

电气设备故障试验诊断 **攻略**

避雷器

丛书主编 包玉树
本册主编 黄芬

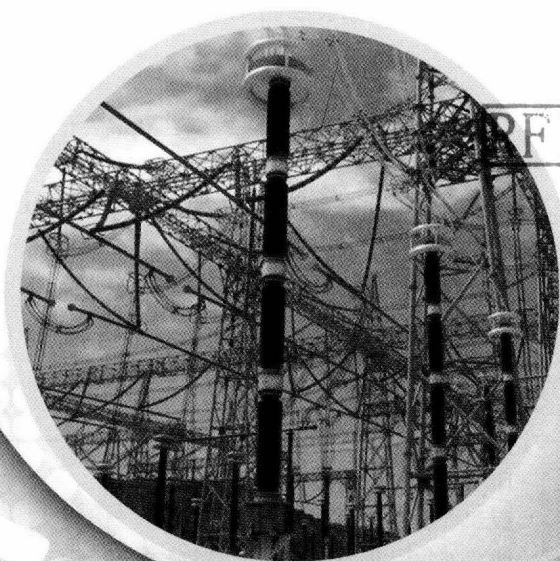


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气设备故障试验诊断 攻略

避雷器

丛书主编 包玉树
本册主编 黄 芬



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为加强对电气设备的检查维护和故障诊断力度,确保电气设备安全稳定运行,特编写了《电气设备故障试验诊断攻略》丛书。本书是丛书的《避雷器》分册。

《避雷器》分册共分五章,分别为概述、避雷器试验诊断基本理论、避雷器典型故障案例分析、避雷器故障诊断新技术、避雷器缺陷及故障的处置。本书先从避雷器的基本结构、原理和试验方法入手,阐述了避雷器故障分析的理论基础,在此基础上,分析各部件不同类型故障起因及预防措施。之后,从大量故障案例出发,详细介绍不同的故障分析、处理方法,并介绍了目前最新型的故障监测技术,为在实际工作熟练运用现有的技术手段,全面监测附件运行状态以及及时发现缺陷和故障隐患提供参考。

本套丛书可供电力系统从事电气设备安装、运维、检修以及电气试验的工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备故障试验诊断攻略. 避雷器 / 黄芬主编; 包玉树丛书主编. —北京: 中国电力出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5198-2755-7

I. ①电… II. ①黄…②包… III. ①电气设备—故障诊断②避雷器—故障诊断 IV. ①TM07②TM862

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第100199号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王 南(010-63412876)

责任校对: 黄 蓓 常燕昆

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 石 雷

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2019年7月第一版

印 次: 2019年7月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 6.5

字 数: 140千字

印 数: 0001—1500册

定 价: 28.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

《电气设备故障试验诊断攻略》丛书编委会 审定委员会

主 任 黄志高

副 主 任 陈 晟 卞康麟

委 员 (按姓氏笔画排序)

马生坤 王丽峰 水为涟 吉 宏 许焕清 杜 森
李 杰 李瑶红 吴 俊 张红光 祝和明 徐建军
翟学锋

编写委员会

丛书主编 包玉树

丛书参编 (按姓氏笔画排序)

马生坤 马君鹏 王成亮 王伟津 王庆胜 王如山
王丽峰 王泽仁 王建刚 卞康麟 邓嘉欣 甘 强
叶加星 付 慧 司增彦 朱孟周 刘 洋 孙和泰
孙景奕 孙 熊 杜 森 杨小平 杨世海 杨景刚
李夕强 李 军 李 勇 李瑶红 吴 俊 吴 剑
张兴沛 陈华桂 陈志勇 陈 杰 陈明光 范 忠
周 源 孟 嘉 赵 胤 胡永建 钟子娟 钟永和
祝和明 秦嘉喜 贾勇勇 徐敏锐 殷 峰 高 山
高 嵩 黄亚龙 黄 芬 黄 磊 隋东礪 衡思坤

本册编写人员

主 编 黄 芬

参 编 赵 胤 杨小平 蒋 焯 蒋 頔 吴裕锋 董典帅

吴 曦 田 栋 刘心宇 陆炜晟

前 言



目前，国家电网有限公司立足自主创新，大力发展特高压和智能电网并取得了重大突破，实现了“中国创造”和“中国引领”，电力事业日新月异，蓬勃向前。国网江苏省电力有限公司的广大员工随潮而动，逐梦而飞。在此背景下，经过近四年的筹划、组织、立项、编撰、审核、修改，《电气设备故障试验诊断攻略》丛书与读者见面了。

本套丛书按照一次设备的种类分别成册，内容涵盖设备结构、针对性试验、典型故障、诊断攻略等方面，重点放在具有可操作性的故障诊断上。丛书中所列故障案例，既有作者的亲身经历，也有收集借鉴的他山之石，经过筛选、加工一一呈现在读者面前，期望这套丛书能给读者带去不一样的收获。本套丛书各分册内容安排主要以故障描述、缺陷排查、综合分析、诊断攻略的形式呈现，另外对专业领域的试验与诊断新技术做了前瞻性叙述。

《避雷器》分册共分五章，分别为概述、避雷器试验诊断基本理论、避雷器典型故障案例分析、避雷器故障诊断新技术、避雷器缺陷及故障的处置。本书先从避雷器的基本结构、原理和试验方法入手，阐述了避雷器故障分析的理论基础，在此基础上，分析各部件不同类型故障起因及预防措施。之后，从大量故障案例出发，详细介绍不同的故障分析、处理方法，并介绍了目前最新型的故障监测技术，为在实际工作熟练运用现有的技术手段，全面监测避雷器运行状态以及时发现缺陷和故障隐患提供参考。

