中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

设计与施工中的若干问题探讨

中国航空规划设计研究总院
刘叶语



2024年5月18日

目 录

利用建筑物金属体做防雷及接地装置时的若干问题

等电位联结的几个问题

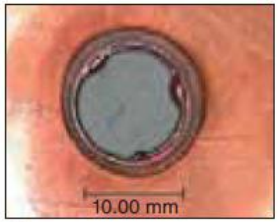
RCD的应用

几种电气火灾防护的产品的特点与比较

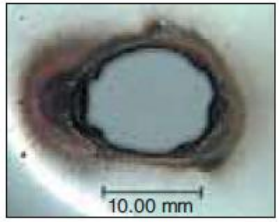
利用建筑物金属体做防雷及接地装置



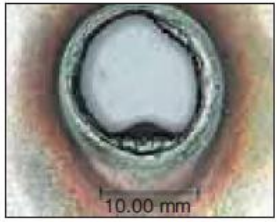
铝
d = 0.5 mm; 200 A, 350 ms



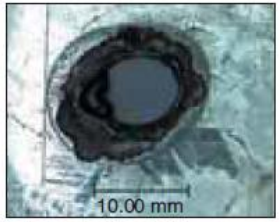
铜
d = 0.5 mm; 200 A, 180 ms



不锈钢
d = 0.5 mm; 200 A, 90 ms

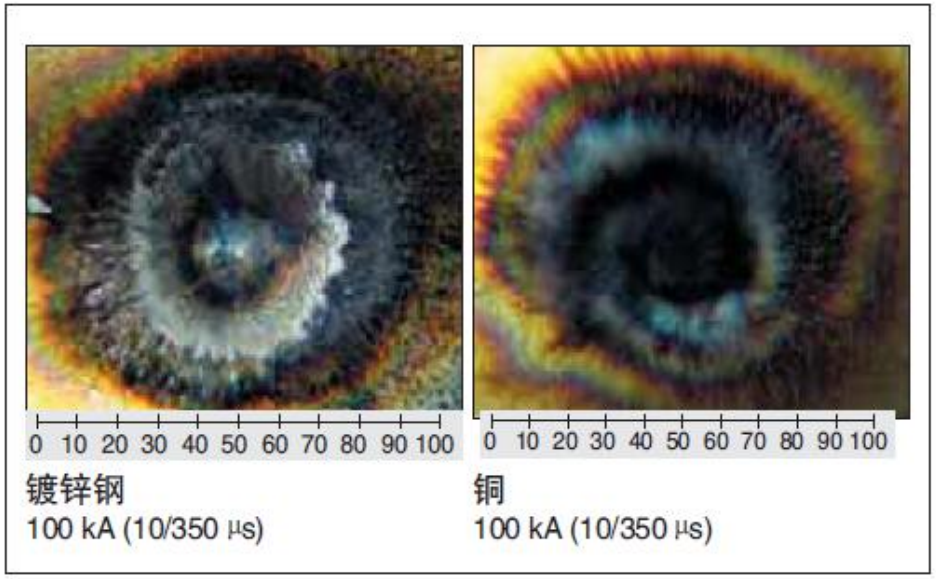


钢
d = 0.5 mm; 200 A, 100 ms



镀锌钢
d = 0.5 mm; 200 A, 100 ms

雷电流危害



镀锌钢
100 kA (10/350 µs)

铜
100 kA (10/350 µs)

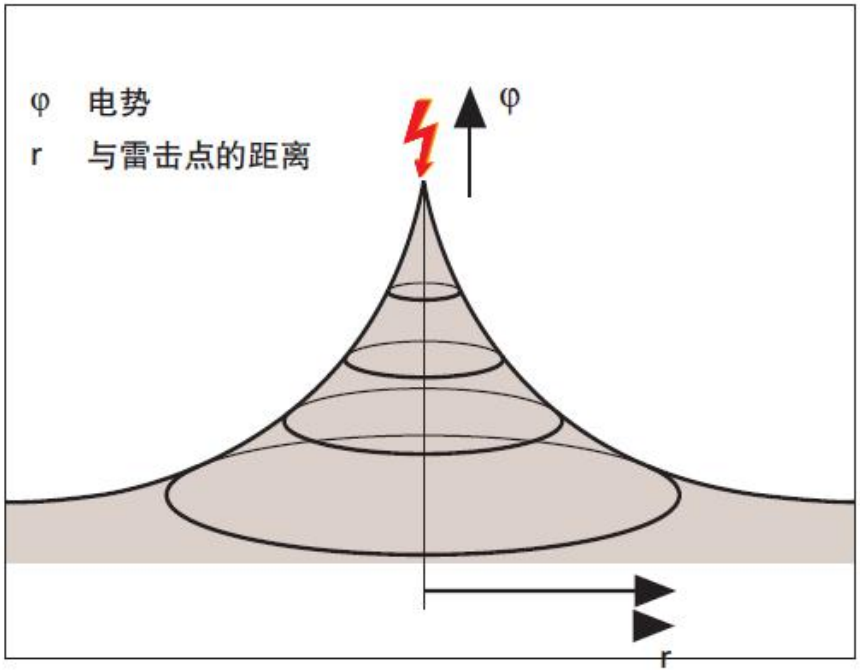
持续电流的作用：
长时间持续的电弧，
使金属薄板穿孔

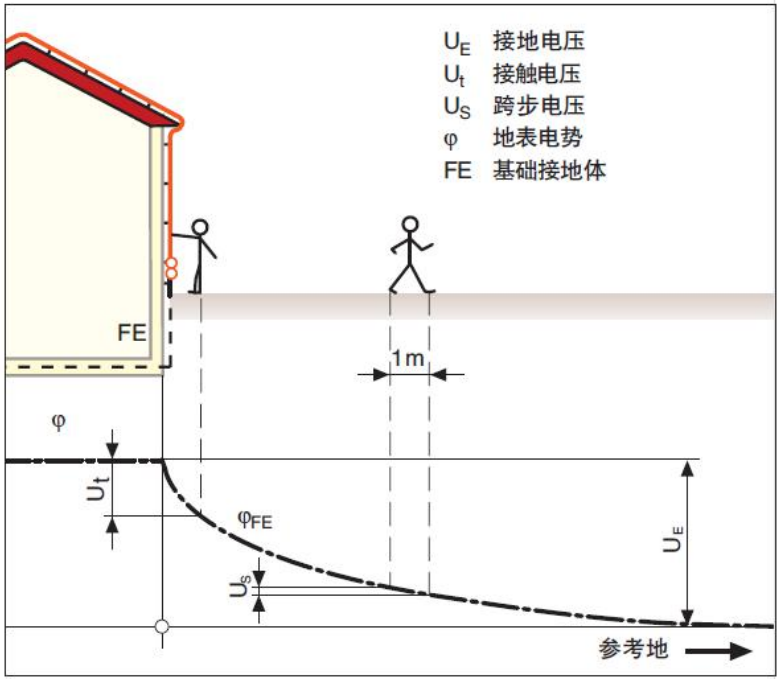
冲击电流的作用：
冲击电流产生的电弧作用

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

接触电压

跨步电压





接触电压、跨步电压

- 雷击在某一个导电均匀的平面上时，会在该平面上产生电压梯度
- 土壤导电性越好，电压梯度下降越平缓，跨步电压越小

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

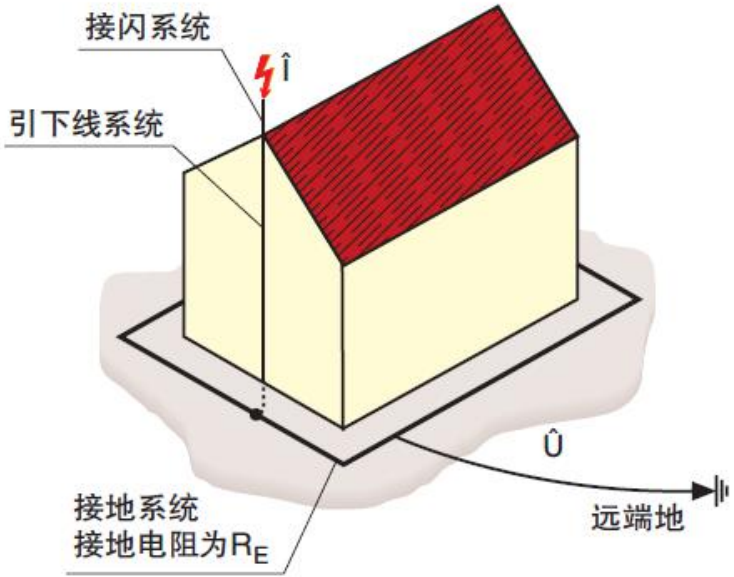
利用建筑物金属体做防雷及接地装置

跨步电压



跨步电压致动物死亡

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

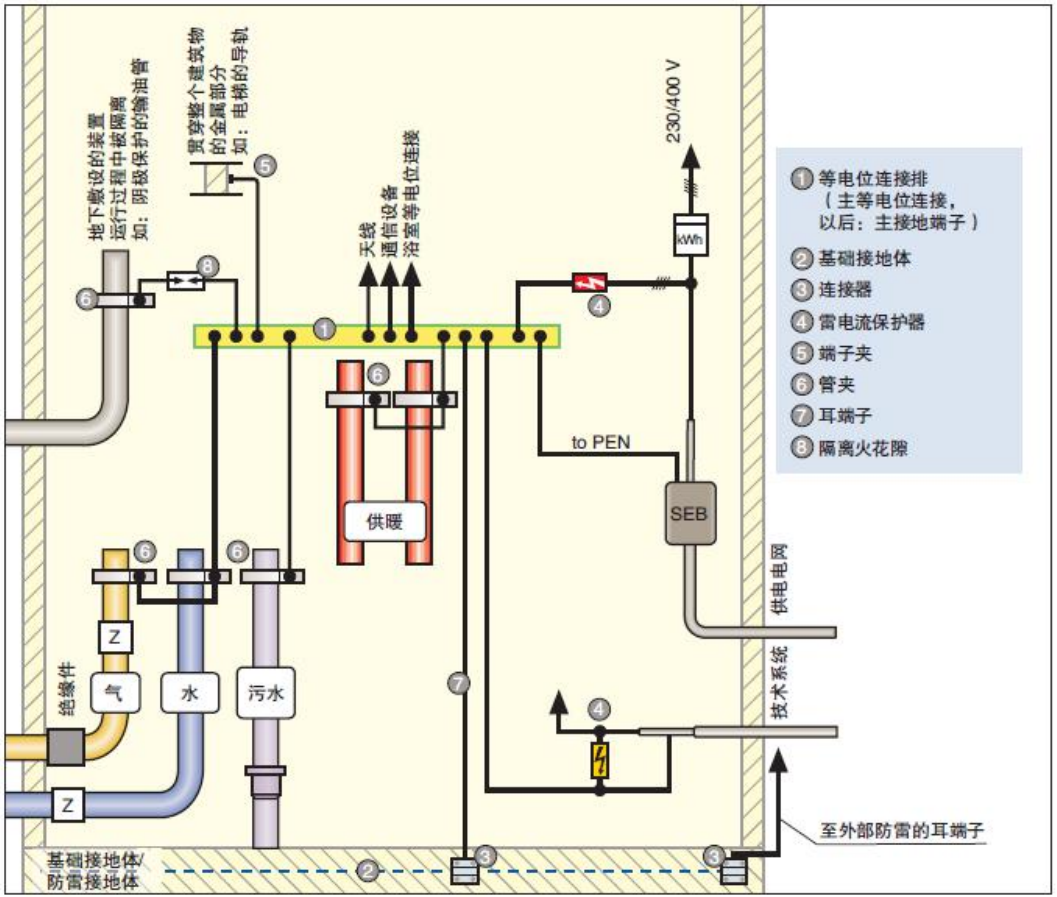


防雷措施（外部防雷系统，内部防雷系统）

避免建筑物发生物理损坏，避免发生生命危险，造成财产损失

外部防雷系统：接闪器，引下线，接地装置

利用建筑物金属体做防雷及接地装置



防雷原理

内部防雷系统：

建立防雷等电位连接

- 金属设施，如金属水管、暖气管、天然气管等
- 低压配电系统与信息设备（通过SPD将电源线路、信息回路与接地装置连接）

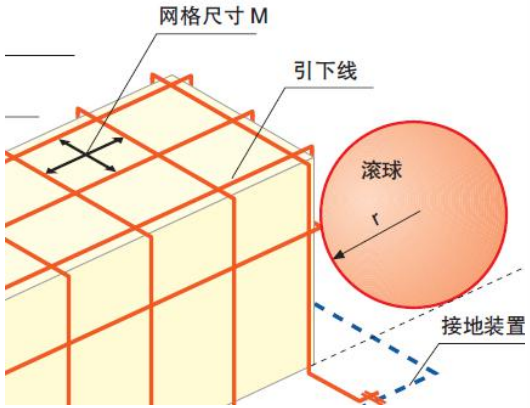
中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

外部防雷系统——接闪装置

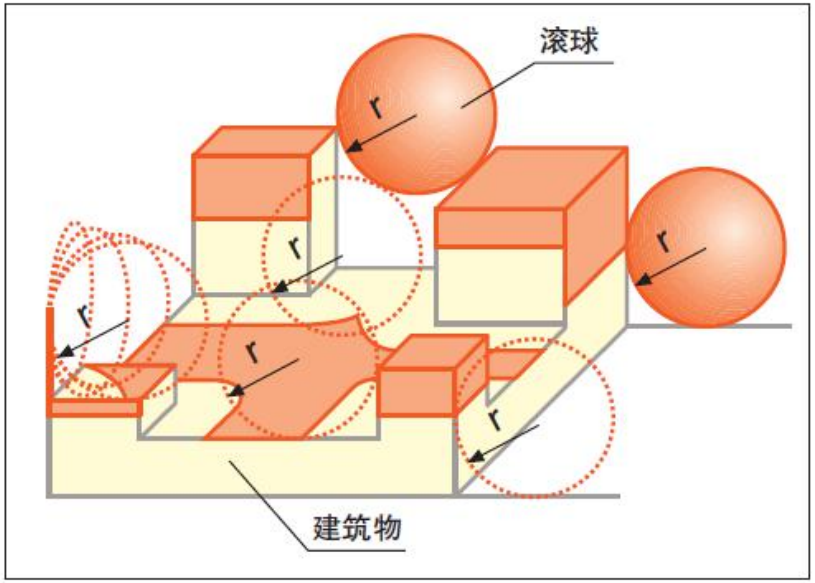


滚球法模型



滚球法模型
-防侧击雷

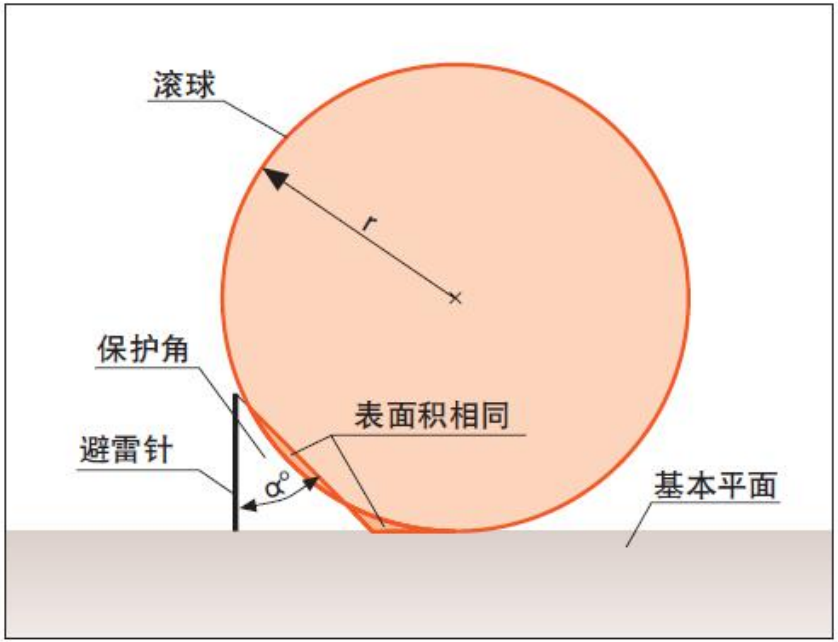
滚球法（几何——电气模型）



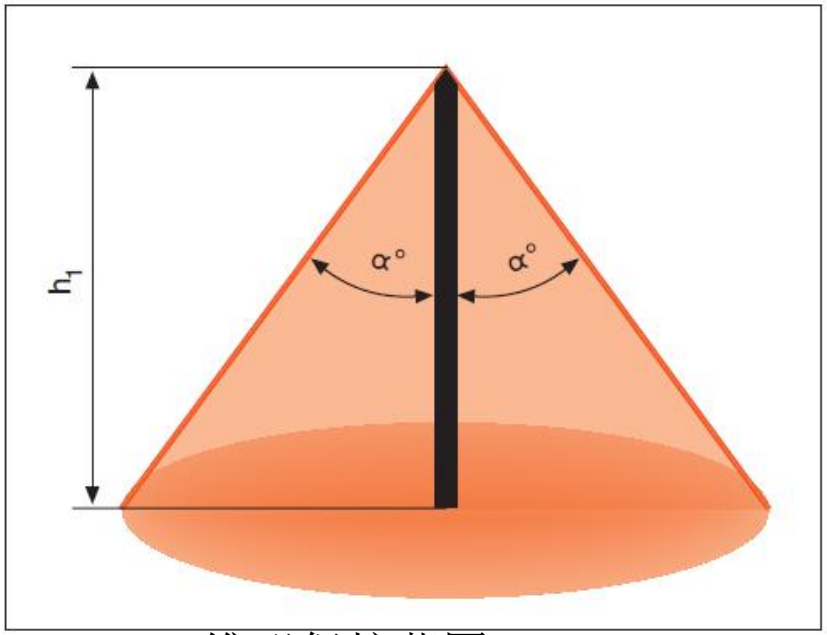
外部结构复杂的建筑物的滚球法模型

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

保护角法（几何——电气模型）



保护角及其相应的滚球半径

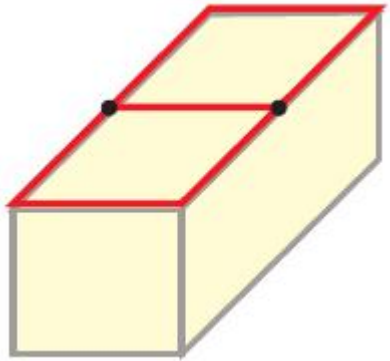


锥形保护范围

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

网格法



保护等级	网格尺寸
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
IV	20 x 20 m

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

- 建筑物中的金属框架
- 钢筋混凝土中的互连钢筋（具有电气连续性）

优点：
- 可靠性高
- 维护工作简单
- 使用寿命长
- 经济合理

缺点：
- 需要更多专业配合
- 隐蔽工程，对施工要求高

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

接闪器
1、利用金属屋面
2、利用钢筋混凝土屋面内的钢筋
3、设置由圆钢或扁钢组成的接闪器

铜锌合金焊，熔焊，卷边压接，缝接，螺钉或螺栓连接

金属屋面用作接闪器的条件
1、金属板之间的连接
2、金属板的厚度
3、金属板无绝缘层
4、金属板夹层为高阻燃类别

无易燃品时热镀锌钢 0.5mm，铝0.65mm
有易燃品时热镀锌钢 4mm，铝7mm

1mm的沥青不属于绝缘被覆层

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

问题1：防水层的主要类型与特点

金属屋面设置防水层时，防水材料可能会对金属屋面的接闪能力产生影响，常见的防水材料：

- 高分子材料
- 沥青（厚度一般都大于1mm）

两种防水材料的特点：
沥青类与高分子类：前者需要设置保护层，地下室外的防水沥青寿命认为与建筑物寿命等长，屋面的防水沥青卷材需定期翻修。
高分子防水材料无需设置保护层，一般用于钢结构屋面

单层防水屋面卷材系统设计（由下至上）

构造层	设置要求	固定方法	材料
承重层	必须设置	机械固定	≥0.75mm厚压型钢板
隔汽层	必须设置	空铺、机械固定	聚乙烯、聚丙烯、复合铝箔
保温隔热层	必须设置	机械固定	A级：岩棉板、泡沫玻璃板 B1级：聚异氰脲酸酯板、挤塑聚苯板、硬泡聚氨酯板
覆盖层	选择设置	机械固定	耐火石膏板、玻镁防火板、水泥加压板
防水层	必须设置	机械固定、粘结	高分子防水卷材、改性沥青防水卷材
附加层	选择设置	空铺、粘结、承重构件穿出屋面固定	种植屋面、太阳能屋面、金属装饰板等其他装饰层

