

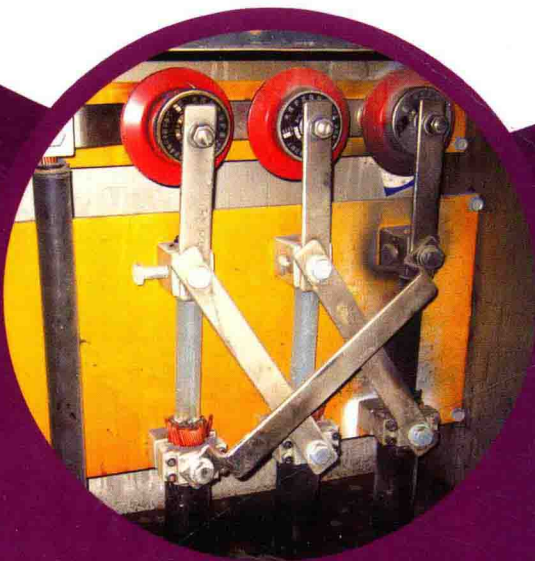
输电电缆

六防

工作手册

防附属设备异常

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输电电缆

六

防

工作手册

防附属设备异常

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为总结我国输电缆线路“六防”工作取得的成果,指导输电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作,提高输电缆的精益化与规范化管理水平,提升输电缆线路安全运行水平与可靠性,国家电网公司运维检修部组织编写了《输电缆“六防”工作手册》,包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害气体6个分册。

本书为《输电缆“六防”工作手册 防附属设备异常》分册,包括附属设备简介、附属设备异常分类及危害、防附属设备异常保障体系、附属设备异常防治措施、附属设备异常检测、附属设备异常处置和典型案例7章。

本书是输电缆线路运行维护、检修和管理人员的工作手册,可作为输电缆线路相关专业技术及管理人员的业务指导书、培训教材及学习资料,也可作为大专院校相关专业师生的自学用书与阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电缆“六防”工作手册. 防附属设备异常 / 国家电网公司运维检修部组编. —北京: 中国电力出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5198-1204-1

I. ①输… II. ①国… III. ①输电线路—电力电缆—电力工程—工程施工—安全技术—手册 IV. ①TM726-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 240663 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 罗翠兰(010-63412876/2428)

责任校对: 常燕昆

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 10.75

字 数: 180 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 52.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编 委 会

主 任 杜贵和

副主任 张祥全 黄 清 王 剑

主 编 王 剑

副主编 樊友兵 李鸿泽 杨 波

参 编 柏 仓 姜海波 王永强 郭湘奇

赵 轩 饶文彬 李文杰 赵 洋

陈 杰 孙晓斌 胡晓黎 王雨阳

马菲菲 邓 鹏 段玉兵 张 皓

张志坚 何光华 姜 芸 孙晓斌

吴明祥 杨 静 王 伟 曹京荣

胡丽斌 高 超 李陈莹

前言

随着我国经济的快速发展，输电电缆越来越广泛地应用，高压电缆线路运行长度逐年增加，据统计，2012~2016 年国家电网公司输电电缆线路以 10% 以上的年平均增速稳步增长。在实际运行中，外力破坏、有害气体、电缆过热、着火、进水和附属设备异常严重影响输电电缆安全运行，它们会导致电缆线路组部件老化、产生缺陷，造成电缆线路火灾，发生绝缘击穿故障和人身伤害。因此，改善电缆线路通道运行环境，提升高压电缆线路安全运行水平，一直是输电电缆线路精益化管理的重要工作。

截止到 2016 年底，国家电网公司 110（66）kV 及以上高压电缆线路回路长度超过 2 万千米。据统计，外力破坏、火灾、水害、过热、附属设备异常以及有害气体是造成输电电缆线路运行故障、威胁运行维护人员人身安全的重要因素。近几年发生的多起电缆线路故障，造成了巨大的社会影响以及财产损失。对此，国家电网公司高度重视输电电缆线路的防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常、防有害气体（简称“六防”）工作，组织开展了“六防”隐患排查、重要输电电缆通道风险评估与治理，立项支持相关技术的研究，在机理及防治理论、电缆线路及通道监测、病害治理、防治装置及设备、抢修及恢复技术、高压电缆线路运维管理等方面取得了一系列成果。输电电缆“六防”工作的开展，有效地改善了输电电缆的外部运行环境，使输电电缆线路安全运行水平逐年提升。