在本书内容编撰过程中，得到了国网江苏省电力有限公司领导的大力支持，书中也参考了其他电力公司的设备故障案例，引用了一些研究成果及试验数据，在此对相关单位的领导和专家表示衷心的感谢。

本套丛书可供电力系统从事电气设备安装、运维、检修以及电气试验的工程技术人员使用，也可作为高等院校相关专业师生的学习参考资料。

由于各分册作者均为在职电力系统专家，利用工作之余的时间编写，时间仓促，书中仍有疏漏与不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2018年8月



前言

第一章 概述	1
第一节 避雷器的结构	2
第二节 避雷器的选型	17
第二章 避雷器试验诊断基本理论	21
第一节 避雷器的数值模型及运行特性	21
第二节 避雷器故障机理	22
第三节 避雷器的试验方法	23
第三章 避雷器典型故障案例分析	28
第一节 避雷器常见缺陷及诊断流程	28
第二节 避雷器阀片缺陷案例	30
第三节 避雷器受潮案例	34
第四节 过电压时避雷器损坏案例	54
第五节 避雷器附件故障案例	60
第六节 试验诊断避雷器缺陷的有效性	71
第四章 避雷器故障诊断新技术	73
第一节 在线监测简介	73
第二节 在线监测装置检测方法	75
第三节 缺陷诊断新技术展望	76
第五章 避雷器缺陷及故障的处置	78
第一节 避雷器缺陷的管理	78
第二节 避雷器故障处置预案	79
附录 A 避雷器保护原理简介	82
附录 B 典型过电压及防范保护措施	84
附录 C 专业术语	86
参考文献	96

概 述

在电力系统中，发、输、变、配的每个环节是由各种各样的高低压设备所构成，每种设备完成不同的功能。在系统中，避雷器主要用来限制其他电气设备绝缘上承受的过电压，直接决定着重要电力设备的绝缘水平并影响整个工程的投资。相对来说，避雷器结构简单、体积小、价格低，但其在系统中的地位非常重要。现代避雷器除限制雷电过电压外，还能限制一部分操作过电压。避雷器的残压是电气设备绝缘配合的重要参数，其残压有雷电冲击、操作冲击、陡波冲击等，在不同电压等级的系统中，各种过电压对系统的影响是不同的。例如电压等级较低的系统中雷电过电压幅值较高，而 220kV 以上系统中操作过电压越来越严重，因此所选取作为绝缘配合的冲击残压的主要依据和考虑的侧重点也是不同的。而对于电容器组，起合闸涌流较大，对避雷器的通流容量有较高要求，因此对不同的系统，避雷器选型有不同要求，试验人员应有所了解，才能在具体试验诊断中有的放矢。

对避雷器的基本要求是在系统正常电压下呈现高阻抗，只流过微安级的泄漏电流；在过电压下呈现低阻抗，可以通过千安级的电流。所以在系统正常情况下流过避雷器的电流很小，在某些特定过电压（不针对所有过电压）的情况下能可靠地吸收、释放掉能量，在故障消除后又能迅速恢复到高阻抗小电流状态，从而将过电压幅值降至被保护设备绝缘可以承受的范围，避免设备遭受过电压的破坏。

可以说避雷器的发展轨迹就是寻求某种具有良好非线性伏安特性材料的历史。同时由于这种非线性材料在长期系统电压作用下会产生老化和劣化，因此需要通过试验和监测手段来及早发现这些缺陷，及时消除隐患，防止避雷器在过电压作用下保护能力下降、失效甚至自身发生故障。所以，避雷器发生的故障与其结构和安装位置的电气环境均有关系，应避免由于选型错误而引起的避雷器故障。

避雷器作为一种保护设备总是和被保护设备并联在一起，可以是单独的避雷器，也可以根据需要配置间隙、放电计数器、监测器及在线监测装置等附件组成一个系统，对于高电压等级的避雷器还应装设均压环。这些附件的安装及其性能也影响着避雷器整体功能，在进行避雷器试验诊断时也需要了解避雷器的整体结构、主要附件及其安装、运维、检查、试验要求，才能准确地找到缺陷的部位和原因。

第一节 避雷器的结构

一、避雷器整体结构简介

在电力系统中，避雷器的整体结构相对较为简单，避雷器在整体结构上主要是避雷器的本体，不同型式的避雷器，其本体内主要部件也不同，常见的避雷器的本体结构主要包括外护套、阀片（电阻片）、防爆膜、内部压紧弹簧、支撑杆、隔弧筒、密封盖板等，在后面介绍避雷器的分类及发展历程中会结合各类型避雷器的介绍进行详细说明。

避雷器除了本体以外还有一些附件，常见的附件包括：上部接线桩、均压环、下部底座、外护套泄漏电流接地屏蔽环、底部脱离器、监测器（具有放电计数器、泄漏电流表功能）、接地装置及为实现对避雷器性能的实施监测而增加的具有数据检测、传输、分析和诊断功能的在线监测装置等，这些附件在实际应用中，可以根据设备的电压等级、安装位置、系统绝缘保护配合等实际需要进行选择性安装。

