

日本靜电加速器论文集

3312
1
01030

科学出版社

日本静电加速器论文集

中国科学院原子核科学委员会编辑委员会译

科学出版社

內 容 簡 介

本书收集了有关静电加速器的論文六篇,全部譯自日文,书中較全面地介紹了静电加速器的基本原理、电子静电加速器的构造、电压稳定方法、电子射綫能量的測定等.論文中所談到的工作,对我国的科技工作者有一定的参考价值,同时从其中还可了解到日本目前在这方面的一定技术发展水平.本书可供原子能科技工作者和大学学生参考.

日本静电加速器论文集

中国科学院原子核科学委员会編輯委员会譯

*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 8 月第 一 版

书号: 2252 字数: 50,000

1960 年 8 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

(京) 0001—10,500

印张: 2

定价: 0.32 元

編者前言

这里收集的几篇論文都譯自日文,其中六篇发表在 1958 年日本的“应用物理”杂志 (Vol. 27, №7) 上,第 5 篇則发表在日文“第二屆日本原子能會議文集”(1958 年) 上,論文中所談到的一些工作,对于我們有一定的参考价值,而且还可以从这些論文中了解到日本目前在这方面的一定的技术发展水平,所以我們把它編成譯文集发表了。譯文不妥之处希望讀者提出批評意見。

目 录

1. 静电加速器介绍.....	1
2. 电子静电加速器.....	9
3. 日立 1.5 兆电子伏电子静电加速器	17
4. 静电加速器的电压稳定方法.....	28
5. 电子静电加速器电子射线能量的测定.....	35
6. 加速电子和正离子的两用装置.....	43
7. 美国高压工程公司制造的 2 兆电子伏电子静电加速器.....	51

靜电加速器介紹

野 中 到

(东京大学原子核研究所)

1. 緒 言

在研究原子核的时候，馬上会联想到，分裂原子核是很重要的手段。自从1919年卢瑟福 (Rutherford) 利用 RaC 所放出的 α 射綫完成了人工分裂氮原子核以来，科学家們产生了一种迫切的愿望，想要用最強粒子流做試驗，这是理所当然的事。为此，就需要制造 H^+ ， D^+ ， He^{++} 等离子，然后使这些离子飞馳过真空中的电場，从而受到高速度加速。从这种意义出发，自1930年前后，由于高直流电压的产生，使用这种直流电压加速离子的装置的加速管的技术，就逐渐发达起来。

靜电加速装置是做为适应这个目的的一种加速器而出現的，它曾和同一期間发明的不直接用高电压的迴旋加速器竞争，固然在加速能量方面不如迴旋加速器，但是，它能自由地、精密地調整加速能量；由于这种优点受到重視，因此，进行精密的核反应的研究时大多利用这种装置。即使它在今天，也能保持作为研究原子核的重要装置的地位，另一方面，还发现它和迴旋加速器不同，能加速电子，这个特点能应用到产生 X 射綫和放射綫物理方面。因此，現在，它漸漸变成一种极普通的装置了。

2. 靜电加速器的原理

这种装置的根本原理很简单，也可以說，没有什么类似原理的原理。但是靜电現象是它的主体，因此，遇到細致的問題，似乎有許多是不能解释的。不过，大致說来，它的原理用模型表示，如

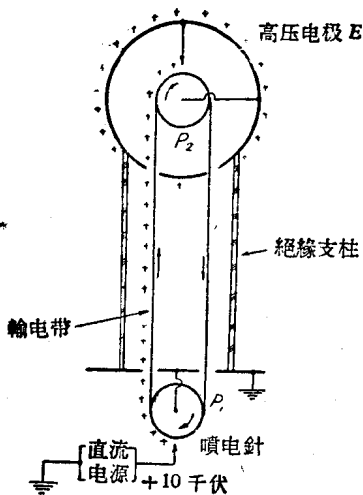


图1 静电加速器的原理

图1所示： E 是和大地绝缘的高电压电极， P_2 是 E 内的转轴， P_1 是地上的转轴，在这两个转轴之间挂着绝缘带，利用对着 P_1 的针尖所发出的电量放电使绝缘带带上电荷，把电荷输送到上方，相反地，在 P_2 处利用电量放电，由绝缘带把电荷取下来，或者有时把带着相反符号的电荷输送到下方，由此而将电荷聚集到电极上来获得高电压。

