

ICS 91.120.40
CCS K 04

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4661—2024

110 kV 全户内金属结构变电站 雷电防护设计规范

Design specifications for lightning protection of 110 kV indoor
power sub-stations with metal structure

地方标准信息服务平台

2024-01-09 发布

2024-02-09 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 直击雷防护	2
5.1 接闪器	2
5.2 引下线	3
5.3 防雷接地	4
6 雷击电磁脉冲防护	4
附录A(资料性) 屋面金属板压接图例	6
附录B(资料性) 典型材质雷电流热效应理论计算	7
附录C(资料性) 金属屋面直击雷电流冲击试验方案	9
附录D(资料性) 接地系统布置样图	10
参考文献	12

地方标准信息服务平台

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。

注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省气象局提出并归口。

本文件起草单位：南京电力设计研究院有限公司、江苏省防雷减灾协会、江苏天安防雷工程有限责任公司、南京意诚科技有限公司、江苏大云防雷检测有限公司、中规国际咨询有限公司、龙乐电气有限公司。

本文件主要起草人：周俊驰、张彪、姜翠宏、高海洋、张骏、周亮、王新国、陈庭记、兰国军、杨莲、游志远、刘永生、仇文捷、陈广昌、茅嘉毅、何浦桥、马斌、邵天颖、张洁茹、蒋海琴。

地方标准信息服务平台

引 言

为了推进电力行业高质量发展,江苏省电力部门推动 110 kV 全户内金属结构变电站的普及。这种新型结构变电站的梁、柱、墙体和屋面等均由金属预制件组装而成,无需进行地面湿作业,且建筑材料可全部循环利用,因此更加符合城市绿色和低碳的发展需求。然而,由于其在结构、材质上与传统现浇混凝土变电站存在显著差异,因此对雷电防护提出新的要求。

针对这种新型结构变电站的雷电防护设计,本文件提出了具体且可行的措施要求,使得 110 kV 全户内金属结构变电站的雷电防护设计更加科学、合理、经济。

地方标准信息服务平台

110 kV 全户内金属结构变电站 雷电防护设计规范

1 范围

本文件规定了 110 kV 全户内金属结构变电站(以下简称“金属结构变电站”)雷电防护设计的总体要求、直击雷防护、雷击电磁脉冲防护。

本文件适用于新建 110 kV 全户内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/T 21431 建筑物防雷装置检测技术规范
- GB/T 37047—2022 基于雷电定位系统(LLS)的地闪密度 总则
- GB/T 50064—2014 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范
- 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

全户内金属结构变电站 indoor power sub-stations with metal structure

屋面、梁、柱、墙体等主体结构采用金属预制件装配而成,主变及配电装置均在户内布置的变电站。

3.2

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。

[来源:GB 50057—2010,2.0.25]

3.3

强雷区 severe keraunic region

近 5 年年平均地闪密度超过 7.98 次/(km²·a)的地区。

[来源:GB/T 50064—2014,2.0.9,有修改]

3.4

共用接地系统 common earthing system

将防雷系统的接地装置、建筑物金属构件、低压配电保护线(PE)、等电位连接端子板或连接带、设备保护地、屏蔽体接地、防静电接地、功能性接地等连在一起构成的接地装置。

[来源:GB/T 19663—2022,5.2.27]

3.5

冲击接地电阻 impulse earthing resistance

根据通过接地极流入地中冲击电流求得的接地电阻(接地体上对地电压的峰值与电流峰值之比)。

[来源:GB/T 50065—2011,2.0.15]

3.6

雷电防护区 lightning protection zone; LPZ

规定雷电电磁环境的区域。

注 1: 又称防雷区。

注 2: LPZ 可分为 LPZ0_A, LPZ0_B, LPZ1, LPZ2……, LPZn 区。

注 3: 雷电防护区的区界面不一定是实物界面。

[来源:GB/T 19663—2022,5.1.1,有修改]

3.7

无间隙金属氧化物避雷器 metal-oxide surge arrester without gaps

由装在具有电气和机械连接端子外套中的非线性金属氧化物电阻片串联和(或)并联组成且无并联或串联放电间隙的避雷器。

[来源:GB/T 11032—2020,3.1]

