

Axesse 系统 VMAT 的质量保证

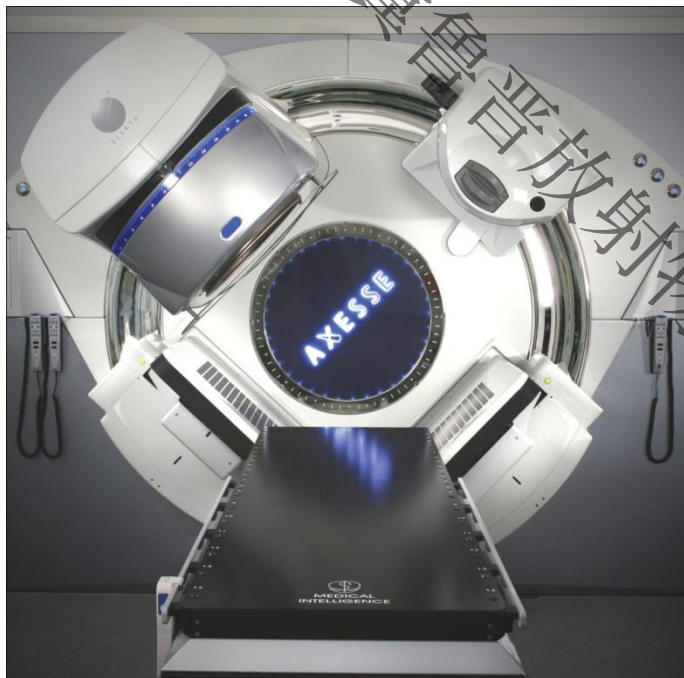
杨瑞杰

北京大学第三医院



北京大学

Axesse 系统概述



清华大学

Axesse 系统概述

- Axesse 加速器和实施技术
 - Agility MLC、连续变剂量率 CVDR
- IGRT 解决方案
 - iView GT、XVI (2D、3D、4D CBCT)
 - Clarity 超声模拟定位和验证系统
 - Sentinel 体表激光定位系统、Hexapod 六自由度治疗床
- Mosaic 网络系统
- Oncentra (6+6)、Monaco (2+2) 治疗计划系统



清华大学

VMAT的质量保证

- 系统验收
- 系统调试
- 日常QA
 - 机器日常QA (TG142)
 - 患者剂量验证



清华大学

VMAT系统调试

- 加速器和计划系统
- 开展常规技术的系统调试
- 开展调强放疗的系统调试
- 针对VMAT加速器的系统调试
 - 机架旋转、MLC叶片运动和剂量率变化

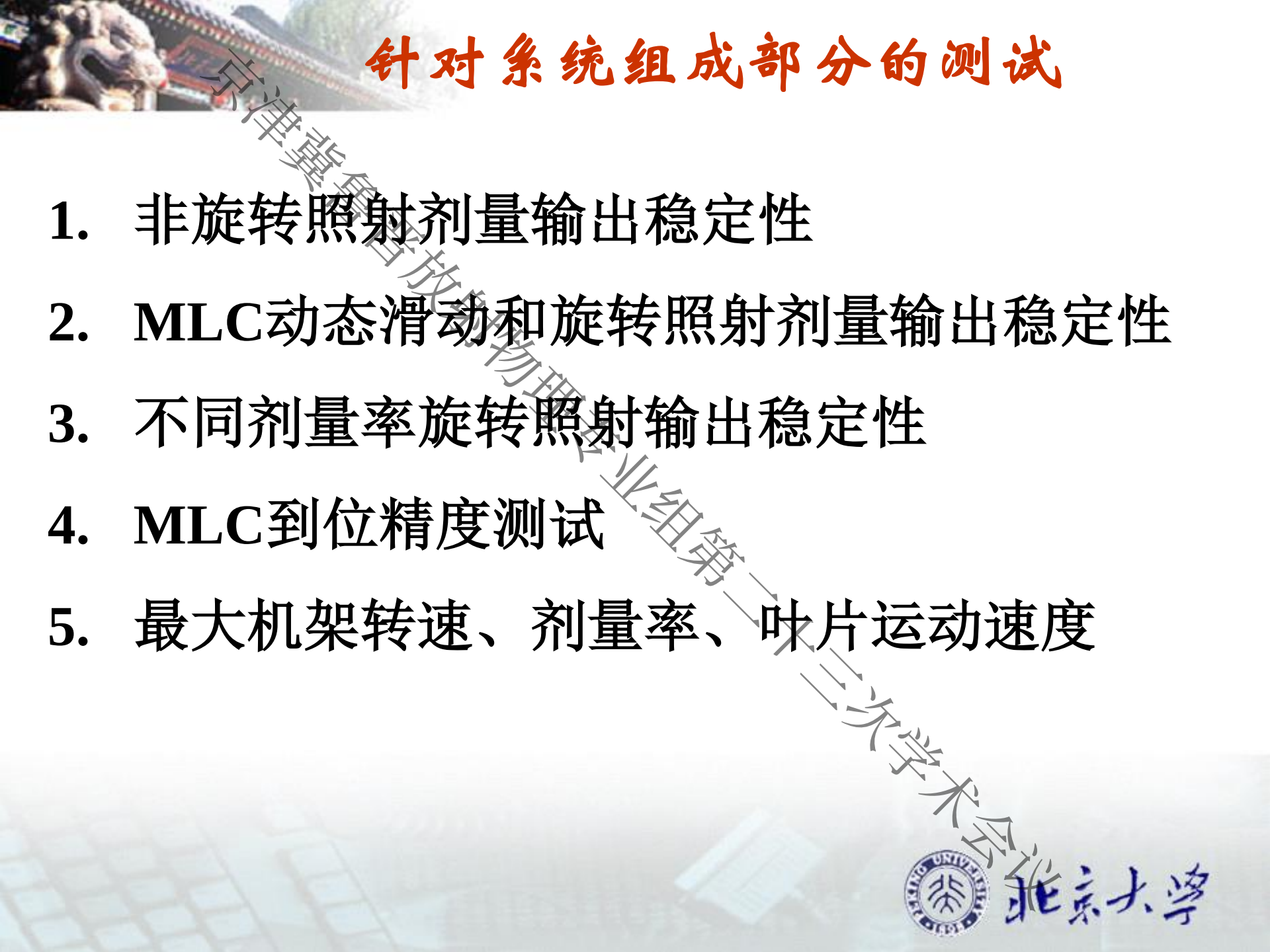


VMAT系统调试

- 针对系统组成部分的测试
- 针对系统整体过程的测试



清华大学



针对系统组成部分的测试

1. 非旋转照射剂量输出稳定性
2. MLC动态滑动和旋转照射剂量输出稳定性
3. 不同剂量率旋转照射输出稳定性
4. MLC到位精度测试
5. 最大机架转速、剂量率、叶片运动速度



1 非旋转照射剂量输出稳定性测试

测试条件

- CC13电离室固定床面, SAD=100cm, 10 X 10cm
- 固定野照射电离室



清华大学

1.1 短期剂量输出稳定性

Short Term Dose Reproducibility				Spec: $\pm 1\%$		
Gantry @ 0° IEC			Integrations		Calculations	
Mode	RR	MU	#1	#2	AVG	Deviation
High X	Rrmid	50	47.280	47.330	47.305	-0.11%
	RRmid	100	94.500	94.500	94.500	0.00%
	RRmid	300	283.700	283.800	283.750	-0.04%
Low X	RRmid	50	44.480	44.380	44.430	0.23%
	RRmid	100	88.830	88.920	88.875	-0.10%
	RRmid	300	266.900	267.100	267.000	-0.07%



1.2 随剂量率变化时剂量输出稳定性

Dose Reproducibility with Dose Rate					iX/NTx/EX/CX	Spec: ±	1%
Gantry @ 0° IEC							
			Rep Rate			Deviation	
Mode	MU	Int.	RR1(150)	RRmid	RRmax	RR1	RRmax
High X	100MU	#1	94.490	94.500	94.650	-0.02%	0.22%
	100MU	#2	94.480	94.500	94.770		
Low X	100MU	#1	88.800	88.830	89.270	-0.07%	0.47%
	100MU	#2	88.830	88.920	89.310		



