前　言

本标准是根据国家经贸委电力司《关于确认1999年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（电力［2000］22号文）第69项的要求，在SDGJ 81—88《电力工程物探技术规定》（试行）的基础上，由西北电力设计院进行修订、编制完成的。

在修订编制过程中，参编人员进行了认真的调研收资，广泛征求了全国各电力设计院的意见，总结了历年来SDGJ 81—88《电力工程物探技术规定》（试行）的执行情况，并吸收了兄弟系统的先进技术和成功经验，对原规定中的某些部分进行了必要的修改、充实、完善，同时对十余年来出现的新技术、新方法进行了补充。本规程发布实施之日起，原SDGJ 81—88《电力工程物探技术规定》（试行）即行废止。

本次修订对原规定的内容具体增删如下：

1. 电法勘探及测井基本保持原样；原第1章～第7章改为第3章～第9章，其中地震勘探增加浅层反射法1节；原第9章改为第10章；原第8章改为第13章，增加声波法测试、单孔法波速测试、瑞雷波法测试3节；原第10章改为第16章。

2. 新增加“范围”（列为第1章）、“引用标准”（列为第2章）、“氡气探测”（列为第11章）、“地下管线探测技术”（列为第12章）、“低应变法”（列为第14章）、“高应变法”（列为第15章）6章。

本标准的附录A、附录B、附录C、附录D为规范性附录，本标准的附录E、附录F为资料性附录。

本标准由国家电力公司电力规划设计院提出并归口，由中国电力规划设计协会归口。

本标准主编单位：西北电力设计院。

本标准主要起草人：张序孟、侯寿贵、刘厚健、朱松默。

本标准由西北电力设计院负责解释。

1 范　　围

本标准规定了工程物探技术方法、技术要求、技术措施、资料分析及解释方法，适用于火力发电厂、核电站、变电所、架空送电线路、电力系统规划等新建或扩建工程。对其他类型的物探工作可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 50269—1997 地基动力特性测试规范

DL 5001—1991 火力发电厂工程测量技术规程

DL 5010—1992 水利水电工程物探规程

DL/T 5156.5—2002 电力工程勘测制图第5部分：物探

CJJ 61—1994 城市地下管线探测技术规程

JGJ/T 93—1995 基桩低应变动力检测规程

JGJ 106—1997 基桩高应变动力检测规程

JGJ 944—1994 建筑桩基技术规范

3 总　　则

3.0.1　应用于电力建设水文地质和岩土工程勘测中的地球物理勘探统称电力工程物探（以下简称物探）。目前常用的方法有：电法、地震法、测井法、岩土原位测试技术、基桩无损检测技术、地下管线探测技术、氡气探测技术、声波测试技术、瑞雷波测试技术等。

3.0.2　物探是地质勘测、地基处理、质量检测的重要手段。结合电力工程勘测设计的特点，合理地使用物探，可提高勘测质量，缩短工作周期，降低勘探成本。

3.0.3　物探工作必须紧密地与地质相结合，重视试验及物性参数的测定，充分利用岩土介质的各种物理特性，开展综合物探，克服单一方法条件性、多解性的局限，以获得正确的结论。

3.0.4　物探工作应积极采用和推广新技术，开拓新途径，扩大应用范围；重视物探成果的验证及地质效果的回访。

3.0.5　电力工程物探的一般工作程序是：接受任务、搜集资料、现场踏勘、编制计划、方法试验、外业工作、资料整理、提交成果。在特殊情况下，也可以简化上述程序。

4 物探应用的基本条件

4.0.1 探测对象与周围介质应存在明显的物性（即电性、弹性、密度、放射性等）差异。

4.0.2 探测对象的厚度、宽度或直径，相对于埋藏深度应具有一定的规模。

4.0.3 探测对象的物性异常能从干扰背景中清晰分辨。

4.0.4 地形影响不应妨碍野外作业及资料解释，或对其影响能利用现有手段进行地形改正。

4.0.5 物探方法的有效性，取决于最大限度地满足 4.0.1。在实际工作中，由于地形、地貌、地质条件的复杂多变，在具体应用时，应符合下列要求：

1 通过研究和试验，正确选择工作方法；

2 利用已知地球物理特征进行综合物探方法研究；

3 运用勘探手段查证异常性质；结合实际地质情况对异常进行再推断。

5 物探任务的接受与工作计划大纲的编制

5.0.1 物探工作任务书一般由主管部门下达。其主要内容包括：

1 工程名称 工作地点、工程编号及范围；

2 工作任务与技术要求；

3 要求提交的成果资料及期限；

4 工作区的地形、地貌及地质概况；

5 与任务有关的已知地质资料及地形图目录。

5.0.2 在正式接受任务前，应会同地质人员进行现场踏勘，如有必要，应进行方法试验。通过踏勘或方法试验确认不具备物探工作条件时，可申述理由请求撤消或改变任务。

5.0.3 工作计划大纲应根据任务书要求，在全面搜集和深入分析测区及其邻近区域的地形、地貌、水系、气象、交通、地质资料与已知物探资料的基础上，结合实际情况进行编制。

5.0.4 工作计划大纲应包括下列内容：

1 物探工作任务、范围、期限及测区位置。

2 测区地形、地貌、水文地质与工程地质概况、地球物理特征。

3 物探方法的选择及依据，技术要求，方法有效性分析，野外工作的布置。其中包括：工作量的估算，测线方位的选择，测网的布置，极距、检波距、炮检距的确定，观测系统的选择，检测工作量的布置，参数测定及各种方法的实施步骤。

4 与其他专业的配合（地质、测量）。

5 使用仪器设备、材料、车辆计划。

6 劳动组织与工作进展。

7 拟提交的成果资料。

8 财务预算及概算。

9 测区地形图及物探工作量布置图。

6 物探在电力工程各设计阶段的任务

6.1 初步可行性和可行性研究阶段的物探任务

6.1.1 水源地普查：

1 探测覆盖层厚度；

2 寻找隐伏的地貌和岩性分界线；

3 了解灰岩地区岩溶发育情况，寻找岩溶发育带；

4 探测主要含水层埋藏深度及厚度；

5 确定断层破碎带和充水裂隙带的位置与宽度；

6 寻找古河道及掩埋的冲洪积扇的位置；

7 追索地下暗河；

8 划分富水带与贫水区，并进行富水程度划分；

9 滨海区划分咸淡水分界线。

6.1.2 厂（站）址地质调查：

1 当厂（站）址需作稳定性分析时，了解厂（站）址及其附近影响厂（站）址稳定的断裂构造的具体位置、破碎带宽度和产状；

2 了解危及厂（站）址的滑坡体的滑动范围及滑动面；

3 进行边坡稳定观测。

6.1.3 地基调查：

1 探测厂（站）址基岩埋深及变化；

2 探测第四系中有一定厚度的砂卵石层、黏土层、软土层和多年冻土层；

3 判别饱和砂土和粉土的液化势；

4 探测基岩地基的风化厚度或破碎程度；

5 探测厂（站）址内对地基有影响的岩溶、土洞的分布发育规律及发育程度；

6 探测覆盖层内有一定规模的透镜体和不均匀体；

7 在钻孔中测定各地层的深度、厚度和波速；

8 为构（建）筑物的动力反应分析和计算提供地基的动力参数，如纵波速度、横波速度、动弹性模量、动剪切模量、动泊松比、卓越周期等。

6.2 初步设计阶段的物探任务

6.2.1 利用水文地质钻孔，开展测井工作：

1 划分钻孔地质柱状剖面，进行地层对比；

2 确定地层的孔隙度、渗透性能、含水量，确定主要含水层的层数、相应深度、厚度；

3 提供断裂破碎带、裂隙含水带的位置与产状；

4 划分咸淡水垂直分界面；

5 测定井径、井斜、井温；

6 测定地下水流速、流向、涌水量、自然渗透速度、相互补给关系、影响半径、给水度等。

6.2.2 探测厂（站）址内小断裂的具体位置、断距或破碎带宽度。

6.2.3 探测厂（站）址内地下溶洞、洞穴或埋藏的具体位置、埋藏深度、大小及充填物的性质。

6.2.4 探测厂（站）址内较大岩脉的位置、宽度及其走向。

6.2.5 探测厂（站）址内局部分布的软弱夹层（如淤泥层）的边界线。

6.2.6 测定地基的纵波、横波速度随深度的变化。

6.2.7 进行地脉动测定。

6.2.8 进行高压输电线路的大地电导率测定及厂址、变电所、微波站的土壤电阻率测定。

6.3 施工图和施工阶段的物探任务

6.3.1 测定天然地基的各种弹性系数、刚度及阻尼比。

6.3.2 对基桩复合地基质量进行检测。

6.3.3 测定桩的动刚度及极限承载力。

6.4 其他物探任务

探测地下管线、地下隐蔽工程及环境地质监测等。

7 物探测量工作

7.0.1 物探点的测量工作应按 DL 5001《火力发电厂工程测量技术规程》中有关条文的规定执行。

7.0.2 物探点、线的测量定位：

1 先在地形图上布置测点、测线，然后放样到实地；

2 在实地布置测点、测线，再测量定位到地形图上；

3 物探点均应设立标志并编号。

7.0.3 物探点的测量精度要求：

1 物探点的平面点位误差，在工作比例尺的图件上，不得大于 2mm；

2 物探点的高程允许误差为 ±0.5m；

3 各种电剖面（包括自电、充电法剖面）的点距允许误差为 ±3%，剖面总长度允许误差为 ±1%；

4 地震勘探检波距和炮检距的允许误差为 ±2%，测线总长度允许误差为 ±1%。

7.0.4 测量应提交的资料：

1 所有物探点的坐标和高程数据，应展绘在所需工作比例尺的地形图上，并提交物探坐标、高程、点距一览表。

2 必要时，应提供所需比例尺的实测地形剖面图。

3 当测区无地形图或地形图精度达不到要求时，可草测适当比例尺的平面位置图。平面图上应包括网、线、点间相互位置，并标明钻孔、道路、河流、陡坎、地物等主要地貌的相对位置。

7.0.5 物探工作所使用的比例尺，不得小于同一阶段、同一工程的水文、工程地质所使用的比例尺，宜与之相同。

8 电 法 勘 探

8.1 仪 器 与 技 术

8.1.1 电法工作中所使用的仪器，应是经过国家科技部门正式技术鉴定后的产品，且每台仪器都必须达到出厂规定的技术指标。

8.1.2 常用于野外生产的主要仪器，均应建立仪器使用簿。对仪器的故障、检修和交接情况应如实登记，并由交接双方签字。

8.1.3 仪器设备应由专人使用、保管。仪器从领用到移交，由操作员负完全责任，未经操作员同意，他人不得动用。

8.1.4 对经常使用的仪器，应按出厂要求每年至少检修一次。其内容为：

1 校验各测程的读数（用精度不低于0.5级的电位差计）；

2 校验0.1Ω的标准电阻；

3 检查与调整极化继电器振动子；

4 测定与处理绝缘电阻；

5 清洗、调整各电位器和开关接点，更换不良元件；

6 必要时应校验放大器部分，包括电子管、晶体管集成电路的工作状态、放大系数、相位差、噪声电压和振荡工作情况等；

7 检查CPU板各控制信号是否正常送出；

8 检查通信电缆是否断线；

9 检查CMOS器是否良好接地。

8.1.5 在野外生产期间，应对仪器进行定期检查。检查内容为：

1 仪器的零点飘移和抖动；

2 仪器的屏蔽性能；

3 仪器的输入阻抗；

4 仪器的供电、测量线路之间及外壳的绝缘电阻；

5 同一电位差输入，各相邻测程读数相差不大于1%；

6 SP补偿范围；

7 对50Hz工频干扰压制优于80dB；

8 供电脉冲宽度。

8.1.6 操作员必须熟悉仪器使用说明书；应做到以下几点：

1 每天开工前和收工时，应检查仪器内部电池电压，必须符合规定要求。

2 开工前应提前约5min接通仪器电源，以预热电路，使仪器进入准工作状态。

3 观测时应先估计输入信号的强度，由大到小依次选择测程；当需要较长时间停止观测时，应将仪器关闭以减少仪器内部的电源消耗；仪器使用完毕，应把各电源开关断开，并将测程开关置于最大测程档上。

4 仪器发生故障时，应仔细观察，分析原因，然后关闭电源进行检查。野外观测现场不得任意拆卸仪器。

8.1.7 仪器应有防震的箱子包装才能运输，严禁和钻探工具混装；长期不用时，应取出仪器内部电池，并定期进行保养。

8.1.8 当干电池作供电电源时，工作前应对电池进行检查。要求开路电压与额定电压值之差不大于5%，短路电流不小于额定值的2/3（严禁用万用表测量短路电流）。

8.1.9 在连续供电情况下，供电电流不应超过额定电流强度；当使用干电池每次供电时间很短，而断电间隔较长时，允许瞬时超额供电，但最多不得超过1倍。

8.1.10 当需要用较大电流供电时，应采用多组电源并联，各组电源的电压差不得超过5%，内阻差不得超过20%。相互串联的电源，内阻也不应相差太大。无论何种电源都应该有稳定的输出电流。对同一测点的重复观测，若电流变化超过3%（非接地电阻影响）应立即更换电源。

8.1.11 电池应保存在干燥阴凉处。电池箱应进行绝缘处理，对地绝缘电阻应大于10MΩ。

8.1.12 导线应具有导电性强、绝缘良好、柔软抗拉等特点。导线电阻应小于10Ω/km。绝缘电阻应大于2MΩ/km（导线的绝缘电阻可用浸水法测定）。

当供电电压为500V时，新导线的绝缘电阻应不小于300MΩ/km，旧导线应不小于1MΩ/km。对于长度为L（km）的导线，其绝缘电阻$R_L=R_2/L$，式中R_2分别为上述新旧导线的绝缘电阻指标。

8.1.13 导线在使用时，应符合下列规定：

1 导线应绝缘完好，避免机械损伤，被覆线、塑胶线应绕在线架上，探矿线应绕成“∞”形，电缆应缠在绞盘上。

2 连接断线时，应使接头短小平整，金属丝接合牢固、通导良好，外表包扎坚实，绝缘好。检查隐伏断点时，不允许用刺破绝缘包皮物的方法。

3 导线应存放阴凉干燥处，潮湿导线应及时晾晒；长途运输、贮存应包扎。

4 在导线上作距离记号，以确定电极位置时，必须经常检查这些距离记号的正确性。

8.1.14 根据不同的工作方法与不同的地电条件选择电极。地面供电极通常采用金属棒状电极，井中充电点采用金属刷子电极，水上或冰上采用铅电极；测量电极应质地相同，常采用铜电极或不极化电极。

8.1.15 不极化电极使用时，应符合下列规定：

1 极化电位差应足够稳定，成对电极极差不得大于2mV，相对变化小于0.01mV/min。

2 定期煮洗瓷罐，以保持良好的半渗透性。硫酸铜溶液应质地纯净、浓度过饱和，并注意随时补充；垫盖及接线部分以石蜡封闭。

3 应防止雨淋曝晒，避免接触污物和通电。

4 收工后应将电极罐外表洗净，然后放置在盛有硫酸铜饱和溶液的器皿中，并用导线短路。

8.1.16 用于野外生产的金属电极，应经常保持表面清洁无锈。当电极上附有固定接线时，应使接线和电极之间接触良好。

8.2 电 阻 率 法

8.2.1 在满足 4.0.1 的前提下，对需要提交定量解释结果的电测深法，还宜具备下列条件：

1 有较好的电性标志层；

2 地电断面简单；

3 界面倾角以及界面间夹角小于 20°；

4 测区有一定数量的已达电性标志层的钻孔及相应的电测井资料或其他可靠的参数资料。

8.2.2 遇下列复杂条件时，不宜采用电阻率法或不提交定量解释结果：

1 地质构造复杂，地电断面变化大且无规律；

2 地形切割剧烈、悬崖峭壁、河网发育、通行困难地区；

3 地电断面中存在电性屏蔽层；

4 无法消除的工业游散电流分布区；

5 冻土、流砂、砾石及风化堆积物广泛分布，且厚度大，接地严重困难的地区。

8.2.3 对电阻率异常的可靠性分析，宜采用相对异常强度与观测均方相对误差的比值关系来确定：

$$Y=\frac{|\rho_s-\rho_0|}{\rho_0}\times 100\% \qquad (8.2.3\text{-}1)$$

可靠异常要求：

$$Y>3m_i \qquad (8.2.3\text{-}2)$$

式中：

Y——相对异常强度，用百分数表示；

ρ_s——实测视电阻率的极值；

ρ_0——正常场背景值；

m_i——允许测量均方相对误差。

8.2.4 测区范围的确定应满足下列要求：

1 测区范围不仅应包括按任务要求的勘测区，同时还应包括内外扩延的部分，以便使异常有足够的背景场。

2 属于追索性的工作，应使测区包括一部分地质情况比较清楚的地段（天然露点、钻孔、探坑分布区）。

3 任务书规定的范围内，由于地形等条件限制无法取得良好效果，但可在相邻有利地段工作取得有利资料时，应把测区范围扩大到相邻地段。

4 当在已有电法或其他物探成果的基础上布置更大比例尺工作时，应充分利用以往的资料来决定测区范围。

8.2.5 测线方向的布置应符合下列要求：

1 测线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。

2 每当探测对象有不同的走向时，主要测线宜垂直于主要走向，对不同走向地段再补充不同方向的辅助测线。

3 同一测区放线方向宜保持一致；为了把握测区水平方向地电断面的变化，应均匀布置不少于总数3%的十字测深点。

4 测线宜与有关勘探线重合或相衔接。

8.2.6 测网密度应根据探测对象的大小、埋深、地电特点及其复杂程度来综合考虑，而不应单纯以勘测阶段来决定。

8.2.7 电测深点的测网布置应遵守下列规定：

1 当寻找某些地质体或构造时，应保证所要发现的最小地质体，在平面图上至少两个相邻电测深点上有清晰的反映。

2 探测基岩埋藏深度时，相邻电测深点的最小距离，不得

小于主要探测对象埋深的一半或最大测量电极距的一半。

3 在探测深部对象的同时又必须了解浅部对象时，只允许在较疏的大电极距电测深测网中，用小电极距电测深点加密。

8.2.8 面积性电测深工作，常用的比例尺和测网密度如表8.2.8所示。

表8.2.8 面积电测深常用比例尺和测网密度表

比例尺	测线间距 km	沿测线的点距 km	测点数 km^2
1:5万	0.5～2	0.5～1	0.5～4
1:2.5万	0.25～1	0.25～0.5	2～6
1:1万	0.1～0.4	0.1～0.2	12.5～100
1:5千	0.05～0.2	0.05～0.1	50～400
1:2千	0.02～0.08	0.02～0.04	300～2500

大范围面积性电测深，应保证在工作比例尺图上，测线间距2cm～8cm，测点间距1cm～4cm；小范围时，线距等于2～3个点距，点距应为主要目的层埋深的1～2倍，但不得小于最大测量电极距的一半。

8.2.9 对电剖面法测网密度的一般要求可按表8.2.9考虑。

表8.2.9 电剖面法测网密度表

工作性质	普查		详查	
穿过异常测线、测点数	测线数	每条测线的测点数	测线数	每条测线上的测点数
对称四极剖面法	1～2	3～5	3～5	5～10
联合、偶极剖面法	1～2	6～10	3～5	10～16
中间梯度法	1～2	3～5	4	5～10

剖面间距宜为点距的3～5倍，点距宜为$H/3$～H（H为探测对象的埋深）。在按工作比例尺绘制的图件上，剖面线间距为

1cm～4cm，点距为0.25cm～1cm。

8.2.10 高密度电阻率法测网密度的一般要求是：测点间距宜为$\Delta x=0.5$m～5m，线距宜为3～5倍的点距，在按工作比例尺的图件上，点距宜为0.25cm～1cm，线距宜为1cm～4cm。

8.2.11 同一测区的电剖面测线、高密度测线与电测探测线的布置，宜保持一致。

8.2.12 在设计电测深供电电极距时，应使各电极距在6.25cm模数的双对数坐标纸上沿$\overline{AB}/2$轴有大致均匀的分布，彼此相邻电极距比值在1.2～1.8之间（或相距5mm～15mm）。在地电断面较简单的条件下或某些测深曲线的次要段上，可选用较大的比值；反之，为了某些特殊目的可选用较小的比值。

8.2.13 电测深的最小供电电极距的确定，以获得第一电性层的电阻率为原则，保证曲线有明显的前支渐近线。电测深的最大供电电极距应符合下列要求：

1 当底部电性标志层的电阻率为“无限大”时，应使电测深曲线尾支成45°上升的渐近线上不少于3个电极距读数点。

2 当底部电性标志层的电阻率为有限值时，应使测深曲线的尾支获得明显的渐近线，即反映该电性标志层上升或下降的尾支曲线的拐点之后至少应有3个电极距读数点。

3 对新测区，应根据需要设计若干均匀分布的、电极距较大的“控制测探点”，以把握测区中电测深曲线的尾支渐近线的特点，了解最下部电性标志层的电阻率情况。

8.2.14 电测深可用测量电极距与供电电极距的比值为常数的方式施测，也可用比值为变数的方法施测。当用比值为变数的方式施测时，从一组测量电极距变换到另一组测量电极距时，必须在两个相邻供电电极距上，同时用两种测量电极距进行观测；若曲线出现不正常脱节应进行处理。

8.2.15 电测深的测量电极距$\overline{MN}$应不大于供电电极距$\overline{AB}$的1/3，最小$\overline{MN}$必须能保证规定的观测精度。

8.2.16 三极或联合电测深的无穷远供电电极C，应尽可能位于$\overline{MN}$中垂线上。当$\overline{OC}$方向偏离$\overline{MN}$中垂线±5°以内时，应使$\overline{OC}\geqslant 5\overline{OA}$（$\overline{OA}$为最大供电电极距）；当受客观条件限制，不能使C极位于$\overline{MN}$中垂线上时，其$\overline{OC}$长度应加大至10 $\overline{OA}$（$\overline{OB}$）以上。

8.2.17 电剖面极距应在电测深工作的基础上通过实地试验确定。

8.2.18 电剖面极距的选择应符合下列要求：

1 当探测对象埋深较大时，供电电极距$\overline{AB}$或偶极距$\overline{OO'}$也应较大；

2 当两个探测对象的大小和埋深均相同时，其中覆盖层电阻率较低的供电电极距$\overline{AB}$或偶极距$\overline{OO'}$应较大；

3 当表层电性不均匀影响严重时，$\overline{MN}$不宜选择过小；

4 当被探测对象大小及埋深变化较大或需要了解不同深度的探测对象时，可设计多种极距进行观测；

5 一般选取$\overline{MN}$等于点距，但应不大于2倍点距。

8.2.19 选择对称四极剖面法（AMNB）的极距，应符合下列要求：

1 供电电极距$\overline{AB}$不小于探测对象埋藏深度的4～6倍；

2 测量电极距$\overline{MN}$不小于探测对象的顶部埋深，但不应大于$\overline{AB}/3$。

8.2.20 选择复合对称四极剖面法（AA′MNB′B）极距的要求与对称剖面法相同。但大极距$\overline{AB}$与小极距$\overline{A'\ B'}$的比值宜大于2倍以上，且$\overline{AB}$和$\overline{A'\ B'}$宜取$\overline{MN}$的整数倍。

8.2.21 选择联合剖面法（AMN∞NMB）的电极距应符合下列要求：

1 进行地质填图或追索异常时，一般要求$\overline{OA}$大于被探测地质体顶部埋深的3倍；

2 当欲分辨相邻地质体时，应使$\overline{OA}$不大于地质体间距的

半值；

3 当探测对象的规模与埋深不清楚时，应设计多种极距进行观测，其极距变换比值不应小于2；

4 $\overline{MN}$应控制在（1/3～1/5）$\overline{OA}$范围内；

5 无穷远供电电极距的选择与8.2.16相同。

8.2.22 偶极剖面（ABMN和ABMNA′B′）的极距$\overline{OO'}$应大于被探测对象埋深的3倍，而供电偶极子$\overline{AB}$和测量偶极子$\overline{MN}$的长度一般应小于$\overline{OO'}$/4。

8.2.23 选择中间梯度法电极距应符合下列要求：

1 $\overline{AB}$和$\overline{MN}$应满足下列关系：$\overline{MN}$=（1/30～1/50）$\overline{AB}$。

2 当被探测地质体的电阻率是围岩的10倍时，$\overline{MN}$不应超过地质体厚度的1～2倍；当探测地质体的电阻率是围岩的50倍时，$\overline{MN}$允许增至探测对象厚度的5倍。

3 观测段应选择在装置中部，长度为（1/2～1/3）$\overline{AB}$。

4 每对$\overline{AB}$供电电极距，可同时在两边平行方向数条测线上测量，其最远测线与中间测线的距离应不大于$\overline{AB}$/6。

5 移动$\overline{AB}$时，应使相邻接合部位测量段至少有2～3个重复观测点。

8.2.24 电阻率法的装置形式及装置系数K的计算公式，见附录E（资料性附录）。

8.2.25 测站应选在靠近测段中心，视野开阔，控制范围大，地势平坦，通行方便，避风干燥处。为了避免电磁感应及漏电影响，应远离变电所、高压线及工业设施接地、避雷接地等处。

8.2.26 电极接地应符合下列要求：

1 电极应布置在规定的位置上，并保证导线、电极接触良好；

2 电极应垂直地面接地，入地深度不应大于$\overline{AB}$/30，测量电极不准打在流水或污物上；

3 随着电极距的增大，应减小接地电阻，其办法有：挖坑

填土、浇水、浇稀泥、加深电极、采用电极组（并联接地电极之间的距离不小于电极入土深度的2倍）。

8.2.27 电极组应垂直测线方向布设，只有在受客观条件限制时，才可沿测线方向或绕接地点环形布置，具体要求如下：

1 电极组应垂直测线方向排列，且对称于预定接地点时，电极组中最远一根电极与预定接地点之间的最大距离 d 应小于 $\overline{OA}/20$，电极组的长度应小于 $\overline{OA}/10$；

2 电极组沿侧线排列时，d 应小于 $\overline{OA}/30$；

3 电极组围绕预定接地点环形布置时，d（半径）应小于 $\overline{OA}/30$。

8.2.28 放线应符合下列要求：

1 测量导线与供电导线应分别敷设，并有一定间距，分别固定在测站附近的绝缘桩上；

2 放线时要尽量远离高压线，若必须通过时，应当垂直敷设；

3 导线应沿地面敷设，当导线通过水田、池塘、河渠、沼泽、公路等地区必须架空时，应将导线拉紧，穿越公路、铁路时也可将导线埋设地下；

4 跑极员在跑极过程中，遇到地形、地物障碍及无法架空或涉水通过地段均应及时报告测站；

5 必须保证测量电极和供电电极排列方向与电极距离的正确性，电极排列方向与预定方向偏差不得大于±5°，极距差不得大于±1%，否则要另外计算 K 值。

8.2.29 外业观测应符合下列规定：

1 在观测过程中，必须保证供电电流稳定，当电流不稳（在±3%范围内变化）时，应采取“I—ΔU—I”的观测方式，并取前后两次电流读数的平均值参与视电阻率的计算。当外部干扰使 ΔU 观测时间较长时，应以“ΔU—I”的方式读数。

2 直读式仪器读数小于表头满刻度的1/3时，应改换用小

量程读数。在指针稳定的情况下，最小电位差读数应大于0.3mV，最小电流读数应大于2.5mA；指针不稳定时，最小读数应加倍。

3 对于单个测回（指完成一次 ΔU 和 I 的连续测定过程），应采用短暂而相同的观测时间。

4 供电电压应不低于15V。

5 供电电流强度和电位差值应估读至3位有效数字。

6 对于数字仪器，其读数可直接从仪器读取。

8.2.30 进行大电极距观测时，必须使每次观测的供电时间不少于电场的建立时间。电场建立所需的时间 t 可按以下经验公式求得：

$$t=0.2\pi L^2/\rho_s \qquad (8.2.30)$$

式中：

L——供电电极距$\overline{OA}$，km；

ρ_s——相应供电电极距的视电阻率观测值，Ω·m。

当极距较大时，要注意因供电时间过长可能引起的测量电极的极差变化、大地电场的变化、电池组的电源不稳定等情况。

8.2.31 外业记录应符合下列规定：

1 记录员应保证外业记录清晰整洁、字迹工整、记录3位有效数字（视电阻率值应算至3位有效数字）。当操作员读出数据时，记录员在记录的同时必须复诵，以便相互核对。宜使用2H硬度铅笔进行记录；记录数据严禁涂擦，若数据确需改动，可用铅笔划掉，将所改数据填写于右侧，并在备注中说明原因。

2 外业观测结果必须及时进行计算，并绘制曲线草图；不得先记在其他本上或纸上，在转抄到野外记录本上。

3 当观测结果超出允许误差或曲线草图上出现畸变、异常时，记录员应及时通知操作员进行重复观测，找出原因，并逐一记录在备注栏中。

4 物探野外工作记录格式见附录A。

5 野外观测结果可采用文件的形式存放在磁盘中，但不能对磁盘内容进行人工修改。

8.2.32 外业工作中，对下列情况应进行漏电检查：

1 电线的漏电检查：

1）每日开工、收工及布置新测站；

2）曲线畸变点；

3）电测深的$\overline{AB}/2\geqslant$500m、潮湿地区$\overline{AB}/2\geqslant$200m 的所有电极距；

4）各种电剖面每 10～20 个测点、潮湿地区每 5～10 个测点及每条剖面的端点。

2 仪器和电源的漏电检查：

1）每日开工和收工时；

2）曲线发生畸变时。

8.2.33 检查漏电的方法及技术要求：

1 用分别断开供电导线一端接地的方法来检查供电系统的漏电，同时观测供电线路中的等效漏电电流强度和测量线路等效漏电电位差（观测与检查两次电压不同时，可按电压正比关系换算成工作电压下的“等效值”）。要求两端等效漏电电流强度的总和不超过该供电电流强度的 1%；两端等效漏电电位差的总和不超过该观测电位差的 2%；进行漏电检查的电源一般不超过 360V。

2 在潮湿地区需要对测量线路做漏电检查时，可采用兆欧表测试，要求绝缘电阻不小于 5MΩ/km。

3 电池箱的漏电检查，可采用改变供电极性的观测方法，要求两次观测所得的视电阻率相对误差不应大于±4%。

4 仪器的漏电检测，插孔 AB、MN 与外壳之间的绝缘电阻不得小于 300MΩ，供电线路、测量线路、外壳三者之间的绝缘电阻均不应小于 100MΩ。

5 当发现导线、电源或仪器漏电超过允许范围时，必须查

明原因予以消除。当导线绝缘状况改善后，应沿测线逐点返回进行重复观测，直至连续有3个测点的观测结果符合8.2.36的规定为止。

8.2.34 为检查和评价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观测工作。

8.2.35 属于下列情况之一者必须进行重复观测：

1 观测时由于指针不稳，采取运动中读数时，其重复读数不应小于3次；

2 进行电测深工作时，在$\overline{AB}/2$等于和大于200m以上的每一个极距上；

3 进行电剖面工作时，当极距大于200m的所有观测点；

4 主要异常点、畸变点、可疑点、不正常脱节的接头部位的读数；

5 当ΔU小于3mV的所有读数。

8.2.36 重复观测应符合下列要求：

1 一组重复观测中，相邻两次所有的供电电流应不同。

2 参与平均的一组视电阻率读数，最大值与最小值之差，相对于二者的算术平均值应满足下式：

$$\frac{2\ (\rho_{s,max}-\rho_{s,min})}{(\rho_{s,max}+\rho_{s,min})}\times 100\% \leqslant \sqrt{2n}\times 4\%\ \text{（无位误差）} \tag{8.2.36}$$

式中：

n——参与平均的视电阻率个数。

3 当两次重复观测不能满足上述要求时，应增加重复观测次数。

4 当有个别读数误差过大时，可舍去，不参加平均值的计算，其个数必须小于总观测次数的1/3。

5 重复观测的所有结果，包括舍去的在内，均必须记在记录本内；舍去的数据，应在备注内注明舍去的原因。

8.2.37 检查观测应以电测深、电剖面的突变点、畸变段以及测区典型地段的测线为主要对象，辅以正常背景段作适量的检查。用改变接地电阻的方法改变供电电流强度25%以上来进行检查观测，当两次观测的相对误差大于±4%（或有位相对误差±5%），则应增加观测次数，取数规则按第8.2.36中的4执行。

8.2.38 电剖面从第一个观测点开始，每10点作一次检查观测，两次观测的相对误差不得大于±4%（有位相对误差±5%）。否则，要查明原因予以消除。

8.2.39 当无法用改变接地的办法改变电流25%以上作检查观测时，可用改变供电电压的办法进行，但此时必须检查供电线路是否漏电。

8.2.40 系统检查的工作量，应不小于总工作量的5%（不得少于3点）；如该比例数还不能肯定观测质量时，允许增大至30%；若仍然证明观测质量不合要求，则相应受检范围内的基本观测工作量应予报废。

8.2.41 系统检查观测应遵守下列规定：

1 系统检查工作应均匀分布在测区不同地段、不同日期和不同仪器的观测点上，重点选择在：

1）质量可疑的点或线段；

2）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。

2 系统检查观测人员应由技术负责或由他指派的操作熟练人员担当。原操作员不宜再对自己的观测结果进行系统检查观测。

3 系统检查观测一般使用参加基本观测的同一台仪器；当用其他仪器时，应测定仪器之间的一致性。检查工作开始前应全面检查仪器、电源、导线、极距记号等；检查观测时应尽量避免检查当日的测点及测线。

4 系统检查观测时，可以参考基本观测记录和野外草图，

以便现场肯定工作质量或者检查超过误差的原因；但在未取得系统检查观测数据之前，不允许参看基本观测结果。

5 系统检查观测结果应编制专门的统计表，必要时应绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线，并编入正式文字报告中，作为评价野外观测质量的依据。

6 系统检查观测应以一条完整的电测深曲线或一条剖面曲线为单元，不得从中挑选某些点或某部分线段进行检查。

8.2.42 电测深法野外观测的精度按基本观测与系统检查观测计算的均方相对误差来评定：

$$M = \pm\sqrt{0.5\left(\sum_{1}^{N} m_i^2\right)/n} \qquad (8.2.42\text{-}1)$$

$$m_i = \frac{2(\rho_s - \rho'_s)}{(\rho_s + \rho'_s)} \times 100\% \qquad (8.2.42\text{-}2)$$

式中：

m_i——每一检查观测和基本观测的相对误差（单个极距相对误差）；

n——参与统计的电极距个数；

ρ_s——基本观测数值，当一个极距上进行一次以上的观测时，是指各有效视电阻率的算术平均值；

ρ'_s——系统观测数值，在一次以上观测时，是指有效算术平均值。

8.2.43 单个电测深点的观测质量应符合下列要求：

1 单个极距的相对误差在±5%以上的电极距数，不应超过该电测深点电极距总数的30%，且不应连续在3个相邻的极距上出现；

2 单个极距的相对误差在±10%以上的电极距数，不应超过该电测深点电极距总数的10%；

3 按该电测深点全部电极距系统检查观测结果计算所得的均方相对误差应不超过±5%。

8.2.44 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，在评价质量时，允许把该段除外。

8.2.45 全区（或一个测区）电测深点的质量是否合格，应在对经过系统检查的每个部分分别评价的基础上进行。不符合下列要求之一者，全区（或一个测区）的电测深点都是不合格的：