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

问题2：沥青算作绝缘层，还是算作非绝缘层？

文献资料：

- ✓ 3mm厚的沥青涂层，对计算钢筋混凝土基础的接地电阻无明显影响
- ✓ 6mm厚度的沥青涂层、3mm的乳化沥青涂层、4mm的粘贴沥青卷材，大部分情况下对基础电阻的影响很小

文献资料：

- ✓ 对10mm厚度的沥青板样品进行测试，无空隙的情况下沥青的电阻率为无穷大
- ✓ 沥青涂层经历若干年后，会产生空隙和裂缝，从而具有通过电流的能力

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

采用沥青涂层或卷材

具有通过电流的能力：

✓ 地下室防水卷材采用沥青时，可以利用钢筋混凝土基础做接地体，沥青对接地电阻的影响不大

前提

✓ 采用硅酸盐水泥
✓ 土壤含水量不低于4%

具有一定的绝缘作用：

✓ 为了防止跨步电压、接触电压，引下线附近可敷设5cm厚度的沥青层或15cm后砾石层

✓ 火工品厂房一类防雷的独立接闪杆引下线与进出建筑物的金属管线距离不满足要求时，金属管线可包覆绝缘布，外面包覆5cm厚沥青层

文献资料：

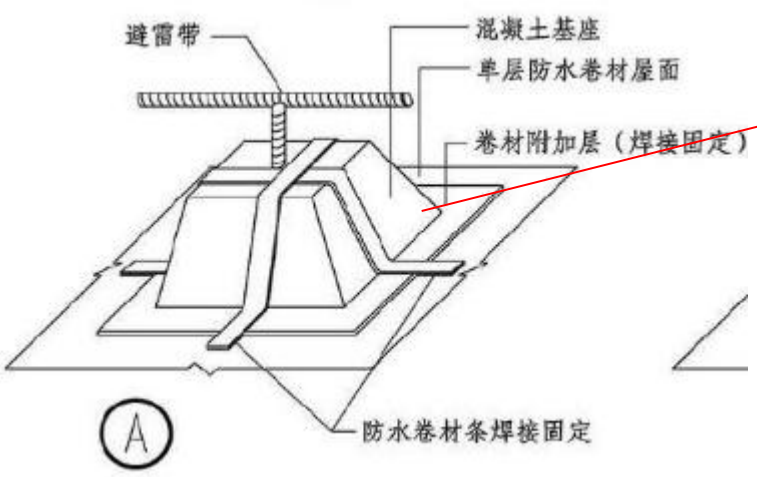
✓ 埋在土壤中的混凝土只要不被不透水层包围，就具有导电性，并且几乎不受天气影响

✓ 位于岩石上的基础内的钢筋不满足做接地装置的条件

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用金属屋面做接闪器

金属屋面设置防水层时，一般在屋面明敷接闪器，接闪器应采用专用连接方式固定在单层防水卷材屋面上，并满足抗风性能要求



接闪带混凝土墩应设置在钢梁或檩条位置处

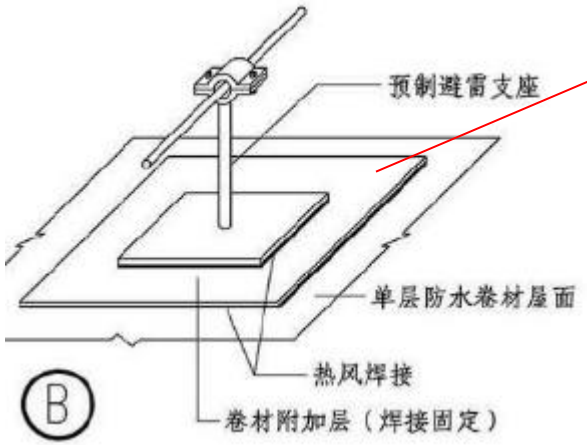


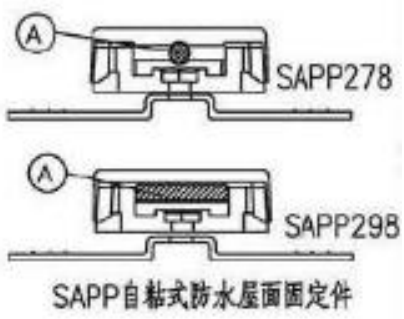
SCR屋面固定件
scr2015152

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用金属屋面做接闪器

接闪带预制支座应设置
在钢梁或檩条位置处





利用建筑物金属体做防雷及接地装置

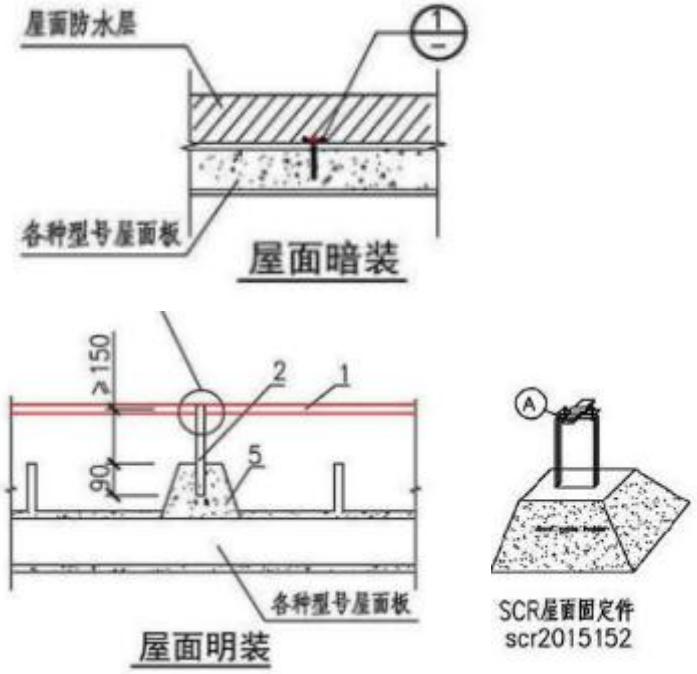
利用钢筋混凝土屋面内的钢筋做接闪器

情况1
1、当建筑物女儿墙以内的屋顶钢筋网以上的防水和混凝土层允许不被保护时，宜利用屋顶钢筋网做接闪器

2、混凝土中的钢筋或圆钢，其单根或总和直径不小于10mm

情况2
设置接闪网格 √

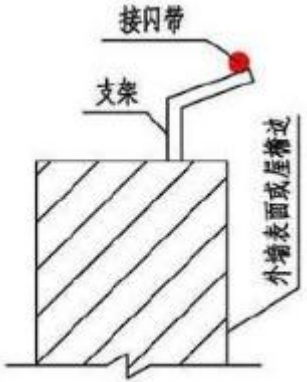
接闪网格两种安装方式



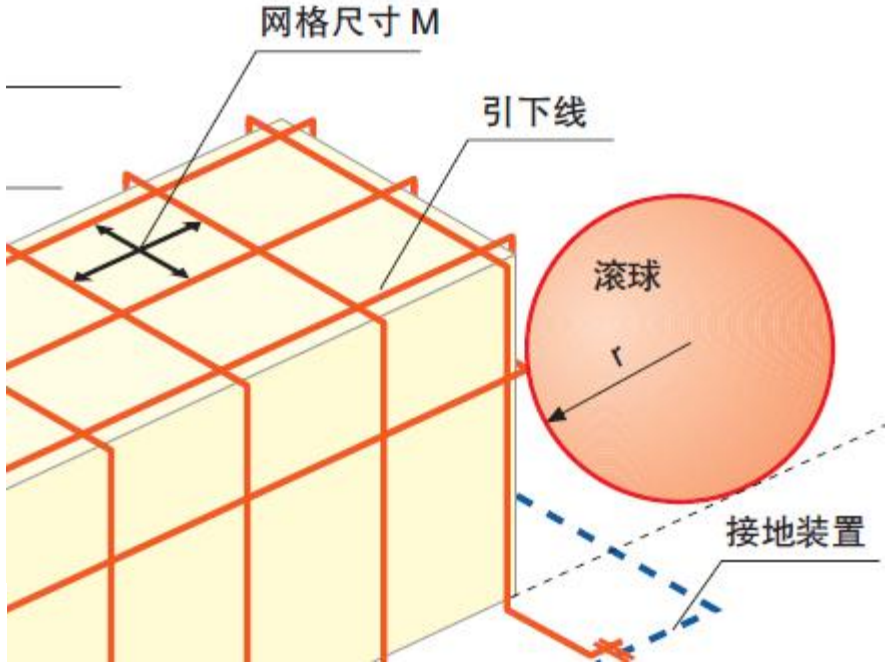
利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用钢筋混凝土屋面内的钢筋做接闪器

情况2
设置接闪网格 √



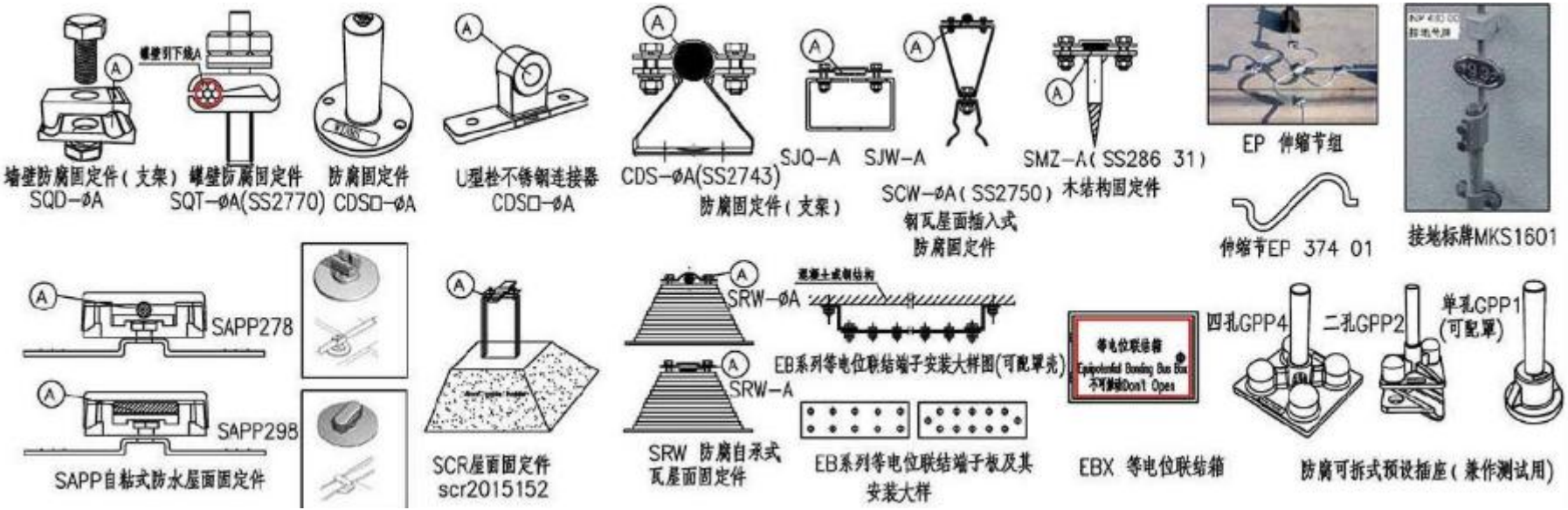
屋顶周边
接闪器敷设



4.3.1 首先应沿屋顶周边敷设接闪带，接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上，也可设在外墙外表面或屋檐边垂直面外。接闪器之间应互相连接。

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

接闪带安装固定支架、等电位联结配件等

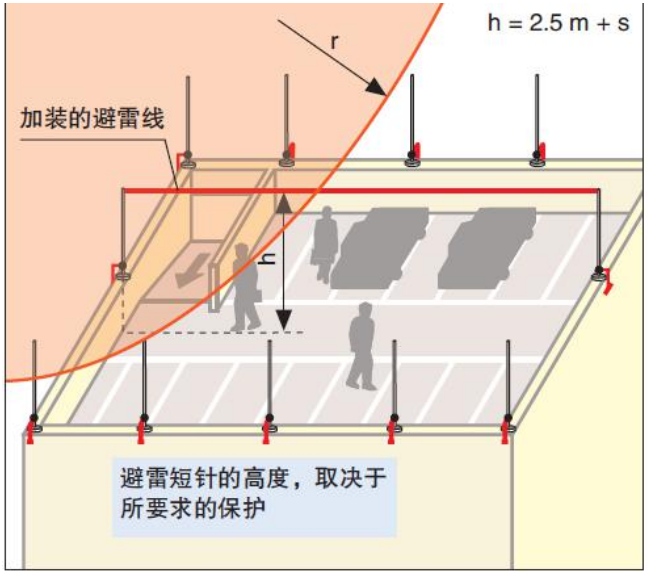


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 屋面停车场

雷雨天气有人经过这些区域
1、无法设置明敷的接闪器（如混凝土支墩）
2、要考虑对人员或车辆的保护
3、身高为2.5m（考虑胳膊高举时的情况）的人应能在直击雷的情况下得到保护



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 屋顶花园（与屋顶停车场的情况类似）

雷雨天气要考虑有人或无人两种情况

1、无法设置明敷的接闪器（如混凝土支墩）

2、不允许人员在该区域时，要设置警示牌，

3、允许人员在该区域时，要考虑身高为2.5m（考虑胳膊高举时的情况）的人应能在直击雷的情况下得到保护

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 屋顶植被

1、有植被的屋顶应设置接闪装置，如果不设置外部防雷，屋顶有遭受直击雷造成漏水的风险；
2、接闪装置如果暗敷，要考虑接闪器检修时的成本（铲平、拆除培土）





利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 光伏板



利用光伏板金属边框做接闪装置，将其与屋面接闪带连接

4.5.7 对第二类和第三类防雷建筑物，应符合下列规定：

1 没有得到接闪器保护的屋顶孤立金属物的尺寸不超过下列数值时，可不要求附加的保护措施：

1) 高出屋顶平面不超过 0.3m。

2) 上层表面总面积不超过 1.0m²。

3) 上层表面的长度不超过 2.0m。

2 不处在接闪器保护范围内的非导电性屋顶物体，当它没有突出由接闪器形成的平面 0.5m 以上时，可不要求附加增设接闪器的保护措施。



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

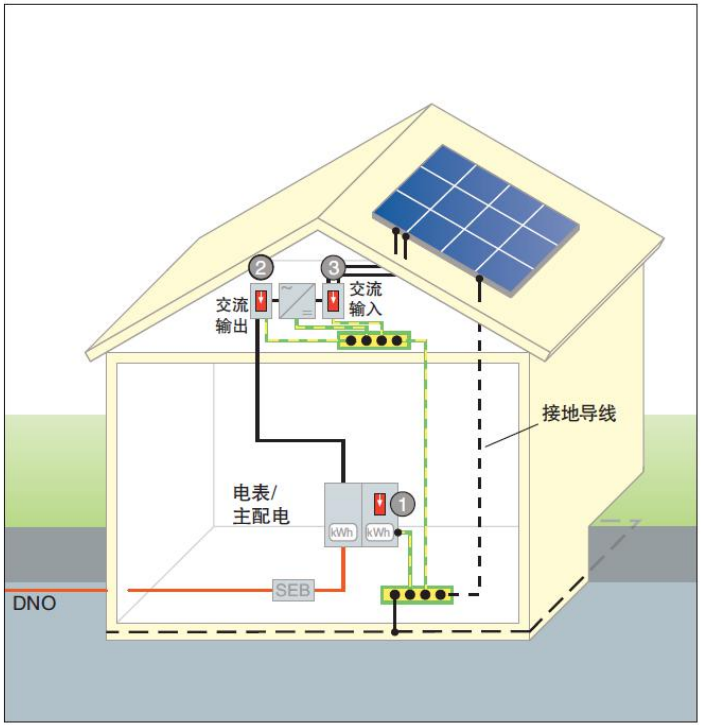
屋面接闪器设置的几个案例

- 光伏板特点：暴露在户外，且逆变器为电子元件，柜雷电更为敏感

✓ 根据科技理论，建筑物上安装光伏板不会增加发生雷击的风险

✓ 发生雷击时，建筑物的电气设备遭到损坏的危险会增加（光伏系统将电缆引入建筑物内，雷电流引起的传导干扰、辐射干扰等电磁干扰会耦合到现有的插座和电缆）

✓ 对于没有外部防雷系统的建筑物，需要为光伏系统设置完善的浪涌保护

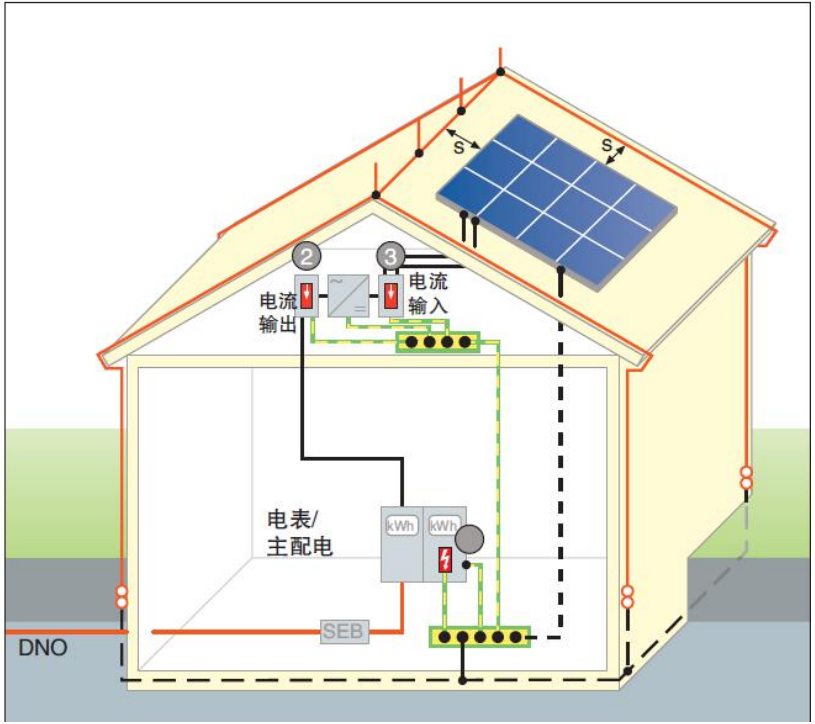


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 光伏板

如果光伏系统安装在具有外部防雷系统的建筑物上，则对其基本要求之一是：光伏设备要在隔离接闪装置的保护区域内。此外，必须保持光伏设备支架和外部防雷系统之间的隔离距离，以防止发生失控的闪弧。否则，可能会有大量的雷电流进入建筑物内部。



