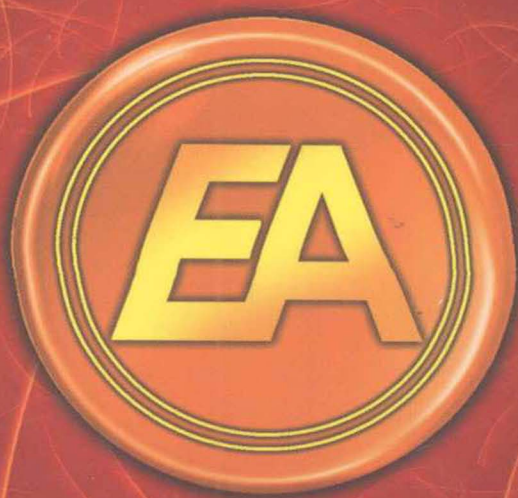


低压电器的研究与开发

——陈德桂科技论文选集



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

低压电器的研究与开发

——陈德桂科技论文选集



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

低压电器的研究与开发——陈德桂科技论文选集/陈德桂著. —西安:
西安交通大学出版社, 2013.9
ISBN 978-7-5605-5738-0

I. ①低… II. ①陈… III. ①低压电器-文集
IV. ①TM52-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 230214 号

书 名 低压电器的研究与开发——陈德桂科技论文选集
著 者 陈德桂
责任编辑 任振国 王 欣

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029) 82668357 82667874 (发行中心)
(029) 82668315 82669096 (总编)
传 真 (029) 82668280
印 刷 陕西江源印刷科技有限公司



开 本 880 mm×1230 mm 1/16 印张 35.25 字数 1048 千字
版次印次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-5738-0/TM-88
定 价 120.00 元

读者购书、书店添货时,如发现印装质量问题,请于本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029) 82665248 (029) 82665249
投稿热线:(029) 82664954 QQ: 8377981
读者信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

作者简介

陈德桂教授 1955 年毕业于交通大学（上海）电机系。1983—1984 年赴英国利物浦大学电气与电子工程系留学一年。现为西安交通大学电气工程学院教授，博士研究生导师，全国电工技术学会荣誉理事，低压电器专委会荣誉主任委员，全国电器工业协会通用低压电器分会专家组组长，IEEE 高级会员，日本电子情报通信学会海外会员。1992 年获得国务院政府特殊津贴。



他的研究领域为：电弧等离子体微观机理及磁流体动力学数学模型，低压电器灭弧室现代研发技术，开关电器特性的可视化仿真与数字化设计技术，电器限流技术，智能化低压电器。

他在国内外发表了三百余篇论文，作为他本人“低压电器新技术”丛书中的两本专著《低压断路器的开关电弧与限流技术》（2007 年）和《低压断路器的虚拟样机技术》（2009 年）已由机械工业出版社出版。已完成由他主持的国家与省部级基金项目 6 项，国际合作项目 10 项。近年来由他提出的低压电器现代化的设计平台，改变了依靠经验和仿制的传统设计技术，推动了低压电器行业设计技术的创新，因而多次获奖。2004 年获国家科技进步二等奖，2003 年获教育部科技进步一等奖，2003 年获西安市科学技术一等奖，2011 年获陕西省科学技术一等奖（以上四个奖项均排名第一），2012 年又获国家科技进步二等奖。已获发明专利 5 项，实用新型专利 6 项（均排名第一）。

陈德桂教授积极开展国际国内学术交流，在国外的国际学术会议上多次被邀请作大会特邀报告；作为会议执行主席或会议主席主持和召开了第一、第二、第三届（1989 年，1993 年，1997 年）电接触、电弧、电器及其应用国际学术会议。从 1989 年至今被 8 个国际学术会议聘为国际科学委员会委员。

学生寄语

我的导师陈德桂先生是一位脚踏实地、不图虚名的教授，唯一目标就是如何为电器技术的发展多出力、多贡献。他不仅科研出成果，还一心教书育人，改革开放后的三十多年，他培养出弟子无数，都成为相关行业的骨干或带头人。陈先生的无私奉献和为弟子的发展鞠躬尽瘁令我们永远难忘，每次申报课题或奖项时，他首先想到的是与他一起工作的同事和学生，而不是自己的名誉。陈先生从事低压电器研究多年，虽然低压电器不像信息技术和电子计算机那样热门，但他从没放弃，攻克一个又一个难关，成果无数，为中国电器技术跃升至世界水平作出了巨大贡献。

李尔平

(IEEE Fellow, 长江学者, 国家首批“千人计划”特聘教授,
新加坡科研局电子及光电子技术研究所主任, 首席科学家)

本论文选集的出版得到以下单位的支持与资助，作者在此深表谢意！

西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室
常熟开关制造有限公司
厦门士林电机有限公司
上海良信电器股份有限公司
江苏辉能电气有限公司
德力西电气有限公司