为总结我国输电电缆线路“六防”工作取得的成果，指导输电电缆线路运维检修、技术监督、交接验收等工作，优化电缆运行环境、避免人为事故、避免人身伤害，提高输电电缆的精益化与规范化管理水平，提升输电电缆线路安全运行水平与可靠性，国家电网公司运维检修部组织编写了《输电电缆“六防”工作手册》，包括防外力破坏、防火、防水、防过热、防附属设备异常和防有害

气体 6 个分册。在编制过程中，编写组广泛调查研究，通过提炼和展示国家电网公司系统各输电电缆线路运检单位工作亮点，总结经验和不足，参考有关国家法律、法规和国家电网公司相关标准、规定和规范，经多次讨论修改和征求意见，体现了输电电缆“六防”工作的关键技术和成果，凝聚了国家电网公司输电电缆线路运维、管理、科研工作者的集体智慧。

本书为《输电电缆“六防”工作手册 防附属设备异常》分册，包括附属设备简介、附属设备异常分类及危害、防附属设备异常保障体系、附属设备异常防治措施、附属设备异常检测、附属设备异常处置和典型案例 7 章。由国网江苏省电力公司、国网山东省电力公司、中国电力科学院等单位编写。

由于编写人员水平有限，书中难免存在不妥或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 附属设备简介	1
1.1 接地装置	1
1.2 避雷器	7
1.3 供油装置	10
1.4 在线监测系统	19
第 2 章 附属设备异常分类及危害	33
2.1 附属设备异常分类	33
2.2 附属设备异常的危害	43
第 3 章 防附属设备异常保障体系	49
3.1 组织体系构建	49
3.2 规章制度	50
第 4 章 附属设备异常防治措施	53
4.1 附属设备异常巡视	53
4.2 接地装置异常防治措施	55
4.3 避雷器异常防治措施	71
4.4 供油装置异常防治措施	80

4.5 在线监测装置异常防治措施	87
第 5 章 附属设备异常检测	97
5.1 电缆接地装置检测	97
5.2 避雷器检测	103
5.3 供油系统检测	109
5.4 在线监测装置检测	112
第 6 章 附属设备异常处置	115
6.1 接地装置异常处置	115
6.2 避雷器异常处置	124
6.3 供油装置异常处置	136
6.4 在线监测装置异常处置	138
第 7 章 典型案例	141
[案例 1] 接地连接不牢导致电缆发热	141
[案例 2] 悬浮接地导致电缆火灾	142
[案例 3] 接地锈蚀导致接地点发热	144
[案例 4] 交叉互联系统接错导致环流异常	146
[案例 5] 接地箱进水导致接地电流异常	147
[案例 6] 保护器被短接引起接地环流异常	148
[案例 7] 水分侵入避雷器	149
[案例 8] 充油电缆油压整定实例	150
附录 A 电力电缆接地箱试验报告	152
附录 B 电缆护套接地系统接地箱、保护箱安装记录	153
附录 C 避雷器安装记录	154
附录 D 电缆附属设备常用试验标准	155

附录 E 电缆及通道巡视记录表 157

附录 F 常用螺栓紧固力矩..... 158

附录 G 定义和术语 159

参考文献 162

附 属 设 备 简 介

按照 Q/GDW 1512—2014《电力电缆及通道运维规程》的规定，输电缆附属设备是指接地装置、避雷器、供油装置、在线监测装置等电缆线路附属装置的统称，本章对上述主要附属设备进行了逐一介绍。考虑到当前实际工作的具体情况，本书中提到的避雷器主要指的是无间隙金属氧化物避雷器。

