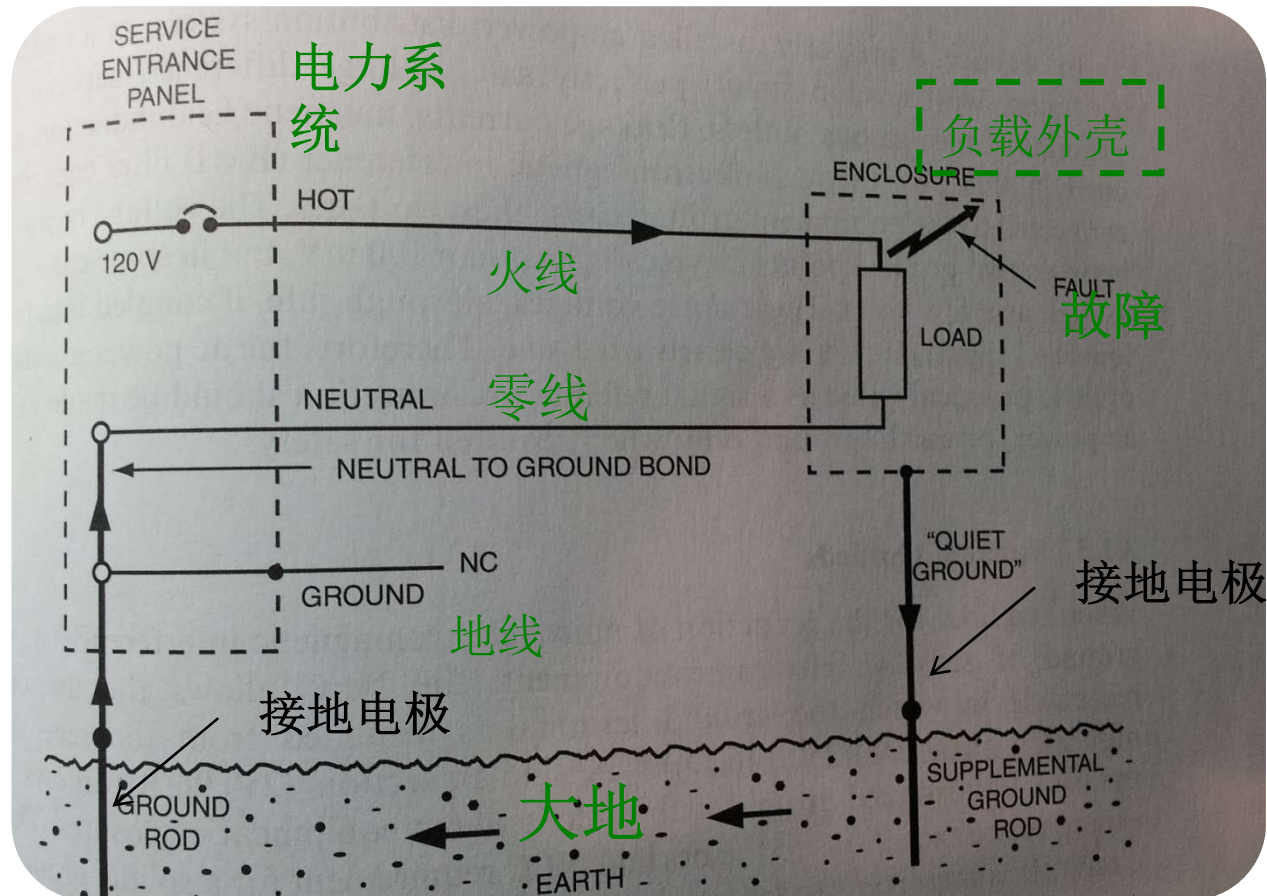


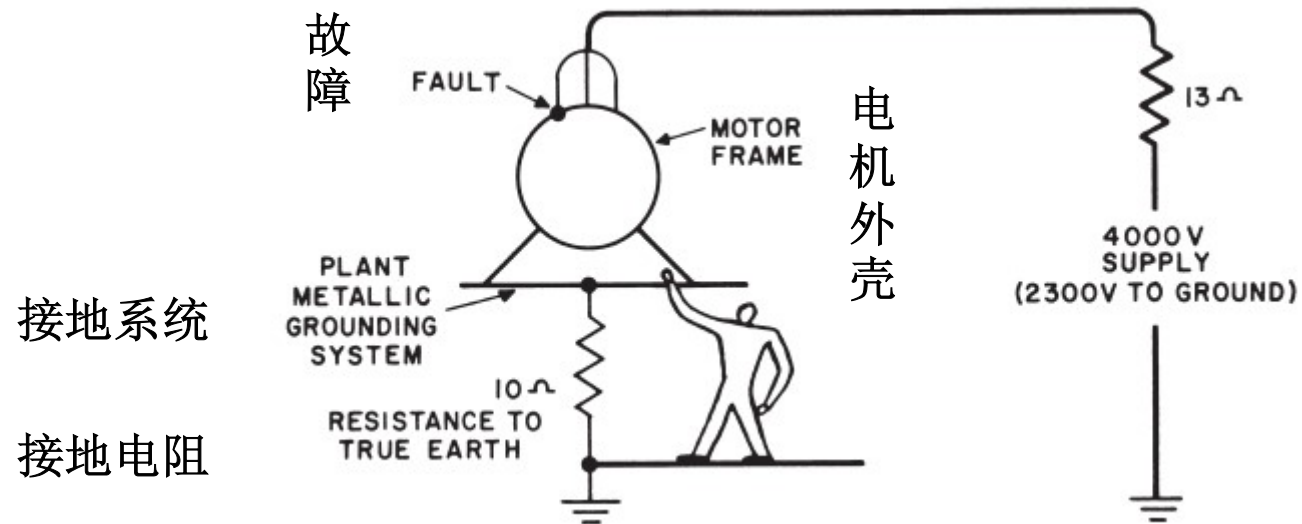
接地电阻测试技术

Megger[®]

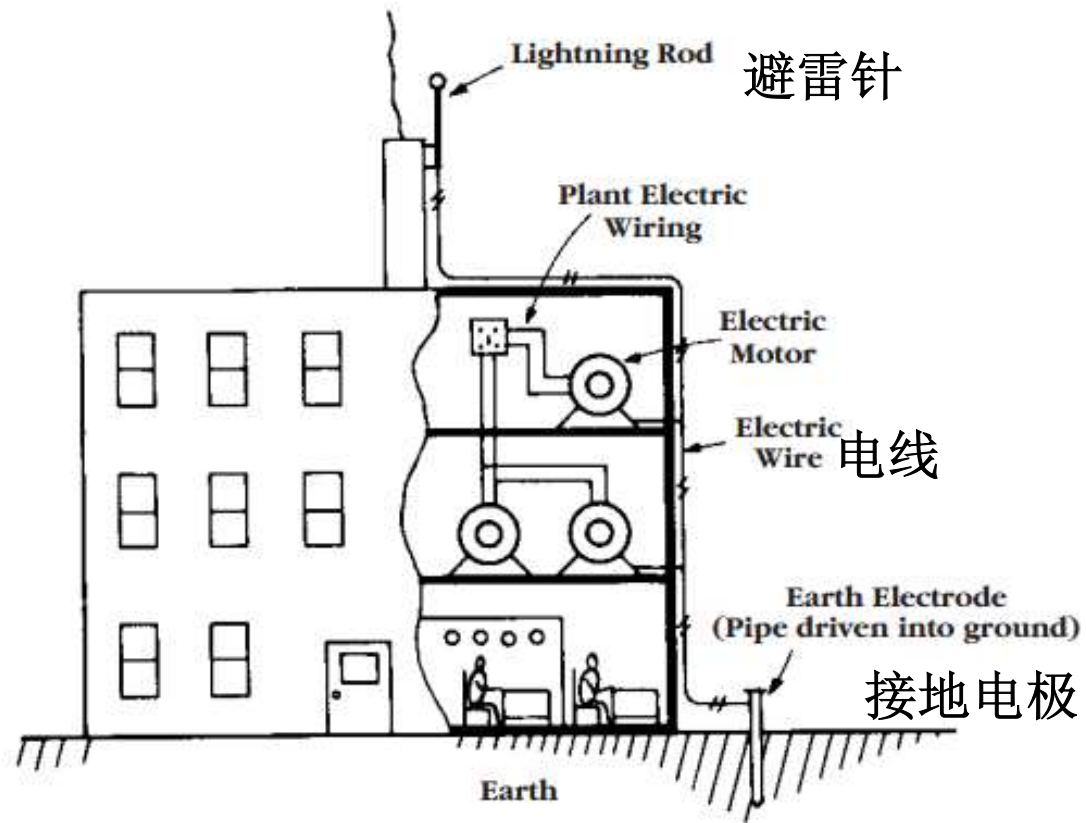
接地系统



接地系统



接地系统



两种基本的测试类型

- 泥土电阻率
 - 选择接地系统的地点和类型
- 接地系统电阻
 - 确保电阻足够低

泥土电阻率

理论

Megger[®]

泥土电阻率

■ 测试目的:

- 找到区域内尽可能最低的电阻
- 根据测量值设计接地系统

■ 影响泥土电阻率的因素

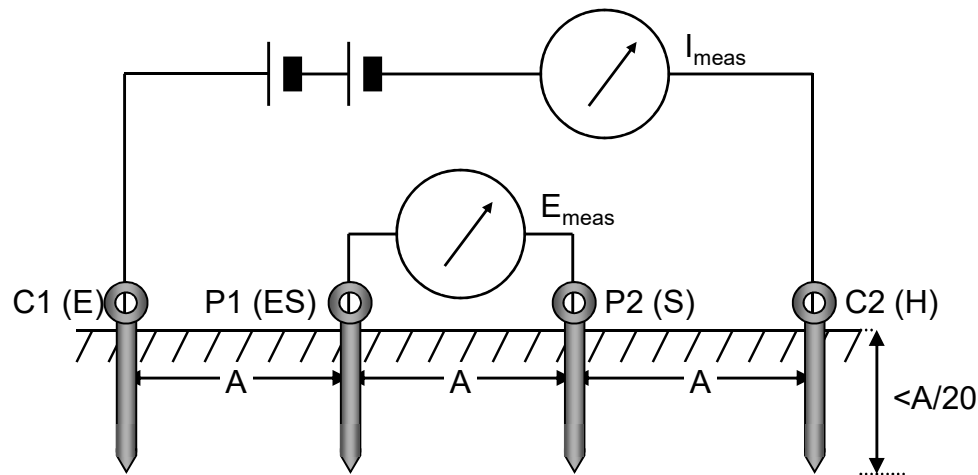
- 泥土成分
- 含水量
- 温度

■ 考虑因素

- 电阻率在一年之中会不断变化
- 地下水位处水含量比较恒定

泥土电阻率测试方法

- 目的：调查接地点附近电阻最低的点
- 方法：**4-极点 (Wenner 法)**



泥土电阻率, $\rho = 2\pi AR$ (Ωcm)

$$R = E_{\text{meas}} / I_{\text{meas}}$$

泥土电阻率测试项目

平均泥土电阻率， $\rho = 2\pi AR$ (Ωcm)

■ 变量

- ρ 是深度为**A**的泥土平均电阻率，单位是**ohm-cm**
- **A** 是桩间距离
- **R** 是接地电阻测试仪的电阻读数

■ 例如

- 计划安装**3**米长电极？
- 通过**3**米桩间距测试泥土电导率
- 测试电极的深度必须小于 $3/20 = <15\text{cm}$

接地系统电阻

理论

首先

- 接地系统定义
- 测试原因？
- 接地电极电阻组成部分

接地系统定义

■ 简单

- 通常由一个单一的打入地下的电极组成使用于建筑
 - 柱上变压器
 - 闪电防护

■ 复杂

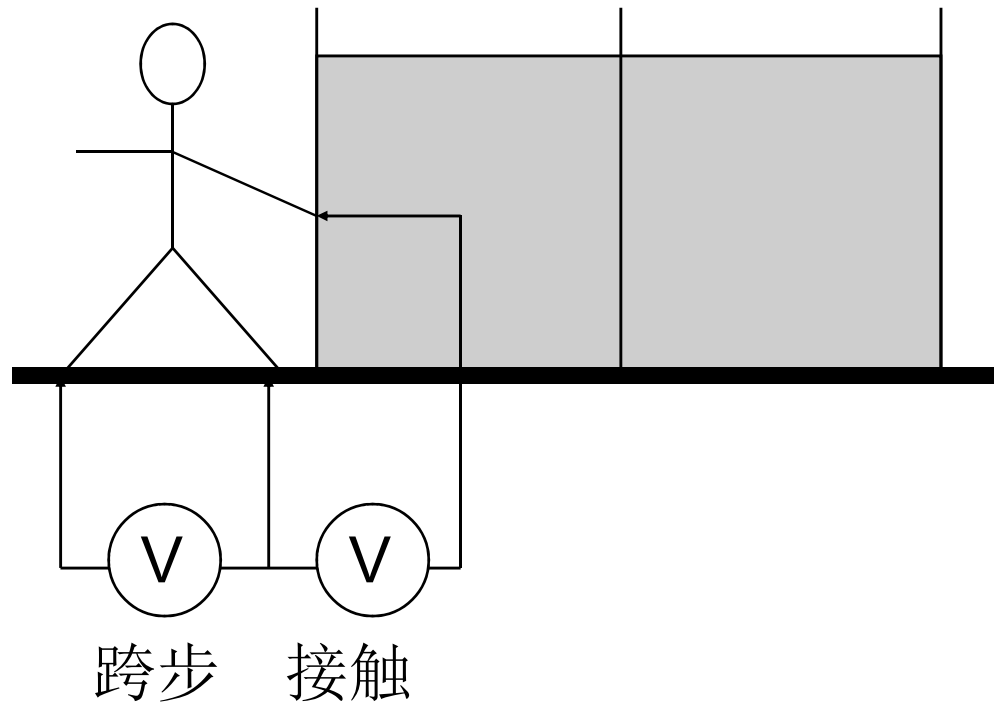
- 多个接地棒连接在一起，形成网络
 - 变电站
 - 发电厂
 - 电话交换机
 - 手机信号塔

为什么要测试接地系统？

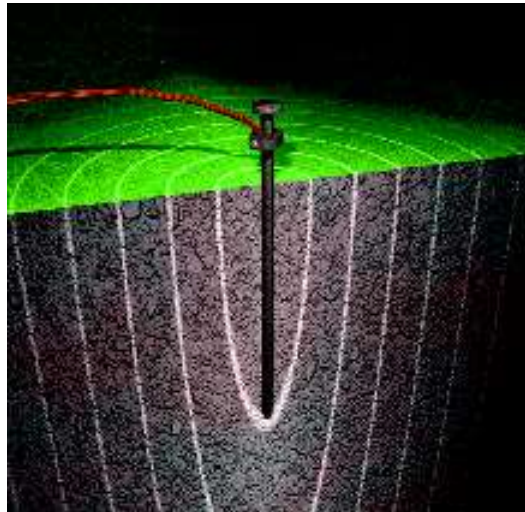
■ 为什么需要低接地电阻：

- 闪电保护Lightning protection
- 静态放电保护Static discharge protection
- 电磁干扰抑制EMC / RFI
- 故障电流保护Fault current protection
 - 使保护继电器在正确的时间动作Enable protective devices to operate in good time
 - Danger of shock from GPR (during fault)
 - 跨步电压Step potential
 - 接触电压Touch potential
 - 相邻导体Adjacent conductors

跨步和接触电压



接地电极电阻组成部分



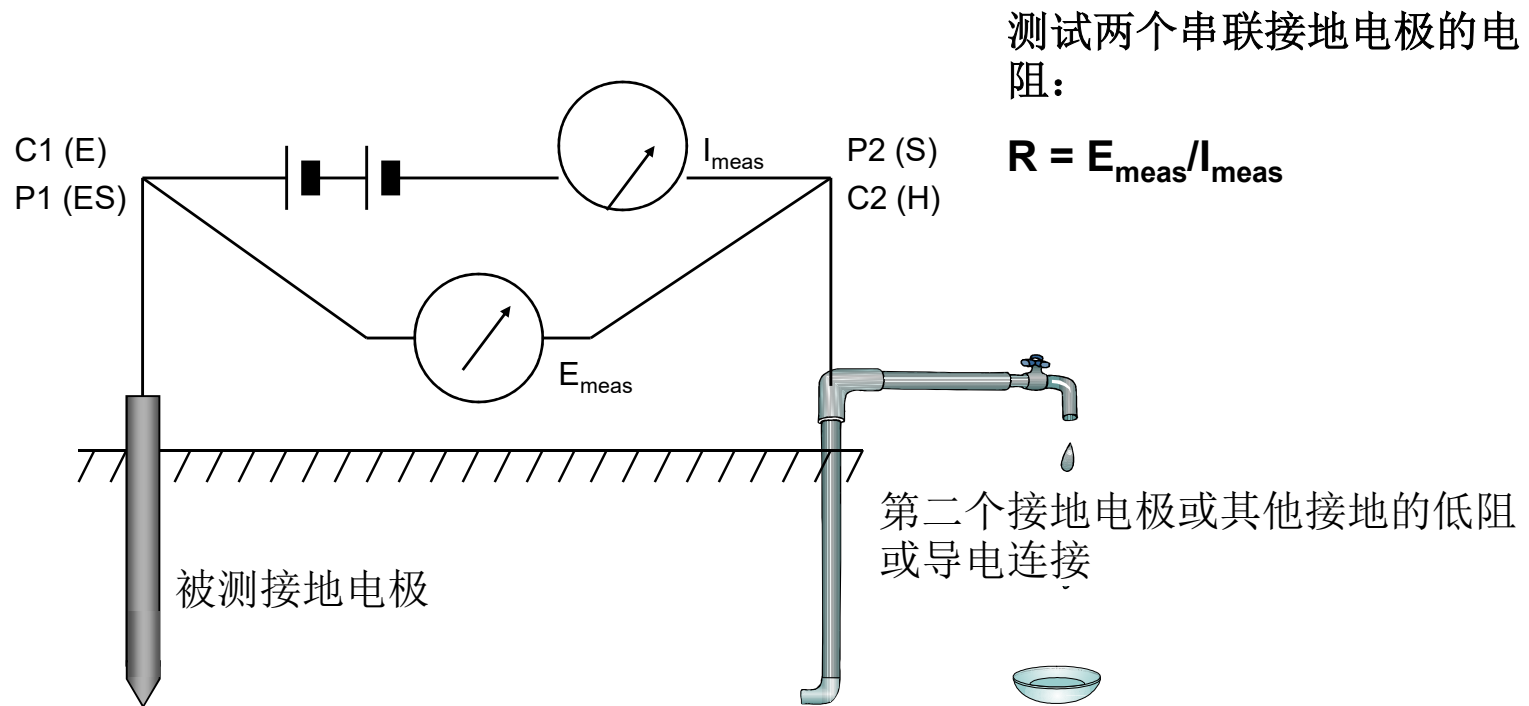
- 1 – 电极及其连接线的自身电阻
- 2 – 周围泥土和电极之间的接触电阻
- 3 – 泥土的电阻 – 可以看作由“壳”组成，并且形成一个个的圈

接地测试方法

- 2极: 直接测试
- 3极: 电势降落 – 完整的方法
- 3极: 电势降落 – 简单方法
- 3极: 斜率法
- 选择性测量: ART
- 无桩测试: 接地钳

2极: 直接测试

- 测试两个接地点的“耦合”