4 总体要求

4.1 金属结构变电站雷电防护设计应做到安全可靠和经济合理。

4.2 金属结构变电站应采取直击雷防护措施和雷击电磁脉冲防护措施。

4.3 金属结构变电站的雷电防护措施应按第二类防雷建筑物设计。

4.4 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和土壤电阻率情况,处于强雷区且土壤电阻率较高(平原地区大于 $500 \Omega \cdot m$,山区大于 $1\ 000 \Omega \cdot m$)时,应区别制定雷电防护设计方案。地闪密度应按照 GB/T 37047—2022 中 4.2 的要求进行计算。土壤电阻率应按照 GB/T 21431 中附录 B 的要求进行测量。

5 直击雷防护

5.1 接闪器

5.1.1 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,可由多块金属板拼接而成,板间应确保电气贯通,屋面整体过渡电阻应不大于 0.2Ω 。当采用卷边压接时,无被覆层的裸露金属板压接接触长度应不小于 30 mm ,连接方式见附录 A。

5.1.3 金属屋面作为自然接闪器时,金属板材质应符合以下要求:

- a) 铜板厚度应不小于 0.7 mm ,铁板厚度应不小于 0.8 mm ,铝板厚度应不小于 0.9 mm ,锌板厚度应不小于 1 mm ,典型材质雷电流热效应理论计算过程见附录 B;
- b) 采用其他金属或合金材料宜开展直击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 1.1 mm ;
- 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 1 mm 厚沥青层或 0.5 mm 厚聚氯乙烯层不属于绝缘被覆层。

5.1.4 金属屋面作为自然接闪器时,突出屋面的天线、风机、风管、水箱等部件应增设接闪器并在其保护范围内。增设的接闪器与金属屋面之间的过渡电阻应不大于 $0.2\ \Omega$ 。

5.1.5 处于强雷区且土壤电阻率较高(平原地区大于 $500\ \Omega\cdot\text{m}$,山区大于 $1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$)时,金属结构变电站应在屋面专门设置接闪器,且接闪器应与金属屋面采取绝缘措施。

5.1.6 专门设置接闪器时符合以下要求:

- a) 宜采用接闪带形式,其规格要求应符合表 1 的要求;

表 1 接闪器的材质规格要求

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

^a 热浸或电镀锡的锡层最小厚度为 $1\ \mu\text{m}$ 。
^b 热浸镀锌钢的镀锌层应光滑连贯、无焊剂斑点,圆钢镀层含量至少 $22.7\ \text{g}/\text{m}^2$,扁钢镀层含量至少 $32.4\ \text{g}/\text{m}^2$ 。
^c 不锈钢中铬含量大于或等于 18%、镍含量大于或等于 8%、碳含量小于或等于 0.08%。

- b) 接闪带应每隔不大于 1 m 设固定支架,转角处应每隔不大于 0.5 m 设固定支架,支架高度应不小于 150 mm,支持固定卡宜采用不小于 $\phi 12$ 的镀铜钢,并能承受 49 N 以上垂直拉力;
- c) 接闪带、接闪网应在屋面组成不大于 $10\ \text{m}\times 10\ \text{m}$ 或 $12\ \text{m}\times 8\ \text{m}$ 的网格;
- d) 突出屋面的天线、风机、风管、水箱等金属部件应在接闪器保护范围内。

5.2 引下线

5.2.1 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电气贯通,可采用焊接、缝接、压接等连接方式,连接点距离应不大于 18 m,其过渡电阻应不大于 $0.2\ \Omega$ 。

5.2.3 处于强雷区且土壤电阻率较高(平原地区大于 $500\ \Omega\cdot\text{m}$,山区大于 $1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$)时,金属结构变电站应专门设置引下线。

5.2.4 引下线应不少于 2 根,沿变电站四周均匀对称布置,其间距沿周长计算应不大于 18 m。

5.2.5 引下线与变电站金属结构(包括屋面、框架、墙面、管线等)应采用 $1.2/50\ \mu\text{s}$ 冲击电压 100 kV 的绝缘层隔离,宜于装配式墙板间空腔内敷设。

