

## 低放废水沉淀/蒸发/离子交换处理系统的调试

秦 强, 王 帅, 马洪军, 何柳斌, 钱正华, 王红玉, 刘学阳,  
乔延波, 陈 堃

(中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

**摘 要:** 某低放废水处理系统采用沉淀、蒸发和离子交换组合工艺,其中蒸发系统的处理能力为  $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,离子交换系统的处理能力为  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。另外,还采用了自动化控制、报警、安全联锁和视频监控等设计以保证低放废水处理过程的安全。介绍了低放废水处理系统调试情况,包括调试范围、调试方案、调试条件和调试结果等,并将调试分为单机设备调试、单元设备调试和系统联调三个阶段,给出了每一阶段调试项目的测试参数或审查点。对系统调试过程中的主要技术问题进行了分析,这些问题的解决保证了低放废水处理系统调试的顺利进行和工程的按期投运。

**关键词:** 低放废水; 蒸发; 离子交换; 系统调试

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0135-04

### Commissioning of the Low-level Radioactive Wastewater Treatment with Integrated Process of Precipitation/Evaporation/Ion-exchange

QIN Qiang, WANG Shuai, MA Hong-jun, HE Liu-bin, QIAN Zheng-hua,  
WANG Hong-yu, LIU Xue-yang, QIAO Yan-bo, CHEN Kun

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** Integrated treatment process of precipitation, evaporation and ion-exchange was adopted in the low-level radioactive wastewater treatment. The treatment capacities of evaporation and ion-exchange processes were  $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$  and  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  respectively. In addition, automatic control, alarm, safety interlock and video surveillance system were installed to ensure the safety of the treatment process. The commissioning process of the low-level radioactive wastewater treatment project was introduced in terms of commissioning range, plan, condition, results etc. The process of commissioning was divided into three phases such as single machine commissioning, unit device commissioning and system integration commissioning. The test parameters or checking points in each commissioning phase were summarized. The main technical problems of commissioning were discussed. These have ensured the successful commissioning of the treatment system and further secured the system operation on schedule.

**Key words:** low-level radioactive wastewater; evaporation; ion-exchange; commissioning

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA02050000)

通信作者: 王帅 E-mail: wangshuai@sinap.ac.cn

某低放废水处理系统建于1964年,20世纪70年代—90年代该系统能够正常使用,采用化学沉淀和离子交换处理工艺。1990年—2005年由安盛科兴药业有限公司(简称科兴公司)负责运行和维护,2002年科兴公司更换了新的离子交换系统,并于2005年使用过一次。从2005年起,该系统处于闲置状态。由于长期搁置和缺乏必要的维护,系统内的电气线路、上下水管网、控制系统和工艺设备等已严重老化,无法正常使用<sup>[1]</sup>。为满足钚基熔盐核能系统基础研究及科研生产中放射性废水的处理需求,从2012年开始对低放废水处理系统进行改造设计。在改造施工前,请中核四〇四有限公司对原系统进行了拆除和放射性去污,新建废水处理系统布置在原设施内。此次改造根据本单位低放废水产生的实际情况和国内其他低放废水处理设施运行和改造经验,最终采用沉淀、蒸发和离子交换组合处理工艺<sup>[2,3]</sup>。改造后,该系统可满足本单位未来20年的低放废水处理需求,预计废水处理量约为30 m<sup>3</sup>/a。

调试是低放废水处理系统从建造到运行过程的一个重要阶段,在这一阶段要对已安装好的系统和设备进行试运转,从而对系统的设计、设备制造、安装质量进行全面的综合检查和评价,验证其功能是否满足设计和使用要求,主要设备质量是否达到设计指标<sup>[4]</sup>。通过对所有系统和设备进行较长时间的联调考验,以便充分暴露缺陷,并及时修复,从而提高其安全性;另外,通过调试还可以培训运行人员和生产管理人员。

低放废水处理系统的调试从2014年12月1日开始,到2015年4月3日结束,按计划完成了所有系统调试试验项目,其中包括单机设备调试如输送泵、仪表、阀门等252项,单元设备调试如蒸发系统、离子交换系统、水泥固化系统等12项,系统联调4项,共计268项。

