

低压空气断路器



江苏科学技术出版社

低压空气断路器

万 郁 尤

出版发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：江苏溧水县印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张10.5 字数：230,000

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数1—3000册

ISBN 7-5345-0686-7

TM·9

定价：4.15元

内 容 提 要

本书是专门研究低压空气断路器设计、试验和应用的技术参考书。

全书共分八章。前三章论述断路器的发展、基本原理和一般要求,第四、五两章介绍常用断路器的结构和技术特性;第六章论述断路器和各部件的设计计算;第七章介绍断路器的试验方法;第八章论述断路器的选用与维修。附录列出了各类常用断路器的技术数据。

本书可供从事低压空气断路器研究、制造和试验的工程技术人员和各行业设计院的电气设计工程师参考,也可供大专院校电器专业的师生学习。

前 言

解放后,我国低压电器制造工业得到了迅速的发展,其中低压断路器的研究开发与制造发展更快,制造低压断路器的制造厂已由刚解放时的几家增至上百家,可是却没有出版过一本论述低压断路器设计、制造、试验与使用的专著。作者从事低压断路器研制工作三十余年,接待过许多大专院校历届的实习生,接触过许多刚从事低压断路器设计、制造和使用诸方面的技术人员,他们都热切希望有一本这方面的专著问世,以满足学习和工作的需要。为此,作者在1965~1966年间和同仁合作曾写过一本书稿交付上海一个出版社,但是,由于“十年动乱”的干扰,终未能如愿。

到1983年,作者重新遇到各方面的呼吁,特别是我的学生顾丰积极鼓动我重新动笔,并配合我进行编写工作。在编写过程中,她帮助我整理与收集了不少技术资料,特在此表示感谢。

李德钜老师对本书提出了许多宝贵意见。李菊娣、丁华丽和万红等同志也给予了大力协助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中定存在不少缺陷,希望读者批评指正。

著 者

1987年7月12日于上海

目 录

第一章 概述	1
§ 1-1 空气断路器的发展简史	1
§ 1-2 空气断路器与熔断器的比较	8
§ 1-3 空气断路器的用途和分类	9
第二章 空气断路器的工作原理	13
§ 2-1 一般空气断路器的工作原理	13
§ 2-2 自由脱扣原理	15
§ 2-3 熄弧原理	16
§ 2-4 交流断路器的限流断开原理	22
§ 2-5 直流快速断路器的基本原理	30
§ 2-6 漏电保护断路器的基本原理	32
第三章 空气断路器的主要技术要求	36
§ 3-1 一般要求	36
§ 3-2 绝缘要求	38
§ 3-3 温升要求	47
§ 3-4 寿命要求	49
§ 3-5 短路特性要求	50
§ 3-6 保护特性要求	56
§ 3-7 断路器的有关国际标准	61
第四章 几种典型万能式空气断路器	62
§ 4-1 DW10 系列空气断路器的结构和特性	62
§ 4-2 DW5 系列空气断路器的结构和特性	79
§ 4-3 DW15、DWX15 系列空气断路器的结构和特性	97

§ 4-4	ME 系列空气断路器和 MEY 系列限流断路器的结构 和特性.....	127
§ 4-5	AH 系列空气断路器的结构和特性.....	146
§ 4-6	DS12 系列直流快速断路器的结构和特性	154
第五章	几种典型塑壳断路器.....	163
§ 5-1	DZ10 系列塑壳空气断路器的结构和特性.....	163
§ 5-2	DZX10 系列塑壳限流断路器的结构和特性	173
§ 5-3	HFB 型及 PB 型等塑壳断路器的结构和特性	177
§ 5-4	DZ15 系列塑壳断路器和 DZ15L 系列漏电断路器的结构 和特性.....	181
§ 5-5	导线保护断路器的结构和特性.....	190
第六章	空气断路器的设计.....	200
§ 6-1	空气断路器的设计程序.....	200
§ 6-2	触头系统设计.....	203
§ 6-3	灭弧室的设计.....	217
§ 6-4	断路器机构的设计.....	223
§ 6-5	过电流脱扣器的设计.....	236
§ 6-6	欠电压脱扣器和分励脱扣器设计.....	254
第七章	空气断路器的试验.....	255
§ 7-1	断路器的型式试验.....	255
§ 7-2	断路器的定期试验.....	285
§ 7-3	断路器的常规试验.....	285
§ 7-4	断路器的产品开发试验.....	286
第八章	空气断路器的选用和维修.....	290
§ 8-1	交流断路器的选用.....	290
§ 8-2	直流断路器的选用.....	296
§ 8-3	漏电断路器的选用.....	297
§ 8-4	交流断路器选用举例.....	297
§ 8-5	断路器的维护.....	301

