

# 卫星遥感径流监测技术规程

Technical code for satellite remote sensing-based runoff monitoring

(征求意见稿)

(本稿完成时间：2025 年 12 月 23 日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布







目 次

目次 I

前言 IV

引言 V

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 2

5 总则 ..... 2

6 技术流程 ..... 2

7 监测断面布设要求 ..... 3

8 河道断面测量要求 ..... 4

    8.1 河道断面地形测量 4

    8.2 断面水力参数测量 4

9 数字河道生成要求 ..... 4

10 河道径流计算要求 ..... 4

    10.1 水面宽度卫星测量 4

    10.2 径流计算要求 4

11 数据质量控制 ..... 6

    11.1 水面宽度遥感提取精度验证 6

    11.2 径流遥感监测结果精度验证 6

12 成果整理与上交 ..... 6

    12.1 径流监测成果 6

    12.2 数字河道成果 7

    12.3 测量数据成果 7

    12.4 相关图件成果 7

    12.5 上交成果 7

附 录 A ..... 8

    A.1 河道断面基础信息测量方法 8

        A.1.1 河道地形无人机测量方法 8

        A.1.2 河道地形其他测量方法 9

        A.1.3 河道水深测量方法 9

        A.1.4 河道水流流速测量方法 9

A. 1. 5 河道坡降测量方法	11
A. 1. 6 河道糙率选取方法	11
附录 B .....	12
B. 1 卫星遥感水面宽提取方法	12
B. 1. 1 卫星遥感数据选择	12
B. 1. 2 卫星遥感数据处理	12
参考文献 .....	13



## 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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：北京师范大学、生态环境部卫星环境应用中心、中国水利水电科学研究院、西藏农牧大学、新疆理工学院、贵阳市水务环境集团有限公司、北京市人工影响天气中心、水利部国际经济技术合作交流中心、海南省环境科学研究院、黑河水资源与生态保护研究中心、北京数星科技发展有限公司、贵州江航环保科技有限公司。

本文件主要起草人：娄和震、杨胜天、王雪蕾、宋文龙、巩同梁、丁建丽、高成城、任霄玉、孙高虎、穆晓东、董国涛、唐摇影、张欣、陈珂、黎喜、程红光、付永硕、张璇、周柏池、龚纪翼、王怀星、王玉莲、丁健新、冯丹阳、朱贻凡、吴赛龙、高跃、王峥羽、严江鹏、张小博。



## 引言

河川径流是水循环过程的重要指标，在区域水资源开发利用和河流生态保护中占有重要地位。长期以来序列河川径流数据的获取途径都是通过建立水文站点进行人工观测，然而在气候多变、地形崎岖、交通不便等地区，受基础条件制约往往难以设站，成为广泛存在的水文资料匮乏区。近年来，卫星遥感径流监测成为获取无水文测站区径流数据的重要方法：可在无水文测站区、人类难以到达地区和国际河流直接获取径流信息，并对历史数据进行反演；卫星遥感河道径流的反演方法相对简单，能够较快获取河流径流数据，避免复杂水文模型异参同效并减少模型输入不确定性，整体效率高。此外，遥感监测能够显著降低相关成本，适合大范围推广。

本文件编制目的是为了规范卫星遥感径流监测技术流程，提高监测结果的一致性和精准性，推动卫星遥感径流监测方法在水资源调查、水文资料获取、水文日常巡测、水文站数据补充和延续、水文地质调查、水文应急监测、防洪减灾、洪水过程复盘、生态环境保护等重要工作中的应用。通过本文件，将实现对卫星遥感径流监测方法和流程的统一，对监测结果评价的统一，为业务部门、科研院所、公司企业等利用卫星遥感获取无测站河流径流提供规范化的技术支撑。



# 卫星遥感径流监测技术规程

## 1 范围

本文件确立了基于卫星遥感开展河道径流监测的总则，并规定了技术流程、监测断面布设、河道断面测量、数字河道生成、河道径流计算、数据验证、成果整理与上交的要求。

本文件适用于卫星可观测到完整水面宽度的明渠水流，包括自然河流、人工渠道的径流监测。卫星遥感径流监测站点可与国家水文站相互补充，减少国家水文站监测盲点，延续国家水文站监测数据。

