

生态及环境需水量研究进展与前瞻

王西琴, 刘昌明, 杨志峰

(北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

摘要: 论述了国内外有关生态、环境需水研究的进展情况, 包括研究内容、定量计算方法及其研究成果等。在此基础上, 指出目前生态、环境需水研究领域存在的主要问题, 从理论和实践两个方面, 提出了生态、环境需水今后需进一步研究的课题。

关键词: 生态需水; 环境需水; 研究; 进展

中图分类号: X 1711.1; G 3531.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 100126791(2002)04250208

长期以来, 在研究水资源供需问题、水资源配置问题时, 只考虑人工生态系统的需水, 忽略自然生态系统的需水, 只强调生产和生活需水, 忽视生态系统本身的生态(环境)需水^[1], 认为需水量由三部分组成, 即

$$\text{需水量} = \text{农业需水} + \text{工业需水} + \text{城市生活需水}$$

由于对生态环境需水的忽视, 而带来生态失衡与环境恶化, 并限制了经济的发展。在考虑生态、环境需水后, 需水量应该由四部分组成, 即

$$\text{需水量} = \text{农业需水} + \text{工业需水} + \text{城市生活需水} + \text{生态与环境需水}$$

也就是说, 现在、未来在研究水资源供需问题、水资源配置问题时, 除了考虑经济和生活需水外, 还必须同时考虑生态与环境需水^[2]。在生态环境脆弱地区, 对生态需水需要赋予更高的优先级。只有这样, 才能保证水资源的良性循环, 实现水资源的可持续利用, 恢复和重建生态环境。

本文对生态环境需水的研究进展、存在的主要问题及需要研究的课题进行分析和论述。

1 研究进展

1.1 国外研究动态

国外生态环境需水研究主要集中在河流生态环境需水研究方面。早期的研究是关于河道枯水流量(low flow)的研究^[3,4]。这个时期主要是为满足河流的航运功能对枯水流量进行研究。随后, 由于河流污染问题的出现, 开始对最小可接受流量(minimum acceptable flows(MAFs))研究^[5]。其最小可接受流量除了满足航运功能外, 还要满足排水纳污功能。随着河流受人为因素影响和控制的加强, 河流生态系统结构和功能遭到破坏, 生态可接受流量范围(ecology ac2

收稿日期: 200120213; 修订日期: 20021016

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999043005)

作者简介: 王西琴(1965-), 女, 陕西西安人, 北京师范大学环境科学研究所博士后。主要从事水文学水资源学环境研究。

ceptable flow regime (EAFR))的研究逐渐展开^[6],其主要是为恢复河流生态系统功能,为满足不同的环境要求而进行生态可接受流量范围的研究。

目前,国际上对河流生态环境需水没有统一的概念,缺乏明确的定义,而是用与河流生态环境需水相关、相近的概念代替。使用较为广泛、通用的概念是枯水流量(low flow)。近十年来,为了促进水文水资源研究,国际之间加强了合作,其中包括河道枯水流量的研究^[7],如 FRIEND(Flow Regimes from Experimental and Network Data)行动计划。第一个行动计划由水文组织(Institute of Hydrology (UK))倡导,并为 1985-1988 年的国际水文计划方案 0 (UNESCO International Hydrological Programme- 0)作了部分工作^[8]。这个组织包括 13 个欧洲国家,主要是应用国家流量(水文)数据库及不同的研究方法,预测河流的洪、枯水流量。作为 FRIEND 计划的部分工作,分析和研究了欧洲西北部 1350 条河流的枯水流量状况^[9]。研究集中在应用水力学参数研究枯水流量与流域河床组成特性之间的关系,以及研究不同频率不同时段年均流量(mean)与最小流量(annual minima)和枯水流量(low flows)之间的联系等。第一个欧洲 FRIEND 行动计划采用了西欧国家网络提供的精确的日流量和相应的流域资料数据库。随后, FRIEND 行动计划开始向横向(包括东欧国家)和纵向(扩大到大尺度问题、方法问题、枯水流量和洪水流量条件下流域土地利用的变化、水质等问题的研究)的研究方向发展^[10,11]。其研究的深度和广度不断扩大。

