

大坝安全监测自动化系统的 LEMP 防护

王润英¹, 方卫华²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012)

摘要 :系统地分析了雷电电磁脉冲对大坝安全监测自动化系统的作用,从系统设计、电缆敷设、屏蔽技术、浪涌保护器的设计安装及接地等方面,研究了大坝安全监测自动化系统的防雷问题,提出了采用半导体少长针消雷器、合理地进行系统布置、基于防雷区的浪涌保护器安装、等电位连接、接地、优化软件设计等防雷方法.最后给出的工程实例说明所作的研究具有现实意义.

关键词 :雷电电磁脉冲 ;浪涌保护器 ;接地 ;屏蔽 ;大坝安全监测 ;自动化系统

中图分类号 :TV698.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2001)03-0099-04

大坝安全监测自动化系统因分布范围大,系统硬件的数据采集单元和计算机等均采用大规模集成电路,其耐压不过几十伏,抗损坏能量不到 10^{-3} 焦耳,而雷击可以产生数百千安的放电电流、每欧有数兆焦耳的单位能量及强烈的电磁场,因此大坝安全监测自动化系统很容易遭受雷击.这一点在实际工程中也得到了证实,如葛洲坝、东风、大广坝、飞来峡、东张等工程中使用的国内外系统均遭受过不同程度的雷击.如葛洲坝某系统就因雷击问题而使系统停测了几个月,飞来峡系统也因一次雷击而烧毁大量测量模块.正因为雷击的严重性和广泛性,上述问题已引起了广大用户、系统厂家和设计单位的重视,如在中加合作项目中,由于加拿大是少雷国,其援助的系统中未曾考虑防雷措施,经现场运行发现,系统存在防雷问题,在此之后,所有援助系统中都增加了全套防雷设施.在近期,富春江、深圳水库、十三陵等工程的招标文件和评标中,业主均将系统有无全面的防雷措施和实际业绩作为必然要求和评分标准.通过上述实例可知,大坝监测自动化系统容易遭受雷击,特别是在多雷区,因此有必要加强系统的防雷研究.

1 雷电电磁脉冲的产生及作用

当积电云对地电压累积到一定程度时即产生大气击穿或通过其它接地体放电并在雷击点形成雷电流,在此过程中的雷电电磁脉冲(LEMP)包括:积电云的静电场、放电时的电磁场、雷电流入地时由地电阻形成的地电位差.为区分空间各点的 LEMP 的强弱程度,整个空间被划分为不同的防雷区(LPZ),依据能否遭到直接雷击及电磁场依次衰减可划分为 LPZ0_A, LPZ0_B, LPZ₁ 及后续防雷区 LPZ₂^[1].如坝外未受避雷针、避雷线、消雷器保护的区域属 LPZ0_A 区,受到保护的区域为 LPZ0_B 区,廊道及坝体一定深度内的仪器,由于有坝体的屏蔽作用就属于 LPZ₁ 区.防雷区数越高,电磁环境的参数就越低.

LEMP 通过电阻耦合(由于接地端和电缆屏蔽电阻引起)、电感耦合(由于系统布线的环路和感性部件引起)、电场耦合^[2]进入大坝安全监测自动化系统,从而造成对系统的干扰和破坏.除直击雷外,LEMP 以(电源、通信、传感器)电缆或当采用调制解调器的音频模拟信号通讯时电话线感应电磁场(包括产生雷电二次感应过电压),及由于接地系统不当或仪器绝缘降低引入电位差所产生的后果最为严重.

1.1 交流电源线、总线及传感器电缆感应电磁场

由于数据采集及信息管理计算机的电源线一般采用架空线,其低压端(220 V/380 V)容易感应半径为几百米至几千米范围内的 LEMP 而产生过电压.当空气击穿放电的电场强度在 500 kV/m 时,将形成对系统有明显作用的电磁场^[1].在实验室的试验中,50 Ω 细缆和粗缆的同轴传输线,当 10 kA 的放电电流在距离其 10m 处时,在传输线的屏蔽层接地条件下芯线感应过电压大于 2 500 V,将电缆埋地 50cm 时,感应过电压仍大于

收稿日期 2000-04-10
作者简介:王润英(1972—),女,浙江东阳人,硕士,水工专业,主要从事大坝安全新技术研究.

