

UDC

广西壮族自治区工程建设地方标准

DB

DBJ/T45-098-2020

P

备案号: J15105-2020

岩溶地区工程物探技术规范

Technical Code For Engineering Geophysical
Exploration In Karst Area

2020-03-11 发布

2020-06-01 实施

广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布

广西壮族自治区工程建设地方标准

岩溶地区工程物探技术规范

Technical Code For Engineering Geophysical
Exploration In Karst Area

DBJ/T45-098-2020

批准部门：广西壮族自治区住房和城乡建设厅

主编单位：广西华蓝岩土工程有限公司

施行日期：2020年6月1日

2020 广西

自治区住房城乡建设厅关于批准发布广西工程建设地方标准《岩溶地区工程物探技术规范》的通知

桂建标〔2020〕4号

各市住房城乡建设局，各有关单位：

由我厅批准立项，广西华蓝岩土工程有限公司主编的广西工程建设地方标准《岩溶地区工程物探技术规范》已获专家评审通过，现予以批准发布。标准编号如下：

DBJ/T45-098-2020 《岩溶地区工程物探技术规范》

该标准于2020年3月11日发布，自2020年6月1日起实施。

该标准由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容解释。

广西壮族自治区住房和城乡建设厅

2020年3月11日

前 言

本规范根据广西壮族自治区住房和城乡建设厅《关于下达2017年度全区工程建设地方标准、图集制（修）订项目第二批计划的通知》（桂建标〔2017〕37号）的要求，由广西华蓝岩土工程有限公司会同广西壮族自治区建筑工程质量检测中心、广西建工集团基础建设有限公司等单位共同编制完成。

本规范共分7章3个附录，其主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.物探技术方法；5.各勘察阶段工程物探；6.地基处理检测；7.物探技术成果。

本规范由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理，由广西华蓝岩土工程有限公司负责技术内容的解释。请各单位在执行本规范过程中注意总结经验和积累资料，随时将有关意见或建议反馈给广西华蓝岩土工程有限公司（地址：南宁市望州路北二里38号，邮政编码：530001，电子邮箱：gxlhyt@gxhl.com.cn），以便今后修订时参考。

本规范主编单位：广西华蓝岩土工程有限公司

本规范参编单位（排名不分先后）：

广西壮族自治区建筑工程质量检测中心

广西建工集团基础建设有限公司

广西昇龙工程勘察设计检测有限公司

广西中化明达勘察设计有限公司

广西华南岩土工程有限公司
广西土木勘察检测治理有限公司
广东省地质物探工程勘察院
武汉长盛工程检测科技开发有限公司
南宁市勘察测绘地理信息院
桂林矿产地质研究院工程有限公司
贺州市勘察测绘研究院有限公司
核工业柳州工程勘察院
桂林市勘察设计研究院
柳州市勘察测绘研究院

本规范主要起草人员：卢玉南 周绪鸿 陆韦春

（以下按姓氏笔画排列）

王战安	王振华	韦少典	韦念基
韦益华	文杰	邓文志	邓君君
左述明	石科	田锦虎	刘正刚
刘春生	刘保东	刘德育	孙加荣
许国	阳克青	苏华	苏燕奕
李峥	李发奕	李学文	闫斌
肖华杰	吴文波	吴柱基	何辉
何彦龙	邹仁辉	宋传星	宋展佗
张玉池	张勤军	陆加明	陈婧嫻
陈新球	林春伟	庞敬林	郝俊
胡磊磊	钟未礼	赵印良	唐甫
唐勇	黄永东	黄志华	黄超然

傅根根 曾 健 曾宣源 蓝 杰
蓝耀荣 谭晓军 谭彩霞 黎大光
滕永宁 颜 平

本规范审查人员：张信贵 梁远忠 肖玉明 零祝建
黄黎明

本规范为首次发布。

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	6
3 基本规定	9
4 物探技术方法	15
4.1 一般规定	15
4.2 直流电法	15
4.3 电磁法	20
4.4 浅层地震法	29
4.5 井中探测法	42
5 各勘察阶段工程物探	49
5.1 一般规定	49
5.2 可行性勘察阶段物探	49
5.3 初步勘察阶段物探	50
5.4 详细勘察物探	52
5.5 施工勘察物探	55
6 地基处理检测	58
6.1 一般规定	58
6.2 物探检测方法	58
7 物探技术成果	61

附录A 工程物探方法和适用范围·····	62
附录B 探地雷达校验方法·····	72
附录C 地震波旅行时校正方法·····	74
本规范用词说明·····	76
引用标准名录·····	77
附：条文说明·····	78

Contents

1	General provisions	1
2	Terminologies and notations	2
2.1	Terminologies	2
2.2	Notations	6
3	Basic provisions	9
4	Geophysical methods	15
4.1	General provisions	15
4.2	Direct current method	15
4.3	Electromagnetic method	20
4.4	Shallow seismic method	29
4.5	Borehole detection method	42
5	Geophysical work in different prospecting stages	49
5.1	General provisions	49
5.2	Feasibility prospecting stage	49
5.3	Preliminary prospecting stage	50
5.4	Detailed prospecting stage	52
5.5	Constructed prospecting stage	55
6	Geophysical detection of karst foundation	58
6.1	General provisions	58
6.2	Geophysical detection method	58
7	Achievements of geophysical technologies	61

Appendix A	Applicable extent of engineering geophysical methods	62
Appendix B	Correction method of Grounding Penetrating Radar	72
Appendix C	Travel time correction method of seismic wave	74
	Vocabulary interpretation of the specification	76
	Directory of referred standards	77
	Addition: Explanation of Provisions	78

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家有关技术经济政策，服务于工程建设全过程，做到技术先进、经济合理、确保质量和保护环境，根据广西岩溶地区的岩土工程特点，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于广西壮族自治区岩溶地区房屋建筑和市政基础设施工程各阶段岩土工程勘察和地基处理检测的物探技术工作。

1.0.3 岩溶地区工程物探技术工作，除应执行本规范外，尚应符合国家、行业和地方现行有关技术标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 工程物探 engineering geophysics

利用目的物与周边介质的物理性质差异，运用适当的地球物理原理和相应的仪器设备，通过分析研究观测到的物理场，探查地质界限、地质构造等，解决建设工程中有关工程、环境评价等相关问题的地球物理探测方法。

2.1.2 直流电法 direct current prospecting method

利用探测对象与周边介质之间的电阻率或电化学特性差异，通过观测研究与探测对象有关的直流电场的分布特征和变化规律，达到探测目的的方法。

2.1.3 电阻率测深法 resistivity sounding method

电阻率测深法简称电测深法，它用逐步改变供电电极距大小的办法来控制探测深度，由浅入深，了解一个测点地下介质电阻率的垂向变化。

2.1.4 高密度电阻率法 resistivity imaging/tomography, high density resistivity method

通过电极阵列技术同时实现电测深和电剖面测量，获得二维或三维的电阻率分布，进而研究解决相关问题的电阻率法。

2.1.5 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。

2.1.6 电磁法 electromagnetic method

电磁法是电磁感应法的简称。利用探测对象与相邻介质之间的导电性和导磁性的不同，利用电磁感应原理达到探测目的的方法。

2.1.7 探地雷达法 ground penetrating radar method (GPR)

通过研究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电磁波在介质分界面的反射等特征，解决相关问题的一种电磁法。

2.1.8 音频大地电磁法 audiomagnetotelluric method (AMT)

通过观测由远程天电引起的天然平面电磁波信号以确定地下的电阻率值的方法。

2.1.9 瞬变电磁法 transient electromagnetic method (TEM)

利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲而激发电磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中的二次感应涡流场，从而探测地下介质电性分布特征的一种电磁法，属于时间域电磁法。

2.1.10 浅层地震法 shallow seismic prospecting method

利用人工激发的地震波在弹性性质不同的地层内的传播规律，研究与岩土工程有关的地质、构造、岩土体的物理力学特性，并对工程场地与人工建筑物的适应性进行评价的勘探方法。

2.1.11 透射波法 transmitted wave method

它是观测和研究通过某种岩层的直达穿透波，工作时，振动的激发点和接收点分布于地下弹性分界面或地质体的两侧，根据波的传播时间以及激发点与接受点之间的距离，可以求得波在该

层中的传播速度进而确定地质异常体的形态，并可以计算出岩层或地质体的弹性模量等力学参数。

2.1.12 折射波法 refraction wave method

利用地震波的折射原理，对浅层具有满足折射波探测条件的地层或构造进行探测的一种地震勘探方法。

2.1.13 反射波法 reflection wave method

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

2.1.14 层析成像（CT）computerized tomography method

根据人工场源空间分布而构建地下介质物理参数图像，进而进行地质问题研究的方法技术。

2.1.15 面波法 surface wave exploration method

利用人工震源激发产生的弹性波在介质中传播，通过分析接收记录的瑞雷面波的频散特性和相速度，解决有关地质问题的方法。

2.1.16 微动勘探法 microtremor exploration method

通过对仪器设备观测到的天然源微动信号进行分析、处理和提取面波的频散信息，反演获得地下横波速度变化规律，进而探查地质结构的方法。

2.1.17 井中探测法 borehole geophysical prospecting method

通过仪器测量钻孔井壁及其周围岩石的物理参数、地质构造和钻孔参数来研究解决地质问题的地球物理方法的统称。

2.1.18 管波探测法 tube wave detection method

通过在钻孔井液中激发产生管波.接收并记录其经过井液和孔旁岩土体传播的振动波形。探测孔旁一定范围内的岩溶、洞穴、

软弱夹层及裂隙带发育分布的方法。

2.1.19 钻孔弹性波成像法 borehole elastic wave imagen method

通过研究在钻孔中定向发射和接收多频率弹性波在介质中的传播速度、介质对弹性波的吸收以及弹性波在介质分界面的反射等，解决相关问题的一种弹性波法。

2.1.20 钻孔探地雷达 borehole ground penetrating rada method

通过研究钻孔高频电磁波在钻孔周围介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，解决相关问题的一种电磁法。

2.1.21 桩底声呐（弹性波）法 sonar（Elastic Wave） Method at Pile Bottom method

通过研究在桩底利用声呐（弹性波）发射震源在泥浆桩底发射声呐（弹性波），在桩底多方位接收声呐（弹性波）在介质中的传播速度、介质对弹性波的吸收以及弹性波在介质分界面的反射等，解决相关问题的一种声呐（弹性波）法。

2.1.22 声波测井 acoustic log method

以声波在岩石中传播的速度、岩石对声波能量的吸收以及岩体对声波的折射和反射等性质为基础，来评价地层，划分岩性，计算孔隙度的一种测井方法。可分为声速测井和声幅测井。

2.1.23 钻孔电视 borehole TV method

也叫钻孔全景光学成像，是利用光源投射到孔壁，使用高清摄像头，实时观察孔壁情况，并以视频方式来完成对孔壁探测的一种方法。

2.2 符 号

2.2.1 直流电法

I ——供电电流强度值；

K ——装置系数；

U ——点电位；

η_s ——视极化率；

ρ ——岩、土体的电阻率；

ρ_s ——视电阻率；

ΔU ——测量电极间电位差；

ΔU_1 ——一次场电位差；

ΔU_2 ——二次场电位差；

$S_{0.5}$ ——激发极化半衰时。

2.2.2 电磁法

D ——极化椭圆倾角；

E_x ——电场强度 x 方向水平分量；

E_0 ——核磁共振信号初始振幅；

f ——频率；

H_y ——磁场强度 y 方向分量；

H_z ——磁场强度垂直分量；

I ——发射电流强度；

L ——回线边长；

M ——磁化强度；

N ——噪声电平；

- Q —— 激发脉冲强度；
 R_m —— 最低信噪比；
 T_1 —— 纵向弛豫时间常数；
 T_2 —— 横向弛豫时间常数；
 γ —— 磁旋比；
 r_f —— 第一菲涅尔带半径；
 δ —— 趋肤深度；
 ε —— 岩石的介电常数；
 ε_r —— 岩石的相对介电常数；
 η —— 异常幅度；
 η_0 —— 最小可分辨电平；
 λ —— 电磁波波长；
 μ —— 岩石的磁导率；
 μ_r —— 岩石的相对磁导率；
 ρ_e —— 有效电阻率；
 σ —— 岩石的电导率；
 Φ_0 —— 核磁共振信号初始相位；
 ΔV —— 测量电位差。

2.2.3 浅层地震法

- f —— 频率；
 h —— 深度；
 K —— 波数；
 T —— 周期；
 V —— 真速度；

- V^* ——视速度；
 V_c ——瑞雷波相速度；
 V_p ——纵波速度；
 V_R ——面波速度；
 V_s ——横波速度；
 β ——波长—深度转换系数；
 λ ——波长；
 Δh ——层厚度。

2.2.4 井中物探

- h ——垂直距离；
 L ——源距；
 t ——时间；
 V ——（弹性波）速度；
 x ——水平距离；
 Δh ——波速层的厚度；
 Δt ——时间差。

2.2.5 代号

- A ——供电电极的正极；
 B ——供电电极的负极；
 AB ——供电极距；
 M ——测量电极的一极；
 N ——测量电极的另一极；
 MN ——测量极距；
 O ——观测中心点或记录点。

3 基本规定

3.0.1 岩溶地区开展物探工作应具备下列基本条件：

- 1 目的物与其周围介质间存在一定的物理性质（电性、弹性、密度、磁性、放射性等）差异；
- 2 目的物的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不宜小于 1/10；
- 3 目的物产生的异常场应能从干扰背景场中分辨。

3.0.2 岩溶地区开展工程勘察时，为满足不同的探测目的和要求，可选用下列物探方法：

1 地面工作可采用直流电法、浅层地震法、探地雷达法、音频大地电磁法、瞬变电磁法等，探测土洞、岩溶洞隙的分布、位置及相关的地质构造、地层界面起伏等；

2 单孔有井液耦合且不塌孔时可采用钻孔弹性波成像、管波探测、声波测井等方法，探测桩位径向一定范围内的岩溶、软弱带、裂隙带的发育和分布情况；无井液时可采用井中雷达技术等电磁法探测桩位径向一定范围内的岩溶、软弱带、裂隙带的发育和分布情况；如遇塌孔或无条件进行上述方法时应在基桩施工时进行桩底弹性波（水下高频地震波）探测法，探测桩底一定深度范围内的岩溶、软弱带、裂隙带的发育和分布情况；可采用钻孔电视观测孔壁岩溶洞穴、软弱夹层、裂隙发育、岩体破碎等地质现象；

