

控制系统的防雷保护

谭志强 肖中成

重庆天然气净化总厂 401259

摘要 文章针对雷电破坏电子仪器仪表和 DCS 控制系统的类型和途径, 阐述了预防雷害的方法和措施以及经济指标分析。

关键词 感应雷 屏蔽 接地 避雷器 系统优化 经济效益

化工生产装置配备了大量的电子设备和计算机系统, 这些设备耐电压等级低、抗干扰能力差, 最怕受到雷击。工艺设备和控制室建筑物防雷保护装置引入了强大的雷电流通过引下线入地, 在附近空间产生了强大的电磁场, 会在相邻的导线(包括电源线和信号线)上感应出过电压, 传统的防雷系统不能有效地保护现场自控设备和 DCS 系统, 反而可能会引入雷电。因此, 控制系统的防雷保护成为一个越来越重要的课题。

1、感应雷侵入途径

雷电波入侵控制系统的形式有两种: 直击雷, 感应雷。一般来说, 直击雷击中电子设备的可能性很小。感应雷是由雷闪电流产生强大的(变化)电磁场与导体感应出的过电压、过电流形成的。感应雷入侵现场自控设备和 DCS 系统主要有四条途径: 雷电的地电位反击电压通过接地体入侵; 交流供电电源线路入侵; 现场仪表和控制设备信号线路入侵; 通讯线路入侵。感应雷不管通过哪种形式、哪种途径入侵, 都会使现场自控设备和 DCS 系统受到不同程度的损坏或严重干扰。

2、雷击保护

根据多年来的实践经验, 自动化控制系统的雷击保护一般主要从屏蔽、接地、避雷器和系统优化等四个方面来实现。

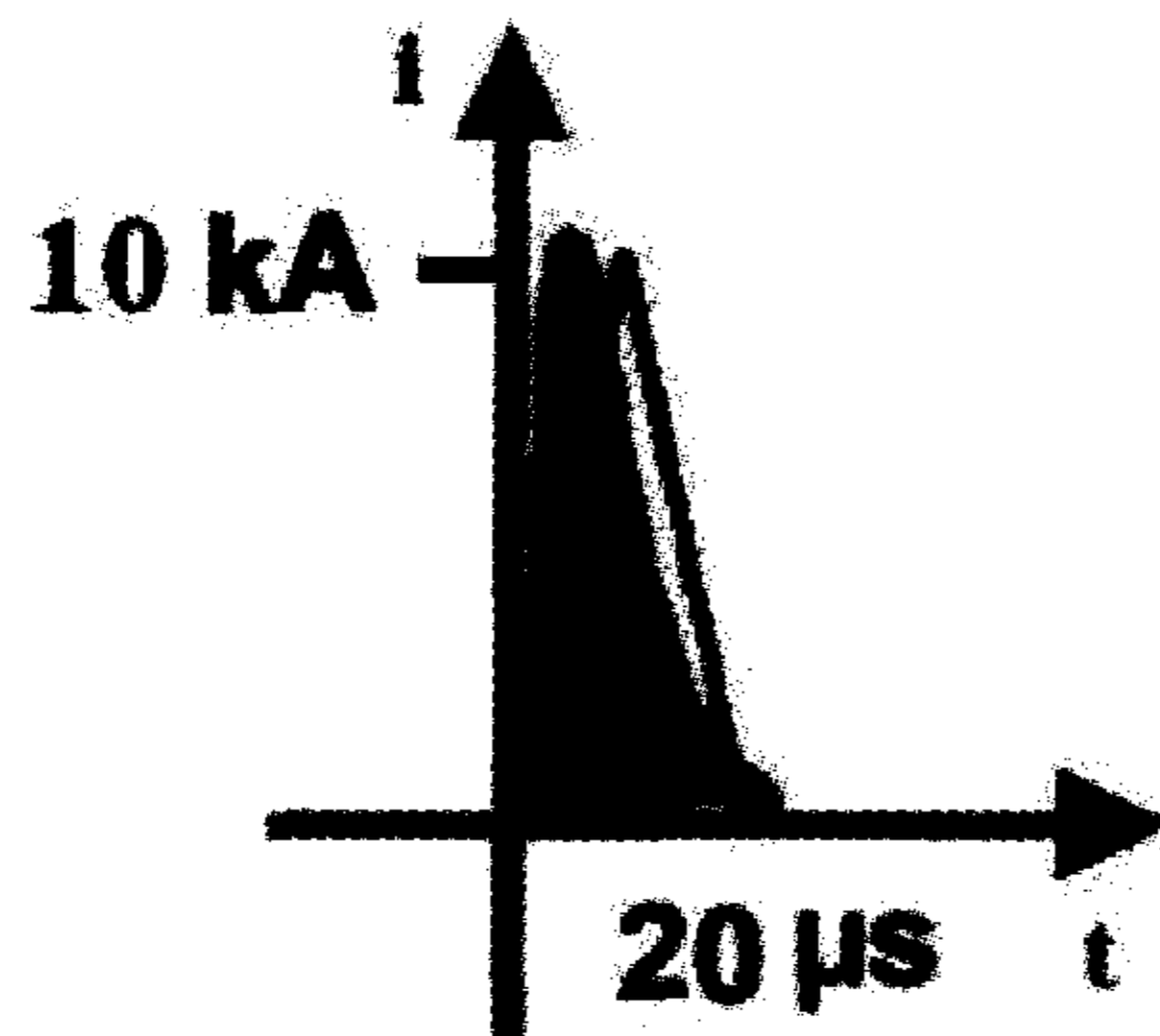


图 1

2.1、感应电涌数学模型

如图 1 所示, 低压全裸露回路中可能感应的雷击电涌强度最大为 10kA, 波形宽度为 8/20μs。为了便于讨论, 将实际波形理想化成上升和下降过程对称的三角波(如图中黑线所示)。因此可得到纯阻性回路中感应电涌的简化数学模型。

