



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108200425 B

(45)授权公告日 2019.08.09

(21)申请号 201711291928.X

H04N 5/372(2011.01)

(22)申请日 2017.12.08

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108200425 A

CN 104735445 A,2015.06.24,
CN 102564590 A,2012.07.11,
CN 106199379 A,2016.12.07,

(43)申请公布日 2018.06.22

审查员 李祖布

(73)专利权人 北京空间机电研究所
地址 100076 北京市丰台区南大红门路1号
9201信箱5分箱

(72)发明人 孙欣 胡永力 李功 米兴娟
范龙飞 刘涌 王军

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009
代理人 张晓飞

(51)Int.Cl.

H04N 17/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统与方法

(57)摘要

一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统与方法。分析TDI线阵探测器的工作特点,搭建可以提供周期可调、亮度可调的均匀的非相干照明的光源系统。该光源照明特点为,一个级数时间内只有一个积分时间有光信号输入,其余时间均无光。用上述光源系统替换普通静态传函测试光源配合多方向方波条纹靶标,实现空间光学遥感器试验室静态多方向传函的同时定量测试。本发明克服以往试验室只进行单方向静态传函测试的弊端,实现了多方向静态传函的同时测试,能够更全面的评判空间光学遥感器系统质量,确保遥感器在轨图像质量。



1. 一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统,其特征在于,包括:光源系统,靶标(3),平行光管(4),地面检测系统(6)和快视系统(7);

地面检测系统(6)用于控制待检测空间相机(5)成像,与待检测空间相机(5)连接;

快视系统(7)与待检测空间相机(5)连接,用于获取待检测空间相机(5)成像输出响应,根据成像输出响应计算图像CTF和待检测空间相机多方向的静态传函MTF;

平行光管(4)放置在待检测空间相机(5)通光口前,用于提供平行光;

靶标(3)表面刻有通光狭缝,放置在平行光管(4)的焦面位置;

光源系统为亮暗周期性变化的检测光源,放置在靶标(3)后方;

所述光源系统包括积分球(1),狭缝遮光轮(2);

积分球(1)为亮度可调的均匀检测光源;

狭缝遮光轮(2)表面均布有狭缝,用于周期性改变积分球(1)提供检测光源的亮暗,狭缝遮光轮(2)放置于积分球(1)和靶标(3)之间;

所述周期性改变积分球(1)提供检测光源的亮暗具体为:待检测空间相机被测谱段的一个级数时间内只有一个积分时间有光信号输入,其余时间均无光。

2. 根据权利要求1所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统,其特征在于:所述狭缝遮光轮(2)的狭缝布局满足狭缝遮光轮(2)通光时间 $t_1 \leq$ 相机积分时间 t ,狭缝遮光轮(2)亮暗周期改变时间 $t_2 \geq$ 相机级数时间 T 。

3. 根据权利要求2所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统,其特征在于,所述狭缝遮光轮(2)通光时间 t_1 和狭缝遮光轮(2)亮暗周期改变时间 t_2 的具体计算公式为:

$$t_1 \approx \frac{30L}{s\pi r}, \quad t_2 = \frac{60}{4s},$$

其中: s 为狭缝遮光轮(2)电机输出转速, L 为遮光轮狭缝宽度, r 为狭缝所在最大半径。

4. 根据权利要求1-3任一所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统,其特征在于:所述靶标(3)为多方向方波光栅靶标。

5. 一种使用根据权利要求1-3任一所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统进行多方向传函检测的方法,其特征在于,包括步骤如下:

1) 点亮光源系统;

2) 调整待检测空间相机(5)位置,使待检测空间相机(5)的被测谱段上出现亮斑;

3) 调整光源系统的狭缝遮光轮(2),使用待检测空间相机(5)得到条纹样的靶标(3)图像;

4) 根据靶标(3)图像的条纹亮度,计算待检测空间相机(5)图像CTF;

5) 根据图像CTF换算得到待检测空间相机(5)多方向的静态传函MTF。

6. 根据权利要求5所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测方法,其特征在于:所述调整检测光源为调整检测光源的亮暗周期。

7. 根据权利要求6所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测方法,其特征在于,所述检测光源的亮暗周期具体为:

待检测空间相机(5)被测谱段的一个级数时间内只有一个积分时间有光信号输入,其余时间均无光,

其中待检测空间相机(5)级数时间 $T=t \times n$, t 为被测谱段积分时间, n 为被测谱段级数。

一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于航天光学遥感技术领域,涉及一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统及方法。

