

ICS 19.100  
F 86



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20129—2006

---

## 无损检测用电子直线加速器

Electron linac for non-destructive testing

2006-03-02 发布

2006-08-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 装置组成、型号命名及工作条件 .....	2
4.1 装置组成 .....	2
4.2 型号命名 .....	2
4.3 工作条件 .....	2
4.4 不同型号装置对应检测厚度范围 .....	2
5 技术要求 .....	2
5.1 外观 .....	2
5.2 控制系统 .....	3
5.3 整机性能指标 .....	3
5.4 电气安全 .....	3
5.5 辐射安全 .....	4
5.6 可靠性 .....	4
6 试验方法 .....	4
6.1 试验条件 .....	4
6.2 外观检查 .....	4
6.3 控制系统试验 .....	4
6.4 整机性能试验 .....	5
6.5 电气安全试验 .....	7
6.6 辐射安全试验 .....	8
6.7 可靠性试验 .....	8
7 检验规则 .....	8
7.1 检验分类 .....	8
7.2 检验项目 .....	8
7.3 判定规则 .....	9
8 标志、包装及运输、随行文件、贮存 .....	9
8.1 标志 .....	9
8.2 包装 .....	9
8.3 运输 .....	9
8.4 随行文件 .....	10
8.5 贮存 .....	10
图 1 装置的型号命名 .....	2
图 2 钢的半值层与能量的关系 .....	5
图 3 叠块及测量示意图 .....	5

图 4 “三明治”摆放位置示意图 .....	6
图 5 X 射线均匀度测量示意图 .....	6
图 6 泄漏剂量测量点示意图 .....	7
表 1 不同型号装置对应检测厚度范围 .....	2
表 2 不同型号装置的 X 射线空气吸收剂量率 .....	3
表 3 不同型号装置对应的 X 射线均匀度 .....	3
表 4 试验条件 .....	4
表 5 装置在基本绝缘条件下的试验电压 .....	8
表 6 无损检测用电子直线加速器检验项目 .....	8

## 前 言

电子直线加速器产生的 X 射线具有能量高、穿透力强、剂量率大、焦点小等特点,是应用于工业探伤、检测用的一种电子设备,该产品可用于对钢铁铸件、固体火箭发动机、压力容器、大型锅炉、巨型炮弹、集装箱等进行无损探伤或无损检测。

本标准规范了无损检测用电子直线加速器的技术要求与检验方法,以促进产品的技术创新与升级改造,并与国际惯例接轨,使产品更好地满足市场的需求。

本标准由全国核仪器仪表标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位:中国原子能科学研究院、北京原子高科技术应用股份有限公司。

本标准主要起草人:李玉玲、周文振。

# 无损检测用电子直线加速器

## 1 范围

本标准规定了无损检测用电子直线加速器装置的型号命名、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输、随行文件、贮存。

本标准适用于 9MeV 以下无损检测用电子直线加速器装置(以下简称装置)。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB 5172 粒子加速器辐射防护规定

GB 9969.1 工业产品使用说明书 总则

GB/T 12464 普通木箱

GB/T 12501 电工电子设备防触电保护分类

GB/T 14436 工业产品保证文件 总则

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 19661.1 核仪器及系统安全要求 第 1 部分:通用要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**电子直线加速器** electron linear accelerator

