

# 变电站二次防雷研究

杨先义, 黄文龙, 陈立

成都电业局, 四川省成都市 610021

**摘要:** 本文针对变电站二次设备雷击损坏严重的现状, 分析了雷电入侵二次设备的途径, 探讨了提高变电站二次防雷水平的解决方案。

**关键词:** 变电站; 微机保护; 自动装置; 雷电; 防雷器

## 1 问题的提出

随着技术水平的不断提高, 各类先进的电子设备广泛地运用到了各电压等级的变电站内。伴随各种微机保护和微机监控系统在变电站的大量推广应用, 变电站二次防雷问题逐渐引起重视。一方面由于电子设备内部结构高度集成化, 造成设备耐压、耐过电流的水平下降, 对雷电(包括感应雷及操作过电压浪涌)

的承受能力下降; 另一方面由于信号来源路径增多, 系统较以前更容易遭受雷电波侵入, 使得变电站电子设备因雷击原因损坏占设备损坏的比例高达 50%以上。近年来, 每到夏天雷雨季节, 成都电业局各综合自动化变电站往往因二次设备被雷击损毁而缺陷频发, 使得维护检修人员疲于奔命, 难以应付, 同时又给电网带来了严重的安全隐患。因此, 如何提高变电站二次防雷水平, 作为一个迫切需要解决的问题摆在我们面前。

## 2 现有数据统计分析

以下为 2004 年夏季成都电业局某继保班所辖变电站遭受雷击造成二次设备毁损的统计数据。

表 1 2004 年变电站二次设备雷击损坏统计

| 变电站 | 故障现象                             | 毁坏元件  | 停运小时 | 设备型号     |
|-----|----------------------------------|---|------|----------|
| 府青路 | 全站监控通信瘫痪                         | 总控 485 接口芯片和多个从控 CPU 板损坏                          | 6    | BJ-3     |
| 府青路 | 站端监控通信中断                         | 总控通信接口板上 RS232 芯片损毁                               | 3    | BJ-3     |
| 府青路 | 站控两端监控通信异常                       | 多个从控板 485 芯片损坏                                    | 5    | BJ-3     |
| 府青路 | 微机保护通信中断                         | CM90 保护通信管理机通信接口板损坏                               | 24   | LFP900   |
| 府青路 | 监控通信异常                           | 两个从控插箱电源板损坏                                       | 6    | BJ-3     |
| 兴隆  | 站控两端监控通信中断                       | 总控 COMI 和 COMII 通信接口板故障, 5 个从控板 485 芯片损坏          | 24   | BJ-3     |
| 兴隆  | 10kV922 开关监控通信异常                 | 监控电源损坏  | 6    | BJ-F3A   |
| 兴隆  | 控端通信中断                           | COMI 接口板损坏, 1#从控单元 485 芯片损坏, 后台机串口损毁, 1#主变数采变送器损坏 | 36   | BJ-3     |
| 大田  | 五防机与总控通信中断                       | 总控 RS232 通信串口损坏                                   | 3    | DISA-2   |
| 大田  | 站端监控机通信中断                        | PGQ-3A 光隔驱动器损毁                                    | 3    | DISA-2   |
| 大田  | 10kV910、914、924、934、936 开关保护通讯异常 | 相关保护 ISO238 通信芯片损坏                                | 64   | DISA-2   |
| 新二村 | 控端通信中断                           | 总控上两个通讯插件 SIO 板损坏                                 | 3    | DISA-2   |
| 柳城  | 控端通信中断                           | 总控通信接口板上 RS232 芯片损毁                               | 4    | BJ-3     |
| 柳城  | 2#变中后备通信中断                       | 保护管理板上 ISO236 通信芯片损坏                              | 3    | LFP900   |
| 王场  | 全站监控通信瘫痪, GPS 时钟显示不正常            | 总控 COMI 和 COMII 通信接口板故障, MCPU 板故障; GPS 接口板损坏      | 36   | BJ-3     |
| 光明  | 站端监控后台机通信中断                      | 总控与后台机通信串口都被损坏                                    | 24   | JBK-3400 |

