

管型避雷器

王 紹 祺著

水利电力出版社

862

管型避雷器

王 德 編著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書对管型避雷器的性能、構造、用途、選擇等，作了系統地介紹。書中內容不僅介紹有關管型避雷的一般資料，當中也有一些尚未發表的論點和數據等，以供讀者參考。為了讀者的方便，書末還有若干參考附錄。

本書主要適用對象是具有初中文化水平的中、高級電工，對一般工程技術員和防雷工作者也有參考價值。

管 型 避 雷 器

王 紹 祺 著

*

1167D335

水利電力出版社出版（北京西便門外大街二號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第106號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 3 印張 * 62 千字

1958年12月北京第1版

1958年12月北京第1次印刷(0001—4,100冊)

統一書號：15143·974 定價(第9類)0.33元

前 言

随着我国工业建设和农业合作化的迅速发展，电力网也有着很大的发展，电业系统不但要大力补充新电源来满足用户的需要，还应保证电力网具有供电的持续性和可靠性。电力网的防雷保护就是为了满足这一要求而设的有力措施之一。防雷保护在我国电力网的运行与设计中已一天比一天重视起来。在过去旧电网中防雷保护装置是非常薄弱的，经常发生事故，给国民经济带来很大的损失。所以，加强电力系统的防雷工作在当前是我国电力工业反事故工作中的最主要内容之一。

根据避雷器构造原理的不同，避雷器可分为阀型和管型两种。本书着重介绍苏联制造的管型避雷器。

本书是以国内外经验和自己在训练班的讲课笔记编写的，主要是介绍管型避雷器的性能、构造、用途、选择、安装、巡视、检查、试验和检修等。但由于本人经验不足，理论水平低，所以书中内容难免有些缺全，甚至有错误。欢迎读者批评。

著 者 1958年6月

目 录

前言

第一章 管型避雷器在电力網中的运用	4
第一节 管型避雷器的簡單工作原理	4
第二节 管型避雷器的用途	5
第二章 管型避雷器的構造	15
第三节 管型避雷器的参数	15
第四节 纖維电木管型避雷器	18
第五节 塑膠管型避雷器	27
第六节 有机玻璃管型避雷器	33
第三章 管型避雷器的特性	35
第七节 管型避雷器的电压等級	35
第八节 管型避雷器的截断电流	37
第九节 管型避雷器的伏秒特性	41
第四章 几个問題	48
第十节 反击問題	48
第十一节 接地問題	50
第十二节 要不要在开关外面綫路側安裝管型避雷器(PT_2)	54
第十三节 管型避雷器作为小容量变电所唯一的进綫保护	60
第五章 管型避雷器的安裝	64
第十四节 管型避雷器的安裝图例	64
第十五节 管型避雷器的安裝原則	72
第十六节 PT 的安裝方法和步驟	78

第六章 管型避雷器的运行.....78

第十七节 管型避雷器的搬运和保管.....78

第十八节 管型避雷器的巡视与检查.....78

第十九节 管型避雷器的维护.....80

第二十节 管型避雷器的试验.....81

第二十一节 管型避雷器的检修与淘汰.....82

附 录

(一)仿捷式DF型管型避雷器.....84

(二)PTΦ的运行规程.....86

(三)PTΦ的涂漆.....87

(四)更换PTΦ纖維管.....90

(五)采用电晕电极作为管型避雷器外部火花间隙的研究.....91

(六)管型避雷器的试验 *.....92

第一章 管型避雷器在電力網中的運用

第一节 管型避雷器的簡單工作原理

管型避雷器（簡称为 PT，以下簡称 PT）同棒形間隙的不同点是：管型避雷器的間隙封閉在一特殊材料制成的圓筒里，一端封閉並接到導線上，而另一端開口，同其他兩相的 PT 的“另一端”一起接地，如图 1。

