|  |  |
| --- | --- |
| ICS |  |
| CCS | 点击此处添加CCS号 |

|  |
| --- |
| 11 |

北京市地方标准

DB11/T XXXX—XXXX

大型输水管道隐患检测规范

Specification for investigation of hidden dangers in large water transmission pipelines

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

北京市市场监督管理局  发布

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由北京市水务局提出并归口。

本文件由北京市水务局组织实施。

本文件起草单位：北京市水利规划设计研究院、中航勘察设计研究院有限公司、北京城建勘测设计研究院有限责任公司、长江地球物理探测（武汉）有限公司。

本文件主要起草人：

**目 次**

[前言 I](#_Toc196593696)

[1 范围 1](#_Toc196593697)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc196593698)

[3 术语和定义 1](#_Toc196593699)

[4 基本规定 3](#_Toc196593700)

[5 技术方法 3](#_Toc196593701)

[5.1 地震映像法 3](#_Toc196593702)

[5.2 多道瞬态面波法 5](#_Toc196593703)

[5.3 微动探测法 6](#_Toc196593704)

[5.4 超声横波反射三维成像法 7](#_Toc196593705)

[5.5 探地雷达法 8](#_Toc196593706)

[5.6 远场涡流电磁法 10](#_Toc196593707)

[5.7 磁电阻率法 11](#_Toc196593708)

[5.8 等值反磁通瞬变电磁法 12](#_Toc196593709)

[5.9 高密度电阻率法 13](#_Toc196593710)

[5.10 电视检测法 14](#_Toc196593711)

[5.11 听音法 15](#_Toc196593712)

[5.12 水下摄录法 16](#_Toc196593713)

[5.13 其他检测方法 17](#_Toc196593714)

[6 隐患检测 18](#_Toc196593715)

[6.1 一般规定 18](#_Toc196593716)

[6.2 隐患特征 18](#_Toc196593717)

[6.3 技术方法选择 19](#_Toc196593718)

[6.4 运行期隐患检测 20](#_Toc196593719)

[6.5 检修期隐患检测 21](#_Toc196593720)

[附录A （资料性） 大型输水管道隐患检查用表 23](#_Toc196593721)

[附录B （资料性） 技术方案及成果报告编制内容 24](#_Toc196593722)

[附录C （资料性） 常用物性参数表 25](#_Toc196593723)

[附录D （规范性） PCCP 无损检测(远场涡流电磁法)断丝标定方法 27](#_Toc196593724)

[附录E （规范性） 基本计算公式 29](#_Toc196593725)

[参考文献 30](#_Toc196593726)

大型输水管道隐患检测规范

* 1. 范围

本文件规定了大型输水管道隐患检测工作的具体方法和要求。

本文件适用于运行期及检修期的大型输水管道隐患检测工作。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 41055 预应力钢筒混凝土管无损检测（远场涡流电磁法）技术要求

GB/T 50152 混凝土结构试验方法标准

GB/T 50344 建筑结构检测技术标准

GB/T 50621 钢结构现场检测技术标准

GB/T 3836.1 爆炸性环境第1部分：设备通用要求

CJJ 159 城镇供水管网漏水探测技术规程

CJJ 181 城镇排水管道检测与评估技术规程

JGJ/T 143 多道瞬态面波勘察技术规程

JGJ/T 437 城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准

SL197 水利水电工程测量规范

SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程第1部分：物探

SL 713 水工混凝土结构缺陷检测技术规程

DZ/T 0485 微动探测技术规程

DB11/T 339 工程测量技术规程

DB11/T 852 有限空间作业安全技术规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

大型输水管道 large water transmission pipelines

内径不小于1500mm的输水管道或横截面净面积不小于1.766m2的输水管道。

预应力钢筒混凝土管 prestressed concrete cylinder pipelines，PCCP

在带有钢筒的混凝土管芯外侧缠绕环向预应力钢丝并制作水泥砂浆保护层而制成的管体，包括内衬式预应力钢筒混凝土管和埋置式预应力钢筒混凝土管。

输水管道隐患 hidden dangers of the water transmission pipelines

存在管道渗漏、管道周边隐患、管道结构隐患等威胁输水管道运行安全的隐患统称。

隐患检测 investigation of hidden dangers

运用特定的方法检测管道隐患的类型、位置、规模等属性特征的活动。

管道周边隐患 hidden dangers near the pipelines

管道周边岩土体中存在的影响管道运行安全的土体病害类隐患，包括脱空、空洞、疏松体、富水体等。

管道结构隐患 structural hidden dangers of pipelines

管道结构本体中存在的影响管道运行安全的结构损伤类隐患，包括管壁表观缺陷、内部结构缺陷等。

地震映像法 seismic imaging method

基于单点反射波法中最佳偏移距技术，通过人工激发地震波，利用固定偏移距连续采集多波列信息进行工程勘察的一种方法。

多道瞬态面波法 multi-channel transient surface wave investigation

利用瞬态震源，采集多通道面波进行工程勘察的一种方法。

微动探测法 microtremor detection technology

从微动信号中提取面波频散曲线或横纵谱比曲线等信息，通过数据处理与分析，推断地下构造形态和岩土层物理性质的地球物理勘探方法。

超声横波反射三维成像法 ultrasonic shear wave reflection 3D tomography

在介质表面布置阵列式传感器，采用干耦合多发多收超声横波工作方式，利用合成孔径聚焦技术重建介质内部波阻抗分布的三维图像，查明介质内部结构状况的一种探测方法。

探地雷达法 ground penetrating radar，GPR

利用电磁波的反射原理，使用探地雷达仪器向地下发射和接收具有一定频率的高频脉冲电磁波，通过识别和分析反射电磁波来探测周边介质具有一定电性差异的目标体的一种地球物理勘探方法。

远场涡流电磁法 electromagnetic method based on remote field eddy current

利用低频电磁场在PCCP内产生远场涡流，通过检测此远场涡流的变化对PCCP预应力钢丝完整性进行判断的一种检测方法。

磁电阻率法 magnetometric resistivity method

通过在挡水建筑物迎水侧和背水侧供交变电流，测量渗漏探测工作区域内产生的磁场，分析地下电流空间分布规律，以此判断渗漏集中通道的一种探测方法。

等值反磁通瞬变电磁法 opposing-coils transient electromagnetics，OCTEM

采用上下两个平行共轴的反向串联磁性源为发射源，接收天线位于上下磁性源共轴的等磁通水平面上的瞬变电磁测深方法。

高密度电阻率法 multi-electrode resistivity method

是一种阵列勘探方法，以岩、土导电性的差异为基础，研究人工施加稳定电流场的作用下地中传导电流分布规律，并达到勘探目的的一种地球物理勘探方法。

电视检测 closed circuit television inspection，CCTV

采用闭路电视系统捕获和识别管道内部缺陷的一种检测方法。

听音法 listening method

是借助听音仪器设备，通过识别管道漏水声音，推断漏水异常点的方法。

水下机器人 remotely operated vehicle，ROV

一种能在水下漂游的潜水器，可搭载高清摄像头、机械臂、水下声呐等检测设备，对带水条件下的管道进行隐患检测。

* 1. 基本规定

大型输水管道隐患检测应按照：资料搜集、现场隐患调查、技术方案编制、现场检测实施、数据处理与分析、报告编制等流程进行。

大型输水管道通水运行满5年后应进行首次隐患检测，之后宜每3年定期检测一次，检测频次可根据管道的运行工况调整。

下列情况还应进行大型输水管道隐患检测：

1. 遭遇地震、洪水、泥石流、滑坡等重大自然灾害影响管道安全时；
2. 外部工程存在交叉、穿越、临接的情况，并影响管道安全时；
3. 出现管道渗漏、管道周边地面沉降等险情时。

大型输水管道隐患检测工作应采取安全措施，并遵守DB11/T 852对有限空间作业的相关规定，保证人员和设备安全。

大型输水管道隐患定位涉及的测绘工作宜采用北京2000坐标系和北京地方高程系。

现场隐患检查应结合日常巡检及停水检修开展，对检查中发现的问题予以记录，记录形式可按照A.1执行。现场应重点记录以下内容：

1. 管道是否存在裂缝、剥蚀、露筋、空鼓、结构错位、保护层脱落、变形、垮塌等病害；
2. 管道沿线的地表是否有沉降、渗水等异常情况；
3. 管内水流流态、浊度是否正常等。

应根据检测需求制定检测技术方案。技术方案编制前应搜集和整理相关的工程特性、工程地质、设计与施工、安全监测、日常巡查等方面的基础资料，编制形式见B.1。

* 1. 技术方法
     1. 地震映像法

地震映像法适用于检测管道渗漏隐患及管道周边隐患。

采用地震映像法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边岩土体的波阻抗应存在一定差异，常见介质的密度、波速值见附表C.3；
2. 检测目标体的几何尺寸与其埋藏深度或探测距离之比不小于0.1；
3. 测区内地表应相对平坦，无陡立面且不应出现高差大于2m的陡坎；
4. 管道内开展检测时，管道内径应不小于2000mm。

