DCS 控制系统在^{76}Ge 同位素离心分离工厂的应用

焦振华

（中核燃料沧州有限公司，河北 沧州 061001）

摘要：以国内首个^{76}Ge 同位素分离工程的离心级联检测控制为对象，通过 DCS(Distributed Control System)控制系统硬件结构和组态编程，确保了主工艺关键设备——稳旋机的安全性，实现了实时查看现场各类工艺参数、远程开关电动阀、远程调节阀门开度及远程启停真空泵等功能，有力地保障了^{76}Ge 同位素生产线的安全平稳运行。

关键词：^{76}Ge 同位素；DCS；硬件；组态

中图分类号：TL92；TP278 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)01-0046-09

DOI：10.13426/j.cnki.yky.2022.05.06

锗有 5 种天然同位素——^{70}Ge、^{72}Ge、^{73}Ge、^{74}Ge、^{76}Ge，其丰度分别为 20.5%、27.4%、7.8%、36.5%和 7.8%，其中^{76}Ge 在探测器领域有着重要的应用[1]，尤其在暗物质的寻找、中微子质量测量[2]等尖端科学领域有着潜在的应用。为了获得单一的、丰度较高的^{76}Ge 同位素，需要对天然锗同位素进行分离。常用的同位素分离方法有电磁法、气体扩散法、热扩散法及气体离心法等。电磁法产能极低，气体扩散法设备占地面积大、耗电量大，热扩散法产能低、能耗大。与这几种方法相比，气体离心法具有能耗低、经济性好、能灵活实现规模化生产等优点，已逐渐成为分离同位素的主要方法[3]。

俄罗斯同位素股份公司(JSC Isotope)采用气体离心法生产^{76}Ge、^{74}Ge、^{72}Ge 等多种锗同位素产品[4]。中国清华大学技术物理研究所以 GeF_4 为介质，采用气体离心法进行了锗同位素分离研究[5]。受各种条件限制，国内还没有企业能够采用气体离心法大规模生产满足市场需求的、高丰度的、稳定的^{76}Ge 同位素产品。

根据清华大学探测器研制中需要使用丰度 86%以上^{76}Ge 的需求[6]，中核燃料沧州有限公司建立了国内首个采用离心法生产^{76}Ge 同位素的工厂。在高纯度^{76}Ge 产品生产过程中，为确保主工艺关键设备——稳旋机，不因管道内工作介质压力异常波动等意外事故而损坏，设计了 DCS 控制系统。

1 生产工艺及控制要求

1.1 生产工艺

离心法生产^{76}Ge 同位素前期工艺设计是根据^{76}Ge 同位素产品的丰度值，计算出最优级联形式以及运行参数，其工艺系统由离心级联系统、料流系统、气辅助系统、供取料系统组成。其工艺流程主要为：首先将装有原料 GeF_4 的容器，通过专用运输车运至供料区域，连接管线，确保真空测量及打压合格；原料经一级减压阀减压至 90 kPa 以下，经缓冲罐稳压后，通过电动调节阀二级减压；然后以恒定的流量和压力连续可靠地向离心级联系统供入 GeF_4，此时供入刚性级联的^{76}Ge 丰度约为 7.61%；再通过离心分离、料流系统、供取料系统得到中间浓缩产品；最后经化学法得到丰度为 95%以上的^{76}Ge 产品，贫料中^{76}Ge 丰度为 0.8%。各工艺系统之间的逻辑关系如图 1 所示。