下面以目前常用的 220kV 避雷器为例对避雷器及其附件整体结构进行简单介绍，较为完整的避雷器结构示意图见图 1-1。避雷器的附件在之后的章节中进行详细说明。

二、避雷器的分类及结构

避雷器的发展主要在于结构形式的改变和材料的进步，常用的避雷器类型有保护间隙，管型、阀式和金属氧化物避雷器等，下面对其结构进行简单说明。

1. 保护间隙结构

最简单的防雷装置是可以具有不同几何形状的放电间隙，其原理结构见图 1-2，保护间隙一般用镀锌圆钢制成，由主间隙和辅助间隙两部分组成。主间隙做成角形的，水平安装，以便灭弧。为了防止主间隙被外物短路而引起误动作，在主间隙的下方串联有辅助间隙。因为保护间隙灭弧能力弱，一般要求与自动重合装置配合使用，以提高供电可靠性。

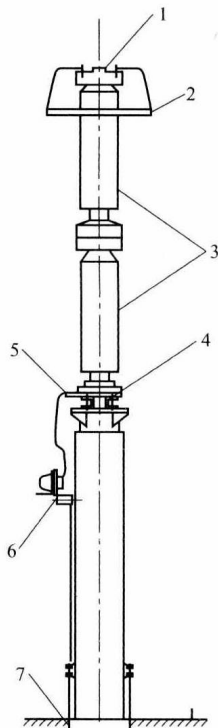


图 1-1 避雷器及其附件整体结构示意图

- 1—避雷器接线桩；2—均压环；
- 3—避雷器本体（根据电压等级，可多节）；
- 4—底座；5—屏蔽环及引线；
- 6—监测器（可根据需要将信号远传）；
- 7—接地装置

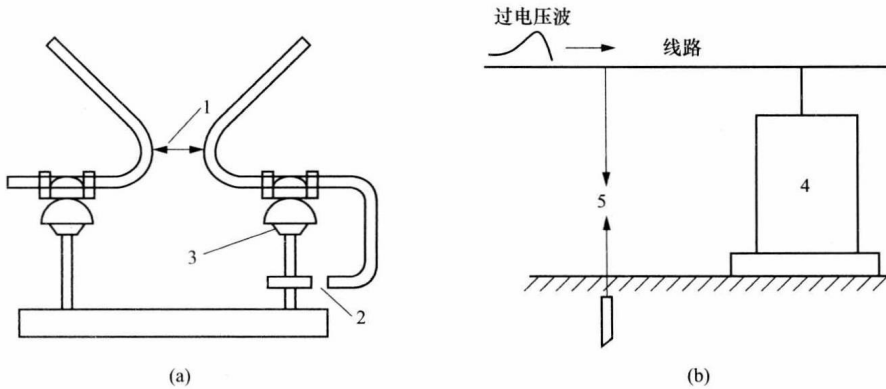


图 1-2 角型保护间隙结构示意图及其与设备的连接

(a) 角型保护间隙结构示意图；(b) 保护间隙与设备的连接

1—主间隙；2—辅助间隙（防止主间隙被外物短路）；3—支柱绝缘；4—被保护设备；5—间隙

2. 管型避雷器结构

管型避雷器实质上是一种具有较强灭弧能力的保护间隙，由内间隙和外间隙组成，如图 1-3 所示。灭弧管一般由纤维胶木等能在高温下产生气体的材料组成。当过电压来临时，管型避雷器的内外间隙被击穿，雷电流通过接地线泄入大地。随之，工频电流产生的电弧燃烧管壁并产生大量气体从管口喷出，很快吹灭电弧。同时，外间隙恢复绝缘，使灭弧管与系统隔开，系统恢复正常运行。

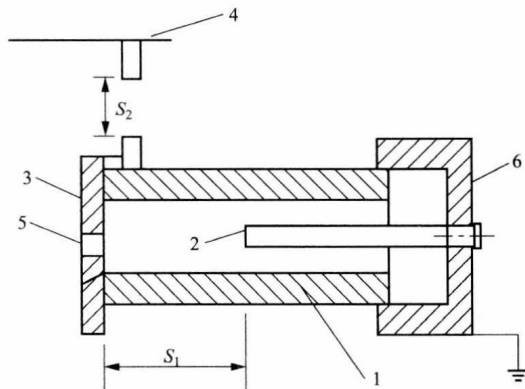


图 1-3 管型避雷器结构示意图

1—产气管；2—棒形电极（内电极）；3—环形电极；4—工作母线；

5—出气口；6—端盖； S_1 —内间隙； S_2 —外间隙

3. 阀式避雷器结构

阀式避雷器是以非线性电阻（SiC 阀片）串联放电间隙作为基本单元构成的避雷器。SiC 阀片的非线性机理如下：

SiC 晶体本体的电阻率很小（约 $1\Omega \cdot \text{cm}$ ），在晶体表面存有空间电荷，对载流体形成势垒（焙烧时形成的氧化层在一般场强下电阻率高达 $10^4 \sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ ）。此表面势垒将承受绝大部分外加电压，随着电压电流的增大，场强达到 $10^3 \sim 10^4 \text{V/cm}$ 时，束缚电荷穿过势垒成为自由电子几率大增，使电阻减小；当外加电压电流减小时，自由电子进入势垒后再穿出

几率减小，使电阻值又变大；所以呈现电阻的非线性。另外势垒（氧化层）中的颗粒只是点接触，与其并联有微小空气间隙，当电压增加时，颗粒间的空气间隙放电也会加强阀片的非线性。SiC 阀片主要由金刚砂与少量 Al_2O_3 及黏合剂模压成饼状，在一定温度下焙烧而成。阀片的主要参数是残压、非线性系数和通流容量，阀片具有负电阻、温度系数。

