

DIANLI BIANYAQI ZUBUJIAN  
GUZHANG FENXI YU GAIJIN

# 电力变压器组部件 故障分析与改进

ISBN 978-7-5083-9781-1



9 787508 397818

定价：14.00 元

销售分类建议：电力工程 / 输配电

DIANLI BIANYAQI ZUBUJIAN  
GUZHANG FENXI YU GAIJIN

# 电力变压器组部件 故障分析与改进

---

王世阁 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

据近年统计电力变压器组部件故障占变压器总故障的 20%~45%。因此,本书专门介绍了电力变压器使用的套管、分接开关、冷却系统、气体继电器、储油柜等主要组部件的结构和分类,并针对这些组部件运行中发生的事故、故障进行举例(300 多个例子)和统计分析,从而得出各类组部件的事故、故障规律,并提出改进措施。

本书适用于从事变压器运行、检修、试验及制造部门的设计人员、工人和相关管理人员阅读,也可作为相关制造厂技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力变压器组部件故障分析与改进/王世阁编. —北京:中国电力出版社,2010.2

ISBN 978-7-5083-9781-8

I. ①电… II. ①王… III. ①电力变压器—故障诊断②电力变压器—故障修复 IV. ①TM410.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 217044 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 6 印张 143 千字

印数 0001—3000 册 定价 14.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

## 前言

电力作为二次能源，已经成为社会发展和现代文明不可缺少的元素。变压器作为组成现代电网的重要设备之一，也成为社会发展和人类进步不可缺少的装置，已经广泛应用于工农业生产、人民生活和国民经济各个领域。

世界上第一台闭合铁芯变压器是 1884 年 9 月 16 日由匈牙利布达佩斯干茨（GNAZ）工厂生产的。该变压器容量为 1.4kVA，频率为 40Hz，电压比为 120/72V。干茨工厂的发明者在专利申请中首次使用“变压器”这一术语。1890 年，在德国 AEG 工厂工作的工程师发明了三相变压器。

变压器的发明，都是基于法拉第试验和麦克斯韦理论形成的电磁场理论，作为变压器运行原理的基础。

经过 100 多年的发展，变压器的品种、结构、容量、电压等级、冷却方式、制造技术等都有了很大进步。作为变压器重要组成部分的组、部件也发生了很大变化，有的甚至发生了质的变化，如套管从纯瓷套管、电容式套管到干式套管；有载分接开关除了充油的之外，出现了真空有载调压开关；冷却器由管式发展为片式散热器，冷却方式有油浸自冷、油浸风冷、强油风冷、强油水冷；压力释放阀取代了防爆筒；储油柜也由开放的改为密闭的，全密封储油柜有胶囊式、隔膜式、金属膨胀式等，金属膨胀式储油柜又有内油式和外油式等。

变压器作为一个重要的供电设备，除了必须有铁芯、线圈等主体外，需要用套管将其与电网连接，靠冷却系统完成因损耗产生热量的交换，有了分接开关使其运行电压可以随电网需要而改变，气体继电器和压力释放阀则可对变压器起到保护作用。

用。只有上述主体和各个组部件协调一致、共同努力才能实现变压器的安全、经济运行。

在变压器故障中，组部件的故障占有一定比重，特别是运行部门在日常的维护和检修工作量中，组部件占有工作量最大。目前，我国变压器制造业的瓶颈也是高压套管和高压出线成型绝缘件等，为此，对变压器组部件故障情况加以总结、分析，提出一些改进建议是很有意义的。

据中国电力科学研究院 1995 年~2007 年《全国 110kV 及以上电压等级变压器类设备运行情况及事故统计分析》表明，变压器组部件事故次数约占总故障次数的 20%~45%，近年有上升的趋势。

在组部件故障统计中，主要统计了套管、分接开关、冷却系统、气体继电器、油保护装置、压力释放装置、保护误动拒动等故障类型。其中，套管故障、分接开关故障和冷却系统故障为主要故障类型，三种组部件故障次数占总故障次数的 90%以上。