续表

| 变电站 | 故障现象                | 毁坏元件  | 停运小时 | 设备型号    |
|-----|---------------------|---|------|---------|
| 大丰  | 全站监控通信瘫痪            | 多个从控 CPU 板 485 接口芯片损坏, COMI 控端 RS232 接口芯片损坏 | 6    | BJ-3    |
| 大丰  | 站控两端通信异常            | COMI、COMII 板故障                              | 5    | BJ-3    |
| 太和  | 全站监控通信瘫痪            | 总控电源板上两个稳压管毁坏                               | 8    | DISA-2  |
| 太和  | 旁路 290 保护通信中断       | 保护管理板上 ISO236 接口芯片损坏                        | 4    | LFP900  |
| 圣灯  | 10kV 910、912 测控通信中断 | 测控单元 CPU 板损坏                                | 36   | NSA3101 |

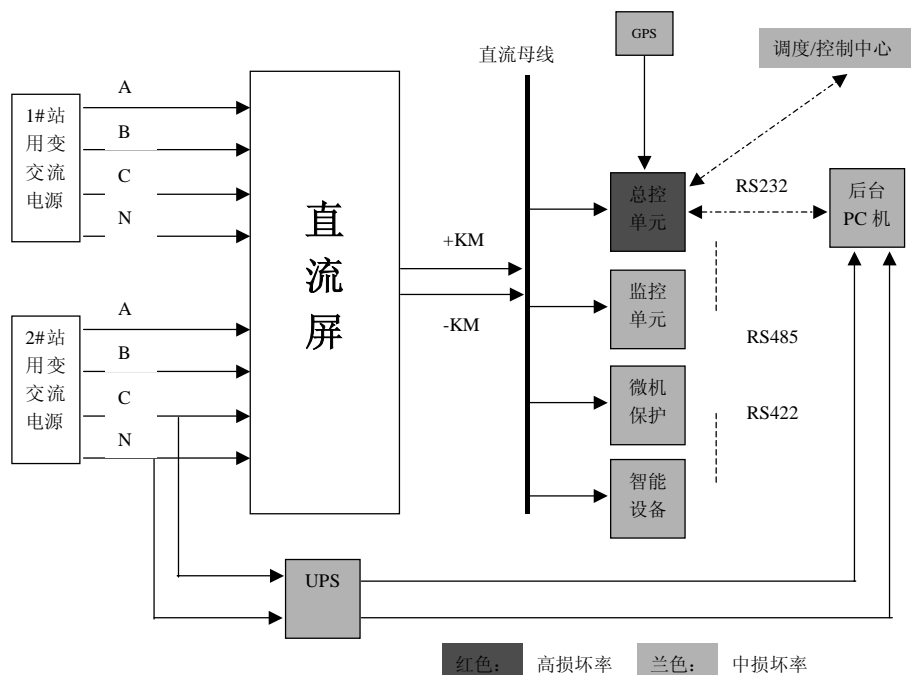
从统计数据可以看出,二次设备的损坏呈现变电站多、分布面广、设备损坏数量与厂家设备套数成正比的特点。

导致二次设备被雷击损坏的可能原因是二次设备产品自身制造质量问题吗?从二次设备制造质量来分析,现在无论哪个厂家的微机保护和微机监控装置,其设备电磁抗扰性至少符合以下试验等级要求:GB/T 14598.10—1996《量度继电器和保护装置的电气干扰试验——快速瞬变干扰试验》III级、GB/T14598.14—1998《静电放电试验》III级、GB/T14598.13—1998《1MHz

脉冲干扰试验》III级等要求,有的厂家部分指标甚至达到IV级。因此,二次设备产品自身制造质量并没有问题。此外,设计院对变电站接地网的设计符合电力部《DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》,接地符合要求。

关于建筑物的防雷规范,有相应的国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB50057—1994)可循;针对电力系统的一次防雷,也有一套完善的措施规范;但是现在并没有相关的变电站二次设备防雷措施规范出台,因此,变电站二次防雷现在还处于盲区。