所得到的电压取决于绝缘支柱的漏电流和流过加速管的离子

电流之和与绝缘带所输送上来的电荷的平衡。这一点，做为电源来说，可以说是内部阻抗极高的电源。现在，如果假设绝缘带表面所带的电荷的表面密度为 σ ，则当无限大的空间内存在着1条这样的绝缘带时，于是绝缘带表面的电场强度由 $2\pi\sigma$ 给出。但是一个大气压下空气绝缘击穿的电场强度大致为27千伏/厘米左右，因此，在原理上能带的最大电荷密度 σ_0 ，由下式求出：

$$2\pi\sigma_0 = 27 \text{ 千伏/厘米} \quad (1)$$

也就是说， $\sigma_0 = 4.8 \times 10^{-9}$ 库伦/厘米²。

如果绝缘带的宽度为 l 厘米，每秒速度为 v 厘米/秒，则绝缘带所输送的电流 i 为：

$$i = \sigma \cdot l \cdot v \text{ 安。} \quad (2)$$

如果令 $l = 50$ 厘米， $v = 10$ 米/秒，则 $i_0 = 240$ 微安，可知这个值并不大。在实际情况下，绝缘带所能输送的电量只有这个理论的最大值的50—70%，这种情况固然是由于种种原因所造成的，但是，主要的原因是，当绝缘带离开转轴的一瞬间，由于绝缘带附近有一个接地的转轴，以致电场变得比上述 $2\pi\sigma$ 还要大，结果由于和转轴之间的放电，只能在绝缘带的内面带上负电荷。为了

多少避免这种缺点，九州大学水野教授发明了如图 2 所示的 J 字形板。安上这种板，就能在絕緣帶离开轉軸的一剎那間削弱電場，于是絕緣帶所輸送的電流可提高到理論最大值 $\sigma_0 v$ 的 80% 的程度。此外，这种 J 字形板还有一种削弱沿着絕緣帶表面的縱方向電場的作用；結果，也就使沿着絕緣帶表面的表面放電難以發生。

图 1 表示電荷只是在上升的那一邊輸送上去的狀況。不過，也能這樣做，即在上方轉軸 P_2 和高電壓電極之間放入高電阻，產生電壓差，而在針尖上，不只是從絕緣帶上收集正電荷，相反地，也可使絕緣帶帶上負電荷往下方輸送。這時，如果在 E 內安設完全不同的直流電源，則更加完全，有許多裝置都採用這種方法。

在絕緣帶往復地都輸送電荷時，電流的理論最大值也和單方輸送電荷時相同。這是因為往復都輸送電荷時，絕緣帶面上垂直方向的電場強度變成 $4\pi\sigma$ 的緣故。但是，有後述的絕緣帶分壓棍時，情況就不同了。

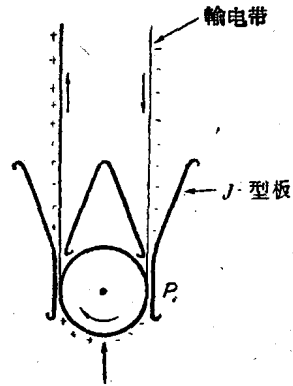


图 2 J 形板 (Z. Miduno, 1949)

3. 高气压型的发展

前节所述大气压型静电加速装置，在美国已制出了二、三种，用来进行原子核实验。其代表装置，有华盛顿卡内基研究院²⁾(Carnegie Institution of Washington, 1953) 的大气压型加速器，它的最高电压为 1.3 兆伏左右。日本在战前，曾一度由东京芝浦电器公司所属松田研究所制造过 1 种最高电压为 2 兆伏的大气压型加速器。

要想获得更高的电压，必须增加输送上去的电流。但是这样做即使能得到十分大的电流，而最后的问题是必须考虑到由高压电极向房间墙壁发生的放电。因此，要想在大气压下获得更高

的电压，那么整个装置就要制得非常庞大。拿上述东京芝浦电器公司的例子来说，他们制出的装置是安装在一间高 10 米的房间里，使用了 4 条宽 90 厘米的绝缘带。此外，湿度的问题也起决定性的影响。

