

东昌湖流域生态补水管理模式探讨

陈友媛^{1,2}, 崔香², 杨世迎^{1,2}, 张卫², 李亚平², 胡广鑫²

(1. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东青岛 266100;

2. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东青岛 266100)

[摘要] 目前国际上已将湖泊水环境研究的重心转向湖泊流域生态系统管理,即从流域尺度对湖泊进行污染治理、生态恢复以及生态系统管理,实现湖泊流域内社会经济协调与湖泊生态系统健康的可持续发展。笔者在对东昌湖流域生态补水管理概念界定的基础上,提出了东昌湖流域生态补水管理概念模式、东昌湖流域社会经济协调发展优化模式、东昌湖水质水量保障和生态环境改善的环境管理体系。它涵盖了流域管理、水环境管理和生态系统管理的思想和内容。

[关键词] 东昌湖;湖泊流域;生态补水管理模式

[中图分类号] X171 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)06-0065-06

1 前言

湖泊生态补水管理是一项综合性的系统工程,涉及到流域资源环境、社会经济、人类活动等各个方面^[1-3]。我国在“十一五”之前的研究中,湖泊主要以末端治理为主,忽视了从全流域尺度开展综合性和交叉性的研究。“十一五”启动的“水体污染控制与治理”重大科技专项中,首次提到并设立了在流域尺度开展污染治理和生态系统管理的相关专题^[4]。因为湖泊流域水环境是一个整体,湖泊生态系统的组成、结构、功能和完整性等都是在整个流域中体现的,这与国际研究的前沿理念相符合。如北美五大湖污染治理,加拿大和美国两国政府几次修改“五大湖水水质协议”,经历了“污染—治理—生态环境保护—生态系统管理”的阶段,联邦政府、湖区州政府和当地部落为五大湖生态系统的恢复和可持续发展做出了巨大的贡献^[5]。

由于湖泊流域生态补水管理处于研究的初期,对其概念界定、理论体系、管理体系、管理模型都缺乏统一的认识^[6]。因此,开展东昌湖流域生态补水管理的研究可以为我国北方缺水城市湖泊治理和保

护提供技术指导和示范,从而使我国湖泊治理和管理更为有效,节约资金和人力的投入。

2 东昌湖流域概况

2.1 自然概况

东昌湖位于被称为“江北水城”的山东省聊城市城区西南部,环绕古城四周。东昌湖初现于宋熙宗三年(公元1070年),原为护城河,后几经清挖整治,湖面面积增大到4.2 km²,小于杭州西湖,为济南大明湖的5倍,是我国长江以北最大的人工湖泊。东昌湖岸沿线长达16 km,库容在10×10⁶ m³以上,水深2~3 m,成为以景观功能为主的湖泊。

2.2 水系水资源概况

江北水城水系由湖、河、水库、引黄供水工程等组成(见图1)。全市流域面积在300 km²以上的河流有12条。黄河、京杭大运河聊城段(古运河)、徒骇河等从市区穿过,南水北调的东线工程也在此与京杭大运河汇合。目前只有黄河水经二干渠、入东昌湖沉沙池,经改造后的古运河流入东昌湖,其他污染严重的周边水系还未能和东昌湖进行有效连通。

东昌湖流域多年平均年降雨量559 mm,年内径

[收稿日期] 2009-11-18

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07106-003)

[作者简介] 陈友媛(1966-),女,江西永新县人,副教授,博士,研究方向为环境水资源及海洋沉积环境;E-mail:youyuan@ouc.edu.cn

流量的 90% 集中在 6 至 9 月份,有时甚至集中在一次降水过程中。聊城市当地多年平均年径流量为 $2.6676 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量 $13.2556 \times 10^8 \text{ m}^3$,扣除重复量,多年平均可利用量为 $83925 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

