

# 河湖水系连通特征及其利弊

夏 军<sup>1</sup>,高 扬<sup>1</sup>,左其亭<sup>2</sup>,刘晓洁<sup>1</sup>,陈庆美<sup>1</sup>,窦 明<sup>2</sup>

(1. 陆地水循环及地表过程重点实验室,中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;

2. 郑州大学水科学研究中心,郑州 450001)

**摘 要:**随着水资源以及水环境健康的恶化,河湖水系连通性作为河流健康以及提高水资源利用的一个重要指标在国家“十二五”战略规划中被着重提出。目前,中国对河湖水系连通特征及其对河流健康的影响缺乏足够的认识,本文主要对河湖水系连通的定义、分类、评判指标、影响因素及其对水环境健康的影响进行了一一阐述。分析表明:维持水系连通可以明显地改善湿地生态环境,维持湿地生态环境及生物多样性,保障防洪安全和水资源可持续利用。同时,河湖连通也会带来对生态环境的负面影响,主要包括:①原本水质好的河流和水质相对较差河流连通后降低原来河流的水质;②加剧连通河流中物种及鱼类等生命体的竞争;③水量充沛的河流支援水量不足的湖泊,将减少该河流的有效可利用水量;④导致水面蒸发量减少影响地表及陆地的水循环,影响地区的气候变化;⑤上游地区与下游地区河湖连通将导致下游地区河湖泥沙及淤积量急剧增加。

**关 键 词:**水系连通性;河流健康;水环境;生态效应

## 1 引言

随着水资源的匮乏及水环境健康的恶化,人们逐渐认识到河湖水系连通的重要性,在健康长江评价指标体系中水系连通首次作为一个重要指标被提出来<sup>[1-2]</sup>。但由于河湖水系、水文、地形和地貌特征的复杂性,使得中国的河湖连通战略不能简单模仿国外的成功案例,仍需要进行反复的验证与调研。2010年9月30日,国务院副总理回良玉在国务院加快水利建设专题会议上着重指出:“抓紧建设一批骨干水资源配置工程、重点水源工程和河湖水系连通工程以提高水资源时空调控和城乡供水保障水平”。同年,水利部陈雷部长在部署“十二五”规划工作中也着重强调:“深入研究河湖水系连通、水量调配和提高水环境承载能力问题,发挥河湖水系的综合功能,实现水量优化调配”。

目前,中国可供研究的河湖水系连通性的成功案例较少,尤其对水系连通性及其环境影响还缺乏足够的认识,专门讨论河湖水系连通性及其对河流健康影响的相关报道也较少。因此,本文阐述了河

湖连通的战略意义和特征,以加深水系连通对中国水环境生态健康的影响机理的认识,为中国“十二五”战略规划中河湖水系连通的健康发展、各流域开发利用和综合管理提供基础信息支撑。

## 2 河流分类与水系分布

中国河流水系主要分为内流河和外流河(图1),前者是最终未流入海洋的河流,后者是最终流入海洋的河流。外流河区面积占全国总面积的2/3,河流水量占全国总水量的95%以上;内流区面积占全国总面积的1/3,河流水量占全国总水量不到5%。外流河主要包括太平洋水系、印度洋水系以及北冰洋水系。太平洋水系的主要河流包括黑龙江、海河、黄河、淮河、长江、珠江、澜沧江等;印度洋水系的主要河流包括怒江、雅鲁藏布江等;北冰洋水系的河流主要是额尔齐斯河。其中国际性河流主要包括黑龙江、额尔齐斯河、雅鲁藏布江、怒江、澜沧江等,外流河的水系特征见表1。中国的内流河包括塔里木河和黑河,内流河属温带大陆性

收稿日期:2011-03; 修订日期:2011-06.

基金项目:国家“973”项目(2010CB428403);国家水体污染控制与治理重大专项项目(2009ZX07210-006)。

作者简介:夏军(1954-),博士生导师,首席研究员,主要从事陆地水循环及水文学研究。E-mail: xiaj@igsnr.ac.cn

通讯作者:高扬(1981-),博士,助理研究员,主要从事地球化学循环及环境修复研究。E-mail: gaoyang0898@163.com;

gaoyang@igsnr.ac.cn

气候,降水少,蒸发旺,下渗多;水量主要来自冰雪融水和山地降水,季节变化大;再加上温室效应,蒸发加强,导致下游河流水量减少甚至干涸。内流河的下游河段来水量锐减,河道干涸断流,土地撂荒甚至严重沙化,生态环境恶化<sup>[3-5]</sup>。

