

球形黑腔辐射输运问题的蒙特卡罗模拟

李树 蓝可 赖东显 刘杰

Monte Carlo simulation of the radiation transport of spherical holhraum

Li Shu Lan Ke Lai Dong-Xian Liu Jie

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 145203 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.145203

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.145203>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I14>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

氘氙-塑料靶丸变收缩比内爆物理实验研究

Variations of implosion performance with compression ratio in plastic DD filled capsule implosion experiment

物理学报.2015, 64(12): 125203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.125203>

基于神光 III 原型的整形激光直接驱动准等熵压缩实验研究

Quasi-isentropic experiment based on Shen Guang-III prototype laser facility with laser direct drive illumination

物理学报.2015, 64(8): 085202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.085202>

玻璃微球内氘结晶行为研究

Crystallization behaviors of deuterium in glass microsphere

物理学报.2015, 64(1): 015202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.015202>

基于焦斑空间频率全域优化的偏振匀滑设计

Polarization smoothing design for improving the whole spatial frequency at focal spot

物理学报.2014, 63(21): 215202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.215202>

基于神光 III 原型装置的激光加载条件下准等熵压缩实验研究进展

Experimental progress of quasi-isentropic compression under drive condition of Shen Guang-III prototype laser facility

物理学报.2014, 63(18): 185202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.185202>

球形黑腔辐射输运问题的蒙特卡罗模拟*

李树^{1)†} 蓝可¹⁾²⁾ 赖东显¹⁾ 刘杰¹⁾²⁾

1) (北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100094)

2) (北京大学应用物理与技术中心, 北京 100871)

(2015年1月7日收到; 2015年2月10日收到修改稿)

利用蒙特卡罗方法模拟六孔球形黑腔中的辐射输运, 研究靶球辐照均匀性问题. 对于几何结构简单的解析模型, 研究了不同黑腔靶球半径比的靶球辐照均匀性变化规律, 得出的结论与解析的“视因子”方法给出的一致. 对于几何结构复杂的黑腔模型, 如放置有挡板的模型, 解析方法计算困难, 但利用蒙特卡罗方法仍然能够准确模拟计算. 不同挡板大小的理论模型计算结果表明, 挡板对 X 光输运到靶球表面的分布状况有明显的影响, 如果设置得当则可以提高 X 光利用效率并显著改善靶球辐照均匀性, 否则可能严重破坏靶球辐照均匀性. 因此, 黑腔中的挡板位置及大小需要精心设计. 应用表明, 蒙特卡罗方法对于具有复杂结构的黑腔辐射输运问题具有很好的适应性.

关键词: 蒙特卡罗, 球形黑腔, 辐射输运, 靶球辐照均匀性

PACS: 52.57.-z, 52.65.Pp, 28.52.Av, 95.30.Jx

DOI: 10.7498/aps.64.145203

1 引言

激光聚变是以激光作为驱动源的惯性约束聚变^[1] (inertial confinement fusion, ICF). 目前, 实现激光聚变有两种方式: 一种是直接驱动, 即用多路激光尽可能均匀地直接辐照装有热核燃料的聚变靶球, 烧蚀靶球表面, 驱动靶球内爆, 释放核反应能量; 另一种是间接驱动, 激光束首先入射到一个内装靶球的高 Z 元素构成的黑腔内壁上, 内壁吸收的能量以很大的份额转换成 X 射线, 然后通过输运使得黑腔内部的 X 射线尽可能均匀地烧蚀靶球表面, 驱动靶球实现球形内爆, 故间接驱动也称为辐射驱动. 间接驱动的主要优点是更容易实现靶球的球对称压缩, 而这一点是达到高增益的必要条件^[1,2].

