

# 河流物理生境遥感监测研究与应用分析

吴传庆,殷守敬\*,王楠,余嘉琦  
(生态环境部卫星环境应用中心,北京 100094)

**摘要:** 简述了国内外河流物理生境监测研究进展和应用。从水生态监测体系完整性和物理生境监测手段的优缺点等方面,研究了河流物理生境遥感监测的必要性;结合我国水生态环境管理形势,介绍了河流物理生境遥感监测的应用领域;以辽河干流盘锦段为例,进行了物理生境遥感监测评估的实例分析。

**关键词:** 河流;物理生境;水生态;遥感;监测

**中图分类号:** X87;X835

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1674-6732(2019)05-0028-05

## Research and Application of Remote Sensing Monitoring of River Physical Habitats

WU Chuan-qing, YIN Shou-jing\*, WANG Nan, YU Jia-qi  
(Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing, 100094, China)

**Abstract:** The research progress and application of river physical habitat monitoring at home and abroad are summarized. The necessity of remote sensing monitoring of river physical habitats is analyzed from the aspects of integrity of water ecological monitoring system and advantages and disadvantages of physical habitat monitoring methods. Then, combined with the situation of water ecological environment management in China, the application fields of remote sensing monitoring of physical habitats in rivers are analyzed. Taking Panjin section of Liaohe River as an example, the remote sensing monitoring and assessment of physical habitats is analyzed.

**Key words:** River; Physical habitats; Water ecology; Remote sensing; Monitoring

河流生境是水生生物赖以生存的环境,也是维持河流生态完整性,维护河流健康的重要因素<sup>[1-2]</sup>。河流物理生境是河流生境的重要组成部分,是指影响河流水生生物群落结构及其功能的河流物理结构特征。河流物理生境质量状况,如土壤、地形、水文、植被等因素,会对水体污染物在河流中的迁移运输产生重要影响<sup>[3-4]</sup>。河流物理生境的改变被视为水生态系统与水资源退化的主要胁迫因子之一<sup>[5]</sup>,又因其具有变化周期长、相对稳定的特点,评价及改善物理生境已经成为目前河流生态管理的重要手段<sup>[6-7]</sup>。

我国水生态环境管理正逐步从传统的水质管理向水生态管理转变,陆续印发《关于全面推行河长制的意见》等文件,要求开展涉河违章建筑物清除、河流水域垃圾清理、水生态修复、入河排污口整治、非法采砂整治、黑臭水体治理、水污染治理等行动,其中许多措施都是通过改善河流物理生境达到恢复河流面貌、提升水生态环境质量的目标。河长

制落实情况、实施成效如何,对河流水生态环境质量改善作用有多大,需要通过客观手段进行定量评价。因此,河流物理生境监测研究与应用至关重要。

## 1 河流物理生境监测研究应用进展

### 1.1 方法及指标体系构建

世界各国先后建立了适合本区域特征的河流物理生境质量评价方法,或者在水生态调查评估、河流健康评估指标体系中构建了物理生境评价指标。英国河流生境调查(RHS)指标包括河流流量、河床基质、河岸剖面和岸边带土地利用等特

收稿日期:2019-09-03;修订日期:2019-09-12

基金项目:“十二五”水专项“辽河流域水生态完整性观测模拟平台关键技术”基金资助项目(2014ZX07508);国家自然科学基金资助项目(41401413)

作者简介:吴传庆(1977—),男,正高级工程师,博士,长期从事流域水生态环境遥感研究与应用工作。

\* 通讯作者:殷守敬 E-mail:shoujingy@163.com

征<sup>[8]</sup>;美国环保署(EPA)推荐的河流快速生物评价(RBPs)方法中采用了河流流量、河道形态变化、河岸冲淤、河岸植被及土地利用等物理生境评价指标<sup>[9]</sup>,用于评估对水质和水生动物群落的影响;Parsons<sup>[10]</sup>针对澳大利亚区域特征提出的河流状况指数(ISC),考虑了河岸稳定性、河床基质、河道人工坝、河岸植被覆盖(宽度、连续性、构成)等物理生境指标和水文、水质、水生生物要素指标;西班牙的河岸带质量指数(RQI)考虑了河岸带植被状况(宽度、连续性和构成)、植被人类干扰、岸坡状况和横向、垂向连通性等因素<sup>[11]</sup>。Ecot<sup>[12]</sup>针对瑞典湿地和农村小型溪流提出的岸边与河道环境细则(RCE),评估指标涵盖了河岸带土地利用、河岸带完整性、河岸带植被状况、河岸建筑物、河流蜿蜒度、河道基质与沉积物等要素。

