



# 黑龙江省地方计量检定规程

JJG (黑) 01-2018

---

## 单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT)

Single Photon Emission Computed Tomography System

2018-08-13 发布

2018-08-15 实施

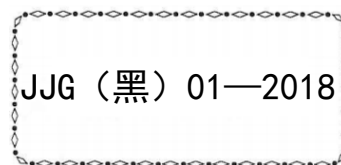
---

黑龙江省质量技术监督局 发布



# 单光子发射计算机断层成 像装置(SPECT)检定规程

Verification Regulation of Single  
Photon Emission Computed Tomography  
System



归口单位：黑龙江省质量技术监督局

主要起草单位：哈尔滨市计量检定测试院

参加起草单位：齐齐哈尔市质量技术监督检验检测中心

本规程由哈尔滨市计量检定测试院负责解释

**本规范主要起草人：**

吴月明（哈尔滨市计量检定测试院）

金龙学（哈尔滨市计量检定测试院）

张多利（哈尔滨市计量检定测试院）

陈 雷（齐齐哈尔市质量技术监督检验检测中心）

李健隽（哈尔滨市计量检定测试院）

**参加起草人：**

杨晓燕（哈尔滨市计量检定测试院）

叶 晶（哈尔滨市计量检定测试院）

杨 迪（哈尔滨市计量检定测试院）

# 目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
3.1 旋转中心.....	(1)
3.2 偏移.....	(1)
3.3 响应非均匀性.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量性能要求.....	(1)
5.1 旋转中心偏移.....	(1)
5.2 系统空间分辨力.....	(2)
5.3 断层成像的非均匀性.....	(2)
5.4 线性度.....	(2)
6 通用技术要求.....	(2)
6.1 仪器标识.....	(2)
6.2 仪器外观.....	(2)
7 计量器具控制.....	(2)
7.2 检定项目.....	(3)
7.3 检定方法.....	(3)
7.4 检定结果的处理.....	(5)
7.5 检定周期.....	(5)
附录 A 单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 检定原始记录 .....	(6)
附录 B 检定证书/检定结果通知书内页信息及格式 .....	(7)
附录 C 重心法计算旋转中心偏移 .....	(9)
附录 D 测量系统空间分辨力源位图 .....	(10)
附录 E 系统空间分辨力算法 .....	(11)

## 引 言

JJF 1002-2010《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成制定本检定规程的基础性系列规范。

本规程为首次制定。

# 单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 检定规程

## 1 范围

本规程适用于单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 的计量性能的首次检定、后续检定和使用中检查。

## 2 引用文件

本规程引用下列文件：

GB/T 18988.2-2013 放射性核素成像设备性能和试验规则第2部分：单光子发射计算机断层装置

GB/T 20013.2-2005 核医学仪器例行试验第2部分：闪烁照相机和单光子发射计算机断层成像装置

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

## 3 术语

### 3.1 旋转中心 center of rotation; COR

描述关于投影在空间定向的一个横向切片的投影的坐标系统的原点。

### 3.2 偏移 offset

旋转中心 (COR) 投影的位置 ( $X'_p$ ) 对  $X_p=0$  的偏离。

### 3.3 响应非均匀性 non-uniformity of response

在放射性核素成像装置中，当一均匀平面源平行于探测器表面且尺寸大于所用的入射视野时，探测器视野内规定尺寸的小面积之间的计数率之差。

## 4 概述

单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 是以 Anger 型伽玛照相机为基础，通过对放射性核素所发射的  $\gamma$  射线进行单光子探测，以获取闪烁图像的一种成像设备，包括装有平行孔准直器的探头、旋转装置和具有采集、记录、显示功能的计算机系统，是借助于单光子核素标记药物来实现医学影像的显像装置。

