

第二讲

常用辐射量及其测量

1. 描述辐射场性质的量

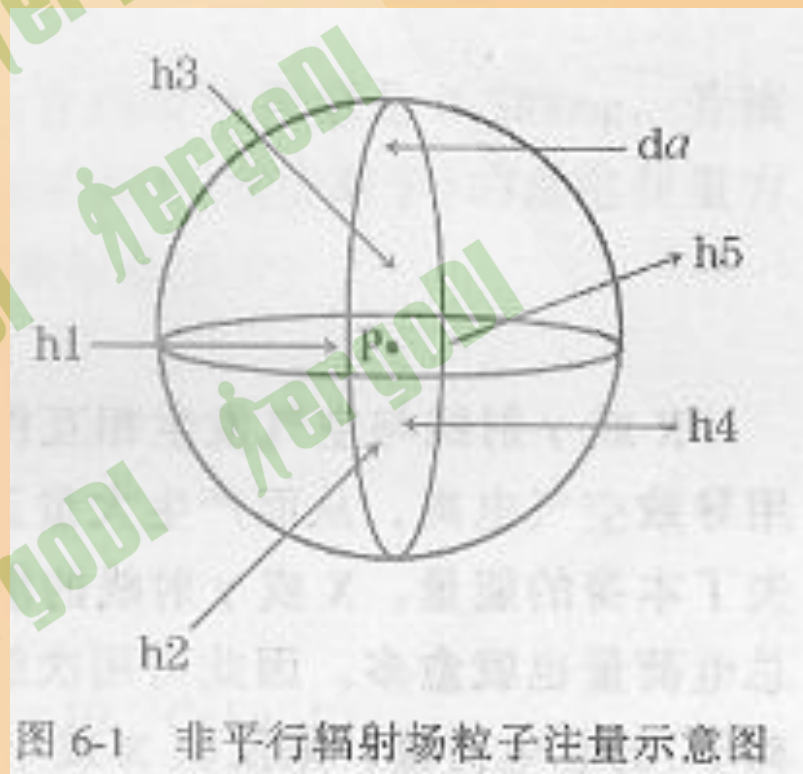
(1) 粒子注量

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

$$\Phi = \int_0^{E_{\max}} \Phi_E dE$$

单位: m^{-2}

粒子注量率: $\phi = \frac{d\Phi}{dt}$



(2) 能量注量 (用于计算间接致电离辐射在物质中发生的能量传递以及物质对辐射的吸收)

$$\Psi = \frac{dE_{fL}}{da} \quad \text{单位: } J \bullet m^{-2}$$

$$\text{能量注量率: } \psi = \frac{d\Psi}{dt}$$

(3) 能量注量和粒子注量的关系

$$\Psi = \Phi \bullet E$$

$$\Psi = \int_0^{E_{\max}} \Phi_E E dE$$

2. 照射量（反应辐射场强度）

(1) 照射量X及单位

照射量是指X线或 γ 线的光子在单位质量空气中释放出来的所有次级电子，当它们完全被空气阻止时，在空气中所形成的任何一种符号离子的总电荷量的绝对值。其定义为dQ除以dm所得的商，即：

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad \left(\text{照射量只适用于空气中X}(\gamma) \text{辐射致空气电离程度} \right)$$

照射量的单位

国际单位制单位：

库仑每 千克， 库仑· 千克⁻¹ (C·Kg⁻¹)

专用单位：

伦琴， 伦 (R)， 毫伦 (mR)， 微伦 (μR)

1伦琴=2.58x10⁻⁴库仑·千克⁻¹

1R=10³mR=10⁶μR

(2) 照射量率及单位

照射量率 (X) 是单位时间内照射量的增量, 定义为dX除以dt所得的商。即:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

国际单位制单位: 库仑每千克秒, 库仑·千克⁻¹·秒⁻¹ (C·Kg⁻¹·S⁻¹)

专用单位: 伦琴每秒, 伦·秒⁻¹ (R·S⁻¹), 伦·分⁻¹ (R·Min⁻¹), 毫伦·时⁻¹ (mrh⁻¹)

3. 比释动能（描述间接致电粒子与物质相互作用时，传递给直接致电粒子的能量）

(1) 比释动能K及单位

指间接致电辐射与物质相互作用时，在单位质量物质中由间接辐射所产生的全部带电粒子的初始动能之和。即：

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

单位：焦耳/千克（戈瑞）

(2) 比释动能率及单位

间接致电辐射在单位时间内，在介质中产生的比释动能。即：

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

单位：戈瑞/秒

4. 吸收剂量（衡量粒子吸收辐射能量的多少）

(1) 吸收剂量D及单位

辐射所授予单位质量介质dm中的平均能量。即：

$$D = \frac{dE_{en}}{dm}$$

单位：焦耳/千克（戈瑞）

拉德 $1\text{rad}=10^{-2}\text{Gy}$

(2) 吸收剂量率及单位

单位时间内吸收剂量的增量。即：

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

单位：焦耳/千克秒

戈瑞/秒

5. 吸收剂量、比释动能及照射量之间的关系和区别

(1) 带电粒子平衡

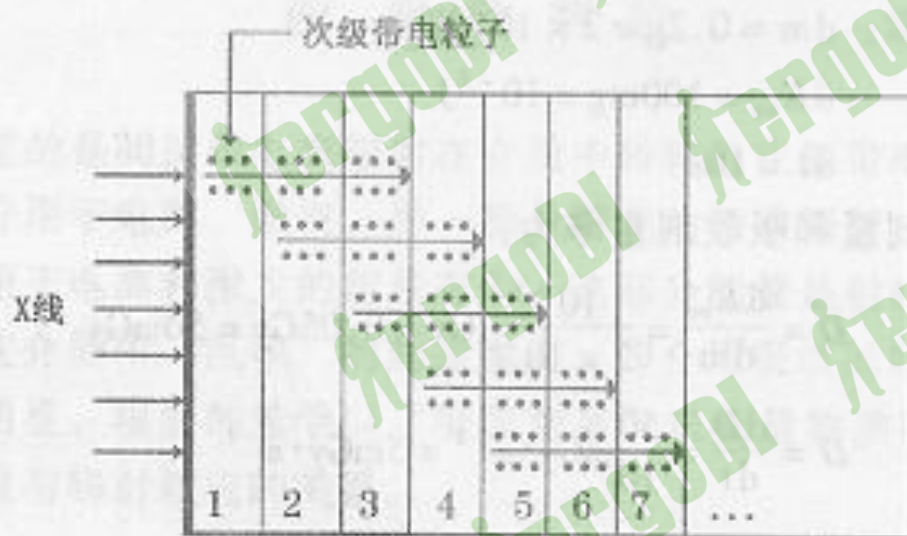
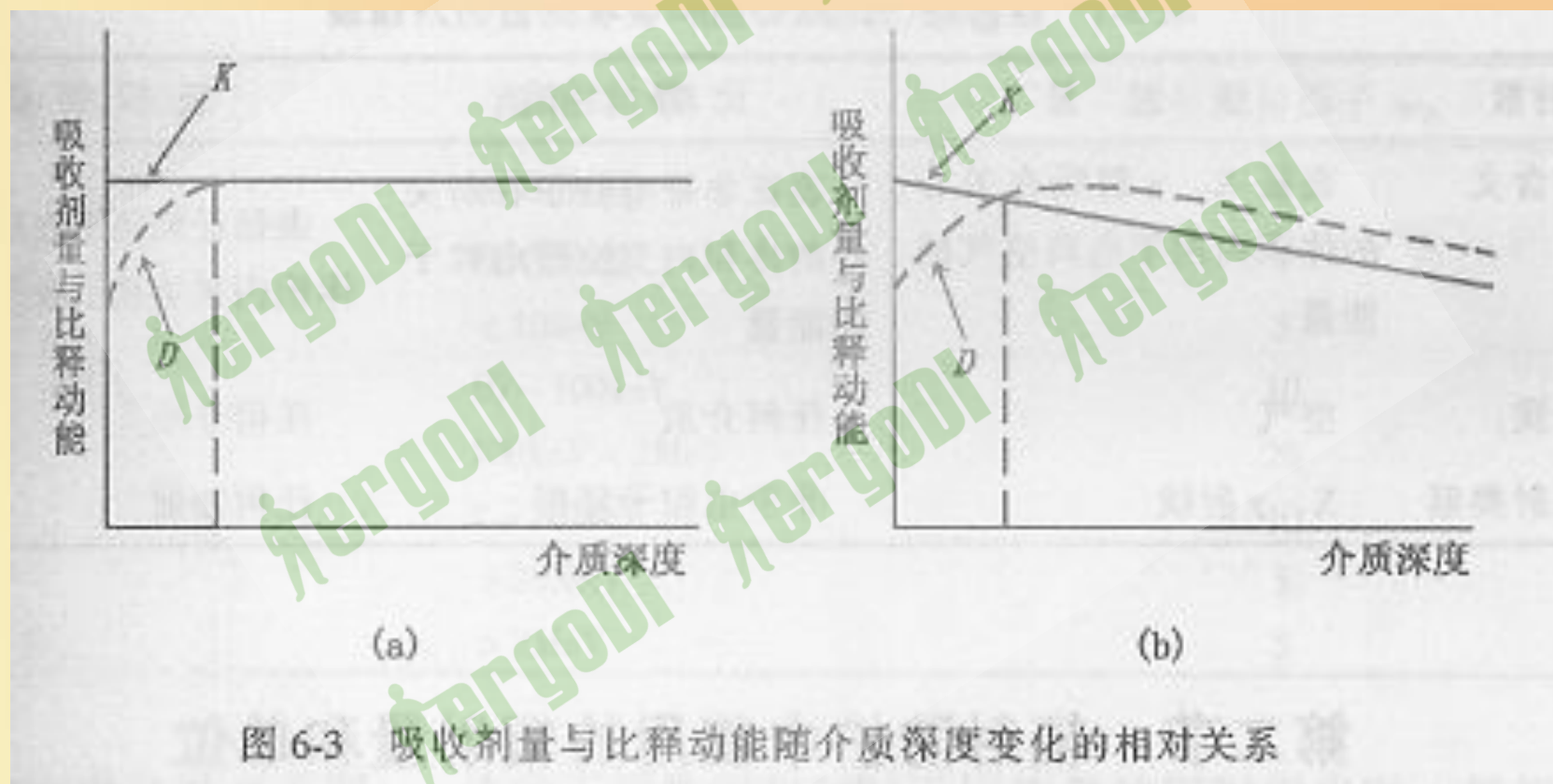


图 6-2 X线所致带电粒子平衡示意图

在介质中体积元周围的辐射场是均匀的，且体积元周围的介质厚度等于或大于次级带电粒子在该介质中的最大射程。

(2) 比释动能和吸收剂量随物质深度的变化



(3) 照射量、吸收剂量与比释动能的相互关系

照射量与比释动能关系：

$$X = \Psi \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \cdot \frac{e}{\omega}$$

$$K = \Psi \cdot \frac{\mu_{tr}}{\rho}$$

$$K = X \cdot \frac{\omega}{e}$$

吸收剂量与 照射量的关系:

$$D_a = X \bullet \frac{\omega}{e}$$

吸收剂量与比释动能关系:

$$D = \frac{dE_{en}}{dm} = \frac{dE_{tr}}{dm} = K$$

$$D = K(1-g)$$

照射量、比释动能和吸收剂量间的区别：

表 6-1 照射量、比释动能和吸收剂量的对照表

辐射量	照 射 量	比 释 动 能	吸 收 剂 量
剂量学含义	表征 X、 γ 射线在关心的体积内用于电离空气的能量	表征非带电粒子在所关心的体积内交给带电粒子的能量	表征任何辐射在所关心的体积内被物质吸收的能量
适用介质	空气	任何介质	任何介质
适用辐射类型	X、 γ 射线	非带电粒子辐射	任何辐射

