

条纹变像管时间畸变的分析

惠丹丹 田进寿 卢裕 王俊锋 温文龙 梁玲亮 陈琳

Temporal distortion analysis of the streak tube

Hui Dan-Dan Tian Jin-Shou Lu Yu Wang Jun-Feng Wen Wen-Long Liang Ling-Liang Chen Lin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 158502 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.158502

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.158502>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I15>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

傅里叶望远镜发射阵列的冗余度及“冗余度-斯特列尔比-目标信息”特性分析

[Analysis of the redundancy of Fourier telescoping transmitter array and its redundancy-strehl ratio-target texture distribution characteristic](#)

张羽, 罗秀娟, 曹蓓, 陈明徕, 刘辉, 夏爱利, 兰富洋

物理学报.2016, 65(11): 114201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.114201>

利用表面微结构提高波长上转换红外探测器效率

[Improvement on the efficiency of up-conversion infrared photodetectors using surface microstructure](#)

物理学报.2016, 65(10): 108501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.108501>

超小型条纹管的动态特性研究

[Dynamic properties of a small-size streak tube](#)

物理学报.2016, 65(1): 018502 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.018502>

行波偏转器前置短磁聚焦条纹变像管理论设计与实验研究

[Design and evaluation of a pre-traveling wave deflector magnetic solenoid lens focused streak image tube](#)

物理学报.2014, 63(5): 058501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.058501>

基于石墨烯的半导体光电器件研究进展

[The progress of semiconductor photoelectric devices based on graphene](#)

物理学报.2012, 61(24): 248502 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.248502>

条纹变像管时间畸变的分析

惠丹丹¹⁾²⁾³⁾ 田进寿^{1)3)†} 卢裕¹⁾ 王俊锋¹⁾ 温文龙¹⁾
梁玲亮¹⁾²⁾ 陈琳¹⁾²⁾

1) (中国科学院西安光学精密机械研究所, 超快诊断技术重点实验室, 西安 710119)

2) (中国科学院大学, 北京 100049)

3) (山西大学极端光学协同创新中心, 太原 030006)

(2016年2月24日收到; 2016年4月29日收到修改稿)

应用于惯性约束核聚变和非扫描式激光雷达等的条纹变像管要求具有较大的探测面积, 条纹变像管的探测面积越大, 其时间畸变就越大, 从而影响条纹相机的探测精度, 且会导致荧光屏上成像畸变. 本文计算了条纹变像管内部的电场分布, 并追踪电子运行轨迹, 对条纹变像管的时间畸变进行了分析. 结果表明: 造成条纹变像管时间畸变较大的区域是阴极到偏转板前的部分; 其主要影响因素是阴极曲率半径, 且阴极曲率半径存在一个最佳值使得条纹变像管的时间畸变最小, 大于该最佳值, 条纹变像管会产生正的时间畸变, 反之, 条纹变像管会产生负的时间畸变; 时间畸变的绝对值随着光电子从阴极发射的初始高度的增大而增大; 光电子初始能量对条纹变像管的时间畸变的影响很小. 同时, 模拟了不同阴极曲率半径下由于时间畸变不同导致的动态扫描狭缝像的弯曲情况, 时间畸变越小, 狭缝像弯曲程度越小.

关键词: 时间畸变, 条纹相机, 阴极曲率半径, 狭缝像

PACS: 85.60.-q, 85.60.Bt, 42.79.Pw

DOI: 10.7498/aps.65.158502

1 引言

随着对各种超快光学现象的研究及运用, 作为超快现象最重要的诊断工具之一的条纹相机发展迅速, 应用领域越来越广. 为满足不同领域对条纹相机的应用需求, 条纹相机的各项性能, 如时间分辨率、空间分辨率、动态范围、时间畸变、探测面积、体积和可靠性等都在不断提高. 目前, 条纹相机的时间分辨已经接近理论极限水平^[1,2], 对其空间分辨率和动态范围也有较多的研究^[3-8], 但关于条纹相机的探测面积和时间畸变特性的研究却很少. 在一些应用领域, 往往要求条纹相机具有较大的探测面积. 如在惯性约束核聚变 (inertial confinement fusion, ICF) 高温等离子体辐射的软 X 射线的探测中, 由于 X 射线谱范围很宽, 经过光栅分光镜分光后, 色散长度较长, 一般 30 mm 左右. 为了同时记录