1.1 接地装置

1.1.1 接地装置主要组成

输电缆接地装置是与电缆金属屏蔽（金属套）层相连接，将接地电流进行分流的装置，主要由接地箱、电缆护层过电压限制器、接地线、回流线、接地网等构成。

1. 接地箱

接地箱用于单芯电缆线路中，为降低电缆护层感应电压，将电缆的金属屏蔽（金属套）直接接地或通过过电压限制器后接地的装置，有电缆护层直接接地箱、电缆护层保护接地箱两种，分别如图 1-1、图 1-2 所示。

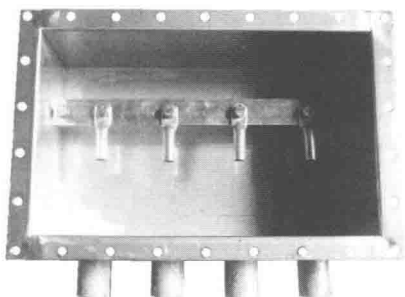


图 1-1 电缆护层直接接地箱

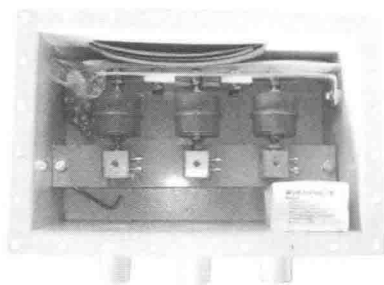


图 1-2 电缆护层保护接地箱

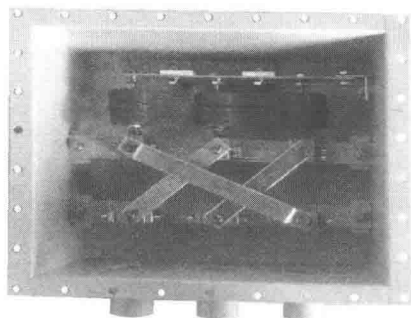


图 1-3 电缆交叉互联箱

交叉互联箱如图 1-3 所示,用于长电缆线路中,为降低电缆护层感应电压,依次将一相绝缘接头一侧的金属套和另一相绝缘接头另一侧的金属套相互连接后再集中分段接地的一种密封装置。包括护层过电压限制器、接地排、换位排、公共接地端子等。

2. 电缆护层过电压限制器

电缆护层保护接地箱中装有电缆护层过电压限制器,在正常工作电压下,保护器呈现高电阻,通过保护器的工作电流极其微小(微安级),基本处于截止状态,使护套与大地之间不成通路。电缆线路出现短路故障、护套出现的雷击或操作过电压达到保护器的起始动作电压时,保护器的电阻值很快下降,使过电压电流较容易地由护套经保护器流入大地,这时护套上的电压仅为通过电流时保护器的残压,而保护器的残压和起始动作电压比冲击过电压低得多,并且比护套冲击试验电压也小得多,因而使护套绝缘免遭过电压的破坏。在过电压消失后,电阻阀片又恢复其高阻特性,保护器和电缆线路又恢复到正常工作状态。

氧化锌电缆护层过电压限制器如图 1-4 所示,是以氧化锌电阻阀片为主要组成部分的,氧化锌电阻阀片是以高纯度的氧化锌为主要成分,添加微量的秘、锰、锑、铬、铅等氧化物,经过充分混合、造粒、成形、侧面加釉等加工过程,并在 1000℃以上的高温下烧制而成,氧化锌阀片具有良好的非线性伏安特性曲线。氧化锌阀片避雷器没有串联间隙,因而保护特性好,既具有瓷套式金属氧化物避雷器的优点,还具有电气绝缘性能好、介电强度高、抗漏痕、抗电蚀、耐热、耐寒、耐老化、防爆等优点及良好的化学稳定性、憎水性、密封性。已逐渐用做电力系统高压电气设备的保护。目前电缆护套的保护也普遍采用氧化锌阀片保护器。

