

# HI-13 串列加速器辐射防护联锁系统

王晓飞, 胡跃明, 李明龙, 胡任威

(中国原子能科学研究院 核物理研究所 串列加速器研究运行室, 北京 102413)

**摘要:**新建 HI-13 串列加速器辐射防护联锁系统优化了原系统的联锁控制逻辑, 采用 PLC 与计算机控制技术, 在充分保证人员辐射安全的同时, 使系统状态显示更直观, 操作更方便。

**关键词:**辐射防护联锁系统; 联锁控制逻辑; PLC 控制

**中图分类号:** TL503.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2008)S0-0267-03

## HI-13 Tandem Accelerator Radiation Protection and Interlock System

WANG Xiao-fei, HU Yue-ming, LI Ming-long, HU Ren-wei

(China Institute of Atomic Energy, P.O. Box 275-62, Beijing 102413, China)

**Abstract:** Upgrading of HI-13 tandem accelerator radiation protection and interlock system extends and optimizes the original protection logic. PLC control technology and computer control system were adopted in this upgrade system to make the control more convenient and to obtain reasonable displayed interfaces.

**Key words:** radiation protection and interlock system; protection logic; PLC control technology

HI-13 串列加速器在运行之初就设计安装了剂量监测、联锁控制、故障报警等系统。因经验不足和受设备水平限制, 原辐射防护联锁系统在操作设计上存在一些不合理的地方, 且此套辐射防护系统已运行近 20 年, 设备老化、技术落后、辐射防护的安全隐患越来越大。HI-13 串列加速器在 2006 年新建了具有 300 kV 台架的注入器系统, 串列升级工程中的管道设备也将与现有的设备相连, 新辐射安全与防护法规已出台, 这均要求对辐射防护联锁系统进行改造, 以适应目前的需求。新建辐射防护联锁系统根据以上要求增加新联锁关系, 符合新法规中关于《放射性同位素与射线装置安全和

防护条例》辐射防护三原则的要求, 在保护工作人员安全的同时, 能更好保证系统工作的可持续性和状态指示的明确性。同时, 用 PLC 控制代替原继电器控制可优化系统状态显示与操作方式, 并实现系统的高可靠性和可拓展性。

### 1 辐射防护联锁系统要求

HI-13 串列加速器实验室主要由加速器大厅与 3 个实验厅组成。在注入器系统升级后, 从辐射安全角度可将加速器大厅分为两个部分, 即注入器区域与加速器区域。加速器区域除进行高压防护外, 辐射防护必须考虑, 实验厅则主要考虑辐射防护。其它防护设备可保证人

员辐射安全时,加速器不会因防护门开启、工作解锁或区域超剂量而停机,但停机始终为最终保护方式,以保证人员的绝对安全。注入器区域具有300 kV的最大预加速电压,在加速氙等轻离子时会产生很高的辐射场,也需考虑辐射防护措施。另外,要求工作区域的各种工作状态指示完整、清晰,报警提醒全面。

根据以上特点,辐射防护系统应包括以下内容:1) 关闭工作区域前,需强制对工作区进行清场,并在关闭过程中有报警及语音提示;2) 正常情况下,开启输电梯需完全关好区域防护门,使区域处于封闭状态;3) 加速器开机与实验厅供束有相应的联锁条件,使人员不能随意进入这些区域;4) 当加速器开机或实验厅供束而工作人员被迫必需进入防护区域时,需在一定授权下解锁辐射防护联锁系统,同时,主厅低能端法拉第筒与分析磁铁像点法拉第筒启动防护功能,就地报警设备给出相应的报警,从而迅速切断束流,给出报警提示,确保人员的辐射安全;5) 工作人员请求超剂量进入工作区操作时,须得到高级授权;6) 注入器 300 kV 高压与大厅防护门联锁,在进行高压解锁时,打开大厅防护会导致300 kV电源跳闸;7) 任何防护屏蔽被强行打开时,联锁系统应保证束流被切断在安全位置,并给出报警信号;8) 就地与远控端可提供完整的辐射防护系统状态和信息,显示清晰,操作方便。