3 孔间可采用 CT（弹性波、电磁波、电阻率）探测岩溶洞

穴的位置、形状、大小及连通性等。

岩溶地区常见的工程物探方法和适用范围详见附录 A。

3.0.3 物探是岩溶地区岩土工程勘察的基本方法，物探方法应符合下列规定：

1 应进行物探方法的有效性试验，试验地段应选择有对比资料且具有代表性的地段；

2 应有一定数量的钻探验证孔，在相互验证基础上，对物探资料进行综合解释，未加钻探验证的物探技术成果只能作为施工图设计的参考；

3.0.4 物探工作应遵循下列原则：

1 正式工作之前应对测区地形、地质和地球物理条件作全面了解和分析，充分利用以往工作的技术成果；

2 根据工作条件及任务目的，应选用合理有效的物探方法；

3 物探工作应从简单到复杂，从已知到未知；复杂工作条件下或重点工程，宜采用多种方法综合探测。

3.0.5 物探的工作程序应符合下列规定：

接受任务，搜集资料，现场踏勘，物性标本采集，物性参数测定与研究，仪器检验及方法试验，编写技术设计书，测网布置，数据采集与数据处理，资料解释推断与成果图编绘，成果检查与核对，编写探测成果报告和成果提交归档。

当物探任务简单及工作量较小时，上述程序可简化。

3.0.6 工程物探仪器设备应满足性能稳定、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好的要求，其使用应符合下列规定：

1 现场观测前应对仪器进行检查，在同一测区观测的多台同

类仪器应在同一测点上采用相同观测装置和观测方式进行一致性对比；

2 野外观测时若出现仪器设备不正常，应排除故障并经检查正常后才能继续工作；

3 野外工作结束后应检查仪器的完好性。

3.0.7 物探仪器应按仪器设备的检验周期和技术指标对仪器进行定期检验或校准，每次检验或校准的结果应有记录。

3.0.8 物探试验应符合下列规定：

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

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

3 根据试验成果，选择合适的仪器参数和装置形式。

3.0.9 物探方案宜包括下列内容：

1 任务来源、工作目的、工作范围及主要工作量、工期和测区交通位置；

2 测区地形、地貌及环境条件、地质资料分析、水文地质及工程地质概况、地球物理特征及前提条件；

3 作业依据；

4 方法试验与方法选择、工作精度要求、环境保护措施；

5 物探测网布置及工作量估算；

6 仪器设备、野外观测、重复观测、检查观测、原始记录等野外作业技术要求；

7 数据处理、资料整理、异常解释推断、成果图编绘等室内

作业技术要求；

8 仪器、设备、材料、车辆计划；

9 施工组织及工作进度计划；

10 质量、安全、环境保证措施；

11 拟提交的成果资料；

12 物探工作布置图；

13 当物探工程规模较小时，可直接编写施工方案或工作计划，内容可从简。

3.0.10 物探测网的布置应符合下列规定：

1 根据任务要求、探测方法、目的物的规模与埋深等因素综合确定工作比例尺，测网布置应与工作比例尺一致，测网密度应能保证异常的连续、完整和便于追踪；

2 布设测线时，测线方向宜避开地形及其它干扰的影响，应垂直于或大角度相交于目的物或已知异常的走向，岩溶塌陷、漏斗、大型溶洞等走向多变体的探测宜布设两组相互正交的测线；

3 测线长度应保证岩溶异常信息完整，且两侧应有足够的正常背景；

4 探测范围内有已知点时，测线应通过或靠近该已知点布设；

5 点测时，测点布设位置、数量应满足资料解释推断的需要。

3.0.11 物探记录应符合下列规定：

1 物探记录包括：仪器检定、检查和维修记录，原始记录，重复观测记录，检查观测记录，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、天气、

仪器名称、型号、观测系统、仪器主要工作技术参数、测线号、测点号、工作单位和操作人员、校验人员等), 观测数据或电子记录, 文件号, 仪器观测过程中的异常情况记录, 野外地质观测记录, 数据的打印记录等;

3 物探记录应齐全完整、真实、清晰, 不得擦改、涂改、转抄。确需修改更正时, 可在原记录数据和内容上划“—”线后, 将正确的数据或内容填写在其旁边, 并应注记原因及签字确认。

3.0.12 物探的野外观测、重复观测、质量检查工作应符合下列规定:

1 野外作业时, 应尽量避免或排除干扰源、选择信号相对稳定时刻进行观测;

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

3 操作员应现场查看每个记录, 若不符合要求, 应查明原因并及时重测;

4 质量检查应按单体工程分别进行, 当物探任务相对简单、工作量较小时, 也可按全测区进行;

5 检查观测应在不同时间进行;

6 检查点在全测区范围内应均匀分布、随机选取, 异常地段、可疑点、突变点应重点检查。

3.0.13 物探检查观测量不得低于总工作量的 5%。检查质量不满足要求时应增加检查量, 当检查量达到总工作量的 20%, 质量仍不符合规定时, 应全部重测。

3.0.14 物探数据处理和解释应符合下列规定：

1 数据处理和解释不得使用未经检查或评价为不合格的数据；

2 数据处理应使用经过实践检验证明有效的软件；

3 资料解释应在分析各项物性资料的基础上，充分利用各种已知资料，按照从已知到未知、先易后难、点面结合、定性指导定量的原则进行；

4 成果推断应注意物探的多解性，应跟踪、回访验证结果及地质效果，注重物探资料的再解释；

5 解释推断成果应使用相关专业语言表达。

3.0.15 物探的成果可采用多种物探手段进行综合分析，应用于施工图设计的物探成果应有一定数量的钻孔来验证。

3.0.16 经验证后的物探成果可作为勘察、设计、施工、检测的依据。

4 物探技术方法

4.1 一般规定

4.1.1 工作开始前，应在工作现场按工作状态模式对仪器和配套设备进行检查，并满足规定和要求，留存检查记录。

4.1.2 工作开始前，应进行必要的试验工作，合理选择与信号主机配套或连接的设备、测量方式和仪器工作参数。

4.1.3 当使用两台（套）以上的仪器设备进行探测时，应进行仪器一致性对比试验，并满足规定和要求。各台仪器的工作参数应保持一致。

4.1.4 数据处理应使用同一处理软件。当有多套数据处理软件可供使用时，应进行处理效果对比，选择处理效果好的软件作为数据处理软件。

4.1.5 地面探测时，应测量测点、剖面端点、剖面或测线交点的坐标和高程；水上探测时，应测量测线端点坐标和高程、各测点的水深、激发和接收点的沉水深度，水位变化时应即时测量水面高程。

4.2 直流电法

4.2.1 直流电法宜选用高密度电阻率法、激发极化法等。

4.2.2 应用条件应符合下列规定：

1 被探测目标体相对于埋深和装置长度应具有一定规模，且与周围介质有明显的电性差异；

- 2 地形起伏不大、接地良好；
- 3 被探测目标体上方没有极高电阻屏蔽层；
- 4 被测目标体及周围介质电性稳定，异常范围和幅值等特征可以被测量和追踪；
- 5 测区内没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰；
- 6 水上工作时，水流速度较缓。

4.2.3 仪器与设备应符合下列规定：

宜使用多功直流电法仪、多功能激发极化仪，仪器应具有直接测量、显示和存贮功能，还应具有能对自然电位、漂移及电极极化进行补偿的功能并能测量一次场电位、自然电位、供电电流、视电阻率、综合激电参数（二次场电位、视极化率、半衰时、衰减度）等多种参数，主要技术指标应符合以下要求：

- 1 测量电压分辨率为 0.01mV；
- 2 测量电流分辨率为 0.01mA；
- 3 最大补偿范围为 $\pm 1V$ ；
- 4 输入阻抗不小于 $8M\Omega$ ；
- 5 最大供电电压不小于 900V；
- 6 最大供电电流不小于 3A。

4.2.4 漏电检查应符合下列规定：

- 1 仪器外壳与电极间绝缘电阻不应小于 $300M\Omega$ ，导线绝缘电阻应不小于 $2M\Omega$ ；
- 2 检查发现漏电后应立即停止观测，在消除漏电影响后，对可能影响的测点应进行重测；
- 3 在下列情况下，应进行漏电检查：

- 1) 开工和收工时;
- 2) 正常情况下每隔 20 个测点;
- 3) 转移新测站;
- 4) 最大供电极距;
- 5) 测量数据畸变点。

4.2.5 现场电极布置应符合下列规定:

1 高密度电阻率法测量电极宜选用铜质电极, 供电电极可选用铜、钢或铁质电极, 水上或冰上宜选用铅电极; 激发极化法应使用不极化电极;

2 电极布置方向应使地形对测量数据影响最小, 遇有高压线时应使电极布置方向垂直于高压线的走向;

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

4 水上探测时, 可选用水面或水底布置电极, 水面布置电极时应使电极没入水中, 并对测点位置进行水深及坐标测量;

5 同一测点的电极布置应在同一直线上, 跑极方向应在电极布置线上;

6 水上电测深须测量每个测点的坐标和电极布置 (跑极) 方向。

4.2.6 高密度电阻率法现场工作应符合下列规定:

1 装置选择应符合下列要求:

1) 可选对称四极装置、偶极装置、微分装置、三极装置、二极装置、中间梯度装置等;

2) 探测浅表溶沟、溶槽、陡倾角溶蚀带时, 宜选用微分装置、

三极装置、二极装置、中间梯度装置等；探测基岩中的溶洞、暗河等宜选用称四极装置、偶极装置。

2 极距选择应符合下列要求：

- 1) 基本电极距、测量极距宜等于点距；
- 2) 三极装置、二极装置的无穷远极应位于 MN 的中垂线上，应大于最大 OA 或 OB 的 5 倍；当无穷远极与装置方向一致时，应大于最大 OA 或 OB 的 20 倍，且保持对视电阻率的测量误差影响小于 2%；
- 3) 设计观测的最大深度对应的供电极距应大于探测深度的 3 倍。

3 现场电极布置除应满足本规范第 4.2.5 条的规定外，尚应符合下列要求：

- 1) 在测线端点处，应使探测范围处于选用装置和布极条件所确定的有效范围之内；
- 2) 观测前应检查排列中全部电极的接地条件并确保电极的连接顺序正确。

4 重复观测和检查观测除应符合本规范第 3.0.11 条规定外，尚应符合下列要求：

- 1) 重复观测可在每个排列完成后选择两层或两列进行；
- 2) 检查观测可采用散点抽检方式。

5 资料检查和评价除应符合本规范第 3.0.11 条的规定外，单个排列的资料尚应符合本节第 4 点的规定。

4.2.7 激发极化法现场工作应符合下列规定：

- 1** 极距选择、现场电极布置除应符合本规范第 4.2.6 条外，

尚应符合下列要求：

1) 测量电极应使用不极化电极；

2) 供电导线与测量导线应分开 1m 以上，该距离随导线长度而增加。

2 观测、重复观测和检查观测除应符合本规范第 3.11 条和第 4.2.6 条外，尚应符合下列要求：

1) 观测时，供电时间宜大于 30s，且供电电流稳定，电流大小随供电电极距增大而增加，应使一次场电位差 ΔU_1 大于 0.3mV；

2) 出现二次场电位差 ΔU_2 小于 1mV、视激发比值 J_s 大于或接近于视极化率值 η_s 、视衰减值 D_s 大于或接近 100%等三种情形之一时，应重复观测；

3) 重复观测数据的极差系数 K 应小于 $(n-1)^{1/2} \times 7\%$ (n 为观测次数)，否则就增加重复观测量。

3 资料检查和评价除应符合本规范第 3.0.11 条的规定外，尚应符合下列要求：

1) 单个测点的一个极距对应测点的均方根相对误差 m 要求：视极化率应小于 5%、视激发比应小于 7%、视衰减系数应小于 7%、视半衰期应小于 7%；

2) 检查不合格的测点数超过 20%时，该测线或测区的资料不合格，应重新观测。

4.2.8 高密度电阻率法数据处理、资料解释和图件应符合下列要求：

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

2 解释时可采取以下方法:

1) 根据视电阻率剖面或图像中异常的分布、幅值、规模等进行解释;

2) 对比同一剖面多种装置的视电阻率剖面或图像进行解释;

3) 结合视电阻率剖面或图像与已知的地质资料、钻孔资料等进行对比分析和解释。

3 图件可包括: 视电阻率剖面图或电阻率图像图、物探成果地质解释剖面图或平面图。

4.2.9 激发极化法数据处理、资料解释和图件应符合下列要求:

1 剖面资料以定性解释或半定量解释为主, 综合多个激电参数分析确定异常的性质、埋深和规模;

2 结合地质资料或其它方法的物探资料, 分析激电异常的幅值、范围和形态等, 做出岩溶发育情况的合理推断解释;

3 图件可包括: 绘制 ρ_s 、 η_s 、 D_s 、 $S_{0.5}$ 值的剖面图和平面图、相关的物探成果地质解释图。

4.3 电磁法

4.3.1 电磁法宜选用探地雷达法、音频大地电磁法、瞬变电磁法(TEM)等。

4.3.2 探地雷达法宜选用剖面法、环形法、宽角法。当地面相对平坦时, 可选用连续剖面法, 当测线经过的表面凸凹不平、天线不便匀速移动或信号较弱时, 应采用点测剖面法。在基桩底部等窄小工作面的进行探测时, 应采用环形法和点测剖面法。测量围岩介质的电磁波传播速度可采用宽角法。

4.3.3 探地雷达法应用条件应符合下列规定：

- 1 被探测岩溶异常体与周边介质的介电常数存在明显差异，且电性相对稳定；
- 2 被探测岩溶异常体埋藏不宜过深并与埋深相比应具有一定规模。被探测岩溶异常体垂直方向上的厚度应大于探测时所用电磁波在周边介质中有效波长的 $1/4$ ，水平方向上的长度应大于所用电磁波在周边介质中的第一菲涅尔带直径的 $1/4$ 。区分两个水平相邻的岩溶异常体，其最小水平距离应大于第一菲涅尔带直径；
- 3 与所选用的天线尺寸和形状相比，测线经过的表面应相对平缓无障碍，易于天线移动；
- 4 不宜探测被极高电导屏蔽层、潮湿土层、密集钢筋网等覆盖的岩溶异常体；
- 5 测区内不应有大范围的金属构件或无线电射频源等较强的电磁干扰。

4.3.4 探地雷达法的测点和观测方式应符合下列规定：

- 1 点测时，点距应小于尼奎斯特采样间隔，宜为 $0.1\text{m} \sim 1.0\text{m}$ ，同一异常体的测点不应少于 3 个；
- 2 连测时，应先进行点测与连测对比试验，选定连测效果与点测效果相近的天线移动速率为连测工作时天线移动速率；
- 3 采用分体天线进行点测时，应通过调整天线距离使来自反射体的反射信号最强，可选取 2 倍临界角为接收天线与发射天线相对于探测对象的张角，也可选取探测对象最大深度的 $1/5$ 作为天线间距或经试验后的最佳间距；
- 4 使用整体偶极天线时，天线的取向宜使电场的极化方向与

探测对象的长轴或走向平行。当探测对象的长轴方向不明时，宜使用两组正交方向的天线分别进行测量。

4.3.5 探地雷达法的仪器和设备应符合下列规定：

- 1 仪器的信号增益控制应具有指数增益功能；
- 2 仪器的模数转换应大于 16bit；
- 3 仪器应具有 8 次以上信号叠加功能；
- 4 连续测量时，仪器的扫描速率应大于每秒 128 次。