前言

低压电器是低压供配电系统的主要开关电器,随着电力事业的发展和节能减排的迫切要求,人们对低压电器不仅在数量要求上大增,对产品性能和可靠性方面更是提出更高的要求。配电方面,当前单台低压配电变压器容量增大,低压配电系统进入城市高层建筑,设备安装的空间越来越小;工控方面,随着自动化程度的提高,数控设备对工控电器的要求也越来越高。因而开发高性能、小尺寸、智能化和节能型产品是当前低压电器的发展方向。我国国民经济的飞跃发展给低压电器行业带来了前所未有的机遇,要掌握好这个机遇,必须走自主创新的道路,开发具有自主知识产权的低压断路器新一代产品,以适应国内外市场竞争的需要。

长期以来,低压电器的开发主要依靠经验和估算,需要反复制作样机和试验来确定设计方案,这种传统的方法使开发周期很长,样机制作和试验都要花费很高的成本,并且设计的方案达不到最佳的目标。为了推动我国低压断路器新一代产品的自主开发,实现创新设计,也为了提高低压电器开关电弧和灭弧系统的理论水平,笔者及其领导的西安交通大学低压电器教研组长期从事低压电器现代化设计平台和空气介质开关电弧的研究工作,提出以可视化仿真和数字化设计技术来实现低压电器的优化设计,以现代测试技术为基础的灭弧系统设计,来代替反复样机制作和短路试验为主的经验设计方法,并且依靠这二方面组成的低压电器新的研发平台,在空气介质开关电弧的研究方面取得一系列成果。近年来这些成果在国内外得到推广,笔者也获得二项国家科技进步二等奖(2004年,2012年)及二项省部级一等奖(2003年,2011年)。随着科研工作的进展,笔者已发表了三百多篇论文,本论文集是其中选出的一部分,共计98篇。

论文集分成五个专题,其中“发展综述”是针对不同时期低压电器技术和产品发展的评述。“低压开关电弧与开断特性”展示了作者及其领导的教研组在低压开关电弧机理的探索与灭弧技术的创新所取得的成果。特别在电弧背后击穿现象及防止措施、开关电弧的气吹灭弧等方面,在低压开关电弧灭弧机理上提出了新的见解。“仿真与数字化设计”是利用在计算机里建立开关电器的三维虚拟样机,用可视化仿真技术实现优化设计的科研工作,对不同电器和不同电器部件,建立相应的数字模型和拟订求解方法。仿真技术涉及电磁场、流场、温度场和电路瞬态、多体动力学等多物理场域的耦合仿真计算,论文中也提供了这种技术在新产品研发中实际应用的例子。“现代测试技术”则是上一研究的硬件基础,提出了开关电弧特性测试的新技术,特别是研制了一种能测量灭弧室内部电弧运动的光纤测试系统。“智能电器”重点介绍节能与智能接触器,提出带电压控制与电流反馈的各种控制线路以及三气隙永磁电磁铁的应用。

陈德桂

2013年7月

目 录

前言

学生寄语

第一部分 发展综述

近期低压电器研发工作的若干动态	1
当前国内外低压塑壳断路器发展的动向	11
节能减排推动低压断路器向小尺寸、高性能方向发展	17
智能电网促进了低压电器新品种的发展与新技术的应用	22
讨论和分析近期低压电器的若干新技术	29
控制与保护开关电器的进展	36
低压电器最新技术发展动态	40
交流接触器技术发展动态	46
虚拟样机成为开发新型低压电器的关键技术	52
面向21 世纪的低压电器新技术	57

第二部分 低压开关电弧与开断特性

Numerical Simulation of Arc Motion during Interruption Process of Low-Voltage Circuit Breakers	64
低压灭弧系统中产气材料的作用及其选择	70
Analysis and Improvement of Linkage Transfer Position for the Operating Mechanism of MCCB	75
Effect of Different Vent Configurations on the Interruption Performance of Arc Chamber*	81
两种静导电回路对塑壳断路器开断性能的影响分析	86
Experiment and Simulation Research on the Influence of Different Main Contact System on the Interruption Performance of Control and Protective Switch	93
Research on Contact Force Pairing of MCCB with Double Repulsive Contact Structure	101
利用电弧动态数学模型的低压断路器开断过程仿真分析	108
Ferromagnetic Material Effects on Air Arc Behavior	115
Effect of Back-Volume of Arc-Quenching Chamber on Arc Behavior	122
Electrode Evaporation Effects on Air Arc Behavior	129
Simulation of Pressure Rise in Arc Chamber of MCCB during its Interruption Process	134
A comparison of the effects of different mixture plasma properties on arc motion	139
Analysis of the Interruption Process of Molded Case Circuit Breakers	146
Study of the Effect of Gassing Material on Arc Behavior in Low Voltage Circuit Breaker	154
Study of the Influence of Arc Ignition Position on Arc Motion in Low-Voltage Circuit	

