

从通用规范：论路灯安全配电 ---路灯辅助等电位联结的必要性

华艺设计 傅勇平

2022.12.08

2022.08某小区路灯触电至人伤亡案例：



线路老化、绝缘破坏、

路灯等公共设施漏电至人身伤亡已成为严重户外触电事故之一

全国每年包括路灯漏电的户外触电引起的直接经济损失超200亿

人身伤亡近3000人

- 1 2017-11-30 广东惠阳男子曾浩醉酒在淡水河背街步行时被漏电路灯柱电击身亡。2018年2月法院判决惠阳公用事业局向家属赔偿150万。
- 2 2017-09-24 广西柳州四岁女童随母串门路上遭路灯杆漏电电伤。
- 3 2017-09-14 广州天河区沐陂西街一名男子暴雨天骑车触电倒下，路人不敢上前施救。
- 4 2017-08-24 武汉大雨，两名男青年从洪山回黄陂武湖的家，经过汉施公路时双双因路灯漏电而被电击身亡。
- 5 2017-08-17 山东德州暴雨，果园路一30多岁男子骑摩托车途径漏电灯杆，不幸触电身亡。
- 6 2017-08-07 阜阳港利上城国际小区西门暴雨导致路灯漏电，导致两人触电，一死一伤！
- 7 2017-07-11 武汉一广场景观灯漏电，三岁女童触电身亡，楚天都市报7月15日报道。

室外路灯漏电伤亡原因：设计？ 施工？ 维护？



- 1 现有规范图集对路灯等电位的相关规定
- 2 低压侧接地故障对路灯安全影响
- 3 10kV电源侧中性点不接地：路灯安全的影响
- 4 10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响
- 5 10kV电源侧中性点消弧线圈接地：路灯安全的影响
- 6 总结

01 现有规范图集对路灯等电位的相关规定

《建筑电气与智能化通用规范》GB50024-2022

4.6.10 加热电缆辐射供暖设备、公共厨房用电设备、电辅助加热的太阳能热水器、升降停车设备、人员可触及的室外金属电动门等用电设备的电击防护应设置附加防护，并应符合下列规定：

- 1 应采用额定剩余电流动作值不大于 30mA 的剩余电流动作保护电器；
- 2 应设置辅助等电位联结。

人员可触及的室外金属电动门等用电设备的电击防护应设置附加防护
路灯是否包含在 “ 等 ” 内??

电击防护措施包括：

基本防护：基本绝缘、遮拦、外壳、阻挡物、置于伸臂范围外

故障防护：自动切断电源、双重绝缘、加强绝缘、电气分隔、特低电压

附加防护：剩余电流动作保护器 (RCD)、辅助等电位联结

01 现有规范图集对路灯等电位的相关规定

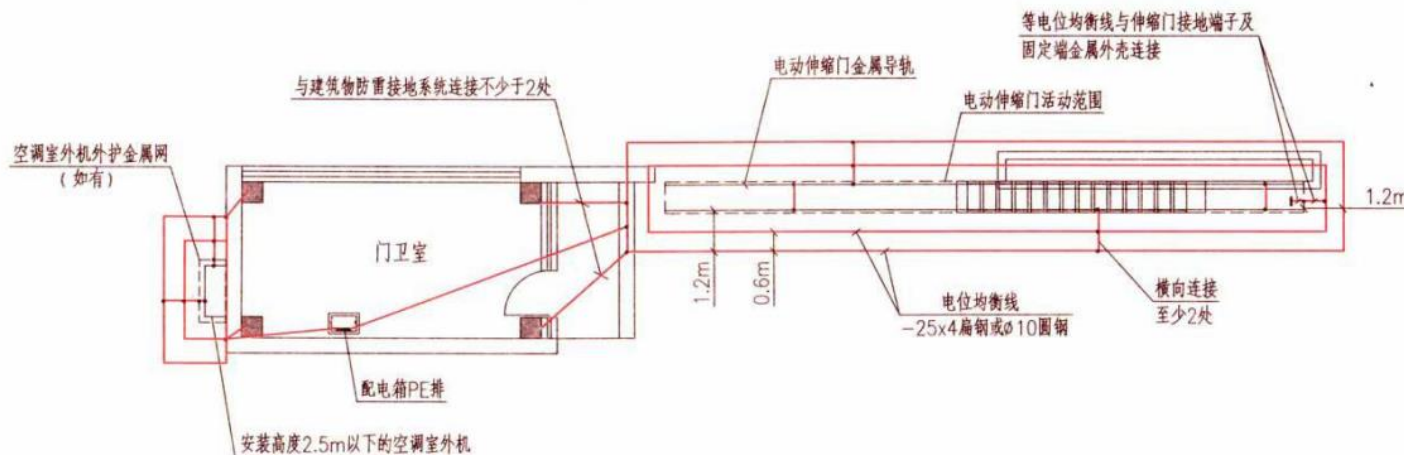
国标图集

《等电位联结安装》15D502

- 1 室外设备线路绝缘易老化，当引入故障电压时有电击的风险，
- 2 室外设备周边无钢筋，室外设备周边需等电位联结
- 3 其他室外用电设备可参照本图集实施等电位联结

等电位要求好像针对路灯

但没有路灯文字



注:

1. 室外用电设备非专职人员均可能会接触到 **易出现绝缘老化** 或者当引入故障电压时有电击的风险，**如室外设备周边地面无钢筋时** 室外用电设备周围局部范围内做等电位联结，采取地面电位均衡措施。本图集以电动伸缩门和空调室外机为例给出了典型做法，供设计参考选用，**其他室外用电设备可参照本图做法实施。**
2. 在室外设备周边地面无钢筋时，间距约为0.6m，最少在2处做横向连接。
3. 电位均衡线也可用规格为150x150、φ3的铁丝网，相邻铁丝网之间应互相焊接。
4. 电位均衡线宜接近地面，并有足够的防护层。