背景技术

[0002] 光学系统成像质量是评价空间光学遥感器的一项重要指标。整机状态下通常采用光学传递函数MTF检测法进行测试。该检测法被认为是一个准确、客观、定量的像质评价指标。

[0003] 空间相机传函测试又可分为静态传函测试和动态传函测试。静态指目标景物相对于空间相机静止,动态指目标景物相对于空间相机运动。考虑到动态传函测试系统搭建复杂,测试干扰误差项多等因素,试验室条件下通常采用静态传函测试法。空间相机的试验室静态传函MTF,主要是由光学镜头的MTF、电子学系统的MTF和探测器器件的MTF共同所决定的。

[0004] TDI线阵探测器空间光学遥感器是指采用TDI线阵探测器作为光电转换元件的空间相机。以TDICCD为例,它是一种面阵结构、线阵工作模式的CCD。其工作原理如下:某一行上的第一个像元在第一个曝光积分周期 t 内收集到的信号电荷并不直接输出,而是与同列第二个像元在第二个积分周期内收集到的信号电荷相加,相加后的电荷移向第三行……,TDICCD第 n 行的像元收集到的信号电荷与前面 $n-1$ 次收集到的信号电荷累加后转移到输出移位寄存器中,按普通线阵CCD的输出方式进行读出。这种电荷在行/级间垂直转移并逐行累积,按设定的级数累积完成后水平转移输出的过程也被称作时间延时积分,即TDI。电荷转移的方向即为积分方向,设定电荷累积的行数为级数 n 。

[0005] 空间相机在轨正常推扫成像时,每行景物的亮度分别为 $Q_1 \sim Q_n$,对应探测器像元采集到的信号电荷分别为 $q_1 \sim q_n$,空间相机积分时间为 t ,设定级数为 n ,则TDI探测器的电荷转移输出过程如图1所示。

[0006] 现有采用TDI线阵探测器,例如TDICCD的空间相机进行普通的试验室静态传函测试时,由于探测器具有TDI特性,图像将在积分方向上逐行累积,电荷转移过程如图2所示。若将方波光栅靶标条纹与积分方向成一定角度放置,将导致最终图像将没有条纹,无法进行传函计算。因此在普通试验室静态传函测试时,只能将靶标条纹与积分方向平行放置,此时 $Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$,输出为 $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = nq_1$ 。

[0007] 采用这种普通静态传函测试方法得到的仅为一个方向的静态传函,而在空间相机光学系统设计时,由于像散、慧差等像差的存在,光学系统本身在各个方向上的MTF并不相同。因此需要寻找一种简便可行的方法,实现多方向的静态传函测试,解决现有普通静态传函测试方法并不能充分反映空间相机光学系统成像质量的问题。

发明内容

[0008] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供了一种基于TDI线阵探测器

的多方向传函检测系统及方法,可以实现空间相机静态多方向的传函检测,充分评价空间相机光学系统成像质量,确保在轨图像质量。

[0009] 本发明的技术解决方案是:

[0010] 一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统,包括:光源系统,靶标,平行光管,地面检测系统和快视系统;

[0011] 地面检测系统用于控制待检测空间相机成像,与待检测空间相机连接;

[0012] 快视系统与待检测空间相机连接,用于获取待检测空间相机成像输出响应,根据成像输出响应计算图像CTF和待检测空间相机多方向的静态传函MTF;

[0013] 平行光管放置在待检测空间相机通光口前,用于提供平行光;

[0014] 靶标表面刻有通光狭缝,放置在平行光管的焦面位置;

[0015] 光源系统为亮暗周期性变化的检测光源,放置在靶标后方。

[0016] 所述光源系统包括积分球,狭缝遮光轮;

[0017] 积分球为亮度可调的均匀检测光源;

[0018] 狭缝遮光轮表面均布有狭缝,用于周期性改变积分球提供检测光源的亮暗,狭缝遮光轮放置于积分球和靶标之间。

[0019] 所述周期性改变积分球提供检测光源的亮暗具体为:待检测空间相机被测谱段的一个级数时间内只有一个积分时间有光信号输入,其余时间均无光。

[0020] 所述狭缝遮光轮的狭缝布局满足狭缝遮光轮通光时间 $t_1 \leq$ 相机积分时间 t ,狭缝遮光轮亮暗周期改变时间 $t_2 \geq$ 相机级数时间 T 。

