

T/JPALPDM

团 体 标 准

T/JPALPDM 0001—2022

110kV 金属结构变电站雷电防护设计规范

Specifications for lightning protection of 110kV power sub-stations with metal structure

2022 - 07 - 27 发布

2022 - 08 - 01 实施

江苏省防雷减灾协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
5 直击雷防护	2
6 雷击电磁脉冲防护	3
附录 A（资料性附录）雷电活动频次划分	5
附录 B（资料性附录）典型材质雷电流热效理论计算	6
附录 C（资料性附录）金属屋面直接雷电流冲击试验方案	7
附录 D（资料性附录）变电站接地系统布置样图	8
附录 E（资料性附录）雷电防护区划分	10
参考文献	11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由江苏省防雷减灾协会提出并归口。

本文件起草单位：南京电力设计研究院有限公司、江苏天安防雷工程有限责任公司、华云科雷（北京）技术发展有限公司、江苏省气象灾害防御技术中心、南京市气象局、连云港市气象局。

本文件主要起草人：高海洋、茅嘉毅、张彪、徐卓、王小兵、孙志兵、李进、仇文捷、周俊驰、火焰、蒋海琴、江海洋、顾礼力、杨晓峰，郑晗、王洁、唐自晶、马斌。

引 言

传统变电站建筑一般采用现浇混凝土结构，随着环保、低碳、绿色施工要求的提高和新材料的研究应用，我国电力部门正在大力推进钢结构变电站建设。

目前江苏省新建110kV变电站多数采用铝镁锰合金屋面的金属结构，该结构与传统现浇混凝土结构变电站存在显著差异，也对变电站雷电防护提出了新要求。现有标准并未对金属结构变电站的雷电防护设计给出明确指导，目前应对措施是另行安装独立接闪杆用于直击雷防护，不仅增加建设费用，而且难以满足城市规划部门对变电站的环境要求。

本规范在确保防雷安全的前提下，给出了针对金属结构变电站的雷电防护措施，使得此类新型结构变电站的雷电防护设计更加经济、合理。

110kV 金属结构变电站雷电防护设计规范

1 范围

本文件规定了110kV金属结构变电站雷电防护设计的一般规定、直击雷防护、雷击电磁脉冲防护。本文件适用于新建110kV金属结构变电站的雷电防护设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范

GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

金属结构变电站 power sub-stations with metal structure

指屋面、梁、柱、墙体等主体结构采用金属预制件装配而成、全部或大部分电气设备户内布置的变电站。

3.2

集中接地装置 concentrated grounding connection

为加强雷电流的散流作用、降低对地电位而敷设的附加接地装置，敷设3根~5根垂直接地极。在土壤电阻率较高的地区，则敷设3根~5根放射形水平接地极。

[GB 50065—2011，定义，2.0.11]

3.3

雷击电磁脉冲 lightning electromagnetic impulse; LEMP

雷电流经电阻、电感、电容耦合产生的电磁效应，包含闪电电涌和辐射电磁场。

[GB 50057—2010，定义，2.0.25]

3.4

金属氧化物避雷器 metaloxide surge arrester; MOA

用于保护输变电设备的绝缘免受过电压危害的器件，广泛使用于发电、输电、变电、配电等系统中。其基本结构是以氧化锌为主要材料的非线性电阻阀片。

4 一般规定

4.1 110kV 金属结构变电站雷电防护应做到安全可靠、技术先进、经济合理。

4.2 110kV 金属结构变电站应采取直击雷和雷击电磁脉冲防护措施。

4.3 110kV 金属结构变电站雷电防护应按第二类防雷建筑物设计。

4.4 110kV 金属结构变电站雷电防护设计宜考虑其所在地的雷电活动频次特征，将变电站所在地划分为少雷区、中雷区、多雷区、强雷区，划分方式见附录 A，并结合所在地土壤电阻率情况，区别制定雷电防护设计方案。

