ICS 17.180.01
CCS N 30

T/CS

# 团 体 标 准

T/CS 184—2025

# 地质资源环境高光谱微小卫星实验室定标试验方法

Experimental method for laboratory calibration of geological resources and environment hyperspectral micro-satellite

2025-11-24 发布 2025-11-24 实施

中国商品学会 发布

# 目　　次

前言 ..... II
1　范围 ..... 1
2　规范性引用文件 ..... 1
3　术语和定义 ..... 1
4　一般要求 ..... 1
5　技术要求 ..... 1
6　试验方法 ..... 2
7　试验结果评定 ..... 8
8　试验报告规范 ..... 8

# 前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草，主要描述地质资源环境高光谱微小卫星实验室定标方法，是小卫星发射前对色散型高光谱遥感器的实验室内定标试验流程的规范。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：中国地质大学（武汉）、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、长沙天仪空间科技研究院有限公司、南京信息工程大学、许昌学院、北京联合利来企业管理有限公司。

本文件主要起草人：王力哲、王栋、贺一雄、谢勇、宋维静、阎继宁、谌一夫、乐源、陈云亮、王征、王忠诚、韩杰、范金余。

# 地质资源环境高光谱微小卫星实验室定标试验方法

## 1 范围

本文件规定了地质资源环境高光谱微小卫星实验室定标的一般要求、技术要求、试验方法、试验结果评定、试验报告规范。

本文件适用于地质资源环境高光谱微小卫星的实验室定标工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 31010—2014 色散型高光谱遥感器实验室光谱定标

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**光谱定标 spectral calibration**

通过单色仪、平行光管等设备对相机的测试，明确各谱段的光谱特性参量，如光谱带宽、中心波长等，为相机准确识别目标光谱提供基础。

[来源：GB/T 31010—2014，3.2，有修改]

3.2

**光谱带宽 spectral bandwidth**

各光谱通道相对光谱响应曲线中，光谱响应为最大值一半时所对应的波长之差值。

[来源：GB/T 31010—2014，3.4，有修改]

3.3

**辐射定标 radiometric calibration**

确定相机的辐射响应性能，包括相对辐射校正系数、绝对辐射定标系数等，提升图像数据的准确性和可靠性。

3.4

**几何标定 geometric calibration**

确定相机各谱段的几何参数，包括主点、主距和畸变等，确保图像在几何上的准确性和一致性。

## 4 一般要求

### 4.1 实验室

定标实验室的环境条件要求如下：

a) 洁净室等级应高于 ISO 7 级标准，对洁净度有特殊要求时，按要求进行；
b) 微小卫星工作波段和视场内，抑制杂散光；
c) 温度宜为 20 ℃±3 ℃，相对湿度宜为 50%±10%，如有特殊要求，按要求进行；
d) 应具有良好的防静电条件。

