

筑神

中
料

国
下

建
裁

筑
中

资
心

<http://www.zhushen.com.cn>

3 物探方法与技术

3.1 电法勘探

在水利水电工程勘测中，电法勘探的种类及应用：

(1) 电阻率法。其中电测探法主要用于探测地层、岩性在垂直方向的电性变化，解决与深度有关的地质问题，如基岩面、地层层面、地下水位、风化层面埋藏深度；电剖面法用于探测地层、岩性在水平方向的电性变化，解决与平面位置有关的地质问题，如断层、岩层接触界面位置。

(2) 自然电场法。用于探测地下水流向，探测堤坝渗漏地段，寻找不同岩性接触界面。条件有利时，可测定抽水影响半径，了解破碎带或岩溶洞穴分布情况。

(3) 充电法。用于钻孔或水井中测定地下水流向流速，了解低阻地质体的分布范围和形态。

(4) 激发极化法。用于寻找地下水，与电阻率法配合可圈定含水的古河道、古洪积扇、岩溶洞穴、断层破碎带的分布范围和确定含水层的埋藏深度，评价含水层的富水程度。

(5) 甚低频法。用于探测低阻地质体，如含水构造带、断层、有电性差异的岩体接触带和地下暗河等，以及探测地下金属管道。

3.1.1 应用条件

3.1.1.1 应用电法勘探的有利条件：

电法勘探的有利条件是：地形平缓，接地良好，覆盖层薄，被探测目的层或地质体有一定的宽度、厚度及延伸规模，并且与相邻岩层有显著的电性差异；各岩层及地质体电性稳定；电性分界面与地质分界面相一致；被探测目的层或地质体上方没有极高阻或极低阻的屏蔽层；测区内没有工业游散电流或大地电流的干

扰；水上工作时，水流速度较缓。

(1) 电阻率法：

电测深法：地电层次不多，被探测的各层有一定厚度；有一定数量的中间层电阻率资料，基岩面或被探测岩层层面与地面交角小于 20° ；

电剖面法：要求被探测的地质电性界面是陡倾角，与地面交角要大于 30° 。

(2) 自然电场法：地下水埋藏不太深，渗漏速度较大，不同岩性间有较大的接触电位差。

(3) 充电法：含水层埋藏深度小于 50m，地下水流速大于 1m/d，水的电阻率大于 $15\Omega\text{m}$ ，围岩电阻率大于 $50\Omega\text{m}$ ，钻孔中的金属套管在地下水位以上。

(4) 激发极化法：在固—液相界面上有明显的离子交换的电化学反应和电动效应，在测区内金属矿物、煤层、石墨、碳化岩层含量较少。

(5) 甚低频法：被探测地质体的电阻率远低于覆盖层或围岩的电阻率，且埋藏深度小于 30m。

3.1.2 仪器主要技术要求

3.1.2.1 电法勘探仪器应分别达到以下主要技术要求：

(1) 对同一电位差进行测量时，同一测程两次观测，相邻测程观测以及多台仪器观测结果之间的相对误差均应满足如下要求：

在 1~3mV 档：相对误差小于 3%；

在 10~1000mV 档：相对误差小于 1.5%。

(2) 改变测程时，激电参数测量结果的相对误差小于 5%。

(3) 甚低频仪器电压灵敏度应达到 $1\mu\text{V}$ ，输入端短路时，噪音应小于 $1\mu\text{V}$ 。

(4) 仪器输入阻抗：电子自动补偿仪大于 $8\text{M}\Omega$ ，激发极化仪大于 $25\text{M}\Omega$ ；甚低频仪器大于 $1\text{M}\Omega$ 。

(5) 电子自动补偿仪及极化仪的绝缘和防潮性能良好，

AB 、 MN 与外壳之间的绝缘电阻应大于 $300M\Omega$ 。

(6) 电子自动补偿仪及激发极化仪的屏蔽性能，当人体与仪器外壳接触时，感应电位差应小于 $0.02mV$ 。

3.1.2.2 仪器电源及野外电法勘探供电电源所用的干电池，领用新品时，要求开路电压与额定值之差小于额定值的 5%；短路电流大于额定值的三分之二。电源检查的方法与规定见附录 A。

3.1.2.3 陆上工作供电使用铁电极，测量使用铜电极，水上或冰上工作使用铅电极。

3.1.2.4 室内检查不极化电极极差必须小于 $1mV$ 。

3.1.2.5 导线的绝缘电阻要求大于 $2M\Omega/L$ (L 为导线长度的公里数)。

3.1.3 外业工作

物探点的联测工作

3.1.3.1 电法勘探的电测深点，电测深剖面及各种电剖面的端点和转折点，较大的地面坡度转折点，自然电场剖面以外的基点，充电法的充电点，主要异常点，均应测定坐标。在水域勘探时可用经纬仪交会或红外线测距仪定位。联测结果应展在地形图上的平面误差不得超过 $2mm$ ，高程误差不得超过 $0.5m$ 。

测网布置及比例尺的确定

3.1.3.2 测网密度主要由已有地质资料估计的被探测对象的大小、埋深、电性断面的变化规律和任务要求来决定，而不应单纯以勘探阶段来决定。

3.1.3.3 测线布置应尽量垂直于被探测对象的走向，并尽可能避免地形地物等干扰因素的影响，当探测对象有不同走向时，主要的测线应垂直于总的平均走向，对不同的走向地段，再布置不同方向的辅助测线。

3.1.3.4 电测深测网布置的一般要求是：

(1) 在地质勘探线上，应尽量布置电测深剖面 and 孔旁电测深点。

(2) 相邻电测深点的间距一般不小于主要探测对象埋深的一

半，如果在探测埋藏较深对象的同时，有必要详细探测浅部对象，可在上述测网内用小极距电测深加密。

(3) 当探测地质体或断层时，在平面图上至少有两个相邻电测深点上能有清楚的反映。

(4) 面积性电测深工作，常用作图比例尺和测网密度的关系，如表 3.1.3。

表 3.1.3 常用作图比例尺与测网密度关系

勘 测 阶 段	比 例 尺	测线间距 (m)	点 距 (m)
规划阶段坝址区 可行性研究阶段库区	1:50000	500~2000	500~1000
	1:25000	250~1000	250~500
	1:10000	100~400	100~200
可行性研究阶段坝址区 初步设计阶段库区	1:5000	50~200	50~100
	1:2000	20~80	20~40
初步设计阶段坝址区	1:1000	10~40	10~20

电测深成果比例尺的选择，应使图件上测深点距一般在 1~4cm，平均 1~8cm² 有一测点。

3.1.3.5 各种电剖面法测网布置的一般要求是：至少有 2~3 条剖面通过异常地段，其中每一条剖面上至少有 3~5 个测点表现出该异常。剖面线间距视被探测对象的埋深情况而定，成果图比例尺的选择，应使图件上剖面线间距为 1~4cm，点距为 0.25~1cm。

3.1.3.6 用充电法测定地下水流向流速时，以孔口为中心，在地表布置 8（或 12）条，方向夹角为 45°（或 30°）辐射状测网。

3.1.3.7 用激发极化法进行勘探时，一般同时进行电阻率法测量，其测网布置、装置形式的基本要求与电阻率法相同。

极距、基点和发射台选择

3.1.3.8 电测深法的极距选择应符合下列要求：

(1) 供电电极距系列, 一般应使各电极距在双对数坐标纸上沿电极距坐标轴较均匀地分布, 相邻电极距比值在 1.2~1.8 之间, 地电断面较简单时可使用较大比值, 地电断面较复杂时, 应采用较小比值。当使用量板法进行定量解释时, 相邻电极距在 62.5mm 模数对数坐标上相距 5~15mm; 当使用电子计算机进行定量解释时, 一般采用电算程序所设计的极距系列, 在曲线的极值点、拐点和畸变点附近可适当加密极距。

(2) 最小供电电极距以获得第一电性层的电阻率为原则, 一般为 $AB/2=1.5m$; 最大供电电极距, 一般应符合下列要求:

当底部电性标志层电阻率为“无限大”时, 应使在电测深曲线后支呈 45° 上升的渐近线上不少于 3 个读数点。

当底部电性标志层电阻率为有限值时, 应使在电测深曲线后支反映标志层的上升或下降曲线的“拐点”后不少于 3 个读数点。

(3) 测量电极距 MN 与供电电极距 AB 的比值, 一般保持在 $1/3 \sim 1/30$ 之间。

(4) 三极或联合电测深的无穷远供电电极 C , 应尽量位于 MN 中垂线上, 当 OC 方向偏离 MN 中垂线 5° 以内时, 应使 OC 大于最大供电电极距 OA 或 OB 的 5 倍; 当受客观条件限制, 不能使 C 极位于 MN 垂线上时, OC 应随偏离角度的增大而增大, 使 C 极产生的影响在所测得的视电阻率中产生的误差小于 2%, OC 的计算方法见附录 C。

3.1.3.9 电剖面法的极距选择须通过实地试验确定, 一般应符合下列要求:

(1) 当探测对象埋深 (H) 较大时, 供电电极距对称四极法的 AB , 三极或联合剖面法的 OA 、 OB 或偶极距 OO' , 一般取探测对象埋深的 3~5 倍。当覆盖层电阻率较低时, 应采用较大的供电电极距。

(2) 当表层电性不均匀影响严重时, MN 不能太小, 但也不应大于 $\frac{1}{3}AB$ 。

(3) \overline{MN} 一般应等于点距，不得大于两倍点距。

3.1.3.10 用充电法测定地下水流向流速时，应将充电点 A 极置于孔内待测含水层中部和电解质食盐袋串在一起，并始终保持饱和状态，“无穷远” B 极置于离孔口不小于待测含水层深度 15~20 倍的良好接地处。

测量电极 (N) 固定在经钻孔且与估计水流方向一致的上游某点。测量电极 (N) 在其他各测线上移动，寻找等电位点。

确定固定电极 (N) 位置原则如下：

(1) 地形平缓、地层单一时， \overline{NO} 一般约等于待测含水层深度。当钻孔中地下水位以下有金属套管时，应将 \overline{NO} 增至 \overline{AO} 的 2~3 倍。

(2) 当地形和地质条件较为复杂时， N 极应选在经过孔口的电位剖面曲线斜率较大的地段。

探测低阻地质体时，供电电极 A 与低阻地质体应接触良好，远供电电极 B 至供电电极 A 的距离，一般大于低阻地质体埋深或延伸长度的 10 倍。当用电位法观测时， N 极应位于异常场以外，供电电极 B 反方向的远处，大于低阻地质体埋深或延伸长度的 10 倍。

3.1.3.11 用激发极化法探测时，为了获得尽可能大的二次场电位差，一般采用 $MN/AB=1/3$ 的温奈尔装置，其相邻电极距比值一般取得较小，以 1.2 为宜。最大供电电极距 $AB/2$ 一般等于要求勘探深度的 1.5 倍即可。

3.1.3.12 进行自然电场法时，基点的选择和联测：

(1) 总基点的选择：

土壤湿润均匀，接地条件良好；

电场稳定，电位曲线平缓的正常场内；

应避免选在地形切割、地表干燥、乱石堆处，以及能产生氧化还原的岩层上或地下水活动剧烈地段及流水沟旁。

(2) 分基点的选择可按总基点要求适当放宽。

(3) 基点联测根据测区具体情况分别采用直接联测或间接

联测。

3.1.3.13 甚低频法野外工作开始前要选择适合于测区工作的甚低频发射台，确定电台的方位角。进行磁场水平分量（ H_y ）、垂直分量（ H_z ）和极化椭圆倾角（ D ）测量时，所选发射台的方向最好与地质体走向一致。进行电场水平分量（ E_x ）测量时，发射台的方向最好与地质体走向垂直。

野外观测的技术要求

3.1.3.14 为检查和评价电阻率法野外观测结果的精度，必须进行一定的重复观测，检查观测和系统检查工作。

（1）当指针不稳定或 ΔV 小于 3mV 或 I 小于 3mA 时，必须进行重复观测，重复观测应不少于 3 次。并按 3.1.3.15 条的规定取平均值。

（2）电测深，电剖面曲线的突变点和畸变线段，电剖面每隔 10 个观测点都要进行检查观测，改变接地条件应达到改变供电电流强度 25% 以上。当无法用改变接地条件的办法时，可用改变供电电压 25% 以上的办法进行检查观测，但此时必须检查供电线路是否漏电。遇平行脱节或交叉开口在模数为 62.5mm 的双对数坐标纸上大于 4mm 的电测深点应改变跑极方向或移动点位重测。

（3）系统检查工作应改换操作员，检查点应均匀分布在不同地段、不同日期的观测点上，重点选择在质量可疑的点或线段，对解释推断、检查验证工作或地质效果有重要意义的点或线段。系统检查工作量不得少于总工作量的 5%，也不应多于总工作量的 20%。

3.1.3.15 重复观测应符合下列要求：

（1）一组重复观测中，应改变相邻两次观测所用供电电流强度。

（2）个别相差过大的读数可舍去，不参加平均值计算，舍去的个数必须少于观测总数的 1/3。参加平均值计算的有效数据和被舍去的数据都必须记录在记录本上，作废的数据用细线划去和注明被舍去的原因。

(3) 参与平均值计算的一组视电阻率读数的最大误差系数 K ，应满足下式要求，否则要增加观测次数。

$$K = \frac{\rho_s^{\max} - \rho_s^{\min}}{\frac{\rho_s^{\max} + \rho_s^{\min}}{2}} \leq \sqrt{n-1} \times 4\% \quad (3.1.3-1)$$

式中 K ——最大误差系数；

ρ_s^{\max} ——参与平均值计算的视电阻率读数中的最大值；

ρ_s^{\min} ——参与平均值计算的视电阻率读数中的最小值；

n ——参与平均值计算的视电阻率读数的个数。

3.1.3.16 单个电测深点和单条电剖面野外观测的质量用基本观测与系统检查观测计算的均方相对误差或称相对误差的均方根平均值 m 来评定，要求 $m \leq 3.5\%$ ，计算公式为：

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \times 100\% \quad (3.1.3-2)$$

$$\delta_i = \frac{\rho_{si} - \rho'_{si}}{\frac{\rho_{si} + \rho'_{si}}{2}}$$

式中 δ_i ——电测深单个极距或电剖面单个测点的相对误差；

n ——参与统计的单个电测深点的电极距数或单条电剖面的测点数；

m ——单个电测深点或单条电剖面的均方相对误差；

ρ_{si} ——基本观测值，当进行了重复观测时，是指有效数据的算术平均值；

ρ'_{si} ——系统检查观测值，当进行了重复观测时，是指有效数据的算术平均值。

由于地表及浅层湿度变化，使系统检查观测所得电测深曲线起始部分，相对于基本观测的曲线出现有规律的偏差时，允许把该段除外，不参与统计。

3.1.3.17 对单个电测深点和单条电剖面的观测质量要求，凡具有下列情况之一者，该电测深点或该条电剖面应属“废品”，必须重新进行观测。

(1) 相对误差 $\delta > 2.5\%$ 的数据，在电测深相邻 3 个极距或电剖面相邻 3 个测点连续出现者。

(2) 相对误差 $\delta > 3.5\%$ 的电测深极距数或电剖面点数超过参与统计的总个数 n 的 30% 者。

(3) 相对误差 $\delta > 7\%$ 的电测深极距数或电剖面点数超过参与统计的总个数 n 的 5% 者。

(4) 电剖面点相对误差 $\delta > 10.5\%$ 的点数超过参与统计的总个数 n 的 1% 者。

(5) 均方相对误差 $m > 3.5\%$ 者。

3.1.3.18 一个测区（或全区）的电测深或电剖面的观测质量，是在统计了单个电测深点或单条电剖面观测质量的基础上进行。凡具有下列情况之一者，一个测区（或全区）的电测深或电剖面均作“废品”，必须重新进行观测。

(1) 被作废的单个电测深点数超过被系统检查电测深点总数的 30% 者。

(2) 一个测区（或全区）全部被系统检查的电测深点（被作废的电测深点不得除外）所有单个极距系统检查观测与基本观测统计的均方相对误差 $m > 3.5\%$ 者。

当一个测区（或全区）各电测深点所用最大极距相同或相近时，该区观测质量可按下式统计：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^2} \quad (3.1.3-3)$$

式中 m ——单个电测深点的均方相对误差；

N ——一个测区（或全区）经系统检查的电测深点总数；

M ——各测深点均方相对误差的均方根平均值。

当 $M > 3.5\%$ 时，一个测区（或全区）的电测深点均作“废品”。

(3) 一个测区（或全区）全部被系统检查的电剖面（被作废的电剖面不得除外）所有被检查观测与基本观测统计的均方相对误差 $m > 3.5\%$ 者。

3.1.3.19 自然电场法的观测精度，是通过重复观测和系统检查观测来衡量的。

(1) 自然电场稳定时，单个点重复观测误差不应超过 2mV。在有随时间变化的地段应增加重复观测次数，判别一组重复观测数据是否合适，可按以下判别式：

$$\Delta V_{\max} - \Delta V_{\min} \leq 2 \Delta \quad (\Delta \text{ 电位为 } 5\text{mV}, \text{ 梯度为 } 3\text{mV})$$

(2) 系统检查点应均匀分布，检查的工作量为总工作量的 5%~20%。

(3) 观测精度用基本观测与系统检查的平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 表示，要求电位观测小于 5mV，梯度小于 3mV，单个点的绝对误差电位观测不超过 15mV，梯度观测不超过 9mV，平均绝对误差是指该地段各单个观测点的绝对误差的算术平均值。即：

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta V_i - \Delta V'_i|}{n} \quad (3.1.3-4)$$

式中 ΔV_i ——为第 i 点的基本观测值；

$\Delta V'_i$ ——为第 i 点的检查观测值；

n ——为单个观测点的总数。

3.1.3.20 用充电法对低阻体进行电位或梯度测量时，在电位的极大点、极小点或梯度的零点，曲线上的突变点、可疑点、转折点必须重复观测，评价观测结果的精度是通过重复观测和系统检查观测来衡量的。

