

ICS 96.160

CCS P59

SL

# 中华人民共和国水利行业标准

SL/T XXX—20XX

## 过鱼设施鱼类智能识别技术规范

Technical specification for intelligent recognition of  
fishes in fish passage facilities

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国水利部 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 符号和缩略语 .....	2
5 设备要求 .....	2
6 智能识别技术 .....	2
6.1 总体要求 .....	2
6.2 图像采集与传输 .....	3
6.3 图像增强 .....	3
6.4 前景提取 .....	4
6.5 检测识别 .....	4
7 验证方法 .....	4
7.1 种类识别 .....	4
7.2 数量统计 .....	5
8 监测信息整理与分析 .....	5
8.1 信息集成 .....	5
8.2 信息输出 .....	5
8.3 监测数据与数字孪生系统衔接设计 .....	5
9 运行管理 .....	5
9.1 一般规定 .....	5
9.2 监测要素和要求 .....	5
9.3 设备维护 .....	6
附录 A （资料性） 鱼类检测识别原理（以 YOLO 算法为例） .....	7
附录 B （资料性） 计算方法 .....	9
B.1 种类识别准确度 .....	9
B.2 数量统计准确率 .....	10
附录 C （资料性） 过鱼设施鱼类智能识别记录表样 .....	11

# 前 言

根据水利技术标准体系表安排，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》的要求起草本标准。

本标准共分为9章和3个附录，主要技术内容包括：

- 设备要求；
- 智能识别技术；
- 验证方法；
- 监测数据整理与分析
- 运行管理。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部信息中心

本标准解释单位：水利部信息中心

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准参编单位：华电西藏能源有限公司

水利部大坝安全管理中心

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：柳春娜 申剑 刘轶 余凌 杨元月 王鲁海 何定全 李锐 朱蒙恩 胡鹏 黄忠玉 李健源 卢佳 李磊 郑铁刚

本标准审查会议技术负责人：

本标准体例格式审查人：

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn，网址：<http://gjkj.mwr.gov.cn/jsjdl/bzcx/>），以供今后修订时参考。

# 过鱼设施鱼类智能识别技术规范

## 1 范围

本文件规定了鱼类智能识别技术用于过鱼设施效果监测的基本要求和方法。

本文件适用于鱼道、升鱼机工程的过鱼监测，监测数据可用于支撑水生态监测效果评估。

## 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 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备电磁兼容性要求 第 1 部分:通用要求

GB/T 28181 安全防范视频监控联网系统传输、交换、控制技术要求

GB 50311-2016 综合布线系统工程设计规范

GA/T 1154.5 视频图像分析仪 第五部分：视频图像增强与复原技术要求

NB/T 35054 水电工程过鱼设施设计规范

## 3 术语和定义

NB/T 35054 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**鱼类智能识别** intelligent recognition of fishes