典型室外用电设备等电位联结示例

图集号

15D502

01

现有规范图集对路灯等电位的相关规定

国标图集

《城市照明设计与施工》16D702-6

3.3条：接地安全保护：钢灯杆/金属配电箱等设备设在道路两侧，极易被人接触。为防止发生意外触电事故，**必须切实做好安全防护措施。**

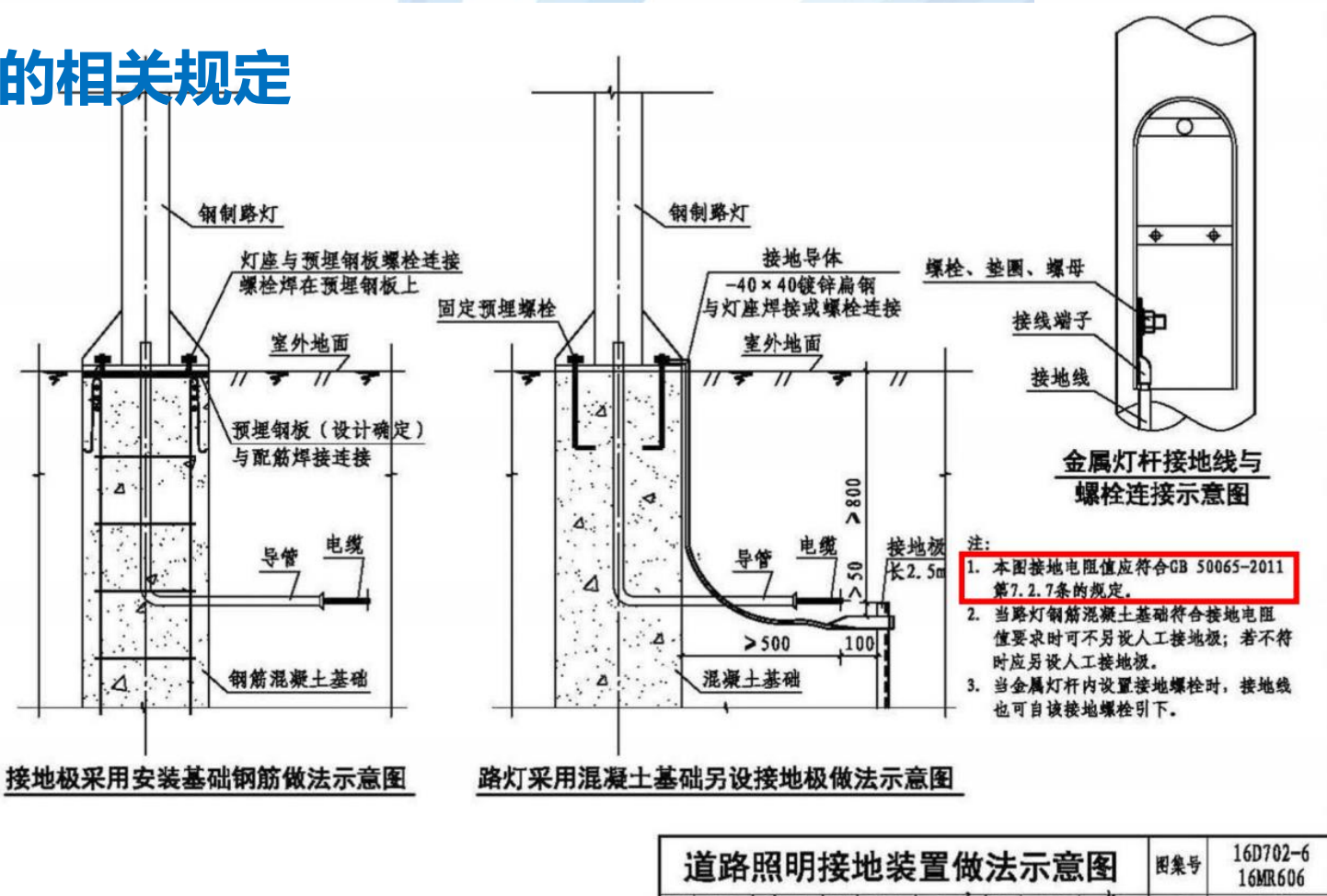
《交流电气装置的接地设计规范》GBT50065-2011

7.2.7 TT系统中电气装置外露可导电部分应设保护接地的接地装置，其接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和，应符合下式的要求：

$$R_A \leq 50 / I_a \quad (7.2.7)$$

式中： R_A ——季节变化时接地装置的最大接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和(Ω)；

I_a ——保护电器自动动作的动作电流，当保护电器为剩余电流保护时， I_a 为额定剩余电流动作电流 $I_{\Delta n}$ (A)。



接地电阻要求：TT系统 $R_A \leq 50 / I_a$

文字条款要求安全防护，图示又没有相关内容

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.1 TN系统 防电击保护措施：

(1) 故障保护措施---设过电流保护：

接地故障电流：

$$I_{d1} = \frac{U_0}{R_{L1} + R_{PE}} \quad \text{大, } QA \text{ 可能满足过电流保护的要求}$$

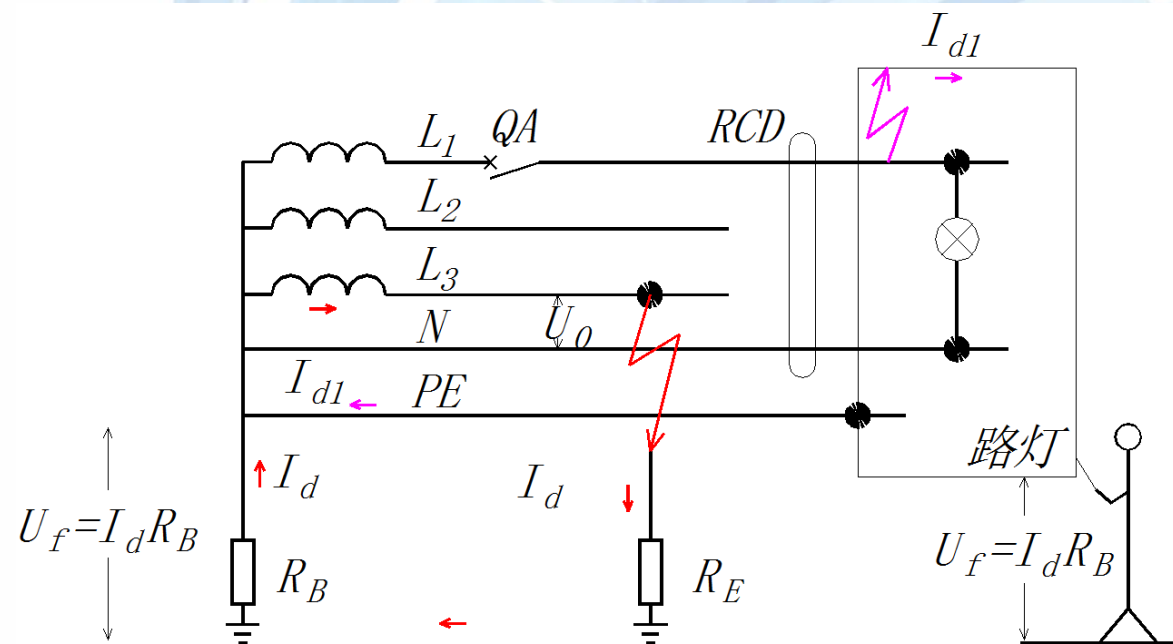


图2.1: TN系统低压侧接地故障对路灯影响示意

(2) 附加保护措施---设剩余电流RCD保护。

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.1 TN系统 存在的问题：

例： L_3 相室外接地，线路RCD前绝缘损坏、RCD失效

接地故障电流 $I_d = \frac{U_0}{R_B + R_E}$

PE线上的故障电压值 $U_f = I_d R_B$

潮湿场所电击危险电压 $U_f > 25V$

$$U_f = I_d R_B = \frac{U_0}{R_B + R_E} R_B > 25V \Rightarrow R_E < 7.8 R_B \quad \text{时有触电危险}$$

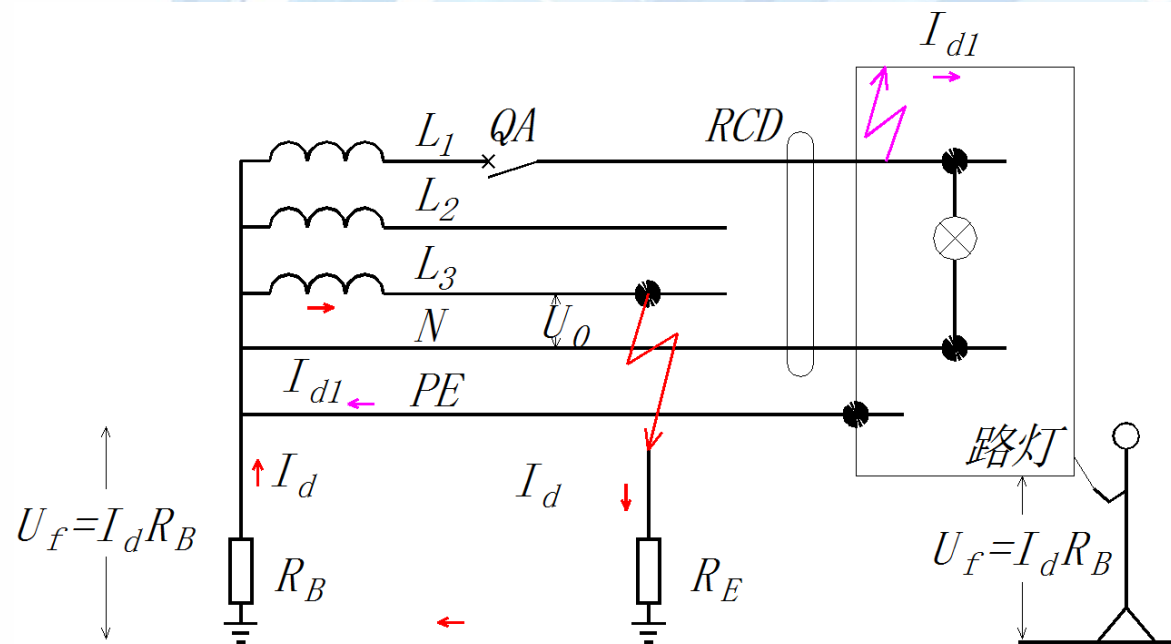


图2.1：TN系统低压侧接地故障对路灯影响示意

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.1 TN系统 存在的问题：

例： L_3 相室外接地，线路RCD前绝缘损坏、RCD失效

独立变电所 R_B 取值 4Ω ：
$$I_d = \frac{U_0}{R_B + R_E} = \frac{220}{4 + 7.8 * 4} = 6.25A$$

附建式变电所 R_B 取值 1Ω ：
$$I_d = \frac{U_0}{R_B + R_E} = \frac{220}{1 + 7.8 * 1} = 25A$$

