

大地热流对滇池环境的影响 与滇池污染治理的新思路

匡耀求

(中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要:滇池经过长达 7 年、投资 40 多亿元的治理,在污染源控制上已经取得了明显成绩,在一定程度上缓解了生态环境的进一步恶化。滇池水体水质至今没有好转的根本原因在于对滇池蓝藻爆发机理的认识没有考虑其所处的特殊地理环境。滇池水体富营养化之后,是由于较高的大地热流背景和四季如春的气候条件使蓝藻得以不停息地繁殖,致使滇池的水生生态系统完全瘫痪,水体完全失去自净能力。“抑制蓝藻的繁殖”和“清除水体中的营养物质”两大问题形成了滇池治理中一个难解的死结。解开死结的有效措施是从抚仙湖调清水给滇池换水,恢复草海,提高湖水自净能力,发展水生生态系统,抑制藻类繁殖。

关键词:滇池治理;抚仙湖;大地热流;草海

中图分类号:X142 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2002)02-0086-06

1 滇池水体污染与治理的现状

目前滇池已成为中国污染最严重的湖泊之一,湖内蓝藻猖獗,生态环境恶化。滇池的治理被国家列为“三河三湖”(辽河、淮河、海河、太湖、巢湖、滇池)重点治理工程之一。自 1993 年以来,为治理滇池,当地政府作出了不懈努力,多次邀请国内外专家为滇池会诊,取缔网箱养鱼,实行全流域禁磷,工业污染源实现达标排放;修建污水处理厂;实施截污工程,对滇池北岸的来水进行截污和分流,截断主要污染源,集中排往西苑隧道,在隧道出口处理后再排入附近的江河,以及疏浚草海的污染底泥等。累计投入已超过 40 亿元人民币。然而这些并未使滇池水质有所好转,仅仅是减缓了滇池水质恶化的势头。目前湖水仍然浑浊不堪,发绿并泛着白沫,腥臭。云南省环境状况公报显示 2000 年滇池草海和外海水水质总体仍劣于Ⅲ类。至此,滇池已连续 3 年都是劣Ⅲ类水质,几乎丧失了作为水的全部使用功能。1991~2000 年富营养状态指数年际变化图显示,自 1995 年以来,滇池富营养化指数仍在逐年上升,一直处于重富营养化状态,污染还在加剧。

像滇池治理这样长期、复杂而又艰巨的工程,不加大科技攻关力度,依靠科技治污,是不可能取得成功的。因此,滇池治理对任何新技术、新方法都敞开大门。只要技术安全、有效、经济,都可以到滇池来实验、推广。为清除蓝藻,试验过多种物理、化学和生物的除藻方法。2000 年,云南省和国家科技部合作,投资 5 000 万元进行滇池治理科技攻关,包括清除蓝藻和农村面源污染防治两个课题。

“放养鳙鱼、鲢鱼吃蓝藻”,2000 年 4 月滇池蓝藻水体污染控制课题启动,这项投资 2 500 万元的实验,曾让不少昆明市民为之欢欣。承担该项目的中国科学院水生生物研究所、南京地理湖泊所、云南大学专家进行了包括投放鱼苗、种植水生生物在内的一系列生物工程治理实验,取得了一些成果。但是专家们也表示“对昆明市及滇池周边环境确实估计不足。”据宁波大学生命科学与生物工程系陆开宏介绍,这两种鱼对蓝藻消化率只有 20%,且排泄出的粪便便会再次繁殖蓝藻^[1]。由此看来,试验能否达到预期效果目前还很难说。有些鱼类(如罗非鱼)确实以蓝藻为食,有些蓝藻如螺旋藻已成为最佳天然营养食品,但蓝藻的种属很多,并非所有的种属都可以吃,因为有些蓝藻水华的突变种含有毒物质,如铜