(1) 单个重复观测的相对误差为 2.5%，计算公式同式 (3.1.3-2)。

(2) 系统检查的工作量为总工作量的 5%~20%，检查点应均匀分布。

(3) 观测精度以均方相对误差来评定，电位法误差小于 3.5%，梯度法误差小于 3%，计算公式同式 (3.1.3-2)。

其中 δ_i 为基本观测数据 $\frac{\Delta V}{I}$ (或 $\frac{\Delta V}{I'_{MN}}$) 与系统检查观测数据

$\frac{\Delta V'}{I'}$ (或 $\frac{\Delta V'}{I' MN}$) 的相对误差:

$$\delta_i = \frac{\frac{\Delta V}{I} - \frac{\Delta V'}{I'}}{\frac{\Delta V}{I} + \frac{\Delta V'}{I'}} \text{ 或 } = \frac{\frac{\Delta V}{I MN} - \frac{\Delta V'}{I' MN}}{\frac{\Delta V}{I MN} + \frac{\Delta V'}{I' MN}}$$

3.1.3.21 为保证激发极化法的观测精度, 应做到:

(1) 在无外界的严重干扰时, 二次场电位差 ΔV_2 不应小于 1mV; 在当时当地条件下确实无法达到时, 允许个别读数不小于 0.5mV, 但不得在 3 个相邻极距上连续出现。

(2) 须有大容量的电源, 能在 30s 供电时间有稳定的电流输出。为使 $\Delta V_2 > 10$ 倍干扰电位差 (ΔV_g), 供电电流不得小于下式计算的电流值:

$$I_{\min} \geq \frac{10 K \cdot \Delta V_g}{\rho_s \cdot \eta_s} \quad (3.1.3-5)$$

式中 ρ_s 、 η_s ——分别为同一供电电极距的视电阻率和视极化率;
 K ——为装置系数。

(3) MN 电极的极化电位差应在最灵敏测程档进行补偿, 补偿后要注意观察极差是否稳定。

3.1.3.22 激发极化法观测出现下列情况之一者, 需进行重复观测和检查观测。

(1) 二次场电位差 ΔV_2 小于 1mV。

(2) 在观测读数的前后, 发现有明显的干扰现象。

(3) 视激发比 (J_s) 值大于或接近视极化率 (η_s) 值, 视衰减度 (D_s) 值大于或接近 100%。

(4) 每次观测完毕, 应用最灵敏测程档观察二次场是否逐渐衰减到零, 如不到零, 说明有干扰存在。

(5) 在视极化率 (η_s), 视激发比 (J_s) 或半衰时 ($S_{0.5}$) 测深曲线上, 对有重要意义的异常或线段出现锯齿状, 经检查观测读数无误, 应在这一极距前后加密极距进行观测。

3.1.3.23 为评价激发极化法观测结果的精度, 是通过重复观测、

检查观测和布置系统检查观测来衡量的。

(1) 系统检查的工作量为总工作量的 5%~20%，检查点应均匀分布。

(2) 参与统计的一组重复观测值中，读数的最大误差系数应满足下式要求，否则应增加观测次数 (n):

$$K = \frac{\eta_s^{\max} - \eta_s^{\min}}{\frac{\eta_s^{\max} + \eta_s^{\min}}{2}} \leq \sqrt{n-1} \times 7\% \quad (3.1.3-6)$$

$$K = \frac{J_s^{\max} - J_s^{\min}}{\frac{J_s^{\max} + J_s^{\min}}{2}} \leq \sqrt{n-1} \times 10\% \quad (3.1.3-7)$$

式中

K ——最大误差系数；

η_s^{\max} 、 J_s^{\max} ——参与计算的视极化率、视激发比读数中的最大值；

η_s^{\min} 、 J_s^{\min} ——参与计算的视极化率、视激发比读数中的最小值；

n ——参与读数的个数。

(3) 单个测深点的观测精度以均方相对误差 m 来衡量，计算公式见式 (3.1.3-2)，但式中 δ_i 为基本观测数据 η_s (或 J_s 、或 D_s 、或 $S_{0.5}$) 与系统检查观测数据 η'_s (或 J'_s 、或 D'_s 、或 $S'_{0.5}$) 的相对误差：

$$\delta_i = \frac{|\eta_s - \eta'_s|}{\eta_s + \eta'_s} \quad (\text{或 } \delta_i = \frac{|J_s - J'_s|}{J_s + J'_s} \text{ 或 } \delta_i = \frac{|D_s - D'_s|}{D_s + D'_s} \text{ 或 } \delta_i = \frac{|S_{0.5} - S'_{0.5}|}{S_{0.5} + S'_{0.5}})$$

单个测深点的精度需满足下列要求：

$$m_{\eta_s} \leq 5\%; \quad m_{J_s} \leq 7\%; \quad m_{D_s} \leq 7\%; \quad m_{S_{0.5}} \leq 7\%。$$

当不符合上述精度要求的点数超过系统检查总点数的 30% 时，则被检查的工区或地段的质量不合格。

3.1.3.24 为保证甚低频法野外观测精度，应做到：

(1) 选定一次场稳定的工作时间。

(2) 定点定向准确，避开雷电干扰。

(3) 测程（增益）档的选择应确保读数大于该量程的二分之一。

3.1.3.25 评价甚低频法观测结果的精度，是通过系统检查观测来衡量的。

(1) 系统检查工作量为总工作量的 5%~20%，检查点均匀分布。

(2) 磁场水平分量 (H_y)、磁场垂直分量 (H_z)，电场水平分量 (E_x) 用平均相对误差来评价，公式如下：

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - A_{ki}}{A_i + A_{ki}} \right| \cdot 100\% \quad (3.1.3-8)$$

式中 A_i ——为第 i 原始观测值；

A_{ki} ——为 i 点的检查观测值；

n ——为检查点数。

当平均相对误差 $\delta_{Hy} \leq 2.5\%$ 、 $\delta_{Hz} \leq 1\%$ 、 $\delta_{Ex} \leq 5\%$ 时，观测质量是合格的。

(3) 极化椭圆倾角 (D) 用平均绝对误差来评价，公式如下：

$$\overline{\Delta D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_i - D_{ki}| \quad (3.1.3-9)$$

式中， D_i 和 D_{ki} 分别为原始观测和检查观测的倾角值， n 为检查点数。当 $\overline{\Delta D} \leq 1$ 度时，观测质量是合格的。

3.1.3.26 对跑极方向和极距的要求：电极接地位置在预定跑极方向上的前后偏差不得大于该极距的 1%；在垂直预定方向的左右偏差不得大于该极距的 5%。当为避免障碍物或选择较好接地位置而达不到上述要求时，应按实际接地位置重新计算 K 值。

3.1.3.27 漏电检查，在下列情况中必须进行漏电检查，检查方法见附录 B。

(1) 单个电测深点的最大供电电极距。

(2) 单条电剖面在工作开始、每隔 10~20 个测点、转移测站

和工作结束时。

(3) 电测深或电剖面曲线的畸变点。

(4) 无穷远供电电极在每天开工和收工时。

3.1.3.28 漏电影响不符合下列情况之一者，应逐点返回检查漏电，直到符合要求为止。

(1) 供电导线漏电引起的漏电电位应小于原观测值 ΔV 的 2%。

(2) 供电导线漏电引起的漏电电流应小于原观测值 I 的 1%。

(3) 测量导线漏电引起的漏电电位应小于原观测值 ΔV 的 1%。

(4) 改变供电电极接地电阻进行漏电检查，前后计算的 ρ_s 值相对误差应小于 2%。

3.1.4 内业工作

野外原始资料的检查验收与评价

3.1.4.1 解释人员对野外观测记录应及时检查与验收，检查时必须对记录本中的各项记录逐页进行检查。检查中发现的问题应通知操作员及时纠正，凡不符合质量要求的观测资料应予作废，并通知操作员返工重测；对缺少或漏记的非读数项目应立即追记，校对计算结果与原记录中计算数值的误差不超过 1%者，可不更改原数值，校对者应签名负责。

3.1.4.2 对单个电测深点或单条电剖面观测资料的质量评价分为“优良”、“合格”和“废品”三个等级。

3.1.4.3 满足下列各项要求者定为“优良”。

(1) 使用的仪器设备符合第 3.1.2.1 至 3.1.2.5 条规定的技术指标并工作正常。

(2) 极距、点距选择正确，满足探测任务要求。

(3) 记录本记录项目填写齐全，字迹清晰、端正。

(4) 按规定进行了重复观测、检查观测和漏电检查，并符合质量要求。

(5) 经重复读数或检查观测，原始读数合格率高于 80%。

(6) 经系统检查观测质量满足要求。

3.1.4.4 有下列情况之一者定为“废品”。

(1) 原始记录有涂改、擦去或撕去现象。

(2) 未按规定进行重复观测、检查观测和漏电检查，或虽作重复观测、检查观测和漏电检查，但不符合要求者。

(3) 经系统检查观测质量不能满足要求者。

3.1.4.5 未能全部满足第 3.1.4.3 条要求，而又不属第 3.1.4.4 条情况者，定为“合格”。

资料的解释推断

3.1.4.6 电法勘探的解释推断工作应在勘测工地进行，以便随时检查和区分各种干扰因素（如地质体电阻率的不均匀性、各向异性、地电断面的变化、地形起伏等）对观测结果的影响，必要时做些补充观测工作，以避免或减少各种干扰因素给解释推断结果带来的误差或错误。当干扰不可避免时，应在所得地质结论中，恰当地估计它的影响程度和精度；当干扰因素影响过大而又无法消除或校正时，则不作定量解释。

电测深法

3.1.4.7 电测深曲线的解释一般按两个步骤进行：

定性解释：划分地电断面，区分干扰影响，确定电性参数，绘制定性解释图，取得地电断面和地质体形态的定性资料。

定量解释：取得测区内地层的厚度，地质体、断层构造的埋藏深度等定量资料。

定性和定量解释虽有先后顺序，但不应截然分开，通常需要反复交叉进行。

3.1.4.8 划分地电断面，确定电性层位时，应注意电性界面和地质界面不一致的可能性；也应注意区分横向的地质——电性变化及地形起伏对电测深曲线的影响。

3.1.4.9 确定电性参数的方法：

(1) 用电测井资料和井旁测深曲线测定的电阻率参数较正确，先以电测井资料与钻探资料对比划分地电层位，然后反算各

层电阻率。必要时，可用已知的层参数构作正演曲线与井旁测深曲线对比，如不重合，应适当调整层参数，达到完全拟合为止。

(2) 利用电测深点近旁的其他资料（钻孔、竖井及地震勘探资料）确定层厚及埋深后，推算电阻率。必要时，也应构作正演曲线与实测曲线进行对比、以防错划电性层。

(3) 可用露头电测资料确定电阻率，但应注意露头的风化裂隙和含水情况等条件与深部条件不一致而造成的电性差别。

(4) 当电测深曲线的中段等值范围很窄时，可根据电测深曲线解释直接确定中间层电阻率。

(5) 在电性层参数有变化时，应在测区内不同地段上分别测定；在定量解释时，按参数变化规律选取。

3.1.4.10 电测深定性解释图件应根据分析资料需要而选绘。常用定性解释图件有：

电测深曲线类型图，用以分析测区内的电性层的变化规律；等视电阻率断面图，常用作分析探测对象埋藏深度的变化和覆盖电阻率的横向变化。

某一极距的视电阻率剖面图、平面图及剖面平面图，反映某一探测深度范围内电阻率沿剖面的变化或在平面上的分布情况，用以分析相应探测对象埋藏深度的变化或在平面上的分布状态。

上覆地层总纵向电导 S 或总横向电阻 T 剖面图或平面图，用作分析上覆地层总厚度的变化情况。

中间层的纵向电导 S 或横向电阻 T 剖面图或平面图，用作分析中间层厚度的变化情况。

电测深曲线极值的 $AB/2$ 剖面图或平面图，反映极值点后支地层的埋深变化。

3.1.4.11 定性解释中应十分重视对电测深原始曲线的研究、分析和对比，结合定性图和地质资料，对每个电测深曲线的类型和地电断面结构作出正确的判断，并从中发现地电层参数的变化规律，指导定量解释，在对比分析时，应综合考虑电测深曲线的下列标志在测区内的变化。

- (1) 电测深曲线类型。
- (2) 曲线后支上升或下降倾斜角度及渐近线值。
- (3) 特殊点（如极值点、拐点等）的纵、横坐标值。
- (4) 总纵向电导值。
- (5) 各测深点同一极距的视电阻率。
- (6) 曲线的局部畸变。

(7) 十字测深、环形测深、联合测深，以及电极不同方向排列时，电测深曲线的差异。

3.1.4.12 电测深曲线出现畸变时，应分析产生畸变的原因，了解畸变极距地段的地形、地质条件，分析各相邻测深曲线畸变极距和畸变大小的规律，有时会因研究这些畸变而获得有意义的地质问题（如岩层接触线、断层等）的解决。

3.1.4.13 电测深曲线类型的确定，应先从孔旁测深曲线开始，并综合分析其周围电测深曲线的特点，避免漏层。

3.1.4.14 在对比分析不同地段上的电测深曲线时，必须注意电性标志层转换的可能性，不应简单地根据两个地段曲线类型相同，就得出地电断面相同的结论。

3.1.4.15 在对比分析电测深曲线和研究各种定性图件时，应当注意同一电性层的电参数在不同地段上改变的可能性，尽可能地把它同地电断面类型的变化（如某些电性层的消失或新出现）及几何形态的变化（如某些电性层厚度和埋深的变化）区别开来。为此应密切结合不同地段上的电参数资料，综合研究电测深曲线多方面的特点以及多种定性解释图件。

3.1.4.16 电测深曲线的定量解释一般应在具备下列条件的基础上进行：

- (1) 曲线完整、电性标志层在足够的电极距上有所反映。
- (2) 主要电性层在曲线上分层明显。
- (3) 曲线畸变部位校正后，不影响解释精度。
- (4) 有进行定量解释所必须的电参数。
- (5) 已进行定性解释推断工作，基本明确电性层与地质层的

对应关系。

3.1.4.17 电测深曲线的消差、圆滑与校正。

(1) 消差：对电测深曲线的脱节需进行消差处理。消差方法应根据曲线的具体特点选定（实测曲线畸变很小或脱节很小时，采用转动消差法；畸变较大、脱节不正常，宜以畸变小的线段为准，采用平移消差法）或根据已知地电断面上的实测曲线试用不同消差方法后选择误差最小的一种。在地电断面相同的地区，一般采用统一的消差方法。

(2) 圆滑：只有肯定了畸变的原因，才允许在定量解释前根据需要对电测深曲线中的个别突变点进行圆滑。

(3) 校正：是指屏障界面影响校正和地形校正，屏障界面校正，用相应的量板或模拟试验，二度地形可采用电算法校正。

3.1.4.18 定量解释方法主要有量板法、电算法、切线法、一次微分法、曲线后支渐近线法（平均电阻率 ρ_m 法）、绝对电阻率反斜率法、典型孔旁测深曲线对比法等，定量解释方法的选用应根据任务的要求，电测深曲线的具体情况和各种解释方法的应用条件而定。有条件时，对同一地区、同一曲线类型的电测深点，应进行多种解释方法的比较。

定量解释应尽可能使用量板法或电算法，当曲线比较复杂，不能或不宜使用量板法和电算法时，可以使用各种简化的解释方法。但必须有足够的资料证明，所采用的解释方法能够满足任务的要求，所获得的定量资料的精确程度不低于当地具体条件下采用其他任何解释方法。不应单纯为了减少定量解释工作量而任意采用简化的解释方法。

3.1.4.19 采用量板法作电测深解释时，应符合下列要求：

(1) 解释多层曲线时应尽可能选用三层或四层量板（辅以二层及其辅助量板）；在用二层与辅助量板结合进行解释时，注意 ρ_2 的选择，并选择一定数量的曲线用三层量板解释相对照。

(2) 使用三层量板进行解释时，应使理论曲线和实测曲线的中部有较好的重合，而对曲线的首段和尾部（已受上部或下层电

性层的影响)不必强求重合;当曲线尾支有渐近线的情况下对比曲线时,应使尾支部位与理论曲线相重合。

(3)使用三层量板进行解释,当实测曲线介于二条理论曲线之间时,应用对数比例进行内插。

3.1.4.20 电算法主要是指应用微型计算机对电测深曲线进行反演或正演拟合计算的定量解释方法。它具有便于选择和改变层参数解释多层曲线和计算准确等优点,应推广使用。电算程序目前尚无统一规定的应用程序,可自行编制或选用,所用程序必须经过全面的试算检验。

应当注意电算法和量板法一样受到等值原理的约束,也需要具备准确的中间层电阻率参数,才能求得准确的地层厚度。若采用给定的层参数初值,由计算机自动拟合、自动修改层参数的程序工作,可能得到与实测曲线误差很小、甚至完全重合的拟合曲线。但计算机给出的层参数终值,可能仍然是等值解。

3.1.4.21 电测深定量解释过程中,要应用定性解释图件进行对比,若地层厚度、埋深、电阻率的变化等与相应的定性图件有矛盾或差别较大时,应作进一步的定性分析,尽可能找到合理的解释。

3.1.4.22 电测深定量解释图件及要求:

(1)电性—地质剖面图。要按实际地形绘制剖面,沿地表绘出地表地质情况,沿剖面的钻孔、坑槽及地面标志物均应绘于图上。每一个电性层和岩层应注出电阻率值和画出岩性符号。若同一电性层的电阻率沿剖面有变化,应分段注出不同的数值。当电性层和地质层不一致或一个电性层包含几个地质层的综合反映时,可不画岩性符号,但应作说明。所绘地质界面的精度达不到所选比例尺要求时,应作说明。

(2)电性—地质平面图。应标明电法勘探点的实际位置,并根据需要决定是否标明电极排列方向。标明是基岩电性—地质图,还是某一深度的电性—地质图,电性—地质界线的精度达不到所选比例尺要求时,应作说明。

