



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101719738 A

(43) 申请公布日 2010. 06. 02

(21) 申请号 200910218062. 9

(22) 申请日 2009. 12. 22

(71) 申请人 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 荆雷 卢振武 刘华 赵会富
刘英

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 赵炳仁

(51) Int. Cl.

H02N 6/00 (2006. 01)

G02B 19/00 (2006. 01)

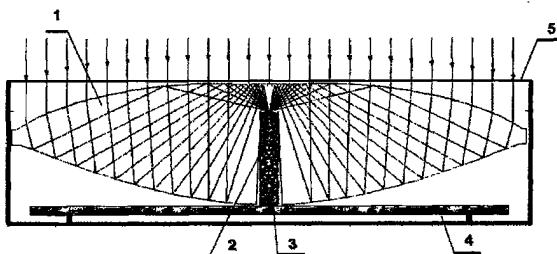
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

高效太阳能聚光光伏系统

(57) 摘要

本发明涉及光伏发电技术，具体涉及一种高效太阳能聚光光伏系统，由封装在外壳中的光学聚光器件、光伏电池、外接电路，散热板以及外部跟踪设备组成，所述的光学聚光器件由聚光镜和插置在聚光镜轴心孔内的匀光棒构成，所述聚光镜的上、下表面为高次非球面镜，所述匀光棒的下端直接座置在所述的光伏电池上，其直径与光伏电池的口径相等，其高度为聚光镜下表面拟合的高次非球面与光轴的截距。本系统克服了目前太阳能聚光光伏系统存在聚光比低、接收角较小、光能传输效率低的缺陷，该系统具有大接收角、高倍聚光、高能量传递效率、结构简单、紧凑的优点。



1. 一种高效太阳能聚光光伏系统,主要由封装在外壳(5)中的光学聚光器件(1)、光伏电池(3)、外接电路,散热板(4)以及外部跟踪设备组成,其特征在于:所述的光学聚光器件由聚光镜(1)和插置在聚光镜(1)轴心孔内的匀光棒(2)构成,所述匀光棒(2)的下端直接座置在所述的光伏电池(3)上,其直径与光伏电池(3)的口径相等,其高度为聚光镜下表面拟合的高次非球面与光轴的截距;所述聚光镜(1)的上、下表面是符合下式的高次非球面镜:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + \sum_1^{20} \alpha_i r^i$$

式中,z为矢高,c为顶点曲率半径,k为圆锥系数,r为面型上点到光轴距离, α_i 为多项式的各项系数,

聚光镜(1)的口径D根据光学扩展量相等方程 $E_i = E_o$ 确定,其中 $E_i = 2\pi D \sin \theta_i$, $E_o = 2\pi d \sin \theta_o$,d为光伏电池口径、 θ_i 为接收半角、 θ_o 为匀光棒接收端照射角,取 $\theta_o = \pi/2$,n为聚光镜材料折射率;下表面上镀有反射膜。

2. 根据权利要求1所述的高效太阳能聚光光伏系统,其特征在于,所述聚光镜(1)的上表面的中心区域镀有反射膜,该镀膜区域的直径为聚光镜口径D的12%~13%。

高效太阳能聚光光伏系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光伏发电技术,具体涉及一种高效利用太阳能的聚光光伏系统。

背景技术

[0002] 太阳能作为未来主要的可再生能源,日益受到各个国家的高度重视,相关研究显示出其巨大的应用潜力。然而到目前为止,光伏技术在电子市场上的应用并未达到人们预想的结果,一个主要的原因就是光伏系统的成本过高。而光伏系统的成本中又以光伏电池材料和系统跟踪的成本为主。由此可见,能否实现大规模地光伏技术产业化,关键在于降低电池材料和系统跟踪的成本。

[0003] 一种有效地降低电池材料成本和跟踪成本的途径是:在光伏系统中增加一成本较低的光学聚光镜,构成聚光光伏系统。然而传统聚光光伏系统中的聚光镜多是基于成像聚焦理论设计而成,如槽型抛物面反射镜,菲涅尔线聚焦,点聚焦透射镜等。其普遍存在的缺点是聚光比不高,接收角较小,光能传输效率低,高宽比较大。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为克服目前太阳能聚光光伏系统存在的上述缺陷,提出一种基于非成像理论设计的高效太阳能聚光光伏系统,该系统具有大接收角、高倍聚光、高能量传递效率、结构简单、紧凑的优点。