绿微囊藻的有毒变种含有微囊藻毒素 (*microcystin*) , 水华鱼腥藻的有毒变种含有鱼腥藻毒素 (*anabaenin*) , 水华束丝藻的有毒变种含有束丝藻毒素 (*aphanizomenin*) 。其中的微囊藻毒素是由 10 个氨基酸组成的多肽, 致死的最低剂量体重是每 0.5mg/kg, 不少动物吞食后中毒。滇池是多种藻类一起生长, 据昆明第五自来水厂分析, 取自滇池的源水中共出现藻类 50 余种, 其中蓝藻门 8 属, 绿藻门 19 属, 硅藻门 4 属及其他种属 (也包括有毒的裸甲藻) 若干。蓝藻门的藻类数量占总数的 51.56%, 其中微囊藻是优势种类, 包括水华微囊藻 (*microcystis flos-aquae*)、铜绿微囊藻 (*m. aeruginosa*) 及微囊藻 (*microcystis sp.*) , 占源水藻类的 47.4%。绿藻门的种类最多, 但数量较少, 占总数的 31.32%; 硅藻门的藻类数量仅占总数的 8.65%; 其他门类的藻类占总数的 8.47%^[2]。最常见的铜绿微囊藻和水华微囊藻是细小而带蓝色的颗粒, 每一个颗粒是无数球形的细胞密集而成的群体, 外面包着一层胶质膜, 虽然含有很丰富的蛋白质, 但由于外包胶质膜, 鱼吃了以后不能消化, 这些蓝藻死亡后, 大量的蛋白质分解会产生有毒的羟胺和硫化氢, 使鱼中毒死亡。此外, 还有一种裸甲藻, 鱼吃了以后不消化, 死亡以后会分解产生有毒的甲藻素, 使鱼中毒死亡。因此, 滇池蓝藻的治理不像其他湖泊藻类的治理那么简单。

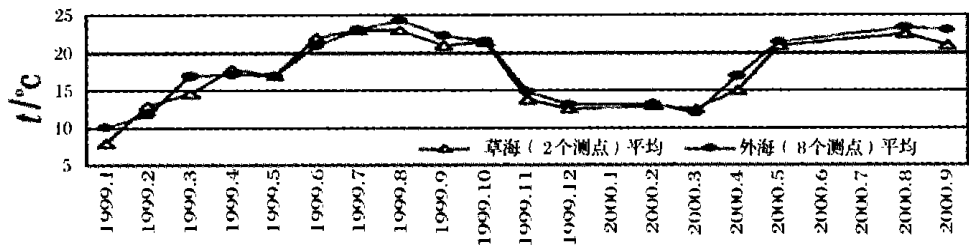
滇池作为国家“三河三湖”综合治理重点, 历时 7 年, 投资 40 多亿元, 在污染源头控制上取得了明显的成绩, 如打通了西苑隧道, 使工业和生活污水得以分流; 流域内重点工业污染源达标率达 98%, 被重点考核的 253 家企业有 249 家完成了治理任务, 余下 4 家被关停; 建成 4 座污水处理厂, 日处理能力 36.5 万 t。与治理前相比, 工业废水排放量减少了 70%, 工业污染得到初步控制。滇池北岸和盘龙江中段截污工程完工, 使生活污染得到一定控制。在建的几个污水处理厂建成后, 昆明市污水处理率有望达到 80%。这在一定程度上缓解了滇池生态环境的进一步恶化, 也为下一步的彻底根治打下了基础。目前之所以未从根本上解决滇池污染问题的原因是蓝藻的暴发机理没研究清楚。现在影响滇池水质的主要因素是蓝藻的疯狂繁殖。要拿出真正有效的治理方案, 尚需进一步开拓思路。