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

隔离的接闪装置

屋面常见设施包括：空调设备、冷却塔、电线、广告灯的电子控制器等

常规情况，这些设施上直接安装接闪针，设施的金属外壳与屋面接闪带连接

负面作用：直接雷击时部分雷电流会沿着这些设施流内部进建筑物

隔离的接闪装置可以避免这个问题

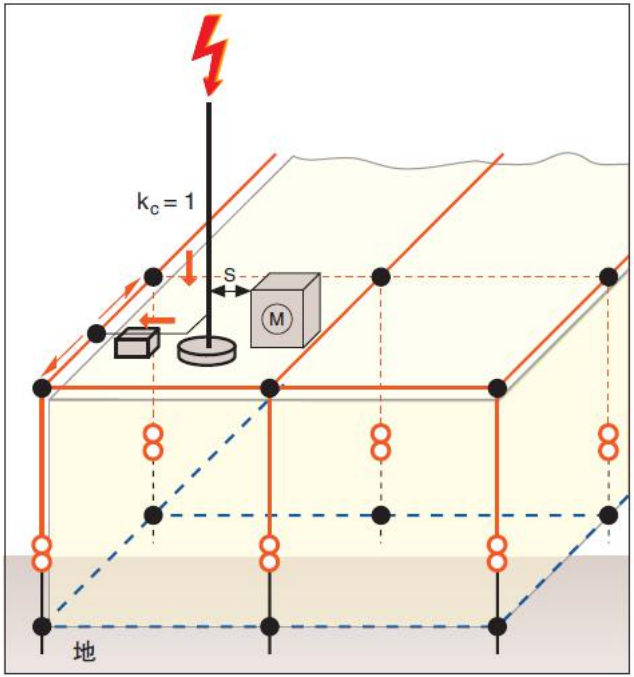




✓ 要判断隔离的条件及隔离的必要性

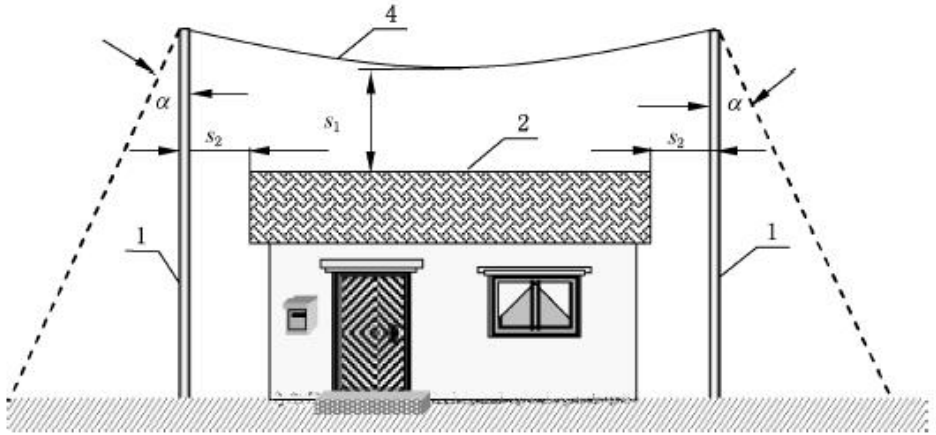
利用建筑物金属体做防雷及接地装置

隔离的接闪装置
隔离距离可以通过计算得到



带有敏感设备的建筑

独立的接闪装置



某火工品厂房

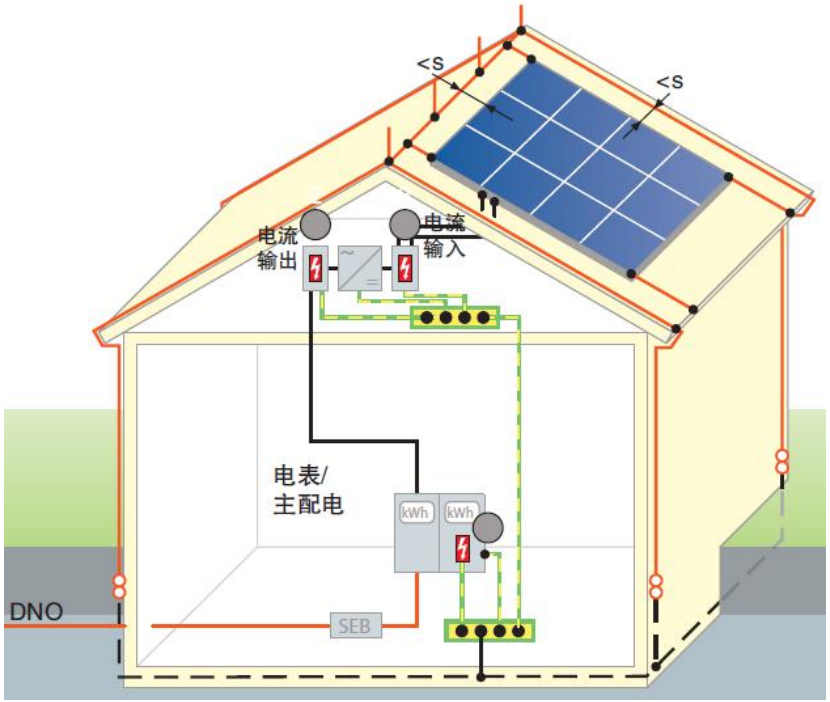
中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

屋面接闪器设置的几个案例

- 光伏板

当无法保证间隔距离时，应将接闪器与光伏组件的金属部分进行防雷等电位连接

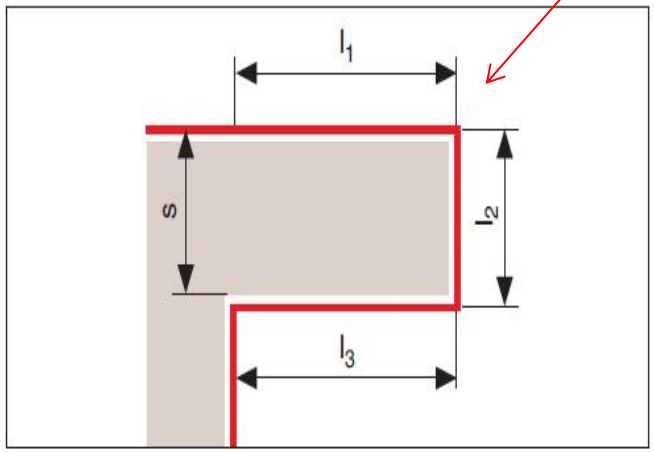


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

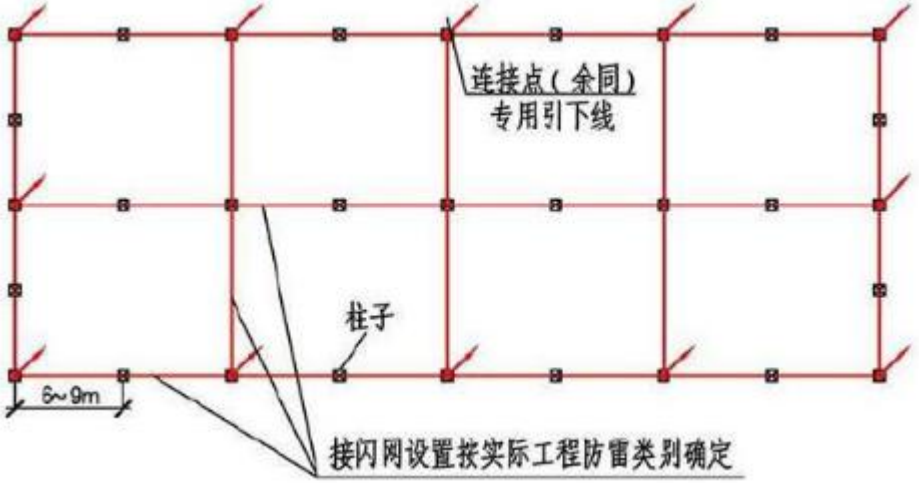
引下线的设置

1、由多条平行的电流通路组成，建筑物宜利用钢筋混凝土屋顶、梁、柱、基础内的钢筋作为引下线

2、电流流经的长度应尽可能短（平直、垂直、不形成环路）



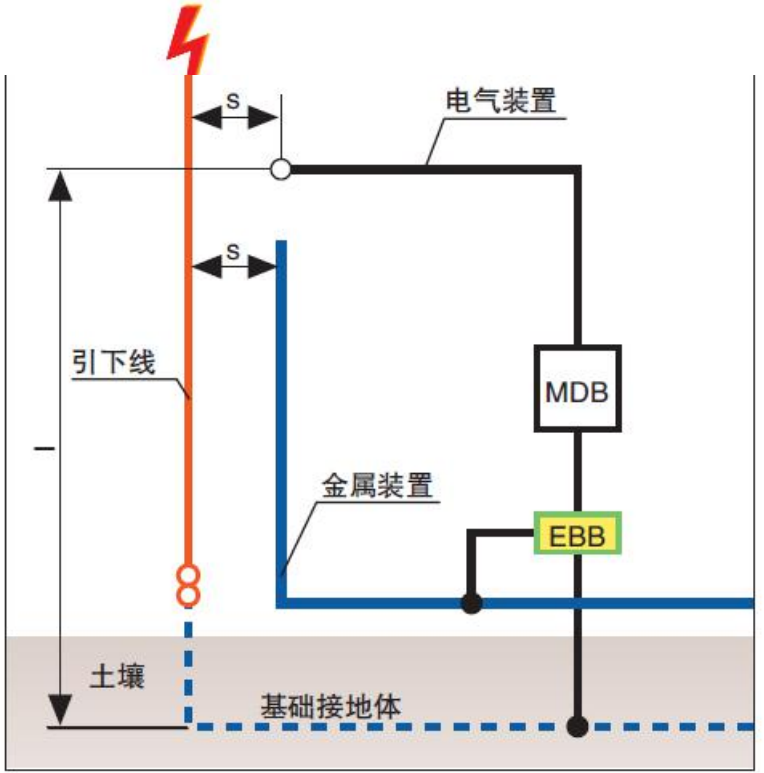
与屋顶接闪器的连接点，采用与建筑物周边的柱子连接即可，与内部的柱子可不连接



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

引下线的设置

3、避免隔离距离不满足要求时产生的反击

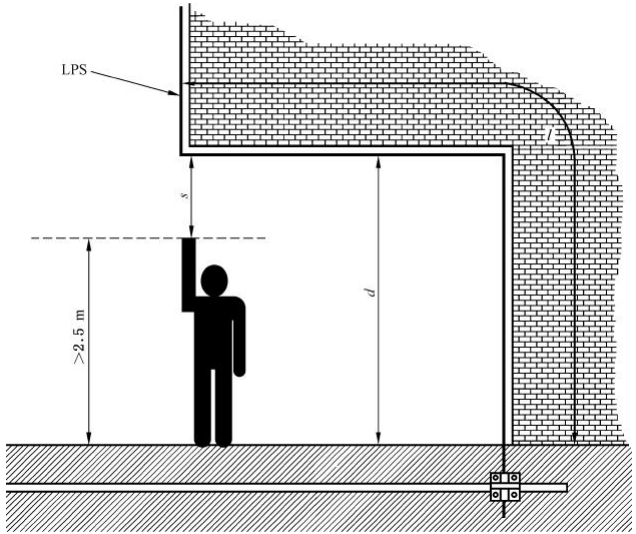


- ✓ 引下线与被保护建筑物内部的金属和电气装置之间，应保证足够的距离
- ✓ 在金属框架的建筑物中，或者钢筋连接在一起、电气贯通的钢筋混凝土框架的建筑物中，金属物或线路与引下线之间的间距可没有要求

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

引下线的设置

4、避免悬臂建筑物的引下线与人体的隔离距离不满足要求

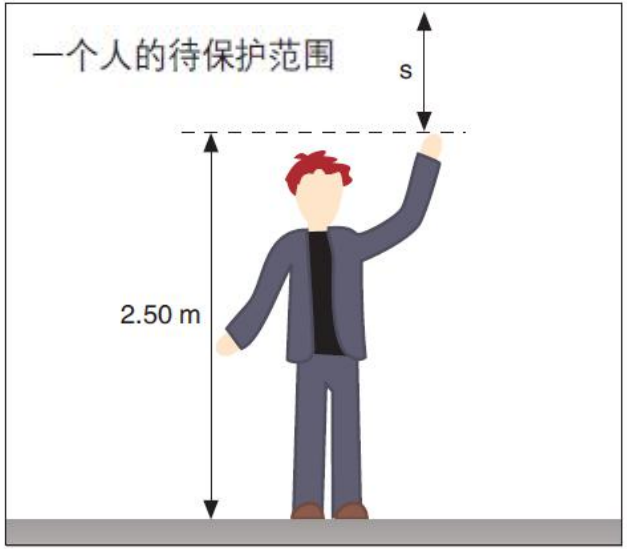


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

引下线的设置

5、避免接触电压、跨步电压产生的危险

- ✓ 在建筑物外部，距离建筑物3m、高度3m的范围内，是接触电压、跨步电压会引起危险的区域
- ✓ 如一些公众经常出入的建筑：剧院、电影院、购物中心等



《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010：

- ✓ 引下线的数量（10根及以上）
- ✓ 3m范围内地面铺设5cm后的沥青层或15cm的厚砾石层
- ✓ 外露引下线距离地面2.7m以下设置绝缘层
- ✓ 设置警示牌

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

引下线的设置

6、雷电流流经专设引下线引起的升温可能会造成危险

《建筑电气与智能化通用规范》GB55024-2022

8.8.2 专设引下线与可燃材料的墙壁或墙体保温层间距应大于0.1m。

可燃材料的墙壁或墙体主要是指一些木结构的建筑。

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

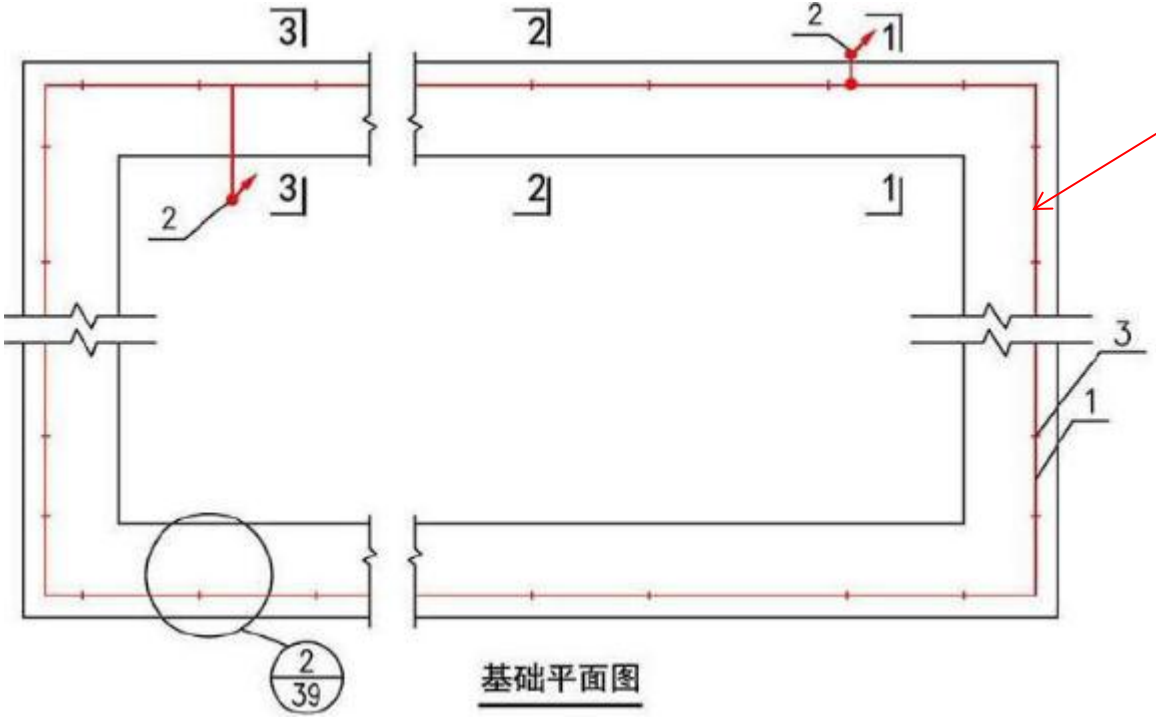
接地极的设置

采用沥青涂层或沥青卷材以外的防腐层、防水层，且没有桩基可利用时

- ✓ 宜在基础防腐层下面的混凝土垫层内敷设人工环形接地体
- ✓ 建筑物四周敷设人工接地体，建筑物外侧预留连接板

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

在基础防腐层下面的混凝土垫层内敷设
人工环形接地体 15D503

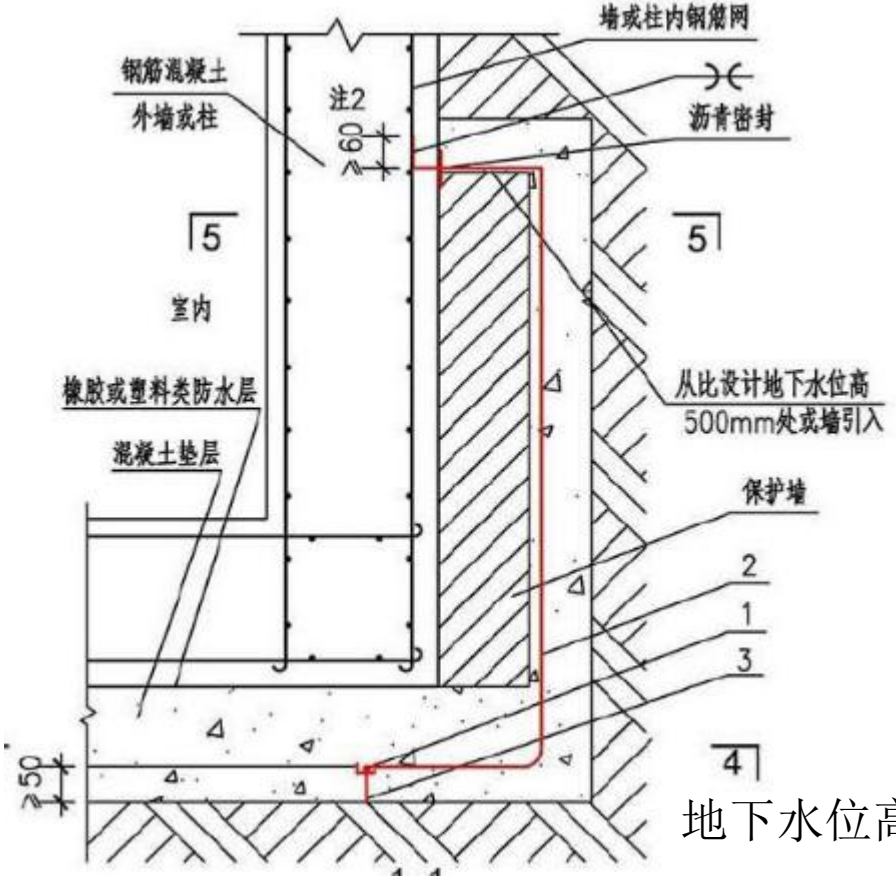


人工环形接地体

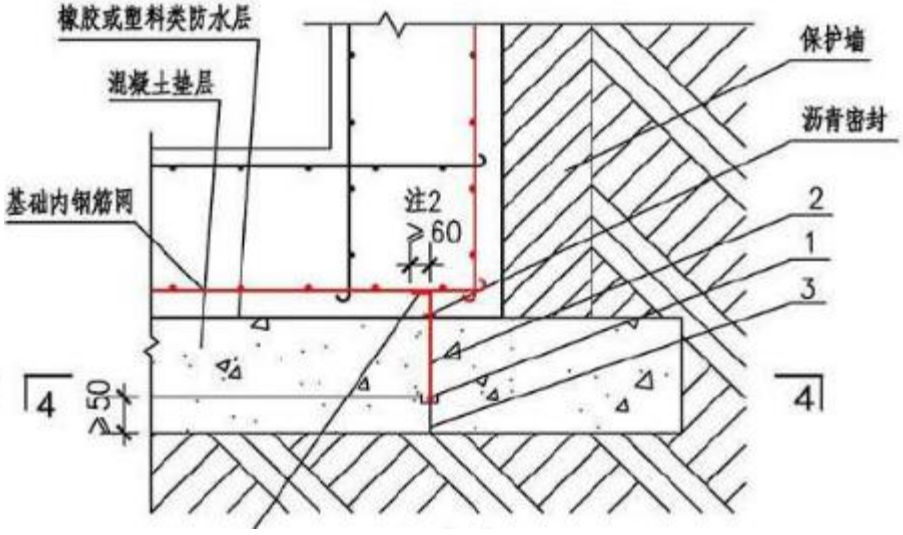
中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

