



我国近海海洋综合  
调查与评价**专项**

WOGUO JINHAI HAIYANG  
ZONGHE DIAOCHA YU  
PINGJIA ZHUANXIANG

# 海洋光学调查 技术规程

国家海洋局908专项办公室 编



海洋出版社

我国近海海洋综合调查与评价专项

# 海洋光学调查技术规程

国家海洋局 908 专项办公室 编

海洋出版社

2006 年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋光学调查技术规程/国家海洋局 908 专项办公室编.

—北京: 海洋出版社, 2006. 1

(我国近海海洋综合调查与评价专项)

ISBN 7-5027-6472-0

I. 海… II. 国… III. 海洋光学—调查—规程—中国 IV. P714-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123889 号

责任编辑: 万小冬

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京顺诚彩色印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 4.5

字数: 115 千字 印数: 1 ~ 1000 册

定价: 16.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 《海洋光学调查技术规程》编写组

编写组负责人：李铜基

编写组成员：（按姓氏笔画顺序排序）

朱建华 刘显傅 杨安安 汪小勇 宋庆君 陈清莲

唐军武 韩家新

## 前 言

“我国近海海洋综合调查与评价”专项（以下简称“908专项”）是国家批准的重大海洋专项。开展近海海洋综合调查与评价工作，是我国“实施海洋开发”战略的基础性工作。海洋中蕴藏着丰富的资源，发生着错综复杂的自然现象，这些自然现象又对近海区域如海岸带及海岛等的变迁、气候、生物生态、社会人文、经济发展乃至军事设施产生着巨大的影响。只有准确、可靠、系统地获取海洋调查数据，才能把浩瀚、奥秘的海洋和对近海区域的影响“数字化”、“透明化”，从而对海洋环境做出科学、合理、准确的评价，为海洋经济发展、海洋开发利用、海洋减灾防灾、海洋环境保护、海洋权益维护和海洋可持续发展提供科学的数据和信息依据。因此，国家批准国家海洋局组织实施“908专项”，具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

我国近海海洋光学调查的目的是获取我国近海水体的光吸收特性、光散射特性、光离水辐射特性以及辅助的环境参数，了解我国近海海区海洋光学特征的基本分布情况。本次海洋光学调查是第一次大规模调查，为了规范我国近海海洋光学调查专项的实施，特制定《我国近海海洋光学调查技术规程》。

《海洋光学调查技术规程》严格遵照《GB/T 12763.5 海洋调查规范 海洋声、光要素调查》（以下简称《海洋调查规范》）编制而成，对《海洋调查规范》中本次调查涉及的内容进行了进一步细化，增强了可操作性。另外，对本次调查要求而《海洋调查规范》中未涉及的部分进行了必要的补充。

本规程由国家海洋技术中心主持编写，国家卫星海洋应用中心参加了部分编写和修改工作。专家组成员韩家新、李铜基、唐军武、陈清莲为本规程的编写和修改给予了具体详实的策划和指导，参加编写的人员有汪小勇、朱建华、刘显博、杨安安、宋庆君。

2004年7月5日，国家海洋技术中心组织特邀专家对本规程进行了内审。参加内审的专家有黄振宗、胡成春、路应贤、孙煜华、郭本义、杨哲玲、李允武。编写组吸收了专家们提出的宝贵意见和建议，对本规程进行了相应的修改。

我国近海海洋综合调查与评价专项共有18项技术规程，本规程是第5部分。

# 目 次

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 1 范围 .....                 | (1)  |
| 2 规范性引用文件 .....            | (1)  |
| 3 术语与定义 .....              | (1)  |
| 3.1 表观光学特性 .....           | (1)  |
| 3.2 固有光学特性 .....           | (1)  |
| 3.3 光谱辐照度 .....            | (1)  |
| 3.4 光谱辐亮度 .....            | (1)  |
| 3.5 有色溶解有机物 .....          | (1)  |
| 3.6 水体总吸收系数 .....          | (1)  |
| 4 调查范围 .....               | (2)  |
| 5 调查方案 .....               | (2)  |
| 5.1 主要调查内容及测量方法 .....      | (2)  |
| 5.2 辅助参数 .....             | (3)  |
| 5.3 现场记录格式 .....           | (3)  |
| 5.4 测量环境要求 .....           | (4)  |
| 5.5 仪器定标和性能检测要求 .....      | (4)  |
| 5.6 数据采集 .....             | (4)  |
| 6 仪器设备要求及操作程序要求 .....      | (4)  |
| 6.1 水下剖面法测量表观光学特性 .....    | (4)  |
| 6.2 水面之上法测量表观光学特性 .....    | (8)  |
| 6.3 分光光度计测量水体三要素吸收系数 ..... | (10) |
| 6.4 水体总吸收系数和总衰减系数的测量 ..... | (15) |
| 6.5 后向散射系数的测量 .....        | (18) |
| 7 资料整编与汇交 .....            | (21) |
| 7.1 原始资料整理 .....           | (21) |
| 7.2 成果资料整编 .....           | (21) |
| 7.3 资料整编中的一般规定 .....       | (22) |
| 7.4 资料的质量控制及审核验收 .....     | (22) |
| 7.5 整编资料元数据 .....          | (22) |