1. 当量剂量

(1) 当量剂量及单位

$$H_{T \cdot R} = w_R \bullet D_{T \cdot R}$$

单位：焦耳/千克，希沃特

$$1Sv = 1J \bullet kg^{-1}$$

$$H = \sum_R w_R \bullet D_{T \cdot R}$$

表 6-2 辐射权重因子 w_R

辐射类型	能 量 范 围	辐射权重因子 w_R
光 子	所有能量	1
电子和 μ 子	所有能量	1
中 子	< 10keV	5
	10 ~ 100keV	10
	100keV ~ 2MeV	20
	2 ~ 20MeV	10
	> 20MeV	5
质 子	> 2MeV	5

(2) 当量剂量率及单位

$$\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt}$$

单位：希沃特/秒

2. 有效剂量

(1) 辐射效应的危险度

表 6-3 人体器官或组织的危险度

组 织	辐 射 效 应	危 险 度 (Sv^{-1})
性 腺	遗 传 效 应	4×10^{-3}
乳 腺	乳 腺 癌	2.5×10^{-3}
红 骨 髓	白 血 病	2×10^{-3}
肺	肺 癌	2×10^{-3}
甲 状 腺	甲 状 腺 癌	5×10^{-4}
骨 表 面	骨 癌	5×10^{-4}
其余组织*	癌	5×10^{-3}
合 计		1.65×10^{-2}

* 其余组织中不包括手、前臂、足、踝、皮肤和眼晶体。胃肠髓受照时胃、小肠、大肠上段、大肠下段分别作为四个单独的器官。

表示相对危险度的权重因子

$$w_T = \frac{\text{组织T接受1Sv时的危险度}}{\text{全身均匀受照1Sv时的总危险度}}$$

表 6-4 不同组织或器官的辐射危险度权重因子 w_T

组 织 T	w_T
性 腺	0.20
乳 腺	0.05
红 骨 髓	0.12
肺	0.12
甲 状 腺	0.05
骨 表 面	0.01
其余组织*	0.05
合 计	1.00

* 选取其他五个接受最高当量剂量的器官或组织；每一个的 w_T 取作 0.06；所有其他剩下的器官或组织照射，可忽略不计

(2) 有效剂量E

$$E = \sum_T w_T \bullet H_T$$

3. 集体当量剂量和集体有效剂量

(1) 集体当量剂量

$$S_T = \sum_i H_{Ti} N_i$$

(2) 集体有效剂量

$$S_E = \sum_i E_i N_i$$

测量输出的射线强度, 以确定照射量

测量吸收剂量, 以判断预期疗效, 其精确确定是进行放射治疗最基本的物理学要素
(世界范围15%患者接受的剂量不准确)

测量屏蔽防护, 以判断是否达到安全标准

测量依据的辐射效应: 电离作用、热作用、感光作用、荧光作用。

1. 自由空气电离室

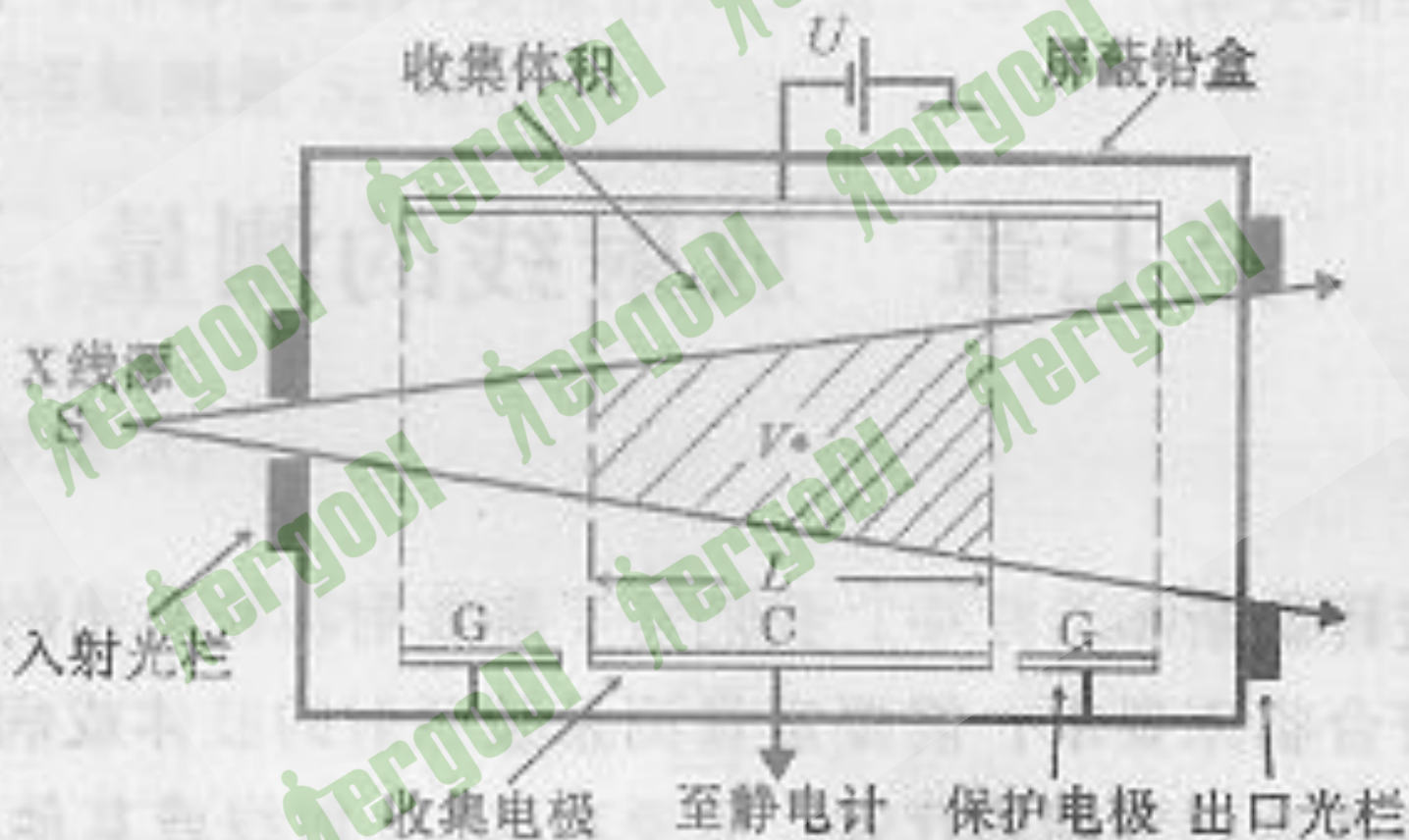
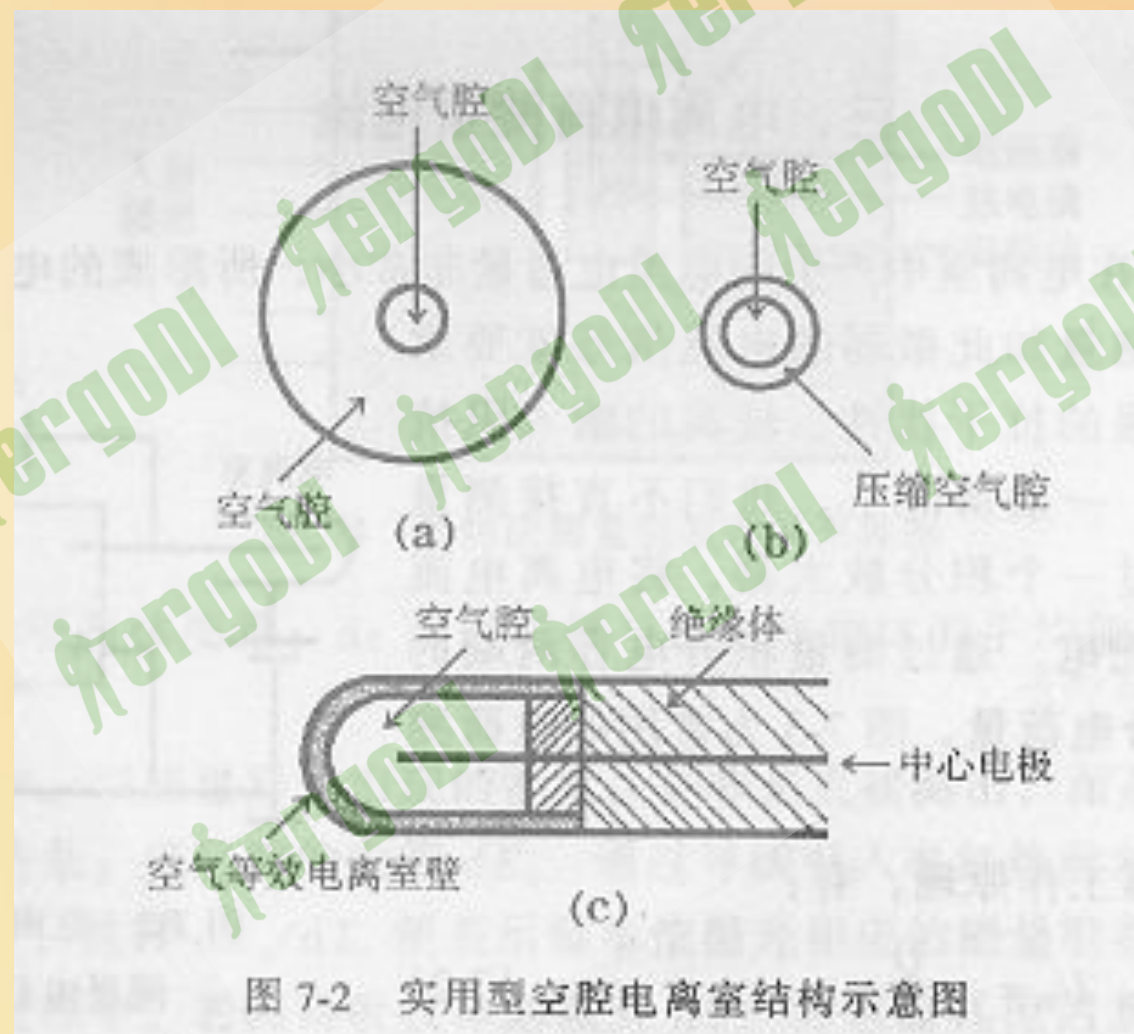


