

T/NMRJ

内蒙古认证和检验检测协会团体标准

T/NMRJ 043—2026

梯形明渠超声流量计

Trapezoidal open channel ultrasonic flow meter

2026 - 02 - 02 发布

2026 - 02 - 02 实施

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作原理与组成	2
4.1 工作原理	2
4.2 组成	2
4.3 分类	2
5 安装位置与声道设计	2
5.1 安装位置选择	2
5.2 声道设计原则	3
6 技术要求	3
6.1 工作环境	3
6.2 超声测流主机	3
6.3 换能器	4
6.4 水位计	4
7 出厂检验	4
7.1 外观	4
7.2 尺寸检查	4
7.3 功能相关测试	4
7.4 性能相关测试	4
8 安装调试	4
8.1 换能器定位安装	4
8.2 水位计定位安装	5
8.3 几何参数测量	5
8.4 参数配置与调试	5
9 数据质量控制与评价	5
9.1 测流数据质量控制	5
9.2 测流数据评价	6
附 录 A (资料性) 基本测量原理	7
A.1 流速测量原理	7
A.2 流量计算模型	7
附 录 B (资料性) 纯水中的声速	8

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由内蒙古认证和检验检测协会提出。

本文件由内蒙古自治区检验检测标准化技术委员会（SAM/TC 61）归口。

本文件起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院、中国计量科学研究院、中国水利水电科学研究院、内蒙古自治区市场监督管理局、北京华声量测科技有限公司、内蒙古河套灌区水利发展中心、内蒙古河套灌区水利发展中心永济分中心、内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心、巴彦淖尔市产品质量计量检测中心、内蒙古自治区水利水电勘测设计院有限公司、内蒙古自治区水利事业发展中心、水利部牧区水利科学研究所。

本文件主要起草人：孙磐、徐宏伟、刘皓、常城、田碧海、白淼、李占强、李进峰、胡鹤鸣、姜杰、李国宁、何军、王耀君、胡楠、杨晓元、王志刚、杜为恩、张二东、王志军、李新、黄勇、李彧、徐小成、胡开智、张勇、刘勇、刘雅仟、程霞、程荟蓉、桑斯尔、乌云毕力格、张永军、李慧、曹璐、张玥、张宏伟、胡顺、张文远、任盼红、任炜辰、高建标、张立军、曹立奇、任秀、任建波、贾文祥、田海鹰、张艳芬、陈勇宏、杨惠、谢东、贺宇、王军、王国帅、李云峰、张志文。

梯形明渠超声流量计

1 范围

本文件规定了梯形明渠超声流量计的结构组成、安装位置与声道设计原则、技术要求、出厂检验方法、数据质量控制与评价方法等。

本文件适用于梯形明渠超声流量计的设计、生产、安装调试、数据质量控制与评价。

2 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 35717 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机流量的测量 超声传播时间法

ISO 6416 水文测验—用超声传播时间法测量流量[Hydrometry — Measurement of discharge by the ultrasonic transit-time (time of flight) method]

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超声时差法 ultrasonic transit-time method

利用超声在流体中逆流传播时间与顺流传播时间之差与流速成线性关系的特性测量流速的方法，亦称超声传播时间法。

3.2

梯形明渠超声流量计 trapezoidal open channel ultrasonic flow meter

基于多声道超声时差法、过流断面为梯形的明渠流量测量设备，包含开放式和测箱式两种类型。

注：矩形是梯形的一种特殊形式。

3.3

声道 ultrasonic path

超声波在成对的超声换能器间传播的实际路径。

3.4

声道角 ultrasonic path angle

声道与流道轴线之间的夹角。

3.5

声道高度 ultrasonic path height

声道相对于渠道底部的垂向高度。

3.6

声道长度 ultrasonic path length

成对换能器之间超声在水介质中传播的实际距离。

3.7

凸出比 protrusion ratio

换能器凸出渠壁部分沿声道方向的长度与声道长度之比。

4 工作原理与组成

4.1 工作原理

梯形明渠超声流量计是一类基于速度面积法的水流量测量设备，其中速度采用超声时差法进行测量，面积则是在水位测量的基础上结合断面几何参数获得。梯形明渠超声流量计的测流数据质量与超声传播时间测量、水位测量、几何参数标定和流量积分算法有关。

