



射线检测

第二章 射线检测设备和器材



2.1 X射线机

2.2 γ 射线机

2.3 射线照相胶片

2.4 射线照辅助设备器材

本章将对射线检测中用到的设备、器材进行详细讲解，射线检测过程中会用到很多设备和器材，并且这些设备和器材都对射线检测的灵敏度有很大的影响。

2.1 X射线机

源创力无损检测培训中心
www.chndt.org.cn

2.1.1 X射线机的种类和特点

X射线机的分类

1.按结构划分

- 便携式X射线机
- 移动式X射线机

2.按使用性能划分

- 定向X射线机
- 周向X射线机
- 管道爬行器

3.按频率划分

- 工频X射线机
- 变频X射线机
- 恒频X射线机

4.按绝缘介质种类划分



2.1.1 X射线机的种类和特点

1. 按结构划分

□ 便携式X射线机



- 体积小、质量轻、便于携带
- 适用于高空、野外作业
- 射线管和高压发生装置封装与机头内，控制箱通过电缆连接
- 多采用辐射散热

□ 移动式X射线机

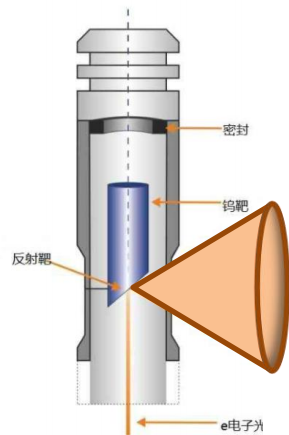


- 体积、质量较大安装在移动小车上
- 一般用于室内场所
- 射线管和高压发生装置相互分开，通过电缆连接
- 多采用充油冷却散热

2.1.1 X射线机的种类和特点

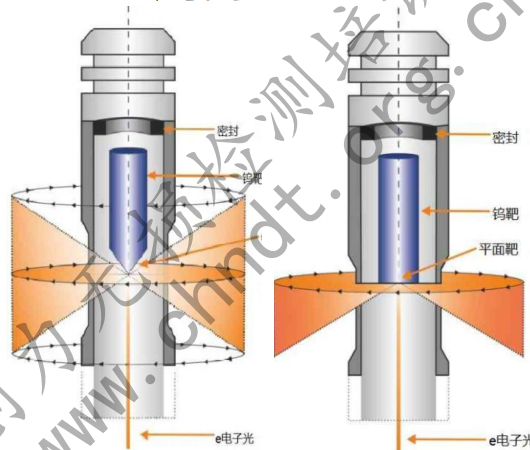
2. 按使用性能分

□ 定向X射线机



- X射线束辐射方向为 40° 左右的圆锥角