## 5 计量性能要求

### 5.1 旋转中心偏移

旋转中心偏移应在 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内。

## 5.2 系统空间分辨力

系统空间分辨力应不大于 $10.0\text{mm}$ 。

## 5.3 断层成像的非均匀性

断层成像的非均匀性应在 $\pm 5\%$ 内。

## 5.4 线性度

32个正交排列的热点源在整个横断面上应完全水平、垂直对准并清晰显示，不能有伪影和非线性失真。

# 6 通用技术要求

## 6.1 仪器标识

仪器上应有铭牌，标明产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂名等信息。

## 6.2 仪器外观

仪器不应有影响工作性能的机械损伤，控制面板或系统界面上所设置的功能键都能完成该键指令下的功能。

# 7 计量器具控制

## 7.1 检定条件

### 7.1.1 计量标准和配套设备

#### (1) 活度计

相对固有误差不超过 $\pm 5\%$

#### (2) SPECT 性能检测模体

圆柱体模型：材料为聚甲基丙烯酸甲酯，直径 $\Phi 200\text{mm} \pm 3\text{mm}$ ，高 $190\text{mm} \pm 3\text{mm}$ ，壁厚 $3\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

泛模充填源、线性度插件：材料为聚甲基丙烯酸甲酯。

#### (3) 放射性核素及其检测、防护设备

点源：采用放射性核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，球体直径小于 $2\text{mm}$ ；

个人防护剂量计；

溶液均匀装置及点源移动架。

#### (4) 其他配套设备

温度计：分度值 $0.1^\circ\text{C}$ ，最大允许误差 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。



气压计：最小分度值不大于 100Pa。

钢卷尺：测量范围应不小于 5m，分度值 1mm，最大允许误差  $\pm 1\text{mm}$ 。

### 7.1.2 环境条件

温度： $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，每小时温度变化不超过  $\pm 3^\circ\text{C}$ 。

相对湿度：45%~60%，每小时相对湿度变化不超过 5%。

大气压：(80~110) kPa。

### 7.2 检定项目

单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 的首次检定、后续检定和使用中检查项目见表 1。

表 1 单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 的检定项目一览表

项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观及功能检查	+	+	+
旋转中心偏移	+	+	+
系统空间分辨力	+	+	+
断层成像的非均匀性	+	+	-
线性度	+	+	-
注：“+”表示需检定的项目，“-”表示不需检定的项目。			

### 7.3 检定方法

#### 7.3.1 外观检查及功能检查

外观及功能检查应符合本规程第 6 章要求。

#### 7.3.2 旋转中心偏移

采用放射性核素为  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的点源 1 个，点源为直径不大于 2mm 的球体，活度约 4MBq；点源的位置径向距离系统轴至少 5cm，轴向应包含在如下的 3 个切片之内：一片在视野的中心，另外两片离合中心的距离为轴向视野的  $\pm 1/3$ ；在  $360^\circ$  上的等间距投影至少 32 次，旋转半径为 20cm，探头的倾斜调整到  $0^\circ$ ，旋转中心偏移量最少应对轴向上的三个切片进行；每一幅图像至少应获取 10k 计数，像素边长应小于 4mm。用重心法计算旋转中心偏移（详见附录 C），读取装置旋转中心偏移测量值及单一图像计数率。

#### 7.3.3 系统空间分辨力

采用的放射性核素为  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的点源 3 个；点源位置见附录 D 的要求。点源在任何方向上的尺寸不得超过 2mm。测量应以 20cm 为旋转半径进行（另有规定除外）；若旋转半径不能达到 20cm，应设置并规定最大可能的旋转半径。像素尺寸应等于或小于准直器

表面 200mm 处的系统空间分辨率 (FWMH) 的 30%, 并应予确定。在  $360^\circ$  上的等间隔投影次数最少 120 次, 并应予确定。

应使用一个斜坡滤波器, 重建厚度  $10\text{mm} \pm 3\text{mm}$ , 包含 3 个点源的 3 个横断片和 3 个冠状或矢状的切片。在每个重建切片内最少应获取 250k 个计数。经计算 (详见附录 E), 读取表征系统空间分辨力的测量值, 应包含以下参数:

径向分辨率的径向半高宽  $\text{FWHM}_r$  和径向等效宽度  $\text{EW}_r$ ;

切向分辨率的切向半高宽  $\text{FWHM}_t$  和切向等效宽度  $\text{EW}_t$ ;

轴向分辨率的切向半高宽  $\text{FWHM}_a$  和轴向等效宽度  $\text{EW}_a$ 。

#### 7.3.4 断层成像的非均匀性

将SPECT性能检测模体泛模充填源充满蒸馏水, 在无气泡的情况下, 注入放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , 源的活度为 (70~200) MBq, 并混匀。其充填部分的平面形状与探头一致, 面积大于探头, 直径比有效视野 (UF0V) 大 5cm。

