

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.02.024

全国不同区域河流生态基流达标现状与不达标原因

张 璞¹, 刘 欢¹, 胡 鹏¹, 王建华¹, 侯虹波²

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 北京市通州区推进京津冀协同发展服务中心, 北京 101199)

摘要:为系统认识我国不同区域河流生态基流达标现状, 针对全国各大流域 90 个已确定生态基流目标的主要河流控制断面, 基于 2009—2018 年实测流量资料, 综合月均流量、日均流量 2 种不同达标评估方法, 对断面生态基流达标现状进行了评估, 并初步剖析了不同区域不达标原因, 提出了调控保障建议。结果表明: 按照月均流量达标评价, 全国主要河流断面生态基流达标率为 73.3%; 采用日均流量达标评价方法, 全国主要河流断面生态基流达标率显著下降, 仅为 26.7%。东北、西南地区生态基流达标率好于其他区域, 黄淮海地区的淮河水系、沂沭泗水系及东南沿海地区的西江水系为本次评价中生态基流达标率最差的 3 个水系。全国层面, 取用水总量高、取用水季节性冲突、水利工程不合理调度等人为因素是生态基流不达标的主要原因, 占比 62.3%。

关键词:生态基流; 生态流量; 水资源; 达标评价; 河流断面

中图分类号:TV121 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)02-0176-07

Current situation of compliance of river ecological base flow and noncompliance reasons in different regions of China // ZHANG Pu¹, LIU Huan¹, HU Peng¹, WANG Jianhua¹, HOU Hongbo² (1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower, Beijing 100038, China; 2. Beijing Tongzhou District Service Center of Coordinated Development of the Beijing-Tianjin-Hebei Region, Beijing 101199, China)

Abstract: In order to systematically understand the current situation of river ecological base flow in different regions of China, two different compliance assessment methods of monthly average flow and daily average flow were used to evaluate the current situation of the ecological base flow of river cross-sections, and the noncompliance reasons in different regions were preliminarily analyzed based on 90 main river cross-sections with established ecological base flow targets and the flow data in the period from 2009 to 2018. Regulation and guarantee measures were put forward. The results showed that the ecological base flow compliance rate of main river cross-sections in China was 73.3% when the monthly average flow was taken as the evaluation unit. The rate dropped significantly to only 26.7% when the daily average flow was taken as the evaluation unit. The compliance rates of ecological base flow in the northeastern and southwestern regions were better than other regions. The Huaihe River system and Yi-Shu-Si River system from the Huang-Huai-Hai Region, and the Xijiang River system from the Southeast coastal region were the three river systems with the worst ecological base flow compliance rates in the evaluation. Human activities, including high total water withdrawal, seasonal conflicts in water withdrawal, and irrational dispatch of water conservancy projects, were the main noncompliance reasons, accounting for 62.3%.

Key words: ecological base flow; ecological flow; water resources; compliance assessment; river cross-section

河流是生态系统的重要组成部分, 人类经济社会的发展离不开对河流的开发利用。然而, 人类活动将不可避免地天然水文情势造成干扰, 严重时

会导致河道流量大幅减少甚至出现断流^[1-2]。已有许多国内外学者根据不同河流的实际情况研究了人类活动对河道流量的影响, Pradeep 等^[3]定量识别了

基金项目: 国家自然科学基金(52122902, 51625904, 42001040); 中国水利水电科学研究院基本科研业务费项目(WR0145B072021, WR0145B022021)

作者简介: 张璞(1992—), 男, 博士研究生, 主要从事水文水资源、水生态环境保护研究。E-mail: zhangpu1992@foxmail.com

通信作者: 胡鹏(1985—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源、水生态环境保护研究。E-mail: hp5426@126.com

1858 年以来气候变化和人类活动对哥伦比亚河流域水文循环和泥沙运输的影响,发现哥伦比亚河流量下降了 16.5%,气候变化和灌溉取水对径流下降的贡献大体相当。Grafton 等^[4]研究指出,近 50~100 年来科罗拉多河、墨累-达令河、奥兰治河和黄河径流都有减少趋势,过度取用水是除气候变化外最主要的原因。张建云等^[5]研究表明,1956—2018 年期间,中国 7 条主要江河(松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江)实测径流量除长江外均呈现不同程度的下降趋势,海河流域部分测站降幅高达 80% 以上。