通过人工智能的方式自动统计监测数据中鱼类种类和数量的过程。

### 3.2

**图像增强** image enhancement

强调图像的整体或局部特性，改善水下鱼类图像视觉效果的过程。

### 3.3

**动态图像** dynamic image

过鱼对象游动通过过鱼设施时的实时图像。

### 3.4

**前景提取** foreground extraction

通过图像处理的手段提取过鱼对象图像的过程。

### 3.5

**卷积神经网络模型** convolutional neural networks model

用于计算机视觉领域的深度学习算法，包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络。

### 3.6

**迁移学习** transfer learning

机器学习领域的重要分支，将从一个任务或领域（源领域）学到的知识迁移到另

一个相关但不同的任务或领域（目标领域），以提高学习效率和模型性能。

## 4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

Backbone—由多个层或模块组成的主干网络，用于提取输入数据的特征

Darknet-53—深度卷积神经网络

Faster R-CNN—两阶段目标检测模型（Faster Region Convolutional Neural Networks）

Fps—每秒帧数（Frames Per Second）

Gbps—宽带传输速率单位

IoU—交并比，目标检测中产生的候选框与原标记框的交叠率

Mbps—宽带传输速率单位

ms—毫秒，一种较为微小的时间单位

NTU—散射浊度单位，表明仪器在与入射光成 90° 角的方向上测量散射光强度

RTSP—实时流传输协议（Real Time Streaming Protocol）

RTMP—实时消息传输协议（Real-Time Messaging Protocol）

TB—太字节，计算机存储容量单位

TFLOPS—每秒浮点运算次数

UPS—不间断电源

YOLO—基于单个神经网络的目标检测系统（You Only Look Once）

YOLO head—YOLO 检测头，主要用于预测目标的种类和位置

TCP/IP—Transmission Control Protocol/Internet Protocol，传输控制协议/网际协议

## 5 设备要求

5.1 水下高清摄像头分辨率不宜低于 200 万像素。

5.2 水下设备防护等级应符合 GB/T 4208 规定的 IP68 等级要求。

5.3 应保证数据传输实时性，网络带宽不应低于 1000 Mbps；网络延时应低于 50 ms。

5.4 应确保供电可靠性，智能识别终端、录像机、交换机、水下补光设备应由不间断电源（UPS）供电，其容量应至少保证断电工作时间大于等于 1h。

5.5 智能识别终端算力单线路不宜低于 1 TFLOPS。

5.6 水下线缆应使用专用防水线缆，以太网电缆应符合 GB 50311-2016 表 3.2.1 规定的 E 级 6 类屏蔽电缆要求，传输速度不宜低于 1000 Mbps，光纤传输速度不宜低于 2.5 Gbps。

5.7 存储设备容量宜大于等于 8 TB，应满足大于等于一周的备份周期。

5.8 软件应实现数据采集、设备预警、用户管理、数据查询、数据推送等功能。

## 6 智能识别技术

### 6.1 总体要求

6.1.1 智能识别模型应支持迁移学习，适应不同流域的鱼类特征。

6.1.2 智能识别模型应满足实时推理延迟小于等于 200ms，宜兼容嵌入式设备。

6.1.3 智能识别模型的测试场景应包含浑浊水体、鱼群遮挡、快速游动。

6.1.4 智能识别模型可结合光学图像、声学图像，增强动态行为分析的准确性。

## 6.2 图像采集与传输

### 6.2.1 图像采集

6.2.1.1 水下图像采集设备宜包含高清摄像头、过鱼箱涵、补光设备和自清洁装置，其电磁兼容性和发射要求应满足 GB/T 18268.1 要求。

6.2.1.2 水下图像采集设备规格尺寸应根据过鱼设施的宽度和高度定制，上下游宜分别布置过水网和引导墙，宜选择过鱼设施通道最狭窄区域部署过鱼箱涵，并在监测通道之外的断面横截面区域采用过水网阻挡鱼类通过。应用于竖缝式鱼道时，宜部署监测通道紧邻竖缝且通道宽度与竖缝宽度一致。宜将高清摄像头应与监测区域尺寸相匹配，避免产生测量死角。

6.2.1.3 用于鱼道监测时，水下图像采集设备宜布置于鱼道的进口段和出口段，在具体布置点选择时应考虑鱼类在鱼道内部的行为特征规律，选择鱼类往复行为少的断面设置水下图像采集装置。用于升鱼机监测时，水下图像采集设备宜布置于升鱼机集鱼区域进口位置。

6.2.1.4 水下高清摄像头应实时获取过鱼设施鱼类的动态高清图像，自动保存有效过鱼影像，支持会话通道和媒体流通道的传输协议。

6.2.1.5 应用于浊度大于 30 NTU 浑水条件下，图像采集应符合下列要求：

- a) 采用浑水水下高清摄像机或浑水摄像辅助装置，或在水下摄像机的镜头前安装耐压的摄像罩，罩内封闭空腔内的介质为空气或清水，缩短光线在浑水传输过程中的路径。
- b) 采用摄像系统配置补光 LED 灯或搭建 LED 光壁等技术补光，选择过鱼对象的亲和光谱范围。
- c) 安装补光 LED 灯或 LED 光壁时需要注意产生斜侧光拍摄，宜确保光源的照射方向与镜头的拍摄方向成 30 度至 60 度夹角。
- d) 摄像通道内应部署清洁装置并具备手动或自动触发开启功能。