阀式避雷器主要分为普通阀式避雷器和磁吹阀式避雷器两类。普通阀式避雷器有 FS 和 FZ 两种系列，磁吹阀式避雷器有 FCD 和 FCZ 两种系列。

(1) 普通阀式避雷器。

普通阀式避雷器是由平板间隙与碳化硅电阻片串联而成，装在密封的磁管内，外壳有接线柱供安装使用。单个平板火花间隙结构示意图见图 1-4，当过电压作用于间隙时，在上下电极的工作面处发生放电，由于放电工作面直径大于极距，从而保证间隙中是均匀电场，所以间隙的伏秒特性较为平坦。

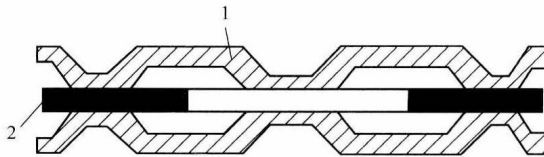


图 1-4 单个平板火花间隙结构示意图

1—黄铜电极；2—云母垫片

为了减小杂散电容的影响，均匀多个串联间隙的电压分布来提高避雷器工频放电电压，可采用间隙并联分路电阻的方法。这种避雷器为 FZ 型（电站型），其结构示意图见图 1-5 (b)；无并联分路电阻的避雷器为 FS 型（配电型），其结构示意图见图 1-5 (a)。在工频电压作用下，间隙上的电压分布主要由并联电阻决定；在冲击电压作用下，间隙上的电压分布主要由杂散电容决定，因此其电压分布仍是不均匀的，所以其冲击系数小于 1，串联间隙越多，冲击系数越小，从而改善了避雷器性能。

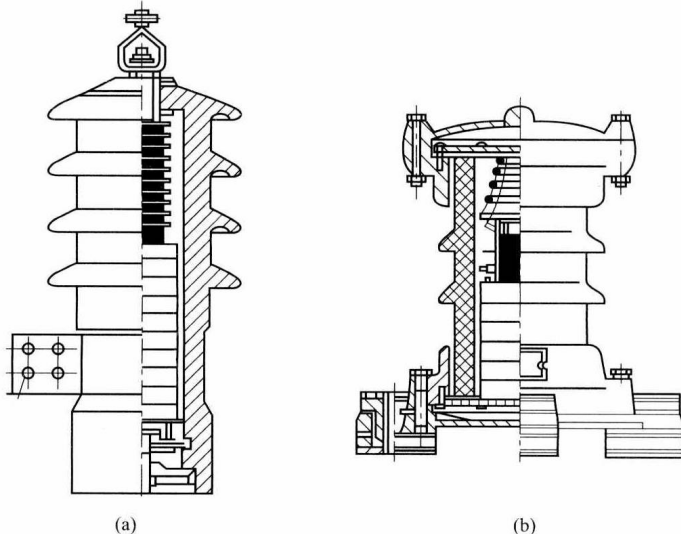


图 1-5 普通阀式避雷器结构示意图

(a) FS-10 阀式避雷器；(b) FZ-10 阀式避雷器

(2) 磁吹阀式避雷器。

串联磁吹间隙的阀式避雷器称为磁吹阀式避雷器，磁吹间隙有不同的种类，其中一种拉长电弧型间隙结构示意图见图 1-6。

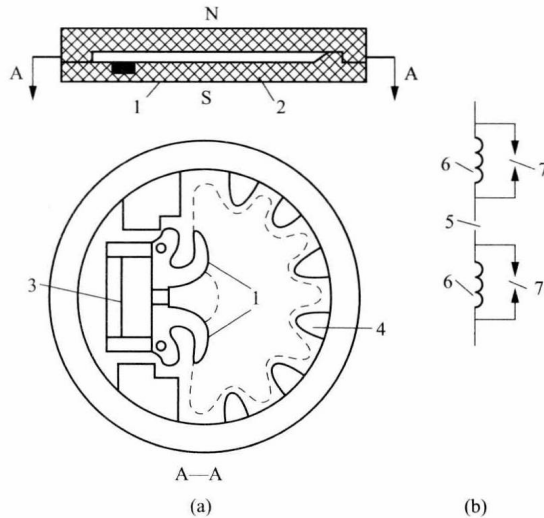


图 1-6 磁吹阀式避雷器拉长电弧型间隙结构示意图

(a) 示意图；(b) 等值电路

1—电极；2—灭弧盒；3—分路电阻；4—灭弧栅；5—主间隙；6—磁吹线圈；7—辅助间隙

4. 金属氧化物避雷器 (MOA) 结构

金属氧化物避雷器是最近几十年发展出来的，其非线性电阻阀片主要成分是 ZnO ，所以也称为金属氧化锌避雷器。氧化锌阀片还含有少量添加剂如 Bi_2O_3 、 CoO 、 MnO 等，由这些成分烧结而成的多晶半导体陶瓷元件，具有理想的阀特性，阀片表面喷涂一层金属粉末（铝粉），其侧面应涂绝缘层（一般为釉，由陶瓷釉向玻璃釉发展）。

与 SiC 阀片相比， ZnO 阀片（又称压敏电阻）具有更理想的非线性电阻特性，电阻随电压而变化；同时又具有较大的电容，容抗随频率和温度而变化。在低的工频电压下，通过阀片的主要是容性电流；随着电压的升高，有功电流迅速增加；当电场强度达到一定范围时，阀片电流主要就是阻性电流。

