

ZJ-10医用电子直线加速器波导系统腐蚀原因初探

苏 宁

(上海医用核子仪器厂 上海 201106)

摘要 介绍了医用电子直线加速器波导系统的一种腐蚀情况。根据腐蚀产物的物相分析结果,提出腐蚀机理的假说及防止运行中再次发生腐蚀的办法。

关键词 医用加速器, 波导系统, 腐蚀

1 医用加速器及其波导系统

医用电子直线加速器是临床放射治疗肿瘤的大型先进设备。ZJ-10型加速器是国内最先研制成功的机型。根据治疗需要,它能产生8MeV高能X射线或6、8、10MeV的电子束。前者适用于深部治疗,后者都用于浅表和中层肿瘤的治疗。

ZJ-10型加速器主要由行波加速管、微波系统、束流控制系统、高真空系统等组成,其中微波系统主要包括磁控管(微波功率源)和波导系统(传输微波功率的通道);此外,就微波传输的全过程而言,加速管也应划入微波系统的范畴。磁控管产生的微波功率通过圆-方转换波导、充气波导、隔离器、隔离窗及真空波导等输入到加速管中。从电子枪发出的电子束在加速管中可以看成是“骑”在微波上并由其提供功率而不断被加速。从磁控管到隔离窗之间的波导里充有0.2—0.25MPa的绝缘气体,常用的有氮气、六氟化硫或氟里昂,使磁控管在大功率状态下工作稳定,不发生高频打火。隔离器的作用类似于二极管,它只让微波从磁控管向加速管单方向导通,逆向则呈极高阻抗,起到隔离反射功率的作用,从而保证磁控管稳定工作。另一方面,加速管保持高真空,而在微波入射端的波导中却充有绝缘气体,隔离窗起着隔离真空的作用。

2 腐蚀现象及腐蚀产物分析

有一台加速器在调试阶段初期,束流和频谱一直正常,也无打火现象。但后来发现输出的射线束流变小,频谱变差。拆下波导系统检查,发现隔离器和隔离窗已被打坏。松开波导紧固螺栓时,有一股刺激性很强烈的气体冲出,从气味判断含有氯气。波导壁上附着一层淡乳白色的物质,隔离器中还有些粘性黑色粉末,在波导连接法兰的端面等处都是油。两天后波导内乳白色的物质却全部变为绿色,在磁控管的内壁、输入端隔离窗和输出端隔离窗的一圈焊缝上都出现绿色物质。此外,圆-方转换波导和充气波导连接端沿密封圈一周有明显被蚀痕迹,在不锈钢方孔的四角还有铁锈。

取少量上述绿色粉末进行物相分析。实验在D/MAX-3C X射线衍射仪上进行,用高指

收稿日期:1993-03-15, 修回日期:1993-05-12

数硅片作衬底，绿色粉末粘附在表面。测定条件是：Fe靶， $V=40\text{kV}$ ， $I=30\text{mA}$ ，连续扫描， $4^\circ/\text{min}$ ， 0.02° 采样，累加5次。实验曲线如图1所示。经检索粉末衍射卡片(PDF)获知绿色物为： $\text{Cu}_7\text{Cl}_4(\text{OH})_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 $(\text{CuZn})_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ (见图2)。由此可以推断，乳白色的物质是 $\text{Cu}_2\text{Cl}_2^{[1]}$ ，它曝露在空气中后，吸收潮气变成了绿色的碱式盐。另外据分析，隔离器中的黑色粉末是碳粉。

