

基于基流比例法的渭河生态基流计算

吴喜军^{1,2}, 李怀恩^{1*}, 董颖², 林启才¹

(1. 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710048; 2. 榆林学院建筑工程系, 榆林 719000)

摘要: 为使生态基流更好地体现中国北方河流生物需水的年际间和年内变化, 该文提出基流比例法。将长期径流系列资料划分为丰、平、枯及特枯年等不同年型, 采用传统方法确定某一年型的基流比例后, 通过该年型与其他各年型平均径流量之间的比值, 推求出基流比例之间的关系, 由此计算出其他各年型的基流比例及生态基流值。根据需要, 还可进一步将年内划分为不同时段分别计算。以渭河干流宝鸡段为例, 应用该方法计算了各年型及年内各时段的生态基流值, 其结果为 5.02~36.73 m³/s, 比较后发现其他几种常见方法计算的生态基流值均在该范围之内, 各代表年基流的保障程度基本都能达到 90% 以上, 但是近几年呈现递减的趋势。该方法适合中国北方河流生态基流的计算。

关键词: 计算, 水文, 生态, 水流, 生态基流, 基流比例, 水文年型, 保障程度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.10.027

中图分类号: X321

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-10-0154-06

吴喜军, 李怀恩, 董颖, 等. 基于基流比例法的渭河生态基流计算[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 154-159.

Wu Xijun, Li Huaien, Dong Ying, et al. Calculation of ecological basic flow of Weihe River based on basic flow ratio method[J].

Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 154-159. (in Chinese with English abstract)

0 引言

对于一条常年性河流, 具有足够流动的水量是维持河流生态环境功能的最基本条件, 如果发生河道断流, 原有的水生环境将遭到严重破坏, 即使再次复水, 河流系统也很难恢复到原来的水生生态系统。因此, 人们认识到在水资源的开发利用中必须维持河道一定的流量即生态基流^[1]。有关河流生态基流的计算方法在国外开展了不少研究, 当前比较常用的方法可分为 4 类^[2-6]: 1) 水文学法, 代表方法有 7Q10 法、Tennant 法、Texas 法、NGPRP (northern great plains resource program) 法等, 其中以 Tennant 法最为典型; 2) 水力学法, 代表方法有湿周法、R2Cross 法等; 3) 栖息地定额法, 代表方法包括 IFIM (instream flow incremental methodology) 法和 CASMIR (computer aided simulation model for instream flow requirements in diverted stream) 法等; 4) 整体分析法, 包括南非的构造块方法 BBM (building block methodology) 法和澳大利亚的整体研究法。国内系统的研究河流生态基流计算方法尚处于起步阶段, 主要是对国外方法的应用和讨论, 如有改进的 7Q10 法^[7]、最小月平均流量法^[8]、月(年)保证率法^[9]以及逐月频率计

算法^[10]等。

现在国内外大部分研究都是以保证枯水期河道基本生态水平的流量作为生态基础流量, 用一个值来代替河道某一段面任何时间的流量保障值, 即使有些能够分时段计算, 也只是根据 Tennant 法简单的使用相同的百分比, 各时段之间缺乏内在的联系, 这显然不太合理。按照生态基流的内涵, 在一条河道里, 生态基流的值应该是随着时间和空间而变化, 是一个连续数值, 而且各时段之间存在着紧密的联系。一些国外学者也认为水生生物栖息地的保护依赖于一个变化的流量, 大流量和小流量都有其各自的意义^[11]。基于以上问题, 本文提出了一种新的河流生态基流计算方法, 即基流比例法; 然后, 以渭河干流宝鸡段为例, 对基流比例法的计算和应用过程进行说明, 分别计算了各年型及年内各时段的生态基流值, 并对这些基流值的保障程度进行了分析。