敷设在橡胶或塑料类防水层下方混凝土垫层内的人工接地体的设置与连接 15D503



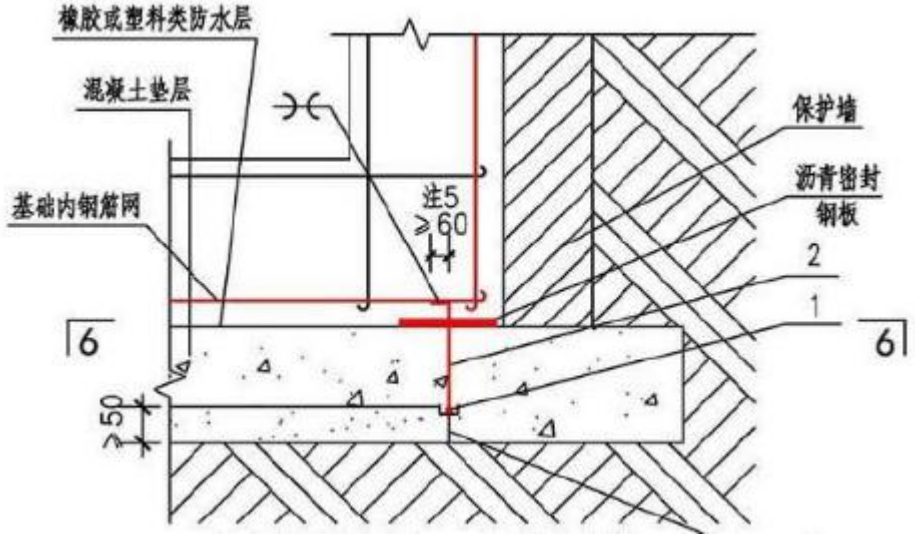
地下水位高时

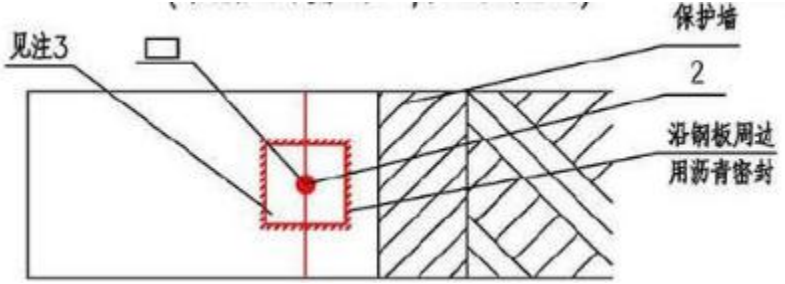


地下水位低时

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

敷设在橡胶或塑料类防水层下方混凝土垫层内的人工接地体的设置与连接　15D503



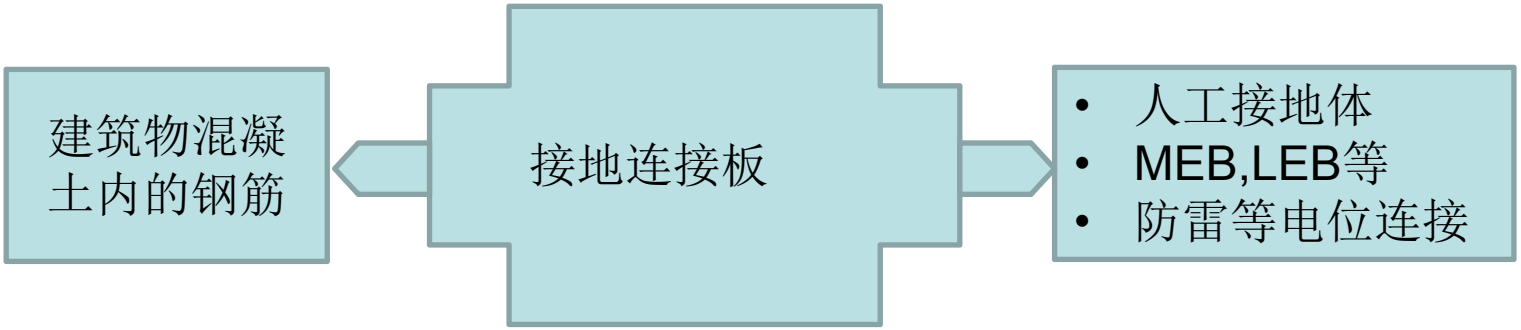


钢板用沥青密封的剖面示意图

加强防水方案：根据地下工程的防水等级确定

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

预留接地连接板的作用

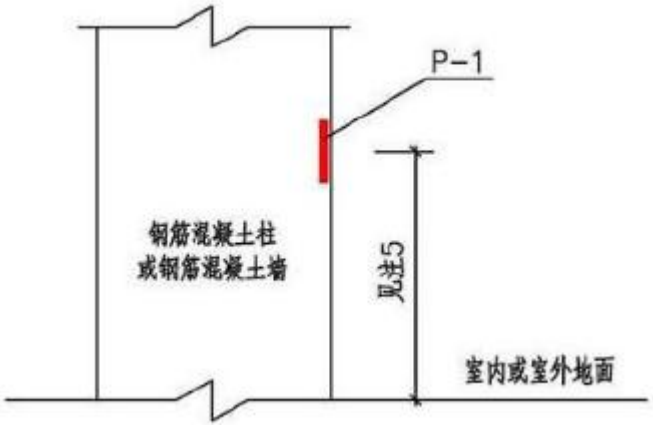


✓ 预留连接板的做法大同小异，目的是为了**与结构内的钢筋相连接**

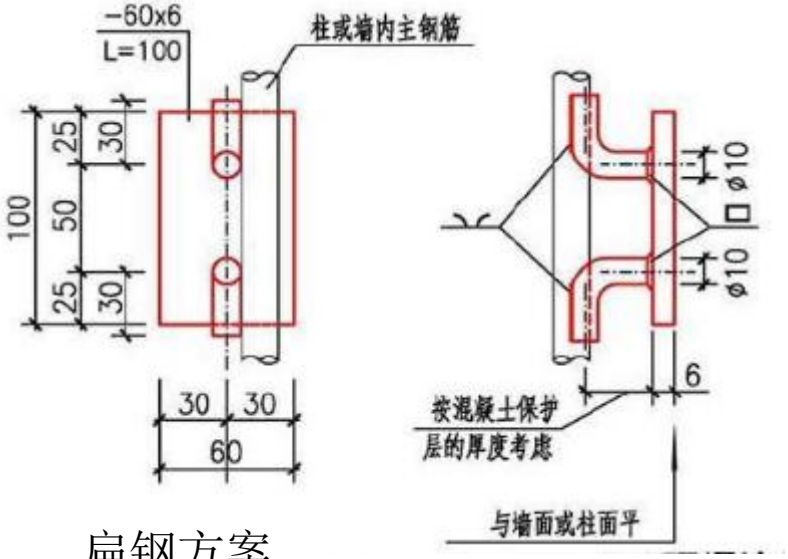
✓ 连接方式要求焊接

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

预留接地连接板的做法



注：P-1预埋连接板距地面的高度，由具体工程确定，距室外地面（用于连接人工接地体时）不低于500mm。



扁钢方案

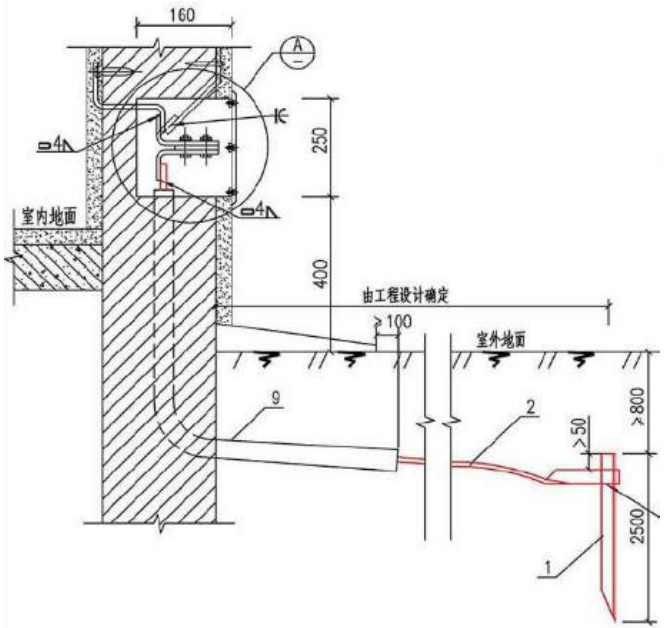
⌒ -- 焊接符号，弧面间单边焊接

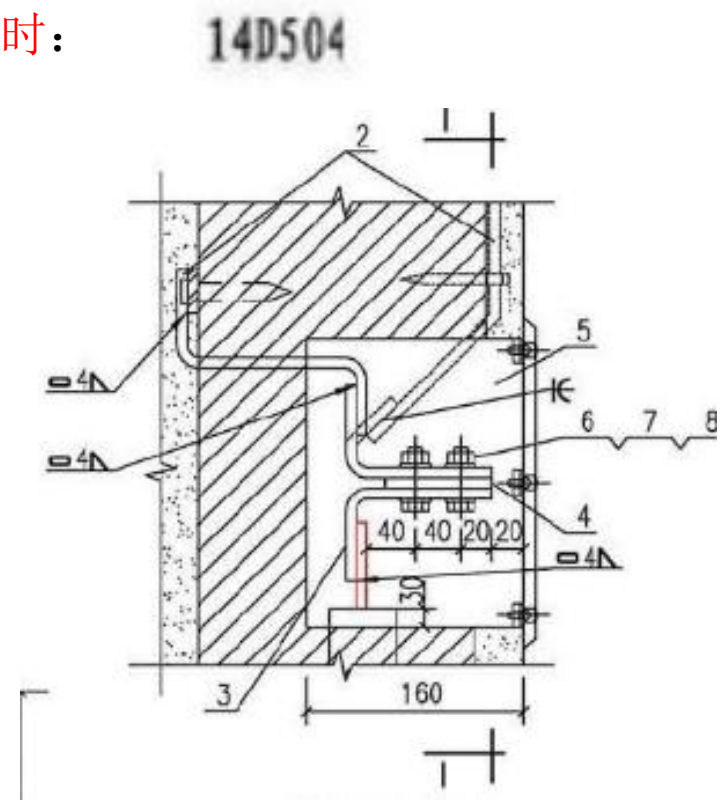
□ -- 焊接符号，周围焊接

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

当建筑物外侧预留连接板与人工接地极连接时：

- ✓ 与柱子内的钢筋连接
- ✓ 与外部人工接地接地极连接



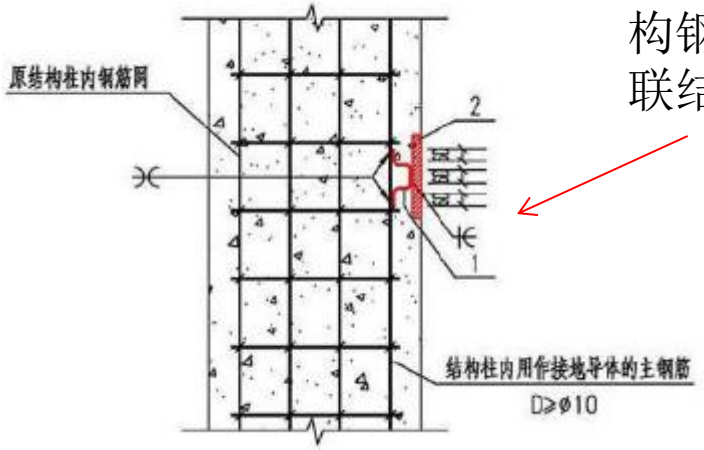


中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

当建筑物室内预留连接板进行防雷等电位连接及等电位联结时：

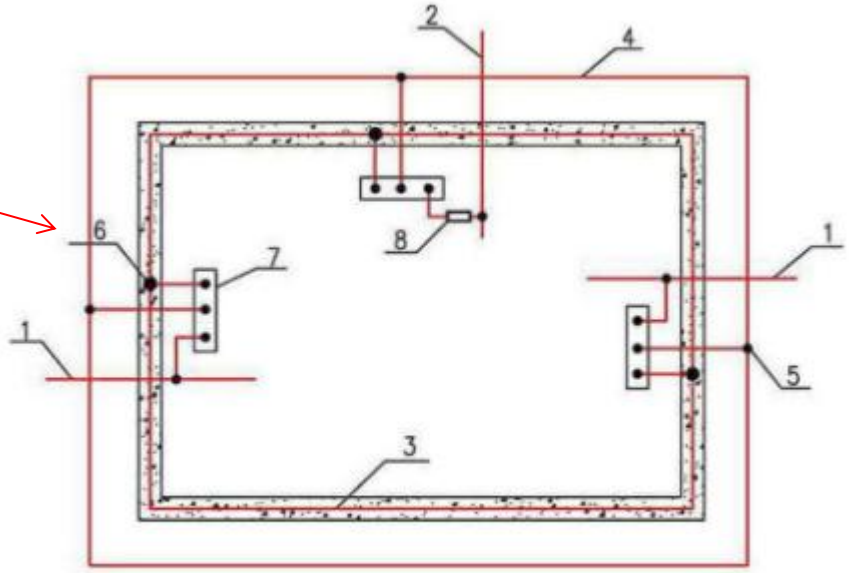
- ✓ 与柱子内的钢筋连接
- ✓ 与MEB或SEB连接



钢筋混凝土柱侧预埋总接地端子的安装

14D504

6：与结构钢筋的联结点



总等电位联结示意图

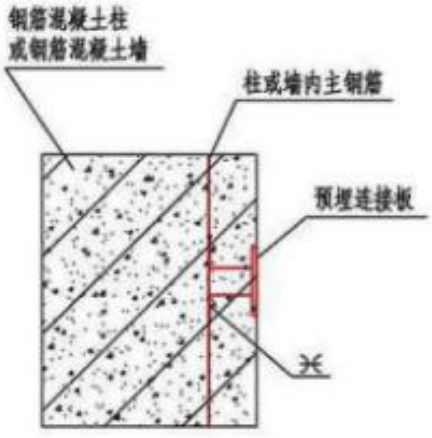
15D502

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

当建筑物室内预留连接板进行防雷等电位连接及等电位联结时：

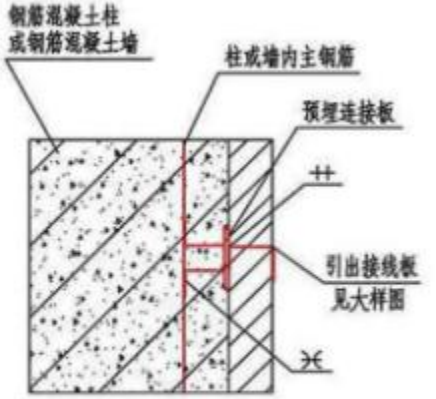
✓ 与柱子内的钢筋连接

✓ 与MEB或SEB连接



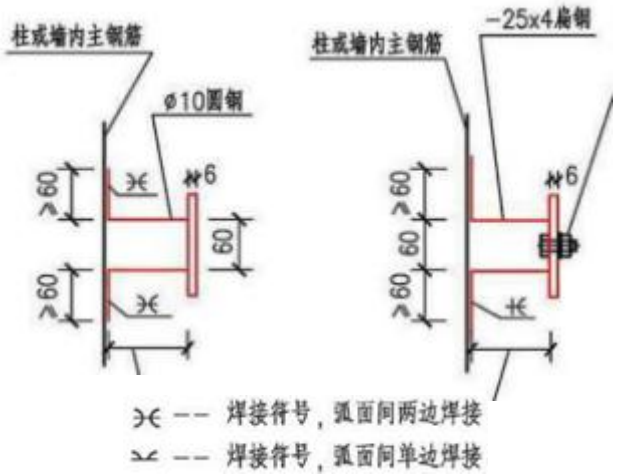
柱和墙面无饰面材料隔开

15D502



柱和墙面有饰面材料隔开

15D502

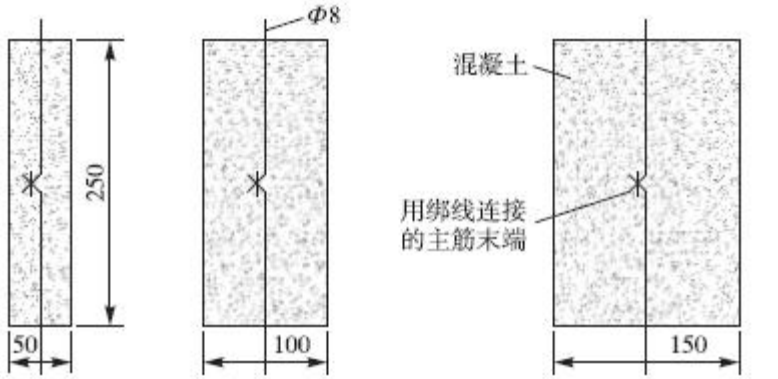


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用建筑物的钢筋作为防雷装置时，
允许的钢筋的连接方法（两种情况）：

情况1 有箍筋连接的钢筋或网状钢筋

- 焊接连接
- 绑扎连接
- 用螺栓紧固的卡夹器连接



大冲击电流和工频短路电流流过钢筋绑扎点的试样

绑扎连接是否可靠

- 试验

对钢筋绑扎点流过冲击和工频电流的试验：在其轴心埋设两根直径8 ⓂⓂ 的钢筋，将其末端绑扎。对这种连接点冲击电流波及工频电流进行试验。试验证明，这种连接点的电气接触是足够可靠的，当雷电流和工频短路电流通过有铁丝绑扎的并联钢筋时，所有纵向主筋都参与导引电流

- 实践

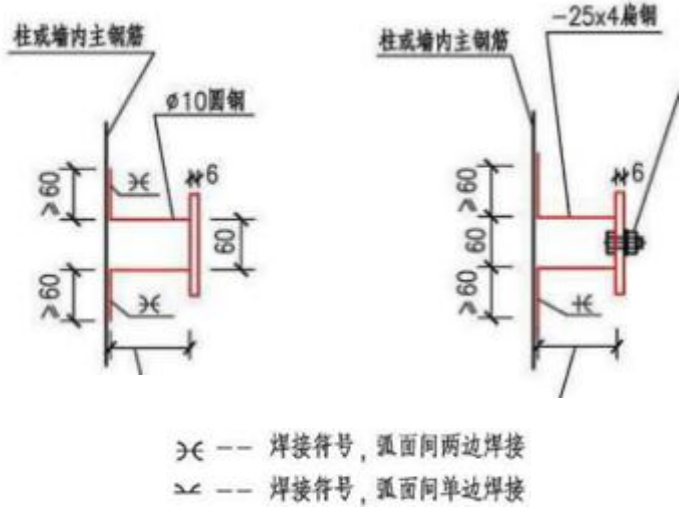
在现场浇灌的钢筋混凝土建筑物的钢筋偶尔焊接在一起，可以提供确定的电气连贯性。更多的情况是钢筋在交叉点用金属线绑扎，这种自然产生的金属连接性能有其偶然性，但是大量钢筋和交叉点是可以保证全部雷电流在并联放电路径上的多次分流。经验表明，这类钢筋可以作为防雷装置的一部分

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

利用建筑物的钢筋作为防雷装置时，
允许的钢筋的连接方法（两种情况）：

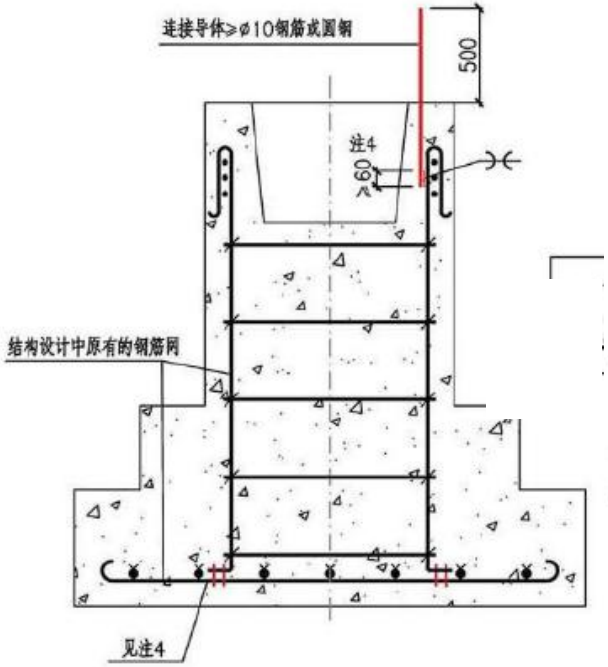
情况2 单根钢筋、圆钢或外引预埋连接板、线与构件内钢筋的连接

- 焊接连接
- 用螺栓紧固的卡夹器连接

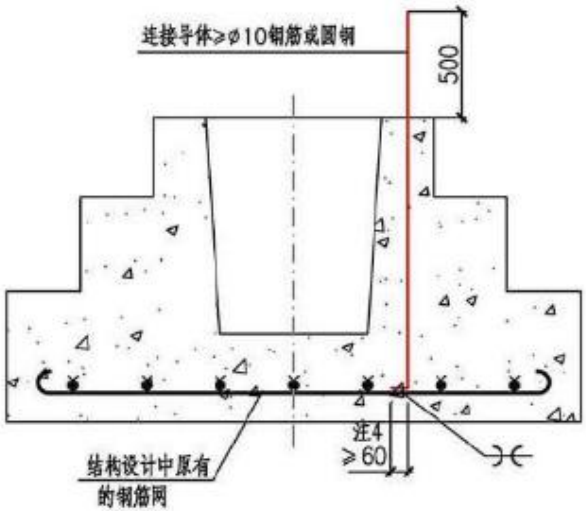


利用建筑物金属体做防雷及接地装置

钢筋的连接方法



有垂直和水平钢筋网的基础



仅有水平钢筋网的基础

4.有垂直和水平钢筋网的基础，它们之间的连接采用：

4.1 与引出线（连接导体）连接的那一根垂直钢筋焊接到水平钢筋网上（当不能直接焊接时，采用一段≥ø10钢筋或圆钢跨焊）；

4.2 与引出线（连接导体）连接的那一根垂直钢筋用螺栓紧固的卡夹器同水平钢筋网连接；

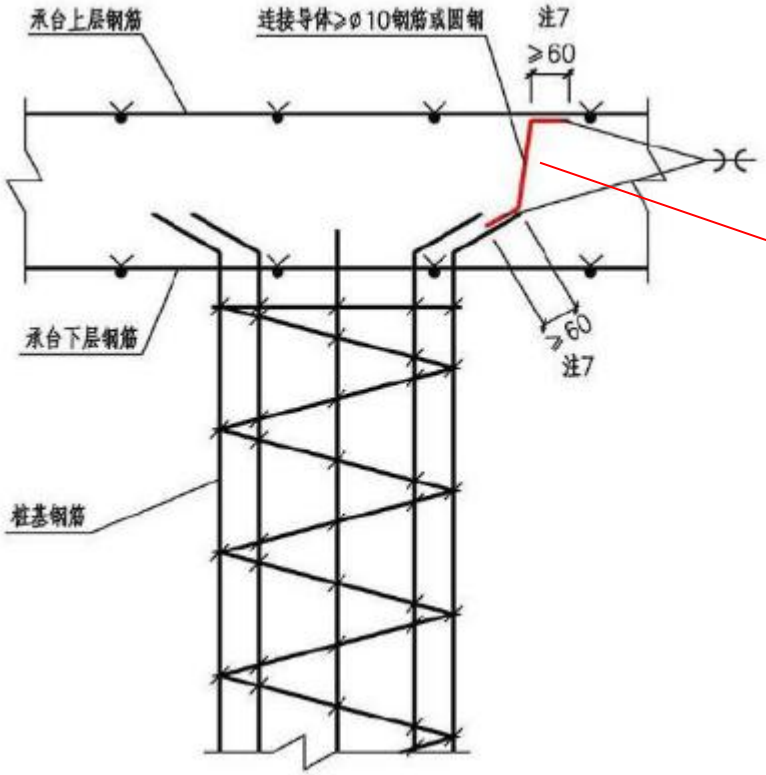
4.3 当四根垂直主筋能接触到水平钢筋网时，采用土建施工中通常的绑扎法将这四根垂直钢筋与水平钢筋网连接。

