冷阴极撬棒在脉冲线加速器中的应用

张冰　李家胤　杨梓强　李天明　李明光　马文多　严亮　赵开　张建川　俞秀娟
电子科技大学　(成都 610054)

摘　要:文章分析了脉冲线加速器在放电过程中产生的预脉冲电压现象。为了减少预脉冲电压引起的等离子体发射对正常电子产生的影响,我们采用了一种冷阴极撬棒管,将它与阴极杆相连。实验证明在采用了这种器件后,预脉冲电压的幅度明显被减少,这将有利于各种相对论器件电子的正常发射。

叙　词:加速器　二极管　预脉冲　撬棒管

1 前言

使用 Blumlein 脉冲线(Marx 发生器激励脉冲成形传输线)时,在其匹配负载(加速器二极管)被击穿之前,往往会出现一个预脉冲电压,它是在 Marx 发生器对 Blumlein 脉冲线充电时产生的。它的幅度有时可以达到 100KV ~ 200KV,时间大约在几百纳秒。

有人分析:当预脉冲电压出现时,二极管阴极开始发射电子,轰击阳极从而产生一定数量的等离子体,这些等离子体以每微秒几个厘米的速度迅速横向扩展。因此,当主脉冲电压到来时,电子有可能不是从阴极发射而是从阴极附近的等离子体区域中发射出来。因为有了因预脉冲引起的等离子体存在,使加速器中的二极管发射的电子束的形状和束流的大小即电子注的质量变坏,同时由于等离子体的迅速扩散又会导致二极管的阻抗发生变化。这些因素将不利于一些相对论器件的稳定工作。

2　消除预脉冲电压的方法

为了减少或消除预脉冲电压产生的等离子体对电子发射的影响,就要从减少或降低预脉冲电压人手,基本思想是在传输线和二极管之间加一个预脉冲抑制开关,来减少预脉冲电压对二极管的影响。消除预脉冲电压的方法大致有以下几种。

2.1　使用气体开关

美国哥伦比亚大学的脉冲线加速器就使用一种气体开关,将它安置在二极管之前,可以有效地防止阴极出现的低电压预脉冲,见示意图 1。

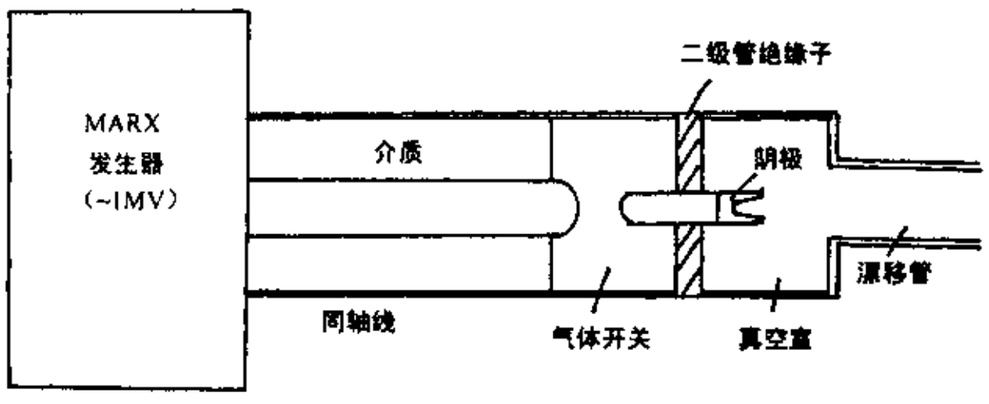


图 1　美国哥伦比亚大学的脉冲线加速器示意图

使用气体开关的好处是可以通过改变气体开关内的气体压力达到调整开关的击穿电压。因此,可以找到消除预脉冲电压的最佳开关击穿电压。

2.2　使用油间隙法

这种方法是不让脉冲线的内筒与二极管的阴极杆有直接的电接触,而是将它们分开一定的距离,如 3 ~ 7mm。利用内筒和阴极杆在油中间隙的击穿电压来消除预脉冲,见示意图 2。