ZnO 阀片的微观结构见图 1-7，图中 1 为 ZnO 晶粒，2 为晶界层，3 为尖晶石。 ZnO 阀片的等值回路见图 1-8。

金属氧化物阀片的基本结构是高电导的氧化锌晶粒，其电阻率约 $1\sim 10\Omega\cdot\text{cm}$ ，平均直径约 $10\mu\text{m}$ （图中大块黑色部分）；周围由高电阻性的粒界层包围（主要是金属氧化附加物），厚度约 $0.1\mu\text{m}$ ，在低电场强度下电阻率约为 $10^{10}\sim 10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$ 。在较高电压作用下粒界层中的价电子被拉出，或由于碰撞电离产生电子崩而使载流子大量增加。当电场强度达到 $10^4\sim 10^5\text{V}/\text{cm}$ 时，其电阻率即降到 $1\Omega\cdot\text{cm}$ ；当外加电场降低时，由于复合作用使载流子减少，电阻又变大。且它的非线性伏安特性在正、反极性是对称的。

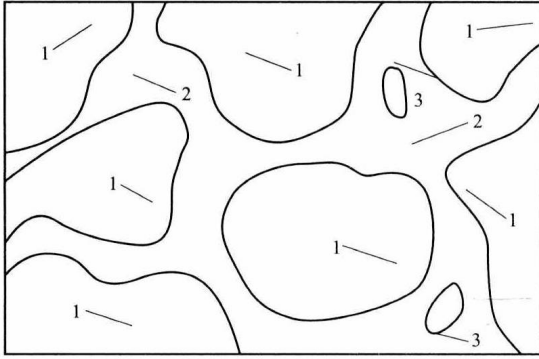


图 1-7 金属氧化物阀片微观结构

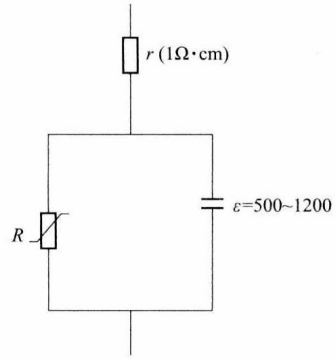


图 1-8 金属氧化物阀片等值回路

在简化的等值回路中， r 为晶粒电阻、 R 为非线性的晶界层电阻、 ϵ 为晶界层电容的介电系数。基于 ZnO 阀片的特性，将其制成避雷器时可有多种形式。

(1) 无间隙金属氧化物避雷器。

由于 ZnO 阀片优异的非线性，金属氧化物避雷器可以不用串联间隙，称为“无间隙金属氧化物避雷器”；在中性点直接接地系统中，除线路用避雷器外，一般不会使用有间隙避雷器。无间隙金属氧化物避雷器结构示意图如图 1-9 所示。

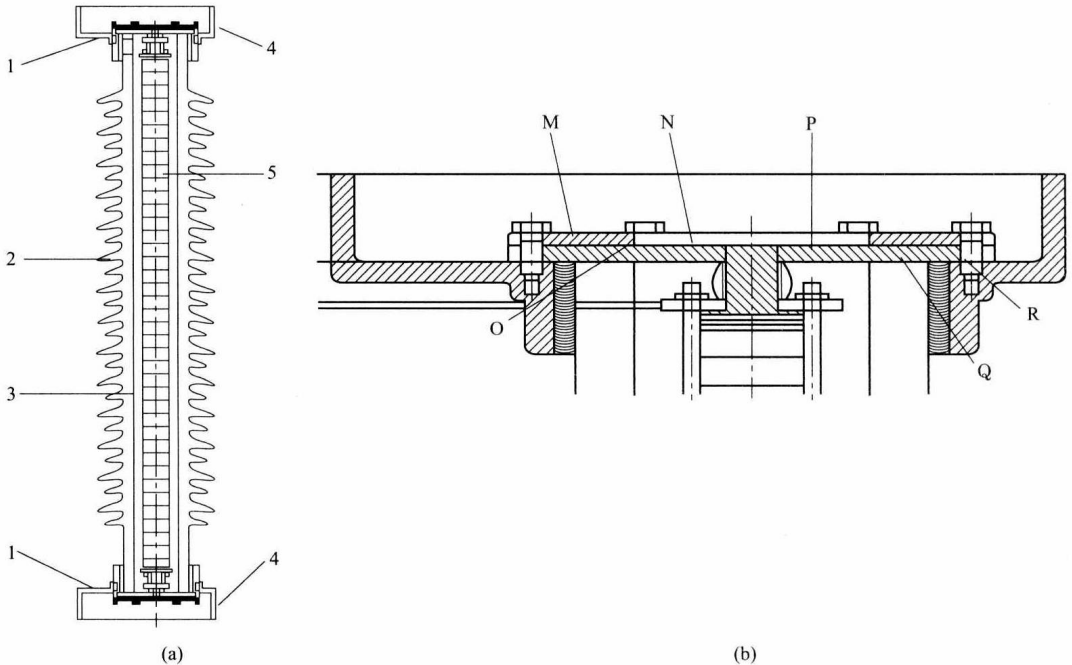


图 1-9 无间隙金属氧化物避雷器结构示意图

(a) 避雷器本体；(b) 避雷器密封结构

M—防爆膜盖板；N—防爆膜；O—密封圈；P—密封板；Q—密封圈；R—防水圈

1—压力释放口；2—外绝缘；3—隔弧筒；4—上下法兰；5—电阻片

(2) 带串联间隙金属氧化避雷器。

为避免无间隙避雷器在长期工作电压下的老化问题，可将避雷器本体与长空气间隙

串联，称为带串联间隙金属氧化避雷器，见图1-10，这种避雷器一般用在输电线路及谐振多发的地方。但其动作时受到间隙特性的影响，所以其保护性能与无间隙金属氧化物避雷器不同，也不如其优越。