多根钢筋（4根），可绑扎

单根钢筋，应焊接

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

钢筋的连接方法

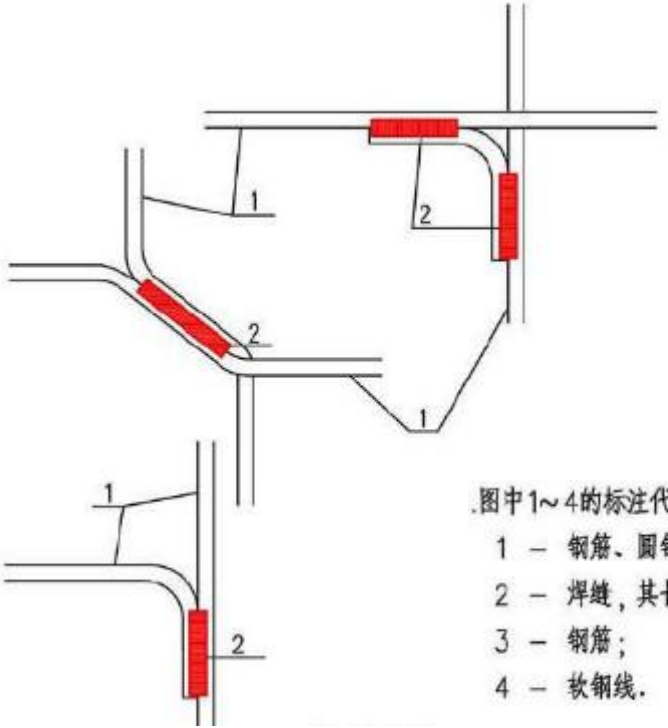


桩基钢筋体与承台钢筋体的连接

单根连接线：

- 焊接连接
- 用螺栓紧固的卡夹器连接

利用建筑物金属体做防雷及接地装置



焊接连接

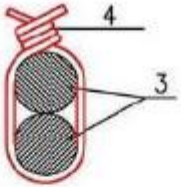
图中1～4的标注代表：

1 – 钢筋、圆钢或扁钢；

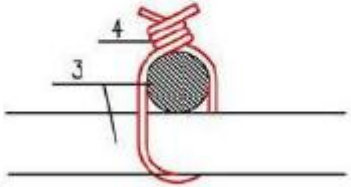
2 – 焊缝，其长度≥60（钢筋直径≥ø10）

3 – 钢筋；

4 – 软钢线.



（a） 两根平行钢筋连接



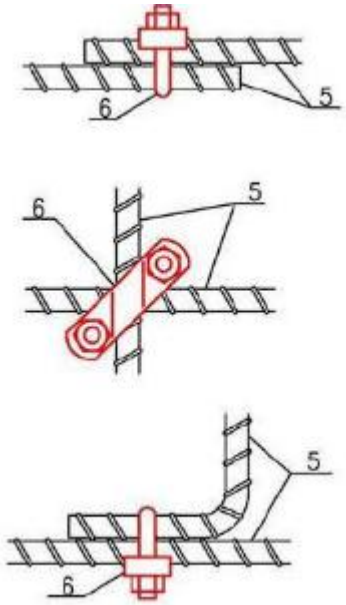
（b） 两根直角交叉钢筋连接

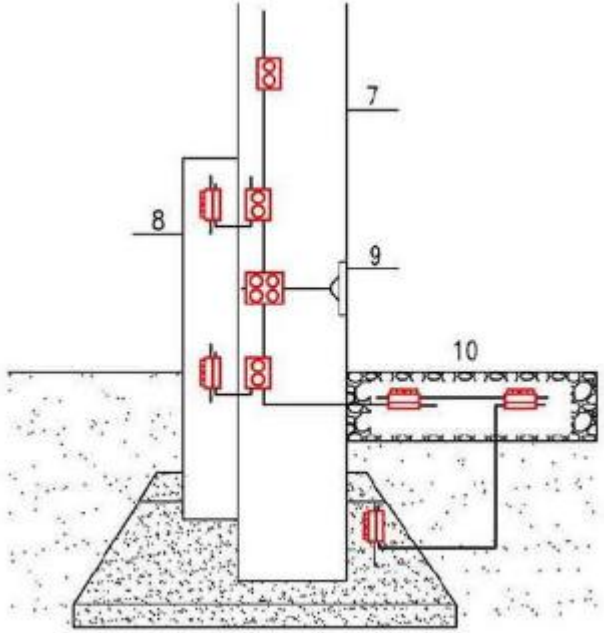
绑扎连接

15D503

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置





用螺栓紧固的卡夹器连接

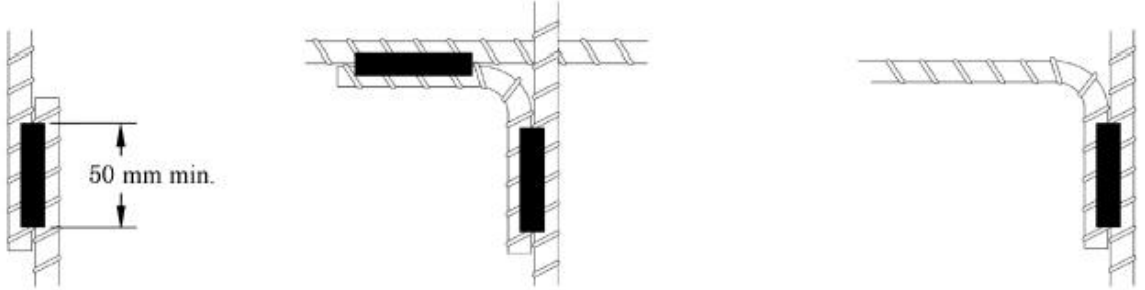
15D503

套筒连接（一般8扣）

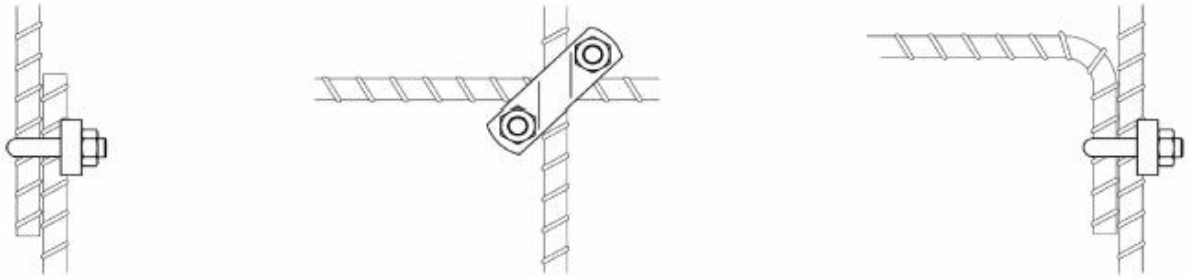
中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

钢筋混凝土结构中钢结构的连续性



a) 焊接处(符合雷电流要求和 EMC 要求)



b) IEC 62561 的夹接处(符合雷电流要求和 EMC 要求)

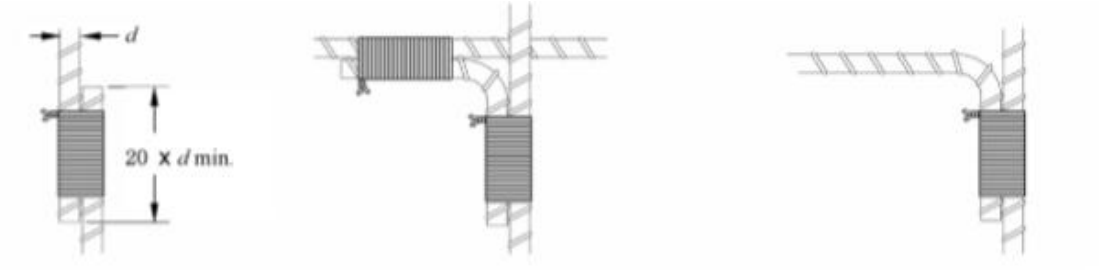
GB/T 21714.3—2015/IEC 62305-3:2010

雷电防护 第 3 部分：
建筑物的物理损坏和生命危险

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

钢筋混凝土结构中钢结构的连续性



c) 绑扎处(符合雷电流要求和 EMC 要求)



d) 捆绑处(只符合 EMC 要求)

图 E.5 在允许的前提下,混凝土中主钢筋的典型连接方法

GB/T 21714.3—2015/IEC 62305-3:2010

雷电防护 第 3 部分:
建筑物的物理损坏和生命危险

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

接地极的防腐蚀问题

《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010

5.4.5 在敷设于土壤中的接地体连接到混凝土基础内起基础接地体作用的钢筋或钢材的情况下，土壤中的接地体宜采用铜质或镀铜钢或不锈钢导体。

《建筑电气与智能化通用规范》GB55024-2022

7.2.8 接地装置应符合下列规定：

4 接地装置采用不同材料时，应考虑电化学腐蚀的影响

4 接地装置中采用不同材料时，应考虑电化学腐蚀对接地产生的不良影响。为了防止电化学腐蚀，当利用建筑物基础作为接地装置时，埋在土壤内的外接导体应采用铜质材料或不锈钢材料，不应采用热浸镀锌钢材。

由于化学和物理作用，埋入混凝土深度大于5cm的裸露或热浸镀锌钢材或其它金属有很高防腐性

标准图集的推荐做法如下

与建筑物基础钢筋连接，与土壤接触的钢材用1：2水泥砂浆保护起来，水泥砂浆保护厚度≥50mm，即直径≥100mm。

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

小结

- 原则

利用建筑物的钢筋作为防雷装置，作为接闪器、引下线、接地装置的钢筋之间必须连接成电气通路

- **实际工程的防雷引下线**

✓ 经常选用两根¢10或¢16的钢筋上线贯通（焊接，套筒连接）

✓ 垂直钢筋有箍筋连通，采用普通土建施工的绑扎即可

✓ 装配式建筑：预留金属连接板，通过件数连接板夸将不同预制件内的钢筋相连通

- **实际工程的接地装置**

✓ 利用基础内的钢筋作为自然接地体时，首选混凝土基础靠近室外土壤之处形成的环形，钢筋为多层时，首选底层钢筋。或者加焊些基础内的钢筋成为网状

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

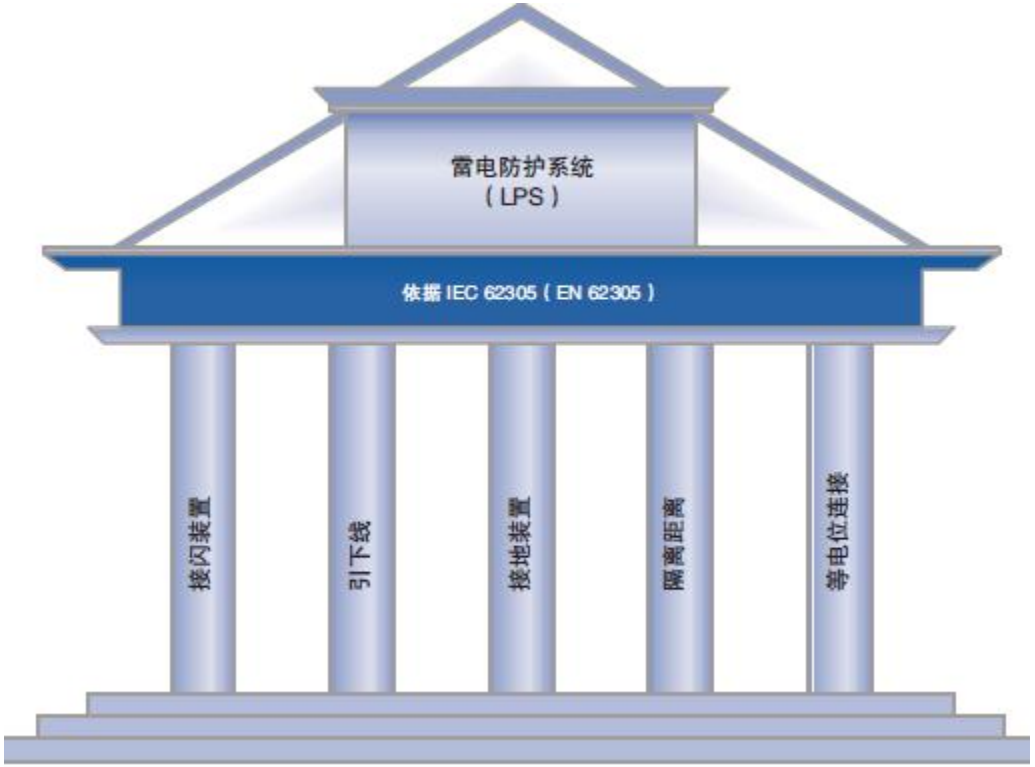
内部防雷：防雷等电位连接

防雷等电位连接与保护等电位联结

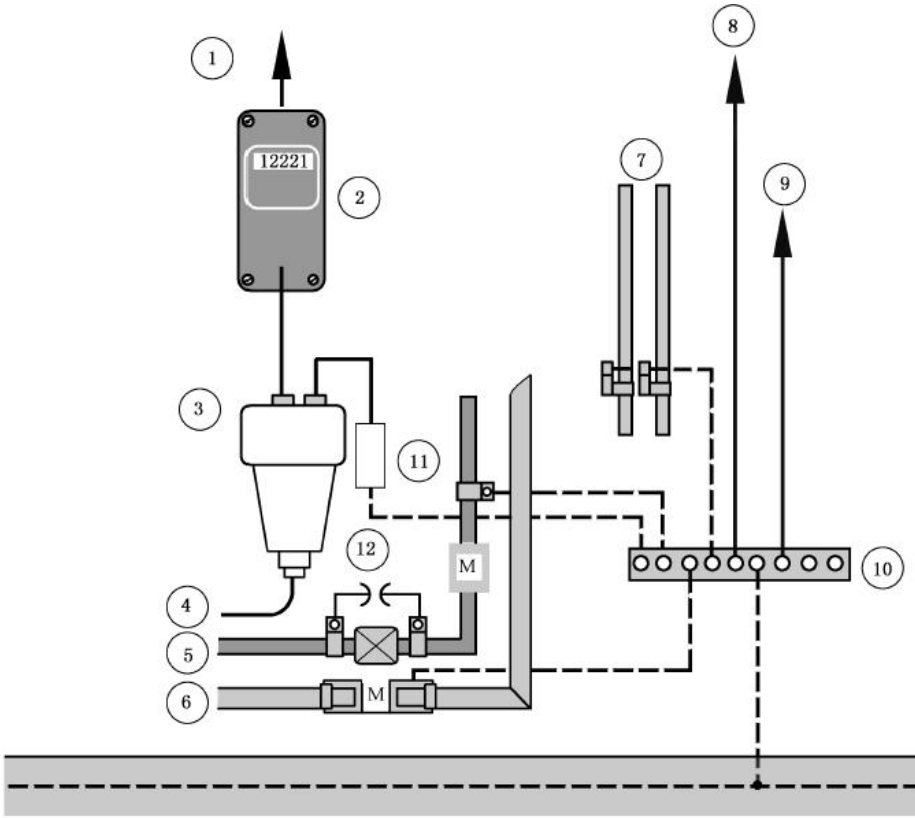
连接与联结，侧重点不一样

防止发生危险的火花放电（反击）

- ✓ 安装独立的LSP
- ✓ 保证安全的隔离距离（隔离的条件，隔离的必要性）
- ✓ 相互之间连通（减少电位差）



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

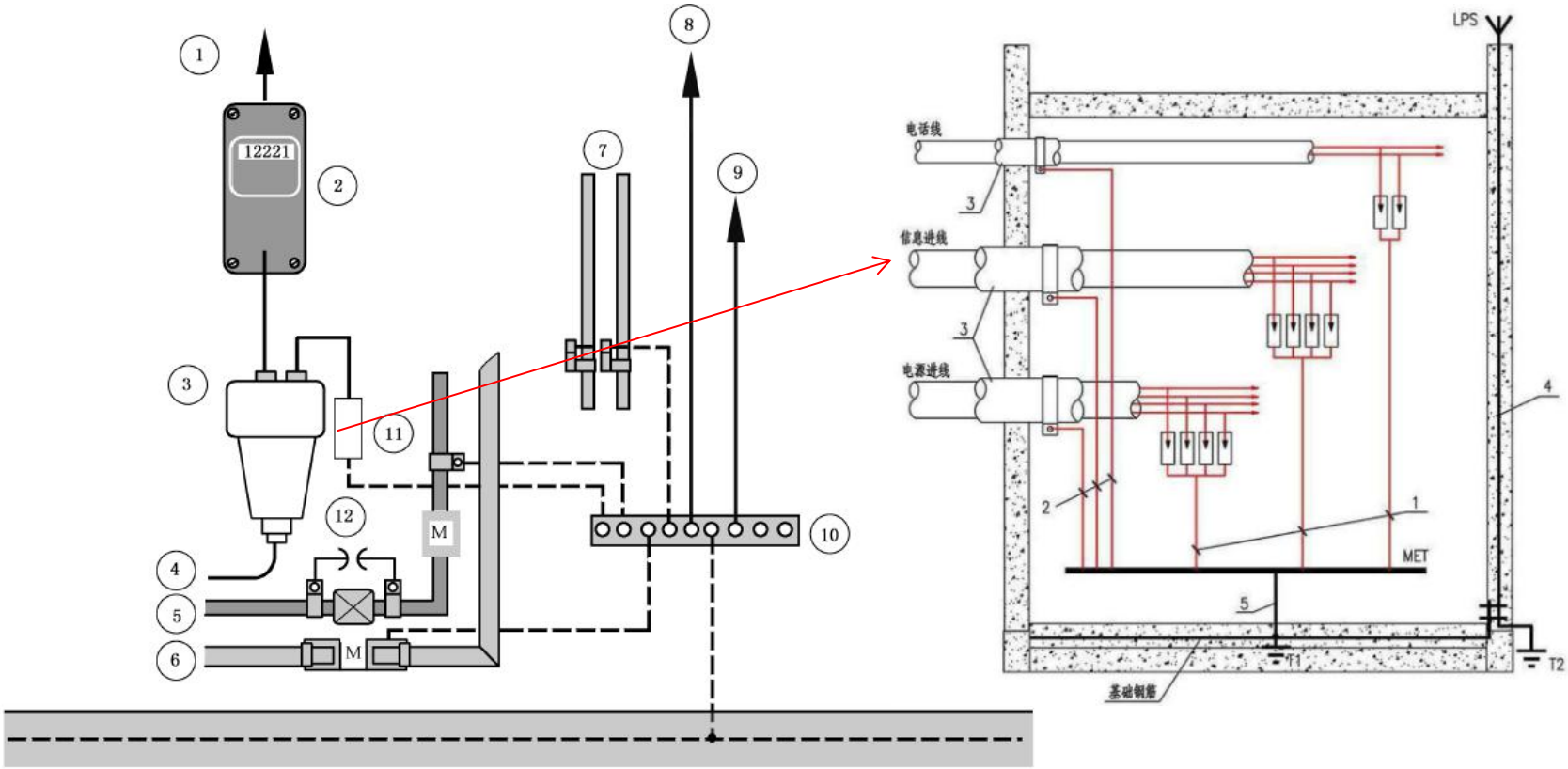


1——连接到用户的电力线；
2——电表；
3——配电箱；
4——公用电源（市电）；
5——煤气管；
6——水管；
7——中央供热系统；
8——电子应用；
9——天馈线缆屏蔽；
10——等电位连接排；
11——SPD；
12——ISG；
M——计量表。

