文章编号:1672-3031(2022)03-0181-12

水文过程与近岸带变化关系及其河流景观内涵

冯顺新[1], 廖文根[2], 王俊娜[1], 杨青瑞[1]
(1. 中国水利水电科学研究院，北京 100038；2. 水利部水利水电规划设计总院，北京 100120)

摘要：在河流生态学领域，迄今仍缺乏能较好地描述河流生态系统涨落的概念模型。河流近岸带具有不同于主流带的水动力、水环境及生物特征，其位置及尺度随水文条件的改变而变化的程度较为显著，近岸带变化能较好地反映水文过程的生态学效应及河流水域空间的涨落。本文对近岸带定义进行了拓展，提炼了一种对顺直/微弯、弯曲、分汊等河型均适用、描述河流近岸带尺度变化与水位涨落之间映射关系的概念模型(“水文-近岸带涨落关系”概念模型)，该模型曲线上一般具有两个近岸带尺度峰值；从景观生态学的角度提出近岸带是河流水域中时空连续性最强的沿程条带状基质，而主流带可视为流量越过临界值后出现在近岸带这一基质内的“涌现”或“突变”。本文最后以长江上游南溪-江安段为例对概念模型进行了初步的量化研究，并讨论了近岸带的界定方法及该概念模型在生态水文组分划分中的作用。

关键词：近岸带；水文-近岸带涨落关系；河流景观；基质；长江上游
中图分类号： TV213.4 **文献标识码**：A **doi**：10.13244/j.cnki.jiwhr.20210009

1 研究背景

天然河流一般存在水深较浅、水流较缓、岸线较为曲折的近岸水域，这种水域虽然沿程宽窄不一，但一般呈现为连续的条带状结构，可称之为“近岸带”。近岸带一般水深较浅、流速较低、水温较高[1]、饵料丰富，产黏沉性卵鱼类(尤其是产黏草性卵鱼类)往往在近岸带繁殖，近岸带也往往被鱼类[2-3]以及豚类(如长江江豚)作为索饵场，如监测表明长江江豚一般在离岸200~300 m的范围内活动[4]。鉴于近岸水体的重要性，研究者从不同侧面进行了研究，涉及的内容包括河流近岸区(Riparian zone)[5-7]、海洋近岸区(Coastal zone)[8-11]、潜流带(Hyporheic zone)[12-16]、水生态屏障(Water ecological shelter zones)[17]、近岸缓冲带(Riparian buffer strip)[18-19]、水陆交错带(Ecotone)[20-22]、近岸保持力(In-shore retention concept)[1]等。河流近岸区的研究主要集中在近岸植被[23-25]、底栖动物[26]、鱼类及豚类栖息地条件[4,27-28]、土地利用[29]、水质变化[30-33]、管理及风险评价[34-35]等。河流近岸带的空间位置和尺度除了随水文条件的变化而变化外还受河流地貌的影响。此外，由于河流水质、河床底质、床面生物分布等存在空间差异，在近岸带空间位置和尺度变化时，近岸水体的理化特性、光热、生物特征以及生态功能也会随之变化。显然，近岸带变化过程(可称为近岸带涨落)包含着较水文过程更为丰富的信息，从近岸带概念出发研究河流生态系统的涨落，较基于水文过程进行研究更有优势。

对水文过程生态学内涵的研究是河流生态学研究的中心内容之一，在对水文过程的认识方面已发展了不少理论，如河流连续体概念[36-37]、串联非连续体概念[38]、洪水脉冲理论[39]、自然水流情势理论[40]、近岸滞留区概念[1]、河流生态系统结构与功能整体模型[41]、生态水文季节理论及生态标准河流概念[42-44]等，其中对生态水文组分的研究是重点之一。在之前对生态水文组分的研究中，往往针对长系列水文过程本身来分析和提取其中具有生态学意义的组分[45]或水文过程与生物过程之间的联系(“水文-生态响应关系”)[46]；但事实上河流中的水文涨落与水域生境涨落有明显的区别，后者综合反

收稿日期：2021-01-09；网络首发时间：2022-04-20
网络首发地址：https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20220418.0927.001.html
基金项目：国家重点研发计划课题(2017YFC0405205)；三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室主任基金2014年度开放课题项目(0704100)
作者简介：冯顺新(1973-)，博士，正高级工程师，主要从事水动力及水环境数值模拟研究。E-mail：fengsx@iwhr.com

映了水文、地貌、河流形态、水环境以及生物等多方面的影响，包含比水文过程更丰富的生态系统涨落信息。近岸带涨落是河流生态系统水域生境涨落的一部分，鉴于其综合反映了水文、河流地貌、底质等因素的影响，有潜力将水文过程映射为更复杂、包含更多河流生态系统信息的涨落过程，从另一个侧面刻画河流生态系统的动态变化特征，并服务于生态水文组分的划分。

对天然河流而言，无论流量大小，河道内均存在近岸带，近岸带具有沿程连续性。这启示我们可从连续性景观结构(或"基质")的角度看待近岸带。当前河流生态学发展的重要方面就是其和景观生态学的交叉。景观生态学关注整体性、格局、结构、尺度间相互作用的特点[47]在一定程度上恰能弥补当前河流生态研究的不足，如何将在陆地景观研究中获得了较大成功的景观生态学理论应用于河流生态研究得到了广泛关注[48-51]。河流景观与陆地景观有较大的不同，主要体现为河流生态系统具有动态性、沿程强一维特性、强输运性、网络性等特征[52-53]，将主要基于陆地景观研究发展出的景观生态学相关概念、理论、方法进行适应河流生态系统特点的改造，阐明河流景观中的格局、结构以及尺度间的相互作用，是河流景观生态学需要解决的问题。鉴于河流廊道为条带形态，在考察河流生态系统时，对河流水域中具有明显条带状形态的背景结构如近岸带、主流带的涨落进行研究，对推进景观生态学在河流生态领域的应用具有重要意义。

本文基于对河流近岸带基本特征的认识，首先对近岸带在定义上进行了拓展，提出了对多种河型都适用的近岸带(尺度)变化和水文变化之间关系的概念模型("水文-近岸带涨落关系")，分析了近岸带和主流带的河流景观内涵，并以长江上游保护区干流南溪-江安河段为例，对概念模型进行了初步的量化研究。

2 水文-近岸带涨落关系及其内涵

2.1 近岸带的特征及对其定义的拓展 近岸带是河道内一种随水位涨落而在宽度(面积、体积)以及空间位置上不断变化的条带状近岸水域。对天然河流而言，近岸水域和主流带的区分是明显的。基于对天然河流的观察，可认为近岸带具有如下特征：

