

基于水生态修复的滇池运行水位确定

顾世祥¹, 陈欣¹, 苏建广¹, 谢波¹, 许志敏¹, 高嵩²

(1. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南昆明 650021; 2. 云南省水利厅, 云南昆明 650021)

摘要:为分析掌鸠河引水供水工程、清水海供水及水源环境管理项目供水工程、牛栏江—滇池补水工程外流域引水工程建成后的滇池运行控制水位,基于滇池、海口河—螳螂川流域现状经济社会发展、长系列水文观测、供-用-耗-排水等数据资料,采用径流还原、湖泊径流与洪水调节模拟等方法,经多方案比较确定滇池外海的正常高水位提高至1887.50 m,汛期限制水位提高至1887.20 m,在滇池泄洪通道和预报调度系统未达到设计标准前,汛期限制水位可降至1886.70 m运行;将外海自正常高水位以下依次划分为生态供(用)水区、工农业供水区、死水位区。研究结果表明,滇池从过去的调蓄供水水源转变成需进行生态修复补水的用水对象,将促使昆明城市及环湖周边高耗水行业转移到下游的海口—安宁地区,减少滇池水资源的一次性消耗量,削减入湖污染物,形成以水定发展的局面,从而实现工业布局的战略性调整。

关键词:水生态修复;水位调度;跨流域引水;滇池

中图分类号:P343.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)02-0040-06

Determination of water level of Dianchi Lake based on aquatic ecological rehabilitation//GU Shixiang¹, CHEN Xin¹, SU Janguang¹, XIE Bo¹, XU Zhimin¹, GAO Song²(1. Yunnan Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Kunming 650021, China; 2. Yunnan Water Resources Bureau, Kunming 650021, China)

Abstract: In order to analyze the water level of Dianchi Lake after the construction of several inter-basin water diversion projects, including the Zhangjiu River Water Diversion and Supply Project, the water supply project of the Qingshuihai Lake Water Supply and Water Sources Management Project, and the Water Diversion Project from the Niulanjiang River to Dianchi Lake, data from the investigation of current social and economic development, long-term hydrological observation data series, and water supply, utilization, consumption, and drainage data series from the Dianchi Basin and the Haikouhe-Tanglangchuan Basin were collected. Then, the runoff reduction method and a simulation method for lake runoff and flood regulation were adopted. Through comparison of multiple schemes, reasonable values of the water level of Dianchi Lake were determined as follows: the normal pool level was set to 1887.50 m, and the limiting level during the flood season was set to 1887.20 m. Unless the spillway of Dianchi Lake and the forecast and operation system are built, the limiting level during flood season should not exceed 1886.70 m during operation. The areas in the outer lakes of Dianchi Lake with a water level beneath the normal pool level were divided into the ecological water supply (utilization) area, the industrial and agricultural water supply area, and the dead storage area. The results show that Dianchi Lake has changed from a former water supply source into a water body that has to be supplemented with water for ecological rehabilitation, and that the high water consumption industry in Kunming City and areas around Dianchi Lake has to be moved to the downstream Haikou-Anning area in order to reduce the consumption of water resources in Dianchi Lake and the contaminants into the lake. Therefore, the social and economic development will be guided by the water resources situation, and the strategic adjustment of the industrial layout will be achieved.

Key words: aquatic ecological rehabilitation; water level operation; inter-basin water diversion; Dianchi Lake

湖泊作为陆地水圈的重要组成部分,具有调节河川径流、改善生态环境、提供水源、灌溉农田、航运、繁衍水生动植物、维护生物多样性及旅游观光等功能,全国湖泊分为青藏高原、蒙新或西北干旱区、云贵高原、东北平原与山地、东部平原等五大湖区^[1]。湖泊过度开发导致了环境恶化、生态失衡、地区行业矛盾冲突等问题^[2],湖泊治理已形成“先控源截污、改善基础环境,后实施生态恢复”的理念^[3]。水位是湖泊管理的重要指标,周期性的年内季节或年际水位变动会对水生植被的生态适宜性产

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07102-006-01);云南省技术创新人才计划(2011CI092);云南省发展和改革委员会重点研究课题(YND-2007-068)

