

河道生态需水量估算及生态环境问题分析

——以南充市西河流域顺庆城区段为例

朱丽辉¹, 张泽慧², 徐瑶¹, 程熙^{1*}, 杜忠^{1*1}

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川南充 637009;

2. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南昆明 650550)

摘要: 河道生态环境需水量是地表水体所必须蓄存和消耗的最小水量, 以维持特定的生态功能。基于水资源利用生态环境问题, 选取南充市西河流域顺庆城区段为研究对象, 对其 2016 年的河流径流量进行了一年的实地测量, 运用生态水力半径法估算西河流域顺庆城区段的生态需水量。结果表明, 西河流域顺庆城区段的生态需水量为 15.8m³/s, 除了可以满足河道生态需水量的 6 月平均径流量外, 其余月份都远低于生态需水量。因此, 西河流域顺庆城区段的水量不能满足其生态环境功能所必须储存和消耗的最低水量。并结合西河顺庆城区段存在的生态环境问题, 提出了适合西河流域的治理建议和措施。

关键词: 生态需水量; 生态水力半径法; 径流量; 河流生态环境问题; 西河流域

DOI: 10.13603/j.cnki.51-1621/z.2019.12.012

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 1671-1785(2019)12-0062-05

0 引言

随着全球气候的变化, 生态环境的逐渐恶化, 水资源的日益短缺, 生态(环境)用水需求越来越受到相关专家学者的高度重视。河流生态需水量是指从生态环境的功能要求出发, 改善或维持河流生态系统所需的最小水量, 而不会进一步恶化生态环境。并考虑生态系统在这一水量下可以容纳的最差水质, 以及因用于生态环境的水量而失去用在其它方面(农业、工业和生活)应该产生的效益^[1]。因此, 就河流生态系统而言, 有必要确定一定的生态环境需水量, 并在干旱季节保持河流不间断和可持续利用, 以遏制水环境质量的恶化。赵正等^[2]对汾河临汾段的研究发现, 人口密度的增加以及生产规模的扩大, 使得用水量需求增大, 从而导致汾河临汾段的水环境形势严峻。叶植滔等^[3]采用 6 种估算河流生态需水量的方法研究了广东丘陵区河流生态需水量, 发现河道生态需水量计算方法的选取, 应考虑河道信息的差异性和河中生物的一般自然规律。冯夏清等^[4]在确定生态保护目标的

¹收稿日期: 2019-04-29

基金项目: 西华师范大学青年教师科研资助专项(18D042); 四川省科技厅应用基础研究重点项目(2018JY0086); 西华师范大学博士科研启动基金项目(17E038)

作者简介: 朱丽辉(1995—), 女, 四川内江人, 西华师范大学硕士研究生, 研究方向: 自然地理学

***通信作者:** 程熙(1990—), 男, 四川西充人, 西华师范大学助教, 硕士, 研究方向: 工程测量

基础上,采用月保证率法和生态水力学法计算下游河道不同等级生态需水量,最终确定太子河下游河道最小生态需水量;而随着社会经济的发展,农业、工业和生活用水不可避免地占用生态用水,造成一系列生态环境问题,这就要求人们在进行水资源开发时要充分考虑生产生活用水、水生生物需水以及景观用水需求等^[5]。因此,将寻求最小生态环境需水量,特别是河道最小生态环境需水量有效计算方法将是未来生态环境需水量的研究重点。

就南充市西河流域顺庆城区段而言,该河段近年来两岸人口增多,经济快速发展,生产、生活用水量激增,导致该河段社会经济用水与生态用水矛盾日益突出;且西河上游建有拦河坝,河道径流量偏小,水体自净能力弱,加剧河流污染,从而导致河中生物栖息环境恶劣,对西河的生态环境造成较大的负面影响。河流生态需水量是保障河流生态系统健康的重要指标,而河流生态需水量的估算是研究河流生态与环境保护的重要内容,这说明对于西河顺庆城区段的生态需水量的研究很有必要。因此,本文对西河流域顺庆城区段的河流流量进行了一年的实地测量和调查,从满足鱼类生活和繁殖需要的角度出发,并充分考虑西河河道信息(河道宽度、河道轮廓等)^[6],运用生态水力半径法来估算西河流域顺庆城区段的河道生态需水量,结合西河流域顺庆城区段生态环境问题,最后提出了适合西河流域的治理建议和措施,以期能为西河的生态环境治理与恢复提供科学依据。

