ICS XX.XXX
P XX
备案号 XXXXX-XXXX

SL

# 中华人民共和国水利行业标准

SL xxx-2004

替代 DL5010-92

# 水利水电工程物探规程

**Specification for Engineering Geophysical Exploration of Water Resources and Hydropower**

（报批稿）

2004-xx-xx 发布　　2004-xx-xx 实施

中华人民共和国水利部　发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程物探规程》

SL xxx—2004 的通知

（由水利部发文）

# 前　言

根据水利部水利水电规划设计管理局2001年3月下发的水总局科[2001]1号“关于下达2001年度水利水电勘测设计技术规程制定、修订项目计划及主编单位的通知”，以及《水利水电工程物探规程》（DL5010－92）近10年的执行情况和物探技术发展的现状，按照水利行业标准《水利技术标准编写要求》（SL1－2002）对其进行修订、完善和补充。

《水利水电工程物探规程》（SLxxx－2004）共5章35节和3个附录，主要技术内容有：

——确定了术语、符号和代号；

——物探方法和技术中明确了使用的方法种类，每种方法的应用条件和使用的仪器技术指标，确定了现场试验、观测工作、测网布置、参数测试、记录评价、数据处理和解释、报告和图件等的技术要求；

——确定了物探方法在 22 个领域中的综合应用，明确了每一应用领域所采取的方法和技术，并对资料解释和探测精度提出了具体要求；

本次修订对《水利水电工程物探规程》（DL5010－92）删除和增加的具体内容如下：

——删除的内容有：第2章物探任务、3.1节中甚低频的内容、3.3节的微重力勘探、第3章中有关方法技术解释性的条文、4.11桩基检测、附录A仪器设备的使用与维护、附录B有关操作方法的规定、附录F图式图例、附录G地震勘探爆炸工作安全条例、附录H放射性同位素与射线装置放射防护条例；

——增加的内容有：引用标准, 术语、符号和代号，在物探方法与技术一章中，有一般规定、高密度电法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法、探地雷达法、瑞雷波法、层析成像、同位素示踪法等。在物探方法的综合应用一章中，有堤坝隐患探测、隧道施工超前预报、建基岩体质量检测、灌浆效果检测、混凝土质量检测、洞室混凝土衬砌质量检测、锚杆锚固质量检测、防渗墙质量检测、堆石（土）体密度和地基承载力检测、钢衬与混凝土接触状况检测、堆石坝面板质量检测等。

本规程所替代标准的历次版本为：

《水文地质工程地质物探规程》（1982）

《水利水电工程物探规程》DL5010-92

本规程批准部门：**中华人民共和国水利部**

本规程主持单位：**水利部水利水电规划设计管理局**

本规程解释单位：**水利部水利水电规划设计管理局**

本规程主编单位：**水利部长江委长江勘测规划设计研究院**

本规程参编单位：**水利部黄河水利科学研究院**

**水利部黄委会勘测规划设计研究院**

**水利部长江勘测技术研究所**

**水利部东北勘测设计研究院**

**水利部天津勘测设计研究院**

**国电公司贵阳勘测设计研究院**

**国电公司成都勘测设计研究院**

**国电公司北京勘测设计研究院**

本规程出版、发行单位：**中国水利水电出版社**

本规程主要起草人：**肖柏勋（主编）　蔡加兴　王　波　沙　椿　冷元宝**

**熊永红　魏岩峻　张　智　余才盛　张建清　袁景花**

**郭玉松　毋光荣　刘康和　王顺立　才致轩　宋正宗**

**吴达元　钱世龙　张喜元**

本规程审查会议技术负责人：**李广诚**

本规程体例格式审查人：**窦以松**

# 目　次


1　总则 …… 3
2　术语、符号、代号 …… 4
2.1　术语 …… 4
2.2　符号、代号 …… 5
3　物探方法与技术 …… 6
3.1　一般规定 …… 6
3.2　电法勘探 …… 7
3.3　探地雷达 …… 15
3.4　地震勘探 …… 17
3.5　弹性波测试 …… 23
3.6　层析成像 …… 25
3.7　水声勘探 …… 27
3.8　放射性测量 …… 28
3.9　综合测井 …… 30
4　物探方法的综合应用 …… 32
4.1　覆盖层探测 …… 32
4.2　隐伏构造破碎带探测 …… 33
4.3　喀斯特探测 …… 34
4.4　岩体风化带厚度与卸荷带深度探测 …… 34
4.5　软弱夹层探测 …… 35
4.6　滑坡体探测 …… 36
4.7　堤坝隐患探测 …… 37
4.8　隧洞施工超前预报 …… 37
4.9　地下水探测 …… 38
4.10　环境放射性检测 …… 39
4.11　建基岩体质量检测 …… 40
4.12　灌浆效果检测 …… 40
4.13　混凝土质量检测 …… 41
4.14　洞室混凝土衬砌质量检测 …… 41
4.15　洞室松弛圈检测 …… 41
4.16　锚杆锚固质量检测 …… 42
4.17　防渗墙质量检测 …… 42
4.18　堆石(土)体密度和地基承载力检测 …… 43
4.19　钢衬与混凝土接触状况检测 …… 43
4.20　堆石坝面板质量检测 …… 44
4.21　水文地质参数测试 …… 44
4.22　岩土物理和力学参数测试 …… 44
5　物探成果报告 …… 45
5.1　成果报告的编写 …… 46
5.2　成果的审查 …… 46
附录A　物探应用一览表 …… 47
附录B　物性参数表 …… 50
附录C　基本公式及计算图表 …… 51

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范水利水电工程物探技术要求，保证物探成果质量，充分发挥物探在水利水电工程勘察中的作用，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于水利水电工程勘测、设计、施工、运行各时期的工程地球物理勘探、检测和测试工作。

**1.0.3** 目前应用的物探方法主要有：电法勘探、探地雷达、地震勘探、弹性波测试、层析成像、水声勘探、放射性测量和综合测井等，各种方法的应用见附录 A。在实际应用中应根据地球物理特征（常见介质的物性参数见附录 B）、各种方法的特点和现场工作条件，合理选用一种或几种适宜的方法。

**1.0.4** 水利水电工程物探工作宜按接受任务、搜集资料、现场踏勘、编制工作技术大纲、试验工作、现场工作、资料检查和评价、资料分析处理、成果报告校审、提交成果等程序进行。

**1.0.5** 物探工作技术大纲宜根据物探任务书要求，在搜集和分析与工作相关的地形地质、地球物理、气象、水文、交通等资料基础上，结合实际踏勘情况编制，主要内容宜包括：任务目的、工作量及范围、测区地质概况及地球物理特征、方法与技术、人员与设备配置、工期与进度安排、预期成果等。

**1.0.6** 物探工作中使用的仪器设备和主要传感器件应在规定的检验期内经有关部门检验合格，且应达到本规程要求的技术指标。

**1.0.7** 在工作过程中，物探人员应及时收集有关资料，为物探工作布置和资料解释提供条件。

**1.0.8** 本规程的引用标准主要有下列标准：

《爆破安全规程》（GB6722）

《环境地面γ辐射剂量率测试规范》（GB/T14583）

《环境空气中氡的标准测量方法》（GB/T14582）

《地下建筑氡及其子体控制标准》（GB/T16356）

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871）

《水利水电工程地质勘察规范》（GB/T 50287）

《供水水文地质勘察规范》（GB/T50027）

《声波法检测混凝土缺陷技术规程》（CECS 21）

《核子水分密度仪现场测试规程》（SL275）

《水利水电工程制图标准(勘测部分)》(SL73.3)

《超声波回弹综合法检测混凝土强度技术规程》（JGJ/T23）

《建筑基桩检测技术规范》（JGJ106）

**1.0.9** 水利水电工程物探工作，除应符合本规程外，还应符合国家现行的有关标准的要求。

# 2 术语、符号、代号

## 2.1 术 语

**2.1.1** 电测深法 electrical sounding

在同一测点上逐次扩大电极距使探测深度逐渐加深，观测测点处在垂直方向由浅到深的电阻率变化，并依据目的体与周边介质电阻率的差异，以探测地下介质分布特征的一种电法勘探方法。

**2.1.2** 电剖面法 electrical profiling

将某一装置极距保持不变，沿测线观测地下一定深度内大地电阻率沿水平方向变化，依据目的体与周边介质的电阻率差异，以探测地下介质特征的一种电法勘探方法。

**2.1.3** 高密度电法 resistivity imaging

电测深与电剖面方法的组合，其观测点密度高，可同时探测水平和垂直方向上电性变化的一种电法勘探方法。

**2.1.4** 激发极化法 induced polarization

依据目的体与周边介质的激发极化效应差异，以探测地下介质分布特征的一种电法勘探方法。

**2.1.5** 自然电场法 self-potential method

通过观测地下介质的电化学作用、地下水中微粒子的过滤作用、岩体水中盐的扩散和吸附作用等产生的自然电场规律和特点，了解水文工程地质问题的一种电法勘探方法。

**2.1.6** 充电法 mise-a-la-masse method

通过向被探测目的体供电，提高被探测目的体与周边介质的电位差形成充电效应，以探测目的体分布特征的一种电法勘探方法。

**2.1.7** 可控源音频大地电磁测深法 controlled source audio frequency magnetotellurics（CSAMT）

根据不同频率电磁波具有不同穿透深度的特点，利用人工可控源产生音频电磁信号，来探测地面电磁场的频率响应而获得不同深度介质电阻率分布信息和目的体分布特征的一种电法勘探方法。

**2.1.8** 瞬变电磁法 transient electromagnetic method（TEM）

利用不接地回线或接地电极向地下发送脉冲电磁波，测量由该脉冲电磁场感应的地下涡流而产生的二次电磁场，以探测地下介质特征的一种电法勘探方法。

**2.1.9** 探地雷达法 ground penetrating radar(GPR)

利用雷达发射天线向地下发射高频脉冲电磁波，由接收天线接收目的体的反射电磁波，以探测目的体的一种勘探方法。

**2.1.10** 浅层地震折射波法 shallow seismic refraction

利用地震波的折射原理，对浅层具有波速差异的地层或构造进行探测的一种地震勘探方法，简称浅层折射波法。

**2.1.11** 浅层地震反射波法 shallow seismic reflection

利用地震波的反射原理，对浅层具有波阻抗差异的地层或构造进行探测的一种地震勘探方法，简称浅层反射波法。

**2.1.12** 瑞雷波法 Rayleight wave method

利用瑞雷波在层状介质中的几何频散特性进行分层的一种地震勘探方法，按激振方式分为稳态和瞬态。

**2.1.13** 垂直反射法 vertical reflection method

利用弹性波的反射原理，采用极小等偏移距的观测方式对目的体进行探测，根据反射信息的相位、振幅、频率等变化特征进行分析和解释的一种弹性波勘探方法。

**2.1.14** 弹性波测试 elasticity wave testing

利用弹性波运动学和动力学特征对岩土体或混凝土进行波速测试或缺陷探测的方法。

**2.1.15** 层析成像 computerized tomography（CT）

利用弹性波或电磁波的透射原理，对被测区域进行断面扫描，重建介质的波速或能量吸收图像的方法。

**2.1.16** 水声勘探 sonic echo exploration

利用声波反射原理专门探测水底地形地貌和进行水下地层分层的一种勘探方法，又称水下浅地层剖面勘探。

**2.1.17** 放射性测量 radioactivity survey

利用介质的天然或人工放射性特征进行勘探的方法。

**2.1.18** 同位素示踪法 isotope tracer technique

采用人工放射性同位素($^{131}I$、$^{182}I$、$^{85}Br$ 等)标记天然流场或人工流场中的

**删除的内容：** 根据电极排列方式不同，可分为三极测深，对称四极测深，偶极测深和二分量垂向测深等。

**删除的内容：** 3

**删除的内容：** 2

**删除的内容：** 它采用温纳尔四极排列、对称四极梯度排列、联合三极排列、偶极排列和微分排列等装置的多种电极排列方式，等方式

**删除的内容：** 依据高精度的观测数据和丰富的地质信息，以地下地质体的电性差异为基础，探测地下介质电性分布

**删除的内容：** 根据电极排列方式不同，可分为二极剖面法，三极剖面法，联合剖面法，对称四极剖面法，偶极剖面法、中间梯度剖面法等。

**删除的内容：** 电极装置根据要求和特点可选择中间梯度，单极梯度，联合，偶极，对称四极和环形等。

**删除的内容：** 扩展

**删除的内容：** ，

**删除的内容：** 大地电流和雷雨放电等因素而形成的自然电场在分布范围、强度和随时间变化

**删除的内容：** 根据观测方法的不同可分为电位观测法、电位梯度观测法和[1]

**删除的内容：** 集

**删除的内容：** 场源

地下水流，用示踪或稀释原理来测试地下水流向、流速的一种放射性测量方法。

**2.1.19** 综合测井 comprehensive logging

采用两种或两种以上的地球物理测井技术，以测量钻孔中介质的物理特性的综合探测方法。

**2.1.20** 环境放射性检测 environmental radioactivity detection

利用放射性测量方法，对工程和生活的环境、天然建材等进行放射性强度检测。

## 2.2 符号、代号

**2.2.1** 统计学参数主要包括下列各项：

$M$— 总均方相对误差

$m$— 均方相对误差

$K$ — 极差系数

$\Delta$ — 绝对误差

$\overline{\Delta}$ — 平均绝对误差

$\delta$ — 相对误差

$\overline{\delta}$ — 平均相对误差

**2.2.2** 电磁学参数主要包括下列各项：

$I$— 电流强度

$U$— 电位

$\sigma$ — 电导率

$\mu$ — 磁导率

$\varepsilon$ — 介电常数

$\rho$— 电阻率

$\alpha$ — 衰减系数

$\beta$ — 介质对电磁波能量的吸收系数

$D_s$— 视衰减系数

$E_x$、$E_y$— 电场分量

$H_x$、$H_y$— 磁场分量

$\Delta U$ — 电位差

$\Delta U_g$ — 干扰电位差

$J_s$ — 视激发比

$\eta_s$— 视极化率

$S_\tau$ — 纵向电导

$\rho_s$ — 视电阻率

$\Delta U_1$ — 一次场电位差

$\Delta U_2$ — 二次场电位差

$S_{0.5}$ — 半衰时

**2.2.3** 物理力学参数主要包括下列各项：

$A$— 振幅

$K$ — 反射系数、率定系数

$V$ — 波速

$\mu$ — 泊松比

$f$ — 波的频率

$\rho$— 密度

$\lambda$ — 波长

$E_d$— 动弹性模量

$E_s$— 静弹性模量

$G_d$— 动剪切模量

$f_c$— 混凝土抗压强度

$V_P$— 纵波速度

$V_S$— 横波速度

$V_R$— 瑞雷波速度

$V_b$— 界面速度

$V^*$— 视速度

$V_a$— 平均速度

$V_f$— 水平流速

$V_v$— 垂直流速

$V_{ef}$— 有效速度

$V_{pr}$—新鲜完整岩块的纵波速度

$V^{//}$—平行岩体结构面方向的速度

$V^{\perp}$—垂直岩体结构面方向的速度

$K_0$— 单位弹性抗力系数

**2.2.4** 几何学及距离、方位参数主要包括下列各项：

$AB$— 供电电极距

$MN$ — 测量电极距

$OC$ — 测量点 O 的无穷远供电极距

$OA$ — 测量点 O 的正向供电电极距

$OB$ — 测量点 O 的负向供电电极距

$K$ — 电法装置系数

$L$ — 瞬变电磁线框边长

$R$ — 自然电位的等位圈最大伸长距离

$d$— 距离、收发距、断层宽度

$H$— 高程、埋深、孔深、厚度

$\delta$— 电磁波集肤深度

$\alpha$— 方位角

$x$ — 测点间距

$\Delta R$— 自然电位的相邻等位圈位移的增量

$X_0$— 偏移距，源间距

$S_R$ — 瞬变电磁的回线面积

**2.2.5** 时间参数主要包括下列各项：

$T$ —周期

$t$ — 时间

$\omega$— 角频率

$\tau_s$ — 视时间常数

$\triangle t$ — 时间间隔

**2.2.6** 其它参数主要包括下列各项：

$n$— 孔隙度

$t$ — 温度

$\eta$— 各向异性系数

$K_w$— 风化系数

$K_v$ — 完整性系数

# 3 物探方法与技术

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 外业工作之前，应对测区地形、地质和地球物理条件以及以前工作的技术成果作全面了解和分析，作为测前的指导和参考。

**3.1.2** 仪器设备检查和使用应符合下列要求：

1 应按仪器设备的检验周期和技术指标对仪器进行定期检验，每次检验的结果应有记录。

2 现场工作前应对仪器进行检查，在同一测区观测的多台同类仪器应在同一测点上采用相同观测装置和观测方式进行一致性对比。

3 外业工作时若出现仪器设备不正常，应排除故障并经检查正常后才能继续工作。

4 外业工作结束后应检查仪器。

**3.1.3** 测网和测线布置应符合下列要求：

1 测网布置应根据任务要求、探测方法、探测目的体的规模与埋深等因素综合确定；测网和工作比例尺的选择应能反映探测的目的体，并可在平面图上清楚地标识出其位置和形态。

2 测线方向宜垂直于地层或构造的走向和主要探测目的体的走向，布置在地形起伏较小和表层介质相对均匀的地段；测线宜与地质勘探线和其它物探方法的测线一致，并应避开干扰源。

3 当测区边界附近发现重要异常时，应把测线适当扩展到测区外追踪异常。

4 在地质结构复杂地区，测线应适当加密，并在主要测线之间布置辅助测线。

5 在山区布置测线时，宜沿等高线或顺山坡布置。若地形起伏不大，可沿坡度相近的山坡布置长测线；若地形起伏较大，尤其是在山脊或山谷两侧，应分段布置短测线。

**3.1.4** 试验工作应符合下列要求：

1 试验前，应根据测区任务要求、地质及物性条件拟定试验方案，试验成果可作为生产成果的一部分。

2 试验工作应遵循由已知到未知，由简单到复杂的原则。试验地段应具

带格式的：项目符号和编号

删除的内容：应

删除的内容：。

有代表性,宜选择在物探工作测线上，有钻孔时应通过钻孔，了解工作地段的物性特征。

3 应根据试验成果选择合适的仪器参数和技术参数。

3.1.5 观测、重复观测、检查观测工作应符合下列要求：

1 观测时，激发和接收信号应在背景相对安静和信号相对稳定时刻进行。

2 在测线的端点、曲线的突变点和畸变线段、仪器参数或观测条件改变的情况下，应进行重复观测，重复观测的平均相对误差应小于 5% 。

3 一个测区或测线的检查观测工作量应不少于该测区或测线总工作量的 5%。

4 检查点宜在全测区范围内均匀分布，异常地段、可疑点、突变点应有检查点。

5 一个测区或测线的检查观测误差大于本规程要求时，应全部重测。

6 操作员应现场查看每个记录，若不符合要求，应查明原因并及时重测。

3.1.6 物探记录应符合下列要求：

1 物探记录包括：仪器检验、检查和维修记录，原始记录，重复检查记录，自检记录，测量记录，成果校审记录，用户反馈记录等。

2 原始记录包括：现场班报（包括工程名称、测区、测线或钻孔、测点号、工作单位和操作人员、校验人员、仪器名称、型号、仪器主要工作技术参数、观测系统等主要参数），观测数据或记录，文件号，数据的打印记录，仪器观测过程中的异常情况记录等。

3 物探记录不应涂改、擦去或撕页，计算机采集数据文件号不应有错，文件内容应齐全。

3.1.7 资料检查和评价应符合下列要求：

1 现场操作人员应对全部原始记录进行自检。

2 专业技术负责人应组织人员对原始记录进行检查和评价，抽查率应大于 30%。

3 原始资料应评定为合格与不合格两类，存在下列情况之一者为不合格。

1） 记录不全；

2） 原始记录有涂改、擦去、撕页现象；

3） 计算机采集数据文件名与内容不符或内容不全；

4） 未按要求做重复观测、检查观测；

5） 检查观测精度不符合要求；

6） 使用的仪器不合格；

7） 采用不符合要求的观测系统和装置；

8） 需要进行漏电检查的仪器没有进行漏电检查或检查不合格；

9） 无仪器检查记录，未作定期检查或检查不合格的仪器所得的全部记录。

3.1.8 资料处理和解释应符合下列要求：

1 资料的解释与推断应充分结合物探工作范围内的地质、设计和施工资料，在反复对比分析中，总结和分析各种异常现象，得出较为准确的结论。

2 应遵循内外业同步进行、内业指导外业的原则，现场应及时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解释结论不够充分时，应作必要的外业补充工作。

3 解释时应通过综合资料，充分考虑地质情况和探测结果的内在联系与可能存在的干扰因素。

4 解释成果应使用相关专业语言来表达。

3.1.9 成果图件应符合下列要求：

1 本规程要求的图件应符合标准 SL73.3 的规定。

2 图件应包括：工作布置图、成果图、成果解释图等。

3 成果图应包括单一物探方法或综合物探方法所得到的剖面或平面图件，图件可以是曲线图、等值线图或图像等。

4 成果解释图应是对实测物探资料进行的定性和定量解释的成果体现，应与物性资料相对应。

5 物探成果图与成果解释图宜绘制在一张图上，上部绘制物探成果图，下部绘制成果解释图。

## 3.2 电法勘探

3.2.1 电法勘探可选用电测深法、电剖面法、高密度电法、自然电场法、充电法、激发极化法、可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法等。

3.2.2 应用条件应符合下列要求：

1 电法勘探各种方法的要求：

1）被探测目的层相对于埋深和装置长度具有一定规模并近水平延伸，被探测目的体相对于埋深和装置长度有一定的规模。被探测目的层与相邻地层之间或目的体与围边介质之间有电性差异，电性界面与地质界面相关；

2）地形起伏不大、接地良好；

3）采用电极接地测量方式的方法要求被探测目的层或目的体上方没有极高电阻屏蔽层，采用线框测量方式的方法要求被探测目的层或目的体上方没有极低电阻屏蔽层；

4）各地层或地质体电性稳定，异常范围和幅值等特征可以被测量和追踪；

5）测区内没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰；

6）水上工作时，水流速度较缓。

2 电测深进行分层探测的要求：

1）地下电性层层次不多，电性标志层稳定，被探测层与供电极距相比具有一定规模和厚度，并近水平延伸；

2）下伏基岩或被探测目的层层面与地面交角应小于 20°；

3）有一定数量的中间层电阻率资料。

3 电剖面法探测的地质界面或构造线与地面的交角应大于 30°。

4 自然电场法探测渗流场的要求：

1）渗流层有较大的压差，地下水的矿化度低，岩石为微孔隙结构，能形成强自然电场；

2）饱水渗流层埋藏不深，上覆和下伏渗流岩层电阻率高。

5 充电法测试地下水流速流向测试区应有钻孔，钻孔应深入地下水位以下一定深度，金属套管应位于地下水位以上；含水层埋深宜小于 50m，地下水流速宜大于 1m/d，周边介质电阻率应大于水的电阻率三倍。充电法探测低阻地质体要求被探测地质体的导电率大于围岩导电率的 10 倍，规模大小应与埋深深度相当，埋深宜小于 25m。

6 激发极化法探测地下水要求在固液相界面上有明显的以离子交换形式存在的电化学反应和电荷效应，在测区内没有或较少有强电化学效应的金属矿物、煤层、石墨、碳化岩层等。

7 可控源音频大地电磁测深测区现场应符合所选用的场源要求，被探测目的层或目的体位于探测盲区以下；电磁噪声比较平静，各种干扰较小。

8 瞬变电磁法适用于不具备布极条件的沙漠、戈壁、裸露岩石、冻土等测区，测区内的测线和测点处应无荆棘、树林、陡坎等障碍物，并便于布置线框，外来电磁噪声干扰小。

3.2.3 仪器与设备应符合下列要求：

1 电测深法、电剖面法、自然电场法、充电法和激发极化法宜使用多功能直流电法仪，仪器应具有直接测量、显示和存贮的功能，还应具有能对自然电位、漂移及电极极化进行补偿的功能，并能测量一次场电位、自然电位、供电电流、视电阻率、综合激电参数(视极化率、半衰时、衰减度)等多种参数，主要技术指标应符合下列要求：

1）测量电压分辨率：0.01mV；

2）测量电流分辨率：0.01mA；

3）最大补偿范围：±1V；

4）输入阻抗：≥8MΩ；

5）最大供电电压：≥900V；

6）最大供电电流：≥3A。

2 可控源音频大地电磁测深仪器的要求：

1）可控源的信号频率范围、信号稳定性、场强应符合探测条件的要求；

2）接收仪器应具有以下功能：电和磁接收通道应在两道以上、数字采集、程控增益、测深信号自动分析、曲线显示和评价、采样率和采样长度依据信号频率自动可调等；

3）接收电极为不极化电极。

3 瞬变电磁法应选用具有多通道、采样率与采样长度可调、信号叠加功能的仪器，主要技术指标应符合下列要求：

1）发射电压：12V～400V；

2）发射基频频率：2.5Hz～225Hz 范围内分档；

3）带宽：10Hz～7.5kHz；

4）时窗范围：0.05ms～160ms；

5）通道灵敏度：0.5μV；

6）发射电流：≥5A；

7）测试道：≥12 道；

8）动态范围：≥140dB；

9）等效输入噪声：≤1μV；

10）对工频干扰抑制：≥60dB。

**3.2.4** 工作布置除应符合本规程 3.1.3 的要求外，还应符合下列要求：

1 电测深的测点、可控源音频大地电磁测深点、自然电场法剖面以外的基点、充电法的充电点、主要异常点、测线端点和转折点均应进行坐标测量。

2 电测深点距在相应精度的成果图上宜为 1cm～3cm，线距宜为点距的 1 倍～3 倍。

3 电剖面法测网布置的要求：

1）应垂直于地质构造带、岩性分界面走向平行布置多条测线，以追踪其走向；

2）通过局部异常地段的测线应不少于二条，每条测线上反映同一目的体的异常点应不少于三个；

3）可根据任务要求、探测目的体规模和埋深 $H$ 确定线距和点距，点距宜为 $H/3$～$1H$，线距宜为点距的 2 倍～5 倍；

4）如果观测结果以平面等值线图形式反映地质体各向异性时，测点距和线距宜一致。

4 高密度电法应根据装置形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等确定点距和测线的重叠长度。

5 自然电场法应选择地势相对平坦、地表较湿润、电场稳定、远离地表径流的地段。测线可布置成网状，应在测网内设置基点(假定零电位点)，范围较大时，宜设置多个基点和分基点。

6 充电法探测地下水流速流向应以孔口为中心均匀布置八条或 12 条辐射状测线，测线的方向误差不大于±5°；充电法探测低阻地质体应以低阻地质体为中心，测点间距宜小于探测目的体埋深的一半，测线间距宜为点距的 2 倍～5 倍，应有三条以上剖面通过低阻地质体。

7 激发极化法测线宜布置在其它物探方法确定的含水地层或构造部位。

8 可控源音频大地电磁测深法点距宜为 5m～50m，线距宜为点距的 1 倍～5 倍。

9 瞬变电磁法测网布置应考虑线框尺寸和布框要求，线距宜为线框边长 $L$ 的 1 倍～2 倍，点距可选择 $L$、$L/2$ 或 $L/4$。

**3.2.5** 漏电检查应符合下列要求：

1 仪器外壳与电极间绝缘电阻应不小于 300MΩ，导线绝缘电阻应不小于 2MΩ/km。

2 检查发现漏电后应停止观测，在消除漏电影响后，对可能影响的测点应重新观测。

3 在开工和收工时的无穷远供电极、正常情况下每隔 20 个测点、转移新测站和工作结束时、电测深点的最大供电极距、测量数据的畸变点等情况下应进行漏电检查。

**3.2.6** 电测深法现场工作应符合下列要求：

1 试验工作包括选择装置形式、最佳电极距、最佳供电电流、供电时间、点距、跑极方向及测试岩土体电阻率值等。

2 装置选择的要求：

1）可选择对称四极测深、双向三极测深装置，也可选择偶极测深、微分测深装置，还可选择由两种以上装置组合而成的其它装置；

2）当探测地层具有多个电性层和测线两端均能具有相向跑极的开阔地形时，宜选择对称四极测深、双向三极测深装置；当探测区地层电性层数较少、电性差异较大，而测线两端不具备相向跑极的开阔地形时，宜选用三极测深装置；

3）分层探测和局部不良地质体探测可选用对称四极测深、三极测深装置；对于非水平的构造带、岩性分界探测可选用双向三极测深、微分测深装置；测试岩土体电性参数宜选用对称四极测深装置；探测浅层不均匀地质体可选用偶极测深装置；

4）选择两种不同的测深装置形成的组合装置，应事先在地质情况已知的地段进行试验，试验符合任务要求后才能应用。

3 极距选择的要求：

1）$AB$、$OA$ 或 $OB$ 在双对数坐标系下应均匀分布，相邻极距比值宜在 1.2～1.8 之间，对于浅层详细探测或电阻率参数测试的极距宜按等差级数增加电极距；

2）最小供电电极距 $AB$ 应能测量出第一层的电阻率， $AB/2$ 宜为 1.5

删除的内容：测试

批注 [yjh1]：内容与电阻率法不符

删除的内容：，可控源距、极距，瞬变电磁的线圈匝数、边长、供电功率、灵敏度、频段、干扰电平、叠加次数和观测时间范围

m；最大供电电极距 *AB* 应使电测深曲线后支反映标志层的上升或下降曲线的“拐点”后不少于三个点；

3）三极或双向三极测深的 *OC* 应位于 *MN* 中垂线上，应使 *OC* 大于最大 *OA* 或 *OB* 的五倍；当 *C* 极与装置方向一致时，*OC* 应大于 *OA* 或 *OB* 的 20 倍，且保持 *C* 极对测量视电阻率的影响误差小于 2%；

4） *MN* 与 *AB*、*OA*、*OB* 的比值应为 1/3～1/30。

4 现场布极的要求：

1）测量电极应选用铜质电极，供电电极可选用铜、钢或铁质电极，水上或冰上宜选用铅电极；

2）电测深布极方向应使地形对测量数据影响最小，遇有高压线时应使布极方向垂直于高压线；

3）电极接地位置在预定跑极方向上的偏差应小于该极距的 1%，在垂直预定方向的偏差应小于该极距的 5%；

4）河床上或水上电测深可选择水面布极或水底布极方式，水面布极应使电极没入水中，并对测点位置进行水深及坐标测量。

5 宜在测区范围内均匀布置控制性的十字形或环形电测深，其数量不宜少于总电测深点数的 3%。采用三极装置测深宜进行不少于 3%的双向三极测深。

6 观测、重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求外，还应符合下列要求：

1）手动测量供电时间应大于 1s，自动测量供电时间应大于 0.5s；

2）当测深点上某一极距出现 Δ*U* 数据不稳定、Δ*U* 小于 3 mV 或 *I* 小于 3mA 时，应进行重复观测，且次数宜大于三次；

3）重复观测和检查观测应改变供电电压或改善电极接地条件；

4）一个点（同一测深点上同一极距）进行了观测、重复观测或检查观测时，可按本规程 C.1.7 公式计算极差系数 *K*，*K* 大于 $\sqrt{n-1}\times 4\%$ （ *n* 为参与计算的视电阻率值个数）的数据可舍去，取其余数据的平均值作为该点的最终观测数据，舍去的数应少于该点观测总数的 1/3。

7 资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合下列要求：

1）应按本规程 C.1.3、C.1.5 公式计算单个电测深点的相对误差 $\delta$ 和均方相对误差 *m*，按本规程 C.1.6 公式计算一个电测深点、一条剖面或一个测区的电测深总均方相对误差 *M* ；

2）单个电测深点的资料相邻 3 个极距的 $\delta$＞2.5%、$\delta$＞3.5%的电测深极距数超过该点检查极距数的 30%、$\delta$＞7%的电测深极距数超过该点检查极距数的 5%、$\delta$＞10.5%的电测深极距数超过该点检查极距数的 1%、*m*＞3.5%等五种情形之一者，该测深点资料应评为不合格；

3）一条剖面或一个测区的电测深资料出现不合格的电测深点超过检查点总数的 30%、被检查全部测深点（含不合格的测深点)的 *m*＞3.5%、*M*＞3.5%等三种情形之一者，该剖面或测区的资料应评为不合格。

3.2.7 电剖面法现场工作应符合下列要求：

1 装置选择的要求：

1）可选择双向三极、三极、对称四极、二极装置，也可选择偶极、微分装置，还可选择由两种以上装置组合而成的其它装置。

2）探测非水平的构造带、划分岩性界面、探测喀斯特可选用双向三极、三极、二极、微分装置；探测局部不良地质体可选用对称四极、偶极装置；探测浅层不均匀地质体可选用偶极装置。

2 极距选择的要求：

1）供电电极距宜为探测目的体埋深的 3 倍～5 倍；

2）当表层电性不均匀影响严重时，*MN* 宜为点距的 1 倍～2 倍，不宜大于 *AB*/3；

3）双向三极、三极、二极装置的无穷远极应符合本规程 3.2.6 中 3 的相关要求；

4）在一个剖面上可采用两个极距不等的同一装置形式进行不同深度的探测，但两装置的极距比宜大于 1.5 倍，测点宜重合。

3 重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 和 3.2.6 中 6 的相关要求外，还应符合下列要求：

1）采用多极距观测时，应对被检查点的所有极距进行检查观测；

2）电剖面每 10 个观测点应进行一个重复点观测。

**删除的内容：**前后

**删除的内容：**应不大于

**删除的内容：**左右

**删除的内容：**应不大于

4　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，单条测线的资料还应符合本规程 3.2.6 中 7 的要求。

**3.2.8**　高密度电法现场工作应符合下列要求：

1　装置选择的要求：

1）可选择对称四极、双向三极、三极、二极、偶极、微分、中间梯度装置等；

2）分层探测宜选择对称四极、三极装置；探测局部不良地质体宜选用对称四极装置；探测非水平构造带、岩性分界探测宜选择双向三极、微分、三极、二极装置；探测浅层不均匀地质体宜选择偶极装置。

2　极距选择的要求：

1）基本电极距、测量极距宜等于点距；

2）双向三极、三极、二极装置的无穷远极应符合本规程 3.2.6 中 3 的相关要求；

3）设计观测的最深层对应的供电电极距应大于要求探测深度的三倍。

3　现场布极除应符合本规程 3.2.6 中 4 的要求外，还应符合下列要求：

1）在测线端点处，应使探测范围处于选用装置和布极条件所确定的有效范围之内；

2）同一排列的电极应呈直线布置；

3）观测前应检查排列中全部电极的接地条件并确保电极的连接顺序正确。

4　重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求，还符合下列要求：

1）重复观测可在每个排列完成后选择两层或两列进行；

2）检查观测可采用散点抽检方式。

5　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，单个排列的资料还应符合本规程 3.2.6 中 6 的相关要求。

**3.2.9**　自然电场法现场工作应符合下列要求：

1　自然电场法宜采用电位观测法，也可采用梯度法；当测试地下水渗流方向时，宜增加环形观测方式。

2　应使用不极化电极，一个测区在观测前和观测后应及时观测极差；电极极差的绝对值在工作开始时应小于 2mV，收工时应小于 5mV。

3　观测、重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求外，还应符合下列要求：

1）基点之间应进行联测；

2）观测时仪器的自电补偿功能应处于关闭状态，观测值应注明电位的正负；

3）当测线较长或游散电流影响较大时应分段观测，分段观测的测线衔接处应重复三个测点；

4）每间隔 10 个测点应进行一次重复观测。

4　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合下列要求：

1）应按本规程 C.1.1、C.1.2 公式计算单个测点的绝对误差 $\Delta$ 和一条测线或一个测区的观测平均绝对误差 $\overline{\Delta}$；

2）单个测点检查观测绝对误差 $\Delta$ 应小于 3mV；

3）一个测区的电位观测平均绝对误差 $\overline{\Delta}$ 应小于 5mV，梯度观测平均绝对误差 $\overline{\Delta}$ 应小于 3mV。

**3.2.10**　充电法现场工作应符合下列要求：

1　充电法可采用直流充电，选用多功能直流电法仪观测；当有干扰时，也可采用低频交流充电，选用具有选频功能的仪器观测。

2　应采用三极装置，测量电极应采用不极化电极，选用电位法或梯度法观测。

3　测试地下水流速流向的要求：

1）无穷远 *B* 极距孔口的距离应大于待测含水层深度的 15 倍，且接地良好；充电电极 *A* 应置于孔内水层中部，和纱布食盐袋串在一起；测量电极 *N* 离孔口的距离应大于充电电极 *A* 放入孔内深度的 1.5 倍，且应固定在经钻孔且与估计水流方向一致的上游某点上；