1 不合格的电测深点，不应超过被系统检查电测深点总数的30%；

2 全区均方相对误差不应超过±5%，按全部被系统检查的电测深点所有电极距观测值单个相对误差来统计，统计时不得把不合格的电测深点除外。

当一个测区各电测深点所用最大极距相同时，全区观测精度可按各测深点均方相对误差 m_i 的均方根平均值 $\overline{M}$ 计算：

$$\overline{M} = \pm\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{N} m_i^2} \qquad (8.2.45)$$

式中：

m_i——单个电测深点的均方相对误差；

n——全区系统检查的电测深点总数。

8.2.46 电剖面野外观测的精度按基本观测与系统检查观测计算均方相对误差来评定：

$$M = \pm\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{1}^{N} m_i^2} \qquad (8.2.46)$$

式中：

m_i——单个点的相对误差；

n——被检查的点数。

8.2.47 一条电剖面的观测质量应符合下列要求：

1 个别点相对误差不得超过±15%；

2 相对误差大于5%的点，不得超过检查点总数的30%，

且不得连续在相邻的3个测点上出现；

3 整条剖面总的均方相对误差不超过±5%。

8.2.48 全区（或一个测区）经过系统检查的电剖面均方相对误差超过±5%，则全区（或一个测区）的电剖面质量是不合格的。

8.2.49 当全区（或一个测区）经过系统检查的电测深或电剖面分别不符合8.2.45或8.2.48的规定，应予作废。若全区系统检查符合质量要求，而部分点或剖面不符合要求时，应找出原因，采取相应措施补测。

8.2.50 岩土电阻率参数的测量点，应分布于测区内各种岩土的天然及人工露头上，对同一岩土的结构、风化、蚀变等不同情况应分别测定。常见岩土介质的电阻率参数见附录F（资料性附录）。

8.2.51 岩土电阻率参数的测定方法通常有：露头法、标本法、分析法（孔旁测深）和电测井。实际工作中，一般同时使用几种方法，将测定结果综合分析对比，选取适宜的岩土电阻率参数值。

8.2.52 接通电源前，应检查各线路是否连接正确，确认无误后再接上电源。拆线时应先断电源。

8.2.53 测站与跑极员必须严格遵守事先规定好的跑极、收线、漏电检查等信号。漏电检查超过规定时间，必须再次发出信号，不得任意延长检查时间。

8.2.54 保持导线、线架干燥；在潮湿地区工作，供电电源超过360V以上时，跑极工、操作员应使用绝缘保护用具。跑极工接通导线后，应离开电极1m；无穷远电极应设专人看管。

8.2.55 雷雨天应停止外业工作。

8.2.56 内业人员应及时对原始资料进行检查与验收。检查时，必须对记录本中的记录逐项逐页检查，重点核对计算数据及草图；检查中发现的问题，应通知外业台班长（操作员）及时纠正。凡不符合质量要求的外业资料应返工重测；对于缺少或漏记

的项目应立即追记；校对计算结果与原记录中计算数值的误差超过±1%者应予改正；校对检查者应签名负责。

8.2.57 原始记录有下列情况之一者应返工重测：

1 涂改或伪造的原始记录；

2 电测深曲线畸变点、未作检查观测的电剖面曲线的突变点，或虽作检查观测，但不符合 8.2.36 的规定；

3 漏电引起的曲线畸变，未作漏电检查；

4 点号、剖面号混淆不清；

5 用电子自动补偿仪观测，ΔU 值小于 0.3mV。

8.2.58 所有的原始记录本和其他原始资料，均应按各院归档要求进行整理和编录。

8.2.59 应根据任务要求和实际工作情况有选择性地绘制图件，要求尽量综合、突出重点、美观完整。一般不作定量解释时，可绘制若干定性图件作为正式成果图件；若已作定量解释时，除应绘制定量图件外，还可根据需要选绘少量对论证地质现象有用的定性图件作为成果图件。

8.2.60 常用的电探图件有：

1 说明整个工作情况和性质的图件：交通位置图，电探工作平面布置图，测区综合地层柱状图（或具有代表性的钻孔柱状图）；

2 原始曲线图件：地层电测深曲线图、电剖面曲线图；

3 定性解释图件：电测深曲线类型图，等视电阻率断面图，视电阻率剖面图，视电阻率剖面平面图，等视电阻率平面图，总纵向电导（S）平面图及剖面图（具有高阻基底的上覆层），总横向电阻（T）平面图及剖面图（简单 K 型曲线的前两层），中间层的纵向电导或横向电阻的平面图（无中间层参数时），电测深曲线极值点纵向坐标剖面图、平面图，联合三极测深的视比值参数图，偶极和微分的视比值参数图；

4 定量解释图件：地质—电性剖面图，地质—电性平面图

（岩层界线、断层等），探测目的层顶板高程等值线（等高线）平面图，某一地层等厚度图等。

8.2.61 电探工作平面布置图，按除有关地形、地质图的规定外，还应在图上标明各种电探方法的特殊符号，如参数点、十字测深点、环形测深点及电极排列方向；若同一测区已做综合物探，则应将各种物探方法成果综合到一张平面图上，图名相应改为物探工作平面布置图。

8.2.62 绘制电测深曲线类型平面图时，可在测点平面图上，紧靠测点右边并以测点为起始点，按适当比例缩小对数模数绘制完整实测曲线；也可以在图上用注明曲线类型符号的办法来划分类型区。但后者应在所划分的每一个类型区内绘制一条有代表性的完整测深曲线，模数不限。

绘制电测深曲线类型剖面图时，一般应与等视电阻率断面图采用同一坐标，并综合绘制在一张图上。

8.2.63 绘制视电阻率剖面图、平面图时，所选取的供电极距，要使图件能明显地反映所需要研究的地质对象。一般应先绘制等视电阻率断面图，在此基础上选择合适的电极距。

8.2.64 绘制视电阻率平面剖面图时，应符合下列要求：

1 平面位置的比例尺一般应与工作比例尺相同；

2 纵轴 ρ_s 值的比例尺要重点突出、异常鲜明，避免曲线过多的重叠和混淆不清；

3 同一测区纵轴 ρ_s 值的比例尺应尽量一致，当一张图上需要同时用两种以上不同的比例尺时，其中一种必须是基本的，其余放大或缩小比例部位必须加以说明；

4 图上应根据解释结果绘出异常范围。

8.2.65 绘制纵向电导（S）或横向电阻（T）的剖面图、平面图时，应使绘制图件所采用的参数是属同一电性标志层上的全部上覆地层或同一中间层的 S 或 T 值。

8.2.66 绘制电测深曲线极值点坐标平面图、剖面图时，必须注

意在同一张图上所取的各极值点必须反映同--电性层。

8.2.67 地质—电性剖面图是电探的主要成果图件之一，绘制时必须做到：

1 当地形起伏较大时，应按实际地形绘制地形断面，并沿地面绘出表层地质情况，同时应把沿剖面的坑 槽、钻孔及其他主要地物绘在图上。

2 图中所绘的每一个电性层和岩层应标出电阻率值，如同一电性层的电阻率剖面有变化，则应分段标出不同的数值。

3 当电性层和岩层一致时，应同时绘出地层岩性符号；当一个电性层包含几个地质层的综合反映时，可用综合符号，并在图例中加以说明。

8.2.68 绘制基岩等深线（标志层等深线）平面图时，应符合下列要求：

1 图上应标出每一个测深点和钻孔的位置，并在其旁边标出点号、高程、深度或厚度值；

2 图中所绘的等值线（等高线、等深线）的差值不得小于2倍定量解释的可能误差；

3 图上应绘出解释推断的岩层界线、断层线等；

4 当电性层顶板和某一地层顶板重合时，则应采用地层名称作为图名。

8.2.69 电探图件的图幅、图标、图线、图的方位、字位及图例符号等，应按DL/T 5156.5—2002的内容执行。

8.2.70 资料的解释推断，除应有可靠的原始观测资料外，还必须充分掌握测区的地质电性特征。在获得钻孔、参数资料的基础上，解释推断也应多次反复进行，不断对解释结果进行修正、补充。

8.2.71 解释过程中，必须充分考虑和区分各种干扰因素对观测结果的影响；当干扰影响过大而又无法消除或校正时，则不应做定量解释。

8.2.72 电测深曲线的解释一般按两个步骤进行：

1 定性解释：划分地电断面，确定电性参数，绘制各种定性图件，取得地电断面、地质体形态的定性资料；

2 定量解释：取得测区有关地质情况的定量资料，如埋深、规模、产状等。

8.2.73 电测深曲线定性解释时应综合考虑曲线及数值的变化：

1 电测深曲线的类型；

2 曲线尾支上升或下降角度及渐近线值；

3 特殊点（极值点、转折点 分离点等）的纵轴坐标值；

4 总纵向电导值、总横向电阻值；

5 各测深点同一极距的视电阻率值；

6 曲线的局部畸变。

对十字测深、环形测深、联合测深等还应分析同一测点上，电极沿不同方向排列所取得的电测深曲线的差异。

8.2.74 电测深曲线的定量解释，必须具备下列条件：

1 所有作定量解释的电测深曲线应符合下列条件：

1）曲线完整、电性标志层在足够多的电极距上有所反映；

2）曲线没有严重的畸变，或虽有畸变但不严重影响解释精度；

3）主要电性层在曲线上反映明显。

2 具有进行定量解释所必须的电参数资料。

3 已进行了定性解释推断工作，并取得了基本的地质电性概念。

8.2.75 电测深曲线的消差、圆滑与校正：

1 消差：当采用测量与供电电极距的比值为变数的装置施测时，电测深曲线脱节处，必须经过消差，以使整条曲线首尾相连。当脱节很小时，采用尾端转动消差法；当曲线畸变、脱节、不正常时，采用以小 MN 为准的平移消差法。消差方法应从测区已知电断面上选定，同一地电条件应采用同一消差办法。

2 圆滑：是对测深曲线中的个别突变点而言。只有在肯定了畸变原因以后，才允许在定量解释前根据需要和可能对曲线中的个别突变点进行圆滑，对畸变严重的电测深曲线不允许进行改变原有基本曲线特征的圆滑，也不宜作定量解释。

3 校正：指屏障界面影响的校正和地形校正。屏障界面的校正用相应的量板或模拟试验；地形校正目前主要是对二度地形用导电纸或量板来进行。

8.2.76 电测深曲线目前常用的定量解释方法有量板法、辅助量板法及各种简捷（经验）解释法（主要包括：切线法、回归分析法、曲线尾支渐近线法、分离点法、穆尔累计电阻率法、绝对电阻率反斜率法、微分法、数学解析法等）。

8.2.77 有条件时，应尽量使用电子计算机对曲线进行处理解释。同一地区、同一曲线类型的电测深点，应用多种解释方法进行比较。

8.2.78 用量板法解释时应符合下列要求：

1 解释三层或三层以上的曲线，宜选用三层或三层以上的量板；当不掌握电参数的情况下，不得只用二层量板及辅助量板逐层解释二层以上的曲线；

2 定量解释时各种坐标、理论曲线、辅助曲线及其参数、计算结果等，均应标注或描绘在电测深曲线上；

3 当理论曲线的中间层参数与实测曲线参数不一致时，解释结果应按等值原理换算。

8.2.79 当曲线比较复杂，不宜使用量板法逐层解释时，允许使用各种简捷（经验）法，但应注意各种解释方法的应用条件。

8.2.80 对电测深曲线的定量解释结果，应选择若干点作正演曲线或模拟试验与实测曲线对比，以检验采用参数及解释方法的正确性。

8.2.81 电剖面曲线的解释推断步骤如下：

1 肯定异常：分辨剖面曲线的变化是由地质异常还是干扰

或观测误差引起的。

2 定性解释：解释引起异常的地质因素，建立相应地质形态的定性概念。

3 定量解释：对地质体的规模、形态进行数量计算与描述。

8.2.82 电剖面曲线的解释推断一般采用下列方法：

1 对比（或推类）法：将实测曲线与已知资料（已知地质条件的实测曲线、理论曲线、模拟试验曲线）对比及各剖面曲线间的相似异常对比；

2 模拟试验：当地形、地质体的产状和地电断面比较复杂，又无理论曲线可做对比时，可用模拟试验的办法进行解释推断。

8.2.83 电剖面的解释应符合下列要求：

1 分析异常的可靠性，研究测线附近地形、地质条件及干扰因素与异常的关系，区分有用异常和干扰异常。一般要求电剖面曲线异常幅度值应大于允许观测值均方相对误差的3倍。

2 熟悉各种典型地质、地形条件下剖面曲线的异常特征，结合测区的地质、地形、干扰因素等对实测曲线进行解释推断。分析曲线上所有特征（异常幅度、正反交点、极大极小值、分离带及中间梯度的衔接点等），研究异常各部位与电极距、电极位置的关系。

3 对异常带（如断层破碎带）的推断，必须在各剖面曲线上有相似的特征，并且符合一般的地质规律。

4 当条件有利、定性解释确切时，可对异常作进一步的定量解释，但需要根据应用条件正确地使用计算公式。

8.2.84 高密度电阻率法的曲线解释方法：

1 统计处理法；

2 比值换算法；

3 滤波处理法；

4 正演模拟方法。

8.3 自然电场法

8.3.1 自然电场法可用于寻找河流、水库底部的渗漏或补给地点，发现岩溶地区的落水洞，研究抽水下降漏斗的影响半径等。其野外观测方法有电位法、梯度法。

8.3.2 自然电场法测区范围、测线方向、测网密度的选择，应符合本规定 8.2.5、8.2.9。一般点距应大于被探测对象埋深的一半，而小于埋深；至少应有 3～5 条剖面通过被探测地质体，并且每条剖面上应有不少于 3～5 个测点显示异常。

8.3.3 选择基点应符合下列要求：

1 通行方便、地形平坦；

2 接地良好，土壤湿润均匀，应尽量避开废石堆、干燥的河谷、沙滩、流水、剧烈切割地段；

3 不得选在强烈电化学活动性地段；

4 电场稳定、电位梯度平缓地段。

8.3.4 基点联测的方式应视测区实际情况而定，一般分基点离总基点近，可用直接联测法，较远时则用间接联测法；各基点远近不一时，可采用多边形联测法（梯度联测法）。

8.3.5 自然电场法的测量方式，一般宜采用电位测量，只有在小比例尺普查、测区中存在较大的游散电流及大地电流干扰或出于某种特殊目的（如对金属构件腐蚀程度的研究）时，才采用梯度测量。

8.3.6 当测区不大时，一般是将固定电极设置在一个固定的地点作为基点进行观测。观测过程中，应多次测定极差来进行极差校正。当测区范围较大时，导线敷设不宜过长，一般应采用多个分基点分区进行观测，然后再对各分基点进行化为同一零点电位的联系观测；联系观测的衔接处必须有 3～5 个重复测点。

8.3.7 自然电场法的测量电极必须使用不极化电极，对不极化电极的要求及使用规则应符合 8.1.15。为了使极化稳定，接地

时必须符合下列要求：

1　应事先在接地点挖好电极坑，坑内不得有碎石杂草，地表干燥时应提前在坑内浇水，当测点是岩石裸露时，应在岩石上垫以湿土，确保电极接地良好；

2　电极引线的裸露部分不得与土壤、杂草接触；

3　不得把不极化电极直接埋在流水、污物、废石堆中；

4　电极周围不应有人或金属物体干扰；

5　应避免不极化电极暴晒、雨淋，应尽量减少两极温差；

6　冬季工作时，应把电极埋在冻土层以下的土壤中；

7　当接地点受自然条件限制，需要移动电极的布设方向时，其移动方向应垂直于测线，其移动距离应不大于点距的1/5。

8.3.8　电位法观测时应符合下列要求：

1　不极化电极的极差要稳定，在开工前不得大于±2mV，以后当每测完一条剖面，流动电极回到测站或基点时，应测量极差，保证极差不大于±5mV，否则应重测不符合要求的点；

2　野外剖面观测中，在返回时每隔5～10个点进行检查观测，重点应放在曲线的异常段、突变点、可疑点上。

8.3.9　梯度法观测时应符合下列要求：

1　梯度法观测一般宜采用逐点搬站的方法。在一个测区中，仪器上M端始终接大号测点上的电极，N端始终接小号测点上的电极，不得任意调换。

2　每一剖面上测完10～20个测点时，应检查一次极差，并对各测点进行极差改正。对极差的具体要求按8.3.8中的1规定执行。

3　梯度观测的记录点为$\overline{MN}$的中点，$\overline{MN}$等于点距。若拟用梯度资料换算成电位资料，则在野外施测中，需要对两个电极交替跑极，以免极差积累。但一般情况下，不得将梯度换算成电位成果。

8.3.10　自然电场法的野外记录各项基本要求与电阻率法的相

同，但必须严格注意电位的正负极性。

8.3.11 在曲线所有突变点上都必须进行重复观测，并尽可能查明突变原因。当只有一个点发现突变时，必须在该点前后加密测点进行补充观测，并重测相邻各点。在极差稳定时，单个重复读数误差不应超过2mV。

8.3.12 衡量自然电位的观测精度应以系统检查观测为主，返程检查观测为辅，分别进行平均绝对误差的计算。系统检查观测工作量一般应占总工作量的5%～30%。

精度要求：平均绝对误差不超过5mV，单个点的绝对误差不超过平均绝对误差的3倍。即：

$$\delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} | \Delta U_i - \Delta U'_i | \qquad (8.3.12)$$

式中：

δ——平均绝对误差；

ΔU_i——第 i 点基本观测数值；

$\Delta U'_i$——第 i 点系统检查观测数值；

n——系统检查观测点数。

8.3.13 自然电场法工作平面布置图应尽量与其他物探方法的同类图件合并。图上应绘出所有基点及测线，并标明线号，每隔5～10点注明点号。

8.3.14 自然电场法的基本图件是自然电位剖面图、自然电位剖面平面图和等自然电位平面图。在绘制图件时，通常把解释推断成果标注在图上，作为正式成果图件。

8.3.15 自然电位剖面图的横坐标表示测点距离，其比例应尽量与地质图一致，纵坐标表示电位，其比例尺应根据电位强弱和观测精度来决定。

8.3.16 自然电位剖面图必须绘出所有观测值——基本观测值、重复观测值、检查观测值。各种观测值之间应用不同的符号或颜色区别。

8.3.17 自然电位剖面平面图中，剖面间距应与平面布置图的比例一致，图上各电位剖面图纵向坐标可根据实际选择，原则是图面简洁、线条稀密适中、异常突出。

8.3.18 等自然电位平面图的等值线间的间距可用等差和等比两种。为使等值线不致过密或过稀，等值线间距可根据电位变化幅度选择。

8.3.19 当用梯度法进行观测时，可用电位梯度图代替电位图。

8.4 充 电 法

8.4.1 充电法可用于测定低阻地质体的地下分布形态及地下水流速、流向，追索岩溶发育区的地下暗河，研究滑坡等问题。野外观测方法有：电位法、梯度法、追索等位线法。

8.4.2 电位法和梯度法的工作布置应符合下列要求：

1 以充电点为中心，垂直充电体走向平行布置测线；线距取决于充电体沿走向的长度，一般宜为 20m～50m；点距则应小于充电体顶端埋深的一半。其中应有 3 条以上测线通过充电体，测线上至少应有 3～5 点控制异常。

2 要求供电电极（A）与充电体接触良好；无穷远极（B）的接地点至测区中心的距离应不小于充电体埋深的 10 倍。

3 测量电极中的固定极（N），应布设在距测区中心 2 倍充电体埋深的位置上，并与无穷远电极（B）的方向相反，亦可布设在电位极大值点附近，但应与充电点（A）保持足够的距离。

4 当测量电极接地位置遇障碍时，M、N 可同时向同侧（梯度）或其中之一向一侧（电位）移动点距的 1/5。

8.4.3 追索等位线法的工作布置应符合下列要求：

1 以充电点为中心，相间不大于 45°夹角辐射状布置测线，距充电点由近及远分别以一定的时间间隔追索等电位线。

2 充电点（A）与无穷远供电电极（B）的布置同 8.4.2。固定测量电极（N）置于某一测线且距充电点一定距离（大于充

电体埋藏深度）的位置上，在相邻测线上移动M极，追索与N极的等电位点，连接各点而成等电位线。

8.4.4 充电点（A）应设置在井中待测含水层的中部，用绝缘强度大于5MΩ的导线一端连接一铅电极（长约20cm），放在充电点（A）作为供电电极。另一供电极（B）置于估计水流的下游方向距井口中心（O）点的距离为（10～15）$\overline{OA}$处。

8.4.5 以充电点为中心，在地面上布置夹角为不大于45°的辐射状测线，并在测线的一端打上木桩，编上测线号，要求各测线的方位误差不得大于±5°。

8.4.6 测量电极（N）到充电井口中心的距离应等于或大于含水层的埋深（当井内有较长金属导管时，应将该距离增加2～3倍），并固定在估计水流方向的上游某一测线上，另一测量电极（M）在其他相邻测线上移动，寻找等电位点。

8.4.7 充电体盐化前必须观测正常场的等电位线，充电体盐化浓度应保持恒定，盐晕的电阻必须小于含水层电阻率的1/50以上。

8.4.8 记录开始盐化的时间，盐化后应每隔一定时间（一般2h～3h，水流缓慢区为5h～6h），追索各测线与固定电极（N）电位相等的点；并在专用记录本上记录每个等电位点观测的时间和距离。其中应符合下列要求：

1 观测等位线的时间间隔不得少于3个，并分别求其流速，取平均值；

2 当观测中发现了位移最大的等电位点后，应在两侧加密测线进行观测；

3 投盐后，首次测定的等位线异常，若向内位移，应将固定测量电极（N）移到与地下水流向相反的方向上，重新观测；

4 若观测等位线时间较长或地下水流速大，先后测量结果会出现较大误差，因此在测完一圈的最后一点时，应对起始点进行复测，将其闭合差按顺序及时间比例进行误差分配。

8.4.9 在进行电位和梯度法观测时，供电极（A）应放置在充电体的中部，充电体应恒为正极性，工作过程中应保持供电电流稳定。在进行电位法观测时，若电流不稳，观测结果应以 $\Delta U/I$ 的比值来表示；在进行梯度法观测时，必须严格保持$\overline{MN}$之间的顺序和距离不变，观测结果应以 $\Delta U/(I\times\overline{MN})$ 的比值表示。

8.4.10 电位和梯度电位差必须单独进行测量，不得采用换算值。

8.4.11 在低阻地质体上面，应加密测点，以求出电位的极大值或梯度零值点及梯度极大值点的位置。

8.4.12 对于梯度的零值点、极大值点和电位的极大值点、极小值点及曲线上的突变点、转折点、可疑点都应进行重复观测和漏电检查。

8.4.13 重复观测应满足下式：

$$\frac{2[(\Delta U/I)_{max}-(\Delta U/I)_{min}]}{[(\Delta U/I)_{max}+(\Delta U/I)_{min}]}\times 100\% \leqslant \sqrt{2n}\times 5\% \qquad (8.4.13)$$

式中：

n——参与平均的 $\Delta U/I$ 值个数。

当用梯度法观测时，式中的 $\Delta U/I$ 值即指 $\Delta U/(I\times\overline{MN})$。

8.4.14 野外工作质量检查与精度要求：

1 用电位和梯度观测时，其均方相对误差不得大于±5%，并按下式计算：

$$M=\pm\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}(a/b)^2} \qquad (8.4.14\text{-}1)$$

$$a=(\Delta U/I)-(\Delta U/I)' \qquad (8.4.14\text{-}2)$$

$$b=0.5[(\Delta U/I)+(\Delta U/I)'] \qquad (8.4.14\text{-}3)$$

式中：

n——参加统计的检查点数。

2 当采用直接追索等位线法时，其等位线位移误差不得超

过 1m。

8.4.15 野外观测结果应记入专用的记录本内，并绘制相应的草图。对记录的具体要求应符合 8.2.31。

8.4.16 用充电法求地下水流向、流速时，根据观测资料可绘制四种图件：

1 等位线图：起始等位圈的半径 R（充电点 A 在地面的投影 0 到各方位等位点连线的距离）和等位圈增量 ΔR 可用不同的比例尺，ΔR 的比例尺可适当放大，以清楚反映等位圈变化特征而又不致使图幅过大为宜。

2 $\Delta R = f(a)$ 曲线图：以射线方位角 a 为横坐标，盐化后射线上等位圈增量 ΔR（以起始等位圈起算）为纵坐标作曲线，极大值所对应的横坐标值为地下水流向（方位），纵坐标值为计算地下水流速的等位圈增量。

3 $\Delta R = f(t)$ 曲线图：以观测时间间隔 Δt 为横坐标，盐化后等位圈增量为纵坐标，作曲线图。该图的作用有二：第一，当地下水流速较大或同一圈等位线前后观测时间较长时，需要进行等位圈闭合差分配，必须绘制各方位射线上的 $\Delta R = f(t)$ 曲线图，来获得各方位射线上同一时间的等位圈增量 ΔR，再绘制 $\Delta R = f(a)$ 曲线图，求取地下水流速、流向。第二，选取等位圈增量最大的方位射线来绘制 $\Delta R = f(t)$ 曲线图，根据曲线图上渐近线所对应的纵坐标值来计算地下水流速。

4 矢量图：将测得的一定时间内等位点在各方位射线上向外伸长距离（取向外伸长为正，向内收缩为负，并对同一射线相对方向相减），在平面图上以井口为中心点，用同一比例线段标在相应的方位射线上，按矢量加法求总位移矢量。总位移矢量所指的方向为地下水流向。位移距离被间隔时间的 2 倍（或 3 倍）去除即为流速。适用于测区地下水流向不清楚，固定测量电极不能准确地设置在地下水流向的上游方向上，等位圈增大方向较乱等情况。

8.4.17 地下水流向、流速的确定：

1 流向：等位线移动速度最大的方向。

2 流速：在地下水流向方向上：

按等位圈位移增量：

$$v = \Delta R/\Delta t \qquad (8.4.17\text{-}1)$$

按等位圈中心点位移：

$$v = 2\Delta S/\Delta t \qquad (8.4.17\text{-}2)$$

矢量法八位观测时：

$$v = 0.5L/\Delta t \qquad (8.4.17\text{-}3)$$

矢量法十二方位观测时：

$$v = L/(3\Delta t) \qquad (8.4.17\text{-}4)$$

式中：

Δt——与 ΔR、ΔS、L 相对应的观测时间间隔；

ΔR——相邻等位线圈位移的增量；

ΔS——异常等位圈中心 O' 与正常等位圈中心 O 间距离；

L——总位移的矢量长度。

8.4.18 在较陡的斜坡上进行观测时，由于 ΔR 是沿斜坡测量的，所测得地下水流必须进行如下改正：

$$v' = v/\cos\beta \qquad (8.4.18)$$

式中：

v——按斜坡地形算得的地下水流速；

v'——地形改正后的地下水流速；

β——流向方向等位圈处的地形视倾角。

8.4.19 充电法圈定低阻体形态时，对资料的定性解释应分析下列两点：

1 确定异常，正确区分正常场和异常场；分析等位线的分布密度或电位、梯度剖面曲线的变化特征及等位线长、短轴之比；电位极大值点或梯度零值点的位置与充电平面的关系等；

2 应分析表层的非均匀性以及地形、岩层产状、屏蔽体等

可能造成的影响。

8.4.20 用充电法圈定低阻地质体形态时，一般作电位曲线剖面图（或电位梯度曲线剖面图）、剖面曲线平面图、等电位平面图等。绘图要求应符合 8.2.63 和 8.2.64。

8.4.21 用充电法圈定低阻地质体形态，主要根据剖面平面图的异常带来确定——在等电位平面图上的等值线密集处，接近于低阻地质体的边界线。当覆盖层较厚时，无法确定边界线，只能大致展示其形状。根据不同方向电位平面曲线的特征和形状，可以推断其倾向；只有在简单规则的低阻地质体上，才有可能进行埋藏深度、产状的计算。

8.5 激发极化法

8.5.1 激化极化法常用于水文地质调查中，划分岩性界线，寻找含水构造、岩溶发育带及断层破碎带等。

8.5.2 用激发极化法进行勘探时，通常同时进行电阻率法测量。因此，激发极化法的测网选择、装置形式的采用、导线的敷设以及电极的接地等基本要求，应符合 8.1.2 规定并且还应符合以下几点：

1 为了获得尽可能大的二次场电位差，一般采用$\overline{MN}/\overline{AB}=1/3\sim1/5$ 的等比装置；

2 对称四极电测深相邻电极距比值，一般取得较小，以 1.2 为宜，最大供电电极距$\overline{AB}/2$ 一般等于勘探深度的 1.5 倍即可；

3 必须使供电导线与测量导线分开一定的距离（宜相距 1m～2m）；

4 必须有大容量的供电电源，保证不少于 30s 的供电时间，有足够大的供电电流强度且输出稳定。

8.5.3 提高激发极化供电电流，可采用以下措施：

1 减少供电回路的总电阻，包括电池并联减少内阻或采用

电阻较小的导线；

2 提高供电电压（除应采取相应的安全措施外，最高电压不宜超过 500V）；

3 改善接地条件，减少电极的接地电阻，如采用电极组、加大电极埋设深度、浇灌盐水等。

8.5.4 激发极化测量电极必须使用不极化电极，使用要求及规则应符合 8.3.7。

8.5.5 野外观测过程中，若产生干扰现象，应弄清在时间上、分布地段和方向上的规律与产生的原因，并及时采取措施，消除或减少干扰影响。

8.5.6 使用直读式激发极化仪测量时，二次场电位差不应小于 1mV；经采取措施后，仍无法达到时，允许个别读数不小于 0.5mV，但不得在相邻 3 个极距上连续出现。

8.5.7 在有干扰的情况下，为了提高二次场电位差 ΔU_2 的观测精度，保证二次场电位差 ΔU_2 大于干扰电位差 ΔU_g10 倍以上，为此，供电电流必须满足下式：

$$I_{min} \geqslant (10K\Delta U_g)/(\rho_s \eta_s) \qquad (8.5.7)$$

式中：

ρ_s、η_s——分别为同一供电电极距所测得的视电阻率与视极化率；

K——装置系数。

8.5.8 激发极化法野外观测中，一般应进行下列工作：

1 MN 电极的极化电位差应在测程最灵敏档进行补偿；表头调零工作必须在规定的时间内完成。

2 每次观测完毕，应用最灵敏的测程观察二次场是否逐渐衰减接近到零，否则说明有干扰存在，应进行重复观测。

8.5.9 野外工作中漏电检查的要求与方法应符合 8.2.32 及 8.2.33。

8.5.10 对观测记录的要求应符合 8.2.29 及 8.2.31。

8.5.11 每一极距测量完毕，记录员应及时绘出视电阻率 ρ_s、视极化率 η_s、视激发比 J_s、视衰减度 D_s 和视半衰 $S_{0.5s}$等参数值曲线草图。曲线图用模数为 6.25cm 的对数作横坐标表示 $\overline{AB}/2$，纵坐标除 ρ_s 曲线用同模对数表示外，其余均选用适当比例尺的算术坐标。

8.5.12 凡出现下列情况之一者，必须进行重复观测和检查观测：

1 二次场电位差 ΔU_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 值大于或接近于视极化率 η_s 值，视衰减度 D_s 值大于或接近于 100%；

4 在视极化率 η_s、视激发比 J_s、视半衰 $S_{0.5s}$的测深曲线上的重要曲线段出现锯齿状异常时，经检查确认观测无误后，应在这一段加密极距进行观测。

重复观测或检查观测合格后，两者的算术平均值应作为该极距的最后观测结果。

8.5.13 重复观测与检查观测数值的取舍应符合下列要求：

1 参与算术平均值计算的一组视极化率 η_s 值中，最大值与最小值之间的相对误差不得大于 $\sqrt{2n}\times 7\%$；参与算术平均值计算的一组视激发比 J_s 值中，最大值与最小值之间相对误差不得大于 $\sqrt{2n}\times 10\%$。其中 n 是参与平均的观测次数。

2 误差过大的观测数据可以舍去，但舍去的个数不得超过观测数据的 1/5；当出现相差过大的数据时，说明观测本身误差太大或仪器、电源、线路等方面有问题，应停止观测，经检查处理后才能继续工作。

8.5.14 检查观测与系统检查观测的要求应符合 8.2.37～8.2.41。

8.5.15 野外观测精度按基本观测与系统检查观测结果计算的均

方相对误差 M 来衡量：

$$M = \pm\sqrt{0.5n\sum_{i=1}^{n} m_i^2} \qquad (8.5.15\text{-}1)$$

$$m_i = 2(\eta_s - \eta'_s)/(\eta_s + \eta'_s) \qquad (8.5.15\text{-}2)$$

式中：

m_i——基本观测数据 η_s（或 J_s、D_s、$S_{0.5s}$）与系统检查观测数据 η'_s（或 J'_s、D'_s、S'_s）的相对误差；如有重复观测是指同一极距有效读数的算术平均值；

n——参与统计的电极距数。

对观测精度要求如下：

1 单个测深点的精度必须满足下列要求：

$M_{\eta_s} \leqslant 7\%$；$M_{J_s} \leqslant 10\%$；$M_{D_s} \leqslant 10\%$；$M_{S_{0.5s}} \leqslant 10\%$

2 当不符合上述精度要求的点数超过系统检查总点数的1/3时，则被检查的测区或地段的观测质量是不合格的，应予以作废或重测。如有干扰等客观原因，再次重测有困难时，应补测有重要意义的异常区，找出一定的规律后，可作为参考虑料提交。

注：式（8.5.15-2）中 η_s 可用 J_s、D_s、$S_{0.5s}$替代分别计算各自式中 m_i 值。

8.5.16 技术保安应符合 8.2.52～8.2.55。

8.5.17 原始资料的检查验收，记录本的整理与编录应符合 8.2.56～8.2.58 的要求。

8.5.18 激发极化绘制的图件一般有：工作平面布置图，ρ_s、η_s、J_s、D_s、$S_{0.5s}$等值线断面图与平面图，原始曲线图，测深曲线类型图，含水层分布平面图与含水层埋藏深度图等。各种图件应根据任务要求、测区地电特征和成果报告的需要有选择性地绘制。

8.5.19 所有图件的绘制方法均与 8.2.61～8.2.69 的要求相同或相似。ρ_s、η_s、J_s、D_s、$S_{0.5s}$等值线断面图的横坐标用算术比

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来确定，等值线的值一般用等差级数表示。绘制 ρ_s、η_s、J_s、D_s、$S_{0.5s}$等值线平面图时，应选择反映含水层构造异常特征最清楚的极距来绘制。

8.5.20 由于所引伸的表征二次场的电参数（η_s、J_s、D_s、$S_{0.5s}$）与含水岩层的孔隙率、温度、粒度、黏土含量、矿物成分和地下水的离子浓度等因素有关，但也受金属管道、金属矿物及炭化岩层的影响，故在分析解释资料时，应考虑各种干扰因素。