1 方法

1.1 研究区概况

四川省南充市位于四川盆地的东北部,北纬 $30^{\circ} 35'$ — $31^{\circ} 51'$,东经 $105^{\circ} 27'$ — $106^{\circ} 58'$,属中亚热带湿润季风气候,降水量的季节分配很不均匀,多年平均降雨量为 1046 mm。夏季是降水量最多的季节,且暴雨较多,常出现于 6 月中旬至 7 月上旬;冬季降水量最少,以小雨为主。西河是嘉陵江的一级支流,起源于西充县青狮乡苦竹垭,由西北方向流经南充市顺庆区,于南充市南门坝汇入嘉陵江,全长 96 km,流经市区 2.3 km,流域面积 796 km²。西河顺庆城区段常年枯水位为 260~262 m,河底高程 258.5~261.5 m^[7]。地势相对平坦,沿河岸发育漫滩,河漫滩面积较大,高程在 265~269 m 之间。该河段近年来两岸人口增多,经济不断发展,生活、生产污水问题增多,生态用水与社会经济用水矛盾日益突出。

1.2 河道生态需水量计算方法选取

目前,国内外有 4 种主要的生态需水量计算方法:

(1) 水文学方法:计算相对简便,对水文资料要求较少,对数据要求也不高,但准确性较差,一般作为其他方法的检验方法,代表方法有 Tennant 法^[8,9]、7Q10 法^[10]和 Texas 法^[11,12]。

(2) 栖息地法:将生物数据与河流流量相结合,但难以获得定量化的生物信息,实际可操作性不强,因此不易被应用,代表方法为 IFIM 法^[13,14]。

(3) 综合法:综合考虑专家意见和生态功能的整体性,但实测数据和大量资料的收集会消耗大量人力物力,开展起来较为困难、耗时较长,代表方法为 BBM 法^[15]。

(4) 水力学方法:利用水位,流速,水力半径和潮湿期等河水水力参数估算生态需水量。常用的方法是湿周法^[16]和生态水力半径法^[17]。其中,生态水力半径法是一种考虑河流信息(水力半径、粗糙度、水力坡度)和维持生态功能所需河流流速的水力学方法^[18]。

4 种生态需水量计算方法各有利弊,应根据河流的实际情况和研究目的来选择合适的计算方法,目前最适合我国河流研究的方法为:水文学法和水力学方法^[19]。

考虑到四川省南充市西河属缓流水型溪流，河道弯曲，上游建有拦河坝，年径流量偏小且季节变率大的特点，在计算河流生态需水量时不考虑水质问题，主要从满足鱼类生活和繁殖需要的水量角度出发，采用生态水力半径法计算出西河的生态需水量。生态环境需水量计算对于实现西河流域水资源的合理开发和管理，保持水生态健康具有重要意义^[20]，其计算结果可为西河生态补水量的确定提供科学依据。

生态水力半径法是由刘昌明等^[21]于 2007 年提出的用于维持生态功能所需的河流径流量的水力半径，粗糙度，水力坡度的一种水力学方法。首先假设天然河道的流动状态属于明渠均匀流；其次，流速采用河道过水断面的平均流速，即消除不同流速分布对于河道湿周的影响。

1.3 数据采集方法

生态水力半径法所需的水文数据，用自制浮标、计时器、卷尺及麻绳对西河顺庆城区段的流速、水深、湿周、横截面积等要素进行为期一年的实地测量和调查，每月测定 10 次，取其平均值。

根据曼宁公式^[22,23]，水力半径 R 与过水断面平均流速 v 、河道糙率 n 以及水力坡度 J 之间的关系为：

$$R = v^{3/2} n^{3/2} J^{-3/4},$$

根据鱼类的生活和繁殖习性，将横断面的生态流速 $v_{\text{生态}}$ 作为横断面的平均流速，并通过糙率和水力坡度计算出河道过水断面的生态水力半径 $R_{\text{生态}}$ 。再用 $R_{\text{生态}}$ 来计算过水断面面积 W ；然后由水力半径-流量关系：

$$Q = n^{-1} R^{3/2} W J^{-3/4},$$

估算出河道生态需水量 $Q_{\text{生态}}$ 。

2 结果与分析

2.1 西河顺庆城区段河道生态需水量西河自体育公园至桓子河大桥段均为水泥硬化堤岸，两岸坡度均在 30° 左右。根据实测数据，计算得到水力半径—断面面积的关系（见图 1）。