## 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 50179	河流流量测验规范
SL 730	水利空间要素图式与表达规范
GB/T 45792	专题地图-地理底图编制规范
DZ/T 0265	遥感影像地图制作规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**径流 runoff**

单位时间内通过河渠或管道某一横断面的水体体积，单位为立方米每秒。

### 3.2

**河流断面 river cross section**

过水横断面延伸到河道所在的一级阶地边缘形成的地形剖面。

### 3.3

**监测断面 monitoring cross section**

卫星遥感径流监测技术实施所选择的河流断面

### 3.4

**过水断面 water cross section**

监测断面水面线与水下河道形成的封闭曲面。

### 3.5

**数字河道 digital river channel**

通过地面测量形成的用于径流计算的数字过水断面。

### 3.6

**坡降 slope**

沿水流方向，单位水平距离内垂直方向的落差。

### 3.7

**糙率 roughness**

与河槽边界的粗糙程度和几何特征等有关的影响水流运动的一个综合阻力系数。

### 3.8

**湿周 wetted perimeter**

过水断面的水流与河床接触部分的润湿边界长度。

### 3.9

**水力半径 hydraulic radius**

过水断面水体面积与其湿周的比值。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ADCP: 声学多普勒流速剖面仪 (Acoustic Doppler Current Profiler)

DOM: 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)

DSM: 数字表面模型 (Digital Surface Model)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

NDWI: 归一化差异水体指数 (Normalized Differential Water Index)

RMSE: 均方根误差 (Root Mean Square Error)

RTK: 实时动态载波相位差分技术 (Real-time Kinematic)

## 5 总则

卫星遥感径流监测应遵循以下原则:

- a) 监测断面选取的合理性: 应满足完整流域出流控制、地面可达和卫星可测的要求;
- b) 河道基础信息测量的规范性: 河道断面地形、水深、流速、坡降的测量应满足行业规范要求, 保证测量信息的精准性;
- c) 卫星遥感径流监测的连续性: 卫星监测过水断面径流的时间跨度不少于一个完整年, 监测频次不低于一个月, 满足河流完整水文节律分析要求;
- d) 河流径流计算的准确性: 卫星遥感径流监测结果与国家水文站结果对比, 准确率应在 60%~80%。

## 6 技术流程

卫星遥感径流监测技术流程如图1所示, 主要包括监测断面布设、河道断面测量、数字河道生成、水面宽卫星测量、河道径流计算、数据质量控制和数据成果提交; 其中, 河道断面测量包括断面地形测量和断面水力参数测量。