而根据河流水流的补给条件又划分为下列8大类型<sup>[3,6]</sup>:①东北地区以雨水补给为主,并有季节性冰雪融水补给的河流;②华北地区以雨水或地下水补给为主,并有少量季节性冰雪融水补给的河流;③内蒙古、新疆部分地区雨水补给的河流;④西北高山地区永久性冰雪融水或季节性冰雪融水补给及雨水补给的河流;⑤华中地区以雨水补给为主的河流;⑥东南沿海地区和岛屿有台风雨补给的河流;⑦西南地区雨水补给为主的河流;⑧青藏高原地区永久性冰雪融水补给和地下水补给的河流。

3 河湖水系连通的定义与类型

3.1 水系连通定义

水系连通性可定义为:在自然和人工形成的江湖库水系基础上,维系、重塑或新建满足一定功能目标的水流连接通道,以维持相对稳定的流动水体及其联系的物质循环的状况。河湖水系通道畅通性主要包括两种情况:水系通道的过流能力,主要体现在河流连通对洪水的排泄能力方面;水系连

通是否受人工建筑物阻隔,主要体现在水流通道、生物通道、航运通道是否受阻等方面<sup>[7-8]</sup>。

3.2 河湖水系连通分类的指导思想

在认真贯彻落实人水和谐治水理念、尊重自然演变规律和社会发展规划基础上,深入探讨河湖水系的驱动因素、自然地理特征、连通目标、连通形式和连通特点,并综合运用现代水资源学、经济学、社会学、生态学、环境学、地理学、系统工程、信息学原理,构建适合中国国情的河湖水系连通分类体系,以指导河湖水系的自然保护与人工控制、修复,水资源合理配置和经济社会合理布局,推动流域经济社会与生态系统协调、健康发展<sup>[9-11]</sup>。

3.3 河湖水系连通分类的基本原则

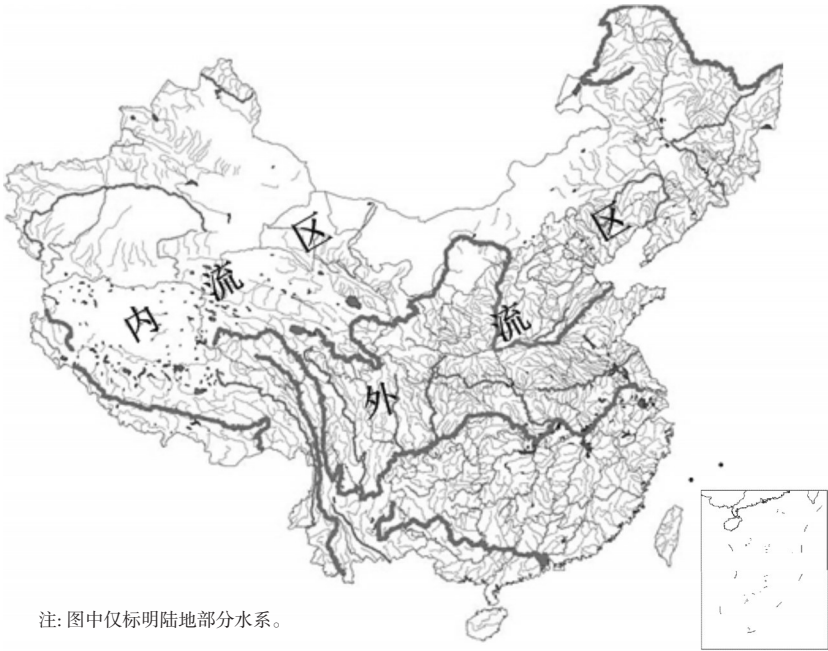
(1) 相关性原则

在分类过程中,应综合考虑流域自然地理和气候条件、流域上下游水资源条件、湖泊分布连通特点、水生态系统特点、用水需求等关键要素,既要考虑它们在空间上的差异,以突出不同分类的特点,又要考虑其具有一定相似性,以保证分类具有可操作性。

表 1 外流河水文特征

Tab.1 Characteristics of the outflow of rivers in China

地区	河流	流量	汛期	水位变化	含沙量	结冰期
东北	黑龙江松花江	丰富	较短春夏汛	较小	小	长
秦岭淮河以北	辽河、海河、黄河	较小	短夏汛	大	很大	短
秦岭淮河以南	长江、珠江、闽江	丰富	长	小	小	无