## 2 辐射防护联锁系统控制逻辑

投入辐射防护联锁系统后,加速器系统的操作必须遵循系统逻辑。

### 2.1 开机清场

在停机状态下首次开启输电梯,应进行清场程序,通过按下分布于不同区域墙上的清场按钮,保证防护门在完全关闭工作区域前所有人员均安全退出场外。

### 2.2 加速器开机并正常运行条件

在以下条件下可开启输电梯:1) 关闭与主厅相连的防护门及迷宫门,并满足开启输电梯的其他条件(加速管真空、钢管压力等);2) 主厅联锁开关置于高压解锁、供束解锁或超剂量解锁位置,此时,主厅相关各门可处于打开状态,不影响输电梯启动。

**2.2.1 高压解锁** 1) 主厅联锁处于高压解锁

状态时,无需关主厅防护门即可开输电梯;2) 如果关好门后再启动输电梯,则能够从厅外打开防护门和迷宫门而输电梯的马达不会跳闸,低能端法拉第筒始终处于放下状态并不能提起,300 kV 注入器高压在高压解锁状态下电源会跳闸。

**2.2.2 供束解锁** 1) 供束解锁时,可在不关防护门和迷宫门情况下开启输电梯;2) 门关好后,如果选择供束解锁,打开与主厅相关的门,输电梯不会跳闸;3) 可提起低能端法拉第筒供束;4) 主厅如超剂量而相连的门又处于打开状态,低能端法拉第筒将自动落下并提示。

**2.2.3 超剂量解锁含义** 1) 超剂量联锁状态时,可在不关主厅相关门的情况下开启输电梯;2) 在关好门后,如果选择超剂量解锁,打开和主厅相关的门输电梯不会跳闸,但会给出相关提示,如出束质量、能量、剂量水平等;3) 使用超剂量解锁须得到高级授权。需说明,无任何解锁情况下,应关好大厅相关的门后开机。门被用紧急开门按钮强行打开时,低能端法拉第筒被瞬时放下,应尽快投入高压解锁或超剂量解锁其中的1个,或尽快关好大厅相关的门,否则,法拉第筒不能被提起,时间超过一定限度时,将引起加速器停机。

## 2.3 实验厅供束条件

供束管道选择后,管道所在的实验厅应关好防护门,如果希望在不关门的情况下传输束流至实验厅,则应选择解除联锁。实验厅有供束与超剂量两种解除辐射防护解锁的方式。

**2.3.1 供束解锁** 使用供束解锁时,可从实验厅外打开相关防护门,像点法拉第筒不会被自动放下,但当实验厅的剂量超过允许值时,像点法拉第筒将自动落下。

**2.3.2 超剂量解锁** 测量厅内中子剂量和 $\gamma$ 剂量超过安全水平仍允许从测量厅外打开防护门,像点法拉第筒不会被放下。供束实验厅使用超剂量解锁仅在工作人员必须进入时使用,并需要得到高级授权。

## 2.4 加速器开机与供束连通过程中的辐射防护联锁

加速器满足供束条件后,将束流传至实验厅时,首先应选择至少1个供束管道,该管道真空阀门才能打开,其所在厅须同时符合实验厅辐射

防护连锁条件之一。否则,束流会被挡在分析磁铁像点法拉第筒前而无法进入该测量厅。

## 2.5 注入器高压与大厅连锁

只有在大厅使用供束解锁的情况下,才能打开防护门进入大厅手动升注入器 300 kV 高压。在高压已运行的情况下,使用大厅高压解锁并打开防护门,高压会失电。这是因 300 kV 对某些轻粒子来说已足以产生强的辐射场。连锁可保证进入人员的辐射安全。