收稿日期：2022-05-19

第一作者简介：焦振华(1977—)，男，河南虞城人，硕士，高级工程师，主要从事地球探测与信息技术工作。

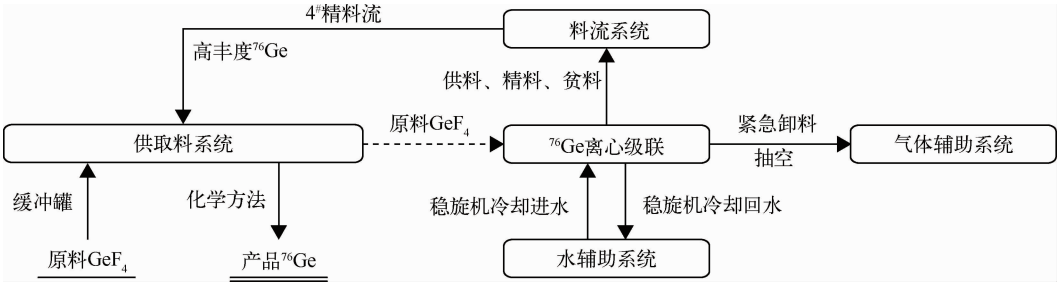


图 1　离心法生产^{76}Ge 同位素工艺流程

Fig. 1　Process flow of ^{76}Ge isotope production by centrifugation

1.1.1　离心级联系统

分离^{76}Ge 的级联采用阶梯形级联形式。级联共有 40 级,160 个装架,不分机组。级联中各分离级包含的稳旋机数量不等,最小为 1 个装架,最多为 12 个装架,通过工艺管道、阀门及真空泵等构建成 1 个刚性级联,用于分离^{76}Ge 同位素。

在级联工艺级管道中设有电阀、调节器、压力变送器等控制设备及仪表,以实现工艺级的工况调整。

1.1.2　料流系统

料流系统设有 1#、3# 和 4# 料流,其中 1# 料流用于级联供料,3# 料流用于级联轻馏分端取贫料,4# 料流用于级联重馏分端取产品以及相应回流。在料流主、备用管道上设置罗茨泵、电动阀、调节器、压力变送器等控制设备及仪表。

1.1.3　气体辅助系统

气体辅助系统包括抽空和卸料 2 个子系统。工艺级重馏分管道与抽空卸料管道通过电动阀连接,以实现在安装、启动或检修阶段对工艺级的抽空和卸料。卸料系统用于在事故状态下,紧急抽空级联工艺系统中的工作气体,保证稳旋机的安全;也用于有计划地从工艺级、机组、串级间管道等与工作气体相接触的容积内抽空工作气体。

在卸料抽空管道上设有电动阀、罗茨泵、真空泵、电接点压力表、流向事故保护传感器、流量计等控制设备及仪表。

1.1.4　供取料系统

供取料系统的作用是以恒定的流量和压力连续可靠地向离心级联供入 GeF_4,接收级联分离出来的产品和贫料。供取料系统主要包括供料系统、产品取料系统、贫料取料系统和抽真空系统。

1.2　工艺控制要求

离心法生产^{76}Ge 同位素工艺要求 DCS 控制系统完成生产过程的连续测量、常规控制、操作控制管理,保证生产装置平稳运行;通过 DCS 实现数据采集、画面显示、回路控制、超限报警、事故保护、打印制表等功能。

1.2.1　级联系统控制要求

检测级联 40 个分离级每级供、贫料管压力及末级精料管压力,3 个料流的阀门节点压力,卸料系统压力、流向测量等参数,检测真空机组状态、电阀位置等;根据卸料系统缓冲罐的真空度自动控制真空泵的启停;并实现级联每级压力、串级间管道压力事故保护,稳旋机同步事故报警,离心级联供电保护,辅助系统真空泵阀联锁等功能。

实现电动阀的开、关,区段供电的接通、断开,紧急卸料,紧急关闭料流管道,辅助系统泵阀等的远程控制;稳旋机损坏或失步、机组压力超限、就地柜设备故障报警,阀门位置不符、串级间管道关闭、运行泵事故停止等报警。

1.2.2　工艺水辅助系统控制要求

检测主机冷却水回水温度,现场显示并远传;检测供水压力,并现场显示。

1.2.3　供取料系统控制要求

测量供料单元压力、容器出口管道压力,调节阀阀位指示;远程控制电磁阀、调节阀。测量取料系统增压泵前后压力、容器入口管道压力;检测增压泵、电动阀、电磁阀的状态,并远程控制。测量贫料系统增压泵、冷阱中间前后压力,容器入口管道压力,以及气体压缩机进出口压力;检测增压泵、电动阀、电磁阀及气体压缩机的状态,并远程控制。测量抽空系统的真空度,并对真空机组实现控制。

1.2.4 空调及进排风控制要求

检测局排风机及过滤器差压，以及风机和风阀状态等。

2 控制设备及仪表

2.1 控制设备

为了监控整个工艺级联运行情况和保护稳旋机，在级联各分离级上设置工艺检测及事故保护系统，对稳旋机转速、摩擦功率、气体压力等参数进行检测，以及在级联运行中出现压力高于限值、稳旋机成组失步或损坏、停电等事故情况下，对稳旋机进行卸料保护。