Breaker.....	160
Experimental Investigation on the Arc Motion with Different Configurations of Quenching Chamber in AC Contactor.....	167
弧柱压降对塑壳断路器限流性能的作用.....	172
Experimental Investigation on Arc Motion of MCCB with Different Configurations of Arc Chamber Using Optical Fiber Measurement System	176
Experimental Investigation of the Influence of Several Factors on the Arc Motion of a Model Quenching Chamber with Gas-Driven Arc	182
气吹灭弧与压力脱扣技术促进了低压断路器分断性能提高.....	188
3D Dynamic MHD Arc Mathematical Model of Low Voltage Circuit Breakers	192
低压断路器的器壁侵蚀与自动气吹灭弧新技术.....	197
Effect of Magnetic Field of Arc Chamber and Operating Mechanism on Current Limiting Characteristics of Low-voltage Circuit Breakers	201
低压断路器开断特性的仿真研究.....	208
新型灭弧系统对背后击穿现象的抑制作用.....	213
低压限流断路器背后击穿现象的数值模拟研究.....	217
低压断路器中电弧运动磁流体动力学模型的仿真研究.....	222
低压断路器灭弧室中磁驱电弧的数学模型.....	226
低压断路器电弧背后击穿现象的研究.....	232
栅片灭弧室电场的计算及其对灭弧性能的影响.....	236
双断点断路器的电弧数学模型及开断过程仿真.....	241
Investigation of Back Commutation Phenomena for Narrow Slot Arc Quenching in Current Limiting Circuit Breaker.....	247
低压限流断路器开断过程重击穿现象及防止措施.....	255
电弧运动通道对低压限流断路器开断过程重击穿现象的影响.....	259
The Effect of Self-consistent Magnetic Field on Contact Wear and Interrupting Characteristics of the Small-capacity Contactors	266
第三部分 仿真与数字化设计.....	273
不同进线结构与尺寸的 MCCB 电动斥力与电弧磁吹力的分析.....	274
微型断路器开断过程的数学建模与仿真分析.....	281
三气隙永磁接触器工作原理和静特性分析.....	287
双断点与单断点万能式断路器电动稳定性的分析与对比.....	291
基于磁场和等效磁路的磁通变换器特性仿真和优化设计.....	294
Thermal Analysis of AC Contactor Using Thermal Network Finite Difference Analysis Method	301
Analysis and Optimization for the Operating Mechanism of Air Circuit Breaker	307
A New Method to Evaluate the Short-Time Withstand Current for Air Circuit Breaker.....	313
Dynamic Simulation of Operating Mechanism for Molded Case Circuit Breaker	320
塑壳断路器不同结构触头灭弧系统吹弧磁场的分析.....	326
旋转双断点塑壳断路器机构的动态仿真与优化.....	330
交流接触器触头弹跳的仿真及影响因素.....	334

Analysis and Research on Electro-Dynamic Repulsion Force Acting on the Paralleled Conductors in Air Circuit Breaker.....	341
交流接触器温度场仿真及影响因素的分析.....	347
计及主回路和电磁系统发热的交流接触器数值热分析.....	354
一种分析多连杆永磁操动机构动态特性的方法.....	360
塑壳断路器滑扣现象的仿真分析.....	366
塑壳断路器操作机构分断速度的影响因素.....	372
舰用框架断路器抗冲击动力学建模与仿真.....	376
Investigation on the Dynamic Characteristics of a Magnetic Release in Molded Case Circuit Breaker	380
交流接触器 E 型电磁铁分磁环的仿真设计.....	385
开关柜耐受最大冲击载荷的冲击动力学研究.....	389
3-D Finite Element Analysis and Experimental Investigation of Electrodynamic Repulsion Force in Molded Case Circuit Breakers	396
Numerical Analysis and Experimental Investigation of Dynamic Behavior of AC Contactors Concerning with the Bounce of Contacts	403
计及物理参数随温度变化时螺管电磁铁温度场和瞬态热路的仿真分析.....	408
电力电子装置施工设计软件系统的面向对象建模.....	413
Analysis of Magnetic Coupled to Mechanical Motion in Solenoidal Electromagnet Excited Voltage Source	419
起重电磁铁的计算机辅助优化设计.....	422
第四部分 现代测试技术	431
压力测量及其在低压断路器灭弧室优化设计中应用.....	432
Experimental Study of the Influence of Gassing Material on Blow Open Force and Arc Motion.....	436
低压电器中气动斥力的实验研究.....	440
开关柜内部故障电弧的在线检测和保护装置.....	446
Measurement of the Dielectric Recovery Strength and Reignition of AC Contactors	451
A Novel Optical Fiber Measurement System of Arc Motion in Molded Case Circuit Breakers.....	457
采用自聚焦透镜的开关电弧运动形态光纤测试系统.....	464
低压断路器中电弧运动形态的观察.....	470
多纵缝灭弧室介质恢复强度的测试与分析.....	473
电弧运动图象的光电数字式测试系统.....	477
中大容量接触器触头斥力的试验研究.....	481
第五部分 智能电器	487
Thermal Simulation of a Contactor with Feedback Controlled Magnet System	488
Simulation and Analysis for a Permanent Contactor with and without Current-Feedback System.....	495