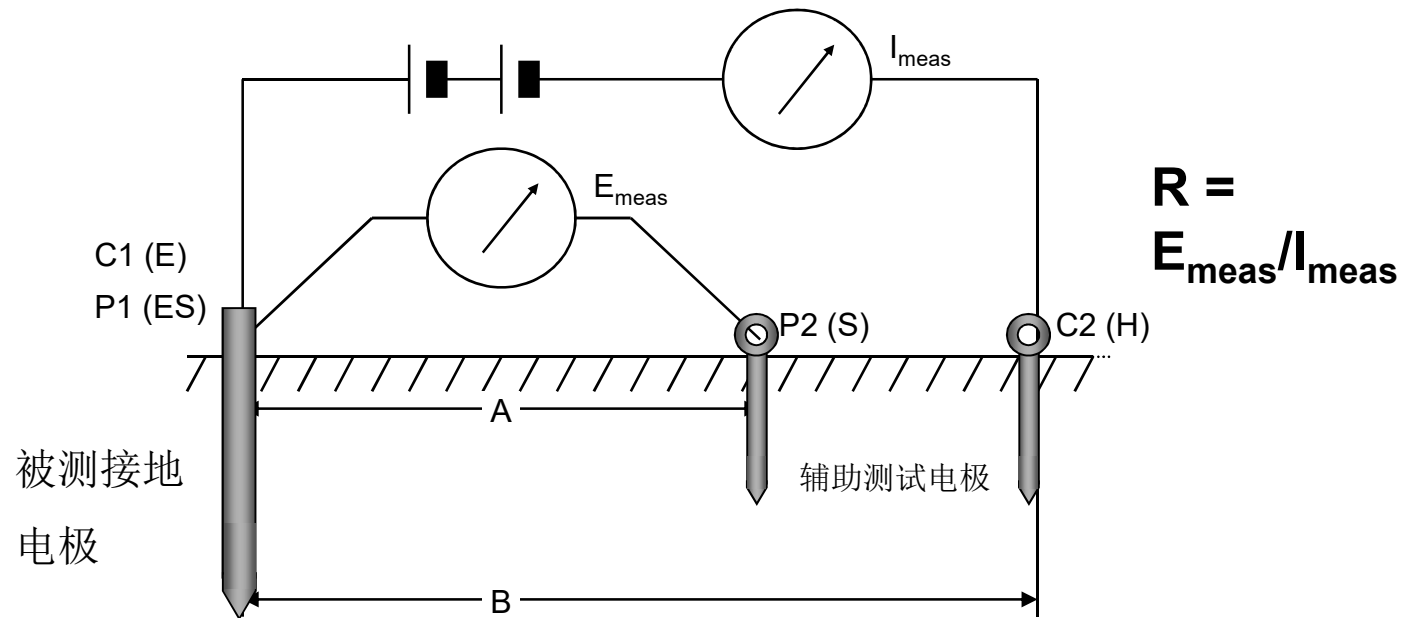


2极: 直接法测试的缺点

- 电阻回路的串联测量
- 测试精度取决于回路中所有元件的低电阻特性
- 必须断开接地电极以便进行测试

3极: 电势降法 (完整的方法)

- 典型的测试单电极或接地电极系统接地电阻的方法

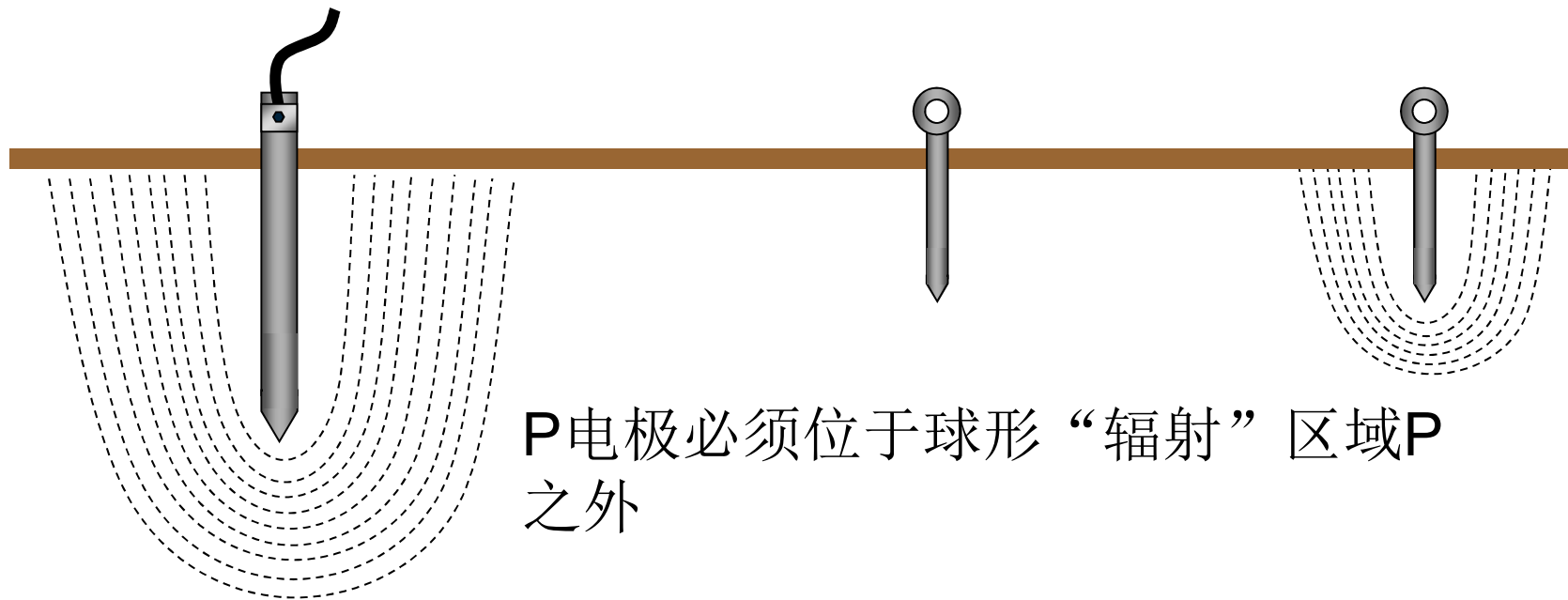


电势降 – 电流探头的球形影响

被测接地电极 (X)

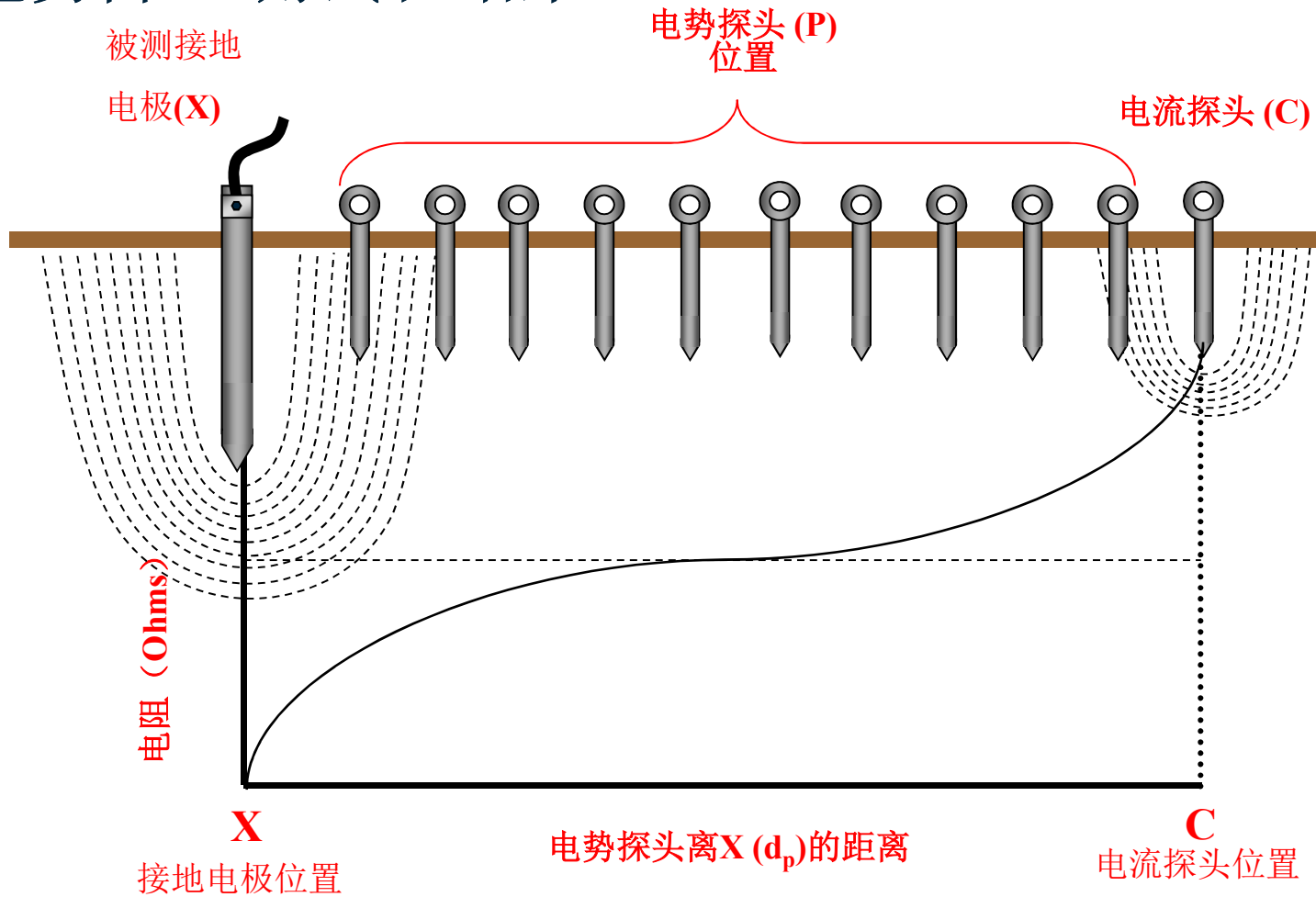
辅助电压探头 (P)

辅助电流探头(C)