(3) 电性层顶板等高线图或某一电性层的等厚度图。应表示出每一测深点和勘探点(钻孔、坑槽)位置,并在其旁边注出高程、深度或厚度值。所绘等高线或等厚度线的差值不得小于两倍定量解释的可能误差。图中应绘出推断的岩层界线、断层线等。当电性层与地质层一致时,图名中的电性层改为地层名称;不一致时,则在图例中说明。

(4) 微型计算机绘制的小图,只可作为报告插图,不得作为最终成果图件提交。

电剖面法

3.1.4.23 电剖面曲线的解释一般按下列步骤进行:

(1) 确定异常:分辨 ρ_s 变化是地质异常还是干扰异常。

(2) 定性解释:解释异常是什么地质因素引起的,确定地质体在平面上的分布形态。

(3) 定量解释:在条件有利时对地质体的埋深、产状和大小进行定量的计算与描述。

3.1.4.24 正确分辨有用异常和干扰异常是做好电剖面解释推断工作的重要一步。解释员必须熟悉各种典型地形、地质因素引起的畸变特征,并有一个粗略的量的概念,作为分辨干扰的基础。

简单的二度地形,可以用电算法或地改量板进行地形改正。异常的幅度值应大于正常场允许误差的 3 倍才可视作异常。

3.1.4.25 一般情况下,电剖面法的解释推断主要是定性解释工作,提供定性资料。只有在被探测对象的几何形状比较简单,没有干扰因素,电阻率稳定,异常明显和标准时,才进行定量解释,计算探测对象的产状和大小。

3.1.4.26 电剖面法的成果图件及要求:

(1) 视电阻率剖面图。在电剖面曲线横坐标的下方应绘制地形剖面,并标上地表地质情况,钻孔、坑槽及其他地面标志物位置,推断的地质体位置大小及产状等。若是定性推断示意应作说明。

(2) 视电阻率剖面平面图。平面比例尺,一般与工作比例尺

相同。纵坐标 ρ_s 值比例尺的选择，要能充分反映异常的特点和避免异常曲线过多的重叠和混淆不清。一个测区纵坐标应尽量使用同一比例尺，横坐标每隔 5 或 10 点应注明测点编号。解释推断的地质界线应标明在图上。

自然电场法

3.1.4.27 自然电场法成果图件及要求：

(1) 工作布置图。按工作比例尺绘制，图上应绘出总基点、分基点、剖面线，并每隔 5 或 10 点注明测点编号、主要勘探线、坑槽、钻孔位置，以及主要的地质标志（岩层界线、断层、岩溶洞穴等）。

(2) 自然电位剖面图。纵坐标表示电位，横坐标表示测点距离。横坐标下方应绘出地形和地质剖面。

(3) 剖面平面图。比例尺一般与工作比例尺相同，纵坐标毫伏值比例尺的选择原则是：能充分反映异常特征。同一测区的比例尺应一致。

(4) 自然电位平面等值线图。等值线用等差或等比间距绘制。

(5) “8” 字形电位图。用于岩溶区地下水流向测定。

3.1.4.28 用自然电场法调查有关水文地质问题时，应收集、分析以下资料：

(1) 与过滤电场有关的地质资料，如断层破碎带的分布及透水特性等。

(2) 与干扰电场（氧化还原）有关的地质资料，如金属矿物、炭质地层的分布。

(3) 测区内地下水埋藏深度及其变化情况，离子类型及其电化学活动性。

(4) 测区内有无工业游散电流的干扰，以及自然电场随时间变化的规律。

3.1.4.29 自然电场法资料的解释推断：

(1) 区分正常场与异常场，异常值应达 3 倍均方差，并有一

定的规律性和分布范围。

(2) 正确识别有用异常和干扰异常。

(3) 分析正异常和负异常的地质因素。

充电法

3.1.4.30 用充电法求地下水流速、流向的解释与图件。

(1) 等位线图：起始等位圈的 R （充电点 A 在地面的投影 O' 至起始等位圈的距离）和等位圈增量 ΔR ，可用不同比例尺绘制。 ΔR 的比例尺可适当放大，以能清楚反映出等位圈变化特征，又不致使图幅过大为宜。

利用等位线平面图时，由井孔中心到等位圈移动距离最大的连线方向定流向，并计算流速（见 4.4.5）。

利用向量合成法时，由向量合成的最大伸长方向定流向，在流向方向上以伸长距离与所对应的两倍时间之比，其商为流速，即：

$$v = \frac{R}{2 \Delta t} \quad (3.1.4-1)$$

式中 R ——等位圈最大伸长距离；

Δt ——最大伸长距离对应的测量时间间隔。

(2) 方位角 α 与增量 ΔR 关系曲线图：以射线方位角 α 为横坐标，盐化后射线上等位圈增量 ΔR （以起始等位圈起算）为纵坐标，即构成 $\Delta R = f(\alpha)$ 曲线图。

3.1.4.31 用充电法求低阻地质体形态时，在绘制图件方面和电阻率法相同。一般作电位曲线剖面图（或电位梯度曲线剖面图）、剖面平面图、等电位平面图。在解释推断时应注意以下几点：

(1) 认识正常场与异常场的特征，分析等位线的密度，长短轴之比，以及电位、梯度曲线的形态、斜率、特征点（电位曲线极大值点、梯度曲线零点）及分布规律。

(2) 注意表层不均匀、地形、岩层产状、地表水径流、覆盖层厚薄及屏蔽造成的影响。

(3) 通常以电位剖面曲线的极大值，梯度剖面曲线的“零”

值定平面点位。

(4) 紧密结合其他物探方法，地质构造和水文地质资料作综合解释推断。

3.1.4.32 在钻孔中利用充电法监测滑波体的应用原理，是根据等电位圈产生移动，推断滑波体的滑动面，滑动方向以及滑动速度。

激发极化法

3.1.4.33 激发极化法绘制的图件，一般有 ρ_s 、 η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 等值线断面图，剖面平面图和平面等值图，测深曲线类型图，含水层分布平面图和含水层埋藏深度图等。

上交的正式图件应根据具体地电条件和成果报告的需要绘制。

(1) η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 等值线断面的横坐标用算术比例尺，纵坐标可用算术比例尺，也可用对数比例尺表示。等值线的起始值以异常的下限确定，等值线数值以等差级数间距绘制。

(2) 绘制 η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 等值线平面图时，应选择最能清楚反映含水层构造异常特征的极距绘制。

3.1.4.34 激发极化法找水的解释推断：

(1) 密切结合水文地质资料分析曲线特征，研究异常幅度与已知区地下水的关系，并结合电阻率法的解释结果，作出未知区地下水埋藏情况的推断。

(2) 二次场激电参数与含水层孔隙率、湿度、孔隙水矿化度、岩石颗粒大小、粘土含量、矿物成分等因素有关，同时也受金属管道、炭化岩层的影响，因此资料分析解释要考虑种种干扰因素。

(3) 正确掌握背景值和含水异常值：

背景值：不同测区有不同背景值。一般以已知地下水位以上的 η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 或干孔旁测得的 η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 值作为测区背景值。

异常值：异常幅度大于背景值的 3 倍允许相对误差，并连续在 3 个以上极距出现才能看作异常。

(4) 地下水位的确定与含水层富水性的估计 (见 4.4)。

甚低频法

3.1.4.35 用甚低频法测量和计算结果可绘制 H_y/H_0 、 H_z/H_y 、 E_r 、 D 、 H_y 、 ρ_a 、 F (倾角滤波) 曲线剖面图、剖面平面图、平面等值线图。以上图件的绘制要求除同电阻率法外, 还应标出所用电台名称及方位, 同一测区要用同一测程的数据绘制图件 (H_0 ——测区内正常场的磁场水平分量)。

3.1.4.36 甚低频法的成果解释与计算:

(1) 为消除测区的地质噪音, 人工导体和区域背景干扰, 突出异常对极化椭圆倾角 (D) 的观测值可采用数字滤波计算的办法处理。

(2) 低阻地质体位置的确定: 在没有干扰的情况下, 倾角 (D) 曲线的“零交点”, 磁场水平分量 (H_y) 曲线, 倾角滤波 (F) 曲线的极大点和甚低频视电阻率 (ρ_a) 曲线的低值段对应于断裂带、岩溶发育带等低阻地质体。

(3) 低阻地质体产状的估计。

倾角方向: 当椭圆倾角 (D) 曲线出现不对称时, 则低阻地质体的倾斜方向所对应的 D 曲线的峰值较大。

倾角: 用 D 曲线极大与极小振幅的差值 (ΔR) 来估计倾角。

$$\Delta R = |M - N|$$

式中 M ——表示极大振幅值;

N ——表示极小振幅值。

(4) 低阻地质体埋深估计。

如图 3.1.4, 当曲线异常反映良好时, 利用 D 曲线极大值与极小值之间的距离 Δx , 并采用以下经验公式计算:

球状地质体中心埋深近似为:

$$h = \Delta x$$

细长柱状地质体中心埋深近似为:

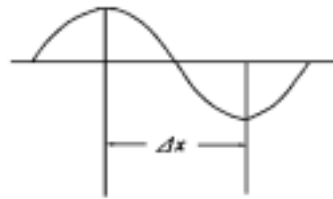


图 3.1.4 低阻地质体
埋深估算示意图

$$h=0.86 \Delta x$$

陡倾薄板顶部埋深近似为：

$$h=0.5 \Delta x$$

3.2 地震勘探

在水利水电工程勘测中，应用浅层地震勘探的基本方法有浅层折射波法、浅层反射波法和透射波法。

(1) 浅层折射波法。适用于层状介质勘探，可测定覆盖层厚度、划分岩层和风化层、探测隐状构造破碎带，以及岩土体弹性波的测试等，为解决工程地质问题提供定量的资料。

(2) 浅层反射波法。适用于层状介质勘探，可测定覆盖层厚度、划分岩层和风化层、探测隐状构造破碎带。在勘探高速屏蔽层下部地层结构时，应用反射波法可弥补折射波法的缺陷，获得较多的地层结构信息。浅层反射波法又分为纵波反射法和横波反射法。应用横波反射法进行第四纪松散含水地层的分层效果，比纵波反射法好。

(3) 透射波法。适用于测定钻孔、平洞以及钻孔与平洞之间岩土体的纵、横波速度和圈定岩层速度异常带，如构造破碎带、风化及岩溶带等。

3.2.1 应用条件

3.2.1.1 应用地震勘探的必要条件：

应用折射波法的必要条件：

(1) 被追踪地层的波速要大于上伏各层介质的波速，即 $v_1 < v_2 < v_3 \cdots < v_n$ ，不能探测速度逆转层。

(2) 被追踪地层应具有一定的厚度，一般要求中间层厚度不小于其上伏层厚度。

(3) 被追踪地层与地面的视倾角 $\varphi < 90^\circ - i$ (i 为折射波的临界角)。

应用反射波法的必要条件：

(1) 要求被追踪地层与其相邻层之间存在波阻抗（即地层波

速 v 与地层密度 ρ 的乘积 $v \cdot \rho$) 差。

(2) 被追踪地层应具有一定的厚度，一般要大于有效波长的四分之一。

3.2.1.2 应用浅层地震勘探方法的有利条件：

(1) 测线地形起伏较小、无障碍物。

(2) 地下水较浅，地表介质具有良好的激发与接收条件。

(3) 被追踪地层的层次不多，具有一定的厚度、介质均匀、波速稳定，且各层之间存在明显的波速或波阻抗差异。

(4) 被追踪地层界面起伏不大，折射波沿界面滑行无穿透现象；地层界面光滑，入射波能在界面上产生较规则的反射波，无乱反射现象。

(5) 被追踪地层界面与地面的夹角小于 15° 。

(6) 无雷雨、交流电及各种振动干扰。

3.2.2 仪器主要技术要求

3.2.2.1 用于浅层地震勘探的仪器，其记录道有 1 道、3 道、6 道、12 道及 24 道等类型。目前主要应用 12 道信号增强型地震仪。其记录方式有模拟记录和数字记录之分，为便于数据处理，应尽量采用数字记录。

3.2.2.2 地震记录道应满足以下要求：

(1) 记录和录放系统应满足下列要求：

记录纸的运动速度应与仪器说明书规定相差不超过 10%，且应均匀、稳定。

录放动态。波型不畸变，道间振幅差应不超过 10%，道间相位差应不超过 1ms，回放幅度应大于 6mm。

(2) 放大器应满足下列要求：

放大器的一致性。当放大器的放大倍率和滤波器的旋钮为同档时，各道之间的相位差应不超过 1ms，各道之间的振幅差应不超过 10%。

以脉冲信号检查放大器一致性时，应根据输出脉冲信号第 3

个以上的同相轴，评定上述指标；以初至折射波法工作时，可取其第一个同相轴评定。

道间感应。在多道地震仪中，任选其 1/3 或 1/6 接入等效电阻，其余各道并联接入检波器，输入道的信号幅度大于 20mm 时，无信号输入道的幅度应小于 1mm。

内部噪音。放大器增益为最大，且无输入时（输入端短路），输出振幅在记录上不应大于 1mm。

(3) 检波器应满足以下要求：

固有频率漂移，应不大于 10%。

灵敏度变化，应不大于 10%。

相位差变化，应不大于 1ms。

绝缘电阻，应大于 10mΩ。

(4) 地震记录道的一致性应满足以下要求：

各道波形相似。

各道之间的相位差应不大于 1.5ms。

各道之间的振幅差应不大于 15%。

3.2.2.3 记时信号应满足以下要求：

(1) 爆炸记时信号起跳尖锐，振幅应不小于 5mm。

(2) 爆炸信号的延迟时应不大于 0.5ms。

3.2.3 外业工作

3.2.3.1 外业工作开始之前，应对测区的地质情况、地震地质条件，以及已经做过物探工作的成果作全面了解和分析，作为工作的指导和参考。

3.2.3.2 外业工作是采集的关键环节，为取得好的地质效果，必须重视测线的布置，观测系统的选择，速度参数的测定及选取较好的激发与接收条件，把好外业工作各个环节的质量关。

联测工作

3.2.3.3 浅层地震勘探的联测工作，应满足以下要求：

(1) 在地震剖面上的低速带中心点、剖面的端点和转折点、非纵测线的炮点，以及展开排列的激发点，均应测定坐标。联测

精度要求，参见 3.1.3.1。

(2) 在需要进行地形改正的测点上，均应测定水平距离和高程。

(3) 进行水域勘探时，测线和激发点位置，可用经纬仪交会或红外线测距仪定位。

测线的布置

3.2.3.4 测线的布置，取决于任务要求，以及测区的地形、地质构造和地震地质条件，应因地制宜地确定。

3.2.3.5 布置测线的基本要求：

(1) 主要测线的方向，应尽可能垂直于地层（或断层）的走向，并布置在地形起伏较小、表层介质均匀的地段上，尽可能与地质勘探线和其他物探方法的测线重合。以便充分利用探槽、钻孔及有关物探资料，以利资料对比和综合分析。

(2) 根据任务的要求，在主要测线之间，应适当布置辅助测线，以控制成果的精度，在地质构造复杂地区，测线可适当加密。

(3) 作面积性地震勘探工作时，不论比例尺的大小，均应保证在工作比例尺的平面图上，剖面线间距为 1~4cm。

(4) 测线应尽量按直线布置，当通过居民点、道路、高压电线和其他障碍物时，允许测线转折避开障碍物，但应保证转折的测线能进行独立解释。

(5) 测线的范围，一般限于任务书规定的测区范围，但在测区边界附近发现重要的地质异常要延伸到测区以外。或在测区内由于地形等条件的限制，无法达到预计目的，可在相邻有利工作地段取得较好的地质效果时，应把测线扩展到相邻地段。

3.2.3.6 山区布置测线应满足如下要求：

(1) 当山坡坡度相同时，可沿山坡布设直测线；若山坡坡度不同时，在坡度相同的地段上，对于追踪层能获得可解的时距曲线时，应分段布置测线。

(2) 在以测网形式布置测线，当测线遇到陡坎时，可将该测

线平移至地形起伏较小的地段。

(3) 在预定范围内布置测线时, 如果地形起伏不大, 可沿相同坡度的山坡布置直测线; 若地形起伏较大, 基岩埋藏不深时, 可在地形起伏的顶部和底部布设炮点, 高低两炮点间的测线, 可近似为直线段, 以利提高解释精度。

试验工作

3.2.3.7 生产前必须进行试验, 了解测区的地震地质条件、有效波和干扰波的情况, 选择激发与接收条件、仪器因素及观测系统等, 以确定完成地质任务的可能性及应采取的基本方法。

3.2.3.8 生产中遇到局部地段记录质量变坏时, 应再进行试验, 选定新的仪器因素或改变工作方法, 以求改善记录的质量。

3.2.3.9 试验工作应遵循由已知到未知, 由简单到复杂, 点、线结合及单一因素变化的原则。布置试验地段要有代表性, 以便最大限度地了解工作地段的地震地质条件。

3.2.3.10 试验工作之前, 应拟定试验方案。编写试验大纲, 试验资料要及时进行整理、解释并得出结论, 试验结束后要写出试验总结。试验结果是进行生产的依据, 可作为生产成果的一部分。

观测系统

3.2.3.11 观测系统的选择应根据试验工作结果确定, 以保证有效波的连续对比追踪。

浅层折射波法

3.2.3.12 浅层折射波法可采用完整对比或不完整对比观测系统, 在满足地质任务要求的条件下, 应尽量采用简单、经济的观测系统。纵测线中有单支时距曲线、追逐时距曲线、相遇时距曲线和多重相遇时距曲线等观测系统, 通常是采用多重相遇时距曲线完整对比的观测系统。

