

ICS 27.100

P 60

备案号: J1460—2012

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5159 — 2012

代替 DL / T 5159 — 2002

电力工程物探技术规程

**Technical code for geophysical exploration
of electric power engineering**

2012-08-23 发布

2012-12-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

电力工程物探技术规程

Technical code for geophysical exploration
of electric power engineering

DL/T 5159—2012

代替 DL/T 5159—2002

主编部门：电力规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2012年12月1日

中国计划出版社

2012 北 京

国家能源局
公告

2012 年 第 6 号

按照《能源领域行业标准化管理办法(试行)》(国能局科技〔2009〕52 号)的规定,经审查,国家能源局批准《光伏电站环境影响评价技术规范》等 288 项行业标准(见附件),其中能源标准(NB)15 项、电力标准(DL)104 项、石油天然气标准(SY)169 项,现予以发布。

附件:行业标准目录

国家能源局
2012 年 8 月 23 日

附件:

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
.....						
115	DL/T 5159—2012	电力工程物探技术 规程	DL/T 5159—2002		2012-08-23	2012-12-01
.....						

前 言

根据国家能源局《关于下达 2009 年第一批能源领域行业标准制(修)定计划的通知》(国能科技〔2009〕163 号)的要求,由中国电力工程顾问集团西北电力设计院会同有关设计单位对原《电力工程物探技术规程》DL/T 5159—2002 进行修订而成。

在修订过程中,规程编制组总结了电力行业近十年来工程物探的新经验,调研了物探学科的新进展,吸取了行业内外相关科研应用成果,并广泛征求了行业内设计单位的意见,最后经专家审查并修改定稿。

本规程修订后共有 10 章 3 个附录,主要规定了电力工程物探技术方法、技术要求、技术措施、工程应用、资料分析及解释方法。本次修订的主要内容是:

1. 整体结构作了大的调整,标准正文框架按《工程建设标准编写规定》(建标〔2008〕182 号)设置,技术部分将原以物探方法技术为主线改为以方法技术和探测对象并重的新结构,技术内容按板块编排;

2. 新增换流站/接地极、核电站、地下人工空间、冻土、水域、加固工程、人工地基、杂散电流等电力物探新业务内容;

3. 增加了地质雷达法、瞬变电磁法(TEM)、大地电磁测深法(MT)、浅地层剖面法及双探针法等物探新方法,删除了甚低频电磁法、动力参数法、机械阻抗法等工程中不再使用的陈旧方法;

4. 新增了术语与符号;

5. 新设一章强化物探仪器的使用与维护要求,同时删减了阶段性任务与工作安排等管理性内容;

6. 增补了条文说明;

7. 新增附录对常用物探计算公式集中罗列,同时精简了附录数量,并对常用物探方法的原始记录表格作了调整与补充;

8. 简化了条文内容与表述。

本规程自 2012 年 12 月 1 日起实施,原《电力工程物探技术规程》DL/T 5159—2002 同时废止。

本规程由国家能源局负责管理,由电力规划设计总院提出,由能源行业发电设计标准化技术委员会负责日常管理,由中国电力工程顾问集团西北电力设计院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送电力规划设计总院(北京市西城区安德路 65 号,邮编:100120)。

本规程主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位:中国电力工程顾问集团西北电力设计院

参 编 单 位:中国电力工程顾问集团华北电力设计院工程有限公司

中国电力工程顾问集团华东电力设计院

中国电力工程顾问集团公司

中国电力工程顾问集团东北电力设计院

主 要 起 草 人:刘厚健 李党民(以下按姓氏笔画排列)

方 军 邓南文 刘志伟 齐建国 李仁海

胡 钧 侯寿贵 贾 宁

目次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	主要符号	(5)
3	基本规定	(9)
4	仪器设备	(14)
4.1	仪器维护	(14)
4.2	仪器使用	(15)
5	物探方法与技术	(16)
5.1	直流电法	(16)
5.2	电磁波法	(30)
5.3	弹性波法	(36)
5.4	天然放射性法	(48)
5.5	双探针法	(50)
5.6	井中探测法	(52)
6	常见地质界面探测	(58)
6.1	土层界面	(58)
6.2	基岩面与风化带	(59)
6.3	岩溶和土洞	(60)
6.4	断裂和破碎带	(62)
6.5	滑坡	(64)
6.6	地下水	(65)
6.7	冻土	(67)
6.8	水域	(68)

7	地下管沟与坑室探测	(70)
7.1	地下管沟	(70)
7.2	地下坑室	(71)
8	岩土特性指标测量	(74)
8.1	电性参数	(74)
8.2	动力特性参数	(77)
8.3	土壤热参数	(80)
8.4	放射性指标	(82)
9	岩土工程施工质量检测	(84)
9.1	基桩	(84)
9.2	人工地基	(86)
9.3	锚固工程	(88)
10	物探成果报告	(90)
10.1	文字报告	(90)
10.2	图表	(91)
附录 A	原始资料记录格式	(92)
附录 B	常见岩土介质物性参数表	(97)
附录 C	物探常用计算公式	(100)
本规程用词说明	.....	(108)
引用标准名录	.....	(109)
附:条文说明	.....	(111)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Main symbols	(5)
3	Basic requirements	(9)
4	Instrument and equipment	(14)
4.1	Instrument maintenance	(14)
4.2	Instrument use	(15)
5	Geophysical exploration methods and techniques	(16)
5.1	Direct current electrical methods	(16)
5.2	Electromagnetic methods	(30)
5.3	Elastic wave methods	(36)
5.4	Natural radioactive explorations	(48)
5.5	Double-tip method	(50)
5.6	Geophysical logging methods	(52)
6	Common geological interface explorations	(58)
6.1	Layered in quaternary system	(58)
6.2	Bedrock surface and weathered zone	(59)
6.3	Karst and soil cave	(60)
6.4	Faulted and fracture zone	(62)
6.5	Landslide	(64)
6.6	Ground water	(65)
6.7	Frozen soil	(67)
6.8	Water area	(68)

•

7	Surevy of underground pipeline and camouflet	.....	( 7 0)
7.1	Underground pipeline	.....	( 7 0)
7.2	Camouflet	.....	( 7 1)
8	Geotechnical characteristic parameters measurement	.....	( 7 4)
8.1	Electrical parameters	.....	( 7 4)
8.2	Dynamic characteristic parameters	.....	( 7 7)
8.3	Soil Thermal physical parameters	.....	( 8 0)
8.4	Radioactive index	.....	( 8 2)
9	Inspection of geotechnical engineering		
	Construction quality	.....	( 8 4)
9.1	Foundation piles	.....	( 8 4)
9.2	Artificial foundation	.....	( 8 6)
9.3	Anchor engineering	.....	( 8 8)
10	Preparation of geophysical exploration report	.....	( 9 0)
10.1	Text report	.....	( 9 0)
10.2	Figures and tables	.....	( 9 1)
Appendix A	The record layout of the original		
	data	.....	( 9 2)
Appendix B	The reference list of common geotechnical		
	medium physical parameter	.....	( 9 7)
Appendix C	The common calculation formula of		
	geophysical exploration	.....	(100)
	Explanation of wording in this code	.....	(108)
	List of quoted standards	.....	(109)
	Addition;Explanation of provisions	.....	(111)

1 总 则

1.0.1 为规范电力工程物探技术工作,引导物探作业活动,保证物探成果质量,充分发挥物探在电力工程建设中的作用,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于火力发电厂、核电站、风电场、太阳能电站、生物质能发电厂、变电站(包括换流站)、架空输电线路、电力调度中心、电力试验基地等类型的新建和扩(改)建电力工程。

1.0.3 工程物探是工程勘察和岩土工程施工质量检测的重要手段。合理使用物探方法,有助于查明岩土工程条件,提高勘测效率,为技术分析和工程评价提供依据。

1.0.4 电力工程物探方法主要有:直流电法、电磁波法、弹性波法、天然放射性法、双探针法和井中探测法等,实际应用中应根据现场工作条件、地球物理特征和各种物探方法的特点,选用一种或几种适宜的方法。

1.0.5 电力工程物探工作应与地质调查、岩土工程勘察及试验紧密结合,重视成果验证与回访,认真总结经验,不断提升技术水平。

1.0.6 电力工程物探工作应积极采用和推广新技术、新方法,开拓新途径,扩大应用范围、提高成果精度。

1.0.7 电力工程物探工作,除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 物探 geophysical exploration

以地质体内部的各种物理性质差异为基础,运用适当的物理学原理和相应的仪器设备,通过分析研究观测到的物理场特征,对地质体(含地下人工坑室与设施)进行推断解释的勘探方法。

2.1.2 综合物探 comprehensive geophysical exploration

采用两种及以上物探方法对同一地质体进行探测,并对其成果资料进行综合分析。

2.1.3 直流电法 direct current electric method

通过探测地质体直流电场的分布特点和规律达到研究目的的一类地球物理勘探方法。

2.1.4 电阻率法 resistivity method

通过观测和研究介质之间电阻率的差异来探测地质体的一种直流电法勘探方法。电阻率法包括:电(阻率)测深法、电(阻率)剖面法、高密度电阻率法。

2.1.5 测深法 electrical sounding

在同一测点上逐次扩大供电极距,探测测点处沿垂直方向由浅到深的地质体电阻率变化的一种电阻率勘探方法。

2.1.6 电剖面法 electrical profiling

保持某一类型装置的极距不变,探测大地电阻率沿水平方向变化的一种电阻率勘探方法。

2.1.7 高密度电阻率法 high-density resistivity method

一次布设多个电极同时实现电测深法和电剖面法的一种电阻率勘探方法,简称高密度电法。

2.1.8 自然电场法 self-potential method

通过观测和分析自然电场的分布规律来查明地质体的一种直流电法勘探方法。

2.1.9 充电法 mise-a-la-masse method

通过人工施加直流电场,观测和分析电场分布规律,查明地质体的一种直流电法勘探方法。

2.1.10 激发极化法 induced polarization method

通过观测和分析大地激电效应来查明地质体的一种电法勘探方法。

2.1.11 电磁波法 electromagnetic method

通过观测和分析交变电流场的分布和变化来研究地质体的一类地球物理勘探方法,也称为“交流电法”。

2.1.12 地质雷达法 Geological radar

通过向地下发射并接收具有一定频率的高频脉冲电磁波,识别和分析反射电磁波波形特征来查明地质体的一种电磁波勘探方法。

2.1.13 瞬变电磁法 transient electromagnetic method(TEM)

通过不接地回线或接地电极向地下发射脉冲电磁波,观测和分析地下涡流而产生的二次电磁场特征来查明地质体的一种电磁波勘探方法。

2.1.14 大地电磁测深法 magnetotelluric sounding method (MT)

通过观测和分析地球表面天然存在的电磁场来查明地质体的一种电磁波勘探方法。

2.1.15 弹性波法 elastic wave method

通过观测和分析弹性波在介质中的传播特征来研究地质体的一类地球物理探测方法。

2.1.16 浅层地震反射波法 shallow seismic reflection method

通过观测和分析浅层地震反射波的特征来查明地质体的一种

弹性波法,简称“浅层反射波法”。

2.1.17 浅层地震折射波法 shallow seismic refraction method

通过观测和分析浅层地震折射波的特征来查明地质体的一种弹性波法,简称“浅层折射波法”。

2.1.18 瑞雷波法 rayleigh wave method

通过观测和分析瑞雷波的频散特性来查明地质体的一种弹性波法,按激振方式可分稳态法和瞬态法。

2.1.19 超声波法 ultrasonic method

通过观测和分析超声波在岩体、混凝土中的波速和振幅变化来查明地质体、或检测施工质量的一种弹性波法。

2.1.20 基桩动测法 pile dynamic testing

通过观测和分析应力波在桩身中传播特性来评价桩身完整性、推算基桩力学参数的一类弹性波法。包括低应变法、高应变法和声波透射法。

2.1.21 振动测试法 vibration testing

通过观测和分析场地和基础在人工振源或自然振源下的振幅、频率等参数来计算其动力学参数的一类地球物理测试方法。

2.1.22 地脉动测试 ground pulsation testing

观测和分析场地的常时微动,提供场地的卓越周期和脉动幅值等参数的一种振动测试方法,也称为常时微动测试。

2.1.23 激振测试 forced vibration testing

通过观测和分析天然地基或人工地基在不同激振频率下的振幅响应来计算地基动参数的一种振动测试方法。

2.1.24 天然放射性探测法 natural radioactive exploration

通过观测和分析天然放射性物质的射线强度来研究地质体和支撑环境评价的一类地球物理探测法。

2.1.25 双探针法 double-tip method

利用双探针对被测介质瞬态加热和测量来获取介质热参数的一种测试方法。

2.1.26 热导率 coefficient of thermal conductivity

单位厚度物质,温差为 1°C 时,每秒钟经单位断面通过的热量,即单位温度梯度下的热通量,也称为导热系数、导热率。

2.1.27 容积热容量 volume heat capacity

单位体积物质,当温度增加或减少 1°C 时所需要吸收或放出的热量,也称为体积热容量。

2.1.28 热扩散率 thermal diffusivity

热导率与容积热容量之比,也称为导温系数。

2.1.29 井中探测法 geophysical logging method

观测和分析钻井井壁、井身的各种物理参数的一类地球物理探测方法。包括电测井、电磁波测井、天然放射性测井、地震波测井、井下电视等。

2.1.30 单孔法 single-hole method

在同一个钻孔中发射并接收来测试波速的方法,也称为单孔检层法。

2.1.31 跨孔法 cross-hole method

从一个钻孔中发射、另一个或多个钻孔中接收来测试波速的方法。

2.1.32 杂散电流 stray current

在非指定的电路上流动的电流。

2.2 主要符号

2.2.1 统计学符号的使用应符合下列要求:

Δ ——绝对误差;

$\bar{\Delta}$ ——平均绝对误差;

δ ——相对误差;

$\bar{\delta}$ ——平均相对误差;

m ——均方相对误差;

M ——总均方相对误差；

Q ——误差系数；

σ ——放射性涨落标准误差；

θ ——放射性涨落相对标准误差。

2.2.2 电磁学符号的使用应符合下列要求。

D_s ——激发极化视衰减系数；

f ——天线中心频率；

$f-k$ ——频率-波数；

I ——供电电流强度、发送电流强度；

i ——MT 频点；

J_s ——视激发比；

K ——电法装置系数；

$S_{0.5s}$ ——激发极化半衰时；

S_τ ——瞬变电磁视纵向电导；

V ——供电电压或感应电压；

V_g ——干扰电压；

ΔV ——电位差；

ΔV_1 ——一次场电位差；

ΔV_2 ——二次场电位差；

ϵ ——自然电位；

η_s ——激发极化视极化率；

V ——电磁波速度；

ρ ——电阻率；

ρ_s ——直流电法视电阻率；

ρ_τ ——瞬变电磁法视电阻率；

ρ_{TE} 、 ρ_{TM} ——大地电磁法视电阻率；

ϕ_{TE} 、 ϕ_{TM} ——大地电磁法相位；

ω ——时窗的宽度。

2.2.3 弹性波动力学符号的使用应符合下列要求：

c ——桩身纵波速度；
 E_d ——动弹性模量；
 f ——瑞雷波测试频率、地脉动卓越频率；
 f_0 ——瑞雷波主频；
 f_m ——共振频率；
 G_d ——动弹性模量；
 J_c ——凯司法阻尼系数；
 v^* ——视速度；
 V_R ——瑞雷波速度；
 V_s ——横波(或剪切波)速度；
 V_p ——纵波速度；
 $\Delta\phi$ ——相位差；
 λ ——波长；
 λ_R ——瑞雷波波长；
 ρ ——单位体积质量；
 μ ——剪切模量；
 σ ——泊松比。

2.2.4 热学符号的使用应符合下列要求：

C ——容积热容量；
 T ——地温；
 a ——热扩散率；
 λ ——热导率。

2.2.5 几何学符号的使用应符合下列要求：

AB ——直流电法的供电电极间的距离，简称供电电极距；
 h ——深度；
 h_{\max} ——最大探测深度；
 H ——波速测试测点深度、管线中心埋深；
 i ——折射临界角；
 MN ——直流电法的测量电极间的距离，简称测量极距；

n_x ——测点点距；
 OA ——观测中心 O 点至供电电极 A 点的距离；
 OB ——观测中心 O 点至供电电极 B 点的距离；
 OO' ——偶极剖面的供电与测量中心点距；
 S ——天线间距；
 x_{\max} ——最大炮检距；
 x_{\min} ——最小炮检距；
 Δh ——深度增加值；
 Δx ——检波器间距、道间距；
 ϕ ——视倾角。

2.2.6 时间符号的使用应符合下列要求：

t_0 ——自激自收时间；
 t_s, t_p ——纵波、横波(或剪切波)的传播时间；
 T ——卓越周期；
 T^* ——视周期；
 τ ——折射波在时间轴的截距；
 τ_c ——TEM 视时间常数。

2.2.7 其他符号的使用应符合下列要求：

k ——校准系数或转换系数；
 R_c ——桩侧静阻力；
 R_b ——桩端静阻力；
 R ——土壤表面氦析出率；
 p ——放射性相关系数；
 PSD ——声波透射斜率法的桩内缺陷判定值；
 Y ——相对异常强度。

3 基本规定

3.0.1 物探方法应用应符合下列要求：

- 1 探测对象与周围岩土体在电性、弹性、磁性、密度、放射性等方面存在明显的物性差异；
- 2 探测对象的厚度、宽度或直径，相对于埋藏深度具有一定的规模；
- 3 探测对象的物性异常能从干扰背景中清晰分辨；
- 4 地形影响不妨碍野外作业及资料解释，或对其影响能利用现有手段进行地形改正。

3.0.2 物探工作项目可分为以下三个等级：

- 1 一级：重大工程且物探为主力勘察手段之一的项目，探查重要技术疑难问题且物探为关键手段的项目，针对同一对象需采用综合物探的项目；
- 2 二级：大中型工程常规物探作业项目，试验性物探方法项目，岩土工程施工检测项目；
- 3 三级：待查技术问题简单的中小型项目，方法单一且作业时间短暂的项目。

3.0.3 承担物探任务时，应充分了解工作意图，广泛收集资料，分析现场环境条件，正确选用物探方法；工作过程中，可视需要经审批程序后增加更适宜的物探方法。

3.0.4 物探仪器设备应出厂合格、使用合规，采用的软件应有人机联合解释功能并通过鉴定。

3.0.5 物探测区范围的确定应符合下列要求：

- 1 测区范围不仅应包括按任务要求的勘测区，同时还应包括足够反映异常背景场的外延部分；

2 属于追索性的工作,应使测区包括一部分地质情况明确的地段,如天然露头、钻孔、探坑分布区等;

3 拟定测区范围由于地形等条件限制无法取得良好效果、但在相邻地段工作可取得有利资料时,应将测区范围扩大到相邻地段;

4 应充分利用以往的物探成果资料来确定测区范围。

3.0.6 物探工作正式开始前应先行试验,试验工作应符合下列要求:

1 试验工作应遵循由已知到未知、由简单到复杂的原则;

2 试验地点应具有代表性,宜选择在物探工作测线上,有勘探井孔时应通过井孔;

3 应根据试验效果选取仪器参数、物性参数和技术参数。

3.0.7 物探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、地质体的规模与埋深等因素综合确定,测网以及工作比例尺的选择应能反映地质体,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、构造和主要探测地质体的走向,并宜布置在地形起伏较小和表层介质相对均匀的地段;

3 测线宜与地质勘探线和其他物探测线一致,并应避开地形及其他干扰的影响;

4 当测区边界附近发现重要异常时,应将测线适当扩展到测区外追踪异常,测网密度应保证异常的连续、完整和便于追踪;

5 在地质结构和作业环境复杂的地区,测线和测点应适当加密;

6 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。

3.0.8 物探的测量定位应符合下列要求:

1 物探测线的起讫点、各基点、转折点、地形突变点、充电点、

非均匀分布的各物探测点、重要的物探异常点及建议验证的点位，应进行坐标和高程测量；

2 测网的控制基点应利用测区的测量控制网点，若不满足条件，应按图根导线、二级三角高程要求补充布设控制网；

3 物探的定位测量可采用光电测距极坐标法或实时动态卫星定位测量(GPS-RTK)等方法；

4 采用光电测距极坐标法测量时，平面位置相对于邻近测站点的点位中误差不低于图上 0.8mm，高程相对于邻近测站点的高程中误差不低于基本等高距的 1/3；

5 采用 GPS-RTK 定位法测量时，坐标及高程精度应小于 5cm，重复测量的坐标差应小于 3cm；

6 水上物探点的测量精度指标可比本条上述各款要求放宽 1 倍~2 倍；

7 物探测点的坐标成果可取位至分米，高程可取位至厘米。

3.0.9 物探观测工作应符合下列要求：

1 多台仪器在同一场地观测时应进行一致性检查；

2 观测时，激发信号和接收信号应在背景相对安静和信号相对稳定时刻进行；

3 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，重复观测的误差应符合本规程的相关规定；

4 操作员在现场应及时查看每个记录，不符合要求时应查明原因并及时重测。

3.0.10 物探外业工作质量检查应符合下列要求：

1 检查工作宜由不同的操作员进行，凡未通过检查的观测数据应进行重测；

2 不同地质地貌单元均应设检查点，异常与可疑地段应重点检查；

3 进行系统检查观测时，测点宜均匀分布，并重点覆盖质量可

疑点、线和具有重要地质意义的点、线,检查工作量可按表 3.0.10 执行;

4 一个测区测点或测线的观测误差超过本规程的相关规定时,应全部重测。

表 3.0.10 系统检查观测工作量

物探工作等级	一级	二级	三级
测点检查数	10%~15%	5%~10%	5%

注:1 探测环境简单时取小值,复杂时取大值;

2 桩基检测检查工作量按照相关标准执行。

3.0.11 对物探各种观测数据及质量评价,宜采用绝对误差 Δ 、平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 、相对误差 δ 、平均相对误差 $\bar{\delta}$ 、均方相对误差 m 、总均方相对误差 M 、误差系数 Q 等来衡量。各类误差的计算方法见附录 C。

3.0.12 物探记录与保存应符合下列要求:

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),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,常用的原始资料记录格式见附录 A;

3 物探记录应及时、清晰、完整,不得涂擦或撕页;

4 对仪器自动采集的原始数据或图像应及时复制刻录、整编备份。

3.0.13 物探资料解释时要校验原始数据的真实性、可靠性与完整性,对输入的数据应进行必要的地形校正,剔除异常数据,排除干扰因素,结合区域地质资料和已有井孔勘探成果进行最终解释。

3.0.14 物探作业要严格遵守仪器使用说明(或操作手册)和现行行业标准《电力工程勘测安全技术规程》DL 5334 的规定,确保人

身和仪器安全；相关作业人员和辅助人员需经技术、安全培训合格后方可上岗，同时还应满足以下要求：

1 从事地震勘探爆炸作业的人员必须具有专业资格，作业过程应严格遵守现行国家标准《地震勘探爆炸安全规程》GB 12950 的规定；

2 开展井中探测工作应准备充分、操作严谨并加强检查，避免发生井内掉物、坠落等事故；

3 放射性物探必须妥善使用和保管仪器（含放射源），严格遵守现行国家标准《放射性物质安全运输规程》GB 11806 和《操作开放型放射性物质的辐射防护规定》GB 11930 的规定；

4 水域物探应使用有资质和经验的船只及船工，配置足够的安全警示标识和救援设施，在满足相关安全规定的条件下开展作业活动。

4 仪 器 设 备

4.1 仪 器 维 护

4.1.1 仪器设备应性能稳定、结构合理、构件牢固可靠,具有良好的防尘、防潮、抗震性能和绝缘性,并满足现场作业温度、湿度等环境的要求。仪器应是经过正式技术鉴定后的产品,且必须达到出厂规定的技术指标。

4.1.2 仪器设备应以一台一档的方式建立档案,及时并详细记录其使用及交接情况、检定/校准情况、故障情况和维修处理结果等,且均应有醒目的状态标识。

4.1.3 仪器应按照说明书和操作手册的有关规定进行定期检查,做好相应的检查记录,并由检查人员签字。

4.1.4 计量仪器及计量元件必须由法定计量检定机构或被授权的检定机构定期进行检定/校准,检定/校准的周期应符合国家计量法规的有关规定,合格后方可使用。

4.1.5 仪器设备应由具有经验的专业人员保管,应存放在阴凉、通风、干燥、无腐蚀性气体、无强磁场的场所。

4.1.6 仪器设备应定期进行维护保养。暂时不使用的仪器,应取出电池并擦拭干净,各种开关、旋钮应置于安全位置。对于采用内置充电电池供电的仪器,长期不使用时应定期对仪器进行充电保养。

4.1.7 领取仪器设备时,应办理仪器领用登记手续;仪器交接时,交接双方应办理交接手续。

4.1.8 仪器出现故障时应立即停止使用并贴停用标识,避免误用。修复后的仪器设备必须经检定、校准等方式证明功能指标已恢复方可投入使用。

4.1.9 仪器厂家提供的操作手册不够详实或阅读理解困难时,应制定相应的作业指导书。

4.1.10 仪器使用说明书、操作手册、软件及使用和维护的有关技术资料应由专人保管,借出应办理相关手续。

4.2 仪 器 使 用

4.2.1 仪器设备的型号和数量应根据任务要求和现场条件确定,在领用时应进行全面检查。

4.2.2 仪器设备运输前应进行妥善包装,包装箱内要有防震设施,箱外应注明“防潮、防震、勿倒置”等字样或警示符号。长途运输仪器设备时,应放置平稳并用绳索等固定牢靠,车速不宜过快。不宜托运的仪器和部件应派专人携带。

4.2.3 操作人员应熟悉仪器设备性能,并严格按照仪器作业指导书或使用说明书操作。

4.2.4 外业工作前,应对仪器设备的性能、可达到的观测精度等进行现场校验。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。

4.2.5 观测时操作人员不得擅离职守,工作完毕后应及时关闭仪器。

4.2.6 仪器设备的工作环境应安全、稳妥、可靠,必要时应采取防水、防潮、防暴晒、防震、防尘、防冻措施;遇雷电时,应停止作业、关闭电源、断开电线;导线穿过居民区或道路时,应有预防压坏、压断等安全措施。

4.2.7 外业工作结束后应对仪器设备进行检查、维护保养,保持完整、清洁、干燥,并及时归还。

5 物探方法与技术

5.1 直流电法

I 一般规定

5.1.1 直流电法根据场地条件和探测目的可选择电测深法、电剖面法、高密度电阻率法、自然电场法、充电法或激发极化法。

5.1.2 应用条件应满足下列要求：

1 被探测地质体与相邻岩土体的电性稳定且存在足够的电性差异，被探测地质体具有一定的规模；

2 地形起伏不大、接地情况良好；

3 被探测地质体上方没有电阻屏蔽层；

4 测区内无较强的游散电流、大地电流或其他电磁干扰。

5.1.3 仪器的功能及主要技术指标应符合下列要求：

1 直流电法宜使用多功能直流电法仪，具有直接测量、显示、存储一次场电位 ΔV_1 、自然电位 ϵ 、供电电流 I 、视电阻率 ρ_s 、综合激电参数（视极化率 η_s 、半衰时 $S_{0.5S}$ 、衰减系数 D_s ）、电极参数等功能，具有自然电位、漂移及电极极化补偿功能；

2 电压 V 测量分辨率为 0.01mV ，允许误差不超过 $\pm 2\%$ ，耐压不小于 900V ；

3 电流 I 测量分辨率为 0.01mA ，允许误差不超过 $\pm 2\%$ ，最大供电电流不小于 3A ；

4 极化补偿范围应达到 $\pm 1\text{V}$ ；

5 输入阻抗应不小于 $8\text{M}\Omega$ ；

6 对 50Hz 工频干扰抑制应大于 80dB 。

5.1.4 现场试验应符合下列要求：

1 应根据测区的地电条件、工作条件、干扰背景进行试验，选

择合适的直流电法勘探方法；

2 试验内容包括：装置及参数的选择、测区干扰电压 V_g 测量、供电电极距及供电电压 V 选择；

3 直流电法两台或两台以上仪器在同一工点工作时，应进行仪器一致性检查，允许的相对误差为 $\pm 2\%$ 。

5.1.5 放线应符合下列要求：

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

2 放线时应远离高压线，若不能避开时，宜垂直高压线走向敷设；

3 导线应沿地面敷设，当导线通过水田、池塘、河渠、沼泽、公路等地区需要架空时，应将导线拉紧；

4 跑极员在跑极过程中，应随时观察导线有无损伤和扭结，当发现有导线损伤或扭结时应及时进行处理；遇到地形、地物障碍及无法架空或涉水通过地段均应及时报告测站；

5 应保证测量电极和供电电极排列方向与电极距离的正确性，电极排列方向与预定方向偏差不得大于 $\pm 5^\circ$ ，极距差不得大于 $\pm 1\%$ ；

6 同一场地各测点放线方向宜相同，且与剖面方向一致。

5.1.6 电极接地应符合下列要求：

1 电极应布置在规定的位置上，并保证导线、电极接触良好；

2 供电电极接地电阻应小于 $1\text{k}\Omega$ ；

3 测量电极接地电阻应小于仪器输入阻抗的 1% ；

4 随着电极距的增大，应减小接地电阻，可采用挖坑填土、浇水、浇稀泥、加深电极、采用电极组等方法。

5.1.7 电极组布设应符合下列要求：

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

2 受客观条件限制,电极组需沿测线排列时, d 应小于 $OA/30$;

3 受客观条件限制,电极组需围绕预定接地点环形布置时,半径应小于 $OA/30$ 。

5.1.8 漏电检查应符合下列要求:

1 每日开工、收工和曲线发生畸变时,应对仪器、电源、电线进行漏电检查;

2 电测深 $AB/2 \geq 500\text{m}$ 时的所有测点、各种剖面法每隔 20 个测点、每个剖面的最后一个测点、电线位于潮湿地区和有疑问的异常区(点)应进行漏电检查;

3 发现漏电时,应查明原因并消除后,按序返回观测。

5.1.9 重复观测应符合下列要求:

1 一组重复观测中,相邻两次所有的供电电流强度 I 应不同;

2 参与平均的一组视电阻率 ρ_s 读数的误差系数 Q 不得大于 $\sqrt{2n} \times 4\%$ (无位误差, n 为参与平均的数据个数)。当两次重复观测不能满足要求时,应增加重复观测次数;

3 个别读数误差过大时不参加平均值的计算,但舍弃个数不应大于总观测次数的 $1/3$;

4 重复观测的所有结果,包括舍弃的在内,均应留下记录;对舍弃的数据,应在备注内注明舍弃的原因。

5 有下列情况之一者,应进行重复观测:

1) 主要异常点、畸变点、可疑点、不正常脱节的接头部位的读数;

2) 进行电测深工作时,在 $AB/2$ 大于 200m 的每一个极距上;

3) 进行电剖面工作时,极距大于 200m 的所有观测点;

4) 一次场电位差 ΔV_1 小于 0.3mV 的所有读数。

5.1.10 检查观测应符合下列要求:

1 检查应隔日重新布极进行;

2 检测观测供电电流 I 改变量应大于 20% ;

3 应以电测深、电剖面的突变点、畸变段以及测区典型地段

的测线为主要对象,辅以正常背景段作适量的检查。

5.1.11 质量评价应符合下列要求:

1 因地表及浅层湿度变化造成视电阻率规律性偏差,在评价质量时,允许将该段剔除;

2 因地电干扰等原因造成的无规律畸变,可将其剔除后再进行质量评价,但剔除点数不应超过观测数据总数的 3%;

3 电阻率法全区检查观测的总均方相对误差 M 不应大于 $\pm 5\%$ 。

5.1.12 岩土电阻率参数的测定应符合下列要求:

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

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

5.1.13 野外安全用电应符合下列要求:

1 工作人员应具有安全用电基本知识,当工作电压超过 500V 时,供电作业人员应使用绝缘防护用品,“无穷远”供电极附近应设醒目警告标志或派专人看守;

2 收线、放线、转移供电电极位置和处理供电线路故障时,严禁供电;

3 进行漏电检查时,作业人员不得触及导线的裸露处和电极;

4 工作电源电压较高时,与工作无关的其他人员不得接近电源、测站及供电电极。

5.1.14 资料处理与解释应符合下列要求:

1 当地形起伏较大时,应进行地形改正;

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

3 应确定异常体的性质和平面位置,并估计其埋深和形态;

4 对电阻率异常的可靠性分析,宜采用异常强度 Y (计算方法见附录 C) 与观测均方相对误差 m 比值的关系来确定;

5 定量解释中应评估各种因素的影响程度。

5.1.15 绘制剖面曲线图应符合下列要求:

1 绘制装置示意图时应在图上注明装置长度和点距,充电法还应标出充电点在剖面上的投影位置;

2 同一测区各剖面图应采用相同的比例尺,并绘制平面图和剖面图,剖面间距应与平面布置图的比例一致;充电法的平面图和剖面图上应标出充电点的平面位置;

3 图中所绘各种文字符号、图形符号,应全部列入图例,并说明其代表意义;图例排序应为直流电法等地球物理勘探符号、地质符号、地物符号、其他符号等。

II 电 测 深 法

5.1.16 电测深法根据场地条件和探测目的可选择对称四极、双向三极、偶极、微分装置以及其他组合装置。装置形式及 K 的计算公式见附录 C。

5.1.17 测点及测网的布置应符合下列要求:

1 应保证最小地质体在平面图上至少两个相邻电测深点上有清晰的反映;

2 探测基岩埋藏深度时,相邻电测深点的最小距离,不应大于基岩埋深的一半或最大测量电极距的一半;

3 在探测深部对象的同时又必须了解浅部对象时,应在较疏的大电极距测网中用小电极距对测点加密;

4 控制性测点应选择适当的观测装置及类型,其数量应能满足任务要求。

5.1.18 极距选择应符合下列要求:

1 AB 、 OA 或 OB 在对数坐标系下宜均匀分布,相邻极距比值宜在 1.2~1.8 之间,浅层详查或电阻率 ρ 参数测量宜按等差级数增加电极距;

2 最小 AB 应能测量出第一层的视电阻率 ρ_s , 最大供电电极距 (AB 、 OA 、 OB 等) 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 3 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 OA 或 OB 最大值的 5 倍。当 C 极与装置方向一致时, OC 应大于 OA 或 OB 的 20 倍, C 极对测量视电阻率 ρ_s 的影响误差应小于 2%;

4 MN 与 AB 的比值应为 $1/3 \sim 1/30$;

5 布设无穷远电极 B 时应保持 OB 不小于 OA 最大值的 5 倍。

5.1.19 重复观测、检查观测及质量评价除应符合 5.1.9 ~ 5.1.11 的规定外, 还应符合下列要求:

1 野外观测结果应当即计算, 并绘制电测深曲线图; 电测深曲线接头不正常脱节或出现畸变时, 应进行检查和重复观测;

2 单个电测深点的检查观测:

1) 单个极距的相对误差 δ 在 $\pm 5\%$ 以上的电极距数不应超过该电测深点电极距总数的 30%, 且不应连续在三个相邻的极距上出现;

2) 单个极距的相对误差 δ 在 $\pm 10\%$ 以上的电极距数不应超过该电测深点电极距总数的 10%;

3) 该电测深点全部电极距系统检查观测结果计算所得的均方相对误差 m 不应超过 $\pm 5\%$;

3 一个测区不合格的电测深点不应超过被系统检查电测深点总数的 30%。

5.1.20 资料处理与解释除应符合本规程 5.1.14 及 5.1.15 的规定外, 还应符合下列要求:

1 定性解释:

1) 应研究电测深曲线的类型、斜率、渐近线、极值点、拐点、局部畸变点等, 对十字测深、环形测深、联合测深等还应分析同一测点上, 电极沿不同方向所取得的电测深曲线

的差异；

2)应得出定性结论。

2 定量解释：

1)用于定量解释的电测深曲线应完整、没有严重的畸变，主要电性层在曲线上反映明显，电性标志层在足够多的电极距上有所反映；

2)具有进行定量解释所必需的电性参数资料；

3)已进行了定性解释推断工作，并取得了基本的地质电性概念；

4)解释方法可采用量板法或软件分析法；

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

III 电剖面法

5.1.21 电剖面法根据场地条件和探测目的可选择二极、三极、对称四极、三极(联合)、中间梯度、偶极、微分装置以及其他组合装置。装置形式及 K 的计算公式见附录 C。