§ 8-6 断路器的检修.....	302
附表 常用低压空气断路器的主要技术数据.....	307
参考文献.....	324

第一章 概 述

在现代,无论工业、农业、交通运输业、国防、文教、商业、旅游事业和人民生活都离不开电能,而电能的生产、输送和使用需采用不同的电压。一般说来,电能的生产 and 输送采用高电压,而电能的使用就只能用低电压。这里讲的低电压系指交流 1200 伏、直流 1500 伏以下的电压。在这个电压范围内使用的空气断路器就称为低压空气断路器。低压空气断路器是低压电器的一个重要门类,也是结构最复杂、保护性能最完善的一个品种。低压空气断路器的设计与生产技术在一定程度上反映了整个低压电器发展的水平。

低压空气断路器(以下简称空气断路器或断路器)有两个主要功能:

(1) 人为地闭合或断开供应电能的电路,以达到停电、隔离和转换电路的目的。

(2) 当电路出现任何异常情况,例如过载、失压、短路和漏电时,可自动地将负载从电网中断开,以保证操作人员的安全和电气设备的正常运行,防止引起人身死亡事故或酿成火灾。

§ 1-1 空气断路器的发展简史

空气断路器是在刀开关的基础上发展起来的。几十年来,随着电能应用范围的不断扩大和机械化、自动化要求的不断

提高,空气断路器不但在结构上和产量上得到了相应的发展,使用面日趋广泛,同时根据不同的使用要求,出现了各种型式的产品。

诞生于 1885 年的早期空气断路器,仅是在一般刀开关结构的基础上加装过电流脱扣的保护装置而成。图 1-1 是这种空气断路器的模型之一。在该断路器中,除主触头以外增加了由石墨和紫铜构成的第二触头,即弧触头,用于承受断开过程中电弧的灼烧,以保护主触头免受损坏。这种断路器能够满足非自动闭合和断开以及在过电流情况下的自动断开要求。

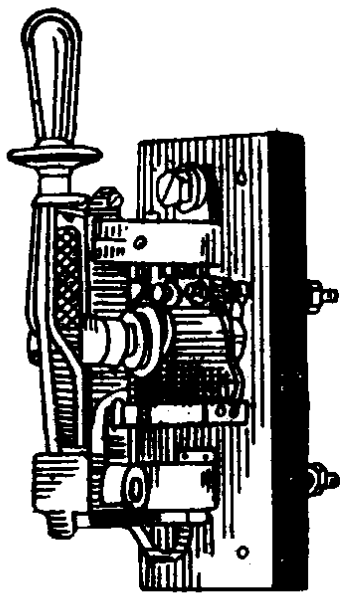


图 1-1 早期的空气断路器

但是,由于结构上的限制,其额定电流和分断能力都很低,结构笨重,制造技术水平低,成本却很高。

1892 年左右,在空气断路器的载流问题解决以后,促使结构上发生了重大的革新,刷形触头取代了原有的刀形触头,从此空气断路器就从刀开关的结构形式中分离出来,形成了一种独立的大类产品。

与此同时,为了解决安全断开电车电路的直流电流,人们成功地采用了带有磁吹线圈的灭弧室,开始出现借助强迫电弧冷却促进电弧熄灭来提高断路器分断能力的概念。图 1-2 是具有这种灭弧室的早期空气断路器。