[0005] 本发明高效太阳能聚光光伏系统,主要由封装在外壳中的光学聚光器件、光伏电池、外接电路,散热板以及外部跟踪设备组成,所述的光学聚光器件由聚光镜和插置在聚光镜轴心孔内的匀光棒构成,所述匀光棒的下端直接座置在所述的光伏电池上,其直径与光伏电池的口径相等,其高度为聚光镜下表面拟合的高次非球面与光轴的截距;所述聚光镜的上、下表面是符合下式的高次非球面镜:

$$[0006] z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + \sum_1^{20} \alpha_i r^i$$

[0007] 式中, z 为矢高、c 为顶点曲率半径、k 为圆锥系数、r 为面型上点到光轴距离、 α_i 为多项式的各项系数。

[0008] 聚光镜的口径 D 根据光学扩展量相等方程 $E_i = E_o$ 确定,其中 $E_i = 2\pi D \sin \theta_i$, $E_o = 2\pi d \sin \theta_o$,即:

$$[0009] D = d * \sin(\theta_o) / \sin(\theta_i)$$

[0010] 其中,d 为光伏电池口径、 θ_i 为接收半角、 θ_o 为匀光棒接收端照射角,n 为聚光镜材料折射率;聚光镜下表面上镀有反射膜。

[0011] 为进一步提高聚光效果,在聚光镜上表面的中心区域也镀有反射膜,该镀膜区域的直径为聚光镜口径 D 的 12% -13%。

[0012] 本发明的工作原理是:太阳光束最先入射到聚光镜的上表面,经历一次折射后到达聚光镜的下表面,在此经历一次反射后再次回到聚光镜的上表面,经历一次全反射后到

达匀光棒的入射端,太阳光束经过匀光棒匀光后,最终照射到光伏电池上表面,实现高效光电转换,产生电流由外接电路导出。为了避免因长时间照射导致光伏电池过热,而造成系统的光电损失,我们在光伏电池背面接散热装置。最终该装置安装在跟踪设备上对太阳实施实时跟踪。

[0013] 本发明的关键技术在于对光学部件的设计,设计时聚光镜与匀光棒先分开设计,加工时再整体加工,这样有利于系统的装调(避免装调误差引入),减小系统复杂性,也更利于降低整个系统成本。

[0014] 本发明高倍聚光镜设计的理论基础是非成像理论。首先,要使入射光束的能量最大程度地传输到接收端,必须保证入射光束的光学扩展量 E_i 与出射光束的光学扩展量 E_o 相等,亦即 $E_i = E_o$ 。其次,必须保证系统入射端的边缘光线与出射端的边缘光线相匹配,即边缘光线原理。在此前提下,两边缘光线之间的光线也会照射到接受面的两个边缘点内,换句话说,小于最大接受角的其它入射角光线都能照射到接受面的两个边缘点之间,在这里,接受面的两个边缘点指的是匀光棒的入射端的左右端点。

[0015] 本发明高效太阳能聚光光伏系统,具有以下突出优点:

[0016] 1. 可以获得较大的接收角:0.5~5度,这就意味着太阳能光伏系统的跟踪精度可以大幅降低,相应地降低了跟踪成本。

[0017] 2. 相当高的几何聚光比:30000~300,相对地减少了光伏电池的面积,节省了光伏电池材料,即大幅降低了整个系统的成本。

[0018] 3. 高宽比一般小于0.5,整个光伏聚光系统结构十分紧凑,有利于大规模阵列式集成化。

[0019] 4. 能量传输效率达80%以上(考虑折、反射损失及吸收损失等),光能损失很少,更为高效地利用太阳能。

[0020] 5. 面型精度要求不高。相比于基于成像理论的聚光镜,本发明的聚光镜面型精度要求不是很高,这便更有利利用有机材料PMMA的注塑成型,大规模加工生产该聚光镜,从而大幅度降低光伏系统成本。

附图说明

[0021] 图1是本发明高效太阳能聚光光伏系统的结构示意图;

[0022] 图2是本发明的高倍聚光镜设计原理示意图。图中虚线表示匀光棒;

[0023] 图3是本发明在截短后,正的最大接收半角情况下的聚光示意图;

