

千岛湖水温垂直分层的空间分布及其影响因素*

白杨^{1,2} 张运林² 周永强^{2,3} 施坤² 刘明亮⁴ 杨桂军¹

(1. 江南大学环境与土木工程学院 无锡 214122; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室 南京 210008; 3. 中国科学院大学 北京 100049; 4. 杭州市环境保护科学研究院 杭州 310014)

摘要 湖泊热力分层及热力循环深刻影响深水湖泊生态系统。随着全球气候变暖,湖泊热力过程会发生显著变化。作为深水水库型湖泊,千岛湖的热力过程与水环境的变化紧密相连,为了分析千岛湖水体水温、湖泊热力分层参数(温跃层深度、厚度和强度)的分布,探讨温跃层深度与水温、水体透明度以及水深之间的关系,本文根据 2014 年 7 月份与 2015 年 5 月份对千岛湖全湖 60 个采样点的水体理化指标的垂向分布调查数据,计算得到千岛湖热力分层参数,进而分析其时空分布特征及主要影响因素。结果表明,千岛湖水体水温垂直分布呈现正温分布,春夏季全湖范围内均存在不同程度的温度分层现象,温跃层深度、厚度和强度均从上游河口向下游散水区逐步增大,这种空间变化的趋势在 7 月份比 5 月份更显著。水温、透明度和水深是影响温跃层深度的主要因素。夏季湖泊热力分层稳定期温跃层深度与表层水温(0—2m)存在显著负相关关系,与透明度和水深存在正相关关系。

关键词 千岛湖; 热力分层; 空间分布; 温跃层

中图分类号 P343 doi: 10.11693/hyhz20160400095

湖泊热力分层和热力循环是制约湖泊各种理化过程(如溶解氧分布、底泥营养盐释放)、上下层水流混合和对流等动力现象的重要因素,是湖泊最重要的物理过程,同时对生物的新陈代谢和物质分解具有重要的作用,也是影响湖泊生物生产量和生态系统演化的重要指标(张运林, 2015)。对于深水湖泊,水体温度的垂向分布和变化规律对水质的影响更为显著(袁琳娜等, 2014)。湖泊热力分层形成中层温跃层,即水温的急速变化区域,体现了从一个相对稳定的深层区域(底层均温层)到上层的混合区域(表层变温层)的温度急剧变化,温跃层通常通过温度垂直梯度观测计算得到(Zhang *et al.*, 2014)。湖泊热力分层形成的密度成层抑制了表层和底层水体的垂直交换,往往导致表层与底层形成鲜明对比:表层水体营养贫乏但光线充足,而底层营养丰富、光线不足(Macintyre *et al.*, 1999)。湖泊热力分层增强会加剧湖泊缺氧,促使浮游生物的增长、蓝藻水华暴发,并导

致水体内部营养负荷变化从而影响湖泊生产力(Kraemer *et al.*, 2015)。因此,研究湖泊热力学分层,有助于加强对湖泊物理、化学以及生物生态过程的了解(刘明亮等, 2014)。另外,气候变化通过改变湖泊热力过程进而影响营养盐循环,促使有害蓝藻水华的暴发(Wilhelm *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2012)。因此,深入了解湖泊热力学过程、影响因素和形成机制,对湖泊水质的适应性管理的发展战略也是至关重要的(Zhang *et al.*, 2014)。

目前,国内外对于深水湖泊的水温状况、温度分层、温跃层特征量以及其影响因素的研究已经十分广泛(张运林等, 2004; 吴志旭等, 2012; Bruesewitz *et al.*, 2015; León *et al.*, 2016),但多数研究主要集中在湖泊水体季节性温度垂直分层特征方面,针对于湖泊温度分层的空间分布及其驱动机制的研究并不多。事实上,处于同一气候区域的湖泊,其水深、面积和透明度不一样的,湖泊的热力分层往往存在显著差异(Fee

* 国家自然科学基金项目, 41325001 号, 41271355 号; 湖泊与环境国家重点实验室开放基金项目, 2014SKL004 号; 杭州社会发展科研专项项目, 20150533B06 号, 20140533B11 号。白杨, 硕士研究生, E-mail: baiyangaspenby@126.com

通讯作者: 杨桂军, 硕士生导师, 副教授, E-mail: yanggj1979@163.com

收稿日期: 2016-04-29, 收修改稿日期: 2016-07-08

et al, 1996; Kraemer *et al*, 2015)。而对于大型深水湖泊、水库而言, 由于水下地形千差万别, 加之不同水域水体物质组成和透明度存在明显差异, 湖泊的热力分层也往往呈现显著的空间差异, 但以往的研究很少关注热力分层参数的空间分布差异。本文选择大型深水水库千岛湖, 对典型季节不同水域湖泊热力分层参数及相应控制因素的空间差异展开讨论, 试图揭示千岛湖典型季节湖泊热力分层参数的空间分布及其驱动机制, 为进一步丰富深水湖泊热力学理论及水质监管与保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 观测点概况

