

# 医用诊断X射线系统

## 性能测量方法

X射线管、发生器及  
图象增强器电视系统

钟永智 译

王远桃 校

国营成都电视设备厂

# 前 言

近年来医用X线系统在销售数量、性能及复杂性等方面一直处于稳定发展中，但在使用上却存在着一个普遍性的问题：即在作同样的X射线检查时，采用的X射线剂量和得到的象质有很大差异。这里有放射科医生的技术能力和经验不同等原因，但主要还是取决于X射线系统本身的性能。因此，世界各国的医院和厂家都迫切希望有一种既能普及又能标准化地检测系统指标的方法。

为适应这种情况，英国医院物理学会、卫生与社会安全局诊断成象组、里兹大学医学物理系、特伦特辐射防护部、X射线设备生产厂家协会等一起共同制定了X射线管、发生器，图象增强器电视系统，传统X线成象设备，胶片增感组合，自动处理器，计算机断层扫描设备等一系列文件。每个文件都从实用出发，各成体系。

鉴于国内尚无这样完整的系列文件，而从事X射线工作的人员都需要了解和掌握这方面的技术，需要了解国外主要厂商的X线设备性能参数及相应的测量方法，经有关厂家和从事放射工作人员的推荐，我们组织力量翻译了该系列文件中的三个文件。

本书给出了评价X射线管、发生器及X射线图象增强器电视系统所需的基本参数及测量方法，它包括客观测量和主观测量，含技术术语、技术指标、测试方法、测试仪器、测试结果分析及世界主要X射线设备生产厂家的机型与性能参数图表等。有的文件国外已出第三版，技术新而方法成熟，是一本完整、基本而实用的技术资料，书后附有参考文献及索取方法。该书适于医院放射科、医疗器械维修人员、医学院校、医疗器械和医学研究开发机构及医用X线设备生产厂家使用。

我们希望该书对发展我国放射事业，对贯彻和理解国标能起到

一定作用。

在成书过程中，成都电视设备厂医疗电子仪器设计研究所所长、高级工程师白文琪同志在百忙中抽出时间审阅了全稿，医用电视室主任、高级工程师程相富同志也提出了一些宝贵意见，在此谨致衷心的感谢。

限于我们的水平、文中错误难免，恳请指正。

译者

一九八八年四月

# 目 录

医用诊断 X 射线系统性能参数的测量方法 ( 英国医院物理学会  
课题组报告—32 )

## 第 I 部份

### X 射线管和发生器

序	1
1、引言与物理参数	3
1.1 引言	3
1.2 X 射线管输出及一致性	3
1.3 滤过与半价层	4
1.4 照射时间	4
1.5 X 射线束的质——千伏	4
1.6 焦点尺寸	5
1.7 性能规格	6
1.8 数据表	6
2、测量	6
2.1 X 射线管输出及一致性	6
2.2 滤过与半价层	8
2.3 照射时间	9
2.4 千伏校准	10
2.5 负载工作压降	11
2.6 电容放电装置	11
2.7 焦点尺寸	12
2.8 光束光阑校准	14

附录 I 仪器	15
附录 II 测试结果变化说明	16
附录 III 数据表	20
参考文献	39

## 第 II 部份

### X射线图象增强器电视系统

1、引言与物理参数	43
1.1 引言	43
1.2 物理评价	44
1.2.1 X射线管和X射线发生器性能	44
1.2.2 自动亮度控制	45
1.2.3 视野与失真	46
1.2.4 转换因素	46
1.2.5 对比度	48
1.2.6 视频电压输出	48
1.3 主观评价	49
1.3.1 灰度测试卡	49
1.3.2 极限分辨率测试卡	50
1.3.3 低对比度测试卡	52
1.3.4 最小可见细节——对比度测试卡	54
1.4 数据表	56
2、测量	56
2.1 物理评价	56
2.1.1 X射线管和发生器性能	56
2.1.2 自动亮度控制	58
2.1.3 视野与失真	61

