
ICS 07.060

CCS A 45

团 体 标 准

T/CSOE XXXX-2024

水下可见光相机成像质量测量方法

Measurement methods for image quality of underwater visible-light cameras

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国光学工程学会 发布

目次

前 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 测试原理	2
5 测试条件	2
6 测试设备	2
7 测试方法	3
7.1 测试前准备	3
7.2 分辨率	3
7.3 视场角	4
7.4 畸变	4
8 数据处理	4
8.1 判读	4
8.2 计算	4
9 测试报告	6
附录 A	7
附录 B	8
参考文献	9

前 言

本标准按照 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。

本标准由中国光学工程学会提出。

本标准由中国光学工程学会归口。

本标准起草单位：中国科学院西安光学精密机械研究所、中国电信股份有限公司人工智能研究院（上海）、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。

本标准主要起草人：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。

本标准于 202X 年 X 月首次发布。

水下可见光相机成像质量测试

1 范围

本文件规定了水下可见光相机成像分辨率、视场角、畸变的测试原理、测试条件、测试方法、测试报告等内容。

本标准适用于光谱范围在 380 nm~780 nm 内，且具有旋转对称特性的光学系统。

本标准适用于水下可见光相机成像质量的实验室测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过对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 19953-2005 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

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水下可见光相机 underwater visible-light camera

水下可见光相机是指设计用于在水下环境中拍摄照片或录制视频的相机。这类相机通常具有防水功能，能够在一定的水深下正常工作，一般由窗口（包含半球罩窗口、平面窗口）、成像物镜、感光元件、耐压防水外壳、水密接插件等构成。

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，设计时考虑了水介质折射率的影响，可模拟水中有限远和无限远的物方目标，具有一定的防水和耐压性能。

3.3

分辨率 resolution

表示水下可见光相机分辨图像细节能力的度量。

注：改写 GB/T 19553-2005，定义 3.1。

3.4

畸变 distortion

水下目标成像中横向放大率随视场的增大而变化所引起的一种失去物像相似的一种像差。在不

指定为绝对畸变和相对畸变的情况下，畸变一般指相对畸变，即被观测像点到理想像点之间的径向距离相对于理想像高的百分比。

注：改写 GB/T 27667-2011，定义 2.1、定义 2.3、定义 2.4。

3.5

视场角 pupil field angle

边缘物点或像点的主光线与光轴夹角的两倍，在不指定物方或者像方的情况下，视场角一般代表物方视场角。

注：改写 GB/T 27667-2011，定义 2.7、定义 2.8。

4 测试原理

采用水下专用平行光管测试，通过移动水下专用平行光管内部分划板，可模拟无限远至一定物距的范围。作为检验基准目标的分划板，通过水下专用平行光管内部物镜及待测相机物镜，成像至相机靶面，观察分析相机拍摄的分划板图案。

分辨率的检测可直接通过分析分划板图案获得；视场角和畸变的检测应在上述操作基础上结合水下云台实施，通过云台测量水下可见光相机能拍摄到的物空间边缘对入瞳中心的张角，并利用相机焦距和像素坐标计算获得。

5 测试条件

试验应避免环境杂散光对水下可见光相机成像质量测试的影响。

测试水池中水质应保持良好的，水体衰减系数 $\leq 0.35\text{m}^{-1}$ ，降低因水质造成的测试数据偏差。

6 测试设备

如图 1 所示为测量装置示意图。测试设备包括：测试水池（水槽）、水下专用平行光管、水下云台、显示器、主机。

a) 测试水池（水槽）：长度应大于水下专用平行光管和水下可见光相机的长度之和，宽度应大于水下云台搭载待测相机旋转运动所产生的包络宽度。

b) 水下专用平行光管：应满足 JB/T 7399-1994《平行光管》中对像质、照明等的技术要求，焦距为被测物镜焦距的 2 倍~5 倍。针对可见光波段成像的水下可见光相机检测，采用 ISO 7589 规定的日光型光源或白炽灯作为水下专用平行光管光源；针对特殊波段设计的单波长水下可见光相机检测，采用相应波长的激光作为水下专用平行光管光源。光源发出的光经毛玻璃匀光后，其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 $\pm 10\%$ ，其亮度应能使待测水下可见光相机具有足够的输出电平。所配备的分划板应包含鉴别率板和星点板，能够通过手动/电动平移台精确调节分划板的轴向位置，根据焦距等光学设计可明确分划板不同轴向位置所对应的模拟物距，满足待测水下可见光相机不同物距下的成像质量检测。

c) 水下云台：可在水下环境搭载待测可见光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。

- d) 显示器：实时显示待测可见光相机所采集的图像。
- e) 主机：与待测水下可见光相机和水下云台进行互连，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。