千岛湖(又名新安江水库), 位于浙江省淳安县, 地处钱塘江与安徽省交界处。千岛湖流域位于亚热带北缘、东南沿海季风区, 气候温暖, 雨量充沛, 年平均气温为 16.90°C , 从大坝到新安江入口(街口断面)纵长 150km, 岸线总长度 1406km, 水面最宽处约 50km, 在水位达到正常蓄水水位 108m 时其水面面积为 580km^2 、库容为 $178.4 \times 10^8 \text{m}^3$, 平均水深 31m(吴志旭等, 2012)。作为钱塘江“生态源”的千岛湖, 是长三角区域的重要饮用水源地, 近年来随着社会经济的快速发展, 加之资源的不合理利用, 千岛湖水体的污染负荷逐渐增加, 局部水域已经逐渐出现富营养化现象, 水环境质量逐渐下降(董春颖等, 2013)。作为深水水库型湖泊, 其水环境的变化与湖泊的热力过程紧密相连。因此, 为了更深入地了解千岛湖的物理、化学以及生物生态过程, 更好地保护与治理水体, 研究千岛湖温度分层规律以及其空间差异显得尤为重要。

1.2 采样时间与采样点位

为了研究千岛湖水温垂直分布和热力分层的空间差异, 在千岛湖的街口、小金山、三潭岛、大坝前、航头岛和矛头尖 6 个区域共布设了 60 个涵盖全湖的采样点(图 1)。2014 年 7 月与 2015 年 5 月分别对这 60 个采样点进行采样调查, 采样时均采用全球定位系统(GPS3000 型导航仪)对采样点进行空间定位, 误差小于 2m。野外采样时, 水质垂直剖面测定采用多参数水质仪(YSI6600V2, 美国 YSI 公司)。野外测定时, 将 YSI 缓慢地垂直由水面放入水体中直至湖底, 采用每隔 2s(对应于每隔 0.1—0.2m 深)自动记录数据的方式, 收集水体垂向理化指标, 同时使用赛氏透明度盘测定每个采样点水体的透明度, 另外采样时记录采样点的经纬度。

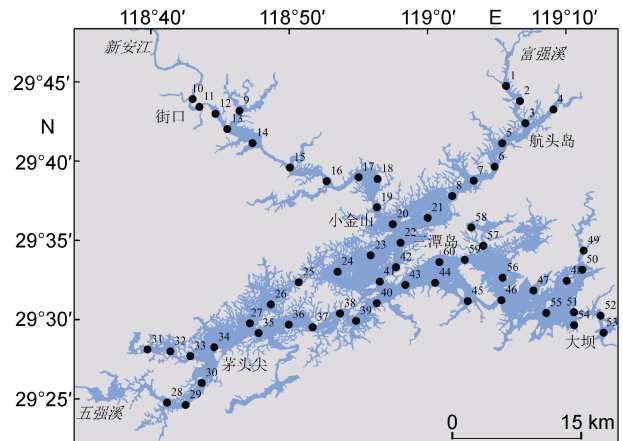


图 1 千岛湖采样点位分布图

Fig.1 The sampling sites in Qiandao Lake

1.3 热力分层参数计算方法

在湖泊热力学过程研究中, 水温的垂直分布、热力分层、温跃层的位置及其变化往往是研究重点。本研究中以温跃层的深度、厚度和强度作为研究温跃层的特征量。为了研究温跃层的深度、厚度、和强度的分布和变化, 温跃层的最上层和最下层边界必须准确地确定(Zhang *et al*, 2014)。为清晰阐述温跃层特征量, 我们以图 2 给出的大坝附近站点水温垂直分布为例加以说明。温跃层深度是指温跃层上界的深度, 即温度垂直分布曲线上, 一般在温跃层的上、下各有一个极大曲率点, 即最浅一个极大曲率点所在的深度。温跃层厚度即上、下 2 个极大曲率点的垂直距离(图 2)。温跃层范围内上下界的平均值即为温跃层强度。目前广泛应用的梯度准则方法要求, 温跃层的垂直温度梯度要大于一个定值, 根据《海洋调查规范》, 浅海水域(水深 200m)中水温梯度大于 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的水层为温跃层, 深海水域(水深 $> 200\text{m}$)中水温梯度大于 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的水层为温跃层, 另外, 界定温跃层深度时一般将水体表层 1m 以内排除在温跃层之外(国家技术监督局, 1992; Jones *et al*, 2011; 刘明亮等, 2014)。然而, 在 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 与 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 之间, 没有客观的方法来确定一个定值, 根据以往千岛湖温度垂直剖面的研究经验(Zhang *et al*, 2014), 本文中将温度梯度大于 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的水层设定为温跃层。

1.4 统计分析

本文中所有数据利用 Origin 8.5 软件以及 Excel 进行统计分析和制图, 获得水温垂直分布以及温跃层深度与水温、透明度和水深之间的关系。利用 ArcGIS 10.2 软件进行克里金插值, 绘制温跃层深度、厚度以及强度的空间分布。

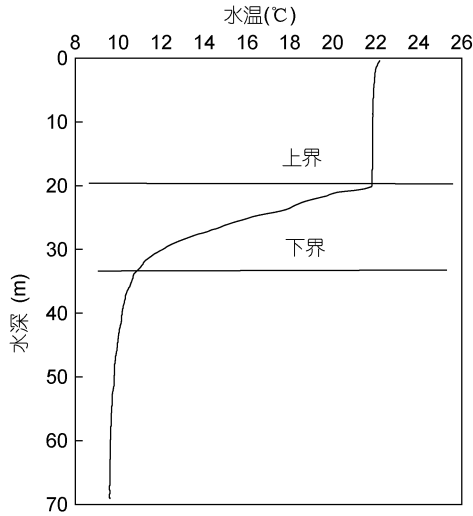


图2 湖泊温跃层示意图
Fig. 2 The thermocline position in the lake

2 结果与讨论

2.1 水温垂直分布

在千岛湖采样的 60 个点位中, 分别选取处于街口、航头岛、小金山、三潭岛和大坝前及矛头尖 6 个区域中典型的点位, 观察千岛湖水温的垂直分布。由于湖泊上下层水体间不同程度的增温与冷却, 使水温在垂直方向呈现一定的变化(Zhang *et al.*, 2014)。从图 3 可以看出, 2015 年春季 5 月份, 6 个点位水温的垂

