

DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2020.12.003

涉外电力工程建筑物 雷电风险评估

杨 洪, 李 辰

(中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 雷电风险评估通过对建筑物可能遭受雷击灾害及损失的风险进行预测, 以此针对性地采取防雷措施降低风险, 使其不超过标准所容许的上限值, 从而降低雷击所造成损失的可能性。介绍IEC 62305-2的雷电风险评估流程, 分析某涉外电力工程建筑物的基本特性和所处环境, 识别可能遭受的雷电灾害和风险, 计算人身伤亡损失风险值, 分析其主要影响因素, 提出降低雷电风险的防雷措施。

关键词: 雷击风险评估; 涉外电力工程; 建筑物; 防雷措施

中图分类号: TM621 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-9913(2020)12-0013-05

Lightning Risk Assessment of Foreign Power Engineering Building

YANG Hong, LI Chen

(Central Southern China Electric Power Design Institute Co., Ltd. of CPECC, Wuhan 430071, China)

Abstract: Lightning risk assessment predicts the risk of lightning strikes and losses that may occur to buildings, so as to take targeted lightning protection measures to reduce the risk, so that it does not exceed the upper limit allowed by the standard, thereby reducing the possibility of losses caused by lightning strikes. In this paper, the lightning risk assessment process of IEC 62305-2 is introduced. Through analysis the basic characteristics and environment of one building in a foreign power engineering, the possible lightning disasters and risks are identified. Then, the loss of human life caused by the risks and the main influencing factors are presented. Effective lightning protection measures are provided to decrease the lightning risks.

Keywords: lightning risk assessment; foreign power engineering; building; lightning protection measure

0 引言

雷电的高电流、高电压和瞬时瞬变的电磁场等特性可能对构筑物、电力系统、电子电气系统造成巨大损失, 甚至人员伤亡。国内火电厂的防雷设计都遵循 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》, 其直接将建筑物根据其重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性

和后果分为三类, 每一类建筑物对应一类防雷措施及要求^[1]。而涉外电力工程项目要求按照 IEC 62305—2 引入雷电风险评估。其目的是通过该评估对建筑物可能遭受雷击灾害及损失的风险进行预测, 以此针对性地采取防雷措施降低风险以使其不超过标准所容许的上限值, 从而降低雷击造成损失的可能性。

* 收稿日期: 2019-11-07

第一作者简介: 杨洪(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事发电厂电气设计工作。

1 项目概况

本文将依据 IEC 62305—2 对某涉外工程车间进行雷电风险评估。某国火电厂循环水泵房长、宽、高分别为 41 m、35 m、15 m，为框架结构建筑，周围为河道及空地。泵房拟建地的土壤电阻率平均值为 $95.1 \Omega \cdot \text{m}$ ，年平均雷暴日为 43 d。泵房内设 2 台 500 kVA 低压干式变压器及相应动力中心 (power center, PC) 段，为建筑物内电气设备进行供电。泵房对外有 4 路 6.3 kV 电力电缆，多根带屏蔽层的控制电缆，所有电缆均为埋地敷设，无架空线路接入。

2 雷电风险评估的方法

2.1 评估理论

IEC 62305—2 主要给出一个计算雷击风险的流程^[2]。此方法设置了三个假设前提：①建筑物无任何的防雷措施；②任何防护措施都使损害概率缩减一个因子；③采取多种措施时，缩减因子为各措施对应缩减因子之积。

计算各种风险分量 R_x 的通用表达式为：

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \quad (1)$$

式中： R_x 为每种类型风险的风险分量，各种类型的风险需首先判断雷击发生在建筑物上或其附近，还是与建筑物相连的线路上或其附近，然后分别考虑受损对象是人、牲畜，建筑物或内部电力电子系统； N_x 为年平均雷击危险事件次数，与落雷密度 N_G 以及受保护对象的物理特性、周围物体及土壤性质等因素有关； P_x 为建筑物及内部设施对应于每类损害源可能引起的相应的损害概率，与受保护对象的特性以及所采取的防雷措施等因素有关； L_x 为每种损害类型对应的可能产生的损失率，可分为人畜的伤害率、对公众服务的损失率、文化遗产的损失率及经济损失率，该值与建筑物的类别、作用有关。