3.1 压力的上升

解决这种困难的方法就是把整个装置装在高气压钢筒里，这种方法是由 H. A. Batron 等人(1932)³⁾设计的，后来美国威士康辛大学 R. G. Herb 等人(1935, 1937)⁴⁾根据此法创制出一种原子核实验用的加速装置。这种装置整个装在一个长 6 米、直径 1.7 米的钢筒内，把压力提高到 7 个大气压左右。它经得起使用 2.2 兆伏左右的电压，在当时是一种令人惊奇的装置。后来，这种装置已成为日本东京大学、大阪大学、东北大学使用的加速器的雛型装置，高气压钢筒的配置方法是臥式的。

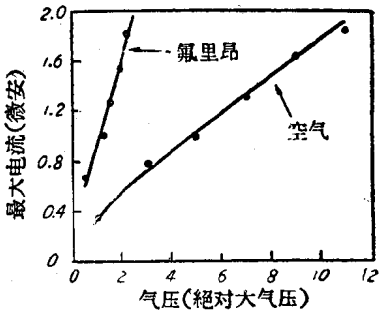


图3 电流与电压之间的关系
皮带宽度 35 厘米、速度：25 米/秒

一般说来，根据前节所述电荷的输送机构来考虑，如果利用提高气压的办法，就能使绝缘带所能输送的电流和电压成比例地增加，如图 3 所示的 J. G. Trump 等人(1939)⁵⁾的实验，也证实了这一点。利用提高气压的办法，高电压电极向钢筒壁的放电，即径向放电 (radial

spark) 的电压也会渐渐提高。图 4 是说明这种情况的一个例。最高电压固然不一定和气压成正确的比例，但是，它会同气压一同上升得非常之高。

高气压钢筒内的气体，如果不使用空气，而使用耐电压高的负电性 (electro. negative) 气体，那末气压即便相同，比使用空气时能得到较高的电压。因此，现在高气压钢筒都使用二氟二氯甲烷

(CCl_2F_2)、 SF_6 等，或把这些化学药品与空气混合起来使用。并且，为了避免火灾的危险，还普遍地使用氮气来代替空气。使用氮气时，如果略微加一些二氧化碳，似乎能改善耐电压的特性。

总之，不论使用哪一种气体，水分都能大大降低绝缘物的耐电压能力，因此，最好使高压钢筒

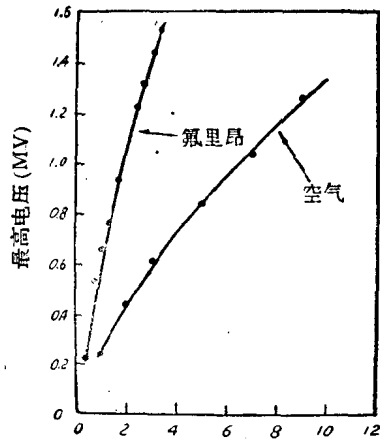


图4 最高电压与气压之间的关系。钢筒直径 85 厘米，电极直径 60 厘米(Trump et al. 1939)

内的气体能干燥到相对湿度为1%左右。

从高压电极通过气体空间的径向放电，可能在电极表面的电场达到某种值时发生。因此，有时可以采用这样一种方法：在高电压电极外侧的适当位置上，再放上中间电极，使它保持适当的电势，借以使电场分布均匀，使径向放电电压上升。如果中间电极有一个，可能改善50%左右。诚然，中间电极的数量是越多越好，但数量一多，装置也就相应地复杂起来，同时，会渐渐减少数量增加效果的比率。因此，中间电极超过两个以上的实例

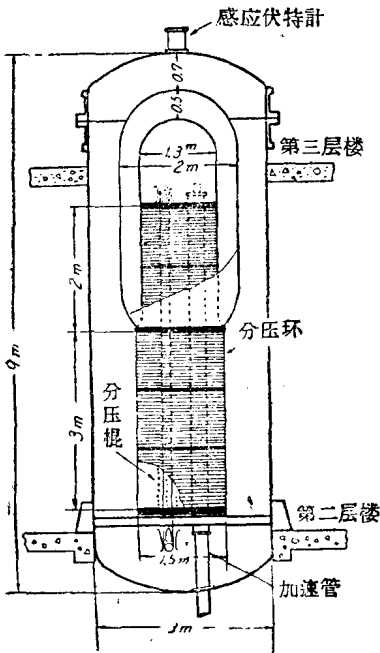


图5 九州大学的静电加速器 (6兆伏，在改装中)