注: 图中仅标明陆地部分水系。

图 1 中国河流水系图  
Fig.1 The map of China's river system

(2) 主导性原则

在有跨多个流域的河湖水系连通分类时,以大流域连通优先;在具有多种连通方式的河湖水系连通分类时,以主导连通方式优先;在河湖水系连通具有多个连通目的时,以主导连通目的优先,等。

(3) 完整性原则

按照一定分类角度、属性进行分类时,要考虑完备、不遗漏,虽然有些分类可能当前并无相关案例,但作为分类指导,要将所有可能包含的子类予以列出。

(4) 表征性原则

通过不同河湖水系连通角度、属性进行分类,从得出结果可以构绘出河湖水系连通基本情况,体现出各个特征,便于对河湖水系连通的理解、研究。

3.4 河湖水系连通分类体系构建

- (1) 按驱动因素可分为自然演进型、人工驱动型、自然-人工复合型等;
- (2) 按地理位置可分为北方干旱型、南方湿润型、西南高原型、西北内陆型等;

(3) 按水系特点可分为山区连通型、平原连通型、平原河网型等;

(4) 按空间格局可分为国际连通型、跨流域连通型、流域内连通型、区内连通型、市内连通型等不同层面;

(5) 按连通目的可分为资源调配型、环境修复型、灾害防御型、综合效益型等;

(6) 按连通对象可分为河河连通型、河湖连通型、河库连通型、河湿连通型、河湖城市连通型、市市水网连通型、河渠连通型、组合连通型等;

(7) 按连通方式可分为疏通修复型、连通新建型、阻隔断绝型等;

(8) 按时间效应可分为短期效应型、长期效应型等。其中从水资源管理工作需求出发,推荐以连通目的、空间格局和连通对象的分类方式。上述分类体系如图2所示。

3.5 水系连通分类等级与功能组合

河湖水系连通分类等级主要从自然地理分异、连通区域、连通目的3个层面来划分江河湖库水系

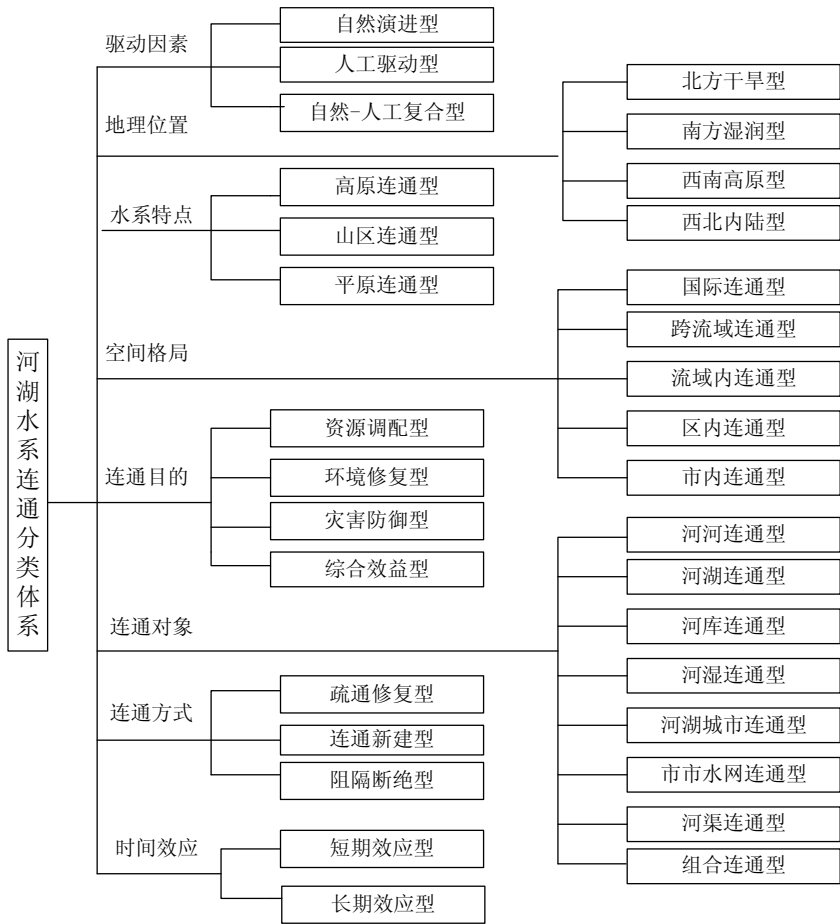


图2 河湖水系连通分类体系概况  
Fig.2 Classification of interconnected rivers system



连通类型。①以自然地理分异为依据,可分为湿润半湿润区水系连通型、干旱半干旱区水系连通型两大类;②以连通区域尺度为依据,可分为国家层面水系连通型、流域层面水系连通型、区域层面水系连通型、城市层面水系连通型4大类;③以连通目的为依据,可分为资源调配型、水质改善型、水灾害防御型、综合治理型4大类(表2)。

