

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220215

适用于西南山区河流的生态流量确定方法研究

姚航斌¹, 万东辉¹, 张丽¹, 陈捷汝², 董延军¹, 王凌河¹, 郑久瑜¹

(1. 珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611;

2. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350000)

摘要:受地形及季风影响,我国西南山区河流丰枯变化明显,常见的生态流量确定方法对于西南山区河流的适用性暂不明确。为探究适用于西南山区河流的生态流量确定方法,本文选取大环江作为典型河流,对比分析水文学法、水力学法应用于西南山区河流的生态流量计算结果。结果表明,Texas法、Lyon法等基于月均流量的水文学法汛期生态流量计算结果偏大;以特定时段最枯或特枯流量作为生态流量的方法,如7Q10法、Qp法等,忽略了西南山区河流的季节性变化;推荐以R2Cross法、湿周法计算结果分别作为上、下包线,结合Q50-Q90法、Tennant法等水文学方法综合确定西南山区河流生态流量目标。

关键词:西南山区河流;生态流量;水文学法;水力学法

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2023)05-0057-06

0 引言

生态流量是指为维持江河湖水生态系统结构和功能,需保留在江河湖内的流量或其过程^[1]。近年来,为推进生态文明建设,全国各地江河湖生态流量保障工作不断加强,生态流量确定方法及理论基础不断完善。生态流量保障目标多样化^[2-3]、计算方法不断改进^[4-5]、研究的河湖类型不断丰富^[6-7]。

我国西南地区山地、盆地、高原和丘陵交错分布,地形地貌复杂,地势海拔较高,河流比降大,水流流速较快。同时,西南山区降雨时空差异较大,导致河道内流量季节性变化大^[8]。此外,高地势和复杂的地形使西南山区河流拥有丰富的水能资源,现状多数河流上游建有一定数量的水库和小水电站,导致河流形成脱减水河段,影响河道内生物的生存和迁移。

目前关于西南山区河流的生态流量目标确定方法研究偏少,水文学法、水力学法对于西南山区河流的适用性暂不明确,未形成针对西南山区河流生态流量确

定的统一方法。本文以广西大环江为例,探究水文学法、水力学法在西南山区型河流生态流量目标确定的合理性和适用性,为科学合理开展西南山区型河流生态流量目标确定及生态流量保障工作提供参考。

1 生态流量计算方法

生态流量计算方法大致可分为水文学法、水力学法、生境模拟法、整体法等4个大类,方法总数超200种^[9]。水文学法是以历史水文资料为基础确定河流生态流量,其综合考虑河流流量丰枯变化和生态环境状态,但忽略了河床形态、水生生物等与河道流量的关系。水力学法基于河道内流量与断面水力参数的关系,推求保持河道生态环境所需的流量;水力学法计算所需的河道断面及水力参数可通过现场实测获取,但其未考虑河流流量的季节性变化。生境模拟法是基于研究区域内主要生物及生存环境对河道流量的需求,进而推求适宜生物生存的流量;该方法需充分考虑生物生存因素,且计算过程复杂繁琐。整体法综合

收稿日期:2022-06-12

网络首发日期:2023-10-20

网络首发地址:<https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1814.P.20231020.1353.009.html>

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科AB19259015);科技基础资源调查专项项目(2019FY101900)

作者简介:姚航斌,(1997—),男,福建福州,硕士,助理工程师,主要研究方向为城市水文、水生态。E-mail:yaohangb1997@163.com

通信作者:万东辉,(1980—),男,湖北随州,博士,正高级工程师,主要研究方向为流域水文循环、生态水文。E-mail:wandh2003@126.com

统筹考虑整个河流生态系统(包括流量、泥沙、生物、河床形态等)的用水需求,其涉及要素复杂、需求资料多,因此应用极少。

整体而言,水文学法、水力学法理论基础完善,在我国各地应用广泛,且其所需的资料较少。而生境模拟法和整体法在我国应用较少,且涉及生态因素繁多,对资料需求庞大,计算过程繁琐,不适用于资料数据匮乏的山区河流。因此,本文重点针对水文学法、水力学法在西南山区河流的适用性展开研究。