清华大学

1.3 低剂量率时剂量输出稳定性

LDR Dosimetry Worksheet Table						
			Integrations			
	DoseRate	MU	#1	#2	#3	AVG
High X	RR3 (300 MU/min)	25	23.730	23.650	23.690	23.690
	LRR1 (37 MU/min)	25	23.610	23.610	23.580	23.600
	LRR2 (75 MU/min)	5	4.730	4.730	4.710	4.723
	LRR2 (75 MU/min)	25	23.620	23.600	23.610	23.610
	LRR2 (75 MU/min)	50	47.280	47.240	47.360	47.287
	LRR3 (150 MU/min)	25	23.610	23.650	23.690	23.650
Low X	RR3 (300 MU/min)	25	22.220	22.270	22.220	22.237
	LRR1 (37 MU/min)	25	22.200	22.140	22.190	22.177
	LRR2 (75 MU/min)	5	4.460	4.430	4.440	4.443
	LRR2 (75 MU/min)	25	22.140	22.180	22.160	22.160
	LRR2 (75 MU/min)	50	44.320	44.340	44.360	44.343
	LRR3 (150 MU/min)	25	22.240	22.180	22.190	22.203

AVG = (Integration #1 + #2 + #3) / 3

Reproducibility with Dose Rate							
		Percent Deviation			Specifications (± values)		
MODE	MU	LRR1	LRR2	LRR3	LRR1	LRR2	LRR3
High X	25	-0.38%	-0.34%	-0.17%	10%	5%	2%
Low X	25	-0.27%	-0.34%	-0.15%	10%	5%	2%

LRR Deviation = $\{[(LRR_{X_{AVG}} - RR3_{AVG}) / RR3_{AVG}] \times 100$

Reproducibility with Dose (MU)					
		Percent Deviation		Specifications (± values)	
	RepRate	5 MU	50 MU	5 MU	50 MU
High X	LRR2	0.0%	0.1%	3%	1%
Low X	LRR2	0.3%	0.1%	3%	1%

5 MU Deviation = $\{[(5 \times LRR3 \ 5 \text{ MU}_{AVG}) - LRR3 \ 25 \text{ MU}_{AVG}] / LRR3 \ 25 \text{ MU}_{AVG} \times 100$

50 MU Deviation = $\{[(LRR3 \ 50 \text{ MU}_{AVG} / 2) - LRR3 \ 25 \text{ MU}_{AVG}] / LRR3 \ 25 \text{ MU}_{AVG} \times 100$

大學

1.4不同MU剂量输出稳定性

Dose Reproducibility with Dose (MU)					Spec: $\pm 1\%$	
Gantry @ 0° IEC		Averages			Deviation	
Mode	RR	50 MU	100 MU	300 MU	50 MU	300 MU
High X	RRmid	47.305	94.500	283.750	0.12%	0.09%
Low X	RRmid	44.430	88.875	267.000	-0.02%	0.14%
6e	N/A	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
High e-	N/A	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!
HDTSe	N/A	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!



1.5 小MU剂量输出稳定性

LDR Dosimetry Worksheet Table

	DoseRate	MU	Integrations			AVG	Dose/MU	radio
			#1	#2	#3			
High X	Rrmid(300)	5	4.720	4.750	4.780	4.750	0.9500	0.33%
	RRmid	10	9.490	9.500	9.470	9.487	0.9487	0.19%
	RRmid	20	18.950	18.980	18.940	18.957	0.9478	0.10%
	RRmid	30	28.360	28.420	28.370	28.383	0.9461	-0.08%
	RRmid	50	47.220	47.240	47.260	47.240	0.9448	-0.22%
	RRmid	80	75.660	75.620	75.640	75.640	0.9455	-0.15%
	RRmid	100	94.510	94.540	94.500	94.517	0.9452	-0.18%
Low X	RRmid	5	4.460	4.450	4.460	4.457	0.8913	0.19%
	RRmid	10	8.900	8.910	8.870	8.893	0.8893	-0.03%
	RRmid	20	17.790	17.760	17.850	17.800	0.8900	0.04%
	RRmid	30	26.690	26.670	26.690	26.683	0.8894	-0.02%
	RRmid	50	44.420	44.420	44.450	44.430	0.8886	-0.11%
	RRmid	80	71.140	71.110	71.130	71.127	0.8891	-0.06%
	RRmid	100	88.910	88.990	88.920	88.940	0.8894	-0.02%



清华大学

2 旋转照射剂量输出稳定性测试

测试条件

- CC13电离室固定床面, SAD=100cm, 10 X 10cm
- 固定野和360° 旋转照射电离室
- 最大和最小剂量率下分别照射1000MU和37MU
- 分析比较静态固定野和旋转射野下读数, 容差±1%



清华大学

2 旋转照射剂量输出稳定性测试

6MV					10MV				
固定野		旋转野360°			固定野		旋转野360°		
37MU 读数 (nC)	1000MU 读数 (nC)		37MU 读数 (nC)	1000MU 读数 (nC)	37MU 读数 (nC)	1000MU 读数 (nC)		37MU 读数 (nC)	1000MU 读数 (nC)
1.308	35.431	CW	1.297	35.416	1.304	35.308	CW	1.294	35.211
		CCW	1.297	35.360			CCW	1.293	35.241
旋转野/固定野			0.992	0.999	旋转野/固定野			0.992	0.998



清华大学

2 MLC动态滑动剂量输出稳定性测试

测试条件

- CC13（探头垂直叶片运动方向），电离室固定床面
- SAD=100cm, 23 X 10cm(叶片运动方向), 1cm间隙
四个不同角度和180° 旋转照射电离室
- 测量6MV射线，最大剂量率（600MU/min），MLC
速度0.74 cm/s，机架旋转速度5.8°/秒
- 与平均静态射野比较，容差±1%



清华大学

2 MLC 动态滑动剂量输出稳定性测试

机架角度	读数 (nC)	与平均静态野比率
0	0.551	1.009
90	0.540	0.989
180	0.544	0.996
270	0.548	1.004
180° 旋转	0.540	0.989

- 90, 270 机架角度时叶片垂直于地面
- 180° 旋转 (180-0), GS 5.66 °/S



清华大学

3 不同剂量率旋转照射输出稳定性测试

测试条件

- 使用MatriXX, 测量 各档剂量率下G-T和A-B方向对称性和平坦度
- $SSD = 100\text{cm}$, $GA = 0$, 射野大小 $20\text{X}20\text{cm}$
- 射线对称性和平坦度



清华大学

3 不同剂量率旋转照射输出稳定性测试

方向	剂量率 (MU/min)	角度 (°)	平坦度 (%)	对称性 (%)
G-T	37	0	104.72	100.64
		90	104.54	100.53
		180	105.69	101.01
		270	104.88	100.72
A-B	37	0	105.80	101.07
		90	104.92	101.60
		180	104.95	101.11
		270	105.07	101.52
G-T	75	0	104.78	100.42
		90	104.54	100.42
		180	105.31	101.03
		270	104.47	100.69
A-B	75	0	105.51	100.97
		90	104.71	101.56
		180	104.64	101.17
		270	104.88	101.10
G-T	150	0	104.16	100.83
		90	104.13	100.49
		180	104.78	100.87
		270	104.28	100.47
A-B	150	0	105.42	101.11
		90	104.75	101.62
		180	104.65	101.17
		270	104.77	101.09



清华大学

3 不同剂量率旋转照射输出稳定性测试

方向	剂量率 (MU/min)	角度 (°)	平坦度 (%)	对称性 (%)
G-T	300	0	104.52	100.62
		90	104.56	101.03
		180	104.72	100.73
		270	104.35	100.68
A-B	300	0	105.61	102.07
		90	105.11	101.81
		180	104.67	101.12
		270	104.76	101.07
G-T	600	0	104.75	100.38
		90	104.43	100.88
		180	105.02	100.99
		270	104.26	100.33
A-B	600	0	106.43	102.88
		90	105.90	102.52
		180	105.27	101.64
		270	105.37	101.50



