

兰州放射性束流线建造与物理实验 同时进行的安全实施

宋文杰

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 在兰州重离子研究装置(HIRFL)的分离扇回旋加速器(SSC)实验大厅内建造一条放射性束流线的同时,继续进行核物理实验。由于采取了改进屏蔽和加强管理等措施,保证了全体人员的辐射安全。介绍了安全实施这一计划的情况和结果。

关键词 兰州放射性束流线, 建造, 物理实验, 安全实施

中图分类号 TL75

1 问题的提出

决定在兰州重离子研究装置(HIRFL)8个终端中的 T_{L3} 位置建造兰州放射性束流线(RIBLL),这是我国追踪世界核物理先进水平迈出的新步伐。

由于设备订货、到货情况的变化,使建造束流线的进度有所改变。而另一方面,按照原计划一些在HIRFL上应当完成的实验也不能耽误。这样,安装建造就必须与核物理实验在一个大厅内同时进行,这无疑给辐射防护人员提出了一个严峻的问题:必须保证安装人员的安全。

HIRFL的实验大厅内共设8个终端,其中 T_{L1} — T_{L3} 三个在一侧, T_{R1} — T_{R5} 五个在另一侧。 T_{L3} 本来是原子物理实验终端,现需将其拆除,以便建造RIBLL(见图1)。

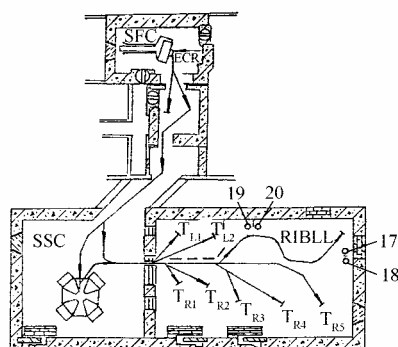


图1 HIRFL的平面布局

Fig.1 Layout of the HIRFL

实验大厅是一个整体,各实验终端之间的屏蔽墙是由活动水泥块搭建的。由于现场设备极为复杂,除 T_{R1} 因实验要求屏蔽较完善(完整且有顶)外,其余各终端只有一些高为2.5 m且不完整的隔墙。要求在同一时间、同一区域内,既完成RIBLL的安装任务,又完成物理实验,而且安装人员的辐射安全也必须保证,这在HIRFL的运行史上还是第一次。

2 采取的措施

由于实验对束流能量的要求高,而且其中两组实验对流强的要求是“在束流稳定的前提下越大越好”,这无疑给辐射防护增加了难度。所庆幸的是,这4个实验都集中在 T_{L1} 和 T_{L2} 两个终端,不仅区域集中,而且范围较小。

2.1 屏蔽

从安全角度讲,屏蔽越厚、范围越小越好。但是由于现场情况比较复杂,屏蔽受到许多条件的制约。例如,RIBLL安装者要求场地宽敞,要缩小屏蔽范围;而实验者要求在屏蔽范围内仪器设备也要摆得开。同时,屏蔽顶盖一方面不能低于设备的最大高度,另一方面又受天车最大起吊高度的限制。经研究决定,以原有屏蔽为基础进行改造完善。屏蔽墙除改善布局、增加厚度外,高度也从2.5 m增至3.0 m(低于此,终端设备较高,无法盖顶;再高则天车起吊较长的大梁时有危险),并利用原电源

屏蔽间拆下的 0.5m×0.65m×12m 混凝土梁搭建 0.65 m 厚的顶盖,这不仅加强了对天空反照的防护,而且也为 RIBLL 建造清理了场地。

束流前方屏蔽墙厚度由下式计算^[1]：

$$\xi_n \leq 2.8 \times 10^{-4} \frac{\dot{H}_L \times r^2}{\dot{\phi}_0 \times Q}$$

式中, ξ_n 为屏蔽对 中子 (n) 的透射系数 (Sv · cm²) ; $\dot{H}_L$ 为参考点相应的剂量当量率控制水平 (Sv · h⁻¹) ; r 为源到参考点的距离 (m) ; $\dot{\phi}_0$ 为距中子源 1m 处的中子注量率 (m² · cm⁻² · s⁻¹) ; Q 为区域居留因子。

以 30 nA 的 75MeV/u ¹²C⁶⁺ 束计算,离子数相当于 3.13×10¹⁰/s。每个入射离子的平均中子产额为 0.23 中子/离子^[2],故总中子产额为 7.2×10⁹/s。用打铁靶估算混凝土屏蔽墙厚度约为 192 cm。因此,使用 2m×1m×0.5m 和 1m×1m×0.5m 两种主屏蔽块以及一些小的辅助屏蔽块搭建屏蔽墙是可行的。

最终完成的实验区屏蔽如图 2 所示。图 2 中空白块是原有的,带斜线的块是增加的。由于 T_{L2} 前面实验空间太小,故前面的屏蔽墙无法建成直墙,而只能建成图中的样子。