准直器: 平行孔准直器, 与所用源匹配。

源离探头表面的距离: 泛模充填源置于探头表面中心轴上, 其下表面接近准直器的前端面。

像素边长: 不大于源离准直器前端面 50mm 处的有散射情况下的系统空间分辨率  $\text{FWHM}_{\text{CS}}$ , 并予以确定。

像素计数: 每个像素计数的平均值应大于 10k。

将模体水平放置在诊断床上, 其中心线与扫描床面的中心线相一致。安装低能高分辨准直器。设置窗宽应为 20%, 预置计数  $\geq 500\text{k}/\text{帧}$ ,  $360^\circ/6^\circ$  采集数据,  $128 \times 128$  矩阵, 其他条件可采用常用条件。

对模体进行断层扫描, 调整最佳的窗宽和窗位, 在断层图像上作一个面积不小于  $200\text{mm}^2$  的感兴趣区 (ROI), 读取像素值计数的最大值  $C_{\text{max}}$  和最小值  $C_{\text{min}}$ , 按公式 (1) 计算断层成像的非均匀性 (积分均匀性):

$$\text{IU} = \pm \frac{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}}{C_{\text{max}} + C_{\text{min}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

IU——断层成像的非均匀性;

$C_{\max}$ ——像素值计数的最大值;

$C_{\min}$ ——像素值计数的最小值。

### 7.3.5 线性度

按照 7.3.4 的设置条件,对模体的线性度插件进行扫描,调整最佳的窗宽和窗位,在扫描的断层图像上观察 32 个 (20×20) mm 正交排列的热点源 (见图 1),在整个横断面上应完全水平、垂直对准并清晰显示,不能有伪影和非线性失真,其中 a 为冷区, b 为热区。

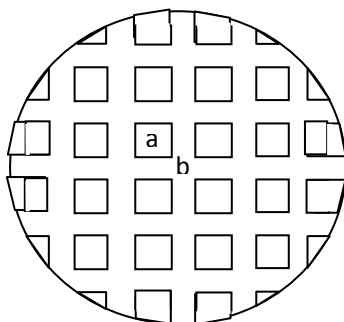


图 1 线性度插件

### 7.4 检定结果的处理

按本规程的规定和要求,检定合格的单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 发给检定证书;检定不合格的,发给检定结果通知书,并注明不合格项目。

### 7.5 检定周期

单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 检定周期一般不超过一年。

## 附录 A

## 单光子发射计算机断层成像装置 (SPECT) 检定原始记录

被检单位:		证书编号:		
制 造 厂:		记录编号:		
型号规格:		检定日期:		
出厂编号:		环境温度: _____ °C		
检定地点:		相对湿度: _____ %		
检定依据:		大 气 压: _____ kPa		
检定结论:		检定人员:		
备 注:		核验人员:		
检定使用的计量标准器具				
标准器名称	型号/规格	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号及有效期	
序号	检定项目	检 定 结 果		
1	外观检查及功能正常性检查:	<input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格: _____		
2	<sup>99m</sup> Tc 液体源的实际活度: _____ 旋转中心偏移: _____ 单一图像计数率: _____			
3	系统空间分辨力	探头编号	No.1	No.2
		径向分辨力	FWHM <sub>r</sub> _____	FWHM <sub>r</sub> _____
		切向分辨力	FWHM <sub>t</sub> _____	FWHM <sub>t</sub> _____
		轴向分辨力	FWHM <sub>a</sub> _____	FWHM <sub>a</sub> _____
4	断层成像的非均匀性	<sup>99m</sup> Tc 液体源的实际活度: _____ 作一个面积不小于 200mm <sup>2</sup> 的 ROI (感兴趣区) $IU = \pm \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max} + C_{\min}} \times 100\% = \underline{\hspace{2cm}}$		
5	线性度	<sup>99m</sup> Tc 液体源的实际活度: _____ 32 个正交排列的热点源 是否水平 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 是否垂直 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 是否显示清晰 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 是否有伪影 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 是否有非线性失真 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		