### 4.2 待标定高光谱微小卫星

待标定高光谱微小卫星应工作正常且定标状态与设计工作状态一致。

## 5 技术要求

地质资源环境高光谱微小卫星实验室定标内容分为三部分，包括光谱定标、辐射定标与几何定标，以下是对三个试验内容指标要求。

### 5.1 光谱定标技术要求

5.1.1 光谱中心波长定标误差应小于±5 nm。
5.1.2 光谱带宽定标误差应小于±10 nm。

### 5.2 辐射定标技术要求

5.2.1 相对辐射定标不确定度：优于 5%。
5.2.2 绝对辐射定标不确定度：优于 10%。

### 5.3 几何定标技术要求

5.3.1 主距定标精度应优于 5‰。
5.3.2 主点位置定标精度应优于 3 个像素。

## 6 试验方法

### 6.1 光谱定标

#### 6.1.1 试验目的

光谱定标的目的是确定相机各个成像光谱通道的相对光谱响应函数曲线和光谱带宽（半峰值波段宽度）、中心波长及带外响应等光谱特性参量。光谱定标的内容包括：

a) 光谱定标装置的波长定标；
b) 光谱定标装置的相对光谱辐射强度定标；
c) 相机整机的相对光谱辐射响应度定标。

#### 6.1.2 测试装置

光谱定标装置主要由五部分组成：平行光管、单色仪、积分球或光源室、截止滤光片组及辐射计，如图 1 所示。其中定标光源通常采用发光稳定且光谱功率分布连续的卤钨灯光源室，单色仪作为分光器件其作用是产生各种单色辐射，另外为了获得准直的单色光并且能够在相机焦平面上形成轮廓和边缘清晰的狭缝像，应使单色仪出射狭缝所在平面尽量与平行光管的焦平面重合。截止滤光片的主要作用是消除高级光谱。在进行光谱定标之前应事先利用量子效率已知的量子阱探测器或辐射计对单色平行光管进行相对光谱辐射强度的标定以及对单色仪进行波长标定，如图 2 所示。