6.2.1.6 宜设置水下图像采集设备提拉设备和移动轨道，保障在过鱼设施通水状态下可提出水下图像采集设备检查维护。

6.2.1.7 应定期检查水下图像采集设备，开展密闭绝缘性、信号状态和传输通道测试。

6.2.1.8 过鱼设施运行期间，图像采集系统应保证连续不间断运行。

6.2.1.9 过鱼设施停运期间，宜将水下高清摄像头拆除保存；当设备不便于拆卸时，应做好防护措施。

### 6.2.2 图像传输

6.2.2.1 图像传输设备应包含高清摄像机储存端、传输线缆和客户接收端。

6.2.2.2 应建立符合 GB/T 28181 规定的流媒体连接，支持的实时最大传输帧率应高于 25 fps。实时传输协议宜采用常见的 RTSP、RTMP 等协议，满足图像传输的实时性要求。

6.2.2.3 视频流应具备实时读取并进行有效读取保存功能。

6.2.2.4 图像视频流应按固定的命名格式存储于指定的文件夹内，文件名中宜包含采集时刻、录制时长、通过数量等信息。

## 6.3 图像增强

6.3.1 因图像成像质量问题造成具备过鱼对象辨识能力的人员无法辨认图像中鱼类种类时，应开展图像增强处理。

- 6.3.2 图像增强性能应符合 GA/T 1154.5 的有关规定。
- 6.3.3 图像增强处理应根据实际图像和应用场景进行调整。
- 6.3.4 水下视频图像宜适当增加对比度和色度以补偿水下光线条件。

#### 6.4 前景提取

- 6.4.1 应满足自然环境变化、图像采集误差等因素的干扰时提取视频图像中的鱼类前景。
- 6.4.2 应适用于前景背景差异小，背景存在快速明暗变化、几何变化以及光照等噪声的场景。
- 6.4.3 应满足下列要求：
  - a) 支持不同类型的图像视频输入；
  - b) 在水下不同光照、水体浊度等条件下的稳定提取；
  - c) 具备实时性；
  - d) 能够处理大规模数据集，并具有一定的可扩展性。

#### 6.5 检测识别

##### 6.5.1 检测流程

- 6.5.1.1 数据集应多于 2000 张图像，并按 8:2 的比例划分为训练集和验证集。
- 6.5.1.2 卷积神经网络模型的准确率低于 85%时，应扩充数据集。扩充方法可选择图像翻转、旋转、缩放、裁剪以及移位中的一种或几种。
- 6.5.1.3 应对数据集交叉验证，评估数据标注的一致性和准确性。
- 6.5.1.4 数据集宜采用卷积神经网络框架处理，可采用 YOLO、Faster R-CNN 等算法，包括主干提取网络、特征加强网络和模型输出网络。主干提取网络提取图像特征信息，特征加强网络对特征信息进行加强，模型输出网络解码预测特征图信息并输出检测目标的种类和位置。相关原理见附录 A。
- 6.5.1.5 单独采用数据驱动算法不能完全满足要求时，宜采用数据驱动和知识学习相结合的机器学习算法进行鱼类检测识别。

##### 6.5.2 种类识别

- 6.5.2.1 应对动态图像进行实时识别和数据处理。
- 6.5.2.2 当单帧图像中鱼类数量少于 30 尾时，应实现对图像中所有的鱼类个体同步识别。
- 6.5.2.3 过鱼季节应至少每月进行一次人工抽样复核，核对种类识别准确率。

##### 6.5.3 数量统计

- 6.5.3.1 应对上溯和降河方向鱼类数量分别进行统计。
- 6.5.3.2 过鱼季节应至少每月进行一次人工抽样复核，核对数量统计准确率。

#### 7 验证方法

##### 7.1 种类识别

- 7.1.1 种类识别准确度验证包括数据集标注准确度、模型精确度、人工复核准确度，计算方法见附录 B.1。
- 7.1.2 当人工复核准确度低于 80%时，应按 8.1 检测流程完善数据集和模型。