目前, FRIEND 组织很快扩展到欧洲及世界其它许多地区和国家,如西非、中非、北非、地中海地区及中亚地区、印度及南亚地区等。最近正在进行的 FRIEND 行动计划将其研究成果概括在 FRIEND 报告中^[11]。其中最新的研究成果有:北欧地区枯水流量和干旱研究;南非区域水资源和干旱评估方法研究;西非、中非地区雨量减少对枯水流量长期影响研究;枯水流量时间系列与断流分析;地域性生态水文学理论和水资源统一管理的论述等。总之,国际上在水文水资源领域的合作,使得先进的研究技术和手段应用到更多的具有水文数据库的国家和地区,特别是在流域枯水流量的研究方面,显得更为突出。

国外河流生态环境需水的研究内容可概括为^[12-14]:河道流量与鱼类生息环境关系的研究;河道流量、水生生物与 DO 三者之间的关系研究;水生生物指示物与流量之间的关系研究;水库调度考虑生态环境、生态环境水量的优化分配的研究;环境生态用水与经济用水关系研究等。

国外较为通用的研究方法,可分为三类^[15]:一是传统的流量计算方法(标准流量法);二是基于水力学基础的水力学法;三是基于生物学基础的栖息地法。

(1) 标准流量法 1 7Q10 法^[16] 采用 90% 保证率最枯连续 7 d 的平均水量作为设计值。° Tennant 法^[17] 是美国目前使用确定河道生态环境用水量的一种方法,河道流量推荐值以预先确定的年平均流量的百分数为基础。该法通常作为在优先度不高的河段研究河道流量推荐值使用,或作为其它方法的一种检验。该法在美国 16 个州使用^[18]。

(2) 水力学法 1 R2CROSS 法^[19] 在计算河道流量推荐值时,由河流几何形态决定的水深、河宽、流速等因素必须加以考虑。具有两个标准:一是湿周率,二是保持一定比例栖息地类型所需的河流宽度、平均水深以及平均流速等。R2CROSS 法以曼宁公式为基础,由于必须对河流的断面进行实地调查,才能确定有关的参数,所以这种方法比标准设定法难以应用。该法在美国 6 个州使用。° 湿周法^[20] 该法的依据是基于以下假设:即保护好临界区域的水生生物栖息地的湿周,也将对非临界区域的栖息地提供足够的保护。利用湿周(指水面以下河床

横断面的线性长度)作为栖息地的质量指标来估算河道内流量值,通过在临界的栖息地区域(通常大部分是浅滩)现场搜集河道的几何尺寸和流量数据,并以临界的栖息地类型作为河流的其余部分的栖息地指标。河道的形状影响分析结果。该法需要确定湿周与流量之间的关系。这种关系可从多个河道断面的几何尺寸)流量关系实测数据经验推求,或从单一河道断面一组几何尺寸)流量数据中计算得出。推荐值依据湿周-流量关系曲线中的变化点的位置来确定。该法在美国 6 个州使用。

(3) 栖息地法¹ IFIM(增加法)^[21] IFIM(Instream Flow Incremental Methodology)法是应用比较广泛计算环境需水量的方法^[22]。IFIM 根据现场数据如水深、河流基质类型、流速等,采用 PHABSIM(Physical Habitat Simulation)模型模拟流速变化和栖息地类型的关系,通过水力学数据和生物学信息的结合,决定适合于一定流量的主要的水生生物及栖息地。该法在美国 24 个州使用。Orth 和 Maughan^[23]认为由于 IFIM 法所需要的定量化的生物资料的缺乏,使这种方法的应用受到一定的限制。King 和 Tharme^[24]指出,传统的 IFIM 法将其重点放在一些河流生物物种的保护,而没有考虑诸如河流规划以及包括河流两岸在内的整个河流生态系统,由此计算出的推荐的流量范围值,并不符合整个河流的管理要求。° CASIMIR 法^[25] CASIMIR(Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements in diverted stream)法,基于现场数据-流量在空间和时间上的变化,采用 FST^[26]建立水力学模型、流量变化、被选定的生物类型之间的关系,估算主要水生生物的数量、规模,并可模拟水电站的经济损失。

上述三种估算流量的方法在数据要求、选择流量所采用的方法、生态方面的假设以及对河流水力学方面的影响,都有一定的区别。标准设定法是通过按比例缩小河流的宽度、深度和流速,从而得到的一个平均流量,标准设定法比较容易应用并得到一个流量的估计值。水力学方法集中在保留河道具有足够的水量,保持河流的基本形态。栖息地法的特点是说明栖息地如何随着河流水量的变化而变化,虽然提供了一种非常灵活的估计河流流量的方法,但不容易被应用。