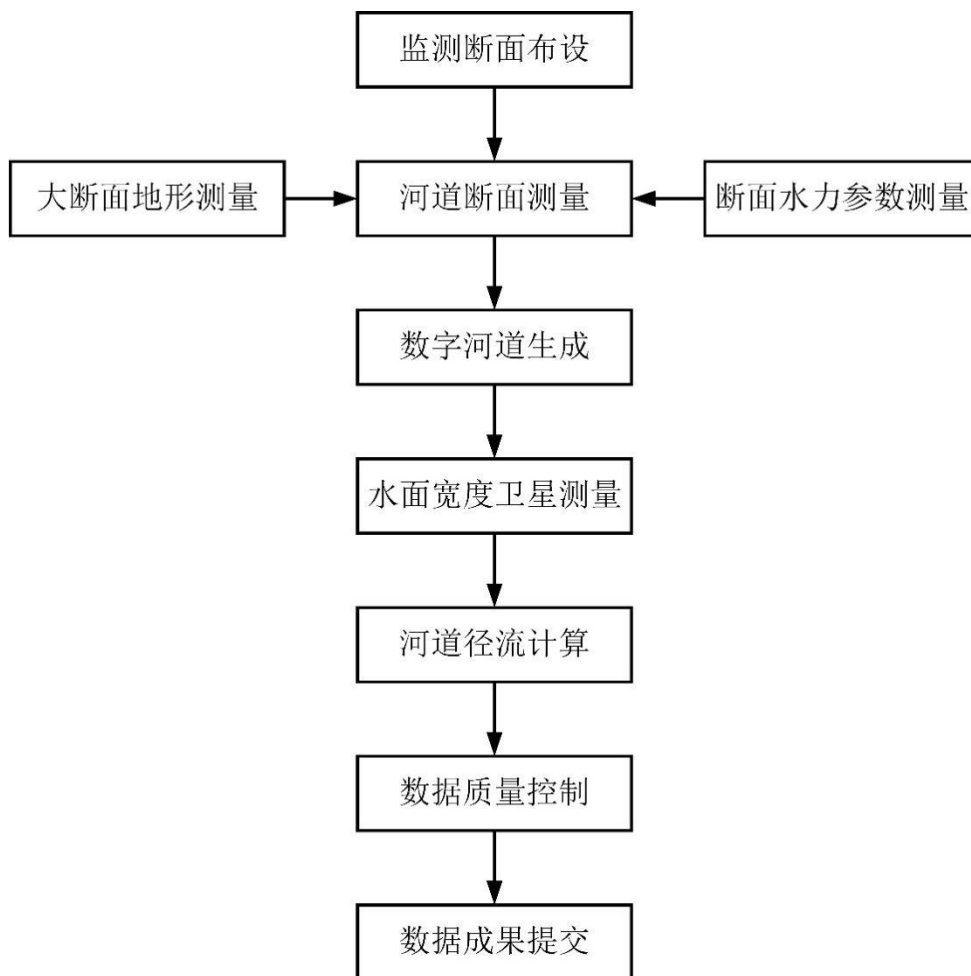


图 1 卫星遥感径流监测技术流程

## 7 监测断面布设要求

径流监测断面与记录具体要求如下：

- a) 监测断面应位于河流顺直、平缓、两岸护坡稳定、未受人工影响的河段或人工修筑的标准断面，若有林草，应进行必要的清理，确保卫星观测到的断面两侧河岸；
- b) 每个监测断面处应选择上、中、下游三个断面，上、下游断面之间河道长度不低于 50 米；支流下游断面选择在河流交叉点，兼顾主流过水断面；
- c) 卫星监测断面可与水文站断面重合，包括但不限于河流出山口、大型农业引水设施、明显截留的堰坝、地表河流消失位置；
- d) 监测断面应进行编号记录，宜采用“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号”方式。

## 8 河道断面测量要求

### 8.1 河道断面地形测量

河流断面测量宜采用地面测量法、无人机测量法和激光雷达测量法。具体要求如下：

- a) 地面实测采用 GNSS 测绘系统或 RTK 测绘系统或全站仪沿河流横断面一级阶地开始测量，间隔 0.1 米施测一个点位；
- b) 无人机测量时，航线包含完整的河流断面，生成数字正射影像（DOM）与数字表面模型（DSM）；
- c) 激光雷达测量时，扫描路线包含完整的河流横向断面，生成数字正射影像（DOM）与数字表面模型（DSM）。具体测量方法见附录 A.1.1 和 A.1.2。

### 8.2 断面水力参数测量

断面水力参数测量包括水深测量、水流流速测量、河道坡降测量和河道糙率选取。具体要求如下：

#### a) 水深测量

当有测量船时，可采用 ADCP 无人船；当测量人员可以安全下水通过观测横断面时，可采用水文测深杆下水测量；如果没有测量船时，可采用简易声纳测深仪沿桥梁进行观测。具体测量方法见附录 A.1.3。

#### b) 水流流速测量

当测量船和较好观测条件时，可采用转子流速仪或者 ADCP 无人船观测不同点位不同深度流速；当不具备测量船时，可采用电波流速仪对测点表面流速进行观测，每个测点观测次数不少于 5 次。具体测量方法见附录 A.1.4。

#### c) 监测河道纵向坡降测量

沿水陆交界测量时，可采用 GNSS 或 RTK 测量系统、全站仪从上游断面沿河流水陆界线开展观测，观测的点位不少于 20 个；当不具备上述测量条件时，可采用激光雷达以非接触式测量方法从上游断面沿河流水陆界线开展扫描。具体测量方法见附录 A.1.5。

#### d) 监测断面糙率

可采用查表法获取糙率系数，不同类型河道断面具体糙率值见附录 A.1.6 中表 A.3。

## 9 数字河道生成要求

### 10 河道径流计算要求

#### 10.1 水面宽度卫星测量

选择断面位置，通过卫星遥感影像提取监测时段和历史时期水面宽数据，水面宽度量取误差不超过 0.5 个像元。典型卫星遥感获取水面宽度数据方法见附录 B1.1 和 B1.2。