(1)近岸带的水深和流速相对于主流带较小。在河流自然水文条件的塑造下，天然河流一般呈现出靠近两岸部位高程较高、主槽高程较低的特征，在岸边浅水区河床对水流的阻力更大，流速一般也相对较小。在弯顶或丁坝、矶头等控导工程下游往往还存在回流区，这种水域虽然仍有可能局部区域水深较大(如由于局部冲刷，矶头附近一般水深较大)，但仍属于近岸水域。

(2)近岸带往往具有独特的生物分布特征。近岸带一般流速低、水深小，其泥沙(某种程度上也代表营养物质)沉积特性、光热特征(如水体透明度、水温)与主流带不同；浅水区往往也是水陆交错带，近岸带底质、底栖、浮游生物以及水生植物分布与主流带显著不同，进一步导致多种鱼类将近岸带作为其栖息生境。如长江江豚是一种生境驱动的生物，其在长江江西江段的浅水区活动很大程度上是因为浅水区鱼类等饵料生物较为丰富[4]。

对具有复式断面的冲积平原河流而言，汛期洪水未漫滩时，主流两侧水深较浅、流速较小，靠近河岸的区域可视为近岸带；洪水漫滩后，滩区水域水深和流速相对较小，往往存在回流，受床面影响较强，具有与近岸水域类似的特征。

在汛期流量较小的时段或非汛期，由于河道内流量和水深均较小，整个河道内的水体均可认为在很大程度上具有近岸水体属性，如水深、流速相对较小，水流紊动较弱，水流受边界的约束较强，水体光热条件较好，水域空间就其对生物栖息的适宜性而言与大流量时的近岸水域较类似。为此，可对近岸带的定义进行拓展，将近岸带定义为"水深、流速及床面剪应力相对较小、河床边界对水流约束相对较强、水体光热条件相对较好的沿河流纵向连续的沿岸条带状水域"。按照拓展后的近岸带定义，小流量(无论汛期还是非汛期)时的河道内水域均可视为近岸带水域，从而近岸带可被视为在汛期及非汛期、大流量和小流量时均普遍存在的、沿河流纵向连续的条带状背景结构。按照景观生态学关于"基质"的定义[47]，这意味着近岸带是景观生态学意义上河流生态系统的一类基质。

在完成对近岸带定义的拓展后，可从近岸带的角度建立对不同类型河流水域空间涨落的统一描述。随着河流水位的变化，近岸带的尺度和空间位置也会变化，近岸带空间尺度(如河道断面内的近岸带宽度或河段内的近岸带面积、体积等)变化和水位变化之间呈现一种非单调的映射(函数)关系，这里称为“水文–近岸带涨落关系”。对不同类型的河流而言这种关系具有共性。

2.2 不同类型河道的水文–近岸带涨落关系 一般认为，冲积平原河流可被划分为四种类型：顺直型、弯曲型、分汊型和游荡型(辫状)[54]。在长江流域，由于其独特的边界条件，还发育有一种平面形态与一般分汊型河道有较大不同的鹅头型分汊河道[55]，在这里仍将其纳入分汊河道的范畴。

2.2.1 *顺直/微弯河道的水文–近岸带涨落关系* 顺直/微弯的冲积平原河流一般具有复式断面和U型主槽，对该类河道，近岸带特征尺度(河道横断面内的近岸带宽度)随水位的变化而变化的概念模型如图1。

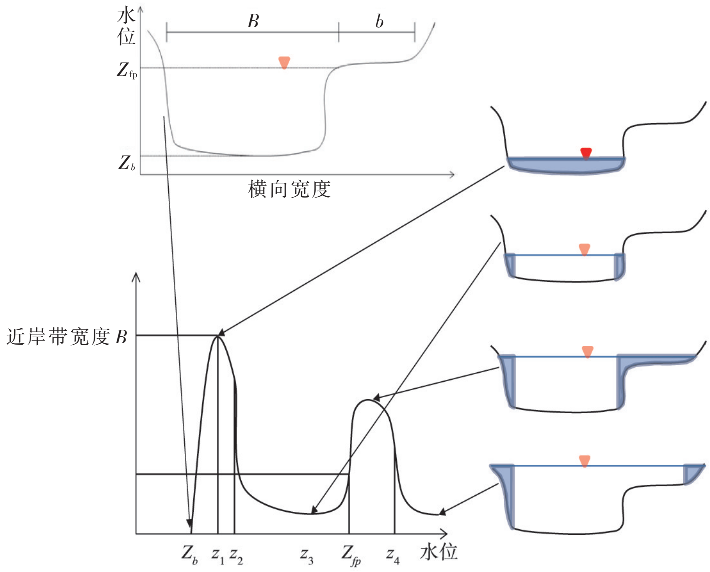


图1 冲积平原顺直/微弯河道水文–近岸带涨落关系(阴影部分为近岸水域)

(1)当河道内流量为零时，近岸带宽度为零。

(2)当河道内流量逐步增加时，由于流量较小，水深、流速和床面剪应力也较小，全部河宽水域均具有近岸水体特征，属于“近岸带”，近岸带宽度等于主槽宽度B。此时近岸带宽度随着流量的增加而急剧增加。

(3)当河流内流量增加导致主槽内水深加大、但水流尚未漫滩时，由于河槽为U型，近岸带表现为主槽内左、右两侧较窄的条带。此时近岸带宽度相对于主槽宽度B大幅度减小。

(4)当河道内流量继续增大，使水流漫滩、但漫滩水深较小时，滩面对水流的约束较强，整个漫滩区域可认为均属于近岸带，从而近岸带宽度急剧扩大。

(5)大洪水使得水流漫滩水深也较大时，滩面对水流的约束减弱，近岸带再次缩减为复式断面河道两岸的近岸水域，近岸带宽度再次变小。

2.2.2 *弯曲河道的水文–近岸带涨落关系* 弯曲型河道近岸带的形态和弯道的曲率有关。对曲率较大的弯道，近岸带除了包括河道两侧的浅水水域外，还包括由弯道凸岸所掩蔽的水域。弯道的近岸带尺度(这里表现为弯道内近岸水域的面积)和水位之间关系可用图2所示的概念模型来描述。可见，在本文的近岸带定义下，弯曲型河道的水文–近岸带涨落关系曲线同样具有双峰特征。

2.2.3 *分汊河道的水文–近岸带涨落关系* 分汊河道可视为由弯曲方向相反的两个弯道拼接而成。对分汊河道而言，在洪水淹没江心洲后，淹没水深较小时，洲上水域也可视为“近岸区”；淹没水深较大时，洲面流速变大，洲上水域不再属于近岸区。分汊型河道的水文–近岸带涨落关系和顺直/微弯

