

TB/T 3233—2010

ICS 29.280
S 81

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3233—2010

铁路综合接地系统测量方法

Measurement method for railway integrated grounding system

中 华 人 民 共 和 国
铁 道 行 业 标 准
铁路综合接地系统测量方法
Measurement method for railway integrated grounding system
TB/T 3233—2010

*

中国铁道出版社出版、发行
(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
读者服务部电话:市电(010)51873174,路电(021)73174
中国铁道出版社印刷厂印刷
版权专有 侵权必究

*

开本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:1.5 字数:31 千字
2010年8月第1版 2010年9月第2次印刷

*



15 113 3314

定 价: 15.00 元

2010-06-26 发布

2010-12-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

目 次

前 言 II

1 范 围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般性规定 3

5 土壤电阻率测量 3

6 独立接地体接地电阻测量 5

7 铁路综合接地系统电气完整性测量 6

8 铁路综合接地系统接地阻抗测量 7

9 场区地表电位梯度、跨步电压和接触电压测量 10

10 铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量 12

附录 A(资料性附录) 测量项目和周期 14

附录 B(资料性附录) 接地装置场区地表电位梯度 15

附录 C(资料性附录) 接触电压和轨道电位容许值 16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。
本标准参考 ANSI/IEEE81:1983《接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则》。
本标准由中铁电气化局集团有限公司提出并归口。
本标准起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、武汉大学、中国铁道科学研究院、深圳科安达电子科技股份有限公司。
本标准主要起草人：孙建明、王建国、戚广枫、黄足平、李红梅、张育明、张华志、张帆、张晨。

附 录 C
(资料性附录)
接触电压和轨道电位容许值

接触电压和轨道电位容许值见表 C. 1。

表 C. 1 接触电压和轨道电位容许值 单位为伏特

运行状况	容许接触电压	容许轨道电位
长期运行($t > 300\text{ s}$)	60	120
短时运行($t = 300\text{ s}$)	65	130
故障状态($t = 100\text{ ms}$)	842	1 684

铁路综合接地系统测量方法

1 范 围

本标准规定了铁路综合接地系统测量方法的术语和定义、一般性规定、土壤电阻率测量方法、独立接地体接地电阻测量方法、铁路综合接地系统电气完整性测量方法、铁路综合接地系统接地阻抗测量方法、场区地表电位梯度、跨步电压和接触电压测量方法、铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 17949.1—2000 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测试导则 第1部分:常规测量

DL/T 475—2006 接地装置特性参数测量导则

TB/T 3074—2003 铁道信号设备雷电电磁脉冲防护技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 TB/T 3074—2003、GB/T 17949.1—2000、DL/T 475—2006 中的某些术语和定义。

3. 1

地 ground/earth

导电性的土壤,具有等电位,且任意点的电位都可以看成零电位;导体,如土壤或钢结构的外壳,作为电路的返回通道,或作为零电位参考点;电路中相对于地具有零电位的位置或部分。

[TB/T 3074—2003,定义3.8]

3. 2

接地 grounding/earthing

用导线或长导体将不带电金属和电气设备某部分与接地体在电气上连接为一体。

[TB/T 3074—2003,定义3.9]

3. 3

接地体 grounding electrode/earthing electrode

一根或一组与土壤(大地)密切接触并提供与土壤(大地)之间电气连接的导体。

3. 4

接地线 grounding conductor

构成地的导体,该导体将设备、装置、布线系统或中性线与接地体连接。

3. 5

接地连接 grounding connection

构成地的连接,由接地线、接地体和围绕接地体的大地(土壤)或代替大地的导体组成。

3. 6

接地网 grounding grid

由埋在地下的相互连接的裸导体构成的接地体群,用以为电气、电子设备和金属结构提供共同

的地。

[TB/T 3074—2003,定义 3.13]

3.7

接地系统 grounding system/earthing system

在规定区域内由互相连接的多个接地装置组成的系统。

[TB/T 3074—2003,定义 3.15]

3.8

铁路综合接地系统 railway integrated grounding system

将铁路沿线的牵引供电回流系统、电力供电系统、信号系统、通信及其他电子信息系统、建筑物、道床、站台、桥梁、隧道、声屏障等需接地的装置通过贯通接地线连成一体

的接地系统,兼有泄流和均压作用的网状接地装置。

3.9

贯通地线 runthrough earth conductor

沿铁路敷设的连接各种设备、设施的接地导体。

3.10

接地电阻 ground resistance

接地体和具有零电阻的远方接地体之间的欧姆电阻。

[GB/T 17949.1—2000,定义 4.11]

3.11

接地阻抗 ground impedance

接地装置对远方电位零点的阻抗。数值上为接地装置与远方电位零点间的电位差,与通过接地装置流入地中的电流的比值。按冲击电流求得的接地阻抗称为冲击接地阻抗;按工频电流求得的接地阻抗称为工频接地阻抗。本标准范围凡未标明为冲击接地阻抗的,均指工频接地阻抗。

[DL/T 475—2006,定义 3.8]

3.12

接地装置的电气完整性 electric integrity of grounding connection

接地装置中应该接地的各种电气设备之间,接地装置的各部分及与各设备之间的电气连续性,即直流电阻值,也称为电气导通性。

[DL/T 475—2006,定义 3.7]

3.13

场区地表电位梯度 surface potential distribution

当接地短路电流或试验电流流过接地装置时,被试接地装置所在的场区地表面形成的电位梯度。

[DL/T 475—2006,定义 3.9]

3.14

跨步电位差 step potential difference

当接地短路电流流过接地装置时,地面上水平距离为 1.0 m 的两点间的电位差。

[DL/T 475—2006,定义 3.10]

3.15

跨步电压 step voltage

人体两脚(等值电阻取 1 000 Ω)在地面一步距离的两点间的电位差,此距离取最大电位梯度方向上 1.0 m 的长度。

3.16

接触电位差 touch potential difference

附录 B

(资料性附录)

接地装置场区地表电位梯度

图 B.1 为接地装置地表电位梯度测量布线示意图,根据设备数量、重要性等因素布置曲线,如图 B.1 中曲线 1~曲线 7,一般情况下曲线的间距不大于 30 m。

图 B.2 中的四条曲线为接地装置场区地表电位梯度典型实测曲线,曲线 1 表明电位梯度分布较均匀,地下接地装置状况较好;曲线 2 的尾部明显快速抬高,曲线 3 起伏很大,表明接地装置状况可能不良;曲线 4 有两处异常剧烈凸起,尾部急速抬高,地下接地装置很可能有较严重的缺陷。

