

# 高能闪光照相相对电子束参数的要求

施将君<sup>1)</sup> 刘军 刘进 李必勇

(中国工程物理研究院流体物理研究所 绵阳 621900)

**摘要** 对高能闪光机光源性能用Monte-Carlo方法模拟研究发现:并非击靶电子束半径越小、发射度越低,闪光机的照相性能就会越好.研究表明:为了使闪光照相图像视面上照射量分布比较均匀,对束半径与电子束归一发射度有一个联合限制,对于20MeV闪光机,如果击靶电子束有效半径是0.12cm,那么仅当束归一发射度 $\geq 550\text{cm}\cdot\text{mrad}$ 时,在 $2^\circ$ 内的照射量不均匀性才小于5%.

**关键词** 韧致辐射照射量角分布 光斑尺寸 电子束发射度

## 1 引言

影响X射线成像品质的几个重要因素是X光源尺寸、1m处照射量及其光场均匀性.光源尺寸构成图像几何模糊,而光场均匀性直接影响对未知客体的正确认识.若 $2^\circ$ 内光强相对差小于5%,那么光场认为是均匀的.由于接收设备灵敏度限制,要求光源强度尽可能高.光源尺寸近似由电子束击靶半径确定,目前国际上限于mm量级<sup>[1-3]</sup>;光源照射量以及照射量分布的空间均匀性不但与电子束半径有关,而且与电子束发射度有关<sup>[4]</sup>.

## 2 理想电子束韧致辐射的角分布

对半径为0—2cm的七种零发射度电子束的Monte-Carlo法(下称MC法)模拟结果表明:零半径电子束照射量分布极不均匀(见图1).在 $2^\circ$ 处的照射

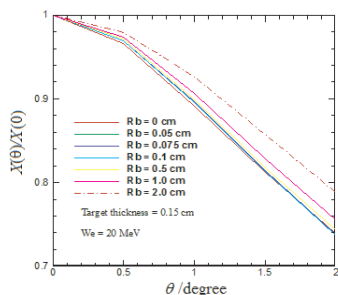


图1 零发射度、不同半径束韧致辐射 $2^\circ$ 内的角分布

量仅为中心的74%,在 $1^\circ$ 处的照射量仅为中心的89%.使用这一分布对实际闪光图像进行反演,结果肯定不正确.

## 3 归一发射度对光源照射量的影响

对于高能电子束能量、mm级靶厚情况,针对不同的归一发射度和电子束半径,利用MC法计算了韧致辐射转换靶正前方1m处的照射量 $X_1$ ,计算结果(如图2)与文献[4]报道的结果相一致.图2中从下而上的15条对应的电子束半径分别为0.05—0.80cm.

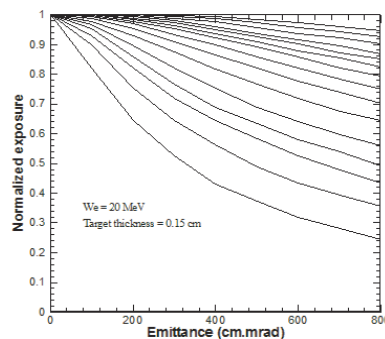


图2  $X_1 - \epsilon_n$  曲线

考虑电子束发射度影响时,照射量 $X_1$ 的变化规律如下:在一定的半径下, $X_1$ 随归一发射度 $\epsilon_n$ 的增加而减小;当 $r_b$ 较小时, $X_1$ 随 $\epsilon_n$ 增加而减小的速率较快;而当 $r_b$ 较大时,这一减小速率较慢.

束半径对照射量 $X_1$ 的影响为:对于一个固定的电子束发射度 $\epsilon_n$ ,在较小束半径处的 $X_1$ 值随半径的增加

1) E-mail: jjs42@sina.com

而急剧增加; 然后随  $r_b$  的增加而缓慢地达到  $X_1$  的极大值(发生在  $r_{bm}$  处).  $\epsilon_n$  越大,  $r_{bm}$  就越大. 值得注意的是: 为了得到相同的  $X_1$  值,  $\epsilon_n$  越小的电子束所对应的束半径越小.

### 4 发射度对源照射量角分布的影响

关于韧致辐射照射量角分布, 国外已经有不少的研究结果<sup>[3, 4]</sup>. 文献[5]给出的厚靶照射量角分布, 表明了随靶厚度的增加, 角分布趋向于均匀化. 垂直入射的细电子束韧致辐射照射量角分布<sup>[6]</sup>近似为  $f(\theta[\text{度}]) = \exp(-W_e[\text{MeV}]\theta[\text{度}]/120)$ ,  $W_e$  是电子能量. 该分布未考虑发射度和束尺寸的影响.

用MC方法详细计算了不同靶厚度、不同归一发射度和不同束半径下的在  $20^\circ$  内的韧致辐射照射量角分布. 结果表明: 照射量角分布的均匀性随发射度的增加(束半径不变)或随束半径的减小(发射度不变)而变好, 同时表明了距靶 1m 处的照射量随发射度的增加(束半径不变)或随束半径的减小(发射度不变)而降低. 可见照射量大小与角分布均匀性对发射度与束半径要求正好相反. 图3给出了束半径 0.15cm、归一发射度 100~800cm·mrad 时照射量角分布曲线(靶厚度是 1.0mm); 表明了归一发射度越大, 照射量空间分布越均匀. 图4给出发射度为 600cm·mrad 的电子束在  $2^\circ$

内的韧致辐射照射量角分布曲线, 10 个束半径值从 0.05cm 等量增加到 0.5cm.