5.2.6 引下线材质规格应符合表 2 的规定。

表 2 引下线的材质规格要求

材料	结构	最小截面积/mm ²	备注
热浸镀锌钢 ^a	单根扁钢	50	厚度 2.5 mm
不锈钢 ^b	单根扁钢	50	厚度 2 mm
	单根圆钢	50	直径 8 mm
镀铜钢	单根圆钢	50	直径 8 mm, 镀铜厚度不小于 70 μm
	单根扁钢	50	厚度 2.5 mm, 镀铜厚度不小于 70 μm

^a 热浸镀锌钢的镀锌层应光滑连贯、无焊剂斑点, 圆钢镀层含量至少 22.7 g/m², 扁钢镀层含量至少 32.4 g/m²。
^b 不锈钢中铬含量大于或等于 18%、镍含量大于或等于 8%、碳含量小于或等于 0.08%。

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,接地系统布置样图见附录 D 中图 D.1。

5.3.2 专门设置接闪器和引下线时,引下线接地点应外引至变电站接地网的最外侧,并在连接处加装垂直接地极,引下线接地点与 35 kV 以下电气设备的接地点间沿接地体的长度应不小于 15 m,接地系统布置样图见附录 D 中图 D.2。

5.3.3 金属结构变电站应采用共用接地系统,采用大地网测试仪测得的接地电阻应满足式(1)的要求。

$$R \leq 2000/I_G \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

R——考虑季节变化的最大接地电阻,单位为欧姆(Ω);

I_G——经接地网入地的最大故障电流有效值,单位为安培(A),按 GB/T 50065—2011 中附录 B 计算。

5.3.4 电缆接地线应采用铜绞线或镀锡铜编织线与电缆屏蔽层连接,其截面积应符合表 3 的要求,铜绞线或镀锡铜编织线应加包绝缘层。

表 3 电缆接地线规格要求

电缆截面积/mm ²	接地线截面积
S ≤ 16	不小于电缆芯线截面积
16 < S ≤ 120	≥ 16 mm ²
S ≥ 150	≥ 25 mm ²

6 雷击电磁脉冲防护

6.1 金属结构变电站的雷电防护区划分应符合 GB 50057—2010 中 6.2 的规定。

6.2 400 V 及以下低压电缆、控制电缆穿越雷电防护区时,其屏蔽层应在雷电防护区交界面处做等电位连接,其过渡电阻应不大于 0.2 Ω。

6.3 金属结构变电站的窗宜敷设不大于 200 mm × 200 mm 的金属网格,并与变电站框架结构作可靠电气连接。

6.4 进入变电站的供配电线缆及其他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。

6.5 架空线路进入变电站时应在进线端加装无间隙金属氧化物避雷器,其接地端应与电缆的金属外皮连接,选型及安装位置应符合 GB/T 50064—2014 中 5.4.13 的规定。

地方标准信息服务平台

附录 A

(资料性)