## 7.2 数量统计

7.2.1 数量统计应分别统计鱼类上溯和降河数据。

7.2.2 数量统计准确率计算方法见附录 B.2。

7.2.3 当人工复核准确率低于 80%时，应按 6.4.1 检测流程调整完善模型。

## 8 监测信息整理与分析

### 8.1 信息集成

8.1.1 应建立数据信息管理系统，实现过鱼图像、探鱼声呐、水位、流速、水质等多源数据实时采集与汇总。

8.1.2 数据信息管理系统宜集成视频图像智能分析、数据统计等功能。

8.1.3 数据信息管理系统宜具备分析水质、水位、流速监测数据和过鱼图像监测信息的功能。

8.1.4 数据信息管理系统应能自动采集上下游水位、机组开机状态、下泄流量等数据。

### 8.2 信息输出

8.2.1 应输出增加鱼类运动识别框的视频流，识别框应标识鱼类种类名称。

8.2.2 数据信息管理系统应具备检测设备异常预警功能。

8.2.3 数据信息管理系统应支持监测信息图形可视化展示，并具备自动生成过鱼设施智能运行监测信息报表的功能，相关示例见附录 C。

8.2.4 数据管理信息系统应具备历史数据查询功能。

### 8.3 监测数据与数字孪生系统衔接设计

8.3.1 监测数据应包含物种名称、体长、运动方向、时间戳、空间坐标、环境参数等信息。

8.3.2 监测数据应优先采用水利行业标准以确保兼容性。

8.3.3 监测数据通过流数据处理框架支持低延迟分析。

8.3.4 监测数据应包含过鱼设施基本信息。

## 9 运行管理

### 9.1 一般规定

9.1.1 监测设备应包括水文水质监测设备、光学和声学监测系统。

9.1.2 水文水质监测设备应布设在鱼道各进口、出口、转弯段、观测室以及底坡变化处，数据传输支持 TCP/IP 传输协议。

9.1.3 光学监测系统应布设在鱼道进口段和出口段，实时记录鱼道过鱼的动态高清图像，自动保存有效过鱼影像，支持 RTSP 传输协议。

9.1.4 声学监测系统应布设在鱼道进口段和出口段，实时记录鱼道过鱼的动态声学图像，自动保存有效过鱼影像。

### 9.2 监测要素和要求

9.2.1 水文监测要素应包括水位、水温、流速等。

9.2.2 水质监测要素应包括 pH、溶解氧、浊度等。

9.2.3 光学监测要素应包括过鱼种类、数量、规格和游速。

9.2.4 声学监测要素应包括过鱼数量和规格。

9.2.5 应编制鱼道监测计划，明确监测内容和技术要求。

9.2.6 应定期做好信息记录和数据采集、储存工作。

### 9.3 设备维护

#### 9.3.1 拦污设施维护

9.3.1.1 应定期开展拦污设施检查，确认处于正常工作状态。

9.3.1.2 应及时清理拦截的漂浮物。

#### 9.3.2 监测设备维护

9.3.2.1 应及时清理过鱼设施内的漂浮物、垃圾、淤积泥沙等异物，清洗玻璃窗，保持良好的观测透明度。

9.3.2.2 应定期检查光学和声学监测系统，开展密闭绝缘性、信号状态和传输通道测试。

9.3.2.3 应定期检查信息管理平台运行状态。当出现卡顿时，应重启服务器，检查过鱼影像采集点中是否存在持续树枝、反光物等干扰物，并及时清理。

9.3.2.4 在过鱼设施停运期间，宜将水下摄像和声呐系统拆除保存；当设备不便于拆卸时，应做好防护措施。

## 附录 A

(资料性)