直分布均存在明显的温度分层现象, 表层水温(0—2m)一般在 22—26°C 之间, 中层水温(19—21m)一般在 12—14°C 之间, 下层水温(39—41m)一般在 11°C 左右, 垂向温差在 11—15°C 之间。水温从表层向下呈现跃变趋势, 在 20—30m 之间为跃变的下层, 30m 以下部分水温维持在 10—11°C 恒温状态。2014 年夏季 7 月份, 在空间上水体的温度分层现象较春季 5 月份更为稳定, 表层水温(0—2m)一般在 30—32°C 之间, 中层水温(19—21m)一般在 20—22°C 之间, 底层水温(39—41m)一般在 10°C 左右, 垂向温差在 20—22°C。水温呈现明显的跃变趋势, 在 30—40m 之间为跃变的下层, 40m 以下部分水温维持在 10°C 左右的恒温状态。千岛湖水温的变化在夏季大于春季, 垂直方向上水温呈正温分布, 并且不同位点之间由于水深、透明度、入湖河流扰动、离岸距离等因素, 其水温的垂直分布也呈现一定的差异。

2.2 温度分层的空间分布

在分析千岛湖温度垂直分布的空间变化的特征时, 用 ArcGIS 软件绘制温跃层深度、厚度以及强度分布的插值图(图 4)。从图 4 可以看出千岛湖温度垂直分层存在显著的空间和季节差异。在矛头尖和大坝前区域温跃层的深度相对其他区域较深, 而在街口和航头岛区域温跃层深度较浅, 三潭岛和小金山区域温跃层深度值介于中间。温跃层深度从上游向下游

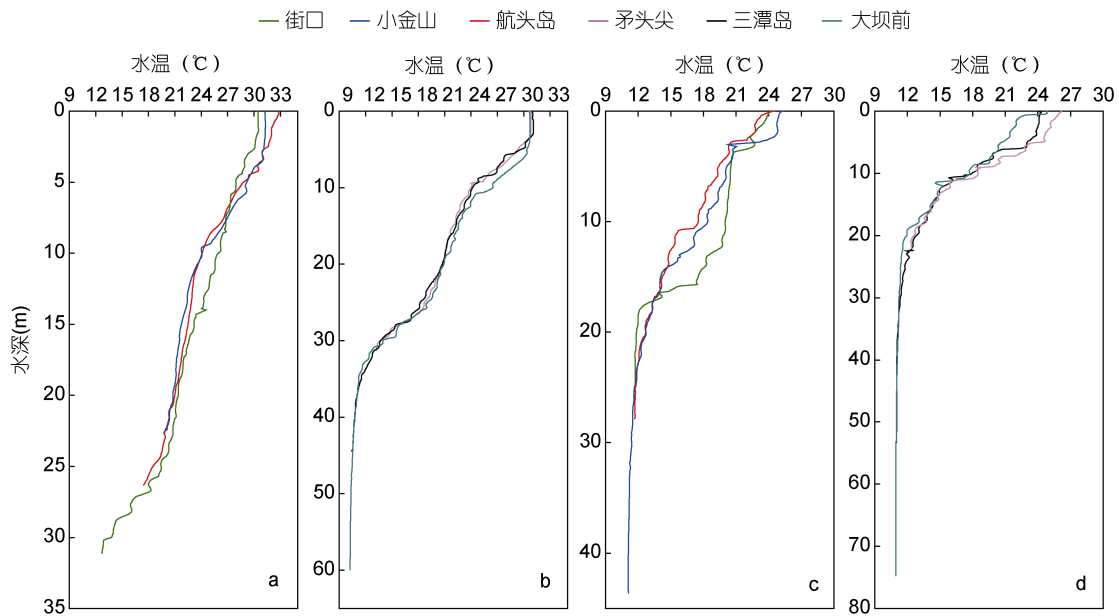


图3 千岛湖 6 个点位水温垂直分布

Fig.3 Profiles of water temperature in six sites in Qiandao Lake

注: 2014 年 7 月: (a)街口、小金山、航头岛, (b)矛头尖、三潭岛、大坝前; 2015 年 5 月: (c)街口、小金山、航头岛, (d)矛头尖、三潭岛、大坝前

随水深增加呈现出递增的趋势, 因为 7 月份是温跃层成层较稳定阶段而 5 月份是温跃层开始成层阶段, 所以这种由上游河口向下游敞水区递增的空间变化趋势在夏季 7 月份比春季 5 月份更为明显。夏季 7 月份

温跃层深度在 1—6m 之间, 春季 5 月份温跃层深度在 1—3m 之间, 温跃层深度的最大值均出现在矛头尖区域。温跃层的厚度在矛头尖和航头岛区域相对较小, 在三潭岛、小金山和大坝前区域温跃层厚度较大, 街

