

苏联科学院
T.M. 克尔日盖诺夫斯基动力研究所

工业结构物和房屋 的防雷保护

斯捷柯里尼科夫教授主编

建筑工程出版社

工业結構物和房屋的防雷保护

廖傳善 劉 丰 等譯

內容提要 本書提出了建築物根據其所需的防雷保護措施等級而作的最科學的分類，詳細闡述各類建築物的防雷保護方法，並以實例說明之。對如何防止直接雷擊、感應雷擊及沿架空線引來的危險電位，也作了專題的探討。此外，對防雷保護裝置各部件（避雷針、引下線、接地裝置等）的效能、設計、計算，對防雷保護裝置的管理，也都有詳盡的說明。

本書可供設計部門的工程技術人員，科學研究機關和高等建築工程學校的研究、教學人員參考之用。

原本說明

書 名 ГРОЗОЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ЗДАНИЙ

編 者 И. С. Стекольников и др.

出版者 Издательство Академии наук СССР

出版地點 Москва-1951

及 年 份

工業結構物和房屋的防雷保護

廖傳善 劉 丰 等 譯

*

建築工程出版社出版（北京市東廠門外大街）

（北京市書刊出版營業許可證出字第 003 號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號 755 125 千字 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{3}{8}$ 插頁 1

1958年3月第1版 1973年3月第1次印刷

印數：1—2,460 冊 定價（19）1.00 元

目 录

譯者的話	6
序 言	7
第一章 雷电及雷电效应	9
第一节 直接雷击的参数	9
第二节 雷电的各种效应	12
1. 直接雷击的效应	12
2. 雷电感应	15
3. 沿架空綫引来危險电位	18
4. 火花是爆炸和起火的根源	19
第二章 苏联各地区雷电情况的測定(略)	
第三章 房屋和建筑物按照防雷保护措施等級的分类	23
第一节 引 言	23
第二节 分 类	23
第四章 各类建筑物的保护方法	26
第一节 第一类建筑物的保护方法	26
第二节 第二类建筑物的保护方法	27
第三节 第三类建筑物的保护方法	28
第四节 一般事項	30
第五章 防止建筑物遭受直接雷击的保护裝置	31
第一节 各式避雷裝置的保护范围	31
1. 关于保护范围现有研究工作的概述	31
2. 保护范围	34
3. 确定保护范围的計算图	44
第二节 引下綫和被保护建筑物之間的允許距离	47
1. 引下綫电位的計算	47
2. 引下綫和被保护建筑物之間的空气間隔、木質間隔 和大地間隔的允許距离	57

3. 利用樹木做避雷裝置的支柱	60
第三节 避雷裝置和引下綫的結構設計	63
1. 基本原則	63
2. 避雷針金屬結構的結構設計	64
3. 木架結構及避雷針的設計	67
4. 避雷綫的設計	68
5. 引下綫	68
第六章 防止沿架空綫引來的危險電位	74
第一节 各種保護方法述評	74
1. 保護間隙和避雷器的裝設	74
2. 保護電容的裝設	76
3. 採用電纜進綫代替架空綫	79
4. 在裝設保護電容及避雷器同時,并裝設避雷針 來屏護架空引進綫	82
5. 嚴禁架空綫引入屋內,將連接于架空綫上的 用電設備裝置在室外	83
6. 不用架空綫,全部配綫採用地下電纜	84
第二节 防止引來電波的保護方法	84
1. 第一類建築物的保護方法	84
2. 第二類建築物的保護方法	86
3. 第三類建築物的保護方法	87
第七章 防止感應雷擊的保護	89
第一节 靜電感應的保護方法	89
第二节 電磁感應的保護方法	91
第三节 防止步距電壓及接觸電壓的保護方法	92
第八章 接地裝置	96
第一节 沿接地裝置流散的雷擊電流	96
第二节 接地裝置的主要型式	99
1. 深層管形或棒形接地裝置	100
2. 表層條形接地裝置	101
3. 板狀接地裝置	103
第三节 土壤電阻率的計算	104
第四节 減低電阻率的土壤人工處理	107