### 5 对发射度和束半径的联合限制

对于照相实验, 既要求视场内照射量角分布均匀, 以便精确诊断材料密度, 又要求束半径尽量小, 以降低几何模糊; 同时也要求有足够照射量, 以便使穿透过客体后仍有足够的直穿照射量, 便于探测. 以上说明在闪光机设计时, 并非束半径越小、发射度越低, 闪光机的照相性能就会越好.

表1是靶厚度 1.0mm 时,  $2^\circ$  内照射量分布不均匀性(%)随电子束归一发射度和束半径的变化情况. 表1表明: (1) 当束半径  $\geq 2.0\text{cm}$ 、归一发射度  $\leq 800\text{cm}\cdot\text{mrad}$  时, 不满足对光场均匀性的要求; (2) 束半径越小, 满足光场均匀性要求的归一发射度越低; (3) 为了满足光场均匀性  $\geq 95\%$ , 对归一发射度和束半径具有联合限制(见表2). 表2给出了在光场均匀性  $\geq 95\%$  的要求下, 几种典型归一发射度对应的最大束半径.

表1 靶厚度 1.0mm 的  $2^\circ$  内光场不均匀性 (%)

$\epsilon_n/(\text{cm}\cdot\text{mrad})$	束半径 $r_b/\text{mm}$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
800	0.9	1.4	4.4	5.7	8.2
700	1.6	2.1	4.8	7.1	9.3
600	2.2	3.2	5.7	8.2	11.4
500	2.5	5.1	7.5	10.7	13.4
400	1.3	5.7	9.9	13.5	16.9
300	3.1	14.2	13.3	17.4	20.3

表2 对电子束归一发射度和束半径的联合限制

$\epsilon_n/(\text{cm}\cdot\text{mrad})$	300	400	500	600	700	800
$R_{b\text{max}}/\text{mm}$	0.6	0.87	0.92	1.35	1.6	1.7

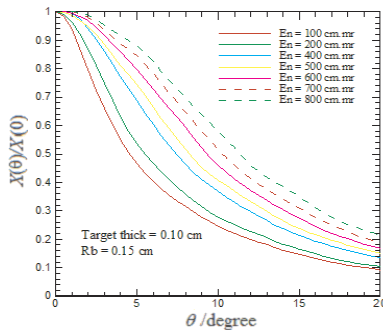


图3  $20^\circ$  内照射量角分布随  $\epsilon_n$  和  $r_b$  变化曲线

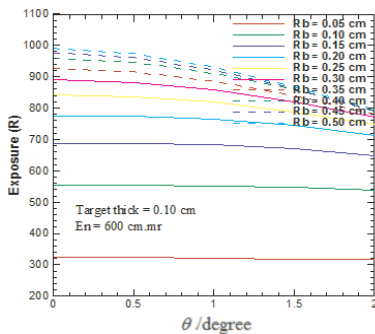


图4  $2^\circ$  内照射量角分布随  $\epsilon_n$  和  $r_b$  变化曲线(靶厚度 1.0mm)

### 6 结论

在一定的电子束半径下,  $X_1$  随归一发射度  $\epsilon_n$  的增加而减小. 固定电子束发射度  $\epsilon_n$  时, 较小束半径对应的  $X_1$  值随半径的增加而急剧增加, 然后随半径的继续增加而缓慢地达到极大值(发生在  $r_{bm}$  处);  $\epsilon_n$  越大,  $r_{bm}$  就越大. 在一定电子束半径下, 归一发射度越大, 照射量空间分布也越趋于均匀, 角分布曲线就越平缓. 固定归一发射度时, 随着半径的增加, 韧致辐射照射量的空间均匀性减弱, 而前冲性增强. 为了使闪光机输出的光场均匀性  $\geq 95\%$ , 对归一发射度和束半径有联合限制. MC 模拟必需同时考虑束尺寸和(归一)发射度的影响.

## 参考文献(References)

- 1 Callan C, Cornwall M, Drell S et al. JSR-94-345, 1994
- 2 Chen Y J, Caporaso G J, Chambers F W et al. UCRL-JC-149928, Dec. 2002
- 3 Burns M J, Carlsten B E, Kwan T J T et al. Proceedings of the 1999 Particle Accelerators Conference, New York, 1999. 617
- 4 SHI Jiang-Jun et al. at High Power Laser and Particle Beams, 1995, **7**: 602 (in Chinese)  
(施将君等. 强激光与粒子束, 1995, **7**: 602)
- 5 Koch H W, Mortz J W. Rev. Moden. Phys., 1956, **31**(4): 920
- 6 Martin T H, SC-RR-69-241, 1969

## Beam Parameter Requirements for Radiography

SHI Jiang-Jun<sup>1)</sup> LIU Jun LIU Jin LI Bi-Yong

(Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract** With the Monte Carlo method, the performance of X-ray source of a flash X-ray radiographic machine is simulated. It is not true that the smaller the beam radius and the emittance, the better the performance of radiographic image. The results indicate that there is a joint restriction on the beam radius and the beam emittance. If the beam radius on the target is 0.12cm and the exposure inhomogeneity within the azimuthal angle of  $2^\circ$  is not larger than five percentage, the normalized emittance of the beam should not be less than 550cm-mrad.

**Key words** exposure, azimuthal distribution, spot size, beam emittance

---

1) E-mail: jjs42@sina.com