ICS 17.120
CCS P12

团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

图像识别法河流流量测验规范

Code for discharge measurement of image recognition in open channels

（报批稿）

20XX-XX-XX 发布 20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 **发布**

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 总体要求 2
5 仪器设备及安装 2
5.1 仪器设备 2
5.2 安装与标定 2
6 流速测量和流量计算 3
6.1 一般规定 3
6.2 流速测量 3
6.3 垂线水面流速系数与断面综合流量系数确定 3
6.4 流量计算 4
6.5 误差来源与控制 4
附录 A（规范性）地面标定点布设与标定方法 6
附录 B（规范性）图像识别法河流流量计算表与成果 8
附录 C（资料性）流速时空图像法流速测验原理 10

前　　言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，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这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会，以便今后修订时参考。

本文件主编单位：武汉大学、长江水利委员会水文局。

本文件参编单位：水利部水文水资源监测预报中心、黄河水利委员会水文局、海河水利委员会水文局、珠江水利委员会水文局、淮河水利委员会水文局、贵州省水文水资源局、福建省水文水资源勘测中心、湖北省水文水资源中心、四川省水文水资源勘测中心、浙江省水文管理中心、广东省水文局、安徽省水文局、河北省水文勘测研究中心、湖南省水文中心、陕西省水文水资源勘测中心、山东省水文中心、黑龙江省水文水资源中心、郴州市水利局、武汉大水云科技有限公司、河南黄河水文科技有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司。

本文件主要起草人：陈华、刘炳义、王俊、张亭、吴琼、王兵、李兰涛、李春丽、熊佳、王衡生、王贝、邓山、陈玺、闫金波、李树森、拓展翔、徐嘉、吴益华、李建梅、杨珍、李翔、胥金、何锡君、曾维汉、化锋、纪春学、李广源、董号强、衣学军、刘继军、张怡雯、赵秀娟、丁韶辉、胡林涓、刘维高、项伍林、钦照明、杨恺。

本文件主要审查人：

图像识别法河流流量测验规范

1 范围

本文件规定了图像识别法河流流量测验所涉及的总体要求、仪器设备及安装、流速测量和流量计算等技术要求。

本文件适用于天然河流和人工河渠的流速时空图像法流量测验，其他图像方法流量测验可参照执行。

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 28181 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求

GB/T 41368 水文自动测报系统技术规范

GB/T 50095-2014 水文基本术语和符号标准

GB/T 50138 水位观测标准

GB 50179 河流流量测验规范

SL 58 水文测量规范

SL 651 水文监测数据通信规约

3 术语和定义

GB/T 50095-2014界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

图像识别法 image recognition flow

利用摄像设备获取一段时间内的水流图像，经计算水流表面流速，采用流速面积法计算流量的测验方法。

3.2

测速线 velocity line

图像中用以计算具有灰度变化特征的水面单元沿水流方向运动速度的线段。

3.3

流速时空图像法 space-time image velocimetry

通过测量一段时间内测速线(3.2)上具有显著灰度特征像素单元的运动距离，并计算流速的方法。

3.4

地面标定点 ground calibration point

测验河段内用以建立图像坐标系与给定坐标系映射关系的控制点。

4 总体要求

4.1 测验河段选择应符合 GB 50179 的相关规定。
4.2 仪器设备的通信组网、防雷及供电应符合 GB/T 41368 的相关规定。
4.3 视频传输应符合 GB/T 28181 的相关规定，数据传输应符合 SL 651 的相关规定。
4.4 单台摄像机图像覆盖断面河宽范围不宜超过 100m，当测验断面河宽超过 100m 时宜采用多个摄像机组合方式，且图像重叠范围宜不小于单台摄像机拍摄范围的 5%。
4.5 采用图像识别法测验的基本水文站，测验河段不同水位级或流量级的垂线水面流速系数应比测率定。
4.6 采用图像识别法测验的各类精度基本水文站，单次流量测验允许误差可参照 GB 50179 表 C.1.4 或表 1 执行，专用水文站宜根据设站目的和测验场景设定。