第五节	接地裝置的計算	108
第六节	接地裝置冲击电阻計算例題	112
第七节	不同电阻率的土壤的接地裝置的結構設計	124
第九章	防雷保護的管理	128
第一节	防雷保護管理導則	128
第二节	防雷設備的检修	129
第十章	各類建築物防雷保護裝置實例	134
第一节	第一類建築物的防雷保護	134
第二节	第一類和第三類建築物聯合防雷保護	135
第三节	糧倉的防雷保護裝置	139
第四节	工業汽油站的防雷保護	141
第五节	用避雷綫作為第一類建築物防雷保護	143
第六节	地面石油貯油池的防雷保護	145
第七节	工業建築物和煙囪的聯合防雷保護	147
第八节	有強電流或弱電流的架空綫和金屬屋頂的 小型建築物防雷保護	148
第九节	集體農莊馬房的防雷保護	149
第十节	小型居住房屋的防雷保護	151
第十一节	非金屬屋頂建築物用避雷網的防雷保護	154
第十二节	第一類建築物防止感應雷的保護裝置	155
附录 1	高層房屋防雷保護的特點	156
附录 2	接地裝置流散电阻和土壤电阻率的測定	160

譯者的話

本書根据苏联科学院出版社出版的“工业結構物和房屋的防雷保护”一書譯出。

原書第二章“苏联各地区雷电情况的測定”与我国关系不大，故刪去。

本書是由婁荷芳、戴积昌、顧明凤、李孟銘、尤承录、张云濤、刘丰、廖傳善八位同志合譯的。由于水平的限制，譯文难免有錯誤或欠妥之处，希望讀者多多指正。

譯者識

1957.7.

序 言

1940年苏联科学院动力研究所出版了“工业建筑物和其他建筑物的防雷保护导则”一書。这是闡明各种建筑物的防雷保护的科学分析工程設計的第一部資料。

它的出版，对于結構物和房屋的防雷保护的設計和装設有着重大的意义，因为它根据苏联各科学研究部門的著作，总结了当时装設和运用防雷保护设备的經驗。

本書是“工业建筑物和其他建筑物的防雷保护导则”经过全部修訂后的再版本。

过去十年中，苏联在研究雷电现象及其对建筑物的影响方面取得了很大的成績。多年来，在苏联科学院动力研究所的领导下，使用自制的仪器，测量了雷电的各种参数，以便計算雷击电流的峰值和电流波增长的最大陡度。

在山岳和平原地区进行多年测量的結果，得到了全国各地区計算雷击所必需的数据，并証实了理論研究所确定的土壤电阻率不同的各地区产生雷击电流的差別。

由于苏联水文气象服务所和科学院动力研究所的协作，苏联境内雷暴分布图业經核定。

分析各种建筑物遭受雷击的情况，可以更正确地拟定各类建筑物必需的防雷保护措施。另一方面，詳細的研究受防雷保护建筑物的工艺特点可以更合理更正确地确定各种建筑物的分类。

精确分析关于避雷針和避雷綫保护范围的資料，可以簡化保护范围及其繪制方法。計算接地装置的流散电阻，应考虑到雷击电波的特性。

近年来，莫斯科正在兴建高层房屋，因而它們在施工期間和使用期間的防雷保护措施問題也随之产生。

所有这些材料都肯定并发展了初版書中所談到的問題。本書

准备出版时曾征求并考虑了各部门和各界人士所提出的意见和要求。

本書系由苏联科学院 Г. М. 克尔日查諾夫斯基动力研究所所属委员会共同編輯而成;該委员会由 А. Ф. 波戈莫洛夫、В. Н. 鮑里索夫、В. С. 科美里科夫、Ф. А. 利哈却夫、Л. М. 洛普施茨、И. С. 斯捷科里尼科夫(委员会主席)等組成,并吸收有关单位代表参加委员会工作。