2 从中国沿海海域赤潮暴发规律得到的启发

从中国海域赤潮的发生情况看, 在南海海域发

生的赤潮暴发期出现在每年的 3 月中旬至 4 月初; 在东海海域发生的赤潮暴发期出现在每年的 5 月至 6 月; 而在渤海海域发生的赤潮暴发期出现在每年的 7 月。为什么赤潮的暴发会出现明显的南早北晚的变化趋势? 从这些海域表层海水水温的变化也许可以找出一点规律: 冬季, 渤海海域表层海水平均水温一般在 1℃ 左右, 东海为 13℃ 左右, 南海 20℃ 左右; 夏季, 渤海海域表层海水平均水温升高到 25℃ 左右, 东海 28℃ 左右, 南海 29℃ 左右。而生物有机体的代谢、生长和繁殖需要能量。显然, 赤潮的形成除了海水富营养化这一必要的物质条件外, 也需要一定的温度条件。当海水水温达到一定的温度时, 最适宜于某种藻类的繁殖; 这时, 如果其它条件 (即具有丰富的营养物质) 也具备的话, 赤潮的暴发就不可避免。假定某种藻类繁殖最适宜的水温是 20℃, 南海海域可能在 3 月至 4 月就可以达到这种温度, 而东海海域可能要到 5 月, 渤海海域的表层水温则可能要到 7 月才能达到这一温度。表层海水水温的变化可能就是赤潮发生的高潮出现南早北晚的原因。显然, 赤潮的暴发, 除了海水的富营养化这一必要条件外, 还需要一定的温度条件。国内许多湖泊的“水华”暴发通常都是在当地气温升高到一定的时候。大量监测资料表明, 藻类大量繁殖及其持续时段与气温变化密切相关, 水温高, 哪一年的高温来得早, 藻类的暴发就出现得早且密度高; 哪一年高温持续时间长, 则水华持续的时间也就长。滇池蓝藻的猖獗繁殖也离不开温度这一重要条件。滇池蓝藻的适宜温度在 18℃ 左右, 而滇池外海水体的年均温度为 17.7℃, 即使在最冷的 1 月, 滇池外海的水温也在 10℃ 以上, 全年的大部分时间滇池水温都处在蓝藻适宜温度范围内 (图 1)。

很多湖泊污染后, 经过适当的治理一般会有比较明显的效果, 为什么已投入 40 多亿元, 经过 7 年多的治理, 滇池的水质仍然没有好转的迹象? 昆明夏无酷暑, 冬无严寒, 鲜花常年不谢, 草木四季长青, 年均气温 14.5℃, 最冷月平均气温 7.7℃, 最热月平均气温 19.8℃, 很适宜于人类生活, 其实这种适宜的气候也适宜于滇池内蓝藻的繁殖。滇池的藻类一年四季都可以繁殖, 没有间断。为什么污染更为严重的太湖和巢湖治理的效果比滇池好, 恐怕气温, 尤其是水温这个因素起了很大作用。巢湖即使污染最严重, 氮、磷等营养物质含量最高, 一到寒冷的冬天, 藻类就无法繁殖, 湖水即使最脏也不会发臭, 这样



水温资料引自中国环境监测总站发布的《滇池水质月报》,由昆明市环境监测中心站测定

图1 滇池草海和外海水温的变化

Fig. 1 Temperature variation of the water in the Grass Pool and the Outer Sea of Lake Dianchi

就有一个缓冲期让其他生物种群发展,水生生态系统得以孕育和修复,使湖泊的自净能力逐步得到恢复。而滇池由于一年四季都适宜蓝藻繁殖,湖内水体始终处于缺氧状态,水生生态系统没有孕育和修复的机会,湖水自净能力无法恢复。如经过“九五”期间的治理,滇池草海的高锰酸盐指数、生化需氧量、总磷三项污染指标在1998和1999年出现了明显下降,但在2000年又出现了回升究其原因可能是2000年昆明地区年均气温比平常年份高出1.1。

3 大地热流对滇池环境的影响

为什么滇池会有较高的水温呢?滇池地处我国西南热带上,昆明市内出露的温泉就有50多处,其中60以上的高温温泉有多处,在城区南部的关上、海埂一线(滇池北部)已探明一条热水带。昆明盆地的大地热流为68.3~116.2 mW/m²(表1),国防体育场近地表处大地热流高达102.2 mW/m²,全区6个测点热流平均值为85.4 mW/m²^[3],比中国大陆地区大地热流平均值(63.3 mW/m²)高出35%。滇池附近地下500 m深度的地温已超过40^[4],丰富的

地热温暖了这片土地,也保持了滇池较高的水温(滇池外海年均水温比昆明市年均气温高2.2,而且水较深的外海比草海年平均水温要高0.4,冬季要高出2)。由于滇池的水温比较高,为蓝藻的繁殖创造了条件。滇池水体富营养化之后,蓝藻就没有停止繁殖过。要成功治理滇池的藻害,不能不考虑滇池所处环境的热流背景。