图 7-1 自由空气电离室结构示意图

$$m = \rho V$$

$$X = \frac{Q}{M} = \frac{Q}{\rho V}$$

2. 实用型电离室



(1) 实用型电离室室壁

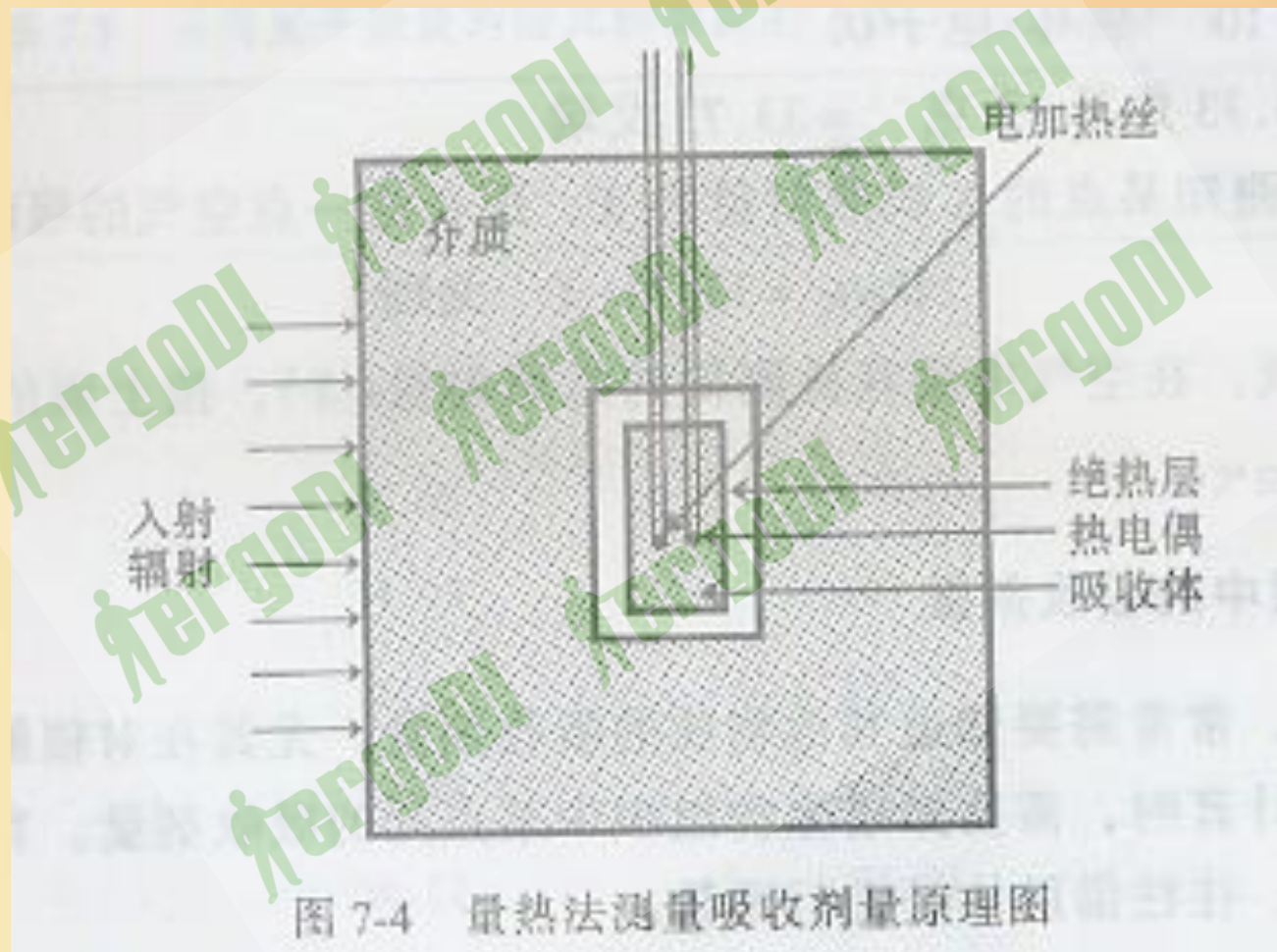
电离室室壁材料与中心电极的有效原子序数与自由空气基本相等：石墨、电木或塑料。

(2) 电离室的校准

使用条件：与空气等效、空气腔体积能够准确得知、室壁厚度足以提供电子平衡。

$$K_{tp} = \frac{273.2 + t}{293.2} \times \frac{760}{P}$$

1. 吸收剂量的基本测量法



$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \approx \frac{dE}{dm}$$

$$D = \frac{dE_c}{dT_c} \bullet \frac{dT}{dm}$$

量热法(calorimetry)

测量物体温度的变化来确定吸收剂量的方法

是测量介质中的吸收剂量最直接、最基本的方法

基本原理:

当介质受到电离辐射照射后, 介质所吸收的辐射能量

除少部分可能引起化学反应外, 主要会转换成热能

从而导致该介质温度的升高

温度的变化直接反映了介质吸收辐射能量的程度

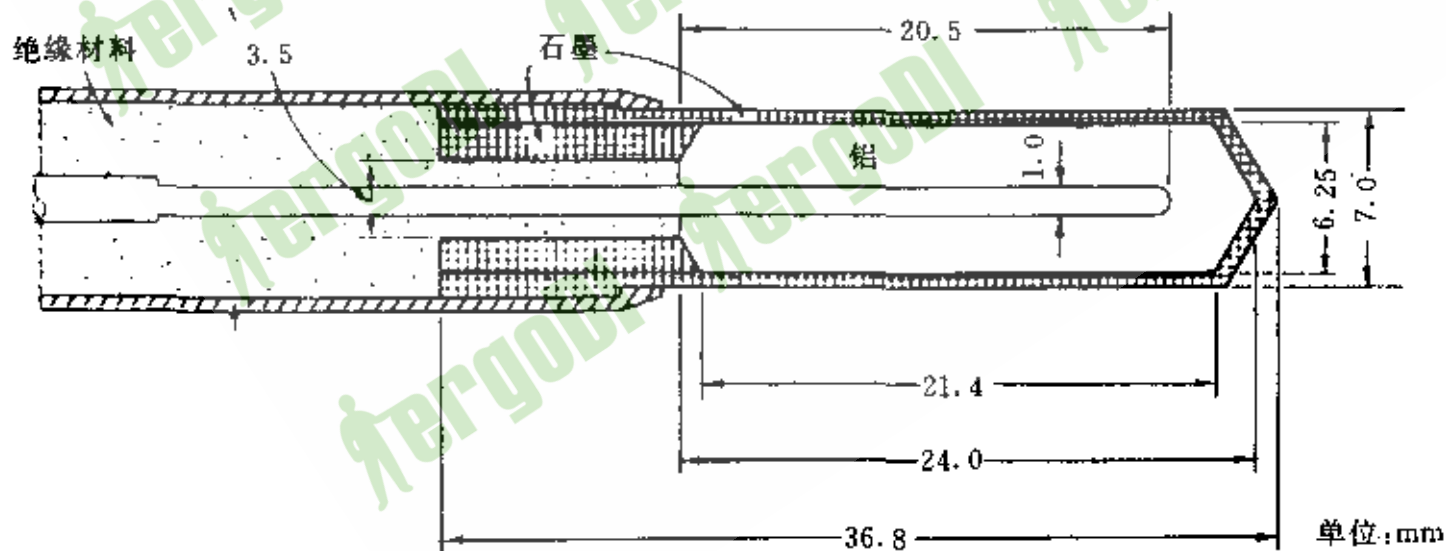
由此可确定介质的吸收剂量

2. 电离室测量法

(一) 指形电离室

通过测量次级电子的电离电荷量，计算得出吸收剂量

指形电离室结构

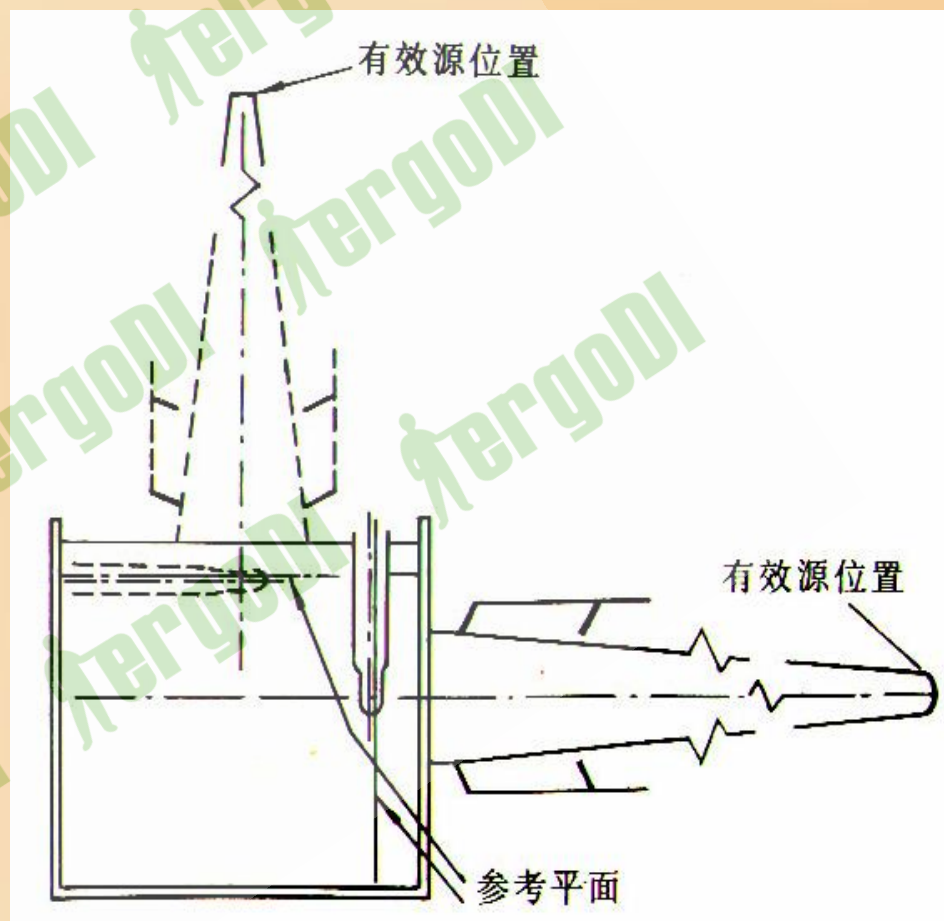


电离室特性

1. 电离室的方向性

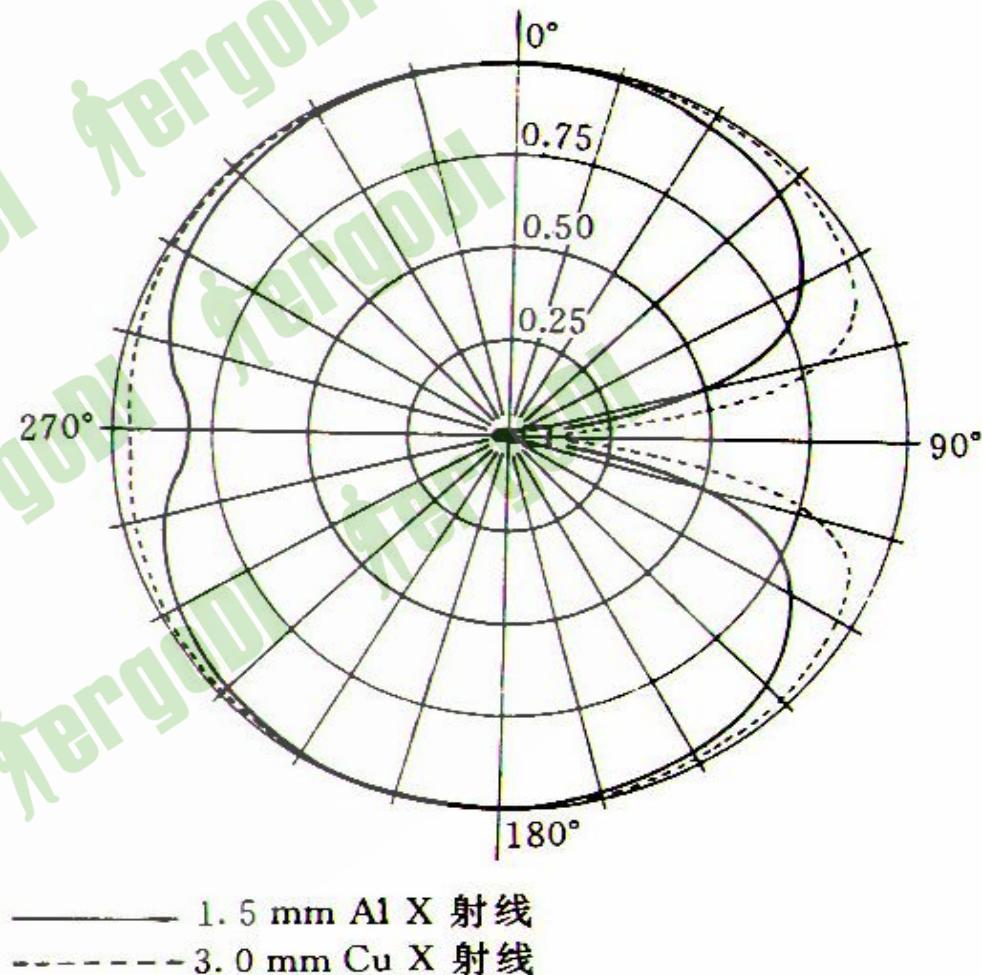
电离室的灵敏度会受不同方向入射的电离辐射的影响

使用时应注意：
保证其和校准时
几何条件相同



电离室的角度依赖性其原因:

- ① 电离室的灵敏度体积会受到电离辐射的方向的影响
- ② 电离室的角度依赖性与中心电极和室壁的制作工艺如室壁厚度的均匀性有关等



2、电离室杆效应(stem effect)

由于电离室的金属杆和绝缘体
在辐射场中会有电子产生并达到中心电极

一般电离室的杆效应较小

如杆效应较大，在测量射野输出因素时，应对其进行校正
电离室的杆效应一般 $<1.0\%$

杆效应校正因子

3. 电离室的复合效应(recombination effect) 收集的电离离子数与辐射产生的离子数

随电离室极板电压的增加，收集效率不断提高
主要归于随电压的增加，复合效应减弱的缘故
为克服电离室的复合效应，应适当选择工作电压
使收集效率达到99%

电离室的电离收集效率的修正 (P_S) 通常采用双压法
即电离室的极化电压分别取 V_1 和 V_2
 V_1 是电离室的正常工作电压, V_1/V_2 值在 2~10 之间
用相同的辐射条件辐照电离室
测量相应的电离电荷 Q_1 和 Q_2

对于连续辐射束中的 P_S 修正因子

对于脉冲或脉冲扫描辐射, 当取正常工作电压 V_1 时:

$$P_S = a_0 + a_1 (Q_1/Q_2) + a_2 (Q_1/Q_2)^2$$

4. 极化效应(Polarity Effect)

有时电离室收集的电离电荷
会因收集极电压极性的改变而变化，这种现象称为极化效应

这种效应不是由电离辐射产生的电离或者绝缘不好
形成的电荷（流）所产生的效应
而是极化电压极性不同引起的效应
为提高测量精度

可选择电离室合适的工作电压来减小极化效应
通常要求极化效应 $<0.5\%$

5. 电离室空气密度效应的修正

对剂量计的读数M

要进行电离室空腔的空气密度效应修正

即温度、气压的修正

当温度相差3℃，测量结果偏差达1%

其修正因子（20℃与101.3kPa为参考值）：

$$K_{T.P} = \frac{273.15 + t}{293.15} \times \frac{101.3}{p}$$

如测量室气压P=102.4kPa，室温t=24℃，则：

$$K_{T.P} = \frac{273.15 + 24}{293.15} \times \frac{101.3}{102.4} = 1.003$$

(二) 平行板电离室

平行板电离室的入射窗

由0.01至0.03mm厚的聚酯薄膜等效材料组成

其内部有一扁平气腔，电极间距非常小 ($\leq 2\text{mm}$)

电离室的特点：

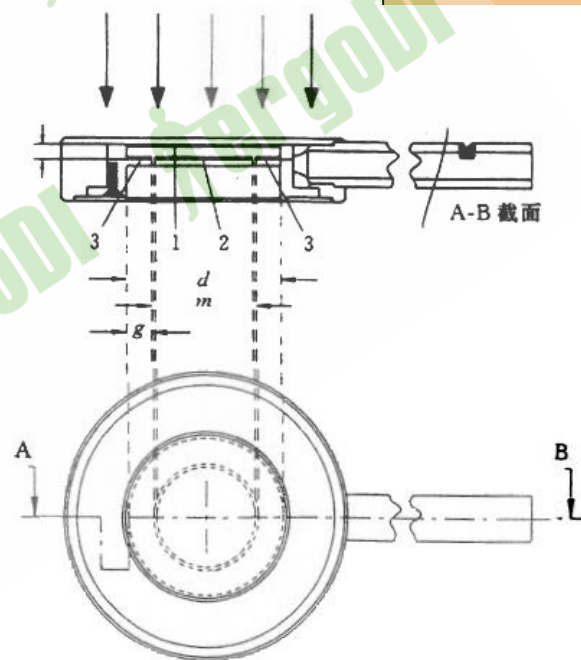


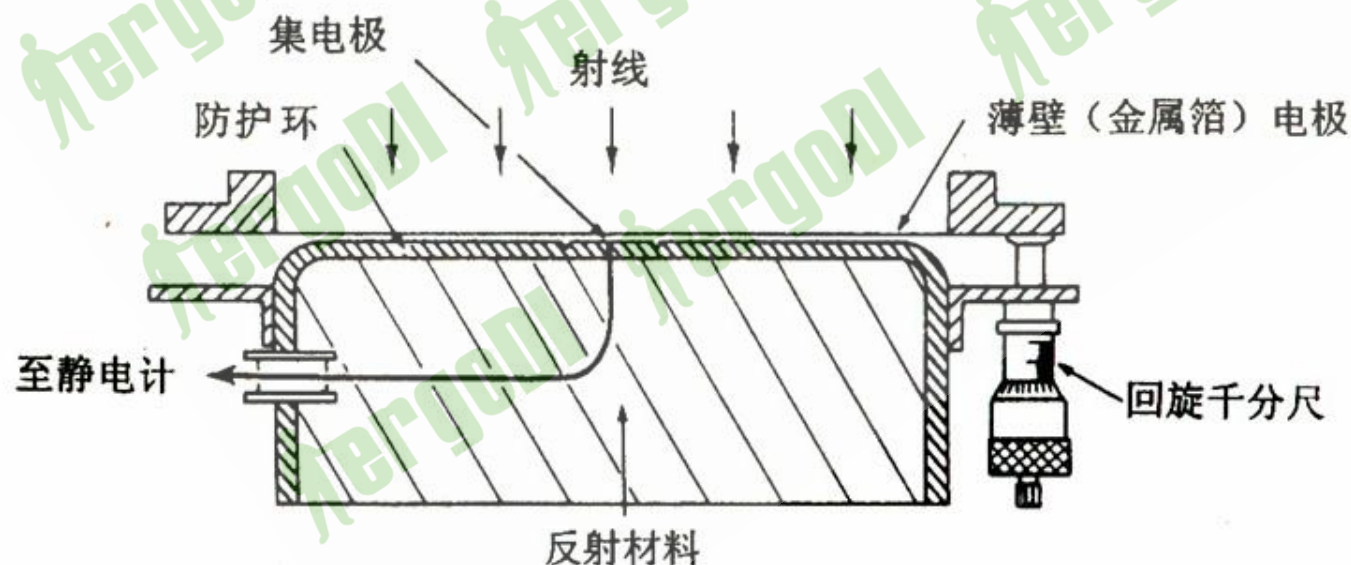
图 3-30 平行板电离室的基本结构示意图

1——空气气腔,高度为 a ,直径为 d ;2——收集极直径为 m ;3——保护环,宽度为 g 。

- ① 由于电离室的电极间距小
其气腔在辐射场中产生的扰动就非常小
使得它在电子束的测量中优于圆形电离室
- ② 由于电离室的入射窗极薄
其有效测量点又位于气腔的前表面中心
它适于测量人体表面的剂量和建成区的剂量分布

（三）外推电离室

外推电离室极间距离连续可调，外电极是镀有一层碳的薄层塑箔
另一电极呈圆盘状称之为集电极，四周是保护环
电极间距可用微米螺旋精确调节
测量时通过调整极间距离可得出一条电离电荷--电极间距函数曲线
将该曲线外推至零间距即可求出表面剂量



3. 其它测量方法

(一) 半导体剂量仪

半导体剂量仪使用的探测器是一种特殊的PN型二极管
根据半导体理论

P型晶体和N型晶体结合起来

则在结合面(界面)两边的一个小区域里, 即PN结区

N型晶体一侧由于电子向P型晶体扩散而显正电

P型晶体一侧由于空穴向N型晶体扩散而显负电

受到电离辐射照射时, 会产生新的载流子——电子和空穴

在电场作用下它们很快分离并形成脉冲信号

半导体探测器称为“固体电离室”

硅晶体半导体探测器

主要用于测量高能X(γ)射线和电子束的相对剂量

半导体探测器的输出信号可以通过静电计放大后测量

优点:

辐射剂量与半导体探测器的输出信号有很好的线性关系

半导体剂量仪优点

用硅晶体制成的半导体探测器与空气电离室相比较
具有极高的灵敏度

半导体探头可以做得非常小($0.3-0.7\text{mm}^3$)

常规用于测量剂量梯度比较大的区域

剂量建成区、半影区的剂量分布

用于小野剂量分布的测量

近十年来

半导体探测器越来越被广泛用于患者治疗过程中的剂量监测

应用半导体探头测量较低能量的电子束剂量分布

优于平行板电离室

(平行板电离室对较低能量电子束较高的侧向散射反应不灵敏)

半导体探测器在实际使用中，应注意

首先由于硅的原子序数(z : 14)比水的有效值高

对中低能x射线(200keV以下)

大照射野的边缘

较大的深度处测量等剂量分布

会受到一定的影响

半导体探测器的另一个主要缺陷是

高能辐射轰击硅晶体，会使晶格发生畸变

导致探头受损，灵敏度下降

对于给定的探头，受损程度依赖于辐射类型和受照历史

例如：

20MeV电子束对探头的损伤要比

8MVX射线的损伤大20倍左右

半导体探测器的灵敏度还受到
环境温度、照射野大小
脉冲式电离辐射场中的剂量率的影响

对于每一个具体的探头，其数值也有较大的差异

因此，在实际使用中，对每一个半导体探头
都应做上述诸多因素的修正，并定期校验

(二) 热释光剂量计

许多晶体材料具有热释光现象 (Thermoluminescence, TL)

具有晶体结构的固体, 因含有杂质, 造成晶格缺陷

当晶体被射线辐射后, 能量滞留在晶阵中

而晶体被加热时又转为可见光形式释放

发光强度与“陷阱”所释放的电子数成正比

而电子数又与物质吸收辐射能量有关

经过标定, 可测量吸收剂量

常用的热释光材料

氟化锂(LiF)、氟化钙 (CaF_2)、氧化铝(Al_2O_3)等

氟化锂(LiF) 最适合临床应用:

- 1.有效原子序数与软组织接近
- 2.对紫外线不敏感, 不易潮解
- 3.形式多样 (粉末、薄片、柱状等)

热释光材料的剂量响应与其受辐照和加热历史有关
在使用前必须退火

如LiF在照射前要经过1h 400度高温和24h80度低温退火
剂量响应，一般在10Cy以前呈线性变化

其灵敏度基本不依赖于X(γ)射线光子的能量

但对于低于10MeV的电子束，灵敏度下降5%-10%

热释光材料的剂量响应依赖于许多条件

因此校准要在相同条件

如同一读出器，近似相同的辐射质和剂量水平下进行

经过严格校准和对热释光材料的精心筛选

测量精度可达到95%—97%

热释光元件基本特性:

1.灵敏度----热释光元件能测量吸收剂量的最低限

如LiF灵敏度为 1×10^{-5} Gy

2.剂量响应线性----TL元件的吸收剂量与发光强度成正比

10^{-5} -1Gy 线性 如LiF超过5Gy超线性

3.能量响应----TL元件的灵敏度随射线能量不同而改变的特性

4.剂量率响应----TL元件的灵敏度随辐射剂量率而变化的特性

5.光效应----光作用下使被照射的TL发生衰变

要求光效应小

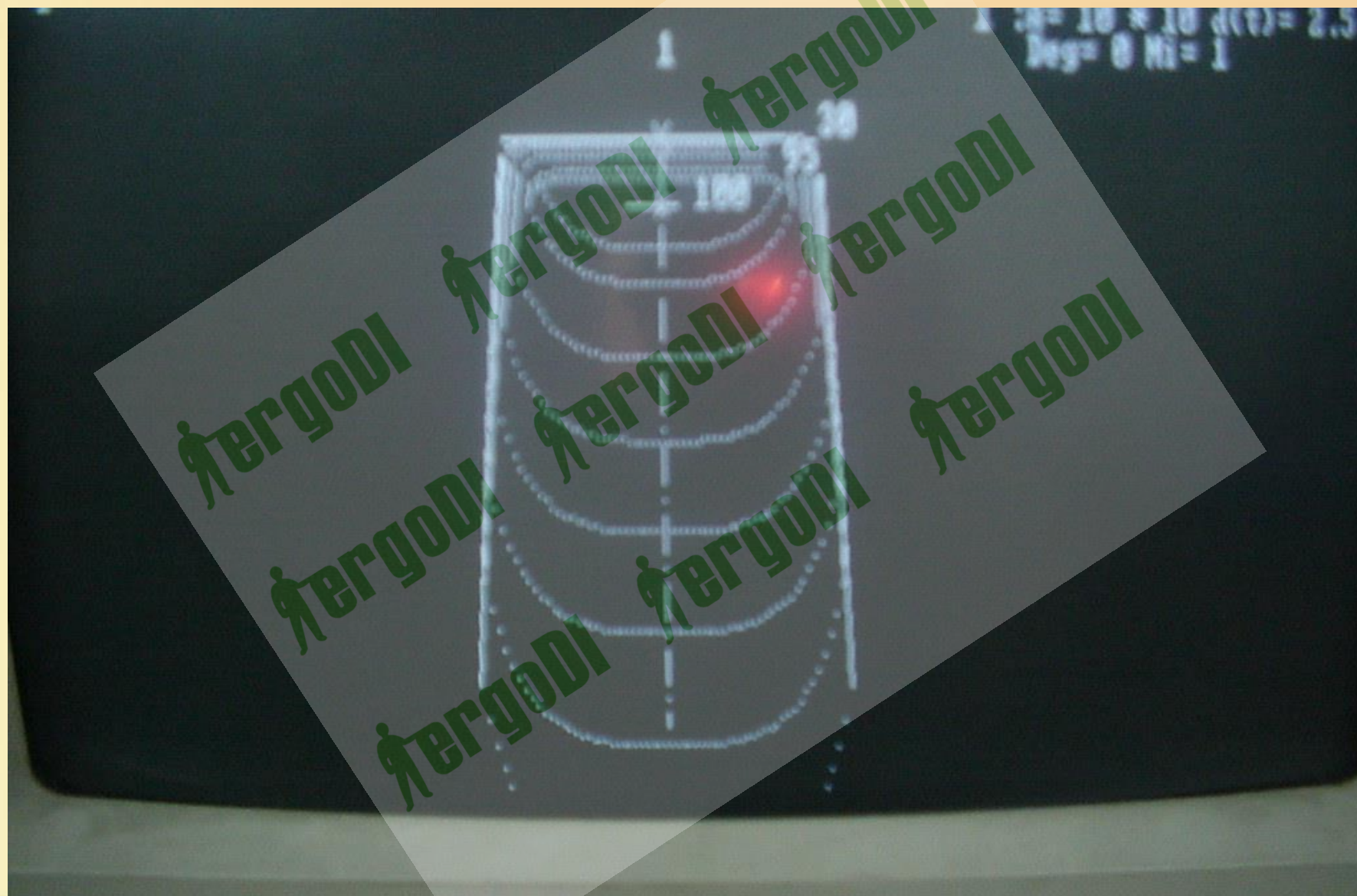
6.衰退----TL元件受照射后在储存期TL值的变化特性

要求衰退小，否则加热后测量时TL值减弱

7.重复使用性----

TL的灵敏度在连续重复使用中保持特性不变

(三) 胶片剂量仪



1 :A= 10 * 10 d(t)= 2.5
Deg= 0 Mi= 1 Au= 45



当胶片受可见光或电离辐射照射时，溴化银(AgBr)晶体颗粒中的银离子(Ag⁺)还原为银原子(Ag)，数个银原子就形成所谓的“潜影”，洗片时，洗片液分子促使晶体颗粒的Ag⁺还原为Ag，形成黑度差别的影像

光学密度用来定量胶片黑的程度，用符号OD表示
定义为

$$OD = \lg \left(\frac{I_0}{I_t} \right)$$

式中：I₀是射线入射强度，I_t是射线透过强度

没有曝光的胶片也能阻止少量光线，形成本底密度

测量密度扣除本底密度称为净密度

光学密度概念一般用于胶片黑度测量
透明度概念用于计算机图像显示处理
光学密度测量结果真实地反映
人眼感觉到的物体黑的程度的变化

光学密度和透明度的测量仪器主要有
光学密度计(又称黑度计)
扫描仪和激光数字化仪

对于同一型号的胶片其灵敏度与

射线质(射线能量)

射线入射角度

照射剂量

洗片条件

胶片的批号等因素有关

与照射剂量率无关

胶片在剂量学中的应用主要有三个方面：

检查射野的平坦度和对称性

获取临床剂量学数据

高能X(γ)射线的离轴比

电子束的百分深度剂量和离轴比

验证剂量分布

相邻射野间剂量分布的均匀性

治疗计划系统剂量计算的精确度

测量时胶片与模体紧密贴合

以免空气间隙造成不规则的花斑和条纹

与其他类型剂量仪相比，胶片剂量仪的优点是：
同时测量一个平面内所有点
以减少照射时间和测量时间
有很高的空间分辨率
可以测量不均匀固体介质中剂量分布

胶片灵敏度显著地受X(γ)射线能量和洗片条件的影响
近年来，新型胶片引起广泛的研究兴趣
具有较好的组织等效性，并且不需要暗室操作
不需要显影、定影
但也存在一些缺陷
如灵敏度受环境温度和湿度的影响

(四) 化学剂量计

根据辐射引起物质化学变化的程度来确定吸收剂量的方法
其中最普遍、测量精度最高的是硫酸亚铁化学剂量计
或称弗瑞克(Fricke)剂量计

化学剂量计基本原理:

在射线作用下, 硫酸亚铁水溶液中

水分子首先辐射分解生成H、OH、和 H_2O_2 自由基和分子产物

进一步将二价铁离子(Fe^{2+})被氧化成三价 Fe^{3+}

Fe^{3+} 的数量与溶液吸收的辐射能量成正比

用紫外分光光度计

测量三价铁离子的浓度，即可确定吸收剂量

化学剂量计方法有较高的准确性

硫酸亚铁化学剂量计与FARMER电离室方法相比较

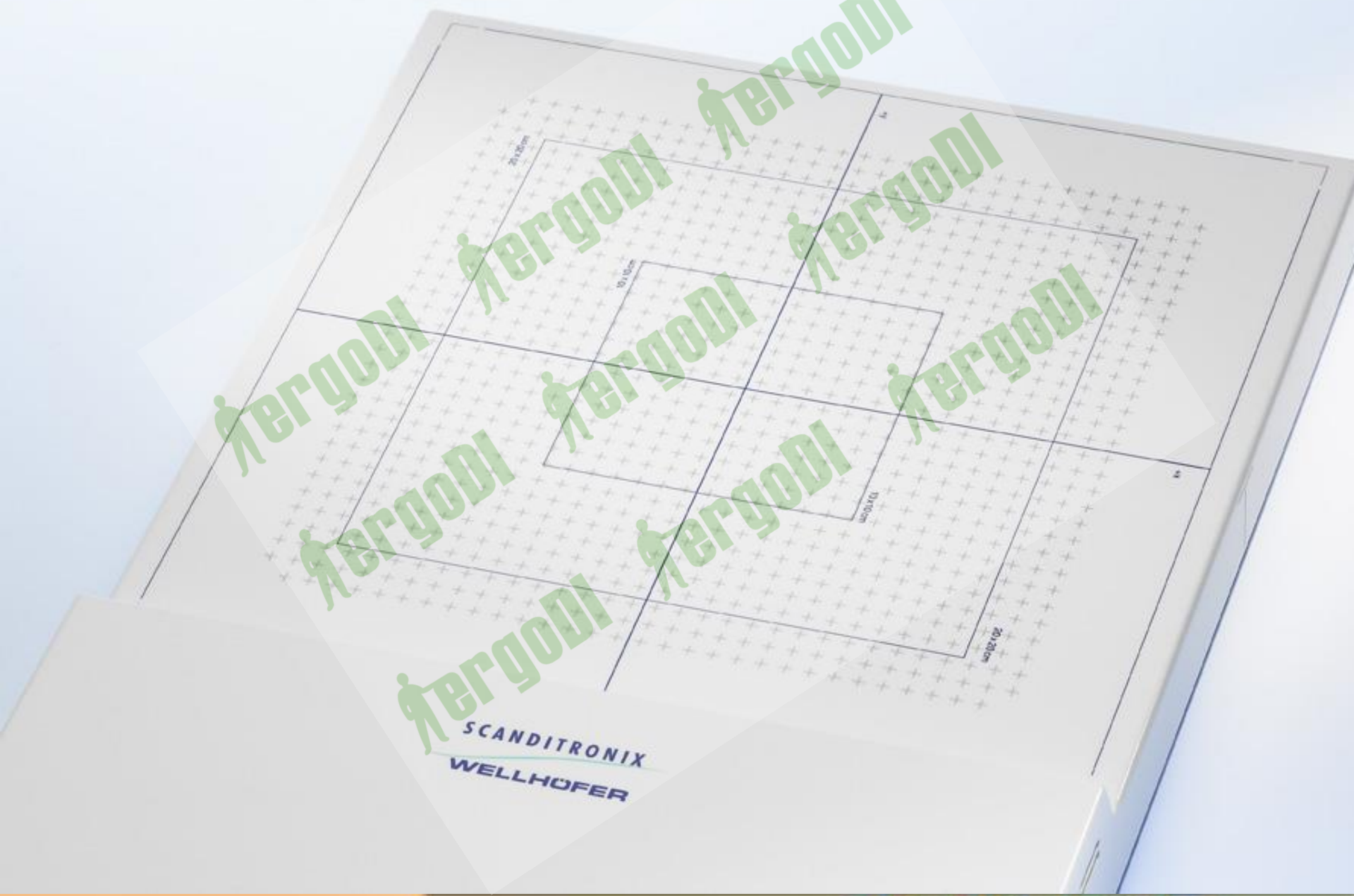
X(γ)射线能量从 ^{60}Co γ射线能量到25MV-X射线

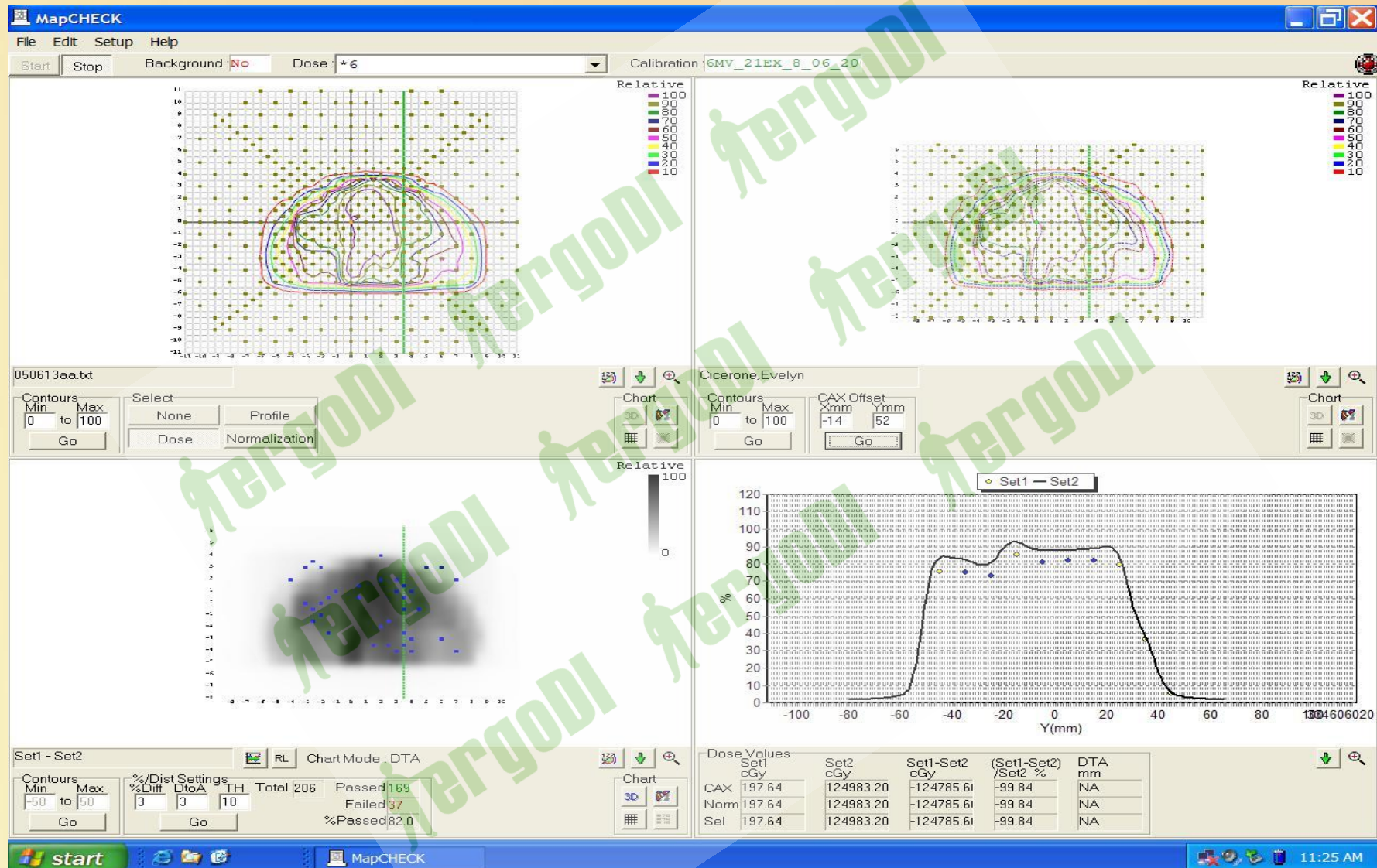
电子束能量10 ~ 25MeV

其差别分别在0.013 ~ 0.001和0.025 ~ 0.001之间

(五) 二維探測器陣列





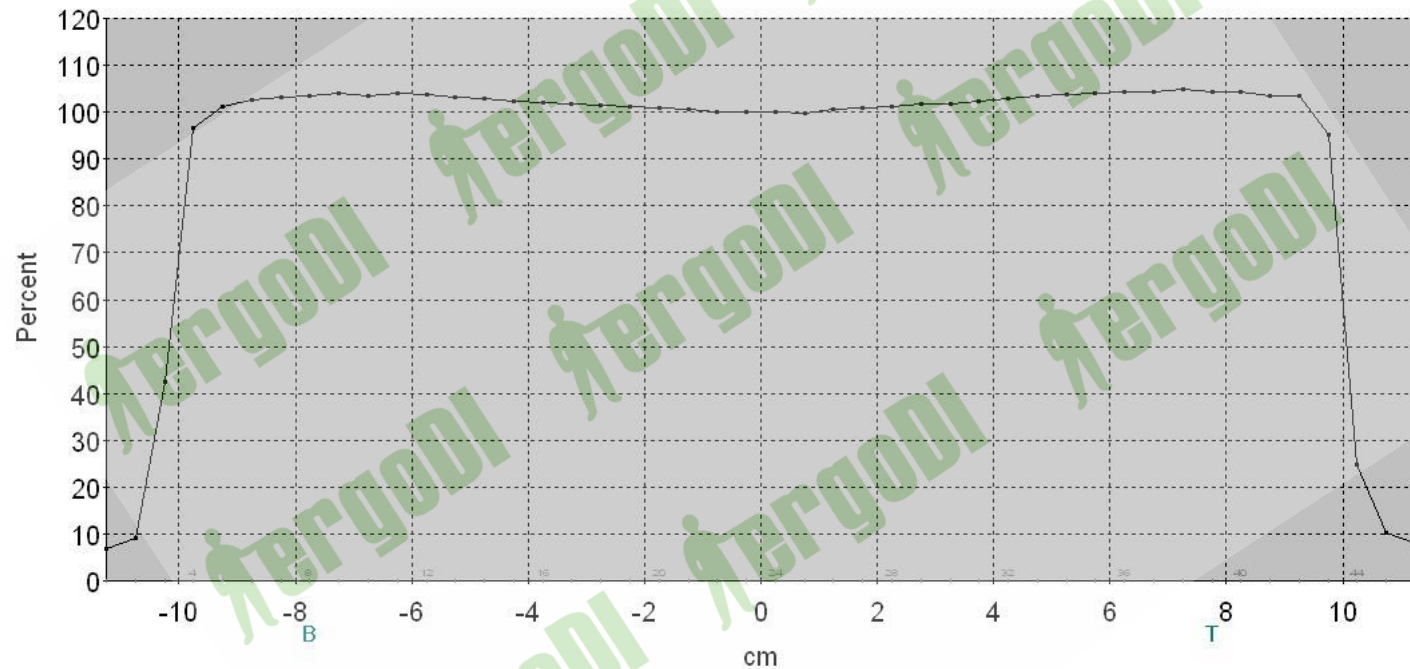


Profiler - [C:\PROFILER\DATA\050613AC.PRO:1]

File Edit Control Data Collection Setup Calibration Database Window Help

Start Stop Dose Mode Normal On Invert Off 32 6P0505 MDA

X1 Zoom UnZoom



L/R Sym
0.8 %
L Det # 10
gr1 406.5
R Det # 37
gr1 409.8
Dose: cGy
31.24
Dos1/Dos2
NA
Pulse Cnt
1434

QA Set 1 Set 2 Graph Data Analyze Compare Overlay Manager

Graph is Normalized to Calculated Center. Radiation type: Accelerator

Wednesday July 20, 2005

我国旧的放疗剂量的测量规程

主要参考ICRU 21和23号报告，技术内容陈旧

IAEA TRS 277报告与其在测量方法上的主要区别有：

1. 用电离室的空气吸收剂量因子 N_D 取代了 N_C
 N_D 值依赖于电离室的形状和材料，对不同电离室取值不同
2. 不在使用 C_λ 、 C_E 转换因子和统一的扰动因子
而引入相对不同能量的光子和电子束的一系列有关参数

国家质量技术监督局参照IAEA TRS 277报告制定并颁布了
中华人民共和国国家计量检定规程（JJG-589-2001）

《外照射治疗辐射源》于2001年6月1日开始实施

加速器刻度

标准条件:

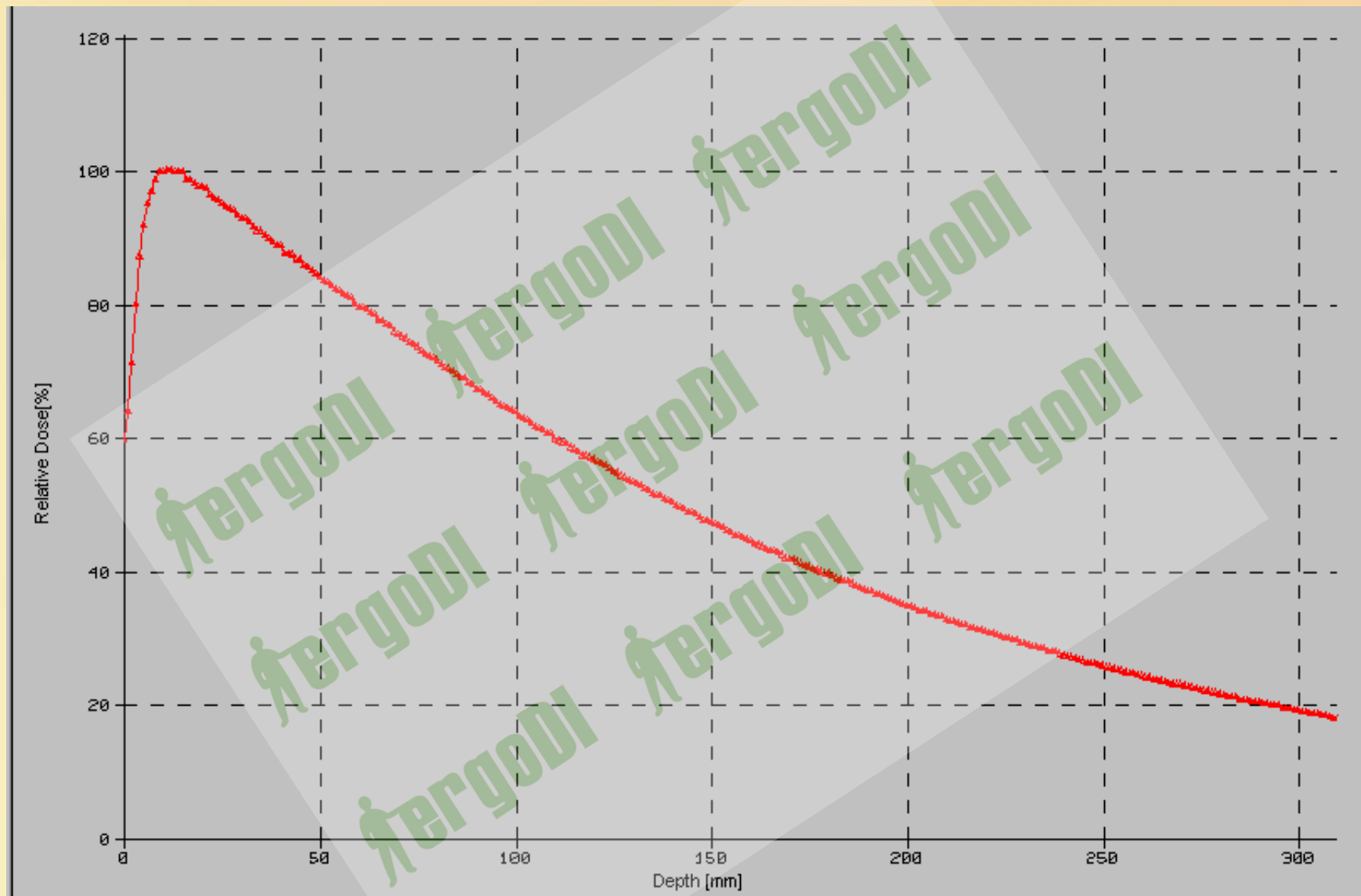
SSD=100cm, 射野大小10*10cm

目的:

水模内射野中心轴上最大剂量点处的输出量被刻度成
 $1\text{MU}=1\text{cGy}$

方法:

由物理师和设备维修工程师调节加速器剂量监测系统的有关阈值电位器, 使加速器给出一个跳数的输出量精确等于通过国家标准剂量实验室校准过的剂量计在上述标准条件下测算的结果1cGy.



$$D_w = M \cdot N_D \cdot S_{w, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{\text{TP}}$$