4.3.6 探地雷达仪器参数设置应符合下列规定：

1 雷达主机天线工作频率的选取，应根据探测目的、探测对象埋深、分辨率、介质特性以及天线尺寸是否符合场地需要等因素综合考虑；

2 记录时窗应根据最大探测深度与上覆地层的电磁波平均速度按式 4.3.6 计算；

$$W = 1.3 \times \frac{2h_{\max}}{v} \quad (4.3.6)$$

式中：

W ——时窗 (ns)；

v ——雷达波波速 (m/ns)；

h_{\max} ——最大探测深度 (m)，一般取目标体深度的 1.5 倍。

3 仪器的信号增益应保持信号幅值不超出信号监视窗口的 2/3，且天线静止时信号稳定；

4 宜选择所用天线中心频率的 6~10 倍作为采样率；

5 宜选择中心频率为 8MHz~300MHz 的天线，探测浅埋、小规模岩溶时，天线中心频率可适当提高；

6 采用移动较快的车载测量方式时，宜选用空气耦合天线。

4.3.7 探地雷达法的现场工作应符合下列规定：

1 清除或避开测线附近的金属物；

2 支撑天线的器材选用绝缘材料，天线操作人员不得佩带含有金属成分的物件，并与工作天线保持相对固定的位置；

3 测试过程中，保持工作天线与探测面基本平行、距离相对一致，避免忽高忽低；

4 采用连续观测时，天线的移动速率应均匀，与仪器的扫描率相匹配。点测时，在天线静止时采样；

5 标注应与测线桩号一致。采用自动标注时，避免标注信号线干扰天线工作信号。采用测量轮标注时，宜每 10m 校对一次。

4.3.8 探地雷达法的资料检查和评价除应符合本规范第 3.0.11 条和第 3.0.12 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 检查和评价应对比同一位置的观测、重复观测和检查观测雷达图像；

2 检查观测图像与观测图像的异常形态和位置应基本一致。

4.3.9 探地雷达的数据处理应符合下列规定：

1 根据需要选取或删除无用处，水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、f-k 倾角滤波、反褶积、偏移、空间滤波、点平均等处理方法；

2 根据现场记录数据质量及解释需要选择处理方法与步骤。当反射信号弱、数据信噪比低时，不宜进行反褶积、偏移处理。在进行 f-k 倾角滤波和偏移处理前应删除无用处，并进行水平比例归一化和地形校正；

3 在数据处理各阶段均可选择频率滤波除去某一频段的干扰波；

4 用 f - k 倾角滤波除去倾斜层状的干扰波，但应事先确定无同样倾角的有效层状反射波；

5 用反褶积来压制多次反射波，反射子波应是最小相位；

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

7 为使得异常具有更好的连续性或独立性、提高数据图像的可解释性、改变反射信号的振幅特征，可选用有效道叠加法和道间差法的空间滤波，但应在其它方法处理完成后进行；

8 用点平均法进行平滑数据，去除信号中的高频干扰。参与平均的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比。

4.3.10 探地雷达资料解释应符合下列规定：

1 通过班报现场复核，筛选干扰异常；

2 先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判断识别和筛选异常，确定异常体性质；

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

4.3.11 探地雷达的成果图表应符合下列规定：

1 图件包括雷达剖面图像、雷达剖面成果地质解释图、测线布置图；

2 雷达剖面图像可选择摘录有异常的部分，连测时可绘制色

谱、灰色或波形图像，点测时可绘制波形图像；

3 可采用表格汇总说明异常情况。

4.3.12 瞬变电磁法的应用条件应符合下列规定：

1 岩溶异常体与围岩之间存在明显的电性差异，且呈低阻特性；

2 测区地面干扰、浅表层的地质噪音和人文干扰较小；

3 水上测量时，应在流速和风浪较小、船速平稳的条件下进行。

4.3.13 瞬变电磁仪器设备工作时应符合下列规定：

1 发射机主要技术指标应满足下列要求：

1) 输出电压范围应为 100V~1000V；

2) 发送电流应不小于 10A；

3) 发送功率应不小于 1000W；

4) 发送电流波形应为阶跃波、三角波等。

2 接收机主要技术指标应满足下列要求：

1) 输入阻抗应不小于 10M Ω ；

2) 动态范围应不小于 120db；

3) 最小检测信号不小于 0.05 μ V；

4) A/D 转换精度不小于 16bit。

4.3.14 瞬变电磁法可选用重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、定源回线装置等。

4.3.15 瞬变电磁法回线发射的线框边长可根据其最大发射电流强度与探测深度的关系进行选择。

4.3.16 瞬变电磁法时窗范围应通过现场试验确定。最长时窗可根

据公式 4.3.16-1 估算:

$$t = \frac{H^2}{784 \times \rho(t)} \quad (4.3.16-1)$$

式中 t ——断电后延时, 单位为毫秒 (ms);

H ——最大探测深度, 单位为米 (m);

$\rho(t)$ ——延时 t 时刻视电阻率, 单位为欧姆米 ($\Omega \cdot m$)

对于中心回线装置, 上式中的视电阻率可根据公式 4.3.16-2 计算获得:

$$\rho(t) = \frac{\mu_0}{4\pi t} \times \left(\frac{2\mu_0 M q}{5t dB(t)} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4.3.16-2)$$

式中 $\rho(t)$ ——延时 t 时刻视电阻率, 单位为欧姆米 ($\Omega \cdot m$);

μ_0 ——真空磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利每米 (H/m);

M ——发射磁距, 单位为安平方米 ($A \cdot m^2$);

q ——接收线圈有效面积, 单位平方米 (m^2);

t ——衰减时间, 单位为毫秒 (ms);

$\frac{dB(t)}{dt}$ ——磁感应强度 B 关于时间的导数;

I ——发射电流, 单位为安 (A);

L ——发射回线边长, 单位为米 (m)。

4.3.17 瞬变电磁法现场工作应符合下列规定:

1 观测 B_x 、 B_y 的方向误差应小于 2° , B_z 以线圈架的水泡居中为准;

- 2 发送站应设在与接收站易于联系的地方；
- 3 接收站应避免强干扰源和金属干扰物；
- 4 发送站和接收站不应布在超高压（10KV 以上）的下方；
- 5 在雷雨天气或阴雨、温度很大时，不宜开展工作；
- 6 在敷设线框时，剩余导线应呈“S”形铺于地面，不得留在线框架上。布线可在方向线上左右摆动，但摆动幅度应小于回线边长的 5%，实际线框角点误差应小于 5%，测点位置误差应小于 5%；
- 7 采用偶极装置时，发射线框面积误差应不大于 5%；
- 8 导线连接处应接触良好，严禁漏电，绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ ，供电导线的总电阻应满足回线供电电流的设计要求；
- 9 当导线通过水田、池塘和河沟时，应架空防止漏电，当导线横穿公路时，应架空或埋入地下。架空导线应拉紧固定，防止随风摆动；
- 10 出现下列情况时，应重复观测：
 - 1) 最后有 3~5 测道的观测值可在噪声电平以下，否则需查明原因，并采用增加叠加次数等方法进行重复观测；
 - 2) 曲线出现异常时，应查明原因后重复观测；必要时，可移动点位避开干扰物源重测，并做详细记录；
 - 3) 异常点、突变点应重复观测，必要时加密测点。当曲线衰变较慢时，可扩大测道时间范围重复观测；
 - 4) 仪器出现故障时，应及时查明原因，并回到已测过的测点上重复观测，确认仪器性能正常后，方可继续观测。

4.3.18 瞬变电磁法的数据质量检查和评价除应符合本规范第

3.0.11 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 系统检查的观测结果，分别计算平均均方相对误差和平均均方绝对误差，并同时满足下列要求：

- 1) 超过设计误差要求的测点数应小于检查点数的 1/3；
- 2) 超过设计误差要求 2 倍的测点数应小于检查点数的 5%；
- 3) 超过设计误差要求 3 倍的测点数应小于检查点数的 1%。

2 测区范围较大、各地段观测技术条件相差较大时，分区、分段进行评价；

3 观测质量不符合要求的区、段，检查工作量可增加至 20%，但仍然证明观测质量不符合要求时，则该区、段的观测工作量应作报废处理，观测数据可作为参考。

4.3.19 瞬变电磁法的数据处理应包括下列内容：

1 原始数据滤波，可选择三点滤波、四点滤波、六点滤波、卡尔曼滤波和函数拟合滤波；

2 发送电流切断时间影响处理；

3 换算出视电阻率、视深度、视时间常数、视纵向电导等参数。

4.3.20 瞬变电磁法成果图件应符合下列规定：

1 瞬变电磁法成果应提供实际材料图、拟断面图或纵向电导 $S_t(t)$ 曲线类型图、综合剖面图等；

2 实际材料图应包括下列内容：

- 1) 交通位置、水系和特殊建筑物等；
- 2) 测区范围、测网及回线布设位置、电磁干扰分布位置等；
- 3) 点线编号、检查点位及丢点点位等；
- 4) 其它与实际有关的信息。

5 综合剖面图可包括：多测道 V/I（或 B/I）异常剖面曲线、 $S_t(t)$ 曲线、 $\rho_t(t)$ 拟断面、地质剖面和地质推断结果等。

4.4 浅层地震法

4.4.1 浅层地震法宜选用浅层反射波法、浅层折射波法、面波（瑞雷波）法、微动勘探法等。

4.4.2 浅层反射波法宜用于探测覆盖层与基岩的分界面和溶沟、土洞、溶槽、溶洞、缓倾角溶蚀带及构造的发育情况。其应用条件应符合下列规定：

- 1 被探测目标体与邻近介质应有明显的波阻抗差异；
- 2 被探测目标体应具有一定规模，其垂向厚度或宽度应大于有效波长的 1/4；

3 入射波能在界面上产生规则的反射波。

4.4.3 浅层折射波法宜用于探测覆盖层与基岩的分界面和溶沟、溶槽、陡倾角溶蚀带及构造的发育情况。其应用条件应符合下列规定：

- 1 下伏岩层波速须大于上覆地层波速，且差异明显；
- 2 下伏岩层视倾角与折射波临界角之和须小于 90° ；
- 3 被探测目的体与周围介质应有明显差异，且具有一定规模。

4.4.4 面波（瑞雷波）法宜用于探测覆盖层中的土洞和塌落洞、浅部基岩中的溶洞。其应用条件应符合下列规定：

- 1 被探测目的体与周围介质之间存在明显的波速差异；
- 2 被探测目的体应具有一定规模，其周围介质在横向上相对均匀；

3 地面相对平坦，避开沟、坎等复杂地形的影响。

4.4.5 震源和仪器设备工作时应符合下列规定：

1 震源应符合下列要求：

- 1) 可使用爆炸震源、锤击震源和落重震源；
- 2) 震源能激发所选方法需要的主频地震脉冲，能量可控并符合探测深度要求；
- 3) 爆炸机性能安全可靠，并具备记时回路触发功能；
- 4) 锤击震源和落重震源应操作方便、重复性好；
- 5) 记时信号延迟时差不大于 0.5ms。

2 地震仪应符合以下要求：

- 1) 可选用 12 道、24 道或 48 道浅层数字地震仪，具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、数字采集等功能；
- 2) 采样间隔可选，最小采样间隔应不大于 0.05ms；
- 3) 记录长度可选，每道样点应不小于 1024 样点/道；
- 4) A/D 模数转换精度应不小于 12bit；
- 5) 通频带应为 2Hz~2000Hz；
- 6) 放大器内部噪声应小于 $1\mu\text{V}$ ；
- 7) 动态范围应不小于 96dB。

3 检波器应符合以下技术要求：

- 1) 检波器各道之间固有频率相差应小于 10%，灵敏度相差应小于 10%，相位差应小于 1ms；
- 2) 绝缘电阻应不小于 $10\text{M}\Omega$ ；
- 3) 水中检波器应有良好的防水性能。

4 地震记录道一致性应符合以下要求：

- 1) 各道之间相位差应小于 1.5ms;
- 2) 各道之间振幅差小于 15%。

4.4.6 试验工作除应符合本规范第 3.0.7 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 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;

2 了解测区的地球物理条件、有效波和干扰波分布情况,试验压制干扰波的措施,选择激发接收方式、仪器工作参数及观测系统;

3 了解测区有效波和干扰波分布宜使用展开排列观测方式。浅层折射波法展开排列长度宜为探测深度的 6 倍~10 倍,浅层反射波法宜为探测深度的 2 倍~3 倍,面(瑞雷)波法宜为探测深度的 1 倍~2 倍。检波点距应不大于实际工作的检波点距;

4 生产中遇到局部地段记录质量明显下降时,应分析原因,并通过试验找出原因,选择新的仪器工作参数或改变工作方法;

4.4.7 测线布置除应符合本规范第 3.0.10 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 测线布置应考虑旁侧影响和穿透现象;

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

3 当地形起伏时,可按坡度相近的地貌单元分段布置,炮点宜布置在顶部或底部,并保证各段测线资料能独立解释;

4 河谷测线宜垂直河流或顺河流布置,当河谷较狭窄折射波

相遇段较短时可斜交河流布置测线。

4.4.8 现场准备工作应符合下列规定：

1 仪器设备检查除应符合本规范第 4.4.5 条的要求外，还应符合下列规定：

1) 放大器一致性检查，采样间隔宜按仪器最小值设置。固定增益型仪器各道的增益设置相同；

2) 记录道一致性检查时，放大器设置符合本节第 1 点 1) 的要求，检波器安置条件一致，检波器安置范围与其距震源距离相比很小；

3) 应进行连接电缆及检波器电缆的绝缘检查，绝缘电阻应大于 200k Ω ；

4) 当使用爆炸震源时，爆炸线与计时线应有明显区别。

4.4.9 观测系统应符合下列规定：

1 依据试验结果确定，在保证有效波的连续对比追踪的前提下，可采用简便的观测系统：

2 浅层折射波法观测系统应符合下列要求：

1) 保证被追踪地段内至少有 4 个检波点有效接收折射波；

2) 采用单支时距曲线观测系统时，地面和基岩界面应平坦；

3) 采用追逐时距曲线观测系统时，保证在两支时距曲线上被追踪段至少有 4 个检波点有效重复接收同一界面的折射波；

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

3 浅层反射波法观测系统应符合下列要求：

1) 可采用单边和双边展开排列观测系统了解测区内有效

波和干扰波的分布情况和振幅特征，并选择最佳窗口，确定最佳偏移距和检波点距；

2) 地球物理条件较简单、反射层位较稳定且在反射窗口内反射波较强的测区，可采用等偏移距观测系统。观测时应根据展开排列试验资料，将偏移距选在反射波窗口的中部；

3) 采用共深度点叠加观测系统时，宜采用有一定偏移距、单端激发、不少于 6 次覆盖，应使接收排列在最佳反射窗口内。

4 面波（瑞雷波）法观测系统应符合下列要求：

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

2) 选用锤击、落重或爆炸震源时，可在多道等检波点距排列的单端或两端激发，用 12 道或 24 道接收；

3) 通过试验选择适当的偏移距和检波点距，以满足最佳瑞雷波接收窗口和最佳探测深度的要求。排列长度应大于探测深度，检波距应小于异常体尺度；

4) 同一测线的排列方向宜与测线保持一致。

4.4.10 地震波激发和接收应通过试验确定并符合下列规定：

1 一个测区及测段宜选用同一滤波档，改变滤波档应有对比记录；

2 根据探测深度、排列长度、炮检距等确定记录长度，当采用高采样率与记录长度发生矛盾时，可使用延时；

3 采用面波（瞬态瑞雷波）探测时，仪器滤波档应设置为全通采样，采样间隔应小于瑞雷波最高频率的半个周期，时间测程应大于最远道瑞雷波的最长走时；

4 当激震信号较弱或信噪比较低时可采用重复激发进行信号叠加；

5 使用爆炸震源时，爆破作业安全须按现行国家标准《爆破安全规程》GB6722 的规定操作。并应符合下列要求：

1) 爆炸记时线应绕炸药包捆绑；

2) 坑中爆炸时，药包应用土或细砂埋实，清除炮点处碎石块和木棍条等。多次使用同一炮坑时，每次埋药包前应清除松土；

3) 水中爆炸时，药包宜沉入水面 1m 以下；

4) 井中爆炸时，宜有水或泥浆耦合；

5) 爆炸点位置和深度应准确，必要时可沿测线垂直方向偏移，偏移距离不应超过检波点距的 1/5；

6) 应须使用专用爆炸机。多个爆炸站时，严禁使用两套及两套以上爆炸线和记时线。

6 使用锤击和落重震源时，应符合下列要求：

1) 浅层地震波折射和反射的激发点应选在较密实的土层上，必要时应先除去激发点表面松散层或预先夯实，锤击板应与地面接触良好；

2) 面波（瞬态瑞雷波）的激发点应保持地面的原始状态，不宜夯实或铲除浮土，以利于激发低频瑞雷波。使用叩板震源时，木板的长轴应垂直测线，且长轴的中点应在测线或测线延长线上，木板上应加压足够的重物 and 安装抓钉，保持叩板与地面接触牢固，使用钉钯震源时，钯齿应打入土层中保持钉钯与地面接触牢固。