软 X 射线的全部谱, 条纹相机的阴极探测狭缝应该足够长^[9,10]. 同样, 应用于非扫描式激光雷达探测的条纹相机也要求其具有较大的探测面积^[11-14]. 然而, 当条纹相机的核心部件条纹变像管的探测面积较大时, 其时间畸变就不容忽视. 条纹管的时间畸变会降低条纹相机的测量精度, 且使荧光屏上得到的狭缝像发生畸变, 所以对条纹变像管的时间畸变的研究具有重要意义. Niu^[15] 关于条纹管时间畸变的研究表明, 时间畸变产生的原因是条纹管轴上与轴外的轴向电场分布不同造成的, 通过采用曲面阴极可以减小时间畸变. Ageeva 等^[16] 研究了在飞秒管中分别使用凹面阴极平面栅网和平面阴极平面栅网两种情况下飞秒条纹管的时间畸变, 结果表明, 使用凹面阴极可以大大减小时间畸变. 但是上述研究都没有对条纹管时间畸变的影响因素进行全面的分析. 本文借助于 3 维电磁仿真软件 CST 的 Particle Studio, 利用有限积分法计算了条纹变

† 通信作者. E-mail: tianjs@opt.ac.cn

像管内部的电场分布, 用蒙特-卡罗法模拟了光电子的初始状态, 并追踪电子运行轨迹, 对条纹变像管的时间畸变进行了全面分析; 分析了条纹管阴极曲率半径和光电子初始能量对时间畸变的影响, 并模拟了不同阴极曲率半径下的动态扫描狭缝像.

2 理论及方法

图 1 所示为本文所分析的条纹变像管在 CST Particle Studio 中建立的模型, 是一款由阴极、栅极、聚焦极、阳极和一对倾斜偏转板组成的无栅网超小型条纹变像管. 在 CST Particle Studio 的 Tracking 和 PIC (particle in cell) 求解器中计算条纹变像管的电场分布并追踪电子运行轨迹, CST 是基于有限积分法来计算电磁场分布的. 有限积分法是将积分形式的麦克斯韦方程进行空间离散化^[17], 因为其离散方程自身能够保持能量和电荷的守恒, 所以空间离散不会导致迭代不稳定, 且计算精度

高、效率高. 采用六面体网格剖分计算模型, 对麦克斯韦方程进行空间离散化, 求解系统的电场分布. 网格越密, 电磁场值结果越精确, 但网格太密会导致计算效率降低. 为保证计算精度, 同时提高计算效率, 在栅极和聚焦极及其间隙等对电场分布影响较大的区域进行局部网格加密. 图 2 所示为条纹管的电场分布.

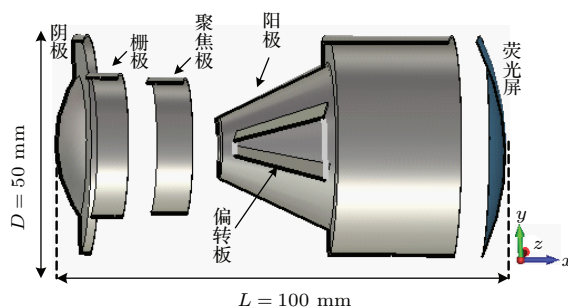


图 1 超小型条纹管结构图

Fig. 1. Structure of the small-size streak tube.

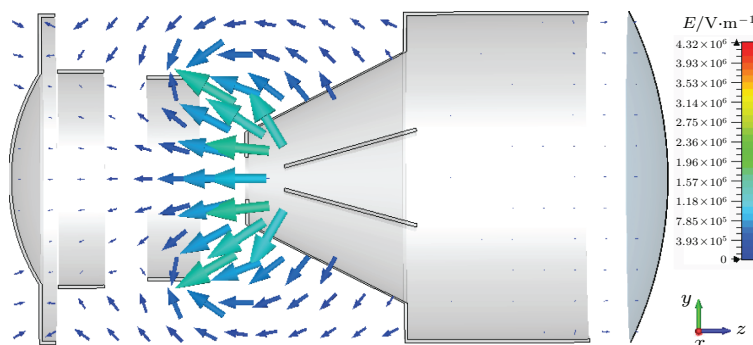


图 2 (网刊彩色) 条纹管电场分布

Fig. 2. (color online) Electric field distribution of the streak tube.