#### 10.2 径流计算要求

利用获得的水面宽度和数字河道，河道径流计算方法可采用曼宁公式法和比降面积法；当可以观测两个或多个断面时，可选择比降面积法计算径流；当只能实测一个断面时可采用曼宁公式法。

比降面积法具体公式如下：

$$Q = KS^{1/2} / \left[ 1 - \frac{(1-\xi)fK^2}{2gL} \cdot \left( \frac{1}{A_{\text{上}}^2} - \frac{1}{A_{\text{下}}^2} \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$K = (A_{\text{上}}R_{\text{上}}^{2/3} + A_{\text{下}}R_{\text{下}}^{2/3})/2n \quad (2)$$

$$S = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (3)$$

式中：

$Q$ 为河段河流流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$K$ 为河道平均输水率， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$S$ 为恒定非均匀流的水面比降；

$H_1$ 为上游断面水位值， $\text{m}$ ；

$H_2$ 为下游断面水位值， $\text{m}$ ；

$L$ 为上下断面间距， $\text{m}$ ；

$A_{\text{上}}$ 为上过水断面面积， $\text{m}^2$ ；

$A_{\text{下}}$ 为下过水断面面积， $\text{m}^2$ ；

$R_{\text{上}}$ 为上断面水力半径， $R_{\text{下}}$ 为下断面水力半径， $\text{m}$ ；

$n$ 为上下游断面之间糙率的平均值；

$g$ 为重力加速度， $\text{m}/\text{s}^2$ ；

$\xi$ 为河段收缩或扩散水头损失系数；

$f$ 为动能修正系数。

曼宁公式具体如下：

$$Z = Z_{int} \quad (4)$$

$$A = \sum_{i=a}^b (Z - Z_i) \quad (5)$$

$$L = \sum_{i=a}^{b-1} \sqrt{(Z_{i+1} - Z_i)^2 - (VD_{i+1} - VD_i)^2} \quad (6)$$

$$R_h = A/L \quad (7)$$

$$V = \frac{k}{n} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \quad (8)$$

$$Q = V \times A = \frac{k}{n} \times A^{5/3} \times J^{1/2} \div L^{2/3} \quad (9)$$

其中， $Z$ 为当河宽为  $RD$  时的水位， $\text{m}$ ； $Z_{int}$ 为水面线与三维数字河道模型交点处的高程， $\text{m}$ ； $A$ 为过流面积， $\text{m}^2$ ； $Z_i$ 和 $Z_{i+1}$ 分别为三维数字河道模型第  $i$  个点和第  $i+1$  的高程， $\text{m}$ ； $a$ 和 $b$ 分别为水面线与三维数字河道模型左右交点的点序号； $L$ 为湿周长度， $\text{m}$ ； $VD_i$ 和 $VD_{i+1}$ 为三维数字河道模型第  $i$  个点和第  $i+1$  的水平距离， $\text{m}$ ； $R_h$ 为当河宽为  $RD$  时通过湿周计算得到的水力半径， $\text{m}$ ； $V$ 为当河宽为  $RD$  时的河流流速， $\text{m}/\text{s}$ ； $k$ 为转换常数， $k = 1 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ； $n$ 为糙率系数； $J$ 为水力梯度； $Q$ 为当河宽为  $RD$  时的河流流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ； $RD$ 为任意河宽数值。