常见的水文学法包括Tennant法(蒙大拿法)、Qp法、流量历时曲线法、7Q10法、近10年最枯月平均流量法等,常见的水力学法有湿周法等,方法具体参见《河湖生态环境需水计算规范》(SL/T 712-2021);本次采用选用的方法还涉及Q50-Q90法^[10]、Lyon法^[10]、逐月最小生态径流法^[11]、Texas法^[12]、基流比例法^[12]、年内展布法^[13]、R2-CROSS法^[11]等。

2 实例分析

2.1 研究区域

大环江系柳江支流龙江的支流,发源于贵州省荔波县南部,流经贵州省荔波县,广西壮族自治区环江县、河池市,在河池市东江镇汇入龙江,全长164.8 km,总流域面积3 097 km²,多年平均流量为量63.8 m³/s。其主要支流有山岗河、六瑶河、古宾河等。流域干流上规划建设有江色水电站、合作水电站、中山水电站、下板六水电站、下湘水电站等5级电站。上游是环江县主要矿区之一,也是县林业基地。中下游流域土地资源丰富,土地肥沃,是县粮食基地;下游比降较上、中游小,流速相对较低,水量大,鱼类资源较为丰富。

大环江流域具有典型的西南山区河流特征。其处于云贵高原丘陵区域的过渡地带,流域内地形以低山丘陵为主,地势北高南低,河流整体比降较大,河道内流量流速较大;同时,大环江流域属于亚热带季风区,汛期(4月至9月)降雨集中,降雨量约占全年的80%;枯期(10月至翌年3月)干燥,降雨量少,由此导致河道内流量季节性变化剧烈。

下湘电站位于大环江下游,约6 km后汇入龙江,为大环江上规划的最末一级水电站,坝上控制流域面积为3 035 km²,约占总流域面积的98%,且具有流量监测能力。因此,选取下湘电站下游断面为生态流量控制断面开展研究。

2.2 计算结果

基于大环江下湘电站2001—2021年逐日入库流量和下湘电站下游断面及水力参数等数据,采用水文学法和水力学法分别计算大环江生态流量。

2.2.1 水文学法参数选取情况及生态流量计算

水文方法各方法的计算结果见表1,相关参数选取情况如下:

(1)Tennant法选取生态环境状态为差、中、好对应的流量比例,其中差、中、好年内较枯时段对应的流量比例分别为10%、10%、20%,年内较丰时段对应的流量比例分别为10%、30%、40%。

(2)流量历时曲线法及Qp法选取90%和95%作为设计保证率。

(3)7Q10法选取90%保证率下,年内连续7天最枯流量平均值作为生态流量计算结果。

(4)近10年最枯月流量法选取大环江下湘电站2012—2021年逐日流量序列作为计算基础数据。

(5)Lyon法枯期和汛期的生态流量为历史逐月流量中位数的40%和60%。

(6)Texas法分别选取25%、50%、75%保证率开展计算。

(7)基流比例法选取丰平枯三个水平年开展计算,丰、平、枯水年基流比例为丰、平、枯水年历年最枯月的平均流量占丰、平、枯水年平均流量的百分比^[12]。

2.2.2 水力学法相关参数选取情况及计算结果

(1)湿周法。大环江下湘电站河段比降 J 为5.23‰,糙率 n 为0.32,结合下湘电站下游断面实际,计算不同湿周下流量值并点绘成图1。根据图1拟合结果可知,大环江下湘断面湿周与流量的拟合函数为 $y=8.0479 \ln(x)+11.116$,拟合度 R^2 为0.963 8。根据拟合函数计算得下湘电站断面的生态流量为8.05 m³/s。

(2)R2-Cross法。R2-Cross法基于指示物种生态需求,结合平均水深(断面面积/水面宽度)、平均流速(流量/断面面积)、湿周率(特定流量对应湿周与多年平均流量对应湿周的比值)3个水力生境参数,综合确定生态流量。

a)指示物种。根据大环江下游鱼市的走访调查以及查阅《广西鱼志》、《珠江流域广西主要江河鱼类资源调查与研究》等相关书籍,大环江共有鱼种57种,其中鲤科鱼类数量占比最大,达到70.2%,因此选取鲤鱼作为本研究区域的指示物种。

表1 基于水文学法的大环江下湘电站下游断面生态流量计算

Table 1 Calculation of ecological flow in the downstream section of Xiaxiang hydropower station on the great ring River Based on hydrological method