## 1 系统调试范围

低放废水处理系统具有废水暂存、输送、处理和排放等功能,因此该系统的调试范围包括单机设备调试、单元设备调试和系统联调。

### 1.1 单机设备调试

单机设备包括各类泵、仪表、自动控制阀和手动控制阀等。

### 1.2 单元设备调试

单元设备包括蒸发系统、离子交换系统、水泥固

化系统、电加热锅炉、冷却塔系统、多介质过滤系统、试剂添加系统、工艺控制系统、扬液器、取样手套箱、真空泵系统和压缩空气系统。

### 1.3 系统联调

根据低放废水处理工艺流程<sup>[3,5]</sup>,确定了以下几个方面调试内容:①放化楼1 m<sup>3</sup>暂存水罐→扬液器→20 m<sup>3</sup>废水储罐;②20 m<sup>3</sup>废水储罐→沉淀罐→中间水罐→蒸发系统→冷凝液罐→离子交换系统→缓冲水池;③沉淀罐→泥浆接收罐→水泥固化系统;④蒸发序列→蒸残液接收罐→扬液器→水泥固化系统。

## 2 系统调试方案和调试条件

### 2.1 编制调试方案

调试方案主要包括以下几个方面:

- ① 调试的目的、阶段划分和具备的条件。
- ② 调试项目、方案和审查点。列出各阶段的试验内容、试验方案、设计参数和结果记录表。
- ③ 调试计划和进度。即调试计划的安排原则、计划和进度。
- ④ 调试组织机构和职责分工。包括调试的组织机构、参与单位、调试人员的职责和资格要求。
- ⑤ 应急预案和安全管理。介绍调试期间可能发生的事故类型、应对措施和安全事故报告程序,以及调试实施管理程序和调试安防措施。

### 2.2 调试条件

在调试方案获得批准,并满足下述调试应具备的条件后才能开始调试工作。a. 工艺系统的配套设施(水、电、风、结构等)全部施工完成,并验收合格。b. 工艺系统、设备、管道已按照设计要求和条件安装完毕。c. 安装单位已提供有关系统的安装完成报告。d. 调试所用的备品、备件、工器具和材料已准备好。e. 参与调试人员、安全措施等均已到位。

## 3 系统调试情况

根据系统调试的内容、特点和需具备的条件,将低放废水处理系统调试分为单机设备调试、单元设备调试和系统联调三个阶段。只有前一阶段的调试完成和下一阶段的条件准备妥当,才能进行下一阶段的调试,调试用料液均以清水代替。

### 3.1 单机设备调试

单机调试是低放废水处理系统调试工作的第一步。单机调试的主要目的是检验泵、压力表、压力变送器、液位计、pH计、流量计等接线是否正确,能否

正常启停,信号是否能够正常远传至工艺的自控系统。

具体做法是由调试技术人员和施工单位一起逐项调试各设备,调试完成后填写《测试参数和结果记录表》,并共同签字确认。

### 3.2 单元设备调试

单机设备调试完成之后,开始进行单元设备调试。根据单元设备调试需具备的条件,将单元设备

调试分为常规设备调试和处理设备调试,首先进行常规单元设备的调试,并按照从上往下的顺序进行,前一单元设备完成后再进行下一项的调试(见图1)。每一单元设备都要根据设计要求设定明确的测试参数或审查点,只有达到了设定的测试参数或审查点才能进行下一单元设备的调试。此外,锅炉属于特种设备,在调试时需具有锅炉安全管理、锅炉司炉、锅炉水处理资质证书的人员参与调试。