2.1.4	转换因素	62
2.1.5	对比度	64
2.1.6	视频电压输出测量和主观评价条件	64
2.1.7	视频电压输出	65
2.2	主观评价	66
2.2.1	灰度测试卡	66
2.2.2	极限分辨率测试卡	67
2.2.3	低对比度测试卡	68
2.2.4	最小可见细节——对比度测试卡	69
附录 I	仪器	70
附录 II	测试结果变化说明	71
附录 III	健康与社会安全局准则	75
附录 IV	数据表	76
参考文献		103

## 英国卫生与社会安全局工作组报告

(STB/7/82, 1986年7月第三版)

### X射线图象增强器电视系统的测试方法

1、	引言	107
2、	总则	108
3、	结果分析	109
4、	测量	109
4.1	高压发生器的校准	109
4.2	自动亮度控制	110
4.3	视野和失真	117
4.4	转换因素	117

4.5 对比度 .....	118
4.6 视频电压输出 .....	118
4.7 主观评价的测试条件 .....	124
4.8 灰度测试卡 .....	124
4.9 高对比度或极限分辨率 .....	124
4.10 低对比度测试卡 .....	125
4.11 最小可见细节 .....	125
参 考 .....	126
附录 I 各种失真 .....	126
附录 II 图象增强器视野尺寸注解 .....	127
附录 III 细节直径与对比度间的关系曲线图	
补 充 .....	128
引 言 .....	128
4.2 节 .....	129
4.2.1 节 .....	131
4.6 节 .....	130
4.9 节 .....	132
4.10 节 .....	133
4.11 节 .....	133

医用诊断X射线系统性能参数的测量方法（英国医院物理学会  
课题组报告—32）

## 第一部份

# X射线管和发生器

## 序

在医用X射线系统性能的检测方面，欧洲和北美已认识到在X射线成象过程中应对各分机和组件的性能提出标准化要求，以使病人和医务人员受最小剂量便能获得足够的诊断信息，从而实现最佳价额／受益比。为满足医院的这一迫切需要，医院物理学会诊断放射课题组制定了一系列文件，本文所述的《X射线管和发生器的性能测量》为该系列文件的第一部份。

大量的X射线检查报告表明，X射线设备以不同方式和位置工作〔14〕〔15〕\*时，病人皮肤照射剂量的变化范围可达100倍。英国国立保健服务处的61个检测中心对乳房X线摄影和剂量测量中也注意到了胸部X线照射量和图象质量两者的变化〔16〕。病人受照量的这些变化与千伏、X线输出、滤过、焦片增感屏组合和滤线器有关，还可能与X线设备的特定性能变化有关。此外X射线系统本身的一些特性也可能会引起照射量的不必要的大范围变化，而这些特性并不是能正确鉴别的。为了使病人的受照量得到控制，保证放射科医生尽可能摄取到最好的图象，在整个工作期内设备状态应当良好。以有助于减少重复检查造成的胶片损失和节省工作人员的时间。

为了确保设备正常运行，需对设备作例行评定，以便统一性能指标。这种评定须遵循质量评定方案对设备性能进行一系列测试检查，以对各种性能变化都能作客观监视和校正。在X射线设备的分

\*括弧中的数为本部份未列出的参考文献序号，以下同。



机和组件的寿命期限内，须对设备进行复杂程度不同的各类测量，从而保证其功能正常。有些测试仅需很短时间，所以这种测试可每周例行安排（如胶片处理机的检验）并由各部门工作人员轮流进行。为保证设备能正确优质地适用于病人，必要时另一些精密测试最好在安装时进行。进行这些精密测量一方面是为了执行卫生与社会安全局及 Scottish Home and Health Department 拟订的认定标准，另一方面则是为了给生产厂规定出责任。此外，这些测试也提供了一种原始资料，供设备以后的性能比较。

