

电力行业管理与执法实务全书

# 雷电安全技术 (六)

卢炳瑞 主编

中国言实出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力行业管理与执法实务全书/卢炳瑞主编.

—北京:中国言实出版社,2004.9

ISBN 7-80128-321-6

I. 电…

II. 卢…

III. 电力工业—法规—中国—汇编

IV. F407.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103281 号

中国言实出版社出版发行

(北京市西城区府右街 2 号 邮政编码 100017)

中铁十六局印刷厂

787×1092 32 499.125 印张

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1~1 000 册

定价: 2560.00 元(本卷 16.00 元)

# 目 录

◎ IEC 建筑防雷标准和我国建筑防雷国家标准中的 几个急需纠正的错误和问题 .....	1
◎ 防雷技术展开展首日遭冷落，原因何在？ .....	15
◎ 有人遭雷击怎么办 .....	17
◎ 触电与雷击急救措施 .....	17
◎ 台州突降罕见冰雹一人遇雷击而死 .....	20
◎ 预防雷击 .....	20
◎ 惊险一幕：庐山五老峰遭雷击 4 人死 .....	21
◎ 中国科学家攻克百米雷击电磁场科研难题中国电 磁兼容网 .....	26
◎ 电源电涌保护器工作原理： .....	27
◎ 信号及通讯电涌保护器工作原理 .....	28
◎ 供配电系统遭雷击 .....	34
◎ 档案馆安全阳西县档案室防雷安全有“硬指标” ...	43
◎ 落实措施广州市易燃易爆场所九成防雷合格 .....	44
◎ 广州气象部门：防雷设计不合格除停工外还要罚款 ...	46
◎ 听证会：太和“桐林别墅”楼盘防雷未报批该不 该罚？ .....	47
◎ 气象部门业务系统防雷安全管理暂行规定 .....	50
◎ 日喀则开展防雷安全专项检查 .....	57

◎我市将开展防雷安全大检查加油站高层住宅防雷 设施成检查重点 .....	58
◎我市出台防雷安全措施 .....	59
◎浅谈通信设施的防雷安全 .....	61
◎中国气象局关于进一步加强防雷减灾工作的意见 .....	65
◎认真学习贯彻防雷减灾法规开创我省防雷减灾工 作的新局面 .....	70
◎发挥首都科技优势加强防雷行业管理 .....	90
◎上海防雷简报 .....	101
◎重庆市防雷工作 .....	116
◎全国防雷形势分析 .....	127
◎陕西省防雷减灾工作领导小组会议纪要 .....	131
◎建筑物防雷保护设计浅析 .....	134
◎个人电脑防雷措施 .....	143
◎防雷技术介绍 .....	145
◎关于加强防雷安全监督管理的通知 .....	153
◎避雷针防雷安全技术分析 .....	156
◎开化召开全县防雷安全工作会议 .....	160
◎全面提升防雷安全管理水平加速防雷减灾事业 发展 .....	161
◎社会公众高度关注防雷安全 .....	168
◎关于防雷装置设计、施工审批事项的公示承诺 .....	169

◎我市开展防雷安全大检查 .....	170
◎防雷安全专项检查 .....	171
◎垫江构建防雷安全体系 .....	171
◎贵阳市居民住宅防雷安全“一高两低” .....	172
◎商住小区防雷安全谁负责市防雷减灾管理中 心解答释疑 .....	173
◎铁路站场通信信号综合防雷技术研究及应用 .....	175
◎3月进入雷暴高发期湖南省开展防雷安全大检查 .....	186
◎今年四起雷灾损失百万鹤壁开展防雷安全大检查 .....	187
◎气象部门业务系统防雷安全管理暂行规定 .....	188