Analysis and Optimization for a Contactor with Feedback Controlled Magnet System	500
低压电器智能化的新技术	507
具有屏蔽机壳的电子设备系统级电磁敏感性分析方法	513
Dynamic Characteristic Analysis and Optimization for the Energy-Saving and Bounce-Reducing Double-Coil Contactor	518
磁通变换器的优化设计	525
交流接触器的同步控制	528
真空断路器关合速度与预击穿对同步关合的影响研究	533
基于小波变换的配电网电压暂降的干扰源辨识	538
智能电器与电力质量监控	545
交流接触器通断过程的智能操作	548
可通信低压开关电器	551

Analysis of Dynamic Coupled to Mechanical Motion in Solenoidal Electromagnet Excited Voltage Source	419
.....	422
.....	425
.....	428
.....	431
.....	434
.....	437
.....	440
.....	443
.....	446
.....	449
.....	452
.....	455
.....	458
.....	461
.....	464
.....	467
.....	470
.....	473
.....	476
.....	479
.....	482
.....	485
.....	488
.....	491
.....	494
.....	497
.....	500
.....	503
.....	506
.....	509
.....	512
.....	515
.....	518
.....	521
.....	524
.....	527
.....	530
.....	533
.....	536
.....	539
.....	542
.....	545
.....	548
.....	551

.....	431
.....	434
.....	437
.....	440
.....	443
.....	446
.....	449
.....	452
.....	455
.....	458
.....	461
.....	464
.....	467
.....	470
.....	473
.....	476
.....	479
.....	482
.....	485
.....	488
.....	491
.....	494
.....	497
.....	500
.....	503
.....	506
.....	509
.....	512
.....	515
.....	518
.....	521
.....	524
.....	527
.....	530
.....	533
.....	536
.....	539
.....	542
.....	545
.....	548
.....	551

.....	431
.....	434
.....	437
.....	440
.....	443
.....	446
.....	449
.....	452
.....	455
.....	458
.....	461
.....	464
.....	467
.....	470
.....	473
.....	476
.....	479
.....	482
.....	485
.....	488
.....	491
.....	494
.....	497
.....	500
.....	503
.....	506
.....	509
.....	512
.....	515
.....	518
.....	521
.....	524
.....	527
.....	530
.....	533
.....	536
.....	539
.....	542
.....	545
.....	548
.....	551

低压电器的研究与开发

低压电器产品标准汇编

——陈德桂科技论文选集

低压电器产品标准汇编

西安 西电 西安理工大学电气工程研究所 陈德桂

第一部

发展综述



近期低压电器研发工作的若干动态

陈德桂 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049

摘要: 智能电网、节能减排和再生能源要求推动了近期低压电器的研发工作。本文介绍这方面的若干动态, 包括: 设计紧凑型万能断路器和其可靠性的提高; 直流开断技术; 气吹与灭弧室的优化; 节能与智能接触器的新方案。

关键词: 紧凑型断路器; 可靠性设计; 直流开断; 气吹灭弧; 节能与智能接触器

Several Recent trends of Development and research work for Low-voltage Electrical Apparatus

Chen Degui

(Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049, China)

Abstract: The requirement of intelligent grid, emission reduction and renewable resource promote the development and research work of low-voltage electrical apparatus. The paper introduces several recent trends in this area, including: Design of compact circuit breaker; DC Interruption technologies; Auto-puffer to extinguish the arc and optimal design of quenching chamber; New scheme of energy saving and intelligent contactor.

Key words: Design of compact circuit breaker; DC Interruption technologies; Auto-puffer to extinguish the arc; Energy saving and intelligent contactor

1. 概述

一方面是电力需求随经济发展快速增长, 另一方面是当前 40% 以上的电力生产依靠煤炭为能源, 所以节能减排, 发展智能电网, 充分利用再生能源, 是当前电力工业及其设备开发的目标。低压电器作为配电系统的主要元器件, 近期的研发工作也围绕这个方向在展开。为了节能和节材, 需要开发小尺寸、高性能的低压电器和节能电器, 提高产品的可靠性才能保证低压配电系统正常、安全运行, 再生能源中风电需要交流 690V 的电器, 而光伏系统则需要直流开断技术, 这些需求也是当前低压电器研发工作的主要任务, 本文介绍近期这方面的若干动态。

2. 设计紧凑型万能断路器和其

可靠性的提高^[1]

万能断路器是低压配电系统的主开关, 目前国内外各大公司都在如何提高其短时耐受能力和开断性能方面做了大量研发工作, 但设计高性能紧凑型开关的另一重要方面是优化设计断路器的热场分布, 降低温升。日本三菱电气公司用热路网络分析的方法^[1], 优化设计了导电回路, 图 1 为计算结果与实测的对比, 通过热分析, 该公司设计了一种新的紧凑型 AE2000-SWA 壳架, 并采取了以下措施: 优化软连接的截面; 增加连接处的接触面积以减小接触电阻; 连接处的某些加工面采用高精度冲压加工; 由于中间相散热困难, 适当加大其截面。采取了上述措施后, 2000A 的断路器尺寸和原 1600A 的相同。

