

空间分辨漫反射的高阶参量灵敏度*

刘 迎¹⁾ 王利军¹⁾ 郭云峰¹⁾ 张小娟²⁾ 高宗慧¹⁾ 田会娟¹⁾

1) 天津大学理学院, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

2) 中国民航大学理学院, 天津 300300)

(2006 年 9 月 12 日收到, 2006 年 9 月 20 日收到修改稿)

光源附近的空分分辨漫反射与散射介质的阶光学参量有关. 为了研究高阶参量对漫反射的影响, 定义了二阶参量灵敏度和三阶参量灵敏度, 它们表示了由于高阶参量变化导致漫反射变化的相对量. 从 P_3 近似理论出发, 推导了二阶参量灵敏度和三阶参量灵敏度的解析表示, 并进行了数值分析和比较. 研究表明, 在大于一个输运平均自由程的非漫射近似区域, 反射率随二阶光学参量增加而增加, 其灵敏度随着空间变化, 并在小于两个输运平均自由程内出现极大值. 相比之下, 三阶光学参量对漫反射率的影响可以忽略.

关键词: 漫反射, P_3 近似, 灵敏度

PACC: 4210, 4225B, 0380

1. 引 言

随机介质中光传播的输运理论能够灵活处理许多物理现象, 在大气光学、光学遥感、海洋生物学、生物医学等领域有着成功的应用^[1-5]. 在输运理论中, 随机介质的光学性质用吸收系数 μ_a 、散射系数 μ'_s 和散射相函数 $p(\theta)$ 描述. 在漫射近似下, 辐射强度只与吸收系数 μ_a 和有效散射系数 μ'_s 有关, $\mu'_s = \mu_s(1-g)$, 其中 g 是散射相函数 $p(\theta)$ 的一阶勒让德矩, 称作介质的各向异性因子. 在漫射近似下, 通常能够求解输运方程, 得到一个相对简单的解析解^[6]. 高阶散射问题比较复杂, 梁子长和金亚秋^[7]报道了一种数值求解方法, 该方法将一阶散射与高阶散射迭代相结合, 用于非球形粒子多层结构及非均匀介质的散射和热辐射计算.

在研究漫反射问题时, 漫射近似要求光源与探测器之间的距离 ρ 远大于一个输运平均自由程 l_t , $l_t \equiv 1/(\mu_a + \mu'_s) \approx 1/\mu'_s$. 然而, 光源附近的漫反射的研究对于许多实际应用是必要的, 例如大的光源与探测器之间的距离限制了对小样品的测量. Bevilacqua 等^[8]用 Monte Carlo 方法对光源附近约一个输运平均自由程的漫反射进行了研究, 指出光源附近介质的光辐射与相函数的前两阶矩有很大关

系, 并引入了高阶参量 γ 和 δ . 田会娟等^[9]用 Monte Carlo 方法对高阶参量 γ 和 δ 影响的范围和规律性进行了研究. 2001 年 Hull 等^[10]研究了半无限介质的 P_3 近似解, 显示了 P_3 近似解和漫射近似解在描述光源附近漫反射的差别. 高宗慧等^[11]对 P_3 近似解作了详细阐述, 并与漫射近似和 Monte Carlo 模拟结果进行了比较, 指出了 P_3 近似的应用范围.

本文研究了空间分辨漫反射与高阶参量 γ 和 δ 灵敏度的关系. 二阶参量灵敏度 S_γ 和三阶参量灵敏度 S_δ 表示由于参量 γ 和 δ 的变化导致漫反射变化的相对量, 反映了 γ 和 δ 对 P_3 近似漫反射的影响. 从 P_3 近似理论出发, 推导了 S_γ 和 S_δ 的解析表示, 在此基础上进行了数值分析, 比较了二阶参量 γ 和三阶参量 δ 对漫反射影响.

2. P_3 近似漫反射率

考虑无限细激光束垂直入射到半无限均匀介质表面(见图 1), 通过求解输运方程得到 P_3 近似漫反射率^[10, 11]

$$R(\rho; \gamma, \delta) = \sum_{l=0}^3 \frac{2l+1}{4\pi} \psi_l(\rho; \gamma, \delta) S_l(\rho, z_0). \quad (1)$$

这里 $z_0 = 1/(\mu_a + \mu'_s)$ 是将光源近似成点光源后的位置; $S_l(\rho, z_0)$ 只与一阶参量 μ_a 和 μ'_s 有关,

* 国家自然科学基金(批准号: 60278004)资助的课题.