对本書如有意见,請函寄苏联科学院动力研究所(莫斯科,Б. 卡卢日斯卡亚街19号)学术秘書处即可。

第一章 雷电及雷电效应

第一节 直接雷击的参数

雷是大气中电的现象。雷击放电是充满水蒸汽的空气剧烈上升而又急速冷凝所造成的现象。

由于复杂的物理作用特别是空气动力作用，云中分离出相反符号的电荷。带阳电荷和阴电荷的大量乌云，在空中形成了电场。同时乌云下方的大地也由于电感应及电荷被雨点移动而带电，因而在乌云和大地之间也形成了电场。

在云的电位达到临界值以后，即开始游离并向邻近的云或大地放电。

在开始阶段即先驱放电阶段，弱电电路以 10^7 公分/秒的平均速度从乌云射出，此时，流过先驱电路的电流可达到数百安培，平均为 $200 \sim 300$ 安培。接近地面时先驱放电速度随同电流一起增长。而由大地或雷击建筑物发出的反先驱电路和由云层而下的电路，在离地面一定距离的地点相遇。

如放电并未击中地面上的建筑物，而是与它相距很近时，虽然反先驱放电不直接与云的先驱放电相接触，但在这种情况下，从各种建筑物产生反先驱放电还是完全可能的。

初次冲击先驱放电过程的总时间大约为 $(1 \sim 2) \cdot 10^{-2}$ 秒。当先驱电路与大地或反先驱放电接触时，即开始一个新的阶段——主放电阶段。在主放电阶段，聚集在先驱放电电路上和地面上的电荷猛烈中和，这时；整个电路产生强烈的闪光，巨大的电流流经雷击区。

主电路波头行进的速度达到 10^8 公分/秒。

地面建筑物受到雷击时，流过它的电流的波形如图 1 所示。

电流由开始冲击渐渐减低到 $100 \sim 300$ 安培。但有时在长时间

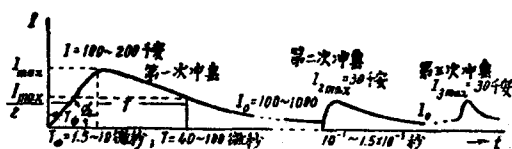


图 1 雷电电波的波形

内仍保持1000安培。

从电流开始增长到开始降低至最大值 I_{max} 的一半 $\left(\frac{I_{max}}{2}\right)$ 的这段时间假定为冲击持续时间 (T), 以微秒计。

苏联科学院 Г. М. 克尔日查诺夫斯基动力研究所在苏联广泛地进行了雷电电流参数的测量工作, 并创制了实验仪器和实验方法。

经电站部及某些科学研究部门多年共同研究的结果, 积累了充分的资料, 这些资料足以说明苏联各地区的雷电流峰值及其冲击电流波头陡度的最大值的特征^①。

图 2 是实验综合而得的曲线, 它表示雷电流峰值出现的或然率, 而电流峰值及其可能出现的百分数如表 1 所示。

雷电流最小记录值为2.5千安。

表 1

I_{max} , 千安	10	20	30	40	50	60	70	100	120	130	150	160	200	230
电流超过 I_{max} 值的或然率 (占测量总数的%)	65	35	25	15	10	7.5	5.6	2.8	1.3	1.0	0.6	0.2	0.1	0.1