在诸多河流径流量减少的背景下,为了在保证社会经济发展的同时,降低因人类活动造成的流量减少,及其对河流系统生物多样性、生态环境造成的不良影响,使人类活动不至于破坏河流生态系统自身的弹性,生态基流的概念应运而生^[6-9]。关于生态基流的评估计算始于 20 世纪 40 年代,截至 2003 年,已经形成了包括水文学方法、水力学方法、生境模拟法、整体分析法等不同类型 200 多种计算方法^[10],近年仍有学者根据河流实际情况提出新的计算方法^[11-12]。众多学者利用不同方法对全国多个河段的生态基流进行了计算,如武玮等^[13]根据 Tennant 法等 3 种方法估算了渭河关中段的生态流量,结果表明 3 种方法结果差异较大;栾清华等^[14]基于基流比例法估算了永定河一级支流洋河干流的生态基流需求;杨志峰等^[15]利用生态基流量整合计算模型对海河流域各子系统生态基流量进行了整合计算,确定了高、中、低不同方案下的河流生态基流量。我国不同河流水文情势、生态保护要求、水资源开发利用程度等千差万别,生态基流保障现状及面临的问题具有显著差异,但全国层面生态基流达标现状评价和不达标原因分析的研究较少。

依据文献^[16-19]及《第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)》中的要求,分别采用月均流量、日均流量作为年内径流过程达标评价依据,对全国已定生态基流目标的 57 条河流 90 个断面 2009—2018 年生态基流达标情况及不达标原因进行了解析。研究结果有助于全面系统了解我国生态基流保障现状及面临的挑战,并为未来全国河流生态基流目标的科学确定和评估提供参考。

1 研究数据和方法

1.1 研究数据

2020 年 4 月,水利部印发了《第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)》,提出了首批 83 个重点断面的生态流量目标。基于此,结合全国各流域综合规划中确定的重点断面生态流量目标,整理了全

国范围内 90 个已确定生态基流目标的重点河流断面,根据其 2009—2018 年逐日平均流量数据对其生态基流达标状况进行了分析。相关数据来自各流域历年水文年鉴。90 个断面在各水资源一级区的具体分布情况见表 1 所示。海河区和西北诸河区的现状河湖生态需水主要体现在生态水量保障层面,尚未制定重点断面生态基流目标,其他一级区均有代表性河流和断面参评。90 个参评断面流域面积均大于 2000 km²,其中流域面积 10000 km²以上的大型断面 69 个,2000~10000 km²的中型断面 21 个,具体分布见表 1。

表 1 90 个参评断面分布情况

Table 1 Distribution of 90 cross-sections

水资源一级区	断面总数	大型断面数量	中型断面数量
松花江区	4	4	0
辽河区	1	1	0
黄河区	7	7	0
淮河区	6	4	2
长江区	56	44	12
东南诸河区	1	0	1
珠江区	15	9	6
合计	90	69	21

考虑到各流域之间以及流域内部水资源本底条件、地形地貌特征和社会经济发展水平的异同情况,参考 SL/Z 738—2016《水生态文明城市建设评价导则》,将全国划分为东北地区、黄淮海地区、长江中下游地区、东南沿海地区、西南地区 and 西北地区六大区域,以剖析不同地区生态基流达标现状和不达标原因的差异性。其中东北地区包括松花江、辽河两个一级区;黄淮海地区包括黄河、淮河、海河 3 个一级区;长江中下游地区为长江流域的中游和下游;东南沿海地区包括珠江、东南诸河两个一级区;西南地区包括西南诸河区和长江流域上游;西北地区为西北诸河一级区。

1.2 生态基流达标评价方法

由于水文过程的随机性和周期性,生态基流具有保证率的概念。因此,评估河流生态基流是否达标不能仅看某一年的结果,而应该采用最近一个时期的达标情况综合确定。《第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)》中规定:“河流主要控制断面的生态基流保证率原则上应不小于 90%”。因此,采取断面 2009—2018 年径流过程进行评价,若 2009—2018 年中年内径流过程达到生态基流目标要求的年份不少于 9 年,则认为该断面生态基流达标。不同区域生态基流达标率计算公式为

$$R_m = S_m / S_t \times 100\% \quad (1)$$

其中

$$S_m = S_{mt} + S_{mn}$$

$$R_d = \frac{S_d}{S_t} \times 100\% \quad (2)$$

其中

$$S_d = S_{dt} + S_{dn}$$

式中: R_m 为月均流量生态基流达标率; S_m 为月均流量达标断面数; S_t 为参评总断面数; S_{mt} 为2009—2018年月均流量均达到生态基流目标的断面数; S_{mnt} 为2009—2018年中有9年月均流量达到生态基流目标的断面数; R_d 为日均流量生态基流达标率; S_d 为日均流量达标断面数; S_{dt} 为2009—2018年日均流量均达到生态基流目标的断面数; S_{dn} 为2009—2018年中有9年日均流量达到生态基流目标的断面数。