在河湖水系连通功能组合方面,以上3个层面的江河湖库水系连通分类方式可以自由组合,进一步生成32种具体的连通类型。例如,湿润半湿润区-国家层面-资源调配型(如南水北调工程);干旱半干旱区-流域层面-水质改善型(如塔里木河流域下游应急输水工程);湿润半湿润区-城市层面-水灾害防御型(如德州水网工程)等等。

4 河湖水系连通评判指标与特征

4.1 河湖水系连通类型评判指标

(1) 人均水资源占有量

人均水资源占有量是进行水资源紧缺程度评价的常用指标。河湖水系连通实现前后,通过使用该指标进行评价,得各区域水资源紧缺程度变化。人均水资源占有量可认为是河湖水系连通的地理位置属性的子属性。通过评价区域水资源紧缺程度,对照区域所处的地理位置,进行有序的河湖水系连通分类。

(2) 河网密度

河网密度是流域结构特征的一个重要指标。河网密度与气候条件和下垫面条件密切相关。从气候方面来说,自然界为了及时将地表径流向外排泄,必将塑造一定的河流网络与之相对应,因此河网密度反映了区域降雨及径流特征。从下垫面方面来说,河网密度还受入渗能力的影响。随着渗透性加大,流域河网密度降低。一般情况下,河网密度越高的地方,遭遇洪水的可能性越大<sup>[12]</sup>。采用河网密度作为河湖水系连通类型的评判标准,不仅能

在反应河湖水系连通的地理位置属性,也能反应河湖水系连通的水系特点属性。

(3) 平均海拔

河湖水系连通区域及连通通道的平均海拔作为河湖水系连通的评判指标。区域平均海拔作为中国陆地地貌类型分类中的一个划分指标,在河湖水系连通类型评判中,其在一定意义上反应出河湖水系连通体所处区域的地理位置和水系特点<sup>[13]</sup>。此外,连通区域之间的平均海拔之差,能反应出河湖水系连通难易度。

(4) 连通时间

河湖水系连通时间是河湖水系连通的时间效应属性的直接评判指标。在保证一定流量的基础上,通过测量河流、湖泊等水体的连通时间,直接反应河湖水系连通体的作用时间,即河湖水系连通的发挥功效的时间长久,进而与指标标准比较,得出河湖水系连通的时间效应分类结果。

(5) 水资源交换与再分配

不同河流的上、中、下游的自然条件差异较大,调节能力不同,径流量年内分配也不同,通过河流与河流之间的连通交接,加强连通体的径流量分配,提高水资源循环更新能力和蓄泄能力;半封闭型和封闭型湖泊具有湖泊水量补给不足、湖面蒸发量大、换水周期长、自我调节能力较差、净化功能相对较弱、生态系统脆弱等特点。

4.2 河流连通对水环境健康的影响

水系连通可维持湿地生态系统的完整性,同时也影响到流域水资源的开发利用和区域分配。水系连通性还影响水功能区水质状况,水系连通性越好,水流的自净能力和纳污能力都会增强。同时,水生生物多样性也需通过水系连通来实现,没有水系连通,水生生物多样性就会受到很大影响<sup>[14-16]</sup>。流域生态环境需水量的供给只有通过水系连通才能实现,河流的完整性和地貌特征的多样性只有通过水系连通才能得以保持,只有保持水系连通,才能保持生物栖息地的完整和生物多样性的维持。大坝的修建割断了河道的纵向连通性,改变水流的时间和空间分布,引起水文情势的变化及生态系统物理、化学和地貌形态的改变<sup>[17]</sup>。大坝的存在一方面可以减小流量变率,使径流量在年内的分配更加均匀,减轻汛期的洪水危害,同时增加枯季的水量供给,更好地满足最小生态流量的需求,但由于流量变幅减小,原先可以在洪水季节过水的湿地缺乏

表2 江河湖库水系连通分类等级和功能  
Tab.2 Classification of interconnected rivers system and its functions