## 附录 B

### 检定证书/检定结果通知书内页信息及格式

#### B.1 检定证书/检定结果通知书内页应包含以下信息：

##### B.1.1 检定证书/检定结果通知书编号

##### B.1.2 检定所用计量基准或计量标准信息

###### B.1.2.1 计量基准或计量标准名称

###### B.1.2.2 测量范围

###### B.1.2.3 不确定度/准确度等级/最大允许误差

###### B.1.2.4 证书编号

###### B.1.2.5 检定证书有效期

##### B.1.3 环境条件

###### B.1.3.1 环境条件：温度、相对湿度等

###### B.1.3.2 检定地点

##### B.1.4 被检项目及检定结果

##### B.1.5 检定不合格项说明（只用于检定结果通知书内页格式）

##### B.1.6 页码

以上信息均为必备项。

B.2 检定证书/检定结果通知书内页格式式样

检 定 结 果

---

第 页 共 页

- 1 外观及功能检查
- 2 旋转中心偏移
- 3 系统空间分辨力
- 4 断层成像的非均匀性
- 5 线性度

## 附录 C

## 重心法计算旋转中心偏移

采用“重心法”计算点源在 $X_p$ 方向的位置：

以像素为横坐标，在 $Y$ 方向上以源位 $Y_p$ 为中心取50mm的带宽获取计数，然后用计数中心的方法计算点源在 $X_p$ 方向上的位置；对每个投影角 $\theta_j$ 的每一帧图像都要计算，对应不同的投影角 $\theta_j$ ，得到一组 $X_{p,j}(\theta_j)$  (mm，精确到0.1mm)。

$X_{p,j}(\theta_j)$ 与 $\theta_j$ 之间有式 (1) 的函数关系：

$$X_{p,j}(\theta_j) = A \sin(\theta + \varphi) + X' \quad (1)$$

式中：

$\theta_j$ ——投影角，单位为度 (°)；

$A$ ——振幅，单位为毫米 (mm)；

$\varphi$ ——正弦函数的相位改变，单位为度 (°)；

$X'$ ——对三个不同轴位给出的平均偏移，单位为毫米 (mm)。

拟合式 (1) 的正弦函数曲线，确定 $A$ 、 $\varphi$ 、 $X'$ ：根据式 (1) 正弦函数的特点，以三个轴位、不同的投影角 $\theta_j$ 对应的 $X_{p,j}(\theta_j)$ 代入式 (1)，按正弦曲线进行拟合，可以得到适合于式 (1) 的拟合系数 $A$ 、 $\varphi$ 、 $X'$ 。

将拟合值和实测数据之差 $\Delta X_p$ 绘制成投影角 $\theta_j$ 的函数曲线，以显示误差，并算出每个轴位的最大差 $\Delta X_{p,\max,1}$ 、 $\Delta X_{p,\max,2}$ 及 $\Delta X_{p,\max,3}$ 。

给出平均偏移 $X'$ 和三个轴位的拟合值与实测数据之间的最大差值 $\Delta X_{p,\max,1}$ 、 $\Delta X_{p,\max,2}$ 及 $\Delta X_{p,\max,3}$ ，(mm，精确到0.1 mm)。

注：

1、如果探头有一个倾斜，点源图像不只在 $X_p$ 方向上将移动，而且在 $Y_p$ 方向上也将移动。确定 $X_p$ 的位移不受 $Y_p$ 位移的影响（对一个合适的探头倾斜）。