帶有几千或十数万庫侖電荷的雲層，由于它對地面的電場強度大於空氣絕緣強度，擊穿了空氣而形成了對地的導電通路。如果這通路經過電力設備，那麼，在這電力設備上，不僅有由于帶電雲層的靜電感應而產生高於該電力設備的工作電壓很多倍的感應過電壓，還由于這一雲層對電力設備放電，而產生更為危險的直擊雷過電壓。顯然，這種過電壓由零上增到最大值的過程，只有幾個微秒，亦即這種沖擊波的陡度和振幅都很大，尤其是陡度（電壓增高的速度）在理論上講可達無限大（即直角波），如果這設備附近安裝有 PT 保護的話，那麼在 PT 間隙 l 上（見圖 1）所受到的電位梯度，就能擊穿其間的空氣，此後，設備上承受到的雷電流就泄入大地。當然，繼之而過的是工頻短路電流。但也只有如此，才可能在 PT 內腔維持電力電弧的燃燒，產生約 2000°C 的高溫，使包圍內間隙 l 的材料——消弧管分解出大量的氣體，管體的一端是密封着的，另一（接地）端有一小孔，這樣，就使得大量氣體集中在管內，當氣體壓力

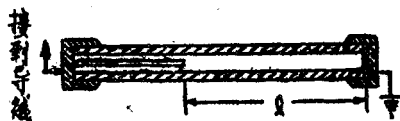


圖 1 管型避雷器的構造原理圖

很大时电弧和气一块儿从 PT 的开口端喷出，吹断了电弧。这时候，PT 内间隙 l 中的气体将要恢复它的绝缘，并且是按着某一个速度来恢复的，同时内间隙 l 上的工作电压也按着它自己的恢复速度增高；如果绝缘恢复速度大于工作电压恢复速度和 PT 的放电电压值大于电网恢复电压值，那末该电力设备便恢复它的对地绝缘，也就是恢复正常的工作状态。对于 PT 来说，它完成了自己的任务——放电和吹弧。

根据电力系统运行方面（如稳定、继电保护）的要求，PT 由放电到灭弧的全部过程，应该不超过 $0.01 \sim 0.02$ 秒。其整个工作的示波图如图 2。 t_1 之前是正常工作状态，假定工作电流为零； t_1 至 t_2 是 PT 放电后和喷气前的时期，也即 PT 在工频短路电流燃弧下产生气体的时期，这时电网电流最大，而工作电压几乎降到零。 t_2 就是喷气灭弧的瞬间； t_2 之后，电网又恢复它的正常工作状态了。 t_1 至 t_2 的时间约 $\frac{1}{2}$ 工频周期。

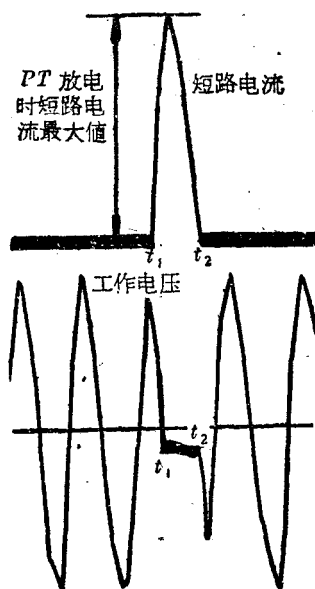


图 2 管型避雷器的工作示波图

第二节 管型避雷器的用途

从上节可知，受 PT 保护的设备是允许遭受雷击的，不过要求 PT 迅速、可靠地动作将受雷击的设备上的雷电流放掉。

由于发电厂和变电所内的电力设备比较集中，一般不用 PT

保护；而以避雷針和避雷綫作直击雷保护的。对于 110 千伏以下的架空輸电綫路，或者不讓雷電波由綫路傳到变电所去，才采用 PT。事实証明这是最經濟最有效的保护裝置。但是近几年的运行經驗又証明了，过去以 PT 作輸电綫路的全綫防雷保护的方式也是不够正确的，因为：