[0021] 所述狭缝遮光轮通光时间 t_1 和狭缝遮光轮亮暗周期改变时间 t_2 的具体计算公式为:

$$[0022] \quad t_1 \approx \frac{30L}{s\pi r}, \quad t_2 = \frac{60}{4s},$$

[0023] 其中: s 为狭缝遮光轮电机输出转速, L 为遮光轮狭缝宽度, r 为狭缝所在最大半径。

[0024] 所述靶标为多方向方波光栅靶标。

[0025] 一种使用所述的一种基于TDI线阵探测器的多方向传函检测系统进行多方向传函检测的方法,包括步骤如下:

[0026] 1) 点亮光源系统;

[0027] 2) 调整待检测空间相机位置,使待检测空间相机的被测谱段上出现亮斑;

[0028] 3) 调整光源系统的狭缝遮光轮,使用待检测空间相机得到条纹样的靶标图像;

[0029] 4) 根据靶标图像的条纹亮度,计算待检测空间相机图像CTF;

[0030] 5) 根据图像CTF换算得到待检测空间相机多方向的静态传函MTF。

[0031] 所述调整检测光源为调整检测光源的亮暗周期。

[0032] 所述检测光源的亮暗周期具体为:

[0033] 待检测空间相机被测谱段的一个级数时间内只有一个积分时间有光信号输入,其余时间均无光,

[0034] 其中待检测空间相机级数时间 $T = t \times n$, t 为被测谱段积分时间, n 为被测谱段级数。

[0035] 本发明与现有技术相比的优点在于:

- [0036] 1. 本发明克服以往只进行一个方向静态传函测试的弊端, 实现了多方向的静态传函测试, 能够更全面的评判空间光学遥感器系统成像质量;
- [0037] 2. 分析TDI线阵探测器工作原理, 通过调节光源系统亮-暗周期和照亮时长, 用静态传函测试方法实现靶标信息的逐行输出;
- [0038] 3. 本发明不用专门搭建静态多方向传函测试系统, 用亮-暗周期照明光源替换普通静态传函测试光源即可实现测试, 工程实施性强, 便于操作;
- [0039] 4. 采用多方向方波靶标, 可以实现多个方向静态传函的同时测试, 提高测试效率;
- [0040] 5. 本发明测试数据可以采用与普通静态传函测试相同的计算公式进行计算, 便于数据分析和比对判读, 可靠性高。

附图说明

- [0041] 图1为空间相机正常推扫成像时TDI探测器电荷转移输出过程示意图;
- [0042] 图2为实验室静态传函测试时TDI探测器电荷转移输出示意图;
- [0043] 图3为本发明的原理图;
- [0044] 图4为本发明的测试系统图;
- [0045] 图5为本发明的亮-暗光源周期示意图;
- [0046] 图6为本发明实例的多方向方波靶标示意图;
- [0047] 图7为本发明实例采用的狭缝遮光轮示意图。

具体实施方式

[0048] 分析TDI线阵探测器的工作原理, 提出一种亮-暗周期可调、亮度可调的均匀的特特定波长范围的非相干照明的光源系统代替传统静态传函测试的常亮稳定光源。该光源系统可以提供周期亮-暗照明: 亮时长 \leq 空间相机积分时间, 亮-暗周期时长 \geq 空间相机级数时间。该光源照明特点为, 一个级数时间 $T=n \times t$ 内只有一个曝光时间 t 有光信号输入, 其余时间均无光, 探测器电荷转移输出过程如图3所示。利用这种光源可以实现静态测试条件下, 景物信息的逐行输出。

[0049] 用上述光源系统替代普通静态传函测试光源, 搭建成静态多方向传函测试系统。利用专用多方向方波光栅条纹靶标, 使方波光栅靶标条纹与探测器积分方向成不同角度, 实现多个方向静态传函的同时测试。

[0050] 本发明实例需要的测试设备有: 积分球1, 狭缝遮光轮2, 多方向方波光栅靶标3, 平行光管4, 地面检测系统6和快视系统7。搭建如图4所示的测试系统。如图5所示, 通过调整狭缝遮光轮转速控制光源亮-暗周期, 使多方向方波光栅靶标3在待检测空间相机5上的图像稳定。保存图像并计算CTF, 进而换算得到系统MTF。