屋面金属板压接图例

金属结构变电站屋面由多块金属板压接时,连接方式可参照图 A.1。

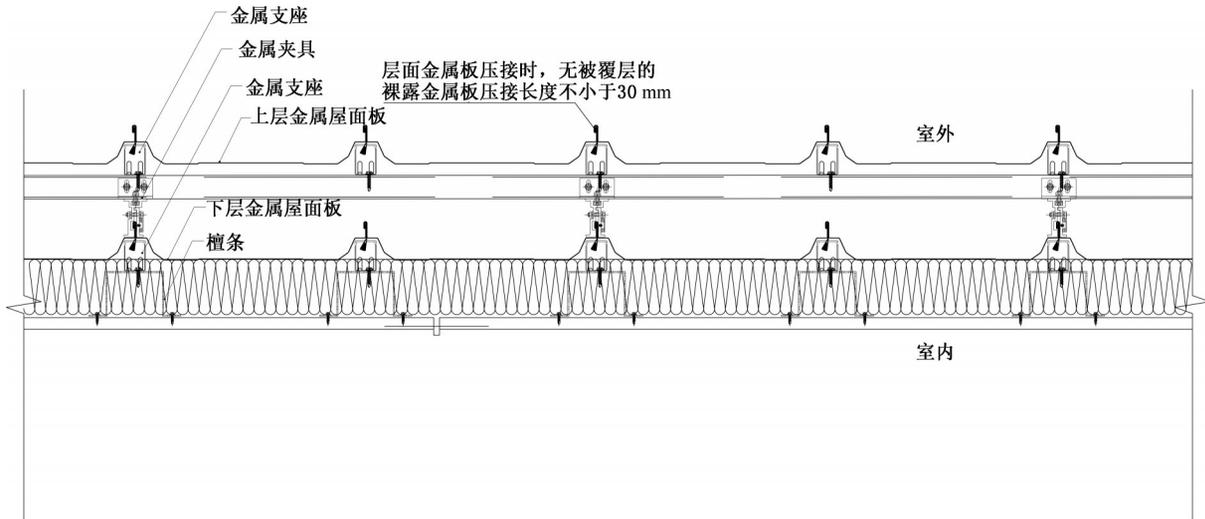


图 A.1 屋面金属板压接图例

地方标准信息服务平台

附录 B

(资料性)

典型材质雷电流热效应理论计算

当雷电击中金属屋面时,雷电流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。可将该过程的热效应简化处理为:电弧底部的能量转换由电荷与电压降的乘积产生。该过程中电压降一般做常数,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:

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

式中:

- V ——熔化的体积,单位为立方毫米(mm^3);
- $U_{a,c}$ ——电压降,单位为伏特(V);
- Q ——雷电流电荷量,单位为库仑(C);
- γ ——材料密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- C_w ——热容量,单位为焦耳每千克开尔文[$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$];
- θ_s ——熔点,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- θ_u ——环境温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- C_s ——熔化潜热,单位为焦耳每千克(J/kg)。

根据 GB 50057—2010 中 4.1.4,雷击点加热面积的直径一般为 50 mm~100 mm,对应加热面积为 1 963 mm^2 ~7 854 mm^2 。当在雷电流注入电弧触点的能量一定时,加热点面积越小,金属板熔化的厚度越深,为了计算最大熔化深度,此处计算选取加热面积最小值 1 963 mm^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板时的熔化厚度:

$$H = V/S \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- H ——熔化厚度,单位为毫米(mm);
- S ——雷电流电弧加热点面积,单位为平方毫米(mm^2)。

雷电流分别取 100 kA 和 150 kA,根据 GB 50057—2010 中表 F.0.1-4,上述电流值的长时间闪击分别携带电荷 100 C 和 150 C 电荷,代入计算典型金属材料熔化厚度见表 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和厚度大于实际值,计算结果明显偏于安全侧。

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

表 B.1 典型金属材料熔化厚度（续）

金属材质	雷电流幅值/kA	熔穿厚度/mm
锌	100	0.62
	150	0.93

地方标准信息服务平台

附录 C

(资料性)

金属屋面直击雷电流冲击试验方案

为了模拟雷电流击中金属屋面产生的电弧对屋面金属板的热效应,可采用如图 C.1 所示的试验方案。

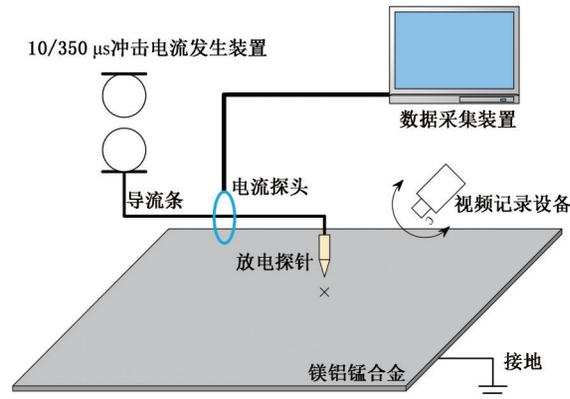


图 C.1 试验方案布置图

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金属板样品,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。

主要试验设备见表 C.1。

表 C.1 主要试验设备

序号	设备名称	参数指标
1	冲击电流发生器	输出波形符合 GB/T 18802.11—2020 规定的 10/350 μs 雷电流波形要求;10/350 μs 波形空载放电电流不小于 50 kA
2	数显卡尺	(0~150)mm
3	数字示波器	带宽不小于 100 MHz;垂直灵敏度不小于 2 mV~5 V/div