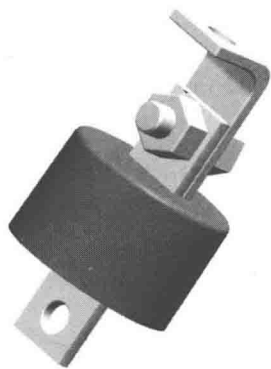


图 1-4 电缆护层过电压限制器

常见氧化锌阀片规格和性能如表 1-1 所示。

表 1-1

氧化锌阀片规格和性能

型号	规格 (mm)	10kV 冲击电流残压 (kV) (幅值)	2s 工频耐压 (V) (有效值)	残压比	$U_{\max}$ (V)
MY31	$\phi 80 \times 6$	3.3	1200	2.75	1000
MY31	$\phi 80 \times 8$	3.3	1200	2.75	
MY31	$\phi 80 \times 15$	3.4	1200	2.8	
MY31	$\phi 100 \times 10$	2.7	1000	2.7	

3. 接地线

高压电缆线路中常见的接地线主要包括：交叉互联线（同轴电缆）、终端接地线、回流线及其他接地扁铁、接地引下线等。其中终端接地线、接地引下线（体）型式较为多样，包括低压电缆、接地铁、钢绞线、铜绞线等。

交叉互联线是在交叉互联系统中实现交叉换位의 连接线，常见型式为同轴电缆。如图 1-5 所示。

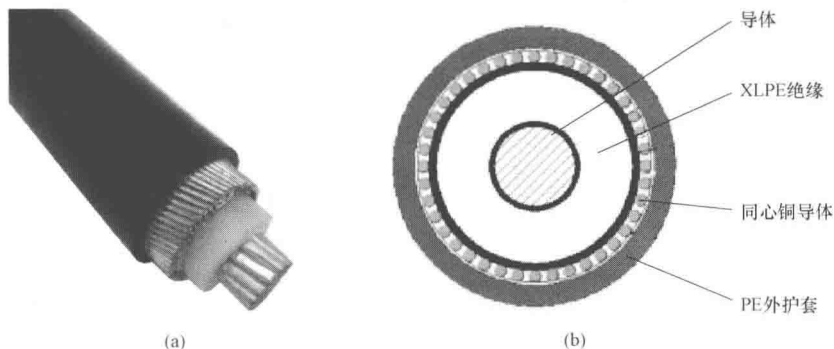


图 1-5 同轴电缆

(a) 实物图；(b) 剖面示意图

4. 回流线

当单芯电缆线路的金属护套只在一处互联接地时，在沿线路间距内敷设一根阻抗较低的绝缘导线，并两端接地，该接地的绝缘导线称为回流线。回流线的布置如图 1-6，回流线实物图如图 1-7 所示。当电缆线路发生接地故障时，短路接地电流可以通过回流线流回系统的中性点，这就是回流线的分流作用。同时，由于电缆导体中通过的故障电流在回流线中产生的感应电压，形成了与导体中电流逆向的接地电流，从而抵消了大部分故障电流所形成的磁场对邻近通信和信号电缆产生的影响，所以，回流线实际又起了磁屏蔽的作用。

在正常运行情况下，为了避免回流线本身因感应电压而产生以大地为回路的循环电流，回流线应敷设在两个边相电缆和中相电缆之间，并在中点处换位。根据理论计算，回流线与边相、中相之间的距离应符合“三七”开的比例，即回流线到各相的距离应为： $S_1=1.7S$ ， $S_2=0.3S$ ， $S_3=0.7S$ ， S 为边相至中相中心距离。