1.3 生态基流不达标原因分析方法

对于生态基流不达标断面,从遭遇自然枯水年、取用水总量高、取用水季节性冲突、水利工程不合理调度以及其他共5个方面进行原因解析(表2)。

表2 生态基流不达标原因分类及判别条件

Table 2 Noncompliance reasons and discriminant conditions of ecological base flow

编号	原因名称	判别条件
A	遭遇自然枯水年	不达标年份中断面集水区90%以上降水频率的枯水年达到或超过2次
B	取用水总量高	断面天然和实测径流量之差高于年天然径流量的10%
C	取用水季节性冲突	农业用水高峰期(4—6月)断面天然和实测径流量之差高于对应月份天然径流量的20%
D	水利工程不合理调度	天然状态下不断流但实际发生断流
E	其他	下垫面变化导致产汇流关系变异、基流目标设置不合理等

注:天然径流量资料来自第三次全国水资源调查评价成果。

对于某一断面,若2009—2018年生态基流不达标,又不满足A~D中任何一项原因的判别条件,则将其不达标原因归结为“其他”(E)。其他因素包括下垫面变化导致断面集水区产汇流关系变异、基流目标设置不合理等。需要指出的是,某一断面可能同时满足A~D中的多项判别条件,则将其归之为综合失衡型,在不达标原因统计分析时,将多种原因均考虑在内。

2 结果与讨论

2.1 全国生态基流达标情况

分别采用月均、日均流量作为年内达标评价依据,2009—2018年主要河流断面生态基流达标率见表3。全国月均流量生态基流达标率为73.3%,整体情况较好,其中东南沿海地区、黄淮海地区达标率较低,分别为50%、61.5%,其余3区均在80%左右。而以日均流量作为评价依据,全国生态基流达标率急剧下降为26.7%,除东北地区达标率达到

60%外,其余4区仅长江中下游地区达到30%。66个月均流量达标断面中有44个日均流量不达标,占比高达66.7%。由此可见,采用何种年内达标评价方式对于生态基流的达标情况影响显著。《第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)》中规定,“河流主要控制断面生态基流保障情况原则上按日均流量进行评价”。若现阶段严格按此要求,对于我国生态基流调控保障的要求将十分高,大部分断面达标难度较大。考虑到第一批制定目标断面均是现阶段生态流量保障情况较好的断面,若采用日均流量作为生态基流达标评价标准过于严苛,且未充分考虑河流生态系统本身的弹性和耐受性;而月均流量评价过于宽松,会掩盖月内不同时期的不达标问题,需要进一步研究探索适应现阶段我国生态流量管理的达标评价标准。

表3 全国重点河流主要断面生态基流达标率

Table 3 Compliance rates of ecological base flow in major river cross-sections of key rivers in China

分区	参评断面数量	月均流量达标数量	月均流量达标率/%	日均流量达标数量	日均流量达标率/%
东北地区	5	4	80.0	3	60.0
黄淮海地区	13	8	61.5	2	15.4
长江中下游地区	39	31	79.5	12	30.8
东南沿海地区	16	8	50.0	2	12.5
西南地区	17	15	88.2	5	29.4
全国	90	66	73.3	24	26.7

过往研究多采用月均流量对生态基流满足情况进行评价,如张萍等^[16]根据2013年全国275个重要控制断面实测月均流量数据对其月生态基流满足情况进行了测算,结果显示南方的长江区、珠江区及东南诸河区及北方大江大河上游河段达标情况较好,满足程度较差的断面主要分布在辽河区、海河区、黄河区及淮河区,其结果与本文结果基本一致。

2.2 全国生态基流不达标原因

对45个有长系列天然径流资料的日均流量评价不达标断面的不达标原因进行分析,结果见表4。综合各断面不达标原因,造成生态基流不达标的主要原因是取用水季节性冲突,贡献占比达到32.5%,其次分别是遭遇自然枯水年(29.9%)、取用水总量高(18.2%)、水利工程不合理调度(11.7%)和其他(7.8%)。从各分区来看,东北地区和黄淮海地区日均流量不达标的主要原因是取用水总量高和取用水季节性冲突;长江中下游地区的主因是遭遇自然枯水年和取用水季节性冲突;西南地区 and 东南沿海地区日均流量不达标的首要因素是近10年遭遇自然枯水年较多。