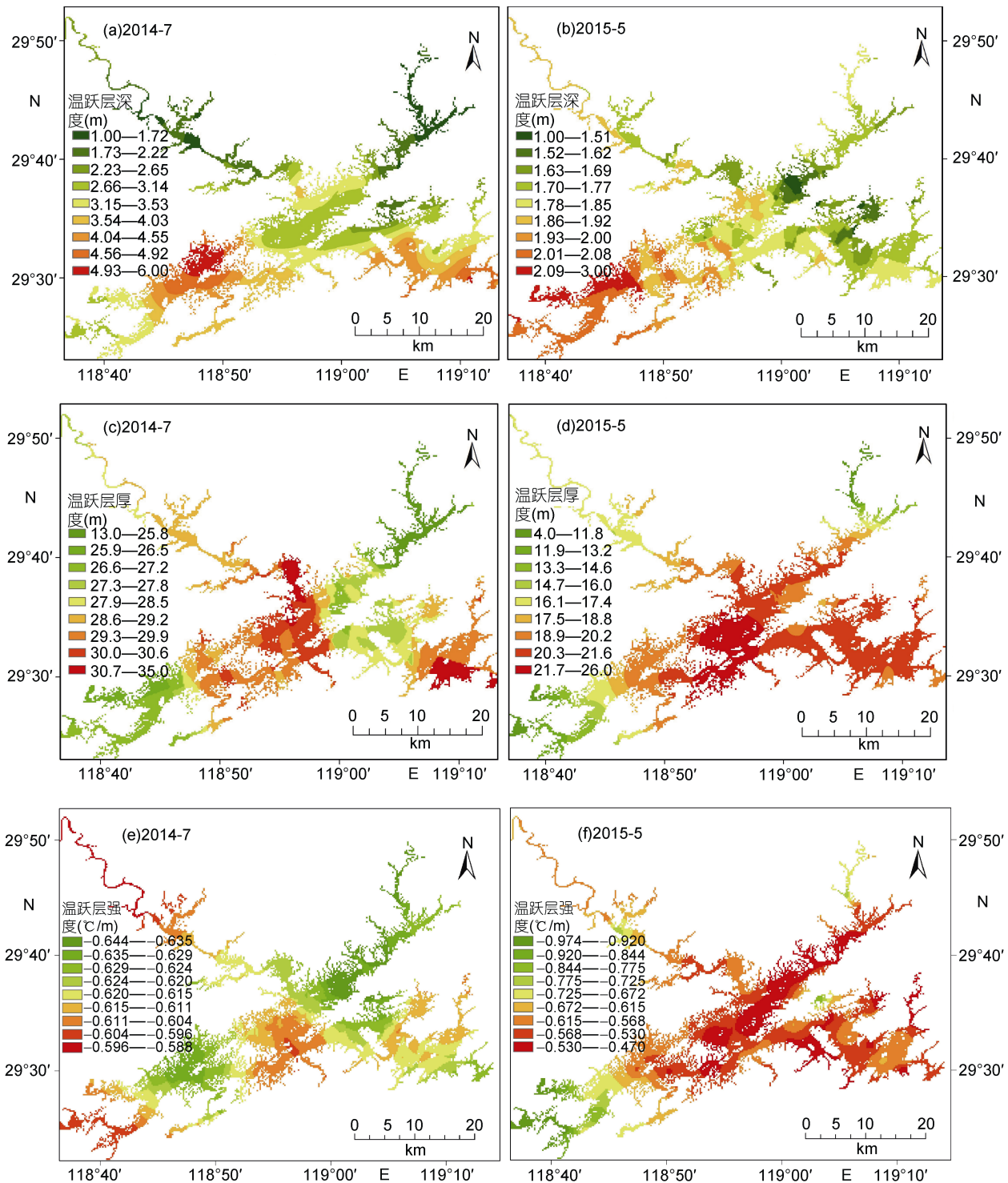


图 4 千岛湖温跃层深度、温跃层厚度、温跃层强度的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of thermocline depth, thermocline thickness, and thermocline strength in Qiandao Lake

口区域温跃层厚度介于中间。夏季7月份,温跃层厚度自上游向下游随水深增加呈现递增的趋势,而在春季5月份温跃层厚度的空间变化并没有明显的规律可循。夏季7月份温跃层的厚度在13—35m之间,春季5月份温跃层厚度在4—26m之间。温跃层的强度在成层较稳定的7月份自上游至下游呈现递增的趋势,而相对开始成层阶段的5月份来说,这种增强的趋势并不明显。夏季7月份,温跃层强度在0.588—0.644°C/m之间,春季5月份温跃层强度在0.470—0.974°C/m之间,显然春季5月份温跃层的强度数值跨度相较于夏季7月份更大,说明夏季5月份的湖泊热力分层情况没有夏季7月份稳定。航头岛和矛头尖区域为温跃层强度高值区,三潭岛和街口区域为低值区,大坝前和小金山区域温跃层强度介于二者之间。两次采样的温跃层强度自上游向下游呈现递增趋势,原因是上游更易受到水的扰动,温跃层容易被破坏,下游却不一样,受上游来水影响小,温跃层比较稳定,分层明显。由于我们采用插值法获得温跃层深度和厚度的空间分布,因此在每个位置都会有温跃层的深度和厚度,现实情况是在一些岸边浅水区并不一定存在明显的热力分层现象。

