

中华人民共和国行业标准

水运工程物探技术规程

JTS/T 134—2024

主编单位：中交第一航务工程勘察设计院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2025年2月1日

人民交通出版社

2025·北京

交通运输部关于发布 《水运工程物探技术规程》的公告

2024 年第 64 号

现发布《水运工程物探技术规程》(以下简称《规程》),《规程》为水运工程建设推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 134—2024,自 2025 年 2 月 1 日起施行。

《规程》由交通运输部水运局负责管理和解释,实施过程中具体使用问题的咨询,由主编单位中交第一航务工程勘察设计院有限公司答复。《规程》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏(mwtis.mot.gov.cn/syportal/syhz)查询和下载。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部
2024 年 12 月 11 日

制定说明

本规程是根据水运工程标准编制计划要求,由交通运输部水运局组织有关单位,经深入调查研究、广泛征求意见、反复修改完善编制完成。

水运工程因其滨水特性,岩土勘察的物探具有信号易干扰、衰减、探测对象电物理性特殊等特点。为规范水运工程物探,提高水运工程岩土勘察质量,在总结我国水运工程物探实践经验基础上,结合水运工程特点,制定本规程。

本规程共分10章4个附录,并附条文说明,主要包括水底地层剖面仪探测、水域地震映像探测、地质雷达探测、高密度电阻率探测、磁力仪探测、孔内探测、物探报告等技术内容。

本规程主编单位为中交第一航务工程勘察设计院有限公司,参编单位为中交水运规划设计院有限公司、中交第二航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、中交第四航务工程勘察设计院有限公司、长江航道规划设计研究院、华设设计集团股份有限公司、浙江数智交院科技股份有限公司、广东省地质物探工程勘察院。编写人员分工如下:

- 1 总则:戚玉红 冯百全
 - 2 术语:赵居代 周宝江
 - 3 基本规定:赵居代 吕邦来 戚玉红 赵家明
 - 4 水底地层剖面仪探测:武传鹏 殷进宏
 - 5 水域地震映像探测:武传鹏 唐正涛
 - 6 地质雷达探测:彭丁茂 顾敏智
 - 7 高密度电阻率探测:冯百全 彭丁茂
 - 8 磁力仪探测:冯百全 吕邦来
 - 9 孔内探测:蒯志要 肖雄丙 李学文 唐正涛 顾敏智 徐春明 赵家明
 - 10 物探报告:赵居代 徐春明
- 附录A:殷进宏 李学文 赵居代
附录B:肖雄丙 殷进宏 赵居代
附录C:李学文 殷进宏 赵居代
附录D:殷进宏 赵居代

本规程于2024年6月27日通过部审,2024年12月11日发布,自2025年2月1日起施行。

本规程由交通运输部水运局负责管理和解释。各有关单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规程管理组(地址:天津市河西区洞庭路18号颐航大厦,中交第一航务工程勘察设计院有限公司,邮政编码:300220,电话:022-89560088),以便修订时参考。

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(3)
4	水底地层剖面仪探测	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	仪器设备	(7)
4.3	现场工作	(8)
4.4	资料整理	(9)
5	水域地震映像探测	(10)
5.1	一般规定	(10)
5.2	仪器设备	(10)
5.3	现场工作	(11)
5.4	资料整理	(12)
6	地质雷达探测	(13)
6.1	一般规定	(13)
6.2	仪器设备	(13)
6.3	现场工作	(14)
6.4	资料整理	(15)
7	高密度电阻率探测	(17)
7.1	一般规定	(17)
7.2	仪器设备	(17)
7.3	现场工作	(18)
7.4	资料整理	(19)
8	磁力仪探测	(21)
8.1	一般规定	(21)
8.2	仪器设备	(21)
8.3	现场工作	(21)
8.4	资料整理	(23)
9	孔内探测	(26)
9.1	一般规定	(26)
9.2	波速测试	(26)

9.3	电阻率测试	(29)
9.4	跨孔 CT 探测	(30)
9.5	管波探测	(34)
9.6	孔内电视探测	(35)
10	物探报告	(37)
附录 A	常见岩土、水和混凝土主要物性参数	(38)
附录 B	电极系名称、布置及系数	(40)
附录 C	管波探测的岩土性状及工程性质	(41)
附录 D	本规程用词说明	(43)
引用标准名录		(44)
附加说明	本规程主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单	(45)
条文说明		(47)

1 总 则

- 1.0.1 为规范水运工程物探方法及技术要求,保障水运工程物探质量,制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于水运工程水域和陆域的物探。
- 1.0.3 水运工程物探除应符合本规程规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 水底地层剖面仪探测 Underwater Sub-Bottom Profilers Prospecting

利用水底地层剖面仪激发的声波在水底下弹性性质不同的介质内的传播规律,探测水底地形、地层和目标体的物探方法。

2.0.2 水域地震映像探测 Water Area Seismic Reflection Prospecting

水域勘探中,利用仪器检测并记录人工激发地震波的传播时间、振幅、波形等,分析判断地层界面和地质构造的物探方法。

2.0.3 地质雷达探测 Ground Penetrating Radar Prospecting

通过地质雷达发射的高频电磁波在地下介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及接收的反射回波,探测地层特性和目标体的电磁波物探方法。

2.0.4 高密度电阻率探测 High-density Resistivity Prospecting

以岩、土等介质电性差异为基础的一种阵列式物探方法,通过程控方式实现多种装置和电极排列的视电阻率数据采集,获得地下的地电断面分布,实现对目标地质体的探测。

2.0.5 磁力仪探测 Magnetic Prospecting

利用磁力仪发现地磁异常,寻找磁性异常的地质体或目标体的物探方法。

2.0.6 孔内波速测试 Borehole Wave Velocity Logging

在钻孔中通过测定声波或地震波的传播速度来探测钻孔周围岩土体特性的孔内物探方法。

2.0.7 孔内电阻率测试 Borehole Resistivity Logging

在钻孔中利用特制的电极系进行探测岩土视电阻率的孔内物探方法。

2.0.8 跨孔层析成像探测 Cross-hole CT Prospecting

利用钻孔间声波、地震波或电磁波穿透地质体时的走时和能量的变化,通过数学模型计算处理,重建地质体的结构图像,探测目标地质体的物探方法,又称跨孔 CT 探测。

2.0.9 管波探测 Tube Wave Prospecting

在钻孔中利用沿钻孔轴向传播的管波的走时和能量变化,探测钻孔周围一定范围内地质体特性的孔内物探方法。

2.0.10 孔内电视探测 Borehole TV Logging

利用钻孔电视成像仪探测孔壁直观图像,确定孔壁及周围岩土体特征的孔内物探方法,又称钻孔全景光学成像探测。

3 基本规定

3.0.1 水运工程物探可采用水底地层剖面仪探测、水域地震映像探测、地质雷达探测、高密度电阻率探测、磁力仪探测、孔内波速测试、孔内电阻率测试、跨孔 CT 探测、管波探测、孔内电视探测等探测方法,并应满足下列条件:

- (1) 被测对象的尺度具有相应的施工和探测条件,能产生可被探测的地球物理异常场;
- (2) 被测对象与相邻介质具有明显的物性差异;
- (3) 干扰信号对有效信号的观测和识别影响小;
- (4) 不利的地形、地物、环境条件等对探测结果的推断、解释影响小。

3.0.2 水运工程物探可用于下列方面的勘探:

- (1) 确定地层结构、地质构造及其空间分布特征;
- (2) 确定断裂破碎带、软弱层、洞穴、岩溶、采空区、滑坡、地面塌陷等不良地质体的空间分布特征;
- (3) 确定水下或地下障碍物、抛石、管线、人工结构物和隐蔽工程等的空间分布特征;
- (4) 确定地基基础的性状;
- (5) 测定岩土体的波速、动弹性模量、动剪切模量、卓越周期、电阻率等特征指标。

3.0.3 水运工程物探方法的选用应根据物探目的、技术要求、场地岩土特性和水文条件、被探测对象的特性等综合确定,并应符合下列规定。

3.0.3.1 采用单一方法无法完全达到勘探目的时,应选择多种方法进行综合物探。

3.0.3.2 物探方法的选用应充分利用已有资料,遵循合理、有效、经济、由已知到未知、由简单到复杂的原则,宜按表 3.0.3 选用。

表 3.0.3 水运工程物探方法及适用范围

物探方法		适用范围						
		地质分层 地层结构	风化层 及基岩面	岩溶、 采空区	断裂 破碎带、 软弱夹层	抛石、 管线、 沉船等 障碍物	桩位岩溶	岩土体 物性特征 指标
水底地层 剖面仪探测	浅地层剖面探测	●	●	-	-	●	-	-
	中地层剖面探测	●	●	○	○	-	-	-
地震法探测	水域地震映像探测	●	●	●	●	○	-	-

续表 3.0.3

物探方法		适用范围						
		地质分层 地层结构	风化层 及基岩面	岩溶、 采空区	断裂 破碎带、 软弱夹层	抛石、 管线、 沉船等 障碍物	桩位岩溶	岩土体 物性特征 指标
电磁法探测	地质雷达探测	●	●	●	●	●	○	-
直流电法探测	高密度电阻率探测	○	●	●	●	○	-	-
磁力探测	磁力仪探测	-	○	○	○	●	-	-
孔内探测	波速测试	-	-	-	-	-	-	●
	电阻率测试	-	-	-	-	-	-	●
	跨孔 CT 探测	○	●	●	●	-	●	-
	管波探测	-	-	●	●	-	●	○
	孔内电视探测	●	○	●	●	-	○	-

注：●为推荐方法，○为可选方法。

3.0.3.3 采用新技术、新方法时应进行有效性验证。

3.0.4 物探应与钻探、坑探等互相结合、综合应用,可通过钻探或坑探资料确定地层特征和数据信息,建立地层标志层或模型,反演确定被探测对象,有效识别探测对象的地质特征。

3.0.5 物探仪器设备应满足下列要求:

- (1)精度、分辨率等技术参数满足要求;
- (2)处于检定、标定有效期内;
- (3)工作性能稳定,状态良好。

3.0.6 物探应注重安全生产和环境保护。

3.0.7 物探工作程序宜按准备工作、工作大纲编制、现场试验、外业探测、资料整理、物探报告编制等进行。

3.0.8 物探准备工作应满足下列要求:

(1)收集工作区已有的地形、地貌、地质、地球物理、水文、环境、基准点坐标和高程等相关资料,并进行分析研究,确定资料的适用性;

(2)开展现场踏勘;

(3)选择适宜的物探技术方法,配备满足要求的仪器设备;水域物探采用船载浮动平台时选择满足要求的船舶;

(4)根据设计方案、勘探目的、要求、精度和采用的技术方法等,按现行行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)有关规定布设测点、测线,并与地质勘探孔位置相协调。

3.0.9 物探工作大纲编制应符合下列规定。

3.0.9.1 物探工作大纲应根据工程特性、勘察目的与要求、场地条件,结合收集的资料和现场踏勘情况进行编制。

3.0.9.2 物探工作大纲宜包括下列内容:

- (1) 工程概况,包括任务来源、目的、地点、范围、工作量等;
- (2) 技术要求、执行的标准;
- (3) 场地条件,包括地形地貌、地质、水文、环境条件等;
- (4) 技术路线,包括测线布置、物探方法、有效性分析等;
- (5) 工作思路,包括工作方案布置、工作难点、不利条件或因素分析、解决措施等;
- (6) 物探程序、工作内容、质量目标及控制措施;
- (7) 组织机构和设备配备,包括人员、仪器、物探船等;
- (8) 现场试验工作;
- (9) 进度计划与工期安排;
- (10) 危险源及安全、职业健康和环境保护措施;
- (11) 与岩土勘察、测量、设计、施工等专业的协同或配合;
- (12) 预期提交的主要成果图件、成果报告;
- (13) 后期服务。

3.0.9.3 测线间距不应大于同阶段岩土勘察勘探线间距,非网格状布设的主测线上应布置不少于3条的检查线。

3.0.10 物探外业探测前宜结合现场情况和勘探要求进行现场试验,确定探测方法的有效性和数据采集参数。

3.0.11 物探外业探测应包括测量定位、数据采集、数据检查等,并应符合下列规定。

3.0.11.1 测量定位应满足下列要求:

- (1) 测量定位与数据采集同步进行;
- (2) 水域测点的高程根据同步测量的水深和水位确定;
- (3) 测点坐标和高程的允许偏差符合现行行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)的有关规定。

3.0.11.2 数据采集应真实、有效、可靠,并应满足下列要求:

- (1) 采集记录内容包括仪器设备及编号、测点坐标和高程、探测数据、环境数据、探测及现场情况、时间和对探测结果有影响的其他内容;
- (2) 采用纸质记录时,记录标注清楚,签署齐全;
- (3) 采用电子数据记录时,采集的数据能读取,并做好存储及备份。

3.0.11.3 数据检查应满足下列要求:

- (1) 检查在外业探测过程中或外业探测结束后进行;
- (2) 检查方式包括重复探测、检查探测、原始数据检查等;
- (3) 检查内容包括精度分析、误差分析、质量分析与评价等;
- (4) 检查点在测区均匀分布、随机选取,对畸变点、异常点、拟验证点和可疑地段进行复核;

(5) 重复探测点的数量不少于总工作量的 5%。

3.0.12 物探资料整理应满足下列要求：

- (1) 在充分掌握测区探测对象各项物性参数和相关地质资料的基础上进行；
- (2) 与地质资料及其他资料相互补充、相互验证；
- (3) 成果解译经综合分析、对比、研究后确定；
- (4) 出现异常数据时分析原因，必要时进行补充探测或采用其他方法进行勘探。

3.0.13 物探报告应根据探测成果编制。

3.0.14 物探原始资料存档应满足下列要求：

- (1) 分类存档与探测相关的各种记录、图、表和照片等，作业人员与检查校对人员签名齐全；
- (2) 存档资料具有可追溯性；
- (3) 纸质资料与电子资料同时存档，有条件时将数据的采集或处理软件的安装包一并归档；
- (4) 保存期限符合勘察技术要求。

4 水底地层剖面仪探测

4.1 一般规定

4.1.1 水底地层剖面仪探测可用于第四纪覆盖层厚度、沉积层序划分、水底地形、浅埋海底管线和水中障碍物等的探测。

4.1.2 水底地层剖面仪探测的适用条件应符合下列规定。

4.1.2.1 被探测地层与相邻层之间应具有可产生波反射的波阻抗差异。

4.1.2.2 用于水下覆盖层分层时,被探测地层应具有一定厚度,且介质均匀、波速稳定。

4.1.2.3 被探测目标体以上不宜存在影响探测效果的密实砂层、卵砾石层和贝壳层。

4.1.3 水底地层剖面仪探测的作业工况水深宜大于2m,浪高不宜大于0.6m,风力不宜大于6级。

4.1.4 场区环境噪声大的水域,不宜采用水底地层剖面仪探测。

4.1.5 水深小于5m、探测深度不大于10m或底质较软时,水底地层剖面仪探测宜选用船舷固定式仪器,其他情况宜选用船尾拖曳式仪器。

4.1.6 水底地层剖面仪探测的测线测点布置应符合下列规定。

4.1.6.1 测线应根据测区的地质条件和工程要求合理布置。

4.1.6.2 主测线宜与水底地形等深线的总趋势、区域构造走向、探测目标体的走向垂直。

4.1.6.3 主测线间距不宜大于同阶段岩土勘察勘探线的间距,测线宜通过测区内已有勘探孔。

4.1.6.4 检查线宜与主测线垂直且数量不少于3条。

4.1.6.5 测点间距应根据探测目标体的规模、工程地质条件等确定。

4.2 仪器设备

4.2.1 水底地层剖面仪探测仪器设备应由振源装置、接收装置和记录装置三部分组成。

4.2.2 水底地层剖面仪探测的振源装置宜满足下列要求:

- (1) 振源选择压电换能器、电磁、电火花、气枪或参量阵振源;
- (2) 能量大于100J;
- (3) 脉冲激发频率不小于2Hz,频带宽为50Hz~15kHz。

4.2.3 水底地层剖面仪探测的接收装置宜满足下列要求:

- (1) 放大器增益不小于150dB;

(2) 探头灵敏度高于 $1000\mu\text{V}/\text{Pa}$;

(3) 频带宽为 $20\text{Hz} \sim 15\text{kHz}$ 。

4.2.4 水底地层剖面仪探测的记录装置应具有时间变化增益 (TVG) 调节功能和总增益、对比度、门限调节功能。

4.3 现场工作

4.3.1 水底地层剖面仪探测的现场工作应包括仪器设备安装、现场试验、测线测点定位、数据采集和数据检查等。

4.3.2 水底地层剖面仪探测的仪器设备安装应符合下列规定。

4.3.2.1 换能器应考虑水深和波浪的影响,入水深度不宜小于 0.5m 。

4.3.2.2 仪器设备之间应连接良好。

4.3.2.3 发射和接收分离的船舷固定式仪器宜分别安装在船舷两侧,发射和接收一体化的船舷固定式仪器应安装在船舷一侧。

4.3.2.4 船尾拖曳式仪器的拖鱼探头应拖曳在船尾涡流区外。

4.3.3 水底地层剖面仪探测在正式作业前,应在测区内选择代表性场地进行试验并确定最佳采集参数。

4.3.4 水底地层剖面仪探测的测线测点定位应符合下列规定。

4.3.4.1 定位方式宜采用卫星定位系统,作业区域内应有稳定的差分信号。

4.3.4.2 测图比例尺不大于 $1:5000$ 时,定位误差在图上不应大于 1.0mm ;测图比例尺大于 $1:5000$ 且不大于 $1:500$ 时,定位误差在图上不应大于 1.5mm ;测图比例尺大于 $1:500$ 且不大于 $1:200$ 时,定位误差在图上不应大于 2.0mm 。

4.3.4.3 定位数据更新率不应小于 1 次/s。

4.3.4.4 定位天线与测点平面位置宜重合,无法重合时应进行距离修正。

4.3.5 水底地层剖面仪探测的现场数据采集应符合下列规定。

4.3.5.1 作业时船速不宜大于 4kn 。

4.3.5.2 作业期间应同时进行水位测量。水面高程测量可采用人工验潮法或验潮仪验潮法,并应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131) 的有关规定。

4.3.5.3 作业时应与卫星定位同步进行,宜与水深测量同步进行。有同期或近 6 个月内的水深测量资料时,可采用已有的水深测量资料。

4.3.5.4 作业时应按计划测线进行探测,不得随意转弯、掉头、停船。

4.3.5.5 作业期间应详细记录作业班报,内容宜包括测线号、时间、日期、中断情况、偏航情况和处理措施等。

4.3.6 水底地层剖面仪探测的数据检查应符合下列规定。

4.3.6.1 原始资料应满足下列要求:

(1) 仪器自检、校验记录合格;

(2) 测线起止点位置正确;

(3) 班报记录与实测记录的编号、剖面号等信息正确。

4.3.6.2 检查所有设置参数,测量参数有误时应重测。

4.3.6.3 采集的数据信息应完整有效,出现下列情况之一时应补测:

- (1) 数据信息有中断;
- (2) 同一记录相邻两道为坏道或坏道大于 10%;
- (3) 原始记录道有削波;
- (4) 采集记录的长度没有覆盖要求探测的最大深度;
- (5) 定位与探测仪器记录不同步。

4.3.6.4 漏测或实际航迹与布置测线的偏差大于测线间距的 20% 时应补测。

4.3.6.5 地层条件复杂、环境噪声干扰过大,无法读取初至波的旅行时间时应补测。

4.3.6.6 水底地形探测的深度允许误差,水深不大于 20m 时允许均方误差应为 $\pm 0.2\text{m}$,水深大于 20m 时允许均方相对误差应为 $\pm 1\%$,不满足要求时应补测。

4.3.6.7 水下地层剖面探测的深度允许误差,水深不大于 20m 时允许均方误差应为 $\pm 0.4\text{m}$,水深大于 20m 时允许均方相对误差应为 $\pm 2\%$,不满足要求时应补测。

4.4 资料整理

4.4.1 水底地层剖面仪探测的资料整理应包括数据处理、反射界面识别、坐标与高程提取、探测层厚度计算、成果图件绘制等,并应符合下列规定。

4.4.1.1 数据处理宜采用基本增益和基本补偿、TVG 可变增益、水底散射压制、多次波压制、噪声压制、滤波等方法。

4.4.1.2 反射界面的识别应满足下列要求:

- (1) 同一层组反射连续、清晰,并能区域性追踪;
- (2) 层组内反射结构、形态、能量、频率等相似,相邻两层之间有显著差异;
- (3) 主测线与检查线交点处反射界面的识别闭合。

4.4.1.3 提取的高程数据应根据同步验潮取得的水位进行校正。

4.4.1.4 各探测层厚度应根据声波在水下探测层中的传播速度和时间进行计算。

4.4.1.5 成果图件应根据识别的反射界面、估算的探测层厚度等,结合测线和勘探孔资料进行绘制和解释。

4.4.2 水底地层剖面仪探测的成果宜包括下列内容:

- (1) 文字说明,包括项目概况、场地条件、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 测点、测线数据一览表;
- (3) 平面图,包括探测航迹图等;
- (4) 解译地质剖面图;
- (5) 覆盖层等厚度图、风化岩面等高线图。

5 水域地震映像探测

5.1 一般规定

- 5.1.1 水域地震映像探测可用于覆盖层厚度、下伏基岩起伏形态、软硬地层分界、隐伏构造破碎带、水底地形和障碍物等的探测。
- 5.1.2 水域地震映像探测的适用条件应符合第4.1.2条规定。
- 5.1.3 水域地震映像探测的测点测线布置应符合下列规定。
 - 5.1.3.1 测点测线布设应根据勘探目的、要求、精度和方法综合确定。
 - 5.1.3.2 测线宜沿水深或岩土层变化较大的方向布设。
 - 5.1.3.3 测线布置宜与勘探线布置重合或经过测区内已有勘探孔位置。
 - 5.1.3.4 测线布置应预留工作船掉头和测量上线区域。区域探测时宜布置横向检查线。
- 5.1.4 水域地震映像探测宜用于水深大于5m的水域。

5.2 仪器设备

- 5.2.1 水域地震映像探测仪器设备应包括采集控制设备、振源、检波器、触发信号装置和电缆等。
- 5.2.2 水域地震映像探测的采集控制设备宜满足下列要求：
 - (1) 采用多道接收时,各通道的振幅和相位一致,各频率点的幅度差不大于5%,相位差不大于采样时间间隔的一半;
 - (2) 具备采样率选择功能,最小采样间隔不大于0.05ms;
 - (3) 记录长度不小于每道1024样点;
 - (4) 模/数转换位数不小于24bit;
 - (5) 增益动态范围不小于120dB;
 - (6) 可调通频带范围为2Hz~5kHz。
- 5.2.3 水域地震映像探测的振源应满足下列要求：
 - (1) 采用水上连续激振船、气枪、电火花或其他激振方式;
 - (2) 根据勘察深度要求、现场环境和现有设备选择激振方式;
 - (3) 满足探测所需的频率和激振能量。
- 5.2.4 水域地震映像探测的检波器宜满足下列要求：
 - (1) 固有频率误差不大于10%;
 - (2) 振幅误差不大于10%;

- (3)失真率不大于0.2%；
- (4)相位差变化小于1ms；
- (5)绝缘电阻大于10MΩ；
- (6)具有良好的防水性能。

5.2.5 水域地震映像探测的触发信号装置宜满足下列要求：

- (1)采用外触发或内触发方式；
- (2)外触发时延迟时间不大于0.5ms；
- (3)计时准确；
- (4)触发信号振幅能触发地震仪器。

5.2.6 水域地震映像探测使用的电缆应满足下列要求：

- (1)无破损、短路、串道、断道等故障；
- (2)道间绝缘电阻大于10MΩ,对地电阻大于20MΩ。

5.3 现场工作

5.3.1 水域地震映像探测现场工作应包括仪器安装、现场试验、测线测点定位、数据采集、数据检查等。

5.3.2 水域地震映像探测仪器设备安装应符合下列规定。

5.3.2.1 单道接收换能器应安装在水面以下可靠且稳定的护罩内,并与船体之间使用绳索等软连接。

5.3.2.2 多道接收换能器应安装在水面下同一深度处,接收换能器位置应避开工作船螺旋桨的水流影响区域。

5.3.2.3 激振船的拖拽或绑固应牢靠,连接电缆应固定安全、无浸水和被船挤压现象。

5.3.3 水域地震映像探测在正式作业前,应在测区内选择代表性场地进行现场试验并确定探测系统、采集参数和激发方式。

5.3.4 水域地震映像探测的测线测点定位应符合第4.3.4条的规定。

5.3.5 水域地震映像探测的数据采集应符合下列规定。

5.3.5.1 作业时船速不宜大于4kn。

5.3.5.2 作业时应与卫星定位同步进行,宜与水深测量同步进行。有同期或近6个月内的水深测量资料时,可采用已有的水深测量资料。

5.3.5.3 仪器增益、记录长度、采样间隔、延迟时间等参数应根据勘探场地的具体情况并结合试验结果合理选择,各道采集到的地震波应完整有效,地层突变时应及时调整探测参数。

5.3.5.4 检波器道间距应小于探测深度所需视波长的1/2,每道采样点数不应少于1024个。

5.3.5.5 检波器应沉入水中0.5m~1.0m,各检波器的沉入深度应相同。

5.3.5.6 多道探测记录的近振源道不应出现削波。

5.3.5.7 数据采集过程中应同时检查和调整振源和接收换能器的工作姿态。多道探

测的接收换能器位于工作船尾时应有专人看管。

5.3.5.8 数据采集过程中应测记水位变化,并应实时记录实际探测航线。

5.3.5.9 数据采集应及时存储、备份,并详细记录作业班报,班报内容宜包括测线号、时间、中断情况、偏航情况和处理措施等。

5.3.6 水域地震映像探测的数据检查应符合第4.3.6条的规定,并应满足下列要求:

- (1) 激振波的振幅大于干扰波振幅的2倍;
- (2) 多道探测时各记录道的波形、振幅和振动延续度具有相似特征。

5.4 资料整理

5.4.1 水域地震映像探测的资料整理应包括数据处理、生成映像图、确定地层界面、提取平面坐标和高程数据、绘制解译地质剖面图等,并应符合下列规定。

5.4.1.1 数据处理使用的软件宜满足下列要求:

(1) 具有采集参数的检查与改正、采集文件的组合拼接、成批显示、分辨坏道、处理等功能;

(2) 具有分频滤波功能。

5.4.1.2 数据处理宜采用数据加载、删除坏道、噪声压制、多次波压制、增益调整、滤波、反褶积等方法。

5.4.1.3 地震映像图应在数据处理后生成输出。

5.4.1.4 地层界面的确定应满足下列要求:

- (1) 同层的划分反射界面连续、清晰,并能够区域性追踪;
- (2) 不同层之间反射界面存在显著差异;
- (3) 主测线与检查线的交点处反射界面重合。

5.4.1.5 平面坐标和高程数据的提取应满足下列要求:

- (1) 平面坐标数据由软件生成、输出;
- (2) 高程数据根据同步验潮取得的水位进行校正;
- (3) 根据激振波在水下探测层中的传播速度和时间,计算水下各探测层厚度,并进行层厚校正。

5.4.1.6 解译地质剖面图应根据提取的平面坐标和高程数据、研判的地层界面等,结合钻探资料进行绘制和解译。

5.4.2 水域地震映像探测成果宜包括下列内容:

- (1) 文字说明,包括项目概况、场地条件、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 测点、测线数据一览表;
- (3) 平面图,包括测点测线图等;
- (4) 地震映像图;
- (5) 解译地质剖面图;
- (6) 地层界面等高线图;
- (7) 同步探测的水深图。

6 地质雷达探测

6.1 一般规定

6.1.1 地质雷达探测可用于陆域和淡水浅水区域的工程地层岩性变化、岩溶分布、抛石分布、地下管线的探测和工程质量无损检测等。

6.1.2 地质雷达探测的适用条件应符合下列规定。

6.1.2.1 探测目标体与周边介质之间应存在明显介电常数差异,探测目标体应电性稳定、电磁波反射信号明显。

6.1.2.2 目标体应在仪器探测深度或距离范围内,其尺寸应满足探测分辨率的要求,探测目标体竖向厚度应大于电磁波有效波长的 1/4。

6.1.2.3 测区内不应存在大范围金属构件或无线电发射频源等较强的电磁波干扰源。

6.1.2.4 在淡水浅水区域探测时,宜在水深小于 3m、目标体埋深小于 10m 的情况下作业。

6.1.2.5 地质雷达探测不宜用于探测高导电屏蔽层下的目标体或目标层。

6.1.3 地质雷达探测的测线、测网布置应符合下列规定。

6.1.3.1 测点、测线、测网的布设应根据探测目的、任务要求、方法特点等确定。

6.1.3.2 测网密度应能覆盖探测目标,最小目标体应有探测异常显示,且异常测点数不应少于 3 个;测线宜穿过已有勘探孔。

6.1.3.3 测线宜布设在地形相对平缓、无障碍的位置,避开地形、地物和其他干扰的影响。

6.1.3.4 水域探测时,在满足探测要求的前提下,测线宜选择顺流方向布设。

6.2 仪器设备

6.2.1 地质雷达探测仪器设备宜满足下列要求:

- (1)具有多种实时监测显示方式;
- (2)具有信号叠加功能;
- (3)具有多种主频天线;
- (4)模/数转换位数不小于 16bit;
- (5)点测时具有多次叠加功能;
- (6)连续测量时扫描速率不小于 128 次/s。

6.2.2 地质雷达探测使用的天线应根据工作条件和探测对象进行选择。探测时宜选择频率为 10MHz ~ 2000MHz 的天线,多个频率的天线均符合探测深度要求时,应选择频率

较高的天线。

6.3 现场工作

6.3.1 地质雷达探测现场工作应包括仪器设备安装、现场试验、测线测点定位、数据采集、数据检查等。

6.3.2 地质雷达探测仪器设备应安装牢固、连线正确,满足现场探测需要。

6.3.3 地质雷达探测现场试验应符合下列规定。

6.3.3.1 工作参数选择应满足下列要求:

(1) 天线中心频率按式(6.3.3-1)计算:

$$f = \frac{150}{x \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.3.3-1)$$

式中 f ——天线中心频率(MHz);

x ——要求的空间分辨率(m);

ϵ_r ——介质的相对介电常数,可按附录 A 选择;

(2) 时窗宽度按式(6.3.3-2)计算:

$$w = 1.3 \times \frac{2h_{\max}}{v} \quad (6.3.3-2)$$

式中 w ——时窗宽度(ns);

h_{\max} ——最大探测深度(m);

v ——上覆地层电磁波平均速度(m/ns);

(3) 测点间距满足式(6.3.3-3)的要求:

$$n_s \leq \frac{75}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.3.3-3)$$

式中 n_s ——测点间距(m);

(4) 天线间距按式(6.3.3-4)计算:

$$s = \frac{2h_{\max}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.3.3-4)$$

式中 s ——发射与接收天线的间距(m);

(5) 采样间隔的设置满足尼奎斯特定律,且满足式(6.3.3-5)的要求:

$$\Delta t \leq \frac{1000}{6f} \quad (6.3.3-5)$$

式中 Δt ——采样间隔(ns)。

6.3.3.2 现场试验宜包括下列内容:

(1) 调查测区内有效波和干扰波的分布规律;