表 4 各地区生态基流不达标原因比例

Table 4 Proportions of noncompliance reasons of ecological base flow in each region

分区	不达标原因比例/%				
	A	B	C	D	E
东北地区	0	50.0	50.0	0	0
黄淮海地区	16.7	33.3	36.7	13.3	0
长江中下游地区	36.4	3.0	30.3	15.2	15.2
东南沿海地区	50.0	12.5	25.0	0	12.5
西南地区	100.0	0	0	0	0
全国	29.9	18.2	32.5	11.7	7.8

根据《中国水资源公报》,2009—2018 年南方(长江中下游地区、东南沿海地区、西南地区)平均年用水量仅占平均地表水资源量的 14.9%,而北方除西北地区外(东北地区、黄淮海地区)则高达 65.2%,且南方 3 地区 2009—2018 年平均地表水资源量是北方 2 地区的 7 倍,可见人类取用水行为对北方地区影响更大。由于本文所选断面多位于南方,故本次统计结果一定程度上抬高了自然降水丰枯变化对全国生态基流达标情况的影响,实际上人类活动的影响应更大。

2.3 不同区域达标情况与不达标原因

根据上文区域划分依据,进一步分析各地区生态基流达标情况及不达标原因。

2.3.1 东北地区

东北地区共评价 5 个断面(图 1),涉及松花江干流、嫩江干流、东辽河干流。具体而言,嫩江干流的江桥、大赉断面,以及松花江干流的哈尔滨断面日均流量均达标,生态基流保障情况较好。松花江的扶余断面月均流量达标,但日均流量 10 年中有 6 年不达标。东辽河干流的王奔断面,月均流量和日均流量分别有 2 年、9 年不达标,生态基流保障情况较差。从各断面不达标原因来看,扶余、王奔均同时面

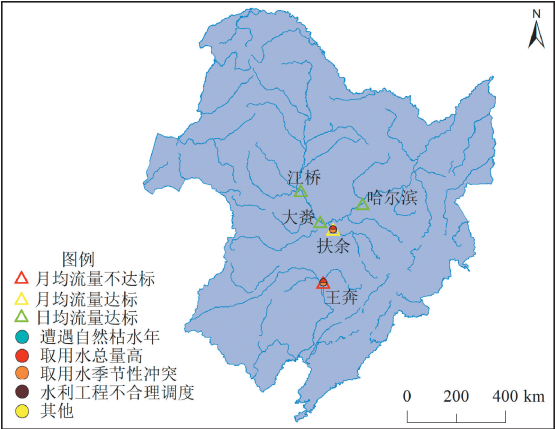


图 1 东北地区生态基流情况与不达标原因
Fig. 1 Situation and noncompliance reasons of ecological base flow in Northeast Region

临取水总量高、取水季节性冲突的影响。

2.3.2 黄淮海地区

黄淮海地区共评价 13 个断面(图 2),涉及黄河干流及渭河、大通河支流,淮河干流及沂河、新沭河、史河、颍河支流。总体看本次评价中黄河干流生态基流达标情况较好,淮河及沂沭泗水系达标情况较差。

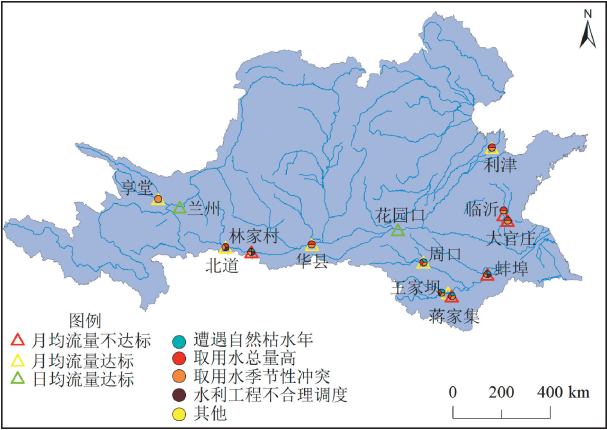


图 2 黄淮海地区生态基流达标情况与不达标原因
Fig. 2 Situation and noncompliance reasons of ecological base flow in Huang-Huai-Hai Region

