

# 达里诺尔湖水体光谱测量与分析

孙章丽<sup>1,2</sup>, 郑文锋<sup>1</sup>, 谢勇<sup>2\*</sup>, 余涛<sup>2</sup>, 韦春竹<sup>1,2</sup>, 余新宇<sup>1,2</sup>

(1. 电子科技大学自动化工程学院, 四川成都 611731; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

**摘要** 水体光谱特性是水体物质组成的外在特征, 利用野外实测的水体遥感反射率可以对水体物质的种类及含量进行分析。野外实验通常采用 2 种不同的测量方法来获取水体遥感反射率, 即不同的测量几何(垂直测量和倾斜测量)。基于内蒙古赤峰市达里诺尔湖的野外实测试验, 简单描述了水体光谱测量的原理及过程, 并利用 2 种不同测量几何测得的水体遥感反射率分析了湖水的藻类特征以及水体悬浮泥沙含量情况。通过对比分析垂直测量和倾斜测量结果, 认为垂直测量并非错误的测量几何, 两者之间存在一定的相关性。此外, 对 2 种不同测量几何下测量得到的天空光也进行了分析, 结果表明, 采用倾斜测量出现异常数据的概率较小。

**关键词** 垂直测量; 倾斜测量; 遥感反射率; 天空光

**中图分类号** S273.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)09-04182-05

## Measurement and Analysis of Water Spectrum in Dalinuoer Lake

SUN Zhang-li et al (College of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 611731)

**Abstract** Water spectral characteristic is the external feature of water components. The water remote sensing reflectance measured in field experiments can be used for analyzing the types and concentration of the water matters. Usually, there are two approaches to measure water reflectance in field experiment, namely using two measure geometries (vertical measure and inclined measure). Based on the field experiment in the Dalinuoer Lake, Chifeng, Mongolia, the principle and the process of water spectral measuring was briefly described. The algae characteristic and suspended sediment concentration in the lake according to the water spectral characteristic measured by two approaches were analyzed. By comparing the water remote sensing reflectance obtained under two measure geometries, it was thought that the vertical measure is not a wrong approach. There must be a certain correlation between two approaches. Moreover, the sky light measured under different measure geometries were also analyzed. The results showed that the abnormal probability of inclined measure is less than that of vertical measure.

**Key words** Vertical measurement; Inclination measurement; Remote sensing reflectance; Sky light

水体光学特性测量是水色遥感反演不可或缺的验证过程。水体光学特性包括表观光学特性(也称表观光学量)和固有光学特性(也称固有光学量)。内陆水体的光学特性分析多以测量表观光学特性为基本数据获取来源, 测量方法有剖面测量法和水面之上测量法。水面之上测量法是 NASA SeaWiFS 测量规范推荐的二类水体测量的主要方法, 目前已被国内外学者广泛使用<sup>[1-7]</sup>。

Asif 等在 2007 年 3 月对不同区域的 3 条河流使用剖面法和水面之上测量法进行数据采集, 结果证明, 2 种方法测量水体光谱差别不大<sup>[1]</sup>; Nickolay 等研究了天空光对水面之上法测量水体光谱的影响<sup>[2]</sup>。国内研究水体光谱测量的学者也较多。马荣华等从卫星传感器、大气校正、光学特性测量、生物光学模型及水体辐射传输、水质参数反演方法等方面系统分析了湖泊水色遥感的发展现状<sup>[3]</sup>。李铜基等利用水面之上测量法对东海水表进行光学特性测量实验, 结果证明与剖面法测量结果基本一致<sup>[8]</sup>。唐军武等详细讨论了水面之上测量法的理论、观测几何、测量步骤、注意事项等, 并结合

实测数据, 系统分析了水色遥感基本参数测量和计算方法<sup>[6]</sup>。申茜等分析了 2006~2009 年 7 次太湖实验获取的 312 个采样点的遥感反射率, 给出了太湖水体反射率的光谱特征<sup>[9]</sup>。另外, 也有学者对水面之上测量法的 2 种不同测量几何做了对比分析<sup>[10-11]</sup>。