(2) 确定测量方式和工作参数;

(3) 根据试验结果,结合探测深度及分辨率要求,选择中心频率天线;

(4) 初步建立各电性反射层位与地质层位的对应关系。

6.3.4 陆域地质雷达探测的测线测点定位宜采用卫星定位系统或全站仪,水域宜采用卫星定位系统。

6.3.5 地质雷达探测的数据采集应符合下列规定。

6.3.5.1 工作前应按现场试验结果选择测量方式、设置仪器工作参数,并根据现场条件测试介电常数、推测电磁波速度。

6.3.5.2 正式数据采集前应移除或规避测线附近的干扰源,在满足探测深度和分辨率的前提下应使用屏蔽天线。

6.3.5.3 单一中心频率的天线不能满足探测要求时,应选用两个或两个以上频率的天线探测。

6.3.5.4 连续测量时应匀速移动天线,移动速度应与仪器的扫描率相匹配。

6.3.5.5 点测量时应在天线静止时采样,叠加次数应满足有效信号稳定可靠。

6.3.5.6 探测过程中应详细记录干扰影响和异常点位置。明显异常区应重复探测,探测结果差异较大时应查明原因。

6.3.5.7 测试过程中宜每 50m 校对 1 次。

6.3.5.8 作业期间应详细记录作业班报,内容宜包括文件名、测线号、测线位置、剖面长度、天线频率、测量方式、关键参数、日期、天气、现场情况和处理措施等。

6.3.6 地质雷达探测的数据检查除应符合第 3.0.11.3 款的规定外,尚应符合下列规定。

6.3.6.1 检查数据与原探测数据参数设置应一致。

6.3.6.2 检查数据与原探测数据在波形图中显示频率特征应一致,异常的形态应相近、位置无明显偏差。

6.3.6.3 水域地质雷达探测的数据检查尚宜满足下列要求:

- (1) 数据的信噪比高;
- (2) 探测目标体在雷达图谱中显示明显、能从背景中辨识;
- (3) 异常的形态和位置一致。

6.4 资料整理

6.4.1 地质雷达探测资料整理应包括数据处理和成果解释。

6.4.2 地质雷达探测的数据处理应符合下列规定。

6.4.2.1 数据处理流程应通过试处理确定。

6.4.2.2 连续测量的雷达数据剖面应进行归一化处理。

6.4.2.3 数据处理宜采用滤波、背景去除、增益调整等手段,突出有效信号,抑制干扰信号。

6.4.2.4 无同倾角的有效层状反射波时,宜采用频率-波数倾角滤波法消除倾斜层干扰波。

6.4.2.5 反射信号弱、信噪比较低时不宜进行反褶积、偏移归位。

6.4.3 地质雷达探测的成果解释应满足下列要求:

- (1) 通过现场调查记录和现场复核,筛选干扰异常;

(2) 在原始图像上通过反射波波形、振幅、同相轴的变化等特征,判断、识别和筛选异常;

(3) 建立雷达波组与地层岩性、目标体的对应关系,在深度剖面上标注反映探测对象的层位或波组;

(4) 结合探测成果、现场调查成果、已有地质资料或验证成果等综合分析解释。

6.4.4 地质雷达探测成果宜包含下列内容:

(1) 文字说明,包括项目概况、场地条件、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;

(2) 测点、测线数据一览表;

(3) 平面图,包括雷达测点测线位置图等;

(4) 深度剖面波形图;

(5) 解译剖面图。

7 高密度电阻率探测

7.1 一般规定

7.1.1 高密度电阻率探测可用于基岩埋深、岩溶、采空区、构造及结构面分布特征、地下水埋深和异常体范围等的探测。

7.1.2 高密度电阻率探测的适用条件应符合下列规定。

7.1.2.1 被测目标体与相邻岩土体的电性应稳定且存在足够的电性差异,被测目标体应具有一定规模。

7.1.2.2 地形宜平坦开阔,接地情况应良好。

7.1.2.3 被测目标体上方不应有电阻屏蔽层。

7.1.2.4 测区内不应有较强的游离电流、大地电流或其他电磁干扰。

7.1.3 高密度电阻率探测的测线布置应符合下列规定。

7.1.3.1 测线宜垂直目标体的走向,并避开地形、地物等的影响。

7.1.3.2 测线宜通过勘探点或勘探线。

7.1.3.3 采用滚动探测时应根据装置形式和目标体深度,确定测线的重叠长度,保证视电阻率剖面图底边的数据衔接,重复测点不应少于1个。

7.1.3.4 同一排列的电极应呈直线布置,测线长度应使目标体在有效探测范围内。

7.1.4 高密度电阻率探测可选择四极装置、三极装置、二极装置、微分装置、偶极装置等装置形式,并应符合下列规定。

7.1.4.1 探测局部不良地质体宜选择四极温纳装置。

7.1.4.2 分层探测宜选择四极温纳装置、三极装置。

7.1.4.3 探测非水平构造带、进行岩性分界探测宜选择双向三极装置、二极装置、微分装置。

7.1.4.4 探测浅层不均匀地质体宜选择偶极装置。

7.1.5 高密度电阻率探测的极距选择应符合下列规定。

7.1.5.1 极距宜根据地形、已有地质资料、探测目标的深度和规模综合确定。

7.1.5.2 设计探测的最深层对应的供电极距应大于要求探测深度的3倍。

7.2 仪器设备

7.2.1 高密度电阻率探测仪器设备应包括主机、电缆和电极等。

7.2.2 高密度电阻率探测主机宜满足下列要求:

(1)具有采集、实时显示及数据存储一体化功能;

- (2) 最大供电电流不小于 3A;
- (3) 输入阻抗大于 20M Ω ;
- (4) AB、MN 插孔、旋钮和外壳之间的绝缘电阻大于 100M Ω /500V;
- (5) 极化补偿范围达到 ± 1 V;
- (6) 电位差测量误差不超过 $\pm 1\%$, 分辨率达到 0.01mV;
- (7) 电流测量误差不超过 $\pm 1\%$, 分辨率达到 0.01mA;
- (8) 对 50Hz 工作频率干扰抑制大于 40dB。

7.2.3 高密度电阻率探测应采用多芯电缆, 并应具有良好的导电和绝缘性能, 芯线电阻不应大于 240 Ω /km, 芯间绝缘电阻不应小于 5M Ω /km。

7.2.4 高密度电阻率探测的电极阵列接插件应具有防水性能并配置弹性簧片。

7.3 现场工作

7.3.1 高密度电阻率探测现场工作应包括仪器安装、现场试验、测线测点定位、数据采集、数据检查等。

7.3.2 高密度电阻率探测仪器安装应保证电极与电极接线柱、电缆与主机的连接良好。

7.3.3 高密度电阻率探测现场试验应包括下列内容:

- (1) 确定合适的探测装置形式及采集参数;
- (2) 确定仪器的性能良好;
- (3) 多次测试结果具有良好的一致性。

7.3.4 高密度电阻率探测测线测点定位应符合下列规定。

7.3.4.1 定位可采用卫星定位系统或专用测量仪器。

7.3.4.2 测线较短时可仅对测线两端进行精确定位, 电极极距可用米尺测量确定; 测线较长时应在测线上增加控制点。

7.3.5 高密度电阻率探测的数据采集应符合下列规定。

7.3.5.1 电极、电缆应根据确定的探测装置形式和探测方案进行敷设, 电极与电缆接口应接触良好。

7.3.5.2 电性条件复杂时宜采用多种探测装置形式。

7.3.5.3 每个排列在数据采集前应进行系统自检, 重点检查排列的两端或两排列重叠部分的探测数据是否满足探测深度要求。

7.3.5.4 硬化地面改善电极接地条件时不宜破坏地下设施。

7.3.5.5 作业期间应详细记录作业班报, 班报内容宜包括项目信息、时间、测线编号、测线起始点坐标和高程、电极距、电极数和测深等信息。

7.3.6 高密度电阻率探测的数据检查应符合下列规定。

7.3.6.1 曲线的突变点、畸变线段、探测参数或探测条件改变时, 应进行重复探测或检查探测。

7.3.6.2 重复探测可选择一个或多个排列, 重复探测允许均方相对误差宜为 $\pm 5\%$, 重复探测单元的均方相对误差按式(7.3.6-1)和式(7.3.6-2)计算:

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n m_i^2} \quad (7.3.6-1)$$

$$m_i = \frac{2(\rho_{ni} - \rho'_{ni})}{\rho_{ni} + \rho'_{ni}} \times 100\% \quad (7.3.6-2)$$

式中 M ——某个重复探测单元的均方相对误差；
 n ——重复探测单元的数据个数；
 m_i ——第 i 个参加重复探测的单个极距的相对误差；
 ρ_{ni} ——第 i 个数据的原探测值；
 ρ'_{ni} ——第 i 个数据的重复探测值。

7.3.6.3 均方相对误差较大时应检查极距、漏电、接地、仪器和接线等,核对接地位置附近的地形、地质和干扰情况。测区附近存在较明显干扰源时,允许均方相对误差可为 $\pm 8\%$ 。

7.3.6.4 检查探测可采用相邻排列重合部分电极的方式,对局部异常探测点应进行局部检查。

7.4 资料整理

7.4.1 高密度电阻率探测的资料整理应包括数据处理和成果解释。

7.4.2 高密度电阻率探测的数据处理应符合下列规定。

7.4.2.1 逐层检查剖面曲线,对离差过大的探测数据应予以修正。

7.4.2.2 数据处理时可进行数据平滑、滤波或地形校正。

7.4.2.3 对于个别无规律的数据突变点可结合相邻测点数值进行修正。

7.4.2.4 对于接地条件不良、地表电性不均及干扰引起的局部异常应进行标注,或选用合适的滤波窗口对原始探测数据进行滤波处理。

7.4.2.5 剖面深度换算时宜在已有勘探孔位置进行标定。

7.4.3 高密度电阻率探测的成果解释应符合下列规定。

7.4.3.1 成果解释应根据视电阻率剖面或图像中异常的分布、幅值、范围、等值线形态等进行。

7.4.3.2 同一测区的视电阻率剖面宜采用同一色标表示。

7.4.3.3 测区已有资料时,成果解释应结合视电阻率剖面或图像与已有地质界面、勘探孔等资料进行对比分析和解释。

7.4.3.4 对视电阻率剖面图中的八字形、捺形等异常数据应剔除或标注说明。

7.4.3.5 成果解释宜采用剖面分析、对比分析、综合分析的手段进行。

7.4.3.6 外业资料应及时整理,发现问题应及时重测。

7.4.4 高密度电阻率探测成果宜包括下列内容:

- (1) 文字说明,包括项目概况、场地条件、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 测点、测线数据一览表;

- (3) 平面图,包括测点测线位置图等;
- (4) 视电阻率等值线剖面图;
- (5) 视电阻率解译剖面图;
- (6) 解释综合平面图。

8 磁力仪探测

8.1 一般规定

8.1.1 磁力仪探测可用于水域和陆域磁性岩矿体和管线、沉船等磁性埋设物的探测,用于水域探测时应采用连续采集的磁力仪探测系统和船舶等辅助设备。

8.1.2 磁力仪探测的适用条件应满足下列要求:

- (1) 被探测目标体与周围岩土层之间存在明显的磁性差异;
- (2) 测区内无较强的工业散电流、大地电流或电磁干扰。

8.1.3 磁力仪探测测线布置应满足下列要求:

- (1) 对场地进行异常体普查时,选择网格化布设测线测点,测线测点间距按实际要求确定,异常体尺度越小,测线测点间距越小;
- (2) 对管线进行探测时,测线垂直或横切管线布设。

8.2 仪器设备

8.2.1 磁力仪探测仪器设备应包括控制主机、探头和电缆等。

8.2.2 控制主机应具有显示采集数据和波形图像、控制数据采集起始和终止、设置采集频率等功能。

8.2.3 磁力仪探头的分辨率应达到 0.1nT ,磁场探测精度不应低于 1nT ,测量动态范围宽于 $20000\text{nT} \sim 100000\text{nT}$ 。

8.2.4 电缆应具有良好防水性能,抗拉断力宜大于 10kN 。

8.2.5 用于日变观测的仪器应与外业探测仪器匹配,观测精度不应低于外业探测仪器。

8.2.6 采用多台仪器探测时,仪器的一致性应满足要求,无明显系统误差。

8.2.7 陆域磁力探测可采用手动采集仪器,水域磁力探测应采用自动连续采集仪器。

8.2.8 高精度磁测时,应测定仪器的噪声水平,并应满足表 8.2.8 的要求。

表 8.2.8 高精度磁测仪器噪声均方误差 (nT)

总 误 差	噪声均方误差	总 误 差	噪声均方误差
≤ 5	≤ 2.0	≤ 1	≤ 0.3
≤ 2	≤ 0.5		

8.3 现场工作

8.3.1 磁力仪探测现场工作应包括仪器安装、现场试验、测线测点定位、磁力场测量、数

据采集、数据检查等。

8.3.2 磁力仪探测仪器安装应保证主机和探头连接良好;水域探测时磁力仪探头应拖于船后水下,拖曳长度应满足船磁对测量值影响小于 2nT ,探头与水底泥面距离宜为 $1\text{m}\sim 3\text{m}$ 。

8.3.3 磁力仪探测的现场试验应满足下列要求:

(1)查明有代表性的磁场特征,包括强度、范围、梯度变化等,确定适宜的工作精度、磁参量和测网密度等;

(2)确定仪器具有良好性能和一致性;

(3)以探头距地面不同高度进行试验,选择最佳的探头高度;探测过程中,探头的高度误差小于探头高度的 10% 。

8.3.4 磁力仪探测的测线测点定位,陆域探测可采用卫星定位系统和专用测量仪器,水域探测宜采用卫星定位系统进行连续定位,定位精度应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131)的有关规定。

8.3.5 磁力场测量包括磁总场和磁异常测量,磁异常测量宜使用磁力梯度法测量,磁总场测量时宜设立地磁日变观测站,并应符合下列规定。

8.3.5.1 日变观测站应选在地磁场相对平缓的场地,附近不应有引起磁性变化的干扰源或电磁干扰信号。

8.3.5.2 日变观测站的有效控制范围不宜大于 50km ,测区范围较大或地电结构差异较大时,可分区设立两个或多个日变观测站;测区范围较小且地电结构差异不大时,可增大日变观测站的有效控制范围。

8.3.6 水域采用测量船进行磁总场测量时应进行船磁方位影响校正,并应符合下列规定。

8.3.6.1 船磁方位影响校正应按下列步骤进行:

(1)在地磁平静日,在探测水域或探测水域附近,选择一梯度小于 $6\text{nT}/\text{km}$ 的地磁场平静区,抛设一固定无磁性浮标;

(2)测量船分别沿 0° 、 225° 、 90° 、 315° 、 180° 、 45° 、 270° 和 135° 八个方位,见图8.3.6,船首、船尾、拖曳探头三点成一直线通过浮标探测磁场数据,传感器和浮标距离小于 20m ,探测值经日变校正后,绘制船磁方位影响曲线,供校正使用。