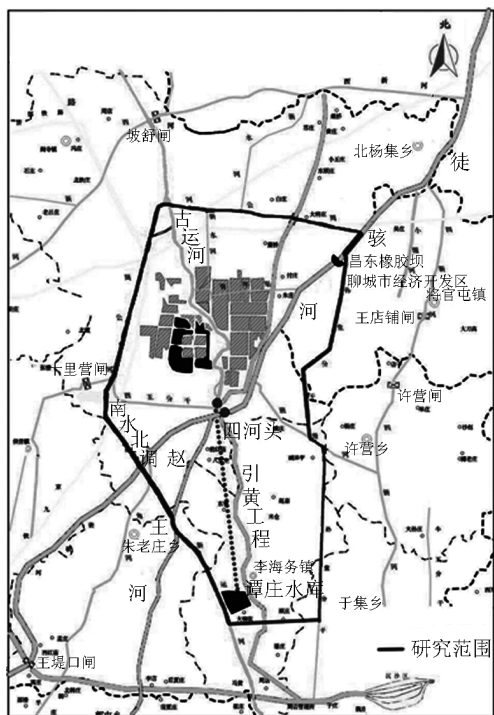


图 1 东昌湖流域水系分布示意图

Fig. 1 Sketch map of river distribution in Dongchang Lake watershed

黄河水是聊城市重要的客水资源,山东省分配给聊城的引黄水量为 $8.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,主要用于农田灌溉。2006 年、2007 年聊城引黄河水量分别是 $12 \times 10^8 \text{ m}^3$, $11.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,远远超过了其分配水量。

2.3 生态系统概况

东昌湖流域地处暖温带的南部,生物资源丰富。贾少波等 2000 年调查到该流域内河流、湖泊、池塘和湿地的脊椎动物有 105 种,其中鱼类 7 目 14 科 44 属 56 种,两栖类 5 种,爬行类 2 种,鸟类 43 种,表明该流域适于多种动物生存。但此次调查与 10 年前相比,该流域动物群落结构有衰退趋向,主要原因是栖息地面积减少,结构简单化和水体污染^[7]。

2002—2003 年闫华超等 4 次调查东昌湖鱼类,鉴定鱼类 6 目 13 科 39 属 53 种,指出该湖鱼类种类数较 10 年前有所减少,且种类趋向单一化,主要是经济鱼类的过度养殖、外来物种的引入和维管植物资源的下降^[8]。东昌湖水质较适合营养级较

低而渔产量较高的经济鱼类,如鲤、鲢、鳙、鲫等的养殖^[9]。贾少波等长年对东昌湖鸟类的多样性状况的调查表明,鸟类的目、科、种都有减少的趋势,主要是栖息地植被结构的复杂性降低和湖岸的边缘效应退化,使水鸟群落处于衰退状态^[10]。

2.4 水环境管理问题的诊断

东昌湖是我国典型北方缺水城市人工湖泊,其水环境有不同于一般湖泊的特点:湖岸带及湖体人工化、湖盆浅、换水周期长、湖区被割裂成多块水体、人工干预强等,由此产生的主要水环境管理问题是:

1) 东昌湖水源补给单一、水量补给缺乏保障。东昌湖没有自然河流汇入,虽然东昌湖周围有过境的京杭运河、徒骇河、马颊河、漳卫河等,但周边水系水质多为劣 V 水体,无法与东昌湖贯通,目前东昌湖水源补给完全依靠黄河调水。

2) 东昌湖补给水源有水质保障问题。黄河来水水质整体为 IV 类。东昌湖每年从黄河补水带来的总磷约 1.98 t、总氮约 30.1 t、COD 约 599.6 t,分别占入湖总磷的 84.03%、总氮的 87.46%、COD 的 92.94%。

3) 东昌湖水体质量处在轻度富营养化向中度富营养化的过渡阶段。其原因有:a. 东昌湖内循环不畅,缺乏整体流动性,东南湖区补给水口与西南湖区电厂用水出水口较近,补给水没有经过东部、北部和西部的湖区,直接流出东昌湖,未构成完整的环流场,湖水交换周期约为 200 天,湖泊自净能力较小。b. 湖底底泥中的营养盐重新释放和黄河水中的细泥沙悬浮导致水体变浑,吸附并释放污染物,给湖水水质带来威胁。c. 东昌湖藻类密度较高,引起水体透明度降低。