[0024] 图4是本发明在截短后,负的最大接收半角情况下的聚光示意图;

[0025] 图5是本发明聚光镜在接收角为2.7度,聚光比500倍,情况下的能量传输率与角度关系图。(不考虑介质吸收,折、反射损失,和上表面中央处镀反射膜遮挡)。

具体实施方式

[0026] 以下结合附图给出的实施例对本发明作进一步详细阐述。

[0027] 参照图1,一种高效太阳能聚光光伏系统,主要由封装在外壳(5)中光学聚光器件(1)、光伏电池(3)、外接电路,散热板(4)以及外部跟踪设备组成。在开始设计前,我们首先选择电池尺寸,选用较小的平面光伏电池,圆形,直径d=2mm,装置接收角 $\theta_i = 2.7^\circ$ 。

接下来确定几何聚光比 C, 根据几何聚光比公式 $C = (n/\sin \theta_i)^2$, 其中 n 为聚光镜折射率, 我们选取 PMMA : $n = 1.5$, 可以求得几何聚光比 : $C = 1014$ 。再根据光学扩展量相等方程 $E_i = E_o$ (其中 $E_i = 2\pi D_0 \sin \theta_i$, $E_o = 2\pi d \sin \theta_o$, 为实现最大限度聚光, 一般 $\theta_o = \pi/2$), 我们可以求得聚光镜口径 $D = d * \sin(\theta_o) / \sin(\theta_i) = d * \sin(\pi/2) / \sin(2.7) = 63\text{mm}$ 。

[0028] 本发明聚光镜的具体设计步骤如下 :

[0029] 第一步 : 选取任意一曲线作为聚光镜的上表面, 如图 2(a) 中 1.1。该曲线应尽量取得平滑, 一般选取二次曲线。

[0030] 第二步 : 构造负的入射边缘光线族 $-p$, 如图 2(a) 中 6。根据边缘光线原理, 该部分光束经聚光镜上表面 1.1 折射, 下表面 1.2 反射, 再经上表面 1.1 全反射后, 应到达出射端左端点, 即匀光棒的左端点 2.1, 结合等光程和折、反射定律, 我们可以求得聚光镜的下表面 1.2。

[0031] 第三步 : 构造正的入射边缘光线族 $+p$, 如图 2(b) 中 7。同样根据边缘光线原理, 该部分光束经聚光镜上表面 1.1 折射, 下表面 1.2 反射, 再经新的上表面 1.3 全反射后, 应到达出射端右端点, 即匀光棒的右端点 2.2。再次根据光程相等和折、反射定律, 我们可以求得聚光镜新的上表面 1.3。

[0032] 第四步 : 如果新的上表面 1.3 和步骤二中的上表面 1.1 足够的接近, 则我们的设计过程结束, 否则重复步骤二、三, 直至满足设计要求。

[0033] 第五步 : 分析聚光镜上表面全反射情况。经对聚光镜最终设计结果分析知道, 上表面中央靠近光轴处有一小部分是不满足全反射条件的, 需求出该镀反射膜区域范围。

[0034] 上述设计过程不一定总是收敛, 这取决于步骤一中所取任意曲线是否合适, 一旦设计过程不收敛, 我们可以选取更为平滑的曲线作为聚光镜上表面 1.1, 重新开始设计过程, 直至满足我们的设计要求。

[0035] 从上述设计过程, 我们一般可以得到聚光镜上下表面各 1000 多个数据点, 然后采用基于最小二乘法的非球面高次多项式对数据点进行拟合, 得到 2D 曲线。3D 面型由该 2D 曲线绕对称轴旋转而得。

[0036] 最终我们拟合所得聚光镜上表面 1.1 满足如下非球面方程 :

$$[0037] z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2 r^2}} + \sum_{i=1}^{20} \alpha_i r^i$$