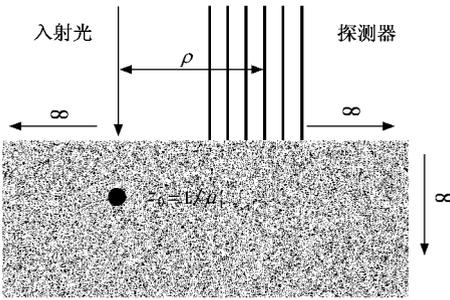


图 1 空间分辨漫反射测量原理示意图

$$S_0(\rho, z_0) = k_1,$$

$$S_1(\rho, z_0) = k_2 \frac{z_0}{(\rho^2 + z_0^2)^{3/2}},$$

$$S_2(\rho, z_0) = k_3 \frac{3z_0^2}{\chi(\rho^2 + z_0^2)} + k_5 \frac{3\rho^2}{\chi(\rho^2 + z_0^2)} - k_1 \frac{1}{2}, \quad (2)$$

$$S_3(\rho, z_0) = k_4 \frac{5z_0^3}{\chi(\rho^2 + z_0^2)^{3/2}} + k_6 \frac{15z_0\rho^2}{\chi(\rho^2 + z_0^2)^{3/2}} - k_2 \frac{3z_0}{\chi(\rho^2 + z_0^2)^{3/2}}.$$

(1) 式中的 $\psi_i(\rho, \gamma, \delta)$ 不仅与一阶参量 μ_a 和 μ'_s 有关, 还与高阶参量 γ 和 δ 有关,

$$\begin{aligned} \gamma &= (1 - g_2)(1 - g_1), \\ \delta &= (1 - g_3)(1 - g_1), \end{aligned} \quad (3)$$

式中 g_n 是相函数 $p(\theta)$ 的 n 阶勒让德矩^[10,11].

$$\begin{aligned} \psi(\rho, \gamma, \delta) &= C_- h_i(-\nu_-) [Q_i(-\nu_- r_1) - Q_i(-\nu_- r_3)] \\ &+ C_+ h_i(-\nu_+) [Q_i(-\nu_+ r_1) - Q_i(-\nu_+ r_2)], \end{aligned} \quad (4)$$

式中 C_{\pm} 和 $h_i(\nu_j)$ 是只与光学参量有关的量, $Q(x)$ 与 ρ 有关.

$$\begin{aligned} Q_0(x) &= xe^x, \\ Q_1(x) &= Q_0(x) \chi(1 - x^{-1}), \\ Q_2(x) &= Q_0(x) \chi(1 - 3x^{-1} + 3x^{-2}), \\ Q_3(x) &= Q_0(x) \chi(1 - 6x^{-1} + 15x^{-2} - 15x^{-3}). \end{aligned} \quad (5)$$

这里 x 对应式中的 $-\nu_- r_1, -\nu_- r_3, -\nu_+ r_1, -\nu_+ r_2$,

$$\begin{aligned} r_1^2 &= \rho^2 + z_0^2, \\ r_2^2 &= \rho^2 + (z + z_0 + 2z_{b1})^2, \\ r_3^2 &= \rho^2 + (z + z_0 + 2z_{b2})^2, \end{aligned} \quad (6)$$

式中

$$z_{b1} = 2A\mu_a/\nu_+^2,$$

$$z_{b2} = 2A\mu_a/\nu_-^2$$

是两个外推边界的位置^[11,12], 当折射率为 1.4 时, $A = 2.94$. (4) 式中的 ν_+ 和 ν_- 分别为

$$\begin{aligned} \nu_+ &= \frac{1}{\sqrt{18}}(\beta + \sqrt{\beta^2 - \gamma_a})^{1/2}, \\ \nu_- &= \frac{1}{\sqrt{18}}(\beta - \sqrt{\beta^2 - \gamma_a})^{1/2}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中

$$\begin{aligned} \beta &= 27\mu_a(\mu_a + \mu'_s) + 28\mu_a(\mu_a + \mu'_s\delta) \\ &+ 35(\mu_a + \mu'_s\gamma)\chi(\mu_a + \mu'_s\delta), \\ \gamma_a &= 3780\mu_a(\mu_a + \mu'_s)\chi(\mu_a + \mu'_s\delta) \\ &\times (\mu_a + \mu'_s\delta); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} C_- &= \frac{\nu_-^5 [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_+^2]}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s)\chi(\nu_+^2 - \nu_-^2)}, \\ C_+ &= \frac{\nu_+^5 [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_-^2]}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s)\chi(\nu_+^2 - \nu_-^2)}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$h_0(\nu_j) = 1,$$

$$h_1(\nu_j) = -\frac{\mu_a}{\nu_j}, \quad (10)$$

$$h_2(\nu_j) = -\frac{1}{2} + \frac{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)}{2\nu_j^2},$$

$$h_3(\nu_j) = -\frac{9\mu_a(\mu_a + \mu'_s)}{14(\mu_a + \mu'_s\delta)\nu_j} + \frac{3\nu_j}{14(\mu_a + \mu'_s\delta)}.$$