对于间接驱动, 黑腔耦合效率和靶球辐照均匀性是影响靶球内爆的两个关键因素^[2,3]. 在靶球尺

寸一定的情况下, 黑腔耦合效率大体上取决于黑腔尺寸和激光注入孔的数目与尺寸^[4]. 靶球内爆对称性非常关键, 超过 1% 的驱动不均匀性就有可能导致内爆失败^[2], 因此在黑腔设计中, 靶球上辐射流高度均匀性的需求强烈影响着黑腔的形状、大小及激光几何排布、指向的优化选择. 柱形^[1,2]、橄榄球形^[5,6]、椭球形^[7]及球形等^[8,9]类型的黑腔先后被提出并进行了仔细研究. 前三种类型黑腔的共同点是具有柱对称性质且在长端开有两个激光注入孔, 其中柱形黑腔是目前研究最充分并被美国国家点火装置 NIF^[10] 所采用的类型. 球形黑腔由于具有天生的球对称性优势, 也一直受到关注. 近年, 一种“黄金比例球腔”^[11,12] 被提出, 该黑腔具有六个激光注入孔, 48 路激光按一定的排布方式入射到黑腔壁上并转换成 X 光照靶球. 研究表明, 六孔黄金比例球形黑腔解析模型的靶球辐照不均匀度仅为 1% 左右, 对称性非常好. 然而, 由于激光注入孔的数目较多, 因而耦合效率相对较低. 为了提高耦

* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 2012AA01A303) 和中国工程物理研究院科学技术发展重点基金 (批准号: 2012A0102005) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: li_shu@iapcm.ac.cn

合效率,同时减少注入孔对辐照均匀性的影响,减小黑腔半径并在注入孔与靶球之间放置挡板是一种可行的办法^[2,13].

对于没有挡板的球形黑腔解析模型,可以利用解析办法(如视因子方法 view factor model)理论计算靶球辐照均匀性^[5].然而,对于有挡板的球腔模型,由于几何形状复杂,不同位置的辐射源光子飞行路线迥异,尤其是考虑腔壁及挡板的多次吸收和再发射后,利用解析办法计算非常困难.本文利用蒙特卡罗方法模拟光子的飞行过程,统计X光辐照到靶球表面的相对响度,进而分析挡板设置情况对辐照效率和辐照均匀性的影响.

蒙特卡罗方法^[14]是以概率与统计理论为基础,通过随机模拟和统计实验方法来求数学、物理等方面问题近似解的数值方法,因而也称为统计实验方法.蒙特卡罗方法特别适用于求解本身就带有随机性的物理现象问题,如粒子输运问题^[15].它具有对任意复杂几何形状域进行输运模拟的适应性,这是本文将其应用于复杂三维结构黑腔辐射输运计算的出发点.

2 球形黑腔解析模型与蒙特卡罗(MC)模拟方法

如图1所示,球形黑腔有六个激光注入孔,上下的“两极”各1个,中间的“赤道”均匀分布4个,每个孔有8束激光按一定方式排布并以相同的倾角注入,黑腔中心布置有靶球^[11].靶球半径定义为 R_C ,黑腔半径定义为 R_H ,注入孔半径定义为 R_L ,激光束光腰半径定义为 R_Q ,激光束倾角定义为 θ_L .激光照射到黑腔内壁,光斑在内壁的分布如图2所示^[12].激光能量被黑腔内壁吸收并转换成X光,光斑区及内壁发射出的X光子中的一部分输运到靶球表面并被吸收.

本文利用蒙特卡罗方法模拟光子在黑腔中的输运过程.模拟时,源光子分别从光斑区(spot)、腔壁区(wall)及注入孔区(LEH)发射,相对发射强度(单位面积发射光子数)分别为 Q_{spot} , Q_{wall} , Q_{LEH} (激光注入孔实际上没有X光子发射,模拟它的主要目的是研究由其引入的靶球辐照不均匀性);发射位置坐标值 (X, Y, Z) 通过在半径为 R_H 的球面上的相应区域均匀抽样得到;源光子向内各向同性发射,发射方向与坐标轴夹角余弦值 (U, V, W)

亦通过随机抽样得到.光子输运到注入孔时,按泄漏处理,结束其历史.光子输运到达靶球表面时,将其记录下来(计数),然后结束其历史(看作其已被靶球吸收).光子输运到腔壁时,有两种处理方式:一种是先按吸收处理,然后按一定概率(反照率)再次向内各向同性发射光子;另一种是按全吸收处理,即再发射概率为0(等同于视因子方法),结束光子历史.为了研究辐照均匀性,将靶球表面分为若干片,按片分别统计接收到的光子数目.模拟完一定数目的源光子后,即可根据统计值分析研究靶球受到辐照的情况.下面分别给出文中需要用到的几个物理量含义.