生态流量计算方法	生态流量计算结果/(m ³ /s)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
Tennant法-差	1.31	1.29	2.07	3.87	9.02	19.69	15.65	8.21	5.66	2.28	3.02	1.47
Tennant法-中	1.31	1.29	2.07	11.62	27.07	59.07	46.96	24.62	16.99	2.28	3.02	1.47
Tennant法-好	2.62	2.58	4.14	15.50	36.10	78.76	62.61	32.83	22.66	4.56	6.03	2.94
Qp-90%	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
Qp-95%	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
流量历时曲线法(90%)	5.10	5.87	6.32	12.78	33.94	87.94	74.93	26.23	12.41	9.18	6.87	4.92
流量历时曲线法(95%)	4.22	4.91	5.29	10.60	28.02	73.44	63.13	21.81	11.64	7.60	6.31	4.08
7Q10法	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57
近10年最枯月流量法	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38
Q50-Q90法	5.10	5.87	6.32	12.78	12.26	12.26	12.26	12.26	12.41	9.18	6.87	4.92
Lyon法	4.38	4.64	6.89	17.79	48.69	113.83	86.90	47.09	20.41	6.92	6.23	5.35
逐月最小生态径流法	3.65	4.89	5.58	10.47	27.74	65.00	63.94	18.84	7.99	7.69	5.32	4.83
Texas法-25%	16.85	16.30	27.07	50.46	116.36	248.95	195.93	107.06	72.27	29.18	38.90	19.11
Texas法-50%	11.22	11.56	16.19	31.29	76.41	175.35	141.87	65.44	33.94	19.71	19.13	11.94
Texas法-75%	7.34	8.07	9.53	19.07	49.28	121.61	101.30	39.33	17.09	13.09	9.80	7.33
基流比例法-丰水年	1.02	1.02	2.39	2.39	5.95	5.95	5.95	5.95	2.39	2.39	1.02	1.02
基流比例法-平水年	0.75	0.75	1.26	1.26	5.65	5.65	5.65	5.65	1.26	1.26	0.75	0.75
基流比例法-枯水年	0.55	0.55	1.21	1.21	4.76	4.76	4.76	4.76	1.21	1.21	0.55	0.55
年内展布法	4.03	3.97	6.36	11.90	27.72	60.49	48.09	25.21	17.40	7.00	9.27	4.51

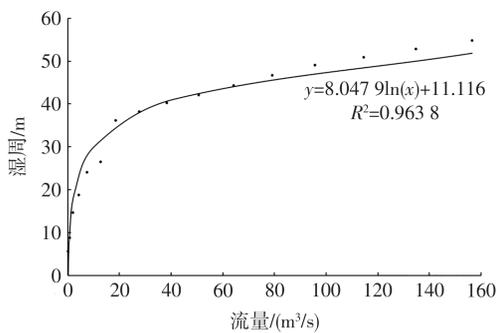


图1 大环江下湘电站下游断面湿周法拟合结果

Fig.1 Fitting results of wet perimeter method for downstream section of Xiaxiang hydropower station on the Dahuan River

b)水力生境参数。河流湿周率水力参数应该大于75%^[11],鲤鱼生活适宜水深为1~1.5 m^[13],适宜流速范围0.45~0.9 m/s^[14]。汛期生态流量对应的平均水深、平均流速及湿周率需均满足要求,枯期则满足任意两个即可^[15]。

c)计算结果。根据指示物种及水力参数,计算得下湘电站下游断面不同水深对应的流量与水力生境参数的关系(见表2),结合枯期、汛期生态需求,得到

下湘电站下游断面枯期的生态流量为16.51 m³/s,汛期为54.76 m³/s。

2.3 结果分析

根据下湘电站下游断面水文学法和水力学法生态流量计算结果,绘制不同方法计算结果对比见图2。

(1)基于月均流量的水文学法汛期生态流量计算结果偏大。设计频率为25%、50%、75%的Texas法,Lyon法,生态环境状态为中、好的Tennant法,流量历时曲线法,逐月最小生态径流法,年内展布法等汛期生态流量计算结果明显大于其他方法,其中以5—8月最为明显。其原因在于西南山区汛期降雨日数多且降雨量大,河道内流量随暴雨陡涨陡落,导致月内日均流量差异大,月均流量明显大于月内无雨日流量,进而影响以月均流量为基础的水文学法汛期生态流量计算结果。

