

中 国 潜 水 打 捞 行 业 团 体 ；

T/CDSA-305. 23-2017

水下工程声纳渗漏检测技术规程

Technical specification for sonar seepage detection of
underwater engineering

2017-3-15 发布

2017-3-15 实施

中国潜水打捞行业协会 发 布

目 次

前言	III
1 总则	5
2 术语、定义和缩略语	6
3 基本规定	6
3.1 检测前准备工作	6
3.2 评定结果	8
3.3 处理措施	8
4 工程渗漏声纳检测对象与条件	8
4.1 声纳渗流测量对象	8
5 检测设备的配备要求	9
5.1 实施前的准备工作	9
5.2 检测设备技术要求	9
6 水下工程渗漏声纳法检测施工	10
6.1 测线布置	10
6.2 渗漏区域的检测	11
6.3 测区累计渗漏量估算	12
6.4 水下渗漏缺陷检测	12
6.5 水文地质参数测量	12
7 声纳法渗漏工程测量	13
7.1 声纳法天然渗流场的渗流场测量	13
7.2 声纳法人工渗流场的渗漏渗场测量	13
7.3 海洋水工项目水文地质参数测量	13
7.4 海洋石油测井	13

7.5 海洋水文地质勘察.....	13
7.6 海洋水工渗漏检测孔布	13
7.7 基坑止水结构声纳渗流检测	13
7.8 潜水员安全水流声纳测量.....	14
7.9 检测内业及测量人员的资格要求.....	14
7.10 检测资料的提交.....	15
附录 A(规范性附录) 公式及原理	16
A.1 计算公式	15
A.2 渗漏三维声纳流速矢量检测原.....	15
附录 B (资料性附录) 图表	16

前 言

本标准的全部技术内容为推荐性。

水下工程声纳渗流检测技术是检测水下工程渗流的一种手段，检测结果为水下工程渗流隐患提供重要数据，编写《水下工程声纳渗流检测技术规程》的目的是对水下工程渗漏缺陷声纳检测技术提出选用条件、检测方法、检测设备要求和渗漏声纳法检测施工等进行统一的要求，针对水下工程渗流缺陷给予规范的声纳检测技术指导，保证声纳渗流检测得出准确的检验结果，确保检测的质量。

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准的附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准由中国潜水打捞行业协会法规技术部归口。

本标准起草单位：南京帝坝工程科技有限公司

本标准主要起草人：杜国平、刘旭、杜家佳、庞振勇、樊有维、黎庆、宋晓峰、杜广林、钟有信、郭建强、王鹏、金雪莲、王家磊、王伟、张戈、汤国毅、英旭、刘佑祥、杨宇、胡文榜、冯晓腊、熊宗海。

水下工程声纳渗流检测技术规程

1. 总则

1.0.1 本条阐明了本标准的编制目的,从事检测工作的单位及人员应具备相应的资质、资格。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。这里的水下构筑物是指海洋、港口、码头、船坞、岛礁、水电工程建设中的水文地质参数测量及工程渗漏缺陷的渗流检测与控制;渗流测量是指采用声纳法对水下、地下的水流速度、方向、流量、渗透系数等土木工程勘察、设计、施工所必须的现场测量数据,提出定量的结论报告。因此,对于一般性的结构缺陷尺寸表面量测等不在本标准规定的范围内。

1.0.3 随着科学技术的不断进步,检测仪器和技术方法不断推陈出新,为适应海洋工程、水利水电工程建设的需要,积极采用国内外先进技术,尤其被工程实践证明的国内技术。

1.0.4 本条阐述了本标准与其他相关规程的关系。应遵守协调一致、互相补充的原则使用本标准和其他相关标准。

1.0.5 通过下列标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可适用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 50027-2001 供水水文地质勘察规范

SL 245-1999 水利水电工程地质观测规程

SL 436-2008 堤防隐患探测规程

GB/T 5265-2009 声学水下噪声测量

DB34/T 2209-2014 水下工程物探规程

SL713-2015 水工混凝土结构缺陷检测技术规程

DGJ32/TJ158-2013 江苏省地源热泵换热系统工程勘察规程

DGJ32/TJ158-2015 南京地区建筑基坑工程监测技术规程

Q/320111-NJDB-001-2016 三维流速矢量声纳测量方法

2. 术语与定义

2.1.1 声纳渗流检测 sonar seepage checking

声纳渗流是利用声波在水中传播的优异特性,将渗流的流场与流动中的声场进行声电转换,而实现对水流速度的测量。

2.1.2 声纳渗流测井 sonar seepage logging

声纳测井是利用声纳测量渗流的流速与方向，达到对各含水层的渗透系数、涌水量、吸水量、静水头、导水系数的测量。

2.1.3 三维流速矢量声纳测量仪 3D velocity vector sonar measuring instrument

声纳测量仪是在水中完成来自任一方向的三维空间的水流速度和方向的测量仪器。

2.1.4 水下作业区 underwater operating area

水下作业区为潜水作业人员按照工程施工设计要求进行水下后续工序施工的作业区域。

2.2 缩略语

GPS —— 全球定位系统

3. 基本规定

3.1 检测前准备工作

3.1.1 测量施工前，应编制相应的检测作业指导书，提交检测所需的辅助条件和要求，方便委托方做好测量前的准备，确保测量人员进场后能够立即组织和实施。

3.1.2 水工结构物施工过程中，施工单位应对每一道工序所完成的中间产物进行自检和验收，特别是地下或水下（或者后期进入水下）的结构施工，应做好相关隐蔽工程自检验收记录，为声纳法检测，提供必要的参考依据。

3.1.3 水下工程声纳渗流检测时，如水下情况复杂，可参照本规程执行，但应考虑作业程序以避免造成不必要的损失。

3.1.4 编制检测方案时应明确检测目的、检测范围和检测内容。

3.1.5 水下构筑物渗漏声纳检测时，除利用三维声纳流速矢量测量仪器外，还需要根据不同的检测内容，配备其他设备或方法予以验证，提高检测准确性和效率。

3.1.6 各种不同情况或对象的检测所需配备的相关设备包括：

- a) 水工工程的渗漏检测时，需要配备三维声纳流速矢量检测仪测量。
- b) 广域水域测量时还需要配备测量平台或船舶、动力设备、GPS 等。
- c) 海洋水下工程渗漏检测主要用于：海上钻井、海上基础基坑的渗漏、海底各种管道渗漏等检测。
- d) 水工工程的渗漏检测主要用于：围堰、基坑等挡水围护结构、码头前沿挡土桩基础等构筑物的渗漏检测。

e) 海上检测施工时, 需要配备 GPS 基站、三维流速矢量检测仪、船舶及 GPS 信号接收装置、潜水装备及辅助设备等。

3.1.7 为及时了解构筑物封闭防渗质量情况, 减少渗漏对后续工序施工的影响, 应在项目实施前制定质量控制和检测方案, 并按照检测方案在构筑物止水结构施工过程中预埋检测管见附录 B 图 11、图 12, 便于基坑开挖前的渗流检测。