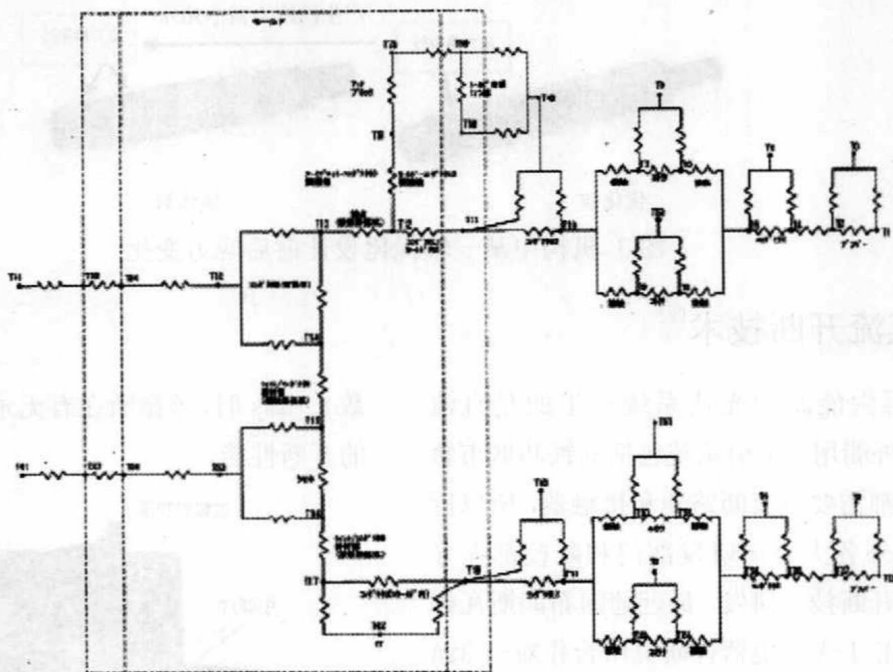
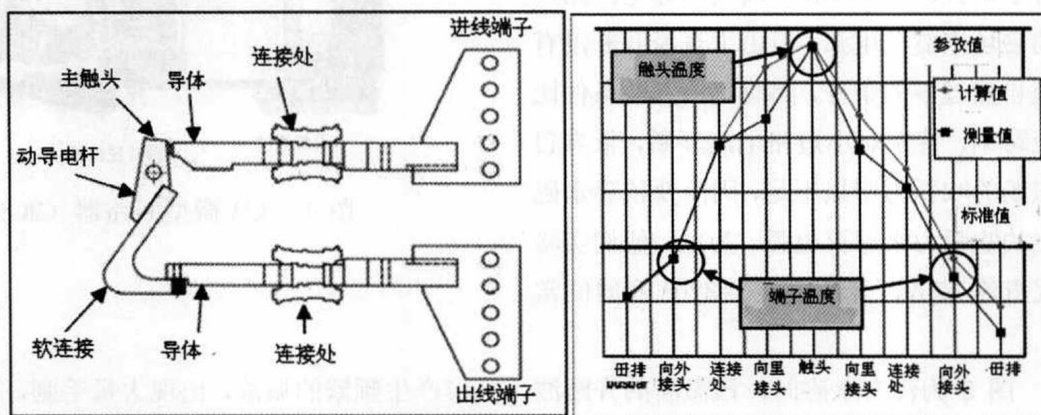


图1 热路网络



a) 断路器导电回路

b) 计算与实测对比

图2 计算与实测对比

三菱公司在开发新系列AE-SW万能断路器中还采用了一种新的设计技术,就是机构的可靠性设计。根据配电系统的统计,无论是中压还是低压系统,断路器的机构的寿命和可靠性是影响系统正常、安全工作的关键,由于万能断路器在开闭过程中对每一个机构零件要造成冲击,多循环的操作会影响

材料疲劳而断裂,影响工作可靠性和寿命,为此,该公司采用机构零部件疲劳分析和优化设计。图3为机构中某一轴,在通过选择材料和尺寸的优化设计后,优化前后轴上的应力变化,优化后应力减小了50%,通过这一措施,新系列万能断路器的机械寿命有显著提高,新老产品对比如表1所示。

表1 三菱公司 AE-SW 万能断路器机械寿命的提高

壳架/A	原产品	新产品
630-1600	10000	25000
2000-4000	10000	20000

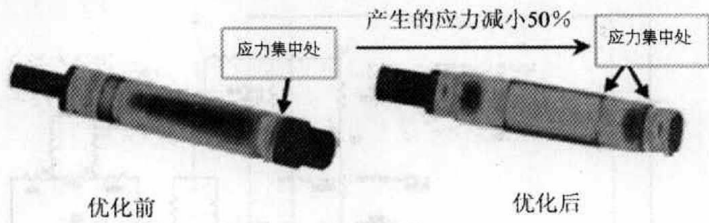


图3 机构中某一轴优化设计前后应力变化

3. 直流开断技术^[2]