7 同一测线上，宜采用同一检波点距和排列长度。检波点距应根据选用的方法、探测任务要求、地形地质条件和地球物理条

件确定；

8 检波器应根据有效波的频率响应和提高分辨的要求进行选择，并应符合下列要求：

1) 浅层地震折射方法宜选用固有频率为 10Hz~40Hz 的垂直检波器；

2) 浅层地震纵波反射方法宜选用固有频率为 100Hz 的垂直检波器；

3) 浅层地震横波反射方法宜选用固有频率为 40Hz~60Hz 的水平检波器；

4) 面波（瑞雷波）法的检波器固有频率和频带宽应与探测要求相符，一般可选用固有频率为 1Hz~10Hz 的垂直检波器。

9 检波器的布设应符合下列要求：

1) 位置准确、埋置条件一致，并与地面接触牢固，防止漏电和背景干扰；

2) 当受地形地表条件的限制，检波器不能安置在原设计点时，可沿测线移动（不含互换点），如有困难时可沿测线垂直方向移动，偏移距离应小于检波距的 1/5，并记入班报；

3) 采用水平检波器接收横波时，检波器应水平安置，灵敏轴应垂直测线方向且取向一致。

4) 水中接收时，应将水听器沉入水面下，沉入深度宜为 1m 以上；

5) 使用井中三分量检波器接收横波时，检波器应贴壁牢固。

4.4.11 水域地震工作应符合下列规定：

1 浅层折射波法宜采用固定排列、爆炸震源和漂浮电缆。当

水流湍急、干扰背景强烈时，可采用激发点与接收点互换的观测方式；

2 进行水域浅层地震反射波法观测时，宜采用移动排列，使用船拖电火花震源和漂浮电缆，沿测线同步移动，拖船速度应稳定，并保持电缆沉放深度一致；

3 水域作业期间，及时测量水边线高程、各漂浮电缆沉放深度和震源点的水深。当水位变化超过 0.5m 时，应进行校正。

4.4.12 浅层地震探测原始记录应符合下列规定：

1 原始记录应完整、清晰，且经过评价为合格，原始记录包括仪器检查记录、试验记录、生产记录和班报等；

2 存在下列缺陷之一的记录为不合格记录：

1) 不能可靠地追踪有效波的记录；

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

3) 同一记录中使用道数的六分之一以上或两相邻道工作不正常的记录；

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

5) 同一排列的互换道或排列间同相位的时间差经校正后，大于 3ms 的记录；

6) 记录编号或主要内容与班报不符，又无法改正的记录。

4.4.13 波的对比应符合下列规定：

1 辨认和追踪有效波的同相轴和波的置换应进行波的对比。宜选择靠近有效波的起始相位进行单相位或多相位对比，在断裂

发育区宜采用多相位对比；

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

3 在相遇时距曲线观测系统中进行互换道和连接道上波的对比，应根据有效波的旅行时的相等性及其动力学特点的相近性进行分析；

4 折射波对比时应根据追逐时距曲线的平行性来判别同一层位或不同层位的折射波；

5 识别展开排列和共炮点地震记录的反射波同相轴，应采用单相位或多相位对比，同一层位的反射波与其连续相位或多次反射同相轴呈平行双曲线，不同层位的反射波同相轴随炮检距增加而逐渐靠拢，溶洞发育处的反射波有回转波同相轴出现；

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

4.4.14 旅行时读数应符合下列规定：

1 在原始记录上读取波的初至时间，当初至波读取有困难时，可读取有效波的第一个极值时间，并根据相位进行校正；

2 在波的干扰或置换位置，应在分析波的叠加情况后正确读取；

4.4.15 旅行时读数应按本规范附录 C 进行校正，校正内容宜包括相位校正、激发点深度校正、表层低速带校正及地形校正。

4.4.16 平均速度和有效速度的取值应符合下列规定：

1 确定平均速度或有效速度应充分考虑近地表介质不均匀

性和低速带厚度与下伏层厚度的相对变化的影响；

2 速度参数可采用地震测井、浅层反射波法和浅层折射波及瑞雷波法探测资料求得；

3 测区有钻孔时应利用地震测井曲线计算平均速度，并对平方坐标法和交点法计算的有效速度进行评价和校正；

4 进行地震探测时，宜在测线两端进行有效速度测试，当发现相邻速度差超过 20%时，应在该测段内增加速度测试工作，并绘制速度沿测线变化的曲线，按曲线上对应的速度值构制界面；

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

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

4.4.17 折射波法数据处理、资料解释和图件除应符合本规范第 3.0.13 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 绘制时距曲线的比例尺应根据实际观测精度进行选择，人工绘制时，水平比例尺可采用 1：500、1：1000、1：2000，垂直比例尺可采用 1cm 代表 5ms、10ms、20ms；

2 时距曲线绘制后，可根据互换时间相等性、追逐时距曲线的平等性、炮点两侧截距时间相近等原则进行检查。当出现非正常现象时，应检查原始记录相关道的旅行时读数并进行修正；

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

4 绘制综合时距曲线时，应将校正前后的时距曲线一并绘出；

5 应根据地球物理条件方法特点和精度要求选择折射波解

释计算方法。

4.4.18 浅层折射波法的资料推断解释应符合下列规定：

1 应以钻孔和物性资料为依据确定地震界面与地质界面的对应关系；

2 应以所获得的物性资料和地质资料为依据推断水平方向上的速度变化的原因；

3 应结合原始记录上的振幅衰减、波形变化等现象确定塌落洞、溶沟、溶槽、陡倾角溶蚀带等发育情况。

4.4.19 浅层折射波成果图件应符合下列规定：

1 成果图件宜包括综合时距曲线图、地质解释剖面成果图。综合时距曲线剖面图应包括解释计算曲线和数据。地质解释剖面成果图包括地质剖面图覆盖层或基岩顶板等高线图，推断的岩溶异常的性质、规模和埋深等；

2 地质解释剖面成果图上应注明比例尺、高程、剖面桩号和方向、剖面端点和转折点坐标、测线交点、界面上下介质的波速值和岩性符号，并将通过测线的勘探点位置标在图上。比例尺应符合探测精度要求或与工作比例尺保持一致。

4.4.20 浅层反射波法数据处理资料解释和图件应符合下列规定：

1 应利用测区展开排列的探测资料、其它物探方法的探测资料、已知地质资料、钻探资料等确认界面及岩溶异常的反射波组；

2 应根据原始记录的信噪比情况，通过对比试验选择滤波频率、滤波视速度、叠加速度、平均速度作相关预处理；

3 原始记录预处理应将不正常道数据充零、校正反极性道；

4 在地形起伏较大、低速带速度或厚度变化较大的测区，一

次静校正应符合下列要求：

1) 测线地形起伏较大且地貌单元明显不同时，应根据地形、地质情况分段选取地形改正基准线；

2) 在表层低速带沿测线方向变化较大时，应沿测线补充浅层地震折射探测，取得波速分布资料。

5 进行速度分析时，选取叠加速度应符合下列要求：

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

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

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

4) 对水平叠加效果欠佳的地段，应对该段叠加速度作必要的修改。

6 数字滤波应符合下列要求：

1) 应在频谱分析的基础上选择滤波频率；

2) 应调整滤波宽度，解决提高信噪比和分辨率的矛盾；

3) 应用合适的镶边宽度，避免吉布斯现象和减少滤波因子截断误差。

7 依据测区地质条件和地震记录特点，可选用下列处理方法：

1) 有效反射波组之间振幅强弱悬殊的记录，叠前应进行道内动平衡处理；

2) 有效反射波组之间相互干扰的记录，宜采用反褶积处理；

3) 对垂向速度倒转的测段，宜进行相应的动校正处理；

4) 当界面倾角较大时, 可进行偏移叠加或叠加偏移处理。

8 在岩溶发育区和溶蚀带附近可不进行剖面修饰性处理;

9 原始的等偏移资料和地震映像资料用作定量解释时应进行动校正处理;

10 浅层反射波资料基础图件应符合下列要求:

1) 图上应注明测区名称、剖面号(测线号)、偏移距、检波点距等基本信息;

2) 水平叠加时间剖面图应注明叠加次数、叠加速度、处理流程等;

3) 等偏移时间剖面图或地震映像图应注明是否经过运校正及动校正速度;

4) 时间剖面的典型地段应附相应的展开排列记录。

11 成果图件可为地质解释剖面, 在图中圈定岩溶发育的规模和位置。

4.4.21 面波(瑞雷波)法数据处理资料解释和图件应符合下列规定:

1 稳态瑞雷波计算处理, 可选择时间差法或相位差法;

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

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

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

5 应选用互相关法,也可选用相位差法、频率波数域法和空间自相关法计算瞬态瑞雷波速度。可选用极值法或近似点法求取层速度一次导数法或拐点法求取层厚度;

6 应根据瑞雷波频散曲线的异常特征确定岩溶发育情况;

7 瑞雷波的深度转换宜选用半波长法,并按泊松比确定转换系数进行校正,也可根据测区地质资料对比解释;

8 频散曲线应以瑞雷波的频率为纵轴,瑞雷波速度为横轴绘制。波速频率曲线也可绘制深度频率曲线,稳态法可用短折线绘制,瞬态法应以点状曲线绘制,也可在同一图中同时用短折线绘制。当进行剖面探测时,应将波速频率或深度频率曲线按任务要求的比例绘制在同一剖面上,也可根据最后反演计算的层速度和层深度绘制断面图。

4.5 井中探测法

4.5.1 井中探测法宜选用弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT、钻孔弹性波成像法、钻孔探地雷达法、管波探测法和桩底声呐(弹性波)法、声波测井、钻孔电视等。弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT 用于孔间(跨孔)探测;其中钻孔弹性波成像、钻孔探地雷达法、管波探测法、声波测井、钻孔电视等用于单孔探测;其中弹性波 CT 分为地震波 CT 和声波 CT;桩底声呐(弹性波)法用于孔径 500mm 以上的桩孔底部探测。

4.5.2 孔间 CT 应用条件应符合下列规定：

1 岩溶异常体与周边介质存在电性或波速差异。具有电性差异的应选用电磁波 CT、电阻率 CT，具有波速差异的宜选择弹性波 CT，同时存在电性和波速差异的可根据条件选择其中一种。当条件复杂时，可同时采用两种方法；

2 成像区域周边至少两侧应具备钻孔、探洞或临空面等探测条件；

3 岩溶异常体宜相对位于扫描断面的中部，其规模大小与扫描范围应具有可比性，异常体轮廓可由成像单元组合构成。

4.5.3 仪器设备应符合下列规定：

1 声波 CT 应选用声波仪，并应符合下列要求：

- 1) 最小采样间隔小于 $0.1\mu\text{s}$ ；
- 2) 单道采样点大于 512，并可选；
- 3) 触发方式有内、外、信号、稳态等方式；
- 4) 频响范围为 $10\text{Hz}\sim 500\text{kHz}$ ；
- 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 $1\sim 500\mu\text{s}$ ，并可选。

2 声波 CT 震源可选用大功率声波发射探头、超磁致震源或电火花震源。超磁致震源或电火花震源应符合下列要求：

- 1) 必须符合高压电器的防护和使用要求；
- 2) 应能激发高频声波脉冲、能量可控，并能满足接收要求；
- 3) 记时信号超跳尖锐、稳定，与接收仪器同步误差小于读数误差的 2 倍；

3 地震波 CT 应选用地震仪，震源可选用爆炸震源或电火花震源，仪器设备应符合本规范第 4.4.5 条的规定；

4 电磁波吸收系数 CT 应选用钻孔电磁波透视仪，仪器设备应符合下列要求：

- 1) 频率可选；
- 2) 接收噪声电平不大于 $0.2\mu\text{V}$ ；
- 3) 测量范围为 $20\text{dB}\sim 140\text{dB}$ ；
- 4) 动态范围为 140dB ；
- 5) 测量误差不超过 $\pm 3\text{dB}$ 。

5 电磁波 CT 和电阻率 CT 仪器设备应符合本规范第 4.3.5 条的规定；

6 选用的地震仪，震源可选用电火花震源，仪器设备应符合本规范第 4.4.5 条的规定。

4.5.4 剖面及测点布置应符合下列规定：

1 CT 描断面的钻孔（或探井）应相对规则，且共面；

2 CT 观测的孔（井）间距应根据任务要求、物性条件、仪器设备性能和方法特点合理布置，并宜符合下列要求：

- 1) 声波 CT 不大于 30m ；
- 2) 电磁波 CT、电阻率 CT 不大于 60m ；
- 3) 地震波 CT 可根据激发方式和能量大小适当选择；
- 4) 成像的孔（井）深度大于其孔（井）间距，地质条件较为复杂、探测精度要求较高的部位，孔距或洞距可相应减小。

3 测点距应根据探测精度和方法特点确定，并宜符合下列要求：

- 1) 声波 CT 和电磁波 CT 不大于 1m;
- 2) 地震波 CT 不大于 3m;
- 3) 电阻率 CT 不大于 2m。

4 观测系统应符合下列要求:

1) 跨孔(井)观测,可采用两边观测系统,当孔间的地面或洞间边坡条件适宜时,宜采用三边观测系统,在梁柱或多面临空的情况下,可采用多边观测系统;

2) 对探洞、钻孔及自然临空面所构成的区域,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以不产生明显断面外绕射为原则;

3) 当发射点间距大于接收点间距时,应采用两孔互换观测系统,并保持一定数量的发射、接收点互换;

4) 在同一剖面上进行多组孔间或洞间观测时,宜保持观测系统一致。

4.5.5 现场工作应符合下列规定:

1 声波 CT 和地震波 CT 应符合下列要求:

1) 钻孔应进行测斜;

2) 应进行单孔声波速度测试,测点间距应符合本规范第 4.5.4 条的规定;

3) 宜选择孔壁相对完整的孔作为接收孔,当孔壁条件较差时,应下塑料或金属套管,采用爆炸震源时,激发孔内宜下金属套管护壁或在激发点以上吊置一段金属套管,边在管脚放炮边提升套管;

4) 当接收距离较远或信号衰减较快时,宜选择高能量激发装

置和具有前置放大功能的接收探头或高灵敏度检波器接收；

5) 当采用电火花或爆炸震源激发、多道接收方式观测时，同一震源点的相邻接收排列应至少有一道重复。

2 电磁波 CT、电阻率 CT 应符合下列要求：

1) 应通过现场试验选择仪器的工作频率和对应天线；

2) 电磁波吸收系数 CT 可选择单频或多频观测方式。当同一剖面进行多组电磁波 CT 时，宜使用相同的频段；

3) 确定初始场强、背景吸收值或背景波速时，应在岩体完整的孔段进行三孔法或双孔法试验；

4) 在井下作业前，应对仪器进行校零和时钟同步；

5) 电磁波 CT 仪器的发射机与电缆间宜使用长度为 2 倍所选波长的绝缘绳相连，接收机与电缆间应有电缆滤波器相连，天线下端应悬挂重锤；

6) 宜先进行同步观测，然后进行定点观测。当发现异常后，应适当加密观测；

7) 应避开金属管件等影响，当仪器距孔口或洞口较近时，应使用金属板将洞口孔口（口径较大的）进行封闭，以避免电磁波经空气绕射。

3 管波探测法、钻孔弹性波成像法、钻孔探地雷达法、桩底声呐（弹性波）法应符合下列要求：

1) 采用固定偏移距（收发距）；

2) 采用一发一收或一发多收装置。

4.5.6 观测资料的检查和评价应符合下列规定：

1 收发互换的观测点可作为检查工作量；

2 旅行时或场强的重复观测相对误差小于 3.5%，检查观测的均方相对误差小于 5%。

4.5.7 数据处理和资料解释应符合下列规定：

1 进行波速成像观测时，应读取各条射线透射波的首波旅行时。当存在激发延时时，应进行校正；

2 电磁波吸收系数 CT 的数据应进行初始场强校正、近地表侧面波校正、剔除坏值等；

3 CT 探测时，应依据测量测斜资料及成像数学模型计算每条射线的激发和接收点坐标；

4 CT 探测时，应计算出每条射线的平均波速或平均吸收系数，并分别显示出各个同步和定点的平均波速或平均吸收系数曲线，以确定参加反演参数的变幅范围；

5 CT 探测时，应根据地质地球物理条件、观测系统成像精度、分辨率和任务要求，选择和建立数学物理模型网络，单元尺寸不应小于测点间距，单元总数不宜大于射线条数。模型的初始值和约束极值可由已知地质条件、经验值、现场试验计算等方法得出；

6 CT 探测的射线追踪可选择线性方程打靶法、最小旅行时或平方慢度等方法；

7 CT 数据反演方法宜选择奇异值分解（SVD）、联合迭代（SIRT）、共扼梯度（CG）、阻尼最小二乘等方法（LSQR）以及由这些方法改进而成的其它方法。

8 CT 数据反演时，可将单孔声波或地震波速度、电磁波、雷达测井资料作为边界条件，加入相应的反演计算中，以克服边

界误差；

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

10 相互连接的 CT 剖面，应采用相同的反演方法、模型和参数。宜将全部观测的数据作为整体进行反演；

11 多频观测的电磁波吸收系数 CT，可选择相对衰减成像。选择的频率，应频散明显数据、没有盲区；

12 对于两边观测的 CT 数据，可选择具有压缩恢复处理功能的反演软件，以减小图像在垂直观测方向上的伪差；

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

14 应根据 CT 图像中波速吸收系数的分布规律，结合地质、钻探等资料推断解释；

15 钻孔弹性波成像、钻孔探地雷达和管波探测数据可进行滤波等常规性处理，应根据振幅能量和“三角波”的特征，结合地质、钻探等资料推断解释。

4.5.8 图件应符合下列规定：

1 图件包括射线分布图、CT 图像和 CT 成果地质解释图；

2 CT 图像可采用等值线、灰度、色谱等图示方法，图像可等差分级，为了突出异常也可变差分级；

3 同一条剖面的多组断面分段处理时，可将分段成果拼接成一幅剖面成果图。

5 各勘察阶段工程物探

5.1 一般规定

5.1.1 根据各勘察阶段的任务要求，应结合场地的地形地貌、地质条件和测区周边的岩土工程经验，选择可行并有效的两种或两种以上物性参数的物探方法，并通过试验证明所选方法的有效性和可行性。

5.1.2 物探探测精度应根据具体工程在不同勘察阶段要求确定。

5.1.3 各勘察阶段不同物探方法的探测成果应综合分析，并应深入分析前期物探成果资料（如有）及其它相关资料。

5.2 可行性勘察阶段物探

5.2.1 可行性勘察阶段物探工作主要任务是为场地的稳定性和适宜性评价提供可靠的物探依据，提出测区内地下暗河、岩溶洞隙、土洞、溶沟（槽）、塌陷、漏斗等岩溶现象的可能性。

5.2.2 可行性勘察物探方法宜选用直流电法、浅层地震法、电磁法等。

5.2.3 在充分搜集和分析已有资料的基础上，通过踏勘了解建筑场地的地层、岩性、构造和岩溶发育情况，并通过试验选择可行和有效的物探方法。

5.2.4 测线（点）布置应符合本规范第 3.0.10 条的规定外，并符

合下列规定：

1 地面物探工作应根据地质测绘成果沿垂直目标体走向布置测线或采取网格布置，测线间距宜为 10m~100m 且不少于 1 条测线；

2 剖面上有效解释范围应超出场地边界 5m 以上，若遇异常形态不完整，剖面应适当延长；

3 直流电法点间距根据探测深度要求宜为 5m~20m，浅层地震法点间距宜为 4m~20m，音频大地电磁法、瞬变电磁法点间距宜为 25m~100m。

5.2.5 应深入分析成果资料，推断场地地下暗河、岩溶洞隙、土洞、溶沟（槽）、塌陷、漏斗等岩溶发育的可能性，并对其规模大小给出初步评价，提出验证钻孔布置建议。

5.2.6 根据已有或补充的钻孔资料、水文地质与工程地质资料，修改原来的处理和反演参数对原始资料进行重新处理分析，完善或修正原来的解释成果。

5.3 初步勘察阶段物探

5.3.1 初步勘察阶段物探工作主要任务是定性划分可能的岩溶发育区，为场地的稳定性和适宜性分区提供可靠的物探资料；初步查明测区内地下暗河、岩溶洞隙、土洞、溶沟（槽）、塌陷、漏斗等岩溶现象的分布规律；并初步查明岩面起伏、形态和覆盖层厚度，为钻探资料外推、岩体完整性定量划分、围岩等级分类及场地类别划分等提供依据。

5.3.2 初步勘察开展物探工作之前应搜集上阶段的物探成果、工

程地质、岩土工程、钻探等资料，并分析上阶段物探工作或其它相关资料，结合勘察大纲通过试验确定有效的物探方法。采用与上阶段不同的物探方法时，应进行必要的试验工作，以证明其有效性和可行性。

5.3.3 初步勘察物探工作内容及方法选择应符合下列规定：

1 初步勘察物探方法的选择应以地面物探方法为主，井中探测方法为辅，地面物探工作可选用直流电法、浅层地震法、音频大地电磁法、瞬变电磁法等，地面物探工作宜在钻探工作之前进行；当开展井中探测方法时宜选用井间（地震波、电磁波、电阻率）CT、声波测井、波速测试、钻孔电视等方法；

2 当井中探测法需要有井液耦合时，应确保套管内外均有充分的耦合井液，否则严禁使用该物探方法；

3 当在控制性钻孔内采用钻孔波速测试方法进行场地类别划分时，测试时宜采用孔内原位测试；当现场测试条件不满足时，可采用多道瞬态面波法测试，并按现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 的规定进行；

4 当需对岩体完整性进行定量或定性划分时，应优先采用声波测井、钻孔电视等井中探测法进行物探测试。

5.3.4 测线（点）布置应符合本规范第 3.0.10 条的规定，并符合下列要求：

1 地面物探工作可根据地质测绘成果沿垂直目标体走向布置测线或采取网格布置，测线间距宜为 5m~50m；

2 剖面上有效解释范围应包括场地边界，若遇异常形态不完整，应适当向外延长剖面；

3 直流电法点间距根据探测深度要求宜为 3m~15m、浅层地震法道间距宜为 2m~10m，音频大地电磁法、瞬变电磁法点间距宜为 20m~50m；井中探测方法中声波测井点间距宜为 0.2m~0.5m、波速测试点间距宜为 1.0m~3.0m，井间（地震波、电磁波、电阻率）CT 宜为 1m~5m；

4 隧道工程测线布置除满足以上要求外，沿隧道轴线布置不少于 1 条测线，洞口处应布置不少于 3 条横测线；

5 初步勘察阶段物探工作（含上阶段）发现的岩溶发育部位，应适当增加测线及加密测点，以完整追踪岩溶异常的边界。

5.3.5 一级工程的探测深度不宜小于 50m，二级工程的探测深度宜为 15m~50m，三级工程的探测深度宜为 10m~30m。但在该深度范围内不能圈定岩溶异常的下边界时，应适当增加探测深度。

5.3.6 应结合工程地质资料、钻探资料、和前期物探成果资料等深入分析本阶段的成果资料，说明岩溶发育的类型、充填性质、埋深、规模，提出重点部位的验证钻孔布置建议。

5.4 详细勘察物探

5.4.1 详细勘察阶段物探工作应按基础类型布置物探测线（点），并重点查明下列地段和区域岩溶的发育类型、位置、埋深和规模，分析并说明充填性质：

- 1 设计荷载较大的基础及其附近部位；
- 2 可能因岩溶发育而影响建（构）筑物正常使用的区域及其附近区域。

5.4.2 根据勘察目的可选用地面物探方法结合井中探测法进行，

地面物探方法可选用高密度电阻率法、浅层反射波法、浅层折射波法、面波法、微动勘探法、探地雷达法、音频大地电磁法、瞬变电磁法等；井中探测法可选用管波探测法、钻孔弹性波成像法、声波测井及钻孔电视等单孔井中探测法，也可选用弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT 等孔间物探方法。方法选择应符合下列要求：

1 勘探深度在 20m 内且土层较浅时优先选用探地雷达法，也可选用浅层地震法、高密度电阻率法等方法进行综合勘探；

2 勘探深度在 50m 内且土层大于 2m 时可采用高密度电阻率法或地震法（反射波、折射波、面波、微动勘探法等）与其它非同一物性的物探方法相结合进行综合勘探；

3 勘探深度大于 50m 时且探测精度要求较高时可采用弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT 等孔间物探方法；可采用浅层地震法（反射波、折射波、面波、微动勘探法等）、音频大地电磁法、瞬变电磁法（TEM）进行综合勘探；

4 勘探深度大于 100m 时且不具备井间 CT 的条件下可采用音频大地电磁法等进行勘探，有条件时宜结合地震法（反射波、微动勘探法等）进行综合探测；

5 当需要对岩体完整程度的定量划分时，有井液时可采用声波测井，测点间距根据岩性结构及岩体破碎程度取 0.2m~0.5m；无井液时可辅助钻孔波速测试、钻孔电视等井中探测法进行物探测试。

5.4.3 物探工作前应搜集前期物探成果、水文地质与工程地质、钻探等资料。

5.4.4 测线（点）布置除应符合本规范第 3.0.10 条的规定外，尚

应符合下列规定：

1 根据基础位置布置不少于 1 条测线且发现异常时需换方向布置测线，采用高密度电阻率法时电极距宜为 1m~4m、浅层反射波法道间距宜为 1m~3m，探地雷达法点间距宜为 0.1m~0.5m、面波法点间距宜为 2m~10m；井中探测方法中声波测井点间距宜为 0.2m~0.5m，井间（弹性波、电磁波、电阻率）CT 点间距宜为 0.5m~3m；

2 对筏板基础和箱形基础，测线间距宜为 2m~10m，且测线间距不应大于目标异常体的 2 倍宽度，设计荷载较大的部位和可能的岩溶异常区应增加测线；

3 对条形基础，沿基础长轴方向应在基础中部至少布置一条纵测线；垂直基础长轴方向应等间隔布置横测线，间距宜为 5m~10m，纵测线探明的岩溶异常区段应增加测线；

4 对独立基础和桩基础，应以基础中心为中点布置“十”字形或“井”字形测网；规则排列的独立基础布置测线（点）时，为保证两侧有足够的背景及异常连续性，基础之间应布置测点，点间距按本节第 1 条执行；

5 隧道工程测线布置除满足以上要求外，沿隧道轴线布置不少于 1 条测线，洞口处应布置不少于 3 条横测线；

6 初步勘察阶段物探成果资料中提出或本阶段发现的岩溶发育部位，详细阶段应适当增加测线，以完整追踪岩溶异常的边界。

5.4.5 详细勘察阶段的勘探深度除应符合国家现行有关标准、规范等的规定外，在该深度范围内不能圈定岩溶异常的下边界时，应适当增加探测深度且勘探深度应不少于钻探最大深度的 5m。

5.4.6 在单个钻孔内进行弹性波成像、管波探测、孔中雷达等探测时，探测有效半径应不小于 1.0m。

5.4.7 应结合水文地质与工程地质、钻探和前期物探成果资料等深入分析本阶段的成果资料，确定岩溶异常的性质、位置、范围、形态和充填性质等，分析其对岩土工程可能产生的危害。可提出治理和处理建议。

5.4.8 当补充或增加与上阶段不同的物探方法时，应对比分析不同物探方法的成果资料。应根据不同的物性参数对岩溶异常的反应特征，结合工程地质和钻探资料综合分析，确定岩溶异常部位。

5.5 施工勘察物探

5.5.1 施工勘察阶段的物探应针对基础、大直径嵌岩桩、基坑、已存在的岩溶异常部位等区域布置物探工作，查明岩溶的发育程度及空间分布，并应满足设计施工要求，宜选择井（孔）中探测法、探地雷达法和浅层地震反射法等，方法选择应符合下列规定：