3.1.7 采用三维流速矢量声纳检测设备进行水下或地下的渗漏检测时, 应根据不同的检测对象和目的、现场条件等因素, 编制相应的检测方案和设备要求。

3.1.8 水工构筑物的渗漏检测时, 应借助探测孔 (或降水井)、渠道、水库或基坑能够产生地下水压差的条件, 利用其声纳对水流的高灵敏度识别特点, 将测量探头逐一放在测点处测量。

3.1.9 通过各测点声波阵列的发射、回收和记录对比, 记录下测量点周边的水流变化。

3.1.9.1 记录数据包括:

- a) 水流速度、流向;
- b) 测点附近的通道路径;
- c) 渗漏量、渗透系数等数据。

3.1.10 声纳流速矢量测量操作流程见附录 B 图 14。

3.1.11 测量时应避开环境噪声, 如无法避开, 应进行噪声影响区内外声源条件检测对比试验, 并在数据处理时进行声源过滤处理。

3.1.12 室内试验分析

将多点测量的大数据导入到计算机后, 利用三维流速矢量可视化分析软件, 自动生成各种水下工程需要的三维渗漏检测结果图像。

3.2 评定结果

3.2.1 水下工程渗漏声纳法检测的结果分为合格、不合格两个等级。

a) 合格

水工构筑物施工结束, 在下一道工序开展前, 经检测未发现渗漏, 或渗漏量小未威胁构筑物安全时, 而且中间工序施工记录和检验资料齐全, 能够直接进行下一道工序施工的, 为合格工程。

b) 不合格

水工构筑物施工结束，经检测发现存在渗漏，影响到后续工序正常开展，且施工记录、验收资料与实际情况不符时，可判定为不合格。

3.3 处理措施

3.3.1 对于检测结果不合格的工程，应针对渗漏程度、影响范围、发展趋势及时评判并提出相关的工程处理措施与意见。

3.3.2 对水工构筑物经检测，判定施工质量不合格的工程，必须采取工程处理措施。宜对补强加固后的效果进行验证性检测复核。经检测渗流指标合格后，进行下一个工序。

3.3.3 对于水文地质调查使用声纳法检测工法进行施工时，应根据检测资料出示检测结果，并提交相关工程声纳渗流测量报告。

4 工程渗漏声纳检测对象与条件

4.1 声纳检测对象

4.1.1 声纳检测技术适用于水工构筑物质量缺陷的渗流控制与安全施工，包括：

- a) 围堰；
- b) 挡水构筑物；
- c) 基坑；
- d) 有围护结构的导流明渠等。

4.1.2 声纳测量技术适用于以下条件，包括：

- a) 可以在高速水流的区域内远距离测量到渗漏流场的分布（流速 $\geq 5\text{M/S}$ 时，测点距离可以大于 100m 以上）对渗漏情况进行有效检测。
- b) 可以测量天然流场下的原位地下水的微渗透流速运动（ 10^{-8}cm/s ），用于岩土水文地质勘察和水下隐蔽施工质量缺陷的定量与定位测量。

5 检测设备的配备要求

5.1 实施前的准备工作

5.1.1 检测仪器、设备应完好、正常，精度应满足检验要求，并在检定或校准有效期内。

5.1.2 在施工过程中，为进一步验证构筑物结构施工质量出现的渗漏隐患时，应按本规程开展检测工作。

5.1.3 海洋工程渗漏检测所需设备主要包括：

- a) 声纳流速矢量探头;
- b) 三位一体机 (数据采集终端机、服务器、显示器);
- c) 数据采集终端机 (内存, 基本配置);
- d) GPS 定位系统等 (GPS 定位主要是用于野外, 现场无坐标位置数据时, 采用 GPS 坐标定位测量);
- e) 测量船舶或平台。

5.1.4 水工工程渗漏检测所需设备主要包括:

- a) 钻机 (测井成孔); 如: 地质钻、潜孔钻、水井钻、锚固钻、止水构筑物渗流预埋管等大深度非挤压式钻孔设备。
- b) 声纳流速矢量探头;
- c) 三位一体机 (数据采集终端机、服务器、显示器);
- d) 数据采集终端机 (内存, 基本配置);
- e) GPS 定位系统等 (GPS 定位主要是用于野外, 现场无坐标位置数据时, 采用 GPS 坐标定位测量);
- f) 测量平台。

5.2 检测设备技术要求

5.2.1 测量仪器的精度应符合下列要求:

- a) 渗透流速: 大于 $1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$;
- b) 流速方向误差: 不小于 $\pm 0.4^\circ$;
- c) 工程渗漏缺陷定位: 不小于 0.2m;
- d) GPS 定位误差: 不小于 $\pm 0.5\text{m}$;
- e) 测点深度误差: 不小于 $\pm 0.07\%$ 。
- f) 声纳探测仪器放置位置的水深: $>1\text{m}$ 。
- g) 周围环境温度需在 $-10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。

6 水下工程渗漏声纳法检测施工

6.1 测线布置

6.1.1 水下渗漏检测的测线布置应符合下列要求:

- a) 在检测区域水面上平行和垂直建筑结构表面布置纵向和横向测线, 测线布置宜兼顾结构缝位置, 在水深大于 10m 的水域进行渗漏缺陷检测普查时, 测点的间距不宜大于 5m;

- b) 纵、横测线组成的渗漏检测网格区域应大于被检测的渗漏区域;
- c) 对网格结点逐一编号, 每一结点为一个测点。

6.1.2 围护结构及挡水构筑物(围堰或基坑)的渗漏检测应符合下列要求:

- a) 在检测区域平行和垂直水工构筑物布置测井, 测井布置宜兼顾结构缝位置, 且间距不宜大于 5m;
- b) 测井组成的渗漏检测区域应大于被检测对象的渗漏区域;
- c) 应对测井逐一编号, 每一测井为一组测点, 便于后期的测量数据记录和分析时进行区分。

6.2 渗漏检测

6.2.1 水下或地下渗漏的检测应按下列方法进行:

- a) 探头宜按测点垂直水面投放, 在接触到被测结构表面后待水流稳定时开始测量;
- b) 测量探头放到底部时, 测量线应保持松弛状态;
- c) 当检测到有渗漏异常时, 应加密检测点的密度;
- d) 检测到疑似渗漏点位置时应进行三次重复测量;
- e) 被测量到渗漏点位置流速应与同条件的正常位置对比, 且对比点数不应小于 3 个;
- f) 在单井水文地质孔内进行, 连接好仪器从地下水位以下 1m 开始自上而下测量, 测点间距宜 1m, 测量时间 1 分钟为宜;
- g) 按附录 A 公式及原理计算公式(1) 计算出各测量点上的流速;
- h) 绘制流场流速等值线图, 区分各种流速区的界限位置;
- i) 在流速大于 0.5cm/s 时应重复巡回测量, 并依据前一次测量的渗漏流速与流速方向, 进行下一次更大渗漏流速与方向的测量, 直到找出发生渗漏入水口的准确位置。

6.3 测区渗漏流量估算

渗漏检测区的渗漏流量估算, 应按照附录A 公式及原理 A.1 计算公式(1) 进行。利用测量区域的完整数据制作流速测量统计表如附录B图9, 依据统计表中的数据自动生成渗漏流速等值线如附录B图10。