表 1 图像识别法单次流量测验允许误差

站　类	误 差 指 标（%）	
	总不确定度	系统不确定度
一类精度站	10	-2～1
二类精度站	11	-2～1
三类精度站	12	-2.5～1

5 仪器设备及安装

5.1 仪器设备

5.1.1 图像识别法河流流量测验仪器设备应包括摄像机和算法处理器。算法处理器根据安装现场供电与通信条件，可选择边缘终端处理器或算法服务器，如图1和图2所示。

图 1 边缘处理器型图像识别法仪器构成

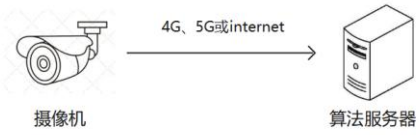


图 2 算法服务器型图像识别法仪器构成

5.1.2 摄像机应满足下列要求：
a) 图像分辨率不低于 1920dpi×1080dpi；
b) 具备畸变矫正功能；
c) 视频图像编码格式符合 GB/T 28181 的相关规定。

5.1.3 边缘终端处理器内存宜不小于 4GB，存储容量宜不小于 256GB；算法服务器内存应不小于 8GB，存储容量应不小于 1TB。

5.2 安装与标定

5.2.1 摄像机安装要求如下：
a) 摄像机拍摄范围应覆盖测验河段水面；
b) 沿水流方向图像长度与宽度的比值宜为 3:1；
c) 摄像机拍摄俯角应不小于 15°；
d) 摄像机应固定安装，高度和视角保持不变。

5.2.2 摄像机安装完成后应布设地面标定点，并进行坐标标定。地面标定点的布设与标定应符合附录A相关规定。

6 流速测量和流量计算

6.1 一般规定

6.1.1 流量测验时应同步观测水位，水位观测应符合GB/T 50138有关规定。
6.1.2 采用图像识别法测流的测站应定期进行断面测量，断面测量应符合SL 58有关规定；借用断面应符合GB 50179有关规定。
6.1.3 单次流速计算采用的视频历时宜为5s~30s。
6.1.4 采用图像识别法测流时，应根据具体情况，选取每2min~5min流量平均值作为单次流量测验成果。
6.1.5 洪水期测验频次宜为每间隔5min~10min测量一次，平枯水期测验频次宜为每间隔30min~60min测量一次或根据实际需求确定测验频次。
6.1.6 流量计算与成果记录宜参照附录B执行。

6.2 流速测量

6.2.1 流速测量应设置测速线，测速线设置密度不低于GB 50179中测速垂线布设相关规定，并根据本方法测验优势适当加密测速线。
6.2.2 流速时空图像合成及纹理角计算可参照附录C执行。

6.3 垂线水面流速系数与断面综合流量系数确定

6.3.1 基本水文站应开展垂线水面流速系数或断面综合流量系数比测试验。
6.3.2 垂线水面流速系数与断面综合流量系数比测率定应符合GB 50179的规定，比测方法宜采用流速仪、声学多普勒等方法。
6.3.3 垂线水面流速系数确定应符合以下要求：

a) 垂线水面流速系数的数量与测速线布设相对应；
b) 垂线水面流速系数按公式（1）计算：

$$k_i = V_i / v_i \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

i——图像识别法测流率定时测速线编号，i=1,2,…,n；

k_i——第 i 条测速线垂线水面流速系数；

V_i——满足GB 50179中规定的第 i 条垂线平均流速，单位为米每秒（m/s）；

v_i——由图像识别法率定时测得的测速线计算，并与 V_i 相同监测条件的第 i 条垂线水面流速，单位为米每秒（m/s）。

6.3.4 断面综合流量系数确定应按公式（2）计算：

$$K = Q_s / Q_f \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

K——断面综合流量系数；

Q_s——断面实测流量，单位为立方米每秒（m^3/s）；

Q_f——图像识别法所测得的虚流量，单位为立方米每秒（m^3/s）。

6.3.5 当测验河段的控制条件发生较大变化时，应及时对垂线水面流速系数进行校核，校核方式按6.3.3和6.3.4的要求进行。

6.4 流量计算

6.4.1 流量计算应采用流速面积法，有垂线水面流速系数的按公式（3）计算；有断面综合流量系数的按公式（4）计算。

$$Q=\sum_{j=1}^{n}k_j v_j A_j \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