## ◎IEC 建筑防雷标准和我国建筑防雷国家标准中的几个急需纠正的错误和问题

### 一问题的提出

IEC 建筑防雷标准中存在一些技术错误、可靠性(其反面是风险率)畸高畸低和相互不协调之处,我国建筑防雷国标主要来源是 IEC 标准,而有一些并非 IEC 标准却又说是引自 IEC 标准。这两个标准有一个共同点,就是一些重要数据缺乏论证依据和试验依据,而带有主观随意性。如建筑物 SPD1 一级保护最大通流能量的确定方法,和引入建筑物埋地电缆屏蔽层对 SPD1 放电电流限制作用如何考虑等都存在问题;而对雷击建筑物时可能造成的设备绝缘反击问题(高土壤电阻率地区、山地,特别是建筑物面积较小,如  $40 \times 40\text{m}^2$ 、 $30 \times 30\text{m}^2$  及以下的机房)则两个标准均未作规定。这还涉及反击过程中室内一级、二级、三级保护的動作先后和放电电流大小是随机的,由外往内放电电流逐级减少的顺序失去意义;只在一层或某层设 3 级保护,如何防止上面各层的反击等等。结果是用建筑防雷 IEC 标准其低压 220VSPD 成为全世界通流容量最大,不仅是比同级配电网 MOV 大好多倍,而且比各国 220kV 高压 MOV(30kA)高,甚至比 500kV 超高压 MOV(80kA)还高,而试验波形又首次选用 10/350 $\mu$

s 波形，其能量比以往增大到 20—22 倍之多，以至价值百元级的保护器现在初辄几千、几万元一只。如此畸形的标准若长期使用下去，会给国家造成多大的浪费？每年几千万元，还是上亿万元？我们这样一个发展中国家，难道成为吸引全世界低压保护器小厂都来中国销售世界最“豪华”的小型保护器，拳头大小售几万元，相当于 220kA、500kA 级，2m 高、5m 高的 2 万元、5 万元一台 MOV，而多数厂家不具备制造后者的条件，却来大发“洋财”；这种咄咄怪事，号称中国防雷专家，不该汗颜？难怪一位不久前从法国回国的防雷专家有这样的感慨：“相信这种各国厂家都来中国销售世界最昂贵而国外都不使用的保护器的状态，几年后总会有明白人出来结束这种状态！”因此，我们呼吁，全国高电压及防雷工作者和有关管理部门应认真研究这一问题及早得出正确的结论。呼吁同行们展开讨论，尽早结束这种状态。但应说明，标准中虽有以上问题需要研究解决，但对其总体上的正确性和权威性不应怀疑，应该严格贯彻执行。

二 IEC 和建筑防雷国际中 SPD1 通过电流计算方法中存在的混乱和错误

IEC1312—11995 和建筑防雷国标 GB50057—94 第六章(2000 年新增版)图 634—1 给出了计算 SPD1

电流的方法，其原则是雷击建筑物时，50%的电流从接地装置入地，其余50%的电流由引入建筑物的电源线、电话线和电缆流出，这种电流分布经验数据是来源于大量实测，还是针对典型情况所作的计算？根据我们对电路的分析，实际情况要比以上假定复杂得多，不同情况的电流分配变化很大，需要专门进行研究。

21 错误之(1)：这里首先假定它是正确的，但按其选建筑物内的 SPD1 却是不正确的。

GB50057 说明，按照第 I 类试验方法(即  $10/350 \mu\text{s}$  波形)的 SPD 在界面处，但界面就是墙，总不能把保护器装在墙上开出的专用小窗上吧？较为合理的是装于墙内，但这就不符合 SPD1 的条件，按该标准就不必采用  $10/350 \mu\text{s}$  波形，IEC1312 和国标以及标准制订者本人一开始就认定一级保护要用  $10/350 \mu\text{s}$  波形(有的 IEC 制订者来华作技术交流时就是这样说的，而且有时还要  $100\text{kA}$  的电流值)，那样就只好装于墙外了，在墙外露天安装？还是在配电线引入处安装？需知，多数情况下后者已是供电局所属的配电室或配电变压器低压侧 MOV，它执行 IEC 避雷器标准和我国电力设备国标 GB11032-2000(电力部与机械部协商制订的，参照 IEC 避雷器标准中的低压配电避雷