2）应分别在各测线上移动电极 *M*，找出各测线上的等电位点；

3）应在投盐前测量一次正常的等电位圈；

4）投盐后应立即测一次等电位圈，以修正 *N* 极位置，并重新测试等电位圈作为新的基准点；然后每隔一定时间（视含水层流速而定，宜为 20min～30min）测量一次等电位圈，每一孔在投盐后测量

的等电位圈数应大于三个；

5）等电位圈测量时，应记录测量时间并测量各等电位点至孔口的距离；

6）可采用两个不同距离的固定测量电极 $N_1$ 和 $N_2$ 进行测量。

4 探测低阻地质体形态的要求：

1）无穷远极 $B$ 离供电电极 $A$ 的距离应大于低阻地质体埋深或延伸长度的 10 倍，供电电极 $A$ 与低阻地质体应接触良好；

2）采用电位观测时，$N$ 极应位于 $B$ 极的反方向，与供电电极 $A$ 的距离应大于低阻地质体埋深或延伸长度的 10 倍；用梯度法观测时测量电极距宜为 5m～10m。

5 漏电检查除应符合本规程 3.2.5 的要求外，还要求 $MN$ 线路的电阻应小于 10kΩ，电极连线的绝缘电阻应大于 5MΩ。

6 观测、重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求外，还应符合下列要求：

1）观测时应保证持续稳定的供电电流，且宜为 0.5A～1A；

2）重复观测、检查观测应按本规程公式附录 C.1.3、C.1.5 计算相对误差 $\delta$ 和均方相对误差 $m$；

3）单个测点重复观测的 $\delta$ 应小于 5%；

4）一条测线检查观测的 $m$ 应小于 7%；

5）一个测区检查观测的 $m$ 应小于 7%；

6）有严重干扰的测点可不参与全区观测质量评价。

3.2.11 激发极化法现场工作应符合下列要求：

1 宜选择对称四极测深装置，当进行大面积激发极化剖面测量时，可选用联合剖面或中间梯度装置。

2 极距选择、现场布极除应符合本规程 3.2.6 中 3、4 的要求外，还应符合下列要求：

1）对称四极装置的最大供电电极距 $AB$ 应大于勘探深度的三倍；

2）测量电极应使用不极化电极；

3）供电导线与测量导线应分开 1m，该距离应随导线长度而增加。

3 观测、重复观测除应符合本规程 3.1.5 和 3.2.6 中 6 的要求外，还应符合下列要求：

1）观测时供电时间宜大于 30s，且供电电流稳定，电流大小随供电极距增大而增加，应使$\triangle U_1$ 大于 0.3mV；

2）出现二次场电位差 $\Delta U_2$ 小于 1mV、视激发比值 $J_s$ 大于或接近视极化率值 $\eta_s$、视衰减值 $D_s$ 大于或接近 100%等三种情形之一时应重复观测；

3）重复观测数据的极差系数 $K$ 应小于 $\sqrt{n-1}\times 7\%$（$n$ 为观测次数），否则应增加重复观测量。

4 资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 要求外，还应符合下列要求：

1）激发极化法单个测点或测深点的一个极距对应测点的均方相对误差 $m$ 要求：视极化率应小于 5%、视激发比应小于 7%、视衰减系数应小于 7%、视半衰时应小于 7%；

2）检查不合格的测深点超过 30%，该测线或测区的资料不合格；

3）剖面法的测点或测深法的测深点的不合格数超过检查点总数的 30%时，该测线或测区的资料应评为不合格。

3.2.12 可控源音频大地电磁测深现场工作应符合下列要求：

1 场源选择和布置的要求：

1）人工场源可选择电偶极子或磁偶极子，应根据探测目的体的埋深选择电偶极子场或磁偶极子场；

2）收发距 $d$（偶极子中心点距观测点距离）和探测目标最大埋深 $H_{max}$ 宜为 $5H_{max}\geqslant d\geqslant 3H_{max}$，电偶极子长度宜等于 $H_{max}$；

3）电偶极子布置应平行于测线，方向误差应小于 5°；

4）电偶极子供电电极点宜选择在土壤潮湿处，采用坑埋（深度 1m～2m、面积 $1m^2$～$2m^2$）并接多层金属板、网、锡箔、或环形布置和并接多根电极；接地条件差时可浇盐水，接地电阻宜小于 30Ω；

5）磁偶极子应选在地势平坦、相对干燥处，轴线方向应垂直大地，误差应小于 5°。

2 现场布极除应符合本规程 3.2.6 中 4 的要求外，还应符合下列要求：

1）接收时可选择 $E_x$、$H_y$ 或 $E_y$、$H_x$ 二分量测量，也可选择 $E_x$、$H_y$、$E_y$、$H_x$ 四分量测量；电极布极方向应与设计测量电分量方向一致，磁棒方向与电极排列方向垂直，方向误差应小于 5°；

2）电通道应采用不极化电极，磁通道应采用相应频率的磁探头；

3）电解类不极化电极应在土壤中挖坑半掩埋并浇水，当测点为高阻裸露岩石时，宜用泥土掩埋电极并浇水。

3　观测、重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求外，还应符合下列要求：

1）电偶极子场源的观测应在电偶极子 *AB* 垂直平分线两侧 30° 角的扇形范围内的远场区内进行；

2）应选择在干扰背景小的时间段观测；

3）观测时电极或磁棒连线不应悬空、晃动或成匝状，磁棒应水平放置于测点位置，接收机、操作员、磁性物体应远离磁探头；

4）电磁场的发射和观测应从高频至低频，频率范围应与探测深度相符；

5）每点或每站观测完毕，宜及时显示或打印视电阻率、相位曲线，每次观测的视电阻率曲线和相位曲线形态应一致；

6）当视电阻率、相位曲线极值点在频率轴上出现位移或曲线类型发生变化时，应重复观测；同一测点的重复观测或检查观测的视电阻率、相位曲线形态和对应幅值宜一致；

7）移动或更换场源，同一测线应有三个测点被覆盖，覆盖点可作为检查点。

4　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合下列要求：

1）同一测深点进行二分量观测时，视电阻率曲线上标准偏差小于 40%的点超过 75%和相位曲线上不超过 45° 或 135° 的点大于 75%，二种情形均满足时该点资料评为合格；

2）同一测深点进行四分量观测时，视电阻率曲线上标准偏差小于 40%的点超过 70%和相位曲线上不超过 45° 或 135° 的点大于 70%，二种情形均满足时该点资料评为合格；

3）不合格的测深点大于总检查测深点数的 30%，该测线或测区资料不合格。

**3.2.13**　瞬变电磁法现场工作应符合下列要求：

1　装置和参数选取的要求：

1）探测浅层介质宜选用重叠回线、中心回线装置，探测深度较深宜选用大定源回线装置，探测陡倾断层宜选用偶极装置；

2）重叠回线装置线框、中心回线和偶极装置的发射线框边长 *L* 宜为探测目的体最大埋深 $H_{max}$ 的 0.5 倍～1.0 倍；大定源回线装置的发射线框边长宜根据探测深度在 100m×200m～300m×600m 范围内选择；中心回线、大定源回线、偶极装置的接收线框边长，发射和接收线框的间距宜根据试验选定。

2　线框布置除应符合本规程 3.2.6 中 4 的要求外，还应符合下列要求：

1）装置测量中心在测点处的位置误差应小于接收线框边长的 10% ，线框角点的点位与设计线框角点的点位误差应小于 5%；

2）应避开铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等；

3）敷设线框时，剩余导线不宜过长并应呈“S”型铺于地面或远离测区；

3　漏电检查除应符合本规程 3.2.5 的要求外，还要求每公里供电线的电阻应小于 6Ω，导线应质软、耐磨、绝缘电阻应大于 2MΩ。

4　观测、重复观测和检查观测除应符合本规程 3.1.5 的要求外，还应符合下列要求：

1）应通过现场试验确定时间窗口，并采用多通道观测；

2）野外观测值只允许最后的 3 道～5 道的观测值在噪声电平以下，否则，应查明原因，并采用增加叠加次数等方法重复观测；当出现瞬间干扰时可暂停观测，待干扰排除后再观测；

3）当一个测点出现重复观测误差较大时应查明原因，若有干扰可移动点位避开干扰源重测，并作详细记录；

4）在异常附近应加密测点，若曲线衰减变慢时，应扩大时间范围重复观测；

5）每个测点观测完毕，应对数据和曲线进行检查，合格后方可搬站。

5　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合下列要求：

1）单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致，且各观测道的总均方相对误差 *M* 应小于 10%；

2）一条测线或测网检查的总均方相对误差 *M* 应小于 15%。

**3.2.14**　电测深法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1　电测深资料应进行定性和定量解释。

2 定性解释要求：

1） 定性解释应包括确定电性层数量、各电性层电阻率的关系、局部异常大致平面位置和性质等；

2） 应分析各电测深曲线的类型，根据曲线类型确定地电断面的层数和电性结构；

3） 应对比分析一条或多条剖面上电测深曲线类型的变化与地层结构、电性参数变化、地形变化的关系；

4） 应根据视电阻率剖面中异常幅值、形态和分布情况确定异常的性质、位置，并分析相邻剖面上异常的相关性；

5） 采用双向三极测深时应根据各个极距的视电阻率剖面曲线的交叉情况、异常幅值和范围确定异常性质、规模和产状；

6） 划分地电剖面时应分析电性界面和地质界面不一致的可能性，并应分析横向电性的变化和地形变化对电测深曲线的影响。

3 定量解释应在定性解释的基础上计算各电性层厚度、确定异常体位置、规模、埋深和产状等。

4 应根据计算和测量的视电阻率剖面、双向三极测深电阻率剖面曲线的异常规模、深度、轴线倾斜角度、平面位置等对异常进行定量解释。

5 定量解释应具备下列条件：

1） 曲线完整、电性标志层在电极距上反映明显；

2） 电测深曲线电性分层明显、类型确定；

3） 电测深曲线经消差、圆滑、畸变校正后，不影响解释精度；

4） 具有定量解释所需的电参数；

5） 电性界面和地质界面基本对应。

6 定量解释宜采用量板法（包括计算机电子量板）、计算机反演法和电反射系数 $K$ 剖面法。当曲线比较复杂时，可以使用各种简化的解释方法或经验方法。

7 可采用地形校正方法，以减小地形起伏对电阻率剖面上视电阻率的影响。

8 图件可包括：视电阻率剖面或平面分布图、物探成果地质解释剖面或平面图(包括地层分层、风化分带、不良地质体分布、基岩顶板等高线等)。

**3.2.15** 电剖面法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 电剖面法应以定性解释为主，当探测目的体形态简单时，可进行定量解释。

2 应分析曲线中异常的幅值、规模、形态等特点，并对异常进行定性解释。当异常单一时应确定异常曲线类型，并依据类型进行定性和定量解释。应对相邻剖面上的异常进行对比分析。

3 可采用地形校正方法消除因地形起伏产生的虚假异常。

4 图件应包括：视电阻率曲线剖面或平面分布图、剖面或平面物探成果地质解释图等，并应采用不同的线型或颜色绘制视电阻率曲线及在曲线横坐标的下方绘制地形剖面及推断的地质体位置大小及产状等。

**3.2.16** 高密度电法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 应绘制整条测线的高密度电法的视电阻率剖面，也可经处理和反演后形成相应剖面的电阻率图像。

2 解释时可采取以下方法：

1） 应根据视电阻率剖面或图像中异常的分布、幅值、规模等进行解释；

2） 可选取几组符合电测深条件的数据进行分层反演和解释；

3） 应对比同一剖面多种装置的视电阻率剖面或图像进行解释；

4） 可结合视电阻率剖面或图像与已知地质界面、钻孔等资料进行对比分析和解释。

3 图件可包括：视电阻率断面或电阻率图像、物探成果地质解释剖面或平面图。

**3.2.17** 自然电场法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 一个测区的所有测量电位应换算到同一个总基点，所有测量电位或梯度应进行极差校正。

2 可根据地质物性、环境条件分段确定背景值并剔除干扰异常。

3 应区分正常场与异常场，并正确识别有用异常与干扰异常，异常值应超过测量平均绝对误差 $\overline{\Delta}$ 的三倍，且具有一定的规律性和分布范围。

4 应根据剖面或平面自然电位或梯度曲线上异常的分布、幅值等特点确

**删除的内容：**相应的图件还应有

**删除的内容：**剖面图应

**删除的内容：**电剖面

**删除的内容：**，并应采用不同的线型或颜色绘制多条曲线

**删除的内容：**7

**删除的内容：**所用解释方法的精度

定异常体的规模、埋深。

5 可利用“8”字形电位图推算地下水流向。

6 图件可包括：自然电位或梯度的剖面曲线图、剖面平面图、平面等值线图，自然电位或梯度物探成果解释剖面或平面图。

**3.2.18** 充电法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 测试地下水流速流向应绘制各个时刻的充电等电位圈分布图。

2 探测低阻地质体宜绘制充电电位或电位梯度的剖面曲线图、平面分布图，充电电位或电位梯度的物探成果解释剖面或平面图，解释时应符合下列要求：

1） 应按本规程 3.2.17 中 3 的要求划分正常场与异常场，分析电位或梯度曲线的异常幅值、范围、形态等特征，圈定低阻地质体的规模和埋深；

2） 应分析表层不均匀、地形、岩层产状、地表水径流、覆盖层厚度变化对异常造成的影响；

3） 可用电位剖面曲线的极大值或梯度剖面曲线的“零”值确定平面点位。

**3.2.19** 激发极化法数据处理、资料解释和图件除应符合 3.1.8、3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 剖面法资料应以定性解释为主，并根据剖面上的异常位置确定异常极化体的范围；测深法资料应根据电阻率和多个激电参数确定异常极化体的埋深和规模。

2 背景值、异常值的划分宜以已知地下水位以上或干孔旁观测数据 $\rho_s$、$\eta_s$、$J_s$、$D_s$、$S_{0.5}$ 值为背景值，并应符合本规程 3.2.17 中 3 的要求。

3 应结合水文地质资料，分析激电异常的幅值、范围和形态等曲线特征与已知地下水的关系，做出对未知地段的极化体或地下水的富水情况、埋深、规模等的推断解释。

4 图件可包括：$\rho_s$、$\eta_s$、$J_s$、$D_s$、$S_{0.5}$ 剖面图、平面图，相关的物探成果地质解释图，测深曲线类型图，含水层分布平面图和含水层埋深图等。

**3.2.20** 可控源音频大地电磁测深法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8、3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 预处理要求：

1） 可对采集的数据做平滑插值和校正处理；

2） 应检查和剔除畸变点，不宜对数据做自动平滑，不随意删除频点，对曲线首尾支畸变严重的频点，应参考相邻测点予以校正；

3） 对于相对误差在 10%以内的覆盖点，可以进行算术平均处理或不作处理；对于相对误差大于 10%但曲线形态一致的覆盖点应作平移处理；

4） 静态位移校正应根据已知地质资料和原始剖面等值线图及地形起伏情况，选择参数及最佳静态位移校正方法。

2 资料解释要求：

1） 定性解释和定量解释应相结合；

2） 定性解释可根据测深曲线类型、正演电阻率剖面上异常电阻率数值分布情况判断和确定地质电性模型、异常性质和分布情况；

3） 进行了四分量测量的剖面，应对比同一剖面上多个分量的测深曲线类型和电阻率剖面的异常情况；

4） 可将反演的电阻率剖面或典型测深曲线与钻孔揭示的地层和不良地质体进行对比，建立地质电性模型的对应关系。

5） 定量解释应采用二维解释，异常深度宜通过已知钻孔的目的层深度进行校正。

3 图件可包括：深度电阻率断面图、物探成果地质解释图。

**3.2.21** 瞬变电磁法数据处理、资料解释和图件除应符合本规程 3.1.8 和 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 可对数据进行滤波处理。

2 应通过处理软件计算和绘制视电阻率、视纵向电导断面图。

3 应根据瞬变电磁的响应时间特征和剖面曲线类型划分背景场及异常场，确定地质电性模型、划分异常。

4 可通过钻孔建立一个测区的深度视电阻率剖面与异常性质、埋深、范围的对应关系，据此对该测区其它剖面进行解释。

5 应绘制相应的地质成果解释剖面或平面图。

## 3.3 探地雷达

**3.3.1** 探地雷达可选用剖面法、宽角法、环形法、透射法、多天线法和孔中雷达等工作方式。

**3.3.2** 应用条件应符合下列要求：

1 探测目的体与周边介质之间应存在明显介电常数差异，电性稳定，电磁波反射信号明显。

2 探测目的体与埋深相比应具有一定规模，埋深不宜过深；探测目的体在探测天线偶极子轴线方向上的厚度应大于所用电磁波在周边介质中有效波长的 1/4，在探测天线偶极子排列方向的长度应大于所用电磁波在周边介质中第一菲涅尔带直径的 1/4；当要区分两个相邻的水平探测目的体时，其最小水平距离要大于第一菲涅尔带直径。

3 测线上天线经过的表面应相对平缓，无障碍，且天线易于移动。

4 不能探测极高电导屏蔽层下的目的体或目的层。

5 测区内不能有大范围的金属构件或无线电发射频源等较强的电磁波干扰。

6 单孔或跨孔探测时，钻孔应无金属套管。

7 跨孔(洞)探测时，目的体应位于两孔(洞)间，两孔(洞)宜共面，间距应不大于雷达信号的有效穿透距离。

**3.3.3** 仪器性能应符合下列要求：

1 信号增益控制应具有指数增益功能。

2 A/D 转换位数：≥16bit。

3 点测时有多次叠加功能，且叠加次数：≥8 次。

4 连续测量时扫描速率：≥128 线/s。

**3.3.4** 测网布置应符合本规程 3.1.3 的要求，进行点测时，点距宜为 0.2m～1.0m，在异常区域应有三个以上的测点表现异常。

**3.3.5** 仪器参数设置应符合下列要求：

1 雷达主机天线工作频率的选取应根据探测任务要求、探测目的体埋深、分辨率、介质特性以及天线尺寸是否符合场地条件等因素综合确定。

2 记录时窗的选择应根据最大探测深度与上覆地层的平均电磁波速按附录 C.3.3 式确定。

3 仪器的信号增益应保持信号幅值不超出信号监视窗口的 3/4，天线静止时信号应稳定。

4 宜选择所用天线的中心频率的 6 倍～10 倍作为采样率。

**3.3.6** 天线选择应符合下列要求：

1 在地面探测时宜选择频率为 8MHz～300MHz 的天线，当多个频率的天线均能符合探测深度的要求时，应选择频率相对较高的天线。

2 洞室衬砌质量检测时宜选用与探测精度要求相对应的高频天线，频率范围宜为 400MHz～900MHz。

3 检测混凝土内钢筋时宜选用 900MHz～1500MHz 的天线。

4 孔中探测应根据探测任务要求选用自发自收的单孔天线或一发一收的跨孔天线，天线频率应根据探测范围、探测精度要求选用。

5 采用移动较快的车载观测方式，宜选用空气耦合天线。

**3.3.7** 现场工作应符合下列要求：

1 现场观测时应清除或避开测线附近的金属物。

2 支撑天线的器材应选用绝缘材料，天线操作人员不应佩带含有金属成分的物件，并应与工作天线保持相对固定的位置。

3 观测过程中，应保持工作天线的平面与探测面基本平行，距离相对一致。

4 点测时，点距应小于尼奎斯特采样间隔，当探测目的体形态、产状变化不大时，点距可适当放宽，并应在天线相对静止时采集数据。

5 连续测量时，应先进行点测与连续测量对比试验，并选定连续测量效果与点测效果相近的天线移动速率。天线的移动速率应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；

6 使用分体天线进行点测时，应通过调整天线距使来自目的体的反射信号最强。可选取二倍临界角为接收天线与发射天线相对探测目的体的张角，也可选取探测对象最大深度的 1/5 作为天线间距。

7 使用偶极天线时，天线的取向宜使电场的极化方向与探测目的体的长轴或走向平行；当探测目的体的长轴方向不明确时，宜使用两组正交方向的天线分别进行观测。

8 记录标注应与测线桩号一致，采用自动标注时，应避免标注信号线的干扰；采用测量轮标注时，应每 10m 校对一次。

3.3.8　可采用穿透法、宽角法测试地层电磁波速，有条件时由已知深度的探测目的体标定或用管状目的体几何扫描法推算，也可使用经验数据或利用相关的地层参数由公式计算。

3.3.9　资料检查和评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合下列要求：

1　提供检查和评价的雷达资料应经过初步编辑，编辑内容可包括测线号、里程桩号、剖面深度等。

2　检查观测的图像与原始观测图像的异常形态与位置基本一致时资料为合格。

3.3.10　数据处理除应符合本规程 3.1.8 的要求外，还应符合下列要求：

1　可根据需要选取删除无用道、水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、*f-k* 倾角滤波、反褶积、偏移归位、空间滤波、点平均等处理方法。

2　选择处理方法和处理步骤应根据外业记录数据质量及解释要求进行。当反射信号弱、数据信噪比低时不宜进行反褶积、偏移归位处理，在进行 *f-k* 倾角滤波和偏移归位处理前应删除无用道，并进行水平比例归一化和地形校正。

3　在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波。

4　可用 *f-k* 倾角滤波消除倾斜层的干扰波，但应事先确保无同样倾角的有效层状的反射波。

5　可用反褶积来压制多次反射波，用于反褶积的反射子波应是最小相位子波。

6　可采用时间偏移或深度偏移方法将倾斜层反射波界面归位，将绕射波收敛，在进行深度偏移处理时应选择可靠的介质波速。

7　可选用空间滤波的有效道叠加和道间差两种方法，使异常具有更好的连续性或独立性，提高数据图像的可解释性，改变反射信号的振幅特征应在其它方法处理完成后进行。

8　可用平滑数据的点平均法消除信号中的高频干扰，参与计算的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比。

3.3.11　资料解释除应符合本规程 3.1.8 的要求外，还应符合下列要求：

1　应通过班报和现场复核、筛选干扰异常。

2　应先在原始图像上通过反射波波形及能量强度等特征判断、识别和筛选异常。

3　通过数据处理对强反射波和强吸收波同相轴进行追踪，或利用异常的宽度及反射旅行时等参数，计算异常体的平面延伸范围和埋深。

4　透射法可根据透射图像有无能量阴影、有无二次波叠加等特征判断异常，也可采用阴影交汇、二次波形态及发射和接收的相对位置进行定量解释。

3.3.12　成果图表除应符合本规程 3.1.9 要求外，还应符合下列要求：

1　图件应包括雷达剖面图像、雷达地质成果解释剖面图。

2　布置在隧洞、陡壁、边墙等处的剖面，应绘制测线分布的断面图。

3　雷达剖面图像可只选择摘录有异常的部分，连续测量时可绘制灰度或色谱图像，点测时可绘制波形图像，雷达图像应标注测线号、桩号、深度时间标注。

4　地质成果解释剖面图应绘制分层界线、异常中心、范围、延伸方向等。

5　可采用表格汇总说明异常情况。

## 3.4　地震勘探

3.4.1　地震勘探可选用浅层折射波法、浅层反射波法和瑞雷波法。

3.4.2　应用条件应符合下列要求：

1　适用于层状介质和似层状介质的勘探。

2　浅层折射波法应用条件：

1）　被追踪地层的波速应大于各上覆层的波速，且各层之间存在明显的波速差异；

2）　被追踪地层应具有一定的厚度，中间层厚度宜大于其上覆层厚度；

3）　沿测线被追踪地层的视倾角与折射波临界角之和应小于 90°；

4）　被追踪地层界面起伏不大，折射波沿界面滑行时无穿透现象；

5）　被探测地质体与周边介质之间应存在明显的波速差异，并具有一定的规模。

3　浅层反射波法应用条件：

1）被追踪地层与其相邻层之间应存在明显的波阻抗差异；

2）被追踪地层应具有一定的厚度，且应大于有效波波长的 1/4；

3）地层界面较平坦，入射波能在界面上产生较规则的反射波；

4）被探测的断层应有明显的断距。

4　瑞雷波法应用条件：

1）被追踪地层与其相邻层之间、被探测地质体与周边介质之间存在明显的波速差异；

2）被追踪地层应为横向相对均匀的层状介质，被追踪的不良地质体应具有一定规模；

3）地面应相对平坦，地层界面起伏不大，并避开沟、坎等复杂地形的影响；

3.4.3 震源和仪器设备应符合下列要求：

1 震源要求：

1）地震勘探可使用爆炸震源、锤击震源和落重震源等；

2）震源应能激发所选工作方法需要的主频地震脉冲，能量可控并符合探测深度要求；

3）爆炸机性能应安全可靠，并具备记时回路触发功能；

4）锤击震源和落重震源应操作方便、重复性好；

5）记时信号延迟时差：≤0.5ms。

2 地震仪要求：

1）宜选用 12 道或 24 道浅层数字地震仪，具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、数字采集等功能；

2）采样率可选、最小采样间隔：≤0.05ms；

3）记录长度：≥1024 样点/道，且可选；

4）A/D 转换精度：≥12 bit；

5）动态范围：≥96dB；

6）通频带：2Hz～2000Hz；

7）放大器内部噪声：≤1μV。

3 检波器要求：

1）各道检波器之间固有频率相差小于 10%，灵敏度相差小于 10%，相位差小于 1ms；

2）绝缘电阻：≥10MΩ；

3）井下和水下使用的检波器，应有良好的防水性能。

4 地震记录道一致性要求：

1）各道之间的相位差小于 1.5ms；

2）各道之间的振幅差小于 15%。

3.4.4 仪器设备的准备工作应符合下列要求：

1 外业工作前，应对仪器设备进行检查，并提交记录。

2 测试道一致性时，检波器安置条件应一致，全部检波器安置范围与其距震源距离相比很小。

3 联结电缆及检波电缆应进行绝缘检查，绝缘电阻应大于 200kΩ。

3.4.5 测线布置除应符合本规程 3.1.3 的要求外，还应符合下列要求：

1 测线布置应考虑旁侧影响和穿透现象。

2 测线宜按直线布置，当测线通过建筑物、道路、高压电线和其它障碍时测线可转折，但应采取相应措施，以保证转折测线的资料能独立解释。

3 山谷地形可按坡度相近的山坡分段布置测线，炮点宜在地形起伏的顶部和底部，并保证各段测线资料能独立解释。

4 河谷测线宜垂直河流或顺河流布置，当河谷狭窄和折射波相遇段较短时，可斜交河流布置测线。

3.4.6 试验工作除应符合本规程 3.1.4 的要求外，还应符合下列要求：

1 了解测区的地球物理条件、有效波和干扰波分布情况，试验压制干扰波的措施，选择激发接收方式、仪器工作参数及观测系统等，以确定能完成探测任务的程度及应采取的技术措施。

2 了解测区有效波和干扰波的分布可采用展开排列观测方式。对于展开排列长度，折射波法宜为探测深度的 6 倍～10 倍，反射波法宜为探测深度的 2 倍～3 倍，瑞雷波法宜为探测深度的 1 倍～2 倍。检波点距宜小于实际工作的检波点距。

批注 [w2]: 放入基本要求

3 观测中遇到局部地段记录质量变差时应分析原因，并通过试验选择新的仪器工作参数或改变工作方法，以改善记录的质量。

3.4.7 观测系统应符合下列要求：

1 观测系统应依据试验结果确定，在符合探测任务要求并保证有效波连续对比追踪的前提下，应采用简便的观测系统。

2 浅层折射波法要求：

1）采用单支时距曲线观测系统时，要求被追踪界面平坦，沿测线方向岩层界面的视倾角应小于 15°，并应保证追踪段内至少有四个检波点能有效接收折射波；

2）采用相遇时距曲线观测系统时，应保证追踪界面的相遇段至少有

四个检波点能有效接收折射波；

3）采用追逐时距曲线观测系统时，应保证被追踪段至少有四个正常检波点能重复接收同一界面的折射波；

4）采用多重时距曲线观测系统时，应保证各层折射波的连续对比追踪，并在综合时距曲线上均有能独立解释的相遇段，达到折射分层的目的；

5）布置非纵测线观测系统时，应考虑界面速度变化的影响。非纵测线应通过纵测线或钻孔、基岩露头，测线长度宜小于爆炸点到测线的距离。

3 浅层反射法要求：

1）可采用单边或双边展开排列观测系统了解测区内有效波和干扰波的分布特征，并选择反射最佳窗口，确定偏移距和检波点距；

2）等偏移距观测系统适用于地球物理条件较简单，反射层位较稳定，且在最佳窗口内反射波较强的测区，观测中应根据展开排列试验资料，将偏移距选在反射波窗口的中部；

3）多次覆盖观测系统适用于地球物理条件比较复杂的测区，观测中应采用具有一定偏移距的单端激发、覆盖次数不少于六次的观测系统，使接收排列在反射最佳窗口内。

4 瑞雷波法要求：

1）稳态瑞雷波法应采用变频可控震源单端或两端激发，调整两个检波器间距和偏移距进行接收，取得不同频率的多种组合瑞雷波记录；

2）瞬态瑞雷波法宜采用锤击、落重、爆炸震源，在排列的单端或两端激发，可用 12 道或 24 道为一排列进行接收，偏移距宜不小于检波点距；

3）应通过试验选择合适的偏移距和检波点距，以符合最佳瑞雷波接收窗口和探测深度的要求；排列长度应大于探测深度，检波间距应小于异常体规模。

4）同一测线的观测排列方向宜一致。

3.4.8 地震波的激发与接收应符合下列要求：

1 爆破作业安全应符合标准 GB 6722 的要求。

2 爆炸震源要求：

1）应采用绕在药包外面的记时回路记时；

2）坑中爆炸时，药包应用土或砂埋实。多次使用同一炮坑时，每次埋置药包前应清除松土；

3）水中爆炸时，应有防水措施，药包沉放深度宜为 1m 左右；

4）井中爆炸时，宜有水或泥浆耦合；

5）爆炸点的位置和深度应准确，必要时可允许爆炸点沿垂直测线方向移动，但移动距离不应大于检波点距的 1/5；

6）地面爆炸时，应清除炮点处碎石和杂草；

7）同一爆炸站严禁使用两套或多套爆炸线和记时线；

8）应使用专用爆炸机。

3 锤击和落重震源要求：

1）浅层折射波法和浅层反射波法的激发点应选在较密实的土层上，必要时应清除激发点的浮土或预先夯实；

2）瑞雷波的激发点应保持地面的原始状态，不宜夯实或铲除浮土，以利于激发低频瑞雷波；锤击板应与地面接触良好，不应反跳造成二次触发；

3）使用叩板震源时，木板的长轴应垂直测线，且长轴的中点应在测线上或测线延长线上；木板上应加压足够的重物或安装抓钉，保持叩板与地面接触牢固；

4）使用钉钯震源时，应将固定钯齿打入土层中，必要时可加打活动钯齿，以使钉钯与地面接触牢固。

4 浅层折射波法、浅层反射波法和瞬态瑞雷波法通常使用 12 道或 24 道地震仪进行数据采集，稳态瑞雷波法可使用二道仪器接收。

5 检波器间距应根据选用方法、探测任务要求、地球物理条件确定。在同一测线上，宜采用同一检波点距和排列长度。

1）浅层折射波法的检波点距宜为 5m～10m，在探测风化带、断层和岩土参数测试时可适当减小；

2）浅层反射波法的检波点距宜为 2m～4m；

3）瑞雷波法的检波点距宜为 1m～4m。

6 检波器固有频率可根据有效波的频率响应和提高分辨率的技术要求

加以选择。

1）浅层折射波法宜选用固有频率为 10Hz～40Hz 垂直检波器；

2）浅层纵波反射法宜选用固有频率为 100Hz 垂直检波器；

3）浅层横波反射法宜选用固有频率为 40Hz～60Hz 水平检波器；

4）瑞雷波法的检波器固有频率和频宽应与探测深度要求相符，探测覆盖层时宜选用固有频率为 1Hz～10Hz 垂直检波器。

7 检波器布置要求：

1）应位置准确，埋置条件一致，并与地面接触牢固，防止漏电和背景干扰；

2）当受地形、地面条件限制，检波器不能安置在原设计点位上时，可沿测线移动（不包括互换点），如有困难时可沿垂直测线方向移动，其偏移距离应小于 1/5 检波点间距，并记入班报；

3）用水平检波器接收横波时，应保证检波器水平安置，灵敏轴应垂直测线方向，且取向一致；

4）在水域使用水听器接收时，应将水听器沉放于水面以下，深度宜大于 1m；

5）使用井中三分量检波器接收横波时，观测前应检查检波器贴壁是否牢固。

8 仪器工作参数要求：

1）应根据测区干扰背景、激发和接收条件、地球物理条件及安全等因素选择；

2）在一个测区或测段工作时，应使用同一种滤波档，因特殊需要改变滤波档时，应有对比记录；

3）应依据有效波的时域和频域特征选择记录长度和采样率，当采用高采样率接收时，可配合使用延时；

4）瞬态瑞雷波观测时应设置全通，采样间隔应小于瑞雷波最高频率的半个周期，时间测程应包括最远道瑞雷波的最长旅行时；

5）当信噪比较低时，可采用重复激振进行信号叠加。

**3.4.9** 水域地震勘探应符合下列要求：

1 进行水域浅层折射波法观测时，宜采用固定排列，使用爆炸震源和漂浮电缆。当水流湍急、干扰背景强烈时，可采用将激发点和接收点互换的观测方式。

2 进行水域浅层反射波法观测时，宜采用移动排列，使用船拖电火花震源和漂浮电缆，沿测线同步移动，要求拖船航速稳定并保持电缆沉放深度一致。

3 当布置横河方向纵测线并采用相遇观测系统时，应考虑河床宽度是否具备探测任务所需要的相遇段。当布置横河方向非纵测线时，应符合本规程 3.4.7 相关要求。

4 水域作业期间，应及时测量水边线高程和沿测线水深，当水位变化超过 0.5m 时，应进行校正。

**3.4.10** 应在钻孔、平洞、露头以及具有代表性的地段内进行一定数量的速度参数测试，以获得可靠的速度参数。测试方法可采用地震测井、地震穿透波速测试、在基岩露头和平洞洞壁上进行的弹性波测试。

**3.4.11** 原始记录应符合下列要求：

1 原始记录包括仪器检查记录、试验记录、生产记录、班报等。

2 记录地震数据的磁盘、光盘等应标识清楚并与班报一致。

3 浅层折射波法和展开排列应附完整的波形记录，其它方法可根据需要附典型测段的波形记录。

4 存在 3.1.7 中第 3 款或下列缺陷之一者为不合格记录：

1）不能可靠追踪有效波的记录；

2） 互换道或连接道不正常，影响有效波的正确对比与连接，又不能从同一激发点的其它记录准确转移的记录；

3） 同一张记录中使用道数的 1/6 以上或两相邻道工作不正常的记录；

4） 干扰背景强烈，影响有效波识别或准确读取旅行时的折射波记录、透射波记录、瑞雷波记录和单次覆盖的反射波记录；

5） 干扰背景强烈，经滤波、水平叠加等处理后，仍不能识别主要目的层的反射波记录；

6） 记录编号或主要内容与班报不符，又无法改正的记录。

**3.4.12** 波的对比应符合下列要求：

1 波的对比主要是辨认和追踪有效波的同相轴和波的置换，应选择靠近有效波的起始相位处采用单相位或多相位对比，在裂隙发育区宜采用多相位对比。

2 对不同层位有效波应根据波形的相似性、视周期的相近性、振动的连

续性和同相性、振幅随远离爆炸点衰减的规律性等特征进行对比分析。

3　有效波的置换应根据两组波同相轴相交时波形的叠加特征、波形或振幅的突然变化、视周期或视速度的突然变化等加以确定。

4　在相遇时距曲线观测系统中互换道和连接道波的对比，应根据有效波旅行时的相等性及其动力学特点的相近性进行分析，同排列互换道或排列间连接道的时间差，经爆炸深度校正后应小于 3ms。

5　在相遇与追逐多重时距曲线观测系统中进行折射波对比，应根据追逐时距曲线的平行性来判别同一层位或不同层位的折射波，经校正拼接后综合时距曲线互换时间差应小于 5ms。

6　在展开排列和共炮点地震记录上进行反射波同相轴识别，应采用单相位或多相位对比。同一层位的反射波与其续至相位或多次反射同相轴呈双曲线彼此平行，不同层位的反射波同相轴随炮检距增加彼此逐渐靠拢。

7　进行瑞雷波对比时，应根据瑞雷波的频散特征，在时间域和频率域综合对比分析。反映层位变化的瑞雷波同相轴随炮检距的增加彼此逐渐散开，同相轴之间时差递增，且频率降低。