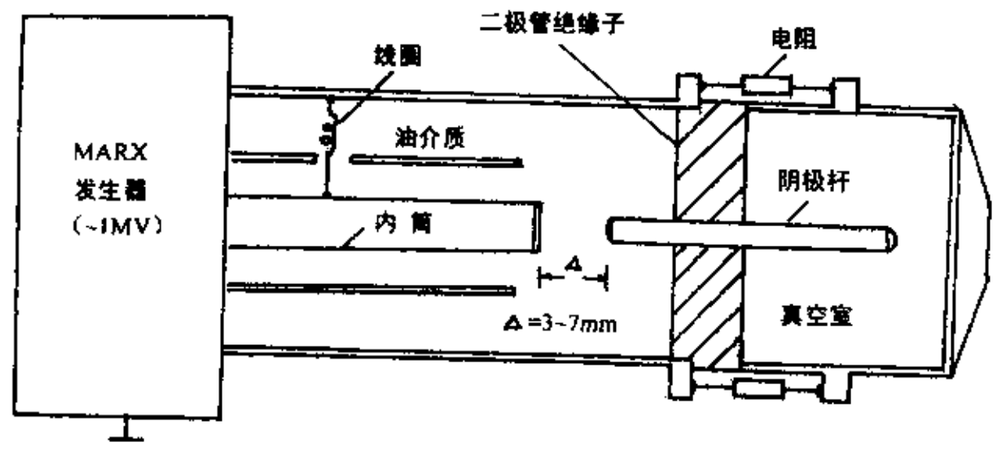


图 2　使用油间隙法的脉冲线加速器示意图

我校 1MV 的脉冲线加速器在 2002 年 8 月份进行大修时就采用了这种方法来消除预脉冲,经过多次调节间隙的大小,进行了试验。实验表明在加速器放电时,能有效起到消除和降低预脉冲电压的效果。

但是要调节一个合适的间隙放电距离时,每次要拆下笨重的二极管各部分进行调整。同时间隙放电后产生的导电物质,如炭黑会漂浮在间隙之间,如不及时将其搅散,则会使油间隙的击穿电压下降,也就会影响到消除预脉冲电压的效果。

2.3　使用所谓"灵敏放电器"

俄罗斯科学院应用物理研究所在与我校合作进行实验时,提出了为了排除预脉冲电压的影响,要对加速器的结构进行改造,他们建议加入一个所谓"敏感放电器",使其在电压为 200KV ~ 300KV 时开始动作。但是他们没有详细地介绍这种"灵敏放电器"的具体性能。

另外还有改变内外筒的充电电感量,或者在真空室内把阴极杆分为几截,以及采用等离子体融蚀断路开关(PEOS 技术)等方法。

上面介绍的是已知的几种消除预脉冲电压的方法,可能还

有其他方法。

3 高压撬棒管的使用

受前面介绍消除预脉冲电压方法的启发，我们考虑一种高压撬棒管，作为一种开关，用来实现消除预脉冲电压。

3.1 高压撬棒管(冷阴极触发管)的介绍

撬棒管常用于雷达发射机或高压电路中，用于旁路短路电流，又称“故障分流器”或“快速短路器”。

我们考虑的撬棒管是一种专门研究的冷阴极触发管，国外称它为冷阴极触发火花隙。它由触发极与其相邻的相邻电极和与其相对的相对电极组成。管壳一般采用金属陶瓷封接，管内充以高压绝缘气体。在一定的工作电压范围内，如管子未被触发，则管子对在它的两端(指相邻电极和相对电极间)所加的高电压是近似于理想的绝缘状态。然而管子一旦被触发，它可以迅速地变为低阻抗元件，并能传导数十 KA 的电弧电流。

以 4068 高压撬棒管为例，在触发电压作用下，管子导通，它可以传导的能量为 500J。所呈现的内阻约为数十 m^{Ω}，电感为 5 ~ 30mH，其使用寿命可达数千次。

然而我们对这种冷阴极撬棒管的另一个参数感兴趣，就是它的“自击穿电压”。所谓“自击穿电压”，是指在没有触发信号时，冷阴极触发管的两个主电极(相邻电极和相对电极)之间的耐压程度或击穿电压。对于上面介绍的 4068 型管，它的自击穿电压是 50KV。

