|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 天气 气候 水 | **世界气象组织**  **观测、基础设施与信息系统委员会**  **第三次届会** 2024年4月15至19日，日内瓦 | **INFCOM-3/文件8.2(4)** |
| 提交者： 主席  2024.4.15  **APPROVED** |

**议题8： 技术决定**

**议题8.2：** **WMO全球综合观测系统 – 测量**

# 更新《水文实践指南》第一卷（WMO-No. 168）



# 总体考虑

**简介**

[《水文实践指南》](https://library.wmo.int/records/item/35804-guide-to-hydrological-practices-volume-i?offset=2)（WMO-No.168）的上一次修订版于2008年发布，考虑到技术和实践的进步，对其进行审查和更新已成为当务之急（请参见[决定草案6.1/1 (INFCOM-3)](https://meetings.wmo.int/INFCOM-3/English/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2FINFCOM%2D3%2FEnglish%2F1%2E%20DRAFTS%20FOR%20DISCUSSION&FolderCTID=0x0120004D58D6EBC5C7054898FF36E91D58C193&View=%7B84F6CC21%2D2DD6%2D403B%2DB16A%2D97A4B833DE2B%7D) ）。在秘书处的支持下，水文监测联合专家组（JET-HYDMON）和水文服务常设委员会（SC-HYD）初步审查了最迫切需要审查、更新和补充的专题。其中缺失的部分包括没有提及基于图像的排放测量方法。HydroHub智囊团的专家与JET-HYDMON以及流量测量仪器和技术评估项目（X项目）管理委员会的成员合作，起草了一份文本草案，SC-MINT编辑委员会也对该草案进行了审查，并将他们的反馈意见纳入了拟议的文本草案。

**预期行动**

根据上述情况，INFCOM似宜通过决议草案，在[《水文实践指南》](https://library.wmo.int/records/item/35804-guide-to-hydrological-practices-volume-i?offset=2)（WMO-No.168）中增加拟议的新章节5.3.7.6 - 基于图像的流量测量方法。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# 决议草案

## 决议草案8.2(4)/1 (INFCOM-3)

### 更新《水文实践指南》第一卷（WMO-No. 168）

观测、基础设施与信息系统委员会，

**忆及**[《水文实践指南》第一卷“水文 - 从测量到水文信息”](https://library.wmo.int/records/item/35804-guide-to-hydrological-practices-volume-i?offset=2)（WMO-No.168）（以下简称“指南”）全面介绍了目前的水文业务实践、程序和仪器（从测流到预报和管理），可供各会员的国家水文部门用来实施[《技术规则》第三卷“水文”](https://library.wmo.int/records/item/35631-technical-regulations?offset=4)（WMO-No.49）中的条款；

**考虑到**《指南》的上一次修订是在2008年发布的，因此该文本没有充分反映水文技术和实践的最新进展，

**注意到**水文监测联合专家组（JET-HYDMON）和气象、气候、水文、海洋及相关环境服务与应用委员会（SERCOM）水文服务常设委员会（SC-HYD）在秘书处的支持下，对最急需审查、更新和补充的专题进行了初步审查，其依据之一是没有提及基于图像的流量测量方法，

**另注意到**秘书长有责任出版“[决议47 (Cg-19)](https://library.wmo.int/viewer/68471/download?file=1326_zh.pdf&type=pdf&navigator=1#page=475) – 第十九财务期的WMO强制性出版物和分发政策”中通过的出版物，包括随后的纯编辑性修订，

**通过**对[《水文实践指南》第一卷](https://library.wmo.int/records/item/35804-guide-to-hydrological-practices-volume-i?offset=2)（WMO-No.168）的拟议更新，增加新的第5.3.7.6 节 - 基于图像的流量测量方法，见本决定的[附件](#annex)；

**要求**各常设委员会在其职责范围内，与SERCOM合作，定期审查《指南》，并在必要时进行更新。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## 决议草案8.2(4)/1 (INFCOM-3)的附件

**5.3.7.6 基于图像的流量测量方法**

基于图像的方法成本低、效率高，可在连续的帧间进行示踪，然后利用帧间的时间间隔将其转换为表面速度。在众多方法中，表面图像测速测量方法可分为以下几类（ISO 748，2021）：