## 11 数据质量控制

### 11.1 水面宽度遥感提取精度验证

卫星遥感反演得到的水面宽数据验证方法如下：

a)选用相对误差、相对均方根误差、平均绝对误差其中的一种作为河宽反演精度的评价方法，将卫星遥感得到的水面宽与实测水面宽进行计算，具体计算公式如下：

$$\text{相对误差} = \frac{|B_e - B_m|}{B_m} \quad (10)$$

$$\text{相对均方根误差} = \sqrt{\frac{\sum (B_e - B_m)^2}{n}} \quad (11)$$

$$\text{平均绝对误差} = \frac{1}{n} \sum \frac{B_e - B_m}{B_m} \quad (12)$$

式中为 $B_e$ 卫星遥感监测的水面宽，为 $B_m$ 实测水面宽， $n$ 为计算次数；

b)水面宽度的相对误差、相对均方根误差、平均绝对误差应取实测值的 10%作为允许误差的范围。

### 11.2 径流遥感监测结果精度验证

径流卫星遥感监测结果验证要求如下：

a)单个河道径流计算结果的验证在完成现场测量后 7 天内进行，按照“当日测量、当周建模、当周调参、当周计算、当周整理、当周分析”的原则进行验证检查，在计算流量验证检查过程中发现误差时，应及时查清原因，并采取相应纠正与补救措施；

b)单个河道径流计算结果的验证检查工作包括河道流速结果的合理性、河道径流结果的合理性；

c)径流卫星遥感监测结果允许相对误差在 20%-40%。

d)径流卫星遥感监测结果合理性应满足以下要求：

1)点绘河宽或其他水力因素与径流、流速关系曲线图，检查分析其变化趋势和关系曲线相应关系的合理性；

2)采用卫星遥感计算的长时序径流并做流量过程线进行资料整编的河道，绘制河宽、流速、面积和径流过程线图，对照检查各要素变化过程的合理性；

3)当发现径流值反常时，检查分析反常的原因，对无法进行改正而具有控制性的河道，宜结合卫星影像，并到现场对河段情况进行勘察，修正河道断面选取位置，重新计算。

## 12 成果整理与上交

### 12.1 径流监测成果

卫星遥感径流监测成果包括径流数据和数据说明，具体要求如下：

a)径流数据说明，包括监测站点位置信息、实地测量时间、站点编号、所在行政区、河流名称、所在流域、径流计算时间跨度、使用卫星类型及时空分辨率；

b)径流数据应采用电子版表格形式，表格内容应包含监测站点名称、数据计算日期（格式：流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号）、对应数据日期的径流数据，径流数据单位；

c)径流数据保留 2 位小数，单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ 。



## 12.2 数字河道成果

计算过程中生成的数字河道，宜采用 TXT 文本或 XLSX 表格形式，名称宜采用“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号”提交。

## 12.3 测量数据成果

卫星遥感径流监测断面、水深、流速、坡降等数据的整理汇编应满足以下要求：

- a) 实测的河道断面地形测点、水深、流速、坡降及选用的糙率需按照附件表格填写并进行汇编，将纸质版和电子版按照“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号”格式整理存储；
- b) 河道断面实测过程和仪器信息需要整理汇编，记录内容包括断面信息、使用仪器类型等；
- c) 数字正射影像（DOM）与数字表面模型（DSM）整理汇编，文件夹名称按照“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号+DOM/DSM”保存，数据格式为 TIFF 格式；
- d) 卫星数据整理汇编，文件夹名称按照“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号+卫星遥感数据”保存，数据格式为 TIFF 格式。

## 12.4 相关图件成果

卫星遥感监测断面的图件整理汇编具体要求如下：

- a) 监测断面主要的图鉴包括断面空间分布图、断面景观图、工作照片、径流统计分析图、正射影像图；
- b) 正射影像图制图标准应符合 GB/T 45792 和 DZ/T 0265 的要求；
- c) 断面空间分布图制作应符合 SL 730 的要求；
- d) 断面景观图、工作照片、径流统计分析图可分类整理存储，数据命名按照“流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号+数据名称”方式存储。

## 12.5 上交成果

上交成果应包括：

- a) 径流成果：通过验证的监测断面径流数据集，格式宜为流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号；
- b) 水面宽成果：通过验证的水面宽数据集，格式宜为流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号；
- c) 数字河道成果：监测断面的数字河道文件，格式宜为流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号。

附录 A  
(资料性)  
河道断面基础信息测量方法

A.1 河道断面基础信息测量方法

A.1.1 河道地形无人机测量方法

根据所选监测断面位置，测量人员到达现场后开展无人机野外控制飞行。根据工作及现场地形和建筑物条件设置无人机飞行高度，以河道为中心设置飞行航线。根据预设航带、高度、控制点开展控制飞行，飞行时保证每次起飞点高度统一，每条航带保持相同的飞行高度，同时相邻两景影像的航行重叠度和旁向重叠度，以便进行后续影像的几何校正和拼接。对无人机设置不同的航高、重叠度以及航线数，来获取野外实验数据，具体飞行参数如表 A1。

