

快报

北京质子直线加速器 35.5 MeV 应用 束流输运系统的设计和调试

魏开煜 林震华 吕继华 王书鸿

罗紫华 孙松岚 竺仁全

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文阐述了北京质子直线加速器 35.5 MeV 应用束流输运系统的物理设计和调试结果。该系统于 1986 年 12 月建成出束,经初步调试,束流传输效率高达 88%—93%。

一、引 言

北京质子直线加速器 (BPL) 经过扩建,束流能量已从原来的 10 MeV 提高到 35.5 MeV^[1]。为了将这些质子流用于快中子治癌研究和短寿命放射性同位素生产,在直线加速器出口以后建造了一个 35.5 MeV 应用束流输运系统。该系统的作用是把直线加速器输出的质子流经过聚焦和偏转,传输到中子治疗室和同位素生产室的靶上去。并且在靶上形成所需要的束流斑点。为提高束流利用率和减少对设备的污染,提高束流传输效率是设计该系统的关键。为了使束流传输效率能达到 80% 以上,本系统的主导设计思想是采用非周期聚焦结构、使透镜梯度独立可调,根据加速器输出束流能量和发射度的变化来调节系统的接收度参数,使束流与系统之间达到最佳匹配。这样就可以减少束流损失,获得较高的传输效率。本系统于 1986 年 12 月建成出束,在初步调试中就获得了预期的高效率。从加速器出口到同位素生产室的束流传输效率达到 88%;从加速器出口到中子治疗室的传输效率高达 93%。

二、系统的元件布置和各部分的作用

35.5 MeV 应用束流输运系统的设计在一些内部报告^[2,3]中做了详述。这里只扼要阐述系统的元件布置和各部分的作用。系统的元件布置如图 1。束流线总长度约 65 米,由 27 个四极透镜、三块 45° 偏转磁铁、一块分析磁铁以及一些导向线圈和束流测量元件构

本文 1987 年 2 月 10 日收到。

成。各部分的长度都以厘米为单位标在图上。整个系统分为公用线、中子治疗线、同位素生产线和束流测量线四个部分。

I. 公用线

从加速器出口到偏转磁铁 $2B_{1H}$ 中心,称为公用线,长度为 35.3205 米,主要由 14 个四极透镜 ($0Q_{1D}$ 至 $0Q_{14F}$) 构成。其中透镜 $0Q_{1D}$ 至 $0Q_{4F}$ 构成第一匹配节,使束流横截面在剖面探头 $0PR_3$ 处变成一定大小的圆截面。透镜 $0Q_{5D}$ 至 $0Q_{8F}$ 构成第二匹配节,在探头 $0PR_4$ 位置上把束流匹配成束腰。透镜 $0Q_{9D}$ 至 $0Q_{12F}$ 构成一个 π 变换节,在探头 $0PR_5$ 的位置上形成与 $0PR_4$ 上完全相同的束腰。然后由双透镜 $0Q_{13D}$ 和 $0Q_{14F}$ 为束流通过偏转磁铁 $2B_{1H}$ 和 $1B_{1H}$ 提供较小的垂直包络。

公用线设计为直线加速器进一步延长到 70MeV 留了足够的空间,必要时拆除公用线上的前 10 个透镜,就可以把加速器延长到 70MeV。

II. 中子治疗线

中子治疗线长度为 12.6398 米,由两块 45° 偏转磁铁 ($1B_{1H}, 1B_{2H}$) 和 7 个四极透镜 ($1Q_{1D}$ 至 $1Q_{7F}$) 构成。其中 $1B_{1H}, 1Q_{1D}, 1Q_{2F}, 1Q_{3D}$ 和 $1B_{2H}$ 构成对称消色散节,把束流偏转 90° 并在 $1B_{2H}$ 出口提供无色散束。透镜 $1Q_{4D}$ 至 $1Q_{7F}$ 构成匹配节,用来在中子治疗靶 $tg1$ 上形成所需要的束流斑点。

III. 同位素生产线

同位素生产线长度为 9.8942 米,由一块 45° 偏转磁铁 $2B_{1H}$ 和四个透镜 ($2Q_{1F}$ 至 $2Q_{4D}$) 构成。调节这四个透镜,可以在同位素生产靶 $tg2$ 上形成所需要的束流斑点。