5.1.22 测网及测点的布置应符合下列要求：

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；

2 通过局部异常地段的测线不应少于两条，每条测线上反映同一地质体的有效异常点不应少于三个；

3 可根据任务要求、探测地质体规模和埋深确定线距和点距，点距宜为埋深的 $1/3 \sim 1$ ，线距宜为点距的 2 倍 ~ 5 倍；

4 以观测结果平面等值线图反映地质体各向异性时，测点距和线距宜保持一致。

5.1.23 极距选择应符合下列要求：

1 当地质体埋深较大时，供电电极距 AB 或偶极距 OO' 也应较大；

2 当两个地质体的大小和埋深均相同时，其中覆盖层电阻率较低的供电电极距 AB 或偶极距 OO' 应较大；

3 当地表浅层电性不均匀且影响严重时， MN 不宜选择过小；

4 当地质体大小及埋深变化较大或需要了解不同深度的探测对象时,宜选择多种极距进行观测;

5 宜选取 MN 等于点距,但不应大于 2 倍点距。

5.1.24 重复观测、检查观测及质量评价除应符合 5.1.9 ~ 5.1.11 的规定外,还应符合下列要求:

1 个别点相对误差 δ 不应超过 $\pm 15\%$;

2 δ 大于 5% 的点不应超过检查点总数的 30% ,且不应连续在相邻的三个测点上出现;

3 整条剖面均方相对误差 m 不应超过 $\pm 5\%$ 。

5.1.25 资料处理与解释除应符合本规程 5.1.14 及 5.1.15 的规定外,还应符合下列要求:

1 电剖面曲线解释步骤宜按照肯定异常、定性解释、定量解释的顺序进行;解释方法宜选择对比(或推类)法和模拟试验;

2 宜分析异常的可靠性,研究测线附近地形、地质条件及干扰因素与异常的关系,区分有效异常和干扰异常;

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

4 对异常带(如断裂破碎带)的推断,应在各剖面曲线上有相似的特征,并且符合基本地质规律;

5 当条件有利、地形解释确切时,宜对异常作进一步的定量解释。

IV 高密度电阻率法

5.1.26 高密度电阻率法根据场地条件和探测目的可选择对称四极、双向三极、三极、二极、偶极、微分、中间梯度等装置。装置形式及 K 的计算公式见附录 C。

5.1.27 使用的仪器及电缆应符合下列要求:

1 宜采用具有即时采集、显示电性剖面的专门仪器,除应符

合本规程第 5.1.3 条的规定外,还应具有对电缆、电极接地电阻的快速测定诊断功能;

2 使用的多芯供电和测量电缆应具有良好的导电和绝缘性能;芯线电阻不应大于 $10\Omega/\text{km}$,芯间绝缘电阻不应小于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$ 。

5.1.28 极距的选择及电极布置应符合下列要求:

1 极距的选择:

- 1)基本电极距宜等于点距;
- 2)设计观测的最底层对应的供电电极距应大于要求探测深度的 3 倍。

2 电极的布置:

- 1)在测线端点处,应使探测范围处于选用装置的有效范围之内;
- 2)因测线较长而采用滚动方式观测、观测装置沿测线移动时,每次移动的距离应保证探测深度范围内的数据连续;
- 3)同一排列的电极宜呈直线;
- 4)观测前应检查该排列全部电极的接地情况,确认电极的连接顺序正确。

5.1.29 重复观测、检查观测及质量评价除应符合本规程 5.1.9~5.1.11 的规定外,还应符合下列要求:

1 可选择一个或多个排列进行重复观测;

2 检查观测可采用相邻排列重合部分电极方式检查,异常观测点应采用散点检查。

5.1.30 资料处理与解释除应符合本规程 5.1.20、5.1.25 的规定外,还应符合下列要求:

1 数据预处理时,应进行数据平滑、异常点剔除和滤波;

2 对于个别无规律的数据突变点应结合相邻测点数值进行修正;

3 地形校正时,除应对测点在断面中的位置进行规正外,还应应对测读数据进行装置系数修正;

4 对电阻率断面图的虚假异常(例如呈八字形、捺形等)数据应剔除或不予解释;

5 宜采用剖面分析、对比分析及综合分析进行资料解释;

6 高密度电阻率法成果图应包括:断面电阻率等值线图、彩色图或灰度图、地质异常解译图(推断图)。

V 自然电场法

5.1.31 自然电场法根据场地条件和探测目的可选择电位法或梯度法。当测量地下水流动方向时,宜增加环形电位梯度法。

5.1.32 测量电极应使用不极化电极,接地应符合下列要求:

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

2 电极引线的裸露部分不应与土壤、杂草接触;

3 不得把不极化电极直接埋在流水、污物、废石堆中;

4 电极周围不应有人或金属物体干扰;

5 应避免不极化电极暴晒、雨淋,应减小两极温差;

6 冬季工作时,应把电极埋在冻土层以下的土壤中;

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

5.1.33 数据采集应符合下列要求:

1 基点之间应进行联测;

2 采用梯度法时 MN 宜等于点距;

3 不极化电极的极差要稳定,在开工前不得大于 $\pm 2\text{mV}$;以后每测完一条剖面、流动电极回到测站或基点时,应测量极差,极差大于或等于 $\pm 5\text{mV}$ 时应重新采集数据;

4 电位法工作时,电极的先后次序和 M 、 N 电位的正负极性不得颠倒;

5 梯度法观测应采用逐点搬站的方法。一个测区中,仪器上 M 端始终接大号测点上的电极, N 端始终接小号测点上的电极,

不得任意调换。

5.1.34 重复观测、检查观测及质量评价除应符合本规程 5.1.9～5.1.11 的规定外,还应符合下列要求:

1 每间隔 10 个测点应进行一次重复观测,重点应放在曲线的异常段、突变点、可疑点上;

2 应以系统检查观测为主、返程检查观测为辅,分别进行平均绝对误差 $\bar{\Delta}$ 的计算;

3 基本观测与检查观测之间的 $\bar{\Delta}$ 不得大于 5mV,单个点的 Δ 不得大于 15mV。

5.1.35 资料处理与解释除应符合本规程 5.1.14 及 5.1.15 的规定外,还应符合下列要求:

1 自然电场法工作平面布置图宜与其他物探方法的同类图件合并;

2 自然电位剖面图应绘出所有观测值——基本观测值、重复观测值、检查观测值;

3 等自然电位平面图的等值线间的间距宜选用等差和等比两种间距;

4 当用梯度法进行观测时,宜用电位梯度图代替电位图。

VI 充 电 法

5.1.36 充电法根据场地条件和探测目的可选择电位法、梯度法、追索等位线法。

5.1.37 测网及测点的布置应符合下列要求:

1 电位法和梯度法:

1)线距宜为预计充电体长度的 $1/3 \sim 1/4$;

2)点距应小于充电体顶板埋深的一半;

3)应有三条以上测线通过充电体,测线上至少应有三个有效异常点。

2 追索等位线法应以充电点为中心,相间不大于 45° 夹角辐

射状布置测线,距充电点由近及远分别以一定的时间间隔追索等电位线。

5.1.38 极距选择应符合下列要求:

1 电位法和梯度法:

- 1)供电电极(A)与充电体应接触良好;无穷远极应放在垂直地质体走向的方向上,“无穷远”极到测区中心的距离应大于测区对角线的5倍;
- 2)测量电极中的固定极(N),应布设在距测区中心2倍充电体埋深的位置上,并与无穷远电极(B)的方向相反;亦可布设在电位极大值点附近,但应与充电点(A)保持有效距离;
- 3)当测量电极接地位置遇障碍时,M、N可同时向同侧(梯度)或其中之一向一侧(电位)移动点距的1/5。

2 追索等位线法应固定测量电极(N)置于某一测线、距充电点一定距离(大于充电体埋藏深度)的位置上,在相邻测线上移动M极,追索与N极的等电位点,连接各点而成等电位线。

5.1.39 数据采集应符合下列要求:

1 供电电极(A)应放置在充电体的中部,充电体应保持正极性,工作过程中应保持供电电流 I 稳定,且宜为 $0.5\text{A}\sim 1\text{A}$;

2 进行电位法观测时,若电流不稳,观测结果应以 $\Delta V/I$ 的比值来表示;

3 电位和梯度观测应单独进行,不应采用换算值;

4 进行梯度法观测时,应严格保持MN之间的顺序和距离不变,观测结果应以 $\Delta V/(I \times MN)$ 的比值表示;

5 电位的极值点、梯度的过零点和极大值点以及曲线上的突变点、转折点、可疑点,均应进行重复观测和漏电检查;

6 在低阻地质体上面应加密测点;

7 采用充电法测定地下水流向、流速时,应选择适宜的工作布置方式。

5.1.40 重复观测、检查观测及质量评价除应符合本规程5.1.9~

5.1.11 的规定外,还应符合下列要求:

1 当采用电位法和梯度法时:

- 1) 参与平均的一组 $\Delta V/I$ 的误差系数 Q 不应大于 $\sqrt{2n} \times 5\%$ (其中 n 是参与平均的观测次数);当用梯度法观测时, $\Delta V/I$ 的值即指 $\Delta V/(I \cdot MN)$;如果重复观测不能满足要求时,应增加重复观测次数;
- 2) 单测点重复观测相对误差 δ 应小于 $\pm 5\%$,一条测线检查观测均方相对误差 m 应小于 $\pm 7\%$,一个测区检查观测的总均方相对误差 M 应小于 $\pm 7\%$ 。

2 当采用直接追索等位线法时,其等位线位移误差不应超过 1m。

5.1.41 资料处理与解释除应符合本规程 5.1.14 及 5.1.15 的规定外,还应符合下列要求:

1 探测地下水流速和流向应通过绘制等位线图、 $\Delta R = f(\alpha)$ 曲线图、 $\Delta R = f(t)$ 曲线图及矢量图等进行计算解释;

2 圈定低阻体形态时:

- 1) 应区分正常场和异常场,分析等位线的分布密度或电位、梯度剖面曲线的变化特征及等位线长、短轴之比,分析电位极大值点或梯度零值点的位置与充电平面的关系等;
- 2) 应分析表层的非均匀性以及地形、岩层产状、屏蔽体等造成的影响。

VII 激发极化法

5.1.42 激发极化法根据场地条件和探测目的可选择电测深装置和电剖面装置。

5.1.43 装置、极距、测线及供电电源除应符合本规程电阻率法相关规定外,还应符合下列要求:

1 宜采用 $MN/AB = 1/3 \sim 1/5$ 的对称四极装置;

2 对称四极电测深相邻电极距比值宜取 1.2,最大 $AB/2$ 宜等于勘探深度的 1.5 倍;

- 3 供电导线与测量导线应分开 $1\text{m}\sim 2\text{m}$;
- 4 应采用大容量的供电电源和稳定的供电电流。

5.1.44 数据采集应符合下列要求:

- 1 测量电极必须使用不极化电极,二次场电位差 ΔV_2 应大于 1mV ;
- 2 采用中间梯度装置时, MN 可在 $(1/3\sim 2/3)AB$ 范围内移动;
- 3 一线供电多线观测时,旁测线与主测线间的最大距离不应大于 $AB/5$;
- 4 供电电流强度变化不应大于 5.0% ;
- 5 两次观测的间隔应大于前次供电时间;
- 6 观测过程遇有干扰时,应分析原因并采取相应措施消除或减小干扰影响。

5.1.45 重复观测、检查观测及质量评价除应符合本规程 5.1.9~5.1.11 的规定外,还应符合下列要求:

- 1 参与平均的一组视极化率 η_s 的误差系数 Q 不应大于 $\sqrt{2n}\times 7\%$ 、视激发比 J_s 的 Q 不应大于 $\sqrt{2n}\times 10\%$ (其中 n 是平均的观测次数);当两次重复观测不能满足要求时,应增加重复观测次数;
- 2 误差过大的观测数据可以舍去,但舍去的个数不得超过总观测数据的 $1/5$;
- 3 凡符合下列条件之一者,应进行重复观测和检查观测:
 - 1) 断电后某一瞬间的二次场电位差 ΔV_2 小于 1mV ;
 - 2) 采用短导线测量直读视极化率 η_s 时,二次正向供电与反向供电所测出的 η_s 的平均值之差,正常时超过 0.1mV 或干扰较严重时超过 0.2mV ;
 - 3) 视激发比 J_s 大于或接近于衰减率值;
- 4 单个测深点的均方相对误差 m 应满足: $m_{\eta_s} \leq 7\%$; $m_{J_s} \leq 10\%$; $m_{D_s} \leq 10\%$; $m_{S_{0.5s}} \leq 10\%$;
- 5 当不符合误差要求的点数超过系统检查总点数的 30%

时,应予以重测。

5.1.46 资料解释除应符合本规程 5.1.14 及 5.1.15 的规定外,还应符合下列要求:

1 应用激发极化法找水时,激电参数(η_s 、 J_s 、 D_s 、 $S_{0.5s}$)的等值线断面图的起始值应以异常的下限值确定;绘制激电参数等值线平面图时,应选择反映含水层构造异常特征最清楚的极距绘制;

2 找水解释时,应能区分异常值和背景值,并结合水文地质及钻探资料,经综合分析后估算含水层的富水情况。

5.2 电 磁 波 法

I 一 般 规 定

5.2.1 电磁波法根据场地条件和探测目的可选择地质雷达法、瞬变电磁法(TEM)、大地电磁测深法(MT)。

5.2.2 当两台或两台以上的仪器在同一工点作业时,应在同一测点上采用相同的观测装置进行仪器一致性测定,允许的相对误差为 $\pm 2\%$ 。

5.2.3 现场观测应符合下列要求:

1 地质雷达法检查观测图像应与原始观测图像的异常形态和位置基本一致;

2 瞬变电磁法单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致,且各观测道的均方相对误差 m 应小于 $\pm 5.0\%$;一条测线或测区检查的总均方相对误差 M 应小于 $\pm 5.0\%$;

3 大地电磁测深法检查观测和原始观测全频段视电阻率(ρ_{TE} 、 ρ_{TM})曲线和相位(ϕ_{TE} 、 ϕ_{TM})曲线,应形态一致、对应频点的数值接近,经编辑、插值后两次观测同一极化模式的视电阻率和相位的 m 不应大于 $\pm 5\%$ 。

II 地 质 雷 达 法

5.2.4 地质雷达法根据场地条件和探测目的可选择剖面法、宽角法、共中心点法、环形法、透射法、多天线法和孔中雷达法等。

5.2.5 应用条件应符合下列要求：

- 1 测区内不应存在大范围金属构件或无线电射频源等较强的电磁干扰；
- 2 测区内不应存在极高电导屏蔽层；
- 3 单孔或跨孔检测时钻孔中无金属套管；
- 4 被探测地质体的埋深不宜大于 30m。

5.2.6 仪器和设备应符合下列要求：

- 1 系统增益应大于 120dB；
- 2 模数转换应大于 16bit；
- 3 宜有多种主频的天线可供选择；
- 4 系统应具有信号叠加、时窗、实时滤波、增益、点测或者连续测量、位置标记等功能；
- 5 实时监测与显示应有多种可供选择的方式。

5.2.7 应调查测区内有效波和干扰波的分布规律，选择合适的天线型号、测量方式、仪器参数等。

5.2.8 应根据附录 C 计算或现场试验选取适宜的天线中心频率 f 、时窗 ω 、采样率 Δt 、测点点距 n_x 和天线间距 S 等测量参数。

5.2.9 探测方式选择应符合下列要求：

- 1 地质体探测和施工检测宜采用连续剖面法，当测线经过的表面凹凸不平、天线不便匀速移动或信号较弱时，应采用点测剖面法；
- 2 宽角法宜用于测量介质的电磁波传播速度 V ；
- 3 环形法和点测剖面法宜用于基桩底部等窄小工作面的探测；
- 4 孔中雷达宜用于探测钻孔附近的地质体，也可采用孔内与地表透射方式确定钻孔附近浅埋藏的地质体位置；
- 5 跨孔雷达宜用于探测两孔间的地质体。

5.2.10 数据采集应符合下列要求：

- 1 支撑天线的器材应选用绝缘材料，天线操作人员不应佩戴

含有金属成分的物件,与工作天线需保持相对固定的位置;

2 测量过程中应保持工作天线与探测面基本平行,距离相对一致;

3 连续测量时的天线移动速度应均匀,并应与仪器的扫描率相匹配;

4 点测时,应在天线静止时采样;使用分离天线进行点测时,应通过调整天线距离使来自地质体的反射信号最强;

5 使用偶极天线时,天线取向宜使电场的极化方向与地质体走向平行,当地质体走向不明时,宜使用两组正交方向的天线分别进行观测。

5.2.11 资料处理应符合下列要求:

1 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;

2 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;

3 用 $f-k$ 倾角滤波消除倾斜层干扰波时不应存在同样倾角的有效层状的反射波;

4 可用反褶积压制多次反射波,用于反褶积的反射子波宜是最小相位子波;

5 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;

6 在其他方法处理完成后可选用有效道叠加和道间差两种空间滤波方法,改变反射信号的振幅特征;

7 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。

5.2.12 资料解释应符合下列要求:

1 应通过班报现场复核、筛选干扰异常;

2 应在原始图像上通过反射波波形、能量强度、反射波初始

相位等特征识别和筛选有效异常,确定异常性质;

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

4 透射法的资料解释可根据透射图像有无能量阴影、有无二次波叠加等情况判断异常,也可采用阴影交汇、二次波形态以及发射和接收的相对位置进行定量解释;

5 地质雷达成果图表:

1)图件应包括地质雷达测线平面布置图、地质雷达成果剖面图、地质雷达地质解释图;

2)采用表格汇总说明异常体的情况,包括异常体的坐标位置、规模、性质等。

III 瞬变电磁法

5.2.13 瞬变电磁法(TEM)根据场地条件和探测目的可选择重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、大定源回线装置等。

5.2.14 仪器主要技术指标应符合下列要求:

- 1 发射电压为 $12\text{V}\sim 400\text{V}$,最大发射电流 I 应大于 3A ;
- 2 通道灵敏度应达到 $0.5\mu\text{V}$;
- 3 等效输入噪声应小于 $1\mu\text{V}$;
- 4 对 50Hz 工频干扰抑制能力应大于 60dB 。

5.2.15 工作布置应符合下列要求:

1 布置线框及发送站应避开铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等;敷设线框时,剩余导线不宜过长并应呈“之”字形铺于地面并应远离测区;发射线框与接收线框的间距宜通过试验选择;

2 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 5% ,线框角点的点位与设计线框角点的点位误差应小于 5% ;

3 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 宜为探测目标体最大埋深的 $0.5\sim 1.0$;大定源回线装置的发射

线框边长宜根据探测深度在 100m~600m 范围内选择;

4 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 $1L$ 、 $L/2$ 或 $L/4$;

5 详细勘察时,剖面应垂直于异常走向并通过异常中心布置,且宜与测线重合,剖面长度应超出异常范围,点距和观测精度应保证有效异常有清晰完整的反映。

5.2.16 数据采集应符合下列要求:

1 通过现场试验确定观测时窗,并采用多通道观测;

2 野外观测值只允许最后 5 道的观测值在噪声电平以下,不满足时应查明原因,并采用增加叠加次数等方法重复观测;

3 在异常附近应加密测点,若曲线衰减变缓时,应增大时间间隔重复观测。

5.2.17 资料处理应符合下列要求:

1 可对原始数据进行滤波处理;

2 宜对发送电流切断时间影响进行改正处理;

2 应通过处理软件计算和绘制视电阻率 ρ_s 、视纵向电导 S_s 断面图,也可计算视深度、视时间常数 τ_c 等其他参数。

5.2.18 资料解释应符合下列要求:

1 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,并确定地电模型和划分异常;

2 应利用瞬变电磁法的资料进行定性解释和异常的半定量、定量解释;

3 瞬变电磁法成果图表应包括视电阻率(或视纵向电导)拟断面图、平面图、综合解释平面图、剖面图。

IV 大地电磁测深法

5.2.19 大地电磁测深法根据场地条件和探测目的可选择十字型装置、L 型装置和 T 型装置等。

5.2.20 仪器主要技术指标应符合下列要求:

1 频带范围应为 0.0001Hz~100Hz;

- 2 模数转换应大于 16bit;
- 3 动态范围应大于 120dB;
- 4 等效静态噪声应小于 30nV/rtHz;
- 5 采样频率应为 1Hz~100Hz。

5.2.21 观测装置的布置应符合下列要求:

1 宜根据现场试验确定或设计规定的电极长度布极,电极用高精度测量仪器实测水平距布设,误差应小于 1%;两对电极应布设在同一水平面内,确因测点周围地表起伏不平,每对电极间相对高差与电极距之比应小于 10%;

2 电极接地电阻不应大于 2000 Ω ,在沙漠、戈壁、高阻岩石裸露区,应采取措施降低接地电阻;

3 水平磁棒方向应用高精度测量仪器现场实测,方位偏差应小于 1°;水平磁棒与垂直磁棒埋入土中应保持水平和垂直,垂直磁棒埋入土中深度为磁棒长度 2/3 以上,地面上部应用土埋实。

5.2.22 现场作业应采用参考道法,存在电磁干扰的地区应采用远参考道工作方法;电磁干扰不严重或无电磁干扰地区,可采用近参考道工作方法。

5.2.23 资料处理应符合下列要求:

1 应依据地质及物探资料,判断视电阻率、相位曲线的极化模式,并进行数据编辑和曲线平滑;

2 对数据偏离太大、明显不合理的频点,编辑过程中可以删除;极化模式选择错误的频点应予以调整;

3 应依数据编辑结果,对视电阻率、相位曲线按极化模式分别进行计算平滑;

4 频点 i 数据连续性差、标准离差大的测点,可参照相邻点同类曲线形态、类型进行反复平滑;

5 一个测点删除的频点不得超过该测点总频点数的 15%,不得连续删除三个以上的频点 i ;保留的频点 i 应均匀分布在整条曲线,曲线形态清楚,不存在畸变现象;

- 6 平滑后的曲线首支频点频率不低于 200Hz;
- 7 按测线对平滑后曲线进行静态效应分析,根据分析结果可对视电阻率曲线进行静校正。

5.2.24 资料解释应符合下列要求:

- 1 应结合全区大地电磁测深曲线、电测井曲线及井旁大地电磁测深曲线进行定性解释;
- 2 定量解释应包括选取初始模式、确定解释方法、进行曲线拟和等三个工作环节;
- 3 大地电磁测深法成果图表包括:视电阻率(ρ_{TE} 、 ρ_{TM})曲线类型分布图;视电阻率、相位(ϕ_{TE} 、 ϕ_{TM})、各向异性断面图;深度-电阻率断面图、深度-各向异性断面图;电性分层深度剖面图。

5.3 弹性波法

I 一般规定

5.3.1 弹性波法根据场地条件和探测目的可选择浅层折射波法、浅层反射波法、瑞雷波法、超声波法、振动测试法及基桩动测法。

5.3.2 浅层折射波法、浅层反射波法、瞬态瑞雷波法激发工作应符合下列要求:

- 1 激发点的位置、埋置深度和药量应准确,并登录班报;
- 2 坑中爆炸时,药包应用土或砂埋实;在水中和潮湿地区爆炸时,药包应防水;井中爆炸时,井内应注泥浆或水;
- 3 爆炸信号线应采用绕在药包外面的计时回路,不得使用雷管计时;
- 4 锤击激发时,应选用 4kg 以上的大锤;锤击板应安放平整、牢固,与地面接触良好;
- 5 锤击开关应牢固地捆绑在大锤手柄靠近锤头部位。

5.3.3 浅层折射波法、浅层反射波法、瑞雷波法观测系统应符合下列要求:

- 1 根据地震地质条件和探测的层位确定观测系统,有效波在

所有记录上应能连续追踪对比；

2 宜采用完整对比观测系统；

3 利用追逐时距曲线补充完整对比系统时，被追踪段不应少于四个检波点；

4 当采用不完整对比观测系统时，追逐时距曲线的重叠部分不应少于四个检波点；

5 当同时勘探几个层位时，应使各层位能完整对比。

5.3.4 浅层折射波法、浅层反射波法、瑞雷波法测网和测线布置应符合下列要求：

1 测网应由工作平面图的比例尺确定。在面积性勘探时，测线间距在平面图上可取 $1\text{cm} \sim 4\text{cm}$ ；在构造复杂的地段，可适当加密；

2 测线宜布置成直线，当需要转折时，转折的两侧线段应能独立解释；

3 相交测线宜布置成公共激振点。

5.3.5 浅层折射波法、浅层反射波法、瑞雷波法试验工作应符合下列要求：

1 试验内容包括工作方法、观测系统、震源和仪器工作参数选择等内容；

2 选择压制干扰波的措施、激发接收方式、观测有效波的最佳窗口、选择仪器工作参数及观测系统；

3 一个地貌单元不应少于一个试验点。

II 浅层折射波法

5.3.6 浅层折射波法应用条件应符合下列要求：

1 被探测界面应是相对稳定的波速界面，并应有延续性；

2 被探测界面下部介质的波速应大于上覆介质的波速；

3 被探测界面以上覆盖介质中不应存在高速屏蔽层；

4 被探测界面的视倾角应小于 $90^\circ - i$ 。

5.3.7 仪器主要性能和技术指标应符合下列要求：

- 1 动态范围不应低于 120dB;
- 2 仪器采样率可调,最小采样间隔应达到 $50\mu\text{s}$;
- 3 应有良好的道一致性,各道振幅相对误差不应大于 10.0%,相位绝对误差不应大于 1.0ms;
- 4 记录长度可选,每道样点数不应少于 1024 个;
- 5 A/D 转换器不宜低于 16bit。

5.3.8 电缆、检波器、放大器应符合下列要求:

- 1 电缆不得有破损、断裂、串道和短路等故障,绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$;
- 2 检波器的选择:
 - 1)应有适宜的主频范围和灵敏度;
 - 2)相位绝对误差不应大于 0.5ms,振幅相对误差不应大于 10.0%;
 - 3)绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$;
- 3 放大器折合到输入端噪声不应大于 $1\mu\text{V}$;
- 4 各地震通道间相位误差不应大于两个采样间隔。

5.3.9 检波器的埋置应符合下列要求:

- 1 位置应准确,埋置条件一致。当检波器在原位置安装有困难时,若沿垂直测线方向移动检波器,移动距离不应超过道间距的 1/5;若沿测线方向移动检波器,则移动距离不应超过道间距的 1/10,并应记录现场移动后的位置;
- 2 水中作业时,应使用防水检波器或水听器;
- 3 耦合应良好,并清除周围杂草等容易引起微振的干扰物;风力过大时,应采用掩埋、隔震坑等措施;
- 4 当采用横波折射法时检波器应水平安装,灵敏度方向轴应垂直于测线,且应取向一致。

5.3.10 道间距 Δx 应根据地质条件及任务的精度要求通过试验确定,宜取等值;同时 Δx 还应满足附录 C 公式的要求。

5.3.11 资料处理应符合下列要求:

- 1 各记录道的波形、振幅及振动延续度具有相似性；
- 2 相位一致、同相轴具有一定延伸长度；
- 3 追逐炮记录同相轴平行；
- 4 在断裂发育区，宜采用多相位对比；
- 5 根据波的旅行时(t_s 、 t_p)和波的动力学特征，进行互换道、连续道波形对比；
- 6 根据视波速、波形和振幅的变化及相交波形叠加特征确定波的置换位置。

5.3.12 读取初至时间应符合下列要求：

- 1 应利用原始记录直接读取波的初至时间；当对原始记录作滤波处理时，滤波器不得有相移；
- 2 直接读取初至波有困难时，可读取初至波的极值时间，并应读取相位校正量，进行初至校正；
- 3 在波的干扰位置或者置换位移读取初至时，应分析波的叠加情况后读取。

5.3.13 绘制综合时距曲线应符合下列要求：

- 1 对旅行时间读数应进行校正，校正内容包括相位校正、爆炸深度校正、表层低速带校正及地形校正；
- 2 水平比例尺宜选择 1：500～1：2000，垂直比例尺宜选择 1cm 代表 5ms～20ms；
- 3 互换时间差不应大于 3.0ms；
- 4 应对照相同地段的相遇或追逐时距曲线的走时特点，检查走时突变道，必要时应进行修正。

5.3.14 资料解释应符合下列要求：

- 1 应根据地球物理条件、施测方法和成果精度要求选择折射波解释计算方法：
 - 1) 单支时距曲线可选择截距时间法、临界距离法、正演拟合算法；
 - 2) 相遇时距曲线可选择 t_0 法、延迟时法、时间场法、共轭点

法、正演拟合计算法和表层剥去法；

2 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，推断水平方向上的岩性变化；

3 图件宜包括：

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

2)成果图：工作布置图，地震剖面图，地震平面图(包括断裂分析图、界面等深线图)，地震剖面平面图，地震地质剖面图，推断解释剖面图或平面图。

III 浅层反射波法

5.3.15 浅层反射波法应用条件应符合下列要求：

1 被追踪地质体与其相邻岩土体之间存在波阻抗差；

2 被追踪地质体厚度不宜小于有效波长的 $1/4$ ；

3 地质体界面较平缓，入射波能在界面上产生较规则的反射波。

5.3.16 激发工作除应符合本规程第 5.3.2 条外，对于倾斜地质体，应在地质体下倾方向激发，上倾方向接收；采用垂直叠加信号增强手段时，应防止近道数据溢出。

5.3.17 资料解释应符合下列要求：

1 资料处理应包括预处理、抽道集、静校正、速度分析、动校正、滤波和 CDP 叠加等；

2 应绘制观测系统图，并注明空炮、废炮及测线经过地物标志；

3 静校正应包括测点坐标、高程、井深、 τ 值、低速带厚度及速度等资料；

4 进行地震波的对比时，各记录道的波形、振幅及振动延续度应具有相似性；在断层发育区，宜采用多相位对比；

5 平均速度或有效速度可根据地震测井或浅层折射波法确定；

6 宜参照钻孔资料和地质资料确定地质体层位和反射波组之间的关系。

IV 瑞 雷 波 法

5.3.18 瑞雷波法应用条件应符合下列要求：

- 1 被探测地质体深度小于一个瑞雷波波长；
- 2 被探测的洞穴规模大于埋深的 $1/10$ ；
- 3 被探测地质体的埋深不宜大于 30m。

5.3.19 仪器设备应符合下列要求：

- 1 根据勘探深度和工作方式的不同,可采用不同的瞬态或稳态震源；
- 2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求；
- 3 各检波器应具有相同的频响特性,自然频率应满足探测要求。

5.3.20 现场工作布置应符合下列要求：

- 1 多道瞬态瑞雷波法宜采用向前滚动观测方式,滚动点距应满足横向分辨率要求；
- 2 稳态瑞雷波法观测应采用变频可控震源单端或两端激发,并应调整两个检波器间距和偏移距进行接收；
- 3 测点间距应根据探测精度和场地条件确定。

5.3.21 稳态瑞雷波法的数据采集应符合下列要求：

- 1 激振器的安置应与地面紧密接触,并使其保持竖直状态；
- 2 同一排列的检波器之间的自然频率差不应大于 0.1Hz；
- 3 采用等幅振动信号时,检波点距或道间距应小于探测深度所需波长的 $1/2$,最小偏移距可与检波点距或道间距相等；
- 4 观测频率间隔应通过试验选择,测试宜由高频至低频进行；
- 5 记录长度应大于工作频率的三个周期。

5.3.22 瞬态瑞雷波法的数据采集应符合下列要求：

- 1 瞬态法应采用重复测试、叠加多次记录；
- 2 检波点距或道间距应小于探测深度所需波长的 $1/2$,每道

采样点数不应少于 1024 个；

3 仪器应设置全通状态，遇地质体情况变化时，应及时调整观测参数；

4 多道瞬态瑞雷波法采样间隔的选择，应视记录长度要求，保证各道采集到基阶瑞雷波；

5 记录长度应大于有效长周期信号的三个周期；

6 应根据记录长度的要求选择采样间隔。

5.3.23 资料解释应符合下列要求：

1 应剔除明显畸变点、干扰点，将全部数据按频率顺序排列；

2 资料预处理后，应区分瑞雷波和干扰波，绘制频散曲线；

3 求取层厚度的方法可采用一次导数法、拐点法等；计算层速度可采用极值法、近似计算法等；

4 应确定实际深度 h 与波长 λ_R 关系 $h = k\lambda_R$ 之间的转换系数 k 值；

5 应结合已知资料对曲线的“之”字形拐点和曲率变化作出解释，求出对应层的瑞雷波相速度，绘制速度-深度曲线；

6 图件宜包括：

1) 平面图、典型记录、频散曲线、速度-深度曲线等；

2) 剖面探测时，应将波速频率或深度频率曲线绘制在同一剖面上，也可根据最后反演计算的层速度和层深度绘制 V_R 断面图。

V 超声波法

5.3.24 超声波法应用条件应符合下列要求：

1 在钻井中测试时应井液耦合良好；

2 深孔施测时，应有照明设备、井口三脚架及吊滑装置。

5.3.25 仪器设备应符合下列要求：

1 声时测量范围应在 $0\mu\text{s} \sim 9999\mu\text{s}$ 之间，精度高于 $\pm 0.1\mu\text{s}$ ；

2 系统频带宽度应在 $5\text{Hz} \sim 200\text{kHz}$ 之间；

3 系统灵敏度应大于 $30\mu\text{V}$ ；

4 最大动态范围不应小于 100dB;

5 系统激励电压不应小于 500V。

5.3.26 数据采集应符合下列要求:

1 超声波测井时钻井中应无金属套管且有井液;

2 超声波测井应从井底开始自下而上进行,点距宜为 0.1m~0.5m。

5.3.27 资料解释应符合下列要求:

1 解释纵、横波时间值时,应进行换能器零点校正;

2 成果图应包括纵波时距曲线图、纵波速度-孔深曲线图。

VI 振动测试法

5.3.28 地脉动测试仪器设备应符合下列要求:

1 通频带应在 0.5Hz~80.0Hz 之间,信噪比应大于 80dB;

2 系统放大倍数不应小于 1×10^6 ;

3 A/D 转换器位数不应小于 16bit;

4 幅度畸变应小于 1.0dB;

5 电压增益应大于 60dB;

6 速度传感器阻尼系数应为 0.65~0.70,电压灵敏度不应小于 $30 \text{ V} \cdot \text{s/m}$,最大可测位移不应小于 0.5mm;

7 多通道放大器振幅一致性偏差应小于 3%,相位一致性偏差应小于 0.1ms,折合输入端的噪声水平应低于 $2 \mu \text{V}$ 。

5.3.29 地脉动测试数据分析应采用具有频谱分析、抗混淆滤波、加窗及分段平滑等功能的专用分析软件。

5.3.30 地脉动测试工作布置应符合下列要求:

1 测点 100m 范围内,应无人有振动干扰;

2 测点宜选择在原状土上或波速孔附近;

3 传感器应沿东西、南北、竖向三个方向布置,且相互之间距离不大于 1.0m。

5.3.31 地脉动数据采集与记录应符合下列要求:

1 应选择在场地环境干扰最低的时段进行测试;

2 测试记录微振动信号时,应根据所需频率范围设置低通滤波频率和采样频率,采样频率宜取 50Hz~100Hz;

3 每次测试时间长度不应小于 15min,一个测点不少于三次,每次测试间隔应大于 30min。

5.3.32 地脉动测试数据处理应符合下列要求:

1 测试数据应作富氏谱或功率谱分析,每个样本数据宜采用 1024 个点,采样间隔宜取 0.01s~0.02s,并加窗函数处理,频域平均次数不宜少于 32 次;

2 场地卓越周期 T 应根据卓越频率确定,计算方法见附录 C;

3 卓越频率按谱图中最大峰值所对应的频率确定,当谱图中出现多峰时应进行相关或互谱分析。

5.3.33 激振测试设备应符合下列要求:

1 机械式激振器工作频率宜为 3Hz~60Hz;

2 电磁式激振器扰力不宜小于 60kN;

