

电器制造与应用丛书

低压断路器

设计与制造

连理枝 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

M561
L447

电器制造与应用丛书

低压断路器 设计与制造

连理枝 编著



A1064639



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

HAG 86/15

内 容 提 要

本书共分五章，分别阐述了低压断路器的基本知识，低压断路器的设计与计算，低压断路器的常用材料，低压断路器制造中常见的工艺问题以及低压断路器的发展方向 and 新技术。

本书可作为断路器的设计、制造及低压成套开关技术人员使用，也可供各低压断路器使用单位人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

低压断路器设计与制造/连理枝编著. —北京: 中国电力出版社, 2003

(电器制造与应用丛书)

ISBN 7-5083-1436-0

I. 低… II. 连… III. ①低压电器: 断路器-设计
②低压电器: 断路器-制造 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 014349 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 9.75 印张 215 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



低压断路器是配电电器中重要品类的一种，在低压配电系统占有很大的分量。我国目前已有数百家工厂从事研发和生产低压断路器。但是仍有一些制造厂和他们的工程技术人员处于仿制阶段。他们对断路器应如何设计、制造，主要零部件设计中应考虑什么和为什么要这样设计，关键参数如何计算和选定都存在一些疑惑；有一些单位缺少必要的资料或标准，而即使有资料也往往是陈旧的，过时的，不适用的。因此他们希望能有一本较为全面且有一定指导意义的参考书籍出现在案头，为他们进行低压断路器设计和制造提供帮助。

作者从事低压电器、低压断路器的设计和制造已有几十年历史，从中积累了一些经验。2002年初，为了给设计和使用断路器的单位和工作人员提供资料参考，曾编写一本《低压断路器及其应用》。中国电力出版社的编辑鼓励我，希望能再写一本断路器是如何设计和制造的书，以供广大从事低压断路器设计的工程师们参考；我也考虑，倘若能将平生聚集的资料和经验贡献社会，并能对我们年青一代的同行有所帮助，也是一件十分有意义的事。为此就不揣浅陋写下本书。

本书参考了许多文献，除已在“参考文献”中列出之外，相当部分是摘录自己几十年的工作笔记和20世纪80年

代赴日本寺崎电气产业株式会社研修时的笔记，以及各种与此书有关的国家标准。在这里我要向许多优秀的工程技术人员致以深深的敬意，这就是我的众多工作笔记中，摘录了他们发表于各专业刊物上的文章。但是我在摘录时，有一些却未能记下他们的名字、单位甚至文章的题目，时间久了，也无法在浩瀚的文章海洋里找出端倪来。为此，我向他们致以深深的歉意。

文章中引用的标准和材料性能，力求以国家最新标准和材料标准选入；例如公差与配合、形位公差，硅钢板（片），双金属、发热电阻材料等，有一些特殊的材料如永磁材料则是摘录于永磁材料制造厂的产品样本。