4.2 组成

4.2.1 基本部分包括：超声测流主机、换能器组、水位计。

4.2.2 辅助部分包括：信号电缆、换能器安装辅件、机柜、电源、远传模块等。

4.2.3 典型的组成示意图如图 1 所示。

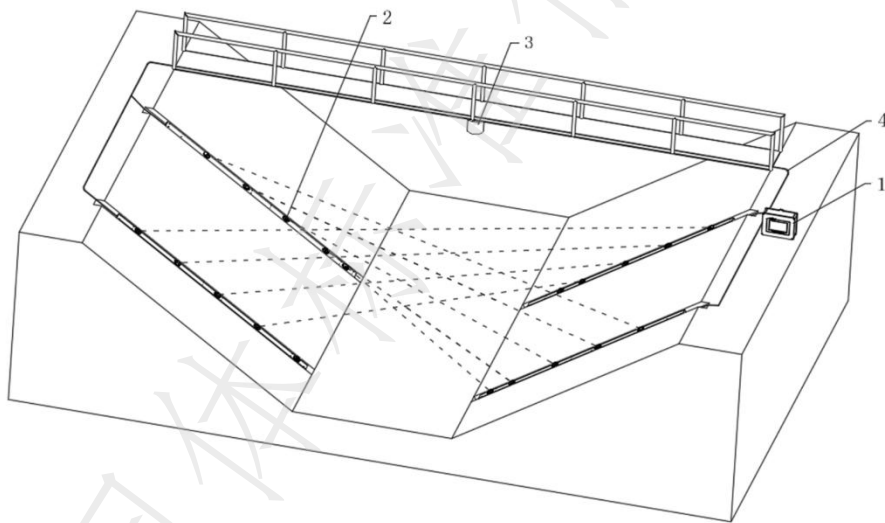


图1 梯形明渠超声流量计组成示意图

(1. 超声测流主机；2. 换能器组；3. 水位计；4. 信号电缆)

4.3 分类

梯形明渠超声流量计可以分为：

- a) 开放式梯形明渠超声流量计，其需现场调节对正超声换能器；
- b) 测箱式梯形明渠超声流量计，其换能器已按照需要的角度固定在工厂预制的安装板上，无需现场调节对正。

5 安装位置与声道设计

5.1 安装位置选择

5.1.1 超声测流主机的安装位置，宜在监控站房附近选择，便于供电接入和网络接入。附近无监控站房时，可考虑太阳能供电和无线网络接入。

5.1.2 换能器安装位置的选择宜考虑以下几个方面：

——渠道顺直，水流平顺。上游远离弯道、闸门、泵站等干扰源；水流均匀稳定且无明显掺气现象；安装位置上游直段长度宜不小于 5 倍水面宽度，下游直段长度宜不小于 2 倍水面宽度。无法满足该条件时，流量计仍可应用，但测量不确定度应附加额外的复杂流场影响项。

注：直段长度计算时，以所有换能器的中心断面为参照。

——渠底平整无淤积，或达到了冲淤平衡。如判断可能存在较大冲淤变化时，应实测淤积量，并修正到流量计算中。

——渠道坡面平整且坚固，衬砌无松动，坡面无杂草，便于换能器安装座的长期可靠固定。

——附近有测桥或跨河设施，便于雷达波水位计的安装和换能器跨河线缆布设。

5.2 声道设计原则

5.2.1 声道应水平，声道角宜在 45° ~ 75° 区间选择，明渠较宽时可采用较大的声道角。

5.2.2 声道数量应结合最小运行水深布设，最小运行水深下布设宜不少于 3 声道。最大运行水深超过最小运行水深一倍时，宜布设不少于 6 声道；最大运行水深超过最小运行水深二倍时宜布设不少于 8 声道。