11.2 国内研究动态

在我国,系统研究生态环境需水的工作尚处于起步阶段,对生态环境需水的概念、内涵与外延等没有统一的定义^[27~29],对其计算方法的研究也不够深入、完善,基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段。其研究大致可分为三个阶段:

(1) 20 世纪 70 年代末开始研究探讨河流最小流量问题。主要集中在河流最小流量确定方法的研究方面。长江水资源保护科学研究所的 5 环境用水初步探讨⁶是其典型代表;

(2) 20 世纪 80 年代,针对水污染日益严重的问题,国务院环境保护委员会 5 关于防治水污染技术政策的规定⁶指出:在水资源规划时,要保证为改善水质所需的环境用水。主要集中在宏观战略方面的研究,对如何实施,如何管理处于探索阶段。

(3) 20 世纪 90 年代以来,针对黄河断流、水污染严重等问题,水利部提出在水资源配置中应考虑生态环境用水。如在全国水功能区划中考虑了生态与环境用水问题。刘昌明在文献[30]提出了我国 21 世纪水资源供需的 / 生态水利 0 问题。与此同时,与生态、环境需水相关的研究也逐渐展开。

主要的研究成果可归结为:

¹ 对非汛期最小流量、水土保持、冲沙水量等的河流系统的生态环境需水研究。如 20 世

纪 80 年代赵业安、钱意颖等总结了黄河三门峡水库运用对下游河道的影响规律,同时开展黄河上游大型水电工程对下游冲积河流影响的研究,采用实测资料分析的方法研究大型水库对径流泥沙的影响,对每年水库蓄水与中游高含沙洪水遭遇情况进行了深入研究,通过回归分析建立了水库调蓄水量与下游河道冲淤的相关关系^[31,32]。

° 对恢复湿地、城市河湖用水及地下水回补等环境需水量的研究^[33]。

» 对西北干旱、半干旱地区生态需水量及河道环境需水量的探讨与宏观定量研究^[34,35]。

¼ 刘昌明根据水资源开发利用与生态用水的关系,提出了 / 四大平衡 0 的原理^[30],即水分能量平衡、水盐平衡、水沙平衡与水量平衡(含水资源供需平衡),从而丰富了水资源合理开发利用的内涵。

½ 钱正英等^[36]从保护和恢复内陆河下游的天然植被及生态环境、水土保持和水保范围之外的林草植被建设、维持河流水沙平衡及湿地水域等生态环境的基流、回补黄淮海平原及其它地方的超采地下水等方面,分析并估算了全国的生态用水。

到目前为止,国内生态环境需水研究方法主要集中在陆地和河流两个方面,而陆地生态需水主要系指 / 保护和恢复内陆河下游的天然植被及生态环境、水土保持及水保范围之外的林草植被建设^[36]所需水量。其研究方法主要是针对西北干旱地区进行,综合分析这些研究,不论是天然系统还是人工系统,不论是林地还是草地,计算方法大多为 / 面积定额法 0 或 / 植株定额法^[37,38],计算原理为传统的水平衡理论,因此计算方法比较成熟,一般不存在较多争议。本文重点介绍有关河流生态、环境需水的研究方法。从大的方面看,河流生态需水包括三个方面:河道基本生态、环境需水,输沙需水量和入海水量。与之相对应的研究方法,主要集中在第一个研究内容方面,如:为达到水环境保护目标、满足河流纳污功能的环境功能设定法;为满足河流基本生态功能、保证不断流的河流基本生态环境需水量计算法、最枯月平均流量法、假设法;为满足河流水量蒸发和渗漏要求的水量补充法等。输沙需水量的计算方法虽然较多,但主要是针对黄河,且大多是从水力学角度出发进行研究,不便于操作和应用。实现水沙平衡需用的水量究竟如何计算,至今尚未见到令人满意的计算方法或者计算结果。因而本文不作介绍。入海水量的计算方法基本上是宏观估算,没有定量计算方法。下文就第一个研究内容方面的计算方法作简单介绍。

环境功能设定法 根据河流的稀释、自净等环境功能,设定合理的河道环境需水量(Q_v)^[39]。这种方法是首先将河流(河段)划分为 i 个小段,将每一小段看作一个闭合汇水区,计算每一段的环境需水量 $Q_{vi}(i=1,2,\dots,n)$,然后,对其求和即可得到整个河流(河段)的环境需水量。

