

# 电子系统防护手册

电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术指南

[英] W J Furse & Co Ltd 著

薛瑞民 译

邱传睿 校

中国铁道出版社

2002年·北京

# (京)新登字 063 号

北京市版权局著作权合同登记号 01-2002-2901 号

## 内 容 简 介

本书以英国国家标准 BS 6651 :1992 为基本指导,并大量参考了相关国际标准规范,对电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术做了全面、实用的介绍和讨论。本书较注重实用性,特别着重在电子设备的系统防雷方面做了深入的介绍,并附有部分计算分析实例和相关技术数据及名词术语解释。

本书对电子、自控、通信、计算机等专业的工程技术人员和技术管理干部是一本非常好的防雷技术普及教材,对从事防雷技术专业工作的有关人员也有较高的参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子系统防护手册:电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术指南/英国 W J Furse & Co Ltd 公司著;薛瑞民译.—北京:中国铁道出版社,2002.8

书名原文:Electronic Systems Protection Handbook: A guide to Protecting electronic equipment from lightning and transient overvoltages

ISBN 7-113-04813-7

I. 电... II. ①英...②薛... III. 电子设备-过电压保护-技术手册 IV. TM86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 054014 号

## 电子系统防护手册

书 名:电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术指南

作 者:W J Furse & Co Ltd 著 薛瑞民译 邱传睿校

出版发行:中国铁道出版社(100054 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑:傅立谚 安颖芬 编辑部电话:路电(021)73147

印 刷:北京精彩雅恒印刷厂 市电(010)63549465

开 本:850 mm×1168 mm 1/32 印张:3.75 插页:1 字数:94 千

版 本:2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册

书 号:ISBN 7-113-04813-7/TM·62

定 价:12.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

## 前 言

随着电子设备特别是微电子设备及计算机设备在人类生活和工业生产中的广泛应用,雷电(实际包括瞬态过电压)危害的问题日益突出地摆在了人们面前,因雷害引发的设备故障、停产、甚至事故频繁发生。在译者所从事的铁路信号行业,雷害曾一度成为铁路信号新技术——车站信号计算机联锁发展的主要障碍。

在雷电防护无可回避地成为电子和计算机等相关专业的工程技术人员必须面对的问题,以及人们对雷电防护工作的重要性认识日益提高的同时,人们却往往由于对防雷知识特别是现代防雷技术缺乏认识,或者简单地认为防雷无非是安装防雷器件(其实往往仅安装了电源或其他少数部位的少量防雷器件)和降低地线接地电阻即万事大吉,或者对于防雷器件供应商在对其专业设备系统特点并未全面了解的情况下提出的雷电防护方案不知如何评估与论证,而事实又往往无情地证明经过这样的防护并不能达到预期的目的。

如何结合电子和计算机设备系统的特点正确地评估、策划、设计其雷电防护方案?如何正确地选购和配置防雷器件?由英国 Furse 公司编写的《电子系统防护手册——电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术指南》正是针对上述问题而编写的。无庸讳言,原著由防雷器件生产厂家编著,书中难免有少量的商业宣传内容,但译者认为,它仍不失为一本电子设备的雷电及瞬态过电压防护技术方面很好的普及、速成实用教材。原著主要是针对电子设备的雷电和瞬态过电压防护而编写的,对于建筑物防雷仅简略介绍,它没有关于电磁场理论方面的复杂公式推算,也并未针对某具体设备、具体防护装置和器件及具体做法进行讨论,而是以通俗易懂的语言就电子设备的雷电和瞬态过电压防护的基本原理、基本原则

及常见问题进行了全面的叙述和讨论。特别值得提出的是 :原著对于防护装置和元、器件并未过分强调 ,而对于常常容易被忽略的 (也恰恰是最容易造成防雷系统失败的)防护装置安装、布线、连接工艺及被防护设备摆放等方面的内容进行了较详细的讨论 ;而且原著推荐的综合接地、整体防护及将雷电与瞬态过电压防护作为整体内容的观点与现代雷电防护技术的观点都是十分吻合的。