[0051] 本实例采用狭缝遮光轮2与积分球1组合实现照明, 在实际应用中包含但不限于此, 能够提供周期可调、亮度可调的均匀的特特定波长范围的非相干照明的光源系统均可用于空间相机实验室静态多方向传函测试。

[0052] 如图6所示, 本实例采用 0° 、 90° 两个方向的多方向方波光栅靶标3替代普通静态传函测试用的单方向方波条纹靶标, 可以实现两个方向静态传函的同时测试。在实际应用中包含但不限于此。也可以不单独定制靶标, 通过调整多方向方波光栅靶标3的条纹角度实现

多方向的静态传函测试。

[0053] 本实例具体步骤如下：

[0054] 按照图4所示，搭建相机多方向静态传函测试系统。将多方向方波光栅靶标3平面置于平行光管4焦面位置，多方向方波光栅靶标3竖条纹方向与TDI积分方向平行。在多方向方波光栅靶标3后方放置狭缝遮光轮2和积分球1。将狭缝遮光轮2狭缝对正多方向方波光栅靶标3条纹。点亮积分球1，调整待检测空间相机5高度及俯仰并用快视系统7监测图像，直至多方向方波光栅靶标3在待检测空间相机5被测谱段成像。由于探测器具有TDI特性，此时的图像应为大面积明亮区域，没有靶标条纹。

[0055] 匹配狭缝遮光轮2转速。启动遮光轮，积分球1光线通过狭缝遮光轮2狭缝后将形成周期时间为 t_2 的非相干亮-暗光源，如图5所示。调整狭缝遮光轮2转速使之与待检测空间相机5积分时间、级数匹配。要求狭缝遮光轮2通光时间 $t_1 \leq$ 相机积分时间 t ，狭缝遮光轮2亮-暗周期时间 $t_2 \geq$ 相机级数时间 T 。

[0056] 本实例所用狭缝遮光轮2上均布4处通光狭缝，每条狭缝宽度为 L ，如图7所示，则有如下公式：

$$[0057] \quad \text{近似计算 } t_1 \approx \frac{30L}{s\pi r}, \quad t_2 = \frac{60}{4s},$$