8.5.21 激发极化法找水解释中，要注意区分异常值和背景值。

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

异常值：异常幅度大于背景值的3倍允许均方相对误差，并连续在2个以上极距出现才能看作异常；但也不要漏掉单个极距上出现的薄层含水异常。

8.6 甚低频电磁法

8.6.1 甚低频电磁法可应用于空中、地面、坑道、井中，可以解决以下问题：

1 对磁性参数的研究方面：主要用于探测浅层良导体、含水断层破碎带、具有电性差异的岩层接触带、含水岩溶发育带，确定地下金属管道、地下电缆的位置等；

2 对电性参数的研究方面：主要用于具有不同电阻率岩石进行填图寻找高阻矿脉以及部分充水溶洞或干溶洞。

8.6.2 测网的选择：

1 测线方向的选择：

1）测定磁场分量参数时，测线应布置在一次场的方向上，且垂直于地质体的走向；

2）测定电场分量参数时，测线应布置在场源的方向上，

并尽量垂直于地质体走向。

2 至少应有3条测线通过被探测地质体，测线长度的确定要以反映异常完整并以一定的背景相衬托为原则。

3 点距一般为5m、10m、20m，电极距$\overline{MN}$一般要等于点距，异常两侧要加密测点。

8.6.3 甚低频法对电台的选择：

1 作磁场水平分量H_y、磁场垂直分量H_z、磁场极化椭圆倾角D_ϕ参数测量时，甚低频发射电台方向与被探测地质体走向大体一致，两方向之间夹角不大于45°；

2 作电场水平分量E_x参数测量时，要求所选择的发射台方向与被测地质体的走向大体垂直，两方向之间夹角不得大于45°；

3 同一地区应使用同一发射台，以免引起等值线图产生畸变，同时还应将发射台的方向标在图上。

8.6.4 外业生产时间的选择：

1 场强相对稳定的时间是甚低频电磁法测量的最佳工作时间，一般系指8点至17点。

2 外业生产应避开电台休息时间：

1）NDT台（日本），每星期五上午休息；

2）NMC台（澳大利亚），每星期一上午休息。

8.6.5 甚低频电磁仪的使用要求：

1 仪器电源指标应达到红线以上（大于6.5V），否则应更换电池；

2 测程（增益）之间一致性较好，相邻测程读数相对误差应小于或等于5%；

3 场强计机械零点可调，偏差小于或等于±1格；

4 倾角计可以满偏、转动灵活；

5 接通电极后，电场读数能随极距的改变变化；

6 电极射随器密封防水性良好；

7 仪器每使用半年，要对各项技术指标进行测试，并应符合仪器出厂时各项技术指标规定。

8.6.6 标准剖面及日变观测应按下列要求进行测试：

1 测区正式工作前，首先应选择无异常干扰的正常场地段做一条标准剖面，测定正常场的水平分量 H_O；

2 在甚低频场不稳定的地区，应进行一定数量的日变观测，以便对原始观测值进行校正。

8.6.7 在测量极化随圆倾角时，应将磁性天线对准测线方向，然后在测线方向的垂直平面内取极化椭圆倾角读数。

8.6.8 作倾角法测量时，为了便于对原始资料作滤波处理，应由南到北、由西到东进行编录，倾向南、西读数为正，倾向北、东读数为负。

8.6.9 同一测线上的电、磁参数测量要分别进行，一般应先测磁场水平分量 E_y、电场水平分量 E_x，后测磁场垂直分量 H_z、极化椭圆倾角 D_ϕ。

8.6.10 甚低频电磁法野外观测应符合以下要求：

1 为了保证读数稳定，必须选择增益档，使表头读数位于50～100 格范围内（对国产 DDS-Ⅰ、Ⅱ型而言）；

2 为了保证电场水平分量读数不受垂直分量的影响，各测点间的电极排列方位角必须保持一致，电极接地应良好，仪器高度应一致；

3 在测量结果中应标明剖面方向，以便解释时了解地质体的位置；

4 对曲线的异常段、突变点、可疑点等均应进行重复观测。

8.6.11 野外观测质量是通过系统检查来评定的，系统检查工作量应均匀分布在整个测区，对观测困难与异常地段应作重点检查。系统检查观测工作量不少于基本观测工作量总数的 10%，一般不应少于 15 个测定。

8.6.12 被测参数 H_y、H_z、E_x 的野外观测精度按基本观测与

系统检查观测结果的平均相对误差δ来评定：

$$\delta = (2/n) \times \sum_{i=1}^{n} | (A_i - A'_i)/(A_i + A'_i) | \times 100\% \tag{8.6.12}$$

式中：

A_i——第 i 点的基本观测值；

A'_i——第 i 点的检查观测值；

n——被检查的点数。

对观测精度的具体要求如下：

$$\delta_{(Hy)} \leqslant 5\%；\ \delta_{Hz} \leqslant 5\%；\ \delta_{(Ex/Hy)} \leqslant 10\%$$

8.6.13 被测参数 D_ϕ 的野外观测精度是以基本观测与系统检查观测结果的平均绝对误差 ΔD_ϕ 来评定的：

$$\Delta D_\phi = \pm \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{n} | D_{\phi i} - D'_{\phi i} | \tag{8.6.13}$$

式中：

$D_{\phi i}$——第 i 点的基本观测值；

$D'_{\phi i}$——第 i 点的检查观测值；

n——被检查的点数。

对观测精度的具体要求如下：

$$\Delta D_\phi \leqslant \pm 1^\circ$$

8.6.14 甚低频电磁法的观测精度，除与仪器本身的精度、操作员的熟悉程度有关外，还与测区一次场的强弱及其稳定性、邻近电台的干扰以及雷电干扰、定点定向误差等诸多因素有关。因此，在干扰因素多、观测条件困难的测区进行精度评价时，其观测精度可适当放宽。

8.6.15 对没有标定出场强单位，而是以格值为单位的相对测量仪器，资料整理应将野外观测所得的参数 H_y、H_z 的原始数据换算成以百分比表示的相对异常：

1 磁场水平分量百分比异常用（H_y/H_O）%表示；

2 磁场垂直分量百分比异常用（H_z/H_y）%表示。

8.6.16 二次场相位角 φ 的计算：

1 根据观测值 $H_z/H_y=Z$ 和 D_ϕ 来代入下式：

$$\cos\varphi=0.5\ (\ (1/Y)\ -Z)\ \mathrm{tg}2D_\phi \qquad (8.6.16)$$

2 从相位计算诺模图上直接查取。

8.6.17 甚低频视电阻率 ρ_s 计算：

$$\rho_s = K(N_E/N_H)^2 \qquad (8.6.17\text{-}1)$$

$$K = 1.8\times10^{10}\times(h_e/\overline{MN})^2/f \qquad (8.6.17\text{-}2)$$

式中：

f——所选电台工作频率，Hz；

h_e——磁性天线的有效高度，m；

$\overline{MN}$——测量电场水平分量 E_x 时的 MN 电极间距，m；

N_E——测量电场水平分量 E_x 时的表头读数；

N_H——测量磁场水平分量 H_y 时的表头读数。

8.6.18 极化椭圆倾角资料处理时，应做到以下几点：

1 当存在由于发射频率造成的地质噪声及邻近较大地质体或均匀斜坡地形等所造成的区域背景干扰时，在资料解释前应对原始数据进行一维数字滤波予以消除，并求取剩余倾角值。

2 当地形影响较大时，需要作地形校正（对于二度体地形剖面校正，可用该剖面上的磁参数观测值减去相应的计算异常值）。

3 当存在浅层非均匀性（地下电缆、金属管线）干扰时，剖面曲线上可能出现多个零交点，若采用弗雷泽（Fraser）一维数字滤波虽然可以区分出真零交点，但不能确定异常的性质。此时，应采用逆概率法，消除干扰，发现异常。

8.6.19 采用弗雷泽滤波处理实测倾角资料时，宜按表 8.6.19

所列项目进行计算：

表 8.6.19 倾角计算表

测定号	实测倾角	定正负号并计算上下两数之和	交错计算一次差分

8.6.20 当 E_x 和 H_y 使用不同的衰减档进行测量时，必须换算到同一档后才能进行计算。如用 DDS-Ⅰ、Ⅱ型仪器时，各档数据应乘以倍数，如表 8.6.20（表中所列是换算到第六档的例子）所示：

表 8.6.20 增益档换算表

档程	1	2	3	4	5	6
乘上倍数	×32	×16	×8	×4	×2	×1

8.6.21 甚低频电磁法一般应绘制下列图件：

1 工作平面布置图及解释推断综合成果平面图；

2 磁场水平分量 H_y、电场水平分量 E_x、视电阻率 ρ_s 及 H_y/H_0、H_z/H_y、φ 等参数的剖面图和倾角滤波结果 F、剩余倾角剖面图；

3 弗雷泽倾角滤波结果 F 平面等值线图；

4 D_ϕ、F、ρ_s 剖面平面图。

8.6.22 资料解释中某些理论和经验公式的应用：

1 最大探测深度的估算：

$$H_{max}=3.29\times10^{-2}\times\sqrt{\rho\times\lambda} \qquad (8.6.22\text{-}1)$$

$$\lambda=c/f=30\times10^{7}/f \qquad (8.6.22\text{-}2)$$

式中：

λ——波长，m；

f——电台工作频率，Hz；

ρ——岩层电阻率，Ω·m。

甚低频电磁法的探测深度受集肤效应的限制，随着频率的增加而降低、ρ_1/ρ_2 比值的加大而增大。

注：此公式适用于甚低频波段下，电阻率 $\rho<10^4\Omega\cdot m$ 的地层区。

2 求地质体埋藏深度的简单经验公式：

对某些地质体或矿脉，可以一级近似地作为一种规则几何形体，如球、圆柱体、板状体等；在此前提下可采用一些正演和反演所积累的简单算法来解释。

1）球体：

球心的埋深 H 近似为：

$$H=\Delta X \tag{8.6.22-3}$$

式中：

ΔX——极化椭圆倾角曲线最大值和最小值之间的水平距离。

球的半径 R 近似为：

$$R=1.3H\sqrt[3]{\tan^{-1}D_{\phi max}} \tag{8.6.22-4}$$

2）细长水平圆柱体：

圆柱体中心埋深 H 近似为：

$$H=0.86\Delta X \tag{8.6.22-5}$$

圆柱体半径 R 近似为：

$$R=1.22H\sqrt[3]{\tan^{-1}D_{\phi max}} \tag{8.6.22-6}$$

3）陡倾薄板或半平面体埋深 H 近似为：

$$H=0.5\Delta X \tag{8.6.22-7}$$

8.6.23 资料的定性解释与推断：

1 极化椭圆倾角 D_ϕ 剖面曲线的解释：

一般情况下，倾角剖面曲线的零交点的横坐标即为导体的位置。当有干扰或地下同时存有多个导体时，其交点不仅不对应导体的位置，而且还出现假零交点。

为了识别真假零交点，解释中应做到以下两点：

1）利用弗雷泽一维数字滤波，将拐点或交点变成峰值，

该峰值对应异常体；

2）利用极化椭圆倾角剖面曲线本身的规律确定导体的位置，倾角指向与异常地质位置一致（DDS-Ⅰ、Ⅱ型）。

2　磁场水平分量 H_y 剖面曲线及磁场垂直分量 H_z 剖面曲线的解释：

1）H_y 剖面曲线上的极大值和 H_z 剖面曲线上的极小值，且两边出现双蜂（其幅度取决于介质的导电率比），它们所对应的横坐标即为低阻体的位置或高、低不同电阻率岩层接触带；

2）当 H_y 曲线上出现不太大的双峰值，而 H_z 曲线上只有一个不大的峰值时，它们所对应的横坐标应为高阻体的位置。

3　电场水平分量 E_x 剖面曲线的解释：

E_x 剖面曲线上，极小值所对应的横坐标即为低阻体的位置。而极大值所对应的横坐标应为高阻体的位置。

4　视电阻率 ρ_s 剖面曲线的解释应符合 8.2.81～8.2.83。

8.6.24　资料的定量解释与推断：

甚低频电磁法二层曲线的解释，通常用量板法、图解计算法和解析法。采用定量解释方法可求取覆盖层的宽度。

9 地震勘探

9.1 浅层折射法

9.1.1 折射波法应用的基本条件：

1 被探测界面必须是波速界面。

2 被探测界面下部介质的波速必须大于上覆介质的波速。

3 被探测界面以上的覆盖介质中不存在高速屏蔽层（即上覆介质中某一层的波速大于所有下伏介质的波速）；虽存在高速层但其厚度不大于或被探测界面与上覆介质界面的关系为角度不整合；

4 被探测界面的视倾角必须小于 $90°-i$（i 为折射临界角）。

9.1.2 初至折射波法的应用条件：

1 被探测界面相对稳定，起伏不很大，有一定的延续性；

2 被探测界面的上覆介质与下覆介质的相对波速差不小于25%；

3 被探测层有一定的厚度；

4 地表地形较为平坦，起伏不剧烈；

5 如存在高速屏蔽层，则其厚度应远小于入射纵波的波长。

9.1.3 折射波法所解决的地质问题：

1 确定基岩埋藏深度和起伏形态；

2 探测第四系松散砂砾石层中潜水面深度；

3 追索埋藏的深槽和古河床；

4 研究基岩风化层的厚度；

5 探测断层的平面位置，查明断距及破碎带宽度；

6 了解滑坡体滑动面的埋深和形态。

9.1.4 地震仪及辅助设备应以工程为单位进行以下几项检查：

1 野外施测开始前的准备阶段和结束后各进行一次全面系统的检查；

2 每个工作日，在开工前和收工后各进行一次日检查。

9.1.5 野外施测前和结束后检查的内容与要求：

1 指标性检查，必须提交合格记录：

1）放大器及备用放大器噪声检查；

2）放大器及备用放大器失真检查；

3）放大器及备用放大器一致性检查（相位一致性与振幅一致性）；

4）放大器及备用放大器道间感应检查；

5）各滤波档的滤波特性曲线检查；

6）50Hz 陷波特性检查；

7）地震道一致性检查；

8）地震道道间感应检查；

9）触发延时检查；

10）记时档误差、延时误差和扫描一致性检查；

11）打印机检查；

12）检波器及备用检波器性能指标检查（灵敏度、自然频率、阻尼）；

13）检波器及备用检波器一致性检查；

14）检波器与检波电缆绝缘检查（绝缘电阻应大于1MΩ）。

2 一般功能性检查：

1）仪器各开关、按钮、旋钮操作是否轻便、灵活，功能正常；

2）仪器各部分插头、接头是否完好；

3）检波器和检波电缆的引线、抽头导通是否正常。

9.1.6 当进行道一致性检查时，各地震道应满足下列要求：

1 各记录道波形相似；

2 各记录道间振幅差不大于15%；

3 各记录道相差不大于0.0015s。

9.1.7 地震道道间感应检查，各道间相互影响不得超过5%。

9.1.8 仪器其他性能应符合下列要求：

1 当放大器增益最大时，放大器的噪声在记录上振幅应不大于1mm（一次触发）。

2 当放大器增益最大，输入标准正弦波，在输出记录上应看不到畸变。

3 同一放大档和滤波档，输入同一信号，各放大器的输出波形应一致，相位差不得超过0.001s，振幅差不得超过10%。

4 放大器道间感应要求：当输入道的输出信号在记录上振幅为2cm时，无输入道最大增益输出（输入端加有等效电阻），在记录上振幅不应超过1mm。

5 50Hz陷波中心频率偏差小于±2Hz。

6 各道扫描在同一位置时（其他条件相同），记录振幅相差应小于5%。

7 记时档误差不得大于1%。

8 延时器误差不得大于1%。

9 触发延时应为常数，并不得大于0.003s。

10 无信号输出时，打印记录应各道线迹平直，记时线均匀，时标信号与记时栅一致；有信号输出时，记录波形与显示屏对比无明显失真。

9.1.9 当仪器受到碰撞或发生意外事故（受潮、雨淋、高温等）可能影响仪器的性能时，应根据仪器的技术要求进行全面检查，检查合格后方可使用。检查记录存档。

9.1.10 接收新仪器时，必须组织有一定经验的专业人员进行技术检查、验收，当仪器不满足要求时，不能投入生产。

9.1.11 任务接受之后，应视任务要求收集下列有关资料：

1 测区区域地质资料：包括区域构造体系，区域地貌单元，

区域大断裂走向、延伸及与测区的关系，区域地层、岩性及分布等；

2 测区次级地貌单元及断裂构造，测区地层剖面结构、岩层大致厚度及接触关系等；

3 以往物探成果对测区构造及地质问题的解决程度；

4 测区地震地质条件：低速带特性，含水层位置，剖面上部的均匀性，地震层位与地质层位的一致性等。

9.1.12 根据收集到的资料对下列问题进行初步分析：

1 测区是否满足折射波法的基本条件。

2 测区是否满足初至折射波法的应用条件，是否存在薄层法的实用性条件。

3 被探测界面的上覆介质中是否存在薄层和倒转层。

4 被测断裂时，应分析：

1）被探测断裂是压性断裂还是张性断裂；

2）被探测断裂两盘岩性有无差异；

3）被探测断裂两盘有无落差，落差有多大。

5 根据上述分析结果判断初至折射波法的有效性，完成任务的程度及采取的相应措施。

9.1.13 观测系统：

1 观测系统应根据测区的地震地质条件和探测的层位来确定，应确保在所有记录上有效波能连续追踪对比，力争简便、经济、可靠。

2 宜采用完整对比观测系统。当同时勘探几个层位时，应使各层位（尤其是较深层位）能达到全部完整对比。

3 当利用追逐时距曲线补充完整对比系统不可追踪区的折射资料时，被追踪段不少于4个检波点。

4 当采用不完整对比观测系统时，追逐时距曲线的重叠部分应不小于4个检波点。

9.1.14 测网密度：作面积性勘探应保证在按工作比例尺绘制的

平面图上测线间距为1cm～4cm。在构造复杂的地段，测线可适当加密。

9.1.15 测线布置：

1 测区内，测线布置应大致均匀。主测线的方向应垂直于构造或地层走向，并且应与地质勘探线及其他物探方法的测线重合，尽可能通过钻孔。

2 测线应布置在地表较为平坦、地层介质较为均一的地段上，避开陡坎等不利地形，并且避免通过居民点、繁忙的道路、高压线及其他建筑物。测线必须通过时，应采取必要措施，确保施测安全、正常。

3 测线应尽量布置成直线。当必须转折时，应保证转折的两侧线段能独立进行解释。

4 当测线通过陡坡地形发生显著变化且探测界面也随之起伏时（例如山脊），应取地形显著变化点为激发点，变化点两侧进行独立解释。

5 测线长度，应保证被追踪界面的相遇时距曲线段不少于4个正常检波点。

6 除布置一定密度的主测线外，在主测线之间还应布置联络测线。联络测线宜与主测线垂直并与之相交。

7 相交测线的交点宜布置成公共爆炸点。

8 在地质构造复杂地段应同时采用纵测线和横测线对其进行研究。

9 横测线应用的基本条件是界面速度为常数。布置横测线应考虑旁侧、界面倾斜和界面速度变化的影响。

10 横测线应通过测线或钻孔。在折射倾角大于15°时，横测线长度不得大于爆炸点到测线的垂直距离。

11 横测线的长度与激发点到横测线的垂直距离之比，宜取1/3～1/5。

9.1.16 沿测线方向，被探测界面的视倾角小于15°时，可用单

支时距曲线测定。

9.1.17 野外施测之前，必须进行试验工作，以确定：

1 用折射波法完成任务书中所提出的地质任务的有效性；

2 被探测层可追踪段的长度与炮检距；

3 最佳激发条件和接收条件。

9.1.18 试验工作

1 试验点的数目应由测区所包含的地貌单元数所决定。一个地貌单元不得少于一个试验点。

2 试验点应布置在有代表性的地段上，与生产测线重合，并通过已知地质资料的地段，试验成果可作为生产成果的一部分。

3 试验工作必须从简单到复杂，并遵循试验因素单一变化的原则。在确定排列长度、检波器埋置条件、滤波档、放大档和激发条件等诸因素过程中，每取得一张记录不得同时改变一种以上因素。

9.1.19 施测过程中，如遇到记录品质变坏或接收段越出被追踪层位的初至区时，要再进行试验工作，以重新确定观测系统和仪器因素。

9.1.20 在同一个测区应用同一个滤波档工作，至少在一条测线上滤波档不得改变。

9.1.21 检波器埋置：

1 检波器位置应准确，埋置条件力求一致。当地形、地面地质条件复杂或其他原因使检波器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。但移动距离不得超过检波器间距的1/5。移动后的位置必须计入班报。

2 检波器与地面接触良好，与电缆正确连接。防止漏电、短路或接触不良。清除周围杂草等容易引起微振的干扰物。遇到大风天气，埋置时应避开树、电杆等。当无法避开时，应采取其

他抗干扰措施。

3 当检波器埋置于稻田、沼泽和水中时，应采取防水措施。埋置在干沙、砾石、冻土层中时，应采取其他抗干扰措施。

4 检波器的间距应根据地质条件及任务的精度要求通过试验确定。同时对折射法应满足下式要求：

$$\Delta x \leqslant \frac{V^* T}{2\sin(i \pm \varphi)} \tag{9.1.59}$$

式中：

Δx——检波点间距；

V^*——有效波视速度；

φ——沿测线方向折射面相对地面的视倾角；

T——有效波视周期；

i——折射临界角；

$i \pm \varphi$——相对爆炸点而言，观测点位于地层下倾方向时，取 $i + \varphi$；观测点位于地层上倾方向时，取 $i - \varphi$。

5 实际工作中，Δx 宜取相等的值。折射法，简单地区 Δx 宜取 5m～10m，复杂地区可减至 2m～5m；浅层反射法一般选为 2m～3m，最大 5m。

9.1.22 激发工作：

1 爆炸工作可在井中、水中、地面及空中进行。爆炸点的位置、药量及药包的安置深度应准确，并登录班报。

2 爆炸信号线必须采用绕在药包外面的记时回路，严禁使用雷管记时，如工作中必须使用内触发时，应作内触发与外触发的时差校正。

3 坑中爆炸时，药包应用土或砂埋实。在水中和潮湿地区爆炸时，药包应有防水措施。井中爆炸时，井内应注水或泥浆。

4 起爆时，爆炸线、爆炸信号与爆炸机及仪器的连接应正确、可靠，接触良好，防止短路或漏电。

5 采用组合爆炸时，各药包应同时起爆。

6 当采用锤击激发时，应选用 4kg 以上的大锤。锤击板应安放平整、牢固，与地面接触良好。击发前和击发后应尽可能排除一切干扰振动。防止连击。

7 锤击开关应牢固地捆绑在大锤手柄的前部（靠近锤头），并与仪器连接正确、良好。

8 必须在现场及时分析地震记录，确定记录品质。若不符合要求时，应查明原因，及时补炮重测。

9 爆炸工作必须严格执行《地震勘察安全工作条例》（附录 B）。

9.1.23 取得记录后，必须立即进行登录，登录内容包括：工作地区、日期、记录编号、测线号、爆炸桩号、接收起止桩号、仪器因素、药量、雷管、爆炸深度及其他需要说明的情况。

9.1.24 速度参数的测定可在钻孔中、露头及有代表性的地段进行。

9.1.25 地震测井：

1 地震测井可在未下套管或已下套管的井中进行，其方式可地面激发井内接收，或井内激发地面接收。

2 地震测井时，仪器的滤波档应与本测区施测所用滤波档一致。

3 地震测井时，应区分电缆波和管柱波的影响。

4 地震测井时，最远的爆炸点（或接收点）离井口距离不得大于 3m。尤其在深度较浅时，地震射线与井轴线之夹角不得大于折射临界角。

5 地面倾斜时，地面的接收点或激发点必须放置在地层下倾方向一边。

6 无论是井中激发还是接收，测井前应用测绳测量孔深并了解井壁有无掉块情况。测井时必须先将检波器或炸药放至井底，然后自下而上进行。

7 井中观测点或激发点的间距由钻孔柱状剖面的速度参数、

各速度层的厚度及仪器的分辨精度而定。

8　下井前后都必须对井下检波器进行绝缘检查。下井前绝缘电阻应大于 50MΩ，下井后应大于 0.5MΩ。

9　地震测井记录应保持记录清晰，且起跳方向一致，否则应找出原因后重测。

10　地震测井资料必须在现场进行初步整理，判断记录的可靠性，发现问题及时进行重测。

9.1.26　低速带厚度变化大的地区，必须专门的低速带测定。低速带测定宜按地貌单元布置，每单元不少于 2 处。对于构造复杂地段应加密进行研究。

9.1.27　水上工作：

1　水上施测时应尽可能准确测定检波器位置，激发点位置和水深；

2　水中爆炸应避开或清除重复冲击造成的干扰；

3　水上工作时干扰背景大，应采取有效措施确保记录上的干扰背景值不影响有效波的准确读数。

9.1.28　施测中，爆炸线和爆炸信号线的敷设应远离检波器与电缆。

9.1.29　外业工作结束后，应对所有的原始地震记录（包括试验工作、低速带测定、地震测井记录）进行编录。并检查登录内容是否齐全，有否遗漏和错误。

9.1.30　宜在记录的记时零线左侧填写检波器点桩号（如等间距，可只填写首尾道）并注明特殊情况（如检波器安置条件及偏离测线情况）。

9.1.31　准确读取初至时间，填入记录表中（如读极值，应填上相应校正值）。在爆炸校正项中填上爆炸深度校正值。

9.1.32　地震记录品质评定为“优良”、“合格”、“废品”三级。

9.1.33　地震记录有下列缺陷之一者，应评为废品，示以符号 F：

1 由于激发或接收条件不正确，无法记录上可靠的示踪有效波（例如观测系统不正确或未按设计的观测系统施测，激发或接收条件选择不当，或当遇到地震地质条件变化需改变激发接收条件而未作改变以及操作错误等）；

2 互换道与结尾道工作不正常或不工作，妨碍了有效波的正确对比与连接；

3 同一张记录上使用道数的1/6以上或相邻两道不工作或工作不正常；

4 干扰背景强烈，妨碍了有效波的识别和准确读数；

5 没有记时线或记时线缺失过多，没注明“记录时间选择”及“延时”或注明明显有误，以致无法利用的记录；

6 因打印机走纸故障造成记时线不均匀而无法准确读数的记录；

7 记录表面严重污染，妨碍了有效波的对比或影响了记录的保存价值；

8 因班报、记录表和记录背面未填写或填错仪器的工作条件且无法核实其准确爆炸桩号及接收桩号而无法利用的记录；

9 无编号、测线号、带头编号及日期等内容的磁带记录；

10 录用了本“规定”所不允许的工作方法如雷管记时所得的记录；

11 当发现仪器工作不正常而又不能确认工作不正常的开始时间，本次检查与上次检查中间的全部记录；

12 使用不合格的仪器所得的全部记录。

9.1.34 地震记录仅有下列缺陷之一者，应评为合格，示以符号H：

1 激发与接收条件不理想，但不影响有效波的识别和准确读数；

2 同一张记录上工作不正常的道（不包括互换道和相邻道）不超过使用道的1/6；

3 记录表面局部污染，但不妨碍有效波的辨认与准确读数。

9.1.35 没有 9.1.33 及 9.1.34 所列出的任何缺陷的记录应评为优良，示以符号 Y。

9.1.36 波的对比必须在同一接收条件（滤波、组合等）的前提下进行，当被探测界面无岩性变化或断裂时，对比下列主要标志：

1 同相性，来自同一界面的波的同相轴应平滑、且有一定的长度，相邻相位的同相轴应该是平行的；

2 相似性，来自同一界面的波在相邻记录道上振动的视周期、相位数、振动的强弱、波形、相邻权值的振幅比及振动延续度等保持相似关系；

3 振幅变化，来自同一界面的波的振幅沿测线均匀的变化。

9.1.37 确定地震波的置换，应注意下列特点：

1 两个同相轴相交；

2 波形的突然改变；

3 振幅的突然改变；

4 视周期的变化；

5 视速度的变化。

9.1.38 波的对比可采用单相位对比或多相位对比。但在构造复杂的地区宜用多相位对比。

9.1.39 进行波的对比时，应仔细观察初至波的衰减和初至相位的变化，尤其是振幅几乎相等、视速度相差不大而走时又接近的波的置换，防止对比错误。

9.1.40 对比时，若发现波没有发生置换但初至相位因强烈衰减而后移，则应作必要的初至校正。

9.1.41 在解释断裂时，必须注重波速、振幅、波形、周期及相位的对比。

9.1.42 互换道和连接道应根据走时相等和波形保持不变的特点或根据追逐时距曲线的平行性及波形相似性进行对比、连接。互

换道和连接道上同一相位时间，经爆炸深度校正后，相位差不应超过 0.003s。

9.1.43 绘制时距曲线前，应根据测区地形、地震地质条件及所采用的解释方法的要求，对观测值进行必要校正（包括相位校正、爆炸深度校正、低速带校正、地形校正等）。浅层反射资料非电算处理时还需进行人工校正。

9.1.44 绘制时距曲线的比例尺应根据实际观测精度加以选择。地震剖面宜采用水平比例尺 1∶1000 或 1∶2000，垂直比例尺 1cm 代表 0.010s 或 0.020s。

9.1.45 时距曲线按下列要求绘制：

1 相遇时距曲线的两支，应以不同符号绘出，两相邻点用直线连接，在时距曲线的直线段上应标上视速度值；

2 在观测时距曲线的上升端，标上品质符号及编号；

3 绘制综合时距曲线时，应将经过爆炸深度校正和相位的观测时距曲线一并绘出；

4 波的置换用符号“冂”标明在时距曲线的相应部位；

5 综合时距曲线的互换时间相差应不超过 0.005s；

6 综合相遇时距曲线的互换时间不等时，应取平均值或较小值。

9.1.46 在确定平均速度时，应根据实测数据结合测区的地震地质条件综合考虑。

9.1.47 有效速度的求取采用折射波时距曲线交点法。使用时应进行误差校正。

9.1.48 沿测线宜每隔 100m 左右测定一次有效速度。当发现两相邻速度差超过 20％时，在这两点之间增加速度测定点，直至不超过 20％为至。并根据所求的数据绘制速度沿测线的变化曲线，按曲线上的相应速度值绘制界面。

9.1.49 应充分利用测区内的钻孔进行地震测井，测定平均速度；并尽量通过钻孔，使用折射波时距曲线交点法测定有效速

度，利用前者对后者进行校正和评价。

9.1.50 当由于低速带对下伏地层相对厚度变化引起平均速度变化时，必须先进行低速带校正，然后以低速带下伏地层的平均或有效速度绘制界面。

9.1.51 在同一条测线上，没有充分资料说明平均速度突变时，不应分段采用平均速度绘制界面。

9.1.52 地震资料的解释应根据地震地质条件、解释方法的应用条件及成果精度要求加以选择：

1 当折射界面的曲率半径比埋藏深度大得多，折射界面速度没有显著变化且无穿透现象时，折射波相遇时距曲线可采用 t_0 法绘制界面，但当地质情况复杂而使界面速度有突变或覆盖层速度与界面速度之比大于0.8时，不宜采用 t_0 法。

2 当地形复杂，地面起伏较大而折射界面起伏不大且无穿透现象时，可采用表层剥去法绘制界面。

3 当折射波沿界面滑行，无穿透现象而界面速度有明显变化或界面起伏较大时，应采用时间场法绘制界面。但是，该方法易将陡坎圆滑，使用时应加以注意。

9.1.53 地质界面绘制：

1 当由于低速带对下伏地层相对厚度变化引起平均速度变化时，必须先进行低速带校正，然后以低速带下伏地层的平均或有效速度绘制界面。

2 在同一条测线上，没有充分资料说明平均速度突变时，不应分段采用平均速度绘制界面。

3 对于水平层状介质，可利用被追踪层位相应单支时距曲线的截距时间或临界距离来绘制界面，并可同时绘制激发点以下几个层位。

4 在某些困难条件下，一条测线上不能得到相遇时距曲线时，如能根据已有资料说明界面速度没有变化或变化甚小，又有可利用的已知深度时，可采用单支时距曲线或横排列时距曲线绘

制界面。

5 用横排列时距曲线绘制界面时，界面倾角不得大于15°，并应进行偏移校正。

6 在解释断裂时，断点的确定要有充分依据，除要有运动学特征外，还必须有动力学特征。在确定断裂平面位置时，应进行偏移校正。

9.1.54 根据解释结果有选择地对某些地段进行校正计算，验证解释的正确性。

9.1.55 解释过程中，应充分利用各种参数图件，如直达波速度图，界面速度图，有效波振幅图，动力学特征曲线等。

9.1.56 资料的初步整理与解释必须在现场进行，发现问题及时进行外业补充工作。

9.1.57 地震图件的绘制与要求：

1 地震成果图件包括以下两类，按任务要求选择提供：

1）速度参数与分析图件：直达波速度图，垂直时距曲线图，有效波振幅图，界面深度图等。

2）成果图：地震工作布置图，地震剖面图，地震成果平面图（包括断裂分析图、界面等深线图等），地震剖面平面图，地震地质剖面图等。

2 上述成果图件，根据需要，可将某些图件合并绘制。

3 绘制等深线图时，其线距应大于误差的三倍。

4 绘制地震成果图件的比例尺必须符合地震测量精度。

5 地震剖面图或地震地质剖面图可不绘出相遇时距曲线和观测时距曲线。

6 地震剖面图或地震地质剖面图的横向比例尺宜与相应时距曲线的横比例尺一致。

7 绘制界面所采用的平均速度或有效速度应在时距图上注明，并在报告书中说明数据来源。

8 应将通过测线的钻孔或其他验证资料绘制在地震剖面图

和平面图上。

9 地震剖面图或地震地质剖面图上注明比例尺、高程、测线方位，相交测线的交点及界面上下介质的波速值。

9.2 浅层反射法

9.2.1 反射法应用的基本条件：

1 要求被追踪地层与其相邻地层之间存在波阻抗（即地层波速 v 与地层密度 ρ 的乘积 $v\rho$）差。

2 被追踪地层应有一定厚度，一般要大于有效波长的 1/4。

3 被追踪地层界面与地面的夹角小于 15°。

9.2.2 浅层反射波法所解决的地质问题：

1 测定覆盖层厚度；

2 划分岩层和风化层；

3 探测隐状构造破碎带；

4 探测岩溶。

9.2.3 测线布置按 9.1.14～9.1.15 执行。

9.2.4 浅层反射法的观测系统：

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（又称其深度叠加观测系统），适用于地震地质条件比较复杂的地区，一般采用固定偏移距，端点式中

间点激发方式，最大源栓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。

9.2.5 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。

9.2.6 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。

9.2.7 试验工作应遵循由已知到未知，由简单到复杂，点、线结合及单一因素的变坏原则，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。

9.2.8 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，试验结果要写出试验总结。试验结果是进行生产的依据，可作为成果的一部分。

9.2.9 激发与接收按 9.1.21～9.1.23 执行。

9.2.10 速度参数的测定按 9.1.24～9.1.26 各条执行。

9.2.11 资料整理——波的对比按 9.1.36～9.1.42 执行。

9.2.12 时距曲线的绘制与校正按 9.1.43～9.1.45 执行。

9.2.13 平均速度或有效速度的确定按 9.1.46～9.1.49 执行。

9.2.14 浅层反射法的资料解释有交点法、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。

9.2.15 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。

9.2.16 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。

9.2.17 绘制综合曲线时距曲线剖面图时，如果相遇时距曲线的互换时间不等（＜5ms），一般选取其平均值，并在地震界面上

注明界面速度值。

9.2.18 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。

9.2.19 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。

9.2.20 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。

9.2.21 地质资料解释工作应尽量采用微型计算机进行数据处理。不具备数字处理条件，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。