I_d 可能使 L_3 回路的过电流保护电器不动作，
 U_f 不能使剩余电流保护器RCD动作

同一接地系统任一相发生接地故障，可能是室外路灯外壳长期带电，发生电击风险

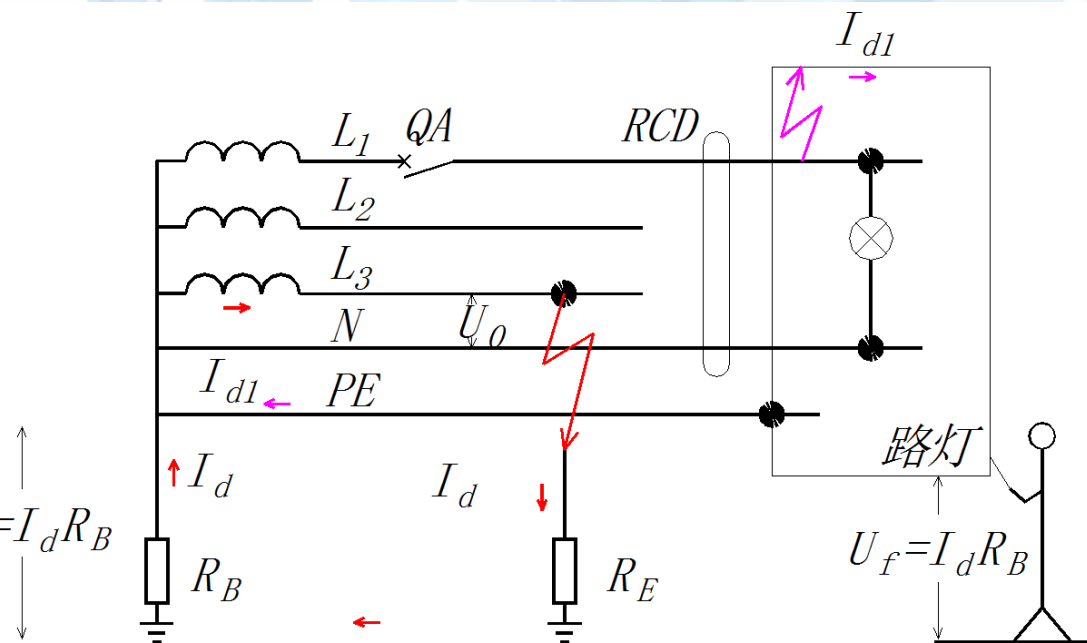


图2.1: TN系统低压侧接地故障对路灯影响示意

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.1 TN系统 补救措施：

TN系统路灯增设**辅助等电位联结**，
使人体站立的地面与路灯外壳在同一电位，防止电击事故。

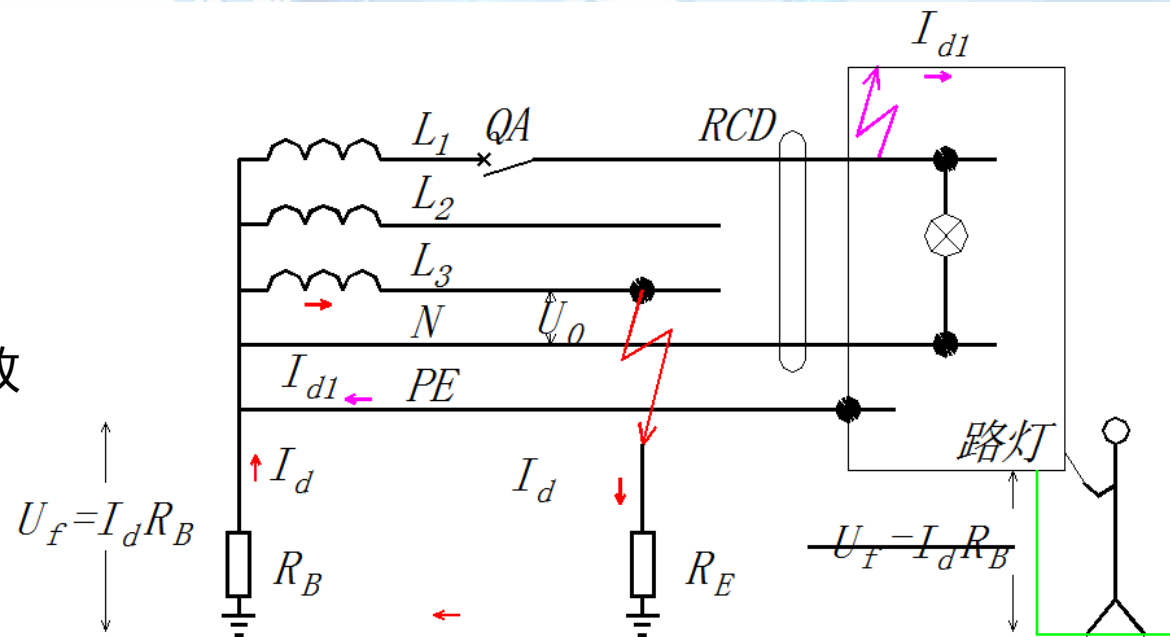


图2.1： TN系统低压侧接地故障对路灯影响示意

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 防电击保护措施：

(1) 故障保护措施---剩余电流动作保护器RCD：

接地故障电流：

$$I_{d1} = \frac{U_0}{R_A + R_B} \quad \text{小，通常不能满足} QA \text{ 过电流的要求}$$

理论上路灯接地电阻：

$$R_A < \frac{25V}{30mA} = 833\Omega \quad \text{可以满足RCD可靠动作}$$

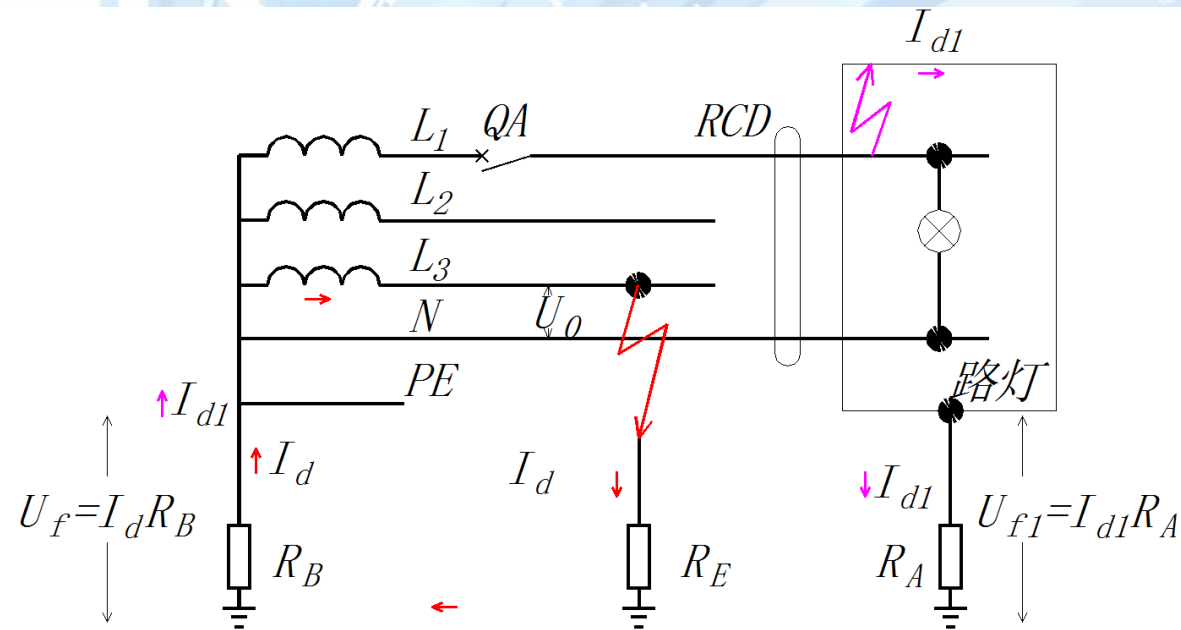


图2.2：TT系统低压侧接地故障对路灯影响示意图

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 防电击保护措施：

(2) 附加保护措施---RCD?