清华大学

4 MLC叶片到位精度测试

- 4.1 MLC到位精度
- 4.2 人为引入误差测试MLC到位精度
- 4.3 MLC最大速率滑动时叶片到位精度



EPID性能测试

- iView GT中心与辐射野等中心一致性
- 测试条件：将B-B小球置于MV等中心处，不同四个角度照射得到四幅MV图像，分析其与数字网格等中心偏差，容差： ≤ 4 个像素

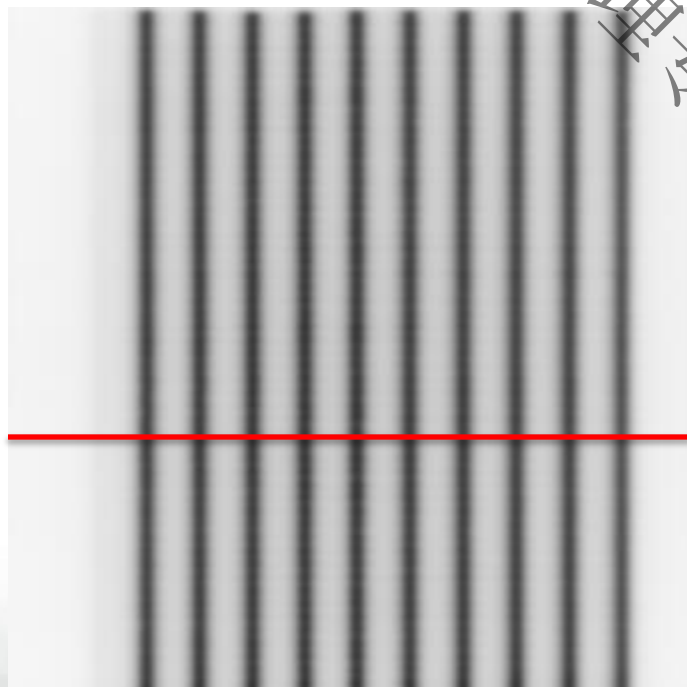
图像	机架角度	B-B中心坐标		图像中心坐标		偏差		容差
		X	Y	X	Y	X	Y	
1	0°	513	511	512	512	2	1	≤ 4
2	90°	513	513	512	512	1	1	≤ 4
3	180°	516	516	512	512	4	4	≤ 4
4	270°	515	513	512	512	3	1	≤ 4



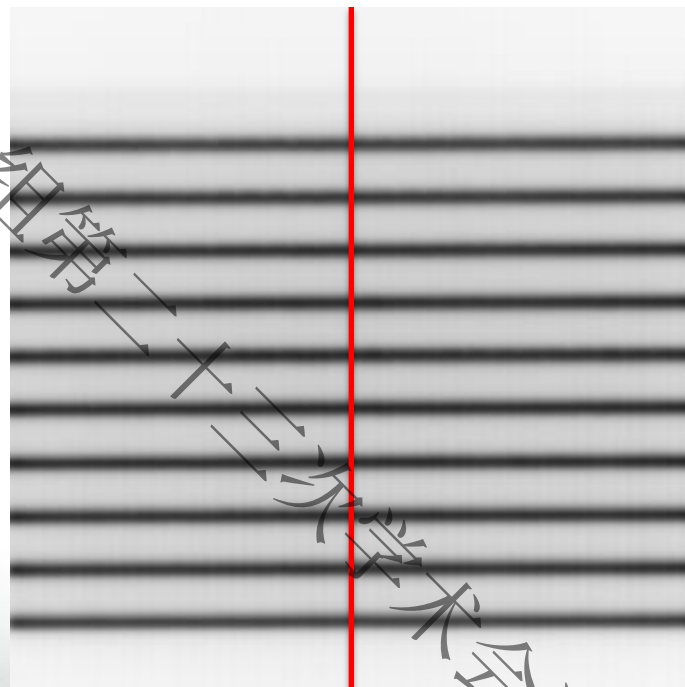
4.1 MLC 到位精度

测试方法

- 使用EPID, 6MV, 20 X 26cm, 5 mm叶片间隙2 cm步间距, 在四个角度和旋转360°下, 测量MLC到位精度, DMLC模式。容差= ± 1 mm