Particle Studio 将所计算的离散电场值插入离散形式的洛伦兹力定律, 如 (1) 和 (2) 式所示, 从而计算带电粒子的运行轨迹.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) &= q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \Rightarrow m^{n+1}\mathbf{v}^{n+1} \\ &= m^n\mathbf{v}^n + q\Delta t(\mathbf{E}^{n+1/2} \\ &\quad + \mathbf{v}^{n+1} \times \mathbf{B}^{n+1/2}), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v} \Rightarrow \mathbf{r}^{n+3/2} + \Delta t\mathbf{v}^{n+1}, \quad (2)$$

其中 m 和 v 分别为电子质量和运行速度, \mathbf{E} 和 \mathbf{B} 分别为条纹管内部的电场强度和磁感应强度, \mathbf{r} 为电子离轴距离, t 为电子运行时间.

光阴极发射的光电子的初能量、初仰角、方位角以及初始位置服从一定的统计分布. 一般认

为, 光电子的初始能量服从 β 分布, 初始仰角服从 $0-90^\circ$ 的朗伯 (Lambert) 余弦分布, 方位角服从 $0-2\pi$ 的均匀分布, 初始位置服从均匀分布或近似于高斯分布. 本文在计算条纹管的空间传递函数时, 在阴极不同位置选取理想点源, 每个点源处抽取 3000 个电子, 利用蒙特-卡罗法 (Monte-Carlo, M-C)^[18] 进行抽样. 图 3 所示为 3000 个电子初能量服从 $\beta(1, 4)$ 分布的 M-C 抽样结果, 图 4 为初始仰角服从 $0-90^\circ$ 的余弦分布的 M-C 抽样结果.

从光阴极不同初始高度发射的光电子, 经过电子光学系统时, 由于受到的轴向电场不同, 会产生渡越时间之差. 初始高度越大即离轴越远的光电子, 其渡越时间与轴上光电子的渡越时间差异就越

大. 将时间畸变定义为阴极面上不同初始高度发出的光电子的主轨迹与轴上光电子的主轨迹的渡越时间之差. 若轴外光电子的渡越时间大于轴上光电子的渡越时间, 则电子光学系统具有正时间畸变, 反之为负时间畸变.

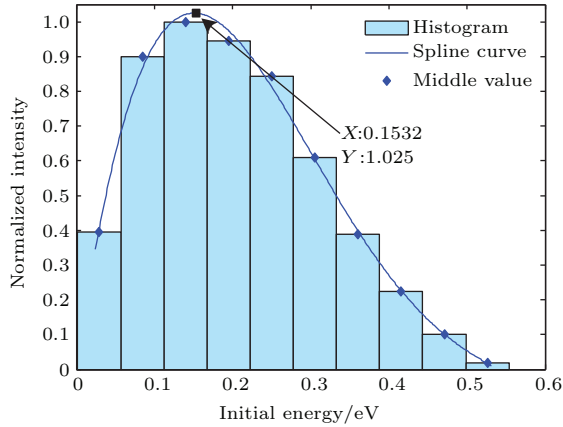


图3 $\beta(1, 4)$ 分布的 M-C 抽样结果

Fig. 3. M-C sampling of $\beta(1, 4)$ distribution.

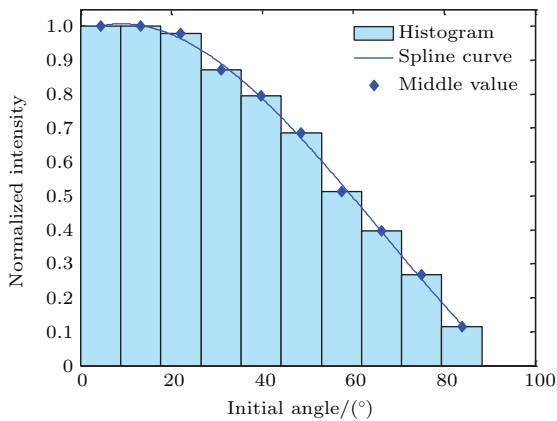


图4 0—90° 余弦分布的 M-C 抽样结果

Fig. 4. M-C sampling of 0—90° cosine distribution.

