

ICS 07.060

CCS A 45

T/CSOE

中国光学工程学会团体标准

T/CSOE 0005—2025

水下相机光学系统像质测试方法

Measurement methods for image quality of underwater camera optical system

（报批稿）

（本草案完成时间：2025.4.2）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国光学工程学会 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 测试原理 1

5 测试条件 2

6 测试设备 2

7 测试方法 2

8 数据处理 3

9 测试报告 4

附录 A（资料性） 水下相机光学系统像质测试报告记录 5

参考文献 6

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。

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。

本文件由中国光学工程学会提出并归口。

本文件起草单位：中国电信股份有限公司人工智能研究院（上海）、中国科学院西安光学精密机械研究所、西北工业大学、自然资源部北海海洋技术中心、中国海洋大学、中国科学院半导体研究所、中国科学院深海科学与工程研究所、上海恒生浩盛海洋科技有限公司、南京理工大学、西安中科立德红外科技有限公司。

本文件主要起草人：李学龙、吴国俊、孙哲、杨敏、郭金家、封斐、王新伟、孙科林、黄胤卿、史容娜、叶旺全、何忠江、陈银、杨景川、袁媛、王震、孙亮、王瀚宇、王根祥、隋修宝、姚哲毅、刘伟、陈继铭。

水下相机光学系统像质测试方法

1 范围

本文件规定了水下相机光学系统像质测试的测试原理、测试条件、测试设备、测试方法、数据处理和测试报告。

本文件适用于光学系统具有旋转对称设计的水下相机光学系统的分辨率和畸变测试。

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 10557 摄影 感光度测定用光源 日光、白炽钨丝灯和印相灯
- GB 13200 水质 浊度的测定
- GB/T 19953 数码相机 分辨率的测量
- GB/T 27667 光学系统像质评价 畸变的测定
- JB/T 7399 平行光管
- JB/T 9328 分辨力板

3 术语和定义

GB/T 19953、GB/T 27667、JB/T 7399界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下相机 *underwater camera*

在水下环境中拍摄照片或录制视频的相机。

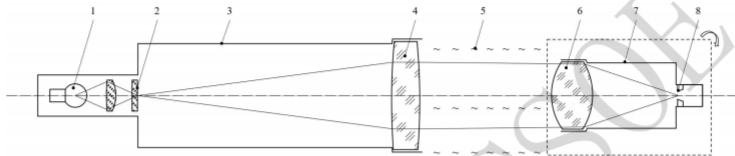
3.2

水下专用平行光管 *underwater specialized collimator*

工作在水下环境中的平行光管。

4 测试原理

如图 1 所示，均匀照明的水下专用平行光管物镜焦面处放置分划板，由平行光管光源发出的光束经过水下专用平行光管内部物镜、水体及待测水下相机光学系统后成像至相机靶面，移动水下专用平行光管内部分化板的位置，模拟无限远和特定物距等不同物距条件。通过旋转水下云台调整拍摄视场，由水下相机拍摄不同视场分化板图案，并对图案数据进行分析，实现水下相机光学系统分辨率、畸变的测试。



标引序号说明：

- 1——光源；
- 2——分划板；
- 3——水下专用平行光管；
- 4——水下专用平行光管物镜；
- 5——水体；
- 6——待测水下相机光学系统；
- 7——待测水下相机；
- 8——相机靶面。

注：图中虚线表示待测水下相机置于水下云台上，可随水下云台旋转。

图 1 测试装置示意图

5 测试条件

水下相机光学系统像质测试应满足下列条件：

- a) 试验应在光学暗室中进行，且暗室应该满足环境光照度不大于 1 lx。
- b) 试验应避免水体散射对水下相机光学系统像质测试的影响，水体衰减系数不应大于 $0.05 \text{ m}^{-1}@550 \text{ nm}$ ，水质参数测量方法按照 GB 13200 相关规定执行。

6 测试设备

6.1 测试设备应由测试水池、水下专用平行光管、水下云台、显示器和主机组成。

6.2 测试水池：长度应大于水下专用平行光管长度、水下专用平行光管工作距离和待测水下相机长度之和，宽度应大于待测水下相机长度的 2 倍。

6.3 水下专用平行光管：应在检定或校准周期内，符合 JB/T 7399 中对像质、照明等的规定，并应符合下列规定：

- a) 焦距应为待测水下相机光学系统焦距的 2 倍~5 倍。水下相机检测，应采用 GB/T 10557 规定的日光型光源或白炽灯作为水下专用平行光管光源；
- b) 对特殊波段设计的单波长水下相机检测，采用相应波长的激光作为水下专用平行光管光源；
- c) 水下专用平行光管内部光源发出的光经毛玻璃匀光后，对于不同分划板的照明应保证任一部位的照度均匀，不得超出分划板中心区平均照度的 $\pm 10\%$ ，亮度应能使待测水下相机具有足够的输出电平；
- d) 水下专用平行光管内部部分划板应包含分辨率板和星点板，应通过手动/电动平移台精确调节分划板的轴向位置，根据水下专用平行光管光学参数可明确分划板不同轴向位置对应的模拟物距，满足待测水下相机不同物距下的像质检测。