器标准)。上个世纪, IEC 和我国电力国标一直采用最大通流容量 25kA, 2001 年又参照 IEC 新标准最大通流容量降至 9kA。对于这一标准, 电力部门部分专家认为, 现在 MOV 制造水平提高, 很容易达到 25kA, 降至 9kA 并没有多大经济效益, 因为 220V 每只 MOV 才 25—30 元。但制造部门认为, 多年运行证明极少发生因超过 25kA 而引起 MOV 损坏的事故, 所以采用 IEC 配电避雷器新标准 9kA 是合适的。关于暴露在露天, 直接承受直击雷的作用, 世界各国配电网运行满意的 25kA, 本来应当是建筑物防雷首先应该考虑的经验数据, IEC1312 制订者和我国 GB50057 制订者却无视这一重要经验而要从头开始选用建筑物内 MOV 的通流是和试验用波形, 实在令人费解。

22 错误之(2): 由以上分析, 电流向建筑物外流出的 50% 电流应该流向何处? 如果说是流向界面处的 SPD1 (该标准中的文字说明应该是这样), 可是, 不论是装于墙内小窗, 还是装于墙上的外侧, 按规定其接地都应该与建筑物接地连接在一起, 并实施局部等电位连接, 可是这样 SPD1 的电流就只能流回室内而不是那 50% 电流从引入电线流出, 流到远方, 这与本图的意义相矛盾了。然而, 按条文只能是流到远方, 亦即流到供电局所辖的低压配电室的 SPD 了。可见, 从

选定 SPD1 的电流位置看，要么图 1 是错误的，按它选不出采用  $10/350 \mu\text{s}$  的在墙界面处 SPD 的电流值，因为墙内小窗上和外面墙上的 SPD 其接地都是与建筑接地连接，不属于向外流的电流；要么这电流是流向供电局的配电室或配电变压器低压侧的 MOV，而这已属电力部门安装管理，且执行电力国家标准。

23 错误之(3)：图 1 只是科普的通俗示意图，它不符合严格的工程图的要求，不能用于标准。因为雷直击建筑时，与接地连接的管道可以如图所示，电流流向外面，而各种电线则应表示建筑结构的高电位击穿导线绝缘，电流才能流到外面去，图中需补画金属结构向导线击穿的电弧，亦即反击电流的电弧。还有另一种情况，就是地电位升通过各个 SPD 向导线反击放电，从电线流到外面去(计算方法见后)。后一工况在图中则应补上代表 SPD 的动态电阻(一般 005-015  $\Omega$  连接于地网与导线之间)，通过它才能连接导线将电流引向外面。

24 问题之(4)：GB500057 中规定：“尚应考虑各种设施引入建筑物的雷电流。应采用以上两值的较大者”这是正确的。但国标却只算第一种情况，而未见到针对第二种情况所作的计算。为什么？

三雷击建筑物时 SPD1 放电电流的计算

我们不是 IEC 和中国国标制订者, 限于物力和经费等条件, 无法对某些参数进行实测, 更难于按实际情况通过整体系统的冲击大电流试验(过去我们进行过类似规模的试验, 例如作者指导广西电力试验研究所在一次国家重点课题的高达 36—38kA 大型冲击电流试验中, 其试验设备总重达 40 吨之多), 所以这里只能进行近似的估算, 用以指出应当采用的正确方法和近似的放电电流数值。

### 31 电线、电缆发生的反击和绝缘击穿

这时直击雷电流通过各种电线向外的分流是由各电线的波阻抗决定的(通过 L、C 的分布参数, 在远方接地)。

#### 311 在一层地面附近击穿架空线绝缘

雷击建筑物击穿电线或电缆的绝缘(很长线路的情况, 即末端反射波未到达其幅值的情况)。

##### a) 按线路波阻抗散流情况计算

对很长的架空配电线, 估计其多导线波阻抗  $Z=100\sim 200\Omega$ , 从严, 取  $100\Omega$ , 则对 I、II 类建筑物, 其从配电线引出的电流为:

对 I 类建筑物,  $I=200\text{kA}$ , 按图 1

按装 3 只 SPD 计算, 每只电流

$$i_1 = i_0/3 = (2\sim 4)/3 = 067\sim 13\text{kA}$$

对 II 类建筑物,  $I = 150\text{kA}$

$$i_{01} \cong 150 \times (1 \sim 2) / 100 = 15 \sim 3\text{kA}$$

每只 SPD 的电流

$$i_1 = (15 \sim 3) / 3 = 01 \sim 1\text{kA} \lll 25\text{kA} \quad \{(\text{国标 647 算例中的值})$$