6.4 水下渗漏缺陷检测

查找判断发生渗漏的入水口位置按照以下方法进行:

- a) 如附录 B 图示 图 2, 一般按流速 $U \geq 0.5\text{cm/s}$ 、 $1 \times 10^{-3}\text{cm/s} < U < 0.5\text{cm/s}$ 、 $U \leq 1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 划分 I、II、III类流速区。

b) 渗漏通道多发生在 I 类流速区, 即流速大于 0.5cm/s 的区域。

c) 在疑似渗漏区域, 需要进行多次测量比对测量数据, 每次依据上次测量的流速大小与方向, 指导下次测量的位置, 直至找到发生最大渗漏流速的入水口。

6.5 水文地质参数测井

6.5.1 水文地质参数测井包括下列内容:

- a) 近海水文地质单元含水层的孔隙水、裂隙水与溶隙水的普查;
- b) 港口、码头、船坞建设中的水文地质勘察测量;
- c) 海洋底部或者陆地上的水文地质成孔参数测量;
- d) 单井水文地质参数完整井的测量;
- e) 地下水的流速、流向、垂向流的流速与方向将测量;
- f) 各含水层涌水量和吸水量与静水头的测量;
- g) 潜水含水层的给水度与承压含水层的释水系数;
- h) 裂隙含水层的渗透系数和裂隙渗透张量;
- i) 岩溶地下水的流速、流量与方向;
- j) 海水入侵地下水的弥散度与弥散系数的测量。

6.5.2 地下水的水平流速

参照附录 A 公式及原理 A.1 中计算式 (2) 计算。

6.5.3 水平流速矢量

将声纳传感器阵列测量到的渗流速度值投影到直角坐标系, 参照附录 B 图示 图 12 计算出主导流速矢量。

6.5.4 地下水的垂直流速

参照附录 A 公式及原理 A.1 中计算式 (3) 计算。

6.5.5 垂向流速矢量方向

参照附录 B 图示 图 12 所示, 应按声纳传感器阵列中的顶部 B 传感器和下部 1 传感器测量到的质点流速到达时间的先后, 作为判定垂向流速方向的依据。B 传感器先于 1 传感器到达, 测量到的垂向流速方向是从上向下流动, 反之, 测量到的垂向流速是从下向上流动。

a) 垂向流速向下流动: $T_B < T_1$;

b) 垂向流速向上流动: $T_B > T_1$ 。

式中：

T_B ——探头顶部流速到达时间，s；

T_1 ——探头下部流速到达时间，s。

6.5.6 潜水含水层的渗透系数

按附录 A 公式及原理 A.1 计算公式（3）计算。

6.5.7 断面渗流量

按附录 A 公式及原理 A.1 中（5）公式计算。

6.5.8 含水层的导水系数

按附录 A 公式及原理 A.1 中计算公式（6）计算。

6.5.9 承压含水层涌水量与吸水量

按照附录 A 公式及原理 A.1 中公式（7）和（8）计算。

6.5.10 承压含水层的静水头

按照附录 A 公式及原理 A.1 中公式（9）计算。

6.5.11 多含水层完整井的涌水量与吸水量平衡

按照附录 A 公式及原理 A.1 中公式（10）和（11）计算。

6.5.12 潜水含水层的给水度（ μ ）与承压含水层的弹性释水系数（ μ_e ）

按附录 A 公式及原理 A.1 中的公式（12）、（13）、（14）和（15）计算。

6.5.13 裂隙渗透系数与水力等效隙宽

按附录 A 公式及原理 A.1 中的公式（16）和（17）计算。

6.5.14 溶隙水流速测量

按照附录 A 公式及原理 A1 计算公式 中的计算公式（18）计算。

7 声纳法工程渗流测量

7.1 声纳法天然流场下的渗流场测量

在前期勘察阶段测量码头、港口、船坞等工程场地天然渗流场的地下水的流速、流向、流量、渗透系数等水文地质参数的测量。

7.2 声纳法人工流场下的渗流场测量

在施工过程中，港工基坑工程的止水结构围护之后，开挖之前为了减小渗漏风险，而进行的声纳渗漏流场的定量与定位测量，超前发现渗漏通道的路径并实施封堵。

7.3 海洋水工项目的水文地质声纳渗流测量

适用很多重要的石油、天然气、淡水、通讯管线都是通过海底埋设输送的，易受腐蚀、磨损、外力等因素造成管道的破坏与泄漏。声纳法能够精细地测量到埋在地下管道泄漏发出的信息，及时找到发生渗漏的位置与渗漏量，进行修补。

7.4 海洋石油测井

在海上石油平台上从事井下石油及天然气渗透率与渗流参数测量，提供石油勘探的水文地质参数的技术支持。测量时在是钻孔内进行。

7.5 海洋水文地质勘察

对我国近海水文地质构造勘测、海岸线的水文地质调查，为我国的海洋淡水资源开发、海洋水下工程建设、填海造岛等，提供必要的水文地质参数和技术手段。

7.6 海洋水工渗漏检测布孔

深孔的布置要求必须在检测区域附近，根据施工对象的深度要求有一定的超深，正常超深为 3-5m。

7.7 基坑止水结构渗流检测

7.7.1 基坑止水结构缝埋管应符合下列要求：

a) 在基坑地下连续墙的接缝外侧钢筋笼里预埋 PVC 塑料管，管长与墙体同深，测管内径 $\geq 70\text{mm}$ ，管底封堵，作为检测地下连续墙渗漏质量的窗口。见附录 B 图示 11。

b) 当止水结构设计为咬合桩时，每间隔 1 个钢筋笼里外侧与素混凝土接缝处预埋 PVC 塑料管，管长与桩体同深，测管内径 $\geq 70\text{mm}$ ，管底封堵，作为检测地下连续墙渗漏质量的窗口。见附录 B 图示 12。

c) 当地下连续墙体围护完成，在开挖之前将基坑内的地下水位降至开挖底板以下，然后在每个预埋的渗流检测窗口进行声纳渗流场的流速、方向、流量、渗透系数与三维坐标位置的数据测量。

d) 将原位测量到的与渗漏相关渗流数据导入到三维流速矢量可视化成像系统, 自动生成各止水结构缝的渗漏特性与三维坐标的流场可视化图、XYZ 切平面渗漏流速等值线剖面图、渗透系数剖面等值线图。

7.8. 潜水员安全水流声纳测量

7.8.1 划定潜水员安全水流工作区域

a) 在一些未知的潜水施工的作业区域, 可能会存在不可预测的高速水流或流场, 贸然进入有可能造成潜水员的伤亡事故, 所以在表观无法确定施工位置的水流状态、水流速度的情况下, 必须根据周围环境、水流条件突变等情况, 提前对水下施工的作业区域进行流速、流量、流向的定量测量。

b) 在闸门或封堵位置前出现渗漏时, 可利用声纳流速矢量测量方法, 提前在潜水员工作的范围内进行流速矢量场的测点位置、流速、流向、流量三维空间的数据测量, 确定水下渗漏点的流场分布分析出可能导致潜水作业困难的情况, 便于制定潜水作业的保护措施。

c) 潜水作业区域水下渗漏点附近测量结束后, 利用采集到的三维流场测量数据, 导入到声纳流速可视化分析软件中, 自动生成工作区域的水流三维流速等值线分布图及对应的坐标位置图, 为后续的潜水施工作业方法选择、保护措施落实和安全区域确定提供参考。