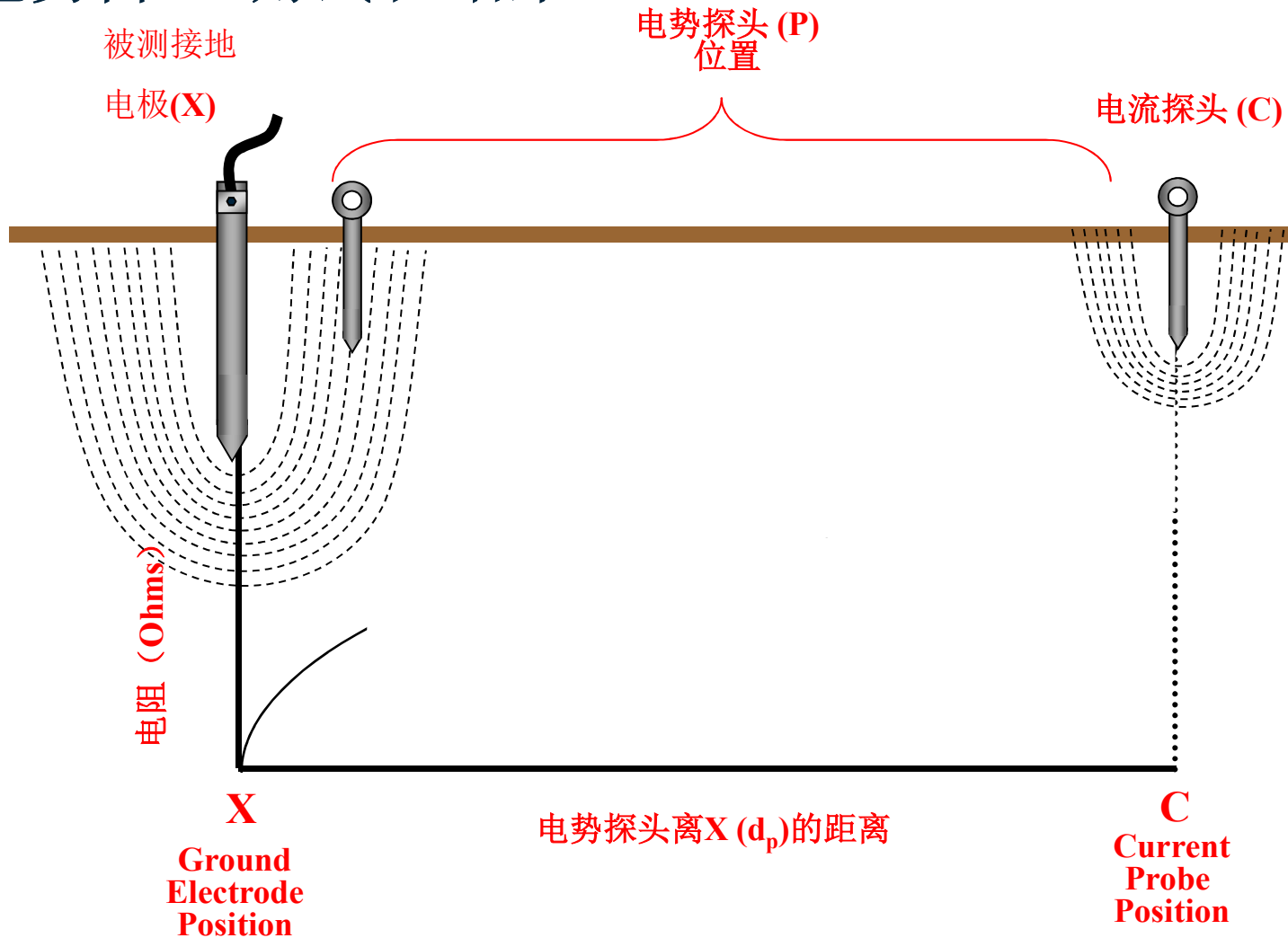


P电极必须位于球形“辐射”区域P之外

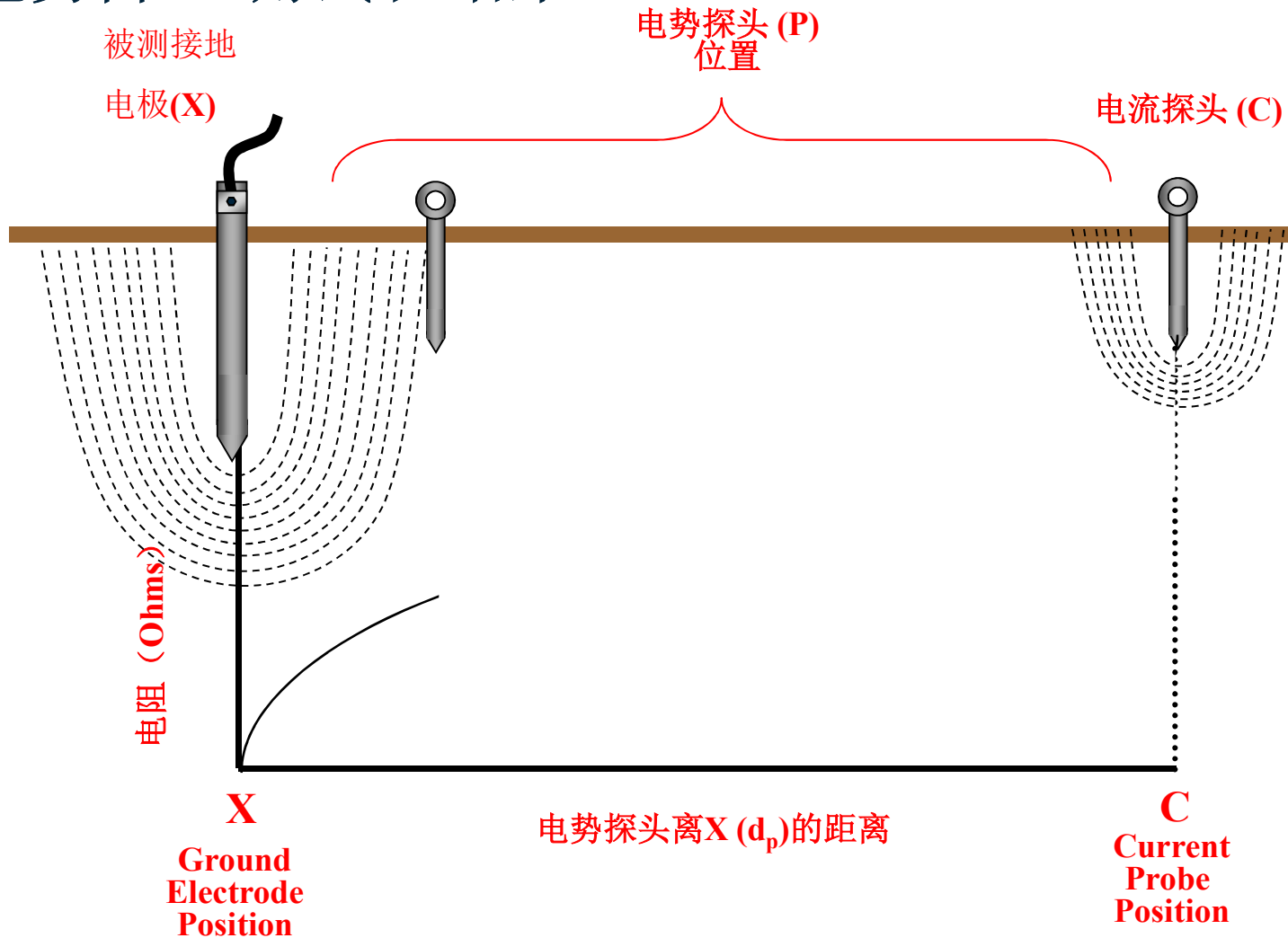
电势降 - 测试和结果



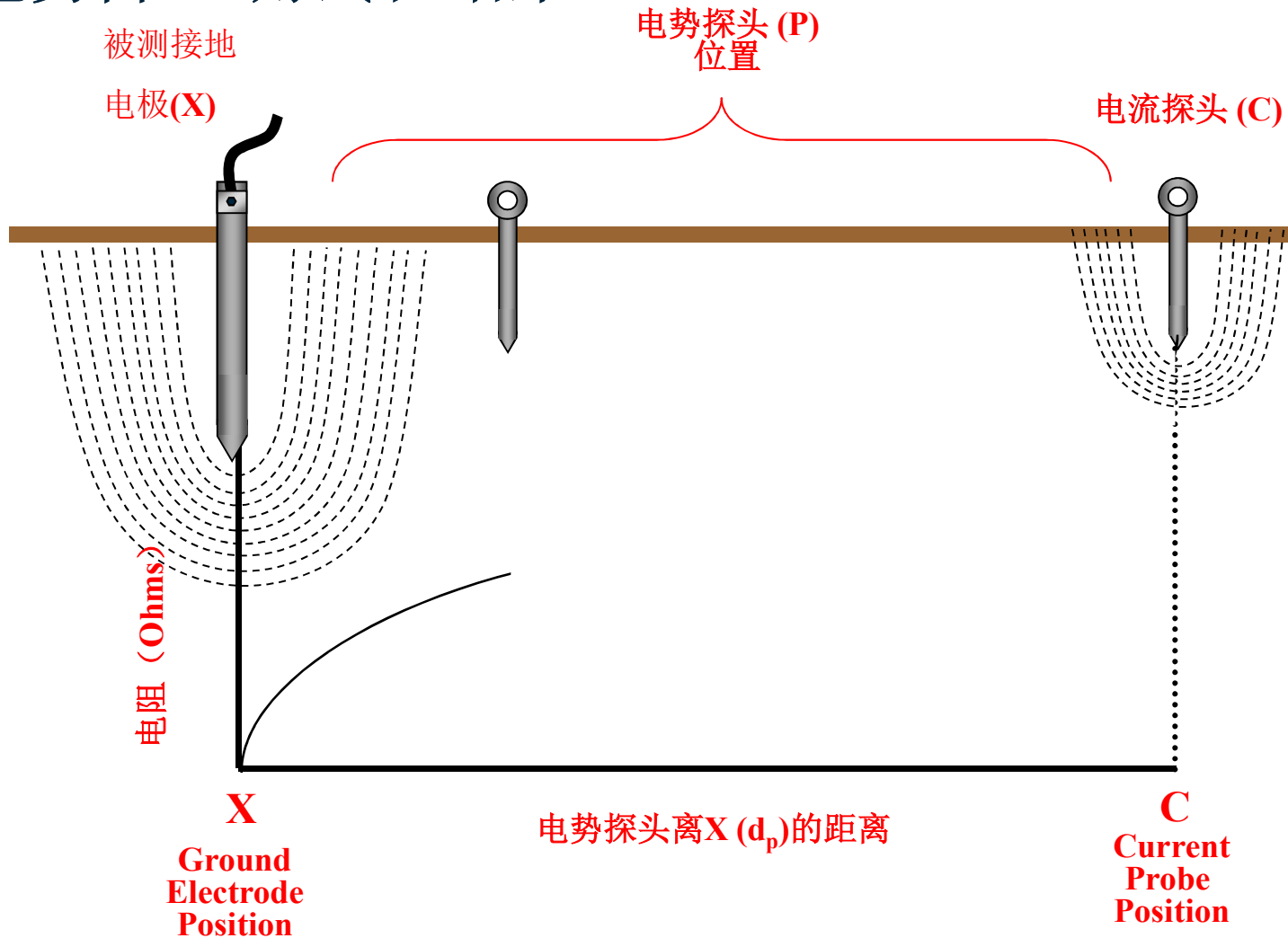
电势降 - 测试和结果



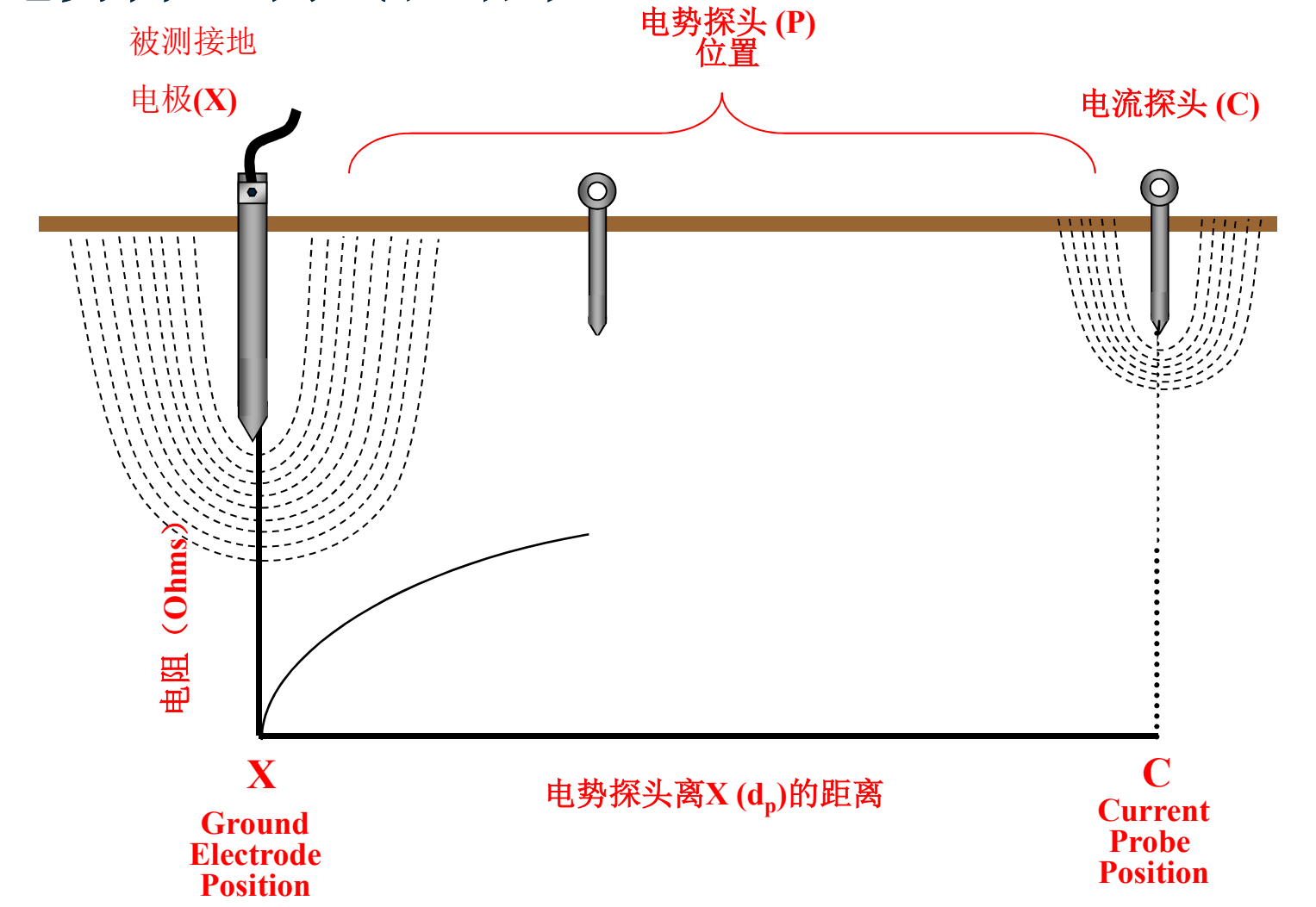
电势降 - 测试和结果



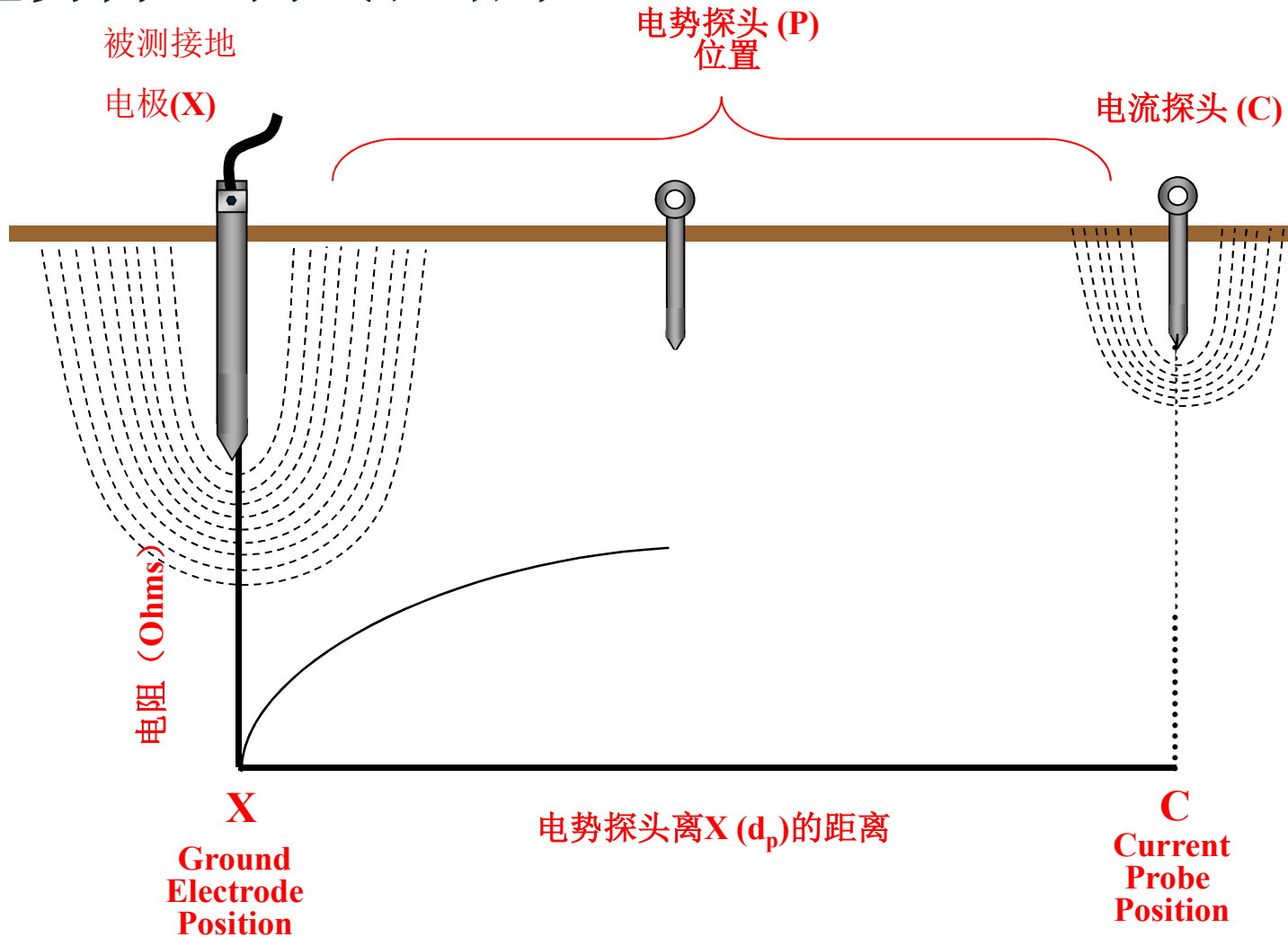
电势降 - 测试和结果



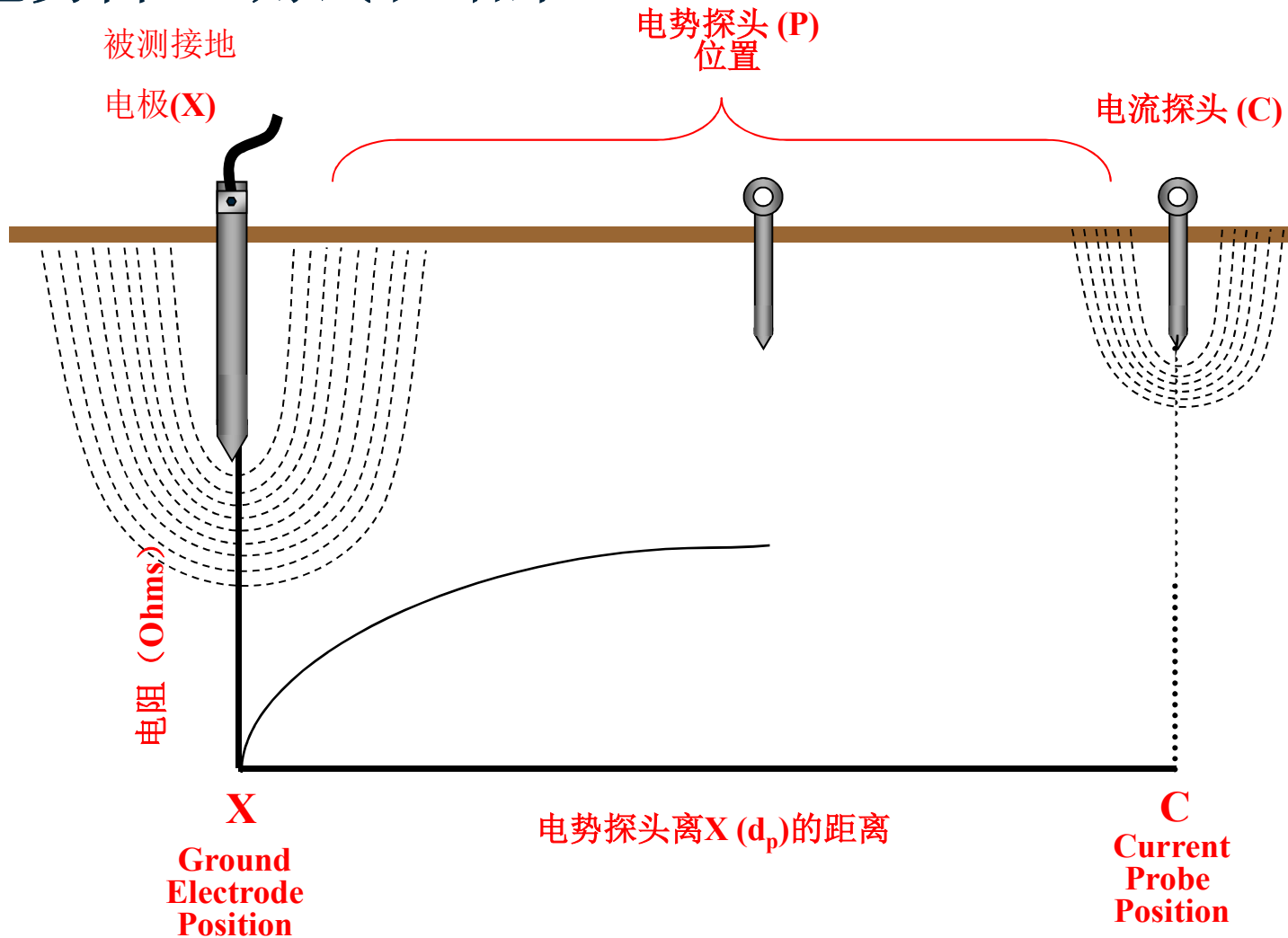
电势降 - 测试和结果



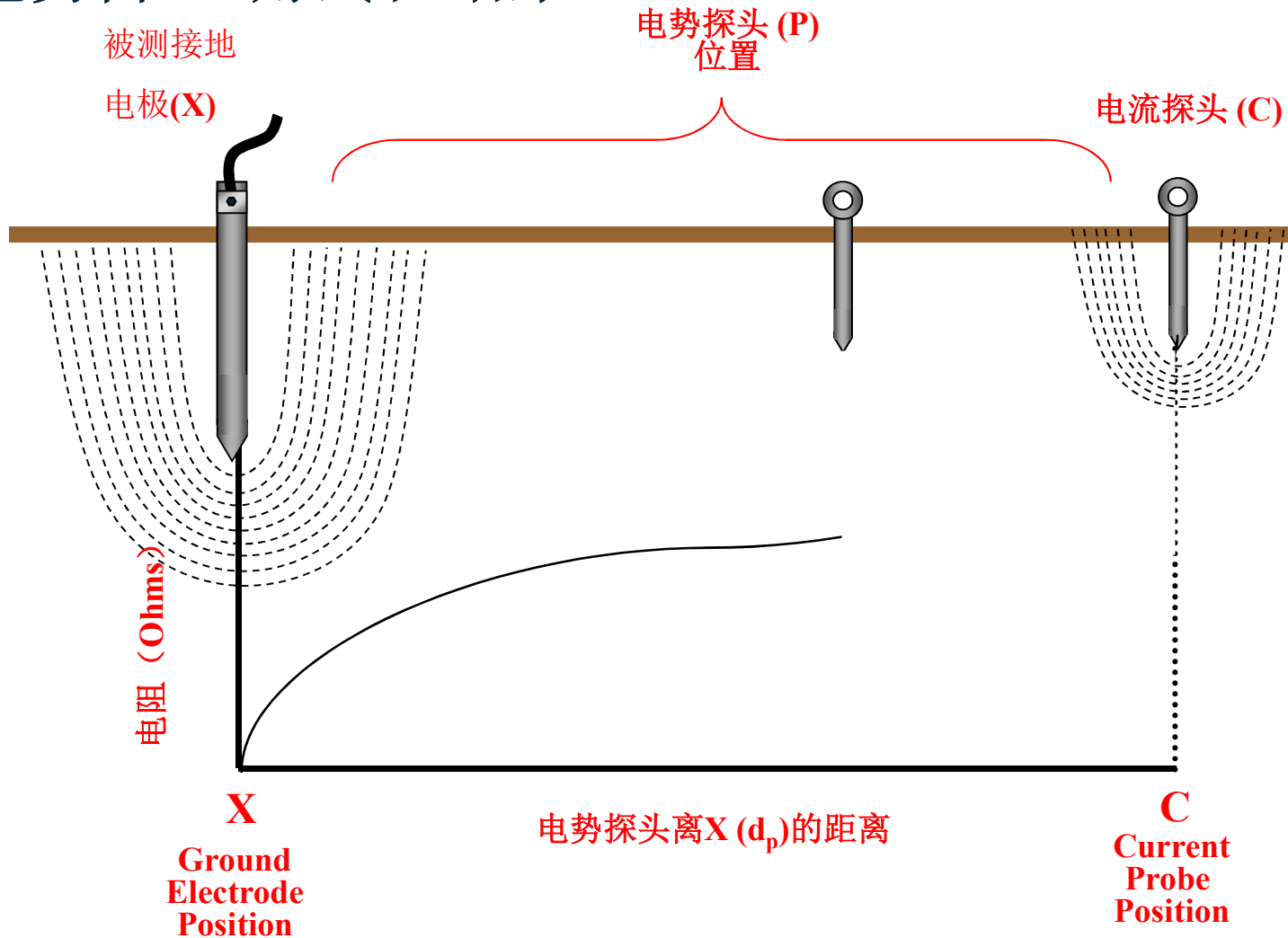
电势降 - 测试和结果



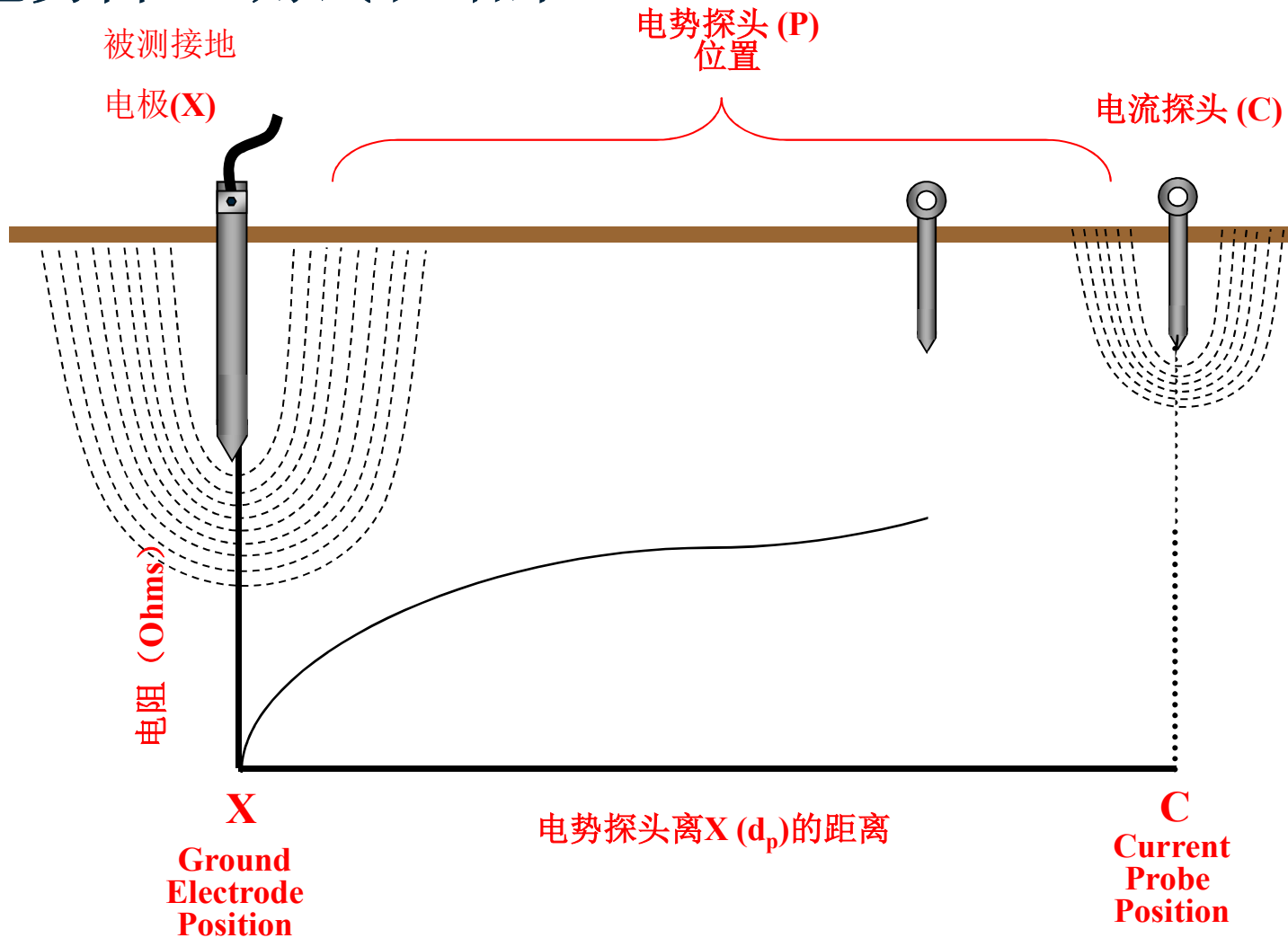
电势降 - 测试和结果