3 自由振动试验中,竖向激振可采用铁球,其质量宜为基础质量的 1/100~1/150。

5.3.34 激振测试设备的安装应符合下列要求:

1 激振设备与基础应安装牢固;

2 竖向振动测试时,激振设备的竖向扰力应与基础的重心在同一垂直线上;

3 水平振动测试时,机械式激振设备水平扰力宜在基础长轴方向;电磁式激振设备应安装在基础顶部,且水平扰力作用方向与基础长轴平行。

5.3.35 激振测试传感器布设应符合下列要求:

1 竖向振动测试时,应在基础顶面长轴的两端各布置一个竖向传感器;

2 水平回转振动测试时,应在基础顶面长轴的两端各布置一个竖向传感器,在中间布置一个水平向传感器;

3 扭转振动测试时,传感器应同相位对称布置在基础顶面沿

水平轴线的两端,其水平振动方向应与轴线垂直。

5.3.36 基础强迫振动测试的数据采集应符合下列要求:

1 输出的振动波形应采用显示器监测,待波形为正弦波时方可进行记录;

2 测试幅频响应时,激振设备的扰力频率间隔在共振区外不宜大于 2Hz,在共振区内应小于 1Hz;

3 试验中基础振幅与基础宽度之比应与机器基础振动时为同一量级,且共振时的振幅不宜大于 $150\mu\text{m}$ 。

5.3.37 基础强迫振动测试数据处理应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 相关规定执行。

Ⅶ 基桩动测法

5.3.38 低应变法检测仪器主机应符合下列要求:

1 应具有滤波、放大、显示、储存和处理分析功能;

2 模数转换器不宜低于 12bit;

3 采样间隔应在 $10\mu\text{s}\sim 1000\mu\text{s}$ 之间,可分数挡,可调整;

4 单通道采样点数不应少于 1024 个;多通道系统应具有一致性,其振幅偏差应小于 3%,相位偏差应小于 0.1ms;

5 放大器增益应大于 60dB,其频响范围应在 5Hz~5000Hz 之间。

5.3.39 低应变法传感器应符合下列要求:

1 频响曲线的线性范围应覆盖整个测试信号的主要频率范围;

2 速度型传感器的频率范围宜为 10Hz~100Hz,灵敏度应大于 $300\text{mV}/\text{cm}/\text{s}$;

3 加速度传感器的上限频率不宜小于 2kHz,量程应大于 $100g$,灵敏度应大于 $100\text{mV}/g$ 。

5.3.40 传感器的安装应符合下列要求:

1 与桩顶面应垂直,并牢固粘结;

2 实心桩的激振点位置应选择在桩中心,传感器安装位置宜

为距桩中心 $2/3$ 半径处;空心桩的激振点与测量传感器安装位置宜在同一水平面上,且与桩中心连线形成的夹角宜为 90° ,激振点和传感器安装位置宜为桩壁厚的 $1/2$ 处;

3 激振点与传感器的位置应避开钢筋笼主筋位置,其间距宜大于 50mm 。

5.3.41 低应变法的激振设备宜选用力锤或力棒,并应根据具体情况选择其材质和重量。宜用宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号、用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信号。

5.3.42 高应变法仪器主机应符合下列要求:

1 应具有保存实测力与加速度信号的功能,并能现场进行数据处理、绘图、显示和打印;

2 数据采集装置的 A/D 转换精度不应低于 12bit ,通道之间的相位差应小于 $50\mu\text{s}$;

3 信号采样点数不应小于 1024 个,采样间隔宜取 $50\mu\text{s} \sim 200\mu\text{s}$;当采用曲线拟合法计算受检桩的极限承载力时,信号记录长度应达到 $5L/c$ (L 为测点下桩长)或桩底反射波后不小于 20ms 。

5.3.43 高应变法传感器应符合下列要求:

1 力传感器安装谐振频率应大于 2kHz ,在 $1000\mu\text{e}$ 测量范围内的非线性误差不应大于 1% ,由于导线电阻引起的灵敏度降低不应大于 1% ;

2 安装后的加速度计在 $2\text{Hz} \sim 3000\text{Hz}$ 范围内灵敏度变化不应大于 5% ,在冲击加速度范围内其幅值非线性误差不应大于 5% 。

5.3.44 高应变法使用的重锤应符合下列要求:

1 宜用铸钢或铸铁专门制造,应质量均匀、形状对称、锤底平整,高径(宽)比不小于 1 ;

2 锤的重量应大于预估单桩极限承载力的 1.0% 。

5.3.45 锤击方式采用自由落锤时,宜“重锤低击”,最大锤击落距不宜大于 2.5m 。

5.3.46 低应变法检测报告应包括：

- 1 桩身波速；
- 2 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别；
- 3 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数，或频域信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频差。

5.3.47 高应变法检测报告应包括：

- 1 计算中实际采用的桩身波速值和阻尼系数 j_c 值；
- 2 实测曲线拟合法所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图；
- 3 实测贯入度；
- 4 试打桩和打桩监控所采用的桩锤型号、锤垫类型以及监测得到的锤击数、桩侧 R_c 和桩端静阻力 R_b 、桩身锤击拉应力和压应力、桩身完整性以及能量传递比随入土深度的变化。

5.3.48 声波透射法适宜于检测桩径大于 0.6m，且已预埋声测管的混凝土灌注桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度并确定其位置。

5.3.49 声波透射法换能器应符合下列要求：

- 1 圆柱状径向振动，沿径向无指向性；
- 2 外径应小于声测管内径，有效工作面轴向长度不大于 150mm；
- 3 谐振频率宜为 30kHz~50kHz；
- 4 1MPa 水压下不应渗水。

5.3.50 声波透射法检测仪应符合下列要求：

- 1 应具有实时显示、记录接收信号的时程曲线以及频率测量或频谱分析功能；
- 2 声时测量分辨力应小于 $0.5\mu s$ ，声波幅值测量相对误差小于 5%，系统频带宽度为 1kHz~200kHz，系统最大动态范围不小于 100dB；

3 声波发射脉冲宜为阶跃或矩形脉冲,电压幅值为 200V~1000V。

5.3.51 声波透射法准备工作应符合下列要求:

- 1 受检桩混凝土强度不低于设计强度的 70%;
- 2 声波测管内应注满清水;
- 3 应量测声波检测管外壁间的距离。

5.3.52 声波透射法现场工作应符合下列要求:

- 1 测点间距应为 100mm~300mm,收发换能器应以同一高度同步升降;
- 2 应读取声时、首波峰值和主频值,并实时显示和记录接收信号的时程曲线;
- 3 在对同一根桩的各剖面测试中,应保持声波发射电压和仪器设置参数不变;
- 4 对可疑点应进行复测,可采用加密平测点、斜测及扇扫测等方法,确定其缺陷位置和范围。

5.3.53 声波透射法检测数据的分析和判定应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

5.3.54 声波透射法检测报告图件应包括下列内容:

- 1 声测管布置图;
- 2 受检桩每个检测剖面声速-深度($V-h$)曲线、波幅-深度(A_p-h)曲线,并将相应判据临界值所对应的标志线绘制于同一个坐标系中;
- 3 当采用主频值或 PSD 值进行辅助分析判定时,绘制主频-深度曲线或 PSD 曲线;
- 4 缺陷分布示意图。

5.4 天然放射性法

5.4.1 天然放射性法根据场地条件和探测目的可选择氡气探测法和伽玛探测法。

5.4.2 应用条件应符合下列要求:

- 1 氡气探测法应在不扰动土中取土样进行测量,测区应有厚度大于 500mm 的表土层;
- 2 伽玛探测法宜在基岩露头区使用;
- 3 沥青公路、矿渣堆积区、化肥零散堆放点、3d 内施散化肥的农田、用放射性催化过的种子播撒区、垃圾点附近、水上或水下等环境不应使用。

5.4.3 仪器的性能指标应符合下列要求:

- 1 氡气探测仪:本底计数不应大于 5cp/min,探测效率不应小于 80%;
- 2 伽玛探测仪:
 - 1)测量精度:当样品的比活度大于 18.5Bq/kg 时,其总不确定度不应大于 15%;
 - 2)测量时间:宜为 10s~60000s,可采用低功耗 512 道多道脉冲分析器。积分非线性不应大于 0.3%;微分非线性不应大于 4%;死时间不应大于 10 μ s;
 - 3)分辨率:应优于 9%(137Cs 0.66MeV),可一次性完成 238U(226Ra)、232Th、40K 分当量比活度的定量测试,一次性可存储 1000 个测点数据。

5.4.4 准备工作应符合下列要求:

- 1 应用标准源校准仪器;
- 2 应检测仪器本底并记录;
- 3 仪器短期工作稳定性应符合放射性涨落统计规律,仪器涨落标准误差 σ 应小于 $\pm 30\%$,相对标准误差 θ 应小于 $\pm 10\%$;当稳定性检查测得的计数值 N_i 大于 1000 时,仪器长期工作稳定性读数变化相对误差 δ 不应大于 $\pm 30\%$;
- 4 应测量工作区内的背景值。

5.4.5 质量检查应符合下列要求:

- 1 定性检查应布置在异常区,两次测量的曲线形态、峰值应

相似；

2 定量检查宜在原测线和测点上进行,检查线和检查点应布置在有地质意义点、异常点或有疑问的地段,可用相关分析法来衡量。

5.4.6 氦气探测法数据采集应符合下列要求：

- 1 土样取出后应在 120s 时间内测量；
- 2 测量时间宜设置为 600s；
- 3 使用过的样品盒应用清水洗干净或放置 4d 以上；
- 4 第一次测量完成后应向深部(或侧面)挖 300mm 方可取土样进行第二次测量。

5.4.7 伽玛探测法数据采集应符合下列要求：

- 1 每次施测前应检查仪器性能并校准,输入校准系数；
- 2 测量时间宜设置为 400s；
- 3 测量时仪器探头应紧贴测点,待仪器读数稳定后,读取三个以上数据并取其算术平均值作为该测点的测量值；
- 4 应根据实测的样品谱线选择道宽；
- 5 同时进行氦气探测法和伽玛探测法测量时,两者测点位置应保持一致。

5.4.8 资料解释应符合下列要求：

- 1 应排除吸附物质的影响；
- 2 前后测量值有明显变化时,应多次测量,查明原因后再进行解释；
- 3 宜绘制剖面图或等值线图,测量结果可用表格形式表示。

5.5 双 探 针 法

5.5.1 双探针法适用于在现场或室内测试土壤的热导率 λ 、容积热容率 C 、热扩散率 α 、地温 T ,测试土壤温度宜在 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间。

5.5.2 仪器应符合下列要求：

- 1 采集系统应包括探针、电源、加热电路、数据采集控制等部

分,并具有存储、记忆、编辑、通信等功能;

2 加热探针应含有线性加热源,测量探针应装有温度测量元件;

3 探针的长径比应大于 30;

4 探针的测量精度不应大于 $\pm 5\%$;

5 探针的测量范围应能包括常见土壤热物性(λ 、 C 、 a)参数值。

5.5.3 仪器的校准应符合下列要求:

1 使用前应用标准试样校准,并按照附录 C 计算校准系数 k ;

2 可采用纯甘油或 0.5% 琼脂和水的混合物进行校准测试,修正土壤热特性测定值;

3 校准时应防止甘油吸附水蒸气;

4 校准试样需装入管状容器,容器直径不应小于 50mm 或 10 倍的热针探头直径(取大者),容器长度至少应超过探针长度的 20%;

5 试样校准测量不宜少于 10 次,应取平均值作为校准系数。

5.5.4 现场测量工作应符合下列要求:

1 不应在扰动的土体上测量;

2 测量时应采用稳压电源供电;

3 探针金属部分应全部插入待测土壤中;

4 探针插入土壤,应待探针和土壤达到温度平衡后再测量;

5 探针加热时间不宜小于 8s;

6 在 30s 加热期和 30s 冷却期内每秒记录一次数据,每个测点测量数据不宜少于 40 个;

7 不得在试验过程中移动传感器。

5.5.5 重复测量和检查测量应符合下列要求:

1 现场测量时,应对受干扰的测点进行重复测量,重复测量的相对误差 δ 不应大于 $\pm 5\%$;室内测量时,每组样本的重复测量次数不应少于两次,相对误差 δ 不应大于 $\pm 3\%$;

2 现场测量时,检查测量点数不应少于三个点,检查测量的均方根误差 m 不应大于 $\pm 5\%$ 。

5.5.6 资料处理应符合下列要求:

1 对测量数据可采用绘图法或计算机拟合分析法计算 λ 、 C 及 a ;

2 采用计算机拟合法计算时,宜选取测试数据中开始数据到最大值后 10 个数据为有效测试数据;

3 应剔除早期瞬态条件和晚期边界效应的数据。

5.6 井中探测法

I 一般规定

5.6.1 井中探测法根据场地条件和探测目的可选择电测井、电磁波测井、地震波测井、天然放射性测井、井下电视等。

5.6.2 探测仪器应满足下列要求:

1 仪器的下井部分应耐压、抗震、防水性好;

2 传动装置的误差应小于 0.2% ;

3 主机电池电压不应小于额定值的 90% ;

4 仪器及供电电池对地绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$;

5 电缆及探头对地、各电极之间的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

5.6.3 井中探测准备工作应符合下列要求:

1 测井前应了解钻孔结构、主要岩性构造及现场测井条件;

2 测井前应清孔,井液循环时间不宜少于 1h ;

3 水文测井孔应用清水循环冲洗;

4 钻井的实际深度应大于测井仪器的测试深度。

5.6.4 井中探测现场工作应符合下列要求:

1 绞车与滑轮应保持一定距离、平稳牢靠;

2 在地面同时布置测量电极和供电电极时,它们之间的距离不应小于电极系极距的 50 倍;

3 同一井孔应采用相同的工作参数,当无测区资料时应通过

试验确定;

4 测井深度记录应与钻井一致,允许累积误差不超过 $\pm 0.5\%$;

5 点距的选择应根据极距大小和地质体界面划分精度确定。

5.6.5 测井曲线应符合下列要求:

- 1 测井曲线纵向比例应与钻井柱状图比例相一致;
- 2 同一测区的测井曲线纵向比例宜相同,横向比例应相同。

5.6.6 井中探测质量检查应符合下列要求:

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

II 电 测 井

5.6.7 电测井应在无金属套管、有井液的井段测试。

5.6.8 视电阻率法测井现场工作除应符合本规程第5.6.4条外,还应符合下列要求:

- 1 井下电极系电极直径不应小于3cm;
 - 2 有下列情况之一时,应检查仪器和导线的漏电情况:
 - 1)断开地面仪器的连接线或绞车的接地时,电阻率发生变化;
 - 2)断开A和B线路,供电线路中仍有电流存在;
 - 3)电阻率曲线畸变,重复性差;
 - 4)电缆停止提升或换向器转速改变时,电位差发生变动;
 - 3 进行大比例(1:50)微电极系测井时,电缆提升速度应小于3m/min;
 - 4 微电极系测井,曲线产生零点漂移时,宜用下列方法检验:
 - 1)井中有套管时,应以套管中电阻率曲线为零线;
 - 2)在不渗透黏土层和泥岩层井段,视电阻率曲线值应相等。
- 5.6.9 自然电位测井现场工作除应符合本规程第5.6.4条外,还应符合下列要求:

- 1 综合测井时,应首先进行自然电位测量;

2 电极应采用不极化电极或铅电极,地面固定电极应置入没有油污、不流动的泥浆中;

3 自然电位曲线基线偏移不应大于 $2\text{cm}/100\text{m}$;

4 当游散电流干扰较大时,应将 N 极接在套管上或作自然电位梯度测量。

5.6.10 水文测井现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

1 应用标准电阻测量供电电流强度;

2 扩散法测量的技术要求:

1) 钻井井液在盐化前应测一条井液电阻率曲线,并应重复测量,两次测量的相对误差 δ 不应大于 $\pm 5\%$;

2) 盐化井液浓度应均匀,盐化前后井液电阻率应有明显差异;

3) 测量提升速度应均匀,且不应大于 $2\text{m}/\text{min}$;

3 注入法、提捞法或追踪法测量的技术要求:

1) 应测量钻井的稳定水位、注水量、抽水量和水位变化情况;

2) 升高或降低水位不应少于 3 次,水头差应在 2m 以上;

3) 进行定量计算,应测量井径和消除电缆的影响;

4) 测量两个钻井间的水力联系时,应分别测量每个钻井中含水层的位置和厚度;

5) 当地下水由上往下补给,宜用扩散法、注入法或追踪法;由下往上补给时,宜用追踪法或扩散法;无补给关系时,宜用提捞法或扩散法。

5.6.11 电流测井现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

1 供电电压应远大于自然电位;

2 测区自然电位较强时宜采用带换向器的线路来消除自然电位的影响,并用转速较大的换向器;

3 测量前应确定电流曲线的极性。

5.6.12 资料解释应符合下列要求:

1 视电阻率测井时,应结合井径曲线、井液和相邻介质求取介质的电参数;

2 自然电位测井应分析井液矿化度、大地电流、工业游散电流以及金属重锤与残存钢砂产生的腐蚀电流的影响;

3 水文测井资料解释:

1)井液电阻率资料应结合钻井水文地质资料及井温曲线综合分析,估算地下水的渗透速度,定性比较岩层的含水性 and 渗透性;

2)当钻井中有两个以上含水层相互补给时,可根据扩散法的井液电阻率曲线定性分析各含水层之间的相互补给关系;

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

III 电磁波测井

5.6.13 电磁波测井应在无金属套管的井中进行。

5.6.14 现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

1 工作频率不应少于两个;

2 交会法测井,应作水平同步、斜同步和定点测量;

3 CT 电磁波测井,同一透视剖面上可作互换孔位的定点发射观测;点距应小于 CT 计算网点的边长,异常部位应加密观测点;

4 透视孔间距不宜大于 80m。

5.6.15 资料解释应符合下列要求:

1 应通过野外记录现场复核,筛选干扰异常;

2 地质体简单、异常明显时可作直观的交会解释,地质体复杂时应采用人机联合处理解释。

IV 地震波测井

5.6.16 单孔法测井现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

1 测试孔应垂直;

- 2 三分量检波器应固定在孔内预定深度处,并紧贴孔壁;
- 3 可采用地面激振或孔内激振。

5.6.17 单孔法测井资料解释应符合下列要求:

- 1 压缩波、剪切波从振源到达测点的时间应分别根据竖向传感器、水平传感器记录的波形确定,同时应按附录 C 进行斜距校正;
- 2 波速层的划分应结合地质情况,按时距曲线上不同斜率的折线段确定;
- 3 应按附录 C 计算每一层压缩波波速 V_p 或剪切波波速 V_s 。

5.6.18 跨孔法测井现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

- 1 振源孔和测试孔,应布置在一条直线上;
- 2 测试时振源与接受孔内的传感器应设置在同一水平面上;
- 3 钻井应垂直,并宜用泥浆护壁或下套管,套管壁与孔壁应紧密接触。

5.6.19 跨孔法测井资料解释应符合下列要求:

- 1 原始波形记录上应能识别压缩波(P 波)或剪切波(S 波);
- 2 应结合正反相等波形特征读取初至时间;
- 3 各地质体的动力学参数值应根据附录 C 计算。

V 天然放射性测井

5.6.20 天然放射性测井可在有套管井段和干钻井中进行。

5.6.21 现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

- 1 应采用标准源检查仪器;
- 2 井下探管不应在地面和孔内强烈摇晃或撞击;
- 3 在泥质岩层井段上应记录统计起伏,记录时间应大于所选用的时间常数的 10 倍;
- 4 记录点应为计数管的中点,每条曲线应测出基底补偿值。

5.6.22 资料解释应符合下列要求:

1 定量解释时应用标准源在室内对井下探管进行校准,确定横向比例和时间常数,横向比例应以 γ/cm 标注,同一测区的横向比例应一致;

2 确定岩层厚度可用 $1/2 \sim 4/5$ 幅度法或给定强度法;

3 资料解释时应分析钻井结构的改变对探测结果的影响。

VI 井 下 电 视

5.6.23 井下电视应在无套管的干井或清水钻井中进行。

5.6.24 现场工作除应符合本规程第 5.6.4 条外,还应符合下列要求:

1 当钻井中水质透明度不够时,应用清水循环冲洗并加沉淀剂;

2 井下电视观察时应将工程名称、孔号、测试日期、参加人员等参数录入记录介质;

3 现场录制的电视图像应清晰可辨。

5.6.25 井下电视资料解释时应对钻井的地质现象进行描述,并计算出裂隙、断层、软弱夹层等的倾角,在顶角大于 5° 的斜孔中计算这些参数时还应进行斜度校正。

6 常见地质界面探测

6.1 土层界面

6.1.1 土层界面的探测方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法、井中探测法等。

6.1.2 方法选择应符合下列要求：

1 各土层间存在明显的电性差异，宜使用电测深法、高密度电阻率法、地质雷达法；

2 各土层间存在较大波阻抗差异时，宜选择浅层反射波法、浅层折射波法；当探测深度较小时，宜采用瑞雷波法。

6.1.3 外业工作应符合下列要求：

1 当测区有钻孔、探井或天然剖面时，宜建立土层与物性参数的对应关系；

2 物探资料的初步解释结果应及时与地质勘探资料进行对比，必要时调整仪器装置及工作参数。

6.1.4 资料解释应符合下列要求：

1 应根据钻孔（井）、探井、天然剖面的测试资料及试验资料，分析物性参数在垂直方向上的变化规律和物性层与土层的对应关系；

2 高密度电法定量解释时，应根据天然剖面（或钻孔、探井）旁的电测深资料，计算供电极距 $AB/2$ 与实际深度 h 之间关系 $h = k \cdot (AB/2)$ 的转换系数 k 值，结合土层的电阻率值进行定量解释；

3 浅层反射波法和地质雷达法资料解释时，应根据天然剖面（或钻孔、探井）旁的测试资料，建立同相轴与各土层之间的对应关系，结合反射时间及层速度对测区物探资料进行解释；

4 综合物探资料解释时，应提出各层位在不同物探方法下的

物性分层依据,进行综合对比分析解释。

6.1.5 探测精度应符合下列要求:

- 1 测区条件简单且有一定数量钻孔可参考时,探测土层界面的相对误差不应大于 10%;
- 2 测区条件复杂时,探测土层界面的相对误差不宜大于 20%;
- 3 井中探测法探测土层界面,绝对误差应小于 20cm。

6.2 基岩面与风化带

6.2.1 基岩面及风化带的探测方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法、井中探测法等。

6.2.2 方法选择应符合下列要求:

- 1 覆盖层厚度较大时,基岩面探测宜选择浅层反射波法、浅层折射波法、电测深法、高密度电法、瞬变电测法;
- 2 覆盖层厚度较小时,基岩面探测宜采用地质雷达法、瑞雷波法;
- 3 当基岩表面无覆盖层或覆盖层厚度较小时,风化带探测宜选用地质雷达法、瑞雷波法和浅层折射波法;
- 4 当覆盖层厚度较大、风化界面起伏不大时,风化带探测宜选用电测深法、高密度电法、浅层折射波法;
- 5 需要精确探测风化带时,宜采用超声波测井法。

6.2.3 外业工作应符合下列要求:

- 1 风化带探测时,宜在钻孔、探井旁进行试验工作,建立各风化带与物性参数的对应关系;
- 2 采用电测深、高密度电法探测时,应分析岩石电阻率的各向异性影响。

6.2.4 资料解释应符合下列要求:

- 1 以基岩面为探测目的的资料解释可按本规程第 6.1.4 条执行;

2 风化带划分,应结合地质勘探资料,分析计算各地质体的物性参数、圈定节理裂隙发育范围,如存在断裂,还应圈定断裂破碎带;

3 岩体风化带可按表 6.2.4 的标准分类。

表 6.2.4 岩体风化带分类表

风化程度	未风化	微风化	中等风化	强风化	全风化
风化波速比 K_v	0.9~1.0	0.8~0.9	0.6~0.8	0.4~0.6	<0.4

注:波速比 K_v 为同一测试环境下(室内或钻孔内)风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比。

6.2.5 探测精度应符合下列要求:

- 1 探测条件简单、有钻孔资料或测井资料时,探测基岩面的相对误差不应大于 8%;
- 2 探测条件复杂时,探测基岩面的相对误差不应大于 12%;
- 3 井中探测法探测基岩面及风化带的绝对误差不应大于 20cm。

6.3 岩溶和土洞

6.3.1 岩溶和土洞的探测方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法、井中探测法等。

6.3.2 方法选择应符合下列要求:

- 1 地表没有覆盖层时,岩溶探测宜选择地质雷达法、瞬变电磁法;
- 2 覆盖层厚度较小时,岩溶和土洞探测可选择高密度电法、地质雷达法、瑞雷波法、电测深法、电剖面法、浅层反射波法、浅层折射波法、瞬变电磁法等;
- 3 覆盖层厚度较大时,岩溶探测宜选择瞬变电磁法;
- 4 探测钻孔周围岩溶或土洞时,宜选择孔中地质雷达法、井下电视等;
- 5 土洞埋藏较浅时宜选择地质雷达法、瑞雷波法等,土洞埋

藏较深时宜选择高密度电法、浅层反射波法、浅层折射波法、瞬变电磁法。

6.3.3 外业工作应符合下列要求：

- 1 溶洞探测前应调查测区岩溶发育条件和规律；
- 2 应在已知溶洞地段进行各种方法的对比试验，选择工作方法和工作参数；
- 3 在异常区详细探测岩溶或土洞的空间发育规模时，应加密测量。

6.3.4 资料解释应符合下列要求：

- 1 宜根据溶洞及土洞在地质雷达剖面及浅层反射波法剖面上的双曲线反射特征，确定溶洞、土洞的分布埋深及规模，并可根据反射同相轴的畸变判断填充情况；

- 2 宜根据开口溶洞或土洞在高密度电法剖面图像上表现为“八”字形异常特征、相对孤立溶洞或土洞则形成异常闭合圈特征，确定溶洞、土洞的分布埋深及规模，并可根据异常区电阻率的高低判断充填情况；

- 3 宜根据溶沟、溶槽在高密度电法剖面图像上的低阻异常形态且与覆盖层贯通的特征，在地质雷达及浅层反射波法剖面图像上反射同相轴错断、畸变且与覆盖层相接的特征，计算溶沟、溶槽空间尺寸及埋深等；

- 4 宜根据溶蚀裂隙在地质雷达及浅层反射波法剖面图像上反射同相轴错断、畸变且位于基岩区域的特征，在高密度电法剖面图像上的高阻条带状异常形态且位于碳酸岩区域的特征，计算溶蚀裂隙空间尺寸及埋深等；

- 5 宜根据岩溶空洞在电剖面、瞬变电磁、大地电磁测深曲线上呈高阻、低吸收特征和充填型溶洞呈现低阻、高吸收的异常特征确定溶洞埋深及空间参数；

- 6 宜根据溶洞在浅层地震折射波剖面上低波速、透射波能量较小的特点进行解释；

7 宜根据电磁波和弹性波资料异常差异的对比结果,解释溶洞或土洞的填充情况;

8 宜根据岩溶在物性参数及井下电视图像上的特点解释测井资料;

9 宜根据测区内各个物探剖面间异常的位置并结合水文地质资料对溶洞的连通、延伸方向和范围进行推断解释。

6.3.5 探测精度应符合下列要求:

1 井中探测法对孔壁溶洞的绝对误差不应大于 0.5m;

2 地质雷达探测规模大于埋深 1/10 的溶洞或土洞,埋深小于 10m 时绝对误差不应大于 0.5m,埋深大于 10m 时绝对误差不宜大于 1.0m。

6.4 断裂和破碎带

6.4.1 断裂和破碎带的探测方法可采用直流电法、弹性波法、电磁波法、天然放射性探测和井中探测法等。

6.4.2 方法选择应符合下列要求:

1 探测浅部断裂破碎带宜采用电剖面法、 α 法、地质雷达法、浅层反射波法、浅层折射波法、高密度电法;

2 探测深部断裂破碎带宜选择瞬变电磁法;

3 当断裂破碎带位于低阻覆盖层下,埋深不大且呈低阻异常时,宜选择直流电法中的联合剖面法、电测深法或高密度电法;当断裂破碎带上覆地质体为高阻体时,宜选择电磁法中的瞬变电磁法、地质雷达法;

4 当断裂破碎带含水量较高时,宜采用激发极化法和电测深法综合探测;

5 当断裂破碎带有地下水活动且产生过滤电场而形成明显的自电异常时,宜采用自然电场法。

6.4.3 外业工作应符合下列要求:

1 探测深度应大于目标深度的 1.5 倍;

2 采用联合剖面法、电测深法、高密度电法、瞬变电磁法、地质雷达法探测断裂破碎带时,点距宜小于断裂破碎带宽度的 1/3;

3 探测宽度大于 3m 的断裂破碎带,宜采用浅层折射波法的纵测线连续对比观测系统,点距宜小于 2m;

4 探测具有一定垂直断距的断层破碎带,宜采用浅层反射波法的水平多次叠加系统或等偏移距系统;

5 宜依据浅层折射波法原始记录上振幅衰减、波形变化等,确定风化带与断层破碎带;

6 活动断裂探测的外业工作应符合现行行业标准《活动断层探测方法》DB/T 15 的规定。

6.4.4 资料解释应符合下列要求:

1 宜根据联合剖面法曲线的低阻正交点异常轴走向推断断裂破碎带的走向和平面位置;由低阻正交点两侧的不对称性和大极距曲线正交点的偏移方向,可判断断裂破碎带的倾向;

2 宜根据高密度电法、瞬变电磁法的视电阻率中高阻或低阻吸收异常的形态、范围,判断断裂破碎带的位置、规模和延伸情况;

3 宜根据浅层反射波法和地质雷达剖面上反射波同相轴的绕射、错断、畸变、强相位反转、振幅减小等特征,确定断裂破碎带,并可根据反射波同相轴时间、错断时差和层速度计算埋深、断距;

4 宜根据浅层折射波法 $\theta(x)$ 曲线出现局部错断、界面速度下降 30%,且伴有波幅减小、视周期增大和波形畸变等特征,判断断裂破碎带,对应的测线段长度为断裂破碎带视宽度;

5 根据激发极化法 η_s 、 J_s 、 D_s 的差异可判断断裂破碎带是否含水,但应排除碳质或金属矿体等产生的干扰;

6 覆盖层厚度较小时,若自然电场、激电参数和放射性的异常幅值大于背景值的 1.5 倍、且呈条带状分布,可推断为断裂破碎带。

6.4.5 探测精度应符合下列要求:

1 覆盖层厚度小于 10m 时,应能查明不小于 2m 宽度的断裂

破碎带；覆盖层厚度在 10m~20m 时，应能查明不小于 3m 宽度的断裂破碎带；覆盖层厚度大于 20m 时，应能查明宽度大于 1/5 覆盖层厚度的断裂破碎带；

2 探测断裂和破碎带埋深时，地质雷达法的相对误差不宜大于 10%；浅层地震波法的相对误差不宜大于 15%；其他物探方法的相对误差不宜大于 30%。

6.5 滑 坡

6.5.1 滑坡探测的方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法和井中探测法等。

6.5.2 方法选择应符合下列要求：

1 滑动面埋深较浅时，宜采用地质雷达法和瑞雷波法；

2 滑动面为基岩面时，宜采用浅层折射波法；

3 滑动面为土层或软弱层、滑坡体以土和碎石土为主要成分时，宜选择浅层反射波法、浅层折射波法、瑞雷波法；滑坡体组成物粒径较大且松散时，宜选择电测深法、高密度电法、浅层折射波法、瑞雷波法；

4 当滑坡体前沿位于水下时，宜采用水域勘探法；

5 滑坡体上有钻孔时宜采用井中探测法；

6 探测滑坡体地下水宜选择自然电位法、激发极化法、电测深法、高密度电法。

6.5.3 外业工作应符合下列要求：

1 应在滑坡体上先行试验，选择物探方法、观测系统和仪器工作参数；

2 测线应沿滑动方向布置，并布置少量垂直滑动方向的横测线。

6.5.4 资料解释应符合下列要求：

1 瑞雷波法应根据频散曲线上“之”字形特征进行波速分层，圈定滑动面范围；

2 地质雷达法宜根据雷达剖面上形成较强电磁波反射面的特征,划分滑动面;

3 浅层折射波法应根据滑坡体波速和滑床波速、滑坡体厚度确定滑动面,浅层反射波法应进行分层解释,并依据其他物探资料计算层厚度;

4 直流电法应依据电测深资料进行电性分层,计算出各电性层的厚度,确定滑动面;自然电位法、激发极化法、充电法资料还应解释滑坡体内含水层和富水带的情况;

5 井中探测法应进行分层解释,计算各层参数;探测顺层滑坡体宜解释滑动带的位置、厚度。

6.5.5 探测精度应符合下列要求:

1 测区条件简单,滑坡面埋深探测相对误差不应大于 15%;条件复杂时,其相对误差不宜大于 20%;

2 井中探测法探测滑动面,其深度的绝对误差应小于 20cm。

6.6 地 下 水

6.6.1 地下水探测的方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法及井中探测法。

6.6.2 方法选择应符合下列要求:

1 探测含水层、含水带宜选择电测深法、电剖面法和激发极化法;

2 探测地下水的分布、规模和埋深宜采用电测深法、浅层折射波法;

3 探测地下水位宜选择激发极化法、电测深法、瞬变电磁法、地质雷达法;

4 探测地下水流速、流向和渗流速率等宜选择自然电场法、充电法;

5 探测埋藏较深的地下水宜选择瞬变电磁法;

6 探测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宜选择电测深法、瞬变电磁法；

7 划分多层地下含水层中咸水、淡水界线宜选择井中探测法；

8 当有钻孔时，宜选择自然电场法、充电法、井中探测法等。

6.6.3 外业工作应符合下列要求：

1 与水文地质专业工作应紧密配合；

2 区域性地下水探测宜按网格状布置测网；对于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。

6.6.4 资料解释应符合下列要求：

1 应结合水文地质和工程地质资料，建立典型水文地质条件下的物探异常曲线，根据已知资料进行定性分析；

2 充电法探测地下水时：

1) 确定地下水流向、流速时，宜绘制等位线图、 $\Delta R = f(\alpha)$ 曲线图、 $\Delta R = f(t)$ 曲线图、矢量图等解释图件；

2) 在地下水流向方向上，可按附录 C 计算流速；

3) 在较陡的斜坡上进行观测时，所测得地下水流速应按附录 C 修正；

3 激发极化法找水资料解释中，应区分异常值和背景值；

4 用直流电法、浅层地震波法探测含水层时，应计算出含水层的平面位置、范围和埋深；

5 钻孔中的自然电场法、充电法、综合测井等资料解释应确定含水层和隔水层的水文地质参数；

6 宜根据孔隙水电阻率值变化情况划分咸水与淡水分界线。

6.6.5 探测精度应符合下列要求：

1 测区条件简单时，探测含水层厚度和深度、含水层顶面深度的相对误差不应大于 10%；

2 测区条件复杂时，探测含水层厚度和深度、含水层顶面深度的相对误差不宜大于 20%。

6.7 冻 土

6.7.1 冻土探测的方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法和井中探测法等。

6.7.2 方法选择应符合下列要求：

- 1 探测冻土分布特征宜选择电测深法和高密度电法；
- 2 冻土层较厚时宜选择电测深法、高密度电法、浅层反射波法、瞬变电磁法等；
- 3 确定冻融深度宜选择地质雷达法、瑞雷波法；
- 4 地表封冻季节工作时宜选择地质雷达法、瞬变电磁法；
- 5 现场有钻孔时，宜采用井中探测法或在孔旁地面对物探方法进行试验。

6.7.3 外业工作应符合下列要求：

- 1 现场作业应采取措施保持仪器处于正常工作状态；
- 2 在岛状冻土区应布置较密的测网；
- 3 采用地质雷达法探测多年冻土上限时，选用的天线中心频率宜为 100MHz~250MHz。

6.7.4 资料解释应符合下列要求：

- 1 应根据测井资料或弹性波测试资料，确定融区、冻土区，高含冰区、低含冰区对应的物性参数；
- 2 当有钻孔资料对比时，电测深、高密度电法可定量解释融化深度、划分各含冰区的规模；
- 3 应根据地质雷达法和浅层反射波法图像上反射波同相轴、振幅等特征确定冻融深度；
- 4 根据瑞雷波频散曲线和速度谱可综合解释冻融深度、含冰区的规模。