水体光谱特征是水体组分的外在表现, 反射率光谱曲线在不同波段上的高低间接表征了水体物质的种类及含量。吴传庆等分析了不同泥沙浓度下光谱曲线特征位置的漂移和数值变化<sup>[12]</sup>。韩震等根据不同浓度含沙水体的光谱特征建立了悬浮泥沙遥感定量分析统计相关模式, 该模式已成功应用在 CMODIS 影像的悬浮泥沙遥感定量反演中<sup>[13]</sup>。李素菊等分析了内陆水体中藻类及悬浮泥沙的光谱特征, 探究了遥感技术在内陆水质监测中的应用<sup>[14]</sup>。马荣华等利用太湖梅梁湾附近水体的实测光谱和水质, 在实验室内分析了水体叶绿素浓度的光谱特征及其对应的敏感波段<sup>[4]</sup>。

为此, 笔者以小型内陆咸水湖——达里诺尔湖为研究对象, 使用水面之上测量法的垂直测量和倾斜测量 2 种测量几何分别量测水体辐亮度与天空光辐亮度, 利用计算获得的水体遥感反射率对达里诺尔湖的水体光谱特征进行分析; 并根据实测光谱对比分析不同观测几何下小型内陆咸水湖的遥感反射率的不同结果。

## 1 基本原理

**1.1 观测几何** 目前水面之上测量法主要有垂直和倾斜 2 种观测角度的测量。垂直测量即将仪器探头垂直于水面, 这种方法目前比较有争议, 使用较少<sup>[10-11]</sup>。倾斜测量即仪器探头与水面法线有一定倾角, 目前使用较多<sup>[1,4-6]</sup>。对于倾

**基金项目** “十二五”民用航天项目(D040201); 科工局项目(E0105/1213); 民用航天项目(07K00100KJ)。

**作者简介** 孙章丽(1986-), 女, 四川资阳人, 硕士研究生, 研究方向: 地图制图学与地理信息工程, E-mail: sunzhangli@gmail.com。  
\* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事遥感影像定标与真实性检验研究, E-mail: xiey@irsa.ac.cn。

**鸣谢** 中国科学院遥感应用研究所王福涛博士、西南交通大学博士研究生于冰以及南京大学博士研究生杜灵通对论文提供了指导和修改建议, 遥感所高海亮博士提供了野外实验数据, 同时影像图的获取得到了美国地质勘探局(USGS)相关部门的支持, 谨此致谢!

**收稿日期** 2013-03-21

角的大小有多种,目前国际水色 SIMBIOS 计划中<sup>[6]</sup>推荐使用  $\Phi v = 135^\circ$  ( $\Phi v$  为仪器观测平面与太阳入射平面的夹角,背向太阳方向),  $\theta v = 40^\circ$  ( $\theta v$  为仪器与海面法线方向的夹角),见图 1。据研究,该观测几何与剖面观测的固有差异较小,能更好地避免太阳直射反射和船体自身对水体光场的破坏<sup>[15]</sup>。该研究中倾斜测量也采用该观测几何,后面所指倾斜测量均为  $(135^\circ, 40^\circ)$  的观测几何。

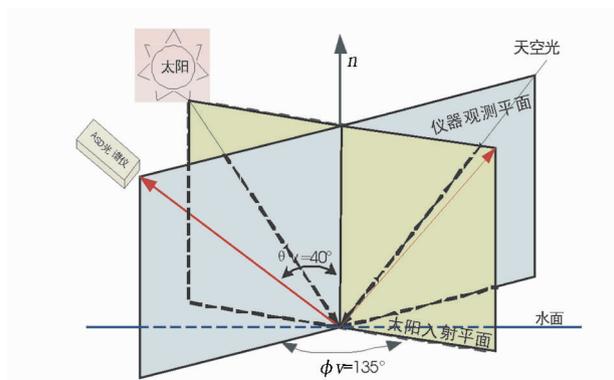


图 1 倾斜测量观测几何示意

**1.2 遥感反射率计算** 水体遥感反射率携带着水色信息,是水体表面光学特性的核心<sup>[3]</sup>。由于没有仪器定标文件,该研究使用比反射率法<sup>[8]</sup>计算水体的遥感反射率。比反射率法即利用对水面辐亮度与标准反射板辐亮度测量值之比来获得水体的遥感反射率。使用比反射率法计算的前提是测量仪器稳定性好、线性度好<sup>[7]</sup>。标准反射板在实验前进行过标定。该研究中,垂直测量光谱遥感反射率计算公式为<sup>[10]</sup>:

$$R_{rs} = \frac{L_w}{L_p} \times \rho_p \quad (1)$$

式中,  $R_{rs}$ 、 $\rho_p$  分别为水体反射率和标准板反射率;  $L_w$ 、 $L_p$  分别是离水辐照度和标准反射板辐亮度,可分别用仪器输出信号值代替。