7.9 检测员及内业工作人员要求

7.9.1 检测员身体素质

检测人员需身体健康、没有恐高症、眩晕症、癫痫症、晕车晕船的人员, 经过专门的培训方可参与检测作业。

7.9.2 检测员工作要求

检测人员需熟悉水工构筑物特点、熟悉测量程序, 能够操作和运用软件, 对检测结果有一定的分析能力。

7.9.3 检测员安全措施

检测过程中, 全部人员必须根据现场作业环境和条件, 落实并配备有相关的防护措施。

7.9.4 防护措施包括:

- a) 水面作业必须穿戴好救生衣、安全帽;
- b) 基坑周边作业时, 要先做好临边防护, 并穿戴好安全带、安全帽等防护用品;
- c) 有辐射的环境下检测时, 必须穿戴好防辐射保护装置等。

7.9.5 内业工作人员工作要求

内业工作人员应能编制相应的检测施工方案，并根据检测要求和环境条件，提出需要委托方完成的辅助工作内容和要求；

7.9.6 内业工作人员能力要求包括：

- a) 检测作业完成后编制检测报告，完成检测成果图的输出；
- b) 应能根据检测结果提交相应的渗漏位置、渗漏量、渗漏点水流速度、渗漏发展趋势、渗漏处理意见或参考建议，以方便委托方采取后续的补救措施。

7.10 检测资料的提交

7.10.1 软件分析结果

渗漏检测结束后，利用相应的成图软件，将声纳流速矢量测量数据导入到“三维声纳流速矢量可视化成像系统”，软件系统自动生成工程各类要件，包括：

- a) 三维流速矢量可视化多媒体动态视频；
- b) 三维流速、矢量、流量可视化图；
- c) 二维、三维流速等值线可视化流网图；
- d) 二维、三维流速等值线之间对应面积图表；
- e) 工程质量缺陷三维坐标与渗漏流场对应的可视化图。

7.10.2 编制检测报告书

内容包括：项目工程的概况、检测要求、渗漏检测资源配置情况、检测结果及附图、渗漏处理建议或意见。

7.10.3 报告提交

根据委托方的要求向相关的部门递交检测报告。

附 录 A

(规范性附录)

公式及原理

A.1 计算公式

A.1.1 渗漏量的估算

渗漏量可按照下式进行估算：

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i \times A_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q ——总渗漏量， cm^3/s ；

U_i ——单元渗漏流速， cm/s ；

A_i ——单元有效面积， cm^2 。

A. 1. 2 地下水的水平流速

地下水的水平流速可以根据下式进行计算：

$$U_f = - \frac{L^2}{2X} \left(\frac{1}{T_{B1}} - \frac{1}{T_{1B}} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

U_f ——水流通过传感器 B 到 1 或 1 到 B（如附录图 3）之间声道上平均流速， cm/s ；

L ——声波在传感器 B 和 1 之间传播路径的长度， cm ；

X ——传播路径的水平分量， cm ；

T_{B1} 、 T_{1B} ——从传感器 B 到传感器 1 或从传感器 1 到传感器 B 的传播时间， s 。

A. 1. 3 地下水的垂直流速

地下水的垂直流速可按式（3）计算：

$$U_v = - \frac{L^2}{2Y} \left(\frac{1}{T_{B1}} - \frac{1}{T_{1B}} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

U_v ——水流通过传感器 B 到 1 或 1 到 B（如附录图 3）之间声道上平均流速， m/s ；

Y ——传播路径的垂直分量， cm ；

A. 1. 4 潜水含水层的渗透系数计算公式

潜水含水层的渗透系数计算按式（4）计算：

$$K = \frac{U_f}{J} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

U_f ——水平流速， cm/s ；

K ——渗透系数， cm/s ；

J ——水力梯度。

补充定义 U_f

注：水力梯度计算，依据测量区域已经测量到的渗透流速生成的流速等值线流网图，或者是依据测量到的流速矢量方向上的两个测量孔的水位差与孔间距之比。

A. 1. 5 断面渗流量计算

按式 (5) 计算：

$$Q = U_f b h \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Q ——断面渗流量 cm^3/s ；

b ——有效测量宽度 cm ；

h ——有效测量深度 cm 。

A. 1. 6 含水层的导水系数

按式 (6) 计算：

$$T = KM \dots\dots\dots (6)$$

式中：

T —— 含水层的导水系数， cm^2/s ；

M —— 含水层的厚度， cm 。

A. 1. 7 承压含水层涌水量与吸水量

按式 (7)、(8)、计算：

$$Q_{out} = 2U_f \pi r h \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Q_{out} ——含水层的涌水量， cm^3/s ；

π ——圆周率；

h ——含水层厚度为含水层的顶板至底板的高度， cm ；

r ——孔的半径， cm 。

$$Q_{in} = U_v \pi r^2 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

Q_{in} ——含水层的吸水量， cm^3/s 。

A. 1. 8 承压含水层的静水头计算

按式 (9) 计算：

$$\pm \delta h = \frac{Q_{in}}{2U_f \pi r} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

U_v ——垂向流速， cm/s ；

+ δh ——假定含水层发生涌水的为正；

- δh ——假定含水层发生吸水的为负。

A. 1. 9 多含水层完整井的涌水量与吸水量平衡

按式 (10)、(11) 计算：

$$Q = U_f A_{in} = U_v A_{out} \dots\dots\dots (10)$$

$$\sum Q_{out} + \sum Q_{in} = 0 \dots\dots\dots (11)$$

A. 1. 10 潜水含水层的给水度 (μ) 与承压含水层的弹性释水系数 (μ_e)

按式 (12)、(13)、(14)、(15) 计算：

$$\sum H = \delta h_1 + \delta h_2 + \delta h_3 + \dots \quad (\text{孔中混合水位等于各分层的静水头之和}) \dots\dots\dots (12)$$

$$\sum Q = \delta q_1 + \delta q_2 + \delta q_3 + \dots \quad (\text{孔中的总出水量等于各分层流量之和}) \dots\dots\dots (13)$$

注 1：根据总水头 H 和总出水量 Q 与各分层静水头和流量的对应关系，可计算出潜水含水层的给水度 (μ)。

注 2：整孔平均每米降深的出水量与各分层每米静水头出水量之比，计算出承压含水层弹性释水系数 (μ_e)。

潜水含水层：(多含水层顶层的第一层与大气相通的含水层)。

$$\mu = \frac{\delta q_1}{\delta h_1} : \frac{Q}{H} \dots \dots \dots (14)$$

$$\mu_e = \frac{\delta q_2}{\delta h_2} : \frac{Q}{H} \dots \dots \dots (15)$$

式中:

Q ——多含水层完整井总流量 cm^3/s ;

H ——多含水层混合井水位 cm ;

μ ——潜水含水层给水度, %;

δq_1 ——潜水含水层的水量 cm^3/s ;

