

# 铁路工程物理勘探规程

TB 10013—2004

J 340—2004

## 1 总 则

- 1.0.1 为统一铁路工程物理勘探的技术要求，提高勘察质量，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于铁路工程的物理勘探工作。
- 1.0.3 物探应充分利用被探测对象的物性条件合理使用，积极开展综合物探，并与其他勘探方法相配合，对所测得的物探资料进行综合分析。
- 1.0.4 铁路工程物理勘探应积极采用新技术和新方法。
- 1.0.5 铁路工程物理勘探工作，除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

## 2 术语、代号和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 物理勘探 geophysical prospecting (geophysical exploration)

利用物理学的原理、方法和专门的仪器，观测并综合分析天然或人工地球物理场的分布特征，探测地质体或地质构造形态的勘探方法，简称“物探”。

#### 2.1.2 工程物理勘探 engineering physical prospecting

应用于工程地质、水文地质勘察和物性参数测试、工程检测的物理探测方法。

#### 2.1.3 综合物探 comprehensive physical exploration

根据勘探对象所具有的不同物理性质，采取两种或两种以上有效的物探方法进行探测并对资料进行综合分析。

#### 2.1.4 正常场（背景值） normal field

物理场的相对平稳部分。

### 2.1.5 异常 anomaly

偏离正常场并超过一定数值的物理场。

### 2.1.6 物性 physical properties

探测对象所具有的物理性质。

### 2.1.7 物探正演 geophysical direct problem

根据地质体的几何参数和物性参数计算它的地球物理场值。

### 2.1.8 物探反演 geophysical inversion

利用测得的地球物理场数据，计算地质体的几何参数和物性参数。

### 2.1.9 等值线 contour

某一物理量量值相等点的连线。

### 2.1.10 地形校正 terrain correcton

对地形变化所产生的地球物理场的畸变进行的数值改正。

### 2.1.11 资料解释 data interpretation

根据物探成果特征，分析引起异常的原因，确定探测对象的几何参数和物性参数，说明成果的地球物理意义、地质意义和工程意义。根据解释深入的程度可分为定性解释、定量解释和地质解释。

### 2.1.12 电阻率 resistivity

电场强度与电流密度的比值，是介质的电性参数，表示电流通过某种介质的难易程度。

### 2.1.13 视电阻率 apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下，用均匀介质的电阻率理论表达式计算得到的电阻率值。其数值与介质电阻率、形态和观测条件有关。

### 2.1.14 不极化电极 nonpolarizable electrodes

不受电极和地之间的电化学反应引起电位变化的测量电极。

### 2.1.15 极化率 polarizability

时域激电法中，二次场某时刻的瞬时场强与最大场强的百分比。

### 2.1.16 衰减时 decay time

时域激电法中，二次场场强衰减到某一相对值时所需的时间。

### 2.1.17 电极距 spacing

供电或测量电极到观测记录点的距离。

### 2.1.18 接地电阻 ground resistance

电流由电极表面经邻近介质流到无穷远处所要克服的总电阻。

### 2.1.19 椭圆极化 elliptical polarization

电磁场的矢量末端随时间变化的轨迹呈椭圆形的极化现象。

### 2.1.20 趋肤深度 depth of penetration

电磁波垂直入射地表后，振幅衰减到其地面值的  $1/e$  ( $e=2.71828$ ) 时的深度。

### 2.1.21 介电常数 dielectric constant

在有外电场作用时，物质储存电荷能力的量度，是一个点上电位移和电场强度的比值。

### 2.1.22 纵波 dilatational wave

质点振动方向与波的传播方向一致的体波，又称压缩波。

### 2.1.23 横波 transverse wave

质点振动方向与波的传播方向垂直的体波，又称剪切波。

### 2.1.24 瑞雷波 Rayleigh wave

沿地表面传播的一种弹性波，它的质点振动是在传播方向的垂直平面内呈椭圆形逆时针方向的振动。

### 2.1.25 偏移距 offset

激发点到最近检波点间的水平距离。

### 2.1.26 道间距 group interval

相邻检波器之间的水平距离。

### 2.1.27 初至 first arrival

波形记录道上第一个到达波的振动时刻。

### 2.1.28 时距曲线 time distance curve

弹性波的走行时间与距离之间的关系曲线。

### 2.1.29 多次覆盖 multiple coverage

对同一反射界面进行多次重复追踪，把共反射点道的信号进行叠加处理以提高反射记录质量的一种观测系统。

### 2.1.30 同相轴 event

波形记录上同一信号源的各道相同相位的连线。

### 2.1.31 卓越周期 predominant period

大地天然震动中最大振动强度所对应频率的倒数。

### 2.1.32 日变 diurnal variation

地磁场随地球自转而发生的改变。

### 2.1.33 磁化率 magnetic susceptibility

一种物质可被磁化的程度，为磁化强度和相应的磁场强度之比。

### 2.1.34 自然底数 natural thickness

由介质底数、仪器底数、宇宙射线底数组成的放射性背景值。

## 2.2 代号

A, B——供电电极

AB——供电电极距

O——电法勘探观测装置记录点

AO——供电电极 A 至记录点的距离

BO——供电电极 B 至记录点的距离

OO'——偶极装置时供电电极中心至测量电极中心的距离

M, N——测量电极

MN——测量电极距

AMT——大地音频电磁

CSAMT——可探源大地音频电磁

## 2.3 符号

$\Delta U$ ——电位差

$I$ ——电流

$\rho$ ——电阻率

$\rho_s$ ——视电阻率

$\sigma$ ——电导率

$\eta_s$ ——视极化率

$\nu$ ——泊松比

$v_p$ ——纵波速度

$v_s$ ——横波速度

$v_R$ ——瑞雷波速度

$t_0$ ——法向反射时间

$H$ ——磁场强度

$M$ ——磁化强度

$k$ ——磁化率

$E_x$ ——电场强度水平分量

$H_y$ ——磁场强度水平分量

$H_z$ ——磁场强度垂直分量

$D$ ——极化椭圆倾角

$f$ ——频率

$\lambda$ ——波长

$\phi$ ——相位

$\epsilon$ ——介电常数

$\epsilon_r$ ——相对介电常数

$\gamma$ ——自然伽马射线

$T_{1/2}$ ——半衰期

### 3 基本规定

#### 3.0.1 物探的应用应具备下列条件：

- 1 探测对象与其相邻介质必须存在一定的物性差异并具有足以被探测的规模。
- 2 地形变化产生的异常畸变不显著改变探测对象的异常形态或能进行改正。
- 3 存在电、磁、振动等外界干扰时，探测对象的异常能够从干扰背景中区分出来。

3.0.2 重大工点、地质条件复杂的工点和存在多种干扰因素的工点，应采用综合物探。

3.0.3 物探应按搜集资料、踏勘、编制计划、施测、初步解释、最终解释、成果核对、报告编制的程序进行。

#### 3.0.4 物探外业工作质量的检查应符合下列规定：

- 1 检查工作宜由不同的操作员在不同日期用不同的仪器进行；
- 2 检查点在测区应均匀分布，异常与可疑地段应重点检查；

3 质量检查一般应抽查工点工作总量的 5%，质量不满足要求时应增加，当检查工作量达到工作总量的 20%时，质量仍不符合规定，所有数据必须重测；

4 质量检查资料必须与正式资料一起提交审核。

**3.0.5** 物探仪器及其附属设备必须满足性能稳定、结构合理、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性良好等要求。仪器应定期检查、标定和保养。

**3.0.6** 物探工作的布置应符合下列规定：

1 测网应根据探测工程需要和地形地质条件布置，确定的测线位置可根据实际情况适当调整，面积测量时测线移动的允许距离在相应比例的图片上为 5mm；

2 测网密度应保证异常的连续、完整和便于追踪；

3 主要测线应垂直或大角度相交于探测对象或已知异常的走向；

4 测线方向宜避开地形及其他干扰的影响，应保证异常的完整和具有足够的正常背景。

**3.0.7** 物探测线的起讫点、各基点、转折点、测线上每相距 100m 的测点、地形突变点、充电点、非均匀分布的各物探测点、重要的物探异常点及建议验证的点位，应进行位置和高程测量。

**3.0.8** 物探测量应符合下列规定：

1 测网的控制基点必须与测量基点联测，高程和点位误差应符合Ⅲ级导线测量的要求；

2 物探点位在平面图上的允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；

3 水面物探测点的高程应根据水位变化进行校正，点位允许误差为基线长度的 1/1500。

**3.0.9** 物探原始资料应符合下列规定：

1 原始资料应包括下列内容：

1) 与工作比例相应的地形图件和测量基点的坐标、高程；

2) 与工点有关的工程地质资料和钻探资料；

3) 物探施测的各种原始记录和检查记录；

4) 物探仪器校验、标定及一致性检查的记录。

2 原始记录必须完整、真实、清晰，标示清楚，签署齐全，不得随意涂改或重抄。

**3.0.10** 物探资料解释应符合下列规定：

1 在分析各项物性参数的基础上，按从已知到未知、先易后难、点面结合、反复认识、定性指导定量的原则进行。宜采用两种以上的方法进行定量解释，并选用典型断面作正演计算。条件具备时物性参数应通过测井确定。

2 结论应明确，符合测区的客观地质规律。各物探方法的解释应相互补充、相互印证。解释结果不一致时，应分析原因，并对推断的前提条件予以说明。

3 解释结果应说明探测对象的形态、产状、延伸等要素；对于已知资料不足，暂时不能得出具体结论的异常，应说明原因。

4 解释应充分利用各种勘探方法的成果；有钻孔验证的工点，应充分利用钻孔资料对解释结果进行全面的修正。

### 3.0.11 物探成果资料的编制应符合下列规定：

1 物探成果资料应包括下列内容：

- 1) 物探平面图；
- 2) 各种定性分析图件；
- 3) 各种定量解释图件；
- 4) 平面、断面成果图表；
- 5) 质量检查数据和质量评定表。

2 物探成果报告应包括下列内容：

- 1) 任务依据和要求；
- 2) 地形、地质和物性特征；
- 3) 物探方法的选择原则及采取的技术措施；
- 4) 测网布置和数据采集；
- 5) 资料整理与解释；
- 6) 质量评价；
- 7) 结论和建议。

3 图件的比例应符合工程需要，成果平面图可与工作平面图合并绘制，内容应包括线路里程、导线点、地形和主要地物、物探测网、异常分布位置、推断地质界线和建议验证钻孔等内容。

4 物性地质断面图应结合地质资料综合分析后编制，图上应标出各地层的物性参数、地层符号或地层图纹、钻孔以及推断的构造位置和产状，标明中线里程或与中线里程的关系。

## 4 直流电法

### 4.1 一般规定

4.1.1 直流电法是利用探测对象与相邻介质的电阻率或电化特性差异，观测研究与探测对象有关的直流电场的分布特点和规律，达到探测目的的物探方法。

4.1.2 直流电法应根据工作条件和探测要求选用相应的观测方法和观测装置。

4.1.3 直流电法仪器的技术指标应满足以下要求：

- 1 输入阻抗应大于  $3\text{M}\Omega$ ；
- 2 AB、MN 插头和外壳三者之间的绝缘电阻应大于  $100\text{M}\Omega/500\text{V}$ ；
- 3 电位差测量分辨率应达到  $0.01\text{mV}$ ；
- 4 电流测量分辨率应达到  $0.1\text{mA}$ ；
- 5 对  $50\text{Hz}$  干扰压制应大于  $40\text{dB}$ 。