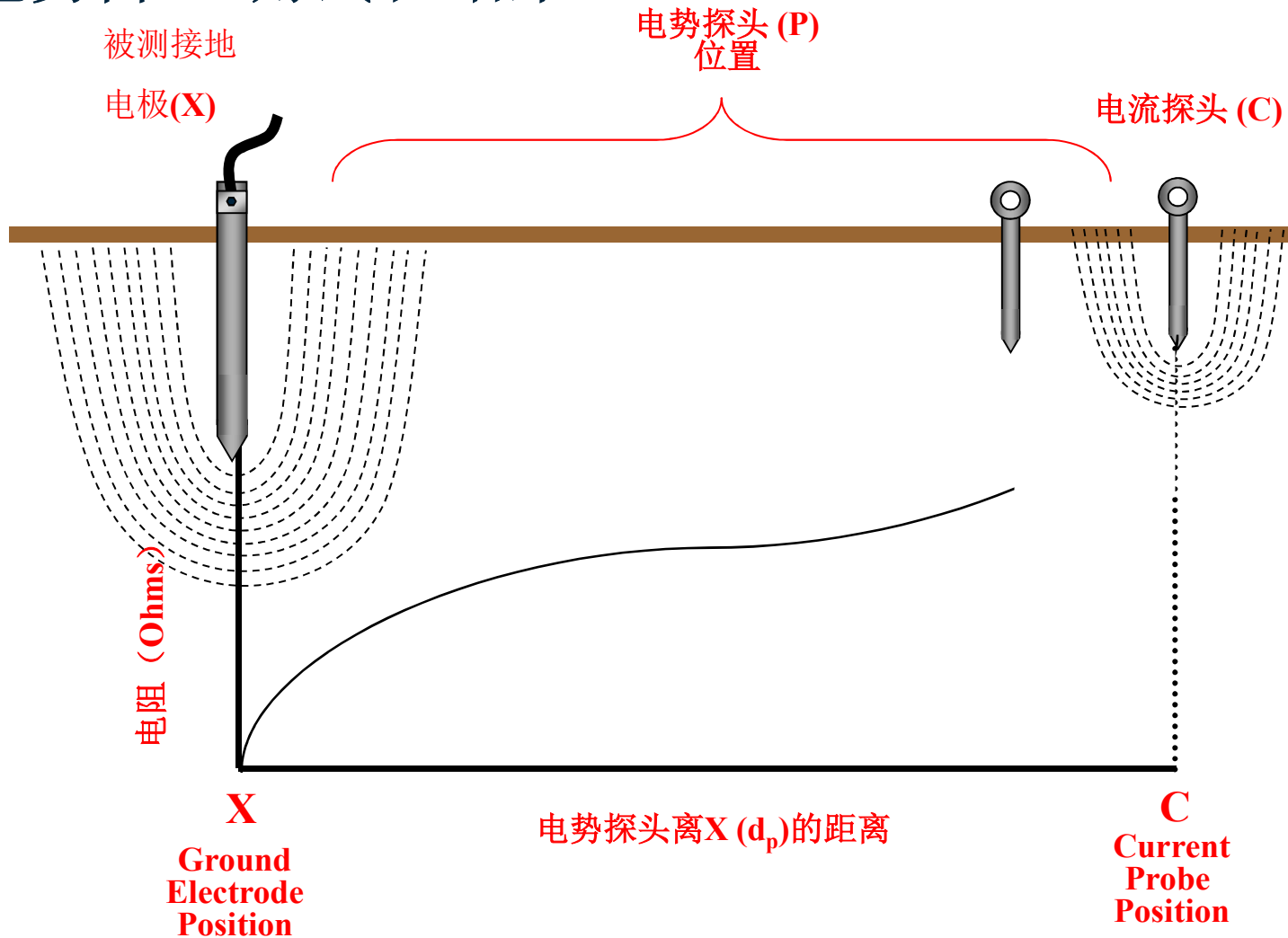
电势降 - 测试和结果



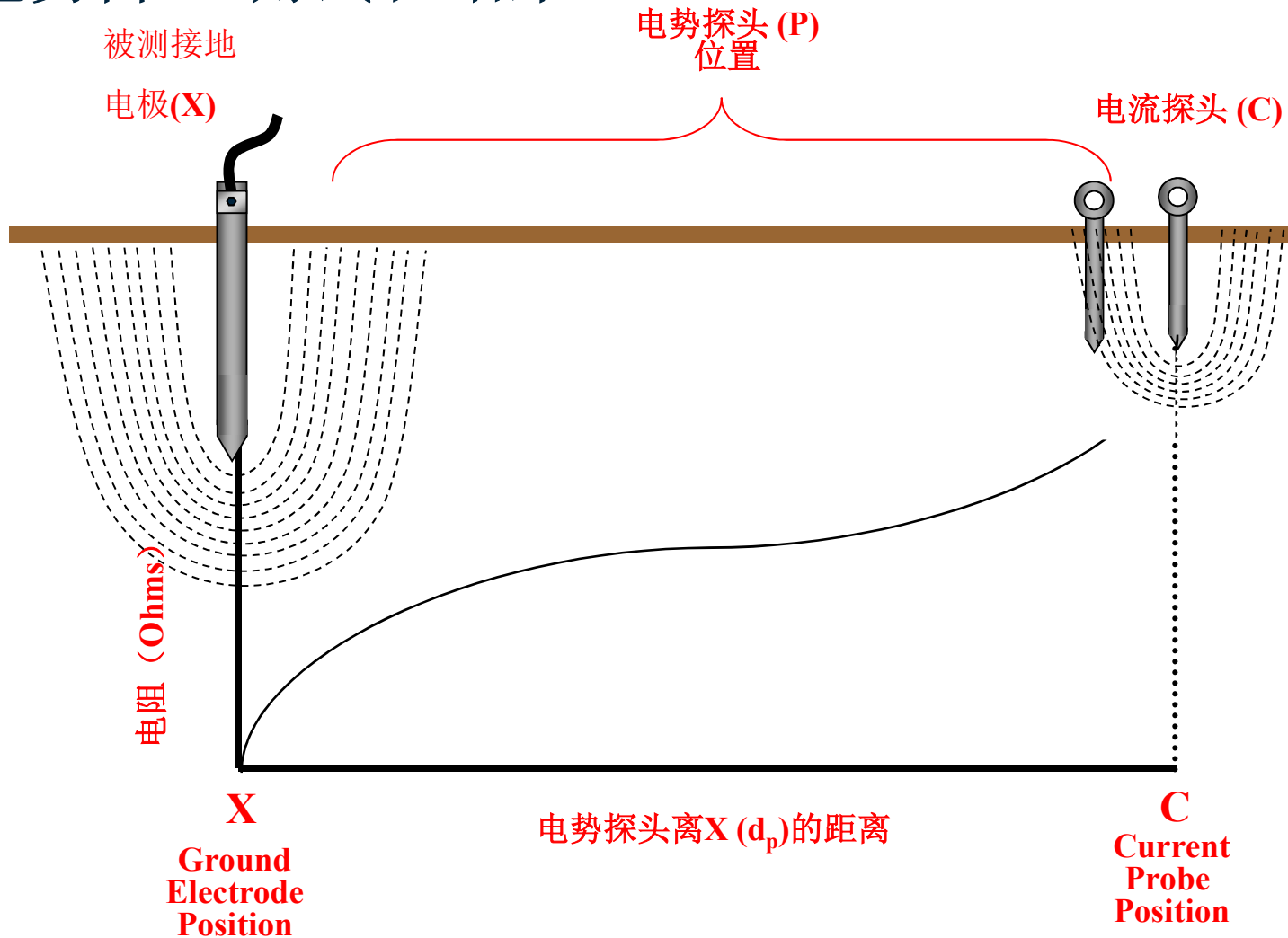
电势降 - 测试和结果



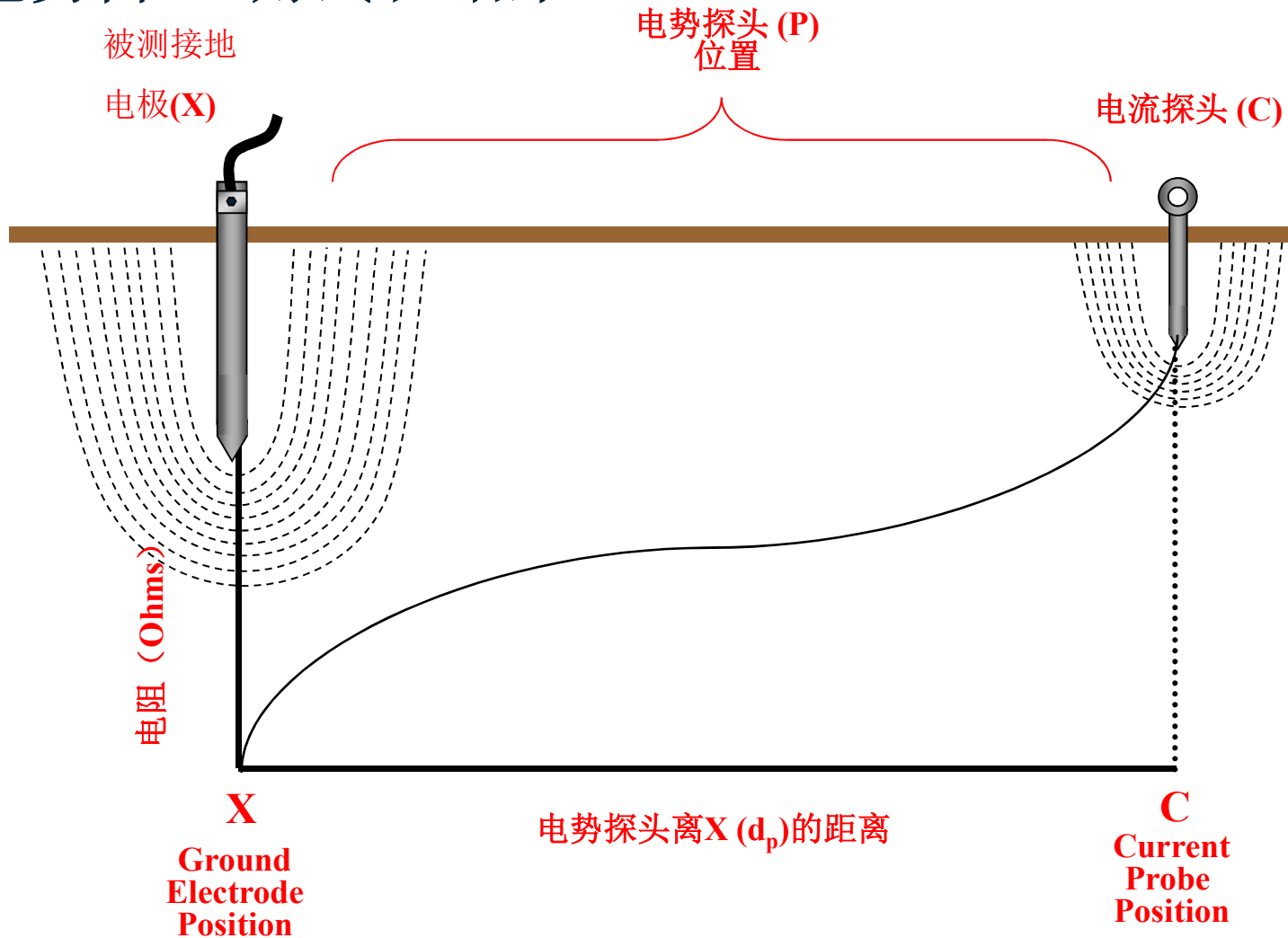
电势降 - 测试和结果



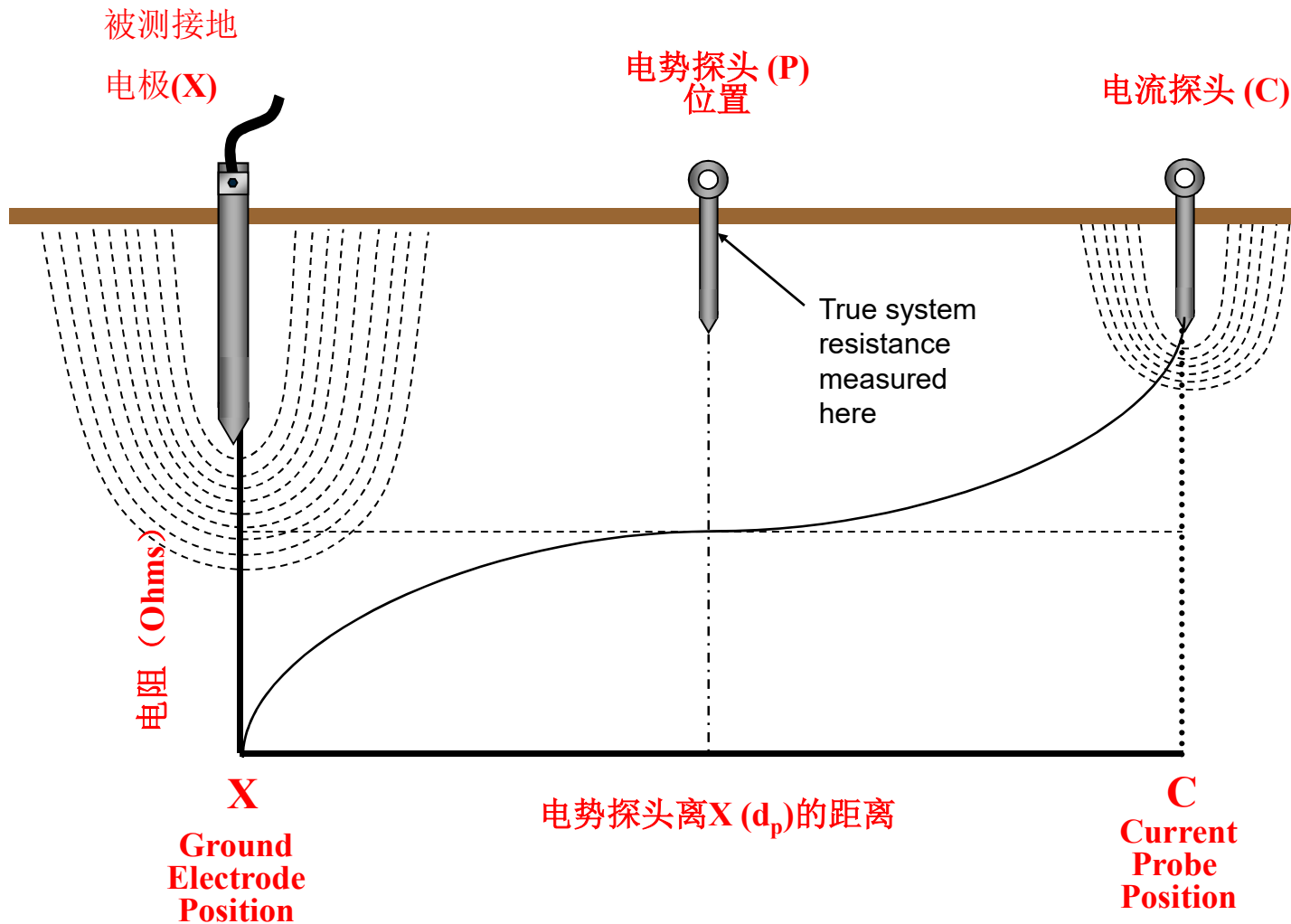
电势降 - 测试和结果



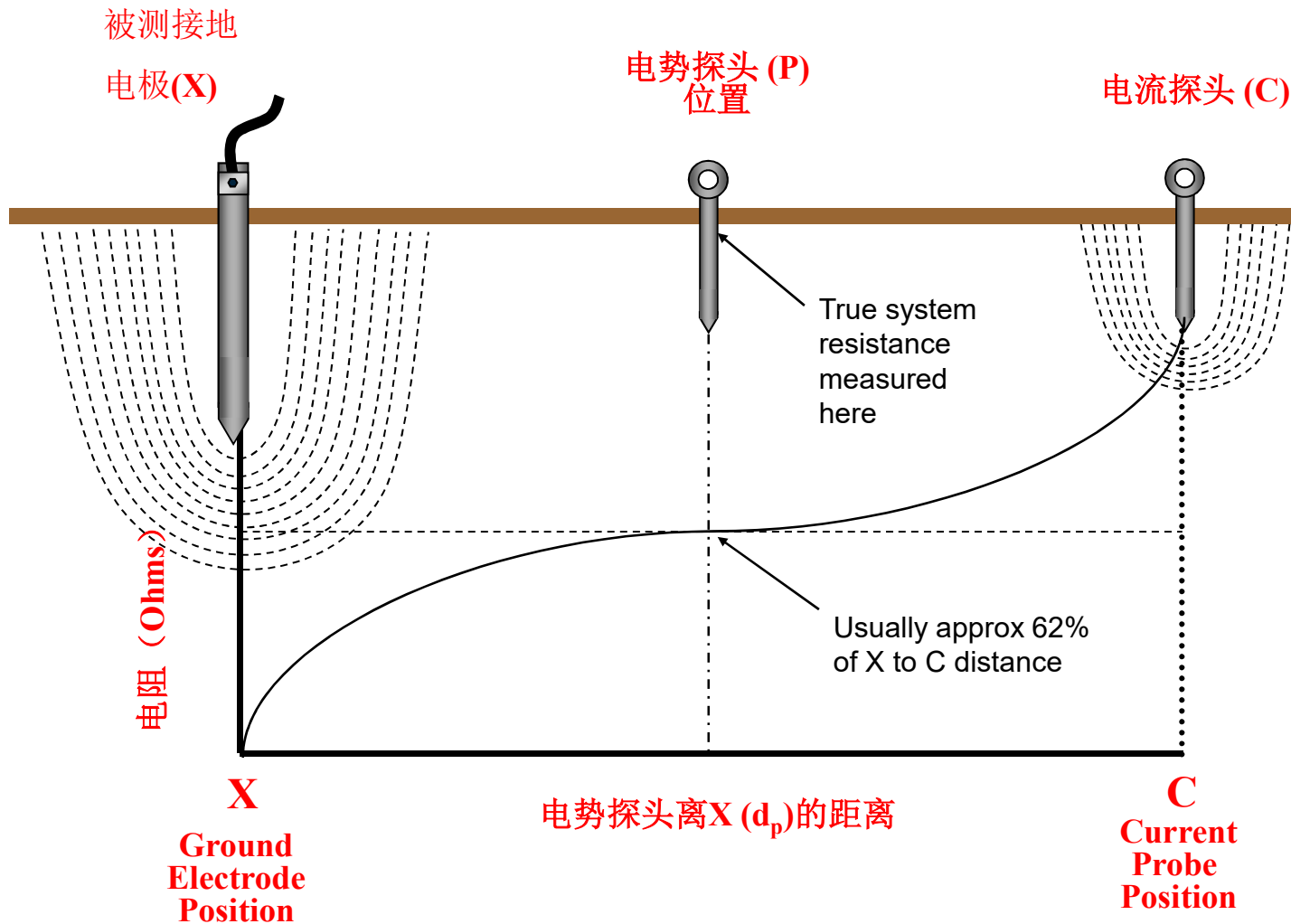
电势降 - 测试和结果



电势降 - 测试和结果



电势降 - 测试和结果



典型的探头位置

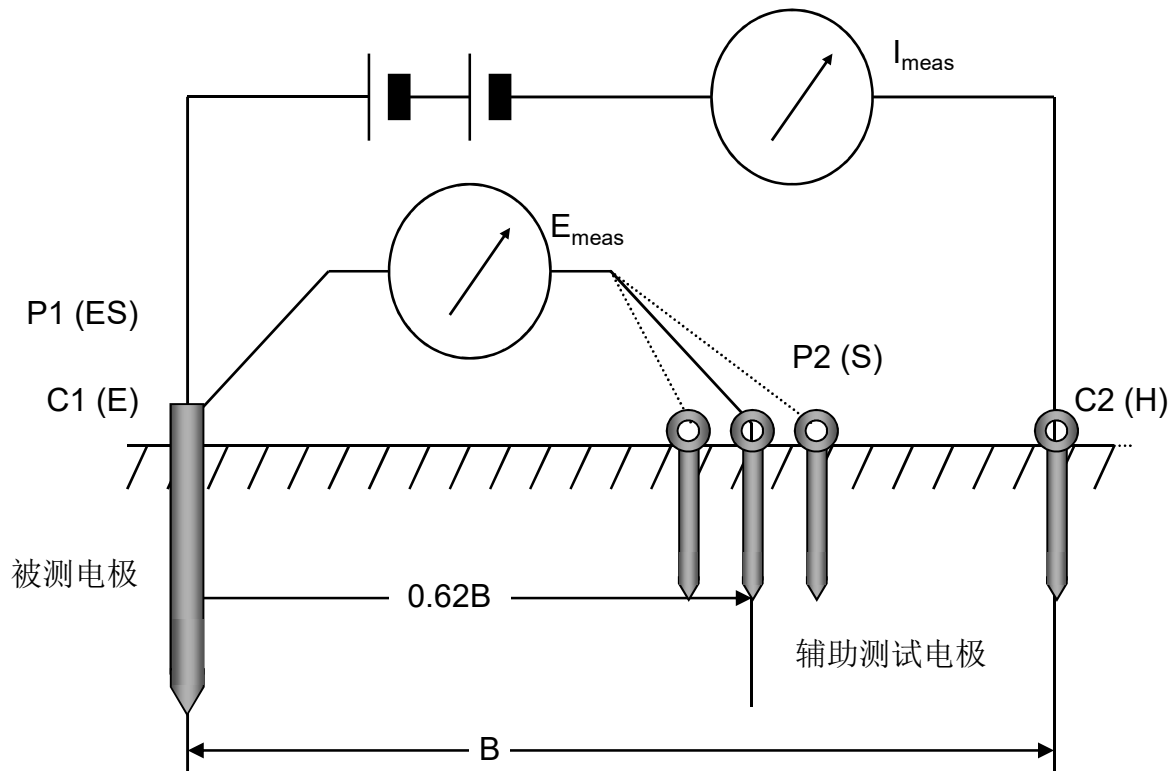
- 取决于被测电极的深度
 - 2m – C 桩离电极约25m
 - 3m – C桩离电极约30m
 - 6m – C桩离电极约40m
 - 10m – C桩离电极约50m
- 如果您没有得到平坦的曲线部分
 - 移动C桩再试一次