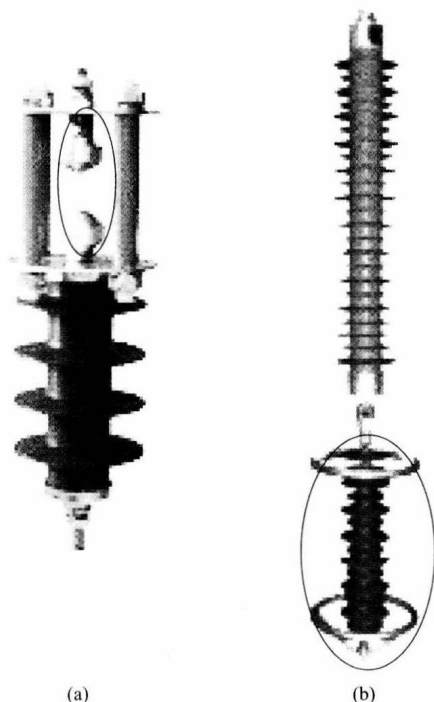


图 1-10 带串联间隙金属氧化物避雷器（圈出部分为间隙部分）

(a) 空气间隙型；(b) 固定间隙型

(3) 带并联间隙金属氧化避雷器。

带并联间隙金属氧化避雷器主要用于被保护设备绝缘较薄弱、要求残压较低的情况，其结构较复杂。从原理上看，通过在一部分电阻片上并联间隙，正常情况下电压施加在全部阀片上降低每一阀片的荷电率；当避雷器动作时，间隙将并联阀片短路可以降低残压。其试验方法与串联间隙避雷器类似。

5. SF₆ 气体绝缘避雷器结构

气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）用金属外壳氧化物避雷器与常规瓷套外壳或环氧绝缘外壳氧化物避雷器的结构完全不同。其主要由壳体、盆式绝缘子、芯体等部分组成。在密闭的金属壳体内冲入一定压力的 SF₆ 气体，并利用 SF₆ 气体良好的电气绝缘性质，大幅度缩短相间及相对地的距离。避雷器芯体由氧化物阀片构成，采用均压屏蔽罩改善避雷器内部电压分布。避雷器的高压端通过盆式绝缘子出线与 GIS 相联，低压端通过密封端子与泄漏电流表或在线监测装置连接。其结构示意图见图 1-11。