我国河流物理生境方面的研究工作开展较晚,近年来也取得了重要进展。郑丙辉等<sup>[13]</sup>针对北方河流特征,构建了涵盖物理结构、水量、水质等多种

特征 10 个指标的河流栖息地评价指标体系;王建华等<sup>[14]</sup>采用包括河水、河道和人类干扰等 3 类 11 项评价指标对挠力河流域河流生境质量进行评价;陈森等<sup>[15]</sup>针对大型水库影响下的库区河流特征,构建了包括水文情势、河流形态和河岸带生境 3 个方面指标的库区河流生境评价指标体系并在三峡库区进行了实践;金小伟等<sup>[16]</sup>结合我国监测现状及流域水环境管理需求,提出了我国流域水生态完整性监测与评价指标体系,包含了河流物理生境指标、水体理化指标和水生生物指标等 3 大类指标。李鹏等<sup>[17]</sup>利用高分辨率卫星遥感影像在高精度、快速进行河流生境信息提取方面的优势,构建了河流物理生境遥感快速评价指标体系,并应用于辽河干流生境评估。彭文启<sup>[18]</sup>提出了河湖健康评估指标体系,包括河流物理形态、水文水资源、水质、水生生物及河流社会服务功能 5 个方面,并在全国 36 个河湖水体进行了应用。国内外已有物理生境评价方法及指标体系见表 1。

表 1 国内外已有物理生境评价方法及指标体系

评价方法	物理生境评价指标
河流生境调查(RHS)	平滩宽度、水面宽度、河床基质和侵蚀程度、河岸坡顶和河谷土地利用类型、河谷植被覆盖、河岸剖面形态
快速生物监测协议(RBPs)	河岸带植被覆盖与组成、河岸浅滩特征、河岸冲淤、河流形态变化、河道水量、流速和水深结合特性、河道底质、河道栖息境复杂性、水生植物、水质
河流状况指数(ISC)	边坡稳定、河床底质冲淤、人工拦水阻隔、植被宽度和连续性、植被覆盖率
河岸带质量指数(RQI)	河岸带植被宽度、植被纵向连续性、植被结构与种类、植被繁育的人类干扰、岸坡状况、横向连通性、垂向连通性(渗透性)
岸边与河道环境细则(RCE)	河滨带外的土地利用模式、河岸带宽度、河道内 10 m 范围内的河岸带植被状况、河道建筑物、河道沉积物特征、河岸建筑物、河岸下切、河床基质
河湖健康评估技术导则	河岸带稳定性、河岸带植被覆盖度、河岸带人工干扰、河流纵向连通性、天然湿地保留率

从上述研究进展可见,针对评价重点和应用目的的不同,国内外已经建立了若干套河流物理生境质量评估方法和指标体系,指标覆盖地物、结构和功能等方面,评价尺度有宏观和中观尺度等。

### 1.2 河流物理生境监测评估应用

目前,许多国家和地区已经在全国性河流水生生态监测评估工作中开展了河流物理生境监测评价工作。美国 1972 年颁布《美国水污染控制法》<sup>[19]</sup>(又称为《清洁水法》),明确提出恢复和维护水域化学、物理和生物完整性的目标。澳大利亚<sup>[20-21]</sup>于 1992 年起定期开展全国河流生态状况监测评价工作,即“国家河流健康计划”,其中,对影响大型无脊椎动物分布的河岸带植被、河道形态、河流水文特征、生境组成及其特征等物理生境状况开展监

测,并引入美国 EPA 生境评价方法,用于辅助河流水生生物调查结果分析。南非于 1994 年启动“河流健康计划”<sup>[22-23]</sup>,选用栖息地完整性评价、地貌形态指数评价、河滨带生态完整性评价、鱼类完整性评价、大型无脊椎动物评价、藻类等 6 大类评价指标,并建立了专门的栖息地整体评价系统(IHAS)<sup>[24]</sup>和栖息地完整性指数(IHI)<sup>[25]</sup>。欧盟 2000 年颁布水框架指令,提出了欧盟各国通用的生态状况评价指标体系,按照生物质量要素、水文地貌质量要素、物理-化学质量要素等 3 大类质量要素进行地表水生态系统结构和功能质量评价<sup>[26]</sup>。在评价过程中,物理化学质量要素和水文地貌要素作为对生物质量要素的补充。2004 年起,美国环保署与西部各州联合开展全国范围的可