**3.4.13**　旅行时读数应符合下列要求：

1　应使用原始记录读取波的初至时间，直接读取初至有困难时，可读取有效波第一个极值时间，但应进行相位校正。

2　在波的干扰或置换位置，应在分析波的叠加特征后正确读取。

**3.4.14**　旅行时读数应按本规程附录 C.4.2 的相关公式进行校正，校正内容宜包括相位校正、爆炸深度校正、表层低速带校正及地形校正。

**3.4.15**　平均速度和有效速度的取值应符合下列要求：

1　确定平均速度或有效速度应考虑近地面介质不均匀性、低速带与下伏层厚度的相对变化的影响。

2　速度参数可通过地震测井、浅层反射波法、浅层折射波法及瑞雷波法探测资料求得。

3　测区有钻孔时应利用地震测井曲线计算平均速度，并对平方坐标法和交点法求取的有效速度进行评价和修正。

4　地震勘探时宜在测线每一百米测段的两端进行有效速度测试。当发现相邻速度差超过 20%时，应在该测段内增加速度测试工作，并绘制速度沿测线的变化曲线，按曲线上对应的速度值构制界面。

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

6　在同一测线上，没有充分资料证明有效速度突变时，不应分段采用有效速度构制界面，以避免引起界面深度的突变。

**3.4.16**　浅层折射波法数据处理、资料解释、图件除应符合本规程 3.1.8、3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1　绘制时距曲线时比例尺应根据实际观测精度加以选择，人工绘制时水平比例尺可采用 1:1000 或 1:2000，垂直比例尺可采用 1cm 代表 10ms 或 20ms。

2　时距曲线绘制后，可根据互换时间的相等性、追逐时距曲线的平行性、炮点两侧截距时间相等性的原则进行检查。出现非正常现象时，应检查地震记录相关道的读数并进行修改。

3　时距曲线中个别道出现旅行时突变时，应对照相应地段的相遇或追逐时距曲线旅行进行检查查明原因并进行必要的修正。

4　绘制综合时距曲线时，应将经过爆炸深度校正和相位校正的观测时距曲线一并绘出。

5　应由相遇时距曲线解释求取界面速度和深度，只有在近似水平层状介质、地面和界面起伏较小、速度横向无明显变化时，方可采用单支时距曲线截距时间法或临界距离法求取界面深度。

6　构制浅层折射界面的方法应根据地球物理条件、解释方法的特点和精度要求加以选择。单支时距曲线解释有截距时间法和临界距离法、正演拟合计算法；相遇时距曲线解释有 $t_0$ 法、延迟时法、时间场法、共轭点法、正演拟合计算法。方法选用要求：

1）当界面起伏不大、无穿透现象、沿测线界面速度无明显变化时，可采用 $t_0$ 法或延迟时法；

2）当地面有一定起伏、折射界面起伏较大、无穿透现象、界面速度有明显变化时，可采用时间场法；

3）当地面较平坦、折射界面起伏较大、无穿透现象、界面速度有明显变化时，可采用共轭点法；

4）对于多层不均匀或具有特殊结构的地层，可采用多种方法构制界面或折射分层综合求解，以提高解释精度。

7　应依据任务要求，在分析测区内有关地质、钻探及其它物探资料的基

础上做出地质解释。

1）应依据钻孔或物性资料确定地震界面与地质界面的对应关系；

2）应依据物性和地质资料推断水平方向岩性变化；

3）应分析原始记录上有无伴随振幅衰减、波形变化等现象确定低速带与断层破碎带的对应关系。

8 浅层折射波法成果图件的要求：

1）成果图件宜包括综合时距曲线图、成果地质解释剖面图或平面图；

2）综合时距曲线剖面图的上部除绘制综合时距曲线和观测时距曲线外，还应绘制完整的解释辅助线。此外，在炮点上方应标注截距时、表层波速和有效速度，在下部地震地质剖面图上绘制地质界面、断层构造，并标注界面速度。

2）成果地质解释剖面图上，应注明比例尺、高程、剖面桩号和方向、剖面端点和转折点的坐标、测线交点、界面上下介质的波速值和地质岩性符号，并将通过测线的勘探点位置标注在图上。比例尺应符合地震勘探要求的测量精度；

4）成果地质平面图可包括覆盖层等厚度图、基岩面等高线图、其它目的层等厚度图和界面速度分布图等。在平面图上应标注地质界线与解释的构造线、测线及序号、钻孔位置及孔号、坑槽位置及编号和主要地形地物标志等。

**3.4.17** 浅层反射波法数据处理、资料解释、图件除应符合本规程 3.1.8、3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 应利用展开排列资料与测区已知地质及其它物探资料进行正反演相关分析，以确认目的层的反射波波组。

2 应根据原始记录的信噪比和探测任务要求，拟订处理流程，选择滤波频率、滤波视速度、叠加速度、平均速度等处理参数。

3 原始记录预处理应将不正常道数据充零，校正反极性道。

4 在地形起伏较大、表层低速带速度或厚度变化较大的测区，一次静校正应符合下列要求：

1）测线地形起伏较大且地形单元明显不同时，应依据地形单元分段选取地形改正基准线；

2）表层低速带沿测线方向变化较大时，应沿测线补充必要的小折射进行观测。

5 进行速度分析，选取叠加速度的要求：

1）可使用速度谱或速度扫描求取叠加速度，当地球物理条件较复杂时，宜用两种方法互为校核；

2）速度扫描时应选取地形比较平坦，信噪比高的地震记录，并采用较小的速度增量；

3）沿测线应有足够的测段进行速度分析，并绘制速度展开图，结合速度测井资料，分析速度横向变化规律；

4）水平叠加效果欠佳的地段，应对该段叠加速度作必要的修改。

6 数字滤波的要求：

1）应在频谱分析的基础上选择滤波频率；

2）调整滤波宽度，解决提高信噪比和分辨率的矛盾；

3）选用合适的镶边宽度，避免吉布斯现象并减少滤波因子截断引起的误差；

4）在构造发育地区，不宜进行叠前二维滤波，以避免横向混波对断层等地震波动力学特征的影响。

7 依据测区地球物理条件和地震记录特点，可选用下列处理方法：

1）有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，叠前应进行道内动平衡处理；

2）有效反射波组之间相互干扰的记录，宜采用反褶积处理；

3）对垂向速度倒转的测段，宜进行相应的动校正处理；

4）当界面倾角较大时，可进行偏移叠加或叠加偏移。

8 在断层发育区和断层破碎带附近不宜进行剖面修饰性处理。

9 原始的等偏移资料或地震映像资料进行定量解释时，应作动校正处理。

10 浅层反射波资料解释的基础图件的要求：

1）图上应注明测区名称、测线号、偏移距、检波点距；

2）水平叠加时间剖面图还应注明叠加次数、处理流程、叠加速度等；

3）等偏移时间剖面图或地震映像图应注明是否经过动校正处理及标注动校正速度值；

4）时间剖面典型地段应附相应的展开排列记录。

11　应依据基础图件，采用地质和其它物探资料进行对比分析，确定地质层位和地震波组关系，选取与探测目的层位对应的波组进行对比、追踪，以获得目的反射层的特征，反射层位应标注编号。

12　各种时间剖面解释应包括以下内容：

1）确定主要地质层位与反射层位的关系；

2）确定地层厚度变化及接触关系；

3）划分断层或破碎带。

13　应分析时间剖面图中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象，得出与地层、岩性、构造的变化关系。

14　对第四系松散地层中的沉积构造及其它地质现象的确定和解释，应有地质或其它物探资料对比和佐证。

15　应分析等偏移时间剖面或地震映像图中波形的振幅、频率、相位、余振、波散等动力学特征与地下介质横向和纵向变化的关系。

16　构制浅层反射界面的方法有交点法、椭圆法、圆法、时间场法等，应根据地球物理条件、解释方法的特点及精度要求加以选择。

1）当覆盖层介质较均匀、平均速度变化不大时，可采用交点法、椭圆法和圆法构制反射界面；交点法和椭圆法适用于水平和倾斜界面，圆法适用于视倾角小于 $10^0$ 的界面；

2）当覆盖层介质不均匀、平均速度变化较大时，可采用时间场法求解。

17　成果图件可包括成果地质解释剖面图或平面图，地质解释平面图中应制作等深度图或等 $T_0$ 图，并圈定断层构造线的平面分布。

3.4.18　瑞雷波法数据处理、资料解释、图件除应符合本规程 3.1.8、3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1　可选用时间差法或相位差法计算稳态瑞雷波某一频率的自探测表面以下 λ /2 深度范围内地层的 $V_R$。

2　稳态瑞雷波速度计算应选择位于激发点同一侧和相位差在 $2\pi/3 \sim 2\pi$ 间的两个检波点上的记录，从高频至低频，逐个读取两个记录中瑞雷波的时间差或相位差计算 $V_R$，以两个检波点连线的中心为测试点绘制该点频散曲线。

3　瞬态瑞雷波数据处理流程应包括时间距离、频率波数、距离频率、深度速度四个阶段，逐步进行数据整理、提取、叠加和反演，并以图像和数据表格显示中间和最终处理结果。

4　瞬态瑞雷波数据处理时，应先分析记录中的瑞雷波的频散特性和分布范围，选定频谱分析时窗，进行振幅谱和相位谱分析，将时窗内各地震道不同频率的瑞雷波分离出来，选用合理的处理方法得出瑞雷波的频散曲线。

5　应选用互相关法，也可选用相位差法、频率波数域法和空间自相关法计算瞬态瑞雷波速度；可选用极值法或近似点法求取层速度；一次导数法或拐点法求取层厚度；可按本规程 C.4.5 的相关公式计算横波速度。

6　瑞雷波的资料应依据频散曲线的“拐点”特征解释地下弹性介质分界面，对于剖面探测也可利用剖面图中瑞雷波速度异常区的大小、分布情况进行解释。

7　瑞雷波的深度转换可选用半波长法，并按泊松比进行系数校正，也可参照测区地质资料进行对比解释。

8　频散曲线应以瑞雷波的频率为纵轴、瑞雷波速度为横轴绘制波速频率曲线，也可绘制深度频率曲线。稳态法可用短折线绘制，瞬态法应以点状曲线绘制，也可在同一图中同时用短折线绘制。

9　当进行剖面测试时，应将波速频率或深度频率曲线按任务要求的比例绘制在同一剖面上，也可根据最后反演计算的层速度和层深度绘制 $V_R$ 剖面等值线图、色谱图和灰度图。

## 3.5　弹性波测试

3.5.1　弹性波测试可选用声波法和地震波法，声波法包括单孔声波、穿透声波 、表面声波、声波反射、脉冲回波法，地震波法包括地震测井、穿透地震波速测试、连续地震波速测试。

3.5.2　应用条件应符合下列要求：

1　单孔声波应在无金属套管、宜有井液耦合的钻孔中测试。

2　穿透声波在孔间观测时宜有井液耦合，孔距大小应确保接收信号清晰。

3　表面声波、声波反射和地震连续波速测试应在混凝土、基岩露头、探槽、竖井及洞室比较平整的表面进行。

4　脉冲回波宜在目的体与周边介质有明显的波阻抗面，并在目的体内能产生多次回波信号的表面进行。

5　地震测井宜在无金属套管的钻孔中进行。

6　穿透地震波速测试宜在钻孔、平洞或临空面间进行；用于探测时，被探测目的体与周边介质间应有明显的波速差异且具有一定规模。

3.5.3　仪器设备应符合下列要求：

1　声波仪的要求：

1）最小采样间隔：0.1μs；

2）采样长度：≥512 样点/道，可选；

3）触发方式：宜有内、外、信号、稳态等方式；

4）频带宽：　10Hz～500kHz；

5）声时测量精度：±0.1μs；

6）发射电压：100V～1000V；

7）发射脉宽：1μs～500μs 可选。

2　声波反射宜使用具有波列显示功能的浮点放大仪器，震源能量可控、一致性好，接收探头频率特性好、阻尼适中。

3　脉冲回波应使用频带宽、采样率高、采样长度大、具有频谱分析功能的仪器。

4　使用电火花和超磁致伸缩震源的要求：

1）仪器设备的防护和使用应符合高压电器的要求；

2）震源应能激发高频声波脉冲、能量可控；

3）记时信号起跳尖锐、稳定，与接收仪器同步，延时误差应小于读数误差的二倍。

5　地震波法的仪器设备应符合本规程 3.4.3 的要求。

3.5.4　外业准备工作应符合下列要求：

1　声波测试工作前应对声波仪器设备进行检查，内容包括触发灵敏度、探头性能、电缆标记等。

2　柱状发射和接收探头在水池中应按不同间距进行测量，绘制 3 个～4 个测点曲线求取零值，平面探头宜用黄油耦合直接测零值。

3　地震波测试应符合本规程 3.4.4 的相关要求。

3.5.5　工作布置除应符合本规程 3.1.3 的要求外，还应符合下列要求：

1　在基岩露头、探槽、竖井及洞室中测试，测段应根据探测任务要求布置在有代表性和表面平坦的地段，在地下洞室内测试的连续剖面在岩浆岩和厚层岩体中应布置在洞壁的同一高度，在层状岩体测试中可沿岩层的同一层次布置测线。点距依据地球物理条件和仪器计时精度及分辨率的要求而确定，声波法宜为 0.2m～0.5m，地震波法宜为 1m～2m。

2　进行表面声波、声波反射、脉冲回波测试时，应选择合适的测网和工作比例尺，以能发现测试任务要求的最小异常，并在成果图上能清楚反映出探测目的体的位置和形态为原则。

3　进行穿透声波或穿透地震波速测试时，孔距应根据地球物理条件、仪器分辨率、激发能量来确定，并应进行孔斜测量和孔距校正。

4　进行动弹模量和静弹模量对比试验时，应在测试静弹模试件面上不同方向布置钻孔，并应合理布置孔数、孔距和孔深，以测试不同方向的岩体声波速度。

3.5.6　现场测试应符合下列要求：

1　孔中测试时要求：

1）应先用直径和重量略大于测试探头的重物对测试孔进行探孔，斜度较大的钻孔和上斜孔宜使用探棍，以检查所测试钻孔的畅通性；

2）电缆深度标识应准确明显；

3）钻孔有套管时，宜将套管以外的空隙用水、砂土等填实。

2　单孔声波测试要求：

1）宜使用一发双收声波探头；

2）在干孔中进行声波测试时应使用干孔声波探头，并保持探头与孔壁接触良好、接收信号清晰；

3）宜从孔底向孔口测试，点距 0.2m，每测试 10 个点应校正一次深度；

4）孔壁较破碎或钻孔较深时，宜采用大功率发射探头或采用具有前置放大功能的接收探头。

3　穿透声波测试要求：

1）可采用水平同步、斜同步等观测方式；

2）具有两个相对临空面的混凝土体或岩体，应选用适当频率的平面声波探头测试，并用耦合剂耦合，发射和接收间距离应测量准确。

4　表面声波测试要求：

1）应选用平面声波探头；
2）可采用单支或相遇时距曲线观测系统测试声波速度；
3）当距离较大或声波衰减较快时，可采用大功率发射探头或采用具有前置放大功能的接收探头；
4）安置探头处应平整，并使用耦合剂耦合。

5 声波反射和脉冲回波测试要求：
1）应在已知地段进行试验，选择合适的偏移距、激发能量和仪器参数等；
2）应采用声波平面探头进行等偏移测试，声波接收探头应具有高灵敏度、中等阻尼的性能；
3）声波反射可选用超磁致伸缩、回弹锤等窄脉冲的外触发震源。脉冲回波宜根据测试要求选用不同频率的回弹球；
4）安置探头表面应平整，宜用耦合剂耦合。

6 连续地震波速测试要求：
1）宜选择岩体表面起伏不大的地段，并按地质结构、岩性、风化程度、岩体完整程度布置测段；
2）排列长度应根据岩体的完整程度和仪器的读数精度要求确定，以保证在排列内相邻道的纵波传播时间应大于仪器可读数精度的五倍；
3）宜采用单支或相遇时距曲线观测系统；
4）测试岩体横波速度时，在基岩露头宜采用叩板震源，在平洞宜使用洞壁支撑器，并采用正、反向激发，要求横波获得率不低于纵波资料的60%。

7 地震测井和穿透地震波速测试要求：
1）激发和接收应符合本规程3.4.8的相关要求；
2）地震测井可采用地面孔口激发、孔中接收观测方式；
3）地震测井地面激发点到孔口距离可通过试验确定，宜为2m～4m；
4）测点点距应根据地层波速确定，覆盖层中宜为1m～2m，基岩中宜为2m～3m；
5）孔间穿透地震波速测试宜沿岩层倾向采用同步观测方式，进行同一直线上的三个孔的观测时宜采用一孔发射、另两孔接收的一发双收方式，各激发点与接收点之间的距离宜根据钻孔测斜资料校正；
6）使用井中剪切锤震源宜自下而上移动、深度准确、贴壁牢固；
7）采用三分量检波器测试横波时应贴壁；
8）孔间穿透地震波速测试宜选用电火花震源，且应有水或泥浆耦合，当孔距较大时也可选用爆炸震源；
9）洞间或临空面间穿透地震波速测试时，可视距离或地球物理条件选择爆炸震源或锤击震源。

**3.5.7** 观测、重复观测应符合下列要求：

1 读数时应选择合适的衰减档或增益，使振幅适当，初至点或反射波清晰易读。测振幅时应保持测试条件不变，读取同一相位振幅值，并注明所读相位；

2 采用间歇式发射或锤击时应分析波形的初至或反射波、波形形态，选择初至及反射清晰、波形稳定的信号；

3 对波形曲线剧变或测点跳变的测段，应采用叠加方式或加大发射能量进行重复测试，以三次重复测试的平均值为测试结果。

**3.5.8** 资料处理与解释除应符合本规程3.1.8的要求外，还应符合下列要求：

1 测试成果分析与解释前，应作零点校正、孔斜校正、高差校正、偏移校正等。

2 利用速度计算岩体完整性系数时，一个测区内，对于同类岩性应使用新鲜完整岩块的同一波速，岩体完整性系数按本规程C.6.3的相关公式计算，并按表3.5.8要求进行评价。

**表3.5.8 岩体完整性系数分类表**

| 完整程度 | 完 整 | 较 完 整 | 完整性差 | 较破碎 | 破碎 |
|---|---|---|---|---|---|
| 岩体完整性系数 | $K_v>0.75$ | $0.75\geqslant K_v>0.55$ | $0.55\geqslant K_v>0.35$ | $0.35\geqslant K_v>0.15$ | $K_v\leqslant 0.15$ |

3 在取得纵波、横波速度和密度值的情况下，可计算动弹模量；可通过动静对比建立相关关系。

4 脉冲回波应进行频谱分析，对比分析各个峰值，找出目的层或缺陷的回波频率，并依据测试的速度参数计算出目的层厚度或缺陷埋深。

5 穿透声波宜进行波列分析。

**3.5.9** 成果图件除应符合本规程3.1.9的要求外，还应符合下列要求：

1　洞室弹性波测试应绘制测试综合成果图，该成果宜包括波速曲线、动弹模量曲线和完整性系数曲线。

2　进行工程质量检测的单孔声波、穿透声波、地震测井均应绘制波速曲线，同时绘制统计分析曲线。当多个孔（洞）在同一剖面或断面时，波速曲线宜绘制在同一剖面或断面上。

3　当多条表面声波或连续地震波速测试的测线组成测网时应绘制波速平面分布图。

4　声波反射应绘制等偏移距时间剖面、物探成果地质解释剖面或平面图。

5　脉冲回波应绘制时间剖面和频率剖面。

## 3.6　层析成像

**3.6.1**　层析成像（CT）可选用弹性波速度层析成像和电磁波吸收系数层析成像（简称电磁波 CT），弹性波速度层析成像包括声波速度层析成像（简称声波 CT）和地震波速度层析成像（简称地震波 CT）。

**3.6.2**　应用条件应符合下列要求：

1　被探测目的体与周边介质间存在电性或速度差异，具有电性差异的应选用电磁波 CT，具有速度差异的应选择声波 CT 或地震波 CT；同时存在电性和速度差异的可根据条件选择其中一种，当条件复杂时可选用多种 CT 方法。

2　成像区域周边至少两侧应具备钻孔、平洞及临空面等探测条件，被探测目的体宜相对位于扫描剖面中间，其规模大小与成像单元具有可比性。

3　声波频率高适于相对较小范围剖面扫描，地震波频率低适于较大范围剖面扫描。

**3.6.3**　仪器设备应符合下列要求：

1　声波 CT 的仪器设备应符合本规程 3.5.3 的相关要求。

2　地震波 CT 的仪器设备应符合本规程 3.4.3 的相关要求。

3　电磁波 CT 的仪器设备应频率可选，噪声电平小于 0.2μV，测量范围为 20dB～140dB，动态范围为 100dB，测量误差小于±3dB。

**3.6.4**　测点布置应符合下列要求：

1　CT 剖面宜垂直于地层或探测目的体的走向，扫描剖面的钻孔和平洞应共面且相对规则。

2　孔（洞）间距应根据探测任务要求、物性条件、仪器设备性能和探测方法的特点合理布置，声波 CT 宜小于 30m，电磁波 CT 宜小于 40m，地震波 CT 可根据激发方式和能量大小适当选择。成像的孔（洞）深度应大于其孔（洞）间距，地球物理条件较复杂、探测精度要求较高的部位，孔距或洞距应相对减小。

3　点距应根据探测精度和探测方法要求选择：声波 CT 不宜大于 1m，电磁波 CT 宜为 1m，地震波 CT 不宜大于 3m。

**3.6.5**　观测系统应符合下列要求：

1　孔（洞）间 CT 可采用两边观测系统，当孔间地面或洞间边坡条件适宜时可采用三边观测系统；在梁柱或周边临空体情况下可采用多边观测系统。

2　在平洞、钻孔及自然临空面所构成的地震波 CT 剖面内，应充分利用被探测区域周边的激发与接收条件，采用一发多收的扇形观测系统，保持射线分布均匀，交叉角度不宜过小。

3　声波 CT 和电磁波 CT 观测宜以定点扇形扫描方式为主，水平同步和斜同步观测为辅。定点扫描观测的最大角度以不产生明显剖面外绕射为原则。

4　当发射点间距大于接收点间距时，宜采用两孔互换的观测方式，并保持一定数量的发射点与接收点互换。

5　在同一剖面上进行多个孔间或洞间 CT 观测时，宜保持观测系统一致。

**3.6.6**　现场工作应符合下列要求：

1　在钻孔中进行 CT 观测时应充分了解钻孔情况，采取预防措施，减少孔内事故发生。

2　声波 CT 和地震波 CT 除应符合本规程 3.5.6 的要求外，还应符合下列要求：

1）声波 CT 或地震波 CT 的钻孔应进行声波测井和井斜测量，地震波 CT 的平洞应进行地震波或声波速度测试；

2）在钻孔中进行地震波 CT 或声波 CT 宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔，当孔壁条件较差时宜下塑料套管；

3）当采用爆炸震源进行孔间地震波 CT 时，激发孔应下金属套管护壁，自下而上边提升套管边在管脚下放炮，以防孔壁坍塌；

4）当激发与接收距离较远时，应选用高能量激发装置或具有前置放大功能的接收探头或高灵敏度检波器接收。

3　电磁波 CT 的要求：

1）应通过现场试验选择仪器的工作频率和对应天线；

2）可选择单频或多频观测方式，当同一剖面进行多组电磁波 CT 时，应使用相同的频率，并在地球物理条件相对简单的孔段进行三孔法同步观测，以确定初始场强和背景值；

3）电磁波仪的发射机与电缆间宜用长度为二倍所选波长的绝缘绳相连，接收机与电缆间应用电缆滤波器相连，天线应悬挂重锤；

4）在孔（洞）间进行电磁波 CT 时，应避免钢管、铁轨等金属物件影响，并用金属板将孔（洞）口屏蔽，以防止电磁波绕射。

3.6.7　对异常突变点应重复观测，在异常区内的测点应进行检查观测，收发互换观测资料可作为检查工作量。

3.6.8　旅行时或场强的单点重复观测相对误差 $\delta$ 应小于 3.5%，检查观测的均方相对误差 $m$ 应小于 5%。

3.6.9　资料处理和解释除应符合本规程 3.1.8 的要求外，还应符合下列要求：

1　应根据测量资料建立坐标系，将每条射线的激发点与接收点转换为成像剖面的二维坐标，并与相应的旅行时或场强资料形成数据文件。

2　应计算出每条射线的平均速度或平均吸收系数，并分别显示出各个同步和定点相应的参数曲线，以初步判定异常位置和反演参数的变化范围。

3　应根据地球物理条件、观测系统、成像精度、分辨率和探测任务要求建立数学物理模型，确定单元和节点的形态和大小，单元网格尺寸应大于测点间距，单元总数宜小于射线条数。

4　射线追踪宜由直线向弯线过渡，可选择线性方程、打靶法、最小旅行时或平方慢度等方法。

5　反演算法可选择奇异值分解（SVD）、联合迭代（SIRT）、共扼梯度（CG）、阻尼最小二乘法（LSQR）和以上方法改进的其它方法。

6　反演迭代次数应根据射线路径和图像形态的稳定程度确定，也可根据相邻两次迭代的图像数据方差确定。

7　可将钻孔或平洞原位测试的相关资料作为边界条件加入相应的反演计算中，以克服边界效应所产生的伪差。

8　对于相互连接的 CT 剖面，应采用相同的反演方法、模型和参数。

9　弯线反演的最终射线分布图可作为成果之一，根据射线疏密程度确定高速区或低速区、高吸收区或低吸收区的位置和规模，并按 CT 图像参数的变化梯度确定异常范围、延伸方向。

10　应根据 CT 图像速度或吸收系数的分布规律，结合被测区域的地层岩性、地质结构等进行地质推断解释。

3.6.10 成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1　图件宜包括 CT 图像、射线分布图、CT 解释成果图，如有其它相关测试资料时，应绘制相应的成果图。

2　CT 图像可以采用等值线、灰度、色谱等图示方法，图像可按等差分级，为了突出异常，也可采用变差分级。

3　同一剖面的多组 CT 剖面可拼接成一幅成果剖面图。

## 3.7 水声勘探

3.7.1 探测水利水电工程的水库、河道、湖泊和浅海深水区的水下地形，以及探测坝址、桥基、港口工程水下地层剖面可选用水声勘探。

3.7.2 应用条件应符合下列要求：

1　被探测地层与其相邻层之间具有波阻抗差异。

2　进行水下覆盖层分层时，被探测地层具有一定厚度，且介质均匀和波速稳定。

3　被探测目的层以上无卵砾石或卵砾石呈零星分布。

3.7.3　仪器设备应符合下列要求：

1　探测深度及分辨率：

1）水深小于 50m 时，疏松沉积层 0m～25m，分辨率为 0.3m～0.5m；

2）水深大于 50m 时，疏松沉积层 25m～50m，分辨率为 0.5m～1.0m。

2　振荡次数：

1）浅层：0m～25m，360 次/min；

2）深层：0m～50m，180 次/min。

3　接收放大器增益应不小于 150dB。

4　接收探头灵敏度应不小于 10μV/μbar。

3.7.4　测线布置应符合下列要求：

1　河道及水库的测线应垂直水下地形的走向，并宜采用横河剖面布置，线距宜为 50m。

2　当水下地形较平坦时，测线可按顺流方向布置。

3.7.5　定位测量应符合下列要求：

1　观测剖面线宜采用 GPS 定位测量，在河道或水库工作时也可选用其它定位测量方法。

2　GPS 测量方法应为实时动态测量。

3　对于模拟信号仪器，水声记录标记与 GPS 采样数据应同时进行，定位点间隔可根据探测要求确定，并宜小于 50m。对于数字信号仪器，可采用 GPS 连续定位。

4　剖面测量时测量结果的误差，在所用的地形图上坐标应小于 2mm，高程应小于 0.5m，两岸剖面桩间的距离相对误差应小于 1%。

3.7.6　现场工作应符合下列要求：

1　现场作业宜采用载重量为 10t～20t 且噪音小的平底机船，为保证机船作业时顺利行驶，应根据船的吃水深度确定最小工作水深，水的深度宜大于 2m。

2　发射探头和接收探头应分别安装在船的两侧船舷上，发射探头在船舷后面的一侧，接收探头在船舷前面的另一侧，两者之间的距离应为 6m～8m，探头入水深度视波浪大小而定，水面平静时入水深度宜为 0.5m。

3　对于发射和接收装置一体化的拖鱼型探头，探头应安装水平，不宜离船太近，以防止撞击船体并避免对水下信号产生影响。

4　测船航行宜保持每条剖面定向和恒速行驶，仪器操作员应按要求时间作标记。

5　观测过程中应根据不同地层情况，通过试验选用合适频率参数，以提高地层分辨率。应根据深度变化调整接收灵敏度和变换频率。

6　河道及水库的水声勘探每天开始工作时，应测量一次水面高程；水位涨落变化较大时（高差大于 0.3m），应保持每隔一定时间间隔测量一次水面高程，并绘出工作期内的水面高程随时间变化曲线。

3.7.7　资料处理和解释应符合下列要求：

1　当水深小于 15m 且使用分体探头时，应进行路径校正，以消除发射探头与接收探头偏移造成的深度误差。

2　应校准水下探测层的速度，以便准确计算水下各探测层厚度。

3.7.8　成果图件应符合下列要求：

绘制的图件应包括水下地形图、水声地质剖面图、水下淤泥层或覆盖层等厚度图、基岩等高线图等。

## 3.8　放射性测量

3.8.1　放射性测量可选用自然伽玛测量（简称伽玛测量或γ测量）、α射线测量、环境氡浓度测量和同位素示踪法等。

3.8.2　应用条件应符合下列要求：

1　γ测量不受地形限制，但在测量中应保持测量几何条件一致，宜在下列地质条件下使用：

1）被探测目的体和周边地层有明显的放射性差异；

2）构造破碎带和地下储水构造埋藏较浅；

3）第四纪覆盖层无潜水层等“屏蔽”层；

4）岩浆岩地区。

2　α射线测量可在覆盖层中取土样或埋设静电α卡进行现场测量，不宜在阴雨季节中进行，其他条件与γ测量相同。

3　空气中氡浓度测量样品采集应符合标准 GB/T14582 的规定。

4　同位素示踪法宜使用半衰期短污染小的 $^{131}I$ 放射性同位素，可用于单个钻孔中或多个钻孔中（间）测试水文地质参数。

3.8.3　仪器设备应符合下列要求：

1　勘探γ测量仪器的要求：

1）用测低能谱的γ谱仪的谱段可调，并有稳谱装置，连续 8h 工作读数相对误差应小于 1%；

2）辐射仪做积分测量时，应能测量数十到数百千电子伏特低能量γ射线；

3）辐射仪灵敏度高，在自然底数不大于 0.72PC/kg.s(10μR/h)时，灵敏阀不大于 0.143PC/kg.s(2μR/h)；

4）辐射仪在 0 PC/kg.s～3.6 PC/kg.s(0～50μR/h)范围内呈线性。

2　环境γ测量仪器的要求：

1）量程范围

低量程：$1\times10^{-8}$ Gy/h～$1\times10^{-5}$ Gy/h；

高量程：$1\times10^{-5}$ Gy/h～$1\times10^{-2}$ Gy/h。

2）相对固有误差：＜15%；

3）能量响应：50kev～3Mev 相对响应之差＜30%（相对 $^{137}Cs$ 参考γ辐射源）；

4）角响应：0°～180° $\bar{R}/R \geqslant 0.8$（相对 $^{137}Cs$ 参考γ辐射源、$\bar{R}$：角响应平均值、R：刻度方向上的响应值）。

3 α射线测量仪的要求：

1）应用大闪烁体制做闪烁探测器，探测射线的效率 $A_m^{241}$ 应大于 60%；

2）在极限条件下读数与正常读数相对误差应小于 15%；

3）一周内不做调整，重复读数相对误差应小于 15%。

4 环境氡浓度测量仪器应符合标准 GB/T14582 的规定。

5 同位素示踪仪器的要求：

1）当 $V_v$＞0.1m/d 时，垂向流速测试相对误差应小于 2%；

2）当 $V_f$＞0.05m/d 时，水平流速测试相对误差应小于 3%。

3.8.4 测线布置除应符合本规程 4.1.3 的要求外，还应符合下列要求：

1 γ测量和α射线测量的要求：

1）测网密度可通过试验确定，在已知的地段上进行不同精度的测量，将获得的资料与已知的地质情况比较，确定最佳的测网密度；

2）测线间距在工作比例尺平面图上应为 2cm～4cm，并有不少于三条测线通过主要探测目的体。测点间距在工作比例尺平面图上应为 0.5cm～2cm，实际点距宜为 5m～10m。

2 环境土壤中氡浓度测量应根据地质构造、断层带位置布置测线，测线宜垂直构造走向，测线间距宜为 10m～20m，测点间距宜为 5m～10m。

3 环境空气氡浓度测量应根据建筑物的特点，选择具有代表性的地点布置测线，测点间距宜为 20m～50m。

4 同位素示踪法在不同的水文地质单元上布置或选择一个或多个钻孔，钻孔位置和深度应符合标准 GB 50027 的规定.