能将电子枪产生的电子在直线加速管内加速到高能,并打到靶上产生 X 射线的装置。

### 3.2

**X 射线能量** X-ray energy

指具有连续能谱的 X 线束的最大能量。符号为 E,单位为 MeV。

### 3.3

**X 射线照射野** X-ray field

来自靶的 X 射线通过准直器后在规定距离处产生的 X 射线束的有效辐射范围。

### 3.4

**半值层** half-value layer(HVL)

将 X 射线束辐射强度减弱到初始值一半时所需材料的厚度。符号为  $d_{1/2}$ ,单位为 mm。

### 3.5

**X 射线束斑焦点** X-ray focus spot size

电子直线加速器的高能电子束打在靶上所形成斑点直径的大小。

### 3.6

**X 射线均匀度** X-ray homogeneity

在距靶 1 m 与中心轴线垂直的平面上,与中心轴线夹角  $7.5^\circ$  圆周上的剂量率与中心轴线上剂量率

的百分比。

#### 4 装置组成、型号命名及工作条件

##### 4.1 装置组成

无损检测用电子直线加速器装置通常主要包括下列组成部分：

- a) X射线头；
- b) 调制器系统；
- c) 恒温水冷系统；
- d) 控制系统；
- e) 配电系统。

##### 4.2 型号命名

装置的型号命名如图1所示。

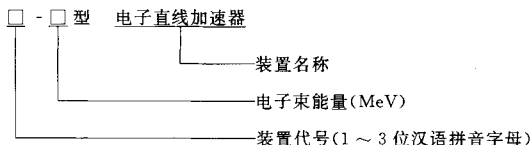


图1 装置的型号命名

##### 4.3 工作条件

###### 4.3.1 环境条件

- a) 环境温度：5℃~35℃；
- b) 相对湿度：≤90%。

###### 4.3.2 电源

- a) 电压：交流三相四线制 380 V(1±3%)，(当地电网达不到此条件时，用户应加电压自动调整装置)；
- b) 频率：50 Hz(1±2%)；
- c) 供电功率随装置型号不同而不同，由产品说明书给出。

##### 4.4 不同型号装置对应检测厚度范围

不同型号装置(即不同电子束能量)对应检测厚度范围见表1。

表1 不同型号装置对应检测厚度范围

电子束能量/MeV	钢铁工件厚度范围/mm
2	40~200
4	50~250
6	50~280
9	76~380

#### 5 技术要求

##### 5.1 外观

装置外观要求如下：

- a) 外观应平整光洁、色泽均匀、无明显划痕和凹凸不平等缺陷；
- b) 面板应清洁，运动部件应操作灵活、功能正常；

c) X射线头吊装接口法兰应连接方便,易于拆卸。

## 5.2 控制系统

5.2.1 控制系统设计应遵循确保人身、设备、剂量安全的原则。

5.2.2 装置的开机和停机操作应在控制台上进行,同时要有紧急停机装置。

5.2.3 控制系统应具备如下功能:

- a) 正常开机和停机;
- b) 设备状态及故障显示、报警及自动停机;
- c) 显示装置的主要参数;
- d) 安全连锁;
- e) 紧急停机。

## 5.3 整机性能指标

### 5.3.1 电子束能量

电子束能量应达到 $(E \pm 0.5) \text{ MeV}$ ,其中 $E$ 为 $(2 \sim 9) \text{ MeV}$ 。

### 5.3.2 X射线空气吸收剂量率

在中心轴线上距靶1 m处的X射线空气吸收剂量率最大值宜达到表2中的数值(根据用途可降低)。

表2 不同型号装置的X射线空气吸收剂量率

电子束能量/MeV	X射线剂量率/(cGy/min)
2	200
4	500
6	800
9	3 000

### 5.3.3 X射线束斑焦点

X射线束斑焦点直径应小于或等于2 mm。

### 5.3.4 X射线均匀度

X射线均匀度不应小于表3中的数值。

表3 不同型号装置对应的X射线均匀度

电子束能量/MeV	X射线均匀度/%
2	80
4	75
6	62
9	55

### 5.3.5 X射线不对称度

在X射线中心轴线上任意一侧 $7.5^\circ$ 处,X射线束不对称度不应超过 $\pm 5\%$ 。

### 5.3.6 泄漏剂量

在准直射束以外距离靶1 m处,任何一块 $100 \text{ cm}^2$ 面积上泄漏辐射强度平均值与距离靶1 m处X射线中心轴线上辐射强度的百分比应小于 $0.1\%$ 。