0°



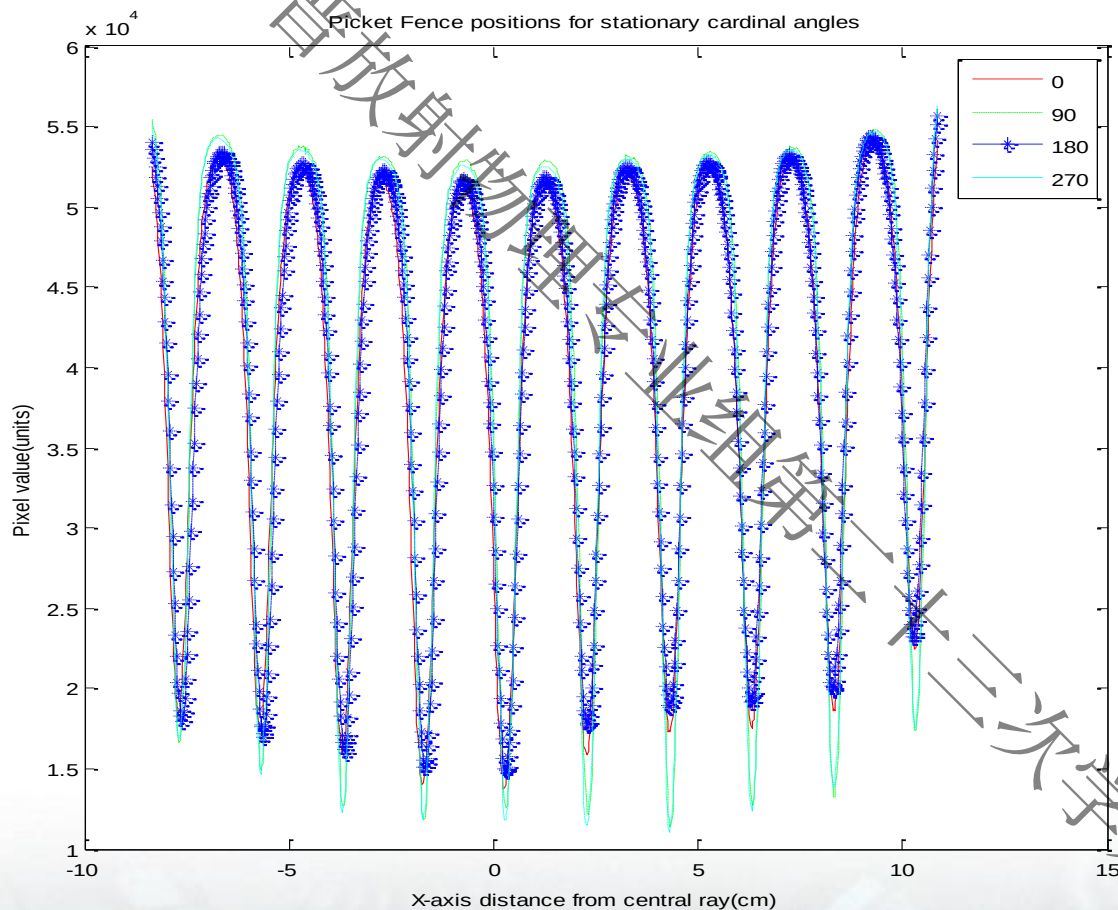
90°



清华大学

4.1 MLC 到位精度

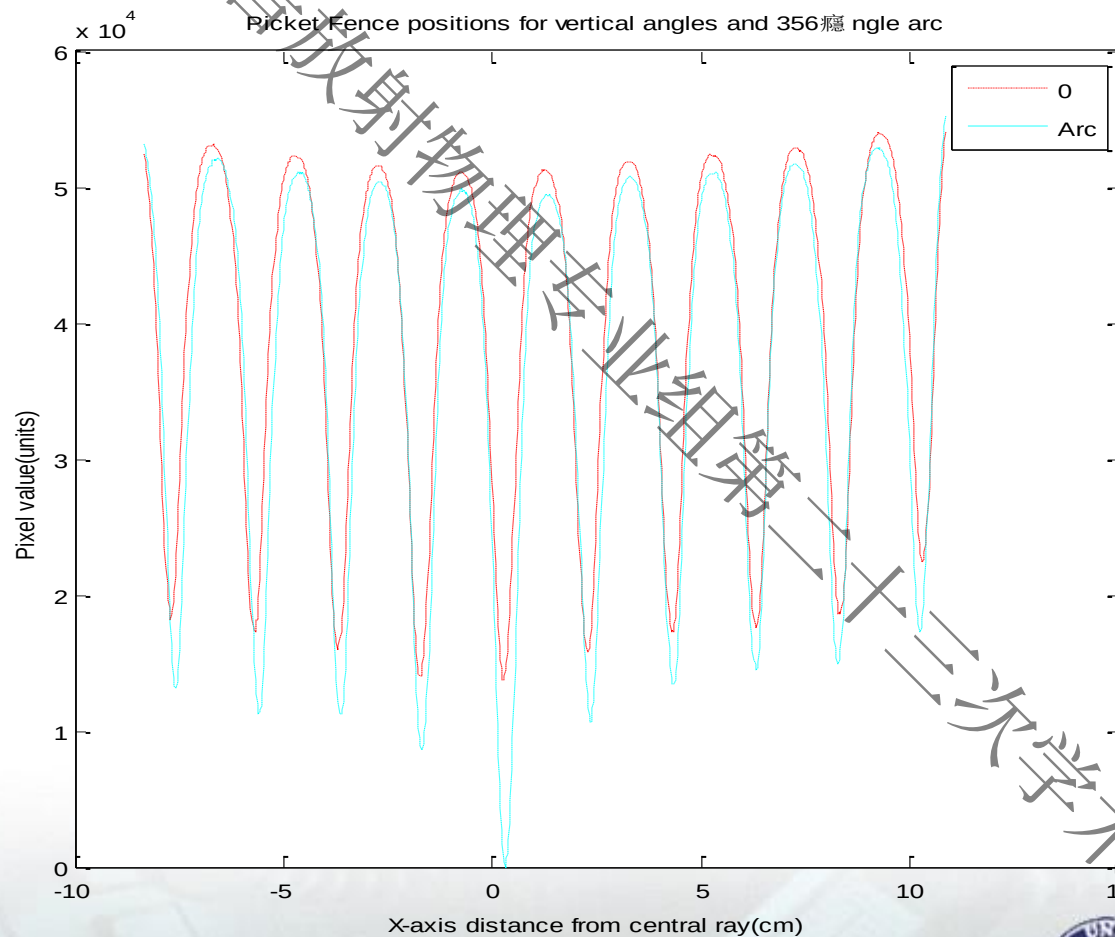
➤ 固定机架角



清华大学

4.1 MLC 到位精度

➤ 固定机架角 与 Arc



清华大学

4.1 MLC到位精度

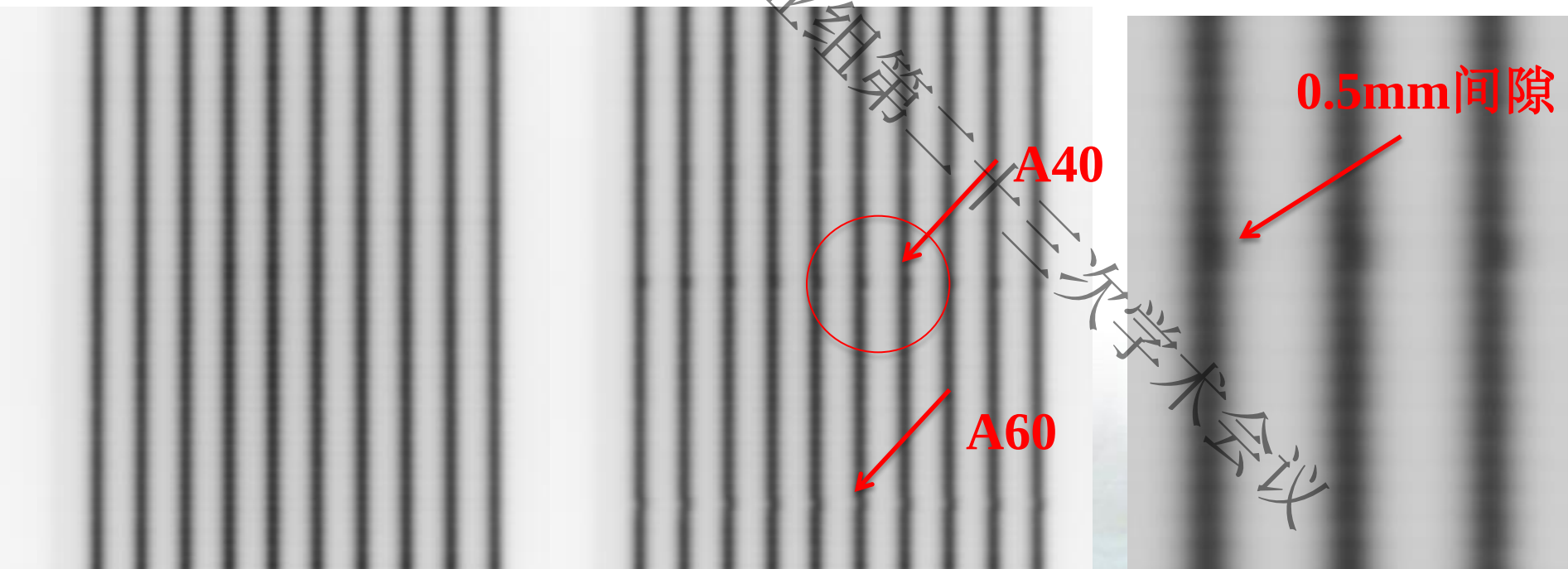
➤ 固定机架角与Arc 剂量峰值点

剂量峰值点位置 (cm)					静态基角 位置范围 (cm)	静态基角 平均位置 (cm)	Arc与静态 位置差异 (cm)
0°	90°	180°	270°	Arc			
-7.72	-7.69	-7.62	-7.69	-7.59	0.100	-7.68	0.088
-5.69	-5.69	-5.61	-5.69	-5.61	0.075	-5.67	0.056
-3.70	-3.68	-3.63	-3.70	-3.63	0.075	-3.68	0.050
-1.75	-1.70	-1.67	-1.72	-1.70	0.075	-1.71	0.013
0.24	0.31	0.29	0.26	0.31	0.075	0.27	0.038
2.27	2.32	2.29	2.29	2.37	0.050	2.29	0.075
4.28	4.33	4.33	4.30	4.30	0.050	4.31	-0.006
6.31	6.33	6.28	6.31	6.31	0.050	6.31	0.000
8.34	8.32	8.29	8.32	8.27	0.050	8.32	-0.050
10.30	10.33	10.25	10.30	10.25	0.075	10.29	-0.044