需要指出 :原著是以英国国家(防雷)标准 BS 6651 :1992 为主要依据(结合了部分相关国际标准规范)编写的 ,与我国的实际情况可能会有所不同。

译者认为 :本书对于从事电子、自控、通信、计算机等相关专业的工程技术人员和技术管理干部是一本非常好的防雷技术普及教材 ,对于从事防雷技术专业的有关人员也有较高的参考价值。译者也真诚地希望 :本书的编译出版能为我国的防雷事业 ,特别是铁路信号防雷事业的发展尽己绵薄之力。

本书的编译出版 ,得到了广铁(集团)公司范浦辉、郑一凡高级工程师、铁道部运输局刘胜利调研员和中国铁道出版社的热情帮助 ,承蒙铁道部科学研究院邱传睿研究员校审 ,并且得到了(香港)标定工程有限公司的大力支持 ,谨此致以诚挚的感谢。

译者的英文及雷电防护技术方面的水平均十分有限 ,故译文中的谬误、错漏在所难免 ,望读者及各方专家不吝批评指正。

译 者

2002 年 6 月于广州

# 目 录

概 述.....	1
第一章 瞬态过电压的原理.....	3
第二章 瞬态过电压引起的问题 .....	12
第三章 防护的必要性 .....	17
第四章 防护技术及其基本考虑事项 .....	27
第五章 瞬态过电压防护装置的运用 .....	34
第六章 防护装置的选择 .....	41
第七章 实际安装方法 .....	51
第八章 问题与解答 .....	64
附录 A 各国关于雷电活动的标准 .....	74
附录 B 危险率估算实例 .....	76
附录 C 瞬态过电压的模拟与测试 .....	88
附录 D 瞬态过电压防护装置的工作原理 .....	92
参考文献 .....	98
名词术语.....	100

## 概 述

雷电活动或电气开关动作都会干扰电子设备的正常工作,两者均会在电子系统的电源总线及数据通信、信号、电话等线路上引起电压瞬间激增,造成破坏性的后果。所有的电子设备,如:计算机、大厦管理系统、用户程控交换机、闭路电视设备、防火、防盗警报系统、不间断电源系统、逻辑程序控制器、工业传感器、遥测和数据采集装置及地磅装置等,都存在着这种危险。

由于一些制造商的荒谬的理论和主张,整个“电子系统防护”领域目前已成了近乎“巫术”的东西;致使长期存在着大量的错误安装方法,并常常混淆了一些实际由产品性能而引起的问题。

出版本书的目的是为了普及和推广一些好的做法,并共享 Furse 公司在这方面的有关知识和专长,包括 Furse 公司吸收了该领域的权威机构以及一些标准团体的有关著作、文献的有关理论而形成的丰富实践经验。

本书不能取代有关国际标准和通用法规,但可以与它们结合使用。希望通过本书能使您的电子系统获得有效的防护。

我们试图尽量使用通俗易懂的语言,无法简化时将予以说明,并将一些较深奥的专用名词术语和缩写汇编附于书末。

关于专用名词术语,虽然这种情况并不多,但有时会出现诸如何为“a very short duration increase in voltage 一个非常短的时间电压增加”的专用术语约定;在 BS6651 :1992 中有三个不同的条目,对此,为避免混淆,将只选用其中一个能普遍适用的“transient overvoltage 瞬态过电压(有时又缩写为“transient”瞬态)。

在此特别感谢英国标准协会(British Standards Institute)、美国电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics

Engineers)、**保险商实验室**( Underwriters Laboratories )和**瑞士 PTT** 的 **Eric Montandon**( Eric Montandon of the Swiss PTT )。

© Copyright W J Furse & Co Ltd ,1996。除“雷电和瞬态过电压防护的规范”这部分内容(第 46~50 页)外,本书版权归 W J Furse & Co Ltd 公司所有;未经许可,不得以任何目的和方式翻印、拷贝和传播。

