

一种用于CCD调制传递函数测试的设备及其测试方法

申请号：[201210194672.1](#)

申请日：2012-06-13

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)
地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)
发明(设计)人 [孙景旭](#) [任建伟](#) [万志](#) [刘则洵](#) [李葆勇](#) [李宪圣](#) [李豫东](#)
主分类号 [G01M11/02\(2006.01\)I](#)
分类号 [G01M11/02\(2006.01\)I](#)
公开(公告)号 [102735429A](#)
公开(公告)日 [2012-10-17](#)
专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)
代理人 [田春梅](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102735429 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 20

(21) 申请号 201210194672. 1

(22) 申请日 2012. 06. 13

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 孙景旭 任建伟 万志 刘则洵
李葆勇 李宪圣 李豫东

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 田春梅

(51) Int. Cl.

G01M 11/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202268983 U, 2012. 06. 06, 全文.

CN 101813558 A, 2010. 08. 25, 全文.

CN 101354307 A, 2009. 01. 28, 全文.

CN 1963430 A, 2007. 05. 16, 全文.

JP 特开 2004-101213 A, 2004. 04. 02, 全文.

JP 特开平 9-243514 A, 1997. 09. 19, 全文.

公发全. CCD 光学调制传递函数及检测方法研究. 《中国科学院研究生院硕士学位论文》. 2002, 全文.

万春明, 佟首峰. CCD 相机调制传递函数的测试原理分析. 《半导体光电》. 2002, 第 23 卷 (第 1 期), 全文.

审查员 向德

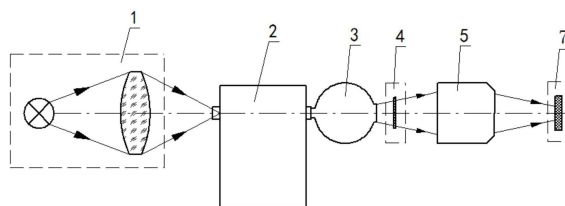
权利要求书1页 说明书5页 附图8页

(54) 发明名称

一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备及其测试方法

(57) 摘要

一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备及其测试方法涉及 CCD 成像质量检测领域, 该设备包括卤素灯光源室、单色仪、积分球装置、分划板部、大数值孔径显微物镜装置、CCD 三维调整架和待测 CCD。本发明利用单色仪与积分球输出均匀的单色光, 并经过大数值孔径显微物镜成像, 将特定空间频率的分划板成像到 CCD 成像电子学系统的光敏面上, 根据图像采集得到的黑白条纹的数码值进而计算出 CCD 调制传递函数。本发明使用白光及各谱段单色光对 CCD 调制传递函数进行评价, 能够对不同景物通过 CCD 后的成像质量进行全面分析评价; 利用步进电机对分划板及 CCD 进行多维调节, 减轻了 CCD 调制传递函数测试的工作量; 结构紧凑, 操作方便简单。



1. 一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备, 包括卤素灯光源室(1)、单色仪(2)、积分球装置(3)、分划板部(4)、大数值孔径显微物镜装置(5)、CCD 三维调整架(6)和待测 CCD (7); 其特征在于, 卤素灯光源室(1) 通过过渡板用螺钉与单色仪(2) 连接, 单色仪(2) 通过过渡筒与积分球装置(3) 连接; 分划板部(4) 安放在积分球装置(3) 的后面, 且分划板部(4) 中的分划板(4-2) 的中心正对积分球装置(3) 中积分球(3-2) 的球心; 大数值孔径显微物镜装置(5) 中的大数值孔径显微物镜(5-3) 安放在距离分划板(4-2) 50mm 处, 且分划板(4-2) 的中心在大数值孔径显微物镜(5-3) 的光轴上; 通过调整 CCD 三维调整架(6) 使得待测 CCD (7) 的光敏面位于大数值孔径显微物镜(5-3) 的焦点位置。

2. 基于权利要求 1 所述用于 CCD 调制传递函数测试的设备的测试方法, 其特征在于, 该方法包括如下步骤:

步骤一、卤素灯光源室(1) 中卤钨灯光源(1-1) 发出的光照入单色仪(2) 的入射狭缝, 经过单色仪(2) 的光栅分光后, 由单色仪(2) 的出射狭缝发出白光或窄波段范围的单色光;

步骤二、由步骤一得到的白光或单色光经过积分球入口射入积分球(3-1), 经积分球(3-2) 进行漫反射后, 由积分球(3-2) 的出口发出均匀的白光或均匀的单色光;

步骤三、由步骤二得到的均匀的单色光照明分划板(4-2), 透过分划板(4-2) 后的光, 经过分划板(4-2) 后面的大数值孔径显微物镜(5-3) 将分划板(4-2) 成像到待测 CCD (7) 的光敏面上;

步骤四、根据待测 CCD (7) 采集到的分划板(4-2) 的图像, 利用下面的 CCD 调制传递函数公式, 计算得到 CCD 调制传递函数; CCD 调制传递函数 MTF 公式如下:

$$MTF = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max} + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min}};$$

$$\bar{V}_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max}; \bar{V}_{\min} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min};$$

其中, n 为 CCD 极大值输出像元个数, m 为 CCD 极小值输出像元个数; $\bar{V}_{\max}$ 为输出信号中的空间的极大值输出的平均值, $\bar{V}_{\min}$ 为输出信号中的空间的极小值输出的平均值。

3. 如权利要求 2 所述的测试方法, 其特征在于, 步骤一所述的窄波段范围的单色光是光谱带宽为经过滤光片所得光谱带宽的几分之一至几十分之一的单色光。

4. 如权利要求 2 所述的测试方法, 其特征在于, 所述大数值孔径显微物镜(5-3) 为数值孔径为 1.0~1.4 的显微物镜。

一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备及其测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及 CCD 成像质量检测领域,具体涉及一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备及其测试方法。

背景技术

[0002] 作为 CCD 相机的重要组成部分,CCD 器件质量的好坏直接影响整个 CCD 相机成像质量的好坏。人们一般应用 MTF 来评价 CCD 器件自身的成像质量,这样不仅有利于评价 CCD 器件自身,而且有利于评价 CCD 相机整体的光学成像质量。对于地面上千差万别的不同景物来说,应用光谱分析的手段对 CCD 成像进行评价更能反映现实景物,研究 CCD 器件的光学调制传递函数 MTF 的测试方法具有重要的现实意义。

[0003] 与本发明最为接近的已有技术是公发全 2002 年公开的中国科学院研究生院硕士学位论文《CCD 光学调制传递函数及检测方法研究》中的 39 页中提到的显微物镜投影法测量 TDICCD 的调制传递函数。该测量方法中使用的仪器包括光源、聚光镜、滤光片、毛玻璃、分辨率板、半反半透板、分光棱镜、CCD 摄像机、目镜、显微物镜、X 向导轨、Y 向导轨、工作台、激光干涉仪、微机、CCD 驱动器。