4.1.4 当两台或两台以上仪器在同一工点作业时，应进行仪器的一致性测定，允许相对均方误差为  $\pm 2\%$ 。

4.1.5 直流电法的数据采集应符合下列规定：

1 供电电流应稳定，在不改变接地条件和工作电压时，两次电流观测值的允许相对误差为  $\pm 2\%$ 。

2 下列测点应进行重复观测：

1) 电测深  $AB/2$  小于  $100\text{m}$  时，每隔  $3\sim 5$  个电极距、畸变点、不正常脱节的接头和  $AB/2$  大于  $100\text{m}$  的每个电极距；

2) 电剖面、充电法和自然电场法：每隔  $3\sim 5$  个测点、主要异常和畸变点；

3) 读数困难、极化不稳定和存在明显干扰现象的测点。

4.1.6 直流电法重复观测的数据应符合下列规定：

1 取算术平均值作为最终的基本观测值；

2 自然电场法重复观测的允许绝对值误差为  $2\text{mV}$ ，其他方法重复观测的允许平均相对误差为  $\pm 4\%$ ，否则必须增加观测次数；

3 参与平均值计算的数据个数，不得少于该点总观测次数的  $2/3$ ；

4 重复观测时，应改变  $20\%$  以上的电流强度；

5 重复观测误差超过允许范围时，应多次观测，并检查极距、漏电、接地、仪器及接线等，还应对接地位置和附近的地形、地质及干扰等情况进行核对。



#### 4.1.7 直流电法的电极接地应符合下列规定：

- 1 供电电极接地电阻应小于  $1\text{k}\Omega$ ，供电电流宜大于  $100\text{mA}$ ；
- 2 测量电极接地电阻应小于仪器输入阻抗的  $1\%$ ，电位差不得小于  $0.3\text{mV}$ ；
- 3 电极位置应准确，电线与电极连接可靠，测量电线与高压输电线相交时，宜垂直高压线；
- 4 除高密度电法外，测量电极必须使用同一类电极，供电与测量电极不得混用；
- 5 测绳等丈量工具不应与电极接触，在水中或潮湿地区，应架空有金属丝的测绳。

#### 4.1.8 直流电法的漏电检查应符合下列规定：

- 1 每日开工、收工和曲线发生畸变时，应对仪器、电源、电线进行漏电检查；
- 2 电测深的  $AB/2 \geq 500\text{m}$  时的所有测点、各种剖面法每隔  $10 \sim 20$  个测点、每个剖面的最后一个测点、电线位于潮湿地区和有疑问的异常区（点）应进行漏电检查；
- 3 当发现电线、电源或仪器漏电时，必须查明原因予以消除后，按序返回观测，至连续三个测点的观测值与原观测值之差不大于原观测值的  $\pm 5\%$  为止。

#### 4.1.9 直流电法的参数测定应符合下列规定：

- 1 同一地电类型的工点应统一安排参数测定；
- 2 不具备参数测定的工点，可根据等值范围较窄的电测深曲线推求中间层参数。

#### 4.1.10 直流电法的质量检查应以一个电测深点或一段电剖面为检查单元。

#### 4.1.11 直流电法的资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 当地形起伏较大时，应考虑地形影响，必要时做地形改正。
- 2 各种剖面曲线图的绘制，应符合下列要求：
  - 1) 装置示意图上应注明装置长度和点距，充电法还应标出充电点在剖面上的投影位置；
  - 2) 面积性的剖面工作，各剖面图应采用相同的比例尺，并绘制平面剖面图；充电法的平面剖面图上应标出充电点的平面位置。
- 3 定性解释应符合下列要求：
  - 1) 研究测线附近的地形、地质条件及干扰体的位置与异常的关系，区分异常

和干扰；

2) 地形坡度大于  $20^{\circ}$  时，应考虑地形影响并进行地形校正；

3) 参照正演曲线和试验结果，研究异常的特征和异常与电极距、电极位置的关系；

4) 确定异常体的性质和平面位置，估计埋深和形态。

## 4.2 电测深法

4.2.1 电测深法适用于划分地层，探查隐伏构造、岩溶和地下水源。

4.2.2 电测深法应采用对称四极装置，当地层电性均匀、电性层厚度变化不大或因地形条件无法采用对称四极装置时，可采用三极装置。装置方向的地形起伏不宜大于  $15^{\circ}$ 。

4.2.3 电测深的工作布置除应符合本规程第 3.0.6 条的规定外，还应符合下列规定：

1 测点间距在划分地层时不应小于探测对象埋深的一半；探测岩溶、洞穴、断层时应使异常在三个相邻测点上有较清晰的反映。

2 电性分布不均匀的工点应布置适当的十字电测深或多方向的三极电测深查明地层电性的各向异性情况。

3 装置方向应根据测区的地形、地质、地电条件确定，在同一电性单元内宜保持一致。

4 三极测深装置的无穷远 B 极宜垂直 AO，OB 应大于最大 AO 的 5 倍。OB 与 AO 平行时，OB 应大于最大 AO 的 10 倍。

4.2.4 电测深极距的选择应符合下列规定：

1 AB/2 的增距比应在 1.2~1.5 之间，最大 AB/2 应能满足最后一层的解释需要； $45^{\circ}$  上升的尾支渐近线上不应少于 3 个点；最小 AB/2 应能反映曲线首支渐近线。

2 MN 不得大于 AB/3，当观测的电位差小于 0.3mV 时，应更换 MN。更换 MN 时，应有两个 AB/2 重叠观测，温纳装置不受此限。

4.2.5 电测深曲线接头出现不正常脱节时，应按照本规程第 4.1.6 条第 5 款的规定进行检查和重复观测。若曲线仍为不正常脱节，应改变 MN，或变更装置方向、测点位置后重新测量。

4.2.6 电测深曲线出现畸变时，必须按本规程第 4.1.6 条第 5 款的规定进行检查，

并对畸变点前后的电极距重复观测或在畸变点前后增加观测点，当畸变无法消除时，应查明原因或加密电测深点。

#### 4.2.7 大地导电率测量应符合下列规定：

- 1 大地导电率测量宜采用温纳测深装置。
- 2 大地导电率的最大  $AB/2$  可根据测深曲线与解释曲线的交点确定。根据探测要求和外业地形情况也可只测交点位置或交点附近一段的视电阻率。
- 3 相邻测点的导电率值相差三倍时应加密测点。

#### 4.2.8 电测深测量数据的质量应符合下列规定：

- 1 单个电测深点视电阻率的允许相对均方误差  $\epsilon$  为  $\pm 5\%$ ，可采用下式计算：

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (4.2.8-1)$$

$$\delta_i = \frac{\rho_{si} - \rho'_{si}}{\frac{1}{2}(\rho_{si} + \rho'_{si})} \times 100\% \quad (4.2.8-2)$$

式中  $n$ ——参与计算的检查点总数；

$\delta_i$ ——第  $i$  点两次观测的相对误差；

$\rho_{si}$ ——第  $i$  点基本观测值；

$\rho'_{si}$ ——第  $i$  点检查观测值。

- 2 工点的电测深视电阻率允许相对均方误差  $M$  为  $\pm 5\%$ ，可采用下式计算：

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{n}} \quad (4.2.8-3)$$

式中  $\epsilon_i$ ——单个电测深点的相对均方误差；

$n$ ——参与计算的电测深点数。

#### 4.2.9 电测深的定量解释应符合下列规定：

- 1 曲线应采用 62.5mm 模数的双对数坐标绘制，主要电性标志层反映明显，首尾支渐近线符合定量解释要求，无严重畸变或已查明原因；
- 2 同一工点的曲线接头应采用相同的处理方式；
- 3 分析解释应结合测区的地质和电性条件进行，注意装置方向对曲线的影响，合理使用参数，并应绘制必要的分析图件，计算正演曲线；

- 4 电测深曲线应采用两种或两种以上的方法解释，结果应接近；
- 5 定量解释的参数和计算结果应标明在电测深曲线图上；
- 6 有钻孔资料时，应利用钻孔资料对解释结果进行修正。

### 4.3 电测剖面法

4.3.1 电测剖面法适用于查找岩溶、洞穴，确定断层、岩性界线的位置和倾向。

4.3.2 电测剖面法的工作布置除应符合本规程第 3.0.6 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测线上应有 3~5 个反映单个异常的测点；
- 2 所要研究的异常应不少于三条测线通过。

4.3.3 电测剖面法的装置类型和装置长度应根据探测要求、地电条件、地形特征和试验效果，配合适当数量的电测深来选择，并应符合下列规定：

1 对称四极剖面法的 AB 应为探测对象顶部埋深的 4~6 倍，MN 不应大于探测对象的顶部埋深且小于  $AB/3$ 。

2 联合剖面法的 AO 应大于探测对象顶部埋深的 3 倍，无穷远极应符合本规程第 4.2.3 条第 4 款的规定， $MN/2$  应小于  $AO/3$ 。

3 中间梯度剖面法的测量区间应位于  $AB/3$  的范围内，MN 宜等于点距或二倍点距，在移动 AB 时应使测量段有两个以上的测点重叠。

4 偶极剖面法的  $OO'$  应大于探测对象顶部埋深的 3 倍，供电偶极子和测量偶极子的长度宜相等且小于  $OO'$ 。

5 采用两个以上 AB 极距的复合电测剖面装置时，相邻装置的  $AB/2$  或  $OO'$  的比值应为 1.5~2.0， $MN/2$  或偶极子的长度不宜改变。

6 电测剖面法各电极接地位置偏离测线的距离应小于  $MN/10$ ，有困难时供电电极可偏离测线  $AB/20$ 。

4.3.4 电测剖面法测量数据的质量和误差计算应符合本规程第 4.2.8 条第 1 款的规定。

### 4.4 高密度电法

4.4.1 高密度电法适用于探测岩溶、洞穴、路基状态和地质界线的产状等。

4.4.2 高密度电法的工作布置应符合下列规定：

1 测量点距应根据探测对象的大小和埋深确定，装置长度宜大于探测对象埋深的 4 倍；

- 2 观测装置沿测线移动时，每次移动的距离应保证勘探深度范围内数据连续；
- 3 测量剖面应超出勘探测线两端各  $1/3$  装置长度。

#### 4.4.3 高密度电法的数据采集应符合下列规定：

- 1 采用温纳、偶极、梯度等多种观测装置时，严禁采用相互换算的数据作为观测数据；
- 2 测量应采用极化较小的同一种电极和正负交替的供电方式供电。

#### 4.4.4 高密度电法测量数据的质量和误差计算应符合本规程第 4.2.8 条第 1 款的规定。

### 4.5 自然电场法

#### 4.5.1 自然电场法适用于探测浅层地下水流向、区别岩溶和炭质灰岩异常，也可用于环保和地质灾害的调查。

#### 4.5.2 自然电场法的观测宜采用电位法，在大地电流干扰较强的地区可采用梯度法，采用梯度法时 MN 宜等于观测点距。

#### 4.5.3 自然电场法的电位观测应符合下列规定：

- 1 电位总基点应选择在自然电位平稳的正常场地段，与分基点联测必须方便；
- 2 分基点应选择在自然电场稳定、交通便利处；
- 3 各基点之间在开工和完成测区总量的  $50\%$  时，应进行电位联测，两次观测的允许绝对误差为  $5\text{mV}$ ，超过此误差的基点应多次联测，不稳定的基点应重复观测。