电势降方法 – 缺点

- 及其耗费时间和人力
 - 必须放置临时探头
 - 必须拉电缆进行连接
- 空间限制可能会使探头的放置变得困难（探头往往在几十米开外）
- 必须将接地电极解除连接，以便测量

3极: 电势降 (简化法)

- 简化法基于减少测试次数，节省时间



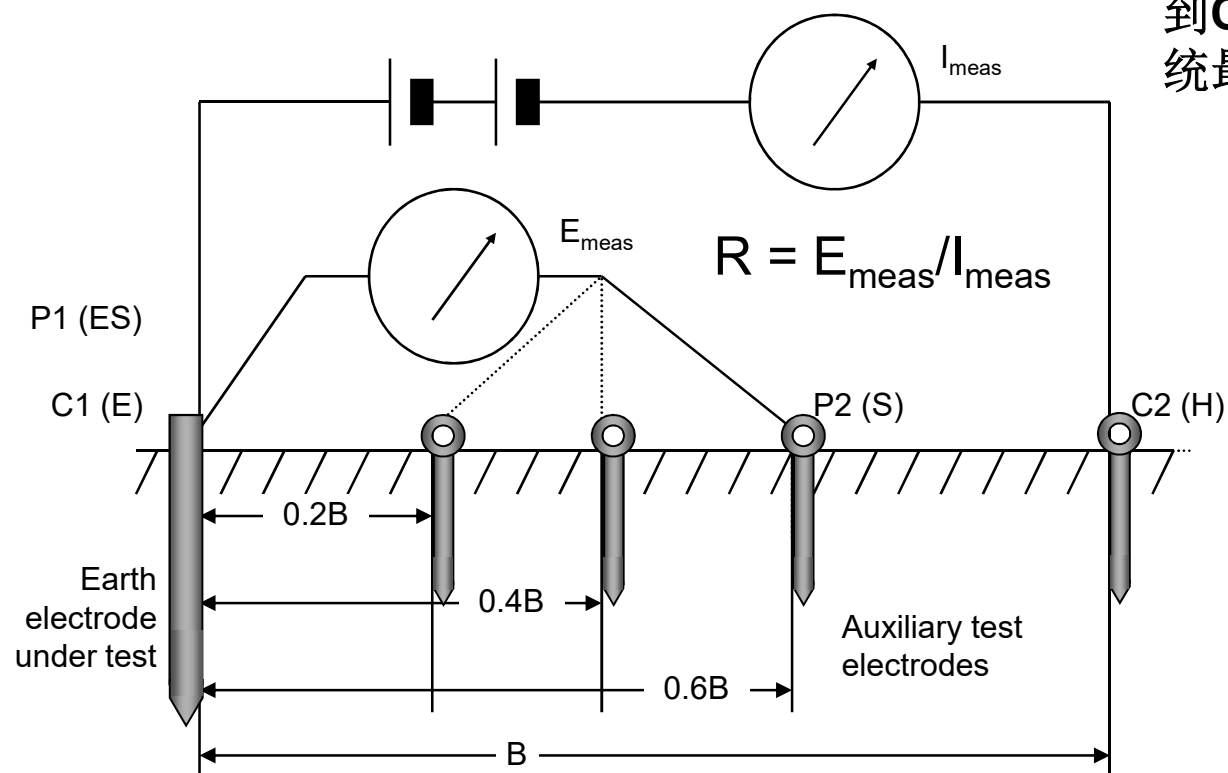
$$R = E_{meas} / I_{meas}$$

电势降法(简化法) – 缺点

- 精度稍差
- 空间限制可能会使探头放置出现麻烦
- 必须将接地电极解除连接，以便测量

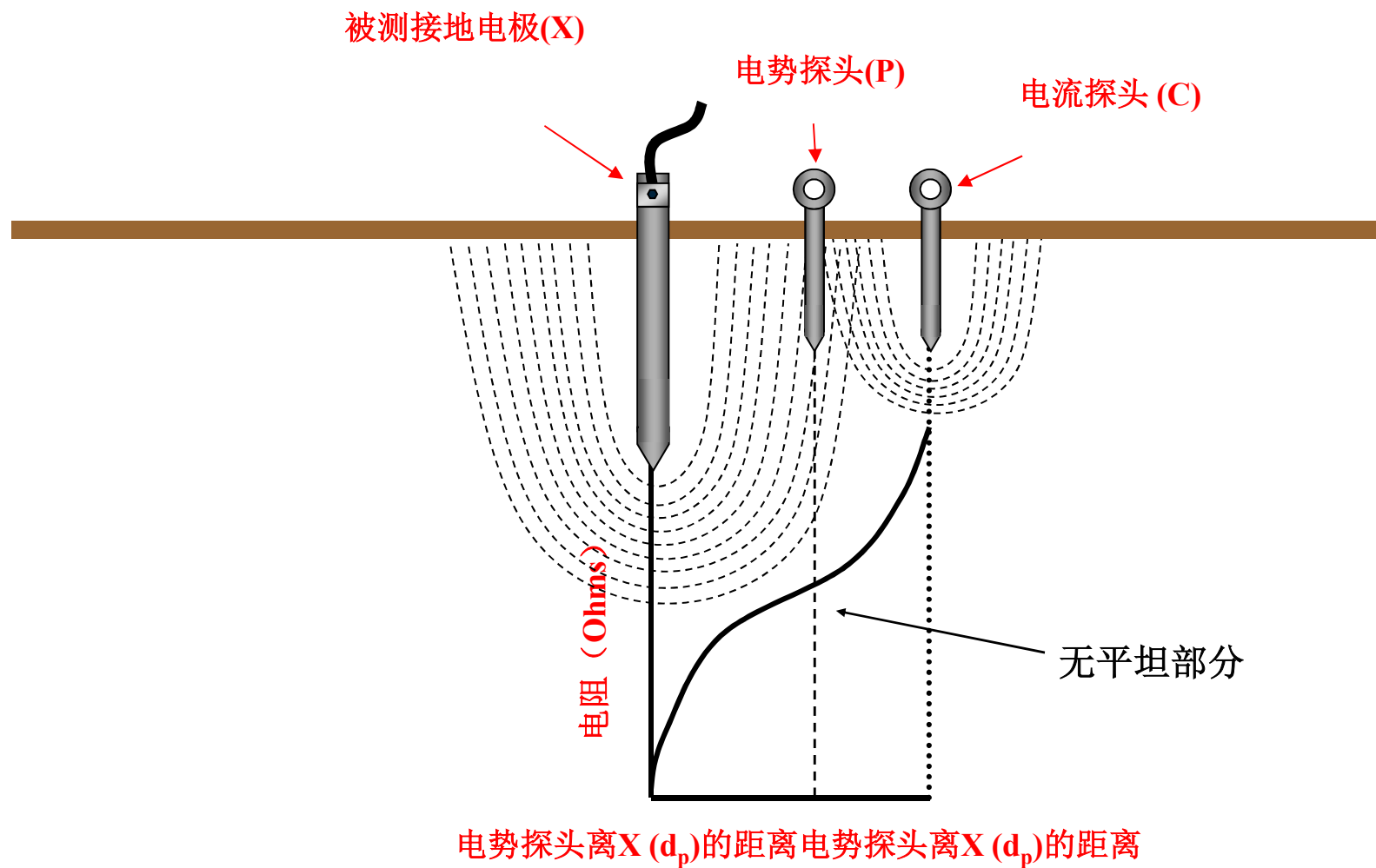
3极: 斜率法

- 在有限制的地点使用的替代法



到C探头的距离是接地系统最大尺寸的**2到3倍**

3极: 斜率法

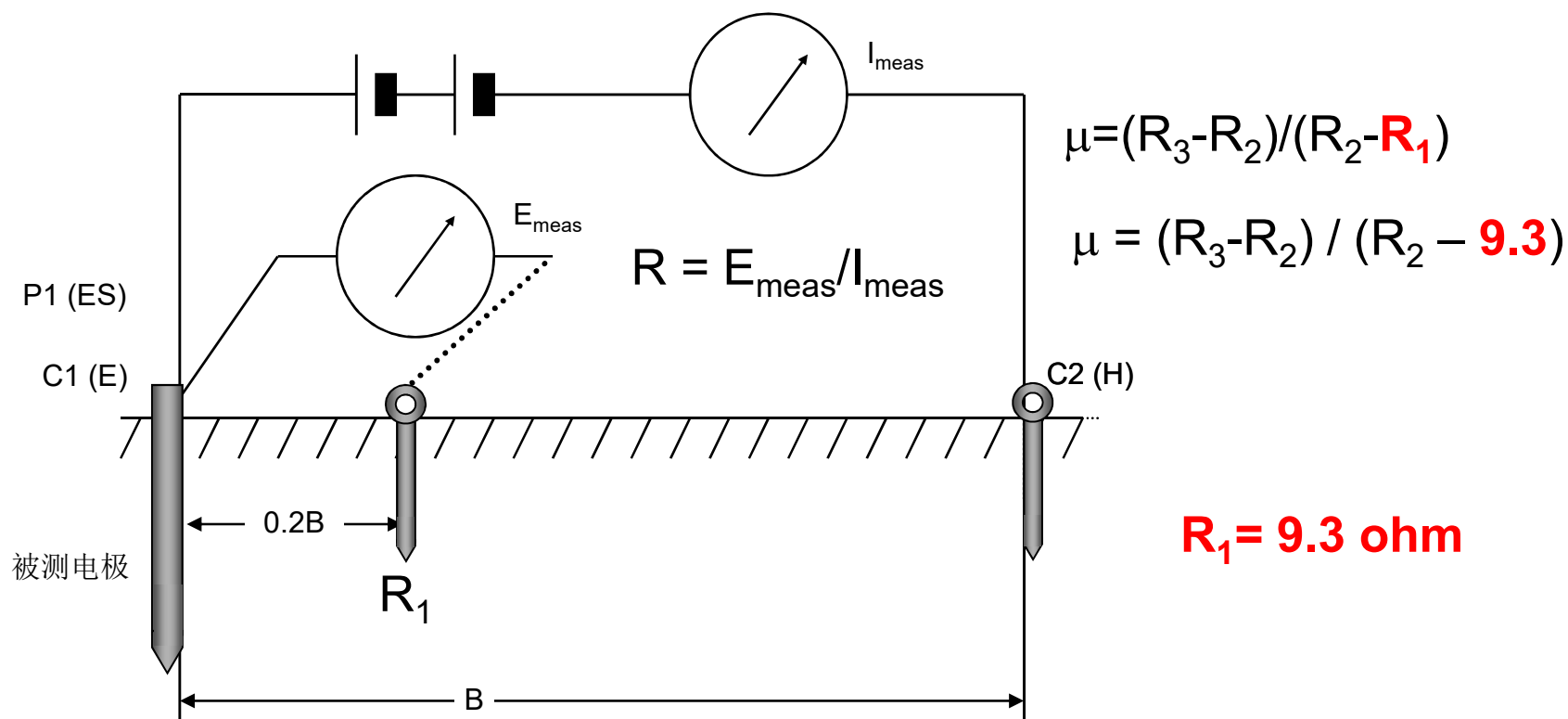


3极: 斜率法

- 按照常规的方法在被测电极和C2电流探头的一直线上改变P2 (电压) 桩的位置。
- 测试每个点的电阻, 绘制R与距离关系的曲线。
- 测试0.2B、 0.4B 和 0.6B处的电阻: R1, R2 和 R3。
- 斜率系数 $m=(R3-R2)/(R2-R1)$ 表达了距离B及理想的测试电阻的地点。

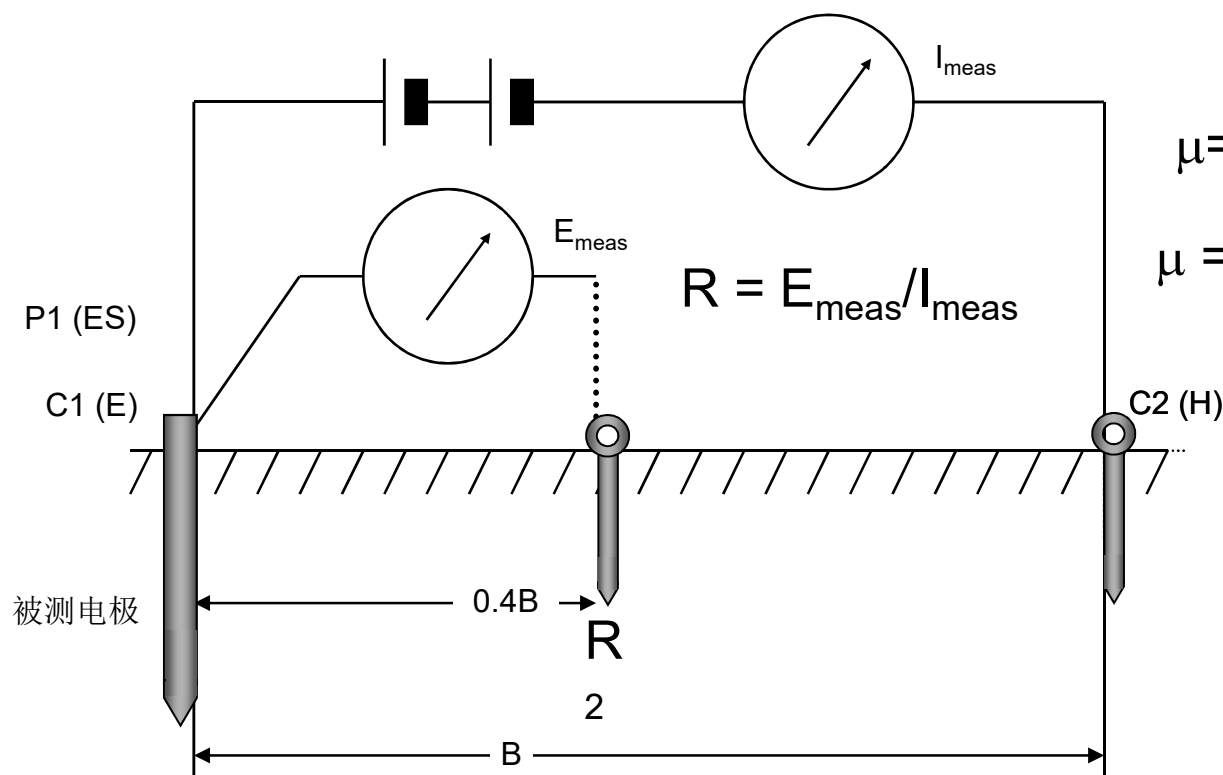
3极: 斜率法

■ 在20%距离处测试 R1



3极: 斜率法

■ 在40%距离处测试 R2



$$\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$$

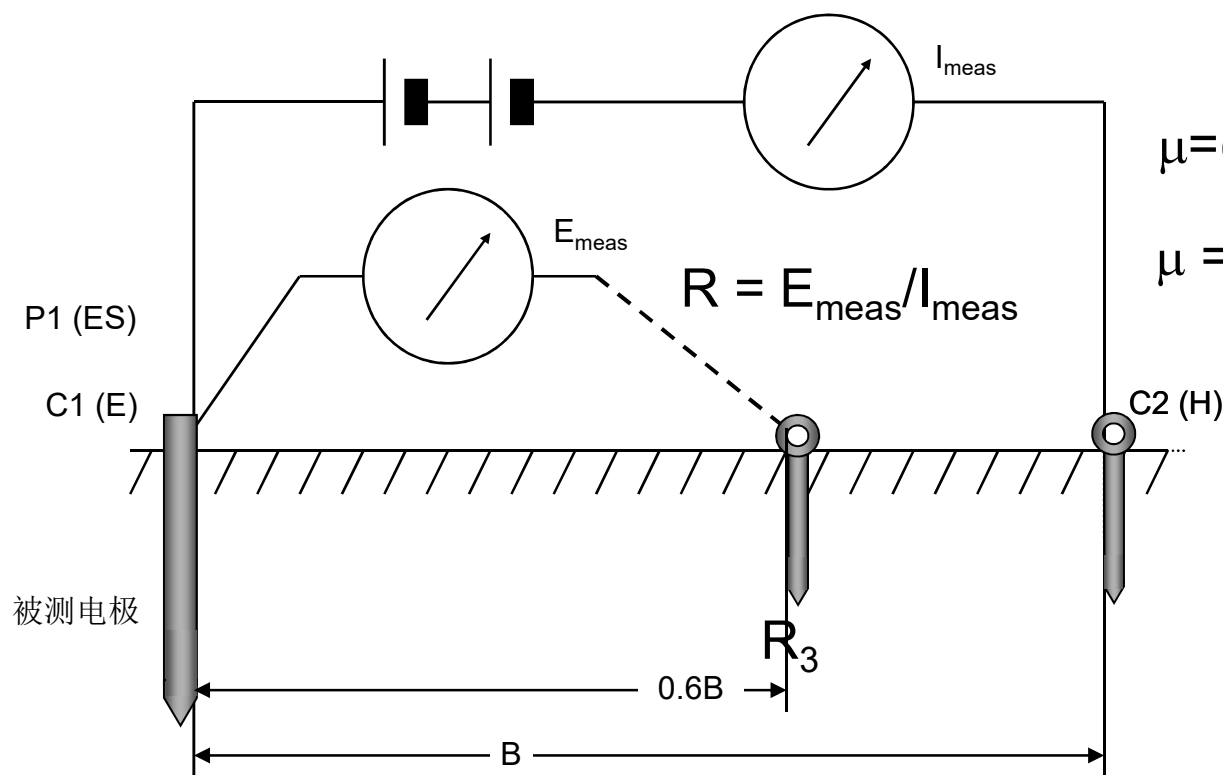
$$\mu = (R_3 - 16) / (16 - 9.3)$$

$$R_1 = 9.3 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 16 \text{ ohm}$$