2、如果SPECT采用了偏移自动修正而又不能断开，则 $X'$ 应为零。

## 附录 D

## 测量系统空间分辨力源位图

测量系统空间分辨率的SPECT性能检测模体，采用圆柱体模型，模型中充填无放射性水；装源的细管及盖板见图D.1俯视图。

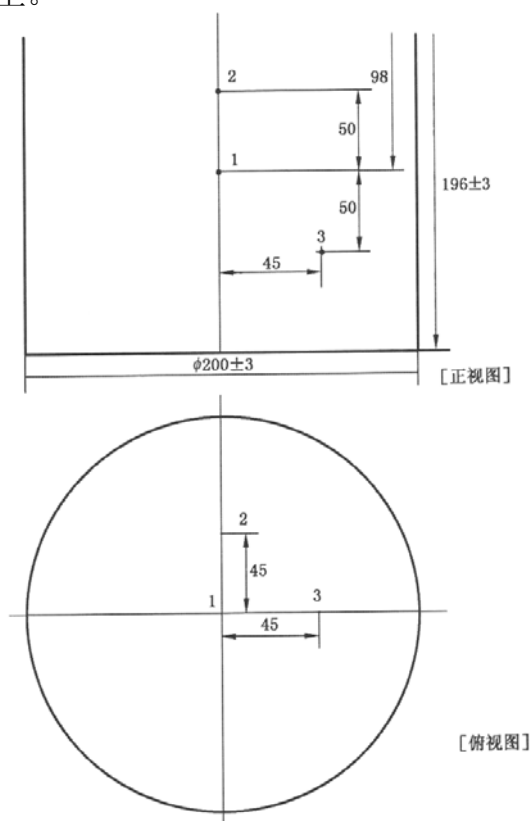
点源的位置：

点源在模型中的位置见图 D.1。圆柱体模型的轴应与系统轴重合，两个不在中心的点源位于重建的横断切片的  $X$  或  $Y$  轴上。点源的位置为：

第一个放在圆柱体的轴上的中心的位置（见图 D.1 源位 1），并在  $Z$  轴的中央平面上（见图 D.1）；

第二个放在径向位置 45mm、离  $Z$  轴的中央平面-50mm 处（见图 D.1 源位 2）；源位 2 在重建的横断切片的  $Y$  轴上；

第三个放在径向位置 45mm、离  $Z$  轴的中央平面+50mm 处（见图 D.1 源位 3）；源位 3 在重建的横断切片的  $X$  轴上。



注：1、在俯视图的小圆点部位安放装源的细管，其长度应使源能达到其部位。

2、图中 1、2、3 是三个点源在模型中的部位。

图 D.1 测量系统空间分辨率源位图



## 附录 E

## 系统空间分辨力算法

E.1 计算表征径向分辨率的径向半高宽 ( $\text{FWHM}_r$ ) 和径向等效宽度 ( $\text{EW}_r$ ):

E.1.1 由重建的横断切片, 在  $X$  和  $Y$  两个方向上得到径向的点扩展函数的剖面 (见图 E.1)。按图 E.2 所示, 画出计数—像素函数关系曲线, 算出径向 FWHM (以像素为单位, 精确到 0.1 个像素)。

再由像素尺寸将所得 FWHM 换算成以 mm 为单位, 精确到 0.1mm。对 3 个重建的横断切片, 算出 3 个径向 FWHM, 取其平均值作为系统空间径向分辨率的一个参数:

$\text{FWHM}_r$  (单位: mm)。

E.1.2 用 E.1.1 所得的点扩展函数曲线按图 E.3 处理, 等效宽度 (EW) 由面积等于点扩展函数、高为最大值的矩形的宽给出, 见式 (1):

$$\text{EW} = \frac{\sum_{j=1} (C_j \times \text{PW})}{C_m} \quad (1)$$

式中:

$j$ ——像素序号;

$C_j$ ——序号为  $j$  的像素所对应的规定带宽的计数;

PW——像素宽度, mm;  $\text{PW} = X_{j+1} - X_j$ ;

$C_m$ ——最大值计数。

对 3 个重建的横断切片, 算出 3 个径向 EW, 取其平均值作为 SPECT 的 (系统空间) 径向分辨率另一个参数:  $\text{EW}_r$ , mm。