(2)7Q10法、近10年最小流量法、Qp法、湿周法等忽略了西南山区河流季节性变化。7Q10法,近10年最小流量法,设计频率为90%、95%的Qp法与湿周

表2 R2-Cross 法不同水深对应的流量与水力生境参数的关系

Table 2 Relationship between discharge corresponding to different water depths and hydraulic habitat parameters by R2-cross method

最大水深/m	$Q/(m^3/s)$	湿周/m	面积/ m^2	水面宽/m	平均水深/m	平均流速/m/s	湿周率/%
0.5	0.20	5.56	1.82	5.41	0.34	0.11	13
1.0	0.85	8.72	5.25	8.39	0.63	0.16	20
1.5	2.07	14.59	11.04	14.14	0.78	0.19	34
2.0	4.36	18.72	19.07	18.05	1.06	0.23	43
2.5	7.55	24.00	29.29	23.14	1.27	0.26	55
3.0	12.80	26.44	41.78	25.26	1.65	0.31	61
3.5	18.63	36.11	59.27	34.50	1.72	0.31	83
4.0	27.75	38.16	76.96	36.27	2.12	0.36	88
4.5	38.43	40.21	95.54	38.04	2.51	0.40	93
5.0	50.77	42.04	114.94	39.56	2.91	0.44	97
5.3	58.75	43.30	126.96	40.66	3.12	0.46	100
5.5	64.29	44.25	135.18	41.53	3.26	0.48	102
6.0	79.22	46.64	156.48	43.68	3.58	0.51	108
6.5	95.76	49.02	178.86	45.84	3.90	0.54	113
7.0	114.63	50.85	202.19	47.34	4.27	0.57	117
7.5	134.83	52.78	226.22	48.94	4.62	0.60	122
8.0	156.58	54.77	251.13	50.59	4.96	0.62	126
8.5	180.27	56.53	276.79	52.01	5.32	0.65	131
9.0	205.53	58.30	303.14	53.43	5.67	0.68	135

注:加粗数值表示水力生境参数达到目标区间。

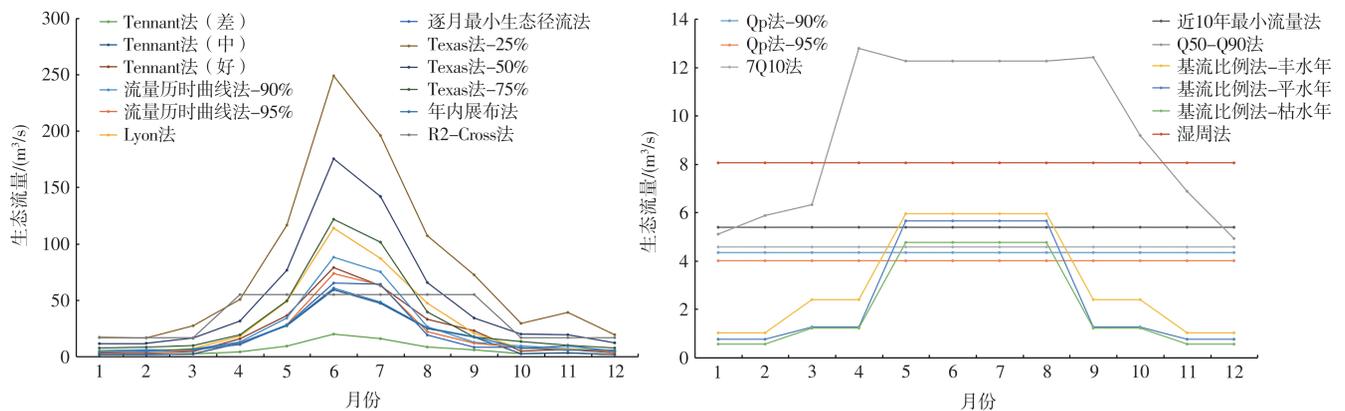


图2 下湘电站水文学法和水力学法生态流量计算结果对比

Fig.2 Comparison of ecological flow by hydrological method and hydraulic method for Xiaxiang hydropower station

法的生态流量计算结果分别为 $4.57 m^3/s$ 、 $4.34 m^3/s$ 、 $4.00 m^3/s$ 、 $5.38 m^3/s$ 和 $8.05 m^3/s$ 。其中前三者以特定时段内的最枯和特枯流量作为生态流量,湿周法根据河流断面生境与水力参数的关系确定生态流量,三者均忽略了河道内生境、生物季节性需求及流量的丰枯变化特征。但湿周法考虑了流量与湿周的关系,因此,认为湿周法计算结果较其他三种方法,更适宜作为河流生态基流以满足河道基本生境需求。