表 A.1 无人机飞行不同飞行高度设置参数

航高/m	影像数量	飞行架次	航线数量	重叠度
50	264	2	12	90%
60	208	2	9	90%
70	166	2	8	90%
80	119	2	7	90%
90	96	1	6	90%
100	95	1	6	90%

A.1.1.1 无人机航测设置

无人机航测设置要求具体如下：

- a) 航拍时选择垂直拍摄，并根据拍摄需要设置照片为 JPG 或者 RAW 格式。当航线飞行结束后，调整摄像头，手动拍摄包含河道断面、天空、地物等特征的景观照留存；
- b) 为保证拍摄质量，尽量选择晴朗，少风的天气进行拍摄。

A.1.1.2 航测信息与数据保存

航测信息与数据保存的具体要求如下：

- a) 为了保证多次飞行时起飞点的一致性，应用点之记对无人机落点的位置坐标及其和周边地物的距离关系等信息进行记录；
- b) 无人机飞行结束后应立即查看数据，数据无误后现场导出并存储数据，数据文件编号与站点号同名。

A.1.1.3 航测数据处理

采用合适的拼图软件将无人机影像进行自动化处理，并生成正射影像（DOM）与数字表面模型（DSM），获取 TIFF 文件；文件数据名称宜为流域代码+河流名称+YYYY+MM+DD+断面序号

+P+DOM/DSM 方式存储。

A. 1. 2 河道地形其他测量方法

如果无法采用无人机获取断面水上地形，也可采用 RTK 或者激光雷达获取；RTK 测量时根据选定的断面，从河流左岸起每隔 0.5 米获取高程数据，后期可利用插值生成完整河道断面；利用激光雷达测量断面需要正射测量河道断面，后期通过数据处理及插值获得完整河道断面。

A. 1. 3 河道水深测量方法

针对不同形态的河道，水深测量包括但不限于涉水测量、无人船测量、水深声呐探测、人工船测等方法，具体的要求如下：

- a)应在水位平稳时期沿河宽进行水深连续探测，当水面宽度大于 25m 时，垂线数目不得小于 50 条；当水面宽度小于或等于 25m 时，可按最小间距为 0.5m 布设测深点；
- b)河道较为平缓、水深较浅且不超过 50cm 的河流，推荐涉水测杆测量方法；
- c)流速较为缓慢、水深超过 50cm 的河流，推荐无人船和声呐探测方法，将无人船或声呐探测器垂直置于水面以自动获取水深数据；
- d)河宽较大，水深较深的大型河流，推荐无人船或人工船测方法；
- e)多点观测困难时，水深测量要求在河面中心与岸边 1/4 处最少测量 3 个位置水深数据，每个位置至少测量 3 次以求均值。