[0004] 由于该方法中应用的滤光片只具有一定波段范围且谱段范围较大,无法得到各谱段单色光,使得对于 CCD 调制传递函数测试中,只应用白光或者个别谱段单色光对 CCD 调制传递函数进行评价是不客观的,且该方法中得到的谱段范围较大的单色光,对现实世界中千差万别的不同景物通过该 CCD 后的成像质量无法全面分析评价。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术的缺陷,本发明的目的是提供一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备及其测试方法,其能够应用白光及各谱段的单色光对 CCD 调制传递函数进行客观评价。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0007] 一种用于 CCD 调制传递函数测试的设备,包括卤素灯光源室、单色仪、积分球装置、分划板部、大数值孔径显微物镜装置、CCD 三维调整架和待测 CCD;其特征在于,卤素灯光源室通过过渡板用螺钉与单色仪连接,单色仪通过过渡筒与积分球装置连接;分划板部安放在积分球装置的后面,且分划板部中的分划板的中心正对积分球装置中积分球的球心;大数值孔径显微物镜装置中的大数值孔径显微物镜安放在距离分划板 50mm 处,且分划板的中心在大数值孔径显微物镜的光轴上;通过调整 CCD 三维调整架使得待测 CCD 的光敏面位于大数值孔径显微物镜的焦点位置。

[0008] 基于上述用于 CCD 调制传递函数测试的设备的测试方法,包括如下步骤:

[0009] 步骤一、卤素灯光源室中卤钨灯光源发出的光照入单色仪的入射狭缝,经过单色仪的光栅分光后,由单色仪的出射狭缝发出白光或光谱带宽为经过滤光片所得光谱带宽的几分之一至几十分之一的单色光;

[0010] 步骤二、由步骤一得到的白光或单色光经过积分球入口射入积分球,经积分球进行漫反射后,由积分球的出口发出均匀的白光或均匀的单色光;

[0011] 步骤三、由步骤二得到的均匀的白光或单色光照明分划板,透过分划板后的光,经过分划板后面的数值孔径为 1.0~1.4 的大数值孔径显微物镜将分划板成像到待测 CCD 的光敏面上;

[0012] 步骤四、根据待测 CCD 采集到的分划板的图像,利用下面的 CCD 调制传递函数公式,计算得到 CCD 调制传递函数;CCD 调制传递函数 MTF 公式如下:

$$[0013] \quad MTF = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max} + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min}};$$

$$[0014] \quad \bar{V}_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max}; \bar{V}_{\min} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{\min};$$

[0015] 其中,n 为 CCD 极大值输出像元个数,m 为 CCD 极小值输出像元个数; $\bar{V}_{\max}$ 为输出信号中的空间的极大值输出的平均值, $\bar{V}_{\min}$ 为输出信号中的空间的极小值输出的平均值。

[0016] 本发明的工作原理是:利用单色仪与积分球组成单色均匀光源,输出均匀的单色光,并经过大数值孔径显微物镜成像,将特定空间频率的分划板成像到 CCD 成像电子学系统的光敏面上,根据图像采集得到的黑白条纹的数码值进而计算出 CCD 调制传递函数。

[0017] 本发明的有益效果是:本发明使用白光(日光、灯光)及各谱段单色光对 CCD 调制传递函数进行评价,能够对不同景物通过 CCD 后的成像质量进行全面分析评价;利用步进电机对分划板及 CCD 进行多维调节,减轻了 CCD 调制传递函数测试的工作量;结构紧凑,操作方便简单。

附图说明

[0018] 图 1 是本发明用于 CCD 调制传递函数测试的设备结构图。

[0019] 图 2 是本发明用于 CCD 调制传递函数测试的设备原理图。

[0020] 图 3 是本发明中的卤素灯光源室结构前视示意图。

[0021] 图 4 是本发明中的卤素灯光源室结构左视示意图。

[0022] 图 5 是本发明中的单色仪结构俯视示意图。

[0023] 图 6 是本发明中的单色仪结构右视示意图。

[0024] 图 7 是本发明中的单色仪结构主视示意图。

[0025] 图 8 是本发明中的单色仪立体结构示意图。

[0026] 图 9 是本发明中的积分球装置结构示意图。

[0027] 图 10 是本发明中的分划板部结构主视示意图。

[0028] 图 11 是图 10 的 A-A 剖面示意图。

[0029] 图 12 是本发明中的分划板部结构右视示意图。

[0030] 图 13 是本发明中的分划板部结构俯视示意图。

[0031] 图 14 是本发明中的分划板部立体结构示意图。

[0032] 图 15 是本发明中的大数值孔径显微物镜装置结构示意图。

[0033] 图 16 是本发明中的 CCD 三维调整架结构主视示意图。

[0034] 图 17 是本发明中的 CCD 三维调整架立体结构示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明做进一步详细说明。

[0036] 如图 1 和图 2 所示, 本发明用于 CCD 调制传递函数测试的设备包括: 卤素灯光源室 1、单色仪 2、积分球装置 3、分划板部 4、大数值孔径显微物镜装置 5、CCD 三维调整架 6 和待测 CCD 7。其中, 卤素灯光源室 1 的结构如图 3 和图 4 所示, 其包括卤钨灯光源 1-1、密封块 1-2、M3×8 内六角圆柱头螺钉 1-3、连接板 1-4、光源支撑杆 1-5、叉式压板座 1-6、叉式压板 1-7、M5×4 滚花高头螺钉 1-8 和 M4×12 滚花高头螺钉 1-9、光源聚焦透镜 1-10、透镜座 1-11、透镜压圈 1-12、M4×10 连接螺钉 1-13、连接板 1-14。单色仪 2 的结构如图 5 至图 8 所示, 其包括 R13 双刀单掷电源开关 2-1、电源插座(黑)2-2、DB9K 连接器座 2-3、DB25Z 连接器座 2-4、光谱仪底座 2-5、谱仪基座盖板 2-6、M3×8 内六角圆柱头螺钉 2-7、M6×16 内六角圆柱头螺钉 2-8、出入平行三光栅扫描单色仪 2-9、下箱 2-10、上箱 2-11 和接线端盖 2-12。积分球装置 3 的结构如图 9 所示, 其包括 M4×10 连接螺钉 3-1、积分球 3-2、积分球支撑底座 3-3、M6×10 连接螺钉 3-4。分划板部 4 的结构如图 10 至图 14 所示, 其包括隔圈 4-1、 $\phi 25.4\text{mm}$ 分划板 4-2、7SRA1100-0 电动旋转台 4-3、压圈 4-4、固定环 4-5、连接底板 4-6、7STA1050-0 电动平移台 4-7、第二平移台连接板 4-8、竖板 4-9、斜板 4-10、M6×10 内六角圆柱头螺钉 4-11、第一平移台连接板 4-12、平台 4-13、7STM04125-0 平移台 4-14、M4×10 内六角圆柱头螺钉 4-15、支撑杆 4-16 和底座 4-17。大数值孔径显微物镜装置 5 的结构如图 15 所示, 其包括物镜座 5-1、M4×4 物镜顶紧螺钉 5-2、大数值孔径显微物镜 5-3、支撑底座 5-4、M6×10 连接螺钉 5-5。CCD 三维调整架 6 的结构如图 16 和图 17 所示, 其包括 7STA04500A-0 电动平移台 6-1、电动平移台连接板 6-2、7STA1050-0 电动平移台 6-3、M6×10 内六角圆柱头螺钉 6-4、升降台连接板 6-5、7SVM02120-0 升降台 6-6、M4×10 内六角圆柱头螺钉 6-7 和光学平板 6-8。