级联系统每一级的重馏分端都设有电动调节阀，可远程控制阀门的开度，可实现分离级轻重馏分的压力控制、工况调整和分离级的分流比调整。每个分离级的重馏分管道都与抽空卸料管道通过电动阀连接，可实现在安装、启动或检修阶段对分离级的抽空。

在供取料系统的供料干管上，通过电动调节阀进行二级减压，以恒定的流量和压力连续可靠地向离心级联供入原料。取料干管设有增压泵，在增压泵的进口和旁通管线上均设置电动阀。当工作的增压泵进口压力升高到一定值时，自动关闭增压泵进口的电动阀，并自动打开旁通管线上的电动阀。

气体辅助系统设有罗茨泵组。在事故状态下，通过远程控制罗茨泵组可及时从工艺级、机组、串级间管道等与工作气体相接触的容积内抽空工作气体，以保证稳旋机的安全。现场设置与自控设备匹配的供电柜、转换柜、配电柜、阀门柜、泵阀柜，大部分盘柜布置在主平台上，个别气辅阀门柜及泵阀柜布置在抽空卸料装置附近。为确保稳旋机的安全，在供电系统断电情况下，电动阀、电磁阀、罗茨泵等自控设备由 UPS 电源供电，可保证运行 1 h 以上。

2.2 仪表

离心法生产^{76}Ge 同位素工艺过程配置各类仪表，用于采集工艺级供、精、贫料及料流阀节点的压力，卸料装置干管、20 m^3 大罐的干管压力，卸料装置入口流向指示，1.5 m^3 贮气罐的内部压力，抽空装置入口流向指示等参数。其仪表类型包括智能型压力(绝压、差压)变送器、弹簧管压力表、双金属温度计、流向仪表、低温液位传感器、分析仪表等。各子系统仪表配置见表 1。

表 1 离心法生产^{76}Ge 同位素仪表配置

Table 1 Instrument of ^{76}Ge isotope production by centrifugationin

仪表名称	数量/台	所属系统
压力仪表	192	级联、料流、供取料系统
温度仪表	12	级联、料流、供取料系统
分析仪表	6	供取料系统
流向仪表	4	级联系统
液位仪表	6	供取料系统

在控制室，工艺人员可通过仪表实时准确掌握生产过程的各项运行参数，并根据仪表参数进行在线联锁控制[7]。

3 控制系统

目前 DCS 系统的制造技术已相当成熟，硬件的可靠性大幅提高，DCS 系统具有可靠性高、可在线扩展、易维护等特点，国内外大多数工厂中都选用 DCS 系统作为主要的控制装置[8]。同时，在 DCS 上对控制算法的编程组态也很方便[9]，所以在^{76}Ge 同位素离心工厂中，也采用 DCS 系统。

3.1 DCS 系统结构

将离心级联系统、串级间管道系统、级联气辅助系统、水辅助系统、供取料系统、空调及进排风系统纳入 1 个 DCS 系统(图 2)，其网络结构分为 3 层。

第 1 层为监控层，由工程师站、操作员站、数据服务器、打印设备等组成。操作站/工程师站通过冗余化的过程控制网与现场控制站相连，完成工业过程的集中监测管理、操作。操作站上设有流程图画面、棒状图、历史趋势图、参数表、报警界面、打印报表等内容。工程师站除可完成操作员站的功能外，还可修改各设定值、程序开发、控制系统组态、数据库和进行画面的编辑、修改、下载。

第 2 层为控制层，主要由过程控制站组成，完成对整个级联大厅、供取料厂房、水辅助厂房，以及局排与空调机房的自控设备及仪表的数据采集、联锁控制、回路调节、顺序控制、逻辑控制和综合报警。