$$f(t) = \frac{8V}{\pi^2} \left(\sin \frac{\pi t}{28} - \frac{1}{3^2} \sin \frac{3\pi t}{28} + \frac{1}{5^2} \sin \frac{5\pi t}{28} \right)$$

其中, V — 感应电压 (V) 或电流 (A)

t — 时间 (μs), 范围 $0-28\mu s$

2.2、屏蔽

从电涌模型中可以看出, 雷击感应是通过分布电容和电感耦合到导线上的, 在设计控制系统防雷时应首先考虑将与被保护设备相连的所有导线屏蔽后接地。屏蔽是用金属导体把被屏蔽的元件、电路及信号线包围起来。这种方法抑制电容性感应雷特别有效。如图 2 所示, 雷击感应电磁波 1 为电涌源, 对地电压为 E_1 , 导线 2 加上屏蔽层, 它和屏蔽层间的分布电容为 C_2 , 而屏蔽层对地及导线 1 的分布电容分

别为 C_0 和 C_1 , 屏蔽层上的感应电压值为 E_0 ($E_0 = (\frac{C_1}{C_0+C_1}) E_1$)。如果把屏蔽层接地, 则 $E_0=0$ 。所以导线 2 上的感应电压理论上也为零, 即通过屏蔽接地大大抑制了感应过电压。屏蔽对电感性耦合的抑制效果远不如对电容耦合的抑制效果。因此控制电缆在防雷效果上采用埋地敷设比架空更好。