6.4 水下云台：可在水下环境搭载待测相机实现一维的高精度角度调节，由主机控制并实时输出当前角度。

6.5 显示器：应实时显示待测水下相机所采集的图像。

6.6 主机：应与待测水下相机和水下云台互连，支持相机参数设置、图像数据接收、云台控制、状态显示与图像处理。

7 测试方法

7.1 分辨率

分辨率测试应按下列步骤执行：

- a) 测试前应先检查水下专用平行光管及水下相机的密封性，并将待测水下相机按初始设定状态试验，当无初始设定时按常用参数设置。变焦距光学系统应分别在短焦端和长焦端试验。曝光参数和调焦方式等不作限定；
- b) 将水下专用平行光管内部的分划板切换为分辨率板，根据待测水下相机的设计物距，移动分辨率板，移动距离为 d ，利用水下相机光学系统设计波段范围内的光源均匀照明；
- c) 将待测水下相机安装在水下云台上，与主机、显示器连接后放置于水下。水下相机入瞳放置于水下专用平行光管出瞳处，调整水下相机和水下平行光管位置，使平行光管光轴与水下相机视场光轴重合，具体布置方式按照图 1；
- d) 调整待测水下相机的位置使得分辨率板成像于视场中央，调整水下相机拍摄的曝光参数，待图像稳定后保存；
- e) 转动水下云台方位角，使平行光管内部分辨率板成像于水下相机靶面不同位置，分别保存图像。

7.2 畸变

畸变测试应按下列步骤执行：

- a) 按照 7.1 a) ~ d) 规定的测试步骤进行，并应将水下专用平行光管内部的分划板切换为星点板；

- b) 标记星点像位于图像中心像素时水下云台角度为初始角度；旋转水下云台至不同角度，拍摄星点图像并记录此时星点像的像素坐标 (x_p, y_p) 和水下云台相对于初始角度的旋转角度 ω_p 。

8 数据处理

8.1 分辨率

分辨率判读及检索应按JB/T 9328的规定执行，无特殊要求时，默认子午方向和弧矢方向均能分辨时的最小线条宽度作为物方分辨率读取值。像方分辨率计算方法如下：

- a) 当物距为有限远时，按式（1）计算待测水下相机像方分辨率：

$$R_{ima} = \left| \frac{500}{\beta_0 \cdot \beta} \right| \cdot R_{obj} \quad (1)$$

式中：

R_{ima} —— 像方分辨率，单位为线对每毫米（lp/mm）；

R_{obj} —— 物方分辨率，单位为微米（ μm ）；

β_0 —— 水下专用平行光管垂轴放大率；

β —— 待测水下相机垂轴放大率。

$$\beta_0 = \frac{L - WD}{f_0 + d} \quad (2)$$

式中：

L —— 待测水下相机物距，取负值，单位为毫米（mm）；

WD —— 水下专用平行光管工作距离，取负值，单位为毫米（mm）；

f_0 —— 水下专用平行光管物镜焦距，取负值，单位为毫米（mm）；

d —— 水下专用平行光管内部分划板移动距离，按图 1 中布置，向右为正，单位为毫米（mm）。

$$d = \frac{-n_1 f_0^2}{n_1 f_0 + L - WD} \quad (3)$$

式中：

n_1 —— 水体折射率。

- b) 当物距为无限远时，按式（4）计算待测水下相机像方分辨率：

$$R_{ima} = \left| \frac{500 f_0}{f} \right| \cdot R_{obj} \quad (4)$$

式中：

f —— 待测水下相机焦距，取正值，单位为毫米（mm）。

8.2 畸变

在不指定绝对畸变和相对畸变的情况下，畸变一般指相对畸变。按式（5）计算待测水下相机畸变：

$$M = \frac{p \sqrt{x_p^2 + y_p^2} - f \tan \omega_p}{f \tan \omega_p} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

M —— 畸变;

x_p —— 相对于图像中心的横向像素坐标;

y_p —— 相对于图像中心的纵向像素坐标;

p —— 像元尺寸, 单位为毫米 (mm);

ω_p —— 水下云台相对于初始角度的旋转角度, 单位为度 ($^{\circ}$)。

9 测试报告

测试报告应包含下列内容:

a) 测试基本信息, 应包括下列内容:

- 1) 水下相机编号;
- 2) 测试时间;
- 3) 测试地点;
- 4) 环境温度;
- 5) 测试水深;
- 6) 衰减系数;

b) 测试结果, 应包括下列内容:

- 1) 分辨率;
- 2) 畸变;

c) 测试报告记录表格式见附录 A。

附录 A
(资料性)

水下相机光学系统像质测试报告记录

水下相机光学系统像质测试报告记录见表A.1。

表 A. 1 水下相机光学系统像质测试报告记录

测试项目：日期： 年 月 日第 页 共 页

相机编号		水体衰减系数	第一次：
测试地点			第二次：
环境温度			第三次：
测试水深			平均：
分辨率			
畸变			

测试者 校对者 审核者

参 考 文 献

- [1] GB/T 10050-2009 光学和光学仪器 参考波长
 - [2] GB/T 10987-2009 光学系统 参数的测定
 - [3] GB/T 11168-2009 光学系统像质测试方法
 - [4] GB/T 12763.5-2007 海洋调查规范 第5部分：海洋声、光要素调查
 - [5] GB/T 32525-2016 光电跟踪测量设备通用规范
 - [6] GB/T 43531-2023 多目拼接全景成像设备光学性能测试方法
 - [7] JB/T 7473-2014 照相镜头 分辨率测试图
 - [8] JB/T 8248.6-1999 照相镜头照相分辨率测定方法
 - [9] 李学龙.涉水视觉[J].电子学报,2024,52(4):1041-1082
 - [10] 李学龙.涉水光学[M].科学出版社, 2025. ISBN: 978-7-03-080968-1
 - [11] 李学龙.涉水光学[J].中国科学:信息科学,2024,54(2):227-280
-