Q——断面流量，单位为立方米每秒（m^3/s）；

j——图像识别法测流时测速线编号，j=1,2,…,n,j宜等于i；

k_j——第j条测速线垂线水面流速系数，k_j取值等于k_i；

v_j——图像识别法测流时所测得的第j条测速线水面流速，单位为米每秒（m/s）；

A_j——第j个部分面积，单位为平方米（m^2）。

$$Q=K\cdot Q_f \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

Q——断面流量，单位为立方米每秒（m^3/s）；

K——断面综合流量系数；

Q_f——图像识别法所测得的虚流量，单位为立方米每秒（m^3/s）。

6.4.2 不具备垂线水面流速系数和断面综合流量系数比测条件时，可按以下规定之一进行确定：

a) 借用本地断面形状和水流条件相似的测站断面综合流量系数，按照GB 50179相关规定进行流量计算；

b) 根据测验河段的断面形状和水流条件，选用合适的断面综合流量系数，具体取值应符合表2规定，断面流量计算按公式（4）。

表2 断面综合流量系数经验取值表

测验河段条件	干旱地区小河流	干旱地区大、中河流	湿润地区小河流	湿润地区大、中河流
K（一般情况）	0.70~0.80	0.80~0.85	0.75~0.85	0.85~0.90
K（特殊情况）	0.65~0.70		0.90~1.00	
注：1.一般情况是指天然河道自然流的测流场景；特殊情况是指系数受环境影响下的测流场景； 2.对于垂线流速梯度较小或水深较大的测验河段，宜取较大值；反之，宜取较小值。				

6.5 误差来源与控制

6.5.1 图像识别法流量测验误差来源包括以下方面：

a) 摄像机镜头畸变产生的误差；

b) 地面标定测量产生的误差；

c) 测验断面测量或借用断面成果产生的误差；

d) 水面流速系数率定产生的误差；

6.5.2 图像识别法流量测验误差控制主要包括以下措施：

a) 控制摄像机受风力影响的摆动和受强光、弱光影响的图像变形，对摄像机产生的图像畸变应及时进行图像校正；

b) 严格按照规范要求进行标定测量并进行复核；

c) 条件允许时尽量采用实测断面，并按有关测宽、测深规定控制断面测量误差；

d) 加强垂线水面流速系数比测试验分析；
e) 剔除大风、大雾、暴雨、暴雪等期间的测量数据。

附录 A
（规范性）
地面标定点布设与标定方法

A.1 地面标定点布设

地面标定点的人工标志宜采用塑料或金属材料和黑白相间图案制作，图案规定见 A.1，布设示意见图 A.2，布设要求如下：

a） 地面标定点数量应不少于 6 个，均匀布设在测验河段两岸；

b） 同岸地面标定点沿水流方向的间距应相同，高差宜在 30cm~50cm；

c） 相邻地面标定点应前后错开 30cm~50cm；

d） 地面标定点在图像中的尺寸应不小于 30 个像素。

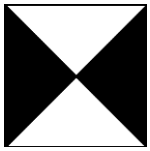
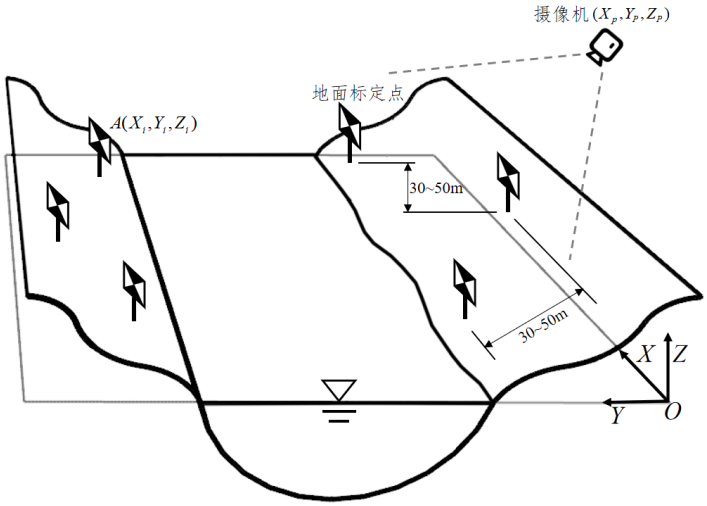
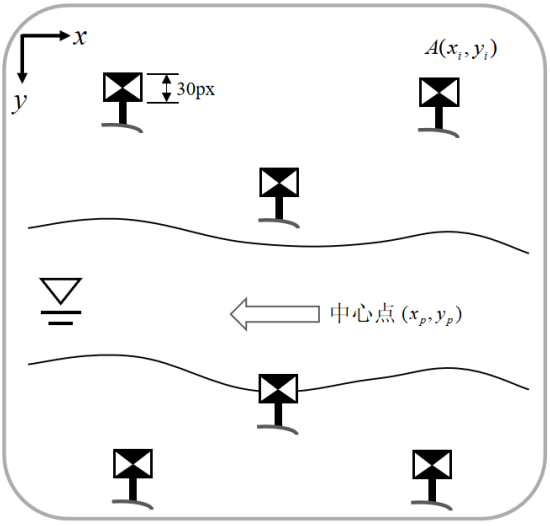


