

国产 1.2 米迴旋加速器的运行情况

中国科学院原子核研究所†

一、引言

国产 1.2 米迴旋加速器,自 1964 年 9 月经国家鉴定合格,投入运行已有一年。一年来,在我国社会主义革命与社会主义建设新高潮的形势鼓舞下,我所加速器工作人员同所内有关研究室一起,逐步熟悉加速器的运行技术与实验技术,初步开展了各方面的实验工作,并提高了加速器的性能。本文简要介绍一年中开展的实验工作,束流状况,设备性能,运行效率以及存在的问题。

二、工作概况

一年来加速器上的工作基本上可分四个阶段。

1. 实验系统调试阶段 在 1964 年 11 月加速器投入运行之后两个多月内将物理实验装置与加速器配合进行了系统调试。解决了探测器的 CsI 晶体质量不好、电子线路的设计不妥,加速器靶室地线对探测器的交流干扰、主磁铁稳流装置对部分电子线路的微秒级脉冲干扰,以及外束轴线与靶室轴线不一致等问题。

2. 年修及重调外束阶段 1965 年 2 月进行加速器主要工艺设备的年修,测定各工艺系统的技术性能与内外靶束流。根据上阶段的实验情况,重新调整引出管道系统,使靶室轴线上束流强度提高 5 倍,并进行连续状态大束流的调试,但因偏转系统严重打火, D 电路易于失谐,未能取得最后成功。

3. 实验阶段 1965 年 5 月,开始各方面的实验。因外束状况有了较大改进,工作较为顺利。至年底,完成了各项实验任务。

4. 设备改进阶段 1965 年 9 月,暂停实验工作,根据建造加速器时的设计考虑,增装 -13° 偏转的第三条引出管道,再度重调外束,管道效率提高至 95% 以上,外束流强提高近一倍。同时,以冷冻机代替油扩散泵中的液氮冷却,完成了 D 电路的电压稳定与自动调谐装置,从而提高了运行效率,降低了运行费用。

三、实验情况

一年来,在加速器上初步开展了一些研究试验工作。如以 (p, p') , (p, α) , (p, d) 等反应,测定 Cu, Zn 等中重核的质子反应总截面;以 $(d, 2n)$ 反应,测定 Cr^{52} 的激发函数;在核衰变、核裂变方面也进行了一些实验工作。

在生产同位素方面,初步研究试制了 Na^{24} , K^{42} , As^{74} 等少量放射性同位素。某些同位素已经提供医学农药等有关单位使用,获得较好的效果。

为适应工业生产的要求,也利用迴旋加速器进行了某些超纯材料的活化分析工作。为适应农业科学研究需要,以外束轰击铍靶提供约 10^9 通量的中子流,辐照稻麦种子,进行改良种

† 本文由黄天生、常宏钧同志执笔。

子的初步研究。

四、束流状况与改进

一年来全部实验均用外束进行,加速粒子为氢分子离子与氘核两种,大部分时间均工作于频宽比为 3.3 的脉冲状态。

1. 束流能量 经测定,质子能量为 6.7 兆电子伏,亦即氘核的能量为 13.4 兆电子伏。与终端半径磁场强度为 14300 奥的理论计算值 13.5 兆电子伏相符合。根据中重核反应总截面实验结果,能量单色性约为 1%。

2. 束流强度 年修后调试内外靶束流,其强度仍在国家鉴定时的水平。在各项实验工作中,其流强列于表 1。

表 1 各种实验条件下的束流强度

任务序号	使用的准直器或限流孔	靶位	平均流强,微安
1	$\phi 4 \times 700$ (大靶室进口) 4号,5号靶装可调缝隙	大靶室内	$(1-10) \times 10^{-3}$
2	$\phi 4 \times 800$ (大靶室进口)	大靶室内	0.5—1
3	$\phi 8$ (大靶室出口)	大靶室后	0.5—2
4	$\phi 15$ (大靶室出口)	大靶室后	2—10
5	$\phi 25$ (靶子前)	直通管道	20—50
6	$\phi 15$ (靶子前)	直通管道	10