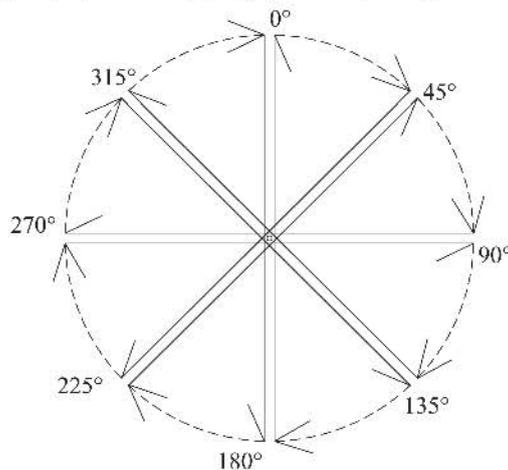


图 8.3.6 船磁方位影响校正测线示意图

8.3.6.2 船磁方位影响试验的同时应进行传感器拖曳距离和探头沉放深度试验,选择最佳电缆拖曳长度和探头沉放深度。

8.3.6.3 在不同水域探测时,应分别进行船磁方位影响试验;同一水域使用不同的测量船作业,应有各自的船磁方位影响校正曲线。

8.3.6.4 地磁仪器室应配备与航海室同步的导航显示设备。

8.3.6.5 采用横切方式探测埋设物时,可不进行船磁方位影响校正。

8.3.7 磁力仪探测的数据采集应符合下列规定。

8.3.7.1 水域探测时应采用拖曳方式进行数据采集,采集内容应包括磁场值、时间、坐标、探头深度等,根据船磁方位影响校正确定最佳拖曳长度,并应符合第 8.3.2 条规定。

8.3.7.2 对于铁质沉船等目标体,磁力仪与目标体相对距离不应大于 20m;对于木质沉船和铁、钴、镍介质管线等,磁力仪与目标体相对距离不应大于 10m;对于光缆等管线介质,磁力仪与目标体相对距离不应大于 5m。

8.3.7.3 作业期间应详细记录作业班报,水域探测的班报内容宜包括项目信息、测线编号、测线对应的文件名、测线起始点坐标、时间等;陆域探测的班报内容宜包括项目信息、测点编号、测点对应的文件名、测点坐标、时间等。存在磁性干扰物时应标注其位置。

8.3.8 磁力仪探测的数据检查应符合下列规定。

8.3.8.1 数据的突变点、每相隔 10 个测点应进行重复探测,重复探测的绝对误差不应大于 3nT。

8.3.8.2 探测数据的质量检查率应达到 10%,允许平均相对误差为 $\pm 30\%$,平均相对误差应按下式计算:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{2(A'_i - A_i)}{A_i + A'_i} \right| \times 100\% \quad (8.3.8)$$

式中 δ ——平均相对误差;

n ——检查点数;

A'_i ——第 i 点检查探测值;

A_i ——第 i 点原探测值。

8.3.8.3 质量检查的均方相对误差应小于设计均方相对误差,均方相对误差可按式(7.3.6-1)和式(7.3.6-2)计算。

8.3.8.4 超出 3 倍设计均方相对误差的测点数不应大于总检查点数的 1%,其数据可不参加计算。

8.3.8.5 检查发现外业探测存在漏测、记录文件损坏或资料整理分析过程中发现问题时,应及时补测。

8.4 资料整理

8.4.1 磁力仪探测资料整理宜包括地磁正常场计算、地磁日变校正、地磁高度校正、船磁方位影响校正、地磁异常值计算、地磁总场等值线图绘制、地磁异常等值线图绘制、地磁异常分析等。

8.4.2 地磁正常场可通过现有资料确定,或采用观测间隔不大于 20s、观测时间不少于 2h 的日变观测站的地磁日变观测值按式(8.4.2)进行计算:

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (8.4.2)$$

式中 T_0 ——地磁正常值(nT);
 n ——参与统计的地磁日变观测值的总数;
 T_i ——日变观测站第 i 时的地磁日变观测值(nT)。

8.4.3 地磁日变校正应根据日变观测站所采集的地磁数据计算地磁日变偏差值,地磁日变偏差值应按式(8.4.3)计算:

$$T_d = -(T_i - T_0) \quad (8.4.3)$$

式中 T_d ——地磁日变偏差值(nT);
 T_i ——日变观测站第 i 时的地磁日变观测值(nT);
 T_0 ——地磁正常值(nT)。

8.4.4 地磁高度校正应按式(8.4.4)计算:

$$T_c = \frac{3\bar{T}}{R} \times \Delta H \quad (8.4.4)$$

式中 T_c ——地磁高度校正值(nT),精确至 0.1nT;
 \bar{T} ——地磁总场平均值(nT);
 R ——地球平均半径(m),取 6371000m;
 ΔH ——测点与日变观测站所在位置的高程差(m)。

8.4.5 水域探测的船磁方位影响校正应按式(8.4.5)计算船磁影响偏差值:

$$T_s = T_{0_s} - T_r \quad (8.4.5)$$

式中 T_s ——船磁影响偏差值(nT);
 T_{0_s} ——船磁方位影响曲线上,测线方向对应的磁场曲线值(nT),可内插确定;
 T_r ——测区磁场基准值(nT),可取地磁正常值。

8.4.6 采用磁总场测量法时,地磁异常值应按式(8.4.6)计算:

$$\Delta T = T + T_c - T_d - T_s - T_0 \quad (8.4.6)$$

式中 ΔT ——地磁异常值(nT);
 T ——地磁总场值(nT);
 T_c ——地磁高度校正值(nT);
 T_d ——地磁日变偏差值(nT);
 T_s ——船磁影响偏差值(nT);
 T_0 ——地磁正常值(nT)。

8.4.7 采用磁总场测量法时,地磁总场等值线图应根据测量结果直接绘制,地磁异常等值线图应根据式(8.4.6)的计算结果绘制;采用磁力梯度法测量时,地磁异常等值线图可根据测量结果直接绘制。

8.4.8 地磁异常分析应根据地磁总场等值线图、异常等值线图进行,确定磁异常范围、轮

廓、异常幅度等。

8.4.9 磁力仪探测的成果宜包括下列内容：

- (1) 文字说明,包括项目概况、场地条件、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 测点、测线数据一览表;
- (3) 平面图,包括测点、测线位置图;
- (4) 地磁总场等值线图、地磁异常等值线图。

9 孔内探测

9.1 一般规定

9.1.1 孔内探测方法包括波速测试、电阻率测试、跨孔 CT 探测、管波探测、孔内电视探测等,应根据工作条件、探测要求等选择探测方法。

9.1.2 孔内探测的钻孔应符合下列规定。

9.1.2.1 钻孔应竖直。

9.1.2.2 钻孔深度应大于测试深度与测试点以下探测仪器的长度之和。

9.1.2.3 钻孔直径应大于探头直径。

9.1.2.4 波速测试、跨孔 CT 探测、管波探测的测试孔段应无金属套管、有井液;孔内电视探测的测试孔段应无套管,无井液或以清水作为井液;电阻率测试的测试孔段应无金属套管。

9.1.3 孔内探测探头使用的电缆抗拉断力宜大于 2kN。

9.2 波速测试

9.2.1 波速测试可用于测定岩土层的弹性波波速、评价岩体的完整性和风化程度、计算岩体的弹性力学参数、评价固结灌浆效果等。波速测试可分为声波测井和地震波测井。

9.2.2 波速测试的适用条件应符合下列规定。

9.2.2.1 测试孔的孔壁应不坍塌、不掉块;松散及破碎地层的孔段可放置塑料套管。

9.2.2.2 测试段井液比重不宜大于 1.2,测试段岩土层压缩波波速应大于孔液压缩波波速。

9.2.2.3 测试剪切波时宜为裸孔;有塑料套管时,管外空间应事先用砂充填或注入水泥砂浆并硬结。

9.2.3 波速测试仪器设备应符合下列规定。

9.2.3.1 仪器设备应耐压、抗振、防水,可选择声波测井仪或地震波测井仪。

9.2.3.2 声波测井仪器宜满足下列要求:

(1)使用一发双收声波探头;

(2)发射和接收换能器的谐振频率一致,谐振频率为 10kHz ~ 50kHz;接收换能器采用灵敏度不低于 100 μ V/Pa 的水听器;

(3)模/数转换位数不小于 16bit、最小采样间隔不大于 0.1 μ s、通频带范围宽于 10kHz ~ 50kHz;

(4)单道采样长度不小于 512 样点;

- (5) 触发方式具有内、外、信号、稳态等方式;
- (6) 声时测量精度为 $\pm 0.1\mu\text{s}$;
- (7) 发射电压为 $100\text{V} \sim 1000\text{V}$;
- (8) 发射脉宽为 $1\mu\text{s} \sim 500\mu\text{s}$;
- (9) 仪器对地绝缘电阻大于 $10\text{M}\Omega$, 电缆对地绝缘电阻大于 $2\text{M}\Omega$ 。

9.2.3.3 地震波测井仪器设备宜满足下列要求:

(1) 三分量检波器接收时具有贴壁装置,三个分量之间正交放置,剪切波检波器采用固有频率不大于 15Hz 的水平速度检波器,压缩波检波器采用水听器或固有频率不大于 40Hz 的垂直速度检波器;速度检波器灵敏度不低于 $0.25\text{V} \cdot \text{s}/\text{cm}$,水听器接收灵敏度不低于 $100\mu\text{V}/\text{Pa}$;检波器固有频率误差不大于 10% ,振幅误差不大于 10% ;

(2) 孔中激发、孔中接收时采用双通道接收,两接收通道之间距离不小于 1m ,激发换能器与接收换能器之间设有阻尼器;

(3) 模/数转换位数不小于 16bit ,最小采样间隔不大于 0.1ms ,失真度不大于 0.2% ,通频带范围宽于 $10\text{Hz} \sim 2\text{kHz}$;

(4) 电缆无破损、短路、串道、断道等故障,电缆道间绝缘电阻大于 $10\text{M}\Omega$,对地绝缘电阻大于 $2\text{M}\Omega$ 。

9.2.4 波速测试的现场工作应符合下列规定。

9.2.4.1 测试前应收集钻孔资料,了解钻孔结构和孔内地质情况;现场工作之前应检查孔壁、孔深,清除松动岩、土块,详细记录套管的安装情况。

9.2.4.2 声波测井现场工作应满足下列要求:

- (1) 测试前后均对探测仪器进行标定和对零检查;
- (2) 探头下井前在金属套管中进行校验;
- (3) 一发双收探头源检距的选择以到达接收探头的初至波是沿孔壁地层的滑行折射波为原则,最小源检距按下列公式计算:

$$L_{\min} = 2S \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \times 10^{-3} \quad (9.2.4-1)$$

$$S = \frac{D-d}{2} \quad (9.2.4-2)$$

$$\beta = \frac{C_w}{C_R} \quad (9.2.4-3)$$

式中 L_{\min} ——最小源检距(m);

S ——换能器外壁至孔壁的距离(mm);

β ——孔液与岩土体的声波速度比;

D ——孔径(mm);

d ——换能器直径(mm);

C_w ——孔液声波速度(m/s);

C_R ——岩土体最低声波速度(m/s);

- (4) 两个接收探头间距不小于 0.2m;
- (5) 从孔底开始自下而上进行测试,测点间距不大于 0.2m;
- (6) 评价岩体完整性时,根据不同岩性采集多组新鲜完整的岩芯、岩块,在室内测试岩块饱和状态的压缩波波速;
- (7) 数据检查时,检查点分布在不同测试段,波速相对误差小于 5%。

9.2.4.3 地震波测井现场工作应满足下列要求:

- (1) 地面激发、孔中接收时,激发板采用条状板,板中心距离钻孔 2m~5m,板的长轴垂直于板中心与钻孔之间的连线,板顶压以重物,三分量检波器贴壁,同一测点接收探头不旋转和移位;测试横波时进行正反方向激发;
- (2) 孔中激发、孔中接收时,振源采用电磁激振源;
- (3) 从孔底开始自下而上进行测试,测点间距为 0.5m~2.0m;
- (4) 用于固结灌浆效果检测时,绘制灌浆前后的实测对比曲线;
- (5) 数据检查时,检查点分布在不同测试段,波速相对误差小于 5%。

9.2.5 波速测试的资料整理应符合下列规定。

9.2.5.1 声波测井的资料整理应满足下列要求:

- (1) 采用两个接收道的时差计算各测试点的波速,并绘制波速-深度曲线;
- (2) 结合地质或岩土情况,对波速-深度曲线上波速不同的测试段进行波速层划分,采用算术平均值作为波速层的岩土体波速;常见的岩土层波速见附录 A;
- (3) 利用声波波速计算岩体完整性指数时,对于同一场地的同类岩性,使用新鲜完整岩块测定的同一压缩波波速;
- (4) 岩体完整性指数按式(9.2.5-1)计算:

$$K_v = \left(\frac{V_p}{V_{pr}} \right)^2 \quad (9.2.5-1)$$

式中 K_v ——岩体完整性指数;

V_p ——岩体压缩波波速(m/s);

V_{pr} ——新鲜完整岩块的压缩波波速(m/s)。

9.2.5.2 地震波测井的资料整理应满足下列要求:

- (1) 地面激发、孔中接收时,剪切波波至时间采用水平速度检波器记录通道拾取,压缩波波至时间采用垂直速度检波器记录通道或水听器记录拾取;孔中激发孔中接收时,采用两个接收道的时差计算各测试点的波速;
- (2) 地面激发、孔中接收时,波速层按时距曲线上具有不同斜率的折线段,并结合地质或岩土分层进行划分;每一波速层的压缩波速度或剪切波速度按式(9.2.5-2)计算:

$$V = \frac{\sqrt{h_2^2 + l^2} - \sqrt{h_1^2 + l^2}}{t_2 - t_1} \quad (9.2.5-2)$$

式中 V ——波速层的压缩波速度或剪切波速度(m/s);

h_2 ——波速层底深度(m);

l ——激发板中点或激发点到孔口的距离(m);

- h_1 ——波速层顶深度(m)；
 t_2 ——压缩波或剪切波传播到波速层底面的时间(s)；
 t_1 ——压缩波或剪切波传播到波速层顶面的时间(s)；

(3) 孔中激发、孔中接收时,结合地质或岩土分层情况,按时差-深度曲线上具有不同均值的测试段进行波速层划分,采用时差的算术平均值计算分层波速;

(4) 利用实测压缩波速度、剪切波速度按下列公式分别计算波速层的动剪切模量、动弹性模量、动泊松比:

$$G_d = \rho V_s^2 \quad (9.2.5-3)$$

$$E_d = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (9.2.5-4)$$

$$\mu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (9.2.5-5)$$

- 式中 G_d ——动剪切模量(Pa)；
 ρ ——波速层的质量密度(kg/m^3)；
 V_s ——波速层的剪切波波速(m/s)；
 E_d ——动弹性模量(Pa)；
 V_p ——波速层的压缩波波速(m/s)；
 μ_d ——动泊松比。

9.2.6 波速测试成果宜包括下列内容:

- (1) 文字说明,包括项目概况、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 测试孔平面图;
- (3) 波速测试成果图;
- (4) 时间剖面图。

9.3 电阻率测试

9.3.1 孔内电阻率测试宜用于测定钻孔内地层的视电阻率,确定含水层位置和厚度,区分咸淡水,进行接地设计和评价土对钢结构的腐蚀性等。

9.3.2 孔内电阻率测试的电极系、电极距应根据探测目的合理确定,测定岩体电性参数宜选用梯度电极系,测定井液电阻率宜选用电位电极系。各电极系名称、布置及系数见附录B。使用微电极系时,电极系的系数应通过试验确定。

9.3.3 孔内电阻率测试仪器主要指标应符合第7.2.2条的规定,并应满足下列要求:

- (1) 最大供电电压不小于450V;
- (2) 在 $-10^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ 条件下工作正常。

9.3.4 地面仪器对地、绞车集流环对地、电源对地的绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$;电缆芯对地、电极之间、井下仪器线路与外壳之间的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

9.3.5 孔内电阻率测试的设备安装应满足下列要求:

- (1) 绞车与滑轮保持通视并固定,下井电缆位于钻孔中心;

(2) 传动装置的深度累计相对误差小于 5‰F.S;

(3) 下井前检查测试设备和电缆、电极系、传感器等的绝缘性能,并进行漏电检测。

9.3.6 单极供电时地面供电电极、双极供电时固定测量电极应接地良好,远离高压线和工业游散电流干扰。

9.3.7 孔内电阻率测试的数据采集应满足下列要求:

(1) 测试孔段无井液或使用微电极系时采用贴壁装置,电极与井壁紧密接触;

(2) 测试孔段采用塑料套管护壁时,孔中有井液,套管设密集小孔,测试设备采用悬挂装置;

(3) 使用金属重锤时,测量电极与重锤的距离大于 2m;

(4) 测试过程中出现负值或零值电阻率时,查明原因并消除故障后重新测量;

(5) 连续探测的测量速率小于 10m/min。

9.3.8 孔内电阻率测试的资料整理应满足下列要求:

(1) 利用电阻率测井曲线确定电性参数时,考虑相邻地层的影响,取厚层、具有代表性的岩土层中段的电性参数值;

(2) 进行电阻率解释时,考虑井液矿化度、井径、电极系和岩土层电阻率等因素的影响,进行相应校正;常见岩土层电阻率见附录 A;

(3) 成果柱状图包括钻孔地层、各测点深度及相应的视电阻率、视电阻率曲线等信息。

9.3.9 孔内电阻率测试的成果宜包括下列内容:

(1) 文字说明,包括项目概况、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;

(2) 成果柱状图;

(3) 地层电阻率统计表。

9.4 跨孔 CT 探测

9.4.1 跨孔 CT 探测可用于风化层、基岩面、岩溶、土洞、采空区、断裂破碎带、软弱夹层、地下金属异常体等目标体的探测,可分为声波 CT 探测、地震波 CT 探测和电磁波 CT 探测。

9.4.2 跨孔 CT 探测应符合下列规定。

9.4.2.1 探测目标体应与周围介质存在电性差异、弹性差异,具有电性差异时应选用电磁波 CT 探测;具有弹性差异时宜选用声波 CT 探测或地震波 CT 探测;同时存在电性差异、弹性差异时可根据适用条件选择其中一种,情况复杂时,可采用两种 CT 探测方法。

9.4.2.2 探测目标体两侧应有探测钻孔,钻孔间距应根据目标体确定,钻孔深度不宜小于跨孔间距的 1.5 倍,探测目标体轮廓可由成像单元组合构成。

9.4.2.3 钻孔孔壁应光滑,井液比重不宜大于 1.2;成像方法应根据探测目标体的特点,结合孔壁质量、井液条件、钻孔间距和成像精度等综合确定。

9.4.2.4 钻孔不宜有套管,需要采用套管时应采用塑料套管,并用砂或水泥砂浆充填管外空间,水泥砂浆应硬结。

9.4.3 声波 CT 探测仪器设备应包括声波仪、振源、接收探头等,并应符合下列规定。

9.4.3.1 声波仪宜满足下列要求:

- (1) 最小采样间隔不大于孔间最小走时的 1%,且不大于 $0.1\mu\text{s}$;
- (2) 单道采样点数不小于 512 样点;
- (3) 触发方式具有内、外、信号、稳态等方式;
- (4) 频响范围为 $10\text{kHz} \sim 50\text{kHz}$;
- (5) 声时测量精度为 $\pm 0.1\mu\text{s}$;
- (6) 发射电压为 $100\text{V} \sim 1000\text{V}$;
- (7) 发射脉宽为 $1\mu\text{s} \sim 500\mu\text{s}$ 。

9.4.3.2 振源可采用电雷管、电火花等,并应满足下列要求:

- (1) 能激发高频声波脉冲,能量稳定并满足接收要求,不破坏钻孔套管;
- (2) 记时准确、稳定,与接收仪器同步,误差小于读数误差的 2 倍。

9.4.3.3 接收探头实测主频与标称频率相差不应超过 $\pm 10\%$,声波反射宜使用具有波形显示功能的浮点放大仪器。

9.4.3.4 换能器转换灵敏度宜高于 $1000\mu\text{V}/\text{Pa}$,用于水中检测的换能器的水密性应大于 1MPa 。

9.4.4 地震波 CT 探测仪器设备应包括地震仪、振源、检波器等,并应符合下列规定。

9.4.4.1 地震仪宜满足下列要求:

(1) 道数满足探测要求,具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、数字采集等功能;

- (2) 具备采样率选择功能,最小采样间隔不大于 0.05ms ;
- (3) 具备记录长度选择功能,每道样点不小于 1024 点;
- (4) 模/数转换位数不小于 24bit;
- (5) 频率响应范围为 $2\text{Hz} \sim 4\text{kHz}$;
- (6) 放大器内部噪声小于 $1\mu\text{V}$;
- (7) 动态范围大于 96dB 。

9.4.4.2 振源可采用电火花、机械锤、电磁锤或电雷管等,并应满足下列要求:

- (1) 激发的主频地震脉冲满足要求,能量调控满足探测范围要求,不破坏钻孔套管;
- (2) 操作方便、安全可靠、重复性好;
- (3) 记时信号延迟时差不大于 0.5ms 。

9.4.4.3 检波器宜满足下列要求:

(1) 检波器各道之间固有频率相差小于 10% ,灵敏度相差小于 10% ,相位差小于 1ms ,振幅差小于 15% ;

- (2) 检波器绝缘电阻大于 $10\text{M}\Omega$;
- (3) 孔内和水中检波器具有良好的防水性能。

9.4.5 电磁波 CT 探测仪器设备应包括电磁波仪和天线等,并应符合下列规定。

9.4.5.1 电磁波仪宜满足下列要求:

- (1) 具有频率扫描、双频探测功能；
- (2) 发射机瞬间输出功率不小于 10W；
- (3) 接收机输入端噪声水平低于 $0.2\mu\text{V}$ ；
- (4) 测量范围宽于 20dB ~ 140dB, 动态范围不低于 100dB, 测量误差不大于 3dB；
- (5) 信号增益控制具有指数增益功能；
- (6) 模/数转换位数不小于 24bit, 具有 8 次以上信号叠加功能；
- (7) 连续测量时扫描速率大于 128 次/ s_0 。

9.4.5.2 天线宜采用对称偶极发射天线和鞭状接收天线。

9.4.6 跨孔 CT 探测的剖面及测点布置应符合下列规定。

9.4.6.1 探测剖面宜垂直于地层或地质构造的走向, 扫描断面的钻孔应相对规则且共面。

9.4.6.2 钻孔间距应根据探测目标体的物性和探测精度要求合理选择。声波 CT 探测钻孔间距宜小于 10m, 地震波 CT 探测钻孔间距宜小于 30m, 电磁波 CT 探测钻孔间距宜小于 40m。地质条件较为复杂、探测精度要求较高的部位应选择较小钻孔间距。

9.4.6.3 测点间距应根据探测精度和方法特点确定, 声波 CT 探测和电磁波 CT 探测测点间距宜小于 1m, 地震波 CT 探测测点间距宜小于 2m, 且均不应大于探测目标体的尺寸。

9.4.7 跨孔 CT 探测系统应符合下列规定。

9.4.7.1 对钻孔及自然临空面所构成的区域进行 CT 探测时, 宜采用扇形扫描方式, 射线分布均匀, 交叉角度不宜过小, 扇形扫描的最大角度不应产生明显断面外绕射。

9.4.7.2 每个探测剖面在完成一次完整的探测后, 发射孔和接收孔应互换进行第二次探测。

9.4.7.3 在同一剖面上进行多组孔间 CT 探测时探测系统宜保持一致。

9.4.8 跨孔 CT 探测的现场工作应符合下列规定。

9.4.8.1 跨孔 CT 探测前应充分了解钻孔情况, 必要时采取减少孔内事故发生的预防措施。

9.4.8.2 采用声波 CT 探测时应满足下列要求：

- (1) 以定点扇形扫描探测为主, 水平同步和斜同步探测为辅；
- (2) 等间距激发、等间距接收, 对复杂地质体加密测试点；
- (3) 钻孔进行测斜和声波速度测试；
- (4) 根据孔距、孔斜等对激发和接收探头之间的距离进行校正；
- (5) 测试时先用直径和质量略大于测试探头的重物进行探孔, 然后进行测试；
- (6) 测试时由下向上、从孔底向孔口进行测试, 电缆深度标识准确, 每 10m 校对 1 次深度；
- (7) 接收距离较远或信号衰减较快时, 选择高能量激发装置和具有前置放大功能的接收探头；
- (8) 探测钻孔符合第 9.2.2 条的规定。

9.4.8.3 采用地震波 CT 探测时应满足下列要求:

- (1) 采用定点扇形扫描的探测系统;
- (2) 振源自下而上移动、深度准确、贴壁牢固;
- (3) 波形初至不清晰或相位延续性不良的测点重复探测;
- (4) 采用多道接收方式探测时,同一振源点的相邻接收排列有一道重复;
- (5) 满足第 9.4.8.2 款第(2)项~第(5)项、第(7)项、第(8)项的要求。

9.4.8.4 采用电磁波 CT 探测时应满足下列要求:

- (1) 通过现场试验选择仪器的工作频率和对应天线;
- (2) 采用测量轮标注时每 10m 校对 1 次;
- (3) 避开金属管件等的影响,仪器距口径较大的孔口或洞口较近时,用金属板封闭洞口、孔口;
- (4) 电磁波吸收 CT 选择单频或多频探测方式,同一剖面进行多组电磁波 CT 探测时,使用相同的频段;
- (5) 选择地层或地质条件相对简单的孔段通过三孔法或双孔法试验确定初始场强和背景吸收系数;
- (6) 满足第 9.4.8.2 款第(1)项~第(5)项、第(7)项、第(8)项的要求。

9.4.9 跨孔 CT 探测的数据检查应符合下列规定。

9.4.9.1 对异常突变点应重复探测,在异常区内的测点应检查探测,可采用收发互换方式进行检查。

9.4.9.2 旅行时间、场强的重复探测相对误差应小于 3.5%,检查探测的均方相对误差应小于 5%。

9.4.9.3 检查应对比同一位置的探测、重复探测和检查探测曲线或图像。

9.4.9.4 对波形曲线剧变或跳变剧烈的测点或测段,应采用叠加方式或加大发射能量进行重复测试。

9.4.9.5 检查探测图像与探测图像的异常形态和位置应基本一致。

9.4.10 跨孔 CT 探测的资料整理应包括数据校正与处理、模型建立、反演计算、地质解译等,并应符合下列规定。

9.4.10.1 数据处理前应对探测数据进行零点校正、孔斜校正、高差校正、偏移校正,并剔除异常值。

9.4.10.2 数据处理应根据探测资料建立坐标系,将每条射线的激发点与接收点平面坐标和高程转换为成像剖面的三维坐标,并与相应的旅行时间或场强资料形成数据文件。

9.4.10.3 测线的激发点和接收点坐标应根据钻孔测量、测斜资料进行计算。

9.4.10.4 数值分析模型应根据地质条件、探测精度、分辨率等建立,网格单元尺寸不应小于测点间距。

9.4.10.5 数值分析模型的初始值和约束极值范围可根据已有地质条件、现场试验资料、经验值等确定。

9.4.10.6 反演计算的反演迭代次数宜根据射线路径和图像形态的稳定程度确定,也

可根据相邻两次迭代的图像数据方差确定。钻孔的声波、地震波、电磁波测井等资料可作为边界条件,加入相应的反演计算中。相互连接的 CT 剖面应采用相同的反演方法和模型。

9.4.10.7 地质推断解译应根据波速、吸收系数的分布规律,结合被探测区域的地质资料等进行。

9.4.11 跨孔 CT 探测的图件应符合下列规定。

9.4.11.1 CT 层析成像图宜采用等值线、色谱、色标等图示方法,图像可等差分级或变差分级。

9.4.11.2 解译地质剖面图中应标出目标体。

9.4.11.3 同一测区应采用相同的色谱、色标。

9.4.11.4 方向相同或相近的多条剖面线首尾相连时,可拼接成一幅 CT 剖面成果图。

9.4.12 跨孔 CT 探测的成果宜包括下列内容:

- (1) 文字说明,包括项目概况、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;
- (2) 平面图,包括 CT 点位分布图等;
- (3) CT 层析成像图;
- (4) 解译地质剖面图。

9.5 管波探测

9.5.1 管波探测可用于探测钻孔周围一定范围内的溶洞、溶蚀裂隙、破碎带、软弱夹层等不良地质体,也可用于桩位岩溶探测。

9.5.2 管波探测在单个钻孔中进行,其应用条件应满足下列要求:

- (1) 测试孔壁光滑,无坍塌、掉块;
- (2) 非测试孔段地层破碎时采用金属套管或塑料套管护壁,测试孔段地层破碎时采用塑料套管护壁;
- (3) 测试孔段井液比重不大于 1.2。

9.5.3 管波探测仪器设备应包括测试主机、孔内换能器、井下电缆等,并应符合下列规定。

9.5.3.1 测试主机宜满足下列要求:

- (1) 实时显示和记录接收信号时程曲线及时间剖面;
- (2) 最小采样时间间隔不小于 0.02ms,系统通频带范围宽于 100Hz ~ 3kHz,模/数转换位数不小于 16bit;
- (3) 信号测量范围宽于 -5V ~ +5V,幅值测量相对误差小于 10%;
- (4) 自动记录测点深度位置,测量相对误差不大于 0.5%。

9.5.3.2 孔内换能器应包括发射换能器和接收换能器,并宜满足下列要求:

- (1) 发射换能器与接收换能器距离恒定,有效中心间距为 0.6m;发射换能器有效中心与接收换能器有效中心连线的中点为标记的测点位置;
- (2) 发射换能器与接收换能器固定在井下电缆上,最大外直径小于 45mm;

(3) 发射换能器采用低频孔中换能器, 单次发射能量不小于 10J, 发射的管波峰值频率为 500Hz ~ 1kHz;

(4) 接收换能器采用灵敏度不低于 150 μ V/Pa 的水听器;

(5) 发射换能器和接收换能器满足 1.0MPa 水压要求。

9.5.3.3 井下电缆及接头应满足下列要求:

(1) 电缆有间隔为 0.1m 的深度标志, 深度误差不大于 0.5%;

(2) 满足 1.0MPa 水压要求。

9.5.4 管波探测的现场工作应满足下列要求:

(1) 现场工作前检查井壁、井深, 清除松动岩块, 详细记录套管的安装情况;

(2) 采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收探测系统, 测点间距不大于 10cm;

(3) 以收发换能器连线中点作为记录点, 自下而上逐点进行探测, 每隔 1.0m 进行 1 次深度校正;

(4) 探测记录的采样间隔不大于 20 μ s, 记录长度不小于 25ms;

(5) 测试段自孔底至中风化岩面以上不小于 2.0m;

(6) 金属套管屏蔽段内有厚度大于 3m 的中风化、微风化岩层时, 拔出金属套管后补测中风化、微风化岩层段。

9.5.5 管波探测的资料整理应满足下列要求:

(1) 数据处理时不进行道间振幅平衡, 允许去除信号的直流零漂; 频率滤波时其通频带范围为 300Hz ~ 2kHz;

(2) 时间剖面采用伪彩色剖面形式显示, 各测点采用相同的显示增益;

(3) 同一钻孔的多次探测时间剖面绘制在同一成果图件中;

(4) 资料解释时先对钻孔周围岩土进行分层并确定其深度, 再判定分层的岩土性状; 分层时选取直达管波的能量突变点或反射管波的出发点作为分层点; 岩土性状根据管波特征按附录 C 和现行行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133) 的有关规定, 并结合地质柱状图描述进行综合判定;

(5) 用于桩位岩溶探测时, 根据判定的孔旁岩土性状, 按现行行业标准《水运工程桩基设计规范》(JTS 147—7) 的有关规定推荐桩端高程, 并标注于成果图中。

9.5.6 管波探测成果宜包括下列内容:

(1) 文字说明, 包括项目概况、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;

(2) 平面图, 包括管波探测钻孔位置图等;

(3) 解译成果图;

(4) 时间剖面。

9.6 孔内电视探测

9.6.1 孔内电视探测可用于下列探测:

(1) 探测钻孔中地层岩性、岩石结构, 进行地质分层;

(2) 探测孔壁岩溶洞穴、软弱夹层、节理裂隙等地质现象；

(3) 测定岩层层理、断层、裂隙的倾向、倾角和厚度等产状要素及裂隙的密度、开闭程度及分布。

9.6.2 孔内电视探测应在干孔或清水孔中进行。孔中水质透明度不足时,应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清。

9.6.3 孔内电视探测非测试段应采取有效的护壁措施,松散地层不宜采用孔内电视探测。

9.6.4 孔内电视探测仪器设备宜满足下列要求:

(1) 摄像机分辨率不低于 500 万像素,彩色低照度不小于 0.1lx;

(2) 摄像角度为 0° ~ 360° ,方位精度不低于 1° ;

(3) 深度或距离计数精度不低于 0.1m。

9.6.5 孔内电视探测的现场工作应满足下列要求:

(1) 摄像记录工程名称、孔号或井号、工作日期等;

(2) 图像显示的深度相对误差不大于 0.1m,与电缆标记的绝对误差不大于 0.1m,每隔 10.0m 进行 1 次校正;

(3) 记录的图像清晰可辨,且能读出显示的方位;

(4) 成像相片与连续影像相结合,能对异常部位静止拍摄影像,连续拍摄时摄像机保持匀速移动,并保证图像清晰。

9.6.6 孔内电视探测的资料整理应满足下列要求:

(1) 各孔全景光学成像图像展开、拼接成分段连续的图片,横向从左到右按北、东、南、西、北方向展开,并标注方位;垂向标注深度或高程;对孔间地质特征做出描述;

(2) 计算地层、断层、裂隙、软弱夹层等的倾角、倾向和厚度,倾斜度大于 5° 的斜孔利用井径、井斜等进行斜度校正;

(3) 有参照物时在成像中注明。

9.6.7 孔内电视探测的成果宜包括下列内容:

(1) 文字说明,包括项目概况、探测方法、检查与评价、成果解释、结论等;

(2) 平面图,包括孔内电视探测钻孔位置图等;

(3) 孔内电视探测图像展开图。

10 物探报告

10.0.1 物探现场工作完成后应对探测资料进行综合检查、分析、解释,并编写物探报告,物探报告应内容全面、数据真实、论证充分、文字简练、图表齐全。

10.0.2 物探报告应由文字部分、图表部分和相关附件组成。

10.0.3 物探报告的文字部分宜包括下列内容:

(1)概况,包括工程概况、探测目的、任务依据、执行的技术标准、工作起止时间、工作量布置及完成情况、坐标和高程系统等;

(2)工程地质条件,包括地形地貌、地层、岩性、水文环境条件等;

(3)物探工作,包括采用的具体探测方法、测试原理、仪器设备及其性能参数、现场工作情况、数据处理等;

(4)检查与评价,包括原始资料检查方法、精度分析、误差分析、质量分析与评价等;

(5)成果解释,包括探测对象的物性特征、探测内容、解译分析、解释成果与钻探或坑探成果的对比等;

(6)结论与建议,包括最终结论、存在的问题、探测方法的局限性、现有条件的分析、其他情况的说明与建议等。

10.0.4 物探报告的图表部分宜包括下列内容:

(1)平面图,包括测线、测点、勘探点、地形、水深、主要地物、探测对象的范围、位置等;

(2)分析图表,包括各种曲线图、对比分析图和物性参数表等;

(3)解译图,包括各种探测对象解译剖面图、埋深图、等高线图等等;

(4)其他相关图表,包括方法原理图、现场作业图、工作量表等。

10.0.5 物探报告附件宜包括工作照片、影像图、电子文档等。

10.0.6 物探报告应采用中华人民共和国法定计量单位。

10.0.7 物探报告的编写应与地质、钻探、坑探、原位测试等其他勘探资料相互结合、综合分析。

附录 A 常见岩土、水和混凝土主要物性参数

表 A.0.1 常见岩土、水和混凝土主要物性参数

类别	名称	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	电阻率 $\rho_s(\Omega \cdot \text{m})$	压缩波速度 $V_p(\text{m}/\text{s})$	相对介电常数 ε_r
第四系松散层	黏性土	$1.75 \leq \rho \leq 2.10$	$10 \leq \rho_s < 10^3$	$1600 \leq V_p \leq 1800$	$8 \leq \varepsilon_r \leq 12$
	粉土	$1.95 \leq \rho \leq 2.10$	$10 \leq \rho_s < 10^3$	$1600 \leq V_p \leq 1900$	—
	淤泥、淤泥性土	$1.55 \leq \rho \leq 1.75$	$1 \leq \rho_s < 10^2$	$1300 \leq V_p \leq 1500$	$15 \leq \varepsilon_r \leq 50$
	湿砂、湿卵石	$1.70 \leq \rho \leq 2.50$	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$1800 \leq V_p \leq 2500$	—
	干砂、干卵石	$1.70 \leq \rho \leq 2.40$	$10^3 \leq \rho_s < 10^5$	$500 \leq V_p \leq 800$	$2 \leq \varepsilon_r \leq 6$
	湿砾石	—	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$1800 \leq V_p \leq 2500$	—
沉积岩	页岩	$1.80 \leq \rho \leq 2.70$	$10 \leq \rho_s < 10^3$	$1800 \leq V_p \leq 4000$	7
	砂岩	$1.20 \leq \rho \leq 2.70$	$10 \leq \rho_s < 10^3$	$2200 \leq V_p \leq 4000$	$9 \leq \varepsilon_r \leq 11$
	石英砂岩	$2.60 \leq \rho \leq 2.70$	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$3000 \leq V_p \leq 4500$	6
	泥岩	$1.20 \leq \rho \leq 2.40$	$10 \leq \rho_s < 10^4$	$1800 \leq V_p \leq 3800$	$15 \leq \varepsilon_r \leq 20$
	砾岩	$2.20 \leq \rho \leq 3.10$	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$2500 \leq V_p \leq 4000$	—
	灰岩	$2.60 \leq \rho \leq 3.10$	$10^2 \leq \rho_s < 10^5$	$2500 \leq V_p \leq 6100$	$7 \leq \varepsilon_r \leq 8$
	泥灰岩	$2.30 \leq \rho \leq 2.50$	$10 \leq \rho_s < 10^3$	$2000 \leq V_p \leq 4400$	—
	白云岩	$2.60 \leq \rho \leq 3.10$	$10^2 \leq \rho_s < 10^5$	$2500 \leq V_p \leq 5500$	8
	煤	$1.10 \leq \rho \leq 1.30$	$10^3 \leq \rho_s \leq 5 \times 10^3$	$2500 \leq V_p \leq 3500$	—
	岩盐	—	$10^4 \leq \rho_s \leq 10^5$	$4200 \leq V_p \leq 5500$	6
变质岩	片岩	$2.68 \leq \rho \leq 2.92$	$2 \times 10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$4500 \leq V_p \leq 5500$	—
	片麻岩	$2.65 \leq \rho \leq 2.79$	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$4500 \leq V_p \leq 6000$	8.5
	石英岩	$2.65 \leq \rho \leq 2.75$	$10^3 \leq \rho_s < 10^5$	$5000 \leq V_p \leq 6000$	—
	板岩	$2.31 \leq \rho \leq 2.75$	$10 \leq \rho_s < 10^4$	$3600 \leq V_p \leq 4500$	—
	大理岩	$2.68 \leq \rho \leq 2.72$	$10^2 \leq \rho_s < 10^4$	$4500 \leq V_p \leq 5500$	6
	千枚岩	$2.71 \leq \rho \leq 2.86$	$n \times 10^2 \sim n \times 10^3$	$2800 \leq V_p \leq 5200$	—
岩浆岩	花岗岩	$2.63 \leq \rho \leq 3.30$	$10^2 \leq \rho_s < 10^5$	$3500 \leq V_p \leq 6500$	$5 \leq \varepsilon_r \leq 7$
	闪长岩	$2.50 \leq \rho \leq 3.30$	$10^3 \leq \rho_s < 10^5$	$3000 \leq V_p \leq 6500$	$5 \leq \varepsilon_r \leq 7$
	玄武岩	$2.70 \leq \rho \leq 3.30$	$10^2 \leq \rho_s < 10^5$	$3500 \leq V_p \leq 6500$	8

续表 A.0.1

类别	名称	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	电阻率 $\rho_s(\Omega \cdot \text{m})$	压缩波速度 $V_p(\text{m}/\text{s})$	相对介电常数 ε_r
岩浆岩	安山岩	$2.50 \leq \rho \leq 2.70$	$10^2 \leq \rho_s < 10^6$	$2500 \leq V_p \leq 5500$	$5 \leq \varepsilon_r \leq 7$
	辉绿岩	$2.70 \leq \rho \leq 2.90$	$10^2 \leq \rho_s < 10^6$	$3000 \leq V_p \leq 6000$	—
	流纹岩	$2.50 \leq \rho \leq 3.10$	$10^2 \leq \rho_s < 10^6$	$3000 \leq V_p \leq 6000$	—
	凝灰岩	$2.50 \leq \rho \leq 3.10$	$10^2 \leq \rho_s < 10^5$	$2600 \leq V_p \leq 6200$	$6 \leq \varepsilon_r \leq 8$
其他	地下水	1.00	$\rho_s < 10^2$	—	—
	河水	1.00	$\rho_s < 10^2$	—	—
	海水	—	0.5 ~ 1.0	—	81
	含土冰层	$0.80 \leq \rho \leq 0.90$	$10^3 \leq \rho_s < 10^5$	$3100 \leq V_p \leq 3600$	$6 \leq \varepsilon_r \leq 8$
	混凝土	$2.40 \leq \rho \leq 2.50$	—	$3000 \leq V_p \leq 4500$	$6 \leq \varepsilon_r \leq 8$

附录 B 电极系名称、布置及系数

表 B.0.1 电极系布置及系数

类 型	电位电极系				梯度电极系			
	单极供电		双极供电		单极供电		双极供电	
	正装	倒装	正装	倒装	正装	倒装	正装	倒装
图示								
电极距	AM	AM	AM	AM	AO	AO	MO	MO
电极间距条件	AM < MN	AM < MN	AM < AB	AM < AB	AM > MN	AM > MN	AM > AB	AM > AB
电极系名称	单极供电 正装电位 电极系	单极供电 倒装电位 电极系	双极供电 正装电位 电极系	双极供电 倒装电位 电极系	单极供电 正装梯度 电极系	单极供电 倒装梯度 电极系	双极供电 正装梯度 电极系	双极供电 倒装梯度 电极系
电极系数 K	$4\pi \cdot AM \cdot AN/MN$	$4\pi \cdot AM \cdot AN/MN$	$4\pi \cdot AM$	$4\pi \cdot AM$	$4\pi \cdot AM \cdot AN/MN$	$4\pi \cdot AM \cdot AN/MN$	$4\pi \cdot AM$	$4\pi \cdot AM$

附录 C 管波探测的岩土性状及工程性质

表 C.0.1 管波探测孔周围岩土性状及管波特征

孔周围岩土性状分类	管波特征
完整基岩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速高,能量不低于最大能量值的 75% ; 2. 段内无反射界面; 3. 有顶底界面反射波组时,向内的一支能量强、波速高,在段内无能量消散现象
节理裂隙发育的较完整基岩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速较高,能量为完整基岩段的 50% ~75% ; 2. 有顶底界面反射波组时,向内的一支能量较弱、波速较高; 3. 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后,能量、频率、波速稍微变低; 4. 段外为完整基岩时,界面处出现向外的反射波组,能量较弱
溶蚀裂隙发育的较破碎基岩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速较低,能量为完整基岩段的 25% ~50% ; 2. 有顶底界面反射波组时,向内的一支能量弱、波速较低; 3. 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后,能量、频率、波速显著变低; 4. 段外为完整基岩时,界面处出现向外的反射波组,能量较强
破碎、极破碎、软弱夹层的基岩	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速低,能量为完整基岩段的 25% 以下; 2. 有顶底界面反射波组时,向内的一支能量很弱、波速很低; 3. 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后,能量、频率、速度突然变低,甚至消失; 4. 段外为完整基岩时,界面处出现向外的反射波组,能量强
可溶基岩的岩溶发育段	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速低,能量为完整基岩段的 25% 以下,甚至不可见; 2. 段内无顶底界面反射波组; 3. 顶底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后,能量、频率、速度突然变低,甚至消失; 4. 段外为完整基岩时,界面处出现向外的反射波组,能量强
土层	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直达管波波速低,能量为完整基岩段的 25% 以下,甚至不可见; 2. 反射波组在段内能量弱、波速很低; 3. 底界面以外出现的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后,能量、频率、速度突然变低,甚至消失; 4. 段下为完整基岩时,界面处出现向外的反射波组,能量强

表 C.0.2 管波探测孔周围岩土性状及工程性质

孔周围岩土性状分类	工程性质	地质柱状图描述
完整基岩段	基岩完整,岩质坚硬,无溶洞;在厚度达到设计要求时,可作为端承桩持力层	定名为微风化岩;岩质坚硬,岩芯完整,呈长柱状
节理裂隙发育的较完整基岩	基岩较完整,岩质较硬,裂隙发育,无大溶洞;在厚度和抗压强度达到设计要求时,可作为端承桩持力层	定名为微风化或中风化岩;岩质较坚硬,岩芯多呈饼状、碎块状或短柱状,节理裂隙发育
溶蚀裂隙发育的较破碎基岩	总体上表现为基岩,存在溶蚀现象及小的溶洞、裂隙发育,部分包含层厚较小的完整基岩或局部夹有块状强风化岩;不宜作为端承桩持力层	定名为微风化或中风化岩;岩质较软~硬,岩芯较破碎,多呈饼状、碎块状,岩体裂隙发育,局部夹有块状强风化岩,钻进时漏水、存在溶蚀现象或半边岩溶
破碎、极破碎、软弱夹层的基岩	总体上表现为基岩,风化程度高,岩体破碎,岩质较软;不得作为端承桩持力层	定名为全风化或强风化岩,岩质较软,岩芯多呈土状、碎屑状或碎块状
可溶基岩的岩溶发育段	总体上表现为岩溶及溶蚀裂隙发育,局部包含较薄的岩层;不得作为端承桩持力层	定名为溶洞或裂隙发育的微风化岩、中风化岩,见溶蚀、漏水现象
土层	第四系土层、全风化岩、强风化的统称,不得作为端承桩持力层	定名为第四系土层,或全风化岩、强风化岩,包括规模较小的岩溶、裂隙发育及土洞、溶洞充填物

附录 D 本规程用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

- (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) 表示允许选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

引用标准名录

- 1.《水运工程测量规范》(JTS 131)
- 2.《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)
- 3.《水运工程桩基设计规范》(JTS 147—7)

附加说明

本规程主编单位、参编单位、主要起草人、
主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主编单位:中交第一航务工程勘察设计院有限公司

参编单位:中交水运规划设计院有限公司

中交第二航务工程勘察设计院有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

中交第四航务工程勘察设计院有限公司

长江航道规划设计研究院

华设设计集团股份有限公司

浙江数智交院科技股份有限公司

广东省地质物探工程勘察院

主要起草人:戚玉红(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

赵居代(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

冯百全(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

吕邦来(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

李学文(广东省地质物探工程勘察院)

肖雄丙(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

武传鹏(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

周宝江(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

赵家明(中交第二航务工程勘察设计院有限公司)

顾敏智(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

徐春明(华设设计集团股份有限公司)

殷进宏(中交水运规划设计院有限公司)

唐正涛(长江航道规划设计研究院)

彭丁茂(浙江数智交院科技股份有限公司)

蒯志要(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

主要审查人:徐 光

(以下按姓氏笔画为序)