• 粒子图像测速（PIV）方法（应用于河流尺度时也称为大尺度PIV（Fujita等人，1994年；Muste等人，2008年））以交叉相关（模式匹配）算法为基础，非常适合湍流模式或泡沫等自然示踪物密集的水流；

• 粒子跟踪测速（PTV）（Lloyd, Stans by和Ball，1995年）是一种拉格朗日方法，用于跟踪固体和稀疏示踪剂（如碎片或人工播云）的轨迹；

• 其他光流方法利用图像中亮度模式的明显移动来获取速度分布（Barron、Fleet、Beauchemin和Burkitt，1994年）；

• 时空图像测速仪（STIV）（Fujita、Watanabe和Tsubaki，2007年）在垂直于横断面的多条分析线上测量一维地表速度。速度是根据每条分析线的综合时空图像计算出来的，这些图像根据表面示踪剂在距离和时间上的移动形成一个角度模式。

PIV、PTV和其他光流方法可以测量大面积的瞬时二维表面速度。当示踪粒子极小且分布稀疏时，STIV是一种稳健的速度估算方法。无论使用哪种方法，它们都必须执行相同的处理步骤：

(i) 录制河段视频；

(ii) 视频预处理（稳定化、二次采样、图像增强、图像配准......）；

(iii) 对图像进行正交校正，以纠正透视失真，并将图像缩放到现实世界的坐标系中；

(iv) 通过跟踪每种方法所描述的时间和空间的可见模式，确定表面速度（注意，步骤 iii)和iv)可以互换）；

(v) 后处理（主要是滤波和时间平均）；

(vi) 计算流量。流量计算需要一个或多个横断面的断面水深和水位，以及将表面速度转换为深度平均速度的有效方法或假设。

可通过固定摄像站点、手持摄像机（或智能手机相机）和无人飞行器（UAV，又称无人机）录制视频，具体取决于可用设备和调查河段的规模。非专业观测人员拍摄的视频也可进行处理，尤其是作为洪水后估测调查的一部分（Boursicaud等人，2016年；Le Coz等人，2016年）。可见光光谱红-绿-蓝 (RGB) 相机经济实惠，易于获取，可提供相对高分辨率的图像，但仅限于可见光，在没有外部光源的情况下无法捕捉夜间图像。 可使用近红外 (NIR) 相机进行夜间测量（可能需要额外的近红外光源）。例如跟踪相机或一些去掉近红外滤光片的红外照相机（Hutley等人，2023年）。表面图像测速的顶峰是使用高性能热红外（即长波红外）照相机（Schweitzer和Cowen，2021年）。这些相机可以在白天或夜间使用，利用表层水的微妙温差作为示踪剂。这些相机虽然有效，但目前过于昂贵和精密，不适合常规部署。

正射是通过简单的几何缩放来实现的，如无人机拍摄的视频指向天底，或通过更复杂的二维或三维摄影测量方程来实现斜角。正射影像需要地面控制点（GCP：可在图像上看到的已知世界坐标点）或摄像机的内在和外在参数知识。GCP由视频中可识别的特征组成，可按要求勘测XYZ坐标。GCP可在视频采集前或采集后勘测，且必须在图像上可见（即必须大于全分辨率下的最小像素尺寸）。GCP XYZ数据在像素坐标和真实世界坐标之间建立了一个校准，该校准对固定摄像机安装中的所有视频都有效，摄像机的分辨率、变焦、俯仰、滚动和偏航都保持不变。这样，即使GCP不再可见（例如在涨水时被淹没），也能处理视频。

要使用基于图像的方法计算流量，就必须知道深度平均流速、水位（深度或水位）和断面水深；这些数据要么是独立测量的，要么是估算的。其他表层流速方法，如浮标、近表层流速计和雷达，可测量某一点的表层流速，但也可用于估算流量。表层流速通常与深度平均流速相关，其换算系数通常称为Alpha（Biggs等，2021年）。基于图像的方法采用中段或平均段法计算流量的速度面积法，因此遵循ISO 748中概述的大部分指导原则。基于图像的方法不确定性的主要来源包括：横截面测量（尤其是与洪水事件有关的测量）、Alpha、阶段、正射（Le Coz等人，2021年）。