(3)基流比例法生态流量计算结果偏小。基流比例法充分考虑了流量年际、年内变化,但基流比例通过历年最枯月平均流量和历年平均流量的比值确定,且山区枯期与汛期流量差异大,导致山区河流计算的基流比例偏小,进而使该法生态流量计算结果偏小。丰水年、平水年、枯水年的枯期生态流量约为 $0.5 \sim 2.5 m^3/s$,汛期生态流量约为 $4.5 \sim 6.0 m^3/s$,对比湿周法,该法计算结果偏小,难以维持河道基本生境。

(4)Q50-Q90法、生态环境状态为差的Tennant法汛期生态流量计算结果较适用于水资源开发利用程度较高的西南山区河流。相较于湿周法,Q50-Q90法、生态环境状态为差的Tennant法枯期生态流量计算结果偏小,汛期则均超 $8.05\text{ m}^3/\text{s}$,能满足河道基本生境需求。前者以年平均流量的20%作为汛期生态流量,后者以汛期月均流量的10%作为汛期生态流量,弱化了汛期河道流量差异大的影响,同时计算结果满足河流基本生态需求。

(5)R2-Cross法适用于水资源开发利用程度小的西南山区河流。R2-Cross法充分考虑了河流丰枯变化及指标物种生存需求,相较于其他方法,其对于保障河流生态系统更有利,但对于流量的要求也更高。西南山区河流水能资源丰富,水利工程较多,部分河流开发利用程度较大,保障R2-Cross法确定的生态流量目标难度较大。对于水资源开发利用程度小或有特殊保护目标的河流,可选用R2-Cross法。

综合上述分析,西南山区河流的生态流量确定应根据水文学法和水力学法综合确定。考虑西南山区年际、年内流量丰枯变化大,为保障西南山区河流生态流量,建议西南山区河流生态流量以湿周法作为下包线,R2-Cross法为上包线,再结合Q50-Q90法、Tennant法等水文学方法综合确定,以此保障河流基本生态需求。

3 结论

本文选取大环江作为西南山区典型河流,开展水文学法、水力学法生态流量确定方法对西南山区河流的适用性研究,得到主要结论如下:

(1)由于西南山区河流汛期流量陡涨陡落,以月均流量为计算基础的水文学法汛期生态流量计算结果明显偏大。如Texas法-25%、Lyon法8月生态流量计算结果分别为 $248.95\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $113.83\text{ m}^3/\text{s}$,远大于多年平均流量($63.8\text{ m}^3/\text{s}$)。

(2)7Q10法,近10年最小流量法, Q_p 法等以特定时段最枯或特枯流量作为生态流量的计算方法,计算结果偏小,且忽略了西南山区河流季节性变化,如

7Q10法逐月生态流量计算结果均为 $4.57\text{ m}^3/\text{s}$,难以满足汛期河流生态需求。

(3)湿周法考虑了流量与湿周的关系,计算结果能满足山区河流基本生态需求;R2-Cross法充分考虑了河流丰枯变化及指标物种生存需求,能有效保障河流生态系统;Q50-Q90法、Tennant法等方法计算结果占多年平均流量比重较小,弱化了山区河流枯、汛期流量差异。因此,推荐使用湿周法计算结果作为下包线,R2Cross法计算结果作为上包线,结合Q50-Q90法、Tennant法等水文学方法综合确定西南山区河流生态流量目标。

参考文献:

- [1] 董哲仁,张晶,赵进勇.生态流量的科学内涵[J].中国水利,2020(15):15-19.
- [2] 安秋香,李洪翔,黄兵,等.基于水质目标的洞庭湖区堤垸生态需水量研究[J/OL].长江科学院院报:1-7[2022-06-05].
- [3] 于子铖,张晶,赵进勇,等.考虑关键物种全生命周期的减脱水河段生态流量研究[J/OL].水资源保护:1-16[2022-06-05].
- [4] 郑骞,柳丹霞,兰昱佳,等.基于Copula函数的逐月频率法开展衢江生态流量研究[J/OL].中国农村水利水电:1-11[2022-04-25].
- [5] 朱晔,方红远,王铖洁,等.改进的年内展布法在河流生态需水计算中的应用[J].中国农村水利水电,2021(10):105-109.
- [6] 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.
- [7] 易雨君,徐嘉欣,宋劫,等.黄河河口区生态需水量及流量过程核算[J].水资源保护,2022,38(1):133-140.
- [8] 李秦.西南山区城市河流健康评价研究[D].昆明:昆明理工大学,2019.
- [9] 王中根,赵玲玲,陈庆伟,等.关于生态流量的概念解析[J].中国水利,2020(15):29-32.
- [10] 解莹,闻建伟,文威,等.阿什河生态流量确定分析研究[J].环境科学与技术,2021,44(S2):223-228.
- [11] 叶植滔.广东省小水电站河流生态流量估算方法及泄放策略研究[D].广州:华南农业大学,2017.
- [12] 贾子焯.渭水河流域梯级水电站生态流量研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2021.
- [13] 张文鸽,黄强,蒋晓辉.基于物理栖息地模拟的河道内生态流量研究[J].水科学进展,2008(2):192-197.
- [14] 杨泽凡.基于水流过程的河沼系统生态需水与调控措施研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2019.
- [15] 张新华,李红霞,肖玉成,等.河流最小生态基础流量计算方法研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(1):66-73.

Study on Ecological Flow Determination of Southwest Mountain Rivers

YAO Hangbin¹, WAN Donghui¹, ZHANG Li¹, CHEN Jieru², DONG Yanjun¹, WANG Linghe¹, ZHENG Jiuyu¹

(1. Pearl River Water Resources Commission of Pearl River Water Resources Research Institute, Guangzhou 510611, China;

2. College of civil engineering of Fuzhou University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: Due to the influence of topography and monsoon, the abundance and exhaustion of southwest mountain rivers vary significantly. The applicability of common ecological flow calculation methods to southwest mountain rivers is not clear yet. This paper selected the Dahuan River as a typical river to compare and analyze the ecological flow calculation results of hydrological method and hydrodynamic method applied to southwest mountain rivers. The results show that the ecological flow based on the monthly average flow like the Texas method and the Lyon method in the flood are large. The methods that use the driest or extra-dry flow at a specific time as ecological flow, such as 7Q10 method and Qp method, ignore the seasonal variation of southwest mountain rivers. It is recommended to use the calculation results of R2-Cross method and wet cycle method as the upper and lower pack line respectively, and combine the hydrological methods such as Q50-Q90 method and Tennant method to determine the ecological flow target of southwest mountain rivers comprehensively.

Keywords: southwest mountain rivers; ecological flow; hydrological method; hydraulic method

(上接第38页)

[17] 杨柳, 韩瑜, 汪祖茂, 等. 基于BP神经网络的温榆河水质参数反演模型研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(6):25-28.

[18] YEA Z, KIMB M K. Predicting electricity consumption in a building using an optimized back-propagation and Levenberg-Marquardt back-propagation neural network: Case Study of a

Shopping Mall in China[J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 42:176-183.

[19] 徐良将, 黄昌春, 李云梅, 等. 基于高光谱遥感反射率的总氮总磷的反演[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4):681-688.

Preliminary Study on Total Nitrogen Inversion Model of Small Lake Based on Hyperspectral Data

TANG Yang, YANG Yuankun, FENG Xiaoqian, CHEN Shu, WANG Bin, SONG Huaiqing

(School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: There are many small lakes and reservoirs in China, which are widely distributed and have various service functions. Thus, it is of great importance to establish a monitoring system for water quality and water ecology of them. In this study, the hyperspectral data obtained in real time was used to analyze sensitive bands by band normalization, band ratio and band difference. Then the multiple linear regression model and BP neural network model were established to retrieve the total nitrogen (TN) concentration in the central lake (a small artificial lake), which is located at Southwest University of Science and Technology. Finally the accuracy and applicability of the models were analyzed. The results show that the neural network using sensitive band after band ratio operation as the input layer has the highest fitting accuracy (root mean square error is 0.05 mg/L, the average absolute error is 0.03 mg/L and the average relative error is 4.7%). These indicate that the continuous spectrum of hyperspectral remote sensing combined with the nonlinear fitting ability of BP neural network could better retrieve the concentration of TN. The results could provide theoretical and technical reference for hyperspectral water quality inversion, monitoring and early warning in small lakes and reservoirs.

Keywords: small lakes and reservoirs; inversion of TN concentration; hyperspectral; neural network model; sensitive band analysis