1 基流比例法

1.1 基本思路

为使生态基流更好的体现河流生物栖息地需水的年际间和年内变化, 可将长期径流系列资料划分为丰水年、平水年、枯水年和特枯年等不同年型, 甚至进一步将年内划分为丰水期、平水期和枯水期等不同时段, 分别计算其生态基流值。因为枯水年河道流量比丰水年少, 在河道内生物变化不大的情况下, 枯水年生态基流占其平均径流的比例应比丰水年大, 这样才能使枯水年的生态基流尽可能满足河道生物生存的需要。在同一年内, 4-9 月处于河道内生物生长高峰期, 所需水量大, 其中的丰水期一般为汛期, 这时中国北方河流还兼有输沙的功能^[12], 河道流量最大, 所以生态流量也应最大; 而枯水期河道内生物一般处于生长停滞阶段, 所需水量较小,

收稿日期: 2011-06-27 修订日期: 2011-09-13

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项; 渭河水污染防治专项技术与示范课题资助项目(2009ZX07212-002-003-004); 陕西省自然科学基金资助项目(2011JM5004)。

作者简介: 吴喜军(1979-), 男, 陕西榆林人, 讲师, 博士, 主要从事水资源保护及非点源污染方面的研究。西安 西安理工大学水资源与环境生态教育部重点实验室, 710048。Email: wxj0826@163.com

*通信作者: 李怀恩(1960-), 男, 陕西商南人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态水文与水资源保护方面的科研与教学工作。西安 西安理工大学水资源与环境生态教育部重点实验室, 710048。Email: huaien@yahoo.com

河道流量最小，所以基流值也应最小^[13-14]。

因此，在计算各年型生态基流时，可利用平均径流量之间的比值关系，通过模型计算，确定各年型的基流比例，并最终计算出基流值，年内各时段的生态基流可根据平均径流量与所属年型的基流比例来计算。下面根据这一思路，提出具体的计算方法。

1.2 计算方法

1.2.1 年型的划分

在计算过程中如何划分丰、平、枯及特枯年非常关键，目前国内常用的方法主要有 2 种。第 1 种方法采用保证率来划分，根据多年的径流量频率曲线，采用符合一定保证率的年径流作为划分标准^[15]。第 2 种方法即距平百分率法^[16]，公式 (1) 为距平百分率的计算方法，根据表 1 的划分标准，可将长期系列划分为丰、平、枯及特枯年。因为它比采用保证率划分更客观，不受系列个数的影响，本文推荐采用第 2 种方法。

距平百分率计算

$$E = (Q_i - Q_a) / Q_a \times 100\% \quad (1)$$

式中， E 为断面的距平百分率，%； Q_i 为断面第 i 年平均径流量， m^3/s ； Q_a 为断面多年平均径流量， m^3/s 。

表 1 丰、平、枯及特枯年划分标准
Table 1 Standards of division into wet, average, dry and special dry years

| 年型 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 | 特枯年 |
|-----------|------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| 距平百分率 E | $E > 20\%$ | $20\% \geq E > -20\%$ | $-20\% \geq E > -60\%$ | $E \leq -60\%$ |

1.2.2 基流比例计算

首先采用传统计算方法确定某一年型的基流比例并对其进行验证；其次按照各年型平均径流量之间的比值，推求彼此基流比例的关系；再根据已确定的某一年型的基流比例计算出其它各年型的基流比例，平均径流量大的年型基流比例低，反之则高；同一年型内各个时段的基流比例相同。基流比例的计算模型见公式 (2) 和 (3)。

生态基流比例计算：

$$T_{i+1} = [1 + (Q_i / Q_{i+1} - 1) \times \mu] \times T_i \quad (2)$$

令

$$\alpha = 1 + (Q_i / Q_{i+1} - 1) \times \mu$$

则

$$T_{i+1} = \alpha \times T_i \quad (3)$$

式中， T_i 为已知的断面第 i 年型的基流比例，%； $i=1、2、3、4$ ，依次为丰水年、平水年、枯水年和特枯年，一般 $T_{i+1} > T_i$ 。

Q_i 为断面第 i 年型的平均径流量， m^3/s ； $Q_i > Q_{i+1}$ ， $Q_i / Q_{i+1} - 1$ 为第 i 年型径流量比第 $i+1$ 年型增加的比值。