9.2.22 本章未叙述到的内容按 DL 5010—1992《水利水电工程物探规程有关条文执行。

10 测　　井

10.1 仪器与主要设备

10.1.1 按任务书要求，选用仪器和设备。根据测井工作量，配备一定的易损零部件。

10.1.2 对各种测井仪器、下井探头（探管）都应建立各自的档案，定期进行系统的检查、校验、标定并登录。

10.1.3 对各种专用仪器、下井探头及电器配件，不得挪作它用或任意拆卸。

10.1.4 对各种测井仪器、下井探头（探管），在工作前和检查维修后，均应达到使用说明书所规定的各项技术要求和技术指标。

10.1.5 所有地面、井下仪器应有专人操作、保管，在使用过程中应遵守以下规定：

1 操作员应对仪器的安全负责；

2 仪器和设备未经操作员同意，他人不得随意动用；

3 因工作需要交接仪器时，双方对仪器进行灵敏度检查，并在仪器使用情况档案上签字；

4 未经测井负责人批准，配套仪器设备不应拆套使用；

5 测井仪器和井下探管，应避免在高温条件下使用和存放；

6 仪器内装电池电压不得低于额定值的90%。

10.1.6 仪器应放在通风、干燥处，并采取适当的防潮、防腐蚀和防火措施。

10.1.7 电测井仪器的检查和校验：

1 对仪器的测量部件、记录部件的检查校验，应达到如下标准：

1）各测程记录笔应画线清晰、无抖动、阻尼良好，走笔

5 滑轮在搬运时，严禁在地上滚动。

10.1.16 对绞车的要求与使用规定：

1 绞车上集流环应清洁无脏物，测井前应检查集流环与电缆是否接触良好；

2 绞车转动灵活，刹车可靠，定期对轴承、齿轮和接头清洗并加注润滑油；

3 电动绞车严禁在电动机受潮、超温、超电压下进行工作。

10.1.17 对电极系、电缆、蓄电池的要求与使用规定：

1 各种装置形式的电极系不得强列弯曲和挤压，特别是微电极系和不极化电极应仔细保管，不得撞击和重放；

2 电缆、电缆与仪器、电缆与电极系连接处应有足够的抗拉强度，保证测井安全，其绝缘电阻应大于2MΩ；

3 电缆不得长期在烈日下曝晒或放于高温和潮湿处；

4 电缆提升时擦净外皮泥水，平整地排绕在绞车上，不得剧烈弯曲和受重物冲击；

5 电缆长期不用时应擦净晾干、两头密封放于干燥处，防止油污；

6 对蓄电池、充电机的要求，应按说明书的规定使用；正负极严禁接错，防止短路，放电后电压不得低于10V。

10.1.18 仪器设备检修注意事项：

1 仪器工作过程中，出现失调与故障，不能自行检修时，应指定专人检修；

2 表头、主机构件、放大电路板、井下探管等精密部件发生故障时，严禁在井场上拆卸和修理；

3 经检修后的仪器设备，应满足说明书的技术指标要求，并将检修结果逐项填入仪器设备档案。

10.1.19 仪器设备的维护注意事项：

1 各种测井仪器设备应装入专用箱内，保持清洁；各转动部分应定期加注润滑油；

不小于1m，标定场地周围无放射性物资存在；

2 仪器校验开关位置与量程选择开关位置一一对应；

3 仪器的时间常数误差不得大于±20%；

4 记录笔动作与指针偏转必须同步；

5 仪器工作必须稳定。

10.1.11 井中无线电波透视仪，在测量前应进行检查校验，并将接收机、地面控制仪的表头指针调到规定的起始位置。

10.1.12 井斜仪每三个月在校验台上校验一次，其要求：

1 方位0°～360°之间均匀分布不少于8个点，顶角由0°到最大可测角度之间亦不少于8个点；

2 校正误差超过仪器出厂规定指标，应重新刻度或检修。

10.1.13 井径仪每三个月在校验架上校验一次，其要求：

1 校验时需用不同电流强度，每一电流强度需有四个以上直径改变值；

2 测杆张开时进行测量，收缩时进行检查；

3 校验结果误差超过出厂规定，应重新确定常数或进行检修。

10.1.14 井温仪每三个月校验一次，其要求：

1 校验时需用不同电流强度，每电流强度不少于4个温度改变值，要用精度0.1℃水银温度计测量液体温度；

2 校验结果误差大于出厂规定，应重新确定常数或进行检修；

3 3000系列测井仪的井温探头或高温井温仪的校验，可按说明书的规定进行。

10.1.15 对井口滑轮的要求与使用规定：

1 滑轮运转情况良好，深度计数器计数正确；

2 井口滑轮与记录纸部件同步，记录纸应按比例移动；

3 电缆经滑轮每移动20m，其误差不得大于±1cm；

4 测井后清洗滑轮，并在转动轴承上加润滑油；

5 滑轮在搬运时，严禁在地上滚动。

10.1.16 对绞车的要求与使用规定：

1 绞车上集流环应清洁无脏物，测井前应检查集流环与电缆是否接触良好；

2 绞车转动灵活，刹车可靠，定期对轴承、齿轮和接头清洗并加注润滑油；

3 电动绞车严禁在电动机受潮、超温、超电压下进行工作。

10.1.17 对电极系、电缆、蓄电池的要求与使用规定：

1 各种装置形式的电极系不得强列弯曲和挤压，特别是微电极系和不极化电极应仔细保管，不得撞击和重放；

2 电缆、电缆与仪器、电缆与电极系连接处应有足够的抗拉强度，保证测井安全，其绝缘电阻应大于 2MΩ；

3 电缆不得长期在烈日下曝晒或放于高温和潮湿处；

4 电缆提升时擦净外皮泥水，平整地排绕在绞车上，不得剧烈弯曲和受重物冲击；

5 电缆长期不用时应擦净晾干、两头密封放于干燥处，防止油污；

6 对蓄电池、充电机的要求，应按说明书的规定使用；正负极严禁接错，防止短路，放电后电压不得低于 10V。

10.1.18 仪器设备检修注意事项：

1 仪器工作过程中，出现失调与故障，不能自行检修时，应指定专人检修；

2 表头、主机构件、放大电路板、井下探管等精密部件发生故障时，严禁在井场上拆卸和修理；

3 经检修后的仪器设备，应满足说明书的技术指标要求，并将检修结果逐项填入仪器设备档案。

10.1.19 仪器设备的维护注意事项：

1 各种测井仪器设备应装入专用箱内，保持清洁；各转动部分应定期加注润滑油；

2 仪器设备应放于干燥、通风、安全可靠的专门库房内保管；

3 仪器设备的运输和放置应注意防震、防潮、防曝洒；

4 井下探管严防漏水、漏电；

5 仪器长期不用时，内装电池应及时取出，每半年应检查一次存放情况，需通电保养的要定期通电，通电时间不少于4h。

10.2 电阻率测井

10.2.1 测井技术负责人应了解钻进情况，钻孔结构，主要地层岩性以及井场测井条件，作好测井准备。

10.2.2 测井前对所需仪器设备进行全面检查。

10.2.3 为保证测井曲线准确可靠，要求泥浆钻孔井液循环不少于1h，使井中各段井液浓度均匀。微电极系测井的泥浆孔，护壁泥皮要尽量薄些。

10.2.4 水文测井孔，必须用清水循环冲洗，使井壁孔隙畅通。对水文地质特殊要求的孔，当加入沉淀剂或其他化学试剂前，进行特殊测井时，应与地质人员协商后进行。

10.2.5 为保证测井曲线的完整，钻进实际深度应大于测井记录点深度3m。

10.2.6 电缆标记应符合下列要求：

1 电缆标记间距宜为10m或20m，标志要明显、准确、牢固、查对方便。每10m间距应一次丈量完，丈量误差不得超过1cm。

2 电缆标志间距可根据地层复杂情况与钻孔深度适当确定，若孔深小于40m，可每5m一个记号；孔深较大时可每50m做一个特殊的记号，零米处做一个警告记号。

3 新电缆的标志应先做临时记号，待测至3～5个井后，重新检查标志，再作正式记号。

4 电缆深度记号的检查：新做记号每测3～5个钻孔检查一

次，经二次检查后每测 10 个钻孔检查一次，当测井不多，可半年检查一次。若发现记号位移，电缆在孔中被卡或过分受拉，测井深度与钻探深度相差过大而原因不清时，必须检查。

5 深度记号有 20%以上的间距超过 1.5cm 的允许误差，应重新标记电缆记号。

10.2.7 电极系应符合下列要求：

1 电极系的电缆必须绝缘良好，使用铅（铅管、铅丝）电极，K 值稳定，便于连接；

2 自然电位测井，应使用不极化电极；

3 电极装置间距精度应小于 4%，各电极应满足点电源原理，电极长度不得超过最小电极间距的 1/5 或不大于 5cm；

4 电极系的包扎，应绝缘可靠，活动电极系电极之间的连线不得过长，电极与电缆接头处应防水、绝缘和牢固。

10.2.8 重锤与电极系、电缆的连接要便于使用，重锤连接应距最近一个电极 0.75m～2m。

10.2.9 仪器和设备的绝缘性能应符合表 10.2.9 规定。

表 10.2.9 仪器设备绝缘性能表

测井仪器及设备名称	绝缘项目	绝缘电阻 MΩ
测井主机	测量线路与供电线路之间、线路与主机外壳之间	>10
换向器	测量与供电整流环之间、各整流环与地之间	>10
换向器	各半环之间	>0.5
下井探头（探管）	结构线路与地之间	>2
电 缆	缆心与地之间	>2
电极系	各个电极之间	>2
集流环	各环之间、各环与绞车和地之间	>10
蓄电池	正负极与地之间	>10
电机（发电机、电动机）		>1

10.2.10 测井前，应先用相当于下井探头直径的重锤或导管作井下试探。

10.2.11 井场测井布置应根据井场条件，力求操作方便，避免干扰和保证测井安全。

10.2.12 在测井过程中，不得拆卸或搬动钻机及其附属设备。

10.2.13 夜间测井时，井场应有足够的照明设备。

10.2.14 绞车与滑轮应保持一定距离，要平稳牢靠，严防翻倒事故。滑轮平面应与绞车滚筒轴线中点垂直，防止上下电缆跳出滑轮槽，电缆经滑轮后应位于钻孔中心，防止电缆被井壁擦破和探头撞击。

10.2.15 当用自行安装的发动机作为测井电源时，电流和电压应符合仪器使用要求。

10.2.16 供电电源与测量线应分开敷设，排列整齐，防止踩破和碰断。

10.2.17 地面电极要求接地良好，防止干扰。

10.2.18 当在地面同时布置测量电极和供电电极时，它们之间的距离不得小于电极系极距的 50 倍。

10.2.19 准确丈量各种下井电极系和探管记录点至电缆零记号间的距离，计量测井深度时，应以地面作为深度起始点。

10.2.20 各种井下电极系（探管）与电缆连接可靠才能接通地面仪器，进行通电检查，确认全套仪器设备工作正常后，方可进行测量。

10.2.21 测井现场应有地质和钻探人员密切配合。

10.2.22 相邻深度记号间表现在记录纸上的误差应符合表 10.2.22 的要求。

10.2.23 同一钻孔分次测量时，曲线衔接处应重复两个深度记号。

10.2.24 对测井曲线图深度记号的要求：

表 10.2.22 深度记号误差表

记号间距 m	深 度 比 例	误差范围 mm
5	1:20	＜±5
10	1:50	＜±4
10	1:200	＜±1
20（25）	1:200	＜±2
25	1:500	＜±1

1 测井原始曲线深度标记必须准确、清楚、易辨，起始终止不得漏记，中段不得连漏记两个以上深度记号；

2 深度记号值不得涂改、标错；

3 相邻两记号间误差不得大于2%；

4 水文测井每段曲线不得少于两个记号。

10.2.25 电缆提升速度的要求：

1 提升电缆时应使用记数器显示提升速度；

2 视电阻率曲线、微电极子曲线、自然电位曲线、井液电阻率曲线、井径曲线测量速度应不超过表10.2.25的规定。

表 10.2.25 提 升 速 度

深度比例	仪 器 类 型	
	全自动测井仪	3000系列测井仪
	限 速 m/min	
1:20	＜4	＜3
1:50	＜9	＜3
1:100	＜18	＜3
1:200	＜34	＜5
1:400	＜70	＜5

10.2.26 测井曲线深度比例的要求：

1 根据钻孔深度，结合地质上的要求，宜与钻孔柱状图比例相一致；

2 同一测区的测井曲线深度比例宜相同。

10.2.27 测井曲线横向比例的要求：

1 根据地质—电性条件，通过试验来确定；

2 曲线大部分不超格，地质异常变化幅度明显时，比例应选取大一些；

3 要求测量目的层的曲线异常幅度不得小于3cm；

4 对曲线超格过多或目的层异常幅度小于3cm，以及地质上又有特殊要求的井段，可改变比例，测量辅助曲线；

5 同一测区横向比例应相同。

10.2.28 为保证测井曲线正确性，下井电流必须保持不变。

10.2.29 钻孔下有套管时，应在套管中试测一段，以检查仪器工作情况，看有无漏电、有无干扰和校正深度正确与否。

10.2.30 为提高测井方法的解释精度，每钻孔应有两种或两种以上不同参数的曲线。

10.2.31 自然电位测量、井温测量、井液电阻率测量宜在电缆下放时施测，其它测井宜在电缆提升时施测。

10.2.32 现场必须作好测井所选定的各种参数（量程、比例、极距）原始记录。

10.2.33 点距的一般要求：

1 点距的选择应根据极距大小和地层界面划分精度来确定，一般应取整数；

2 下井电缆要求每5m做一个深度记号，测量时，深度记号依次对准地面固定标记；

3 现场作好观察数据记录，绘制测井曲线草图。

10.2.34 在撤离井场之前必须按照规定的质量标准和任务书的要求，检查原始记录和曲线。

10.2.35 当测井曲线出现下列情形之一时，必须立即进行重测

或补测：

1 图面不清，曲线和深度记号无法识别；

2 主要含水层或地质要求的异常段曲线超格长度大于规定要求；

3 深度无法确定，在主要地质异常段连续漏掉两个以上深度记号或相邻两记号间误差超过 2%；

4 在套管中视电阻率不等于零，在地层处出现负值；

5 电极排列无法肯定，供电电极与测量电极线路接错；

6 自然电位基线偏移每百米大于 2cm 或没有标明正负极性；

7 井径曲线上的井径值小于井径臂的闭合值或大于井径臂完全张开值；

8 井斜测量误差超过仪器出厂规定的允许误差；

9 井温两次测量误差大于 0.5℃；

10. 各种方法测井曲线与钻探、地质记录不符合出入较大或曲线深度记录与地层深度错位。

10.2.36 测井结束后，确认原始曲线图件齐全、准确并已完成测井任务，方可撤离井场。

10.2.37 电极系类型，极距大小根据测区地质条件、地球物理特征、岩层厚度和钻孔直径进行选择。

10.2.38 电极系类型、电极距和记录点应符合表 10.2.38-1 和表 10.2.38-2 的要求：

10.2.39 自行制作的井下电极系，其电极直径不得小于 3cm。

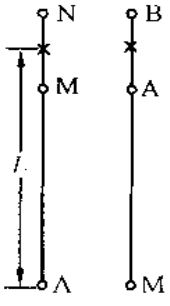
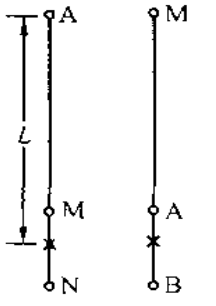
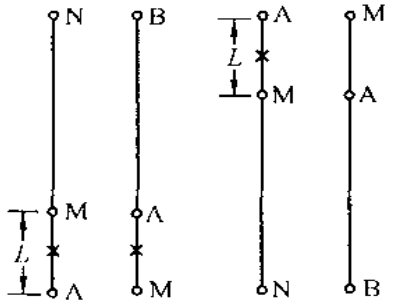
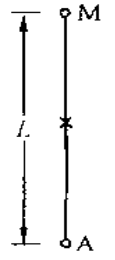
10.2.40 当连续测量视电阻率测井时，必须使用换向器，以消除自然电位的影响。

10.2.41 视电阻率测井，有下列情况之一时，必须检查仪器和导线的漏电，并消除测量中的干扰：

1. 在充满井液的套管中，视电阻率不为零；

2. 地层段的视电阻率为负值；

表 10.2.38-1 电极系类型表

梯度电极系		电位电极系	理想电位电极系
顶部梯度电极系	底部梯度电极系		
			

注：

×——记录点；L——电极距。

表 10.2.38-2 电极系极距类型表

标准电极系	A1.0M A0.5M A0.25M A16″M（英寸） A1.9M0.2N
普通电极系	A0.95M0.1N 和 N0.95M0.1A A1.9M0.2N 和 N1.9M0.2A
长梯度、短电位电极系	AM＝16″或 64″（英寸） AO－18′、8″（18 英尺或 8 英寸）
横向测井电极系	M0.25A0.1B M0.5A0.1B M1.0A0.1B M2.0A0.5B
对称梯度电极系	N0.1M0.45A0.45M0.1N
微电极系	A0.05M A0.025M

3．断开地面仪的连接线或绞车的接地，电阻率发生变化；

4．断开 A 和 B 线路，供电线路中仍有电流存在；

5．电阻率曲线畸变，重复性差；

6．电缆停止提升或换向器转速改变时，电位差发生变动。

10.2.42 进行浅孔测量时，下井电缆在绞车绕轴上的长度应小于 50m。

10.2.43 使用3000系列测井仪，地面两电极必须远离井口，对称布置，接地良好，两极间的距离应大于30m。

10.2.44 泥浆钻孔的微电极系测井，井液循环冲洗不得少于2h。

10.2.45 微电极探头，弹簧装置系统应保证工作灵活，压力适当。

10.2.46 进行大比例（1:50）微电极系测井时，电缆提升速度应小于3m/min。

10.2.47 微电极系测井，受多种因素影响，曲线易产生零点漂移，可用下列方法检验：

1 井中有套管时，应以套管中电阻率曲线为零线；

2 对于电子自动测井仪，应断开A、B线路，检查校验记录笔的零位；

3 微电位和微梯度电极系测井，在不渗透黏土层和泥岩层井段，视电阻率曲线值应相等。

10.3 自然电位测井

10.3.1 为消除电极极化影响和压制干扰，综合测井时，应首先进行自然电位测量。

10.3.2 横向比例应选择适当，以mV/cm表示。

10.3.3 地面固定电极和井下电极应采用电化学活动性稳定的不极化电极或铅电极。地面电极置于泥浆槽内，不得有油污和泥浆流动的影响。

10.3.4 测量时调节补偿刻度盘，使记录笔正对记录纸中线，定为自然电位零基线，曲线图上右边为负电位，左边为正电位。

10.3.5 自然电位曲线基线每100m偏移不得大于2cm。

10.3.6 当游散电流干扰很大时，应将N极接在套管上或作自然电位梯度测量。

10.3.7 当地下水矿化度与钻孔循环液矿化度相近时，电位曲线

幅度变化不明显，应采取改变井液矿化度的办法进行自然电位测量。

10.4 水 文 测 井

10.4.1 水文测井方法有扩散法、注入法、追综法和提捞法，使用这些测井方法的钻孔，应是清水孔，泥浆孔必须洗井，使井壁渗流畅通。

10.4.2 用于井液电阻率测量的井液电阻计应符合下列要求：

1 井液电阻计的装置系数（K），必须用标准溶液来测定，不得用公式计算；

2 用井液电阻计在同一温度条件下测得的井液电阻率与泥浆杯内所测得电阻率，相对误差不得大于10%。

10.4.3 水文测井必须使供电电流稳定、准确，可在供电线路中串联一个（大于500Ω）固定电阻。

10.4.4 水文测井必须用标准电阻测量供电电流强度。

10.4.5 扩散法测量的技术要求：

1 钻孔应用清水循环冲洗，测量前必须使地下水位静止，稳定一段时间。

2 钻孔井液在盐化前应测一条井液电阻率（ρ_0）曲线，曲线在记录纸上的幅度变化，不得小于1.5cm，并且必须作重复测量，两次测量的误差不得大于±5%。

3 盐化井液浓度要均匀，盐化前后井液电阻率应有明显的差异，由盐化不均引起的曲线变化小于1.5cm时，应重新盐化井液（一般盐化浓度2g/L左右）。

4 井液盐化前后的电阻率曲线测量条件（线路连接、下井电流强度、横向比例）应完全一致。盐化后第一条（ρ_1）曲线与盐化前（ρ_0）曲线之间的距离不小于6cm。

5 盐化后测量5～8条曲线，所有曲线测量条件应一致，曲线按顺序编号（ρ_1，ρ_2，ρ_3，…，ρ_n）。记录每条曲线测量的起

止时间和通过异常的时间；每条曲线不得少于两个深度记号，最后一条曲线应接近于 ρ_0 曲线。

6 测量提升速度应均匀，不得大于 2m/min。

7 在咸水含水层中测量时，可用水泵将井液换成地表淡水后再进行测量。

10.4.6 注入法、提捞法或追综法测量的技术要求：

1 必须精确地测量钻孔的稳定水位、注水量、抽水量和水位变化情况；

2 升高或降低水位，应不少于 3 次，水头差应在 2m 以上；

3 井液应具有一定的电阻差异，曲线上盐水柱界面反映清楚，相对异常幅度不得小于 6cm，盐水柱长度以 5～10m 为宜；

4 盐柱界面进入含水层前后所测量的盐柱界面曲线应不少于 4 条，每条曲线上至少应有两个深度记号，测量曲线应按顺序编号（ρ_1，ρ_2，ρ_3，…，ρ_n），并准确地记录通过中线的时间；

5 进行定量计算，应测量钻孔的井径和消除电缆的影响；

6 测量两个钻孔间的水力联系时，应分别测量每个钻孔中含水层的位置和厚度；

7 根据水文测井的任务要求，选择正确的测量方法，若地下水由上往下补给，宜用扩散法、注入法或追综法；由下往上补给，宜用追综法或扩散法；无补给关系时，宜用提捞法或扩散法。

10.5 电 流 测 井

10.5.1 测井记录时，一般不应使用换向器，为了消除 A、B 电极自然电位的影响，必须使供电电压远大于自然电位。

10.5.2 测区自然电位很强时，宜采用带换向器的线路来消除自然电位的影响，必须使换向器炭刷与半环间接触良好，一般用转速较大的换向器。

10.5.3 电流法的横向比例应根据岩层电阻率变化引起的线路电

流变化幅度来确定。一般在下井时，打开仪器，观察电流变化范围，再根据这个范围选择合适的横向比例来记录电流法测井曲线。

10.5.4 在测量前，必须确定电流曲线的极性。

10.6 天然放射性测井

10.6.1 进行天然放射性测井时，仪器和电路需通电预热10min，使之稳定后再下井测量。

10.6.2 天然放射性井下探管，严禁在地面和孔内强烈摇晃和撞击。

10.6.3 定量解释时，需用标准源在室内对井下探管进行标定，以确定横向比例和时间常数，横向比例以 γ/cm 标注。

10.6.4 在同一测区作天然放射性测井横向比例的选择应一致，测量所记录的伽马强度应在仪器线性范围内，还必须正确选用仪器的测程。

10.6.5 测量前应在黏土（泥岩）层上记录统计涨落，记录的时间应大于所选用的常数的 10 倍，统计涨落相对误差（δ_i）不超过 5%的条件下，必须选择最小的时间常数。

$$\delta_i = 0.67/\sqrt{2nt} \qquad (10.6.5)$$

式中：

n——计数率，脉冲/min；

t——时间常数，s。

10.6.6 电缆提升速度（v），应根据测量目的层最小厚度（h）及确定的时间常数（t）来选择：

定性解释时：

$$v \leqslant 0.5h/t \qquad (10.6.6\text{-}1)$$

定量解释时：

$$v \leqslant h/(3t) \qquad (10.6.6\text{-}2)$$

10.6.7 天然放射性记录点应为计数管（NaI 晶体）的中点，每

条曲线应测出基底补偿值。

10.6.8 当地层的天然放射性异常值达到 100γ 且厚度大于 0.7m，或厚度小于 0.7m 但异常值与厚度乘积大于 100γ/m，应作两条（包括重复测量）1:50 的放大曲线。同一层位的重复测量曲线异常幅值和厚度的平均相对误差应小于±7.5%。

10.7 井 斜 测 井

10.7.1 测井前必须在室内试测三个不同井斜点，检查仪器工作情况，其精度应符合出厂规定。

10.7.2 井斜测量点间距，在直孔中应为 20m，不得大于 50m；斜孔中应为 10m。不得大于 20m。在有套管的钻孔中测量，最后一个测点应距管靴 10m。相邻两测点间顶角变化大于 2°和方位角变化大于 20°时，应加密测点。

10.7.3 测量应在仪器提升时进行，若需下降时测量，必须将仪器下降到预定深度之下 3～5m，再提升到预定深度测量。

10.7.4 在同一钻孔中，要求分段测量井斜时，连接处应重复两个测点。

10.7.5 每孔应进行重复测量，当顶角大于 5°时，倾角误差不得大于±0.5°；方位角误差不得大于±4°。

10.7.6 检查测量点不少于总点数的 20%，每孔至少应有三个检查测量点，检查值与原测量值的误差不得大于仪器允许误差。

10.7.7 对勘探、生产结合井，必须分段进行井斜测量，浅孔可在终孔时测量；深孔或易斜的卵石层孔可在开孔后 20m 测斜一次；大口径的井可在开孔 20m 以内测斜，在测量时采取措施，使仪器紧贴井壁，并沿井壁三个不同方位测量。

10.8 井 径 测 量

10.8.1 井径测量横向比例以 cm/cm 标注。

10.8.2 下井前井径仪必须在井场进行校正，应有三个不同直

径的校正记录，误差不得大于 1.5cm。

10.8.3 井径仪的供电电流必须用标准电阻进行测定，供电电流变化对测量结果形成的误差不得大于 0.5cm。

10.8.4 井径探头进入已知直径护壁管（套管）后，必须再测一段，以检查曲线质量，其误差不得大于 ±1.5cm。

10.8.5 测量中不应出现等于或小于测径测杆闭拢时的电位差值。

10.8.6 记录纸上数据的确定：用补偿刻度盘或笔位调整旋钮，任意决定基准值笔位，按已知的孔径值，使数据记录在记录纸最佳的位置。

10.9 井 温 测 量

10.9.1 井温曲线横向比例以℃/cm 标注，井温测量供电电流必须用标准电阻测定，电流应保证稳定，其变化不大于 ±0.25%。

10.9.2 测温前，必须在井场用已知温度溶液对温度探头进行检查，实测值与给定值相差不得大于仪器允许误差的一倍。

10.9.3 井温测量自液面开始，应在井温探头下放时测量，提升时重复测量，两次测量误差不得大于 ±0.5℃。

10.9.4 井温测量电缆提升速度，必须使井温探头完全感受井中介质的温度，用 3000 系列测井测量时，不得大于 5m/min。

10.9.5 近稳态测温和井温变化时测温，必须在停止井液循环提钻后，立即测量第一条温度曲线，以后按 12、12、12、24、24h 间隔顺序各进行一次测温。

10.9.6 测定井温仪的时间常数（系统阻尼时间），校验点不少于 5 个，线性误差不大于 ±0.5℃。

10.10 声 波 测 井

10.10.1 声波测井的主要记录曲线是时差曲线。横向比例以

(m/s)/cm 或 (m/μs)/cm 标注。

10.10.2 声波测井的主要参数

1 声波在岩层中旅行时间：

$$\Delta t = L/V_d \qquad (10.10.2\text{-}1)$$

式中：

Δt——时差，μs/m；

L——声波在岩层中旅行距离，m；

V_d——岩层速度，m/s。

2 声波在岩层中的传播速度 V：

$$V = L/\Delta t \qquad (10.10.2\text{-}2)$$

注：岩层声波范围 1800～7600m/s。

3 声波探测深度（即探测半径）为 3 倍波长。

4 声波测井一般为单发双收装置，记录点在每个接收器的中点。

10.10.3 声波测井所测得的时差曲线，必须考虑下列因素的影响：

1 渗透性地层的影响：泥浆钻孔时差曲线若是一条直线，主要反应冲洗液的声度速。

2 源间距的影响：要求源间距足够大，应保证滑行波首先到达接收器。钻孔冲洗液速度 V_f＜岩层速度 V_d 时，要求的最小源距为：

$$L_{min} = 2s\sqrt{(1+\beta)/(1-\beta)} \qquad (10.10.3)$$

式中：

L_{min}——声源距，m；

s——声发射器与井壁的距离，m；

β——V_f/V_d（泥浆速度/岩层速度）。

3 声波在岩层中传播距离的影响。

4 钻孔井径的影响。

5 仪器与井壁碰撞产生周波跳跃的影响，每100m不得大于5次。

6 井壁附近岩层变化带的影响。

10.10.4 声波测井每孔应进行一次深度的重复测量，测量前后分别进行一次调零检查和标定，测井前的检查应在套管中进行，待时差正确后，方可下井测量。

10.10.5 时差曲线的误差计算：

$$\delta = (\Delta t' - \Delta t)/\Delta t \qquad (10.10.5\text{-}1)$$

式中：

$\Delta t'$——变化带时差；

Δt——原岩层时差。

当井壁与下井声波探管无间隙时：

$$\delta = 2D\sqrt{1-a^2}/(aL_2 - aL_1) \qquad (10.10.5\text{-}2)$$

式中：

D——变化带速度；

a——变化速度/原岩层速度；

L_1——声波发射器到第一接收器的距离；

L_2——声波发射器到第二接收器的距离。

10.11 井中无线电波透视

10.11.1 一般采用双孔透视，钻孔要满足下列要求：

1 钻孔深度应小于观测目的地质体下限深度；

2 钻孔间距应小于最佳工作频率的透距，使资料解释得到最好的地质效果；

3 在观测目的地质体的深度段，钻孔不得下钢质的套管。

10.11.2 根据测区地质电性条件和测量精度要求，选择最佳的工作频率，测量中每个钻孔宜选取两个以上的频率进行观测。

1 岩层吸收系数大，频率高，透视距小，宜选小于5MHz

的频率；

2 透视目的地质体小，宜选较高的频率；

3 岩层吸收系数小，宜选大于 5MHz 的频率，一般岩溶区宜用 10MHz～50MHz 频率。

10.11.3 天线应根据钻孔的特殊条件选取，发射机宜采用半波偶极天线，接收机宜采用半波天线时，必须考虑匹配及电磁波的辐射方向。

1 电磁波在岩层中的传播的波长 λ_e：

$$\lambda_e = \lambda_0/\sqrt{\epsilon} \qquad (10.11.3)$$

式中：

λ_0——电磁波在空气中传播波长；

ϵ——岩层的介电常数。

2 岩层的波长还可以用驻波法直接测定，在曲线上的极大值或极小值之间的距离即为半波长度（$0.5\lambda_e$）。

10.11.4 透视距的选择，应根据岩层的电性参数、接收机灵敏度和发射机的功率决定。透视距大小主要取决于岩层的吸收系数，孔深与孔距之比宜大于 1 或孔距大于 2 倍波长。

10.11.5 透视观测方法的选择，应先做水平同步和高差同步，然后在地质异常中心部位作定点测量。

1 同步法应以顺层水平同步为主，可得到地质异常的埋藏深度。高差同步的高差应根据井距、孔内岩层产状而定，接收天线与发射源连线的辐射角宜保持在 50°～80°范围内。

2 定点法的定点位置应选在水平同步曲线异常最明显的中心部位，为了消除干扰对观测结果的影响，必须将定点接收与发射天线进行位置互换观测。定点间距的选择，以能圈定地质异常轮廓为宜。

10.11.6 每个透视剖面应作水平同步、高差同步和定点法测量。所测曲线条数，应能圈出所发现的地质异常边界。

10.11.7 应进行10%～20%的重复测量和检查测量，其相对误差不得大于±5%，用分贝读数时，不得大于5dB。

10.11.8 工作安全的规定：

1 测井井场和井下工作安全无保障时，应停止进行测井；

2 应遵守井场的安全制度，有钻机的井场，测井人员应戴安全帽；

3 安全用电，严防触电事故；

4 有坍塌、掉块、堵塞的井孔，应采取处理措施，不应盲目测量；

5 测井过程中，井场上影响测井安全的其他一切活动必须停止；

6 测井时遇大风、雷电、暴雨应立即停止工作。

10.11.9 仪器设备的使用安全规定：

1 严禁不懂仪器设备性能和操作步骤的人员动用仪器设备；

2 全套井下、地面仪器设备在井场安放必须稳妥、可靠；

3 井口滑轮安装必须牢固，在井口工作时应严防物件掉入井内；

4 井下探头、探管、电极系接近井口时，应减速提升，严禁提升超过井口滑轮；

5 在快速升降电缆时，严禁跨越和手触摸滑轮附近的电缆；

6 在无套管或松散地层测井，电缆不得在易塌井段和井底停留过久，下降电缆严禁松闸下放、骤然刹车，以免井中打结和跳出井口滑轮，下放速度应小于30m/min；

7 运输途中，必须加盖防雨、防晒帆布，装卸时应轻放轻取。

10.11.10 孔内事故的预防和处理：

1 下井仪器与电缆连接处，其抗拉强度应大于电缆最大拉力的一倍；

2 操作绞车时，升降速度应均匀，发现遇阻、被卡应立即

停 车；

3 下井仪器（探管）下至孔底应立即提升，观测中如遇故障，必须将它们提到安全位置；

4 在测井过程中发生孔内事故时，必须立即与地质、钻探人员共同研究，采取措施，由钻探指定专人负责处理。

10.11.11 应检查各测井曲线是否满足测井计划大纲中的要求。

10.11.12 各种测井方法所选用的参数记录必须正确、清楚。

10.11.13 各种测井曲线应及时作出初步定性分析，发现异常，应进行重复测量或检查测量。

10.11.14 各种测井曲线图应登录编号，记录准确、齐全，不得伪造。

10.11.15 测井曲线的质量，是测井精度的重要指标，应通过重复测量或检查测量进行评价。检查测量曲线与基本测量曲线幅度变化误差，必须满足下列要求：

1 基本测量与检查测量的视电阻率梯度曲线和电位曲线的形状应完全一致。幅度相对误差，全自动测井仪应小于±5%；3000系列测井仪小于±4%，幅度变化小于1cm的低阻井段，幅度变化误差不应超过1mm。

2 自然电位基本测量与检查测量曲线形状应一致，相对幅度变化误差应小于±10%。

3 微电极系基本测量与检查测量曲线形状应一致，在黏土或泥岩井段应基本重合。

10.11.16 视电阻率测井曲线幅度相对误差计算方法：

$$\delta = 2(S_1 - S_2)/(S_1 + S_2) \times 100\% \quad (10.11.16)$$

式中：

δ——曲线幅度相对误差；

S_1——基本观测曲线面积；

S_2——检查观测曲线面积。

10.11.17 测井曲线质量评定结果可分“合格”、“不合格”两

级。

10.11.18　资料的整理解释应有专人负责。资料解释人员应掌握曲线特征，电性变化规律和地质情况，综合地进行逐段、逐层解释。

10.11.19　解释工作应由已知到未知，由定性到定量。不仅对目的层要详细研究，还应对每一异常，作出分析判断。

10.11.20　解释工作应根据曲线分层特征，结合地质、钻探确定目的层厚度和埋藏深度，绘制测井地质柱状图。

10.11.21　同一测区的定性、定量解释，应有统一的解释原则和充分的参数及验证资料作依据。

10.11.22　测井图件的编制，必须有统一的格式，测井柱状图与钻探柱状图应列在一起。综合测井各种曲线排列顺序为：标准电极系视电阻率曲线、微电极系视电阻率曲线、自然电位曲线、天然放射性曲线、井径曲线、井温曲线。各类曲线深度应一致，按比例绘出横坐标，注明各曲线名称和电极系装置类型及电极距。