|         |                                         |      |
|---------|-----------------------------------------|------|
| 7.6     | 资料汇交 .....                              | (22) |
| 7.7     | 指标要求 .....                              | (23) |
| 8       | 图件编绘 .....                              | (23) |
| 8.1     | 编绘内容 .....                              | (23) |
| 8.2     | 成果图件资料整理和汇交要求 .....                     | (24) |
| 9       | 研究报告格式与提纲 .....                         | (24) |
| 9.1     | 报告格式 .....                              | (24) |
| 9.2     | 报告提纲 .....                              | (24) |
| 10      | 资料与成果归档 .....                           | (24) |
| 附录      | .....                                   | (25) |
| 附录 A    | .....                                   | (25) |
| 附录 A.1  | 辐照度/辐亮度存储载体索引 .....                     | (25) |
| 附录 A.2  | 辐照度/辐亮度水下剖面测量记录 .....                   | (26) |
| 附录 A.3  | 辐照度/辐亮度水面之上测量记录 .....                   | (27) |
| 附录 A.4  | 水体成分吸收系数存储载体索引 .....                    | (28) |
| 附录 A.5  | 水体成分吸收系数测量记录——总颗粒物 .....                | (29) |
| 附录 A.6  | 水体成分吸收系数测量记录——黄色物质 .....                | (29) |
| 附录 A.7  | 水体各成分吸收系数测量现场采样与实验室分析记录 .....           | (31) |
| 附录 A.8  | 海水光束吸收系数/光束衰减系数/后向散射系数存储载体索引 .....      | (32) |
| 附录 A.9  | 海水光束吸收系数/光束衰减系数/后向散射系数测量记录 .....        | (33) |
| 附录 A.10 | 实验室绝对辐射定标记录 .....                       | (34) |
| 附录 A.11 | 纯水吸收系数 ( $T=22^{\circ}\text{C}$ ) ..... | (35) |
| 附录 A.12 | 平均日地距离大气层顶平均太阳辐照度 .....                 | (37) |
| 附录 A.13 | 光程放大效应校正因子计算经验系数 .....                  | (41) |
| 附录 A.14 | 我国近海海洋光学调查研究报告文本格式 .....                | (42) |
| 附录 A.15 | 我国近海海洋光学调查研究报告封面格式样例 .....              | (43) |
| 附录 A.16 | 我国近海海洋光学调查研究报告提纲 .....                  | (44) |
| 附录 B    | .....                                   | (45) |
| 附录 B.1  | 表现光学特性水面之上法测量现场记录数据电子文件格式 .....         | (45) |
| 附录 B.2  | 表现光学特性剖面法测量现场记录数据电子文件格式 .....           | (47) |
| 附录 B.3  | 固有光学特性 AC9 和 HS6 测量现场记录数据电子文件格式 .....   | (49) |
| 附录 B.4  | 固有光学特性分光光度计测量现场记录数据电子文件格式 .....         | (50) |
| 附录 B.5  | 仪器信息电子文件记录格式 .....                      | (52) |
| 附录 B.6  | 处理结果数据文件格式 .....                        | (53) |
| 附录 B.7  | 元数据记录格式 .....                           | (59) |
| 附录 B.8  | 纸质资料封面格式 .....                          | (61) |
| 附录 B.9  | 电子载体标识格式 .....                          | (62) |
| 参考文献    | .....                                   | (63) |

## 1 范围

本规程规定了“我国近海海洋光学调查”的内容,提出了技术要求和参加调查的仪器设备指标要求,确定了测量方法和数据处理方法,给出了数据采集记录、资料整理和研究报告编写的格式。

本规程是“我国近海海洋综合调查与评价”专项中“我国近海海洋光学调查”的指导性文件。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本规程,然而,鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本规程。