3.2.3.13 采用相遇时距曲线观测时, 应保证追踪界面的相遇时距曲线段, 至少有 4 个正常检波点。

3.2.3.14 当利用追逐时距曲线, 补充完整对比观测系统不可追

踪区的折射资料或论证时距曲线所反映的地质现象时，应保证在被追踪段至少有 4 个正常检波点重复接收同一界面的折射波。

3.2.3.15 采用单支时距曲线观测时，沿测线方向的岩层界面与地面的夹角应小于 15° ，并应保证追踪地段内至少有 4 个检波点接收折射波。

3.2.3.16 布置横测线观测系统时，应考虑到旁侧界面倾角和界面速度变化的影响，横测线应当通过纵测线或钻孔取得已知资料，其长度不得大于爆炸点到测线的距离。

浅层反射波法

3.2.3.17 浅层反射波法的观测系统，包括简单连续观测系统、间隔连续观测系统和多次覆盖观测系统。应根据地质任务、地震地质条件和经济的原则，合理选择。

(1) 简单连续观测系统：适用于地震地质条件较简单且激发点附近面波、声波干扰小的测区，可沿测线连续对比追踪同一界面的反射波，追踪时，应从炮点附近开始，沿测线方向展开，单边展开的长度，不应超过反射面最大深度的 1.5 倍。

(2) 间隔连续观测系统：当测区地震地质条件较简单，但在激发点附近面波、声波干扰较严重时，常采用此种观测系统，要求爆炸点与接收排列之间始终保持一定的间隔（称为等偏移）连续追踪。偏移距要根据试验结果确定，应选择能避开面波和声波等干扰和反射波明显的偏移。最大源检距不应超过反射界面最大深度的 1.5 倍。

(3) 多次覆盖观测系统（又称共深度叠加观测系统），适用于地震地质条件比较复杂的测区，一般采用固定偏移距，端点或中间点激发方式，最大源检距的确定原则与间隔连续观测系统相同，覆盖次数应通过试验选择。

透射波法

3.2.3.18 透射波法的观测方式有孔（或洞）对地、孔对孔（或洞对洞）及孔对孔和孔对地联合观测方式等。

(1) 孔对地观测方式：有地震测井（地面激发孔中接收或孔

中激发地面接收法)和孔中激发地面扇形接收观测法。

(2) 孔对孔观测方式:有跨孔法和孔间透射波法。孔间透射波法的观测系统有水平同步,斜同步和定点透射法,通常为几种方法联合应用。

(3) 孔对孔和孔对地联合观测方式(即上述两种观测方式的联合使用)。

激发与接收

3.2.3.19 为保证爆炸计时信号的准确性,必须采用绕在药包外面的计时回路计时,严禁使用雷管计时。

3.2.3.20 采用坑中爆炸时,药包投放后尽量用土或砂埋上;多次使用同一炮坑时,每次埋药包之前应清除松土;水中或潮湿地区爆炸时,药包要有防水措施;井中爆炸时,井内应注入水或泥浆。

3.2.3.21 爆炸点的位置和药包的安置深度应准确,并登录爆炸班报。

3.2.3.22 以锤击为震源时,宜采用锤击开关计时,锤击点应选在较致密的土层上(必要时除去浮土),锤击板应与地面接触良好。

3.2.3.23 检波器间距应根据地质任务、地震地质条件和满足可靠追踪有效波的要求而定。浅层折射波法一般为5~10m;浅层反射波法一般选为2~3m,最大为5m。在勘探风化层、断层和参数测定中,根据工作需要和地质条件,可适当减少其间距。

3.2.3.24 进行浅层折射波法时,检波器宜采用固有频率 f_0 为10~40Hz中、低频检波器;进行浅层反射波法时,宜采用 f_0 为100Hz的高频检波器。

检波器的布设位置应准确,埋置条件力求一致,当地形、地面条件复杂,不能安置在原设计的测点上时,应沿测线方向移动(不包括互换点);如有困难,可垂直于测线方向移动,但移动距离不应超过检波器点距离的五分之一,移动后的位置必须记入班报。

3.2.3.25 水域浅层地震勘探有水上固定排列观测和移动排列观

测两种方式：

(1) 水上固定排列观测时接收船和激发船都应抛锚定位，并注意监测有无流锚导致船体流动。当发现电缆尾部摆动超过 10° 时，电缆尾部应抛锚固定。

(2) 采用移动排列观测时，漂浮电缆拖船的航速应保持不变。在航行中应尽量保持电缆沉放深度一致。

(3) 水上作业时，应经常观测水位变化。当水位变化超过 0.5m 时，应进行校正。

3.2.3.26 仪器因素的选择，应根据干扰背景，激发和接收条件，地震地质条件及安全因素等，加以综合考虑，以发挥仪器的最大效能。在一个测区或测段工作时，只能使用一种相同的滤波档。

速度参数的测定

3.2.3.27 为提高地震勘探资料解释的精度，应在钻孔、平洞、露头以及具有代表性的地段内进行一定数量的速度参数的测定，以获得可靠的速度参数。

3.2.3.28 地震测井工作可在地面激发、井中接收或井中激发、地面接收，或同在井中激发、接收，具体采用何种方式，应根据地质、钻孔设备条件确定。无论在井中激发或接收，工作之前均应检查井壁，清除松动岩块，以防发生事故。在工作中，为保证接收点或激发点深度的准确性，必须进行自下而上的观测。点距一般为 1~2m。

(1) 在地层有倾角时，井中接收地面激发的激发点，必须放置在地层下倾方向一边。

(2) 横波测定中，每个观测点均应进行正、反向激发，并在半数以上的测点中获得合格的正、反向记录。

3.2.3.29 地震测井工作中，应保证地震记录的初至清晰，并在现场对记录进行初步整理，判断记录的可靠性，必要时应进行重复观测。

3.2.3.30 在岩体露头和平洞进行速度参数测定时，应尽量选岩面起伏不大地段，并按岩性、风化程度、断裂破碎带及完整岩体

划分测段。

3.2.3.31 测定岩体波速时，测段长度的选取需根据岩体的完整程度和仪器的精度来确定。应保证在测段内的纵波传播时间为仪器可读精度的 5 倍以上。一般采用单支或相遇时距曲线观测系统测定地震波速度。

3.2.3.32 应用跨孔法测定波速，可参见 3.6.3.5。

3.2.4 内业工作

地震记录的整理

3.2.4.1 在整理地震记录时，应按测区测线、排列的顺序登录，并贴在专用的地震记录登录表上。要求剪裁整齐、项目填写齐全、准确无误。

3.2.4.2 在记录上初至波左侧，要逐道填写检波点桩号（如检波点间距相等，可只填边道桩号）在登录表上应逐道填写时间观测值（读极值时，应注明相位校正值）。

3.2.4.3 对磁带或磁盘要粘贴标签，写明磁盘号、测线号、文件号及日期，应与班报一致。对浅层折射波和反射波法应附回放的波形记录，并进行编录。

3.2.4.4 对原始记录，应按生产记录、试验记录、仪器检查记录和班报等分类，并装订成册。

地震记录的评价

3.2.4.5 地震记录质量的评价，定为“优良”、“合格”及“废品”三个等级。

3.2.4.6 满足下列条件者，评为“优良”记录：

- (1) 使用仪器按规定检查并取得性能合格的记录。
- (2) 观测系统正确，符合设计要求。
- (3) 磁带或磁盘录放质量良好，无丢码或无明显的波形失真等现象。
- (4) 计时信号清晰、可靠、起跳幅度大于 5mm。
- (5) 各道工作良好，检波器无接反、无不工作道，无爆炸感应和漏电干扰造成的畸变，计时线均匀。

- (6) 仪器因素使用正确、调制适当，初至后无严重超调。
- (7) 初至前背景平静，折射波初至清晰。
- (8) 各目的层反射波突出，信噪比高。
- (9) 仪器班报和记录填写正确无误。

3.2.4.7 存在下列缺陷之一者，评为“合格”记录：

- (1) 同一张记录上，工作不正常的记录道（不包括互换或相邻道）不超过使用道数的六分之一。
- (2) 折射波的初至不清晰，但能根据相位确定初至时间的。
- (3) 没有爆炸信号或爆炸信号不清晰，但能由同一爆炸点的另外记录上准确转移者。
- (4) 记录纸转速或记时线不均匀，或存在爆炸感应和漏电干扰，但不影响有效波的对比和准确读取旅行时的。
- (5) 磁带或磁盘虽有轻度损伤，但不影响有效信息的录放。

3.2.4.8 存在下列缺陷之一者，评为“废品”记录：

- (1) 由于观测系统或仪器因素选择不正确，不能可靠地追踪有效波的。
- (2) 互换道或连接道不正常，妨碍有效波的正确对比与连接的，又不能从同一爆炸点的另外记录上准确转移的折射波记录。
- (3) 同一张记录上，使用道数的六分之一以上或两相邻道工作不正常的。
- (4) 干扰背景强烈，妨碍有效波的识别和准确读取旅行时的记录。
- (5) 爆炸信号不清楚，起跳不尖锐，爆炸信号不正常或无爆炸信号，又无法准确转移的记录。
- (6) 没有记时线的记录。
- (7) 出现卡纸造成记录纸转速不均，影响准确读取旅行时和有效波记录。
- (8) 班报和记录未填写或填错工作时的主要因素，以致不能利用的记录。
- (9) 在一个测区或剖面中，选用不同的滤波档工作的记录。

(10) 发现仪器工作不正常时，这次与上次检查之间的全部记录。

(11) 使用调节不合格或未作定期检查或检查不合格的仪器所得的全部记录。

波的对比

3.2.4.9 波的对比主要是辨认和追踪有效波的同相轴和波的置换，其振幅一般要大于干扰波振幅的 2 倍以上。对相位的选择要靠近起始的相位。

3.2.4.10 进行相位连续对比的前提是具有相同的激发和接收条件，如相同的炮检距、滤波及组合等。

3.2.4.11 对不同层位地震有效波的对比分析时，应注意如下特征：

- (1) 波形的相似性。
- (2) 视周期的相近性。
- (3) 振动的连续性、同相性。
- (4) 波的振幅随远离爆炸点衰减的规律性。

3.2.4.12 确定地震有效波的置换时，应注意以下特点：

- (1) 两个同相轴的相交。
- (2) 波形的突然变化。
- (3) 振幅的突然变化。
- (4) 视周期的变化。
- (5) 视速度的变化。

3.2.4.13 初至折射波的对比分析，一般较续至波的对比分析简单可靠。但初至折射波常随激发距离增加而强烈衰减。当远离爆炸点一定距离时，初至波在记录上很难辨认，这时应进行仔细对比分析。

3.2.4.14 在追逐时距曲线观测系统中进行折射波的对比时，应根据追逐时距曲线的平行性对追逐折射波进行判别。

3.2.4.15 波的对比，可采用单相位对比或多相位对比。在断裂发育区，宜采用多相位对比。

3.2.4.16 上述各项内容是对比追踪有效波和识别有效波置换的一般原则。但实际工作中，由于情况相当复杂，对比分析时，应结合地形、地质及地震地质条件，综合考虑、仔细分析、慎重对待、不宜硬套。

3.2.4.17 互换道和连接道上波的对比，应根据有效波的旅行时及其动力学特点进行分析。互换道或连接道之间同相位时间差经炮坑深度校正后，应小于 3ms。

3.2.4.18 综合时距曲线的互换时间差，应不超过 5ms。

旅行时的校正与时距曲线的绘制

3.2.4.19 绘制时距曲线前，应对观测值进行校正，以消除由实际观测条件与假设条件的差异而引起的偏差。校正的内容包括：相位、爆炸深度、低速带及地形校正。各种校正应根据地震地质条件和所采用的解释方法加以选择。

3.2.4.20 相位校正：当直接读取有效波的初至时间有困难时，可利用极值时间读数，进行相位校正，其值为极值与初至之间的时差，校正数为负数。

3.2.4.21 爆炸深度校正：即将具有一定深度的爆炸观测时间，校正到相当于地表爆炸，其校正数为正数。

3.2.4.22 低速带校正：为消除由于低速带厚度不等和表层介质不均匀而引起的时距曲线畸变，应进行相应的低速带校正。

3.2.4.23 地形校正：为消除由于地形起伏而引起的时距曲线畸变时，应将爆炸点的检波点校正到一个水平线上。当爆炸点或检波点在校正线以下，校正值为正，反之为负。

3.2.4.24 绘制时距曲线的比例尺，应根据实际观测精度加以选择。地震勘探剖面，水平比例尺一般采用 1:1000 或 1:2000；垂直比例尺一般以 1cm 代表 0.01s 或 0.02s。弹性波测量，水平比例尺一般采用 1:500，垂直比例尺一般以 1cm 代表 0.005s。

3.2.4.25 绘制时距曲线应按下列要求：

(1) 绘制折射相遇时距曲线的 $\theta(x)$ 和 $t_0(x)$ 两支曲线时，应以不同符号绘出，以示区别，两相邻点用直线连接。

(2) 绘制综合时距曲线时，应将观测时距曲线（经过爆炸点深度校正和相位校正）一并绘出。

(3) 有效波的置换，一般采用符号“Π”标明在时距曲线的相应部位上。

平均速度或有效速度的确定

3.2.4.26 平均速度的正确与否，是决定解释成果精度的关键。实际工作中往往由于表层介质的不均匀和低速带与下伏层厚度的相对变化而引起平均速度的显著变化。因此，在确定平均速度值时，应根据实测数据结合测区地质物性情况，综合研究，仔细分析，慎重确定。

3.2.4.27 速度参数可通过折射波法、反射波法及地震测井三种方法求得，各种方法测得速度的精度是不同的。在有钻孔可利用的测区，应尽量通过地震测井求得各层的速度，按平均速度公式求得所追踪地震界面上伏地层的平均速度值精度较高，其误差一般小于 10%；在没有钻孔的测区，可根据反射波或折射波时距曲线求取有效速度。其中，以反射波时距曲线的坐标法求得有效速度精度较高，一般误差小于 10%~15%；应用折射波时距曲线的交点法求得的有效速度精度较低，一般误差在 10%~20%；当存在薄层影响时，误差可达 30%以上。

3.2.4.28 有钻孔时，应利用地震测井测得平均速度。并对坐标法或交点法测得的有效速度进行校正和评价。

3.2.4.29 进行地震勘探时，一般应在测线上每一百米地段的两端进行有效速度测定。当发现相邻速度差超过 20%时，应在该测段内增加速度测定工作，并根据所求得的速度值，绘制速度沿测线变化的曲线，按曲线上的相对速度值构制界面。

3.2.4.30 由于低速带厚度的变化引起有效速度明显变化时，应先进行低速带校正，然后以低速带的下伏地层的有效速度构制界面。

3.2.4.31 在同一条测线上，没有充分资料说明有效速度突变时，不应分段采用有效速度构制界面，以防引起界面深度的突变。

资料的解释推断

3.2.4.32 构制浅层地震界面的方法：在折射波法单支时距曲线中有截距时间法和临界距离法；相遇时距曲线有 t_0 法、表层剥去法、时间场法、哈莱斯法及电算处理等；反射波法有交点法、椭圆法、圆法、时间场法及电算处理等。应根据地震地质条件、解释方法的特点及精度的要求加以选择。

3.2.4.33 在浅层折射地震界面的构制中，只有当地层近似水平，速度无明显变化，无法获得相遇时距曲线时，方可采用截距时间法和临界距离法。当界面起伏不大（无穿透现象）和界面速度变化不大时，对折射波相遇时距曲线，一般采用 t_0 法或表层剥去法构制界面。

3.2.4.34 当折射界面起伏较大（无穿透现象），而界面速度又有明显变化时，应采用时间场法或哈莱斯法。对多层或不均匀地层，宜采用多种解释方法和正演拟合方法综合求解，以提高可靠度。

3.2.4.35 在浅层反射界面构制中，当覆盖层介质均匀、平均速度变化不大时，可采用交点法、椭圆法及圆法等。其中椭圆法和交点法适用于水平和倾斜界面；圆法适用于倾角小于 10° 的界面。

3.2.4.36 在浅层反射界面构制中，当覆盖层介质不均匀，平均速度变化较大时，可采用时间场法或电算处理求解。

3.2.4.37 透射波法资料的解释，对具有明显的时间异常，可用所观测的多条曲线交会出异常体的位置，其解释方法为：

（1）阴影交会法，可采用人工工作图方法。

（2）代数重现法，需在计算机上进行数据处理。

3.2.4.38 透射波法资料的解释，在没有明显时间异常，但有明显振幅异常时，可根据振幅异常带圈定强吸收带的空间位置，解释方法可用阴影交会法或代数重现法。

3.2.4.39 绘制综合时距曲线剖面图时，如果相遇时距曲线的互换时间不等，但满足 3.2.4.18 要求时，一般选取其平均值，并在地震界面上注明界面速度值。

3.2.4.40 在地震成果剖面图上，应注明比例尺、高程、剖面方

向、剖面端点和转折点的坐标、界面上、下介质的波速值和地质岩性符号，并将通过测线的钻孔或其他验证资料绘制在图上。成果图的比例尺应符合地震勘探要求的测量精度。

3.2.4.41 在工地必须对资料进行初步整理和解释，如果发现原始资料有可疑之处或论述地质结论不够充分时，应作必要的外业补充工作。

3.2.4.42 在解释工作中，应充分搜集和利用有关物探和地质资料，并且及时与地质人员共同分析解释成果。

3.2.4.43 地震资料解释工作，应尽量采用微型计算机进行数据处理。具备数字记录条件的，应利用微机进行数据处理；不具备数字记录条件的，可通过人机联作，向微机输入地震模拟记录的数据，进行有关计算工作。对自行开发或引用的软件，应经过必要的对比验证。