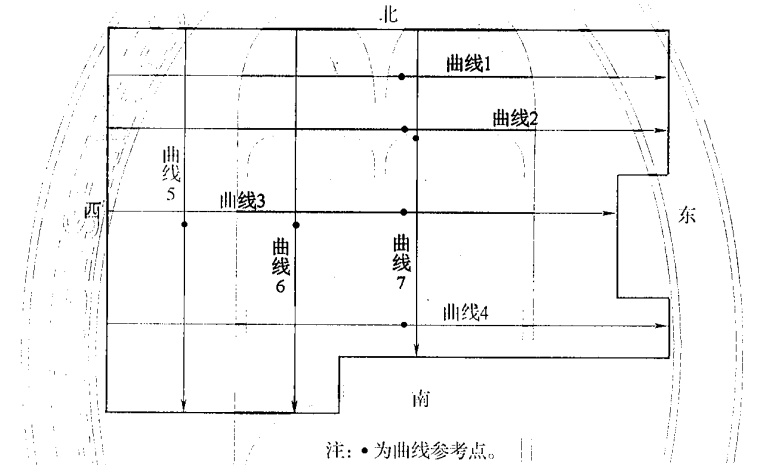


图 B.1 接地装置场区地表电位梯度测试示意图

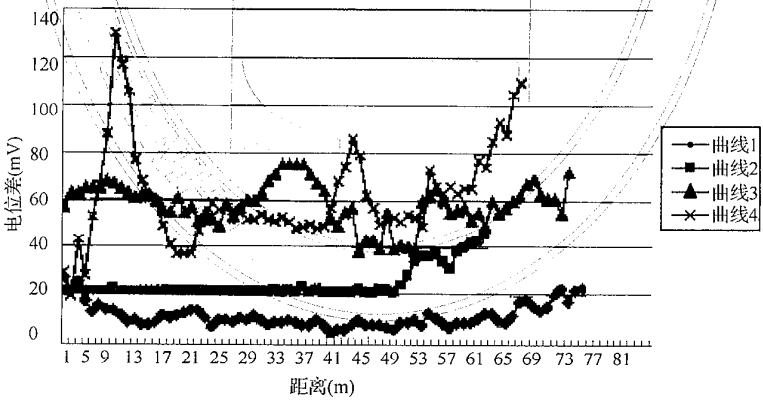


图 B.2 接地装置场区地表电位梯度分布曲线

附录 A
(资料性附录)
测量项目和周期

铁路综合接地系统设计阶段进行土壤电阻率测量,牵引变电所、10 kV 及以上变配电所位置宜进行测量,遇高电阻率地区、地质状况复杂地段、重点桥隧地段可适当增加测量点。

施工阶段工程单体施工结束后进行独立接地体接地电阻测量和电气完整性测量。工程验收测量在满足工程验收条件后进行。

运营维护阶段可每 1 年~2 年进行一次电气完整性测量,每 4 年~5 年完成全部测量项目,见图 A. 1。在土壤腐蚀性较强(如碱性和酸性土质)的情况下,可每 1 年~2 年测量一次独立接地体的接地电阻。铁路综合接地系统改造或其他必要时,可进行针对性测量。

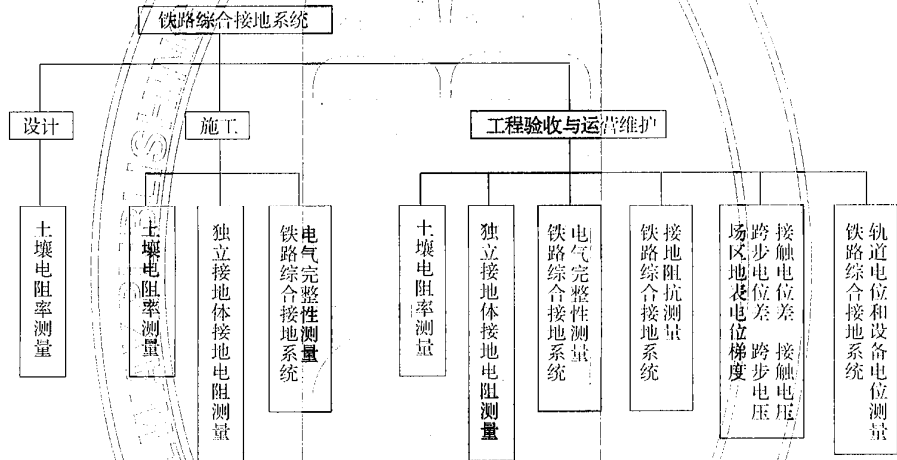


图 A.1 铁路综合接地系统测量项目

当接地短路电流流过接地装置时,在地面上距设备水平距离 1.0 m 处与沿设备外壳、架构或墙壁离地面的垂直距离 1.8 m 处两点间电位差。

[DL/T 475—2006,定义 3. 11]

3. 17

接触电压 touch voltage

接地短路(故障)电流流过接地装置时,大地表面形成分布电位,在地面上离设备水平距离为 1.0 m 处与设备外壳、构架或墙壁离地面的垂直距离为 1.8 m 处两点间在人体手与脚(等值电阻取 1 000 Ω)上产生的电位差称为接触电压。

3. 18

轨道电位 track potential

轨道电位指牵引回流流过轨道线路时轨道对大地间产生的电位。

3. 19

电流极 current electrode

为形成测量接地装置的接地阻抗、场区地表电位梯度等特性参数的电流回路,而在远方布置的接地极。

[DL/T 475—2006,定义 3. 13]

3. 20

电压极 potential electrode

在测量接地装置的特性参数时,为测量所选的参考电位而布置的接地极。

[DL/T 475—2006,定义 3. 14]

4 一般性规定

4. 1 测量项目

铁路综合接地系统测量包括以下内容:土壤电阻率测量、独立接地体接地电阻测量、铁路综合接地系统电气完整性测量、铁路综合接地系统接地阻抗测量、场区地表电位梯度、跨步电压和接触电压测量、铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量。

铁路综合接地系统测量项目和周期参见附录 A。

4. 2 测量环境要求

铁路综合接地系统的状况评估和验收测量宜在干燥季节进行,不应在雨、雪后立即测量。

4. 3 测量安全性规定

铁路综合接地系统测量期间应遵守现场安全规定。试验期间电流线严禁断开,电流线全程和电流极处要有专人看护,测量时严禁用手直接接触金属导线。雷云在杆塔上方活动时应停止测量,并撤离测量现场。