3.8.5 现场测试应符合下列要求：

1 γ测量要求：

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

2） 每天工作前和结束后，应在固定场地检查仪器的正常底数和用工作源检查仪器灵敏度；

3） 同一条测线应由同一个人用同一台仪器一次测完；

4） 检查工作应重点选择异常点和可疑测点，并兼顾各条测线；

5） 测线上应避开建筑物等人为影响，保持各测点的测试条件一致；

6） 环境γ测量时，探头离地面高度宜为 1m。

2 α射线测量要求：

1） α射线测量与γ测量要求基本相同，但要求在测量点取样；

2） 可选择挖取土样或埋设静电α卡；

3） 静电α卡取样时，测点应选在覆盖层中，埋卡的小坑要求坑底平坦、无粘土、碎石等杂物；α卡的埋卡时间应根据辐射场强度确定，并应大于 4h；取卡测量的时间间隔和埋卡时间间隔应一致。

3 同时进行γ测量和α射线测量时，应保持γ射线测量和坑内取土样品α射线测试深度一致。

4 环境氡浓度测量要求：

1）室内放射性气体测量应符合标准 GB/T14582 的规定；

2）室内氡及其子体样品采集，探头应离地面 1.5m；

3）地下洞室、厂房空气氡浓度测量宜采用定期与不定期相结合的检测方法，应按标准 GB/T16356 的要求确定监测频率和选定监测点。

5 同位素示踪法的要求：

1） 每次仪器下井前应作地面本底和装源后底数记录；

2） 测试水文参数时，应选择合适的放射性同位素，测试地下水流速流向宜选用 $^{131}I$，每次投放量应低于 $1\times10^8Bq$；

3） 测试渗透速度和流向应采用单孔稀释法，测试钻孔中的垂直流速应采用单孔示踪法，测试地层孔隙度宜选用多孔示踪法；

4） 测试地下水流速和流向应在水文地质观测孔中进行，观测孔的布置应符合标准 GB 50027 的要求，第四纪覆盖层、喀斯特、构造裂隙发育孔段应下花管护壁；

5） 渗流通道的连通试验应事先估计投放点至检测点之间的渗漏量、饱和层体积、孔隙度等基本参数，多孔连通试验每次需要投放较大量的放射性同位素应选用 $^{131}I$ 并应一次投完，每次投放最大剂量应小于 $100\times10^9Bq$；

6） 同位素投放后每隔 5min～10min 记录一组 5 个～10 个读数，每点应测量 5 组～10 组读数；

7） 进行多点位同位素测量时，宜先深后浅，钻孔具有多个含水层时，应采用钻孔分隔器分层测试。

**3.8.6** 资料的检查与评价除应符合本规程 3.1.7 的要求外，还应符合放射性测量统计涨落误差的要求：

1 应按本规程附录公式 C.5.1 计算放射性统计涨落误差。

2 脉冲记数仪器涨落误差的标准误差σ应小于 30%，相对标准误差δ应小于 10%。

3 率计式辐射仪涨落误差的标准误差σ应小于 20%，相对标准误差δ应小于 10%。

**3.8.7** 资料处理与解释应符合下列要求：

1 应对已有的地质资料、物探成果、地形、地貌、气候条件进行综合分析，了解异常的分布规律和特征，分辨异常性质并排除假异常。

2 α射线或γ射线强度高于背景三倍以上的可以确定为异常点，如果覆盖层较厚、有水体屏蔽或受构造等影响，其强度虽未达到背景值三倍以上，但仍高于背景值 1.5 倍以上，仍可确定为异常。

3 钻孔中或井间进行同位素示踪测量时，应按本规程附录 C.5.2 式计算出各测点的渗透系数。

4 环境γ辐射以有效剂量当量为评价标准，测试的γ辐射照射量率应换算为年有效剂量当量，并应按标准 GB/T14583 中公式估算。

5 环境氡及其子体浓度以平衡当量氡浓度或氡浓度为评价标准。

**3.8.8** 成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1 γ测量、α射线测量、环境氡浓度测量的图件可包括剖面图和平面图。

2 同位素示踪法图件可包括水资源调查取样点位置图、渗流速度沿高程分布图、地下水流速矢平面分布图。

## 3.9 综合测井

**3.9.1** 综合测井可采用的方法有电测井、声波测井、地震测井、放射性测井、温度测井、电磁波或雷达测井、井中流体测量、磁化率测井、孔壁超声成像、钻孔电视观察、井径测量、井斜测量等。

**3.9.2** 应用条件应符合下列要求：

1 电测井应在无金属套管、有井液的孔段测试，被探测目的层相对上下层应存在电性差异，目的层应具有一定厚度。

2 声波测井、地震波测井宜在无金属套管、有井液的孔段测试，被探测目的层相对上下层应存在弹性波波速差异，目的层应具有一定厚度。

3 放射性测井无论有无套管及井液均可应用，自然γ测井用于分层时，各层应有自然放射性差异；γ-γ测井用于分层时，各层应有密度差异。

4 钻孔电视观察应在无套管的干孔或清水钻孔中进行。

5 超声成像测井宜在无套管、有井液的钻孔中进行。

6 井中流体测量应在无套管或有滤管、有井液的钻孔中进行。

7 电磁波或雷达、磁化率测井应在无金属套管的钻孔中进行，被探测目的体具有一定规模，与周边介质存在电磁差异。

**3.9.3** 仪器设备应符合下列要求：

1 测井仪器深度传动装置的相对误差应小于 2‰。

2 仪器绝缘性的要求：

1） 地面仪器线路之间、仪器对地、绞车集电环对地、供电电源对地的绝缘应大于 10MΩ；

2） 电缆芯对地、电极之间、井下仪器线路与外壳之间的绝缘应大于 2MΩ。

3 测井仪器精度的要求：

1） 电位差测量误差＜3%；

2） 电阻率测量误差＜4%；

3） 井径测量误差＜5mm；

4） 井温测量误差＜0.5℃，热惯性＜3s；

5） 井斜测量在钻孔顶角大于 5°时，顶角测量误差应小于 0.5°,方位角测量误差应小于 5°；

6） 地震测井和声波测井的仪器设备应分别符合本规程 3.4.3 和 3.5.3 的要求。

4 测井仪器记录精度的要求：

1） 模拟测井仪器记录的曲线线迹宽度应小于 0.5 mm，仪器本机噪声引起记录曲线的抖动宽度应小于 1mm；

**删除的内容：**，从已知到未知，确定哪些是有意义的异常，建议进一步检证、评价

2）数字测井仪器记录的采样间隔每 0.05m 不少于一点。

3.9.4　测试技术应符合下列要求：

1　测井电缆长度标记的要求：

1）新电缆使用前，宜在井中让电缆悬挂相当于井中仪器重量的重物上下升降五次，且待电缆伸长稳定后做固定的深度记号；

2）深度标记宜为 10m，对需要用 1:50 深度比例尺进行详细探测时深度标记宜为 5m，长度误差应小于 2‰；

3）每年或每测 10 口井应检查一次。

2　每孔测井前，宜先用与下井仪器的直径和长度相当的重锤进行探孔。

3　测井数据或曲线的深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致，同一测区宜采用同一深度比例尺。对需要详测的孔段，应追加大比例尺的辅助记录。

4　应根据地质资料、试验测井数据或曲线来确定横向比例尺，在保证大部分曲线记录不超值的情况下选用大比例尺。

5　原始测井数据或曲线应准确地标记深度。

1）需要分次分段测井时，主要数据或曲线衔接处应至少重复测量一个深度标记；

2）对有零线的测井记录，应在数据或曲线的首末两处记录零线位置；对无零线的测井记录，应在曲线的首末两处标出横坐标的参考基线。

6　各种连续测井方法在记录测井曲线时，电缆的升降速度应保持恒定并不应超过表 3.9.4 中的限速要求。

7　井温、井液电阻率测井及钻孔电视观察宜在电缆下放时作正式测量记录，其它测井方法均宜在提升电缆时做正式测量记录。

**表 3.9.4　测井电缆升降速度限度表（m/min）**

| 测　井　方　法 | 深　度　比　例 | | |
|---|---|---|---|
| | 1:200 | 1:100 | 1:50 |
| 电测井（不含微电极系） | 20 | 10 | 5 |
| 微电极系、井径 | 10 | 6 | 3 |
| 声波、放射性、温度、电磁波 | 5 | 3 | 2 |
| 钻孔电视观察、超声成像 | 以观察清晰为宜 | | |

3.9.5　现场测井工作应符合下列要求：

1　电测井的电极距选择应根据探测任务要求和不同测区的地球物理条件，经试验后确定；电流测井应减小线路电阻及地面电极的接地电阻，并确保恒压供电，记录电流曲线时应检查并确定增量方向；自然电位测井应采用不极化电极；使用金属重锤时，测量电极应距离重锤 2m 以上。

2　自然γ测井前应采用检测源检查仪器，在泥质岩层井段上应记录统计起伏，记录时间应大于曲线所选用的时间常数的 10 倍；γ-γ测井时，有密度刻度器的应在井场标定，无密度刻度器标定时，宜做视密度测量。选用的源强应能压制自然γ的干扰，在主要目的层井段宜大于自然γ平均幅值的 20 倍。

3　孔壁超声成像深度比例尺应依据岩层倾角的大小，孔洞、裂隙、断层的规模，软弱夹层的厚度以及观测精度确定。

4　钻孔电视观察应对主要地质异常进行追踪观察，图像清晰可辨。

5　井中流体测量时，井壁宜冲洗干净。

6　多种方法测井时，井温测井应放在最先。

7　井径测量前后宜在井场校验仪器，应有三个以上不同直径的校验记录，误差应小于 5mm。

8　井斜仪下井前应在井场用罗盘仪或倾斜仪作简单的顶角测量检验及挂零（顶角为 0°时）测试。井斜测量的点距宜小于 5m，井斜变化较大时（顶角差大于 2°、方位角差大于 20°）应加密测点。

9　电磁波或雷达测井应根据地球物理条件和探测目的体规模选择一个或多个频率进行测试。

3.9.6　检查观测应符合下列要求：

1　井斜测量检查工作量应大于 20%，其它测井方法检查工作量应大于 10%。当某种测井数据或曲线上发现特殊异常时，应在相应井段进行检查观测。

2　检查观测的曲线应与原始测试曲线基本一致。

3.9.7　资料检查和评价应符合下列要求：

1　资料评价分为合格和不合格两类。

2　存在下列情况之一者为不合格：

1）在目的层井段连续漏掉两个以上深度记号；

2）曲线有 5%以上的断记、漏记或畸变；

3）曲线首尾记录、升降速度、深度比例、横向比例、检查观测工作量不符合本规程要求；

3.9.8　资料处理和解释应符合下列要求：

1　测井资料宜经过编辑、处理、解释几个步骤，模拟记录可进行数值化处理。

2　应根据各种测井曲线的分层特征，对不同参数曲线进行对比分析，结合地质、钻探等有关资料，按物性和地质名称分层，确定地层或地质体的深度和厚度。

3　同一测区的地质条件相同时，应统一解释原则，对测井曲线中的异常都应分析解释。

4　地层的真电阻率宜采用横向测井(横向电测深)测试；在不具备横向测井条件时，对较厚的地层可根据电阻率曲线，并考虑井径、井液电阻率及围岩电阻率等的参数确定；进行了侧向测井时，可根据侧向测井曲线并校正后求取。

5　对声波测井和 γ–γ测井的资料解释和推断，应先从宏观上把全孔划分为若干个声速或密度不同的厚层，求得这些层的平均波速和平均密度值。然后再分析各个异常，做出地质推断并划分出薄层。对厚度不足 30cm 的地层，应根据测井曲线计算出波速或密度的大致范围。

6　钻孔电视观察或孔壁超声成像应对钻孔的地质现象做出描述，并计算出裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及其厚度，在顶角大于 5° 的斜孔中计算产状时还应利用井径、井斜测量资料进行斜度校正。

7　对斜孔的井斜测量应绘制钻孔在水平面和垂直面上的投影图。

**3.9.9**　成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1　绘制综合测井解释成果图时，应对本规程允许的深度误差在相邻深度标记内平差，每个平差点一次平差应小于 1mm。

2　同一张图中所有曲线的深度坐标应一致。

3　同一钻孔中进行的电测井、声波测井、放射性测井、温度测井、井径测井曲线，宜绘制在一张综合测井成果图上。孔壁超声成像宜贴在该图的钻孔测井柱状剖面旁。其它测井方法所得资料可单独成图或列表，但其成果均应以文字形式反映到综合测井曲线解释图上。

4　地质剖面上有多个钻孔，或钻孔比较稠密的测区，应在完成单个钻孔各自的综合测井解释图基础上，绘制整个剖面的地质解释剖面图，图中可选用少量具有代表性、对目的层反映清楚和便于对比的测井曲线。

5　钻孔电视观察应提交编辑后的图像和典型地质现象的图片。

# 4 物探方法的综合应用

## 4.1　覆盖层探测

**4.1.1**　探测覆盖层各层厚度及基岩顶板起伏形态，测试覆盖层各层物性参数，探测古河道或基岩河谷形态，进行天然建筑材料分层和评价，可选用电法勘探、地震勘探、水声勘探、探地雷达、弹性波测试、综合测井。

**4.1.2**　探测方法技术应符合下列要求：

1　测网和测线布置应符合本规程 3.1.3 的规定。

2　当覆盖层与基岩之间存在符合本规程 3.2.2 中 1、2、7 的条件时，可使用电测深法或可控源音频大地电磁测深法。

3　当覆盖层和下伏基岩之间存在符合本规程 3.3.2 的条件时，可使用探地雷达法。

4　当覆盖层和下伏基岩之间存在符合本规程 3.4.2 中 1、2 的条件时，可使用浅层折射波法。

5　当覆盖层和下伏基岩存在符合本规程 3.4.2 中 1、3 的条件时，可使用浅层反射波法，并配合其它物探方法或钻探进行对比分析。

6　当对覆盖层分层要求较薄且探测深度较浅时、并符合本规程 3.4.2 中 4 的条件时可使用瑞雷波法，宜同时配合其它物探方法或钻探作对比分析。

7　在水库、湖泊、浅海、港口、码头等水面较宽、水深较深、水流较缓和沉积物粒径较小的河道，可使用水声勘探或地震映像。

8　在主要测线和地质条件较复杂的地段应选用综合物探方法。

9　测试覆盖层各层物性参数并进行分层可采用综合测井或弹性波测试技术。

**4.1.3**　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应依据覆盖层与下伏基岩相比的速度、电阻率、密度的差异进行分析和解释。

2　应利用钻孔、露头物性资料和孔旁电测深、地震剖面资料分析物性层与地质层的关系，当物性层与地质层不一致时，应以物性层厚度确定物性参数，并在成果报告中加以说明。

3　应分析物性参数在水平方向的变化，以正确利用物性参数进行定量解释。

4　应说明覆盖层解释厚度是否包含基岩强风化带。

5　成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应有覆盖层等厚度图、基岩等高线图。当有条件进行覆盖层分层时，可以绘制某层等厚度图和层面等高线图。

**4.1.4**　探测精度应符合下列要求：

1　在测区内物探条件有利，又有少量钻孔可利用的情况下，探测厚度大于 10m 的覆盖层，深度相对误差应小于 15%；地质条件较差的测区，深度相对误差应小于 20%。

2　水声勘探在水深小于 50m 时，探测基岩埋深的相对误差应小于 10%。

## 4.2　隐伏构造破碎带探测

**4.2.1**　探测隐伏构造破碎带的位置、规模、延伸情况，测试构造破碎带的物性参数，可选用电法勘探、探地雷达、地震勘探、层析成像、放射性测量和综合测井等。

**4.2.2**　探测方法技术应符合下列要求：

1　测网布置除应符合本规程 3.1.3 的要求外，点距宜小于构造破碎带宽度的 1/2。

2　当隐伏构造破碎带为低阻异常时，可采用瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法、电剖面法、电测深法和高密度电法等。

3　当构造破碎带富集地下水时，可采用激发极化法和电测深法综合探测。当存在地下水活动，并产生过滤电场而形成明显的自电异常时，可采用自然电场法。

4　当构造破碎带被钻孔揭露且为良导体时，测试构造破碎带的走向可采用充电法

5　当覆盖层较薄（$h$＜10m）和电阻率较高时，探测隐伏构造破碎带可使用探地雷达。

6　探测有一定宽度的构造破碎带可采用浅层折射波法，该方法的振幅对比宜使用相同的增益和扫描尺寸，点距宜为 5m。当利用波的动力学特征为主探测宽度较小的断层破碎带的位置时，点距宜为 2m。

7　探测具有垂直断距、上下盘有一定高差的断层可采用浅层反射波法，该方法宜采用水平多次叠加或等偏移剖面的观测系统，点距宜为 2m～4m。

8　当断层破碎带具有较好的透气性和渗水性，有放射性气体沿断裂带上升至地面时，可采用放射性测量。

9 有钻孔时，测试构造破碎带的物性参数及在钻孔轴线上的分布范围可采用综合测井。探测构造破碎带的位置、规模和延伸情况可采用孔间 CT。

**4.2.3**　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应依据构造破碎带在物性上所表现的异常特征，进行综合分析和解释。

2　宜使用综合物探方法的资料，并结合测区的地质结构特征，确定断层破碎带的空间分布。

3　联合剖面法可根据低阻正交点异常推断断层破碎带的位置和走向。

4　瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法、高密度电法可根据 $\rho_S$ 断面图推断断层破碎带位置、规模、延伸情况、倾向和大致倾角值。

5　激发极化法应分析碳质岩层及金属矿体等干扰因素。

6　探地雷达资料可根据反射波组出现的异常特征推断断层破碎带位置。

7　浅层折射波法可把 $\theta(x)$ 曲线斜率变陡或出现错断、界面速度下降 30% 以上的地段视为低速带，当低速带原始记录伴随有波的振幅减小，视周期增大和波形畸形等特征时，可推断为构造破碎带。依据低速带宽度可大致推算破碎带宽度。小断层破碎带的低速带特征往往不明显，应通过小检波距的探测资料，分析波形变化、振幅衰减和波的置换现象，确定破碎带的位置和宽度。

8　浅层反射波法应对比分析共深度点叠加时间剖面图或共偏移距剖面图，根据基岩中的标准层同相轴的错断现象、反射波振幅衰减、波的置换等特征推断断层的位置。并根据同相轴错断时差，推断断层的大致断距。

9　当覆盖层厚度较薄时（$h$＜10m＝可根据自然电场、激发极化参数和放射性强度在地面产生的物性异常大于正常场 1.5 倍，且在平面上呈条带状分布的特征来推断断层破碎带的位置。

10　图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应包括测区隐伏构造破碎带的平面分布图。

**4.2.4**　探测精度应符合下列要求：

1　测区内具备有利地形和物探条件时，覆盖层厚度小于 10m 应能查明不小于 2m 宽度的断层破碎带；覆盖层厚度大于 10m 时应能查明宽度为覆盖层厚度 1/4 的断层破碎带；断层破碎带的倾角小于 $45^0$，应能判断其倾向和大

致倾角值。

2 用 CT 方法探测断层破碎带应能查明宽度大于 1/10 孔距的断层破碎带。

## 4.3 喀斯特探测

4.3.1 探测喀斯特的分布、埋深、规模、延伸方向、充填情况和喀斯特地下水，可选用电法勘探、探地雷达、地震勘探、层析成像和综合测井等。

4.3.2 探测方法技术应符合下列要求：

1 当基岩裸露时，探测喀斯特的分布、规模、延伸方向、充填情况可选用探地雷达、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法。

2 当覆盖层较薄时，探测溶沟、溶槽、土洞等可选用电剖面法、高密度电法、浅层折射波法；探测浅埋藏的喀斯特洞穴和构造可选用高密度电法、瞬变电磁法、地震反射波法和瑞雷波法。

3 当覆盖层较厚时，探测喀斯特的分布、规模、延伸方向可选用可控源音频大地电磁测深法。

4 探测隧洞四周的喀斯特分布可选用探地雷达。

5 探测孔间深埋藏喀斯特洞穴及充填情况可选用层析成像。

6 探测孔壁喀斯特地层溶蚀情况、地下喀斯特暗河或泉水的出水点位置、喀斯特地下水位和观察钻孔揭示规模小的喀斯特洞穴可选用综合测井。

7 对于探测场地狭窄的建筑物地基宜选用探地雷达、高密度电法和地震映像。

4.3.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 电剖面法、瞬变电磁法、电磁波CT、可控源音频大地电磁测深等资料宜根据未充填型喀斯特洞穴呈现高电阻、高吸收的异常特征和充填型喀斯特洞穴呈现低电阻、高吸收的异常特征进行解释。

2 浅层折射波法、弹性波CT资料宜根据喀斯特洞穴的低波速、穿透能量较弱的特点进行解释。

3 浅层反射波法资料宜根据喀斯特洞穴顶部产生的强反射特征、探地雷达资料宜根据喀斯特洞穴的双曲线反射特征，确定喀斯特的分布、规模和顶板埋深。

4 宜对比电磁波和弹性波资料的异常差异，解释喀斯特洞穴充填情况，也可根据激电参数异常判断充填物性质。

5 测井资料宜根据喀斯特在温度、电性、波速、密度及电视图像上的特点进行解释。

6 喀斯特洞穴的连通、延伸方向和范围应通过测区内各个剖面间异常的位置并结合水文地质资料进行推断解释。

7 图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应包括喀斯特的平面分布图。

4.3.4 探测精度应符合下列要求：

1 当洞穴规模大于孔距的 1/10 时，孔间层析成像探测的有效率应大于 80%。

2 当洞穴规模大于埋深的 1/10 时，覆盖层较薄时地面物探探测喀斯特洞穴的有效率应大于 70%。

## 4.4 岩体风化带厚度与卸荷带深度探测

4.4.1 探测岩体风化带厚度，进行风化分带和风化程度评价，探测边坡卸荷带深度及影响范围，可选用电法勘探、探地雷达、地震勘探、层析成像、弹性波测试和综合测井等。

4.4.2 探测方法技术应符合下列要求：

1 测网布置除应符合本规程 3.1.3 的要求外，探测岩体风化带厚度的测线布置应与探测隐伏构造破碎带相同；探测卸荷带深度的测线应以垂直边坡布置为主，并适当布置几条与边坡相平行的辅助测线；在卸荷带的宽度变化较大的地段应适当加密测线和测点，并确保测线长度达到未卸荷岩体部位。

2 当基岩表面无覆盖层或覆盖层较薄时，可选用探地雷达。

3 当基岩表面具有一定厚度的覆盖层、风化界面起伏不大、各风化层物性差异明显时，可选用浅层折射波法、电测深法和高密度电法。

4 当覆盖层和风化层较厚时，可选择浅层反射波法或浅层折射波法。

5 详细探测局部风化不规则岩体情况，可采用层析成像。

6 当具有钻孔、竖井时，宜采用综合测井或弹性波测试。

7 在平洞和竖井中进行岩体风化与卸荷分带可采用单孔声波、穿透声波、连续地震波速测试。测试孔应布置在洞壁的同一高度且应平行或共面，宜下斜 $5^0$～$10^0$ 。

4.4.3 资料处理和解释应符合下列要求：

删除的内容：分层

删除的内容：探测

删除的内容：进行折射波法或电剖面法了解岩性、断层风化带的影响，可适当布置几条与岩层界线或断层走向相垂直的辅助测线；
2)

1　应依据岩体风化与卸荷带的波速、电阻率、密度的差异进行分析和解释。

2　应确定物性曲线异常点的明显突变与岩性、断层破碎带、风化与卸荷界面位置的关系，以了解风化和卸荷带的变化规律。

3　进行岩体风化带厚度与卸荷带深度划分时应查明地层岩性界面、断层破碎带、卸荷带的分布关系。

4　当风化带成层状分布时，可求似层状风化的各层厚度。当测区有一定数量的探坑、钻孔时，应对比分析探坑和钻孔的测试资料，以确定各风化层界面。

5　当风化带的速度在垂直方向上呈渐变关系时，应找出速度随深度的变化规律。

6　依据风化岩体与新鲜岩体纵波速度之比进行岩体风化带的划分应符合标准 GB/T 50287 的规定。

7　成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应有岩体风化带等高线图或等厚度图、卸荷影响范围图，并注明卸荷及未卸荷岩体速度。

**4.4.4**　探测精度应符合下列要求：

1　当有少量的钻孔、平洞、探坑的弹性波资料可以利用时，地面下岩体风化带分层的深度和厚度相对误差应小于 20%。

2　当无钻孔资料可利用或测区的地形、地质物性条件较差时，深度相对误差应小于 30%。

## 4.5　软弱夹层探测

**4.5.1**　探测软弱夹层的位置、厚度，测试软弱夹层的物性参数，可选用综合测井、弹性波测试等。

**4.5.2**　探测方法技术应符合下列要求：

1　在钻孔中探测软弱夹层的厚度不足 20cm 时，深度比例尺应选用大比例尺。

2　在砂砾石覆盖层钻孔中探测软弱夹层的要求：

1)在泥浆护壁的钻孔中，宜采用自然γ测井、侧向或视电阻率测井、自然电位测井等方法。当砂砾石层地下水渗流速度较大时，宜采用井液电阻率测井中的扩散法。当夹层与砂砾石层在密度和声波速度上有明显差异时，可采用γ-γ测井、声波测井和孔壁超声成像等；

2)使用 SM 植物胶钻进时，不宜采用电测井；

3)钻孔中有套管时应采用自然γ测井和γ-γ测井。

3　在基岩钻孔中探测软弱夹层的要求：

1)当探测的孔段无套管、有井液时，可选用侧向或视电阻率测井、井径测量、声波测井、γ-γ测井等。当井液较清澈时，可采用钻孔电视观察。

2）孔壁超声成像、自然γ测井、自然电位测井应根据测区的地球物理条件和软弱夹层与围岩之间物性的差异，通过试验加以选用；

3)当探测孔段为无套管的干孔时，宜选用γ-γ测井、井径测井和钻孔电视观察，也可辅以自然γ测井；

4）当探测孔段有套管时宜选用自然γ测井或γ-γ测井。

4　在平洞中进行软弱夹层物性参数测试时可选择声波法。

**4.5.3**　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应依据软弱夹层在物性上表现为低波速、低电阻率、低密度、易塑变、自然γ强度高的特征进行分析和解释。

2　应进行多种测井资料对比分析，当测区所测钻孔较多时，应对比分析各孔中软弱夹层的深度和厚度变化情况。

3　可利用声波纵波、横波速度、密度计算软弱夹层的动力学参数。

4　可通过钻孔电视观察软弱夹层的深度、厚度和产状。

5　成果图件有钻孔综合测井成果图、软弱夹层深度、厚度及物性参数统计表。

**4.5.4**　探测精度应符合下列要求：

1　当钻孔直径小于 100mm、孔壁较完整，且夹层倾角小于 30°时，探测精度要求如下：

1)　钻孔电视探测软弱夹层不应遗漏厚度大于 1mm 的夹层，当夹层厚度在 20mm 之内时，测试夹层厚度的绝对误差应小于 3mm；

2)　微电极系测井、超声成像测井探测软弱夹层不应遗漏厚度大于 5cm 的夹层；

3)　自然γ测井、自然电位测井、视电阻率测井、声波测井和γ-γ测井不应

**删除的内容：**。

**删除的内容：**2　划分岩体风化带的全风化、强风化和弱风化界面的曲线异常点应明显突变或渐变。
3

**删除的内容：**4　解释地面物探资料时，可分析折射波时距曲线斜率的变化规律以及电测深曲线的特征，一般确定物性界面与风化带的对应关系。
；3）　关于基岩全风化、强风化、中等风化(弱风化)、微风化和新鲜带的风化岩与新鲜岩纵波速度之比的划分标准，应符合《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287—99)的规定。

**删除的内容：**8

遗漏厚度大于 10cm 的软弱夹层。

2　软弱夹层探测成果中的深度相对误差应小于 5%。

3　根据钻孔电视观察或孔壁超声成像探测软弱夹层的倾角绝对误差应小于 5º，倾向绝对误差应小于 10º。

## 4.6　滑坡体探测

4.6.1　探测滑坡体的分布范围、厚度和滑床起伏形态，进行滑坡体分层，探测滑坡体内部饱水带、含水层的分布和埋藏深度，确定滑带特性，测试滑坡体的物性参数，可选用地震勘探、电法勘探和综合测井等。

4.6.2　探测方法技术应符合下列要求：

1　宜采用网格状或扇形状测网，测线方向宜沿主滑带方向，顺山坡或平行等高线布置，测线宜延伸至滑坡体外。

2　当滑坡体的主要成分为粘土、粉土、砂土和碎石土时，可选择浅层折射波法、浅层反射波法和瑞雷波法等。

3　当滑坡体为粒径较大块石的崩塌堆积体且结构松散时，可选择可控源音频大地电磁测深法、电测深法、高密度电法和浅层折射波法等。

4　探测滑坡体地下水和含水层可选用激发极化法、电测深法、高密度电法和可控源音频大地电磁测深等。

5　有钻孔时，探测滑带特性和确定滑坡体的物性参数可采用综合测井。

4.6.3　资料处理与解释应符合下列要求：

1　应依据滑坡体的波速、密度、电阻率和自然γ强度的差异进行分析和解释。

2　电法勘探因滑坡体内水平方向的电阻率变化造成电测深曲线畸变时，宜结合其它探测方法综合分析。

3　浅层折射波法可计算滑坡体厚度，当滑坡体内存在速度分层界面时，应利用多重相遇时距曲线分层求解。

4　浅层反射波法应结合浅层折射波法和测井资料确定滑动面及滑坡体内界面的同相轴。

5　滑坡体边界可根据覆盖层厚度、波速、视电阻率变化情况，并结合地貌特征确定。

6　成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应包括滑坡体等厚度图和滑床顶板等高线图。

4.6.4　探测滑坡体厚度或深度相对误差应小于 15%；条件复杂时，其相对误差应小于 20%。

## 4.7　堤坝隐患探测

4.7.1　探测堤防及土石坝中的洞穴、裂缝、松软层（含松软堤段）、沙层（含砂质堤段）和渗漏通道等隐患的规模、位置与埋深，可选用电法勘探、探地雷达、弹性波测试和同位素示踪等。

4.7.2　探测方法技术应符合下列要求：

1　在探测过程中，应调查并记录堤坝外观情况、在历次洪水期的出险情况等。

2　探测时宜先普查，然后根据普查资料确定若干典型堤段进行详查。详查堤段长度宜大于普查堤段总长的 20%，并应涵盖各种类型的隐患，还应包括不能判断其性质的异常和一定比例的无异常堤段。

3　当堤顶宽度小于 4m 时可只沿迎水面堤肩布置一条测线，当堤顶宽度大于 4m 时宜沿迎水面和背水面堤肩各布置一条测线。需进一步展布隐患状态时，可在堤坡上、堤脚处增加测线，或增加部分垂直于堤身轴线的测线。

4　在比较干燥的堤防探测洞穴、裂缝和松软层宜选用高密度电法、电剖面法、瞬变电磁法和探地雷达法等。

5　探测护坡脱空区可用探地雷达或弹性波测试。

6　探测堤坝基底隐患宜采用可控源音频大地电磁测深法。

7　测试堤坝的渗流参数宜采用同位素示踪法。

8　探测浸润线以下的渗漏通道宜选用自然电场法和同位素示踪法等。

4.7.3　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应结合堤坝的历史沿革、加固情况、汛期险情等资料分析探测资料，确定解释原则。

2　可依据电阻率背景值划分土质不良堤段。

3　宜对洞穴、裂缝、松软层、高含沙层、渗漏等隐患性质作出判断。

4　应给出隐患的桩号和埋深等反映其空间位置的参数。

5　可对比分析同一剖面、同一探测方法，在枯水季节和雨季浸润下异常位置、幅值的变化，确定渗漏通道的位置和性质。

6　可根据自然电场的电位与水流的关系来分析确定渗漏通道的位置及流向。

7　应根据隐患的分布情况、电阻率背景值、雷达图像特征等，结合堤坝隐患性质，将所探测堤坝分为质量较好段、质量相对较好段和隐患发育段。

8　提交的主要成果图件中应标注各类隐患的性质和空间分布位置。

4.7.4　探测精度应符合下列要求：

1　隐患性质判断的准确率应大于 70％。

2　探测隐患平面位置绝对误差应小于 2m。

3　探测隐患的埋深相对误差应小于 20%，且应小于 2m。

## 4.8　隧洞施工超前预报

4.8.1　超前预报隧洞施工掌子面前方有无断层破碎带、溶洞、地下水富集区等不良地质体，可选用地震负视速度法、弹性波垂直反射法和探地雷达等。

4.8.2　探测方法技术应符合下列要求：

1　当预报范围较大、掌子面不可利用、被探测体为具有一定规模的反射面时可采用地震负视速度法。

1）可根据地球物理条件选择纵排列法观测系统或横排列法观测系统。纵排列法观测系统可选用一发多收或一收多发，接收点或震源点间距为 2m～5m，并应沿隧道轴线方向布设在掌子面后方的侧壁或底面上，一发多收的震源或一收多发的接收点应是距离掌子面的最远点。横排列法观测系统应分别在掌子面后方洞段的两侧壁等间距对称布置多个检波点和震源点，接收或震源点间距宜为 2m～5m，一侧激发另一侧逆序接收；

2）检波器应符合所用的仪器技术要求，并采用造孔安置，震源应采用孔内爆破方式。

2　当预报范围较近、掌子面可利用时，可选用探地雷达。

1）应以掌子面为中心，在掌子面上布置多条剖面，点测时点距应小于 0.5m；

2）探地雷达应根据条件和探测范围选择天线。

3　当预报范围较远、掌子面可利用时可选用弹性波垂直反射法。

4　对于较复杂的隧道洞段宜采用综合方法预报。

4.8.3　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应依据断层破碎带、充水或充泥溶洞以及地下水富集区等不良地质体在物性上常表现为低波速、低电阻率等特征，及不良地质体与围岩的物性有明显差异进行分析和解释。

2　地震负视速度法预报应依据入射波的时距曲线具有正速度、反射波的时距曲线就具有负视速度的特征，将正、负视速度的时距曲线顺势外延，其交点位置为预报的界面位置。

3　弹性波垂直反射法资料解释应依据时间剖面上反射波形的特征来推断和预报是否存在不良地质体，并根据反射时间和掌子面围岩的速度参数来确定不良地质体的位置。

4　探地雷达应依据观测雷达图像的异常形态、波形特征及电磁波衰减等特征确定不良地质体的性质和位置，并进行判断预报。

5　当隧道内地质情况复杂时，不仅应仔细分析物探观测成果资料，而且还应详细了解地面地质情况，并结合当前和以往开挖的地质情况及物性参数等综合分析。

4.8.4　在地球物理条件有利、施工干扰小的情况下，采用综合物探方法进行隧道施工掌子面超前预报准确率应大于 80%。

## 4.9　地下水探测

4.9.1　在第四系地层中划分含水层和隔水层并测试其深度和厚度，探测基岩裂隙带、喀斯特发育带、断层破碎带等富水情况，进行地热水调查，测试地下水的水位，划分咸淡水界线，圈定或监测地下水污染等，可选用电法勘探、放射性测量、综合测井和地震勘探等。

4.9.2　探测方法技术应符合下列要求：

1　应与水文地质测绘和钻探、试验工作紧密配合。

2　进行面积性地下水探测宜按网格状布置测网，对于地质和水文地质情况已掌握的地区，可仅对重点地段和可疑地段布置物探测线。

3　当有钻孔时，应采用综合测井。

4　探测覆盖层或下伏基岩中的地下水应先以含水层（带）为目的层进行详细探测，了解含水层（带）的富水情况。

1）探测第四纪地层中的含水层应以探测含水的砂砾石层为目的层，目

的层探测可选用地震勘探和电法勘探。探测目的层中的富水情况可选用电测深法、激发极化法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法等。

2）探测基岩中含水层（带）以探测地层中的裂隙带、喀斯特发育带、断层破碎带等为目的层，目的层探测可选用地震勘探和电法勘探。探测目的层中的含水情况可选用电测深法、激发极化法、自然电场法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法和放射性测量等。

5 探测地下水位可选用激发极化法、电测深法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法。

6 探测地下水流速、流向和渗流速度宜选用自然电场法、充电法，在钻孔中宜选用同位素示踪法。

7 探测埋藏较深的地下水或地热水可选用瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法。

8 探测第四纪地下水的咸水与淡水在水平面上的分布情况，圈定和监测地下水污染状况可采用电测深法、瞬变电磁法、可控源音频大地电磁测深法。多层地下含水层中咸水、淡水界线的划分应采用综合测井。

4.9.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 应结合水文地质测绘和钻探资料，建立多个典型水文地质条件下的典型物探异常曲线，根据已知资料进行定性分析。

2 探测含水目的层的电法勘探、地震勘探资料解释应计算出含水目的层的平面位置、范围和埋深。

3 钻孔中的自然电场法、充电法、综合测井、同位素示踪等资料解释应确定含水层和隔水层的深度、厚度、地下水位、流速、流向或渗流速度。

4 地热水资源调查的资料解释除应分析地层结构和地质构造外，还应结合含水层电阻率受温度增加而减小的特性进行分析。

5 探测咸淡水分界线和监测地下水污染的资料应计算出孔隙水的电阻率值，再根据地下水电阻率的变化情况划分咸淡水分界线、圈定地下水污染范围。

6 成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应在平面图上标出解释推断的富水地带、渗漏带和地下水流向，有咸水的地区还应标出咸、淡水的分界线，在城市或矿区应标出地下水污染范围。

4.9.4 当测区的地球物理条件有利时，地面方法探测含水目的层厚度和深度、潜水面深度的绝对误差应小于 20%。

删除的内容：音频大地

删除的内容：测深

## 4.10 环境放射性检测

4.10.1 坝址和主要建筑物环境γ辐射强度测量，基础及地下建筑物开挖部位、采石场、建筑材料γ辐射强度测量，坝址和主要建筑物区内表层土壤氡浓度测量，地下建筑物环境空气氡及其子体浓度测量等，可选用γ测量、土壤氡浓度测量、空气氡浓度测量。

删除的内容：音频大地

删除的内容：测深

删除的内容：音频大地

删除的内容：测深

4.10.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 γ测量可采用地面γ测量、γ编录和岩芯γ测量三种方法。

1） **在使用常规γ辐射仪作环境检测时，应对γ辐射仪进行标定；**

2） 地面γ测量应在踏勘基础上选定测区和布置测线，测线间距宜为 20m～50m，测点间距宜为 10m～20m，异常段应加密测线和测点；

删除的内容：音频大地

删除的内容：测深

3） 对γ测量查出的基岩异常地段和地下洞室应进行γ编录，圈定异常范围和走向。地下洞室的γ编录，宜取二壁一顶或一壁一顶，浅井编录宜为相邻的两壁；

4） 岩芯γ测量应对岩芯进行连续检测，并按岩性分段记录γ强度。

删除的内容：音频大地

删除的内容：测深

删除的内容：瞬变

2 土壤氡浓度测量要求：

1） 在各测点上分别用浅孔和深孔取气器，测量氡浓度。在测量中应保证各测点抽气次数及测量条件一致；

2）在湿度过大的地方，不宜做抽气测量。

3 空气氡及其子体浓度测量要求：

1） 可在需要部位定点定时测量，以监测岩石、土壤和构造带中的氡扩散到空气中的程度，测点间距宜为 20m～50m，异常段应加密；

2） 测量异常部位应重复观测，并记录空气流通情况；

3） 对空气流通不畅的地下洞室，可作通风前后对比测量。

4.10.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 **应根据测区地质构造说明辐射水平、辐射分区的分布情况及其与岩性和地质构造的关系。**