同样是新生代晚期断裂构造形成的断陷湖,同样是富营养化的湖泊,为什么位于滇池南东约33 km、面积只有滇池十分之一(仅34 km²)、平均水深相差不大(分别为5.5 m和6 m)且湖水置换速度比滇池更慢的星云湖水质好于滇池的(星云湖目前水质为Ⅳ类,滇池为劣Ⅴ类),并没有出现蓝藻的暴发呢?星云湖周围也有温泉分布,但由于地处不同地体(川滇断陷、右江断隆和三江断褶带)的接合部位,地层岩性变化大,而不同岩性的岩石热导率相差悬殊,导致不同岩层出露区的大地热流明显不同。星云湖西面的海西村有著名的双井温泉,由北而南,在500 m范围内共排列着五处泉眼,泉水的温度一眼比一眼高,头泉至尾泉温度相差8~9。由于星云

表1 昆明市及其附近大地热流测量数据^[3]

Table 1 The terrestrial heat flow data of the Kunming City and its vicinity^[3]

测量孔位	东经	北纬	测量深度/m	地温梯度/ km ⁻¹	岩石热导率/ W·(m·°C) ⁻¹	大地热流/ mW·m ⁻²
富民 TK1	102°28'14"	25°10'53"	0~500	34.2	2.420	82.8
昆明普照村 ZK7	102°47'42"	25°03'38"	70~220	23.4	3.892	91.1
昆明普照村 ZK7	102°47'42"	25°03'38"	220~400	56.7	2.050	116.2
昆明普照村 ZK7	102°47'42"	25°03'38"	400~510	39.7	2.768	109.9
昆明普照村 ZK7	102°47'42"	25°03'38"	510~610	14.1	6.600	93.1
昆明国防体育场	102°41'48"	25°02'43"	40~200	38.4	2.661	102.2
昆明国防体育场	102°41'48"	25°02'43"	300~550	27.1	2.660	72.1
昆明国防体育场	102°41'48"	25°02'43"	550~700	11.0	7.040	77.4
昆明牛街庄	102°44'13"	25°02'26"	100~780	23.8	3.312	78.8
昆明五里乡	102°42'49"	25°02'30"	80~130	21.3	3.205	68.3
昆明五里乡	102°42'49"	25°02'30"	130~250	12.8	6.320	80.9
昆明海埂1井	102°40'27"	25°01'13"	190~480	37.1	2.046	75.9
江川 2105井	102°46'13"	24°27'21"	20~70	50.5	0.930	47.0

湖底有厚数十米的第四纪浅色粘土层,热导率很低,使来自地内的热流难以传达湖底,因而湖底大地热流较低。徐青等^[3]在星云湖北岸(东经 102°46'13",北纬 24°27'21")的江川 2105 井测得的大地热流只有 47 mW/m²,是云南省大地热流最低的测点之一。大地热流很低可能是富营养化的星云湖没有出现大规模蓝藻暴发的主要原因之一。

显然,较高的大地热流背景为滇池蓝藻的爆发创造了条件,因此对滇池的治理必须考虑大地热流这一重要的自然背景因素。

4 杭州西湖治理的经验和教训

杭州西湖治理的经验和教训值得借鉴。据《西湖风景园林》记载“建国初期,(西湖)水底遍生水草……环湖则多洼塘低地,葑草丛生”,那时,西湖的水是干净的,甚至有人拿它来酿酒。但是,自 1958 年葑草被当作害草割除殆尽后,西湖水就开始呈现绿色;20 世纪 60 年代,甚至成为红色,西湖也曾一度被一些人称为“红湖”。现在的西湖水虽较那时候有好转,但主要是因为不停地换水,西湖水体已经丧失了自净能力。西湖沿岸去尽葑草,砌上石壁,虽然美观,但却没料到会削弱湖水的自净能力。

葑草有很强的光合作用能力,繁殖很快,死后吸附大量泥土淤积形成“葑田”,能使湖泊水面缩小,直至变成沼泽,许多湖泊就是这样消亡的。1089 年苏东坡再次任杭州太守时,葑田已占去西湖的一半。苏东坡力主疏浚,清除葑草淤泥,将挖出的淤泥筑成了一条长堤,不但未造成恶果,反而使西湖风光重现。