黄河干流共评价 3 个断面,其中兰州、花园口是黄淮海地区仅有的日均流量达标断面,下游利津断面有 2 年日均流量不达标,但日均流量达标天数占比均高于 97%,可见黄河干流生态基流保障情况较好。支流共评价 4 个断面,其中渭河的林家村断面月均流量不达标,且有 5 年日均流量达标天数占比低于 85%,其他 3 个断面均为月均流量达标但日均流量不达标。

淮河流域的淮河水系及沂沭泗水系共评价 6 个断面,日均流量均未达标,月均流量仅淮河干流的王家坝、颍河的周口断面达标,是本次评价中生态基流达标情况最差的区域。其中,位于淮河流域中东部的蚌埠、临沂、大官庄断面全部 10 年中日均流量均未达到生态基流目标要求,且部分年份日均流量达标天数占比不足 80%,是本次评价中黄淮海地区生态基流保障程度最差的几个断面。

从不达标原因来看,黄淮海地区 11 个日均流量不达标断面中,除大通河的享堂断面仅受取水季节性冲突影响外,其余均同时受到取水总量高、取水季节性冲突的影响,部分断面还受水利工程不合理调度影响,表现为综合失衡型。总的来说,取水失衡是造成黄淮海地区河流断面生态基流不达标主因,其中取水总量高、取水季节性冲突的贡献占比分别为 33.3%、36.7%,遭遇自然枯水年、水利工程不合理调度的贡献占比分别为 16.7%、

13.3%。

2.3.3 长江中下游地区

长江中下游地区共评价 39 个断面(图 3,部分断面因缺少天然径流资料未进行不达标原因分析),涉及长江干流及汉江、赣江、湘江、沅江、乌江等主要支流。总体而言,干流生态基流达标情况好于支流,洞庭湖、鄱阳湖水系达标情况好于其他河流水系。

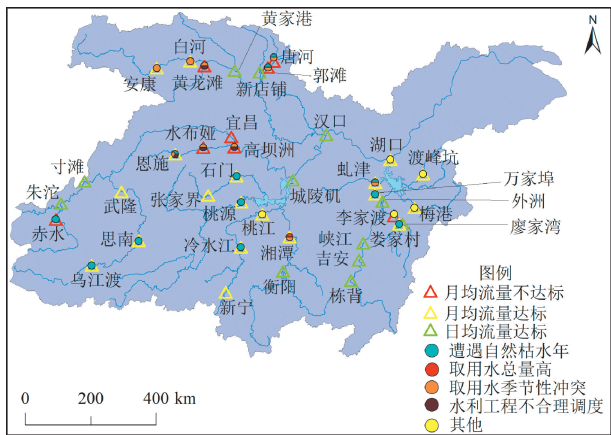


图 3 长江中下游地区生态基流达标情况及不达标原因

Fig. 3 Situation and noncompliance reasons of ecological base flow in Middle and Lower Reaches of Yangtze River Region

长江干流 4 个参评断面中,朱沱、寸滩、汉口断面日均流量达标,但宜昌断面 2009 年、2010 年月均流量不达标。总体来说长江干流生态基流达标情况较好。

鄱阳湖、洞庭湖两湖水系共评价 21 个断面,除李家渡、张家界断面部分年份日均流量达标天数占比低于 90% 外,几乎所有断面日均流量达标天数占比均在 99% 以上。值得一提的是,赣江干流上 4 个参评断面日均流量均达标,是长江中下游地区生态基流保障情况最好的主要河流。

汉江水系共评价 7 个断面,其中黄龙滩、唐河、郭滩 3 个支流断面月均流量不达标。总体而言干流达标情况好于支流,干流中下游好于上游。上游安康、白河及黄龙滩断面日均流量不达标,中游丹江汇入后,经丹江口水库调蓄后,生态基流保障情况好转,黄家港断面日均流量达标。白河上的新店铺断面日均流量达标,但临近的唐河的郭滩、唐河断面月均流量均不达标。

赤水河、乌江、清江等长江上游支流生态基流保障情况同样不容乐观,7 个参评断面中有 3 个月均流量不达标。尤其是清江上的水布娅、高坝洲断面近 10 年日均流量全部未能达标,且日均流量达标天数占比低于 90%,生态基流保障压力大。