δq_2 ——承压含水层的涌水量 cm^3/s 。

A. 1. 11 裂隙渗透系数与水力等效隙宽

按式 (16)、(17) 计算:

$$K_b = \frac{Q}{A_k J} = \frac{Q}{B_k h_k J} \dots \dots \dots (16)$$

$$b_k = \frac{Q}{h_k U_f} \dots \dots \dots (17)$$

式中:

A_k ——裂隙为矩形面积 cm^2 ;

K_b ——裂隙渗透系数, cm/s ;

B_k ——裂隙水力等效隙宽 cm , 根据岩心的产状裂隙的大小和此处的裂隙渗透系数就可以根据公式 (16)、(17) 计算出岩体裂隙的渗透系数和裂隙渗透张量 (裂隙等效隙宽)。

A. 1. 12 溶隙水流速测量

按式 (18) 计算:

$$U_y = U_f \dots \dots \dots (18)$$

式中:

U_y ——溶隙水流速 cm/s 。

A.2 渗漏三维声纳流速矢量检测原理

A.2.1 声纳检测方法

声纳法（声纳流速矢量法 Sonar velocity vector method）利用水下声纳探听技术，构建声纳传感器测量阵列，研究渗流场中的声场空间分布与地下水渗流运动规律的方法。

A.2.2 渗漏流速矢量检测工作原理

三维流速矢量声纳法是利用声波在水中的优异传播特性，而实现对水流速度场的测量。如果被测水体存在渗流，则必然在测点产生渗流场，声纳探测器阵列能够精细地测量出声波在流体中能量传递的大小与分布，依据声纳阵列测量数据的时空分布，即可显示出渗流声源发出的方向；同时利用声纳探测器的距离和相位之差，建立连续的渗流场。见图 1 声纳测量原理示意图。

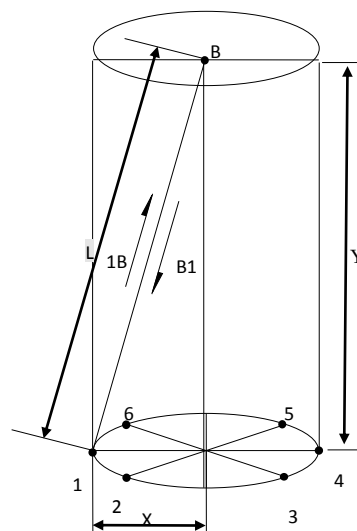


图 1 声纳测量原理示意图

图中：

B—传感器；

B、1~6—构成传感器阵列；

L—声波在传感器 B 和 1 之间传播路径的长度；

X—传播路径的水平分量；

Y—探头长度；

1B、B1—从传感器 B 到传感器 1 或从传感器 1 到传感器 B 的传播时间。

附录B
(资料性附录)

图表

B.1 声纳流速检测设备（三位一体机：数据采集终端机、服务器、显示器）



图1 水工渗漏声纳检测系统

B.2 渗漏入口方向追踪示意图

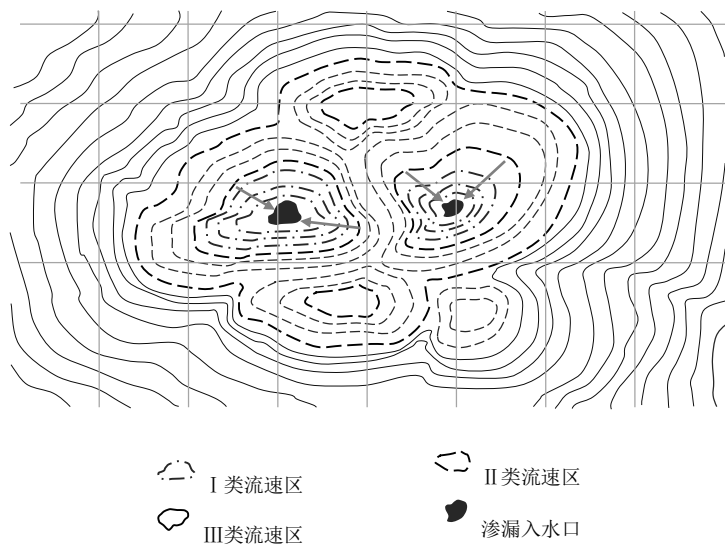


图2 渗漏入水口方向追踪示意图

B.3 水平流速矢量方向测量示意图

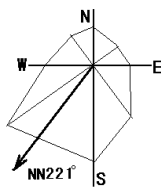
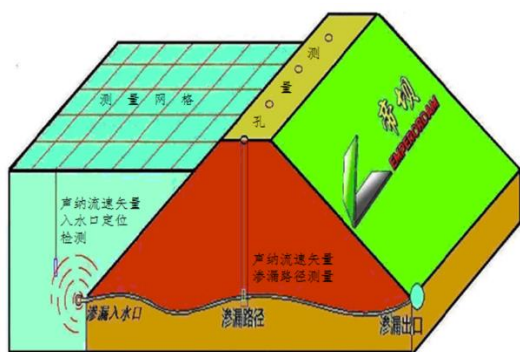
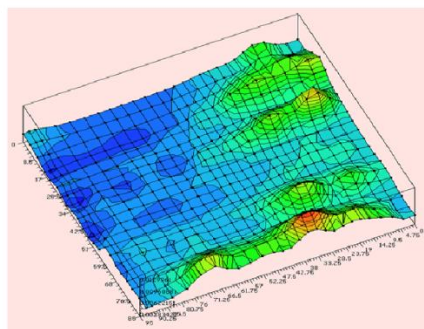