作者简介:顾世祥(1972—),男(彝族),云南镇雄人,教授级高级工程师,博士,主要从事水资源利用与规划研究。E-mail:gushixiang@qq.com

生影响,长期高水位、低水位及非周期性水位季节变动都会破坏水生植被长期形成的对水位周期性变化的适应性,进而影响其正常生长、繁衍和演替^[4]。湖泊最低生态水位的确定方法有天然水位资料法、湖泊形态法、生物最小空间需求法、年保证率法、最低年均水位法、曲线相关法、功能法等^[5-7],在巴尔喀什湖、乌伦古湖、博斯腾湖、白洋淀、南四湖及长江流域主要湖泊等得到了研究应用^[8-11]。

滇池是云南高原九大高原湖泊之首,位于金沙江支流普渡河上游,水位 1887.40 m 时平均水深 4.4 m,湖面积 309 km²,湖容积 15.6 亿 m³。滇池已被隔堤分为外海和草海,外海湖面占整个滇池的 94.1%,草海变成了昆明城市污水处理后汇集和外排的通道。流域内现有总人口 339.8 万人,地区生产总值 1682 亿元,农田有效灌溉面积 2.57 万 hm²。昆明坐落于滇池之滨,由于城市扩张和环湖工农业经济发展,导致湖泊水资源过度开发利用,滇池水质自 20 世纪 80 年代末降至劣 V 类并延续至今,成为国家重点治理的“三湖三河”之一^[12]。自 19 世纪 50 年代以来,滇池先后 4 次制定或调整了湖泊运行水位,以适应不同时期协调城市生活、工业、农业灌溉的蓄水兴利与防洪安全矛盾的需要。围绕滇池治理,昆明市提出了“环湖截污和交通工程、外流域调水及节水工程、入湖河道整治工程、农业农村面源治理工程、生态修复与建设工程、生态清淤工程”等六大工程措施。随着掌鸠河、清水海、牛栏江等外流域引水济昆工程的逐步建成,大大改变了滇池流域的水资源构成,使得滇池不再承担城市生活供水任务,环湖工农业生产用水因流域内城市化进程的加快和经济结构的调整而逐步缩减,滇池从过去的城市饮用水源地转变成急需生态修复补水的用水对象,研究调整湖泊运行水位作为支撑《云南省滇池保护条例》已十分紧迫和必要。

1 研究资料和研究方法

1.1 研究资料

- a. 滇池流域及下游各县(区)1980—2007 年社会经济统计年鉴、土地利用变更台账。
- b. 滇池周边的海埂、海口、中滩等水文站 1953—2007 年逐日的水位、出流等观测资料,海埂站 1953—2007 年的逐月蒸发资料;已审定的相关工程设计及研究成果报告。
- c. 1997 年、2000 年、2004 年、2007 年等不同典型年份滇池周边各县(区)已建成的各类水利设施及其相应的供水量、工农业用水量等资料。
- d. 1983 年昆明市城建局测绘队施测的滇池水位-面积-容积曲线。

1.2 研究方法

- a. 滇池现状入湖径流还原。采用历年逐月水量平衡法,计算公式为

$$W = W_{耗} + W_{损} + W_{出} \pm \Delta V \quad (1)$$

式中:W 为时段入湖水量;W_耗 为从滇池提取的工农业及生活净耗水量;W_损 为湖泊损失水量(忽略滇池的深层渗漏损失水量,仅为水面蒸发量);W_出 为出湖水量(包含向下游的工农业供水和弃水量);ΔV 为湖容蓄水变量。滇池流域内人类活动极为剧烈,自 1953 年后各个历史时期的新增水源工程多,分 3 次进行不同时期入湖径流系列的修正(即归一性订正):把 1953—1959 年修正为 1959 年以后,1992 年前(经第一次订正后)修正与 1993—1997 年系列一致,1997 年前(经第二次修正)的系列修正为“2258”工程影响的现状系列,以保证径流系列的一致性。