10.11.23　水文测井资料解释应遵守下列规定：

1　应结合抽水试验的水位变化曲线，进行综合对比分析；

2　应各含水层之间存在相互补给关系时，扩散法的井液电阻率曲线不能作岩层渗透速度的定量计算；

3　用提捞法或注入法计算钻孔补给量和涌水量时，应使用分层测定的曲线，并按实测的井径计算；

4　用微电位曲线与微梯度曲线的正差异来判断渗透性地层时，必须同时用井径曲线进行校验，以防解释错误；

5　井液电阻率曲线，可用来对比岩层渗透性的差异，若需定量计算其渗透速度时，必须有一定的试验资料作验证。

10.11.24　解释天然放射性曲线时，可采用以下方法：

1　确定岩层厚度可用 1/2～4/5 幅度法和给定强度法。

2　确定岩层泥质含量，应对泥浆、套管、井下探管外径、

厚度等因素进行校正，通过实验作出天然放射强度与泥质含量的关系曲线，然后根据曲线求出泥质含量。

10.11.25 声波测井资料的解释应符合下列规定：

1 划分岩层：以声波速度高低划分岩性，以半幅点确定层面。

2 岩层对比：由于不同岩层声波速度的差异，利用 Δt 曲线特征，找出目的层，确定各岩层顺序和年代。

3 利用 Δt 曲线计算岩层的孔隙度，必须对流体矿化度、泥质含量、岩层压实性因素进行校正。

4 利用 Δt 曲线计算岩层的弹性模量。

10.11.26 井中无线电波透视资料解释应符合下列规定：

1 应收集测区有关的钻孔柱状图、透视剖面上的岩性变化、岩层分布规律、构造发育情况等地质资料。了解孔深、井斜和孔内其它情况。

2 根据实测所得记录的场强资料，整理绘制下列图件，提供地质异常体的空间形态、产状：

1）编绘实测场强沿钻孔剖面的变化曲线图；

2）在场强曲线的基础上，利用交会法绘制剖面交会图；

3）绘制吸收系数沿钻孔剖面的变化曲线图；

4）用实测场强与正常场强的差值，绘制沿钻孔剖面的纯异常曲线图；

5）用正常场强与实测场强比值，绘制屏蔽系数沿钻孔剖面的变化曲线图。

3 根据地质任务要求，绘制地质异常体的空间分布位置图。

11 氡气探测

11.0.1 氡气探测的目的：

1 断裂破碎带的调查；

2 岩溶及基岩或富水带，裂隙发育带的圈定；

3 判断含水层富水地段，含水层厚度；

4 地裂缝、煤田陷落柱、旧巷道与采空区的圈定；

5 放射性环境污染监测等。

11.0.2 不宜进行氡气探测地区：

1 公路上（沥青马路）；

2 矿渣堆积区；

3 化肥零散堆放点或施撒化肥不久（3d内）的农田内；

4 用放射性催化过的种子播撒区；

5 工业与民用垃圾点附近等。

11.0.3 仪器装备：

1 测氡仪；

2 α探杯；

3 α卡片。

11.0.4 对α测氡仪的要求：

1 能够直接对α杯或大面积α卡片进行α测量，作α杯法测量时必须使用无需避光操作的电离室α杯探测仪；

2 灵敏度高，易于发现微弱的放射性异常；

3 本底低；

4 稳定性好，能在0℃～40℃范围内，相对湿度90%的气候条件下，连续工作8h以上；

5 多台仪器在同一地区工作时，一致性好；

6 仪器应具有读数定时报警、电池电压报警功能。

11.0.5 仪器性能检查：

1 仪器本底：

1）在日常工作中，应经常检查仪器的本底；

2）若 α 探测器未受污染，在室温下，仪器测量若干分钟，平均本底计数率应不大于每分钟数个脉冲。

2 短期工作稳定性：

1）仪器经过检修、阀压调节、长期存放、长途运输或受剧烈震动、潮湿等后，应进行短期工作稳定性检查；

2）仪器在连续工作的数小时内，测量固定的 α 放射源，读数应符合放射性统计规律。

3 长期工作稳定性：

1）仪器在使用的数周或数月期间内，对固定的 α 放射源，所测读数应符合放射性统计涨落规律；

2）仪器的长期工作稳定性是根据仪器日常稳定性检查测得的计数值 N_i 来衡量的。当 $N_i>1000$ 时，可按下式计算仪器长期工作稳定性读数变化相对误差 δ：

$$\delta=(N_i-N)/N \qquad (11.0.5\text{-}1)$$

式中：

N——仪器稳定性检查的平均值。

若 $\delta\leqslant\pm30\%$，则认为仪器长期工作是稳定的。

4 多台仪器工作一致性检查：

多台仪器在同一地区工作时，要求各台仪器在同一 α 放射源测得的计数率相对误差 $\varepsilon\leqslant\pm30\%$。

$$\varepsilon=(N_i-N)/N \qquad (11.0.5\text{-}2)$$

式中：

N_i——第 i 台仪器高精度测量得到的计数率；

N——多台仪器计数率的平均值。

如果一致性差异很大，在同一地区工作时，必须对各仪器测量结果进行修正，然后才能提交资料。

11.0.6 根据工作任务选择测区，布置测线。可参照电法，地震勘探等测网密度布置。

11.0.7 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。

11.0.8 测线间距在工作比例尺图上应为2cm～4cm，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0.5cm～2cm，实测点距一般为5m～10m。

11.0.10 每天施工前后要检查仪器本底，用α放射性工作源检查α测氡仪日常工作稳定性，以保证野外获得的数据可靠。

11.0.11 α杯法野外施工步骤：

1 挖坑：逐测点挖深30cm～40cm，直径适合放置探杯的探坑。

2 埋杯：将探杯倒置于坑中，用土埋严。

3 测量：埋杯一定时间后（一般4h～8h），取出探杯，立即将其放入电离室α杯探测仪内进行测量。

4 记录：将测点号、测量时间、测量值以及探杯号记录清楚。同时应记录埋杯及取杯时刻，第一次及第二次测量时刻。

5 为了获得多种参数，便于资料解释，可以对α杯作第二次测量，以此计算出^{222}Rn，^{220}Rn和$^{222}Rn/^{220}Rn$等氡的参数。第二次测量可在第一次测量后的4h进行。

6 为了便于资料解释，可以在进行α杯法测量时，在探坑内可取50g～100g土壤样品，回到室内作作其它方法测量，也可在探坑内作其它测量（如γ测量）。

11.0.12 α卡法野外施工步骤：

1 α卡法在埋杯前，需要测试调整α卡片上的静电电压，将其安装在α探杯底部，然后再埋在地下，其它野外工作方法与α杯法相同。

2 α卡法测量中还应记录α卡片的静电电压。

11.0.13 野外检查测量工作一般不少于全区工作量的5%。α杯

法测量的检查工作，一般在原测线上进行，检查线应尽量布置在有地质意义或有疑问的地段。

11.0.14 质量检查的标准是：

1 未漏掉有意义的异常；

2 测量曲线的形态无明显差异；

3 若检查测量是按测线在原测点上进行的，则可用相关分析法来衡量 α 测量的工作质量。

相关分析

$$\rho = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \times \Sigma(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (11.0.14)$$

式中：

ρ——相关系数；

x_i——第一次测量得到的第 i 测点的计数值；

y_i——第二次测量得到的第 i 测点的计数值；

$\bar{x}$——测量得到的平均计数值；

$\bar{y}$——测量得到的平均计数值。

根据检查测量的测点数，按可信度 0.10 查相关系数检验表（见表 11.0.14），若计算得到的相关系数 ρ 大于或等于表中查得的数值，则表明测量的工作质量可靠。

表 11.0.14 相关系数检验表（可信度 0.10）

测点数	10	20	30	40	50	60	70	80
检验值	0.549	0.378	0.296	0.243	0.231	0.211	0.195	0.183
测点数	90	100	120	200	300	400	500	1000
检验值	0.173	0.164	0.150	0.116	0.95	0.082	0.073	0.052

11.0.15 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、图件绘制和分析研究、总结推断，最后提出结论。

11.0.16 原始资料的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、相关系数计算是否正确等。

11.0.17 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、线号、剖面号混淆不清；

3 原始资料涂改或模糊不清；

4 相关系数 ρ 小于相应数值。

11.0.18 内业工作应绘制以下图件：

1 绘制实际材料图：图上应标明测量方法，测线号，测点号及测量数值。

2 绘制剖面图或平面剖面图。

3 地质、物探综合剖面图和平面图。

11.0.19 凡异常参数的异常值比背景值约高 2～5 倍，即为异常点，但据统计资料表明断层构造带上氡气的强度只有背景值的 1.1～1.8 倍，因此在工程探测中，若氡气强度偏高，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，亦可称异常点。

11.0.20 辐射源的管理见本规定的附录 C（规范性附录）。

12 地下管线探测技术

12.1 技 术 准 备

12.1.1 地下管线探测的对象应包括埋设于地下的给水、排水、燃气、热力、工业等各种管道以及电力和电信电缆。

12.1.2 地下管线探测应查明地下管线的平面位置、走向、埋深(或高程)、规格、性质、材料等，并编绘地下管线图。

12.1.3 地下管线探测按探测任务可分为市政公用管线探测、厂区或住宅小区管线探测、施工场地管线探测和专用管线探测四类。各类探测的要求和范围应符合下列规定：

1 市政公用管线探测应根据城市规划管理部门或公用设施建设部门的要求进行，其范围应包括道路、广场及其他主管线通过的区域；

2 厂区或住宅小区管线探测应根据工厂或住宅小区管线设计和管理部门的要求进行，其探测范围包括厂区或住宅小区所辖区域；

3 施工场地管线探测应在某项工程施工开挖前进行，其范围应包括开挖、可能受开挖影响地下管线安全以及为查明地下管线所必需的区域；

4 专用管线探测应根据某项管线工程的规划、设计、施工和管理部门的要求进行，其探测范围应包括管线工程敷设的区域。

12.1.4 地下管线探测基本地形图的比例尺可根据表 12.1.4 选择。

12.1.5 城市地下管线探测的精度应符合以下规定：

1 隐蔽管线点的探测精度分为三个等级。各级精度探测的水平位置限差和埋深限差应符合表 12.1.5-1 的规定。限差值按

二倍中误差计。

表 12.1.4 地下管线探测基本地形图比例尺的选择

探测类别		选用比例尺
市政公用管线探测	市区	1:500～1:2000
	郊区	1:1000～1:5000
厂区或住宅小区管线探测		1:500～1:1000
施工场地管线探测		1:200～1:1000
专用管线探测		1:500～1:5000

表 12.1.5-1 隐蔽管线点的探查精度

精度等级	水平位置限差 δ_{ts} cm	埋深限差 δ_{th} cm
Ⅰ	$\pm(5+0.05h)$	$\pm(5+0.07h)$
Ⅱ	$\pm(5+0.08h)$	$\pm(5+0.12h)$
Ⅲ	$\pm(5+0.12h)$	$\pm(5+0.18h)$

注 1：h 为地下管线的中心埋深，以厘米计算；

注 2：当 $h \leqslant 70$cm 时，埋深限差 δ_{th} 用 $h=70$cm 代入计算；

水平位置限差 δ_{ts} 仍用实际埋深 h 值代入计算；

注 3：如果对探查精度有特殊要求，可根据工程需要确定。

2 测量管线点的解析坐标中误差（指测点相对于邻近解析控制点）不得大于±5cm；高程中误差（指测点相对于邻近高程控制点）不得大于±2cm。

3 探测管线点的解析坐标中误差（指实际管线点相对于邻近解析控制点）不得大于表 12.1.5-2 中的规定。高程中误差（指实际管线点的高程相对于邻近高程控制点）不得大于 $0.5\delta_{th}$，δ_{th}为表 12.1.5-1 所规定的探查埋深限差。

4 地下管线图上测量点位中误差不得大于±0.5mm；地下管线图上探测点位中误差不得大于 $\pm(0.5+0.25\delta_{ts}/M)$ mm，

式中 M 为测图比例尺的分母。

表 12.1.5-2 探测管线点解析坐标中误差

等级精度	坐标中误差 m_s cm
Ⅰ	±（5+0.02h）
Ⅱ	±（5+0.035h）
Ⅲ	±（5+0.055h）
注：h 为地下管线的中心埋深，以厘米计算。	

12.1.6 市政公用管线探测和专用探测采用的坐标和高程系统必须与当地城市坐标高程系统相一致。厂区或住宅小区管线探测和施工场地管线探测可采用本地的建筑坐标系统，但应与当地城市坐标系统建立换算关系式。

12.1.7 地下管线探测工作宜遵循下列基本程序：接受任务、搜集资料、现场踏勘、方法试验、编制技术设计、实地调查、仪器探测、建立测量控制、管线点连测、地下管线图编绘、报告书编写和成果验收。探测单一管种和工作量较小时，上述工作程序可以简化。

12.1.8 地下管线现场探测前，必须全面搜集和整理测区范围内已有的地下管线资料和有关测绘资料，宜包括下列内容：

1 已有的各种地下管线图；

2 各种管线的设计图、施工图、竣工图及技术说明资料；

3 相应比例尺的地形图；

4 测区及其邻近测量控制点的坐标和高程。

12.1.9 现场踏勘应在搜集、整理和分析已有资料的基础上进行，踏勘的任务是：

1 核查搜集的资料，评价资料的可信度和可利用程度；

2 察看工区的地物、地貌、交通和地下管线分布出露情况、地球物理条件及各种可能的干扰因素；

3 核查测区内测量控制点的位置。

12.1.10 在搜集资料和踏勘的基础上，宜编制地下管线探测工

作示意图。示意图可选用1:5000或1:10000的地形图，也可采用地形草图。图上应标出探测范围以及范围内和邻近的地下管线分布。

12.1.11 根据搜集的资料和踏勘的结果，应选定合理的地下管线探测方法和技术，并进行必要的方法试验。

12.1.12 本章未叙述到的内容按CJJ 61—1994《城市地下管线探测技术规程》有关条文执行。

12.2 目的及实地调查

12.2.1 地下管线探查应在现场查明各种管线的敷设状况及在地面上的投影位置和埋深，并在地面上设置管线点标志。

12.2.2 管线点分为明显管线点和隐蔽管线点。在明显管线点上应对地下管线进行实地调查和测量。在隐蔽管线点上应用仪器探测地下管线的地面投影位置及埋深。

12.2.3 管线点宜设置在管线的特征点或其它地面投影位置上。管线特征点包括交叉点、分支点、转折点、起止点以及管线上的附属设施中心点等。

12.2.4 每在没有特征的管线段上，探测各类管线的管线点间距应符合下列规定：

1 市政公用管线探测和专用管线探测，管线点的间距宜按相应比例尺地形图上每15cm～30cm设一个管线点；

2 厂区或住宅小区管线探测，管线点的间距宜按相应比例尺地形图上每10cm～20cm设一个管线点；

3 施工场地管线探测，宜在现场每5m～10m设一个管线点。

12.2.5 地形管线探测必须在充分搜集和分析已有资料的基础上，采用实地调查与仪器探测相结合的方法进行。

12.2.6 管线点的编号和标记，宜采用管线代号、管线编号和管线点顺序号三部分组成的符号表示。

12.2.7 对明显管线点上所露出的地下管线及其附属设施应作详细调查、记录和测量，查清每一条管线的情况。

12.2.8 实地探测时宜邀请熟知本地区地下管线的人员参加。

12.2.9 在实地探测时，应查明每一条管线的性质和类型。

12.2.10 给水管道可分为生活用水、生产用水和消防用水。

12.2.11 排水管道可分为工业废水、生活污水和雨水。

12.2.12 燃气管道可分为煤气、液化气和天然气。

12.2.13 工业管道可分为氢、氧、乙炔、石油、排渣等。

12.2.14 热力管道可分为热水和蒸汽。

12.2.15 电力电缆可分为供电（输电或配电）、路灯、电车等。

12.2.16 电信电缆可分为市内电话、长途电话、电报、有线广播、有线电视、光纤电缆和其他专用电信电缆等。

12.2.17 在明显管线点上应实地量测地下管线的埋深，单位用米表示，误差不得超过±5mm。

12.2.18 地下管线的埋深可分为内底埋深、外顶埋深和外底埋深。量测何种埋深应根据地下管线的性质和委托方的要求确定。

12.2.19 地下沟道或自流的地下管道应量测其内底埋深；有压力的地下管道应量测其外顶埋深。

12.2.20 直埋电缆和管块应量测其外顶埋深；管沟应量测其内底埋深。

12.2.21 地下隧道或顶管工程施工场地的地下管线探测应量测外底埋深。

12.2.22 在窨井（包括检查井、闸门井、仪表井、人孔和手孔等）上设置明显管线点时，管线点的位置应设在井盖的中心。当地下管线中心线的地面投影偏离管线点，其偏距大于0.2m时应量测偏距及其方位。偏距的单位用米表示。

12.2.23 地下管道及埋设电缆的管沟应量测其断面尺寸。圆形断面应量测其内径；矩形断面应量测其内壁的宽和高，单位用毫米表示。

12.2.24 地下管道应查明其材料（铸铁管、钢管、混泥土管、钢筋混泥土管、塑料管、石棉水泥管、陶土管、陶瓷管、砖石沟等）。

12.2.25 埋设于地下管沟或管块中的电力电缆或电信电缆，应查明其电缆的根数和孔数。

12.2.26 在明显管线点上，应查明地下管线的各种建、构筑物和附属设施。

12.2.27 人防巷道应测量其内底埋深及内壁的宽和高。

12.2.28 工区内缺乏明显管线点或在已有明显管线点尚不能查明实地调查中必须查明的项目时，应开挖地下管线进行实地调查和测量。

12.2.29 探查隐蔽地下管线的物探方法必须具备下列条件：

1 被探测的地下管线与其周围介质之间有明显的物性差异；

2 被探测的地下管线所产生的异常场有足够的强度，能从干扰背景中清楚地分辨出其异常。

12.2.30 探测地下管线应遵守以下原则：

1 从已知到未知；

2 从简单到复杂；

3 方法有效、快速、轻便；

4 复杂条件下宜采用综合方法。

12.2.31 地下管线探测前，应在探测区域邻近的已知管线上进行方法试验，确定该种方法技术和仪器设备的有效性、精度和有关参数。不同类型的地下管线、不同地球物理条件的地区，应分别进行方法试验。

12.2.32 探测金属管道和电缆应根据管线的类型、材料、管径、埋深、出露情况、接地条件及干扰等因素选择探测方法：

1 金属管道宜采用电磁感应法。当存在相邻管线干扰，并有出露点时，宜采用直接法。

2 接头为高阻体的金属管道，宜采用频率较高的电磁感应

法或夹钳法。当探查区内铁磁性干扰小时，可采用磁场强度法或磁梯度法。

3 管径（相对埋深）较大的金属管道，宜采用电磁感应法，也可采用磁法、电磁波法或地震波法。

4 埋深（相对管径）较大的金属管道，宜采用功率（或磁距）大、频率低的电磁感应法。

5 电力电缆宜先采用被动源工频法，辅以主动源法，当电缆有出露端时，宜采用夹钳法。

6 电信电缆和照明电缆宜采用主动电磁法，有条件时可施加断续发射信号。

12.2.33 非金属管道的探测法，可按下列原则进行选择：

1 有出入口的非金属管道宜采用示踪电磁法；

2 钢筋混凝土管道可采用磁偶极感应法，但需加大发射功率（或磁距）、缩短收发距离；

3 管径较大的非金属管道，并具备接地条件时，可采用直流电阻率法；

4 热力管道或高温输油管道宜采用主动源电磁法和红外辐射法。

12.2.34 在盲区用磁偶极感应法搜索地下管线时，宜先用发射机—接收机平行搜索法发现异常，再在异常点上用圆形搜索法确定管线走向，然后沿走向进行追踪。

12.2.35 电磁感应类专用地下管线仪定位宜采用垂直线圈测定水平分量的极大值法确定地下管线的大致位置，再用水平线圈测垂直分量的极小值法精确定位。两种方法定位结果相差悬殊时，应查明原因。

12.2.36 电磁感应类专用地下管线仪定深应根据方法试验结果选用直读法、45°法或特征点法。定深点的位置宜选择在管线点或其邻近被测管线前后各 3～4 倍管线中心埋深范围内是单一的直管线，中间无分支或弯曲，且邻近管线之间距离较大的地方。

1 不论用何种方法定深，都应首先在实地精确定出定深点的水平位置。

2 直读法定深时，应保持接收机天线垂直，直读结果应根据方法试验确定的定深修正系数进行深度校正。

3 采用45°法或特征点法定深时，量距误差不得超过±1cm。

12.2.37 区分两条或两条以上平行管道或电缆时，宜采用直接法或夹钳法，通过分别直接对各条管线施加信号来加以区分；在采用电磁感应法时，宜通过改变发射装置的位置和状态以及发射的频率和磁矩，分析信号异常的强度和宽度等变化特征加以区分。

12.2.38 采用直接法或充电法探测地下管线时，应把信号施加点上的绝缘层刮干净，保持良好的电性接触；接地电极应布设合理，接地点上应有良好的接地条件。

12.2.39 电磁感应法探测钢筋混凝土地坪下的管线时，接收机应离地坪一定的高度，克服钢筋网的干扰。

12.2.40 探测地下人防巷道宜采用电磁波法，也可采用浅层地震勘探法、面波法或电阻率法。当操作员能进入巷道时，宜采用示踪电磁法。

12.2.41 选用何种地下管线探测仪器应与所采用的方法技术相适应。探测金属地下管线宜选用电磁感应类专用地下管线仪。

12.2.42 专用地下管线仪应具备以下性能：

1 对被探测的地下管线能获得明显的异常信号；

2 有较强的抗干扰能力，能区分管线产生的信号或干扰信号；

3 有足够大的发射电源（或磁矩），能满足探测深度的要求；

4 性能稳定，重复性好；

5 结构坚固，密封良好，能在－10℃到＋45℃的气温条件

下和潮湿的环境中正常工作；

6 仪器轻便，有良好的显示功能，操作简便。

12.2.43 非电磁感应类专用地下管线探测仪（如地质雷达、浅层地震仪、磁力仪、红外热辐射仪等），应符合出厂说明书技术标准的要求。

12.2.44 新的地下管线仪、经过大修或长期停用后的仪器，在投入正式探测前必须按说明书的要求对仪器作全面检查和校正。每天开工前和收工时应检查仪器的电池和电压，不符合要求时应及时更换。

12.2.45 仪器使用、运输和保管过程中，应注意防水、防潮、防曝晒、防剧烈振动。

12.2.46 管线点均应设置地面标志。选择何种地面标志（预制水泥桩、刻石、铁钉、木桩、油漆等）应根据标志需保留的时间长短和地面的实际情况确定。

12.2.47 标志面宜与地面取平，当高于或低于地面时，应量测其高出或低于地面的数值，并在探测记录表中注记。

12.2.48 标志埋置后应在点位附近用颜色漆标出编号，标注位置宜选择在明显且能较长时间保留的地方。

12.2.49 当管线点的实地位置不易寻找时，应在探测记录表中注记其与附近固定地物之间的距离和方位，实地栓点，并绘制位置示意图。

12.2.50 每一个工区应在隐蔽管线点和明显管线点中分别随机抽取不少于各自总点数的5%进行重复探测。重复探测应在不同时间，由不同操作员进行。隐蔽管线点应复查地下管线的水平位置和埋深。明显管线点复查地下管线的埋深。根据重复探测结果，按公式（12.2.50-1）、（12.2.50-2）和（12.2.50-3）分别计算隐蔽管线点的探测定位中误差 m_{ts}和定深中误差 m_{th}及明显管线点的探测埋深中误差 m_{td}。m_{ts}和 m_{th}不得超过 12.1.5-1 所规定的限差的 0.5 倍。m_{td}不得超过 ± 2.5cm。

$$m_{ts} = \pm\sqrt{\frac{1}{2n_1}\Sigma\Delta s_{ti}^2} \qquad (12.2.50\text{-}1)$$

$$m_{th} = \pm\sqrt{\frac{1}{2n_1}\Sigma\Delta h_{ti}^2} \qquad (12.2.50\text{-}2)$$

$$m_{td} = \pm\sqrt{\frac{1}{2n_2}\Sigma\Delta d_{ti}^2} \qquad (12.2.50\text{-}3)$$

式中：

Δs_{ti}——隐蔽管线点的水平距离偏差；

Δh_{ti}——隐蔽管线点埋深偏差，cm；

Δd_{ti}——明显管线点的埋深偏差，cm；

n_1——隐蔽管线点重复探测的点数；

n_2——明显管线点重复探测的点数。

12.2.51 每一个工区应在隐蔽管线点中均匀分布随机抽取不少于隐蔽管线点总数的1%且不少于3个进行开挖验证。

12.3 地下管线图的编绘

12.3.1 地下管线图的编绘应在已有新测或经修测合格的地形图和地下管线探测成果的基础上进行。编绘工作应包括下列内容：图幅尺寸的选定、地形图复制、管线展绘、文字数字的注记、成果表编绘、文字说明、图廓整饰、原图上墨等。

12.3.2 地下管线图可分为专业管线图，综合管线图，管线纵、横断面图和放大示意图等。

12.3.3 地下管线图上除表示测区管线及地形外，应包括管线点成果、文字说明、图例、指北针及图签等。

12.3.4 地下管线图的图幅宜采用原城市图的图幅尺寸及编号。对于厂区、住宅小区和施工场地，也可采用DL/ T 5156.5—2002《电力工程勘测制图第5部分：物探》规定的尺寸。

12.3.5 编绘用的基本地形图应符合下列要求：

1 比例尺不应小于所绘管线图的比例尺；

2 坐标、高程系统应与管线测量一致；

3 图上地物、地貌基本反映测区现状；

4 质量应符合国家大比例尺测图的技术标准。

12.3.6 除实测管线成果外，对编绘用的各种管线资料应进行下列各项检查：

1 管线在地面的露头应与地形图上的同一地物符号核对，当有遗漏或平面位置误差大于图上 1mm 时，应进行实地检查和修正。

2 对坐标、高程、尺寸等成果数据应进行质量分析，必要时进行实测检查，精度应满足 12.1.5 的要求。

12.3.7 底图材料宜用厚为 0.07mm～0.10mm、变形率小于 0.2‰的经热处理的毛面聚酯薄膜。

12.3.8 测区范围内的地形图复制到底图上去时，可采用复制二底图的办法或手工透描，复制前原图内容宜适当取舍。

12.3.9 专业管线图宜一种专业一张图，也可按相近专业组合一张图。

12.3.10 编绘工作开始前，应熟悉测区内管线的敷设状况及尚存在的问题。

12.3.11 编绘前应取得以下资料：

1 测区的基本地形图；

2 测区已有的管线资料；

3 探测工作示意图及附属设施草图；

4 管线点调查表和成果表；

5 结点放大示意图、管沟断面图。

12.3.12 专业管线图上应绘制出与管线有关的建、构筑物及附属设施。

12.3.13 平行管线图上线条隙距小于 0.2mm 时，应按支线让干线、有压管道让无压管道、电信电缆让有压管道、电力电缆让电

信电缆的原则，将避让管线偏移。对于同专业同规格的管线宜各向两侧作等距偏离，使线条隙距为 0.2mm。位于同一垂直面内的管线，也可用一条线上分别注记各管线代号的方法表示。

12.3.14 同专业管线不连接相交时，宜绘出上面的管线，下面的管线两侧各断开 0.2mm；不同专业相交时不应断开。

12.3.15 管沟宽度大于图例符号时，宜按实际宽度比例绘制。在管线种类和位置有变化处宜绘管沟断面图。

12.3.16 图上注记应符合下列要求：

1 给水管道应注记管道中线的起点、分支点、转折点及终点的坐标或编号，管顶高程、地面高程及每段管径。

2 排水管道应注记管道中线的起点、分支点、转折点及终点的中心坐标及每段管径。

3 管沟应注记中心线的起点、分支点、转折点及终点的坐标，沟底、地面高程。绘管沟断面图时应加注管沟内壁尺寸、管道位置尺寸及管径。

4 直埋管道应注记管道中心线的起点、分支点、转折点、终点的坐标、管顶、地面高程。

5 电缆应注记线路的起点、分支点、转折点、终点及人孔中心的坐标、埋深。

12.3.17 结点放大示意图可用任意比例尺，需要时用透视图绘制，也可用实际拍摄的照片代替。示意图应编号，并绘在所在管线图的适当位置上。

12.3.18 综合管线图宜包括以下内容：

1 各专业管线。管线密集地区可只绘出各专业管线的干线，干线的确定可以根据工程情况及用途要求而定。

2 管线上的建、构筑物。

3 地面建、构筑物。

4 铁路、道路、河流、桥梁。

5 主要地形特征。

12.3.19 已有专业管线图的工程，在综合管线图上可不注记坐标、高程、管径、规格、型号。

12.3.20 不编制专业管线图的工程，综合管线图上的注记方法可根据图的负荷量直接注记或另编成果表。

12.3.21 管线纵、横断面图应依据断面测量的成果资料编绘。

12.3.22 管线断面图的比例尺宜按表 12.3.22 的规定选用，纵断面的水平比例尺应与管线图一致；横断面的水平比例尺宜与高程比例尺一致；同一工程各纵、横断面的比例尺也应一致。

表 12.3.22 断面图的比例尺

	纵断面图		横断面图	
水平比例尺	1:500	1:1000	1:50	1:100
垂直比例尺	1:50	1:100	1:50	1:100

12.3.23 各种管线、管沟应按比例尺展绘，展绘后的管线小于图上 1mm 时用 0.6mm～0.8mm 的实线绘制，地面线用 0.2mm～0.3mm、建、构筑物轮廓线用 0.3mm～0.4mm、各种尺寸线及表格线用 0.1mm～0.2mm 的实线绘制。

12.3.24 纵断面图应绘出：地面线、管线、与断面相交的管线及地上地下建、构筑物；标出各测点的里程桩号、地面高、管顶或管底高、管线点间距、转折点的交角等。

12.3.25 横断面图的编号宜用 A-A′，Ⅰ-Ⅰ′、Ⅰ-Ⅰ′等表示；测绘纵断面图的工程，横断面的编号应用里程桩表示。

12.3.26 横断面图应绘出：地面线、管线与断面相交的地上地下建、构筑物；标出测点间水平距离、断面高、管顶或管底高、管沟断面尺寸、管径等。

12.3.27 专业管线图、综合管线图、纵横断面图间相同要素应协调一致。

13 岩土参数原位测试技术

13.1 声波法测试

13.1.1 声波测试是利用频率为数千赫到20kHz的声频弹性波通过岩体，以测定岩中波速和振幅的变化，从而解决工程地质问题。

13.1.2 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。

13.1.3 声波测试的应用条件

1 地下洞室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、井口三角架及吊滑装置。

13.1.4 声波参数测定仪应符合以下要求：

1 接收机：测时范围0～999μs、0～9999μs。测时误差，0.1μs档大于20μs时，$\Delta t<1.5\%$，大于100μs时，$\Delta t<0.5\%$；1μs档大于500μs时，$\Delta t<0.5\%$；放大器灵敏度小于3μV/mm（增益110dB时）。输入阻抗大于1kΩ。

2 发射机：脉冲发射幅度：80～250V、300～700V。脉冲

发射宽度：5～100μs。

13.1.5 声波测试主要测定岩体的纵、横波速度，进而求得有关物理力学参数：

$$v_p = L/t_p \qquad (13.1.5\text{-}1)$$

$$v_s = L/t_s \qquad (13.1.5\text{-}2)$$

式中：

v_p——纵波的波速，m/s；

v_s——横波的波速，m/s；

t_p——纵波的传播时间，s；

t_s——横波的传播时间，s；

L——发射点到接收点的间距，m。

13.1.6 测点应布置在有代表性、表面平坦的地段，一般采用声波发射机发射，接收机接收进行测定。

13.1.7 声波测井从孔底开始自下而上进行，点距一般为0.2～0.5m。

13.1.8 洞室声波测试，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。

13.1.9 采用声波测井进行固结灌浆效果检查时，应有灌浆前、后的实测对比曲线。

13.1.10 声波测试的观测质量，必须进行一定的检查观测。检查观测一般为总工作量的5%～10%。声波观测质量是否合格，按相对误差进行评价，计算公式为：

$$\delta = [(t - t')/(t + t')] \times 100\% \qquad (13.1.10)$$

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 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数的10%。

13.1.11 声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。

13.1.12 声波法测试的纵、横波时间值解释时，应进行换能器零点校正。

13.1.13 声波测井成果图，应将各测点时间值绘制成纵波时距曲线图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。

13.2 单孔法波速测试

13.2.1 测试前的准备工作应符合下列要求：

1 测试孔应垂直；

2 当剪切波振源采用锤击上压重物的木板时，木板的长向中垂线应对准测试孔中心，孔口与木板的距离宜为1m～3m，板上所压重物宜大于400kg，木板与地面应紧密接触；

3 当压缩波振源采用锤击金属板时，金属板距孔口的距离宜为1m～3m。

13.2.2 测试工作应符合下列要求：

1 测试时，应根据工作情况及地质分层，每隔1m～3m布置一个测点，并宜自下而上按预定深度进行测试；

2 剪切波测试时，传感器应设置在测试孔内预定深度处固定，沿木板纵轴方向分别打击其两端，可记录极性相反的两组剪切波波形；

3 压缩波测试时，可锤击金属板，当激振能量不足时，可采用落锤或爆炸产生压缩波。

13.2.3 测试工作结束后，应选择部分测点作重复观测，其数量不应少于测点总数的10%。

13.2.4 压缩波或剪切波从振源到达测点时间的确定，应符合下列规定：

1 确定压缩波的时间，应采用竖向传感器记录的波形；

2 确定剪切波的时间，应采用水平传感器记录的波形。

13.2.5 压缩波或剪切波从振源到测点的时间，应按下列公式进行斜距校正：

$$T = KT_L \qquad (13.2.5\text{-}1)$$

$$K = (H + H_0)/\sqrt{L^2 + (H + H_0)^2} \qquad (13.2.5\text{-}2)$$

式中：

T——压缩波或剪切波从振源到达测点经斜距校正后的时间，s；

T_L——压缩波或剪切波从振源到达测点的实测时间，s；

K——斜距校正系数；

H——测点的深度，m；

H_0——振源与孔口的高差，m，当振源低于孔口时，H_0 为负值；

L——从板中心到测试孔的水平距离，m。

13.2.6 时距曲线图的绘制，应以深度 H 为纵坐标，时间 T 为横坐标。

13.2.7 波速层的划分，应结合地质情况，按时距曲线上具有不同斜率的折线段确定。

13.2.8 每一波速层的压缩波波速或剪切波波速，应按下式计算：

$$v = \Delta H/\Delta T \qquad (13.2.8)$$

式中：

v——波速层的压缩波波速或剪切波波速，m/s；

ΔH——波速层的厚度，m；

ΔT——压缩波或剪切波传到波速层顶面和底面的时间差，s。

13.3 跨孔法波速测试

13.3.1 以一定间距直线排列布置三个或三个以上的钻孔，通过在震源孔中激振，接收孔内接收直达的横波（S波）和纵波（P波）在地层中的传播时间，根据已知的其相应的传播距离（L），计算出波在地层中的传播速度的方法，称之为跨孔法波速测定。