倾斜测量水体遥感反射率公式为:

$$R_{rs'} = \frac{L_{sup} - r \times L_{sky}}{L_p} \times \rho_p \quad (2)$$

式中,  $L_{sup}$  是光谱仪测得的总辐照亮度;  $L_{sky}$  是天空光漫反射辐亮度,是随机反射进入仪器视场的太阳直射辐射,没有任何水体信息;  $r$  是气-水界面对天空光的反射比。根据上述倾斜观测几何测量,基本上可以避免太阳直射,因此总辐照亮度中只需去除天空光的影响即可。同理,  $L_{sup}$ 、 $L_{sky}$ 、 $L_p$  可分别用光谱仪测得水体、天空漫散射光和标准反射板反射的仪器输出信号值代替。

气-水界面天空光的反射率  $r$  是一个经验参数,  $r = r(\vec{W}, \theta_e, \phi_e, \theta_0, \phi_0)$ , 取决于太阳位置 ( $\theta_0, \phi_0$ )、观测几何 ( $\theta_e, \phi_e$ )、风速风向 ( $\vec{W}$ ) 或海面粗糙度等因素。根据经验<sup>[6]</sup>, 在上述观测几何条件下, 平静水面可取  $r = 0.022$ , 在  $5 \text{ m/s}$  左右风速的情况下,  $r$  可取  $0.025$ ,  $10 \text{ m/s}$  左右风速的情况下, 取  $0.026 \sim 0.028$ 。该研究中, 综合考虑测量的天气情况及观测角度, 取  $r = 0.024$ 。

## 2 试验方法

**2.1 达里诺尔湖概况** 达里诺尔湖位于内蒙古中部赤峰市克什克腾旗境内, 中心地理坐标为  $43^\circ 17' \text{N}$ 、 $116^\circ 38' \text{E}$ , 海拔大约  $1225 \text{ m}$ , 总面积  $238 \text{ km}^2$ , 水深  $10 \sim 13 \text{ m}$ , 为封闭式苏达型半咸水的高原内陆湖。图 2(a) 为达里诺尔湖区域 TM5 影像波段 7、4、1 的合成图。

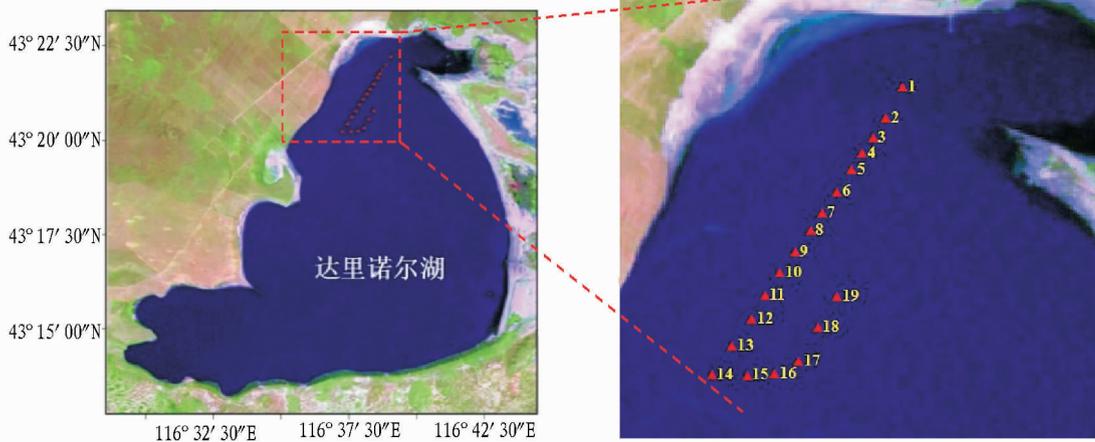


图 2 达里诺尔湖 (a) 及水体光谱测量路径 (b)