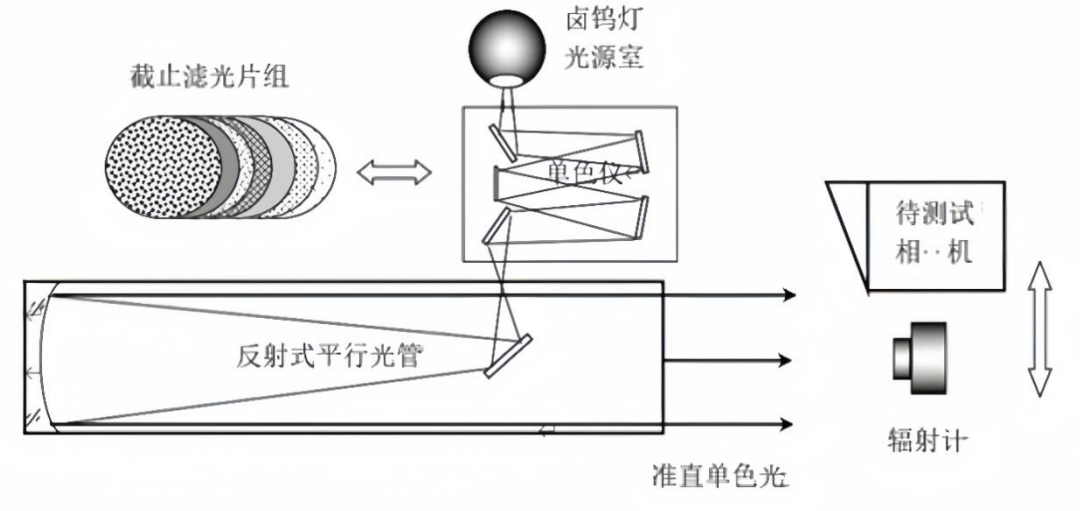



图 1 相对光谱装置示意图

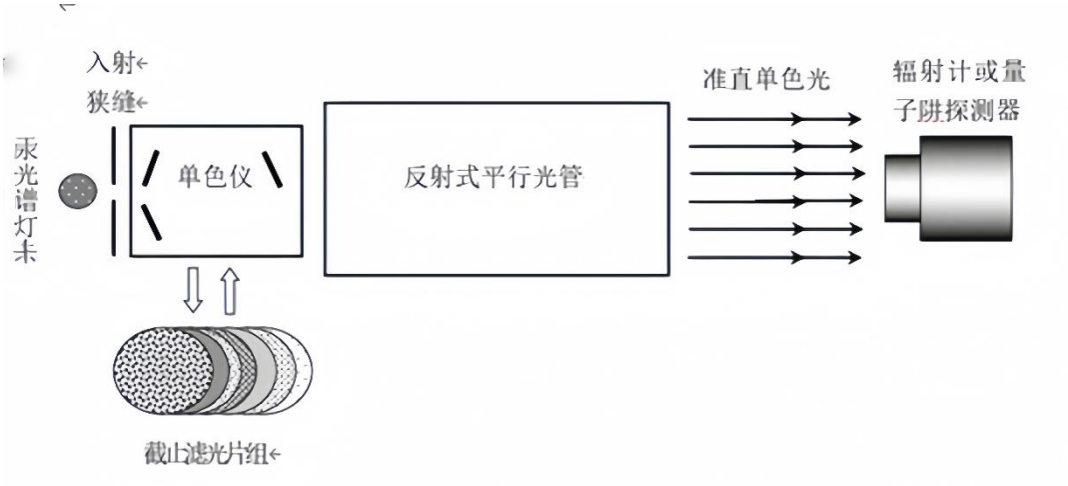



图 2　单色仪定标示意图

6.1.3　试验方案

6.1.3.1　在单色平行光管照明下，单色仪的单色出射狭缝像落到探测器光敏面上，狭缝像的高度方向与探测器像元方向相互垂直，并同时照明该片探测器对应工作谱段的若干像元，图 3 为单色仪狭缝像照明探测器焦平面的示意图。

6.1.3.2　单色仪的光栅在步进电机的驱动下，可以改变进入到相机的单色辐射波长。在对相机进行光谱定标时，根据单色辐射的波长位置及单色平行光管的相对光谱辐射强度与对应图像灰度输出之间的线性关系，通过最小二乘拟合建立相机的相对光谱响应函数曲线。

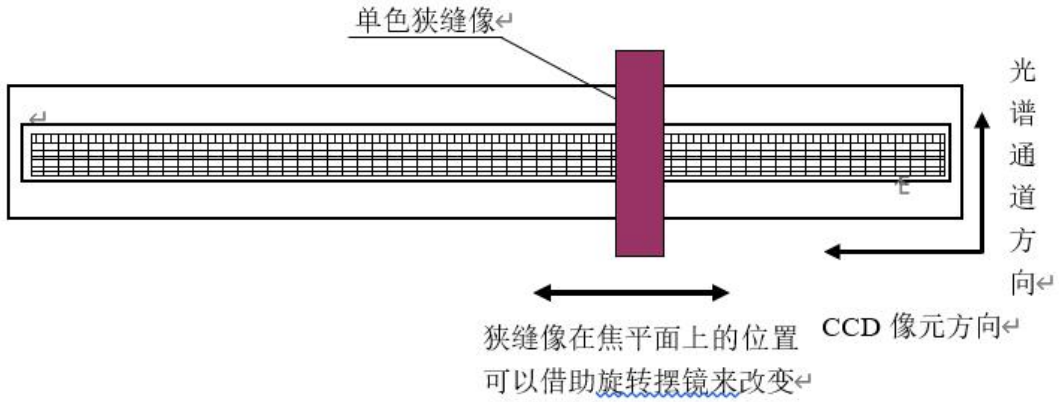



图 3　单色仪狭缝像对焦平面探测器的照明关系示意图

6.1.3.3　通过光谱定标获取的相对光谱响应函数曲线主要用于计算光谱带宽（或光谱分辨率）、峰值波长、中心波长、带外响应等光谱特性参量，并借此评价遥感器的光谱响应性能。在数据处理过程中涉及到各项参量的定义和计算方法如下：

a)　光谱带宽（或光谱分辨率）：半峰值功率点之间的谱段宽度或波长间隔，按公式（1）进行计算：

$$FWHM = \lambda_2 - \lambda_1 \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

$FWHM$——光谱带宽（或光谱分辨率）；

$\lambda_2$——半峰值起始波长，相对光谱响应曲线上升到峰值响应的一半；

$\lambda_1$——半峰值终止波长，相对光谱响应曲线下降到峰值响应的一半。

b)　中心波长：由半峰值起始和终止波长和值的一半确定的波长位置，按公式（2）进行计算：

$$\lambda_c = \frac{\lambda_1+\lambda_2}{2} \cdots\cdots (2)$$

式中：

$\lambda_c$——中心波长；

其他同上。

c） 带外响应：0.05 Rp 以外的光谱响应积分值与 0.5 Rp 以内的光谱响应积分值的比值，以百分数表示。按式（3）进行计算：

$$\delta = \frac{\int_0^{\lambda_{0.05\,Rp1}} R(\lambda)\,d\lambda + \int_{\lambda_{0.05Rp2}}^{\infty} R(\lambda)\,d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda)\,d\lambda} \times 100\% \cdots\cdots (3)$$