3极: 斜率法

■ 在60%距离处测试 R3



$$\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$$

$$\mu = (19.2 - 16) / (16 - 9.3)$$

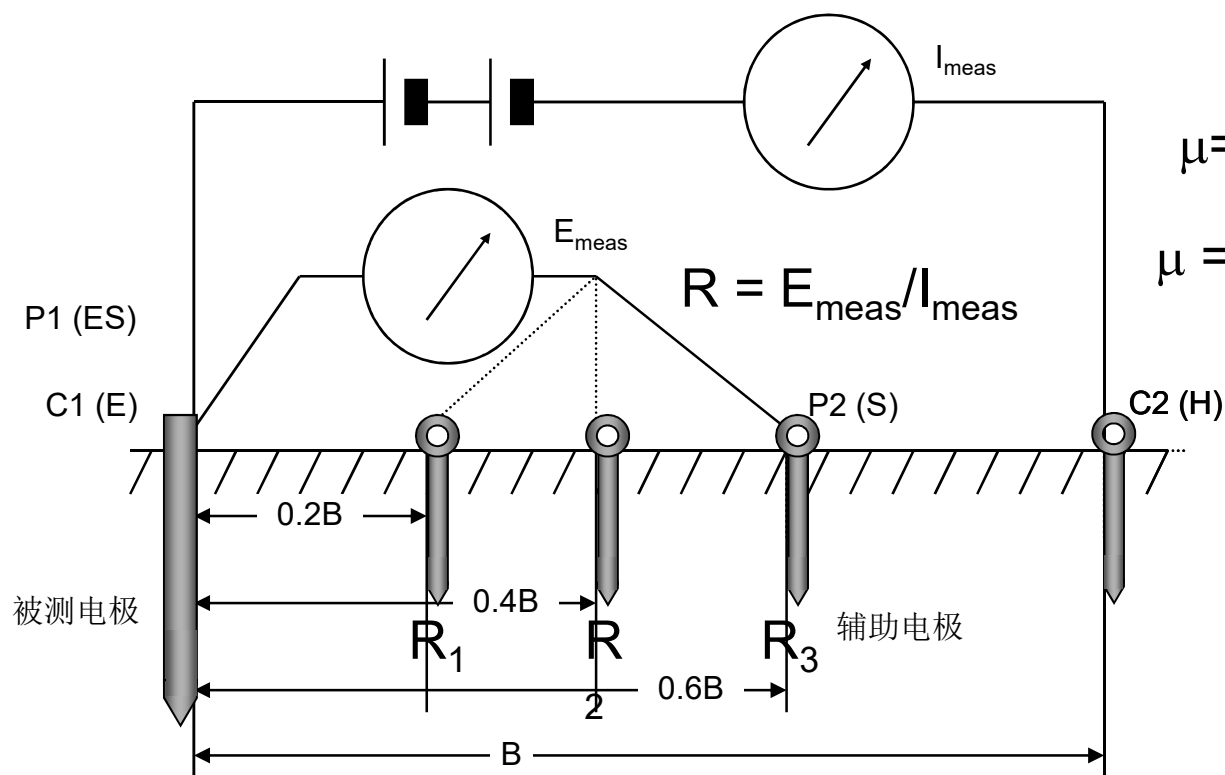
$$R_1 = 9.3 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 16 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 19.2 \text{ ohm}$$

3极: 斜率法

■ 计算 μ



$$\mu = (R_3 - R_2) / (R_2 - R_1)$$

$$\mu = (19.2 - 16) / (16 - 9.3)$$

$$\mu = 0.478$$

3极: 斜率法

- 斜率与实际的P桩的位置关系表公布在用户手册中
- 使用计算出的 μ ， 从表中选择测试电阻的电压桩的最佳位置 (P2)。

3极: 斜率法

$$\mu = 0.478$$

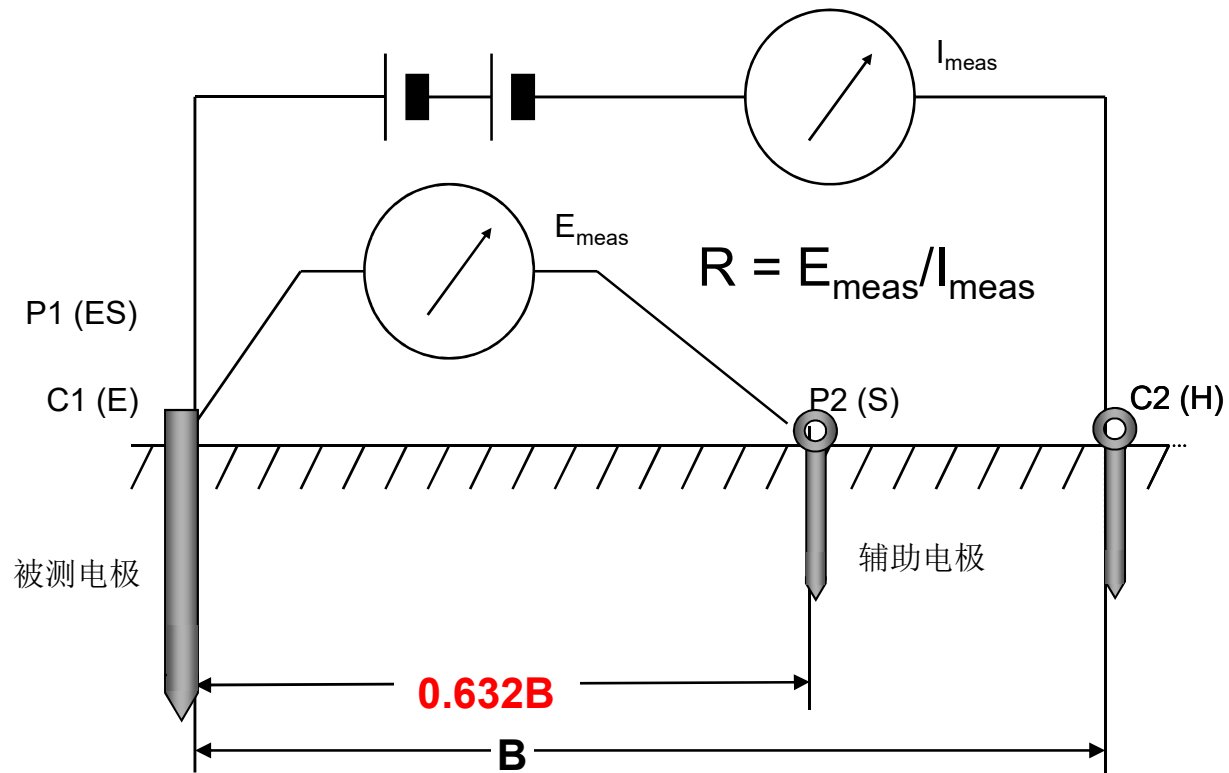
Chart for use with the Slope Method

Values of P_{II} / E_C for Values of μ

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.40	0.6432	0.6431	0.6429	0.6428	0.6426	0.6425	0.6423	0.6422	0.6420	0.642
0.41	0.6418	0.6417	0.6415	0.6414	0.6412	0.6411	0.641	0.6408	0.6407	0.6406
0.42	0.6404	0.6403	0.6401	0.64	0.6398	0.6397	0.6395	0.6394	0.6393	0.6391
0.43	0.639	0.6388	0.6387	0.6385	0.6384	0.6383	0.6381	0.638	0.6378	0.6377
0.44	0.6375	0.6374	0.6372	0.6371	0.637	0.6368	0.6367	0.6365	0.6364	0.6362
0.45	0.6361	0.6359	0.6358	0.6357	0.6355	0.6354	0.6352	0.6351	0.6349	0.6348
0.46	0.6346	0.6345	0.6344	0.6342	0.6341	0.6339	0.6338	0.6336	0.6335	0.6333
0.47	0.6332	0.633	0.6329	0.6328	0.6326	0.6325	0.6323	0.6322	0.632	0.6319
0.48	0.6317	0.6316	0.6314	0.6313	0.6311	0.631	0.6308	0.6307	0.6306	0.6304
0.49	0.6303	0.6301	0.63	0.6298	0.6297	0.6295	0.6294	0.6292	0.6291	0.6289
0.50	0.6288	0.6286	0.6285	0.6283	0.6282	0.628	0.6279	0.6277	0.6276	0.6274

3极: 斜率法

■ 在**0.632B**处测试电阻



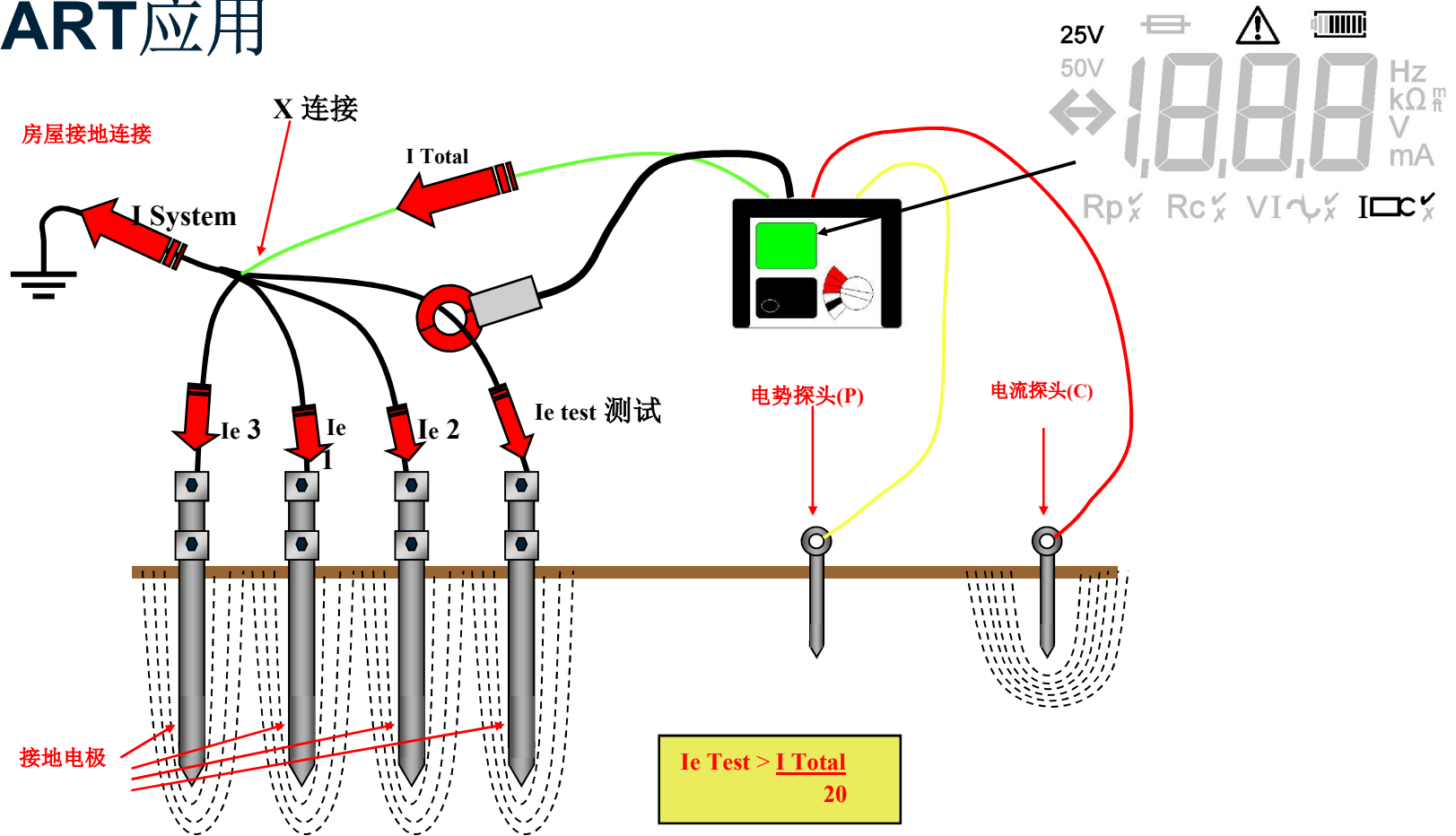
3极: 斜率法- 缺点

- 比全压降法精度低
- 要求计算
- 必须将接地电极解除连接，以便测量

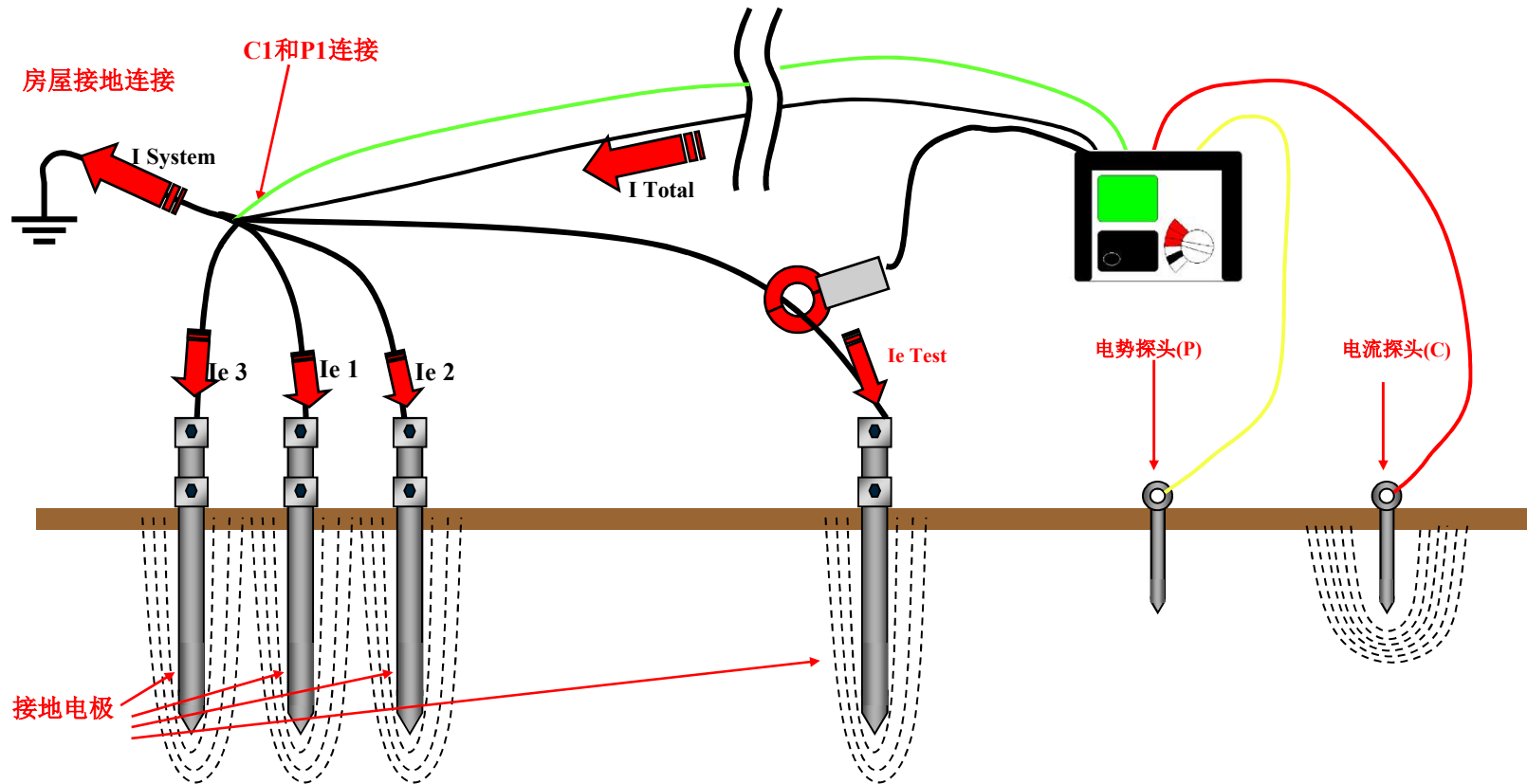
选择性测试 “ART”