2.3 讨论

针对湖泊热力分层的主要影响因素的研究,已经有一些工作开展(赵林林等,2011)。影响湖泊热力分层的因素主要包括:水温(热通量)、透明度以及湖泊的形态(水深、长度、宽度和面积等)。对于特定的湖泊,湖泊长度、宽度和面积变化不大,水深主要影响热力分层的空间差异,而水温和透明度则对湖泊热力分层的季节变化和空间分布均有重要影响(孙顺才等,1993; Hambright

et al., 1994; Fee *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2014)。

2.3.1 水温 图5中可以看出,在夏季7月份,表层水温(0—2m)与温跃层深度呈现显著的负线性关系,线性回归分析结果显示,温跃层深度与表层水温(0—2m)的 R^2 值为0.232, $P < 0.01$ 。相比,在春季5月份,温跃层深度与表层水温(0—2m)没有明显的关系。由于夏季7月份是温跃层的形成稳定时期,春季5月份是温跃层分层开始阶段,由此表示表层水温(0—2m)在分层稳定时期对温跃层深度有显著的影响,而在分层开始阶段表层水温(0—2m)对温跃层深度的影响相对有限。5月份表层水温对温跃层深度影响不显著可能有两方面原因:一方面春季5月份太阳辐射弱于夏季7月份,气温也较低,造成表层和底层温差较小,分层现象不是很明显,温跃层深度存在较大的波动和不确定性;另一方面则是5月份处于春夏季更替期,气温和水温日波动比较大,造成水温空间差异比较大(图5),湖泊热力分层来不及对水温的快速变化作出响应,造成温跃层深度与表层水温相关性不显著。这在以往基于水温逐月定点观测的研究中也得到验证,如在千岛湖小金山、三潭岛和大坝前3个站点2010年1月到2013年4月逐月观测结果显示,温跃层深度与表层水温在热力分层稳定和消退期(7—2月)存在显著正相关,而在热力分层形成期(3—6月)相关性则不显著(Zhang *et al.*, 2014)。

2.3.2 透明度 透明度即水体透光的程度,太阳辐射穿入水体的深度越深,水体能够接收到太阳辐射能的深度就越大,太阳辐射能的变化和在垂向上水体的增温和冷却的变化幅度不一,致使水体呈现不同分层现象,从而影响温跃层的深度(孙顺才等,

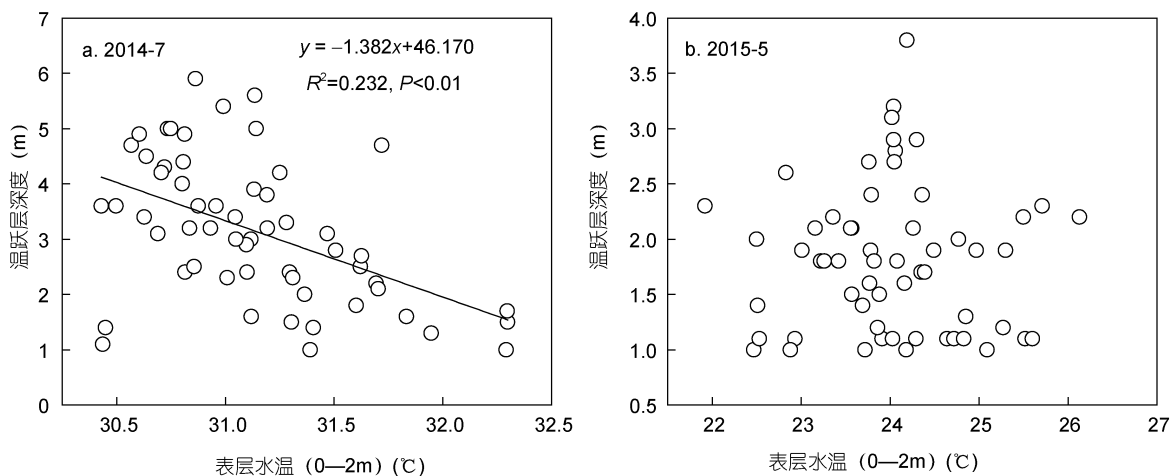


图5 表层水温(0—2m)与温跃层深度线性拟合关系

Fig.5 Regression between thermocline depth and surface temperature (0—2m)

1993; 赵林林等, 2011; 刘明亮等, 2014)。图 6 中可以看出, 在温跃层形成稳定的夏季 7 月份, 透明度与温跃层深度呈现显著的正相关关系, 线性回归分析结果显示, 温跃层深度与水体透明度的 R^2 值为 0.328, $P < 0.01$ 。但是, 在温跃层分层开始的春季 5 月份, 透明度与温跃层的深度之间不存在明显的相关关系。

2.3.3 水深 由图 7 可以看出, 夏季 7 月份温跃层深度与水深存在正相关关系, 线性回归分析结果显示, 温跃层深度与水深的 R^2 值为 0.137, $P < 0.01$ 。而春季 5 月份, 温跃层深度与水深并不存在相关关系。由此表示水深在分层稳定的时候(如夏季 7 月份)对温跃层深度有显著的影响, 虽然在分层开始阶段水深对温跃层深度并没有影响。