图 1 变电站二次设备被雷击损坏几率图



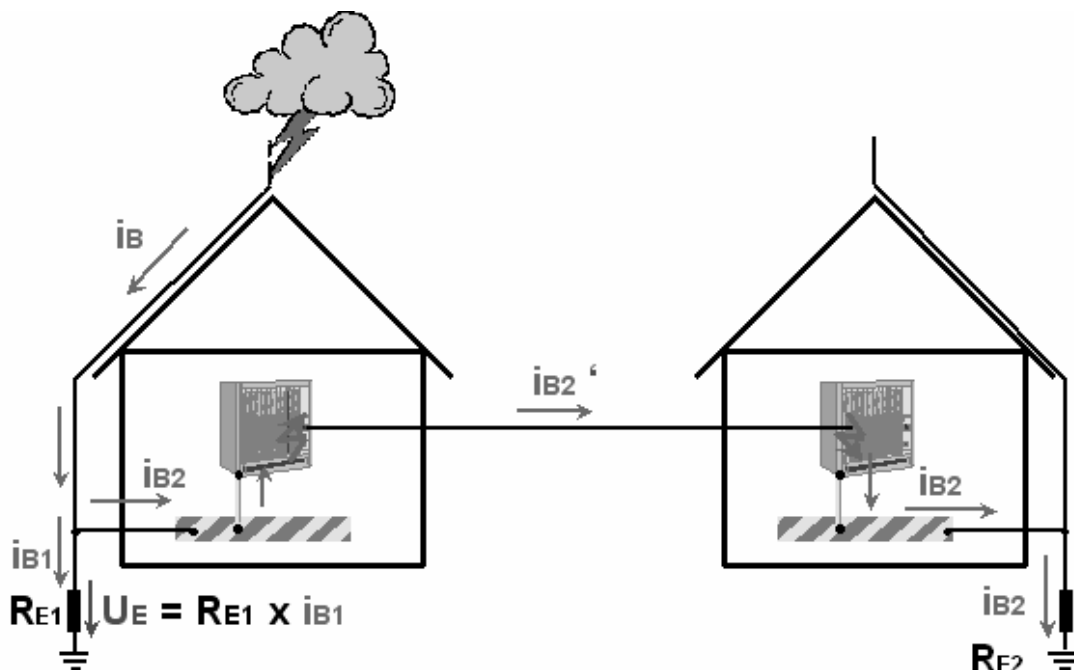
### 3 雷电对设备损坏能量的分析

近些年来由于高新技术的发展,尤其是电子技术的飞速发展,推动了电子用电设备的普及和应用,其中借助计算机系统信息进行信息处理、数据处理、自动化控制、网络通讯、设计开发等,大大提高了人们的工

作质量和效率,但随之而来的问题是,先进的电子设备包括电子计算机耐受过电压、过电流的能力相对较低,同时也缺乏必要的雷害防护技术措施,另外,在现代高新技术电子产品的生产中大量采用了大规模及超大规模的电子集成电路制造技术,且集成的程度越高,内部的线间距离越小,则元器件的耐压程度也



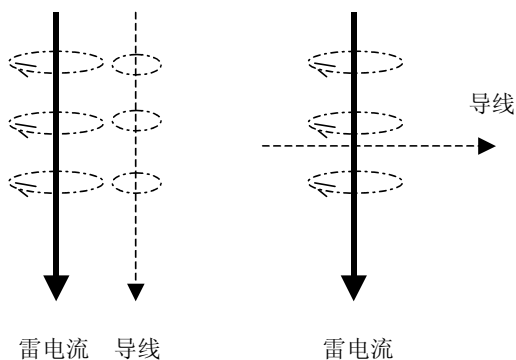
图3 地电位差引起的雷击损坏



### 4.3 感应雷

直击雷放电的能量通过电磁感应和静电感应方式向四周辐射，导致设备过电压放电，则为感应雷。感应雷虽然没有直接雷猛烈，但其发生的几率比直击雷高得多。感应雷的破坏也称为二次破坏。雷电流变化梯度很大，会产生强大的交变磁场，使得周围的金属构件产生感应电流，这种电流可能向周围物体放电，如附近有可燃物就会引发火灾和爆炸，而感应到正在联机的导线上就会对设备具有强烈的破坏性。按电磁感应原理，如二次设备之间的联结导线与流过强大雷电流的金属构件平行排列，则产生的感应电压最高；若两者呈垂直正交排列，则产生的感应电压最低。

图4 布线方式对感应雷过压的影响



### 4.4 雷电波侵入

远方落雷，通过直击或电磁感应和静电感应方式从高压输电线路、配电线路、低压电源线路、通信线、电缆线、金属管道等途径侵入变电站。由于管线相对较长，且存在着分布电感和电容，使雷电传播速度减慢，这样一种现象用波传输理论来说明的概念称作雷电波。雷电波在传输过程中通过不同参数的连接线段或线路端点时，波阻抗发生变化会产生反射、折射，可导致波阻抗突变处的电压升高许多，加大了对设备的危害。