#### 4.5.4 自然电场法的电极应符合下列规定：

- 1 成对不极化电极的极差在开始工作时应小于  $2\text{mV}$ ，测完一条剖面后应小于  $5\text{mV}$ ；
- 2 电极应编号使用，电位测量时基点接 N 极，梯度测量时 M 极和 N 极的顺序不得颠倒；
- 3 电极不应埋设在乱石堆上，电极接地电阻应小于  $2\text{k}\Omega$ ，并应避免电极曝晒；
- 4 电极在测点上安置困难时，可沿垂直测线的方向移动，移动的距离应小于  $1/5$  点距。

#### 4.5.5 自然电位测量数据的质量用平均绝对误差评价，工点的允许平均绝对误差 $\delta$ 为 $5\text{mV}$ ，可采用下式计算：

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - A'_i| \quad (4.5.5)$$

式中  $A_i$ ——第  $i$  点原始观测值；

$A'_i$ ——第  $i$  点检查观测值；

$n$ ——检查点数。

## 4.6 充电法

4.6.1 充电法适用于探测低电阻物体的平面展布和地下水流向。

4.6.2 充电法的工作布置应符合下列规定：

- 1 充电点应与被追踪的低阻体连通；
- 2 无限远 B 极至测区的最短距离应大于测区对角线长度的 5 倍；
- 3 电位测量时，固定的 N 极应设在 B 极的反方向。

4.6.3 充电法的数据采集应符合下列规定：

- 1 在观测电位差的前后应观测供电电流的强度；
- 2 电位和梯度观测必须单独进行，严禁采用换算值；
- 3 梯度的过零点和电位的极大点，应进行重复观测和漏电检查；
- 4 梯度测量时 MN 极的顺序不得颠倒。

4.6.4 充电法测量数据的质量和误差计算应符合本规程第 4.2.8 条第 1 款的规定。

## 4.7 激发极化法

4.7.1 激发极化法适用于探测地下水、区别岩溶与炭质灰岩异常。

4.7.2 激发极化法可根据探测需要选择对称四极测深装置、各种剖面装置和充电装置。

4.7.3 激发极化法的仪器性能除了应符合本规程第 4.1.3 条的要求外，还应满足下列要求：

- 1 极化率测量分辨率应达到 0.01%；
- 2 延时与积分的时间可调且允许误差为  $\pm 1\%$ ，采样宽度和叠加次数可调；
- 3 具有单向长脉冲和双向短脉冲两种供电制式。

4.7.4 激发极化法的数据采集应符合下列规定：

- 1 M、N 的要求和安置应符合本规程第 4.5.4 条第 1、3、4 款的规定。
- 2 采用四极对称测深装置时，每隔一个极距应观测一次干扰电位差，其数值不得大于二次场电位差的 10%；

3 二次场电位差应大于  $1\text{mV}$ ，在观测困难时，亦不得小于  $0.5\text{mV}$ ，且应大于干扰信号幅度的 3 倍；

4 采用联合剖面装置时，两个三极装置不得同时测量，必须先用一组电极供电测完一条剖面后，再用另一组电极供电测量；

5 衰减时法的供电电流和供电时间应通过计算和试验选择。

4.7.5 激发极化法测量数据质量的允许相对均方误差为  $\pm 10\%$ ，允许相对均方误差在采用测深装置时可按本规程式 (4.2.8—1) 和式 (4.2.8—3) 计算；采用剖面装置时可按式 (4.2.8—1) 计算。

## 5 电磁波法

### 5.1 一般规定

5.1.1 电磁波法是利用探测对象和相邻介质的导电性、导磁性或介电常数的差异，通过观测分析电磁波在地下介质中的传播规律或感应电磁场的分布特征，达到探测目的的物探方法。

5.1.2 当两台或两台以上的仪器在同一工点作业时，应在同一测点上采用相同的观测装置进行仪器一致性测定，允许相对均方误差为  $\pm 5\%$ ，可按本规程式 (4.2.8—1) 计算。

### 5.2 音频大地电磁法

5.2.1 音频大地电磁法适用于探查深部构造及地层的变化情况。

5.2.2 音频大地电磁法的仪器性能应满足以下要求：

- 1 工作频率  $1\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$ ；
- 2 倍频设置的频点可内插；
- 3 各观测道应具有良好的一致性。

5.2.3 音频大地电磁法测网的布置除了应符合本规程第 3.0.6 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 异常和电磁测深曲线失去连续性时必须加密电磁测深点。
- 2 测线不得设置在明显的干扰源旁，离开的距离应满足下列要求：
  - 1) 大的工厂、矿山、电气化铁路、发电站： $2\text{km}$ ；
  - 2) 广播电台、雷达站： $1\text{km}$ ；
  - 3) 高压输电线： $500\text{m}$ ；

4) 繁忙的公路：200m。

3 测线无法避开供电及通讯线路时，宜与供电、通讯线路正交。

#### 5.2.4 音频大地电磁法电、磁通道的检查和敷设应符合下列规定：

1 电通道和磁通道与屏蔽层的绝缘电阻应大于  $2M\Omega$ 。

2 各信号线与地的绝缘电阻应大于  $1M\Omega$ 。

3 不极化电极的极差应小于  $2mV$ 。

4 电极应埋入土中  $20\sim 30cm$ ，接地电阻不宜大于  $2k\Omega$ ，困难条件下应小于  $10k\Omega$ 。两电极埋置条件应基本相同。

5 水平磁探头的入土深度应为  $30cm$ ，垂直磁探头的入土深度应大于棒长的  $2/3$ ，并用土埋实。

6 电极和磁探头的连线以及接入仪器和前置放大器盒的电缆，不应悬空、并行、打圈，并应采取防止晃动的措施。

#### 5.2.5 音频大地电磁法的数据采集应符合下列规定：

1 观测和记录应在干扰背景比较稳定的时间进行，一个测点上的观测时间应连续；

2 记录头段的各种参数，必须齐全准确；

3 每一频点应有足够的叠加次数，低频率段数据达不到要求时，应延长观测时间，增加叠加次数；

4 记录道产生反向、饱和或干扰严重时，应及时补测；

5 通过监视屏幕或打印结果及时分析视电阻率、相位曲线质量，不符合要求时应重测。

5.2.6 音频大地电磁法（AMT）的观测装置应布置成十字形，见图 5.2.6—1。受观测条件的限制时，可布置成 L 形或 T 形，见图 5.2.6—2 和图 5.2.6—3，并应符合下列规定：

1 测量电极  $E_x$ 、 $E_y$  之间及水平磁探头  $H_x$ 、 $H_y$  之间应互相垂直，方向偏差应小于  $5^\circ$ ；

2  $E_x$ 、 $E_y$  电极的距离宜为  $50\sim 100m$ ；水平磁探头  $H_x$ 、 $H_y$  的顶端距测点宜为  $8\sim 10m$ ；

3 垂直磁探头  $H_x$  应安置在方位角  $225^\circ$ 、距测点小于  $10m$  的位置。



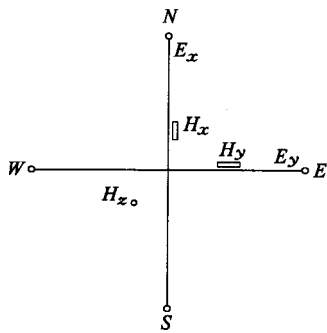


图 5.2.6—1 十字形观测装置

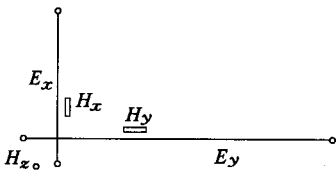


图 5.2.6—2 L形观测装置

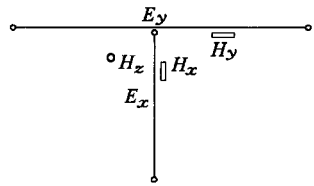


图 5.2.6—3 T形观测装置

5.2.7 可控源音频大地电磁法 (CSAMT) 观测装置见图 5.2.7, 并应符合下列规定:

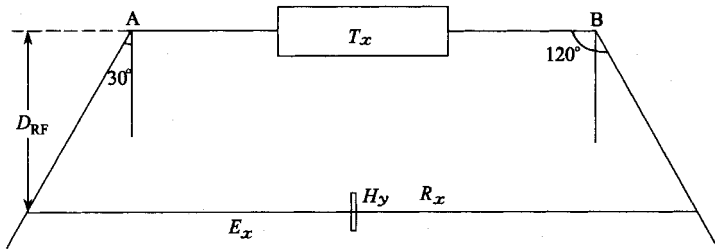


图 5.2.7 CSAMT 法观测装置示意

$T_x$ —发射机位置; A, B—发射偶极;  $R_x$ —接收部分;

$D_{RF}$ —收发距;  $H_y$ —磁探头;  $E_x$ —电极

1 发射偶极 AB 不应小于 2km。供电线路允许通过电流应大于 20A, 多余的供电线应全部放开。

- 2 发射电极的接地电阻应小于  $100\Omega$ ，接地困难时应小于  $150\Omega$ 。
- 3 收发距离  $D_{RF}$  必须保证接收排列位于信号稳定的远区，应大于勘探深度的 10 倍。

4 测线长度应在以发射偶极 AB 为底边，两底角分别为  $120^\circ$  的梯形范围内。接收排列宜与发射偶极平行，当不能平行布置时，接收排列与发射偶极延长线的夹角应小于  $20^\circ$ 。多道连续观测时，连接处应有 1 个测点重合。

5 发射和接收所处的地质条件宜一致。

6 测量极距的长度应根据观测信号的强弱和噪声水平确定，宜在  $25\sim 100\text{m}$  之间选择。当共用一个磁道时，两电极高差应小于其距离的  $1/4$ 。

7 磁棒应垂直发射偶极水平放置，方向偏差应小于  $5^\circ$ 。

**5.2.8 音频大地电磁法的观测质量检查**除应符合本规程第 3.0.4 条的规定外，还应符合下列规定：

1 原始观测与检查观测全频视电阻率曲线及相位曲线应形态一致，对应频点的数值接近。

2 同一极化的允许相对均方误差为  $\pm 10\%$ 。单条曲线的相对均方误差按本规程式 (4.2.8—1) 计算；工点的相对均方误差按本规程式 (4.2.8—3) 计算。在电磁场强噪声背景区，观测的相对均方误差可适当放宽，并应在工作报告中说明。