[0037] 卤素灯光源室 1 通过图 4 中的连接板 1-14 用螺钉 1-13 固定在单色仪 2 的出入平行三光栅扫描单色仪 2-9 的入口狭缝处; 单色仪 2 通过图 6 中的出入平行三光栅扫描单色仪 2-9 的出口狭缝处用螺钉 2-8 固定在积分球 3-2 的入口处; 积分球 3-2 出口轴线与分划板部 4 如图 11 中分划板 4-2 轴线重合, 且分划板部 4 如图 12 中靠近积分球 3-2 一侧分划板 4-2 放置在积分球 3-2 出口水平方向 10mm 位置处; 大数值孔径显微物镜 5-3 物镜轴线与分划板部 4 如图 11 中分划板 4-2 轴线重合, 且大数值孔径显微物镜 5-3 放置在分划板 4-2 如图 11 中靠近积分球 3-2 一侧分划板水平方向 50mm 位置处; CCD 三维调整架 6 如图 16 中 7STA04500A-0 电动平移台 6-1 沿宽度中心 7STA04500A-0 电动平移台运行方向与大数值孔径显微物镜 5-3 物镜轴线平行且在同一个垂面内, 且 7STA04500A-0 电动平移台 6-1 中远离电机一侧端面与靠近 CCD 三维调整架 6 大数值孔径显微物镜 5-3 端面水平方向距离 40mm。

[0038] 在卤素灯光源室 1 中, 叉式压板 1-7 通过间隙配合与叉式压板座 1-6 连接在一起; 叉式压板座 1-6 通过顶丝与光源支撑杆 1-5 固定在一起; 光源支撑杆 1-5 通过螺纹配合与卤钨灯光源 1-1 固定在一起; 卤钨灯光源 1-1 通过 1-3 与连接板 1-4 固定在一起; 连接板 1-4 通过过盈配合与密封块 1-2 连接在一起; 光源聚焦透镜 1-10 通过透镜压圈 1-12 与透镜座 1-11 固定在一起; 透镜座 1-11 通过 M5×4 滚花高头螺钉 1-8 与卤钨灯光源 1-1 固定在一起。

[0039] 在单色仪 2 中, R13 双刀单掷电源开关 2-1 通过螺丝与光谱仪底座 2-5 固定在一起;电源插座(黑) 2-2 通过螺丝与光谱仪底座 2-5 固定在一起;DB9K 连接器座 2-3 通过螺丝与光谱仪底座 2-5 固定在一起;DB25Z 连接器座 2-4 通过螺丝与光谱仪底座 2-5 固定在一起;光谱仪底座 2-5 通过螺钉与上箱 2-11 固定在一起;光谱仪底座 2-5 通过螺丝与下箱 2-10 固定在一起。

[0040] 在积分球装置 3 中, 积分球 3-2 通过螺钉 3-1 与积分球支撑底座 3-3 固定在一起。

[0041] 在分划板部 4 中, 分划板 4-2 与隔圈 4-1 通过过盈配合连接在一起;隔圈 4-1 通过压圈 4-4 与固定环 4-5 固定在一起;固定环 4-5 通过螺钉与 7SRA1100-0 电动旋转台 4-3 固定在一起;斜板 4-10 通过螺钉 4-15 与竖板 4-9 固定在一起;竖板 4-9 通过螺钉与 7SRA1100-0 电动旋转台 4-3 固定在一起;7SRA1100-0 电动旋转台 4-3 通过螺钉与连接底板 4-6 固定在一起;连接底板 4-6 通过螺钉与 7STA1050-0 电动平移台 4-7 固定在一起;7STA1050-0 电动平移台 4-7 通过螺钉与第二平移台连接板 4-8 固定在一起;第二平移台连接板 4-8 通过螺钉与第一平移台连接板 4-12 固定在一起;第一平移台连接板 4-12 通过螺钉 4-15 与 7STM04125-0 平移台 4-14 固定在一起;7STM04125-0 平移台 4-14 通过螺钉与平台 4-13 固定在一起;平台 4-13 与支撑杆 4-16 通过螺纹连接在一起;支撑杆 4-16 与底座 4-17 通过螺纹连接在一起。

[0042] 在大数值孔径显微物镜装置 5 中, 大数值孔径显微物镜 5-3 通过物镜顶紧螺钉 5-2 与支撑底座 5-4 固定在一起。

[0043] 在 CCD 三维调整架 6 中, 光学平板 6-8 通过螺钉与 7SVM02120-0 升降台 6-6 固定在一起;7SVM02120-0 升降台 6-6 通过螺钉与升降台连接板 6-5 固定在一起;升降台连接板 6-5 通过螺钉与 7STA1050-0 电动平移台 6-3 固定在一起;7STA1050-0 电动平移台 6-3 通过螺钉与电动平移台连接板 6-2 固定在一起;电动平移台连接板 6-2 通过螺钉与 7STA04500A-0 电动平移台 6-1 固定在一起。

[0044] 本发明用于 CCD 调制传递函数测试的设备中各部件的应用实例是: 卤素灯光源室 1 中卤钨灯光源 1-1 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7ILT250 卤钨灯光源, 光源聚焦透镜 1-10 采用上海迎盈光学器件厂提供的 DCX0804 双凸透镜;单色仪 2 中出入平行三光栅扫描单色仪 2-9 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7ISW30 系列三光栅扫描光谱仪, 其中光栅型号为 70G1200-500, 70G300-1250, 70G66-DB;分划板部 4 中 7SRA1100-0 电动旋转台 4-3 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7SRA1100 电动旋转台, 7STA1050-0 电动平移台 4-7 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7STA1050A 电动平移台, 7STM04125-0 平移台 4-14 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7STM04125 刚毅平移台;大数值孔径显微物镜 5-1 采用佳能 EF50mmf/1.4USM;CCD 三维调整架 6 中, 7STA04500A-0 电动平移台 6-1 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7STA04500A 电动平移台;7STA1050-0 电动平移台 6-3 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7STA1050A 电动平移台, 7SVM02120-0 升降台 6-6 采用北京赛凡光电仪器有限公司提供的 7SVM02120 千斤顶升降台。