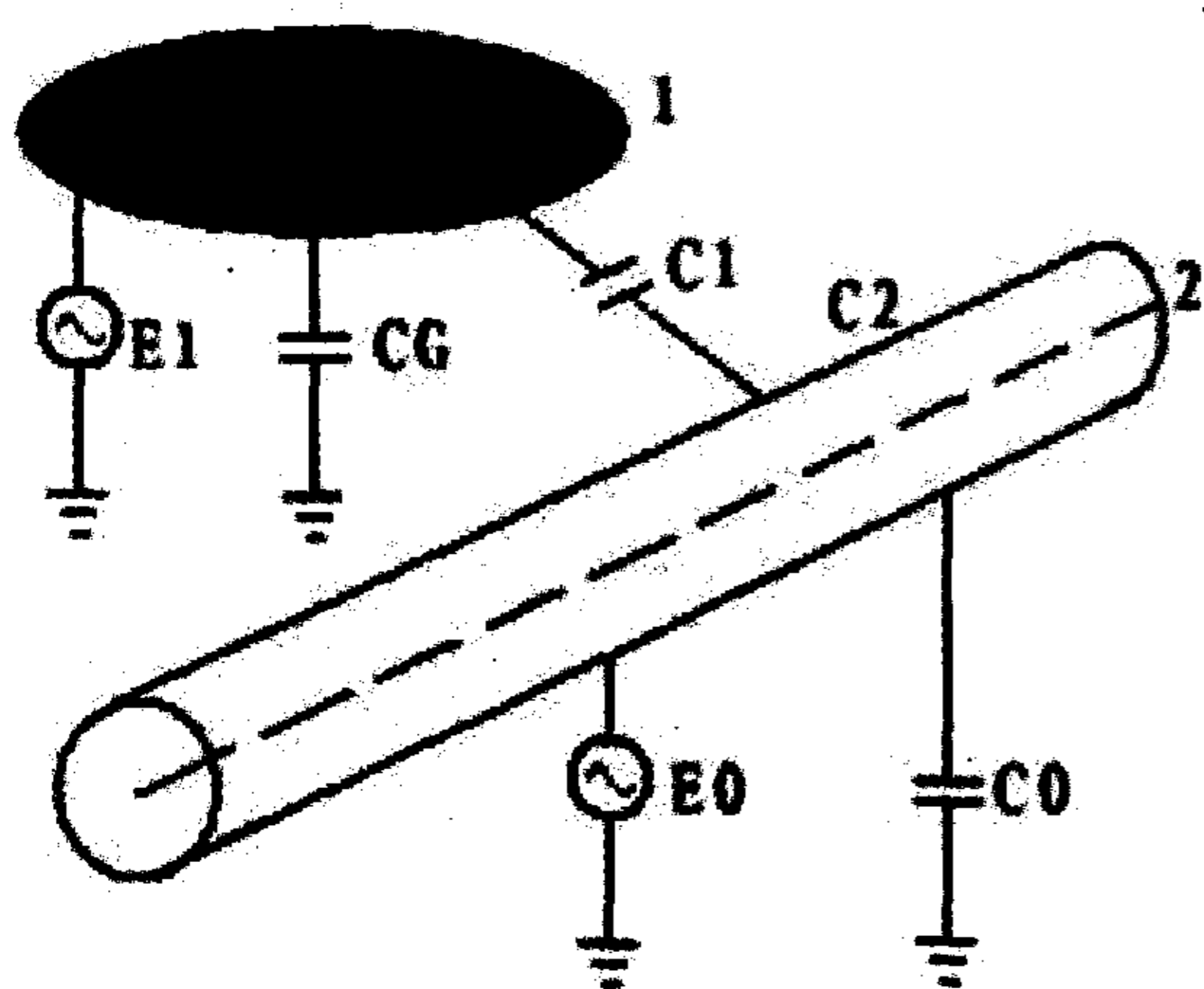


图 3

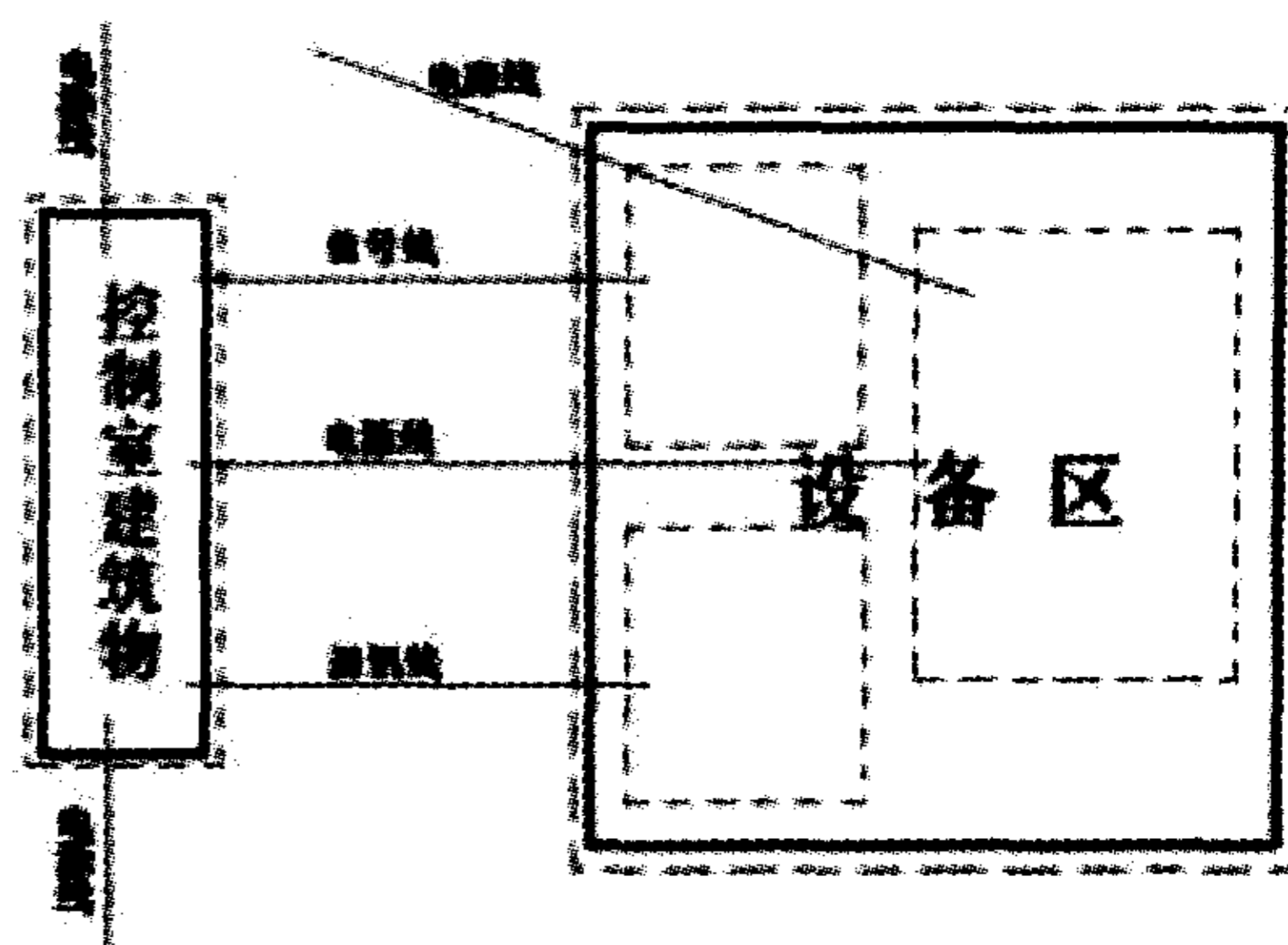


图 2

2.3、接地

控制系统由现场仪表、现场控制设备和中控室内设备组成, 其接地系统应建立综合接地系统, 接地电阻值应不大于 1Ω 。典型的天然气净化装置和控制室平面布置如图 3 所示。设备区地下埋有多个接地体形成了一个接地网。控制室内的接地系统使用建筑物接地网。由于设备区接地网和控制室接地网之间的距离有限, 两个区域有多根仪表电缆相连, 因此应采用联合接地方式, 将两个地网合二为一。