我们确信本书的内容是正确的,但 W J Furse & Co Ltd 公司并不承担任何因使用本书而引致的后果。

此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbo.com](http://www.ertongbo.com)

# 第一章 瞬态过电压的原理

什么是瞬态过电压？

所谓“瞬态过电压”，是指在两个或两个以上的导体间测得的电压在很短的时间内急剧增加。

这里所说的很短的时间，是指几微秒（百万分之一秒）到几毫秒（千分之一秒）的时间。

这里所说的电压急剧增加，是指从几伏到几千伏。

电压存在于两个或两个以上的导体间。在供电回路中，这些导体可以是火（相）线、零线和地线。

“瞬态过电压”从技术性和描述性来说都是一个较好的专用名词术语，然而，它也经常被分别称为“浪（电）涌”、“尖脉冲”、“短脉冲干扰”等。“浪涌”一词虽已被广泛使用，但还是应慎重。在世界上一些地方，如英国中部，电力工业部门使用“浪涌”一词，通常是指有多个周期的持续过电压。为避免混淆，本书将使用“瞬态过电压”。

哪些不是瞬态过电压？

由于瞬态过电压是干扰的一种十分特殊的形式，因此，为理解哪些不能算“瞬态过电压”，有必要对其他形式的电气干扰做一个概要的描述。

大多数此类干扰可以表述为基于图 1 所示的正常供电波形的畸变。

“停电”、“断电”、“掉电”这些名词所指的是供电的中断，其持续时间可以是几微秒到几小时（见图 2）。非常短的断电引起的“跳火”将足以损坏电子计算机或其他较敏感的电子装置。

“欠电压”是指供电电压的持续降低，持续时间不少于几秒钟（见图 3）。

“过电压”是指供电电压的持续增高,持续时间不少于几秒钟(见图4)。

“骤降”或“陷落”是指持续时间不大于几秒钟的供电电压降低(见图5)。

“骤增”(或称“浪涌”)是指持续时间不大于几秒钟的供电电压增高(见图6)。



图1 正常供电

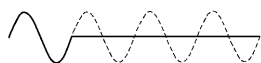


图2 断电



图3 欠电压

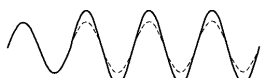


图4 过电压



图5 骤降

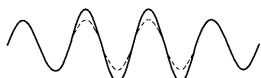


图6 骤增

“瞬态过电压”、“尖峰”(也可称为“浪涌”)或“低频干扰”,是指持续时间不大于微秒级的供电电压突然增高(见图7)。

“电噪声”或“射频干扰”(RFI)是一个连续的高频波(大于5 kHz)叠加在标准正弦波上的畸变(见图8)。

“谐波”是标准正弦波出现最高频率可达3kHz的连续畸变(见图9)。

“核电磁脉冲(NEMP)”或“电磁脉冲(EMP)”,是由核爆炸或强烈的太阳活动引起的一种能量脉冲(见图10),NEMP或EMP瞬态较通常出现的其他瞬态要快得多(极短的上升时间)。见73页。

“静电放电(ESD)”与前述几种通常是感应到电源或数据线上的现象有些不同。两个相互摩擦的绝缘体会同时产生静电电荷,当用导体将两带电体连接时会产生放电,起电机理的一个最常见的例子是将两块化纤

毯分开的情况。当带电的人手接触门把或电子计算机的键盘时将产生放电(见图 11)。

“电磁干扰(EMI)”是一个对系统干扰非常笼统归类的名词。

“电磁兼容(EMC)”是关于防止电磁干扰(EMI)的专门学科。EMC 规定:任何设备不能成为影响其他设备的干扰源,同时也应避免被其他设备所干扰。雷电是不能消除的干扰源,也不能简单地依靠 EMC 电子对抗技术来提供彻底防护。

