

熔断器

〔英〕A·莱特 P·G·牛伯来 著
机械工业出版社

熔断器是一种生产量大和应用面广的保护电器。本书比较全面地介绍了：熔断器的发展史、基本要求、弧前特性、电弧特性；高压和低压用熔断器的结构和分类；熔断器的应用；国际标准和英国标准以及制造过程中的质量保证和检查。

本书可供从事熔断器设计、制造、运行和维修人员参考，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

Electric Fuses

A. Wright & P. G. Newbery

PETER PEREGRINUS LTD

1982

* * *

熔 断 器

【英】A. 莱特 P. G. 牛伯来 (著)

蔡龙权 等译

王季梅 校阅

*

责任编辑：李振标

封面设计：刘 代

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787 × 1092¹/₃₂ · 印张 7¹/₈ · 字数 154 千字

1987年11月北京第一版 · 1987年11月北京第一次印刷

印数 0,001— 2,220 · 定价：1.95 元

*

统一书号：15033 · 6939

译 序

本书是英国诺丁汉姆大学(University of Nottingham)莱特(A. Wright)教授和英国勃拉许熔断器公司(Brush Fusegear Ltd)牛伯来(P. G. Newbery)技术厂长合著的,属于英国电机工程师协会电力工程丛书之一。书中介绍了熔断器的发展史、熔断器弧前特性和燃弧过程的最近的理论研究工作、世界各国熔断器产品的基本结构、熔断器的应用、熔断器的国际标准和英国国家标准,以及工厂生产熔断器的管理工作等。本书是根据1984年最新修订本翻译的。

本书可供从事高、低压熔断器的研究、设计、制造和试验方面的工程技术人员使用,也可供大专院校有关专业的师生作为教学参考书。

西安熔断器厂蔡龙权同志翻译了本书的第二、第三、第四、第五、第六和第九章,并整理了全部稿件。西安交通大学邱元仁副教授翻译了本书第一章和第七章。孟宪忠同志翻译了本书第八章。最后由王季梅教授汇集整理,并对全部译稿作了校订。

由于译者水平有限,翻译不当之处在所难免,希望读者指正。

序 言

熔断器已生产了一百多年，现在世界上已大量使用。它们承担着保护电气设备和电网的重要任务，并且限制了不可避免的事故发生和确保用户供电。

不仅电气工程师而且所有的人都会使用熔断器，因为熔断器从各方面来看是一个简单的电器，它的结构确实并不复杂，但它在设计和制造时必须非常精心，才能达到其性能的要求。使人感到惊奇的是当它分断电流时，熔断器上所出现的燃弧过程，至今还未搞得十分清楚。当前需要对熔断器继续研究的课题是不断提高熔断器的分断能力。这里特别介绍了保护过载能力受到限制的、而正在迅速发展的半导体器件用的熔断器。

作者认为论述熔断器是一项很重要和很有意义的工作，所以决定出版这本书，书中介绍了熔断器的历史和早期发展过程，在描述现在生产的熔断器结构之前，叙述了对分断电流过程中的近期理论研究工作。在后面几章中，详述了熔断器的应用，熔断器的国际标准和各国标准。最后，还阐述了制造厂对生产熔断器所采取的质量保证和检查程序。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 熔断器的发展史	2
第二节 基本要求	10
第三节 熔断器的型式和结构	12
一、分类	12
二、基本结构	12
第四节 世界上熔断器的生产情况	15
第二章 管式熔断器的弧前特性	17
第一节 一般特性	17
一、非常大电流的开断	19
二、大电流的开断	23
三、中等电流的开断	26
四、接近最小熔化电流的特性	26
五、数学和实验研究	30
第二节 时间-电流特性的控制	36
第三节 “M”效应	37
第四节 集肤效应和邻近效应	39
第三章 管式熔断器的电弧特性	43
第一节 燃弧期间的基本条件	44
第二节 电弧模型	47
一、阴极压降区	47
二、阳极压降区	48
第三节 正弧柱	48
一、正弧柱的长度	48