第 3 层为数据采集层，通过不同类型的仪表，采集现场管道上的压力、温度、流向、液位等参数；

同时采集电动真空阀、电动调节器及增压泵等执行机构的运行状态[10-11]。

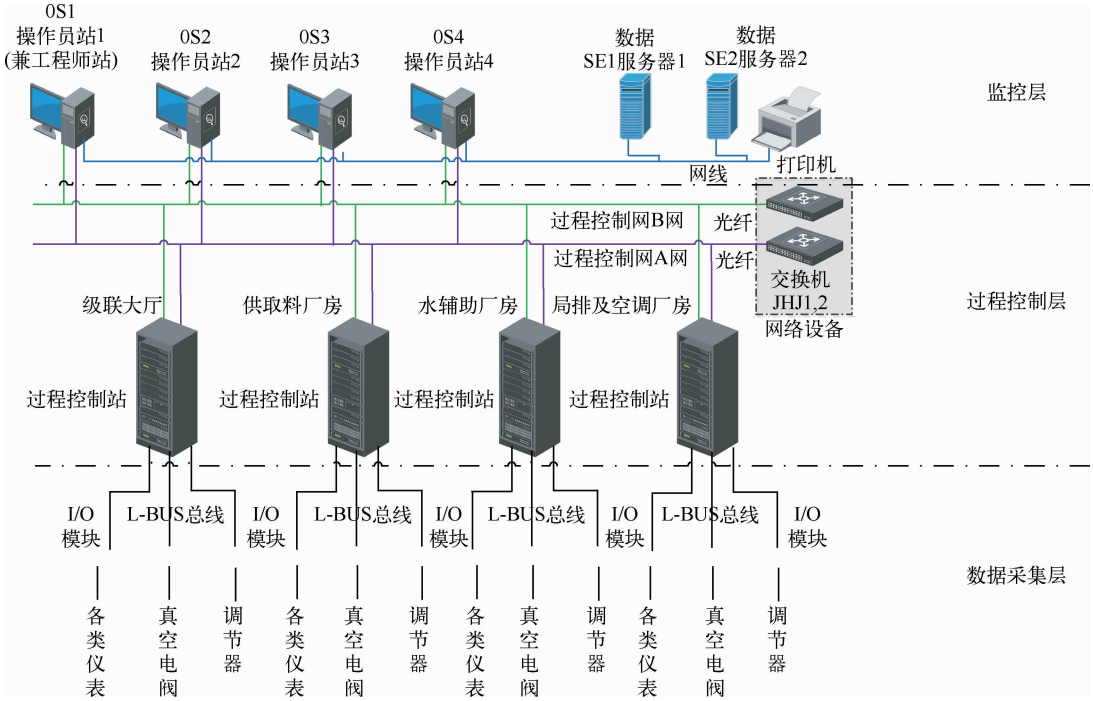


图 2　DCS 系统结构示意图

Fig. 2　DCS system structure diagram

3.2　DCS 系统硬件配置

DCS 系统配置见表 2～3,其中,级联机组部分对应 2 个过程站(PS101 及 PS104)和 1 个扩展机柜(PS101A),料流部分对应 1 个过程站(PS201)和 1 个扩展机柜(PS201A),气辅部分对应 1 个过程站(PS301),水辅部分对应 1 个过程站(PS401)和 1 个扩展机柜(PS401A),空调部分对应 1 个过程站(PS501),供取料部分对应 1 个过程站(PS601)。

DCS 现场过程站主要负责处理整个级联大厅、供取料厂房、水辅机空调系统的输入输出信号。过程站机柜内主要部件有主控制器、模拟量和数字量输入/输出(I/O)模块、数据通讯模块、电源模块、网络部件等。

表 2　DCS 系统硬件配置

Table 2　Hardware configuration of DCS system

系统	配置内容	配置数量/个					
		级联机组系统	料流系统	气辅系统	水辅系统	空调系统	供取料系统
DCS 系统	过程站	2	1	1	1	1	1
	扩展站	1	1	0	1	0	0
	操作员站	5					
	工程师站	1					
	数据服务器	2					

表 3 DCS 系统 I/O 模块配置

Table 3 I/O module configuration of DCS system

名称	数量/块	技术参数
主控卡或主控制器	16	冗余
模拟量输入模块	10	8 路,输入信号 Pt100
模拟量输入模块	50	8 路,输入信号 0～10 V
模拟量输入模块	62	8 路,输入信号 4～20 mA
模拟量输出模块	11	8 路,输出信号 4～20 mA
数字量输入模块	84	16 路
数字量输出模块	61	16 路
Modbus 串行通信模块	1	站间通讯
Profibus 主站通信模块	1	站间通讯

过程站可周期性地采集 I/O 模块的实时信息,将这些信息进行综合运算处理,并将处理结果周期性地输出到 I/O 模块,完成对现场控制对象的实时控制。同时,过程站内的主控制器周期性地向过程控制网发送实时过程信息,保证该网络上的所有操作节点均可实时监控控制站的状态,过程控制网上的操作节点也可主动查询过程站的各种信息。