这种类型的管子的外型见图 3 所示。

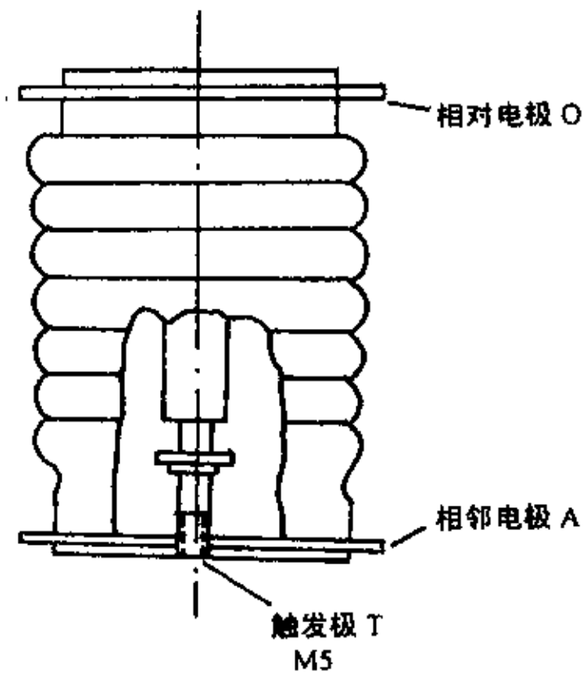


图 3 高电压撬棒管外形图

3.2 冷阴极撬棒管电路

根据我校现有脉冲线加速器结构的具体情况，在 2002 年 10 月，我们利用一只自击穿电压为 80KV 的冷阴极撬棒管作为开关，由于击穿时管内电弧可以维持十数微秒，因此，完全可以实现与二极管的同步击穿。

在经过十分周详的结构、设计考虑，以及加工相关部件后，把管子进行了安装。这样在脉冲线内筒与二极管阴极杆之间串有一个可耐压 80KV 的撬棒管，起到了一个击穿电压为 80KV 的气体开关的作用。见示意图 4。