同样是清除葑草,后果却截然不同。问题可能并不在于是否应该清除这些葑草,而在于清除的程度。如果周边湖岸石砌,葑草湿地尽失,必然丧失湖水的自净能力。任葑草湿地自由扩张,湖泊就会逐步走向灭亡。因此必须掌握好分寸,必须以科学研究为依据。当然,在苏东坡时代,对西湖的污染排放强度大大低于现在,还没有超出西湖湖水的自净能力,这可能是其清除葑草后西湖水质没有变坏的重要原因。要做到既保留湖面风光永驻,又保持湖水水质不变坏,就必须进行科学的治理,必须根据实际承受的污染排放强度,设计湖水的自净能力。一定的污染排放强度必须有一定面积的湿地生态系统去

消纳和净化。污染排放可以控制,但湖水绝对不受污染则不可能,因此,在湖内维持一定规模的湿地生态系统是必要的;由此推理:滇池的草海必须恢复。

5 关于滇池治理的思路

面对疯狂繁殖的蓝藻,一些湖泊治理专家认为,从水量丰盛的虎跳峡引水入滇池,让滇池水流动起来,加快水体置换速度也许可以达到治理的目的^[5]。但是,从虎跳峡引水入滇池,距离数百公里,沿途地质条件十分复杂,工程量相当大,所需投资甚巨,需要探索更好、更省的治理方案。

笔者认为,滇池污染治理特别难的关键原因在于:1)滇池地处热带上,较高的大地热流背景和温和的气候环境为滇池内蓝藻的发育和繁衍创造了条件;2)草海被围垦,使滇池水体丧失了自净能力。这也是滇池污染与其它湖泊污染的不同之处。因此,对滇池治理的有效措施,除了截住污染源之外,还必须考虑清除蓝藻和恢复草海两项措施。只有清除了滇池目前的藻害,才能逐步发展滇池的水生生态系统;只有恢复草海,才能保证今后的滇池湖水有一定的自净能力。只有这样才能彻底根除滇池的污染,恢复滇池水体的生态功能。

清除蓝藻的努力一直在进行,但收效却不明显。问题的症结可能是前人没有认识到滇池蓝藻的猖獗除了与水体富营养化这一必要的物质条件有关外,还与滇池所处环境较高的地热背景有关。现在滇池治理面临的问题是,水体已经严重富营养化,这种富营养化的水体在较高的地热背景和四季如春的气候条件配合下,使蓝藻得以不停地繁衍,每年从 3 月到 10 月都可能出现蓝藻的爆发性繁殖,即出现“水华”,死亡的蓝藻分解后又释放出富营养物质,从而增加水体的富营养化程度。蓝藻猖獗使滇池的水生生态系统完全瘫痪,水体完全失去了自净能力。这就是为什么在入湖污染物逐年减少之后,滇池水体富营养化指数仍在逐年上升的原因。

要清除滇池水体中的富营养物质,就必须培育滇池的水生生态系统,提高湖水的自净能力;要培育水生生态系统,就必须抑制蓝藻的繁殖。为此,在清除水体中的营养物质之前,必须考虑改变水体温度和酸碱度等问题。但由于滇池水体实在太太,很难改变酸碱度;要改变如此巨大水体的温度也只有

靠天,而昆明的气候几乎不可能使滇池的水温下降到蓝藻的耐受温度下限以下或上升到其耐受温度的上限以上。若采取人工降温的办法,即使在冬季从附近的雪山运冰投入滇池降温,一次也需要投放约2 000万t冰才可使整个湖面温度有明显的下降,为此需要动用400万辆运冰卡车,可行性不大。因此,要抑制蓝藻的繁殖,必须清除水体中的营养物质。这样就形成了一个难解的死结。解开这个死结的唯一有效办法就是给滇池换水;要换水就必须寻找合适的水源。

笔者认为,比较可行的方案是从抚仙湖调水。两湖之间最短距离只有17 km,从抚仙湖抽水15亿 m^3 即可以彻底更换滇池的湖水。而且两湖之间的地形也十分有利于调水,因为有一条流入滇池的河流(大河-柴河)往南上溯到了抚仙湖西岸的大梁子山(最高峰海拔2 648 m)西侧,与抚仙湖只有一山之隔,直线距离不足7 km。

