

AP1000 核电站放射性液体废物系统 废液排放 PH 值低问题研究

王 丰

(三门核电有限公司, 浙江 台州 317112)

摘 要 某 AP1000 机组在实际运行过程中, 核岛区域放射性废液在排放前出现 PH 值低的问题, 不满足 GB8978 对放射性废液排放 PH 值的要求。文章分析了放射性废液排放 PH 值低的原因, 结合废液处理流程设计和实际布置, 论证了增加化学加药装置的可行性, 提出了完整的化学加药改进方案, 并通过实际运行验证了方案效果, 解决了 PH 值偏低问题, 以期减轻运行和化学人员的负担提供参考。

关键词 化学加药装置; 监测箱; 放射性废液; PH 值

中图分类号: TL94

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)07-0013-03

AP1000 机组在正常运行期间, 核岛区域产生的放射性废液经过离子交换床处理后的 PH 值低于国标 GB8978 要求的 PH 范围 6~9 的排放要求。为解决该问题, 需要对监测箱添加氢氧化钠溶液调节废液 PH 值。目前的系统监测箱设计无加药装置, 只能通过人工手动加药, 但是手动加药存在药液腐蚀和高处作业的风险, 而且增加了运行和化学人员的负担。为此增加一套合理的自动加药装置迫在眉睫。

1 放射性废液处理流程介绍

AP1000 机组在设计初始, 其反应性控制主要依靠控制棒抽插, 无需大量的化学和容积系统上充和下泄, 所以功率运行期间产生的含硼放射性废液较少, 相对传统的二代加核电, 其放射性废液处理系统并未设置硼回收系统及废液蒸发系统, 设计上只需采用离子交换床和过滤器工艺即可满足放射性废水去污排放要求。AP1000 功率运行期间放射性废液来源主要包括辐射控制区地面疏水、一回路冷却剂疏水及化学废液。辐射控制区地面疏水通过地漏收集后进入安全壳地坑, 再通过废液传输泵传输到废液暂存箱; 一回路冷却剂疏水通过系统疏水管线收集到一回路冷却剂疏水箱, 经过脱气塔除氢后进入流出液暂存箱; 化学废液主要通过化学实验室的疏水管线进入化学废液箱; 废液暂存箱、流出液暂存箱及化学废液箱收集到的废液, 经过前置过滤器、离子交换床、后置过滤器处理后, 去除放射性核素, 然后进入监测箱进行取样, 取样结果合格后再排放到外部环境。

AP1000 放射性液体废物系统共有 6 个废液收集罐

和 6 个监测箱, 其参数见表 1。

2 国标对废液排放 PH 值要求

放射性废液排放 PH 值一直是国家重点监控的指标, 根据 GB8978《污水综合排放标准》的定义, 核电站放射性废液属于第二类废液。对于第二类废液, 国标不要求车间处理, 只需要在排放口取样合格即可^[1]。

根据国标对放射性废液排放 PH 值要求, 电站最终排放口取样的 PH 值需控制在 6~9。

3 废液排放 PH 值低的原因分析和监测箱加药的必要性分析

3.1 放射性废液系统监测箱取样 PH 值小于 6

AP1000 核电机组中的核岛设计不含硼回收系统^[2-3]和废液蒸发系统, 功率运行期间其反应性控制主要依靠控制棒抽插, 但是仍然需要辅以上充下泄, 每两周一次反应性调节下泄约产生 30m³左右的含硼放射性废液, 此外根据设计输入, 每月会有 30m³的一回路连续取样流及疏水流进入流出液暂存箱。由于 AP1000 核电机组设计不考虑硼回收, 导致这些含硼酸的放射性废液, 经过过滤器和离子交换床处理后进入监测箱, 最终监测箱排放前取样 PH 值小于 6。AP1000 设计初始并未考虑放射性废液排放 PH 问题, 未设置专门的化学加药系统, 为满足排放要求, 化学人员只能将药液从监测箱顶部排气管线倒入监测箱, 监测箱箱体高 6.247m, 未设置专门的爬梯, 该工作需要监测箱周围搭设脚手架, 造成极大的运行和化学人员负担, 同时增加了安全风险。