- 附属棒技术
- 被测电极无需解除
- 使用电流钳表 “ICLAMP” 来测试流过被测电极的电流

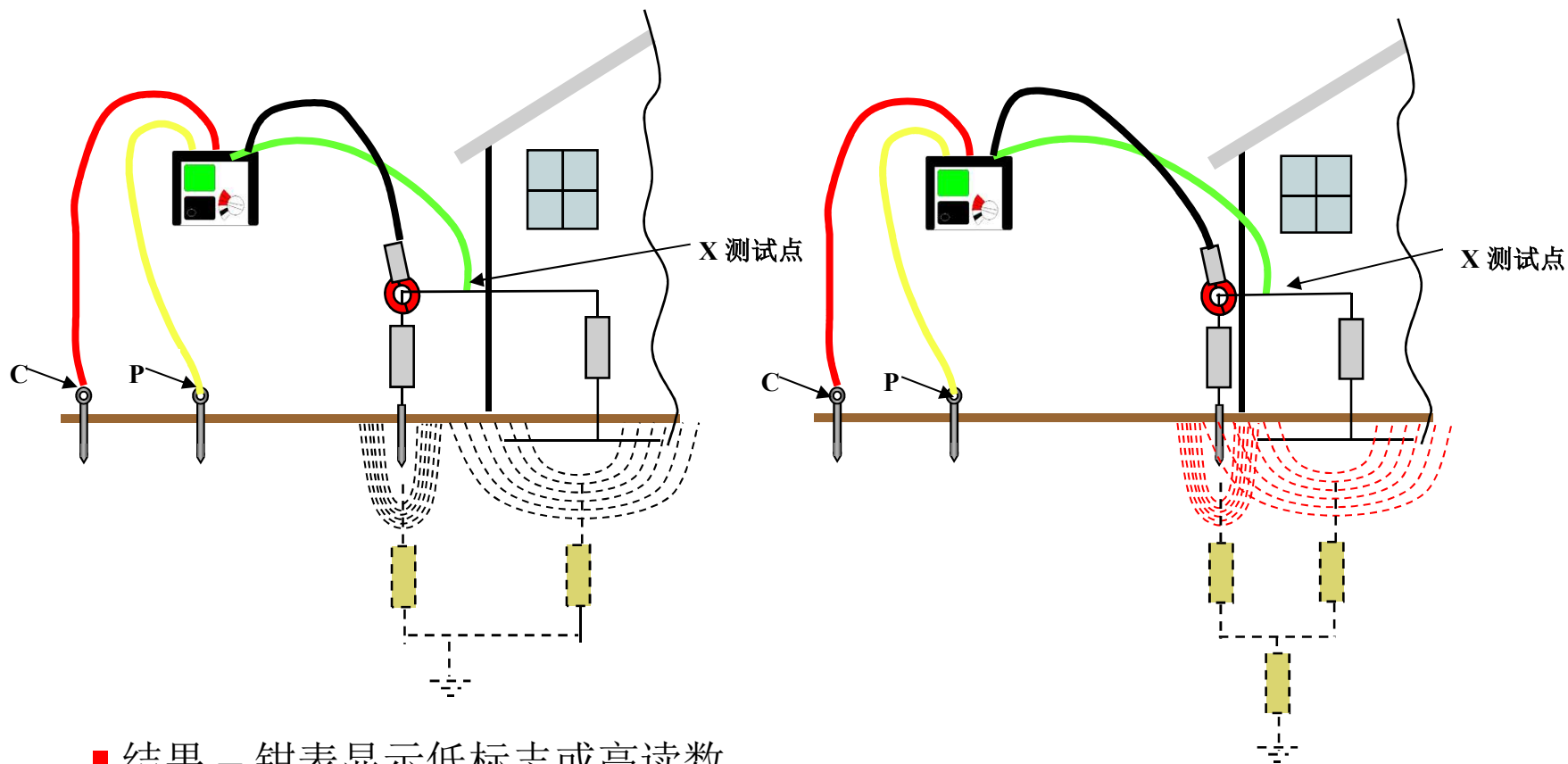
ART应用



使用4极的ART测试

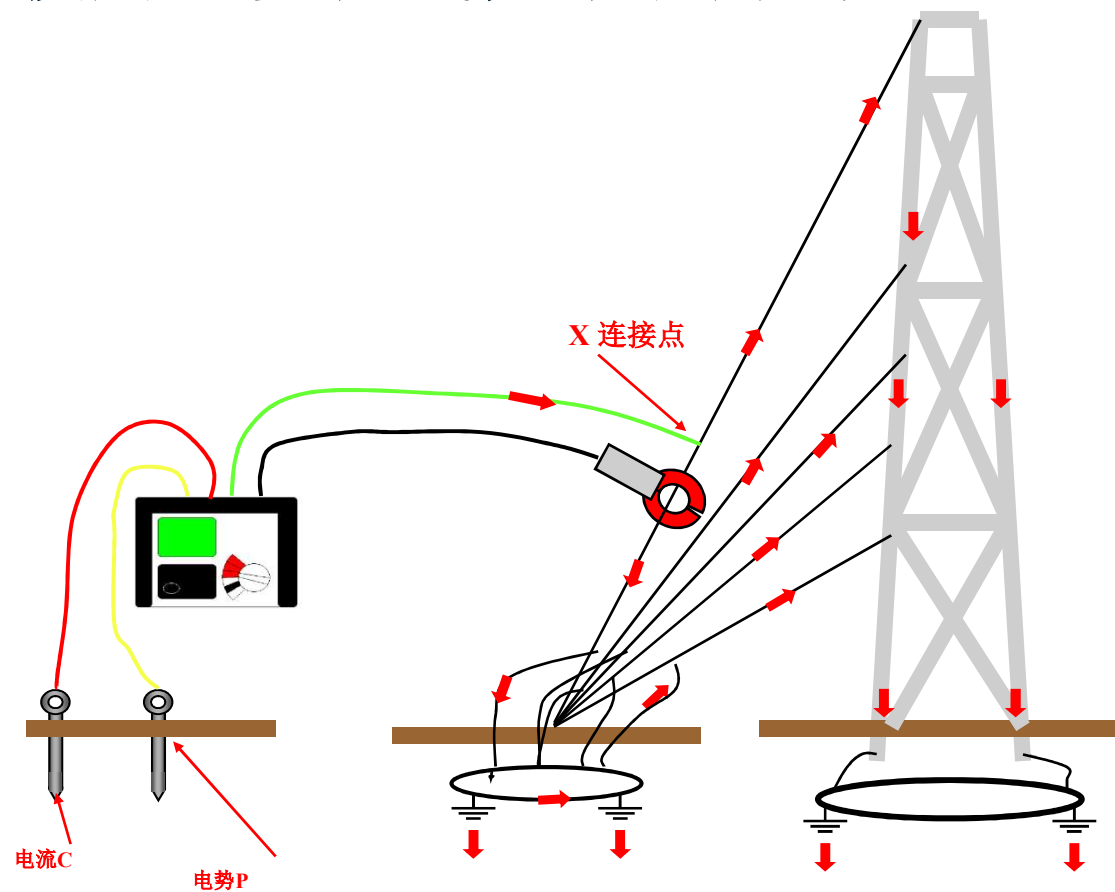


接地耦合影响



- 结果 – 钳表显示低标志或高读数
- 措施 – 使用3极法，解除电极

错误使用 – 多拉线信号塔测试

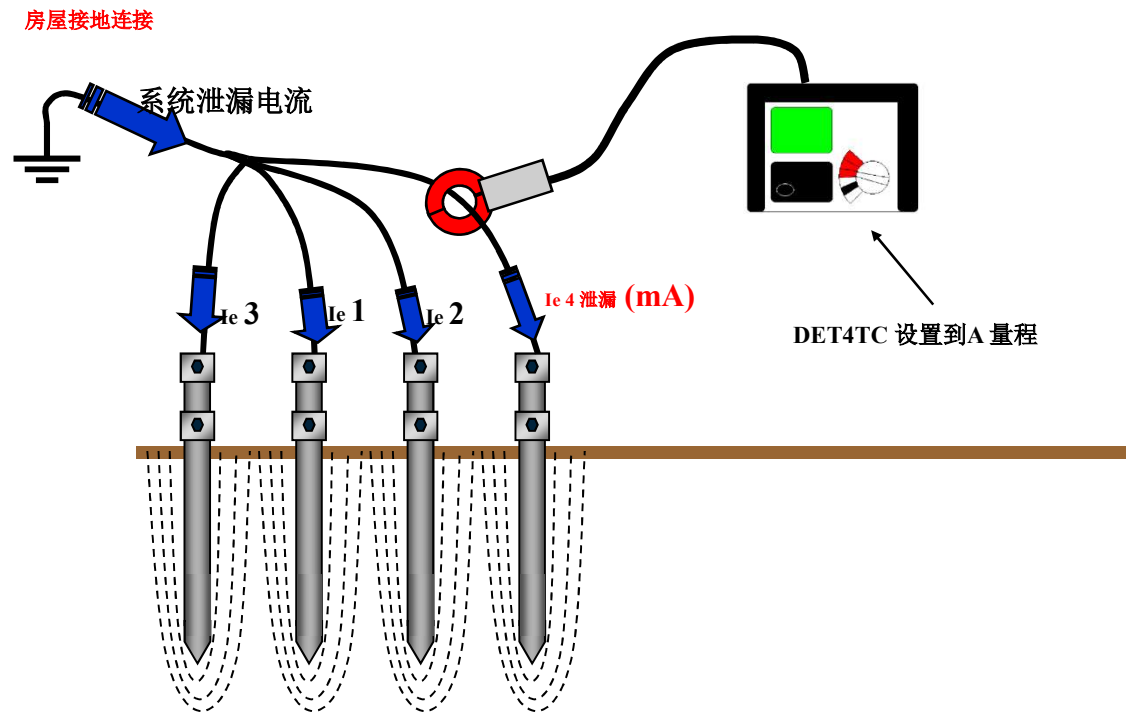


我们必须明白电流的回路

ART的最佳应用

- 接地网
- 柱上变压器
- 内部 TT (接地电极) 系统
- 单拉线信号塔测试(隔离的)
- 闪电保护电极

测试接地泄漏电流



使用ICLAMP来测试接地泄漏电流

“无桩”测试

- 接地电极无需解除连接
- 无需使用测试长钉

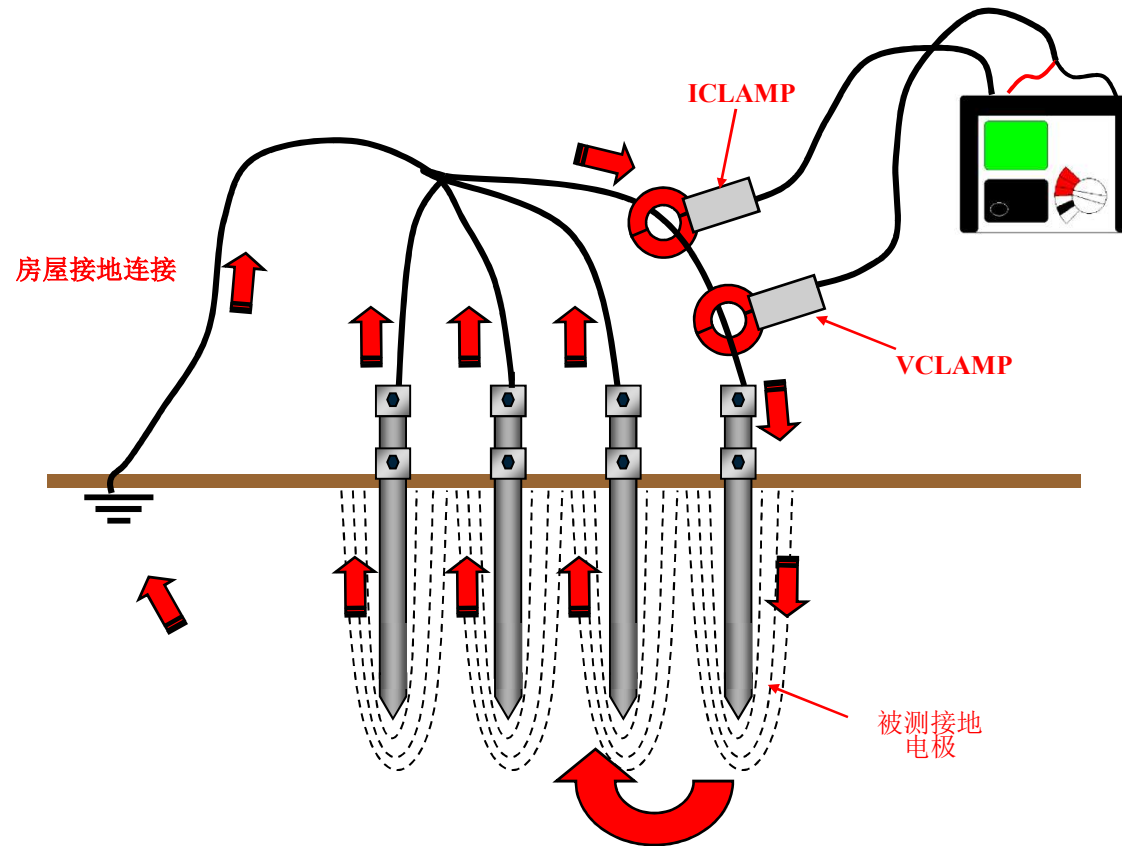
夹钳 / 无桩 方法

- 施加电压测试由此产生的接地回路电流
- 要求有一个完整的测试电路
- 测试的是信号穿过的整个回路的电阻
- 在一个多接地系统中，回路可以认为是包含：
 - 单独的接地电极
 - 通过其他电极的回路
 - 大地

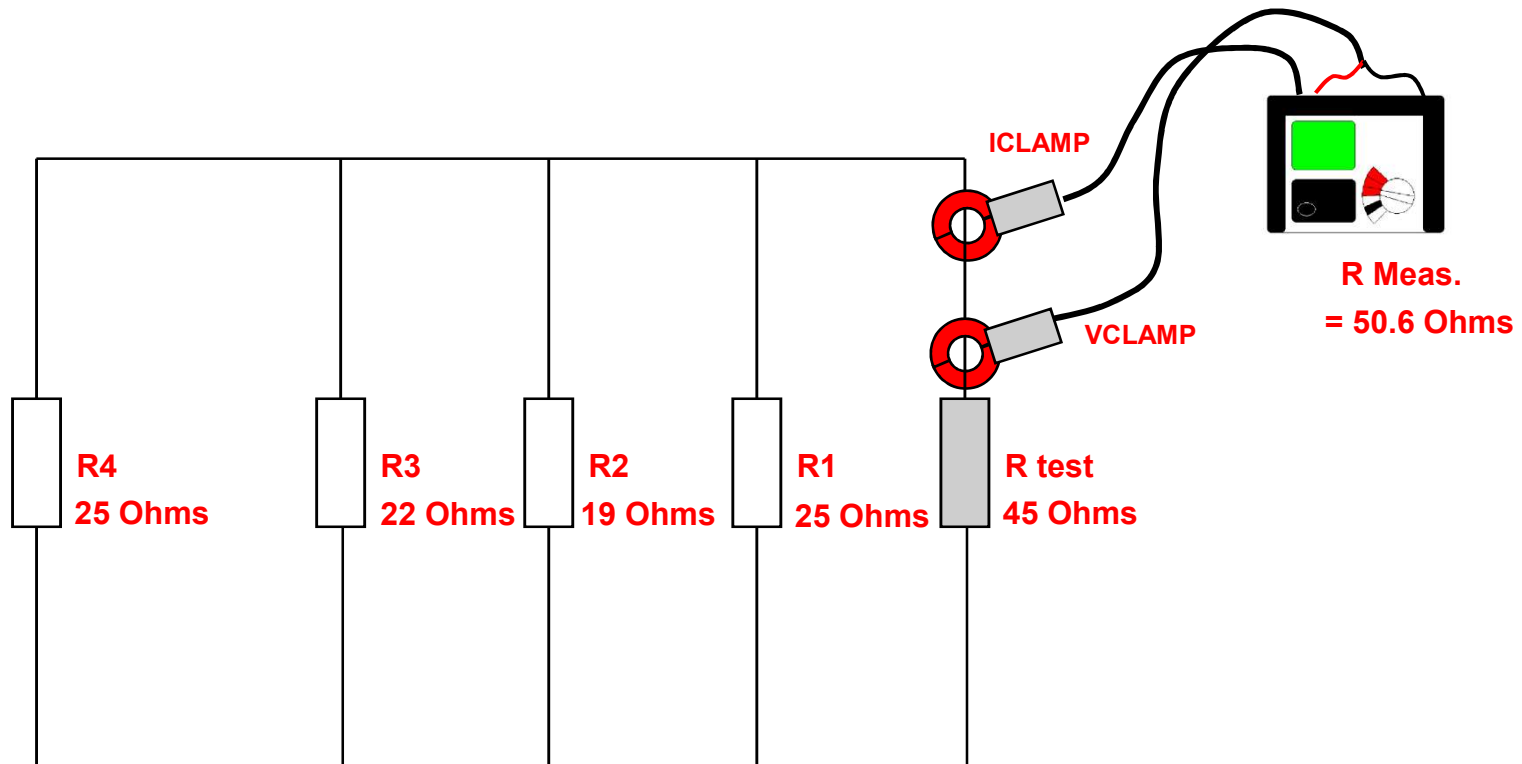
夹钳 / 无桩 方法

- 单独的测试电极比其余并联的接地电极电阻大
- 注入电压，测试相应的“单匝”接地回路产生的电流

夹钳 / 无桩 方法



夹钳 / 无桩 方法



$$R \text{ Meas.} = R \text{ test} + 1 / (1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + 1/R4)$$

夹钳 / 无桩 方法

- 6 个类似电极，每个的电阻为 10Ω
 - $R_{loop} = 10\Omega + 2\Omega = 12\Omega$ DET4TC/R读数
- 60 个类似电极，每个的电阻为 10Ω
 - $R_{loop} = 10\Omega + 0.17\Omega = 10.17\Omega$ DET4TC/R读数
- 越多电极读数越精确

优点

- 测试快速简单
 - 无需将接地电极从系统中解除
 - 无需连接电缆
- 包含了所有的接触及连接电阻
 - 无法使用电压降法测试
- 可以测试流过系统的泄漏电流

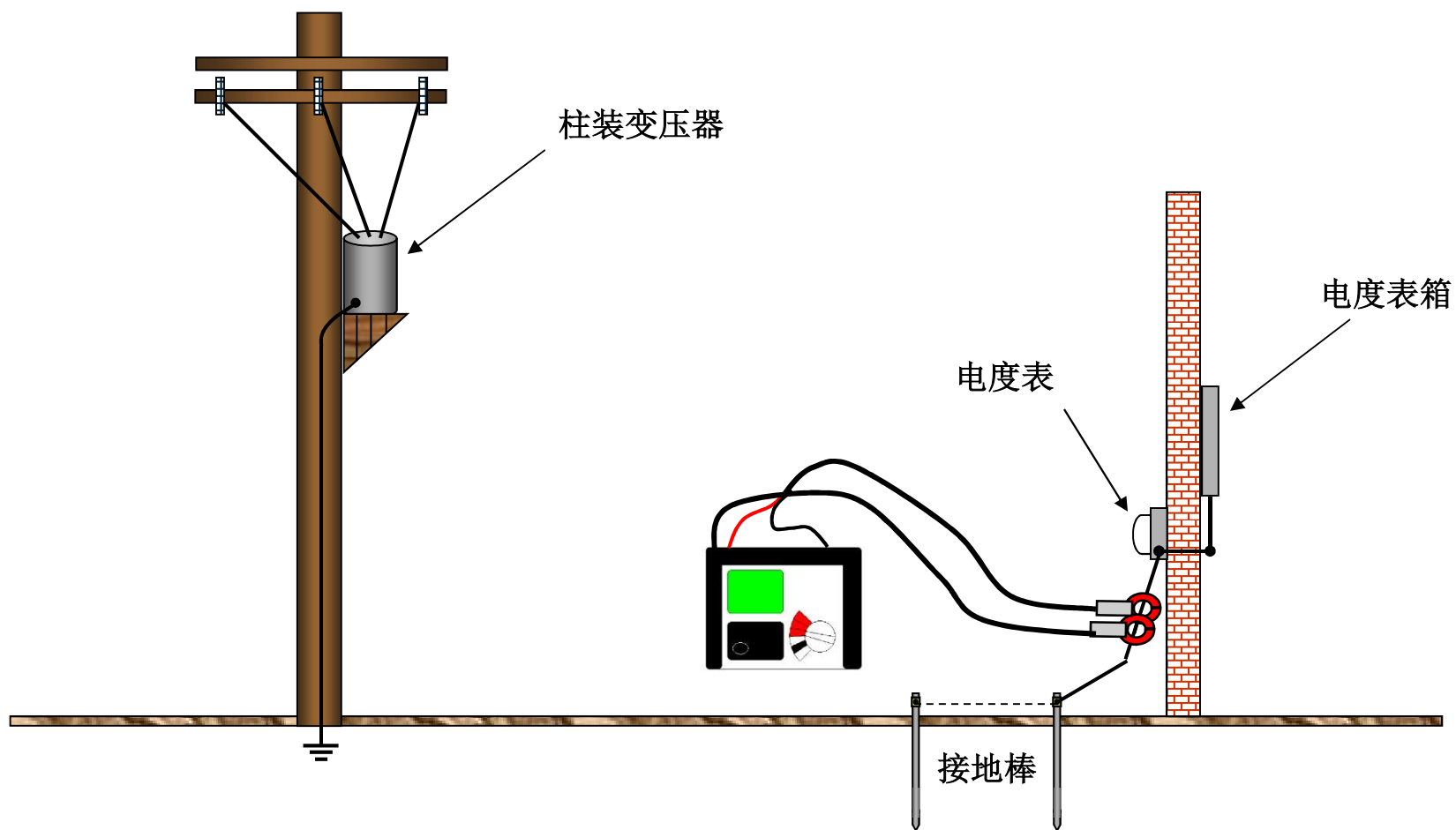
缺点

- 无法在隔离的接地电极使用
 - 无回路
- 要求良好的回路
 - 不良的回路会产生较大的读数
- 低阻回路若不包含泥土则读数无效
 - 通信塔
 - 变电站

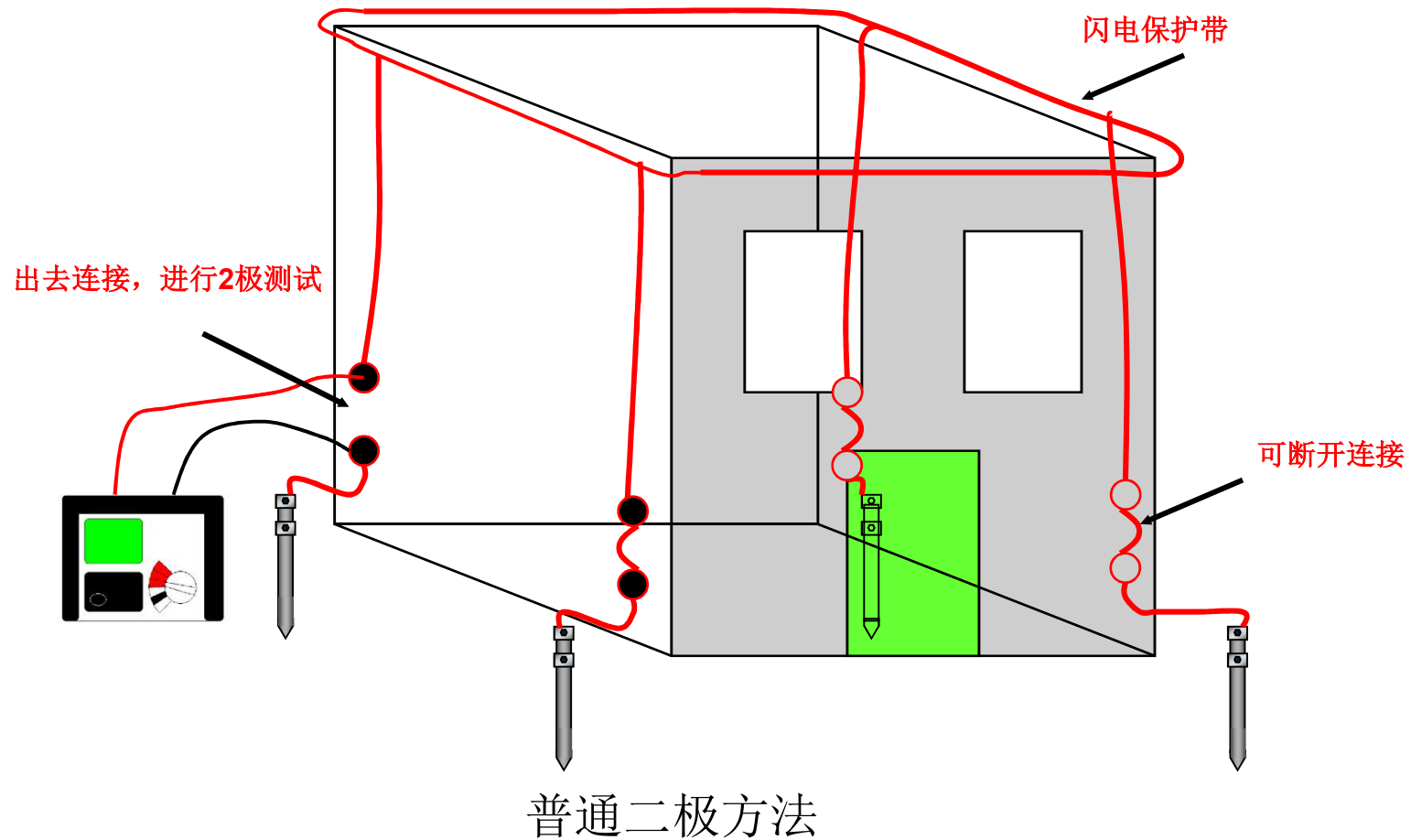
缺点

- 如果另一个接地系统与被测系统存在接地耦合
 - 结果会比实际电阻低
- 测试更为频繁
- 连接必须在正确的被测电极回路
 - 需要彻底的对系统的理解
 - 错误的连接会导致错误的读数