在内容编撰过程中，得到了中国电力科学研究院、辽宁省电力有限公司、东北电科院等相关人员的大力支持，提供了大量珍贵资料，在此，对其辛勤劳动表示深切谢意。

目前，论述变压器组部件方面书籍较少，对变压器组部件的事故、故障统计分析方面的资料也比较欠缺，论述、分析的深度也不够，可供参考资料少，加之编者水平有限，对于事故、故障的分类和分析不一定完全准确，错误在所难免，诚望同行们斧正，编者深表感谢。

**编 者**

2009 年 8 月

# 目 录

## 前言

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  <b>第一章 套管</b>       | 1   |
| 第一节 变压器套管的一般知识                                                                                        | 2   |
| 第二节 套管事故故障统计                                                                                          | 9   |
| 第三节 套管事故实例与分析                                                                                         | 11  |
| 第四节 套管故障实例与分析                                                                                         | 27  |
| 第五节 加强套管技术管理的建议                                                                                       | 57  |
| 第六节 套管末屏事故典型实例                                                                                        | 60  |
|  <b>第二章 无励磁分接开关</b>  | 63  |
| 第一节 无励磁分接开关的分类和结构特点                                                                                   | 63  |
| 第二节 无励磁分接开关的故障统计与分析                                                                                   | 71  |
| 第三节 无励磁分接开关事故举例                                                                                       | 74  |
| 第四节 加强无励磁分接开关管理的建议                                                                                    | 79  |
| 第五节 无励磁分接开关典型故障事例                                                                                     | 81  |
|  <b>第三章 有载分接开关</b> | 86  |
| 第一节 有载分接开关的分类和结构特点                                                                                    | 87  |
| 第二节 有载分接开关烧损事故举例                                                                                      | 90  |
| 第三节 有载分接开关事故统计分析                                                                                      | 97  |
| 第四节 有载分接开关故障、异常举例                                                                                     | 98  |
| 第五节 有载分接开关故障异常的统计分析                                                                                   | 109 |
| 第六节 有载分接开关的过载能力                                                                                       | 112 |

|                                                                                         |                                    |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----|
| 第七节                                                                                     | 变压器有载分接开关保护装置设置 .....              | 114 |
|  第四章   | 冷却系统 .....                         | 118 |
| 第一节                                                                                     | 变压器冷却器和散热器 .....                   | 119 |
| 第二节                                                                                     | 冷却系统主要故障实例 .....                   | 122 |
| 第三节                                                                                     | 变压器冷却系统故障情况分析 .....                | 127 |
| 第四节                                                                                     | 强油循环风冷却器控制原理接线<br>存在的问题与改进措施 ..... | 130 |
| 第五节                                                                                     | 加强冷却系统技术管理的建议 .....                | 135 |
|  第五章   | 气体继电器 .....                        | 138 |
| 第一节                                                                                     | 气体继电器的结构和工作原理 .....                | 138 |
| 第二节                                                                                     | 气体继电器事故故障实例 .....                  | 141 |
| 第三节                                                                                     | 气体继电器非正常动作情况分析 .....               | 146 |
| 第四节                                                                                     | 加强气体继电器技术管理的建议 .....               | 150 |
|  第六章   | 储油柜 .....                          | 152 |
| 第一节                                                                                     | 变压器储油柜的主要结构型式 .....                | 152 |
| 第二节                                                                                     | 胶囊式储油柜主要故障举例 .....                 | 156 |
| 第三节                                                                                     | 储油柜油保护装置的改进 .....                  | 159 |
| 第四节                                                                                     | 金属膨胀式储油柜出现的主要<br>故障举例 .....        | 161 |
| 第五节                                                                                     | 加强储油柜技术管理的建议 .....                 | 161 |
|  第七章 | 绝缘油 .....                          | 163 |
| 第一节                                                                                     | 变压器绝缘油引起的故障情况统计<br>分析 .....        | 163 |
| 第二节                                                                                     | 变压器绝缘油引起的故障情况举例 .....              | 165 |
| 第三节                                                                                     | 互感器与绝缘油有关的故障统计 .....               | 167 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 第四节 加强绝缘油技术管理的建议 .....                                                                       | 168 |
| 后记 .....                                                                                     | 172 |
| 附录 A 1995 年~2007 年变压器组部件事故与故障<br>统计表 .....                                                   | 174 |
|  参考文献 ..... | 181 |