本书摘录的材料性能，基本上是与断路器设计有关的。如此集中的摘录，其目的是为了减少断路器设计者在寻找资料时花费精力和时间，而且也为了照顾手中无此资料的工程师们。

本书写作过程，得到杭州红申电器有限公司（杭州之江开关有限公司）的大力支持，谨于此向他们表示衷心的感谢！

本书涉及领域繁多，作者深感知识有限，加之时间仓促，因此不可避免地存在错误、缺点和偏失，敬请广大读者批评指正。

作 者

2002年10月于杭州



前言

第一章 低压断路器的基本知识 1

第一节 概述 1

第二节 断路器各种参数的确定和考虑 9

第二章 断路器的设计和计算 15

第一节 断路器的导电系统设计 15

第二节 灭弧室的设计 26

第三节 断路器机构的设计 33

第四节 热双金属元件的设计 41

第五节 断路器瞬动机构的设计 62

第六节 欠电压脱扣器的原理与设计 66

第七节 断路器用电流互感器的设计 73

第八节 剩余电流动作断路器的设计 87

第九节 四极断路器的设计 103

第十节 低压断路器用弹簧的设计和计算 106

第十一节 断路器零部件设计的公差选择 124

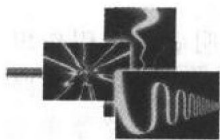
第十二节 低压断路器的表面被覆设计 157

第十三节 永磁在低压断路器中的应用 172

第十四节 不同电网频率情况下断路器的设计 182

第十五节	湿热带地区断路器的三防及化工场所断路器的耐腐蚀处理	190
第三章	低压断路器常用的材料	194
第一节	热双金属材料	194
第二节	电阻合金材料	206
第三节	触头材料	208
第四节	绝缘材料	212
第五节	绝缘压塑料	215
第六节	钎焊用钎料	223
第七节	磁性材料	227
第八节	弹性材料	239
第四章	断路器制造中常见的工艺问题	248
第一节	断路器零部件的表面被覆工艺	248
第二节	弹簧制造中常见的弊病及其解决方法	253
第三节	热双金属元件的热处理工艺和表面处理	255
第四节	软磁合金材料的热处理工艺	260
第五节	塑料零件制品常见缺陷及其解决办法	262
第六节	铆接及其工艺要点	268
第七节	热动式塑壳断路器脱扣力的分散性能对脱扣时间的影响	270
第五章	低压断路器的发展方向 and 新技术的应用	273
第六章	参考资料	285
第一节	开关电器在通断能力试验中恢复电压不正常	

原因的分析	285
第二节 进行(短路)通断试验产品不合格情况的分析	288
第三节 断路器短路分断电流的计算和推定	291
参考文献	303



第一章

低压断路器的基本知识

第一节 概 述

一、低压断路器的定义、分类及执行的标准

(一) 定义

低压断路器是一种使用于低压电网〔交流（50Hz 或 60Hz）额定电压在 1200V 及以下，直流额定电压在 1500V 及以下的电路〕的配电电器。按其用途，低压断路器被定义为：能够接通、承载及分断正常电路条件的电流，也能在规定的非正常条件下（如过载、短路、欠电压以及发生单相接地故障时）接通、承载一定时间和分断电流的开关电器。过去也称之为自动开关、空气开关和空气断路器（空开、空断）等。

(二) 低压断路器的分类

低压断路器按其结构、功能和用途可分为：万能式（也称框架式）、塑料外壳式、以及灭磁式、爆炸式，真空和选相闭合式等等。后面的四种属于特殊场合使用，就不予论述。

万能式、塑料外壳（模具压塑外壳）式两种主要的断路器，按它们的使用类别，国际电工委员会的 IEC 标准和我国

相应标准又再分成 A 类和 B 类两个类型。

A 类：是指在短路情况下，断路器无明确指明用作串联在负载侧的另一短路保护装置的选择性保护，即在短路情况下，选择性无人为的短延时，因而对此种断路器无额定短时耐受电流的要求，属于 A 类的断路器；在除短路情况外，如可作选择性保护、也可设置短延时，但其短时耐受电流可比标准规定值 ($12I_n$ 或 5kA，以及 $I_n > 2500A$ 时的 30kA) 小。

大量的塑壳式断路器、小型断路器和一部分小电流规格的万能式断路器属于 A 类，它的明显特征是：保护性能仅有过载长延时、短路瞬时的二段保护。

B 类：是指在短路情况下，断路器明确作串联在负载侧的另一短路保护装置的选择性保护，即在短路情况下，选择性保护有人为短延时（可调节），这一类断路器要求有额定短时耐受电流。

绝大多数的万能式都属于 B 类。目前采用智能型控制器（脱扣器）的塑壳式也属于 B 类，它的明显特征是：保护特性具有过载长延时、短路瞬动、又有短路短延时的三段保护，它们最适宜作选择性保护。