- b. 滇池入湖洪水过程分析。按常规的水库洪水还原法,用不考虑损失的水量平衡方程推求。

- c. 滇池的径流兴利调节。按长系列(时历法)操作,但草海和外海分别进行,草海调节湖容仅 2000 万 m³,故重点对外海进行分析,时段水量平衡方程为

$$V_j = V_{j-1} + W_j + W_{调入j} - W_{农j} - W_{工j} - W_{蒸j} + W_{农归j} + W_{工归j} - W_{弃j} \quad (j = 1, 2, \dots, 12) \quad (2)$$

式中:V_j 为本时段湖容;V_{j-1} 为上一时段湖容;W_j 为滇池本区径流量;W_{调入j} 为外流域引水工程调入水量;W_{农j} 为农业灌溉用水量;W_{工j} 为城市生活及工业用水量;W_{蒸j} 为湖面蒸发损失量;W_{农归j} 为农业灌溉回归水量;W_{工归j} 为城市生活及工业回归水量;W_{弃j} 为弃水量(出湖水量);j 为时段的月序数。入湖径流及各用水户需水量时间序列为 1953—2007 年,以月为时段。

- d. 滇池生态水位分析。根据《全国水资源保护规划技术大纲》^[13],对于吞吐型湖泊的滇池,生态需水包括湖区生态需水和出湖生态需水。出湖生态需水按 SL/Z 322—2005《建设项目水资源论证导则》执行;湖区生态需水分为湖区生态蓄水变量和湖区生态耗水量,前者以最小生态水位法确定,后者用水量平衡法求得,计算公式^[13]为

$$Z_{minj} = \min(Z_{ij}) \quad (3)$$

$$W_{Ej} = F_j \sum_{i=1}^n (E_{ij} - P_{ij}) + W_{sj} \quad (4)$$

式中:Z_{minj} 为第 j 月最小生态水位;W_{Ej} 为第 j 月湖区生态耗水量;Z_{ij} 为第 i 年、第 j 月湖泊月平均水位;F_j 为湖泊月平均水面积;E_{ij} 为水面蒸发量;P_{ij} 为湖面降水量;W_{sj} 为湖泊渗漏水量。

1.3 水平年及供水保证率

基于滇池流域社会经济发展水平和清水海供水

及水源环境管理项目引水工程、牛栏江—滇池补水工程等重大水资源配置工程的建设进度,现状年为2007年、规划水平年为2015年。根据GB 50282—1998《城市给水工程规划规范》、GB 50288—1999《灌溉与排水工程设计规范》、SL/Z 479—2010《河湖生态需水评估导则》等规范规程,结合滇池周边昆明市工业、农业灌溉用水的重要性,拟定滇池的供水保证率:城市生活为95%(指2007年以前,此后滇池不再承担昆明城市生活供水任务),工业生产为90%~95%,农业灌溉为75%,滇池生态修复补水为50%~75%。

2 滇池周边地区供用水变化分析

2.1 滇池周边地区用水调查分析

据调查,1978—2000年滇池流域有效灌溉面积维持在3.00~3.33万hm²,实际灌溉面积为2.67~3.00万hm²。2000年后昆明城市的扩张使灌溉面积逐渐减少至1.14万hm²,其减少部分在实施“四退三还”后已转变为湖滨带生态湿地。经对沿湖提水灌区的农作物种植结构、灌溉用水定额等调查分析,2008年的净灌溉定额为6129.5m³/hm²,与云南省水资源综合规划项目基于2000年的成果比较,二者相对偏差仅1.65%,但水稻、小麦、豆类、林果等传统粮食作物及经济果林的面积大幅度减少,花卉、蔬菜、烤烟等经济作物面积则逐步扩大,这些高产经济作物在大田种植过程中又产生了大量的化肥、农药等面源污染物,直到2010年后才得到遏制。

滇池环湖工业提水量包括昆明第五自来水厂和第六自来水厂南分厂,年取水量为1.10亿m³(2007年掌鸠河引水供水工程通水后即停止从滇池取水),昆明普坪村火电厂、昆明水泥厂等老企业被关停并转,严格限制工业新增从滇池的取水量,滇池工业取水量已从20世纪90年代末期最大的30510万m³锐减至现状的5170万m³。今后从减少滇池水资源量一次性消耗、限制和削减污染物入湖量、水生态环境修复等角度出发,禁止引入高耗水、高污染企业,以维持滇池出湖水量不减少。滇池下游的工业用水量呈现不断增长之势,必须严格实行节水减污任务,如昆明钢铁公司实施生产工艺改造和节能减排,生产吨钢的新水取用量降至5.95m³,内部循环水重复利用率97.5%。为充分利用出湖水量和昆明市污水处理后外排水量(经草海、西园隧洞、沙河汇入螳螂川),在海口—安宁—富民的螳螂川沿岸,有大型工矿企业如三环化工、昆明第二火电厂(青龙)等已在布局实施中,形成以水定发展的局面。