似乎很少。图 5 表示九洲大学正在改良的静电加速器的配置图。

根据威士康辛大学的例子⁵⁾，插入 2 个中间电极，电压就由 2.2 兆伏上升到 3.5 兆伏。

3.2 支持絕緣物及絕緣帶的問題

例如拿一般絕緣支柱來說，即使 1 厘米长度能經得起 30 千伏，但 100 厘米的长度却不能經得起 3000 千伏。这是因为支柱一长，由于周围的东西的影响，沿着支柱的电压并不能分布均匀。为了防止这一点，要用許多金属环把絕緣物的周围围住，并用分布电压的电暈針把这些金属环互相連絡起来，这样做是一个解决的办法。

R. G. Herb 等人(1937)⁴⁾把包含支柱、絕緣帶、加速管的整个空間用一种叫做“环”(Hoop)的大金属环包围起来。由于采用了这种方法，縱方向的电压就会分布均匀，与此同时，支柱、絕緣帶、加速管就与外界隔絕。通过这种利用金属环整个包住的办法，絕緣特性虽然大为改善，但再把紧贴着支柱表面的金属环嵌进去，就能使絕緣物性更加良好 (Herb 等, 1940)⁶⁾。

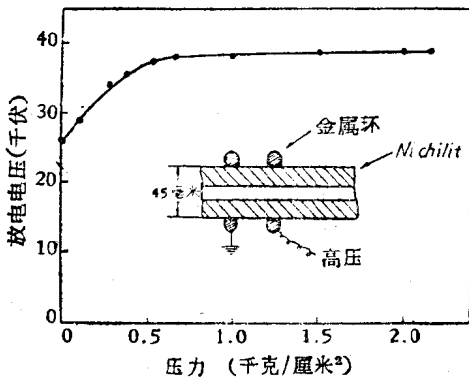


图 6 在 Nichilit 上表面电荷的气压特性
(九洲大学, 1953)

图 6 表示嵌进金属环的絕緣棒的沿面放电的气压特性。但是，嵌进金属环的办法并不一定是理想的，因此，为了做得更加完全，在金属板之間放上絕緣材料做成支柱，这才是最理想的方法。图 5 的例子就是如此。

就拿絕緣帶來說，在表面附近把金属棒(分压棍)并排起来，也能使絕緣帶的耐电压特性良好，这一点业經 J. G. Trump 等人証实(1939)⁵⁾，最近的絕緣帶也都是如此做的。

3.3 加速管

上面說过,随着电压发生方法的改善,最后在耐电压問題上担負过重的是加速管。加速管外側的耐电压的問題和支柱相同,固然不是特別的問題,不过,成为問題的是內部的真空部分的耐电压这一点。因为在一个真空間隙上一下子把全电压加上去是做不到的,因此,加速管采用了多段式,普通是使段数和分压片数相等,或者按分压片数的一半来截成段。尽管是多段式的加速管,而加速管的长度 L 和耐电压并不成比例,根据 L. Cranberg 的研究(1952)⁷⁾。

$$V \simeq \sqrt{CL}$$

因此,耐电压并不按加长(增加段数)加速管的比例增加;造成这种情况的原因是,因为各段是通过加速电极的孔径互相連結的,彼此并不独立。如果縮小孔径,耐电压特性固然会改善,但抽气速度会降低,因此,实际是得失相抵。

著者认为,加速管的耐电压已經成了靜电加速器的加速电压的最后限制。

4. 結 尾 語

关于靜电加速器,虽然还需要用許多話來說明电压的精密調整等等問題,不过,在本篇中暫不討論。現在運轉的靜电加速器,最高电压为8.5兆伏(美国 M. I. T.)。不过威士康辛大学正采用高压工程公司的方法,想以5兆伏电压的加速器,先加速氫的負离子 H^- ,途中再把它換成正离子 H^+ 来取得两次利用了5兆伏电压后的能量为10兆电子伏的 H^+ ,其能量可以和迴旋加速器竞争。

另一方面,現在利用把气压提高到20气压以上的办法使靜电加速装置小型化,因此,2兆伏左右的加速电子用的装置,已經能使整个装置迴旋和移动了。

文 献

[1] 水野善右卫門;九大理学部研究報告第一卷(1945—1949)。

- [2] M. A. Tuve et al.: Phys. Rev. 48, 315(1935).
- [3] H. A. Barton et al.: Phys. Rev. 42, 901 (1932).
- [4] R. G. Herb et al.: Rev Sci. Inst. 6, 261(1935). Phys. Rev. 51, 75 (1937).
- [5] J. G. Trump and R. J. Van de Graaft: Phys. Rev. 55, 1160 (1939).
- [6] R. G. Herb et al.: Phys. Rev. 58, 579 (1940) (L).
- [7] L. Cranberg: J. App. Phys. 23, 518 (1952).