如果再细分、即按保护的對象来分，基本上可分为四种型式：

① 配电保护型；② 电动机保护型；③ 家用或类似场所用保护型（以前称为导线保护型，现称为小型或称微型断路器的就属于此类）；④ 剩余电流（漏电）保护型。

2 表 1-1 显示按细分的四类断路器的保护特性及其主要用途。

表 1-1 四类断路器的保护特性及其用途

种类名称	电流种类和范围	保 护 特 性		主要用途
		选择性	万能式 塑壳式	
配电型 断路器	交流 380(400)V 或 660(690)V 125 ~ 6300A	非选择性	过载长延时、短路瞬 延时、瞬动三段保护(以 上的三段保护均带关断 装置 OFF,供客户选择)	作电源总开关或近电源 的支路开关
	直流(250V 及以下) 125 ~ 6000A	快速型 一般型	过载长延时、短路瞬 动 有极性 无极性	近电源的支路开关 离电源较远的支路开关 保护硅整流设备 保护一般支路
电动机 保护型	交流 380(400)V 及以下 10 ~ 630A	直接启动	长延时、短路瞬动 8 ~ 15I _n	保护鼠笼型电动机
		间接启动	与接触器、热继电器配合作 短路保护,整定值 8 ~ 15I _n 适用于与降压启动配合,作 短路保护,整定值 3 ~ 8I _n	保护靠近电源的鼠笼型 电动机 保护鼠笼型、绕线型电动 机(保护靠近电源的鼠笼型 电动机属于高分断型)
家用或类似家 用场所保护型(旧 称导线保护型)	交流 380(400)V 或 220(230)V 6 ~ 125A	过载长延时、短路瞬动		用于居民(住宅)、宾馆、 办公大楼等处。属于电路 末端,保护线路和设备
剩余电流(漏 电)保护型	交流 380(400)V 220(230)V 20 ~ 63A(电路末端) 63 ~ 800A(工业用)		剩余动作电流(漏电动作电流)分 30mA(瞬动),作 人身安全保护),100、300、500、1000mA 以及 3A、5A、 10A、20A、30A 等规格,用作选择性(上一级)和单相电 弧接地保护,100mA 及以上,可带不同的延时	防止人身触电,保护电 线、电缆及设备不致因单 相接地故障引起电气火灾

(三) 标准

不同类型的断路器，其性能应符合如下标准：

(1) 配电型。断路器应符合 GB 14048.2 《低压开关设备和控制设备，低压断路器》（等效采用 IEC 947-2 同名标准）；

(2) 电动机保护型。应符合 GB 14048.2 和 GB 14048.4 《低压开关设备和控制设备、低压机电式接触器和电动机起动器》（等效采用 IEC 947-4 同名标准）；

(3) 家用和类似场所保护型。应符合 GB 10963 《家用和类似家用场所过电流保护断路器》（等效采用 IEC898 同名标准）；

(4) 剩余电流保护型。应符合 GB 6829 《剩余电流动作断路器的一般要求》和 GB 16916.1 《家用或类似用途不带过电流保护的剩余电流动作断路器的一般要求》（等效采用 IEC1008）、GB 16917.1 《家用或类似用途带过电流保护的剩余电流动作断路器的一般要求》（等效采用 IEC1009）。

二、低压断路器的主要技术性能指标

1. 短路电流的通断能力（短路的接通和分断能力）

短路接通能力：是指断路器在线路发生短路时瞬间的接触，断路器能承受而不引起机械（电动力），电气（ $\int i^2 dt$ 引起的热），可能造成的机械破损和绝缘热老化的电流值，它是以短路电流的峰值来表示的。

短路分断能力：是指断路器能够分断的线路预期最大短路电流的大小（以周期分量的有效值表示）。

接通和分断电流的关系，如表 1-2 所示。

2. 极限短路分断能力与运行短路分断能力

表 1-2

短路接通和分断能力的关系

额定短路分断能力 I_{cn} (A)	标准功率因数 $\cos \phi$	要求的最小额定接通能力 $\eta \times I_{cn}$
$I_{cn} \leq 1500$	0.95	$1.41 \times I_{cn}$
$1500 < I_{cn} \leq 3000$	0.90	$1.42 \times I_{cn}$
$3000 < I_{cn} \leq 4500$	0.80	$1.47 \times I_{cn}$
$4500 < I_{cn} \leq 6000$	0.70	$1.53 \times I_{cn}$
$6000 < I_{cn} \leq 10000$	0.50	$1.70 \times I_{cn}$
$10000 < I_{cn} \leq 20000$	0.30	$2.00 \times I_{cn}$
$20000 < I_{cn} \leq 50000$	0.25	$2.10 \times I_{cn}$
$50000 < I_{cn}$	0.20	$2.20 \times I_{cn}$