2.2 评估步骤

对于风险评估，IEC 中的评估步骤如下：

- 1) 确定构成风险的元素 R_x ；
- 2) 通过式 (1) 计算已确定的风险元素风险值 R_x ；
- 3) 将各类 R_x 相加得到总风险 R ；

4) 确定容许风险 R_T 的最大值；

5) 比较风险 $R(R_1、R_2、R_3)$ 和容许值 R_T ，若 $R > R_T$ 说明现有风险大于容许的风险，应采取相应的防雷措施减少该类风险所涉及的各类风险因子，直至满足 $R < R_T$ (说明采取的保护措施已经足够)^[3-4]。

其中，风险容许值 R_T 是由政府归口管理部门负责鉴别并确定的，典型的风险容许值见表 1。

表1 IEC推荐的典型风险容许值 R_T

损失类型	R_T/a
L1 人身伤亡损失	10^{-5}
L2 公共服务损失	10^{-3}
L3 文化遗产损失	10^{-4}

对于经济损失，需按照参考文献 [1] 附录 D 的方法比较成本/效益确定。如果没有计算条件，可选用典型的容许值 $R_T = 10^{-3}$ 。

3 风险分析

对于建 (构) 筑物中因雷电可能出现的各类损失，应计算其所对应的风险。

本文所提到的泵房为工业建筑，内部有工作人员活动，接触电压和跨步电压可能对人员构成伤害。另外，车间安装有循环水泵及其他辅助设备，其对电厂运行十分关键，如停运将影响对电网的公共服务，并造成经济损失。不存在文化遗产损失风险。

综上，需计算人身伤亡损失风险，公共服务损失风险，经济损失风险。本文重点讨论了人身伤亡损失风险。

4 雷电风险评估

4.1 特性及参数

假设户外雷雨时无人在室外活动，室外人员遭受雷击风险 $R_A = 0$ ，故仅考虑室内风险。表 2～表 5 是本建筑物的基础参数，将用于表 6～表 9 的计算，其出处见参考文献 [1] 附录 A～C。

表2 建筑物的特性及周围环境

输入参数	说明	符号	数值	出处
雷击大地密度[次/(km ² ·a)]	—	N_G	4.3	工程资料
建筑物尺寸(m)	—	L, W, H	41, 35, 15	工程资料
建筑物的位置因子	孤立建筑	C_D	1	表A.1
等电位连接	—	P_{EB}	1	表B.7
外部空间屏蔽	—	P_{Si}	1	公式(B.5)

表3 供电线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度(m)	—	L_L	2 400	工程资料
线路安装因子	埋地	C_1	0.5	表A.2
线路类型因子	高压线路	C_T	0.2	表A.3
环境因子	农村	C_E	1	表A.4
线路屏蔽	无屏蔽	R_S	—	表B.8
屏蔽, 接地, 孤立	—	C_{LD}	1	表B.4
	—	C_{LI}	1	
毗邻建筑	—	L_j, W_j, H_j	—	工程资料
建筑物的位置因子	孤立建筑	C_{DJ}	—	表A.1
内部系统的耐冲击电压(kV)	—	U_w	4	工程资料
需防护系统耐冲击电压的因子	—	K_{S4}	0.25	公式(B.7)
雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_0 和 P_v 减小的概率	—	P_{LD}	1	表B.8
雷击线路附近时线路特性及设备耐受电压决定的 P_z 减小的概率	—	P_{LI}	0.16	表B.9