电子静电加速器

若林夏一

(日本东京芝浦电气株式会社鹤见研究所)

1. 緒 言

静电加速器的发展已有悠久的历史，过去主要利用来加速离子，应用于原子核的研究方面。由于这种装置具有独特的优点，所以直到现在它仍然具有一定的声价。最近，伴随着辐射化学的发达，这种装置用在高速电子照射方面的价值引起了人们的注意，特别是在纤维业界方面，大有把这种装置用做工业用机器的趋势。因此，人们热烈希望创造出一种操作简便的、具有稳定性的装置。

前不久，我们所制成的1兆伏电子加速装置，是考虑了上述两点而进行设计的，这种装置现在已经开始实际运转。现在让我概略地介绍一下这种装置的情况。

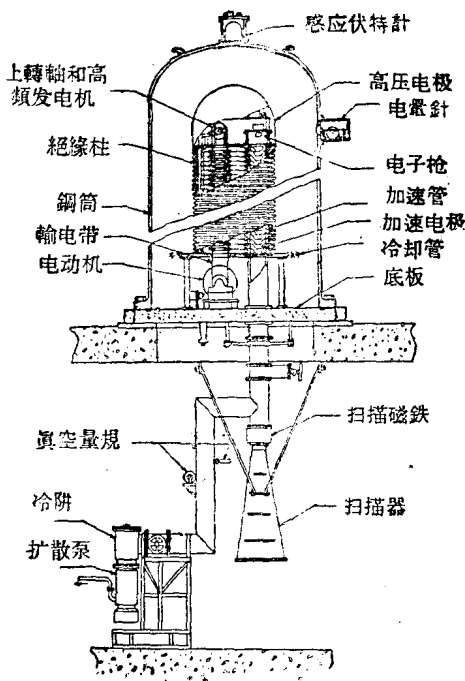


图1 电子静电加速器剖面图

2. 主体的結構

关于这种装置的原理已經有人发表过許多研究結果，所以在这里不再贅述。我們所制造的装置其构造并不特別新奇。我們考虑到操作要容易，并且还考虑到用电子束照射的被照射体的形状等，所以把这种装置設計成直立式的。图 1 便是这种装置的剖面图，图 2 是这种装置的全貌。下面把构成这种装置的各部分加以說明。

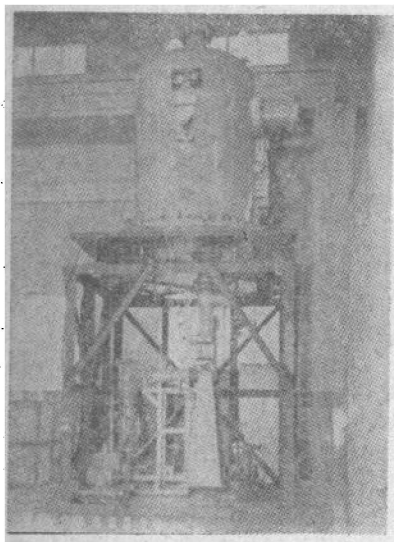


图 2 电子静电加速器及 30 厘米的电子束扫描器

2.1 絕緣气体

过去，日本国内所使用的静电加速器，通常都用压缩空气作絕緣气体。但是由于用压缩空气作絕緣气体时需要有大形除湿装置，并且有因放电而发生燃烧的危险等問題，所以我們对于可以代替压缩空气的种种气体的特性进行了詳細研究。用作这种装置的絕緣气体的性质，当然必須是絕緣性很高的，同时因为这种装置是要利用电量放电的，所以要求高压下的击穿电压和电量电

压之比要大。此外还必须是没有发生火灾和爆炸的危险，对于装置的构成物质又必須是很稳定的，并且又是能廉价购买到手的气体。从这几方面来看，氮气在絕緣性这点上虽較空气等气体稍差，但在其他各方面，氮气却具有合乎我們理想的性质。我們以 20 千克/厘米² 的压力使用氮气作絕緣气体，而决定了本装置各构成部分。