某些作者不考虑记录电流下限的差别, 而把雷击或然率的电流分布曲线与外国著作相比较, 这样做是没有根据的。

科学院动力研究所研究的目的, 是将具有一定物理和山理特征的苏联各地区电流的分布状况进行比较, 根据已掌握的资料, 可以说明苏联各地区电流分布的特点。

① 参考书目附于章末。

1937年发现了 $I_{max} = f(R)$ 的关系, 根据这关系如果被雷电击中的电杆的接地电阻增加, 则电流的峰值 I_{max} 即降低。

这种关系的存在和土壤电阻率有关[2]*。因此, 土壤导电率不好的地区将会被小的电流峰值打穿。这样的区域如高加索山区[3]*。

苏联用磁录器测量雷击电流的结果, 指出了在山区平均雷击电流峰值要小一半[1]。

因此, 可以建议将雷击电流峰值 $I_{max} = 200$ 千安作为计算值。所以高加索山区 I_{max} 可以减低到100千安。

应该注意到, 在土壤导电不好的地区内, 个别建筑物可能位于土壤导电好的地段, 所以此处对于重要的建筑物最好采用 $I_{max} = 200$ 千安。

图3所示的雷电流波头有三种值: 时间(T_0)、最大陡度(K)与峰值(I_{max})。

电流从开始增长至达到最大值所经过的时间作为计算波头的時間, 电流增长的最大陡度, 或最大速度($\frac{di}{dt} = K$)以正切角 α 来表示(图3)。

苏联科学院动力研究所对 K 值进行了研究, 从而可以构成如图4所示的关系。

K 的最大值达45千安/微秒。这数值可以作为计算值。

为了简化计算, 建议在图3中将代表波前特性的真正曲线, 用经过0点和 I_{max} 的直线来代替。雷电流波前的长度通常是1.5~2

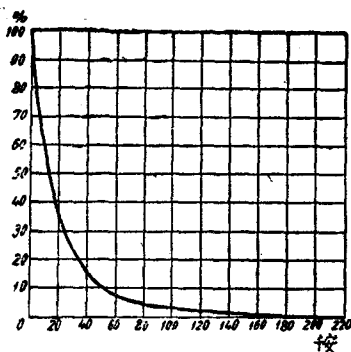


图2 超过图中横座标值的雷电流峰值出现的或然率综合曲线图

* 括弧中的数字表示章末所附的参考文献次序。下同——译者注。

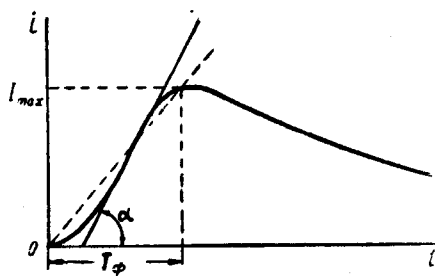


图 3 雷电流波形

时新冲击的开始，与第一次冲击的緩弱变化阶段相重合。重复冲击数有时达到40次；在一次雷击內它的平均数是3~4次。

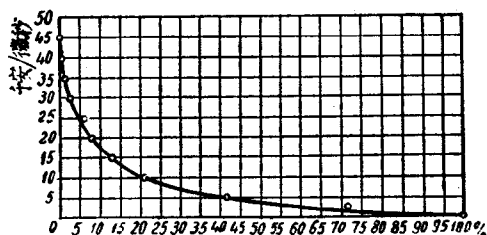


图 4 雷电流波前的最大陡度超过縱座标上的数值而出现的或然率
(根据185次记录)

第二节 雷电的各种效应

1. 直接雷击的效应

直接雷击就是主閃电路或主閃电路中的一个支路和被雷击的对象直接接触。

在雷击范围内，閃电路可能和金属、木材、混凝土、气体或液体介質相接触。对于不同的接触对象，雷击作用的效果是不同的。雷电流經過金属，特别是經過引下綫时，会使金属熔合、熔解或气化。

雷电流經過金属导綫时，同时也发出了热而将金属加热。此加

微秒，但是也可能达到10微秒。

电流达到最大值以后的緩弱变化持續時間可以达到0.1~0.15秒。在这時間內电流剧烈的波动一般是不致于产生的。第一次雷电冲击形成后，經過很短時間，新的冲击沿着第一次冲击道而出现。有

热过程非常短促,因而当计算导线的容许截面时,对于散到周围介质中去的热可不予考虑。

引下线截面 q 的计算公式如下[1]:

$$q = k I_{max} \sqrt{\tau}$$

式中: k ——常数,由引下线材料的物理特性和雷电流波形所决定(铜 $k=1/340$,铁 $k=1/115$);