对后续雷击  $375\text{kA}$

b) 近似按稍短线路的电感集中参数计算(假设线路长度为波头值 80% 时反射波到达击穿绝缘点)参考 [1], 考虑很高电压下导线上的波速为光速的 75%, 即  $v = 0.75 \times 300 = 225\text{m} / \mu\text{S}$ ; 反射波到达击穿绝缘点时, 线路长度为:

对 I1,  $\tau = 10\mu\text{S}$ , 则

$$\text{对应 } 80\% \text{ 波头长的时间 } l_1 = 0.8 \times 1125 = 900\text{m}$$

该线路单位长度的电感为  $100 / 225 = 0.44\mu\text{H}/\text{m}$  该 900m 的电感为  $L = 0.44 \times 900 = 396\mu\text{H}$

建筑物从地面处击穿绝缘往下到 0 电位面处的电感, 由文 [2] 按 МВКОСТЕНКО 可取相当地面下有 5~10m 引下线的电感, 估计一座建筑物(以塔楼为例)的电感约为  $0.3\text{--}0.4\mu\text{H}/\text{m}$ , 可取此电感为  $4\mu\text{H}$ 。这样, 就相当于雷击点向两侧电路分流的等值电路。

计算此电流分布, 实质上是雷击点两侧分别为  $(L_1 + R(1))$  电路与  $(L_2 + R(2))$  电路的电流分流问题。早

在 1973 年 8 月，作者在参与修订过电压与接地国家标准和规程时，就在世界上首次导出了雷击避雷线时电流向两侧分流以及该点电压和对被保护物的安全距离的计算公式[3]，并列入 1976、1979 和 1997 年等各版本的标准中，这里与[1][4]不同之处是：当时是以导线长度表示，这里是以电感表示。

雷击点到地的电位  $U$  可以从该点向 1 点和 2 点分别按求得，且两者应当相等，由此可以列出下列微分方程：

解之得出

积分

此处  $I_1$  为流向“1”侧的电流，代入(3)式，即可算出分流系数。

上式简化后可求出

当雷电流达到峰值，即  $t = \tau_z$  时，其分流系数

下面计算长架空线路的引出电流的分流系数 ( $\tau_1 = 10 \mu S$ )：

此处  $I_1$  为流向“1”侧的电流。

由上可知，一路架空线路引出的电流为总电流的  $1 - \beta_1 = 1 - 0.979 = 0.021$ ，即 2.1%。

对 II 类防雷建筑， $I_1 = 150 \text{kA}$ 。则一路线路引出电流为

$$i_{01}=0021 \times 150=32\text{kA}$$

这与前面按  $Z=100\Omega$  无穷长架空线导出的  $R=1\Omega$  和  $2\Omega$  时  $i_{01}=15\text{kA}$  和  $i_{01}=3\text{kA}$  是很接近的, 后一结果数值稍大是因为线路长度缩短 20%, 可见两种算法都是正确的和可信的。

我们还可假设一个重要用户有两路配电线引入, 有两路架空电话线引入, 并近似都按上述分流值估计, 则总的引出电流也只有

$$i_{\Sigma} \leq 4 \times 32\text{kA}=13\text{kA}$$

或即  $i_{\Sigma}=4 \times 21\%=84\% \ll 50\%$  (IEC 和国标中算例认为的数值)

可见两个标准中的这项重要数据应当重新研究和修改。

记得有德国的几位防雷专家曾介绍 DEAN 公司, ORO 公司等的经验数据、雷击建筑物时, 流过建筑物的金属结构和接地装置的电流为 50%, 这其余 50% 又分别由电线和管道平分, 即各流 25%。作者认为这是科普性的粗略说法, 它与各种条件有关, 不可能是固定的百分数。事实上, 也没有人拿出不同条件实测的电流值, 不过, 其中管道分流是会占很大比重, 我们计算如后。