4. 4 测量结果评估

铁路综合接地系统的状态评估和工程验收应根据接地系统特性参数测试的各项结果,结合相关标准的规定综合判断,不应片面强调某一项指标,总体上应把握以下几个特性参数:接地系统的电气完整性、接地阻抗、接触电压和轨道电位。具体方法参见后面的相关章节,同时接地装置的热容量应满足要求。

5 土壤电阻率测量

5. 1 测量方法

5. 1. 1 土壤电阻率测量可用四极等间距法测量,也可用四极非等距法测量。土壤电阻率测量电极宜用直径不小于 15 mm 的圆钢或 L25 mm × 25 mm × 4 mm 的角钢,其长度不应小于 40 cm,测量电极应紧

密插入土壤中 20 cm 以上。测量引线应为带绝缘护套导线,中间接头应保持电气连续性及对地绝缘。测量引线截面应在 1.5 mm² 及以上,并保证与测量电极和测量仪表间的可靠连接。

5.1.2 土壤电阻率测量的其他方法及测量数据的分析方法按照 GB/T 17949.1—2000 相关规定进行。

5.1.3 土壤电阻率测量电极之间的距离 a 与被测土壤的深度密切相关,当被测场地的区域较大时,极间距离 a 应相应增大。为反映铁路综合接地系统所在地区土壤状况,土壤电阻率测量时相邻电极的最小极间距离 a 不宜小于 100 m。为减小铁路综合接地系统对土壤电阻率测量结果的影响,土壤电阻率测量电极离开测量路基的最小距离不宜小于 100 m。为了得到较可信的土壤电阻率测量结果,土壤电阻率测量宜在垂直铁路方向及平行铁路方向各测量一次,取平均值。当发现土壤电阻率两次实测值相差较大或与以往的测量结果相比有明显的增大或减小时,应改变电极布置方向或增大电极的距离重新测量。土壤电阻率突变或垂直分层明显时,可结合地质勘探和沿线建筑分布状况适当增加测量间距和布点。

5.1.4 图 1 是四极等距法的原理接线图,两电极之间的距离为 a ,单位为米(m)。测量电极入地深度不超过 $0.1a$ 。测量时,试验电流流入外侧两个电极,接地阻抗测试仪通过测量流过外侧两个电流极的试验电流和内侧两个电压极间的电位差,得到接地电阻 R ,单位为欧姆(Ω),此时视在土壤电阻率 ρ ,单位为欧姆·米($\Omega \cdot m$),通过公式(1)计算得到:

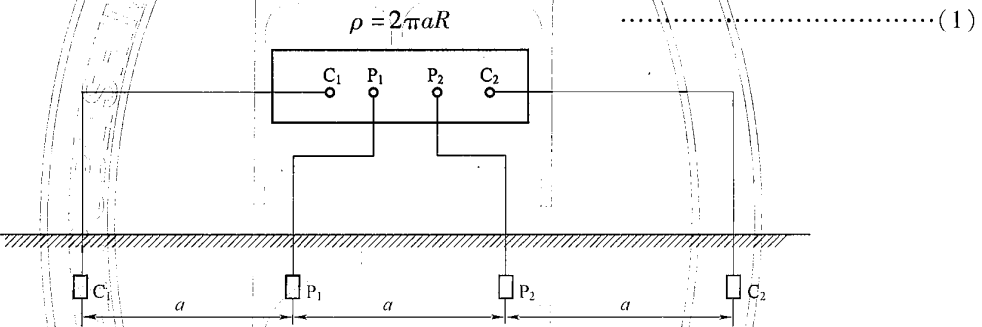


图 1 四极等距法测量土壤电阻率的原理接线图

5.1.5 图 2 是四极非等距法的原理接线图,其中 a 为电流极和电压极间距,单位为米(m), b 为电压极间距,单位为米(m)。当电极间距相当大时,四极等距法中内侧两个电压极之间的电位差迅速下降,通常仪器测不出或测不准如此低的电位差,此时可采用图2所示四极非等距法电极布置,电压极布置

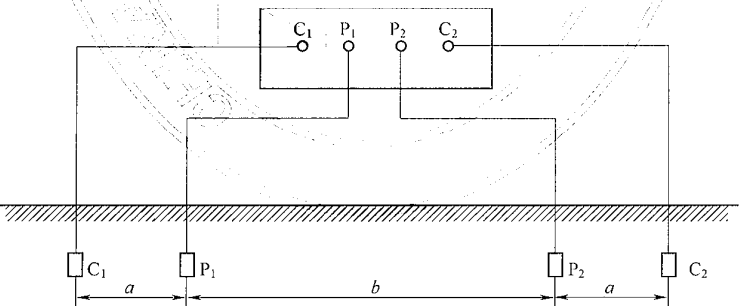


图 2 四极非等距法测量土壤电阻率的原理接线图

在相应的电流极附近,可升高所测的电位差值。接地阻抗测试仪通过测得流过外侧两个电流极的试验电流和内侧两个电极间的电位差,得到接地电阻 R ,单位为欧姆(Ω)。如果电极的埋设深度与其距离 a 和 b 相比较很小时,四极非等距法土壤视在电阻率 ρ ,单位为欧姆·米($\Omega \cdot m$),通过公式(2)计算得到:

$$\rho = \pi a(a+b)R/b \quad \dots\dots\dots(2)$$

10.2.3 设备电位测量方法:选取被测设备上的一点(与被测设备外壳连接良好的金属端子)为测量点,测试该点与零电位参考点之间的电位即为该设备的设备电位。测量时采用分压器(或衰减器探头)一端接与被测设备的测量点,一端接零电位参考点端子,两端子之间的电位差即为该设备的设备电位。测量接线见图 11。测量时同步记录机车运行状态、时刻、铁路轨道电流、综合地线电流和架空保护线电流。