徒涉河流、湖泊的生态状况调查和评估,并将河流物理生境监测评估作为河流生态调查评估的重要内容,提出了河流栖息地改变胁迫指标和湖泊物理栖息地指数等河湖物理生境监测评估指标<sup>[27]</sup>。

国内自 20 世纪 90 年代开始重视生态保护和恢复在河流管理中的应用,并开展相关研究工作。2005 年长江水利委员会提出健康长江评价指标体系和相关流域管理理念以来,各大流域机构陆续开展河流健康评价工作<sup>[28]</sup>。水利部自 2010 年起组织开展全国重要河湖健康评估试点,并制定发布《河流(湖)健康评估指标、标准与方法》,提出水文水资源、物理结构、水质、生物、社会服务功能等 5 大类指标组成的评估准则层。

从国外已开展河流水生态监测评估工作的国家情况可看出,物理生境的监管与评价可以潜在表征河流生态系统的健康程度,有助于识别河流生态退化的根本原因,为河流管理提供重要依据。我国相关管理部门也初步认识到系统全面评价河流环境健康的重要性和有效性。

## 2 河流物理生境遥感监测研究必要性分析

### 2.1 现有河流水生态监测体系不完整

水生态监测既包括鱼类、底栖动物、浮游生物、水生植物等生物类群监测,以及水质理化指标等水质监测;也应包括水位、流速、岸带结构、岸边带土地利用、景观结构等生境监测。我国现有的水生态环境质量监测指标体系中,仅考虑从水质理化指标进行监测和评价,水生物类群监测方面只在近些年开展了试点性研究工作;而对生境指标,特别是物理结构性指标,如河岸浅滩特征、河流形态变化、河岸带宽度、流域植被覆盖、流域土地利用等监测还未纳入规划。因此,实现水质监测向水生态监测的转变,就必须补齐在生境监测方面的短板,尤其是物理生境监测应尽快开展应用。

### 2.2 地面手段为主的物理生境监测技术局限较多

近年来,我国开展了河流健康评估和相关研究工作,多数基于水利部《河流(湖)健康评估指标、标准与方法》开展物理完整性等物理生境监测评估。并且,在开展物理生境监测评估时,大多基于专家经验法在河岸带选取监测点位,布设样方,采用人工统计方法求得评价结果。受自然条件限制和人为主观因素双重影响,基于监测样方的地面监测无法兼顾代表性、便利性和安全性,也很难全面

准确的反映河流物理生境状况。同时,物理生境结构综合评价涉及内容广泛,所需数据繁多,人工统计方法在人力、效率、精确度和准确性等方面很难满足要求。

### 2.3 河流物理生境遥感监测优势明显

遥感技术具有瞬时获取大范围地表信息的能力,数据客观、覆盖全面,可以准确对河流水面、河流形态、河岸带植被覆盖等大多数河流物理生境指标进行定量化描述分析。另外,遥感数据的全覆盖性使得河流物理生境全局监测评估成为可能,消除了地面选点采样可能存在的客观性、代表性、覆盖范围不足、以及便利性和安全性不足等方面的缺陷,对人力物力的要求也大大降低。因此,非常有必要加强河流物理生境的遥感监测研究。

## 3 河流物理生境遥感监测应用分析

通过遥感手段可以快速、有效地对河流的水色、水量、河流水域占用清退、岸线开发修复等物理生境指标开展监测监管。将遥感技术运用于物理生境监测监管,重点工作方向主要有以下两方面。

### 3.1 开展河流物理生境遥感监测评估

加快构建流域河流物理生境的遥感监测指标体系,从流域的水体、河道、河岸、滨岸带和流域等五类评价指标逐步在全国范围内开展遥感监测工作。水体水量方面:水体面积、生态流量、河流断流比例、河流连通性(闸坝阻断比例)等指标;河道评价方面:河道蜿蜒度、河道平均宽度等指标;河岸评价方面:河岸稳定性、河岸植被覆盖率、自然岸线率、河岸开发率等指标;河滨带:植被覆盖率、人类活动强度、植被破碎度等指标;流域方面:土地利用、景观指数等。从而快速有效地掌握流域河流物理生境状况,为水生态环境保护工作提供信息支持。