基于上述分析可得规划水平年从滇池取水的各类用水需求变化,即沿湖提灌面积较现状年有所减少,减

少达1.07万hm²,灌溉水利用系数提高到0.70,中等干旱年的灌溉毛需水量为10131万m³。沿湖工业用水量减少趋势,从偏安全计,维持现状取水量。下游海口河—螳螂川沿岸需滇池调节的灌溉面积和需水量也只能维持现有水平,工业需水量增加到13873万m³/a。

2.2 以滇池为中心的主要供水工程

到2015水平年,外流域引水调入滇池流域的水量组成为:掌鸠河引水供水工程由总库容4.84亿m³的云龙水库及98km输水管道组成,供给昆明城市生活用水量在一期工程2.20亿m³的基础上,再增加0.23亿m³,总调水量达到2.43亿m³,退水经集中处理达标后进入滇池;清水海供水及水源环境管理项目引水工程由总库容1.54亿m³的清水海水库和74.56km输水管道(或箱涵)组成,调入滇池流域的总水量0.97亿m³,先供呈贡区城市生活用水,退水集中处理达标后进入滇池;牛栏江—滇池补水工程由总库容4.48亿m³的德泽水库、提水扬程221.2m及装机容量90MW的干河泵站、115.85km输水渠道组成,引水量经盘龙江等河道进入滇池,扣除沿程输水损失后调入滇池的水量为5.66亿m³,作为滇池生态修复用水。因此,滇池流域的人均水资源量将从现状不足200m³增加到370m³。

3 滇池生态水位分析

3.1 滇池生态修复补水量

滇池流域生态系统封闭程度高,加上水华蓝藻的优势度持续居高,生物多样性几近丧失,自净能力减弱,生态容量弹性空间小,水生生态系统脆弱,水质恶化增加了生态恢复难度。实施除外流域调水之外的五大工程措施,通过今后10年持续整治,有效控制城镇生活污水入湖量;进一步限制主城区规模和优化产业结构,减轻流域环境超载压力;有效控制面源污染,大幅度削减污染物排放总量;积极推进流域绿化,基本实现滇池3个层次保护带生态结构重建,使生态系统功能逐步恢复;有效降低湖体氮、磷浓度,基本恢复滇池水生态环境。2020年滇池外海的水质将有较大提升,其中COD_{Mn}改善幅度为84.5%~85.1%,达到Ⅱ类水质目标,TP、TN的改善幅度为48.2%~50.4%,仍低于Ⅳ类水标准,超Ⅳ类水质保护目标分别为5.1%~12.3%和9.9%~11.2%。若综合整治措施全面实施,在牛栏江德泽水库断面COD、TN、TP质量浓度分别为1.71mg/L、0.76mg/L和0.055mg/L的条件下,滇池所需生态修复补水量为5.5~6.5亿m³/a,外海年平均水质达到2020年水质保护目标^[14],不同水文年的需水过程如表1所示。

表1 滇池外海 2020 水平年生态修复需补水过程

亿 m³

水文年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合计
丰水年	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.49	6.54
平水年	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.45	6.00
枯水年	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.41	5.46

3.2 滇池运行水位比较

滇池生态水位应根据出湖生态需水、湖区生态蓄水变化、湖区生态耗水等因素确定。根据 SL/Z 322—2005《建设项目水资源论证导则》规定,出湖生态水量按本区多年平均入湖水量的 10% 计,即 0.55 亿 m³。滇池位于流域最低处,没有向外流域或深层渗漏的可能性,则湖区生态蓄水变量为多年平均湖面降水量和蒸发量之差。滇池年均湖面降水量为 2.78 亿 m³,湖面蒸发量为 4.44 亿 m³,湖区生态蓄水变量为 1.66 亿 m³。因环湖人工湿地资料欠缺,湖区生态耗水量暂不定。从滇池长期的水位变化可见,水位已被限制在 1885.27~1887.40 m 之间波动变化,人工干预的痕迹明显,是为了保障昆明城市生活、工业及农业灌溉的用水需求,月平均最低水位 1885.27 m,出现在 1961 年 5 月。