## 5.4 电气安全

### 5.4.1 设备保护接地

根据GB/T 12501,无损检测用电子直线加速器装置属I类防电击的装置。应设有保护接地,其设备金属表面与接地端子间的电阻不应大于 $0.1 \Omega$ 。

#### 5.4.2 绝缘电阻

在表 5 所列条件下,装置中各独立的供电电气设备电源各相线及零线对地的绝缘电阻均不应小于 1 M $\Omega$ 。

#### 5.4.3 介电强度

装置中实施保护接地的电气设备应能承受表 5 规定的介电强度试验,并在规定的持续时间内无击穿或重复飞弧现象。

#### 5.4.4 防电击

装置的电气设备在正常使用条件下应具备防电击功能,可触零部件不应危险带电。可触及零部件与保护接地端子之间的电压不应超过有效值 30 V 或 60 V 直流。高压设备附近应设置醒目的“高压危险”警示标志。

### 5.5 辐射安全

#### 5.5.1 辐射防护设计

辐射防护设计应符合 GB 18871 和 GB 5172 的有关规定。

#### 5.5.2 职业照射

从事装置工作的全体放射性工作人员,年人均剂量当量应低于 5 mSv。

#### 5.5.3 公众照射

对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1 mSv。

### 5.6 可靠性

#### 5.6.1 连续运行

连续工作 8 h 稳定运行,在 8 h 内可由控制台操作人员恢复的短时间中断不应超过 4 次且每次时间不超过 30 min。

#### 5.6.2 恢复工作开机

装置停机后处于高真空保持状态,非故障停机时间不大于 1 h,恢复工作状态的时间不大于 15 min。

#### 5.6.3 重新开机

装置停机后处于真空保持状态,非故障停机时间不大于 48 h,重新开机进入工作状态时间不大于 150 min。

## 6 试验方法

### 6.1 试验条件

检验应在满足表 4 试验条件下进行。

表 4 试验条件

环境参数	参考条件	试验条件
环境温度	20℃	5℃~35℃
相对湿度	65%	≤90%
大气压	101.3 kPa	86 kPa~106 kPa
供电电压(交流)	380 V	380 V(1±3%)
供电频率(交流)	50 Hz	50 Hz(1±2%)

### 6.2 外观检查

用目测法和演示法检查装置的外观,其结果应符合 5.1 的要求。

### 6.3 控制系统试验

对控制系统进行目测检查和演示试验,其结果应符合 5.2 的要求。



6.4 整机性能试验

6.4.1 电子束能量

用测定 X 射线在钢板中的半值层的方法确定装置电子束能量。

测量时将剂量仪探头放在 X 射线束 0° 方向中心轴线距靶 1 m 处,在探头与靶之间先后放置不同厚度的钢板。测量在相同照射剂量下,X 射线穿过不同厚度  $d$  钢板的衰减情况,即剂量仪的读数  $I$ ,根据  $\ln I = F(d)$  求出半值层值  $d_{1/2}$ ; (一般情况下,为防止低能 X 射线造成的误差,计算时前两个半值层应去掉)。X 射线穿过钢板时,其衰减规律见公式(1):

$$I = I_0 e^{-\mu d} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$d$ ——钢板厚度,mm;

$I_0$ —— $d$  为 0 时测得的剂量率值, cGy/min;

$I$ ——各个  $d$  值下测得的对应的剂量率值, cGy/min;

$\mu$ ——为衰减系数,  $\text{mm}^{-1}$ 。

根据测量结果绘出不同厚度钢板下的 X 射线剂量率曲线(如图 2 所示),利用最小二乘法作拟合求得  $\mu$  值,进一步求出半值层  $d_{1/2}$  值,根据  $d_{1/2}$  值判定装置电子束能量。测试结果应符合 5.3.1 的要求。

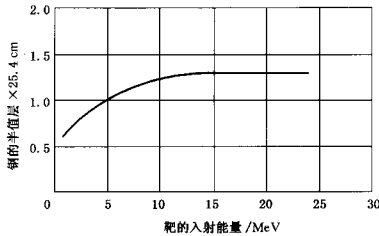


图 2 钢的半值层与能量的关系

6.4.2 X 射线剂量率

将剂量仪探头放在 X 射线束中心轴线上距靶正前方 1 m 处进行测量,开机运行,在重复频率达到额定值时,剂量仪的读数即为装置的 X 射线最大剂量率。测试结果应符合 5.3.2 的要求。