仪器设备应满足下列要求：

1. 地震仪器性能应满足下列要求：
   1. 最小分辨电压≤5µV；
   2. A/D20位以上；
   3. 3通道以上；
   4. 采样率≤10µs；
   5. 采样每道记录长度≥1024点；
   6. 模拟高通滤波多档可选；
   7. 可连续触发采样；
   8. 采样间隔时间≤1s；
   9. 应有实时监控能力。
2. 检波器及震源应满足下列要求：
   1. 应采用竖直方向的速度型检波器；
   2. 宜用自然频率介于4Hz～38Hz的检波器；
   3. 同排列检波器之间的固有频率差不应大于0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差不应大于10%；
   4. 震源的选择应首先根据勘探深度和现场环境条件进行试验；
   5. 检测深度小于5m时，宜选择12镑～18镑铁锤；检测深度5m～15m时，宜选择18镑～24镑铁锤；检测深度15m～50m时，宜选择落重或机械冲击震源。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式检测前，应根据检测目的和现场检测条件开展技术方法试验，确定采集参数；
2. 测线布置应符合下列要求：
   1. 测线宜布设成直线；当受场地条件限制时，测线可布设成折线，当遇到陡坎时，应另起新测线。测线上反映目标体的测点不应少于3个；
   2. 地面进行管道周边隐患检测时，宜在管道侧壁外1m～3m范围内布置顺管道方向测线，出现波形异常时宜加密测点。针对波形异常位置进行详检；
   3. 管道内进行管道周边隐患检测时，应顺管道底部中线及两侧布置若干条平行测线，测线间距应不大于3m；管道底部为弧形时，检波器倾斜度应小于45°。检测管顶及侧壁后方隐患时，检波器应均匀分布在同一断面上，采集道数应不少于12道。
3. 地震映像法应逐道按相同步距进行检测，可采用1道～3道排列，测点间距应不大于2m，偏移距的大小应满足检测深度和波形完整性的要求；
4. 数据的采样间隔、记录长度应满足检测深度和精度的要求；
5. 数据采集时，应监测采集信号。发现采集道错误，应排除错误并重新采集；出现波形异常时，应在现场标记异常位置，并结合现场环境初步分析异常原因；
6. 检查复测的工作量不少于总工作量的5％；
7. 应对测线附近的地形、地貌、地质条件、管道构筑物等进行记录。

资料分析应满足下列要求：

1. 资料分析前，应剔除异常数据，并对地震映像剖面进行拉伸、压缩、滤波等预处理；
2. 遇到初至延时不一致时，应对记录道时间进行调整，直至初至波走时一致；
3. 根据同相轴的波形特征识别隐患异常。异常不明显时，宜对映像记录进行频率通带滤波、幅度补偿、增益均衡等处理，突出异常体；
4. 同一测区有多条测线时，应比较相邻测线的波形图，综合分析隐患异常；
5. 对于影响管道安全运行的异常应进行验证，结合验证结果进一步优化成果解译。

成果图件应包括测线平面布置图、成果解释剖面图、隐患平面分布图。其中成果解释剖面图应标明隐患的位置和规模。

* + 1. 多道瞬态面波法

多道瞬态面波法适用于检测管道渗漏隐患及管道周边隐患。

采用多道瞬态面波法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边岩土体的波阻抗应存在一定差异，常见介质的波速值见附表C.3。
2. 地面应相对平坦或坡面为单斜且起伏不大，应避开沟、坎等复杂地形和障碍物的影响。

仪器应满足下列要求：

1. 采集仪器应符合下列要求：
   1. 仪器放大器的通道数不应少于12通道；
   2. 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求，宜为0.5Hz～4.0×103Hz；
   3. 仪器放大器各通道的幅值偏差不应大于5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
   4. 仪器采样时间间隔应满足不同面波周期的时间分辨，在最小周期内应采样4点～8点；仪器采样时间长度应满足最大源检距采集完面波最大周期的需要；
   5. 仪器动态范围不应低于120dB，模数转换A/D的位数不宜小于20位；
   6. 仪器应具有频响与幅度一致性的自检功能。
2. 检波器应满足下列要求：
   1. 应采用竖直方向的速度型检波器；
   2. 检波器的固有频率应满足采集最大面波周期的需要，宜采用不高于4.0Hz的低频检波器；
   3. 同一排列检波器之间的固有频率差不应大于0.lHz，灵敏度和阻尼系数差不应大于5%；
   4. 同一排列检波器的幅值差不应大于5%，相位时差不应大于所用采样时间间隔的一半；
   5. 检波器应具有方便竖直安置的部件。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式探测前，应在有已知资料的场地布置试验点，根据探测目的和现场探测条件开展技术方法试验，确定采集参数；
2. 正式探测前和探测后应进行仪器的一致性检查；
3. 现场采集时，附近应防止人为振动干扰并监测采集信号。发现采集道数据错误时，应排除错误并重新采集。发现波形异常时，应在现场标记异常位置；
4. 进行管道周边隐患普检时，若采用锤击震源，道距宜控制在2m～5m，测线宜顺管道路由方向布置；
5. 进行管道周边隐患详检时，若采用锤击震源，道距宜控制在0.5m～2m，且测线方向宜分别顺管道路由方向及垂向布置；
6. 检查复测的工作量不少于总工作量的5％；
7. 应对测线附近的地形、地貌、地质条件、管道构筑物等进行记录。

数据处理与资料分析应符合下列要求：

1. 外业工作结束后应对原始资料进行整理；
2. 数据处理软件应具有利用基阶面波提取多道瞬态面波频散曲线的功能；
3. 频散曲线提取应符合下列要求：
   1. 应在频率-波速谱域中提取频散曲线；
   2. 二维滤波计算应突出基阶面波能量；
   3. 应在频率-波速谱域确认基阶面波频散曲线；
   4. 应将速度波长域频散曲线转换为速度深度域频散曲线；
   5. 频散曲线提取完毕后应进行存储。
4. 频散曲线的分层应依据拐点、斜率及频散点疏密等特征确定。用于计算地层速度的频散曲线应具有收敛的特征；
5. 频散曲线的反演计算应符合下列要求：
   1. 反演计算宜选择固定层厚度的方式；
   2. 反演计算宜遵循由浅及深、逐层调试的原则，使正、反演结果逐渐逼近；
   3. 应结合已知资料确定层厚度和地层速度。
6. 对于影响管道运行安全的隐患应进行验证，结合验证结果进一步优化成果解译。

成果宜包括检测点平面布置图、频散曲线图、面波速度剖面图及隐患解释成果图。其中隐患解释成果图应标明隐患的位置和规模。

* + 1. 微动探测法

微动探测法适用于检测管道周边隐患，可用于检测管道渗漏隐患。

采用微动探测法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边岩土体的波阻抗应存在一定差异，常见介质的波速值见附表C.3。
2. 微动信号具有足够的强度，能被仪器观测到。
3. 工作现场应具备足够空间，能满足检测装置布设要求。

仪器设备应满足下列要求：

1. 微动探测仪器设备宜采用多通道微动探测系统或一体化地震仪；
2. 仪器设备的频带响应满足微动探测的需要；
3. 多通道微动探测系统的技术指标应符合以下规定：
   1. 放大器的通道数不少于4通道；
   2. 通道间幅值偏差不大于5％，相位差不大于0.1 ms；
   3. 通道间串音抑制不小于100 dB；
   4. 动态范围不小于120 dB，A/D转换位数不小于24位；
   5. 系统噪声不大于1µV；
   6. 采样率应满足探测精度要求，采集时间长度可控。
4. 检波器应满足下列要求：
   1. 采用垂直分量或三分量的速度型检波器，电压输出灵敏度不小于200 V/（m/s）；
   2. 同一台阵检波器之间的固有频率差不大于0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差不大于5％；
   3. 同一台阵检波器的幅值差不大于5％，相位差不大于0.1ms；
   4. 检波器具有竖直安置的部件或调平装置；
   5. 应具有满足探测深度需要的密封防水能力。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式探测前，应在有已知资料的场地布置试验点，根据探测目的和现场探测条件开展技术方法试验，确定采集参数；
2. 现场台阵布设应优先选择直线型，也可采用等边三角形互嵌型和单圆型；
3. 正式探测前和探测后应进行仪器的一致性检查；
4. 现场采集时，附近应防止人为振动干扰并监测采集信号。发现采集道数据错误时，应排除错误并重新采集。发现波形异常时，应在现场标记异常位置；
5. 数据采集时间长度应根据探测深度、精度及环境干扰等因素，并按照以下要求综合确定：
   1. 采集记录时间长度应满足提取符合任务要求的频散曲线数据；
   2. 对于微动信号采集中能实时显示频散曲线迭加过程的采集系统，应视频散曲线特征基本稳定后，再延长180s～600s后停止采集；
   3. 对于微动信号采集中不能实时显示频散曲线的采集系统，采集时间应不少于1200s。
6. 进行管道周边隐患普检时，点距宜控制在5m～20m，测线宜顺管道方向布置；
7. 进行管道周边隐患详检时，点距宜控制在0.5m～2m，且测线方向宜分别顺管道路由方向及垂向布置；
8. 检查复测的工作量不少于总工作量的5％；
9. 应对测线附近的地形、地貌、地质条件、管道构筑物等进行记录。

数据处理及资料分析应符合下列要求：

1. 数据采集工作结束后应对原始资料进行整理；
2. 对现场采集中已编辑成台阵道集的记录进行去均值、去趋势、滤波和剔除瞬时强干扰等处理；
3. 处理软件应具有空间自相关法、扩展空间自相关法或频率-波数谱法处理功能。采用线性阵列采集微动信号时，处理软件应具有折射微动处理功能，且应具有校正方位噪音源的功能。密集台阵微动探测时，处理软件应具有校正方位噪音、互相关分析、层析成像等功能；
4. 资料分析应符合下列要求：
5. 根据物性参数和已有资料，按照从已知到未知、由浅及深、点面结合、综合分析、定性定

量相结合的原则进行地质解释；

2）依据频散曲线特征、面波速度剖面图、拟速度剖面图等进行物性分析和推断；

3）应结合已知资料确定层厚度和地层速度。

1. 对于影响管道运行安全的隐患应进行验证，结合验证结果进一步优化成果解释。

成果宜包括检测点平面布置图、频散曲线图、面波速度剖面图及隐患解释成果图，其中隐患解释成果图应标明隐患的位置和规模。

* + 1. 超声横波反射三维成像法

超声横波反射三维成像法适用于检测管道的内部结构缺陷，可用于检测PCCP断丝隐患。

采用超声横波反射成像法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边介质的波阻抗应存在一定差异，常见介质的横波速度值见附表C.3；
2. 受检目标体的尺寸与埋深相比应具有一定的规模；
3. 在检测目标与测试对象表面之间，应避免复杂结构的干扰，如密集钢筋网、多层防水垫等，以确保超声横波能够有效穿透并到达检测目标体。