分类考虑因素	自然地理分异	连通区域尺度	连通目的
类型	湿润半湿润区 干旱半干旱区	国家层面	资源调配型
		流域层面	水质改善型
		区域层面	水灾害防御型
		城市层面	综合治理型

水源补充,不利于湿地生物的生长,有可能降低河流湿地的生物多样性<sup>[18]</sup>。因此,水系连通性是影响河流健康的重要因子,是健康水系其他评价指标的联系纽带。水系连通性对河流健康状况的影响主要表现在对水质、湿地生态环境、水生动物资源、防洪及水资源利用等方面的影响。水系连通性对河流健康的影响与河流湖泊水流流动性存在很大的差异,其污染物的迁移和降解特征也存在较大差异,不同连通特性的水体具有不同的降解特性<sup>[19-20]</sup>。

#### 4.3 水系连通性影响因素分析

河湖连通性的影响因素包括影响湖泊的形成和河湖的连接通道两个方面。从地质历史时期及人类历史时期的时间尺度看,新构造运动、气候变化等自然因素在水系连通的阻碍方面是主导因子,人类活动对水系的连通在很多地方起着决定性的作用,如人口迁徙、水土流失、湖泊淤积、大面积围垦等<sup>[21]</sup>。新构造运动沉降形成了湖泊容纳水体所需的地形条件,有利于湖泊的形成。气候变化不仅使降雨发生变化,使湖泊的入流条件发生改变,而且还由于温度的大幅度变化形成冰期和间冰期气候。泥沙淤积发生在入汇湖泊的支流或湖泊汇入长江的支流河道内,使河流水系与湖泊联系通道阻塞,水系连通性变差。

人为因素对水系连通性影响主要包括:围垦、筑堤、建闸和开凿运河等<sup>[21-22]</sup>。从十年至百年时间尺度看,围垦是影响河湖连通性最为重要的因素之一;筑堤和建闸人为地切断了河流与湖泊的自然连通,节制了干流及其支流和湖泊间的水力联系,从而使得原来的通江湖泊变为阻隔湖泊;开凿运河有利于增强水系的连通,而且能使湖泊补充一定的水源,缓解地区湖泊的污染,修复湖泊生态功能。

### 5 河湖连通的利弊与展望

水系连通对保持河湖环境健康具有重要影响,其主要表现在对水质、湿地生态环境、水生动物资源、防洪及水资源利用等方面。但河湖连通同时也会带来一些对生态环境的负面影响,主要包括:①可能会使原本水质好的河流由于和水质相对较差河流连通后降低原来河流的水质;②河湖连通会加剧连通河流中物种及鱼类等生命体的竞争,虽然会促进优胜劣汰但也会使原先河流中竞争性较弱的种类濒临灭绝;③通过河湖连通,水量充沛的河流

支援水量不足的湖泊,会大大减少该河流的有效可利用水量,影响通航水深和湿地蓄水量;④径流量充足的河湖由于水量减少而导致该地区水面蒸发量减少影响该地表及陆地的水循环,从长时间看将影响地区的气候变化,如降水减少,极端气候增加等;⑤上游地区与下游地区河湖连通将导致下游地区河湖泥沙及淤积量急剧增加,从而引起下游地区河湖水环境生态健康质量降低。

人为修建的大坝阻断了水流的自由流动通道和生物通道,使流域生境破碎化,但径流量的年内变化将变得更加均匀。闸口一方面阻碍了江湖连通,但也可为河湖连通带来有利的影响,通过改变闸口调度机制,实行闸口生态调度,对实现江湖连通有较大的帮助<sup>[21-22]</sup>。展望中国的南水北调工程,通过跨流域的水资源合理配置,大大缓解中国北方水资源严重短缺问题,促进南北方经济、社会与人口、资源、环境的协调发展。但在未来发展中也将面临水环境生态健康及气候变化等诸多问题的挑战,如何平衡河湖连通的利弊,使其朝着有利于环境健康方向发展是未来河湖连通战略所急需要克服的问题。