α 为比例倍数，即第 $i+1$ 年型与第 i 年型基流比例的比值。

μ 为比例削减系数， $0 \leq \mu \leq 1$ 。 $\mu=1$ 时表示比例不削减，基流比例与径流量之间的比值为直接关系，各年型的生态基流量一样。 $\mu=0$ 时表示比例完全削减，基流比例

与径流量之间的比值没有关系，各年型的基流比例一样。

1.2.3 生态基流计算

各时段的生态基流为其基流比例与平均径流量的乘积，计算见公式 (4)。

生态基流量计算

$$S_i = Q_i \times T_i \quad (4)$$

式中， S_i 为断面第 i 时段的生态基流量， m^3/s 。

2 实例应用

2.1 研究区域

渭河是黄河的最大一支流之一，发源于甘肃省渭源县鸟鼠山，主要流经陕西关中地区，在潼关入黄河。渭河干流全长 818 km，流域面积 $13.6 \times 10^4 km^2$ ，暴雨多出现在 7—9 月，流域内多年平均降雨量 440~606 mm，年蒸发量 1 271~1 657 mm。渭河宝鸡段是河道由山区河流向平原河流的过渡段，穿越宝鸡市中心而过，范围为西起林家村宝鸡峡引渭渠渠首，东至扶眉与杨凌交界，河道全长 200 km。

渭河宝鸡段控制断面林家村水文站建于 1933 年，控制流域面积 3 0661 km^2 ，1972 年修建宝鸡峡引水工程后开始在该站站前渠首引水，导致该段面有时甚至断流。目前收集到 1944—2008 年共计 65 a 的该站的逐日流量观测资料，1972 年后的流量为站前总流量。下面以此为基础，应用基流比例法计算渭河宝鸡段的生态基流量。

2.2 各年型生态基流计算

按照公式 (1) 距平百分率法和表 1 各年型的划分标准，将有逐日径流资料的 65 a 划分为丰水年、平水年、枯水年和特枯年，再从中挑选出各自的代表年， $P=25\%$ (1962 年)、 $P=50\%$ (1988 年)、 $P=75\%$ (1991 年)、 $P=90\%$ (1996 年)，林家村站的多年平均径流量为 66.38 m^3/s 。根据 Tennant 法的推荐，假定丰水年生态基流占其平均径流的 20%，计算后生态基流值为多年平均流量的 31%。依据上文中公式 (3) 和公式 (4) 分别计算各年型的基流比例及基流值，公式 (3) 中比例削减系数在本例中取 $\mu=0.40$ ^[13]，结果见表 2。

表 2 渭河林家村站各年型生态基流

Table 2 Different hydrological year ecological basic flow of Linjiacun station, Weihe River

| 项目 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 | 特枯年 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| 各年型平均流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$ | 102.64 | 65.12 | 36.91 | 19.80 |
| 比例倍数 α | | 1.23 | 1.31 | 1.35 |
| 基流比例 $T_i/\%$ | 20 | 25 | 32 | 44 |
| 生态基流量 $S_i/(m^3 \cdot s^{-1})$ | 20.53 | 16.28 | 11.81 | 8.71 |
| 占多年平均流量比例/ $\%$ | 31 | 25 | 18 | 13 |

根据表 2 可得，渭河干流宝鸡段从丰水年到特枯年的生态基流量为 20.53~8.71 m^3/s ，其占多年平均流量 66.38 m^3/s 的 13~31%，符合 Tennant 法的推荐比例。图 1 为生态基流与年平均流量的比较，从图 1 中可以看出，1944—2008 年的 65 年间，林家村水文站断面引水前的年