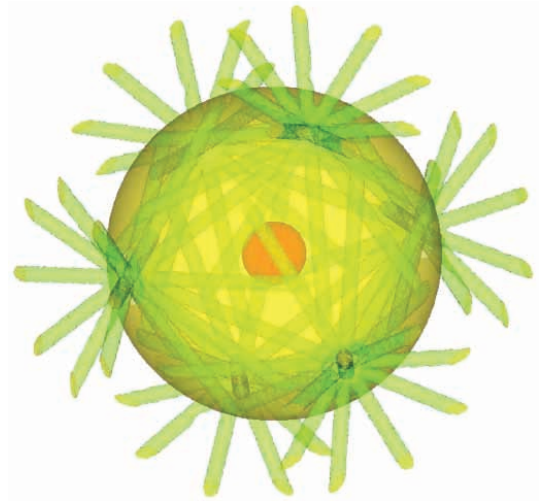


图1 (网刊彩色) 球形黑腔、激光注入及靶球示意图
Fig. 1. (color online) Spherical hohlraum, LEH and capsule.

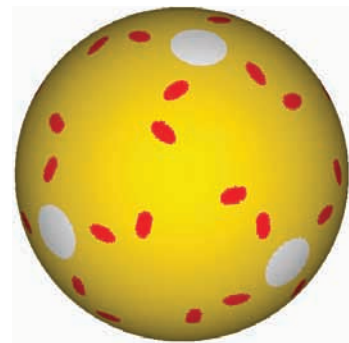


图2 (网刊彩色) 激光光斑在黑腔内壁分布示意图
Fig. 2. (color online) Laser spot distribution in the hohlraum.

“辐射相对通量” F : 黑腔内表面(腔壁、光斑)向内各向同性发射一个光子,靶球外表面某点 r 处单位面积能接收到的光子数,后面简称“辐射通量”.

在黑腔与靶球之间全部为真空、腔壁再发散概率为0情况下,整个靶球表面的平均辐射通量 $\langle F \rangle$

的理论计算公式为

$$\langle F \rangle = \left(1 - \frac{\sqrt{R_H^2 - R_C^2}}{R_H} \right) \cdot \frac{1}{4\pi R_C^2}. \quad (1)$$

平均辐射通量体现了 X 光子的利用率, $\langle F \rangle$ 值越大, 利用率越高. 对于靶球表面不同位置的 F , 本文计算时将靶球表面均分为 512 片, 分别统计每片接收到的光子数, 然后计算该片的辐射通量.

靶球“辐照不均匀度”:

$$|dF/\langle F \rangle| = \frac{0.5 \cdot (F_{\max} - F_{\min})}{\langle F \rangle}, \quad (2)$$

其中 F_{\max} , F_{\min} 分别是辐射通量中的最大、最小值.

如果黑腔与靶球之间不是真空, 例如放置挡板, 则在考虑挡板的光子发射及阻挡黑腔光子飞行路线等因素后, 辐射通量就不能按照 (1) 式简单计算, 而需要根据 MC 模拟给出的统计值计算. 同样, 如果考虑腔壁多次再发射光子后, 辐射通量显然会大于 (1) 式的计算值, 此时需要由 MC 模拟计算给出.

3 无挡板黑腔模型数值模拟结果与比较

本文首先模拟计算无挡板解析模型, 研究靶球辐照均匀性与黑腔大小的关系. 解析模型的基本参数: 靶球半径 $R_C = 1.13$ mm, 激光注入孔半径 $R_L = 1.0$ mm, 激光光腰半径 $R_Q = 0.3$ mm, 激光注入角 $\theta_L = 55^\circ$, 黑腔半径 R_H 随黑腔靶球半径比 (简称“半径比”) R_H/R_C 变化. 为了与文献 [11] 中视因子方法给出的结果进行比较, 腔壁的再发射概率取值为 0.

利用蒙特卡罗方法辐射输运程序 [16] 模拟计算时, 为了提高计算效率, 采用了源偏倚技巧 [14], 即源粒子主要对着有效计数区发射, 统计值需乘以纠偏因子予以修正. 每次计算的样本数均达到 20 亿, 计算结果中绝大部分计数值的统计误差在万分之五以内, 这对于要分析的物理量影响很小, 因此后文中均不涉及蒙特卡罗计算统计误差的影响问题.

图 3 给出了靶球表面平均辐射通量 $\langle F \rangle$ 随黑腔靶球半径比的变化规律. 从图 3 中看出, 在靶球半径 R_C 和注入孔半径 R_L 确定的情况下, 平均辐射通量随黑腔半径增大而减小, 因此, 减小黑腔半径能够提高 X 光的利用效率.