滇池最高蓄水位设定是基于环湖湿地建设及其补水、环湖土地淹没和人口搬迁、抑制蓝藻暴发等因素。滇池圩堤拆除和“四退三还”推进后,拟建和现有环湖湿地分布在入湖河口或环湖高速公路至滇池之间的湖滨带,湿地补水量可直接引自滇池入湖河流,或从滇池取水满足。湖水位过高除淹没大量农田、大棚及地面附着物(建筑物)外,还将淹没许多已建成的湖滨人工湿地。滇池蓝藻暴发的关键因子为日照和风速,关键期在 6—9 月,连续 4~5 h 光照、风速小于 2 m/s 的气象组合条件极易引起蓝藻暴发^[15]。对于滇池这种富营养化水体,通过一定控制条件恢复水生态系统,改善水体透明度,促进外海从浊水藻型向清水草型演替,可有效抑制蓝藻暴发^[16]。滇池运行调度首先是周边及下游地区的防洪安全,其次为城市生活、工农业生产供水。滇池功能调整后,对生态环境改善提出了更高要求。综合上述各方面的约束条件,对各水平年分别进行多种方案情景拟定,正常高水位变幅 1887.40~1888.00 m,汛期限制水位变幅 1887.00~1887.40 m,正常高水位和汛期限制水位分别按每增加 0.10 m 组合方案,共模拟了 50 多种运行水位情景,如图 1 所示(图中滇池流域的水源工程系统简称“本区”,掌鸠河引水供水工程简称“掌”,清水海供水及水源环境管理项目引水工程简称“清”,牛栏江—滇池补水工程简称“牛”)。

现状年(本区+掌)的蓄满率(指达到正常高水位

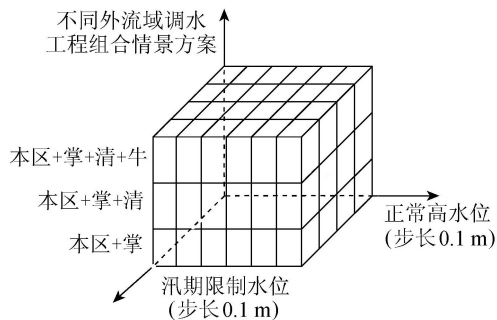


图1 滇池水位调度情景方案组合示意图

的年数所占系列的比例)为 11.76%,枯水期最低水位 1886.72 m。规划水平年(本区+掌+清)情景下,原汇入草海的水量经北岸环湖截污工程从西园隧洞外排,实际进入外海水量较现状年仅增加 471 万 m³,而环湖工农业用水水平的提高使得进入滇池的回归水量减少 892 万 m³,两项相抵后外海的可利用水量略有减少,蓄满率与只有掌鸠河引水供水工程时相同,枯水期最低水位 1886.70 m。牛栏江—滇池补水工程通水后,入湖水量较现滇池流域水资源量多 1 倍,蓄满率达到 100%,枯水期最低水位提高到 1887.00 m。

圩堤拆除后滇池 20 年一遇洪水位 1887.50 m 与原正常高水位之间是目前涉及的洪水淹没区,若正常高水位提到 1887.50 m,从淹没处理的角度仅遗留未搬迁的区域,实物量及处理难度较小,是近期滇池运行管理中较可行的水位方案。正常高水位为 1887.50 m 时水面积为 366.3 km²,较 1887.40 m 未拆圩堤增加 57 km²,湖容积增加 4 500 万 m³。据 2009 年初步调查,滇池水位从 1887.50 m 再升到 1887.80 m,除上述历史遗留问题外,还将新增淹没人口约 1.3 万人,淹没农田约 1 133.3 hm²、蔬菜及花卉等经济作物温室大棚约 800.0 hm²、鱼塘约 26.7 hm²、各种永久及临时建筑物约 67.9 万 m²。因此,推荐滇池外海正常高水位提高 0.10 m 到 1887.50 m,20 年一遇防洪高水位维持在 1887.50 m,汛期限制水位提高 0.20 m,即 1887.20 m,最低运行水位和特枯年对策水位暂不调整。