式中：

$Rp$——峰值光谱响应；

其他同上。

### 6.1.4 试验流程

6.1.4.1 相机各光谱通道相对光谱响应度定标试验流程图见图 4。

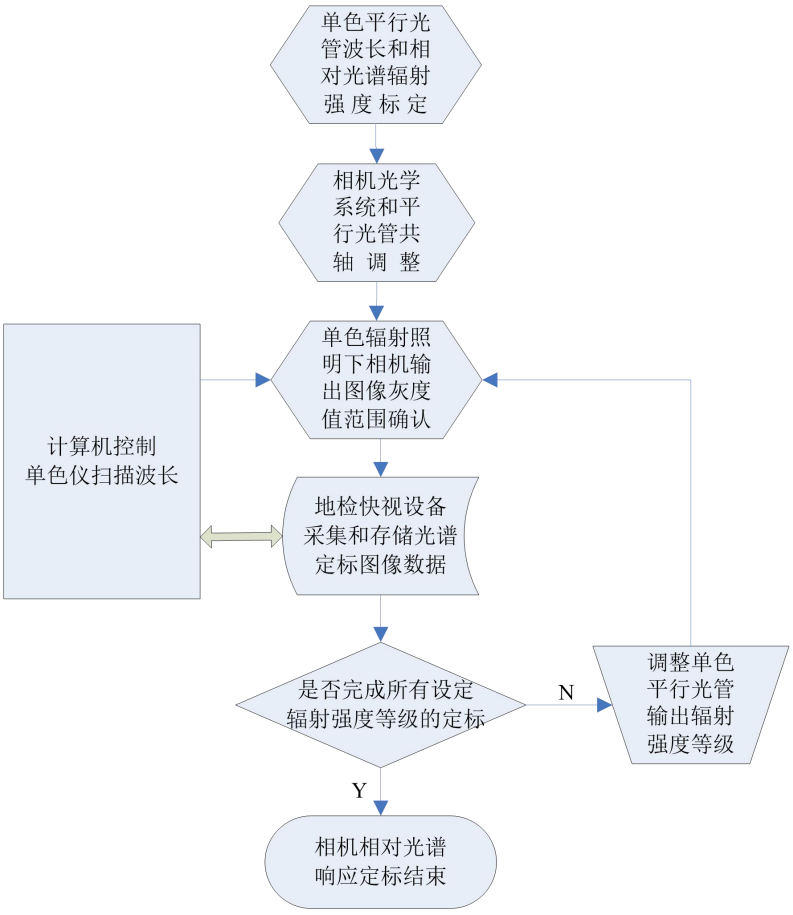



**图 4 相机相对光谱定标试验流程图**

6.1.4.2 将相机的光学系统对准单色平行光管出口并调整二者共轴，在白光下利用地检快视设备观察和确认单色仪出射狭缝像所压像元位置、数量以及狭缝像刃口轮廓是否清晰。

6.1.4.3 对光谱定标装置即单色平行光管进行焦面位置的调整和工作参数的设置（包括单色仪的光栅使用数量、光栅的切换位置、滤光片轮切换位置、扫描光谱范围、波长采样间隔等）。

6.1.4.4　单色平行光管通过光栅扫描来调整和选择输出光辐射的波长，该扫描动作是在计算机和软件的控制下自动实现的，为了提高光谱定标数据的采集效率，将地检快视设备的图像采集功能嵌入到单色仪波长扫描控制软件中，完成单色仪与地检快视设备的对接，实现闭环控制下的自动图像数据采集。