西河顺庆城区段河道为宽浅型，河底淤泥夹杂鹅卵石，选取糙率 $n=0.03$ ^[24]。主要考虑河中鱼类的生存需求，选取鲫鱼作为典型生物。当河流流速高于其感觉流速 0.2m/s 时鲫鱼生存状态较好^[25]，同时鲫鱼对水深的最低要求为 1m ，在此条件下，鲢鱼、鲤鱼等生物也能较好地生长。因此，选取鲫鱼的生态流速 $v_{\text{生态}}=0.2\text{m/s}$ ，由式（1）求出生态水力半径 $R_{\text{生态}}=1.55\text{m}$ 。

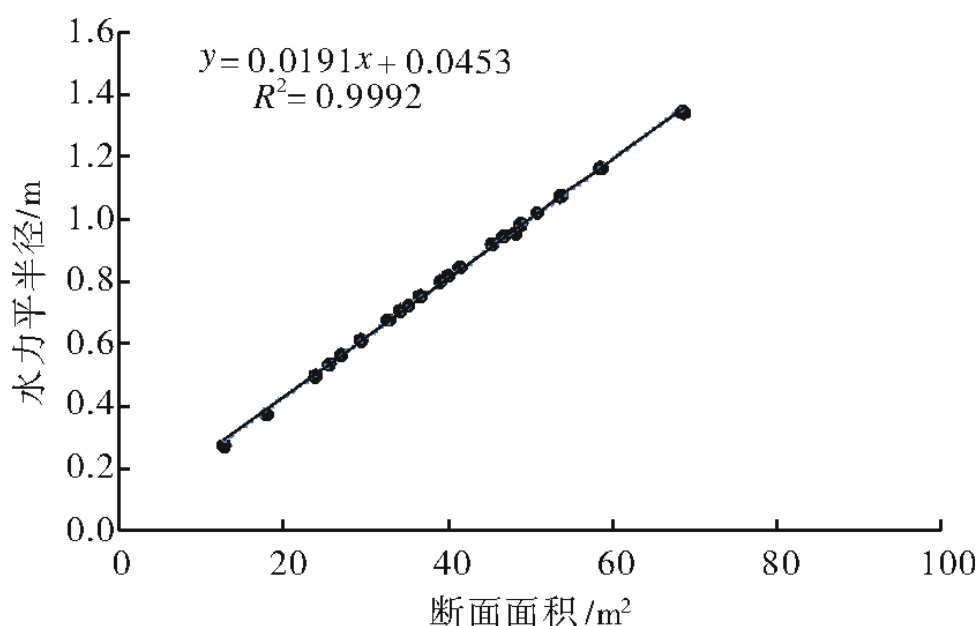


图 1 河道断面面积与水力半径的关系

由图 1 可见，河道断面面积与生态水力半径呈极显著相关关系 ($R^2=0.9992$)。因此，由河道断面面积与水力半径关系图可得 R 生态对应的过水断面面积 $W=78.8\text{m}^2$ 。再由式 (2) 求出过水断面的生态需水量 $Q_{\text{生态}}=15.8\text{m}^3/\text{s}$ 。