注 η 为峰值系数, $\eta = K_{ch} \times \sqrt{2}$, K_{ch} 为短路电流的冲击系数, $1 < K_{ch} < 2$ 。

短路分断能力分极限和运行两种:

极限短路分断能力 I_{cu} ——按规定的试验程序所规定的条件, 不包括断路器继续承载其额定电流能力的分断能力。它的试验程序是 O-t-CO。O 表示分断; t 表示休息时间, 一般为 3min (分钟); CO 表示接通后立即分断。

运行短路分断能力 I_{cs} ——按规定的试验程序所规定的条件, 包括断路器继续承载其额定电流能力的分断能力。它的试验程序是: O-t-CO-t-CO。

由于运行短路分断能力试验后, 要继续承载额定电流, 试后的验证还必须进行温升试验和 5% 的电气寿命试验, 它比极限分断的试验要求更严酷。因此, IEC 标准规定: I_{cs} 可以是 25%、50%、75%、100% 的 I_{cu} , 其中 B 类 (有三段保护性能的断路器) 的 I_{cs} , 最少是 50% I_{cu} , 即无 25% I_{cu} 这一最低档的指标。

3. 限流能力 (限流系数)

限流能力表示: ①开断的最大通过电流峰值 (kA) 与预期的短路电流的周期分量有效值 (kA) 之比; ②以最大通过的 i^2t ($\times 10^6 A^2s$), (A^2s 即安培平方乘秒) 与预期短路电流的周期分量有效值 (kA) 之比 (也称断路器的 i^2t 特性)。①可做成曲线, 纵坐标为最大通过的电流峰值, 横坐标为预期短路电流的有效值。它表示由于断路器采用限流技术, 在发生短路时, 实际分断 (通过) 的电流峰值与发生的预期短路电流有效值之比, 限流系数为 E , E 值越小越好, 对于限流式断路器, 一般要求 $E \leq 0.5$ 。

4. 短路耐受电流 I_{cw}

短时耐受电流是指: 在规定的使用和性能条件下, 电路或在闭合位置上的断路器在指定的短时间内所能承受的电流。它是考核在此指定的短时间内, 断路器是否会脱扣 (动作), 在此严酷条件下, 断路器是否会因电动力和骤热而遭受破坏, 额定短时耐受电流的最小值, IEC947-2 和国标 GB 14042.2 规定, 应不小于表 1-3。

表 1-3 短时耐受电流的最小值

额定电流 I_n A	额定短时耐受电流 I_{cw} 的最小值
$I_n \leq 2500$	$12I_n$ 或 5kA 取大者
$I_n > 2500$	30kA

短时耐受电流只限于对 B 类断路器考核。

5. 额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$

6 在规定的条件下, 使剩余 (漏电) 电流保护器动作的剩余 (漏电) 电流, 用有效值 (r 、 m 、 s) 表示, $I_{\Delta n}$ 仅适用于剩余电流动作保护器 (断路器)。它具有 0.006, 0.01,

0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 10, 20, 30A 等规格。

6. 额定剩余不动作电流 ($I_{\Delta no}$)

在规定的条件下, 剩余 (漏电) 电流保护器不动作的剩余 (漏电) 电流。 $I_{\Delta no}$ 的值通常是 $I_{\Delta n}$ 的一半, 即 $I_{\Delta no} = 1/2 I_{\Delta n}$ 。

8. 单相负载时不动作过电流的极限值

单相负载不动作过电流的极限值是指: 在没有剩余电流的情况下, 能够流过剩余电流保护装置 (不论极数多少) 而不导致其动作的最大单相过电流值。此一技术性能指标, 仅适用于剩余电流动作断路器。