3. 重调外束 由于 1964 年外束调整工作时间很短,加速器投入运行后,曾发现下列不正常现象:靶室进口装上 $\phi 4 \times 700$ 毫米准直器后,束流强度仅为 1×10^{-3} 微安,无法实验。这一情况说明了靶室束流虽然调到较高的水平,但束流方向与管道轴线不一致;管道效率不高,大量束流损失在 1 号透镜前及偏转磁铁后的管壁上增加了主厅与实验厅的本底。

针对上述问题,先后进行了两次引出管道系统的重调工作。第一次重调,较多地移动了偏转磁铁后的管道与靶室位置,使偏转磁铁后的束流方向与管道轴线一致。通过准直器的靶室束流强度比原来的提高 5 倍多,基本上满足了物理实验的要求。但在这次调整中,因急于开展实验工作,没有时间拆动主厅与实验厅间防护厚墙,主厅内管道位置未能作较大的移动,管道效率提高不大。在调整中,改变过去单用荧光屏来确定束流方向的办法,采取了在管道内加装缝隙光阑的办法,以确定束流方向。

第二次重调,除采用缝隙光阑的办法之外还采取以下两个措施:由于束流从偏转系统引出后,受到边缘磁场的影响,1号透镜前的束流轨迹系一弧形曲线。因此在 1号透镜前加装偏向角为 1° 的偏向法兰,使这段管道稍向共振线方向偏移,以迎合束流方向。其次,将 1号,2号透镜向真空室方向前移 270 毫米,使束流较多的进入 1号透镜的聚焦区。通过这次调整,束流轴线,管道轴线及透镜轴线三者已基本一致,管道效率,即大靶室内束流强度与偏转板出口处束流强度之比,从原来 60% 提高到 95% 以上。

两次重调工作中,取得了以下一些初步经验:

(1) 用 \oplus 形的缝隙光阑作标准,将其装于管道中心作为物点,逐步找出束流方向以确定管道位置。具体做法如下(参阅图 1):在 1 处装缝隙光阑,2 处装荧光屏,以确定 1—2 段管道位置;在 2 处装缝隙光阑,4 和 8 处装荧光屏,以确定 2—4 及 4—8 各段管道位置;在 2 处装缝

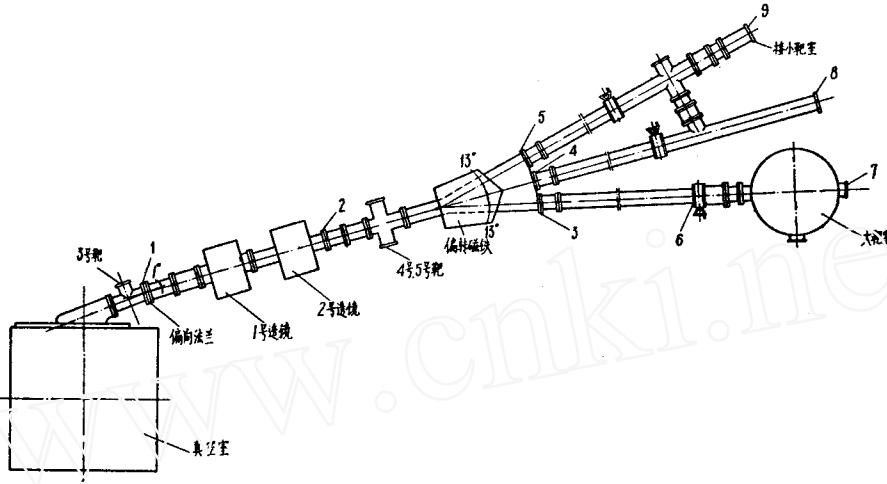


图1 引出管道示意图

隙光阑, 3和5处装荧光屏, 分别确定3和5处束流在管道中心时的偏转磁铁电流, 然后固定相应的偏转磁铁电流, 将荧光屏分别移到6, 7及9处, 以确定3—6, 6—7及5—9各段管道位置。

(2) 为了使束流轴线, 管道轴线及透镜轴线三者取得一致, 调整管道及透镜位置时, 荧光屏上物象应满足如下三个要求: (i) 完全不加透镜电流或分别加1号, 2号透镜电流情况下, 物象与管道纵横轴线一致, (ii) 分别增减1号, 2号透镜电流时, 物象与管道纵横轴线对称地收缩或扩大, (iii) 同时加上1号, 2号透镜电流后, 物象位于管道中心。