## 5 变电站传统防雷措施的局限性

### 5.1 避雷针

为免遭直击雷破坏，变电站一般采用独立避雷针和构架避雷针进行防雷保护。其结构均分为接闪器、引下线和接地体，防雷原理相同。

按防雷规范核保护范围，一般 110kV 中等规模变电站采用 3~5 根，35 kV 变电站 1~4 根 30m 左右避雷针，即可以覆盖全站被保护区范围。

由于避雷针的存在，使得二次设备免受了直接雷的危害，但从变电站被雷击的总量上来看，安装避雷针后，落雷机会反倒增加，内部设备遭感应雷危害的机会和程度一般来说是增加了。因此，避雷针并不能真正做到消除雷害，其实质为接闪体。

### 5.2 避雷器

为了防护感应雷和输电线路的雷电侵入波的危

害, 变电站内高压设备上采用了避雷器。以前装设的避雷器大多为装在线路端的管型避雷器和装在母线、设备处的阀型避雷器, 目前均由性能更好的金属氧化物避雷器所取代。

无论是在 110kV 还是在 35/10kV 电压等级上, 其上述防护措施均未考虑低压二次设备部分的雷击过电压, 未考虑雷电入侵波或危险电位通过金属管线引入构成对二次设备的威胁。

### 5.3 变电站内建筑物的防雷措施

变电站的建筑物一般有高低压室、主控室、通讯室以及部分附属办公楼住宅楼等, 按建筑物防雷等级划分, 变电站生产性建筑物一般被划分为第三类工业建筑。由于设计时一般将此类建筑物置于变电站避雷针保护范围内, 因此除通讯室按相关标准进行过防雷处理外, 其它部分因不设屋面避雷针和避雷带, 故均压带以及利用建筑物钢筋作分流线 and 组成法拉第笼屏蔽网等措施均未采用。对于防雷电波入侵, 引入建筑物内的缆线等一般均通过与接地网连成一体, 且部分缆线作了两端屏蔽接地处理。

由于以往建筑物防雷未考虑当今大量微机保护和微机监控装置等电子设备的防护问题, 致使许多已建的建筑物, 存在严重的防雷先天缺陷。电子设备防感应雷基本上靠机壳和内部措施, 使其可靠性下降。

### 5.4 变电站的地网及其他

由于变电站建筑物未考虑直击雷泄流通路, 其地网处理一般是与所内主接地网相连, 形成联合地网。但由于该联合地网从主控室到高压室到以及室外高压配电装置, 因为距离远、面积大, 各种电子设备之间的联系复

杂, 地网各点电位不同易造成设备工作出错和损坏。

微机保护和微机测控装置机箱屏柜的接地, 厂家往往通过机箱专用接地端子或屏柜专用接地铜棒进行可靠接地, 但是在变电站内进行二次设备施工安装中, 在设计未专门作明确要求情况下, 施工单位往往将各屏柜接地铜棒与主控室槽铜简单连接, 有的地方如站端后台监控计算机安装处甚至没有形成接地体, 最终使得不同的二次设备之间接地阻值较高, 造成雷电流反击。受其影响最大的是通讯电缆、高频电缆、长距离导引电缆、控制电缆, 以及分散布置的微机保护测控装置与主控制室之间的网络线等。

## 6 雷电入侵途径分析

在对图 3 进行分析的基础上, 可以归纳出雷电远点袭击变电站二次设备的路径主要为:

(1) 由站用变传入的远端雷击经由交流母线进入直流屏, 并进入二次设备, 同时经交流母线分散到各用电设备。

(2) 雷电经由一些外场设备进入交流母线, 经交流母线分散到各用电设备。

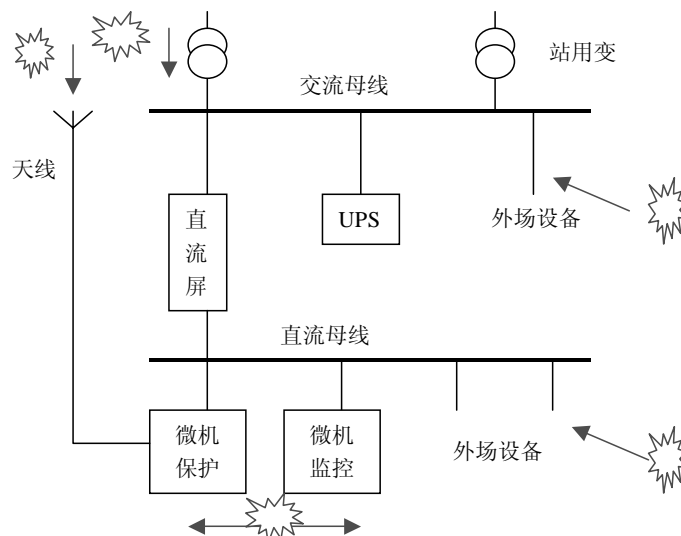
(3) 雷电经由一些外场设备进入直流母线, 经直流母线分散到各用电设备。

(4) 雷电经由 GPS 接收天线或微波扩频天线, 经天馈通道分散到二次设备。

(5) 由于变电站较为空旷, 设备分布很广, 雷电造成的电磁感应和地电位反击。即在连线较长的两设备间容易产生两个地电位间的反击。

综上所述, 我们应在交、直流母线上加装防雷器以防雷电远点袭击。在各重要设备前加装相应的防雷器以防雷电近点袭击和感应雷击。

图 5 变电站二次设备雷击侵入示意图



微机保护设备和监控装置中有耐压等级很低的电子元件，所以在各种冲击综合发生的情况下容易损坏。其主要表现为数据端口被损坏，因为即使在同一设备中电源部分的耐压等级也会高于数据口的耐压等级；二次设备串口通讯、网络通讯、后台监控机、光端机等设备的雷击侵入方式与损坏机理与之类似；GPS 天线虽然处于避雷针的下方，不会被直接雷击中，但是雷击所产生的强电磁场没有减弱，会在天线中产生强大的耦合冲击电流，损坏设备。

## 7 提高变电站二次防雷水平的措施

由以上分析可看出，变电站传统的一次防雷措施对高压电气设备的防护是有效的，但对二次电子设备的防护并不恰当，必须在原定防雷措施基础上，更进一步进行防范。采取措施的原则应是分区防护、三级过压保护、多重屏蔽、均衡电位、浮点电位牵制。

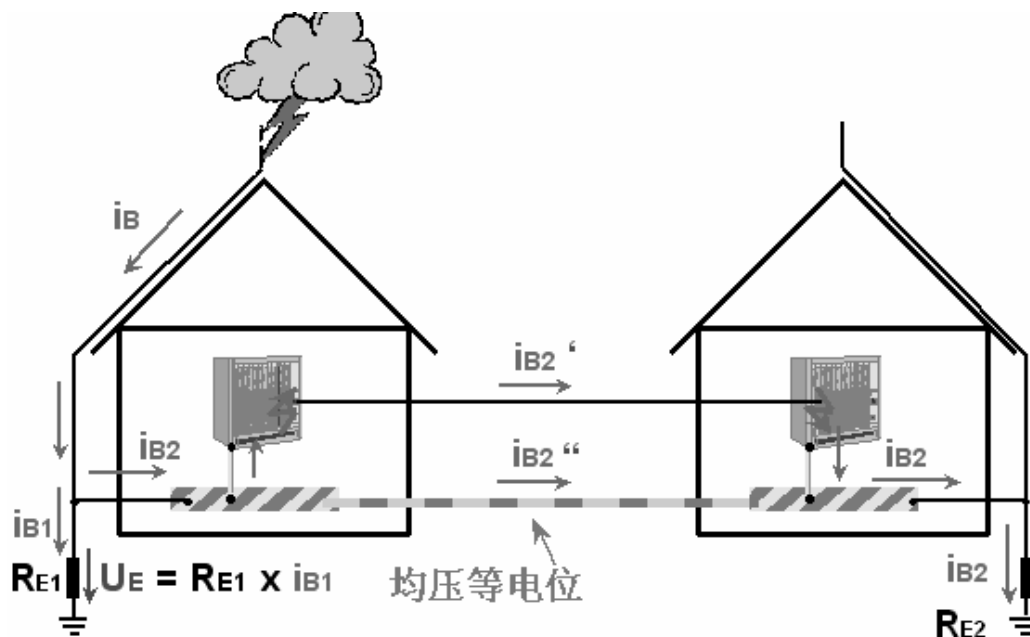
### 7.1 接地处理

从理论上讲，如果两个二次设备之间的接地电阻

无穷小，则雷电流就不可能在其两端产生电压差，也就不可能造成反击损坏。因此，要提高二次设备的防雷水平，必须首先提高微机保护和自动装置屏柜之间的接地水平，进一步降低其相互之间的接地阻值。