2002 年以来昆明城市建设、排涝系统及入滇河道整治均以 1887.00 m 为边界条件,滇池汛期限制水位提到 1887.20 m 后,对主城区排涝及入滇河道防洪安全会有一定影响,受资料所限,难以准确评

估。建议有关部门加强城区排涝整治,做好入滇河道监测及抢险工作,尽量降低汛限制水位带来的影响,妥善处理生态修复、蓄水兴利与防洪安全的矛盾。当海口河综合整治后达到设计过流能力,流域水情自动测报系统和洪水预报调度系统都建成后,结合短期天气预报,可提前 2~3 d 预泄滇池水量,使水位尽快回落,确保 20 年一遇最高洪水位不超过 1887.50 m 的防洪高水位线。但滇池 50 年一遇的最高洪水位为 1887.63 m,100 年一遇的最高洪水位为 1887.76 m,还须采取其他措施共同应对,以尽可能降低洪水的淹没损失。

3.3 滇池水位运行调度

图 2(a)为在原正常运行水位基础上,仅将正常高水位提高 0.10 m 的调度线。在牛栏江—滇池补水工程通水前的短时期内,滇池(外海)运行水位方案为:在水文频率 $P \geq 50\%$ 的枯水年、平水年主汛期(6 月初至 8 月末)按汛期限制水位 1887.20 m 控制运行,9 月末将蓄水位提高到 1887.30 m,后汛期 10 月末再将蓄水位提高到 1887.40 m,枯季 12 月初至次年 4 月底按正常高水位 1887.50 m 运行,5 月初开始消落水位,5 月末降至汛期限制水位 1887.20 m,进入下一个水文年度。在水文频率 $P < 50\%$ 的丰水年,主汛期(6 月初至 9 月末)按汛期限制水位 1887.20 m 控制,后汛期 10 月末将蓄水位提高到 1887.40 m 运行,12 月初至次年 4 月底执行正常高水位 1887.50 m,5 月初开始消落水位,5 月末降至汛期限制水位 1887.20 m,如图 2(b)所示。

牛栏江—滇池补水工程通水后,滇池运行水位方案为:主汛期(6 月初至 9 月末)按汛期限制水位 1887.20 m 控制运用,后汛期 10 月末将蓄水位提到 1887.40 m 运行,12 月初至次年 4 月底执行正常高水位 1887.50 m,5 月初开始消落(丰水年须提前至 4 月下旬),使月末降至汛期限制水位 1887.20 m,进入下一水文年度。鉴于此时滇池在各水文年汛末都能蓄到正常高水位 1887.50 m,不必将 9—10 月的蓄水位分期提高,以降低防洪风险,如图 2(c)所示。

根据滇池外海正常高水位以下不同水深的供水特性,依次划分为生态供(用)水区、工农业供水区、死水位区(图 2)。在牛栏江—滇池补水工程建成后,滇池生态供(用)水区下限水位由此前的 1886.16 m 下调至 1885.99 m,即滇池在保障环湖及下游地区工农业生产、海口河生态基流的前提下,为缩短换水周期、增加湖泊水稀释内源的生态用水消落深度为 1.51 m,相应调节湖容为 4.54 亿 m^3 ,工农业用水调节湖容只需 1.45 亿 m^3 。而修订前滇池正常高水位 1887.40 m 至最低工作水位 1885.50 m 之