Q_{vi} 必须同时满足下列方程:

$$Q_{vi} \leq K @ Q_{wi}, \quad Q_{vi} \leq Q_{ni}(p) \quad (p \leq p_0) \quad (1)$$

式中 K 为河流稀释系数; Q_{wi} 为第 i 段合理的污水排放总量。合理的污水排放量(Q_{wi}),是指达标排放的废污水量。 $Q_{ni}(p)$ 为不同水文年(如多年平均,枯水年,平水年)设定保证率(指月保证率,如 $p_0=90\%$, $p_0=80\%$ 等)下第 i 段的河道流量。

河流基本生态环境需水量计算方法,以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量^[40]。其计算公式为:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n Q_{i\min} \quad (2)$$

式中 W_b 为河流基本生态需水量(10^8 m^3); $Q_{i\min}$ 为第 i 年实测最小月平均流量(m^3/s); T 为换算系数, 其值为 311536×10^{-2} ; n 为统计年数。

#最小月平均流量法 参考 7Q 10法, 结合我国的具体情况, 采用 90% 保证率最小连续 7 d 的平均水量作为河流最小流量设计值, 该标准对于我国要求较高, 因而对上述方法进行了修改。在 5 制定地方水污染物排放标准的技术原则和方法 6(GB3838- 83) 中规定: 一般河流采用近十年最小月平均流量或 90% 保证率最小月平均流量。

#水量补充法¹ 蒸发和渗漏 认为河道环境用水量主要指补充河道水及浸润带蒸发和河道渗漏等因素造成损失所需的水量。根据河长、水面面积及蒸发、渗漏强度等计算年蒸发量和年渗漏量, 上述两项之和即为河道年补水量¹。° 水面蒸发生态需水量 为维持河流系统正常生态功能, 当水面蒸发量高于降水量时, 必须从流域河道水面系统以外接纳的水体来弥补, 把这部分水量称为水面蒸发生态需水量。当降水量大于蒸发量时, 就认为蒸发生态需水量为零^[41]。根据水面面积、降水量、水面蒸发量, 可求得相应各月的蒸发生态需水量。其计算公式为:

$$W_E = A(E - P) \quad \text{当 } E > P \text{ 时}; \quad W_E = 0 \quad \text{当 } E < P \text{ 时} \quad (3)$$

式中 W_E 为水面蒸发生态需水量; A 为各月平均水面面积; E 为各月平均蒸发量; P 为各月平均降水量。

#假设法 假设以某一年的水平作为标准年, 认为该年的水环境状况基本能够保持原有自然景观, 满足最低水循环要求以及河口冲淤平衡和基本维持河流生态系统平衡。则将这一年的水量作为河道所需环境需水量[°]。首先对近几年的水量情况进行统计, 计算河流年平均河干天数。其次对标准年(如 20 世纪 50 年代、60 年代)偏枯水年份进行统计, 计算河流的平均流量。以接近年平均河干天数与标准年偏枯水年份河流平均流量的乘积, 即为河流维持原有自然景观使其不干涸平均所需补充的水量[°]。

2 需进一步研究的问题

从国内外研究的进展来看, 生态环境需水量还有许多方面尚待研究。目前存在的主要问题是: 没有成熟的理论体系, 没有明确的定义, 没有评价指标体系和方法; 缺乏完善的定量计算方法。因此, 笔者认为, 今后应从理论和实践两个方面研究生态环境需水问题。

2.1 理论方面

从宏观角度出发, 今后在理论方面的研究应该包括:

- (1) 生态水文学的理论研究与生态水利的应用;
- (2) 水资源开发利用与不同区域生态系统改变的关系;
- (3) 河川基流的研究与维持河流生态环境功能;
- (4) 河流最小流量的研究;

¹ 海河流域水资源保护局 1 海河流域环境用水研究, 2000.

[°] 河北省水文水资源勘测局, 河北省水环境监测中心 1 河北省地面水环境状况分析, 1999.