19 世纪末叶出现了三相交流电系统。当时由于电动机和其他电器的容量都还很很小,比较容易控制。进到 20 世纪的

最初几年,三相交流电系统已经有了很大的发展,系统的容量

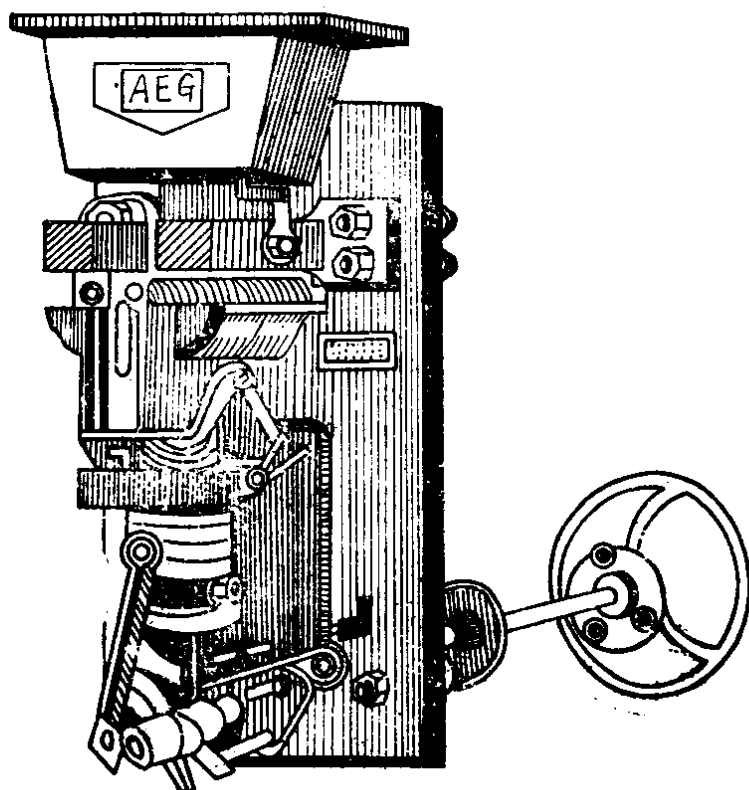


图 1-2 具有磁吸灭弧室的空气断路器

大增,迫切需要有适合于交流电路使用的空气断路器。因为在此以前,断路器一般用于直流系统,电路内可能产生的短路电流不大,即使没有自由脱扣机构也不致在操作时发生危险,这种断路器称之为非自由脱扣的空气断路器。但在三相交流电路中所用的断路器,操作安全成了重要问题。因为在交流大容量系统中可能产生很大的短路电流,因而出现巨大的电动力,随时可能危及运行人员的安全。为了解决这个问题,于1905年出现了具有自由脱扣装置的空气断路器。

约在本世纪30年代前后,为了熄灭分断短路电流时出现的电弧,出现了多种不同原理的灭弧室结构,诸如目前大家已熟知的金属栅片式、金属销钉式、狭缝式、绝缘栅片式等

等，都是这个时期的产物。随着灭弧室的广泛采用，断路器的结构更为紧凑，尺寸大大地缩小，逐步形成了现代的结构形式。

早期的断路器也采用过用矿物油作灭弧介质的结构，这种断路器称为油断路器。由于油断路器的触头浸在矿物油内，不易接触到有爆炸危险的气体或腐蚀性气体，适宜于在某些化工车间的特殊环境中使用。但另一方面，由于油的存在，限制了分断能力的提高，当分断巨大短路电流时可能发生爆炸，造成火灾，因而其优点也无可发挥，特别是金属栅片灭弧的发展，完全取代了油灭弧，油断路器便日趋被淘汰。1982年 IEC157-1 出版物更新版草案已考虑将油断路器除名。现代金属栅灭弧的空气断路器得到了最广泛的应用。

最初的空气断路器都是采用开启式框架结构。所有的零部件均安装在一个绝缘的底板或基架上。这种结构形式易于安装各种附件，制成各种操作方式，满足各种使用场合的要求，因而把这种结构形式的断路器称为万能式断路器。至1920年左右在欧洲开始出现塑料外壳式断路器。设计塑料外壳式断路器的出发点是为了安全，便于单独安装，故有装置式空气断路器的名称。1930年以后，美国和日本开始发展塑料外壳式断路器，第二次世界大战后被世界各国迅速普及应用。

到50年代末，法国首先研究限流断开问题，研制出了限流空气断路器，大大提高了小容量空气断路器的短路分断能力，可达100千安。至70年代，世界各国都生产了这种断路器，并得到了广泛的应用。限流断开原理是空气断路器设计原理上的一次重大突破，具有较重要的意义。

在空气断路器发展过程中，改善其保护特性是一个重要

方面。最早的空气断路器用电磁式脱扣器作感受元件，只能实现瞬动保护；以后采用了热双金属片和油阻尼、空气阻尼、钟表机构等作为延时元件，出现了具有过载延时和短路延时脱扣的空气断路器；到 60 年代初，由于电子技术的普及和应用，出现了半导体式脱扣器，又称静止式脱扣器。美国 Allis-chalmers 公司于 1962 年首先制造出带半导体保护的万能式空气断路器。

从 60 年代开始，由于农业电气化的发展和家庭现代化水平的提高，用于保安防火和防止人身触电的漏电保护断路器得到了飞速的发展。现在世界各发达国家都有了自己完善的专用漏电保护断路器系列，并得到广泛应用。

我国在解放前几乎没有断路器制造工业，只有少数几家工厂使用了陈旧的油断路器，其额定电流不超过 200 安。解放后，我国的空气断路器开始得到了发展。我们先着手仿制了几个系列产品，例如 DW1、DW2 系列（苏联原型号为 A15、A2050）万能式空气断路器（额定电流为 200~1500 安）和 DZ1 系列（苏联原型号为 A3000）塑料外壳式空气断路器（额定电流为 100~600 安）。虽然这些断路器的技术经济指标都较落后，但是，通过这几个系列产品的仿制，为我国空气断路器的设计、制造和试验等各方面奠定了初步基础。