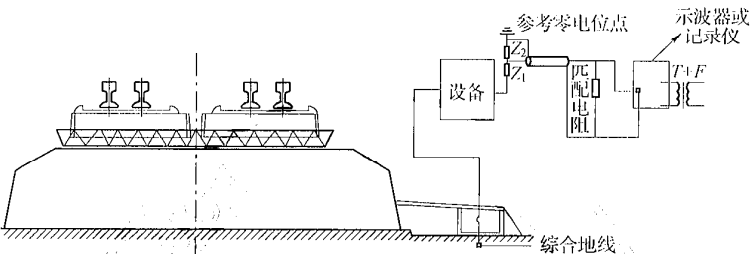


图 11 设备电位测量示意图

10.2.4 轨道电位和设备电位测试结果的判定:轨道电位和设备电位的容许值参见相关标准限值及附录 C。

抗不小于 1 MΩ,电压分辨率不应低于 1 mV,采用异频电源时,测试仪器的选频性能良好,避免噪声对测量的影响。

9.2.5 跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压测量值可按照公式(5)折算。

$$U_s = U'_s I_s / I_m \dots\dots\dots(5)$$

式中:

U_s ——实际系统故障时跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压,单位为伏特(V);

U'_s ——跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压的测量值,单位为伏特(V);

I_s ——被测接地装置内系统单相接地故障电流,单位为安培(A);

I_m ——注入地网的测量电流,单位为安培(A)。

9.2.6 跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压测试结果的判定:跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压的容许值参见相关标准限值及附录 C。

10 铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量

10.1 基本要求

10.1.1 铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量应在机车运行情况下测量,测量宜涵盖供电区段典型位置和铁路机车典型运行工况,如大间隔单列车运行和相邻列车追踪运行。每种典型工况测量有效数据不少于 5 组。轨道电位和设备电位测量结果应为有效值。

10.1.2 铁路综合接地系统轨道电位和设备电位测量时应采用具有波形存储记录功能的数字存储示波器或数字式暂态记录仪记录波形,数字存储示波器或数字式暂态记录仪频带、垂直分辨率、测量采样率应满足暂态波形测量精度要求,测量数据记录长度应满足列车在本区段列车动态运行时间要求。数字存储示波器或数字式暂态记录仪应采用独立电源或经隔离变压器供电。

10.1.3 轨道电位和设备电位测量时宜同时测量轨道电流、综合地线电流和架空保护线电流。在同一测量点的轨道电位和设备电位、轨道电流、综合地线电流和架空保护线电流测量应尽可能用同一台数字存储示波器或数字式暂态记录仪或进行测量,以同步反映各信号动态变化。如果数字存储示波器或数字式暂态记录仪通道数不够,则应采用同步触发。测量数据应反映机车运行情况下各种典型运行工况的最大值,数字存储示波器或数字式暂态记录仪触发电平应从高电平逐步调低或具有足够的记录长度,以反映列车典型运行工况的最大值。

10.2 测量方法

10.2.1 铁路综合接地系统轨道电位和设备电位的测量与零电位参考点的选择有关,测试的零电位参考点宜布置得尽量远,零电位参考点与铁路同侧贯通地线之间的直线距离不宜小于 400 m。

10.2.2 轨道电位测量方法:选取金属轨道上一点为测量点,测试该点与零电位参考点之间的电位即为该测量点的轨道电位。测量时采用分压器(或衰减器探头)一端接金属轨道,一端接零电位参考点端子,两端子之间的电位差即为轨道电位。测量接线见图 10。测量时同步记录机车运行状态、时刻、铁路轨道电流、综合地线电流和架空保护线电流。

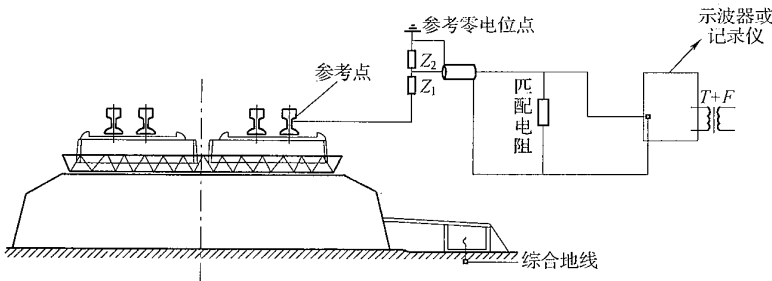


图 10 轨道电位测量示意图

5.2 测试仪器

土壤电阻率测量应采用四端子接地电阻测试仪进行测量,测量范围不应小于 1 000 Ω,仪器的分辨率不应低于 0.1 Ω,准确度不应低于 1.0 级。采用异频电源时,测试仪器的选频性能应良好,避免噪声对测量的影响。

6 独立接地体接地电阻测量

6.1 测量范围

尚未与或不与铁路综合接地系统相连的电气化各所、电力变配电所、通信基站及信号设备机房接地网、桥墩及杆塔接地体、长度小于 500 m 的隧道接地网等独立接地体。

6.2 测量布置

6.2.1 独立接地体接地电阻宜采用三极法布置,电流极、电压极和测量电流注入点应避免与铁路轨道平行。电流极和电压极与测量电流注入点之间的距离应为电极间直线几何距离,并应精确测量。

6.2.2 独立接地体接地电阻测量的其他方法按照 GB/T 17949.1—2000 相关规定进行。

6.2.3 测量时,试验回路宜避开河流、湖泊,尽量远离地下金属管道和运行中的输电线路,避免与之长段并行。在冻土区,测量电极需打入冰冻线以下。

6.2.4 为减小地下金属物体的影响,测量电极与地下金属物体的距离不应小于电极间距离。为减小土壤结构不均匀性的影响,测量电极不应在有明显的岩石、裂缝和边坡等不均匀土壤上布置。

6.2.5 测量电极宜采用直径不小于 1.5 cm 的圆钢或 L25 mm×25 mm×4 mm 的角钢,其长度不应小于 40 cm,测量电极应紧密插入土壤中 20 cm 以上。测量引线应为带绝缘护套导线,中间接头应保持电气连续性及对地绝缘。测量引线截面应在 1.5 mm² 及以上,满足试验电流热容量的要求,并保证与测量电极和测量仪表间的可靠连接。

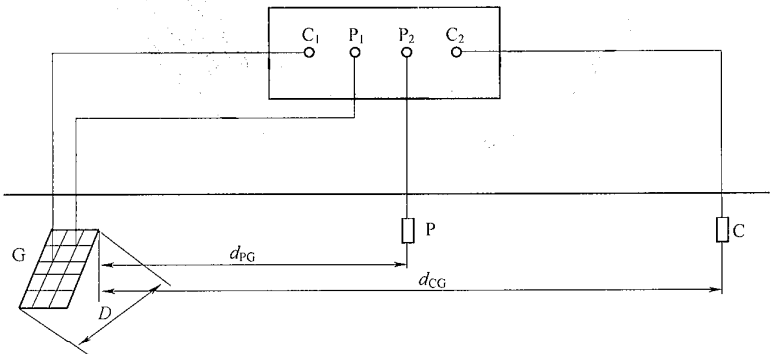
6.2.6 电流极与大地之间的电阻应尽可能小,以有效增大试验电流,可采用在池塘中布置电流极、增加电流极导体根数或向周围泼水的方式降低电流极与大地之间的电阻。