取光斑、腔壁及注入孔的源光子相对发射强度 $Q_{\text{spot}} : Q_{\text{wall}} : Q_{\text{LEH}} = 2 : 1 : 0$. 图 4 中黑线表示靶球表面辐照不均匀度随黑腔靶球半径比的变化规律, 红线表示由注入孔引入的辐照不均匀度变化规律, 蓝线表示由光斑引入的辐照不均匀度变化规律.

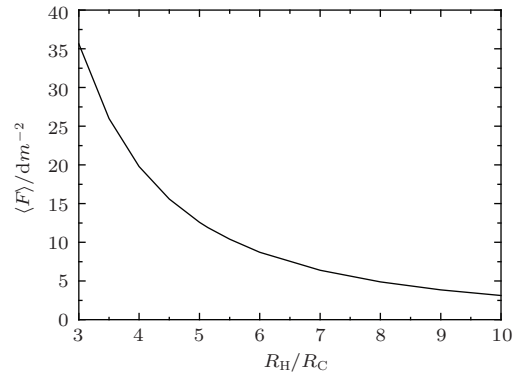


图 3 平均辐射通量变化规律

Fig. 3. Averaged radiation flux changed with R_H/R_C .

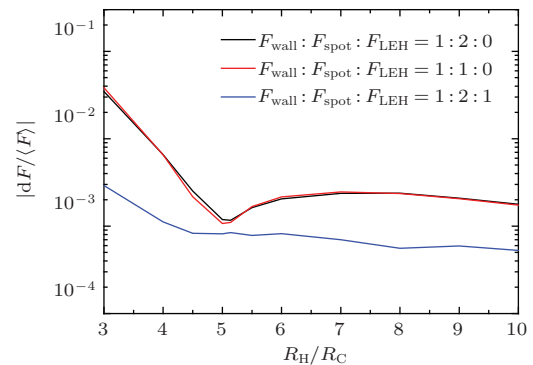


图 4 (网刊彩色) 靶球表面辐照不均匀度随黑腔靶球半径比的变化规律

Fig. 4. (color online) Un-smoothing factors changed with R_H/R_C .

图 4 的结果与文献 [11] 采用视因子方法解析计算的结果基本一致. 从图 4 中可以看出: 靶球辐照不均匀度 (图 4 中黑线) 在半径比为 5.14 附近达到最小值 1.17%, 即此情况下辐照均匀性最优, 此黑腔靶球半径比称为“黄金比例” [11]; 靶球辐照不均匀性主要是由激光注入孔引入的. 图 5 和图 6 分别给出黄金比例下的靶球表面辐射通量二维、三维分布情况. 图 5 中纵坐标表示与 Z 轴夹角, 横坐标表示与 X 轴夹角, 角度单位为弧度. 从图 5 中可以看出, 正对光斑的靶球表面位置 (图中深红色部分) 受到的辐照最强, 而三组光斑中间区域正对的靶球表面 (图中深蓝色部分) 受到的辐照最低.

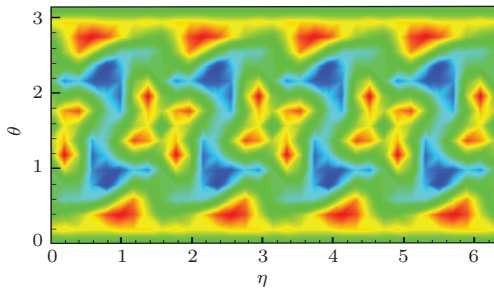


图5 (网刊彩色) 靶球辐射通量二维分布

Fig. 5. (color online) 2D distribution of radiation flux.

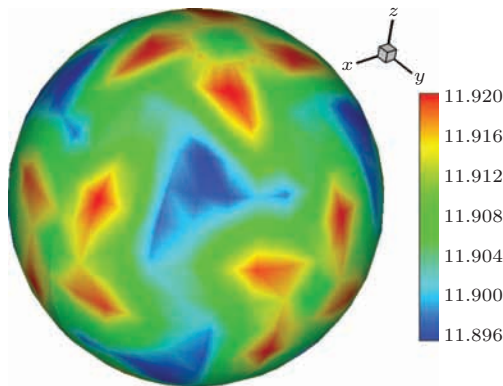


图6 (网刊彩色) 靶球辐射通量三维分布

Fig. 6. (color online) 3D distribution of radiation flux.