[0045] 本发明测试方法的实例:

[0046] 应用本发明的测试方法对一种 DALSA 典型 TDICCD 样品进行测试, 在实验室评价时, 主要采用的方法是矩形输入法, 此时测试的是对比度传递函数 CTF。CTF 为方波目标的系统响应, 方波可以表示成无限的余弦序列。当空间频率大于 $1/3\text{MTF}$ 的截止频率时, 就可

以认为 MTF (u_0) 等于 $\pi/4$ 倍的 CTF (u_0)。通常最为关心的是奈奎斯特 Nyquist 频率处的 MTF, 这时利用 CTF (u_0) 的 $\pi/4$ 倍代替 MTF (u_0) 是很好的近似。CTF 与 MTF 的换算关系为:

$$[0047] \quad MTF(f) = \frac{\pi}{4} CTF(f)$$

[0048] 均匀光照在待测空间频率的黑白条纹分划板 4-2 (黑条不透光、白条透光) 上, 经分划板 4-2、光学系统成像在被测器件 CCD 7 上, 由计算机采集器件输出分划板 4-2 的图像信号。

[0049] 通过测试, 可得到黑白条纹相间的图像, 对图像进行分析处理, 即可得出 CTF 值。由于 CTF 为:

$$[0050] \quad CTF = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

[0051] 可以用下述方法计算 CTF 的近似值:

$$[0052] \quad CTF' = \frac{DN_{\max} - DN_{\min}}{DN_{\max} + DN_{\min} - 2DN_B}$$

[0053] $DN_{\max}$: 亮条纹灰度值; $DN_{\min}$: 暗条纹灰度值; DN_B : 本底 (暗信号) 灰度值。

[0054] 测试步骤如下:

[0055] a) 按图 1 连接测试设备, 并进行仪器预置;

[0056] b) 调节测试系统, 给测试电路加上规定的工作电压, 使器件处于正常工作状态;

[0057] c) 调节大数值孔径显微物镜 5-3 及待测 TDICCD 7 的位置, 使分划板 4-2 清晰的成像在待测 TDICCD 7 上;

[0058] d) 调节光强, 使待测 TDICCD 7 输出处于半饱和;

[0059] e) 采集多帧图像; 对采集的分划板 4-2 的图像按照上面的公式进行计算, 计算机软件完成计算过程。

[0060] 实验室的规定条件如下:

[0061] 环境温度: $20 \pm 5^\circ\text{C}$; 工作频率: $5\text{MHz} \sim 20\text{MHz}$ 。

[0062] 通过实验, 得到的实验结果与本发明所述测试方法对实验中所应用的 DALSA 典型 TDICCD 样品出厂所给数据的偏差小于 1%, 用本发明所述测试方法对 CCD 的调制传递函数进行评价是客观合理的。