3.3 微重力勘探

微重力勘探是通过测量重力场的微小变化（微伽级）来研究地质构造和工程地质问题的一种物探方法。

在水利水电工程勘测中，微重力勘探的方法及应用：

（1）水平地面测量法。适用于区域性地质调查，覆盖层以下隐伏的向斜、背斜、深槽及大断裂构造的调查。

（2）梯度法。适用于浅部三维体的勘查，探测地下洞穴（天然、人工），古落水洞形成的漏斗状构造，灌浆效果检查等。

（3）定点法。适用于微地震观测，滑坡体的监测，水库诱发地震的研究。

3.3.1 应用条件

3.3.1.1 微重力勘探应用的基本条件：

（1）探测对象与围岩之间有一定的密度差。

（2）探测对象的形状、大小、空间位置及密度差在地面引起可分辨的异常，一般要求最小异常值大于布伽重力异常总精度的2~3倍。

(3) 探测场区地形平缓，无大的沟谷切割，被探测地质体埋深较浅，且有一定规模，一般要求被探测地质体直径大于埋深的四分之一。

3.3.2 仪器主要技术要求

3.3.2.1 微重力勘探的仪器必须具备微伽级精度：

(1) 仪器的最小分辨率（最小可见刻度）必须在 $1 \pm 0.005\mu\text{Gal}$ 之内。

(2) 仪器应具备光学与电子两套测试系统，电子读数精度应达 $0.1\mu\text{Gal}$ 。

(3) 仪器零漂必须线性，月积累应小于 1mGal 。

(4) 仪器水平精度应小于 $\pm 0.1^\circ$ 。

(5) 年格值标定精度，用均方相对误差 ε 衡量，年格值标定精度应达 $\varepsilon < 3/10000$ 。

(6) 梯度法勘测所用梯度架要求平稳、牢固、轻便，不因梯度架的微震影响读数。

3.3.3 外业工作

物探点的联测工作

3.3.3.1 微重力勘探总基点、基点、测点，均应测定坐标，并换算成经纬度，误差不得超过 $1'$ ，高程误差不得超过 3mm 。

3.3.3.2 总基点应选在测区内重力最大值部位，为了闭合观测，尽量在测区中心部位。

测网和工作比例尺的确定

3.3.3.3 根据任务和提供的资料进行正演计算，然后设计布置测网，确定线距、点距，并规定出总精度及误差的分配。

3.3.3.4 微重力勘探根据地质任务分为剖面性工作与面积性工作：

(1) 剖面性工作，测线方向尽量垂直于探测对象的走向，并尽可能与勘探线或地质剖面平行或一致。当探测对象的走向变化较大时，测线方向也应随之调整。

(2) 一般线距应大于最小探测对象异常长度的 $1/2 \sim 1/3$ 。

(3) 点距应保证至少有 3 个点能反映异常。

(4) 面积性工作，测网内应尽可能包括已知地质资料的地段。

(5) 测网密度应考虑在异常区适当加密，根据地形改正的精度要求，测点距最好在 8m 之内。

(6) 根据地形改正精度要求，测网（包括测网边外 4m）均应有 1:200 地形图。

试验工作技术要求

试验工作包括仪器指标，工作状态试验及野外工作试验。

3.3.3.5 仪器指标检查包括水泡位置检查，光线灵敏度检查，电子灵敏度的检查。

(1) 光线灵敏度要求控制在 9~11 读格，在同一工区光线灵敏度不得随意更动。

(2) 纵横水泡位置用测定水泡曲线的方法进行检查，要求所测水泡曲线偏离正确位置的数值不得超过 1/4 小格。

3.3.3.6 仪器工作状态试验包括静态试验、动态试验，一致性试验。

(1) 静态试验是了解仪器静态零漂的主要资料，应在常温、室内定点、定位进行。通常每 20min 观测一次，总试验时间不得少于 24h。分析试验曲线时应考虑固体潮的影响。有条件应跨接记录仪，记录连续曲线。

(2) 动态混合零漂试验是仪器工作性能的重要资料，是内业资料整理的依据。试验应在有一定重力差的两个以上的已知点，用重复观测的方法进行，总观测时间不得少于 12h。

动态观测精度计算公式：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m V_i^2}{m-n}} \quad (3.3.3-1)$$

式中 V_i ——各边上单个增量与该边各增量平均值之差；

m ——增量的总个数；

n ——联测的边数。

(3) 一致性试验：当多台仪器在同一工区工作时，在正式生产前必须进行一致性试验，试验要求用重复观测法，点数不少于10点，并布置在重力值变化大的地段进行。一致性试验精度用均方误差来衡量，其数值不应超过测点观测均方误差值。

(4) 在条件允许时应进行温度、气压、磁场的影响试验，并测定其相应的系数，作为野外资料改正的依据。

以上试验，检查的数据图表均属原始资料，与成果一并验收归档，同时记入仪器档案。

外业观测技术要求

3.3.3.7 观测技术要求

(1) 微重力勘测，基点联测必须用三程循环观测法。测点观测一般用双程单向观测法、双程往返观测法。遇异常地段应用三程循环观测法及随机观测法。

(2) 仪器在工作区内应一直保持加温状态。观测时仪器应朝正北方向，偏离误差不得大于 $\pm 5^\circ$ 。

(3) 每测点的3次读数之差不得超过 $3\mu\text{Gal}$ 。

(4) 每测点仪器调平，误差不得超过 $1/8$ 小格。

(5) 观测时间，要求在松摆5min后才开始读数。每一闭合环的测量时间应控制在一小时内。记录时间一律按北京时，精度要求准确到分，以便固体潮改正。

(6) 外业观测开始与结束均应在基点进行一次闭合观测，如遇粘摆、掉摆及微地震现象时，要回基点重复观测。

(7) 每日工作结束要及时检查记录，如不合格应及时补测。

地形校正技术要求

3.3.3.8 地形校正

(1) 当工区没有地形改正所需的地形图时，应通过测绘取得，图的比例尺及高程精度可参考表3.3.3。

(2) 当根据测点高程勾绘地形图时，测绘地形图的范围应

表 3.3.3 地形改正精度表

精度等级	地形改正精度 (μGal)	测点到地形改正范围的距离 (m)									
		0~1		1~4		4~10		10~25		25~50	
		比例尺	高程精度 (m)	比例尺	高程精度 (m)	比例尺	高程精度 (m)	比例尺	高程精度 (m)	比例尺	高程精度 (m)
I	<10	人工平整	0.003	1:100	0.01	1:200 *	0.05	1:500	0.10	1:1000	0.05
II	10~20		0.003	1:200 *	0.05	1:500	0.10	1:1000	0.50	1:2000	1.00
III	20~30		0.003	1:500	0.10	1:1000	0.50	1:2000	1.00	1:5000	2.00

* 比例尺 1:200 以上的地形改正, 也可用地形改正仪进行八方位地形改正测量。

根据实地地形情况加密地形点进行核对和修正。

(3) 确定地形改正区段的最大半径应满足的要求是: 当忽略某一区段或最大半径以外的地形改正值后, 不致妨碍对欲研究异常的分辨和解释。

(4) 地形改正通常按地形范围五个区段进行 (如表 3.3.3) 圆域地形改正方法, 参阅附录 C 计算公式及图表的圆域地形改正量板及改正曲线。

(5) 地形改正最新提出的三角域法, 在计算上提高了地形改正精度, 可以采用, 详见附录 C。

参数测试的技术要求

3.3.3.9 该项工作是为内业整理提供可靠的参数 (密度 ρ), 应在现场采集新鲜有代表性岩石标本进行测定。

同一种岩性宜采集 5 组以上, 用算术平均值求得的密度作为密度参数值。

测定结果的均方误差不应大于 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

精度及误差分配

3.3.3.10 布伽重力异常总精度应根据任务的要求, 工区的地质特点, 探测对象与围岩密度差及异常的特点, 探测干扰强弱等条

件进行正演计算，然后在此基础上设计线点距，规定出总精度及误差的分配。其原则是满足地质任务提出的最小探测对象产生的最弱异常能够在成果中明显的表示出来。

布伽重力异常总精度 ε 是由于测点重力值误差 ε_g 、布伽改正误差 ε_b 、地形改正误差 ε_d 和纬度改正误差 ε_v 组成。各项误差在总精度中所占比例应综合考虑。

测点重力值误差即观测误差 ε_g 为：

$$\varepsilon_g = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 / 2n} \quad (3.3.3-2)$$

式中 δ_i ——第 i 点的原始重力观测值与检查值之差；

n ——检查点数。

布伽改正误差 ε_b 为：

$$\varepsilon_b = \sqrt{(308.55 - 41.9\rho)^2 \varepsilon_\rho^2 + (41.9 \Delta h)^2 \varepsilon_h^2} \quad (3.3.3-3)$$

式中 ρ ——中间层密度；

ε_ρ ——取中间层密度的均方误差；

ε_h ——高程测量均方误差。

地形改正误差 ε_d 为：

$$\varepsilon_d = \pm \sqrt{\varepsilon_j^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2} \quad (3.3.3-4)$$

式中 ε_j 、 ε_z 、 ε_y ——为近区、中区及远区地形改正的均方误差，各区的计算公式同式 3.3.3-2。

具体如何考虑误差分配请参阅条文说明。

纬度改正误差 ε_v 为：

$$\varepsilon_v = 0.812 \sin 2\phi \cdot \varepsilon_L \quad (3.3.3-5)$$

式中 ε_L ——测点位置的纬向误差， ε_L 是根据测点及检查点的纬向误差用 3.3.3-2 式计算所得。

布伽重力异常总精度 (ε) 的计算公式如下：

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\varepsilon_g^2 + \varepsilon_b^2 + \varepsilon_d^2 + \varepsilon_v^2} \quad (3.3.3-6)$$

3.3.4 内业工作

对野外观测结果应及时进行室内检查和验收，以便发现问题，就地指导野外工作。

室内计算应对计算全部内容进行对算或复算，对于某些重要常数和拟采用的新方法、新程序，必须经过严格审查，确认无误后才能使用。

凡作为原始资料和成果上交的图件，必须全部进行检查，确保资料的准确可靠。

3.3.4.1 室内计算精度应达到以下要求：

(1) 重力值的计算取至 $0.1\mu\text{Gal}$ ，两人对算（复算）相差不得超过 $1\mu\text{Gal}$ 。

(2) 布伽改正值的计算取至 $0.1\mu\text{Gal}$ ，两人对算（复算）相差不得超过 $0.1\mu\text{Gal}$ 。用于布伽改正的高程测量资料，两人对算的最后结果相差不得超过 1mm 。

(3) 纬度改正值的计算取至 $0.1\mu\text{Gal}$ ，两人对算相差不得超过 $1\mu\text{Gal}$ 。

(4) 在地形改正计算中：

图中所得各扇形块平均高程的误差，不得超过设计书中有关规定。

当用地形改正“ $\Delta H - \Delta g$ ”函数表计算时，扇形块的地形改正值取值至 $0.1\mu\text{Gal}$ 。

3.3.4.2 成果图件的编绘：

(1) 仪器性能及工作情况图件有：水泡位置检查曲线，仪器性能试验曲线，多台仪器的一致性对比剖面图，仪器试验记录统计表。

(2) 观测工作情况和成果主要图件有：交通位置图、工作布置图、观测路线图、布伽重力异常平面图和剖面图、剩余重力异常平面剖面图、重力异常推断成果图。

(3) 观测质量图件有：质量对比曲线及误差分布图，测点检查观测均方误差计算表。

3.3.4.3 资料的解释与推断：

(1) 在解释推断时一般应遵循由已知到未知，由简单到复杂，从二维到三维的途径，即应在已知地段和异常简单地段总结

出重力异常特征和地下地质现象之间的关系及规律，推广到未知和复杂异常地段的解释推断中去。

(2) 为了对异常的解释更加符合实际，要求充分地分析有关地质、地形和其他物探资料，以便减少解释推断的多解性。

(3) 解释推断时，一般以定性解释为主，在定性解释的基础上，辅以适量的定量计算。当条件有利和地质情况较清楚明朗时，方需进行较多的定量计算工作。

(4) 在解释推断时，必须严肃谨慎，实事求是，并应全面地研究问题，不掩盖矛盾。应善于合理地归纳，推理应符合逻辑，运用公式和规律须符合预设条件。

3.4 放射性勘探

在水利水电工程勘测中，应用放射性勘探的方法主要有自然伽玛测量（简称伽玛测量）、静电 α 卡测量、伽玛射线吸收法和伽玛射线散射法（简称伽玛—伽玛测量）等方法。

(1) 伽玛测量。通过测量伽玛场的分布，找寻隐状断层破碎带和地下贮水构造（地下热水效果更好），辅助地质填图及坝址区和水工建筑物区环境放射性检测等。

(2) 静电 α 卡测量。可以解决的工程地质问题同伽玛测量，不同的是在覆盖层中测量氡气衰变子体 α 粒子总量。

(3) 伽玛—伽玛测量。应用宽束伽玛射线吸收法和伽玛射线散射法，测量岩（土）层密度和解决由密度差异造成的水文地质和工程地质问题：

坑道、地表岩层的原状密度；

土坝、堤防、河床沉积及其他土建工程中的土基密度测量；

河水泥沙含量的测定。

3.4.1 应用条件

3.4.1.1 伽玛测量适用于各种地形、地貌和气候条件。但在测量中应保持测量几何条件一致，避免人为的影响。具备下列条件，有较好的探测效果：

- (1) 被探测对象和周围地层有明显的放射性差异。
- (2) 构造破碎带，地下贮水构造埋藏较浅。
- (3) 第四纪覆盖层无潜水层等“屏蔽”层形成。
- (4) 岩浆岩地区。

(5) 地形平坦或变化缓慢、表层均匀，无大范围人工填土。

3.4.1.2 静电 α 卡法是在覆盖层中埋卡测量，但在道路及人畜活动场所无法埋卡。阴雨季节静电 α 卡易受潮， α 卡不易保持静电电压，不宜测量。其他同 3.4.1.1。

3.4.1.3 宽束伽玛射线吸收法测定原状密度时，要求两炮孔平行，孔壁光滑，测试段岩层单一，且密度在探测范围内均匀。泥沙含量测定时，探测器装在“铅鱼”腹部，铅鱼重约 300kg，便于在流速较大的水域定位。

3.4.2 仪器主要技术要求

3.4.2.1 伽玛测量：

(1) 用测低能谱段的伽玛谱仪，谱段可调，有稳谱装置，连续 8h 工作，读数相对误差小于 1%。

(2) 辐射仪做积分测量时，应能测量数十到数百千电子伏特低能量伽玛射线。

(3) 辐射仪灵敏度高，在自然底数不大于 $0.72\text{pC/kg}\cdot\text{s}$ ($10\mu\text{R/h}$) 时，灵敏阈不大于 $0.143\text{pC/kg}\cdot\text{s}$ ($2\mu\text{R/h}$)。

(4) 辐射仪在 $0\sim 3.6\text{pC/kg}\cdot\text{s}$ ($0\sim 50\mu\text{R/h}$) * 范围内线性。

3.4.2.2 静电 α 仪测量：

(1) 尽量用大闪烁体制做闪烁探测器，探测射线的效率 (A_{m}^{241}) 不应小于 60%。

(2) 使用环境温度 $-5\sim +40^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $95\%\pm 3\%$ ，(40°C) 极限条件下读数与正常条件读数误差不超过 15%。

(3) 一周内不做调整，重复读数误差不超过 15%。

3.4.2.3 伽玛—伽玛测量：

* * p(SI 词头名称皮[可]即 10^{-12}); C/kg·s(库仑每千克秒); $\mu\text{R/h}$ (微伦每小时)。

- (1) 记录用定标器分辨时间： $0.2\mu\text{s}$ 。
- (2) 计数容量 $1\sim 10^6$ 。
- (3) 含沙量计。由于温度变化引起的计数变化不大于 0.5% (相对均方误差)。
- (4) 最低可测含沙量 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- (5) 探测器防水能力为 40m 水深压力。

3.4.2.4 仪器使用要求：

(1) 新的或长期停用的测量仪器应作如下性能鉴定：读数分布曲线；长时间读数变化曲线；建立读数时间；计数管（闪烁计数器）的“坪”曲线；仪器校正曲线。

(2) 伽玛—伽玛法测量岩（土）层密度，需有各种标准密度块，对仪器进行刻度，制作“量板”。

(3) 双孔吸收法测量密度的仪器，探测器外管，应包 5mm 的铁皮，以防散射线的影响。

(4) 河水含沙量计在室内建立各种含沙量与读数的关系曲线（量板）。

3.4.3 外业工作

测网布置

3.4.3.1 测网密度可通过试验确定，在已知的地段上开展不同精度的测量，把获得的资料与已知的地质情况比较，确定最佳的测网密度；在无已知条件时，参考电法、磁法、地震勘探等测网密度布置。

3.4.3.2 测线方向应垂直主要探测对象，或根据野外实际情况，将测线布置成直线或折线；山区测量时，可按等高线布置。

3.4.3.3 测线间距在工作比例尺平面图上应为 $2\sim 4\text{cm}$ ，并不少于 3 条测线通过主要探测对象；测点间距在工作比例尺平面图上应为 $0.5\sim 2\text{cm}$ ，实测点距一般为 $5\sim 10\text{m}$ 。

3.4.3.4 宽束伽玛射线吸收法测量岩（土）层密度时，炮孔距以射线源能量及地层密度而定。一般密度大，伽玛源射线能量弱，

炮孔间距小；密度小，伽玛源能量大，炮孔间距大。一般岩层中测量间距 30~50cm，土层中炮孔间距可加大到 50~100cm（图上距离）。

散射伽玛射线法在岩（土）层表面测量时，测点应布在距岩（土）层界面 2 倍源距的地方。

外业观测

3.4.3.5 伽玛测量：

（1）利用测区内或附近已知条件（地质构造、井泉等）校核测网密度，试验测量方法及最佳谱段范围，了解正常场大小及异常场幅度。

（2）每天工作的开始和结束时，应在固定场地检查仪器的正常底数和用工作源检查仪器灵敏度。

（3）一条测线（剖面）要求一个人用一台仪器一次测完。

（4）检查测量应更换操作人员，检查工作量应不少于总工作量的 10%，并考虑异常和可疑测点，兼顾各条测线。

（5）剖面上测量应避开建筑物等人为影响，保持各测点的几何条件一致。

3.4.3.6 静电 α 卡测量：

（1） α 卡的埋卡时间，根据幅射场强度决定，一般 4~8h。取卡测量的时间间隔最好和埋卡时间间隔一致。

（2）埋卡的小坑，要坑底平坦、无粘土、碎石等杂物。

3.4.3.7 伽玛测量和静电 α 卡测量同时进行，在埋卡前将辐射仪探测器放在坑内测量，也可配合射气测量，并在射气孔中做浅孔或深孔伽玛测量，了解辐射场在深度方向的梯度变化。