13.3.2 跨孔法波速测定目的

1 为构（建）筑物的动力反应分析提供纵波速度值 v_p，横波速度值 v_s，动弹性模量 E_d，动剪切模量 G_d 等参数；

2 为地震小区划分提供依据；

3 判别饱和砂土，粉土层的地震液化势；

4 检验软土地基加固效果；

5 探测地质异常体，如土洞，溶洞等。

13.3.3 本章适用于岩土，特别是松软饱和土地层中的跨孔法波速测定。

13.3.4 本试验需要下列仪器设备：

1 震源：可采用冲击震源、爆炸震源和电火花震源等，但主要采用能正反向重复激振的井下装置。

2 检波器：采用三分量（相互成正交）检波器，其谐振频率为 8Hz～27Hz。检波器置于密封防水的无磁性圆柱筒内，可用气囊，楔子、弹簧、机械扩展装置等，将其固定在钻孔中。

3 放大器：可采用多通道、低噪声放大器。各通道必须具有一致的相位特征，并配有可调的增益装置但不宜采用信号滤波装置。

4 记录器：可采用各种型号的示波记录器或多通道工程地震仪，记录器的记时精度应在 1ms～2ms 以上。

5 测斜仪：测斜仪应能测量 0～360°的方位角及 0～30°的

倾角；当顶角小于1°时，其方位角的测量允许误差为±3°，倾角测量允许误差为±0.1°。

6 零时触发器：主要采用压电晶体触发器，其延迟时间小于25μs。

7 套管：宜采用内径为78mm～80mm，壁厚5mm～6mm，长度一般为4m的硬聚氯乙烯塑料管。

13.3.5 试验孔应尽量布置在地表高程相差不大的地段；若地表起伏较大，必须精确测定孔口的高程。

13.3.6 试验孔的间距，在土层中一般为2m～4m，在岩层中为8m～10m。在保证直达波首先到达检波器的前提下，可视地层厚度、速度参数及测试要求而定。

13.3.7 在土层（特别是饱和软土）中，要求钻进采用干钻，螺旋式提土器，尽量不用冲击钻。

13.3.8 采用一次成孔测试法时，一般先将一组试验孔一次全部成孔，紧接着在孔内下好塑料管，并在孔壁与套管间的环形间隙内灌浆或用砂充填，对于较软的土层可让自成塌孔充填，确保套管与孔壁的紧密耦合，待六天固结后，方可进行测试。

13.3.9 以0.4倍最大孔距的深度处为第一个测点，每个测点须有2张以上合格记录。每次测试时，震源中心和检波器中心应在同一高程上。

13.3.10 灌浆。灌浆前应按照1:1:6.25的比例，将水泥，膨润土和水搅拌成混合物。然后采用移动式循环高压泥浆泵，通过放到孔底的灌浆管，从孔底向上灌浆，直到灌满孔壁与套管的环形间隙，并测定孔口溢出的泥浆浓度（或比重）与预先搅拌时的泥浆浓度（或比重）相等为止。

13.3.11 采用分段钻进分段测试方法时，同时用几台钻机分段钻进，至预定的测试深度后，将钻具提出，然后将震源装置和接收装置分别放入各钻孔的底部，进行测试。孔底残余扰动土小于10cm厚，否则应重新清孔。第一段测试完毕后，重复上述过程，

再进行第二段钻进和测试。

13.3.12 为了精确地确定各测点的直达波实际传播距离 L，当试验孔深度超过 15m 时，必须用高精度测斜仪进行孔斜测量，测斜点间距一般为 0.5m，然后逐点计算出直达波实际传播距离。

13.3.13 首先在各测点的原始波形记录上识别出纵波（P 波）序列和横波（S 波）序列。第一个起跳点即为纵波的初至，然后根据下列特征识别出第一个横波的波至时。

1 波幅比纵波波幅突然增大 2 倍以上；

2 周期比纵波周期至少增大 2 倍以上；

3 若采用井下正反向激发震源，一般纵波的初至极性不发生变化，而第一个横波的到达点的极性产生 180°的改变，然后进行波形对比，找出极性波的交点，即为第一横波的到达时刻。

13.3.14 分别读出震源孔（S）到第一接收孔（R_1）、第二个接收孔（R_2）及第一个接收孔与第二个接收孔之间的纵波和横波的传播时间。

13.3.15 将上述数据列入“跨孔法波速测定记录表”上。记录格式见附录 B。

13.3.16 根据所测得的相应纵波、横波传播时间（t_p、t_s），按下列各式计算各地层的动力参数值：

$$V_p = L/t_p \qquad (13.3.16\text{-}1)$$

$$V_s = L/t_s \qquad (13.3.16\text{-}2)$$

$$G_d = \rho \times V_s^2 \qquad (13.3.16\text{-}3)$$

$$E_d = \rho V_s^2(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2) \qquad (13.3.16\text{-}4)$$

$$E_d = 2\rho V_s^2(1 + \mu_d) \qquad (13.3.16\text{-}5)$$

$$\mu_d = [(V_p/V_s)^2 - 2]/2[(V_p/V_s)^2 - 1] \qquad (13.3.16\text{-}6)$$

式中：

E_d——地层的动弹性模量，kPa；

V_p——地层的纵波速度，m/s；

V_s——地层的纵波速度，m/s；

G_d——地层的动剪切模量，kPa；

ρ——地层的单位体积质量，$kN \cdot s^2/m^4$；

μ_d——地层的动泊松比，无量纲。

13.3.17 当用跨孔法测定的横波速度值判别饱和砂土和粉土层的液化势时，可按下式计算未来地震力作用下场地饱和砂土和粉土层的动剪应变量 γ_e（%）。

$$\gamma_e(\%) = 87\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\delta_v}{G_{max}}\right)\gamma_d \qquad (13.3.17\text{-}1)$$

$$\delta_v = \rho g z \qquad (13.3.17\text{-}2)$$

$$G_{max} = \rho V_s^2 \qquad (13.3.17\text{-}3)$$

式中：

γ_e（%）——地震时砂土层产生的动剪应变；

a_{max}——地震时地面最大加速度；

g——重力加速度；

δ_v——所研究砂层的总压力；

γ_d——应力折减系数，随深度减少，地面为 1，深度 10m 时为 0.9；

G_{max}——小应变幅下测量的砂层土最大剪切模量；

ρ——地层的单位体积质量；

z——地层深度。

1 当 γ_e 低于 0.0001 时，可认为场地的饱和砂土和轻亚黏土层中没有发生孔隙水压力上升，不考虑液化；

2 当 γ_e=0.0001～0.00016 时，可认为场地的饱和砂土和粉土层中开始出现孔隙水压力上升，不考虑液化；

3 对于砂土而言，当 γ_e=0.0002～0.00021 时，可考虑场

地砂土会发生液化可能；

4 对于粉土而言，当 $\gamma_e=0.00028\sim0.00032$ 时，可考虑场地粉土层会发生液化可能；

5 对于饱和砂土和轻亚黏粉土层液化门槛应变量的取值，可根据砂土的相对密度，粒径大小及黏土的黏粒含量作相应的调整。

13.4 瑞雷波法测试

13.4.1 瑞雷波的应用范围：

1 地层的划分和各层速度的确定；

2 岩土物理力学参数的测定；

3 地基的“软”“硬”程度和承载力的判定；

4 地基加固处理（强夯、挤密、介质置换、化学处理等）效果（加固深度和影响范围）的评价；

5 检测高速公路、机场跑道路面的抗折、抗压强度，载荷能力以及结构层厚度；

6 地下洞穴（土洞、溶洞）及掩埋物的探测；

7 饱和砂土、粉土液化的判别；

8 地震小区与场地土的类别划分，以及场地振动特征的研究。

13.4.2 瑞雷波法的应用条件：

1 地表条件：除矿渣地面及与下伏层有间隙的水泥地面不适于开展瑞雷波勘探外其它地面均可进行；

2 地下介质分层：层界面必须是弹性分界面；

3 探测洞穴：被探测洞穴的规模必须大于埋深的 1/10。

13.4.3 瑞雷波法的勘探深度：瑞雷波的穿透深度约为一个波长，故瑞雷波法的勘探深度取决于介质的瑞雷波速与勘探频率（$\lambda=V_R/f$）。按目前瑞雷波的仪器与设备性能，勘探深度一般小于 50m。

13.4.4 仪器与设备：

1 振源：

1）瞬态法：探测深度＜1m，宜使用小锤；

探测深度 1m～10m，宜使用大锤；

探测深度＞10m，宜使用落重法。

地震波主频 f_0 与落重法的重块质量 M 和重块底面积半径 r_0 的关系为：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{4\mu r_0}{M(1-\sigma)}} \qquad (13.4.4)$$

式中：

μ——切变模量；

σ——泊松比。

2）稳态法：电磁式激振器。能够输出频率一定的等幅或变幅垂向的稳态连续振动。其频带的低频端必须达到 3Hz～5Hz，高频端在 500Hz 以上。最大激振力＞600N。

2 数据采集设备：

1）拾振器：包括地震检波器与各类传感器。要求其频响特性与欲采集的面波频率相一致。既能压制干扰波又使面波信号基本不畸变、不损失。对于地震检波器，探测浅部地层（0.2m～1m），宜用高频检波器，其固有频率 80Hz～100Hz；探测 1m～10m 地层，宜用固有频率 14Hz 或 28Hz 检波器；探测深部地层（10m～50m），宜用低频检波器，其固有频率为 3Hz、4.5Hz、8Hz、10Hz 等。对传感器，要求通频带 3Hz～1000Hz。

2）信号采集仪：瑞雷波信号采集仪常用的有浅层地震仪、专用面波仪或由动测仪、信号分析仪来配置。但仪器必须满足下列基本要求：道数大于 2 道，A/D 转换 8 位以上，具有增益、采样间隔、记录长度等参数独立

设置功能及信号记录与显示功能。频响范围大于工作频带。

13.4.5 瑞雷波法根据震源及资料处理方法不同分为稳态法和瞬态法，其仪器布置如图 13.4.5-1 和图 13.4.5-2 所示。

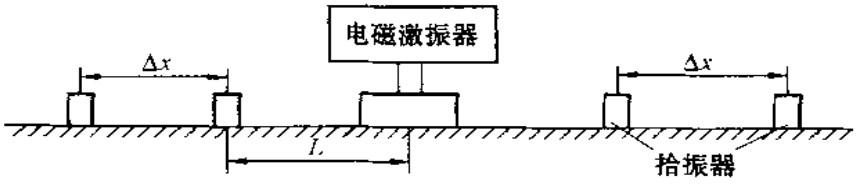


图 13.4.5-1 稳态法野外布置图

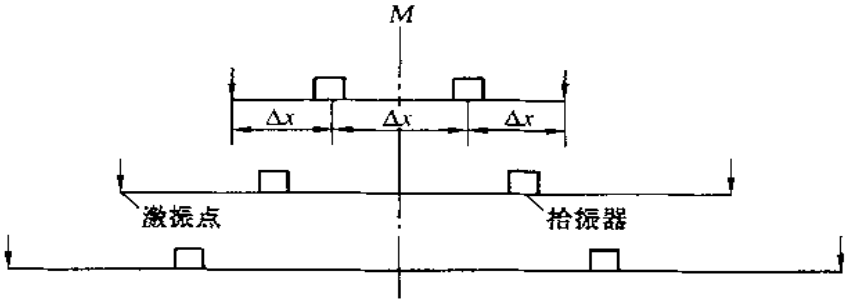


图 13.4.5-2 瞬态法野外布置图

13.4.6 拾振器一般布置在平整的地层上，对于稳态法检波器起始间距 $\Delta x < \lambda_R = V_R/f$；对于瞬态法检波器间距应满足 $\lambda_R/3 < \Delta x < \lambda_R$，相位差应满足 $2\pi/3 < \Delta\varphi < 2\pi$。偏移距根据最佳窗口原则经试验确定。

13.4.7 瞬态法激发点在“拾振器对”两侧对称布置，稳态法“拾振器对”在激发点两侧对称布置。

13.4.8 测试由高频至低频进行。一个频点要多次测量以求取平均值。频点步长根据任务来确定，一般高频时改变的步长大，低频时则较小。频点步长可用下式估算：

$$\Delta f = (2f^2/V_R) \times \Delta H \qquad (13.4.8)$$

式中：

Δf——频点增加值；

ΔH——深度增加值；

f——测试频率。

13.4.9 稳态法记录长度应大于工作频率的3个周期，瞬态法应大于有效长周期信号的3个周期。

13.4.10 瞬态法的有效波与干扰波不易区别，应采用重复测试、多次记录叠加，以增强有效信号，压制干扰。

13.4.11 根据瞬态法记录计算瑞雷波波速步骤：

1 计算面波质量评价函数：

$$C(f) = \frac{S_{21}(f)S_{21}^{*}(f)}{S_{11}(f)/S_{22}(f)} \qquad (13.4.11\text{-}1)$$

式中：

$S_{11}(f)$、$S_{22}(f)$——分别为拾振器1、拾振器2时域信号的自功率谱；

$S_{21}(f)$——拾振器1、拾振器2时域信号的互功率谱；

$S_{21}^{*}(f)$——$S_{21}(f)$的复共轭谱。

2 面波质量评价：如果在传播过程中“系统”是理想的，则该频段内$C(f)$的实部绝对值应等于1；由于干扰和系统的非线性使信号的质量降低，$C(f)$实部的绝对值将下降。在评价面波质量时，一般选择其值大于0.8的频段计算面波速度。

3 瑞雷波波速计算：在$C(f)>0.8$的频段内，每取一个频率从互功率相位谱求出一个$\Delta\varphi$，按公式（13.4.11-2）进行计算：

$$\overline{V}_R = 2\pi f\Delta x/\Delta\varphi \qquad (13.4.11\text{-}2)$$

13.4.12 根据稳态法记录计算瑞雷波波速V_R：

1 直接对比法：

$$\overline{V}_R = \Delta x/(t_2 - t_1) = \Delta x/\Delta t \qquad (13.4.12\text{-}1)$$

式中：

$\overline{V}_R$——瑞雷波波速；

t_1——瑞雷波到达近道检波器所需的时间；

t_2——瑞雷波到达远道检波器所需的时间。

为了提高 V_R 的精度，可读取多个相位的时差，用 Δt 的平均值代入公式计算 V_R。

2 互相关分析法：

对采样间隔为 δt，样点数为 N 的离散时间函数 $e(t)$、$g(t)$ 的互相关函数为：

$$r(k) = \frac{1}{N}\sum_{l=0}^{N-1} e(l)g(l+k)(k = 0,1,\cdots,N-1)$$

(13.4.12-2)

如果 $r(k_0)$ 为极大，则表明把 $g(t)$ 前移 $k_0\delta t$ 后两个函数最为相似。$k_0\delta t$ 即为 Δt。然后按式（13.4.12-1）计算波速。

13.4.13 以 f 为横轴、V_{Ri} 为纵轴绘制该测点的频散曲线。

13.4.14 求取层厚度的方法有一次导数法、拐点法等。

13.4.15 计算层速度常用方法有极值法、近似计算法等。

13.4.16 深度转换：单频面波速度反映深度 $H = k\lambda_R$ 以上介质中的平均速度，k 为转换系数，k 的取法有 3 种：

1 $k = 1/2$，即半波长转换法。此法认为 λ_R 的面波速度代表半个波长深度以上介质中的平均值。在无其它资料时，可采用此法。

2 由泊松比确定转换系数：见表 13.4.15。

表 13.4.15 波长深度转换系数(k)与泊松比(σ)定量关系表

σ	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.48
K	0.55	0.575	0.625	0.65	0.7	0.75	0.79	0.84	0.875

3 依据测区钻孔地质资料进行实测，求取转换系数。此法最为准确，在有条件时应采用此法。

13.4.17 用曲线划分地下弹性界面：

理论与实践表明，V_R—H 曲线上“之”字形（锯齿状）异常反映了地下弹性界面的分界面（速度曲线突变的深度往往对应与介质的界面深度），故可作为划分地质界面的依据。

13.4.18 利用 V_R 与 V_S 的换算公式计算物理力学参数和地基刚度系数：

$$V_R = \frac{0.87 + 1.12\sigma}{1 + \sigma} \times V_s \qquad (13.3.17)$$

式中：

V_R——瑞雷波波速；

V_s——横波波速；

σ——泊松比。

13.5 土壤电阻率的测定

13.5.1 发电厂厂址区土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1 当无总平面布置图，而仅有厂址范围时，可根据设计要求和地表 10m 深度内（或永冻土层以下）地层复杂程度，均匀布置测点；

2 当已有总平面布置图时，应在各建（构）筑物边线和转角处布置测点；

3 应根据各建（构）筑物（主厂房、烟囱、冷却塔、升压站、计算机房）特点要求和主要设备（变压器、进出线走廊、控制室、避雷器）位置，增加测点；

4 按设计所提供的点位进行测定。

13.5.2 变电所所址土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1 根据变电所地处山区、丘陵区或平原区，以及地层和岩性的复杂程度，结合设计任务要求，均匀布置测点，一般不得少于 30 个测点；

2 根据所址构筑物和设备（变压器、进出线走廊、控制室、避雷器）位置，增加测点；

3　根据变电所输入、输出容量及地层性质，增加测点；

4　按设计要求的测点数量和位置进行测定。

13.5.3　输电线路土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1　输电线路沿线各大地电导率测点处应同时测定土壤电阻率；

2　根据输电线路所经过的不同介质、地貌单元，应分段增加土壤电阻率测点；

3　根据设计提供的测点数量和位置进行测定。

13.5.4　厂址、变电所、输电线路土壤电阻率因受地表土壤湿度影响，不得在雨后立即进行测定。

13.5.5　当在厂址地基整平后进行土壤电阻率测定时，宜在土层固结一段时间后再进行测定。

13.5.6　土壤电阻率测定方法应根据设备条件和工作要求决定，宜采用四极电测深法或三管法。

1　四极电测深法应保证解释深度满足设计要求，确定最大供电电极距；

2　三管法垂直击入土层中的设计要求深度时，应立即测定电阻值，然后计算其土壤电阻率；

3　三管间距应为 10m，直线布设；

4　三管法水平埋设铁管测定，必须用原土回填，经 15～20 天固结后，再进行测定。

13.5.7　绘制各测点实测曲线图或提供各极距的实测视电阻率值。

13.5.8　土壤电阻率测点位置，必须在厂址、所址、线路总平面图或电气布置图上准确标出。

13.5.9　资料整理时，发现厂址、变电所土壤电阻率变化无规律时，应增加测点。

13.5.10　应提供现场测定时地表土壤湿度和岩性变化的情况。

13.5.11　编制土壤电阻率成果表及说明书。

13.6 大地导电率测定

13.6.1 大地导电率测点选择的技术要求：

1 输电线路全长小于 30km，全线为一个地质地貌单元时，不得少于三个测点；

2 输电线路全长小于 30km，线路跨越两个地质地貌单元时，每个单元应不少于三个测点；

3 输电线全长大于 30km，线路跨越地段地质地貌条件复杂时，测点间距不得大于 10km，在线路两端或与其他线路交汇地段，应增加测点；

4 大地导电率测点与拟建输电线路路径的距离，在平原地区不得大于 500m，山区不得大于 800m；

5 同一地质地貌单元相邻两侧点的大地导电率之比大于 3 倍时，应在两点间加测一点，直至满足不大于 3 倍的要求；若仍不能满足小于 3 倍的要求时，应准确划分地质分界线，进行大地导电率分段。

13.6.2 大地导电率测量方法有：四极电测探法、电流互感法、线圈法、偶极法、地质判定法等。

1 电力系统大地导电率测定，应采用四极电测深法；

2 50Hz 电流的最大渗透深度可达数千米，为取得 300m～500m 有效深度大地导电率值，A、B 供电极距可采用 900m～1500m（在平原和丘陵地区宜采用 900m，山区宜采用 1500m）；

3 A、B 极最小间距的选择，一般宜选取 6m～12m；

4 A、B 中间极距的选择，按 8.2.12 执行；

5 测量时 AB 和 MN 放线方向应与输电线路走向一致，当地形复杂时，可允许有一个角度，但不得大于 30°。

13.6.3 外业质量检查和内业资料整理按 8.2.34 和 8.2.56 的要求进行。

13.6.4 绘制大地导电率测点位置图。

13.6.5 实测曲线的解释：

1 量板法：实测曲线与理论量板相对比，求得测点垂直深度内各岩层厚度及电阻率，用拉德列夫曲线换算 50Hz 或任意频率下的视在大地导电率。单位 1×10^{-3}S/m（西［门子］/米）。

2 简化法：以温耐尔装置所测的曲线与简化曲线量板的纵横坐标轴重合相交，直接求得视在大地导电率值，单位 1×10^{-3} S/m（西［门子］/米）。

13.6.6 编制视在大地导电率成果表及说明书。

13.7 地脉动测定

13.7.1 地脉动测定的目的：

1 根据地脉动的振幅及周期特征，了解地基土的动力特征，预估地脉动与强震时地面运动的相关关系；

2 为评价场地或场地分类及地震小区划提供依据；

3 为拟建工程选择地基和基础结构形式提供依据。

13.7.2 本条文适用于各类岩土层面上的地脉动测定。

13.7.3 地脉动测定所需仪器设备：

1 拾振器：主要采用超低频高灵敏度的拾振器。

2 测振放大器：主要采用具有一定频带宽度、动态范围、高灵敏度及低噪声的测振放大器。

3 记录器：采用便携式微机及配套软件进行数据采集与处理。

13.7.4 地脉动测试的仪器布置如图 13.7.4。

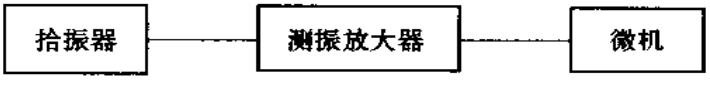


图 13.7.4 地脉动测试现场设备联接图

13.7.5 拾振器一般布置在平整的地层面上（试坑或钻孔中），每个点的拾振器应按 X、Y、Z 三个正交方向。

13.7.6　现场观测应符合下列基本要求：

1　现场测试应避开人为干扰，宜在凌晨2～4点进行；

2　每次测试时间不得少于3min，而且在一个测点不得少于3次，每次测试间隔为半小时；

3　详细作好编录工作。

13.7.7　将现场用磁带记录仪记录的地脉动信号，输入频谱分析仪进行分析处理，可得频谱分析图。或对脉动曲线离散采样，采样时间间隔应满足 $\Delta t \geqslant 1/(2f_N)$，$f_N$ 为最高截至频率（一般取10Hz～20Hz），采样点数可按每个周期取3～5点，采样的累计时间一般大于30s。然后利用傅里叶谱：

$$X(f) = \sum_{n=0}^{n-1} x(n) e^{-i\omega\Delta t} \qquad (13.7.7)$$

式中：

x（n）——离散采样；

n——采样点数；

Δt——采样间隔；

n——0，1，2，3，……$N-1$；

$(N-1)\Delta t$——采样长度。

13.7.8　从频谱图中分辨出地脉动振动信号主要频率，其倒数为卓越周期。或根据式（13.7.7）编程序，用电子计算机将地脉动信息通过傅利叶变换求取其振幅谱，找出振幅最大值频率，即所测场地土层的卓越频率，其倒数为卓越周期。

13.8　地基弹性系数、刚度及阻尼比测定

13.8.1　地基弹性系数、刚度及阻尼比的测试，主要是为动力机器基础的设计提供地基的弹性抗压和弹性抗弯、弹性抗剪和弹性抗扭刚度系数及表征地基特性的阻尼比。

13.8.2　按本条文测试方法获取的地基弹性系数、刚度及阻尼比，适应于大块式动力机器基础按质一弹一阻理论设计时的动力

计算。

13.8.3 测试方法包括块体基础强迫振动试验和自由振动试验。

13.8.4 强迫振动试验主要采用电磁式激振器或机械式激振器，用以产生单一的垂直向或水平向扰力，在使用前应绘制出扰力（P）与频率（f）的关系曲线。采用的激振器应符合下列要求：

1 机械式激振器，工作频率宜为3Hz～60Hz；

2 电磁式激振器，其扰力不宜小于600N。

13.8.5 自由振动试验时，竖向激振可采用铁球，其质量宜为基础质量的1/100～1/150。

13.8.6 测振系统中，传感器宜采用竖直和水平方向的速度型传感器，其通频带应为2Hz～80Hz，阻尼系数应为0.65～0.70，电压灵敏度不应小于30V·s/m，最大可测位移不应小于0.5mm。

放大器应采用带低通滤波功能的多通道放大器，其振幅一致性偏差应小于0.1ms，折合输入端的噪声水平应低于2μV。电压增益应大于80dB。

13.8.7 采集与记录装置宜采用多通道数字采集和存储系统，其模/数转换器（A/D）位数不宜小于12位，幅度畸变宜小于1.0dB，电压增益不宜小于60dB。

13.8.8 数据分析装置应具有频谱分析及专用分析软件功能，其内存不应小于4.0MB，硬盘内存不应小于100MB，并应具有抗混淆滤波、加窗及分段平滑等功能。

13.8.9 在使用前，应将传感器、放大器和采集与记录装置进行系统标定，并绘制出放大率（η）与频率（f）的关系曲线。

13.8.10 在试验基础浇注前，应保持试验的天然与人工地基的自然状态，基底表面要整平。试验基础的混凝土强度等级不宜低于C15。

13.8.11 除桩基外，天然和其他人工地基的试验块体尺寸应采用2.0m×1.5m×1.0m，其数量不宜少于2个。

13.8.12　桩基础应采用 2 根桩，桩间距应取设计桩基础的间距。桩台边缘至桩轴的距离可取桩间距的 1/2；桩台的长宽比应为 2:1，其高度不宜小于 1.6m。

13.8.13　测试基础应置于设计基础工程的邻近处，其土层结构宜与设计基础的土层结构相类似。

13.8.14　试验基础的表面应根据激振器底座的宽度和固定螺孔的距离，预埋长度不小于 400mm 和直径 20mm 的螺栓。同时在试坑附近必须有钻孔资料，并测定土的物理力学指标。

13.8.15　待浇注基础坚固（一般为 3～4 周）以后，将激振器安装好，要求激振器作用重心与基础中心线重合。

13.8.16　将传感器，放大器，记录设备等仪器按标定时状态连接好，然后起动激振器，由低频到高频对基础进行扫频激振，当通过共振峰以后，直至频率达到 $1.5f_{\mathrm{m}}$ 时为止。

13.8.17　根据各点频率下测得的振幅值，绘制成振幅 A 与频率 f 的关系曲线，按曲线 A_z，$A_{x\cdot\psi}$的最大值确定基础垂直振动、水平和回转耦合振动的共振频率。

13.8.18　在同一试验场地应不小于两个试验点，并取试验结果的平均值。由于地基的弹性系数等与土的动应变幅值大小有很大关系，故要求试验中的应变（指振幅与基础宽度之比）应尽量与机器基础振动时土的动应变为同一数量级，否则应将试验所得地基弹性系数作适当修正。

13.8.19　当对块体基础施加简谐扰力进行垂直强迫振动试验时，可按下式确定地基抗压刚度和抗压弹性系数：

$$K_z = m\bar{\lambda}_z^2 \qquad (13.8.19\text{-}1)$$

$$C_z = K_z/F_0 \qquad (13.8.19\text{-}2)$$

式中：

K_z——地基抗压刚度，kN/m；

C_z——地基抗压刚度系数，kN/m^3；

m——基组总质量，kN·s/m^2；

F_0——试验基础的底面积，m^2；

$\overline{\lambda}_z$——基组的垂直振动共振圆频率，rad/s。

13.8.20　当对块体基础施加水平简谐扰力进行强迫振动试验时，可按低频（即所用扰力频率与共振频率之比不应超过0.5）时之实测数据，用下列公式确定相应的地基抗剪刚度、抗弯刚度和抗剪刚度系数、抗弯刚度系数：

$$K_x = (P_x + A_x m\omega^2)/(A_x - h_2 A_\varphi) \quad (13.8.20\text{-}1)$$

$$K_\varphi = (1/A_\varphi) \times (P_x h_3 + K_x h_2 A_x) + I_m \omega^2 - K_x h_2^2 \quad (13.8.20\text{-}1)$$

$$C_{xo} = K_x/F_0 \quad (13.8.20\text{-}3)$$

$$C_{\varphi o} = K_\varphi/I \quad (13.8.20\text{-}4)$$

式中：

P_x——水平扰力之幅值，kN；

A_x——基组重心的水平振幅，m；

A_φ——基组对通过重心，并垂直于振动方向的轴之转角，Rad；

ω——扰力圆频率，Rad/s；其值为 $\omega = 0.105n$；

n——以转数/分钟表示的扰力频率；

K_x——地基抗剪刚度，kN/m；

C_{xo}——地基抗剪刚度系数，kN/m^3；

K_φ——地基抗弯刚度，kN/m；

$C_{\varphi o}$——地基抗弯刚度系数，kN/m^3；

h_2——基组重心至基础底面的距离，m；

h_3——水平扰力作用位置至基础重心的距离，m；

I_m——基组质量对通过其基组重心，并垂直于振动方向的轴之质量惯性矩，kN·m·s^2；

I——基组底面对通过其形心，并垂直于振动方向的轴之二次矩，m^4。

13.8.21 机器基础下地基的刚度系数，可按下列各式换算：

$$C_z = C_{zo}\eta \tag{13.8.21-1}$$

$$C_x = {}_{xo}\eta \tag{13.8.21-2}$$

$$C_\varphi = C_{\varphi o}\eta \tag{13.8.21-3}$$

式中：

C_{zo}——试验基础的地基抗压刚度系数，kN/m；

C_{xo}——试验基础的地基抗剪刚度系数，kN/m；

$C_{\varphi o}$——试验基础的地基抗弯刚度系数，kN/m。

$$\eta = \sqrt[3]{F_0/F} \tag{13.8.21-4}$$

式中：

F_0——试验基础的底面积，m^2；

F——机器基础的底面积，m^2；当机器基础的底面积大于$20m^2$，按$20m^2$计算。

13.8.22 如仅进行了垂直强迫振动试验，则地基抗剪刚度系数C_x，抗弯刚度系数C_φ和抗扭刚度系数C_ψ，可根据C_z值按下列各式近似地确定：

$$C_x = 0.7C_z \tag{13.8.22-1}$$

$$C_\varphi = 2.15C_z \tag{13.8.22-2}$$

$$C_\psi = 1.05C_z \tag{13.8.22-3}$$

13.8.23 根据下列公式计算基础的阻尼比：

$$D_z^2 = 0.5(1 - (\beta^2 - 1)/(\alpha^4 - 2 \times \alpha^2 + \beta^2)) \tag{13.8.23-1}$$

$$\beta = A_{max}/A_r \tag{13.8.23-2}$$

$$\alpha = f_{mr}/f_r \tag{13.8.23-3}$$

式中：

f_{mr}——峰值频率；

A_{max}——峰点振幅；

f_r——低频点的频率；

A_r——低频点的频率对应的振幅。

一般 f_r 取 $0.707f_{mr}$，此时，式（13.8.23-1）变化为：

$$D_z^2 = 0.5(1 - 1 - (1/\beta^2)) \qquad (13.8.23\text{-}4)$$

式中：

D_z——垂直向阻尼比。

14 低 应 变 法

14.1 仪器与主要设备

14.1.1 仪器设备性能应符合各检测方法的要求。

14.1.2 检测仪器应具有防尘、防潮性能，并应在 -10℃～50℃环境下正常工作。在现场使用微机时，应采取保温或降温措施。

14.1.3 传感器应采用严格防潮、防水措施，搬运时应进行防震保护。

14.1.4 仪器长期不使用时，应按使用说明书要求定期通电。长途搬运时，仪器应装在有防震措施的仪器箱内。

14.1.5 仪器设备应每年进行一次全面检查和调试，其技术指标应符合仪器质量标准的要求。

14.1.6 仪器宜由传感器和放大、滤波、记录、处理、监视系统以及激振设备和专用附件组成。

14.1.7 传感器可选用宽频带的速度型或加速度型传感器。速度型传感器灵敏度应大于 300mV/cm/s，加速度型传感器灵敏度应大于 100mV/g。

14.1.8 放大系统的增益应大于 60dB，长期变化量应小于 1%。折合输入端的噪声水平应低于 3μV。频带宽度应不窄于 10Hz～1000Hz，滤波频率可调整。

14.1.9 模/数转换器的位数不应小于 8bit。采用时间宜为 50μs～1000μs，可分数档调整。每个通道数据采集暂存器的容量不应小于 1kB。

14.1.10 多道采集系统应具有一致性，其振幅偏差应小于 3%，相位偏差应小于 0.1ms。

14.1.11 根据激振条件试验要求及改变激振频谱和能量，满足

不同的检测目的，应选择符合材质和重量要求的激振设备。

14.1.12 宜采用竖、横两向兼用的速度型传感器。传感器的频率响应宜为 10Hz～300Hz；最大可测位移量的峰值不应小于 2mm，速度灵敏度不应低于 200mV/cm/s。传感器的固有频率不得处于 20Hz 附近。

14.1.13 检测桩基承载力时，低通滤波器的截止频率宜为 120Hz。

14.1.14 放大器增益应大于 40dB（可调），长期绝对变化量应小于 1%，折合到输入端的噪声信号不大于 10μV。频向范围宜为 10Hz～300Hz。

14.1.15 接收系统宜采用数字式采集、处理和存储系统，并应具有实时时域显示及频谱分析功能。

14.1.16 激振设备可采用穿心锤或铁球。

14.1.17 传感器和仪器系统灵敏度系数应在标准振动台上进行标定，每年不得少于一次。标定时取振动速度的峰-峰值。在 10Hz～300Hz 范围内应至少按单位振速标定 10 个频点，并描出灵敏度系数随频率变化的曲线。

14.1.18 激振设备宜采用带导杆的穿心锤，穿心锤底面应加工成球面。穿心孔直径比导杆直径大 3mm 左右。穿心锤的质量应由 2.5kg 至 100kg 形成系列，其落距宜自 180mm 至 500mm 之间，分为 2～3 档。对不同承载力的基桩，应调节冲击能量，使振波幅度基本一致。

14.1.19 接收传感器的技术特征应符合下列要求：

1 力传感器

1）频率响应宜为：5Hz～1500Hz，其幅度畸变应小于 1dB；

2）灵敏度不应小于 1.0pC/N；

3）量程：当稳态激振时，按激振力的最大值确定；当瞬态冲击时，按冲击力量最大值确定。

2 测量响应的传感器

1）频率响应：宜为 5Hz～1500Hz。

2）灵敏度：当桩径小于 60cm 时，速度传感器的灵敏度 S_v 应大于 300mV/cm/s；加速度传感器的灵敏度 S_a 应大于 1000pC/g。当桩径大于 60cm 时，S_v 应大于 800mV/cm/s；S_a 应大于 2000pC/g。

3）横向灵敏度不应小于 5%。

4）加速度传感器的量程：当稳态激振时，应小于 5g；当瞬态激振时，不应小于 20g。

14.1.20　接收传感器的灵敏度应每年标定一次。力传感器可采用振动台进行相对标定，或采用压力试验机作准静态标定。进行准静态标定所采用的电荷放大器，其输入电阻不应小于 $10^{11}\Omega$。测量响应的传感器可采用振动台进行相对标定。

14.1.21　测试设备可以采用专用的机械阻抗测试仪器，也可采用通用测试仪器组成的测试装置。

14.1.22　压电传感器的信号放大应采用电荷放大器；磁电式传感器应采用电压放大器。频带宽度宜为 5Hz～2000Hz，增益应大于 80dB，动态范围应在 40dB 以上，折合到输入端的噪声应小于 10μV。在稳态测试中，应采用跟踪滤波器或在放大器内设置性能相似的滤波器。滤波器的阻带衰减不应小于 40dB。在瞬态测试中分析仪器的选择，应具有频域平均计算相干函数的功能。当采用数字化仪器进行数据采集分析时，其模/数转换器位数不应小于 12bit。