- 一般用于定向单张拍片

□ 周向X射线机



- X射线束向 360° 方向辐射
- 主要用于大口径管道、容器环焊缝内部拍片

□ 管道爬行器



- 用于长输管道内部拍片

2.1.1 X射线机的种类和特点

3. 按频率划分

按X射线管高压部分交流电的频率，可分为：

- 工频 X射线机：50~60HZ
- 变频 X射线机：300~800HZ
- 恒频 X射线机：约200HZ

相同电流、电压条件下，恒频机穿透能力最强、功率最小、效率最高，变频次之，工频最差。

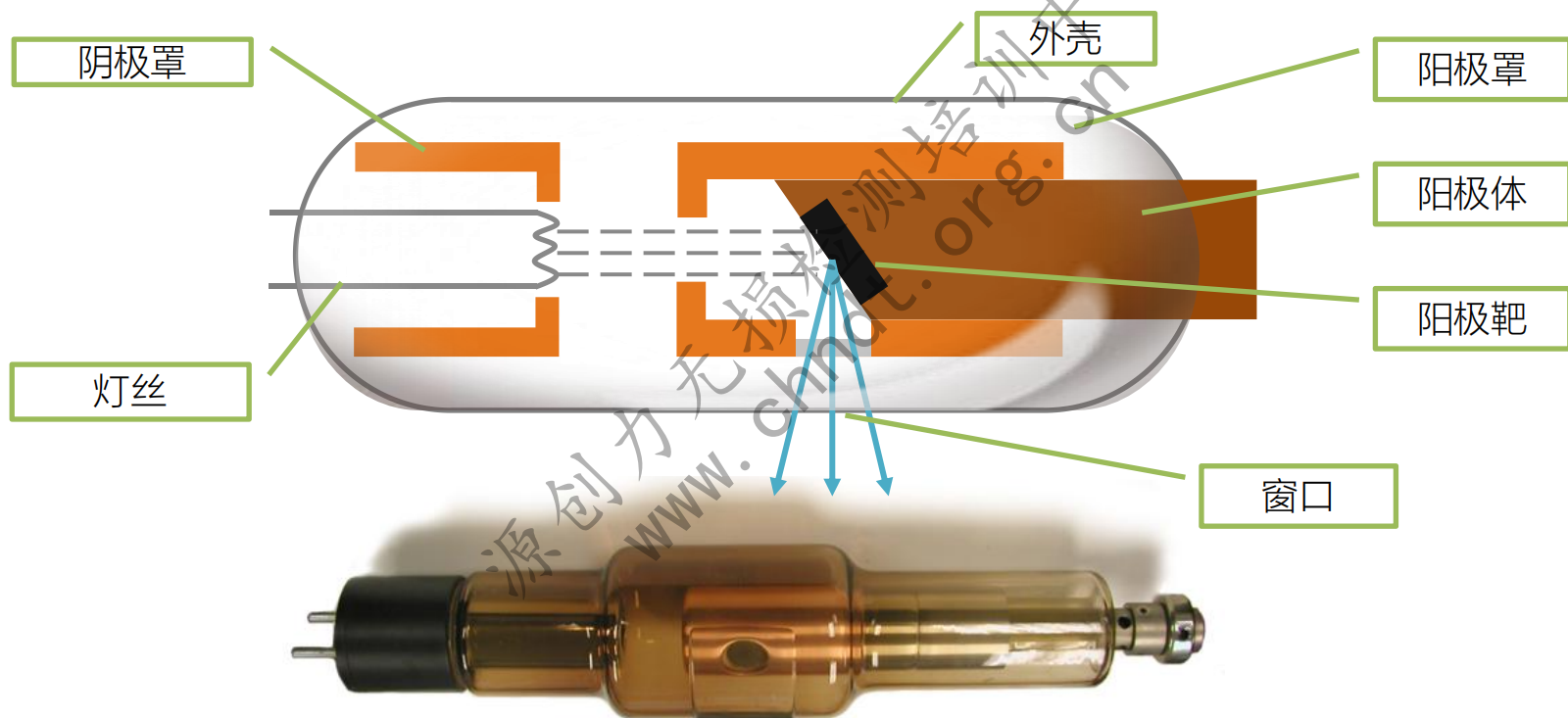


4. 按绝缘介质种类划分

- 变压器油 绝缘 X射线机
- SF₆气 绝缘 X射线机

2.1.2 X射线管

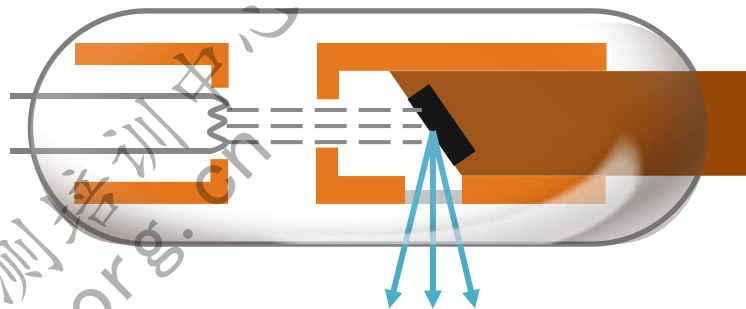
1、X射线管的结构和种类



2.1.2 X射线管



圆焦点阴极 线焦点阴极 双线焦点阴极



1) 阴极

工作过程：通电后，灯丝被加热至白炽状态、发射电子、阴极头上的电场将电子聚集成一束，在管电压下，电子飞向阳极，轰击靶面，产生X射线。

作 用：聚集电子、发射电子

组成结构：发射电子的灯丝（一般用钨制作），聚集电子的凹面阴极头（铜）

2.1.2 X射线管

2) 阳极

作 用：产生X射线

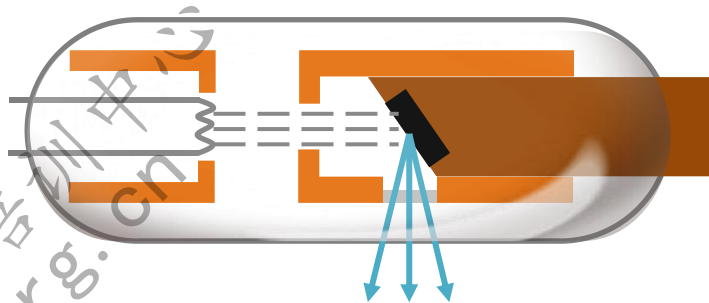
组成结构：阳极靶、阳极体、阳极罩

□ 阳极靶

作 用：接受电子撞击，产生轫致辐射