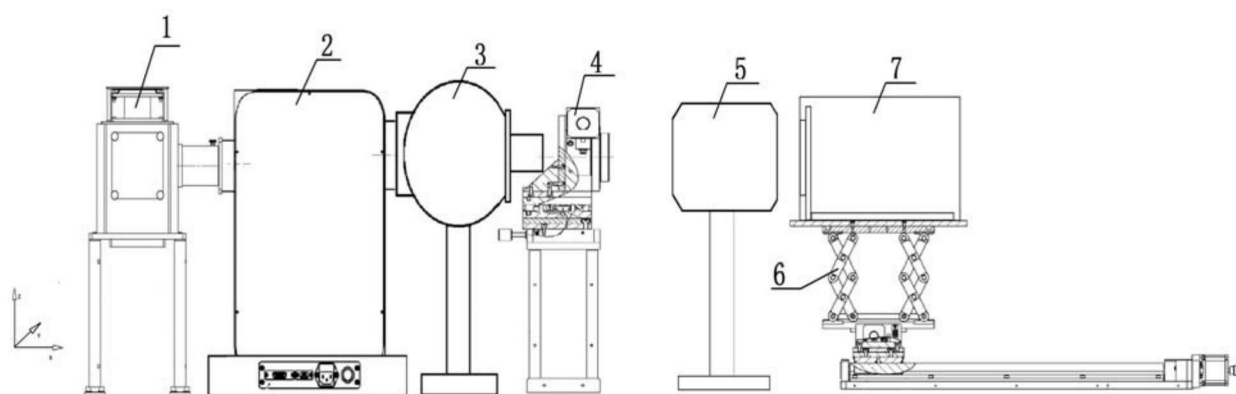


图 1

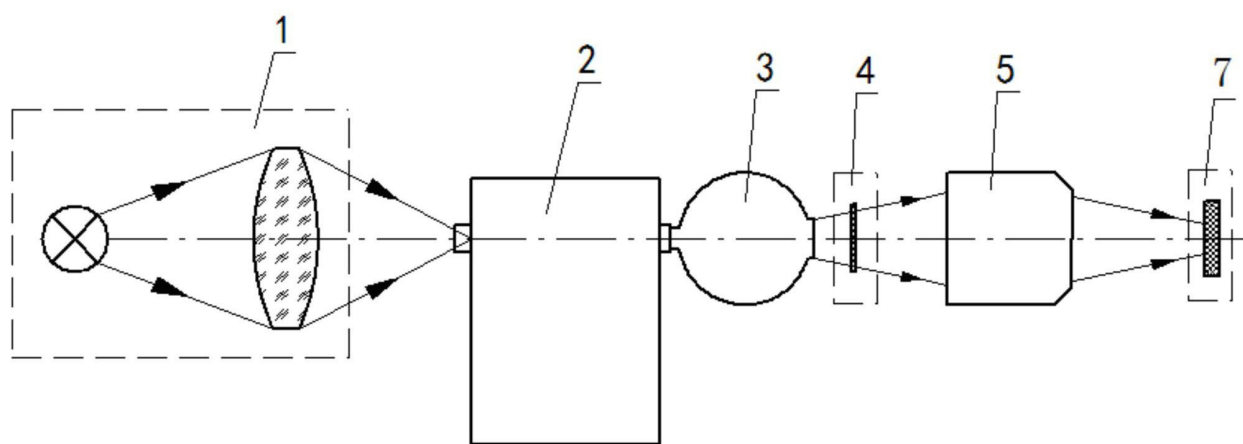


图 2

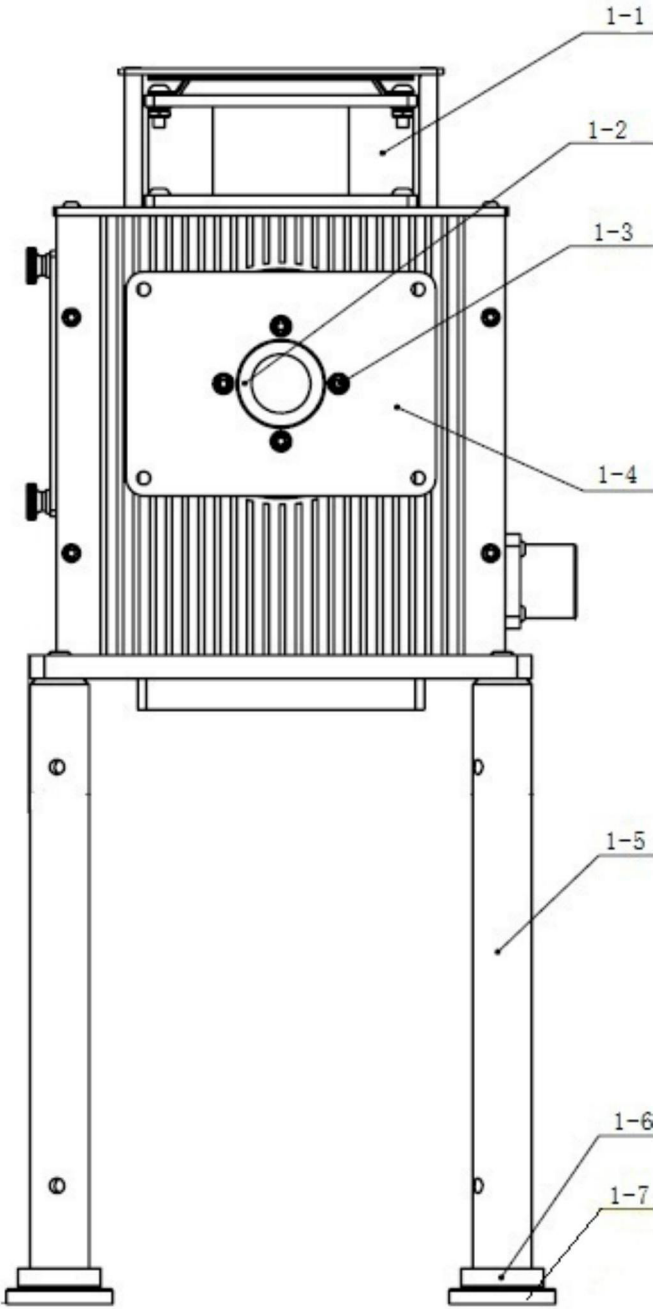


图 3

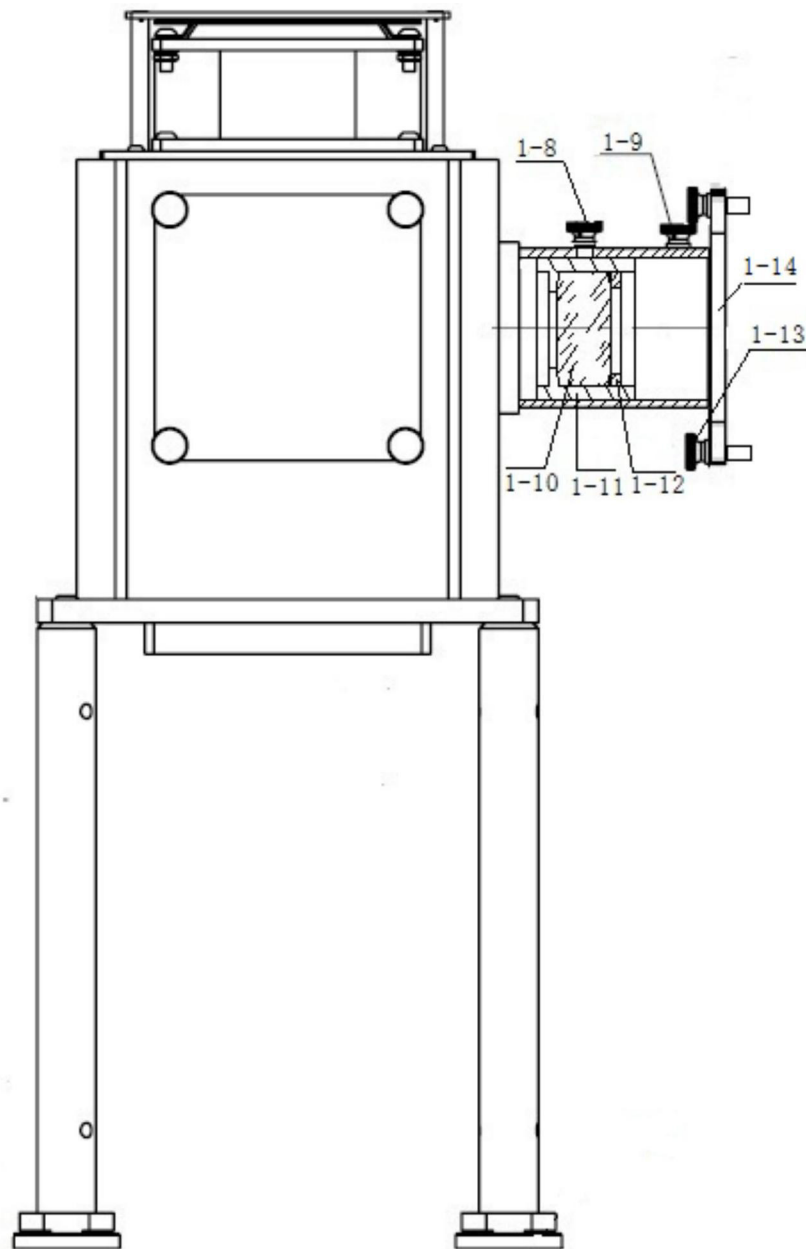


图 4