二、正弧柱的截面	52
三、正弧柱的电导率	54
第四节 完整的数学模型	58
第四章 低压熔断器的结构和种类	61
第一节 管式熔断器	62
一、熔断器的熔体	62
二、熔断器的外壳	66
三、填料	66
四、工业熔断器	66
五、家用熔断器	72
六、其它类型的熔断器	75
第二节 半封闭熔断器	75
第三节 欧洲大陆的熔断器	76
一、刀片接触式熔断器	77
二、尾端接触或螺旋式熔断器	79
三、圆柱帽接触熔断器	81
第四节 北美的熔断器	83
一、工业熔断器	83
二、家用熔断器	88
第五章 高压熔断器的结构和种类	90
第一节 限流式熔断器	90
一、分断电流的能力	97
第二节 非限流式熔断器	99
一、射击式熔断器	100
二、液体熔断器	103
第三节 欧洲大陆的熔断器	104
第四节 北美的熔断器	106
一、限流式熔断器	106
二、非限流式熔断器	107

VI

第六章 微型和家用插入式熔断器的结构	110
第一节 微型熔断器	110
第二节 家用插入式熔断器	119
第七章 熔断器的应用	121
第一节 一般要求和需要考虑的问题	121
一、时间-电流的关系	122
二、 I^2t	123
三、实际时间	124
四、规定的时间-电流特性	125
五、限流特性	125
六、工作频率	126
第二节 选择与配合	127
一、用熔断器保护的网路	127
二、用熔断器和其它装置保护的网路	129
三、限流熔断器与低分断能力装置间的配合	130
第三节 电缆的保护	131
第四节 电动机的保护	135
第五节 电力变压器的保护	137
第六节 电压互感器的保护	145
第七节 电容器的保护	146
第八节 半导体装置的保护	152
一、保护的要求	153
二、基本的保护装置	154
三、半导体熔断器的设计和结构	157
四、熔断器与半导体装置的配合	160
五、直流电流特性	170
六、半导体熔断器的周期性负载	171
七、半导体器件设备中熔断器的使用	172
八、直流晶闸管驱动装置的保护	178

九、逆变器的保护	181
十、功率晶体管的保护	183
十一、具有大的短时冲击电流的情况	184
十二、特殊应用	185
第八章 国际标准和国家标准	187
第一节 标准的内容	187
一、范围	188
二、定义	188
三、标准工作条件	189
四、额定值和特性	190
五、标记	195
六、型式试验	196
七、尺寸	202
八、应用指南	202
第二节 国家标准	203
第三节 批准程序	203
第九章 制造、质量保证和检验	208
第一节 质量保证	208
第二节 外购材料和配件	210
一、外壳	211
二、端盖	212
三、熔体材料	213
四、粒状填料	214
五、撞针的机械零件	214
六、配件和其它材料	215
七、校核	215
第三节 巡回检查	215
一、熔断器熔体生产	215
二、高压熔断器熔体的绕制	216

三、熔断器装配	216
四、撞针装配	217
五、补充工艺过程	217
第四节 最后检验	217
一、尺寸校对	218
二、“X”射线检查	218
三、电阻测量	218
第五节 其它零部件	218
参考文献	219

第一章 绪 论

大多数家庭都使用熔断器(保险丝),因此它已成为众所周知的电气元件之一。当熔断器烧断后,按照专门术语称为熔断器“动作”后,人们就必须更换新熔断器,这就更引起人们对熔断器的注意。熔断器虽然是既简单又便宜的电气元件,然而其特性却比一般人们所想象的复杂得多。

熔断器的基本原理是让一小段导电材料在必要时熔断,使得被保护电路的健全部分免受损坏,并使故障部分的损坏限制在尽可能小的范围。例如,有一定截面的几厘米长的熔丝,它可用来保护一台电动机,这台电动机的绕组是由上千米长的,截面稍大于熔丝截面的导线绕制成。一旦事故发生时,这一小段熔丝就预先熔断,这就起到了保护作用,而所付出的代价显然是小的。