5 直击雷防护

5.1 接闪器

5.1.1 少雷区、中雷区、多雷区且土壤电阻率较低的地区（平原地区不大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ ，山区不大于 $1000\Omega\cdot\text{m}$ ），金属结构变电站宜利用其金属屋面作为自然接闪器。

5.1.2 金属屋面作为自然接闪器时，金属板宜采用卷边压接、焊接、螺栓连接等连接方式确保电气贯通，板间过渡电阻应不大于 0.2Ω 。

5.1.3 金属屋面作为自然接闪器时，金属板材质宜符合以下要求：

a) 铜板厚度不宜小于 0.7mm ，铁板厚度不宜小于 0.8mm ，铝板厚度不宜小于 0.9mm ，锌板厚度不宜小于 1mm ，典型材质雷电流热效理论计算见附录 B；

b) 采用其它合金材料宜开展首次雷电流冲击试验以确定厚度（试验方案见附录 C），或厚度不小于 1.1mm ；

c) 金属板宜采用双层结构；

d) 金属板应无绝缘被覆层。

注：薄的油漆保护层或 1mm 厚沥青层或 0.5mm 厚聚氯乙烯层不属于绝缘被覆层

5.1.4 强雷区或土壤电阻率较高的地区（平原地区大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ ，山区大于 $1000\Omega\cdot\text{m}$ ），金属结构变电站宜专设接闪器。

5.1.5 专设接闪器应符合下列规定：

a) 专设接闪器可采用接闪带、接闪网、接闪杆、架空接闪线或其组合形式，全户内变电站宜采用接闪带，其规格要求如表 1；

表1 接闪器的材质规格要求

材料	结构	最小截面 (mm^2)	备注
铜	单根扁铜	50	厚度 2mm
	单根圆铜	50	直径 8mm
镀锡铜 ¹	单根扁铜	50	厚度 2mm
	单根圆铜	50	直径 8mm
铝	单根扁铝	70	厚度 3mm
	单根圆铝	50	厚度 8mm
热浸镀锌钢 ²	单根扁钢	50	厚度 2.5mm
	单根圆钢	50	直径 8mm
不锈钢 ³	单根扁钢	50	厚度 2mm
	单根圆钢	50	直径 8mm

注1：热浸或电镀锡的锡层最小厚度为 $1\mu\text{m}$

注2：热浸镀锌钢的镀锌层宜光滑连贯、无焊剂斑点，圆钢镀层厚度至少 $22.7\text{g}/\text{m}^2$ ，扁钢镀层厚度至少 $32.4\text{g}/\text{m}^2$

注3：不锈钢中铬含量大于等于 16% ，镍大于等于 8% ，碳小于等于 0.08%

b) 接闪带宜每隔不大于 1m 设一固定支架，转角处宜每隔不大于 0.5m 设固定支架，支架高度宜不小于 150mm ，支持固定卡宜采用不小于 $\Phi 12$ 铜包钢，并能承受 49N 以上垂直拉力；

c) 专设接闪网、接闪带宜在屋面组成不大于 $10\text{m}\times 10\text{m}$ 或 $12\text{m}\times 8\text{m}$ 的网格。

5.2 引下线

5.2.1 少雷区、中雷区、多雷区且土壤电阻率较低的地区（平原地区不大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ ，山区不大于 $1000\Omega\cdot\text{m}$ ），金属结构变电站宜利用其金属框架结构作为自然引下线。

5.2.2 利用金属框架结构作为自然引下线时，变电站金属结构柱、梁、金属屋面、墙面等金属构件之

间均应可靠持久电气贯通，可采用焊接、缝接、压接等连接方式，其过渡电阻应不大于 $0.2\ \Omega$ 。

5.2.3 变电站金属框架结构作为引下线时，其材质规格宜符合表 1 的规定。

表2 引下线的材质规格要求

材料	结构	最小截面 (mm ²)	备注
热浸镀锌钢 ¹	单根扁钢	50	厚度2.5mm
不锈钢 ²	单根扁钢	50	厚度2mm
	单根圆钢	50	直径8mm
镀铜钢 ³	单根圆钢	50	直径8mm, 镀铜厚度不小于70 μm
	单根扁钢	50	厚度2.5mm, 镀铜厚度不小于70 μm