(5) 植被与水分的关系;

(6) 自然生态系统与人工生态系统复合系统的水资源优化配置;

(7) 生态需水与环境需水的综合定量。就生态环境需水而言, 今后需要研究的主要内容有: ¹ 生态、环境需水概念界定及其内涵与外延; ^o 生态、环境需水的分类; [»] 不同类型生态、环境需水的形成机理; ^¼ 影响生态、环境需水的内在与外在因素; ^½ 生态、环境需水评价指标体系; ^¾ 不同类型生态、环境需水计算方法; [¿] 最小生态、环境需水研究。

212 实践方面

生态环境需水在实践方面的研究内容包括:

(1) 区域最小生态需水量、区域最小环境用水量及区域生态、环境需水量计算方法研究;

(2) 区域生态、环境需水评价指标体系与评价方法研究;

(3) 区域主要生态、环境问题对社会经济影响程度研究;

(4) 脆弱生态、环境系统下流域体系的水分循环过程、植被水分关系及生态适宜性实验模拟研究;

(5) 典型区域的最小生态环境需水量研究;

(6) 湿地和生物多样性保护研究。在我国, 还应包括: ¹ 南水北调对生态恢复与重建的必要性与可行性研究; ^o 节水的潜力与最小调水规模的论证研究。其中急需解决的重大问题有: 西部大开发中的生态、环境用水(植被与水分的关系); 黄河断流; 华北地下水位下降及漏斗; 三江三湖生态环境; 湿地保护。

随着我国水资源缺乏、水生态、环境功能退化, 水资源供需矛盾等问题的日益突出和严重。上述问题中有关河流最小流量的研究, 将会逐渐引起人们的重视, 并且将是河流生态、环境需水研究领域今后研究的方向和发展的必然趋势。

3 结 语

生态、环境的保护是国家可持续发展的根本性问题。中国地域辽阔, 生态类型多样, 几乎包括了由旱生到湿生, 由热带到寒带的广泛谱阔。特别是我国的干旱与半干旱地区, 水资源开发利用与生态、环境的矛盾突出, 生态、环境用水往往被国民经济用水挤占, 由此引发了一系列的生态环境问题。因此, 如何处理水与生态、环境的相互作用与关系, 显得尤其重要, 生态、环境需水的研究也十分迫切。本文涉及的研究进展与前瞻仅仅是众多生态、环境需水问题研究中的一个侧面, 希望能够抛砖引玉, 供讨论参考。

参考文献:

- [1] 沈甘卿. 论生态经济型环境水利模式))) 走水利绿色道路[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 260- 263I
- [2] 刘昌明, 何希吾. 21 世纪中国水问题方略[M]. 北京: 科学出版社, 1996I 82- 96I
- [3] Ambuster J TI An infiltration index useful in estimating low2flow characteristics of drainage basins[J]I J Res USGS, 1976, 4(5): 533- 538I
- [4] McMahon T A, Arenas A DI Methods of computation of low streamflow[A]I Paris, UNESCO Studies and reports in h2drology[C]I 1982I 36, 107.
- [5] Sheail JI - Historical development of setting compensation flows , in Gustard[A]. AI, Cole, GI , Marshall, DI, and Bayliss, BI (Eds), A Study of Compensation Flows in the UK, Report 99[C]I Institute of Hydrology, WallingfordI Aq2

pendix (N) 1984.