## 第一章

# 套 管

绝缘套管是变压器的最重要的组件之一，它包括油纸电容式套管、干式套管等。绝缘套管不仅担负着将变压器内部的高、低压绕组通过引线引接到油箱外部的出线装置，实现变压器与外部网络连接，同时还起着固定引线的作用。所以，对套管的制造和运行维护，必须满足电气强度和机械强度的双重要求。套管又是载流元件之一，变压器运行中将长期通过负载电流和短时过电流，因此必须具有良好的热稳定性，以能承受短路时的瞬间过热。

油纸电容式套管主要用于电力变压器、换流变压器和高压油浸电抗器中。变压器是电力系统中担负电压变换、电能传输和终端分配的重要电气设备之一，如果变压器套管存在缺陷或发生故障，将直接危及变压器的安全运行及其供电可靠性。由于套管制造和使用的特殊性，特别是高电压套管和大电流套管，出现供不应求的局面，有时成为影响变压器按时出厂和事故变压器及时修复的主要影响因素。对变压器套管状态的运行分析尤为重要。

变压器套管应具有体积小、重量轻、通用性强、密封性能好、内外绝缘性能优良和便于维护检修等特点。根据不同要求，套管可以采用不同的结构型式，我们的统计、分析主要是针对 66kV 及以上的油纸电容式套管进行的。近年来，有的变压器也采用了一些干式套管，这些套管在运行中也发生了不少问题，这里仅作简要介绍、不作详细分析。本书仅就油纸电容式套管的事故和故障加以统计、分析，并提出改进建议和防范措施。

## 第一节 变压器套管的一般知识

### 1. 套管的型号表示

一般用汉语拼音字头表示，具体含义如下：

第 1 位 BR—变压器用油纸电容型。

第 2 位 D—短尾，长尾不表示。

第 3 位 L—可装设电流互感器。

第 4 位 W—耐污型，普通型不表示。

第 5 位 额定电压。

第 6 位 额定电流。

第 7 位 特殊代号，用数字表示最小标称爬电比距：

1—16mm/kV，用于轻污秽地区；2—20mm/kV，  
用于中等污秽地区；3—25mm/kV，用于重污秽  
地区；4—31mm/kV，用于特重污秽地区。

例如，BRLW-220/1600-4 型，表示变压器用油纸电容式套管，可装设电流互感器，可用于污秽地区，额定电压 220kV，额定电流 1600A，特重污秽地区，爬电比距 31mm/kV。