根据额定电流的大小,熔断器可以由一根或数根熔体并联组成。当有足够大的过电流通过熔断器时,熔体熔化,随后产生电弧。熔断器应设计得使其在遇到最大故障电流时,能安全可靠地分断。由于在大故障电流条件下,熔断器能快速熔断,所以限制事故期间所消耗的能量,从而使得熔断器可以具有相当小的外形尺寸,也可使整个保护装置在价格和尺寸上都比较经济。

由于上述的特点,熔断器一直具有广泛的用途,并且将来还会不断地对熔断器提出更高的要求。在过去,熔断器也是早期电力电路中主要的组成部分。

第一节 熔断器的发展史

1887 年考克奔 (A. C. Cockburn) [1] 在电报工程师协会上发表的论文中曾讨论了关于泊利斯 (W. H. Preece) 指出的, 早在 1864 年以来就用铂丝作为熔断器来保护海底电缆, 大卫·沙路蒙斯 (David Salomons) 先生提出熔断器的使用始于 1874 年, 这些是作者所能找到的最早论述熔断器的一些参考资料。

自 1879 年以来, 熔断器的使用已相当广泛。在那时, 简单导线构成的熔断器已不能完全满足使用者的要求, 因而汤伯生 (S. P. Thompson) 教授在当年生产了一种改进型的熔断器, 它是由两根铁丝连接到一个金属球上, 如图 1.1 所示。这个球是用铅、锡合金或其它低熔点的导电材料制成的。当有足够大的电流在足够长的时间内通过熔断器时, 金属球就会熔化而堕落, 使得导线分开, 电路也就断开。值得注意的是: 大约在 1890 年间, 大部分电路采用的是直流电流, 因此, 电路突然断开后, 无疑会产生电弧。

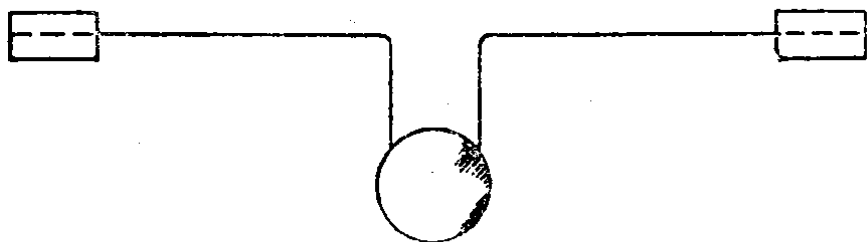


图1.1 汤伯生教授研制的熔断器

玻埃斯 (C. V. Boys) 和康海 (H. H. Cunyngham) 根据汤伯生教授的熔断器, 设计了另一种熔断器, 他们是在 1883 年取得专利的, 在他们设计的电路中, 电流是通过两片内侧焊接在一起的弹簧片, 如图 1.2 所示。当电流超过规

定值时，焊接处熔化，于是弹簧片各自向不同方向弹开，使电路突然断开。基于这种结构原理，还有其它一些型式的熔断器，其中之一是汤姆孙（W. Thomson）先生提出的。

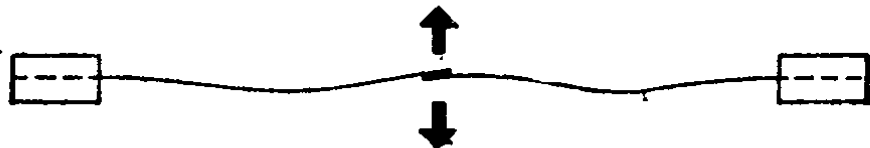


图1.2 玻埃斯和康海专利的熔断器

1878年斯望（J. Swan）在英国表演了他试制成功的白炽灯，几乎在同时，爱迪生（T. A. Edison）在美国也表演了这种白炽灯。随即这些白炽灯投入了生产，大大地引起了公众对电灯照明的需求。开始时，是由他们自己的发电厂向用户供电，但是不久就由小型的中心电站供电了。