控制室建筑物接地采取如下做法: 屋顶设计避雷带 (避雷针), 单独敷设防雷引下线, 建筑物内的金属框架应形成闭合良好的法拉第电磁屏蔽笼, 竖向金属管道应与环圈金属框架相连, 金属框架与防雷装置专设的引下线做好连接。控制室内各种交流、直流设备众多, 线路纵横交错, 应将建筑物内的交流工作地、安全保护地、直流工作地、防雷接地与建筑物法拉第笼做好连接, 形成一个等电位体, 避免接地线之间存在电位差, 以消除感应过电压。

在设备区设计避雷针, 单独敷设防雷引下线, 避雷针的数量和布置应做严格计算。工艺装置上体积较大的设备采用多点引出、多条引下线和多点接地; 较小的设备可采用单个引下线接入地网; 大管道法兰处则采用等势跨接线方式接入地网。进出装置区的管道上采用绝缘法兰, 可同时满足防腐和电势隔离的要求。

2.4、避雷器

通过感应电涌的简化数学模型可以看出：雷击浪涌是以电磁波的形式在空间中传播能量，电磁波的能量等分成电场和磁场两部分。通过屏蔽可以有效地抑制电场的耦合感应。因目前没有 100% 的导磁材料，因此尽管使用双屏蔽电缆，但对磁场的屏蔽不能起较好的作用，仍有 40-75% 左右的能量穿过屏蔽层到达导线上，产生的感应电压对地通常会高达 5000 伏，电缆间感应电压可达到数百伏。感应浪涌可沿电缆向两端传播，并将强大的能量瞬间加到与线缆连接的电子设备上。电子设备的雷击破坏分为两种不同类型：内部击穿和绝缘击穿(如图 4 所示)。

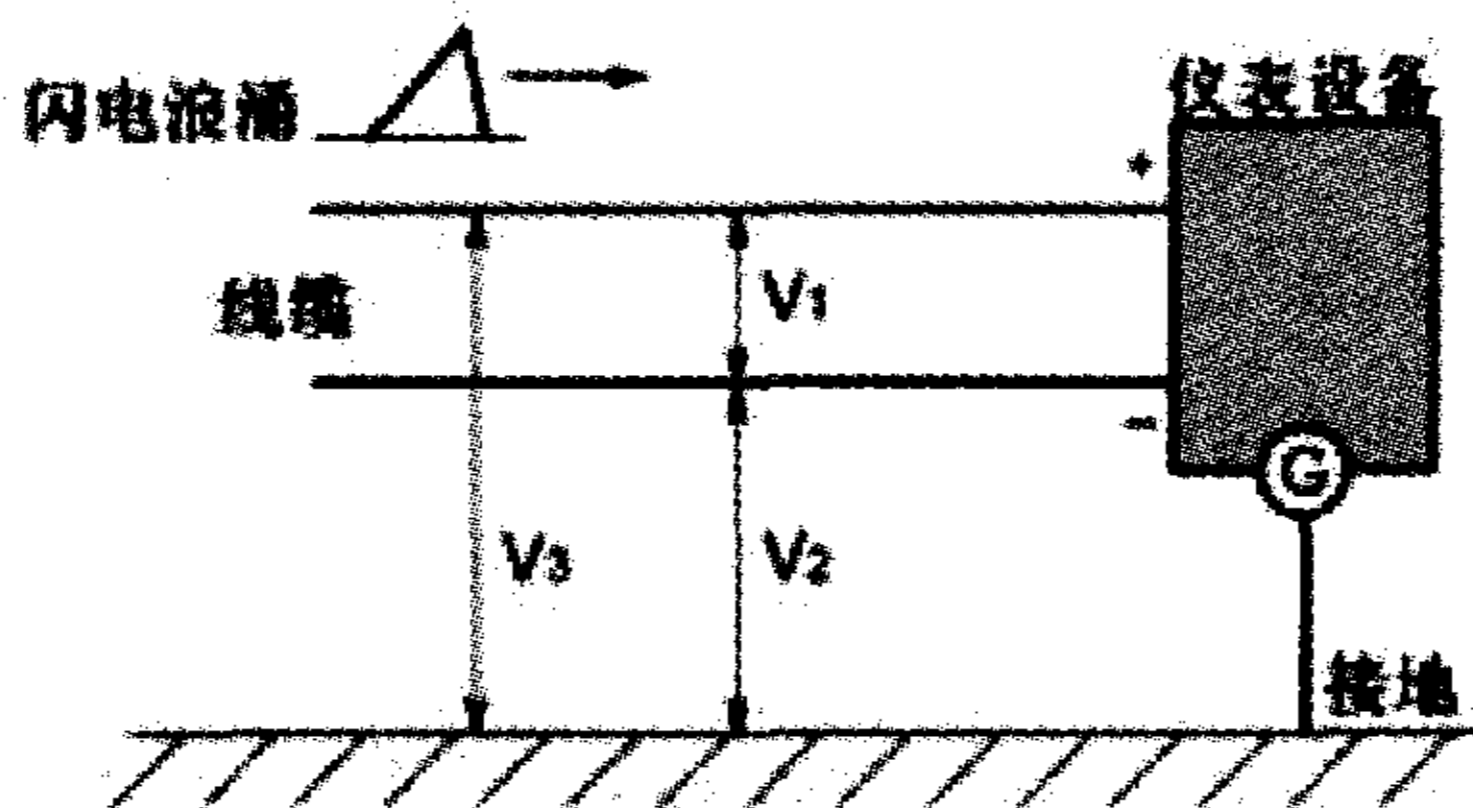


图 4

内部击穿 (V1) 是当导线间的冲击电压直接加到设备的电子元件上时，发生内部损坏，通常是那些靠近接线端子的元件易遭到损坏。绝缘击穿 (V2, V3) 是因闪电引起导体和地之间产生极高的电位差 (电压)，电子设备中某些未接地的电路与某些接地的部分之间产生放电，如电子部件与金属外壳之间，由于泄放电流通过某些电子部件，于是这些电子元件遭到损坏。