注1: 热浸镀锌钢的镀锌层宜光滑连贯、无焊剂斑点，圆钢镀层厚度至少 $22.7\text{g}/\text{m}^2$ ，扁钢镀层厚 $32.4\text{g}/\text{m}^2$

注2: 不锈钢中铬含量大于等于 16%，镍大于等于8%，碳小于等于0.08%

注3: 热浸或电镀锡的锡层最小厚度为1 μm

5.2.4 强雷区或土壤电阻率较高的地区（平原地区大于 $500\ \Omega\cdot\text{m}$ ，山区大于 $1000\ \Omega\cdot\text{m}$ ），金属结构变电站宜专设引下线。

5.2.5 专设引下线不宜少于 4 根，沿变电站四周均匀对称布置，其间距沿周长计算不宜大于 18m。

5.2.6 专设引下线宜采用不小于 $8\text{mm}\times 60\text{mm}$ 的镀锌扁钢或 $4\text{mm}\times 40\text{mm}$ 铜排（或镀铜扁钢）。

5.2.7 专设引下线与变电站金属结构（包括屋面、框架、墙面、管线等）不应有直接电气连接，其绝缘电压水平应不小于 1kV，宜沿墙板外侧夹层暗敷。

5.2.8 引下线距地面 2.7m 以下部分宜采用 $1.2/50\ \mu\text{s}$ 冲击电压 100kV 的绝缘层隔离，以防接触电压危害。

5.3 防雷接地

5.3.1 采用金属屋面和金属框架结构作为接闪器和引下线时，宜就近与变电站主接地网连接，接地系统布置样图参见附录 D 中图 D.1。

5.3.2 采用专设接闪器、引下线等外部防雷装置时，引下线接地点宜外引至变电站接地网的最外侧，并在连接处加装集中接地装置，引下线接地点与电气设备的接地点间沿接地体的长度不宜小于 15m，接地系统布置样图参见附录 D 中图 D.2。

5.3.3 变电站宜采用共用接地系统，冲击接地电阻不应大于 $4\ \Omega$ ，过渡电阻不应大于 $0.2\ \Omega$ 。

5.3.4 变电站架空金属管道宜每隔 25m 至少接地一次，冲击接地电阻不应大于 $10\ \Omega$ 。

6 雷击电磁脉冲防护

6.1.1 110kV 变电站应根据其可能遭受直击雷的情况和雷击电磁脉冲衰减情况做雷电防护区划分，划分方式见附录 E。变电站内电气装置应置于电磁特性与其耐受能力相兼容的雷电防护区内。

6.1.2 供电线缆以及其他金属线缆穿越防雷区时，其屏蔽层应在防雷区交界处作等电位连接，其过渡电阻不大于 $0.2\ \Omega$ 。

6.1.3 110kV 变电站内所有金属设施应作等电位连接，并与接地装置作可靠电气连接，过渡电阻不应大于 $0.2\ \Omega$ 。

6.1.4 110kV 变电站的窗宜敷设不大于 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的金属网格，并与变电站框架结构作可靠电气连接。