## 鱼类检测识别原理 (以 YOLO 算法为例)

A.1 通过图像采集系统,获取清晰的过鱼视频图像,并实时传输至服务器中。服务器内部署YOLO系列检测模型。YOLO模型对鱼类识别主要分为三部分,第一部分主干提取网络,该主干网络以Darknet-53网络框架为模型,对图像进行特征提取。第二部分为特征加强,该模块位于BackBone和最后的输出网络之间。该模块包括采用快速空间金字塔池化和路径聚合网络结构,将三个特征层中的浅层信息和深层信息进行反复特征融合再提取,充分利用上下文信息。第三部分为输出网络,输出网络生成的三个 $20\times 20$ 、 $40\times 40$ 、 $80\times 80$ 特征图(YOLO Head)进行预测和预测解码,直接得到图像中每个目标预测框的位置和所属类别,如图A.1所示。

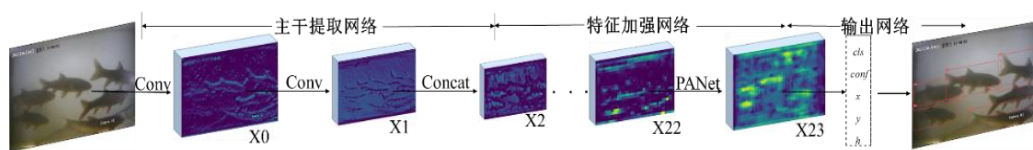


图 A.1 预测流程图

A.2 具体识别过程为:主干提取网络对待识别的图像进行特征提取和特征加强后,通过输出网络输出 $13\times 13$ 、 $26\times 26$ 、 $52\times 52$ 的特征图网格。如果某个目标的中心落在这个网格中,则该网格负责预测目标。每个网格预先设定B个不同大小和宽高比的边界框,每个边界框包含5个预测值: $t_x$ 、 $t_y$ 、 $t_w$ 、 $t_h$ 和置信度。置信度代表所预测的边界框中含有目标的置信度,其中如果有目标落在一个网格中,第一项取1,否则取0。用公式(A.1)计算预测框的中心坐标( $b_x$ ,  $b_y$ )和宽 $w$ 、高 $h$ ,预测框以先验框为基础进行位置移动和大小缩放。

$$\begin{cases} b_x = \sigma(t_x) + c_x \\ b_y = \sigma(t_y) + c_y \\ w = p_w e^{t_w} \\ h = p_h e^{t_h} \end{cases} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$\sigma(x)$  —— Logistic函数,计算方法用公式(A.2);

$c_x$ ,  $c_y$  —— 特征图中每个网格的左上角坐标;

$p_w$ ,  $p_h$  —— 边界框相对于特征图的宽和高;

$t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_w$ ,  $t_h$  —— 模型预测的中心坐标及宽和高。

$$\sigma_x = \frac{1}{1 + e^{-x}} \dots\dots\dots (A.2)$$

A.3 每个边界框除5个预测值外，还输出一个类别信息，记为C个类别。边界框的最终输出量是尺寸分别为 $13 \times 13 \times [(5+C) \times B]$ 、 $26 \times 26 \times [(5+C) \times B]$ 和 $52 \times 52 \times [(5+C) \times B]$ 三个张量，即三个YOLO Head，如图B.2。最后经过非极大值抑制和交并比得到置信度最高，位置回归得最好的预测框，并最后输出过鱼对象的种类和位置。

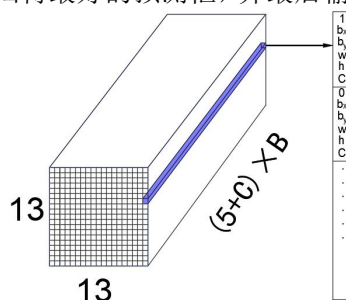


图 A.2  $13 \times 13$  Yolo Head 示意图

附录 B  
(资料性)  
计算方法

### B.1 种类识别准确度

B.1.1 采用正样本和负样本表示预测得到的结果，若交并比 IoU 值大于设定的阈值，则预测为正样本，若 IoU 值小于设定的阈值，则预测为负样本。阈值宜设定为 0.3。采用真和伪则表示预测的结果和真实结果是否相同，相同则是真，不同则为伪。依据预测值和真实值的属性对检测目标分别归类计算数量。分类方法见表 B.1。