4) 目前我国的流域管理采取的是一种分散化、以行政区划为基础的管理模式,不同的资源类型隶属于不同的管理部门,因此造成了管理的职能脱节,并割裂了流域内水文与生态系统固有的完整性^[11,12]。

3 东昌湖流域生态补水管理模式

3.1 生态补水的概念

生态补水是近年来在生态需水这一热点研究领域基础上提出的^[13]。张树军等给出的生态补水定义:是通过采取工程或非工程措施,向因最小生态需水量无法满足而受损失的生态系统调水,补充其生态系统用水量,遏制生态系统结构的破坏和功

能的丧失,逐渐恢复生态系统原有的,能自我调节的基本功能,或者实现新的生态平衡的活动^[14]。胡淑恒和汪家权认为,生态补水是指维持地表水体特定的生态环境功能,而向水体补给的水,对水质的改善有很大的作用^[15]。笔者等认为生态补水是指为维持湖泊特定的生态环境功能,向湖泊水功能区分配合理的水资源,以达到恢复或维持生态系统整体性和可持续性的行为。

3.2 生态补水管理模式

生态补水管理涵盖了流域管理、水环境管理和生态系统管理的思想和内容,既要体现系统科学和流域特征的内涵,又要依托生态学和流域环境的分析方法开展研究,并将人类活动和社会经济纳入到管理中去。东昌湖流域生态补水管理概念模式见图2。主要的步骤如下:

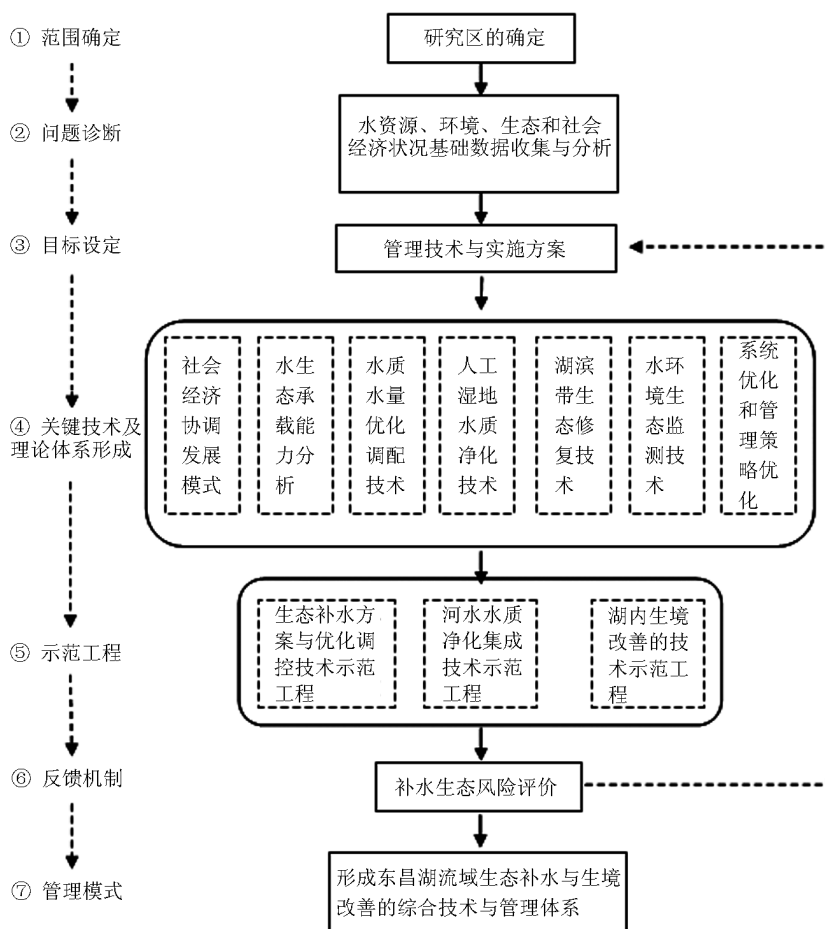


图2 东昌湖流域生态补水管理概念模式

Fig. 2 The concept framework for ecological diversion management in Dongchang Lake watershed