在换水的同时,还要考虑适当降低湖内的大地热流,让大地热流得以从其它渠道释放。

此外,由于风向的影响,滇池湖面漂浮物趋向于在西北部聚集,而不能从西南侧的出口外泄,有必要将滇池的出口改道北移。

具体治理措施:首先,将滇池的出口由现今的湖盆西南侧的海口改道北移至西北侧碧鸡镇附近的龙门,由龙门经安宁市的太平排入螳螂川,让水面漂浮的污染物和草海积淀的淤泥得以排泄;然后在冬季水温较低时,降低水位2~3 m,清除湖底污泥,封闭滇池内的温泉出口,填上隔热粘土层或在湖底沉积层加入特殊改性材料以降低湖底沉积物热导率,同时加大滇池外围地热资源开发力度,让大地热流从滇池以外释放,减弱地下热流对滇池水体的加热作用,以降低滇池水温;在剩余水面泼洒硫酸铜,杀灭蓝藻,沿岸栽种污染净化植物(如香蒲、水葱、凤眼莲、芦苇、黑藻等);再灌注清水,培育一个30 km长、800 m宽的水生植物带,面积约25 km^2 ,恢复草海,提高湖水自净能力,发展水生生态系统(放养罗非鱼及鳙鱼、鲢鱼),抑制藻类繁殖。清除出来的污泥可以制作肥料或用于制沼气。整个治理工程合计约需投资9~12亿元(其中包括调水工程建设6亿元或3亿元),耗时2~3年。此方案可望彻底根治滇池的污染。

6 从抚仙湖调水的可行性分析

滇池位于24°30'~25°00'N,102°58'~103°02'E,湖面海拔1 886 m,南北长40 km(目前实际长38 km),东西平均宽8 km,水深平均约5.5 m(最大水深8 m),面积340 km^2 (目前实际只有318 km^2),蓄水量15亿多 m^3 。

抚仙湖位于24°21'~24°37'N,102°49'~102°57'E,海拔1 721 m,南北长31 km,东西宽约12 km,最窄处4 km,最深处达155 m,平均深87 m。湖面212 km^2 ,蓄水量185亿多 m^3 ,是滇池蓄水量的12倍,水量充足。抚仙湖含磷高,无污染,没有蓝藻之害,湖面呈碧蓝色,透明度达7~8 m,纯净度达99.5%,水质良好(Ⅱ类),可以作为饮用水源。从抚仙湖调水给滇池换水在水量和水质上均有保证。

首先要考虑调水工程的可行性。抚仙湖西北岸距滇池南岸只有17 km,高差约165 m。而且地形极为有利:抚仙湖西侧的大梁子山(海拔2 648 m)西面有一条小河(大河-柴河)流向滇池,只要将抚仙湖水调入大梁子山西侧的大河就可以了。从抚仙湖西岸的绿壳经大麦地到大河直线距离只有7 km,且调水工程两端目前都有公路相通,交通方便。

这一调水工程投资可考虑两个方案:

方案1:如果将全线建为封闭式管道,从抚仙湖提水到滇池的工程线路总长估计约20 km,需提升水位约300 m。深圳东部供水水源工程长56.3 km,提升水位71 m,投资16.7亿元,规划年供水量3.5亿 m^3 ,相应流量为11 m^3/s ,实际按30 m^3/s 建设(年可供水量9.5亿 m^3),采用全封闭管道,已于2000年6月7日建成并试机通水。每公里投资约3 000万元。如按深圳东部供水水源工程的实际规模设计建设(年可供水量9.5亿 m^3),估计用两年时间可把滇池水彻底更换一次。滇池流域面积达2 755 km^2 ,年均降雨量1 000 mm,年水资源总量达27亿 m^3 ,当地的这些水资源可以在一定程度上补给,滇池排干后实际上约1年后复灌。按深圳东部供水水源工程的造价估计,需投资人民币约6亿元。这个数目与滇池治理已投入的40亿元相比(仅2000年就投资了6.98亿元)应该可以接受。而且,随着昆明经济的迅猛发展,昆明市的饮用水源已经非常紧张,寻找新的饮用水源已是昆明市面临的一项重大任务,而抚