## 6.2　辐射定标

### 6.2.1　试验目的

辐射定标的目的如下：

a)　确保测量准确性，量化辐射量并消除系统误差，在遥感中准确测地物反射辐射；

b)　实现数据可比较性，便于不同相机及不同时间测量数据的比较与融合，与其他光谱仪进行数据比对；

c)　支持定量分析，用于目标特性反演及模型验证改进，为科学研究和实际应用提供有力支持。

### 6.2.2　测试装置

测试装置为积分球光源，是一种扩展的相对均匀辐射光源，采用积分球光源可以满足全口径和全视场照明的定标要求。积分球光源具有良好的均匀性和余弦特性，是空间光学遥感器理想的定标光源。但是积分球本身作为一种光源，其出光口所发出的绝对辐射量值是未知的，必须通过辐射量值标准的传递才能赋予其定量辐射测量的能力，目前通常的做法是利用国家计量部门定标过的光谱辐照度标准灯和标准漫反射白板来标定一个辐射计，而后以辐射计作为媒介将标准灯的辐射量值传递到积分球光源上，辐射量值标准的传递装置和过程如图 5 所示。

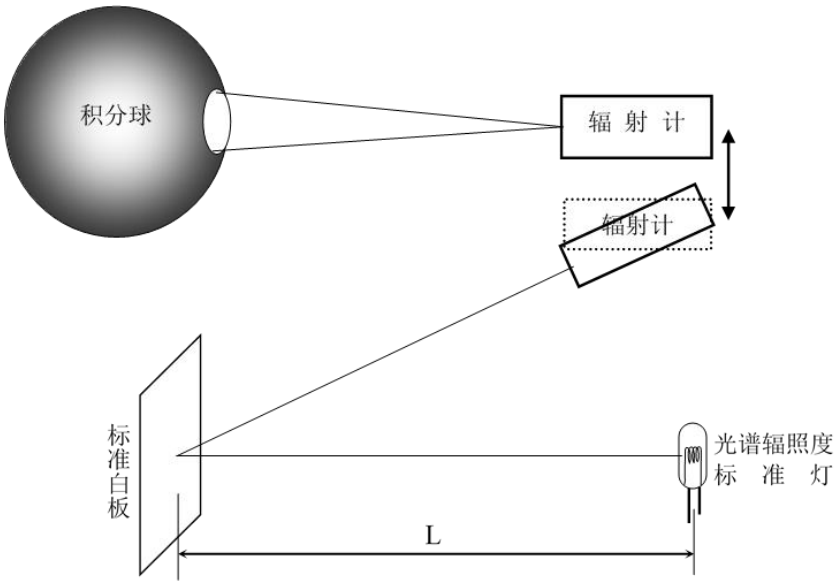



**图 5　积分球定标光源辐射量值标准传递示意图**

注：首先利用光谱辐照度标准灯和标准漫反射白板构成辐亮度标准来定标辐射计的响应度，然后用辐射计来标定积分球光源出光口输出辐射亮度，同时通过积分球内置监视探测器监视积分球内壁的照度，这样就可以在积分球输出辐射亮度和内置监视探测器之间建立起函数关系，实现量值标准的过渡。

### 6.2.3　试验方案

6.2.3.1　从辐射度学考虑，空间相机属于典型的亮度响应系统，即相机的输出与辐射量中的辐射亮度相关，如图 6 所示。因此，实验室辐射定标必须采用全孔径、全视场、端对端（光学辐射输入到最终信号输出）的辐射亮度定标方法。

6.2.3.2　全孔径充满：定标光源必须为扩展辐射源，要求辐射源的面积大于被定标相机入瞳面积，充满相机孔径角，其作用是对相机所有的光学元件照明，满足“毫无遗漏”的辐射标定要求。