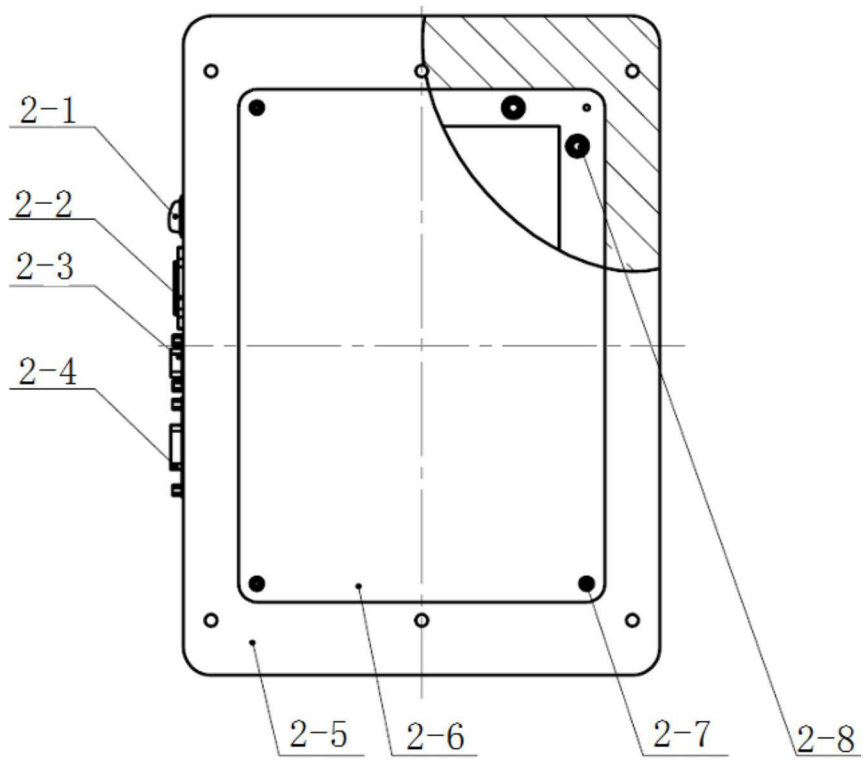


图 5

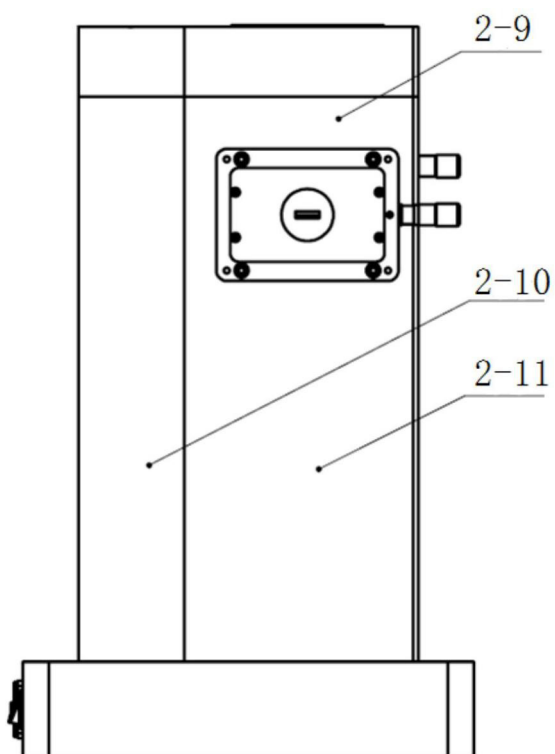


图 6

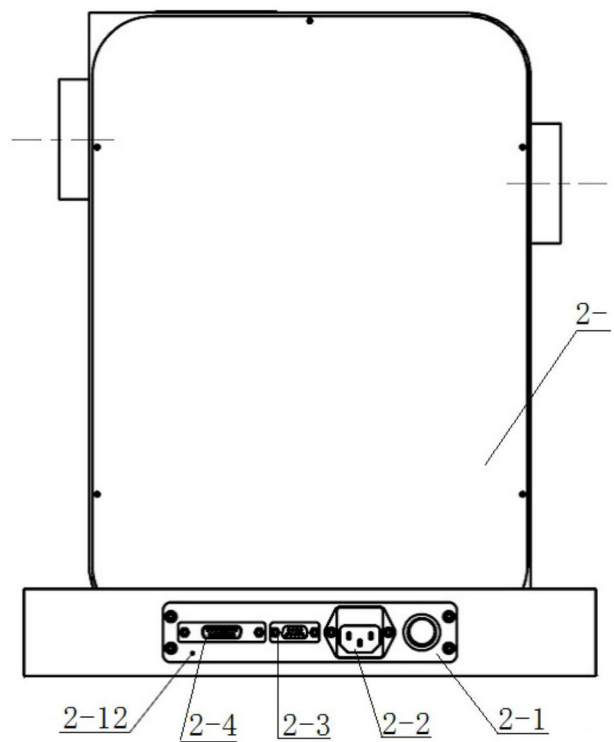


图 7

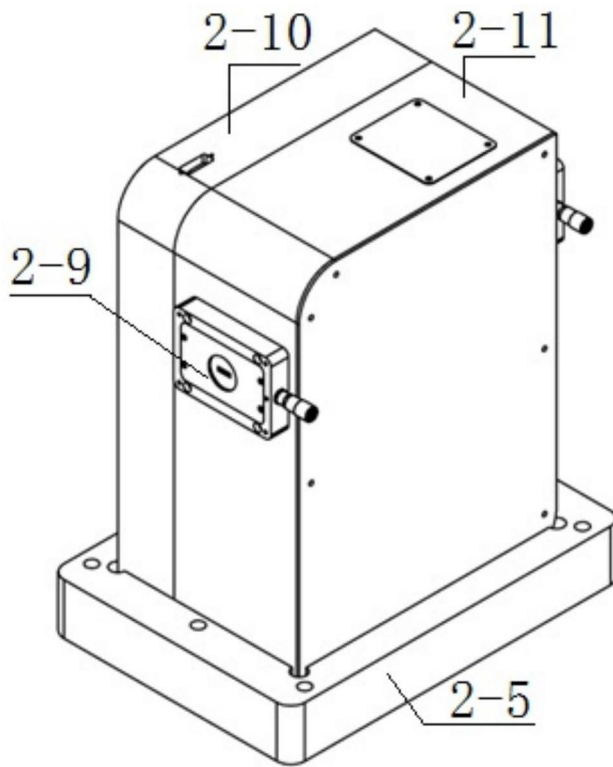


图 8

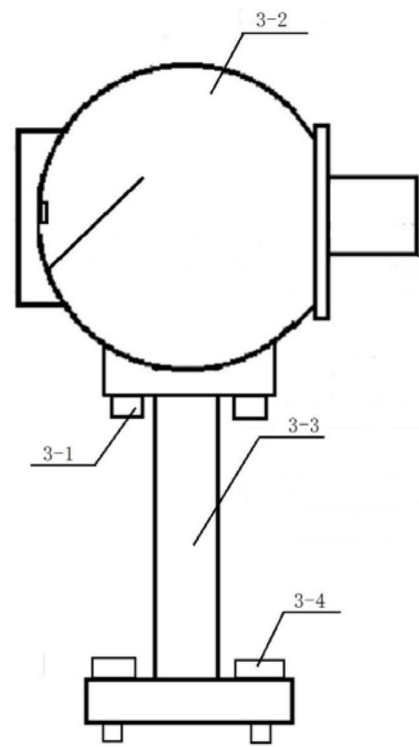