2 地面γ测量宜结合测区内露头、构造破碎带、自然γ测井和各种岩样的

γ测量进行分析。

3 根据空气γ照射量率换算为γ辐射空气吸收剂量率，再根据γ射线外照射的有效剂量当量与空气吸收剂量率的比值以及在此环境年停留时间，计算出年有效剂量当量。

**4 环境γ 辐射防护应以正当化、最优化和个人剂量限值的综合防护为原则，摒弃阀值的观念，避免不必要的照射，辐射防护标准应依据标准 GB18871 执行。**

5 环境空气中的氡及其子体平衡当量浓度应参照标准 GB/T14852 中的有关公式计算。

6 氡及其子体平衡当量浓度控制标准应参照国标 GB16356 执行。

7 综合成果图件应标明地质构造、岩性、检测方法、异常点位置、强度、分析结果等，必要时可绘制剖面图或钻孔柱状图。

4.10.4 放射性测量精度应依据本规程附录 C.5.1 公式计算相对标准差，以衡量其统计涨落误差。

## 4.11 建基岩体质量检测

4.11.1 进行建基岩体质量分级，探测建基岩体松弛层厚度和不良地质体的空间分布，确定可利用岩体的高程，评价和复核已开挖的建基岩体质量等可选用单孔声波、穿透声波、连续地震波速测试、浅层折射波、层析成像、探地雷达等。

4.11.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 建基面检测孔中的建基岩体检测可采用单孔声波和穿透声波法。

1）检测前应根据工程部位、地质情况、施工进度将需检测的坝基划分成多个检测单元；

2）检测孔应按单元分组布置，每一单元宜根据岩层和构造情况布置多组钻孔，每组钻孔不少于两个，穿透孔距宜为 2m～5m，钻孔宜深入设计高程 5m 以下；

3）爆破松弛层厚度检测宜在同一孔位进行爆前和爆后测试。

2 当开挖到位、全面清基后，建基面检测可采用连续地震波速测试、浅层折射法和探地雷达。

1)宜在建基面上的每个施工单元布置测线，测线间距宜为 5m～10m，点距 1m～3m；

2）当建基面无松弛层或松弛层较薄时，应沿测线进行连续地震波速测试并采用时距观测系统。震源可采用锤击、扣板，正、反向敲击，同时取得纵波和横波速度资料；

3）当建基面松弛层较厚时，应采用浅层折射波法进行折射分层；

4） 建基面以下一定范围内存在喀斯特洞穴时，应采用探地雷达。

3 在建基岩体局部地质构造较复杂的区段可采用层析成像。

4 选择岩体质量具有代表性的钻孔或孔段，进行声波速度与孔内变形模量原位对比试验，结合现场载荷试验资料建立声波速度与变形模量相关关系，确定岩体质量的波速控制标准。

4.11.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 应由设计、监理和检测单位依据设计要求、建基岩体的地质情况共同制订可利用岩体的波速判别标准。

2 检测资料宜清晰给出松弛层厚度、建基面高程、建基面附近岩体质量分级、不良岩体分布情况等。

3 应对比分析单孔和跨孔声波速度曲线的形态和变化特征、完整性系数，确定岩体质量在垂直和水平方向的变化情况。同时，应分析岩体质量的变化与地层岩性、地质结构、风化卸荷等因素的关系。

4 应通过对比同一位置爆破前后声波速度曲线的变化情况确定，也可以根据爆后声波速度曲线浅部孔段速度的变化梯度来确定施工爆破松弛层厚度。

5 连续地震波速测试应计算相应的地震波速，也可计算建基岩体的动力学参数，有单孔声波资料时应给出声波速度和地震波速度的对应关系。

6 浅层折射波资料应进行分层解释，以确定松弛层厚度，并计算松弛层和完整岩体的地震波速度和完整性系数。

7 CT 图像资料应给出地质构造在 CT 剖面内的形态和延伸规模，也可依据波速分布情况确定岩体质量分布。

8 探地雷达资料应给出建基面以下一定范围内喀斯特、不良构造带的分布情况和规模。

9 应按施工单元、深度和水平范围对速度值进行统计分析，计算建基岩体波速达标率，确定建基面高程。应明确指出建基面以下局部未达标的岩体的空间分布位置。

10 成果图件除应符合本规程 3.1.9 的要求外，还应符合下列要求：

1）应有按单元和深度范围等对波速值进行统计分析的统计图表；

2）进行原位静动对比试验、声波速度与地震波速度对比试验的，应绘制相关关系曲线图；

3）有关喀斯特、不良构造带的分布图。

4.11.4 建基岩体松弛层厚度、不良地质体空间位置及可利用岩体高程的检测精度应符合设计和施工的要求。

## 4.12 灌浆效果检测

4.12.1 检测灌浆前后岩土体力学性能、完整程度和防渗能力可选用弹性波测试、层析成像、钻孔变形模量和钻孔电视和同位素示踪法等。

4.12.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 灌浆效果检测应从试验阶段开始，试验阶段的检测方法应相对较全。

2 检测剖面或检测孔的布置要求：

1）灌浆试验区的全部钻孔和穿过试验区中心的穿透孔应进行检测，灌浆施工检测抽样数量应不少于灌浆孔总数的 5%；

2）在灌浆施工阶段进行检查时，灌前检测孔应大于总检测孔的 1/3；

3）一个单元内至少有一组检查孔，检查剖面或检查孔应均匀分布，并兼顾重点和异常部位；

4）钻孔偏斜过大、灌浆过程不正常等情况经分析资料认为可能对灌浆质量有影响的部位，以及末序孔注入量大的孔段附近均应布置检测孔。

3 帷幕灌浆效果检测宜选用层析成像、钻孔电视、单孔声波和穿透声波，也可选用同位素示踪等。

4 固结灌浆效果检测应选用单孔声波和穿透声波、层析成像，也可选用钻孔变形模量、钻孔电视观察等。

5 进行灌浆前后应采用穿透声波、层析成像等方法进行对比检测，并宜保持孔位不变、观测系统和处理技术相同。

6 弹性波测试宜在灌浆 14 天后进行，钻孔变形模量宜在灌浆 28 天后进行。

4.12.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 检测资料分析应视具体工程情况，选用灌前和灌后对比分析、灌后达标分析或现象描述等评价灌浆效果。

1）对比分析应将在同一位置灌前和灌后的检测数据对比，计算提高率或提高量；

2）达标分析应将灌浆单元内灌后的检测数据与要求的达标值进行比较，并统计分析；

3）层析成像可描述灌浆前后低强区的变化情况、统计分析成像单元的波速变化情况。

2 钻孔电视观察应描述灌后岩体中张开裂隙、构造破碎带和喀斯特的充填情况。

3 同位素示踪资料可计算出地下水渗流速度和流向。

4 成果图件包括检测成果图、统计分析图、低强区或渗漏区分布图。

4.12.4 固结灌浆检测在薄弱部位的准确率应大于 90%。

## 4.13 混凝土质量检测

4.13.1 检测混凝土强度、缺陷和混凝土内钢筋分布情况可选用声波法、超声回弹综合法、声波 CT、钻孔电视和探地雷达等。

4.13.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 宜通过测试混凝土声波速度和回弹值确定混凝土强度。

1)用声波法检测混凝土抗压强度，宜建立声波速度与混凝土抗压强度的相关关系；

2)检测具有成对临空面的混凝土体宜选用穿透声波、声波 CT、超声回弹综合法；

3) 大体积混凝土宜采用表面声波，当条件允许时，也可选用单孔声波、穿透声波、声波 CT 或超声回弹综合法；

4）采用超声回弹综合法检测混凝土强度应符合规程 JGJ/T23 的要求。

2 混凝土缺陷检测宜包括空洞、裂缝延伸深度、密实区等。

1) 检测混凝土裂缝延伸深度宜采用表面声波法，也可采用穿透声波法。当混凝土中无钢筋时，也可采用探地雷达。有钻孔时可采用钻孔电视观察；

2) 探测混凝土内部缺陷宜采用声波 CT、声波反射法、探地雷达法；

3）采用声波法检测混凝土缺陷应符合规程 CECS 21 的要求。

3 检测混凝土内钢筋分布宜采用探地雷达法。

**4.13.3** 资料处理和解释应符合下列要求：

1 混凝土强度检测：

1）应采用非线性拟合法确定混凝土强度与声波速度相关关系；

2）可用水泥砂浆波速与混凝土强度关系推算骨料相同但配合比不同的混凝土强度。

2 混凝土缺陷检测：

1）表面声波法应对比分析跨缝与不跨缝测试的波速、振幅和主频等资料计算裂缝深度，穿透声波法应根据波速、首波振幅、主频等的变化特征确定裂缝深度；

2）穿透声波和声波 CT 资料应综合分析速度分布、首波振幅和主频的变化情况判断内部缺陷的性质、位置和规模；

3）声波反射和探地雷达应通过分析反射波的频率、相位和连续性确定缺陷的性质、位置和规模，探地雷达应注意区分混凝土内部钢筋分布和缺陷异常。

3 混凝土内钢筋检测：

1）应从雷达图像中确定钢筋的位置和埋深；

2）采用雷达进行配筋结构检测时，可进行三维处理。

4 成果图件包括强度分布图、缺陷分布图、裂缝分布图等。

**4.13.4** 检测精度应符合下列要求：

1 裂缝、缺陷的深度和范围检测的相对误差应小于 10%。

2 探地雷达检测混凝土内单层钢筋位置的绝对误差应小于 2cm。

## 4.14 洞室混凝土衬砌质量检测

**4.14.1** 检测混凝土与围岩接触面的脱空情况，检测混凝土衬砌厚度、强度和缺陷等可选用探地雷达法、声波法、声波 CT 和超声回弹综合法等。

**4.14.2** 检测方法技术应符合下列要求：

1 测线应主要布置在顶拱、起拱处和两侧腰，线距宜为 1m～5m，点距宜为 0.1m～0.2m。

2 当洞室衬砌为无钢筋或较稀疏的单层钢筋混凝土时，检测衬砌厚度、脱空、内部缺陷等情况可选用探地雷达。

3 当洞室衬砌为较密的单层或多层的钢筋混凝土时，检测衬砌厚度、脱空、内部缺陷等可选用声波反射法、脉冲回波法，重要的异常部位宜选用孔间声波 CT 和穿透声波法复测。

4 检测衬砌混凝土强度可选用声波法和超声回弹综合法，超声回弹综合法检测混凝土强度应符合规程 JGJ/T23 的规定，声波法检测混凝土强度应符合本规程 4.13 的有关要求。

5 测试过程中，发现异常，应重复检查或加密测点。

**4.14.3** 资料处理和解释应符合下列要求：

1 检测资料应结合设计、施工及试验资料进行解释。

2 探地雷达资料应分析反射波的能量、频率以确定质量缺陷及脱空状况，应分析反射波同相轴并利用速度参数确定衬砌厚度。

3 声波反射资料应分析波形的相位、频率、振幅变化和能量衰减情况，以确定衬砌厚度、内部缺陷和脱空状况。

4 脉冲回波资料应进行频谱分析，依据回波频率和共振频率计算分析衬砌厚度和内部缺陷情况。

5 成果图件包括衬砌混凝土强度，衬砌混凝土厚度、缺陷的异常形态和范围的分布。

**4.14.4** 检测精度应符合下列要求：

1 当条件有利时，检测洞室混凝土缺陷(尺寸深度比：1/10)的准确率应大于 85%。

2 确定混凝土厚度的相对误差应小于 10%。

## 4.15 洞室松弛圈检测

**4.15.1** 了解洞室围岩应力状况，查明洞壁岩体的松弛厚度，测试松动岩体及未松动岩体的力学参数等可选用声波法，也可辅以浅层折射波和瑞雷波等方法。

**4.15.2** 检测方法技术应符合下列要求：

1 应根据洞室地球物理条件和探测任务要求，选择一个或多个具有代表性的洞段作横剖面或纵剖面测试，不同岩性应至少布置一个剖面。

2 可采用单孔声波和穿透声波测试：

1） 横剖面测试的钻孔宜布置在同一剖面且沿洞径方向，每剖面宜布置 6 孔～8 孔，分布在洞顶、起拱处（或顶角）、腰墙，应根据洞室大小确定孔深，孔深宜为 3m～15m，以能够反映原岩应力为准；

2） 大跨度、高边墙的洞室可沿岩锚吊车梁底座等重要受力部位的底座布置纵剖面或横剖面的声波测试钻孔，顶拱和腰部钻孔应加密；

3） 穿透声波的孔距宜为 2m～3m，较深的钻孔应测斜。

3 当洞室较大，可沿洞室边墙、底板采用浅层折射波法和瑞雷波法测试。

4 地下洞室群间的岩墙可采用地震波 CT。

**4.15.3** 资料处理和解释应符合下列要求：

1 单孔声波和穿透声波资料应依据洞室围岩由洞室内表面沿洞径至围岩深处，因施工松弛、应力重新分布而造成岩体声波速度在洞室二维剖面内呈现规律性分布的特点，划分松驰圈和应力分布界线。

2 应依据洞室围岩波速与围岩深度曲线的关系划分应力下降区、应力上升区和原岩应力区。

3 成果图件主要有成果剖面图，还应有钻孔声波速度曲线图、瑞雷波频散曲线图等辅助图件。

**4.15.4** 测试松弛层厚度和应力突变位置的相对误差应小于 15%。

## 4.16 锚杆锚固质量检测

**4.16.1** 检测锚杆长度和砂浆饱和度可选用声波反射法。

**4.16.2** 检测方法技术应符合下列要求：

1 检测抽样率应大于锚杆总数的 10%，且每批应多于 10 根；当检测不合格的数量超过抽测总数的 30%时，应加倍抽测；加倍抽测后，若不合格的数量仍超过抽检总数的 30%，应全数检测。

2 抽检应选在工程的重要部位（如地下厂房顶拱、岩锚梁），地质条件较差部位（如断层破碎带、裂隙密集带、围岩松动体）和锚杆施工较困难的部位。

3 根据工程实际情况，宜在地质条件相同、施工工艺相近的测区制作一定量的试验锚杆进行试验检测，对比分析检测波形与各类缺陷的关系。

4 激发震源宜选用宽频带、短余振、重复性好的可控震源，接收传感器宜为体积细小的加速度型、灵敏度应大于 100mv/g，频带宜为 10Hz～2000Hz。

5 可选择端发端收、侧发侧收或端发侧收等检测方式。

6 现场检测的锚杆外露长度宜为 0.3m，杆头宜平整并凿去浮浆。有挂网或喷射混凝土层时，应将检测的锚杆与其分开，并应凿除焊接点。

7 每一锚杆应重复测试三次，三次信号应基本一致。

**4.16.3** 资料处理和解释应符合下列要求：

1 检测记录的波形应清晰。

2 应对比分析端发端收或侧发侧收的波形，避免将地层结构的反射信号与锚杆底端或不密实砂浆段的反射信号相混淆。

3 砂浆饱和度宜结合波形特征和频率特征进行判定。

4 锚杆自振频率应通过对同类型的锚杆相比较作出判别，频率越低、注浆越饱和、握裹力较大、锚固效果好。

5 锚杆锚固质量可根据工程地质条件、工程设计要求制定评价标准，凡锚杆长度和砂浆饱和度不符合设计要求的均属不合格，合格锚杆可再根据砂浆饱和度程度进一步评定质量等级。

6 成果图件包括锚杆检测抽样位置分布图、锚杆检测成果图表。其中，成果图表主要应包含检测原始波形、有关锚杆长度和砂浆饱和度的评价分析结论。

**4.16.4** 检测精度应符合下列要求：

1 当锚杆长度小于 10m 时，检测长度相对误差应小于 5%；当锚杆长度大于 10m 时，检测长度相对误差应小于 10%。

2 当存在单个砂浆缺陷时，检测砂浆饱和度精度应大于 90%；当存在多个砂浆缺陷时，检测砂浆饱和度精度应大于 80%。

## 4.17 防渗墙质量检测

**4.17.1** 检测防渗墙的深度、缺陷和均匀性可选用高密度电法、可控源音频大地电磁测深法、弹性波垂直反射法、弹性波 CT、同位素示踪、探地雷达和钻孔电视观察等。

**4.17.2** 检测方法技术应符合下列要求：

1 地面物探测线应沿墙中轴线布置，测点密度应根据防渗墙类型、墙体

宽度和设计要求综合考虑。

2 当检测墙体深度较浅时，宜选用高密度电法、弹性波垂直反射法；当检测墙体深度较深时，宜选用可控源音频大地电磁测深法；检测浸润面以上的墙体宜选用探地雷达。

3 有钻孔时，进一步检测墙体缺陷宜选用弹性波 CT、钻孔电视、同位素示踪法，钻孔应布置在地面物探方法发现异常的部位。

4.17.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 应根据探测剖面内防渗墙的物性参数分布特征确定墙体深度、均匀情况，出现下列几种情形之一应解释为墙体缺陷，并依据异常位置和范围确定缺陷位置和规模。

1） 地下水位面以上的物性剖面局部呈现高阻、低声速、低吸收系数；

2） 地下水位面以下的物性剖面局部呈现低阻、低声速、高吸收系数；

3） 反射类物探剖面中局部呈现早于墙底的反射信号或反射图像不连续。

2 成果图件包括物性剖面图和综合成果解释图。

4.17.4 当有钻孔可利用时，检测防渗墙深度相对误差应小于 20%。

## 4.18 堆石（土）体密度和地基承载力检测

4.18.1 检测堆石（土）体的密度可选用附加质量法、瑞雷波法、核子密度法，也可采用附加质量法测试地基承载力。

4.18.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 一个测区测试前应分别对不同类型的堆石料进行密度坑测试验、附加质量测试或瑞雷波测试等密度率定试验，试验应在同一点上，先进行附加质量法测试或瑞雷波测试、后进行密度坑测试验，同一类型的测区试验应多于五组。

2 当堆石（土）体分层碾压施工、粒径较大（0.2m 以上）、堆石（土）体成分相对均一时，可选用附加质量法和瑞雷波法。

3 当堆积体粒径较小或堆积物为土体时，可采用核子密度法测试。

4 附加质量法应选择频带宽、灵敏度高、阻尼适中的检测仪器。

5 附加质量法测试应选择适宜的观测系统，测试时附加质量 $m_i$ 应多于四级，每级自振频率 $f_i$ 的变化宜大于 1Hz；

6 瑞雷波法应建立瑞雷波速度与密度的相关系数，宜使用频率适中的检波器及震源，并保证能有效反映出顶层内部碾压质量。检测时采用的激发条件应一致，在一个测点宜进行三次以上观测，且所测记录得出的 $V_R$ 误差应小于 5%。

7 核子密度法检测应符合规程 SL275 的规定。

4.18.3 资料处理和解释应符合下列要求：

1 附加质量法要求：

1） 应依据采集的时域信号求取每一级附加质量△$m$ 所对应的共振频率 $f$ 和对应的 $D$，并作 $D$～△$m$ 曲线和计算介质的刚度 $K$ 及参振质量 $m_0$；

2） 应绘制时距曲线，计算纵波和横波速度，再根据 $\lambda_p = v_p / f_0$（$f_0$ 为△$m$=0 时的共振频率）计算波长 $\lambda_p$；

3） 应根据已建立的刚度 $k$ 计算地基承载力；

4） 测点密度计算可使用直接求解法、$k$～$\rho$ 相关法和衰减系数法。

2 瑞雷波法应先计算瑞雷波层速度，再根据试验标定系数计算密度。

3 核子密度法应计算出堆积碾压层的干密度。

4 成果图件应将测试的密度值或地基承载力按位置绘制成点位图、曲线或列表。

4.18.4 检测精度要求在检测堆石（土）体相对均匀条件下密度测试的相对误差应小于 5%。

## 4.19 钢衬与混凝土接触状况检测

4.19.1 检测钢衬与混凝土脱空情况可选用脉冲回波法和核子密度法。

4.19.2 检测方法技术应符合下列要求：

1 测线应布置在钢管的顶、腰及底部，顶部测线宜布置 3 条～5 条，测点间距宜为 0.2m～0.5m。

2 测点处的钢衬表面应光滑，传感器与钢衬应耦合良好，宜采用高频激振，并保持激振能量稳定。

3 应选择频带宽、灵敏度高、频谱分析功能强的检测仪器。

4 每一测点应测试三次，波形应基本相同。

5 核子密度法检测应符合规程 SL275 的规定。

4.19.3　资料处理和解释应符合下列要求：

1　脉冲回波法应对比分析实测波形、回波主频值，确定是否脱空，并根据回波频率值确定脱空位置。

2　核子密度法应依据测试的综合密度值、含水率、钢板密度、混凝土密度计算和判定脱空情况和范围。

3　应绘制脱空范围图和脱空位置列表。

4.19.4　检测钢衬与混凝土的脱空有效性应大于95%。

## 4.20　堆石坝面板质量检测

4.20.1 检测面板脱空、面板内部缺陷、面板强度可选用声波法、红外热成像、超声回弹综合法和探地雷达法等。

4.20.2 检测方法技术应符合下列要求：

1　宜布置网格状测线，线距宜为1m～5m，点距宜为0.2m～0.5m。在检测过程中，当发现有脱空或缺陷时，应加密测线和测点。

2　宜布置一定数量的钻孔来验证检测的异常点，可在验证孔中进行声波测试，以验证其它检测方法的强度值。

3　当面板内没有钢筋或只有单层的稀疏钢筋时，检测面板的脱空和内部缺陷可选择探地雷达。

4　当面板为较密的单层或多层钢筋混凝土时检测面板脱空和内部缺陷可选择声波反射法或脉冲回波法，检测面板表面裂缝延伸情况可采用表面声波法或穿透声波法。

5　检测面板内部缺陷也可采用声波法，并应符合规程CECS 21的要求。

6　检测面板强度可选用超声回弹综合法，并应符合规程JGJ/T 23的要求。

4.20.3　资料处理和解释应符合下列要求：

1　应结合面板的设计、施工资料综合分析，对探测的异常进行定性和定量解释。

2　当面板中敷设有钢筋时，在雷达图像中应区别混凝土内部缺陷、钢筋和脱空等异常。

3　声波反射法应综合分析和识别反射信号的相位、频率、振幅和衰减等特征，确定脱空与缺陷位置。

4　红外热成像的温度异常应结合其它方法的探测资料进行。

5　应绘制面板缺陷分布图和强度分布图。

4.20.4　确定面板脱空位置和内部缺陷位置的准确率应大于80％。

## 4.21　水文地质参数测试

4.21.1　测试地下水流速、流向和渗流速度，配合水文地质试验测试含水层涌水量、渗透系数等可选用充电法、自然电场法、综合测井。

批注 [w3]: 建议加入中子检测法

4.21.2　测试方法技术应符合下列要求：

1　在地面测试地下水流向时宜采用自然电场法，测试时应在测区内比较平缓的区域布置若干测点，以测点为中心作自然电场的环形观测，测量不同方位的过滤电场。

2　在单个钻孔和水井内测试地下水流速、流向可采用充电法，当有多个钻孔时可用同位素示踪法。

3　在钻孔中测试地下水流速、流向、渗流速度可采用井液电阻率测井，并用在井中投放盐的自然扩散法或同位素示踪法测量。当钻孔穿过了具有不同压力的几个含水层时测试含水层之间的水力联系和涌水量可用井中流量计或扩散法。

4　测试涌水量和渗透系数应在钻孔进行抽水或压水试验时，利用井中流量计或井液电阻率法测量孔内不同深度点的轴向流量，从而计算出各含水层的涌水量(或渗漏段的透水率)和渗透系数。

5　井液电阻率测井时宜在电缆下放时作正式测量记录。井中流体测量时，井壁应冲洗干净。

4.21.3　资料处理和解释应符合下列要求：

1　可依据自然电场法环型观测资料的电位差最大电位方向，推测为该测点的地下水的流向。

2　可依据充电法观测资料的等位圈移动速度的最大方向推测地下水的流向，当测量等位圈的固定电极布置在地下水上游方向时，可按本规程附录C.6.6分式计算地下水的流速。

3　应依据井中流量计或井液电阻率法测得的轴向流量资料计算含水层涌水量和渗透系数。

4　图件除应符本规程3.1.9的要求外，还应包括标有地下水流速、流向的平面图，综合测井曲线解释成果图及测定地下水流速、流向、涌水量和渗流

速度和渗透系数的计算成果表。

4.21.4 测试精度应符合下列要求：

1 测试地下水流方向的绝对误差应小于 $10^0$。

2 测试地下水流速的相对误差应小于 20%，

3 测试涌水量的相对误差应小于 20%。

## 4.22 岩土物理和力学参数测试

4.22.1 测试岩土电阻率、密度、孔隙度、纵波速度、横波速度，以及通过纵、横波速度和密度值间接求取的泊松比、动弹性模量、动剪切模量、单位弹性抗力系数、岩体完整性系数、各向异性系数、风化系数等可选用电测深法、声波法、地震波法和综合测井。

4.22.2 测试方法技术应符合下列要求：

1 电阻率测试的要求：

1） 测试岩土电阻率可选用电测深法和电阻率测井，并应采取点面结合方式进行；

2） 测试基岩的电阻率可在露头或平洞内采用电测深法，并应采用小极距的对称四极装置；

3） 在钻孔中测试岩土电阻率可选用侧向测井或横向测井。

2 密度测试可采用密度测井。

3 孔隙度测试可采用声波测井、密度测井和电阻率测井，并可用三种方法计算孔隙度。

1） 依据声波测井的地层声波速度 $V$、地层水的声波速度 $V_{pw}$、岩石骨架的声波速度 $V_{pm}$，利用本规程附录 C.6.4 相关公式计算；

2） 依据密度测井的岩石骨架密度 $\rho_{ma}$、地层体密度 $\rho_b$、孔隙中水的密度 $\rho_w$，利用本规程附录 C.5.3 相关公式计算；

3） 依据电阻率测井的地层电阻率 $\rho_t$、孔隙中水电阻率 $\rho_w$ 及经验系数 $m$，$a$，利用本规程附录 C.6.5 相关公式计算。

4 纵波、横波速度测试可根据测试条件选用不同的测试方法：

1） 在地面测试覆盖层及基岩的波速可采用地震波法；

2） 在平洞、竖井及地下洞室中测试岩体波速可采用声波法或地震波法；

3） 在钻孔中可选用声波测井或地震波测井；

4） 测试两孔间岩土体纵波、横波速度可采用地震穿透波速测试。

4.22.3 测试参数的计算与资料解释应符合下列要求：

1 岩体纵波速度、风化系数和完整性系数，可作为划分岩体风化带和评价岩体完整性的标准之一，评定要求应符合标准 GB/T 50287 的规定。

2 依据已知的纵波、横波速度和密度等参数，可按本规程附录 C.6.3 相关公式计算泊松比 $\mu$、动弹性模量 $E_d$、动剪切模量 $G_d$、利用动弹性模量 $E_d$ 和折减系数 $\alpha$ 计算单位抗力系数 $K_o$。

3 对于具有片理、层理或似层状结构的岩体，可利用平行岩体结构面的纵波速度 $V_P'$ 与垂直于岩层结构面的方向的纵波速度 $V_P''$ 按本规程附录 C.6.3 相关公式计算出岩层的最大各向异性系数 $\eta$。

4 计算岩体完整性系数 $K_v$ 时应正确选取岩块（石）的标准纵波速度 $V_{pr}$，岩块的纵波速度可选取本测区新鲜完整的岩样（或岩芯）用声波仪测试。一个测区只有一种岩体时应采用一个 $V_{pr}$ 值，取一组岩样测试值的平均值作为 $V_{pr}$ 值。如果测区有二种以上岩性时可以采用不同的 $V_{pr}$ 值，应按不同岩性，分别选取各自的 $V_{pr}$ 值。

5 可根据岩体纵波速度 $V_p$ 和新鲜岩块纵波速度 $V_{pr}$ 及本规程附录 C.6.3 相关公式计算岩体风化系数 $K_w$ 和完整性系数 $K_V$。

4.22.4 测试精度应符合下列要求：

1 密度测井成果与室内试验成果的绝对误差，覆盖层应小于 0.10g/cm$^3$，基岩应小于 0.15g/cm$^3$。

2 孔隙度参数测试，使用声速测井、密度测井、电阻率测井等求得的孔隙度与室内试验成果的相对误差应小于 10%。

# 5 物探成果报告

## 5.1 成果报告的编写

5.1.1 采用单项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务应编写单项物探(或专题)成果报告，采用多项物探方法完成一个工区的一项或几项工作任务从事综合物探应编写综合物探成果报告。完成一个工程或工区的一个设计阶段的物探工作后，应编写阶段性综合物探成果报告。

5.1.2 单项（或专题）和综合物探成果报告应符合下列要求：

1 内容宜包括：概况，地形、地质简况及地球物理特征，工作方法与技术，资料解释与成果分析，结论与评价，问题与建议。

1)概况：工程概况，物探任务，工作时间，以往工作情况，工作量完成情况等；

2)地形、地质简况及地球物理特征：与物探工作有关的地形地貌和地质情况，物探地质条件（有利条件和不利因素）和物性特征；

3)工作方法与技术：方法原理简述、测线布置，现场工作方法与技术，仪器设备及工作参数；

4)资料解释与成果分析：原始资料的评价、资料处理与解释方法、成果分析及其地质解释；

5)结论与评价应包括：任务解决的程度，物探成果结论，成果解释精度，成果检验情况；

6)问题与建议：可以是本次物探工作尚存的问题以及需要补充开展的其它物探工作和验证工作的建议；也可以是本次探明的问题、及可行的设计和施工处理建议；

2 综合物探成果报告要突出综合物探方法在解决地质问题方面的应用及各种方法所获得资料的综合分析。

5.1.3 单项和综合检测物探成果报告的内容和形式与物探勘探成果报告相近，但应叙述抽样方式、工程设计及施工简况、工程合格情况评价、评价标准等。

5.1.4 阶段性综合物探成果报告应符合下列要求：

1 宜以该阶段的物探成果报告或以前个阶段的物探成果报告为基础编写。

2 内容应包括：概况，地形、地质简况、地球物理特征，物探方法综合探测成果，结论与评价，问题与建议。

1)概况：工程概况，地理位置，物探任务，工作起止时间，物探工作布置，综合利用各种物探技术的探测情况及完成的工作量（可列表示出）；

2)地形、地质简况及地球物理特征：与物探工作有关的地形地貌、地层构造及水文地质情况，地球物理特征；

3)物探方法综合成果包括：探测目的层(体)的地质—物探特点、探测内容、探测方法技术、各物探方法的综合分析和地质解释；

4)结论与评价：阐明应用综合物探方法所解决的工程地质问题的结论与效果，并作出成果质量与精度评价；

5)问题与建议可以是本次物探工作尚存的问题以及需要补充和需要开展的其他物探工作和验证工作的建议；也可以是本次探明的问题，以及可行的设计及施工处理建议；

5.1.5 物探成果报告的插图可包括：方法原理图、典型曲线图、对比分析图等；插表可包括工作量表、物性参数表、仪器技术因素、成果解释列表、测试数据列表、精度表等。

5.1.6 物探成果报告的附图和附表应符合第 4 章各方法的要求。

## 5.2 成果的审查

5.2.1 物探成果应经校核和审查后才能向用户提交。

5.2.2 呈送校核和审查的成果应包括：

1 报告、附图和附表。

2 中间性解释和推算资料（如速度参数、各种校正资料及解释资料等）。

3 班报、仪器检验记录、任务书、相关方有关该工程项目的技术要求的文件。

4 地质、设计或施工部门有关该工程项目的技术要求的文件。

**5.2.3** 提交审查的成果报告，应是内容完整、图表齐全，内容的形式符合本规程的相应要求。如有下列情况，成果资料不予审查：

1 未按要求绘制的图件。

2 未经有关人员校核签字的图件和图表。

3 资料和图表混乱，未经认真整理装订。

**5.2.4** 成果报告有下列情况之一者，审查不予通过。

1 综合分析不够充分，对主要问题没有提出明确的结论和建议者。

2 概念不清，推理错误，结论不正确者。

3 文字报告章节不清，文理不顺，前后矛盾，图件中有严重错误者。

# 附录 A　物探应用一览表

**表 A.1　工程物探探测应用一览表**

| 物探方法 \ 应用项目 | | 覆盖层探测 | 隐伏构造破碎带探测 | 喀斯特探测 | 岩体风化带厚度和卸荷带深度探测 | 软弱夹层探测 | 滑坡体探测 | 堤坝隐患探测 | 隧洞施工超前预报 | 地下水探测 | 水下覆盖层厚度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 电法勘探 | 电测深法 | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | △ |
| | 电剖面法 | △ | ○ | ○ | ○ | | △ | ○ | | | |
| | 高密度电法 | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | | △ | |
| | 自然电场法 | | ○ | | | | | ○ | | ○ | |
| | 充电法 | | ○ | | | | | | | ○ | |
| | 激发极化法 | | ○ | △ | | | ○ | | | ○ | |
| | 音频大地电磁法 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | |
| | 瞬变电磁法 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | |
| 探地雷达 | 探地雷达 | ○ | △ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | |
| 地震勘探 | 浅层折射波法 | ○ | ○ | △ | ○ | | ○ | | | △ | ○ |
| | 浅层反射波法 | ○ | ○ | ○ | △ | | ○ | | ○ | △ | ○ |
| | 瑞雷波法 | △ | | △ | | | ○ | | | | |
| 弹性波测试 | 声波法 | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | | | |
| | 地震法 | ○ | | | ○ | | | ○ | | | |
| 层析成像 | 地震波 CT | | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| | 声波 CT | | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| | 电磁波 CT | | | ○ | △ | | | | | | |
| 水声勘探 | 水声勘探 | ○ | | | | | | | | | ○ |
| 放射性测量 | γ 测量 | | ○ | | | | | | | △ | |
| | α 射线测量 | | △ | | | | | | | △ | |
| | 同位素示踪 | | | | | | | ○ | | ○ | |
| 综合测井 | 电测井 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | | ○ | |
| | 电磁波或雷达测井 | ○ | ○ | ○ | △ | | △ | △ | | △ | |
| | 声波测井 | △ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | 放射性测井 | △ | ○ | | | ○ | | ○ | | ○ | |
| | 井径测井 | | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | | | | |
| | 井中流体测量 | | | △ | | | ○ | △ | | | |
| | 磁化率测井 | | △ | △ | | | | | | | |
| | 钻孔电视 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | | ○ | |
| | 超声成像测井 | | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | |
| | 井温测量 | | | △ | | | | | | ○ | |

注：○—主要方法；△—辅助方法

**表 A.2　　工程物探检测应用一览表**

| 物探方法 | 应用项目 | 环境放射性检测 | 建基岩体质量检测 | 灌浆效果检测 | 混凝土质量检测 | 洞室混凝土衬砌质量检测 | 洞室松弛圈检测 | 锚杆锚固质量检测 | 防渗墙质量检测 | 堆石(土)体密度和地基承载力检测 | 钢衬与混凝土接触状况检测 | 堆石坝面板质量检测 | 水文地质参数测试 | 岩土物理和力学参数测试 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 电法勘探 | 电测深法 | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | 电剖面法 | | | | | | | | | | | | | |
| | 高密度电法 | | | | | | | | ○ | | | | | |
| | 自然电场法 | | | | | | | | | | | | ○ | |
| | 充电法 | | | | | | | | | | | | ○ | |
| | 激发极化法 | | | | | | | | | | | | | |
| | 音频大地电磁法 | | | | | | | | ○ | | | | | |
| | 瞬变电磁法 | | | | | | | | | | | | | |
| 探地雷达 | 探地雷达 | | ○ | | ○ | ○ | | | △ | | | ○ | | |
| 地震勘探 | 浅层折射波法 | | ○ | | | | △ | | | | | | | ○ |
| | 浅层反射波法 | | | | | | | | ○ | | | | | ○ |
| | 瑞雷波法 | | | | | | △ | | | ○ | | | | |
| 弹性波测试 | 声波法 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | | ○ | ○ | | ○ |
| | 地震法 | | ○ | ○ | | | △ | | △ | | | | | ○ |
| 层析成像 | 地震波 CT | | △ | △ | △ | | | | ○ | | | | | |
| | 声波 CT | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | △ | | | | | |
| | 电磁波 CT | | △ | | | | | | | | | | | |
| 放射性测量 | γ 测量 | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | α 射线测量 | | | | | | | | | | | | | |
| | 氡浓度测量 | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | 同位素示踪 | | | ○ | | | | | ○ | | | | ○ | |
| 综合测井 | 电测井 | | | | | | | | | | | | ○ | ○ |
| | 声波测井 | | ○ | ○ | ○ | | ○ | | △ | | | ○ | | ○ |
| | 放射性测井 | ○ | | | | | | | | ○ | ○ | | △ | ○ |
| | 井径测井 | | | | | | | | | | | | | |
| | 钻孔电视 | | | ○ | ○ | | | | ○ | | | | | |
| | 超声成像 | | | ○ | ○ | | | | | | | | | |
| 附加质量法 | 附加质量法 | | | | | | | | | ○ | | | | |