2.4.1 避雷器的内部结构

一个典型的信号线路避雷器功能图如图 5 所示。避雷器由火花电压泄放部件、电压箝位部件和电感三部分组成。如图 6 所示，当浪涌电流通过避雷器泄放时，浪涌电压 V_s 被限制在 V_c 以内，泄放电流由抗阻 Z_s 和电涌电压 V_s 参数决定，被保护设备的耐电必须高于最大电涌电压 V_c (如图 7 所示)。

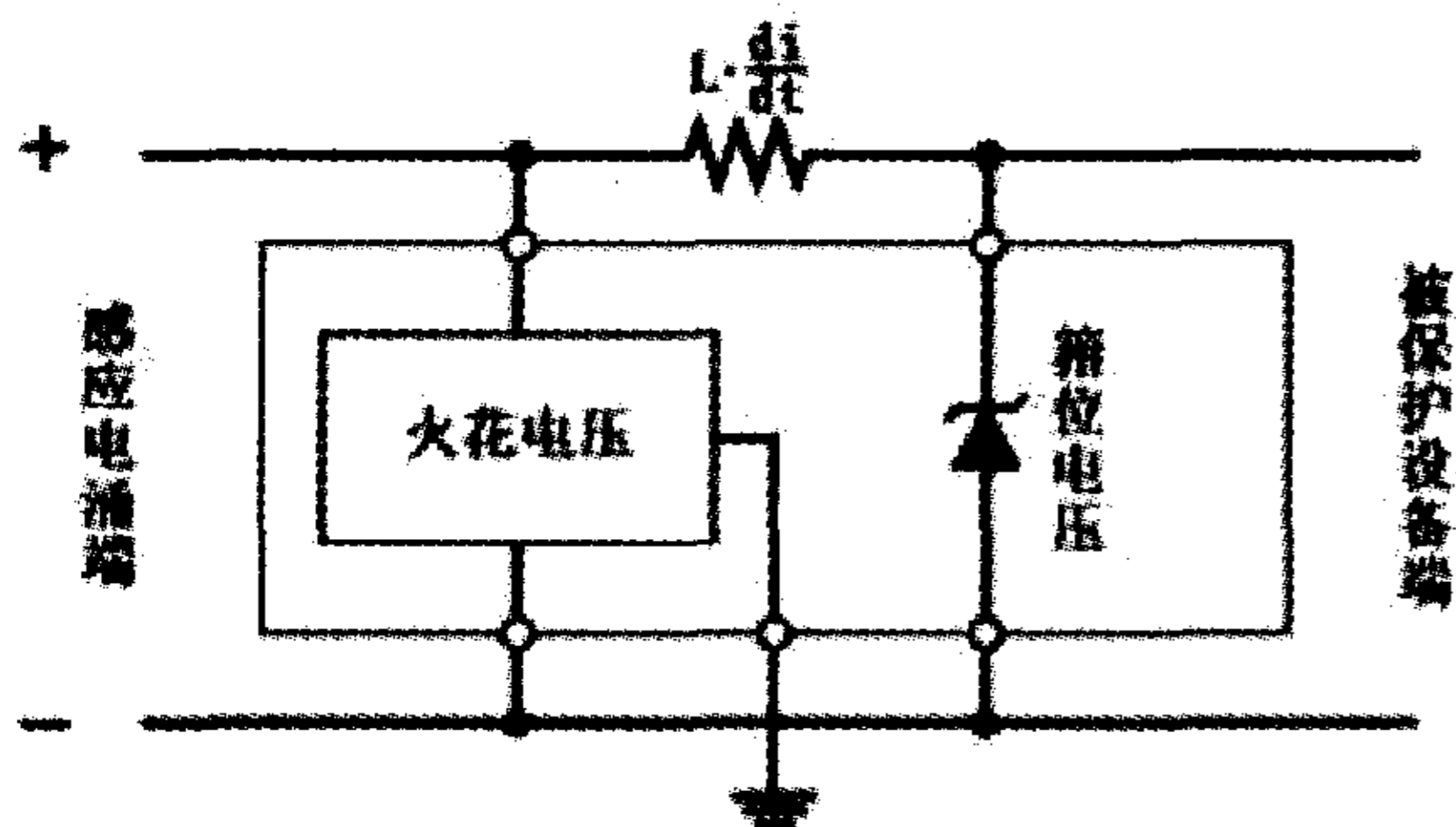


图 5