这里 ν_j 分别对应 $-\nu_-, -\nu_+$.

3. 漫反射对高阶光学参量的灵敏度

漫反射率 $R(\rho, \gamma, \delta)$ 对二、三阶参数的灵敏度定义为

$$\begin{aligned} S_\gamma &= \frac{1}{R(\rho, \gamma, \delta)} \frac{\partial R(\rho, \gamma, \delta)}{\partial \gamma}, \\ S_\delta &= \frac{1}{R(\rho, \gamma, \delta)} \frac{\partial R(\rho, \gamma, \delta)}{\partial \delta}. \end{aligned} \quad (11)$$

S_γ 和 S_δ 表示了由于参量 γ 和 δ 的变化导致漫反射率变化的相对量, 反映了 γ 和 δ 对 P_3 近似漫反射的影响. 利用 (1)–(10) 式, 推导后得到

$$S_\gamma = \frac{1}{R} (V_{\text{isol}} + V_{\text{tran}} + V_{\text{iso2}} + V_{\text{asym}}), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{isol}} &= \sum_{l=0}^3 \left[\frac{2l+1}{4\pi} C'_+ h_l(-\nu_+) Q_l(-\nu_+ r_1) \right. \\ &+ C_+ h'_l(-\nu_+) Q_l(-\nu_+ r_1) \\ &+ C_+ h_l(-\nu_+) Q'_l(-\nu_+ r_1) \left. \right] S_l(\rho), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{\text{tran}} &= \sum_{l=0}^3 \left[\frac{2l+1}{4\pi} C'_+ h_l(-\nu_+) Q_l(-\nu_+ r_2) \right. \\
&\quad + C_+ h'_l(-\nu_+) Q_l(-\nu_+ r_2) \\
&\quad \left. + C_+ h_l(-\nu_+) Q'_l(-\nu_+ r_2) \right] S(\rho), \\
V_{\text{iso2}} &= \sum_{l=0}^3 \left[\frac{2l+1}{4\pi} C'_- h_l(-\nu_-) Q_l(-\nu_- r_1) \right. \\
&\quad + C_- h'_l(-\nu_-) Q_l(-\nu_- r_1) \\
&\quad \left. + C_- h_l(-\nu_-) Q'_l(-\nu_- r_1) \right] S(\rho), \\
V_{\text{asym}} &= \sum_{l=0}^3 \left[\frac{2l+1}{4\pi} C'_- h_l(-\nu_-) Q_l(-\nu_- r_3) \right. \\
&\quad + C_- h'_l(-\nu_-) Q_l(-\nu_- r_3) \\
&\quad \left. + C_- h_l(-\nu_-) Q'_l(-\nu_- r_3) \right] S(\rho), \quad (13)
\end{aligned}$$

式中 $C'_\pm(\nu_+, \nu_-)$, $h'_l(\nu_j)$, $Q'_l(x)$ 分别表示 $C_\pm(\nu_+, \nu_-)$, $h_l(\nu_j)$, $Q_l(x)$ 对其宗量 ν_j 或 x 的导数.