表4 通信线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	6 000	工程资料
线路安装因子	埋地	C_1	0.5	表A.2
线路类型因子	通信线路	C_T	1	表A.3
环境因子	农村	C_E	1	表A.4
线路屏蔽	无屏蔽	R_S	—	表B.8
屏蔽, 接地, 孤立	—	C_{LD}	1	表B.4
	—	C_{LI}	1	
毗邻建筑	—	L_j, W_j, H_j	—	工程资料
建筑物的位置因子	孤立建筑	C_{DJ}	—	表A.1
内部系统的耐冲击电压(kV)	—	U_w	1.5	工程资料
需防护系统耐冲击电压的因子	—	K_{S4}	0.67	公式(B.7)
雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_0 和 P_v 减小的概率	—	P_{LD}	1	表B.8
雷击线路附近时线路特性及设备耐受电压决定的 P_z 减小的概率	—	P_{LI}	0.5	表B.9

表5 有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
供电	地面类型	混凝土	r_1	10^{-2}	表C.3
	防电击措施(雷击建筑物)	—	P_{TA}	1	表B.1
	防电击措施(雷击线路)	—	P_{TU}	1	表B.6
	火灾危险	低	r_f	10^{-3}	表C.5
	防火措施	一般措施	r_p	0.5	表C.4
	内部空间屏蔽	—	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(布线时避免构成环路)	K_{S3}	0.01	表B.5
	协调配合的SPD	—	P_{SPD}	1	表B.3
通信	内部线路	无屏蔽(布线时避免构成环路)	K_{S3}	0.01	表B.5
	协调配合的SPD	—	P_{SPD}	1	表B.3
L1：人身伤亡损失		低度惊慌	h_z	2	表C.6
		D1：由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表C.2
		D2：由物理损害造成	L_F	2×10^{-2}	
		D3：由内部系统失效造成	L_O	—	

表6 建筑物和线路的截收面积

参数	结果/m ²	出处	计算公式
建筑物 A_D	14 634	式(A.2)	$A_D=L \times W+2 \times (3 \times H) \times (L+W)+\pi \times (3 \times H)^2$
供电线路 A_{LP}	96 000	式(A.9)	$A_{LP}=40 \times L_L$
供电线路 A_{lp}	9 600 000	式(A.11)	$A_{lp}=4 000 \times L_L$
通信线路 A_{LT}	240 000	式(A.9)	$A_{LP}=40 \times L_L$
通信线路 A_{lt}	24 000 000	式(A.11)	$A_{lp}=4 000 \times L_L$

4.2 风险计算

对于该项目, 由于不属于易燃易爆危险场所或因内部系统事故马上会造成人身伤亡的建筑物, 所以人身伤亡损失风险 $R_1=R_A$ (雷击建筑物导致的人身伤害)+ R_B (雷击建筑物导致的物理损害)+ R_U (雷击相连线路导致的人身伤害)+ R_V (雷击相连线路导致的物理损害)。其中, R_U 和 R_V 分雷击供电线路和通信线路两种情况。表7~表9为式(1)中涉及三个数据的计算过程。

表7 年平均雷击危险事件次数 N_x

参数	结果/次	出处
建筑物 N_D	6.3×10^{-2}	式(A.4)
供电线路 N_{LP}	4.2×10^{-2}	式(A.8)
供电线路 N_{lp}	4.2	式(A.10)
通信线路 N_{LT}	5.2×10^{-1}	式(A.8)
通信线路 N_{lt}	52	式(A.10)

表8 损害概率 P_x

参数	结果	出处
雷击建筑物造成人身伤害 P_A	1	式(B.1)
雷击线路造成人身电击伤害 P_U	1	式(B.8)
雷击建筑物造成建筑物物理损害 P_B	1	表B.2
雷击线路时建筑物物理损害 P_V	1	式(B.9)