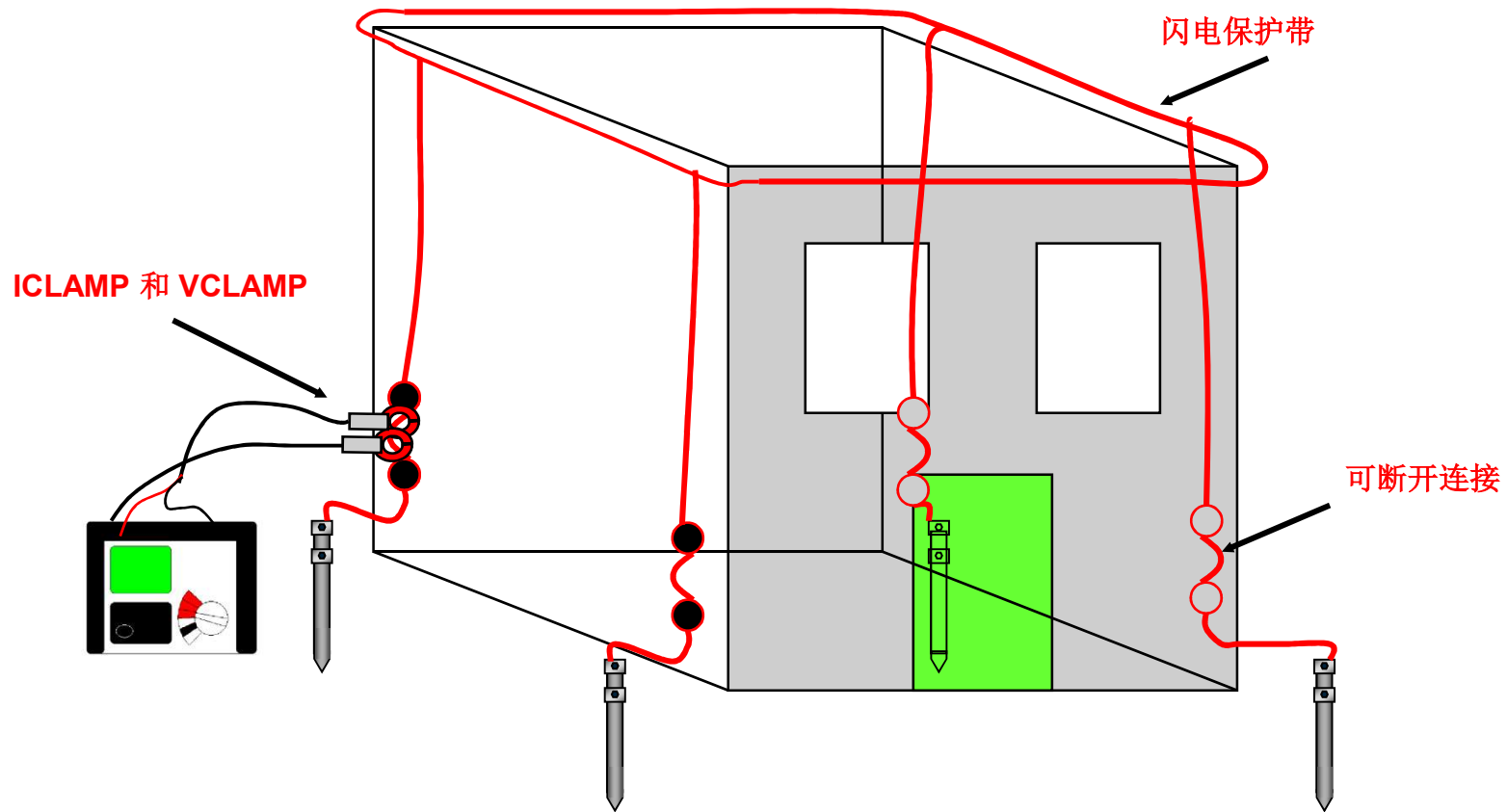
应用 - 电度表



应用 - 闪电防护

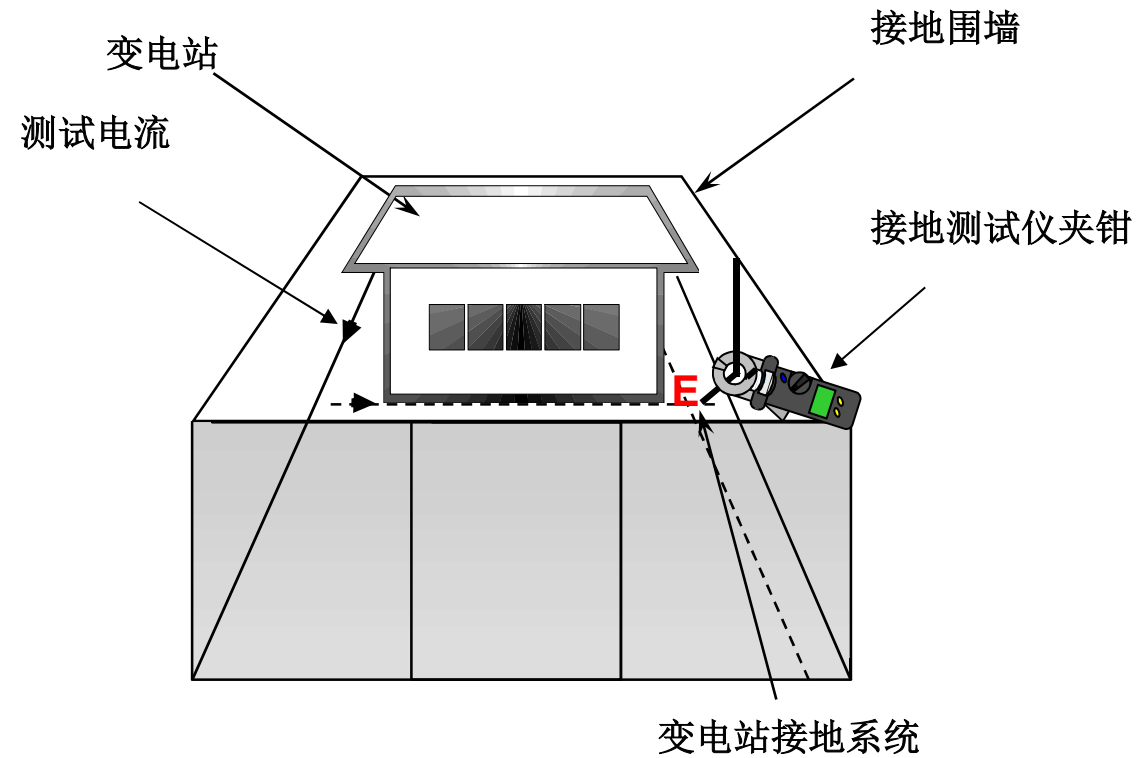


应用 – 闪电防护



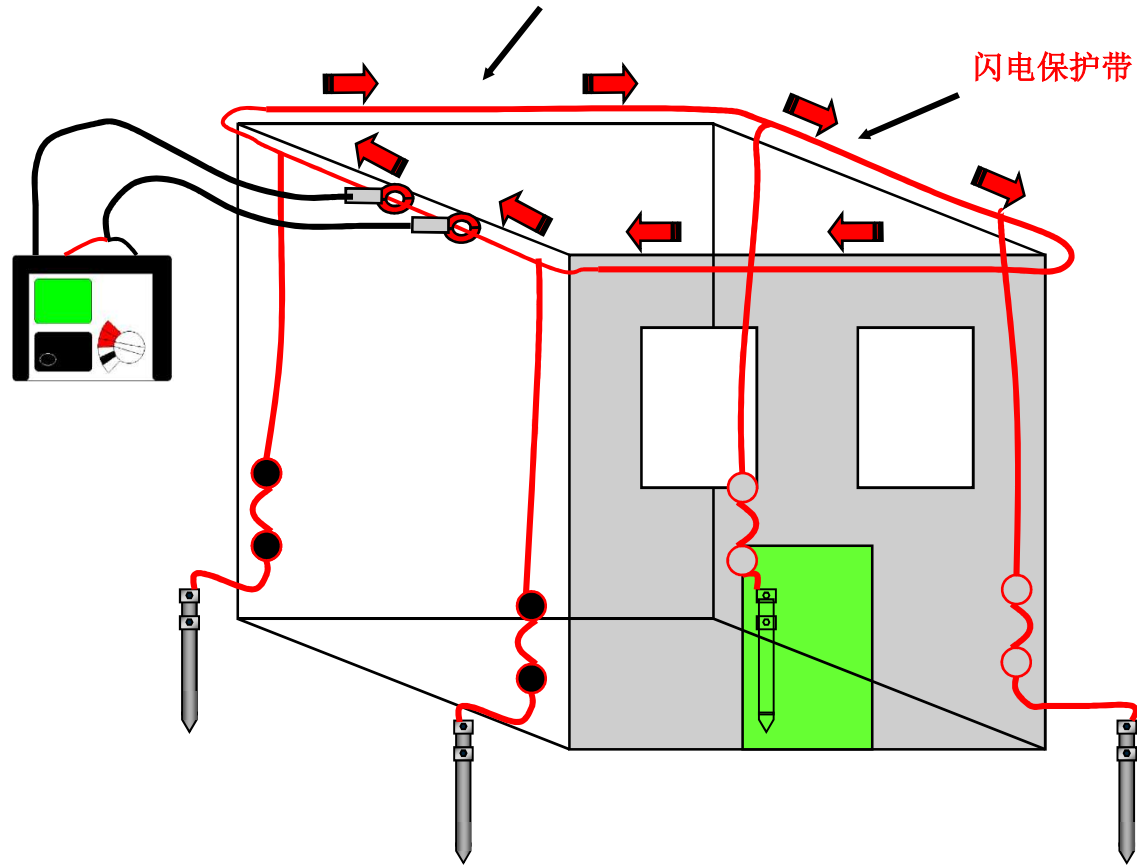
使用“无桩”法不需要解除连接

错误使用 – 变电站



错误使用 – 闪电防护

测试电流在保护带形成环流



“无桩”测试最佳应用

- 接地网
- 柱上变压器电极
- 柱上变压器的接地拉线
- 变电站地下电缆接地
 - 通常很难将测试桩打入，因此是无桩测试的理想应用
- 单拉线信号塔
- 闪电保护

测试方法总结 – 总结

■ 2极或固定接地测试

■ 电势降法

- 电势降简化法
- 61.8% 法则
- 斜率法
- ART / 选择法

■ 无桩测试(夹钳)

■ 其他方法

- 曲线插值
- 星形三角形法
- 四电压法

Megger 接地测试仪产品系列

Megger[®]

到最近

■ 3 极测试仪

- DET62D
 - 数字显示屏

■ 4 极测试仪

- DET3/2
 - 手摇发电机
- DET5/4D
 - 数字显示屏
- DET5/4R
 - 可充电版本
- DET2/2
 - 0.01Ohm, 变频

前期产品

■ DET3/2

- 3极或4极测试
- 50V 输出
- 0.01 到 19.99k Ohm
- 内部手摇发电机

■ DET2/2

- 0.001 Ohm 高分辨率
- 105 到 106 Hz 测试频率
- 高、低测试电流 (最大50mA)
- 适用于复杂接地系统
- 教科书式的产品

最新产品

■ 无桩测试仪

- DET10C
- DET20C

■ 3 极测试仪

- DET3TA
 - 模拟显示屏
- DET3TD
 - 数字显示屏
- DET3TC
 - 带ART功能的数字显示屏

■ 4 极测试仪

- DET4TD
 - 数字, 至 2k Ohm
- DET4TC
 - ART & 无桩功能
- DET4TCR
 - ART & 无桩功能
- DET4TC+KIT
 - 完整的带钳表套件
- DET4TCR+KIT
 - 完整的带钳表套件
- DET2/2
 - 0.01Ohm, 变频
- DET3/2
 - 手摇发电机

Clamp on “Stakeless” Testers

DET10C and DET20C

Megger[®]

DET10C / 20C – Basic Specs/Features

- Ground resistance (0.025 – 1550 Ω).
- Leakage current
- High and Low limits
- Data logging
- Jaw size: 35 mm (1.36 in).



New 3 Pole Testers

DET3TA, DET3TD and DET3TC

Megger[®]

New DET3 and 4 common philosophy

- Intuitive to use
- One button operation
- Automatic checking to avoid mistakes and poor connections, indicated on display
- Complete and ready to start testing kit
- Calibration certificate included (not DET3TA)
- Competitively priced to sell
- Combination of features, benefits and price makes these ground testers the most attractive on the market

Common specifications - Mechanical

- IP54
- Terminals: 4mm plug type
- Dimensions: 203 x 148 x 78mm
- Weight: 1kg
- Operating temperature range: -15 to 55°C
- Storage temperature range: -40 to 70°C
- Humidity: 95% RH non-condensing at 40°C

Basic specification – DET3TD

- 2 terminal test, no links required
- 3 terminal earth electrode test
- Earth voltage measurement
- LCD display
- Automatic checking of
 - Current spike resistance
 - Voltage spike resistance
 - Earth noise voltage
 - Blown fuse
 - Battery status



Basic specification – DET3TC

- Same as DET3TD but with
- 3 terminal earth electrode test without disconnection using optional ICLAMP (Attached Rod Technique, A.R.T.)
- Earth current measurement using optional ICLAMP



New 4 Pole Testers

DET4TD, DET4TC, DET4TCR
DET4TC+KIT, DET4TCR+KIT

Basic specification – DET4TD

- 2 terminal test, no links required
- 3 terminal earth electrode test
- 4 terminal soil resistance test up to 2000 ohms
- Earth voltage measurement
- LCD display
- Automatic checking of
 - Current spike resistance
 - Voltage spike resistance
 - Earth noise voltage
 - Blown fuse
 - Battery status
- Product Refresh due mid-year



New 4 pole tester – DET4TC/R

- 2 terminal test, no links required
 - 3 terminal earth electrode test, no link required
 - 4 terminal Resistivity test to 20k Ohms
 - ART (Attached Rod Technique)
 - ‘Stakeless’ measurements
 - Earth voltage measurement
 - Earth leakage current measurement (with ICLAMP)
 - Automatic checking of
 - Current spike resistance
 - Voltage spike resistance
 - Earth noise voltage
 - Blown fuse
 - Battery status
 - Rechargeable batteries on DET4TCR
-

DET4TC/R Accessories

■ Standard

- Hard carry case
- Stake and wire kit (15m, 10m, 10m, and 3m)
- External AC/DC adaptor – interchangeable plugs

■ Optional

- ICLAMP
- VCLAMP (includes calibration check pcb)
- Calibration check box – 6220-824
- Right angled terminal adaptor set – 6220-803
- Black crocodile clip - 6220-850
- Vehicle 12V charger lead – 6280-375

DET4TC/R + KIT Accessories

■ Standard

- Hard carry case
- Stake and wire kit (15m, 10m, 10m, and 3m)
- External AC/DC adaptor – interchangeable plugs
- ICLAMP
- VCLAMP (includes calibration check pcb)
- Calibration check box – 6220-824
- Right angled terminal adaptor set – 6220-803

■ Optional

- Black crocodile clip - 6220-850
- Vehicle 12V charger lead – 6220-375



General Accessories

■ ETKIT – 6310-755

- 4 spikes, 2 cable winders (3m+30m and 3m+50m), c/w 4mm connectors and clips, hammer, in carry bag

■ ETKIT3 – 6210-160

- 2 push in spikes, 1 cable winder, 3m, 15m, and 30m cables, c/w connectors and clips in carry bag

■ ETKIT4 – 6210-161

- 4 push in spikes, 1 cable winder, 3m, 15m, 30m and 50m cables, c/w connectors and clips in carry bag

■ 6121-119

- Cable winder with 50m of cable

Potential Customers

- Existing DET62D and DET5/4 customers
 - Petro-chemical companies
 - Utilities, Maintenance
 - Railways
 - Repair Organisations (Industrials),
 - Telecoms and Datacoms installers
 - Specialist grounding/earthing companies and consultants
 - Service providers
 - Insurance companies
-

Tender Specifications

Megger[®]

Tender spec points DET10/20C

- 0.025 to 1550 Ohm range
- Large clamp capacity – 35mm dia.
- High and Low alarms – user settable
- Battery life – 3000 tests
- Results storage
 - DET10C 116 tests
 - DET20C 8180 tests
- Download to PC – DET20C only

Tender spec points DET3/2

- Hand cranked internal generator supply
- 0.01 to 19.99kOhm range
- 50V, 128Hz output
- Withstand up to 240V between any 2 terminals

Tender Spec. Points DET3TA

- Analogue
- IP54
- 25 and 50V, 128Hz output
- Earth voltage range to 100V
- 100k Ohm max. C and P spike resistance (50V)
- 40V pk to pk noise rejection
- CATIV 100V rated
- Complete with lead and stake kit
- Hard carry case

Tender spec points DET3TD

- IP54 rated
- 0.01 to 2k Ohm range
- 25 and 50V, 128Hz output
- Earth voltage range to 100V
- Automatic P and C spike resistance check
- 100kOhm max. C and P spike resistance (50V)
- 40V pk to pk noise rejection
- High noise indication
- CATIV 100V rated
- Complete with lead and stake kit
- Hard carry case
- Supplied with Calibration Certificate

Tender spec points DET3TC

- IP54 rated
 - 0.01 to 2kOhm range
 - 25 and 50V, 128Hz output
 - Earth voltage range to 100V
 - Automatic P and C spike resistance check
 - 100kOhm max. C and P spike resistance (50V)
 - 40V pk to pk noise rejection
 - High noise indication
 - CATIV 100V rated
 - Complete with lead and stake kit
 - Hard carry case
 - Supplied with Calibration Certificate
 - ART capability, using optional ICLAMP
 - Earth current 0.5mA to 19.9A, using optional ICLAMP
-

Tender spec points DET4TD

- IP54 rated
- 0.01 to 2kOhm range
- 25 and 50V, 128Hz output
- Earth voltage range to 100V
- Automatic P and C spike resistance check
- 100kOhm max. C and P spike resistance (50V)
- 40V pk to pk noise rejection
- High noise indication
- CATIV 100V rated
- Complete with lead and stake kit
- Hard carry case
- Supplied with Calibration Certificate

Tender spec points DET4TC/R

- IP54 rated
- Back light
- Rechargeable version (R)
- 0.01 to 20kOhm range
- 25 and 50V, 128Hz output
- Earth voltage range to 100V
- Automatic P and C spike resistance check
- 100kOhm max. C and P spike resistance (50V)
- 40V pk to pk noise rejection
- High noise indication
- CATIV 100V rated
- Complete with lead and stake kit
- Hard carry case
- Supplied with Calibration Certificate
- ART capability, using optional ICLAMP (Std on +KIT versions)
- Earth current 0.5mA to 19.9A, using optional ICLAMP
- Stakeless measurements, using optional VCLAMP (Std on +KIT)

Tender spec points DET2/2

- High resolution 0.001 Ohm
- 0.01 to 19.99k Ohm range
- IP54
- High output current (50mA)
- 40 pk to pk noise rejection
- Variable test frequency (105 to 160Hz)

Conclusion

- Few unique selling points
 - Moulded hard carry case
 - Calibration certificate
- However
 - Best overall packages
 - Best practical solutions to Earth Testing