6.4.3 X 射线束斑焦点

X 射线束斑焦点用“三明治法”测量。“三明治”叠块是由厚度为  $h_1$  (mm) 的铜片或铅片和厚度为  $h_2$  (mm) 的塑胶片相间叠成长度约 300 mm 的“三明治”,如图 3 所示。

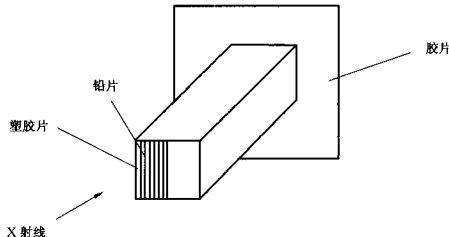


图 3 叠块及测量示意图

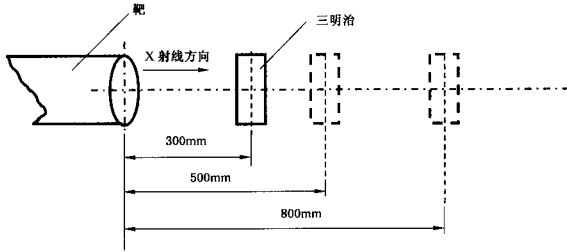


图4 “三明治”摆放位置示意图

测量时,将“三明治”叠块分别放置于X射线中心轴线上距离靶心约300mm、500mm、800mm处测量三点(见图4),射线从塑胶片对应的窄缝通过,使放在叠块另一端的胶片感光,曝光后的胶片出现数根黑条,靠近中央的黑度较大,两边的黑度较小。

计算方法1:用黑度计测得结果及专用计算机程序计算确定束斑焦点。

计算方法2:取黑度大于中央黑度50%的黑条数  $n$  按公式(2)计算焦点尺寸  $d$ 。

$$d = (h_1 + h_2) \times n \dots\dots\dots(2)$$

求出3个不同距离的  $d$  值后,采用最小二乘法作拟合处曲线并外推至0点处,0点处的截距即为束斑焦点尺寸。

测量结果应符合5.3.3的要求。

6.4.4 X射线均匀度

将剂量仪探头放置在距靶1m处,在相同条件下测量中心轴线上的剂量率值  $D_0$  (mSv) 和偏离中心轴线  $7.5^\circ$  的圆周上对称于  $O$  点各点的剂量率值  $D_i$  (见图5),取圆周上剂量率最小值  $D_{min}$  (mSv) 按公式(3)进行计算得  $\eta_h$  值为均匀度测量结果。

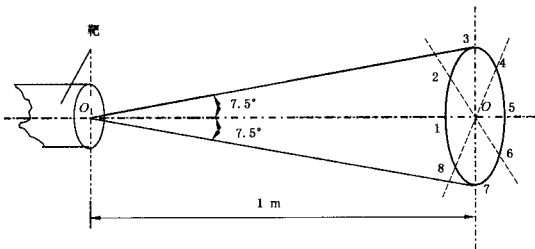


图5 X射线均匀度测量示意图

$$\eta_h = \frac{D_{min}}{D_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

测量结果应符合5.3.4的要求。

6.4.5 X射线不对称度

按照公式(4),利用6.4.4均匀度试验中距靶1m处且偏离中心轴线  $7.5^\circ$  圆周上剂量率  $D_i$  的测试

结果,取其中最大值  $D_{\max}$  和最小值  $D_{\min}$  按照公式(4)计算 X 射线不对称度  $\eta$ 。

$$\eta = \frac{\Delta \bar{D}}{\bar{D}} = \frac{\Delta D}{\bar{D}} = \pm \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\Delta D$ —— $D_{\max}$  与  $D_{\min}$  的差值;

$\bar{D}$ —— $D_{\max}$  与  $D_{\min}$  的均值。

试验结果应符合 5.3.5 的要求。

#### 6.4.6 泄漏剂量

用铅块挡住加速器前端出束缝及周围空间。

以装置靶心为球心做一个半径为 1 m 的球面,在此球面上各向至少设置 20 个测量点(如图 6 所示),并在各点上放置剂量计;连续出束 1 min,测量各点剂量计累计吸收剂量;计算各点剂量相对于 X 射线中心轴线上距靶 1 m 处(1 号点位未屏蔽时)剂量的百分数。测量结果应符合 5.3.6 要求。