- GB/T 12763.1 海洋调查规范 总则
- GB/T 12763.5 海洋调查规范 海洋声、光要素调查
- GB/T 12763.7 海洋调查规范 海洋调查资料交换
- GB/T 12460 海洋数据应用记录格式
- GB 12319 ~ 1998 中国海图图式

## 3 术语与定义

下列术语适用于本规程。

### 3.1 表观光学特性 (Apparent Optical Properties (AOPs))

表观光学特性是指不仅与水体成分有关,而且受环境光场分布影响的光学特性。

### 3.2 固有光学特性 (Inherent Optical Properties (IOPs))

固有光学特性是指只与水体成分有关的光学特性。

### 3.3 光谱辐照度 (Spectral Irradiance)

$E(\lambda)$ , 单位波长单位面积上的辐射通量,海洋光学中常用单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ 。

### 3.4 光谱辐亮度 (Spectral Radiance)

$L(\lambda)$ , 单位波长单位面积单位立体角上的辐射通量,海洋光学中常用单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ 。

### 3.5 有色溶解有机物 (Colored Dissolved Organic Matter (CDOM))

俗称黄色物质 (Yellow Matter), 也可称为 gelbstoff, 其浓度通常用  $a_s(400)$  来表示,单位为  $\text{m}^{-1}$ 。

### 3.6 水体总吸收系数

$a(\lambda)$ , 垂直于通过无限薄水层的准直光束,其辐射通量由水体吸收导致的相对减弱除以该水层的厚度,单位为  $\text{m}^{-1}$ 。



## 4 调查范围

中国近海海洋光学调查涉及渤海海域、北黄海海域、南黄海海域、长江三角洲海域、东海海域、台湾海峡海域、珠江三角洲、南海海域（包含西沙）、北部湾及海南岛以南海域共9个调查区域。

## 5 调查方案

### 5.1 主要调查内容及测量方法

海洋光学调查的参数及导出参数包括表观光学特性和固有光学特性，见表1。

表1 调查参数、导出参数及对应的调查方法

| 调查参数           |                                                         | 调查方法              | 导出参数                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|---------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 表观<br>光学<br>特性 | $L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$   | 水面之上法             | $L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$<br>$L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi)$<br>$R_{\omega}(\lambda, \theta, \phi)$<br>$L_{\omega}(\lambda), L_{\omega n}(\lambda)$<br>$R_{\omega}(\lambda)$<br>$K_d(490)$ |
|                | $L_{\omega n}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$ | 水面之上法             |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $E_s(\lambda)$                                          | 水面之上法             |                                                                                                                                                                                                                            |
|                |                                                         | 水下剖面法             |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $E_d(z, \lambda)$                                       | 水下剖面法             |                                                                                                                                                                                                                            |
| 固有<br>光学<br>特性 | $L_n(z, \lambda)$                                       | 水下剖面法             | $a_p(\lambda)$<br>$a_s(\lambda)$<br>$a(\lambda)$<br>黄色物质浓度<br>$c(\lambda)$<br>$b_b(\lambda)$                                                                                                                               |
|                | $a_g(\lambda)$                                          | 分光光度计测量           |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $a_s(\lambda)$                                          | 分光光度计测量           |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $a_p(\lambda)$                                          | 分光光度计测量           |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $a_w(\lambda)$                                          | 参考国外测量结果(附录 A.11) |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $a(\lambda)$                                            | 用吸收衰减测量仪测量        |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $c(\lambda)$                                            | 用吸收衰减测量仪测量        |                                                                                                                                                                                                                            |
|                | $b_b(\lambda)$                                          | 用后向散射仪测量          |                                                                                                                                                                                                                            |

方法说明：表观光学特性的测量采用水面之上法和剖面法；水体悬浮颗粒物吸收系数的测量可采用光透射法，有条件的也可采用光透射——反射法，以提高吸收系数测量的精度。为确保数据的一致性，数据处理方法必须统一，建议进行统一的数据处理。

参数说明：

a)  $L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$  ——太阳位置为  $(\theta_0, \phi_0)$  时，仪器在  $(\theta, \phi)$  观测几何下得到的海面辐亮度（ $\theta_0$  为天顶角， $\phi_0$  为方位角； $\theta$  为仪器观测方向的天顶角， $\phi$  为仪器观测方向的方位角），单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ；

b)  $L_{\omega n}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$  ——太阳位置为  $(\theta_0, \phi_0)$  时，仪器在  $(\theta, \phi)$  观测几何下得到的天空方向的辐亮度，单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ；

c)  $E_s(\lambda)$  ——海面入射辐照度，单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ ；

d)  $L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$  ——太阳位置为  $(\theta_0, \phi_0)$  时，仪器在  $(\theta, \phi)$  观测几何下得到的