1. 如果全綫采用 PT 来作防雷保护，則其投資一定要超过木杆綫路添架避雷綫的費用。超过的程度和 PT 的保护方式有关（文选 1），如果不是每杆每相都裝以 PT 的話，还会經濟些（見表 1），但保护效果大大降低了。

2. PT 本身也是高压設備，它的安裝、調整、拆換等大多是要靠停电来做的，并且，PT 的巡視檢查工作也給运行維護上增添了許多麻煩。

3. PT 仅对自己所屬的安裝杆塔防止雷击才有作用，当雷落在其鄰近的杆塔上时，很可能還沒等 PT 放电，落雷杆塔上的絕緣就先閃絡甚至击穿（当然，这还和雷电流的大小有关）。

4. 在一連几基杆塔上，如果都設有 PT 保护，而雷正好打在当中一个杆塔上，这时被击的杆塔上 PT 虽然动作，但由于导綫电感很大，雷电流很少分向兩側經過相鄰的 PT 动作而泄入大地，也即 PT 的分流作用是很坏的。那末，这一雷电流仅依靠落雷杆塔的一組 PT 放电，使得在极窄的管內的电弧产生較高的电弧压降，增加了網絡电压恢复速度而超过 PT 的絕緣恢复速度。因此电弧可能重燃，或維持数个半周波（据实验統計，最严重达 20 个半周波），这一較長短路時間很有可能引起开关跳閘，苏联 110 千伏系統的这种跳閘竟占該系統毒害事故 7%（見表 2）。

5. 在全綫裝有 PT 的綫路上，某几个 PT 如果先后接連遭受雷击，它們也就会接連动作，也即綫路处于短路状态的时间，

表1 管型避雷器作全綫保护和全綫用避雷器作保护的投資比較（根据16个运行單位的运行經驗）

管型避雷器的保护方式	全綫管型避雷器保护占全綫避雷綫保护的投資比(%)
66千伏綫路每杆每相都裝	226
110千伏綫路每杆每相都裝	200
13.8及46千伏綫路获有避雷綫保护指标相同时	110~130
115千伏綫路每杆每相都裝	100
33千伏綫路每3基或4基杆塔安一組	100
每杆只在上层导綫安一个（27千伏三角排列导綫的綫路）	95
69千伏H型杆的綫路，每3或5基杆塔安一組	85~95
24千伏导綫平行排列的綫路，每杆每相都安	85
66千伏綫路每3基一組	75
115千伏綫路，每3基一組	67
110千伏H杆有一根避雷綫的綫路，只在兩側导綫上安裝	50
115千伏三角排列导綫的綫路只在上层导綫上，每3基杆塔安一个	25
23和66千伏三角排列导綫的綫路，只在上层导綫前者每基杆塔安一个；后者每3基杆塔安一个	25
115千伏綫路每5基杆塔安一組	15~22
34.5千伏綫路每15基杆塔安一組	15~22

是它們先后动作時間的总和。当然，这时間很有可能大于开关跳閘的时间，由此引起的跳閘据統計約占无避雷綫的110千伏和35千伏綫路雷害事故的各20%（見表2）。

6. 可以想象，如果由于某种原因造成PT表面閃絡而建立稳定电弧，会引起綫路跳閘，甚至自动重合閘也不会成功的。这种閃絡，根据运行部門的分析，有下列两个原因：第一，由于PT外表不清洁，如有尘污并受潮后而引起的。为避免这种

閃絡，应及时清除PT表面，因为运行在露天当中的PT 不受潮是不可能的，而这种閃絡，只有在污穢与潮湿結合才有可能。

第二，由于内部間隙增大而引起的。因为PT 在运行期中，多次动作后内間隙会逐渐增加。一般的試驗要求是：当内間隙長度为管体上兩金屬端头間距离的50~60%时，在冲击試驗电压作用下管体不应閃絡；如为40~45%时，則要求在工頻試驗电压下也不閃絡。当超过上述百分数时，則將不能保証在大气或操作过电压下管体不会閃絡。因此，为了某种需要（如PT 額定电压嫌小，或上限电流不够）將内电极增大，是应当注意上述現象的。文献2介紹，以PTΦ-110为例，它的内間隙在350公厘时，無論气候干燥和霧雨，將会局部和全部放电，当改小到300公厘时，才不致放电。