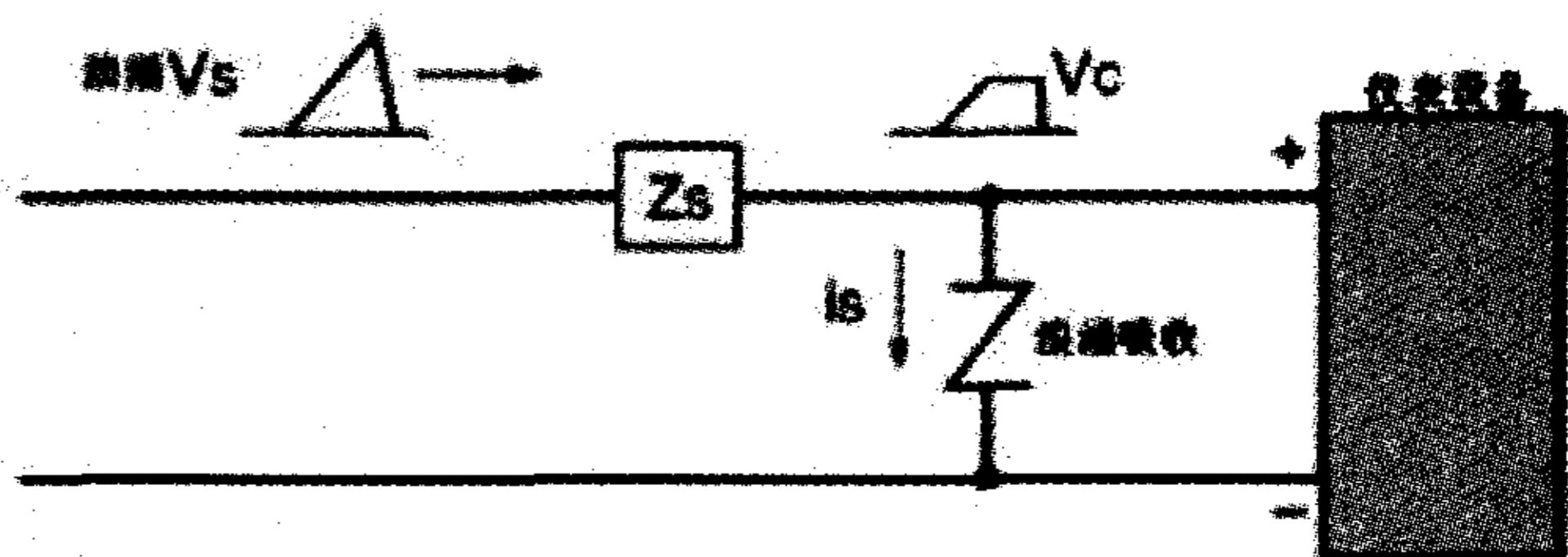


图 6

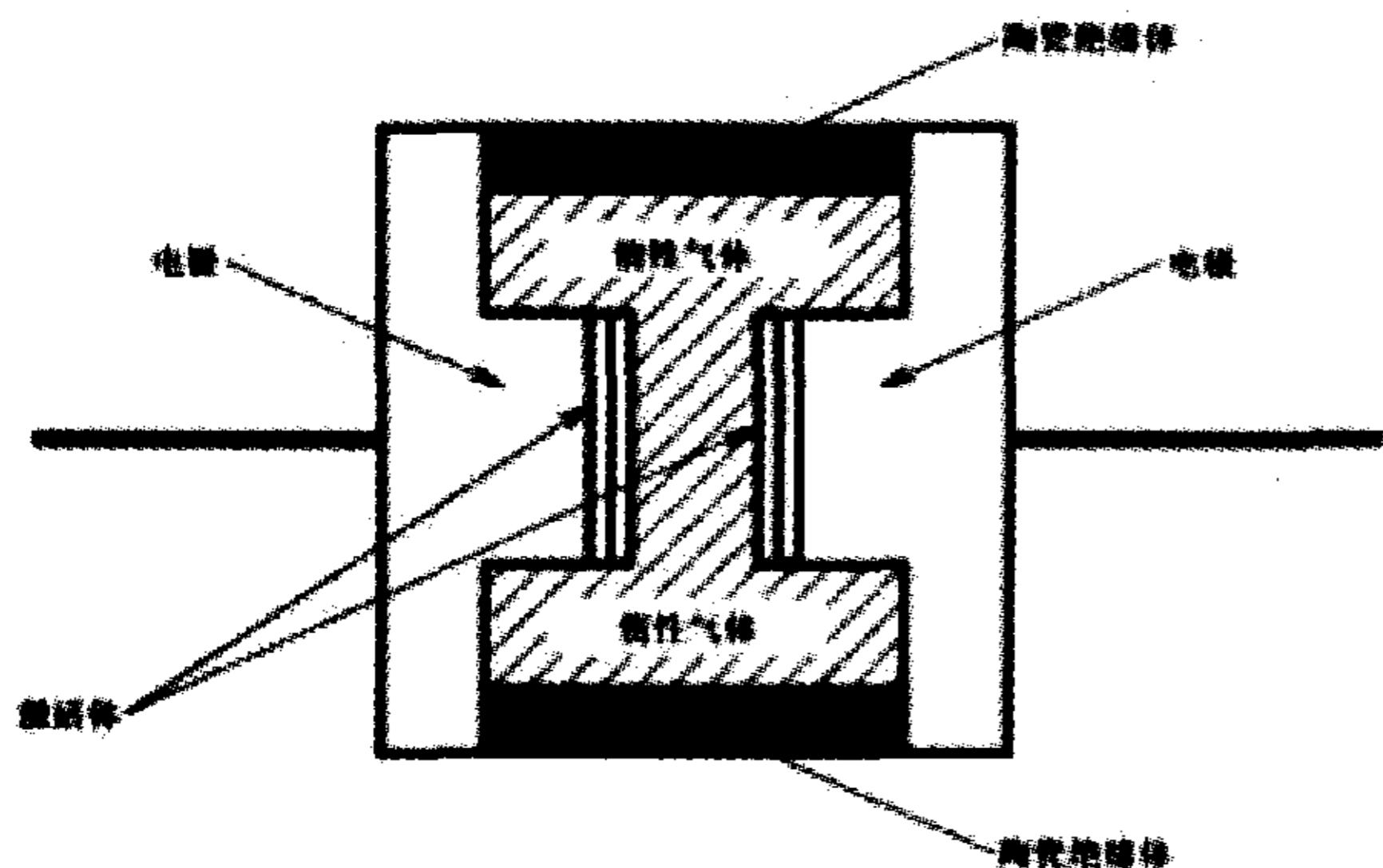


图 7

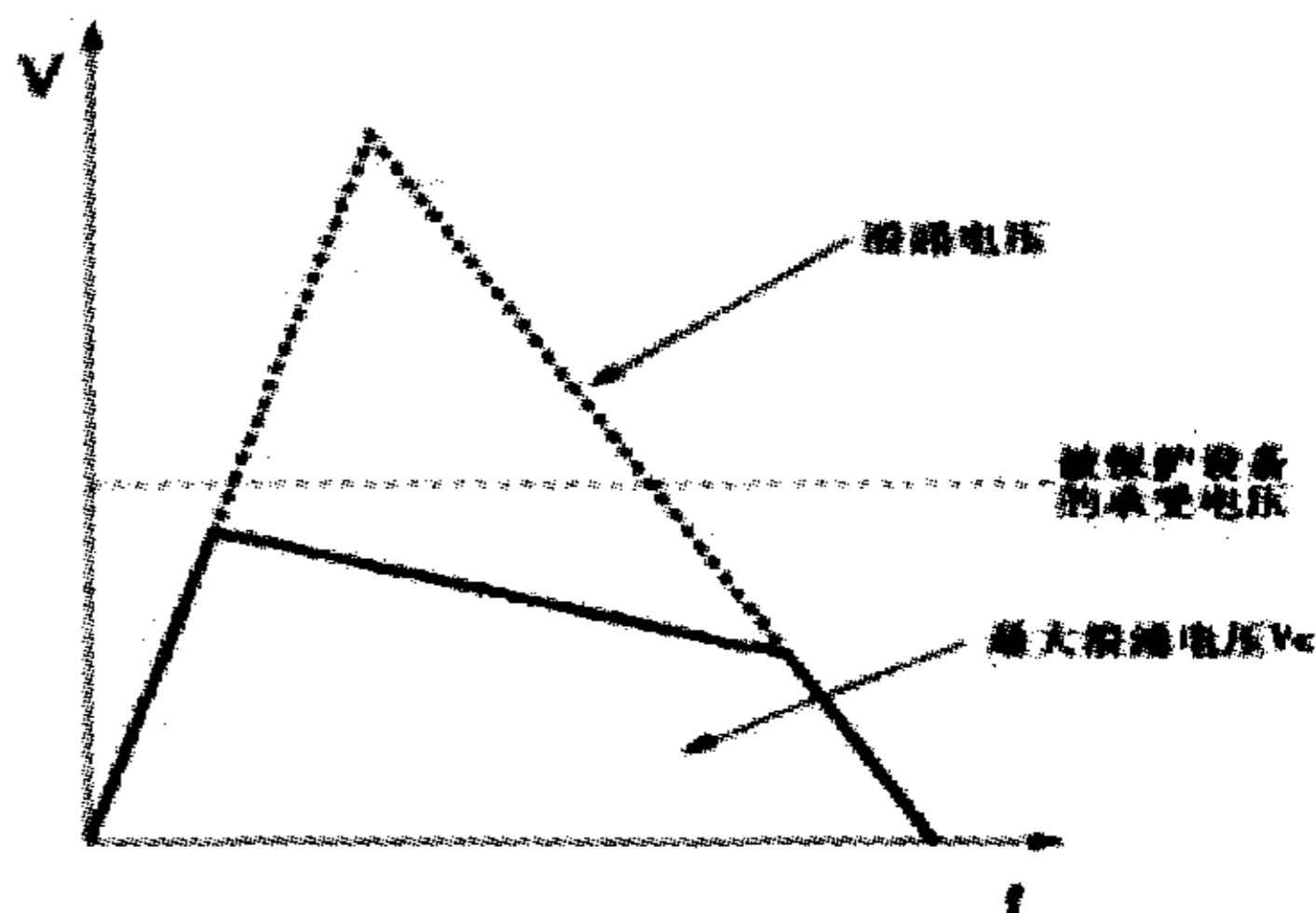


图 8

火花电压泄放部件是避雷器的关键部件，导线上的大部分电涌能量是通过该部件泄放的。一般采用气体放电管效果较好，绝缘壳在机械强度、耐热和抗振性方面优于其他类型，具有高可靠优良性能（图8）。由于气体放电管在泄放电涌时存在较高的残压，内部击穿电压 V_1 必须降到设备能承受的范围，因此还应增加消除残压的部件，即电压箝位部件和电感。如图5所示，电感对高频电涌具有良好的抗阻作用，对直流不起作用。在选择避雷器的类型时，需要重视匹配问题。对于DCS系统和现场自控仪表和设备的稳定性和安全性来讲，接地是很重要的，被保护设备的接地和避雷器的接地之间不应有电位差。在测试仪表设备的绝缘性能前，应断开安装在线路上的避雷器。