800 V. 可见, 不仅电源线容易产生感应浪涌脉冲, 总线电缆和传感器电缆即使埋设在坝内也会受到 LEMP 的影响, 更不用说将其沿坝面敷设了.

1.2 接地不当或埋入电缆绝缘降低形成雷击反击或引入地电位差

若雷电流接地引下线或接地装置与被保护物之间的距离小于安全距离时, 由接地装置向被保护物产生反击. 此外, 由于金属导体与土壤(或混凝土)的电阻率不同, 也会将地电位差引入系统, 从而造成系统的破坏. 特别是当接地处理不当或系统埋入电缆绝缘降低时, 就会产生加在系统上的脉冲电压. 此脉冲电压将会在作用点或系统耐压低的地方造成破坏, 如测量模块、传感器被损, 电缆绝缘降低(电缆绝缘包层被击穿出现小孔等)^①, 而电缆绝缘降低又会加剧上述后果.

由于雷击点的随机性和电磁场的空间分布, 以上感应过电压或雷击反击电压, 可能会作用于系统内任一模块或存在于系统内任意两根电缆之间.

2 LEMP 的防护

2.1 采用半导体少长针消雷装置避免系统遭受雷电直击

雷电直击的概率尽管很小, 但在多雷区易遭受雷击的地方, 应采用半导体少长针消雷器对系统加以保护, 尤其是信息管理及数据采集计算机等关键部位. 这种消雷器不但能有效防止直击雷, 同时对雷电电磁场也有一定的屏蔽作用. 由于其防雷原理与避雷针(线)不同, 在实际工程中应用效果较好. 其安装高度在平原地区一般不少于 35 m, 保护半径可按 5 倍塔高、保护角可按 80° 考虑^[3].

2.2 合理进行系统设计, 包括测点和仪器布置、电缆敷设和仪器选型, 采取必要的屏蔽措施

在进行自动化系统设计时, 应尽可能将监测仪器(传感器)、数据采集单元、计算机(工控机)等紧凑布置, 以尽量减少系统分布范围. 对于较远的连接, 必要时应采用无线或光纤通讯及太阳能蓄电池供电等措施. 其次应将系统尽可能布置在具有屏蔽效果的观测室或廊道内, 观测室尽可能不要设在山头、宽阔地等易遭受雷击的地方, 并按防雷标准设计. 电缆敷设时应避免产生环路和尽量采用屏蔽双绞电缆, 同时应选择绝缘耐压抗老化水平高的电缆. 在坝外要采用镀锌管埋入式敷设, 并尽可能减少镀锌管连接点的接触电阻, 这样也可以避免电缆受破坏及老化引起绝缘降低甚至断(短)路. 系统布线或传感器应避免避雷针等引雷装置及其接地引下线, 一般距离要求大于 20 m^[4]. 在系统运行过程中应将绝缘降低或由于其它原因不能测量的仪器及电缆及时从系统中剔除, 以减少系统受 LEMP 干扰的可能性. 从电源线上引入的雷电干扰较大, 因此, 将市电引进系统前除安装合适的防雷器和接地外, 还应安装隔离变压器、暂态来波吸收器等隔离、稳压、滤波设施. 在仪器选型时, 尽量选择耐压水平高、传输数字(或频率)信号的仪器, 如振弦式仪器, 而尽量不要选择传输模拟信号的仪器, 必要时应选择光纤传感器, 如 Rocrest 公司生产的大坝安全监测光纤传感器.