7. PT本身有很大破損可能性，如外壁是电木管的話，它的外表漆皮擦破后，潮气就会侵入管腔；外壁是有机玻璃的話，容易受驟然冷热而脆化或軟化；下限电流很小的PT（如PT-

$\frac{110}{0.4-3}$ ）受到强大的雷电流冲击；安裝地点的短路电流很

大，动作次数又多；还有PT 套头与支持金屬箍脱离等等都会引起PT损坏。这些损坏，对全綫路采用PT 为防雷保护的輸电綫路來說，將帶來很多的、時間很長的停电事故（文选2）。这类事故約占无避雷綫的110千伏和35千伏綫路雷害事故的各为44~48.3%和15%。1946~1948年，苏联的兩個电力系统各种雷击綫路跳閘的百分比，列于表2。由表中可看出，110千伏綫路的雷击跳閘次数，以PT 损坏而引起的跳閘为最多（44%至48.3%），如果將20%和7%由于繼电保护动作時間配合不当的非选择性的跳閘加上，那么，可以講，这两个110千伏的电力系统的雷击事故，大部分是PT引起的。

根据苏联中央科学研究所的资料，苏联各电力系统PT的损坏量占运行中的2~4%；或占安装数的0.2~0.3%。而美国的损坏量则更大，占安装数的0.5~1.5%。

表2 由PT引起的雷害事故的比重①

序号	跳 閘 原 因	电 力 系 统 I				电 力 系 统 II	
		110 千 伏		35 千 伏		110 仟 伏	
		跳閘次数	占(%)	跳閘次数	占(%)	跳閘次数	占(%)
1	綫路絕緣閃絡	5	20	10	50	5	17.6
2	PT损坏	11	44	5	15	14	48.3
3	繼电保护动作同 PT放电时间配合 不当的非选择性 跳閘	5	20	4	20	2	7
4	其它，原因不明	4	16	3	15	8	27.5
	合 計	25		20		29	

①該兩系統的綫路都是指无避雷綫的綫路。

苏联1946~1948年管型避雷器损坏的数目与性質列于表3。

表3 某电力系统PT损坏的統計

年 份	內間隙电极开裂		金屬尖端破坏		外 表 閃 絡	
	110 千伏	35 千伏	110 千伏	35 千伏	110 千伏	35 千伏
1946	3	4(PTO 2个 PTΦ 2个)	2	—	1	—
1947	—	—	1	—	1	1
1948	1	1(PTO)	—	—	1	—
总 計	4	5	3	—	3	1

PT的各种损坏形式，国外曾有人統計过，大約75%的运行部門，管体裂紋的损坏为最多。各种电压級的PT的损坏部

位和运行系统的PT百分数列在表4。

表4 PT各种损坏部位占运行系统中的PT百分数

占运行部门的 电压级(千伏)	PT的损坏形式 的百分数	内 間 隙 腔 开 裂	内 电 极	管 体 裂 紋	外 表 面 閃 絡	其 它	不 明	附 注
13~35.5		41	41	75	32	24	17	根据12个运行部门的统计
44~66		20	32	70	32	14	7	根据14个运行部门的统计
110~138		20	—	58	11	20	11	根据9个运行部门的统计

綜合上述，PT在全綫路安裝引起的綫路每年每100公里的跳閘次數，苏联曾作过統計（文选18），图3就是这一关系。

以上所講的理由，就是苏联1954年和我国1956年出版的过电压保护导則要取消原来规定采用PT作全綫路 防雷保护 的原因。

全綫采用PT防雷保护，虽然有那么多的缺点，但它用在下列地点作为防雷保护，不仅是令人滿意的，而且是最可靠和经济的办法。

1. 一般木杆綫路都不采用避雷綫，而是依靠木質絕緣建弧比較困难的关系来达到防雷要求。当然囉，其中个别鉄塔放电电压較低且建弧率很高，这就破坏了全綫木杆絕緣的耐雷指标。因此我們在絕緣比較弱的地方，如前面講的鉄塔等处安裝PT，对保持全綫耐雷指标是特別有效的。