材料选择：原子序数大（提高X射线产生效率）、耐高温的材料制造，

一般用钨（W-74）靶，软X射线用钼（Mo-42）靶



2.1.2 X射线管

□ 阳极体：

作用：支撑靶面，传送热量，避免阳极靶烧坏

材料选择：无氧铜（导热率大）



□ 阳极罩：

作用：吸收二次电子、吸收一部分散乱射线

材料选择：铜



□ 窗口：在阳极罩正对面斜面处开有能透过X射线的窗口

材料：铍（Be-4）

作用：铍对X射线有很高的透过能力，同时保证密封



2.1.2 X射线管

3) X射线管冷却方式:

由于X射线管能量转换率很低，电子的能量99%转换为热能传给阳极靶，因此，X射线管工作时阳极的冷却十分重要。

如果冷却不及时，阳极过热会排出气体，降低管子的真空度，严重过热可使靶面熔化以至龟裂脱落，造成X射线管不能工作。

- ❑ 辐射散热：便携式X射线机
- ❑ 充油冷却：移动式X射线机
- ❑ 旋转阳极自然冷却：大电流医用X射线机



2.1.2 X射线管

4) 外壳

□ 玻璃管



□ 陶瓷管

- 抗震性强，不易破碎
- 管内真空度高，各项电性能好，使用寿命长
- 容易焊接铍窗口
- 对250kv以上的X射线管，其尺寸比玻璃管小得多

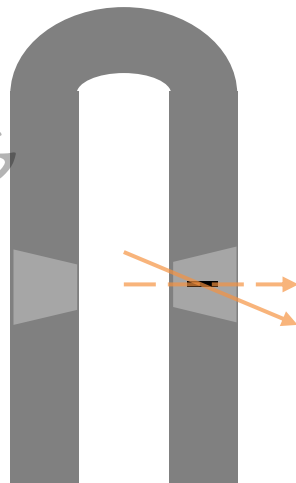
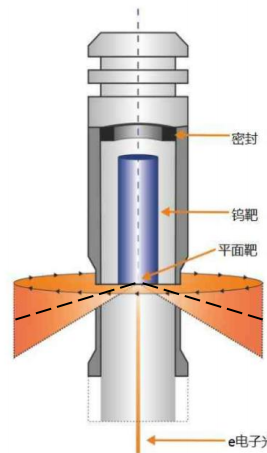
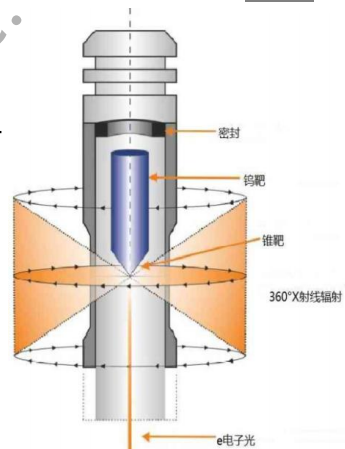