6.2.3.3　视场充满：扩展辐射源的发散角大于相机视场，并且要求在各角度上的辐射亮度一致，即辐射强度呈余弦角度分布特性。

6.2.3.4　定标包含所有影响相机响应性能的元器件和部件在内的系统响应关系，即从相机第一光学镜的辐射输入开始到最终相机电信号输出结束全部成像过程。

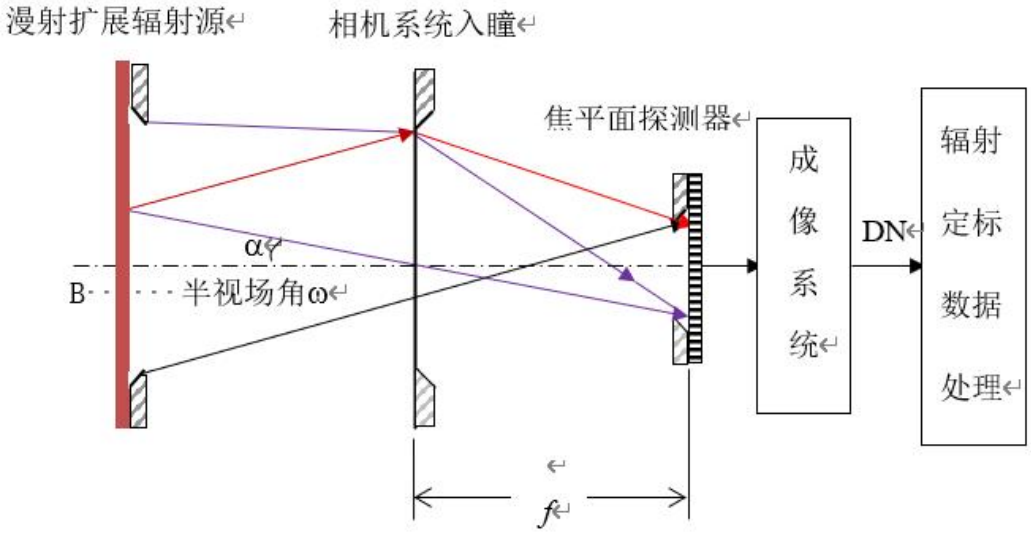



图 6　近距离扩展源定标方案示意图

6.2.4　试验流程

6.2.4.1　实验室辐射定标的具体工作内容包括如下几方面：

a）　在轨默认（典型）成像参数确认；
b）　相对辐射校正系数获取；
c）　相对辐射校正系数验证（可见）；
d）　相机图像灰度输出稳定性测试；
e）　响应非均匀性 PRNU 测试；
f）　响应线性度测试；
g）　绝对辐射定标系数测试；
h）　辐射响应与积分级数、增益（红外）和曝光时间的关系测试；
i）　模拟相机在轨最大、最小和典型入瞳辐射亮度进行信噪比测试；
j）　暗信号测试。

6.2.4.2　实验室辐射定标的工作流程图见图 7。

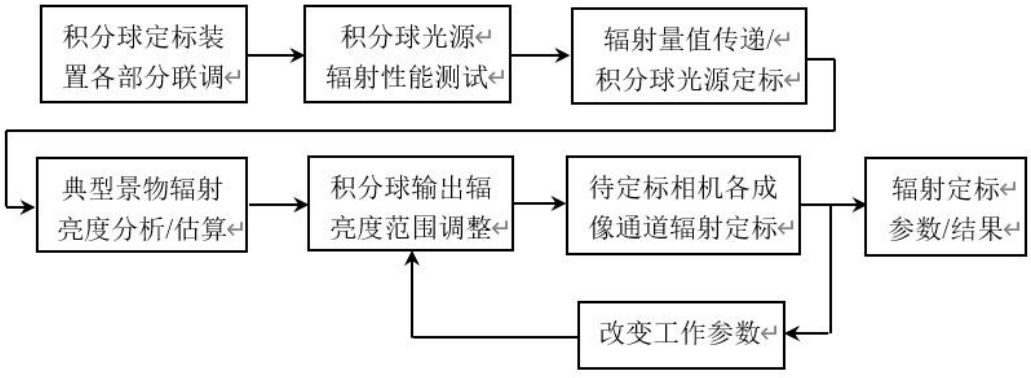



图 7　实验室辐射定标试验流程

6.3　几何定标

6.3.1　试验目的

确定高光谱相机各谱段的几何参数，包括主点、主距和畸变等，以确保相机获取的图像数据在几何上的准确性和一致性。

### 6.3.2 测试装置

6.3.2.1 二维旋转台：用于精确调整相机与靶标的相对位置和角度。

6.3.2.2 稳定的实验室环境：温度、湿度、光照等条件应保持相对稳定，以减少环境因素对定标结果的影响。

### 6.3.3 试验方案

基于精密测角法的内方位元素标定原理，内方位元素标定系统由精度为 2″ 的二维调整台、口径Φ200 mm焦距 4 m的平行光管、图像采集与数据处理系统组成。标定试验方案及光路组成如图 8 所示。