### 3.2 开展河长制实施成效遥感监管

尽快构建河长制实施成效遥感监管指标体系。结合河流水生态环境保护目标,从河流生态需水保障、水域开发与恢复、岸线开发与恢复等方面开展监管评估工作。生态需水方面包括典型河段河宽和水域面积、湖水面积;水域开发包括水产养殖、建设开发等水域空间占用,水域恢复包括养殖清退、湿地建设等;岸线开发包括岸线工业建设开发、垃圾堆放、农田围垦等;岸线恢复包括建设清退、植被缓冲带建设等;以及水体水色异常、湖泊蓝藻水华

等水环境异常。通过综合监测对河长制实施成效进行定量评估。

#### 4 案例分析

辽河是我国七大江河之一,多年来污染指数一直列全国七大流域前列。2010 年,辽宁省划定辽河保护区,开展了大量生态系统修复、河道综合治理等工作,从“物理、化学、生物”方面开展辽河生态系统完整性修复和恢复。现选取辽河干流盘锦段进行示范研究。盘锦段位于辽河上游,河道全长约 49.5 km。

研究数据采用 2014 年 9 月份成像的资源三号(ZY-3)卫星数据,通过融合后获得空间分辨率为 2 m 的多光谱数据。对河流及沿线 2 000 m 缓冲区范围的影像,通过基于面向对象和专家知识辅助方法进行遥感解译,获得该区域土地利用类型图,提取出河流水体分布、河道河道分布、河流中心线、河道闸坝分布点等信息,从而计算水量比例、河道蜿蜒度、河岸植被覆盖等各类评价指标。另外,基于 ZY-3 前后视影像,可以提取地面高程数据,从而计算河道坡度等河岸带稳定性指标。并基于专家打分法确定的指标权重和参照状态,对河流生境状况进行总体评估。具体工作流程见图 1。

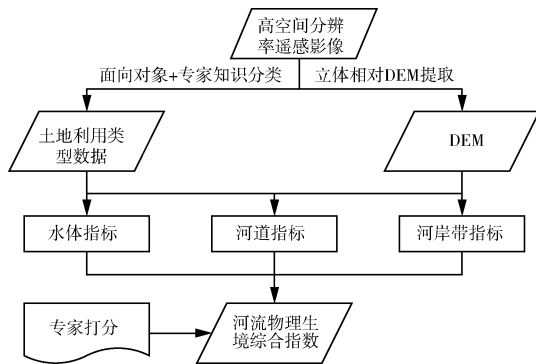


图 1 河流物理生境遥感监测评估流程

监测结果显示,辽河干流盘锦段有闸坝 2 座,河流阻断性指数为 2.02,河道蜿蜒度指数为 0.45,河道水量比例为 94.04%,没有出现干涸断流现象,河道水量充沛;河岸较稳定,坡度平缓,林地、草地和湿地等河岸植被覆盖率为 49.16%,污染物阻滞指数为 65%,自然岸线率约为 80.10%,建设开发等人类活动强度为 23.09%,景观破碎度指数为 0.9,说明人类活动强度总体不高,对岸线破坏较

小,但是仍然对河岸植被景观造成较大影响;河流物理生境指数评估得分 74.5,为良好状态,说明辽河保护区划定后,辽河干流物理生境改善效果显著。

#### 5 结语

目前,我国生态文明建设和生态环境保护工作进入了新时代。以“水清岸绿、鱼翔浅底”为目标的水生态环境管理,其效果评估与考核,要从单一水质指标考核向需要全面涵盖“水量、水质、水生态”要素的综合指标考核转变。水生态环境监测方面,除了做好水生物指标监测,更要加强对物理生境指标的监测方法研究,尤其是充分利用遥感等新技术手段,及时开展河流物理生境遥感监测评估和河长制实施成效遥感监管工作,为新形势下的水生态环境管理提供支撑。