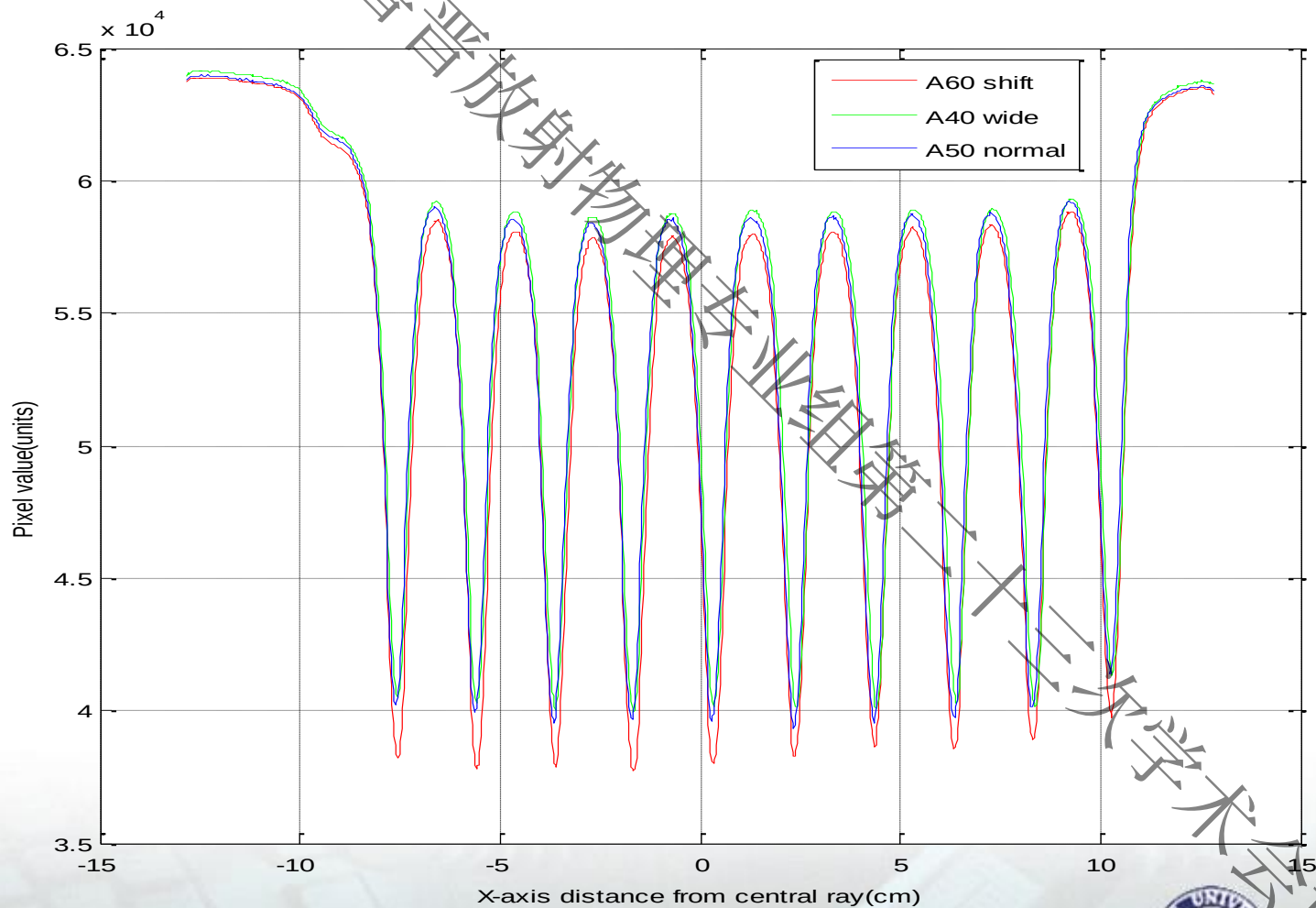
4.2人为引入误差测试MLC到位精度

- 使用EPID, 6MV, 20 X 20cm, 5mm叶片间隙, 2cm步间距, 在四个角度和旋转下, 人为增加引入A40 增加0.5mm叶片间隙, A60叶片0.5mm位置偏移。测量MLC到位精度, DMLC模式