超声横波反射成像仪器性能应满足下列要求：

1. 同步每一通道的触发和接收信号时间；
2. 采样频率≥1MHz；
3. 具有表面波信号滤除功能；
4. 采样长度≥1024样点/道，根据实际测量深度和预设速度进行调整；
5. 发射脉宽0.5～2个周期，可选；
6. 可进行连续的网格或线性的类型采集方式；
7. 仪器有刻度或者激光进行打点；
8. 可调节信号能量，最大有效检测深度≥4m；
9. 体积小、重量轻，易于携带和操作；
10. 换能器或检波器应满足下列要求：
11. 应采用干耦合的超声横波换能器或者检波器；
12. 宜用发射或接收介于10kHz～100kHz的宽频率范围内的超声波，或采用此频率范围内的超声横波检波器和震源；
13. 采用4×12或者4×16等超声横波传感器阵列，仪器可含多类分布形式如：线阵、面阵和环形列阵，排间距小于等于2cm；
14. 换能器或检波器间距小于2.5cm。

现场工作应符合下列要求：

1. 应选择合适的检测网格大小和测量方向，以便能够发现检测任务要求的最小目标体，确保在成果图上能清晰地反映出目标体的位置和形态；
2. 检测前，应清理检测面杂物，如灰尘、碎石、凸起等，确保传感器与检测面紧密贴合；若有无法清除的障碍物应记录；
3. 统一仪器摆放方式和测量方向，记录第一个测点的起始坐标，并确保点测间距与仪器预设保持一致，若有特殊情况需记录；
4. 进行裂缝检测时，需将仪器传感器阵列长轴尽量保持垂直于表面裂缝走向；
5. 进行钢筋、波纹管等条形体检测时，测线方向尽量保持垂直于条形体走向；
6. 进行脱空检测时，可根据管道情况布置环向或者轴向测线；
7. 检查工作量不少于总工作量的5％；
8. 应对检测条件、现场检测情况等予以记录。

资料分析除应符合下列要求：

1. 成果分析应在准确可靠的检测数据基础上进行综合分析，结合实际工程情况及检测结果，充分考虑可能的干扰因素；
2. 检测前应建立统一的坐标轴，并在数据处理和成果分析前，调整图像拼接方式，以确保成像结果与实际坐标匹配；
3. 进行三维成像时，应采用规则网格方式对检测数据进行工程整合处理，实现管道结构内部的三维图像显示，或者采用切片方式展示结构内部的图像；
4. 对于影响管道运行安全的隐患应进行验证，结合验证结果进一步优化成果解释。

成果应符合下列要求：

1. 成果图件应包括工作布置图、反射能量图，成果综合解释图等。其中成果综合解释图应标明隐患的位置和规模；
2. 三维超声横波反射成像成果应根据需求提供不同角度的切片图。
   * 1. 探地雷达法

探地雷达法适用于检测管道周边隐患及管道的内部结构缺陷。

采用探地雷达法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边介质的介电常数应存在一定差异，常见介质的介电常数值见附录C.2；
2. 检测目标体的几何尺寸应具有一定规模；
3. 测区内不宜有大范围的金属构件或无线电射频等较强的电磁干扰。

探地雷达仪器性能应满足下列要求：

1. 仪器增益不宜小于150dB；
2. 数据采集记录位数不应小于16bit；
3. 可控时窗0ns～3000ns；
4. 系统中心频率16MHz～1500MHz；
5. 脉冲重复频率3kHz～100kHz；
6. 点测时应能多次叠加并不应少于30次；
7. 三维探地雷达应具备多通道采集功能，各通道一致性良好，且数据采集和测线定位应具备实时同步功能；
8. 管道探地雷达宜搭载电视检测装置进行同步测距检测，并具备前进、后退、变速、停止等功能。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式探测前应根据探测深度和精度要求，通过技术方法试验确定天线主频、采集方式和采集参数；
2. 根据检测条件，在地面开展管道周边隐患检测时，可采用二维探地雷达、三维探地雷达；在管道内开展管道周边隐患检测时，可采用二维探地雷达或管道探地雷达；
3. 探地雷达天线选择应符合下列要求：
4. 采用剖面法进行探测时，宜根据探测目标体或目标层规模与深度选择不同主频的天线。进行浅层探测时，宜选择频率80MHz～500MHz的天线；地形起伏较大时，宜选用分体式天线。进行输水管道结构检测时，宜选择频率400MHz以上频率的天线；
5. 宽角法与共中心点法应选择分体式天线，探测深度较大时宜选用主频较低的天线，探测深度较小时宜选用主频较高的天线；
6. 重点检测区及重点异常区检测宜选用多种频率天线。
7. 现场实施应符合下列要求：
8. 现场釆集时应清除或避开测线附近的金属物，无法清除或避开时应做好记录；
9. 非空气耦合天线探测时天线宜紧贴探测面，保持耦合良好；
10. 当采用测量轮测距时，采集前应对其进行标定。探测时天线应至少每10m校对一次桩号或距离，允许误差为±1%；
11. 使用小于等于400MHz中心频率天线探测时，应保持连接电缆展开，天线的位置宜相对固定；
12. 三维探地雷达法测线布设应根据天线的检测宽度确定，保证检测区域合理覆盖；
13. 管道探地雷达可顺管道的轴向位置和环向位置探测，沿轴向位置探测时宜在管道的顶部、底部、两腰及腰线上方45°角位置布设测线。
14. 探地雷达检查复测的工作量不得少于总工作量的5%；
15. 应对受测区域的检测条件、现场检测情况等进行记录。

资料分析除应符合下列要求：

1. 应在原始图像上通过反射波波形、能量强度、反射波初始相位、反射界面延续情况等特征进行综合判断和异常筛选；
2. 识别反射波组界面，首先宜通过已知信息与雷达图像进行对比，建立测区探测对象的反射波组特征。然后宜扩展到其他剖面进行识别，同时根据反射波组的波形和能量特征进行同相轴追踪；
3. 异常体可根据波形双曲线形态、能量和频率等特征进行识别。对异常体的水平位置和顶界面埋深宜进行定量计算，对于异常体底界面宜进行半定量估算；
4. 同一测区有多条测线时，应比较相邻测线的雷达剖面图，识别相似图像特征的反射信息进行比对及综合分析；
5. 三维雷达探测法应利用三维数据体显示功能进行目标体的空间形态分析和三维建模；
6. 管道探地雷达数据处理时，应对闭路电视视频资料进行同步处理；
7. 对于影响管道运行安全的隐患应进行验证，结合验证结果进一步优化成果解释。

成果应符合下列要求：

1. 二维探地雷达、管道探地雷达成果图件宜包括测线布置图、隐患缺陷分布图、探地雷达剖面图；
2. 三维探地雷达成果图件应包括平面图、雷达剖面图、截面切片图。截面切片图宜以多个层析切片的形式显示。
   * 1. 远场涡流电磁法

远场涡流电磁法适用于检测PCCP预应力钢丝完整性。

采用远场涡流电磁法应符合下列条件：

1. 检测工作宜在0℃～38℃的环境条件下进行；
2. 检验场地附近应避免有影响仪器正常工作的电磁场、震动及其它干扰；
3. 采用外加电流阴极保护方式的PCCP管道，应在测前2周断开外加电流阴极保护电路。

检测设备应满足下列要求：

1. 检测设备主要由数据采集系统、发射线圈接收线圈和固定平台组成；
2. 检测设备应具备里程计，在测量过程中能及时校准；
3. 数据采集系统应具备实时显示、存储检测信号的能力。根据检测现场需求能够调整发射信号的幅度、频率、相位和接收信号的放大倍数等；
4. 数据采集软件应具有开始、停止、暂停、实时采集、显示、存储、回放等功能。

PCCP管道预应力钢丝完整性检测应开展标定试验，并符合下列要求：

1. 标定时，至少应设置三节管道串联，中间管节作为标定管或基准管，其他管节为辅助管，从而保证基准曲线、标定曲线的完整性；
2. 标定试验场地附近应避免有影响检测设备正常工作的电磁场、震动及其他干扰；
3. 应按附录D规定的方法先获取基准管的基准曲线，然后获取标定管的标定曲线。获取基准曲线后的基准管可以作为标定管。若没有基准管或标定管，可采用同类型管道替代，或在作为检测对象的管道里获得基准曲线；
4. 标定试验时每个数据应至少复测一次；
5. 标定过程中应通过调整检测仪器的参数设置，获得清晰的信号曲线和分辨率，作为检测实施时工作参数设置的依据。

现场工作应符合下列要求：

1. 当需要进入PCCP管道内操作时，应遵守DB11/T 852对有限空间作业的相关规定；
2. 检测前对检测系统状态完好性进行检查，并对移动平台上的里程计进行校准。发射线圈和接收线圈应尽量靠近管壁内侧，但不与管道发生接触；
3. 依据标定试验所获得的工作参数对检测系统参数进行设置，根据管径大小，对发射信号的频率、幅度、相位及信号放大倍数进行调整，直至能够采集到清晰的信号为准；
4. 管道编号应与管道实物编号对应，行进方向宜与水流方向一致；
5. 检测过程中应通过重复性检测进行检测系统的核查，核查频率应保证两个排气阀之间的检测对象至少进行一次。如果发现或怀疑检测系统存在问题，应重新调试并确认正常；
6. 检测过程中应对检测条件、现场检测情况及无法确定的异常信号进行记录。