离水辐亮度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ;

e)  $L_{\text{w}}(\lambda, \theta, \phi)$  ——仪器在  $(\theta, \phi)$  观测几何下得到的归一化离水辐亮度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ;

f)  $R_{\text{rs}}(\lambda, \theta, \phi)$  ——仪器在  $(\theta, \phi)$  观测几何下得到的遥感反射比, 单位为  $\text{sr}^{-1}$ ;

g)  $E_{\text{d}}(Z, \lambda)$  ——水深为  $z$  米处的下行辐照度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ , 当  $z=0^+$  时,  $E_{\text{d}}(Z, \lambda)$  和  $E_{\text{s}}(\lambda)$  相同; 当  $z=0^-$  时, 表示恰在水面之下的下行辐照度;

h)  $E_{\text{u}}(Z, \lambda)$  ——水深为  $z$  米处的上行辐亮度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ , 当  $z=0^-$  时, 表示恰在水面之下的上行辐亮度;

i)  $L_{\text{w}}(\lambda)$  ——沿海面法线方向的离水辐亮度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ;

j)  $L_{\text{wn}}(\lambda)$  ——沿海面法线方向的归一化离水辐亮度, 单位为  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ ;

k)  $R_{\text{rs}}(\lambda)$  ——沿海面法线方向的遥感反射比, 单位为  $\text{sr}^{-1}$ ;

l)  $a_{\text{g}}(\lambda)$  ——黄色物质的吸收系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

m)  $a_{\text{d}}(\lambda)$  ——非色素颗粒物的吸收系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

n)  $a_{\text{p}}(\lambda)$  ——总颗粒物的吸收系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

o)  $a_{\text{w}}(\lambda)$  ——纯水的吸收系数 (见附录 A.11), 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

p)  $a_{\text{p}}(\lambda)$  ——浮游植物色素的吸收系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

q)  $a(\lambda)$  ——水体总吸收系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

r)  $c(\lambda)$  ——水体衰减系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

s)  $b_{\text{b}}(\lambda)$  ——水体后向散射系数, 单位为  $\text{m}^{-1}$ ;

t)  $K_{\text{d}}(490)$  ——490 nm波段的下行辐照度漫衰减系数, 无量纲。

## 5.2 辅助参数

需要测量的同步调查参数有: CTD 剖面、波浪、水色、透明度、风速、风向、经度、纬度、水深、日期、当地时间、云、海况、太阳周围的云变化情况 (目测记录)、叶绿素 a 浓度、悬浮体浓度。辅助参数需其他学科同步测量, 其中:

由物理海洋与海洋气象调查科目提供: CTD 剖面、波浪、水色、透明度、风速、风向、经度、纬度、水深、云、海况;

由海洋生物与生态调查科目提供: 叶绿素 a 浓度;

由海洋化学调查科目提供: 悬浮体浓度;

由海洋光学调查人员记录: 日期、当地时间、太阳周围的云变化情况 (目测记录)。

## 5.3 现场记录格式

在现场调查过程中, 应做好相关记录。记录表格如下。

a) 辐照度和辐亮度水下剖面测量记录表 (附录 A.2);

b) 辐照度和辐亮度水面之上测量记录表 (附录 A.3);

c) 水体成分吸收系数测量记录表——总颗粒物 (附录 A.5);

d) 水体成分吸收系数测量记录表——黄色物质 (附录 A.6);

e) 水体各成分吸收系数测量现场采样与实验室分析记录 (附录 A.7);

f) 海水光束吸收系数/光束衰减系数/后向散射系数测量记录表 (附录 A.9)。

#### 5.4 测量环境要求

表观光学特性的测量环境要求:晴天或者全云均匀覆盖 (overcast), 太阳天顶角  $< 65^\circ$ , 风速  $< 10 \text{ m/s}$ , 光照变化小, 其中剖面法测量站位水深  $> 10 \text{ m}$ ;

总吸收系数、总衰减系数和水体后向散射系数测量站位水深  $> 10 \text{ m}$ ;

海洋光学调查与水体其他学科调查同步。

#### 5.5 仪器定标和性能检测要求

光谱仪在外业调查前、后 2 个月以内, 均需要进行绝对辐射定标, 高光谱仪器还需要进行波长定标。如果两次绝对辐射定标系数相对偏差  $\geq 10\%$ , 或者波长偏移  $> 5 \text{ nm}$ , 则本航次本仪器的调查数据无效。为保证数据的一致性, 必须统一实验室定标。