再生能源中光伏系统产生的是直流电，另外船用、牵引系统包括高铁和城市轨道交通都需要直流断路器和接触器，所以近期国内外各大公司研发部门和院校都在开展直流开断技术研发。最近德国布朗斯瓦许大学与 E-T-A 机电器件研究所合作对一 32A 微型断路器 (MCB) (图 4) 的直流开断技术进行了研究。交流 MCB 一般采用导电回路产生的磁场来驱动电弧，但由于直流开断没有电流自然过零的条件，因而直流开断条件比交流苛刻，特别对小短路电流开断，依靠自激磁场的吹弧力明显不足，因而要依靠永磁产生的吹弧力来熄灭电弧。为此，他们实验研究直流 375V，开断电流 $I=320A$ 和时间常

数 $\tau=3ms$ 时，该微断在有无永磁磁吹条件下的开断性能。

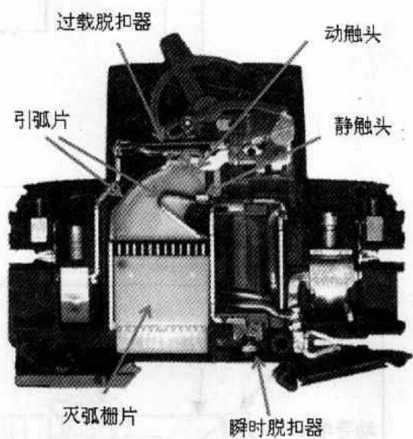


图4 32A 微型断路器 (MCB)

图 5 为没有永磁时，该微断的开断波形，从电压波形看，当 $t=7ms$ 时，电弧点燃；当 $t_1=15ms$ 时，电弧才开始运动，中间的电弧停滞时间长达 8ms，在 t_2 瞬间，电弧开始进入栅片，然后在 t_2 到 t_3 时间段内电压波

形产生频繁的振荡，出现大量毛刺，这是由于背后击穿现象造成，其延续时间长达 10ms，直到 t_4 ，电弧才在栅片中熄灭，燃弧时间长达 28.3ms，开断过程电弧能量为 763J，允通能量 I^2t 达 $1809A^2s$ 。

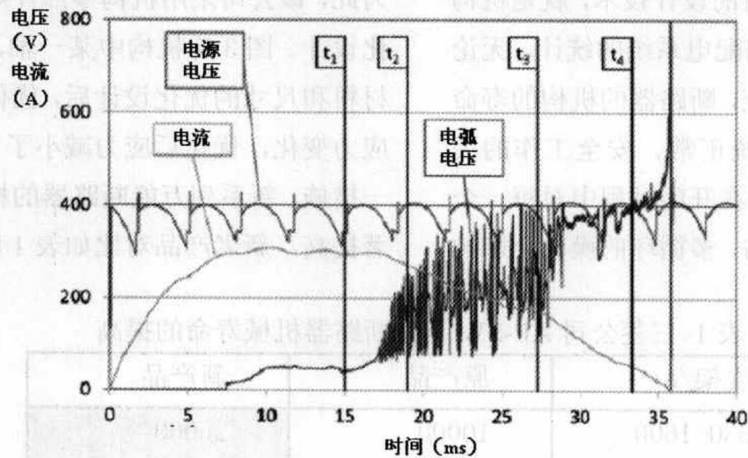


图5 没有永磁时，微断的开断波形，开断条件为直流 375V， $I=320A$ ， $\tau=3ms$

图6为有永磁时,在相同条件下的开断波形,从电压波形看,从燃弧开始到 t_1 电弧运动,其电弧停滞时间仅为1ms,在 t_2 与 t_3 之间,很短的时间间隔内仅有轻微的背后击穿现象,总燃弧时间仅为10.9ms。开断过程中电弧能量为404J, I^2t 为667A²s。

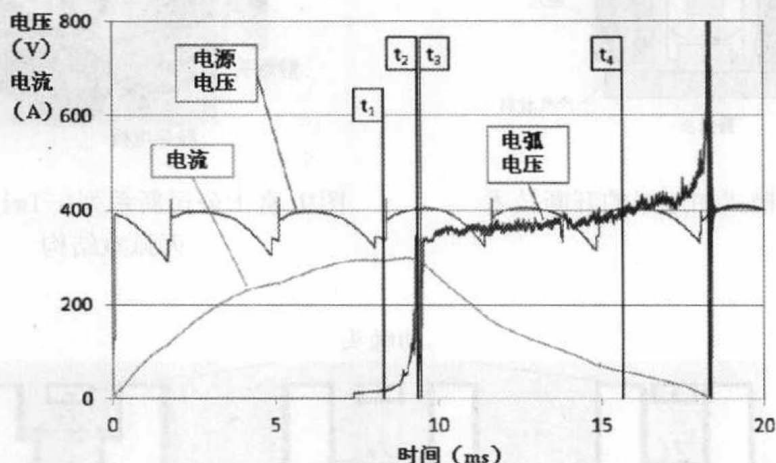


图6 有永磁时,微断的开断波形,开断条件为直流375V, $I=320A$, $\tau=3ms$

图7为用快速摄像机拍摄的在 t_2 瞬间,电弧进入栅片的情况。可见:有永磁时,电

对比图5和图6,可见:有了永磁,在低短路电流下,开断性能远优于无永磁磁吹的情况,不但燃弧时间短,电弧能量和允通能量 I^2t 都小,并且电弧停滞时间缩短,背后击穿现象大幅度减弱。