I_{max} ——电流平方的均值(千安),由下式求出:

$$I_{max} = \left(I_{1max}^2 + n I_{2max}^2 + \frac{1.386 t_0}{T} I_0^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

T ——第一次冲击电流的波长(微秒);

I_{1max} ——第一次冲击雷电流峰值;

n ——连续冲击次数;

I_{2max} ——连续冲击电流峰值;

I_0 ——雷电放电缓变部分之电流;

t_0 ——冲击缓变部分的持续时间。

如采用在雷击地面对象总次数中出现的次数不到1%的雷电流波参数作为计算参数,特别是采用以下数值

$$I_{1max} = 200 \text{ 千安}, I_{2max} = 30 \text{ 千安}, n = 2,$$

$$T = 40 \times 10^{-6} \text{ 秒}, t_0 = 1.6 \text{ 秒}, I_0 = 300 \text{ 安培};$$

则可以得出铁引下线最小截面为16平方公厘,铜为6平方公厘;引下线最小截面适用于金属上复有牢固的防锈层(镀锌、镀锡、油漆)的装置。此种防锈层可以经受住雨雪的作用。当没有复上特殊表层时,铁引下线的最小截面应采用25平方公厘,铜的—16平方公厘。带有数根引下线的系统中,通过每一根引下线的电流并不是全电流,而是1/2或1/2以下的电流。因此,铁引下线的最小截面可以减少到16平方公厘,铜引下线的可以减少到10平方公厘。

当閃电路碰上金属片时,如果金属片厚度不够,则金属片可能熔化。

假设在接触范围内的散热过程和在电弧里的一样,则接触处的发热过程就可以计算。

如果取在一次雷击当中流过20庫倫的电量(这种机会占1%)来计算,則在接触处所发出的热量足够使3.8公厘厚的鉄板熔化。如果鉄板厚为5公厘时,也会被熔化到3.5公厘深[4]。

实验室的实验证实了计算数据是正确的。例如,实验确定,强烈火花放电及随之而产生的电弧(在此电弧内流过430庫倫的电量),可使9公厘厚的鉄板熔化到4公厘深;而按照计算,鉄板的熔化深度为3.6~5.2公厘。

因此在设备中可能受到雷击的地方,其鉄的厚度若小于4公厘的话,則将被雷击电流所熔化。如果其内有爆炸危险的混合物,雷击还会使设备毁坏。如果雷击对象的内部有可燃物,例如,可燃性气体或液体,則必然会发生火焰。这样就造成了事故进一步发展的原因。即使金属有足够的厚度,也应该考虑到构筑物内壁在雷击处会产生高温。只有当靠近内壁的物品因氧气不足而不致燃烧时,这种温度过高的情况方可允许。

还必须考虑到,爆炸性的空气碳氢混合物的临界着火点是随着燃烧表面的大小、性能以及爆炸混合物中是否含有杂质而定。实际上,貯藏器内壁表面不是纯净的,复有一层氧化鉄。当儲存硫化物时,有时可能有硫化鉄沉淀,此硫化鉄具有自燃特性,而且将大大地降低爆炸混合物的着火点,并引起自燃。在这种情况下,从外面增加任何热量都是不允许的。

大部分工业构筑物都是复杂的金属结构网。雷击时电流波沿金属结构网流过。

当各个结构部分之间没有触头时,则在金属部件彼此靠近的地方将会产生火花,也因此而流过部分雷击电流。这些强烈的火花除了发热以外,同时还形成爆炸波,引起某些爆炸物爆炸。

在流过冲击电荷时,虽然有较大的电流和很高的温度(6000~10000°),但閃电路还是不能将易燃物(如木材)燃着,因为这个阶段持续时间很短。燃烧效应主要是与雷电流緩变阶段有关的。在农村里,大部分房屋的屋顶是用稻草、蘆葦、木板等可燃材料作成的,所以,经常因雷电而引起火灾。相反地,在城市里大部分建筑物是