国标GB/T 16895.21-2020

《低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护》

411.5.2条：“在TT系统中通常采用RCD作故障防护。……”。

415.1.1条：“在交流系统内装设额定剩余电流不大于30mA的RCD，用以在基本防护失效和/或故障防护失效和用电不慎重时的附加保护措施”。

TT优点：接地 R_A 与接地 R_B 是独立的。故障电压 U_f 不能PE线传导的电击事故。

问题好像解决了??? 接地故障用RCD U_f 不能传导

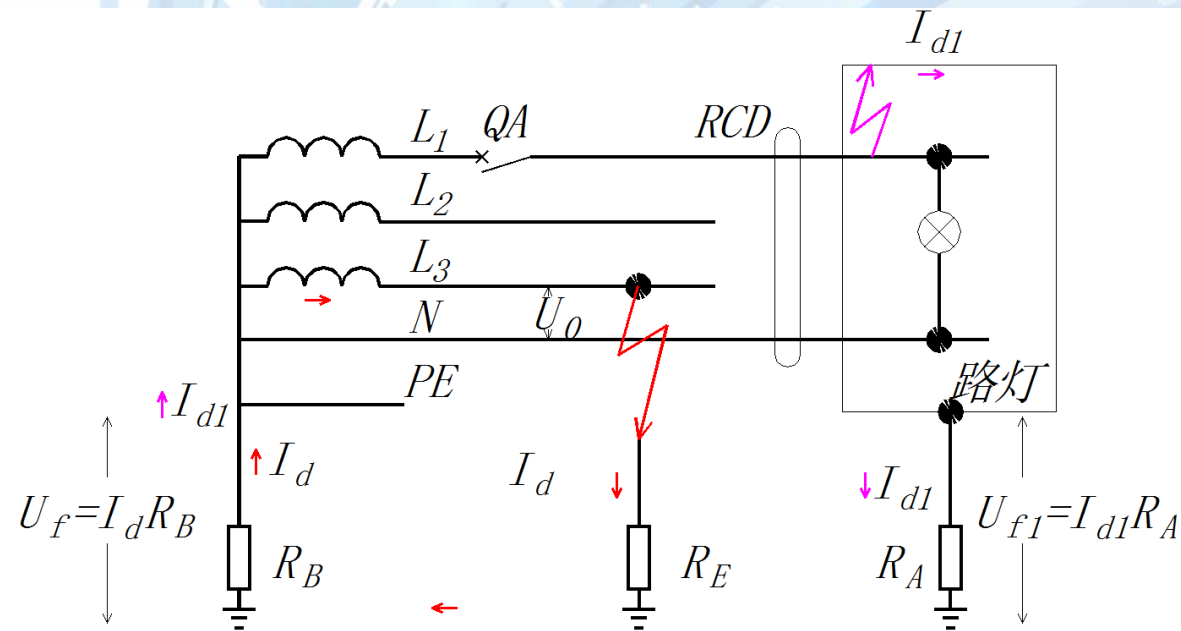


图2.2: TT系统低压侧接地故障对路灯影响示意图

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 存在的问题：

(1) RCD并非保证有效的保护电器

《剩余电流动作保护装置安装和运行》GB/T 13955-2017关于RCD的运行和管理要如下要求：

- 1 RCD投入运行后，应定期操作实验按钮，检查其动作特性是否正常，雷电活动期和用电高峰期应增加实验次数；
- 2 电子式RCD，根据电子元器件有效工作寿命，工作年限一般为6年。超过规定年限应进行全面检测，根据检测结果，决定可否继续运行；
- 3 全面检测，应使用经国家有关部门检测合格的专用测试设备，由专业人员进行，……”。

专用检测设备？ 定期操作实验按钮？

电子式使用6年后，多长时间检测？不能保障合格

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 存在的问题：

(2) 几种接地保护分析：

TN系统：过电流 RCD

IT系统：绝缘检测 过电流或RCD

电击防护措施包括：

基本防护：基本绝缘、遮拦、外壳、阻挡物、置于伸臂范围外

故障防护：自动切断电源、双重绝缘、加强绝缘、电气分隔、特低电压

附加防护：剩余电流动作保护器(RCD)、辅助等电位联结

02 低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 存在的问题：

(3) 灯杆可能的故障电压：

$$U_{f1} = I_{d1} R_A = \frac{U_0}{R_A + R_B} R_A \approx U_0 \quad R_A \gg R_B$$