由于 GIS 的绝缘伏秒特性较平坦，且负极性击穿电压比正极性击穿电压低，因此对避雷器的伏秒特性、放电稳定性等技术指标提出了较高的要求。

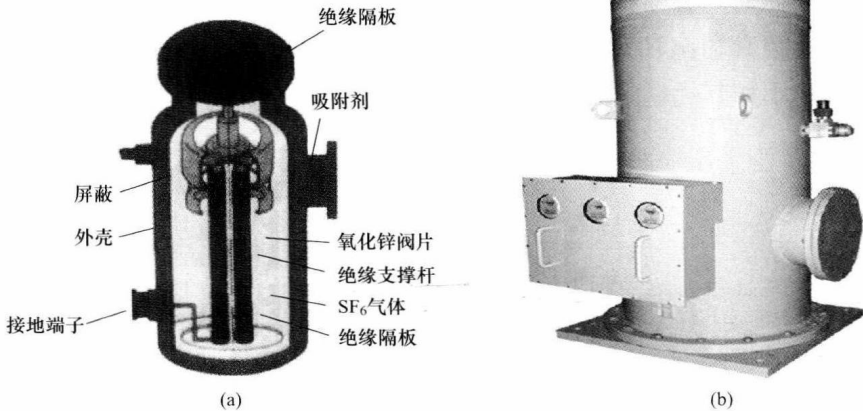


图 1-11 SF₆ 气体绝缘避雷器结构示意图
(a) 罐内剖视图；(b) 三相共体避雷器罐外观

三、各种避雷器的电气性能

避雷器阀片的材料、组成方式等基本方面决定了它的电气性能，不同的材料和结构都会赋予每类避雷器各具特色的保护性能。

1. 伏安特性

避雷器的作用要求其具有特殊的伏安特性，即在低电压下呈高阻，在高电压下呈低阻，不同避雷器的伏安特性见图 1-12。

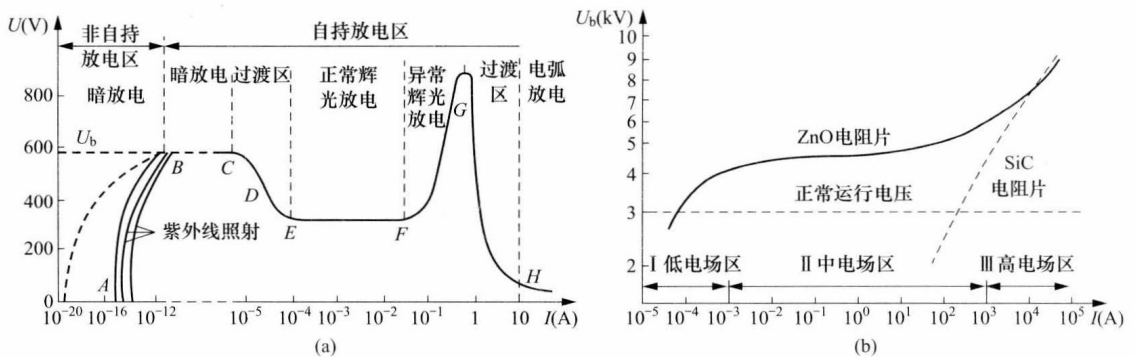


图 1-12 不同避雷器的伏安特性
(a) 保护间隙（空气间隙）伏安特性；(b) 两种阀片伏安特性

保护间隙实际上就是一个空气间隙，因此其伏安特性与空气放电特性类似，与电极的形状密切相关。

金属氧化物避雷器则比普通阀式避雷器的非线性特性好的多，其中普通阀式避雷器非线性特性的数学描述为： $I = cU^\alpha$ （采用苏联的方式）， α 为非线性系数，其值越小表示非线性程度越高，一般为 0.2~0.45；金属氧化物避雷器非线性特性的数学描述为： $U = kI^\alpha$ （采用日本方式）， α 一般为 40 左右。由于两者定义方式不同，所以两种表达式的 α 差别很大，如将金属氧化物避雷器的表达式写成 $I = c'U^{\alpha'}$ ，则 α' 约为 0.025。如果两种避雷器在标称放电电流 10kA 下残压相同，则在最大运行电压下普

通阀式避雷器的持续运行电流为 400A，而金属氧化物避雷器中流过的电流在 1mA 以下。

需要说明的是阀片或避雷器有静态和动态伏安特性曲线之分，其中动态伏安特性曲线类似于磁滞回线，静态伏安特性曲线则由各动态伏安特性曲线顶点连接而成。

2. 动作波形

避雷器动作后的波形对被保护设备的绝缘影响很大，主要是如果波形变化的陡度太大及反向脉冲会对变压器等线圈设备的匝间绝缘造成严重的损害。各种避雷器的动作后电压的波形见图 1-13。

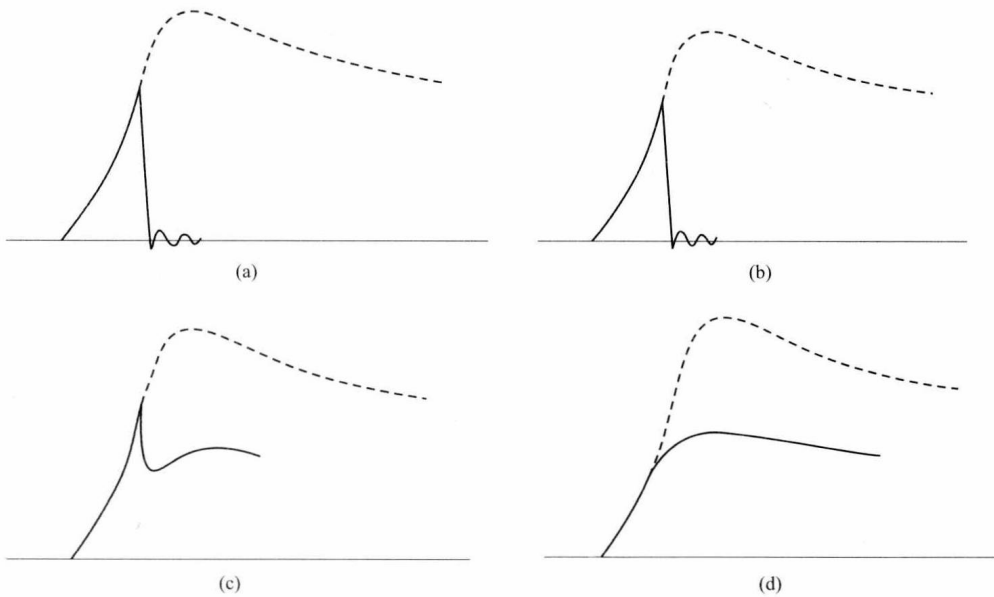


图 1-13 避雷器动作后电压波形

(a) 保护间隙；(b) 管型避雷器；(c) 普通阀式避雷器；(d) 金属氧化物避雷器
虚线—侵入波形；实线—避雷器动作波形

由图可见保护间隙和管型避雷器会产生明显的截波效应且有反极性的脉冲；普通阀式避雷器也有一个类似截波突然下降的过程；金属氧化物避雷器的波形相对平缓。因此从波形上看金属氧化物避雷器对设备绝缘的保护性能最好。

3. 综合分析

由于动作特性和保护性能的关系，目前管型避雷器和 SiC 阀式避雷器（包括普通和磁吹）已基本被金属氧化物避雷器代替。而保护间隙由于和金属氧化物避雷器的伏秒特性不完全一样，所以对过电压的保护种类是不一样的，在一些绝缘配合中还是需要这两者结合使用。有关避雷器的保护机理见附录 A。

本书根据实际应用，将主要以交流金属氧化物避雷器试验分析诊断为主，每种避雷器由于结构的差异因而有各自不同的工作原理、优缺点，甚至表征电气性能的基本参数也是天差地别，这几个方面的比较详见表 1-1。