2.1.2 X射线管

5) 特殊用途的X射线管

- ❑ 小焦点X射线管：灵敏度高、提高放大倍数
- ❑ 棒阳极X射线管：小直径筒环缝中心周向透照
- ❑ 周向辐射X射线管

- 平面阳极靶：制造容易，散热条件好，但是射线束中心有倾角，对环焊缝纵向裂纹检测有一定影响。
- 椎体阳极靶：散热不如平靶



2.1.2 X射线管

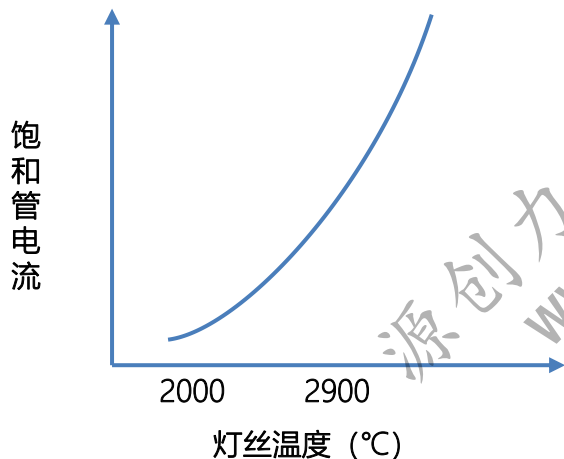
2、X射线管的技术性能

1. 阴极特性、阳极特性
2. X射线管的管电压
3. X射线管的焦点
4. X射线管辐射场的分布
5. X射线管的真空度
6. X射线管的寿命

2.1.2 X射线管

1 阴极特性、阳极特性

1) **阴极特性**：在一定管电压下，假定X射线管阴极发出的电子全部击中阳极靶，此时管电流称为饱和管电流，饱和管电流与温度的关系即为X射线管的**阴极特性**。