均流量和引水后的流量都满足表 2 中计算的生态基流值。但是对于近期出现的枯水年和特枯年,以及渭河上

游引水量逐年增加,导致流量与基流的差值减少,甚至很接近。

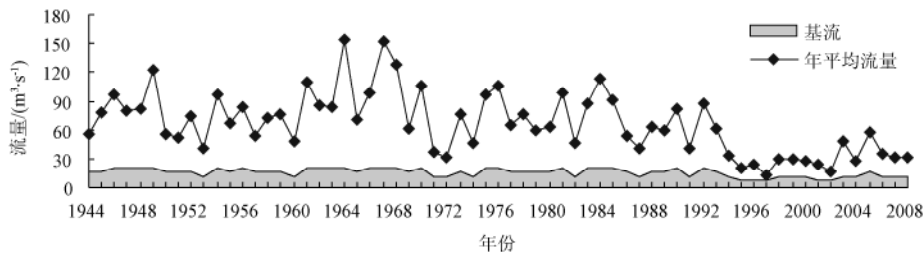


图 1 1944 - 2008 年基流分析

Fig.1 Basic flow analysis during 1944 - 2008

2.3 年内各时段生态基流计算

图 2 为 1944-2008 年渭河林家村站各月的多年平均流量分布,表明:12 月到次年 3 月径流量最低,在 20~40 m³/s 之间,可以定为枯水期;4-6、11 月径流量基本在 40~60 m³/s 之间,为平水期,7-10 月份径流量基本都大于 100 m³/s,为丰水期。将每一年型分为这 3 个水期分别计算生态基流,这样该站对应的生态基流值就达到 12 个,虽不能做到每时每刻对应一个基流值,但也基本上反应了河道长期生态需水的实际情况,而且还可根据要求将每个水期进一步细分。将各个水期的径流量平均值求出,再按照表 2 中确定的各年型的基流比例分别计算各年

型各水期(比例相同)的生态基流,计算结果见表 3。

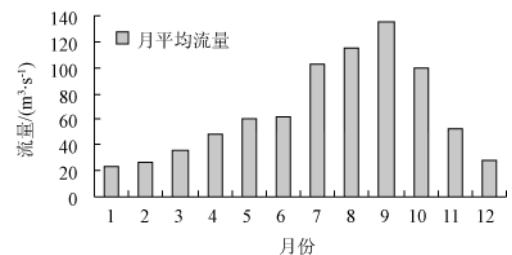


图 2 1944 - 2008 年各月平均流量

Fig.2 Monthly average flow during 1944 - 2008

表 3 各水期的生态基流

Table 3 Ecological basic flow for different periods

| 时段 | 丰水年 | | | 平水年 | | | 枯水年 | | | 特枯年 | | |
|----------------|------------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------|
| | 平均值/ (m³·s⁻¹) | 生态基流/ (m³·s⁻¹) | 占该年型 比例/% | 平均值/ (m³·s⁻¹) | 生态基流/ (m³·s⁻¹) | 占该年型 比例/% | 平均值/ (m³·s⁻¹) | 生态基流/ (m³·s⁻¹) | 占该年型 比例/% | 平均值/ (m³·s⁻¹) | 生态基流/ (m³·s⁻¹) | 占该年型 比例/% |
| 丰水期(7-10 月) | 183.65 | 36.73 | 36 | 110.59 | 27.65 | 42 | 54.69 | 17.50 | 47 | 29.75 | 13.09 | 66 |
| 平水期(4-6, 11 月) | 83.42 | 16.68 | 16 | 53.04 | 13.26 | 20 | 35.39 | 11.32 | 31 | 18.41 | 8.10 | 41 |
| 枯水期(12-次年 3 月) | 37.66 | 7.53 | 7 | 29.70 | 7.43 | 11 | 20.64 | 6.60 | 18 | 11.41 | 5.02 | 25 |

表 3 中计算的渭河干流宝鸡段各时段生态基流为 5.02~36.73 m³/s,最小 5.02 m³/s 为特枯年枯水期,最大 36.73 m³/s 为丰水年丰水期。各年型年内各时段生态基流占相应年型平均流量(表 2)的比例:丰水年最低,为 8%~36%;特枯年最高,为 25%~66%。从这个方面看,计算的生态基流也基本符合 Tennant 法的原则,只是其平均值不是 Tennant 法中的多年平均径流,而是各个年型的平均径流。

2.4 结果分析

在前面的计算中是按照年平均径流量来划分丰、平、枯及特枯年,但实际上枯水期的基流保障问题最重要,所以有必要按照各年枯水期(12 到次年 3 月)的径流量来重新划分年型,并对它的生态基流进行研究。同样采用距平百分率法进行丰、平、枯及特枯年划分,丰水年生态基流比例为 20%,按公式(3)和(4)确定其他各年型的基流比例并进行基流计算,结果见表 4。特枯年枯水期的生态基流值为 3.84 m³/s,丰水年枯水期的生态基流值为 8.83 m³/s。可以看出其与表 3 中计算的枯水期的