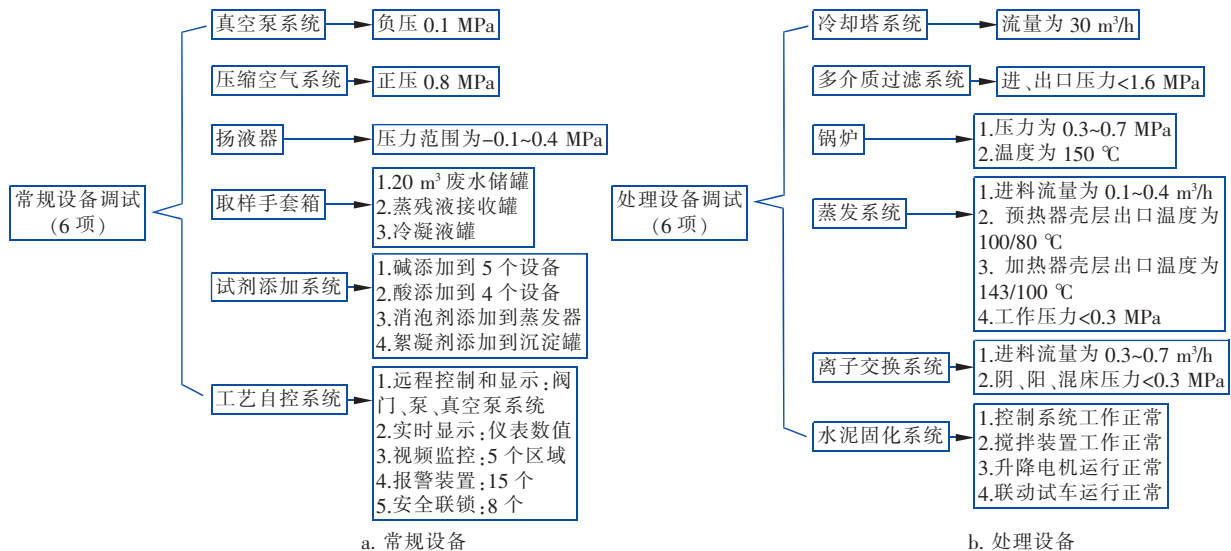


图 1 单元设备调试项目及审查点

Fig. 1 Unit equipment commissioning and review points

扬液器、取样手套箱、试剂添加系统、离子交换系统由调试技术人员和施工单位共同调试,其余单元设备由设备厂家、调试技术人员和施工单位共同调试,调试完成后填写《测试参数和结果记录表》,并共同签字确认。

### 3.3 系统联调

低放废水处理系统的联调分为 4 个方面:一是用扬液器将放化楼产生的低放废水输送至 20 m<sup>3</sup> 废水储罐,调试审查点是废水能按设计流速流到 20 m<sup>3</sup> 废水储罐中,且各设备运行正常。运行参数符合设计要求。二是废水经沉淀、蒸发、离子交换组合工艺处理后流到缓冲水池,调试审查点是各系统、设备运行正常,运行参数符合设计要求。三是用泥浆泵将沉淀罐内废水输送至水泥固化系统,调试审查点是废水能流到水泥固化桶,泥浆泵和水泥固化系统运行正常。四是用扬液器将蒸残液接收罐内废水输送至水泥固化系统,调试审查点是废水能流到水泥固化桶,扬液器、真空泵系统、压缩空气系统和水泥

固化系统运行正常。

单机、单元设备调试的顺利完成,是开展系统联调的前提条件,而系统联调则可以进一步对单元、单机设备进行测试。系统联调采取工艺远程控制,结合现场检查的方式,确保工艺自控系统能够正常控制和显示相关阀门、泵和辅助工艺系统的状态,以及现场管道、阀门和设备连接处无跑、冒、滴、漏等现象。对于调试过程中出现的问题要及时分析解决,必要时可联系设备厂家到场,并将曾出现问题的地方作为重点检查对象。此次联调共进行了 3 天,由施工单位、设计单位和调试技术人员共同完成,在调试过程中需定期记录各设备的运行状况和各项测试参数,如温度、压力、液位、流量等。调试完成后填写《测试参数和结果记录表》和编写《调试总结报告》,由参与联调的施工单位、设计单位和调试技术人员共同签字确认。