附录 D
(资料性)
接地系统布置样图

采用金属屋面和金属框架结构作为接闪器和引下线时,就近接地系统可参照图D.1进行布置。
专门设置接闪器和引下线时,外引接地系统可参照图D.2进行布置。

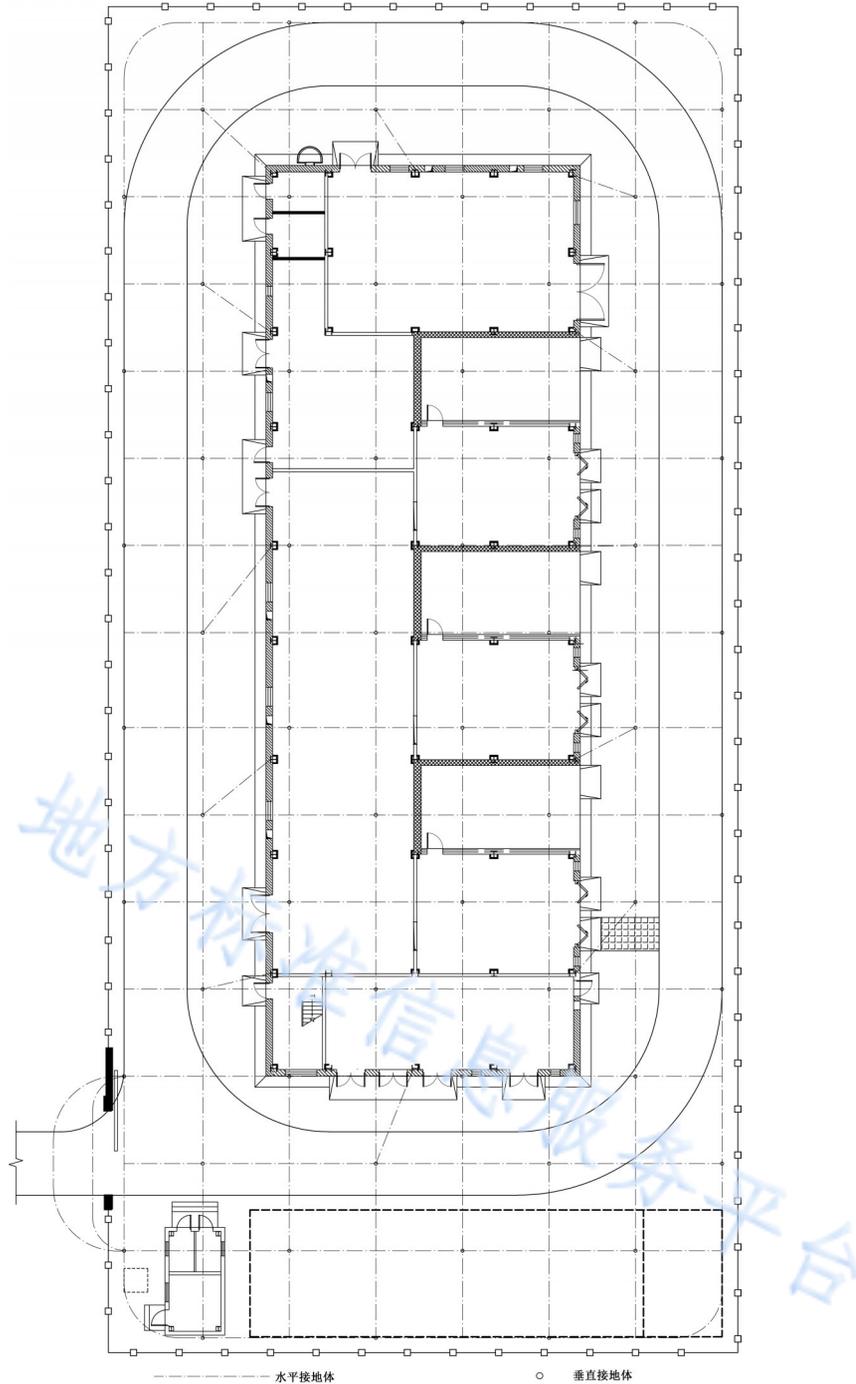


图 D.1 就近接地系统样图

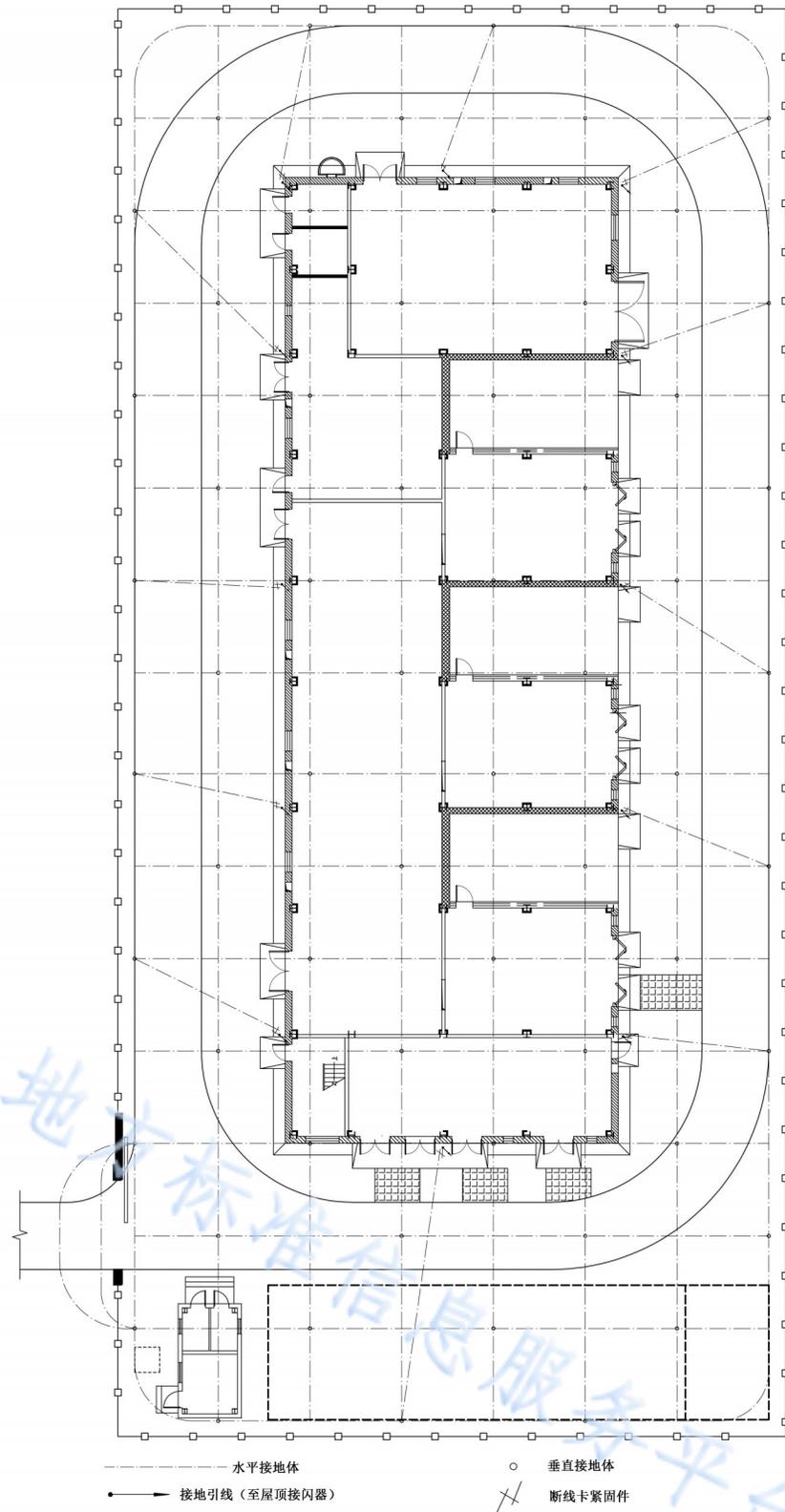


图 D.2 外引接地系统样图

参 考 文 献

- [1] GB/T 11032—2020 交流无间隙金属氧化物避雷器
 - [2] GB/T 17949.1—2000 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则 第1部分：常规测量
 - [3] GB/T 18802.11—2020 低压电涌保护器(SPD) 第11部分：低压电源系统的电涌保护器性能要求和试验方法
 - [4] GB/T 19663—2022 信息系统雷电防护术语
 - [5] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
 - [6] GB 50059—2011 35 kV~110 kV 变电站设计规范
 - [7] GB 50217—2018 电力工程电缆设计标准
 - [8] GB 50601—2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范
 - [9] T/JPALPDM 0001—2022 110 kV 金属结构变电站雷电防护设计规范
-

地方标准信息服务平台