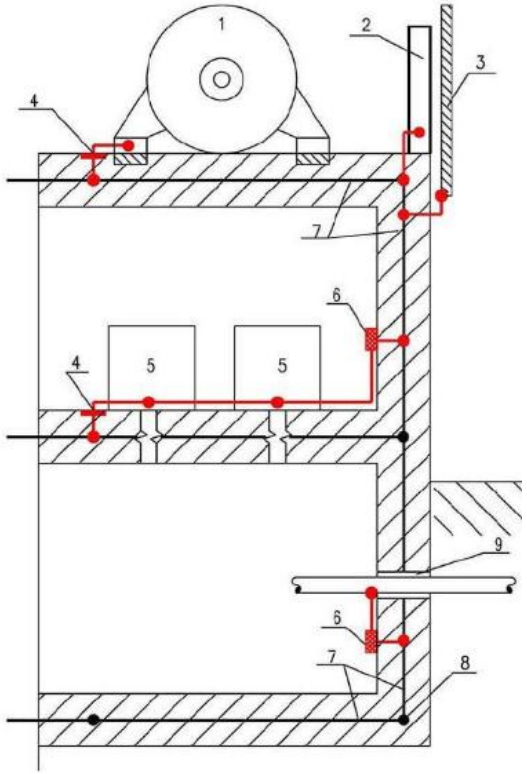
防雷等电位连接

- 金属设施：
  金属水管、
  暖气管、
  天然气管等
- 低压配电系统
  与信息设备
  （通过SPD将
  电源线路、
  信息回路与
  接地装置连接）

利用建筑物金属体做防雷及接地装置



利用建筑物金属体做防雷及接地装置



防雷等电位连接示意图

国标图集15D503的示意做法

用电设备外壳、入户管线、建筑物金属构件之间连通

注：1. 图中1～9的标注代表：

1 – 大型用电设备；

2 – 钢柱；

3 – 金属立面；

4 – 用电设备与公用接地系统在地面上预埋件的等电位连接；

5 – 用电设备（电气或电子设备）；

6 – 等电位连接带；

7 – 钢筋混凝土内的钢筋；

8 – 基础接地体；

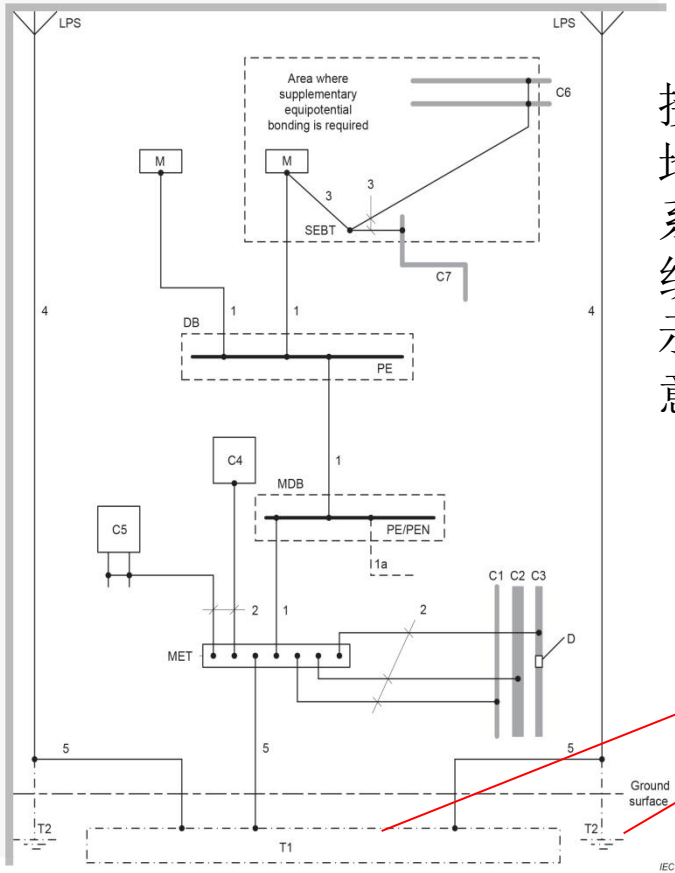
9 – 各种管线的共用入口。

15D500

2. 建筑物的地下一层或地面层处，根据规范要求建筑物金属体、金属装置必须做防雷等电位连接，其他层如不满足间隔距离要求也要做防雷等电位连接，见本图集第49页。

中国航空规划设计研究总院有限公司
CHINA AVIATION PLANNING AND DESIGN INSTITUTE (GROUP) CO., LTD.

利用建筑物金属体做防雷及接地装置



接地系统示意

低压电气装置
第 5-54 部分：电气设备的选择和安装
接地配置和保护导体

GB/T 16895.3—2017/IEC 60364-5-54:2011

保护导体
- 保护接地导体（PE）
- 保护联结导体
- 接地导体

接地导体
就本标准而言，接地导体将总接地端子（MEB）与接地极或接地网相连接

T1	埋入混凝土基础内接地极或埋入土壤基础内接地极
T2	可能安装的防雷装置的接地极

利用建筑物金属体做防雷及接地装置

低压电气装置
第 5-54 部分：电气设备的选择和安装
接地配置和保护导体

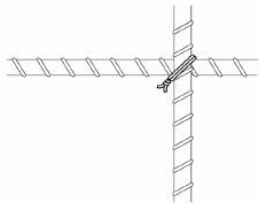
GB/T 16895.3—2017/IEC 60364-5-54:2011

对于保护用的接地极，要求如下：
1、材料、尺寸（耐腐蚀性、机械强度）
2、接地电阻值（土壤条件）

可采用的接地极：
—埋入混凝土基础内的接地极；
—埋入基础下土壤内的接地极；
……
—埋在地下的钢筋混凝土（预应力的混凝土除外）内焊接的钢筋

542.2.8 接地极必须由相互连接部件组成，其连接应采用热熔焊、压力连接器、夹板或其他适合的机械连接器。

注：仅由铁丝所做的绑扎连接不适用保护目的。



利用建筑物金属体做防雷及接地装置

GB/T 21714.3—2015/IEC 62305-3:2010

雷电防护　第 3 部分：
建筑物的物理损坏和生命危险

如果接地极为混凝土中的钢筋，为防止混凝土的机械性断裂，应特别注意保证混凝土钢筋的互连。

如果钢筋被用作保护地，对钢筋的截面尺寸应采取最严格的量度标准，且应选择合适的连接方式。在这种情况下，应考虑使用更大型号的钢筋。对于雷电防护接地，任何时候都应该考虑短的、直接连接的要求。

结论：当混凝土基础内钢筋作为接地装置时，防雷保护、低压配电系统的相关保护对连接的要求是不同的，综上，钢筋混凝土内的钢筋的连接应采取焊接或用螺栓紧固的卡夹器连接

等电位联结的几个问题

等电位联结的一些变化

等电位联结的分类	• 总等电位联结 • 局部等电位联结 • 辅助等电位联结

等电位联结的几个问题

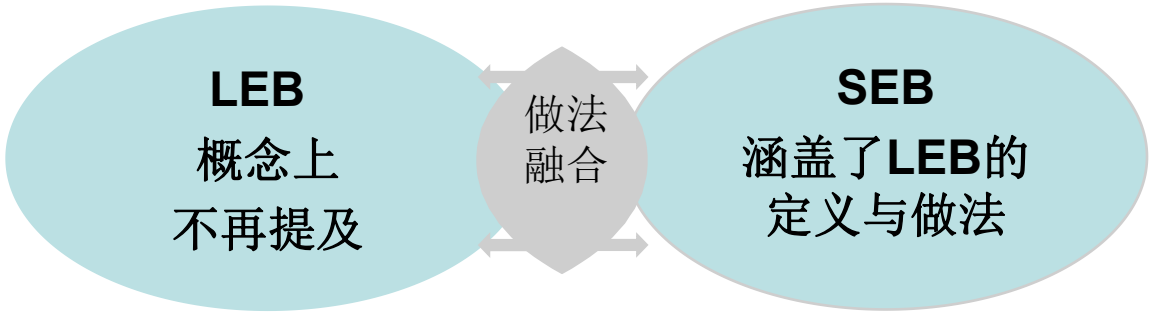
IEC标准的变化

保护等电位联结包括总等电位联结、辅助等电位联结、局部等电位联结 → 不再提及LEB

SEB、LEB的做法是不同的 → 新的标准SEB的做法涵盖了LEB的做法

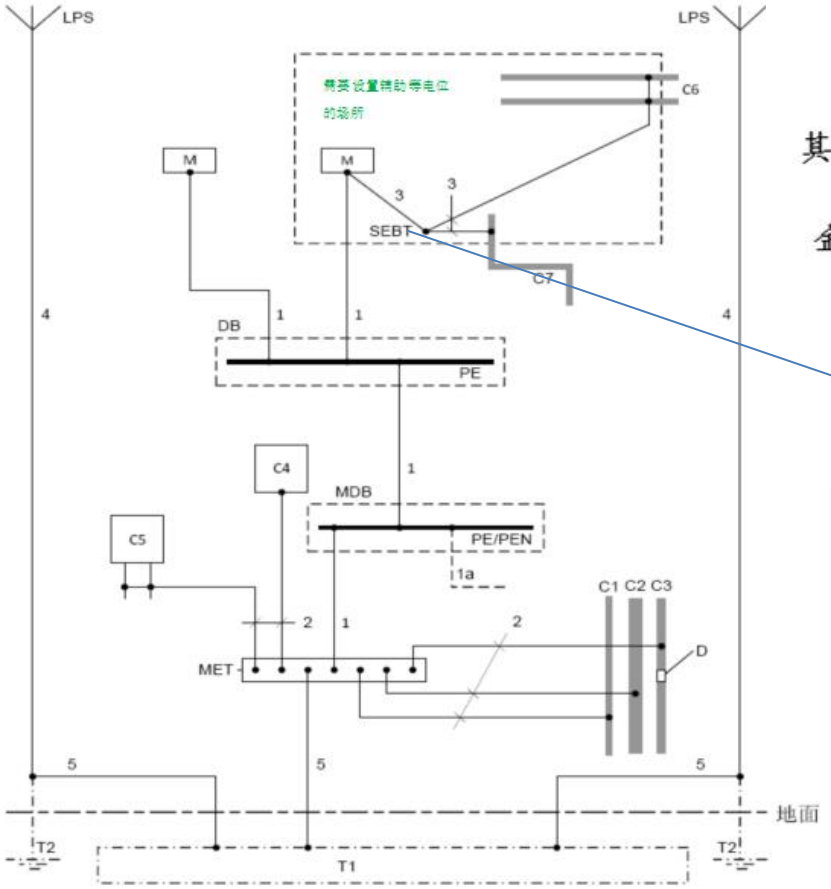
等电位联结的几个问题

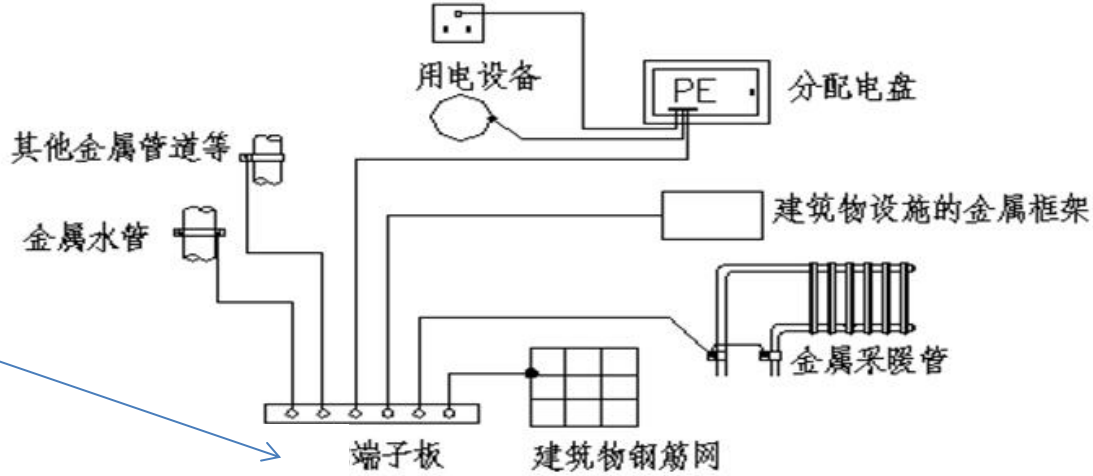
- 局部等电位联结、辅助等电位联结之间的区别在逐渐淡化
- 局部等电位联结、辅助等电位联结之间的做法在相互融合
- 辅助等电位将涵盖了LEB的定义与做法



- 以后不再区分LEB与SEB
- 更多的还是采用LEB的做法
- 概念上称为SEB

等电位联结的几个问题



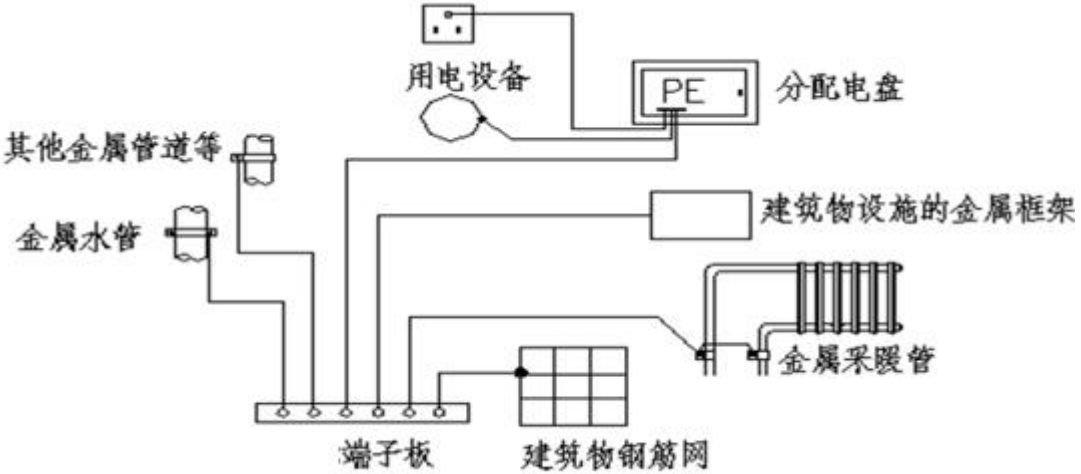


辅助等电位联结

SEB与LEB从做法上不再区别有区别

- 接地端子板与PE排连接
- 接地端子板与结构钢筋连接
- 接地端子板与外界可导电部分（金属水管等）连接
- 外界可导电部分之间的两两连接

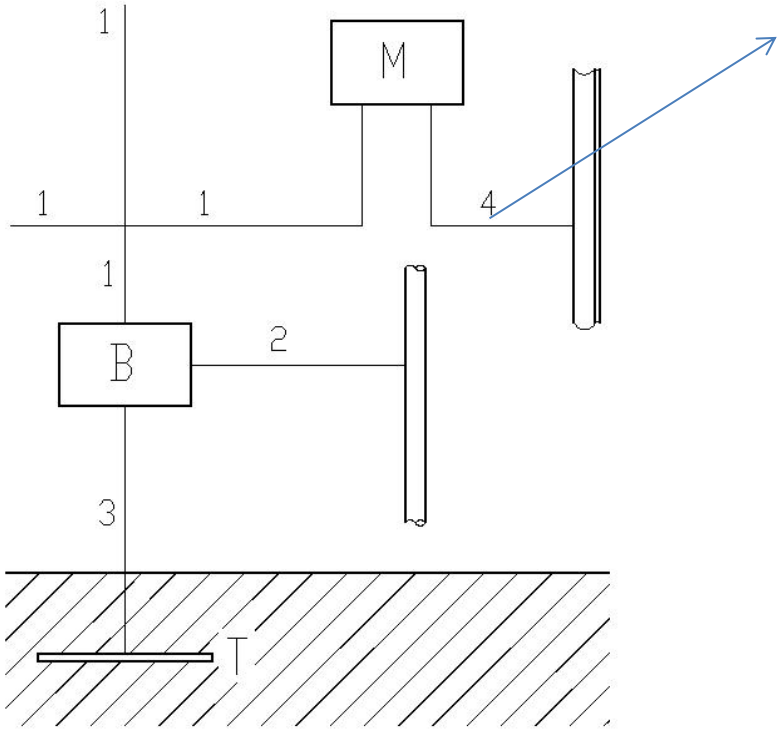
等电位联结的几个问题



推荐做法

- 配电箱旁设置一个接地端子板，将末端用电场所配电箱的PE母排以及公用水、暖、动等金属管道钢结构等装置外可导电部分在此端子板上互相连接

等电位联结的几个问题



不推荐如下做法

- 2.5m伸臂范围内可同时触及的导电部分之间的**两两联结**
- 多台用电设备，多种金属管道和其他大量的电气装置外导电部分，如果**两两联结，**则施工工作量很大

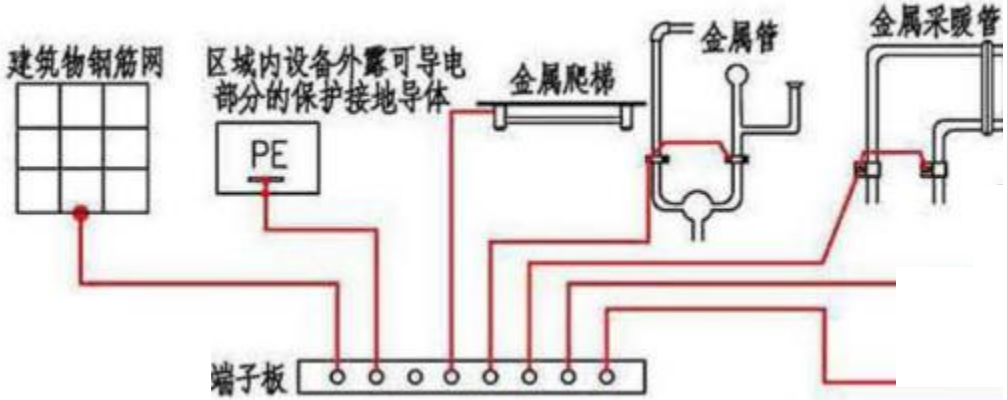
等电位联结的几个问题

等电位联结，要求将钢筋网纳入其中，在一些电击风险高的特殊场所，要求设置电位均衡线

问题1：将钢筋网纳入等电位联结时，钢筋是否需要焊接？
问题2：等电位均衡网中，均衡线之间是否需要焊接？

等电位联结的几个问题

问题1：将钢筋网纳入等电位联结时，钢筋是否需要焊接？

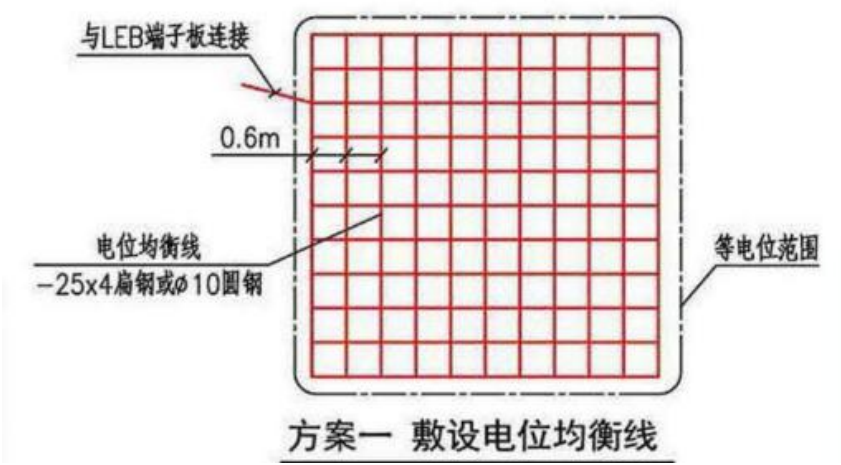


- 做等电位联结时，建筑物内可利用的钢筋引进行等电位联结，钢筋不必焊接

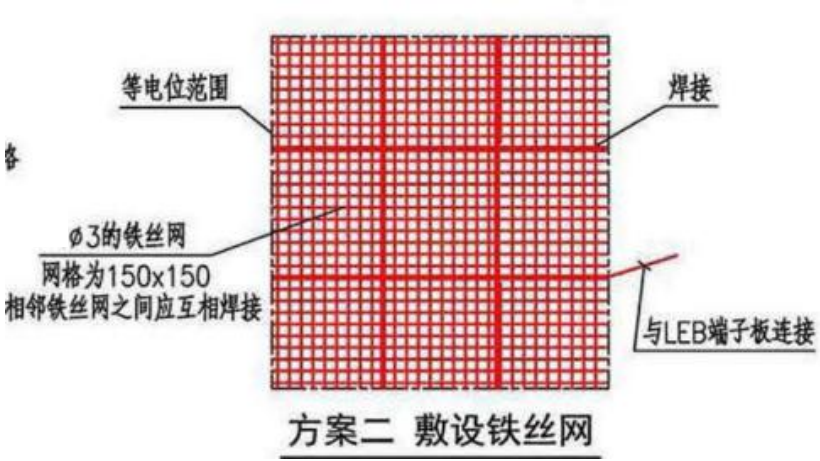
为了进一步提高等电位作用，也可以把地下室底和外墙内的构造钢筋网和钢筋与基础接地极相互连接，这时允许绑扎连接。