数据分析应符合下列要求：

1. 分析电磁检测信号时，应综合利用振幅及相位判断有无断丝；用标定曲线判断断丝数量和断丝位置。断丝标定方法可参考GB/T 41055及附录D的要求；
2. 对于出现断丝的管道，应提供管道编号、管道位置、断丝位置及断丝数量；
3. 单处断丝可判断的最小断丝数量取决于管道结构及尺寸；有二处及以上断丝时，总断丝数量为各处断丝数量之和；如果某节管道出现夹杂断丝而无法明确分辨其边界的情况，宜均按断丝处理：如果某处断丝数量很多，无法通过标定曲线判断数量可将其判为大范围受损，不再给出具体的断丝数量；
4. 如有无法确定为断丝的异常信号应在报告中加以说明。

成果应符合下列要求：

1. 应附有必要的检测照片、数据及图表；
2. 断丝数量及位置可采用列表方式，包括：管道编号、管道长度、断丝位置、单个区域断丝数量及总断丝数量等，参考附录D.3。
   * 1. 磁电阻率法

磁电阻率法适用于检测管道渗漏隐患。

采用磁电阻率法应满足下列条件：

1. 管道渗漏隐患导致管道周边环境存在明显的电性差异，常见介质的电阻率值见附表C.1；
2. 渗漏隐患应有一定的规模；
3. 测区内应无较强的游散电流、大地电流、接地导线或其他电磁干扰。

磁电阻率仪器主要技术指标应符合下列规定：

1. 应采用三分量磁探头；
2. 最大量程应大于1mT；
3. 分辨率应小于10pT；
4. 带宽不应窄于3kHz。

现场工作应符合下列规定：

1. 测网布置应符合下列规定：
2. 测线宜垂直于管道走向；
3. 应根据任务水平定位精度要求确定测线、测点间距；
4. 所有测点应进行测量放样并标识，水平位置和高程允许偏差应为点距的±5%。
5. 装置的选择应符合下列规定：
6. 应根据现场工作条件选择水平或垂直装置；
7. 管道渗漏隐患探测等宜根据渗漏点位置确定装置。
8. 仪器和工作参数应符合下列规定：
9. 供电电缆宜远离测区边缘1倍测区边长及以上；
10. 供电电流宜采用直流电或低频交流电，应避免使用测区附近供电所采用的交流电频率；
11. 供电电流宜大于0.5A。
12. 数据采集应符合下列规定：
13. 不宜在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线；
14. 多台仪器测量时，每台仪器应在基准点处进行校准测量；
15. 数据采集时，应通过电子罗盘、水准气泡等装置保持三分量磁探头正向；
16. 数据采集过程中，如遇到金属管道、金属栅栏、电缆等结构时，应记录这些结构的坐标信息。
17. 观测、重复观测、检查观测应符合下列规定：
    1. 观测应保证持续稳定的供电电流；
    2. 单个测点的重复观测或检查观测时，应记录测点坐标，坐标相对误差δ应小于5%，可按公式(E.3)计算；
    3. 重复观测点磁电阻率的均方相对误差大于5%时，应查明原因消除误差，可按公式(E.5)计算；
    4. 应在存在金属干扰的区域布置检查观测点；
    5. 有严重干扰的测点不可参与全区观测质量评价。
18. 数据应进行检查并满足下列质量要求：
    1. 单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致，磁电阻率相对误差δ应小于5%，可按公式(E.3)计算；
    2. 测区检查的总均方相对误差M应小于5%，可按公式(E.6)计算。

磁电阻率法资料整理与解释应符合下列规定：

1. 应根据数据采集时记录的金属结构坐标信息，排除已知干扰；
2. 应根据现场实际情况建立正演模型，获取测区的理论磁场分布成果；
3. 应通过反演处理，得到地下介质的电流分布特性，判断渗漏优势路径的三维分布情况。

成果图件应包括工作布置图、磁场原始数据图，成果综合解释图等，其中成果综合解释图应标明渗漏隐患的位置和影响范围。

* + 1. 等值反磁通瞬变电磁法

等值反磁通瞬变电磁法适用于检测管道渗漏隐患，可用于检测管道周边隐患。

采用等值反磁通瞬变电磁法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边介质之间应有明显电磁性差异，常见介质的电阻率值见附表C.1；
2. 测区内应没有较强的工业游散电流、大地电流或电磁干扰；
3. 探测目标体应位于探测盲区以下。

等值反磁通瞬变电磁法设备应符合下列要求：

1. 天线应为收发一体，发送为磁性源，接收为空芯感应线圈，并具有等值反磁通零磁通调零装置；
2. 系统应具有自检、记录发送波形、实时监控工作状态的功能；
3. 发送基频、电流准确度以及占空比等发送机关键性能宜满足SL/T 291.1的规定；
4. 信号采集卡的分辨率、采样率以及动态范围等关键性能指标宜满足SL/T 291.1的规定。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式探测前应进行技术方法试验，确定工作频率及迭代次数等参数；
2. 现场实施应符合下列要求：
   1. 天线应与探测面耦合，保持水平；场地条件受限时，天线平面中心点至测点的距离应不大于天线半径；
   2. 现场工作时，若测点偏离设计点位，测点在测线方向偏离距离应小于1/2测点距，垂直测线方向偏移应小于1/5线距；
   3. 城区场地条件采集时，2倍天线半径内没有高于天线的金属物体，且5m高度内无强烈的电磁噪音声源或悬空金属线缆。
3. 进行管道周边隐患普检时，点距宜控制在5m～10m，测线宜顺管道路由方向布置；
4. 进行管道周边隐患详检时，点距宜控制在1m～2m，且测线方向宜分别顺管道方向及垂向布置；
5. 检查复测的工作量不得少于总工作量的5%；
6. 应对测线附近的地形、地貌、地质条件、管道构筑物等进行记录；
7. 数据应进行检查并满足下列质量要求：
   1. 单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致，各观测道的总均方相对误差M应小于10%，可按公式(E.6)计算；
   2. 一条测线或测区检查的总均方相对误差M应小于10%，可按公式(E.6)计算。

数据处理及资料分析应符合下列要求：

1. 数据预处理应根据发送电流归一化二次场数据；
2. 数据预处理应拾取关断时间，即发送电流关断后，电流减小至关断前电流幅值的1%的时间；
3. 数据预处理应删除二次场畸变值，根据探测目标体规模确定光滑程度，目标体规模较大时应选择相对较大的光滑系数，目标体相对较小时应选择较小的光滑系数；
4. 应按照从一维、二维到三维的顺序开展反演；
5. 应先在已知目标体的测点开展反演，优选反演方法，确定反演参数，再对所有测点开展电阻率反演成像；
6. 可通过已知资料建立视电阻率剖面中异常性质、深度、范围的对应关系，据此对该测区其它剖面进行解释。

成果图件应包括测线平面布置图、成果解释剖面图、隐患平面分布图，其中成果解释剖面图应标明隐患的位置和规模。

* + 1. 高密度电阻率法

高密度电阻率法适用于检测管道渗漏隐患，可用于检测管道周边隐患。

采用高密度电阻率法应满足下列条件：

1. 检测目标体与周边介质之间应有明显电性差异，且电性界面与地质界面相关，常见介质的电阻率值见附录C.1；
2. 被探测的目标层或目标体相对于埋深和装置长度应有一定的规模；
3. 各地层或目标体电性应稳定，异常范围和幅值等特征应可以被测量和追踪；
4. 隐患体上方应无极高电阻屏蔽层；
5. 测区内应无较强的游散电流、大地电流或其他电磁干扰。

仪器性能应满足下列要求：

1. 采集系统应满足下列要求：
   1. 测量电压分辨率不应大于0.01mV；
   2. 测量电流分辨率不应大于0.01mA；
   3. 最大补偿允许范围不应窄于±1V；
   4. 输入阻抗不应小于8MΩ；
   5. 最大供电电压不应小于400V；
   6. 最大供电电流不应小于2A。
2. 电极和电缆应满足下列要求：
   1. 电极宜使用稳定性较好的不锈钢电极或铜电极，电极长度不宜小于30cm、直径不宜小于10mm；
   2. 多芯电缆芯线电阻不应大于240Ω/km，芯间绝缘电阻不应小于5MΩ/km。

现场工作应符合下列要求：

1. 正式探测前应进行有效性试验，确定观测装置、排列长度及电极距；
2. 同一排列的电极应呈直线布置，电极接地位置在沿排列方向上的偏差不宜大于极距的1/10；在垂直排列方向上的偏差不宜大于极距的1/5；
3. 进行管道周边隐患普检时，点距宜控制在5m～10m，测线宜顺管道路由方向布置；
4. 进行管道周边隐患详检时，点距宜控制在0.5m～2m，且测线方向宜分别顺管道路由方向及垂向布置；
5. 现场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. 最大供电电极距宜大于要求检测深度的6倍。
6. 现场布置应符合下列要求：
   1. 电极的接地电阻应小于2kΩ；
   2. 复杂条件下，应采用不少于两种观测装置进行检测；现场装置选择宜选择对称四级或温纳装置；
   3. 对每个排列的观测数据，坏点总数不应超过总测量点数的1% ，对意外中断后的续测，应有不少于2个深度层的重测值；
   4. 实施滚动观测时，每个排列的伪剖面底边的数据应衔接。
7. 检查复测的工作量不得少于总工作量的5%。
8. 数据应进行检查并满足下列质量要求：
   1. 应按公式(E.3)和公式(E.5)计算单个电测深点的相对误差和均方相对误差，按公式(E.6)计算一个电测深点、一条剖面或一个测区的电测深总均方相对误差；
   2. 当单个电测深点的资料出现下列情况之一时，该点资料应评为不合格：单个电测深点相邻3个极距的相对误差>2.5%；相对误差>3.5%的电测深极距数超过该点检查极距数的30%；相对误差>7%的电测深极距数超过该点检查极距数的5%；相对误差>10.5%的电测深极距数超过该点检查极距数的1%；均方相对误差>3.5%；
   3. 一条剖面或一个测区的电测深资料出现不合格的电测深点超过检查点总数的30%、被检查全部电测深点（含不合格的电测深点）的均方相对误差>3.5%、总均方相对误差>3.5%等三种情形之一者，该剖面或测区的资料应评为不合格。