为了防止误触发，我们把管子的触发极和它的相邻电极用薄铜片短路。

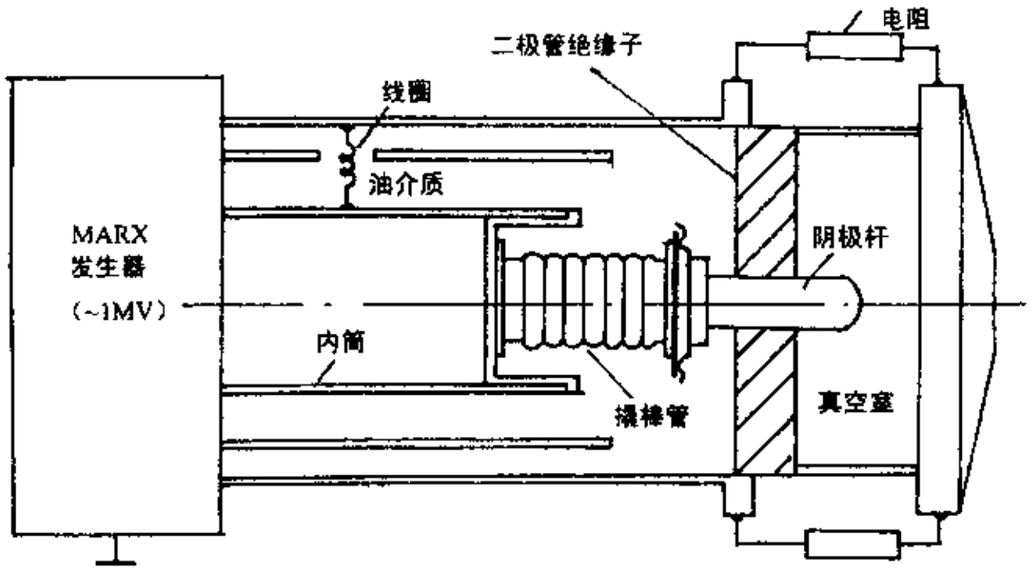


图 4 使用高压撬棒管的脉冲线加速示意图

4 实验效果及存在问题

4.1 实验效果

在安装好冷阴极撬棒管后，我们用二极管做盲扳放电试验。实验表明，在采用了这种管子作为串联气体开关，使脉冲线加速器在放电时产生的预脉冲电压被大大地削弱。

图 5 是未加撬棒管时的二极管电压波形。图 6 是加了撬棒管时的二极管电压波形。比较两个电压波形，我们可以看出预脉冲电压确实是被减少了许多。

我们在随后进行了相对论磁控管和相对论返波管的实验，由于采取了消除预脉冲电压的措施，因而加速器阴极发射的电子注的束流质量大大改善，在铜靶上获得的电子注形状是很好的环状痕迹，与设计值十分接近。所以在进行上述相对论器件的实验时，测得的工作频率稳定，输出功率大大提高，得到了理想的要求。

我们认为：在使用了冷阴极撬棒管后，有效地消除或减少预脉冲电压现象，因而改善和提高了脉冲线加速器的性能。目前正在进行其他高功率相对论器件的研究实验，相信都会收到非常有益的效果。

4.2 存在的问题

放电实验还表明，虽然在大多数的情况下，预脉冲电压都可以被明显地抑制，但是仍然在有些次数放电时会出现一些预脉冲电压，我们认为原因可能是：

(1)可能与加速器的单次运行的状态有关，即加速器本身的重复性不是很好的。

(2)冷阴极撬棒管的自击穿电压可以有 ± 10% 的误差，即每次击穿的电压并不是一个固定的值。

(3)目前使用 80KV 的自击穿电压是否偏低？可否考虑选用更高耐压的管子？如制作更高电压的管子有困难，可否考虑将

数管进行串联?