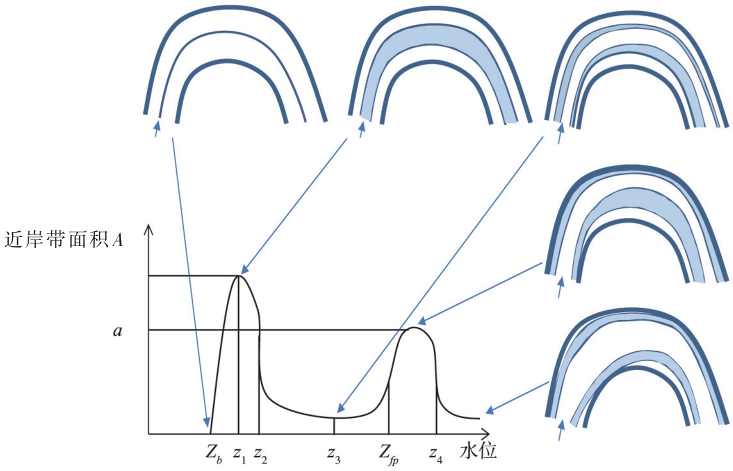


图2　弯曲型河道水文–近岸带涨落关系

型、弯曲型河道是类似的，但由于各汊道深泓线高程一般不同，低水位时的映射关系可能更为复杂（图3）。

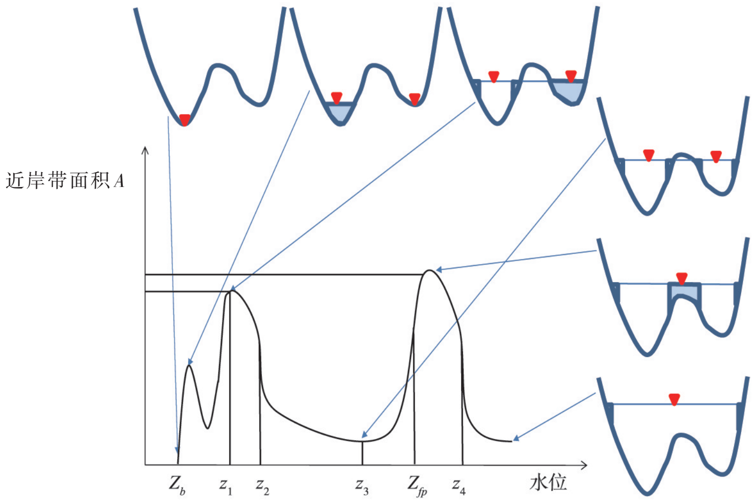


图3　分汊型河道水文–近岸带涨落关系（阴影部分为近岸水域）

上文针对冲积平原河流讨论了近岸带尺度随水文过程的变化。研究表明，鱼类对具有V型断面山区河道的主流区及主流区之外的水域具有明显不同的生境利用模式[56]，有些鱼类选择主流两侧流速相对较缓的水域底层作为栖息场所[57]，说明山区河流也存在明显的近岸水域。此外，对人工渠化河流，若河流具有直立边墙（如诸多城市河流），则仅在河流水深较小时具有本文所定义的意义上的近岸带（全部河宽），当流量较大时，河道内缺乏近岸带，生境十分单一；若河流具有梯形断面，则由于河流缺乏洪泛滩区，相应的水文–近岸带涨落关系曲线仅具有第一个峰值。从某种意义上说，上述具有双峰的水文–近岸带涨落关系主要反映自然河流的特征。

2.3　河流近岸带的界定　实现水文–近岸带涨落关系的应用需要对近岸带的范围进行界定。需要注意的是，近岸带尺度和河流尺度很可能是相关的。“近岸”是个相对于“主流”的概念，大江大河近岸带的尺度和小河的近岸带的尺度是不同的，小型河流不因为小而缺乏主流带，大型河流不因为大而缺乏近岸带。总的来看，对近岸带应综合考虑河流尺度、河道内水域的水深、流速、平面流态以及生物特征等进行界定。

2.4　水文–近岸带涨落关系的生态学内涵

2.4.1　*近岸带是河流水域中最具有时空连续性的基质*　景观生态学在河流生态研究中得到了越来越多的重视[51,58-59]。景观的概念是在对陆地生态系统的研究中建立的。对陆地景观而言，组成景观的结构单元不外乎三种：基底、斑块、廊道[47]。当前，在关于河流景观的研究中，对斑块、尺度及等级关系等已进行了较多的讨论[60-62]；对廊道等主要从连通性的角度进行研究[49,52,62-63]，未见从景观的角度对河流中廊道的研究；对河流生态系统中是否存在基质则基本没有涉及。景观生态学中的基质指"景观中分布最广、连续性最大的背景结构"[47]。

在河流中，仍存在在纵向条带状、具有较强时空连续性的背景结构。河流廊道本身是条带状的，主流带、近岸带、河岸带也是纵向连续、条带状的。事实上，河流水域沿横断面方向一般可划分为主流带(水深和流速均较大的带状结构)和近岸带(水深和流速较小的带状结构，包括回水区等缓流水域)，按照本文拓展后的近岸带概念，河流的近岸带很明显是在河流中分布最广、在时间和空间上连续性均最大的背景结构。鉴于近岸带无时无刻不存在，可认为近岸带为河流水域中最基础、最具有一般性的基质。河流水域在近岸带之外为主流带，主流带的出现体现为河道内流量增大时在近岸带这一"基质"上出现的"突变"，亦即近岸带的破碎和一种新的基质(也是新的生境)的涌现。在小流量(如非汛期的情形)时可认为不存在主流带。总体上看，近岸带、主流带、河岸带、河岸带两侧的带状高地可认为是河流生态系统中时空连续性有所不同的几种条带状基质。

2.4.2　*洪水意味着近岸带基质的"突变"*　如上文所述，近岸带为河流水域最具有时空连续性的基质，而主流带则体现为汛期在近岸带中突然出现的区域(涌现出的新特征)。这提示我们，在思考什么是洪水、什么是生态流量时，应评估相关水文过程能否创造出这种基质的"突变"以及能塑造出什么样的主流带基质。在考察什么是生态流量时，可能需要思考如下几个问题：(1)"洪水"是否就是这种能使河流中出现主流带的水文过程？(2)水文过程的相似除了意味着水文过程波形的某种相似外，是否也应包括近岸带、主流带等基质格局及变化过程的相似？(3)不能使河流中出现主流带的流量过程，如所谓的"生态基流"[64]，是否可称之为生态流？对上述问题的回答有利于加深对生态流量及其管理的认识。