3.3 控制组态

控制组态程序是^{76}Ge 同位素分离控制系统的核心部分,整个生产工艺数据的采集处理、控制命令的发送、联锁回路的执行等功能均通过组态程序来实现,具体包括系统结构组态、控制组态及实时监控组态。系统结构组态主要用于控制/操作区域划分、工程师组态权限分配与管理,以及全局工程组态管理;控制组态主要完成控制系统的组态、控制方案的编制等;实时监控组态主要完成控制系统的监视和控制件[12]。

^{76}Ge 同位素分离级联、供取料、水辅助及空调系统的工艺控制组态内容包括参数检测、事故保护、自动调节、事故报警、设备远程控制、逻辑联锁保护、监控界面等内容。

3.3.1 参数检测

为了使工艺运行人员随时了解运行工况中的各类参数及设备运行状况,在 DCS 组态软件中,对级联分离级的每级供/贫料管压力、末级精料管压力、3 个料流的阀门节点压力、卸料系统压力、流向测量、真空机组状态、电阀位置等工艺参数进行位号组态。位号组态是按照单个控制站进行组态,主要包括 I/O 位号、自定义变量、页间交换变量组态。

3.3.2 事故保护

工艺级联系统设计了每级压力、串级间管道压力事故保护、离心级联供电保护;辅助系统设计了流向事故保护传感器、真空泵阀联锁等保护。当某一传感器检测值达到或超过设定限值时,DCS 系统通过用户组态程序发出响应指令。当工艺级的供料干管上的压力事故保护传感器发出报警后,为避免事故扩散到其他工艺级,DCS 系统组态程序将发出关闭此工艺级的命令。

3.3.3 自动调节

在工艺级联系统中,每级均设有电动调节阀,供料料流和精料料流管道上设有调节器。DCS 系统通过用户组态程序可实现对工艺压力参数的自动调节,方便工艺运行人员随时调整运行工况[13]。

3.3.4 事故报警

在一些关键点设置了事故报警信号,例如机组贫料压力超限、就地柜设备故障、阀门位置不符、串级间管道关闭、运行泵事故停止等报警信号。通过 DCS 组态程序自动发出相应的事故报警信息,当工艺运行人员发现报警信号时,可及时进行检查并处理,避免造成不必要的损失。

3.3.5 设备远程控制

DCS 系统通过用户组态程序实现电动阀的开/关、区段通/断电、罗茨泵启/停、电动调节器的开度调整,以及辅助系统泵、阀操作等远程控制。

3.3.6 逻辑联锁

DCS 组态中设置了必要的逻辑联锁,主要有:1)分离级间供料压力保护时,联锁报警后先进行工艺级卸料;同机组连续 3 个工艺级联锁报警后,整机组卸料;2)当 10 kV、50 Hz 供电外网电压消失或电压下降到额定值时,延续时间超过设定值后启动失电事故保护;3)保护工作开始时,须进行主工艺设备事故保护传感器屏蔽和卸料装置传感器屏蔽,同时关闭串级间的所有管道,并进行分离级卸料。

通过组态联锁程序,在系统维护、工况转换、工艺事故等特定情况下,系统自身或运行人员可及时、快速地对工艺系统进行远程操作。

3.3.7 监控界面

监控组态分为操作域组态和操作小组组态。操作域组态主要包括操作员权限配置、报警颜色

设置、域变量组态、历史趋势组态、自定义报警分组、面板权限、报警搁置,以及工况管理和规程等。操作小组组态主要包括总貌画面、一览画面、分组画面、趋势画面、流程图、报表、调度、自定义键、可报警分区、报警面板设置、报警声音设置、位号关联流程图组态,以及位号关联趋势画面等[14-16]。^{76}Ge同位素分离过程中供料料流系统的监控组态界面如图 3 所示。