**5.2.9 音频大地电磁法的资料整理与解释**应符合下列规定：

1 存在地形和静态、近场、过渡场效应等影响的视电阻率曲线应校正。

2 对大地电磁测深曲线应做一维直接反演，了解测区的电性结构。

3 有钻孔资料或测井资料时，应对比研究与电性层对应的地质层位，确定测区地电剖面和物性特征。

4 二维反演应在一维反演的基础上构制二维模型，反演的结果应达到理论曲线与实测曲线拟合，或者达到形态一致、数值接近。

5 二维反演应考虑测区内过渡带和突变带的曲线特征，选择合适的参数，避免出现由于人为因素产生的跳跃现象，并与已知资料比较，对解释结果的可靠性做出评价。

### 5.3 甚低频法

**5.3.1 甚低频法**适用于探测断层、岩体接触带、地下暗河等。探测对象的埋深宜小于  $30\text{m}$ 。

### 5.3.2 甚低频仪器的技术指标应符合下列要求:

- 1 电压灵敏度应达到  $1\mu\text{V}$ ;
- 2 输入端短路时, 噪声应小于  $1\mu\text{V}$ ;
- 3 输入阻抗应大于  $1\text{M}\Omega$ 。

### 5.3.3 甚低频法的工作布置应符合下列规定:

- 1 倾角法点距宜为  $10\sim 20\text{m}$ , 波阻抗法点距宜为  $5\sim 10\text{m}$ ;
- 2 测线宜垂直探测对象的走向及发射电台方向; 发射台的方向与探测对象走向的夹角不宜超过  $30^\circ$ 。

### 5.3.4 甚低频法数据采集应符合下列规定:

- 1 工作开始前应根据探测对象的走向, 选择适合于测区工作频率的甚低频发射台, 确定电台的方位角。
- 2 在一次场稳定时采集数据。
- 3 观测  $E_x$  时, 仪器应平行于测线; 观测  $H_y$  时, 仪器应垂直于测线。
- 4 倾角法观测应选择与探测对象延伸方向接近的电台。在同一测点上观测电阻率时应另选电台。

5 异常带、零值变化带及畸变点均应进行重复观测。

### 5.3.5 甚低频法的重复观测和检查观测应符合下列规定:

- 1  $H_y$ 、 $H_z$ 、 $E_x$  的允许平均相对误差  $\delta$  为  $5\%$ ;  $E_x/E_y$  (波阻抗)、 $\rho_e$  (有效电阻率) 的允许平均相对误差  $\delta$  为  $10\%$ , 可采用下式计算:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{2(A_i - A'_i)}{A_i + A'_i} \right| \times 100\% \quad (5.3.5)$$

式中  $A_i$ ——第  $i$  点原始观测值;

$A'_i$ ——第  $i$  点检查观测值;

$n$ ——检查点数。

- 2 倾角  $D$  的允许平均绝对误差为  $1^\circ$ , 平均绝对误差可按本规程式 (4.5.5—1) 计算。

### 5.3.6 甚低频法的资料整理与解释应符合下列规定:

- 1 绘制  $H_y/H_0$  ( $H_0$  为一次场强值)、 $H_z/H_y$ 、 $E_x$ 、 $D$ 、 $H_y$ 、 $\rho_e$ 、 $F$  (倾角滤波) 曲线剖面图、平面剖面图、平面等值线图。
- 2 定性图件上应标出所用电台名称及方位。

3 参与解释的曲线应符合下列条件:

- 1)  $D \geq 4^\circ$ ,  $D$  曲线应有过零点、对称或有明显的拐点;
- 2)  $F$ 、 $H_y$ 、 $H_z$ 、 $\rho_e$  等曲线应有明显的极值点,  $F$  值应大于 5。

4 根据  $D$  曲线的过零点和其他曲线的极大点以及视电阻率曲线的低值段等资料综合分析, 推断探测对象的平面位置。根据  $D$ 、 $F$ 、 $\rho_e$  等参数的综合异常推断探测对象的空间形态。

## 5.4 电磁波透射法

5.4.1 电磁波透射法适用于在钻孔中探测钻孔间或钻孔周围的岩溶洞穴、破碎带等低阻体。

5.4.2 电磁波透射法的钻孔应满足以下要求:

- 1 需要透射的孔段应充满井液, 没有金属套管。
- 2 钻孔深度应超过需要探测的深度, 超过的深度应根据所用的天线长度和孔间距确定, 一般不应小于 5m。用作 CT 测量的钻孔深度应为孔间距的 2 倍。

3 孔径不宜小于 89m。

4 孔间距宜小于 80m。

5.4.3 电磁波透射法观测前应对仪器进行校验, 并应符合下列规定:

- 1 接收机的噪声应小于  $-130\text{dB}$ ;
- 2 仪器的工作频率和对应的天线长度应通过试验选择, 使其达到最佳匹配;
- 3 井下部份应具有良好的绝缘性和密封性。

5.4.4 电磁波透射法的数据采集应符合下列规定:

1 观测点距应以不漏掉有意义的异常为原则, 采用层析成像法时, 应小于计算网格的边长;

2 固定发射点或固定接收点不宜布置在低阻体位置;

3 每对钻孔宜选取 2 个及以上的工作频率进行测量;

4 交会法应以同步观测为主, 并在现场绘制草图;

5 层析成像法应以定点发射或定点接收观测为主, 发射和接收的测点应密度大、交角大且分布均匀。

5.4.5 电磁波透射法的重复观测和检查观测应符合下列规定:

1 异常点或有疑问的地段应及时进行重复观测;

2 工点的检查工作量不得小于总工作量的 10%, 工作量少的工点应进行 1 对

孔的全孔检查观测；

3 重复观测、检查观测的允许相对均方误差为 $\pm 8\%$ ，单孔的相对均方误差可按本规程式（4.2.8—1）计算、工点的相对均方误差可按本规程式（4.2.8—3）计算。

**5.4.6 电磁波透射法的原始记录**除应符合本规程第 3.0.9 条的规定外，还应符合下列规定：

- 1 测量中出现的特殊情况或改变工作技术条件应详细记录；
- 2 现场记录内容应包括工点名称、钻孔编号、钻孔间距、孔深、岩性、工作频率及天线、测试方法、点距等。

**5.4.7 电磁波透射法的资料整理与解释**应符合下列规定：

- 1 层析成像处理时，网格边长应小于最小探测对象的直径；
- 2 各种观测方法的曲线异常应相对应，不符合时应查明原因后才能用于解释；
- 3 深孔或斜孔中采集的数据，应根据井斜资料进行改正。

## 5.5 地质雷达探测

**5.5.1 地质雷达探测**适用于地层划分、岩溶和不均体的探测、工程质量检测等。

**5.5.2 地质雷达的技术指标**应满足下列要求：

- 1 系统增益不应低于 150dB；
- 2 信噪比应大于 60dB；
- 3 采样间隔不应大于 0.5ns、模数转换器不应低于 16 位；
- 4 具有可选的信号叠加、实时滤波、点测与连续测量、手动与自动位置标记等功能。

**5.5.3 地质雷达探测的数据采集**应符合下列规定：

- 1 通过试验选择雷达天线的工作频率、确定介电常数。当探测对象情况复杂时，应选择两种及以上不同频率的天线。
- 2 测网密度、天线间距和天线移动速度应反映出探测对象的异常。
- 3 选择合适的时间窗口和采样间隔，并根据数据集中的干扰变化和效果及时调整工作参数。
- 4 每间隔一定的距离及异常点位置应在记录中标注。
- 5 受测线附近的建筑物和金属物体、电磁干扰等影响时，应在记录中注明，并标出位置。

6 重点异常区应重复观测。重复性较差时应查明原因。

5.5.4 地质雷达观测质量检查的记录与原观测记录应具有良好的重复性，波形一致，异常没有明显的位移。

5.5.5 地质雷达用于隧道工程的衬砌质量检测应符合下列规定：

1 天线组应由穿透深度大于 2m、纵向分辨率为 20mm 的不同中心频率的天线组成。

2 检测之前应在已知厚度部位或与隧道衬砌材料相同的其他预制件上测定衬砌混凝土的介电常数或电磁波速度。

3 测量时窗和采样率应根据衬砌材料的相对介电常数、电磁波速度和天线中心频率确定。

4 数据采集应符合下列规定：

1) 测线应沿隧道轴向布置在拱顶、拱腰和边墙位置，特殊情况可适当加密；

2) 采用连续测量的方式，不能连续测量的地段可采用点测，分段连续测量时，应有大于 1m 的重复测量段；

3) 除特殊天线外，测量时应使天线与衬砌表面之间的距离小于 10mm；

4) 现场记录应注明干扰源和观测到的病害位置。

5.5.6 地质雷达用于挡墙工程的质量检测应符合下列规定：

1 天线应符合本规程第 5.5.5 条第 1 款的规定。

2 检测前应收集挡墙的设计施工图，根据墙体的厚度按照本规程第 5.5.5 条第 2、3 款的规定确定墙体的介电常数、电磁波速度和仪器的工作参数。

3 测线沿墙高方向布置，测线间距应根据具体情况确定，宜为 8~12m，异常地段应加密；每条测线均应准确测量墙体的高度，允许误差为  $\pm 2\%$ 。

4 数据采集应符合本规程第 5.5.5 条第 4 款第 2)、3)、4) 项的规定。

5.5.7 地质雷达探测的资料整理与解释应符合下列规定：

1 参与解释的雷达剖面应清晰。

2 解释前宜做编辑、滤波、增益等处理。情况较复杂时，还宜进行道分析、FK 滤波、正常时差校正、褶积、速度分析、消除背景干扰等处理。

3 结合地质情况、电性特征、探测体的性质和几何特征综合分析。必要时应考虑影响介电常数的各种因素，制做雷达探测的正演和反演模型。

5.5.8 地质雷达探测的成果资料应符合下列要求：

- 1 时间剖面图中应标出地层的反射波位置或探测对象的反射波组；
- 2 隧道衬砌质量检测应提交衬砌厚度、内部结构和衬砌背后的超挖回填情况；
- 3 挡墙质量检测应提交墙体不同高度处的厚度、墙体内部和反滤层的填筑情况。

## 5.6 管线探测

5.6.1 管线探测适用于探查埋藏的电力电缆、通讯电缆、金属管道。

5.6.2 管线仪的技术性能应满足下列要求：

- 1 接收机应能接收人工、天然电磁场和 50Hz 工业电磁场的感应信号；
- 2 具有两个可供选择的工作频率；
- 3 能连续追踪和快速定位、定深，有较高的分辨率和较强的抗干扰能力；
- 4 具有直接充电、感应、夹钳和示踪等功能。

5.6.3 管线探测应符合下列规定：

- 1 必须收集和分析既有的管线资料，实地调查管线的分布特征；
- 2 选用适宜的频率采用搜索模式探测隐蔽管线；
- 3 管线出露点应进行直连追踪，并采用环形探测的方法查明管线的拐点；
- 4 观测干扰背景较大或当管线分布密集、复杂时，应增加观测点；
- 5 测定的管线位置与已知点不一致时，应进行重复观测，并查明原因；
- 6 管线的埋深应采用两种以上的工作方法测定；
- 7 钻孔位置应加密测点，并适当扩大探测范围。