2.4.3　*水文–近岸带涨落关系提供了一种新的描述河流生态系统涨落的方式*　当前对河流景观的认识仍强烈地受陆地景观生态学静态观点的影响，基于河流地貌的景观单元定义和河流景观格局划分[53,60-62]，采用的是固结于地球的坐标系，使用的是一种适用于陆地景观研究的静态的观点，未能较好地反映水域生态系统中水体空间随水文涨落而变化的特点，未能充分反映河流的网状及准一维特征。这种描述采用的仍是一种将水文变化视为对水域生态系统的"干扰"、而非水生态系统赖以依存的空间的视角，不利于建立对不同类型河流生态系统的统一描述。

任何自然河流均存在动态变化的主流带、近岸带。因此，可改变以往将坐标系固结于地球的、静态地看待河流生态系统的观点，在描述河流生态系统时不再使用诸如主槽、洪泛滩区等表征绝对地理位置的概念，而认为河流生态系统由近岸带、主流带、河岸带、河岸带外侧的高地等纵向条带状基质所组成，当水文过程发生变化时，近岸带、主流带等条带状基质也随之在平面上位移、在尺度上涨落，而浅滩、深潭、水生生物(如鱼类)的关键生境呈现为镶嵌在这些条带状结构上动态变化的斑块。鉴于山区河流、平原河流均存在主流带、近岸带，上述描述不仅适用于冲积平原河流，也适用于山区河流。与基于地貌特征对河流的静态描述相比，这种描述可能更有利于考察河流生境空间的动态变化。

3　实例研究

3.1　研究区概况　长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区(简称"长江上游保护区")地处长江流域上游，涉及长江干流及部分支流，其中长江干流部分为长江从金沙江向家坝水电站轴线下 1.8 km 至重庆地维大桥江段。长江上游保护区在长江上游水域生态系统中具有代表性和典型性，特别是在金

沙江/长江上游密集的水电开发后，该自然河流生境相对完整，是保存长江上游水生生物多样性不可或缺的栖息繁殖地，保护区共发现鱼类199种，其中194种为土著鱼类，土著鱼类中有38种被列入各级别的保护动物名录；土著鱼类中共有长江上游特有鱼类70种[65]。长江上游保护区鱼类产卵场密集，根据调查[65]，长江干流从金沙江向家坝大坝至重庆朝天门共有产卵场107个，索饵场65处，其中南溪–江安江段和羊石盘–朱沱江段为产卵场最为密集的河段。南溪–江安江段的位置见图4，该江段长约22 km，平均宽度约1200 m，年平均流量约6500 m^3/s，洲滩密布。本文以该江段为例，考察近岸带的界定方法以及该河段的水文–近岸带涨落关系。

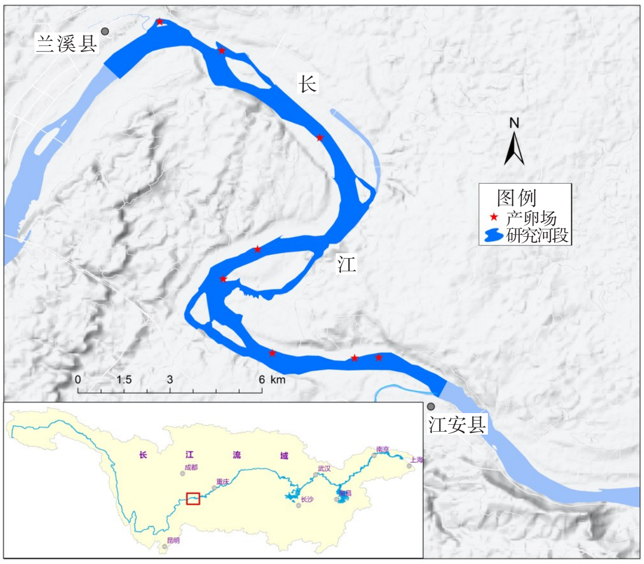


图4　长江上游保护区南溪–江安江段

3.2　近岸带的界定　对长江上游保护区鱼类繁殖时间的统计[66]表明，虽然鱼类繁殖时间在年内分布较广，但几乎所有鱼类的繁殖时段都包括4月，由此可认为4月是一个较典型的、多数鱼类都有繁殖行为的月份。由鱼类习性可知，产黏沉性卵鱼类的繁殖往往发生在近岸水域[65]，从而产黏沉性卵鱼类的产卵场在产卵时段可认为应处于近岸带。本文通过统计长江上游保护区鱼类产卵场在典型产卵时段（4月）的平均水深来确定近岸带的临界水深。鉴于长江上游保护区干流江段内岷江口至赤水河口河段产卵场相对密集，且该河段包括了长江南溪–江安江段，本文主要使用长江干流岷江口–赤水河口段的产卵场位置调查成果[65]。

对2006—2010年五年内长江上游保护区内李庄、朱沱站4月逐日流量的分析表明，由于4月为汛前期，长江干流水流较为平缓，流量变幅不大，大体可按恒定流看待；不同河段流量有所不同，流量主要受岷江、沱江、赤水河等支流入汇的影响。统计表明，李庄站4月平均流量（代表岷江口至沱江口河段）为2948 m^3/s，可按2950 m^3/s考虑。

使用长江上游保护区调查报告[65]中的鱼类产卵场中心点经纬度，结合长江上游2005—2006年度河道地形图确定各产卵场中心点高程，通过长江上游一维水动力学模型[67]计算各产卵场所在断面在4月平均流量下的水位，获得了各产卵场中心点水深，见图5。从图5可知，产卵场中心点水深从上游往下游（产卵场编号从上游往下游单调增加）呈逐步增加的趋势，所有产卵场中心点水深（包括负水深）的均值为5.28 m。考虑到在4月平均流量下中心点水深为负的产卵场实际上位于岸上，可不予考虑，在删除中心点水深为负的产卵场（图6）后，4月平均流量下所统计河段产卵场中心点平均水深为5.98 m。由此可知，长江上游岷江口–赤水河口4月平均流量下鱼类产卵场中心点水深约为6 m，该值可作为本河段（以及长江南溪–江安江段）近岸带临界水深。