### 瞬态过电压的起因

瞬态过电压最主要的起因有两个:雷电和电气开关动作。

#### 雷电

虽然通常都用 200 kA 作为雷电放电的上限,然而实际雷电放电电流却可达到惊人的 530 kA。当雷电击中未装设防雷装置的建筑物时,雷电流将以不定的方式通过建筑物不定的结构部位找寻入地的途径,可能造成建筑物的损坏甚至引起火灾。它所引起的瞬态过电压,也是造成建筑物及其内部设施损坏的一个方面。

对于装有防雷装置的建筑物,

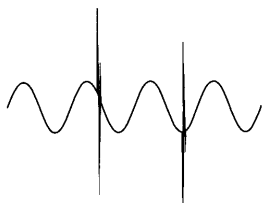


图 7 瞬态过电压



图 8 射频干扰



图 9 谐波干扰



图 10 核电磁脉冲

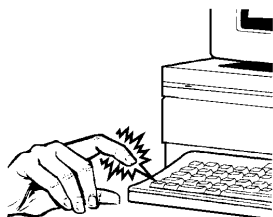


图 11 静电放电

尽管雷击时雷电流可按预定的方式泻入大地,但它将会通过电阻、电感、电容的耦合产生瞬态过电压。详见下述。

雷电通过以下方式引起瞬态过电压:

- 直接雷击侵入电气设施。
- 间接雷击,通过电阻、电感、电容耦合效应侵入电气设施。

直接雷击高压电力电缆。雷击架空高压电力电缆是相当常见的。通常认为降压变压器能对总的瞬态过电压起抑制和消除作用,事实并非如此,尽管变压器对于线对地之间的瞬态过电压能起一定的防护作用,但对于线对线间的瞬态过电压却能够无衰减地通过它。

线对地 是指火线对地线之间或零线对地线之间。

线对线 是指火线对火线之间或火线对零线之间。

当高压线受到雷击时将发生闪络现象,其中一条线将先于其他线发生闪络,造成其他线路线对地间的瞬态过电压转换成了与该发生闪络的线路线对线间的瞬态过电压,即它们非常容易地通过了变压器。

另外,变压器绕组间的电容为任意导线间的高频瞬态过电压提供了通过变压器的通道,这可能会产生加大了线对线间的瞬态过电压的效果,同样,也为线对地间的瞬态过电压提供了通过变压器的通道。

直接雷击低压电力线或通信线路。雷击架空低压电力线或通信线路时,线路与大地之间发生闪络的结果使得大部分雷电流泄入了大地,余下较小(但具破坏性)部分的电流沿着线路侵入电子设备。

电阻耦合是地下或架空线路产生瞬态过电压或受瞬态过电压干扰的最常见的原因。当雷击造成电气上互连的建筑物(或结构物)及建筑(结构)物群的电势升高时,电阻耦合会产生瞬态过电压。

常见电气互连的例子有:

- 变电站至建筑物的供电。
- 建筑物间的供电。
- 建筑物内供电系统至室外照明、闭路电视及保安设备。
- 交换机至建筑物的电话线。
- 建筑物间的电话线。
- 建筑物间的局域网(LAN)或数据通信线路。
- 建筑物至室外或现场传感器的信号线或电源线。

图 12 所示的两座内部分别装有电子设备的建筑物,这些电子设备都已通过市电电源系统接地,而通过连接两部分设备的数据通信线路又将两部分的地连接起来了。

较近的雷击时大量的电流将泄入大地,该电流总是选择电阻最小的路径离开雷击点。接地极、电缆及电子设备(曾经损坏过的)的电气回路都比土壤的导电率高,因此,破坏性的瞬态过电压将如图所示穿过设备的敏感部分。