**2.2 水体光谱测量过程** 该研究选用仪器为美国 ASD 公司生产的 ASD FieldSpec Pro 野外地物光谱仪, 仪器覆盖光谱范围为  $350 \sim 2500 \text{ nm}$ , 波长精度  $\pm 1 \text{ nm}$ , 光谱分辨率在  $350 \sim 1050 \text{ nm}$  间为  $3 \text{ nm}$ , 在  $1400 \sim 2100 \text{ nm}$  间为  $10 \text{ nm}$ 。为便于仪器在观测水体和标准板时工作状态相似, 选用反射率为 25% 的标准灰板。积分时间默认为  $136 \text{ ms}$ 。

光谱数据采集时间为 2010 年 6 月 21 日 10:45 ~ 11:30。

该时间内风力小于 5 级, 太阳周围  $90^\circ$  立体角有较淡积云量, 无卷云、浓积云等, 光照稳定, 湖面无大的波浪。在 GPS 导航下, 采用停船定点测量方式进行数据采集。在测量水体反射光谱之前, 先对准标准反射板进行定标校准, 然后在船体向阳面按照垂直水体、倾斜水体、倾斜天空 (在仪器面向水体进行测量后, 将仪器在观测平面内向上旋转一个角度, 使得天空光的观测天顶角等于水面测量时的观测角)、垂直天空的

顺序进行测量,并同步获取测量点经纬度信息。该研究共采集23个测量点,除去4个无数据记录点,有效测量点为19个,图2(b)给出了19个有效数据点的地理位置,表1给出了每个测量点的经纬度坐标。每个测量点测试5个数据,以备数据异常剔除和求平均值。异常数据剔除的原则是去掉数值较高的曲线,保留数值较低的曲线,这样可有效减少由于波浪、太阳耀斑等对测量影响产生的误差。求平均值可降低仪器噪声和测量随机性带来的误差。

表1 测量点坐标及测量时间

测量编号	测量点		测量时间
	经度/(°)	纬度/(°)	
1	43.370 7	116.649 8	10:45
2	43.367 1	116.647 2	10:50
3	43.364 9	116.645 1	10:54
4	43.363 1	116.643 5	10:56
5	43.361 2	116.641 8	10:57
6	43.358 6	116.639 6	10:59
7	43.356 3	116.637 2	11:01
8	43.354 2	116.635 5	11:03
9	43.351 7	116.633 1	11:04
10	43.349 3	116.630 7	11:06
11	43.346 7	116.628 4	11:08
12	43.343 9	116.626 4	11:10
13	43.340 9	116.623 3	11:13
14	43.337 5	116.620 1	11:14
15	43.337 5	116.625 6	11:18
16	43.337 6	116.629 9	11:20
17	43.339 2	116.633 7	11:22
18	43.343 0	116.636 6	11:25
19	43.346 6	116.639 7	11:27

ASD采集数据的波段范围是350~2 500 nm,但是在350

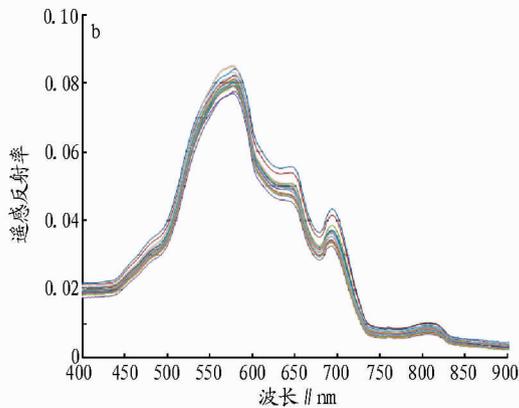
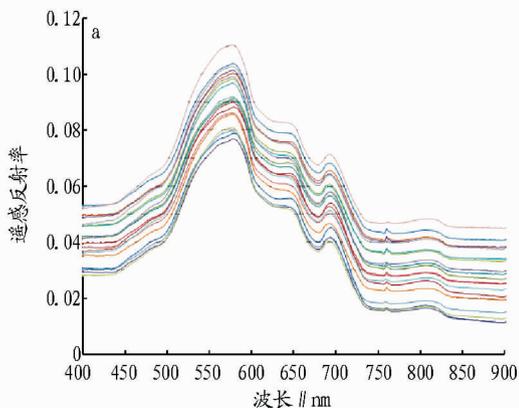