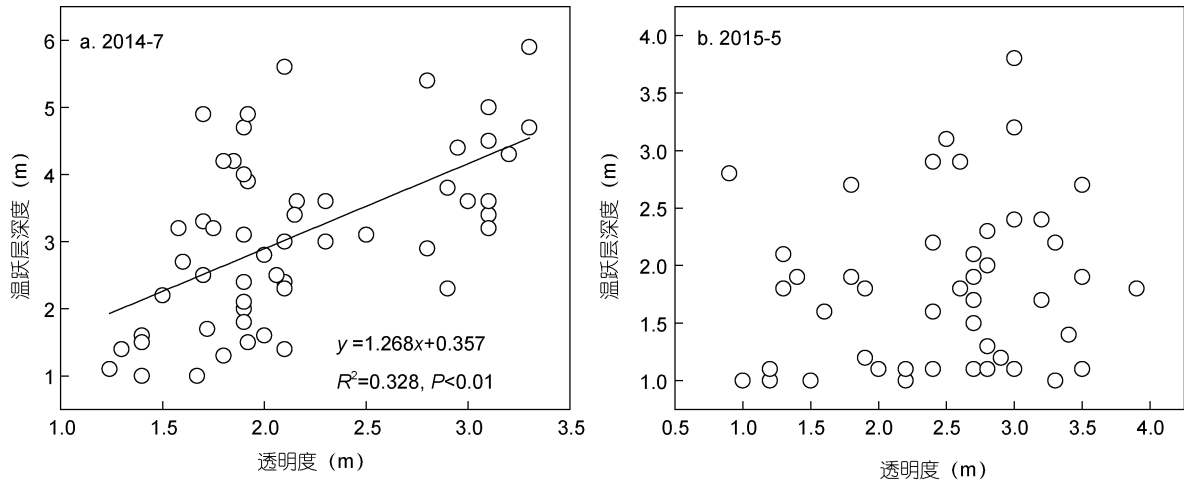


图 6 透明度与温跃层深度线性拟合关系
Fig.6 Regression between thermocline depth and transparency

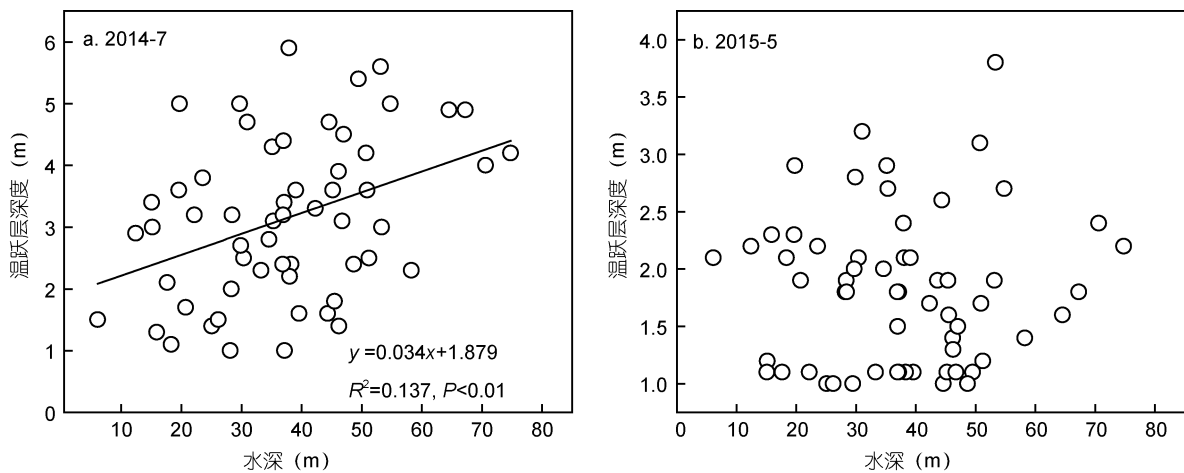


图 7 水深与温跃层深度拟合关系
Fig.7 Regression between thermocline depth and water depth

2.3.4 多元线性回归模型 湖泊热力分层往往同时受表层水温、透明度和水深的影响, 为了综合考虑其对温跃层深度的影响, 对 7 月份观测数据以表层水温、透明度和水深作为输入参数进行多元线性回归, 线性回归决定系数相比单独用表层水温、透明度和水深作为输入参数时有明显的提高, R^2 值为 0.550, 由

此得到千岛湖温跃层深度的多元线性回归模型:

$$Z_t = -0.3339T_s + 1.3202Z_{CD} + 0.0366Z_d + 9.2803$$

$$(R^2 = 0.550, P < 0.001, n = 55)$$

式中, Z_t 、 T_s 、 Z_{CD} 和 Z_d 分别代表温跃层深度、表层水温、透明度和水深。 n 是选取的样点数, 进行多元线性回归时只选取了 55 个样点, 其余 5 个样点均存在

不同的参数缺测现象故不选用。根据多元线性回归模型可以看出,透明度的系数最大,说明其对温跃层深度影响的贡献率最大,是主要影响因素。并且线性相关显示,表层水温前系数为负值,而透明度、水深前系数为正值,说明温跃层深度随水温的增加而降低,随透明度和水深的增加而增加。

考虑到7月份湖泊热力分层比较稳定,而温跃层深度是反映湖泊热力分层最直观的热力学参数,因此重点讨论7月份温跃层深度空间分布及其主导影响因素。图8显示7月份采样期间水温、透明度和水深的空间分布,从图4和图8可知,茅头尖附近水域温跃层深度较深主要是由高透明度引起的,此处水域透明度是其他水域的2倍左右,并且表层水温也不