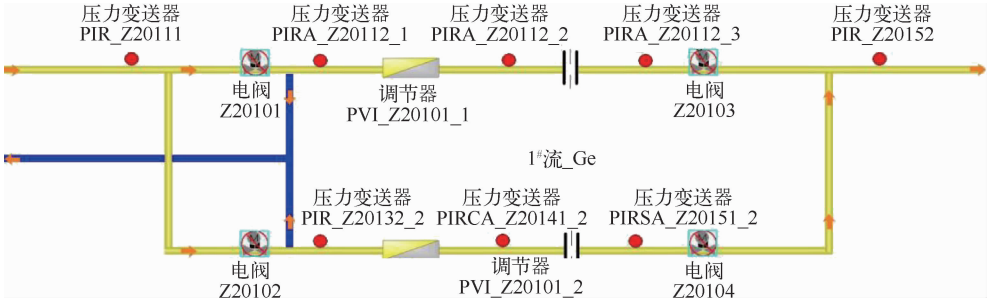


图 3　供料料流组态界面

Fig. 3　Configuration interface of material flow

3.4　工艺联锁保护控制组态程序编制

当离心级联运行遇到事故、威胁到离心工厂核心设备(稳旋机)的安全时,须将存在于稳旋机内的物料抽取出来,这一过程称为卸料。工艺联锁组态程序如图 4 所示。组态程序中,模块及其引脚功能说明见表 4～5。

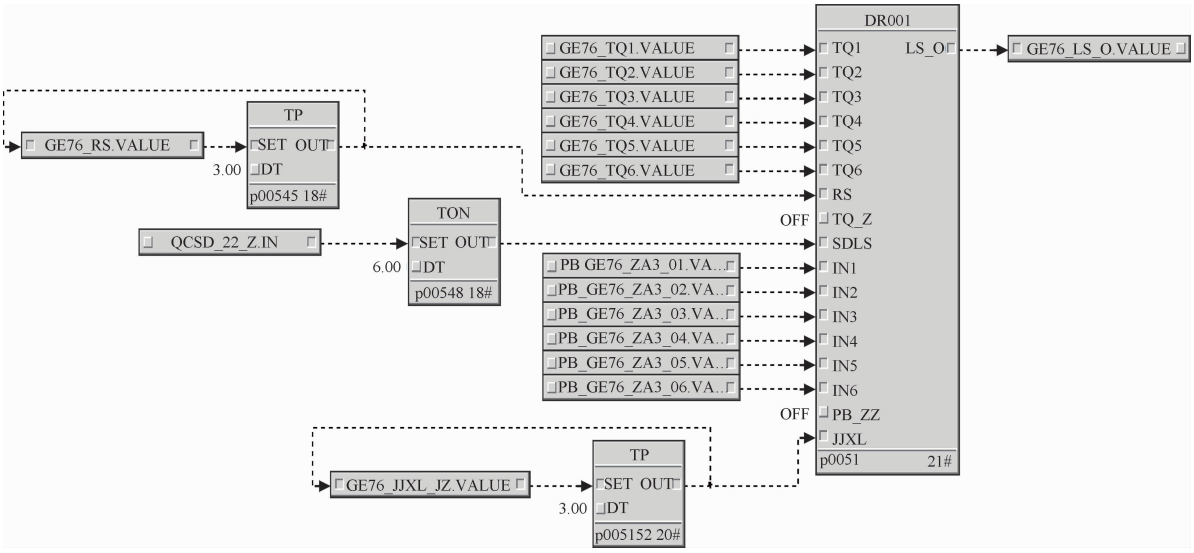


图 4　工艺联锁组态程序

Fig. 4　Configuration program of process interlocking

表 4　模块功能说明

Table 4　Description of block function

模块名称	描述	功能说明
TP	脉冲定时器模块	标准定时器功能模块,能够产生持续一定时间的脉冲
TON	延时输出模块	输出延时定时器功能模块,能够实现从 OFF 到 ON 跳变时产生一个延时输出
DR001	自定义模块	超压报警连续超过 3 个,或出现全厂失电信号,或需紧急卸料,则启动联锁卸料

表 5 引脚功能说明

Table 5 Description of pin function

引脚名称	功能说明
GE76_RS. VALUE	复位按钮信号
QCSD_22_Z. IN	全厂失电信号出现，延时 6 s 后执行整机组卸料联锁程序
GE76_JJXL_JZ. VALUE	当系统出现突发故障时，工艺人员按下紧急卸料按钮后，延时 3 s 执行整机组卸料联锁程序
GE76_TQ1. VALUE～GE76_TQ6. VALUE	1～6 级压力事故保护投切按钮，当工艺级压力值超限时，DCS 执行相应的联锁保护程序
PB_GE76_ZA3_01. VALUE～PB_GE76_ZA3_06. VALUE	当 1～6 级转速系统出现事故保护信号时，DCS 执行相应的联锁保护程序