## 2.6 低能端法拉第筒控制条件

低能端法拉第筒的作用是将束流挡在注入器与串列加速器相连接处。束流未经加速器高压加速,能量较低。为满足辐射防护的要求,控制条件设置为:1) 在输电梯不启动条件下,低能端法拉第筒可随意操作;2) 输电梯启动后,正常模式下,当主厅相关门关好时,低能端法拉第筒可随意操作;3) 主厅连锁控制处于高压解锁时,低能端法拉第筒自动放下并不能被提起;4) 主厅处于供束解锁而厅内的剂量在安全水平时可被提起;5) 关好大厅门后,若有人从大厅内按紧急按钮开关,低能端法拉第筒会自动放下并锁定,关好门后,手动控制功能自动恢复。

## 2.7 像点法拉第筒控制条件

分析磁铁像点法拉第筒的作用是将束流挡在主厅内而不能进入实验厅。因此,它的控制条件为:1) 在不启动输电梯条件下,像点法拉第筒可随意操作;2) 在输电梯启动时,相关实验厅的门处于关好状态可提起法拉第筒;3) 在供束实验厅没有任何解锁的情况下,如果有人强行从厅外打开防护门,像点法拉第筒自动落下;4) 在输电梯启动的条件下,相关实验厅的门处于打开状态,实验厅供束解锁时,可提起该法拉第筒,如果此时该实验厅的辐射水平超过允许值,该法拉第筒将自动落下,提醒操作人员此解锁应取消,给出报警信号;5) 超剂量解锁时,可提起该法拉第筒,若有人按下实验厅的紧急按钮,像点法拉第筒将自动落下,并给出报警信号。

## 2.8 状态指示灯与报警

在各厅内墙上及各厅外防护门口均装有指示灯,分为绿、黄、红 3 种颜色。绿灯亮,指示该厅不工作,厅内辐射水平处于安全水平;黄灯亮,指示该厅准备进入工作状态;红灯亮,表明该厅正在工作,只有工作人员在特定连锁保护

启动时才能进入该厅,红灯闪烁则表明此时该厅的辐射剂量超过安全水平。

各厅墙壁上装有紧急报警按钮,人员被误关在厅内时,可通过该按钮通知工作人员打开防护门;各防护门口设有紧急开门按钮,可直接从内部打开防护门。各厅还设有语音报警器,在该厅关闭时播放语音提示。

## 3 辐射防护连锁系统计算机控制

### 3.1 PLC 与上位机软件

采用西门子 PLC S7-300 系统,数字输入、输出量共 100 个,包括门状态、法拉第筒状态、加速器状态、紧急报警信号等。数字输出量 50 个,包括法拉第筒操作、阀门控制、指示灯控制、解锁、供束选择等。上位机软件采用 WINCC,以更好地实现上位机软件与 PLC 兼容。

### 3.2 用户主界面

用户主界面上显示的设备有:1) 串列工号内注入器区域、主厅、1 厅、2 厅、3 厅及伽玛厅的墙体范围及控制室、测量室、计算机室的墙体范围;2) 与辐射防护连锁相关的所有设备(注入器、串列加速器、分析磁铁、开关磁铁及所有相连的管道);3) 各厅防护门;4) 剂量监测仪表位置;5) 辐射防护连锁系统开机后,主界面上应显示当前日期时间、加速器状态、出束种类、操作权、当前出束实验厅及厅连锁状态、各区域辐射水平、低能端法拉第筒与像点状态等信息。

### 3.3 操作界面

操作界面用来进行出束管道的选择、厅连锁与解锁控制,同时有相关的指示灯,使信息显示更清晰。

### 3.4 警告与提示

辐射防护连锁系统的一个重要功能是实时检测系统状态,能给出文字或语音提示,并提示故障原因或发生位置,使运行人员能及时处理,保证人员安全。警告内容包括:低能端法拉第筒与像点法拉第筒自动放下警告,非正常状态下开启防护门警告,辐射水平超安全值警告等。

### 3.5 解锁授权

由于系统在运行时总会出现工作人员必须进入工作区域的情况,因此,解锁是必要的。解锁操作需要输入授权,以明确当前系统状态和责任人,避免解锁的随意性。