表 B.1 正负样本划分

	预测值：正样本	预测值：负样本
真实值：正样本	真正样本，计入正确识别的鱼类数量	伪负样本，计入漏检的鱼类数量
真实值：负样本	伪正样本，计入错误识别的鱼类数量	真负样本，不计入数量

B.1.2 准确率即分类器预测值是正样本且真实值也是正样本的数量占分类器预测值是正样本的数量的比例。

$$P = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$P$  —— 样本准确率（%）；

$N_{TP}$  —— 样本中正确识别的鱼类数量；

$N_{FP}$  —— 样本中错误识别的鱼类数量。

B.1.3 对样本中所有鱼类进行检测，所有结果进行统一计算所得的准确率为整体准确率。筛选单一鱼种的识别结果进行分析计算，所得准确率为该鱼种准确率。

B.1.4 召回率即分类器预测值是正样本且真实值是正样本的数量占所有测试集中正样本数量的比例。

$$R = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

$R$  —— 样本召回率（%）；

$N_{FN}$  —— 样本中漏检的鱼类数量。

B.1.5 平均精确度用来度量模型预测框类别和位置是否准确。AP（Average Precision）是以召回率作为横轴，准确率作为纵轴，把 P-R 曲线下的面积当作衡量模型的尺度。

$$A_p = \int_0^1 P(R) dR \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$A_p$  —— 样本的平均精确度。

B. 1. 6 当鱼类种类数大于 1 时，应评估模型对所有目标鱼种的识别精确度均值。

$$m_{AP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \dots\dots\dots (B. 4)$$

式中：

$m_{AP}$  —— 样本中所有鱼种的识别精确度均值；

$A_i$  —— 样本的第*i*种鱼的识别精确度；

$n$  —— 样本的鱼种数量。

## B. 2 数量统计准确率

B. 2. 1 应选取实际测量场景中采集到的鱼类通过过鱼设施的视频图像，分别由人工和智能识别模型测量该视频中鱼类上溯和降河个体数量（不区分鱼种）。选取视频中鱼类通过量应超过 100 尾，时长宜超过 30 分钟。

B. 2. 2 每次测量中宜由超过两名测试人员分别观看测试视频，独立统计视频中的鱼类上溯和降河量。对所有测试人员的测量结果取算数平均值作为该段视频鱼类通过量的人工测量值。

B. 2. 3 每次测试应选取超过 3 个不同时刻的视频开展比对。

B. 2. 4 逐个计算所选视频的计数准确率，上溯和降河分别进行计算。

$$C_i = \left( 1 - \frac{|N_i - M_i|}{M_i} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

$C_i$  —— 第*i*个视频的计数准确率（%）；

$N_i$  —— 第*i*个视频中智能识别模型测量所得的鱼类通过量（上溯或降河）；

$M_i$  —— 第*i*个视频中鱼类通过量（上溯或降河）的人工测量值。

B. 2. 5 对所有测试视频的计数准确率取均值获得智能识别模型的鱼类数量统计准确率，上溯和降河分别进行计算。

$$\overline{C} = \frac{1}{n_v} \sum_{i=1}^{n_v} C_i \times 100\% \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

$\overline{C}$  —— 智能识别模型的鱼类数量统计准确率（上溯或降河）（%）；

$n_v$  —— 测试视频数量。

附录 C  
(资料性)  
过鱼设施鱼类智能识别记录表样

表 C.1 为本文件中数据输出月报表的示例，其他时间周期（日、旬、年等）报表参照此示例编制。

表 C.1 过鱼设施鱼类智能识别记录表

20XX年X月XXXXXXXXXX（过鱼设施名称）鱼类监测数据									单位：尾	
日期	过鱼对象A		过鱼对象B		过鱼对象C		其他鱼类		总上溯	总降河
	上溯	降河	上溯	降河	上溯	降河	上溯	降河		
第一周										
第二周										
第三周										
第四周										
第五周										
合计										

\_\_\_\_\_