1 当采用物探方法辅助钻探进行大直径嵌岩桩基施工勘察时，应优先采用单孔井中探测法，有孔液时宜选用钻孔弹性波成像法、管波探测法等，无孔液时可采用井中探地雷达法等查明钻孔周围岩溶的发育情况；当采用孔间（弹性波、电磁波、电阻率）CT 进行辅助钻探时，每个桩基础应布置多个方位的探测剖面；

2 如因地质条件或塌孔原因不能进行有效物探测试时，应在基桩施工过程中如持力层位置有孔液时宜选用桩底声呐（弹性波）等方法在拟定持力层位置进行物探测试，无孔液时宜选用探地雷达法或地震反射法等方法在拟定持力层位置进行物探测试，且

应保证物探测试的有效性；

3 当采用物探方法辅助钻探进行独立基础、条形基础、筏板基础和箱形基础、基坑底部、已存在的岩溶异常部位等进行施工勘察时，应确保场地平整，并优先选用探地雷达、地震反射法等进行综合探测。

5.5.2 测线（点）布置除应符合本规范第 5.4.4 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 采用钻孔弹性波成像法、管波探测法、（井中）探地雷达法辅助钻探进行大直径嵌岩桩基施工勘察时，点距不宜大于 0.1m；

2 采用桩底声呐（弹性波）法对桩基持力层进行物探测试时有效测点不宜少于 12 炮 检波点/m²；

3 对筏板基础和箱形基础，根据基础位置布置不少于 1 条测线且发现异常时需换方向布置测线；测线间距宜为 2m~5m，且测线间距不应大于目标异常体的宽度，设计荷载较大的部位和可能的岩溶异常区应增加测线；

4 对条形基础，沿基础长轴方向应在基础中部至少布置一条纵测线；垂直基础长轴方向应等间隔布置横测线，间距宜为 2m~5m，纵测线探明的岩溶异常区段应增加测线；

5 对独立基础和桩基础，应以基础中心为中点布置“十”字形或“井”字形测网；规则排列的独立基础布置测线（点）时，为保证两侧有足够的背景及异常连续性，基础之间应布置测点；

6 采用探地雷达法、地震反射法等方法对独立基础、条形基础、筏板基础和箱形基础、桩基部位、基坑底部、已存在的岩溶

异常部位等区域进行施工勘察时，测线布置均需覆盖每个基础或岩溶异常位置，且线距不宜大于 5m；当使用探地雷达法时点距不宜大于勘探深度的 5%（可采用 0.1m~0.4m）；使用地震反射法时道间距不宜大于 1.0m；

5.5.3 探测深度应不小于底面以下基底边长或桩径的 3 倍且不小于 5m，且应满足不同基础的设计要求。

5.5.4 探地雷达法的资料处理应符合本规范第 4.3.9 条要求，浅层地震反射资料处理应符合本规范第 4.4.20 条要求，井中探测法的资料处理应符合本规范第 4.5.7 条要求。

5.5.5 应结合钻探、地质资料对物探成果资料进行精细化定量解释，并满足设计精度要求。

6 地基处理检测

6.1 一般规定

6.1.1 地基处理检测目的为了检测岩溶地基处理后岩溶填充情况。

6.1.2 岩溶地基处理效果检测应在处理前后分别进行物探检测且测线、测点应重合。岩溶地基物探检测前应进行物探方法试验，通过方法试验确定数据采集参数。

6.1.3 物探检测前应排除场地干扰源，当数据有干扰时不得用作解释依据。

6.1.4 当单一物探方法不足以全面检测场地岩溶情况时，应采用多种物探方法进行。

6.1.5 岩溶地基检测数量应结合勘察要求现场实际情况，检测结果应满足设计单位使用需求。

6.1.6 岩溶地基处理效果采用物探法检测后应选取不少于 3 点进行钻孔取芯验证检测。

6.2 物探检测方法

6.2.1 岩溶地基处理效果物探检测可选用电测深法、瞬态面波法、跨孔地震 CT、跨孔电阻率 CT、跨孔电磁波 CT、钻孔弹性波成像、管波探测法、钻孔探地雷达等物探方法。

6.2.2 基桩持力层完整性检测可选用桩底声呐（弹性波）法、探

地雷达法、地震反射波法、钻孔弹性波成像、钻孔探地雷达法、管波探测法等物探方法。

6.2.3 岩溶地基处理效果电测深法现场检测应符合下列规定：

1 电测深法应优先选取高密度电阻率法进行，电极距不宜大于 5m，最大 AB/2 应大于 3 倍最大探测深度，单次测量使用电极数不宜少于 60 个；

2 电测深应选取施伦贝谢尔装置。

6.2.4 岩溶地基处理效果瞬态面波法现场检测应符合下列规定：

1 单个面波点使用检波器不宜少于 12 个，道间距不宜大于 2m，采样间隔不宜大于 0.2ms，采样点数不少于 2048 点。

2 瞬态面波法激震力锤质量不宜小于 18 磅。

6.2.5 岩溶地基处理效果跨孔地震 CT、跨孔电阻率 CT 现场检测应符合下列规定：

1 测试钻孔深度均应大于最大检测深度不少于 6m；

2 测试钻孔中应有井液耦合；

3 测点间距不宜大于 1m，测试钻孔间距不宜大于 20m。

6.2.6 岩溶地基处理效果电测深法资料解释应按下列方法进行：

1 对比处理前后测深曲线形态，判断处理前后岩溶充填情况；

2 对比处理前后同深度视电阻率曲线，判断岩溶岩测线方向变化情况；

3 对比处理前后相邻测线测相邻位置深曲线形态，判断岩溶在垂直测线方向变化情况；

4 反演断面数据，定性分析岩溶形态；

6.2.7 岩溶地基处理效果瞬态面波法资料解释应按列方法进行：

1 对比分析处理前后频散曲线特征，处理后地基频散曲线应平滑、连续，无畸变及离散现象；

2 根据频散曲线的斜率进行分层并反演计算波速和层厚度，解释岩溶深度范围；

3 瞬态面波法解释深度不宜大于 25m。

6.2.8 岩溶地基处理效果跨孔地震 CT 资料解释应对比处理前后波速反演图，分析处理范围内波速变化情况，结合波速实测值综合判断处理效果。

6.2.9 岩溶地基处理效果跨孔电法资料解释应对比处理前后电阻率反演图，分析处理范围内电阻率变化情况，判断处理后岩溶填充效果。

7 物探技术成果

7.0.1 物探电子原始数据应分类归档，现场采集数据日期时间应设置正确。

7.0.2 物探技术成果应符合下列规定：

1 物探技术成果报告至少应包括：工程概况、场地水文地质与工程地质条件、物探方法、物探评价和成果图件。

2 物探技术成果图件应符合下列要求：

1) 物探技术成果图件的编绘可参照现行行业标准《地球物理勘查图图式图例及用色标准》DZ/T 0069 并应符合相关专业的行业标准；

2) 物探技术成果图件应包括工作布置图、物探成果图、物探解释推断成果图、原始波形或曲线图件和现场作业照片等；

3) 物探技术成果图件应包括单一物探方法或综合物探方法所得到的剖面图或平面图，可以是曲线图、等值线图或图像等；

4) 物探技术成果与相应的解释推断成果宜绘制在同一张图上，上部绘制物探成果，下部绘制解释推断成果；

5) 解释推断物探技术成果图应是对实测物探资料进行的定性和定量解释的成果体现，应与物性资料相对应。

附录 A 工程物探方法和适用范围

A.0.1 岩溶地区常用工程物探方法和适用范围，应符合表 A.0.1-1、表 A.0.1-2 和表 A.0.1-1 规定。

表 A. 0. 1-1 岩溶地区工程常用物探方法和适用范围

方法	原理	岩溶探测	孔底岩溶探测	是否需要额外钻孔	溶洞探测范围	溶洞分辨率	是否利用泥浆	说明
高密度电阻率法	以地下岩石的导电性差异为主要物性基础探查岩石垂向分层情况。绘制地下介质电阻率垂向变化曲线，判断溶洞发育情况	适合	不适合	-	-	-	-	溶洞及充填物较复杂，在电性差异上难以建立对应关系，解析起来较为困难。且工作时，需一次性布设大量电极，钻孔桩底环泥浆境很难满足
地震反射波法	以反射波法为理论基础，采用人工锤击震源或炸药震源对桩底溶洞进行探测	适合	不适合	-	-	-	-	探测时需要抽干桩坑内积水，平整桩坑内基岩面，使桩端裸露基岩面。这在钻孔桩泥浆环境中难以实现。且激发频率低，导致分辨力低

续表 A.0.1-1

方法	原理	岩溶探测	孔底岩溶探测	是否需要额外钻孔	溶洞探测范围	溶洞分辨率	是否利用泥浆	说明
探地雷达法	通过天线向地下发射特定中心频率的电磁波。当地下介质存在电性差异时，电磁波便会发生反射，根据反射波同相轴形态和信号的频率振幅等参数推断地下溶洞	适合	不适合	-	-	-	-	探测桩底溶洞时需要在桩底布设发射天线和接收天线，在钻孔桩底泥浆环境下很难工作。若直接在地表布线探测，则探测范围不够。多用于人工挖孔桩
地震 CT	利用地震波在不同介质传播中速度、能量的差异，通过层析成像的方法对地震波数据进行处理，然后来推断剖面介质的构造及地质异常体	适合	适合	需要 2~5 个	相邻钻孔间	大于 0.2m 的溶洞	否	可进行钻孔桩溶洞探测，但是至少需要桩周两个钻孔。分别安放发射和接收装置，工作量大，且实测现场施工干扰大，对孔间以外剖面无法识别
钻孔弹性波成像法	利用桩位中心的一个钻孔，通过在孔液中定向发射多速率弹性波，定向接收孔液或孔旁岩土体传播及反射回来的弹性波，来探测孔旁一定范围内的岩溶、软弱夹层的发育分布情况	适合	适合	需要 1 个	钻孔周围 3m 内	大于 0.15m 的溶洞	是	可进行钻孔桩溶洞探测，可用于详勘阶段、施工阶段；借助钻孔对桩位溶洞情况进行探测。对桩底溶洞探测时需依赖于桩底一下的超前钻孔，可以分辨溶洞的方位

续表 A.0.1-1

方法	原理	岩溶探测	孔底岩溶探测	是否需要额外钻孔	溶洞探测范围	溶洞分辨率	是否利用泥浆	说明
钻孔探地雷达法	利用钻孔，在孔中向孔旁四周发射雷达波，接收孔旁岩土体传播的雷达波，来探测孔旁一定范围内的岩溶、软弱夹层的发育分布情况	适合	适合	需要 1 个	钻孔周围 10m 内	大于 0.30m 的溶洞	—	可进行钻孔桩溶洞探测，多用于详勘阶段，借助钻孔对桩位溶洞情况进行探测。对桩底溶洞探测时需依赖于桩底一下的超前钻孔，且难以分辨溶洞的方位，不宜在施工阶段进行
桩底声呐（弹性波）法	利用声呐（弹性波）发射震源在泥浆桩底发射声呐（弹性波），在桩底多方位接收声呐（弹性）波，来探测孔底 3 倍桩径不小于 5 米范围内的岩溶、软弱夹层的发育分布情况	不适合	适合	不需要	桩底基岩以下 5~10m	大于 0.3m 的溶洞	是	对人员无法到达桩底的桩孔可进行桩底溶洞孔情况探测，用于施工阶段；可以分辨溶洞的方位

续表 A.0.1-1

方法	原理	岩溶探测	孔底岩溶探测	是否需要额外钻孔	溶洞探测范围	溶洞分辨率	是否利用泥浆	说明
管波测试法	利用桩位中心的一个钻孔，通过在孔液中产生管波，接收孔液或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、软弱夹层的发育分布情况	适合	适合	需要 1 个	钻孔周围 1m 内	大于 0.3m 的溶洞	否	可进行钻孔桩溶洞探测，多用于详勘阶段，借助钻孔对桩位溶洞情况进行探测。对桩底溶洞探测时需依赖于桩底一下的超前钻孔，且难以分辨溶洞的方位，不宜在施工阶段进行

表 A. 0. 1-2 工程物探方法和适用范围

探测方法		适用范围					
		地层结构、风化层分带及基岩形态探测	断裂、破碎带及裂隙密集带探测	软弱地层、冻土层和砂砾石层探测	水底地形、地层结构和水下障碍物、抛石、沉船、管线探测	地下水、地热及场地热源体探测	地下洞穴、岩溶、采空区、障碍物、管线及隐蔽工程探测
直流 电法	自然电场法					●	○
	充电法		○		○	●	○
	电测深法	○	●	○	○	●	○
	电剖面法	○	○	●	○	○	○
	高密度电阻率法	●	●	●	●	●	●
	激发极化法	○	○	●	○	●	○
电磁 法	电磁测深法	○	●	○			○
	电磁剖面法	○	●	○	○	○	●
	瞬变电磁法	○	●	○		○	○
	探地雷达法	●	●	●	●	○	●
	核磁共振法					●	

续表 A.0.1-2

探测方法		适用范围		地层结构、风化层分带及基岩形态探测	断裂、破碎带及裂隙密集带探测	软弱地层、冻土层和砂砾石层探测	水底地形、地层结构和水下障碍物、抛石、沉船、管线探测	地下水、地热及场地热源体探测	地下洞穴、岩溶、采空区、障碍物、管线及隐蔽工程探测
		适用范围	适用范围						
浅层地震法	反射波法	●	●	●	●				●
	透射波法	●	○			○	○	○	○
	折射波法		○	○	○	○	○	○	○
	面波法	●	○	●					○
	微动勘探法	●	●	●					●

表 A. 0. 1-3 工程物探常用方法和适用范围

探测方法		适用范围	滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
直流电法	自然电场法	○					○	
	充电法	○					○	
	电测深法	○	○				○	○
	电剖面法	○	○				○	○
	高密度电阻率法	○					●	○
	激发极化法	○					●	○
电磁法	电磁测深法						○	
	电磁剖面法						○	
	瞬变电磁法						○	○
	探地雷达法	●	●				●	
	核磁共振法						○	

续表 A.0.1-3

探测方法		适用范围	滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
浅层地震法	反射波法			○			●	○
	透射波法	○	○	○	●	●	○	○
	折射波法	○	○	●	○	○	○	
	面波法	○	○	○	●	●	●	
	微动勘探法	○			○	●	○	
温度测量法	红外热像法			○				●
	地温测量法	○	○	○				
	大体积混凝土测温法							●
水域探测法	声呐测深法							
	侧扫声纳法							
	水域地震法							
	浅地层剖面法							
	水域直电流法							
	水域磁法			○			○	

续表 A.0.1-3

探测方法		适用范围	滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
振动测试法	基础强迫振动测试法				●			
	微振动测试法				●	●		
	振动衰减测试法				●	●		
井中探测法	声波测井							
	桩底声呐（弹性波）法							
	井间 CT	○						
	管波探测法					○		
	钻孔电视				○	●		
	钻孔弹性波成像法	○			●	●		
	钻孔探地雷达法				●	●		
	桩底声呐法					●		
	管波探测法	○			○	●		
	其它探测方法	○			○	○	○	○

