、变电、配电、用电各环节中电能量的传输是瞬间同时完成的,中间没有能量的储存,因此各环节所传输的能量如果不计损耗应相同。由于属于低压用电环节的电压等级低,传输相同电能量的电流大,所以使用的低压交流开关设备数量特别多。据国家统计局统计,2010 年度低压开关电器的相关数据为:产能 67291 万台,产量



60081 万台,销量 52781 万台。

中压交流开关设备的数量与之相比要少很多,而高压、超高压、特高压开关设备则更少。2013 年度《高压开关行业年鉴》资料显示,2013 年度国内中压、高压、超高压和特高压开关设备分别为 2813821 台、58663 台、1580 台、295 台。

(三) 中压交流开关设备的功能分类

中压交流开关设备应用场合不同,基本功能也不同,可分成较多类型,主要有以下几种。

1. 断路器

断路器是指能够关合、承载及开断运行回路的正常电流,也能够在规定时间内关合、承载及开断规定的过载电流(包括短路电流)的开关设备。

2. 接触器

接触器是指除手动操作外,只有 1 个休止位置,能关合、承载及开断正常电流及规定的过载电流的开断和关合设备。

休止位置是指接触器的电磁铁或压缩空气装置处于释放状态时,接触器可动部件所处的位置。

3. 隔离开关

隔离开关是指在分位置时触头间有符合规定要求的绝缘距离和明显的断开标志,在合位置时能承载正常回路条件下的电流及在规定时间内异常条件(如短路)下的电流的开关设备。

当回路电流“很小”时,或者当隔离开关每极的两接线端间的电压在关合和开断前后无显著变化时,隔离开关具有关合和开断回路的能力。

4. 负荷开关

负荷开关是指能在正常的导电回路条件或规定的过载条件下关合、承载及开断电流,也能在异常的导电回路条件(如短路)下按规定时间承载电流的开关设备。

根据需要,负荷开关也可具有关合短路电流的能力。

5. 接地开关

接地开关是指用于将回路接地的一种机械式开关装置。

在异常条件(如短路)下,可在规定时间内承载规定的异常电流,但在正常回路条件下,不要求承载电流。

接地开关可有关合短路电流的能力,也可与隔离开关组装在一起。

6. 重合器

重合器是指能够按照规定的顺序,在导电回路中进行开断和重合操作,并在其后自动



复位、分闸闭锁或合闸闭锁的自具(不需要加能源)控制保护功能的开关设备。

7. 分段器

分段器是指能够自动判断线路故障和记忆线路故障电流开断次数,且当达到整定的次数后在无电压或无电流的情况下自动分闸的开关设备。

某些分段器可具有关合短路电流(自动重关合功能)及开断、关合负荷电流的能力,但无开断短路电流的能力。

8. 起动器

起动器是指能够起动和停止电动机并同适当过载保护元件组合在一起的所有开合方式的组合体。

(四) 中压交流开关设备的产量

在所有中压交流开关设备中,断路器应用最广、使用量最大。表 1-3 是 2013 年度《高压开关行业年鉴》中对上述中压开关设备的产量统计。

表 1-3 2013 年度主要中压交流开关设备的产量

序号	电压等级/kV 产量/台 种类	12	24	27.5/55	40.5	72.5	合计
1	断路器	662859	12413	3129	62956	3	741360
2	接触器	44322	1476	—	343	—	46141
3	隔离开关	352247	2135	3050	27430	5535	390397
4	负荷开关	157098	730	—	6136	—	163964
5	接地开关	195002	6590	—	26694	41	228327
6	重合器	848	—	—	—	—	848
7	分段器	—	—	—	—	—	—
8	起动器	—	—	—	—	—	—

中压交流开关成套设备主要有金属封闭开关设备和控制设备(中压交流开关柜)以及中压环网柜。金属封闭开关设备和控制设备中有一种为气体绝缘金属封闭开关设备和控制设备。表 1-4 是 2013 年度《高压开关行业年鉴》中对这三种中压交流开关成套设备的产量统计。

表 1-4 2013 年度主要中压开关交流成套设备的产量

序号	电压等级/kV 产量/台 种类	12	24	27.5/55	40.5	72.5	合计
1	金属封闭开关设备和控制设备	408762	11547	2228	76783	—	499320
2	气体绝缘金属封闭开关设备 和控制设备	2983	—	—	3657	152	6792
3	中压环网柜	217837	4890	—	3249	—	225976