生态基流值较接近,只是按枯水期计算的生态基流范围较大。

表 4 各年型枯水期的生态基流

Table 4 Dry season ecological basic flow in different hydrological year

| 项目 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 | 特枯年 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|
| 枯水期平均流量/(m³·s⁻¹) | 44.15 | 27.46 | 17.99 | 9.37 |
| 比例倍数 α | | 1.24 | 1.21 | 1.37 |
| 基流比例 T _i /% | 20 | 25 | 30 | 41 |
| 生态基流量 S _i /(m³·s⁻¹) | 8.83 | 6.87 | 5.40 | 3.84 |

Texas^[17]法考虑了季节变化因素,它将 50%保证率下月径流量的特定百分率作为最小流量。本文对渭河林家村站 1944-2008 年共 780 个月的径流量进行频率分析,根据渭河宝鸡段典型植物以及鱼类的水量需求,将 50%保证率下月径流量的 20%作为生态基流,计算结果见表 5。同时,表 5 中还给出了 Tennant 法、最小月平均流量法与 90%保证率最小月平均流量法的结果,以资比较。

从表 5 中可以看出，基流比例法计算的生态基流值将其其他几种方法的计算结果都包含在内，表明本文方法比较合理。考虑到渭河干流目前生态基流缺失严重，河道有时甚至出现断流情况^[18]，本文暂定渭河宝鸡段的生态基流为 5.02~36.73 m³/s，其占多年平均径流量的比例为 8%~55%。虽然本文最低生态基流小于多年平均流量的 10%，但是对于大河流，国外有些国家规定最低流量不得小于多年平均流量的 5%。5.00 m³/s 作为近期渭河宝鸡段生态基流的下限值，也是特枯年枯水期的生态基流，待外流域调水（引汉济渭等）工程实现后，我们可逐步提高生态基流值，为河道营造一个良好的生态环境。

表 5 几种计算方法生态基流结果对比
Table 5 Results comparison of basic flow with various calculation methods

| 计算方法 | 计算值/(m ³ ·s ⁻¹) |
|----------------|--|
| 基流比例法 | 5.02~36.73 |
| 只考虑枯水期的基流比例法 | 3.84~8.83 |
| Tennant 法 | 6.60 |
| 最小月平均流量法 | 17.90 |
| 90%保证率最小月平均流量法 | 5.25 |
| Texas 法 | 12.45 |

2.5 生态基流保障程度分析

本文通过将 1944—2008 年渭河林家村站各代表年各时段逐日径流量与表 3 中计算的相应生态基流值进行比较，对其保障程度进行分析^[19]。

生态基流保障程度

$$P_i = D/D_i \times 100\% \quad (Q_d \geq S_i) \quad (5)$$

式中， P_i 为 i 时段生态基流的保障程度，%； Q_d 为该时段断面逐日径流量，m³/s； S_i 为该时段断面的生态基流值，m³/s； D_i 为该时段的总天数，d； D 为满足 $Q_d \geq S_i$ 的天数，d。

由表 6 可得，只有特枯年（1996）生态基流保障程度低于 90%，从年内各时段来看，反而是丰水期的基流保障程度较低，主要是丰水期基流值较大造成的，特枯年（1996）枯水期的保障程度例外，最低为 80%。根据国外一些计算方法，经常取保障程度 90% 的流量值为该河道的生态基流值，这也证明了本文生态基流取值的合理性。和表 5 中其他方法计算的渭河宝鸡段生态基流值相比，本文计算的基流值除枯水期外，其他各时段都比它们大，但是保障程度却是最高，这是因为本文对各个时段分别计算确定生态基流值，而不是全时段采用一个固定的值。