2.2 高压筒

高压筒是按照高压气体容器的规格制作的,它是这样设计的,即筒的内径为 1,200 毫米,高 2,000 毫米,筒壁是用厚 20 毫米的钢板制成的,通常能够经得住 20 千克/厘米² 的压力,并且经过了政府的检查.筒的底板用 120 毫米厚的钢板用填料把筒加以紧固,而筒的里面都涂上了具有导电性的涂料.在筒壁对着高压电极的位置上,装有感应电压计和调整电压用的驱动电晕针的机构,我们考虑到气体能够由可动的部分洩漏,所以特把它们都密封在筒里.此外,还装设有为观察内部用的观察窗二个以及安全阀和压力计等等.在这底板上装设有本装置的主体,导入于本装置内部的各种导电綫都以特别的衬圈为介而由底板上导入内部,全部约重 3,500 千克.

2.3 絕緣支柱

絕緣支柱在筒的底板上立有三根支脚,把装置用的圓板固定在这支脚上,在圓板上面再安装絕緣支柱.支柱的分压片是直径为 600 毫米的鋁板,其周围纏繞以鋁管制的环.作支柱用的絕緣体的高度为 37 毫米,把分压片和絕緣体交互地重迭 20 层,用阿拉第胶連接,全高约 800 毫米.

分压片留有通过絕緣带的孔和为插入加速管的孔,各分压片间的电压分布是用串入高电阻来进行分压的.

在絕緣支柱的下部設置有絕緣带驱动机构、噴电針、电子枪控制机构、冷却用蛇管以及干燥剂等等.在支柱上部的圓板上装设有把永磁发电机装在内部的上部轉軸、括电装置、电子枪电源以及控制电子枪电源的装置,并且从下部控制机构以弦綫連动着.用半球形的高压电极把这些装置盖上,高压电极用鋁板搭接而成,加工后再把表面加以抛光.用这些零件装配成的装置的照片如图 3 所示.

2.4 絕緣带和絕緣带驱动机构

即使說靜电加速器的性能完全集中在运送电荷的絕緣带的能

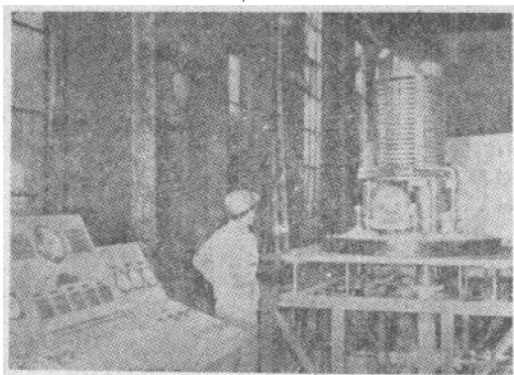


图3 未装上鋼筒的电子静电加速器

方上,也并非夸大其辞。关于絕緣帶的質料以及其制造方法等,現在仍然留有許多需要进一步研究的問題,由于絕緣能力,耐電暈性能、強度、延伸性等各種因素复杂地錯綜着,所以現在還沒有得到能够令人滿意的結論。我們曾用各種材質配合起来,进行过种种試驗,其結果以聚氯丁合成橡胶(neoprene)和棉布的配合較为良好。絕緣帶的幅寬280毫米,是把纖維和橡胶交互地重迭4—5层制成的,其厚度約为2—2.3毫米。

驅动电动机是用3馬力和轉軸直接連結着,因为它用60周/秒,以每分3,450轉的速度旋轉着,所以絕緣帶的速度約为20米/秒。在絕緣帶運轉地方的周圍,各个分压片上都裝有絕緣帶分压棍,并且为了防止絕緣帶的振動,每隔數段即裝設一个絕緣棒制的保护棍。噴射電荷的噴電針是用留声机的針排成一列的,上部的括電裝置是用金屬絲網制成的。

2.5 加速管

加速管是內徑为150毫米的絕緣体和高純度的鋁电极交互地胶接裝成的多段型加速管,絕緣体和鋁电极的段数和絕緣支柱的相同。各个电极分別和裝設在支柱分压片上的接触子相接触,并和分压片形成等电位。为了吸收异常电压,另外設有球間隙。在加速管的頂部裝有电子枪,但这种灯絲是采用髮針型的,加速管的下