图3 水平流速矢量方向测量示意图

B.4 水库大坝渗漏声纳检测示意图



水库大坝渗漏声纳渗流检测模型



水库渗漏流速等直线三维可视化图

图4 水库大坝渗漏检测模型及流速等值线三维可视图

B.5 港口、码头、船坞水下深基坑止水帷幕渗漏检测三维成像图

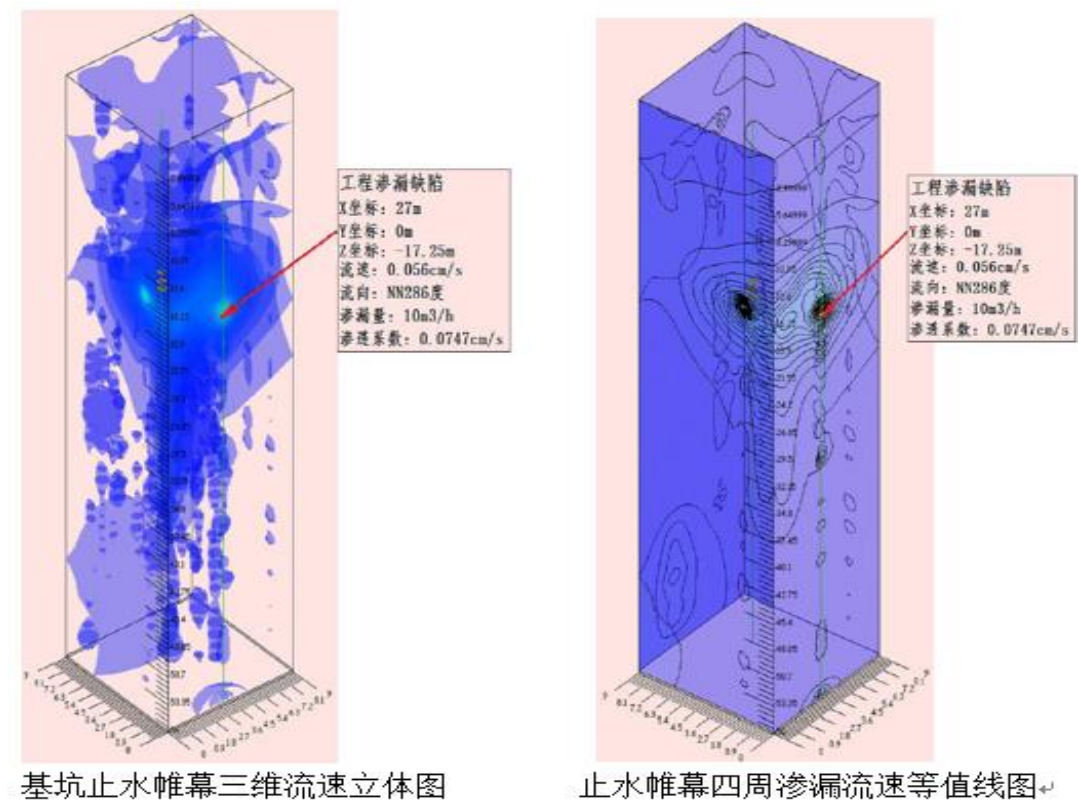
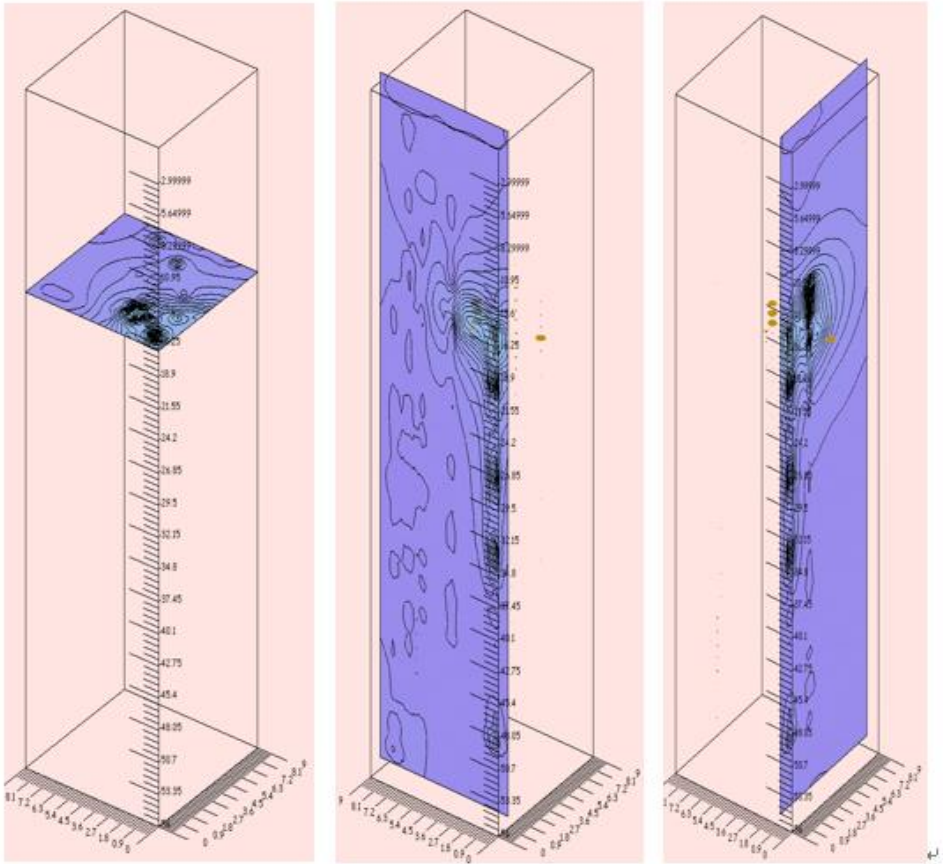


图 5 深基坑、止水帷幕渗漏检测三维成像

B.6 止水帷幕渗漏检测流场流速、流量、流向分布三维成像图



止水帷幕三维渗漏流场 X、Y、Z 坐标任一切平面流速、流向、流量剖分图

图 6 止水帷幕渗漏检测流场流速、流量、流向分布三维成像图

B.7 基坑地下连续墙渗漏测量孔流速矢量平面分布图

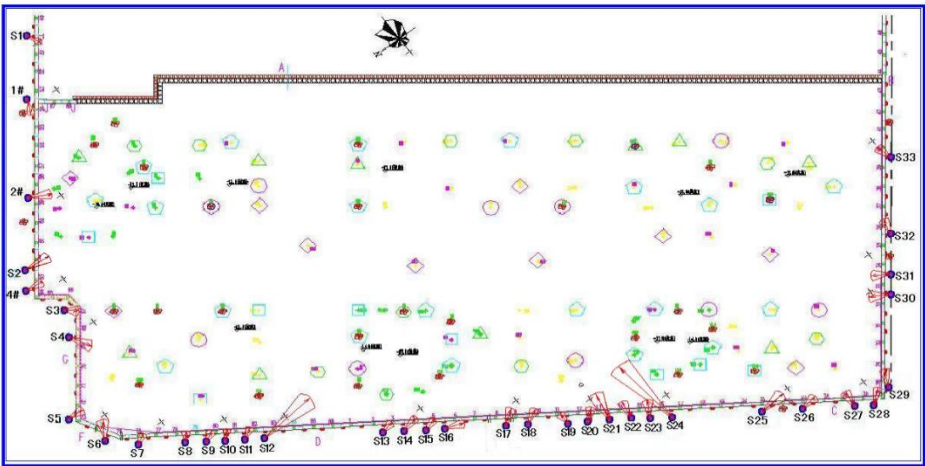


图 7 地连墙基坑渗漏检测孔流速矢量分布平面示意图

B.8 基坑渗漏检测孔渗漏流量柱状图

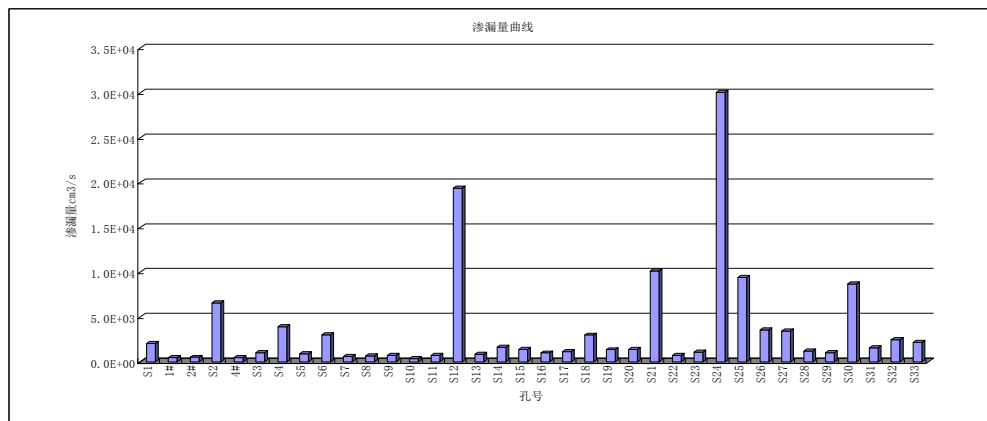


图 8 基坑渗漏检测孔渗漏流量柱状图

B.9 基坑渗漏测量孔渗透系数数据统计表

行	列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
3	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
4	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
5	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
6	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
7	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
9	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
10	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
11	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
13	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
14	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
15	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
16	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
17	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
18	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
19	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
20	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
21	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
22	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
23	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
24	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
25	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
26	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
27	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
28	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
29	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
30	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
31	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
32	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
33	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
34	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
35	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
36	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
37	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
38	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
39	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
40	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
41	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
42	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
43	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
44	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
45	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
46	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
47	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
48	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
49	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
50	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
51	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
52	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
53	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
54	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
55	1																															