按照表 3 中的生态基流值，对同样是特枯年的 2009 年的逐日径流量进行分析。该年生态基流保障程度为 82%，保证天数为 301 d，其中丰水期保障程度最低，为 73%，保证天数为 89 d，枯水期的保障程度为 78%。从图 3 中可以看出，枯水期 2 月份的平均径流量都达不到该时段的生态基流值，丰水期 7、10 月的平均径流量也与生态基流值非常接近。

表 6 各代表年生态基流保障程度
Table 6 Ecological basic flow guarantee degree in different representative years

| 年内时段 | 丰水年 (1962) | | 平水年 (1988) | | 枯水年 (1991) | | 特枯年 (1996) | |
|--------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | 保证 天数/ d | 保障 程度/% | 保证 天数/ d | 保障 程度/% | 保证 天数/ d | 保障 程度/% | 保证 天数/ d | 保障 程度/% |
| 丰水期 (7—10 月) | 116 | 94 | 122 | 99 | 106 | 86 | 112 | 91 |
| 平水期 (4—6, 11 月) | 115 | 95 | 120 | 99 | 112 | 93 | 111 | 92 |
| 枯水期 (12—次年 3 月) | 121 | 100 | 122 | 100 | 121 | 100 | 98 | 80 |
| 全年 | 352 | 96 | 364 | 99 | 339 | 93 | 321 | 88 |

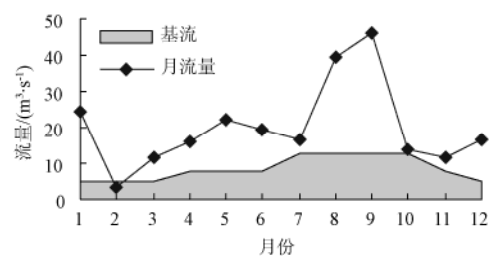


图 3 特枯年(2009)基流分析

Fig.3 Basic flow analysis on special dry year of 2009

3 结论

1) 本文提出的基流比例法，是根据已知的各年型平均径流量之间的比值，推求出基流比例之间的关系，由此计算出各年型的基流比例及生态基流值，并可进一步计算出年内不同水期的生态基流值。这为分年型分时段计算河流生态基流提供了一种简便的方法。

2) 通过该方法在渭河干流宝鸡段的应用，得到了宝鸡段的生态基流值为 5.02~36.73 m³/s，作为一个范围它能更好地代表渭河宝鸡段各年型各时段的河道需水量。在采用合成流量的条件下，生态基流保障程度基本都能达到 90% 以上，说明该方法在计算中国北方河流生态基流时是可行性的。由于生物状况和对生态健康程度要求不同，其他河流在应用本方法计算生态基流时需对比例削减系数进行调整。

3) 和传统的 Tennant 法、最小月平均流量法、90% 保证率最小月平均流量法及 Texas 法相比，该方法不仅计算过程简便，只需计算出各年型的基流比例，就可得到各时段的生态基流值；而且计算的生态基流值比传统方法大，但保障程度却更高；该方法计算的分年型分时段生态基流值有利于中国水利部门在各个不同时期进行水资源调度，具有很强的实用性。

致谢：数据采集及写作过程中，得到西安理工大学李家科副教授、宋策讲师、秦耀民博士、朱磊博士、董雯博士等人的帮助，特此致谢。

[参 考 文 献]