6.7.5 探测精度应符合下列要求：

- 1 采用地质雷达法、瑞雷波法和井中探测法探测冻融深度的绝对误差不应大于 20cm；

2 采用其他地面物探方法探测冻融深度的绝对误差不应大于 50cm。

6.8 水 域

6.8.1 水域探测的方法可采用弹性波法、电磁波法、浅地层剖面法、水上磁测法等。

6.8.2 方法选择应符合下列要求：

1 水底地形、地貌及障碍物的探测宜选择浅地层剖面法、水上磁测法；

2 基岩埋深、断裂带、沉积层分层宜选择浅层地震波法、浅地层剖面法；在淡水浅水区宜选择地质雷达法；

3 探测水下抛石、填方分布可选择浅地层剖面法。

6.8.3 外业工作应符合下列要求：

1 浅层地震波法、水上磁测法选用的电缆应防水、耐拖拽，检波器防水性能应良好；

2 地质雷达、水上磁测法探测时，应使用木制船只承载（拖动）天线、探头等；

3 探测之前应走访查明测区水深、水情和地形；

4 海域探测工作应进行潮差日变观测；

5 应根据探测方法和探测精度选择合适的行船速度；

6 应使用满足探测要求的调查船（如吃水深度、持续航行速度、供电电源等）；

7 应使用满足精度要求的测量定位系统；作业时所有仪器系统均应采用 GMT 时间，由时钟同步触发工作。

6.8.4 资料解释应符合下列要求：

1 资料解释前应收集水深图、测线位置图、相关的地质和地球物理资料；

2 浅层地震波法资料解释：

1) 应识别出由尾流、螺旋桨、机械振动、浅水区混响等产生

的干扰信号；

2)应识别多次波；

3)应进行定位改正和水深校正；

3 浅地层剖面法和水上磁测法资料解释应符合现行国家标准《海洋地质地球物理调查规范》GB/T 13909 的规定。

6.8.5 探测精度应符合下列要求：

1 浅层地震波法、地质雷达法探测精度与本规程陆地探测时精度要求相同；

2 当浅地层剖面法工作水深小于 100m，且探测水底以下 30m~50m 深度时，其记录分辨率应为 0.2m~0.3m。

7 地下管沟与坑室探测

7.1 地下管沟

7.1.1 探测地下管沟可选择电磁波法、红外辐射法、直流电法、弹性波法、磁法等方法。应根据被探测管沟的类型、材质、管径、埋深、出露情况、接地条件及干扰等因素确定具体方法及装置类型。

7.1.2 金属管道探测方法的选择应符合下列要求：

1 管道(单根或平行的多根)有出露点时,宜选择充电法和夹钳法；

2 接头为高阻体的管道,宜采用频率较高的电(或磁)偶极感应法。当探测区内铁磁性干扰小时,可采用磁场强度法或磁梯度法；

3 大直径管线宜采用电(或磁)偶极感应法,也可采用电测深法、高密度电阻率法、地质雷达法、浅层反射波法、地震影像法、声波法、磁场强度法、磁梯度法等。埋深较大时宜加大仪器功率。

7.1.3 非金属管沟探测方法的选择应符合下列要求：

1 有出入口的管沟宜采用示踪电磁法；

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

3 管径较大的管沟,并具备接地条件时,宜采用第 7.1.2 条第 3 款的方法；

4 热力管道宜采用主动源电磁法和红外辐射法。

7.1.4 电力电缆及电信电缆探测方法的选择应符合下列要求：

1 电力电缆宜先采用被动源电磁波法,辅以主动源法；当电缆有出露端时,宜采用夹钳法；

2 电信电缆和照明电缆宜采用主动源电磁波法,有条件时可

施加断续发射信号。

7.1.5 外业工作应符合下列要求：

- 1 在现况资料不足或重要及复杂地段,应多次探测;
- 2 在盲区施测时应先布置测网,待发现异常后再在异常点上用圆形搜索法确定管线走向,然后沿走向进行追踪;
- 3 应及时做好地面管线点标志的设置并绘制位置示意图;
- 4 干扰背景较大、管线分布密集或复杂时,应增加测点;
- 5 采用充电法或夹钳法探测时,信号施加点应和管道保持良好的电性接触;接地电极应布设合理,并应具有良好的接地条件;
- 6 采用电(或磁)偶极感应法探测地下管线时,应使管线回路和收发系统的电磁波传递处于耦合状态;
- 7 采用专用地下管线仪探测时,应选用适宜的方法确定管线平面位置和深度;
- 8 每一个工区应随机抽取不少于总点数的 5% 进行重复探测;
- 9 每一个工区应在隐蔽管线点中随机抽取不少于隐蔽管线点总数的 1% 且不少于 3 个进行开挖验证。

7.1.6 探测成果图件应包括地下管沟平面图、地下管沟横断面图。

7.1.7 地下管沟位置探测精度应符合下列要求：

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

7.2 地 下 坑 室

7.2.1 探测地下坑室的方法可采用直流电法、电磁波法、弹性波法、井中探测法等。

7.2.2 方法选择应符合下列要求：

1 不同埋深的地下坑室探测方法：

- 1) 0~10m 的地下坑室,宜选择地质雷达法、瑞雷波法等;

- 2) 10m~30m 的地下坑室,宜选择高密度电法、瑞雷波法、浅层反射波法、电剖面法、电测深法、地质雷达法等;
- 3) 30m~100m 的地下坑室,宜选择浅层反射波法、瞬变电磁法、电剖面法、电测深法、高密度电法等;
- 4) 埋深大于 100m 的地下坑室,宜选择浅层反射波法、瞬变电磁法、大地电磁测深法等;

2 当地表有高阻屏蔽层时宜选择地质雷达法、瞬变电磁法、大地电磁测深法;

3 当地表有低阻体且覆盖层厚度较大时宜选择高密度电法、瞬变电磁法、浅层反射波法、电测深法等;覆盖层厚度较小时宜选择地质雷达法、瑞雷波法;

4 有钻孔时宜选择井下电视。

7.2.3 外业工作应符合下列要求:

1 应搜集相关设计、施工图纸,实地走访调查地下坑室的埋深、规模、走向;

2 应根据现场试验确定测量参数;

3 需详细探测地下坑室的埋深、走向、空间尺寸等参数时应加密测线;

4 宜以文字或拍照的方式记录地下坑室引起的地面塌陷、周边建筑物下沉、墙体裂缝、地表水渗漏等异常情况。

7.2.4 资料解释应符合下列要求:

1 宜根据地下坑室在地质雷达剖面、浅层地震反射法剖面上的双曲线反射特征,采用偏移归位处理法,确定地下坑室的分布埋深及规模;

2 宜根据开口坑室在高密度电法剖面图像上表现为“八”字形异常特征,相对孤立的地下坑室则形成异常闭合圈特征,确定其分布埋深及规模;

3 宜根据地下坑室在电剖面、瞬变电磁、大地电磁测深曲线上呈高阻、低吸收特征确定其空间参数;

4 宜根据地下坑室在浅层地震折射波剖面上低波速、透射波能量较小的特点进行解释；

5 对比电磁波法和弹性波法资料的异常差异，可解释地下坑室的填充情况；

6 各方法的解释结果应符合地下坑室的展布规律。

7.2.5 探测精度应符合下列要求：

1 上覆层厚度较小、地下坑室尺寸大于埋深的 $1/10$ 时，地质雷达探测埋深小于 10m 地下坑室的深度绝对误差不宜大于 1.0m；

2 上覆层厚度较小、地下坑室尺寸大于埋深的 $1/10$ 时，其他地表物探方法探测的地下坑室深度绝对误差不宜大于 2.0m。

8 岩土特性指标测量

8.1 电性参数

I 土壤电阻率

8.1.1 测量土壤电阻率可选择直流电法或电磁波法。

8.1.2 方法选择应符合下列要求：

1 测量地下 0~200m 深度的土壤电阻率宜采用对称四极电测深法,最大供电电极距 $AB/2$ 应大于设计要求深度的 3 倍；

2 测量地下 200m~2000m 深度土壤电阻率宜采用瞬变电磁法；

3 测量地下 2000m~30000m 深度及更深土壤电阻率宜采用大地电磁测深法 (MT) 或可控源音频大地电磁测深法 (CSAMT)。

8.1.3 发电项目土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1 简单场地,测点点距可为 80m~120m;复杂场地,测点点距宜为 50m~80m；

2 主要建(构)筑物边线和转角处应有测点；

3 应根据各建(构)筑物和主要设备接地要求,适当增减测点。

8.1.4 变电项目土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1 简单场地,测点点距可为 50m~80m;复杂场地,测点点距宜为 30m~50m；

2 主要设备区视需要可增加测点。

8.1.5 输电项目土壤电阻率测点布置应符合下列要求：

1 特高压输电线路宜逐基测量；

2 其他等级输电线路宜根据地质地貌单元进行分段测量。在地质地貌单元及岩土分布较复杂地段,应增加测点；

3 在大地导电率测点处应同时测量土壤电阻率。

8.1.6 外业工作应符合下列要求：

- 1 开挖整平场地应在回填土层施工完成后再进行测量；
- 2 土壤电阻率测量不得在雨后立即进行；
- 3 当土壤电阻率各向异性较大时，应在测点“十”方向上放线测量。

8.1.7 资料解释应符合下列要求：

- 1 测量成果资料应说明测点土壤性质、湿度及其他需要特别说明的情况；
- 2 对于地形地貌单一、地质情况简单的测区，可以提供土壤电阻率的范围及平均值，供设计简化计算；
- 3 不同方法测定的土壤电阻率资料存在差异时，应进行综合分析评判。

8.1.8 对称四极电测深法检查测量的总均方误差 M 不应大于 $\pm 5\%$ ；瞬变电磁法(TEM)、大地电磁法(MT)检查测量的总均方误差 M 不应大于 $\pm 10\%$ 。

II 大地导电率

8.1.9 测量大地导电率可选择直流电法、电流互感法、线圈法、偶极法或地质资料判定法。

8.1.10 方法选择应符合下列要求：

- 1 现场测量宜选择直流电法、电流互感法、线圈法、偶极法；
- 2 由于客观原因无法进行现场测量或工程前期需要参考时可采用地质资料判定法。

8.1.11 测点布置应符合下列要求：

- 1 每 10km 不宜少于一个测点；
- 2 在线路两端、交汇地段应增加测点；
- 3 地质地貌变化复杂时，应增加测点；
- 4 测点距离输电线路路径在平原地区不得大于 500m，在山区不得大于 800m；
- 5 同一地质地貌单元相邻两测点的大地导电率之比大于 3

倍时,应在两点间增加测点。

8.1.12 外业工作应符合下列要求:

1 最大供电电极距宜选择 900m~1500m,最小供电电极距宜选择 6m~12m;

2 总测量极距数不宜少于 9 个;

3 测量时 AB 和 MN 放线方向应与输电线路走向一致;当地形复杂时,放线方向与输电线路走向夹角不应大于 30°。

8.1.13 资料解释应符合下列要求:

1 直流电法:

1)实测曲线可采用量板法或简化法进行解释;

2)同一地质地貌单元相邻两测点的大地导电率之比大于 3 倍,当增加测点后仍不能满足要求时,应在线路路径图上划分地质界线,进行大地导电率分段;

3)宜根据设计要求计算任意频率下的大地导电率值。

2 地质资料判定法可根据线路地质资料按本规程附录 B 确定大地导电率值。

8.1.14 直流电法测量大地导电率的精度应符合第 8.1.8 条相关规定。

III 杂 散 电 流

8.1.15 测量杂散电流宜采用土壤电位梯度法。

8.1.16 仪器应具有测量、记忆、计算、显示的功能,量程宜在 0~1000mA 之间。

8.1.17 外业工作应符合下列要求:

1 测点宜布置在测区内金属管线与电缆、公路、铁路交会处;

2 测试时参比电极应采用不极化电极;当所测电位数值较大时,也可采用铜(铁)质电极;电极的直径不宜小于 15mm,插入土壤的深度应大于 100mm;

3 电极应接地良好,接地处不应存在影响测试结果的物体;

4 测试前应对不极化电极进行配对,每对电极之间的电位偏

差不应大于 1mV；

- 5 电磁干扰严重时应采取 措施；
- 6 宜在杂散电流源峰荷时间内进行测试。

8.1.18 资料解释应符合下列要求：

- 1 采用铜质或铁质电极所测得电位应换算成相对于饱和硫酸铜电极的电位；
- 2 应进行管道杂散电流干扰程度及分布状况的判定；
- 3 杂散电流的强弱可依据表 8.1.18 判断；当管道附近土壤中的电位梯度大于 0.5mV/m 时，应确认有直流干扰；当管道附近土壤中的电位梯度大于 2.5mV/m 时，应及时采取直流排流保护或其他防护措施。

表 8.1.18 杂散电流强弱判断指标

杂散电流干扰程度	土壤电位梯度/(mV/m)
弱	<0.5
中	0.5~5.0
强	>5.0

8.2 动力特性参数

I 波 速

- 8.2.1 测试波速可选择单孔检层法、跨孔法或瑞雷波法。
- 8.2.2 方法选择应符合下列要求：
 - 1 单孔中测试宜选择单孔检层法；
 - 2 在孔间测试宜选择跨孔法；
 - 3 在地面测试宜选择瑞雷波法。
- 8.2.3 外业工作应符合下列要求：
 - 1 孔中测试前应进行清孔；
 - 2 每个场地测试数量不应少于三个，测试深度应根据设计要求确定；当场地地貌单元复杂时，宜增加测试数量；
 - 3 单孔法测试时应结合岩土厚度布置测点，测点的垂直间距

宜取 1m;岩性变化处应加密,并宜自下而上逐点测试;

4 跨孔法孔距在土层中宜取 2m~5m,在岩体中宜取 8m~15m,测点垂直间距宜取 1m~2m;近地表测点宜布置在 0.4 倍孔距的深度处,震源和检波器应置于同一标高处;

5 测试过程中,应对记录进行多次叠加,并观察信号的重复性;

6 跨孔法测试深度大于 15m 时,应对测孔进行倾斜度测试;

7 场地无钻孔(井)时,可采用瑞雷波法。

8.2.4 资料整理应符合下列要求:

1 初至时间应通过人机结合判读;

2 采用瑞雷波法进行剪切波速测试时,应将瑞雷波速 V_R 按附录 C 换算成剪切波速 V_s ;

3 等效剪切波速的计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

II 地 脉 动

8.2.5 测试地脉动可选择地表测试或孔中测试方式。

8.2.6 方法选择应符合下列要求:

1 工作区距居民区较远,环境干扰较小,宜选用地面测试;

2 工作区距居民区较近,环境干扰较大,宜选用孔中测试;

3 拟建建筑物为高耸建筑物或精密仪器厂房,可同时进行地面和孔中测试。

8.2.7 外业工作应符合下列要求:

1 测点数不应少于三个,每个测点应布置 x 、 y 、 z 三个方向;

2 孔中测试时,测点的深度视工程需要或地质构造而定,一般宜在 2 个~3 个深度测试;

3 钻孔的深度应略大于预定最深测点的深度,其孔径以能顺利升降孔中拾振器为准,不宜过大;

4 孔中拾振器及电缆线在下孔前必须进行密封、短路、漏电等项目检查,一切正常后方可将拾振器下到预定深度并将其固定

于孔壁进行测试；

5 测点应远离人为干扰，宜在全天最安静时段测试。

8.2.8 资料整理应符合下列要求：

1 应对测试数据进行时间域或频率域处理，可采用计算机软件统计分析地脉动振动幅值，分辨地脉动振动信号主要频率或主要周期，最后确定卓越周期；

2 需要时可依据场地卓越周期对场地类别进行分析。

III 弹性系数、刚度及阻尼比

8.2.9 测试弹性系数、刚度及阻尼比可选择基础强迫振动测试法或自由振动测试法。

8.2.10 电力行业动力参数测试宜采用基础强迫振动测试法。

8.2.11 测试基础应符合下列要求：

1 测试基础应位于设计基础的邻近处，其土层结构应与设计基础土层结构类似，试坑附近应有钻孔资料，并测定土的物理力学性质指标；

2 天然地基和人工地基的块体基础尺寸应采用 $2.0\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，其数量不宜少于三个；

3 桩基础应采用两根桩，桩间距取设计桩基础的间距；桩台边缘至桩轴的距离可取桩间距的 $1/2$ ，桩台的长宽比应为 $2:1$ ，其高度不宜小于 1.6m ；

4 在块体基础浇注前，应保持试验点天然地基或人工地基的自然状态，基底表面要整平；基坑坑壁至测试基础侧面的距离应大于 500mm ；

5 块体基础的混凝土强度等级不宜低于 C20；桩基础不宜低于 C40；测试基础的制作尺寸应准确，其顶面应随振捣随抹平；

6 测试基础预埋螺栓长度不应小于 400mm ，直径不应小于 20mm 。

8.2.12 外业工作应符合下列要求：

1 地基强迫振动测试激振设备的安装、传感器的布设及数据

采集应符合本规程第 5 章的有关规定；

2 当桩基低阶固有频率较高、使用的机械式激振器无法使桩基系统达到谐振点时，宜采用冲击激振和稳态激振法进行综合测试。

8.2.13 资料整理应符合下列要求：

1 各动力参数的测试结果应取同一场地所有试验点的平均值；

2 采用冲击激振和稳态激振综合测试时，应对试验数据进行综合处理，并采用曲线拟合法，计算桩基的固有频率、阻尼比、共振峰值等参数。

8.3 土壤热参数

8.3.1 测量土壤热参数(λ 、 C 、 a)可选择室内试验或现场测量方式。室内试验可选择均匀热平板稳态法、激光脉冲法和瞬态热丝法、滴落式量热计法、绝热量热计法、周期热流法和瞬态热流法等；现场测量可选择双探针法。

8.3.2 方法选择应符合下列要求：

1 土壤热导率 λ 测量可选择均匀热平板稳态法、激光脉冲法和瞬态热丝法等；

2 土壤容积热容率 C 测量可选择滴落式量热计法、绝热量热计法；

3 土壤热扩散系数 a 测量可选择周期热流法和瞬态热流法；

4 同时测量土壤的 λ 、 C 、 a 宜选择双探针法。

8.3.3 测点布置应符合下列要求：

1 高压直流输电线路接地极应根据设计要求和接地极埋设深度处的岩土复杂程度均匀布置测点，测点数不应少于 10 个；

2 地下输电线路测点布置应根据电缆埋设深度处的岩土差异、地貌单元分段布置测点。

8.3.4 双探针法在室内测量时，土壤试样的制备除应符合现行国

家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定外,还应符合下列要求:

1 原状土样:直径不宜小于 50mm,长度至少应超过探针长度 20%,且超出段不小于 50mm;

2 扰动土样:应在薄壁金属管或塑料管中,根据所需的密度和含水量通过适当的压实技术制配土样,管径不宜小于 50mm,土样长度至少应超过探针长度 20%;

3 软岩试样:直径应为 10 倍热针探头直径并不小于 40mm,长度至少应超过探针长度 20%;

4 当试样为软岩或土样较硬时,宜先钻好探针孔,孔直径应等于探针直径,孔深度应等于探针的长度。

8.3.5 双探针法在现场测量前的探坑、探槽开挖应按照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 相关规定执行。

8.3.6 宜对试样进行风干、半风干及饱和三种状态测量。

8.3.7 直流接地极地温 T 测量宜采用热敏电阻温度计,并应符合下列要求:

1 宜在接地极埋设深度处测量;

2 应在夏季的最高温度和冬季最低温度时分别进行测量;

3 每个测点宜每天早晨、中午、晚上各测量一次。

8.3.8 资料整理应符合下列要求:

1 宜绘制不同含水量状态及不同加热温度条件下, λ 、 C 、 a 随密度的变化曲线及数据汇总表,结论中应对变化趋势进行说明;

2 宜绘制不同测量时间的 T 变化曲线及数据汇总表,结论中应对 T 变化情况进行说明;

3 双探针法提交的资料应包括校准曲线及数据表,采用拟合法分析时还应提交各测点的拟合曲线及数据汇总表。

8.3.9 测量精度应符合下列要求:

1 现场测量土壤 λ 、 C 、 a 及 T 的全区检查测量均方根误差 m 不应大于 $\pm 5\%$;

2 室内测量土壤 λ 、 C 、 a 的所有样本重复测量均方根误差 m 不应大于 $\pm 3\%$ 。

8.4 放射性指标

8.4.1 测量放射性指标可选择 γ 法、 a 法、氡浓度法和土壤表面氡析出率测量法。

8.4.2 方法选择应符合下列要求：

- 1 γ 辐射强度测量宜选择 γ 法；
- 2 土壤氡及其子体浓度测量宜采用氡浓度法及 a 法；
- 3 当表层无土壤或土壤较薄、土壤氡及其子体浓度无法测量时，应测量土壤表面氡析出率。

8.4.3 γ 辐射强度测量应符合现行国家标准《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583的规定。

8.4.4 土壤氡及其子体浓度测量应符合下列要求：

1 在每个测点，应采用专用钢钎打孔；孔的直径宜为20mm~40mm、深度宜为600mm~800mm；成孔后，应使用头部有气孔的特制取样器插入并密闭后抽气；最佳抽气次数应实验确定；

2 所采集土壤间隙中的空气样品，宜采用静电扩散法、电离室法或闪烁瓶法等现场测量土壤氡浓度；

3 取样测量时间宜在8:00~18:00之间；现场取样测量工作不应在雨天进行，如遇雨天应在雨后24h后进行。

8.4.5 土壤表面氡析出率测量应符合下列要求：

1 测量方法可采用被动收集型或主动抽气采集型，被测介质表面应平整；

2 测量时应清扫采样点地面，去除腐殖质、杂草及石块，保持取样器密封完好；

3 测量的聚集时间等参数应与仪器的测量灵敏度相适应；

4 测量应在无风或微风条件下进行；

5 应按附录C计算土壤表面氡析出率。

8.4.6 资料整理应符合下列要求：

- 1 α 法测量结果应将脉冲数换算成氡浓度后进行解释；
- 2 应根据区域地质、水文地质情况说明该地区的一般辐射水平、异常出露范围以及与岩性结构、地下水活动的关系；
- 3 应根据 γ 射线、氡气测量成果和其他物探资料，结合岩性、构造破碎带、地下水活动特征，分析异常产生原因，并对测区环境辐射危害进行综合评价；
- 4 土壤氡及其子体浓度、土壤表面氡析出率分析评价应按现行国家标准《地下建筑氡及其子体控制标准》GB 16356 执行；
- 5 成果图可以平面、剖面或钻孔柱状图的形式表示，图中应标明地层岩性、地质结构、地下水、异常点位置及强度、污染情况、测量方法、分析结果等。

9 岩土工程施工质量检测

9.1 基 桩

9.1.1 基桩检测可选择基桩动测法、井下电视(BHTV)等。

9.1.2 方法选择应符合下列要求：

- 1 检测基桩完整性宜选择低应变法、声波透射法或高应变法；
- 2 检测基桩竖向极限承载力宜选择高应变法；
- 3 检测管桩内壁质量及接缝情况宜选择井下电视。

9.1.3 检测准备工作应符合下列要求：

- 1 受检灌注桩应达到规定的养护龄期，受检打(压)入桩应达到规定的休止期；
- 2 对受检桩应做好测前处理；
- 3 采用声波透射法时还应做好以下准备：
 - 1)应以校准法确定仪器系统延迟时间；
 - 2)应计算声测管及耦合水层声时修正值；
 - 3)应在桩顶测量相应声测管外壁间净距离及声测管壁厚；
 - 4)应将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况；
 - 5)换能器应能在全程范围内升降顺畅。

9.1.4 低应变法现场检测应符合下列要求：

- 1 每个检测工地均应进行激振方式和接收条件的选择试验，确定最佳激振方式和接收条件；
- 2 激振点宜选择在桩头中心部位，传感器应固定安置在桩头上；对于桩径大于 350mm 的桩可安置两个或多个传感器；
- 3 每一个受检单桩应进行三次及以上重复测试；出现异常波形时应在现场及时研究，排除影响测试的不良因素后再重复测试；

重复测试的波形与原波形应具有相似性。

9.1.5 声波透射法现场检测应符合下列要求：

- 1 应将发射与接收声波换能器通过深度标志分别置于两根声测管中的测点处；
- 2 发射与接收声波换能器应以相同标高或保持固定高差同步升降；
- 3 应实时显示和记录接收信号的时程曲线，读取声时、首波峰值和周期值，宜同时显示频谱曲线及主频值；
- 4 宜将多根声测管以两根为一个检测剖面进行全组合，分别对所有检测剖面完成检测；
- 5 在桩身质量可疑的测点周围，应加密测点，或采用斜测、扇形扫测进行复测，确定桩身缺陷的位置和范围。

9.1.6 高应变法现场检测应符合下列要求：

- 1 应按桩头测点处的桩截面积、桩身波速、桩材质量密度和弹性模量作为计算依据；
- 2 采用自由落锤装置时宜重锤低击，最大锤击落距不宜大于2.5m；
- 3 桩顶应设置桩垫。桩垫可选用胶合板、木板和纤维板等材料均匀的材料，如果损坏应及时更换；
- 4 宜实测每一锤击力作用下桩的贯入度，单击贯入度宜为2mm~6mm；
- 5 检测时应及时检查采得数据的质量，发现波形紊乱时应分析原因；桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧，应停止检测。

9.1.7 井下电视现场观察应符合下列要求：

- 1 应将桩内壁有碍探头升降的附着物清理干净；
- 2 数字显示的深度误差不应大于0.5%，与电缆深度标记的绝对误差不应大于10cm，每隔50cm应进行一次校正；
- 3 应详细观察管桩内壁质量和接缝情况，及时记录发现的问题。

9.1.8 疑义桩的进一步检测验证应符合下列要求：

1 桩身完整性有疑义的桩，宜采用多种方法检测并进行综合分析，需要时可抽芯或开挖检测；

2 单桩极限承载力有疑义的桩，宜采用桩身完整性检测方法进一步分析判定，需要时可采用载荷试验检测；

3 桩身浅部缺陷可开挖验证，桩身接头存在裂隙的预制桩宜采用高应变法验证。

9.1.9 资料解释应符合下列要求：

1 低应变法应根据波列图中的人射波和反射波的波形、相位、振幅、频率及波的达到时间等特征，推断单桩的完整性；缩径与扩径的部位可按反射历时进行估算，类型可按相应特征进行判别；

2 声波透射法应结合桩身混凝土各声学参数临界值、PSD判据、混凝土声速低限值以及桩身质量可疑点加密测试（包括斜测或扇形扫测）后确定的缺陷范围进行综合分析，桩身完整性判定应符合现行行业标准《建筑基桩检测规范》JGJ 106 的规定；

3 高应变法检测数据宜采用拟合法分析，拟合过程应采用人工参与的方式，拟合结果应符合地质条件及桩基设计参数；不得将拟合质量作为评判最终结果的唯一标志；

4 井下电视观察应对管桩内壁的缺陷进行定性描述和定量计算；

5 基桩检测成果资料除应提交各方法规定的成果图表外，还应包括桩基施工记录、施工单位自检资料，检测仪器检定（或校准）证书，检测人员上岗证等。

9.1.10 采用高应变法检测预制桩、钢桩及摩擦型混凝土灌注桩的单桩极限承载力，有动、静对比资料时的相对误差不应大于10%；无动、静对比资料时的相对误差不宜大于25%。

9.2 人工地基

9.2.1 人工地基检测可选择瑞雷波法、地质雷达法或 $\gamma-\gamma$ 法等。

9.2.2 方法选择应符合下列要求：

- 1 检测人工地基的处理范围、密度和承载力宜采用瑞雷波法；
- 2 检测人工地基的处理范围和均匀性宜采用地质雷达法；
- 3 检测人工地基的密度和含水量宜采用 $\gamma - \gamma$ 法。

9.2.3 率定试验应符合下列要求：

- 1 在无检测经验的地区，应进行环刀法、灌水或灌砂等常规密度试验，并与瑞雷波法或 $\gamma - \gamma$ 法之间的密度进行率定；
- 2 试验应在同一测点进行，先进行瑞雷波密度测试，后进行常规密度试验；同一类型的测区率定试验不应少于五组。

9.2.4 现场检测应符合下列要求：

- 1 瑞雷波法应使用适当频率的检波器及震源，检测出人工地基内部及层间的波速，检查工作量不少于总测点数的 5%，波速相对误差 δ 不应大于 5%；
- 2 当人工地基处理层厚度较小时，可采用 $\gamma - \gamma$ 散射法测试；当人工地基处理层厚度较大时，可在人工地基中打孔，采用 $\gamma - \gamma$ 直接透射法，也可采用 $\gamma - \gamma$ 测井；
- 3 采用地质雷达法检测时，在满足检测深度的条件下，宜优先选用屏蔽天线。

9.2.5 资料解释应符合下列要求：

- 1 瑞雷波法应计算出瑞雷波速度，再利用试验标定的系数计算密度，由经验公式估算地基承载力；
- 2 地质雷达法应给出地基处理范围、桩长和地基均匀性评价；
- 3 $\gamma - \gamma$ 法应计算出人工地基的密度和含水量；
- 4 测试得到的密度、含水量和分析的承载力应按位置绘制点位图、曲线或列表；
- 5 密度、含水量、瑞雷波速应有处理前后测试参数对比图表；
- 6 人工地基合格标准，应根据试验和设计要求确定。

9.2.6 检测精度应符合下列要求：

- 1 采用地质雷达法检测处理深度,处理深度小于 10m 时的相对误差不应大于 10%;处理深度大于 10m 时的相对误差不应大于 15%;
- 2 $\gamma - \gamma$ 法检测人工地基的密度及含水量时,相对误差不应大于 10%。

9.3 锚固工程

9.3.1 锚杆长度和砂浆密实度检测宜采用声波反射法。

9.3.2 受检锚杆应符合下列要求：

- 1 锚杆杆体直径宜均匀;
- 2 锚杆外露端面应平整;
- 3 锚杆端头应外露但不宜过长,外露杆体应与内锚杆体呈直线。

9.3.3 现场检测应符合下列要求：

- 1 应根据现场条件,选择端发端收、侧发侧收或端发侧收等检测方式;
- 2 采用瞬态激振方式,冲击力的大小和方式应通过现场试验确定;
- 3 实芯锚杆的激振点宜选择在杆头靠近中心位置,保持激振器的轴线与锚杆轴线基本重合;中空式锚杆的激振点宜紧贴在靠近接收传感器一侧的环状管壁上,保持激振器的轴线与锚杆轴线平行;
- 4 接收传感器轴心应与锚杆轴线平行。带有托板的锚杆,接收传感器不应直接安装在托板上;
- 5 时域信号记录长度和采样率等应根据杆长、杆身波速及频域分辨率设置;
- 6 同一工程相同规格的锚杆,检测时仪器参数设置宜相同;
- 7 锚杆外露段长度有特殊要求时,检测前应进行相同类型的

锚杆模拟试验；

8 采用多根杆体连接而成的锚杆，检测时应向施工方收集锚杆连接资料；

9 单根锚杆检测的有效波形记录不应少于三个，且一致性较好。

9.3.4 资料解释应符合下列要求：

1 应根据波的反射信号、频率和振幅等计算锚杆长度和砂浆密实度；

2 宜对比分析实测锚杆和试验锚杆的波形信号、频率特征，判断锚杆的锚固质量；

3 应根据工程设计要求确定评价标准，凡锚杆长度或砂浆密实度不满足要求的均属不合格；

4 检测成果宜包括锚杆长度和砂浆密实度的评价分析图表及典型曲线。

9.3.5 检测精度应符合下列要求：

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

2 锚杆杆身完整性较好时，检测砂浆密实度相对误差应小于 5%；存在单个缺陷时，相对误差应小于 10%；存在多个缺陷时，相对误差不应大于 20%。

10 物探成果报告

10.1 文字报告

10.1.1 一级物探工程成果报告应包括下列内容：

- 1 项目背景与任务要求：工程概况、任务依据、技术标准、工作目的、工作过程与人员；
- 2 工作区地质与地球物理条件：地质结构、地貌单元，适用物探方法的地球物理特征；
- 3 物探方法选择与施测方案：可用方法原理与选择，采用仪器及参数设置，工作布置与工作量，现场调整情况；
- 4 数据采集与质量保证：干扰识别与排除，重复观测与检查；
- 5 成果解释与对比验证：成果解释方法、成果汇总、多方法成果对比，解释成果与井孔勘探成果对比；
- 6 结论与建议。

10.1.2 岩土工程施工质量检测报告应满足相关部门的管理要求，并应包括下列内容：

- 1 工程背景与任务要求；
- 2 场地地层岩性条件及设计治理方案；
- 3 检测方法与原理；
- 4 检测依据与方案布置；
- 5 检测数据汇总分析，质量判定标准及质量判定结果；
- 6 结论与建议。

10.1.3 二级、三级物探工程成果报告可在第 10.1.1 条的基础上适当简化，地质条件简单的三级物探工程成果报告也可采用附有简要文字说明的综合图表。

10.2 图 表

10.2.1 报告插图及插表应符合下列要求：

1 插图可包括方法原理图、地形地貌图、典型曲线图或图像、对比分析图等；

2 插表可包括工作量表、物性参数表、仪器技术因素表、测试数据列表、精度表等。

10.2.2 附图和附表应符合下列要求：

1 附图和附表类型：

1)一级物探工程可包括平面布置图、物探成果图、地质解释图、典型的定性图件、参数分布图,定量解释的成果平面图、剖面图和各种工作成果表、对比表；

2)二级物探工程可包括平面布置图、物探成果图、地质解释图、定性图件、定量解释的成果平面图、剖面图和各种工作成果表、对比表；

3)三级物探工程应包括平面布置图、各种工作成果表；

2 附图和附表内容应符合本规程第3章基本规定及第5章中各方法的要求；

3 附图编排应按现行行业标准《电力工程勘测制图(第5部分物探)》DL/T 5156.5 执行。

附录 A 原始资料记录格式

表 A.0.1 电测深法数据记录表

工程名称：			测点编号：			表层描述：		
天 气：			工作日期：			仪器型号及编号：		
装置类型：			最大电压：			布极方向：		
序号	$AB/2$ (m)	$MN/2$ (m)	K (m)	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ ($\Omega \cdot m$)	备注
...
记录：					校对：			

表 A.0.2 电剖面法数据记录表

工程名称：		剖面编号：		装置类型：	
天 气：		工作日期：		仪器型号及编号：	
测点编号	AB= (m)； MN= (m)； K= (m)				
	$\Delta V(\text{mV})$	$I(\text{mA})$	$\rho_s(\Omega \cdot \text{m})$	$\bar{\rho}_s(\Omega \cdot \text{m})$	备注
...
记录：			校对：		

表 A.0.3 高密度电阻率法现场情况记录表

工程名称：		剖面编号：		装置类型：		
天 气：		工作日期：		仪器型号及编号：		
测站编号	电极道数 (道)	道间距 (m)	隔离系数 或层数	电极起止 桩号	存储号或 文件名	备注
...
记录：			校对：			

表 A.0.4 地质雷达法现场情况记录表

工程名称：		剖面编号：		测量方法：	
天 气：		工作日期：		仪器型号及编号：	
表层描述：		天线类型及频率：(MHz)		采样点数：	
测点距离： (m)		时间窗口： (ns)		天线间距： (m)	
测站编号	标记位置(m)	桩号位置(m)	存储号或文件名	备注	
...	
记录：			校对：		

表 A.0.5 浅层地震波法现场情况记录表

工程名称：		表层描述：		地震方法：	
天 气：		工作日期：		仪器型号及编号：	
检波器型号：		信道数：		道间距：	
炮点桩号	首道桩号	末道桩号	存储号或文件名	备注	
...	
记录：			校对：		

表 A.0.6 地脉动测试现场情况记录表

工程名称：			表层描述：		测试日期：	
仪器型号及编号：				拾振器型号：		
测点 编号	拾振器		隔振坑深 (m)	放大 倍数	气象及环境状态	备注
	编号	方向				
...
记录：				校对：		