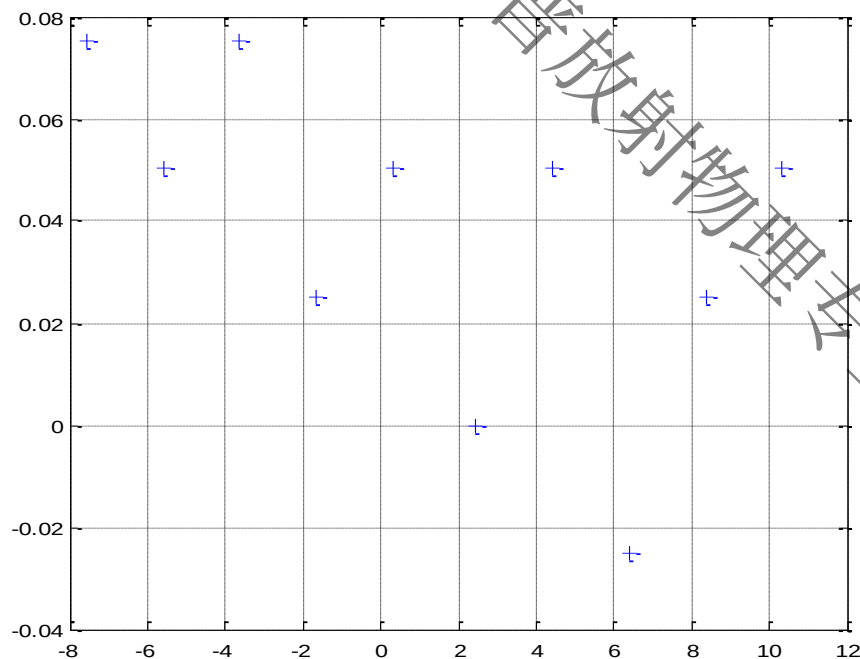
4.2人为引入误差测试MLC到位精度



清华大学

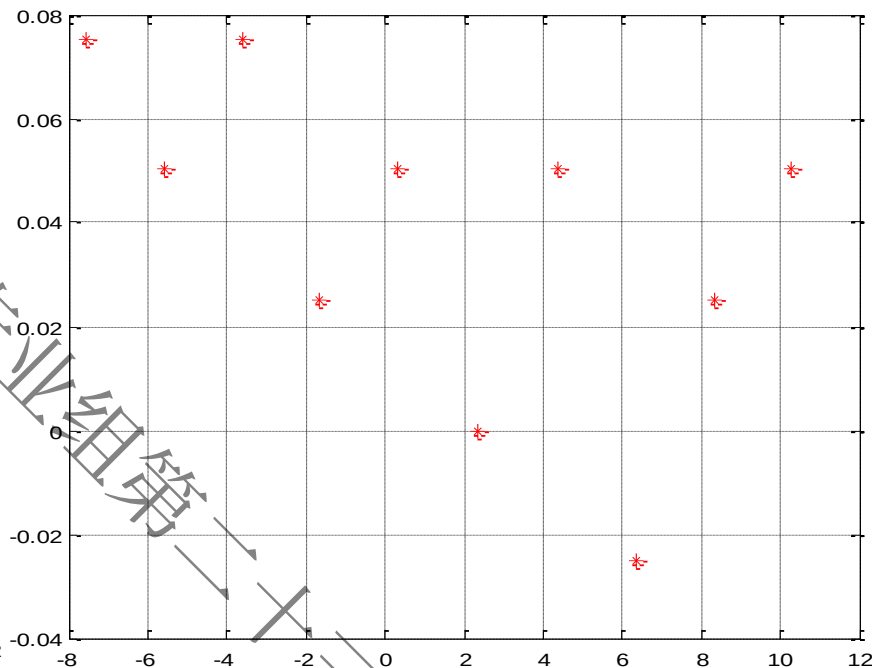
4.2人为引入误差测试MLC到位精度

A40 与A50 峰值点差异



average_shift_40 = 0.043

A60 与A50峰值点差异



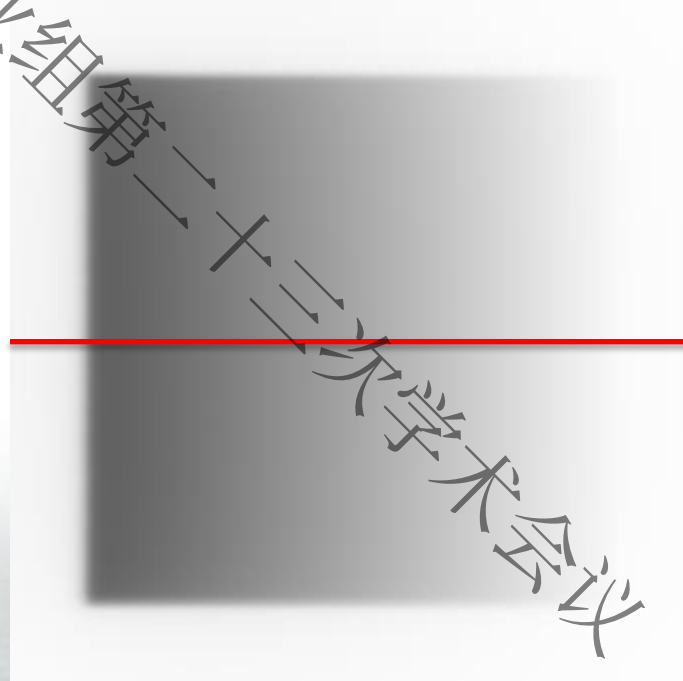
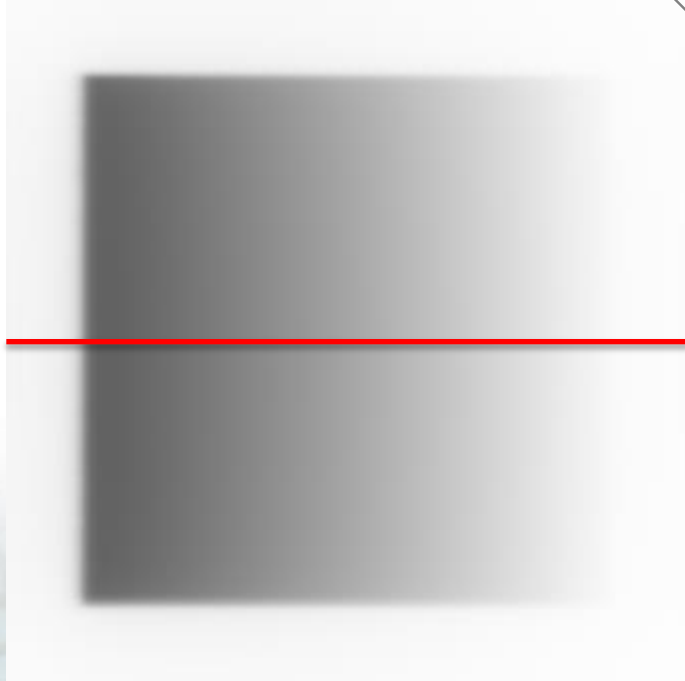
average_shift_60 = 0.043



清华大学

4.3 MLC最大速率滑动叶片到位精度

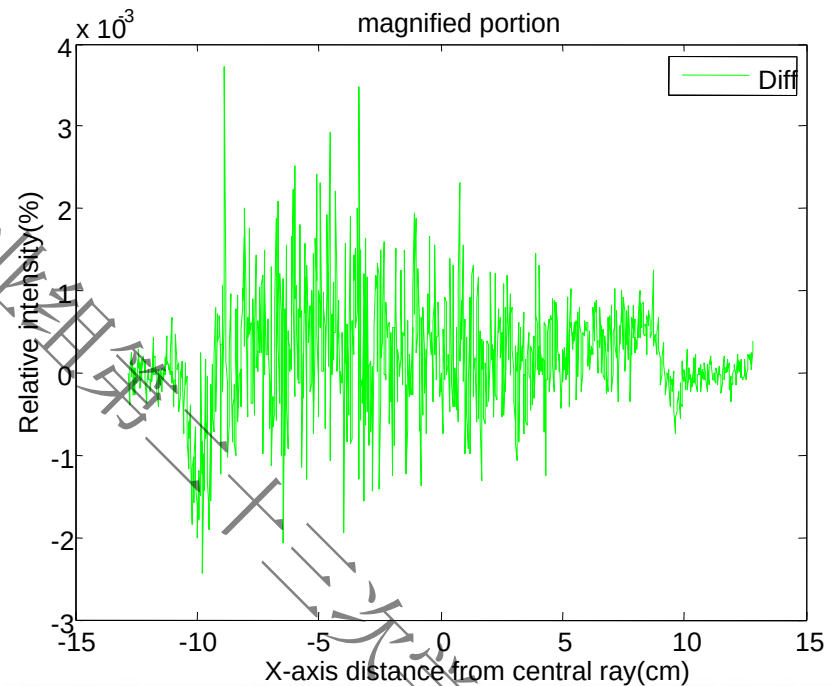
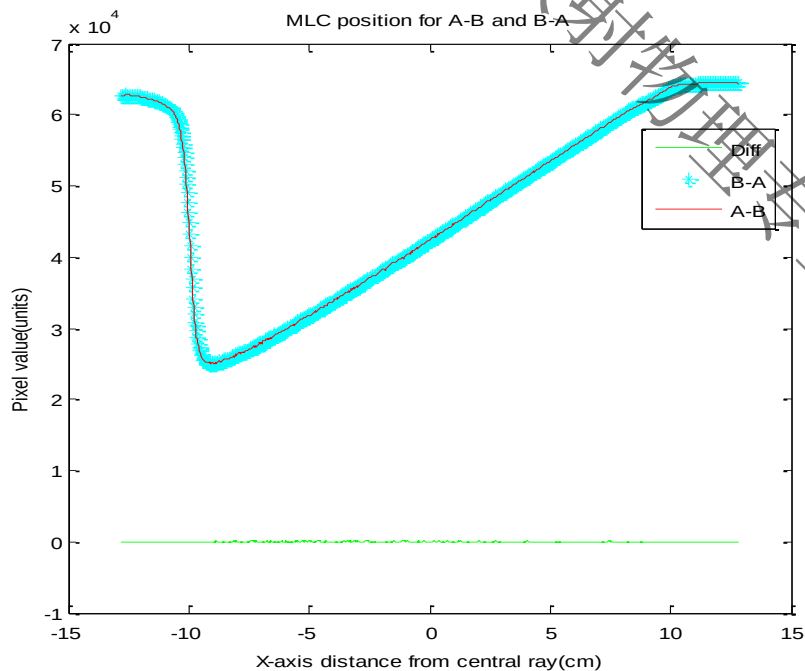
- 使用EPID，测量MLC滑动的稳定性。SSD = 100cm，机架0°，小机头0°，10 MU/cm。MLC射野大小20cm X 20cm，6MV，剂量率600MU/min，一侧叶片以最大速度靠近对侧叶片，或者远离对侧叶片时剂量梯度和叶片位置一致性。A→B，B→A，sliding Window模式，3 cm/s。分析两种模式下中心剖面线剂量差异。容差±2%