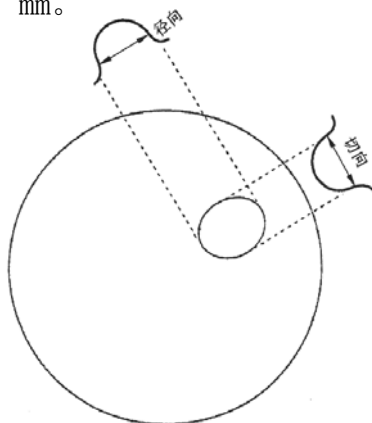


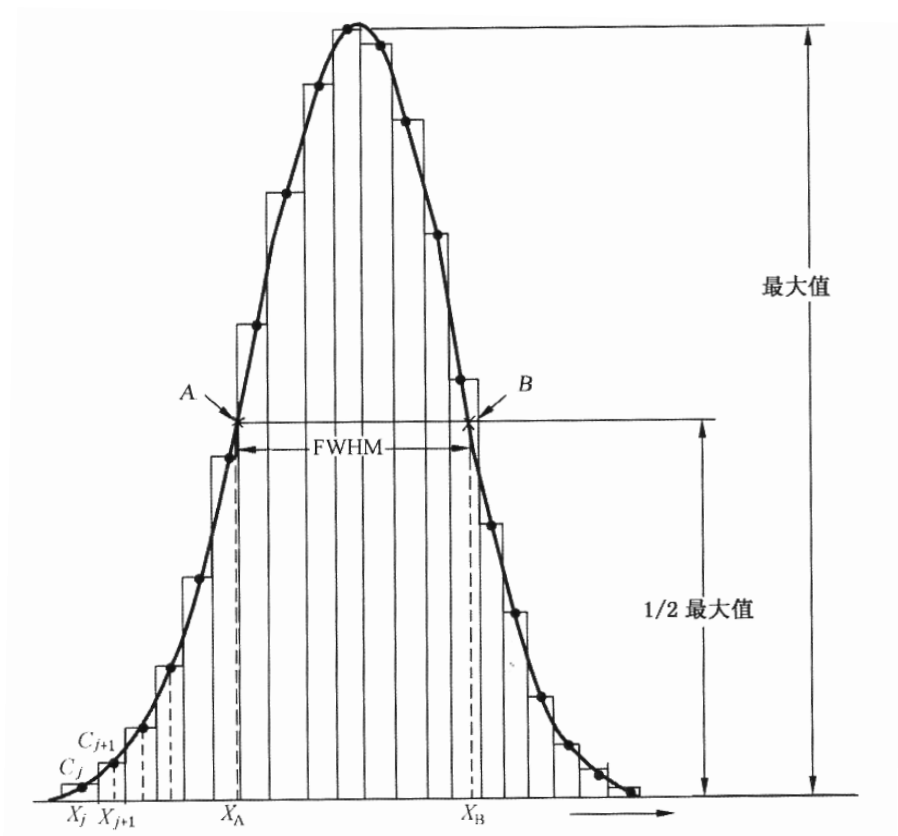
图 E.1 横向分辨率显示图

E.2 计算表征切向分辨率的切向半高宽 ( $FWHM_t$ ) 和切向等效宽度 ( $EW_t$ ) :

由重建的横断切片,在 X 和 Y 两个方向上得到切向的点扩展函数的剖面(见图 E.1),用 E.1 的相同方法,计算出切向分辨率的两个参数:  $FWHM_t$  和  $EW_t$ ; mm。

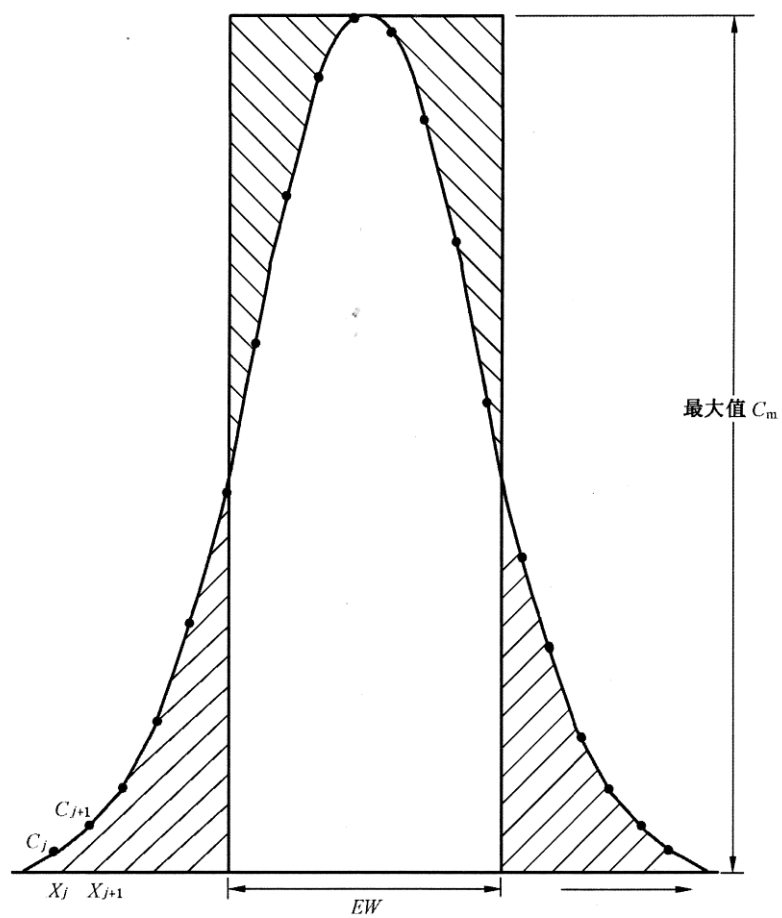
E.3 计算表征轴向分辨率的轴向半高宽 ( $FWHM_a$ ) 和轴向等效宽度 ( $EW_a$ ) :