表9 损失率 L_x

参数	结果	出处
雷击建筑物时人身因电击伤害 L_A	5.7×10^{-6}	式(C.1)
雷击线路时建筑物内人身电击伤害 L_U	5.7×10^{-6}	式(C.2)
雷击建筑物时建筑物中物理损害 L_B	1.1×10^{-5}	式(C.3)
雷击线路时建筑物内物理损害 L_V	1.1×10^{-5}	式(C.3)

将表7~表9的相关数据代入本文式(1), 得到风险分量值, 见表10。

表10 无防护建筑物的风险 R_1

损害类型	公式	结果
D1 人身伤害	$R_A=N_D \times P_A \times L_A$ $R_U=R_{UP}+R_{UT}=(N_{LP}+N_{LT}) \times P_U \times L_U$	3.6×10^{-7} 3.2×10^{-6}
D2 物理损害	$R_B=N_D \times P_B \times L_B$ $R_V=R_{VP}+R_{VT}=(N_{LP}+N_{LT}) \times P_V \times L_V$	6.9×10^{-7} 6.2×10^{-6}
总风险	$R_1=R_A+R_B+R_U+R_V$	1.1×10^{-5}

上述结果表明, 本建筑物的风险主要是 R_U (雷击相连线路导致的人身伤害)和 R_V (雷击相连线路导致的物理损害), 合计占到总风险的85.5%。 R_1 值大于容许值 10^{-5} , 需要采取防雷措施。

针对主要风险因素, 可在线路入口处安装符合IV级雷电防护等级的浪涌保护器(surge protection device, SPD), 当出现雷电窜入线路的情况时, 迅速分流和限压, 以保护建筑物的供电和通信线路免受冲击。根据参考文献[1]表B.7, 采取这种措施后 P_{EB} 的值从1降到0.05, 相应 P_U 和 P_V 的值降到原数值的1/20。

把这些数值代入公式中, 得到新的风险分量值, 见表11。

表11 采取防雷措施后建筑物的风险 R_1

损害类型	公式	结果
D1 人身伤害	$R_A=N_D \times P_A \times L_A$ $R_U=R_{UP}+R_{UT}=(N_{LP}+N_{LT}) \times P_U \times L_U$	3.6×10^{-7} 1.6×10^{-7}
D2 物理损害	$R_B=N_D \times P_B \times L_B$ $R_V=R_{VP}+R_{VT}=(N_{LP}+N_{LT}) \times P_V \times L_V$	6.9×10^{-7} 3.1×10^{-7}
总风险	$R_1=R_A+R_B+R_U+R_V$	1.5×10^{-6}

R_1 值小于容许值 10^{-5} , 上述结果表明, 采取当前防雷措施后, 建筑物得到了合理的雷电防护, 有效降低了雷击隐患。

5 结语

通过上文建筑物完整的雷电风险评估过程, 可以看出不同于GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》的防雷建筑等级划分, IEC标准有严谨的基于建筑物参数的风险管理体系, 其评估过程和参数取值较为复杂。发达国家业主大多要求通过IEC 62305—2雷电风险评估的结果来确定建筑物的防雷设计方案。因此该风险评估对建筑物防雷措施的设计和施工起指导性的作用, 是涉外工程电厂防雷设计的重要一环。

设计人员基于IEC 62305—2进行防雷设计时, 应当认真了解该建筑物的基本功能、结构设计以及环境参数等基本信息, 通过风险评估的结果来确定该建筑物是否需要采取防雷措施, 若需要, 则有的放矢地决定采取哪些防雷措施, 采用这些措施降低风险的同时经济上是否合算。最终使防雷设计方案达到安全可靠、技术先进、经济合理的目的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑物防雷设计规范: GB 50057—2010[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] International Electrotechnical Commission. Protection against lightning—Part 2: Risk management: IEC 62305-2[S]. USA: IEC, 2010.
- [3] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [4] 丁伟. IEC与GB防雷标准中建筑物直击雷防护对比分析[J]. 南方能源建设, 2016(01): 110-115.

(编辑 魏俊)