D_w : 有效测量点处的水的吸收剂量

M : 为标准剂量计的示值

N_D : 电离室空腔的吸收剂量校准因子

$S_{w, \text{air}}$: 校准深度处水对空气的平均阻止本领比

P_u : 扰动修正因子

P_{cel} : 中心电极修正因子

K_{TP} : 温度气压修正因子

$$N_D = N_K \cdot (1-g) \cdot K_{att} \cdot K_m$$

$$N_K = N_x \cdot (2.58 \times 10^{-4}) \cdot W/e \cdot 1/(1-g)$$

N_K : 电离室剂量计空气比释动能校准因子

g : 次级电子韧致辐射能量份额

K_{att} : 是校准电离室时, 电离室壁及平衡帽物质对 ^{60}Co γ 射线的吸收和散射的修正因子

K_m : 是电离室壁与平衡帽非空气材料对 ^{60}Co γ 射线空气等效不充分而引起的修正因子

W/e : 在空气中形成一个电子电荷的每对离子消耗射线的平均能量, $W/e = 33.97 \text{ J/C}$

趋势: 空气比释动能校准因子 N_K 替代照射量校准因子 N_x

$$D_W = M \cdot N_D \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{TP}$$

$$N_D = N_x \cdot (2.58 \cdot 10^{-4}) \cdot W/e \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m$$

$$N_D = N_x \cdot 2.58 \cdot 10^{-4} \cdot 33.97 \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m$$

$$N_D = 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m$$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{TP}$$

$$D_W = M \cdot N_D \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{\text{TP}}$$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{\text{TP}}$$

有效测量点:

高能X射线和钴-60: 0.6r

高能电子束: 0.5r

中能X射线: 几何中心

电离室型号

Km

Katt

Km * Katt

NE 0.2cm ³ 2515	0.980	0.988	0.968
NE 0.2cm ³ 2515/3	0.991	0.987	0.978
NE 0.2cm ³ 2577	0.994	0.987	0.981
NE 0.6cm ³ 2505/A	0.971	0.997	0.962
NE 0.6cm ³ 2505/3, 3A	0.991	0.990	0.981
NE 0.6cm ³ 2505/3, 3B	0.974	0.991	0.965
NE 0.6cm ³ 2571, 带保护极	0.994	0.990	0.985
NE 0.6cm ³ 2581 (PMMA帽)	0.975	0.990	0.966
PTW 0.6cm ³ 23333 (3mm帽)	0.982	0.993	0.975
PTW 0.6cm ³ 23333 (4.6mm帽)	0.982	0.990	0.972
PTW 0.3cm ³ 标准型M23332	0.982	0.993	0.975
PTW 0.3cm ³ 防水型M2333641	0.982	0.992	0.974
VICTOREEN 0.6cm ³ (30-351)	0.982	0.993	0.975
CAPINTEC 0.6cm ³ FARMER (PMMA帽)	0.993	0.990	0.983
CAPINTEC 0.6cm ³	0.989	0.989	0.978
RT1010 0.6cm ³ (有机玻璃帽)	0.990	0.990	0.980

例如:

NE FARMER 2571

0.6 cm³

$K_{att} K_m = 0.985$

“规程”表A2
P24

肿瘤放射物理学
P76

实用放射治疗物
理学 P98

主页

0.980

返回

帮助

辐射质同校准深度和 Sw,air 的关系

辐 射 质		Sw, air	水中校准深度/cm
TPR^{20}_{10}	D_{20}/D_{10}		
0.50	0.44	1.135	5
0.53	0.47	1.134	5
0.56	0.49	1.132	5
0.59	0.52	1.130	5
0.62	0.54	1.127	5
0.65	0.56	1.123	5
0.68	0.58	1.119	5
0.70	0.60	1.116	5
0.72	0.61	1.111	10
0.74	0.63	1.105	10
0.76	0.65	1.099	10
0.78	0.66	1.090	10
0.80	0.68	1.080	10
0.82	0.69	1.069	10
0.84	0.71	1.059	10

“规程”表5 P12

肿瘤放射物理学 P77

实用放射治疗物理学 P103

上页

下页

返回

帮助

“规程”图A1 P26

肿瘤放射物理学 P79

实用放射治疗物理学 P104

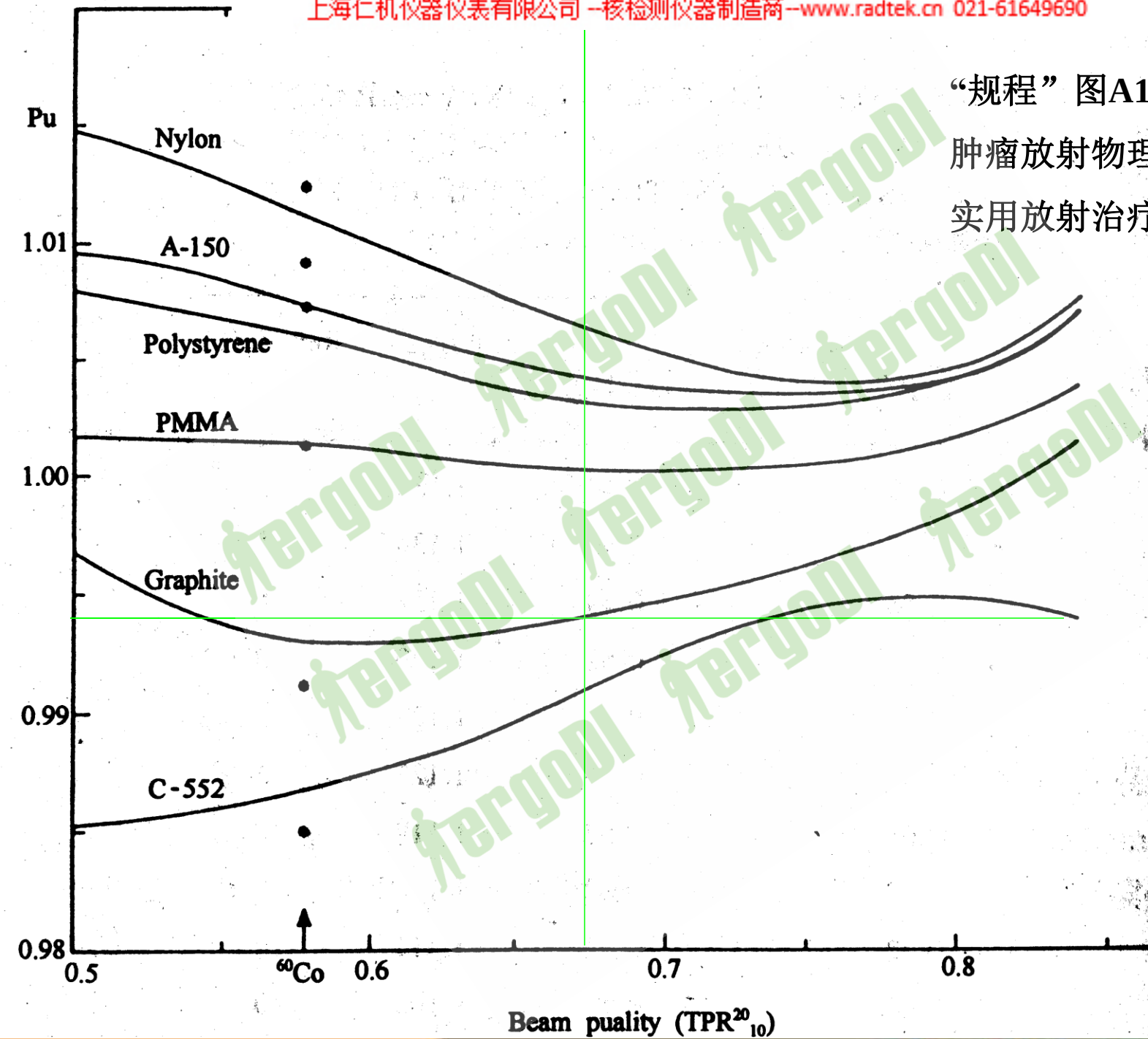


表 3-29 铝收集极电离室的 P_{cel} 值

收集极半径 (mm)	电子束	^{60}Co γ 射线和 X 射线	X 射线
		$(h\nu)_{\text{max}} \leq 25 \text{ MeV}$	$(h\nu)_{\text{max}} > 25 \text{ MeV}$
0.5	1.008	1.000	1.004
1.0	1.015	1.000	1.008
1.5	1.020	1.000	1.010
2.5	1.032	1.000	1.016

肿瘤放射物理学 P79

例一

西门子加速器6 MV X射线

$$D_W = M \cdot N_D \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{\text{TP}}$$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot K_{\text{att}} \cdot K_m \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{\text{TP}}$$

$$\text{PTW23333} \quad 0.6 \text{ cm}^3 \text{ 电离室} \quad K_{\text{att}} \cdot K_m = 0.975$$

西门子加速器6 MV X射线

射线质: $\text{TPR}_{20}/\text{TPR}_{10} = 0.6723$

$$S_{W, \text{air}} = 1.1199$$

西门子加速器6 MV X射线

射线质: $\text{TPR}_{20}/\text{TPR}_{10} = 0.6723$

PMMA 电离室 $P_u = 1$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot 0.975 \cdot 1.1199 \cdot 1 \cdot K_{\text{TP}}$$

$$D_W = 0.9565 \cdot M \cdot N_x \cdot K_{\text{TP}} \text{ (cGy)}$$

$$D_W = M \cdot N_D \cdot S_W,$$

$$P_{air} \cdot P_u \cdot P_{cel} \cdot K_{TP}$$

$$D_W = 0.9565 \cdot M \cdot N_x \cdot K_{TP} \text{ (cGy)}$$

$$N_x = 0.99$$

$$D_W = 0.9469 \cdot M \cdot K_{TP} \text{ (cGy)}$$

例二

西门子加速器15 MV X射线

$$D_W = M N_D S_{W, \text{air}} P_u P_{\text{cel}} K_{\text{TP}}$$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot K_{\text{att}} K_m \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u P_{\text{cel}} K_{\text{TP}}$$

PTW23333 0.6 cm³电离室

$$K_{\text{att}} K_m = 0.975$$

西门子加速器15 MV X射线

射线质: TPR20/TPR10=0.8396

$$S_{W, \text{air}} = 1.0592$$

西门子加速器6 MV X射线

射线质: TPR20/TPR10=0.8396

PMMA 电离室

$$P_u = 1.003$$

$$D_W = M \cdot 0.876 \cdot 10^{-2} \cdot N_x \cdot 0.975 \cdot 1.0592 \cdot 1.003 K_{\text{TP}}$$

$$D_W = 0.9073 M \cdot N_x K_{\text{TP}} \text{ (cGy)}$$

$$D_W = M \cdot N_D \cdot S_{W, \text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}} \cdot K_{TP}$$

$$D_W = 0.9073 \cdot M \cdot N_x \cdot K_{TP} \text{ (cGy)}$$

$$N_x = 0.99$$

$$D_W = 0.898 \cdot M \cdot K_{TP} \text{ (cGy)}$$

四、加速器产生的高能X射线质

在IAEA TRS277报告中以 TPR_{10}^{20} 表示

1、穿透性

测定方法:

SSD为100cm, 水模表面射野为 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$

电离室的有效测量点在水模内沿射线束中心轴移动

测出水下10cm深度处的剂量与最大剂量的比值(穿透性)

如6 MV X射线质规定的穿透性为67%, 要求不超过 $\pm 2\%$

2. 剂量比 (D_{20}/D_{10})

测量方法:

源至水模表面距离SSD=100cm

模体表面的辐射野FSZ=10cm×10cm

射线束轴与模体垂直

若用圆柱形电离室，电离室轴线与束轴垂直

若用平行板电离室，束轴垂直于平行板电离室的入射面

电离室的有效测量点沿束轴移动

分别测出水深为10cm与20cm处的吸收剂量 D_{10} 与 D_{20}

并确定 D_{20}/D_{10} 的比值

3. 组织模体比 (TPR_{10}^{20})

测量方法:

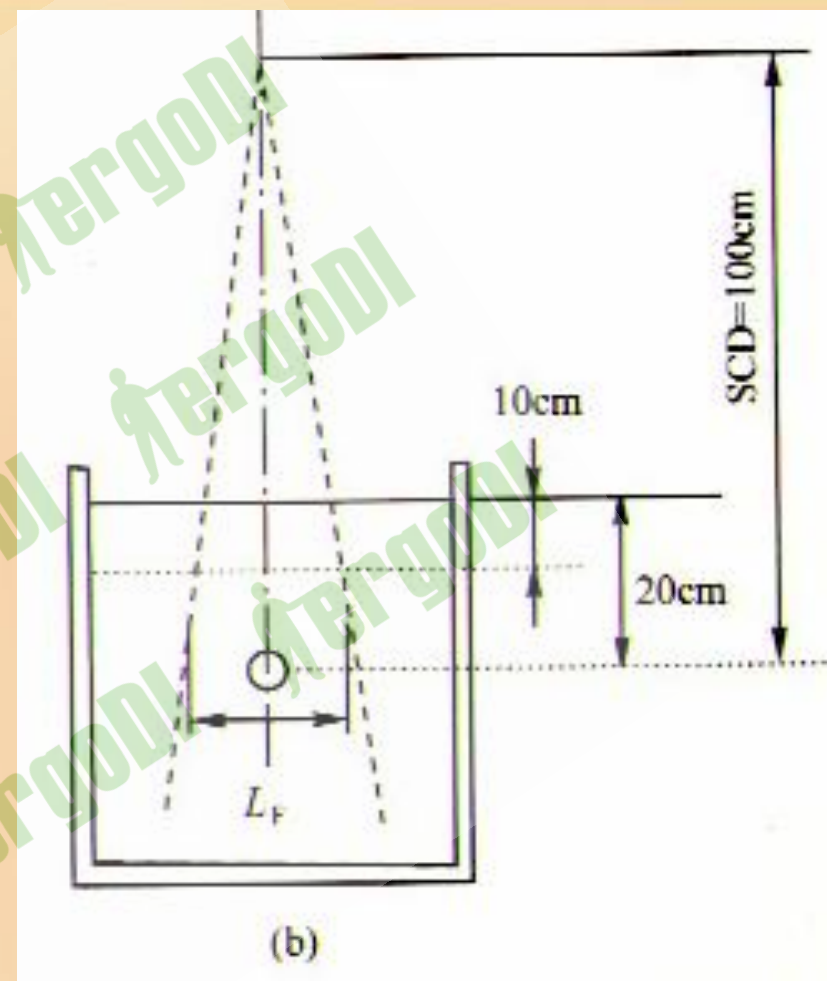
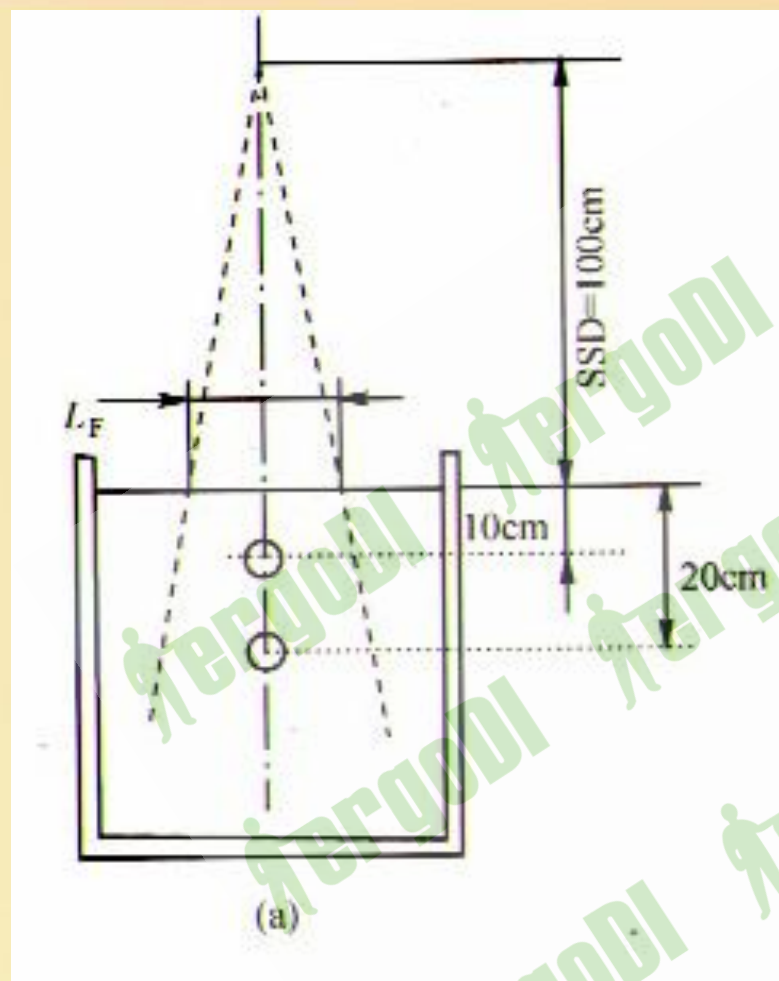
源至电离室有效测量点的距离 $\text{SCD}=100\text{cm}$

过这点并与束轴垂直的平面上射野 $\text{FSZ}=10\text{cm}\times 10\text{cm}$

在保持 SCD 不变的情况下

由电离室有效测量点上方的水深分别为 20cm 和 10cm

测量出相应的吸收剂量的比值, 即 TPR_{10}^{20}



确定X射线辐射质的测量方法示意图

组织模体比、剂量比与能量的相应关系

TPR_{10}^{20}	D_{20}/D_{10}	MV
0.60	0.520	3.5
0.62	0.535	3.9
0.64	0.550	4.4
0.66	0.570	5.0
0.68	0.585	5.8
0.70	0.600	7.0
0.72	0.615	8.0
0.74	0.630	9.5
0.75	0.640	10.5
0.76	0.645	12.0
0.77	0.655	14.0
0.78	0.660	20.0
0.79	0.675	25.0
0.57	0.500	^{60}Co γ 射线)

对 TPR^{20}_{10} 值的取得有三种途径：

1、是使用计算的方法通过上面的关系

把 D_{10} 与 D_{20} 的比值换算成 TPR^{20}_{10} 值

2、是通过查表，由 D_{20}/D_{10} 的数值查出对应的 TPR^{20}_{10} 值

3、是在特定条件下，水模体内进行实测

显然第二种方法是最简便的方法

D_{20}/D_{10} 与 TPR^{20}_{10} 间的关系为:

$$TPR^{20}_{10}=2.189-1.308 (D_{10}/D_{20}) +0.249 (D_{10}/D_{20})^2$$

例如: Varian 2100C 电子直线加速器 6MV-X射线
SSD=100cm, FSZ=10cm×10cm

根据射野分析仪中测量出的PDD曲线

可查出: $D_{10}=66.3\%$; $D_{20}=38.3\%$; $D_{10}/D_{20}=1.73$

代入上式:

$$\begin{aligned} TPR^{20}_{10} &= 2.189-1.308 \times 1.73+0.249 \times 1.73^2 \\ &= 0.671 \end{aligned}$$

五、电子束辐射质的确定

对于电子束是以其吸收剂量或电离量

沿电子束轴衰减到其最大值50%的深度

即半值深度，表示其水表面平均能量 $\bar{E}_0$ 。

加速器产生的高能电子束，在电子窗以前，能谱相对较窄

基本上可看作是单能的

而在电子出射以后，经电子窗、散射箔、监测电离室、空气等介质后，能谱变宽，电子束在不同的位置，其能量数值有很大差别

从临床和水模中吸收剂量测量考虑

主要关心在水模表面及水中特定深度处的平均能量 $\bar{E}_0$ 和 $\bar{E}_z$

水模表面平均能量 $\bar{E}_0$ 的确定

测量方法: SSD=100cm

当 $\bar{E}_0 \leq 15\text{MeV}$ 时, 模体表面射野不小于 $12\text{cm} \times 12\text{cm}$

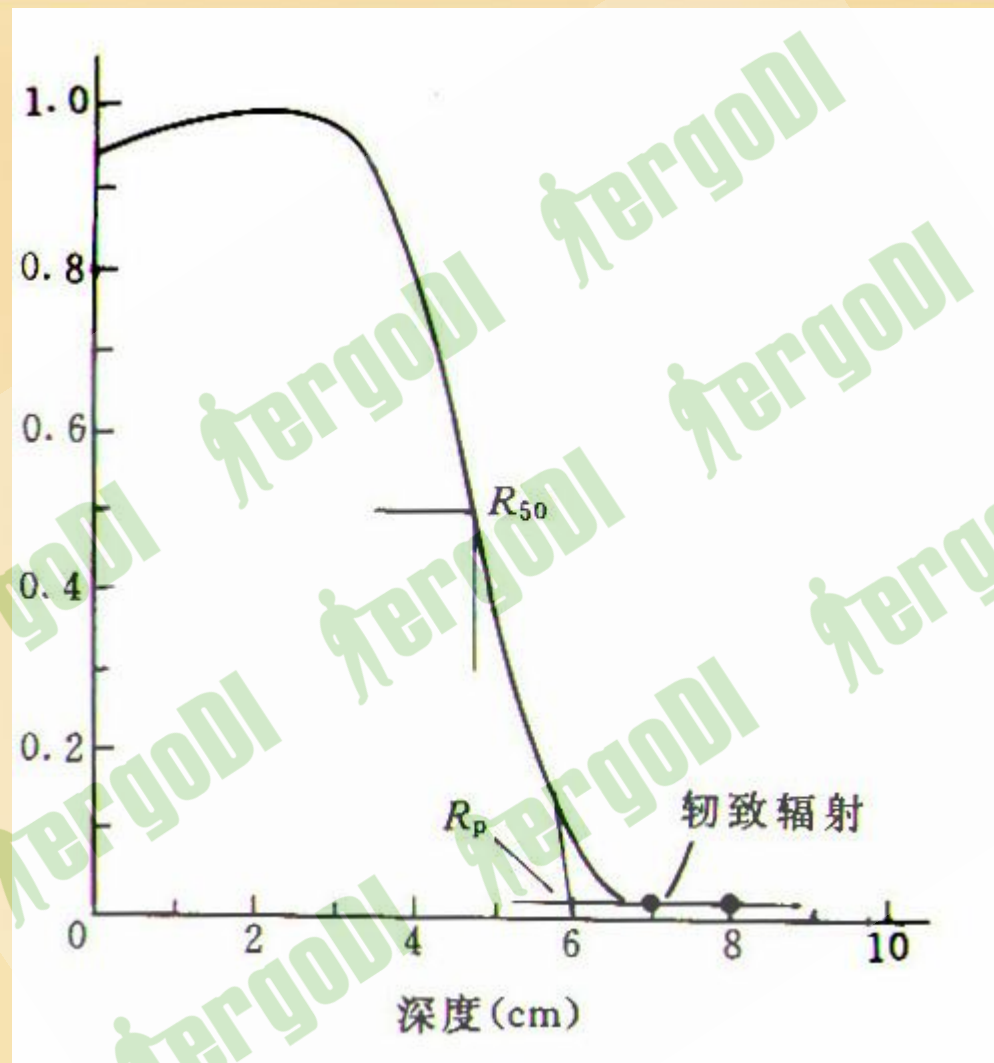
$\bar{E}_0 > 15\text{MeV}$ 时, 射野不小于 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$

将电离室有效测量点沿束轴移动

测出吸收剂量率为最大剂量率50%的深度, 即半值水深 R_{50}^D

测出电离量率为最大电离量率的50%的深度

即电离半值水深 R_{50}^J



电子束半峰值剂量深度 R_{50} 和
射程 R_p 的定义示意图

R_{50}^D 、 R_{50}^J 与 $\bar{E}_0$ 的关系 (SSD=100cm, 宽束)

$\bar{E}_0/\text{MeV}$	4	5	6	7	8	9	10	12
R_{50}^D/cm	1.6	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	5.1
R_{50}^J/cm	1.6	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	5.1

$\bar{E}_0/\text{MeV}$	14	16	18	20	22	25	30	35
R_{50}^D/cm	6.0	6.8	7.8	8.6	9.4	10.7	12.8	14.6
R_{50}^J/cm	5.9	6.7	7.6	8.4	9.2	10.4	12.3	14.0

谢谢