整体来看,遭遇自然枯水年和取用水季节性冲突是长江中下游地区生态基流不达标的主因,贡献占比分别为 36.4%、30.3%,其次为水利工程不合理调度和其他,均占比 15.2%,仅湘潭断面受到取用水总量高的影响,这与长江中下游地区水资源总体丰沛的本底条件有关。不达标原因受地域影响呈现出明显差异,北部河流如汉江、清江受人类活动影响较大,主要原因是取用水季节性冲突及水利工程不合理调度;东部的鄱阳湖水系大部分断面受集水区产汇流关系变异、基流目标设置不合理等因素影响。西南部的洞庭湖水系及赤水河、乌江等支流不达标原因主要为近 10 年多次遭遇 90% 以上枯水年。

2.3.4 东南沿海地区

东南沿海地区共评价 16 个断面(图 4,部分断面因缺少天然径流资料未进行不达标原因分析),涉及珠江、韩江和晋江水系。总的来说,东西部生态基流达标情况差异巨大,珠江流域的西江水系为本次评价中生态基流达标情况最差的主要水系之一。西江水系 11 个参评断面中有 8 个断面月均流量不达标,而日均流量全部不达标,生态基流保障面临较大挑战。具体来说,干流断面达标情况稍好于支流,干流 4 个参评断面日均流量不达标年数均在 6~8 年,多数年份日均流量达标天数占比高于 80%。而支流 7 个参评断面除涌尾断面外,日均流量不达标年数均在 8 年以上,多数年份日均流量达标天数占比低于 80%。其中,桂林、南丰两个断面部分年份日均流量达标天数占比低于 50%,为 90 个参评断面中日均流量达标率最差的 2 个参评断面。

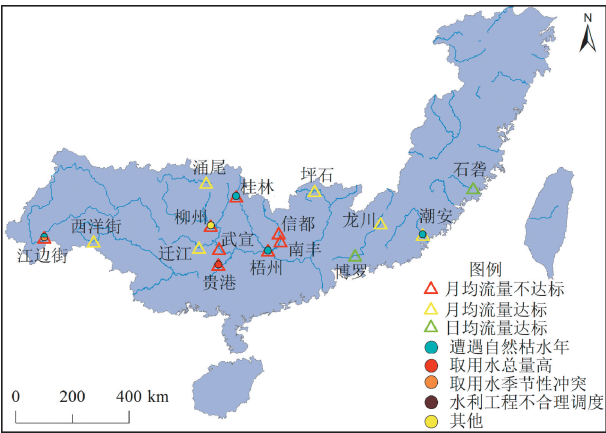


图 4 东南沿海地区生态基流达标情况及不达标原因

Fig. 4 Situation and noncompliance reasons of ecological base flow in Southeast coastal region

总体来看,造成西江水系生态基流达标情况差的原因是《第一批重点河湖生态流量保障目标(试行)》中仅对柳州、涌尾断面设定了生态基流目标

值,评价时主要采用了综合规划中制定的断面生态基流目标,其目标制定过高,其中桂林断面生态基流目标占多年平均天然径流量 44.8%,断面生态基流占比平均值为 26.7%。因此,在下一阶段生态流量目标制定和保障工作中,西江水系原有的生态基流目标应进行科学修订。此外,近 10 年遭遇自然枯水年较多,也是影响东南沿海地区生态基流达标的重要因素,尤其是 2009、2011 两年降水整体偏枯,大部分断面均在这两年遭遇 90% 以上枯水年型。

2.3.5 西南地区

西南地区共评价 17 个断面(图 5,部分断面因缺少天然径流资料未进行不达标原因分析),涉及金沙江、雅砻江、岷江、嘉陵江、大渡河等水系。总体而言西部生态基流保障情况好于东部,金沙江、岷江达标情况最好。

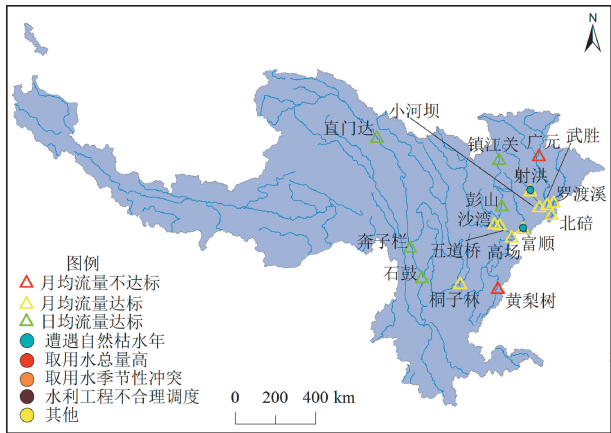


图 5 西南地区生态基流达标情况及不达标原因
Fig. 5 Situation and noncompliance reasons of ecological base flow in Southwest Region