2.2 2016 年西河顺庆城区段月平均径流量分析

2016 年西河顺庆城区段月平均径流量年内分配如图 2 所示。

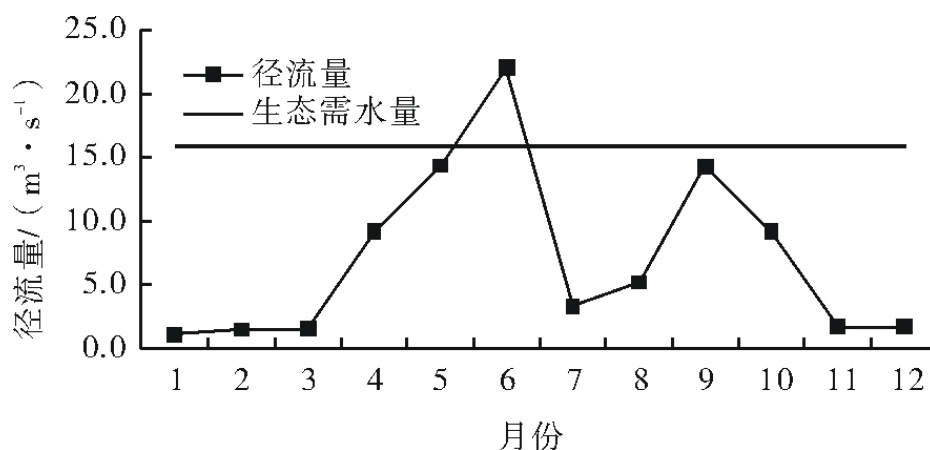


图 2 西河 2016 年径流量的在月份间分配

由图 2 可见，2016 年该河段的径流量总体偏小，径流量最大值和最小值分别为 $22.03\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1.12\text{m}^3/\text{s}$ ，呈双峰波动的特点。整体来看，西河径流量年内变化大，有两个丰水期，分别为 4~6 月和 9~10 月，主要是由于大气降水的增加，从而径流量较大，其中仅 6 月的径流量超过了生态需水量 $15.8\text{m}^3/\text{s}$ 。枯水期同样有两个时段，第一个枯水期为 7~8 月，该时段降水量相对 6 月骤减，受高温影响，河面蒸发量大，导致补给量减少，无效排泄量增加；第二个枯水期为 11 月至翌年 3 月，主要是因为该

时段降水量少，导致径流量小，河水流动缓慢，甚至有的河段河槽底部裸露，出现断流迹象。由于西河径流量常年不足，生态用水得不到保障。近年来，西河两岸城镇化的快速发展（城镇化率为 46.5%）和城市人口剧增（增长率为 56.5%），导致西河两岸生产、生活用水以及农业灌溉用水量剧增，加上西河上游的水坝在拦蓄水，从而导致西河顺庆城区段径流量变小。两岸排污口排出的污水也不能及时更新，使得污染扩散。西河的主要鱼类是鲫鱼、鲢鱼、鲤鱼和黄辣丁等，还有一些虾、蟹等水生动物。调查发现由于水体更新速率低，水污染较严重，从而严重影响到河中生物的生存。

2.3 2016 年西河顺庆城区段径流量与降水量相关分析

南充市 2016 年月降水量特征如表 1 所示。

表 1 南充市 2016 年的月平均降水量单位：mm

月 份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平均降水量	5. 9	11. 9	35. 5	77. 1	156. 9	230. 9	102. 7	85	868	180. 6	59. 1	2. 4

由表 1 可见，南充市降水量主要集中在 4~10 月，占年降水量的 89.5%，其中 7、8 月份受高温影响，蒸发量大，无效排泄增加，导致降水量相对 6 月份骤减，11 月至次年 3 月降水比例小，12 月的降水量最低，同西河 2016 年月平均径流量变化特征基本一致。

对 2016 年西河顺庆城区段的月平均径流量和月平均降水量进行拟合，得到其径流量与降水量的指数关系（见图 3）。

由图 3 可见，尽管径流量和降水量的拟合点分布较散乱，但呈显著的相关性（ $R^2=0.726$ ）。这说明西河的径流量受降水影响较明显，究其原因，首先是因为西河无支流汇入，其径流主要靠流域内降水补给。其次，降水量的季节分配不均和西河两岸工农业及生活用水量剧增，导致径流量年内变化大且水资源供需失衡。西河的径流量仅在降水较多的 6 月满足生态需水量。西河的生态用水得不到保障，河流的多种生态功能，如调节流域气候调节洪水、排水、稀释和降解污染物等作用将减弱^[27]。