3.4.1 整机组卸料

卸料电阀动作顺序是：每次 4 个卸料电阀打开，依次打开 1 至 40 级电动阀，完成整机组卸料。

整机组卸料需要满足的条件，组态中自定义模块 DR001 内部的逻辑程序如图 5 所示。

```
IF    (VIEW1+VIEW2+VIEW3)=3 OR (VIEW4+VIEW2+VIEW3)=3 OR (VIEW4+VIEW5+VIEW3)=3 OR
        (VIEW4+VIEW5+VIEW6))=3 OR (VIEW5+VIEW6+VIEW7)=3 OR (VIEW6+VIEW7+VIEW8)=3 OR
        (VIEW7+VIEW8+VIEW9)=3 OR (VIEW8+VIEW9+VIEM10)=3 OR (VIEW11+VIEW9+VIEW18)=3 OR
        (VIEW10+VIEW11+VIEW12)=3 THEN
      BZ1:=ON;
ELSE
      BZ1:=OFF;
END_IF;
……
(超压报警连续超过3个,或者全厂失电信号出现，或者紧急卸料按钮 则联锁卸料*)
IF  BZ1 OR BZ2 OR BZ3 OR BZ4 OR SDLS OR JJXL THEN
      LS_O:=ON;
END_IF;
(*联锁未触发,计时器清零*)
IF LS_O=OFF THEN
      COUNT:=0;
END_IF;
(*联锁触发后，阀门动作*)
IF LS_O THEN
      COUNT:=COUNT+1;
      (*4个阀一组，依次开阀*)
      IF STEP=0 THEN
      V1_LSO:=ON;V2_LSO:=ON;V3_LSO:=ON;V4_LSO:=ON;
      IF COUNT>=TM1*2*1 THEN(*默认2 s后跳步*)
            STEP:=1;
      END_IF;
END_IF;
IF STEP=1 THEN
      V5_LSO:=ON;V6_LSO:=ON;V7_LSO:=ON;V8_LSO:=ON;
      IF COUNT>=TM1*2*2  THEN(*默认2 s后跳步*)
            STEP:=2;
      END_IF;
END_IF;
……
```

图 5 整机组卸料逻辑程序

Fig. 5 Logic program of whole unit unloading

3.4.2　分离级卸料

当分离级间供料压力保护启动时，联锁报警后先进行工艺级卸料，组态中自定义模块 DR001 内部的逻辑程序如图 6 所示。

```
(*联锁投入后，压力超过高高限*)
IF    (TQ1 AND PIRSH_11011_Z.PV>=PIRSA_11011_Z.HH) THEN
        VIEW1:=1;
        V1_LSO:=ON;
ELSE
        VIEW1:=0;
END_IF;
IF    TQ2 AND PIRSA_11021_Z.PV>=PIRSA_11021_Z.HH THEN
        VIEW2:=1;
        V2_LSO:=ON;
ELSE
        VIEW2:=0;
END_IF;
IF    TQ3 AND PIRSA_11031_Z.PV>=PIRSA_11031_Z.HH THEN
        VIEW3:=1;
        V3_LSO:=ON;
ELSE
        VIEW3:=0;
END_IF;
……
```

图 6　分离级卸料逻辑程序

Fig. 6　Logic program of separation stage unloading

图 6 程序的含义是当满足 1～3 工艺级中工艺级事故保护联锁投入（即控制室操作员站监控界面的联锁屏蔽/解屏蔽按钮已经按下，处于解屏蔽状态）及供料压力超限（现场仪表测量值大于工艺设定的高报警值）条件时，触发 1～3 级卸料。其余工艺级事故保护联锁投入及供料压力超限时，组态程序相似。

4　DCS 系统应用效果

DCS 系统已成功应用在丰度为 98% 以上的^{76}Ge 同位素生产线上，生产线运行状况稳定。工艺操作人员可实时查看现场各类工艺参数，远程控制电动阀、真空泵、调节阀，实现了在同机组连续 3 个工艺级供料压力超限联锁报警、转速事故保护信号出现超过 3 次、全厂失电信号出现，以及紧急卸料（JJXL）按钮按下情况下的联锁自动卸料。

5　结论

通过 DCS 系统组态参数采集、联锁保护、实时监测等程序，实现了主工艺参数的实时在线监测、关键过程联锁保护、报警信息提示等功能，确保了主工艺关键设备——稳旋机不会因突发事故而损坏，有力地保障了^{76}Ge 同位素生产线的安全平稳运行。

参考文献：

[1] CAMPBELL D B, VETTER K, HENNING R, et al. Evaluation of radioactive background rejection in Ge-76 neutrino-less double-beta decay experiments using a highly segmented HPGe detector[J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, 2008, 587(1): 35-43.