表 A.0.7 强迫振动测试数据记录表

工程名称：			测试地段：				测点编号：			
天 气：			测试日期：				地基类型：			
仪器型号及编号：			激振器参数：				块体尺寸：			
传感器型号及编号：					传感器间距：					
垂直激励			水平激励				回转激励		备注	
频率 (Hz)	扰力 (kg)	振幅 (μm)	频率 (Hz)	扰力 (kg)	水平响 应振幅 (μm)	垂直响 应振幅 (μm)	激励 次数	水平响 应振幅 (μm)		垂直响 应振幅 (μm)
...
记录：							校对：			

表 A.0.8 波速测试现场情况记录表

工程名称：		测试孔号：		测试方法：	
天 气：		测试日期：		仪器型号及编号：	
井口高程： (m)		套管类型：		套管深度： (m)	
单孔法振源与井口的距离 L 及高差 H_0 ： $L=$ (m)； $H_0=$ (m)					
检波器深度/震源深度(m)		激发波的类型		存储号或文件名	
				备注	
...		
记录：				校对：	

表 A.0.9 天然放射性法数据记录表

工程名称：		测量参数：		剖面编号：	
天 气：		工作日期：		仪器型号及编号：	
表层描述：		本底脉冲数检查(开工)：		本底脉冲数检查(收工)：	
测点编号	样点坑深 (cm)	计数时间 (min)	脉冲数 (个)	备注	
...	
记录：			校对：		

表 A.0.10 基桩高应变法现场情况记录表

工程名称：			桩基类型：			检测地段：			
天 气：			检测日期：			仪器型号及编号：			
桩 径：			锤型：			设计强度：			
设计单位：			施工单位：			监理单位：			
桩号	入土桩 长(m)	浇桩 日期	落距(m)		贯入度(mm)		存储号或文件名		备注
			第一锤	第二锤	第一锤	第二锤	第一锤	第二锤	
...
记录：					校对：				

表 A.0.11 声波透射法现场情况记录表

工程名称：		桩基类型：		检测地段：	
天 气：		检测日期：		仪器型号及编号：	
桩 号：		设计强度：		桩长及桩径：	
施工工艺		声测管内外径：		声测管外露长度：	
设计单位：		施工单位：		监理单位：	
测试深度(m)		声测 T 管和 R 管 之间的距离(m)	存储号或文件名	备注	
T 管	R 管				
...	
声测管平面示意图：					
记录：			校对：		

附录 B 常见岩土介质物性参数表

表 B.0.1 常见岩土介质电性参数表

介质名称	电阻率($\Omega \cdot m$)	相对介电常数	导电率($\times 10^{-3} S/m$)
黏土、粉质黏土	$10 \sim 10^3$	$5 \sim 40$	$10^2 \sim 10^4$
淤泥质黏土	$1 \sim 10^2$	$5 \sim 30$	$10^3 \sim 10^5$
粉 土	$10 \sim 10^3$	>12	$10^2 \sim 10^4$
湿砂、卵石	$10^2 \sim 10^3$	30	$10^2 \sim 10^3$
干砂、卵石	$10^3 \sim 10^5$	$2 \sim 6$	$1 \sim 10^2$
泥质页岩	$20 \sim 10^3$	7	$10^2 \sim 5 \times 10^3$
泥质砂岩	$10 \sim 10^2$	$9 \sim 11$	$10^2 \sim 10^3$
红砂岩	$10 \sim 10^2$	>12	$10^3 \sim 10^4$
致密砂岩	$10 \sim 10^3$	<45	$10^2 \sim 10^4$
泥灰岩	$50 \sim 8 \times 10^2$	>6	$1.2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^3$
石灰岩	$3 \times 10^2 \sim 10^4$	$6 \sim 7$	$10 \sim 3.3 \times 10^2$
花岗岩	$2 \times 10^2 \sim 10^5$	$4 \sim 9$	$1 \sim 5 \times 10^2$
玄武岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	4	$1 \sim 2 \times 10^2$
闪长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	$4 \sim 15$	$1 \sim 2 \times 10^2$
正长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	6	$1 \sim 2 \times 10^2$
辉长岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	$4 \sim 15$	$1 \sim 2 \times 10^2$
玢 岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	$7 \sim 15$	$1 \sim 2 \times 10^2$
橄榄岩	$5 \times 10^2 \sim 10^5$	$7 \sim 15$	$1 \sim 2 \times 10^2$
砾 岩	$10 \sim 10^4$	$6 \sim 17$	$10 \sim 10^4$
板 岩	$10 \sim 3 \times 10^2$	$5 \sim 12$	$3.3 \times 10^2 \sim 10^4$
大理岩	$10^2 \sim 10^4$	6	$10 \sim 10^3$

续表 B. 0. 1

介质名称	电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)	相对介电常数	导电率($\times 10^{-3} \text{S/m}$)
炭质岩层	$1 \sim 10^2$	8	$10^3 \sim 10^5$
凝灰岩	$10^2 \sim 2 \times 10^3$	5~7	$50 \sim 10^3$
石英砂岩	$10^2 \sim 10^3$	6	$10^2 \sim 10^3$
泥 岩	$10 \sim 10^2$	4~30	$10^3 \sim 10^4$
片 岩	$2 \times 10^2 \sim 10^4$	5~12	$10 \sim 5 \times 10^2$
片麻岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$	5~12	$2 \sim 5 \times 10^2$
白云岩	$10^2 \sim 10^4$	7~8	$10 \sim 10^3$
盐 岩	$10^4 \sim 10^8$	6	$10^{-3} \sim 10$
石 膏	$10^2 \sim 10^8$	1.8~2.5	$10^{-3} \sim 10^3$
雨 水	$>10^3$	4~40	$<10^2$
河 水	$10 \sim 10^2$	40~80	$10^3 \sim 10^4$
海 水	$5 \times 10^{-2} \sim 1$	81~82	$2 \times 10^2 \sim 10^5$
地下水	$10^{-1} \sim 3 \times 10^2$	81	$3.3 \times 10^2 \sim 10^6$
冰	$10^4 \sim 10^8$	3.2	$10^{-3} \sim 10$
空 气	$\lim \rightarrow \infty$	1	$\lim \rightarrow \infty$

表 B. 0. 2 常见岩土介质密度、纵波速度及热导率参数表

介质名称	密度 (g/cm^3)	纵波速度 (m/s)	热导率[$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$] (室温、自然含水量状态)
黏土、粉质黏土	1.5~2.0	300~1500	0.73~2.40
淤泥质黏土	1.7~1.9	100~600	0.21~0.65
粉 土	1.7~2.0	200~800	0.63~1.79
湿砂、卵石	1.7~2.5	700~1600	1.73~3.16
干砂、卵石	1.7~2.4	300~1000	0.27~1.05
泥质页岩	2.0~2.5	2300~4000	1.41~2.25
泥质砂岩	2.0~2.5	1400~4300	1.97~3.20
红砂岩	2.3~2.6	1400~4300	1.89~2.65

续表 B. 0. 2

介质名称	密度 (g/cm ³)	纵波速度 (m/s)	热导率[W/(m·℃)] (室温、自然含水量状态)
致密砂岩	2.5~2.6	2400~4300	3.70~5.20
泥灰岩	2.2~2.4	2000~3500	1.36~2.34
石灰岩	2.2~2.9	2800~6400	1.70~3.30
花岗岩	2.5~3.0	4500~6500	2.68~3.35
玄武岩	2.6~3.3	4500~8000	1.50~2.20
闪长岩	2.7~3.0	4500~6500	2.60~3.50
正长岩	2.9~3.0	4500~6500	—
辉长岩	2.8~3.1	4500~6500	2.00~2.30
玢岩	2.6~2.9	4500~8000	3.04~4.03
橄榄岩	3.2~3.5	4500~8000	3.70~5.20
砾岩	1.9~2.3	3500~4500	2.98~4.18
板岩	2.5~2.6	4000~4500	—
大理岩	2.6~2.9	4500~5500	2.70~3.48
炭质岩层	—	3000~4500	2.00~2.80
凝灰岩	1.6~2.0	5000~6000	1.20~3.92
石英砂岩	2.6~2.7	2400~4300	5.41~6.23
泥岩	—	3000~4000	2.10~4.78
片岩	2.6~3.0	2500~5000	—
片麻岩	2.5~3.3	3000~5500	1.90~3.70
白云岩	2.8~3.0	2500~6200	2.63~3.97
盐岩	3.1~3.2	4200~6500	5.00
石膏	2.2~2.4	3500~4500	0.30
雨水	—	1430~1590	—
河水	—	1430~1590	—
海水	1.03	1490~1590	0.56~0.59
地下水	1.0	1400~1600	0.6
冰	0.9	3100~3600	2.22
空气	1.29×10 ⁻³	300~350	0.024

附录 C 物探常用计算公式

C.1 误差计算公式

C.1.1 绝对误差 Δ :

$$\Delta = |A_i - A'_i| \quad (\text{C. 1. 1})$$

C.1.2 平均绝对误差 $\bar{\Delta}$:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta| \quad (\text{C. 1. 2})$$

C.1.3 相对误差 δ :

$$\delta = \frac{(A_i - A'_i)}{\frac{A_i + A'_i}{2}} \times 100\% \quad (\text{C. 1. 3})$$

C.1.4 平均相对误差 $\bar{\delta}$:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (\text{C. 1. 4})$$

C.1.5 均方相对误差 m :

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{2n}} \quad (\text{C. 1. 5})$$

C.1.6 总均方相对误差 M :

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i^2} \quad (\text{C. 1. 6})$$

C.1.7 误差系数 Q :

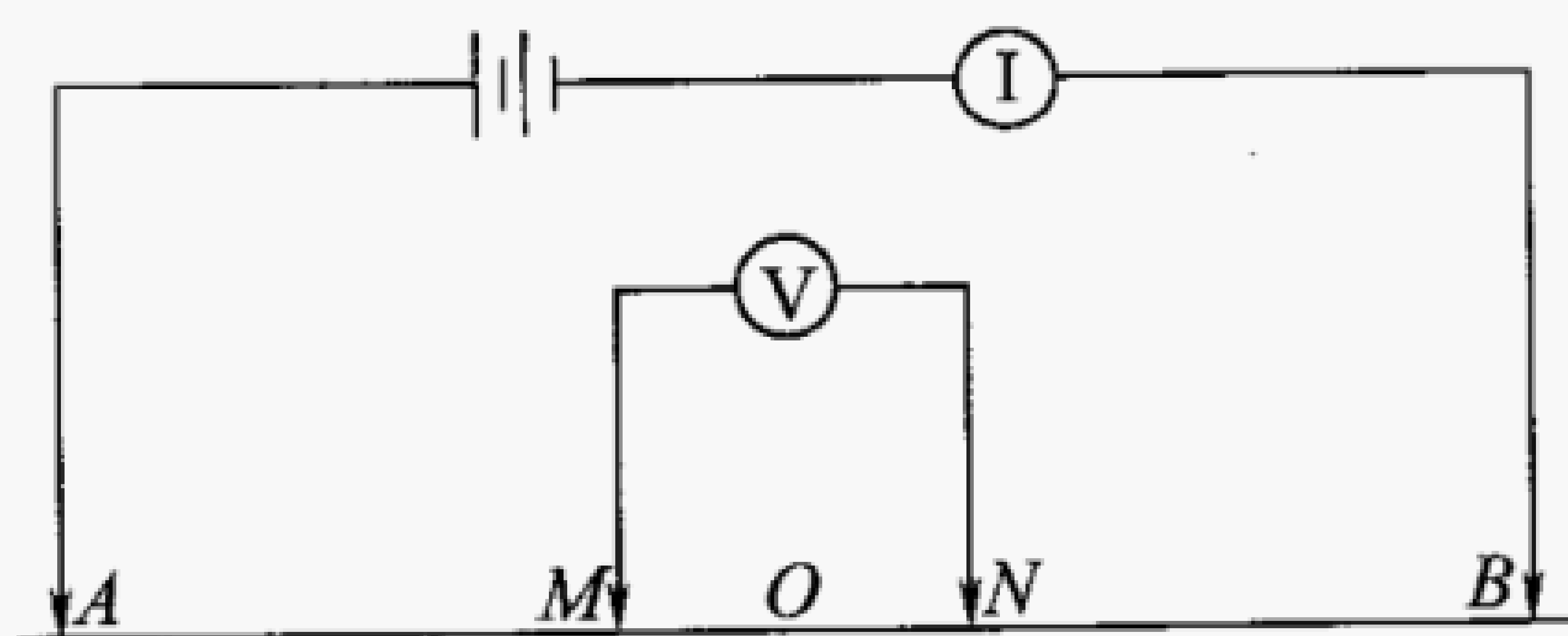
$$Q = \frac{2(A_{i,\max} - A_{i,\min})}{A_{i,\max} + A_{i,\min}} \times 100\% \quad (\text{C. 1. 7})$$

式 C.1.1~C.1.7 中:

- n ——检查点、电极个数、测线数；
 A_i ——基本观测值，重复观测时，是指有效数据的平均值；
 A'_i ——系统检查观测值，重复观测时，是指有效数据的平均值；
 $A_{i,\max}$ ——参与计算的数据中的最大值；
 $A_{i,\min}$ ——参与计算的数据中的最小值。

C.2 电阻率法的装置型式及装置系数 K 的计算公式

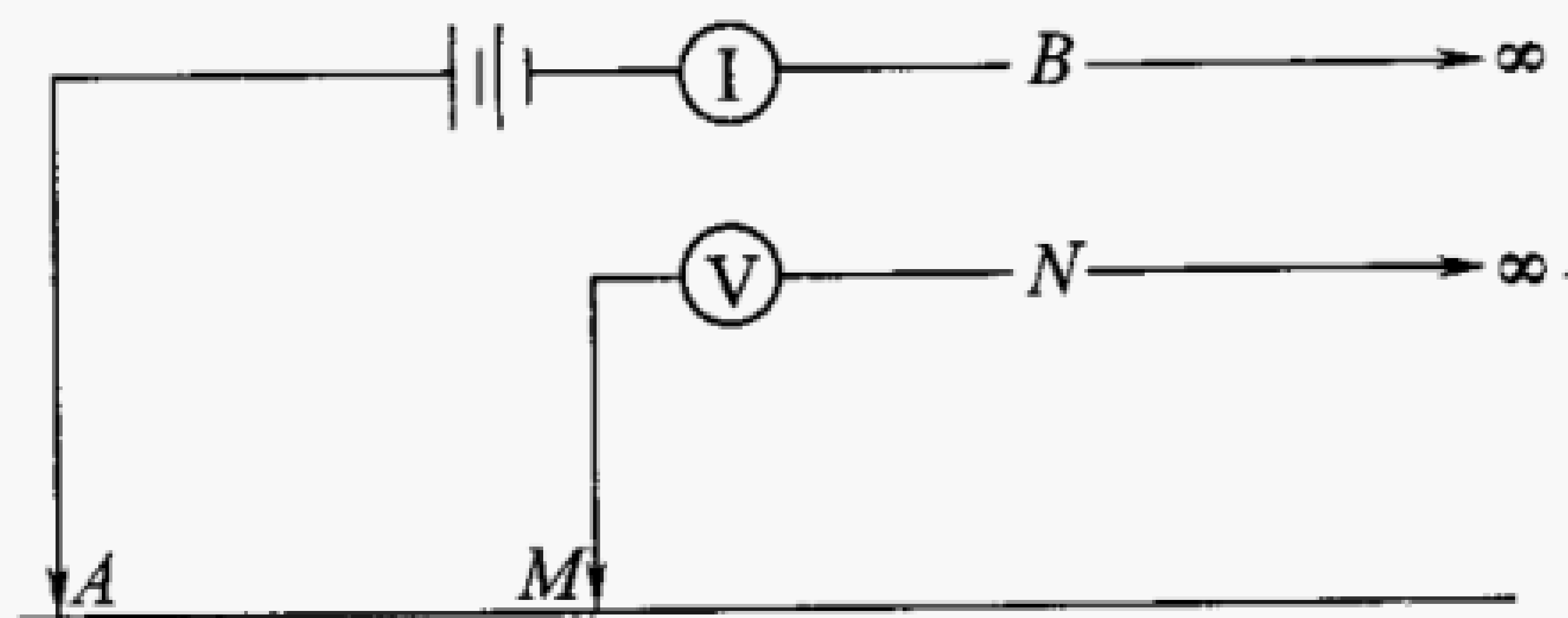
C.2.1 对称四极装置：



$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (C.2.1)$$

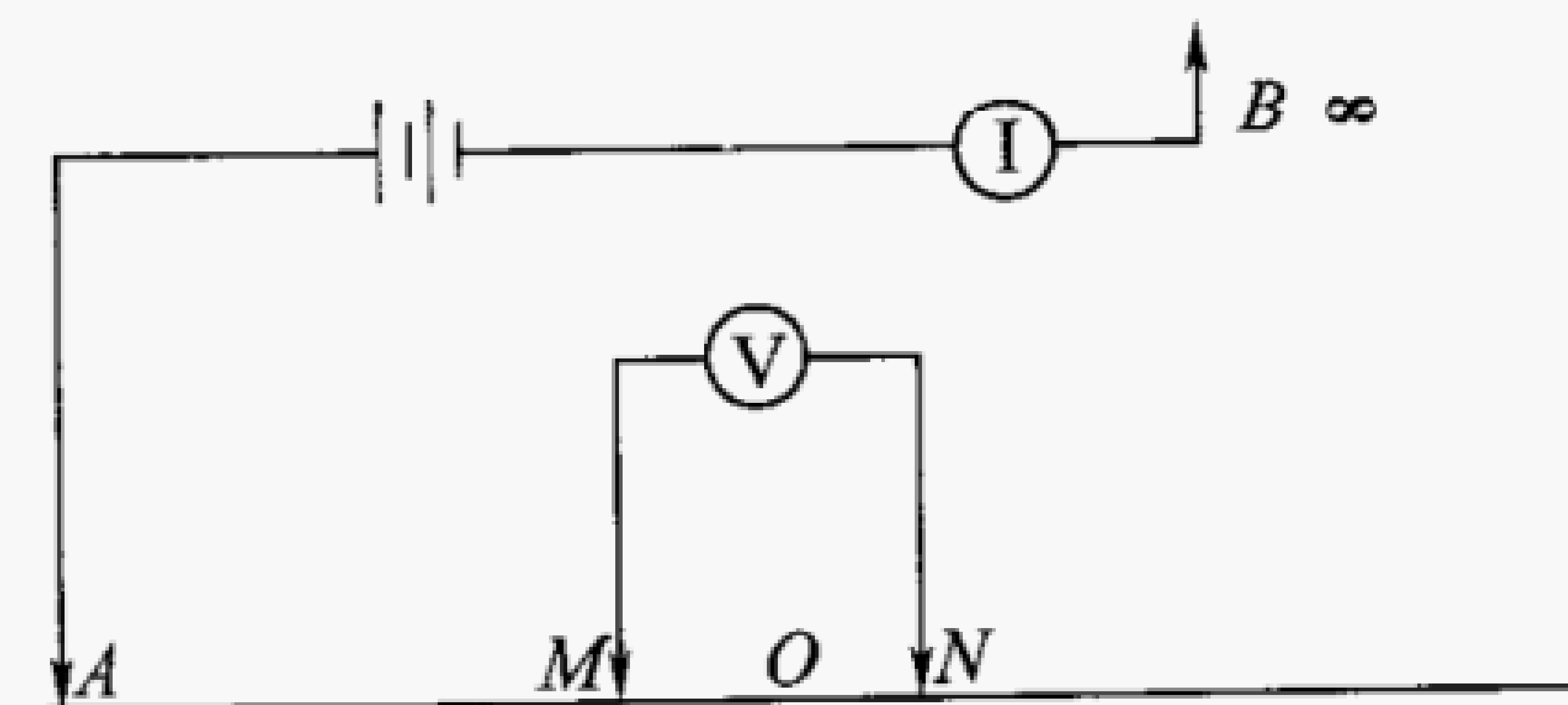
温纳装置中： $K = 2\pi a$ (其中 $a = AM = MN = BN$)

C.2.2 二极装置：



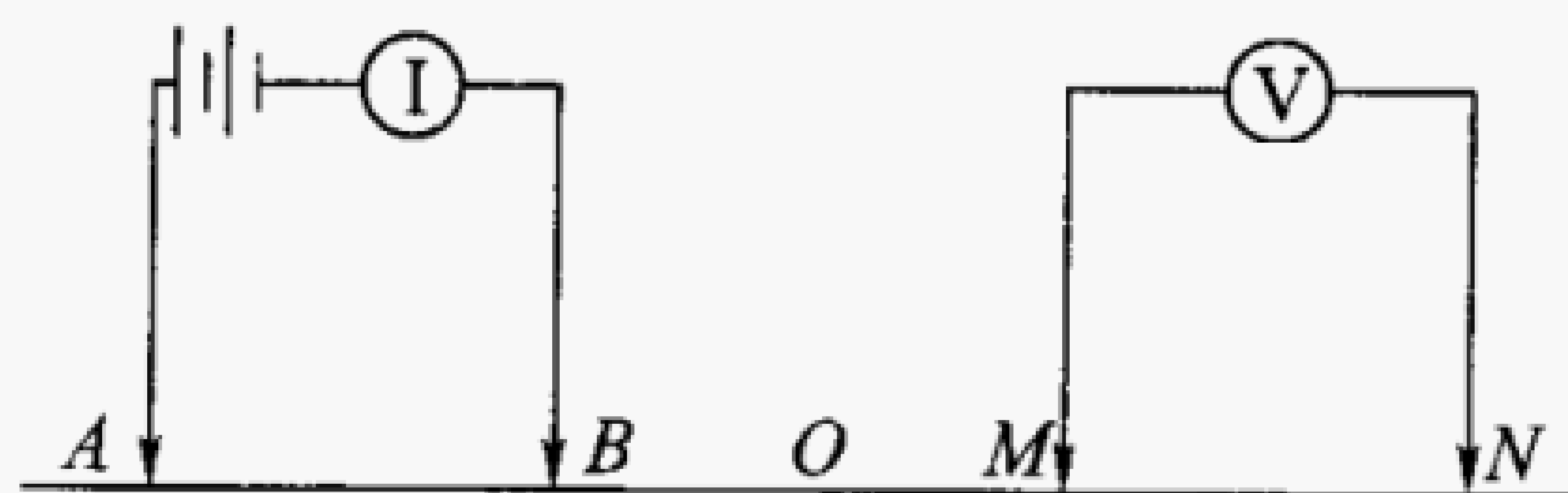
$$K = 2\pi \cdot AM \quad (C.2.2)$$

C.2.3 三极装置：



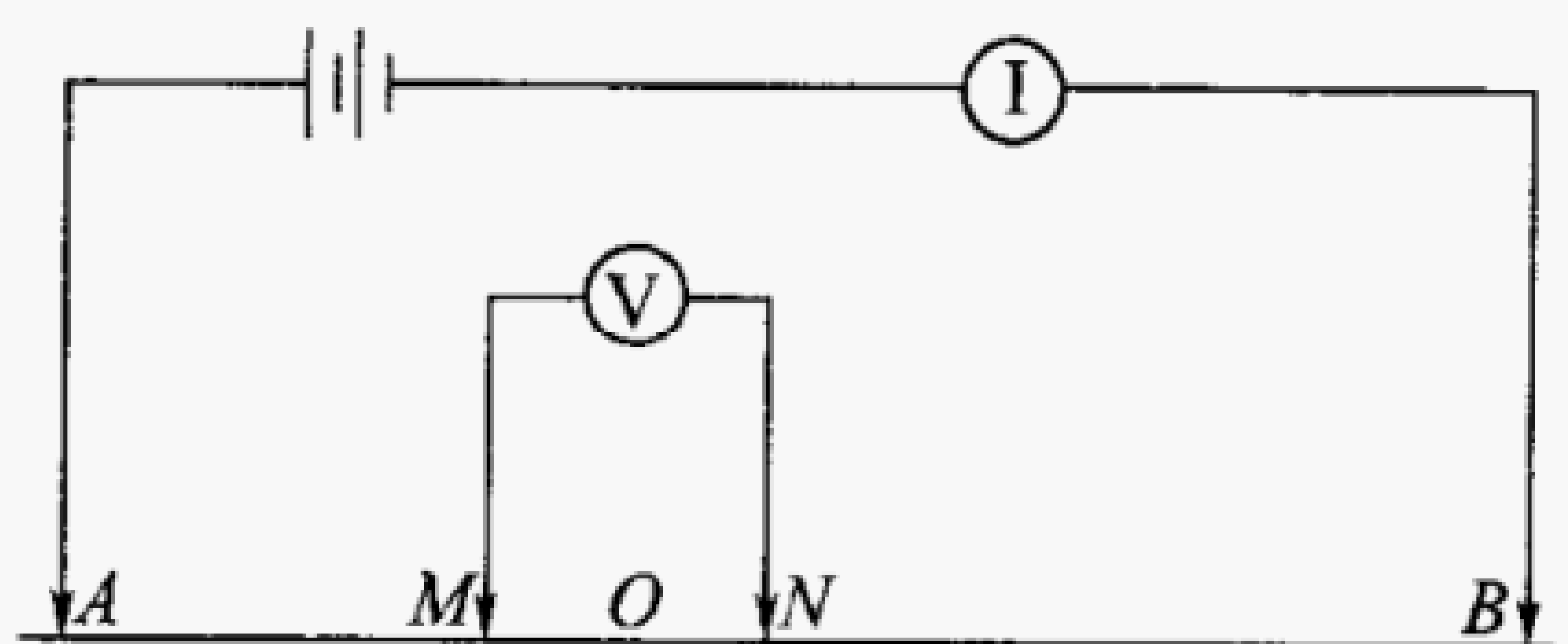
$$K=2\pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (\text{C. 2. 3})$$

C. 2. 4 偶极装置:



$$K=2\pi \frac{AM \cdot AN \cdot BM \cdot BN}{MN(AM \cdot AN - BM \cdot BN)} \quad (\text{C. 2. 4})$$

C. 2. 5 中间梯度装置:



$$K=2\pi \frac{AM \cdot AN \cdot BM \cdot BN}{MN(AM \cdot AN + BM \cdot BN)} \quad (\text{C. 2. 5})$$

C. 3 电磁波法计算公式

C. 3. 1 天线中心频率 f :

$$f=\frac{150}{x \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{C. 3. 1})$$

C. 3. 2 时窗 ω :

$$\omega=1.3 \times \frac{2h_{\max}}{V} \quad (\text{C. 3. 2})$$

C. 3. 3 采样率 Δt :

$$\Delta t=\frac{1000}{6f} \quad (\text{C. 3. 3})$$

C. 3. 4 测点点距 n_x :

$$n_x=\frac{75}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{C. 3. 4})$$

C.3.5 天线间距 S :

$$S = \frac{2h_{\max}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{C. 3. 5})$$

式 C. 3. 1~C. 3. 5 中:

x ——要求的空间分辨率(m);

ϵ_r ——围岩的相对介电常数;

h_{\max} ——最大探测深度(m);

V ——地质体电磁波速度(m/ns)。

C.4 弹性波法计算公式

C.4.1 折射波法检波点间距 Δx 应满足:

$$\Delta x \leq \frac{v^* T^*}{2 \sin(i \pm \phi)} \quad (\text{C. 4. 1})$$

式中: v^* ——有效波视波速(m/s);

T^* ——有效波视周期(s);

ϕ ——沿测线方向折射面相对地面的视倾角($^\circ$);

i ——折射临界角($^\circ$);

$i \pm \phi$ ——相对激振点而言,观测点位于地质体下倾方向时,取 $i + \phi$;观测点位于地质体上倾方向时,取 $i - \phi$ 。

C.4.2 瑞雷波主频 f_0 与落重法的重块质量 M 和重块底面半径 r_0 的关系为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4\mu r_0}{M(1-\sigma)}} \quad (\text{C. 4. 2})$$

式中: μ ——切变模量(kPa);

σ ——泊松比,无量纲。

C.4.3 检波器自然频率 f_z :

$$f_z \leq \beta \frac{v_R}{h_{\max}} \quad (\text{C. 4. 3})$$

式中: h_{\max} ——最大探测深度(m);

v_R ——探测深度范围内预计平均瑞雷波相速度的最小值
(m/s);

β ——波长深度转换系数。

C.4.4 频点步长 Δf :

$$\Delta f = (2f^2/v_R) \cdot \Delta h \quad (\text{C.4.4})$$

式中: Δh ——深度增加值(m);

v_R ——探测深度范围内预计平均瑞雷波相速度的最小值
(m/s);

f ——试验频率(Hz)。

C.4.5 场地卓越周期 T :

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{C.4.5})$$

式中: f ——卓越频率(Hz)。

C.5 天然放射性法计算公式

C.5.1 放射性涨落标准误差 σ :

$$\sigma = \pm \sqrt{\bar{N}} \quad (\text{C.5.1})$$

C.5.2 放射性涨落相对标准误差 θ :

$$\theta = \pm \sigma/\bar{N} \quad (\text{C.5.2})$$

C.5.3 放射性相关系数 p :

$$p = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{C.5.3})$$

式 C.5.1~C.5.3 中:

\bar{N} ——仪器稳定性检查的平均值;

x_i ——第一次测量测得到的第 i 测点的计数值;

y_i ——第二次测量得到的第 i 测点的计数值;

\bar{x} ——两次测量得到的平均计数值;

\bar{y} ——两次测量得到的平均计数值。

C.6 双探针法计算公式

C.6.1 校准系数 k :

$$k = \frac{\lambda_{\text{material}}}{\lambda_{\text{measured}}} \quad (\text{C.6.1})$$

式中: $\lambda_{\text{material}}$ ——甘油标准值;

$\lambda_{\text{measured}}$ ——甘油双探针测定值。

C.7 波速计算公式

C.7.1 压缩波或剪切波从振源到达测点经斜距校正后的时间 T 及斜距校正系数 K :

$$T = K / T_L \quad (\text{C.7.1-1})$$

$$K = (H + H_0) / \sqrt{L^2 + (H + H_0)^2} \quad (\text{C.7.1-2})$$

C.7.2 压缩波或剪切波速度 V :

$$V = \Delta H / \Delta T \quad (\text{C.7.2})$$

式 C.7.1-1~C.7.2 中:

T_L ——压缩波或剪切波从振源到达测点的实测时间(s);

H ——测点的深度(m);

H_0 ——振源与孔口的高差(m),当振源低于孔口时, H_0 为负值;

L ——从板中心到测试孔的水平距离(m);

ΔH ——波速层的厚度(m);

ΔT ——压缩波或剪切波传到波速层顶面和地面的时间差(s)。

C.7.3 岩土的动力参数值计算:

$$V_p = L / t_p \quad (\text{C.7.3-1})$$

$$V_s = L / t_s \quad (\text{C.7.3-2})$$

$$G_d = \rho V_s^2 \quad (\text{C.7.3-3})$$

$$E_d = 2\rho V_s^2 (1 + \mu_d) \quad (\text{C.7.3-4})$$

$$E_d = \rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2) \quad (C. 7. 3-5)$$

$$\mu_d = [(V_p/V_s)^2 - 2] / [2(V_p/V_s)^2 - 2] \quad (C. 7. 3-6)$$

式 C. 7. 3-1~C. 7. 3-6 中:

E_d ——地质体的动弹性模量(kPa);

V_p ——地质体的压缩波速度(m/s);

V_s ——地质体的剪切波速度(m/s);

G_d ——地质体的动剪切模量(kPa);

t_p 、 t_s ——与地质体对应的压缩波、剪切波传播时间(s);

ρ ——地质体的单位体积质量(kg/m³);

μ_d ——地质体的动泊松比,无量纲。

C. 7. 4 剪切波速 V_s 和瑞雷波速 V_R 的换算公式:

$$V_s = \frac{1 + \mu_d}{0.87 + 1.12\mu_d} V_R \quad (C. 7. 4)$$

式中: μ_d ——地质体的动泊松比,无量纲。

C. 8 地下水计算公式

C. 8. 1 地下水流速 v 的确定:

按等位圈移增量:

$$v = \Delta R / \Delta t \quad (C. 8. 1-1)$$

按等位圈中心点位移:

$$v = 2\Delta S / \Delta t \quad (C. 8. 1-2)$$

矢量法八位观测时:

$$v = L / (2\Delta t) \quad (C. 8. 1-3)$$

矢量法十二方位观测时:

$$v = L / (3\Delta t) \quad (C. 8. 1-4)$$

式 C. 8. 1-1~C. 8. 1-4 中:

Δt ——与 ΔR 、 ΔS 、 L 相对应的观测时间间隔(s);

ΔR ——相邻等位线圈位移的增量(m);

ΔS ——异常等位圈中心 O' 与正常等位圈中心 O 间距离(m);

L ——总位移的矢量长度(m)。

C.8.2 地下水流速改正 v_g ：

$$v_g = v / \cos \beta \quad (\text{C. 8. 2})$$

式中： v ——按斜坡地形计算的地下水流速(m/s)；

β ——流向方向等位圈处的地形视倾角(°)。

C.9 放射性指标计算公式

C.9.1 土壤表面氡析出率 R ：

$$R = \frac{N_t}{A \cdot \Delta t} \cdot V \quad (\text{C. 9. 1})$$

式中： R ——土壤表面氡析出率[Bq/(m²·s)]；

N_t —— t 时刻测得的罩内氡浓度(Bq/m³)；

A ——聚集罩所罩住的介质表面的面积(m²)；

V ——聚集罩与介质表面所围住的空气体积(m³)；

Δt ——测量经历的时间(s)。

C.10 异常强度计算公式

C.10.1 相对异常强度 Y ：

$$Y = \frac{|\rho_s - \rho_0|}{\rho_0} \times 100\% \quad (\text{C. 10. 1})$$

式中： Y ——相对异常强度，用百分数表示；

ρ_s ——实测视电阻率的极值($\Omega \cdot \text{m}$)；

ρ_0 ——正常场背景值($\Omega \cdot \text{m}$)。

本规程用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1)表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- 2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:
正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- 3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:
正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- 4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《地基动力特性测试规范》GB/T 50269
- 《放射性物质安全运输规程》GB 11806
- 《操作开放型放射性物质的辐射防护规定》GB 11930
- 《地震勘探爆炸安全规程》GB 12950
- 《海洋地质地球物理调查规范》GB/T 13909
- 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583
- 《地下建筑氡及其子体控制标准》GB 16356
- 《电力工程勘测制图》DL/T 5156
- 《电力工程勘测安全技术规程》DL 5334
- 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 《活动断层探测方法》DB/T 15

中华人民共和国电力行业标准

电力工程物探技术规程

DL/T 5159—2012

代替 DL/T 5159—2002

条文说明

修 订 说 明

《电力工程物探技术规程》DL/T 5159—2012,经国家能源局2012年8月23日以第6号公告批准发布。

本标准是在《电力工程物探技术规程》DL/T 5159—2002的基础上修订而成,上一版的主编单位是西北电力设计院,主要起草人为张序孟、侯寿贵、刘厚健、朱松默。本次修订的主要技术内容是:1. 新增换流站/接地极、核电站、地下人工空间、冻土、水域、加固工程、人工地基、杂散电流等电力物探新业务内容;2. 增加了地质雷达法、瞬变电磁法(TEM)、大地电磁测深法(MT)、浅地层剖面法及双探针法等物探新方法,删除了甚低频电磁法、动力参数法、机械阻抗法等工程中不再使用的陈旧方法;3. 新增了术语与符号;4. 新设一章强化物探仪器的使用与维护要求,同时删减了阶段性任务与工作安排等管理性内容;5. 新增附录对常用物探计算公式集中罗列,同时精简了附录数量、并对常用物探方法的原始记录表格作了调整与补充。

本标准修订过程中,充分总结了《电力工程物探技术规程》DL/T 5159—2002的施行经验,并考虑了近些年电力工业建设的新形势和新需求以及工程物探学科的新进展。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目次