1958 年我国成功地设计出了 DW0 系列万能式空气断路器，这是我国第一代自行设计的空气断路器，其额定电压交流为 380 伏，直流为 440 伏；额定电流为 200~4000 安。随后针对该系列的某些结构不足，进行了统一设计，更新为 DW10 系列，其技术指标虽然仍保持和 DW0 系列相同，但结构、工艺都有了改进。

为了发展断路器制造工业，必须有完备的测试手段。上

海电器科学研究所 在 50 年代建成 380 伏、50000 安交流和直流试验站，为进一步发展空气断路器工业提供了必备条件。

到 60 年代中期，就 DW10 系列而论，不论是其分断能力还是保护特性，都满足不了当时电力事业发展的需要，于是开始了空气断路器的创新研制工作。DW5 系列空气断路器是我国第二代自行设计的产品。它具有高分断能力、三段保护特性的特点。但由于十年动乱只生产了 400、600、1000、1500 安四个电流等级，未完成全系列制造。

至 70 年代末，为了解决 630 安以下空气断路器分断能力不足的问题，又研制出 DWX15 系列万能限流空气断路器，如其中 630 安限流断路器的额定短路分断能力达 70 千安（有效值），一次极限短路分断能力达 100 千安。DWX15 系列的出现标志着我国第三代自行设计的空气断路器问世。与此同时，还完成了 DW15 系列空气断路器的研制工作，该系列的特点是具有三段保护特性，可实现电网的选择性断开。DW15 系列 630 安以下的断路器，电压可适用于 1140 伏交流配电系统。为我国采掘工业提供了性能完善的千伏级馈电断路器。

一般工业用塑料外壳式空气断路器也得到了较快的发展。从 60 年代末开始，针对 DZ1 系列断路器体积大，分断能力不足等缺点进行了革新。在解决其发热问题后，进行了增容改造，并于 60 年代末完成了 DZ10 系列的改型设计。此系列和 DZ1 系列相比，额定电流相同的断路器，DZ10 系列断路器的体积要小得多（DZ10-600 型的体积和 DZ1-400 型差不多），同时增加了失压、分励保护和电动机操作机构等部件，满足了自动遥控的需要。在此之后，DZX10 系列塑料外壳式限流断路器研制亦相继研制成功，显著地提高了 600 安以下塑

料外壳式断路器的短路分断能力。

在直流快速断路器方面,我国首先仿制出 DS1、DS2、DS4 等三个系列。当时是用于保护水银整流器的。还有 DW3 型直流断路器,主要用于轧钢机大电流直流电路的保护。随着半导体整流技术的发展,对短路保护提出了更高的要求,关键是进一步提高断路器的动作速度。为此至70年代末相继设计出 DS7、DS8、DS9、DS10、DS11 系列断路器,其额定电流达 6000 安。DS7、DS8、DS11 系列为电磁保持式,DS10 系列为电磁感应斥力式,其固有动作时间在 5 毫秒以下。至 80 年代初完成了 DS12 系列快速断路器,其额定电压有 800 伏和 1500 伏两个等级,额定电流为 1000~6000 安。

漏电保护断路器和导线保护断路器至七十年代才开始得到发展。在 60 年代,虽然对人身触电保护问题进行了一些探讨,但当时尚未引起各有关方面的足够重视,只有随着农业电气化和生活现代化趋势的出现后,才越来越为人们注意。这方面具代表性的有 DZ15L 型和 DZL18 型漏电保护断路器。

导线保护断路器多在现代建筑物中作为线路过载和短路保护之用。目前除生产了 DZ5 系列和 DZ12 系列之外,还研制出 DZX19-63 系列断路器。

从 70 年代末开始,为了加速我国低压电器事业的发展,相继从国外引进了若干系列低压电器产品,其中有西德 BBC 公司的 S060 型导线保护断路器,西德 AEG 公司 ME 系列万能式空气断路器和 MEY 系列限流空气断路器,美国西屋公司 HFB、PB 型塑料外壳式断路器。另外尚从日本崎崎公司引进 AH 型船用空气断路器,该断路器系列除适用于船舶电力系统,亦可用于一般工业系统。