叶国良、苏林玉、别社安、林 琛、钮建定、喻志发、蔡 建、
蔡正银

总校人员:李荣庆、董 方、檀会春、钮建定、叶国良、张国权、戚玉红、
赵居代、冯百全、肖雄丙、韩瑞洁

管理组人员:张国权(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

赵居代(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

冯百全(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

肖雄丙(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

中华人民共和国行业标准

水运工程物探技术规程

JTS/T 134—2024

条文说明

目 次

1	总则	(51)
2	术语	(52)
3	基本规定	(53)
4	水底地层剖面仪探测	(55)
4.1	一般规定	(55)
4.2	仪器设备	(55)
4.3	现场工作	(55)
5	水域地震映像探测	(56)
5.1	一般规定	(56)
5.2	仪器设备	(56)
5.3	现场工作	(56)
5.4	资料整理	(56)
6	地质雷达探测	(57)
6.1	一般规定	(57)
6.2	仪器设备	(57)
6.3	现场工作	(57)
6.4	资料整理	(58)
7	高密度电阻率探测	(59)
7.1	一般规定	(59)
7.2	仪器设备	(59)
7.3	现场工作	(59)
8	磁力仪探测	(60)
8.2	仪器设备	(60)
8.3	现场工作	(60)
8.4	资料整理	(60)
9	孔内探测	(61)
9.1	一般规定	(61)
9.2	波速测试	(61)
9.3	电阻率测试	(61)
9.4	跨孔 CT 探测	(62)
9.5	管波探测	(63)

9.6 孔内电视探测	(66)
10 物探报告	(67)
附录 A 常见岩土、水和混凝土主要物性参数	(68)

1 总 则

1.0.1 水运工程物探的作业场地多滨水或涉水,作业平台以船载浮动平台居多,勘探对象以吸波性和导电性较强的软土居多,物探信号易衰减、干扰及紊乱,物探方法及技术手段较特殊,其他行业成熟的、常用的物探技术方法直接应用于水运工程勘探中效果欠佳,应用范围亦受限。为规范水运工程物探工作,提高勘察技术水平和成果质量,适应新技术的发展,满足行业发展需要,制定本规程。

1.0.3 国家现行有关标准主要指《岩土工程勘察规范》(GB 50021)、《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)和《岩土工程勘察安全标准》(GB/T 50585)等。

2 术 语

2.0.1 本条主要参考行业标准《岩土工程勘察术语标准》(JGJ/T 84—2015)第 7.3.19 条。水底地层剖面仪探测在其他行业标准中称为浅地层剖面探测,在行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133—2013)中称为水底地层剖面仪探测,为协调一致,本规程采用水底地层剖面仪探测名称。

2.0.2 ~ 2.0.10 主要参考《岩土工程勘察术语标准》(JGJ/T 84—2015)中的相关条文。

3 基本规定

3.0.1 (3)物探在实施过程中,受现场施工、场地环境等因素影响,干扰信号常难以避免,完全消除干扰信号不现实,当存在干扰时,通常采取提高信噪比的措施,使被探测对象能够被有效识别。

3.0.3 物探方法的综合选用,需要充分考虑地质条件和环境特征,以解决实际需求为目的,实现方法之间的互补性和综合选用的经济性,比如以浅地层剖面仪探测实现软土层的探测,以水域地震映像探测实现基岩面的探测等。

3.0.3.2 由已知到未知、由简单到复杂的原则,是考虑随着科技的发展,物探方法及采用的仪器设备发展更新较快,从经验、效率、效益等考虑,建议优先采用成熟、简单、实用的方法,当传统方法无法解决问题时,再依经济、有效原则,选择其他复杂的或新的、未知的物探方法,但如第3.0.3.3款规定,新的方法使用前需对其有效性进行验证。

表3.0.3中,磁力探测在水域和陆域的物探中均能采用,虽然其方法原理一样,但因作业环境不同,其仪器设备、采集参数、数据处理、误差来源等存在较大不同,使用时需注意。孔内探测一般分为两大类,一类是弹性波测井、电测井等,以测试岩土层的波速、电阻率等相关物理电性指标为主;另一类是孔中探测法,包括跨孔CT探测、管波探测、孔内电视探测等,以探测孔周岩土特性、岩溶和地下空间地质异常体的分布规律等地质问题为主。

水运工程物探影响因素较多,探测目的多样,综合多年物探经验,对于不同构筑物或功能区的物探,一般选用下列方法:

- (1)码头、人工岛选用水底地层剖面仪或水域地震映像探测;
- (2)港池、航道选用水底地层剖面仪或水域地震映像探测;
- (3)堆场等陆域选用地震映像探测、高密度电阻率探测或地质雷达探测;
- (4)水域障碍物探测选用水底地层剖面仪或磁力仪探测,或根据需要采用其他探测方法,如多波束水深测量、侧扫声呐、合成孔径声呐、三维激光扫描等,以确保障碍物探测的效果;
- (5)陆域管线探测采用地质雷达探测或磁力仪探测;
- (6)岩溶探测采用地震映像探测、高密度电阻率探测、地质雷达探测或孔内探测。

表3.0.3列出了水运工程中最为常用且有效的几种物探方法,表3.1给出其他物探方法。

3.0.4 物探是一种间接的勘探手段,结果解释具有一定的不确定性,采用多种方法,特别是与直接、直观的地质钻探或坑探等方法相结合,能够相互补充、相互验证和综合分析,有

助于提高物探的探测质量和效果,充分发挥物探的技术优势与经济优势。

表 3.1 地震法等物探方法及适用范围

物探方法		适用范围			
		地质分层 地层结构	风化层分带 及基岩面探测	岩溶、采空区、 断裂破碎带、 软弱夹层探测	抛石、管线、沉船 等障碍物探测
地震法探测	反射波法探测	●	●	●	○
	折射波法探测	○	●	○	—
	面波法探测	●	○	●	—
	单道地震探测	●	●	●	—
	地震映像探测	●	●	●	○
直流电法探测	电测深法探测	○	●	●	—
	电剖面法探测	—	—	●	—
电磁法探测	大地电磁法 (AMT) 探测	○	●	●	—
	瞬变电磁法探测	○	●	●	—
侧扫声呐探测	侧扫声呐探测	—	—	—	●

注:●为推荐方法,○为可选方法。

3.0.8 (3) 水域物探采用船载浮动平台时,对船舶的要求一般包括排水量、适航条件、电磁电感特性等。

(4)《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)的有关规定,主要指港口工程、航道工程、渠化工程、修造船厂水工建筑物等在工可、初设、施工图等各阶段勘探中对测点、测线的具体规定。

3.0.10 现场试验的目的是为检查所选物探方法在项目实际场地环境中的有效性,并确定数据采集参数。当采用多种物探方法时,现场试验能够检查各种方法间的互补性。

3.0.11.2 (1)物探的现场情况信息较重要,如附近的车或船的来往避让、输电线路、金属管线、障碍物等,可能会使测线改向或产生干扰信号,对探测结果造成影响,故需详细记录探测的现场情况,以供成果整理和异常原因分析时参考。

3.0.11.3 (2)重复探测指不改变工作条件进行两次或两次以上的探测;检查探测指改变接地条件或位置的重复探测,或由另一人对已测过的部分测点或测线进行抽测。物探受野外的测试条件、环境、人为因素等影响较大,为消除或减少这些影响因素,重复探测或检查探测是保证数据采集质量的重要手段,特别是对于异常点、特征点、畸变点和可疑地段。

3.0.14 (3)考虑到物探技术的专业性,存档的电子数据的查阅方式存在唯一性,故规定有条件时对数据的采集或处理软件的安装包一并归档。

4 水底地层剖面仪探测

4.1 一般规定

4.1.5 对于水深较浅、淤泥质底质、浅埋海底管线路由调查、砂源普查等情况,为减少多次波的影响,保证平面和埋深精度以及普查效率,推荐用船舷固定安装的电声学型地层剖面仪,如参量阵浅地层剖面仪。对于水深较深、砂源详查、砂类和岩石类等硬底质的疏浚、炸礁物探,为保证探测深度和垂向分辨率,推荐选用拖曳式地层剖面仪,如拖曳式电磁、电火花或气枪振源并配备水听器的地层剖面仪,并在资料处理时进行预测反褶积法、小波变换法等的多次波压制。

4.1.6.4 检查线与主测线是否垂直,以测区范围控制和方便现场作业等为原则,对于港池等大面积、大范围的区域探测,一般选择垂直方式;对于航道、管线等条状的区域探测,一般采用菱形交叉的方式。

4.2 仪器设备

4.2.2 ~ 4.2.4 条款中的参数主要参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)第 12.5.3 条和《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)的有关规定。

4.3 现场工作

4.3.2.4 拖鱼型探头若离船太近,在作业过程中受波浪影响有可能会与船体发生撞击,使测试数据失真或仪器损坏,故规定拖曳在船尾涡流区外。

4.3.4.2 主要参考行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131—2012)第 8.1.5 条有关规定。

4.3.5.1 船速参照行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133—2013)“不大于 6kn”、行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)“宜为 5km/h”、行业标准《水利水电工程勘探规程 第 1 部分:物探》(SL/T 291.1—2021)“小于 3kn”、国家标准《海洋调查规范 第 8 部分:海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8—2007)“浅水型浅地层剖面仪不大于 6kn、深水型浅地层剖面仪不大于 3kn”等规定,综合考虑探测效果和作业效率,对船速作出规定。

4.3.5.3 水深测量包括同时进行的验潮等相关工作。

4.3.5.5 详细记录作业班报,目的为方便后期的数据查找及处理。

4.3.6.5 旅行时间即波经过一段路径的传播时间,其与波所经过介质中的传播速度成反比。

5 水域地震映像探测

5.1 一般规定

5.1.3.4 测线两头预留工作船掉头和测量上线区域,目的是为方便工作船作业,使工作船能够准确沿布设的测线进行探测,提高探测质量。

5.2 仪器设备

5.2.2 部分参数主要参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)的有关规定。

(1)关于多道接收,国内设备常用的接收道数多为 12 道~24 道,国外设备一般大于 3 道。仪器放大器各通道的振幅和相位一致、各频率点的幅度差在 5% 以内、相位差不大于所用采样时间间隔的一半,通常称为道一致性良好。

5.2.4~5.2.6 部分参数主要参考行业标准《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)和行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)的有关规定。

5.3 现场工作

5.3.5.1 船速参照行业标准《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133—2013)“不大于 5kn”、行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)“宜为 5km/h”、行业标准《水利水电工程勘探规程 第 1 部分:物探》(SL/T 291.1—2021)“小于 3kn”、国家标准《海洋调查规范 第 8 部分:海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8—2007)“5kn 左右”等规定,综合考虑探测效果和作业效率,对船速作出规定。

5.3.5.7 多道探测的接收换能器置于工作船尾时,工作船在转弯或倒车过程中容易将接收换能器卷入螺旋桨而损坏设备,故要求专人看管。

5.3.5.9 水域数据采集作业的环境影响因素较多,工作结束后对采集的数据要及时存储或转存,并进行备份,以避免数据丢失。

5.4 资料整理

5.4.1.1 (2)规定处理软件具有分频滤波功能,有利于测深分析。

6 地质雷达探测

6.1 一般规定

6.1.3.4 沿顺流方向布设测线,测试过程中,有利于勘探船的航行方向、航行速度的控制。

6.2 仪器设备

6.2.2 目前常用的天线类型主要有两种:屏蔽天线和非屏蔽天线。主流的雷达屏蔽天线频率主要有:100MHz、200MHz、400MHz、900MHz等。屏蔽天线能够较好地减小来自旁侧及上部的干扰电磁波,因此,在测区干扰相对较强的路段,兼顾探测深度的同时,建议选择中心频率高的屏蔽天线进行探测,以提高地质雷达探测质量。

6.3 现场工作

6.3.3 现场试验工作主要是对现场的干扰情况、测试参数、天线中心频率的选择、测试方式等进行测试,确定正确的采集参数,为正式采集做准备。

6.3.3.1 式(6.3.3-1)~式(6.3.3-4)参考行业标准《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)第6.2.5条相关内容;式(6.3.3-5)参考行业标准《水利水电工程勘探规程 第1部分:物探》(SL/T 291.1—2021)附录D.4.8和《工程物探手册》。

(5)尼奎斯特定律是信号处理中的一个基本原理,它指出为了从采样信号中无失真地恢复原始连续信号,采样频率(即采样间隔的倒数)需要至少是被采样信号最高频率的两倍。在地质雷达探测中,这意味着采样间隔需要足够小,以确保能够捕捉到目标体反射回来的高频信号,从而避免信号混叠和失真。

6.3.5.4 一般雷达仪器设备都有最大的扫描率,作业过程中移动速度与仪器的扫描率不匹配,可能会导致无法采集到数据,故作此规定。

6.3.6.3 水域地质雷达探测由于是动态测量,不具有重复性,因此数据质量的评价,根据数据的信噪比高低及探测的目标体在雷达图谱中是否明显、是否能够从背景中辨识、异常形态位置及形态是否一致等进行评价。

(1)地质雷达数据的信噪比是衡量雷达系统性能的一个重要指标,它反映了雷达接收到的目标回波信号强度与环境噪声、系统内部噪声等背景噪声强度之间的比例关系。野外施工时,要求目标体的雷达波回波信号要能从背景噪声中区分出来,以达到探测目标体的目的。雷达图像中目标体的回波信号相比背景噪声越清晰,信噪比就越高。

6.4 资料整理

6.4.3 (4)解释是在对雷达数据进行必要数据处理之后,在雷达波形图的基础上,结合现场实地调查成果、已有的地质资料等各种有利信息进行综合分析解释,最终达到解释的目的。

7 高密度电阻率探测

7.1 一般规定

7.1.2.2 地形起伏对探测数据影响较大。当地形起伏较大时,为保证探测成果质量,一般对测点高程也进行测量。

7.1.2.4 游离电流、大地电流或其他电磁干扰会造成探测结果出现假异常,影响结果判断。

7.1.3.2 测线通过勘探点或勘探线有利于进行地层比对,提高解译精度。

7.1.3.3 规定重复测点的目的是确保地层信息不遗漏。

7.1.4.1 常用的四极装置包括温纳装置、斯伦贝格装置等,温纳装置操作简单,便于计算,本规程选择温纳装置。

7.1.5.1 本款规定了电极距确定的依据,相同装置和电极数的条件下,电极距越小,分辨率越高,探测深度越小;电极距越大,分辨率越低,探测深度越大。

7.2 仪器设备

参考行业标准《水利水电工程物探规程 第1部分:物探》(SL/T 291.1—2021)和行业标准《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)的有关规定,针对主流的高密度电阻率探测仪器设备做出规定。

7.3 现场工作

7.3.4.2 测线较长时增加控制点,目的为减小定位误差。

7.3.6 本条是对外业原始物探资料和数据进行全面质量检查和评价的规定,如不满足要求,说明物探资料不可靠,需重新探测。

7.3.6.3 考虑到有的测区附近确实存在干扰,仍要求总均方相对误差不大于5%较难实现,参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)的有关规定,总均方相对误差放宽到 $\pm 8\%$ 。

8 磁力仪探测

8.2 仪器设备

8.2.5 目前常用的日变观测仪器精度约 0.05nT,外业探测使用的仪器精度约 0.1nT。

8.2.8 高精度磁测指磁测总误差不大于 5nT 的磁测,其总误差是测点探测误差、正常场、高度和总基点等各项改正误差的总和。实践中允许根据实际技术条件,在保证总误差的前提下,通过增大某项误差和降低另一项误差来满足要求,表 8.1 给出了误差的分配。

表 8.1 高精度磁测误差分配表 (nT)