4 带挡板的黑腔模型与数值模拟结果

从图3中可以看出,随着黑腔靶球半径比增大,平均辐射通量值降低.为了提高X光的利用率,需要尽可能取较小的半径比.比如,半径比4.0时的平均辐射通量值(19.79)比半径比5.14时的平均辐射通量值(11.91)高66%左右.但是,半径比4.0的辐照不均匀度却达到了6.57%.为了提高辐照均匀性和耦合效率,可以在注入孔与靶球之间加入挡板[13],如图7所示(为清晰见,激光束只标示了一个注入孔的).挡板为高Z元素材料,当X光输运到其表面时被吸收,材料升温,再各向同性发射X光(反照作用).因此,挡板能弥补注入孔角度范围内无源对靶球辐照均匀性的影响;其次,挡板也可以阻挡部分能量从注入孔中漏失,提高X光的利用率.

由于挡板的存在,利用“视因子方法”较难计算分析靶球的辐照均匀性,但利用蒙特卡罗方法则可较为方便地研究此类问题.本文利用三维蒙特卡罗辐射输运数值模拟程序[16]模拟带挡板的黑腔解析模型辐照问题.

模型的基本参数如下:靶球半径 $R_C = 1.13$ mm,激光注入孔半径 $R_L = 1.0$ mm,激光光腰半径 $R_Q = 0.3$ mm,激光注入角 $\theta_L = 55^\circ$,黑腔靶球半径比 $R_H/R_C = 4.0$;光斑、腔壁及注入孔的源光子相对发射强度 $Q_{\text{spot}} : Q_{\text{wall}} : Q_{\text{LEH}} = 2 : 1 : 0$.分别计算有挡板的两种情况:1)挡板半径 $r_S = 1.0$ mm,挡板位置 $R_S = 0.75 R_H$;2)挡板半径 $r_S = 0.5$ mm,挡板位置 $R_S = 0.75 R_H$.蒙特卡罗模拟过程中,腔壁或光斑的源光子输运到挡板外表面时按全吸收处理,输运到挡板内表面时按再发射概率为1处理.腔壁再发射概率为0.

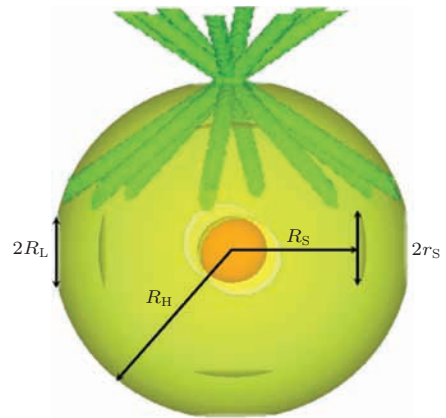


图7 (网刊彩色) 挡板布置示意图

Fig. 7. (color online) Shields location in the hohlraum.

表1给出了有无挡板几种情况下利用蒙特卡罗方法模拟计算所得的辐照效果.

表1 几种情况下的辐照效果比较

Table 1. Calculated results with different R_H/R_C and shields setting.

黑腔靶球半径比 R_H/R_C	挡板情况	全球面平均辐射通量/ dm^{-2}	辐照不均匀度/%
5.14	无挡板	11.91	1.17
	无挡板	19.79	6.57
4.0	挡板半径 1.0	19.81	23.02
	挡板半径 0.5	20.27	2.12

图8和图9分别给出半径比4.0无挡板情况下靶球辐射通量的二维和三维分布;图10和图11分别给出了半径比4.0、挡板半径1.0 mm情况下靶球辐射通量的二维和三维分布;图12和图13分别给出了半径比4.0、挡板半径0.5 mm情况下靶球辐射通量的二维和三维分布.

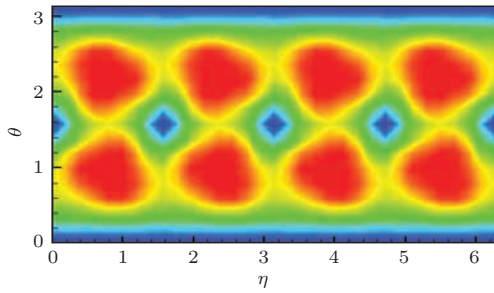


图8 (网刊彩色) 辐射通量二维分布(无挡板)
Fig. 8. (color online) 2D distribution of radiation flux (none shields).