3.3　长江南溪–江安段水文–近岸区涨落关系　使用长江上游宜宾至朱沱河段一维水动力模型[67]，模拟

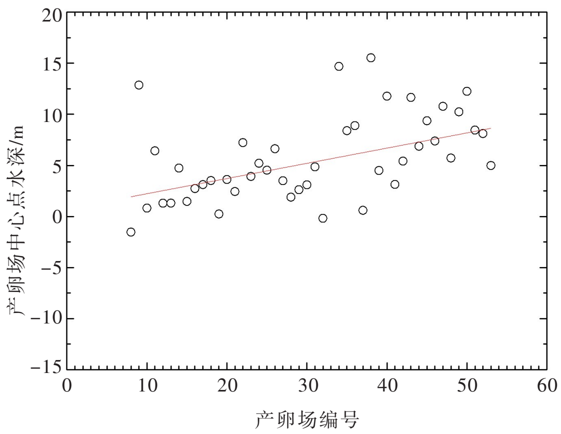


图5　岷江口–赤水河口各产卵场4月平均水深

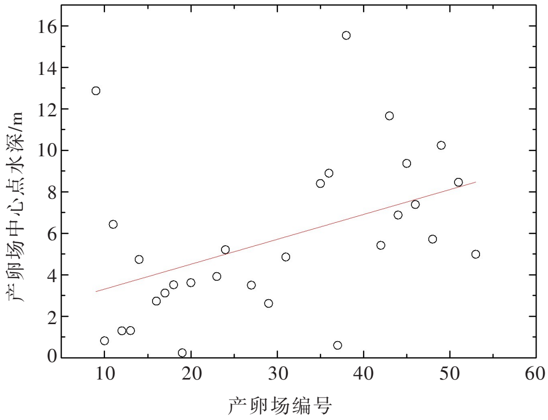


图6　岷江口–赤水河口各产卵场4月平均水深(删除负水深点)

获得了不同流量级下长江南溪–江安段的水位以及江安断面的水位流量关系；结合一维模型模拟成果，使用三维水动力学模型分别模拟了长江流量 Q = 2950、5000、7000、10 000、12 000、15 000、20 000 m^3/s 时长江–江安江段的流场，以6 m水深作为阈值，得到了各流量下近岸带的形态(图7)，并统计了南溪–江安江段近岸带的尺度(分别用近岸带面积及相应水体空间的体积(简称“近岸带体积”)来表示)随流量的变化(图8)。

需要说明的是，南溪–江安江段在河流纵向呈现浅滩、深槽交替的形态，从而在小流量时深槽内部分水域水深超过6 m，虽然该部分水域流速很小，但在依据水深进行统计时也未被纳入近岸水域范围，因而图8中对近岸带尺度的统计结果有一定的偏差。

从图8可知，近岸带体积随流量增加而变化的曲线上有两个峰值，第一个峰值对应的流量介于1500 ~ 2000 m^3/s，第二个峰值对应的流量为5000 m^3/s，两个峰值高度比较接近，意味着这两个流量下近岸水域的体积较为接近。考虑到流量趋于零时近岸带面积也会趋于零，图8中近岸带面积随流量变化的曲线上也有两个峰值，其中第一个峰值对应的流量小于500 m^3/s，第二峰值对应的流量也是5000 m^3/s。

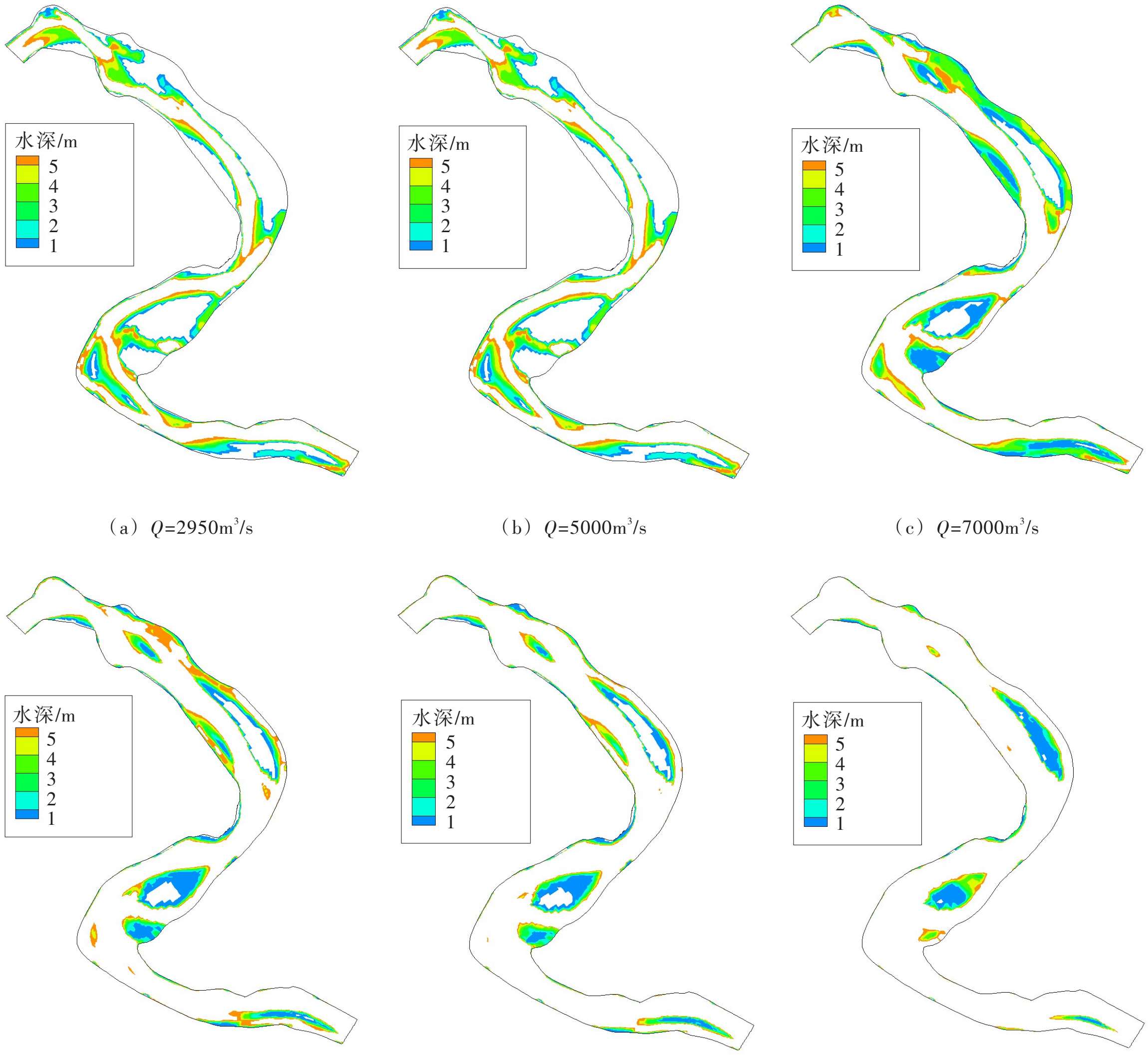
综上所述，在以6 m作为近岸带临界水深时，长江上游南溪–江安江段近岸带尺度(面积或体积)随流量变化的曲线和图1–图3所示的概念模型曲线较为一致，曲线呈现双峰形态，两个峰值较为接近，较小峰值对应的流量约为500 ~ 2000 m^3/s，较大峰值对应的流量约为5000 m^3/s。虽然上述界定近岸带的方法仍是探索性的，但从图8来看，本文所提出的水文–近岸带涨落关系在定性上是成立的。