RCD失效后，故障电流一般不能使保护电器QA动作，
RCD进线前线路绝缘损坏，一般不能使保护电器QA动作，
 U_{f1} 长期存在，产生电击危险。

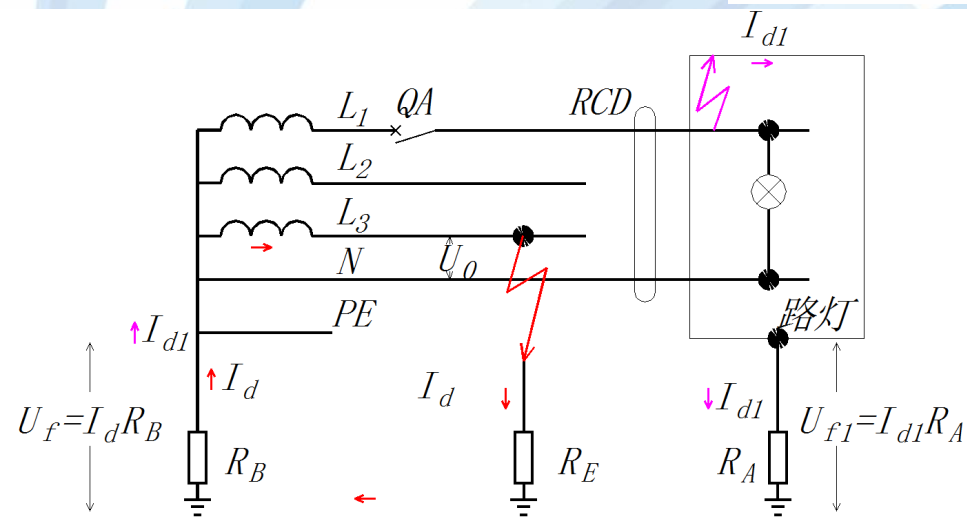


图2.2: TT系统低压侧接地故障对路灯影响示意图

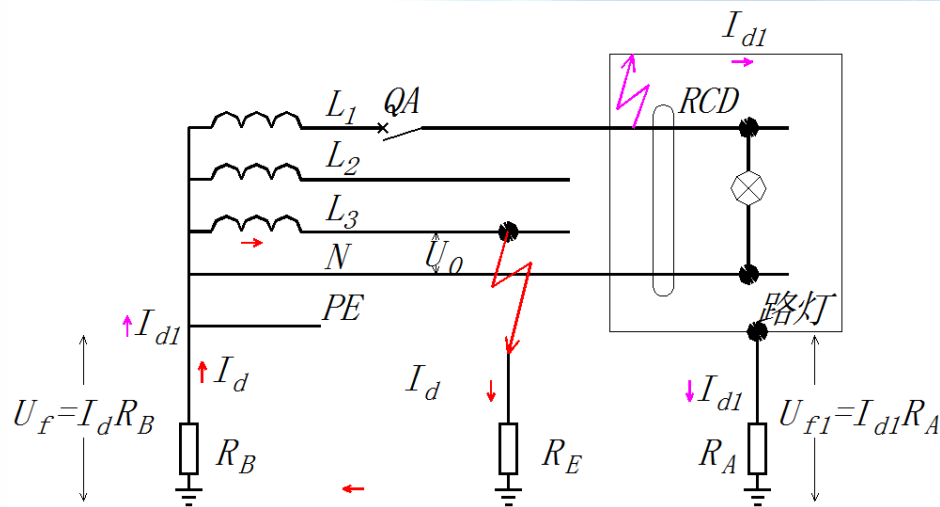


图2.2: TT系统RCD进线前线路绝缘损坏影响

02

低压侧接地故障对路灯安全影响

2.2 TT系统 补救措施：

TT系统路灯增设**辅助等电位联结**，防止路灯本身的接地故障对人体的电击

。

- (1) 防止电子式RCD失效时，
- (2) 线路绝缘 RCD进线前绝缘 损坏

03

10kV电源侧中性点不接地：路灯安全的影响

3.1 电路分析：

《配电网规划设计技术导则》

Q/GDW 10738-2020：

中性点不接地系统单相接地电流

$$I_d \leq 10A$$

独立变电所 R_B 取值 4Ω $U_f = I_d R_B \leq 40V$

：

附建式变电所 R_B 取值 1Ω $U_f = I_d R_B \leq 10V$

：

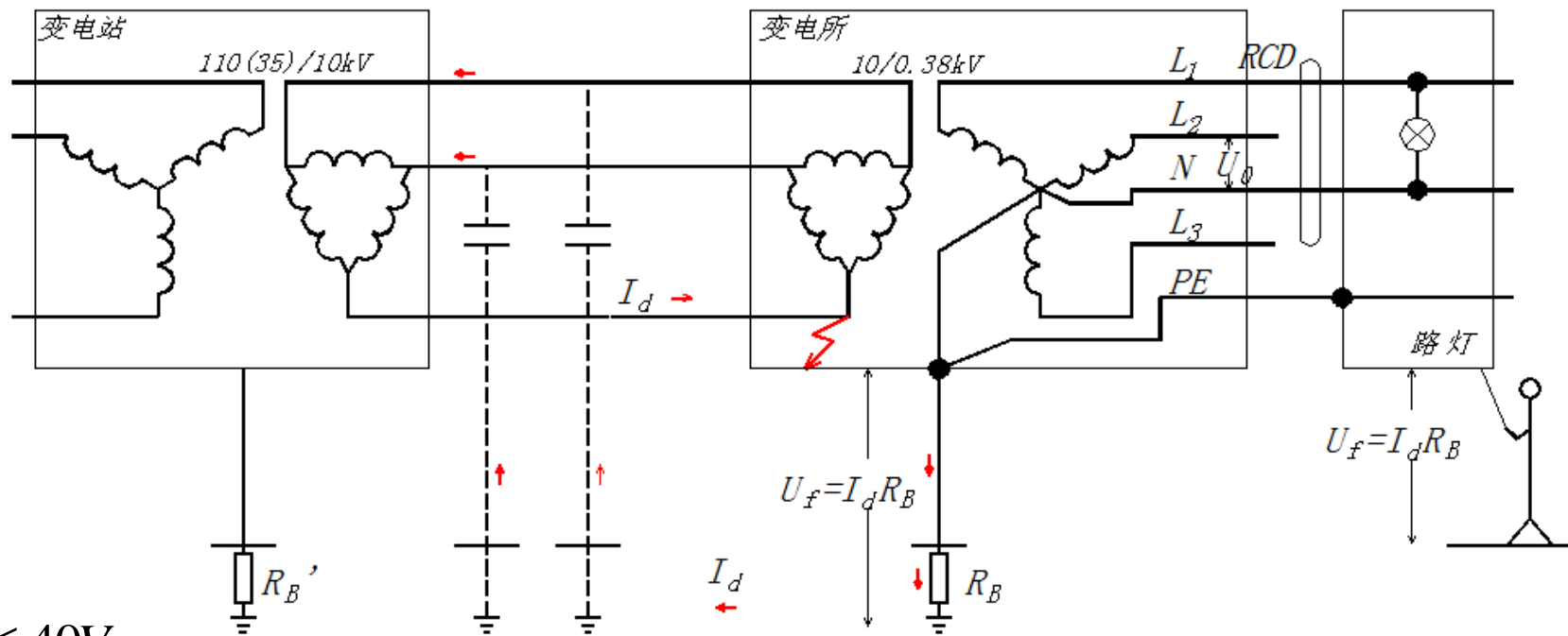


图3：10kV电源侧中性点不接地，10kV负荷侧接地故障对路灯影响示意图

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（DL/T620-1997）增加条款：
6—35 kV主要由电缆线路构成的系统，其单相接地故障电流较大时，
中性点经低电阻接地方式作为一种可选用的方案。