$$\begin{aligned}
C'_+ &= \frac{5\nu_+^4 \nu'_+ [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_-^2] - 2\nu_+^5 \nu_- \nu'_-}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\nu_-^2 - \nu_+^2)} \\
&\quad - \frac{2\nu_+^5 [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_-^2] \mathfrak{I}(\nu_- \nu'_- - \nu_+ \nu'_+)}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\nu_-^2 - \nu_+^2)}, \\
C'_- &= \frac{5\nu_-^4 \nu'_- [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_+^2] - 2\nu_-^5 \nu_+ \nu'_+}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\nu_+^2 - \nu_-^2)} \\
&\quad - \frac{2\nu_-^5 [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) - \nu_+^2] \mathfrak{I}(\nu_+ \nu'_+ - \nu_- \nu'_-)}{12\pi\mu_a^2(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\nu_+^2 - \nu_-^2)}; \quad (14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h'_1(\nu_j) &= \frac{\mu_a \nu'_j}{\nu_j^2}, \\
h'_2(\nu_j) &= -\frac{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) \nu'_j}{\nu_j^3}, \\
h'_3(\nu_j) &= -\frac{9}{14} \frac{\mu_a(\mu_a + \mu'_s) \nu'_j}{(\mu_a + \mu'_s \delta) \nu_j^2} \\
&\quad + \frac{3}{14} \frac{\nu'_j}{\mu_a + \mu'_s \delta}; \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q'_0(x) &= Q_0(x) \mathfrak{I}(1 - x^{-1}) x', \\
Q'_1(x) &= [Q_1(x) \mathfrak{I}(1 - x^{-1}) + Q_0(x) x^{-2}] x', \\
Q'_2(x) &= [Q_2(x) \mathfrak{I}(1 - x^{-1}) \\
&\quad + Q_0(x) \mathfrak{I}(3x^{-2} - 6x^{-3})] x', \\
Q'_3(x) &= [Q_3(x) \mathfrak{I}(1 - x^{-1}) + Q_0(x) \\
&\quad \times (6x^{-2} - 30x^{-3} + 45x^{-4})] x'. \quad (16)
\end{aligned}$$

(14)–(16) 式中的 ν'_+ , ν'_- , x' 分别表示 ν_+ , ν_- , x 对二阶参量 γ 的导数.

$$\begin{aligned}
\nu'_\pm &= \frac{1}{2\sqrt{18}} (\beta \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma_a})^{1/2} \\
&\quad \times \left[\beta' \pm \frac{1}{2} (\beta^2 - \gamma_a)^{-1/2} (2\beta\beta' - \gamma'_a) \right],
\end{aligned}$$

$$x' = -(\nu'_j r_i + \nu_j r'_i), \quad (17)$$

式中 β' 和 γ'_a 是 β 和 γ_a 对二阶参量 γ 的导数, r'_j 是 r_j 对其宗量 ν_j 的导数.

$$\beta' = 35\mu'_s(\mu_a + \mu'_s \delta), \quad (18)$$

$$\gamma'_a = 3780\mu_a \mu'_s(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\mu_a + \mu'_s \delta);$$

$$\begin{aligned}
r'_2 &= [\rho^2 + (z + z_0 + 2z_{b1})^2]^{1/2} \\
&\quad \times (z + z_0 + 2z_{b1}) \mathfrak{I}(-8A\mu_a \nu_+^{-3} \nu'_+), \quad (19)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r'_3 &= [\rho^2 + (z + z_0 + 2z_{b2})^2]^{1/2} \\
&\quad \times (z + z_0 + 2z_{b2}) \mathfrak{I}(-8A\mu_a \nu_-^{-3} \nu'_-).
\end{aligned}$$

S_δ 的推导结果与 S_γ 大部分相同, 只是 (15) 和 (18) 式不同,

$$\begin{aligned}
h'_1(\nu_j) &= \frac{\mu_a \nu'_j}{\nu_j^2}, \\
h'_2(\nu_j) &= -\frac{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s) \nu'_j}{\nu_j^3}, \\
h'_3(\nu_j) &= -\frac{9}{14} \frac{\mu_a(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\mu'_s \nu_j + (\mu_a + \mu'_s \delta) \nu'_j)}{(\mu_a + \mu'_s \delta) \nu_j^2} \\
&\quad + \frac{3}{14} \frac{\nu'_j(\mu_a + \mu'_s \delta) - \nu_j \mu'_s}{\mu_a + \mu'_s \delta}; \quad (20)
\end{aligned}$$

$$\beta' = 28\mu_a \mu'_s + 35\mu'_s(\mu_a + \mu'_s \gamma), \quad (21)$$

$$\gamma'_a = 3780\mu_a \mu'_s(\mu_a + \mu'_s) \mathfrak{I}(\mu_a + \mu'_s \gamma).$$