4　讨论

4.1　界定近岸带应考虑的主要因素　近岸带的界定要综合考虑水深、流速和底质条件。上文以水深6 m作为界定近岸带的标准通过数值模拟给出了长江南溪–江安段近岸带的范围，但从实践上看(图7)，近岸带的宽度很小，乃至几乎缺失，与一般认识之间存在矛盾。这表明使用固定的水深作为近岸带的界定标准是有缺陷的，且这一方法对不同大小的河流缺乏通用性。事实上，若以6 m水深来界定近岸带，很多小型河流根本就没有主流带。

水流流速是界定近岸带时需考虑的重要因素。鱼类、豚类等生物选择近岸带作为自己的栖息或觅食生境，可能主要有两个原因：

(1)近岸带具有相对较小的流速，从而生物克服流速影响保持其位置所需要的能量较小。典型生物如鱼类等克流能力是与其体型大小有关的[68]，从而这种流速的阈值可能与所属河流中典型生物(如鱼类)的尺度有一定关系。大河如长江，其鱼类体型一般较大，界定近岸带的流速可能也较大；而对小型河流，其鱼类体型可能较小，界定近岸带的流速可能也较小。



（a）Q=2950m³/s　（b）Q=5000m³/s　（c）Q=7000m³/s

（d）Q=10000m³/s　（e）Q=12000m³/s　（f）Q=20000m³/s

图7　长江上游保护区南溪–江安段近岸带形态随流量的变化

（2）较小的流速有利于细颗粒泥沙的沉积，细颗粒泥沙或淤泥底质为底栖生物的生存提供了良好的条件，通过食物链的传导，流速较小的区域成为鱼类等的觅食生境。从这个角度看，具有宜于细颗粒泥沙沉积的流速范围可能也是近岸带应具备的特征。

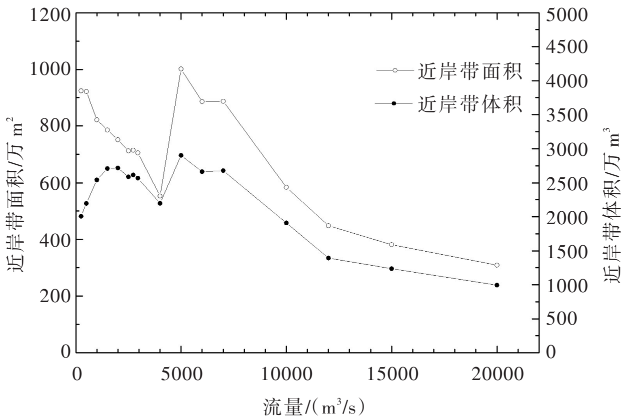


图8　长江上游保护区南溪—江安江段近岸带面积及体积随流量的变化

4.2　水文–近岸带涨落关系对生态水文组分划分的作用　对河流的水文过程，如何基于生态功能区分水文组分一直为人们所关注，洪水脉冲理论[39]、自然水流情势理论[40]、生态水文季节理论[43]、Richter等人关于环境水流组分的研究[45]等均可被视为在这一问题上的探索。自然水流情势理论将环境水流划分为高流量、低流量和洪水脉冲这3种流量组分，Richter等对此进行了发展，将水文过程划分为逐月低流量、极端低流量、高流量脉冲、小洪水（频率为2~10年一遇）、大洪水（频率为10年以上一遇）等

5种环境水流组分[45]。这种划分有其不足，如小洪水和大洪水的界定仍基于水文学上洪水频率的概念，缺乏生态学内涵；高流量的确定依赖于主槽存在与否，对长江上游这种洪泛滩区不明显的U型或W型河道(分汊河道)较难确定；逐月低流量和极端低流量等组分同样是水文学的概念。也就是说，上述自然水流情势中的流量组分多数仍体现为“水文组分”而非“生态水文组分”。

图1至图3所示的概念模型曲线上存在2个峰值和2个谷值，在对该曲线实现科学的定量化后，可以借助这些峰谷值(阈值)对特定河段的水位(从而流量)组分进行划分。此外，对水文数据的数据挖掘已成为水文-生态响应关系研究中的重要方法，水文-近岸带涨落关系可将简单的水位上涨过程映射为更为复杂的双峰过程，有望在针对水文过程的数据挖掘中发挥一定的作用。

5 结论

在天然河流中存在其特征与主流带有较大不同的近岸带。本文基于对近岸水体特征的认识对近岸带的定义进行了拓展，将近岸带定义为“水深、流速及床面剪应力相对较小、河床边界对水流约束相对较强、水体光热条件相对较好的沿河流纵向连续的沿岸条带状水域”。按照这一定义，随着水位的抬高，河流近岸带尺度(表现为近岸带宽度、面积或体积)的变化不是单调的，而是会出现变大-变小-再变大-再变小的“双峰”形态。这种变化关系对顺直、弯曲和分汊河道具有共性，可称为“水文-近岸带涨落关系”。从时空连续性上看，近岸带为河流水域中最具有连续性的结构，从景观生态学的观点来看，可认为是河流水域中最具有一般性的条带状基质，而在流量较大时出现的主流带体现为在近岸带这一基质上的突变或涌现。应用这一关系的难点在于对近岸带的科学界定。本文以长江上游为例对如何界定近岸带进行了初步的探索，将长江上游岷江口至赤水河口江段鱼类产卵场中心点在繁殖鱼类种类最多的4月份平均流量下的水深(6 m)作为区分近岸带和主流带的临界水深，通过统计获得了鱼类产卵场非常密集的南溪-江安江段的水文-近岸带涨落关系，统计结果基本印证了所提出的水文-近岸带涨落关系曲线的双峰特征。但这种仅基于水深界定近岸带的方法有其不足，对近岸带的界定仍需结合流速、泥沙沉积特征等进一步研究。在完成水文-近岸带涨落关系的定量化后，该关系有望为河流生态水文组分的划分提供相关阈值。

参 考 文 献：

[1] SCHIEMER F, KECKEIS H, RECKENDORFER W, et al. The "inshore retention concept" and its significance for large rivers[J]. Arch. Hydrobiol., 2001, 135(2): 509-516.