5.2.3 连续过水时长超过 300 天的，宜增加声道数。

5.2.4 最低层声道高度宜小于最小运行水深的 $1/3$ ，且小于最大运行水深的 $1/5$ 。

5.2.5 流场复杂时，宜采用交叉声道布设方式，如图 2 所示。

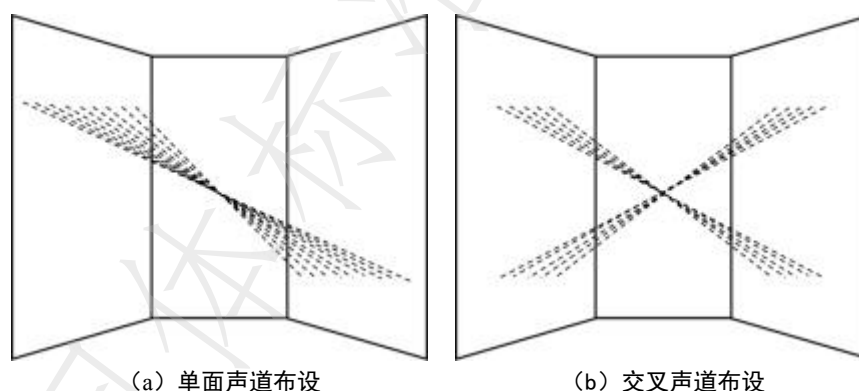


图 2 声道布设示意图

5.2.6 明渠宽度不大时，可选择测箱式安装方式，换能器安装座及信号线缆采用一体化设计，同一侧的所有换能器按设计间距安装到同一个长条型换能器座上，便于现场快速施工和保证信号质量。

6 技术要求

6.1 工作环境

工作环境根据现场安装而定，一般应满足在以下条件下能正常工作。

——工作温度： $(0\sim 60)^{\circ}\text{C}$ ；

——储运温度： $(-40\sim 80)^{\circ}\text{C}$ ；

——泥沙含量： $(0\sim 10)\text{kg}/\text{m}^3$

6.2 超声测流主机

6.2.1 单台主机应具有至少 5 声道的流速测量能力，各声道有效信号增益裕量应不低于 40 dB。

6.2.2 超声传播时间差的分辨力应不大于 1 ns，且应经过实验室测试评价。

- 6.2.3 宜具备流量、水位、各声道流速和声速的显示功能，宜具备流速分布廓形显示功能。
- 6.2.4 宜具有声道波形显示和信号质量指标显示等功能，宜具备至少每天一次的定期存储功能。
- 6.2.5 应具备全寿命周期内完整的特征参数修改日志。
- 6.2.6 应至少存储近 5 年的原始数据，存储间隔不超过 10 min。存储内容包括累计流量、瞬时流量、水位、各声道的流速、声速、传播时间、信号强度及质量等。
- 6.2.7 流量计算模型应可核查，并具有声道缺失补偿算法、换能器凸出效应流速修正算法等。

6.3 换能器

- 6.3.1 换能器宜采用球型换能器，并配备专门的换能器安装座，凸出比宜小于 2%。在保证信号强度的前提下，宜优先选择尺寸较小的换能器及其安装座。
- 6.3.2 换能器频率通常为 1 MHz、500 kHz、200 kHz，应考虑 6.2.1 中的信号裕量要求进行选择。
- 6.3.3 换能器应具有可靠的防护装置。
- 6.3.4 换能器及线缆防水性良好，绝缘电阻应大于 50 MΩ。
- 6.3.5 信号电缆应采用同轴电缆，同一声道的换能器到主机的线缆长度之差应小于 0.5 m。

6.4 水位计

- 6.4.1 水位计的分辨力应不大于 1 mm。
- 6.4.2 用于贸易结算的梯形明渠超声流量计，应在主水位计外配备核查水位计，两台水位计应采用不同原理。

7 出厂检验

7.1 外观

目测外观应无划痕、生锈、松动等现象。

7.2 尺寸检查

- 7.2.1 开放式梯形明渠超声流量计，应检查超声换能器及底座的适配性，是否可正常调节角度。
- 7.2.2 测箱式梯形明渠超声流量计，应检查箱体尺寸是否满足设计公差、换能器角度是否与现场要求适配等。

7.3 功能相关测试

- 7.3.1 测流主机的各项功能及端口通信均应正常。
- 7.3.2 超声信号在静水中对射和反射测试，均应有完整清晰的包络，且有足够的信号裕量。

7.4 性能相关测试

- 7.4.1 超声换能器应在静水中进行零点测试，并进行零点修正。
- 7.4.2 水位计应进行大中小三个水位测试。

8 安装调试

8.1 换能器定位安装

- 8.1.1 换能器定位安装应在明渠排空后，由专业人员在流道内施工，宜采用全站仪等三维测量设备进行辅助定位。
- 8.1.2 换能器应安装到预期位置附近，声道高度偏差应小于最大水深的 5%。

8.1.3 宜在渠道壁面开槽并将换能器座嵌入，使得凸出明渠壁面的部分尽量少。

8.1.4 换能器信号线缆跨渠可采用渠底走线或附近测桥走线。

8.2 水位计定位安装

8.2.1 水位计应从超声式、压力式、雷达式中至少选择两种安装，并测量其安装高度，以进行明渠水深数据的互相校核。

8.2.2 超声水位计和压力水位计宜同时安装在换能器安装座上，并确保安装高度不被淤积。

8.2.3 雷达水位计宜固定到附近的测桥底部，或立杆伸出的悬臂上。

8.3 几何参数测量

8.3.1 几何参数是超声流量计流量计算模型的基础参数，包括流道截面尺寸（底部宽度、开口宽度及对应高度），声道参数（声道长度、声道角、声道高度），水位计安装高度等。