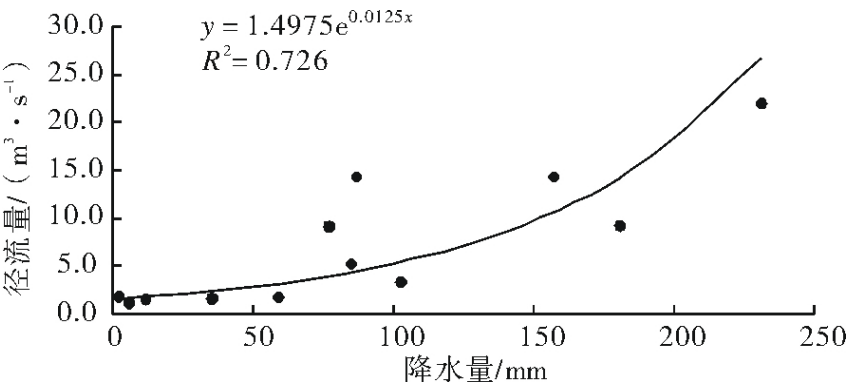


图 3 2016 年西河径流量与降水量关系

3 结论

以鲫鱼作为西河典型生物，用生态水力半径法估算西河生态需水量，并结合实地调查分析，得出以下结论：

(1) 西河生态需水量为 $15.8\text{m}^3/\text{s}$ ，而西河 2016 年的月平均径流量除 6 月份 ($22.03\text{m}^3/\text{s}$) 外，其余月份均低于生态需水量，水量无法满足西河流域生态环境功能的最小水量。

南充市降水量主要集中在 4~10 月份，同时西河径流量在 4~9 月相对较大，西河的 11 月到翌年 3 月份为枯水期，在这一时间段为确保西河流域的生态功能，需要进行补水。

4 治理建议

要实现西河流域的水生态系统修复、水资源科学管理以及水生态文明构建，必须对西河流域的径流量采取有效的调控，结合相关的保障措施^[26]，基于文献调研以及西河流域的实际情况，提出以下的治理建议：

(1) 制定海绵城市长远规划。海绵城市是指通过充分发挥建筑物，绿地，供水系统和道路的雨水的释放和渗透，有效的控制径流，实现其自然积存、渗透和净化^[27]。西河两岸快速的城镇化也伴随着水资源过度开发、水体污染和水资源紧缺等一系列城市生态问题，所以应开展南充市西河景观生态长廊沿河改造工程、修建绿色停车场、可渗透路面、植草沟、绿色屋顶以及雨水花园等“海绵体”。通过自然途径与各种生态基础设施的结合，最大化地实现雨水对西河流量的补给，增加西河的流量，从而有利于协调社会用水与生态用水的平衡。

(2) 建立雨污分流工程。雨污分流工程是一项长期而系统的工程，通过建设独立的雨水管网和污水管网，实现雨水和污水的“分流”。南充市内降水主要集中在 4~10 月，占全年的 89.5%，将雨水直排河道，有利于增加西河流量，以满足河流的生态需水量。污水则通过市政污水管道送至污水处理厂，可以有效地减轻污水处理厂的压力，减轻河流污染，促进西河两岸城区雨水资源的利用和水生态环境的保护。

(3) 在西河内部建立水生植被恢复工程。1980~2016 年西河月平均径流量仅一个月达到生态需水量，当河流径流量不满足生态需水量时，会导致某些水生生物消失和种群结构也发生变化，水生态系统可能会遭受一定程度的破坏^[28]。因此，需要建立水生植被恢复工程，在水深处种植黑藻和苦草等沉水植物，可以吸收、净化和固持底泥，保护水质；同时，还能有效去除点源污染物，而且可抑制蓝藻爆发。

(4) “引嘉入西”，即将嘉陵江的水注入西河流域。嘉陵江是长江支流中流域面积最大的河流，水量丰富，虽有丰水期和枯水期，但其流域面积广，小型调水不致对其生态环境功能产生影响，适宜作为引水水源地。同时，西河中下游与嘉陵江干流河道距离不远，河道之间地势较平坦，无河道引水，可通过埋设输水管道进行引水。由于地势较平坦，西河上下游落差小，水流缓慢，故要通过调水改善其水环境还需将调水与水利工程结合。先于西河中游修建水库，再“引嘉入西”，增加西河水量，改善其水环境，满足生态景观的需要。

参考文献：

[1] 张代青，高军省. 河道内生态环境需水量计算方法的研究现状及其改进探讨[J]. 水资源与水工程学报，2006, 17(4): 68-73.