图 A.1 人工标志图案



(a) 给定坐标系



(b) 图像坐标系

图 A.2 地面标定点布设与坐标示意图

A.2 地面标定点测量

地面标定点的测量应满足下列要求：

a） 应测量摄像机镜头中心点给定坐标(X_p，Y_p，Z_p)，以及地面标定点给定坐标（X_i，Y_i，Z_i），给定坐标见图 A.2（a）。

b） 以给定坐标为基准点，使用全站仪按照先临岸、后对岸，从左至右的顺序测量地面标定点人工标志中心点的坐标。测量误差参照 SL 58 的有关规定，以摄影距离的相对中误差表示，误差范围一般为 1/1000~1/50000；

c） 使用摄像机获取地面标定点的图像，利用工具软件获取图像中地面标定点的图像坐标，图像坐标见图 A.2（b）；

d） 标志点位置不满足标定精度要求时应更换位置，位置移动后应重新测量人工标志坐标并进行图像标定，直到满足误差要求。

A.3 建立坐标系映射关系

根据摄像机标定结果来确定图 A.2 中的图像坐标系(x，y)与给定坐标系(X，Y，Z)的关系，二者关系由直接线性变换(DLT)表示：

$$\begin{cases} x = x_p + f\dfrac{r_{11}(X-X_p)+r_{12}(Y-Y_p)+r_{13}(Z-Z_p)}{r_{31}(X-X_p)+r_{32}(Y-Y_p)+r_{33}(Z-Z_p)} \\ y = y_p + f\dfrac{r_{21}(X-X_p)+r_{22}(Y-Y_p)+r_{23}(Z-Z_p)}{r_{31}(X-X_p)+r_{32}(Y-Y_p)+r_{33}(Z-Z_p)} \end{cases} \tag{A.1}$$

公式(A.1)中，(x_p，y_p)表示图像中心点的图像坐标，(X_p，Y_p，Z_p)表示摄像机的给定坐标系的坐标，f代表焦距，r_{ij}是图像坐标系与给定坐标系之间的转换系数。

为确定式(A.1)中的各个系数，需要在现场布设地面标定点，如图 A.2 所示，测量各个地面标定点给定坐标（X_i，Y_i，Z_i），以及确定各个地面标定点的图像坐标(x_i，y_i)，将其代入式(A.1)中以联立求解转换系数。在得到上述转换关系后，假设水面为水平面，即可以根据测速线起点和终点的图像坐标求得其给定坐标。

附录 B
（规范性）
图像识别法河流流量计算表与成果

B.1 图像识别法河流流量测验记录及计算应符合表B.1规定。

表B.1 图像识别法河流流量测验计算表

图像识别法河流流量测验计算表									
站点名称					测流时间				
测速线编号	起点距（m）	水位（m）	测速线水深（m）	测速线水面流速（m/s）	部分面积（m^2）	部分虚流量（m^3/s）	垂线水面流速系数（k）	部分平均流速（m/s）	部分流量（m^3/s）
断面流量（m^3/s）			断面面积（m^2）			断面平均流速（m/s）		断面综合流量系数（K）	

B.2 图像识别法河流流量测验成果记录应符合表B.2规定。

表 B.2 图像识别法测流成果表

图像识别法测流成果表						
站点名称						
测次编号	测流时间	水位（m）	流量 (m^3/s)	断面面积（m^2）	断面平均流速（m/s）	表面最大流速（m/s）

附录 C
（资料性）
流速时空图像法测验原理

C.1 原理介绍

河道水流遵循质量守恒定律，水流流动在较短的时间内通常可以认为满足连续性的假定。与此同时，河流表面的涟漪、波纹等流动特征的灰度变化可以看作天然水流示踪物，在忽略风的影响下，其运动速度近似等于水流表面流速，即天然水流示踪物对于水流有良好的跟踪性。示踪物运动轨迹可以使用三维时空域(x-y-t)来进行描述，如图C.1所示(图中黑色椭圆代表天然水流示踪物的位置)。在上述三维时空域(x-y-t)中，x-y代表水流运动所处的平面坐标系，t则代表运动时间。