2.3 优化浪涌保护器设计及布置, 进行合理的等电位和接地连接

2.3.1 浪涌保护器的设计与测试

浪涌保护器(SPD)包括火花隙、放电管、压敏电阻、抑制二极管或它们与去耦元件的组合, 去耦元件包括电阻和电感, 一般电阻用于高频电路, 电感用于低频电路. 由于单个器件的过电压保护特性较差, 一般在关键部位均采用它们的组合构成模块化 SPD. 在进行 SPD 设计时应考虑到以下几个方面: (a) 安装位置及被保护设备的耐压水平、过流能力和极限承受能量. (b) SPD 的频带范围(通信容量、标准波特率)、响应时间、工作环境、动作电压、箝位电压、插入损耗、耐受能量、串联阻抗等, SPD 内部各元器件的能量配合及输入、输出特征^[1], SPD 的漏电流、电容、电感和抗老化及残压特性.

设计出的 SPD 要能达到保护而不干扰系统稳定运行和便于安装更换的目的, 如 RS-485/422 通信线路的内层 SPD, 从外到内通过放电管、压敏电阻、抑制二极管及与它们之间的去耦元件依次组合, 可使其箝位电压小于 7 V, 耐冲击电流大于 5 kA, 响应时间小于 5 ns, 介入损耗小于 0.5 dB^[5]. 根据系统各部分价格、更换的难易程度及造成的影响, 防雷保护优先级从高到低依次为: 信息管理系统(包括数据库磁盘等)→坝内埋设仪器及电缆→数据采集计算机→数据采集单元→坝外(包括测压管内)仪器及电缆等→SPD 本身.

进行 SPD 设计和试验时, 应根据上述优先级, 并结合具体大坝所在地及系统规模和分布情况估算系统

① Shoup Dale. 真实世界中的传感器——对土工传感器及电缆的防雷保护. 大坝安全监测技术国际学术讨论会论文集, 杭州: 1992.

各部分承受的 LEMP 强度, 计算各处 SPD 的技术指标, 通过各元器件的组合使 SPD 达到设计指标, 再用模拟雷电流发生器进行考核^[1].

2.3.2 浪涌保护器的安装

一个完整的防雷保护应是多级的, SPD 串联在每个防雷区的交界处的电缆上并合理接地, 接线应参照凯文接线方式, 同时, 各层 SPD 之间应设去耦器件, 或采取其它措施避免被保护物成为感性, 并使其本身的等值阻抗小于 SPD 与被保护物之间线路的波阻抗, 以避免产生反射现象^[2]; 另外还应在交流电源入口处设置匹配保险丝, 以保证系统的安全^[1].

由于埋入式传感器及电缆的损坏比测量模块损坏具有更为严重的后果, 因此其防雷问题应特别重视. 当埋入式(包括测压管内)传感器电缆引出坝体跨过不同的 LPZ 时, 应根据 LPZ 接 SPD, 其接地可采用埋入坝体的钢筋或完整性较好的金属测压管管体, 钢筋或管体的埋入深度应大于仪器埋入深度或使其接地电阻小于 10Ω ^①.

2.3.3 等电位连接与接地

a. 等电位连接的目的是减小需要防雷的空间内各金属部件之间的电位差, 同一防雷区内应采用等电位连接线和螺栓紧固的线夹在等电位连接带处做等电位连接, 如同一廊道内的各数据采集单元. 铜或镀锌扁铁等电位连接的最小截面应大于 50mm^2 ^[1], 不同防雷区交界处等电位连接应通过 SPD 相联. 等电位连接应采用 S 型(小型系统)和 M 型(大型系统)或它们的组合, 同时要注意绝缘和接地基准点^[1].

b. 接地地网应采用闭合网络并多点接入, 这种地网对于雷电脉冲呈容性, 阻抗很小, 有利于雷电流迅速疏散入地, SPD 的接地线可选用多股绞合铜线, 以减小由于集肤效应所引起的阻抗增加.

2.4 优化系统机电及软件设计, 选择耐压水平高的元件与系统

实现同一功能的元器件和实现同一物理量量测的传感器, 其耐压水平是不一样的, 因此, 在我们进行系统研制时应进行测试比较和现场调研, 尤其注意在水工环境下的防潮和绝缘问题. 具体如在电源线上采取隔离稳压及滤波措施, 数据线上采用光电隔离, 通讯采用差分传输方式, 软件采取数字滤波、多级校验、自恢复等措施, 测量模块设计时选择耐压高和抗干扰能力强的元器件并采取有效抗干扰措施, 并配备屏蔽(铝合金)密封机箱, 以提高仪器设备整体防雷能力.