1	总 则	(117)
2	术语和符号	(118)
2.1	术语	(118)
3	基本规定	(119)
4	仪器设备	(121)
4.1	仪器维护	(121)
4.2	仪器使用	(122)
5	物探方法与技术	(124)
5.1	直流电法	(124)
5.2	电磁波法	(132)
5.3	弹性波法	(136)
5.4	天然放射性法	(146)
5.5	双探针法	(148)
5.6	井中探测法	(149)
6	常见地质界面探测	(153)
6.1	土层界面	(153)
6.2	基岩面与风化带	(154)
6.3	岩溶和土洞	(155)
6.4	断裂和破碎带	(156)
6.5	滑坡	(157)
6.6	地下水	(158)
6.7	冻土	(159)
6.8	水域	(161)
7	地下管沟与坑室探测	(163)

7.1	地下管沟	(163)
7.2	地下坑室	(164)
8	岩土特性指标测量	(166)
8.1	电性参数	(166)
8.2	动力特性参数	(168)
8.3	土壤热参数	(172)
8.4	放射性指标	(173)
9	岩土工程施工质量检测	(175)
9.1	基桩	(175)
9.2	人工地基	(177)
9.3	锚固工程	(178)
10	物探成果报告	(181)
10.1	文字报告	(181)
10.2	图表	(181)

1 总 则

1.0.2 本条简要介绍了电力工程物探技术规程所涵盖的业务内容,充分考虑了电力工业发展和物探技术进步所可能服务的工程类型,较上版标准有所扩展。

1.0.3 本条对物探的工程地位与作用作一宣示性的概括性说明,以便有关管理、经营、专业技术人员能够正确看待和合理安排物探工作,充分发挥物探专业的工程作用。

1.0.4 条文所列各物探方法是电力行业常用且较成熟的技术方法,当然不排斥其他方法,实际工程应用则要因地制宜,做到有的放矢,以能解决问题为最终目的。

1.0.5 物探工作在本质上是要还原一个地质环境,因此地质结构、地质成因的建构是一个必然的环节,而岩土工程的基础性工作也在于此且工作深度通常要大得多,所以了解学习岩土工程、与其他地质工作紧密结合、加强工程总结是有益于物探技术进步的。

1.0.6 近些年物探技术发展有了显著的发展与进步,但远没到尽头,对现有技术方法的扩展与提高,对新技术新方法的研发与引进,对物探成果精度的进一步追求,依然是物探从业人员的责任和目标所在,故专列此条文作出要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

本节为本次修订新增内容,目的有二:第一,规范电力行业地球物理专业术语的使用;第二,使岩土工程专业技术人员了解各种物探方法的基本含义,在电力工程勘察项目中能利用物探技术解决遇到的地质问题。

基于上述目的,本次术语覆盖面较大,基本囊括了电力行业常用的物探术语,而且对于一些近年来才在电力行业使用的物探新技术新方法的术语也作了规定,如地质雷达法、大地电磁测深法、双探针法等。

物探技术方法术语表述上充分考虑不同使用人群的接受和理解能力,尽量做到言简意赅、通俗易懂。没有涉及各物探方法的运用基本原理、理论,如何测量、分析物性参数等专业性较强的问题。对于具体的物探方法基本上都按照“通过观测和分析……来研究(查明)地质体的……方法”编写。

为了便于物探专业技术人员使用,对于电力行业近几年才要求测量的一些土壤物性参数术语本次修订也作了规定,如土壤热参数(热导率、容积热容量、热扩散率)、杂散电流等。

有些术语由于本规程篇幅所限及电力行业使用频率较低等原因没有纳入,使用时可参阅相关的标准执行。

3 基本规定

3.0.1 本条是物探应用能否成功的一个基本前提和共性要求,也是决定采用物探方法与否的判断准则,对于具体物探方法的应用条件则在后面的方法与技术章节中详细规定。

3.0.2 本条是针对近些年物探应用范围不断扩大,工程类型日益增多,而需要细化物探项目管理的实际而新增加的条文。

工程的重要性由工程本身的地位和本单位对工程的重视程度来确定,比如与上海世博园配套的地下变电站就属于重要工程。工程规模的大小在不同时段有不同的划分,近一时期,单机容量为600MW级及以上的火电厂、500kV等级及以上的输变电工程可视为大型工程,单机容量为200MW~300MW级的火电厂、220kV~330kV等级的输变电工程可视为中型工程,单机容量小于200MW级的火电厂、110kV等级及以下的输变电工程可视为小型工程。其他类型的工程可比照确定。

实际工作中,物探工程等级可按先一级、次二级、再三级的次序判定。

3.0.3 本条规定了物探工作的技术路线与管理流程,按此操作可有效避免物探工作的盲目性与随意性,同时又充分考虑到了地质环境的复杂性和作业过程的变通性问题。

3.0.4 工程勘察使用的物探仪器设备应是正规厂家生产、国家定型或注册登记、按单位正规程序购买带有合格证的产品;至于数据处理软件,无论是仪器固化一体的,还是自编的,都需要经过相关鉴定通过程序,同时在功能上基于目前物探技术精度属于经验与定量解释结合的现状,适当人工干预,避免误判。

3.0.5 测区范围应以任务书规定区域为主,同时考虑应有足够的

背景场,也应充分利用测区附近的已有资料或天然露头、探坑等;当测区内有构(建)筑物、堆砌物、河流等限制条件时,应将测区范围扩大或清障后测量。

3.0.6~3.0.10 提出了物探主要工作环节的共性要求与技术要点,也可以说是一项物探工作要贯穿始终的技术指南,在技术与方法章节中,只是在某方法的特殊性方面再作出一些补充。

3.0.11 误差评价是保证各种观测(或重复观测、检查观测)数据质量及资料可靠性的重要工作。物探方法不同,误差计算也有多种方法,因此应根据相关条文中涉及的误差类型选择相应的计算方法。

3.0.12、3.0.13 随着物探技术的进步和仪器智能化程度的大幅提高,物探数据的质量环节有逐渐弱化的趋势,因而条文中针对性、详细性地规定了数据的记录、保存与采用的注意事项,实际工作中要认真执行。

3.0.14 物探作业安全包括人身安全和仪器设备安全两个部分,必要的技术、安全培训和严格照章(上岗资格、安全规程、仪器使用说明)办事是两条最基本的保证,故条文作了强调,同时针对几项特殊作业的安全要点,专门进行了提示。

4 仪 器 设 备

4.1 仪 器 维 护

4.1.1 本条规定了仪器设备性能和功能要求,以充分适应现场作业环境。近年来国内和国际上工程物探测试技术、计算机应用等均有较快的发展,为电力工程物探提供了更大的发展空间,采用新技术和新方法的物探仪器应经过正式技术鉴定,产品必须达到出厂规定的技术指标,以满足工程物探测试需要。试制性仪器不能用于电力生产项目。

4.1.2 仪器设备应以一台一档的方式建立档案,包含该仪器设备的基本信息,实施动态管理,及时补充相关的信息和资料内容。仪器设备的标识管理是仪器设备处于受控管理的措施之一。仪器设备的状态分为“合格”、“准用”和“停用”三种,通常以“绿”、“黄”、“红”三种颜色表示。状态标识中应包含必要的信息,如检定/校准日期、有效期、检定/校准单位、设备自编号、使用人等。

4.1.3 本条规定仪器设备应进行正常的检查,建立检查、保养程序,明确检查项目和周期,并做好相应的记录,使仪器设备始终处于完好状态,检查人员应签字确认。

4.1.4 工程物探在电力工程中承担了工程质量检测、岩土工程勘测等大量检验检测任务,为工程项目出具了科学、准确的检测数据。近年来,从事检测的测试室或试验室都进行了计量认证,根据《中华人民共和国计量法》及其实施细则规定,如高应变法检测所用的加速度传感器、力传感器,低应变法检测所用的加速度传感器等计量仪器及计量元件,必须由法定计量检定机构或被授权的检定机构定期进行检定/校准,合格后方能使用。

4.1.5、4.1.6 物探仪器设备价格昂贵,应重视仪器设备的管理,

指定专人负责仪器设备的管理工作,并做好防潮、防尘、防热、防冻、防震、防燥、防锈、防腐蚀等工作。仪器设备应定期进行维护保养工作,以延长仪器设备的使用寿命,保证仪器精度。物探仪器大都是充电仪器,应定期安排专人进行充电运行、保养等必要维护,否则会严重影响使用寿命。

4.1.7 要做好仪器设备领用、借用登记手续,领用、借用人要对所使用仪器设备的完整性、完好率负责。每次使用时要认真记录使用日期、使用时间、使用前后状态、使用人等,并定期将其归档,便于随时了解仪器设备的状态变化,确定其是否正常。仪器交接时,接收者应对仪器进行必要的技术检查,并核对清单无误后方可办理交接手续,并由交接双方签字,以示责任。

4.1.8 仪器设备发生故障时应立即停机,防止故障扩大,并记录发生故障的详细情况,分析故障原因,及时进行维修或报修。如果仪器设备出现过载或操作不当等错误,或已显示出缺陷、超出规定限度,这时应立即停止使用该仪器设备,并加贴停用标识,避免误用。修复后的设备为确保其性能和技术指标符合要求,必须经检定、校准等方式证明功能指标已恢复正常方可投入使用。

4.1.9 作业指导书是用以指导某个具体过程、技术细节描述的可操作性文件,主要是仪器设备的使用、操作规范、自校、操作指导、软件使用、数据分析处理等方面,要制定得合理、详细、明了。由于人员能力或经验的限制,或由于设备厂家提供的操作手册不够详实、使用的语言(英文、日文等)使操作人员无法准确理解等,则应制定相应的作业指导书。

4.2 仪 器 使 用

4.2.1 工程物探应根据任务要求及现场的地球物理特征选择适宜的方法,确定仪器设备的型号和数量,在领用和工程出发前进行全面检查,避免到现场后影响工作开展。

4.2.2 本条对仪器设备运输和注意事项作了规定,以确保仪器设

备的安全。

4.2.4~4.2.6 这几条对工程物探外业工作中现场校验、仪器设备防护、导线布设安全、防雨雪、防风沙、防雷电等作了基本规定，其依据是多年经验总结及参照有关标准规定的。

5 物探方法与技术

5.1 直流电法

I 一般规定

5.1.1 直流电法应按照工作条件和探测任务选择方法及相应的装置形式。直流电法分为电阻率法、自然电场法、充电法和激发极化法 4 大类。电阻率法包括电(阻率)测深法、电(阻率)剖面法和高密度电阻率法。

5.1.2 直流电法各方法适用对象不尽相同,故条文作了一般性要求。

5.1.3 直流电法仪器种类繁多,功能及性能指标也存在一定的差异。本标准主要针对电力行业常用的直流电法仪器作了规定。

5.1.4 直流电法的外业工作包括试验工作和正式数据采集工作。试验工作目的是使最终选择的物探工作方法及工作参数科学、合理。在工期紧急的情况下,若对测区情况熟悉,又有从事类似地质地球物理背景的工作经验,也可不做专门的试验,直接开展工作。但有方法试验的相关内容时,需证明该施工方法是有效的。

5.1.5 放线是直流电法外业数据采集中非常重要的工作环节,放线不当,轻者导致数据误差增大,重者导致数据错误或者安全事故的发生。因放线跑极多是由民工承担的,因此外业工作开始时,应对民工进行必要的培训,杜绝质量及安全事故的发生。本条所列要点需要提醒作业人员认真遵守并经常检查。

5.1.6 电极接地电阻过大可能给测量结果带来较大误差或导致外业工作无法进行。因此当接地电阻过大时,应采取适当的方法降低接地电阻。随着电极距的增大,应减小接地电阻,目的是使 ΔV 观测的读数不小于 0.3mV。

5.1.7 本条规定的目的是尽可能减小因电极组布设引起的测量误差。

5.1.8 漏电检查是直流电法的一项基础性工作,也是需要经常进行的工作,应形成一种职业习惯。检查电源漏电的方法:交换供电电源输出端的正、负连接线进行观测,交换前后两次测得的视电阻率相对误差应小于 2%;检查导线漏电的方法:轮换断开供电导线一端的接地,使其悬空并用相同的供电电压再观测 ΔV 和 I ,或轮换改变一端的接地电阻 1 倍以上进行观测读数并计算 ρ_s 的变化。

5.1.9~5.1.11 为检查和评价野外观测结果的精度,必须进行一定数量的重复观测、检查观测和系统检查观测工作。不改变接地条件只改变供电电流进行两次及以上的观测,称为重复观测;改变接地条件的重复观测称为检查观测;在全区有计划地另行指定专人抽测部分测点,称为系统检查观测。

无位误差指的是保持电极原位置打入情况下,重复测量的误差。

检查观测应以电测深、电剖面的突变点、畸变段以及测区典型地段的测线为主要对象,辅以正常背景段作适量的检查。用改变接地电阻的方法改变供电电流强度 20% 以上来进行检查观测,当两次观测的相对误差大于 5% 时,应增加观测次数。当无法利用改变接地的办法改变电流 20% 以上作检查观测时,可用改变供电电压的办法进行,但此时必须检查供电线路是否漏电。

5.1.12 测区岩土电阻率的测定工作一般可在正式物探工作之前或同时进行。岩土电阻率的测定是电阻率法各方法资料解释的基础。当对测区电性熟悉或已收集到相关资料时,可不进行该项工作。

5.1.14 直流电法资料解释中应研究测线附近的地形、地质条件及干扰体的位置与异常的关系,区分异常和干扰。当地形坡度大于 20° 时,必须考虑地形影响并进行地形校正。

当电阻率异常的相对异常强度 Y 按附录 C 计算大于 3 倍允

许测量均方相对误差 m 时即认为是可靠的(即 $Y > 3m$)。

II 电 测 深 法

5.1.16 电测深法适用于探测覆盖层厚度和下伏基岩面起伏形态,进行土层界面探测和风化分带、寻找地下水位埋深、探测冻土的冻融范围等,也适用于探测断裂破碎带、岩性分界面、岩溶及洞穴(包括溶洞、土洞及地下坑室),还可用于测试岩土体的电阻率及大地导电率。

电测深法工作装置可根据探测任务和测区条件选择一种或两种以上组合装置。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,试验满足任务要求后才能使用。

5.1.17 控制性测点有时是必要的,例如为了了解测区内因地质体电性存在不同程度的各向异性对电测深曲线的影响,可在测区范围内均匀布置控制性的十字形或环形电测深点进行测量。

5.1.18 电测深法极距选择是根据电性层水平层状的理论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较小规模目标体的分辨率。当用于探测埋深较大的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。

5.1.20 电测深曲线的解释一般按照先定性、后定量的步骤进行,定性解释是定量解释的前提和基础。定性解释的内容包括:划分地电断面,确定电性参数,绘制各种定性图件,取得地电断面、地质体形态的定性资料;定量解释的内容包括:获取测区有关地质情况的定量资料,如埋深、规模、产状等。

采用量板法解释时,允许对个别突变点进行圆滑处理;解释三层或三层以上的曲线,可选用三层或三层以上的量板;在不掌握电性参数的情况下,不能只用二层量板及辅助量板逐层解释二层以上的曲线;当理论曲线的中间层参数与实测曲线参数不一致时,解释结果应按等值原理换算;当曲线比较复杂,不宜使用量板法逐层解释时,可使用简捷(经验)法,但应符合各种解释方法的应用条件。

Ⅲ 电剖面法

5.1.21 电剖面法适用于解决非水平板状或球状电性异常体探测问题,可用于探测断裂破碎带、岩性分界面、岩溶及洞穴(包括溶洞、土洞及地下坑室)等。

电剖面法可选择双向三极、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他装置;探测非水平向的构造带、划分岩性界面、探测岩溶可选用双向三极、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。

电剖面法工作时,宜结合地电条件、地形特征并配合一定的电测深工作。

5.1.22 电剖面法野外工作中,有意义的异常未追索完毕,应延长测线继续观测,直到有 3 个以上测点反映为背景段或测线被阻断无法前进为止。需要掌握的有意义异常的细节部位或需要定出异常曲线特征点准确位置的部位,应加密测点或变换电极距进行观测。

5.1.23 条文对剖面法极距设置作了一般规定。实际工作中应根据选择的装置确定极距:对称四极剖面的 AB 应为探测对象顶部埋深的 4 倍~6 倍, MN 不应大于探测对象顶部埋深且小于 $AB/3$;联合剖面法的 AO 应大于探测对象顶部埋深的 3 倍, MN 应小于 $AB/3$;中间梯度剖面法的测量区间应位于 $AB/3$ 范围内;偶极剖面法的 OO' 应大于探测对象顶部埋深的 3 倍,供电偶极和测量偶极长度宜相等且小于 OO' ;采用两个以上 AB 的复合电剖面装置时,相邻装置的 $AB/2$ 或 OO' 变化不应超过 2 倍,偶极子长度不宜改变;需要偏离测线时,各电极接地位置最大偏离测线的距离不应超过 $MN/10$ 。

5.1.25 电剖面的解释步骤和解释方法如下:

1 电剖面曲线的解释步骤:

1)肯定异常:分辨剖面曲线的变化是由地质异常还是干扰或

观测误差引起的；

2)定性解释：解释引起异常的地质因素，建立相应地质形态的定性概念；

3)定量解释：对地质体的规模、形态进行数量计算与描述。

2 电剖面曲线的解释方法：

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

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

IV 高密度电阻率法

5.1.27 本条针对电力行业常用的高密度电阻率法仪器作了一般规定。

5.1.28 高密度电阻率法的极距取决于地质体的埋藏深度，由于高密度电阻率法实际上是一种二维探测方法，所以在保证最大极距能够探测到目标体的前提下，还要考虑到围岩背景也能在二维断面图中得到充分的反映。因此根据上述考虑，三电位电极系的极距设计为： $a=n \cdot \Delta x$ (其中 n 为隔离系数，可以由 1 改变到 15，也可任选， Δx 为点距)。显然 $a=(1/3)AB$ ，它和勘探深度之间存在某种系数关系。应依据测深深度、基本电极距、装置类型等多个参数确定最大隔离系数和相邻两次布极的电极重叠个数。

5.1.30 剖面分析：对单个反演层析成像剖面分析，确定电性结构及异常；对比分析：对不同的反演层析成像剖面进行对比分析，找出规模基本相同或极其相似的电性结构；综合分析：综合其他手段的资料和结果，推断电性结构。

绘制电阻率断面图应合理设置色标，同一场地应统一色标设置；必要时可绘制不同极距下的视电阻率等值线平面图。

V 自然电场法

5.1.31 自然电场法适用于探测地下水流向，进行渗漏探测，也适

用测量岩土体的杂散电流强度。

自然电场法最常用的是电位法,当工区游散电流干扰严重时可采用梯度法,用于解决水文地质问题时可采用环形电位梯度法。

5.1.32 与电阻率法不同,自然电场法不能用极化补偿器来消除极差影响,所以测量电极必须采用不极化电极。不极化电极接地不好会给探测结果带来较大误差,严重时野外观测数据不能用于资料解释。

5.1.33 自然电位法的基点应选择在通行方便、地形平坦、接地良好、电场稳定、电位梯度平缓的地段,应尽量避免开废石堆、干燥的河谷、沙滩、流水、剧烈切割地段或有强烈电化活动性地段。

基点联测的方式:分基点离总基点较近时宜采用直接联测法,较远时宜采用间接联测法;各基点远近不一时,宜采用多边形联测法(梯度联测法)。

5.1.35 自然电位剖面图的横坐标表示测点距离,其比例应尽量与地质图一致,纵坐标表示电位,其比例尺应根据电位强弱和观测精度来决定。各种(基本、重复、检查)观测值之间应用不同的符号或颜色区别。

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

VI 充 电 法

5.1.36 充电法适用于确定地下水流速流向,也适用于探测黏土或水充填的岩溶洞穴、探测断裂破碎带等低阻地质体的分布、调查滑坡体滑动面含水情况等。

电位法和梯度法是常用的观测方式。特别是梯度法的装置轻便,分辨力较强,故在充电法中最常用。追踪等位线法生产效率较低,又仅能获得等电位线资料,一般很少用于面积性测量,只是用充电法确定地下水流速和流向时用。

5.1.37 线距取决于充电体沿走向的长度,当探测目标体与围岩电阻率差异不够大时,还应布置一定数量的斜交测线;需要详细探测有意义的异常体或需确定异常特征点(极值点、过零点)位置时,应加密测点观测。

5.1.39 供电极(A)应放置在充电体的中部,充电体应保持正极性,是为了避免“无穷远”供电电极可能发生电化学反应而使电流不稳定;测量电极(N)与充电点(A)保持一定的距离,是为了减少充电点供电电极本身的影响;低阻体上加密测点的目的是求出电位的极大值或梯度零值点及梯度极大值点的位置。

采用充电法测定地下水流向流速时,通常布置 8 条或 12 条测线,各方位夹角相等;充电点(A)设置在井中待测含水层的中部,无穷远(B)极布设在预计水流上游方向;测量电极(N)固定在预计水流方向上游且至充电井孔的距离不小于含水层的埋深,另一测量电极(M)在其他相邻测线上移动,寻找等电位;井孔盐化前观测正常场的等位线,并保持盐化程度恒定;点距最大不大于探测对象埋深的 $1/2$ 。

5.1.41 地下水流速、流向的求取,等位线图、 $\Delta R = f(\alpha)$ 曲线图、 $\Delta R = f(t)$ 曲线图、矢量图的绘制方法及含义见本规程第 6.6.4 条。

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

VII 激发极化法

5.1.42 激发极化法适用于地下水探测,圈定含水的古河道、古洪积扇、岩溶、断裂破碎带等,也可用于确定含水层的埋深,评价含水层的富水程度等,还可用于划分岩性界线等。激发极化法的装置

方式选择和电测深法、电剖面法相同。

5.1.43 采用 $MN/AB=1/3$ 的温纳对称四极装置,是为了获得尽可能大的二次场电位差。

提高激发极化供电电流的方法有:减少供电回路的总电阻(包括电池并联减少内阻或采用电阻较小的导线);提高供电电压(除应采取相应的安全措施外,最高电压不宜超过 500V);改善接地条件,减少电极的接地电阻(如采用电极组、加大电极埋设深度、浇灌盐水等)。

5.1.44 为了消除激发极化法工作中极化电位的干扰,测量电极必须使用不极化电极。

激发极化法数据观测过程中,若二次场电位差小于 1mV,应采取必要的处理措施,但经处理后,电位差仍无法达到要求时,允许个别读数不小于 0.5mV,但不得在相邻三个极距上连续出现。

观测供电电流、总场电位差和二次场电位差时,应尽量读取三位数字;直读视极化率时,应读取到小数后两位。

观测过程中遇到电磁干扰时,可以通过加大供电电流和适当增大延时的方法来提高信噪比。

5.1.46 尽管表征二次场的激电参数与含水岩层的孔隙率、温度、粒度、黏土含量、矿物成分和地下水的离子浓度等因素有关,但也受到金属管道、金属矿物及炭化岩层的影响,因此在分析资料及解释资料时,应考虑各种干扰因素。

激发极化法找水资料解释中异常值和背景值的确定方法:

背景值:不同测区有不同背景值。一般将已知地下水位以上的激电参数值或干孔测得的激电参数值作为测区背景值。

异常值:异常幅度大于背景值的 3 倍允许均方相对误差 m ,并连续在两个以上极距出现才能看作异常,同时也不要漏掉单个极距上出现的薄层含水异常。资料解释时应根据异常值大小并结合其他水文地质资料,综合分析估算含水层的富水性。

5.2 电 磁 波 法

I 一 般 规 定

5.2.1 条文中所列的几种电磁波方法是电力行业常用的物探方法。

地质雷达法适用于探测覆盖层厚度、土层界面、岩溶、断裂破碎带、滑坡和洞穴(包括溶洞、土洞、地下坑室)等,进行隧道施工掌子面超前预报,也适用于地下管沟探测、考古、冻土调查、公路施工质量检测及人工地基检测等。

瞬变电磁法适用于探测覆盖层、断裂破碎带、岩溶、洞穴等,也可进行土层界面探测、风化分带、地下水调查等。

大地电磁测深法适用于探测断裂破碎带、覆盖层厚度、地下古河道、岩溶、洞穴等,也可用于地下水探测等。

5.2.2 本条对多台仪器同时工作时一致性检查作了规定。

5.2.3 本条对电磁波法的观测、重复观测及检查观测作了规定。

II 地 质 雷 达 法

5.2.4 地质雷达常用的几种工作方式:

1 剖面法:发射天线和接收天线以固定间距沿测线同步移动的一种测量方式。当发射天线与接收天线的间距为零时,称为单天线形式,反之称为双天线形式。剖面法的测量结果常以时间剖面图像表示,该图像的横坐标表示天线在地表的位置,纵坐标为反射波双程走时,表示地质雷达脉冲从发射天线出发经地下界面反射回到接收天线所需的时间。这种记录反映测线下方反射界面的形态;

2 宽角法:一个天线固定在地面某一点上不动,另一天线沿测线移动,记录地下各反射界面的双程走时;这种测量方式称为宽角法,主要用来求取地下介质的电磁波传播速度;

3 共中心点法:在保持两个天线中心位置不变的情况下,改变两个天线之间距离,记录反射波双程走时;这种测量方式称为共

中心点法,可以提高信噪比,增加所得记录对地下介质的分辨率;

4 其他方法:包括环形法、多天线法、透射法和孔中雷达等多种工作方法。

5.2.5 本条规定了地质雷达法应用的条件。由于地质雷达的天线并没有完全屏蔽,干扰电磁波会被地质雷达接收,产生假异常,而高电导屏蔽层会损耗电磁波的能量使探测深度大大降低,这些会直接影响到地质雷达的探测效果。被探测地质体深度大于 30m 时,需选择中心频率更低的天线,但分辨率及精度会降低。

5.2.6 本条规定了地质雷达仪器的主要技术指标要求。

1、2 规定是为了保证有足够的信噪比;

3 目前使用的低频型天线频率为 12.5MHz~200MHz,高频型天线频率为 300MHz~1500MHz;

4、5 规定是为了保证能进行现场实时预处理,对数据进行初步分析、解释。

5.2.8 本条对测量参数的选择提出了一般性要求。实际任务中,由于探测地质体导电率变化范围较大,对地质雷达的探测深度和分辨率应先进行方法试验,然后选择合理的仪器测量参数。在满足分辨率的要求下,优先选择中心频率较低的天线,以取得较大的探测深度。

1 天线中心频率 f 的选择要兼顾探测深度、目标的最小尺寸以及天线是否符合场地需要。在满足分辨率且场地条件许可时,应尽量使用中心频率低的天线;

2 时窗 ω 的选择主要取决于最大探测深度与上覆地质体的电磁波速度;

3 采样率需满足 Nyquist 采样定律,采样率宜为天线中心频率的 6 倍~10 倍或更高。

III 瞬变电磁法

5.2.13 瞬变电磁法浅层探测宜选用重叠回线与中心回线装置,深层探测宜选用大定源回线装置,探测陡倾角断层宜选用偶极装

置。瞬变电磁法有以下的常用工作方式、装置与观测参数：

1 剖面法的基本装置形式如下：

1)重叠回线装置：接收线圈(R_x)与发射线圈(T_x)为同一线圈，测量时沿测线移动，观测参数 V/I 或 B/I ；

2)中心回线装置：发射线圈与接收线圈分离，但线圈中心重合，且发射线圈大于接收线圈，测量时同步沿测线移动，用接收线圈观测 V/I 或 B/I ；

3)偶极装置：分离的发射线圈和接收线圈以固定间距同步沿测线移动，用接收线圈观测 V/I 或 B/I ；

4)大定源回线装置：固定发射大线圈不动，在线圈内外沿测线移动接收小线圈，观测 1 个或多个分量的 V/I 或 B/I 。

2 测深法的基本装置形式有中心回线装置与偶极装置，其装置形式与剖面法同类型装置相同。

5.2.14 本条规定了瞬变电磁法仪器的主要技术指标要求。一次磁场强度与发射电流强度成正比，发射电流强度选择与探测深度有关。在实际工作中，由于场地限制以及探测深度不大，发射线圈不必要很大，一般靠增加发射电流强度来提高探测深度，因此本规程要求发射机最大输出电流强度应大于或等于 3A。

5.2.16 瞬变电磁法数据采集时窗范围的确定，取决于测区内所需探测的目的体的规模及电性参数的变化范围，地电断面类型及层参数、探测深度等因素，具体时窗范围应通过试验确定，如果最后的 3 个~5 个观测道读数超过噪声电平，应增大观测时窗范围；在选定了观测时窗范围后，在实际观测中遇到衰减很慢的异常，应即时延长时窗范围重复观测，使有用信号能被完整记录下来。

由于不同观测点的噪声电平并不完全一致，为了确定各观测点晚期数据的观测精度，可在全区均匀布置干扰水平观测点，并在测点的干扰水平上采取叠加的方法以压制干扰，提高信噪比。叠加次数的选取应兼顾数据质量和观测速度，所选取的最小叠加次数应使高于仪器噪声电平的有用信号能以最优的信噪比被记录

下来。

5.2.18 瞬变电磁法的定性和定量解释方法：

1 定性解释。瞬变电磁法的定性解释应结合其他勘探资料进行，应确定电性层层数及其对应的视电阻率，确定异常的平面位置和性质，一般包括：

1) 在分析 $V(t)/I$ 多测道剖面图、 $\rho_t(t)$ 或 $S_t(t)$ 拟断面图基础上确定电性层的纵向和横向变化规律；

2) 根据视电阻率拟断面图中的异常特点、形态和分布情况确定异常的性质和位置；

3) 在进行电性分层的基础上，分析电性层与地质层位的关系；

4) 分析地电层在平面和垂向上的变化情况，定性分析地层产状和构造形态。

2 定量解释。

1) 定量解释一般应在定性解释的基础上进行，解释方法应与探测方法和工作目的相结合；

2) 定量解释应确定各电性层的电阻率、厚度和深度，解释的电性层与地质层之间应有较好的相关性；

3) 应结合探测对象对地质资料的要求，根据电性层与地质层的对应关系、地形的物性标志等，将电性剖面图、平面图解释为综合剖面图、平面图。

IV 大地电磁测深法

5.2.19 本条规定了大地电磁测深法常用的装置类型。

1 十字型装置：两对电极以测点中心对称敷设，水平方向的两对电极和两对磁传感器分别按正北(x)和正东(y)互相垂直敷设，各自方位偏差不大于 1° ，水平磁棒顶端距中心点 $8\text{m}\sim 10\text{m}$ 的位置，垂直磁棒垂直向下误差不大于 1° ，埋设于方位角 225° ，顶端距中心点 10m 的位置；在施工条件允许的地方均应采用这种敷设方式；

2 L型和T型装置：是两对电极距不以测点中心为对称敷

设的观测装置,在施工中不适宜十字型敷设的条件下采用。

5.2.21 本条规定了大地电磁测深法测线和测点的布置要求。测线应按任务书规定布置,根据实际情况允许在测线、测点距 10% 范围内调整。施工中如所获资料表明原设计的测线长度不足以完成地质任务时,应延长测线。

5.2.22 参考道工作方法分为固定的远参考道法和移动的远参考道法(互参考道法):

1 固定的远参考道是在固定点(称为基点或参考点)设置磁棒(也可包括电极),测点上布置磁棒和电极,两点同步观测,测点移动;

2 互参考道法是在相距一定距离的两个测点上同样布设电极、磁棒,两点同步观测,两测点的磁道(或电道)分别互作参考,观测完毕后两测点同时移动。

5.2.24 本条各款的考虑与含义如下:

1 对全测区大地电磁测深曲线类型进行分析、对比,总结相同类型曲线分布特征,了解构造分区地电规律;对测区内钻孔的电测井曲线进行统计计算及分析研究,以确定各套地质体电性特征,并对地电结构作出推测;对井旁大地电磁测深曲线进行直接反演,并与钻孔柱状图及正演结果对比,研究电性层与地质体对应关系,确定测区地电剖面;

2 根据大地电磁测深曲线类型、直接反演结果、电测井资料或其他物探资料,给定初始模式;一维反演后,结合大地电磁测深曲线特征,确定定量解释方法;二维反演结果应做到反演理论曲线与实测曲线拟合。

5.3 弹性波法

I 一般规定

5.3.1 弹性波法是电力行业常用的一大类物探方法,其中振动测试法包括地脉动测试法和基础强迫振动测试法,基桩动测法包括

高、低应变法和声波透射法。实际工作中应结合工作条件和任务要求选择一种或两种以上方法。

5.3.2 浅层折射波法、浅层反射波法、瞬态瑞雷波法工作大都会有一个人工爆炸环节,爆炸工作可在井中、水中、地面及空中进行。在井中爆炸需在井中注满水或泥浆,以促使能量向下传播并压制由于爆炸引起的各种扰波(如面波和声波)。井中爆炸可以用较少的药量得到较好的记录,但钻孔费用较大。有条件的地方可以采用水中爆炸,在 1m~3m 深的天然水池中进行爆炸,可以用较少的药量获得较好的记录,同时可以在一点进行多次爆炸,重复性好。

锤击震源适用于高灵敏度仪器或信号增强型地震仪进行浅层探测。锤击板的作用是将冲击能分摊到一个较大的面积上,减小压强,减少地基土体由于塑性变形而损耗锤击能量。地表疏松土壤会产生高频滤波作用,所以需要将锤击板下地表疏松土壤除去。采用锤击板后,大锤在冲击时很快止动,使冲击的突然性增大,与此相关,有效信号的初动锐度和清晰度得到提高。

5.3.3 观测系统是基于激发点和接收点之间或测线与测线之间的相对位置关系而建立的。完整对比观测系统是沿测线方向通过连续进行相遇时距曲线互换点的连接对比,获得连续剖面的观测系统。不完整对比观测系统是不完全采用相遇时距曲线互换连接对比观测,或是剖分采用追逐时距曲线相似性标志连接对比的观测形式。

5.3.5 试验工作包括工作方法、观测系统、震源和仪器工作参数选择等内容。工作参数包括记录长度、采样间隔、最大和最小炮检距和道间距等。

记录长度必须能够记录到最深目的层产生的反射波,并留有一定余量。在满足记录长度要求的情况下,采样间隔的选取应在反射波的每个周期内大约采 10 个样点。

最大和最小炮检距的选择在于使目的层反射波尽量不被噪声

所掩盖。最大炮检距 x_{\max} 大一点对速度分析有利,但太大会带来广角反射和畸变影响。经验上取 x_{\max} 与目的层深度相近,一般最大炮检距的取值范围为目的层深度的 0.7 倍~1.5 倍。最小炮检距 x_{\min} (偏移距)应当尽量小一些,以便于分析各种波速度与时间关系。但应能避开震源附近声波和面波的强干扰。

道间距 Δx 的选择要有利于有效波的对比,一般要求 $\Delta x/v^* > T/2$ 。为了对反射界面充分采样,在地质体倾角较大或有断层存时 Δx 应小一些。如果 Δx 选择过大,会造成空间采样率不足,在某些条件下会产生假频。

II 浅层折射波法

5.3.6 浅层折射波法是利用人工震源产生的一部分能量沿折射路径返回地面,在地面接收折射波,分析和解释时距曲线,探测地质体的一种方法。

常规的折射波法是基于地震波以超过临界角入射,沿波速界面层滑行,产生返回地面的折射波。当上覆地质体中存在波速大于下伏介质波速的夹层,即存在高速屏蔽层时,屏蔽层产生折射波影响目的界面折射波的传播和解译。因此,在该情况下,一般不适宜于折射波法。但是若高速屏蔽层的厚度不大,或被探测界面与上覆界面的关系为角度不整合时,可以考虑使用折射波法。

5.3.9 每种检波器都有响应最灵敏的方向,而波在传播过程中也有一定的振动方向,当与检波器的最灵敏方向一致时,所接收到的信号最强。在接收纵波和横波时,由于纵波振动方向和传播方向一致,因此,接收纵波的检波器其最灵敏方向应对准波的传播方向。而对于横波来说,其振动方向与传播方向垂直,因此,在布置检波器时,应将最灵敏方向垂直于波的传播方向。

检波器埋在松软的表层土中,如果谐振频率在仪器的通频带内,会使检波器-地基土系统在工作中长时间自由振动而降低分辨能力。为减小地表疏松沉积层对波的吸收和微振干扰,可将检波器安装在 0.2m 深的浅坑中。地基土与检波器底面接触,它们构