3.4.3.8 伽玛—伽玛测量：

（1）伽玛射线吸收法测密度时，应有适合野外工作的现场刻度器。在刻度仪器时，测量现场刻度器，以便野外工作中检查仪器工作状态。

（2）用双孔吸收法测密度时，岩（土）层的自然伽玛强度 I_d 和放射源经地层吸收后的伽玛强度 I_z ，应保持同点两次测量位置

不变，测量条件相同。

(3) 每个测点的 I_d 及 I_z 均应读 3~5 个数，用整个炮孔中所有测点平均值求岩层密度。

(4) 两炮孔不能保证平行时应进行孔斜校正，以求准确的测点距离。

(5) 散射伽玛射线法在岩（土）层表面测量时，避免表层不均匀的影响，同点应在垂直方向上取数以平均值为该点读数。

(6) 单孔散射伽玛法测密度同 3.7 中密度测井部分。

3.4.3.9 在测量河水含沙量时，用船或过河缆绳将含沙量计的探测器下放到测量位置，通过电缆与船上或岸边的控制器联接，测量某点含沙量的连续变化，为远传、远控自动化测量提供条件。

在测低含沙量时，应设法获得高计数率，提高测量精度及仪器稳定性；解决水温水质对测量结果的影响，应有适合外业条件下的仪器标定方法。

统计涨落误差

3.4.3.10 放射性测量不同于其他物理量的测量，即使在条件完全等同情况下的读数也有差别，该误差称统计起伏误差，对脉冲记数仪器和率计式辐射仪表示如下：

(1) 脉冲记数仪器：对于平均读数为 \bar{N} 的脉冲计数，其标准误差为：

$$\sigma = \pm \sqrt{\bar{N}} \quad (3.4.3-1)$$

这是 N 个脉冲表现的误差。实际工作中采用相对标准误差：

$$\delta = \pm \frac{\sigma}{\bar{N}} = \pm \frac{1}{\sqrt{\bar{N}}} = \pm \frac{1}{\sqrt{\bar{N} \cdot t}} \quad (3.4.3-2)$$

由上式可知：提高测量精度，可用增加读数或延长读数时间。

(2) 率计式辐射仪：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{n}{2RC}} \quad (3.4.3-3)$$

$$\delta = \pm \frac{1}{\sqrt{2nRC}} \quad (3.4.3-4)$$

式中： $RC = \tau$ ——积分线路的时间常数；

n ——脉冲计数率即单位时间内的脉冲数。

3.4.4 内业工作

放射性测量资料整理工作贯穿在整个外业工作的始末，室内工作主要是检查、校核、清绘与综合分析外业的成果。

原始资料的检查

3.4.4.1 原始资料检查包括仪器性能鉴定，仪器的刻度（量板的制作），野外工作方法是否恰当，原始记录项目是否齐全，误差计算是否合理等。

3.4.4.2 外业原始记录有下列情况之一者，资料应作废：

- (1) 单点或一条剖面出现的异常点未做检查测量。
- (2) 点、线（样品）号、剖面号混淆不清。
- (3) 原始资料涂改或模糊不清。
- (4) 测点读数超过均方误差标准。

3.4.4.3 缺少下列资料之一者，有关资料不宜做定量解释使用：

- (1) 仪器灵敏度检查曲线。
- (2) 仪器稳定性曲线（长时间观测、温度影响、电压波动影响）。
- (3) 仪器刻度曲线（量板）。

成果图

3.4.4.4 放射性测量应绘制以下图件：

- (1) 放射性测量实际材料图：图上应标明测量方法、测线号、测点号及测量数值。
- (2) 伽玛测量（静电 α 卡测量）剖面图或平面剖面图。
- (3) 地质、物探综合剖面图和平面图。

解释与推断

3.4.4.5 凡伽玛射线强度高于底数 3 倍以上，即为异常点。但据统计资料表明断层破碎带和地下储水构造带上的伽玛强度，只有

背景值的 1.1~1.8 倍。因此，工程勘测中，若伽玛强度偏高，虽未达异常值，但受构造控制者，即为异常点；或者强度偏高，有一定规模，而覆盖层较厚或有水体屏蔽影响，亦可称异常点。

3.4.4.6 异常成因分析：

(1) 地质条件：从岩性构造、破碎带出露形态分析异常产生的背景。

(2) 地球化学条件：由坡积、冲积层沉积特点，覆土植被发育情况，岩石风化程度，地形水系特点及原生晕、次生晕、水晕发育情况，判断放射性气体氡及其子体的来源和贮存部位。

(3) 物理条件：根据土壤各层发育情况、孔隙度、地表屏蔽条件、通气条件判断氡气来源和迁移的难易程度。裂隙发育氡气可沿裂隙上升到地表，氡子体会在覆盖层中积累，显示异常。

3.4.4.7 灰岩地区常出现负异常的原因：

(1) 铀在石灰岩地区呈碳酸盐铀铀络合物形式存在，加之岩溶地下水径流作用很强，加强了氧化和搬运作用。

(2) 岩溶漏斗附近地势低洼，是地表水补给地下水的排泄通道，大气降水、地表水放射性物质含量很低，长期冲刷会减少天然放射性物质的含量。

3.4.4.8 伽玛射线吸收法测密度的计算：

$$I_x = I_z - I_d \quad (3.4.4-1)$$

式中 I_x ——被介质吸收衰减后的伽玛强度；

I_z ——源和探测器分别在二孔中测量读数；

I_d ——测量孔中的自然伽玛强度。

吸收层厚度 d 为：

$$d = R - D \quad (3.4.4-2)$$

式中 D ——炮孔直径；

R ——两炮孔中心距离。

利用公式测量：

$$A = \frac{I_d}{R^2} \quad (3.4.4-3)$$

式中 A ——在无吸收介质时放射源 R 处的伽玛射线强度；
 I_d ——标准源伽玛常数，表示距源 1m 处的伽玛强度。

根据 I_x 及 A 值计算 $\lg \frac{I_x}{A}$ 值，按“量板”查出介质面密度 (ρd)。由于厚度 d 已知，介质密度 ρ 可以算出。

3.4.4.9 密度真值的确定：

(1) 当重元素含量 2%~5% 时，应对重元素含量引起的误差进行修正。可以用已知量板修正。

(2) 岩（土）层湿度较大时，应对湿度过大引起的测量误差进行修正：

$$\rho' = b\rho \quad (3.4.4-4)$$

式中
$$b = \frac{100 + W}{100 + 1.08W} \quad (3.4.4-5)$$

式中 W ——被测岩（土）层的湿度。

3.5 水声勘探

水声勘测又称浅地层剖面勘测，是专门探测水底地形地貌和 水下地层厚度分布状况的方法。在水利水电工程勘测中主要应用于水库、河道、湖泊和浅海水深的探测（即水下地形）和坝址、桥址、港口工程水下地层剖面的探测。

3.5.1 应用条件

3.5.1.1 水声勘探的工作原理是反射波法原理，要求被探测地层与其相邻层之间具有波阻抗差别。

3.5.1.2 进行水下覆盖层分层时，被探测地层的层次不多，并有一定的厚度、介质均匀、波速稳定。

探测水下覆盖层总厚度（ $h < 50\text{m}$ ）时，要求覆盖层与基岩的波阻抗差别越大越好。

3.5.1.3 水声勘探主要适用于解决水下没有卵砾石或卵砾石呈零星分布的松散地层。

3.5.1.4 进行水声勘探的仪器设备是安置在轮机船上工作的，为

保证机船的行驶作业，应根据船的吃水深度确定最小工作水深，当采用平底机船时，一般要求水的深度应大于 2m。一般采用载重量为 10~20t 且机器噪声小的机船。

3.5.2 仪器主要技术要求

3.5.2.1 水声仪器应具备以下主要技术要求：

(1) 探测深度及分辨率：

水深 50m，疏松沉积层 25m，分辨率 0.3~0.5m。

水深 50m，疏松沉积层 50m，分辨率 0.5~1.0m。

(2) 振荡次数：

浅层：0~25m，360 min⁻¹（次/分）。

深层：0~50m，180 min⁻¹（次/分）。

(3) 接收放大器增益大于 150dB。

(4) 接收换能器灵敏度大于 10μ/μbar。

3.5.2.2 目前国内外厂家生产的水声仪型号较多，其他技术指标也不尽相同，可按所使用的仪器说明书规定执行。

3.5.3 外业工作

剖面联测工作

3.5.3.1 在河道或水库进行水声勘探，事先应在两岸对称敷设断面桩并测定断面桩的坐标、高程及两桩的距离。测量结果的误差，在所用地形图上坐标不超过 2mm，高程不超过 0.5m，两岸断面桩之间的距离误差不超过 1%。

3.5.3.2 河道或水库两岸断面桩固定后，被测断面的两岸断面桩应设标志旗并通视良好，勘探时机船可按罗盘指示方向定向直线行驶。两岸经纬仪观测站应密切配合，船上由专人用对讲机或旗语联络信号，并准确测定被测断面记录起点和止点，中间每隔 50m 测量一次点位。

湖泊及浅海地区的水声勘探，可采用红外测量、无线电定位或其他定位系统定位。

3.5.3.3 河道及水库的水声勘探每天开始工作时，应测量一次水面高程（水边线高程），水位涨落变化较大时（高差大于 0.3m），

应随时测量，并绘出当天“水面高程随时间变化曲线”。

方法技术

3.5.3.4 河道或水库的水声勘探线以横河剖面布置，线距 200~300m 为宜，或按任务提出单位设计的断面和要求布置。

3.5.3.5 在坝址区探测河床水下覆盖层厚度、基岩河谷形态时，应尽可能与地质勘探线或其他物探方法的测线重合，以便充分利用钻孔及有关物探资料，以利资料对比和综合分析。

3.5.3.6 发射换能器及接收换能器，分别安装在船的两侧船舷上（最好安装在船行时产生气泡和机器噪声或振动影响最小的位置）。发射换能器在船舷后面的一侧，接收换能器在船舷前面的另一侧，两者之间的距离 6~8m，换能器入水深度视水浪及海浪大小而定，水面平静时（水库、湖泊），入水深度以 0.5m 左右为宜。

3.5.3.7 发射机及接收机应尽可能靠近记录仪安放，通常操作间设在驾驶舱或易于观察作业情况的地方，并尽可能远离电动机、发电机及其他电子仪器，操作间要通风良好。

3.5.3.8 测船在进行水声勘探航行时，应保持每条剖面（测线）的定向、恒速行驶，切忌快慢不匀。仪器操作应按规定作时间注记，以保证记录准确可靠。

3.5.3.9 勘测过程中应根据不同地层，选用不同频率参数，以提高地层分辨率。

3.5.4 内业工作

3.5.4.1 水声勘探记录质量的评价，定为“优良”、“合格”及“废品”三个等级。

3.5.4.2 满足下列条件者，评为“优良”记录：

- (1) 仪器自检记录合格。
- (2) 测线符合设计要求，起止点位置正确。
- (3) 仪器因素使用正确，水深探测时，水面至水底背景干净。水下覆盖层探测时分层清晰。
- (4) 目的层反射界面明显，无散射影响。
- (5) 船速均匀稳定，实测记录按每分钟间隔时间注记，单位

时间内记录长度误差小于 10%。

(6) 仪器班报与实测记录背面的编号、剖面号填写无误。

3.5.4.3 存在下列缺陷之一者，评为“合格”记录：

(1) 水下覆盖层分层的分辨率低，但不影响覆盖厚度的确定。

(2) 探测水深任务的记录，水底地层模糊不清，但不影响水面至水底深度的确定。

3.5.4.4 存在下列缺陷之一者，评为“废品”记录：

(1) 仪器班报与实测记录背面的编号、剖面号不符的记录。

(2) 未注明勘测日期、起止位置、记录范围及没有标记线（时间注记）的记录。

(3) 由于仪器因素选择不当或操作上的错误而造成记录背景不好、浓度不均、地层记录模糊，无法分辨的记录。

(4) 由于船速不稳定，影响准确计算的记录。

(5) 由于仪器卡纸造成记录单位时间长度不均，而不能利用的记录。

3.5.4.5 水声勘探成果的分析整理，要求在野外探测资料准确可靠的基础上进行。成果分析整理人员应充分考虑地质情况和探测结果的内在联系与可能的干扰因素。

3.5.4.6 进行成果分析整理时，应视情况作有关的校正。

(1) 路径校正。发射换能器与接收换能器安装在船的两侧，记录点是两换能器的中点，因此记录深度与实际深度是不同的。一般是水深小于 15m 需作校正。

(2) 速度校正。水声勘探仪器是根据声波在水中传播的速度 1500m/s 而设计计算深度的。水下松散层的不同地层是由于物质组成不同，波速亦存在差别，一般在 1500m/s 左右（水下淤泥层一般 < 1000m/s）。对于多层松散介质，难以取得各层的准确波速资料，校正是很困难的。

对于水下覆盖层厚度，如有波速资料，可用波速 v 校正后去求得覆盖层总厚度。如属于普查了解性质的任务，又无波速资料

的情况下，一般可不考虑波速校正。

3.5.4.7 水声勘探可根据任务要求绘制有关图件。

(1) 水声勘探实测剖面记录系原始记录，必要时可复制成中间图件提交。

(2) 水下地形图。主要反映河道、水库、湖泊的水下地形特征。

(3) 水声—地质剖面图。用于研究河道、水库的冲淤变化和沉积情况，分析水下覆盖层厚度变化和松散地层的分层情况。其绘制要求如下：

实测剖面记录是按时间控制距离的剖面，绘制水声—地质剖面图时，应根据所采用的横比例尺将实测剖面加以换算后作图。

图上应标出钻孔位置并注明高程、深度及地层厚度。

图中应绘出勘探的水深及推断的岩层界线。

(4) 水下淤积层（或覆盖层）等厚度图。应在水声—地质剖面图的基础上进行绘制。

(5) 基岩等高线图。当基岩面在水声剖面记录上能形成良好的反射界面时，应绘制基岩等高线图。

3.6 弹性波测试

水利水电工程勘测中的弹性波测试，系指采用声波法和地震法对岩（土）体进行的弹性波测试，主要包括基岩露头、探槽、探洞、竖井及地下洞室的物性测试，坝基施工检测、固结灌浆效果的检查。

3.6.1 应用条件

3.6.1.1 声波法测试的应用范围：

(1) 基岩露头、探槽及地下洞室的声波测试，包括对岩体波速的测定，岩体完整系数等指标的分区或分段，划分风化卸荷带的界线，测定洞室围岩松弛带厚度等。

(2) 竖井、钻孔岩体波速测定及固结灌浆效果的检测，是通过测定地层的波速变化，提供低速岩体分布的空间位置，并为确

定坝基建基面、建筑物地基和配合施工质量检查提供参数。

3.6.1.2 声波法测试的应用条件：

(1) 地下洞室（或探洞）的洞壁应尽可能平整，存在掉块的洞段应有支护措施。

(2) 需要进行动、静弹性模量对比和相关转换的工区，应在具有代表性的不同岩组上，同时进行静力法和动力法的测试。

(3) 在钻孔中进行波速测定，只能在无套管、有井液耦合的孔段中进行。

(4) 当声波测试的竖井深度大于 20m 时，应备有照明设备、井口三脚架及吊滑装置。

3.6.1.3 地震法测试的应用范围：

(1) 地震法可配合声波法在露头、探槽及地下洞室内进行岩体波速测定。地震法也可单独进行岩体测试工作。

(2) 地震测井适用于地层的波速分段，确定裂隙和破碎带的位置及固结灌浆效果的检测。

(3) 跨孔法原位测试，用于测定两孔水平向的直达纵波和横波，地下水位以下的松散地层则以测定横波速度为主。

3.6.1.4 地震法测试的应用条件：

(1) 地层层次不多，并具有一定的厚度。如所测地层或岩体波速较低，要求受高速邻层或围岩的影响要小。

(2) 钻孔垂直、孔壁光滑，孔壁不坍塌掉块。

(3) 松散地层中（特别是水下砂层或砂卵石层）的钻孔，应由钻机组事先造孔，安置塑料套管，套管内径一般为 76～100mm，在孔壁和塑料套管之间的环状孔隙中注入水泥砂浆或用水砂充填，以保证观测效果。

3.6.2 仪器主要技术要求

根据弹性波测试的内容，测试仪器的种类较多，仅就几种主要测试仪器的技术要求规定如下：

3.6.2.1 声波参数测定仪：

(1) 接收机：

测时范围 $0\sim 999\mu\text{s}$ 、 $0\sim 9999\mu\text{s}$

测时误差 $0.1\mu\text{s}$ 档大于 $20\mu\text{s}$ 时, $\Delta t < 1.5\%$

大于 $100\mu\text{s}$ 时, $\Delta t < 0.5\%$

$1\mu\text{s}$ 档大于 $500\mu\text{s}$ 时, $\Delta t < 0.5\%$

放大器灵敏度小于 $3\mu\text{V/mm}$ (增益 110dB 时)。

放大器输入阻抗大于 $1\text{k}\Omega$ 。

(2) 发射机:

脉冲发射幅度 $80\sim 250\text{V}$ 、 $300\sim 700\text{V}$

脉冲发射宽度 $5\sim 100\mu\text{s}$

3.6.2.2 电火花声波仪:

(1) 接收机:

测时范围 $0\sim 9999\times 1\mu\text{s}$ 档

$0\sim 99990\times 10\mu\text{s}$ 档

测时误差 $\Delta t < 0.5\%$

放大器灵敏度 小于 $2\mu\text{V/mm}$ (增益 $>110\text{dB}$)

放大器输入阻抗 大于 $20\text{k}\Omega$

(2) 电火花发射机:

发射电压值 大于 8000V

电容储能 大于 190J (焦耳)