(3) 在调整直通及 $\pm 13^\circ$ 管道位置时, 必须注意消除偏转磁铁剩磁的影响, 根据实际观察, 偏转磁铁的剩磁对束流方向影响很大, 能在直通管道终端产生30毫米的水平位移。

4. 连续状态的束流调试 1964年曾进行连续状态的束流调试, 因D盒及偏转系统打火严重, 未能取得成功, 分析其原因, 系操作上未关闭弧压而将频宽比逐渐降低到连续所致, 1965年第二次进行连续状态的束流调试时, 改变了过去的操作方法, 2号靶束流可达70微安, 但D电路容易失谐, 偏转系统打火仍很厉害, 后来吸取了中国科学院原子能研究所的经验, 在加速器中心区加了限制离子束初相的缝隙装置, 第三次进行连续状态的束流调试, 达到的水平为: 频宽比为100时, 1号靶为5微安, 2号靶为2.5微安; 连续状态时, 2号靶可达80微安。

采取缝隙装置措施后, 工作于70微安以上连续状态束流时, 偏转系统打火现象已经消除, 但D电压仍不易稳住, 而且锻炼时, D盒打火频繁, 多次拉出D盒检查, 发现加速器运行一段时间后, 左右D盒均吸向中心1—2毫米, 这可能与D盒及内杆机械结构有关。

通过一年来的运行实践, 束流工作状况已有了较大的改善, 但根据今后实验的要求, 尚存在以下几个问题有待于今后进一步研究解决:

- (1) 束流能量单色性较差, 仅在1%左右, 尚不能满足精密物理实验的要求。
- (2) 在实验工作位置, 束流截面为 20×30 厘米², 聚焦还不够好。
- (3) 束流稳定性较差, 小束流工作时, 流强波动幅度甚至大于50%。
- (4) 连续状态的大束流工作还没有完全实现。

五、设备性能与提高

一年来,除了随时修理运行中发生的故障外,主要对加速器进行了年修。检修 D 盒及共振线系统,清洁调整电气控制系统及高频机继电器保护系统的全部继电器,测定主要工艺系统的技术性能与内外靶束流。从年修后测定的主要工艺系统技术性能及内外靶束流的结果来看,加速器及其高频、真空、冷却水、电气控制等工艺设备,经过一年的运行,其性能指标仍保持在国家鉴定时的水平。其次,重点检修冷冻机系统的设备,以确保夏季主机、高频机及电气控制测量系统的安全运行。全年运行时发生的故障情况列于表 2。

表 2 运行故障统计表

	项 目	故 障 情 况	故 障 次 数
电 气 控 制 系 统	主磁铁稳流装置	极化继电器失灵	4
		细调磁场电位器不良	1
	弧压调压器装置	磁力启动器剩磁使断路动作失灵	4
	2号透镜控制系统	继电器接点不良	1
	离子源灯丝供电系统	闸刀绝缘不良,烧焦	1
	旋转水门控制系统	终端开关接点不良	2
高 频 系 统	继电器保护系统	继电器接点不良	7
	风冷保护系统	风管中风冷信号接点不良	3
	同步器及调制器装置	电子管等元件工作不良	4
	调整装置	闸流管接线不良	3
		灯丝变压器绝缘击穿	1
		闸流管灯丝烧断	1
真 空 系 统	机械泵装置	前级电磁阀门动作失灵	7
	靶室真空测量装置	磁放电极击穿	3
	引出管道系统	CK ₁ , K-50 阀门关闭不密,真空破坏	4
	生产同位素装置	K-50 阀门关闭不密,真空破坏	3
主 系 机 统	微调电容装置	传动机构失灵	1
	切割板	束流进口尖端烧融	2

以上 52 次故障中,因继电器、电子管座及开关接点与接线不良而产生的,有 23 次,占 40% 以上;因极化继电器、磁力启动器、真空阀门等零部件的性能不善而产生的,有 17 次,占 30% 以上。

从以上统计资料及日常开机时遇到的情况可以看出,我们日常的定期维修工作做得不够,还没有建立起以“预防为主”的日常清洁、检查、调整的制度。如果这方面的工作做得周到一些,绝大部分的继电器、开关等接点与接线不良的障碍是可以消除的。今后必须大力加强加速器及其工艺设备的日常维修,使我们的工作跑在障碍的前面。

其次,某些设备的零部件性能仍存在一定缺点:

(1) 真空系统,某些阀门,如引出管道上 CK₁, K-50 等,系采用摇板式结构,开启时不易全部打开,束流可打坏阀板的密封圈,关闭时则不易密合,至使真空破坏。

(2) 水流继电器系采用橡皮膜传动的结构,动作的灵敏度较差,开机时经常发生个别水流继电器失灵,而影响开机时间。

(3) 主磁铁稳流装置的极化继电器性能较差,工作不稳定。

(4) 由于高频机 10 千伏高压滤波装置设计不善以及用改变激励来调整功率等原因使寄生调制较大。

(5) D 电路微调电容系采用多节连杆传动结构, 动作不灵活, 不利于连续状态的 D 盒锻炼和调束。

(6) 主机系统, 内杆杆头采用的真空密封结构不善, 杆头密封橡皮即内杆的支承点, 故内杆及 D 盒的位置有细微变动的余地。根据多次测定, 开机后, 左右 D 盒均吸向中心 1—2 毫米, 影响到连续状态的 D 盒锻炼与调束。

(7) 主机内切割板装置的冷却结构不善, 易于产生切割板的尖端熔融故障。

上述问题, 我们准备今后逐步研究试验, 设法改进。

一年来为解决国家鉴定时遗留下来的问题, 解决运行中发生的故障, 提高设备性能满足实验要求, 进行了大小 50 多项技术革新。在设备的改进与提高方面, 完成了以下几项主要工作。

1. 改善高频系统阻波屏蔽效能 为了消除高频系统对外界的电波干扰, 反复测定了厂房内电波泄漏情况, 并参观了近代物理研究所回旋加速器厂房的屏蔽设施, 发现电波主要是从高频机室外的限流电阻、冷却水管与风管以及厂房的共同地线等设备上泄漏出来的。经安装限流电阻的屏蔽小室, 改善出入高频机室冷却水管道及风管的接地与绝缘, 装设高频机的单独地线以及安装出入高频机室低压电缆的滤波装置后, 高频系统的电波泄漏已基本抑制。初步测试, 整个厂房的屏蔽效能已从 30 倍提高到 300 倍以上。

2. 消除高频机低频寄生振荡 1964 年调束阶段即发现高频机第三, 四, 五高放级有 10—20 千赫寄生振荡, 从而引起阴极过流跳闸, 经参考广播系统消除低频寄生振荡经验, 于三, 四, 五高放级栅偏压回路的扼流圈前加上 4 微法旁路电容后予以消除。其线路如图 2 所示。

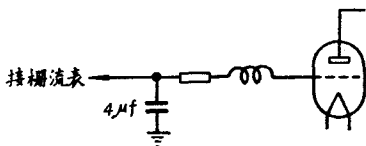


图2 消除低频寄生振荡的线路

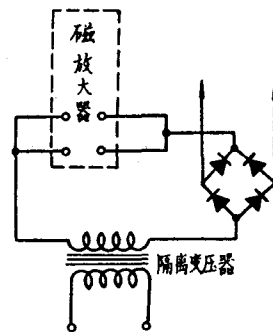


图3 隔离变压器接线图

3. 消除偏转磁铁 WL-2 稳流装置工作不稳现象 1964 年调束阶段发现 WL-2 稳流装置工作 8 小时后有不稳现象。在电源输入端增装隔离变压器后, 消除了不稳现象。其线路如图 3 所示。

4. 消除主磁铁稳流装置对物理实验设备的脉冲干扰 在实验系统的调试阶段, 测量线路中出现较强的脉冲干扰, 脉宽约几十微秒, 重复频率 150 赫, 如图 4 所示。经多次试验得知, 干扰系来自主磁铁稳流装置的闸流管迥路。后于闸流管阳极变压器初级增装 LC 滤波装置, 予以消除。其线路如图 5 所示。

5. 改进 D 电路高频电压及谐振频率的稳定性能 为了提高加速器的工作稳定性, 研究试验 D 电路电压及谐振频率的自动稳定装置, 已取得初步效果。在连续状态下, D 电压可稳定在 0.5% 以下, 谐振频率亦可自动调整稳定。