直接与电子设备屏柜和装置相连的控制信号电缆、电流、电压回路电缆都应该采用屏蔽电缆，且屏蔽层金属保护层均应两端接地。由于屏蔽电缆往往通过端子箱或机构箱进行接地，因此要求端子箱及断路器机构箱自身必须接地良好，且不论内部是否安装电子设备均应避开避雷器或构架避雷针的主要散流线接地。对于高压室内分散安装于高压柜上的微机保护测控装置，由于其通过高压柜体接地，因此要求高压柜自身必须接地良好，高压柜与主控室之间最好通过专用接地铜缆相连。在图 3 造成的雷击损坏中，如果在两电子设备之间通过接地铜缆连接形成均压等电位，由于二次设备之间的压差不会过高，因而可避免损坏。

图 6 接地处理降低反击



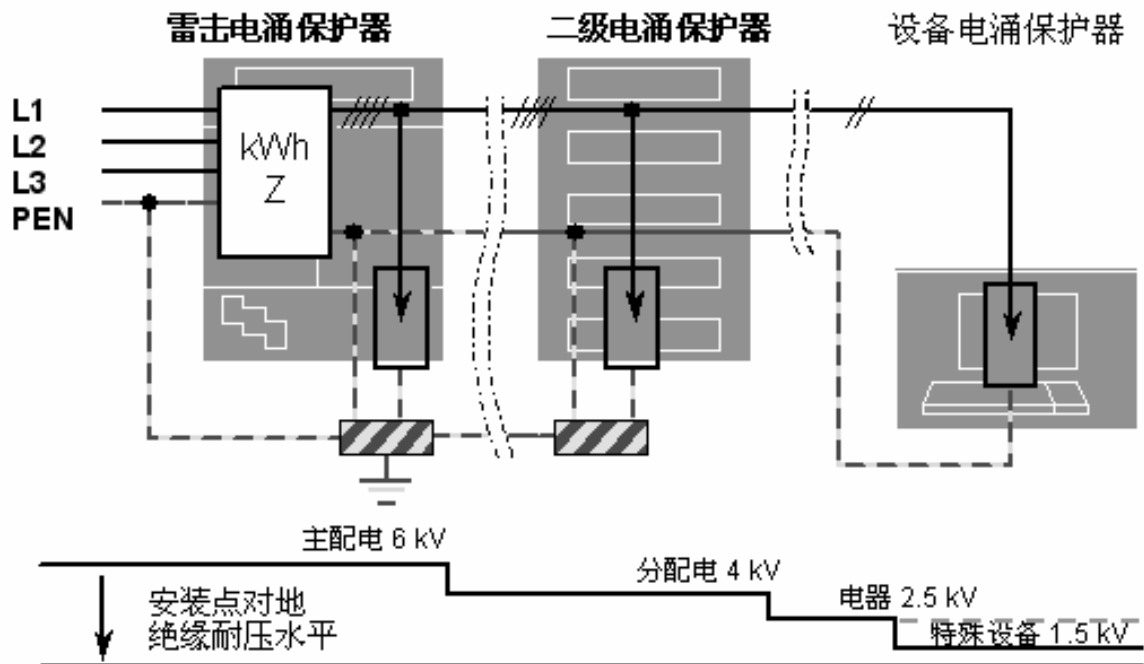
### 7.2 天馈通道

天馈通道包括 GPS 接收天线和无线微波发射天线等通道。首先，天馈通道天线的排布要尽量避免与金属水管、接地扁铁等可能泄放雷电流的管线进行平行布线，更不可图施工方便将其绑扎在一起；其次，在接收/发射装置输入端要经过天馈防雷处理，加装射频信号保护器。