图3 垂直测量(a)和倾斜测量(b)水体遥感反射率光谱

长570 nm附近形成反射峰,这是由于叶绿素和胡萝卜素的吸收系数达到最小值,以及藻类植物细胞壁的散射作用<sup>[12]</sup>,该反射峰与色素组成有关;在波长630 nm附近,由于藻胆素(藻青蛋白)的吸收,水体光谱曲线呈肩状,该处是蓝藻最显著的特征;在波长678 nm附近的吸收谷是由于叶绿素a在该处的强烈吸收,但由于叶绿素吸收和细胞壁散射均衡,该处对藻类密度和叶绿素浓度的反射敏感度最低,当叶绿素浓度达到一定程度时,此处的反射率几乎与叶绿素无关,主要与无机悬浮物浓度相关;在波长685 nm附近反射峰的出现是由于水和叶绿素的吸收系数在该处达到最小,以及浮游植物色素

~400和900~2 500 nm波段范围内水体光谱不够稳定,因此该研究选取400~900 nm波段为水体光谱研究对象。而天空光仍然采用350~2 500 nm全波段范围,以便分析天空光在全波段的特征。

### 3 结果与分析

水体光谱特征是由水中各种物质对太阳光辐射的吸收和散射性质决定的,反映了水体本身和水体中所含物质的综合信息。自然水体中悬浮物质的吸收和散射作用使得不同水体的光谱反射曲线呈现出不同的形态,而水的浑浊度、水深、水面波浪起伏、污染程度以及水中的各种生物一般也会影响水的光谱反射曲线<sup>[16]</sup>,这是根据水体光谱特征判断水体信息的理论依据。

**3.1 水体遥感反射率分析** 根据式(1)、(2),计算出垂直测量与倾斜测量的水体遥感反射率,见图3。从图3可以看出,遥感反射率从蓝波段到黄波段逐渐增大,在波长570 nm附近到达峰值后,随着波长的增大遥感反射率迅速减小,在波长650 nm附近出现微小峰值,在波长685 nm附近出现荧光峰,在波长810 nm附近出现泥沙后向散射峰,这些都是二类水体典型光谱特征,说明达里诺尔湖水是典型的二类水体。根据光谱曲线特征,分别对达里诺尔湖水中的藻类和悬浮泥沙进行定性分析。

**3.1.1 水体藻类光谱分析。**藻类的光谱特征主要体现在550~709 nm波段范围内。从图3可以看出,在400~500 nm波长范围内,水体的反射较低,这是由于水体中叶绿素吸收了一部分蓝绿光;在波长550 nm以后,曲线迅速上升并在波

的荧光效应,该反射峰是含藻类水体最显著的光谱特征,其存在与否可作为判定水体是否含有藻类叶绿素的依据<sup>[12,14]</sup>。

**3.1.2 水体悬浮泥沙光谱分析。**水体遥感反射率与水体的浑浊度之间存在着密切的相关关系。大量试验和实地研究表明,水体中悬浮物的含量、类型、悬浮颗粒大小等都会影响含沙水体的光谱反射率。从图3可以看出,悬浮泥沙光谱反射率具有双峰特征,第1反射峰位置在黄光波段,第2反射峰位置在近红外波段,反射峰微弱,且第1反射峰高于第2反射峰值,说明水体中悬浮泥沙含量较低<sup>[13]</sup>。一般来说,700~900 nm波段范围反射率对悬浮物浓度变化敏感,是遥感监