光谱仪实验室定标要求在 6.1.4 节中给出; 分光光度计性能检测要求在 6.3.5 节中给出; 水体总吸收和总衰减系数测量仪定标程序要求在 6.4.4 节中给出; 后向散射系数测量仪定标程序要求在 6.5.4 节中给出。

#### 5.6 数据采集

水体三要素吸收系数外业调查时, 所有站位表层至少要做 2 个平行样, 2 个平行样的结果相对偏差必须  $< 10\%$ , 其余水层 (5 m 和 10 m) 不作平行样要求; 每个站点表观光学特性至少进行 2 次独立的测量, 2 次测量结果的相对偏差必须  $< 10\%$ ; 每个站点的总吸收系数、总衰减系数、后向散射系数至少进行 2 次独立的测量, 2 次测量结果的相对偏差必须  $< 30\%$ 。

### 6 仪器设备要求及操作程序要求

#### 6.1 水下剖面法测量表观光学特性

##### 6.1.1 仪器设备要求

水下剖面法测量可采用分立波段仪器, 也可采用高光谱仪器。

##### 6.1.1.1 光谱特性的要求

a) 对于分立波段仪器, 至少包括 412 nm、443 nm、490 nm、510/520 nm、555/565 nm、670 nm 和 780 nm, 半能谱宽度 (FWHM) 10 nm;

b) 对于高光谱仪器的要求

- (1) 光谱范围: 380 ~ 900 nm;
- (2) 光谱分辨率: 优于 5 nm;
- (3) 波长准确度: 优于 1 nm;
- (4) 波长稳定性: 优于 0.5 nm。

##### 6.1.1.2 信噪比 (S/N) 的要求

- a)  $E_a \geq 0.1 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ , S/N 优于 100;
- b)  $E_s \geq 1 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ , S/N 优于 100;
- c)  $L_w \geq 0.001 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ , S/N 优于 100。

##### 6.1.1.3 仪器响应线性度和稳定性优于 1%

6.1.1.4 仪器采样间隔要根据数据采样率控制剖面仪器的下降速度,保证每米大于5个采样数据,  $E_d$  和  $L_d$  的所有通道应在0.05 s内测量

6.1.1.5 传感器角度响应的要求

辐照度余弦响应,在  $0^\circ \sim 65^\circ$  范围内,余弦的差异应  $< 3\%$ ; 在  $65^\circ \sim 85^\circ$  范围内应  $< 10\%$

6.1.1.6 最大布放深度应能达到200 m,深度测量准确度0.5 m

6.1.1.7 仪器应配有测量水温、压力、倾角、仪器内部温度等传感器

6.1.2 操作程序要求

6.1.2.1 布放姿态与姿态测量

应控制仪器倾斜在  $\pm 7^\circ$  以内。在  $0^\circ \sim 30^\circ$  范围内,倾角测量准确度  $\pm 1^\circ$ ; 倾角数据应与光学数据同时记录。

6.1.2.2 仪器的辅助测量参数

在剖面测量法中,辐亮度剖面测量和辐照度剖面测量应同时进行,并且要同步测量水温、压力(深度)、姿态(倾斜)、仪器内部温度等参数。

6.1.2.3 布放距离和深度

为避免船舶阴影对测量结果的影响,对于  $E_d$  的测量,要求仪器距船的距离为:

$$D_{si} = \sin(48.4^\circ) / K_d(\lambda) \quad (1)$$

对于  $L_w$  的测量,仪器布放应距船的距离为  $1.5/K_l$ , 其中,  $K_d$  和  $K_l$  分别为  $E_d$  和  $L_w$  的漫衰减系数。一般情况下,布放时应距船30 m左右。

对于布放深度,应遵循以下原则:

a) 布放深度范围内应包含叶绿素最大值;

b) 在400~700 nm波长范围内,布放深度  $z$  至少应使  $E_d(z, \lambda)$  衰减到  $E_d(0^-, \lambda)$  的  $10^{-3}$  倍。