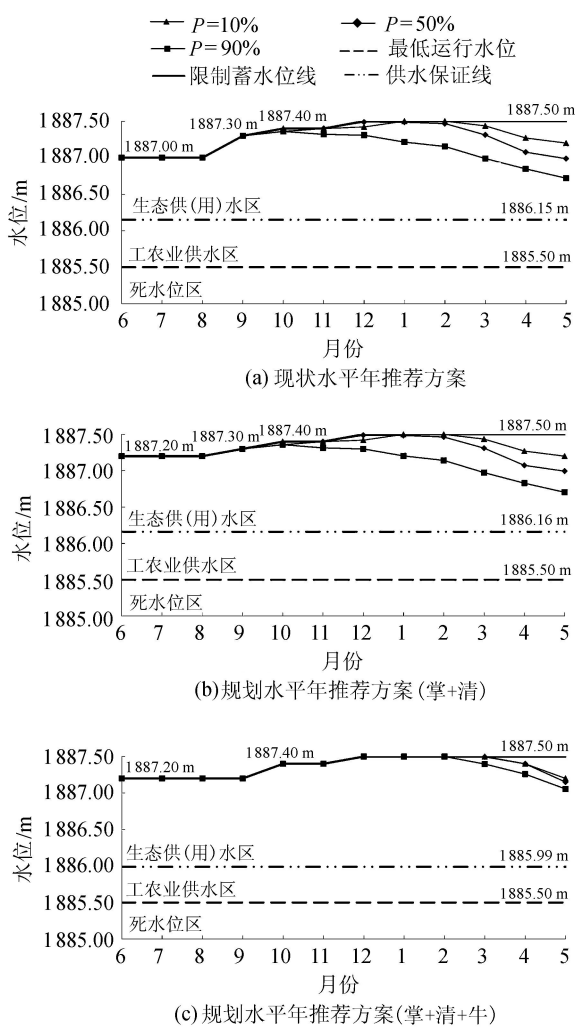


图 2 滇池外海运行水位调度示意图

间都属于滇池保障向城市生活及工农业生产供水的工农业供水区,并没有单独设定的湖泊生态供(用)水区及相应的调节湖容量。

在牛栏江—滇池补水工程通水但海口河段安全泄量未达到规划目标(140 m^3/s)且流域水情测报和洪水预报调度系统亦未构建的短期内,因滇池入湖洪水过程长(设计值长达 30 d)、洪峰靠后(在第 24 个时段,时段长为 24 h)及多峰组合、滇池泄洪能力相对较小、洪水调节主要受洪量控制等特点,可将暴雨较集中的主汛期防洪限制水位进一步下降至 1886.70 m,以增大调洪能力,通过拦蓄后汛期尾汛洪水的方式在短期内抬升至 1887.20 m 的汛期限制水位运行,保证滇池的防洪安全。

4 结 论

a. 结合滇池水污染防治六大措施的实施推进,以及掌鸠河引水供水工程、清水海供水及水源环境管理项目引水工程、牛栏江—滇池补水工程等外流域引水工程建成运行,滇池不再承担城市生活供水任务,环湖地区工农业供水量锐减,使其从过去的调蓄供水

水源转变成需进行生态修复补水的用水对象。

b. 滇池湖水蓄泄过程应按逐步恢复水生生态系统的水生植物多样性的要求,缩短换水周期,水位控制运用在正常高水位与汛期限制水位之间周期性地涨落变化,并将滇池外海自正常高水位以下根据其供水特性依次划分为生态供(用)水区、工农业供水区、死水位区。

c. 按照滇池新的功能定位和水生态修复保护要求,调整水资源配置格局,今后昆明城市及周边的高耗水行业应继续转移到滇池下游的海口—安宁工业走廊,既要减少对滇池水资源的一次性消耗量,又要尽可能地削减(降低)入湖污染物,实现工业布局的战略性调整。

d. 在海口河段安全泄流量低于 $140\text{ m}^3/\text{s}$ 、流域水情测报和洪水预报调度系统未构建期间,可将汛期防洪限制水位下降至 $1\,886.70\text{ m}$,以保证滇池的防洪安全。

参考文献:

[1] MA R H, YANG G S, DUAN H T, et al. China's lakes at present: number, area and spatial distribution [J]. Science China: Earth Science, 2011, 54 (2) : 283-289.