2. 各种电压等級的送电綫，尤其是110千伏无避雷保护的木杆綫路的互相交叉或与通訊、信号綫等弱电綫交叉，如果交

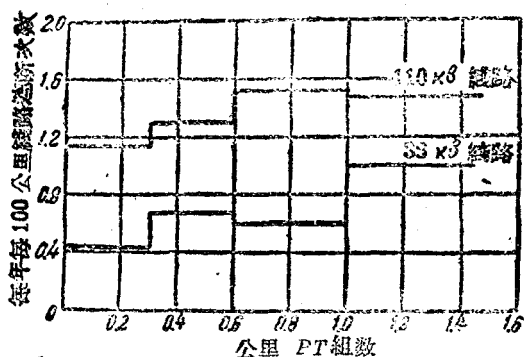


图3 35~110千伏木杆线路遮断次数与每公里安装PT的组数关系

叉点的垂直距离小于下列规定数值

3~4 千伏: 4公尺

20~110千伏: 5公尺

154~220千伏: 6公尺

那就要在交叉档距内的最上层线路的两端安装PT。这里提出只是在上层线路安装PT, 是针对交叉档内落直接雷来考虑的, 因为直击雷绝大部分落在上层导线上。

假如交叉点至最近杆塔距离不大于40公尺的话, 在另一端就可以不装PT。

3. 在许多大档距, 如跨越河流山谷的杆塔, 它们的耐雷水平要求比一般线路高。如

电压级	一般线路	跨越线路
220千伏	200千安	200千安以上
154	150	200
110	125	150
66	100	125
22	75	100

这是因为高塔感应过电压高，落雷机会多，雷电流值大和事故处理困难的緣故。因而就需要增加一定数量的磁瓶和降低接地电阻值（約5欧）。可是在已有的杆塔上再增加磁瓶或是降低接地电阻是很困难的。因此（若綫路沒有避雷綫更加严重）在跨越档的兩端杆塔上安裝PT来加强保护是很必要的。PT的安裝必須直接安裝在被保护杆塔上，否則效果不大甚至无效。

4. 对全綫未安裝避雷綫的綫路，为了保护变电所的设备，需要在变电所进出口兩端裝設以相当长度（如图4）的避雷綫，以及三相一組PT。这样即使雷落在进綫首端，由于PT₁的放电，就不致有危險波傳入所內。

5. 对于35及22千伏降压变电所的3~10千伏配电綫路，如果在出綫部分也架設避雷綫的話，由于它的絕緣水平比較低，这样就是雷落在避雷綫上也会有反击，危險波仍然要侵入变电所內。因此，就不應該用避雷綫，只要把一組PT₁按在距PT₂100~200公尺的地方就可以了（参考文献12和第四章第十三节）。

如果出綫部分有用电綫段的

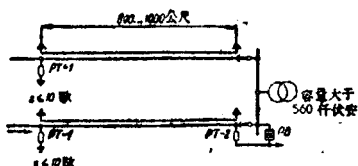


图4 在变电所进出口的避雷綫尽头安裝PT

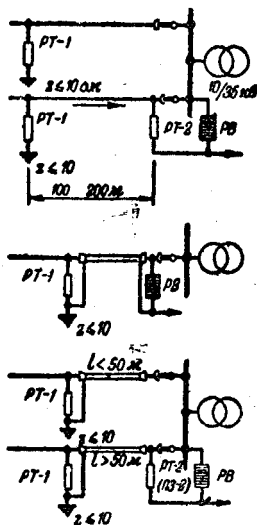


图5 3~10千伏配电綫的变电所出綫保护

話， PT_2 的接地引綫还应联向電綫的外皮，如图 5。

6. 目前許多杆上变压器往往受到直击雷，連同保护变压器的閘型避雷器一起击毀；这种現象在郊外配電綫路上更为严重。为了改善保护，建議在这种地方最好安裝 PT。

順便指出兩点：閘型避雷器着雷时的爆炸，可能是由于雷电流太大（超过 5 千安^①），或者是由于沒有及时遮断工頻續流。受保护的杆上变压器会在雷击时击毀，显然是由于 PT 放电时的电压降，超过了杆上变压器的許可冲击絕緣强度的关系。