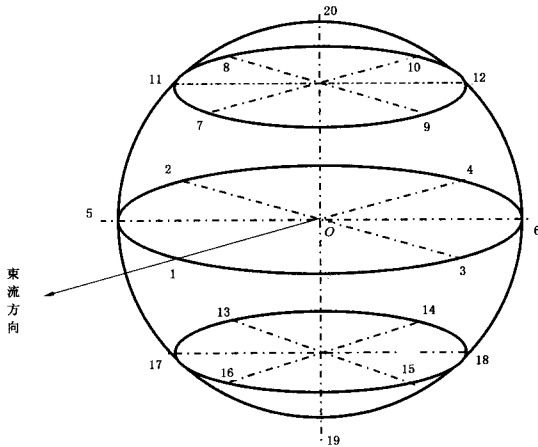


图 6 泄漏剂量测量点示意图

### 6.5 电气安全试验

#### 6.5.1 设备保护接地

用接地电阻测试仪,使用 25 A 的测试电流,测量电气设备外壳与接地端子间的电阻,应符合 5.4.1 的要求。

#### 6.5.2 绝缘电阻

用 1 000 V 绝缘电阻表,检测相线、零线对地及设备金属外壳之间的绝缘电阻,应符合 5.4.2 的要求。

#### 6.5.3 介电强度

按照表 5 中规定的直流电压值及加压时间对设备进行电压试验。试验电压应在 10 s 内逐渐升至 2 000 V,保持 1 min,试验结果应符合 5.4.3 的要求。

表 5 装置在基本绝缘条件下的试验电压

试验电压(交流有效值或直流峰值的直流电压)	试验持续时间
2 000 V	≥1 min

#### 6.5.4 防电击

用 2 000 Ω 电阻并联交流电压表在装置正常使用条件下,直接测量待测可触及零部件与安全接地端子间的电压值,应符合 5.4.4 的要求。

注:详细试验方法见 GB/T 19661.1。

#### 6.6 辐射安全试验

按照 GB 18871 和 GB 5172 的规定,对装置运行时的操作间内外环境进行辐射安全试验。试验结果应满足 5.5.2 和 5.5.3 的要求。

#### 6.7 可靠性试验

##### 6.7.1 连续运行

在装置检验验收及性能指标测量过程中连续开机 8 h。试验结果应符合 5.6.1 的要求。

##### 6.7.2 恢复工作开机

装置全部停机,保持高真空状态,1 h 后重新按操作程序开机,测试达到额定功率时间应符合 5.6.2 的要求。

##### 6.7.3 重新开机

装置停机后处于真空保持状态时,非故障停机时间不超过 48 h,重新开机,测试进入工作状态时间应符合 5.6.3 的要求。

### 7 检验规则

#### 7.1 检验分类

装置的检验分为鉴定检验和出厂检验,均采用全检。

#### 7.2 检验项目

装置的检验项目见表 6。

表 6 无损检测用电子直线加速器检验项目

序号	项目	鉴定检验	出厂检验	技术要求	检验方法
1	外观	▲	▲	5.1	6.2
2	控制系统	▲	▲	5.2	6.3
3	电子束能量	▲	▲	5.3.1	6.4.2
4	X 射线剂量率	▲	▲	5.3.2	6.4.3
5	X 射线束斑焦点	▲	▲	5.3.3	6.4.4
6	X 射线均匀度	▲	▲	5.3.4	6.4.5
7	X 射线不对称度	▲	▲	5.3.5	6.4.6
8	泄漏剂量	▲	▲	5.3.6	6.4.7
9	设备保护接地	▲	▲	5.4.1	6.5.1
10	绝缘电阻	▲	▲	5.4.2	6.5.2
11	介电强度	▲	△	5.4.3	6.5.3
12	防电击	▲	△	5.4.4	6.5.4

表 6(续)