1932年在荷尔姆斯（J. H. Holmes）和上校克洛伯通（R. E. Crompton）写给克洛兹（H. W. Clothier）的信中，提到了关于早期供电设备的一些趣闻。这些信被收进了克洛兹所著的《开关装置的各个阶段》^[2]一书中，下面是从书中摘录的一些信件内容，关于谁是熔断器的创始人，显然是难于考证的。

荷尔姆斯在信中写道：

关于熔断器的起源，我一直不能确定谁是第一个发明者，我的意见是“需要找出谁是首先发明者”。

我一直在查找关于“十九世纪八十年代”早期熔断器的记载，于1882年8月由“工程”办公室出版泊莱齐（J. Pledge）编辑的第一册“电照明”书中，第630页上指出，爱迪生于1881年4月取得了英国专利，看来是关于铅安全导线的最早的通告，爱迪生的装置也称做“安全防护器”。

然而我认为斯望在 1881 年 4 月以前已经使用了类似的防护装置，因为在这里附近的克拉塞脱 (Craggside) 城，阿姆斯特朗 (W. G. Armstrong) 先生的住宅里，在 1880 年 12 月中旬就用了斯望的电灯作为照明。斯望用锡箔作为熔断器，这种锡箔条被紧固在两个黄铜块之间，利用木质插座（后来改为冻石的插座）使电路接通。我有一个开关和熔断器组合的样品，以及一个曾用于克拉塞脱城的斯望结构的熔断器，在一家“斯望电灯联合公司”1883 年的产品目录上，看到过这种熔断器的说明，这种熔断器被称做“安全熔断桥”。

1882 年 3 月 3 日，在“工程”办公楼的沙服 (Savoy) 剧场里，对斯望体系电照明的描述认为，“熔断安全器”是“主要不在于如何谨防实际工作中所不易发生的危险，而是如何保护电灯免受强电流的破坏”。这似乎肯定了堪布贝尔·斯威登 (Campbell Swinton) 所说，关于在 1882 年爱尔斯威克 (Elswick) ^① 绘图室的电照明及其保护装置。同时他提到 1881 年在巴黎举办的“电气展览会”上，“陈列了大量开关、熔断器、切断器和其它电气等”^②。

① 可能一般人们并不知道，原先斯望所介绍的熔断器，并不是作为过载和短路保护而设计，而是为了避免灯泡在过高电压下的运行而设计的。当我于 1882 年去爱尔斯威克的阿姆斯特朗工厂时，部分的绘图室都已采用了斯望公司设计的电照明，每个白炽灯上都配了一个锡箔熔断器作保护。这个预防办法看来是必要的，因为每个灯泡价 25 先令，而且非常易坏，而当时维持恒压的条件是相当差的（1922 年 2 月堪布贝尔、斯威登在 I. E. E 纪念会议发言，I. E. E 学报，1922, Vol. 60, p. 494）。

② 1881 年，在法国举办的电气展览会上，第一次最广泛的集中了以往几年中发明的、经过挑选的各种奇妙的电气设备……在那里展出评比的斯望、爱迪生、兰福克斯和马克雪姆等最新发明的白炽灯，以及大量的开关、熔断器、切断器和其它电气等，这些都是为了适应公用和家庭照明需要而设计的 (Campbell Swinton, I. E. E. 纪念会议, loc. cit, p. 494)。

在 I. E. E 纪念期刊的第471 页上[⊖]，我写了关于第一次经历到的真正令人惊慌的“短路”事故。事故后，劳温斯 (Raworth) 先生当即建议在线路里采用一个装在木盒里的可熔断导线。我认为他是“熔断器”的发明者之一。

在我收集到的一些熔断器样品中，锡箔和铅导线的两种都有，它们都是装在木盒里的，起始于(十九世纪)“八十年代”早期，我希望能把这些东西都放进新城堡的市博物馆内展出，那里还有我早期的电灯。目前我正忙于编目，同时把那些灯固定到斜架上，以便放到陈列橱窗内。