3 结果与讨论

3.1 条纹管电场分布

图5所示为条纹管各电极加上电压后, 利用有限积分法计算所得的条纹管内部离轴不同距离处的轴向电场分布曲线, 其中 r 为离轴距离. 该条纹管为无栅网条纹管, 从阴极到荧光屏, 电场始终是负值, 电子在其中运动始终受到加速场的作用. 不论是轴上还是轴外, 条纹管的轴向电场沿轴方向都是先负向增大再减小, 在聚焦极到阳极的区域, 电场达到最大. 在栅极到聚焦极的区域离轴越远的电子受到的轴向电场越小, 但变化很小. 当从

阴极不同初始高度发射的电子运行到阳极孔附近时, 所有电子都接近轴运行, 所受的电场主要是 $r = 0-4$ mm范围内的电场. 由此也可以说明离轴不同距离处的轴向电场对相应的电子的运行速度有一定的影响, 但影响很小.

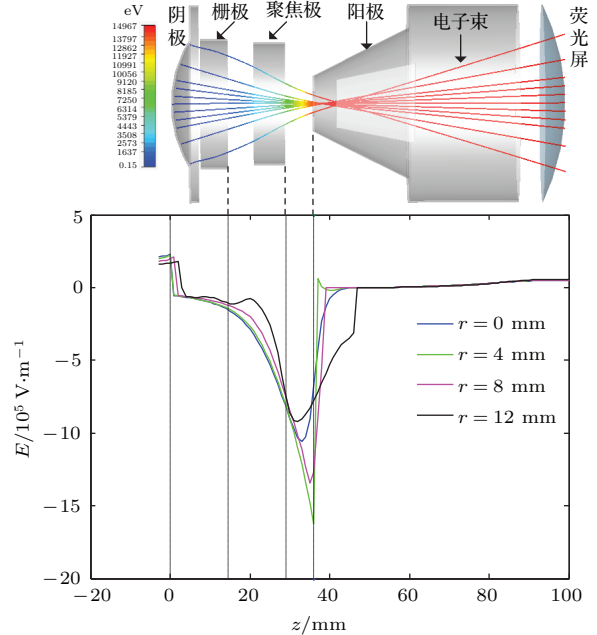


图5 (网刊彩色) 条纹管离轴不同距离处的轴向电场分布

Fig. 5. (color online) Axial electric field distribution at different distance to the axis of the streak tube.

3.2 条纹管时间畸变的影响因素

选取阴极曲率半径(设为 R_c)分别为30, 35, 40, 45, 50, 55 mm的条纹管, 从阴极不同初始高度(设为 x)发射初能量相同的光电子, 考察条纹管阴极曲率半径对其时间畸变的影响. 当光电子初始能量服从 $\beta(1, 4)$ 分布时, 其能量约为0.15 eV, 如图3所示, 所以从阴极不同初始高度发射的光电子的初能量都设为0.15 eV. 图6为 R_c 分别等于30, 40, 50 mm对应的条纹管的时间畸变随着光电子初始高度的变化, 图7为不同阴极曲率半径下距阴极中心10 mm(即 $x = 10$ mm)的物点处的时间畸变, 从图6和图7中可以得出 $R_c = 30$ mm时, 条纹管具有负的时间畸变, $R_c = 50$ mm时, 条纹管具有正的时间畸变, $R_c = 40$ mm时, 在距阴极中心 $x < 10$ mm时, 时间畸变很小, $x > 10$ mm后, 具有较小的负时间畸变, 三种情况下时间畸变的绝对值都随着光电子初始高度的增大而增大, 即条纹管的探测狭缝越长, 时间畸变就会越大; 对于一定曲率半径的条纹管, 从阴极到荧光屏上的时间畸变, 与

从阴极到偏转板的时间畸变差别很小, 可见条纹管的时间畸变主要产生于阴极到偏转板的区域, 等位区产生的时间畸变很小; 阴极曲率半径存在一个最佳值使得条纹变像管的时间畸变最小, 大于该最佳值, 条纹变像管会产生正的时间畸变, 反之, 条纹变像管会产生负的时间畸变.

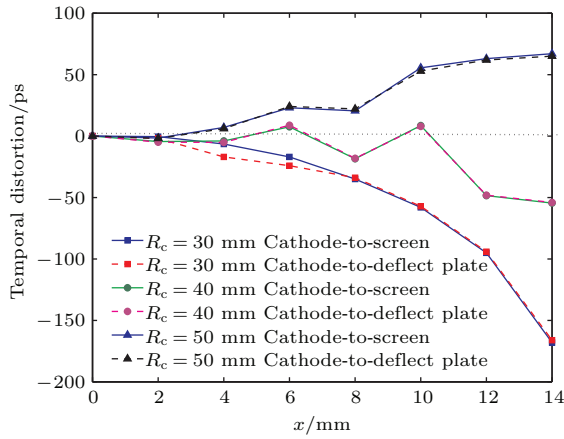


图6 (网刊彩色) 不同阴极曲率半径对应的条纹管时间畸变

Fig. 6. (color online) Temporal distortion of the streak tube with different photocathode radius of curvature.