14.1.23　信号处理分析的记录设备可采用磁记录器、x—y 函数记录器、与计算机配合的笔式绘图仪或打印机。磁记录器不得少于两个通道，信噪比不得低于 45dB，频率范围不得低于 5kHz。采用的各类记录仪的系统误差应小于 1%。

14.1.24　稳态激振设备及瞬态冲击装置应符合下列要求：

1　稳态激振应采用电磁激振器，并宜选择永磁式激振器。激振器的技术要求应符合下列规定：

1）频率范围宜为：5Hz～1500Hz。

2）最大出力：当桩径小于 1.5m 时，应大于 200N；当桩径为 1.5m～3.0m 时，应大于 400N；当桩径大于 3.0m 时，应大于 600N。

3）非线性失真小于 1%。

2 悬挂装置可采用柔性悬挂或半刚性悬挂。在采用柔性悬挂时应避免高频段出现横向振动。在采用半刚性悬挂时，当激振频率在 10Hz～1500Hz 的范围内时，激振系统本身特性曲线出现的谐振峰（共振及反共振）不应超过 1 个。

3 瞬态激振应通过试验选择不同材质的锤头进行冲击，使可用于计算的谱宽度大于 1500Hz。在冲击桩头时，冲击锤应保持为自由落体。

4 激振装置在初次使用或经长距离运输，在正式使用前应进行调整，使横向振动系数（ζ）控制在 10%以下，其谐振时的最大值不应超过 25%。

14.1.25 换能器应采用柱状径向振动的换能器。其共振频率宜为 25Hz～50Hz，长度宜为 20cm，换能器宜装有前置放大器，前置放大器的频带宽度宜为 5Hz～50kHz。换能器的水密性应满足在 1MPa 水压下不漏水。发射换能器的长度、频带宽度及水密性能与接收换能器的要求相同。

14.1.26 设备检测仪器的技术性能应符合下列规定：

1 接收放大系统的频带宽度宜为 5kHz～50kHz，增益应大于 100dB，并应带有 0～60（或 80）dB 的衰减器，其分辨率应为 1dB，衰减器的误差应小于 1dB，其档间误差应小于 1%；

2 发射系统应输出 250V～1000V 的脉冲电压，其波形可为阶跃脉冲或矩形脉冲；

3 显示系统应同时显示接收波形和声波传播时间，其显示时间范围应大于 2000μs，计时精度应大于 1μs。

14.2 反射波法

14.2.1 本方法可适用于检测桩身混凝土的完整性，推断缺陷类型及其在桩身中的位置。本方法也可对桩长进行核对，对桩身混凝土的强度等级作出估计。

14.2.2 检测前应具有下列资料：工程地质资料，基础设计图，施工原始记录（打桩记录、钻孔记录、灌注混凝土记录）和桩位布置图。

14.2.3 检测前应做好下列准备：进行现场调查，对所需检测的单桩做好测前处理，检测仪器设备性能是否正常，根据建筑工程特点、桩基的类型以及所处的工程地质环境，明确检测内容和要求。

14.2.4 被检测的灌注桩应达到规定养护龄期方可施测。对打入桩，应在达到地基土有关规范规定的修止期后实施。

14.2.5 被测桩应凿去浮浆，平整桩头，切除桩头外露过长的主钢筋。

14.2.6 检测前应对仪器设备进行检查，性能正常方可使用。

14.2.7 每个检测工地均应进行激振方式和接收条件的选择试验，确定最佳激振方式和接收条件。

14.2.8 激振点宜选择在桩头中心部位，传感器应固定地安置在桩头上。对于桩径大于350mm的桩可安置两个或多个传感器。

14.2.9 当随机干扰较大时，可采用信号增强模式，进行多次重复激发与接收。

14.2.10 为提高检测的分辨率，应使用小能量激振，并选用高截止频率的传感器和放大器。

14.2.11 判别桩身浅部缺陷，可同时采用横向激振与水平速度型传感器接收，进行辅助判定。

14.2.12 每一根被检测的单桩应进行二次及以上重复测试。出现异常波形在现场及时研究，排除影响测试的不良因素后再重复

测试。重复测试的波形与原波形应具有相似性。

14.2.13 应依据波列图中的入射波和反射波的波形、相位、振幅、频率及波的达到时间等特征，推定单桩的完整性。

14.2.14 桩身混凝土的波速 V_p、桩身缺陷的深度 L' 可分别按下列公式计算：

$$V_p = 2L/t_r \qquad (14.2.14\text{-}1)$$

$$L' = 0.5V_{pm}t'_r \qquad (14.2.14\text{-}2)$$

式中：

L——桩身全长；

t_r——桩底反射波的到达时间；

t'_r——桩身缺陷部位反射波的达到时间；

V_{pm}——同一工地内多根已测合格桩桩身纵波速度的平均值。

14.2.15 反射波波形规则，波列清晰，桩底反射波明显，易于读取反射波达到时间，及桩身混凝土平均波速较高的桩为完整性好的单桩。

14.2.16 反射波达到时间小于桩底反射波达到时间，波幅较大，往往出现多次反射，且难以观测到桩底反射波的桩，系桩身断裂。桩身混凝土严重离析时，其波速较低，反射波幅减少，频率降低。

14.2.17 缩径与扩径的部位可按反射历时进行估算，类型可按相应特征进行判别。

14.2.18 当有多处缺陷时，将记录到多个相互干涉的反射波组，形成复杂波列。此时应仔细甄别，并应结合工程地质资料、施工原始记录进行综合分析。有条件时尚可使用多种检测方法进行综合判定。

14.2.19 桩体浅部断裂的定性评价，可通过横向激振，比较同类桩横向振动特征之间的差异进行辅助判断。

14.2.20 在上述时域分析的基础上，尚可采用频谱分析技术，

利用振幅谱进行辅助判断。

14.2.21 桩身混凝土的强度等级可依据波速来估计。波速与混凝土抗压强度的换算系数，应通过对混凝土试件的波速测定和抗压强度对比试验确定。

14.3 动力参数法

14.3.1 本方法分为频率-初速法和频率法。

14.3.2 当有可靠的同条件动静试验对比资料时，频率-初速法可用于推算不同工艺成桩的摩擦桩和端承桩的竖向承载力。

14.3.3 频率法的适用范围限于摩擦桩，并应有准确的地质勘探及土工试验资料作为计算依据，其中主要包括地质剖面图及各地层的内摩擦角和重度。桩在土中不宜大于 40m，也不宜小于 5m。

14.3.4 检测前的准备工作应符合下列要求：

1 清除桩身上段浮浆及破碎部分。

2 桩顶中心部分应凿平，并用黏合剂粘贴一块钢垫板，待其固化后方可施测。对承载力标准值小于 2000kN 的桩，钢垫板面积宜为 100mm×100mm，其厚度宜为 10mm。钢垫板中心应钻一盲孔，孔深宜为 8mm，孔径宜为 12mm。对承载力大于或等于 2000kN 的桩，钢垫板面积及厚度加大 20%～50%；

3 传感器应使用黏合剂或采用磁性底座竖向固定在位于桩顶的预先粘于冲击点与桩身钢筋之间的小钢板上；

4 传感器、滤波器、放大器与接收系统的连线，应采用屏蔽线。确定仪器的参数，并检查仪器、接头及钢板与桩顶粘结情况。在检测瞬间暂时中断附近干扰振源。测试系统不可多点接地。

14.3.5 激振步骤应按下述进行：将导杆插入钢垫板的盲孔中，按选定的穿心锤质量（W_0）及落距（H）提起穿心锤，任其自由下落，并在撞击垫板后自由回弹再自由下落，即完成一次测

试，加以记录。宜重复测试三次，以资比较。

14.3.6　每次激振后，应通过屏幕观察波形是否正常，要求出现清晰而完整的第一次及第二次冲击振动波形，并要求第一次冲击振动波形的振幅值基本保持一致。当不能满足上述要求时，应改变冲击能量，确认波形合格后方可进行记录。

14.3.7　桩—土体系的固有频率 f_0 宜通过频谱分析确定。

14.3.8　穿心锤的回弹高度 h 和碰撞系数 ε 可按下列公式计算：

$$h = 0.5g\ (t/2)^2 \qquad (14.3.8\text{-}1)$$

式中：

g——重力加速度，取 $g = 9.81\text{m/s}^2$；

t——第一次冲击与回弹后第二次冲击时间，s。

$$\varepsilon = \sqrt{h/H} \qquad (14.3.8\text{-}2)$$

式中：

h——穿心锤回弹高度，m；

H——穿心锤落距，m。

14.3.9　桩头振动初速度 V_0 可按下列计算：

$$V_0 = aA_d \qquad (14.3.9)$$

式中：

a——与 f_0 相应的测试系统灵敏度系数，m/s/mm；

A_d——第一次冲击振动波初动相位的最大峰-峰值，mm。

14.3.10　频率-初速度法的单桩竖向承载力的推算值：

1　单桩竖向承载力的推算值（R）按下式计算：

$$R = \frac{[f_0^2(1+\varepsilon)W_0\sqrt{H}]\beta_v}{KV_0} \qquad (14.3.10)$$

式中：

R——单桩竖向承载力的推算值，kN；

f_0——桩-土体系的固有频率，Hz；

ε——碰撞系数；

W_0——穿心锤质量，t；

H——穿心锤落距，m；

V_0——桩头振动初速度，m/s；

β_v——频率-初速法的调整系数；

K——安全系数，宜取2。

2 调整系数β_v与仪器性能、冲击能量的大小、桩长、桩底支承条件及成桩方式等有关，应预先积累动-静对比资料经统计分析加以确定。

14.3.11 频率法的单桩竖向承载力推算值：

1 单桩竖向承载力推算值（R）按下式计算：

$$R = \frac{0.00681 f_0^2 (G_p + G_e)\beta_f}{K} \qquad (14.3.11\text{-}1)$$

$$G_p = \frac{ALr_p}{3} \qquad (14.3.11\text{-}2)$$

$$G_e = \left[\frac{\pi r_c^2 (L_c + 16r_c)}{9} - L_e \frac{A}{3}\right]\frac{r_e}{3} \qquad (14.3.11\text{-}3)$$

$$r_e = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3} L_e \mathrm{tg}\frac{\varphi}{2} + d\right) \qquad (14.3.11\text{-}4)$$

式中：

R——单桩竖向承载力推算值，kN；

G_p——推算后参振桩重，kN；

G_e——参振土重，kN；

β_f——频率法的调整系数；

A——桩的截面积，m^2；

L——桩身全长，m；

L_e——桩在土中长度，m；

γ_p——桩材重度，kN/m^3；

γ_e——桩身下段$L_e/3$范围内土的重度，kN/m^3；

φ——桩身下段 $L_e/3$ 范围内土的内摩擦角，°；

r_e——参振土体的扩散半径，m；

d——桩身直径，m。

2 调整系数 β_f 与仪器性能、冲击能量的大小及成桩方式等有关，也须预先通过动-静实测对比加以确定。当桩尖以下土质远较桩侧为强时 β_f 可酌情加大。

14.4 机械阻抗法

14.4.1 本方法有稳定激振和瞬态激振两种方式。适用于检测桩身混凝土的完整性，推定缺陷类型及其在桩身中的部位。当有可靠的同条件动静对比试验资料时，本方法可用于推算单桩的承载力。

14.4.2 本方法有效测试范围为桩长与桩径之比值应小于 30；对于摩擦端承桩或端承桩其比值可小于 50。

14.4.3 检测前的准备应符合下列规定：

1 首先应进行桩头的清理，去除桩头上的浮浆，露出密实的桩顶；

2 粘贴在桩顶的钢板，在放置激振器和传感器的一面必须用磨床加工成光洁度 0.8 以上的光洁表面；

3 半刚性悬挂装置与传感器必须用螺丝紧固到桩头的钢板上；

4 在安装和联络测试仪器时，必须妥善设置接地线，要求整个检测系统一点接地，以减少电噪声干扰。

14.4.3 桩的振动响应测试点应按下列原则布置：

1 桩径小于 60cm 时，可布置 1 个测点。桩径为 0.6m～1.5m 时，应布置 2～3 个测点。桩径大于 1.5m 时，应在互相垂直的两个径向布置 4 个测点。

2 在桥梁桩基础测试中，当布置两个测点时，其测点应位于顺流向的两侧，当布置四个测点时，应在顺流向两侧和顺桥纵

轴方向两侧各布置2个测点。

14.4.4 激振力应作用于桩头顶面正中。采用半刚性悬挂时，则粘贴在桩头顶面中心的钢板必须保持水平。

14.4.5 现场测试应按下列步骤进行：

1 安装全部测试设备，并应确认各项仪器装置处于正常工作状态；

2 在测试前应正确选定仪器系统的各项工作参数，使仪器在设定的状态下进行试验；

3 在瞬态激振试验中，重复测试的次数应大于4次；

4 在测试过程中应观察各设备的工作状态，当全部设备均处于正常状态，则该次测试为有效；

5 在同一工地如当某桩实测的机械导纳曲线幅度明显过大时，应增大扫频上限，并判断桩的缺陷位置。

14.4.6 桩身混凝土的完整性应按下列步骤综合判定：

1 根据测试的机械导纳曲线，初步确定各单桩中的完整桩，并计算波速和各完整桩的波速平均值；

2 计算各单桩的测量桩长、导纳几何平均值、导纳理论值、导纳最大峰幅值、动刚度、嵌固系数、土的阻尼系数，以及同一工地所测各桩的动刚度平均值和导纳几何实测平均值的平均值；

3 根据所计算的参数及导纳缺陷形状，按表14.4.6-1和表14.4.6-2的规定推定桩身混凝土的完整性，确定缺陷类型，计算缺陷在桩身中出现的位置。

14.4.7 搜集本地区同类地质条件下桩的静荷载试验资料，并确定在单桩外部尺寸相似情况下的容许沉降值，或根据上部结构物的类型及重要程度或设计要求确定的容许沉降值，采用在容许荷载作用下的容许沉降值，计算单桩竖向承载力的推算值。

单桩竖向承载力的推算值 R 可用下列公式计算：

$$R = [S]K_d/\eta \qquad (14.4.7)$$

式中：

K_d——单桩的动刚度，kN/mm；

η——桩的动静刚度参数对比系数，宜为0.9～2.0；

[S]——单桩的容许沉降值，mm。

表 14.4.6-1 机械导纳曲线桩身结构完整性

机械导纳曲线形态	实测导纳值 N_c		实测动刚度 K_d		测量桩长 L_o	实测桩身波速平均值 V_{pm} m/s	结 论
与典型导纳曲线接近	与理论值 N 接近		高于	工地平均动刚度值 K_{dm}	与施工长度接近	3500～4500	嵌固良好的完整性
			接近				表面规则的完整桩
			低于				桩低可能有软层
呈调制状波形	高于	导纳实测几何平均值 N_{cm}	高于	工地平均动刚度值 K_{dm}		>3500	桩身局部离析，其位置可按主波的 Δf 判定
	低于		低于			3500～4500	桩身断面局部扩大，其位置可按主波 Δf 判定
与典型导纳曲线类似，但共振峰频率增量 Δf 偏大	高于理论值 N 很多		远低于	工地平均动刚度值 K_{dm}	小于施工长度	—	桩身断裂，有夹层
	低于工地平均值 N_{cm} 很多		远高于				桩身有大鼓肚
不规则	变化或较高		低于工地平均动刚度值 K_{dm}		无法计算由确定桩长	—	桩身不规则，有局部断裂或贫混凝土

注：$N_t=1/(V_p A\rho)$。

表 14.4.6-2 机械导纳曲线异常程度桩身结构完整性

初步辨别有异常	可能的异常位置	异常性质的判断	异常程度的判断	
$V_p=2\Delta fL$=正常波速，只有桩底反射效应，桩身无异常	—	$N_o\approx N$ 优质桩	波峰间隔均匀，整齐	全桩完整，混凝土质量优而均匀
			波峰间隔均匀，但不整齐	全桩基本完整，外表面不规则
		$N_o\approx N$ $K_d\approx K'_d$ 混凝土质量稍有不均匀	波峰间隔均匀，整齐	全桩完整，混凝土质量基本完好
			波峰间隔不太均匀，欠整齐	全桩基本完整，局部混凝土质量不太均匀
$\Delta f_1<\Delta f_2$ $V_{p1}=2\Delta f_1 L$=正常波速，有桩底反射效应，同时 $V_{p2}=2\Delta f_2 L$>正常波速，$L'=\frac{V_p}{2\Delta f_2}<L$，表明有异常处反射效应	$L'=\frac{V_p}{2\Delta f_2}$ $<L$	$N_o>N$ K_d $<K'_d$	波峰圆滑，N_p值小	有中度扩径
			波峰圆滑，N_p值大	有轻度扩径
		$N_o>N$ K_d $<K'_d$ 缩径或混凝土局部质量不均匀	波峰尖峭，N_p值大	有中度裂缝或缩径
$V_p=2\Delta fL$>正常波速，$L=\frac{V_p}{2\Delta f}$ $<L$，表明无桩底反射效应，只有其他部位的异常反射效应	$L'=\frac{V_p}{2\Delta f}$	$N_o<N$ K_d $>K'_d$ 缩径或断裂	波峰尖峭，N_p值小	有严重缩径
			波峰间隔均匀，尖峭，N_p值大	严重断裂，混凝土不连续
		$N_o<N$ K_d $>K'_d$ 扩径	波峰圆滑，N_p值小	有较严重扩径
			波峰间隔均匀，圆滑，N_p值小	有严重扩径

注：Δf_1——有缺陷桩导纳曲线上小峰之间的频率差；
Δf_2——有缺陷桩导纳曲线上小峰之间的频率差。

14.5 声波透射法

14.5.1 本方法使用于检测桩径大于0.6m混凝土灌注桩的完整性。

14.5.2 预埋检测管应符合下列规定：

1 桩径0.6m～1.0m应埋设双管；1.0m～2.5m应埋设三根管；桩径2.5m以上应埋设四根管。

2 声波检测管宜采用钢管、塑料管或钢质波纹管。其内径宜为50mm～60mm。钢管宜用螺纹连接，管的下端应封闭，上端应加盖。

3 检测管可焊接或绑扎在钢筋笼的内侧，检测管之间应互相平行。

4 在检测管内应注满清水。

14.5.3 现场检测前应测定声波检测仪发射至接收系统的延迟时间 t_0，并应按下式计算声时修正值 t'：

$$t' = \frac{D-d}{V_t} + \frac{d-d'}{V_w} \tag{14.5.3}$$

式中：

D——检测管外径，mm；

d——检测管内径，mm；

d'——换能器外径，mm；

V_t——检测管壁厚度方向声速，km/s；

V_w——水的声速，km/s；

t'——声时修正值，μs。

14.5.4 检测步骤应符合下列要求：

1 接收及发射换能器应在装设扶正器后置于检测管内，并能顺利提升及下降。

2 测量时上述发射与接收换能器可置于同一标高。当发射与接收换能器置于不同标高时，其水平测角可取30°～40°。

3 测量点距20cm～40cm。当发现读数异常时，应加密测量点距。

4 发射与接收换能器应同步升降。各测点发射与接收换能器累计相对高差不应大于2cm，并应随时校正。

5 检测宜由检测管底部开始。发射电压值应固定，并应始终保持不变，放大器增益值也应始终固定不变。调节衰减器的衰减量，使接收信号初至波幅度在荧光屏上为2或3格。由光标确定首波初至，读取声波传播时间及衰减器衰减量，依次测取各测点的声时及波幅并进行记录。

6 一根桩有多根检测管时，应将每2根检测管编为一组，分组进行测试。

7 每组检测管测试完成后，测试点应随机重复抽测10%～20%。其声时相对标准差不应大于5%；波幅相对标准差不应大于10%。并对声时及波幅异常的部位应重复抽测。测量的相对标准差可按下式计算：

$$\sigma'_t = \frac{1}{2n}\sqrt{\sum_{i-1}^{n}((t_i - t_{ji})/t_m)^2} \qquad (14.5.4\text{-}1)$$

$$\sigma'_A = \frac{1}{2n}\sqrt{\sum_{i-1}^{n}((A_i - A_{ji})/A_m)^2} \qquad (14.5.4\text{-}2)$$

$$t_m = (t_i + t_{ji})/2 \qquad (14.5.4\text{-}3)$$

$$A_m = (A_i + A_{ji})/2 \qquad (14.5.4\text{-}4)$$

式中：

σ'——声波相对标准差；

σ'_A——波幅相对标准差；

t_i——第 i 个测点声时原始测试值，μs；

A_i——第 i 个测点波幅原始测试值，dB；

t_{ji}——第 i 个测点第 j 次抽测声时值，μs；

A_{ji}——第 i 个测点第 j 次抽测波幅值，dB。

14.5.5 由现场所测的数据应绘制声时-深度曲线、波幅（衰减值）-深度曲线，其声时 t_c 及声速 V_p 应按下列公式计算：

$$t_c = t - t_0 - t' \qquad (14.5.5\text{-}1)$$

$$V_p = I/t_c \qquad (14.5.5\text{-}2)$$

式中：

t_c——混凝土中声波传播时间，μs；

t——声时原始测试值，μs；

t_0——声波检测仪发射至接收系统的延迟时间，μs；

t'——声时修正值，μs；

I——两个检测管外壁间的距离，mm；

V_p——混凝土声速，km/s。

14.5.6　桩身完整性应按下列规定判定：

1　应采用声时平均值 μ_t 与声时 2 倍标准差 σ_t 之和作为判定桩身有无缺陷的临界值；应按下列公式计算：

$$\mu_t = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} t_{ci} \qquad (14.5.6\text{-}1)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(t_{ci} - \mu_t)^2} \qquad (14.5.6\text{-}2)$$

式中：

n——测点数；

t_{ci}——混凝土中第 i 测点声波传播时间，μs；

μ_t——声时平均值，μs；

σ_t——声时标准差。

2　亦可按声时—深度曲线相邻测点的斜率 K_{tz} 及斜率两点声时差值 Δt 的乘积作为缺陷的判据：

$$K_{tz} = (t_{ci} - t_{ci-1}) / (Z_i - Z_{i-1}) \qquad (14.5.6\text{-}3)$$

$$\Delta t = t_{ci} - t_{ci-1} \qquad (14.5.6\text{-}4)$$

$$K_{tz}\Delta t = (t_{ci} - t_{ci-1})^2 / (Z_i - Z_{i-1}) \qquad (14.5.6\text{-}5)$$

式中：

t_{ci}——第 i 测点的声时，μs；

t_{ci-1}——第 $i-1$ 测点的声时，μs；

Z_i——第 i 测点的深度，m；

Z_{i-1}——第 $i-1$ 测点的深度，m。

$K_{tz}\Delta t$ 值能在声时-深度曲线上明显地反映出缺陷的位置及性质，可结合 $\mu_t+2\sigma_t$ 值进行综合判定。

3 波幅（衰减值）比声速对缺陷反应更灵敏，可采用接收信号能量平均值的一半作为判断缺陷临界值。波幅值以衰减器的衰减量 q 表示，波幅判断的临界值 q_D 有下列关系：

$$q_D=\mu_q-6 \tag{14.5.6-6}$$

$$\mu_q=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}q_i \tag{14.5.6-7}$$

式中：

μ_q——衰减量平均值，dB；

q_i——第 i 测点的衰减量，dB；

n——测点数。

对超越临界值的测区应进行缺陷分析与判断。

4 桩的完整性宜采用上述判据，并辅以接收波形的视频率做进一步的综合判定。在作出缺陷判定后，如需判定桩身缺陷尺寸及空间分布，宜进一步采用多点发射、不同深度接收的扇形测量法，用多条交会的声线所测取的波速及波幅的异常加以判定。

14.5.7 本章未叙述到的内容按 JGJ/T93—1995《基桩低应变动力检测规程》有关条文执行。

15 高应变法

15.0.1 高应变动力检测的结果可用于下列工作：

1 检测预制桩打入的桩身应力与桩锤效率，选择沉桩设备与工艺参数；

2 选择预制桩合理的桩型和桩长；

3 采用实测曲线拟合法估计桩侧与桩端土阻力分布，模拟

静载荷试验的 $\rho - s$ 曲线等。

15.0.2　采用高应变动力检测时，委托单位应提供下列资料：

1　工程名称及建设、设计、施工单位的名称；

2　试桩区域内建筑场地的工程地质勘察报告；

3　桩基础施工图；

4　工程桩施工记录；

5　试桩桩身混凝土强度试验标高；

6　试桩桩顶处理前、后的标高。

15.0.3　进行单桩承载力检测时，对工程地质条件、桩型、成桩机具和工艺相同、同一单位施工的基桩，检测桩数不宜少于总数的2%，并不得少于5根。

15.0.4　进行高应变动力检测应属非破损检验，检测可选用工程桩进行。

15.0.5　试验仪器应具有现场显示、记录、保存实测力与加速度信号的功能，并能进行数据处理、打印和绘图。其性能应符合下列规定：

1　数据采集装置的模-数转换精度不应小于10位，通道之间的相位差应小于50μs。

2　力传感器宜采用工具式应变传感器，应变传感器安装谐振频率应大于2kHz，在1000$\mu\varepsilon$测量范围内的非线性误差不应大于±1%，由于导线电阻引起的灵敏度降低不应大于1%。

3　安装后的加速度计在2Hz～3000Hz范围内灵敏度变化不应大于±5%，冲击加速度在10000m·s^{-2}范围内其幅值非线性误差不应大于±5%。

4　传感器应每一年标定一次。

5　打桩机械或类似的装置都可作为锤击设备。重锤应质量均匀，形状对称，锤底平整，宜用铸钢或铸铁制造。当采用自由落锤时，锤的重量应大于预估的单桩承载力的1%。

6　桩的贯入度可用精密水准仪、激光变形仪等光学仪器测

定。

15.0.6 现场检测时桩头测点处的桩截面积、桩身波速、桩材质量密度和弹性模量应按测点处桩的实际情况确定。

15.0.7 测点下桩长和截面积的设定值应符合下列规定：

1 测点下桩长应取传感器安装点至桩底的距离。

2 对于预制桩，可采用建设或施工单位提供的实际桩长和桩截面积作为设定值。

3 对于混凝土灌注桩，测点下桩长和截面积设定值宜按建设或施工单位提供的施工记录确定。

15.0.8 桩身波速设定应符合下列规定：

1 对于普通钢桩，波速值可设定为5120m/s。

2 对于混凝土预制桩，宜在打入前实测无缺陷桩的桩身平均波速作为设定值。

3 对于混凝土灌注桩，在桩长已知的情况下，可采用反射波法按桩底反射信号计算桩的平均波速作为设定值；如桩底反射信号不清晰，可根据桩身混凝土强度等级等参数综合设定。

15.0.9 桩身质量密度设定应符合下列规定：

1 对于普通钢桩，质量密度应设定为7.85t/m^3。

2 对于普通混凝土预制桩，质量密度可设定为2.45t/m^3～2.55t/m^3。

3 对于普通混凝土灌注桩，质量密度可设定为2.40t/m^3。

15.0.10 桩材弹性模量设定值应按下列公式计算：

$$E = \rho c^2 \qquad (15.0.10)$$

式中：

E——桩材弹性模量，MPa；

c——桩身内应力波传播速度，m/s；

ρ——桩材质量密度，t/m^3。

15.0.11 采样频率宜为5Hz～10kHz。

15.0.12 每个信号的采样点数不宜少于1024点。

15.0.13　力传感器和加速度传感器标定系数应由国家法定计量单位开具的标定系数或传感器出厂标定系数作为设定值。

15.0.14　当检测承载力时，从设桩至检测（或复打）的休止时间应符合下列规定：

1　预制桩不应少于表15.0.14中规定的时间；

表15.0.14　休止时间　　天

土的类别		休止时间
砂土		7
粉土		10
黏性土	非饱和	15
	饱和	25

2　混凝土灌注桩应在混凝土达到设计强度等级，并不应少于表15.0.14中的规定时间。

15.0.15　预制桩承载力的时间效应可通过复打确定。

15.0.16　每根桩应记录有效锤击次数，应根据贯入度及信号质量确定。

15.0.17　采用自由落锤为锤击设备时，宜重锤低击，最大锤击落距不宜大于2.50m。

15.0.18　试验目的为确定桩身应力有关参数时，应进行打桩全过程检测。

15.0.19　为确保检测时锤击力的正常传递，对混凝土灌注桩、桩头严重破损的混凝土预制桩和桩头已出现屈服变形的钢桩，检测前应对桩头进行修复或加固处理。

15.0.20　桩顶应设置桩垫，并根据使用情况及时更换。桩垫宜采用胶合板、木板和纤维板等材质均匀的材料。

15.0.21　为监视和减少可能出现的偏心锤击的影响，检测时应安装应变传感器和加速度传感器各两只。传感器的安装应符合下列规定：

1 传感器应分别对称安装在桩顶以下桩身两侧，传感器与桩顶之间的垂直距离，对于一般桩型，不宜小于2倍桩的直径或边长。对于大直径桩，不得小于1倍桩的直径或边长。

2 安装传感器的桩身表面应平整，且其周围不得有缺陷或断面突变，安装范围内的材质和截面尺寸应与原桩身等同。

3 应变传感器的中心与加速度传感器中心应位于同一水平线上，两者之间的水平距离不宜大于10cm。

15.0.22 当采用膨胀螺栓固定传感器时，安装时应符合下列规定：

1 螺栓孔应与桩身中轴线垂直，其孔径应与采用的膨胀螺栓尺寸相匹配；

2 安装完毕后的应变传感器固定面应紧贴桩身表面，初始变形值不得超过规定值，检测过程中不得产生相对滑动；

3 当进行连续锤击检测时，应先将传感器引线与桩身固定可靠，防止引线振动受损。

15.0.23 检测前应认真检查确认整个测试系统处于正常状态，并按本规程的有关章节的规定逐一核对各类参数设定值，直至确认无误时，方可开始检测。

15.0.24 检测时宜实测每一锤击力作用下桩的贯入度，为使桩周土产生塑性变形，单击贯入度不宜小于2.5mm，但也不宜大于10mm。

15.0.25 检测时应及时检查采集数据的质量。如发现测试系统出现问题、桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧，应停止检测，进行检查。

15.0.26 当检测仅为检验桩身结构完整性时，可减轻锤重，降低落距，减少桩垫厚度，但应能测到明显的桩底反射信号。

15.0.27 锤击后出现下列情况之一的，其信号不得作为分析计算依据。

1 力的时程曲线最终未归零；

2 严重偏心锤击，一侧力信号呈现受拉；

3 传感器出现故障；

4 传感器安装处混凝土开裂或出现塑性变形。

15.0.28 检测承载力时选取锤击信号，宜符合下列规定：

1 预制桩初打，宜取最后一阵中锤击能量较大的击次；

2 预制桩复打和灌注桩检测，宜取其中锤击能量较大的击次。

15.0.29 分析计算前，应根据实测信号按下列方法确定桩身波速平均值。

1 桩底反射信号明显时，可根据下行波波行起升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定；

2 桩底反射信号不明显时，可根据桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的波速值综合判定。

15.0.30 实测曲线拟合法所采用的力学模型宜符合下列规定：

1 土的力学模型应能反映土的实际应力应变性状；

2 桩的力学模型应能反映桩的实际性状，可采用一维弹性杆模型。

15.0.31 采用实测曲线拟合法分析计算时应符合下列规定：

1 可用实测的速度或力或上行波作为边界条件进行拟合。

2 曲线拟合时间段长度，不应小于 $5L/c$；并在 $2L/c$ 时刻后延续时间不应小于 20ms。

3 拟合分析选定的参数，应在岩土工程的合理范围之内。各单元所选用的土的最大弹性位移 S_q 值不得超过相应桩单元的最大计算位移值。

4 拟合完成时计算曲线应与实测值吻合。

5 贯入度的计算值应与实测值吻合。

15.0.32 采用凯司法判定单桩极限承载力，应符合下列规定：

1 只限于中、小直径桩；

2 在无静载试验情况下，应采用实测曲线拟合法确定 J_c。

值，拟合计算的桩数不应少于检测总数的30%，并不应少于3根；

3 用于混凝土灌注桩时，桩身材质应均匀，截面应基本均匀，且有可靠经验；

4 在同一场地，桩型、尺寸相同情况下，阻尼系数极值与平均值之差不应大于0.1。

15.0.33 凯司法判定的单桩极限承载力可按下式计算：

$$R_c=\frac{1}{2}(1-J_c)\left[F(t_1)+ZV(t_1)\right]+\frac{1}{2}(1+J_c)\left[F\left(t_1+\frac{2L}{c}\right)-ZV\left(t_1+\frac{2L}{c}\right)\right] \tag{15.0.33-1}$$

$$Z=\frac{AE}{c} \tag{15.0.33-2}$$

式中：

R_c——由凯司法判定的单桩极限承载力，kN；

J_c——凯司法阻尼系数；

t_1——速度峰值对应的时刻，ms；

$F(t_1)$——t_1时刻的锤击力，kN；

$V(t_1)$——t_1时刻的质点运动速度，m/s；

Z——桩身截面力学阻抗，kN·s/m；

A——桩截面积，m^2；

L——测点下桩长，m。

15.0.34 桩身结构的完整性评价，宜对信号先作下列定性检查：

1 对力和速度波形作定性分析，观察桩身缺陷的情况和位置；

2 观察连续锤击情况下，缺陷的扩大或逐步闭合的情况。

15.0.35 桩身结构完整性可用实测曲线拟合法评价，并应符合下列规定：

1 拟合时所选用的桩土参数应在岩土工程的合理范围之

内；

2 根据桩的成桩工艺，拟合时可采用桩身阻抗拟合或桩身裂隙拟合。

15.0.36 对于等截面桩，桩顶下第一个缺陷可用 β 法评价，并宜按表 15.0.36 规定进行。

表 15.0.36 桩身结构完整性评价

β 值	评　　价
$\beta=1.0$	完好桩
$0.8\leqslant\beta<1.0$	轻微缺陷桩
$0.6\leqslant\beta<0.8$	明显缺陷桩
$\beta<0.6$	严重缺陷或断桩

1 桩顶下第一个缺陷的结构完整性系数 β 值可按下式计算：

$$\beta=\left\{\frac{1}{2}[F(t_1)+ZV(t_1)]-\Delta R+\frac{1}{2}[F(t_x)-ZV(t_x)]\right\}\Big/\left\{\frac{1}{2}[F(t_1)+ZV(t_1)]-\frac{1}{2}[F(T_x)-ZV(t_x)]\right\} \tag{15.0.36-1}$$