- [1] 尚小英. 渭河宝鸡市区段生态基流调控研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
Shang Xiaoying. Study on Regulation of Ecological Basic Flow in Baoji City Segment of Weihe River[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张丽, 李丽娟, 梁丽乔, 等. 流域生态需水的理论及计算研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 307—312.
Zhang Li, Li Lijuan, Liang Liqiao, et al. Progress on the research of theory and calculation method of ecological water requirement[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 307—312. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨志峰, 张远. 河道生态环境需水研究方法比较[J]. 水动力学研究与展, 2003, 18(3): 295—301.
Yang Zhifeng, Zhang Yuan. Comparison of methods for ecological and environmental flow in river channels[J]. Journal of Hydrodynamics, 2003, 18(3): 295—301. (in Chinese with English abstract)
- [4] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 河流生态需水计算方法评述[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(1): 5—9.
Xu Zhixia, Chen Minjian, Dong Zengchuan. Comments on calculation methods for river ecological water demand[J]. Journal of Hehai University: Natural Sciences, 2004, 32(1): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [5] Hughes D.A, Hannart P. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological in-stream flow requirements of rivers in South Africa[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(3): 167—181.
- [6] Hughes D A. Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African rivers[J]. Journal of Hydrology, 2001, 241(1/2): 140—151.
- [7] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 507—514.
Wang Xiqin, Liu Changming, Yang Zhifeng. Research advance in ecological water demand and environmental water demand[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(4): 507—514. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 495—500.
Li Lijuan, Zheng Hongxing. Environmental and ecological water consumption of river systems in Haihe-Luanhe Basins[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 495—500. (in Chinese with English abstract)
- [9] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [10] 于龙娟, 夏自强, 杜晓舜. 最小生态径流的内涵及计算方法研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(1): 18—22.
Yu Longjuan, Xia Ziqiang, Du Xiaoshun. Connotation of minimum ecological runoff and its calculation method[J]. Journal of Hehai University: Natural Sciences, 2004, 32(1): 18—22. (in Chinese with English abstract)
- [11] Poff N L, Allan D, Bain M B, et al. The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration[J]. Bioscience, 1997, 47(11): 769—784.
- [12] 王丽霞, 任志远, 任朝霞, 等. 陕北延河流域基于 GLP 模型的流域水土资源综合配置[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 48—53.
Wang Lixia, Ren Zhiyuan, Ren Zhaoxia, et al. Integrated allocation of water and land resources based on GLP model in Yanhe watershed[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [13] Arthington A H, Bunn S E, Poff N L, et al. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems[J]. Ecological Applications, 2006, 16(4): 1311—1318.
- [14] Clifford P N, Greenville B H, Edgar F L, et al. Minimum flows and levels method of the St Johns River water management district, Florida, USA[J]. Environmental Management, 2008, 42(6): 1101—1114.
- [15] 席家治. 黄河水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996: 31—32.
- [16] SL 250-2000, 水文情报预报规范[S].
- [17] Mathews R C, Bao Yixing. The texas method of preliminary instream flow assessment[J]. Rivers, 1991, 2(4): 295—310.
- [18] 粟晓玲, 康绍忠. 干旱区面向生态的水资源合理配置研究进展与关键问题[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 167—172.
Su Xiaoling, Kang Shaozhong. Research advances and key topics on optimal allocation of water resources based on ecosystem in the arid areas[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 167—172. (in Chinese with English abstract)
- [19] 林启才, 李怀恩. 宝鸡峡引水对渭河生态基流的影响及其保障研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 114—119.
Lin Qicai, Li Huaen. Influence and guarantee on ecological basic flow of Weihe River from Baojixia water diversion[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(11): 114—119. (in Chinese with English abstract)

Calculation of ecological basic flow of Weihe River based on basic flow ratio method

Wu Xijun^{1,2}, Li Huairen^{1*}, Dong Ying², Lin Qicai¹

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Ecological Environment of Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Department of Construction Engineering, Yulin College, Yulin 719000, China)

Abstract: To make the ecological basic flow better reflect river life water demand inter-annual and years change in the north of China, the basic flow ratio method was proposed, which divided long-term runoff statistical data into different hydrological years such as wet, normal, dry and special dry. By using traditional methods to determine the basic flow ratio of a certain hydrological year and counting the ratio of average runoff between this hydrological year and other years, the relationship between each basic flow ratio could be ascertained. Thus, the basic flow ratio of other hydrological years and ecological basic flow values could be calculated. Also, the value of ecological basic flow could be calculated for different periods in a year respectively. Taking mainstream of Weihe river in Baoji section as an example, the ecological basic flow was calculated based on basic flow ratio method. The results showed that the ecological basic flow for different hydrological years and periods calculated with this method was 5.00-36.00 m³/s. Results of other methods, such as Tennant and Texas method, were in this scope and guarantee degree of every hydrological year could reach 90%. This method could be applied to calculating the river ecological basic flow in northern China.

Key word: calculations, hydrology, ecology, flow of water, ecological basic flow, basic flow ratio, hydrological year, guarantee degree