[0038] 其中 : $c = 0$, $k = 0$, 其它高次多项式系数分别为 :

$$[0039] \alpha_1 = -2.968723752057118e-002 \quad \alpha_2 = 9.578901915412360e-003$$

$$[0040] \alpha_3 = -1.054537717243669e-003 \quad \alpha_4 = -6.553014937945029e-003$$

$$[0041] \alpha_5 = -1.296080897617321e-004 \quad \alpha_6 = 8.154575515178800e-005$$

$$[0042] \alpha_7 = 1.174455186859848e-004 \quad \alpha_8 = 3.596494741656907e-005$$

$$[0043] \alpha_9 = 6.774150382578909e-007 \quad \alpha_{10} = 9.049049829938531e-007$$

$$[0044] \alpha_{11} = 9.013708058464528e-008 \quad \alpha_{12} = 6.844174049336993e-009$$

$$[0045] \alpha_{13} = 3.995979286701326e-010 \quad \alpha_{14} = 1.793400727048338e-011$$

$$[0046] \alpha_{15} = 6.134389965925459e-014 \quad \alpha_{16} = 1.570168537821995e-014$$

$$[0047] \alpha_{17} = 2.911123308884652e-016 \quad \alpha_{18} = 3.691113208473048e-018$$

$$[0048] \alpha_{19} = 2.862557790283019e-020 \quad \alpha_{20} = 1.023908352475696e-022$$

[0049] 聚光镜下表面 1.2 同样满足如下非球面方程：

$$[0050] z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^{20} \alpha_i r^i$$

[0051] 其中 :c = 0, k = 0, 其它高次多项式系数分别为 :

[0052]	$\alpha_1 = 8.063349804964906e-003$	$\alpha_2 = 2.643189651057634e-002$
[0053]	$\alpha_3 = 1.495787427468164e-003$	$\alpha_4 = -6.842429168186267e-003$
[0054]	$\alpha_5 = -6.975081732538938e-004$	$\alpha_6 = -3.563992090534584e-003$
[0055]	$\alpha_7 = -1.163479728523440e-003$	$\alpha_8 = -2.656457882329482e-004$
[0056]	$\alpha_9 = -4.449383419358939e-005$	$\alpha_{10} = -5.623839924370509e-006$
[0057]	$\alpha_{11} = -5.456138282119727e-007$	$\alpha_{12} = -4.100576430850643e-008$
[0058]	$\alpha_{13} = -2.394016870217314e-010$	$\alpha_{14} = -1.082133698314836e-010$
[0059]	$\alpha_{15} = -3.748361315024322e-012$	$\alpha_{16} = -9.758465287902727e-013$
[0060]	$\alpha_{17} = -1.846908194829235e-014$	$\alpha_{18} = -2.398002986017931e-017$
[0061]	$\alpha_{19} = -1.909588979925858e-019$	$\alpha_{20} = -7.030515308414840e-022$

[0062] 匀光棒 2 直径为电池尺寸 d = 2mm, 长度等于聚光镜下表面 1.2 拟合多项式曲线的 y 轴截距 14.2mm。

[0063] 聚光镜下表面 1.2 靠近轴心处需开一尺寸与匀光棒尺寸相匹配的轴心孔, 其顶端开口直径 d_{ht} 为 : $d_{ht} = 2\text{mm}$, 底端开口直径 d_{hb} 为 : $d_{hb} = 5\text{mm}$, 深度为匀光棒的高度 14.2mm。

[0064] 聚光镜下表面 1.2 全口径镀有反射膜, 上表面靠近中央轴心处镀有反射膜, 其直径 D_m 为 : $D_m = D * 13\% = 63 * 0.13 = 8.2\text{mm}$ 。

[0065] 为使全部光线在匀光棒中满足全反射条件, 进一步增大到达光伏电池的光能, 我们可以对聚光镜结构优化, 即对聚光镜口径进行截短操作。根据光学扩展量相等方程 $E_i = E_o$ 确定, 其中 $E_i = 2\pi D \sin \theta_i$, $E_o = 2\pi d \sin \theta_o$, 可以求得截短后聚光镜的口径, 但此时照射角 $\theta_o = 90 - \arcsin(1/n)$ 。截短后的聚光镜口径为 :

$$[0066] D = d * \sin(90 - \arcsin(1/n)) / \sin(\theta_i) = 31.65\text{mm}$$

[0067] 如附图 3、4 所示, 我们用光学软件对截短后的聚光镜系统进行光线追迹, 结果显示, 最大接收角时的太阳光束 6、7 正好到达匀光棒端点处 2.1、2.2, 再经过匀光棒 2 经历多次全反射后, 太阳光束均匀的照射在光伏电池 3 表面上, 完成光电转换。

[0068] 由附图 5 我们可知, 本发明的聚光镜是一种高效的太阳能聚光装置, 在接收角内的太阳光束几乎都能聚集到光伏电池表面, 而且在光伏电池的表面能够得到均匀性很好的光能分布。