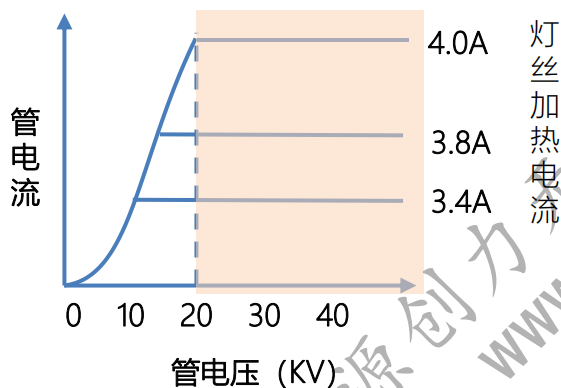


阴极特性描述：在阴极的工作温度范围内，较小温度变化会引起较大的管电流变化。

2.1.2 X射线管

1 阴极特性、阳极特性

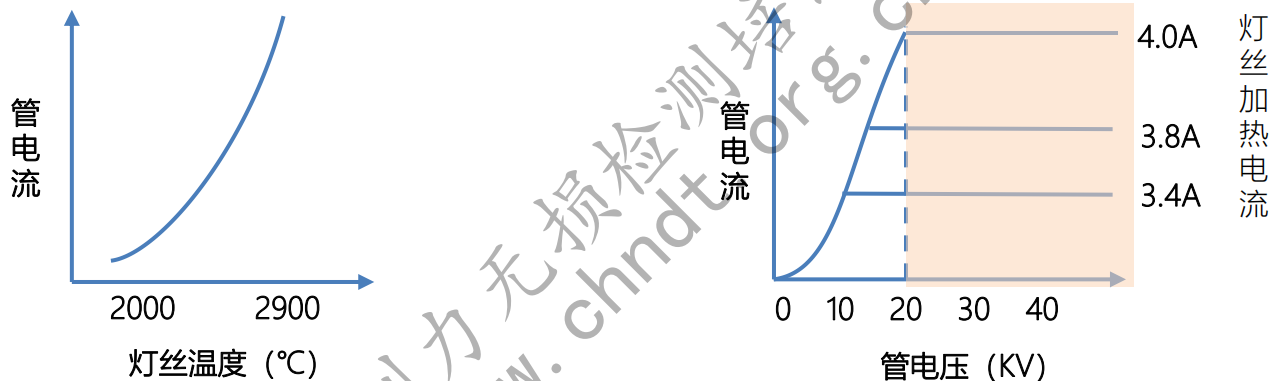
2) 阳极特性：X射线管的管电压与管电流的关系



- 在管电压较低时 ($< 20\text{KV}$)，X射线的管电流随管电压增加而增大
- 当管电压增加到一定程度后 (大于 20KV)，管电流趋于饱和，即阴极发射的热电子全部到达了阳极
- 工作在饱和区的X射线管，要改变管电流，只能改变灯丝的加热电流 (即改变灯丝的温度)

2.1.2 X射线管

1 阴极特性、阳极特性



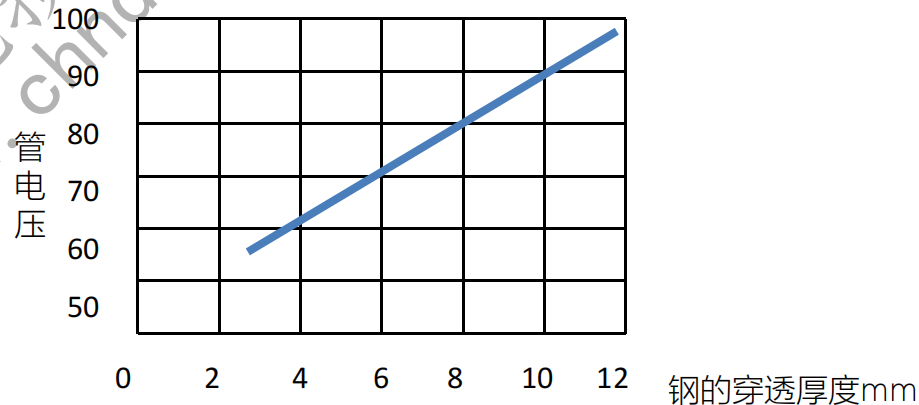
□ X射线管的管电流和管电压在工作过程中可以相互独立进行调节的

- 调节管电压不影响管电流
- 调节管电流不影响管电压

2.1.2 X射线管

2 X射线管的管电压

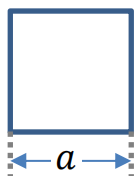
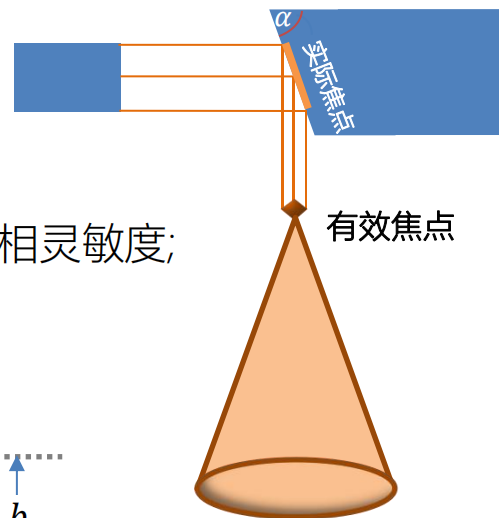
- 管电压是指X射线管所能承载的最大峰值电压； $U_{\text{有效值}} = 0.707U_{\text{峰值}}$
- 管电压越高，发射的X射线的波长越短，穿透能力就越强；
- 在一定范围内，管电压和穿透能力有近似直线关系。