### 2. 套管的分类

油纸电容式套管是以电容分压原理卷制而成的，电容芯子作为主绝缘，它的外部是瓷绝缘，中间注入合格的变压器油。

根据套管的结构、使用场所、使用环境和安装方式等，变压器套管分类如下：

按主绝缘结构可分为电容式和非电容式。电容式又可分为油浸纸、胶浸纸、胶粘纸、树脂浇注、气体绝缘或其他液体。非电容式可分为气体绝缘、液体绝缘、树脂浇注、复合绝缘。

按使用场所可用于变压器、电抗器、气体绝缘全封闭组合电器、穿墙套管、变压器—电缆终端、变压器—气体绝缘全封闭组合电器等。

按使用环境可分为户内、户外、户外—户内、户外—浸入式等。

按安装方式可分为垂直、水平、倾斜等。

根据外部绝缘介质不同又可分为油—空气套管、油—SF<sub>6</sub>套管、油—油套管（电缆引出）。

### 3. 套管的主要结构

油纸电容式套管典型结构见图 1-1。将套管主要结构及作用介绍如下。

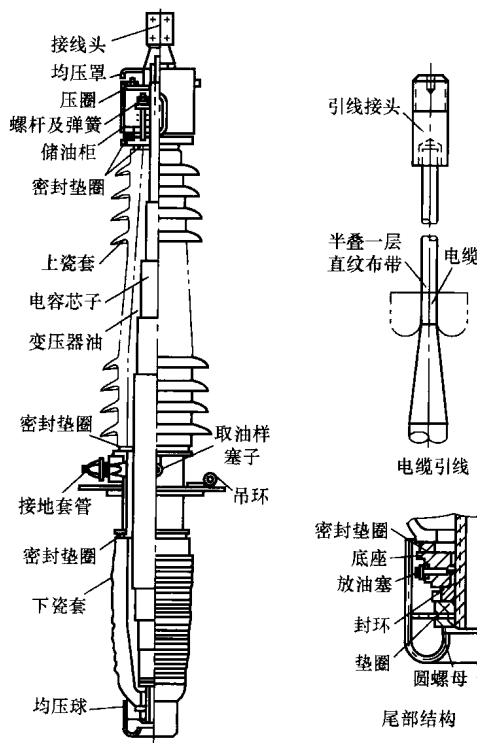


图 1-1 油纸电容式套管典型结构示意图

(1) 接线头（导电结构）。可分为穿缆式和导杆式，用于将变压器绕组引至外部并接入电网。

(2) 储油柜。由均压罩、压圈等组成。用于补偿套管内部绝缘油随温度变化引起的体积变化，指示运行油位，其内有将套管连接成一体 的螺杆及弹簧。

(3) 密封垫圈。用于各密封面的密封。

(4) 上瓷套。保证套管的外绝缘，应满足污秽和淋雨条件下可靠运行，一般为大、小伞裙结构，并应有足够的爬电距离和干弧距离。

(5) 电容芯子。套管的内绝缘结构，由高压电缆纸和导电铝箔组成，铝箔可以打孔或单面涂胶，它处于套管的中心，铜导电管处于额定电压电位。为保证套管电气强度在轴向和辐向的电压分布均匀，电容屏绝缘设计时考虑在轴向和辐向的电场强度尽可能均匀。

(6) 变压器油。充满套管瓷套内部，用于绝缘和散热。

(7) 接地套管。由测量端子和电压抽头组成。测量端子是由电容芯子的最外层电容屏经绝缘套管引出的，对地电容比较小，用来测量套管介损和电容量；在局部放电量测量时，用该电容屏对中间法兰的电容与电容芯子的主电容，形成分压器，用来测量变压器的局部放电量。电压抽头是由电容芯子的最外第二层电容屏经绝缘套管引出的，对地电容比较大，可以输出一定功率。测量端子和电压抽头布置在中间法兰上。套管经中间法兰固定在变压器油箱上，并可安装电流互感器。

(8) 下瓷套。在变压器油箱内部的外绝缘，其外表面可以带瓷裙或不带瓷裙。

(9) 均压球。在套管最下部，用于均匀套管尾部的电场。

(10) 取油样塞子。用于抽取套管内部的油样，有的套管不带取油样塞子。

图 1-1 中右下部为套管尾部结构的放大图。

#### 4. 接地套管（末屏）的主要结构

目前，在电网内运行的变压器套管，绝大部分是油纸电容

式套管，其套管的主绝缘电容屏结构无大差异，但用于末屏接地的接地套管结构则有较大区别。随着技术进步和制造工艺的提高，其结构也发生了很大变化。不管如何变化，在变压器套管运行中，套管末屏接地出现的问题还是占套管缺陷的绝大部分。据《国家电网公司系统 2000 年～2007 年 500kV 变压器和并联电抗器运行情况分析报告》统计，套管的缺陷及异常中，套管接头过热、渗漏油、介损或油介损超标和套管末屏接触不良故障位于前列，而前者通过远红外测试和感官等可以及时发现，但套管末屏接地不良等则难以在运行中发现。末屏接触不良一旦发展，其后果十分严重。因此，高度认识末屏接触不良会给设备安全运行带来严重危害，积极开展对其监测的研究，十分必要。