8.3.2 几何参数测量应在换能器安装完成后在明渠内实施，应采用全站仪等三维测量设备进行测量，采集流道壁面点和换能器中心点的三维坐标，建立空间位置关系，基于壁面拟合获得明渠的截面尺寸及方向，进而计算超声流量计的几何参数。

8.3.3 采用全站仪测量的步骤参考 GB/T 35717，具体如下：

- a) 选择合适位置在明渠底部架设全站仪并调水平，使其能无遮挡的测到所有换能器；
- b) 利用全站仪扫描明渠壁面点，测点数量至少 50 个，并尽量均匀覆盖换能器安装的流道范围；利用最小二乘法由壁面测点拟合明渠壁面，并计算截面尺寸及方向；
- c) 利用全站仪目镜对准换能器中心，逐个测量换能器发射面中心的坐标，所有换能器测量完成后至少复测 2 遍，得到不少于 3 组换能器坐标数据；
- d) 利用换能器坐标和流道方向，按照各自定义分别计算声道长度、声道角、声道高度，并计算多次测量的算术平均值作为最终结果；
- e) 利用全站仪逐个测量水位计的参考位置坐标，并推算水位计的安装高度。

8.4 参数配置与调试

8.4.1 换能器及水位计安装完成后应根据现场安装情况，整理确定流量计算模型的参数。

8.4.2 参数计算完成后，应完成以下装置调试工作：

- a) 根据主机的操作要求，输入配置参数；
- b) 有水条件下检查各声道的超声波形是否正常，并记录各声道信号强度和质量指标；
- c) 有水条件下检查各声道声速的合理性和一致性，核查实测声速的合理性，流动条件下各声道声速应具有 consistency；
- d) 流动条件下检查声道流速分布的合理性，包括流动分布是否符合明渠特征、双声道面流速分布的一致性；
- e) 流动条件下检查两种水位计的示数一致性；
- f) 如有明确的静水条件，可在静水条件下进行零点流速修正。

9 数据质量控制与评价

9.1 测流数据质量控制

9.1.1 测流数据质量控制应给出梯形明渠超声流量计的特征参数，包括且不限于：

——几何参数：流道截面尺寸（底部宽度、开口宽度及对应高度）、声道参数（声道长度、声道角、声道高度）、水位计安装高度等；

——流量积分算法参数：零点修正系数、非水介质延时、换能器凸出效应修正系数（根据换能器及其安装座的凸出比确定）、盲区折算系数、流量修正系数等。

9.1.2 测流数据质量控制应对超声测流主机内存的历史数据进行分析，应包括：

- 特征参数修改日志；
- 流量变化过程、分段均值及标准差；
- 水位变化过程、分段均值和标准差；
- 各声道流速分布、分段均值和标准差；
- 各声道声速分布、分段均值及标准差；
- 各声道超声波形的图形表达、信号强度及质量，声道数据有效率等；

宜包括：

- 检测、校准报告；
- 比测分析数据；
- 现场测温，基于附录 C 进行声速核查。

9.1.3 水位稳定但流量异常变化时，应对梯形明渠超声流量计进行核查。

9.1.4 声道流速缺失或异常离群时，应对梯形明渠超声流量计进行核查维护。底部声道缺失时应核查淤积情况。

9.1.5 超声信号质量异常时，应对梯形明渠超声流量计进行维护。

9.1.6 单一声道声速与声速均值偏差超过 0.5%时应核查边坡形变。

9.1.7 水位计及核查装置分段均值之差引起的过流面积偏差应不大于 1%，超差时应对水位计进行现场率定或实验室校准。

9.2 测流数据评价

9.2.1 首次评价应在梯形明渠超声流量计安装调试完成后、正式投入运行前开展。后续评价按用户需求和主管部门要求开展。

9.2.2 评价项目包括换能器及安装位置、超声测流主机和水位计。首次评价时几何参数项目应采用三维坐标法进行现场测量，后续评价可采用数据核查法评价。水位计项目采用主副水位计比对法。其他项目采用装置检查和数据审查方法。