磁测 总误差	现场探测均方误差					正常场、高度和总基点改正误差			
	总计	操作 及点位误差	一致性 误差	噪声误差	日变改正 误差	总计	正常场 改正误差	高度改正 误差	总基点 改正误差
5	4.36	2.65	2.0	2.0	2.0	2.45	1.0	1.0	2.0
2	1.56	1.1	0.7	0.5	0.7	1.212	0.7	0.7	0.7
1	0.87	0.7	0.3	0.3	0.3	0.497	0.28	0.28	0.3

8.3 现场工作

8.3.5 地磁场包括基本磁场和变化磁场,变化磁场包括长期变化、静日变化和空间磁场的干扰变化等。设立地磁日变观测站的目的是校正探测期间变化磁场对探测结果的影响。

8.3.5.1 引起磁性变化的干扰源或电磁干扰信号一般有车辆、供电线、电话线、广播线等。

8.3.5.2 参考行业标准《地面高精度磁测技术规程》(DZ/T 0071—93),当磁测均方差为 2nT~5nT 时,日变站的控制范围要求不大于 50km;当要求磁测精度优于 2nT 时,在地电结构基本相同的情况下,日变站的控制范围要求不大于 30km;当地电结构显著不同时,要增设日变站,其控制范围要经试验确定,综合考虑,作出本款规定。

8.3.6 船体本身具有很大磁性,探头与船体的相对位置不同,对磁场值的影响不同。为校正船体磁性对磁场探测值的影响,作此规定。

8.4 资料整理

8.4.2 有条件时,通过查询相关期刊或网站,采用国际高空物理和地磁协会 (IAGA) 五年一度公布的国际地磁参考场 IGRF 确定地磁正常场。

9 孔内探测

9.1 一般规定

9.1.2.4 金属套管对弹性波、电磁波存在屏蔽作用,故要求测试孔段无金属套管。

9.1.3 参照行业标准《水利水电工程勘探规程 第1部分:物探》(SL/T 291.1—2021)作出规定。

9.2 波速测试

9.2.1 波速测试主要在勘察钻孔中开展,也称为钻孔波速测试。

9.2.2 本条规定了波速测试孔需满足的条件。

9.2.2.3 测试剪切波时,要求裸孔或充填套管外空间是为了保证剪切波的接收。

9.2.3.2 (6)声时测量精度等于最小采样间隔。目前国产声波测井仪器的最小采样间隔一般为 $0.1\mu\text{s}$ 或 $0.05\mu\text{s}$ 。同时声波测井仪器也用于测试岩块的波速,对仪器的要求也要达到 $0.1\mu\text{s}$ 。参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)第13.3.3条、《工程物探手册》第2篇第5.1.4条、行业标准《铁路工程物理勘探规范》(TB 10013—2023),综合各种因素做出规定。

9.2.3.3 (1)参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)和《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)做出规定。

(2)孔中激发、孔中接收的测试方式也叫悬挂式波速测试。

9.2.5.2 (2)采用的分层波速计算公式能消除触发延时的影响。

9.3 电阻率测试

9.3.1 孔内电阻率测试又称电阻率测井。受井径、井液电阻率、上下岩土层及电极距等因素的影响,电阻率测井测得的电阻率参数不等于地层的真电阻率,而是被称为地层的视电阻率。由于水运工程一般临海或临河,潮湿和高盐的环境使得各岩土层的视电阻率一般都较低,很难遇到高阻地层,因此在水运工程中,极少使用孔内电阻率测试来划分地层,一般电阻率参数主要用于评价土对钢结构的腐蚀性和进行海上风电场的接地设计等。咸水和淡水的电阻率差别较大,采用孔内电阻率测试能够划分咸水和淡水的分界面。

9.3.2 微电极系由于电极距很短,电极不能视为点电极,井径的大小也影响电极系数,同时,电极系紧贴井壁,电场分布也较复杂,因此电极系数值要在已知电阻率的水中用试验方法求出。

9.3.5 (2)传动装置包括绞车、滑轮与电缆,三者会直接影响到测井电缆长度的测量,而

电缆长度的测量误差是造成测井深度误差的重要因素,基于这一考虑,结合目前设备现状及工程经验,对传动装置的深度累计相对误差作出小于 $5\%F.S$ 的规定。

(3)受工作条件影响,测井设备和电缆等易磨损,使其绝缘性能降低,影响探测精度,严重时引起探测数据失真,因此,下井前需检查测井设备和电缆等的绝缘性能。

9.3.6 单极供电时地面供电电极即 *B* 极,双极供电时固定测量电极即 *N* 极。

9.3.7 (2)塑料套管上开设密集小孔,目的是使套管内外的井液导通。

(5)连续探测测量速率参照行业标准《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020)。

9.3.8 (1)地层厚度很大时,在地层中点附近,有一段视电阻率曲线和深度轴平行,近似于直线,其值最为接近地层的真电阻率,故规定利用电阻率测井曲线求取岩土层的电性参数时,选择具有代表性的、一定厚度的岩土层的中段进行求解。

(2)视电阻率曲线基本上能反映井剖面上地层电阻率的变化,横向上具有一定的可对比性,但其数值大小和曲线形态既与井径及地层条件有关,又与电极系结构及尺寸有关。通常由于井液电阻率低于地层电阻率,井径扩大,井的分流作用会增大,视电阻率值降低,故井径变化对视电阻率曲线的影响,归根结底是由于井液的影响。

电极系类型不同,所测视电阻率曲线形状亦不同,同一类型的电极系在同样的测量条件下,电极系的尺寸不同,所测的视电阻率曲线的形状及幅度也不一样。高阻岩土层会对供电电极发出的电流产生屏蔽作用,从而使曲线形态发生畸变。

9.4 跨孔 CT 探测

9.4.2.2 参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)第 13.6.2 条,作出钻孔深度的要求。

9.4.6.1 共面指所获得成像剖面与地质剖面或其他方法成果剖面在空间上方向一致,以便资料的对比和综合分析。由于钻孔倾斜会影响成像质量,故要尽量保证所获数据都是在同一个平面里激发和接收。

9.4.6.2、9.4.6.3 钻孔间距和测点间距参考行业标准《水利水电工程勘探规程 第 1 部分:物探》(SL/T 291.1—2021)及工程经验作出规定。

9.4.7 探测系统是指激发点与接收点的相互空间位置关系,为地球物理学的常用名词。

9.4.7.2 发射孔和接收孔互换实施二次探测,目的为实现孔间探测数据的真实完整,保证可靠性。

9.4.8.4 (3)仪器距口径较大的孔口或洞口较近时,电磁波经孔中或洞中的空气会产生绕射,从而对测试结果产生干扰,故规定用金属板将洞口、孔口进行封闭。

(5)背景吸收系数指当交变电磁场在导电介质中传播时会产生感应电流,因而造成能量损耗,其被认为是介质对电磁能量的吸收的大小。

9.4.9.2 场强一般指电场强度,在电磁波 CT 探测中,用来表示电场的强弱和方向的物理量,其物理意义解释为单位电荷在探测点所受电场力的大小和方向。

9.4.10.4 数值分析模型指反演合理选择的初始模型,其能够有效地改善参数反问题的不适定性,利于获得接近实际的解。网格单元尺寸小于测点间距,易使反问题的不适定

性更为严重,成像效果往往更差。

9.4.10.6 跨孔 CT 探测的数据处理采用的反演算法一般有奇异值分解(SVD)、联合迭代(SIRT)、共轭梯度(CG)、阻尼最小二乘法(LSQR)和以上方法改进的其他方法。钻孔的声波、地震波、电磁波测井等资料作为边界条件,加入反演计算,目的为提高反演效果和计算速率。

9.4.11.1 CT 层析成像采用变差分级,能够进一步突出异常。

9.5 管波探测

9.5.1 管波探测是在钻孔中利用“管波”这种特殊的弹性波,探测钻孔周围一定范围内地质体特性的孔中物探方法,在解决桩位岩溶探测方面,效果独特。

国内现有超百家勘察设计单位应用管波探测法。根据收集资料统计,近十多年来在高速公路、高速铁路、高层建筑、城市轨道交通、水运工程等领域超千项工程中,累计完成桩位岩溶勘察超过三十万例。管波探测已是一种同行业专家、学者公认的理论成熟、依据充分、勘探效果显著的孔中物探方法,应用地域包括广东、广西、江西、湖南、安徽、江苏、山东、辽宁等省、区、市,取得了良好的经济效益和社会效益。近几年,国内十余家勘察、设计、施工、检测单位,将管波探测法应用于桩基(含地下连续墙)质量检测、水文孔含水层位置确定、钻孔分层资料核准等,应用超万例,并取得了丰富的经验和成果。

管波是一种在钻孔及其附近沿钻孔轴向传播的特殊弹性波,其绝大部分能量集中在以钻孔为中心、半径为半波长的圆柱形范围内,传播过程能量衰减慢、频率变化小。

前人对管波做过大量的研究与试验,Biot(1952)和 Write(1956)曾给出零频率时管波的波速为:

$$V_t = \frac{V_f}{\sqrt{1 + \frac{\rho_f V_f^2}{\rho V_s^2}}} \quad (9.1)$$

式中 V_t ——管波的波速(m/s);
 V_f ——钻孔中井液的压缩波波速(m/s);
 ρ_f ——钻孔中井液的密度(g/cm^3);
 V_s ——钻孔周围岩土层的剪切波波速(m/s);
 ρ ——钻孔周围岩土层的密度(g/cm^3)。

现有管波探测设备激发的管波,其中心频率在 700Hz 左右,实测的管波波速与公式(9.1)计算结果一致。如钻孔内井液为清水、周围岩土层为微风化石灰岩时,测得的管波波速约在 1350m/s ~ 1420m/s 之间,约为清水压缩波波速 1480m/s 的 0.90 ~ 0.95 倍;如钻孔内孔液为清水、周围岩土层为黏土层时,测得的管波波速约为 250m/s,与黏土层的剪切波波速相当。

管波探测法实测资料证明,管波的能量与钻孔周围固体介质的剪切波波速呈现正相关关系,剪切波波速高则管波的能量强,剪切波波速低则管波的能量弱。当激发或接收探头处于溶洞附近时,直达管波能量几乎为零。当激发或接收探头处于软弱岩层、土层中

时,直达管波的能量、波速显著降低。管波的能量由直达管波和反射管波的波幅确定。

在管波传播范围内的波阻抗差异界面处,管波产生反射。采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收探测系统进行测试,时间剖面中所有的反射管波以倾斜波组形式呈现,倾斜波组斜率的倒数的1/2等于管波的波速,具体见图9.1。

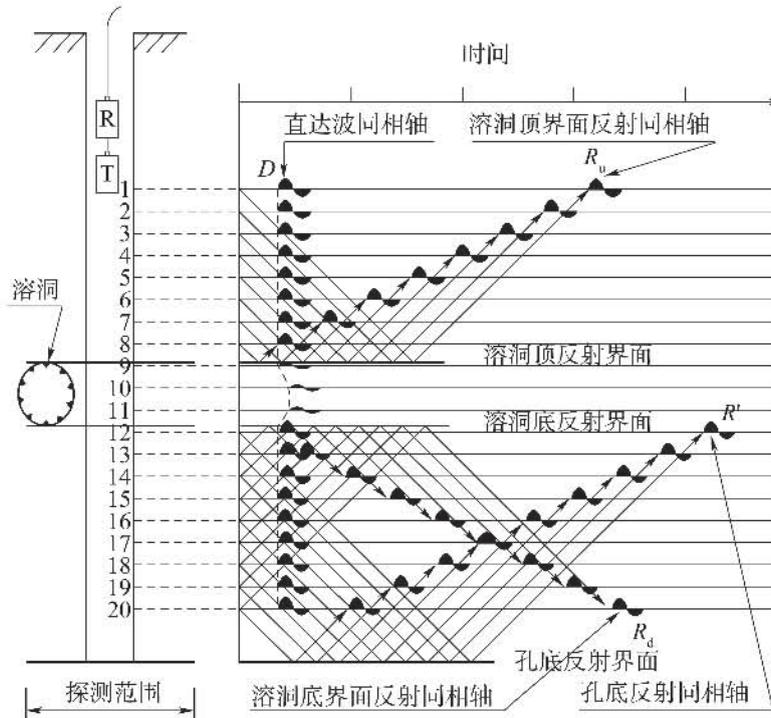


图9.1 管波探测的波组示意图

管波探测应用于岩溶地区嵌岩桩桩位岩溶探测,一般在桩位超前钻探或详细勘察阶段与钻探工作同期进行。它利用桩位中心的一个钻孔,通过在井液中激发管波,接收并记录其经过井液和孔旁岩土体传播的振动波形,来探测孔旁一定范围内的岩溶、软弱岩层及裂隙发育带的发育和分布情况,能够快速查明桩位范围内的地质情况,评价基桩持力层的完整性,指导基桩设计和施工,其实测时间剖面与地质解释实例见图9.2。其有效探测直径大于2m,能够分辨大于0.3m的孔旁岩溶、软弱岩层及裂隙发育带,定位误差小于0.3m。管波探测具有可靠性高、异常明显、分辨能力强、精度高、工期短、易于解释、仪器设备投资少、探测费用低等优点。

近几年来,管波探测也应用于灌注桩检测等。一般在灌注桩钻芯法检测孔和灌注桩预埋塑料检测管中进行,探测桩身混凝土中的空洞、夹泥、离析、裂隙等缺陷的位置与程度,评价桩身混凝土浇注质量、桩底沉渣厚度、桩身与持力层结合情况。

9.5.2 (3) 管波探测需要井液耦合。井液浓度过大将导致管波能量下降、波速降低,影响探测效果。

9.5.3.1 (2) 规定记录仪器的通频带,目的为保证覆盖管波的频率范围。

9.5.3.2 (3) 采用低频发射换能器以激发低频管波,目的为保证波长足够。现有发射换能器激发的管波中心频率约为700Hz。规定发射换能器单次发射能量,目的为保证有

不明确时,直达管波和反射管波的能量、波速突变点即为分层点。反射管波为倾斜波组;直达管波为水平波组,平行于井轴方向(时间为0处)。

对管波的分层进行岩土性状判定,就是根据层内管波的能量、波速确定分层界面之间岩土层的类别及工程性质。

(5)采用管波探测法进行桩位岩溶及破碎带、软弱层勘察时,能够根据岩石完整程度间接提供设计建议值。

9.6 孔内电视探测

9.6.3 进行有效的钻孔护壁,目的是为防止掉块或卡孔现象发生,一般采用套管进行护壁。地层松散或裸孔中进行孔内电视探测,容易发生掉块现象,进而卡住探头致其损毁,故做此规定。

9.6.4 (3)此处的深度指纵向深度。深度或距离计数精度不低于0.1m的规定主要参考行业标准《城市工程地球物理探测标准》(CJJ/T 7—2017)第13.8.3条。水上探测的深度或距离计数精度的影响因素颇多,包括潮汐变化、波浪导致的钻探船起伏、水流引起的套管倾斜等,故对其进行规定。

10 物探报告

10.0.1 物探报告是对物探成果的总结。物探成果是对物探所取得的各种信息资料,结合探测区地质资料及其他相关资料,进行综合整理、检查、分析、研究,互相对比、相互印证而获得的成果。物探报告重在对探测数据的解析、解译,故而真实准确的数据、全面完整的内容、充分翔实的依据、科学合理的解释评价是关键。

10.0.3 (4)物探在探测及数据处理过程中,受探测方法、仪器设备精度、数据计算处理、信号干扰等因素影响,会产生误差。误差较小时,仅对探测精度产生影响,误差较大时,对探测结果及解释产生较大影响,甚至造成误判,故在物探报告的检查与评价中,需对误差及其产生的来源、影响因素、误差大小、对成果的影响、消降措施等进行详细分析。

附录 A 常见岩土、水和混凝土主要物性参数

表 A.0.1 主要参考行业标准《公路工程物探规程》(JTG/T 3222—2020),其中第四系松散层的压缩波波速,据行业经验数据,部分指标略有调整。