[2] 宋长青, 杨桂山, 冷疏影, 等. 湖泊及流域科学研究进展与展望 [J]. 湖泊科学, 2002, 14 (4) : 289-300. (SONG Changqing, YANG Guishan, LENG Shuying, et al. Scientific research progress and prospect of lake and river basin [J]. Journal of Lake Science, 2002, 14 (4) : 289-300. (in Chinese))

[3] 秦伯强. 湖泊生态修复的基本原理与实现 [J]. 生态学报, 2007, 27 (11) : 4848-4858. (QIN Boqiang. Principles and approach for lake ecological restoration [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11) : 4848-4858. (in Chinese))

[4] 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. (LIU Yong, GUO Huaicheng, ZHOU Feng, et al. A role of water level fluctuation on aquatic vegetation in lakes [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (9) : 3117-3126. (in Chinese))

[5] 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. (XU Zhixia, CHEN Minjian, DONG Zengchuan. Research on the calculation methods of the lowest ecological water level of lake [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (10) : 2324-2328. (in Chinese))

[6] 李新虎, 宋郁东, 李岳坦, 等. 湖泊最低生态水位计算方法研究 [J]. 干旱区地理, 2007, 30 (4) : 526-530. (LI Xihu, SONG Yudong, LI Yuetan, et al. Calculation methods of lowest ecological water level of Lake [J]. Arid

Land Geography, 2007, 30 (4) : 526-530. (in Chinese))

[7] 赵翔, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀最低生态水位研究 [J]. 生态学报, 2005, 25 (5) : 1033-1040. (ZHAO Xiang, CUI Baoshan, YANG Zhifeng. A study of the lowest ecological water level of Baiyangdian Lake [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (5) : 1033-1040. (in Chinese))

[8] 梁翠丽, 王芳, 汪党献, 等. 乌伦古湖最低生态水位及生态缺水量 [J]. 水科学进展, 2011, 22 (4) : 470-478. (LIANG Lili, WANG Fang, WANG Dangxian, et al. Research on the lowest ecological water level and ecological water quantity of Ulungur Lake [J]. Advances in Water Science, 2011, 22 (4) : 470-478. (in Chinese))

[9] 李新虎, 宋郁东, 张奋东, 等. 博斯腾湖最低生态水位计算 [J]. 湖泊科学, 2007, 19 (2) : 177-181. (LI Xihu, SONG Yudong, ZHONG Fengdong, et al. The calculation of the lowest ecological water level of Lake Bosten [J]. Journal of Lake Science, 2007, 19 (2) : 177-181. (in Chinese))

[10] 邓铭江, 王志杰, 王姣妍. 巴尔喀什湖生态水位演变分析及调控对策 [J]. 水利学报, 2011, 42 (4) : 403-412. (DENG Mingjiang, WANG Zhijie, WANG Jiaoyan. Analysis of Balkhash Lake ecological water level evolvement and its regulation strategy [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42 (4) : 403-412. (in Chinese))

[11] 罗小勇, 计红, 邱凉. 长江流域重要湖泊最小生态水位计算及其保护对策 [J]. 水利发展研究, 2010 (12) : 36-38. (LUO Xiaoyong, JI Hong, QIU Liang. Calculation of the lowest ecological water level of lakes and its protection measures in Yangtze River Basin [J]. Water Resources Development Research, 2010 (12) : 36-38. (in Chinese))

[12] 伍立群, 顾世祥. 滇中水资源研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2005: 221-259.

[13] 全国水资源保护规划技术大纲 [R]. 北京: 水利部水利水电规划设计总院, 2012: 62-66.

[14] 马巍, 禹雪中, 李锦秀, 等. 引水改善滇池水环境效果研究 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2008: 20-96.

[15] 谢国清, 李蒙, 鲁韦坤, 等. 滇池蓝藻水华光谱特征、遥感识别及暴发气象条件 [J]. 湖泊科学, 2010, 22 (3) : 327-336. (XIE Guoqing, LI Meng, LU Weikun, et al. Spectral features, remote sensing identification and breaking-out meteorological conditions of algal bloom in Lake Dianchi [J]. Journal of Lake Science, 2010, 22 (3) : 327-336. (in Chinese))

[16] 盛虎, 郭怀成, 刘惠邓. 滇池外海蓝藻暴发反演及规律探讨 [J]. 生态学报, 2012, 32 (1) : 56-63. (SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Huideng, et al. Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32 (1) : 56-63. (in Chinese))

(收稿日期: 2013 - 05 - 02 编辑: 熊水斌)