5.6.4 管线测点的地面标示应符合下列规定：

- 1 标示应有管线代号和测点号；
- 2 标示应设置在管线的拐点、分支点或特征点上，在无特征点的管线直线段，

标示间距不应大于 50m。

5.6.5 管线测点的测量应符合下列规定：

- 1 沿线路中线或导线进行管线探测时，应利用中线桩或导线桩作为测量基点；
- 2 测区偏离线路中线或导线时，应设置基线、基点，基点应与线路中线或导线联测，测区内有既有建筑物时，应测量与建筑物的关系；
- 3 坐标和高程系统应与工作地形图相同。

5.6.6 管线测量记录除应符合本规程第 3.0.9 条的规定外，还应详细记录管线种类、材质、属性、埋深、同地物、基线、基点、线路的相对关系等。

### 5.6.7 管线位置探测的精度应符合下列规定：

- 1 定位允许误差为： $\pm (50+10\%H)$  mm；
- 2 定深允许误差为： $\pm (50+7\%H)$  mm。

$H$  为管线中心埋深 (mm)。

### 5.6.8 地下管线图件的编绘除应符合本规程第 3.0.11 条第 4 款的规定外还应符合下列规定：

- 1 地下管线平面图宜标明主要地物、基线、基点、管线点和管线名称、规格、埋深、材质，必要时还应注明与线位或相邻地物的关系；
- 2 钻孔部位应注明管线与孔位、线路、临近地物的相对关系；
- 3 地下管线横断面图应按实测地面高程绘制，并标明有关地物和线路的位置。

## 6 弹性波法

### 6.1 一般规定

6.1.1 弹性波法是利用人工激发或天然的地震波、声波在介质中传播的运动学和动力学特征，确定介质的弹性波速度，达到探测目的、测定岩土体的力学参数、检测工程质量的物探方法。

#### 6.1.2 地震勘探仪器的技术指标应满足下列要求：

- 1 模/数转换的数据位不低于 16 位；
- 2 有较大的增益和可控动态，输入阻抗应大于  $3k\Omega$ ；
- 3 具有良好的可调带通性能及较宽的频率响应；
- 4 有可调、范围较大的采样率，采样间隔不应大于  $100\mu s$ ；
- 5 具有高精度多道显示器和较大的存贮硬盘；
- 6 具有良好的道一致性；
- 7 主机面板各端口应采用标准接插件；
- 8 配有多次覆盖设备在内的其他配套设备。

#### 6.1.3 地震电缆、检波器应符合下列规定：

- 1 电缆不得有破损、断道、串道、短路等故障，绝缘电阻应大于  $1M\Omega$ 。
- 2 应选择适当主频的高灵敏度检波器，并符合以下要求：
  - 1) 各道检波器相位允许误差：用于折射波法为  $\pm 1ms$ ，用于反射波法为  $\pm 0.5ms$ ；



- 2) 振幅允许误差为 $\pm 10\%$ ;
- 3) 内阻应符合产品说明书规定的指标。

#### 6.1.4 地震检波器的安置应符合下列规定:

- 1 检波器应正、稳、紧的与地面耦合,必要时应将检波器埋深 $0.3\sim 0.5\text{m}$ ;
- 2 当检波器置入水中时,应检查防水性能;
- 3 当检波器在规定的位置上安置有困难时,可在垂直排列的方向上安置,允许移动距离为道间距的 $1/5$ ;
- 4 组合检波器的中心应对准该道规定的位置。

#### 6.1.5 地震记录应符合下列规定:

- 1 干扰背景不应影响初至时间的读取和波形的对比;
- 2 折射波初至必须明显,反射波、瑞雷波同相轴必须清晰;
- 3 不工作道应小于 $20\%$ ,应不连续出现;折射波法工作时,严禁边道为不工作道。

#### 6.1.6 地震爆炸作业应符合下列规定:

- 1 雷管使用前应用专用电表逐个检测。检测时电流强度应小于 $50\text{mA}$ 、接通时间小于 $2\text{s}$ 、安全距离大于 $5\text{m}$ ,电阻值应符合产品证书的规定。检测后的雷管脚线必须短路。

2 记时线通断的检查地点与药包的安全距离应大于 $5\text{m}$ 。

3 爆炸站应设在通视良好的上风处。使用的爆炸机必须经鉴定和检验合格。爆炸机的钥匙必须由埋药人员携带,在接到起爆信号前严禁将起爆钥匙插入爆炸机。警戒范围应大于安全距离。

4 在高压线附近进行爆炸作业时,应使用抗杂电雷管。爆炸点严禁选在高压线下。雷雨或大雾天气不得进行爆炸作业。

5 发生拒爆时,应将爆炸线短路, $10\text{min}$ 后再检查原因。拒爆药包,必须进行殉爆处理。

6 水域爆炸作业还应符合以下规定:

- 1) 按水上安全管理部门的要求设立警戒线,防止无关船只进入作业区;
- 2) 药包应在地面或木质的舱板上制作,并带有能顺利自沉的加重物;
- 3) 投药船的作业舱中不得存放任何带电物品,离开投药点后应确认药包没有挂在船底;

- 4) 药包不得用起爆线牵引；
- 5) 已投入水底的药包不得拖曳，药包漂浮水面严禁起爆；
- 6) 水中观测设备应有醒目的标志。

## 6.2 折射波法

6.2.1 折射波法适用于探查断层构造和岩性界线的平面位置，探测第四系覆盖层、风化层和不良地质体的厚度与连续特征，测定岩体的纵波速度，划分隧道围岩级别。

6.2.2 折射波法的探测对象与相邻介质应存在较大的速度差异，且探测层的速度大于上覆层的速度。

6.2.3 折射波法的观测系统应根据探测要求选择。道间距宜为 5~10m，单支系统可采用道间距不等的排列。

6.2.4 折射波法震源的能量应保证所有记录道的初至清晰。

6.2.5 折射波法采用追逐观测系统时，追踪炮的炮检距应保证目的层能连续追踪。

6.2.6 水域折射波法可采用炮检互换的追逐相遇观测系统，炮间距宜小于 10m。

6.2.7 折射波法用于隧道围岩分级应符合下列规定：

- 1 采用追逐相遇观测系统；
- 2 排列应沿隧道中线布置，排列的接头处应有两道以上的重复道；
- 3 测定风化层的速度参数；
- 4 存在断层或岩性界线时，应注意其产状。

6.2.8 折射波法的质量检查应以检查追踪炮的记录为主，两次记录应波形相似、时距曲线平行。

6.2.9 折射波法的资料整理与解释应符合下列规定：

1 记录应标明工程名称、日期、起讫里程、排列编号和激发点号、激发方式、接收条件等。

2 时距曲线图应符合下列要求：

- 1) 比例宜采用：横 1 : 1000、纵 1cm 代表 10ms；
- 2) 标明里程、速度值、 $t_0$  值、互换时间和对应的地形地质特征；
- 3) 互换时间相差不应超过 5ms；
- 4) 重复道的  $t_0$  值相差不应超过 5ms；
- 5) 地层速度和  $t_0$  值宜采用追踪时距曲线计算。

3 折射界面的倾角大于  $15^{\circ}$  时，应进行地形校正；折射界面倾角大于  $20^{\circ}$ 、地形突起、激发点和检波点位于突起两侧时应进行穿透波校正。

4 隧道围岩分级应根据地层的速度值结合围岩岩性判定，物性地质断面图除应符合本规程第 3.0.11 条第 4 款的规定外，还应分段标明隧道围岩的弹性波速度值和围岩级别。

### 6.3 反射波法

6.3.1 反射波法适用于划分地层界线、查找地质构造、探测不良地质体的厚度和范围、隧道施工超前预报。

6.3.2 反射波法的探测对象与相邻介质应存在较明显的波阻抗差异、地形相对平缓。

6.3.3 反射波法的测线布置除应符合本规程第 3.0.6 条的规定外还应符合下列规定：

1 同一排列宜布置在地形起伏不大、地表介质均一、有利于接收反射波的地段，并应与钻孔、基岩露头或其他勘探点发生联系；

2 测线间距应根据任务要求结合实地条件确定；

3 测线应布置成直线，方向允许偏差为  $\pm 5^{\circ}$ ，有困难时可布置成折线，但整个观测系统仍应为直线；

4 覆盖次数应根据任务要求和工作条件确定，条件合宜时可选择等偏移距的观测系统。

6.3.4 反射波法的工作参数选择与数据采集应符合下列规定：

1 通过试验设置仪器工作参数，确定最佳窗口和偏移距；

2 选用有利于产生高频波的震源，必要时应进行多次垂直叠加；

3 横波反射法应进行正、反向激发，负叠加增强信号；

4 使用炸药等强声波震源时，宜采用井中激发方式；

5 作连续剖面观测时，应使时间剖面上的反射波同相轴可靠地对比连接；

6 当反射界面倾斜时宜采用下倾激发上倾接收的观测系统；

7 采集的数据应及时进行显示或简单处理，确认合格后以其最佳状态存贮。

6.3.5 水域反射波法应符合下列规定：

1 根据探测要求结合水域情况布置测线。

2 采用完好并经过一致性检查的漂浮电缆作为接收系统，应保持电缆的沉放

深度一致，沉放深度宜为 2~4m。

3 激发宜采用电火花或气枪震源，水下 2~4m 处等时间间隔激发。观测中应随时监视目的层的探测效果并及时调整有关施测参数。

4 排列宜采用单边激发多次覆盖观测系统，道间距 2~5m，偏移距应通过试验确定。

### 6.3.6 反射波法用于隧道施工超前预报应符合下列规定：

1 断层或岩性界面的倾角应大于  $35^\circ$ ，构造走向与隧道轴线的夹角应大于  $45^\circ$ ；

2 测线应沿隧道轴向布置在边墙或底部，并宜靠近开挖工作面；

3 采用单分量、三分量或组合检波器，道间距一般应小于 3m，检波道数不应少于 12 道；

4 激发点应设置在开挖工作面的另一端，并不应少于两个激发点；

5 采用多道共炮或多炮共道的观测方式；

6 采集数据应在干扰较低时进行，并应采取措压制声波干扰。

6.3.7 反射波法质量检查记录与原观测记录的同相轴应有较好的重复性和波形相似性。

### 6.3.8 反射波法的数据处理与资料解释应符合下列规定：

1 采用计算机处理的记录目的层反射波特征应明显、信噪比高、同相轴清晰、能进行追踪和相位连续对比；

2 数据处理应根据试验确定最佳处理流程；

3 依据时间剖面图、瞬时振幅图结合地质资料进行分析，对比和追踪波组的相似性、波振幅的衰减程度、振动的同相性和连续性等特征，判释和确定反射波组对应的层位、被测物体的接触关系、构造形态等；

4 水上地震测线应按实测轨迹绘制在平面图上；定量解释应考虑水底松散沉积物的低速影响；

5 隧道超前预报应根据上行波和下行波视速度的差异，确定反射界面在隧道轴向前方的距离、反射界面与洞轴方向的夹角。

## 6.4 瑞雷波法

6.4.1 瑞雷波法适用于探测浅部地层中的岩溶洞穴等不均匀体、评价路基基床质量和地基整治加固效果等，在条件适宜时可用于求取横波速度估算岩土体的动

参数。

#### 6.4.2 瑞雷波法的数据采集应符合下列规定：

##### 1 稳态瑞雷波法：

- 1) 激振器应与地面接触良好，检波器应稳妥牢靠；
- 2) 检波距宜为 1~5m，允许误差为  $\pm 1\%$ ；
- 3) 偏移距应根据探测深度的要求试验确定。