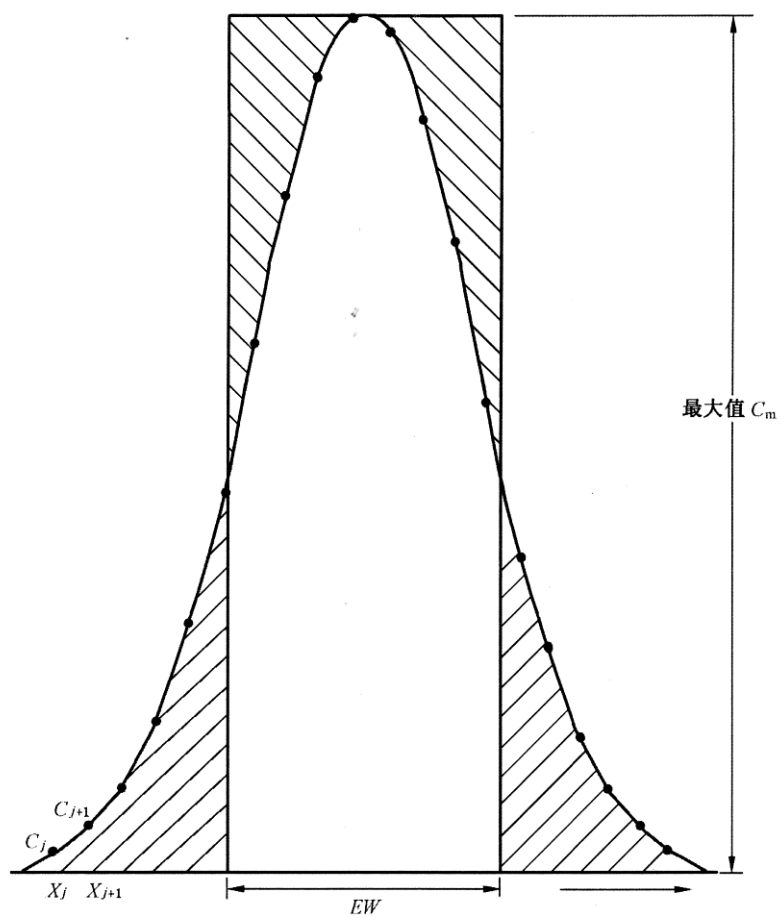
由重建的三个冠状的或矢状的切片,在 Z 方向上得到轴向的点扩展函数的剖面。用 E.1 的相同方法,计算出轴向分辨率的两个参数:  $FWHM_a$  和  $EW_a$ ; mm。



注: A 和 B 是由计数曲线切割半最大值线而插入的两个点。  $FWHM = X_B - X_A$ 。

图 E.2 计算 FWHM 的示意图





注:

- 1、 $X_j$ 、 $X_{j+1}$ 是序号为  $j$  和  $(j+1)$  的像素对应的  $X$  轴坐标。
- 2、 $C_j$ 、 $C_{j+1}$ 是序号为  $j$  和  $(j+1)$  的像素对应的规定带宽内的计数。
- 3、画有不同阴影的面积是相等的。

图 E.3 等效宽度 (EW) 的示意图