数据处理与资料分析应符合下列要求：

1. 数据处理软件应具有坏值剔除、数据拼接、数据平滑和滤波、地形校正及二维或三维反演功能，同一工区反演计算时宜采用统一的反演参数；
2. 根据视电阻率异常特征识别隐患。隐患识别时应结合地形、地质条件、干扰体位置等资料，剔除干扰因素引起的异常；
3. 同一剖面多种装置的视电阻率断面图应对比解释；
4. 不同的探测剖面应对比分析，研究异常特征、性质，找出这些剖面中电性特征类似的异常区域；
5. 应在分析异常电性特征的基础上，结合其它有关资料综合解释。

成果图件应包括测线平面布置图、成果解释剖面图、隐患平面分布图，其中成果解释剖面图应标明隐患的位置和规模。

* + 1. 电视检测法

电视检测法适用于管内无水条件下的管壁表观缺陷检测。

采用电视检测时，应对被检测管道进行疏通、清洗，管道内壁应无泥土及其他附着物。

闭路电视设备应满足下列要求：

1. 摄像镜头应具有平扫、旋转、仰俯、变焦功能，摄像头高度应可以自由调整；
2. 爬行器应具有前进、后退、空挡、变速、防侧翻等功能；
3. 主控制器应具有在监视器上同步显示日期、时间、管径、在管道内行进距离等信息的功能，应可以进行数据处理；
4. 应能在0℃～50℃的气温条件下和潮湿的环境中正常工作，防水防尘等级应大于IP68，防爆等级和安全性能应符合GB/T 3836.1的规定；
5. 仪器设备应具备测距功能，电缆计数器的计量单位应为0.1m；
6. 视角不应小于±45°；
7. 分辨率不应小于640×480像素；
8. 图像变形不应大于±5%；
9. 爬行器电缆长度为120m时，爬坡能力应大于5°；
10. 电缆抗拉力不应小于2kN；
11. 储存录像编码格式应为MP4、AVI、ASF，照片格式应为JPG、PNG。

现场工作应符合下列要求：

1. 检测时摄像镜头移动轨迹应在管道中轴线上，偏离度不应大于管径的10%。当对特殊形状的管道进行检测时，应适当调整摄像头位置并获得最佳图像；
2. 爬行器在行进过程中，摄像镜头不应使用变焦功能，当使用变焦功能时，爬行器应保持在静止状态。当爬行器需要继续行进时，应先将镜头的焦距恢复到最短焦距位置；
3. 管道检测过程中，录像资料不应产生画面暂停、间断记录、画面剪接现象；
4. 在检测过程中发现缺陷时，应将爬行器在完全能够解析缺陷的位置至少停止10s，确保所拍摄的图像清晰完整。

数据处理和资料分析应符合下列要求：

1. 缺陷的类型、等级应参考CJJ 181中8.2节的要求进行判读并记录，并由复核人员对检测资料进行复核；
2. 缺陷范围可依据管径或相关物体的尺寸进行判定；
3. 无法确定的缺陷类型或等级应在报告中加以说明；
4. 缺陷图片宜采用现场抓取最佳角度和最清晰图片的方式，也可釆用录像截图的方式；
5. 对直向摄影和侧向摄影，每一处结构性缺陷抓取的图片数量应大于2张。

成果应包括被检管段的平面位置图、管道缺陷影像图、管道缺陷统计表等。

* + 1. 听音法

听音法适用于检测管道渗漏隐患，应根据探测条件选择阀栓听音法、地面听音法或钻孔听音法。

采用听音法应满足下列条件：

1. 管道供水压力不应小于0.15MPa；
2. 环境噪声不宜大于30dB；
3. 听音杆宜具有机械放大功能，电子听漏仪还应符合下列要求：
   1. 具有滤波功能；
   2. 具有多级放大功能；
   3. 使用加速度传感器作为拾音器，其电压灵敏度应优于10mV/（m·s-2）。

当采用听音法进行管道漏水探测时，每个测点的听音时间不应少于5s；对怀疑有漏水异常的测点，重复听测和对比的次数不应少于2次。

应采用复测与对比方式进行过程质量检查。检查时应随机抽取复测管段，且抽取管段长度不宜少于探测管道总长度的20%。应重点复测漏水异常管段和漏水异常点。

阀栓听音法应符合下列要求：

1. 可用于输水管网漏水普检，探测水异常的区域和范围，并对漏水点进行预定位；
2. 阀栓听音法可采用听音杆或电子听漏仪；
3. 当采用阀栓听音法探测时，听音杆或传感器应直接接触地下管道或管道的附属设施；
4. 当采用阀栓听音法探测时，应首先观察裸露地下管道或附属设施是否有明漏。发现明漏点时，应准确记录其相关信息。记录的信息应包括阀栓类型、明漏点的位置、漏水部位、管道材质和规格及估计漏水量；
5. 当采用阀栓听音法探测时，应首先根据听测到的漏水声音，确认漏水异常管段，然后根据漏水声音的强弱和特征，并结合已有资料，推断漏水异常点。

地面听音法应符合下列要求：

1. 地面听音法可用于输水管网漏水普检和漏水异常点的精确定位；
2. 当采用地面听音法探测时，地下供水管道埋深不宜大于2.0m；
3. 地面听音法可使用听音杆或电子听漏仪。进行探测时听音杆或拾音器应紧密接触地面；
4. 当采用地面听音法进行漏水普检时，应沿供水管道走向在管道上方逐点听测。金属管道的测点间距不宜大于2.0m，非金属管道的测点间距不宜大于1.0m。漏水异常点附近应加密测点，加密测点间距不宜大于h0.2m；
5. 当采用地面听音法进行漏水点精确定位时，宜顺管道走向成“S”形推进听测，但偏离管道中心线的最大距离不应超过管径的1/2。

钻孔听音法应满足下列要求：

1. 钻孔听音法可用于输水管道漏水异常点的精确定位；
2. 钻孔听音法应在供水管道漏水普检发现漏水异常后进行钻孔前应准确掌握漏水异常点附近其他管线的资料；
3. 当采用钻孔听音法探测时，每个漏水异常处的钻孔数量不宜少于2个，两钻孔间距不宜大于50cm；
4. 钻孔听音法应使用听音杆，探测时听音杆宜直接接触管道管体。

成果图件应包括被检管段的平面位置图及隐患分布图。

* + 1. 水下摄录法

水下摄录法适用于管道满水条件下管壁表观缺陷检测，应采用水下机器人搭载检测设备进行。

水下机器人可根据检测目的搭载不同的检测设备。对管内环境进行摄录，应搭载水下摄像仪；管内环境复杂，存在有可能影响设备安全的情况，应搭载二维图像声呐；需要对管壁进行三维成像，应搭载三维成像声呐设备。

采用水下机器人检测时，应满足下列要求：

1. 管内水下环境能见度宜大于1m；
2. 管内水流流速不宜大于1m/s；
3. 管内水质宜为中性环境，水温宜在0℃～40℃。

水下机器人应具备搭载水下摄像仪、二维图像声呐或三维成像声呐的能力，设备性能和指标应满足下列要求：

1. 水下摄像仪器应符合下列规定：
   1. 分辨率应大于200万像素；
   2. 耐压水深指标应大于100m；
   3. 应配有照明装置；
   4. 4）应具有图像实时传输或存储功能。
2. 二维图像声呐仪器应符合下列规定：
   1. 工作频率应大于900kHz；
   2. 距离分辨率应高于25mm；
   3. 扫描角度应大于120°；
   4. 最大扫描距离应大于15m；
   5. 耐压水深应大于100m。
3. 三维成像声呐仪器应符合下列规定：
   1. 工作频率应大于1300kHz；
   2. 距离分辨率应高于15mm；
   3. 扫描距离应大于10m；
   4. 耐压水深应大于100m；
   5. 波束个数应大于256个。

现场工作应符合下列要求：

1. 下水前应对设备开展密封性能、供电性能、操作性能检查，对管内环境及水质条件进行评估；
2. 水下摄像现场实施应符合下列要求：
   1. 表面存在淤积、附着物等影响摄像检查效果时应先进行清理；
   2. 水下摄像宜包括巡查发现的异常区域、涉及安全的重点工程结构部位、可能发生破损的怀疑区域等；
   3. 宜按环状测线进行全覆盖检查，观测时应根据水下环境情况合理设置照明灯光亮度，能见度差时应增加辅助灯光，辅助灯光位置不宜使摄像发生反向散射现象；
   4. 渗漏检测时宜结合水下喷墨观察颜料吸入情况；
   5. 观测过程中发现缺陷部位应暂停工作，进行重点观察和定位，应人工记录探查时间、空间位置、异常特征等信息；
   6. 判断缺陷尺寸宜利用激光标尺或其他带有刻度的参照物；
   7. 当天收工后应对检查视频进行回放，发现遗漏或可疑处应进行重新观测。
3. 二维图像声呐现场实施应符合下列要求：
   1. 二维图像声呐开展管道隐患检测时，宜选择360°扫描探头，根据管道形态需要合理设置扫描间隔；
   2. 现场检查宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于10m时宜选择2000kHz以上频率探头，探测距离10m～50m时宜选择900kHz～2000kHz频率探头；
   3. 扫描过程中应进行实时监测，根据目标体图像情况合理设置增益，发现异常部位应进行重复扫描；
   4. 多次检测进行图像拼接时，重复检测区域应大于图像面积的1/3。
4. 三维图像声呐现场实施应符合下列要求：
   1. 三维成像声呐开展数据拼接时应保证重复区域超过20%；
   2. 现场检查宜根据探测范围和精度要求选择合适频率的探头，探测距离小于10m时宜选择2000kHz以上频率探头，探测10m～30m时宜选择1300kHz～2000kHz频率探头。