弧在 t_2 瞬间能充分进入栅片,而没有永磁则不能充分进入。

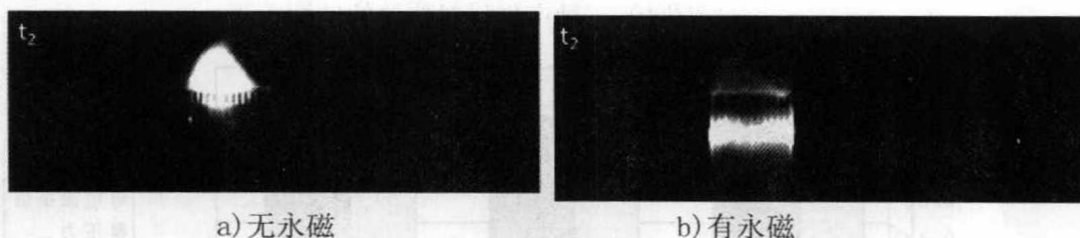


图7 在 t_2 瞬间电弧进入栅片的图像

4. 气吹与灭弧室的优化

要实现小尺寸、高分断能力的新一代低压电器,加上新能源690V开断条件的需要,低压电器的气吹灭弧近年来得到普遍重视,在气吹灭弧中产气材料得到广泛采用,日本三菱公司WS和新系列WS-V都采用冲击槽式加速器的开断技术。这里所谓冲击槽式,实质上是让电弧在由绝缘产气材料的狭缝中产生,如图8所示^[3],利用产气材料在电弧侵蚀下产气,由于这种气体中有氢气的成分可以

高的压力,对外形成强烈的气流,而产生气吹,并且还可以用这股气流来加速动触头的斥开。最近富士电机推出的新系列G-Twin塑壳断路器也采用绝缘产气材料形成的狭缝来形成气吹灭弧,这种结构把绝缘材料形成狭缝的部件放在栅片入口处,如图9所示^[4]。富士公司还制作了三种灭弧室模型来研究狭缝不同尺寸和形状对气吹的影响,图10为三种狭缝结构^[5],取第一种为基准,第二种和第一种类似,狭缝是定宽度结构,但宽度尺寸较第一种大,这样限流效果就差,但灭弧室内压力降低了。第三种狭缝的宽度在

冷却电弧,另外在狭缝中的电弧产生很

高度方向分成二段，前一段小，后一段大，是变宽度的结构，这种结构其限流效果与第

一种相同，但压力有较大降低，如图 11 所示。

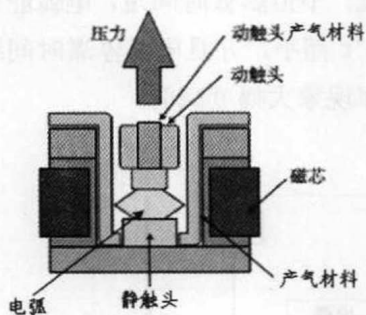


图8 冲击槽式加速器的开断技术

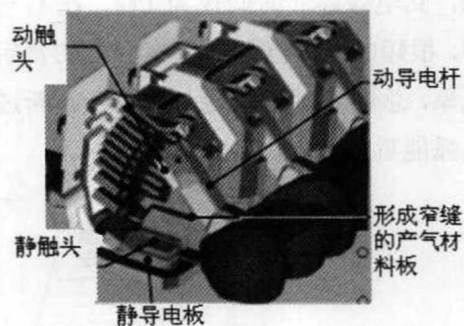


图9 富士公司新系列G-Twin塑壳断路器的灭弧室结构

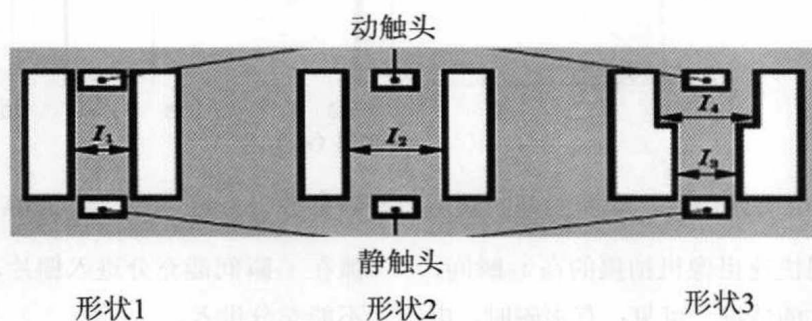


图10 三种产气材料狭缝的结构

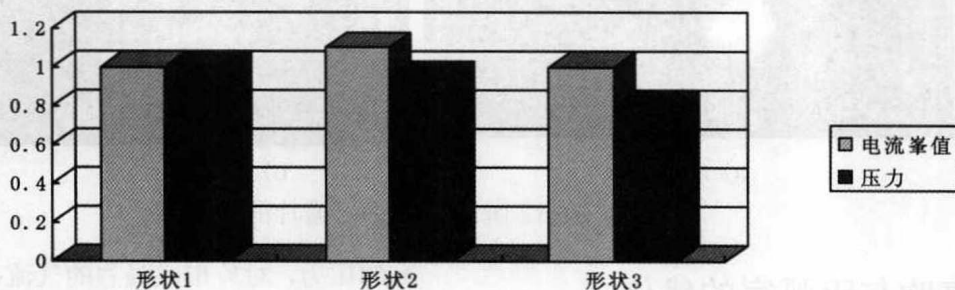


图11 三种形状电流峰值与灭弧室压力的比较(取形状1为基准)