2.4.2 线路保护

信号线若采用控制电缆，则必须穿管埋地敷设。进入控制室后，直接接入端子柜内信号避雷器的浪涌端。由于电涌可能从任何一条连接现场设备的导线窜入到DCS系统中去，因此进入DCS系统的所有信号回路均安装避雷器。仪表设备的现场端也需安装避雷器。由于装置区属于防爆区，避雷器必须安装在防爆盒内，安装位置尽量靠近被保护设备，被保护设备的外壳地和避雷器的地跨接后，通过防爆盒外壳上的接地端子接入大地。

为了避免雷电由交流供电电源线路入侵，在厂区变配电所的高压柜内安装避雷器、低压柜内安装浪涌保护器分别作为第一、二级保护，以防止雷电侵入配电系统。并在控制室配电箱中安装电源避雷器作为第三级保护，配电箱的金属外壳与控制室的接地系统作好可靠连接。

2.4.3 避雷器的选择

全球生产电源避雷器和通讯网络避雷器的厂商较多，而专业生产工业控制信号用避雷器的厂商较少。发达国家在80年代DCS系统兴起时，就在控制系统中大量使用信号避雷器，因此在使用经验上明显领先于我国。如何提高避雷器的使用寿命和使用效果，是我们在选择和使用避雷器时特别要重视的问题。

2.4.3.1 结构类型选择

结构是指机械结构和电气结构。机械结构方面采用插入式结构的避雷器是首选，在不停止工作的情况下，使得避雷器的例检、故障检查和更换成为可能。电气结构方面采用串联结构（如图5所示）的避雷器。另外，在仪表主供电源或分干线上使用的避雷器最好选择那些具有能在故障情况下自动从线路上断开的避雷器。这样可避免由于避雷器失效引起电源短路，导致整个供电中断的严重后果。

2.4.3.2 主要技术指标

前面已经分析过，避雷器不具有通用性，应针对不同的信号类型选择避雷器。一般通讯或计算机网络上使用的避雷器不能移植到工业过程控制信号线上，控制信号线路上避雷器应该采用专业生产过程信号避雷器厂商的产品。避雷器的主要技术指标有：启跳电压、残压、响应时间、泄放容量和泄漏。

2.4.3.3 可检测性要求

目前大多数避雷器的厂商所提供的避雷器都密闭封装，不能提供检测方法。避雷器是否已经损坏、内部元件是否处于亚老化状态、能否保护我们的设备是运行中必须关心的问题。插入式避雷器是理想的解决方案。配备专用的测试设备就可以对避雷器整体和内部元件进行在线测试。将测试数据和参考值进行比较，可以判断避雷器的健康状态。避雷器的结构特点决定了避雷器的可检测性、可维护性和安全性。因此在选择避雷器时要综合考虑避雷器的结构特性。

2.5、系统优化

对雷击电涌的抗干扰上，需要从硬件和软件两个方面对系统进行优化。

由于雷击电涌在控制信号导线中的存在，虽然避雷器将异常的电压消除了，但是不能将可能对控制信号的干扰完全消除。因此在选择控制信号类型时，尽量选择标准过程控制信号，如4-20mA模拟控制量和开关控制量。另外避雷器线对地的电涌电压消除不够彻底，信号导线对地间可能存在上百伏的电压，即系统的共模干扰。少数DCS商家为了降低制造成本，系统前端往往采用高内阻CMOS器件，这些器件会将共

模干扰转变成差模干扰，从而对系统的稳定性构成威胁。目前，在 DCS 系统前增加隔离器可有效地消除共模干扰；采用具有滤波功能的 I/O 模块，对雷击电涌残压干扰也有一定效果。

系统软件可从四个方面提高控制功能的稳定性：增加对仪表故障信号的判断和处理功能；增加对电源故障的判断和处理功能；对 PID 控制回路增加二阶滤波功能；对逻辑判断控制回路增加对过程量的去扰功能。

3、经济效益

天然气净化生产的特点是连续不中断的生产过程。从近几年的雷击灾害的统计情况表明，雷灾的直接损失较小（平均每年 10 万元左右），主要损坏现场自控仪表设备或 DCS 系统 I/O 模块等。但是雷灾的间接损失可能巨大，一旦控制系统出现严重损坏将导致整个装置停产、向用户供给天然气的管网压力和流量出现大面积波动，造成用户压产或停产。天然气净化厂的接地、引雷系统通过多年的建设和整改已经比较完善。从近几年的雷灾情况看，都是遭到感应雷的破坏，因此防雷减灾的重点应转移到增加避雷器和优化系统的工作中。它具有投资少见效明显的特点。另外，避雷器的可检测性和可在线维护性也是我们不能忽视的经济指标。

随着自动化智能技术的日趋完善以及智能控制在我国的不断普及，控制系统的防雷保护技术也将不断得到发展。

参考文献：

- 1、IEEE C62.41-1991
- 2、IEC 61643-1998
- 3、《石油化工自动控制设计手册》 化学工业出版社
- 4、《电气&智能建筑》 电子工业出版