注：○——主要方法；△——配合方法

# 附录 B　　物性参数表

**表 B-1　　常见介质电阻率**

| 类别 | 名　称 | 电阻率 $\rho$（Ω·m） | 名　称 | 电阻率 $\rho$（Ω·m） |
|---|---|---|---|---|
| 松散层 | 粘土<br>含水粘土<br>亚粘土<br>砾石加粘土 | $1\sim2\times10^{2}$<br>$2\times10^{-1}\sim1\times10$<br>$1\times10^{1}\sim1\times10^{2}$<br>$2.2\times10^{2}\sim7\times10^{3}$ | 亚粘土含砾石<br>卵石<br>含水卵石<br>— | $8\times10^{1}\sim2.4\times10^{2}$<br>$3\times10^{2}\sim6\times10^{3}$<br>$1\times10^{2}\sim8\times10^{2}$<br>— |
| 沉积岩 | 泥质页岩<br>砂岩<br>泥岩<br>砾岩<br>石灰岩 | $6\times10^{1}\sim1\times10^{3}$<br>$1\times10^{1}\sim1\times10^{3}$<br>$1\times10^{1}\sim1\times10^{2}$<br>$1\times10^{1}\sim1\times10^{4}$<br>$6\times10^{2}\sim6\times10^{3}$ | 泥灰岩<br>白云岩<br>破碎含水白云岩<br>硬石膏<br>岩盐 | $1\times10\sim1\times10^{2}$<br>$5\times10^{1}\sim6\times10^{3}$<br>$1.7\times10^{2}\sim6\times10^{3}$<br>$1\times10^{4}\sim1\times10^{6}$<br>$1\times10^{4}\sim1\times10^{6}$ |
| 变质岩 | 片麻岩<br>大理岩<br>石英岩 | $6\times10^{2}\sim1\times10^{4}$<br>$1\times10^{2}\sim1\times10^{5}$<br>$2\times10^{2}\sim1\times10^{5}$ | 片岩<br>板岩<br>— | $2\times10^{2}\sim5\times10^{4}$<br>$1\times10^{1}\sim1\times10^{2}$<br>— |
| 岩浆岩 | 花岗岩<br>正长岩<br>闪长岩 | $6\times10^{2}\sim1\times10^{5}$<br>$1\times10^{2}\sim1\times10^{5}$<br>$1\times10^{2}\sim1\times10^{5}$ | 辉绿岩<br>辉长岩<br>玄武岩 | $1\times10^{2}\sim1\times10^{5}$<br>$1\times10^{2}\sim1\times10^{5}$<br>$5\times10^{1}\sim1\times10^{5}$ |
| 其它 | 地下水<br>河水<br>冰 | $<1\times10^{2}$<br>$1\times10^{-1}\sim1\times10^{2}$<br>$1\times10^{4}\sim1\times10^{8}$ | 岩溶水<br>海水<br>— | $1.5\times10^{1}\sim3\times10^{1}$<br>$1\times10^{-1}\sim1\times10^{1}$<br>— |

**表 B-2　常见介质的密度及速度**

| 类别 | 名　称 | 密度 $\rho$（g/cm$^3$） | 纵波速度 $V_p$（km/s） | 横波速度 $V_s$（km/s） |
|---|---|---|---|---|
| 松散层 | 粘土 | 1.60～2.04 | 1.2～2.5 | 0.7～1.4 |
| | 湿砂 | — | 0.6～0.8 | — |
| | 砂质粘土 | — | 0.3～0.9 | 0.2～0.5 |
| | 干砂、砾石 | — | 0.2～0.8 | 0.1～0.5 |
| | 饱水砂砾石 | — | 1.5～2.5 | — |
| 沉积岩 | 砾岩 | 1.90～2.90 | 1.5～4.2 | 0.9～2.5 |
| | 泥质灰岩 | 2.25～2.65 | 2.0～4.0 | 1.2～2.3 |
| | 硅质石灰岩 | 2.80～2.90 | 4.4～4.8 | 2.6～3.0 |
| | 致密石灰岩 | 2.60～2.77 | 2.5～6.1 | 1.4～3.5 |
| | 页岩 | 2.30～2.70 | 1.3～4.0 | 0.8～2.3 |
| | 砂岩 | 2.42～2.77 | 1.5～5.5 | 0.9～3.2 |
| | 致密白云岩 | 2.80～3.00 | 2.5～6.0 | 1.5～3.6 |
| | 石膏 | 2.41～2.58 | 2.1～4.5 | 1.3～2.8 |
| 变质岩 | 片麻岩 | 2.50～3.30 | 6.0～6.7 | 3.5～4.0 |
| | 大理岩 | 2.68～2.72 | 5.8～7.3 | 3.5～4.7 |
| | 石英岩 | 2.56～2.90 | 3.0～5.6 | 2.8～3.2 |
| | 片岩 | 2.68～3.00 | 5.8～6.4 | 3.5～3.8 |
| | 板岩 | 2.55～2.66 | 3.6～4.5 | 2.1～2.8 |
| | 千枚岩 | 2.71～2.86 | 2.8～5.2 | 1.8～3.2 |
| 岩浆岩 | 花岗岩 | 2.30～2.96 | 4.5～6.5 | 2.4～3.8 |
| | 闪长岩 | 2.52～2.70 | 5.7～6.4 | 2.8～3.8 |
| | 玄武岩 | 2.53～3.30 | 4.5～7.5 | 3.0～4.5 |
| | 安山岩 | 2.30～3.10 | 4.2～5.6 | 2.5～3.3 |
| | 辉长岩 | 2.55～2.98 | 5.3～6.5 | 3.2～4.0 |
| | 辉绿岩 | 2.53～2.97 | 5.2～5.8 | 3.1～3.5 |
| | 橄榄岩 | 2.90～3.40 | 6.5～8.0 | 4.0～4.8 |
| | 凝灰岩 | 1.60～1.95 | 2.6～4.3 | 1.6～2.6 |
| 其它 | 水 | 1.00 | 1.4～1.6 | — |
| | 冰 | 0.80～0.90 | 3.1～3.6 | — |
| | 混凝土 | 2.40～2.70 | 2.0～4.5 | 1.2～2.7 |

删除的内容：

删除的内容：

删除的内容：

# 附录 C　基本公式及计算图表

## C.1　数据误差计算公式

**C.1.1**　绝对误差 $\Delta$：

$$\Delta=\left|d_{aj}-d'_{aj}\right| \tag{C.1.1}$$

**C.1.2**　平均绝对误差 $\overline{\Delta}$：

$$\overline{\Delta}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|\Delta| \tag{C.1.2}$$

**C.1.3**　相对误差 $\delta$：

$$\delta=\frac{\left|d_{aj}-d'_{aj}\right|}{(d_{aj}+d'_{aj})/2}\times 100\% \tag{C.1.3}$$

**C.1.4**　平均相对误差 $\overline{\delta}$：

$$\overline{\delta}=\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\delta_i\right)\times 100\% \tag{C.1.4}$$

**C.1.5**　均方相对误差 $m$：

$$m=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\delta_i^2}\times 100\% \tag{C.1.5}$$

**C.1.6**　总均方相对误差 $M$：

$$M=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}m_i^2}\times 100\% \tag{C.1.6}$$

**C.1.7**　极差系数 $K$：

$$K=2\frac{d_{aj}^{\max}-d_{aj}^{\min}}{d_{aj}^{\max}+d_{aj}^{\min}} \tag{C.1.7}$$

(C.1.1)～(C.1.7)式中：

$N$ —检查点、测深点、测线个数；

$d_{aj}$ —观测值，重复观测时指有效数据的算术平均值；

$d'_{aj}$ —系统检查观测值，重复观测时是指有效数据的算术平均值；

$d_{aj}^{\max}$ —参与计算的数据中的最大值；

$d_{aj}^{\min}$ —参与计算的数据中的最小值。

## C.2　电法勘探装置系数 $K$ 计算公式

**C.2.1**　对称四极装置：$K=\pi\dfrac{AM\times AN}{MN}$　(C.2.1)

**C.2.2**　三极装置：$K=2\pi\dfrac{AM\times AN}{MN}$　(C.2.2)

**C.2.3**　二极装置：$K=2\pi\times AM$　(C.2.3)

**C.2.4**　轴向偶极装置：$K=2\pi\dfrac{AM\times AN\times BM\times BN}{MN(AM\times AN-BM\times BN)}$　(C.2.4)

**C.2.5**　赤道偶极装置：$K=\pi\dfrac{AM\times AN}{AN-AM}$　(C.2.5)

**C.2.6**　中间梯度装置：$K=2\pi\dfrac{AM\times AN\times BM\times BN}{MN(AM\times AN+BM\times BN)}$　(C.2.6)

**C.2.7**　电测井梯度装置反电位装置

1)　单极供电(B 在地面)：$K=4\pi\dfrac{AM\times AN}{MN}$　(C.2.7-1)

2)　双极供电(N 在地面)：$K=4\pi\dfrac{AM\times BM}{AB}$　(C.2.7-2)

(C.2.1)～(C.2.7-2)式中：

$AM$、$AN$、$MN$、$BM$、$BN$、$AB$ —均为电极距长度，m。

## C.3　电磁波计算公式

**C.3.1**　电磁测深集肤深度 $\delta$：

在准静态条件下：

$$\delta=503\sqrt{\frac{\rho}{f}} \tag{C.3.1}$$

式中：$\rho$ —电阻率，Ω·m；

$f$—电磁波频率，Hz。

**C.3.2**　电磁波第一菲涅尔带宽度 $d_f$：

$$d_f=\sqrt{\frac{vh}{2f}} \tag{C.3.2}$$

式中：$v$ —电磁波平均波速，m/ns；

$h$ —目的体埋深，m；

$f$ —电磁波频率，Hz。

**C.3.3** 雷达记录时窗 $T$：

$$T = K\frac{2H}{V} \tag{C.3.3}$$

式中：$K$—折算系数，1.3～1.5；

$H$ —雷达最大探测深度，m；

$V$ —上覆地层的电磁波平均波速，m/ns。

**C.3.4** 电磁波偶极子远场场强 $E$：

$$E = \frac{E_0 e^{-\beta r}}{r\cos(\frac{\pi}{2}\cos\theta)} = \frac{E_0 e^{-\beta r}}{r\cos(\frac{\pi}{2}\times\frac{\sqrt{r^2-d^2}}{r})} \tag{C.3.4}$$

式中：$E_0$ —初始场强，V；

$\beta$ —吸收系数，dB/m；

$r$ —收发距，m；

$d$ —水平距，m；

$\theta$ —测线与偶极子夹角，rad。

**C.3.5** 电磁波在地层中传播的波长 $\lambda_e$ 的换算：

$$\lambda_e = \lambda_0 / \sqrt{\varepsilon} \tag{C.3.5}$$

式中： $\lambda_0$ —电磁波在空气中的波长，m；

$\varepsilon$ — 地层的介电常数。

## C.4 地震勘探计算公式

**C.4.1** 观测系统

**1** 检波点间距△$x$：

$$\Delta x \le \frac{VT}{2\sin(i+\varphi)} \tag{C.4.1-1}$$

式中：$V$—有效波速度，m/s；

$T$ —有效波视周期，s；

$i$—沿测线方向折射波临界角；

$\phi$—折射界面相对地面的倾角（下倾方向为正值，反之为负值），当检波点取等间距时，应以下倾方向的 $\Delta x$ 值为标准。

**2** 观测系统所隔排列数 $G$(该值取整数)：

$$G = \frac{X_C}{(n-1)\Delta x} \tag{C.4.1-2}$$

式中：$X_C$—临界距离，即非追踪段长度，m；

$n$—排列检波点数。

**C.4.2** 校正计算

**1** 直达波时距曲线经爆炸深度校正时间 $t_n$：

$$t_n = \sqrt{\Delta t_{pn}{}^2 - \Delta t_s^2} \tag{C.4.2-1}$$

式中：$\triangle t_{pn}$—从爆炸点 $O'$到各接收点直达波旅行时间，ms；

$\triangle t_s$—从爆炸点 $O'$到地面炮点 $O$ 的爆炸深度校正时间，ms。

其它参数见图 C.4.2。

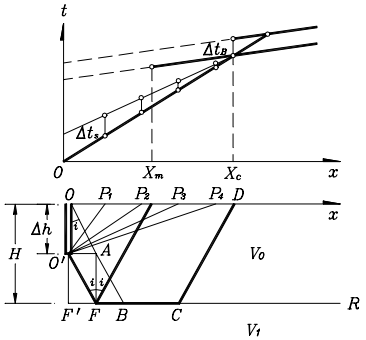



**图 C.4.2 爆炸深度校正示意图**

**2** 折射波时距曲线爆炸深度校正时间 $\Delta t_B$：

$$\Delta t_B = \frac{\Delta h\cos i}{V_0} \tag{C.4.2-2}$$

式中：$\Delta h$—爆炸点深度，m；

$V_0$—爆炸点以上介质波速，m/s，参数见图 C.4.2。

**3** 转换法低速带时间校正 $\Delta t_D$：

$$\Delta t_D = \left(\frac{\cos i}{V_0} - \frac{\cos i}{V_1}\right)(\Delta h_Z + \Delta h_B) \tag{C.4.2-3}$$

**4** 延迟时法低速带校正时间 $\Delta t_D$：

$$\Delta t_D = \frac{\cos i}{V_0}(\Delta h_Z + \Delta h_B) \tag{C.4.2-4}$$

(C.4.2-3)～(C.4.2-4)式中：

$\Delta t_D$—将低速带换成下伏相邻地层的校正时间，ms；

$V_0$—低速带波速，m/s；

$V_1$—低速带下伏相邻地层波速，m/s；

$\Delta h_Z$—检波点处低速带厚度，m；

$\Delta h_B$—爆炸点处低速带厚度，m；

$i$—低速带与下伏相邻地层折射波临界角。

5 地形校正 $\Delta t_C$：

$$\Delta t_C = \frac{\cos i}{V_0}(\Delta h_Z + \Delta h_B) \qquad \text{(C.4.2-5)}$$

式中：$\Delta h_Z$—检波点至校正线的垂向距离，m；

$\Delta h_B$—爆炸点至校正线的垂向距离，m；

$V_0$—表层介质波速，m/s；

$i$—表层介质与下伏相邻地层折射波临界角。

C.4.3 波速计算

1 平均速度

$$\overline{V} = \frac{h_1 + h_2 + \cdots + h_n}{\frac{h_1}{V_1} + \frac{h_2}{V_2} + \cdots + \frac{h_n}{V_n}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad \text{(C.4.3-1)}$$

式中：$h_i$—各地层厚度，m；

$t_i$—弹性波垂直穿透各地层的旅行时，ms。

$V_i$ —各地层平均波速，m/s；

2 由折射时距曲线用交点法求有效速度：

$$V_{en} = \frac{X_{cn}}{t_{cn}} \qquad \text{(C.4.3-2)}$$

式中： $V_{en}$—第 n 层折射界面以上的地层有效速度，m/s；

$X_{cn}$—第 n 层折射波的临界距离，m；

$t_{cn}$—第 n 层临界点相应的旅行时，ms。

3 由反射时距曲线平方坐标法求有效速度：

1) 由单边反射时距曲线按 $t^2$-$x^2$ 坐标法求有效速度，适用于界面倾角小于 15° 的情况。

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta T}} \qquad \text{(C.4.3-3)}$$

式中： $X = x^2$； $T = t^2$，参数见 C.4.3－1。

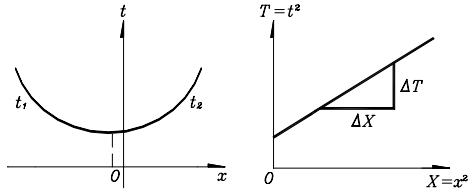



**图 C.4.3－1 平方坐标法求反射波有效速度**

2) 由双边反射时距曲线按 $t^2$-$x^2$ 坐标法求有效速度，适用于倾斜界面的情况。

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta T}} \qquad \text{(C.4.3-4)}$$

式中： $X = x^2$； $T = t^2 = \frac{t_1^2 + t_2^2}{2}$；

$t_1$、$t_2$—分别为激发点两侧炮检距相等的检波点反射波时间，ms。

3) 反射波相遇时距曲线按 u-x 坐标法求有效速度，适用于界面倾角小于 7° 情况。

$$V_{ef} = \sqrt{2L\frac{\Delta x}{\Delta u}} \qquad \text{(C.4.3-5)}$$

式中： $u = t_1^2 - t_2^2$，参数见 C.4.3－2

$L$—震源至反射波最远端检波点的距离，m。

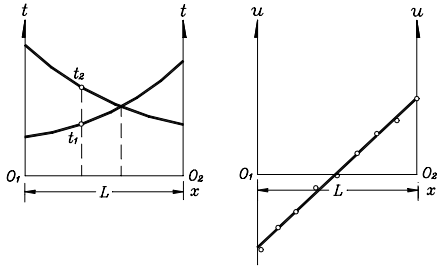



**图 C.4.3－2 差异时距曲线法求反射波有效速度**

C.4.4　地震界面计算：

1　单支时距曲线截距时间法计算各折射层厚度：

$$h_1 = \frac{t_{01}}{2}\frac{V_1V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

⋮

$$h_n = \frac{t_{0n}}{2}\frac{V_nV_{n+1}}{\sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{V_n\sqrt{V_{n+1}^2 - V_k^2}}{V_k\sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}} \qquad \text{(C.4.4-1)}$$

式中：$V_1$、$V_2$、$V_3$……$V_n$—为各层介质波速，m/s；

$t_{01}$、$t_{02}$、$t_{03}$……$t_{0n}$—为各层折射波截距时间，ms，参数见 C.4.4—1。

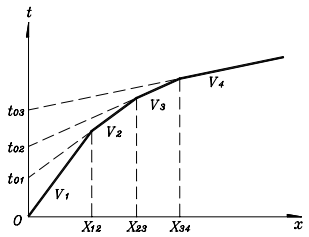



**图 C.4.4—1 截距时间法和临界距离法求解折射界面**

2　单支时距曲线的临界距离法计算各折射层厚度：

$$h_1 = \frac{X_{12}}{2}\sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

⋮

$$h_n = \frac{X_{n(n+1)}}{2}\sqrt{\frac{V_{n+1} - V_n}{V_{n+1} + V_n}} - \sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{V_n\sqrt{V_{n+1}^2 - V_k^2} - V_{n+1}\sqrt{V_n^2 - V_k^2}}{V_k\sqrt{V_{n+1}^2 - V_n^2}} \qquad \text{(C.4.4-2)}$$

式中：$V_1$、$V_2$、$V_3$……$V_{n+1}$—为各层介质波速，m/s；

$X_{12}$、$X_{23}$、$X_{34}$……$X_{n(n+1)}$—为各层折射波临界距离，m。

参数见 C.4.4—1。

3　$t_0$法求解相遇时距曲线折射界面深度：

$$t_0(x) = t_A(x) - [T_{AB} - t_B(x)] \qquad \text{(C.4.4-3)}$$

$$\theta(x) = t_A(x) + [T_{AB} - t_B(x)] \qquad \text{(C.4.4-4)}$$

$$V_2 = \frac{2\Delta x}{\Delta\theta(x)}\cos\phi \approx \frac{2\Delta x}{\Delta\theta(x)} \quad (\phi\text{小于 }15^0\text{时}) \qquad \text{(C.4.4-5)}$$

$$h(x) = \frac{V_1 t_0(x)}{2\cos i} \qquad \text{(C.4.4-6)}$$

4　延迟时法求解相遇时距曲线折射界面深度：

$$D(x) = \frac{t_A(x) + t_B(x)}{2} - \frac{T_{AB}}{2} \qquad \text{(C.4.4-7)}$$

$$T'(x) = t_A(x) - D(x) \qquad \text{(C.4.4-8)}$$

$$V_2 = \frac{\Delta x}{\Delta T'(x)} \qquad \text{(C.4.4-9)}$$

$$h(x) = \frac{V_1 D(x)}{\cos i} \qquad \text{(C.4.4-10)}$$

（C.4.4-3）～（C.4.4-10）式中：

$t_A$(x)—激发点 A 正向时距曲线观测时间，ms；

$t_B$(x)—激发点 B 正向时距曲线观测时间，ms；

$T_{AB}$ —相遇时距曲线互换时间，ms；

$V_1$—折射界面上伏介质平均波速或有效速度，m/s；

$V_2$—折射界面滑行波速，m/s；

$i$—折射波临界角；

$h$(x)—折射界面深度，m；

$\phi$—折射界面与地面夹角。

5　共轭点法求解相遇时距曲线折射界面：

参数见 C.4.4－2，共轭点法解释步骤如下：

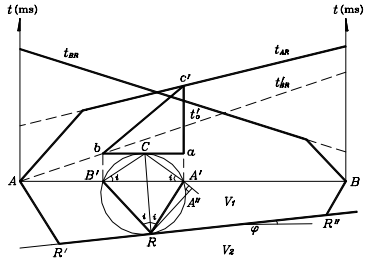



**图 C.4.4—2 共轭点法求解折射界面示意图**

1) 在相遇时距曲线上作 $t_{BR}$ 镜像时距曲线 $t'_{BR}$ ，使时距曲线 $t'_{BR}=T_{AB}-t_{BR}$；

2) 利用交点法求有效速度 $V_1$，作($t_{AR}$+$t'_{BR}$)/2 曲线，即时距曲线 $t_{AR}$ 与镜像时距曲线 $t'_{BR}$ 中点连线斜率的倒数为界面速度 $V_2$；

3) 在 $t'_{BR}$ 曲线上取一点 $b$，并以斜率为 $\frac{1}{V_1 \sin i}$ 作一条射线与 $t_{AR}$ 曲线相交于 $c'$点，则 $b$ 和 $c'$点的横坐标即为一对共轭点 $B'$和 $A'$，设 $A'B'=d$ 及 $t_{AR}(c')-t'_{BR}(b)=t_0'$；

4) 分别通过 $A'$和 $B'$，作与横坐标成 $i$ 角的射线，交于 $C$ 点；

5) 以 $C$ 为园心，$CR=\frac{V_1 t'_0}{2\cos i}$ 为半径画弧，与折射界面相切；

6) 在镜像曲线 $t'_{BR}$ 上每隔适当距离重复上述作法，即可连续绘制界面。

6 时间场法求解相遇时距曲线折射界面

折射界面 $R$ 上任意点对应于两支相遇折射波等时面的时间之和等于互换时间 $T$。以实际观测的时间值及上伏地层的平均或有效速度 $V_1$ 作两支相遇折射波的时间场，其中符合关系式 $t_A+t_B=T$ 的点的连线，即为所追踪的界面。界面速度为

$$V_2=\frac{\Delta\zeta}{\Delta t} \qquad (C.4.4\text{-}11)$$

式中：$\Delta\zeta$ —两个等时面之间的界面距离，m；

$\Delta t$—两个等时面之间的时间差，ms。

7 综合时距曲线分层法求解折射界面深度：

$$h_1=\frac{V_1 t_{01}}{2\cos i_{12}}$$

$$\vdots$$

$$h_n=\frac{V_n t_{0n}}{2\cos i_{n(n+1)}}-\sum_{k=1}^{n-1} h_k \frac{\cos i_{k(n+1)}}{\sin i_{kn}\cdot\cos i_{n(n+1)}} \qquad (C.4.4\text{-}12)$$

式中：$i_{kn}=\sin^{-1}\frac{V_k}{V_n}$；

$V_1$、$V_2$、$V_3$……$V_n$—为各层介质波速，m/s；

$t_{01}$、$t_{02}$、$t_{03}$……$t_{0n}$—各层折射波 $t_0$ 时间，ms。

8 展开排列求解反射界面深度

$$H=\frac{\sqrt{(vt)^2-X^2}}{2} \qquad (C.4.4\text{-}13)$$

9 共偏移剖面求解反射界面深度

1) 圆法

$$H=\frac{\sqrt{(vt)^2-L^2}}{2} \qquad (C.4.4\text{-}14)$$

(C.4.4-13)～(C.4.4-14)式中：

$v$—平均波度或有效速度，m/s；

$t$—反射波旅行时，ms；

$X$—炮检距，m；式

$L$—偏移距，m。

2) 椭圆法

反射界面由椭圆方程决定的下半椭圆轨迹的参数方程为：

$$\frac{X'^2}{a^2}+\frac{Y'^2}{b^2}=1 \qquad (C.4.4\text{-}15)$$

$$X'=X-\frac{L}{2}=X-C \quad , \quad Y'=Y=b\sqrt{1-\left(\frac{X-C}{a}\right)^2}$$

式中：$a=\frac{1}{2}vt$ ，$b=h=\frac{\sqrt{(vt)^2-L^2}}{2}$ ，$c=\frac{L}{2}$

可设 $X$ 从 $O$～$L$ 的步长为检波点间距△$x$，计算下半椭圆轨迹，并以包络线构制反射界面，参数见 C.4.4－3。

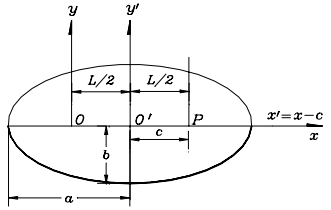



**图 C.4.4－3 椭圆法求解反射界面示意图**

10 共深度点叠加时间剖面求解反射界面深度：

$$H=\frac{vt}{2} \qquad (C.4.4\text{-}16)$$

式中：$v$—平均速度或叠加速度，m/s；

$t$—校正后的反射波旅行时，ms；

以共中心点为圆心、$H$ 为半径划弧，包络线即为反射界面。

C.4.5 瑞雷波计算：

1 落重震动主频 $f_0$：

$$f_0=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{4G_d r_0}{M(1-\mu)}} \qquad (C.4.5\text{-}1)$$

式中：$G_d$ —剪切模量，Pa；

$r_0$ —底面积，$m^2$；

$M$ —重量，N；

$\mu$—泊松比。

2 稳态法频点步长△$f$的估算：

$$\Delta f = (2f^2 / V_R) \times \Delta H \qquad \text{(C.4.5-2)}$$

式中：$f$ —测试频率，Hz；

$V_R$ —瑞雷波速，m/s；

△$H$—深度增加值，m。

3 时间差法计算瑞雷波速度 $V_R$：

$$V_R = \Delta x / \Delta t \qquad \text{(C.4.5-3)}$$

式中：△$x$—检测间距，m；

△$t$—时间差，s。

4 相位差法计算瑞雷波速度 $V_R$：

$$V_R = 2\pi f \Delta x / \Delta \phi \qquad \text{(C.4.5-4)}$$

式中：△$x$—检测间距，m；

△ $\phi$ —相位差，rad。

5 互相关法计算相关度 $r(k)$：

$$r(k) = \frac{1}{N}\sum_{l=0}^{N-1} e(l)g(l+k)(k = 0,1,\cdots,N-1) \qquad \text{(C.4.5-5)}$$

式中：$e$(l)、$g$(l) —具有一定相似性的相关函数。

6 横波速度 $V_S$ 与瑞雷波速度 $V_R$ 经验公式：

$$V_R = \frac{0.87+1.12\mu}{1+\mu} \times V_S \qquad \text{(C.4.5-6)}$$

7 瑞雷波层速度：

1）当地层的平均速度随深度增加而增大时，n-1 至 n 层的 $V_{Rn}$：

$$V_{Rn} = \frac{H_n \overline{V}_{Rn} - H_{n-1}\overline{V}_{Rn-1}}{H_n - H_{n-1}} \qquad \text{(C.4.5-7)}$$

2）当地层平均速度随深度增加而减小时，n-1 至 n 层的 $V_{Rn}$：

$$V_{Rn} = \frac{H_n - H_{n-1}}{H_n / \overline{V}_{Rn} - H_{n-1} / \overline{V}_{Rn-1}} \qquad \text{(C.4.5-8)}$$

3）当不考虑地层平均速度随深度变化趋势时，n-1 至 n 层的 $V_{Rn}$：

$$V_{Rn} = \frac{\overline{V}_{Rn}^2 H_n - \overline{V}_{Rn-1}^2 H_{n-1}}{H_n - H_{n-1}} \qquad \text{(C.4.5-9)}$$

(C.4.5-7) ～(C.4.5-9)式中：

$V_s$—横波速度，m/s；

$H_n$—第 n 点深度，m；

$H_{n-1}$—第 n-1 点深度，m；

$\overline{V}_{Rn}$ —第 n 点深度以上的平均瑞雷波速度，m/s；

$\overline{V}_{Rn-1}$ —第 n-1 点深度以上的平均瑞雷波速度，m/s；

$V_{Rn}$ —$H_n$～$H_{n-1}$ 深度层间的瑞雷波速度，m/s。

## C.5 放射性测量公式

C.5.1 放射性统计涨落误差

1 脉冲记数仪器标准误差$\sigma$：

$$\sigma = \pm\sqrt{\overline{N}} \qquad \text{(C.5.1-1)}$$

2 脉冲记数仪器相对标准误差 $\delta$：

$$\delta = \pm\frac{\sigma}{\overline{N}} = \pm\frac{1}{\sqrt{\overline{N}}} = \pm\frac{1}{\sqrt{N \cdot t}} \qquad \text{(C.5.1-2)}$$

3 率计式辐射仪标准误差$\sigma$：

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\overline{n}}{2RC}} \qquad \text{(C.5.1-3)}$$

4 率计式辐射仪器相对标准误差 $\delta$：

$$\delta = \pm\frac{1}{\sqrt{2\overline{n}RC}} \qquad \text{(C.5.1-4)}$$

(C.5.1-1)～(C.5.1-4)式中：

$\overline{N}$—平均读数；

$N$ —脉冲个数；

$t$ —读数时间，s。

RC=τ —积分线路的时间常数；

$\overline{n}$ —脉冲计数率即单位时间内的脉冲数。

C.5.2 同位素示踪测井计算渗透系数 $K$：

$$K = \frac{V_f}{I}$$

$$V_f = \frac{\pi(\gamma^2 - \gamma_o^2)}{2art} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \qquad \text{(C.5.2)}$$

式中：$I$—测试孔附近的地下水水力坡度；

$r$—测试孔滤水管内半径，m；

$\gamma_0$—探头半径，m；

$t$—示踪剂浓度从 $N_0$ 变化到 $N_t$ 所需的时间，d；

$N_0$—同位素在孔中的初始计数率；

$N_t$—同位素 t 时刻的计数率；

$N_b$—放射性本底计数率；

$\alpha$—流场畸变校正系数。

**C.5.3** 利用密度测井求孔隙度：

$$n = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_w} \qquad \text{(C.5.3)}$$

式中: $\rho_{ma}$—岩石骨架密度，g/cm$^3$；

$\rho_b$—地层体密度，g/cm$^3$；

$\rho_w$—孔隙中水的密度，g/cm$^3$。

## C.6 岩体力学参数计算公式

**C.6.1** 附加质量法求密度 $\rho$：

$$m_0 = \frac{1}{K'} = KD_0 \quad , \quad k = \frac{\Delta m}{\Delta D} \quad , \quad D = \frac{1}{(2\pi f)^2} \qquad \text{(C.6.1-1)}$$

$$\rho = \frac{m_0}{A\dfrac{V_P}{2\beta f_0}} \qquad \text{(C.6.1-2)}$$

式中： $\rho$—堆石密度，g/cm$^3$；

$A$—承压板面积，m$^2$；

$V_p$—测点波速，m/s；

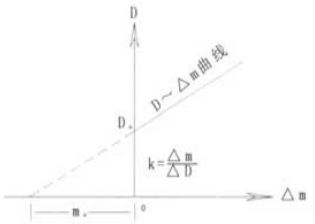
$\beta$—衰减系数(通过坑测与附加质量对比试验)；

$m_0$—参振质量，kg。

$f_0$—$\Delta m$ 为 0 时截止的自振频率，Hz；

$k$—刚度；

$\Delta m$—附加质量分级重量，kg。$m_0$ 按解析求解：$m_0$ 等于（D－Δm）曲线在 $\Delta m$ 坐标轴上截距的绝对值（见图 C.6.1－1）



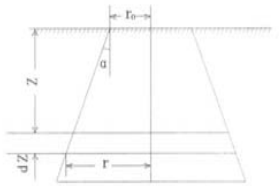




**图 C.6.1－1 图解法求参振质量 $m_0$**

**C.6.2** 脉冲回波计算反射界面深度 $H$：

$$H = \frac{V_p}{2f_0} \qquad \text{(C.6.2)}$$

式中：$V_p$—声波纵波速度，m/s；

$f_0$—回波频率，Hz。

**C.6.3** 相关力学参数

**1** 泊松比 μ：

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \qquad \text{(C.6.3-1)}$$

**2** 动弹性模量 $E_d$：

$$E_d = V_p^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \qquad \text{(C.6.3-2)}$$

$$E_d = 2V_s^2 \rho(1+\mu) \qquad \text{(C.6.3-3)}$$

**3** 动剪切模量 $G_d$：

$$G_d = V_s^2 \rho \qquad \text{(C.6.3-4)}$$

**4** 单位弹性抗力系数 $K_0$：

$$K_0 = \frac{E_d}{100(1+\mu)}\alpha \qquad \text{(C.6.3-5)}$$

5 各向异性系数 η：

$$\eta=\frac{V_p''}{V_p^{\perp}} \tag{C.6.3-6}$$

6 风化系数 $K_w$：

$$K_w=V_p/V_{pr} \tag{C.6.3-7}$$

7 完整性系数 $K_v$：

$$K_v=(V_p/V_{pr})^2 \tag{C.6.3-8}$$

(C.6.3-1)～(C.6.3-8)式中：

$V_p$—岩体纵波速度，m/s；

$V_s$—岩体横波速度，m/s；

$\rho$—岩体密度，g/cm$^3$；

$\alpha$—折减系数；

$V_P''$—平行岩体结构面方向的纵波速度，m/s；

$V_p^{\perp}$—垂直岩体结构面方向的纵波速度，m/s；

$V_{Pr}$—新鲜完整岩块的纵波速度，m/s。

**C.6.4** 声波测井求孔隙度 $n$：

$$n=\frac{(1/V-1/V_{pm})}{(1/V_{pw}-1/V_{pm})} \tag{C.6.4-1}$$

$$n=\frac{t-t_{pm}}{t_w-t_{pm}} \tag{C.6.4-2}$$

式中：$V_{pw}$—岩体中水的声波速度，m/s；

$V_{pm}$—岩石骨架的声波速度，m/s ；

$V$—地层的声波速度，m/s；

$t$—声波在岩体中传播 lm 的时间，ms；

$t_{pm}$—声波在岩石骨架中传播 1m 的时间，ms；

$t_w$—声体在水中传播 1m 的时间，ms。

**C.6.5** 利用电阻率测井求孔隙度：

$$n=\sqrt[m]{\alpha\rho_w/\rho_t} \tag{C.6.5}$$

式中：$\rho_t$—地层电阻率，Ω·m；

$\rho_w$—孔隙中水的电阻率，Ω·m；

$m$, $\alpha$—经验系数（孔隙度较高的松散砂层，可取 $\alpha$=0.62/$m$=2.15 或 $a$=0.81/$m$=2.00；石灰岩，$\alpha$=1.00/$m$=2.00～2.50；裂隙发育的石灰岩，$\alpha$=1.00/$m$=1.12～1.30）。

**C.6.6** 利用充电法等位圈位移量及时间计算地下水流速：

$$v=\Delta R_i/\Delta t_i \tag{C.6.6-1}$$

$$v_j=v/\cos\beta \tag{C.6.6-2}$$

式中：$v$—地下水流速，m/h；

$v_j$—经地形校正后的地下水流速

$\Delta R_i$—地下水流向上等位圈的位移量，m；

$\Delta t_i$—两次等位圈观测的时间间隔，h；

$\beta$—地形坡度，A。

# 中华人民共和国水利行业标准

# 水利水电工程物探规程

SL XXX—2004

# 条文说明

## 目 次


1 总则 · · · · · 60
2 术语、符号、代号 · · · · · 60
3 物探方法与技术 · · · · · 60
3.1 一般规定 · · · · · 61
3.2 电法勘探 · · · · · 61
3.3 探地雷达 · · · · · 63
3.4 地震勘探 · · · · · 64
3.5 弹性波测试 · · · · · 65
3.6 层析成像 · · · · · 66
3.7 水声勘探 · · · · · 66
3.8 放射性测量 · · · · · 67
3.9 综合测井 · · · · · 67
4 物探方法的综合应用 · · · · · 69
4.1 覆盖层探测 · · · · · 69
4.2 隐伏构造破碎带探测 · · · · · 69
4.3 喀斯特探测 · · · · · 70
4.4 岩体风化带厚度与卸荷带深度探测 · · · · · 70
4.5 软弱夹层探测 · · · · · 70
4.6 滑坡体探测 · · · · · 71
4.7 堤坝隐患探测 · · · · · 71
4.8 隧洞施工超前预报 · · · · · 72
4.9 地下水探测 · · · · · 72
4.10 环境放射性检测 · · · · · 72
4.12 灌浆效果检测 · · · · · 72
4.13 混凝土质量检测 · · · · · 73
4.15 洞室松弛圈检测 · · · · · 73
4.16 锚杆锚固质量检测 · · · · · 74
4.17 防渗墙质量检测 · · · · · 74
4.18 堆石(土)体密实度和地基承载力检测 · · · · · 74
4.19 钢衬与混凝土接触状况检测 · · · · · 75
4.20 堆石坝面板质量检测 · · · · · 75
4.22 岩土物理和力学参数测试 · · · · · 75