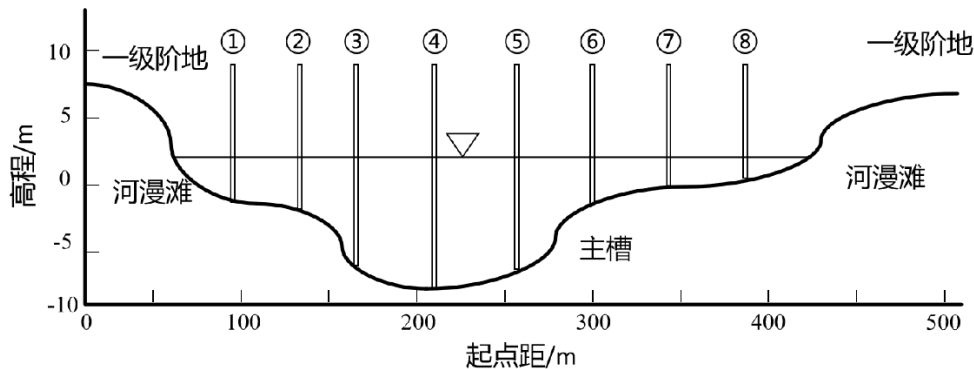


图 A.1 水深测量测点空间分布示意图

A. 1. 4 河道水流流速测量方法

A. 1. 4. 1 河道水流流速测量方法

河道水流流速测量方式选择可采用以下方法：

- a)流量测验按照“准确、便捷、机动”的原则，当拥有无人船或测验船等便捷手段时，选择多线、多点、长历时的方案，具体见 GB50179，垂线上测点流速位置分布见表 A.2；
- b)当不具备良好的测量条件时，可选择 1 根测验垂线，进行单点法测验，且充分利用便携、满足精度要求的流速测验方法进行实地测验；
- c)布设测速垂线时尽量靠近断面中泓线的位置或大致均匀分布，并能基本控制断面地形和流速沿河宽分布的主要转折点，主槽河滩垂线宜相对布设较密。

表 A.2 垂线上测点流速位置分布

测点数	相对水深位置	
	畅流期	冰期
1	0.6 或 0.5、0.0、0.2	0.5
2	0.2、0.8	0.2、0.8
3	0.2、0.6、0.8	0.15、0.5、0.85
5	0.0、0.2、0.6、0.8、1.0	
6	0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0	
10	0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0	

## A. 1. 4. 2 测速垂线的位置设置方法

测速垂线的位置宜固定，当发生下列情况之一时，应随时调整或补充测速垂线：

- a)水位涨落或河岸冲刷，使靠岸边的垂线距岸边太远或太近时；
- b)断面上出现死水、回流，需确定死水、回流边界或回流流量时；
- c)河底地形或测点流速沿河宽分布有明显变化时；
- d)冰期的冰花分布不均匀或测速垂线上冻时；
- e)冰期在靠近岸冰与畅露河面分界处出现岸冰时。

## A. 1. 4. 3 流速仪法

满足下列条件的，宜采用流速仪法：

- a)断面内大多数测点的流速不超过流速仪的测速范围；
- b)垂线水深不应小于用单点法测速的必要水深；
- c)在一次测流的起讫时间内，水位涨落差不应大于平均水深 10%；水深较小和涨落急剧的河流不应大于平均水深的 20%；
- d)流经测流断面的漂浮物不应影响流速仪的正常运转。

## A. 1. 4. 4 浮标法

满足下列条件的，宜采用浮标法：

- a)流速仪测速困难或超出流速仪测速范围和条件的高流速、低流速和小水深等情况；
- b)垂线水深小于流速仪法中单点法测速的必要水深；
- c)水位涨落急剧，使用流速仪测流的水位涨落差超过平均水深的 10%；水深较小和涨落急剧的河流超过平均水深的 20%；
- d)水面漂浮物太多，影响流速仪的正常旋转；
- e)出现分洪、溃口洪水。

A. 1. 4. 5 电波流速仪法

对于超出常规手段的流速仪测速范围，无明显漂浮物，且无法利用其他测速手段的水流测量，宜采用电波流速仪法。

A. 1. 5 河道坡降测量方法

河道纵向坡降的测量可采用以下方法进行：

a)单站 RTK 卫星定位测量方法，通过单个移动站 RTK 与卫星信号的结合，在野外测量河道高程与位置；

b)具体测量时河岸边与水面接触部分的河岸进行测量，测量河岸必须设定在无人机飞行航带内，沿测流断面向上、向下各 200m 布设，每 30m ~ 50m 布设一个点位进行测量。

A. 1. 6 河道糙率选取方法

河道糙率的选取可采用查找表方法，具体数值可参考表 A.3。特殊河道形态糙率选取如下：河道较大时（汛期水面宽大于 30m），取值范围为 0.025 ~ 0.100；复式河道时（过水断面含滩地与植被），取值范围为 0.025 ~ 0.200；人工渠道糙率，视护面与衬砌的光滑程度，取值范围为 0.010 ~ 0.030，一般低于 0.015。