6.3 测试仪器

独立接地体接地电阻测量应采用四端子接地阻抗测试仪,并采用独立电源或经隔离变压器供电,仪器的准确度不低于 1.0 级,电压表的分辨率不低于 1 mV。采用异频电源时,测试仪器的选频性能应良好,避免噪声对测量的影响。

6.4 三极直线法

三极直线法测量独立接地体接地电阻时,电流极和电压线同方向(同路径)布置,如图 3 所示。测



G——被测独立接地体; D——被测独立接地体最大对角线长度;
C——电流极; d_PG——电压极与被试独立接地体边缘的距离;
P——电压极; d_GG——电流极与被试独立接地体边缘的距离。

图 3 独立接地体接地电阻测量的三极直线法测量原理接线图

量独立接地体接地电阻的电流极应布置得尽量远,通常电流极与被试接地装置边缘的距离 d_{CG} 应为被试接地装置最大对角线长度 D 的4倍~5倍,当远距离放线有困难时,在土壤电阻率均匀地区可取 $d_{CG}=2D$,在土壤电阻率不均匀地区可取 $d_{CG}=3D$, d_{PG} 通常为 $0.5 d_{CG} \sim 0.6 d_{CG}$ 。

测量时,电压极 P 应在被测量接地装置 G 与电流极 C 连线方向 $0.5 d_{CG} \sim 0.6 d_{CG}$ 附近移动三次,每次移动距离为 d_{CG} 的5%左右,当三次测量的结果误差在5%以内时,即为接地体的接地电阻值。测量时应使电流线和电压线保持尽量远的距离,以减小互感耦合对测量结果的影响。

6.5 三极夹角法

条件允许时,独立接地体接地电阻测量宜采用三极夹角法布置,电流极和电压线与测量电流注入点之间成夹角布置,如图4所示。电流极与被测量接地装置的边缘距离 d_{CG} 应为被测量接地装置的最大对角线长度 D 的4倍~5倍; d_{PG} 与 d_{CG} 的长度接近。接地电阻 Z 可用公式(3)修正。

$$Z = Z' / [1 - D \times (1/d_{CG} + 1/d_{PG} - 1/\sqrt{d_{CG}^2 + d_{PG}^2} - 2d_{CG}d_{PG}\cos\theta)/2] \quad (3)$$

式中:

Z ——接地电阻值,单位为欧姆(Ω);

θ ——电流线和电压线的夹角,单位为度($^\circ$);

Z' ——接地电阻的测量值, $Z' = U_{PG}/I$,单位为欧姆(Ω);

U_{PG} ——电压极 P 与被试接地装置 G 之间的电压,单位为伏特(V);

I ——注入接地装置的测量电流,单位为安培(A)。

在土壤电阻率均匀的地区,可采用 d_{PG} 与 d_{CG} 相等的等腰三角形布线,此时使 θ 约 30° , $d_{PG} = d_{CG} = 2D$,接地电阻 Z 的修正计算公式仍为公式(3)。

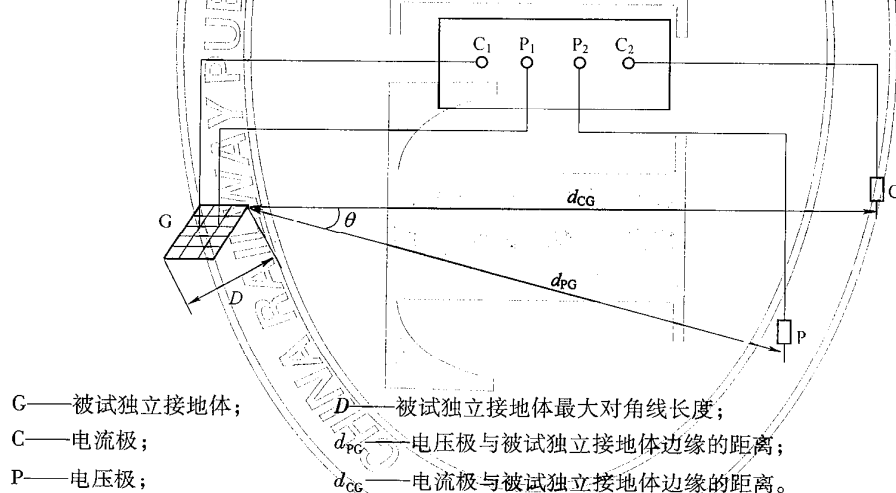


图4 独立接地体接地电阻测量的三极夹角法测量原理接线图

7 铁路综合接地系统电气完整性测量

7.1 测量范围

电气完整性测量范围包括如下情况:

- 铁路综合接地系统电气完整性测量:测量铁路沿线路基、桥梁、隧道各种接地极与铁路综合接地系统之间电气连接完整性;测量铁路沿线其他与铁路综合接地系统相连接的设备、房屋接地装置与铁路综合接地系统之间电气连接完整性。
- 牵引变电所、电力变配电所接地装置电气完整性测量:测量铁路牵引变电所、电力变配电所各个电压等级场区接地网之间电气连接完整性;测量变配电所高压和低压设备,包括构架、分线箱、汇控箱、电源箱等接地端子之间电气连接完整性;测量主控室及内部各接

9.1.5 电位极 P 可采用直径不小于1.5 cm的圆钢或 $L25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的角钢,其长度均不小于40 cm,电位极应紧密插入土壤中20 cm以上。如果场区是水泥路面,可采用包裹湿抹布的直径20 cm的金属圆盘,并压上40 kg及以上重物。测试线较长时应注意电磁感应的干扰。

9.1.6 测量场区地表电位梯度的测量仪器准确度不应低于1.0级,内阻抗不小于1 M Ω ,电压分辨率不应低于1 mV。采用异频电源时,测试仪器的选频性能良好,避免噪声对测量的影响。

9.1.7 当间距 d 为1 m时,被试地表电位梯度曲线上相邻两点之间的电位差的测量值 U'_T 按公式(4)折算,得到实际系统故障时场区地表电位梯度 U_T 。

$$U_T = U'_T I_s / I_m \quad (4)$$

式中:

U_T —— d 为1 m时,实际系统故障时场区地表电位梯度,单位为伏特(V);

U'_T —— d 为1 m时,被试地表电位梯度曲线上相邻两点之间电位差的测量值,单位为伏特(V);

I_s ——被测接地装置内系统单相接地故障电流,单位为安培(A);

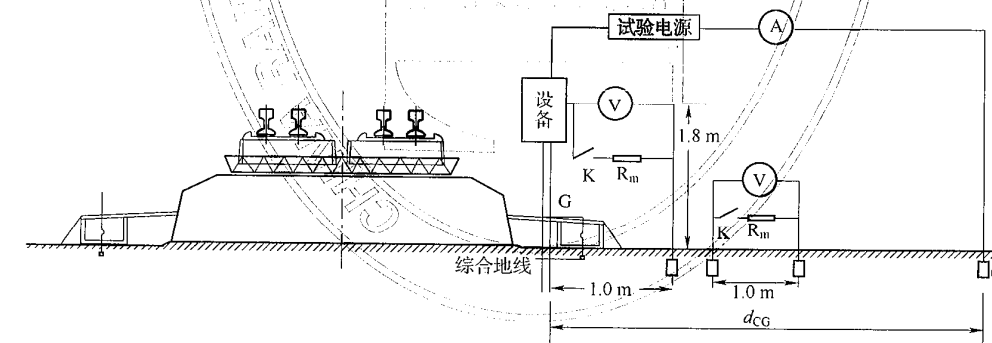
I_m ——注入地网的测量电流,单位为安培(A)。

9.1.8 地表电位梯度测试结果的判定:状况良好的接地网所在场区地表电位梯度分布曲线比较平坦,通常曲线两端有些抬高,有剧烈起伏或突变通常说明接地装置状况不良,参见附录B中的图B.2。当该接地网的有效接地系统的最大单相接地短路电流不超过35 kA时,折算后得到的单位场区地表电位梯度通常在20 V以下,不宜超过60 V,如果接近或超过80 V,则应尽快查明原因予以处理解决。

9.2 跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压的测量

9.2.1 铁路沿线设备、牵引变电所、电力配变电所人员可能接触的设备,如构架、接地引下线、设备箱体等应测量设备及周围的跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压。

9.2.2 跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压测量示意图见图9,测试的电流极应布置得尽量远,电流极 C 与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{CG} ,宜取 $d_{CG} \geq 400 \text{ m}$ 。图9中 R_m 为等效的人体电阻,为1 000 Ω ,开关 K 断开未接入 R_m 时测量的为接触电位差和跨步电位差,开关 K 合上接入 R_m 时测量的为接触电压和跨步电压。



G——电流注入点;

C——电流极;

P——电压极。

图9 跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压测量示意图

9.2.3 测量电位极 P 可采用直径不小于1.5 cm的圆钢或 $L25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的角钢,其长度不应小于40 cm,电位极应紧密插入土壤中20 cm以上。如果场区是水泥路面,可采用包裹湿抹布的直径20 cm的金属圆盘,并压上40 kg及以上重物。其他要求同6.2中6.2.3~6.2.6。

9.2.4 测量跨步电位差、跨步电压、接触电位差和接触电压的测量仪器准确度不应低于1.0级,内阻

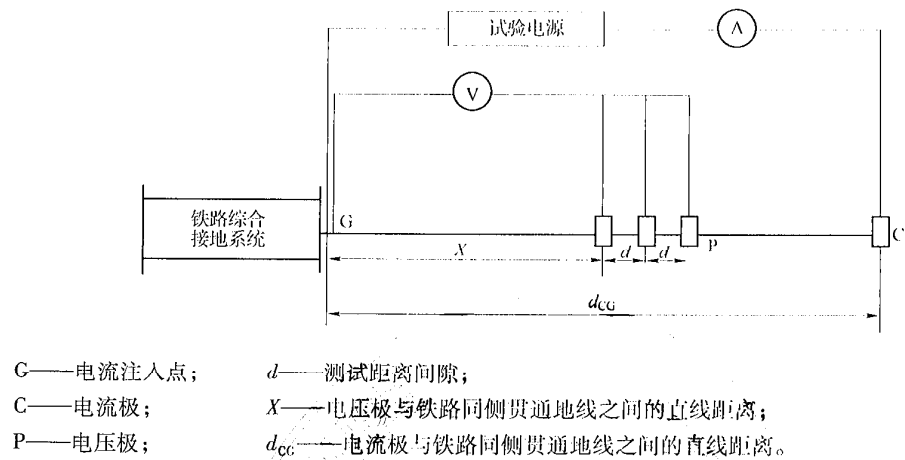


图7 铁路综合接地系统的接地阻抗测量的电位降法电极布置

$d_{CG} \geq 700$ m。电位降法仅在曲线水平阶段非常分明时,其结果才比较正确,应用时要特别仔细,典型曲线参见 GB/T 17949.1—2000。如果电位降法曲线转入水平阶段的点难以确定,则可能是受铁路综合接地系统或电流极的影响,或是地下情况复杂,可考虑延长电流极布线长度,或者考虑以其他方法来测试和校检。

9 场区地表电位梯度、跨步电压和接触电压测量

9.1 场区地表电位梯度测量方法

9.1.1 场区地表电位梯度分布曲线可以表征接地装置地面电位分布状况,在大型车站、牵引变电所等互连面积较大的接地网可通过测量场区地表电位梯度分析接地网连接状况,某些重点关注的部位也可针对性测量。

9.1.2 场区地表电位梯度测量示意图见图8。测试场区地表电位分布的电流极应布置得尽量远,电流极C与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{CG} ,宜取 $d_{CG} \geq 700$ m。其他要求同6.2中6.2.3~6.2.6。