测水体悬浮物的最佳波段<sup>[14]</sup>。

**3.2 水体光谱测量方法对比分析** 根据上述垂直测量和倾斜测量的 19 条水体和天空光光谱曲线,取平均值以进行对比分析,如图 4 所示。

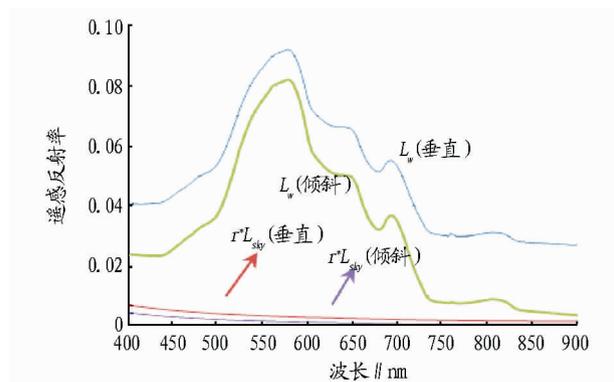


图 4 水体及天空光平均遥感反射率光谱

从图 4 可以看出,对于水体遥感反射率,垂直测量和倾斜测量差异较大,这又涉及到“垂直测量是否科学”这个争议较长时间的问题,主流观点是垂直测量水体光谱是不可行的测量方法,代表学者如唐军武等<sup>[6]</sup>,他们认为垂直向下观测离船体较近,而船体对水体光场分布的破坏影响了获取数据的准确性,加上太阳直射的影响以及忽略天空光的影响,将使测量数据无法分离出不带任何水体信息的干扰光谱;另一方面,陈利雄等认为,垂直测量虽然没有考虑天空光等因素,

但光谱反射率的计算同样消除了大部分不确定因素,因此垂直测量可以做反演模型的构建及水质光谱特征研究<sup>[9-10]</sup>。

在实际测量中,水体光谱存在许多不确定性,水体的复杂性及水体环境的多变性是造成水体光谱不确定的重要因素。对于同一测点之间的光谱,两者测量时的视场可能有所差异,导致最后光谱特征曲线的不同,但水体混合较快,差异不会很大,所以两者光谱特征具有相似性。另外,不管如何测量,水面的波动使光谱视场总有可能存在太阳耀斑和太阳直接散射的影响,对倾斜测量以乘以水-气界面反射比的经验系数来消除天空光有许多不确定性,经验系数的取值本身就带有主观性,加上水面波动不管采用何种观测几何,不能完全避免直射反射光的影响,而  $r$  取值在一定范围内,不会完全消除这种变化。而且,从图 4 可以看出,垂直测量与倾斜测量光谱虽然差值较大,但曲线走势大致相似,二者之间必定存在某种关系。因此,认为垂直测量不科学,而倾斜测量才符合水体观测几何的观点是值得商榷的。根据倾斜测量水体遥感反射率的计算公式, $r \cdot L_{sky}$  天空光的散射影响毕竟是小部分,且随着波长的增大,影响逐渐变小。但在水体测量中不可忽略,尤其是倾斜测量中可见光波段范围内的水体测量。

**3.3 天空光光谱特征分析** 天空光是指太阳光经过大气分子及大气气溶胶散射后经任意方向到达地面的辐射<sup>[17]</sup>。图 5 为天空光测量仪器数码值波谱图。

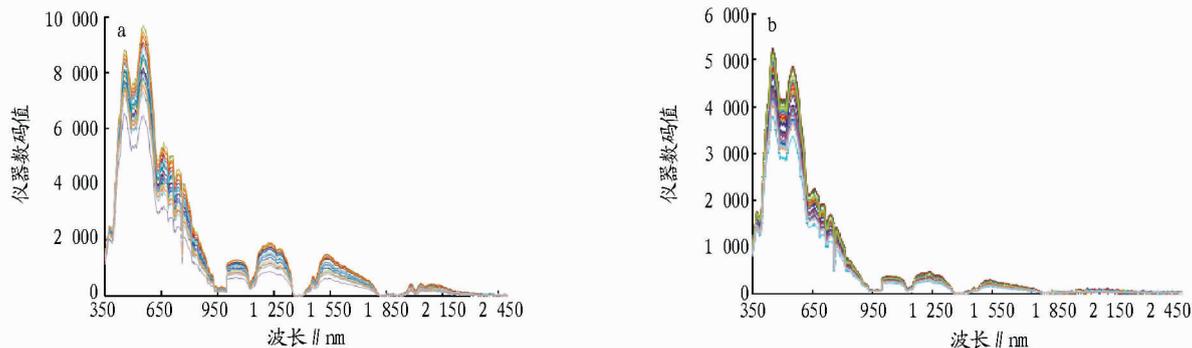


图 5 垂直测量(a)和倾斜测量(b)天空光仪器数码值波谱

从图 5 可以看出,垂直测量和倾斜测量获得的天空光谱分布基本一致,在波长 600 nm 之前,有明显的双峰现象,峰值分别位于波长 450 和 550 nm 附近。在波长 600 nm 之后,天空光辐亮度值急剧下降,并由于水气吸收的影响,在波长 945、1 120、1 400 和 1 900 nm 附近出现了 4 个明显的峰值平台。波长在 2 000 nm 之后,天空光辐亮度值接近于 0。