1) 研究区的确定。以入湖河流和拟入湖河流为湖泊流域研究区的确定。

2) 基础数据收集与分析。基础数据收集包括东昌湖流域水资源、环境、生态和社会经济状况等方面。流域范围内的土地利用、植被覆盖和水文过程等影响污染物输移。农业生产生活产生的农村面源和城镇生活及工业产生的点源污染物在河道中的运输及净化对湖泊入流水质的影响。地理位置、气候气象及下垫面状况影响流域的生态环境。湖泊的水

动力学参数、入湖的污染物,湖岸带及湖体人工化等对湖泊水生态环境的影响。这些与东昌湖流域的现状社会经济发展模式有关,可在系统分析与模拟的基础上,提出优化产业结构的管理模式,从而对东昌湖流域的生态系统的修复和可持续发展进行有益的探索。

3) 管理技术与实施方案。生态补水管理是一种涉及多学科交叉的综合管理,目前对综合管理机制缺乏研究。文章的生态补水管理概念模式是以东

昌湖水质水量保障为主线,以技术措施为基础,实现东昌湖流域生态补水、水环境健康与社会经济发展的协调发展。

4)关键技术及理论体系形成。在系统调查和长期监测的基础上,提出东昌湖流域社会经济协调发展优化模式,构建东昌湖流域水质水量保障与生态环境改善技术与理论体系,为其他北方景观城市湖泊治理提供技术支撑。具体体现在如下几方面:
a. 根据东昌湖流域生态承载力大小,提出东昌湖流域社会经济协调发展优化模式和东昌湖水质水量保障和生境改善的环境管理方案。
b. 在东昌湖生态需水量研究的基础上,提出改进湖区空间分隔不合理的建议,优化东昌湖生态补水水量调配方案,建立良性健康的水动力循环系统。
c. 重点突破人工强化与景观湿地相结合的补水水源水质净化技术,为进一步增加生态补水处理规模以及充分利用东昌湖周边水系的水资源奠定坚实基础。
d. 选择东昌湖典型污染湖区,研发湖滨带生境改善技术、底泥污染和藻类控制技术,提出东昌湖主要湖滨带恢复的技术方案。
e. 依托东昌湖现有监测设施和监测力量,完善东昌湖流域的水环境生态监测技术和监测管理。
f. 进行东昌湖流域的系统动力学模型研究,实现东昌湖生态系统健康的可持续发展,开发东昌湖流域生态系统管理策略优选模型。

5)示范工程。根据水质水量联合优化调配技术研究结果,提出改善东昌湖水循环的补水方案,开展东昌湖生态补水的示范工程;针对东昌湖补水水质特点,采用人工湿地水质净化的强化脱氮技术,使得补给水水质达到东昌湖生态功能区水质标准,开展河水水质净化集成技术示范工程;构建东昌湖湖滨带生态修复技术,水体中藻类的控制技术,改善湖水透明度和湖区景观,开展湖内生态环境改善的技术示范工程。

6)补水生态风险评价。补水的生态风险存在于补水的水源、水量、水位、水质和湖泊富营养化等方面。也可按补水存在的内在风险、外部风险、管理风险以及流域生态风险进行评价,并提出缓解措施:

a. 改变单一水源补给存在的风险。黄河引水量已超过山东分配给聊城的指标,东昌湖补水存在有源无保障的情况。从长远考虑,应选用备用水源补充东昌湖生态需水。对东昌湖周边水系水环境承载力分析可知,可考虑徒骇河的支流赵王河作为东昌湖的备用水源。徒骇河在聊城段的过境年径流量为

$8\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$,赵王河年径流量约 $2\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。虽然目前的水质还没有达到进入东昌湖的水质标准,但将赵王河水进行人工强化、多级氧化塘与多级百卉园湿地综合生态系统强化处理,使处理后水质满足入东昌湖的要求。