## 1 总则

**1.0.1** 物探是水利水电工程地质勘探的重要手段之一，随着近几年来工程物探应用范围的扩大和方法技术的增多，原规程已不适应现代物探新技术和新方法发展的要求。

**1.0.3** 增加了近十年较常用和具有一定可靠性的新物探方法，新增加了部分探测或检测项目。

**1.0.4** 规定的工程物探工作程序与 DL5010－92 基本相同，但根据近年来的执行情况，可将某些工作程序作适当调整。

**1.0.9** 从事本规程综合应用外的物探工作应参照相关标准执行。

## 2 术语、符号、代号

本节术语和符号主要来源于以往工程物探规程、国内大专院校教材、国内国际物探专业的专著中常用的术语和符号，且在现阶段使用较频繁。

## 3 物探方法与技术

### 3.1 一般规定

**3.1.3** 原规程对物探测网和测线的规定源于地质矿产调查的相关要求，而水利水电工程勘探和检测的精度要求较地质矿产调查高得多，所以本规程对测网布置作了更具体和更有目的性的要求。

**3.1.4** 该条规定是工作前的各种方法试验，确定使用的物探方法和技术参数。而某一具体物探方法的技术参数、使用仪器参数都具有一定的范围，这些参数与探测效果和分辨率密切相关。因此，某一具体方法的要求则在各章节中另作要求。

**3.1.5** 由于野外测试条件、仪器测量数据会受到环境、人为因素等影响，为消除或减少这些干扰因素需要作相关的检查。不改变工作条件进行两次或两次以上的重复测量称为重复观测，改变接地条件的重复测量或有目的地另行指定专人对已测量过的部分测点或剖面进行抽测称为检查观测。由于水利水电工程受施工影响较大、单次工作量不大、使用仪器周期性短，因此，本规程对系统检查不作明确规定。

**3.1.6** 物探记录是联系现场测试与资料成果处理解释的重要纽带，本条规定了记录的范围、名称、内容和形式等。记录中应注意有电子文档与班报记录时的交互式记录的对应情况。

**3.1.7** 原始资料的检查和评价是质量保证的重要环节，依据国际通用的 ISO 质量管理体系要求将原始资料应评定为合格与不合格两类，不再采用原规程中 3.1.4.2 将原始资料评定分为“优良”、“合格”和“废品”三个等级的要求。

**3.1.9** 物探成果图是指利用物探测试的数据、曲线或经计算处理的数据、曲线而绘制的图件，成果解释图是指以物探成果为主而绘制的地质平面或剖面图。

### 3.2 电法勘探

**3.2.1** 电法勘探各方法的应用范围主要有：

**1** 电测深法可用于探测覆盖层厚度和下伏基岩面起伏形态，进行地层分层和风化分带，探测地下水位埋深等；也可用于探测构造破碎带、岩性分界面、喀斯特、洞穴、堤防隐患等；还可用于测试岩土体电阻率。

**2** 电剖面法可用于解决非水平板状或球状电性异常体探测问题，也可用于探测构造破碎带、岩性分界面、喀斯特和洞穴等。

**3** 高密度电法可用于探测构造破碎带、岩性分界面、喀斯特、洞穴、堤防和防渗墙隐患等；也可用于探测覆盖层厚度，进行地层分层和风化分带、岩性分层等。

**4** 自然电场法可用于探测地下水流向，进行堤防和防渗墙探测，也可用于探查地下金属管道、桥梁、输电线路铁塔的腐蚀情况等。

**5** 充电法可用于测试地下水流速流向，也可用于探测粘土或水充填的喀斯特洞穴、含水断层破碎带等低阻地质体的分布情况。

**6** 激发极化法可用于地下水探测，圈定含水的古河道、古洪积扇、喀斯特、构造破碎带等，确定含水层的埋藏深度，评价含水层的富水程度。

**7** 可控源音频大地电磁测深法可用于探测隐伏断层破碎带、覆盖层厚度、地下古河道、喀斯特、洞穴等；也可用于堤防和防渗墙隐患探测，地下水和地热资源探测，还可进行岩性分层等。

8　瞬变电磁法可用于探测覆盖层、构造破碎带、喀斯特、洞穴等；也可进行地层或岩性分层、风化分带，地下水和地热水资源调查，圈定和监测地下水污染情况，探测堤防和防渗墙隐患等。

3.2.2　该条依据各种方法的物理特性、装置特点、探测任务要求，规定了各方法适用的条件。使用中应注意各方法所具有的物理前题条件，并应了解探测目的体的物性条件与该方法的物理前题和数学模型的相近性。

3.2.3　规定的各项技术指标为当前国内外电法勘探仪器主流产品的常规指标。

3.2.6

3　极距选择是根据电性层水平成层的数理模型和解释精度要求确定的，探测深度随极距增大而增加，但增大极距也降低了对较小规模地质体的探测分辨率。当用于探测埋深较大地下水或某些规模较小的目的体时，在较大深度探测范围内应加密极距。

5　采用十字形或环形测深是为了探测地电断面在水平方向上的变化对电测深曲线的影响，可在四个或四个以上的方向测量 $\rho_s$ 曲线，评价岩体的均匀性。当存在各向异性层、独立的倾斜层或接触面时，可测试各向异性岩层参数及界面的产状。探测点可布置在各向异性区中心，或在接触面附近根据电剖面资料确定测点位置。

7　当误差为正态分布时，按误差理论计算：大于 $m$ 的误差出现的概率为 32%，大于二倍 $m$ 值的误差出现的概率为 4.6%，大于三倍 $m$ 值的误差出现的概率为 0.3%，本规程分别近似地取 30%、5%和 1%作为单个电测深资料检查和评价的标准。

3.2.7　电剖面的供电极距应根据探测深度和地电条件的复杂程度来确定，供电极距应与探测深度相对应。探测深度为电性异常体顶界面距探测表面的深度 $h_1$，与此相对应深度的异常幅度应大于 10%，选择供电极距时，与该深度相对应的对称四极法为 $2h_1/AB$、三极法为 $h_1/OA$（$h_1/OB$）、偶极法为 $h_1/OO'$较合理。由于电性异常体在深度上变化的随机性，进行详细探测时应依次使用两个或两个以上供电极距长度不等的装置进行探测。

3.2.8　高密度电法指高密度电阻率法，仍属电阻率法勘探理论。其特点是观测点密度高、电极距小、信息量丰富。装置有温纳尔、二极电位、三极与双向三极、偶极以及微分等。无论采用何种装置，高密度电法应依据测深范围、密度、基本电极距、装置类型等多个参数确定相邻两次布极的电极重叠个数。

3.2.9　自然电场法现场工作中当测区范围较大，宜先采用多个分基点分区观测，再对各分基点与总基点进行联测，统一到一个总基点上，分基点的联测有以下几种方法：

1　当测线很长时，可在测线上设几个分基点分段观测，在各段连接处观测`3 个～5 个公共测点，然后利用这个重复段的电位差把两段曲线统一为基点的电位值。

2　当分基点与总基点相距较近时，可直接联测二次并取平均值，两次观测的绝对误差应小于 4mV。

3　当分基点与总基点相距较远时，应先测出某分基点对已知的 5 个～10 个测点的电位差后，再换算出该分基点对总基点的电位值，并按下式计算分基点电位值：

$$\Delta V_I = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta V_i + \Delta V_{Ii}\right) \qquad (3.2.9)$$

式中：$\Delta V_I$ —待求的分基点电位，mV；

$\Delta V_i$ —第 i 测点对总基点的已知电位，mV；

$\Delta V_{Ii}$ —待求的分基点对第 i 个测点的电位，mV。

3.2.10

3、4　单孔充电法测试地下水流速流向时，宜在通过孔口的推测流向方向上布置一条尚未投盐的充电电位测线，按观测结果在电位曲线斜率较大处放置 $N$ 电极。如果金属套管在含水层中电位曲线上孔口电位极大、且在孔口附近急剧衰减，或在孔口及其附近一个相当大的范围内保持一个电位平台，则充电法不能测试地下水流速流向。充电法电位观测还有另一种工作方式，即直接测试等电位线法，其测网布置是采用充电点为中心的径向测线，该方法对于球形低阻体径向测线既方便又有效。

6　充电法的测量电位差很小，对异常分辨较为困难，通常采用定性解释方法圈定电性低阻体形态。因此，此次修订规程不再采用原规程 DL5010—92 中 $\delta$＜2.5%和 $m$＜3.5%的标准来评价资料，而是采用 $\delta$≤5%和 $m$≤7%作为新的标准。

3.2.11　激发极化法中 $\Delta U_1$ 为一次场电位，$\Delta U_2$ 为供电 30s 切断电源后从 0.25s 至 5.25s 二次场电位的平均值。

3.2.12

1　电偶极子场适用于探测数百至数千米深度范围，磁偶极子场适用于探测一千米内的深度范围。

3　目前人工可控源有两种方式，一种是频点可控，由人工依据设计的频点由高到低逐点发射和接收；另一种是频段可控，发射和接收保持大致同步，采集器依据设计的频点由高到低采集，采集频率可延续至设定的频域。

3.2.13

1　对异常的分辨率除与回线边长 $L$ 有关外，还与被探测目的体地电条件有关，增大回线边长可以增大发射磁矩、提高接收线圈的灵敏度、激励异常幅值，但同时也增加了地下旁侧地质体干扰和外部电场干扰，干扰信号增大的幅度有时超过有用信号。因此，工作中应通过现场试验综合考虑各种因素，合理选择回线长度。在理论上，回线边长 $L$ 与良导体埋深 $h$ 的比值为 $L/h=0.9\sim1.5$ 时，所得到的响应值大于 $0.8V_{max}$，因此，选择回线边长约等于探测目的体的极限深度较适宜。

4　测区的噪声电平对仪器的最小可分辨电平影响较大，而仪器本身的噪声电平因测区不同存在较大的差异。为了保证晚期观测值的精度，应在每个测点上或相间几个测点上实测干扰电平。

3.2.14

2　电测深曲线类型应结合周边电性层及电测深曲线的特点来确认，当有钻孔时应对比分析孔旁测深曲线，确定电测深曲线类型应依据下列标志：

1）曲线后支上升或下降的倾斜角度及渐近线值；

2）特殊点、极值点、拐点等的纵、横坐标值；

3）总纵向电导值；

4）各测深点同一极距的视电阻率；

5）曲线的局部畸变点；

6）十字测深、环形测深、以及电极不同方向排列时，电测深曲线的差异性。

5　解释时所需的电参数可由下列方法取得：

1）有钻孔时，用电测井资料和井旁测深曲线测试的电阻率参数较为准确，应先以电测井资料与钻孔资料对比划分地质和电性层位，然后计算各层电阻率；

2）利用电测深点近旁的其他资料（钻孔、竖井及地震勘探资料等）确定层厚及埋深后，再计算电阻率；

3）利用露头电测深资料确定电阻率，但应分析露头的风化裂隙和含水情况等与深部条件不一致而造成的电性差别；

4）电测深曲线的中段等值范围很窄时，可根据电测深曲线解释和确定中间层电阻率；

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

6　电测深的定量解释方法应根据探测任务要求，电测深曲线的特点和各种解释方法的应用条件而确定。量板法解释多层曲线时应选用三层或四层量板，也可用两层和辅助量板。定量解释的各种坐标、理论曲线、辅助曲线及其参数、计算结果、解释图等均应描绘于电测深曲线图中。计算机反演法解释分为最接近观测曲线的理论曲线选择法和联结视电阻率与介质参数的函数关系数值分析法，它具有便于选择和改变层参数解释多层曲线和计算准确等优点，在缺少剖面参数资料的情况下，能提供等值原理范围内的反演解释。电反射系数法（$K$ 剖面法）是一种比较直观的解释方法，对于电测深曲线来说，电反射系数是一个和极距有关的重要函数，对于一个界面来说，只有一个固定的电反射系数 $K$ 。电测深曲线与电反射系数之间的关系是随电极距的增大而逐渐变化的，通过电反射系数 $K$ 求取电阻率可直接反映地下介质特征。

3.2.15　电剖面法数据处理中分析异常应依据正演曲线和试验成果，分析异常的特征及异常各部位与电极距、电极位置的关系，分析测线附近的地形、地质条件及干扰的位置与异常的关系。

3.2.16　目前高密度电法所绘制等视电阻率剖面图有电测深法的属性，不能称为电阻率层析成像图。电阻率成像是利用探测区周边在各个不同方向观测的直流电场来分析地下电阻率分布。理论上，控制直流电场的数理方程是拉普拉斯方程，是“静”态的，因此电阻率成像和地震波或电磁波成像存在本质区别。

3.2.17

2　应确定自然电场的性质与电场对探测目的体的各种作用之间的关系，不同时间的自然电场本身的物理条件不同，有效场和干扰场也经常变化。因此，应及时了解各种成因的自然电场特征。

3　应根据异常性质，在成果图上圈定和追踪各种异常，并分析各种关系。

同时应分析影响观测资料的各种因素，包括地貌、水文地质、地球化学以及人为干扰等。

**3.2.18** 充电法数据处理和资料解释中测试地下水流速流向的要求：

1 可用不同比例尺绘制等位线图的起始等位圈的 $R$(充电点 $A$ 在地面的投影 $O'$至起始等位圈的距离)和等位圈增量 $\Delta R$，以清楚反映出等位圈变化特征。

2 孔中心到等位圈移动距离最大的连线方向确定为流向，并以相邻等位圈位移增量 $\Delta R_i$ 与相对应的时间间隔 $\Delta t$ 之比作为等位圈变化速度。

3 相邻等位圈的变化速度，绘制等位圈变化速度与时间关系曲线图，取速度曲线趋近于某一稳定值 $v$ 作为含水层孔隙地下水流速。

4 可将向量合成的最大伸长方向定为流向，在流向方向上以伸长距离 $R$ 与所对应的 $2\Delta t$ 之比为流速。

5 方位角 α 与增量 $\Delta R$ 关系曲线图：以射线方位角 $\alpha$ 为横坐标，盐化后射线上等位圈增量 $\Delta R$ 为纵坐标，即构成 $\Delta R=f(\alpha)$ 曲线图。$\Delta R$ 最大值所对应的方位角 $\alpha$ 为流向；流向方向 $\Delta R$ 与对应时间间隔 $\Delta t$ 之比为流速。

原规程 3.1.4.32 在钻孔中利用充电法监测滑坡体一款属监测手段，故而删除。

**3.2.19** 激发极化法寻找地下水时，应正确地确定背景值和异常值。不同测区有不同背景值，分析地下水水位与含水层富水性的关系，应首先排除导电矿物或其它电导体，再通过对地质资料和其它物探资料的进行综合分析，才能对地下水位的埋深、富水性和涌水量作出评价，对涌水量的评价不能只利用异常幅值和面积大小。

**3.2.20** 可控源音频大地电磁测深曲线在形式上为频率与视电阻率的关系曲线或单一频率的视电阻率剖面，其实质和电阻率法测深和电剖面一样，是反映地下介质的电阻率随深度变化或沿剖面方向变化。可先通过定性分析确定电性层对应的地层的关系，再通过理论量板或计算反演确定地层结构或剖面电性异常性质。

**3.2.21** 瞬变电磁法资料处理和解释中确定背景场应考虑以下三个方面：

1 应选择低阻覆盖层厚度均匀、下伏岩层断层构造不发育、岩层无磁性或弱磁性的地段。

2 应选择人为噪声较小而且平稳的地区。

3 应选择瞬变响应衰减迅速，并在相当大的范围内变化不大、规律性好的地段。

## 3.3 探地雷达法

**3.3.1** 探地雷达是近十年来迅速发展起来的一种浅层地球物理探测技术，它具有分辨率高、精度高、效率高、快速经济、灵活方便、剖面直观等优点，在工程勘察及检测领域极具发展潜力。因此，本规程将其独立成为一节。探地雷达法的应用范围主要有：

1 剖面法可用于浅层覆盖层分层，探测喀斯特、构造破碎带、滑坡和塌陷等地质灾害、堤坝隐患和地下管线等，进行隧道施工掌子面超前预报。也可用于检测公路施工质量、地下洞室围岩与混凝土衬砌结合部状况、混凝土内部缺陷等。

2 透射法可用于成对钻孔间探测及其它二度体空间的探测。

3 宽角法可用于估算介质的电磁波传播速度或确定反射界面的深度。

4 孔中雷达可探测钻孔周边一定范围内的地质异常或进行地层分层，也可较精确地探测孔间的地质异常体。

**3.3.2**

2 垂直分辨率与波长有关，该规定是因为当厚度较小时，两相邻界面产生的反射波时差过小会产生严重的干扰现象而难于识别。同样，水平分辨率与第一菲涅尔带有关。

5 由于雷达的天线并没有完全屏蔽，干扰电磁波会被雷达接收，产生假异常。

**3.3.4** 测网布置的原则是对于测线间距可按探测目的体的规模、埋深、场地条件、任务要求来确定。扩大探测范围并追踪重要异常的要求是为了获得比较完整的资料。

**3.3.5** 由于探测地层电阻率变化范围较大，探地雷达的探测深度和分辨率应先进行试验，以选择合理的仪器参数。在满足分辨率的要求下，应选取中心频率低的天线，以取得较大的探测深度。

**3.3.8** 利用地层参数确定电磁波速度就是由空气电磁波速度和介质的相对介电常数进行估算，以作为地层电磁波传播速度的参考值。

**3.3.9** 探地雷达采集的是波形或图像，检查时只能作图像对比，内容为：波形

批注 [yjh4]: 正文 5.3.9 中没有规定多天线工作时，天线间距的问题。

同相轴、异常范围和形态位置的相似程度等。

**3.3.10** 探地雷达数据处理方法与地震波反射资料数据处理方法基本相同，除列出的几项处理技术外还有其它一些方法，实际工作中可适当选用和补充。

## 3.4 地震勘探

**3.4.1** 地震勘探的应用范围主要有：

1 浅层折射波法可探测地层厚度及其分层、基岩面起伏形态及风化带厚度、隐伏构造破碎带、松散层中的地下水位以及滑坡体厚度等，也可测试岩土体纵波速度，不宜探测高速屏蔽层下部的地层。

2 浅层反射波法不受地层速度逆转限制，可探测高速层下部的地层，划分沉积地层层次和探测有明显断距的断层，可探测地层厚度及其分层、基岩面起伏形态及风化层厚度、隐伏断层构造等，探测松散层中的地下水位以及滑坡体厚度，也可测试岩土体纵波速度。通常选用工作效率高、探测深度较深的纵波反射法；在浅部松散含水地层探测时，宜使用具有较强分层能力的横波反射法。

3 瑞雷波法可进行浅部覆盖层分层，地基力学参数测试，饱和砂土液化判定，地基加固效果评价等。

**3.4.2**

2 浅层折射波法的应用条件：

2） 对于三层介质的地层，虽然符合 $V_1<V_2<V_3$ 的条件，但当中间层较薄（如 $h_2\leqslant h_1$）时，折射波时距曲线上往往只出现 $V_3$ 层的斜率，而 $V_2$ 层的折射波不能在初至区显示出来，出现所谓中间层“隐蔽”现象；

3） 当被追踪地层视倾角与临界角之和大于或等于 $90^0$ 时，在地面均不能接收到折射波。当用浅层折射波法探测高倾角目的层时应合理选择测线方向，使地层视倾角与临界角之和小于 $90^0$。

3 浅层反射波法的应用条件：

2） 当被追踪地层的厚度较小时，两相邻界面产生的反射波时差过小会发生严重的干涉现象而难以识别。实践表明，垂直方向上反射波法的分辨率仅能达到其有效波长的 1/4，如果想提高反射波法的垂直分辨率，最主要的方法是提高震源激发频率。

**3.4.3** 地震仪所列各项技术指标，为当前国内外工程地震仪主流产品的常规指标。

**3.4.5** 为了确保转折的测线资料能独立解释，浅层折射波法观测，当转折角度超过 15° 时，若地面条件允许，可在转折点上以及转折测线的外延长线上补充相应的激发点。浅层反射波法进行单次覆盖观测，当转折角超过 15° 时，若地面条件允许，可在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的剖面测量；当进行多次覆盖观测时，最大转折角不应超过 8° 。若因测线转折影响叠加效果时可采用弯线叠加方法，或当地面条件允许时可在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的叠加剖面。

**3.4.7**

2 浅层折射波法的要求：

1） 该规定是针对求界面深度的精度而言的，若用于求基岩界面速度，则要求岩层界面的视倾角应小于 5° 才能保证所求界面速度的精度；

2） 该规定是为了保证观测成果的可靠性和追踪界面的连续性，若检波点过少则可追踪段过短，连续分析界面的精度也差，且对测试界面速度的精度影响更大；

3） 该规定是确保两支时距曲线平行性辨别，当被追踪段的检波点数过少时，会降低识别有效波的可靠性。

4 瑞雷波探测深度应限制在一个波长以内，偏移距和检波点距较小时有利于探测浅部信息，但探测深度较小。反之，为了获得深部信息，探测深度应增大，则应增大偏移距和检波点距。

**3.4.8** 仪器工作参数要求在一个测区或测段工作时，应使用同一滤波档的目的：是为了有效波对比的可靠性。记录波形、振幅和视周期是地面激发接收条件、仪器工作参数以及深部地层岩性和构造的综合反映。其中滤波档对记录道的波形、振幅和视周期也有一定影响，只有仪器工作参数相同时，各记录道的波形、振幅和视周期的变化才是岩性和构造变化的客观反映。因此，各记录道之间应具有相同的滤波档是有效波对比的前提。但工作中遇到局部地段的记录质量明显变差，无法进行有效波的对比时，应分析原因并通过试验找出改变记录质量的方法。

**3.4.9** 水域地震勘探工作的测点高程是以当时的水边线高程计算的，需及时

测量,否则不能准确计算基岩顶板高程。

**3.4.13** 旅行时读数中相位校正的要求：浅层折射波法旅行时应读初值。当初值不明显时，应读第一相位极值并进行相位校正，相位校正时间为 $T/4$，校正值为负数；反射波法应采取相位读数。正相位起跳时，宜读第二相位正极值，相位校正值为 $5T/4$。负相位起跳时，宜读第一相位正极值，相位校正值为 $3T/4$。在宽角接收时，反射波会产生相位移（变化范围 $T/4\sim T/2$），相位校正时应考虑相位移。

**3.4.16** 浅层折射波法数据处理与资料解释中构制浅层折射界面方法主要有：

1 只有在近似水平层状介质、地面与界面起伏较小、且横向速度无明显变化时，各层折射波时距曲线才近似为直线，才能依据折射时距曲线的延长线求得较可靠的截距时间。

2 $t_0$ 法计算界面深度是建立在接收三角形为等腰三角形基础上的。界面起伏过大或界面速度变化过大造成出射角不相等，会使计算精度降低。依据 $\theta(x)$ 曲线求基岩界面速度时，界面倾角 $\phi$ 应小于 15°，界面速度计算公式为：

$$v_b=\frac{2\nabla x}{\nabla\theta}\cos\phi \qquad (3.4.16)$$

式中：$\nabla x/\nabla\theta$ —$\theta(x)$ 曲线斜率的倒数；

$\phi$ —界面倾角。

通常界面倾角值是未知的，实际上常使用：$v_b\approx 2\nabla x/\nabla\theta$ 求界面速度，当 $\phi$ 大于 15° 时所求界面速度误差将随 $\phi$ 的增大而增大。

$t_0$ 法适宜于二层结构的解释，也可用于三、四层结构的解释。此时可将所要求的折射界面以上的多层介质视为速度等于有效速度的均匀介质，然后按照二层结构进行解释。$t_0$ 法构制界面的精度取决于所选用的有效速度以及低速带校正的准确性，由低速带厚度变化引起有效速度变化时，应先进行低速带校正，然后以低速带的下伏地层的有效速度构制界面。

3 延迟时法的应用条件与 $t_0$ 法相同，但要求对各折射界面的相遇时距曲线分层求解，以消弱低速带厚度变化的影响。该方法在有效速度变化大的测区比 $t_0$ 法有较高的解释精度和分层能力。

4 时间场法的折射界面位置是根据两相遇滑行波的旅行时之和等于互换时间的原理确定的，受界面起伏和界面速度变化的影响较小。该方法是一种比较精确的解释方法，它最适宜于二层结构界面的解释。

5 共轭点法的应用条件与时间场法大致相同，所不同是时间场法允许地面有一定起伏，而共轭点法要求地面较平坦。

## 3.5 弹性波测试

**3.5.1** 弹性波测试有声波类和地震波类两种，虽然两种方法都是以分析弹性波在岩体内的传播特征，但各有特点，可相互补充，而不能彼此取代。单孔声波与声波测井是有区别的，单孔声波主要是声速度动力学参数测试，每个测点都有独立的测试波形；声波测井包括声速测井、声幅测井、全波列测井，其结果是测井曲线，每个测点无独立的波形。弹性波测试的应用范围主要有:

1 单孔声波可用于测试岩体或混凝土纵波、横波速度和相关力学参数，探测不良地质结构、岩体风化带和卸荷带，测试洞室围岩松弛圈厚度，检测建基岩体质量及灌浆效果等。

2 穿透声波可用于测试具有成对钻孔或其它二度体空间的岩土体或混凝土波速，探测不良地质体、岩体风化和卸荷带，测试洞室围岩松弛圈厚度，评价混凝土强度，检测建基岩体质量及灌浆效果等。

3 表面声波可用于大体积混凝土、基岩露头、探槽、竖井及洞室的声波测试，评价混凝土强度和岩体质量。

4 声波反射可用于检测隧洞混凝土衬砌质量及回填密实度，检测大体积混凝土及其它弹性体浅部缺陷。

5 脉冲回波可用于检测地下洞室明衬钢管与混凝土接触状况，也可用于检测混凝土衬砌厚度和内部缺陷。

6 地震测井可用于测试地层波速，确定裂隙和破碎带位置。

7 地震穿透波速测试可用于测试岩土体纵波、横波速度，也可圈定大的构造破碎带、喀斯特等速度异常带，检测建基岩体质量和灌浆效果等。

8 地震连续波速测试可用于洞室、基岩露头、探槽、竖井等岩体纵波、横波速度测试，也可检测建基岩体质量，探测风化带和卸荷带。

**3.5.3** 根据近几年来国内、外生产和使用的地震仪和声波仪的主要技术性能而规定，其中增加了数字声波仪的功能和参数的要求。声波反射和脉冲回波的仪器和接收探头与进行声波速度测试的仪器具有较大差异，使用时应合理选择。

3.5.6　由于技术水平的提高，目前采用正反向激发，横波获得率可高于纵波资料的 60%，高于原规程的 50%。

3.5.8　资料处理与解释中需要进行动静弹模对比相关转换的测区，在每一个岩组上应不少于三个点的对比数据。

## 3.6　层析成像

3.6.1　鉴于层析成像（CT）在水利水电工程勘察中的广泛应用和取得的良好效果，本次规程修订特将其作为一节。由于声波具有频率高、波长短的特点，它的传播距离较短，所以声波 CT 穿透距离短，能分辨规模较小的异常体。地震波的频率较低(一般为几十赫兹至几百赫兹)、波长长，它的穿透能力强及穿透距离远，能分辨规模较大的异常体。目前采用超磁致伸缩震源或电火花震源作为发射震源，使用声波仪采集数据和声波探头接收的声波 CT，在穿透距离和分辨率上介于上述两者之间。电磁波 CT 是利用岩体对电磁波的能量吸收系数进行成像，频率范围宜在 0.5MHz～32MHz，频率越高，穿透距离越近，分辨率也越高。其应用范围主要有：

1　声波 CT 适用于岩体和混凝土体的声波速度成像，主要用于不良地质体探测，灌浆效果检测，建基岩体质量检测，混凝土梁柱及坝体质量检查等。

2　地震波 CT 适用于岩土体地震波速度成像，可进行岩体质量分级，圈定构造破碎带、裂隙密集带、喀斯特及洞穴等速度异常地质体等。

3　电磁波 CT 适用于岩土体电磁波吸收系数成像，可探测喀斯特等具有一定电性差异的地质体，圈定构造破碎带和风化带等。

3.6.4　由于实际工作中可采用超磁致伸缩震源或电火花震源作为发射震源，采用声波仪采集信号和声波探头接收声波。因此，声波 CT 的穿透距离可达到 30m。

3.6.5　实际工作中观测系统严格符合 CT 理论要求的很少，多数情况下在两孔间作 CT，所以使用二边观测系统的情况最多，条件允许时宜作多边观测，但要注意绕射和各向异性问题。

3.6.6　电磁波 CT 随着频率的增高对介质的吸收系数增大，穿透距离减小。当孔距较大或围岩的吸收系数较高时，宜选用较低的工作频率；探测目的体规模较小时，宜选用较高的工作频率。选择的原则是在有效穿透目的体的前题下提高分辨率，并应避免产生绕射现象。

## 3.7　水声勘探

3.7.1　水声勘探利用声波的反射原理，发射探头向水底发射声波脉冲，接收探头接收来自水底和地层分界面的反射波，当测船航行时可获得连续的地层剖面记录，根据该记录可探测水底地形地貌并进行水底地层分层。

3.7.2

2　在水库或河道探测淤积层时，由于淤积物主要为淤泥、粘土类物质，对水声勘探比较有利且不易产生二次波，探测深度较深，分辨率也高，可分辨出 1m 左右的地层。

3　如果水底存在砂层或存在零星分布的卵砾石，由于反射系数较大会产生二次或三次波，探测深度会受到影响。如果卵砾石粒径大于 2cm 或存在卵砾石层，则会产生散射现象，不易得到下部地层的记录。

3.7.5　利用 GPS 系统测量前，宜进行控制测量并建立 GPS 控制网，参考站与移动站之间的距离宜小于 5km。

3.7.6

1　船的载重量主要与船的稳定性有关，同时要考虑船的长度是否符合发射与接收探头两者之间的安置距离。

2　发射探头和接收探头的安装位置应选择在航行中产生气泡最少、机器噪声最小、摆动影响最小的地方，因为频率愈低时噪声水平愈高，噪声水平高限制了放大器的放大性能，降低了探测深度。

3.7.7

1　浅部需作校正是由于发射探头与接收探头工作时形成的入射与反射角所造成的误差，据统计当水深小于 10m 时（当 $\upsilon$=1500m/s 时）误差为 0.5m，当水深大于 15m 时，误差为 0.2m～0.3m。

2　原始水声记录剖面采用的速度值通常为 1500m/s，应根据已知资料进行速度校正。

## 3.8 放射性测量

3.8.1　原规程$\gamma$-$\gamma$测量移入到综合测井中，同位素示踪法列入本节。放射性测量的应用范围主要有:

1　$\gamma$测量可通过测量地表$\gamma$场的分布来寻找隐伏断层破碎带和地下储水

构造，辅助地质填图和环境放射性检测等。

2　α射线测量可通过测量覆盖层中空气或土样的氡浓度来查明水文工程地质问题，可以解决的工程地质问题同$\gamma$测量。

3　环境土壤氡浓度测量可用于调查地基土的氡浓度背景值。

4　环境空气氡浓度测量可用于地下建筑物和室内的空气检测、监测，评价氡及其子体对环境的影响。

5　同位素示踪法可用于测试地下水流速、流向、渗透系数，了解地下水的变化规律。

3.8.4　布置测线前应收集地质资料，不同测区的测线密度可以不同，测线可根据地质情况的复杂程度、基岩埋深、构造破碎带的宽窄等布置成网格状、环状或十字形。

3.8.5

1　地面$\gamma$ 测量通过罗盘定向、测绳量距、徒步监听、定点读数，测量中保持探头的测量几何位置一致。当沟内读数高、坡坎上读数低时可将仪器提起空中测量，以避免地形干扰。读数时应收集资料、记录地形岩性、构造裂隙、水文地质及覆盖层等情况，便于室内综合分析。

2　α射线测量挖坑取样时，用仪器配备的专用铲取一定量的小颗粒土壤，并放入样品盒中。然后用取样器将样品盒中土壤成形，并清除样品盒周围的土壤；测量时从取样器中取出样品盒放入仪器的抽屉中进行测量，在测量过程中应水平放置仪器，待测量完毕取出土壤样品盒放入仪器的抽屉中插回原位后，再搬动仪器进行下一点测量。

3.8.7

2　应注意灰岩地区α射线或γ射线强度可低于背景值的情形。

5　氡浓度有三种表示方法：氡浓度、平衡当量浓度和α潜能浓度，三种方法的表示方式不同，使用的单位也不相同。因此，在使用时应结合新的标准加以应用。

## 3.9　综合测井

3.9.1　规定了水利水电工程勘察中常用测井方法，其它方法还有中子－伽玛测井、钻孔摄影等，但这些方法极少使用，故未编入规程。原规程中列出的声速测井，由于该方法不全面，它不包括声幅测井，因此，本次修订采用声波测井。原规程中的钻孔电磁波透视是一种包括单孔电磁波测井和孔间电磁波穿透的物探方法。本次修订把单孔电磁波测井编入本节，孔间电磁波穿透编入 3.6 节的电磁波 CT。综合测井的应用范围主要有:

1　电测井主要用于划分地层、区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带位置及厚度，确定含水层的位置、厚度，划分咸淡水分界面，也可用于测试岩层电阻率。

2　声波测井主要用于划分地层，区分岩性，确定裂隙和破碎带位置及厚度，也可利用测试的声波速度与其它参数计算地层岩土体的力学参数和孔隙度。

3　地震测井主要用于划分地层，区分岩性，确定破碎带的位置及厚度，也可进行地层波速测试。

4　自然γ和γ-γ测井、磁化率测井均可用于划分地层，区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带，γ-γ测井还可以测试岩层密度和孔隙度。

5　钻孔电视观察主要用于划分地层，区分岩性，确定岩层节理、裂隙、破碎带、软弱夹层的位置和产状，观察钻孔揭露的喀斯特洞穴的情况，也可用于检查灌浆质量、混凝土浇筑质量，及观察井下物体等。

6　孔壁超声成像主要用于确定钻孔中岩层、裂隙、破碎带、软弱夹层的位置及大致产状，也可用于检查灌浆质量、混凝土浇筑质量，粗测钻孔直径。

7　温度测井可用于测试含水层位置及地下水运动状态，还可测试灌浆和水泥固井时水泥回返高度。

8　井中流体测量可用确定含水层位置及厚度，测试地下水在钻孔中的运动状态和涌水量。在有利条件下，可估算地下水渗透速度等。

9　电磁波或雷达测井可用于划分地层和破碎带，也可用于探查近孔壁的不良地质体。

10　井径测量可用于测试钻孔的井径变化。

11　井斜测量可用于测试钻孔的倾斜方位和顶角。

3.9.2

1　电测井是利用地层、目的体之间的电性差异，电化学的渗透过滤和扩散吸附特性进行地质单元划分的，各种电测井因观测装置不同各有特长。

2　声波测井是利用地层的声速、声幅不同进行波速测试和地质单元划分。井液作为耦合剂，在探头和井壁岩体间起传递声波的作用，若没有井液，

删除的内容：　3)钻孔中进行放射性同位素示踪测量近年来取得突破性进展，可测定水文地质参数，将人工放射性同位素 $^{131}$I 投入单个钻孔中（单孔法）测量其浓度在井周分布，可求得地下水流向、渗透流速及渗透系数；在相邻钻孔中测量其浓度变化（多孔法），可求得孔隙度、导水系数、地下水的实际流速。

删除的内容：在了解

删除的内容：在了解

删除的内容：测网可

删除的内容：。

删除的内容：。

删除的内容：；

删除的内容：4 [...[2]

删除的内容：必须[...[3]

删除的内容：。

删除的内容：它们的

删除的内容：定义

删除的内容：[...[4]

删除的内容：并尽可能应

删除的内容：的

删除的内容：，

删除的内容：，而

删除的内容：其

删除的内容：自然[...[5]

删除的内容：将声[...[6]

删除的内容：。

声波测井将无法进行，当钻孔中有金属套管时，会产生高速屏蔽效应而失去探测能力；地震波测井的应用条件与声波测井类似。

3 自然γ测井是利用岩层放射γ射线的强度不同进行地质单元划分的，γ-γ测井是利用岩层对人工γ射线的散射作用进行地质单元划分的。由于γ射线的穿透能力很强，可以穿过金属套管，井液与套管对其不起屏蔽作用。