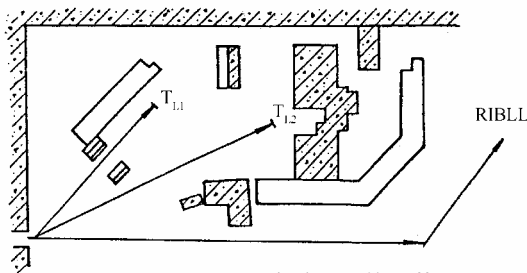


图 2 T_{L1} 和 T_{L2} 实验小区的屏蔽

Fig.2 Shielding of the experimental areas T_{L1} and T_{L2}

2.2 监测

在 RIBLL 安装现场配备了两套探测器 (见图 1 中 17, 18 和 19, 20)。中子探测器 (图 1 中 17 和

19) 由一支置于圆柱形聚乙烯慢化体和吸收体中心的 BF₃ 正比计数管和电子线路组成,它具有较好的中子 γ 分辨能力。中子灵敏度为每 10⁻⁵ Sv · h⁻¹ 的剂量当量率有 (2.0±0.1)s⁻¹ 中子。γ 探测器 (图 1 中 18 和 20) 是由一个充有氙气的高气压电离室和相应的电荷积分电路组成的,电离室壁为钛材料,在中子和 γ 比为 25 的辐射条件下,对中子不灵敏。γ 探测器的灵敏度为每个脉冲 0.4 μSv。监测时必须对以上两套探测器进行刻度。

实验中为 RIBLL 安装人员配备了 γ 热释光个人剂量计。个人的中子剂量由剂量场测量进行评估。

3 组织管理

在建造放射性束流线和核物理实验同时进行的过程中,我们采取了以下措施：

- (1) 物理实验前完成了 T_{L1}、T_{L2} 屏蔽吊装,制定了“物理实验和 RIBLL 安装同时进行期间辐射防护注意事项”,对辐射防护人员、现场安装人员、物理实验人员和加速器运行人员都提出了具体要求,并打印下发给有关领导及安装、实验、运行等部门,并传达到所有相关人员。
- (2) 对实验厅入口进行控制,非安装人员不得入内。
- (3) 防护值班员到安装现场巡视,及时解决现场提出的问题。
- (4) 除用现场固定仪表监测外,防护值班员还要用便携式仪表到现场巡测。
- (5) 在 RIBLL 安装期间,为了尽量减少束流在实验大厅打靶的时间,与实验人员进行商量,白天尽量安排需要的流强小、照射时间短的靶子,把需要大束流、长时间照射的靶子安排在晚上,尤其是后半夜。

4 结果与讨论

在 RIBLL 安装期间共作了 4 个核物理实验,具体情况如表 1 所示。

表 1 RIBLL 安装期间的实验情况

Table 1 Experimental conditions during the installing of RIBLL

序号 No.	离子 Ions	能量 Energy /MeV · u ⁻¹	束流强度 Beam intensity / nA	靶材料 Target	终端 Terminal
1	¹⁶ O ⁸⁺	75	<1.5	小麦、生物大分子、癌细胞等 Wheat, Biomacromolecules, Cancer cell, etc.	T _{L2}
2	¹² C ⁶⁺	75	~20	铍、铝、铜、钽等 Be, Al, Cu, Ta, etc.	T _{L1}
3	¹² C ⁶⁺	75	< 3	小麦、生物大分子、癌细胞等 Wheat, Biomacromolecules, Cancer cell, etc.	T _{L2}
4	¹⁸ O ⁸⁺	60	20—30	天然钨 natW	T _{L1}

我们依据工作场所的监测结果和工作人员受照地点和时间的资料评价工作人员受到的照射。

束流进入实验厅打靶共 25d。根据实验的需要,其中有 12d 束流强度很小(在 3nA 以下),有 13d 束流强度在 10—30nA。在 13d 中因换靶、实验设备及加速器故障等各种因素造成的停束约占一半时间,故实际打靶只有约 7d。按安装工作每天 12h 计,则总计带束工作 84h。

从安装现场的测量结果看,测到的最大中子剂量率为 $3.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ (19 号探测器)。因此,个人的中子剂量估计最大不超过 $294 \mu\text{Sv}$ ($3.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 84\text{h}$)。现场测到的最大 γ 剂量率为 $1.48 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ (20 号探测器)。

监测表明,有关人员当年全年的个人 γ 外照射剂量为 0.035—0.6 mSv。因此,我们认为这一段工作期间安装人员是安全的。由于采取了周密的组织

措施、进行了较好的屏蔽、连续的现场监测及认真的管理,这次在实验大厅有束流的情况下有较多人员参加的 RIBLL 安装工作是成功的。

致谢 对辐射防护现场组和加速器工作者的大力支持和帮助在此表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 方杰主编. 辐射防护导论. 北京:原子能出版社, 1991. 175
FANG Jie. An introduction of radiation protection. Beijing: Atomic Energy Press, 1991. 175
- 2 Takashi Nakamura. Neutron production by heavy ion interaction for neutron shielding design, Proceeding of the 2nd Symposium on Accelerator Science and Technology, 1978, Tokyo, Japan. 203—204

Radiation safety implementation for building RIBLL without interrupting routine physical experiments

SONG Wenjie

(Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract While the RIBLL was being built in the experimental hall of HIRFL, nuclear physical experiments had to continue. By improving the shielding and strengthening the management, the personnel radiation safety was ensured. The safety measures taken and consequences were described in the paper.

Key words RIBLL, Building, Physical experiment, Safety implementation

CLC TL75