续表 A.0.1-3

适用范围 探测方法	滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
高精度磁法	○				●	
高精度重力法	○				●	
放射性测量法	●				●	

注：● 适宜方法；○ 可选方法

附录 B 探地雷达校验方法

B.0.1 探地雷达不同中心频率的天线应分别与仪器系统进行自校准。

B.0.2 探地雷达仪器自校准项目和自校准工具应符合表 B.0.2 规定。

表 B.0.2 自校准项目和自校准工具

序号	检验项目	主要校准工具
1	外观	目测
2	空气电磁波速度实测值	金属板、钢尺

B.0.3 自校准用钢尺应通过省级及以上质量技术监督部门检定合格，且在有效检定期内。

B.0.4 探地雷达仪器自校准的环境温度应在仪器适用温度范围内，且自校准前受检仪器在该环境温度内放置时间不少于 30min。

B.0.5 自校准要求和方法应符合下列规定：

1 外观应符合下列要求：

1) 仪器清洁、干燥，各部位不应有碰伤、松动以及影响测量精度的其它外观缺陷。仪器上应标明产品名称、规格型号、编号、生产厂家和出厂日期等；

2) 自校准方法可用目力观察。

2 空气电磁波速度实测值应符合下列要求：

1) 实测空气电磁波速度值与空气电磁波速度标准值比较，其

相对误差应不大于 3%；

2) 自校准方法应符合下列要求：

a 选择一空旷处，其周围 5m 范围内应无金属导线、块体等良导体类物质，在 1m~2m 范围置竖立放置不小于 1m² 方形金属板（如铁板、钢板等）；

b 在金属板面中垂线方向的一定距离处设置探地雷达发射天线和接收天线；

c 观测并记录电磁波通过空气遇金属板后反射的雷达波形图；

d 由原始记录的雷达波形图，读取金属板反射的双程历时 t （ ≥ 5 次），进而计算空气电磁波传播速度 C_{Ci} ：

$$C_{Ci} = 2\lambda / t \quad (\text{B.0.5-1})$$

式中：D——天线至金属板之间的距离。

e 计算空气电磁波传播速度的平均值 C_c

$$C_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{Ci} \quad (\text{B.0.5-2})$$

式中 $i=1, 2, 3, \dots, n$ $n \geq 5$

f 根据空气电磁波速度标准值（ $C_o=0.3\text{m/ns}$ ），按下式计算空气电磁波速度标准值 C_o 和空气电磁波速度测量值 C_c 之间的相对误差值 δ 。

$$\delta = \frac{|C_o - C_c|}{C_o} \times 100\% \quad (\text{B.0.5-3})$$

g 判定标准： $\delta \leq 3\%$ ，即自校准合格。

3 经自校准符合本规范要求的探地雷达仪应进行三色状态标识并出具自校准报告。

附录 C 地震波旅行时校正方法

C.0.1 直达波时距曲线经爆炸深度校正时间 t_n (ms) 可按式 (C.0.1) 计算:

$$t_n = \sqrt{\Delta t_{pn}^2 - \Delta t_s^2} \quad (\text{C.0.1})$$

式中

Δt_{pn} — 从爆炸点 O 到各接收点直达波计数时间, 单位 ms。

Δt_s — 从爆炸点 O 到地面炮点的爆炸深度校正时间, 单位 ms。

C.0.2 折射波时距曲线爆炸深度校正时间 Δt_B (ms) 可按式 (C.0.2) 计算, 其爆炸深度校正示意图见图 C.0.2。

$$\Delta t_B = \frac{\Delta h \cos i}{v_0} \times 10^3 \quad (\text{C.0.2})$$

式中

Δh — 爆炸点深度, 单位 m。

v_0 — 爆炸点以上介质波速, 单位 m/s。

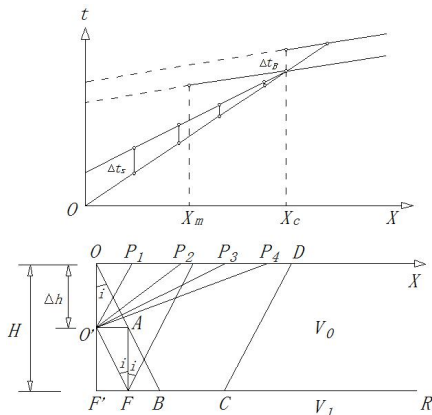


图 C.0.2 爆炸深度校正示意图

C.0.3 转换法低速带时间 Δt_D (ms)可按式 (C.0.3) 计算:

$$\Delta t_D = \left(\frac{\cos i}{v_0} - \frac{\cos i}{v_1} \right) (\Delta h_Z + \Delta h_B) \times 10^3 \quad (\text{C.0.3})$$

式中

i —低速带与下伏相邻地层折射波临界角, ($^\circ$);

v_0 —低速带波速, m/s;

v_1 —低速带下伏相邻地层波速, m/s;

Δh_Z —检波点处低速带厚度, m;

Δh_B —爆炸点处低速带厚度, m。

C.0.4 剥层法低速带时间 Δt_D (ms)可按式 (C.0.4) 计算:

$$\Delta t_D = \frac{\cos i}{v_0} (\Delta h_Z + \Delta h_B) \times 10^3 \quad (\text{C.0.4})$$

式中参数与式 C.0.3 相同。

C.0.5 地形校正 Δt_C (ms)可按式 (C.0.5) 计算:

$$\Delta t_C = \frac{\cos i}{v_0} (\Delta h_Z + \Delta h_B) \times 10^3 \quad (\text{C.0.5})$$

式中

i —表层介质与下伏相邻地层折射波临界角, ($^\circ$);

v_0 —表层介质波速, m/s;

Δh_Z —检波点至校正线的垂直距离, m;

Δh_B —爆炸点至校正线的垂直距离, m。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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 条文中指明应按其它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

- 《水电水利工程物探规程》 DL/T 5010
- 《建筑抗震设计规范》 GB500011
- 《岩土工程勘察规范》 GB 500021
- 《城市工程地球物理探测标准》 CJJ/T 7
- 《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ/T 72
- 《多道瞬态面波勘察技术规程》 JGJ/T 143
- 《建筑地基检测技术技术规范》 JGJ340
- 《地球物理勘查图图式图例及用色标准》 (DZ/T 0069)
- 《岩溶地区建筑地基基础技术规范》 DBJ45/024
- 《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》 DBJ/T45-066
- 《工程物探规范》 DB45/T983

广西壮族自治区工程建设地方标准
岩溶地区工程物探技术规范

DBJ/T 45-098-2020

条文说明

1 总 则

1.0.1 本条阐明了制定本规范的目的。广西地处我国西南部，碳酸盐类岩石分布最广，岩溶普遍发育，多表现为溶蚀、溶沟、溶槽、中小型串球状洞穴或单个小型洞穴，裂隙较为发育且规律性不强的特点等，地下地质情况复杂，具有明显区域性特征，这些给广西岩溶地区工程物探工作带来了很大的困难。现行的国家规范和行业规范所包含的内容，尚未有专门针对于岩溶地区的物探工作方法，因此，制定本规范的主要目的是突出地方特色，针对广西岩溶地区常见的岩溶工程物探手段进行明确。广西工程建设地方标准《岩溶地区建筑地基基础技术规范》DBJ45/024 及《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》DBJ/T045-066 中涉及工程物探的内容有限，本规范作为工程物探内容是对上述规范的补充和延伸。

1.0.2 本条规定了本规范的适用范围。采用工程物探技术，针对性地解决广西壮族自治区行政区域内岩溶地区各类房屋建筑和市政基础设施工程建设中开展的各阶段工程勘察问题。

1.0.3 本规范是广西岩溶地区工程物探技术应用的专业技术标准，在实际工作中除应符合本规范外，尚应符合国家、行业和地现行有关技术标准。

2 术语和符号

2.1.1 即工程地球物理探测，是以研究地下物理场（如重力场、电场等）为基础的。不同的地质体在物理性质上的差异，直接影响地下物理场的分布规律。通过观测、分析和研究这些物理场的变化，并结合有关地质资料，可判断与岩土工程勘察有关的问题，也可提供有关参数计算。

2.1.2 直流电法是以观测和研究介质电阻率为主的直流电法称为电阻率法。均匀大地的电阻率，原则上可以采用地表任意两点（A、B）供电，在任意两点（M、N）观测的电位差 Δv ，由下式计算：

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1.2)$$

式中：

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

但是，在实际工作中，经常遇到的地下介质在电性上是不均匀的，仍利用上式计算大地电阻率，实际上相当于将不均匀的大地介质用某一等效介质来代替，故计算的电阻率不是某一层的真电阻率，而是在电场分布范围内地下各种介质电阻率的综合影响的结果，称其为视电阻率，用 ρ_s 表示。

2.1.4 高密度电阻率法的基本原理与传统的电阻率法完全相同，所不同的是在观测中设置了较高密度的测点，现场测量时，只需

将全部电极布置在一定间隔的测点上，然后进行观测。由于使用电极数量多，而且电极之间可以自由组合，这样可以提供更多的地电信息，使电法勘探能像地震勘探一样使用覆盖式的测量方式。相对地讲，成本较低、效率高是其显著特点。

2.1.10 以通过人工地震波在地下介质中的传播，研究地下地层弹性差异为基本特征的勘探方法称为地震勘探。浅层地震法包括透射波法、折射波法、反射波法和瑞雷波法。透射波法、折射波法、反射波法又分为纵波和横波（剪切波）两种类型，瑞雷波法分为瞬态和稳态两种工作方式。透射波法有时被称为直达波法。

2.1.14 层析成像包括：弹性波 CT、电阻率 CT、电磁波 CT 等。

2.1.15 面波（瑞雷波）是在非均质半无限空间中，由于自由边界的作用，非均匀平面 P 波和 S_v 波相互干涉而衍生出来的，且 P 波与 S_v 波都沿自由面以同一视速度 $C < V_s$ 前进。瑞雷波具有频散特性，其质点运动轨迹为一椭圆。均质半空间中也存在瑞雷波，但不具频散性。

2.1.17 本规范提及的井中探测法包括弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT、钻孔弹性波成像法、钻孔探地雷达法、管波探测法、桩底声呐（弹性波）法、声波测井、钻孔电视等。

3 基本规定

3.0.5 本条是物探应用能否成功的一个基本条件和共性要求，也是决定采用物探方法与否的判断准则，开展物探工作前首先要充分分析工作条件是否具备，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。

3.0.6 本条规定了工程物探工作原则。每一种工程物探方法在应用时都不是万能的，都有其局限性。而且，还要充分认识岩溶地区工作具有如下特点：岩溶普遍发育，多表现为溶蚀、溶沟、溶槽、中小型串球状洞穴或单个小型洞穴，裂隙较为发育且规律性不强的特点等，地下地质情况复杂；解决的工程问题繁杂、多样，任务急。为了获得较好的探测效果，在考虑上述特点的前提下应该按照本条的规定来实施。

3.0.7 本条规定了岩溶地区物探工作程序，确保物探工作有序进行，包括接受任务，搜集资料，现场踏勘，物性标本采集，物性参数测定与研究，仪器检验及方法试验，编写技术设计书，测网布置，数据采集与数据处理，资料解释推断与成果图编绘，成果检查与核对，编写探测成果报告和成果提交归档。对于特定的方法或规模较小工程，上述程序可以适当简化。

3.0.8 物探仪器设备以电子仪器为主，根据物探工作的特点，重点对检查环节作出相应规定。

3.0.9 物探仪器应定期校验，确保性能正常，探测数据真实可靠。

3.0.10 由于物探方法观测系统参数、仪器工作参数都具有一定的

范围，这些参数与探测效果和分辨率密切相关，工作前进行试验就是选择方法、技术参数，具体试验应依据方法、任务特点按本规范第4章各物探方法的具体要求进行。试验方案可以在技术大纲中制定。

3.0.11 本条规定了物探方案应在收集资料、现场踏勘和进行必要的方法试验后编写，并对物探方案的内容作了规定，工作规模较小时，可以直接编写施工纲要或工作计划，内容从简。

3.0.12 本条规定了岩溶地区工程物探的野外工作具体的要求。

3.0.13 物探记录是工程物探重要资料，存在于整体工作过程中，是联系现场测试、数据处理、资料解释的重要纽带。本条规定了记录的范围、名称、主要内容、形式等。

3.0.14 本条规定了物探数据处理及解释有哪些具体要求。

3.0.15~3.0.16 本条强调物探成果具有多解性，使用物探成果时需经钻探验证。

4 物探技术方法

4.2.1 高密度电阻率法具有电测深和电剖面的双重特点，探测密度高、信息量大、工作效率高。

激发极化法应与电阻率法配合使用，激化率对充水岩溶异常反应比较敏感，实际应用中常常取得较好的效果。

4.2.2 直流电法勘探各方法均建立在一定的物理前提下，依据各种方法的物理特性、装置特点规定其适用条件或不适用条件。

4.2.3 当前直流高密度电阻率法仪、直流激电仪均呈现自动化、智能化、多功能等特点，本规范主要对常用的直流高密度电阻率法和多功能激发极化仪的主要功能和指标作了规定。

新型激电仪能同时测得激电参数和电阻率。

4.2.4 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。漏电会完全改变测量数据，造成数据严重错误。检查电源漏电的方法：交换供电电源输出端的正、负连线进行观测，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。

4.2.6

1 四极装置和三极装置使用最多，偶极装置使用很少。近年一来有些单位使用二分量装置，其实质就是在某一种电法装置下进行二分量测量。

2 供电极距分布依据平行电性层中电流场最大能流分布与电极距关系，同时考虑到量板法解释精度，当局部存在电性异常对，电流场分布规律也相应改变，应加密供电极距。测量极距以保证测量精度为准。极距误差以不小于测量误差为准。

3 供电极距应考虑异常幅值与背景值之比，异常幅值与电性异常体的埋深、产状和几何形态有关，探测深度一般系指电位异常体顶界面距探测表面的深度 h' ，在此相应深度的异常强度不低于 10%~15%，与该深度格对应的供电极距采用 $2h_1/AB$ （对称法）、 h_1/AO (h_1/OB)（三极法）及 h_1/OO' （偶极法）较合理。当电位层电位差异明显时 ($\mu \geq 10$)，最大深度与供电极主距的关系见表 1。

表 1 最大深度与供电极距关系表

基本地电体的类别	$2h_1/AB$	h_1/OO' , h_1/AO
两种各向同性介质接触面	0.6	0.55
大厚度非导电层	0.55	0.50
中厚度非导电层	0.45	0.40
小厚度非导电层（垂直向）	0.25~0.30	0.20
小厚度倾斜非导电层	0.30~0.40	0.25~0.35
水平非导电圆柱体 ($D > MN$)	0.20	0.15
非导电球体 ($D > MN$)	0.15	0.10
小厚度导电体	0.60	0.60