6.1.5 进入变电站的供配电线缆及其它金属线缆宜采用穿金属管埋地敷设，其金属屏蔽层、金属管在

入口处应就近可靠接地。

6.1.6 当全线采用埋地电缆有困难时，宜采用钢筋混凝土杆和铁横担的架空线，并宜使用一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管埋地引入。架空线与建筑物的距离不应小于 15m。当架空线转换成一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管埋地引入时，其埋地长度可按式（1）计算：

$$l \geq 2\sqrt{\rho} \quad (1)$$

式中： l ——埋地电缆与土壤接触的长度（m）

ρ ——电缆埋地处的土壤电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）

6.1.7 架空线路进入变电站时应在进线端加装金属氧化物避雷器，其接地端应与电缆的金属外皮连接。

附录 A
(资料性附录)
雷电活动频次划分

110kV金属结构变电站直击雷防护设计应考虑变电站所在地的雷电活动频次特征。可使用当地气象部门或电力部门闪电定位系统测得的10年以上地闪雷击点密度平均值。根据地闪雷击点密度值将变电站所在地划分为少雷区、中雷区、多雷区、强雷区，如表A.1。

表 A.1 少雷区、中雷区、多雷区、强雷区划分

区域划分	地闪雷击点密度 ($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)
少雷区	<0.78
中雷区	≥ 0.78 且 <2.78
多雷区	≥ 2.78 且 <7.98
强雷区	≥ 7.98

附录 B
(资料性附录)
典型材质雷电流热效理论计算

当雷电击中金属屋面时,雷电流弧底本身以及高电流密度导致的集中阻性发热在电弧底部产生大量的热量作用于金属表面,造成屋面材料熔化、气化。可将雷击过程的热效应分析做简化处理:电弧底部的能量转换由电荷与发生于微米级范围内的电压降 $U_{a,c}$ 的乘积产生。在所要考虑的雷电流范围内 $U_{a,c}$ 作常数,因而电弧底部的能量转换主要与雷电流电荷有关。假设该能量未被传递,只用于熔化金属,导致熔化的体积可如式 (B.1) 计算:

$$V = \frac{U_{a,c}Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w(\theta_s - \theta_u) + C_s} \quad (\text{B.1})$$

式中, Q 为雷电流电荷量 (C); γ 为材料密度 (kg/m^3); C_w 为热容量 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]; θ_s 为熔点 ($^{\circ}\text{C}$); θ_u 为环境温度 ($^{\circ}\text{C}$); C_s 为熔化潜热 (J/kg)。雷击点加热面积的直径 d 一般为 $50\sim 100\text{mm}$, 对应面积 S 值 $1963\sim 7854\text{mm}^2$ 。在雷电流注入电弧触点的能量一定的前提下,加热点面积越小,金属薄板熔化的厚度越深,为了计算最坏熔化深度,此处计算选取加热点加热面积 S 为 1963mm^2 。将上述选取的数值依次代入式 (B.1) 和 (B.2) 中,即可计算得到雷击金属薄板时的熔化厚度:

$$H = V \div S \quad (\text{B.2})$$

雷电流分别取 100kA (第三类防雷建筑物的雷电流参量) 和 150kA (第二类防雷建筑物的雷电流参量), 根据 GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》表 F.0.1-4, 上述电流值的长时间闪击分别携带电荷 100C 和 150C 电荷, 代入上式计算典型金属材料熔化厚度如表 B.1。由于该算法假设弧底产生的所有能量只用于金属熔化, 未考虑能量耗散, 因此其估算的熔化体积大于实际值, 这样的计算明显偏于安全侧, 对于雷电防护设计是可靠的。

表 B.1 典型金属材料熔化厚度

金属材质	雷电流幅值 (kA)	熔穿厚度 (mm)
铝	100	0.58
	150	0.87
铜	100	0.45
	150	0.67
锌	100	0.62
	150	0.93
铁	100	0.51
	150	0.77

附录 C
(资料性附录)
金属屋面直接雷电流冲击试验方案

当雷电击中样品材料时，雷电流将从雷击点注入材料试品，流经样品后从接地点流出，因此流过雷电流的屋面材料可能会发生烧蚀和变形，据此设计金属屋面直击雷电流冲击试验方案，如图 C.1 所示。