### c) 管道引出电流的计算

管道波阻  $Z_p$  缺乏具体数据，但它会比高电压电缆的阻抗小，而与铁路轨道的波阻  $Z_r$  相近，即

$$Z_p < 20 \sim 50 \Omega \text{ (高压电缆的波阻)}$$

$$Z_p \approx 10 \sim 20 \Omega \text{ (铁路轨道的波阻)}$$

按上列数据估计两条 管道上下水管道、煤气管道共3条，此处仅按两条 计算的分流值，每条 取  $Z_p = 15 \Omega$ ，则

一般是每个管道都是引进和引出，这样，两种管道就是两进两出。其中：两个引进和引出管道的波阻（平行  $n$  根，其并联值应为该）分别为：

两进与两出的并联值为

管道的引出总电流为

这相当总电流的

此数再加各种电线的分流，特别是其中又有电缆时，那分流数就会约为 50%。

仔细查阅，IEC 和建筑国标中实际上已指出，引出的 50% 电流的包括了管道的引出电流，而在计算例中却又忘记了这部分电流，而是把架空线引出的电流过份夸大了，造成不小的错误。当然，作为国际标准和国家标准，取用科普性的粗略数订成标准，各种情况都执行一个平均数，这本身就是不正确的，是不能允许的。

### 312 在楼顶击穿架空线绝缘

假定楼高  $H=80\text{m}$ ，其电感  $L=03\% \times 80=24 \mu\text{H}$  (估计单位长度电感为  $03 \mu\text{H}/\text{m}$ )，一路电源线由一层引到远方。按楼内未用金属管屏蔽时计算，因此时引出电流最大。

II 类防雷建筑， $I_1=150\text{kA}$  楼顶电压：

一路电源线分出的电流

为  $R=1\Omega$  时  $i_1 \approx U/Z=510/100=51\text{kA}$

$R=2\Omega$  时， $i_1=66\text{kA}$

可见比一层击穿绝缘时的电流稍大，即使有独立的双路电源线和独立的双路电话线，且近似均各有上述的引出电流，则电线总的引出电流为：

$i_{1\text{总}}=4i_1=4 \times 66=264\text{kA}$

占总电流的百分比

若各电线均按规定穿入接地铁管，则只是反击电压驱动外泄电压，按反击系数最大值  $K=015$ ，最大引出电流也只有，占总电流的 3%。

由以上计算可知，IEC 和建筑国标中规定的电线引出电流 50%，无论是在底层击穿绝缘还是在楼顶击穿等绝缘，都不可能引出这样多的电流。只有加上几条管道引出电流，才可能接近 50%。

### 313 击穿长电缆线绝缘 (屏蔽层在建筑物外无良

好接地，如悬挂式电缆。)

长电缆是指  $26 \sim 10 \mu\text{s}$  波头的 LEMP 从末端 SPD 反射回来时，来波已达到波峰值的长度，波在电缆中传播速度约为光速的一半，即约为  $0.5 \times 300 = 150 \text{m}/\mu\text{s}$ ，即  $l_1 = (26 \sim 10 / (2)) \times 150 = 190 \sim 750 \text{m}$ ，对  $Z_T = 0.25 \mu\text{s}$  波头， $l_2 = (0.25 / (2)) \times 150 = 19 \text{m}$ 。低压配电电缆的波阻，当三相传播雷电波时，其每相波阻估计  $Z_C = 5 \sim 10 \Omega$ ，本计算取较小值  $5 \Omega$ 。

雷击建筑物时在一层(地面)击穿绝缘时，Ⅰ类建筑物外远方 SPD 所通过的电流为：

取 SPD 的动态电阻  $r_d = 0.1 \Omega$  则

因这是近似计算，取  $39 \text{kA}$ ，若按电缆与建筑物分流详算，可证明  $R=2$  时，也不会达到  $80 \text{kA}$ 。

3.2 地电位升通过 SPD 向外散流

3.2.1 架空长配电线

这是最经常出现的雷击建筑物工况，每次雷击建筑物都会通过 SPD 把部分电流引到建筑物以外。

对Ⅰ类防雷建筑物： $I_1 = 200 \text{kA}$ ，SPD(MOA 型)的动态电阻  $r_d \approx 0.05 \sim 0.2 \Omega$  (较大值用于几千安小电流情况)雷击时地电位升反作用于建筑物内 MOV，并通过它向所连线路的远端 SPD 放电。线路经 L、C 分布参数在远方 SPD 接地。因为此时是三相 SPD 同时动作和通