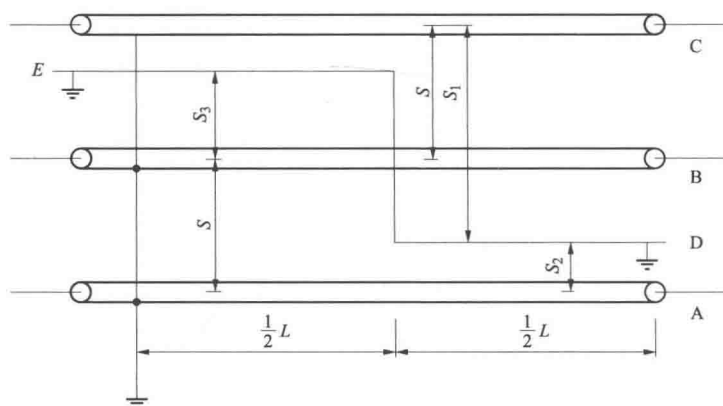


图 1-6 回流线布置示意图

S —边相至中相中心的距离； $S_1=1.7S$ ； $S_2=0.3S$ ； $S_3=0.7S$

安装了回流线之后，可使邻近通信、信号电缆导体上的感应电压明显下降，仅为不安装回流线的 27%。

一般选用铜芯大截面的绝缘线作为回流线。

在采取金属护套交叉互联的电缆线路中，由于各小段护套电压的相位差位

120° ，而幅值相等，因此两个接地点之间的电位差是零，这样就不可能产生循环电流。电缆线路金属护套的最高感应电压就是每一小段的感应电压。当电缆发生单相接地故障时，接地电流从护套中通过，每相通过 $1/3$ 的接地电流，这就是说，交叉互联后的电缆金属护套起了回流线的作用，因此，在采取交叉互联的一个大段之间不必安装回流线。

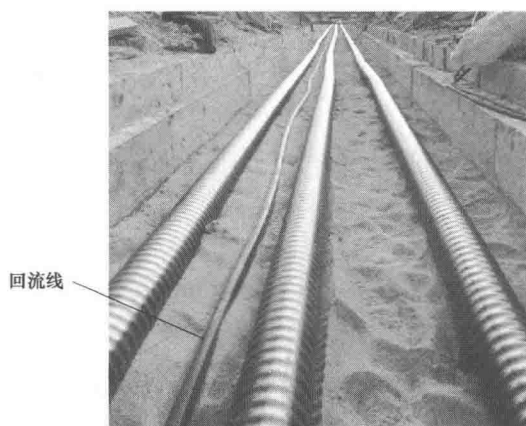


图 1-7 回流线实物图

5. 接地网

接地网如图 1-8 所示,是由垂直和水平接地体组成的具有泄流和均压作用的网状接地装置。接地体又称接地极,是直接和大地接触的金属导体。接地网,是将多个接地体用接地干线连接成网络,具有接地可靠,接地电阻小的特点,适合大量电气设备接地的需要,在高压电缆线路中,通常用在电缆隧道、电缆沟、工作井等构筑物中。



图 1-8 施工中的明挖隧道接地网

1.1.2 主要接地方式

1. 金属护套两端接地

金属护套两端接地电缆如图 1-9 所示。

当电缆线路长度不长、负荷电流不大时,金属护套上的感应电压很小,造成的损耗不大,对载流量的影响也不大。

2. 金属护套一端接地

当电缆线路长度不长、负荷电流不大时,电缆金属护套可以采用一端直接接地、另一端经保护器接地的连接方式,使金属护套不构成回路,消除金属护套上的环行电流,如图 1-10 所示。

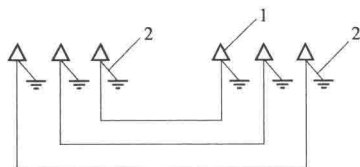


图 1-9 金属护套两端接地电缆示意图

1—电缆终端; 2—直接接地

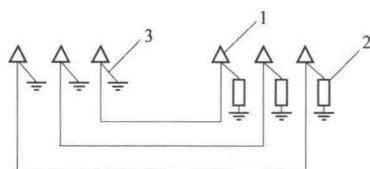


图 1-10 护套一端接地
电缆线路示意图

1—电缆终端；2—金属屏蔽层电压限制器；
3—直接接地

金属护套一端接地的电缆线路，还必须安装一条回流线。

3. 金属护套中点接地

金属护套中点接地的方式是在电缆线路的中间将金属护套直接接地，两端经保护器接地。金属护套中点接地的电缆线路长度可以看作金属护套一端接地的电缆线路的 2 倍，如图 1-11 所示。