高。大坝附近水域温跃层深度较深则主要由于该水域水深较深所致,而街口、航头岛水域温跃层深度较低主要是由于这些水域表层水温高、透明度低和水深较浅所致(图4、8)。而对于春季5月份,温跃层深度与表层水温、透明度和水深均不存在显著相关,除了前面阐释的热力分层不稳定引起的温跃层参数具有较大波动和不确定性,以及热力分层对气温的快速变化响应不及时外,5月份一般降水和流域来水比较多,坝前大坝放水量也比较大,在一定程度上会破坏和影响湖泊的热力分层。未来我们将通过在典型湖区增加热力分层观测频率(如开展高频逐日水温垂直剖面自动观测)进一步厘清春季温跃层特征变化的关键因子和形成机制。

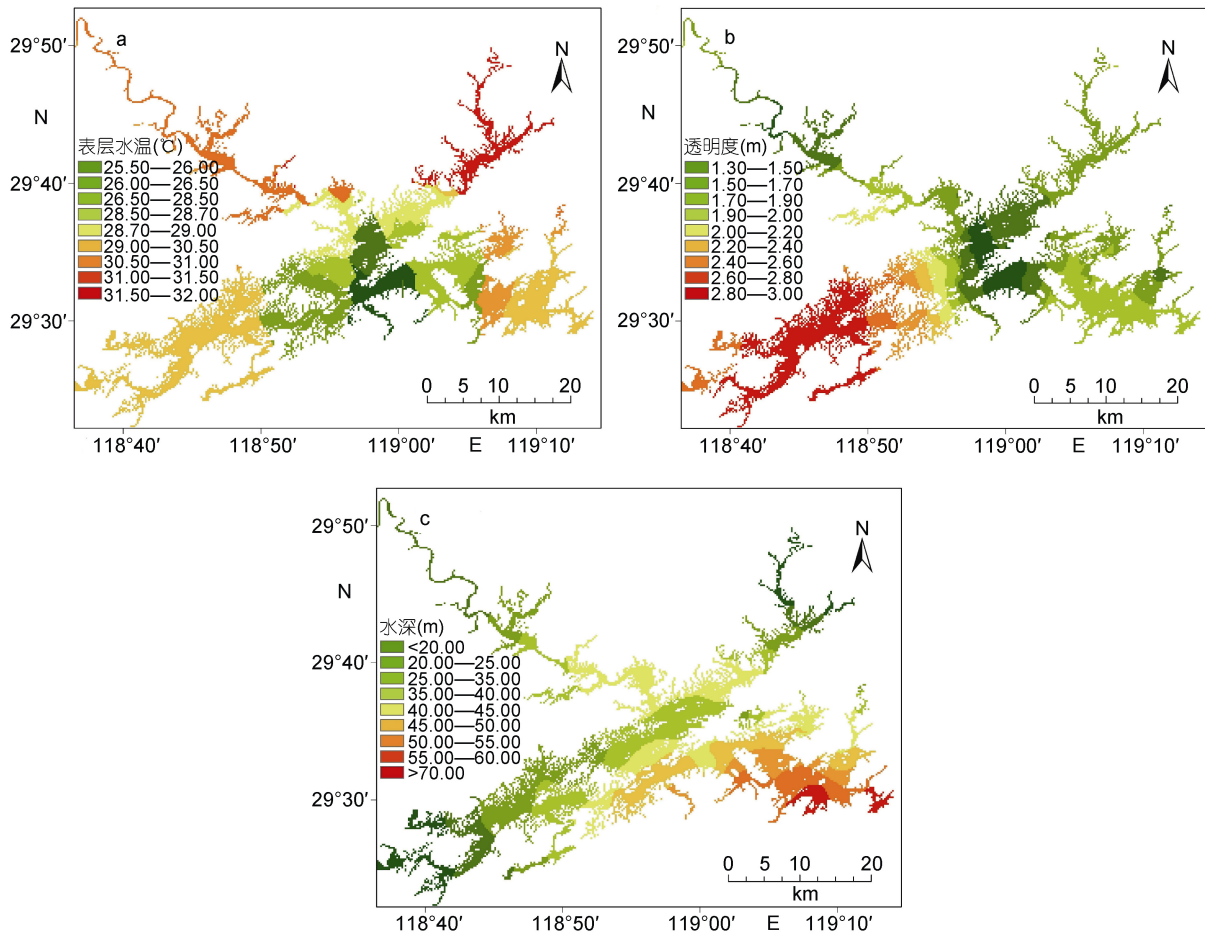


图8 千岛湖2014年7月份表层水温(a)、透明度(b)和水深(c)空间分布

Fig.8 Spatial distribution of surface water temperature (a), transparency (b), and water depth (c) in Qiandao Lake

目前,本文只分析了5月份(春季)和7月份(夏季)的分层情况以及水温分层参数的空间分布。根据以往的研究结果,除了在冬季会出现上下层混合外,在秋季也还会有湖泊的热力分层现象存在,

因此未来还需要继续补充其他季节和月份的观测结果,以便更全面地反映不同季节和月份湖泊热力分层情况以及分层参数的空间差异和潜在的影响因素。

3 结论

(1) 千岛湖水体水温垂向上呈正温分布, 水温垂直分布在季节上存在明显的差异, 表层与中层水温差异明显, 底层水温差异次之。夏季 7 月份水温垂向温差在 20—22°C, 春季 5 月份温差在 11—15°C。