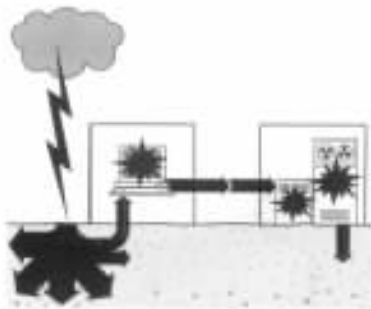


图 12 通过数据线的电阻耦合

图 13 提供了一个在市电供电系统中由电阻耦合产生瞬态过电压的例子。

当分别接地的两个建筑物相距仅数米时,将会出现电阻耦合瞬态过电压。电阻耦合将会对地下或架空电缆产生影响。

电感耦合是一种雷电与电缆之间的电磁感应效应。

雷电放电是一种时刻在流动的巨大大电流,它形成了一个环绕着它的电磁场,当电力或数据

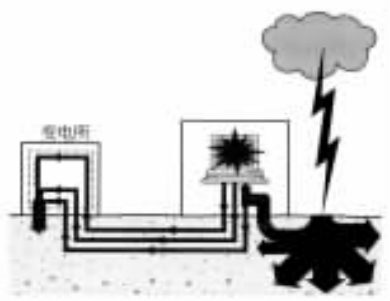


图 13 市电系统中通过火、零、地线等导体的电阻耦合

线路的电缆路径经过它时,将在线路上感应形成一个电压。

当雷电放电距离架空电力线路或通信线路很近时,图 14 这种情况将会频繁发生。

当建筑物的防雷系统遭受雷击时,也常会发生同样的情况。当雷电流通过建筑物的接地体入地时,它所产生的磁场可能会侵入到建筑物内的电线路,引致产生瞬态过电压。(如图 15 所示)

电容耦合。对于较长的线路将其(例如通过变压器或光缆等方式)与地良好隔离,可以有效地防止因其与地或带电雷云团之间的电容所引起的高电压。当该电压升高超过了各终端设备(如光缆等)的击穿强度时,将会造成该设备的损坏。



图 15 避雷针引起的电感耦合

6 000 V,即它的火花间隙等级将保证在通常情况下瞬态过电压不会超过 6 000 V。

- 建筑物内供电系统,其二级雷电流不得大于 10 kA,一般也不小于 3 kA。

数据通信、信号和电话线的瞬态过电压的最不利条件很难准



图 14 电感耦合

关于雷电造成的瞬态过电压的强度。美国电气和电子工程师协会(IEEE)对雷电造成的瞬态过电压进行了非常广泛的研究核对。美国 IEEE C62.41 标准规定:

- 建筑物内的配电系统的瞬态过电压的最不利典型值是

确定,我们认为(基于 CCITT 建议的测试)可设定为 5 000 V/几百安左右。

雷电的特性。雷电具有优先选择打击较高的建筑物或目标向大地放电的特性。但当各建筑物之间的距离大于它们各自高度的两倍以上时,雷电常常也会直接击打在大地上。

图 16 显示了雷电向有关的建筑物、电气设施或周围大地放电及雷电流是如何能进入有关的建筑物和电子系统的情况。

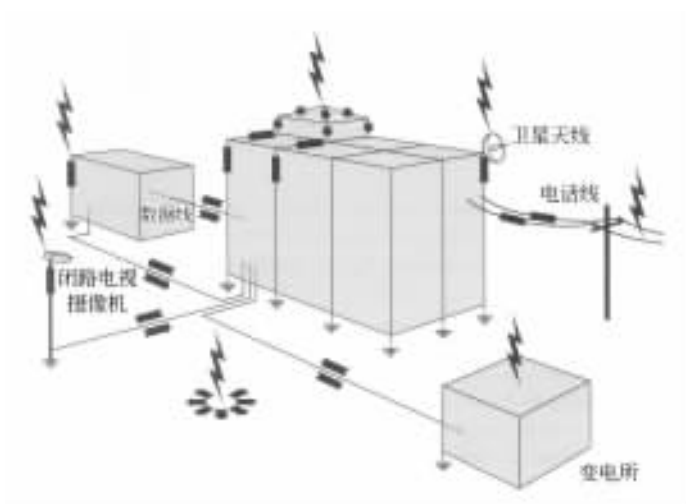


图 16 雷击某地点的任意部位并引起雷电流从雷击点向四周流动的情况(箭头所示为雷电流的可能流动方向)