当电缆线路不适合金属护套中点接地时，可以在电缆线路的中部装设一个绝缘接头，使其两侧电缆的金属护套在轴向断开并分别经保护器接地，电缆线路的两端直接接地，如图 1-12 所示。

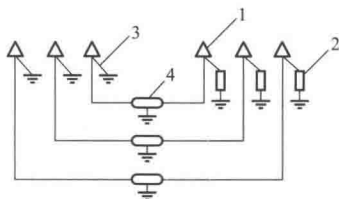


图 1-11 金属护套中点接地电缆示意图

1—电缆终端；2—金属屏蔽层电压限制器；
3—直接接地；4—直通接头

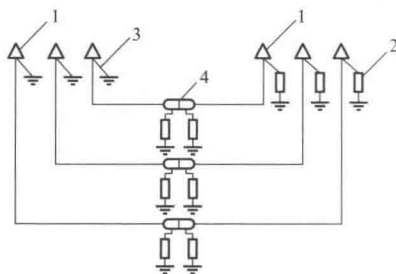


图 1-12 护套断开电缆线路接地示意图

1—电缆终端头；2—金属屏蔽层电压限制器；
3—直接接地；4—绝缘接头

4. 金属护套交叉互联

电缆线路长度较长时，金属护套应交叉互联。这种方法是将电缆线路分成若干大段，每一大段原则上分成长度相等的三小段，每小段之间装设绝缘接头，绝缘接头处三相金属护套用同轴电缆进行换位连接，绝缘接头处装设一组保护器，每一大段的两端金属护套直接接地，如图 1-13 所示。

金属护套经交叉互联后，举例说，第 I 段 C 相连接到第 II 段 B 相，然后又接到第 III 段 A 相。由于 A、B、C 三相的感应电动势的相角差为 120° ，如果三段电缆长度相等，则在一个大段中金属护套三相合成电动势理论上应等于零。

1.1.3 接地装置技术要求

(1) 接地箱、交叉互联箱内连接应与设计相符，铜牌连接螺栓应拧紧，连接螺栓无锈蚀现象。箱体完整，门锁完好，开关方便。

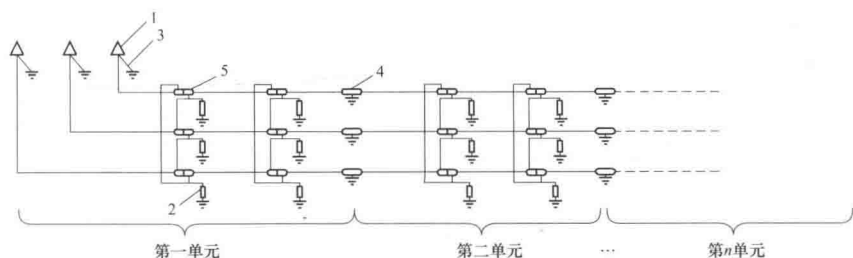


图 1-13 金属护套交叉互联电缆线路示意图

1—电缆终端头；2—金属屏蔽层电压限制器；3—直接接地；4—直通接头；5—绝缘接头

(2) 接地箱、交叉互联箱内电气连接部分应与箱体绝缘。箱体本体不得选用铁磁材料，并应密封良好，固定牢固可靠，满足长期浸水要求，防护等级不低于 IP68。

(3) 电缆护层过电压限制器配置选择应符合 GB 50217—2007《电力工程电缆设计规范》的要求。限制器和电缆金属护层连接线宜在 5m 内，连接线应与电缆护层的绝缘水平一致。

(4) 如接地箱、交叉互联箱置于地面上，接地箱、交叉互联箱安装应与基础匹配，膨胀螺栓安装稳固，箱内接地缆出线管口空隙应进行防火泥封堵。

(5) 接地箱、交叉互联箱箱体正面应有不锈钢设备铭牌，铭牌上应有换位或接地示意图、额定短路电流、生产厂家、出厂日期、防护等级等信息。

(6) 接地箱和交叉互联箱应有运行编号。

(7) 金属护层接地电流绝对值应小于 100A，或金属护层接地电流/负荷比值小于 20%，或金属护层接地电流相间最大值/最小值比值小于 3。

1.2 避雷器

1.2.1 避雷器原理及结构

避雷器按其结构，可分为保护间隙、管式避雷器、阀式避雷器、磁吹避雷器和金属氧化物避雷器。用于保护电缆线路的并联连接在电缆终端的避雷器一般选用金属氧化物避雷器。金属氧化物避雷器分瓷套型和复合外套型两种。