套管末屏常见结构方式有以下几种：

- (1) “接地片式”套管末屏接地装置外形见图 1-2。

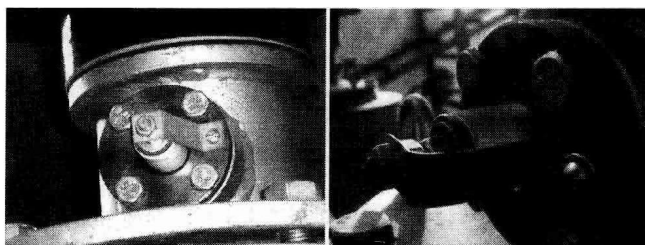


图 1-2 “接地片式”套管末屏接地装置外形

- (2) “顶针式”套管末屏接地装置外形见图 1-3。

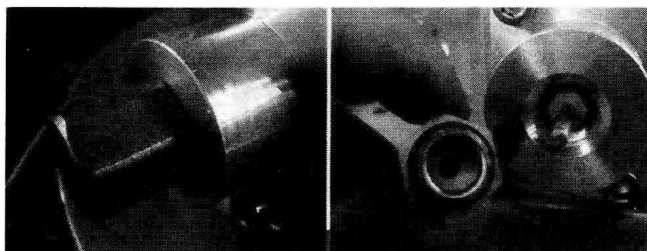


图 1-3 “顶针式”套管末屏接地装置外形

(3) 原“雷诺尔”套管末屏接地装置外形见图 1-4。

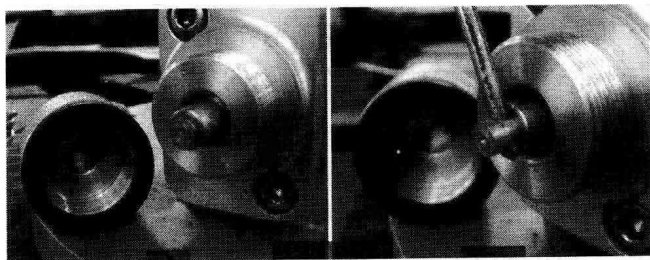


图 1-4 原“雷诺尔”套管末屏接地装置外形

(4) “弹簧压紧式”套管末屏接地装置外形见图 1-5。

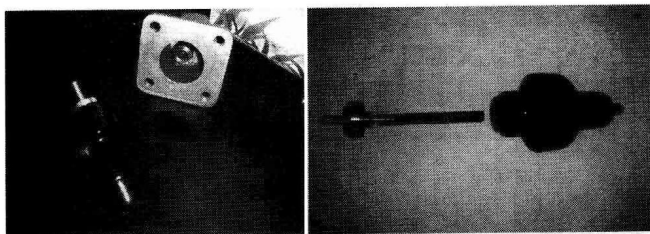


图 1-5 “弹簧压紧式”套管末屏接地装置外形

(5) 英国“雷诺尔”套管末屏接地装置外形见图 1-6。

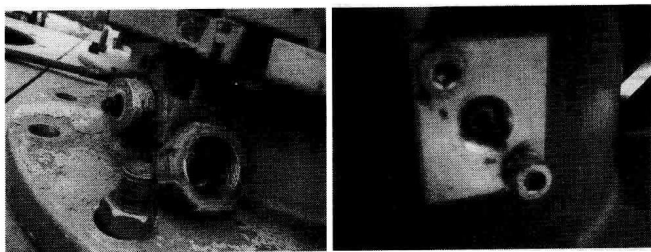


图 1-6 英国“雷诺尔”套管末屏接地装置外形

(6) “焊接与机械压紧”结构套管接地装置外形见图 1-7。

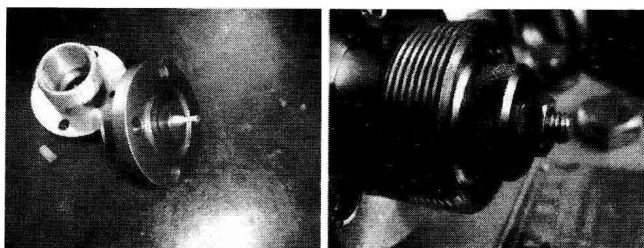


图 1-7 “焊接与机械压紧”结构套管接地装置外形

(7) “弹簧径向压紧式”套管末屏接地装置外形见图 1-8。

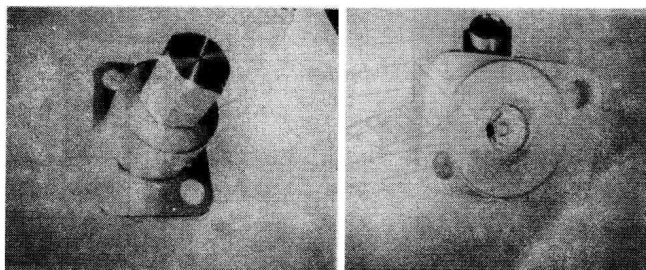


图 1-8 “弹簧径向压紧式”套管末屏接地装置外形