3.6.2.3 地震仪技术要求参照 3.2 中地震勘探仪器主要技术要求执行。

3.6.3 外业工作

测试技术

3.6.3.1 基岩露头、探坑、探槽、探洞及竖井的岩体测试。主要测定纵、横波速度,并进一步求得有关物理力学参数。

(1) 测段或测点应根据任务要求布置在有代表性、表面平坦的地段。在探洞测试弹性波速度的连续剖面应布置在洞壁的同—高度。在层状岩体测试中可沿地质岩层的同一层次布设测段。

(2) 地震法或声波法测试,一般采用时距法进行工作。对于断层带、断层影响带,当其宽度不能满足时距法要求时,可采用

声波发射机发射，接收机接收进行测定。

(3) 锤击距离及检波器（或换能器）间距视地质条件和仪器计时精度及可分辨力而定，一般以 3~5m 为宜。

3.6.3.2 测定洞室围岩松弛圈时，声波测孔应布置在岩性均一的洞室横断面上，测孔数目及孔距应视洞径而定，一般布 5~7 孔，分布为顶孔，角孔和边墙孔，孔深应以能确定松弛带厚度为准，或按任务要求确定孔深（一般洞径 2~3m，要求孔深 3~4m）。孔内测点点距以 0.2m 为宜。

如采用双孔（一孔发射，一孔接收）对测法，孔距应依地质情况和换能器性能而定，一般为 0.5~2.0m。

3.6.3.3 进行动、静弹模对比试验的声波测孔布置，应考虑便于测试静弹模试件面上不同方向的岩体波速。测孔数目、孔距和孔深视现场情况而定。

3.6.3.4 钻孔弹性波测试，主要采用声波（点测）测井和地震法测井，以测定纵波速度为主，测试从孔底开始自下而上进行。

(1) 声波（点测）测井，可采取定（距离）测点，点距一般为 0.2~0.5m。

(2) 地震法测井时，测点和测段的选择应根据波速大小选定，一般测点间距为 1~2m，最好按地层分层测试单一层的波速值。

采用孔中激发地面接收时，检波器尽量安置在孔口附近 1~2m 之内，各次接收检波器安置条件应保持一致，并保证激发深度准确。

当地层倾角较大时，地面激发孔中接收或地面接收孔中激发的激发点或接收点位置，应选择在地层下倾方向一边。

(3) 地震测井测定横波速度可采用孔口叩板激发法。

地面激发横波的木板尺寸：长 2.5~3.0m，宽 0.3~0.4m，厚 0.06~0.10m，木板上应压重物。当测试深度为 30~40m，一般应大于 500kg，通常以汽车的前轮或后轮作为激发板的载重物，既方便、效果也好。

为了改善木板与地面的接触条件，在湿度大的土层上，垫上一层干砂或干土，也可在木板上钉上一定数量的铁钉。

激发板中心置于孔口旁，距孔口一般为 2~4m，敲击板的一端或两端，为避免浅处高速地层界面可能造成的折射波的影响，最小测试深度应大于激发板至孔口的距离。

3.6.3.5 跨孔原位测试有双孔和三孔等方式，一般宜采用三孔方式测试。孔距一般为 5~7m，孔中测点点距一般为 1~2m。当测定低速、薄层波速时，为考虑相邻高速层所造成的折射影响，孔间距应视具体情况而减小，即在保证所测初至是同一层位直达波相位的前提下，激发孔和接收孔之间的孔距可根据地层厚度和任务要求适当调整。采用声波法跨孔的孔间距，除考虑地层波速、厚度外，还需考虑电火花震源的能量大小。

地震跨孔震源主要采用孔中的剪切波锤，使用时沉放深度应准确，贴壁牢固，激发可靠。

接收采用三分量贴壁检波器，测试前应检查检波器沉放深度是否准确、贴壁是否牢固。在注满水的孔内也可采用电火花激震，声波换能器接收。

进行跨孔测试的钻孔应尽量垂直，并用高精度的井斜仪测量钻孔斜度和倾向方位，以便准确计算出测试位置的钻孔间距。

3.6.3.6 孔间、洞间较大距离的弹性波透射测试，主要采用孔对孔、洞对洞测试方式测定波至时间和纵波速度。震源主要采用爆炸震源，在钻孔内有水的情况下也可采用大能量电火花震源。孔距、洞距及检波点距视工程要求和地质条件而定。

测试要求

3.6.3.7 声波测试技术要求应注意下列事项：

(1) 洞室声波连续剖面测试，换能器与被测介质应保持良好接触。一般采用黄油（或凡士林）耦合。进行围岩松弛圈测定时，可用水耦合风钻孔（一发双收）换能器。对于多裂隙岩体注水有困难时，可采用干孔换能器。采用双孔穿透对测时，由于风钻孔不能保证其方位角和倾角的一致，因此测点间的距离必须

校正。

(2) 读数时应选择衰减档，使振幅适当，初至点明显易读。

(3) 测振幅时，应保持测试条件不变，读取同一相位振幅值，并在记录上注明所读相位。

(4) 采用锤击时距法测试，每锤击一次，注意波形初至，经多次锤击确认纵波初至的起跳点后，移动游标记一读数，以 3 次读数的平均值作为测试结果。

(5) 对曲线剧变或跳跃剧烈的测点或测段，应进行重复观测。

3.6.3.8 采用声波测井或地震测井进行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。

3.6.3.9 为检查和评价声波测试的观测质量，必须进行一定的检查观测，检查观测工作应分布在每个探洞、竖井或钻孔中。检查观测一般为总工作量的 5%~10%。

评价声波测试质量是否合格，按相对误差进行评价，计算式为：

$$\delta = \frac{t - t'}{t + t'} \times 100\% \quad (3.6.3)$$

式中 t ——基本观测值；

t' ——检查观测值。

(1) 检查观测的相对误差一般应小于 5%，其中相对误差为 5%~7.5%的点数，不得超过检查观测总点数的 10%。

(2) 声波（点测）测井，重复检查观测的相对误差一般应小于 7.5%，其中相对误差为 7.5%~10%的点数，不得超过检查观测总点数的 10%。

(3) 洞室或探洞的声波测试成果，应及时进行重复检查观测，以避免围岩收敛变形的时间效应对测试成果的可能影响。如果由于测试时间与检查观测时间不同，造成波至时间发生较大变化，可不参与检查观测质量的评价。

3.6.3.10 用地震法进行岩体连续剖面测试时，每个测段在测取

纵波的同时应尽可能测取横波，并要求横波的摄取量不少于纵波资料的 50%。现场横波记录的识别与判断，可根据以下特点进行综合分析加以识别。

(1) 纵波的初至波比横波提前到达，当横波初至特征不明显，但横波波列清晰时，可判读第一波峰或第一波谷，然后通过多点时距法测试，作时距曲线求得横波速度。

(2) 采用定向激发、定向接收的横波振幅一般比纵波振幅大，通常在纵波初至以后，横波的振幅突然增大至纵波的 2 倍以上。

(3) 正、反向激发的横波相应出现 180°的改变。可根据正、反向激发 180°相位变化极性波的交点，读取横波初至。

(4) 根据纵、横波速比及泊松比的关系，在已测得纵波速度的情况下，可结合地质岩性判别所得横波速度的可靠性。

3.6.3.11 地震测井和地震跨孔测试的检查测试工作量为总工作量的 5%~10%。

地震跨孔测试记录，对相位初至不清晰的测点，应获取正、反向记录。

采用孔对孔、洞对洞和地对孔透射波法的透射距离不大于 50m 的情况下，时间读数精度应在 0.25ms 以内。距离较大时，读数精度的相对误差小于 5%。

3.6.4 内业工作

野外测试资料的检查与验收

3.6.4.1 对野外测试记录应及时检查和验收。检查时，必须对记录本（表）中的各项记录进行逐项检查；对地震测试记录应根据测试任务检查验收，凡不合乎质量要求和未达到测试目的的观测资料不予验收，并通知操作员重新测试。

3.6.4.2 声波测试记录质量评价，分为“优良”、“合格”和“废品”三级。

3.6.4.3 满足下列条件者，评为“优良”：

(1) 仪器设备符合 3.6.2.1 要求并工作正常。

- (2) 测线、测点的布置符合规定并满足测试任务要求。
- (3) 经检查观测满足质量要求。
- (4) 记录正确、清晰，无涂改现象。

3.6.4.4 存在下列缺陷之一者，评为“废品”：

- (1) 未按规定进行检查观测或经检查观测不符合要求者。
- (2) 点号、剖面号混淆不清，不能利用的记录。
- (3) 任意涂改的记录。

3.6.4.5 未能全部满足 3.6.4.3 要求，但又不属于 3.6.4.4 的情况者，评为“合格”。

3.6.4.6 地震法测试记录质量的评价，分为“优良”、“合格”和“废品”三级。

3.6.4.7 满足下列条件者，评为“优良”：

- (1) 仪器设备符合本规程 3.2.2 规定要求，且仪器检查记录合格。
- (2) 测线、测点布置。激发点、检波点位置正确，并满足测试任务要求。
- (3) 采用多道地震仪工作时，各道工作良好，无接反现象。
- (4) 仪器因素选用正确，初至背景平静。测定横波时，横波特征明显，波列清晰。
- (5) 仪器班报和记录背面填写正确。

3.6.4.8 存在下列情况之一者，评为“废品”：

- (1) 采用多道地震仪，未作道一致性检查所测试的记录。
- (2) 由于激发或接收条件不正确，不能可靠摄取有效波。
- (3) 干扰背景强烈，妨碍了有效波的识别和准确读数。
- (4) 班报和记录背面未填写或写错测试时的主要因素，以致不能利用的记录。

3.6.4.9 未能全部满足第 3.6.4.7 要求，但又不属于 3.6.4.8 的情况者，评为“合格”。

成果分析与整理

3.6.4.10 弹性波测试成果的分析计算与整理，要求在野外测试资料准确可靠的基础上进行。解释人员应通过综合测试资料，反复对比分析，充分考虑地质情况和测试结果的内在联系与可能的干扰因素。

3.6.4.11 对声波测井、地震测井和跨孔测试记录进行整理计算时，钻孔深度应以孔口为准，以便和钻孔柱状图相吻合，探洞、竖井和地下洞室的测试记录进行整理和计算，应以地质素描图所定桩号为准。

3.6.4.12 在进行测试成果分析与解释之前，必须作有关的校正：

(1) 采用声波法测试的纵、横波时间值进行换能器零点校正。圆管状及增压式换能器校正，将发射和接收换能器布置在水池中，按不同间距测量纵波在水中的走时，测 3~4 点后绘制时距曲线求取 t_0 值，也可以直接将发射和接收换能器用黄油耦合在一起，直接测其延滞时间 t_0 值。

(2) 采用双孔声波对测法，应根据测定的方位、倾角进行孔距校正。

(3) 跨孔原位测试，应根据测定的方位、倾角、孔口距及高差等数据，进行孔距校正。

(4) 地震测井采用叩板法激震，离开孔口有一定距离 (2~4m)，应将地震波行走的斜距时间校正为垂距值，校正公式：

$$t' = t \frac{h}{\sqrt{x^2 + h^2}} \quad (3.6.4)$$

式中 t' ——垂距时间值；

t ——斜距时间值；

h ——垂直距离；

x ——激发板到孔口距离。

3.6.4.13 声波测井或地震测井成果图，应将各测点时间值绘制纵波时距曲线或纵波速度随孔深变化曲线，并与地质柱状图绘在一张图上。

跨孔原位测试成果图，主要绘制纵横波速、弹性模量、剪切模量随孔深变化曲线，并与钻孔地质柱状图相对应绘在一张图上。

3.6.4.14 探洞和地下洞室弹性波测试，应绘制声波法或地震法测试综合成果图。该图应包括纵横波速、岩体完整性系数、弹性模量等主要指标的参数曲线并和地质素描图相对应绘在一张图上，并以弹性波指标的参数为依据，进行岩体分类、分段和评价。

3.7 测井

水利水电工程勘测中的测井方法，主要包括：

(1) 电测井。其中又分视电阻率（包括普通电极系、微电极系、侧向）、单极电阻、电流、自然电位等测井法。

(2) 声速测井。

(3) 放射性测井。其中又分自然伽玛和伽玛伽玛（密度）测井法。

(4) 钻孔电视观察。

(5) 超声成像测井。

(6) 井中流体测量。其中又分井液电阻率、流量计和同位素流速仪等测井法。

(7) 温度测井。

(8) 井径测量。

(9) 井斜测量。

(10) 钻孔电磁波法。

为了取得更好的地质效果，应采用综合测井。

3.7.1 应用条件

3.7.1.1 电测井只能在无套管、有井液的孔段进行。电测井主要用于：

(1) 划分地层，区分岩性，确定软弱夹层、裂隙破碎带的位置和厚度。

(2) 确定含水层的位置、厚度，划分咸、淡水分界面。

(3) 测定岩层电阻率。

3.7.1.2 声速测井只能在无套管、有井液的孔段进行。声速测井主要用于：

- (1) 区分岩性，确定裂隙和破碎带的位置和厚度。
- (2) 测定地层的孔隙度。
- (3) 研究岩（土）体的力学性质。

3.7.1.3 放射性测井无论钻孔有无套管及井液均可进行。放射性测井主要应用于：

- (1) 划分地层、区分岩性、鉴别软弱夹层与裂隙破碎带。
- (2) 确定岩层密度、孔隙度。

3.7.1.4 钻孔电视只能在无套管的干孔和清水钻孔中进行。通过对荧屏上图像的直接观察，主要用来解决下列问题：

- (1) 确定钻孔中岩层节理、裂隙、断层、破碎带和软弱夹层的位置，并提供这些结构面的产状。
- (2) 了解岩溶洞穴的情况。
- (3) 检查灌浆质量，混凝土浇筑质量及与基岩面结合情况。

3.7.1.5 超声成像只能在无套管、有井液的钻孔中进行。可能解决以下问题：

- (1) 确定钻孔中岩层、裂隙、破碎带、软弱夹层的位置，以及这些结构面的大致产状。
- (2) 检查灌浆质量和混凝土浇筑质量。
- (3) 粗测钻孔直径。

3.7.1.6 温度测井可以测定含水层位置及地下水运动状态，还可测定灌浆和水泥固井时水泥回返高度。

3.7.1.7 井中流体测量只适用于无套管（可以有滤管）的钻孔。

井中流量计用于测量井中流体的垂直流向及流量，进而确定含水层通过钻孔的补给关系。

人工投放氯化钠（食盐）用井液电阻计，或人工投放微量同位素用核探测器，进行定点法、扩散法、注入法、提捞法测量，可以确定含水层位置及其厚度，测定地下水在钻孔中的运动状态和涌水量。在有利条件下，能估算地下水渗透速度等。

3.7.1.8 电磁波测井可在无套管的钻孔中应用，以弥补电测井对干孔无法进行之不足。钻孔电磁波透视主要用于高电阻率地层中探查溶洞和破碎带。在有套管的孔中不能应用。

3.7.1.9 井径测量和井斜测量用于测定无套管钻孔的井径、倾斜方位和顶角，并为密度测井、井中流体测量和电磁波透视等提供参数。井径测量还有助于测定裂隙破碎带、溶蚀带、软弱夹层等。

3.7.2 仪器主要技术要求

3.7.2.1 凡进行连续记录的测井仪器，其深度传动装置的误差，即电缆升降距离与记录走纸长度之间按深度比例折算后的误差不得大于 2‰。

3.7.2.2 仪器设备的绝缘应满足下列要求：

(1) 地面仪器线路之间及对地、绞车集电环对地、供电电源对地的绝缘应大于 $10M\Omega$ 。

(2) 测井后，电缆缆芯对地，电极系电极之间，井下仪器线路与外壳之间的绝缘应大于 $2M\Omega$ 。

(3) 某些仪器有特殊绝缘要求者，应符合说明书要求。

3.7.2.3 测井仪器的精度应分别达到下列要求：

(1) 电位差测量误差不大于 3%。

(2) 直读电阻率的测量误差不大于 4%。

(3) 井径仪测量误差不大于 5mm。

(4) 井温仪测量误差不大于 0.5°C ，热惯性不大于 3s。

(5) 井斜仪在钻孔顶角大于 5° 时，顶角测量误差不大于 0.5° ，方位角测量误差不大于 4° 。

3.7.2.4 测井仪器记录的曲线线迹宽度不得超过 0.5mm，仪器本身噪声引起记录曲线的抖动宽度不得超过 1mm。

3.7.3 外业工作

3.7.3.1 测井前，测井组应了解钻探进度及井场情况，提前做好准备，及时投入测井工作。为了保证测井资料完整，要求钻孔的实际深度应能让下井仪器的记录点到达最深探测目的层以下 3m。进行钻孔电视和井中流体测井的钻孔，须用清水循环冲洗。进行

钻孔电视，水质透明度不够时，必须加沉淀剂澄清。

3.7.3.2 测井电缆长度的丈量和标记应符合下列要求：

(1) 使用新电缆前，必须在井中让电缆携带重量相当于井下仪器的重物上下升降 5 次后再做临时性深度记号，且每井工作前要检查校正，待电缆伸长稳定后，才能做固定的深度记号。

(2) 丈量电缆必须使用钢尺，电缆在钻孔内提升时进行。

(3) 深度标记要明显、准确、牢固。

(4) 深度标记一般每隔 10m 做一个，对需要用 1:50 深度比例进行详测时，应每隔 5m 做一个，标记之间的长度误差不得大于 1‰。

(5) 必须经常检查电缆标记之间的距离，尤其是对新使用的电缆，已作了固定标记的电缆，每测 10 口井（或每年至少）应检查一次。发现五分之一以上的记号间距超过允许误差时，必须重新标记。

3.7.3.3 每孔测井前，必须先用与下井仪器的直径和长度相当的重锤进行试探。

3.7.3.4 每次测井必须用钢尺丈量第一记号常数（第一个深度记号至下井仪器记录点之间的距离）和深度观察点至钻孔深度起算点间的距离，并记入记录本。

3.7.3.5 为了便于与钻探资料进行对比，测井曲线的深度比例尺，应尽量与钻孔柱状图的比例尺一致。同一测区尽可能采用同一深度比例尺，对某些要进行详测的孔段，在采用上述基本比例尺记录外，可再作大比例尺的辅助记录。