金沙江干流上的直门达、奔子栏、石鼓 3 个断面日均流量均达标,生态基流保障状况良好;岷江 4 个参评断面日均流量达标天数占比均在 99% 以上,其中镇江关、彭山断面日均流量达标;嘉陵江生态基流保障水平不容乐观,无论是干流还是支流参评断面日均流量均未达到相应目标要求。其中,支流上的射洪、小河坝和罗渡溪断面 10 年中日均流量有 8 ~ 10 年不达标,生态基流严重不足。

西南地区共有 12 个断面日均流量不达标,遭遇自然枯水年是其生态基流不达标的主要原因,12 个断面中 6 个近 10 年遭遇不低于 2 次 90% 以上枯水年,占比达到 50%。由于该区域欠缺天然径流资料,对该区域取用水总量等人类活动影响的贡献未做深入分析。

2.4 区域生态基流改善对策

根据不同区域生态基流达标现状和不达标原因解析,从改善河流生态基流保障程度及区域水土资

源平衡的角度,对于取用水总量高和取用水季节性冲突为生态基流不达标主要原因的区域(主要分布在东北地区、黄淮海地区),需要坚持节水优先的基本原则,发挥水资源最大刚性约束作用,强化取用水全过程监管,从维系河湖生命健康的角度加大农业、工业、生态用水调度与统筹,保障基本生态用水,真正做到还水于河。对于水利工程不合理调度为主要原因的区域(主要分布在黄淮海地区、长江中下游地区),需要加强水利工程多目标优化调度,协调工程供水、灌溉、防洪、生态等多方效益;对于人类活动强度一般,自然枯水年和其他影响显著的区域(主要分布在东南沿海地区、西南地区),需要强化干旱年河流生态流量应急预警和调控保障,科学合理地开展水利工程生态调度,协调防洪兴利与生态保护的关系,以期通过径流调节满足生态流量需求、促进生态系统恢复。总之,河流生态流量监管保障是新时期我国水利改革发展的重要任务,如何科学确定河流生态基流目标并逐步提高保障水平目前尚处于探索阶段,需要根据不同区域、不同类型河流特点开展深入研究。

3 结 论

a. 采用月均流量作为年内生态基流达标评价依据,全国 90 个参评断面整体达标率为 73.3%;采用日均流量作为生态基流达标评价依据,全国整体达标率为 26.7%。

b. 将全国划分为六大区域,根据月均流量评估,东北地区和西南地区最高,达标率均在 80% 以上,东南沿海地区最低,达标率仅为 50%;采用日均流量评价,除东北地区由于参评断面较少,达标率达到 60% 以外,其他区域日均流量达标率均在 40% 以下。综合来看,采用日均流量作为生态基流达标评价标准过于严苛,而月均流量评价过于宽松,如何在现阶段采取适宜的评价方式,有待于进一步深入研究。

c. 取用水季节性冲突、遭遇自然枯水年、取用水总量高、水利工程不合理调度是造成我国河流生态基流不达标的主要原因,贡献占比分别为 32.5%、29.9%、18.2%、11.7%,另有 7.8% 来自产汇流关系变异、基流目标制定不合理等因素。其中,东北地区和黄淮海地区不达标原因以取用水总量高、取用水季节性冲突为主,东南沿海地区、西南地区以遭遇自然枯水年为主,长江中下游地区各种原因贡献相对均衡。

参考文献:

[1] MAGILLIGAN F J, NISLOW K H. Changes in hydrologic

- regime by dams[J]. *Geomorphology*, 2005, 71: 61-78.
- [2] 何振芳, 郭庆春, 邓焕广, 等. 南水北调调蓄湖泊水质参数遥感反演及其影响因素[J]. *水资源保护*, 2021, 37(3): 87-95. (HE Zhenfang, GUO Qingchun, DENG Huangang, et al. Remote sensing inversion of water quality parameters and its influencing factors in a storage lake of South-to-North Water Diversion Project[J]. *Water Resources Protection*, 2021, 37(3): 87-95. (in Chinese))
- [3] PRADEEP K N, DAVID A J. Distinguishing human and climate influences on the Columbia River: changes in mean flow and sediment transport [J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 404(3): 259-277.
- [4] GRAFTON R Q, PITTOCK J, DAVIS R, et al. Global insights into water resources, climate change and governance [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(4): 315-321.
- [5] 张建云, 王国庆, 金君良, 等. 1956-2018 年中国江河径流演变及其变化特征[J]. *水科学进展*, 2020, 31(2): 153-161. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, JIN Junliang, et al. Evolution and variation characteristics of the recorded runoff for the major rivers in China during 1956-2018[J]. *Advances in Water Science*, 2020, 31(2): 153-161. (in Chinese))
- [6] 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. (CHEN Ang, SUI Xin, LIAO Wengen, et al. Review study on instream ecological base flow in China [J]. *Journal of China Institute Water Resource and Hydropower Research*, 2016, 14(6): 401-411. (in Chinese))
- [7] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 7(4): 1-23.
- [8] BOTTER G, BASSO S, RODRIGUEZ-ITURBE I, et al. Resilience of river flow regimes [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(32).
- [9] SMAKHTIN V U. Lowflow hydrology: a review[J]. *Journal of Hydrology*. 2001, 240(3/4): 147-186.
- [10] THARME R E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers [J]. *River Research and Applications*. 2003, 19(5/6): 397-441.
- [11] 李扬, 孙翀, 刘涵希. 福建省域河流生态流量监管与控制目标核定[J]. *水资源保护*, 2020, 36(2): 92-96. (LI Yang, SUN Chong, LIU Hanxi. Supervision of river ecological flow and verification of control objectives in Fujian Province[J]. *Water Resources Protection*, 2020, 36(2): 92-96. (in Chinese))
- [12] 华祖林, 董越洋, 褚克坚. 高度人工化城市河流生态水位和生态流量计算方法[J]. *水资源保护*, 2021, 37(1): 140-144. (HUA Zulin, DONG Yueyang, CHU Kejian. Calculation method of ecological water level and discharge in highly artificial urban river [J]. *Water Resources Protection*, 2021, 37(1): 140-144. (in Chinese))
- [13] 武玮, 徐宗学, 左德鹏. 渭河关中段生态基流量估算研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(10): 68-74. (WU Wei, XU Zongxue, ZUO Depeng. Ecological baseflow in the Guanzhong reach of the Wei River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(10): 68-74. (in Chinese))
- [14] 栾清华, 刘存, 张俊, 等. 基于基流比例法的洋河干流生态基流估算[J]. *水利水电技术*, 2018, 49(6): 101-108. (LUAN Qinghua, LIU Cun, ZHANG Jun, et al. Basic flow ratio method-based estimation of ecological basic flow of main stream of Yanghe River [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2018, 49(6): 101-108. (in Chinese))
- [15] 杨志峰, 刘静玲, 肖芳, 等. 海河流域河流生态基流量整合计算[J]. *环境科学学报*, 2005, 25(4): 442-448. (YANG Zhifeng, LIU Jingling, XIAO Fang, et al. Conformity calculation of river ecological basic flows in the Haihe River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4): 442-448. (in Chinese))
- [16] 张萍, 高丽娜, 孙翀, 等. 中国主要河湖生态综合评价[J]. *水利学报*, 2016, 47(1): 94-100. (ZHANG Ping, GAO Lina, SUN Chong, et al. Integrated evaluation on aquatic ecosystems of main rivers and lakes in China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2016, 47(1): 94-100. (in Chinese))
- [17] 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. (ZHANG Jing, DONG Zheren, SUN Dongya, et al. Complete river health assessment index system based on eco-regional method according to dominant ecological functions[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(8): 883-892. (in Chinese))
- [18] 王东升, 袁树堂, 杨祺. 金沙江流域云南片水文极小值演变及生态基流保障分析[J]. *水资源保护*, 2019, 35(4): 35-41. (WANG Dongsheng, YUAN Shutang, YANG Qi. Analysis of hydrological minimum evolution and ecological base flow guarantee in Yunnan area of Jinshajiang River Basin, China [J]. *Water Resources Protection*, 2019, 35(4): 35-41. (in Chinese))
- [19] 金纯, 姜翠玲, 吴为. 基于水力水文学法的大渡河上游生态流量确定[J]. *水利水电科技进展*, 2021, 41(2): 8-14. (JIN Chun, JIANG Cuiling, WU Wei. Determination of ecological flow in upstream of Daduhe River based on hydraulic and hydrological methods [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2021, 41(2): 8-14. (in Chinese))

(收稿日期: 2020-12-21 编辑: 俞云利)