本系列文件提出了完善而通用的X射线设备性能测试方法要点，其内容都是物理学家们从这些领域工作的实际经验中提炼而成的。它们涉及到X射线管、发生器、图象增强器电视系统、自动处理器、计算机断层扫描设备等。每个文件都力求适用、自成体系，而在设备作常规检测时可不太严格地选用各种测试项目。

本系文件各部份撰写格式基本相同。在对所讨论的设备作一般介绍之后，便对所需评估的参数进行了说明，提出了进行测量必须的测量技术和设备，在一些实例中还介绍了测量中所用仪器的具体型号，其目的是为了使读者能消化本资料，订出与所选用设备相符合的方法。文件中列出的数据表式样是供用户现场记录数据用的。

参加拟制该文件的课题组成员有：

起草：B·M·穆尔斯

课题组成员：B·贝利 J·戈尔 K·帕尔默 M·布尔恩 E·T  
亨肖 B·J佩里 A·考恩 P·霍布德 B·里斯 K·费希尔  
B·M穆尔斯

医院物理学会和本课题组感谢以下单位及人员的帮助：

英国放射学会

皇家放射科医师专科学校

X射线摄影技术协会

英国里兹大学综合附属医院医学物理系

(英国)卫生与社会安全局(DHSS)

设菲尔德大学医学物理系A·罗宾斯

格拉斯哥临床物理学及生物工程局M·戴维森博士

布莱克浦维多利亚医院K·罗利博士

曼彻斯特大学X射线放射系I·伊舍伍德教授

## 1、引言与物理参数

### 1·1 引言

X射线管和发生器是各种放射学研究的基本组件。随着近代技术的发展,已生产出了种类繁多的X射线管和发生器,其中的一部份已达到相当高的技术水平。

一些医院拥有庞大的放射科,相应也拥有大量的放射学设备,而另一些医院的放射科却很小。在很多情况下仅有一间工作室和(或)一台和(或)几台移动式X线机。但不管其机构怎样,只要控制器上选定恰当照射因素,X射线机就能产生强度足够,频谱合乎要求的射线,并能有效地对病人施以小剂量的放射检查。因此,在工作中应特别重视专用X射线管和发生器的稳定性,用各不相同的X线机进行同样放射学研究的X射线部门同样应保证这些机器性能的稳定性。

本部份介绍了为评估X线管和发生器特性需测量的物理参数。因本文件采用设备外部测量法,所以在测试时不需断开控制器或发生器电源线。文件中所述的全部测量都在有放射线的情况下进行,因而测试程序可按本文件规定进行。

读者可参考的小册子是:《X线诊断物理学》〔1〕该书讨论的是特殊部位和诊断X线系统运行概要;另一本书〔2〕则概述了1977年前一直推行的视野测量方法,该书现已修正出版〔13〕。

### 1·2 管输出及一致性

管输出是唯一能用来评估X射线管和发生器特性的最重要的参

数。最好采用辐照来测量管输出。此法随X线管和发生器的千伏、电流和照射时间而变化，能提供非常有用的信息。在临床实践中输出一致性极其重要，以致在给定的照射因素下恒定输出将得到重复一致的X射线照片。

### 1·3 滤过与半价层

由于病人入、出口照射值之比随滤过的增强而减小，因此增强滤过能减少病人入口测量。但是，由于线束硬化引起的对比损失会使X射线图象受到损害，故必须采取折衷方案。此外，增强滤过会降低管输出，且因需较长的照射时间而增加运动图象模糊程度。

若已知X射线管的工作千伏值，X射线束的半价层便是评估射线束质的重要方法。把从已知千伏下测得的半价层与采用同样电压波形、靶材料和靶角条件下获得的结果相比较便可估算出X射线管的总滤过（固有的和附加的之和）。