6.1.2.4 仪器、船与太阳的最佳相对方位

太阳在船尾方向、船头顶流、仪器在船尾布放。

6.1.2.5 剖面仪器的布放步骤:

a) 调试仪器,记录相关数据,记录表格见附录 A.1、A.2;

b) 选择仪器、船与太阳的最佳相对方位;

c) 在仪器与海水的温度平衡后,方可开始测量;

d) 测量压力偏移:让仪器刚好被海水浸没,并维持5 s左右,同时采集压力偏移数据;

e) 布放仪器,同时进行  $L_w(z, \lambda)$ 、 $E_d(z, \lambda)$  和  $E_t(\lambda)$  的数据采集,并做好相关记录;

f) 一个站点至少进行2次独立测量;

g) 布放结束后将仪器收回,并做好对仪器的维护和保养工作。

6.1.3 数据处理方法

剖面数据处理主要包括以下步骤:

a) 缺漏数据点补帧;

b) 异常点剔除;

c) 光照归一化;

- d) 压力偏移校正;  
 e) 分别确定  $L_u(z, \lambda)$  和  $E_d(z, \lambda)$  各波段的外推区间  $[z_1, z_2]$ ;  
 f) 数据平滑;  
 g) 计算  $K$  剖面:

$$K_1(\lambda) = -[\ln(L_u(z_2, \lambda)) - \ln(L_u(z_1, \lambda))] / (z_2 - z_1) \quad (2)$$

$$K_d(\lambda) = -[\ln(E_d(z_2, \lambda)) - \ln(E_d(z_1, \lambda))] / (z_2 - z_1) \quad (3)$$

- h) 外推刚好在水面以下的数值  $L_u(0^-, \lambda)$  和  $E_d(0^-, \lambda)$ :

$$L_u(0^-, \lambda) = L_u(z, \lambda) \exp[+K_1(\lambda) \cdot (z)] \quad (4)$$

$$E_d(0^-, \lambda) = E_d(z, \lambda) \exp[+K_d(\lambda) \cdot (z)] \quad (5)$$

- i) 计算离水辐亮度  $L_w(\lambda)$ 、归一化离水辐亮度  $L_{wn}(\lambda)$  和遥感反射比  $R_{rs}(\lambda)$ :

$$L_w(\lambda) = \frac{t}{n^2} \cdot L_u(0^-, \lambda) \quad (6)$$

式中:  $t$ ——水-气界面透过率;

$n$ ——水体折射系数。

根据 Austin (1980) 的研究结果,  $t/n^2 = 0.543$ 。

$$L_{wn}(\lambda) = L_w(\lambda) \cdot \frac{\bar{F}_0(\lambda)}{E_s(\lambda)} \quad (7)$$

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{E_s(\lambda)} \quad (8)$$

式中:  $\bar{F}_0(\lambda)$ ——平均日地距离大气层顶平均太阳辐照度, 视为常数 (见附录 A.12);

$E_s(\lambda)$ ——海面入射辐照度,  $E_s(\lambda) = E_d(0^+, \lambda)$

$E_d(0^+, \lambda)$ ——剖面仪器表面单元测量的辐照度值。

#### 6.1.4 实验室定标程序要求

要求实验室绝对辐射定标的不确定度  $< 5\%$ 。

##### 6.1.4.1 实验室绝对辐射定标

###### a) 实验室绝对辐照度定标

光谱辐照度定标测量如图 1 所示。标准灯在距离其  $l_0$  处的辐照度  $E_0$  是稳定的而且已知的, 待定标的传感器在距离标准灯  $l$  处, 在此点仪器测得的辐照度  $E_l$ , 在  $l$  处, 我们可以利用光的辐照度变化关系来计算该点理论上的辐照度值, 记为, 则  $E'_l$ , 则

$$E'_l = \frac{E_0 \cdot l_0^2}{l^2} \quad (9)$$

将在  $l$  处仪器的实测值  $E_l$  和理论计算值  $E'_l$  建立关系, 就可实现辐照度定标;

###### b) 实验室绝对辐亮度定标

光谱辐亮度定标测量如图 2 所示; 标准漫射板尺寸为  $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ , 标准灯垂直入射, 传感器在  $45^\circ$  方向进行测量。标准灯和标准白板中心相距为  $l$ , 待定标的传感器测量到的标准白板中心的辐射亮度  $L_l$ , 可以计算理论上经标准板反射后的辐亮度  $L'_l$ ;