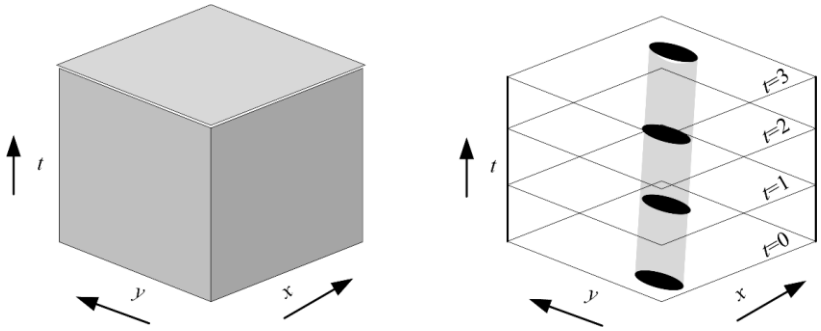
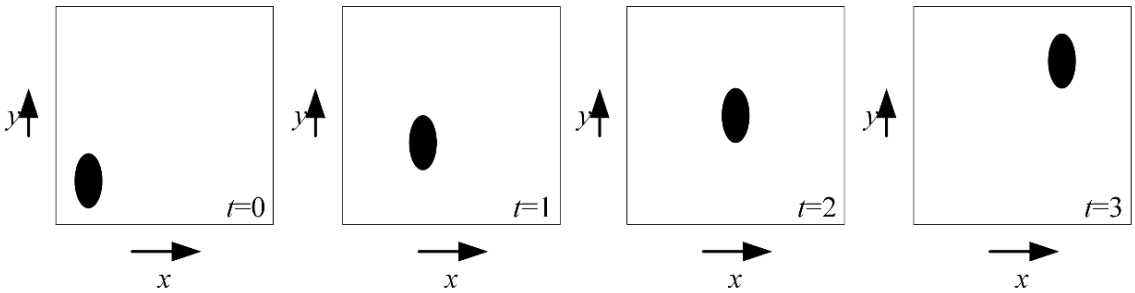
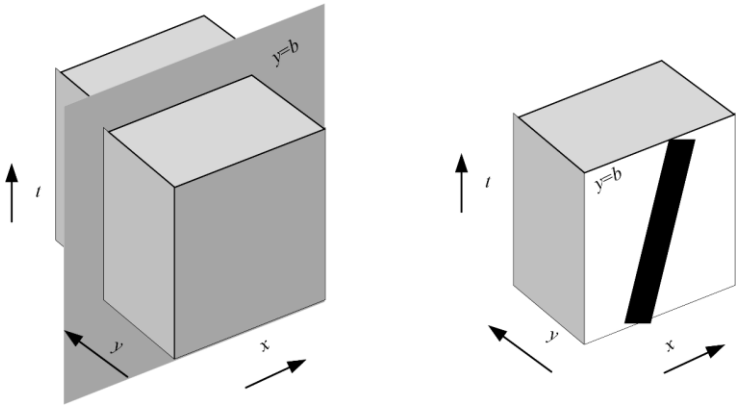


图 C.1 描述水流示踪物运动的三维时空域示意图

上述三维时空域(x-y-t)可以转化为 x-y，x-t，y-t 任意一种二维平面。如图C.2(a)展示了在某一时间序列(t=0，t=1，t=2，t=3)下天然水流示踪物在 x-y 平面上的运动轨迹图像。C.2(b)则展示了在某一位置处(y=b)，天然水流示踪物在 x-t 平面上的运动轨迹图像。



(a) x-y 平面



(b) x-t 平面

图 C.2 二维平面上的水流示踪物运动轨迹示意图

从图 C.2(b)中可以看出，在一维坐标方向(x 方向或者 y 方向)和一维时间序列(t)所组成的二维平面(x-t 平面或者 y-t 平面)中，天然水流示踪物的运动轨迹表现为较为显著的带有纹理的图像，纹理是由河流表面像素单元在某段时间内的运动所形成的，其可以反映出水流沿 x 方向或者 y 方向的运动速度。由于该图像中既包含了时间信息，又包含了空间信息，因此被称为时空图像。

为了能够直观且准确地反映河流表面灰度的变化，需要在所拍摄的河流图像中沿水流方向设置一系列测速线，逐帧提取每条测速线的灰度信息以合成该测速线的时空图像。流速时空图像法可以通过计算一段时间内测速线上具有显著灰度特征像素单元运动距离，测量水流速度。由于灰度的变化，在每幅时空图像中会呈现出带状纹理，带状纹理与 y 方向所夹的角度(纹理角)即反映了表面流速信息。