### 7.3 站用电系统

变电站二次设备雷击损坏统计中，有相当大的部分是从电源侵入的，而直流电源又是通过 380V 站用电系统提供，因此站用电系统在防雷上应作重点防范。可采取在 380V 站用电输入端加装交流一级和二级防雷器。在为二次设备提供不间断交流电源的 UPS 输出上，应加装交流二级防雷器。

图 7 电源一、二级防雷示意图



#### 7.4 直流系统

直流控制电源小母线和直流合闸小母线为全站二次设备提供控制电源和合闸电源，为防止从场地引入的雷过压，应在直流母线上加装直流二级防雷器，注意安装实施当中在正对地、负对地以及正负之间均应考虑加装防雷器，从而保证对雷电引起的共模和差模干扰均能有效保护。

#### 7.5 通信网络

微电子设备工作电压低击穿功率小，靠单一屏蔽难以达到预期效果，必须采取多重屏蔽，如利用建筑物钢筋网组成的法拉第笼，设备屏柜金属外壳，装置金属外壳等逐级屏蔽。

在交流和直流电源上分别层层装设一、二级防雷器后，雷电侵入的主要能量就被泄放了，剩余能量可能侵入二次设备核心区，为防止引起脆弱的电子设备损坏，应在微机保护测控系统的通信网络、RS485/422、RS232 等通信口上加装相应的三级通信防雷模块。

### 8 现场实施方案

在对雷电侵入二次设备的各种途径、现有二次设备雷击故障原因进行理论分析的基础上，为验证上述防雷措施的有效性，2004 年 10 月，我们在运行的

110kV 府青路变电站进行了二次设备综合防雷试点，并将另外两个与之相邻 2 公里的 110kV 白丝街、圣灯变电站作为对照组进行参考统计。

在进行防雷试点的府青路变电站，我们作了如下处理：

(1) 将全站微机保护和微机监控屏柜以及站端监控后台机之间的接地进行了改进，全部加装了截面积为  $100\text{mm}^2$  的专用接地铜缆。

(2) 在 380V 站用交流电压母线上加装了交流电源一级和二级防雷器各一组。

(3) 在 UPS 输出交流电源上加装了交流电源二级防雷器一组。

(4) 在直流屏输出直流控制母线和合闸母线上分别装设直流二级防雷器一组。

(5) 在监控总控单元至站控两端后台机之间分别装设 RS232 通信串口三级防雷器一只。

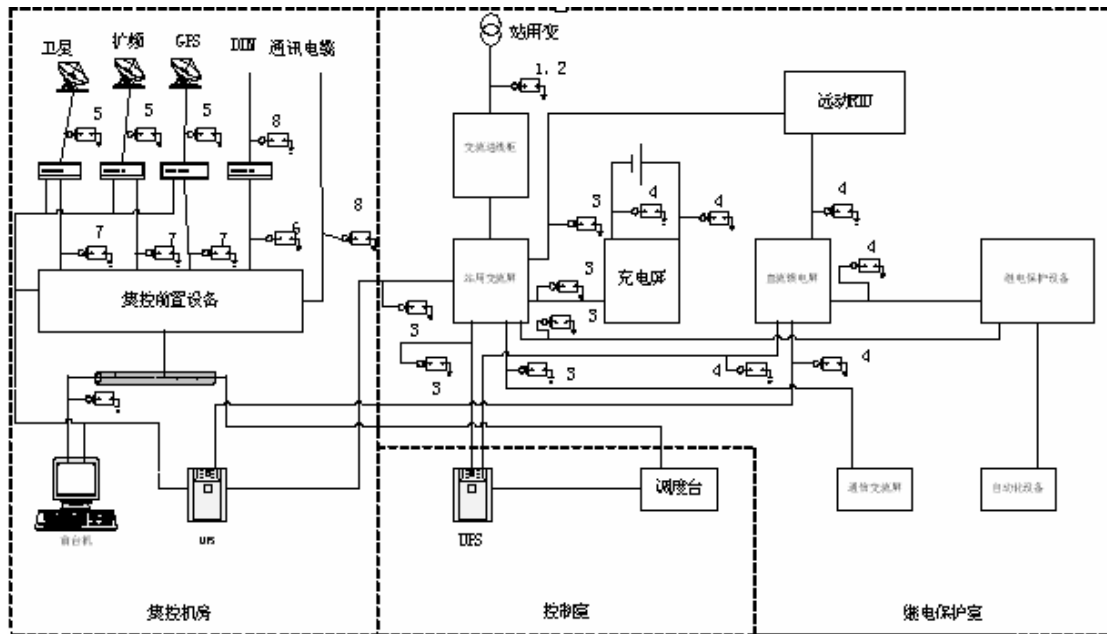
(6) 在各监控屏柜的 RS485 总线输入端分别装设 RS485 通信三级防雷器一只。