大学

4.3 MLC最大速率滑动叶片到位精度

➤ 中间位置剖面线及差异局部放大显示



清华大学

5 最大剂量率、机架和叶片速度

	最大剂量率 (MU)	最大MLC速度 (cm/s)	最大机架速度 (° /s)
理论值	600	3.5	6.0
6MV	633	3.49	6.06



针对系统整体过程的测试

1. 旋转过程中变剂量率和机架速度调制能力测试
2. 旋转过程中MLC速度和剂量率调制能力测试
3. 治疗中断和终止测试
4. 针对患者的剂量验证



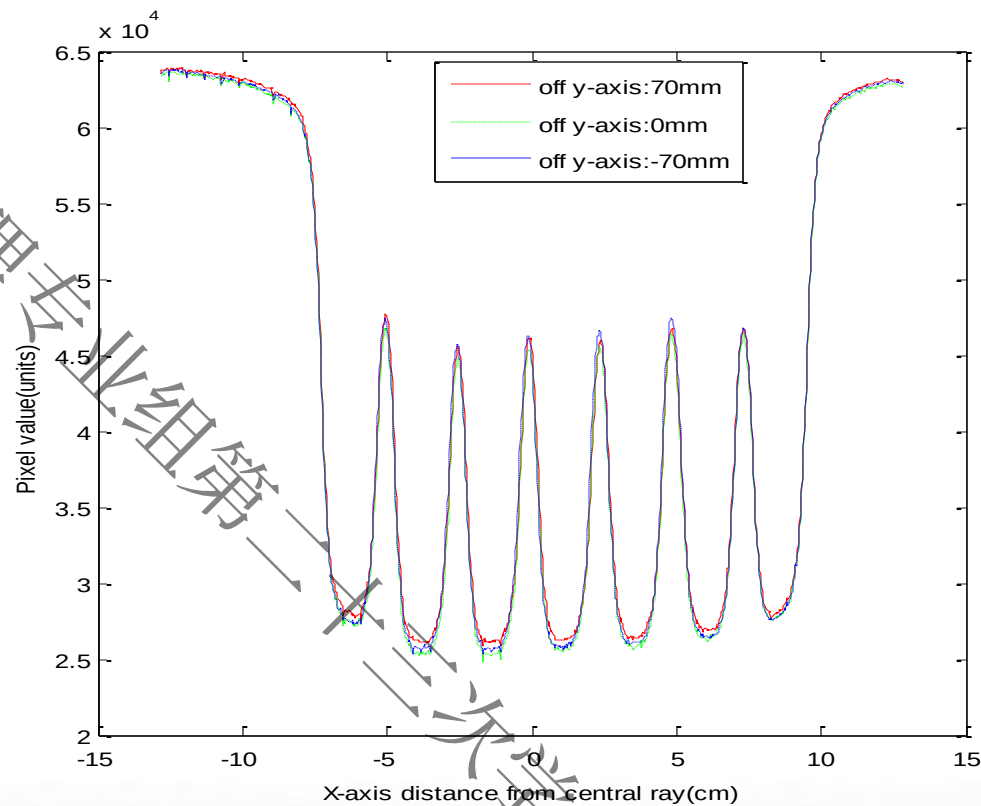
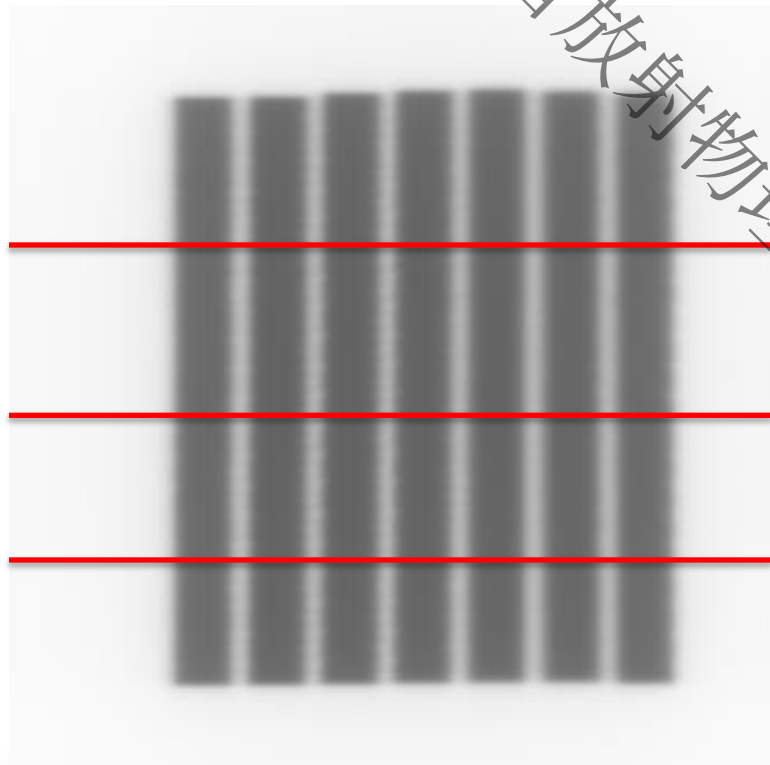
清华大学

1 旋转照射变剂量率和机架速度测试

➤ 测试条件：验证VMAT治疗过程中剂量率和机架速度准确性，设计一组包括8种不同剂量率和机架速度组合照射的条形野照射，分别为：1/16（37），1/8，1/4，1/2，1，1.2倍最大剂量率和机架速度（理论状态）。条间MLC运动速度=1.0cm/s，剂量率为 $600/8=75\text{MU/min}$ ，条宽2cm，条中心间距2.5cm。