b. 控制湖泊生态补水水位的风险。东昌湖的水深2~3 m,水位主要受人工水文调控。湖泊生态水位的调控是影响湖泊生态系统健康的重要因素^[16,17]。从植被演替的角度分析,湖泊中的植物需要外界在一定范围内的、有周期性的扰动,以维系其群落发展。根据刘永等总结水位变动与湖泊水生植被的响应可知,调控的水文过程过于稳定,季节性水位峰值次数减少,外来物种易入侵,物种的多样性将降低,湖滨带萎缩,但水位变化过快,湖滨带植被受到冲刷,幼苗难以存活,因此要适当增加季节性的流量变化,减少高流量的持续时间^[18]。东昌湖生态补水主要考虑补水水位,补水时机,和补水的水文过程。水文过程的调控是湖泊生态恢复和生态管理研究中关注的重要问题之一。

c. 控制湖泊富营养化的风险。东昌湖水体质量处在轻度富营养化向中度富营养化的过渡阶段,要严格控制东昌湖氮、磷的输入负荷。目前东昌湖中的老城区以及外部的新城区基本完成了污水截污工程,生活污水和工业废水,都不能进入东昌湖。此外,在20世纪90年代末,对部分重污染湖区的城市底泥进行了疏浚,在一定程度上改善了东昌湖的水质。但根据聊城市环境监测站连续3年(2005年、2006年、2007年)的监测资料表明,东昌湖水质综合评价均为劣V类,湖水水质主要超标因子为总氮和COD。依照东昌湖目前的水质状况,仅仅靠水体自净能力已很难实现水质的恢复和改善。因此,必须通过生态补水改善湖区水流动动力、控制底质污染和藻类影响,降低湖泊的富营养化程度^[19]。

7)管理模式。鉴于东昌湖及其流域周边水系未能实现有效连通、东昌湖水循环停滞,水质污染严重,生态环境脆弱等突出问题,应从工程措施和非工程措施两方面进行生态补水优化配置和管理。

工程措施包括实现东昌湖及其流域周边水系的有效连通。首先调整补水口位置,科学调度,使整个湖水流动起来,实现东昌湖水体的高效置换,提高水体自净能力,改善湖水水质。然后,将赵王河的水经湿地净化处理后作为东昌湖的生态补水水源。

非工程措施是在水生态承载能力分析的基础

上,提出东昌湖流域社会经济协调发展优化模式,调整产业结构,从源头上减少污染。针对湖泊流域的自然特征,划分水污染防治子流域,通过对子流域内污染源的控制,减少入河污染物通量;通过对河流的污染治理和恢复,增强其对污染物的净化作用。根据东昌湖的生态补水方案,进行湖泊水质水量优化配置的研究。分析污染物进入湖泊后在湖泊的水动力和水热力作用下的物理、化学和生物学过程,及其对东昌湖富营养化起到的作用。建立东昌湖生态系统动力学的反馈机制,开发东昌湖流域生态系统管理策略优选模型。

4 结语

在湖泊面临生态、水环境、水资源的共同胁迫时,应从湖泊流域的整体出发,在全流域尺度上实施生态补水管理,这是维系湖泊流域生态系统结构和功能的重要手段,是流域社会经济持续发展的保障。由于生态补水管理的研究处于起步阶段,而其在研究对象、管理目标、管理策略等方面又极大地区别于已往的水环境和流域管理模式,因此需要建立一套完整的研究概念框架。从科学问题的提出,到关键技术的攻克和理论体系的形成,进行示范工程的检验,最终建立东昌湖流域生态补水与生态环境改善的综合管理体系。

东昌湖流域生态补水的综合管理措施可以从以下几个方面考虑:a. 建立以流域管理为主、湖泊管理为辅的新管理体制;b. 重塑权威高效的湖泊流域协同管理机构解决不同部门之间存在的水环境生态问题;c. 提高工业企业与城镇污水处理厂污水处理能力;d. 构建覆盖湖泊流域的水质水量自动监测体系;e. 建立法律、技术与经济联合管理机制。

致谢

文章得到了国家水体污染控制与治理科技重大专项中,湖泊富营养化治理与控制技术及工程示范主题下,湖泊水污染治理与富营养化控制共性关键技术研究项目的课题:典型北方缺水城市湖泊水质水量保障与生态环境改善技术(2008ZX07106-003)的资助,特此感谢。