(2) 春、夏季千岛湖全湖范围内均存在温度分层现象, 温跃层深度、厚度和强度有显著的空间差异, 整体上由上游向下游随水深增加呈递增的趋势, 而这种空间差异在热力分层稳定期的夏季比分层形成期的春季更为明显。

(3) 表层水温、透明度和水深是影响温跃层深度的主要因素。夏季湖泊热力分层稳定期温跃层深度与表层水温(0—2m)存在显著负相关, 与透明度和水深存在显著正相关。

参 考 文 献

刘明亮, 吴志旭, 何剑波等, 2014. 新安江水库(千岛湖)热力学状况及热分层研究. 湖泊科学, 26(3): 447—454

孙顺才, 黄漪平, 1993. 太湖. 北京: 海洋出版社

吴志旭, 刘明亮, 兰 佳等, 2012. 新安江水库(千岛湖)湖泊区夏季热分层期间垂向理化及浮游植物特征. 湖泊科学, 24(3): 460—465

张运林, 2015. 气候变暖对湖泊热力及溶解氧分层影响研究进展. 水科学进展, 26(1): 130—139

张运林, 陈伟民, 杨顶田等, 2004. 天目湖热力学状况的监测与分析. 水科学进展, 15(1): 61—67

国家技术监督局, 1992. GB/T 12763.7-1991 海洋调查规范 海洋调查资料处理. 北京: 中国标准出版社, 1992: 67—70

赵林林, 朱广伟, 陈元芳等, 2011. 太湖水体水温垂向分层特征及其影响因素. 水科学进展, 22(6): 844—850

袁琳娜, 杨常亮, 李晓铭等, 2014. 高原深水湖泊水温日成层对溶解氧、酸碱度、总磷浓度和藻类密度的影响: 以云南阳宗海为例. 湖泊科学, 26(1): 161—168

董春颖, 虞左明, 吴志旭等, 2013. 千岛湖湖泊区水体季节性

分层特征研究. 环境科学, 34(7): 2574—2581

Bruesewitz D A, Carey C C, Richardson D C *et al*, 2015. Under-ice thermal stratification dynamics of a large, deep lake revealed by high-frequency data. *Limnology and Oceanography*, 60(2): 347—359

Fee E J, Hecky R E, Kasian S E M *et al*, 1996. Effects of lake size, water clarity, and climatic variability on mixing depths in Canadian Shield lakes. *Limnology and Oceanography*, 41(5): 912—920

Hambright K D, Gophen M, Serruya S, 1994. Influence of long-term climatic changes on the stratification of a subtropical, warm monomictic lake. *Limnology and Oceanography*, 39(5): 1233—1242

Jones J R, Knowlton M F, Obrecht D V *et al*, 2011. Temperature and oxygen in Missouri reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 27(2): 173—182

Kraemer B M, Anneville O, Chandra S *et al*, 2015. Morphometry and average temperature affect lake stratification responses to climate change. *Geophysical Research Letters*, 42(12): 4981—4988

León J G, Beamud S G, Temporetti P F *et al*, 2016. Stratification and residence time as factors controlling the seasonal variation and the vertical distribution of chlorophyll-*a* in a subtropical irrigation reservoir. *International Review of Hydrobiology*, 101(1—2): 36—47

Lee H W, Kim E J, Park S S *et al*, 2012. Effects of climate change on the thermal structure of lakes in the Asian Monsoon Area. *Climatic Change*, 112(3—4): 859—880

Macintyre S, Flynn K M, Jellison R *et al*, 1999. Boundary mixing and nutrient fluxes in Mono Lake, California. *Limnology and Oceanography*, 44(3): 512—529

Wilhelm S, Adrian R, 2008. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. *Freshwater Biology*, 53(2): 226—237

Zhang Y L, Wu Z X, Liu M L *et al*, 2014. Thermal structure and response to long-term climatic changes in Lake Qiandaohu, a deep subtropical reservoir in China. *Limnology and Oceanography*, 59(4): 1193—1202

SPATIAL DISTRIBUTION OF THE THERMAL STRATIFICATION IN QIANDAO LAKE AND ITS INFLUENCING FACTORS

BAI Yang^{1,2}, ZHANG Yun-Lin², ZHOU Yong-Qiang^{2,3}, SHI Kun², LIU Ming-Liang⁴, YANG Gui-Jun¹
(1. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Hangzhou Institute of Environment Science, Hangzhou 310014, China)

Abstract Thermal stratification and circulation in a lake affected the deep lake water ecosystem significantly. Lake thermal processes change obviously in the realm of the global warming. We conducted an investigation in 60 sites from July 2014 to May 2015 in Qiandao Lake (or Xin'anjiang Reservoir build in 1959. *Qiandao* means *thousand isles* in Chinese. In maximum, area 580km², volume 178.4×10⁸ m³, depth 108m (average depth 31m)), Zhejiang, East China, to analyze the distribution of water temperature and thermal stratification. Relationships of water temperature, transparency, and depth to the thermocline depth were regressed. Thermal stratification parameters based on the in-situ lake-wise physical and chemical data. Results show that thermal stratification appeared in spring and summer, to which water temperature was the main controller, followed by transparency and depth. The depth, thickness, and strength of thermocline increased from upstream to downstream, especially in July than in May. In the summer, the thermal stratification was stable, and the thermocline depth showed significantly negative relation with the surface temperature, and positive with transparency and depth.

Key words Qiandao Lake; thermal stratification; spatial distribution; thermocline