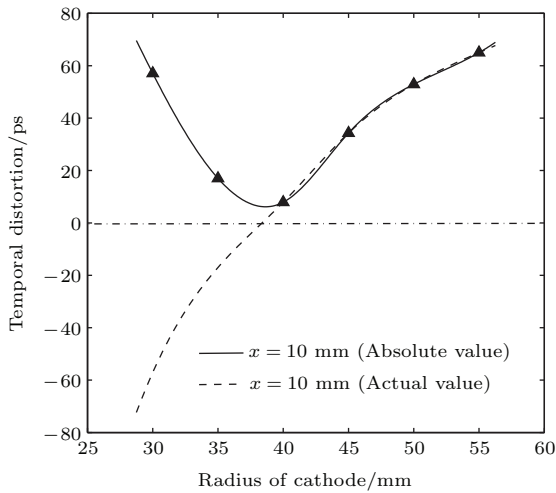


图7 不同阴极曲率半径下距阴极中心 10 mm 物点处的条纹管时间畸变

Fig. 7. Temporal distortion of the point 10 mm away from the axis of the streak tube with different photocathode radius of curvature.

图8所示为 $R_c = 30$ mm 的条纹管从阴极不同位置发射不同初能量的光电子对应的时间畸变. 同样可以得到, 具有一定初能量的光电子在阴极上发射时的初始高度越大, 时间畸变越大. 而光电子初能量对时间畸变的影响很小, 随着能量的增大, 时间畸变的绝对值只有很小的减小趋势. 也就是说在阴极附近, 光电子的能量差异不会造成太大的时间

畸变差异, 可见加栅网与否对条纹管的时间畸变影响很小.

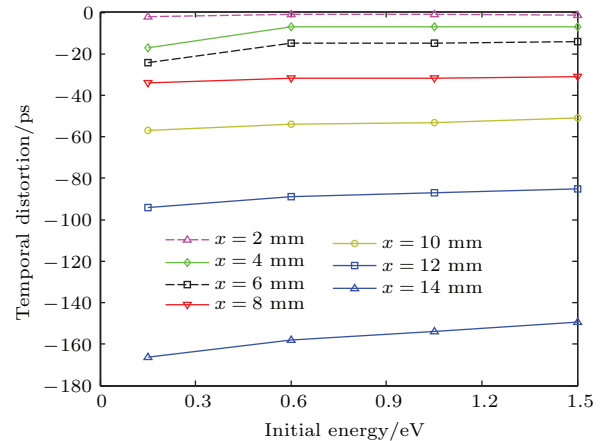


图8 (网刊彩色) 不同光电子初始能量对应的时间畸变
Fig. 8. (color online) Temporal distortion versus initial energy of the photo electrons.

3.3 空间分辨率及狭缝扫描像

当条纹管的偏转板施加如图9所示的斜坡扫描电压后, 不同阴极曲率半径对应的条纹管狭缝扫描像如图10所示. 两条狭缝的时间间隔为 50 ps, 可见条纹管完全可以分辨时间间隔为 50 ps 的狭缝脉冲. 三种阴极曲率半径下, 狭缝扫描像发生了不同方向、不同程度的弯曲. 偏转板加上斜坡电压后, 由于时间畸变的存在, 从光阴极不同高度发射的光电子将于不同时刻进入偏转系统, 受到不同的偏转电压, 从而导致狭缝像弯曲. 在 $R_c = 30$ mm 时, 条纹管具有负时间畸变, 即边缘电子比中心电子先到达偏转板, 边缘电子受到的偏转电压比中心电子受到的偏转电压小, 所以边缘处的电子偏转距离小, 导致了狭缝像向下弯曲. 对于 $R_c = 50$ mm 的条纹管, 情况刚好相反, 狭缝像向上弯曲. 由此可见, 狭缝像的弯曲方向可以反映条纹管时间畸变的正负. 设条纹管偏转灵敏度为 P , 狭缝光电子的中心部分和边缘部分分别在 t_1, t_2 时刻运行到偏转板入口, 则它们受到的偏转电压分别为 U_1, U_2 , 在荧光屏上的偏转量 Y_1, Y_2 分别为