(8) “弹簧轴向压紧式”套管末屏接地装置外形见图 1-9。



图 1-9 “弹簧轴向压紧式”套管末屏接地装置外形

(9) “弹簧轴向压紧式”套管末屏接地装置示意图见图 1-10。

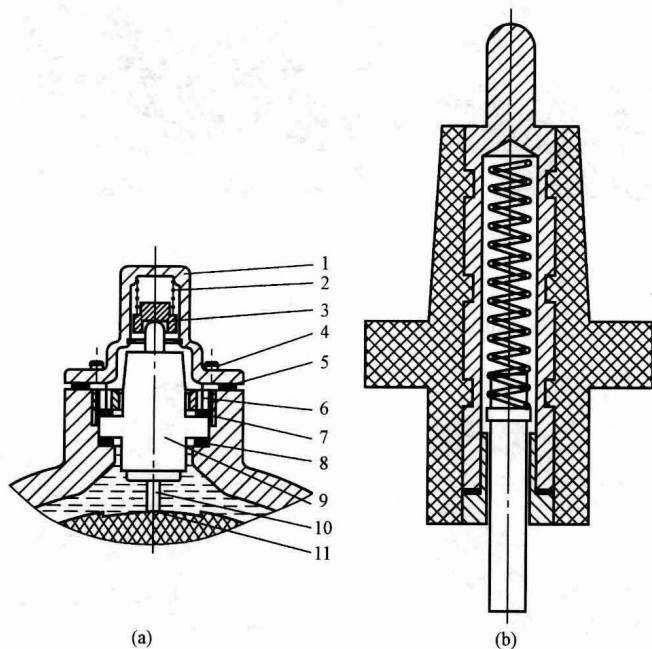


图 1-10 “弹簧轴向压紧式”套管末屏接地装置示意图

(a) 测量装置结构；(b) 抽头绝缘子装置结构

1—引线护罩；2—弹簧；3—弹簧压头；4—螺钉；

5—橡胶垫圈；6—压圈；7—大垫圈；

8—橡胶垫圈；9—抽头绝缘子装配；

10—弹性触头；11—套管末层电极

注：1. 拧掉螺钉 4，即可取掉引线护罩进行套管测量；

2. 套管运行时必须安装好引线护罩，使其可靠接地。

(10) “弹簧径向压紧式”套管末屏接地装置示意图见图 1-11。

(11) “接触板式”套管末屏接地装置示意图见图 1-12。

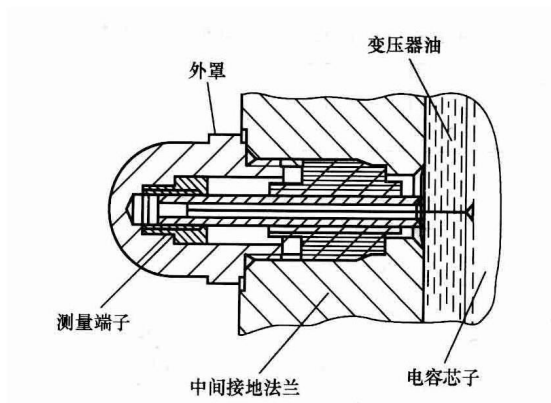


图 1-11 “弹簧径向压紧式”套管末屏接地装置示意图

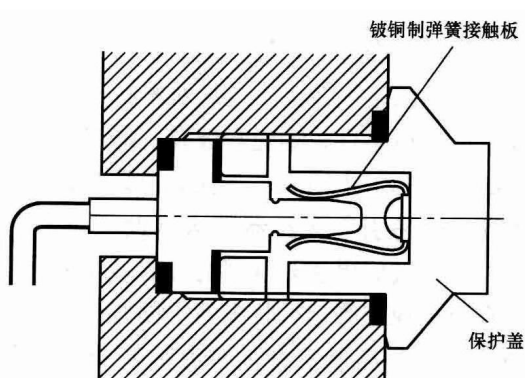


图 1-12 “接触板式”套管末屏接地装置示意图

## 第二节 套管事故故障统计

据中国电力科学研究院 1995 年~2007 年《全国 110kV 及以上电压等级变压器类设备运行情况及事故统计分析》的多年统计，变压器套管事故占全部变压器事故的比例并不是很大，但它有逐年增加的趋势。近年来，运行中的套管事故次数见表 1-1 及图 1-13。