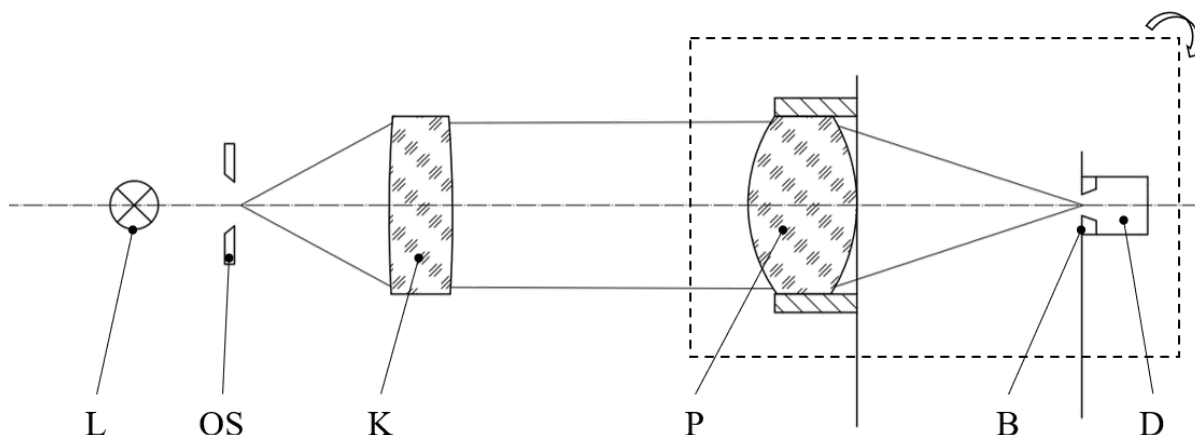


图 1 测试装置示意图

说明：图中虚线表示待测相机置于水下云台上，可随水下云台进行旋转；

- L——光源；
- OS——分划板；
- K——平行光管；
- P——待测相机镜头；
- B——像面；
- D——相机。

7 测试方法

7.1 测试前准备

测试前应确保水下专用平行光管在检定周期内，反之则应按 JB/T 7399-94 相关规定对水下专用平行光管进行检定或校准。

测试前检查所有水下设备的密封性。

测试前将待测水下可见光相机按其初始设定状态进行试验，当无初始设定时则按常用参数来设置。变焦距镜头应分别在短焦端和长焦端进行试验。曝光参数和调焦方式等不作限定。

测试前，根据测试内容，将水下专用平行光管内部的分划板切换为鉴别率板或星点板。

7.2 分辨率

a) 根据待测水下可见光相机的设计物距，将鉴别率板调节至对应位置，利用相机镜头设计波段范围内的光源进行均匀照明；

b) 将待测水下可见光相机安装在水下云台上，将其与主机、显示器连接后放置于水下。将水下可见光相机放置于水下专用平行光管工作距离处，即水下可见光相机入瞳放置于水下专用平行光管出瞳处，调整水下可见光相机和水下平行光管位置，使平行光管光轴与水下可见光相机视场光轴大致重合；

c) 调整待测水下可见光相机的位置使得鉴别率板成像于视场中央，调整水下可见光相机拍摄

的曝光参数，待图像稳定后保存；

d) 转动水下云台方位角，使平行光管鉴别率板成像于相机不同靶面位置，分别保存图像。

7.3 视场角

视场角测试步骤 a)~c) 参照 7.2，将鉴别率板切换为星点板。

d) 标记星点像位于图像中心像素时转台角度为初始角度。转动水下云台方位角，使星点成像于相机靶面水平方向的两个边缘，分别保存图像，读取转台角度值 α_1 和 α_2 ；

e) 同理，将相机沿光轴旋转 90 度安装在水下云台上，转动云台方位角使鉴别率板成像于相机靶面垂直方向的两个边缘，分别保存图像，读取转台角度值 β_1 和 β_2 。