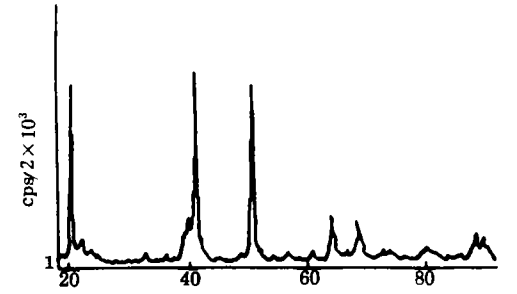


图1 绿色粉末的X射线衍射结果
Fig.1 The XRD spectrum of the green powder

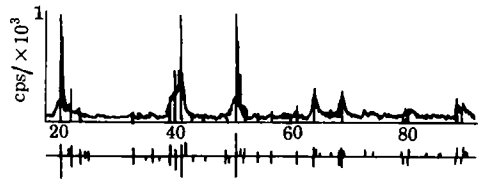


图2 标准物质粉末衍射图谱
Fig.2 The PDF of standard matters
 $\text{Cu}_7\text{Cl}_4(\text{OH})_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$ and $(\text{CuZn})_2(\text{OH})_3\text{Cl}$

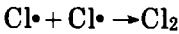
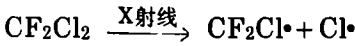
3 腐蚀反应机理

该台加速器装配时充气波导中装入的是氮气，后因屡次出现打火现象而改用氟里昂 $\text{F}_{12}(\text{CF}_2\text{Cl}_2)$ ，这是因为进口组装加速器中多采用后者，但进口组装加速器用的 F_{12} 不含油，而这台机器采用的 F_{12} 事后发现实际上含有油。

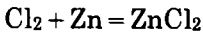
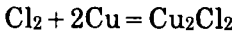
波导主体由无氧铜制造，法兰用黄铜制造，它们提供了绿色腐蚀物中的金属离子。腐蚀性的氯气看来是氟里昂分解的结果。从实际现象出发，我们提出如下反应机理的假说。

(1) 波导系统中存在极强的电磁波(微波功率 2MW)，并且也存在着X射线^[2]。在这些强电磁波的辐照下， F_{12} 中含有的油(烃类物质)发生分解(裂化)，究其实质是C-C键和C-H键的断裂。由于C-C键的键能(0.3467MJ/mol)小于C-H键的键能(0.4132MJ/mol)^[3]，一般C-C键较C-H键容易断裂，即油类由大分子烷烃变成小分子的烃，同时还可生成碳原子和活泼氢原子 $\text{H}\cdot$ 。碳原子构成了前述的黑色粉末，活泼氢原子则在下面的过程中发挥作用。

(2) 由于C-Cl的键能为 0.3314MJ/mol ^[3]，低于C-H的键能，所以C-Cl的稳定性低于C-H的稳定性。在强电磁波的辐照下，发生如下反应：



生成的 Cl_2 与铜和黄铜反应：



此即波导系统的腐蚀反应。当腐蚀将构件强度削弱到一定程度，充气波导中的气体压力压穿隔离窗，打坏隔离器，使加速管中不再是真空，从而使加速器的束流变小、频谱变差。

4 结 论

(1) 充气波导中的含油氟里昂在辐照场中会发生裂化反应和脱卤反应, 生成了氯气, 从而造成波导系统的腐蚀。

(2) 若要避免腐蚀发生, 应使用不含油的纯净氟里昂或干燥的氮气。市售的压缩氮气中往往含有水份, 应通过干燥装置除水, 一般采用无水 CaCl_2 较为适宜。

参 考 文 献

- 1 化工辞典编写组. 化工辞典. 北京: 燃料化学工业出版社, 1969:519
- 2 宗贤钧. 现代生物医学仪器. 北京: 原子能出版社, 1988:346
- 3 天津大学, 华东石油学院编. 有机化学. 北京: 人民教育出版社, 1978:7

Analysis on the corrosion mechanism of waveguide system of ZJ-10 medical accelerator

Su Ning

(Shanghai Medical Nuclear Instruments Factory, Shanghai 201106)

Abstract

A sort of corrosion phenomenon in the wave-guide system of a medical electron linear accelerator is described. The XRD analysis of the corrosion product was made and a hypothesis about corrosion mechanism and some preventive measures were proposed.

Key words Medical accelerator, Waveguide system, Corrosion