03 10kV电源侧中性点不接地：路灯安全的影响

3.2 存在问题：

由于 I_d 值小，
10kV电源侧不会立即切断电源

---故障选线器大于10s

《配电网技术导则》Q/GDW10370-2016 大于10s

1 独立变电所 $U_f=40V$ 通过PE线到室外路灯外壳

在潮湿场所(安全电压25V)会有电击的危险

在正常场所(安全电压50V)安全

2 附建式变电所 $U_f=10V$ 到路灯外壳安全电压

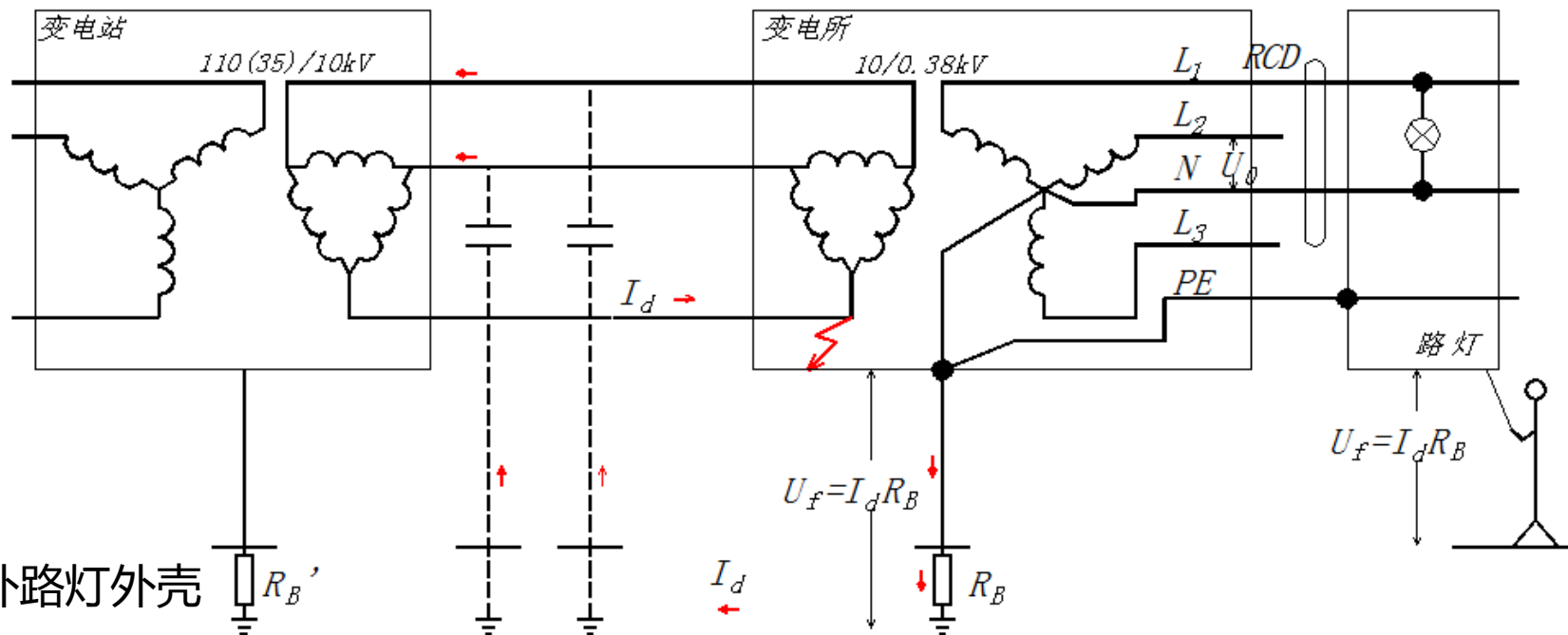


图3：10kV电源侧中性点不接地，10kV负荷侧接地故障对路灯影响示意图

04 10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.0 应用场所：

大城区10kV供电采用电缆地下敷设的场所

国家电网企业标准《配电网规划设计技术导则》Q/GDW10738-2020第7.6.7条：

10kV 配电网中性点接地方式的选择应遵循以下原则：“.....以电缆网为主时，宜采用中性点经低电阻接地方式”。

《深圳中低压配电网规划技术实施细则》（2018年修订版）第7.6.1条：

中压配电网：新建变电站10（20）千伏配电系统中性点接地方式一律采用小电阻接地方式；在运变电站应按照新建原则进行改造，.....。

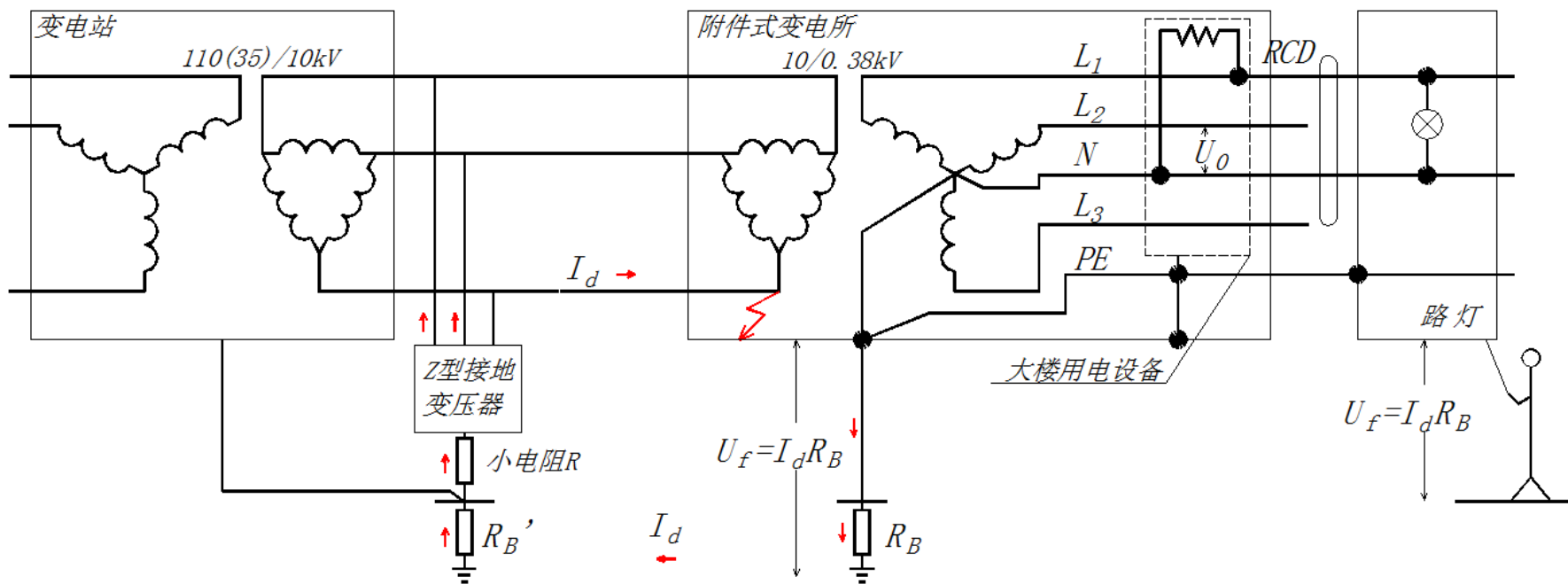
04

10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.1 变电所合用接地极：

(1) 电路分析

：



接地故障电流 I_d 流经 R_B ---> R_B' ---> R

图4.1：10kV电源侧中性点小电阻接地---变电所合用接地

根据《配电网规划设计技术导则》Q/GDW 10738—2020 故障电流 I_d 大小150-800A之间

接地故障电流大，切断故障 $>0.3s$

04

10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.1 变电所合用接地极：

(1) 电路分析

独立变电所 $R_B \leq 4$ 欧

故障电压 $U_f = I_d R_B$ $U_f > 600V$

附建式变电所 $R_B \leq 1$ 欧

故障电压 $U_f = I_d R_B$ $150V < U_f < 800V$

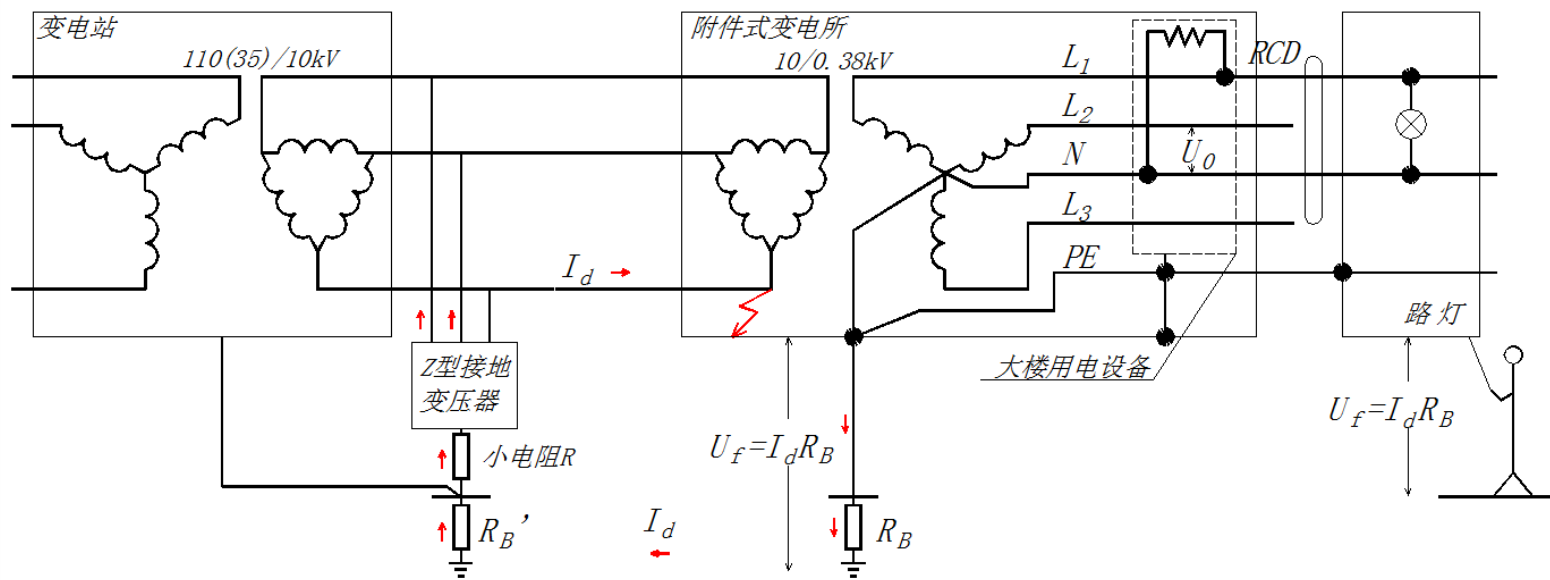


图4.1：10kV电源侧中性点小电阻接地---变电所合用接地

故障电压对同一建筑的用电设备没有影响：电压整体抬高

这个电压传导到室外路灯外壳，外壳对地电压为 U_f

04

10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.1 变电所合用接地极：

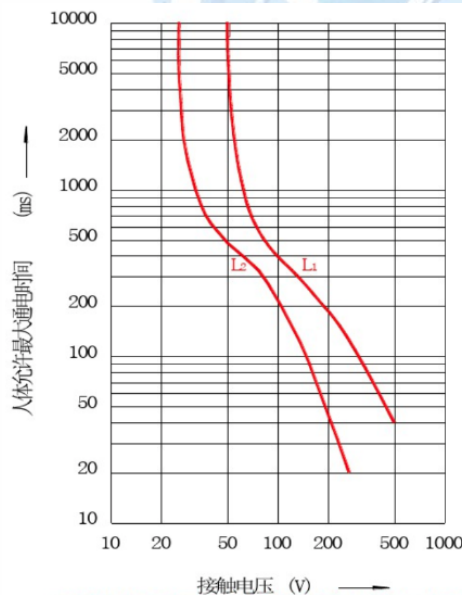
(2) 补救措施：

接地故障电压 U_f 大，持续时间大于0.3s

电击风险很大

路灯应增设**辅助等电位联结**，

使人体站立的地面与路灯外壳在同一电位，防止电击事故。



干燥场所：

0.3s 人体承受的~150V

潮湿场所：

0.3s 人体承受的~75V

预期接触电源 U_f 和
允许最大持续时间 t 间的关系曲线

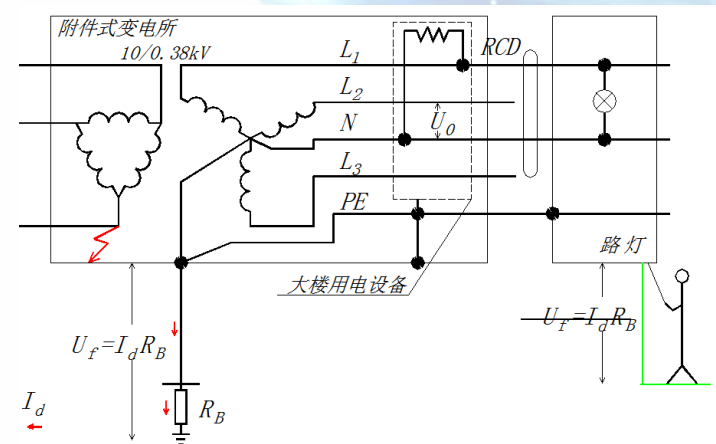


图4.1：10kV电源侧中性点小电阻接地---变电所合用接地

04 10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.2 变电所分设接地极：

(1) 电路分析

：

避免高压侧接地故障电压 U_f 传导到路灯外壳，

- 1 变电所的保护接地 R_B (联结高、低压侧的外露可导电部分)
- 2 变压器中性点接地 R_B'' 单独设置，进出管线绝缘护套
- 3 R_B 与 R_B'' 分开足够的距离