5 超声成像是利用井壁地层或目的体反射特性的差异，获得钻孔孔壁的展视图片。地层对超声波的反射特性是由波阻抗决定的，在图片上可得到孔壁不同介质的反映。

6 井中流体测量是利用钻孔流量计或人工投放溶质（盐或放射性同位素），测试钻孔中的流体运动速度(井轴方向或水平方向)来寻找含水层，确定钻孔中含水层之间的水力联系，测量含水层渗流速度，它可作为在钻孔中测试水文地质参数的辅助方法。

7 电磁波或雷达测井是利用岩层、目的体之间对电磁波吸收的不同进行地质单元划分的。当钻孔中有金属套管时，对电磁波产生屏蔽效应而失去了探测能力。

3.9.3

1 深度误差由传动误差、电缆的丈量误差和测井资料的解释误差等几部分之和组成，传动误差应根据允许的深度误差来决定。

4 曲线线迹过宽会增加测井成果的深度和厚度误差，过窄在技术上又难以达到。因此，规定应小于 0.5mm 是针对深度比例尺为 1/200 的记录而言，对大比例尺的记录可适当放宽。

3.9.4

1 测井电缆长度的丈量误差是造成测井误差的因素之一，故本款作了严格要求。

2 下井仪器设备被卡在钻孔内是测井工作中较容易发生的事故，也是很难处理的事故。为了避免卡孔，本款要求在测井前应先探孔。

5 原始曲线上准确标记了深度记号的测点深度可作为深度校正的基础。对具有深度显示的测井仪，同样需要进行深度记号的标记，但可根据显示深度的准确程度适当加大深度记号的间距。

6 规定了对最高升降速度的限制，实际工作中应根据测井曲线幅度变化的程度采用较低的升降速度进行记录。若使用表中所列以外的深度比例，则升降速度限制值可按线性内插或外延取得。

7 规定宜在提升电缆时正式测量是因为下放电缆时由于井液的浮力和井壁的摩擦阻碍，井下电缆不能保证拉直，这会造成测井曲线深度误差甚至出现错误。工作中，为了节省时间，通常在下放电缆时进行测试，以了解横向比例的选择是否适当，并可对提升时测井正式记录进行异常幅度的检验。但在进行温度和井液电阻率测井时，由于电缆下放会扰动井液，如果等提升电缆时再作正式记录，会使异常幅度变小，界面不清楚，甚至发现不了异常。因此，对这两种方法应在没有扰动的情况下，即下放电缆时进行正式测井，此时应避免井下探头受阻而造成测井资料的错误。

3.9.5

1 减小线路及地面电极接地电阻，可使电流测井曲线对地层电阻率的变化反应更灵敏，增加供电电压可抑制电极极化电位和自然电位的影响，电流曲线的的增量方向反映了地层电阻率的降低，反之则表示电阻率增高。因此，应在测井时检查确定电流曲线的增量方向，以防止资料解释中的出现差错。

2 自然γ测井前应使用检测源检查仪器工作是否正常，如有必要还应先用标准源或刻度器标定记录的横向比例。γ-γ测井应采用密度刻度器标定曲线的横向比例后，才能记录到密度值，否则只能记录γ-γ曲线。

3 孔壁超声成像的深度比例尺应根据钻孔的具体情况选定，选用较大的深度比例尺，可使井壁图像清晰，提高分辨率和成果的精度，也可与其它的测井方法选用的比例尺不同。

5 井中流体测量应在钻孔完工后进行，测井中应避免孔隙被堵塞，造成测量结果与实际之间差异。

3.9.6 由于钻孔保护较困难，应强调在井场对测井资料进行检查，对不合格的资料应作重复观测。

删除的内容：由于金属套管的

删除的内容：而失去了探测地层的功效

删除的内容：一般应

删除的内容：的

删除的内容：根据

删除的内容：的强度

删除的内容：它

删除的内容：于

删除的内容：波

删除的内容：和衰减

删除的内容：由于金属套管

删除的内容：地层的

删除的内容：的要求

删除的内容：用它

删除的内容：其

# 4 物探方法的综合应用

## 4.1 覆盖层探测

**4.1.1** 覆盖层探测的内容和任务比较多，通常是指在有利条件下物探可完成的工作。在不利条件下，有的任务不能进行时，应根据地球物理条件或通过试验后，具体分析和说明不能进行物探工作的原因。

**4.1.2**

1 覆盖层越厚，电测深法所需极距越长以及浅层折射波法的盲区也越大。受河谷地形限制，横河方向的距离不能符合要求时，可采用顺河方向跑极和布置排列，但测线不能离两岸基岩太近，避免旁侧影响。

9 采用综合测井和弹性波测试可为地面物探方法的解释提供物性参数资料，也是提高覆盖层探测效果的有效方法。

**4.1.3** 物探解释的深度、厚度是测点至探测界面的法线深度和厚度，当界面、地面倾斜时应注意换算到铅直深度和厚度。

**4.1.4** 以覆盖层大于 10m 时的相对误差作为基础是依据多年来生产实践制定的。覆盖层的探测精度应以相对误差表示，当覆盖层比较薄时，按相对误差计算出的绝对误差值比较小，目前物探解释精度不一定达到该绝对值的要求。因此，本条以相对误差表示探测精度并要求覆盖层大于 10m。

## 4.2 隐伏构造破碎带探测

**4.2.3** 依据低速带宽度可大致推算破碎带宽度。当覆盖层厚度大于 10m 时，应进行破碎带宽度偏移校正，破碎带宽度 b 等于低速带宽度减去偏移校正值。偏移校正值为：

$$\Delta b = 2h\tan(i) \qquad (4.2.3)$$

式中：$h$—覆盖层厚度；

$i$—低速带折射波临界角。

**4.2.4** 当覆盖层厚度小于 10m 时，应能查明宽度不小于 2m 断层破碎带的要求是以电剖面法为主考虑的。当覆盖层厚度大于 10m 时，应能查明宽度大于其厚度 1/4 的断层破碎带的要求是以浅层折射波法为主考虑的。当构造破碎带的视倾角小于 45°时应能判断其倾向和大致的倾角的要求，对无明显垂直断距的断层破碎带是以电法勘探资料考虑的；对有明显垂直断距的断层破碎带是以纵波浅层反射波法资料考虑的，其它物探方法只能根据异常带的特征推断断层破碎带的位置和走向。

## 4.3 喀斯特探测

**4.3.1** 岩溶的发育形成是可溶岩地层中地下水活动的产物，为了与国际接轨，将原规程中的岩溶更改为国际通用术语—喀斯特。

**4.3.2** 当基岩裸露时，接地电阻过大，传导电流很难输入高阻灰岩地层，而这种条件非常适合于位移电流的电磁方法。

**4.3.3**

1 空腔的喀斯特洞穴中充满空气，空气与围岩相比呈现高阻特征，电磁波 CT 探测空腔洞穴时，因电磁波来回反射形成高吸收特性；喀斯特的充填与否都不影响它的低速特征。

2 分析孔间 CT 探测喀斯特时，应注意剖面处绕射的射线、岩层各向异性造成的虚假异常，并在 CT 处理前进行校正或剔除，也可通过各向异性成像来消除。还应考虑地层界面与近地面的多次波的干扰，并先对数据进行分析和处理，如不能进行校正处理，应剔除近地面一定范围内的探测数据。

## 4.4 岩体风化带厚度与卸荷带深度探测

**4.4.1** 实践表明：在地形、地球物理条件有利，又有少量钻孔可利用时，浅层反射波法、电测深法是能够进行岩体风化分带，划分出全风化、强风化和弱风化界面的。通常，地面物探方法往往只能给出风化带的总厚度(强风化带底界面以上的风化层厚度)。在平洞和钻孔中，采用地震波法、声波法、电阻率测井和放射性测井划分全风化、强风化和弱风化界面的效果较好，但划分微风化界面难度较大。

**4.4.2** 地面物探方法中用浅层折射波法探测岩体风化带厚度，应分析排列长度、多重观测系统的布置是否合理。实践表明：当覆盖层较厚时（大于 20m），而风化带厚度相对较小时（如全风化、强风化带厚度为 10m 左右），折射波法和电测深法的效果往往欠佳，而反射波法仍可取得较好的效果。

4.4.3

1　岩体风化与卸荷带物性特征为：波速较低、对电磁波吸收强，张裂隙中含泥或含水时其电阻率较低。

4　当有钻孔可利用时，可通过地震测井和电阻率测井求得各层波速和电阻率，或通过孔旁时距曲线和电测深曲线反推各层波速和电阻率，均可提高定量计算的精度。同时，通过与钻孔资料的对比分析还可确定物性界面与地质界面是否一致。当测区无探坑和钻孔资料可参考时，应根据经验建立物性界面与风化界面的对应关系，这对定性分析是可行的，但用于定量计算时误差较大。

7　在弹性波 CT 的速度等值线图中，等值线分布较密集的位置往往是风化带界面，可结合速度划分出各风化带。若等值线分布较均匀，则表明风化层在速度上呈渐变关系。

## 4.5　软弱夹层探测

4.5.1　软弱夹层的厚度往往很小，有时为厘米级甚至毫米级的薄层，而其埋藏深度可能是几十米至几百米。因此，利用地面物探方法目前还无能为力，仅能依靠钻孔采用综合测井或弹性波测试等方法探测软弱夹层的位置和厚度。

探测软弱夹层的测井方法很多，它们的有效性取决于地层的地球物理条件及钻孔的情况，应根据具体情况选择。利用单一的测井方法往往得不到好的效果，只有使用综合测井方法才能得到可靠的结果。

探测软弱夹层中常用的方法是本规程 3.9 的测井方法，但在实际观测中并不排除选用其它有效的新方法和新技术以提高探测精度。

4.5.2

1 厚度为 20cm 左右的薄层，在深度比例尺为 1/50 的测井曲线上反映的异常宽度只有几个毫米（不同的测井方法反映的异常宽度不同）。因此，观测时应使用仪器中最大的深度比例尺以提高探测精度，并应避免过快的提升速度或电缆上下窜动导致抹掉反映薄夹层的异常及产生厚度误差，从而遗漏夹层。

2　在砂砾石覆盖层钻孔中探测软弱夹层的要求：

1）　砂砾石层中的软弱夹层具有低电阻率、高含泥量和较差渗透性的特征，在电阻率测井曲线中以低异常出现，在自然γ测井和自然电位测井曲线上分别以高异常和正异常出现。井液电阻率测井中的扩散法在所测钻孔中井液没有垂直方向活动时对软弱夹层可进行有效地探测；

2）　使用 SM 植物胶护壁时，SM 植物胶电阻率较低对小极距视电阻率测井和微电极系测井会产生影响；

3）　测井方法中除自然γ和γ–γ测井可不受套管、不受干孔限制外，其他方法当钻孔中有套管或为干孔时都无法应用。

3　在基岩钻孔中软弱夹层探测的方法选择是根据钻孔探测段中无套管、有井液，无套管、无井液和有套管三种情况分别叙述的。

4.5.4

1　根据实际工作中探测软弱夹层的情况总结如下：

1）　根据目前使用的小口径钻孔电视，监视器的显像管为 14 吋或 9 吋，孔壁实物显现到监视器屏幕上的图像被放大了 3 倍～10 倍（钻孔直径小时放大倍数大，反之则小）。因此，只要图像清晰，在电视屏幕上可不遗漏宽度大于 3mm 的异常。当夹层厚度小于 20mm 时，它的上下界面可在监视屏幕上同时显现，量出来的夹层图像厚度并除以放大倍数即为其层厚，因此，探测层厚的绝对误差可以控制在 3mm 以内；

2）　孔壁超声成像探测薄夹层的深度比例尺应大于 1/50，并应缓慢提升，其测井曲线中 5cm 厚的地层将会有 1mm 左右宽的异常。因此，只要夹层与围岩电阻率差异较大，在超声成像图像上可得到反映；

4）　自然γ测井、自然电位测井、视电阻率测井、声波测井和γ-γ测井等方法都属于体积测量，观测的参数都是某个体积范围内地层某种物理性质的平均反映。所以，它们对薄层分辨能力较差。以常用的电极系极距和声波测井、γ-γ测井探头的源距为 20cm 来考虑，软弱夹层厚度小于 20cm 时，测井曲线的异常不明显，大于 20cm 时才有反映。

2　测井成果中深度的相对误差主要是由电缆丈量、深度记号和记录传动等误差造成的，只要定性解释没有错误，定量解释用于划分地层界面造成的深度误差应很小。

## 4.6 滑坡体探测

4.6.1 依据滑坡体组成物质的不同可将滑坡分为土层滑坡和基岩滑坡两大类，其中土层滑坡包括粘性土滑坡、黄土滑坡和坡积土滑坡；基岩滑坡包括破碎岩体滑坡和完整基岩滑坡。不同种类的滑坡具有不同的地球物理条件，只要滑坡与滑动面下部的岩（土）之间存在明显的波速或电阻率差异，便可采用地震勘探和电法勘探进行探测，如果差异较小则应用物探方法探测就比较困难。

当前滑坡体探测主要使用电法勘探和地震勘探，在多数情况下浅层折射波法的效果较好，水利水电工程勘察中也大量应用，而电法勘探探测地下水和含水层效果较好。由于探测滑坡体的难度较大，观测前应进行多种方法的试验，从中选取一种探测效果较好的方法作为本测区的主要方法。

4.6.2 浅层折射波法的大相遇端炮位于山头后面时易产生穿透现象，应避免放山后炮和隔山头放炮；浅层反射波法应作好展开排列，根据展开排列确定最佳窗口和反射层位，并与浅层折射层位相对应。

4.6.3 应分析物性层与地质层不一致的情形，特别是滑坡体内地质分层的物性差异很小时物探方法很难探测。此外，电性分层和速度分层也经常不一致。因此，同时使用地震勘探和电法勘探应分析两者的差异。

4.6.4 以基岩面、断层面或风化界面为滑动面的滑坡，当地形起伏较小时可取得较好的探测精度；而以不同成因的土层界面为滑动面的土层滑坡和以软弱夹层为滑动面的完整基岩滑坡的物性差异较小，探测精度相对较低。

## 4.7 堤坝隐患探测

4.7.1 渗漏通道是洞穴、裂缝、松软层、沙层和土质不良堤段等隐患在高水位条件下的反映。

4.7.2

2 普查和详测都是单一方法或多种方法的组合，普查要求能查出探测堤段隐患的大体位置及分布，详测要求能确定探测堤段的各类隐患的性质、位置和埋深。为了克服普查的局限性，要求 20%的堤段进行详测，其目的是：检查异常的可靠性，排除假异常，对异常的性质作进一步的确认，对原来没有发现异常的地段进行探测和确定是否遗漏异常。

3 测点的定位精度应符合对隐患进行验证和处理的要求。没有管理桩的堤防应先埋设管理桩，然后再作隐患探测。已有管理桩的堤防应先检查其桩号（千米桩、百米桩）的准确性，当测量桩号与实际桩号之差大于 1m 时，应以实际桩号为准，并在报告中附对比表等资料。

4.7.3 资料处理和解释中堤坝隐患分类：质量较好段为堤段的堤身土质优良、均匀、未发现隐患；质量相对较好段为堤段的堤身土中含沙量较高但未成层，或者土质整体均匀性差；隐患发育段为凡发现洞穴、裂缝、松软层、高含沙层等隐患的堤坝段，一律从隐患边缘向外推 10m，定为隐患发育段；当两个隐患发育段之间的距离小于 10m 时，应予合并且视为一个隐患发育段。

## 4.8 隧洞施工超前预报

4.8.1 利用物探方法对隧洞施工掌子面进行超前预报，存在一些不利因素：掌子面场地狭小、凹凸不平、施工干扰大，这些因素会给预报带来一定的误差。因此，隧洞施工掌子面超前预报手段还有待进一步开发和完善，本节是根据目前水利水电工程勘察生产实践经验总结而成。

4.8.2

1 地震负视速度法测线应沿隧道轴线方向布置在掌子面后面的侧壁或底面，震源布置在测线上并远离掌子面，检波器宜为 100Hz，并用 12 道～24 道接收。

2 探地雷达应沿掌子面中心布置一条水平剖面和一条垂直剖面，若掌子面较大亦可在掌子面的上、下部各布置一条水平剖面，点测时点距应小于 0.5m。

3 垂直反射法应在掌子面上进行观测，观测时应通过掌子面中心布置一条水平剖面和一条垂直剖面，震源为锤击激发。激发点与接收点间距宜采用 0.2m 并保持不变，检波器应与掌子面耦合好，点距宜等于偏移距。

4.8.3

1 地震负视速度法（国外称 TSP）是利用地震波在不均匀地层中产生的反射波特征，来预报隧道施工开挖面前方及周围区域的地质情况。在隧道洞室侧壁一定范围内布置激振点激发，产生的地震反射波在隧道周围岩体内传播，当岩石强度发生变化时，比如有断层或岩层变化，地震波信号的一部分将返回，返回的信号将被仪器接收，这个信号称为反射信号，反射界面与测线直立正交时，所接收的反射波与直接由震源发出的信号在记录图像上呈负视速度。

2　垂直反射法是在掌子面上激发地震波，地震波遇到波阻抗面时发生反射，并同时在掌子面上接收反射波。当所探测的反射界面近于直立，其走向与隧道正交时，掌子面到反射界面的距离 $d$ 可由接收点处接收到反射波的往返时间 $t$ 和掌子面与反射面之间岩体的地震波速度 $v$ 求得，即 $d = vt/2$ 。

## 4.9 地下水探测

**4.9.1** 本条在原规程中为水文地质调查及水文地质参数测试中的内容，本次修订改为地下水探测，将水文地质参数测试独立成 4.21 节。

**4.9.2** 地下水探测的测网布置应根据探测任务要求选择物探方法，并按覆盖层探测、隐伏断层破碎带探测或喀斯特探测的测网布置进行，探测的范围应适当扩大，以了解地下水的补给与排泄关系，不能只局限于测区涉及的地区。

**4.9.3** 目前应用物探方法进行地下水探测是间接的找水方法，物探应与水文地质测绘和水文地质钻探、试验工作紧密配合，切实做好物探资料的定性分析和定量解释，并特别注意对典型水文地质剖面的解释。各种物探方法对含水层和渗透带有其不同的物性特征。因此，地面探测应使用综合物探方法相互验证或补充。

## 4.10　环境放射性检测

**4.10.1** 在水利水电工程勘察中，环境放射性检测主要应用于坝址和主要建筑物。环境γ 本底辐射主要是γ 射线照射，尤其在花岗岩地区应检测并取样检验；土壤、空气中都有少量氡气及其子体等放射性元素，会被摄入人体，也会通过生物循环，经食物链进入人体，也应加以检测，以确保环境条件符合卫生标准。

**4.10.2** γ 测量仪器轻便，测量方法简单，是常用的环境检测方法。环境放射性检测可先对区域地质构造做初步检测，然后进行γ 测量，可事先不布测线，按选定比例尺要求，把测线画在图上，按图上规定的测线进行观测。γ 测量测线应垂直或斜交岩层或主要构造线走向，均匀地分布全测区。

**4.10.4**

3　环境γ照射量率计算：

1）照射量与吸收剂量的关系。吸收剂量是电离辐射与物质相互作用时，表示单位质量的物质吸收电离辐射能量大小的物理量；在相同剂量条件下，由于射线性质和照射条件不同，各种射线对肌体的危害程度也不同，则用“剂量当量(H)”来统一衡量各种射线的危害性，剂量当量与吸收剂量有如下的关系：

$$H=D\times Q\times N \qquad (4.10.4-1)$$

式中：$D$－为吸收剂量；

$Q$－为品质因素；$X$、γ 射线的 $Q$=1；

$N$－为修正因子，外照射条件下，$N$=1。

在带电粒子平衡条件下（带电粒子平衡：每一个带电粒子离开围绕该点的体积元时，就有一个同类、同能量的带电粒子进入该体积元补充），照射量为 $2.58\times10^{-4}$C/kg 的γ（或 x）射线传递给 1kg 干燥空气中次级电子的总能量为 $8.73\times10^{-3}$J，因此在同样条件下，照射量与吸收剂量($D_0$)的关系为：

$$D_0=8.73\times10^{-3} \qquad (4.10.4-2)$$

式中：$D_0$－为空气中同一点处的吸收剂量（Gy）；

$X$－为空气中同一点处γ（或 x）射线的照射量。

2）许多学者对空气吸收剂量率与人体受到的外照射剂量当量之间的定量关系作了深入的研究，发现 γ 射线外照射的剂量当量率与室外空气的吸收剂量率之比为 0.82，与室内空气吸收剂量率的比值为 0.69，联合国辐射委员会综合众多研究后提出外照射的有效剂量当量与空气吸收剂量的最佳比值为 0.7Sv/Gy，即：

$$H=D_0\times0.7\text{Sv/Gy} \qquad (4.10.4-3)$$

在放射性测量工作中，可以用γ 射线仪或γ 能谱仪直接测试γ辐射场空气的照射量率，再计算出吸收剂量 $D_0$，有条件时，可以用γ 剂量仪直接测试 $D_0$，再根据上式计算出剂量当量值。

4　环境放射性辐射控制标准：按照 GB18771 规定，从事非辐射工作的公众成员，年有效剂量当量不超过 1mSv。如果按终生剂量平均的年有效剂量当量不超过 1mSv，则在某些年份里允许以每年 5mSv 作为剂量限值。

## 4.12　灌浆效果检测

**4.12.1** 检测内容包括固结灌浆效果检测和帷幕灌浆效果检测，其中固结灌浆效果检测目的是了解岩体力学性能的改善，而帷幕灌浆效果检测目的是了解基础防渗能力的提高，两者有一定的区别，选用物探方法时应注意其应用效果。

**4.12.3** 资料处理和解释中列出了资料分析的几种方法：

1 对比分析法包括直接对比分析法和统计对比分析法。直接对比分析是将在同一位置测试的灌前和灌后的单孔 $V_p$ 值和（或）$V_s$ 值、穿透 $V_p$ 值和（或）$V_s$、$E_d$ 和（或）$E_s$ 值分别进行对比，计算出各自的提高率或提高幅度，将其与设计值进行比较，以评价灌浆效果；统计对比分析是将同一灌浆单元内的灌前和灌后的单孔 $V_p$ 值和（或）$V_s$ 值、穿透 $V_p$ 值和（或）$V_s$、$E_d$ 和（或）$E_s$ 值分别进行统计，计算和绘出灌前和灌后的统计曲线，计算出灌浆前后统计量的提高率和提高量，与设计值进行对比分析，以评价灌浆单元内的灌浆效果。该方法用于抽样检测具有统计意义并要求检测数据足够多并且在灌浆单元内分布足够均匀。统计分段数量的多少及间隔取决于灌浆单元的复杂程度。

2 达标分析法是将灌浆单元内灌后的单孔 $V_p$ 值和（或）$V_s$ 值、穿透 $V_p$ 值和（或）$V_s$、$E_d$ 和（或）$E_s$ 值依据地质情况分别与设计所要求的设计值或达标值进行比较，并将比较结果分别进行统计分析，以得出达标率，依据达标率对灌浆效果进行评价。

3 现象描述适用于声波 CT 和钻孔电视，灌浆前后基础低强度、渗漏不密实区的变化情况可由声波 CT 描述，灌后岩体张性裂隙、喀斯特、破碎带的充填情况可由钻孔电视观察来描述。

## 4.13 混凝土质量检测

**4.13.1** 超声波回弹综合法是引用规程 JGJ/T23 的一种检测混凝土强度的方法，其使用应符合该规程的要求。表面声波法是引用规程 CECS 21 中的一种检测混凝土缺陷的方法，其使用应符合该规程的要求。

**4.13.2**

1 按设计要求，检验评定混凝土强度，应以标准方法制作和养护的原则，边长为 150mm 的立方体试件为 28 天龄期，用标准试验方法测得抗压强度值为该试件的标准强度。对一批混凝土而言，其强度标准值是一个统计概念的特征值，它是一批用标准方法测试的标准强度总体分布中的一个值，强度低于该值的统计量应小于 5%，混凝土强度等级就按该强度标准值划分。因此，在无损检测中，采用某一物理量（如回弹值、声波值等）与混凝土强度值建立相关关系时，所指的强度值应是标准强度。根据所建立的相关关系推算的无损检测结果应是混凝土标准强度的推算值。

2 建立相关关系曲线的混凝土试块与待检混凝土应是相同的原材料、配合比、施工工艺和养护条件，测试试块应达到一定数量，以符合建立相关曲线的要求。

## 4.15 洞室松弛圈检测

**4.15.1** 地下洞室开挖后，破坏了岩体原有的平衡条件，岩体内的应力重新分配，在洞壁周边的岩体将出现应力释放的松弛圈（如图 4.15.1）。洞壁围岩的应力变化和松动厚度的变化取决于岩体所处的地质构造情况、岩石的物理力学特征，以及地下洞室在岩体中的部位、形状、洞径大小和施工方法等因素。

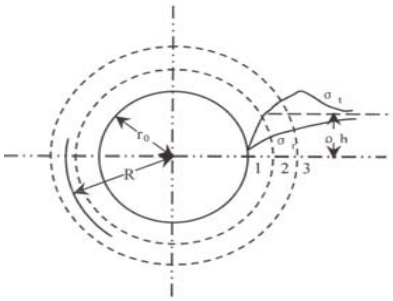



**图 4.15.1 洞室开挖后岩体的应力状态**

**4.15.3** 用声波法（单孔声波或穿透声波）测试洞室围岩松弛圈是依据围岩不同性质的各带具有不同的声波速度层，应力下降带表现为相对的低速区（包括爆破和开挖引起的松动），应力上升带表现为相对高速区，根据实测围岩不同的速度层就可划分松动带的范围和性质，洞室围岩波速与围岩深度曲线可依据图 4.15.3 所示的四种类型进行解释。

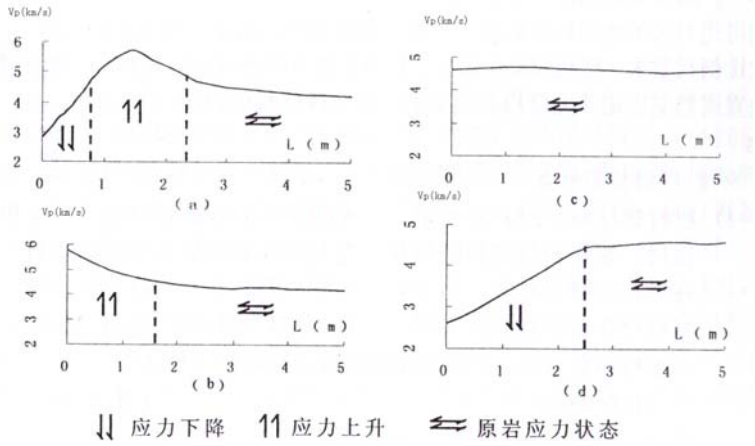
1 图 4.15.3（a）所示类型曲线可划分出应力上升带和不受开挖影响的原始应力带。洞壁附近速度减低，反映了表层岩体松弛，随着深度增加，出现了速度增高，这是洞室周边的应力集中区，速度的增高表明该区岩体完整，应力集中明显。

2 图 4.15.3（b）所示类型曲线代表洞径较小且四周岩体完整坚硬时，洞壁只有弹性形变，出现应力集中现象，无松弛区。

3 图 4.15.3（c）所示类型曲线代表洞壁松弛不明显，各测点速度基本一

致，速度较高，但总的速度接近于完整岩体速度。

5　图 4.15.3（d）所示类型代表洞壁松弛，应力集中现象不明显，这种现象常出现在洞壁岩体较为破碎的洞室。




$r_0$—洞室半径；R—洞室中心至松动带的距离；ρ—岩石容重；
h—洞室埋深；$\sigma_t$—环向主应力；$\sigma_r$—径向主应力；
1—应力下降带；2—应力上升带；3—原始应力带

**图 4.15.3　洞室松动圈测试速度与钻孔深度变化关系曲线**

## 4.16　锚杆锚固质量检测

**4.16.1**　在水利水电工程建设中常采用 10m 以上长锚杆，但锚固材料有时不一定使用砂浆，但本规程中只涉及检测锚杆的长度和砂浆的饱和度，还需了解钢筋连接方式及损伤情况。在理想情况下，若能测出锚杆各段的有效锚固长度，则能大致估算锚杆整体抗拔力，可结合拉拔试验估算整个锚杆的锚固力。

以前检测锚杆常用拉拔试验和开挖检查，这些均为有损检测方法。低应变声波反射法利用声波的杆件传播和反射原理，使用的应力波为频率较高声波，与桩基检测相比，具有更高的分辨率，可广泛地用于锚杆锚固质量检测中。

**4.16.2**

1　抽检率依据规程 JGJ106 中检测数量的要求。

2　由于施工单位的技术水平和管理水平存在差异，因此按施工部位进行抽检具有较好的代表性。根据我国目前实际情况，由业主、设计、监理、检测、施工各方现场共同商定抽检部位是可行的。

**4.16.3**　锚杆锚固质量分级是根据所建立的基准锚杆档案资料确定的，存在一定的局限性，可供各检测单位参考选用。

## 4.17 防渗墙质量检测

**4.17.1**　防渗墙特指水库大坝防渗墙，而把江河湖海防渗墙称作截渗墙。为叙述方便，本规程不予区分，一律称作防渗墙。这里的检测内容是根据水利水电工程建设的需要提出的。

## 4.18 堆石（土）体密度和地基承载力检测

**4.18.1**　核子密度法是引用规程 SL275 的一种堆石（土）体密实度检测方法，其使用应符合该规程的规定。

**4.18.2**

4　附加质量法检测仪器设备要求：

1）　激振器可选用 50kg 铁块并用手提落锤激振；

2）　拾振器宜选用速度型检波器，其灵敏度应大于 250mN/cm/s，并能在 10Hz～120Hz 频带内接收信号；

3）　信号采集器宜选用频带 2Hz～2kHz、采样间隔 0.05ms～2ms、增益大于 60dB、采样点数大于 1024 点、频率分辨率高于 0.2 Hz，且具有自动保存记录和频谱分析功能的仪器；

4）承压板宜选用方形或圆形，厚度与边长或直径的比大于 0.02 的钢板，用于堆石（土）体密度检测的承压板边长或直径宜小于被检测层的厚度，且宜大于介质的最大粒径，用于地基承载力检测的承压板边长或直径应按工程要求进行选择；

5）　附加质量块宜选用标准计量的铸铁块或其它类型的钢、铁、砼块等。

5　附加质量法测试承压板位置如图 4.18.3－1 和图 4.18.3－2 所示，观测系统如图 4.18.3－3 所示，测试要求如下：

1）　堆石（土）体密度检测中，当被检测层的厚度大于介质最大粒径

的三倍时应将承压板中心对准被检测点中心，当被检测层的层厚度小于介质最大粒径的三倍时应以测点为对称中心布置 2 次～4 次承压板作检测，承压板下应平整，宜铺 20mm～30mm 粗砂；

2） 应将拾振器用粘合剂固定在承压板中心，激发点设在承压板以外 200mm 左右；

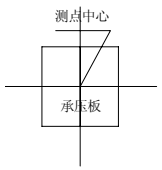



**图 4.18.3—1 被检测层厚度大于介质最大粒径三倍时的承压板位置图**

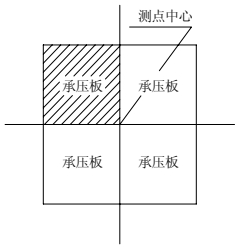



**图 4.18.3—2 被检测层厚度小于介质最大粒径三倍时的承压板位置图**

3） 速度测试应在测点处布置十字测线，偏移距与道间距相等，检波点数宜大于六个，测线长度宜大于承压板边长或直径。

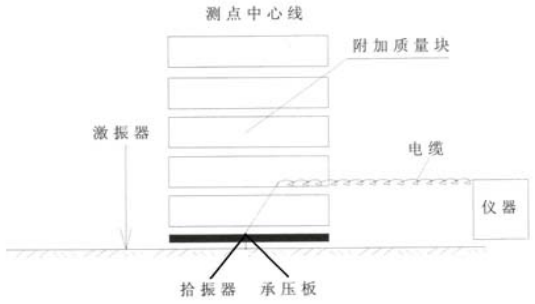



**图 4.18.3-3 附加质量法观测系统**

**4.18.3** 资料处理和解释中附加质量法的处理步骤和方法：

1 附加质量法的处理步骤为：首先，将采集的时域信号进行付氏变换，求取每一级附加质量△$m$ 所对应的共振频率 $f$ 。其次，根据公式 $D=1/(2\pi f)^2$ ，计算每一级附加质量△$m$ 所对应的 $D$，并作 $D$～△$m$ 曲线。最后，根据附录 C.6.1－1 公式计算介质的刚度 $k$ 及参振质量 $m_0$；

2 附加质量法资料处理的三种方法是：直接求解法是将测点刚度 $k$、纵横波速度 $V_P$、$V_S$ 代入公式直接求得测点的密度值 $\rho$；$k$～ $\rho$ 相关法是利用事先通过试验建立刚度 $k$ 与密度 $\rho$ 的关系，输入测点刚度 $k$，求得测点密度 $\rho$；衰减系数法是将事先标定的衰减系数 $\beta$ 及实测的测点波长 $\lambda_p$ 、地基参振质量 $m_0$ 代入附录 C.6.1－2 公式求得该测点密度 $\rho$（$A$ 为承压板面积）。

## 4.19 钢衬与混凝土接触检测

**4.19.2** 检测方法技术中检测仪器的要求：

1 仪器应具有外触发功能、记录对比和保存功能。

2 具有浮点放大功能、频带宽宜为 10Hz～5kHz、采样间隔宜小于 20μs 。

3 接收传感器频带宽宜为 10Hz～2MHz，速度型传感器灵敏度应大于 250mv/cm/s。

## 4.20 堆石坝面板质量检测

**4.20.1** 库岸面板及浆砌块石质量检测可参照该节的规定执行。

## 4.22 岩土体物理和力学参数测试

**4.22.3** 若因故未实测得到岩样的 $V_{pr}$ 值，又需提供岩体完整性系数时，可根据实践经验取声波测井曲线上 $V_p$ 最高值（要求层厚度大于 1m ）作 $V_{pr}$ 值，以计算沿钻孔岩体的完整性系数；或取新鲜完整岩体洞段的地震波排列 $V_p$ 最高值作 $V_{pr}$，以计算平洞岩体的完整性系数。

页 4: [1] 删除的内容 北京国电 2003-10-15 8:55:00

根据观测方法的不同可分为电位观测法、电位梯度观测法和追索等电位线法。

页 67: [2] 删除的内容 袁景花 2004-4-23 9:04:00

4 在有条件时，宜采用多种方法综合应用。如射气测量、210Po 测量、能谱测量、β+γ测量等。在覆盖层较厚的地区，用深孔射气测量和深孔γ测量将会测到地面难以发现的异常。

6 同位素示踪法近年来在水利电力工程勘测、设计施工、运行阶段应用较多，能准确测定渗流场的流速、流向，测定地下水流速、流向，对查明堤坝渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏原因发挥了重要作用，其外业工作技术要求有待总结、提高。

页 67: [3] 删除的内容 袁景花 2004-4-23 10:00:00

必须指出，由于有关控制标准采用单位不统一，在实际工作中易造成误解和麻烦。

因为

页 67: [4] 删除的内容 袁景花 2004-4-23 10:15:00

用平衡当量浓度可直接估算受照剂量在以往的标准中经常用到。近年来研究表明：测量室内氡浓度比测量其子体浓度更方便。特别是随着测氡技术的发展和成熟，用比较简单的装置可以测量到氡的月均或年均浓度，而氡子体在连续测量和刻度方面要受到很多条件的限制。另一方面室内氡的控制标准是面向公众的，平衡当量浓度在概念的理解和解释上也有一定的难度。在这种情况下，可用氡浓度（$C_{Rn}$）及平衡因子（F）代替氡短寿命子体的浓度（平衡当量浓度 $EECC_{Rn}$）。1993 年国际放射防护委员会（ICRP）第 65 号报告中用氡的年平均浓度取代了平衡当量氡浓度。考虑到测量氡气的年均浓度比测量氡子体的年均浓度更成熟，也更容易做到，并与世界接轨。

页 67: [5] 删除的内容 袁景花 2004-4-23 10:25:00

自然电位测井是利用电化学的渗透过滤和扩散吸附特性，电测井能在钻孔中辨别电阻率或渗透性、地下水矿化度不同的地层和地质体，测定它们的位置和厚度。

页 67: [6] 删除的内容 袁景花 2004-4-23 10:45:00

将声波由发射器传向地层，又由地层传向接收器