成了检波器-地基土的振动系统,该系统的固有频率与地基土体的弹性、接触的特点、检波器的质量有关。

5.3.10 由于折射波法主要是以初至折射波为主,检测点距的选择应根据试验工作确定,以能准确地追踪每一个折射层的初至折射波为标准。地质体的倾角越大,地质构造越复杂,检测点距越小。对于简单地区试验时初始道间距 Δx 宜取 5m~10m,复杂地区可减至 2m~5m。

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

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

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

III 浅层反射波法

5.3.15 采用浅层反射波法时,被追踪地质体应具有一定厚度,其厚度应大于有效波长的四分之一,即 $h > \lambda/4$ 。这是因为 h 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于识别。模型试验表明,垂直方向上反射波法的最高分辨率可达到 $h = \lambda/8$,而实际工作中仅能达到 $h = \lambda/4$ 。因此,提高反射波法垂直分辨率的首要办法是提高震源频率。

5.3.16 当已知地质体速度资料时,可根据倾角时差求得真倾角。此外,倾角时差与道间距 Δx 成正比时,为了提高测量倾角的精度,可采用较大的 Δx 值。

5.3.17 反射波法的资料解释主要包括如下内容:

1 浅层波的识别。浅层反射波在直达波和折射波之后到达,并受到声波、面波等的干涉。对反射波法的资料进行处理和解释,

首先是从复杂的记录中识别出反射波。反射波识别可以从同相轴特征进行。

反射波识别也可以采用正演模拟合成地震记录,对地震记录中的假定的反射波进行动校正,得到垂直时间剖面。然后根据干扰波的调查情况或者速度测井获得的速度资料合成反射地震记录,将合成的反射地震记录与实际地震记录对比,二者应该是相似的。

2 地震波速度的取得。地震勘探的数据处理和资料解释的精度很大程度上取决于速度参数的准确程度。估算速度可以利用折射波法、地震测井求取地质体速度或平均速度,也可以根据速度分析的方法求叠加速度或均方根速度,还可以根据反射波时距曲线求速度。

3 校正处理和地震剖面的构制。校正处理可分为动校正和静校正,静校正的目的是消除地形起伏、激发点位置和低速带对地震记录的影响,动校正的目的是把双曲线形式的时距曲线变换为反映地下界面的形态。

通过反射波的识别、速度确定、动校正和静校正后,可绘制垂直时间剖面,采用 t_0 法可计算垂直深度。

IV 瑞 雷 波 法

5.3.18 本条对瑞雷波法的应用条件作了一般规定。瑞雷波沿地面表层传播,其穿透深度约为一个波长,因此要求被探测地质体的埋深小于一个瑞雷波波长。通常情况下,利用锤击(或砂袋)震源条件下,瑞雷波探测深度不大于 30m。

5.3.19 为了获得对应于不同深度的波速,要求震源产生的频率范围要宽,测试浅层时用小锤或较轻的铁块锤击地面获得高频信号,并采用较小的道间距接收,测试深度大时则相反。一般地,探测深度小于 1m,宜使用小锤;探测深度 1m~10m,宜使用大锤;探测深度大于 10m,宜使用落重法。地震波主频 f_0 与落重法的重块质量 M 和重块底面半径 r_0 的关系式见附录 C。

稳态法可采用电磁式激振器,能够输出频率一定的等幅或变幅垂向的稳态连续振动。其频带的低频端一般为 3Hz~5Hz,高频端在 500Hz 以上,最大激振力一般大于 600N。

瑞雷波法拾振器包括地震检波器与各类传感器。对于地震检波器,探测 0.2m~1m 的地质体,宜用高频检波器,其固有频率 80Hz~100Hz;探测 1m~10m 的地质体,宜用固有频率 14Hz 或 28Hz 的检波器;探测 10m~50m 地质体,宜用低频检波器,其固有频率为 3Hz、4.5Hz、8Hz、10Hz 等。对传感器,要求通频带 3Hz~1000Hz。

检波器自然频率 f_z 的估算见附录 C。

5.3.20 观测系统布置方式、采集参数和激发方式由试验确定。初步确定时,对于稳态法检波器起始间距 $\Delta x < \lambda_R = V_R/f$;对于瞬态法检波器间距应满足 $\lambda_R/3 < \Delta x < \lambda_R$,相位差应满足 $2\pi/3 < \Delta\varphi < 2\pi$ 。

5.3.21 稳态瑞雷波法测试宜由高频至低频进行,一个频点应多次测量以求取平均值。频点步长应根据任务来确定,一般高频时改变的步长大,低频时则较小。频点步长 Δf 的计算见附录 C。

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

5.3.23

3 转换系数 k 的确定方法有三种:

- 1) $k=1/2$,即半波长转换法。此法认为 λ_R 的面波速度代表半个波长深度以上介质中的平均值,在无其他资料时,可采用此法;
- 2) 由泊松比 σ 确定见表 1;

表 1 转换系数 k 与泊松比 σ 定量关系表

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

3) 依据测区钻孔地质资料进行实测,求取 k 。此法最为准确,

在有条件时应采用此法。

4 在解释时明确提出应与钻孔或其他已知资料结合。理论和实践证明,频散曲线上的“之”字形(或为锯齿状)异常反映了地下不同岩土层的分界面,速度曲线突变的深度往往对应于不同岩土层的分界面,故可作为划分地质分层的依据。

V 超声波法

5.3.25、5.3.26 超声波法适宜于基岩露头、探槽及地下洞室的超声波测试(包括对岩体波速的测定,岩体完整性系数等指标的分区或分段,划分风化卸荷带的界线,确定洞室围岩松弛带厚度等)、钻孔岩体波速测试及固结灌浆效果、桩身完整性检测等。

超声波法仪器系统应包括超声波仪、振动换能器和数据处理分析软件。

岩块超声波测试,换能器与被测介质应保持良好接触,可采用黄油或凡士林耦合。

声波测井源距的选择应保证到达接受探头的初至波是地质体的折射波,其间距的大小选择应满足分层和曲线分辨率的要求。

VI 振动测试法

5.3.28 地脉动测试系统一般由传感器、放大器、信号采集与记录装置和分析系统组成。

地脉动振动周期一般在 $0.1\text{s} \sim 10.0\text{s}$ 之间。根据周期的长短,地脉动有长周期和短周期之分。周期大于 1.0s 的称为长周期,周期小于 1.0s 的称为短周期。地脉动振幅一般在微米级,因此要求地脉动测试系统灵敏度高,低频特征好。信号分析系统应具有低通滤波、加天窗函数以及常用的时域和频域分析功能。

电动式速度传感器进行地脉动测试虽然经济方便,但在钻孔内测试时,其固有频率很难做到 0.1Hz ,而且体积较大,通常不得不放宽要求。近几年来,由于加速度型传感器具有体积小、容易密封等优点而得到较多应用,这种传感器的工作频率可以满足 $0.1\text{Hz} \sim 60.0\text{Hz}$ 。

5.3.30 为了使测得的信号能反映场地土固有特性,选择测点时应尽量避开干扰源。当风速较大时,可将传感器安装在地表以下10cm~30cm深度的浅坑内。

为了了解场地地基沿竖直方向的脉动特性的变化和卓越周期分布时,测点可布置在建筑物持力层、基岩顶面以及地质体性质变化较大的层位上。

建筑场地钻孔波速测试和地脉动测试,虽然目的和方法有别,但它们都与覆盖层的厚度和地质体性质有关,其地质体的 V_s 和场地的 T 必然有内在联系。地脉动测试布置于波速孔附近,正是为了积累资料、探索其内在的联系。

传感器按固定方向安装,有利于分析地质体倾向以及地质构造对地脉动的影响。

5.3.31 测试采样频率应满足采样定理。实际采样频率一般取分析上限频率的3倍~5倍。然而,若所选采样频率太高,微振动信号的频率分辨率降低,反而影响测试结果精度。

为了避开人为干扰,测试时间应选择在场环境干扰最低的时间段进行,一般选择凌晨2点~4点进行。

测试编录工作是测试结果分析的必要资料。测试时应认真记录好各通道放大器的档程、测试时间和环境状况等。

5.3.32 地脉动测试数据的处理方法有周期频度法和频谱分析法。前者整理后得出的频度曲线比较光滑,简单明了,但难以反映细微频率差别,也反映不出中长周期。手工分析和专门的分析仪器曾大量运用此法。后者是随着数字技术和计算机的发展应运而生的,其特点是速度快、自动化程度高,能反映和辨别细微频率。但值得注意的是,当图谱中出现多峰时,需进行相关或互谱分析,以便对场地脉动卓越频率进行综合分析。

对地脉动信号一般加滑动指数窗,选哈明窗或汉宁窗较为合适。

地脉动信号的性质可用随机过程样本函数集合的平均值来描

述,即脉动信号的卓越频率应是多次频域平均的结果。从数理统计与测试分析系统的计算机内存考虑,经过 32 次频域平均已基本能满足要求。

地脉动信号谱一般为一个突出的谱峰形状,卓越周期只有一个。如地质体由多层性质差别较大的土层构成时,谱图有多阶谱峰形状,通常不超过三阶,卓越周期可按峰值大小分别提出。对于频谱图中无明显峰值的宽频带,可按电学中的半功率点确定其范围。

5.3.33 目前使用的机械式激振设备扰力可分为几档,测试时,其扰力一般均能满足要求,而其工作频率一般较窄。对于软弱地基上的动力基础,为测出完整的幅频响应共振曲线,最低频率一般要求小于 3Hz;而对于桩或坚硬地基上的竖向振动试验,激振器的振动频率可能会要求很高,最好能达到 60Hz 以上。

电磁式激振器的工作频率很宽,只是扰力相对较小,因此规定扰动力不宜小于 600N。

5.3.34 采用电磁激振设备作水平回转振动测试时,其扰力作用点应在沿水平轴线方向基础侧面的顶面,最好是沿长边、短边两个方向都进行测试,以便对比两个方向测试所得动力参数的差异。但提供设计使用的参数,应与设计基础水平扰力的方向一致。

5.3.35 水平回转振动测试时,在基础顶面两端布置竖向传感器是为了测试基础回转时的振幅,以便计算基础的回转角,其间距应量准。

基础的扭转动力参数在过去一般均通过竖向测试结果通过理论公式换算得来。20 世纪 90 年代原机械工业部所属各设计研究院进行多次扭转振动测试,测出了在扭转扰力作用下水平振幅随频率变化的幅频响应共振曲线。条文中规定的传感器布设方法,最容易判别其振动是否为扭转振动,如为扭转振动,则实测波形的相位相反(即相差 180°),如为水平-回转耦合振动,则实测波形的相位相同,可检验激振器能否使基础产生扭转振动。因此在布置

仪器时,一定要保证两个传感器本身相位相同。

5.3.36 在共振区以内(即 $0.75f_m \leq f \leq 1.25f_m$, f_m 为共振频率),频率应尽可能测密一些,最好在 0.5Hz 左右。

由于地基的弹性系数等与动应变幅值大小有很大关系,故要求测试中振幅与基础宽度之比尽量与机器基础振动时为同一量级。但考虑到周期性振动的机器基础,当 $f \geq 10\text{Hz}$ 时,其振幅都不会大于 $150\mu\text{m}$,且振幅太大时,峰点更难测得,所以要求共振振幅不宜大于 $150\mu\text{m}$ 。

VII 基桩动测法

5.3.38、5.3.39 由于目前市场上低应变法检测仪器种类繁多,性能指标不统一,这里对使用仪器及采集传感器的性能指标按主流性、先进性考虑作了一般性规定。

5.3.40 本条为尽可能获得高质量信号而提出的措施要求。传感器用耦合剂粘结时,粘结层应尽量薄,必要时可采用冲击钻打孔安装方式。

激振点与传感器的位置与钢筋笼主筋距离太小,会给曲线带来高频干扰,降低信噪比。

5.3.41 选择不同重量和不同材质的激振设备可以改变激振能量和振源频宽,以满足不同检测部位缺陷探测目的。

5.3.42 信号记录长度达不到 $5L/c$ 或桩底反射波后小于 20ms,则桩可能没有被打动,所测承载力值会偏小。

5.3.43 由于桩身尺寸、类型、地层条件及锤击方式的不同,实测加速度变化范围较大。实际检测时建议根据实测经验来选择加速度传感器,宜选量程大于预估最大冲击加速度值的 1 倍以上。

5.3.44 从重锤要求看,打桩机械或类似的装置均可作为锤击设备。本条所规定的锤重是从桩侧阻和端阻得到充分发挥的所需位置以及桩头混凝土强度两方面考虑的。这里规定的锤重是一个下限值,对于直径大于 600mm 或桩长大于 30m 的桩,应采用较重的锤,才有可能得到较理想的检测信号。

5.3.45 重锤低击可减少桩顶的应力集中,防止因应力集中使桩身产生塑性变形甚至破坏。另外,重锤低击的荷载脉冲作用时间长,且荷载变化缓慢,可以使桩产生较大的沉降位移,有利于得到较好的检测信号。

5.3.48 当桩径小于 0.6m 时,受测试系统误差和测管对桩身质量的影响,不宜使用声波透射法。

5.3.49、5.3.50 声波换能器有效工作面长度是指:起到换能作用的部分的实际轴向尺寸,该长度过大将夸大缺陷实际尺寸并影响测试结果。

提高换能器谐振频率,可使其外径减少到 30mm 以下,利于换能器在声测管中升降顺畅或减小声测管直径。但声波发射频率的提高,将使长距离声波穿透能力下降。考虑到声波发射频率与穿透能力的关系,本规程仍推荐目前普遍采用的 30kHz~50kHz 的谐振频率范围。

考虑到换能器能顺利地较小的声测管中顺畅测试,故一般要求换能器外径在 30mm 左右,而声测管采用外径为 50mm 的镀锌水管,接头应保证不漏水,以避免泥浆流入管内。

5.3.51、5.3.52 本条对声波透射法准备工作和现场工作作了规定。为了使各测试剖面的检测结果具有可比性,要求在对同一根桩各剖面检测中保证各剖面声波发射电压和仪器各参数设置值不变。

5.4 天然放射性法

5.4.1 天然放射性法适用于探测断裂破碎带、地裂缝、煤田陷落柱、旧巷道及采空区,圈定岩溶、基岩的富水带、裂隙发育带,判断含水层富水地段、确定含水层厚度,也适用于放射性环境污染监测等。

电力行业常用的天然放射性探测法有氡气探测法和伽玛探测法。

5.4.2 在扰动土(庄稼地、田埂、道路等)中取样进行放射性探测结果是不可靠的,测区应有厚度大于 500mm 的表土层是 α 探测取

样的需要。在基岩出露的工作地区由于 α 探测法无法取样,宜选用伽玛探测法。

本条第 3 款所列的环境如果使用天然放射性法进行测量,其结果往往是不可靠的,产生的异常是虚假的、不真实的,不能反映地质体结构的变化,只是地表污染的反应。

5.4.3 本条基于目前常用的 HFS-6 α 射线快速测量仪和 NP4-2 伽玛能谱仪制定,如果使用其他型号的测量仪器必须严格按照其说明书的要求执行。

5.4.4 用标准源对仪器进行校准的内容包括确定阈压值、最短观测时间、最小观测次数等。

HFS-6 α 射线快速测量仪规定本底计数不应大于每分钟 5 个,采用其他仪器应符合其说明书的本底检查规定。

如果多台仪器一致性差异很大,在同一地区工作时,必须对各仪器测量结果进行修正,然后才能提交资料,否则资料不能使用。

天然放射性法必须进行工作区内的背景值测量,天然放射性测量的背景和异常均为相对的概念,通常将正常值作为背景,异常是指异于正常的情况,像测量结果出现尖峰状、跳变状、锯齿状等均应视为异常,不能只把脉冲式的变化、点状变化视为异常。

5.4.5 按照本条规定可做到实际工作不漏掉有意义的异常,并且测量曲线的形态无明显差异,从而保证定量测量结果的准确性、可靠性,对推断地质异常有着十分重要的意义。

天然放射性法相关分析法的相关系数大于或等于表 2 查得的数值,表明测量结果的工作质量可靠。相关系数 p 的计算见附录 C。

表 2 相关系数 p 检验表(可信度 0.10)

测点数	10	20	30	40	50	60	70	80
检验值	0.549	0.378	0.296	0.243	0.231	0.211	0.195	0.183
测点数	90	100	120	200	300	400	500	1000
检验值	0.173	0.164	0.150	0.116	0.095	0.082	0.073	0.052

5.4.6 氦气探测法测量结果与土壤的干湿程度及吸附性有关,这主要是因为射气系数和扩散系数受气象条件变化影响较大。挖坑采样应边挖边采,土壤采取后应立即进行测量,若经过长时间的晾晒或雨水淋湿后测量结果将会发生很大变化。

5.4.7 在测量土壤中的 U 、 T_h 、 K 的含量时一般测量时间大于 300s 为好,测量时间越长,精度越高,数据波动越小,而两者测点相一致时有利于对比分析。

5.4.8 本条规定主要目的在于研究异常的分布和特征,分辨异常性质并排除假异常。值得注意的是,在特定的条件下,断层构造带上氦气的强度只有背景值的 1.1 倍~1.8 倍。因此在电力工程探测中,若氦气强度偏高,虽未达到异常值,但受构造控制者即为异常点;或者强度偏高有一定规模,而覆盖层较厚,也可称为异常点。

5.5 双 探 针 法

5.5.1 双探针法全称线热源双探针法,是近年来研究土壤热特性的前沿方法。其工作原理是将双探头探针插入土壤并通电,两个探头中的加热探头产生热脉冲,另一探头记录土壤中某点温度随时间的变化值,然后根据土壤中温度增量与时间的函数关系拟合计算出土壤的热导率、容积热容率和热扩散率三个有关土壤热特性的基本参数,同时,还可以测得探头埋设深度处的地温。该方法适用于土壤及其他松散材料热特性参数的现场测试,且具有试验时间较短、对土壤扰动小、不易引起非饱和土壤中水分的重新分布等优点。该方法也可以通过取样在室内试验完成,且具有所需土样体积小,同一试样能重复测量等优点。推荐在现场使用该方法。

5.5.2 探针的长径比大于 30 倍以上才被认为是一维杆件,也是一维热传导理论模型的一个前提条件。

5.5.3 计算得到校准系数,可以修正土壤热参数测定值,减小测试误差。

纯甘油黏性大,实验升温又不大,可以有效抑制实验过程可能

产生对流效应的影响。一般在药店能够容易购买到医用甘油,医用甘油纯度达到 99% 以上。根据相关资料,纯甘油在 27℃ 室温条件下测试标准热导率为 $0.286\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$,水在 25℃ 室温测试标准热导率为 $0.607\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$,均属于在土壤和岩石的热导率预期范围;但是探针加热将导致水的对流,将造成热导率测量误差,为了防止这种误差,必须将水样稳定,首选的方法是水中加入 0.5% 的琼脂,然后煮沸并搅拌均匀,冷却后便成为一个坚实的果冻状试样,易于测试。

纯甘油吸附水蒸气后黏性降低,会给测量结果带来误差,故需避免。

5.5.4 土体扰动后会给测试结果带来较大误差,交变电流干扰可能影响加热功率的稳定,热量通过探针裸露部分容易流失,试验过程中移动传感器很可能使测试过程受到干扰,这些情况都需要加以避免。

探针和土壤之间热平衡的建立需要一定的时间,故在条款中规定了下限。

5.5.6 采用计算机拟合法计算时采用测试数据中开始数据到最大值后 10 个数据为有效测试数据,可以避免热传导后期的边界效应。

3 瞬态条件和晚期边界效应的数据可能给测试结果带来较大的误差,所以需要在计算前剔除。

5.6 井中探测法

I 一般规定

5.6.1 本条所列的几种测井方法为电力行业常用的测井方法,其中电测井可选择视电阻率测井、自然电位测井、电流测井和水文测井;电磁波测井可选择 CT 电磁波测井、地质雷达测井;地震波测井可选择单孔法、跨孔法。为了提高探测精度,宜选用综合井中探测法。其他井中探测法有声波测井、井间层析成像测井、井温测

井、中子-伽马测井、中子-中子测井等,由于这些方法在电力行业极少使用,故未纳入本规程,需要时可参考相关规程执行。

5.6.2 由于目前市场上测井仪器种类繁多且功能各异,本条只对井中探测仪器的基本性能指标作了一般性规定。

5.6.3 测井准备工作中,成井(孔)质量及井液直接影响探测结果,井(孔)深度必须满足任务要求。故本条对此作了专门规定。

5.6.4 绞车与滑轮合理放置,才可以保证测井工作安全、顺利地进行;相同的工作参数有利于资料对比分析及综合解释;当供电极距与测量极距的距离大于电极系极距的 50 倍,就可能给数据采集造成较大干扰,因此需要加以控制。

5.6.5 测井曲线是资料解释的重要依据,准确的深度记号是资料解释的前提,合理的曲线比例有利于资料的对比分析及解释。

5.6.6 本条规定的目的是为了保证现场采集到的原始数据能准确反映地质体的物性信息。

II 电 测 井

5.6.8 自制的井下电极系电极直径不小于 3cm 主要是考虑电极的尺寸效应及点电源问题。漏电、电缆的升降速度、零漂可能对视电阻率测井成果带来较大的影响,现场工作时需要谨慎操作。

5.6.9 综合测井时首先进行自然电位测量的目的是为了消除电极极化影响和压制干扰。

当地下水矿化度与钻井孔循环液矿化度相近时,电位曲线幅度变化不明显,应采取改变井液矿化度的办法进行自然电位测量。

5.6.10 水文测井前对钻井采用清水循环冲洗的目的是为了使井壁渗透通畅。用标准电阻测量供电电流强度意在检查供电电流是否稳定、准确。

5.6.11 电流测井供电电压远大于自然电位目的是为了压制干扰,提高信噪比。

III 电磁波测井

5.6.14 本条规定的目的是提高电磁波测井对异常的分辨能力及

精度。

5.6.15 本条规定是为了增加解释成果的可靠性,而强调人机联合解释就是在复杂情况下往往需要人工干预才能得到正确的解释结果。

IV 地震波测井

5.6.16 单孔检层法地面激振常采用锤击板法,锤击板与孔口的距离应合适。当剪切波振源采用锤击上压重物的木板时,木板的长向中垂线应对准测试孔中心,孔口与木板的距离宜为 1m~3m,板上所压重物宜大于 400kg,木板与地面应紧密接触;当压缩波振源采用锤击金属板时,金属板距孔口的距离宜为 1m~3m,当激振能量不足时,可采用落锤或爆炸产生压缩波。

目前市场上流行一种单孔自激自收的剪切波速测试法——悬挂式波速测井,适用于无套管、有井液的钻井,优点是现场操作和资料分析简单、方便。但这类仪器孔内激发系统激发的能量及对周围岩土体影响深度都较小,当钻井内存在套管时,大部分能量被套管壁吸收,测出的剪切波速受套管壁材质影响较大,因而测试精度将大幅度降低。

5.6.17 本条针对单孔检层法资料整理与解释作了规定。

5.6.18 第 2 款及第 3 款规定的目的是为了使接收传感器能最大程度接收来自振源孔激发的能量,提高信噪比。

5.6.19 跨孔法测试资料处理时,P 波和 S 波初至的识别方法:首先在各测点的原始波形记录上识别出 P 波与 S 波序列,第一起跳点即为 P 波初至。可根据下列特征识别第一个 S 波的初至:

- 1 波幅比 P 波波幅突然增大 2 倍以上;
- 2 周期比 P 波周期至少增大 2 倍以上;

3 若采用井下正反向激发震源,一般 P 波的初至极性不会发生变化,而第一个 S 波到达点的极性会发生 180°的改变,接着进行波形对比,找出极性波的交点,即为第一个 S 波的到达时刻。

V 天然放射性测井

5.6.20 天然放射性测井实际上就是 γ 测井,其最大优点是可在有套管井段和干钻井中进行测量,但当有套管时,要考虑套管对射线强度的吸收效应,必要时应作吸收校正。

VI 井下电视

5.6.23 有套管或井液混浊时可导致无法观察或效果不好,盲目使用很可能铩羽而归。

5.6.24 井下电视得到的是直观的图像,当发现图像不清晰时应设法改善到最佳状态。井下电视工作中容易造成差错的是观测深度,应加强检查与复核。

6 常见地质界面探测

6.1 土层界面

6.1.1 土层界面探测是工程勘察的重要内容,也是工程物探需要经常解决的地质问题之一。在各方面条件(物性差异、层厚度、现场条件等)有利的情况下工程物探可以较好完成探测工作,反之物探工作不能解决问题,这时需要通过物性分析或现场试验工作,说明原因。

6.1.2 对第四系各层之间存在明显电性差异或波阻抗差异条件下,就物探具体方法的选择作了引导性规定,但不能绝对化采用。

6.1.3 本条对获取物性参数的途径和方法作了规定,同时提醒当物探初步解释结果与已有地质资料出入较大时,应对仪器装置及工作参数及时进行调整,以保证物探结果满足任务要求。

6.1.4 在采取计算机拟合分析电测深和高密度电法资料时,应采取人机联合的方式进行,在地电模型合理的基础上通过拟合误差大小控制反演进程。

1 地质体与物性参数对应关系是资料解释的重要依据之一,对结果影响很大。如果对应的物性参数取值恰当,则解释结果准确、可靠;反之会出现较大误差甚至谬误,应谨慎对待;

2 供电极距 $AB/2$ 与实际深度 h 之间的换算系数 k 是高密度电法定量解释的重要参数,不求取这一参数,高密度电法的解释工作只能停留在定性解释层面。该参数需通过一定数量的电测深资料与钻孔资料的对比分析,统计得出,其准确性取决于物探技术人员工作经验的积累;

3 对浅层地震波法及地质雷达法的资料解释作了规定。在浅层反射波法和地质雷达法资料分析时,应对干扰信号进行识别,

并采取数字处理技术进行压制；

4 对土层界面探测的综合物探资料解释作了规定。

6.1.5 本条及本规程第 6 章所指的精度均代表的是整个工区或整条剖面的精度,并非指某一个点。

测区条件简单,指测区地形平坦,各土层物性差异明显,层厚及规模较大,无干扰信号;测区条件复杂指不能满足上述一条或几条。

6.2 基岩面与风化带

6.2.1 基岩面及风化带探测内容包括:调查基岩面的埋深及顶板的起伏形态,进行风化分带并确定其厚度等。

基岩面及风化带探测对于地基处理意义重大,特别是当地基采用桩基础时,对桩长的设计至关重要。目前一桩一孔的勘察模式还在许多行业沿用。在各方面条件许可的情况下,利用适宜的物探方法探测基岩面及风化带能缩短工期、降低勘察成本。

6.2.2 本条关于覆盖层厚度较大、较小的含义可以理解为:当覆盖层厚度不小于 20m 时为较大,覆盖层厚度小于 20m 时为较小。

1 浅层反射波法、浅层折反射波法、电测深法、高密度电法是探测基岩面与覆盖层厚度的常用方法,使用时应注意各种地球物理方法的使用条件;

2 地质雷达法和瑞雷波法是目前电力行业物探工作中探测基岩面及覆盖层厚度的主要方法,在覆盖层厚度较小时,探测精度较高;

3 应注意在基岩出露的情况下,检波器耦合和电极接地困难,因此地震波法在这类工区浅层不适用;

4 本款对覆盖层厚度较大、风化界面起伏不大的情况下,利用物探进行风化带探测的具体方法选择作了规定。具体到某一工程,应根据实际情况作出选择;

5 超声波测井的优点是根据速度谱结合表 6.2.4 的标准,可

准确划分全风化带、强风化带、中风化带、微风化带及新鲜基岩,该方法必须在钻孔之间进行。

6.2.3 本条对获取风化带物性参数的方法和途径作了规定。在基岩倾向较大的测区,基岩电阻率各向异性可能对电测深或高密度电法探测结果影响较大,因此,应严格按照本规程第5.1节相关条文执行。解释时应建立合理的地电解释模型。

6.2.4 基岩面及风化带探测资料解释与土层界面探测资料解释有许多相近或相同之处,例如高密度电法的折算系数计算、地震法的层厚度与层速度分析计算等。因此参照第6.1.4条,本条不再赘述。

求取波速比时,风化岩石与新鲜岩石的波速应在同一测试环境(室内或钻孔中)下进行,否则可能导致较大的误差甚至错误。

通常情况下,岩石可分为全风化带、强风化带、中风化带、微风化带及新鲜基岩等五个带。但对于较纯的灰岩可能没有全风化和强风化带,这时基岩面应从中风化算起。

6.3 岩溶和土洞

6.3.1 岩溶和土洞的探测内容包括:调查岩溶的性质、分布、埋深、规模及伸展方向,判断溶洞和土洞的填充情况,确定其埋藏深度及空间发育尺寸等。

岩溶(溶洞、溶沟、溶槽、溶蚀裂隙)和土洞属不良地质现象,浅表层的岩溶和土洞对工程危害较大。电力行业目前主要的物探手段为地质雷达、高密度电法、电测深、瑞雷波法等。

6.3.2 本条对方法选择作了规定。

1~3 对不同覆盖层厚度下岩溶探测的物探方法选择作了规定,基岩直接出露,由于电极和检波器无法埋置,所以只能选择地质雷达法和瞬变电磁法;

4 对井壁岩溶和土洞的物探方法选择作了规定;

5 由于黄土或黏土具有高导电性,对电磁波吸收作用极强,

所以当土洞埋深较大时,地质雷达方法不适用,应用时需要注意。

6.3.3 只有根据测区岩溶发育调查结果来确定的物探方法、测线布置及仪器参数设置等才有针对性和有效性。

6.3.4 高密度电法资料处理过程中,应密切注意由于电极接地引起的虚假异常,虚假异常一般具有一定的规律性,可采取剔除原始数据进行修正。有时块石(或孤石)也可引起高阻异常,可结合异常区周围的电性特征加以分析判断。

架空线路在地质雷达剖面图上的反射特征与溶洞的反射特征类似,应根据架空线路的特点(导线根数、导线与地面的距离等)加以分析、识别。

6.4 断裂和破碎带

6.4.1 断裂和破碎带探测的内容包括:确定断裂和断裂破碎带的位置、埋深、走向、规模、性质,进行断裂活动性评价等。

采用物探方法探测断裂和破碎带需具备一定的条件,即断裂的上下盘要有足够的物性差异或破碎带有足够的宽度。前者断裂本身是一个物性界面,后者由于破碎带的物理性质与断裂两旁的岩层不同,当其宽度与埋深比足够大时,就可用地面物探方法测得破碎带的顶部位置和宽度。探测时应根据任务的目的及要求、场地实际情况选择合适的物探方法。

6.4.2 瞬变电磁法是深部断裂和破碎带探测的常用方法,此外还可选用深地震反射波法、地震宽角反射、折射波法、宽频带地震台阵观测等,应用后几种方法探测时,可参照相关规程执行。

在各种电阻率剖面法中,联合剖面法最适用于探测陡倾的良导电目标体或断裂破碎带。由于该装置影响因素较多,因此判断空间状态时,应采用综合物探方法。

6.4.3 本条是对外业工作的规定。

1 规定在于隐伏断层在纵向上要有一定的延伸,或具有发生浅部断层的深部环境,因此探测深度需要大于目标深度的 1.5 倍;

2 规定在于确保在断裂破碎带上至少有三个物探测点。

6.4.4 本条对探测断裂和破碎带的各类地球物理方法的资料解释作了规定。在断裂及破碎带的物探资料解释中,要充分收集和分析物探及钻探资料,给物探成果赋予地质含义;要将测区具体地质特点和物探资料中判定断裂的一般标志相结合,确定识别断裂异常的具体标志;要通过钻探检验物探成果。

6.5 滑 坡

6.5.1 滑坡探测的内容包括:划分滑坡体的分布范围、厚度和滑床起伏形态,进行滑坡体分层,探测滑坡体内含水情况及含水层的分布和埋深等。

滑坡产生的原因较多,滑坡体的地质结构一般也比较复杂,不同类型的滑坡具有不同的地球物理条件,因此采用何种物探方法对滑坡进行勘探都应根据具体条件确定。一般应结合工程地质测绘、钻探(或坑探、槽探)等勘察手段对滑坡进行综合勘探。

6.5.2 执行第1款时应注意地质雷达及瑞雷波勘探的应用条件。滑坡体含水量较大或滑动面位于地下水位以下时应排除地质雷达法。

浅层折射波法探测以基岩面为滑动面的堆积层滑坡效果较好,而对于以土层或软弱层为滑动面的滑坡,由于物性差异不是非常明显,最好利用综合物探方法进行探测。

水上地震勘探可根据实际情况布置2条~3条测线,剖面深度应能达滑动面以下20m。

6.5.4 一般情况下,滑坡体地质结构比较复杂,在资料处理及解释过程中,反演时应建立合适的地球物理模型及边界条件,资料解释时应充分利用各种物探成果图件、工程地质测绘、钻探及测井资料;尽可能降低物探成果多解性,增强不同物探方法物性分层的一致性,提高探测成果的可靠性。

6.5.5 测区条件简单,物探对以基岩面为滑动面的堆积层滑坡探

测精度一般较高。对于以土层或软弱层为滑动面的滑坡,由于物性差异不是非常明显,探测精度一般较低。井中探测法精度较高,因而要求也就不同。

6.6 地 下 水

6.6.1 地下水探测的内容包括:划分第四系地层中含水层和隔水层,并确定其深度和厚度;探测基岩裂隙带、岩溶发育带、断裂破碎带等及其富水情况;探测地下水位、流速流向、渗透速率。

探测地下水时,必须先分析含水层的地球物理特性。第四系地层中的含水层主要为砂卵(砾石)层、砂层,与黏土层相比,一般具有电阻率高、电化学反应性强、自然放射性强度小、波阻抗大等特点;对于基岩中的砂岩、裂隙带、岩溶发育带、断裂破碎带等含水带(层),与周围介质相比,往往具有电阻率低、电化学反应性强、电磁波吸收快、波阻抗低、自然放射性强度大等特征。

根据电力行业的经验,直流电法探测地下水效果较好。若需详查地下水的分布范围、规模和埋深,可采用综合地面物探或水文地质测井。

6.6.2 探测第四系地层中含水层,通常应结合土层界面探测方法进行;探测基岩裂隙带含水层,宜按照基岩面与风化带探测方法技术进行;探测岩溶水,宜按照岩溶与土洞探测方法技术进行;探测断裂破碎带含水层,宜按照断裂破碎带探测方法技术进行。

当含水层规模较小时,地面物探方法难以见效,可依靠或配合井中探测法来解决。

6.6.3 目前电力行业探测地下水的物探方法均属间接找水法,其探测结果易受现场工作条件影响,且具有多解性。因此与水文地质测绘、钻探和试验工作紧密配合,可以提高物探成果的可靠性及精度。

6.6.4 充电法解释时,常用四种图件的绘制方法和含义:

1 等位线图:起始等位圈的半径 R [充电点(A)在地面的投影

(O)到各方位等位点连线的距离]和等位圈增量 ΔR 可用不同的比例尺, ΔR 的比例尺可适当放大,以清楚反映等位圈变化特征而又不致使图幅过大为宜,等位线移动速度最大的方向为地下水流向;

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

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

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

6.6.5 应用地面物探方法进行含水层探测的精度,相当于应用地面物探方法探测地质体厚度及埋藏深度的精度;在钻孔中用测井方法探测含水层面的精度,相当于在钻孔中进行地质体界面探测的精度。

6.7 冻 土

6.7.1、6.7.2 冻土探测内容包括:确定季节性冻土的冻融深度及

范围,探测多年冻土上限及冻土层厚度,划分冻土类型,圈定融区范围,调查地下冰空间分布情况,进行地质分层等。

物探方法在圈定多年冻土区和融区的范围,确定多年冻土上限和厚度不大的多年冻土厚度,以及厚层地下冰、划分地质层等方面效果较好。在确定含冰层的位置及含冰量的多少时,应采用综合地面物探法或井中探测法。

多年冻土区物探方法应综合考虑以下几方面因素进行选择:

1 工作对象和内容:在少冰和多冰冻土区域,土体冻结后地质体电性特征的变化会较其弹性特征的变化更为明显,因此,勘察重点为冻土分布特征时应优先考虑直流电法和电磁波法,勘测重点为地质体的岩性变化时优先考虑面波勘探方法;在富冰、饱冰和含土冰层冻土区域,地质体的电性特征与弹性特征在土体冻结后均有很大变化,直流电法和浅层地震波法在冻土勘测中无明显的优劣差异,只是瑞雷波法在冻土分层方面效果有时会更好一些;