### 1·4 照射时间

在具体检测中一旦选定千伏值，便可调节X线管电流和照射时间。在调定千伏后能保持足够的X射线输出。检测管输出和一致性期间，便可评估X线输出与增加的照射时间的线性情况。可用下述三种方法中的一种测出由发生器决定的照射时间。

(a) 采用陀螺法，电机的角速度已知。

(b) 用电子器件构成X射线固体检测器，其输出给出照射时间的瞬时数字显示。

(c) 固体检测器或电离室检测器与校准示波器相连接。习惯上用示波器显示的X线输出波形来测量照射时间。

当然，为了确保X射线管不超载，在设置千伏和毫安值时必须留意生产厂家的X射线管额定值，这对重复照射尤其重要。

### 1·5 射线束的质—千伏

广义说来X射线束的质就是指决定X线束穿透能力的诸特性，它只由光子能谱决定而不必将该能谱转换成某个放射性参数。

射线束质的下述两种描述方法都涉及到X射线管上所加的电压值：

- (a) 百分率脉动电位差和总滤过。
- (b) 规定其脉动电位差的第一半价层。

在现场，直接用分压器测电压很困难。阿德兰和克鲁克斯开创的方法，则是评估射线束质的传统方法〔3〕。它使用一个透度计，此透度计已由工作在已知千伏电压下的恒定电位发生器的X射线输出校正。透度计的使用方法另有介绍〔1、2〕，它是本文件所述测量的基础。其测量范围在25—120千伏。可在各个国家实验室（比如在英国国家物理实验室）校准透度计。

### 1·6 焦点尺寸

X射线的焦点尺寸与X射线管的功率容量和图象分辨力有关。小焦点比大焦点的分辨力好，而在给定千伏或毫安后，小焦点的X射线管阳极表面上的功率密度高于大焦点的功率密度。这意味着必须使用较小的管电流和（或）更长的照射时间，因此焦点尺寸是设计X射线管的一个重要参数。在规定发生器额定功率时，焦点尺寸也起着重要作用。

生产厂家都给出了焦点尺寸的标称值，且在X射线管额定指标内测得的任何值都应在国际公认的标称值限度内。测试小至0.1毫米焦点的技术和容差范围的标准化技术是IEC、BSI和其它一些机构目前常常讨论的课题。本文件所述的评估技术对将来有可能成为标准实施也给予了应有的注意。

所述的两种技术是（i）采用按IEC336〔4〕（修订版）规格制造出的针孔放大技术〔11〕；（ii）使不能分辨的点与等效焦点尺寸相联系的分辨技术〔5〕。

虽然在使用这两种方法时一般不用同一的焦点尺寸，但两者间却有着密切的关系。这对大于0.6毫米的焦点尺寸的情况尤其正确。

## 1·7 性能规格

在检测X射线设备的过程中，列出有关生产厂性能规格细目很重要。同样，各检测人员须注意熟悉设备具体部份的制造规格。比如，从生产厂的机器铭牌上可看出装入屏蔽套的X射线管号。将这些铭牌上的数据与通过操纵面板产生X射线管过载的千伏、毫安和时间相比较便可验证X射线管的最大可调范围。

有些测量并不涉及到生产厂家的规格指标。如X射线管的输出（毫伦/毫安）测量。但根据大量X射线装置测量的经验，可把测量得到的这些参数值分成好的，满意的或差的三种。例如，虽现在英国尚无管输出标准，但可参考美国标准〔6〕，从而得到某些取值范围。附录2还简述了在英国三个地区测得的输出值范围，它涉及到了301个X射线管。必须强调指出，该资料只能是指导性的，不能作为决定性能规格的依据。最后，在检测过程中进行的某些测量和观测可参考编在《内科与牙科电离辐射工作人员防护实用准则》一书中的数据。在放射学检查中，实用准则中有关降低病人受照量的部份特别重要。

## 1·8 数据表

本节列举检测X射线管和与它相联的发生器。可按数据表中列入的顺序方便地进行检测，数据表的各部份都与文件中的相应部份对应。在检测X射线管和发生器时，数据表本身便是进行测量的有用提示。