##### 2 瞬态瑞雷波法：

- 1) 可采用重锤或炸药震源，采用重锤震源时应根据需要加不同材质的垫板；
- 2) 检波距宜为 0.5~1.0m，允许误差为  $\pm 1\%$ 、检波道数不宜少于 12 道；
- 3) 偏移距宜接近要求的探测深度。
- 3 测点间距应根据探测要求和场地条件确定，每条测线不得少于 3 个测点。
- 4 测点附近的地形应相对平坦，没有临空面。
- 5 探测参数应通过试验选择，遇到地质情况变化时应及时调整观测参数。
- 6 重要异常及畸变曲线应重复观测，当两次观测结果差别较大时应多次观测，

选择面波能量强、干扰小、重复性好的曲线作为有效观测结果。

#### 6.4.3 瑞雷波法用于路基基床检测应符合下列规定：

##### 1 采用瞬态瑞雷波法；

##### 2 建立瑞雷波速度与动探 ( $N_{10}$ ) 击数的相关关系；

3 检测点宜布置在路基中间或要求检测的位置，测点密度应根据检测要求确定；

4 排列长度不宜超过路基面宽度，检波距宜为 0.2~0.5m，偏移距应小于 2m；

##### 5 计算基床动参数时，应将面波速度转换为横波速度。

#### 6.4.4 瑞雷波法用于评价地基加固效果应符合下列规定：

1 采用加固前与加固后两次观测对比的方法，以波速的提高和曲线频散的改善作为依据；

##### 2 测点距路基侧沟的距离应大于侧沟深度的 2 倍；

##### 3 加固前后两次观测的测点位置、偏移距、道间距、观测参数应保持一致。

#### 6.4.5 瑞雷波法观测质量检查的结果应符合下列要求：

##### 1 检查曲线的形态和频散特征无明显改变；

2 曲线上的“之”字形拐点和曲率变化的位置无明显位移。

#### 6.4.6 瑞雷波法的资料整理与解释应符合下列规定：

1 准确区分面波和体波，求取正确的频散曲线；

2 结合地质资料对频散曲线的“之”字形拐点和曲率变化处做出正确的地质解释，并求得地层的瑞雷波速度；

3 计算横波速度时，应与钻孔测试的横波速度对比，求得对应关系。

#### 6.5 超声波法

6.5.1 超声波法适用于测定岩样和基岩露头或混凝土构件的波速、岩体的完整性、硐室衬砌和围岩松弛带厚度、混凝土强度、桩基质量。

#### 6.5.2 超声波测试仪器的技术指标应满足下列要求：

1 具有自动调节增益、自动显示声波波形、快速判读声时和首波幅度及主频等功能；

2 具有多个接收通道，应适应不同测试的主频要求；

3 计时精度为  $0.1\mu\text{s}$ 、单道采样间隔  $0.1\sim 3000\mu\text{s}$ 、单道采样长度为  $1\sim 32\text{K}$ 。

6.5.3 超声波法测试岩样应采用透射方式，换能器与被测岩样表面应使用耦合剂耦合。

#### 6.5.4 超声波法用于大直径灌注桩的质量检测应符合下列规定：

1 采用透射方式，发射与接收换能器应保持同步。斜同步时高差不宜大于  $500\text{mm}$ 。

2 测点间距宜为  $200\sim 500\text{mm}$ ，测点点位允许偏差为  $\pm 20\text{mm}$ 。

3 声时读取精度为  $0.1\mu\text{s}$ ，波幅读取精度为  $1\text{mm}$ 。

#### 6.5.5 超声波法用于衬砌混凝土的厚度和强度检测应符合下列规定：

1 衬砌厚度的检测宜采用反射波法。

2 已知衬砌厚度时，衬砌混凝土强度的检测应采用反射波和直达波相结合的方法，衬砌厚度未知时可采用直达波法。

3 测试前应利用标准试块或衬砌质量好的地段测定混凝土的标准速度值。

6.5.6 超声波法用于固结灌浆效果检查时，应有灌浆前和灌浆后的实测对比曲线。

6.5.7 超声波法用于硐室围岩松弛带厚度的测定时应采用反射波法，并应用耦合剂使换能器与岩体紧密接触。

6.5.8 超声波法的观测质量检查工作量应为总工作量的  $10\%$ ，岩样测试为  $100\%$ 。

允许平均相对误差为 $\pm 10\%$ ，可按本规程式(5.3.5—1)计算。

#### 6.5.9 超声波法的资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 声波探测资料应根据探测要求提交图或表及相应的文字说明；
- 2 岩样和试件应根据测得的纵、横波速度计算其泊松比等动参数；
- 3 洞室围岩松弛带的测定应计算松弛带厚度并提交相应的剖面图；
- 4 混凝土衬砌检测应提交衬砌的厚度、定性评价混凝土强度等资料。

#### 6.6 场地波速测试

6.6.1 场地波速测试适用于在钻孔中测定岩土体的纵、横波速度，进行场地、场地土分类，计算岩土体的动参数。

#### 6.6.2 单孔波速测试应符合下列规定：

- 1 三分量检波器电缆的深度标志误差为 $1\%$ ；
- 2 三分量检波器应贴紧钻孔孔壁，当有护壁套管时，套管与周围土体应有效耦合；
- 3 激发板的两端截面宜贴聚胺酯塑料板，激发板的位置必须避开地下构筑物，板上堆压重物应超过 $500\text{kg}$ ；
- 4 激发板的长轴中心垂线应通过孔口，孔口至激发板的距离宜为 $2\sim 5\text{m}$ ；
- 5 观测点距应根据地层的厚度确定，宜为 $0.5\sim 2\text{m}$ ，层位变化处应加密；
- 6 两侧激发的波形应相反、初至应相等。

6.6.3 跨孔波速测试除了应符合本规程第6.6.2条第1、2、5款的规定外，还应符合下列规定：

- 1 震源孔和接收孔间距在土层中宜为 $2\sim 4\text{m}$ ，岩层中宜小于 $8\text{m}$ ；
- 2 震源和检波器应置于相同高程处，近地表测点宜布置在 $0.4$ 倍孔距的深度处；
- 3 测试孔深大于 $15\text{m}$ 时，应进行孔斜测量。

6.6.4 场地波速测试的检查工作量不应少于工点工作量的 $10\%$ ，两次观测的初至时间应相等。

#### 6.6.5 场地波速测试的资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 记录应包括：测试日期、工程名称、钻孔编号、孔位里程、激发板中心至孔口距离、孔口至震源点的高差、井中套管位置、仪器工作参数、文件号等。
- 2 波的垂直传播时间 $t$ 可用下列公式计算：

## 1) 均匀地层

$$t = \frac{h_i + h_0}{\sqrt{L^2 + (h_i + h_0)^2}} t_i \quad (6.6.5-1)$$

## 2) 层状地层

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{h_i - h_{i-1}}{v_i} \quad (6.6.5-2)$$

$$v_i = \frac{\sqrt{(h_0 + h_i)^2 + L^2} - \sqrt{(h_0 + h_{i-1})^2 + L^2}}{t_i - t_{i-1}} \quad (6.6.5-3)$$

式中  $t_i$ ——波从激发点到达测点的实测时间 (s);

$t_{i-1}$ ——前一测点的实测时间 (s);

$h_i$ ——测点深度 (m);

$h_{i-1}$ ——前一测点的深度 (m);

$h_0$ ——震源与孔口的高差 (m);

$L$ ——板中心到测试孔的水平距离 (m)。

3 根据实测时距曲线求取各地层的纵、横波速度, 计算等效剪切波速度  $v_{sc}$  或平均剪切波速度  $v_{sm}$  进行工程场地分类。

4 计算岩土小应变的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比, 绘出与深度的关系曲线。

## 6.7 地脉动测试

6.7.1 地脉动测试适用于测定场地的卓越周期和脉动幅值, 提供地震分区参数。

6.7.2 地脉动测试用检波器、放大器及记录设备均应有良好的低频响应, 其频率下限不应高于 0.3Hz。

6.7.3 地脉动测试应符合下列规定:

1 放置检波器的地面应密实平整, 若表层土壤松散应挖坑设置。

2 水平检波器应按东西、南北两个方向设置, 垂直检波器应垂直水平面, 允许偏差为  $\pm 10^\circ$ 。当区域性地质构造通过场地或场地附近时, 水平检波器还应分别按平行和垂直构造走向的方向设置。

3 测试应在人为干扰背景最低的时间进行。

4 每个测点的测试不得少于 3 次, 每次测试的连续时间不得少于 10min, 两次测试间隔时间不得少于 30min。



5 在人为干扰强烈的地段应重复测试，重复测试应隔日进行。

6.7.4 地脉动测试点应按需要布置。每个工点的测试点数不应少于 4 个。测点处应保证在一定范围内无特定震动源。

6.7.5 地脉动的测试资料整理和解释应符合下列规定：

1 频谱分析前，应对地脉动曲线进行分析，将记录中的干扰信号剔除，选择较好的记录段进行解释。

2 卓越周期应根据不同时间的频率谱和功率谱相关分析后确定。

3 计算机解释应符合下列规定：

1) 离散采样累计时间应大于 30s；

2) 每个周期应有 3~5 个采样点；

3) 卓越周期应根据傅氏变换后具有最大振幅的频率确定，必要时可结合相位谱及功率谱分析，干扰波较多的工点可结合位移谱、速度谱及加速度谱进行分析。

## 7 磁 法

### 7.1 一般规定

7.1.1 磁法通过观测分析探测对象天然磁场的分布规律，达到探测目的的物探方法，适用于探查地质构造和铁磁性埋设物、圈定磁性岩（矿）体的分布范围。

7.1.2 铁路工程磁法勘探的观测精度应分为两级：

一级精度：均方误差  $|\epsilon| \leq 5\text{nT}$ ；

二级精度：均方误差  $5\text{nT} < |\epsilon| \leq 20\text{nT}$ 。

7.1.3 磁法观测精度应根据探测要求，探测对象的大小及干扰程度等因素确定，以探测对象的异常能从干扰背景中分辨为原则，探测对象的最小异常应大于 3 倍均方误差。

7.1.4 磁法仪器的技术性能应符合下列规定：

1 仪器的分辨率应满足铁路工程磁测精度的要求；

2 日变仪器应与野外观测仪器匹配；

3 同一工区、同一性质、测量相同参数的仪器，型号宜一致。

7.1.5 磁法仪器的检测和校验应符合下列规定：

1 数据采集之前，应对所用仪器的性能、一致性和观测精度进行校验，并满足下列要求：

- 1) 校验应在现场进行;
  - 2) 观测点数不应少于 50 个, 部分测点应位于较强的异常区(点)上;
  - 3) 各仪器观测结果应无明显系统误差, 总均方误差不应大于设计均方误差的 50%;
  - 4) 仪器一致性的均方误差不应大于设计均方误差的 50%。
- 2 仪器的稳定性、噪声均方误差应满足设计精度和仪器说明书的要求。
  - 3 每个工区开工前和收工后应对仪器的噪声均方误差、一致性及“零飘”进行测定。