- [6] Geoffrey E pettsl Water allocation to protect river ecosystems[J]. Regulated rivers: research & management 1996, 12, 353- 365l
- [7] Smakhtin V Ul Low flow hydrology: a review[J]l Journal of Hydrology 2001, 240: 147- 186l
- [8] FRENDE: Flow Regimes From Experimental And Network Data[M] N : Hydrological Studies; 0 :Hydrological Data, Wallingford, Ukl 1989l
- [9] Gustard A, Gross Rl Low flow regimes of northern and western Europe[A]l FRIENDS in Hydrology[C]. IAHS publica2 tion 1989, 187: 205- 212l
- [10] FRIENDe s97. Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resources Management[A]. IAHS pub2 lication 1997, Nol 246, 363l
- [11] RIEND: Flow Regimes From International Experimental And Network Data[R]. Third Report: 1994- 1997, Cemagref, 1997, 432l
- [12] Martin Pusch, Andras Hoffmannl Conservation concept for a river ecosystem impacted by flow abstraction in a large pos2 mining area[J]l Landscape and Planningl 2000, 51(2): 165- 176l
- [13] Dakova Sn, Uzunov Y, Mandadjiev Dl Low flow- the riverc s ecosystem limiting factor[J]l Ecological Engineeringl 2000, 16(1): 167- 174l
- [14] Willian Whipple. A proposed approach to coordination of water resources development and environmental regulations[J] l Journal of the American Water Resources Associationl 1999, 35(4): 73- 89l
- [15] Jowett I Gl Instream flow methods: a comparison of approaches[J]l Regulation rivers: Research and Management, 1997, 13, 115- 127l
- [16] Boner M C, Furland L Pl Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity[J]l Journal Water Pollution Control Filedl 1982, 54, 1 408- 1416l
- [17] Tennant D Ll- Instream flow regimens for fish , wildlife, recreation, and related environmental resources , in Orsborn [A]. J F, And Allman, C H (eds), Proceedings of Symposium and Specility Conference on Instream Flow Needs 0 l American Fisheries Society[C]. Bethesda, Marylandl 1976, 359- 373l
- [18] Reiser D W, Wesche T A, Estes Cl Status of instream flow legislation and practice in North America[J]l Fisheriesl 1989, 14, 22- 29l
- [19] Mosey M Pl The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses and in a braide river, Ohau Riv2 er, New Zealand[J]l Water Resources Researchesl 1982, 18, 800- 812l
- [20] Lamb B Ll Quantifying instream flows: matching policy and technologyl Instream Flow Protection in the West[M]. Is2 land Press, Covelo, CA, , 1989, 23- 29.
- [21] Bovee K Dl A guide to stream habitat analyses using the instream flow incremental methodology[A]l Instream flow info2 mation paper Nd 12, FWS/OBS- 82/26, C2operative Instream Flow Group[C]. US Fish and Wildlife Service, Office of Biological Servicesl
- [22] Stalnaker C B, Lamb B L, Henriksen J, et al. The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM[M] l National Ecology Research Center, Intemational Publication, Fort Collins, Colorado, USA, 1994, 99l
- [23] Orth D J, Maughan O El Evaluation of the incremental methodology for recommending instream flows for fishes[J]l Trans Am Fish Sod 111(4): 413- 445l
- [24] King J M, Thame R El Assessment of the Instream Flow Incremental Flow Methodology and initial development of alte2 native Instream Flow methodologies for South Africa[J]l Water Research Commission Reportl 1994, 295(1): 590l
- [25] Giesecke J, Jorde K. Ansätze zur Optimierung von Mindestabfluregelungen in Ausle2tungsstreckenl Wasserwirtschaftl 1997, 87: 232- 237l

- [26] Statzner B, Muller R1 Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in groben[A]1 Freshwater Biology [C]1 1989, 21: 445- 4591
- [27] 杨振怀, 崔宗培, 徐乾清, 等. 中国水利百科全书(第二卷)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990. 8531
- [28] 贾宝全, 许英勤. 干旱区生态用水的概念和分类[J]. 干旱区地理, 1998, (2): 8- 111
- [29] 谢新民, 杨小柳. 半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 19991 228- 2291
- [30] 刘昌明. 中国 21 世纪水供需分析: 生态水利研究[J]. 中国水利, 1999, (10): 18- 201
- [31] 朱晓原, 张学成. 黄河水资源变化研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999. 24- 261
- [32] 常炳炎, 薛松归, 张会言. 黄河流域水资源合理分配和优化调度[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 132- 1421
- [33] 王志民, 任宪韶, 郭宏宇. 面向 21 世纪的海河水利[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2000. 40- 411
- [34] 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 68- 801
- [35] 司全印, 冉新权, 周孝得, 等. 区域水污染控制与生态环境保护研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000. 31- 351
- [36] 钱正英, 张光斗1 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]1 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 45- 501
- [37] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 243- 2501
- [38] 樊自立1 塔里木河流域资源环境及可持续发展[M]1 北京: 科学出版社, 19981 33- 691
- [39] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰1 河道最小环境需水量确定方法及其应用研究: (I) 理论[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 544- 5471
- [40] 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): 496- 5001
- [41] 严登华, 何 岩, 邓 伟, 等1 东辽河流域河流生态系统生态需水研究[J]1 水土保持通报, 2001, 15(1): 46 - 491

Research advance in ecological water demand and environmental water demand^X

WANG Xi2qin, LIU Chang2ming, YANG Zh2feng

(Institute of Environment Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: This paper discusses the current research advance in ecological water demand and environmental water demand, including study content, quantitative analysis methods and research achievements etc1 On the basis of above analysis, the main existent problems in this field are pointed out1 At the same time, the questions to be studied in the field of ecological and environmental water demand are put forward1

Key words: ecological water demand; environmental water demand; research; advance

X The project is a Key Basic Research Programme(973) of China(G1999043205).