图 9 基坑渗漏测量孔渗透系数数据统计表 单位: cm/s

B. 10 基坑渗漏测量孔渗透系数等值线剖面可视图

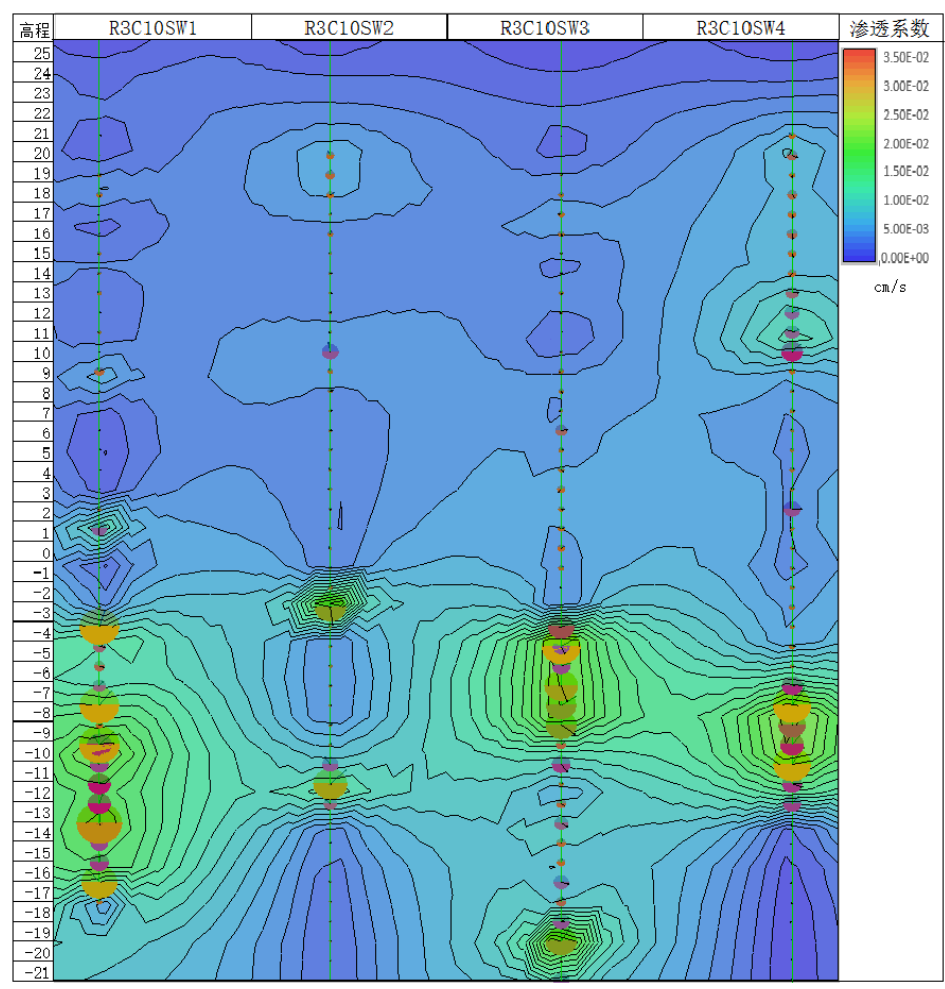


图 10 基坑渗漏测量孔渗透系数等值线剖面可视图

B. 11 地连墙结构缝预埋渗流检测管布置图

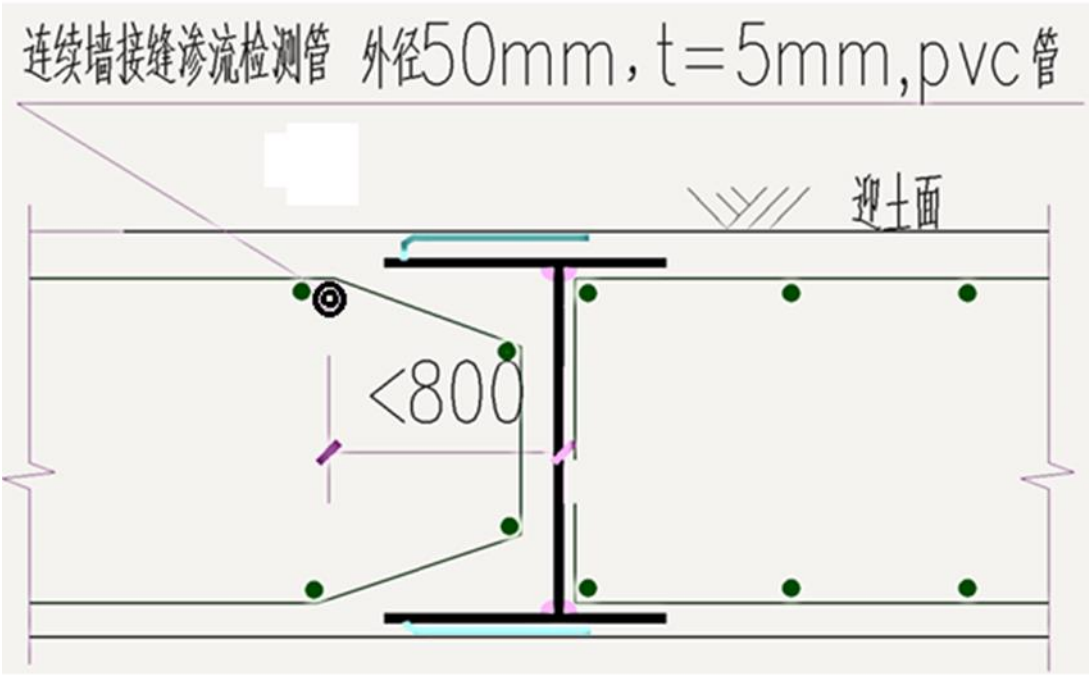


图 11 地连墙钢筋笼工字钢接头渗流检测 PVC 管布置平面图

B. 12 围护桩结构渗漏检测点布置示意图

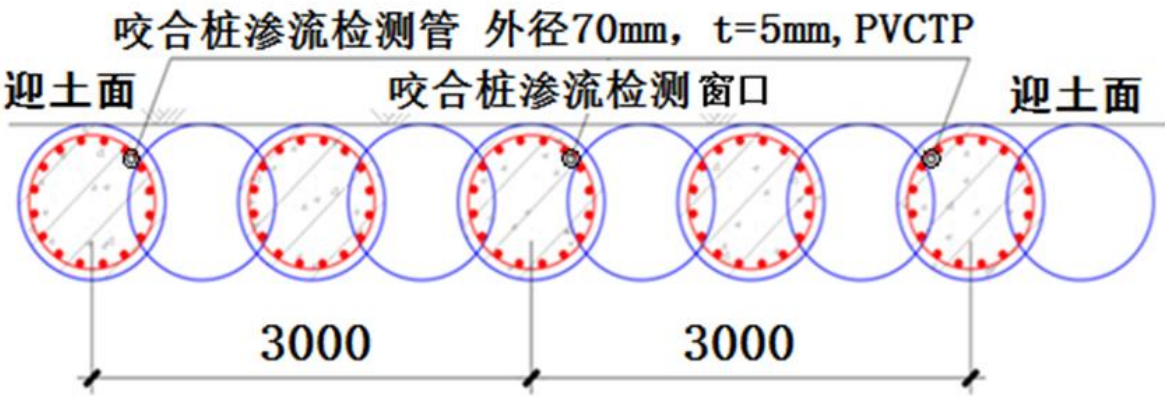


图 12 围护桩渗流检测点布置平面图

B. 13 围护桩结构渗漏检测点施工示意图

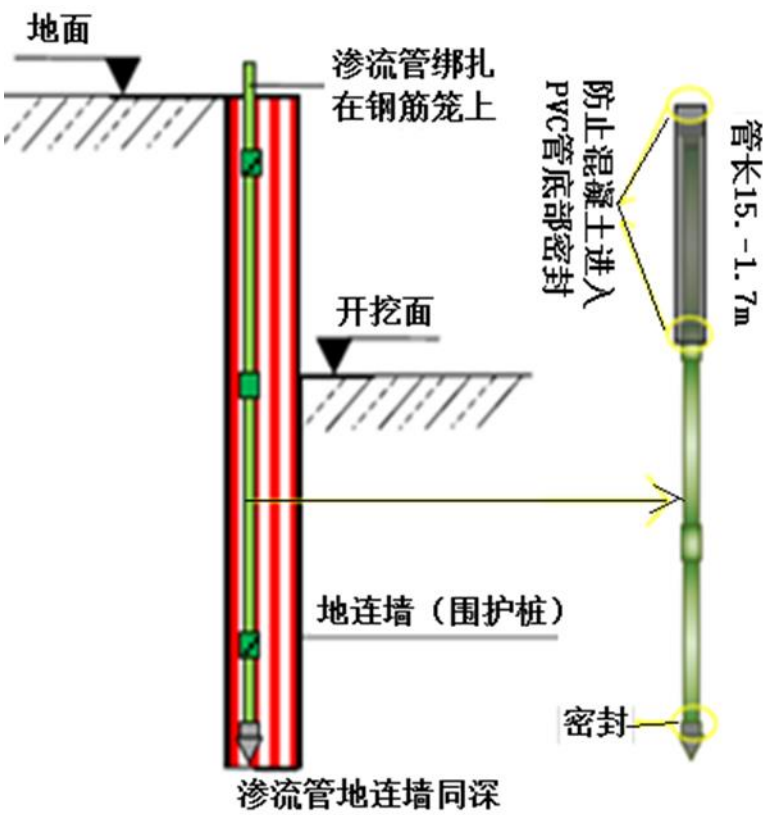


图 13 围护桩渗流检测点 PVC 管布置剖面图

B. 14 声纳流速矢量测量仪工作流程

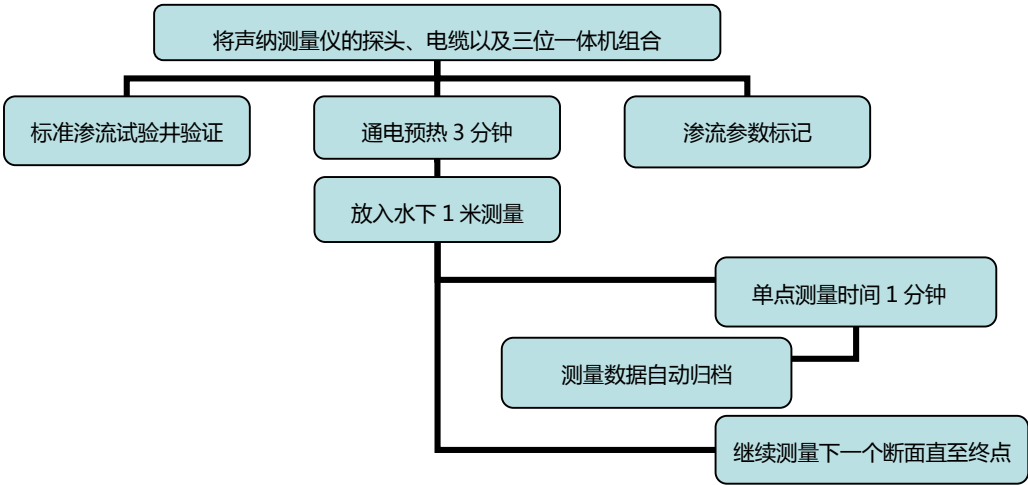


图 14 实际操作示意图

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和缩略语.....	1
4 基本规定.....	2
4.1 总则.....	2
4.2 准备工作.....	3
4.3 评定结果.....	3
4.4 处理措施.....	3