## 7.2 数据采集

### 7.2.1 磁法仪器操作应符合下列规定:

- 1 操作员不得携带磁性物体, 必需的磁性物体应远离观测现场。
- 2 观测过程中严禁探头旋转; 水平或垂直梯度测量时, 探头的倾斜不得偏离垂线或水平线  $10^{\circ}$ 。

### 7.2.2 磁法的数据采集应符合下列规定:

- 1 开工前应试验选择探头的最佳高度, 表层存在弱磁性不均匀干扰时, 探头高度不得小于 2m。探头高度误差不应大于探头高度的 10%。
- 2 测点位置在乎面上的允许偏差为  $\pm 2\text{mm}$ 。
- 3 相邻两测点读数相差较大时, 应加密测点。
- 4 相邻两测线的异常明显变化时, 应加密测线。
- 5 测区边缘发现有意义的异常时, 应追踪观测。
- 6 遇有磁性干扰物应合理移动点位, 避免干扰。
- 7 观测中仪器性能突然变化, 应检查仪器, 确认仪器正常后才能继续观测。继续观测前应对变化发生前的测点按序返回测量, 直至连续三个测点的相对误差不超过  $\pm 5\%$ 。
- 8 对磁性异常做定量计算时, 应在最能反映异常特征的地段布置精测剖面, 测点密度应测得异常细小变化。

### 7.2.3 磁法基点的设置应符合下列规定:

- 1 总基点的设置应符合下列要求:
  - 1) 应位于正常磁场内, 在半径 2m、高差 0.5m 范围内, 磁场的变化应小于设计均方差的  $1/5$ ;

- 2) 附近应没有磁性干扰物, 远离建筑物和工业设施, 并能长期保存。
- 2 分基点应设置在平稳磁场区, 并靠近住地, 使用方便。
- 3 仪器校正点应设置在磁场梯度变化较小处, 附近没有可移动的磁性干扰物, 并在测线附近或其他便于使用的地方。

**7.2.4 基点磁场的联测**应采用总基点与分基点同步观测的方法进行直接联测, 并应符合下列要求:

- 1 联测的磁力仪必须做一致性校验, 系统误差超过  $1\text{nT}$  时, 应进行系统误差改正;
- 2 磁力仪应达到秒级同步;
- 3 联测应在地磁场干扰背景最小的时间段进行, 测量读数不得少于 100 个;

**7.2.5 磁法日变观测及日变改正**应符合下列规定:

- 1 日变站宜靠近测区, 附近应无磁性干扰、避风、安静、温差小, 且不受阳光直射。
- 2 日变站的控制半径在地电结构相同时, 不宜超过  $50\text{km}$ ; 在地电结构不同时, 应通过试验确定。
- 3 日变磁力仪的观测精度不应低于外业磁力仪的观测精度。
- 4 日变观测的采样间隔宜为  $30\sim 60\text{s}$ 。
- 5 一个工作日内, 日变观测应开始于外业工作之前, 终止于外业工作结束之后。日变观测读数应与数据采集达到秒级同步。
- 6 日变改正可用日变磁力仪与外业磁力仪对接改正, 也可用计算机处理改正。用仪器对接改正时,  $T_0$  值一经选定就不应改变。

**7.2.6 磁法标本采集和磁参数测定**应符合下列规定:

- 1 标本应集中在典型剖面附近采集并满足以下要求:
  - 1) 标本应在新鲜基岩上采集, 且具代表性, 形态规则, 体积适中;
  - 2) 同一岩性的标本不得少于 30 块, 参数统计采用算术平均值;
  - 3) 标本采集应现场编号, 记录采样地点、方位, 并应标在地形图上。
- 2 典型剖面上的全部钻探岩芯必须做参数测定。
- 3 标本的测定应符合下列规定:
  - 1) 测定过程中, 标本架、探头支撑杆及周围的磁性干扰物不得移动;
  - 2) 测量距离准确至  $2\text{mm}$ , 体积准确至  $5\text{cm}^3$ 。

4 测定标本磁性参数的灵敏度应与规定的磁测精度相适应，标本视磁化率大于 0.01SI 时，应作退磁改正。

**7.2.7 磁法的重复观测和质量检查**除应符合本规程第 3.0.4 条的规定外，还应符合下列规定：

1 数据的突变点、每相隔 10 个测点应进行重复读数，两次读数的绝对误差不应超过 3nT，超差应多次读数，按 2 : 1 的取数原则计算平均值作为观测结果。

2 标本测定检查工作量不得少于 10%，允许平均相对误差为 ±30%。可按本规程式 (5.3.5) 计算。

3 精测剖面的检查工作量应大于总工作量的 30%，且不能少于 30 个点。

4 质量检查的均方误差不应大于设计均方误差，均方误差  $\epsilon$  按下式计算：

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (7.2.7)$$

式中  $\delta_i$ ——第  $i$  个点的原始观测与检查观测的差值；

$n$ ——检查点数。

5 超出三倍设计均方误差的测点数，当不大于总检查点数的 1% 时，可不参与计算。

### 7.3 资料整理与解释

**7.3.1 磁法资料的最小改正值**应为 0.1nT，各项改正应符合下列规定：

1 正常场的改正应用高斯球谐法计算国家地磁参考场 IGRF，并使用最新公布的球谐系数；

2 日变改正应采用当天的日变观测数据；

3 高度改正应以总基点的高程为起点；

4 垂向梯度改正值的计算应精确到 0.1nT。

**7.3.2 磁法的定性解释**应符合下列规定：

1 绘制反映测区磁性特征的定性图表；

2 结合地质情况、试验成果和正演计算结果分析异常的磁性特征；

3 确定异常性质，推断异常体的平面位置和形态。

**7.3.3 磁法的定量解释**应符合下列规定：

1 定量解释的资料应符合下列要求：

- 1) 曲线形态规则、异常较简单、便于计算；
- 2) 对地质体的磁化特征应基本掌握；
- 3) 解释时应有必需的磁参数资料，定性确定磁性体的磁化方向和特征。

2 定量解释应选用两种及以上的独立方法，并对解释结果作必要的正演计算，同时宜对磁异常作上、下延拓及各个方向的一阶、二阶导数处理。

## 8 放射性探测

### 8.1 一般规定

8.1.1 放射性探测是通过观测岩土体中放射性元素的射线强度和其衰变子体产生的射气浓度进行地质勘查的物探方法，适用于圈定放射性的异常范围、查找隐伏断层构造、地下水源、放射性岩体，也可用于放射性环境评价。

8.1.2 放射性探测仪器的技术指标应满足下列要求：

1 氡射气测量仪器：

- 1) 本底计数不应大于 1 计数/min；
- 2) 探测效率不应小于 60%；
- 3) 连续工作 8h，计数允许相对误差应为 $\pm 15\%$ 。

2  $\gamma$  射线探测仪器：

- 1) 探测器应为 NaI 闪烁计数器；
- 2) 射线能量阈应小于 30keV；
- 3) 灵敏度不应低于  $1.0\text{nc/kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ 。

8.1.3 定量评价的工点，开工前应对仪器用标准源进行标定。

8.1.4 每天出工前应在基点上测量测区内的放射性背景值。

8.1.5 放射性探测的测网布置除应符合本规程第 3.0.6 条的规定外，在异常区应加密至探测出放射性最大值。

8.1.6 放射性主要异常段应重复观测，当重复性较差时，应多次观测。多次观测舍去最大值和最小值后，取算术平均值作为观测值。

8.1.7 放射性探测的质量检查应布置在主要异常区，两次测量的曲线形态、峰值应相似。

8.1.8 放射性作业人员必须遵守下列防护规定：

- 1 作业人员应佩带防护用品，装卸放射源时应使用操作钳；

- 2 标定仪器时在不影响探测效果的前提下，宜采用较低强度的放射源；
- 3 作业人员的辐射安全允许剂量为：每日 0.27mGy、每周 1.4mGy，超过时应停止接触放射性的各项作业；
- 4 不工作时放射源必须放置在铅罩内，并应由专人负责使用、保管、运输和贮藏。

## 8.2 数据采集

### 8.2.1 放射性氡射气测量应符合下列规定：

- 1 测区应有厚度大于 300mm 的表土层；
- 2 氡射气收集器的埋藏深度应大于 300mm，并应防止大气渗入；
- 3 直接测量时，土壤样品的取土深度应大于 300mm；
- 4 氡射气拾取时间及取样过程必须严格按照仪器设计要求进行；
- 5 在第一次测量 4h 后，方可进行第二次测量；
- 6 应详细记录测点附近的地貌、地质情况，若遇人工堆积污染物必须注明，并说明污染性质。

### 8.2.2 放射性地面 $\gamma$ 测量应符合下列规定：

- 1 出工前必须检查仪器性能，输入标定系数；
- 2 测量时仪器必须紧靠测点，当仪器读数稳定后，读取 3~5 个数据取其算术平均值作为放射性  $\gamma$  观测值；
- 3 应记录每个观测点岩石的岩性、结构、构造。

## 8.3 资料整理与解释

### 8.3.1 放射性资料整理与解释应符合下列规定：

- 1 解释前应核查野外观测数据，根据相应的公式计算出相关系数。
- 2 采用数理统计的方法计算出测区放射性背景值，大于背景值 3 倍或小于背景值 50% 的观测值可定为异常。
- 3 参与解释的放射性异常应符合下列要求：
  - 1) 重复性好；
  - 2) 峰背比值不应小于 2；
  - 3) 地质控制因素应明显，有一定分布规律。
- 4 资料解释应符合下列规定：
  - 1) 解释中应排除吸附物质的影响；

- 2) 结合地貌、地质、水文、气象及其他物探资料综合分析;
- 3) 因观测时间不同, 观测值产生脉冲式变化, 或在地表强烈震动前后观测值有明显变化时, 应在多次观测查明原因后再进行解释。

## 9 测 井

### 9.1 一般规定

9.1.1 测井是在钻孔中测定各种地层的物性参数、划分地质剖面、验证补充钻探资料的井中物探方法。

9.1.2 测井仪器的技术性能应满足下列要求:

- 1 工作性能应稳定可靠, 下井部分耐压、抗震、防水性能好。
- 2 仪器的绝缘性能应符合下列要求:
  - 1) 仪器线路间及对地绝缘电阻应大于  $10M\Omega$ ;
  - 2) 电缆线芯间及对地绝缘电阻应大于  $2M\Omega$ 。
- 3 定期对仪器井下探头进行标定, 每次工作前都应对仪器的各项指标进行检查和校验。

9.1.3 测井的数据采集应符合下列规定:

- 1 测井开始前应了解钻孔结构、地质情况和孔内安全状况, 搜集钻孔地质柱状图;
- 2 绞车与滑轮必须妥善固定, 下井电缆应位于钻孔中心;
- 3 同一井孔应采用相同的工作参数, 当测区没有测井资料或地质条件复杂时, 工作参数应通过试验确定;
- 4 观测时应按井温测量、自然电位测井、其他方法测井的顺序进行;
- 5 纵向比例不得小于  $1:200$ , 横向比例应使曲线具有充分幅值又不超格;
- 6 深度记录的起算点应与钻探深度起算点一致, 深度的允许累计误差为  $\pm 5\%$ ;
- 7 测井曲线应清晰、连续, 深度记号清楚。