产气材料的气吹作用也充分应用于微型断路器，最近施耐德公司推出的 NG 和 ABB 公司推出的 S500 和 S800 高分断微型断路器^[8]，其开断能力达到 50kA，远较现有的微断开断性能要高。它们的结构上，灭弧室两侧、跑弧道和弧角上都安置有产气材料，为了验证产气材料对提高微断开断性能的作用，Fraunhofer 学院与 Eaton 公司用磁流体动力学电弧模型仿真了微型断路器灭弧室两侧有无产气材料时的电弧运动过程^[6]、开断

电流为 6kA，如图 12 所示，带有产气材料时，电弧侵蚀了产气材料，产生大量的蒸汽，这些气体冷却电弧并压缩了电弧弧柱，使弧柱电流密度增加，从而增加了洛伦兹力，另一方面绝缘材料产气也增加了气吹驱动力，所以从图可见：有产气材料时 $t=0.7\text{ms}$ 时，电弧已触及了灭弧栅片，而无产气材料则此时离栅片尚远，到 $t=1.2\text{ms}$ 时，有产气材料电弧已开始分割， $t=2.0\text{ms}$ ，电弧完全进入栅片，而无产气材料，此时尚未完全进入栅片。

可见有产气材料电弧运动大大加快了。图 13 为仿真和实测的电弧电压和电流波形,从图上可看出有产气材料,电弧电压上升较快并且幅值也高,两种情况开断过程都有背后击穿现象。

提高断路器的气吹灭弧作用,也可在灭弧系统气道和出气口设计上做优化,三菱公

司对新系列 WS-V 63A 塑壳断路器的灭弧室气流通道进行了优化设计,优化设计后的流场分布如图 14^[7],优化设计前,静触头和附近气体流量较低,影响电弧进入靠近静触头边的栅片,优化设计后静触头附近流量与动引弧板附近的通道流量比从 0.3 上升至 0.8,改善了气吹的作用。

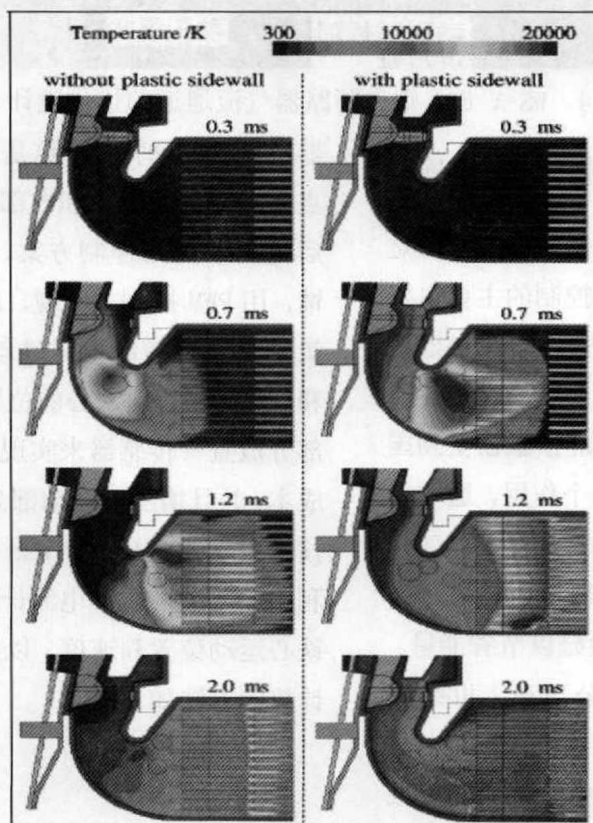


图 12 微型断路器灭弧室两侧有无产气材料时的电弧运动过程

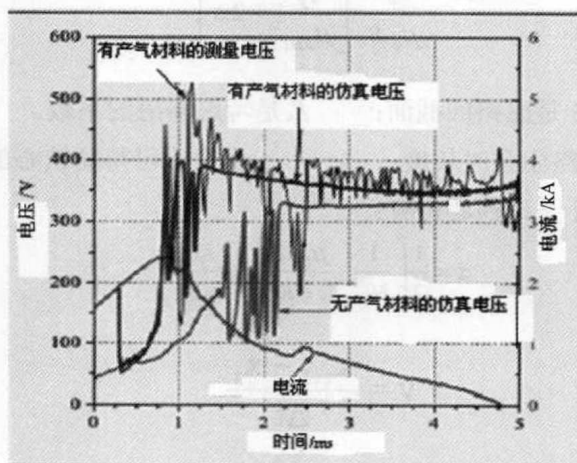


图 13 仿真和实测的电弧电压和电流波形