[2] LAPOINTE N W R, CORKUM L D, MANDRAK N E. Macrohabitat associations of fishes in shallow waters of the Detroit River[J]. Journal of Fish Biology, 2010, 76(3): 446-466.

[3] 邓朝阳，朱仁，严云志. 长江芜湖江段鱼类多样性及其群落结构的时空格局[J]. 淡水渔业，2013，43(1)：28-36.

[4] 魏卓，张先锋，王克雄，等. 长江江豚对八里江江段的利用及其栖息地现状的初步评价[J]. 动物学报，2003，49(2)：163-170.

[5] 何亚平，费世民，陈秀明，等. 雅砻江上游地区河岸带类型研究[J]. 四川林业科技，2008，29(5)：1-5.

[6] 杨胜天，王雪蕾，刘昌明，等. 岸边带生态系统研究进展[J]. 环境科学学报，2007，27(6)：894-905.

[7] 张建春. 河岸带功能及其管理[J]. 水土保持学报，2001，15(6)：143-146.

[8] 黄胜. 中国海岸河口研究的发展和现状[J]. 海洋工程，1983(1)：17-23.

[9] SEYMOUR R. The nearshore sediment transport study[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 1983, 109(1): 79-85.

[10] 谷国传，胡方西. 我国沿海近岸带水域的悬沙分布特征[J]. 地理研究，1989，8(2)：1-15.

[11] 陈祥锋，贾海林，刘苍字. 连云港南部近岸带沉积特征与沉积环境[J]. 华东师范大学学报(自然科学版)，2000(1)：74-81.

[12] 袁兴中，罗固源．溪流生态系统潜流带生态学研究概述[J]．生态学报，2003，23(5)：956-964．
[13] 吴健，黄沈发，唐浩，等．河流潜流带的生态系统健康研究进展[J]．水资源保护，2006，22(5)：5-8．
[14] 滕彦国，左锐，王金生．地表水-地下水的交错带及其生态功能[J]．地球与环境，2007，35(1)：1-8．
[15] 金光球，李凌．河流中潜流交换研究进展[J]．水科学进展，2008，19(2)：285-293．
[16] 夏继红，陈永明，王为木，等．河岸带潜流层动态过程与生态修复[J]．水科学进展，2013，24(4)：589-597．
[17] 单楠，阮晓红，冯杰．水生态屏障适宜宽度界定研究进展[J]．水科学进展，2012，23(4)：581-589．
[18] 邓红兵，王青春，王庆礼，等．河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]．应用生态学报，2001，12(6)：951-954．
[19] 钱进，王超，王沛芳，等．河湖滨岸缓冲带净污机理及适宜宽度研究进展[J]．水科学进展，2009，20(1)：139-144．
[20] 尹澄清．内陆水—陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景[J]．生态学报，1995，15(3)：331-335．
[21] 张宏斌，孟好军，刘贤德，等．黑河流域中游水陆交错带湿地芦苇种群动态变化特征[J]．生态科学，2012，31(5)：500-506．
[22] 赵长盛，陈庆峰，赵明，等．我国北方水陆交错带的功能与发展方向研究[J]．安徽农业科学，2012，40(30)：14823-14826．
[23] 江明喜，党海山，黄汉东，等．三峡库区香溪河流域河岸带种子植物区系研究[J]．长江流域资源与环境，2004，13(2)：178-182．
[24] PEARCE A, HESSION W, SWEENEY B. Riparian Forest Impacts on Aquatic Habitat Variability[M]//American Society of Civil Engineers, 2005.
[25] 王帅，赵聚国，叶碎高．河岸带植物生态水文效应研究述评[J]．亚热带水土保持，2008，20(1)：5-7．
[26] 于婷婷，徐奎栋．长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布[J]．生态学报，2013，33(15)：4556-4566．
[27] 徐东坡，刘凯，张敏莹，等．长江常熟江段近岸小型鱼类群落结构及多样性探析[J]．长江流域资源与环境，2012，21(4)：448-453．
[28] WOLTER C, SUKHODOLOV A. Random displacement versus habitat choice of fish larvae in rivers[J]. River Research and Applications, 2008, 24(5): 661-672.
[29] 吕新华，刘清．长江流域的湿地资源及其恢复保护[J]．地理与地理信息科学，2003，19(1)：70-73．
[30] 赵沙．沣河流域土地利用与水质变化及其关系的研究[D]．西安：陕西师范大学，2012．
[31] 陈荷生．太湖宜兴近岸水域"湖泛"现象初析[J]．水利水电科技进展，2011，31(4)：33-37．
[32] 张灿强，张彪，杨艳刚，等．太湖上游西苕溪近岸森林土壤氮磷养分差异特征[J]．水土保持学报，2011，25(5)：53-58．
[33] DOSSKEY M G, VIDON P, GURWICK N P, et al. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2010, 46(2): 261-277.
[34] LEUVEN R S E W, POUDEVIGNE I. Riverine landscape dynamics and ecological risk assessment[J]. Freshwater Biology, 2002, 47(4): 845-865.
[35] VIDON P, ALLAN C, BURNS D, et al. Hot spots and hot moments in riparian zones: potential for improved water quality management[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2010, 46(2): 278-298.
[36] VANNOTE R L, MINSHALL G W, CUMMINS K W, et al. The river continuum concept[J]. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 1980, 37(1): 130-137.
[37] WARD J V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1989, 8(1): 2-8.
[38] WARD J V, STANFORD J A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems[C]//Dynamics of lotic ecosystems. 1983.
[39] JUNK W J, BAYLEY P B, SPARKS R E. The flood pulse concept in river-floodplain systems[J]. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989, 106: 110-127.
[40] POFF N L, ALLAN J D, BAIN M B, et al. The natural flow regime - a paradigm for river conservation and restoration[J]. Bioscience, 1997, 47: 1163-1174.