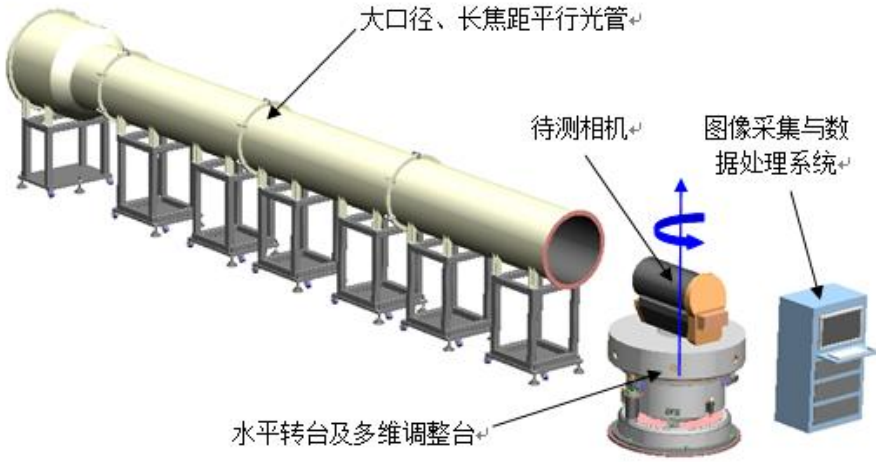
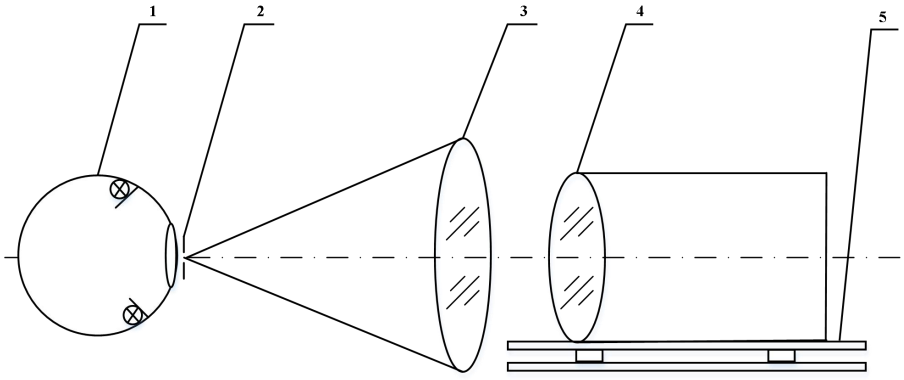



**图 8 内方位元素标定方案示意图**

注：标定过程中，将高光谱相机固定在多维调整台上，根据视场两侧标记点对称性，调整待测相机，使转台回转轴位于相机入瞳面内，并且光轴与光管光轴平行。水平转台自待测相机视场一侧等间隔回转扫描，并通过图像采集系统依次记录转台转角和目标像在高光谱相机焦面上的位置坐标。再通过数据处理系统综合解算上述测量数据及相机离轴角，即可完成高光谱相机一个弧失面内的内方位元素标定。

### 6.3.4 试验流程

6.3.4.1 测试系统由面光源、星点板、平行光管、相机、多维调整台和转台等组成，如图 9 所示。其中，面光源、星点板和平行光管用于模拟无穷远的星点目标；多维调整台用于测试光路的对准；转台用于测试视场的切换和视场角测量。