但辐亮度值随垂直测量与倾斜测量方位不同而差异较大,其中垂直测量天空光辐亮度值大于倾斜测量天空光辐亮度值。天空光辐亮度随测量仪器的方位不同而不同,具体分析参见文献<sup>[17]</sup>。该研究只测量了天顶角为  $0^\circ$  和  $40^\circ$  方向的天空光辐亮度,不能具体分析天空光强度与天顶角的关系,但可以看出天空光在整个半球空间并不均匀,加上垂直测量易受太阳直射光的影响,因此垂直测量天空光辐亮度值大于倾斜测量天空光辐亮度值。对于消除天空光在 2 种不

同的测量几何中的影响,以便于更好地定量比较垂直测量和倾斜测量的不同和差异将在下一步的工作中进行深入研究。

#### 4 结论

达里诺尔湖水体是一个复杂的多物质综合体,仅通过水体光谱测量不能完全了解水体所含物质以及水质情况,但水体光谱是水色遥感不可缺少的重要元素,水体光谱的科学测量更是关系到获取光谱数据的准确性。上述分析都是基于测量的数据本身,没有考虑测量过程中的操作误差、仪器定标误差、数据处理误差以及测量环境因素等。

垂直测量和倾斜测量是水面之上测量法测量水体光谱的 2 种方法,对于主流( $135^\circ, 40^\circ$ )的测量几何无一例外认为这是科学的水体光谱测量方法,但是垂直测量是否真的不合理有待进一步分析研究。天空光辐亮度的强弱不能简单地分为垂直测量与倾斜测量 2 种情况,由于瑞利散射及米氏散

射存在方向上的差异,天空光辐亮度将随测量方位的不同而不同。另外,无论是测量水体光谱还是天空光辐亮度,垂直测量采集的数据一致性比倾斜测量获取的数据略差。此外,从剔除异常数据的过程中发现,垂直测量出现异常光谱的概率大于倾斜测量。因此,建议目前水体光谱测量采用国际水色遥感推荐的观测几何,以得到科学的水体光谱。

**参考文献**

[1] BHATTI M A,RUNDQUIST D,SCHALLES J,et al. A comparison between above - water surface and subsurface spectral reflectances collected over inland waters[J]. Geocarto International,2009,24:133 - 141.  
 [2] SINGH N K,BAJWA S G,CHAUBEY I. Removal of surface reflection from above - water visible - near infrared spectroscopic measurements[J]. Applied Spectroscopy,2008,62(9):1013 - 1021.  
 [3] 马荣华,唐军武,段洪涛,等. 湖泊水色遥感研究进展[J]. 湖泊科学,2009(2):143 - 158.  
 [4] 马荣华,戴锦芳. 应用实测光谱估测太湖梅梁湾附近水体叶绿素浓度[J]. 遥感学报,2005(1):78 - 86.  
 [5] 李铜基,唐军武,陈清莲,等. 光谱仪测量离水辐射亮度的方法[J]. 热带海洋学报,2001(4):56 - 60.  
 [6] 唐军武,田国良,汪小勇,等. 水体光谱测量与分析I:水面上测量法

[J]. 遥感学报,2004(1):37 - 44.  
 [7] 汪小勇,唐军武,李铜基,等. 水面之上法测量水体光谱的关键技术[J]. 海洋技术,2012(1):72 - 76.  
 [8] 李铜基,唐军武,陈清莲,等. 光谱仪测量离水辐射率的处理方法[J]. 海洋技术,2000(3):11 - 16.  
 [9] 申茜,张兵,李俊生,等. 太湖水体反射率的光谱特征波长分析[J]. 光谱学与光谱分析,2011(7):1892 - 1897.  
 [10] 陈利雄,胡勇,巩彩兰. 内陆水体水面以上光谱测量方法对比分析[J]. 遥感信息,2012(1):42 - 47.  
 [11] 刘克. 内陆水体反射波谱测量方法研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2006,23(4):71 - 75.  
 [12] 吴传庆,王桥,刘晓曼,等. 水体中泥沙对藻类光谱特征位置的影响分析[J]. 中国环境监测,2008(4):35 - 39.  
 [13] 韩震,恽才兴,蒋雪中. 悬浮泥沙反射光谱特性实验研究[J]. 水利学报,2003(12):118 - 122.  
 [14] 李素菊,王学军. 内陆水体水质参数光谱特征与定量遥感[J]. 地理学与国土研究,2002(2):26 - 30.  
 [15] 隋晓飞,商少平,马晓鑫,等. 剖面法与水面之上法测量水面下遥感反射率的比较[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2007(S1):6 - 11.  
 [16] 王贵彪,蔡丽娜. 水体光谱分析法在解译中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2011(6):196 - 200.  
 [17] 陈蕾,秦雁,邓孺孺,等. 基于 ASD 地物光谱仪的两种天空光测量方法比较分析[J]. 热带地理,2011(2):182 - 186.