最近，在创新利用PIV方面取得了重大进展，包括将PIV算法用于移动飞机河流测速(MARV)（Legleiter等，2023）以及将大尺度PIV用于小型无人飞机系统（sUAS））以测量表层流速和流量（Duan等，2023）。此外，最近开发的开源软件现可用于处理图像，以协助从遥感源估计河道中的表层流速：将飞机图像用于河流测速的工具箱（TRiVIA）（Legleiter和Kinzel，2024年；Legleiter 2024年）。 *[美国]*

**参考文献和推荐读物**

Fujita, Ichiro, and Saburo Komura, 1994: *Application of Video Image Analysis for Measurements of River-Surface Flows*. Proceedings of Hydraulic Engineering 38: 733–38.

Biggs, H., et al., 2021: *River discharge from surface velocity measurements-A field guide for selecting alpha*. Envirolink Advice Report. Christchurch, New Zealand.

Australian Water monitoring, N. I., 2021: Part 11: Application of surface velocity methods for velocity and open channel discharge measurements NI GL 100.11–2021. Water Monitoring Standardization Technical Committee – Bureau of Meteorology.

Barron, J., Fleet, D., Beauchemin, S., & Burkitt, T., 1994: *Performance of optical flow techniques*. International Journal of Computer Vision.

Fujita, I., Watanabe, H., & Tsubaki, R., 2007: *Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: the space-time image velocimetry* (STIV). Int. J. River Basin Manage., 5, 105-114. doi:10.1080/15715124.2007.9635310.

Hutley, N. R., Beecroft, R., Wagenaar, D., Soutar, J., Edwards, B., Deering, N., Grinham, A & Albert, S., 2023: *Adaptively monitoring streamflow using a stereo computer vision system*. Hydrology and Earth System Sciences, 27(10), 2051-2073. https://doi.org/10.5194/hess-27-2051-2023.

ISO 748:2021 Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements

Jérôme Le Coz, Antoine Patalano, Daniel Collins, Nicolás Federico Guillén, Carlos Marcelo García, Graeme M. Smart, Jochen Bind, Antoine Chiaverini, Raphaël Le Boursicaud, Guillaume Dramais, Isabelle Braud: *Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.036

Legleiter, C. J., Kinzel, P. J., Laker, M., & Conaway, J. S. (2023). Moving aircraft river velocimetry (MARV): Framework and proof-of-concept on the Tanana River. Water Resources Research, 59, e2022WR033822. [https://doi.org/10.1029/2022WR033822](https://doi.org/10.1029/2022WR033822" \t "_blank)

Legleiter, C.J., and Kinzel, P.J., 2024. A framework to facilitate development and testing of image-based river velocimetry algorithms. Earth Surf. Process.  Landforms.2024;49:1361–1382. [https://doi.org/10.1002/esp.5772](https://doi.org/10.1002/esp.5772" \t "_blank)

Legleiter, C.J., 2024, TRiVIA - Toolbox for River Velocimetry using Images from Aircraft (ver. 2.1.1, March 2024): U.S. Geological software release, [https://doi.org/10.5066/P9AD3VT3](https://doi.org/10.5066/P9AD3VT3" \t "_blank). [美国]

Lloyd, P., Stansby, P., & Ball, D., 1995: *Unsteady surface-velocity field measurement using particle tracking velocimetry*. J. Hydraul. Res., 33, 519–534. doi:10.1080/00221689509498658

Muste, M., Fujita, I., & Hauet, A., 2008: *Large‐scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. Water resources research*, 44(4). doi:10.1029/2008WR006950

Raphaël Le Boursicaud, Lionel Pénard, Alexandre Hauet, Fabien Thollet, Jérôme Le Coz. Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. https://doi.org/10.1002/hyp.10532

Schweitzer, S. A., & Cowen, E. A., 2021: *Instantaneous River-Wide Water Surface Velocity Field Measurements at Centimeter Scales Using Infrared Quantitative Image Velocimetry*. Water Resources Research, 57. doi:10.1029/2020WR029279

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_