本方案中，10/350 μs 冲击电流发生装置作为电流源，当冲击电流发生装置产生脉冲电流时，脉冲电流通过导流条进入放电探针，放电探针靠近待测试样品，当放电探针尖端电场达到空气击穿电场时，放电探针向样品放电。

试验通过不同幅值脉冲电流，检验金属屋面耐受冲击电流的能力。试验中，为获得实际电流幅值，利用电流探头和示波器对放电电流进行采集；为观察试验过程，采用视频记录设备对放电探针作用点进行拍摄。

试验过程中，为保证良好固定及接地，金属屋面样品固定在专用的夹具架上。实验所需的 10/350 μs 脉冲电流由模拟直击雷电流发生器产生，并通过导流条由固定在金属屋面样品上方 2~3mm 处的放电探针注入，来模拟直击雷对样品作用过程中形成的电弧放电通道的影响。

主要试验设备如表 C.1 所示。

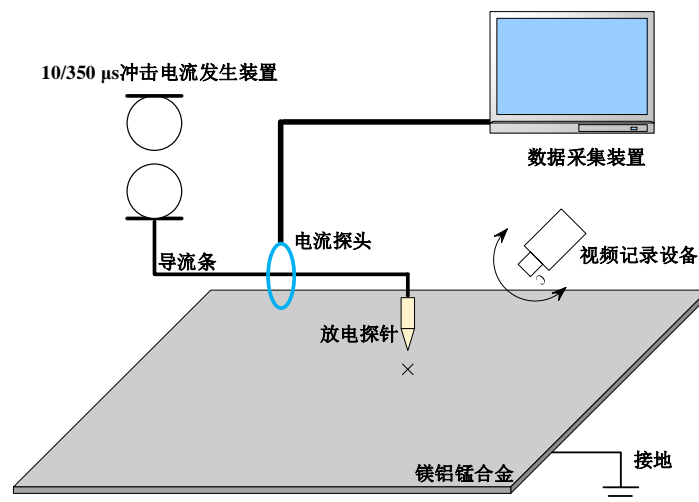


图 C.1 试验方案布置图

表 C.1 主要试验设备

序号	设备名称	参数要求
1	模拟冲击电流发生器	输出波形符合 GB 18802.1-2011 规定的 10/350 μs 雷电流波形要求；10/350 μs 波形放电电流不小于 50kA
2	数显卡尺	(0-150) mm
3	数字示波器	带宽不小于 100MHz；垂直灵敏度不小于 2mV-5V/div

附录 D
(资料性附录)
变电站接地系统布置样图

采用金属屋面作接闪器、金属框架作引下线时，引下线接地点宜就近接地，如图D.1。
采用专设接闪器、专设引下线等外部防雷措施时，专设引下线接地点应外引至接地系统的外侧（引下线接地点与电气设备的接地点间距离不宜小于15m），如图D.2。