§ 1-2 空气断路器与熔断器的比较

熔断器和断路器广泛用于低压配电系统作短路保护元件。实践证明这两种电器具有各自的优缺点，今后将一直并存下去。

空气断路器具有装备各种操作机构的条件，利用各种能源（人力、电力、压缩空气等）在负载情况下进行分断或闭合操作。在一般的过载或故障时自动分断以后，不必更换任何零件，即可重新闭合，迅速恢复供电。可以进行欠电压或失电压保护，同时完全避免了单相运转的可能性。而熔断器只能在无负载时作手动操作，经过熔断保护以后，必须更换熔体方能继续使用，而且往往由于单相熔断造成电动机单相运转故障。但熔断器结构简单，成本低廉，且有较理想的反时限保护特性，特别是发明了冶金效应和使用填料以后，其分断能力和保护特性进一步得到了提高，在使用快速熔断器保护硅整流元件以后，熔断器使用范围进一步扩大，产量亦随之增加，目前国际上仍很重视熔断器的发展。

另一方面，为了提高原有断路器的分断能力，采用断路器和熔断器串联的方式，可以达到既可自动远距离操作，又有较高分断能力的目的。过载和较小短路范围内的保护由断路器担任，而较大短路电流范围内的保护则由熔断器担任，熔断器作为断路器的后备保护。带自复熔断器的塑料外壳式断路器是这种组合的一个例子。

在现行国际电工标准 IEC157-1 中，提供了断路器和熔断器配合的原则。

§ 1-3 空气断路器的用途和分类

空气断路器可按用途、结构、操作方式、保护特性和安装方式等进行分类。本书着重按用途进行分类。

按用途分类:

1. 导线保护用空气断路器 这类断路器过去仅局限于照明用。随着生活领域电气化的发展,家用电器除电灯以外,洗衣机、电冰箱和各种电热器具中的应用越来越广泛。同时,也广泛作配电或控制设备的辅助信号电路的保护和控制之用。这类断路器的额定电流在 6~125 安范围内,有单极、双极和三极等型式。

2. 电动机保护用空气断路器 在不频繁操作的场合用于保护和起动电动机。其特点是要有适当的电寿命,过电流脱扣器瞬时动作的整定值较高,以避开起动电流的冲击。这类空气断路器分直接起动用和间接起动用两种。供直接起动用空气断路器的过电流脱扣器瞬时动作整定值应为额定电流的 8~15 倍。如为不可调式则应为 12 倍额定电流。供间接起动用空气断路器,其过电流脱扣器瞬时动作的整定值一般为额定电流的 3~8 倍。过去,供直接起动用空气断路器的额定电流范围为 6~63 安,63 安以上则多采用间接起动。但随着低压配电系统容量的增大,在某些场合,320 千瓦的感应电动机也可采用直接起动方式,这时空气断路器的额定电流可达 630 安。

3. 配电用空气断路器 在低压配电系统中作过载、短路、欠电压保护之用,也可作为电路的不频繁操作。配电用空气断路器有选择型和非选择型两类。非选择型保护特性较为

简单，多用于支路保护。系统主开关往往要求采用选择型断路器，以满足电路内各种保护电器之间的选择性断开，将事故区域限制在最小范围内。这类断路器的主要特点是高分断能力，有短延时保护特性，高短时耐受电流、额定电流范围大，一般为200~4000安，有的甚至达10000安以上。除交流断路器外，还有交直流通用型，也有专用于直流配电的空气断路器。

4. 漏电保护空气断路器 俗称漏电开关，主要用于确保人身安全、防止漏电。要求是动作灵敏，切断故障电流速度快。额定电流多在63安以下，100~200安的漏电开关则是采用空气断路器与漏电继电器配合而成。

5. 供特殊用途的空气断路器 如灭磁断路器、爆炸式断路器、真空断路器、格子网络断路器和专用闭合开关等。

灭磁断路器采用一般的空气断路器加装常闭主触头构成，用在大型发电机的放电电阻式灭磁电路中。也有采用旋转电弧灭磁方法的专用灭磁断路器。

爆炸式断路器用在某些需要特别快速断开的场合。

低压真空断路器尚处于摸索阶段，它有足够的触头间绝缘能力，但分断能力目前尚难提高。

格子网络断路器用于格子电网，装在变压器和电网连接处，具有逆功率保护，以防止变压器侧短路时短路电流从电网反馈到事故点。

专用闭合开关多用于试验电路，如选相闭合开关等。

空气断路器按结构可分为万能式和塑料外壳式两类。万能式空气断路器有着较多的结构变化方式、较多种类的脱扣器和较多数量的辅助触头。所有结构元件都装在同一框架(或底架)上。一般选择型空气断路器和直流快速断路器、特别是大容量断路器多采用万能式结构。塑料外壳式空气断路器的