# 2、测 量

## 2·1 管输出和一致性

测量X射线输出和不同照射因素间的关系。在开始测量前须将X射线管和发生器开启约15分钟，将一个恰当校准了的35立方厘米电离室与一个性能合适的测量计联在一起。在准直很好的射束中，电离室离焦点1米远，然后在不同工作条件下测输出：

(a) 在恒定照射条件下 (如80千伏, 200毫安, 0.1秒) 重复测量, 从而评估管输出一致性。

(b) 毫安和照射时间 (如200毫安, 0.1秒) 恒定条件下, 以10千伏为步级自60—120千伏改变千伏值, 测出各千伏值下的输出后再画出每毫安输出 (毫伦/毫安) 与千伏平方间的关系曲线, 该曲线基本上应是线性的。

(c) 在千伏和照射时间恒定 (如80千伏, 0.1秒) 的条件下, 希望输出随管电流变化而线性变化, 毫伦/毫安为常数。若计时器工作稳定, 则输出随毫安的非线性变化可能是因千伏或毫安变化所致。

(d) 将电压稳定在80千伏, 电流稳定在200毫安, 测量整个照射期间 (0.01秒—1秒) 的输出。在这段期间的大部份时间内毫伦/毫安应恒定。不稳定的时间极短 (如少于0.05秒)。

测试仪器: 35立方厘米电离室、剂量计、电离室支架。

数据表: 2 和 4

#### 性能规范

(a) 关于重复照射输出的一致性, 至今欧州和英国尚无标准。

(b) 在毫安与照射时间恒定的条件下, 输出随千伏变化。至今欧州和英国都无此标准, 但这种变化原则上可以从医院物理协会 (HPA) 的系列报告 6 及其附录提供的的数据中推出。

(c) 在千伏值和照射时间恒定的条件下, 输出随毫安变化, 现在欧州和英国都尚无此标准。

(d) 在千伏和毫安恒定的条件下, 输出随照射时间变化, 目前欧州和英国尚无此标准。

注: 各生产厂家对按规定电源工作的发生器确实提供有千伏、毫安和照射时间预计的百分变化。有些美国标准就涉及到了这些一致性检验 (见参考文献10), 但这些标准在英国却没有使用。

## 2·2 滤过和半价层

在已知千伏条件下测量X射线束的半价层便可估算出包括屏蔽套和光阑的X射线管的总滤过。测量时应把一薄铝滤线器加到准直的X射线束中，再按前述方法测量其衰减量〔17〕。

将一个33立方厘米的电离室放置在距管焦点1米远处，X线机工作在已知千伏而毫安值则足以产生70—100毫伦的照射量。首先不加铝滤线器设定零读数，然后加上各种厚度的铝滤线器并记下照射量测量值。

铝滤线器必须非常纯净〔1〕，并将它定位在管焦点和电离室之间，可紧靠焦点以确保射束很细。为了精确地画出衰减曲线，应对各种厚度的铝滤线器作足够多次的照射量测量。通常用最大总厚度达5毫米的4—6个滤线器便足以画出确定半价层的衰减曲线。

在上述评估中使用的千伏值可按2·4节测量。在已知千伏下的半价层测量与参考文献〔1〕中提出数据的总滤过有关。

仪器：35立方厘米电离室、剂量计、铝滤线器、滤线器支架。

### 数据表4

#### 性能规范

《实用准则（HMSO1972）》3·10·2节中规定必须采用的最小滤过不得低于：

- i) 电压接近或等于70千伏时为1.5毫米厚的铝。
- ii) 电压高于70千伏、等于或接近100千伏时为2.0毫米厚铝。
- iii) 电压高于100千伏时为2.5毫米厚的铝。