$$Y_1 = U_1 \times P = (kt_1 + b) \times P, \quad (3a)$$

$$Y_2 = U_2 \times P = (kt_2 + b) \times P, \quad (3b)$$

$$\begin{aligned} \Delta Y &= Y_2 - Y_1 = k \times (t_2 - t_1) \times P \\ &= kP\Delta t. \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式表示狭缝像边缘处偏转量 ΔY 与时间畸变 Δt 的线性关系. $R_c = 40$ mm 时, 条纹管时间畸变最小, 狭缝像弯曲程度最小. 图 11 为不同阴极曲率半

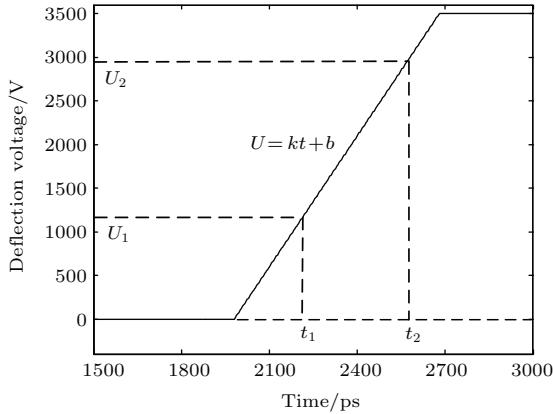


图 9 偏转板斜坡电压

Fig. 9. Ramp voltage of the deflection plate.

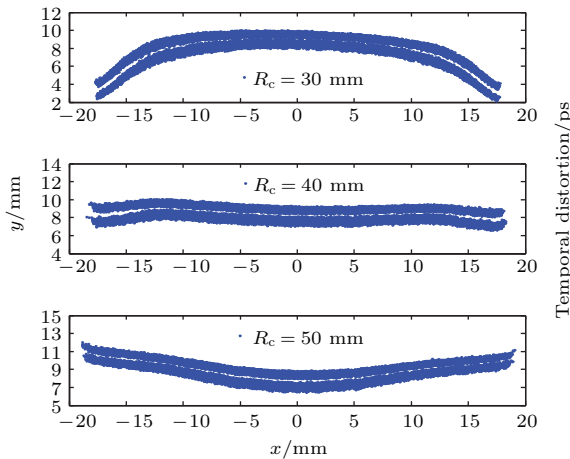


图 10 不同阴极曲率半径对应的条纹管狭缝扫描像

Fig. 10. Scanning image for the streak tube slit with different photocathode radius of curvature.

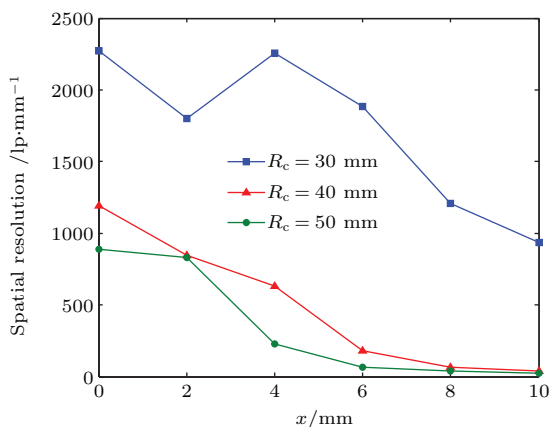


图 11 不同阴极曲率半径对应的条纹管空间分辨率

Fig. 11. Spatial resolution of the streak tube with different photocathode radius of curvature.

径对应的条纹管阴极上不同位置的空间分辨率. $R_c = 30$ mm 时, 条纹管从阴极中心到边缘的空间分辨率比 $R_c = 40$ mm 和 $R_c = 50$ mm 的高很多. 在条纹管设计中, 应根据实际需要来选择条纹管的阴极曲率半径, 对于该超小型条纹管, 如果对空间分辨率要求高, 则阴极曲率半径应选 $R_c = 30$ mm, 如果要求狭缝像畸变小, 则阴极曲率半径应选 $R_c = 40$ mm.