[2] WU H F, HUANG T. Half-life and the nuclear matrix element of the double-beta decay in ^{76}Ge[J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2000, 24(6): 589-592.

[3] 谢全新，王黎明. 离心法制备稳定同位素综述[J]. 同位素，2019，32(3)：186-194.

[4] 孙启明，周明胜，潘建雄，等. 以四氟化锗为介质离心分离^{72}Ge 同位素技术研究[J]. 同位素，2021，34(5)：475-479.

[5] 周明胜，徐燕博，程维娜. 离心法分离锗同位素实验研究[J]. 同位素，2010，23(3)：134-138.

[6] 中核第七研究设计院有限公司. 中核沧州锗-76 分离工程项目建议书[R]. 太原：中核第七研究设计院有限公司，2022.

[7] 郝宏伟. 工业自动化控制系统维护技术分析[J]. 仪器仪表用户，2021，28(12)：107-109.

[8] 张强，李磊石，黄婧. 大型钠冷快堆 1E 级 DCS 的紧急停堆系统可靠性计算分析与评价[J]. 核科学与工程，2021，41(6)：1268-1274.

[9] 寇丽. DCS 系统在离心工程中的应用[J]. 过滤与分离，2013，23(4)：35-38.

[10] 梁长志. 工业锅炉 DCS 控制系统设计研究[J]. 自动化与仪器仪表，2012(1)：3-5.

[11] 黄福彦，陆绮荣，程大方. 集散控制系统网络结构的研究[J]. 自动化仪表，2010，31(1)：10-12.

[12] 王永，谷学静. DCS 集散控制系统的设计组态分析[J]. 商品与质量，2020(53)：76.

[13] 杨小松，张进荣，刘太珍. 电调阀在铀浓缩工艺中的应用及工艺控制优化[J]. 铀矿冶，2019，38(1)：42-47.

[14] 谷栋梁. DCS 控制系统在氯压机上的应用[J]. 中国化工贸易，2020，12(2)：140-141.

[15] 王长军. ECS700 集散控制系统在聚乙烯造粒机组的应用[J]. 石化技术，2021，28(6)：51-53.

[16] 曾刚. DCS 控制系统在化工生产中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量，2018，38(13)：19-20.

Application of DCS Control System in ^{76}Ge Isotope Centrifugal Separation Plant

JIAO ZhenHua
(Cangzhou Nuclear Fuel Co., Ltd., CNNC, Cangzhou 061001, China)

Abstract: Taking the detection and control of centrifugal cascade in the first ^{76}Ge isotope separation project in China as the object, the hardware structure and configuration programming of DCS(Distributed Control System) were controlled to ensure the safety of the main process key equipment (the rotary stabilizer). The system realizes the real-time view of various process parameters on site, remote switches on and off the electric valve, starts and stops the vacuum pump, and adjusts the opening of the electric regulating valve on the process pipeline, which effectively ensures the safe and stable operation of the ^{76}Ge isotope production line.

Key words: ^{76}Ge isotope; DCS; hardware; configuration

(Continued from page 22)

A Safe and Efficient Method of Tailings Recovery for Dry Tailings Pond

GUO Daping[1], HU Liangcai[1], LI Yulei[1], LI Zhehui[1], JI Junshuang[2], ZHANG Ning[1]
(1. The Fourth Research and Design Engineering Corporation, CNNC, Shijiazhuang 050021, China;
2. Hebei Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: On the basis of meshing recovery area, design recovery stripes and recovery routes, forming the recovery strategy of starting from the cross section of flood shaft, advancing respectively upward and downward in wedge and wave shape, and at the same time put forward calculation formula of recovery capability of each route, and slope steady and draining measures during recovery process. The method is then verified by a specific engineering case, the results show that this method can eliminate interference of recovery machines, prominently boost recovery efficiency, and calculate precisely of recovery capability, which is good for recovery management.

Key words: dry tailings pond; tailings; recovery; recovery ability