[0058] 其中： s 为电机输出转速， L 为遮光轮狭缝宽度， r 为狭缝所在最大半径。

[0059] 待检测空间相机5级数时间可由下式求得：

$$[0060] \quad T = t \times n,$$

[0061] 其中， t 为积分时间， n 为被测谱段级数。

[0062] 狭缝遮光轮2转速调整完毕后，在快视系统7上得到的图像应为多方向方波光栅靶标3的图像。

[0063] 计算图像CTF。保存多方向方波光栅靶标3，读取并计算得到图像各组亮暗条纹的平均DN值，计算得到待检测空间相机5多方向的静态传函。

$$[0064] \quad CTF = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

[0065] 其中 I_{\max} 与 I_{\min} 分别为待检测空间相机5图像的亮条纹亮度和暗条纹亮度。

$$[0066] \quad MTF \approx \frac{\pi}{4} \times CTF$$

[0067] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

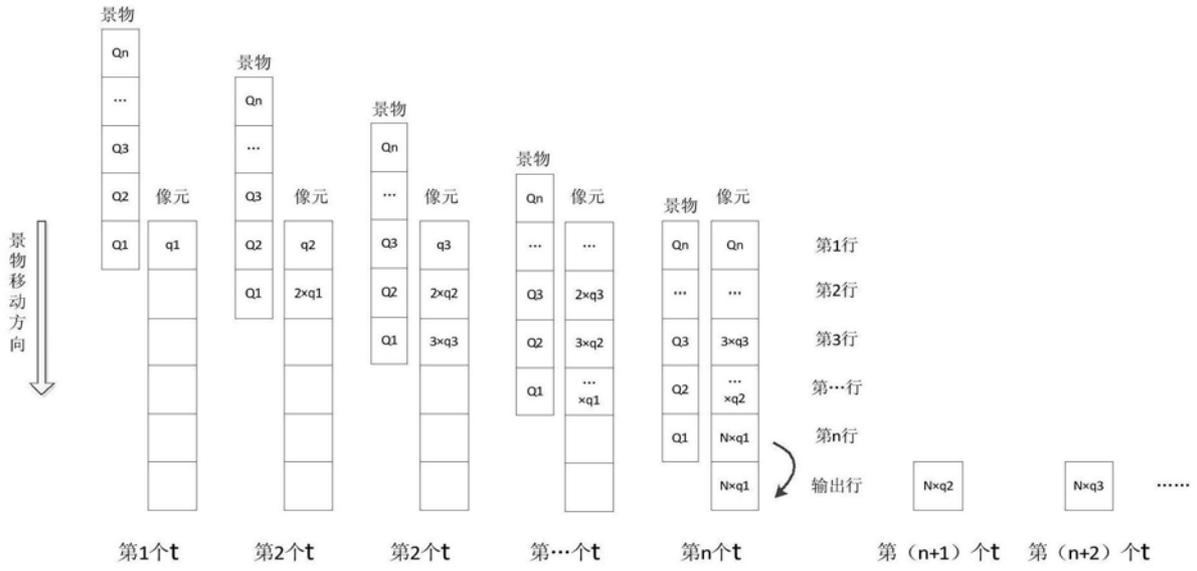


图1

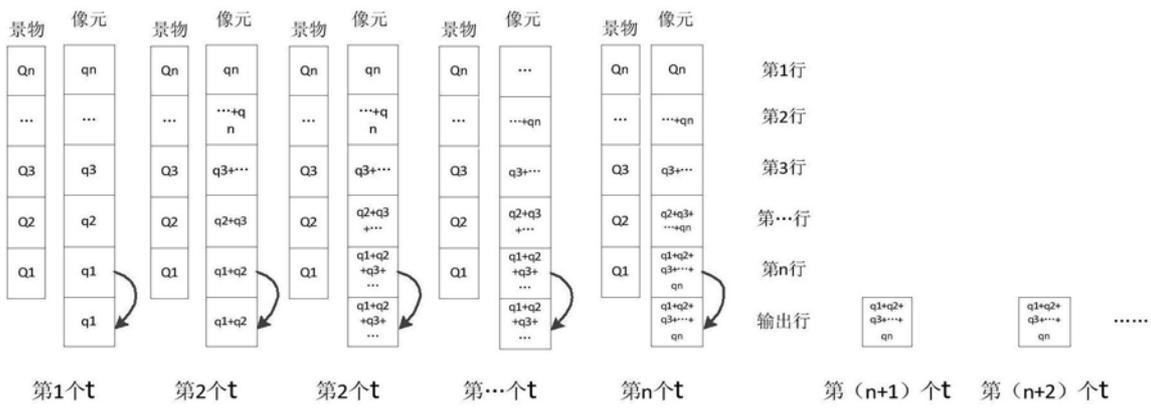


图2

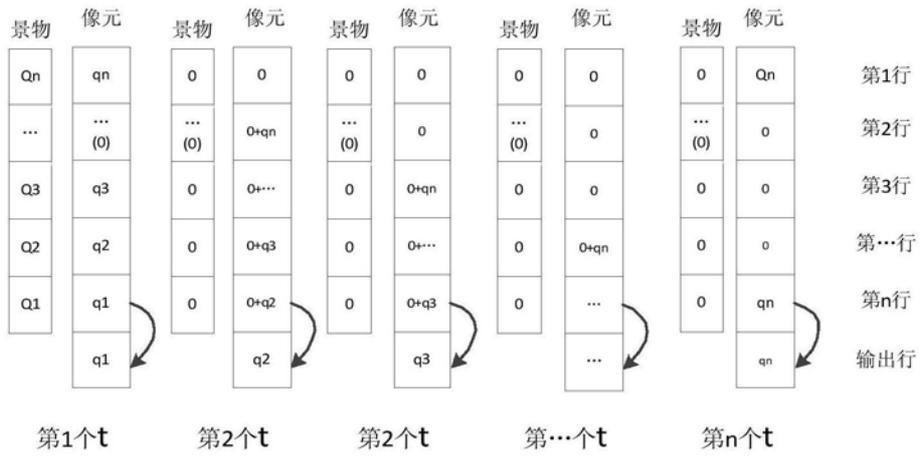


图3

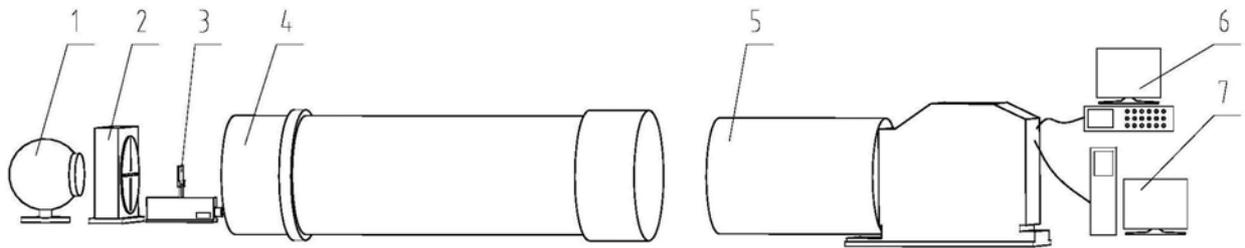


图4

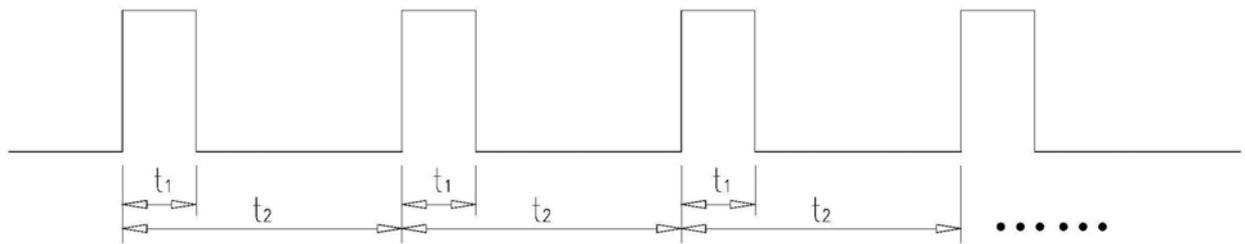


图5

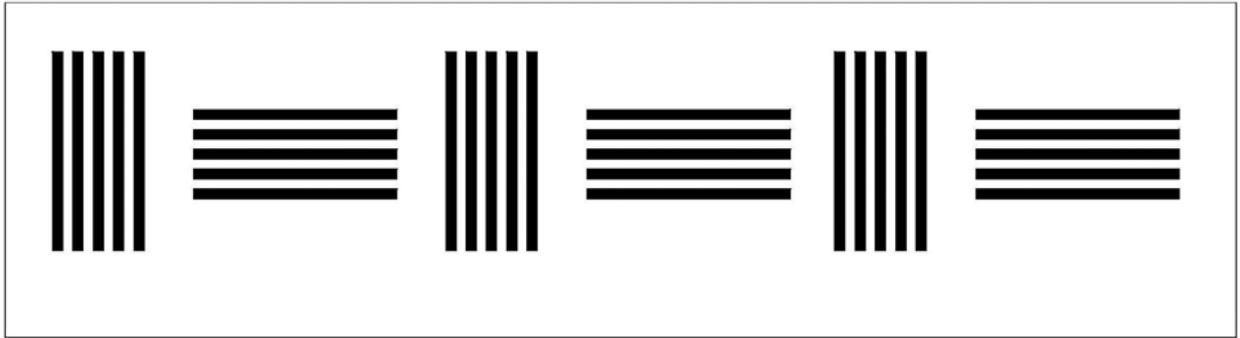


图6

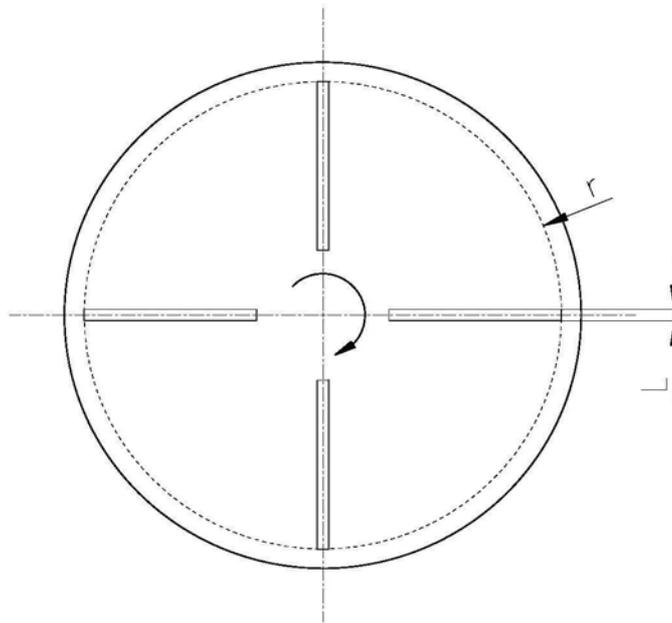


图7