图 4 干扰脉冲波形

6. 油扩散泵以氟利昂液体代替液氮冷却
 中国科学院原子能研究所早已采取了这个措施，即以氟利昂小冷冻机代替液氮冷却真空室的大油扩散泵。我们经多次试验，最后又修改捕集器的结构（见图 6），才获得成功。目前运行性能还不太稳定，有待进一步改进。

7. 增装 -13° 偏转的引出管道 根据建设加速器时设计考虑和中国科学院原子能研究所的经验，已增装 -13° 偏转的引出管道，其布置如图 1 所示。今后管道可以专用，这样就可以不装拆实验装置，并且能提高加速器的使用效率。

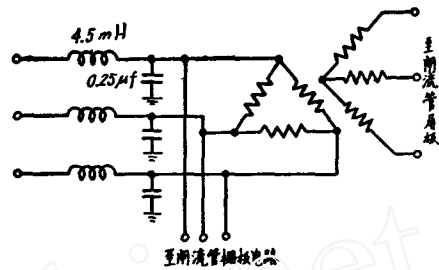


图 5 LC 滤波装置

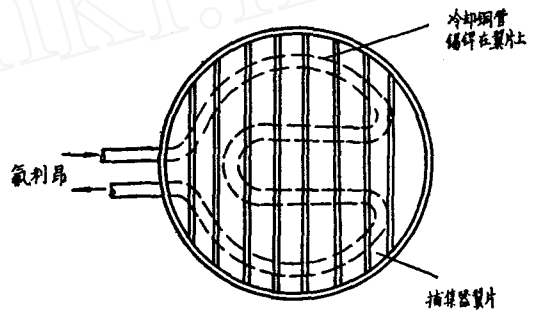


图 6 改进后的捕集器结构

1——冷却铜管(锡焊在翼片上); 2——捕集器翼片;
 3——氟利昂。

六、运行效率与组织

一年来，继续贯彻“安全第一，质量第一”的方针，全年未曾发生人身事故与设备的重大事故。1965 年总的开机时间，运行时间，加速器故障及实验工作中遇到的问题而影响运行的时间，及平均运行效率列于表 3。

表 3 运行情况统计表

运行时间, 小时	1355	开机时间(从抽真空到提供实验), 小时	510
		实验时间, 小时	845
故障时间, 小时	240	加速器故障, 小时	120
		实验故障, 小时	120
重调内外靶束流及年修, 小时	556		
总计, 小时	2151	平均运行效率, %	62

从表 3 可见，运行效率仅为 62%。如将加速器故障及实验工作中遇到的问题而影响运行的时间计算在内，则运行效率仅在 53% 左右。其主要原因是，在初期由于外束工作状况不佳，调束操作技术不熟练，每天开机经常要花四小时左右才能开始实验工作。第二季度重调外束后，运行效率已有提高。

运行组织方面：开始运行时每班 8 人，上半年减少到每班 6 人，目前已减少到每班 3 人。运行作业时间：过去每天实行三班工作制，每班工作 6 小时，共 18 小时运行。按实验需要，加速器每周工作 2—4 天。目前准备每班 8 小时，连续 24 小时运行，以消除每天开关机时间，提

高运行效率。

虽然,一年来运行效率在逐步提高,但与中国科学院原子能研究所相比,差距还很大。今后除了加强设备的维修工作以减少故障外,还须提高运行操作技术水平,减少开机调束时间,提高运行效率。

七、结 束 语

通过一年的运行,考验了加速器,其技术性能仍保持在国家鉴定时的水平,运行情况正常。这说明了我国自己制造与安装调整的第一台迴旋加速器的质量是较好的。在运行中,解决了国家鉴定时遗留下来的某些技术问题,进行了若干改进工作,提高了加速器的性能。

通过一年的运行,锻炼了加速器工作人员与研究实验人员,利用加速器初步开展了一些实验工作,为今后全面进行各项实验奠定了基础。这些收获是加速器工作人员和研究技术部门,在党的领导下,继续发扬了自力更生、奋发图强精神的结果。工作中,中国科学院原子能研究所及近代物理研究所也给予了很多帮助。

但是国产 1.2 米迴旋加速器系仿照苏联同类型加速器而设计的,某些技术性能,如束流能量的单色性与可变性等,均有不足之处。我们的工作经验还不多,运行操作水平亦不高,还不能完全满足实验要求。今后尚需进一步改进与提高,使国产第一台迴旋加速器发挥更大的作用。