《实用准则》中推荐的最小滤过适于正常诊断工作用。在工作电压低于50千伏的一些特殊检查（如乳房检查）程序中，《实用准则》及第16届国际放射防护委员会（ICRP）建议永久的最低总滤过至少要相当于0.5毫米厚的铝。

在英国，规定设备都应符合《实用准则》。由于总滤过仅能间

接测量估算，故在估算结果中应考虑容差，推荐的测量容差为 $\pm 25\%$ 。

因精确地估算管总滤过很困难，所以用各千伏值下的最小束流半价层值来表征射线束值，见参考文献10。

### 2·3 照射时间

如2·1节所述，在作管输出和一致性测量时，须弄清计时器是否准确。为此，可用下述两种方法检查计时器。第一种方法是，在低千伏（如60千伏）条件下，用一个陀螺并使其尖端离焦点1米远。陀螺上端都应高于胶片盒，并须选定适用于片/屏配合用的照射因素，一般定为100毫安左右。然后以不同的照射时间作一连串的照射，用这样组合的胶片来测定时控制的精度。

在第二种方法中，采用了一个固体检测器，特别推荐将它用于三相装置。把检测器定位在约1米的焦距远处，并选择标称管电流和千伏值（如100毫安，80千伏），在照射时间内进行照射，记下数字显示出的测量时间。也可用记忆示波器测量该时间。测量时注意不能让X射线管超载，应了解生产厂家的数据，以规定出两次照射之间必需的冷却时间间隔，这对照射时间较长的情况尤其重要。

也可用第二种型式的检测器来作故障诊断，它能输出与瞬时X射线照射剂量率成比例的信号。在照射期间，该信号作为照射剂量率—时间的照射量分布情况显示出来，且能从快速记忆示波器上看到。考查该分布情况可看到因各种故障而引起的异常变化。

上述故障诊断方式可能适于采用较高的千伏管电流值，须注意探头〔7〕的非线性响应不会引起波形细节失真。

仪器：陀螺，有标准增感屏的暗盒，胶片或一个电子定时器。

#### 数据表4

#### 性能规范

欧州和英国尚无标准，各生产厂家会给出发生器在规定电压下工作的照射时间允差。这些规则也可由本文件附录中提供的数据推



出。

## 2·4 千伏校准

用一校准好的透度计，可先后在恒定的电流和管电流范围内测量出对表盘各档所示的千伏值偏差。

在200毫安（或用其它规定电流值）稳定负载条件下，用透度计在60—120千伏表盘档或在乳房检查条件下（25—45千伏）作千伏测量。然后在80千伏（乳房检查为35千伏）和各种管电流条件下记下第二组测量质。

在上述两种情况下，利用垂直对准阳—阴极轴的步进式光楔，将透度计固定在离管焦点至少80厘米的中心射线处。这样可减少X射线束的非均匀性效应。选定照射因素，使胶片上产生参考密度与胶片特性相宜（普通X射线胶片密度近似为1）。由于瞬时调整会引出错误的千伏测量值，所以照射时间不得短于0.1秒。如有必要应对发生器波形进行校正〔1〕。建议用光密度计测出透度计拍摄的胶片，且不能轻信由眼睛评估的点密度。

在第二组测量中，由于千伏随管电流变化，对大于 $\pm 5$ 千伏的误差应在该管电流条件下通过挑选和测量千伏值范围的方式作进一步研究。

仪器：透度计及配套滤线器，胶片。

数据表：5

性能规范

无按透度计测量的性能规范。原则上：

- (i) 在诊断范围（60—120千伏）内，透度计测量值与标称（表盘指示）千伏值间的允差为 $\pm 5$ 千伏。
- (ii) 若误差范围在5千伏和10千伏之间则应引起用户注意。
- (iii) 出现10千伏或10千伏以上的误差便应请求生产厂出面处理。

在乳房检查千伏范围（25—45千伏）内，允许透度计测量值与标称表盘值之间的千伏差为 $\pm 2$ 千伏，当误差值在2千伏与5千伏