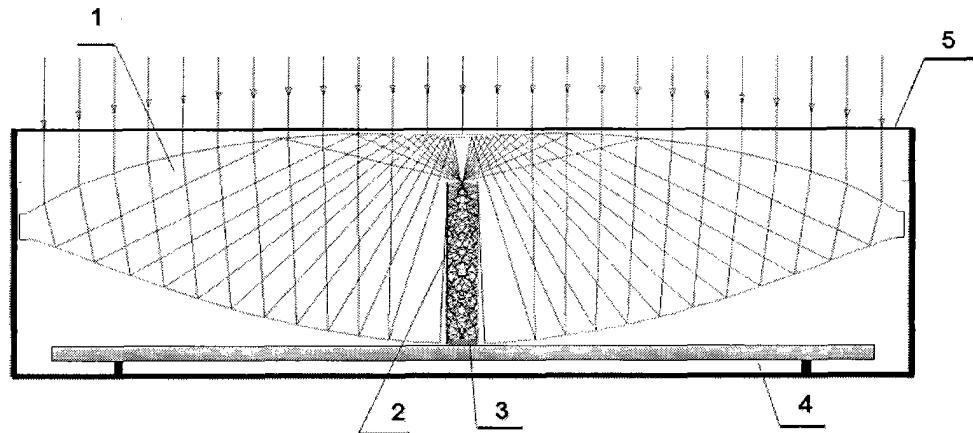


图 1

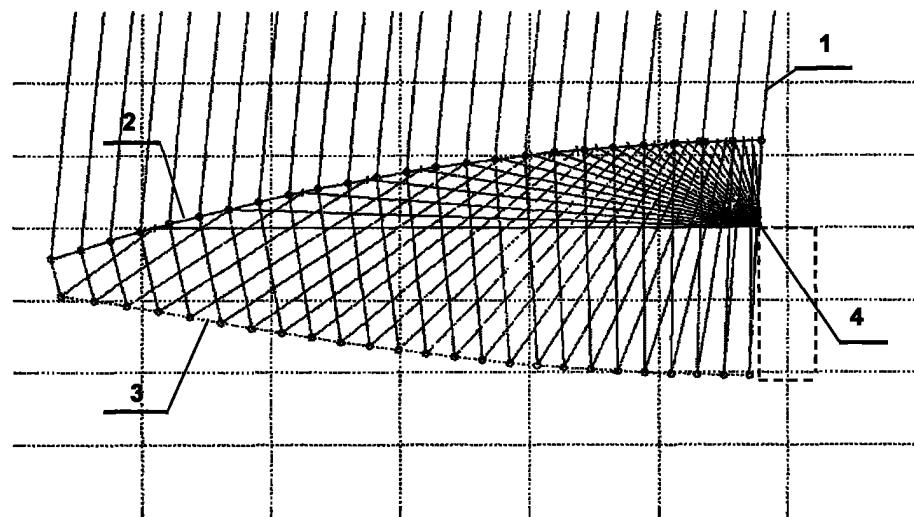


图 2(a)

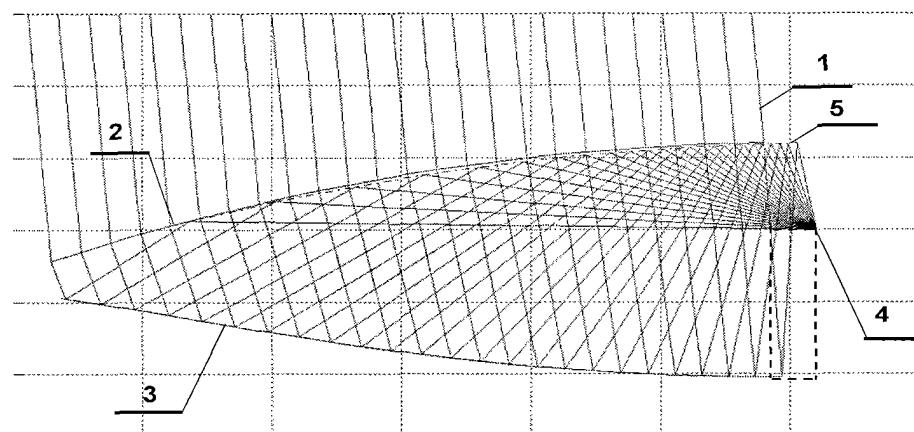


图 2(b)