标引序号说明：

1——面光源；

2——星点板；

3——平行光管；

4——相机；
5——多维调整台和转台。

**图 9　畸变测试系统组成**

6.3.4.2　具体测试步骤如下：

a）　按照图 9 所示搭建测试光路，将相机固定在多维调整台和转台上，调整相机的光轴与转台的转轴垂直，相机的入瞳位置与转轴重合，相机光轴与平行光管光轴平行，相机口径位于平行光管口径之内，相机探测器像元沿水平或竖直方向排列；

b）　使用相机某一探测器通道采集星点图像，测量星点弥散斑质心所在的像元坐标位置，将该位置确定为测试原点，此处的测试视场角设置为(0,0)，像元坐标设置为(0,0)；

c）　沿水平方向调整相机与平行光管的相对角度关系，记录转台转角，并测量相应视场角度下星点弥散斑质心所在的像元坐标；

d）　调整相机与平行光管的相对角度关系，重新回到测试原点；

e）　沿竖直方向调整相机与平行光管的相对角度关系，记录转台转角，并测量相应视场角度下星点弥散斑质心所在的像元坐标；

f）　重复上述测试步骤三次；

g）　切换至相机其他探测器通道，重复上述测试步骤。

## 7　试验结果评定

### 7.1　光谱定标

验证是否按照试验步骤完成窗口定位确认、谱段光谱特性参量确定、谱段带外响应评估等实验，进而检查实验结果是否记录完整，最后按照实验指标评价是否达到要求。

### 7.2　辐射定标

验证是否按照试验步骤完成在轨默认（典型）成像参数确认、相对辐射校正系数获取、相对辐射校正系数验证、图像灰度输出稳定性测试、响应非均匀性PRNU测试、响应线性度测试、绝对辐射定标系数测试、辐射响应与积分级数的关系测试、辐射响应与增益的关系测试、辐射响应与曝光时间的关系测试、信噪比测试、暗电流测试实验，进而检查实验结果是否记录完整，最后按照实验具体指标评价是否达到要求。

### 7.3　几何定标

验证是否按照试验步骤完成畸变测试、主点测试、主距测试等实验，进而检查实验结果是否记录完整，最后按照实验指标评价是否达到要求。

## 8　试验报告规范

### 8.1　概述

描述报告的试验内容及相关结果概述。

### 8.2　引用文件

参考的测试标准、规范等内容。

### 8.3　测试环境

包含参试设备内容、测试环境检查及技安检查，并形成技安检查记录表。

### 8.4　定标项目

划定定标项目包含光谱定标、辐射定标、几何定标三部分，明确阐述三个定标的试验范围；光谱定标参照试验过程，依次阐述窗口定位确认、谱段光谱特性参量确定、谱段带外响应评估的测试原则；辐射定标试验包含在轨默认（典型）成像参数确认、相对辐射校正系数获取、相对辐射校正系数验证、图

像灰度输出稳定性测试、响应非均匀性PRNU测试、响应线性度测试、绝对辐射定标系数测试、辐射响应与积分级数的关系测试、辐射响应与增益的关系测试、辐射响应与曝光时间的关系测试、信噪比测试、暗电流测试等内容；几何定标试验过程包含畸变测试、主点测试、主距测试等内容。

### 8.5 光谱定标

依据光谱定标试验方法，形成谱段在探测器图像的开窗行号表、光谱定标各谱段波长信息测试步骤表、谱段相带外响应表等，如实记录试验结果，并通过约定的试验次数均值/中位数确定最后计算指标。

### 8.6 辐射定标

依据辐射定标试验方法和数据分析，形成在轨默认（典型）成像参数确认表、在轨默认参数配置表、相对辐射校正系数获取结果表、各谱段图像灰度输出稳定性测试步骤表、响应非均匀性PRNU测试结果表、不同工况参数情况表、各谱段辐射响应与瞳辐亮度的关系测试步骤表、各谱段辐射响应与积分级数关系测试步骤表、各谱段辐射响应与曝光时间的关系测试步骤表、各谱段暗信号测试步骤表、各谱段信噪比测试结果表等记录试验的结果的内容。

### 8.7 几何定标

依据几何定标试验方法，形成内方位元素和畸变标定记录表，记录绝对畸变、相对畸变以及主点位置和主距信息。

### 8.8 试验指标

通过试验记录数据，列出指标计算公式，并通过图表的形式说明是否达到试验要求的指标，并给出分析结果。

### 8.9 附录

试验过程的其他辅助试验结果记录表。