IV. 束流测量线

束流测量线由物狭缝 ASL , 四极透镜 AQ_{1D}, AQ_{2F} , 分析磁铁 AM , 测量靶 tgA 以及它后面的法拉第筒构成,用来测量束流的能谱。动量分辨率为 2.86×10^{-4} 。

三、磁铁参数

分析磁铁 AM 及透镜 $0Q_{13D}, 0Q_{14F}, AQ_{1D}, AQ_{2F}$ 是利用原来 10 MeV 束流测量线^[4]上的元件。三块偏转磁铁和其余 23 个透镜是新造的。它们的主要参数分别列在表 1 和表 2 中。四极透镜电源分两种类型主要是照顾将来直线加速器进一步扩建到 70MeV 的可能性。表 3 中列出了本系统在 35.5MeV 和 70MeV 工作时所需的透镜梯度。

四、测量元件、校正元件和真空度

公用线上有 4 个束流变压器 $0BT_1$ 至 $0BT_4$, 用来监测束流强度。两对导向线圈 $0st_1, 0st_2$ 和 $0st_3, 0st_4$, 用来保证束流准直。 $0PR_1$ 至 $0PR_6$ 为束流剖面探头,用来监测

束流截面和中心位置。

中子治疗线和同位素生产线各有一对导向线圈 $1st_1$ 、 $1st_2$ 和 $2st_1$ 、 $2st_2$, 用来校正束流偏转角误差和对靶心瞄准。束流变压器 $2BT_1$ 和 $1BT_1$ 至 $1BT_3$, 监测束流强度; 剖面探头 $2PR_1$ 和 $1PR_1$ 至 $1PR_3$ 也是用来监测束流截面和中心位置的。

整个输运系统中,除分析磁铁 AM 到废束流收集器 BC 之间真空度稍低外,其他地方的真空度都在 1×10^{-6} 毛左右。

五、系统的初步调试结果

本系统于1986年12月建成出束。12月17日和23日分别对同位素生产线和中子治疗线进行了初步调试。在调试中,用统一标定的束流变压器对几个主要位置上的束流强度进行了测量,所得数据列在表4中。从表上可以看出,对同位素生产线,当直线加速器出口(即公用线入口)的束流强度为58毫安时,在靠近同位素生产线末端的束流变压器 $2BT_1$ 上测得束流强度为51毫安。由此可以算出,相应的束流传输效率约为88%;对中子治疗线,当加速器出口流强为58毫安时,在中子治疗线末端的束流变压器 $1BT_3$ 上测

表4 35.5MeV 应用束流运输系统主要位置上束流强度的测量值

日期	公用线入口 $0BT_1$ (mA)	公用线末端 $0BT_4$ (mA)	接近同位素线末端 $2BT_1$ (mA)	中子治疗线末端 $1BT_3$ (mA)
1986.12.17	58	55	51	—
1986.12.23	58	54	—	54

得束流强度为54毫安,相应的束流传输效率为93%。以上传输效率均超过了预期值。

在本系统设计阶段,徐建铭教授多次参加讨论,提出了宝贵意见;周清一教授和潘惠宝教授为组织系统的技术设计和设备制造做了许多有益的工作;万恒芳等同志组织了系统设备的准直安装;高能物理所质子直线加速器研究室的同志们在系统技术设计、建造、安装和调试中做了大量工作,作者在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 周清一等,高能物理与核物理,11(1987),85.
- [2] 魏开煜等, BPL/TRAN. 83-01, 中国科学院高能物理研究所内部报告,1983.
- [3] 魏开煜等, BPL/TRAN. 87-01, 中国科学院高能物理研究所内部报告,1987.
- [4] 吕继华等,10McV. 能谱测量线扩充为 10McV 通用束流测量线的初步理论设计,中国科学院高能物理研究所内部报告,1978.

DESIGN AND BEAM TEST FOR THE BPL 35.5MeV BEAM TRANSPORT SYSTEM

WEI KAI-YU LIN ZHEN-HUA LŪ JI-HUA WANG SHU-HONG LUO ZI-HUA
SUN SONG-LAN ZHU REN-QUAN

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The physical design and beam test for the BPL 35.5 MeV beam transport system are described. This system was constructed and put into operation in December 1986. After preliminary adjustment, the beam transfer efficiency of the two beam lines of this system reached 88% and 93% respectively.

J
I
C
A
A
E