序号	项目	鉴定检验	出厂检验	技术要求	检验方法
13	辐射安全	▲	△	5.5	6.6
14	连续运行	▲	▲	5.6.1	6.7.1
15	恢复工作开机	▲	△	5.6.2	6.7.2
16	重新开机	▲	△	5.6.3	6.7.3
注：▲表示必检项目；△表示可检项目。					

### 7.3 判定规则

鉴定检验中如发现不合格项,允许对产品的相关部件或分系统进行不超过两次的调整或更换,并重新检验(包括已检项目中有影响的全部项目)。如仍不合格,则应改进设计。

出厂检验中如发现不合格项,允许对产品的相关部件或分系统进行不超过两次的调整或更换,并重新检验。如仍不合格,则应判为不合格品。

## 8 标志、包装及运输、随行文件、贮存

### 8.1 标志

#### 8.1.1 装置标牌

无损检测用电子直线加速器装置应在显著位置设置字迹清楚的永久性标志或标牌,其内容包括:

- a) 制造商名称;
- b) 装置名称;
- c) 装置型号;
- d) 出厂编号及出厂日期;
- e) 产品标准编号。

#### 8.1.2 部件铭牌

主要部件应在适当位置固定具有以下标志的铭牌:

- a) 部件名称;
- b) 制造商名称;
- c) 编号及日期。

#### 8.1.3 表盘铭牌

显示仪表、操作开关、按钮、指示灯等都要有说明其显示或操作对象内容的标牌,如名字过长可用缩略语,并在技术说明中列出缩略语的定义或解释。

#### 8.1.4 警示标志

警示标志及警示说明应符合 GB 18871 中规定的放射性符号及标志。

### 8.2 包装

8.2.1 装置应分装于若干包装箱,包装箱应符合 GB/T 12464 中规定的木箱;箱内应有明细装箱单。包装箱应有防雨、防潮、防震措施。部件在箱内必须牢固定位,压木和部件接触面以及部件间应衬以适当厚度的软性塑料,以防止运输过程中的松动和相互摩擦。

8.2.2 闸流管等易碎部件应有专门设计的单独包装箱,保证在运输过程中不致损坏。

8.2.3 包装图示标志应符合 GB/T 191 中的相关要求。

### 8.3 运输

#### 8.3.1 运输方式

经包装的装置、部件应适用于汽车、火车、轮船运输。

当采用汽车运输时,在高速公路上车速应小于 80 km/h,在一级公路上车速应小于 60 km/h,在二

级公路上车速应小于 30 km/h,避免急刹车。

### 8.3.2 运输条件

8.3.2.1 应严格按照包装条件标明的运输条件进行装运。装运过程中严禁重放、倒置,防止碰撞,要有防雨、防冻措施。对环境温度有特殊要求的部件应按订货合同规定运输。

### 8.4 随行文件

#### 8.4.1 使用说明书

使用说明书的编写应符合 GB 9969.1 的规定,并包括以下三项:

技术说明书:产品特点、主要用途及适用范围、简要结构组成及工作原理、主要性能及参数,辐射安全保障措施、产品的工作条件、使用环境及安装要求等;

操作手册:操作及使用中的安全、辐射防护等说明及注意事项,操作程序、方法、防范措施及误操作的预防,运行的操作记录等要求;

维修手册:故障现象、原因分析及排除方法,日常运行维护、保养,正常维修程序,周期检修程序、方法,长期存放时的维护及保养等。

#### 8.4.2 产品合格证

产品合格证的编写应符合 GB/T 14436 的规定,包含所执行的产品标准号,检验结果及结论,产品编号及生产日期,检验员代码或检验部门的签章等。

#### 8.4.3 其他文件

随行文件应有备品备件清单和装箱单及装箱目录。

### 8.5 贮存

8.5.1 经包装的产品应贮存在环境温度 0℃~40℃、相对湿度不大于 90%、通风良好的室内。室内应无腐蚀性气体,并无强烈振动、冲击波及磁场的作用。

8.5.2 对贮存环境有特殊要求的部件,应在技术要求规定的环境中存放。

8.5.3 对加速管及速调管等需长期保持真空状态的部件,应按技术要求定期抽真空。

---