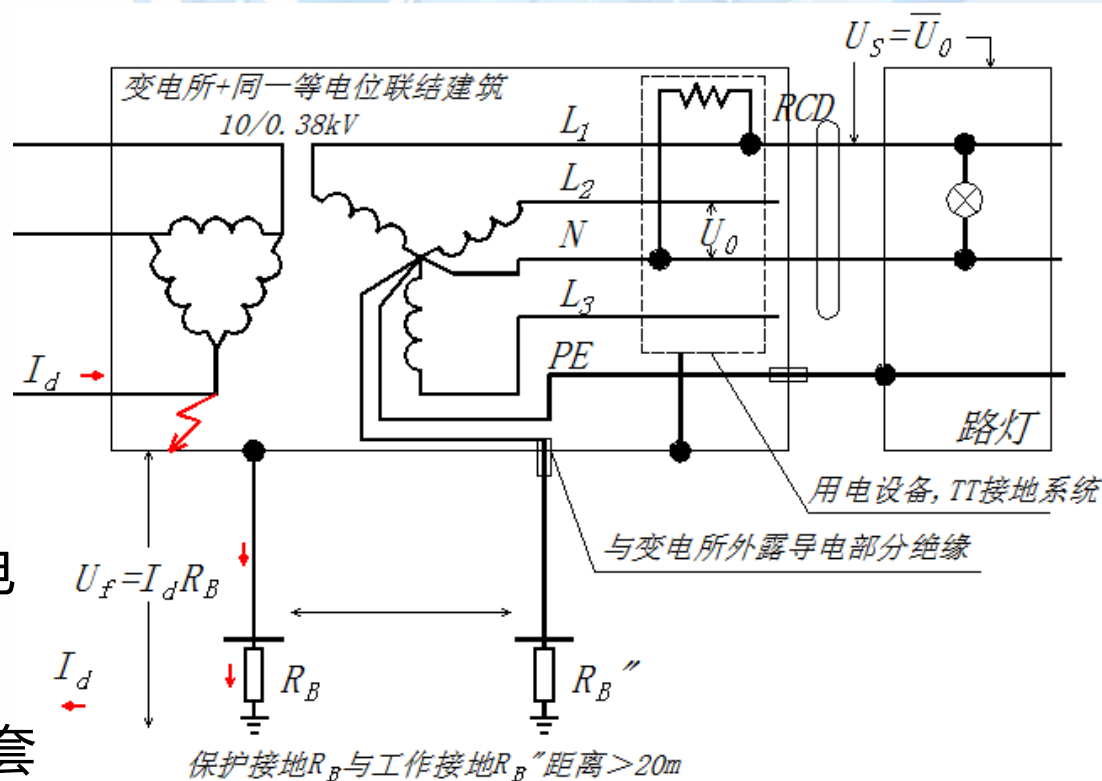


图4.2：10kV中性点小电阻接地---变电所分设接地

故障电压 $U_f = I_d * R_B$

无法通过PE(PEN)线传到路灯外壳引发电击事故。

04

10kV电源侧中性点小电阻接地：路灯安全的影响

4.2 变电所分设接地极：

(2) 存在问题：

当为附建式变电所

1 大楼内总等电位：用电设备外壳与变电所的保护接地 R_B 联结。

2 变压器中性点接地 R_B'' 单独设置，进出管线绝缘护套

3 大楼内用电设备TT系统：

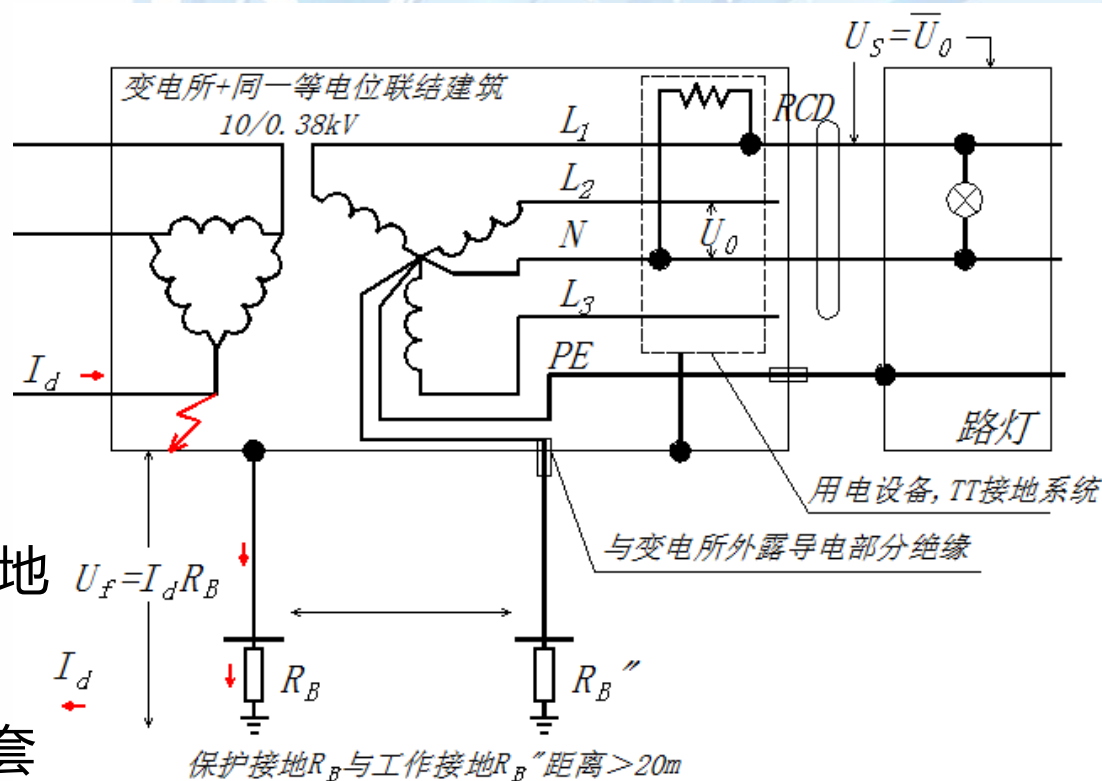


图4.2：10kV中性点小电阻接地---变电所分设接地

变配电所低压柜出线及末端配电箱回路均需设置剩余电流保护：增加配电/维护成本

附建式变电所采用分设接地：用地空间限制

附建变电所分设接地极不合理

05

10kV电源侧中性点消弧线圈接地：路灯安全的影响

电路分析：

故障电流 I_d 大小10-150A之间

不会立即切断电源，故障选线（大于10s）

《配电网技术导则》Q/GDW10370-2016 (10s-2h)