克洛伯通 (R. E. Crompton) 上校在信中写道：

1881 年我的商行接受了一项任务，要敷设一幢乡村住房的照明线路，这幢住房是爵士考伯 (Jesse Coope) 先生合伙的索引业务商行，也是考伯 (Coope) 的罗坊特 (Romfond) 啤酒厂。考伯先生希望他新建的住房全部电气化。我的合作者是哈路尔特·汤姆孙 (Harold Thomson) 先生的兄弟，他完成了该项工程绝大部分的设计任务以及总体布置工作，这些工作先是在考伯先生的住房中实施，而后许多农村住房及一些城镇住房也都采用了他设计的方案。因此早在 1882 年使

⊖ 第一艘采用电弧灯作为内部照明的轮船是柏林市号，而最早采用白炽灯照明的船是利区蒙达 (Richmond) 市号，它是在 1881 年 6 月装备好的，在此不久，由已故的 John S. Raworth 先生代表 Siemens Bros & Co，妥善地完成了罗马市号的全部照明设施，我和该公司的职工一起参加了该项工作，而且出席了第一次试运行，我记得有一件令人十分惊慌的事故，那时候我们对熔断器并不了解，在我们起动设备时，我惊恐地看到含硫的烟从硫化橡皮电缆冒出，烟从音乐厅柱墩的细腰顶处直冒出来，充满了大厅，把刚粉刷好的白粉壁熏成黑的，我冲到机房把电流切断（在我们近处没有开关），总算没有把船烧了，我们重新请粉刷工通宵工作，才把事故的迹象全部消除了 (Holmes, I. E. E 纪念会议, Loc. cit, p. 471)。

我们受工厂第一委托人夏·利弗雷(Shaw Lefevre)的委托, 投标即将竣工的法院大厅全套电气设备。

法院大厅的设备装有 2000 个以上的斯望电灯, 同时 在每个灯上装有我们认为所必须的设备, 并且可以肯定所有的支路是用熔断器来保护的, 所以哈路尔特·汤姆孙是熔断器的真正发明者。

在考伯的住房中, 哈路尔特·汤姆孙用了一些安装悬挂铃的工人, 由他提出用电灯的导线把灯从天花板上悬挂下来。所有控制照明系统的开关安装在靠近门口, 最后把每个供电设备分为几个小电路, 由小开关柜来控制。

几年以后, 就是从 1881 年到 1885 年, 克洛伯通斯 (Cromptons) 完成了大量的单独设备, 我完全相信所有这些 线路都是用熔断器保护的。因此, 我可以充分地肯定自 1886 年由维也纳中心电站[⊖]供电的各种电气设备的支路也是都用熔

⊖ 当前人们所用的电器设备, 大部分是由哈路尔特·汤姆孙发明和设计的, 他是我的第一个合作者。几乎所有的开关, 插座触头, 熔断器装置, 通用的开关屏和照明吊灯及其软导线等, 都是汤姆孙和伦特倍克先生研制成功的(Crompton, I. E. E. Commemoration, loc. cit, p. 394)。

在维也纳有一个值得注意的规划, 要我们提供20000盏电灯到剧院去, 这些剧院离中心电站约有0.75mile, 我们采用5线制, 发电机端电压为500V, 配电是采用4个大型蓄电池与5根导线连接。每个威伦斯(Willans)发动机是200hp, 用电控制的……由于我们在维也纳的工作所涉及的是大剧院和其它剧院的设备, 而我们是第一次设计和提供给剧院所需的电气设备, 这些设备至今还用于剧院。蒙纳(Monier)和我提出了测定馈电网电流的简易方法, 用一个精密磁控达松万尔(D'Arsonval)电流计测量汇流排某一段的电压降。用这个方法我们能够测量几千安的电流而误差在1%范围内。在维也纳工作期间, 自1884年~1887年, 我们试图着手把在伦敦住房之间的供电线联起来, 但发现在原来查倍兰(Chamberlain)条例规定下, 很难积累资金(Crompton, I. E. E. Commemoration, loc. cit., p. 394)。