9. 剩余短路接通和分断能力

剩余短路接通和分断能力是指: 在规定的使用条件和性能条件下, 能够接通, 在分断时间内, 能承受和分断的预期剩余 (漏电) 电流值, 而不导致剩余电流保护装置失去保护性能。此技术性能指标仅适用于剩余电流动作断路器。

10. 保护特性

断路器的保护特性包括: 过载长延时、短路短延时、短路瞬动的三段保护, 欠电压保护和单相电弧性接地 (对地泄漏电流), 以及单相金属性短路、三相不平衡电流和发电机的逆功率等的保护, 常见的是三段保护。

过载长延时保护: 较多的是采用双金属元件, 而纯电磁式 (油杯式脱扣器) 是带油阻尼的电磁铁系统 (机构), 智能型脱扣器采用空心互感器、MPU (小型微处理器)、键盘和编码器、驱动器及磁通变换器等来实现长延时反时限的保护。

短路短延时保护: 较早时期是采用钟表延时, 现在有电子脱扣器短延时和智能脱扣器短延时等。

短路瞬动：采用电磁铁机构，电子脱扣器、智能脱扣器等。

欠电压保护：采用欠电压脱扣器，可确保在工作电压下降至 70% ~ 35% 额定电压时动作（切断故障电路）。欠电压脱扣器有瞬时动作，也可带延时。如果动作电压在 35% ~ 10% 额定电压时，就称为失压保护，失压保护是欠电压保护的一种形式。

对地泄漏电流（剩余电流）保护：即漏电保护。

单相金属性接地：指相线与中性线或 PEN 线的短路。三相不平衡电流是指反映到中性线的零序电流超过规定值的保护，它们均可由断路器的单相接地故障保护装置来保护。

逆功率（又称逆向）：它是保护发电机不致于因输出功率为零，造成发电机从输出功率变成输入功率（电力）而引起的严重后果。因此，它是通过逆功率继电器检出和动作，使保护发电机的万能式断路器跳闸的。

11. 温升

温升是指断路器在通以额定工作电流（约定发热电流）一定时间后，各零部件（如作外部连接的接线端子、人力操作部件，可触及但不是手握的部件等）和线圈（如果有的话）的温度与周围空气温度之差值。极限温升是指在额定工作制下，断路器零部件的极限允许温度与发热试验规定的周围最高温度的差。允许的极限温升（也称温升极限），在断路器的标准中作了规定。按新的国家标准 GB 14048.2，已取消新的断路器必须测试温升的规定，温升试验是在断路器经过寿命试验，短路分断试验后的一个验证试验——验证温升。

12. 寿命

断路器的寿命是以完成闭合、断开操作的次数来表示的[试验时,规定了操作的频率,即每小时的闭合—断开(机械寿命)和接通—分断(电气寿命)的次数]。

寿命分机械寿命和电气寿命两种。机械寿命又称无载寿命。电气寿命又称有载寿命。有载寿命规定了施加的工作电压、工作电流和线路的功率因数(功率因数通常是 $\cos\phi = 0.8$,它与线路的正常情况贴合)。

寿命应按标准规定考核。

第二节 断路器各种参数的确定和考虑

一、断路器的额定绝缘电压

额定绝缘电压是在规定的条件下,用来度量断路器及其部件在不同电位部分的绝缘强度、电气间隙和爬电距离的标称电压值。绝缘电压确定后,就应考虑断路器的绝缘结构,如:电气间隙、爬电距离以及介质试验(耐压)的值,通常它的最小值应等于断路器的最大额定工作电压。在断路器的定型试验、出厂试验时,它不作为一个项目进行验证、考核。

二、断路器的电气间隙和爬电距离的设计

在讨论断路器的电气间隙和爬电距离之前,必须首先了解系统的绝缘配合对断路器的要求。断路器用于电源系统的条件应是:

(1) 断路器的额定绝缘电压,应高于或等于电源系统的额定电压;

(2) 断路器的额定冲击电压,应高于或等于电源系统的额定冲击耐受电压;