#### [参考文献]

- [1] MUHAR S, JUNGWIRTH M. Habitat integrity of running waters - assessment criteria and their biological relevance[J]. Hydrobiologia, 1998, 386(1-3): 195-202.
- [2] GUPTA B K, SARKAR U K, BHARDWAJ S K. Assessment of habitat quality with relation to fish assemblages in an impacted river of the Ganges basin, northern India[J]. Environmentalist, 2012, 32(1): 35-47.
- [3] BRUNS D A. Macroinvertebrate response to land cover, habitat, and water chemistry in a mining - impacted river ecosystem: A GIS watershed analysis[J]. Aquatic Sciences, 2005, 67(4): 403-423.
- [4] WILHELM J G O, ALLAN J D, WESSELL K J, et al. Habitat assessment of non - wadeable rivers in Michigan[J]. Environmental Management, 2005, 36(4): 592-609.
- [5] JAMES R K. Biological integrity: Along - neglected aspect of water resource management[J]. Ecological Applications, 1991, 1(1): 66-84.
- [6] HIGGINS J V, BRYER M T, KHOURY M L, et al. A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning[J]. Conservation Biology, 2005, 19(2): 432-445.
- [7] 孔维静, 张远, 王一涵, 等. 基于空间数据的太子河河流生境分类[J]. 环境科学研究, 2013, 26(5): 487-493.
- [8] RAVEN P J, HOLMES N T H, DAWSON F H, et al. River habitat quality: The physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man[R]. River Habitat Survey, Report No. 12. Environment Agency, Scottish Environment Protection & Environment and Heritage Service, 1998: 85.
- [9] BARBOUR M T. Rapid bioassessment protocols for use in

- streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and Fish [R]. 2nd ed. Washington, DC: USEPA, Office of Water, 1998:192.
- [10] PARSONS M, THOMS M C, NORRIS R H. Development of a standardised approach to river habitat assessment in australia [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2004, 98 (1 - 3): 109 - 130.
- [11] GONZALEZ M, TANAGO D, JALON D G D. Riparian quality index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones [J]. Limnetica, 2011, 30(2): 235 - 254.
- [12] ECOT J R, DICE J L, CELESTE L A A, et al. Riparian zone analysis using riparian, channel and environmental (RCE) inventory and water testing analysis in lun padidu river, lun padidu, malapatan, sarangani province, philippines [J]. Aes Bioflux, 2014, 6(3): 276 - 283.
- [13] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928 - 936.
- [14] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. 生态学报, 2008, 30(2): 481 - 486.
- [15] 陈森, 苏晓磊, 党成强, 等. 三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8433 - 8444.
- [16] 金小伟, 王业耀, 王备新, 等. 我国流域水生生态完整性评价方法构建[J]. 中国环境监测, 2017, 33(1): 75 - 81.
- [17] 李鹏, 殷守敬, 崔希民, 等. 河流水生物理生境遥感评价模型与应用[J]. 灌溉排水学报, 2017(5): 90 - 95.
- [18] 彭文启. 河湖健康评估指标、标准与方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(5): 76 - 86, 98.
- [19] 滕海键. 1972 年美国《联邦水污染控制法》立法焦点及历史地位评析[J]. 郑州大学学报(哲学社会科学版), 2016(5): 121 - 128.
- [20] SMITH M J, KAY W R, EDWARD D H D, et al. AUSRIVAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia [J]. Fresh Biology, 1999(41): 269 - 282.
- [21] PARSONS M, THOMS M, NORRIS R. Australian river assessment system: review of physical river assessment methods - biological perspective, monitoring river health initiative technical report no 21 [M]. Canberra: Commonwealth of Australia and University of Canberra, 2002: 1 - 24.
- [22] LIGEIRO R, HUGHES R M, KAUFMANN P R, et al. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness [J]. Ecological Indicators, 2013, 25: 45 - 57.
- [23] SCHOFIELD N J, DAVIES P E. Measuring the health of our rivers [J]. Water, 1996, 5(6): 39 - 43.
- [24] KLEYNHANS C J. A qualitative procedure for the assessment of the habitat integrity status of the Luvuvhu River (Limpopo system, South Africa) [J]. Journal of Aquatic Ecosystem Health, 1996, 5(1): 41 - 54.
- [25] ROUX D J. Strategies used to guide the design and implementation of a national river monitoring programme in South Africa [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2001, 69(2): 131 - 158.
- [26] 马丁·格里菲斯. 欧盟水框架指令手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [27] 王超, 夏军, 李凌程. 河流健康评价研究与进展 [J]. 水资源研究, 2014(3): 189 - 197.
- [28] 张晶, 董哲仁, 孙东亚, 等. 基于主导生态功能分区的河流健康评价全指标体系 [J]. 水利学报, 2010, 41(8): 883 - 892.

栏目编辑 王 湜 周立平 李文峻