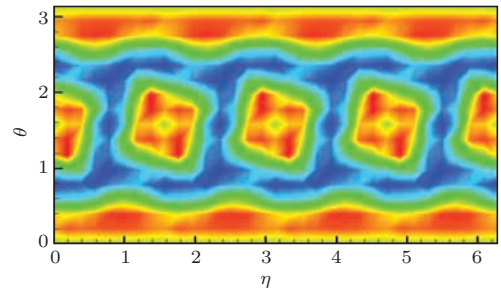


图12 (网刊彩色) 辐射通量二维分布 ($r_s = 0.5 \text{ mm}$)
Fig. 12. (color online) 2D distribution of radiation flux ($r_s = 0.5 \text{ mm}$).

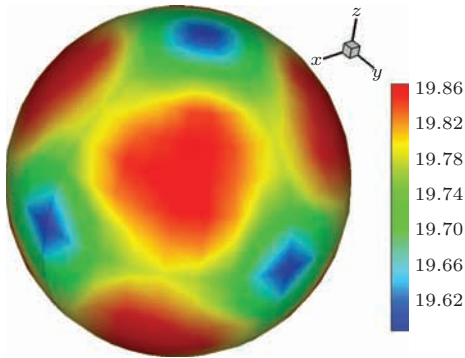


图9 (网刊彩色) 辐射通量三维分布(无挡板)
Fig. 9. (color online) 3D distribution of radiation flux (none shields).

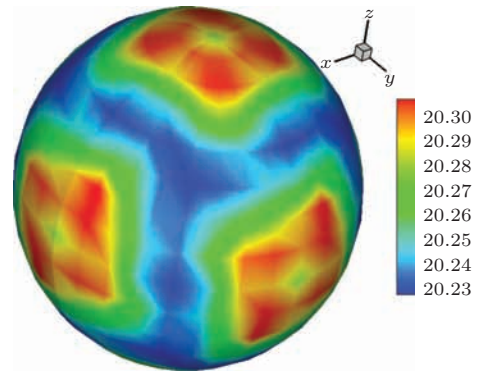


图13 (网刊彩色) 辐射通量三维分布 ($r_s = 0.5 \text{ mm}$)
Fig. 13. (color online) 3D distribution of radiation flux ($r_s = 0.5 \text{ mm}$).

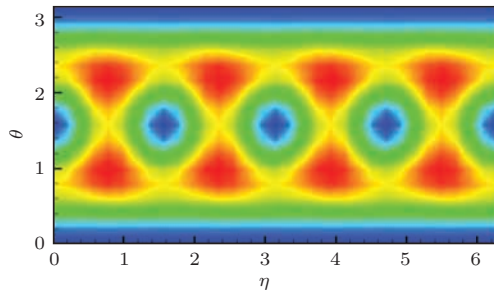


图10 (网刊彩色) 辐射通量二维分布 ($r_s = 1.0 \text{ mm}$)
Fig. 10. (color online) 2D distribution of radiation flux ($r_s = 1.0 \text{ mm}$).

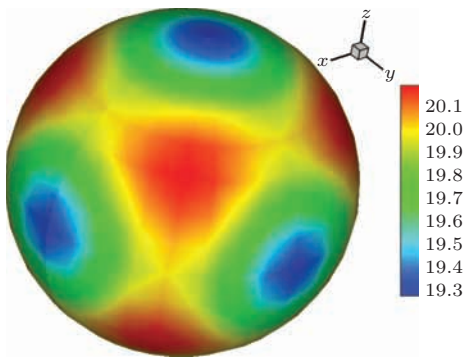


图11 (网刊彩色) 辐射通量三维分布 ($r_s = 1.0 \text{ mm}$)
Fig. 11. (color online) 3D distribution of radiation flux ($r_s = 1.0 \text{ mm}$).

综合表1和图8—图13, 可以看出:

1) 由于挡板的反照作用, 有挡板较无挡板的靶球平均辐射通量略有提高, 其中挡板半径1.0 mm较无挡板提高0.1%, 挡板半径0.5 mm较无挡板提高2.4%; 与黄金比例5.14无挡板黑腔相比, 半径比4.0、挡板半径0.5 mm黑腔的靶球平均辐射通量增大70.2%, 即X光的辐照利用率得到显著提高;

2) 挡板半径设置过大会使靶球辐照均匀性变差, 例如本例的挡板半径1.0 mm黑腔, 其辐照不均匀度为23.02%, 远超过原来的无挡板黑腔, 这种情况需要避免;

3) 合适的挡板设置能够显著改善靶球辐照均匀性, 本例的挡板半径0.5 mm黑腔, 其辐照不均匀度为2.12%, 远低于原来的无挡板黑腔, 虽然与黄金比例5.14无挡板黑腔的辐照不均匀度1.17%相比仍大一些, 但其辐照均匀性已足以满足设计需要.