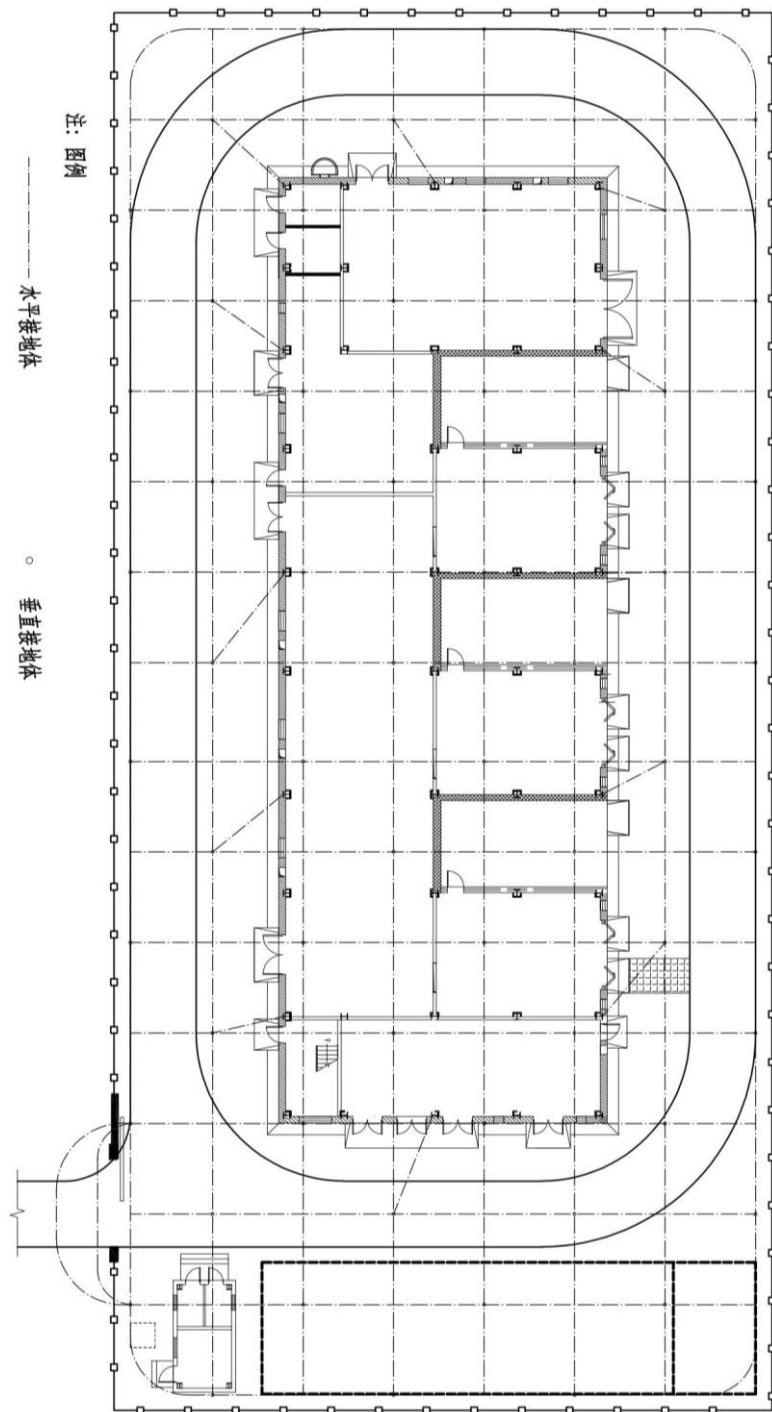


图 D.1 变电站就近接地系统布置图

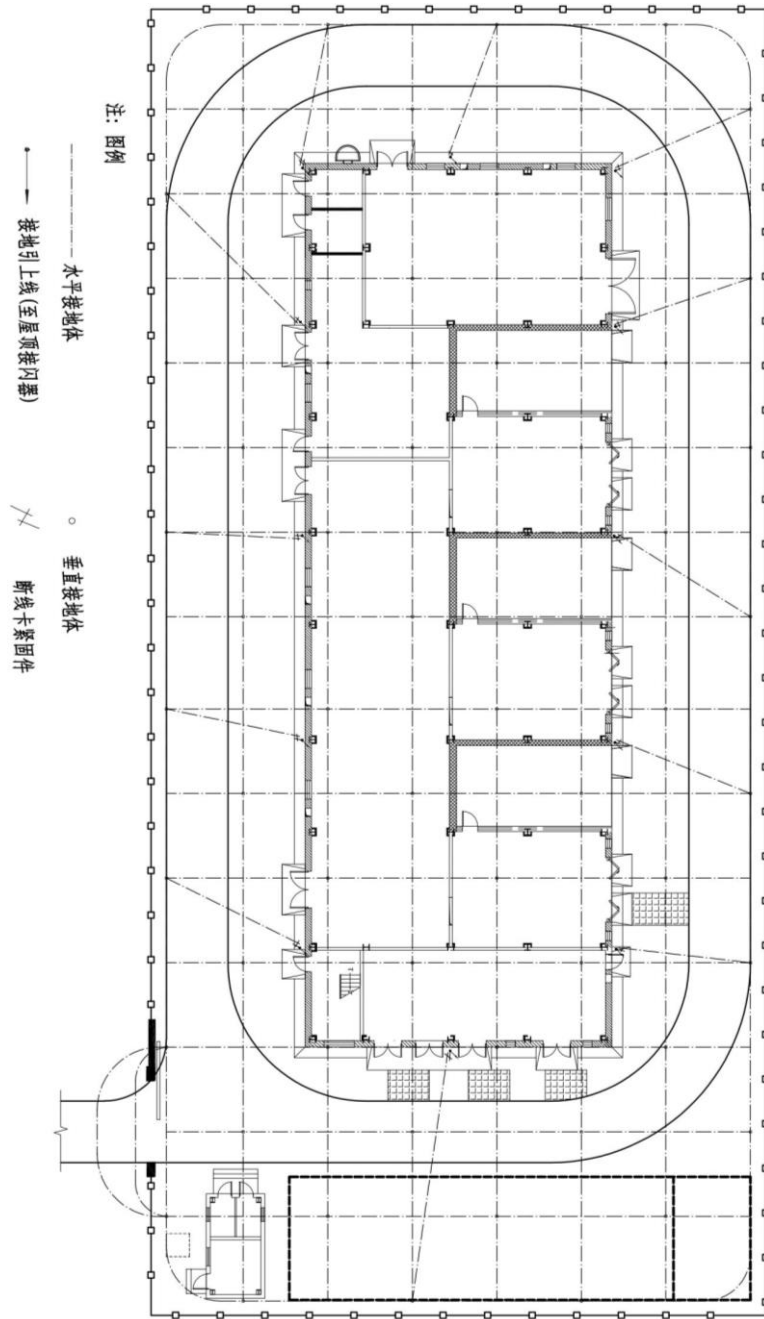


图 D.2 变电站外引接地示意图

附 录 E
(资料性附录)
雷电防护区划分

雷电防护区做如下划分：

1 LPZ0_A区：受直接雷击和全部雷电电磁场威胁的区域。该区域的内部系统可能受到全部或部分雷电浪涌电流的影响；

2 LPZ0_B区：直接雷击的防护区域，但该区域的威胁仍是全部雷电电磁场。受直接雷击和全部雷电电磁场威胁的区域。该区域的内部系统可能受到部分雷电浪涌电流的影响；

3 LPZ1区：由于边界处分流和浪涌保护器的作用使浪涌电流受到限制的区域。该区域的空间屏蔽可以衰减雷电电磁场；

4 LPZ2~n 后续防雷区：由于边界处分流和浪涌保护器的作用使浪涌电流受到进一步限制的区域。该区域的空间屏蔽可以进一步衰减雷电电磁场。

参 考 文 献

- [1] GB 18802.1-2011 低压电涌保护器（SPD）第1部分：低压配电系统的电涌保护器性能要求和试验方法
- [2] GB/T 21431-2015 建筑物防雷装置检测技术规范
- [3] GB 50059-2011 35kV-110kV变电站设计规范
- [4] GB 50217-2016 电力工程电缆设计规范
- [5] GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范
- [6] GB 50601-2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范
- [7] CHEN Tingji, YANG Lian, GU Weibing, et al. Impact of lightning protection grounding system on the ground surface potential of substations. International Conference on Physics and Engineering Mathematics.2021.
- [8] ZHANG Biao, ZHOU Junchi, WANG Yuzhi, et al. Study of thermal effect of lightning current on a metal roof[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 804(4):042005.
-