9.1.4 测井质量检查除应符合本规程第 3.0.4 条的规定外还应符合下列规定:

- 1 检查观测应设在可疑井段和异常段, 检查长度不应小于  $20m$ ;
- 2 两次观测的曲线应具有良好的相似性和重合性。

9.1.5 测井资料整理与解释应符合下列规定:

## 1 原始曲线的整理

- 1) 核查原始曲线，深度记号应标注齐全，图头应注明有关参数；
- 2) 符合允许深度误差的曲线应进行平差处理，或根据特征点、标志层位置进行修正；
- 3) 不同测井方法的曲线，其深度应以某一主要曲线为准进行深度调整；
- 4) 数字测井曲线应在井场进行预处理，不符合要求时应重测。

## 2 资料解释

- 1) 同一测区的解释原则应统一；
- 2) 结合钻探资料对各种曲线的物性特征和分层特点综合对比分析，确定各地层和地质体的深度、厚度，并对异常做出解释。

### 9.1.6 测井剖面对比的标志层应具备下列特征：

- 1 全部对应于一定的地质层位，在对比曲线上容易识别；
- 2 标志层厚度在测区内具有较好的稳定性和延续性。

### 9.1.7 测井成果图件的编制应符合下列规定：

- 1 测井柱状图应与钻孔柱状图并列绘制；
- 2 同一钻孔的各种测井曲线应按工作方法排列在一起，排列顺序为：电阻率曲线、自然电位曲线、自然  $\gamma$  曲线、密度曲线、波速曲线、井液电阻率曲线、同位素示踪流速曲线、井温曲线、井径曲线；
- 3 各曲线的上方应按比例绘出参数坐标，并注明曲线名称、极性、参数单位等。

9.1.8 当测井资料与钻探资料有出入或同一层位各种曲线反映不一致时，应进行井壁取芯验证。

### 9.1.9 测井安全应符合下列规定：

- 1 坍塌、掉块严重或堵塞的钻孔，妥善处理前禁止施测；
- 2 井下探头不得在孔底或不安全井段停留，在安全井段停留时应经常上、下活动电缆；
- 3 下放电缆时，手不应离开绞车摇柄；高速升降电缆时严禁用手抓电缆和突然刹车；
- 4 放射性测井还应遵守本规程第 8.1.8 条的规定。

## 9.2 电测井



**9.2.1** 电测井适用于测定地层和地下水的电性参数、校正钻孔地质剖面、确定含水层位置和厚度、区分咸淡水、测量钻孔中含水层之间的补给关系和地下水的流向、流速等。

**9.2.2** 视电阻率测井应符合下列规定：

1 电极系类型、电极距的大小应根据探测要求及仪器结构特点试验选择。

2 采用微电极系或三侧向电阻率探管而装置系数未给定时，必须通过试验测定。

3 地面电极应远离高压线和游散电流的干扰；采用两极法装置时，地面的供电电极和测量电极之间的距离应大于 50 倍井下电极距。

4 曲线出现负值或在金属套管中不归零，必须查明原因，消除故障后重新测量。

5 直读电阻率测量允许相对误差为 $\pm 4\%$ ，测速宜为 10~15m/min。

6 参数测井应符合下列规定：

1) 在完整厚层围岩中段进行；

2) 选较大极距的电极系；

3) 采用两种极距重复测量。

7 求取介质的电参数时应有井径曲线配合解释，并考虑井径、井液和相邻介质的影响。

**9.2.3** 自然电位测井应符合下列规定：

1 测量应在电缆下放时进行，测速宜为 8~10m/min。

2 N 极应置于没有油污、不流动的泥浆池中或与金属套管连接。

3 记录曲线应以厚层黏土或泥页岩的平均自然电位值为零基线，极性右正左负。零基线每 100m 偏移误差超过 $\pm 20\text{mm}$ 时应进行校正，其位移补偿值应在图上标明。

4 资料解释应考虑井液矿化度、大地电流、工业游散电流以及金属重锤与残存钢砂产生的腐蚀电流的影响。

**9.2.4** 水文测井应符合下列规定：

1 井液电阻率测量应在电缆下放时进行。

2 扩散法测量应符合下列要求：

1) 扩散测量应在洗孔或抽水后进行；

2) 盐化前应作井温测量, 同时测量井液电阻率曲线 ( $\rho_0$ ), 盐化后按一定的时间间隔测 4~6 条井液电阻率曲线 ( $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_6$ ), 并记录每条曲线的起止时间;

3) 每条井液电阻率曲线测量的时间间隔应根据流速确定, 曲线分布间隔应均匀;

4) 孔内水位应稳定、盐化应均匀、示踪剂投放量宜使井液浓度达到 2~4g/L;

5)  $\rho_0$  与  $\rho_1$  曲线宜为直线, 最后一条曲线的淡化部分应与  $\rho_0$  接近;

6) 盐化前后的测量技术条件必须一致, 测速宜为 8~10m/min。

3 注入法或提捞法测量时应符合下列规定:

1) 抬高或降低水位不得少于 3 次, 每次水位差不应小于 2m;

2) 盐柱长度以 10m 为宜, 记录盐柱界面移动的曲线不少于 4 条, 曲线分布间隔应均匀;

3) 必须准确测量并记录钻孔的稳定水位、注水量、提捞量及水位变化。

4 资料整理与解释除了应符合本规程第 9.1.5 条的规定外, 还应符合下列要求:

1) 井液电阻率资料的解释应结合钻孔水文地质资料及井温曲线综合分析, 估算地下水的渗透速度, 定性比较岩层的含水性及渗透性;

2) 当钻孔中有两个以上含水层相互补偿时, 扩散法的井液电阻率曲线不应作定量解释, 只能定性分析各含水层之间的相互补给关系;

3) 用提捞法计算涌水量和注水法计算补给量时, 应使用分层测定的曲线, 并按实测井径计算。

### 9.3 声速及超声成像测井

9.3.1 声速测井适用于测定钻孔中不同岩层的弹性波速度, 推测岩体的完整性程度, 计算岩体的弹性力学参数; 超声成像测井适用于判定断层及软弱夹层的倾向、倾角和厚度。

9.3.2 声速测井应符合下列规定:

1 仪器的技术指标除应符合本规程第 9.1.2 条的规定外, 还应符合下列要求:

1) 声時計时精度应达到  $0.1\mu\text{s}$ ;

2) 测时允许误差为  $\pm 1\%$ ;

3) 接收灵敏度应达到  $30\mu\text{V}$ 。

2 应采用单发双收或双发四收观测系统。

3 探管应居中，防止碰撞，并宜加适当长度的扶正棒。

4 点测法的观测点距应根据探测要求和地质条件确定，不应大于 0.5m，异常段应加密。

5 连续观测的测速宜为 10m/min。

6 资料整理与解释除应符合本规程第 9.1.5 条的规定外，还应符合下列要求：

1) 根据曲线的幅值变化，分段求取平均声速值，对厚度不足 500mm 的薄层可估算速度值；

2) 计算岩体速度必须考虑井径、岩性变化和泥浆影响；

3) 计算岩体弹性力学参数时应把岩体的声波速度换算成地震波速度。

**9.3.3 超声成像测井应符合下列规定：**

1 仪器探管下井前应在专用泥浆筒中做声反射和磁扫描的监视检查。

2 深度比例应根据岩层、裂隙、断层等的产状特征及观测精度确定。

3 测速宜为 2~4m/min。

4 观测记录应清晰反映井壁的地质情况。

5 资料解释应符合下列规定：

1) 对钻孔的地质现象做出描述；

2) 计算断层、裂隙及软弱夹层的倾角、倾向和厚度；

3) 孔斜大于 5°时，解释结果应根据井径和井斜资料进行改正。

**9.4 放射性测井**

**9.4.1 放射性测井适用于测定岩层的放射性活度，推断岩体密度和岩层中裂隙、溶洞、松散层（煤层）的位置以及地下水的流速。**

**9.4.2 自然  $\gamma$  测井应符合下列规定：**

1 选择合适的横向比例；

2 测速宜为 10~15m/min；

3 资料解释时应考虑钻孔结构的改变、有无套管和井液、是否存在氡钍沉淀物及放射性水的影响。

**9.4.3 密度测井应符合下列规定：**

1 宜采用双源距组合探管，仪器参数应用标准模块或刻度井进行标定；

2 工作参数应根据钻孔结构和岩性特征选择；

3 工作源活度应压制自然  $\gamma$  射线的干扰；

4 根据密度曲线分段求取平均密度值时，应考虑钻孔结构、围岩放射性的影响。

#### 9.4.4 同位素示踪流速测井应符合下列规定：

1 示踪剂的投放量应符合下列规定：

- 1) 初始浓度约为  $50\text{Bq}/\text{cm}^3$ ；
- 2) 每个井段约为  $3.7 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ；
- 3) 全孔投放量不得大于  $18.5 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

2 示踪溶液应均匀分布在测试井段中。

3 测点间距宜为  $0.5\text{m}$ ，每点应测  $5 \sim 10$  组数，最后一组读数应接近放射性底数。

4 有多个含水层时，应分层测定水平渗流速度，同时无垂直水流干扰。

5 松散层内长期抽水的大口径井中测得的数据不应用于定量解释。

### 9.5 井温、井斜、井径测量

#### 9.5.1 井温测量应符合下列规定：

- 1 必须在停钻  $24\text{h}$  以后进行，测量前井液不得扰动；
- 2 测量应在电缆下放时进行；
- 3 供电电流应保持稳定；
- 4 测速宜为  $4 \sim 6\text{m}/\text{min}$ ；
- 5 测量加热或冷却井液的井温时，循环井液应注入到孔底。

#### 9.5.2 井斜测量应符合下列规定：

1 仪器的技术指标除应符合本规程第 9.1.2 条的规定外，在下井前还应作挂零测试。

2 测点间距应符合下列要求：

- 1) 直孔不应大于  $20\text{m}$ ；
- 2) 斜孔不应大于  $10\text{m}$ ；
- 3) 当顶角变化大于  $2^\circ$ ，方位角变化大于  $20^\circ$  时应增加测点。

3 测斜仪在钻孔顶角不大于  $5^\circ$  时，测量允许误差应符合下列规定：

- 1) 顶角为  $\pm 0.5^\circ$ ；
- 2) 方位角为  $\pm 4^\circ$ 。

4 全部测点必须进行重复观测，每孔应有 3 个以上的检查点，两次观测的误

差不得超过仪器的允许误差。

5 测量结果应采用平面投影图表示，在套管内测得的数据只应作为参考数据。

### 9.5.3 井径测量应符合下列规定：

1 井径测量的测速宜为 15m/min；

2 供电电流应保持稳定，测量的误差不得超过仪器规定的允许误差；

3 当孔斜过大时，井径数据不应用于定量解释；

4 根据井径曲线的变化特点，应判别孔内掉块、坍孔情况和岩层的软硬、完整程度等。

## 本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。