4 结 论

本文计算了条纹变像管的电场分布并模拟了其光电子的运行轨迹, 对条纹变像管的时间畸变特性进行了较全面的分析. 条纹变像管中造成时间畸变较大的区域是阴极到偏转板前的部分; 采用曲面阴极并选取合适的曲率半径可以减小条纹管的时间畸变; 随着条纹管阴极发射的光电子的初能量的增大, 其时间畸变只有微小的减小趋势, 所以光电子的初能量对条纹管的时间畸变影响很小. 因此, 影响条纹变像管时间畸变的主要因素是阴极曲率半径. 具有一定初能量的光电子在阴极上发射时的初始高度越大, 时间畸变越大; 时间畸变的存在造成动态扫描狭缝像的弯曲, 为了降低狭缝扫描像在荧光屏上的畸变, 应选取适当的阴极曲率半径, 减小其时间畸变. 本文分析的超小型条纹管, $R_c = 40$ mm 时, 在阴极狭缝长达 24 mm 的情况下, 其时间畸变仍小于 50 ps, 而 $R_c = 30$ mm 时, 其阴极各处的空间分辨率最高. 在条纹管设计中, 针对不同结构的条纹管, 应根据实际要求适当选取阴极曲率半径, 使得条纹管时间畸变最小或空间分辨率最高. 本文关于条纹管时间畸变的影响因素及动态扫描狭缝像的分析对条纹管的结构设计具有重要指导意义.

参考文献

- [1] Takahashi A, Nishizawa M, Inagaki Y, Koishi M, Kinoshita K 1994 *Proceedings of SPIE on Generation, Amplification, and Measurement of Ultrashort Laser Pulses* Los Angeles, CA, January 23, 1994 p275
- [2] Losovoi V, Ushkov I, Prokhorenko E, Schelev M, Smirnov A 2003 *Proceedings of SPIE of 25th International Congress on High-Speed Photography and Photonics* Beaune, Finland, September 29, 2002 p297

- [3] Hui D D, Tian J S, Wang J F, Lu Y, Wen W L, Xu X Y 2016 *Acta Phys. Sin.* **65** 018502 (in Chinese) [惠丹丹, 田进寿, 王俊锋, 卢裕, 温文龙, 徐向晏 2016 物理学报 **65** 018502]
- [4] Hinrichs C K 1985 *Proceedings of SPIE of 16th Intl Congress on High Speed Photography and Photonics* Strasbourg, France, August 27, 1984 p36
- [5] Feng J, Shin H J, Nasiatka J R, Wan W, Young A T, Huang G, Comin A, Byrd J, Padmore H A 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 134102
- [6] Zhu M, Tian J S, Wen W L, Wang J F, Cao X B, Lu Y, Xu X Y, Sai X F, Liu H L, Wang X, Li W H 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 098501 (in Chinese) [朱敏, 田进寿, 温文龙, 王俊锋, 曹希斌, 卢裕, 徐向晏, 赛小锋, 刘虎林, 王兴, 李伟华 2015 物理学报 **64** 098501]
- [7] Mens A, Adolf A, Gontier D, Goulmy C, Jaanimagi P A, Quine C, Rebuffie C J, Segre J, Verrecchia R 1997 *Proceedings of SPIE of 22nd International Congress on High-Speed Photography and Photonics* Santa Fe, NM, October 27 1996 p139
- [8] Chen G f, Chen Z R, Wang X H, Ren Y L 1985 *Proceedings of SPIE of 16th Intl Congress on High Speed Photography and Photonics* Strasbourg, France, August 27, 1985 p672
- [9] Qu J L, Yang Q L, Niu H B, Song Z X 1997 *High Power Laser and Particle Beams* **9** 114 (in Chinese) [屈军乐, 杨勤劳, 牛憨笨, 宋宗贤 1997 强激光与粒子束 **9** 114]
- [10] Yi R Q, Yang G H, Cui Y L, Du H B, Wei M X, Dong J J, Zhao Y D, Cui M Q, Zheng L 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 6287 (in Chinese) [易荣清, 杨国洪, 崔延莉, 杜华冰, 韦敏习, 董建军, 赵屹东, 崔明启, 郑雷 2006 物理学报 **55** 6287]
- [11] Liu J, Wang Q, Li S, Cheng Y, Wei J 2009 *Laser Phys.* **19** 115
- [12] Wei J S, Wang Q, Sun J F, Gao J 2010 *J. Russ. Laser Res.* **31** 307
- [13] Sun J F, Liu J B, Wang Q 2013 *Optik* **124** 204
- [14] Sun J F, Wang T J, Wang X F, Wei J S, Wang Q 2013 *Optik* **124** 2674
- [15] Niu H B 1983 *Proceedings of SPIE of 15th Intl Congress on High Speed Photography and Photonics* San Diego, August 21, 1982 p231
- [16] Ageeva N V, Andreev S V, Degtyareva V P, Greenfield D E, Ivanova S R, Kaverin A M, Kulechenkova T P, Levina G P, Makushina V A, Monastyrskiy M A, Polikarkina N D, Schelev M Y, Semichastnova Z M, Skaballanovich T A, Sokolov V E 2009 *Proceedings of SPIE of 28th International Congress on High-Speed Imaging and Photonics* Canberra, Australia, November 9, 2008 p71261B
- [17] Weiland T 1996 *Int. J. Numer. Model* **9** 295
- [18] Pei L C, Zhang X Z 1980 *Monte Carlo Method and the Application in the Transport of Particles* (Beijing, Science Press) pp100–114 (in Chinese) [裴鹿呈, 张孝泽 1980 蒙特卡罗方法及其在粒子运输问题中的应用 (北京: 科学出版社) 第100—114页]