4. 结果及讨论

根据以上分析可知, $S_\gamma(\rho)$ 和 $S_\delta(\rho)$ 是生物组织的光学参量 μ_a , μ'_s , γ 和 δ 的函数. 为了比较方便, 在本文的数值计算中保持一阶参量 $\mu_a = 0.01 \text{ mm}^{-1}$, $\mu'_s = 1 \text{ mm}^{-1}$ 以及介质的折射率 $n = 1.4$ 不变, 因此运输平均自由程 $l_1 \approx 1 \text{ mm}$. 图 2 是二阶灵敏度 $S_\gamma(\rho)$ 的数值计算结果, 图中 4 条曲线的二阶参量 γ 分别为 $\gamma = 1.0, 1.2, 1.6, 2.0$, 三阶参量 ($\delta = 1.5$) 保持不变. 从图 2 容易发现 (1) $S_\gamma(\rho)$ 随着源与探测器间距 ρ 的变化是非常大的, 在 $\rho = 0.4 l_1$ 处, $S_\gamma(\rho)$ 高达 -70% ; 在 $\rho > 6l_1$ 区域, $S_\gamma(\rho)$ 降至 10% 以下, 并随 ρ 的变化很缓慢. (2) 在约 $\rho < l_1$ 的区域, $S_\gamma(\rho) < 0$, 即 γ 的增加引起反射率降低, 而在 $\rho > l_1$ 的区域, $S_\gamma(\rho) > 0$, 即 γ 的增加引起反射率增加. (3) 在 $\rho > l_1$ 区域, 灵敏度 $S_\gamma(\rho)$ 有一个极值, 出

现在 $\rho < 2l_1$ 区域, 这个极值可以高达 30% .

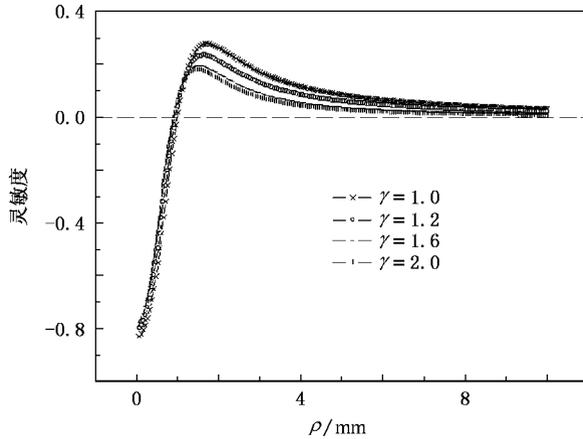


图 2 空间分辨漫反射率对二阶参量 γ 的灵敏度

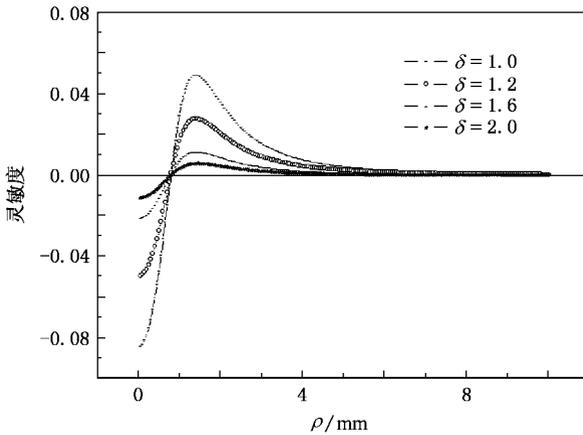


图 3 空间分辨漫反射率对三阶参量 δ 的灵敏度

图 3 是三阶灵敏度 $S_\delta(\rho)$ 的数值计算结果, 图

中 4 条曲线的三阶参量 δ 分别为 $\delta = 1.0, 1.2, 1.6, 2.0$, 二阶参量 ($\gamma = 1.9$) 保持不变. 从图 2 容易发现: (1) $S_\delta(\rho)$ 随着源与探测器间距 ρ 的变化比较大, 在 $\rho = 0.4l_1$ 处, $S_\delta(\rho)$ 达到 -7% ; 在 $\rho > 3l_1$ 区域, $S_\delta(\rho)$ 降至 +1% 以下, 并随 ρ 的变化很缓慢. (2) 在约 $\rho < l_1$ 的区域, $S_\gamma(\rho) < 0$, 即 γ 的增加引起反射率降低, 而在 $\rho > l_1$ 的区域, $S_\gamma(\rho) > 0$, 即 γ 的增加引起反射率增加. (3) 在 $\rho > l_1$ 区域, 灵敏度 $S_\gamma(\rho)$ 有一个极值, 出现在 $\rho < 2l_1$ 区域, 这个极值可以达 6% .