断器来保护的^①。

好多因素，包括考虑到公众的安全，当时灯泡的价格和易损率及事故情况下有效伏-安消耗的增加等，都说明了保护设备是必须的。于是一些工人为发展动作可靠的熔断器而努力，那时候，除了熔断器外，还没有其它的保护设备可代用。

为了了解熔断器熔体的熔化过程，人们做了大量的工作，一个特别有意义的论文是由考克奔（A. C. Cockburn）完成的^[1]，有关他的工作在早些时候已有详细报导。他对当时在使用中的不少熔断器的工作的不协调性及结构的不合理性，提出了批评，并试图将熔断器的设计建立在可靠的工程技术基础上。他研究了热作用是如何从熔断器熔体向两端传导，以及如何传到和熔断器熔体相连接的电缆上，从而认为热传导可以明显地影响一个熔断器熔化的最小电流值。他研究了导体的特性，并且考虑了比热、温度系数和电导率，以及其它一些参数。目的是要选择最适合作为熔断器熔体的材料。他认识到材料如易于氧化就不适合作为熔断器的熔体，因为这样的熔断器，其性能将随着时间而发生变化。对熔断器的性能有了充分了解之后，他研制了一种熔断器，这种熔断器的熔体上挂了一个重物，如图 1.3 所示。他的设计和汤伯生教授设计的不一样，电流不流过重物。他声称取得了“魔术般的结果”，因为导线发热到软化时，重物使导线断裂，这样的工作特性比其它熔断器在类似条件下所具有的性能更科学。

① 在另一封信中，上校克洛伯通（Crompton）回忆了在孙克斯脱拉（Schenkenstrasse）电站的大配电屏上发生的一场可怕的短路事故，事情是上校的一个装配工乔奇·欧斯（George Earthy）（后来成为 Battersea 多科性技术学校的一名教师）引起的。这个电站是“世界上第一个中心电站”。

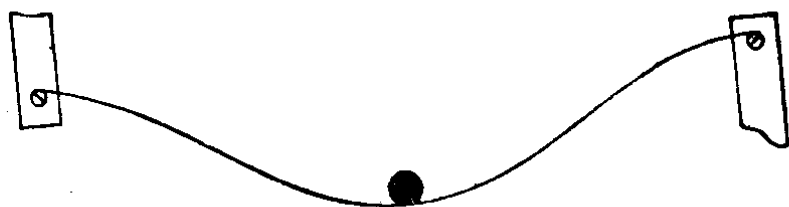


图1.3 考克奔研制的熔断器

他做的许多实验表明人们并没有科学地使用熔断器，例如熔断器的最小熔化电流为被保护设备额定电流的许多倍。他建议熔断器应工作在被保护电路额定电流的 $150\% \sim 200\%$ 。

上面描述的熔断器一般都是装在木盒里的，而熔断器的每个熔体就不再另外封起来。早在1880年5月爱迪生 (T. A. Edison) 取得专利的熔断器是一个封在玻璃管中的线形熔体，玻璃管的目的并不在于影响熔断器的动作性能，而是为了保护周围环境免受熔体在熔毁时的影响。这一点在专利说明上是讲得很清楚的：“一根细小安全导线（指熔体）受热而熔化后，使过载的电路分断。为了不使熔化的高温金属液体溅落到地毯上或家具上，也为了使细小的安全导线免受任何张应变，我把安全导线封在由非导电材料做成的管壳内”。爱迪生 (Edison) 的这个装置的管壳内是没有填料的，因此具有填料的管式熔断器无疑是属于莫地 (W. M. Mordey) 的，他在1880年以此获得专利。专利上描述这个熔断器的熔体是用一根或多根细直径的铜导线，密封在玻璃管或类似的容器内。并且指出，在这种玻璃管内要全部或部分填充磨细的半导体粉末或不良导体粉末，使熔断时不致燃烧或起火焰。干的白粉、大理石、浴砖、砂、云母、金刚砂和石棉粉末都可以用作填料。由莫地 (Mordey) 制造的熔断器，如图1.4所示。