在元器件选择上, 现以 8031 自带异步通信器外接 75176 芯片转换成 485 总线为例, 为实现隔离, 可采用 TIL117 或直接选用抗雷击 485 芯片如 SN75LBC184 等. 同样在实现 RS-232 与 RS-485/422 转换电路中, 选用 MAX202E 为能抗 $\pm 15\text{kV}$ 静电冲击的 RS-232 数据接口器件, 而 MAX1480B 为电源和信号全隔离型 RS-485/422 数据接口器件, 同时其电源选择新一代微型低功耗模块式开关电源 PW03-S5, 其输入电压 50 Hz, AC85~265 V, 输出电压 5 V, 输出功率 3 W, 纹波电压有效值小于或等于 80 mV, 隔离电压大于或等于 3 000 V, 并且在输入、输出端分别加接双极性和单极性 TVP, 从而可有效地提高系统整体防雷能力^[5].

3 工程实例

广东某大坝处于一宽阔河床, 坝体由混凝土坝及土坝构成, 坝体总长约 2 500 m, 信息管理系统设在几十公里外的省城, 由于系统开始未能很好考虑防雷问题, 致使系统许多测量板和坝内埋设仪器两次遭受雷击损坏. 当严格按本文所述方法改进后, 系统防雷能力大大提高, 现已经过两个雷雨期的安全运行.

浙江多雷区某大坝由一座主坝及两座副坝构成, 虽然系统分布范围大, 总线长度超过 3 000 m, 由于全面地进行了 LEMP 防护, 系统防雷能力有了保证, 已稳定运行 3 年.

4 结 语

大坝安全监测自动化系统由于其结构和特定的工作环境, 使其容易遭受 LEMP 的作用, 从而导致系统测值不稳, 甚至仪器设备损坏, 这已在实际工程中得到证实, 从而引起了广大用户、厂商和设计单位的广泛关注.

①Shoup Dale. 真实世界中的传感器——对土工传感器及电缆的防雷保护. 大坝安全监测技术国际学术讨论会论文集. 杭州: 1992.

LEMP 的防护要从系统布置、电缆敷设、屏蔽技术、SPD 设计安装、接地、系统仪器设备(元器件选择、电路设计等)及软件设计等多方面综合考虑,特别是要根据 LPZ 进行多级防护.当然采用光纤通信、光纤传感器及无线通讯也是解决系统 LEMP 防护问题的有效途径之一.

通过上文的分析可知,要提高系统的 LEMP 防护能力,要从系统设计、硬软件的研制、仪器设备的选型、系统安装调试和运行维护全过程入手,全方位把握.

参考文献：

[1] 国际电工委员会(IEC/T81). IEC1312 - 1/2/3. 雷电电磁脉冲的防护[S]. 1994 ~ 1996.
[2] 毛楠, 孙瑛. 电子电路抗干扰实用技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996. 28 ~ 29.
[3] 游镇强. 加装半导体消雷器的防雷效果[J]. 高电压技术, 1993(4). 32 ~ 36.
[4] 朱巨军, 劳力云. 雷电对微机系统的影响及防护措施[J]. 微型机与应用, 1997(12). 39 ~ 42.
[5] 张长德, 吴慧, 稽立庆, 等. 抗感应雷电冲击的新型基带数传机[J]. 电子技术应用, 1999(3). 51 ~ 69.

LEMP Protection of Automatic System for Dam Safety Monitoring

WANG Run-ying¹, FANG Wei-hua²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Nanjing Automation Institute of Water Resource & Hydrology Ministry of
Water Resource, Nanjing 210012, China)

Abstract :LEMP used in the automatic system for dam safety monitoring is analyzed systematically, and LEMP protection methods such as system design, cable arrangement, shield technology, SPD design and arrangement, etc. are provided. Examples in this paper prove that the research is of practical significance.

Key words :LEMP, SPD, grounding, shield, dam safety monitoring, automatic system