7.4 畸变

畸变测试步骤 a)~c) 参照 7.2，将鉴别率板切换为星点板，步骤 d) 按以下内容执行：

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

8 数据处理

8.1 判读

拍摄的分划板图像采用监视器显示进行视觉评价。为了尽量减少视觉评价的误差，判读时应遵循下列原则：

——监视器显示放大率不作规定；

——鉴别率板图像应从低空间频率向高空间频率的方向依次观察，记录能够分辨出的最小栅格所对应的截止空间频率作为视觉分辨率的读取值。

8.2 计算

8.2.1 分辨率

物方分辨率按附录 A 分辨率测试图及其线对数检索表进行检索。

当物距为有限远时，像方分辨率利用下式计算：

$$R_{ima} = \beta_0 \cdot \beta \cdot R_{obj} \quad (1)$$

式中：

R_{ima} —— 像方分辨率；

R_{obj} —— 物方分辨率；

β_0 —— 水下专用平行光管垂轴放大率；

β —— 待测相机垂轴放大率；

其中：

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

$$\beta = \frac{L}{L'} \quad (3)$$

L —— 待测相机物距；

L' —— 待测相机像距；

WD —— 水下专用平行光管工作距离；

f_0 —— 水下专用平行光管物镜焦距；

d —— 水下专用平行光管内部分划板移动距离。

当物距为无限远时，像方分辨率利用下式计算：

$$R_{ima} = \frac{f}{f_0} R_{obj} \quad (4)$$

式中：

f —— 待测水下可见光相机焦距；

8.2.2 视场角

被测水下相机水平视场角按照如下公式计算：

$$\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2| \quad (5)$$

式中：

α —— 摄像系统水平方向视场角；

α_1 、 α_2 —— 摄像系统水平方向边缘视场对应转台角度值。

被测水下相机垂直的视场角按照如下公式计算：

$$\beta = |\beta_1 - \beta_2| \quad (6)$$

式中：

β —— 摄像系统垂直方向视场角；

β_1 、 β_2 —— 摄像系统垂直方向边缘视场对应转台角度值。

8.2.3 畸变

水下可见光相机畸变计算方法为：

$$M = \frac{p\sqrt{x_p^2 + y_p^2} - f \tan \omega_p}{f \tan \omega_p} \times 100\% \quad (7)$$

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 —— 像元大小；

ω_p —— 测试点视场角（由云台读出）。

9 测试报告

测试报告至少应包含以下内容：

a) 测试基本信息，包括但不限于：

1) 测试时间；

2) 测试地点；

b) 测试结果，包括：

1) 分辨率；

2) 水平视场角；

3) 垂直视场角；

4) 畸变；

测试报告记录表格式见附录 B。

附录 A

(规范性)

表 A.1 USAF 1951 分辨率测试图线对数检索表

元素	lp/mm um	组编号									
		-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	线对	0.250	0.500	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	32.0	64.0	128.0
	线宽	2000.00	1000.00	500.00	250.00	125.00	62.50	31.25	15.63	7.81	3.91
2	线对	0.280	0.561	1.12	2.24	4.49	8.98	17.95	36.0	71.8	144.0
	线宽	1785.71	891.27	446.43	223.21	111.36	55.68	27.86	13.89	6.96	3.47
3	线对	0.315	0.630	1.26	2.52	5.04	10.10	20.16	40.3	80.6	161.0
	线宽	1587.30	793.65	396.83	198.41	99.21	49.50	24.80	12.41	6.20	3.11
4	线对	0.353	0.707	1.41	2.83	5.66	11.30	22.62	45.3	90.5	181.0
	线宽	1416.43	707.21	354.61	176.68	88.34	44.25	22.10	11.04	5.52	2.76
5	线对	0.397	0.793	1.59	3.17	6.35	12.70	25.39	50.8	102.0	203.0
	线宽	1259.45	630.52	314.47	157.73	78.74	39.37	19.69	9.84	4.90	2.46
6	线对	0.445	0.891	1.78	3.56	7.13	14.30	28.50	57.0	114.0	228.0
	线宽	1123.60	561.17	280.90	140.45	70.13	34.97	17.54	8.77	4.39	2.19

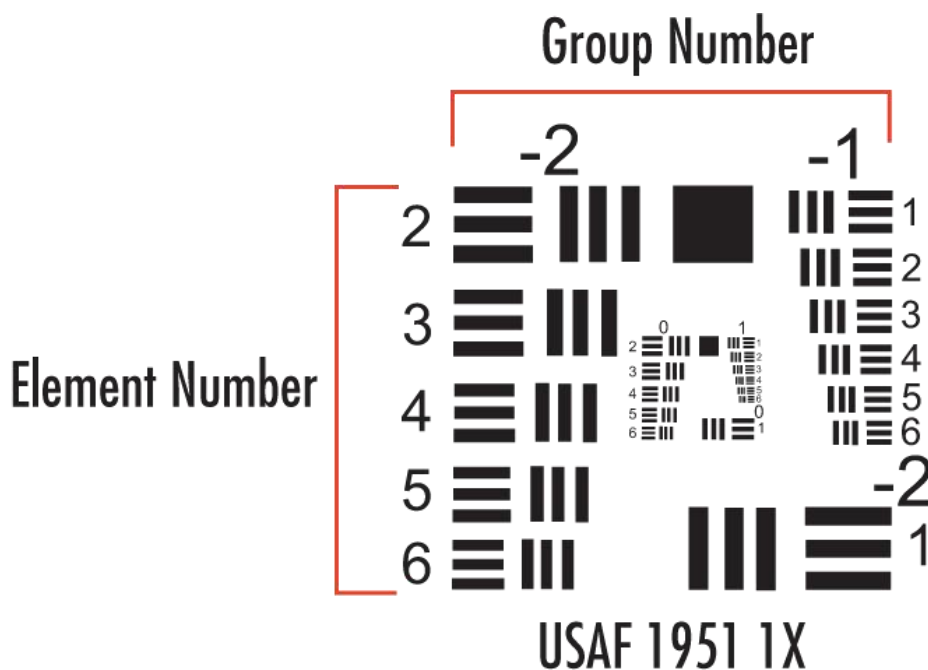


图 A1 USAF 1951 分辨率测试图

附录 B

(资料性)

表 B1 水下可见光相机成像质量测试报告记录表

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			
视场角	水平视场角		
	垂直视场角		
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
-