图 9

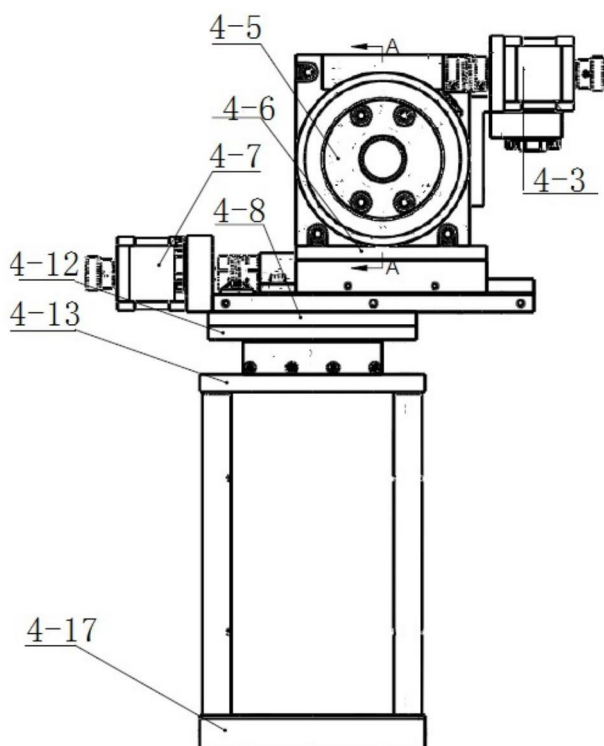


图 10

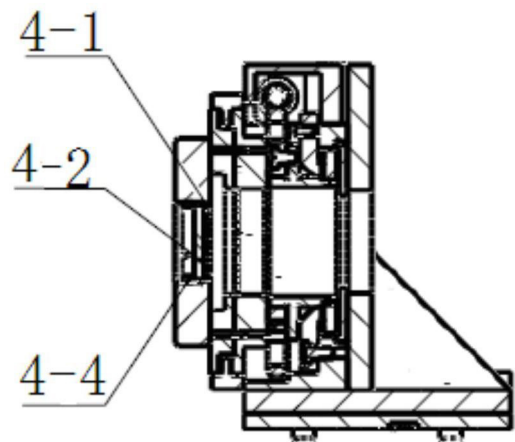


图 11

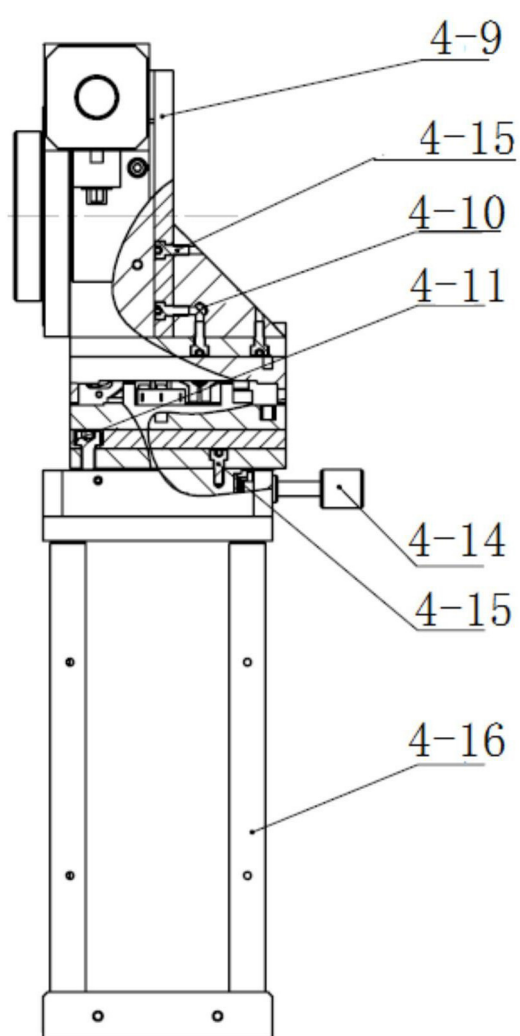


图 12

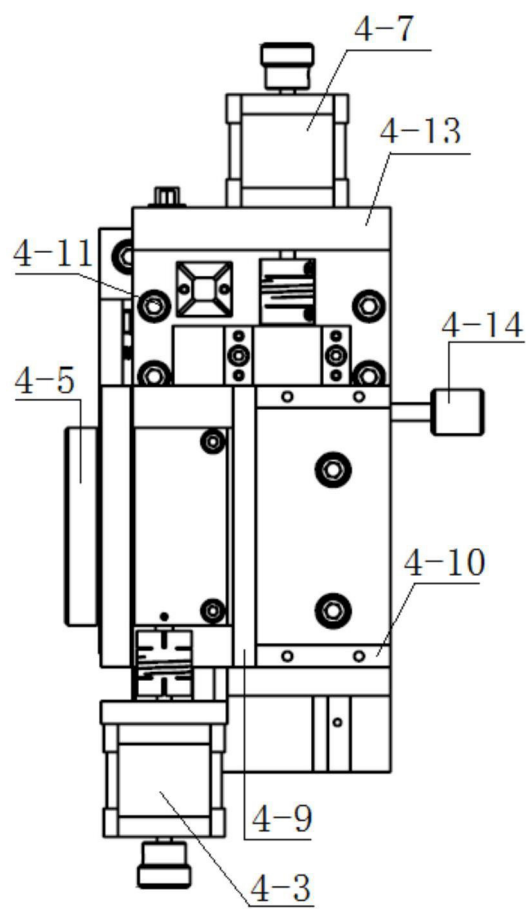