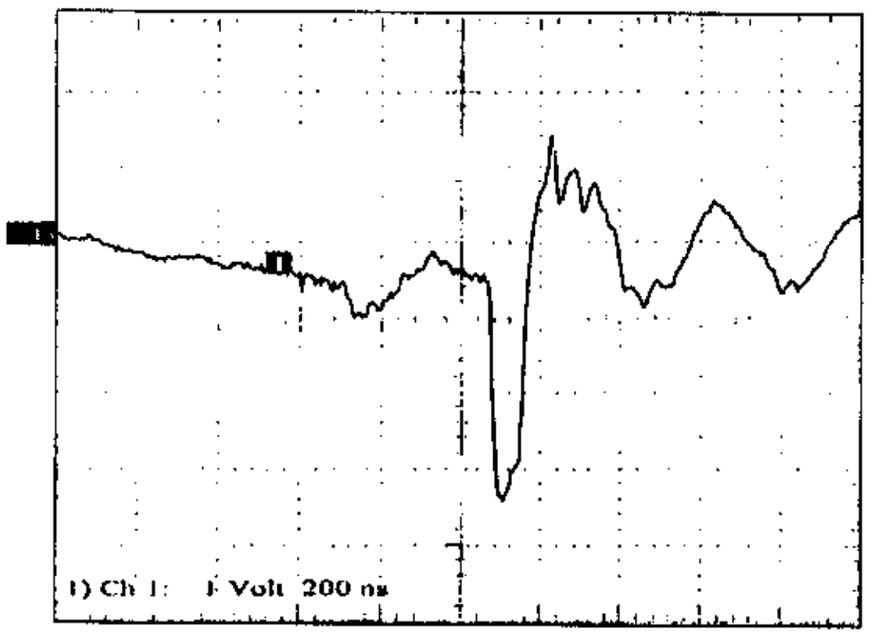


图 5　未加撬棒管时的二极管电压波形

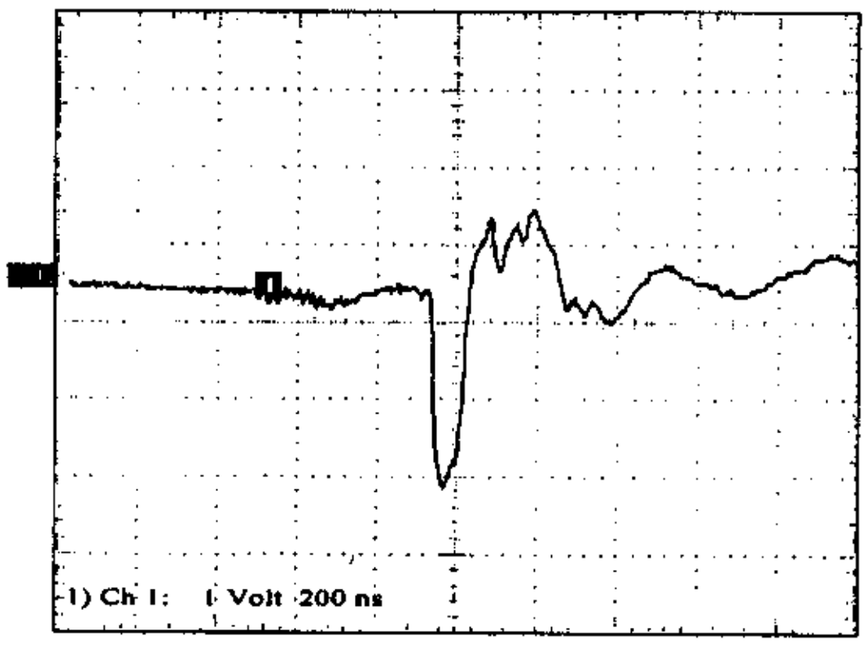


图 6　使用撬棒管时的二极管电压波形

(4)采用适当的诊断和触发电路,当预脉冲电压的前沿出现时,利用它的前沿电压信号来触发撬棒管,这样可使管子的导通与预脉冲的出现实现同步。就能比较可靠地消除预脉冲电压。

这些存在的问题仅是我们的一些粗糙的分析,不一定都对。有待今后通过不断的实验和改进电路,或者更换有关器件等方法去研究和解决。

5　致谢

我们的工作得到了绵阳九院胡克松老师和北京真空电子技术研究所的杨光培老师的悉心指导和帮助。在此特别致谢!

参考文献

[1] 自由电子激光 [美] T.C.马歇尔著

Thams C. Marshall Free-electron Lasers Macmillan Publishing Company 1985.

[2] 高电压撬棒,杨光培,真空电子技术,1998 年第 5 期。

作者简介

张冰,男,教授,电子科技大学高能电子学研究所强辐射实验室

(上接第 562 页)

可靠地工作。

参考文献

[1] J. D. Van Wyk, Fred C. Lee. Power Electronics Technology at the Down of the new Millennium---Status and Future, Power Electronics Specialists Conference, 1999, PESC 99. 30th Annual IEEE, Vol. 1, pp 3 -12

[2] Fred C. Lee, Dengming Peng. Power Electronics Building Block and System Integration. Power Electronics and Motion Control Conference, 2000, Proceedings, The Third International, Vol. 1, pp 1 -8

[3] 杨旭.新型软开关电路及大功率开关电源技术的研究:[博士学位论文].西安:西安交通大学电气工程学院,1999

[4] Jung-Goo Cho, et al. Fred C. Lee. Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter for High-Power Applications. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 11, No. 4, July 1996, pp 622 -628

[5] Jung-Goo Cho, et al. Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No. 4, July 1998, pp 601 -607

[6] Jung-Goo Cho, et al. Novel Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter Using a Simple Auxiliary Circuit. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35, No. 1, January 1999, pp 15 -20

[7] Jung-Goo Cho, et al. Novel Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter Using Transformer Auxiliary Winding. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 15, No. 2, March 1999, pp 250 -257

作者简介

陈文洁,女,1974 年生,助教,在职博士研究生。研究方向为电力电子技术、开关电源技术、电力电子集成技术等。

杨旭,男,1972 年生,副教授。研究方向为电力电子技术、软开关电路、开关电源技术、电力电子集成技术等。

杨拴科,男,1952 年生,教授。研究方向为电力电子技术应用。

王兆安,男,1945 年生,教授,博士生导师。研究方向为电力电子技术、电力系统谐波抑制及无功功率补偿技术等。