C.2 时空图像合成

为了获取沿水流方向的一维表面流动速度，需要将 C.2(b)中的 x 方向设定为河流流动方向，时间 t 则表示所拍摄水流视频中的每一帧。与此同时，需要在不同起点距 b_i 处沿水流方向设置一系列平行且等长的测速线，每条测速线的起点距即对应 C.2(b)中 y 方向的位置，即 $y=b_i$(i=1，2，3，…，n，n 代表测速线条数)。

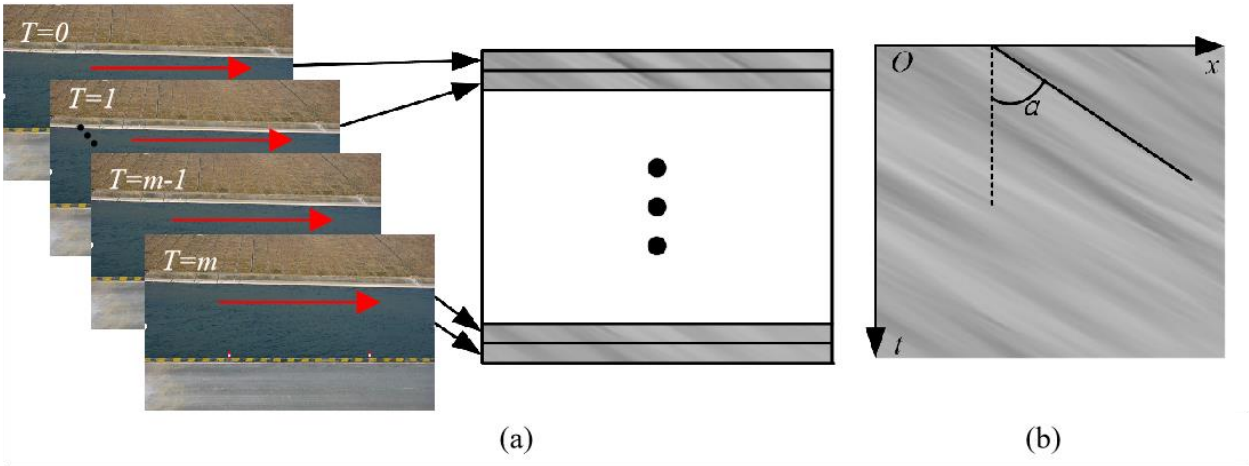


图 C.3 纹理图合成过程

从纹理图的合成过程可以看出，纹理图的横坐标(x 轴)代表测速线的长度，纵坐标(t 轴)代表视频的帧数，帧数由视频的拍摄时间和相机帧速率(fps)共同决定。

C.3 表面流速求解

假设在实际给定坐标中，涟漪、波纹等表面流动特征在时间 T 内沿测速线运动的距离为 L，相应地，如图 C.4 所示，在图像坐标系中则对应于在 k 帧内运动了 l 个像素，则测速线上的流速大小 v 为：

$$v=\frac{L}{T}=\frac{l\cdot S_x}{k\cdot S_t}=\tan\alpha\cdot\frac{S_x}{S_t} \tag{C.1}$$

式(C.1)中，α 为纹理角大小(单位：度)；S_x 代表测速线像素单元分辨率(单位：m/像素)，S_t 表示所拍摄得视频每帧的持续时间(单位：s/帧)。由于相机的帧率(fps，单位：帧/s)为 S_t 的倒数，即：

$$\mathrm{fps}=\frac{1}{S_t} \tag{C.2}$$

将式(C.2)代入式(C.1)可以得到流速的最终计算公式：

$$v = \tan\alpha \cdot S_x \cdot \mathrm{fps} \tag{C.3}$$

式(C.3)中，fps 一般为定值，与摄像机型号有关。

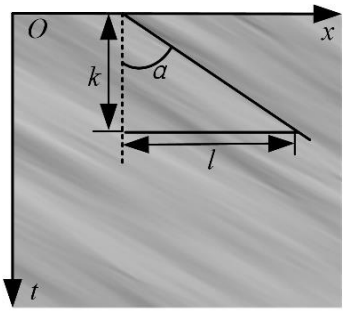


图 C.4 表面流速计算示意图