从雷电防护的效果来说,具有金属包层和金属顶并且全导电的建筑物是一种理想的建筑结构,对置于其中的电子系统来说它相当于一个“屏蔽间”的效果。许多钢结构或钢筋混凝土结构的建筑物具有类似的金属包层的理想效果,由于金属包层和金属顶已合理地整体连接,当雷击该建筑物时,“片状雷电流”将遍布整个金属表层并将其泄入大地;由于雷电的回程和再点火的快速冲击特性,电流的路径将取决于电感而不是电阻,所以,若其电阻没有太大的变化,对电流将没有太大影响。

在钢框架或钢筋混凝土建筑结构中的电流都同样会表现出优

先流向外层导体的特性。如图 17 所示,虽然雷击点在建筑物的顶部中央,但大部分电流并不是流经就近的钢柱入地,而是流经最外层的钢柱入地。由于流经内层三根柱子的电流相对比较小,所以它在建筑物内部所产生的磁场也就相应比较小。

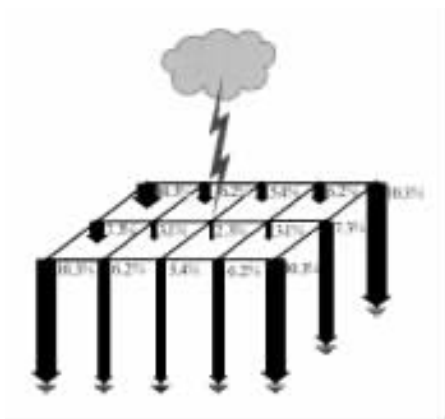


图 17 BS 6651 :1992 标准中的 15 柱建筑  
结构中的雷电流分布

由此,若建筑物的外层有大量的接地导体,就将大大地减小建筑物内部的磁场,建筑物有这样的防雷系统就将大大地减少其内部的电子设备受到瞬态干扰的危险。

雷电的多脉冲现象会对数据传输造成影响。在首次雷击冲击后,紧接着还有多达 20 次的余波冲击,持续时间约 1~2 s,它们所引起的瞬态过电压的强度虽不致造成设备的损坏,但会干扰传输的数据。显然,对于这部分长达 2 s 的误码,计算机的检错系统是很容易就检出和剔除的。

### 电气开关动作

电气开关动作引起的瞬态过电压是一种非常普遍的主要干扰源。

电流通过导体时在其周围建立起一个磁场,将能量以这种形式储存起来,当电流断开或接通时,磁场的能量将急速释放,并力图以其转换为瞬态过电压的形式来获得能量的耗散。

储存的能量愈大,产生的瞬态强度就愈大;而导体愈长和电流愈大,就愈将加剧能量的储存和释放。这就是为何电机、变压器及其他电驱动装置等感性负载的开关动作通常都会引起瞬态过电压的原因。

## 第二章 瞬态过电压引起的问题

无论是雷电或是电气开关动作所引起的瞬态过电压,都具有类似的作用效果:干扰、衰变、损坏和故障停机。

### 干扰

尽管这种情况一般不会造成物理性的损坏,但会干扰数字或模拟电平,从而引起数据丢失、软件和数据损坏,电子计算机无法解释的退出服务、死机、锁死,以及过流开关(RCDs)的错误跳闸等情况,诸如此类的麻烦无法一一列举。

### 衰变

这种情况实际更为糟糕,在用户并不知晓的情况下,电子设备和电路系统长期暴露在较低等级的瞬态过电压下,使得其工作寿命减少和发生故障的可能性增大。

### 损坏

瞬态过电压过高将会造成部分电路板和 I/O 板的损坏。对于特别强烈的瞬态过电压将通过电路板的烧毁来证明它确实存在,而一般的损坏从外表是不太容易看出来的。图 18 显示了一块同时具有可见和不可见损坏情况的电路板。



图 18 外观上仅可见一片集成电路芯片损毁,实际该电路板上的全部集成电路芯片均已损坏

### 故障停机

干扰、局部衰变和损坏都可能会