[41] 董哲仁 . 河流生态系统结构功能模型研究[J]. 水生态学杂志，2008，1(1)：1-7 .
[42] 陈敏建 . 生态需水配置与生态调度[J]. 中国水利，2007(11)：21-24 .
[43] 陈敏建，王浩 . 中国分区域生态需水研究[J]. 中国水利，2007(9)：31-37 .
[44] 陈敏建，丰丽华，王立群，等 . 生态标准河流和调度管理研究[J]. 水科学进展，2006，17(5)：631-636 .
[45] RICHTER B D，WARNER A T，MEYER J L，et al . A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations[J]. River Research and Applications，2006，22(3)：297-318 .
[46] 王俊娜，董哲仁，廖文根，等 . 基于水文-生态响应关系的环境水流评估方法——以三峡水库及其坝下河段为例[J]. 中国科学：技术科学，2013，43(6)：715-726 .
[47] 邬建国 . 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版)[M]. 北京：高等教育出版社，2007 .
[48] JOHNSON L B，GAGE S H . Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems[J]. Freshwater Bilogy，1997，37：113-132 .
[49] WIENS J A . Riverine landscapes：taking landscape ecology into the water[J]. Freshwater Biology，2002，47：501-515 .
[50] JOHNSON L B，HOST G E . Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society，2010，29(1)：41-66 .
[51] 王立新，刘华民，刘玉虹，等 . 河流景观生态学概念、理论基础与研究重点[J]. 湿地科学，2014，12(2)：228-234 .
[52] MELLES S J，JONES N E，SCHMIDT B . Review of theoretical developments in stream ecology and their influence on stream classification and conservation planning[J]. Freshwater Biology，2012，57：415-434 .
[53] FAUSCH K D，TORGERSEN C E，BAXTER C V，et al . Landscapes to riverscapes：bridging the gap between research and conservation of stream fishes[J]. BioScience，2002，52(6)：483-489 .
[54] 钱宁，张仁，周志德 . 河床演变学[M]. 北京：科学出版社，1987 .
[55] 中国科学院地理研究所，长江水利水电科学研究院，长江航道局规划设计研究所 . 长江中下游河道特性及其演变[M]. 北京：科学出版社，1985 .
[56] WOOD P J，HANNAH D M，SADLER J P . Hydroecology and ecohydrology：past，present and future[M]. John Wiley & Sons Ltd，England，2007 .
[57] NESTLER J M，GOODWIN R A，SMITH D L，et al . A mathematical and conceptual framework for ecohydraulics[M]//Hydroecology and ecohydrology：past，present and future . John Wiley & Sons Ltd，2007 .
[58] JOHNSON L B，HOST G E . Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society，2010，29(1)：41-66 .
[59] 薛兴华，钱华 . 河流景观生态学的发展和当前核心议题[J]. 水科学进展，2018，29(6)：887-897 .
[60] FRISSELL C A，LISS W J，WARREN C E，et al . A hierarchical framework for stream habitat classification：viewing streams in a watershed context[J]. Environmental Management，1986，(10)：199-214 .
[61] DENT C L，GRIMM N B & FISHER S G . Multiscale effects of surface-subsurface exchange on stream water nutrient concentration[J]. Journal of the North American Benthological Society，2001，20：162-181 .
[62] WARD J V，TOCHNER K，ARSCOTT D B，et al . Riverine landscape diversity[J]. Freshwater Biology，2002，47：517-539 .
[63] FULLERTON A H，BURNETT K M，STEEL E A，et al . Hydrological connectivity for riverine fish：measurement challenges and research opportunities[J]. Freshwater Biology，2010，55：2215-2237 .
[64] 陈昂，隋欣，廖文根，等 . 我国河流生态基流理论研究回顾[J]. 中国水利水电科学研究院学报，2016，14(6)：401-411 .
[65] 危起伟，等 . 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告[M]. 北京：科学出版社，2012 .
[66] 中国水利水电科学研究院，长江上游水文水资源勘测局，长江科学院，等 . 珍稀特有鱼类繁殖生长的关键环境因子综合分析研究[R]. 2016 .
[67] 李倩 . 长江上游保护区干流鱼类栖息地地貌及水文特征研究[D]. 北京：中国水利水电科学研究院，2013 .
[68] 龚丽，吴一红，等 . 草鱼幼鱼游泳能力及游泳行为试验研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报，2015，13(3)：211-216 .

The mapping relation between inshore belt size and hydrologic condition with its connotation in riverine landscape

FENG Shunxin[1], LIAO Wengen[2], WANG Junna[1], YANG Qingrui[1]

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100038, *China*;

2. *General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design*, *Ministry of Water Resources*, *Beijing* 100120, *China*)

Abstract: The conceptual model which could well illustrate the fluctuations of riverine ecosystem is still to be developed. The hydraulic, water environmental, and biological characteristics of the inshore area of a river are distinctly different from those in main stream. The variations of position and size of the inshore belt are relatively obvious compared with those of the main stream, thus the fluctuation of the inshore belt can depict the ecological effects of hydrological process and the variation of the water area better. In this paper, the definition of inshore belt was generalized, and a conceptual model illustrating the mapping relation between the size of inshore belt and the variation of water level was presented, which seems applicable to different channel types such as straight / slightly sinuous, sinuous and braided type. There are two size peaks with the inshore belt on the curve depicting the mapping relation. In the viewpoint of riverine landscape, inshore belt can be regarded as a ribbon-like matrix of water area of a river, with perfect continuity both in time and space span; the main stream belt can be treated as a type of structure emerging from the inshore belt matrix, when the discharge surpasses a critical value. The upper Yangtze River reach from the Nanxi Town to the Jiangan Town was employed as an example to examine the conceptual model, and how to define the inshore belt together with its application in the classification of ecological hydrologic components was discussed finally.

Keywords: inshore belt; mapping relation between inshore belt size and hydrologic condition; riverine landscape; matrix; upper reaches of the Yangtze River

(责任编辑：祁　伟)

论文摘要编写要点

1.摘要是论文内容不加注释和评论的简短陈述，应包含正文的要点，具有独立性和自含性，让读者不阅读全文就能了解论文的基本内容，以判断有无必要阅读全文，也可供二次文摘采用。

2.摘要应说明研究工作的目的、方法与手段、结果和结论，要尽量简短，尽可能省略课题的背景信息。

3.摘要中的内容应在正文中出现，不能对正文进行补充和修改。

4.摘要中不用图、表、非公用共知的符号和术语，不能引用文献；缩写名称在第一次出现时要有全称(包括中文和英文)。

5.摘要中不要多列数据，出现的应该是最重要的、最关键数据。

6.中文摘要一般200字左右，中英文摘要应基本对照，不能因为某些内容不好翻译就略去。

7.关键词是为了文献标引工作，是从论文中选取出来用以表示全文主题内容信息的单词或术语，一般为3～8个词，尽量用规范词。

《中国水利水电科学研究院学报(中英文)》编辑部