式中：

β——桩身结构完整性系数；

t_1——速度第一峰所对应的时刻，ms；

t_x——缺陷反射峰所对应的时刻，ms；

ΔR——缺陷以上部位土阻力的估计值，等于缺陷反射起始点的锤击力与速度乘以桩身截面力学阻抗之差值。

2 桩身缺陷位置可按下式计算：

$$X=\frac{1}{2}c\ (t_x-t_1) \tag{15.0.36-2}$$

式中：

X——缺陷位置与传感器安装点距离，m。

15.0.37　出现下列情况之一的，桩身结构完整性评价宜按工程地质条件和施工工艺结合实测曲线拟合法综合进行：

1　桩身有扩径的桩；

2　桩身截面面积不规则的混凝土灌注桩；

3　力和速度曲线在峰值附近比例失调，桩身有浅部缺陷的桩；

4　锤击力波上升缓慢，力与速度曲线比例失调的桩。

15.0.38　出现下列情况之一的，桩身结构完整性评价宜结合其他直接检测方法进行：

1　虽无异常信号反射，但并未测得桩底反射的桩；

2　桩截面渐变或多变，且变化幅度较大的混凝土灌注桩。

15.0.39　为选择工程桩的桩型、桩长和桩端持力层进行试打桩时，应符合下列规定：

1　试打桩位置的工程地质条件应具有代表性；

2　试打过程中，应按桩端进入的土层逐一进行测试，当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

15.0.40　桩端持力层应根据试打桩结果的承载力与贯入度关系，结合场地工程地质勘察资料综合判定。

15.0.41　采用试打桩判定桩的承载力时，应符合下列规定：

1　判定承载力值应小于或等于试打桩时测得的桩侧和桩端静土阻力值之和与桩在地基中的时间效应系数的乘积，并应进行复打校核；

2　复打至初打的休止时间应符合 15.0.14 规定。

15.0.42　桩身锤击应力监测应符合下列规定：

1　被监测桩的桩型、材质应与工程桩相同，施打机械的锤型、落距和垫层材料及状况应与工程桩施工时相同；

2　监测应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

15.0.43　为测得桩身锤击应力最大值，监测时应符合下列规

定：

1　桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试；

2　桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

15.0.44　最大桩身锤击拉应力可按下式计算：

$$\sigma_t=\frac{1}{2A}\left\{ZV\left(t_1+\frac{2L}{c}\right)-F\left(t_1+\frac{2L}{c}\right)-zV\left[t_1+\frac{(2L-2X)}{c}\right]-F\left[t_1+\frac{(2L-2X)}{c}\right]\right\} \tag{15.0.44}$$

式中：

σ_t——最大桩身锤击拉应力，kPa；

X——计算点与测点之间的距离。

15.0.45　最大桩身锤击压应力可按下式计算：

$$\sigma_p=F_{max}/A \tag{15.0.45}$$

式中：

σ_p——最大桩身锤击压应力，kPa；

F_{max}——力传感器测到的最大锤击力，kN。

15.0.46　桩身最大锤击应力控制值，应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ944—1994 中 5.5 的规定。

15.0.47　桩锤实际传递给桩的能量可按下式计算：

$$E_n=\int_0^T Fvdt \tag{15.0.47}$$

式中：

E_n——桩锤实际传递给桩的能量，kJ；

T——采样结束的时刻。

15.0.48　进行桩锤效率监测时，宜通过检测确定桩锤实际传递给桩的能量与桩锤额定能量之比值。其值宜符合表 15.0.48 的规定。

表 15.0.48 桩锤效率

锤　　型	实际传递能量/额定能量
单动柴油锤	0.20～0.30
蒸汽锤	0.45～0.55
自由落锤	0.42～0.50

15.0.49 从事高应变动力检测的测试人员，均应经过专门培训与考核。至少应有一名经过资质认定的单位中有实践经验的工程师（含工程师）以上技术人员在现场负责检测与分析工作。

15.0.50 高应变动力检测基桩承载力时，检测报告应包括下列内容：

1 工程名称、工程地点、检测目的和检测日期。

2 建设、勘测设计和施工单位名称。

3 检测场地的工程地质概况，检测桩及相应的钻孔柱状图。

4 桩基设计施工概况，桩位平面图及桩的施工记录。

5 检测情况，仪器设备及检测过程中出现的异常现象的说明。

6 每根桩的实测曲线、参数取值、检测数据处理、分析方法和检测结果。对于实测曲线拟合法应包括：拟合曲线、拟合质量系数、模拟的静载荷-沉降曲线、桩身阻抗变化、土阻力沿桩身分布、选用的各桩单元的有关参数及贯入度的实测值与计算值。

7 结论。

8 鉴署报告单位名称、检测负责人、报告审核人和审定人。

15.0.51 采用高应变动力检测进行试打桩和打桩监控时，检测报告除应符合 10.2 规定外，尚应包括下列内容：

1 打桩机械、桩锤、锤垫类型；

2 锤击数、桩侧静土阻力、桩端静土阻力、桩身锤击压应力、桩身锤击拉应力和桩锤实际传递给桩的能量与桩入土深度的

关系；

3　对打桩全过程中桩身结构完整性的评价。

15.0.52　本章没有叙述到的内容按 JGJ106—1997《基桩高应变动力检测规程》有关条文执行。

16 物探成果报告

16.1 成果报告的编写

16.1.1 成果报告应由工程技术负责人编写。报告要求如实反映物探工作的最终成果，内容全面、重点突出、立论有据、结构严谨、文字简练、图表齐全。

16.1.2 当采用多种物探方法进行工作时，对所得资料必须进行综合分析解释，编写综合物探报告。

16.1.3 报告书编写的一般要求：

1 物探成果报告应在全面深入地掌握各种物探方法所得到的实际材料的基础上，充分研究资料的特点和规律，作出有分析、有根据的推断和结论，并提出合理的建议。

2 报告可按下面提纲和要求，结合各自的实际情况，合理地组织内容和材料进行编写。

1）概况：简述物探工作区的地理位置、测区范围、工作任务；物探工作起止日期、所完成的工作量；工作条件，主要装备；已有的地质、物探资料。

2）地质及地球物理特征：区域地质概况；测区地形、地貌、地层、岩性、构造和岩土工程水文地质特征；测区地电特征、地震地质条件；开展物探工作的有利和不利因素。

3）外业工作方法、技术及质量评价：测网布置；所采用的工作方法及依据，观测技术条件和保证观测质量的措施；观测质量评价。

4）资料的解释和推断：所采用的解释方法及依据；参数的来源及可靠性分析；测区物性断面特征及平面变化规律分析；定量解释结果及断裂构造的推断解释；解

释精度。

5）结论与建议：扼要叙述物探工作所取得的主要地质结论；叙述物探方法查明地质问题的程度与精度，以及尚待解决的地质问题；指出岩土工程水文地质、钻探及开展其他地质勘探工作的适宜区域或地段，提出进一步开展物探工作和地质验证工作的建议。

3 物探报告应附下列各类图表：

1）物探工作平面布置图或实际材料图。

2）少量典型的和有特殊意义的定性图件。

3）必要的参数图。

4）定量解释成果平面、剖面图。

5）各种工作成果表、对比表。

16.1.4 若工作量较小或任务简单，如土壤电阻率、大地导电率、测井等，可编写简要的成果说明书。说明书的编写内容根据报告书的内容从简。

16.1.5 图表制作必须符合 DL/T 5156.5 的要求。

16.2 成果报告的审查、批准和提交

16.2.1 提交审查的报告或说明书应当是内容完整，图件、附件、插图齐全，字迹清楚，内容和形式都应符合本“规定”的要求。

16.2.2 成果报告经过逐级审查后批准出版。

16.2.3 成果报告审查与批准：

1 审查者对报告及所附图表进行审查，提出书面意见。

2 审查意见应包括：对物探工作布置的合理性，工作方法技术的正确性，参数选用与解释成果的客观性，地质结论正确程度，工作建议是否合理，执行规定的情况，审查原始资料和室内计算资料质量，报告和所附图表的完整、简洁程度等给予审查评定。

3 成果报告有下列情况之一者，不予批准；

1）未经有关职责人员签名的图件和图表；

2）未按有关图式图例规定所绘制的图件和图表；

3）成果报告所用资料不可靠或不全，无法进行正确推断；

4）综合分析研究不充分，对主要地质问题没有提出明确的结论和建议；

5）地质概念不清，推断错误，结论建议不正确；

6）报告文字部分章节不清，文理不通，前后矛盾，图件中有重大错误。

4 审查不合格的报告应进行补充、修改、再次报审。

16.2.4 物探存档资料有：

1 物探任务书和工作计划大纲及竣工报告；

2 物探成果报告；

3 物探成果图件和有意义的定性图件；

4 物探各种野外记录本、测量记录本；

5 电测深、电剖面曲线册；

6 测井原始曲线，地震原始记录；

7 各种物探成果计算表；

8 物探质量检查表。

附 录 A
（规范性附录）
物探野外工作记录格式

A.1 封面

（单位名称）
（记录本名称）

编号

“单位名称”如：国家电力公司西北电力设计院物探队等。

“记录本名称”如：电测深野外记录本，自然电场法野外记录本，电测剖面法野外记录本，激发极化法野外记录本，地下水流速流向测定野外记录本。

A.2 封二

印有：请拾获此记录本者速寄（机关地址和名称）。

“机关地址和名称”如：陕西省西安市金花北路20号西北电力设计院物探队。

A.3 首页

（单位名称）
（记录本名称）
第____册

工程名称_____
地　　区_____
日　　期　　年　月　日　起
　　月　日　止

工程负责人_____
检　查　者_____
台　班　长_____
仪器型号_____
仪器号码_____

A.4 目录格式

A.4.1 电测深法、激发极化法：

目　　录						
页次	点号	地点	最大电极距	方位角	日期	备注

A.4.2 电测剖面法、自然电场法、充电法、甚低频电磁法：

目　　录						
页次	剖面号	起讫点号	地点	装置形式及极距	日期	备注

A.4.3 地下水流速、流向测定：

目　　录				
页次	井号	地　　点	日期	备注

A.5 记录本格式

A.5.1 电测深法记录本格式

页次_____

工程名称_____　　测点编号_____

测点位置_____　　表层描述_____

布极方向_____　　天　　气_____

最大电压_____　　观测时间　开始____时____分

结束____时____分

工作日期_____月_____日

序号	$\overline{AB}/2$	$\overline{MN}/2$	K	ΔU	I	ρ_s	$\overline{\rho}_s$	备注

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.2　激发极化法记录本格式

页次_____

工作名称_____　　测点编号_____

测点位置_____　　表层描述_____

布极方向_____　　工作方法_____

极　差 开始_____ 终至_____ mV　　天　气_____

观测时间 开始____时____分 结束____时____分

工作日期_____月_____日

序号	$\overline{AB}/2$	$\overline{MN}/2$	K	I	ΔU_1	ρ_1	η	J	D	备注

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.3　电测剖面法记录本格式

页次_____

工程名称_____　　剖面编号_____

剖面位置_____　　剖面方向_____

剖面类型_____　　表层描述_____

点　距_____　　天　气_____

工作日期____月____日

测点号	$\overline{AB}=$ $\overline{MN}=$ $K=$					测点号	$\overline{AB}=$ $\overline{MN}=$ $K=$				
	ΔU	I	ρ_s	$\overline{\rho}_s$	备注		ΔU	I	ρ_s	$\overline{\rho}_s$	备注

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.4 自然电场法记录本格式

页次_____

工程名称_____　　剖面编号_____

剖面位置_____　　剖面方向_____

点　　距_____　　固定极 N 位置及编号_____

极差　开工____ mV　　表层描述_____

收工_____　　天气_____仪器型号_____

工作日期____月_____日

测点号	电位差 mV	极差 mV	极差改正 mV	对基点电位 mV	备　注

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.5 充电法记录本格式

页次_____

工程名称_____　　剖面编号_____

剖面位置_____　　剖面类型_____

点　　距_____　　接地 N 位置_____

接地 A 位置_____　　接地 B 位置_____

表层描述_____　　天　　气_____

工作日期____月_____日　　仪器编号_____

点　号		$\overline{MN}$	ΔU	I	$\frac{\Delta U}{I}$	$\frac{\Delta U}{I \times \overline{MN}}$	备注
M	N	m	mV	mA			

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.6 地下水流向流速测定记录本格式

页次_____

工程名称_____　　井　　号_____

含水层深度_____　　井　　经_____

电解质名称_____　　B电极位置_____

工作日期____月____日　　电源电压____V　仪器型号____

组别		线号												地下水位及放盐情况
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ	Ⅺ	Ⅻ	
		线半径												
第一组	t													
	r													
	Δr_1													
第二组	t													
	r													
	Δr_2													
备注														

操作_____　　记录计算_____　　校对_____

A.5.7 甚低频电法记录本格式

页次_____

工程名称_____　　剖面编号_____

剖面位置_____　　剖面方向_____

频　　率_____　　$\overline{MN}$ = _____ m

工作日期____月____日　　天气_____仪器型号____

时间		点号	读数						K	计算	备注
时	分		Hy			Ex				$\rho_s = K \cdot \left(\frac{N_E}{N_H}\right)^2$	
			表头	测程	N_H	表头	测程	N_E			

操作_____ 记录计算_____ 校对_____

A.5.8 甚低频磁法记录本格式

页次_____

工程名称_____ 剖面编号_____

剖面位置_____ 剖面方向_____

频　　率_____ $\overline{MN}$ = _____ m

工作日期____月____日 天气_____仪器型号____

时间		点号	读数						D (°)	备注
时	分		Hy			Hz				
			表头	测程		表头	测程			

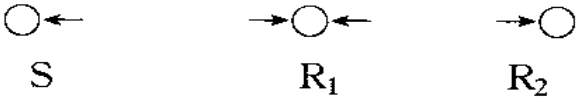
操作_____ 记录计算_____ 校对_____

A.5.9 跨孔法波速测试记录本格式

工程名称_____ 参加测试人员_____

日　　期_____ 资料整理计算_____

钻孔排列方位_____ 校核_____



深度 m	土层名称	测斜后的实际水平距离 L			波的传播时间 ms						波速值 m/s						备注
		$S-R_1$	$S-R_2$	R_1-R_2	$S-R_1$		$S-R_2$		R_1-R_2		$S-R_1$		$S-R_2$		R_1-R_2		
					t_p	t_s	t_p	t_s	t_p	t_s	v_p	v_s	v_p	v_s	v_p	v_s	

A.5.10 粘贴地震记录格式

粘 贴 记 录

工作区号		日期	
记录编号		总编号	
测线号		记录评价	
检波点起讫		增 益	
检波间距		波 滤	
爆炸桩号		频 率	
爆炸深度		记录时间	
炸药量		延 时	

记录道次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
检波点号												
旅行时												
校正												
校正												
总校正												
校后旅行时												

操作：_____ 整理：_____ 校核：_____

附 录 B
（规范性附录）
地震勘探爆炸工作安全条例

B.1 爆炸工作人员守则

B.1.1 具有高度责任感，敢于坚持原则，有权拒绝执行任何违反本条例的错误决定，确保生产安全。

B.1.2 熟悉常用爆炸物品的性能、搬运、存放、使用等知识。

B.1.3 爆炸工必须取得公安部门签发的准爆证，并在具有一年以上经验的爆炸工指导下，至少有三个月的实践经验才能独立工作。

B.1.4 熟练掌握本条例和地震勘探规程对爆炸工作的要求。

B.1.5 爆炸组长应有一年以上爆炸工作经验，并了解爆炸机的原理。

B.1.6 严重违反本条例，或虽一般违反但屡教不改者，应立即停止其工作。

B.2 爆炸物品的运输

B.2.1 爆炸物品的运输应按公安部门的规定办理手续，领取爆炸品运输证，并派专人押运。

B.2.2 运输爆炸物品车船，不准搭乘无关人员。

B.2.3 雷管与炸药不得同车、同船装运，并不得混装其他易燃、易爆品。

B.2.4 运输爆炸品的车辆不得超过中速行使，不得在离居民点100m以内的地点或车站、码头及交叉路口等人口稠密处停车。停车时应熄火。夜间停宿应与当地公安部门取得联系，按指定地点停放。

B.3 爆炸物品的存放与管理

B.3.1 存放爆炸物品的库房应设在安全、便于搬运的非居民区，设有专人管理，并有通信设备。

B.3.2 库房应远离居民点、铁路、建筑物，高压线，最小安全距离按下式确定

$$R_x = 10\sqrt{Q} \qquad (B.1)$$

式中：

R_x——最小安全距离，m；

Q——炸药量，kg。

B.3.3 库房应干燥、通风、防潮，温度不得超过30℃，湿度不得超过60%。

B.3.4 炸药与雷管必须分放在不同库房，在同一地区，炸药不得超过3t，雷管不得超过2000个。

B.3.5 库房内必须采用电灯或安全灯照明，不得使用煤油灯或明火。

B.3.6 库房内严禁用火炉、火盆或其他明火取暖。

B.3.7 库房管理人员必须建立爆炸物品入库帐目，及时办理入库手续，领退人签名。

B.3.8 领取爆炸物品必须经爆炸组长的批准。收工后，将剩余品及时退库，不得随意放置、私存。严禁将雷管炸药存放在宿舍或办公室。

B.3.9 当工作区距药库较远时，收工后可将少量剩余爆炸品存放在适当地点，但炸药不得超过50kg，雷管不得超过50个。并分开放置，有专人看管。

B.3.10 地震组长会同爆炸组长每月至少清点库房一次。发现问题须查明原因，并及时上报。

B.3.11 整个施测工作结束后，剩余爆炸物品应全部销毁，不

得随意处理。

B.4 爆炸物品使用规则

B.4.1 进行与爆炸品有关的各种工作时，不得有无关人员在场。工作人员不准带火柴、打火机等易燃品，严禁吸烟。

B.4.2 爆炸物品不得摩擦、撞击和抛掷、拖拽、滚动；不得使用铁制工具切割或打穿炸药；搬运时必须轻拿轻放。

B.4.3 在炸药库内不得进行开箱或包装工作，严禁在炸药库内测定雷管。

B.4.4 不得紧拉雷管引线或企图将引线拔出。严禁使用生锈或有氧化现象的雷管。

对此类雷管，应经批准后销毁。

B.4.5 使用硝化甘油炸药时，应严格遵守厂家说明书规定。严禁使用冻结、半冻结或浸透药包的硝化甘油炸药。

B.5 炸药工作注意事项

B.5.1 爆炸站应设在爆炸点上风、地势平坦开阔或安全隐蔽处，并与爆炸点通视良好。

B.5.2 爆炸站与爆炸点间的距离可视爆炸方式、爆炸点岩性及炸药量而定，确保安全。

B.5.3 雷管与炸药必须分开存放，其间距不得小于10m。雷管不得暴晒，应置于爆炸站20m以外、距爆炸点50m以外的阴凉干燥处，附近严禁吸烟或烤火。

B.5.4 爆炸工必须根据操作员的意见确定炸药量和爆炸深度，听从操作员指令起爆，并及时将爆炸情况记入班报。

B.5.5 严禁在高压线、通信线下放炮。

B.5.6 爆炸前必须做好安全警戒工作，警戒信号应简单明确。在爆炸安全距离范围内不得有人畜进入。

B.5.7 爆炸时，现场工作人员一律带好安全帽，精神必须集

中。

B.5.8 必须使用经检验合格的专用爆炸机进行爆炸。严禁使用干电池或蓄电瓶或其他电源起爆。

B.5.9 所用雷管必须进行导通检查。检查时必须使用爆炸机的专用检查回路及表头。检查电流不得超过 50mA。接通时间不得超过 1s～2s。严禁使用万用表直接检查雷管。

B.5.10 检查雷管时，雷管与爆炸机和测量者应保持一定安全距离。

B.5.11 爆炸线和记时线应采用有明显颜色差异的双股胶质线。不得有裸露和漏电处。不得用单股线与地（或水）构成爆炸回路（或记时回路）。

B.5.12 接雷管前，应检查爆炸线和计时线的导通与断路。

B.5.13 一个爆炸站严禁使用两套爆炸线。

B.5.14 爆炸工必须随身携带爆炸机和爆炸机安全钥匙，并在将爆炸线与爆炸机断开后才能进行工作。

B.5.15 安置药包时，必须先将爆炸线与雷管线接好，检查无误后，将雷管插入药包上用竹制或木制的锥子扎的孔内。严禁先将雷管擦入药包后再接爆炸线。

B.5.16 药包接好后，轻轻放入炮坑内。埋置前后均应进行通路检查。检查时，工作人员必须撤离至安全处。埋置药包时，禁止用石块压盖。在药包埋置的整个过程中，爆炸线应短路。

B.5.17 爆炸安全范围由下式估算：

$$R_B = K_B \sqrt{Q} \qquad (B.2)$$

式中：

Q——炸药量，kg；

R_B——最小安全距离，m；

K_B——爆炸条件系数，松散土层或沙层坑中爆炸时，K_B=10；冻土层、砂砾石层坑中爆炸时，K_B=50。

井中爆炸时，最小安全距离不得小于30m。当炸药超过50kg时，最小安全距离不得小于50m。

B.5.18 工作中，当出现拒爆时，应首先将爆炸线拆离爆炸机，并将其短路。十分钟后再检查拒爆原因：

1 当爆炸回路是通过时应检查：

1）雷管是否接错在记时线上。

2）爆炸回路是否短路或漏电。

2 当爆炸回路是断路时应检查：

1）雷管与爆炸线连接是否脱落。

2）爆炸线是否断路。

3 若不是上述原因引起拒爆，则按瞎炮处理。

B.5.19 瞎炮处理方法：

1 坑炮：在距原药包30cm处，放一小药包进行殉爆。不得采用将原药包挖出处理。

2 水炮或井炮：应将药包小心收回或提出井外，并置安全处附以小药包销毁。

3 处理瞎炮，必须记入班报，注明拒爆原因。

B.5.20 拒爆原因检查及瞎炮处理，爆炸组长必须在场指导。

B.5.21 不得在雷雨天或大雾天进行爆破作业。

B.5.22 水中爆炸，除药包应系以重物外，还应同时系以浮标，以示药包位置。

附 录 C
（规范性附录）
放射性同位素与射线装置放射防护条例

C.1 一般要求

C.1.1 为了加强对放射性同位素与射线装置放射防护的监督管理，保障从事放射工作的人员和公众的健康与安全，保护环境，促进放射性同位素和射线技术的应用与发展，制定本条例。

C.1.2 本条例适应于中华人民共和国境内从事生产、使用、销售、放射性同位素与射线装置的单位和个人。

C.1.3 国务院卫生、环境保护和公安部门按照各自的职能和本条例的有关规定，对放射性同位素与射线装置的生产、使用、销售中的放射防护（简称放射工作）实施监督管理。

C.1.4 任何单位和个人对违反本条例的行为有权检举和控告。

C.2 许可登记

C.2.1 国家对放射工作实行许可登记制度，许可登记由卫生、公安部门办理。

C.2.2 新建、改建、扩建放射工作场所的放射防护设施，必须与主体工程同时设计审批、同时施工、同时验收投产。放射防护设施的设计，必须经所在省、自治区、直辖市的卫生行政部门审查同意。竣工后须卫生、公安、环境保护等有关部门验收同意，获得许可登记证后方可启用。

涉及放射性废水、废气、固体废物治理的工程项目，必须在申请审查的同时，提交经环境保护部门批准的环境影响评价文件，竣工后必须经卫生、公安、环境保护等关部门验收同意。

C.2.3 任何单位在从事生产、使用、销售射线装置前，必须向

省（自治区、直辖市）的卫生行政部门申请许可证；在从事生产、使用、销售放射性同位素和含放射源的射线装置前，必须向省（自治区、直辖市）的卫生部门申请许可证，并向同级公安部门登记。涉及到放射性废水、废气、固体废物排放的，还必须先向省（自治区、直辖市）的环境保护部门递交环境影响报告表（书），经批准后方可申请许可登记。领得许可登记证后方可从事许可登记范围内的放射工作。

C.2.4 凡申请许可、登记的放射工作单位，必须具备下列基本条件：

1 具有与所从事的放射工作相适应的场所，设施和装备，并提供相应的资料。

2 从事放射工作的人员必须具备相适应的专业及防护知识健康条件，并提供相应的证明材料。

3 有专职、兼职放射防护管理机构或者人员，以及必要的防护用品和检测仪器，并提交人员名单和设备清单。

4 提交严格的有关安全防护管理规章制度的文件。

C.2.5 放射工作许可登记证每隔1～2年进行一次核查，核查情况由原审批部门记录在工作许可登记证上。

从事放射工作的单位在需要改变许可登记的内容时，须持许可登记证件到原审批部门办理变更手续。终止放射工作时，必须向原审批部门办理注销许可登记手续。

C.3 放射防护管理

C.3.1 从事放射工作的单位的上级行政管理部门，负责管理本系统的放射防护工作，并应定期对本系统执行国家放射防护法规和标准进行检查。

从事放射工作单位的负责人，应当采取以下措施使本单位的放射性工作符合国家有关标准。

C.3.2 放射性同位素的生产、使用、贮存场所和射线装置的生

产、使用场所必须设置防护设施，其入口处必须设置放射性标志和必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。

在室外、野外从事放射工作时，必须划出安全防护区域，并设置危险标志，必要时设专人警戒。

在地面水和地下水中进行放射性同位素试验时，必须事先经所在省级环境保护、卫生行政部门批准。

C.3.3 放射性同位素不得与易燃、易爆、腐蚀性物品放在一起，其贮存场所必须采取有效的防火、防盗、防泄漏的安全防护措施，并指定专人负责保管。贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，必须进行登记、检查做到帐物相符。

C.3.4 从事放射性同位素的订购、销售、转让、调拨和借用的单位或者个人，必须持有许可登记证并只限于在许可登记证登记的范围内从事上述活动，并向同级卫生、公安部门备案，严禁非经许可或者在许可登记范围之外从使上述活动。

C.3.5 进口装备有放射性同位素仪表或者个人，必须向当地卫生、安全、环境保护部门登记备案；进口含有超过放射性豁免水平的矿品、成品、消费品的单位或者个人，应当向口岸所在地的省级卫生行政部门申请放射性检测检查。

凡从事含有放射性的来料加工工作的单位或者个人，涉及到放射性废水、废气、固体废物排放的，必须先向所在省（自治区、直辖市）的环境保护部门递交环境影响报告书，经批准后，到所在县以上卫生行政部门申请办理许可证，并向公安部门登记。

C.3.6 托运、承运和自行运输放射性同位素或者装过放射性同位素的空容器，必须按国家有关运输规定进行包装和剂量检测，经县以上运输和卫生行政部门检查后方可运输。

C.3.7 生产装有放射性同位素的设备、射线装置、放射防护器时，必须符合放射防护要求，不合格的产品不得出厂。

C.3.8 生产含有放射性物质的消费品、物料和伴有产生 X 射线

的电器产品，必须符合放射防护要求，不合格的产品不得销售。

C.3.9 用放射性同位素和射线装置辐照食品、药品、化妆品、医疗器材和其他应用于人体的制品，必须符合国家卫生法规和标准的规定。

C.3.10 对受检者和患者使用放射性同位素或者进行诊断、治疗、检查时，必须控制受照剂量，避免一切不必要的照射。

C.3.11 放射工作单位必须严格执行国家对放射工作人员个人剂量检测和健康管理的规定。

C.3.12 对已从事和准备从事放射工作的人员，必须接受体格检查，并接受放射防护知识培训和法规教育，合格者方可从事放射工作。

C.4 放射事故管理

C.4.1 国家对放射性同位素与射线事故（简称放射事故），实行分级管理和报告，立案制度。

C.4.2 发生放射事故的单位，必须立即采取防护措施，控制事故影响，保护事故现场，并向县以上卫生、公安部门报告，对可能造成环境污染事故的，必须同时向所在地环境保护部门报告。

C.4.3 发生放射事故的单位或者个人，应当赔偿受害者的经济损失及医学检查治疗费用，并支付处理事故的各种费用。但如果能够证明损害是由受害人故意造成的，不承担赔偿责任。

C.5 放射防护监督

C.5.1 县以上卫生行政部门负责本辖区内放射性同位素与射线装置的放射防护监督，其主要职责是：

1 负责对放射工作监督检查；

2 组织实施放射防护法规；

3 会同有关部门调查处理防射事故；

4 组织放射防护知识的宣传、培训和法规教育；

5 处理放射防护监督中的纠分。

C.5.2 各省（自治区、直辖市）的环境保护部门对放射性同位素和含有放射源的射线装置在应用中排放放射性废水、废气、固体废物实施监督，其主要职责是：

1 审批环境影响报告表（书）；

2 对废水、废气、固体废物处理进行审查和验收；

3 对废水、废气、固体废物排放实施监督检测；

4 会同有关部门处理放射性环境污染事故。

C.5.3 县以上公安部门对放射性同位素应用中的安全保卫实施监督管理，主要职责是：

1 登记放射性同位素和放射源；

2 检查放射性同位素和放射源保存、保管的安全性；

3 参与放射事故管理。

C.5.4 县以上卫生行政部门设放射防护监督员。放射防护监督员由从事放射防护工作，并具有一定资格的专业人员担任，由省级卫生行政部门任命。

C.5.5 放射防护监督员有权按照规定对本辖区放射工作进行监督和检查，并可以按照规定采样和索取有关资料，有关单位不得拒绝和隐瞒，对涉及保密的资料应按照国家保密规定执行，并负有保密责任。

C.5.6 放射防护监督员必须严守法纪、秉公执法、不得玩忽职守，徇私舞弊。

C.6 处罚

C.6.1 对违反本条例的单位和个人，县以上卫生行政部门，可以视其情节轻重，给予警告，并限期改进、停工或者停业整顿，或者处以罚款和没收违法所得，直至会同公安部门吊销其许可登记证的行政处罚。

在放射性废水、废气、固体废物排放中造成环境污染事故的

单位和个人，由省（自治区、直辖市）的环境保护部门，按照国家环境保护法规执行处罚。

C.6.2 当事人对卫生、环境保护部门给予的行政处罚不服的，在接到通知书之日起15日内，可以向决定处罚的行政部门的上一级行政部门申请复议。但对放射防护控制措施的决定，应当立即执行。对复议结果不服的，在接到复议书之日起15日内，可以向人民法院起诉，对行政处罚不履行又逾期不起诉的，由决定处罚的行政部门申请人民法院强制执行。

C.6.3 由于违反本条例而发生放射事故尚未造成严重后果的，可以由公安机关按照《治安管理处罚条例》予以处罚；对造成严重后果构成犯罪的，由司法机关依法追究刑事责任。

利用放射性同位素和射线装置进行破坏活动或者有意伤害他人，构成犯罪的，由司法机关依法追究刑事责任。

附 录 D
（规范性附录）
本规定中用词和用语说明

执行本规定时，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，非这样作不可的用词：

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作的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

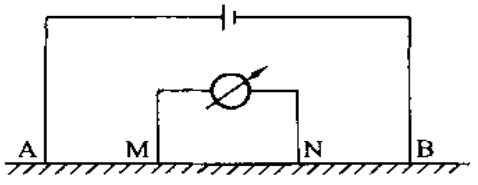
3 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样作的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

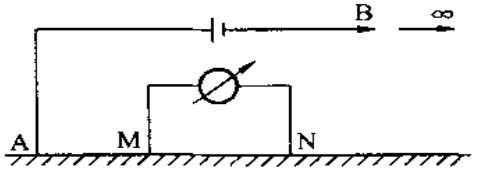
附 录 E
（资料性附录）
电阻率法的装置形式及装置系数 K 的计算公式

E.1 对称四极装置：



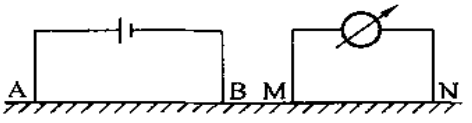
$$K=\pi\cdot\frac{\overline{AM}\cdot\overline{AN}}{\overline{MN}} \qquad (E.1)$$

E.2 三极装置：



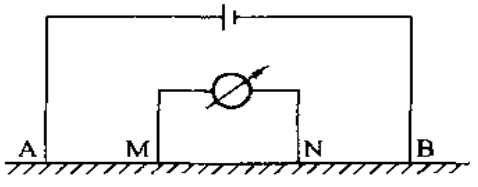
$$K=2\pi\frac{\overline{AM}\times\overline{AN}}{\overline{MN}} \qquad (E.2)$$

E.3 偶极装置：



$$K=2\pi\frac{\overline{AM}\times\overline{AN}\times\overline{BM}\times\overline{BN}}{\overline{MN}\ (\overline{AM}\times\overline{AN}-\overline{BM}\times\overline{BN})} \qquad (E.3)$$

E.4 中间梯度装置：



$$K=2\pi\frac{\overline{AM}\times\overline{AN}\times\overline{BM}\times\overline{BN}}{\overline{MN}\ (\overline{AM}\times\overline{AN}+\overline{BM}\times\overline{BN})} \qquad (E.4)$$

附 录 F
（资料性附录）
常见岩土介质物性参数参考表

介质名称	电阻率	纵波速度	电导率	磁化率 $\times 10^{-6}$C·G·S·M	
	Ω·m	m/s	$\times 10^{-3}$S/m	一般范围	参考值
黏土、粉质黏土	$10\sim10^3$	300～2000	$10^4\sim10^2$	0	0
粉 土	$10\sim10^3$	200～800	$10^4\sim10^2$	0	0
湿 砂	$10\sim10^3$	700～1600	$10^4\sim10^2$	0	0
干砂、卵石	$10^3\sim10^5$	300～1000	$10^2\sim10^0$	0	0
泥质页岩	$20\sim10^3$	2300～4700	$5\times10^3\sim10^2$		
红砂岩	$10\sim10^2$	1400～4300	$10^4\sim10^3$		
致密砂岩	$10^2\sim10^3$	2400～4300	$10^3\sim10^2$		
泥灰岩	$50\sim8\times10^2$	2000～3500	$2\times10^3\sim1.2\times10^2$		
石灰岩	$3\times10^2\sim10^4$	2800～6400	$3.3\times10^2\sim10^1$	0～25	5
花岗岩	$2\times10^2\sim10^5$	4500～6500	$5\times10^2\sim10^0$	0～5000	500
玄武岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～8000	$2\times10^2\sim10^0$	100～5000	1000
闪长岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～6500	$2\times10^2\sim10^0$	200～2000	1000
正长岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～6500	$2\times10^2\sim10^0$	0～5000	2000
辉长岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～6500	$2\times10^2\sim10^0$	100～10000	2000
玢 岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～8000	$2\times10^2\sim10^0$	0～30000	2000
橄榄岩	$5\times10^2\sim10^5$	4500～8000	$2\times10^2\sim10^0$	500～70000	10000
片 岩	$2\times10^2\sim10^4$	2500～5000	$5\times10^2\sim10^0$	0～5000	1000
片麻岩	$2\times10^2\sim5\times10^4$	3000～5500	$5\times10^2\sim2\times10^0$	0～100	25
白云岩	$10^2\sim10^4$	2500～6200	$10^3\sim10^1$	0	0
角 岩				0～20000	2000
盐 岩	$10^4\sim10^8$	4200～6500	$10\sim10^{-3}$	0	0
石 膏	$10^2\sim10^8$		$10^3\sim10^{-3}$	0	0
黄铜矿	$10^{-4}\sim10^{-1}$		$10^9\sim10^6$		
磁铁矿	$10^{-4}\sim10^3$		$10^9\sim10^2$	$10^4\sim1.6\times10^6$	2×10^5
赤铁矿	$1\sim10^5$		$10^5\sim10^0$	40～300	100
石 英	$>10^6$		$<10^{-1}$	0	0
长 石	$>10^8$		$<10^{-3}$	0	0
云 母	$>10^8$		$<10^{-3}$	0	0

（续）

介质名称	电阻率	纵波速度	电导率	磁化率 $\times10^{-6}$C·G·S·M	
	Ω·m	m/s	$\times10^{-3}$S/m	一般范围	参考值
雨　水	$>10^3$	1430～1590	$<10^2$	0	0
河　水	$10\sim10^2$	1430～1590	$10^4\sim10^3$	0	0
海　水	$5\times10^{-2}\sim1$	1430～1590	$5\times10^3\sim10^5$	0	0
地下水	$10^{-1}\sim3\times10^2$	1430～1590	$10^6\sim3.3\times10^2$	0	0
冰	$10^4\sim10^8$	3100～3600	$10\sim10^{-3}$	0	0
空气	lim→∞	300～350	lim→∞	0	0