(上接第 4181 页)

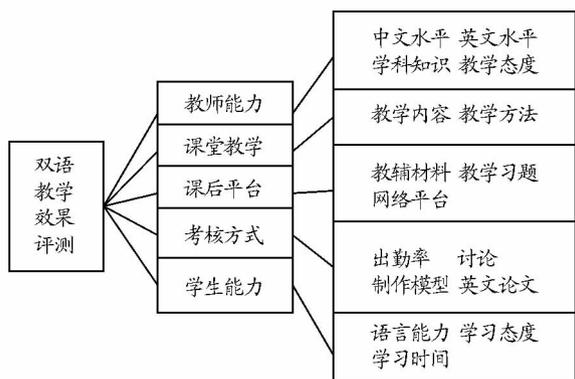


图2 双语教学效果测评因子

言运用能力为将来的进一步深造打下基础。但由于语言上的障碍与教学方法的不当,往往导致教学效果不好。通过创新型换位教学法则能从根本上解决双语教学中的问题,以达到语言锻炼与专业知识学习的双重目的。景观学作为一门专业性极强的工程设计类学科,需要时刻更新专业知识,与国外的前沿理论保持一致。而语言作为其中的障碍之一,可以通过对整个学科课程体系进行双语教学来培养学生的语言能力。因此,运用换位教学模式到整个景观学教学体系中,不论理论课程还是设计课程,只需要根据课程授课内容的特点做相应的修改来设计符合该课程的六大环节,都可以起到增进教学质量和提高景观专业学生整体素质的良好效果。

**参考文献**

[1] 张久鹏.“道路建筑材料”双语教学的思考与实践[J]. 科教文汇,2010(16):53 - 54.  
 [2] 涂建军.《区域规划》课程双语教学的实践与探索[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2011,36(3):292 - 295.  
 [3] 冯晨昱,奥喜平. 影响高校双语教学效果的因素及其对策研究[J]. 教学探索,2009(7):60 - 62.  
 [4] 宋子斌,吴鸿. 影响本科双语课程教学因素的实证分析[J]. 海南大学学报:人文社会科学版,2005,23(4):476 - 480.  
 [5] 刘月. 普通高校本科专业双语课程教学过程的探讨[J]. 知识经济,2010(13):136.  
 [6] 谭飞燕. 构建本科院校双语课程教学中的差异化机制的探讨[J]. 学理论,2011(12):289 - 290.  
 [7] 饶岚,宁洪. 双语课程教学模式的研究与实践[J]. 高等教育研究学报,2010,33(2):86 - 88.

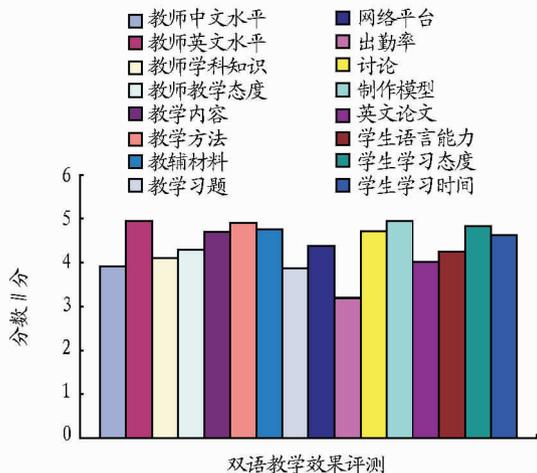


图3 名园鉴赏课程双语教学效果评测统计情况