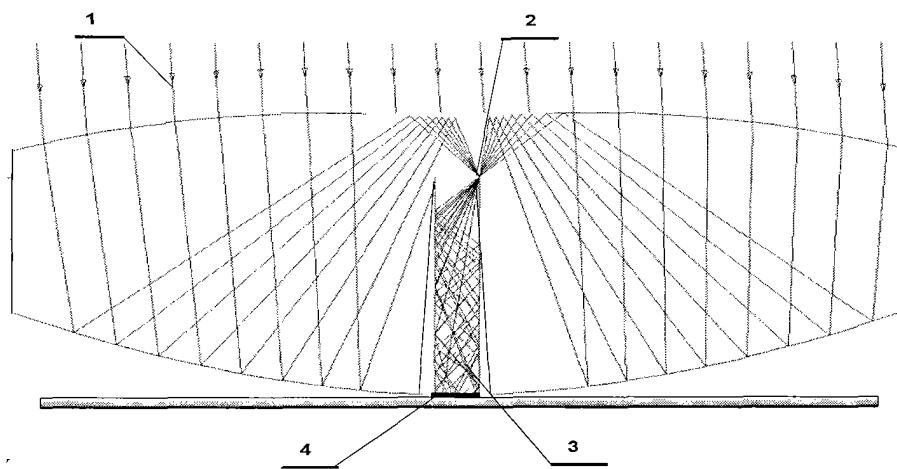


图 3

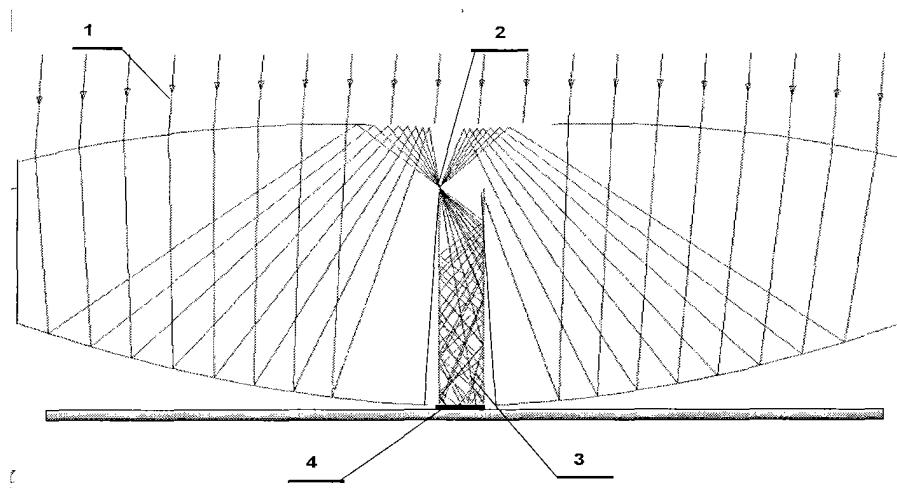


图 4

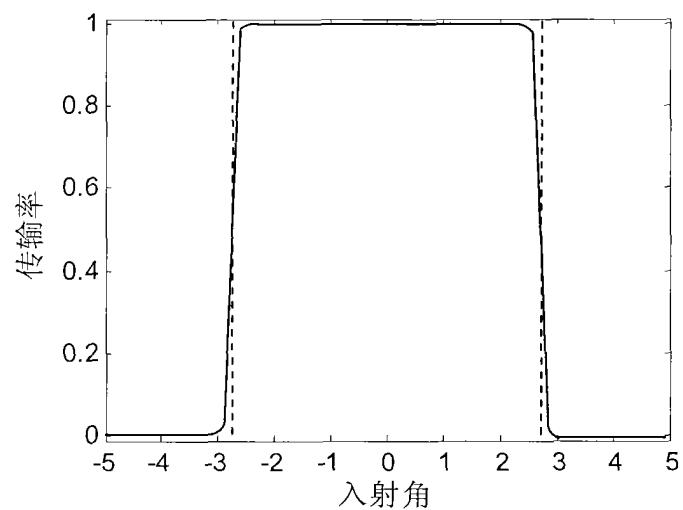


图 5