[2] 赵正，宁静，荣国华，等. 汾河临汾段水体有机污染状况及对策[J]. 内江师范学院学报，2017, 32(10): 106-110.

[3] 傅尧，刘利，段亮，等. 蒲石河流域下游河道最小生态需水量研究[J]. 东北师大学报(自然科学版)，2014, 46(4): 147-151.

[4] 叶植滔，周买春. 广东丘陵区小型河流生态需水量多种方法估算[J]. 人民长江，2016, 47(19): 6-11, 71.

-
- [5] 冯夏清, 章光新, 尹雄锐. 基于生态保护目标的太子河下游河道生态需水量计算[J]. 环境科学学报, 2010, 30(7):1466-1471.
- [6] 何湘, 王杰, 舒成强. 面向对象化分割方法的 TM 影像主河道信息提取: 以嘉陵江为例[J]. 内江师范学院学报, 2017, 32(4):78-82.
- [7] 罗明云. 南充市西河治理探讨[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(4):116-119.
- [8] 魏天锋, 刘志辉. 基于改进的 Tennant 法的博尔塔拉河生态需水量计算[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3):643-648.
- [9] 郭利丹, 夏自强, 林虹, 等. 生态径流评价中的 Tennant 法应用[J]. 生态学报, 2009, 29(4):1787-1792.
- [10] 徐伟, 董增川, 罗晓丽, 等. 基于改进 7Q10 法的滦河生态流量分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(5):454-457.
- [11] MATTHEWS R C, BAO Y. The texas method of preliminary instream flow determination[J]. Rivers, 1991, 2(4):295-310.
- [12] 朱才荣, 张翔, 穆宏强. 汉江中下游河道基本生态需水与生径比分析[J]. 人民长江, 2014, 45(12):10-15.
- [13] 冯宝平, 张展羽, 陈守伦. 生态环境需水量计算方法研究现状[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(6):59-62.
- [14] 黄亮, 许衡, 罗昊, 等. 基于 IFIM 法的敏感生态需水计算研究: 以红水来宾段为例[J]. 水利发展研究, 2015, 15(5):22-27.
- [15] 钟华平, 刘恒, 耿雷华, 等. 河道内生态需水估算方法及其评述[J]. 水科学进展, 2006, 17(3):430-434.
- [16] 彭涛, 陈晓宏, 王高旭, 等. 基于湿周法的河道最小生态需水量多目标评价模型[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(5):6-10.
- [17] 刘丹, 邢琼琼, 郭欣欣, 等. 基于生态水力半径法的贾鲁河生态需水量计算[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1):105-110.
- [18] 刘苏峡, 莫兴国, 夏军, 等. 用斜率和曲率湿周法推求河道最小生态需水量的比较[J]. 地理学报, 2006, 61(3):273-281.
- [19] 冯夏清, 章光新, 尹雄锐. 基于生态保护目标的太子河下游河道生态需水量计算[J]. 环境科学学报, 2010, 30(7):1466-1471.
- [20] 卿晓霞, 郭庆辉, 周健, 等. 小型季节性河流生态补水需水量及调度方案研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5):876-881.
- [21] 刘昌明, 门宝辉, 宋进喜. 河道内生态需水量估算的生态水力半径法[J]. 自然科学进展, 2007, 17(1):42-48.
- [22] 马琰, 马骥. 曼宁公式中水力半径取用方法的讨论[J]. 内蒙古水利, 2005, (4):9.
- [23] 贺路博, 徐红. 泉太水文站水力半径取值浅析[J]. 农业与技术, 2015, 35(14):245.

-
- [24]张红艳, 许晓红. 河道糙率值的选用分析[J]. 吉林水利, 2012, (1):42.
- [25]孙义, 邵东国, 顾文权. 基于关键物种繁殖的汉江中游生态需水量计算方法[J]. 南水北调与水利科技, 2008, (3):97-100.
- [26]梁士奎. 闸控河流生态需水调控理论方法及应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [27]李兰, 李锋. “海绵城市”建设的关键科学问题与思考[J]. 生态学报, 2018, 38(7):2599-2606.
- [28]刘新华, 徐海量, 凌红波, 等. 塔里木河干流河道生态需水量的研究[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6):984-991.