5. 结 论

通过以上对 $S_\gamma(\rho)$ 和 $S_\delta(\rho)$ 的粗略分析, 我们可以得到以下结论: (1) 参量 γ 和 δ 对漫反射 $R(\rho; \gamma, \delta)$ 的影响主要在光源附近, δ 影响范围大约是 γ 影响范围的 1/2, δ 的影响程度是 γ 影响程度的 10% 左右, 因此 δ 的影响可以忽略. (2) 在漫射近似区域, γ 的影响不会超过 5%. (3) 在非漫射近似区域, 例如考虑 $\rho < 3l_1$ 区域, γ 的影响是不能被忽略的, 例如 $\rho < 2l_1$ 区域的极值处, $S_\gamma(\rho)$ 为 20%—30%, γ 变化引起反射率的相对变化量为 $\Delta R/R \approx 0.25\Delta\gamma$.

本文在研究光源附近的光辐射分布时, 考虑二阶参量是必要的, 特别是在 $l_1 < \rho < 2l_1$ 区域, 二阶参量灵敏度 $S_\gamma(\rho)$ 出现极大值. 由于二阶参量 γ 与随机介质的微观结构有关^[13], 因此光源附近的漫反射能够反映介质的微观结构变化. 本文研究工作对于建立含有相函数高阶矩的漫散射理论具有重要意义.

[1] Huang Z Q, Ding E J 1987 *Transfers Theory* (Beijing: Science Press) (in Chinese) [黄祖洽、丁鄂江 1987 输运理论 (北京: 科学出版社)]

[2] Sun X M, Han Y P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 682 (in Chinese) [孙贤明、韩一平 2006 物理学报 **55** 682]

[3] Liang Z C, Jin Y Q 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 247 (in Chinese) [梁子长、金亚秋 2003 物理学报 **52** 247]

[4] Zhang X Q, Xing D 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1914 (in Chinese) [张西芹、邢 达 2001 物理学报 **50** 1914]

[5] Wang L, Xu Z H, Feng H J 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2694 (in Chinese) [王 凌、徐之海、冯华君 2005 物理学报 **54** 2694]

[6] Xu T, Zhang C P, Chen G Y et al 2005 *Chin. Phys.* **14** 1813

[7] Liang Z C, Jin Y Q 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1319 (in Chinese) [梁子长、金亚秋 2003 物理学报 **52** 1319]

[8] Bevilacqua F, Deppeursing C 1999 *J. Opt. Soc. Am.* **A 16** 2935

[9] Tian H J, Liu Y, Wang L J 2006 *Opt. Lett.* **31** 933

[10] Hull E L, Foster T H 2001 *J. Opt. Soc. Am.* **A 18** 584

[11] Gao Z H, Liu Y, Guo Y F et al 2006 *Acta Opt. Sin.* **26** 1220 (in Chinese) [高宗慧、刘 迎、郭云峰等 2006 光学学报 **26** 1220]

[12] Haskell R C, Svaasand L O, Tsay T et al 1994 *J. Opt. Soc. Am.* **A 11** 2727

[13] Liu Y, Zhang X J, Hu Y Z 2004 *Acta Opt. Sin.* **24** 877 (in Chinese) [刘 迎、张小娟、胡佑周 2004 光学学报 **24** 877]

Sensitivity of spatially-resolved diffuse reflectance to high-order optical parameters ^{*}

Liu Ying¹⁾ Wang Li-Jun¹⁾ Guo Yun-Feng¹⁾ Zhang Xiao-Juan²⁾
Gao Zong-Hui¹⁾ Tian Hui-Juan¹⁾

1) *College of Science , Key Laboratory of Opt-electronic Information Science and Technology of
Ministry of Education , Tianjin University , Tianjin 300072 , China)*

2) *College of Science , Civil Aviation University of China , Tianjin 300300 , China)*

(Received 12 September 2006 ; revised manuscript received 20 September 2006)

Abstract

Spatially resolved reflectance close to the source is dependent on high-order optical parameters of the media. In order to investigate the influence of high-order parameters on the diffuse reflectance , we define sensitivities of the spatially-resolved diffuse reflectance to the second- and third-order optical parameters. The sensitivity denotes the relative change of diffuse reflectance due to a change in the optical parameter. Expressions of the sensitivities are derived from P_3 approximation theory , and numerical analyses are performed. We show that the sensitivity changes with source-detector separation and reaches a maximum in the region between one transport mean free path and two transport mean free paths , and is positive in the region beyond one transport mean free path. The influence of third-order optical parameter on the diffusing reflectance can be ignored in comparison with the influence of second-order optical parameter.

Keywords : diffusing reflectance , P_3 approximation , sensitivity

PACC : 4210 , 4225B , 0380