## 4 主要技术问题分析

在调试期间,对每天发现的问题列出清单,各参

试单位一起分析原因,研究解决问题的方法和措施,从而保证了系统调试的顺利进行。

#### 4.1 排风管道渗水处理

在调试过程中发现排风管道中有水渗出,这样会影响通排风系统中风管和过滤器的使用寿命。经调查得知,水气来自真空泵系统,真空泵系统中的真空泵为液环式真空泵,在给水处理过程中靠泵腔容积的变化来实现吸气、压缩和排气。由于原设计在真空泵排气口没有考虑气水分离设备,导致含有大量气水混合物的气体进入排风管道,气水混合物凝结后渗出排风管道。针对该问题,调试技术人员与真空泵系统厂家进行了联系,经讨论决定在真空泵排气口增加一台气水分离器,分离后的气体排入通排风系统,水则重复利用,继续供给真空泵。

#### 4.2 锅炉温度、压力异常

蒸发系统所需的蒸汽由一台电加热锅炉提供,此锅炉能提供温度为150℃、压力为0.3 MPa和0.7 MPa的蒸汽。在系统调试期间发现锅炉的压力和温度均高于设计值,经排查发现是由于在锅炉蒸汽出口管道最低处没有设置排污口,蒸汽冷凝液将蒸汽出口堵塞导致的温度和压力异常。针对该问题,调试人员与设计单位进行了联系,最终决定在蒸汽管道最低处设一条通往锅炉房地漏的排污管道。

#### 4.3 仪表选型和安装位置优化

扬液器为压力容器,在调试过程中发现原设计采用的液位计和pH计为常压仪表,这将导致仪表容易损坏以及接口处密封性达不到要求。针对该问题,调试技术人员与设计单位、施工单位进行了联系,最后决定将原超声波液位计更换为不锈钢浮子液位计,将原pH计的塑料外壳更换为不锈钢外壳,并增加与扬液器相连的不锈钢法兰。

调试期间还发现,原设计中用于测定20 m<sup>3</sup>废水储罐酸碱度的pH计布置在储罐内部,但是储罐的高度是2.7 m,而pH计的接线只有1.2 m,当储罐的液位较低时,pH计与液面接触不到,当液面较高时pH计接线容易浸泡在废水中。经与设计单位、施工单位讨论,最后决定将pH计布置在废水储罐泵进行循环的出水管上,这样在调节pH过程中通过泵循环既可以将储罐内的废水混合均匀,又可以实时测定储罐内废水的pH值。

## 5 结论

低放废水处理系统调试结果表明:①各设备系统运行正常,管路系统流体输送顺畅,无跑、冒、滴、漏现象;②蒸发系统的处理能力为0.2 m<sup>3</sup>/h,离子交换系统的处理能力为0.5 m<sup>3</sup>/h,满足设计要求;③控制系统、安全连锁系统运行安全可靠,自控阀门动作正常;④视频监控系统设计合理,能够实现对5个重点区域的实时监控。

低放废水处理系统调试的圆满完成,证明该工程的设计、加工制造、施工建设和调度运行均是成功的,从而保证了工程能安全可靠地投入运行,也为后续低放废水处理系统的建设积累了宝贵的经验。

#### 参考文献:

- [1] 王帅,秦强,钱正华,等.低放废水处理设施升级改造工程[J].中国给水排水,2015,31(8):85-89.
- [2] 肖湘竹,邓玥,赵军,等.低放废水处理系统的恢复改造与运行[J].原子能科学技术,2010,44(S1):653-656.
- [3] 王帅,秦强,邓玥,等.低放废水处理设施升级改造设计中的安全[J].金陵科技学院学报,2015,31(3):1-6.
- [4] 孙光弟,范永富,陈生林,等.调试大纲的编制和实施[J].核动力工程,1993,14(1):11-18.
- [5] 郭胜辉,刘虎平.低放射性废水处理系统改造工程设计研究[J].煤炭与化工,2015,38(3):154-156.



作者简介:秦强(1987-),男,山东泰安人,硕士,主要研究领域为放射性“三废”处理和工程。

E-mail: qinqiang@sinap.ac.cn

收稿日期:2016-08-25