数据处理和资料分析应符合下列要求：

1. 水下摄像资料应按照工程部位依时间顺序播放分析，对有杂物或缺陷部位应进行视频截取，并根据影像异常的几何形状、色彩差异、影纹粗细等特征确定缺陷的性质、位置和规模；
2. 二维图像声呐宜通过调整增益使目标体显示清晰，同一目标体有多幅声呐图像时，宜结合多幅角度图像进行对比分析并标识目标体，分析目标体的规模、位置等信息；
3. 三维成像声呐宜先进行噪声处理，去除水环境噪声的影响。多点位数据应进行数据拼接处理，获取输水管道整体信息。数据整理完成后宜进行三维数据建模，在建模数据上开展输水管道尺寸、位置及缺陷等分析解释。

成果宜符合下列要求：

1. 水下摄像成果应包括管内高清影像图、缺陷位置分布图等；
2. 二维图像声呐成果宜包括二维声呐图像及对应的解释图件；
3. 三维成像声呐成果宜包括三维数据模型图及局部放大图、典型断面图、平面等值线图及缺陷分布图等。
   * 1. 其他检测方法

超声回弹综合法或回弹法适用于检测混凝土强度，技术要求应执行SL 713的相关规定。

冲击回波法适用于检测管道内部缺陷，技术要求应执行SL 713的相关规定。

超声波法适用于检测裂缝深度及金属结构内部缺陷，技术要求应执行SL 713及GB/T 50621的相关规定。

电磁感应法适用于检测钢筋分布及钢筋保护层厚度，技术要求应执行SL 713的相关规定。

半电池电位法适用于检测钢筋锈蚀隐患，技术要求应执行SL 713的相关规定。

* 1. 隐患检测
     1. 一般规定

大型输水管道隐患检测根据不同的实施阶段，主要包括运行期隐患检测及检修期隐患检测。

应根据任务要求及检测结果形成成果报告，并符合下列要求：

1. 成果报告应包括基本情况、检测原理与方法技术、资料分析与解释验证情况、结论与建议、附图及附表等内容。成果报告可参考附录B.2编写；
2. 成果报告应经校核和审查后提交；成果报告提交后应及时归档，归档资料应包括纸质文件和相应的电子文档，宜包括任务书或项目合同、工作方案、现场记录、中间成果资料、成果报告及图件等。
   * 1. 隐患特征

管道周边隐患可主要分为脱空、空洞、疏松体和富水体。根据隐患特征，管道周边隐患可按表1确定。

**表1 管道周边隐患特征表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 隐患类型 | | 隐患特征 |
| 管道  周边隐患 | 脱空 | 管道与周边土体之间接触不良 |
| 空洞 | 1管道周边土体内部局部架空，对上部土体或结构具有失稳风险；  2管道周边土体受渗漏影响而形成的临时洞穴，洞穴稳定性差，易形成地面沉陷或塌陷。 |
| 疏松体 | 1管道周边土体，具有结构不均匀、松散、密实程度低、强度低、高压缩性等特点；  2强度随疏松体的松散程度增大而降低；  3疏松体范围逐渐扩大到一定程度，其自身承载力降低，内部土体发生坍塌，疏松体上部易发展为空洞或脱空。 |
| 富水体 | 1 相对周边土体均匀性较差、含水量高异常、呈软塑～流塑状态、灵敏度较高，强度很低、孔隙比较大、压缩性高等特点；  2 富水体区域因局部水力作用，土体结构弱化，强度降低，工程性质变差，危及周边工程安全，其上部可发展为空洞 |

管道渗漏隐患可按以下隐患特征确定。

1. 渗漏位置受水流冲刷作用，管道周边土体流失引起土体沉陷或形成空洞，对上部土体或结构具有失稳风险；
2. 受渗漏水流动和浸泡影响，管道周边土的密实程度降低，引起土体结构弱化，强度降低，工程性质变差，危及管道和周边工程安全。

管道结构隐患主要分为管壁表观缺陷、内部结构缺陷及PCCP断丝缺陷。具体隐患类型及特征按表2确定。

**表2 管道结构隐患特征表**

|  |  |
| --- | --- |
| 隐患类型 | 隐患特征 |
| 管壁表观缺陷 | 1、管壁表观功能性缺陷：管道过水断面发生变化，影响管道过流能力的缺陷，如障碍物、生物附着物、沉积等。  2、管壁表观结构性缺陷：管道表面遭受损伤或内部缺陷发展至管壁表面可以直接观察到的缺陷，如裂缝、腐蚀、破裂、变形、错口等。 |
| 内部结构缺陷 | 管道本体内部出现的、偏离其正常设计结构和性能要求的各种异常情况，如空腔、混凝土强度降低、钢筋锈蚀、金属管道内部裂纹等。 |
| PCCP断丝缺陷 | PCCP的预应力钢丝结构出现断裂现象，完整性出现损坏。断丝数量的增加会对PCCP的功能和安全性产生不利影响。 |

在综合分析管道周边的地球物理特征异常时，宜按表3推测管道周边隐患的类型。

**表3 管道周边土体隐患地球物理特征分类**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 隐患类型 | 介电特征 | 弹性特征 | 电阻率特征 |
| 脱空、空洞 | 无充填时，相对介电常数为1。 | 1弹性波速度变低，出现为明显低速异常；  2波阻抗变化大，低异常特征明显。 | 1不含水时电阻率变大，出现明显高阻异常；  2含水时电阻率变低，出现明显低阻异常。 |
| 疏松体 | 1 相对介电常数小于周边土体；  2 疏松程度越高，相对介电常数越小。 | 1弹性波速度变低，出现为明显低速异常，疏松程度越高，低速异常越明显；  2波阻抗变化大，低异常特征明显。 | 1不含水时电阻率变大，出现明显高阻异常；  2含水时电阻率变低，出现明显低阻异常；  3疏松程度越高，电阻率差异越明显。 |
| 富水体 | 1 相对介电常数大于周边土体  2 含水量越高，相对介电常数越大 | 相对周边土体弹性波低速异常 | 1 电阻率小于周边土体；  2 明显低阻异常 |
| 管道渗漏 | 1相对介电常数变大，渗漏影响越大，介电常数变化越明显；  2渗漏量越大，相对介电常数越大。 | 1弹性波速度变低，出现为明显低速异常，渗漏影响越大，低速异常越明显；  2波阻抗变化大，低异常特征明显。 | 1 电阻率变小；  2 明显低阻异常。 |

* + 1. 技术方法选择

技术方法的选择应具备下列条件：

1. 检测目标体与周边介质应存在一定的地球物理性质差异；
2. 检测目标体的尺寸应具有一定的规模；
3. 现场应具备检测的实施条件。

隐患检测方法或方法组合宜根据检测目的和本规范6.2的隐患特征，按表4及表5确定。

**表4 管道渗漏及管道周边隐患常用检测方法汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测方法 | 管道渗漏隐患 | 管道周边隐患 | | | | 适用检测深度*D* |
| 脱空 | 空洞 | 疏松体 | 富水体 |
| 地震映像法 | ● | ● | ● | ● | ● | 1.0m≤*D*≤15.0m |
| 微动探测法 | ○ | ● | ● | ● | ○ | 2.0m≤*D*≤30.0m |
| 多道瞬态面波法 | ○ | ● | ● | ● | ○ | 1.0m≤*D*≤20.0m |
| 高密度电阻率法 | ● | — | ○ | ○ | ○ | 3.0m≤*D*≤30.0m |
| 探地雷达法 | ● | ● | ● | ● | ● | *D*≤5.0m |
| 等值反磁通瞬变电磁法 | ● | — | ○ | ○ | ○ | 5.0m≤*D*≤30.0m |
| 听音法 | ● | — | — | — | — | *D*≤2.0m |
| 磁电阻率法 | ● | — | — | — | — | 0.5m≤*D*≤30.0m |
| 注：●——适用；○——可用。 | | | | | | |

**表5 管道结构隐患常用检测方法汇总表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **检测方法** | **管道结构隐患** | | | **适用环境** |
| **管壁表观缺陷** | **内部结构缺陷** | **PCCP断丝缺陷** |
| 超声横波反射三维成果法 | — | ● | ○ | 检修期 |
| 探地雷达法 | — | ● | ○ | 运行期、检修期 |
| 远场涡流电磁法 | — | — | ● | 检修期 |
| 水下摄录法 | ● | — | — | 运行期 |
| 电视检测法 | ● | — | — | 检修期 |
| 混凝土管道结构隐患还包括强度检测、钢筋锈蚀检测、保护层厚度检测等，应执行SL713不再单列。  金属管道结构隐患还包括内部损伤检测、锈蚀检测、变形检测等，应执行GB/T50621及GB/T50344，不再单列。 | | | | |
| 注：●——适用；○——可用。 | | | | |