另一点， $PT-\frac{6}{0.3-7}$ 型的管型避雷器，由于它的內間隙有 130 公厘（比一般的大），伏秒特性很陡，对于柱上变压器的保护不太合适。

从上面的推断和下面第四章第十二节的敘述，所以建議在 22 千伏或 35 千伏小容量变电所（例如农村变压所）出口沒有避雷綫的綫路上，在第 2~3 基杆上，安裝 PT 来限制危險波的侵入。但是这种保护方式的可靠性还有待运行經驗的証实。

7. 对那些經常开路的开閉所，或配電綫路上的常开柱上油开关，如图 6 所示安裝一組（假定雷電波只能来自一側，否則应安裝兩組）PT，以保护开路状态下的开关的絕緣。因为最严重的情况下，过电压波在这里会升高一倍，并且开关的相間絕緣是很薄弱的。

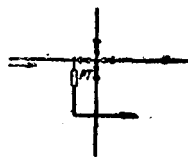


图 6 PT 保护常开的綫路开关

8. 对 35 千伏以下的綫路，如果导綫是三角形排列，則上层

① 該值是旧式閘型避雷器的允許冲击电流（高电压工程，解广潤等譯下冊 499 頁）：美国制的配電和綫路型的閘型避雷器則为 65 千安（波形为 5/10 微秒）；苏联 PBC 則为 50 千安（波形为 7/14 微秒）；中国仿苏 PBC 則为 14 千安。

导綫着雷可能性最大，因而可以把它看成避雷綫，有保护下层导綫的作用，这样仅在上层导綫上安一个 PT 就可將雷电流泄入大地。关于 PT 能否在小电容电流（35 千伏电压級以下大多为中性点絕緣）下灭弧問題，由試驗証明：在 20~35 千伏电容电流不大于 15 安；6 及 10 千伏不大于 80~90 安是可以的。

这样的保护方式还是有缺点的，这些缺点的根源是在于 6~35 千伏电網本身絕緣太低和綫間距离太近，使得 PT 动作后上层导綫仍有对下边兩相导綫閃絡的可能，不过运行經驗証明了，即使它們相距不足 1 公尺也很少見到这种事故。所以在上层导綫上安裝一个 PT 的方法来保护多雷地段是很好的。当然，这一方法推广到作为进綫 PT，或全綫采用 PT 来保护是有象上面講过的缺点的。

9. 在强雷和多雷地区的无避雷綫的輸电綫路，多安裝一些 PT 也是适宜的措施。所謂强雷和多雷地区也可这样来理解：根据多年統計所确定的選擇性雷击的綫路。

PT 还是用来保护直接連至架空配电綫路上的发电机的主要元件，但是还必须配合有一定的保护結綫方式，才能保証其效用。

最后，对有快速切断繼电保护裝置的綫路，为了避免 PT 放电而引起誤动作，必須將快速切断繼电器的动作時間，由 0.5 周波增大到 1~4 周波，显然这对系統稳定來說是不受欢迎的。

由于在这些最容易发生雷害的特殊地方安裝了管型避雷器，使全綫的运行可靠性大大提高，表 5（文选 1）即为各种电压級網絡安裝管型避雷器后，每年 160 公里（即 100 英里）跳閘次数的比較，这是根据 6 条 13、35.5 千伏，6 条 44、66 千伏和 4 条 100、138 千伏的綫路运行經驗統計来的。它告訴我們，由