挡板半径1.0 mm模型的辐照均匀性显著变差的主要原因是: 挡板内表面虽然可以发射部分反射光子并弥补注入孔正对的靶球表面区域的辐射通量, 但是当挡板增大到一定程度后, 其外表面反而

会阻挡腔壁光子照射到该区域, 由此造成靶球表面的辐照均匀性变差. 事实上, 挡板对靶球辐照不均匀度的影响应该是由多个因素决定的, 其与挡板的位置 R_S 、半径 r_S 以及它们与注入孔半径 R_L 、靶球半径 R_C 、黑腔半径 R_H 的相对大小均相关. 在接下来的研究中将分别探讨这些影响因素, 以期针对特定的黑腔靶球设计给出最优的挡板设置参数. 同时, 在考虑“腔壁、挡板多次反照”效应后, 上述因素是如何影响的、挡板应该如何设置也是需要继续深入研究的问题.

5 结 论

本文利用蒙特卡罗方法研究六孔球形黑腔的辐射输运问题. 对于没有挡板的解析模型, 在黑腔-靶球半径比为5.14时, 靶球辐照不均匀度达到最小值、辐照均匀性最优, 与解析方法计算得出的结论一致. 对于有挡板的解析模型, 将黑腔靶球半径比由5.14缩小至4.0时, 靶球辐射通量增大、X光的辐照利用率显著提高; 同时, 挡板对X光输运到靶球表面的分布状况有明显的影响, 如其设置得合适则可以有效降低靶球辐照不均匀度, 否则可能严重破坏靶球辐照均匀性. 因此, 如果在黑腔中放置挡板, 其位置及大小需要精心设计. 本研究提供了另一种研究ICF黑腔物理的方法, 尤其是对于具有复杂结构的黑腔辐射输运问题, 本方法具有很好的适应性.