隐患检测应遵循从简单到复杂、从已知到未知的原则，条件允许的情况下，宜选择多种方法相互验证。

* + 1. 运行期隐患检测

运行期隐患检测应以保障管道安全运行、识别隐患风险为核心，为日常运维决策提供依据，宜开展管道周边隐患、管道渗漏及水下管壁表观缺陷检测。

管道周边隐患检测应符合下列规定：

1. 应按照先普检后详检的思路开展。普检应掌握输水管道的隐患分布情况，详检应查明各类隐患的性质、位置、深度和范围等；
2. 普检时，应根据管道埋深、隐患原因、周边环境等，按照以下原则选择技术方法：
   1. 当管道底埋深不超过5米时，宜优先采用地震映像法、探地雷达法、听音法等方法。管道上方为硬化路面，还可选择三维探地雷达法；
   2. 当管道底埋深大于5米时，宜优先采用地震映像、多道瞬态面波、微动探测等方法；
   3. 对于普检中发现的异常应进行详检。详检时，宜针对隐患位置布置网格状测线，测线间距宜不大于2m，测线长度宜超出隐患边界10m；
   4. 详检时，针对管道周边隐患，宜优先选择地震映像法、微动探测法、多道瞬态面波、高密度电阻率等方法；隐患埋深小于5m时，还可选择探地雷达法；隐患埋深大于10m时，还可选择等值反磁通瞬变电磁法。

管道渗漏隐患宜优先选择地震映像法、听音法、磁电阻率法和探地雷达法；隐患埋深大于10米时，还可选择微动探查法、多道瞬态面波、等值反磁通瞬变电磁法。

水下管壁表观缺陷检测应符合下列规定：

1. 应采用水下摄录法进行检测；
2. 工作布置应以相邻检查井或排气阀井之间的管道段作为基本探查单元；
3. 水下管壁表观缺陷检测应重点探明下列内容：
   1. 结构性缺陷，包括裂缝、腐蚀、破裂、变形、错口等；
   2. 功能性缺陷，包括障碍物、生物附着物、沉积等；
   3. 重点对管节连接处、检查井连接处、管道转折端等位置进行检测。
4. 对于查明的缺陷及隐患，在停水条件下应予以复核。

对于运行期未解决的隐患问题及其原因应予以记录，并在检修期进一步查明。

* + 1. 检修期隐患检测

检修期隐患检测应以指导隐患彻底修复、优化管道长期运维策略为核心，为检修施工和后续周期性检测提供技术依据，宜开展管道结构隐患检测和基底隐患检测，管道结构隐患包括管壁表观缺陷检测、内部结构检测、PCCP预应力钢丝完整性检测等。

管道结构和基底隐患检测应符合下列规定：

1. 应按照先普检后详检的思路开展；
2. 普检应查明下列内容：
   1. 管壁表观缺陷和基底隐患分布情况、管道净空收敛情况；
   2. 混凝土管道应补充检测混凝土强度、钢筋锈蚀情况、钢筋保护层厚度；
   3. 金属管道应补充检测壁厚、涂层损伤。
3. 普检时，管壁表观缺陷和基底隐患分布情况、管道净空收敛情况宜全线检测，其中管道净空收敛宜间隔30m～50m布置一个检测断面。结构检测单元宜按相邻检查井或排气阀井之间的管段作为基本检测单元，混凝土管道每个检测单元的混凝土强度检测不少于10个测区，钢筋锈蚀和钢筋保护层厚度检测不少于3处；金属管道每个检测单元的壁厚检测、涂层损伤检测不少于3点；
4. 对于普检中发现的下列隐患应进行详检，并符合下列规定：
   1. 管壁存在大面积剥离、剥落，材料劣化导致起鼓，并出现掉块时，宜采用探地雷达法、超声横波反射三维成像法检测管道内部缺陷；
   2. 裂缝发育密集，且出现交叉裂缝，因裂缝发育或压溃已出现掉块，且裂缝宽度大于或等于1.0mm时，宜采用超声法、超声横波反射三维成像法检测裂缝深度及管道内部缺陷；
   3. 基底存在脱空、疏松体等隐患时，宜采用地震映像法及探地雷达法进行横断面环向检测；
   4. 管道净空出现竖向、水平直径的变化量与管道外径的比值大于或等于1%时，宜采用地震映像法及探地雷达法进行横断面环向检测；
   5. 金属管道存在焊缝裂缝、表观锈蚀、壁厚不足、涂层损伤等隐患时，宜按照5.13.2的方法要求开展内部损伤、锈蚀程度及涂层厚度等详检。

管壁表观缺陷检测应符合下列规定：

1. 管壁表观缺陷检测宜采取管内人工巡查的方式开展。当人员不便进入的输水管道内部时，应采用电视检测法等技术手段开展检测；
2. 应以相邻检查井或排气阀井之间的管段作为基本检测单元，每处管段或管节的表观检测结果均应有记录和描述；
3. 管壁表观缺陷检测应按照6.4.4第3款的要求，对典型的管壁表观缺陷重点探明；
4. 对于采用电视检测法查明的缺陷及隐患，在具备管内作业条件时，应予以人工复核。

管道内部结构检测应符合下列规定：

1. 混凝土管道的裂缝检测、混凝土强度检测、钢筋锈蚀检测、钢筋保护层厚度检测等项目，可按照SL713的要求执行；
2. 金属管道的金属结构内部损伤检测、锈蚀检测、变形检测、涂层检测等，可按照GB/T50621及GB/T50344的要求执行。

基底隐患检测应符合下列规定：

1. 管道底部隐患且具备管内作业条件时，宜优先在管道内开展地震映像和多道瞬态面波法；管涵材质为混凝土，还可在管内底开展探地雷达法；
2. 测线布设宜按照5.1.4中第2条第3款的要求执行。

PCCP预应力钢丝完整性检测应符合下列规定：

1. 应以相邻检查井或排气阀井之间的管段作为基本检测单元；
2. 应采用远场涡流电磁法进行普检；
3. 对于普检查明的断丝隐患，应结合监测数据，采用超声横波反射三维成像法进行验证。

检测工作结束后，应及时修复因检测造成的管道局部损伤。

2. （资料性）  
   大型输水管道隐患检查用表

A.1 大型输水管道现场隐患检查可按表A.1编制, 大型输水管道隐患缺陷统计可按表A.2编制, PCCP预应力钢丝完整性检测成果统计可按表A.3编制。

**表A.1 大型输水管道现场隐患检查表**

工程名称： 工程地点： 天气：

|  |  |
| --- | --- |
| 检查位置 |  |
| 管道现况 |  |
| **检查项目** | **检查结果** |
| 管道周边环境 |  |
|  |
| 管道结构 |  |
|  |
| 附属结构 |  |
|  |
| 其他 |  |
| 注：可根据工程实际情况增减表中内容。 | |

记录： 检查： 日期: 第 页/共 页

**表A.2** **大型输水管道隐患缺陷统计表**

工程名称： 工程地点： 天气：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 管节编号 | 管径 | 材质 | 检测长度（m） | 缺陷长度（m） | 缺陷名称及位置 | 缺陷等级 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

记录： 检查： 日期: 第 页/共 页

**表A.3 PCCP预应力钢丝完整性检测成果统计表**

工程名称： 工程地点： 天气：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 管段编号 | 管段长度（m） | 断丝位置 | 断丝根数 | 总断丝根数 | 补充说明 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

记录： 检查： 日期: 第 页/共 页

1. （资料性）  
   技术方案及成果报告编制内容

B.1 本文件规定的技术方案应包括下列内容：

1. 项目概况，工作任务来源、目的和工作量等；
2. 地形、地质及地球物理条件，检测工作的难点、不利条件等；
3. 技术标准；
4. 项目组织和设备；
5. 试验工作；
6. 现场工作方法与技术；
7. 质量目标及控制措施，现场配合和协调工作；
8. 工作进度与工期安排；
9. 危险源识别，现场安全、职业健康和环境保护措施。

B.2 本文件规定的成果报告应包括下列内容：

1. 项目概况，宜包括工程概况、任务来源、工作目的、工作时间、现场工作情况、工作量完成情况、技术标准等；
2. 地形、地质及地球物理条件，宜包括地形地貌、地层岩性、地球物理特征、输水管道现场检查情况等；
3. 方法与技术，宜包括现场试验情况，测点、测线或测网布置，现场工作方法技术，检测环境条件、检测仪器设备性能及仪器参数选择等；
4. 质量控制，宜包括技术方法试验、数据质量评价等；
5. 数据分析与检测成果，宜包括数据分析方法、流程，并绘制成果图、成果表；
6. 结论与建议，宜包括检测结论、资料使用的注意事项、尚未解决的问题和下一步工作建议等；
7. 附图及附表。
8. （资料性）  
   常用物性参数表

C.1 本规范参考的常见岩土介质及水的电阻率见表C.1, 常见介质的电磁参数见表C.2,常见岩土介质的密度及波速见表C.3。

**表 C.1** **常见岩土介质及水的电阻率****表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 名称 | 电阻率ρ (Ω·m) | 名称 | 电阻率ρ (Ω·m) |
| 松散土 | 黏土  含水黏土  亚黏土  砾石加黏土 | 1～200  0.2～10  10～100  22～7000 | 亚黏土含砾石  卵石  含水卵石 | 80～240  300～6000  100～800 |
| 沉积岩 | 泥质页岩  砂岩  泥岩  砾岩  石灰岩 | 60～1000  10～1000  10～100  10～10000  600～6000 | 泥灰岩  白云岩  破碎含水白云岩  硬石膏  岩盐 | 1～100  50～6000  170～600  10000～1000000  10000～1000000 |
| 变质岩 | 片麻岩  大理岩  石英岩 | 600～10000  100～100000  200～100000 | 片岩  板岩 | 200～50000  10～100 |
| 岩浆岩 | 花岗岩  正长岩  闪长岩 | 600～100000  100～100000  10000～100000 | 辉绿岩  辉长岩  玄武岩 | 100～100000  100～100000  50～100000 |
| 水 | 雨水  河水  地下水  喀斯特水 | >1000  0.1～100  <100  15～30 | 海水  矿井水  深成盐渍水 | 0.1～1  1～10  0.1～1 |