附录 A
(资料性)
基本测量原理

A.1 流速测量原理

超声传播时间法通过测量超声在流体中传播的时间来计算流体的流速和流量。如图A.1所示，一对探头以声道长度 L 、声道角 φ 安装在渠道两侧，超声从下游到上游探头的传播时间 t_u 将大于从上游到下游探头的传播时间 t_d ，利用传播时间之差可以声道轴向流速：

$$V = \frac{L}{2\cos\varphi} \left(\frac{1}{t_d} - \frac{1}{t_u} \right) = \frac{L}{2\cos\varphi} \cdot \frac{\Delta t}{t_d t_u} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中，超声传播时间差 $\Delta t = t_u - t_d$ ，是超声传播时间法的关键测量参数。声道轴向流速的计算不依赖于声速，温度和泥沙含量变化造成的声速变化不会直接影响流速的测量结果。

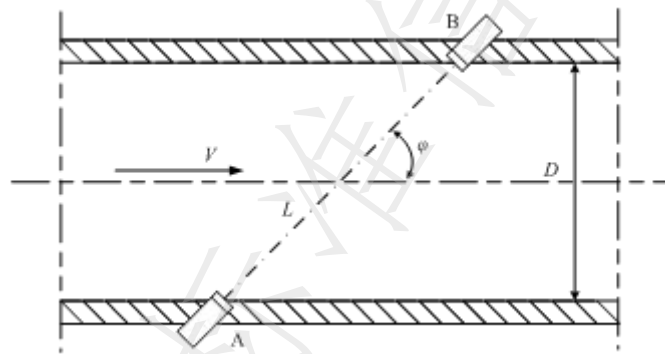


图 A.1 超声传播时间法原理示意图

A.2 流量计算模型

为了得到准确的渠道平均流速，需要在不同的声道高度 z_i 上平行布置若干声道，每条声道的声道轴向流速 V_i 代表其上下的一定面积内的平均流速，利用多个声道轴向速度 V_i 更好的估计渠道的面平均流速。常用的梯形明渠流量计算模型可参考ISO 6416，根据声道高度进行分层，各层的平均流速与相应层的面积相乘得到各层流量，各层流量全部相加得到渠道流量，如图A.2所示。其中，中间层以上下相邻两声道的流速均值为该层的平均流速，顶层和底层采用折算方法计算平均流速，顶层折算系数 k_s 和底层折算系数 k_b 的设置可参考工程经验，或利用其他方法实测流速分布廓形进行计算后得到。

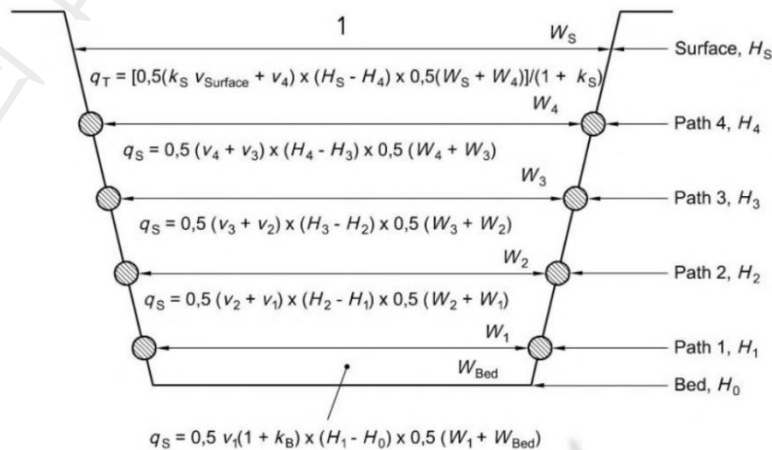


图 A.2 明渠流量计算模型 (ISO 6416)

附录 B
(资料性)
纯水中的声速

纯水的声速可按下式计算：

$$V = \frac{A+Bt_n}{1+Ct_n+Dt_n^2+Et_n^3+ Ft_n^4} (m/s) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$t_n=t/100$ ，其中 t 为温度，单位为摄氏度（℃）；

$A=1402.39$ ；

$B=1478.5625$ ；

$C=0.69494542$ ；

$D=0.16618854$ ；

$E=-0.0160586$ ；

$F=0.02192692$ 。

该式适用范围为：温度0℃~90℃，标准大气压（101325 Pa）。水的声速随压强升高而增大，增幅约为 1.5×10^{-6} (m/s)/Pa，相当于每增加1 m水深，声速增加1.5 cm/s。