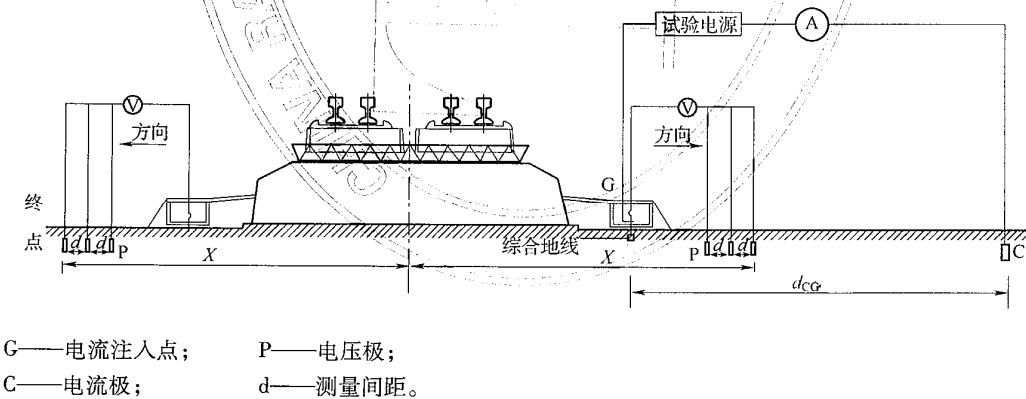


图8 地表电位梯度测量示意图

9.1.3 将被试场区合理划分,场区电位分布用若干条曲线来表述,参见附录B中的图B.1,根据设备数量、重要性等因素布置曲线,一般情况下曲线的间距不大于30 m。

9.1.4 在曲线路径上中部选择一条与所在场区主接地网连接良好的设备接地端子为参考点,等间距(间距 d 通常为1 m或2 m)测试地表与参考点之间的电位梯度 U ,直至终点,绘出各条 $U-x$ 曲线,即为场区地表电位梯度分布曲线。

地干线与铁路综合接地系统之间,以及其他必要部分与铁路综合接地系统之间电气连接完整性。

c) 通信信号系统的接地装置电气完整性测量:测量通信信号系统的接地装置之间电气连接完整性;测量通信信号系统的接地装置与铁路综合接地系统之间电气连接完整性。

7.2 测量方法

7.2.1 测量时选定一个与被测接地系统连接良好的接地端子为参考点,测量参考点附近300 m范围内的电气设备或线缆接地测量点与参考点之间的直流电阻,并记录测量时环境温度。

7.2.2 当发现测量值在50 mΩ以上时,应反复测量验证。如果有很多设备测量结果反映连接不良,可考虑更换参考点重新测量。测试中应注意减小接触电阻的影响。

7.3 测试仪器

电气完整性测量宜选用直流回路电阻测试仪进行,仪器的分辨率为1 mΩ,测量精度不应低于1.0级。也可采用直流电桥原理的测量仪器,在被试电气设备的接地部分与参考点之间加恒定直流电源,再用高内阻电压表由该电流在参考点通过接地装置到被试设备的接地部分这段金属导体上产生的电压降,并换算到电阻值。

电气完整性测量接线应采用两个电流极和两个电压极分开连接的四端子法测量,以减小接触电阻以及测量引线电阻的影响。测量引线应为带绝缘护套导线,中间接头应保持电气连续性及对地绝缘。测量引线截面应在1.5 mm²及以上,并保证与测量电极和测量仪表间的可靠连接。

7.4 测量结果的判断处理

电气完整性测量结果采用如下方法判断和处理:

- 连接状况良好的设备或线缆接地测量点与参考点之间的直流电阻测量值应在50 mΩ以下;
- 如果设备或线缆接地测量点与参考点之间的直流电阻在50 mΩ~200 mΩ,反映设备或线缆连接状况尚可,宜在以后例行测量中关注其变化,重要的设备或线缆宜在适当时候检查处理;
- 如果设备或线缆接地测量点与参考点之间的直流电阻在200 mΩ~1 Ω,反映设备或线缆连接状况不佳,应对重要的设备或线缆尽快检查处理,其他设备或线缆宜在适当时候检查处理;
- 如果设备或线缆接地测量点与参考点之间的直流电阻在1 Ω以上,反映设备或线缆与铁路综合接地系统未连接,应尽快检查处理。

8 铁路综合接地系统接地阻抗测量

8.1 测量方法选择

8.1.1 铁路综合接地系统接地阻抗测量前宜先测量土壤电阻率,以根据土壤电阻率确定合理的接地阻抗测量布线长度。

8.1.2 铁路综合接地系统接地阻抗测量宜采用反向远离法进行测量(见图5),当测量电极布置受到环境限制时可采用补偿法测量(见图6),当土壤电阻率较均匀并适合垂直铁路方向长距离布线时也可采用电位降法测量(见图7)。采用补偿法或电位降法测量时应注意使电流极和电压极测量引线保持尽量远的距离,以减小互感耦合对测量结果的影响。

8.1.3 当发现测量结果与以往实测值有明显偏差时,应检查试验回路电气连接是否良好或测量点的选取是否合理,必要时可采用不同的方法对比验证。

8.2 测量布置

铁路综合接地系统接地阻抗应采用三极法布置,电流极、电压极和铁路贯通地线电流注入点应布

置为三点在一条直线上并与铁路轨道垂直,电流极和电压极与测量电流注入点之间的距离应为直线几何距离,并应精确测量。其他要求同 6.2 中 6.2.3 ~6.2.6。

8.3 试验电流

铁路综合接地系统接地阻抗测量时,试验电流的注入点宜选择在一个与综合接地系统连接良好的接地端子上。试验电流应满足如下要求:

- a) 推荐采用异频电流法测量铁路综合接地系统的接地阻抗,试验电流宜在 3 A ~20 A,频率宜在 40 Hz ~60 Hz 范围,异于工频又尽量接近工频。
- b) 当采用工频大电流法测量铁路综合接地系统的接地阻抗时,应采用独立电源或经隔离变压器供电,并尽可能加大试验电流,试验电流不宜小于 50 A,并应特别注意试验的安全性,如电流极和试验回路的看护。

8.4 测试仪器

铁路综合接地系统接地阻抗测量宜采用四端子接地阻抗测试仪,并采用独立电源或经隔离变压器供电,仪器的准确度不应低于 1.0 级,电压表的分辨率不应低于 1 mV。采用异频电源时,测试仪器的选频性能应良好,避免噪声对测量的影响。

8.5 测量间距

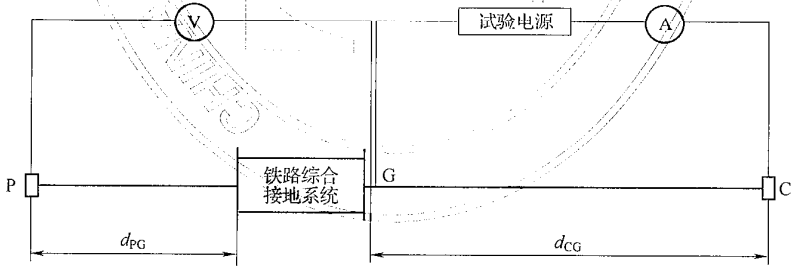
铁路综合接地系统接地阻抗测量结果反映了一定长度的铁路区段综合接地系统的接地阻抗。不同土壤电阻率对应的铁路综合接地系统有效测量间距见表 1。