**表 C.2** **常见介质的电磁参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 介质 | 相对介电常数 | 电导率(ms/m) | 电磁波速度(m/ns) | 电磁波衰减(dB/m) |
| 空气 | 1 | 0 | 0.3 | 0 |
| 蒸馏水 | 80 | 0.004 | 0.033 | 0.002 |
| 淡水 | 80 | 0.5 | 0.033 | 0.1 |
| 海水 | 80 | 1000～10000 | 0.01 | 1000 |
| 干砂 | 3～6 | 0.01 | 0.15 | 0.01 |
| 湿砂 | 20～30 | 0.1～1.0 | 0.06 | 0.03～0.3 |
| 石灰岩 | 4～8 | 0.2～2 | 0.11～0.12 | 0.4～1 |
| 泥岩 | 5～15 | 1～100 | 0.09 | 1～100 |
| 页岩 | 5～13 | 10～100 | 0.09 | 1～100 |
| 泥砂 | 5～30 | 1～100 | 0.07 | 1～100 |
| 黏土 | 5～40 | 2～1000 | 0.06 | 1～300 |
| 花岗岩 | 4～6 | 0.01～1 | 0.12～0.13 | 0.01～1 |
| 岩盐 | 5～6 | 0.01～1 | 0.13 | 0.01～1 |
| 冰 | 3～4 | 0.01 | 0.16 | 0.01 |

**表 C.3 常见岩土介质的密度及波速表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 名称 | 密度ρ (g/cm³) | 纵波速度*V*p(m/s) | 横波速度*V*s(m/s) |
| 松散层 | 黏土  湿砂  砂质黏土  干砂、砾石 | 1.60～2.04 1.60～2.04 1.60～2.04 1.60～2.04 | 1200～2500  600～800  300～900  200～800 | 700～1400  —  200～500  100～500 |
| 沉积岩 | 砾岩  泥质灰岩  硅质石灰岩  致密石灰岩  页岩  砂岩  致密白云岩  石膏 | 1.90～2.90 2.45～2.65 2.80～2.90 2.60～2.77 2.30～2.70 2.42～2.77 2.80～3.00 2.41～2.58 | 1500～4200  2000～4400  4400～4800  2500～6100  1300～4000  1500～5500  2500～5000  2100～4500 | 900～1500  1200～2400  2600～3000  1400～3500  800～2300  900～2400  1500～3000  1300～2800 |
| 变质岩 | 片麻岩  大理岩  石英岩  片岩  板岩  千枚岩 | 2.50～3.30 2.68～2.72 2.56～2.90 2.68～3.00  2.55～2.66 2.71～2.86 | 6000～6700  5800～7300  3000～5600  5800～6400  3600～4500  2800～5200 | 3500～4000  3500～4700  2800～3200  3500～3800  2100～2800  1800～3200 |
| 岩浆岩 | 花岗岩  花岗闪长岩  玄武岩  安山岩  辉长岩  辉绿岩  橄榄岩  凝灰岩 | 2.30～2.96 2.52～2.70 2.53～3.30 2.30～3.10 2.55～2.98 2.53～2.97 2.90～3.40 1.60～1.95 | 4500～6500  5700～6400  4500～7500  4200～5600  5300～6500  5200～5800  6500～8000  2600～4300 | 2400～3800  2800～3800  3000～4500  2500～3300  3200～4000  3100～3500  4000～4800  1600～2600 |
| 其它 | 混凝土 | 2.40～2.70 | 2000～4500 | 1200～2700 |

1. （规范性）  
   PCCP 无损检测(远场涡流电磁法)断丝标定方法

D.1 确定基准管与标定管

D.1.1 选取二节与被检管道参数相同的完好管道分别作为基准管和标定管。记录管子技术参数，包括（但不限于）：管子规格型号、管芯壁厚、管芯混凝土强度等级、砂浆保护层厚度、薄钢筒（厚度、材质）、钢丝（直径、强度等级）、缠丝（螺距、层数）、是否带短接钢带、是否有外防腐层、生产日期等。

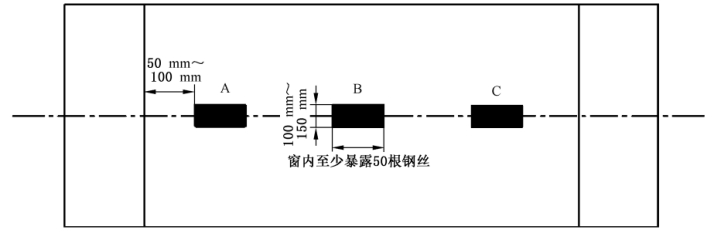
D.1.2 基准管或标定管的两端分别串联一节同管径的管道,以模拟真实的管道安装情况并获取基准管及标定管整节管完整的数据信号。

D.1.3 使用远场涡流电磁法检测设备从管道承口和插口两个方向对基准管进行背景信号扫描，获取没有断丝时的基准信号数据。

D.1.4 当只有一节管满足被检管道的要求时，先将该管作为基准管完成基准数据采集后，再加工为标定管。

D.2 加工标定管

D.2.1 在拟作为标定管的砂浆保护层上选择3～5个代表性区域切制出窗口，至少包含管道中心位置及管道两端距端面50mm～100mm位置，各窗口沿管周长方向的长度官为 100 mm～150 mm，沿管轴向长度以暴露钢丝数量不少于50 根为宜。标定窗口位置示意图见图D.1。



标引序号说明：

A、B、C——为不同位置切割窗口。

**图D.1 标定窗口位置示意图**

D.2.2切割砂浆保护层时不应损伤预应力钢丝。

D.2.3对每个窗口附近的砂浆保护层采用非金属材料作固定保护。

D.2.4 钢丝切制前，先按窗口位置划分区域并给出代号，再对各自区域内的每根钢丝独立编号，各钢丝代号以“区域代号+编号”组成。记录以下信息：各区域轮廓尺寸、断丝总数量、钢丝平均螺距：各区城内第1根、最后1根及中位钢丝的中心位置距承口端面的实测距离。

D.3 建立标定曲线

D.3.1 每次钢丝切制完成后，从管道承口和插口两个方向对标定管整节管道进行检测，保存标定数据信号文件。记录不同断丝数量下标定管的状态、断丝试验过程中的异常情况及标定管异常时的位置及特征。

D.3.2 钢丝切制宜从所在区域的中位钢丝开始，第1次切断1根钢；第2次在紧邻第1根断丝的两侧各切断1根钢丝；第3次在紧邻3根断丝的两侧各切断1根钢丝；第4次在紧邻5根断丝的左侧切断2根、右侧切断3 根钢丝；第5次在紧邻10根断丝的左侧切断3根、右侧切2 根钢；依次类推直到累计切断不少于50根钢丝。

D.3.3 一个区域钢丝切割及标定数据信号采集完成后，官将该区域断丝用鳄鱼夹连接后，再按 D.3.1、D.3.2 进行下一个区域的钢丝切割及标定数据信号采集，直至各区域内的钢丝全部切断及标定数据采集完毕。

D.3.4使用不同断丝位置、数量下的信号参数建立该类型管道的标定曲线。

D.3.5 如果是 PCCP 双层缠丝管，按照只断外层、内层、内外层同时出现断丝的方案，在完成外层钢丝断丝标定后，对内层钢丝重复D.2.2～D.3.4的工作，建立内层钢丝标定曲线及内外层同时断丝标定曲线。

1. （规范性）  
   基本计算公式

绝对误差Δ可按公式（E.1）计算：

 （E.1）

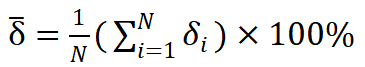
平均绝对误差可按公式（E.2）计算：

 （E.2）

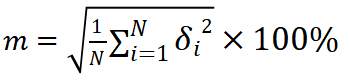
相对误差可按公式（E.3）计算：

 （E.3）

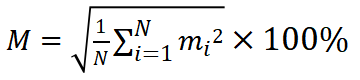
平均相对误差可按公式（E.4）计算：

 （E.4）

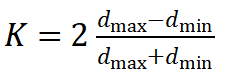
均方相对误差可按公式（E.5）计算：

 （E.5）

总均方相对误差可按公式（E.6）计算：

 （E.6）

极差系数可按公式（E.7）计算：

 （E.7）

公式（E.1）～（E.7）中用到的符号含义如下：

N——检查点、测深点、测线个数；

d——基本观测值，重复观测时指有效数据的算术平均值；

d'——系统检查观测值，重复观测时是指有效数据的算术平均值；

dmax——参与计算的数据中的最大值；

dmin——参与计算的数据中的最小值。

参考文献

[1] GB/T 21412.8石油天然气工业 水下生产系统的设计和操作 第8部分：水下生产系统的水下机器人（ROV）接口

[2] JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

[3] JGJ/T 136 贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程

[4] JGJ/T 152 混凝土中钢筋检测技术规程

[5] JGJ/T 294 高强混凝土强度检测技术规程

[6] SL/T 436堤防隐患探测规程

[7] SL 734 水利工程质量检测技术规程

[8] SL/T 790 水工隧洞安全鉴定规程

[9] DB11/T 1938 引调水隧洞监测技术导则

[10] DB43/T 2151 等值反磁通瞬变电磁法探测系统通用技术条件

[11] CECS 02 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规范

[12] CECS 03 钻芯法检测混凝土强度技术规程

[13] CECS 21超声法检测混凝土缺陷技术规程

[14] T/CSPSTC 75 微动探测技术规程

[15] TCAS 656 大型排水管涵检测评估技术规范

[16] Q/NSBDZX 108.04 南水北调中线干线工程安全评价导则