由石头、鋼鉄和混凝土造成，所以，很少因雷电而发生火灾。

在权衡建筑物防雷保护的必要性时，还应该考虑到发生直接雷击时的机械损坏。砖石烟囱和混凝土楼板被破坏，树干被劈裂，砖石墙被劈倒等情况都是大家所熟悉的。

雷电流在导线中流过时所产生的电动力，会压扁薄壁貯藏器，折断导线，使金属板受到压缩与扭转等等。产生上述现象的原因是雷电流经过的地方的电动力、气体和蒸汽的温度和压力突然增长，而重复冲击则更加深其破坏程度。

雷电对于没有避雷设备的或者避雷设备装置不当的建筑物的危险性还在于，它会使屋内和房屋附近的人遭受雷击。这是由于建筑物个别部分产生了高电位，而人又与其接触的结果。屋内产生高电位的原因通常是由于引下线折断或者引下线导电性不良或者接地装置电阻过高。

当土壤电阻率高及接地不良的建筑物遭受雷击时，接地装置附近的电位分布会造成危险的步距电压。在大部分情况下，一般动物更容易感受电流的作用，所以其触电电压比人的低。一般动物，如牛、马触电的危险较大还因其有较大的跨步，所以步距电压也大。

2. 雷 電 感 應

雷电感应是指在建筑物内部，由于离该建筑物不远的地方发生雷击所形成的电磁场作用而产生的现象。

雷电感应一般可分为静电感应和电磁感应。下面就这两种现象作一些简略分析。

静 电 感 应

在雷云下面的建筑物上密集着与雷云符号相反的电荷。当雷云移动时，电场也不断地发生变化。但是此种变化是这样地慢，以致电荷密度完全随着梯度的变化而变化。

如果建筑物的接地电阻与电容都很大，则在雷击放电增长期

間,先驅放电和主电路的移动引起电场迅速变化时,建筑物高层部分所聚集的电荷或經由它流散入地的电荷并不随着电场的变化而变化。

当屋頂正处在增长的电场中时,其电位的計算,可用图 5 來說明,雷云的电荷在先驅放电以前等于 Q_0 , 后来,随着先驅放电向地面进展,电荷也逐渐流向先驅放电电路。

假設有一座建筑物位于距放电中心 d 处,且它对雷云电场又不发生畸变影响,則这种情况可以用示意图來說明,图中用金属平面 S 代表建筑物屋頂。这屋頂經电阻 R 与大地連接。

放电以前,在建筑物高处聚集了一些正电荷,后来随着先驅放电向地面进展,以及观察点梯度的增长,正电荷也逐渐增加。但先期放电梯度及屋頂上相应产生的电荷和其以后数值相比則是很小的。

图5, a 表示从高度 H 开始发展到 Z 长度的先驅放电情况。

为了計算电场,必須考虑由假想正电荷 $+Q_0$ 所产生的先驅放电的鏡像。

在电场变化的作用下,屋頂 S 上聚集着正电荷 Q_k 。

因先驅放电的发展較緩慢,所以决定于电荷 Q_0 和 Q_k 共同作用的屋頂电位也不大。

主电路形成后(图5, b),先驅电路中的电荷 (q) 迅速中和。而为屋頂的电容所束縛的电荷 Q_k 則来不及随电荷 q 的中和而流散,因此 S 上的电位急驟增长。

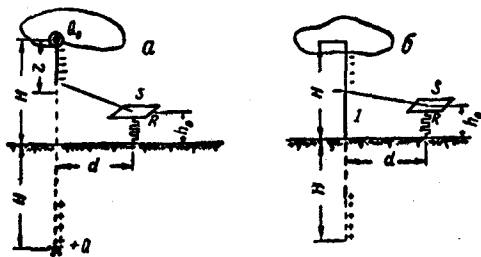


图 5 計算屋頂电位示意图