#### 参考文献

- [1] 吴道喜,黄思平.健康长江指标体系研究.水利水电快报,2007,28(12): 1-3.
- [2] 唐涛,蔡庆华,刘健康.河流生态系统健康及其评价.应用生态学报,2002,13(9): 1191-1194.
- [3] 王苏民,窦鸿身.中国湖泊志.北京:科学出版社,1998.
- [4] 李阔,李国胜.珠江三角洲地区风暴潮重现期及增水与环境要素的关系.地理科学进展,2011,30(4): 433-438.
- [5] 卢磊,乔木,周生斌,等.1960-2009年新疆渭干河流域蒸发皿蒸发量变化特征.地理科学进展,2011,30(3): 306-312.
- [6] 毛飞,孙涵,杨红龙.干湿气候区划研究进展.地理科学进展,2011,30(1): 17-26.
- [7] 张欧阳,卜惠峰,王翠平,等.长江流域水系连通性对河流健康的影响.人民长江,2010,41(2): 1-5.
- [8] 张欧阳,熊文,丁洪亮.长江流域水系连通特征及其影响因素分析.人民长江,2010,41(1): 1-5.
- [9] 刘昌明,夏军,于静洁.东北地区有关水土资源配置、生态与环境保护盒可持续发展的若干战略问题研究.北京:科学出版社,2007.
- [10] 夏军,程绪水,左其亭,等.淮河流域水环境.北京:科学出版社,2009.
- [11] 夏军,左其亭,邵民诚.博斯腾湖水资源可持续利用.北京:科学出版社,2003.

- [12] 黄诗峰, 徐美, 陈德清. GIS 支持下的河网密度提取及其在洪水危险性分析中的应用. 自然灾害学报, 2001, 10 (4): 129-132.
- [13] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨. 第四纪研究, 2008, 28(4): 535-543.
- [14] Rogers K, Biggs H. Integrating indicators, endpoints and value systems in strategic management of the river of the Kruger National Park. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 254-263.
- [15] Healthy Rivers Commission. Healthy River for Tomorrow. Sydney: Heohhy River Commission, 2003.
- [16] Wong B B M, Keogh J S, McGlashan D J. Current and historical patterns of drainage connectivity in eastern Australia inferred from population genetic structuring in a widespread freshwater fish *Pseudomugil signifier* (*Pseudomugilidae*). *Molecular Ecology*, 2004, 13: 391-401, doi: 10.1046/j.1365-294X.2003.02085.x.
- [17] 党丽娟, 徐勇, 徐学选. 黄土丘陵区地表水和地下水对降水的响应: 以康沟小流域为例. 地理科学进展, 2011, 30(1): 87-94.
- [18] 朱迪, 常剑波. 长江中游浅水湖泊生物完整性时空变化. 生态学报, 2004, 24(12): 2761-2767.
- [19] 何用, 李义天, 吴道喜, 等. 水沙过程与河流健康. 水利学报, 2006, 37(11): 1354-1359.
- [20] 吴道喜, 黄思平. 健康长江指标体系研究. 水利水电快报, 2007, 28(12): 1-3.
- [21] 汪恕诚. 再谈人与自然和谐相处: 兼论大坝与生态. 中国水利, 2004(8): 6-9.
- [22] 吴逮喜. 长江流域防洪体系与评价. 中国水利, 2003(3): 64 -66.

## Characteristics of Interconnected Rivers System and Its Ecological Effects on Water Environment

XIA Jun<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>, ZUO Qiting<sup>2</sup>, LIU Xiaojie<sup>1</sup>, CHEN Qingmei<sup>1</sup>, DOU Ming<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes,

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** As there is a trend of deterioration of the water resource and environmental quality in China, the interconnected rivers system, which is an important target for river health and enhancing water resource utilization, was emphasized by National 12th Five-year Plan (2011-2015). Currently, we are lack of knowledge in characteristics on drainage connectivity and river health. Thus, the aim of this paper is to clarify the definition of interconnected rivers system, classification, evaluation indicators, impact factors and the effects on water environment health. The interconnected rivers system can improve wetland ecological environment, maintain biodiversity, and safeguard flood control security and sustainable utilization of water resources. However, interconnected rivers system has ecological and environmental adventure, including: (1) because of interconnected rivers, the water quality, wherein original river is good, will be worse due to mixing with poor water quality; (2) interconnected rivers will increase the competition of fish and other species in the rivers; (3) through interconnected rivers system, the rivers and lakes which have plenty of rainwater supplement those lack of rainwater, which will greatly reduce the effective water resource; (4) reducing runoff from the rivers and lakes which are plenty of rainwater will result in reducing evaporation in the area of the land surface and the water cycle, and then, lead to climate change in the region; (5) the connectivity of upstream and downstream will result in dramatic increase in sand and sediment in downstream rivers.

**Key words:** interconnected rivers system; river health; water environment; ecological effect

本文引用格式:

夏军, 高扬, 左其亭, 等. 河湖水系连通特征及其利弊. 地理科学进展, 2012, 31(1): 26-31.