5 水下工程渗漏缺陷声纳检测技术选用条件和检测方法.....	3
5.1 声纳检测技术选用条件.....	3
5.2 声纳检测技术实施方法.....	4
6 检测设备要求.....	5
7 水下工程渗漏声纳法检测施工.....	5
7.1 测线布置.....	5
7.2 渗漏区域的检测.....	6
7.3 测区累计渗漏流量.....	6
7.4 水下渗漏隐患的检测.....	6
7.5 水文地质参数测井.....	7
7.6 渗漏检测施工应用.....	8

7.7 检测内业及测量人员的资格要求..... 10

7.8 检测资料的提交..... 11

条 文 说 明

1 总 则

- 1.0.1** 本条阐述了本标准的编制目的，要求从事检测工作的单位及人员应具备相应的资质、资格。
- 1.0.2** 本条规定了本标准的适用范围。这里的混凝土结构缺陷是指混凝土强度和结构尺度不足，混凝土结构裂缝、蜂窝、空洞，钢筋分布和锈蚀，表层碳化，混凝土结构渗漏等。检测是指采用一定技术措施和方法对这些水工混凝土结构存在的问题进行查明，并提出定量或定性结论。因此，对于一般的结构尺度的表面量测等不在本标准规定的范围内。
- 1.0.3** 由于科学技术的不断进步，检测仪器和检测方法不断推陈出新，为适应水利水电工程建设的需要，应结合工程实践经验和科学研究成果，积极采用国内外先进技术。
- 1.0.4** 本条阐述了本标准与其他相关规程的关系。应遵守协调一致、互相补充的原则使用本标准和其他相关标准。