图 13

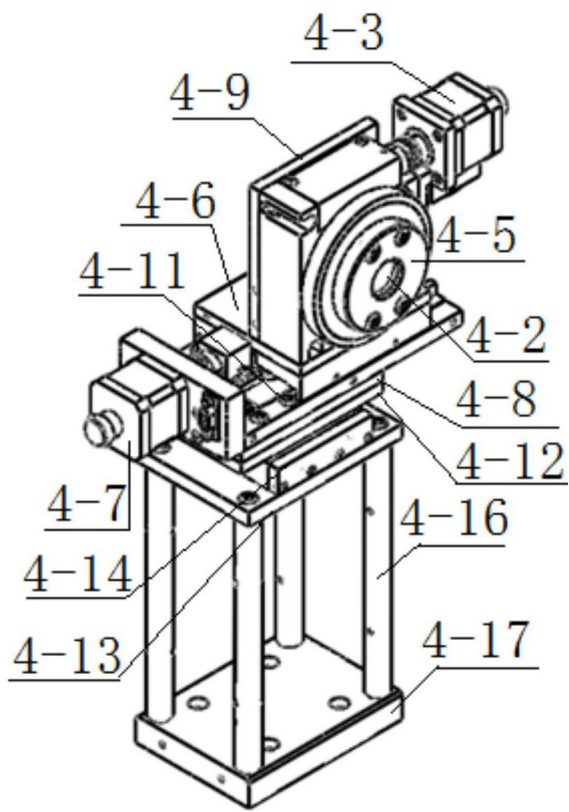


图 14

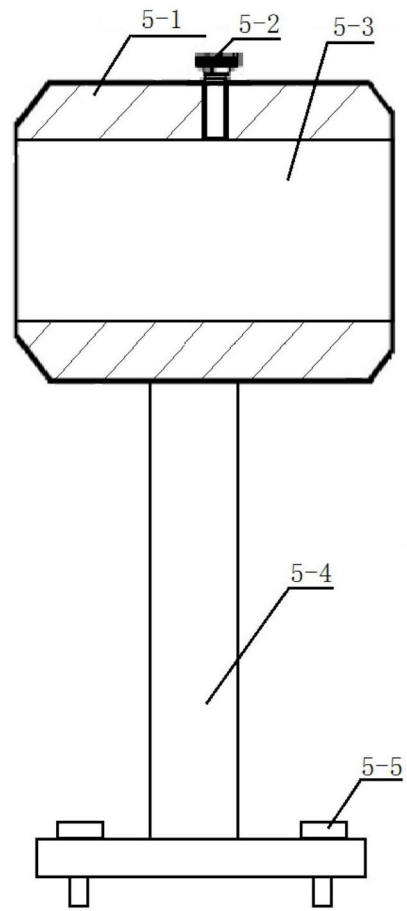


图 15

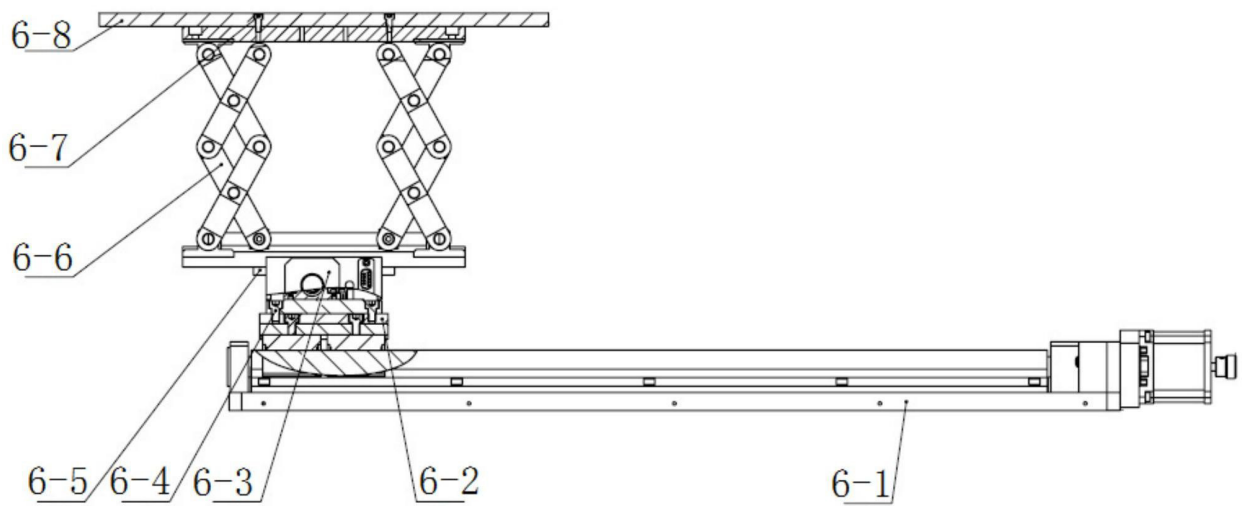


图 16

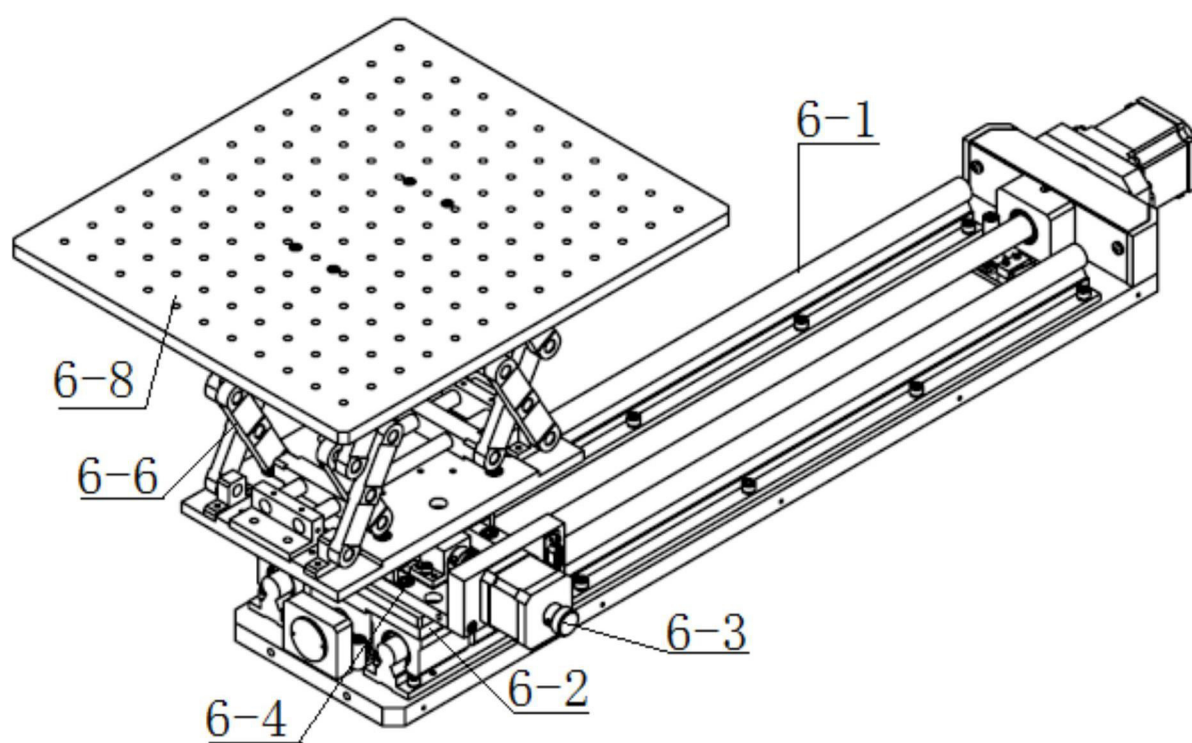


图 17