Temporal distortion analysis of the streak tube

Hui Dan-Dan¹⁾²⁾³⁾ Tian Jin-Shou^{1)3)†} Lu Yu¹⁾ Wang Jun-Feng¹⁾ Wen Wen-Long¹⁾
Liang Ling-Liang¹⁾²⁾ Chen Lin¹⁾²⁾

1) (*Key Laboratory of Ultra-fast Photoelectric Diagnostics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

2) (*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

3) (*Collaborative Innovation Center of Extreme Optics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China*)

(Received 24 February 2016; revised manuscript received 29 April 2016)

Abstract

Streak cameras applied to inertial confinement fusion research and flashless imaging lidar require large working areas. However, the larger the working area, the bigger the temporal distortion is. And the temporal distortion has a great influence on the detecting precision of the streak camera, resulting in an image distortion on the screen. Yet previous streak camera design work emphasized shorter time resolution and higher spatial resolution with paying less attention to the temporal distortion extent. Key factors that may affect the temporal distortion are thoroughly analyzed in this paper. We calculate the electric field of a small-size streak tube with the aid of the Computer Simulation Technology Particle Studio software which is a three-dimensional electromagnetic simulation software based on finite integration technology. Axial electric field distributions at different distances to the axis of the small-size streak tube are displayed. The electron trajectories launched from different points on photocathode of the streak tube are tracked through interpolating pre-calculated electromagnetic field to the particle position. It is known that curved photocathode can reduce the temporal distortion, so we calculate the temporal distortions of streak tubes whose radii of curvature of the photocathode are 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, and 55 mm respectively to ascertain how the curvature influences the temporal distortion. The results show that the temporal distortion is mainly produced in the photocathode-to-deflector region, and it is negligible in the equipotential region. Also, bigger radius of curvature of the photocathode leads to a positive temporal distortion, and smaller one leads to a negative temporal distortion. And the absolute value of the temporal distortion increases with the increase of the slit length. The small-size streak tube whose radius of curvature of the photocathode is 40 mm owns the smallest temporal distortion. We also calculate the temporal distortions of electrons launched from the different positions of the photocathode with different initial energies, and the initial energy has little influence on the temporal distortion. To sum up, the dominating factor that produces the temporal distortion is the curvature of the photocathode. The slit image under a ramp sweeping voltage on screen is curved due to the temporal distortion. And the bigger the temporal distortion, the greater the curvature of the slit image is. Besides, a linear relation between the temporal distortion and deflection of the slit image is displayed. The spatial resolutions of the streak tubes with the radii of curvature of the photocathode 30 mm, 40 mm, 50 mm are calculated respectively. And the small-size streak tube whose radius of curvature of the photocathode is 30 mm has the highest spatial resolution. The radius of curvature of the streak tube photocathode should be carefully selected according to actual requirements for the streak camera. Through the analysis we provide a significant guidance for streak tube design.

Keywords: temporal distortion, streak camera, radius of curvature of photocathode, slit image

PACS: 85.60.-q, 85.60.Bt, 42.79.Pw

DOI: 10.7498/aps.65.158502

† Corresponding author. E-mail: tianjs@opt.ac.cn