参考文献

- [1] 张兴奇, 秋吉康弘, 黄贤金. 日本琵琶湖的保护管理模式及对江苏省湖泊保护管理的启示[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 39-45
- [2] 程晓冰, 石秋池, 黄利群. 湖泊水资源保护和合理开发利用对策[J]. 中国水利, 2007, 9: 41-43
- [3] 张振克, 王苏民, 吴瑞金, 等. 中国湖泊水资源问题与优化调控战略[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 16-21
- [4] 刘永, 郭怀成. 湖泊-流域生态系统管理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-10
- [5] 赵来军. 我国湖泊流域跨行政区水环境协同管理研究—以太湖流域为例[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009: 16-18
- [6] 刘永, 郭怀成, 黄凯, 等. 湖泊-流域生态系统管理的内容与方法[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5352-5360
- [7] 贾少波, 任冬, 任科. 山东聊城湿地脊椎动物分布[J]. 聊城师院学报(自然科学版), 2000, 13(1): 76-81
- [8] 闫华超, 高岚, 付崇罗, 等. 东昌湖鱼类资源现状及保护对策[J]. 水利渔业, 2005, 25(1): 56-58
- [9] 闫华超, 高岚, 李桂兰, 等. 东昌湖浮游生物群落多样性季节变动与水质关系[J]. 生物技术, 2005, 15(5): 32-34
- [10] 贾少波, 赛道建, 朱江. 东昌湖春季鸟类群落多样性初步研究[J]. 动物学杂志, 2001, 36(4): 40-44
- [11] 钱正英, 张光斗. 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]. 北京: 中国水利水电出版社
- [12] 杨桂山, 于秀波, 李恒鹏等. 流域综合管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [13] 肖芳, 刘静玲, 杨志峰. 城市湖泊生态环境需水量计算—以北京市六海为例[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 781-786
- [14] 张树军, 赵峰, 罗陶露, 等. 生态补水综合效益评价指标体系建立[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(5): 813-819
- [15] 湖淑恒, 汪家权. 合肥市环城水体的生态补水研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(1): 129-132
- [16] Keddy P A, Reznicek A A. Great lakes vegetation dynamics: the role of fluctuating water levels and buried seeds. Journal of Great Lakes Research[J]. 1986, 12: 26-36
- [17] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 湖泊最低生态水位计算方法[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2324-2328
- [18] 刘永, 郭怀成, 周丰, 等. 湖泊水位变动对水生植被的影响机理及其调控方法[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3117-3126
- [19] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001

A study of the management model of ecological diversion water in the Dongchang Lake watershed

Chen Youyuan^{1, 2}, Cui Xiang², Yang Shiyong^{1, 2},
Zhang Wei², Li Yaping², Hu Guangxin²

(1. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ocean University of China, Ministry of Education, Qingdao, Shandong 266100, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China)

[**Abstract**] At present the international research emphasis of lake water environment has turned to study ecosystem management of lake basins. That is, we should be from a watershed scale point of view to control pollution, remedy ecology, manage ecological system and to carry out a sustainable harmonious development among society, economy and ecosystem health in lake watershed. This paper put forward the management concept framework of ecological diversion water based on the definition of ecological diversion water in the Dongchang Lake watershed. This paper also put forward an optimized model of the harmonious development between society and economy in the Dongchang lake watershed and an environmental management system of water quality, water quantity guarantee and habitat improvement. It includes ideas and concepts of watershed management, water environmental management and ecological system management.

[**Key words**] Dongchang Lake; lake watershed; management model of ecological diversion water

(上接 64 页)

Challenges and solutions of the water environmental issues of plateau lakes in Yunnan of China—from the perspective of ecosystem health

Duan Changqun, He Feng, Liu Chang'e,
He Shuzhuang, Zhang Guosheng

(Institute of Environmental Sciences and Ecological Restoration,
Yunnan University, Kunming 650091, China)

[**Abstract**] In this paper, taking the Dianchi Lake as an example, the characteristics of the water environmental issues of the plateau lakes in Yunnan of China was put forward from the perspective of ecosystem health. Macroscopic solutions were proposed and the key issues which should be focused on in future were discussed.

[**Key word**] plateau lakes of Yunnan; water environment; the Dianchi Lake; ecosystem health