(7) 在总控单元至微机保护通信控制器之间装设 RS422 通信串口三级防雷器一只。

(8) 在远动微波机数字口通道上装设 RS232 通信串口三级防雷器一只。

(9) 在 GPS 卫星接收器天线输入端以及远动微波发装天线上分别装设射频信号保护器各一只。

图 13 防雷方案示意图



## 9 试验结果

和 2005 年成都市雷电统计次数如下表：

从四川电力调度局防雷网上，我们获得 2004 年

表 2 2004 年成都市雷电统计结果

| 月份     | 雷电日 | 雷电小时 | 正雷电数 | 负雷电数   | 总雷电数   | 总回击数   | 最大电流  |
|--------|-----|------|------|--------|--------|--------|-------|
| 200405 | 11  | 114  | 11   | 287    | 298    | 290    | 255   |
| 200406 | 30  | 531  | 2278 | 37579  | 39857  | 42958  | 714.5 |
| 200407 | 30  | 464  | 2195 | 36319  | 38514  | 42980  | 525.2 |
| 200408 | 30  | 475  | 5738 | 116273 | 122011 | 130057 | 800   |
| 200409 | 30  | 383  | 363  | 4256   | 4619   | 4233   | 580.8 |
| 200410 | 31  | 176  | 32   | 363    | 395    | 408    | 144.9 |
| 200411 | 29  | 127  | 20   | 191    | 211    | 197    | 348   |
| 200412 | 13  | 22   | 1    | 22     | 23     | 23     | 34.3  |

表 3 2005 年成都市雷电统计结果

| 月份     | 雷电日 | 雷电小时 | 正雷电数 | 负雷电数  | 总雷电数  | 总回击数  | 最大电流  |
|--------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 200501 | 19  | 30   | 0    | 34    | 34    | 33    | 60.4  |
| 200502 | 20  | 69   | 1    | 96    | 97    | 119   | 53.1  |
| 200503 | 24  | 78   | 10   | 87    | 97    | 94    | 231   |
| 200504 | 30  | 253  | 244  | 5274  | 5518  | 5493  | 533.7 |
| 200505 | 31  | 335  | 332  | 4603  | 4935  | 4521  | 703.3 |
| 200506 | 30  | 414  | 975  | 40775 | 41750 | 47701 | 602.9 |
| 200507 | 31  | 574  | 2442 | 53152 | 55594 | 59127 | 800   |
| 200508 | 2   | 36   | 58   | 1115  | 1173  | 1196  | 258   |
| 200510 | 1   | 2    | 0    | 4     | 4     | 3     | 8.3   |



从表中可以看出,与 2004 年相比,2005 年雷电次数略有增加,但府青路变电站在实施二次综合防雷改造后,截止至 2006 年 1 月,没有再发生一起微机保护和测控装置因雷击故障缺陷。而作为对照组的 110kV 白丝街、圣灯变电站却先后分别发生 5 套次、7 套次二次设备雷击故障缺陷。

## 10 结束语

由于变电站微机综合保护系统设备种类繁多,它们的耐过压能力也各有差别,系统遭受雷击危害几率大大增加,致使雷电灾害频频发生。上述措施经过理论分析和实践验证是可行的,但不表示是最可靠和最安全的。通过实践检验,府青路变电站的二次防雷试

点取得了良好的效果。由于雷电本身是小概率事件,需要大量长期的统计分析才能得到有益的结果,这需要各方的通力合作才能得以实现,其性能和效果,仍需以科学的态度在实践中检验,并在理论上发展完善。我们希望通过探索,能摸索出行之有效的变电站二次防雷手段,将雷害所致的电网事故和干扰减少到最低程度。

### 作者简介:

杨先义,工程师,工程硕士,长期从事变电站继电保护和监控系统维护工作

黄文龙,高级工程师,硕士研究生,从事继电保护管理工作

陈立,高级工程师,博士,从事继电保护管理工作