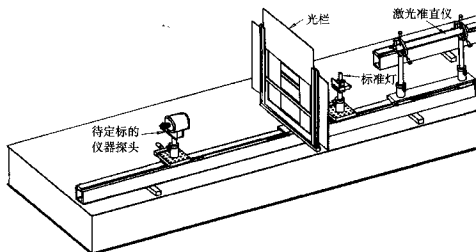


图1 光谱辐照度定标示意图

$$L'_1 = \eta \cdot \frac{E_b \cdot l_0^2}{l^2 \cdot \pi} \quad (10)$$

式中:  $\eta$ ——标准白板的反射率。

将理论计算值  $L'_1$  和仪器实测值  $L_1$  建立关系, 就可实现辐亮度定标。

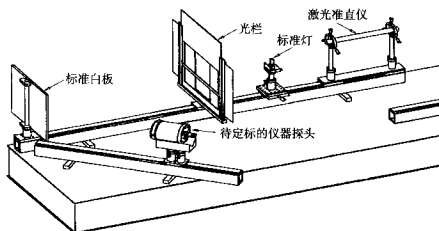


图2 光谱辐亮度定标示意图

(1) 实验室定标基本步骤: 安装仪器, 调整光路, 测量距离, 然后由计算机操作给标准灯供电, 达到标准灯的额定电压后, 稳定一段时间后, 即可进行定标测量, 采集相应的定标数据 (包括暗电流数据和标准灯数据或者标准板观测数据), 并做好相关记录, 记录表格见附录 A.10;

(2) 数据处理: 对采集的数据进行分析, 剔除异常, 计算对应的定标系数, 并与历史定标数据进行比较, 给出仪器性能变化情况。

### 6.1.4.2 光谱波长定标

由于高光谱仪器有可能发生光谱偏移,因此外业调查前、后需要进行高光谱仪器的波长定标。在额定的电流和电压下,用仪器观测具有多个特征峰的波长定标灯,将测得的峰值与给定的峰值进行比较,即可给仪器进行波长定标。

## 6.2 水面之上法测量表观光学特性

### 6.2.1 仪器设备要求

水面之上测量法,可采用高光谱仪器,也可采用分立波段仪器。

#### 6.2.1.1 光谱特性要求

a) 对于分立波段仪器,至少包括412 nm、443 nm、490 nm、510/520 nm、555/565 nm、670 nm和780 nm,半能谱宽度10 nm;

#### b) 高光谱仪器的要求

- (1) 光谱范围: 380 ~ 900 nm;
- (2) 光谱分辨率: 优于5 nm;
- (3) 波长准确度: 优于1 nm;
- (4) 波长稳定度: 优于0.5 nm。

#### 6.2.1.2 等效噪声要求

在700 nm处优于0.005  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ 。

#### 6.2.1.3 响应的线性度和稳定性优于1%

#### 6.2.1.4 采样时间和仪器积分时间

对于分立波段仪器,每秒采样6个以上;对于高光谱仪器,每条光谱的积分时间控制在60 ~ 300 ms之间,仪器应能快速连续测量多条曲线,且采样时间间隔可以改变。

#### 6.2.1.5 传感器的角度响应

辐照度余弦响应: 在 $0^\circ \sim 65^\circ$ 内,与理想余弦的差异应当 $<3\%$ ;在 $65^\circ \sim 85^\circ$ 内应当 $<10\%$ 。

#### 6.2.1.6 标准板反射率要求在10% ~ 35%之间

### 6.2.2 操作程序要求

#### 6.2.2.1 观测几何

水面之上测量方法可表述为:

$$L_{\omega}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) = L_w(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) + \rho \cdot L_{\text{sky}}(\lambda, \theta, \phi, \theta_0, \phi_0) + \Delta \quad (11)$$

式中:  $\rho$ ——气-水界面对天空光的反射率;

$\Delta$ ——外界干扰,包括耀斑和白帽影响。 $\Delta$ 是随机量,难以测量和估算,因此必须采用合理的观测几何,尽可能避免耀斑等污染,并通过多次测量剔除,使其达到可忽略的程度。

观测几何见图3,仪器观测平面与太阳入射平面的夹角 $\phi_s = 135^\circ$ ,仪器与海面法线方向的夹角 $\theta_s = 40^\circ$ ,以避免绝大部分的太阳直射反射,并减少船舶阴影的影响。

如果是双通道仪器,可同时对水体和天空光进行观测;如果是单通道仪器,在仪器面向水体进行观测后,立即将仪器在观测平面向上旋转一个角度,使得观测方向的天顶角与 $\theta_s$ 相同,测量天空光辐亮度 $L_{\text{sky}}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$ 。

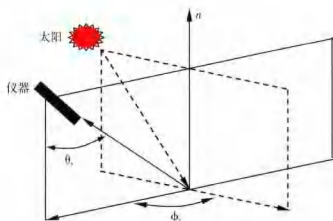


图3 光谱仪水面之上观测几何示意图

#### 6.2.2.2 测量过程中应遵循的原则

- a) 测量应在船头开阔区域进行;
- b) 每个站点至少进行2次独立的测量;
- c) 如利用标准板测量海面入射辐照度,标准板的双向反射率特性和随波长变化的反射率应在测量前准确确定;在进行标准板测量时,标准板要保持水平,操作人员应身着黑色服装,并远离标准板2 m以上;