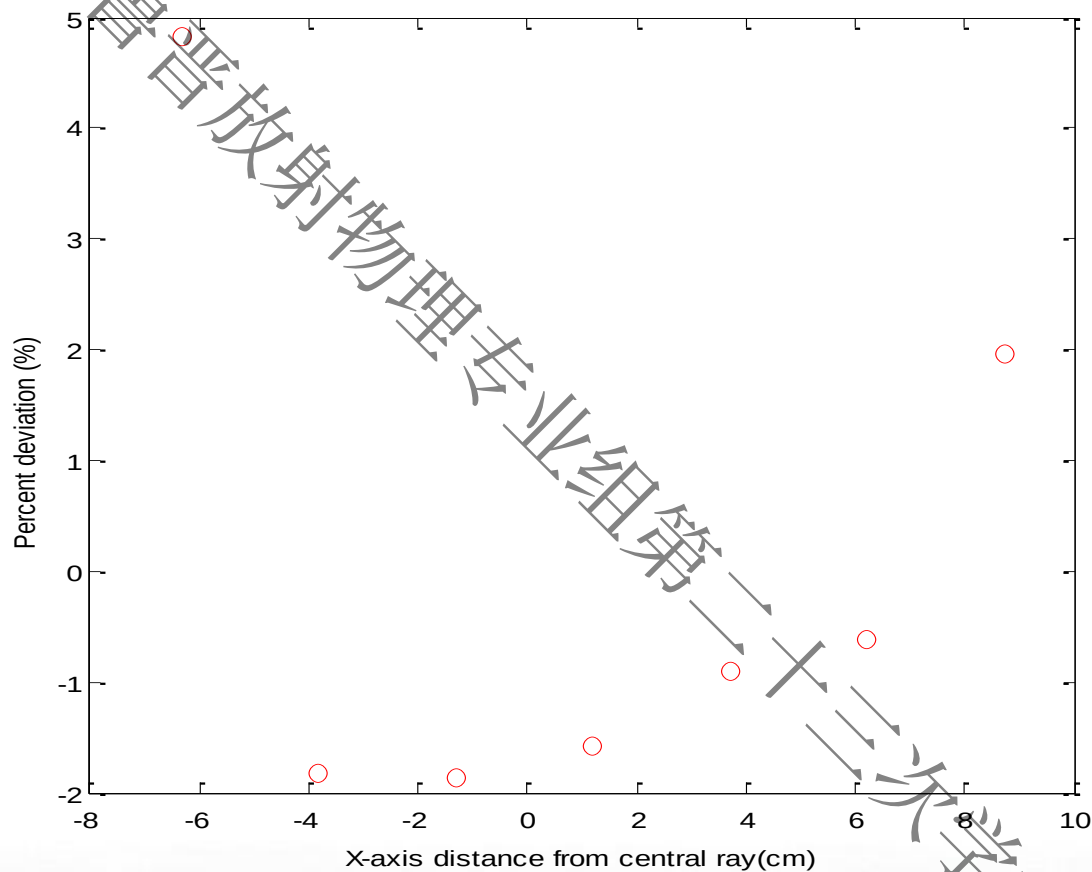


1 旋转照射变剂量率和机架速度测试



清华大学

1 旋转照射变剂量率和机架速度测试



➤ 剂量偏差，小于2%



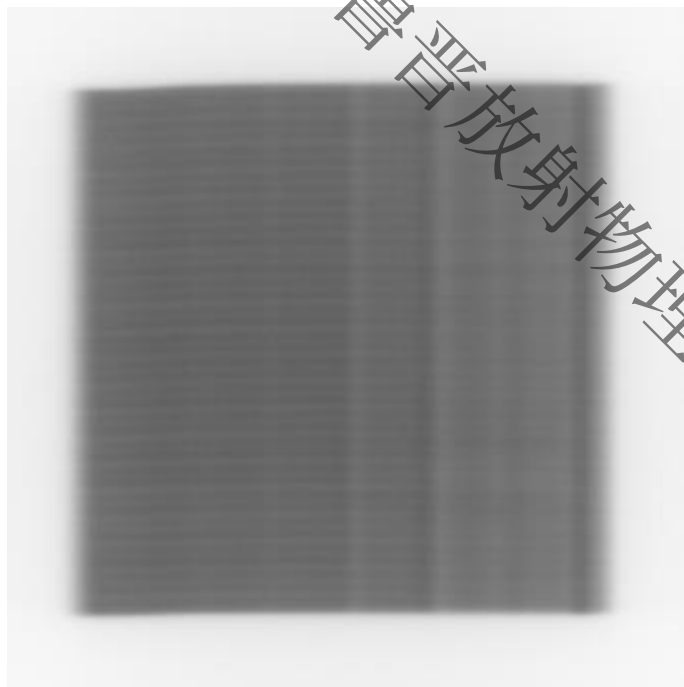
清华大学

2 旋转照射MLC速度和剂量率测试

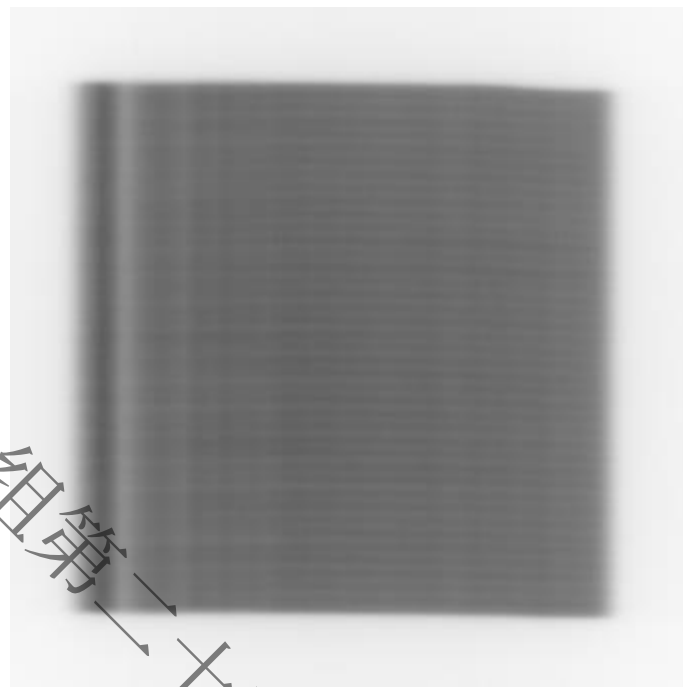
➤ 测试条件：验证VMAT治疗旋转过程中剂量率和MLC速度准确性，设计一组包括6种不同剂量率和MLC速度组合照射的水平条，分别为： $1/16$ ， $1/8$ ， $1/4$ ， $1/2$ ， 1 ， 1.2 倍最大剂量率和MLC速度。MLC叶片间隙为8 mm，辐照条间距为3cm。前后各照射1cm。



2 旋转照射MLC速度和剂量率测试



37 MU/min → 720 MU/min



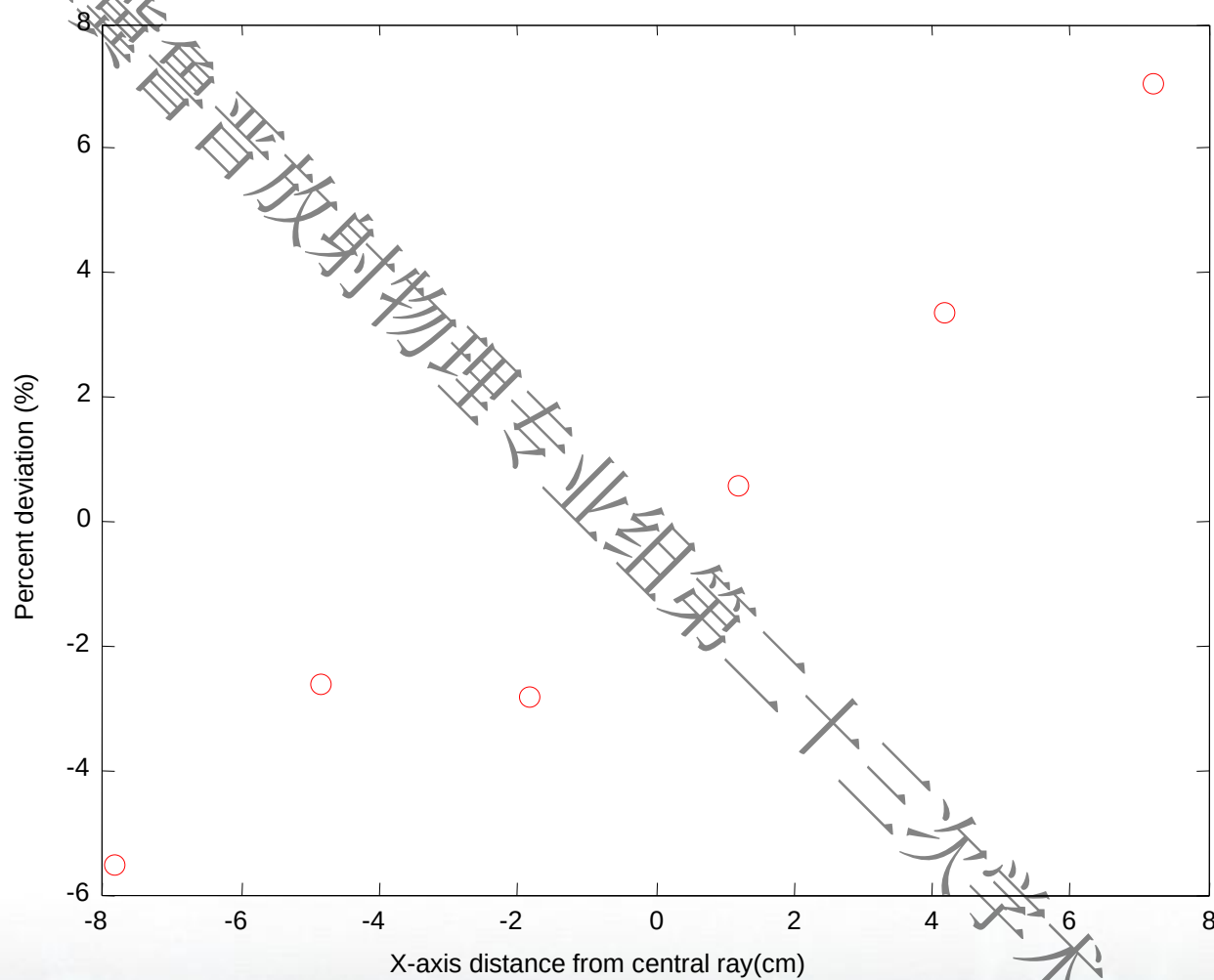
720 MU/min → 37 MU/min

- 剂量非均匀区为设置剂量率超过标称最大剂量率



清华大学

2 旋转照射MLC速度和剂量率测试



➤ 剂量偏差，小于2%



清华大学

3 治疗中断和终止测试

■ 测试条件：VMAT计划执行过程中中断射线，记录是否能正确从中断恢复。剂量率600MU/min。射野大小20cmX1cm，旋转一周，出束640MU，在机架角234°中断射线，机架角317°激活门联锁，机架角13°按下紧急开关，检测射线中断恢复情况。



4 针对患者的剂量验证



清华大学

4 针对患者的剂量验证

► 妇科、前列腺、乳腺各一例

病种	中心点实测剂量 (cGy)	中心点计算剂量 (cGy)	3mm/3%通过率 (%)	2mm/2%通过率 (%)
宫颈癌	142.0	143.9	96.52	86.48
前列腺癌	141.7	147.2	95.72	84.07
乳腺癌	151.9	152.9	98.83	83.15



清华大学
北京大學

小结

- **Axesse系统能够准确可靠实施VMAT**



清华大学

参考文献

- ❖ Bedford and Warrington, "Commissioning of volumetric modulated arc therapy," *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 73, 537-45 (2009)
- ❖ Ling, Zhang, Archambault, Bocanek, Tang, and Losasso, "Commissioning and quality assurance of RapidArc radiotherapy delivery system," *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 72, 575-81 (2008)
- ❖ Ezzell G A, Burmeister J W, Dogan N, et al. IMRT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119[J]. *Medical physics*, 2009, 36(11)
- ❖ Kaurin D G L, Sweeney L E, Marshall E I, et al. VMAT testing for an Elekta accelerator[J]. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2012, 13(2).



北京大学

致谢

- 王立兵、乐文友
- 张喜乐



清华大学

天津医科大学



天津医科大学