3.7.3.6 应根据地质—物性资料或试验测井曲线来确定横向比例尺，在保证大部分曲线记录不超值的情况下，尽量选用大比例尺，对记录上具有零线的测井曲线，相对于目的层的幅度不宜小于 2cm，对曲线超格或目的层上曲线幅度不足 2cm 的井段，应改变横向比例尺做辅助曲线，其上应至少有一深度记号或标明起始孔段深度。同一测区同一方法的横向比例应尽量一致。

3.7.3.7 各种原始测井曲线必须准确地标记深度记号，相邻两深

度记号间距表现在记录纸上的误差不得大于 2%。测井曲线的起始和终了部分不得漏掉记号，曲线中部不能连续漏掉深度记号，深度记号应注明其编号或该点的实际深度。

3.7.3.8 根据地质要求，需要分次分段测井，主要曲线衔接处应至少重复测量一个深度记号间距。

3.7.3.9 对具有零线的测井记录，应在曲线的首末两处记录零线位置；对没有零线的测井记录，也必须在曲线的首末两处标出横坐标的参考基线。必须在井场做好各种测井的原始记录。

3.7.3.10 记录测井曲线时电缆的升降速度不得超过表 3.7.3 中的限度：

表 3.7.3 记录测井曲线电缆升降速度限度表

测 井 方 法	深 度 比 例		
	1:200	1:100	1:50
	限速 (m/min)		
普通电极系、井液电阻率、侧向、电流、自然电位	20	10	5
微电极系、刷子电极系、井径	10	6	3
声速、自然伽玛、密度、超声成像、温度	5	3	2

3.7.3.11 除温度、井液电阻率测井时应在电缆下放时作正式测量记录外，其他测井方法均应在提升电缆时做正式测量记录。

3.7.3.12 视电阻率测井电极距的选择必须根据不同测区的地质—电性条件，经过试验来确定，选择原则是：

(1) 对测区大部分岩层，尤其是对勘探目的层应有较高的分辨力。

(2) 使所测得的各岩层的视电阻率能最接近岩层的真电阻率。

(3) 一个测区内，若地层情况没有大的变化，各钻孔应使用相同的电极距。

3.7.3.13 必须准确地计算电极系的装置系数，当电极长度大于最小电极间距的五分之一时，装置系数应用实测方法确定。井液电阻计和微电极系的装置系数必须用实验方法测定。

3.7.3.14 连续记录视电阻率曲线时，应监视供电电流是否稳定，并采取措施使其保持在应有的数值。

3.7.3.15 微电极系测井时，必须保证电极系的极板紧贴井壁。当需要观测微电位和微梯度两种曲线时，应尽量争取一次同时记录。

3.7.3.16 电流测井时，应尽量减少线路电阻及地面电极的接地电阻，并采用 20V 以上的供电电压，记录电流曲线时要检查确定增量方向。

3.7.3.17 自然电位测井时，地面固定电极和井下测量电极一般应采用不极化电极，在正式记录时应保持电缆升降速度恒定。使用金属重锤时，测量电极应距离重锤 2m 以上。

测量时应辨清极性，记录的曲线在岩性较纯的厚层粘土、泥岩或页岩的自然电位为零，右为正，左为负。基线偏移每百米不得大于 2cm。

3.7.3.18 声速测井前后均应对仪器进行标定和对零检查。探头下井前应先在套管中进行检查，确认时差数值正确后方可进行测量，每个进行声速测井的钻孔至少应作 10% 的重复测量，认定记录可靠后方能结束。

3.7.3.19 自然伽玛测井仪下井前要用检查源检查证明仪器工作正常，方可下井。应在泥质岩层井段上记录统计起伏，记录时间应大于曲线所选用的时间常数的 10 倍；在统计起伏相对或然率误差不超过 5% 的条件下，选择合适的横向比例和最小的时间常数，以及测量速度。

3.7.3.20 当自然伽玛曲线的横比例以 v/cm 标注时，出工前及年中应用标准源或刻度器校准仪器的横向比例，定量测量每次测井前都应标定。

3.7.3.21 伽玛—伽玛测井时，有密度刻度器的应在井场标定曲

线的横向坐标，以 g/cm^3 标注，无密度刻度器标定时，只能作视密度测量。对于直接显示密度数值的测井仪，每年必须用标准密度模块群校核一次。

3.7.3.22 密度测井选用源强应使计数率能压制自然伽玛的干扰，在主要目的层段应大于自然伽玛平均幅值的 20 倍。使用的放射源名称要标注。

3.7.3.23 超声成像测井的深度比例应按岩层倾角的大小，溶洞、裂隙、断层规模、软弱夹层的厚度以及观测精度要求来进行选择。

仪器下井前先在专用泥浆筒中作声反射和磁扫描的监示检查。应在冲洗胶片，确认胶片反差合适，对井壁地质现象反映清楚后方能结束超声成像测井，撤离井场。

3.7.3.24 钻孔电视观察时，数字显示的深度，相对误差不得大于 5‰，与电缆深度记号的绝对误差不得大于 10cm，每隔 20m 必须显示深度进行一次校正。

在井场或经录相机回放的电视图像应清晰可辨，能读出罗盘显示的方位，对发现的探测对象应作详细观察记录和录像，使能确定其产状。

3.7.3.25 进行井中流体测量时，应使井壁干净，尽量不使孔隙被泥浆、岩粉等堵塞。

3.7.3.26 使用同位素流速仪测量地下水流速流向时，应根据已有测井资料和地质要求，选择测量点位和确定同位素投放量。每次下井前应检查仪器工作是否正常并开机预热 10min，应作地面本底记录和装源后底数记录。每点测量应先记录本底后才投放，投放后每隔 5~10min 记录一组 5~10 个读数，每点应测量 5~10 组读数，并计算渗透速度。

进行多位点同位素测量时，应先深后浅。钻孔具有多个含水层时，应尽量采用钻孔分隔器分层测试。各点位投放同位素后要作搅拌，使探测器周围同位素趋于均匀。

同位素流速仪测量应尽量控制同位素投放量，每个点位 3.7

$\times 10^6 \sim 3.7 \times 10^7 \text{bg}$ ($0.1 \sim 1 \text{mci}$), 全孔投放量不大于 $18.5 \times 10^7 \text{bg}$ (5mci)。同位素测量完毕, 应当尽量在现场清洗投放器及探测器, 采用洗衣粉溶液刷洗和 EDTA 络合剂泡洗, 洗后用辐射仪检查时, 在相距 0.5m 处应低于 2 倍本底。

3.7.3.27 井温仪每 3~6 个月校验一次, 要用精确度为 0.1°C 的温度计测量校验液体的温度。校验时应不少于 4 个温度改变值, 温度变化范围与测区地温变化范围相应, 误差不得超过出厂规定。每次下井测量前均应进行简单的校验。

井温测量自井液面开始, 下放电缆正式测量记录, 提升时作重复观测。

3.7.3.28 井径测量前后应在井场校验仪器, 至少应有 3 个不同直径的校验记录, 误差不超过 5mm。若使用高精度井径仪, 则误差应不超过出厂规定。每次测量时, 仪器进入套管后必须测一段套管的内径。

3.7.3.29 井斜仪每 3~6 个月应在校验台上校验一次。方位角从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间均匀分布不少于 8 个点, 顶角在 0° 至最大可测角度之间不少于 8 个点, 校验结果误差不大于出厂规定。每次测斜仪下井前应在井场用罗盘仪或倾斜仪作简单的顶角测量校验及挂零 (顶角为零度时) 测试。

井斜测量的点距, 一般为 20m。斜井中为 10m。发现井斜变化较大 (顶角差大于 2° ; 方位角差大于 20°) 应加密测点。

每测 5 点须对 1 点进行检查测量。检查测量时, 必须下放仪器 3m 后再提升到原深度位置进行。浅孔应不少于 2 个检查测量点。

同一钻孔中若需分段测量井斜时, 在其衔接处至少应重复测量两个测点。

3.7.3.30 钻孔电磁波透视工作要在了解钻孔技术情况和测区地质条件的基础上, 针对所要解决的地质问题作出每对钻孔的观测设计。

钻孔间距以小于 80m 为宜, 孔深应大于要求探测的深度加 $1/4$

孔距。

使用的工作频率与天线应根据地质条件和精度要求选择确定，使之既有足够场强的正常场，又应使目的体产生明显的局部异常。为了获得必要的辅助资料，可以加选 1~2 个辅助频率。发射天线以与工作频率相应的半波偶极天线为宜，接收天线采用半波偶极天线或 $\lambda/4 \sim \lambda/2$ 的鞭形天线。

观测方法在用交会法解释时，应以同步法（水平同步或斜同步）为主，辅以定发和定收测量。用 CT 解释时则相反。一般岩溶地区，点距采用 1m，异常部位应加密测点并作检查测量。并在现场绘制草图（以交会法为主），以便对资料作出初步解释，及时指导井场工作的进行。

3.7.3.31 必须在井场认真记录测井原始曲线图登录单和测井记录本中规定的各项数据、名称。

3.7.3.32 测井工作完成后，应在井场对测井资料进行检查，其内容为：

（1）任务书规定的工作项目必须全部完成。

（2）各种测井曲线及各种数据质量应合格。例如深度误差、横向比例、重复测量和检查测量的误差情况，有不合要求者，应立即重测。

（3）对比各种方法曲线是否存在反常现象，必须对反常现象作出合理的解释，否则应作检查测量或增加必要的补充工作项目。

3.7.3.33 井场工作的质量检查方法分检查测量和系统检查测量两种，检查测量是由测井组操作员本人进行，系统检查是由测井组技术负责人或由委派的人员来进行。

每个钻井至少有一条主要测井曲线做检查测量，其他每种参数曲线必须作至少 10% 井段的检查测量。当某种测井曲线上发现特殊异常时，应在相应井段进行检查测量。

系统检查测量工作至少应为总工作量的 5%，并在时间和孔位上尽可能均匀分配。

钻孔电视和超声成像测井不作系统检查测量。它们的工作量也不列入计算检查工作量的总工作量。当发现它们的质量不合要求时，应重测有关部分。

3.7.3.34 检查测量和系统检查测量的结果均应达到下列标准：

(1) 视电阻率和侧向测井电阻率曲线：基本测量与检查测量曲线形状一致，幅度相对误差不应超过 5%。

幅度相对误差的计算公式为：

$$\delta = \frac{|S_1 - S_2|}{S_1 + S_2} 100\% \quad (3.7.3-1)$$

式中 δ ——幅度相对误差；

S_1 ——基本测量曲线与零线的包络面积；

S_2 ——检查测量曲线与零线的包络面积。

(2) 微电极系电阻率曲线：基本测量与检查测量曲线形状基本一致，在泥岩或完整较厚（厚度大于 0.5m）岩层孔段，幅度相对误差不超过 5%。

(3) 电流测井曲线：基本测量与检查测量曲线形状应一致，对薄层异常的位置相吻合。

(4) 自然伽玛曲线：基本测量与检查测量曲线形状基本一致，幅度相对误差不超过 7.5%，异常位置吻合。

(5) 自然电位曲线：基本测量与检查测量曲线形状应一致，基线校正后自然电位曲线的幅度绝对误差不应超过 2mV（当横向比例大于 2mV/cm 时，曲线的平均偏移不应超过 1cm）。

测井曲线的幅度绝对误差计算公式为：

$$\Delta = \frac{S}{l} \cdot n \quad (3.7.3-2)$$

式中 Δ ——幅度绝对误差；

S ——基本测量与检查测量曲线所包络面积；

l ——检查测段的记录长度；

n ——测井曲线的横向比例。

(6) 声速或时差曲线：基本测量与检查测量曲线形状应一

致。无规律的周波跳跃每百米不超过 10 次。在完整且较厚岩层（厚度大于 1m）孔段，声速或时差的相对误差不超过 5%。

(7) 井中流体测量的误差应不大于所使用仪器的出厂规定。对井液电阻计测井曲线的要求同视电阻率测井。

(8) 温度测井曲线平均绝对误差不得超过 0.5℃。

(9) 井径曲线：基本测量与检查测量曲线形状一致，在井径变化平缓井段，平均绝对误差不超过 5mm；使用高精度井径仪时，要求相应提高到仪器说明书规定精度。

(10) 井斜测量：顶角大于 5°的井段，顶角测量的平均绝对误差不超过 0.5°；方位角测量的平均绝对误差不超过 4°。使用高精度测斜仪时，要求相应提高到仪器说明书规定的精度。

平均绝对误差的计算公式为：

$$\overline{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y'_i| \quad (3.7.3-3)$$

式中 $\overline{\Delta}$ ——平均绝对误差；

n ——检查测量点数；

y_i —— i 点基本测量数值；

y'_i —— i 点检查测量数值。

(11) 钻孔电磁波透视：检查测量工作量应为 10%~20%，基本测量和检查测量的曲线形态和异常的位置应一致，其均方绝对误差：

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}} \leq 5\text{dB} \quad (3.7.3-4)$$

式中 Δ_i ——两次测量数之差以分贝（dB）表示。

3.7.4 内业工作

3.7.4.1 室内工作是测井工作的重要组成部分，必须充分重视并设专人负责。其工作内容有原始资料的验收，质量评定，整理编录，解释推断，成果编制和试验研究等。

3.7.4.2 室内工作开始前，首先应对测井原始资料按本规程和物

探工作计划书要求进行验收评定（应在整个野外工作过程中逐孔进行），验收结果在曲线上填写“优良”、“合格”、“作废”字样，然后填写资料验收登记表。

3.7.4.3 原始资料质量符合下列标准者，评为优良：

（1）仪器设备的精确度和绝缘符合本规程和出厂说明书规定。

（2）原始记录准确、齐全、清楚、整洁。

（3）原始曲线线迹清晰，时间、深度记号清楚齐全。

（4）曲线无断记畸变。

（5）曲线首尾记录、测速、深度比例、横向比例、检查测量工作量等都符合本规程和工作计划书的要求。

（6）检查测量和系统检查测量误差不超过本规程中的规定。

（7）自然电位曲线基线偏移符合本规程要求。

（8）本规程未作规定的其他测井方法，质量符合工作计划书要求。

3.7.4.4 凡原始资料出现下列情况之一者应列为废品，并应立即进行重测或补测辅助曲线。

（1）原始曲线和原始记录由于数据不准确或不齐全、不清楚，因而无法保证质量者。

（2）图面模糊不清，曲线或深度记号无法辨认者。

（3）深度无法确定，在目的层段连续漏掉两个以上深度记号或相邻两记号间距误差超过 2%者。

（4）重复或检查测量误差超过本规程要求者。

（5）测速不符合要求又不可能用于可靠解释者。

（6）主要目的层上曲线超格或幅度值不足 1cm，且未作辅助曲线者。

（7）曲线有剧烈锯齿状或过度平缓，以致不能进行地质剖面划分者。

（8）在无接头的套管中测量的声速曲线和井径曲线有异常者。

(9) 自然电位测井曲线基线偏移每百米大于 2cm，或未标明正、负号者。

(10) 在套管中测量梯度电极系视电阻率曲线不等于零，在岩层处视电阻率出现负值者。

3.7.4.5 凡原始资料的质量不属于“优良”，但也不列为“废品”者，评为“合格”。

3.7.4.6 绘制综合测井曲线图（透明图）时，应对本规程允许的
深度误差在相邻深度记号内平差，每个平差点一次平差不得大于
1mm。曲线要按原始线迹的中心描述，不得人工修饰。

同张图中所有曲线绘制，其深度坐标应一致。同时必须按各自的横向比例分别绘出参数坐标，并注明曲线名称及技术条件。

3.7.4.7 同一钻孔进行的电测井和声速、放射性、井液电阻率、温度、井径测井，它们的测井曲线均应描绘在一张综合测井解释图上。超声成像应尽可能贴在该图的钻孔测井柱状剖面栏旁。其他测井方法所得资料可单独成图或列表，但其成果均应以文字形式反映到综合测井曲线解释图上。

3.7.4.8 解释推断应根据测井资料和各种测井曲线的分层特征，对不同参数曲线进行综合对比，结合地质、钻探等有关资料，对钻孔剖面按物性和地质名称分层，确定地层或地质体的深度和厚度，从而在综合测井解释图上绘制钻孔测井柱状剖面。

同一测区，地质条件相同时，应该统一解释原则，对测井曲线中的异常都应作分析交待。

3.7.4.9 测定地层真电阻率宜采用横向测井（横向电测深）。在不具备横向测井条件时，对较厚的地层可根据电阻率曲线，并考虑井径、井液电阻率及围岩电阻率等的影响近似地确定。在有侧向测井设备时，可根据侧向测井曲线并进行校正后求得。

3.7.4.10 对声速测井曲线和伽玛伽玛（或密度）测井曲线的解释推断，应先从宏观着眼，把全孔划分为若干个声速或密度不同的大层，求得这些层的平均波速和平均密度值。在此基础上再分别研究各个异常，作出地质推断，划分出薄层。对厚度不足

30cm，只能根据测井曲线估出波速或密度的大致范围。

3.7.4.11 应根据钻孔电视或超声成像对钻孔的地质现象作出描述。并计算出裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及其厚度。在顶角大于 5°的斜孔中计算这些产状时还应利用井径、井斜测量资料进行斜度校正。

3.7.4.12 对设计的垂直钻孔，实际倾斜度也不大的井斜测量资料可不必绘图，只列计算表格。对斜孔的井斜测量应绘制钻孔在水平面和铅垂剖面上的投影图作为成果。

3.7.4.13 钻孔电磁波透视的资料解释目前以交会法为主，有条件时应尽量用计算机作 CT 处理，辅以视吸收系数剖面等方法；并应密切结合地质、测井及其他有关资料分析异常的性质，以争取验证。

3.7.4.14 对地质剖面上有多个钻孔，或钻孔比较稠密的测区，应在完成单个钻孔各自的综合测井曲线解释图的基础上，绘制整个剖面的地质—物性断面图。图中应选用少量具有代表性、对地质目的层反映清楚和便于对比的测井曲线。