等电位联结的几个问题

问题2：专设的等电位均衡网中，均衡线之间是否需要焊接？



方案一 敷设电位均衡线



方案二 敷设铁丝网

- 出于电击防护的目的设置的电位均衡线，应采用焊接

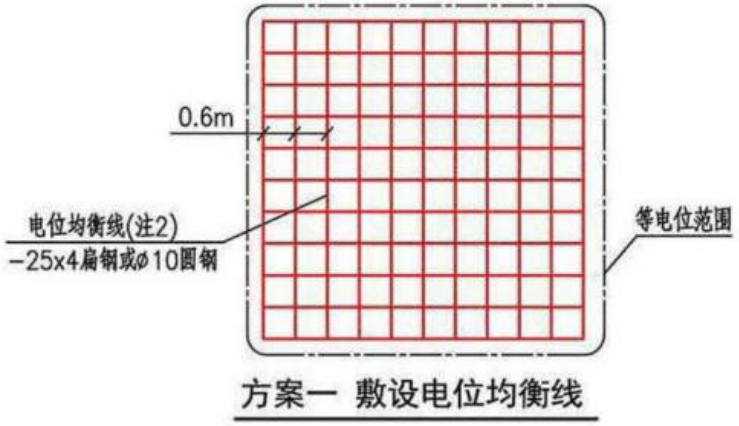
✓ 浴室、游泳池设置电加热单元时，覆盖的金属网格应采取局部等电位联结

✓ 游泳池为了不产生危险的跨步电压，要特别重视电位均衡

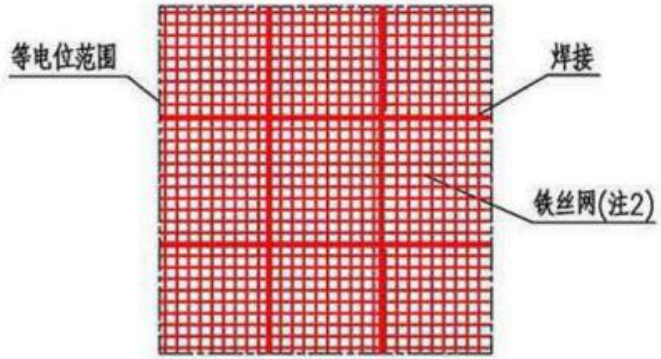
✓ 为了电位均衡设置金属网要焊接

等电位联结的几个问题

问题2：等电位均衡网中，均衡线之间是否需要焊接？



方案一 敷设电位均衡线



方案二 敷设铁丝网

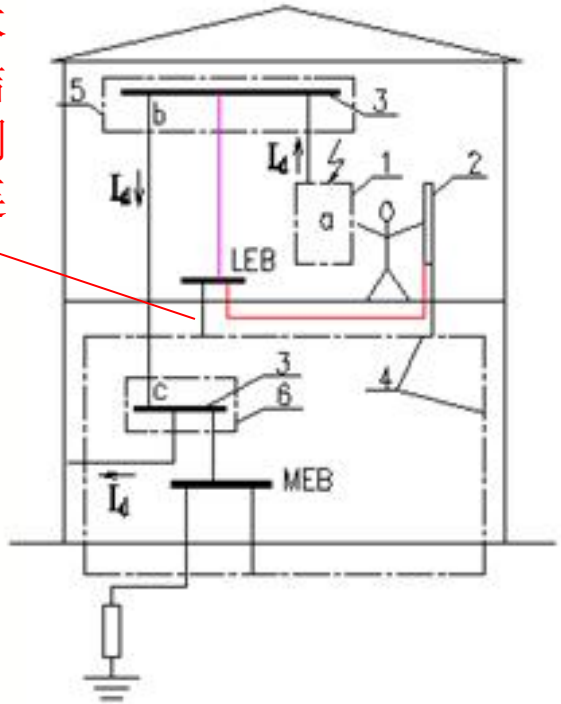
- 出于电击防护目的设置的电位均衡线，应采用焊接

✓ 大牲畜房内地面下无钢筋时，应敷设电位均衡线

等电位联结的几个问题

问题3：总等电位联结端子板与局部（辅助）等电位联结端子板之间是否要相连

与本层结构钢筋连接

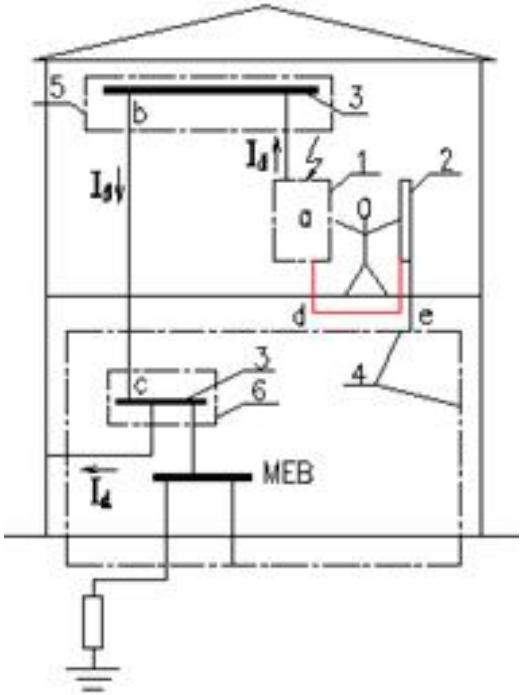


- ✓ 配电箱旁设置一个LEB(SEB)端子板，将末端用电场所配电箱的PE母排以及公用水、暖、动等金属管道，本层结构钢筋等，通过此端子板互相连接
- ✓ 设备a外壳对地故障电压：故障电流在1~3这段PE线上的压降
- ✓ MEB与LEB之间是否相连与设备外壳的故障电压的大小无关

引申的问题：
水泵等电机设备旁是否有必要引出接地扁钢

等电位联结的几个问题

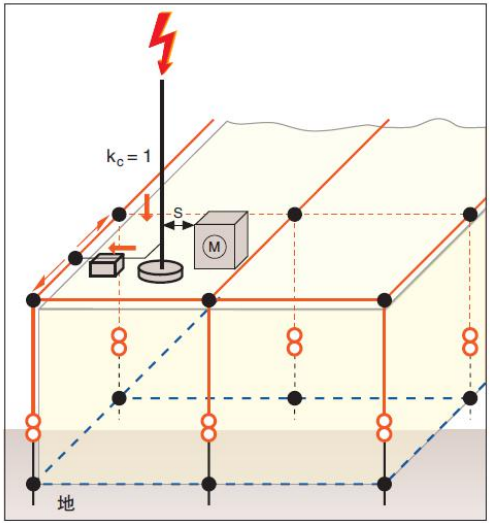
问题3：总等电位联结端子板与辅助等电位联结端子板之间是否要相连



- ✓ 辅助等电位联结：将设备a的外壳与暖气片互相连接
- ✓ 设备a外壳对地故障电压：非常小，接近于0V

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



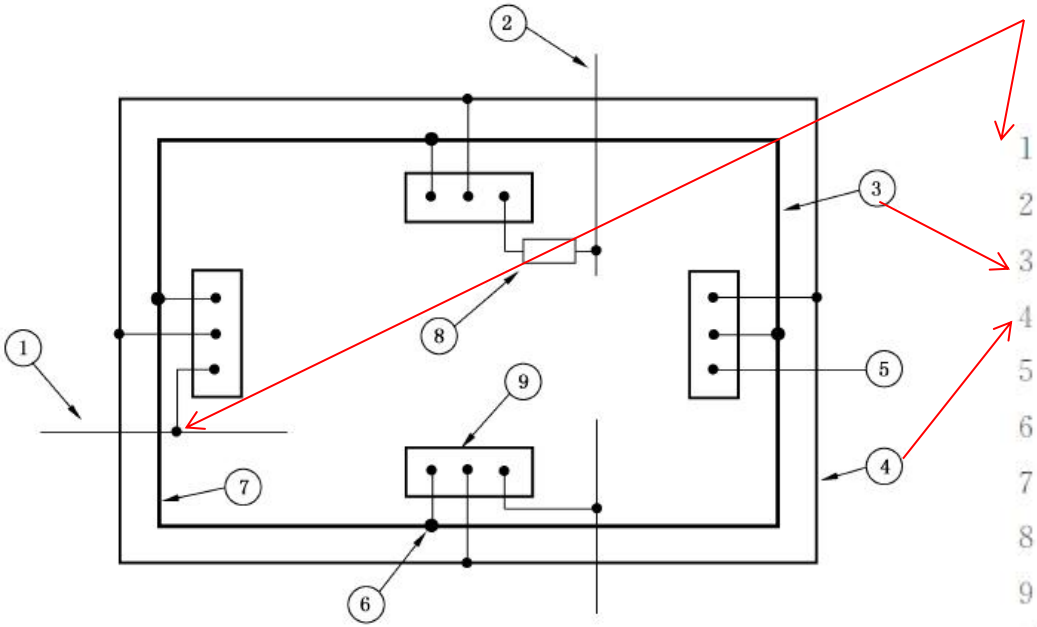
✓ 各总等电位联结端子板之间相连，是出于防雷的考虑，是**防雷标准IEC-62305-3**的要求，是为了避免雷电流产生的感应电压引起反击，也为了建筑物内不同位置之间不会因为感应电压使得电位不一致

金属装置，例如：水管、煤气管、供暖管道、通风管道、电梯支撑杆、起重机的支撑架等，应在地面与LPS进行连接。

如果条件允许，连接排应在接近地面的外墙内侧、靠近主低压电源配电箱处安装，并与环形接地极、基础接地极以及自然接地极（例如：互连钢筋）等接地装置相连。

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



- ✓ 进出建筑物的金属管线与接地端子板连接
- ✓ 接地端子板通过**外部**环形接地体相互之间连接

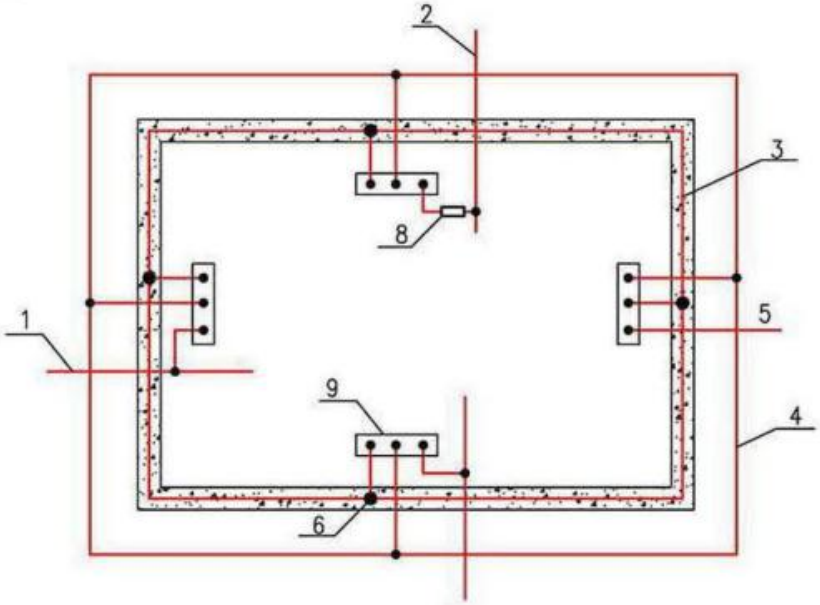
1 —— 外部导电部件，例如：金属水管；
2 —— 电力源线或通信线；
3 —— 混凝土外墙和地基内的钢筋；
4 —— 环形接地极；
5 —— 至附加接地极；
6 —— 专用连接接头；
7 —— 混凝土墙内的钢筋，见 3；
8 —— SPD；
9 —— 连接排。

注：地基中的钢筋可以用作自然接地极。

防雷标准IEC-62305-3 图E.44

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



示意图一

有多个外部可导电部分引入点且采用外部环形接地体进行等电位联结端子板互连的等电位联结做法示意

标注说明：

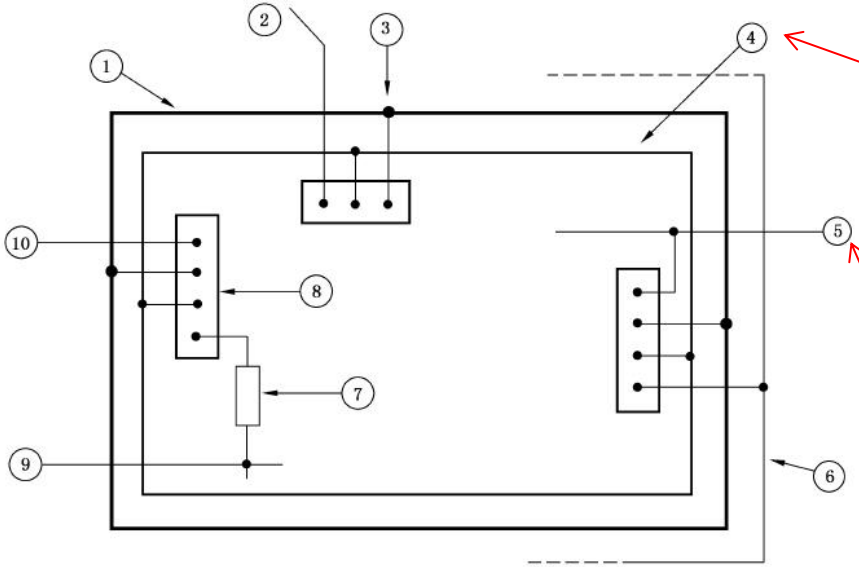
1 – 外界可导电部分，例如金属水管
2 – 电源或通信线路
3 – 外墙和地基的钢筋
4 – 外部环形导体（埋地）
5 – 附加接地体
6 – 与结构钢筋的联结点
7 – 内部环形导体
8 – SPD
9 – 等电位联结端子板
10 – 其他接地体
11 – 室外接地体（如有）

✓ 地面以下进线
✓ 外部环形导体

✓ 不推荐，因为外部环形导体易受土壤环境影响及人为因素干预

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



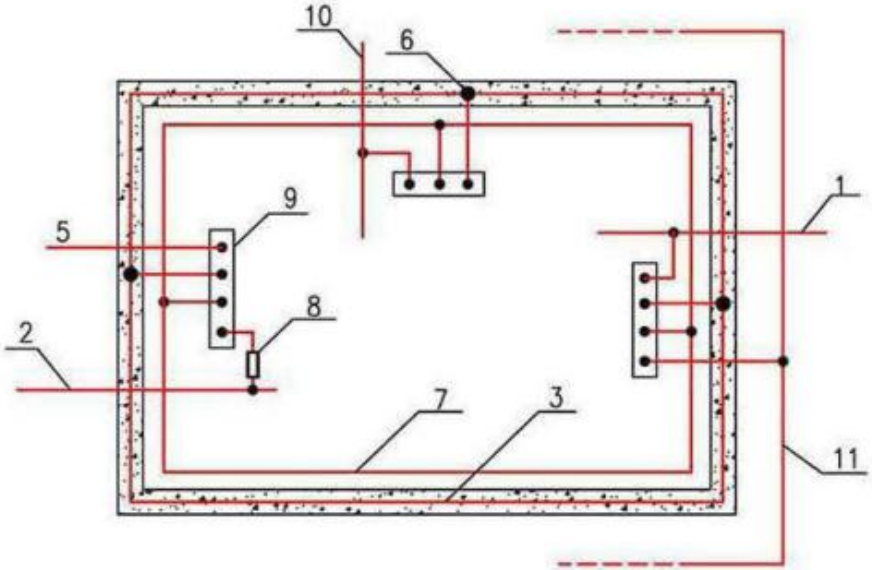
1——混凝土外墙或地基内的钢筋；
2——其他接地极；
3——连接接头；
4——内部环形导体；
5——外部导体部件，例如：水管；
6——环形接地极，B型接地装置；
7——SPD；
8——连接排；
9——电源线或通信线；
10——附加的接地极，A型接地装置。

✓ 进出建筑物的件数管线与接地端子板连接
✓ 接地端子板通过内部环形接地体相互之间连接

防雷标准IEC-62305-3 图E.45

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



示意图二

有多个外部可导电部分、电源或通信线路引入点且采用内部环形导体进行等电位联结端子板互连的等电位联结做法示意

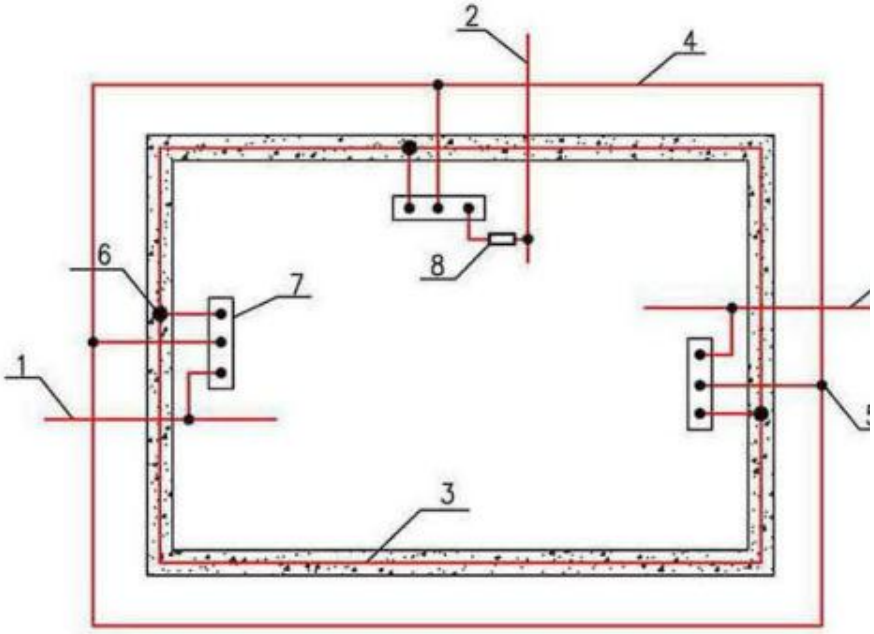
标注说明：

1 – 外界可导电部分，例如金属水管
2 – 电源或通信线路
3 – 外墙和地基的钢筋
4 – 外部环形导体（埋地）
5 – 附加接地体
6 – 与结构钢筋的联结点
7 – 内部环形导体
8 – SPD
9 – 等电位联结端子板
10 – 其他接地体
11 – 室外接地体（如有）

- ✓ 地面以下进线
- ✓ 内部环形导体：
  有条件时尽量通长明敷，联结线可视，易检修

等电位联结的几个问题

问题4：建筑物有多个总等电位联结端子板时，各总等电位联结端子板之间是否要相连



示意图三

在地面以上有多个进入建筑物的外部可导电部分引入点（架空进线）的等电位联结做法示意

标注说明：

1 – 外界可导电部分，例如金属水管
2 – 电源或通信线路
3 – 外墙和地基的钢筋
4 – 外部环形导体（埋地）
5 – 附加接地体
6 – 与结构钢筋的联结点
7 – 内部环形导体
8 – SPD
9 – 等电位联结端子板
10 – 其他接地体
11 – 室外接地体（如有）

✓ 架空进线

等电位联结的几个问题

问题5：如何综合考虑防雷等电位连接与保护等电位联结的要求

- 保护等电位联结的作用
✓ 减少电位差
✓ 防止从建筑物以外引入危险电源

- 从这个角度看，房间内孤立的金属物体可不纳入等电位联结
✓ 如游泳池的梯子，水池边缘的金属把手等
✓ 房间内部的金属门窗等

- 防雷等电位连接
✓ 防止感应电压导致的放电，即“反击”

- 防雷引下线对附近的金属物之间当间隔距离不满足要求时，应与其进行连接

RCD的应用

关于RCD的几个重要概念

概念1

用于电击防护的RCD，额定动作电流不应超过30mA；用于电气火灾防护的RCD，额定动作电流不应超过300mA；这种说法是否正确？

概念2

有的标准条文提到RCD的动作特性应满足30mA·s的要求，施工图审查要求插座回路切断故障回路的时间为0.1s，上述规定是否合理？

概念3

电气火灾防护中，AFDD、RCD、RCM、电气火灾监控系统几种产品的比较

RCD的应用

概念1

用于电击防护的RCD，额定动作电流不应超过30mA；用于电气火灾防护的RCD，额定动作电流不应超过300mA；这种说法是否正确？

结论：这种说法是片面的

该说法的出处GB/Z 22721-2008《正确使用家用和类似用途剩余电流动作保护电器（RCD）的指南》

6.4.2 根据剩余动作电流选择 RCD(灵敏度)