仙湖则可以作为昆明市首选后备水源,建成的调水管线可以为用于昆明市未来饮用水源供水,也可为滇池下次换水之用。

方案2:只将抚仙湖水提升到大梁子山西侧的大河,由大河自流入滇池,这样调水工程的长度估计只有约8 km,但需提升水位约400 m。估计投资约3亿元人民币即可。

此外,短期内降低抚仙湖的水位,对于考察和研究沉没在抚仙湖湖底的古代文明遗迹(俞元古城遗迹)也是一次难得的机会。

调水对抚仙湖有何影响?如果抚仙湖与外界没有水力联系的话,调走15亿 m^3 水可使其水位下降7~8 m。但是抚仙湖湖水与地下水连通性能较好,很快可以得到地下水的补充,且抚仙湖与星云湖相通,亦可以得到水量调剂,估计调水后实际水位降低不会超过5 m。实际调水过程需要1~2年时间才能完成,这样还可以得到地表水的补充。抚仙湖流域面积1053 km^2 ,年降雨量900 mm左右,年水资源总量将近10亿 m^3 ,调走的水量在调水期间基本上可以得到补充。因此,调水对抚仙湖水位的影响应不超过洪枯季节水位变化范围。实际上,抚仙湖在极端

枯水期水位也曾下降到目前水位以下8 m。当地老人曾经在退水时看到过沉没在湖底的一道石墙(当地人称“石龙”)露出湖面,而该道石墙目前正位于距湖岸200多m处约8 m深的地方,从船上往水下即可以看到。因此,即使水位下降8 m也不会对抚仙湖及其附近的生态环境产生显著的影响。

本文提出的治理方案仅是基于对这种特殊性的一些初步认识的结果,很多问题还有待进一步的调查、研究和论证。

参考文献:

- [1] 郭靖,余宁.月湖哪得清如许,为有除藻罗非鱼[N].宁波日报,2001-8-11(3).
- [2] 余梅,卢文汉.昆明第五自来水厂常规工艺除藻效果的研究[J].给水技术博物馆,2000,(1). <http://www.chinamuseum.net/60.jszl/lw/lw.czxygj.htm>.
- [3] 徐青,汪缉安,汪集贤,等.云南大地热流及其构造意义[J].大地构造与成矿学,1992,16,(3):285-299.
- [4] 汪缉安,徐青,张文仁.云南大地热流资料报道及一些地质问题的讨论[J].地震地质,1990,12(4):367-377.
- [5] 杨跃萍,周东棣.专家认为可从虎跳峡引水治理滇池污染[N].新华社通讯,2001-04-29.

The Effects of Terrestrial Heat Flow on the Environment of Lake Dianchi and New Approach to Control its Pollution

KUANG Yao-qiu

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangdong, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effort made during the past 7 years with investment of more than 4 billion Chinese yuan has made obvious progress in controlling the sources of pollution, which had prevented to some extent the ecologic environment of Lake Dianchi from becoming worse, and laid a foundation for the complete control in the future. The reason why the water quality in Lake Dianchi has not become better up to now is that the special geographic environment of Lake Dianchi was not included when the mechanism of the explosive reproduction of the blue green alga was considered. It is believed that the high terrestrial heat flow background and the warm climate all the year long made the blue green alga grow and reproduce continuously since the water in Lake Dianchi became nitrified, which resulted in complete breakdown of the aquatic ecologic system in Lake Dianchi and the water body has completely lost its self-purification ability. The two issues of “Constraining the reproduction of the blue green alga” and “removing the nitrified material from the water” formed a deadlock in the control of pollution in Lake Dianchi. An effective measure to open the deadlock is to pump clear water from Lake Fuxian to change the water in Lake Dianchi, and restore the grassland around the Lake, so as to promote its self-purification ability, and develop the aquatic ecologic system at the same time to restrain the reproduction of the blue green alga.

Key words: control of pollution in Lake Dianchi; Lake Fuxian; terrestrial heatflow; grassland around Lake Dianchi