#### d) 每次测量采样个数及时间:

##### (1) 高光谱仪器

- ① 标准板测量曲线不得少于15条,时间至少跨越一个波浪周期;
- ② 海面测量曲线不得少于15条,时间至少跨越一个波浪周期;
- ③ 天空光测量曲线不得少于15条,时间至少跨越一个波浪周期;

##### (2) 分立波段仪器

每次测量时间不得少于3 min;

- e) 在测量海面入射辐照度  $E_s(\lambda)$  过程中要避免船只上层白色建筑物的反射和测量人员的影响;
- f) 测量海面和天空光要同步或准同步进行。

#### 6.2.2.3 水面之上法测量步骤

- a) 仪器提前预热;
- b) 暗电流测量;
- c) 海面入射辐照度测量(通过测量标准板或直接测量获得);
- d) 海面测量;
- e) 天空光测量;
- f) 海面入射辐照度测量;
- g) 推荐进行遮挡太阳直射光的海面入射辐照度测量(遮挡标准板或  $E_s$  探头)。

#### 6.2.3 数据处理方法

##### 6.2.3.1 气-水界面反射率的确定

按照上述观测几何,气-水界面反射率在0.025~0.035之间,在平静海况下,推荐采用0.028。



## 6.2.3.2 异常数据剔除

光谱仪对海面测量的总辐亮度  $L_{dc}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)$  受波浪的影响较大, 应剔除受到太阳直射反射影响的曲线。

## 6.2.3.3 离水辐亮度的计算

在忽略太阳耀斑和白帽等外界影响情况下, 光谱仪测量的海面辐亮度为

$$L_{dc}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) = L_w(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) + \rho \cdot L_{sky}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) \quad (12)$$

由此可得离水辐亮度为

$$L_w(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) = L_{dc}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) - \rho \cdot L_{sky}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) \quad (13)$$

6.2.3.4 归一化离水辐亮度  $L_{wn}(\lambda, \theta, \phi)$  和遥感反射比  $R_{rs}(\lambda, \theta, \phi)$  的计算

$$L_{wn}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{\bar{F}_0(\lambda)}{E_s(\lambda)} L_w(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0) \quad (14)$$

$$R_{rs}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{L_{wn}(\lambda, \theta, \phi; \theta_0, \phi_0)}{E_s(\lambda)} \quad (15)$$

式中:  $E_s(\lambda)$  ——海面入射辐照度, 可由测量标准板得出

$$E_s(\lambda) = L_p(\lambda) \pi / \rho_p(\lambda) \quad (16)$$

式中:  $\rho_p(\lambda)$  ——标准板反射率, 要求在 10% ~ 35% 之间;

$L_p(\lambda)$  ——测得的标准板辐亮度。

标准板反射率应具有角度修正系数。

## 6.2.4 实验室定标程序要求

同 6.1.4 节。

## 6.3 分光光度计测量水体三要素吸收系数

本节规定了分光光度计测量水体三要素吸收系数的海上现场水样过滤、样品保存、实验室样品光学密度测量和数据处理分析等操作方法和步骤。

注: 光学密度 (Optical Density), 用符号  $OD$  表示, 通过用分光光度计测量参比物质的光谱通量的响应  $V_0(\lambda)$  和样品的光谱通量的响应  $V(\lambda)$  来确定, 用  $OD(\lambda) = \lg V_0(\lambda) - \lg V(\lambda)$  计算。

吸收系数测量的基本操作流程见图 4。

## 6.3.1 主要仪器设备、装置与试剂及性能指标

## 6.3.1.1 主要仪器设备、装置与试剂

- a) 分光光度计: 波长范围至少为 350 ~ 890 nm, 双光束;
- b) 真空泵: 具有压力表, 可控压力;
- c) 超纯水机: 出水水质要求达到电阻率 = 18 MΩ · cm;
- d) 过滤设备: 通用;
- e) 采水器: 生物采水器;
- f) 液氮生物容器: 通用;
- g) 样品瓶: 聚乙烯瓶;
- h) 玻璃纤维滤纸: Whatman GF/F 玻璃纤维滤纸, 孔径为 0.7 μm, 直径为 25 mm 或 47 mm;