独立变电所 $R_B \leq 4$ 欧

故障电压 $U_f = I_d R_B$ $U_f (40V - 600V)$

附建式变电所 $R_B \leq 1$ 欧

故障电压 $U_f = I_d R_B$ $U_f (10V - 150V)$

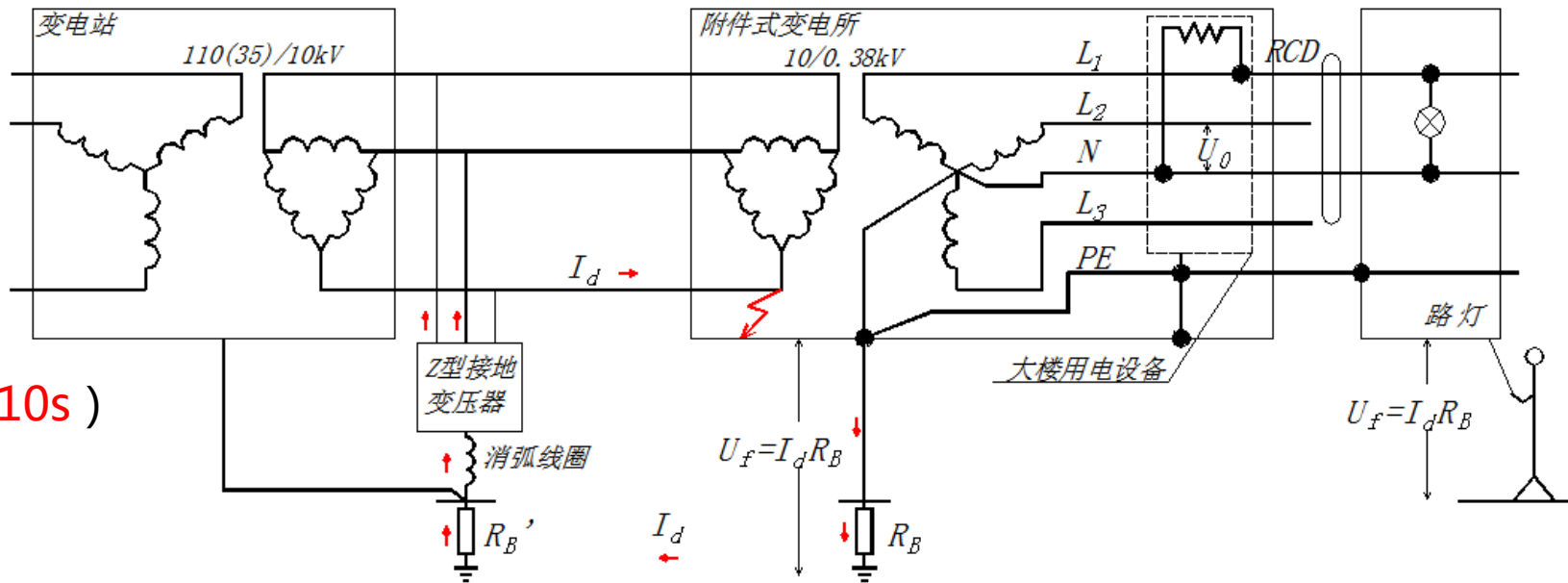


图5：10kV电源侧中性点消弧线圈接地

故障电压 U_f 持续时间长，安全25V/50V

故障电压超过电击安全电压

路灯应设辅助等电位联结

06 总结

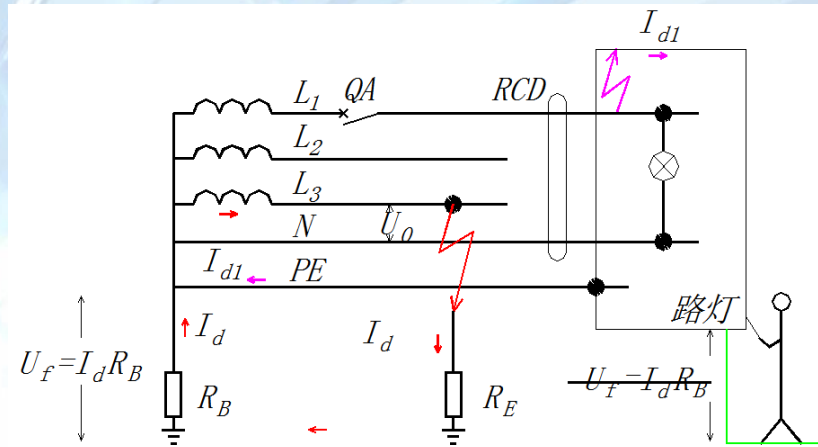
1 路灯配电采用TN系统时

- (1) 低压侧发生接地故障、
- (2) 10kV电源端中性点不接地、
- (3) 10kV电源端中性点小电阻接地、
- (4) 10kV电源端中性点经消弧线圈接地

故障电压 U_f 通过保护PE线传导到路灯外壳，对人体产生电击风险

应增加附件电击保护

可在路灯周围设置辅助等电位联结。

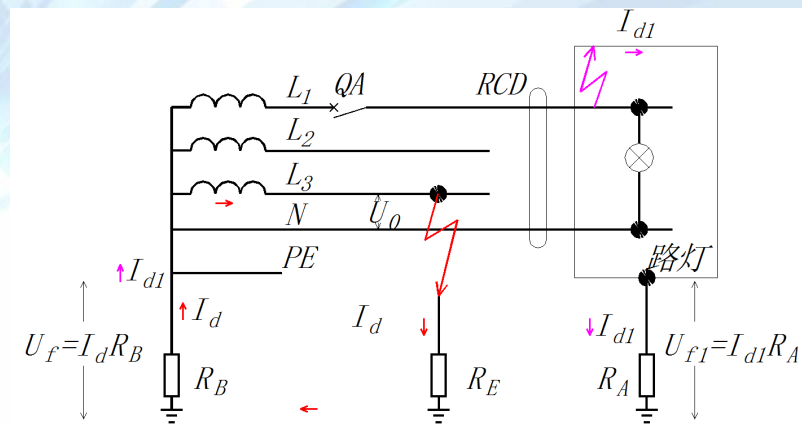


06 总结

2 路灯配电采用TT系统时

10kV、低压侧发生接地故障 U_f 不能路灯外壳。

但 RCD的非可靠性，RCD为TT路灯系统唯一的接地故障防护电器
增加附加保护：**设置辅助等电位联结**



06 总结

3 通用规范延伸：

人员可触及的室外金属电动门等用电设备的电击防护应设置附加防护 路灯为室外用电设备，应采取附加防护的两项措施，即应设辅助等电位电击的风险由其它的接地故障电压传导。。。

《建筑电气与智能化通用规范》GB50024-2022

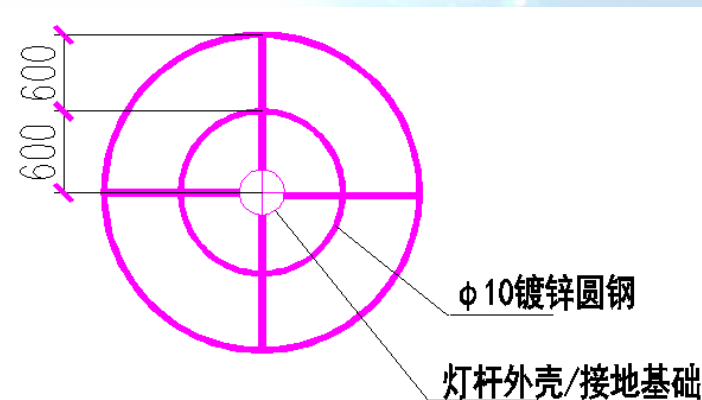
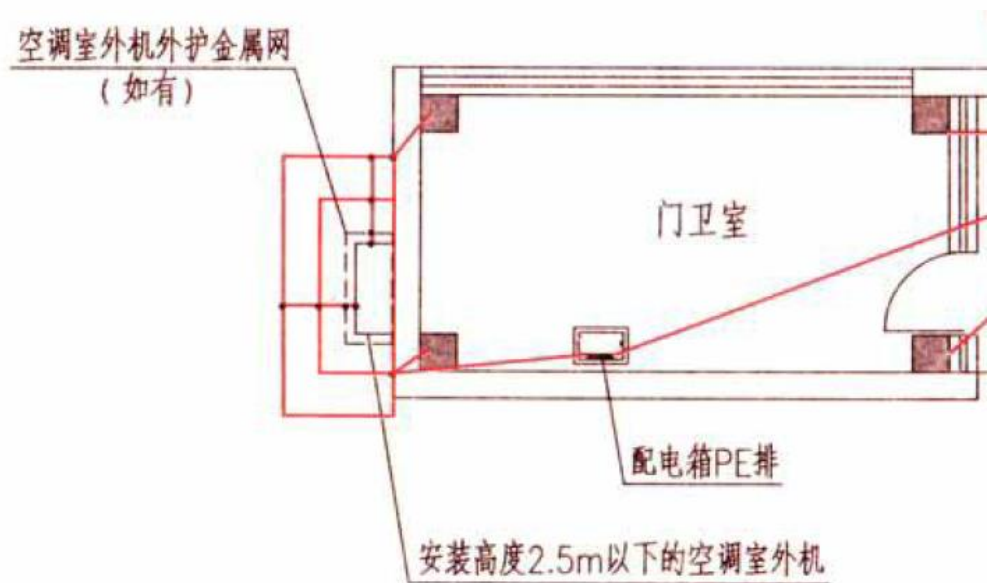
4.6.10 加热电缆辐射供暖设备、公共厨房用电设备、电辅助加热的太阳能热水器、升降停车设备、人员可触及的室外金属电动门等用电设备的电击防护应设置附加防护，并应符合下列规定：

- 1 应采用额定剩余电流动作值不大于 30mA 的剩余电流动作保护电器；
- 2 应设置辅助等电位联结。

06 总结

4 等电位联结做法

参考国标图集15D502《等电位联结安装》---典型室外用电设备等电位联结示例：



圆钢长度： $\pi \times (1.2 + 2.4) + 4.8 = 16\text{m}$

等电位均衡线靠近地表面，预留足够的防护层。

THANKS !