参考文献

- [1] Zhang J, Chang T Q 2004 *Fundamentals of the Target Physics for Laser Fusion* (Beijing: National Defense Industry Press) (in Chinese) [张均, 常铁强 2004 激光核聚变靶物理基础 (北京: 国防工业出版社)]
- [2] Lindl J D 1995 *Phys. Plasmas* **2** 3933
- [3] Haan S W, Lindl J D, Callahan D A, Clark D S, Salmonson J D, Hammel B A, Atherton L J, Cook R C, Edwards M J, Glenzer S, Hamza A V, Hatchett S P, Herrmann M C, Hinkel D E, Ho D D, Huang H, Jones O S, Kline J, Kyrala G, Landen O L, MacGowan B J, Marinak M M, Meyerhofer D D, Milovich J L, Moreno K A, Moses E I, Munro D H, Nikroo A, Olson R E, Peterson K, Pollaine S M, Ralph J E, Robey H F, Spears B K, Springer P T, Suter L J, Thomas C A, Town R P, Vesey R, Weber S V, Wilkens H L, Wilson D C 2011 *Phys. Plasmas* **18** 051001
- [4] Lindl J D 1998 *Inertial Confinement Fusion* (New York: Springer-Verlag)
- [5] Caruso A, Strangio C 1991 *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1* **30** 1095
- [6] Amendt P, Cerjan C, Hamza A, Hinkel D E, Milovich J L, Robey H F 2007 *Phys. Plasmas* **14** 056312
- [7] Lan K, Gu P J, Ren G L, Wu C, Huo W Y, Lai D X, He X T 2010 *Laser Part. Beams* **28** 421
- [8] Murakami M 1992 *Nucl. Fusion* **32** 1715
- [9] Phillion D W, Pollaine S M 1994 *Phys. Plasmas* **1** 2963
- [10] Kline J L, Callahan D A, Glenzer S H, Meezan N B, Moody J D, Hinkel D E, Jones O S, MacKinnon A J, Bennedetti R, Berger R L, Bradley D, Dewald E L, Bass L, Bennett C, Bowers M, Brunton B, Bude J, Burkhart S, Condor A, Nicola J M D, Nicola P D, Dixit S N, Doeppner T, Dzenitis E G, Erber G, Folta J, Grim G, Lenn S, Hamza A, Hann S W, Heebner J, Henesian M, Hermann M, Hicks D G, Hsing W W, Izumi N, Jancaitis K, Jones O S, Kalantar D, Khan S F, Kirkwood R, Kyrala G A, LaFortune K, Landen O L, Lain L, Larson D, Pape S L, Ma T, MacPhee A G, Michel P A, Miller P, Montincelli M, Moore A S, Nikroo A, Nostrand M, Olson R E, Pak A, Park H A, Schneider M B, Shaw M, Smalyuk V A, Strozzi D J, Suratwala T, Suter L J, Tommasini R, Town R P J, Wouterghem B V, Wegner P, Widmann K, Widmayer C, Wilkens H, Williams E A, Edwards M J, Remington B A, MacGowan B J, Kikenny J D, Lindl J D, Atherton L J, Batha S H, Moses E 2013 *Phys. Plasmas* **20** 056314
- [11] Lan K, Liu J, Lai D X, Zheng W D, He X T 2014 *Phys. Plasmas* **21** 010704
- [12] Lan K, He X T, Liu J, Zheng W D, Lai D X 2014 *Phys. Plasmas* **21** 052704
- [13] Callahan D A, Amendt P, Dewald E L, Haan S W, Hinkel D E, Izurni N, Jones O S, Landen O L, Lindl J D, Pollaine S M, Suter L J, Tabak M, Turner R E 2006 *Phys. Plasmas* **13** 056307
- [14] Pei L C, Zhang X Z 1980 *Monte Carlo Methods and Application in Particle Transportation* (Beijing: Science Press) (in Chinese) [裴鹿成, 张孝泽 1980 蒙特卡罗方法及其在粒子输运问题中的应用 (北京: 科学出版社)]
- [15] Du S H, Zhang S F, Feng T G, Wang Y Z 1989 *Computer Simulation of Transport Problems* (Changsha: Hunan Science and Technology Press) (in Chinese) [杜书华, 张树发, 冯庭桂, 王元璋 1989 输运问题的计算机模拟 (湖南科技出版社)]
- [16] Li S, Li G, Tian D F, Deng L 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 249501 (in Chinese) [李树, 李刚, 田东风, 邓力 2013 物理学报 **62** 249501]

Monte Carlo simulation of the radiation transport of spherical hohlraum*

Li Shu^{1)†} Lan Ke¹⁾²⁾ Lai Dong-Xian¹⁾ Liu Jie¹⁾²⁾

1) (*Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China*)

2) (*Center for Applied Physics and Technology, Peking University, Beijing 100871, China*)

(Received 7 January 2015; revised manuscript received 10 February 2015)

Abstract

To simulate the radiation transport of the spherical hohlraum with octahedral six laser entrance holes and to study the capsule radiation uniformity, a Monte Carlo method is introduced. For simple analytical models, with different hohlraum-to-capsule radius ratios, the capsule radiation uniformity variation rules are studied, and the Monte Carlo calculation results can match the analytical results obtained by the “view factor” method. For more complicated models, such as the hohlraum with shields, it’s difficult for an analytical method to be calculated, but is straightforward in the Monte Carlo method. Two models with different radius of the shield have been simulated. Simulated result indicates that the shield greatly influences the distribution of X-rays on the capsule surface, and an appropriate shield can increase the utilized efficiency of X-rays and improve the capsule radiation uniformity remarkably, otherwise, the uniformity might be destroyed badly. So the location and the radius of the shields must be designed carefully in a spherical hohlraum. This research supports the Monte Carlo method that is applicable in the radiation transport simulation of a complicated spherical hohlraum.

Keywords: Monte Carlo method, spherical hohlraum, radiation transport, capsule radiation uniformity

PACS: 52.57.-z, 52.65.Pp, 28.52.Av, 95.30.Jx

DOI: [10.7498/aps.64.145203](https://doi.org/10.7498/aps.64.145203)

* Project supported by the National High Technology Research and Development of China (Grant No. 2012AA01A303), the Science and Technology Development Key Foundation of China Academy of Engineering Physics (Grant No. 2012A0102005).

† Corresponding author. E-mail: li_shu@iapcm.ac.cn