4 采用一个半周期的供电测量是美国等西方国家仪器普遍采用的规则，提高测量精度。重复观测是公认当前数据的一种方

式，一般应改变供电电压或改善电极接地条件。各级允许误差的数据是依据误差理论，误差正态分布统计表明：大于一倍误差出现的机率是 32%，大于 2 倍误差出现的机率是 4.6%，大于 3 倍误差出现的机率是 0.3%。实际上，当前很多仪器都有对各种测量数据误差计算、评价的功能，也给出了一些参考指标。本规范规定误差是由测点至测线再到测网，采用三级控制。

采用高密度装置进行检查观测不符合试验数据的检查测量要求时，规定可进行 1 至 2 层的重复观测，检查观测可采用散点观测。

4.2.7 激发极化法一般用于探测含水或充水岩溶异常。为保证产生明显的二次电场，供电电流较电阻率法大得多、供电时间也较电阻率法长。由于当前用于激发极化的仪器均是多功能电法仪，一次测量可同时取得视电阻率、被极化率、视激发比、视衰减、衰时等数据，一个激发极化点的重复观测、检查观测和评价是对 4 个激发极化参数同时进行。

4.2.8 高密度电阻率法资料处理解释的基本要求。资料处理及成果解释时，宜参照钻探或其他探测成果修正深度转换系数或解释深度。

4.2.9 激发极化法一般与电阻率法一同测试，解释时相互补充。解释时应注意不同地区背景值和有水异常幅值存在差异、曲线形态特点不同。

4.3.1 本条介绍了电磁法在岩溶区常用的方法有哪些。

4.3.2 本条介绍了探地雷达法在岩溶区常用的测试方式有哪些。

4.3.3 探地雷达的应用条件主要考虑以下因素：目的层或目的体

与周边介质电性差异程度、埋藏深度、规模大小，测深的地质条件、环境条件。

2 要求探测对象的垂直厚度大于电磁波在相应地层中有效波长的 $1/4$ ，是因为当探测对象的厚度较小时，两相邻界面产生的反射波时差过小、相互干扰高难于识到异常。

3 雷达天线一般并非完全屏蔽，在天线连结一侧会接收干扰电磁波信号而产生假异常。

4.3.4 本条介绍了探地雷达法的测点和观测方式有哪些。

4.3.5 所规定的技术指标都是脉冲雷达，脉冲雷达提高探测质量，一般采用多次叠加功能，同时必须保证一定的模数转换精度和扫描速度，才能保证叠加倍号的可靠性。

4.3.6 探测深度和分辨率互为矛盾，天线选择应综合考虑探测深度与分辨率的关系：为保证探测深度，埋深较深、被探测目的体规模较大、上覆介质电导率较高，宜选择频率较低的天线；为保证分辨率，埋深较浅、探测目的体规模较小、上覆介质电导率较低，宜选择频率较高的天线。

4.3.7 本条介绍了探地雷达法的现场工作要求有哪些以及采集过程中的一些注意事项。

4.3.8 探地雷达采集的是图像，检查时只能作图像对比，对比内容为波形同相轴、异常范围、形态和位置的相似程度。

4.3.9 目前，一般使用探地雷达仪器大多是从美国、加拿大、瑞典等进口的。本规范规定的处理方法基本都是随仪器一起的软件的功能。所有处理结果应与原始资料进行对比。

4.3.10 探地雷达资料解释与浅层地震反射资料解释相似，但应注

意强吸收体形成的异常。

4.3.11 本条介绍了探地雷达成果图表的相关规定有哪些。

4.3.12~4.3.20 对瞬变电磁法的应用条件、装置、时窗范围、探测深度的关系、时窗范围、现场工作要求、数据质量检查和评价、数据处理、成果图件作了规定，并对资料解释提出要求。

4.4.1 浅层地震法在岩溶区的常用方法有那些，本规范主要介绍哪能几种等。

4.4.2 浅层反射波法被追踪地层应具有一定厚度，其厚度应大于其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 $h = \lambda/8$ ，实际工作中仅能达到 $h = \lambda/4$ ，因此，提高反射波法的垂直分辨率的首要办法是提高震源频率。

4.4.3 浅层折射波法被追踪地层要具有一定厚度，中间层厚度不宜小于上覆层厚度，这是因为对于三层介质的地质断面，虽然满足 $V_1 < V_2 < V_3$ 的波速条件，但当中间层较薄 ($h_2 \ll h_1$) 时，折射波时距曲线上往往只出现 V_3 层的斜率，而 V_2 层的折射波不能在初至区显示出来，出现所谓中间层“隐蔽”现象，即漏掉了中间“薄层”。被漏掉中间层的最大厚度（称为最大隐蔽层厚度）与上覆层厚度以及上下层波速比有关，一般当 $h_2 \leq h_1$ 时，有可能成为“隐蔽层”。当被追踪地层视倾角与临界角之和大于或等于 90° 时，在地面均不能接收到折射波，因此，当折浅层折射波法探测高倾角目的层时应合理选择测线方向。

4.4.6 由于地震勘探的观测系统、仪器参数、震源能量与一个测

区的地质条件存在很大关系，也影响勘探精度，所以，当一个测区的地质地球物理条件不明时，应先进行试验工作。

4.4.7 为保证转折的测线能够独立解释：

1) 浅层折射波法当转折角度超过 15° ，地面条件允许时，应在转折点上以及转折测线的外延长线上补充相应的激发点。

2) 浅层反射波法进行行单次覆盖观测测线转折角超过 15° ，地面条件允许时，应在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的剖面测量；进行多次覆盖工作时，最大转折角不应超过 8° ，若因测线转折影响叠加效果，应采用弯线叠加方法或当地面条件允许时，可在转折测线的外延长线上补充一个偏移距长度的叠加剖面。

4.4.9

2 采用单支时距曲线观测系统时，沿测线方向的岩层界面与地面的夹角应小于 15° 的规定，是针对求界面深度的精度而言的；若属于求基岩界面速度，则岩层界面与地面夹角应小于 5° ，才能保证所求界面速度的精度。

采用单重相遇时距曲线观测系统时，应保证追踪界面的相遇段至少有 4 个检波点有效接收折射波的规定，是为了保证观测成果的可靠性和追踪界面的连续性。若检波点过少则可追踪段过短，连续研究界面的程度也差，尤其对界面速度的测试精度影响更大。

采用追逐时距曲线观测系统时，应保证追踪地段内至少有 4 个检波点有效接收折射波的规定，是为了确保时距曲线平行性辨别的可靠性，当被追踪段的检波点数过少时，将降低波性质辨别的可靠性。

4 瑞雷波探测深度应限制在一个波长以内,偏移距和检波点距较小时有利于探测浅部信息,反之,为了获得深部信息,则应增大偏移距和检波点距。

4.4.10~4.4.21 对浅层地震法各常用方法的野外采集要求、数据处理、成果图件等作了规定,并对资料解释提出的要求有哪些。

4.5.1 本条介绍了岩溶地区常用的井中探测法有哪些。

4.5.3 CT 仪器是能够进行孔间或洞间对穿的物探仪器,只要满足能量有效穿过、多次覆盖扫描、扫描精度一致即可。

4.5.4 在实际工作中,观测系统严格满足 CT 理论要求的很少,一般是在两孔间作 CT,所以两边观测系统的情况最多,条件允许的情况下宜作三边观测,但要注意绕射和各向异性问题。

4.5.7 当前 CT 软件较多,大多数由各使用单位编制,本规范规定的各款是依据事件而定,即在选择了处理方法就应按本规范规定的要求进行。

5 各勘察阶段物探

5.1.1~5.1.3 可应用在岩溶地区的工程物探的方法技术很多，按所利用的物理场源分为直流电法、电磁法、浅层地震法等，按工作条件分为陆上探测、水上探测和井中探测三类。而探测方法应用的物理基础就是介质中存在许多物理性质不同的地质体或分界面，它们在空间产生了地磁场、人工物理场（包括人工电流场、电磁场、人工地震波的时间场、弹性位移场）的局部变化（即产生异常场）。因此派生出了直流电法、电磁法、地震（弹性波、声波）等方法。

阐述如何选择恰当的物探方法来解决岩溶地区不同勘察阶段中遇到的实际问题，如何运用多种方法相结合来提高工作的精度，对不同阶段的勘察目的有针对性的使用不同的物探方法，提高工作效率。

5.2.1 可行性勘察阶段的勘察任务主要是为场地的稳定性和适宜性进行评价，因此本阶段的物探工作主要任务是查明对场地稳定性有较大影响的不良地质体，如地下暗河、大型土洞、漏斗等。

5.2.2 物探方法的选择均有利弊，通常情况下精度和深度不能兼得，同时针对本阶段勘察精度要求不高的情况下，推荐使用效率较高的几种方法。

5.2.3 本阶段的物探工作往往是该场地第一次使用物探方法，因此在资料收集，重点关注场地的物性特征以及对应的地球物理模型。

5.2.4 可行性勘察阶段的测网工作布置是在地质部门和业主单位没有特别规定的情况下作出的规定。

5.2.6 物探资料的多解性是其固有的本质特征。物探数据的反演精度和解释的合理性依赖于边界条件的确定性和约束条件的充分性。根据已知的钻孔资料和地质资料修正原来的反演和解释参数，对原来的数据进行重新反演和解释，是物探工作的基本程序，是从未知到已知、再从已知到未知螺旋式上升的认识过程。已知条件越多、约束条件就越多，物探的解释也越趋近于唯一性。

5.3.1 岩土工程初步勘察阶段的任务是需要对场地的稳定性和适宜性进行分区，场地内岩溶发育类型、位置、埋深和规模等资料是不可或缺的资料之一。因此，在初步勘察阶段布置物探是非常必要的，尤其是在现有资料不能充分满足场地的稳定性和适宜性进行分区的需要、或可行性勘察阶段未进行物探工作时，本阶段的物探工作的必要性和重要就更加突出。

5.3.2 分析可行性勘察阶段的物探资料和其他相关资料是对可行性勘察阶段所采用的物探方法的有效性作出进一步的评价。如果可行性勘察阶段所采用的物探方法不能满足初步勘察阶段的任务要求时，则需要增加新的物探方法，并通过试验证明新增加方法的有效性和可行性。

5.3.3 本条主要阐述了初步勘察阶段的物探工作的方法如何选择。

5.3.4 初步勘察阶段的测网布置是为满足场地的稳定性和适宜性进行分区而作出的规定。

5.3.6 本条所规定的重点部位是指物探资料中显示的异常规模较大的部位，布置钻孔建议是为了验证物探成果资料对异常分析的

正确性、同时也是验证岩溶异常类型和充填性质的必要手段。

5.4.1 在详细勘察阶段,建筑基础的类型和使用荷载已基本确定,地质和设计部门特别关心本规范所列的重点部位岩溶异常对基础的稳定带来的危害和风险。因此,在详细勘察阶段应该按照基础类型来布置物探工作,查明重要部位岩溶的发育类型、位置、埋深和规模,分析并说明充填性质。

5.4.2 由于详细勘察阶段对物探方法的探测精度要求较高,因此在测线(点)布置及方法选择上均与前两阶段有较大的变化。由于精度要求的原因,本阶段的方法选择上基本上根据场地的地质模型而定。

由于探地雷达技术在行业内为公认的精度较高,但其在地下水水位较浅或土层较厚时探测深度为限,所以一般在2m以内的土层厚度才推荐使用,但由于雷达技术的更新,部分低频雷达天线可满足较深的探测能力也可优先选用。如探地雷达法不能达到勘察深度的要求时推荐使用地震法(反射法、折射波、面波等)进行探测。

高密度电阻率法及音频大地电磁法等电磁法由于相对定量解释较为困难,探测成果受现场地质模型及解释人员的水平影响较大,但其相对探地雷达法具有探测深度大等优势,在现场工作条件下地震法不能得到理想效果的情况下可选用。

5.4.4 对于不同类型的基础来说,地基的受力状态和应力分布是不同的,同等规模的岩溶异常对不同基础的危害程度和风险也是不同的。因此,根据不同基础类型采用不同测网布置,是为了满足不同基础形式对地基有不同要求的需要。

5.5.1 物探工作在施工勘察应针对不同类型的基础、某一地段或尚待查明的专门问题进行补充勘察。岩溶、土洞是一种形态奇特、分布复杂的自然现象，宏观上虽有发育规律，但在具体场地上，其分布和形态则是无常的；因此，在采用物探工作辅助钻探进行施工勘察是非常必要的。

井中探测法、探地雷达法和浅层地震反射法经过验证后是能进行定量解释的物探方法，精度较高，可满足施工勘察阶段的任务要求和精度要求。

其中井中探测法在大直径嵌岩桩施工勘察中较为常用的方法为钻孔弹性波成像法、管波探测法、桩底声呐（弹性波）法，在采用物探辅助钻探进行施工勘察时，该方法的运用需要目标体（需探测持力层完整性部分）含水或可临时储存水才能使得探测探头正常耦合从而实现有效探测，在钻探过程中，有时水位不能满足探测条件或遇到塌孔时可选择在施工勘察阶段进行一桩一孔，从而在后续基桩施工过程中采用桩底声呐（弹性波）法等方法进行补充物探测试，以满足相关规范要求。

在目标体（需探测持力层完整性部分）不含水或不可临时储存水也可采用井中雷达探测法，但在市场上由于孔中雷达目前价格昂贵，一般只在重点项目中使用，为解决该地质条件下的探测问题，除了后期进行的桩底声呐（弹性波）法外还可进行该条文提及的其它孔间 CT 的方法。但采用孔间（弹性波、电磁波、电阻率）CT 进行辅助钻探时，同样会遇到塌孔问题的影响，只是在钻探清孔的次数大为减少。

当采用物探方法辅助钻探进行独立基础、条形基础、筏板基

础和箱形基础、基坑底部、已存在的岩溶异常部位等进行施工勘察时，均不需要在钻探孔中进行物探测试，首先优先采用雷达探测法或地震映像法进行物探工作的原因是该两种方法可达到定量解释的精度，当该方法不能满足现场工作条件可采用高密度电阻率法等其它物探方法进行辅助，但必需达到施工勘察的精度要求，为提高精度，物探工作建议开挖至基坑底部或附近且场地平整后进行。

5.5.2 施工勘察阶段的测线（点）工作布置均需按该要求布设，如勘察方案有另外要求，测线（点）不得大于该规定。

5.5.5 独立基础和桩基础承受的荷载较大，地基中的应力也比较集中，基底以下一定范围内如果有岩溶发育，对基础的稳定性将产生极大的影响。因此，在喀斯特地区，详细勘察及以前的各个勘察阶段，若没有可靠的资料证明独立基础和桩基础底面以下 3 倍桩径且不小于 5m 范围内无岩溶发育的情况下，必须补充物探工作。

广西工程建设地方标准
《岩溶地区工程物探技术规范》
DBJ/T 45-098-2020

(2020年6月第一版)

广西工程建设标准化协会
如有印刷质量问题，可退回我会退换

地 址：南宁市金湖路 63 号金源 CBD1411
邮 编：530028
邮 箱：gxbzhxh@163.co