金属氧化物避雷器的基本结构氧化锌（ZnO）阀片，是氧化锌掺以少量其他金属氧化物添加剂经高温焙烧而成，如图 1-14 所示，具有良好的非线性压敏电阻特性。

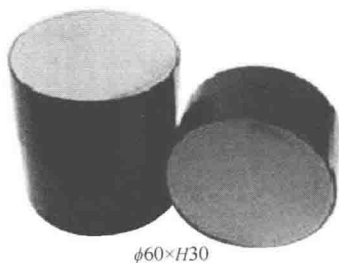


图 1-14 氧化锌（压敏）阀片

这种烧结体的基本结构是高电导的氧化锌晶粒，电阻率为 $1\Omega \cdot \text{cm}$ 。边缘由高电阻性的（主要是金属氧化物附加物）粒面层包围，电阻率在低电场强度下约为 $10^{10} \sim 10^{14}\Omega \cdot \text{cm}$ 。在较高的电压作用下，金属氧化物附加物的粒面层中的价电子被拉出，或者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 $104 \sim 105\text{V/cm}$ 时，其电阻率即降到 $1\Omega \cdot \text{cm}$ ；当外加作用电压降低

时，由于复合使载流子减少，电阻又变大，因此具有良好的非线性。且它的非线性伏安特性在正、反极性是对称的。

复合外套、瓷套氧化锌避雷器结构示意图分别如图 1-15 及图 1-16 所示，利用氧化锌良好的非线性伏安特性，在正常工作电压时流过避雷器的电流极小（微安或毫安级），可视为断路；当过电压作用时，电阻急剧下降，泄放过电压的能量，达到保护的效果。这种避雷器和传统避雷器的差异是它没有放电间隙，利用氧化锌的非线性特性起到泄流和开断的作用。避雷器既可以用来防护雷电产生的过电压，也可用来防护操作过电压，复合外套氧化锌避雷器如图 1-17 所示。

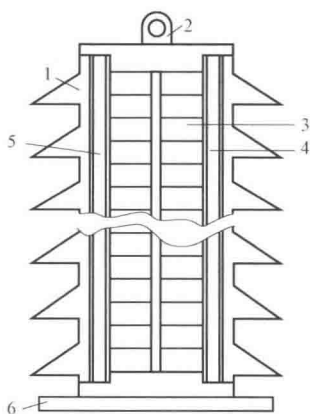


图 1-15 复合外套氧化锌避雷器结构示意图

- 1—硅橡胶伞裙；2—接线端子；
3—氧化锌阀片；4—高分子填充材料；
5—环氧玻璃钢筒；6—底座

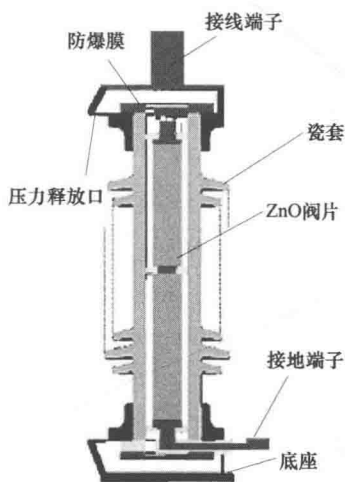


图 1-16 瓷套型避雷器结构示意图

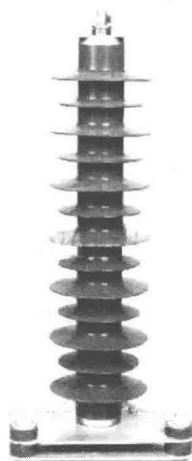


图 1-17 复合外套氧化锌避雷器