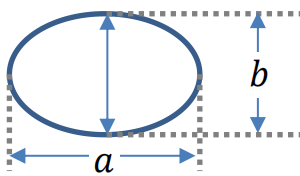
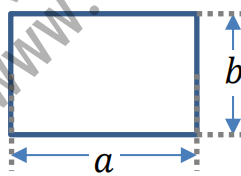
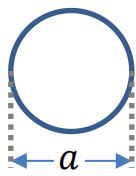
2.1.2 X射线管

3 X射线管的焦点

- ❑ 实际焦点 S 、有效焦点 S_0 , $S_0 < S$, $S_0 = S \sin \alpha$;
- ❑ X射线照相中焦点尺寸 d ,指的是有效焦点尺寸;
- ❑ 焦点尺寸是X射线管的重要技术指标, 焦点大小直接影响照相灵敏度;
- ❑ 焦点小照相清晰度好, 底片灵敏度高;
- ❑ 焦点大有利于散热。



$$d = a$$

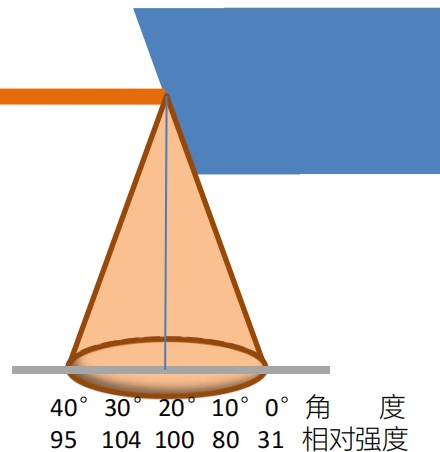


$$d = (a + b)/2$$

2.1.2 X射线管

4 辐射场的分布

- ❑ 定向X射线束是一个 40° 左右的立体锥角；
- ❑ 阴极侧比阳极侧射线强度高，大概 30° 处最大；
- ❑ 但是由于阴极侧射线包含较多的软射线，所以具有一定厚度的试件照相时阴极侧并不比阳极侧更黑，利用阴极侧射线照相并不能缩短多少时间。



2.1.2 X射线管

5 X射线管的真空度

- ❑ 阳极金属过热会释放气体，使管真空度降低，影响性能；
- ❑ 高温下金属离子也能吸收气体；
- ❑ 这两个过程达到平衡时就决定了此时X射线管的真空度；
- ❑ 训机的基本原理就是让这两个过程达到平衡。

6 X射线管的寿命

X射线管的寿命：由于灯丝发射能力逐渐降低，射线管辐射计量率降为初始值的80%时的累计工作时限，一般玻璃管不小于400h，陶瓷管不小于500h。

□ 保证X射线管使用寿命的措施：

- ✓ 送高压前灯丝提前预热、活化；
- ✓ 使用负荷控制在最高管电压90%以内；
- ✓ 使用过程中保证阳极冷却，例如：将工作和休息时间设置为1: 1；
- ✓ 严格按照说明书要求进行训机。

2、X射线管的技术性能



- 1. 阴极特性、阳极特性
- 2. X射线管的管电压
- 3. X射线管的焦点
- 4. X射线管辐射场的分布
- 5. X射线管的真空度
- 6. X射线管的寿命

型号	EVO 200P	EVO 300P	EVO 160D
重量	28kg	36kg	22kg
高度	665mm	804mm	611mm
焦点尺寸	4mm	5.5mm	1.0mm
管电压	30~200kv	50~300kv	20~160kv
管电流	0.5~6.0mA	0.5~4.5mA	0.5~7.0mA
辐射角度	38° x360°	38° x360°	40°