不同类型避雷器的结构性能比较

表 1-1

避雷器类型	保护间隙	管式避雷器	普通阀式避雷器	磁吹阀式避雷器	无间隙金属氧化物避雷器	带串联间隙金属氧化物避雷器	带并联间隙金属氧化物避雷器	
基本结构	角形 (利于灭弧)	内间隙安放在产气材料制成的管内, 外部串联一个空气间隙	分为配电型 (FS) 和电站型 (FZ)。内部都由数个火花间隙 (平板间隙) 和非线性电阻片两个部件串联而成的标准单元组成, 其中 FZ 型在火花间隙旁另外并联了分路电阻。外绝缘一般为瓷套	火花间隙为磁吹限流间隙	采用具有优异伏安特性的 ZnO 阀片做为保护单元。外绝缘为瓷套或有机环氧树脂	增加了串联间隙, 使电阻片与带电导线隔离	在部分电阻片上并联放电间隙	
工作原理	在过电压作用下 (距离下部首先放电, 电弧使周围空气温度急剧增加, 热空气上升时把电弧向上拉, 同时电流流过电弧通道产生的电动势也将电弧向上拉伸, 于是电弧电阻增大。当电弧拉到一定程度时, 电网电压不能维持电弧燃烧, 于是电弧熄灭)	间隙在雷电压下击穿形成火花通道, 其后高频电流沿着该通道流动, 高温使产气分解, 当管内高压气体从喷口喷出时, 对电弧产生纵吹作用, 在工频电流第一次过零时, 电弧状态还可避免过流管	火花间隙被分成许多个短间隙, 易于切断工频续流。用非线性电阻片以降低避雷器的残压, 限制工频续流	当间隙击穿后, 磁吹线圈产生的磁力将电弧拉入灭弧区, 被拉长、挤压、冷却, 强烈地分离, 形成很高的电弧电压降, 限制了工频续流, 为击穿点的介质强度恢复创造了有利条件	在正常系统电压作用下, 氧化锌避雷器阀片呈高阻状态, 流过避雷器的电流小于 $10\mu\text{A}$, 可视为无续流。当有过电压作用时, 阀片立刻呈现低阻状态, 将能量迅速释放, 此后即恢复高阻状态, 迅速截断工频续流	在间隙击穿避雷器动作后, 当作用在电阻片上的电压低于避雷器额定电压时, 持续电流小于 1mA , 串联的电阻片可以自灭, 串联的间隙不必考虑灭弧性能	在雷电流达到一定幅值时, 与间隙并联部分的残压使放电而短路	在雷电流等于标称放电电流下, 避雷器的残压值可以低于无间隙避雷器, 冲击保护水平较高, 如发低的设备, 有一定的优越性
优点	结构简单	可熄灭工频续流		可适当减少避雷器阀片, 从而降低残压	① 保护特性优异, 没有放电时延, 伏秒特性比较平坦。残压水平较低。② 无续流, 动作负载轻, 在大电流长时间重复动作的冲击作用下, 特性稳定。③ 运行性能良好, 耐冲击能力强; 流通量大, 耐污秽性能较好。④ 实用性好; 结构简单, 高度低, 安装维护方便。⑤ 不存在间隙放电电压随避雷器内部气压变化而变化的问题, 因此无间隙避雷器是理想的高原地区避雷器。	① 避免系统的单相接地引起的弧光过电压和电弧接地过电压对电阻片的保护作用		

避雷器类型	保护间隙	管式避雷器	普通阀式避雷器	磁吹阀式避雷器	无间隙金属氧化物避雷器	带串联间隙金属氧化物避雷器	带并联间隙金属氧化物避雷器
优点	结构简单	可熄灭工频续流		可适当减少避雷器残压	⑥特别适用于直流输电设备的保护。直流电弧不像交流电弧有自然过零点，因此熄弧比较困难。无间隙避雷器不存在灭弧问题，所以用作直流避雷器是很理想的。⑦作为SF ₆ 全封闭组合电器中的一个组件是特别适合的。可解决传统避雷器的间隙在SF ₆ 中放电分散性大和放电电压随气压变化而变化等问题。⑧用于重污秽地区比传统避雷器优越，不存在污秽影响间隙电压分布问题。⑨陡波下保护特性改善。不存在间隙放电电压随雷电波陡度的增加而增大的问题陡波下保护特性有可能得到改善	②与普通碳化硅阀式避雷器相比，具有相似的特性，可以保持续流很小。如果残压比直接压阀式低，则残压非中性地还可以比金属氧化物避雷器低	在幅值等于标称放电电流下，避雷器的残压值可以低于无间隙避雷器，在保护雷电冲击波绝缘水平较低的设备，如发电机等，有一定的优越性
缺点	①在故障电流较大情况下不能自行灭弧②不能切断短路电流③不能切断后的工频短路电流	①伏秒特性陡，放电分散性大，而一般电器设备绝缘的冲击电压伏秒特性较好的配合。②动作时产生截波对变压器纵绝缘有害。③放电特性受大气条件影响较大，气管易破裂或爆炸且容易受潮	①容易破损、故障时对周围的人身和设备安全隐患大。②笨重、接地端点易脱落、密封性能不好		①由于没有放电间隙，阀片将因长期直接承受工频电压的作用而产生劣化现象，其劣化的本质，从微观机理上看，是晶介层的肖脱基势垒的降低，引起阀片电阻值的降低。泄漏电流增加，阻性分量电流是有功分量，它急剧增加势必加速阀片老化速度，可能在遇到操作冲击波作用，其能量被吸收时，因阀片的损耗功率超过其散发功率，阀片温度上升而发生热崩溃，造成避雷器击穿损坏。受潮与老化是引起MOA故障的两个根本原因。	①不再具备无间隙避雷器的优点。②有串联间隙避雷器，由于放电电压与电阻片的残压近，电压试验带来一定的困难，放电电压较难检测	结构较复杂