表 1 铁路综合接地系统接地阻抗有效测量间距

土壤电阻 ρ $\Omega \cdot \text{m}$	$\rho \leq 100$	$100 < \rho \leq 300$	$300 < \rho \leq 500$	$500 < \rho \leq 700$	$700 < \rho \leq 1\,000$	$1\,000 < \rho \leq 2\,000$	$\rho > 2\,000$
测量间距 km	1 ~ 2	2 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 6	6 ~ 7	7 ~ 9	9 ~ 10

8.6 接地阻抗测量的反向远离法

反向远离法测量铁路综合接地系统接地阻抗的电极布置如图 5 所示,其中电流极和电压极分别布置在铁路综合接地系统两侧,电流极 C 与铁路同侧贯通地线之间的距离为 d_{CG} ,电压极 P 与铁路同侧贯通地线之间的距离为 d_{PG} , d_{CG} 及 d_{PG} 均不包括铁路综合接地系统两侧贯通地线之间的宽度。反向远离法测量铁路综合接地系统接地阻抗时,宜取 $d_{CG} \geq 400 \text{ m}$, $d_{PG} = 0.5 d_{CG}$ 。



- G——电流注入点;
- C——电流极;
- P——电压极;
- d_{PG} ——电压极与铁路同侧贯通地线之间的直线距离;
- d_{CG} ——电流极与铁路同侧贯通地线之间的直线距离。

图 5 铁路综合接地系统接地阻抗测量的反向远离法电极布置

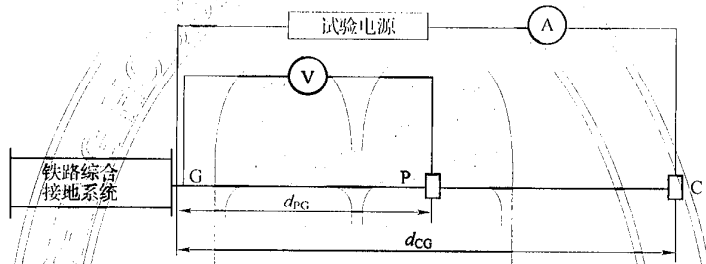
布置电流极和电压极测量引线后,施加试验电流,读取电压表读数 U 和电流表读数 I ,铁路综合接地系统接地阻抗 $Z = k \times (U/I)$,式中 k 为接地阻抗反向远离法修正系数,其值列于表 2,根据测量得到的土壤电阻率按照表 2 的规定确定 k 。

表 2 不同土壤电阻率下的接地阻抗反向远离法修正系数 k

土壤电阻率 ρ $\Omega \cdot \text{m}$	$\rho \leq 100$	$100 < \rho \leq 300$	$300 < \rho \leq 700$	$700 < \rho \leq 1\,000$	$1\,000 < \rho \leq 2\,000$	$\rho > 2\,000$
$d_{CG} = 400 \text{ m}$	$k = 1.29$	$k = 1.38$	$k = 1.41$	$k = 1.40$	$k = 1.34$	$k = 1.25$
$d_{CG} = 700 \text{ m}$	$k = 1.20$	$k = 1.28$	$k = 1.35$			

8.7 接地阻抗测量的补偿法

补偿法测量铁路综合接地系统接地阻抗的电极布置示意图如图 6,其中电流极和电压极布置在铁路综合接地系统贯通地线同一侧,电流极 C 与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{CG} ,电压极 P 与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{PG} 。



- G——电流注入点;
- C——电流极;
- P——电压极;
- d_{PG} ——电压极与铁路同侧贯通地线之间的直线距离;
- d_{CG} ——电流极与铁路同侧贯通地线之间的直线距离。

图 6 铁路综合接地系统的接地阻抗测量的补偿法电极布置

补偿法测量铁路综合接地系统接地阻抗时,宜取 $d_{CG} = 700 \text{ m}$,电压极的布置应根据土壤电阻率来确定,并满足表 3 的要求。

表 3 不同土壤电阻率下电压极位置

土壤电阻率 ρ $\Omega \cdot \text{m}$	$\rho \leq 50$	$50 < \rho \leq 100$	$100 < \rho \leq 300$	$300 < \rho \leq 500$	$500 < \rho \leq 700$	$700 < \rho \leq 1\,000$	$1\,000 < \rho \leq 2\,000$	$\rho > 2\,000$
$d_{CG} = 700 \text{ m}$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$	$d_{PG} =$
电压极位置 m	420	420 ~ 380	380 ~ 326	326 ~ 293	293 ~ 267	267 ~ 239	239 ~ 179	145
当土壤电阻率变化时, d_{PG} 可按照土壤电阻率所在区段中位置公式 $d_{PG} = 122.1e^{-\rho/62.2} + 253.4e^{-\rho/1303.7} + 121.3$ 计算确定。								

根据测得的土壤电阻率对应布置电流极和电压极测量长度后,施加试验电流,读取电压表读数 U 和电流表读数 I ,铁路综合接地系统接地阻抗 $Z = U/I$ 。

8.8 接地阻抗测量的电位降法

电位降法测量铁路综合接地系统接地阻抗的电极布置示意图如图 7 所示,其中电流极 C 和电压极 P 布置在铁路综合接地系统贯通地线同一侧,电流极 C 与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{CG} ,电压极 P 与铁路同侧贯通地线之间的直线距离为 d_{PG} 。

在铁路综合接地系统 G 和电流极 C 之间注入试验电流 I 使地表电位变化,电压极 P 从 G 的边缘开始沿电流回流方向移动,每间隔距离 d (10 m 或 20 m 或 30 m) 测试一次 P 和 G 之间的电位差 U ,绘出 U 与 X 的变化曲线,曲线转入水平阶段的点即为电位零点,电位零点与曲线起点间的电位差即为在试验电流 I 下铁路综合接地系统的电位升高 U_m ,铁路综合接地系统接地阻抗 $Z = U_m/I$ 。

为了取得 U 与 X 变化曲线的水平阶段,宜将电流极布置在铁路综合接地系统作用范围之外,宜取