RCD 能提供任何值的额定剩余动作电流 $I_{\triangle n}$，而国家及相关标准中使用的标准值如下：

6 mA、10 mA、30 mA、100 mA、300 mA 和 500 mA。

注：30 mA 是人体电击防护所允许的最大值，而 300 mA 是火灾防护所允许的最大值。如使用非标准值的 RCD，不可以超过电击防护和火灾防护的极限值。见 7.4.2。

电击防护措施
基本防护
故障防护
附加防护

RCD在电击防护中的应用	
故障防护电器（自动切断电源）	$I_{\triangle n}$：0.006A、0.01A、0.03A、0.1A、0.2A、0.3A、0.5A、1A、2A、3A、5A、10A、20A、30A
附加防护	

RCD的应用

概念1

用于电击防护的RCD，额定动作电流不应超过30mA；用于电气火灾防护的RCD，额定动作电流不应超过300mA；这种说法是否正确？

结论：这种说法是片面的

RCD作为故障防护时：
RCD额定动作电流只要满足相应的保护特性即可，不局限于30mA



TN系统： $Z_s I_a \leq U_0$

TT系统： $R_A I_{\triangle n} \leq 50V$

Z_s ——接地故障回路的阻抗（Ω）

U_0 ——相导体对地标称电压（V）

I_a ——在规定时间内能使保护电器可靠地自动动作的电流（A）

R_A ——外露可导电部分的接地极和保护导体电阻之和（Ω）

$I_{\triangle n}$ ——剩余电流动作保护电器的额定剩余动作电流（A）

故障防护与附加防护

RCD在TN系统中的应用实例

TN系统：　$Z_s I_a \leq U_0$

《低压配电设计规范》GB50054-2011、IEC 60364-4-41 中都明确规定RCD可以作为故障防护电器



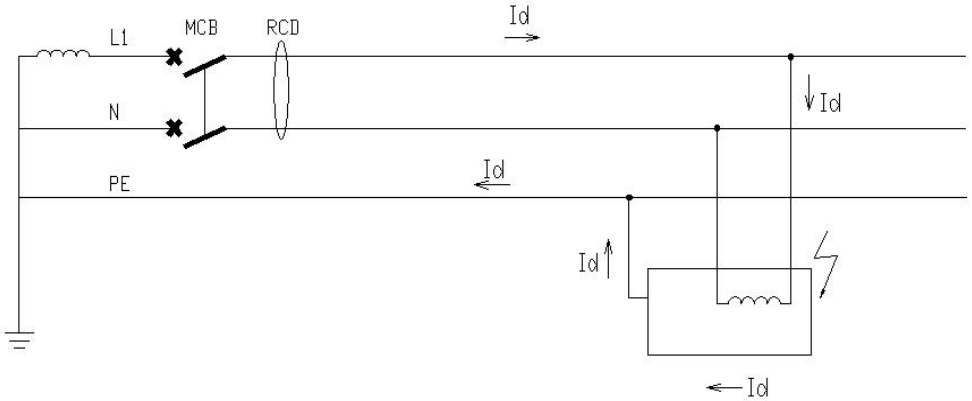
场景1

- 一些固定安装的设备，如带变频器的设备，正常泄漏电流较大，$I_{\triangle n}$为30mA时RCD容易误动作，这时$I_{\triangle n}$可以选择100mA、500mA等等,此时***RCD是作为故障防护而非附加防护***
- 施工现场可参考该方案

故障防护与附加防护

RCD在TN系统中的应用实例

TN系统：　$Z_s I_a \leq U_0$



场景2

- 当末端固定安装的用电设备配电线路过长时，过电流保护电器作为故障防护，当动作特性不满足要求，即接地故障电流Id不足以让保护电器在规定时间内动作，采用RCD可以在一定程度上解决该问题（但并非最佳解决方案，RCD的额定动作电流可以是30mA、100mA等）
- 施工现场可参考该方案
- RCD是作为故障防护而非附加防护

RCD在电气火灾防护中的应用

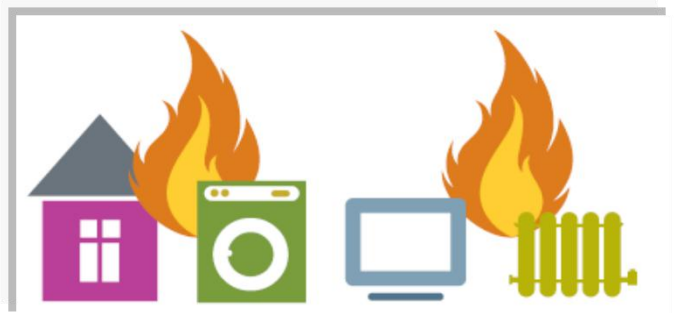
概念1

用于电击防护的RCD，额定动作电流不应超过30mA；用于电气火灾防护的RCD，额定动作电流不应超过300mA；这种说法是否正确？

结论：这种说法是片面的

《低压电气装置第4-42部分 热效应防护》
IEC 60364-4-42：2010

- 火灾危险场所，TN或TT系统的终端回路和用电设备应装设额定剩余动作电流不超过300mA的RCD
- 一般场所，RCD的额定动作电流不受此限，应躲开正常泄漏电流



关于RCD的几个重要概念

概念2

有的标准条文提到RCD的动作特性应满足30mA·s的要求，施工图审查要求插座回路切断故障回路的时间为0.1s，上述规定是否合理？

结论：上述规定缺乏足够的依据，与现行的标准不协调，规定并不合理。

关于RCD的几个重要概念

0.1s的来历

该规定与设计标准、RCD的产品标准是不一致的

剩余电流动作保护装置安装和运行

GB/T 13955—2017
代替 GB/T 13955—2005

表 B.1 直接接触保护用的 RCD 的最大分断时间

$I_{\Delta n}$/A	$I_{\pm}$/A	最大分断时间/s		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	0.25 A
任何值	任何值	0.1	0.08	0.04



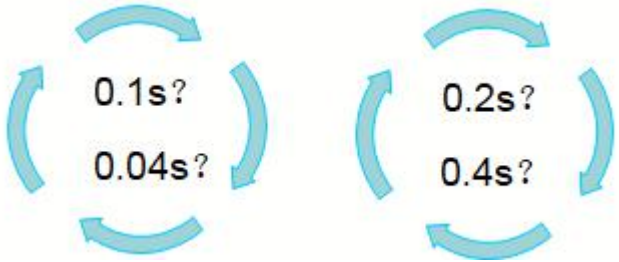
关于RCD的几个重要概念

不超过63A的一个或多个插座的回路最长切断电源的时间(s)

系统	$50V<U_0\leq120V$		**$120V<U_0\leq230V$**		$230V<U_0\leq400V$		$U_0>400V$	
	交流	直流	交流	直流	交流	直流	交流	直流
TN	0.8	-	**0.4**	1	0.2	0.4	0.1	0.1
TT	0.3	-	**0.2**	0.4	0.07	0.2	0.04	0.1
U_0——交流或直流线导体对地的标称电压。								

TN系统末端线路或插座回的最长切断时间（s）

相导体对地标称电压（V）	切断时间（s）
220	0.4
380	0.2
＞380	0.1



对于220/380V的三相插座回路，最长切断电源时间0.4s

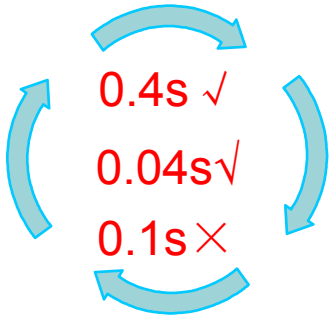
关于RCD的几个重要概念

RCD产品标准

无延时型RCD对于交流剩余电流的最大分断时间标准（s）

$I_{\triangle n}$（A）	最大分断时间标准值			
	$I_{\triangle n}$	$2I_{\triangle n}$	$5I_{\triangle n}$	$>5I_{\triangle n}$
任何值	0.3	0.15	0.04	**0.04**

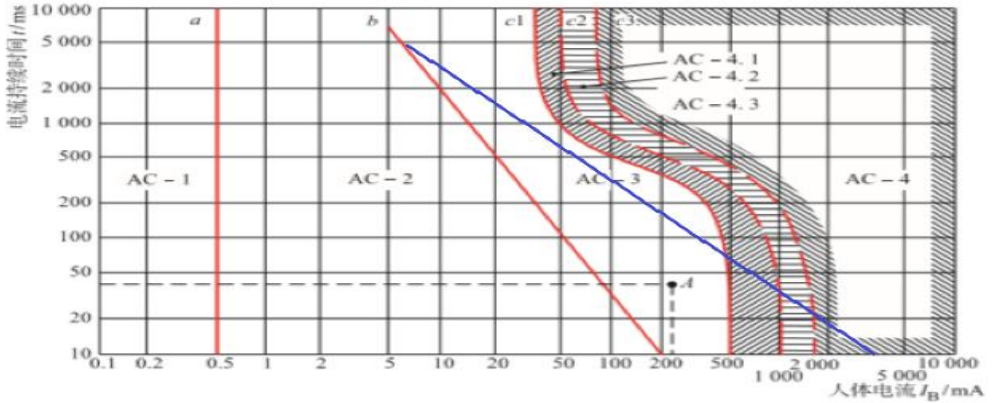
故障防护电器首先应满足设计标准不大于0.4s的要求，其次应满足产品标准$5I_{\triangle n}$时不大于0.04s的要求。



关于RCD的几个重要概念

30mA•s的来历

- ✓ 上世纪50年代末期，研究认为30mA·s的曲线可作为避免出现心脏可恢复性停跳的边界曲线，该曲线考虑了一定的安全系数，在不突破该曲线边界的情况下，可以保证人身安全
- ✓ 曲线30mA•s描述的是流过人体的电流与允许时间的关系，不适合作为RCD的动作特性要求
- ✓ 该曲线是电气安全基本准则探索过程中的一个中间成果，在当时具有重要意义，但现在已被新的研究成果替代
- ✓ 如果按照30mA•s绘制曲线，该曲线有一部分在AC-4区，已经突破了安全防护的底线，是不允许的



电流流过人体的时间——电流效应图上30mA·s曲线

关于RCD的几个重要概念

30mA的RCD在室外场所过度应用带来的问题

室外场所的特点

- 环境恶劣，设备绝缘容易老化，电击风险高
- 室外无法做等电位联结，接触电压较高
- 人员在室外，遇到极端天气，人体阻抗减小，电击风险增大

不超过32 A的
户外移动式设备



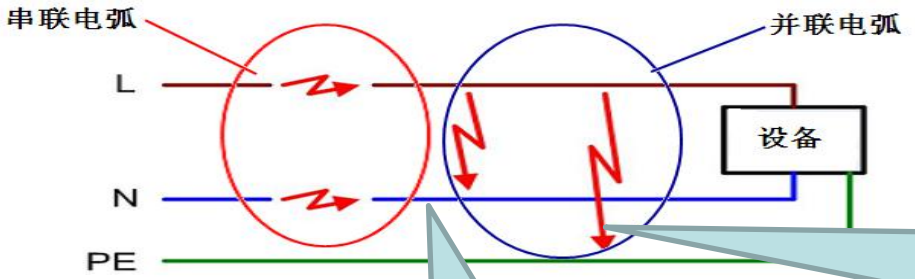
30mA的RCD

过度使用带来的问题

- RCD误动作
- 用电设备无法正常运行
- 看似规定严格，难以实施
- RCD被拆除
- 失去保护，完全违背初衷

全部的室外设备

RCD在电气火灾防护中的应用



RCD：

- 相对地的接地故障形成的电弧火灾
- 动作值

300mA
（火灾危险场所）

躲开正常泄漏电流
（一般场所）

电弧类型：

- 串联电弧
- 并联电弧动作值

几种用于电气火灾防护中保护电器

剩余电流保护器（RCD）与剩余电流监测器（RCM）

- 针对接地故障（相对地接地）产生的电弧电流
- RCD：切断故障回路
- RCM：不会切断电源，可发出报警信号
- 对于火灾危险场所，动作值应为300mA，小于该值的电弧能量不足以引燃可燃物
- 对于一般场所，对于该报警值或动作值没有限定，应躲开线路的正常泄漏电流

几种用于电气火灾防护中保护电器

电弧故障防护器（AFDD）

- 针对电弧电流（对地电弧，非对地电弧）
- AFDD：切断故障回路

几种用于电气火灾防护中保护电器

- 电气火灾监控系统
  - 前端电气火灾监控设备
  - 末端电气火灾探测设备
    - 剩余电流式电气火灾监控探测器
    - 测温式电气火灾监控探测器
    - 电弧故障探测器(AFD)

《电气火灾监控系统 》GB 14287.1~4
第1部分　电气火灾监控设备
第2部分　剩余电流式电气火灾监控探测器
第3部分　测温式电气火灾监控探测器
第4部分　电弧故障探测器(AFD)

- 注意电弧故障防护器（AFDD）与电弧故障探测器(AFD)的区别

几种用于电气火灾防护中保护电器

电气火灾防护中保护电器安装位置原则

- 没有监测盲区
- 合适的整定电流，避免误动作
- 场所特点
- 适当的产品（AFDD只能用于末端回路）

几种用于电气火灾防护中保护电器

电气火灾保护电器的比较

类型	AFDD	RCD	RCM	电气火灾监控系统（按探测器种类划分）		
				剩余电流式	测温式	电弧故障（AFD）
检测电弧	各种类型的电弧	接地电弧	接地电弧	接地电弧	——	各种类型的电弧
检测温度	——	——	——	——	连接点温度	——
动作电流范围	——	6mA~30A		20mA~1000mA	——	——
动作方式	切断电源	切断电源	报警	报警		
特点	供电连续性可能受影响		供电连续性不受影响			
适用场景	● 对供电连续性要求不高的一般场所 ● 火灾危险场所		● 一般场所			

几种用于电气火灾防护中保护电器

利用带剩余电流检测的断路器（CBR）进行电气火灾保护的优势

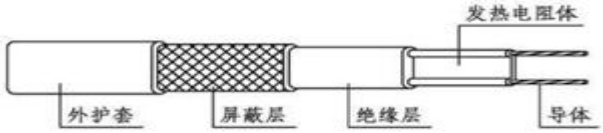
- 动作电流范围大，6mA~30A
- 不影响供电连续性
- 接线简单，不需要设置剩余电流互感器

RCD在电气火灾防护中的应用

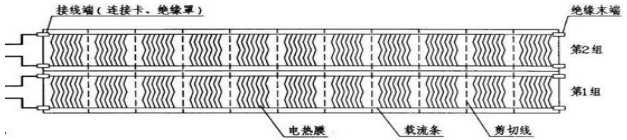
场景1

在火灾危险场所(BE2场所)，电加热膜、加热电缆等设施的电阻性故障可能引起火灾时，应装设额定剩余动作电流不超过30mA的RCD。

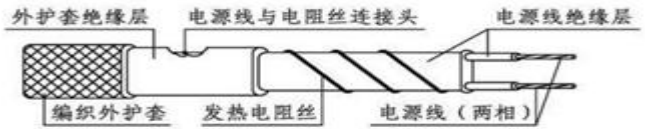
（《低压电气装置第4-42部分 热效应防护》IEC 60364-4-42：2010）



变功率加热电缆



电热膜组成示意图

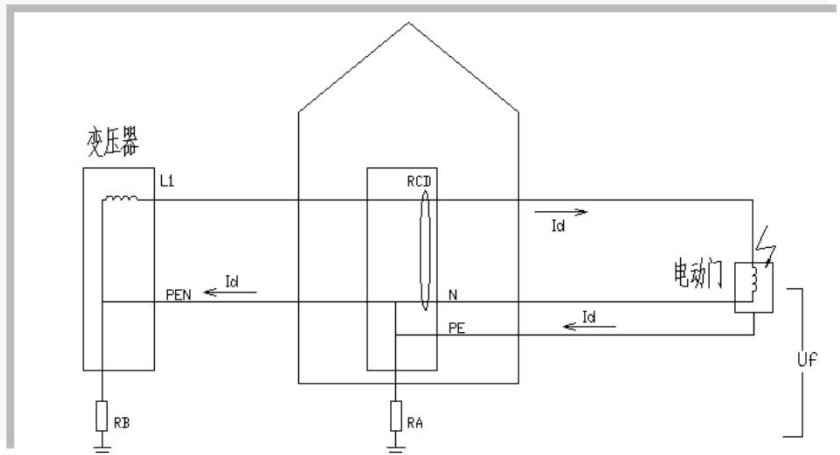


并联式恒功率加热电缆

RCD是电击防护的附加防护，兼做火灾防护

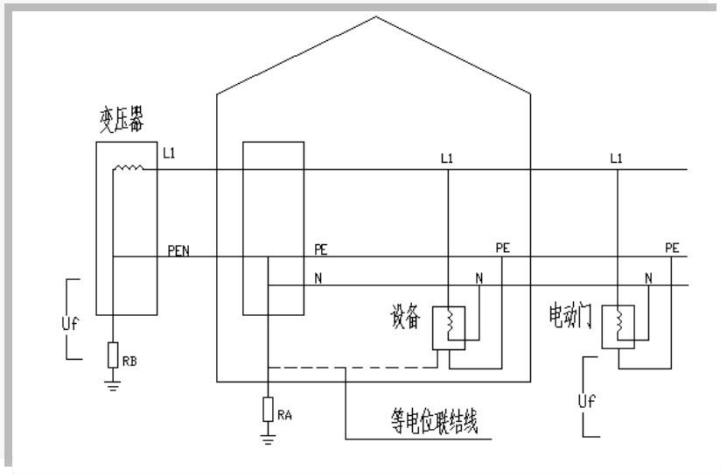
RCD在室外场所的应用

室外场所采用TN、TT系统的比较



采用TN系统，以电动门为例

- 设备绝缘损坏（可以采用RCD）
- 故障电压传导

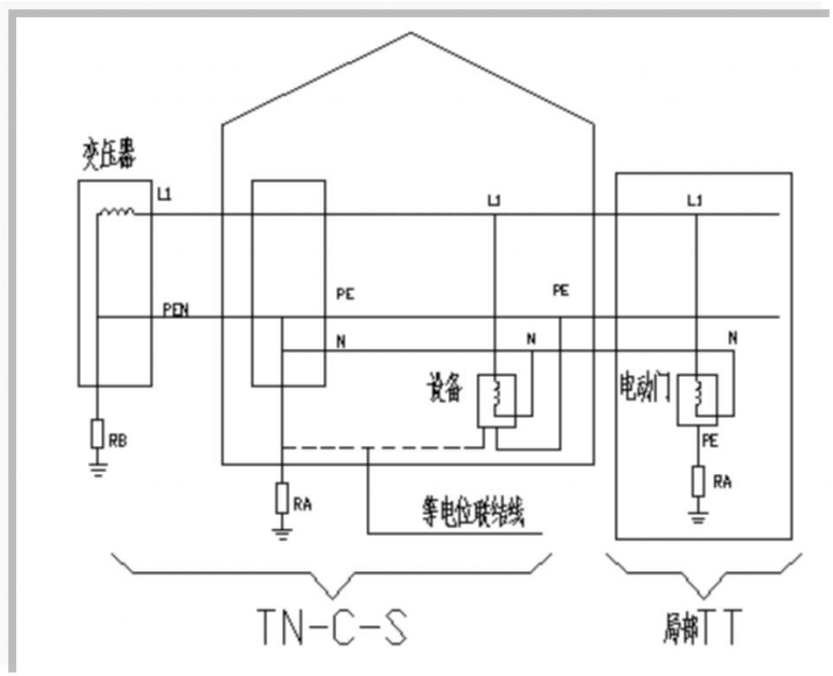


故障电压传导的原因

- 10kV侧发生接地故障
  - 大电流接地（电击危险高）
  - 小电流接地

RCD在室外场所的应用

室外场所采用TN、TT系统的比较



采用局部TT系统的优点

- 避免故障电压传导
- 采用RCD作为故障防护

$$R_A \ I_{\triangle n} \leq 50V$$

为了避免RCD误动作， $I_{\triangle n}$用可以大于30mA，如500mA, R_A 不大于100Ω（50Ω）

室外场所优先采用TT系统
（无等电位联结）

小结

防雷及接地装置	等电位联结 （概念与变化）	RCD应用的几个概念
• 防雷的主要做法 • 接地极的设置 • 钢筋的连接	• 防雷等电位连接 • 保护等电位联结 • 辅助等电位联结 • 局部等电位联结	• 动作时间的要求 • 几个应用场景

谢　谢

本PPT版权归中国航空规划设计研究总院有限公司所有



航空报国　强军富民
敬业诚信　创新超越