表 A.3 天然河道糙率查找表

	河段特征			糙率取值范围
	河床及床面特征	断面及水流形态	岸壁特征	
1	沙质，床面平整	河段顺直，断面规整，水流畅	土质或土沙质，形状较整齐	0.020 ~ 0.024
2	岩石，砂砾石或卵石组成，床面较平整	河段顺直，断面规整，水流畅	土沙或石质，形状较整齐	0.022 ~ 0.026
3	沙质，河底不平顺	上游顺直，下游接缓弯，水流不够通畅，有局部汇流	黄土，有杂草	0.025 ~ 0.026
	沙砾或卵石，底坡较均匀，床面较平整	河段顺直段较长，断面较规整，水流较通畅，基本无死水、斜流或回流	砂土、岩石，略有杂草、小树，形状较整齐	0.025 ~ 0.029
4	细砂，河底有稀疏水草或生物植物	河段不够顺直，上下游附近弯曲，水流不通畅	岸壁坍塌为锯齿状，有杂草与灌木	0.030 ~ 0.034
	砾石或卵石，底坡较均匀，床面不平整	顺直段距上弯段不远，断面较规整，水流较通畅，斜流或回流不明显	石质或砂土，坡陡，形状较整齐，有杂草、小树	0.030 ~ 0.034
5	卵石、块石，底坡较均匀，床面不平整	顺直段夹于两弯道之间，断面尚规整，有斜流、回流或死水	石质，坡陡，形状较整齐，有杂草、小树	0.035 ~ 0.040
6	卵石、块石、乱石、大石块，床面不平整，底坡有凹凸状	河段不顺直，不整齐，水流不通畅，落差大，水流急	岩石或沙石，有杂草、树木，崎岖不平整	0.040 ~ 0.070

## 附录 B

(资料性)

## 卫星遥感水面宽提取方法

## B.1 卫星遥感水面宽提取方法

## B.1.1 卫星遥感数据选择

卫星遥感数据可选择中国高分系列卫星、水利一号卫星、欧洲哨兵系列卫星和美国陆地卫星系列，其中哨兵系列卫星和陆地系列卫星可免费获取，具体的数据选择和处理可采用如下方法：

a) 当监测时段在哨兵卫星-2（重返周期 10 天、空间分辨率 10m）卫星发射之后时，优先使用哨兵卫星-2 光学卫星的遥感数据，在长时间序列的历史数据回溯时根据需要结合陆地卫星数据（重返周期 16 天、空间分辨率 30m）；

b) 当云层覆盖造成在监测时段内可用光学遥感数据量较少时，需要通过哨兵-1 雷达数据影像（重返周期 12 天、空间分辨率 5m×20m）以补充受云覆盖影响而缺失的河流水面宽信息。

## B.1.2 卫星遥感数据处理

对光学卫星遥感影像进行辐射校正，基于校正后的绿光波段和近红外波段，计算 NDWI 以区分影像上表示水体和陆地信息的像元，计算公式如下：

$$NDWI = (\rho_{Green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{Green} + \rho_{NIR}) \quad (1)$$

式中， $\rho_{Green}$  和  $\rho_{NIR}$  分别为遥感影像中绿光波段和近红外波段的反射率。

混合像元分解法提取河流水面宽度的计算公式为：

$$W = \sum_{i=1}^x \begin{cases} \frac{PA}{VL} & NDWI^i > NDWI_{WT} \\ \left( \frac{NDWI^i - NDWI_{LT}}{NDWI_{WT} - NDWI_{LT}} \right) * \frac{PA}{VL} & NDWI_{LT} < NDWI^i < NDWI_{WT} \\ 0 & NDWI^i < NDWI_{LT} \end{cases} \quad (2)$$

式中， $W$  为水面宽度，m； $x$  河谷感兴趣区总像元数； $NDWI^i$  为像元  $i$  的 NDWI 数值； $NDWI_{LT}$  和  $NDWI_{WT}$  分别是陆地和水域 NDWI 的阈值； $PA$  为像元的实际面积， $m^2$ ； $VL$  为所选择河谷感兴趣区的长度，m。

参 考 文 献

- [1] GB/T 22482 水文情报预报规范
  - [2] GB/T 24354 公共地理信息通用地图符号
  - [3] GB 35650 国家基本比例尺地图测绘基本技术规定
  - [4] GB/T 50095 水文基本术语和符号标准
  - [5] GB/T 50138 水位观测标准
  - [6] GB 50179 河流流量测验规范
  - [7] SL 34 水文站网规划技术导则
  - [8] SL 195 水文巡测规范
  - [9] SL 196 水文调查规范
  - [10] SL 460 水文年鉴汇编刊印规范
-