2 工作效率、勘探精度和勘探深度:电磁波法中的电磁高频部分,勘探精度高,效率高,但深度有限;在 20m~30m 深度范围内,地质雷达的勘探精度和效率最高,成为此深度范围内冻土勘探方法的首选;低频部分勘探深度可达上千米,但精度和效率较低;直流电法和浅层地震法勘探深度可达几十和上百米,但精度和效率较低;

3 工作时间:在地表封冻季节,由于地表冻结形成高阻抗(或高电阻率)屏蔽层,阻止地震波(或电流)向下传播,使浅层地震波法(或直流电法)探测深度大幅度降低,而且检波器(电极)接地困难,因此在地表封冻季节,浅层地震波法和直流电法不宜开展工作;电磁波法则不受地表冻结限制。

6.7.3 冻土现场物探工作,特别是在青藏高原工作时,气候条件极其恶劣,夏季烈日暴晒,紫外线照射强烈,冬季气温达到零下几十度,寒冷异常,应做好工作人员及设备的防晒、防紫外线、防冻工作。由于交通条件差,还要做好仪器的防震工作,确保人员及设备

的安全。

6.7.4 利用物探法准确划分高含冰区和低含冰区的范围是物探工作的一个难点,资料处理时应建立合适的地球物理模型及边界条件,资料解释时应充分利用地面综合物探资料、井中探测资料及钻探资料进行综合解释,必要时应采取钻探对物探成果进行验证。

6.7.5 根据电力行业工作经验,地质雷达法和瑞雷波法确定多年冻土上限精度较高,仅次于井中探测法,其他地面物探方法精度相对较低。

6.8 水 域

6.8.1、6.8.2 水域(江、河、湖、海)探测内容包括:了解测区水底地形、水底埋藏物、障碍物及抛石工程现状,调查沉积层结构、探测基岩埋深、基岩断裂带及断裂带倾向等。

水域探测方法可根据探测目的及任务要求选择浅层地震波法、浅地层剖面法、地质雷达法、水上磁测法等。其中地质雷达法因海水具有高导电性、对电磁波吸收强的特点,不适宜在海域使用。

浅地层剖面法,全称“水下浅地层剖面法”,是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弹性波勘探方法,又称为“水声勘探”。浅地层剖面法和水上磁测法探测应符合现行国家标准《海洋地质地球物理调查》GB/T 13909 的相关规定。

6.8.3 本条是对外业工作提出的要求。

1 要求水域探测使用的仪器设备,特别是下水部分或易见水部分应防水性好,电缆应具有较好的抗拉性;

2 在于地质雷达法和水上磁测法易受铁磁物质干扰,故需用木船;

4 潮差观测是海域探测重要的工作环节,其观测数据是成果资料解释的依据之一;

5、6 在于各物探方法对行船速度、耗电量等都存在差异,所以应选择满足任务要求的船只;

7 提醒水上探测常规测量定点方法不适用,必须使用 GPS 等先进的定位技术。

6.8.4 水域探测由于潮汐会产生振动干扰及水深变化,资料解释时必须进行深度校正(潮差改正);地震法工作时还应采用适当数据处理的方法以压制水底多次反射波和交混回响效应产生的干扰波。

6.8.5 根据相关资料和标准,浅地层剖面法精度评价可用记录分辨率控制,水上磁测法可用各测线交点的地磁异常值的均方根误差来评价。

7 地下管沟与坑室探测

7.1 地下管沟

7.1.1 电力行业地下管沟探测的对象包括:埋设于地下的给水、排水、燃气、热力、工业等各种管沟(道)以及电力和电信电缆。

地下管沟探测通常需要查明地下管沟的平面位置、走向、埋深(或高程)、规格、性质、材料、数量等,并编绘地下管线图,应根据探测对象及现场条件选择一种方法或综合探测方法。现场条件复杂时,宜采用综合探测法。

地下管沟探测方法有:直流电法(电测深法、高密度电阻率法、充电法);电磁波法(地质雷达法、夹钳法、示踪电磁法、电(或磁)偶极感应法);弹性波法(浅层反射波法、地震影像法、声波法);磁法(磁场梯度法、磁梯度法);红外辐射法等。

地下管沟探测方法已非常成熟,国内外已有多种类型地下管沟探测专用仪器,一般都属电磁波类,按探测信号类型分为主动源和被动源两种,可直接(或经简单计算)读出地下管沟的平面位置和埋深,使用地下管沟探测专用仪器应符合其配套的说明书的规定。

使用其他常规的地球物理探测方法需要对采集数据进行反演解释确定其位置参数,各工作环节应符合本规程及相关标准的规定。

7.1.2~7.1.4 分别对金属管道、非金属管沟、电力电缆及电信电缆的探测方法选择作了一般规定。

采用地质雷达对非金属管道进行探测时,应选用与探测对象的埋深和管径相匹配的发射频率和合适的接收天线;在一个探测点上应做两次以上的往返测量,以确认异常的可靠性;如探测对象

无明显异常,应在该探测剖面前后做反复多次测量,以利于发现异常;对不明显的管线异常要进行开挖验证;要在探测点附近的已知管线上做雷达试验剖面用以确定介电常数和波速。

7.1.5 采用电(或磁)偶极感应法探查地下管线时,应使管线回路和收发系统的电磁波传递处于最佳耦合状态,保持最佳收发距离,使接收机既能接收到足够强的地下管线感应电磁场,又不受发射机一次场的干扰。

用专用地下管线仪测定管线平面位置的方法有极大值法和零值法,一般情况下宜采用极大值法,在无干扰电磁场的条件下也可采用零值法。

用专用地下管线仪定深时,方法有直读法、比值法等,选用何种方法定深,一是应根据方法试验确定,二是应根据不同仪器的特定观测系统采用相应的定深方法,有电磁波干扰的情况下一般不宜采用直读法。定深的管线点,一般情况下应选在被查管线前后至少4倍埋深范围内是单一的直管线,中间无分支或弯曲且相邻平行管线之间的间距应大于被查管线埋深的1.5倍以上,或其干扰能被有效抑制。上述条件未能满足时,仪器的读数可作参考。

7.1.7 地下管沟探测定位精度标准是考虑现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61的精度要求、相关从业人员经验、电力行业管沟探测对象的特点及物探手段等多种因素综合制定的。

7.2 地下坑室

7.2.1 常见的地下坑室包括防空洞、采空区、采金洞、窑洞、坎儿井、地窖、地道、地下碉堡、墓穴等人工修建或人类活动形成的地下隐蔽空间,地下坑室探测的内容包括埋深、规模、走向及空间尺寸等参数,判断其垮塌及充填情况等。地下坑室与岩溶、土洞等天然洞室的一个显著区别是既有规律可循也有线索可访,因而单列一节。

地下坑室在大多数情况下为埋深不大的空腔体,物探方法比

较容易探测。当地下坑室埋深很大且有充填物时如采空塌陷区,物探工作往往要困难一些。

7.2.2 除了不同深度外,物探方法选择还应综合考虑工作效率、探测精度、现场干扰环境等。例如尽管地质雷达对埋深不大的地下坑室具有很高的探测精度,但如果测区电磁干扰严重或者地下坑室上覆地质体电阻率很低,则应排除地质雷达法。表层有较厚的水泥地面或基岩等高阻屏蔽层,地震检波器或电极难以打入,而地质雷达、瞬变电磁则不受这些条件制约,因而各种因素要全面考虑,综合选用适宜的方法。

7.2.3 地下坑室不同于自然形成的岩溶洞穴或土洞,由于有人类参与,大多数情况下其埋深、规模、走向等都可以通过调查走访得到。这些信息不但对物探现场工作作用较大,如测线布置、观测系统的选择、参数设置等,而且对资料解释很有用,往往能达到事半功倍的效果。

7.2.4 物探资料对地下坑室空间尺寸进行定量解释时,应充分依靠收集到的资料或井中探测法资料,提高成果的可靠性。

采用瞬变电磁法或大地电磁测深法探测埋深较大的地下坑室时,由于这两种方法探测精度较低若又缺乏勘探资料对比,资料解释宜进行定性分析,定量解释需慎重。

7.2.5 地面物探方法在没有收集到任何地下坑室资料的情况下,其探测的精度相当于地面物探方法探测溶洞或土洞的精度。在通常有一定资料可用的情况下,探测地下坑室的精度往往较高。采用井中探测法时,地下坑室与溶(土)洞的探测精度相当,都很高。

8 岩土特性指标测量

8.1 电 性 参 数

I 土壤电阻率

8.1.1 电力行业土壤电阻率测量目的是通过对测区内一定深度范围内的岩土电阻率进行测试,为接地系统设计提供基础资料依据。常用的测量方法有对称四极电测深法、瞬变电磁法和大地电磁法(MT),其中直流对称四极电测深法为直接测量方法,后两者则为间接测量方法。可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)也属间接测量方法,目前应用较少,需要时可参考相关标准。

8.1.2 本条对各方法适用的探测深度作了详尽规定,具体到工程中应根据任务要求测量的深度选择一种或几种测量方法。

8.1.3 本条对发电项目土壤电阻率测网密度作了一般规定。在发电项目冷却塔、烟囱地段及主要设备(变压器、进出线走廊、控制室、避雷器)位置应进行加密测量。场地地电条件较复杂时,应适当增加测点,在灰场、煤场地段及附属建筑物(检修间、材料库、生产行政综合楼)位置可适当删减测点。

8.1.6 测区原状土与开挖整平场地的回填土,其土壤电阻率差异较大,因此第1款规定应在回填土层施工完成固结一段时间后再进行测量;浅层土壤电阻率受地表土壤湿度影响较大,故第2款规定不应在雨后立即进行测量;第3款规定“十”方向上放线测量的目的是为详细了解不同方向上电阻率值大小。

8.1.7 同一剖面上用不同方法测定的电阻率值会有重叠和差异,应进行综合分析评判后选用。

II 大地导电率

8.1.9、8.1.10 在输电线路项目中测量大地导电率,目的是通过对沿线大地导电率的测试,为设计采取必要的措施消除输电线路对邻近走向的通讯线运营时产生静电干扰,提供基础资料依据。

电力行业大地导电率测量一般都采用对称四极电测深法,本节对大地导电率测量各工作环节的规定都是针对该方法。若使用电流互感法、线圈法及偶极法时,可参照相关标准执行。

地质资料判定法是根据普查的深层地质图或钻探的深层地层资料,利用已知各类岩土体的电阻率或导电率判定大地导电率的一种方法,该方法不能精确确定大地导电率,一般可作为工程前期参考使用或由于客观条件制约无法在现场测量时使用。

8.1.12 本条对外业工作作了规定。

1 考虑到 50Hz 电流的最大渗透深度可达数千米,为取得 300m~500m 有效深度的大地导电率值,对应的最大供电距取 900m~1500m,一般在平原和丘陵地区宜采用 900m,山区宜采用 1500m;

2 根据电力行业工作经验,从保证资料解释的精度角度规定了总电极数不宜少于 9 个;

3 因大地导电率具有各向异性,从设计方需要了解沿线路方向的大地导电率值角度作出规定。

8.1.13 量板法:实测曲线与理论量板相对比,求得测点垂直深度内各岩层厚度及电阻率,用拉德列夫曲线换算 50Hz 或任意频率下的大地电导率值;简化法:以温耐尔装置所测的曲线与简化曲线量板的纵横坐标轴重合相交,直接求得大地电导率值。

8.1.14 对称四极电测深法测量大地导电率的精度和土壤电阻率测量精度评价方法相同,因此按本规程第 8.1.8 条执行。当采用电流互感法、线圈法、偶极法测量大地导电率时,其测量精度应符合相关标准要求。

Ⅲ 杂 散 电 流

8.1.15 杂散电流是指不按照规定回路流回电流源的电流,它能加速金属管道的腐蚀,对地下金属管网的电化腐蚀、使用寿命、安全运行影响很大。由于火力发电厂处于强电磁环境中,产生的杂散电流强度大,这就给电厂循环水、给排水金属管线的正常运行带来安全隐患,因此在运行期间需要测量土壤杂散电流,为排流设计提供依据。

在工业生产中常用的杂散电流测试的主要方法有两种,即管地保护电位的连续监测法和土壤电位梯度检测法。在电力行业,推荐使用土壤电位梯度检测法。

8.1.16 本条规定了杂散电流测试仪器的选择原则。需要指出的是,杂散电流测量本身是在强电磁干扰环境中进行的,为了保证测试结果的准确性,测试所用的仪器必须具有防电磁干扰特性。

8.1.17 本条参比电极指的是接地电极。

进行土壤电位梯度测试时,两只参比电极之间的电压数值往往较小(多为几十毫伏以下),如果两电极之间的电极电位固有偏差较大,会直接影响测试值的准确性。因此测试前需要对参比电极进行配对,选择电极电位相近的参比电极作为统一测试方向的电极。参比电极的电位偏差需根据现场实测数据确定。

8.1.18 杂散电流强弱判断指标中,电位梯度是以不极化电极电位为标准制定的。因此,比对电极采用其他材质时,必须换算成相对于饱和硫酸铜电极的电位。

杂散电流强弱判断指标表引用现行行业标准《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017—2006 表 3.0.2-2。

8.2 动力特性参数

I 波 速

8.2.1 波速测试的目的是通过现场弹性波试验得到土层的剪切波波速、压缩波波速,计算地基的动弹性模量、动剪变模量和动泊

松比,进行场地土类型的划分和场地土层的地震反应分析。

电力行业波速测试方法主要采用单孔检层法和跨孔法,瑞雷波法使用相对较少。这几种方法测试深度不应超过 150m。

这几种方法中,跨孔法精度最高,单孔检层法次之,瑞雷波法测试深度较浅且精度较低。一般情况下,当建设场地有钻井(孔)时,建议采用单孔检层法或跨孔法;无钻井(孔)且覆盖层较薄时,可采用瑞雷波法。

8.2.3 本条对外业工作作了规定。

1 规定在实际工作中应严格执行,波速测试时经常遇到因施测孔缩颈、卡塞异物等导致检波器无法取出的情况,即使侥幸取出,也会对检波器造成损害;水域波速测试时,如果检波器被卡,往往只能放弃;

2 当建设场地地貌单元较复杂时,可根据地貌单元布置波速测试孔,每个地貌单元不宜少于 3 组;

4 考虑跨孔法测试时,如果孔间距离太大,接收到的波的初至有可能是折射波的初至,按此时间计算的波速将比实际地质体的波速值高;如果孔间距太小,由于波在钻孔之间传播时间太短、读取时间的相对误差就会增大,从而降低测试精度。跨孔法测试深度大于 15m 时,为了减小因钻井(孔)倾斜导致的误差,要求进行孔斜测试;

5 规定对振动信号进行多次叠加的目的是为了提高信噪比,如果发现异常信号,应该删除。

8.2.4 本条各款的考虑与含义如下:

1 采用软件自动计算的波速值,由于种种原因,个别点可能与实际地质体不符,这时需要人工干预,保证测试结果的可靠性;

2 V_R 和 V_s 的换算关系式,是基于压缩波(P波)初至到瑞雷波(R波)初至之间的 1/3 处为剪切波(S波)波组初至,且与具有很好的相关性而得出的,由于第四系地层的泊松比 μ 一般为 0.37~0.49,故 $V_R = (0.938 \sim 0.954)V_s$,可以认为对土体而言,

V_R 与 V_s 基本相等,其误差只有5%左右;

3 利用等效剪切波速评价场地类别可按照现行国家标准《建筑抗震规范》GB 50011 相关条款执行。应注意的是,当等效剪切波速值在临界值附近时,场地类别评价应结合场地地质条件、地脉动测试结果、标贯资料及已有的场地类别划分区域资料等综合分析。

II 地 脉 动

8.2.5、8.2.6 地脉动测试是根据地脉动的振幅及周期特征,了解地基土的动力特征,预估地脉动与强震时地面运动的相关关系,为评价场地或场地分类及地震小区规划提供依据,为拟建工程选择地基和基础结构形式提供依据。

电力行业进行地震安全性评价时都要进行地脉动测试。一般发电和变电项目建设距居民区较远,测试方式主要采用地面测试。如果建设场地距居民区较近,建议采用孔中测试。

8.2.7 本条各款的考虑与含义如下:

1 每个建设场地的地脉动测点不应少于3个,若同一建设场地有不同的地质地貌单元,其地质体结构不同,地脉动的频谱特性也有差异,此时可适当增加测点;每个测点在 x 、 y 、 z 三个方向布置传感器是考虑到有些场地的地质体具有方向性,如第四系冲洪积地层不同的方向有差异;基岩的构造裂隙也有方向性,因此要求沿三个方向布置传感器;

2~4 对孔中测试现场工作作了规定;

5 测点选择是否合适,直接影响地脉动测试的精确程度,如果测点选择不好,微弱的地脉动信号可能淹没于周围环境的干扰信号之中,给地脉动信号的数据处理带来困难。

8.2.8 可根据场地地脉动记录及周期-频度曲线,结合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 评价场地类别:

I类场地:以基岩或坚硬土层为代表的坚硬场地土,其主要周期成分为0.1s~0.2s;

Ⅱ类场地:以洪积层为代表的硬而厚的场地土,其主要周期成分为 $0.2s \sim 0.4s$;

Ⅲ类场地:以冲积层为代表的软而较厚的场地土,其主要周期成分为 $0.4s \sim 0.6s$;

Ⅳ类场地:以人工回填土和淤泥类土为代表的异常松软而很厚的场地土,其主要周期成分为 $0.6s \sim 0.8s$ 。

Ⅲ 弹性系数、刚度及阻尼比

8.2.9、8.2.10 弹性系数、动刚度及阻尼比等参数是计算动力机器基础的关键数据,数据的选用是否符合实际,直接影响到基础设计的效果,而测试方法不同,由测试资料计算的地基动力学参数也不完全一致,因此测试方法的选择应与设计基础的震动类型相符合。电力行业发电项目为周期性振动的机器基础,应在现场采用强迫振动测试。

8.2.11 本条各款的考虑与含义如下:

1 由于地基的动力特性参数与土的性质有关,如果试验基础下的地基土与设计基础下的地基土不一致,测试资料计算的动力参数就不能用于设计基础;

2 基础的高度太大,挖土或填土增加工作量;高度太小,基础质量小,基础固有频率高,如激振器频率不高,就给测共振峰带来困难,因此基础的高度要合适。条文规定的尺寸对承载力达到 $200kPa$ 的黏土来说,基础的固有频率已超过 $30Hz$ 。基础的地面一般为矩形,为了使试验基础与设计基础类似,规定必须采用条形基础,且长宽高具有一定的比例;

3 根据相关资料记载及电力行业的经验,桩基础下采用 1 根桩,测试效果不好,2 根~4 根桩效果较好。如果选择 4 根桩,测试费用会增大,因此条文规定为 2 根桩。另外桩数过多,桩基固有频率增大,很难测出共振峰。条文对桩台与桩轴之间的距离、桩间距的规定主要是考虑 2 根桩测试资料计算参数较为方便;

4 基础顶面不平整,会导致基础与激振器底面的接触不好而

影响测试效果。基坑坑壁至测试基础侧面的距离应大于 500mm,其目的是为了做桩基的明置试验时,基础侧面四周的土压力不会影响到基础地面土的动力参数;

5 测试基础混凝土强度过低,基础可能在测试中被震裂,从而影响测试结果;桩基础由于共振频率大,激振力强,建议基础混凝土强度不低于 C40;

6 预留孔太小,灌浆不方便。螺栓长度不小于 400mm,主要是为了保证在受动拉力时有足够的锚固力不被拉出。

8.2.12、8.2.13 一般的稳态激振器的最大激振频率足以满足天然地基或人工地基动参数的测试要求,但在桩基础的动力参数测试过程中,桩基础的竖向固有频率和最大峰值往往会由于桩径及长度较大而增高,从而用机械式激振器激励无法使桩基在该方向达到谐振,导致测试工作困难。电力行业采用的混凝土灌注桩就具有这样的特点。根据西北电力设计院的经验,大多数情况下,市场上的机械式激振器的最大激振频率无法满足电力工程桩基动参数测试的要求,而使用满足要求的其他激振器时,测试成本将会大幅度增加。在陕西韩城第二发电厂试桩工作中,西北院与西安交通大学结构与振动国家重点实验室合作,在现场采用冲击激振和稳态激振结合的方法采集数据,利用最小二乘拟合算法对试验数据进行了处理,并计算桩基动力参数,取得了良好的测试结果,后经多个工程实践验证,该方法原理科学、测试方法简单、测试结果可靠。

8.3 土壤热参数

8.3.1 高压直流输电线路接地极在有源状态下以单极大地回路运行时,强大的直流电流持续地通过接地极注入大地会产生热力效应,热力效应会使接地极土壤温度升高,如过多热量不能及时散去,温度升高到一定程度时,土壤的导电性会变差,电极运行将不稳定。因此有必要及时将这些热量散发掉,使接地极土壤的热稳

定性满足要求,这就需要得到接地极址可靠的土壤的热导率、容积热容率及热扩散率等热参数,据此合理设计接地极尺寸。

直埋电缆运行时也会产生大量的热量,如果不将这些热量散发掉,可能会造成电缆过热而发生故障。因此,散发掉多余的热量也需要提供准确的土壤热参数,为设计选择电缆材料及采取防护措施提供依据。

土壤热参数测试方法很多,但除双探针法外,都需要取样在室内用多方法才能完成三个热参数测试。电力行业推荐在现场采用双探针法。

8.3.2 采用除双探针法以外的测试方法,可参考相应的标准执行。

8.3.4 本条规定的目的是制备合适的土样,降低测试误差。

8.3.5 现场测试需在一定深度进行,因此需预先挖好探坑或探槽,开挖过程中需使坑(槽)壁土壤保持原始性状,严禁扰动。

8.3.6 土样的风干、半风干及饱和三种状态是三种典型含水量状态,需要在室内配置或控制完成。

8.3.7 满足第2、3款可以测试出一年中最热和最冷时的地温及地温在一天内的变化情况。

8.3.8 本条对测试提交的成果作了一般规定。在实际工作中还应根据设计要求及选用的测试方法进行补充添加。

8.3.9 室内测试条件易控制,所以测试精度要高于现场测试。

8.4 放射性指标

8.4.1 本标准中放射性指标特指岩土工程环境放射性指标,放射性指标测试内容包括 γ 辐射强度、土壤氡及其子体浓度及土壤表面氡析出率等。条文中氡浓度法包括了目前土壤氡及其子体浓度测量的所有常用方法,如径迹蚀刻法、活性炭法、双滤膜法、电离室法、静电收集法、闪烁瓶法、金硅面垒型探测器等方法,这些方法专业性及针对性极强,使用时可参照相应标准执行。

8.4.2 土壤氡及其子体浓度测试时需要在地表下一定深度采集样本,有时由于表层土壤太薄,土壤氡及其子体浓度测试无法进行,这时可通过在地表测量土壤表面氡析出率对场地的氡气含量水平作出评价。

8.4.3 现行国家标准《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583 对 γ 辐射强度测量的各个环节规定得非常详细,可参考执行。

8.4.4 如第 8.4.1 条文说明所述,氡浓度法包含的方法很多,各方法使用的仪器设备不尽相同,这里只对仪器性能作了一般性规定。

土壤氡及其子体浓度、土壤表面氡析出率测量时测区范围应与岩土工程勘察范围相同,以 10m 间距作网格,各网格点即为测试点(当遇较大石块时,可偏离 $\pm 2\text{m}$),但布点数不应少于 16 个。布点位置应覆盖基础工程范围。

8.4.5 对土壤表面氡析出率测量过程需要把握的要点是:使用聚集罩时,罩口与介质表面的接缝处应当封堵,避免罩内氡向外扩散(通常情况下,可在罩沿周边培一圈泥土,即可满足要求);对于从罩内抽取空气测量的仪器类型来说,应更加注意;被测介质表面应平整,目的是保证各个测量点过程中罩内空间的体积不出现明显变化;测量的聚集时间等参数应与仪器测量灵敏度相适应,以保证足够的测量准确度。

本规程关于壤氡及其子体浓度、土壤表面氡析出率测量方法未尽之处可按照现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325 的相关规定执行。

本规程关于土壤样品的采集未尽之处可参照现行行业标准《辐射环境监测技术规范》HJ/T 61 的有关要求执行。

岩土工程施工质量检测

9.1 基 桩

9.1.1 基桩(包括预制桩、混凝土桩、钢桩)是目前电力工程对待不良地基时采用的主要方法之一,因此桩基检测任务较多。基桩检测的内容主要包括桩身完整性及竖向极限承载力。由于静载试验、钻芯法成本高、难度大,难以大规模应用。电力工程基桩检测主要采用基桩动测法(高、低应变法和声波透射法)及井下电视观察法(孔内摄像法)。

9.1.2 低应变法适用于检测桩的桩身完整性,判定桩身缺陷的程度及位置。高应变法适用于检测单桩竖向抗压承载力,采用实测曲线拟合分析时,可以得到桩侧土阻力的分布和桩端土阻力;检测桩身结构完整性,判断桩身质量及缺陷位置;在预制桩打桩过程中检测桩身应力,进行锤击效率监测,为选择沉桩工艺参数和确定桩长提供依据。

声波透射法适用于已预埋声测管的混凝土灌注桩桩身完整性检测,判定桩身缺陷的程度并确定其位置。

井下电视观察适用于观测管桩内部质量。

9.1.3 混凝土桩达不到龄期或者预制桩桩周土恢复期不够,可能造成检测结果误差较大,或是对工程桩造成破坏,影响使用,故要有龄期限制。

低应变法检测混凝土灌注桩前,应对桩头进行处理,凿去浮浆、打磨平整;高应变法检测前应制作高强度桩头,在桩身传感器安装处开挖坑槽,对桩表面按照相关标准进行处理。除此之外,为确保检测时锤击力的正常传递,对混凝土灌注桩、桩头严重破损的混凝土预制桩和桩头已出现屈服变形的钢桩,检测前应对桩头进

行修复或加固处理;井下电视观察前要对管桩内异物及土塞进行清理。

9.1.4 现场应对低应变法实测曲线进行分析,且每根桩应至少采集到三条曲线备用。对同一根桩进行重复测量时,参数设置也要保持不变。

9.1.6 高应变法检测时,现场应依据相关的安全标准采取措施,确保人员及设备的安全。

当用高应变法确定桩身有关应力参数时,应进行打桩全过程检测。

高应变法锤击落距过大,可能对桩头及传感器造成破坏,严重时可能对仪器及工作人员造成伤害;贯入度太小会影响土阻力的发挥、太大可能使桩头发生破坏,这些都可能给检测结果带来较大的误差。

9.1.8 疑义桩在检测中经常遇见。各方争议较大时,可通过其他方法进一步检测或委托第三方进行检测,以解决问题,化解分歧。

9.1.9 桩身完整性分类、低应变法和声波透射法完整性类别判定应按照现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 相关条款执行。

高应变法资料采用拟合法分析过程中,如果把拟合质量数作为判断的唯一标准,可能导致计算结果出现较大的偏差,甚至错误;井下电视观察时,如果有破损或渗水表明桩身存在质量缺陷。

需要注意的是,基桩检测最终要提交检测结论报告,检测结论不但要对建设方负责,还要对施工单位负责。因此检测结论一定要慎重,要依据检测资料、施工工艺及施工质量等综合判定,确保检测结果客观公正,经得起时间的考验。检测人员应注意经验积累、不断提高自己的检测水平,同时要保持良好的职业操守和职业道德。

9.1.10 根据工程经验及相关资料,进行过桩基试验和动、静对比分析的场地,高应变法检测工程桩的极限承载力精度要高一些,检

测摩擦桩的精度要高于端承桩。

9.2 人工地基

9.2.1 人工地基包括强夯地基、钻孔挤密桩复合地基、灰土挤密桩复合地基、灰土换填地基、砂夹石换填地基和强夯土石墩复合地基等,传统常用的检测方法是原位测试。近年来随着人们对工程物探认识的不断深入,物探方法技术也越来越多地被应用在人工地基检测中。目前比较成熟的方法有瑞雷波法、地质雷达法或 γ - γ 法等,具体工作中应结合检测目的及对象、现场工作条件等进行综合选择。

9.2.2 地质雷达法可以有效地评价处理前后人工地基在垂直及水平方向上的均匀性及其变化,检测桩的长度等。对于柔性桩复合地基,只要合理选择地质雷达天线的发射频率及其组合以及测试参数等,即可检测桩体的几何特征以及整个地基的均匀性。

9.2.3 人工地基的物探检测目前仍处于初级阶段,不同地区、不同土质、不同地基的处理方法,均会影响物探检测的结果。因此,应进行一定数量的对比试验,以验证检测方法的有效性,并建立物探方法与其他方法检测结果的转化经验关系。

9.2.4 γ - γ 法在本规程中已作了规定,采用散射法和透射法时可参照相关标准执行。

由于人工地基现场电磁干扰及旁侧影响物较多,因此采用地质雷达进行地基处理深度检测时,可采用屏蔽天线来减少外界干扰对检测结果的影响。

9.2.5 瑞雷波速是瑞雷波方法的直接结果,但其值及其变化量与承载力及其变化之间目前还没有确切的定量关系。目前由瑞雷波速得到地基承载力的方法一般有两种,一种根据已有资料直接建立瑞雷波速与地基承载力之间的经验关系,再根据经验关系计算地基承载力;另一种是根据已有的瑞雷波与剪切波速之间的关系,以及剪切波速与标准贯入试验击数之间的关系,标准贯入试验击

数与地基承载力之间的关系,间接确定地基的承载力。

虽然目前由瑞雷波速确定地基承载力的研究已经很多,提出了许多经验关系,但大都是针对地区性经验得出的,缺乏系统性。在工程实际应用中,应有载荷试验或其他可靠方法的对比,才能采用瑞雷波法评价地基的承载力。

为了对比处理前后的效果,应对处理前后的测试参数进行对比。

相对工程关心的承载力和变形模量来说,物探方法得到的结果一般为间接结果,需要通过额外的试验或经验确定其关系,从而确定人工地基合格的标准。

9.2.6 地质雷达检测人工地基处理深度的误差,相当于利用地质雷达进行第四系地质分层的精度及探测覆盖层厚度的精度。理论上讲,由于人工地基处理后介电常数会与下伏持力层较处理前差异更大,精度应更高一些; γ - γ 法检测人工地基的密度及含水量的相对误差以实验室结果作为对比标准。

9.3 锚固工程

9.3.1 一般来讲,衡量锚杆锚固质量的两个主要指标为锚固状态和锚固力。锚固状态是指锚固段长度、自由段长度、密实度和施工缺陷等,锚固力是指现场拉拔试验过程中临界破坏点的拉拔力。物探方法对锚固工程的检测主要是针对锚固状态的检测,对于锚固力的检测则一般是通过检测锚固段的有效锚固长度,再估算锚固力。

锚杆锚固材料不一定是砂浆,但本规程主要针对砂浆锚固锚杆质量检测进行规定,对于其他锚固材料,应在进行必要的、一定数量的试验后使用。

目前较成熟的锚固工程物探检测方法为声波反射法,其测试原理与基桩低应变法测试类似,为声波在杆件中的传播和反射,但测试信号频率较高,需要较高的采样率和采样精度。

近年来已有一些厂商开发出了专门的锚杆检测仪。专门锚杆无损检测仪的原理与低应变检测仪原理没有本质差异,但在传感器、激振、频率响应、界面处理等方面充分考虑了锚杆检测的实际情况,所以,本规程所指的锚杆无损检测仪应是国家质量技术监督部门批准生产,并经检定合格的专门锚杆无损检测仪。选用专用锚杆无损检测仪时,其主要性能应满足下列要求:

1 激振器的激振频率应能涵盖被检测锚杆的优势频率范围并在 $0.1\text{kHz}\sim 50\text{kHz}$ 之间,振源频带宜选择宽频带,激振器余振宜短且可控;

2 接收系统:接收仪器应具有浮点放大功能,增益大于 30dB ,频带宽度为 $10\text{Hz}\sim 5\text{kHz}$,采样间隔 $0.5\mu\text{s}\sim 1000\mu\text{s}$;接受传感器频带宽度宜为 $10\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$,在线性影响范围内,加速度传感器的电荷灵敏度宜为 $10\text{pc}/\text{m}/\text{s}^2\sim 20\text{pc}/\text{m}/\text{s}^2$,速度传感器的电压灵敏度宜为 $50\text{mV}/\text{cm}/\text{s}\sim 300\text{mV}/\text{cm}/\text{s}$ 。

9.3.2 锚杆声波反射法检测理论模型为一维弹性杆件。锚杆杆体的直径发生变化时,杆体阻抗也发生变化,检测信号较复杂,影响检测的准确性和可靠性。平整的杆端便于安装激振器激振和接收传感器,有利于提高激振信号和接收信号的质量。外露段过长时,杆端易产生自振,影响检测质量。

9.3.3 锚杆模拟试验有室内和现场两种途径,模拟锚杆的室内试验是指在内径与锚杆孔径相同的 PVC 或 PE 管中,模拟施工缺陷锚杆进行试验,试验后可将锚杆外壳剖开,与测试结果进行对比分析。模拟锚杆的现场试验是针对不同地质条件在施工现场进行原体试验,主要测试杆系波速、不同围岩条件对检测波形的影响。重复性检验是科学试验最重要的手段,三次重复是一般试验的要求,三次重复操作至少有两次重复的结果基本一致,如三次重复操作结果不一致,则该记录不能被采用。

9.3.4 从锚杆端部发射的弹性应力波,在向锚杆底端传播的过程中,当砂浆的充填不均匀、不密实时,将产生反射和透射。通过反

射波的波幅和相位特征及相应的传播时间即可判定锚杆的长度和砂浆的密实度。

对于超声波检测的合格标准,目前一般根据具体工程和试验结果,由设计给出。

9.3.5 锚杆的准确长度一般根据施工记录可以得到,但需要核实是真实的而不是虚报的长度。本条所指的长度误差是相对锚杆实际长度或开挖后的锚杆长度而言的,锚杆砂浆密实度检测误差是相对实验室结果而言的。

10 物探成果报告

10.1 文字报告

10.1.1~10.1.3 与物探工程分级对应,物探成果报告也需区别对待。一级物探工程应编写逻辑严密、内容完整、交代清楚的正式报告,报告内涵应体现但不限于条文规定内容,还要视工程实际补充或强化某些内容;岩土工程施工检测报告通常有行业性模式与要求,若不相符是需要返工的,条文只是提出了基本的(而不是全部的)要求;其他二级、三级物探工程的成果报告允许简化,简化程度可视工程具体情况自定。

10.2 图 表

10.2.1 物探成果报告中的插图及插表可反映选用方法的可靠性、工作过程中各参数选择的合理性及质量控制情况等,也可增加成果报告的技术含量,因此在报告编写过程中可合理选用。

10.2.2 物探成果报告附图和附表是反映物探成果的重要资料,由于采用的物探方法不同及工程的重要性不同,附图和附表的名称、内容也就各不相同。

定性图件通常包括等视电阻率断面图、平面图,曲线类型平面图,视电阻率剖面图,反射地震时间剖面图,面波的视速度断面图,地质雷达剖面图等。

定量图件主要包括:定量解释的物性地质平面图和剖面图、成果曲线图等。

成果表主要有:土壤电阻率(大地导电率)测量成果表、剪切波测试成果表、高(低)应变测试成果表、物探地质解释成果表等。

对比表主要有:综合物探解释成果对比表、物探成果与钻探结果对比表等。

S/N:1580177·941

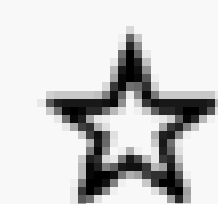


DL/T 5159—2012

中华人民共和国电力行业标准
电力工程物探技术规程

DL/T 5159—2012

代替 DL/T 5159—2002



中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

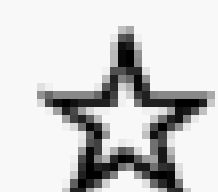
新华书店北京发行所发行

北京世知印务有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 6 印张 152 千字

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—6000 册



统一书号:1580177·941

版权所有 侵权必究

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换