表1 放射性液体废物系统参数

箱体名称	数量(个)	体积(m ³)	规格型号	是否有加药口
流出液暂存箱	2	105.99	直径 3.658m, 长 9.576m	否
废液暂存箱	2	56.78	直径 3.658m, 高 6.274m	是
化学废液箱	1	56.78	直径 3.658m, 高 6.274m	是
监测箱	6	56.78	直径 3.658m, 高 6.274m	否

3.2 监测箱加药的必要性分析

本章节主要分析了从目前已有的加药箱对废液进行PH值调节的可行性。具体思路为从废液暂存箱、化学废液箱的化学加药罐对放射性废液加药,从源头上调节好放射性废液的PH值,在经过过滤器、除盐床处理后排放。

从AP1000目前的系统配置来看,当前仅有废液暂存箱和化学废液箱设置了加药箱,设计上考虑这三个箱体接收的放射性废液化学成分复杂,设置加药箱调节放射性废液中的化学成分,并非调节PH值,用于提高离子交换床中树脂吸附效率。

实际验证在放射性废液源头通过加氢氧化钠的方式调节放射性废液PH值,不仅会影响树脂的吸附效率,而且放射性废液进入监测箱仍然会出现PH值偏低问题,分析如下:

若在离子交换床上游的废液暂存箱或化学废液箱进行加药(氢氧化钠),调节放射性废液PH值。由于氢氧化钠的加入,离子交换床阳床内的H型阳树脂将转变为Na型阳树脂,Na型阳树脂对核素Cs等的选择性不如H型阳树脂,会影响放射性废液的处理效果^[4-5]。

对于除盐床阳床下游的两个混床,因为硼酸的存在,HO型阴树脂会变成硼酸型阴树脂,最终没有氢氧根来中和阳床置换的氢离子,最终进入监测箱的PH也会下降。

经过试验验证,在废液暂存箱或化学废液箱对放射性废液进行PH值调节合格后,经过离子交换床处理,到达监测箱的放射性废液PH值仍然低于6,不满足国标的排放标准。

3.3 AP1000 电站加药系统需求分析

AP1000放射性液体废物系统的监测箱接收的是经过离子交换床处理后的废液。设计方认为在通常情况下无需对监测箱加药,如确实有需要加药的特殊情况,可通过各箱体再循环管线上的排气阀进行加药。

由于目前的监测箱废液排放PH值低于6,实际需要对监测箱进行加药(添加氢氧化钠),AP1000设计

单台机组放射性液体废物系统年排放总量为3000m³,监测箱的有效容积为50m³,即每年需要排放60箱水,电站化学和运行人员预计1周需要对监测箱添加一次化学药剂。

综上所述,需要考虑对监测箱进行加药方式优化,减轻运行和化学人员加药负担。

4 监测箱加药方案分析

根据目前某AP1000放射性液体废物系统监测箱及其管道布置,在尽量减少对电站影响的情况下,文章分析对比了两种化学加药方案。

方案一:使用临时塑料箱和临时手摇泵,通过监测箱的疏水或排气阀进行加药,该方案使用电站已有的设备实现了对监测箱加药。对加药方式的优缺点分析如下:

优点:不需要对系统进行改造,对系统无影响,而且该加药方式不产生任何改造费用。

缺点:由于监测箱排气阀在监测箱顶部(监测箱高6.274m),需要化学人员背着配好氢氧化钠的加药箱,爬到监测箱顶部对监测箱进行加药。该加药方式不仅增加化学和运行人员的负担,而且存在很大的工业安全风险。

方案二:增加就地加药装置,在监测箱A/B/C/D/E/F所在房间增加一套自动加药装置,并配置相应的加药泵和管线。对自动加药的优缺点分析如下。

优点:可以长期解决加药问题,化学和运行人员只需要将调配好的化学试剂添加到加药箱,控制加药泵就可以实现了对监测箱加药,未造成人员负担,而且不存在登高作业等工业安全风险。

缺点:需要增加一笔改造费用(约15w),同时增加设备会带来设备额外的维护和保养费用。

某AP1000核电站从核安全文化角度考虑,选择方案二对放射性液体废物系统监测箱进行加药装置改造。

5 监测箱加药改造方案

具体改造方案结合了AP1000放射性液体废物系统的现场布置进行适应性修改,以达到对现场改动量最

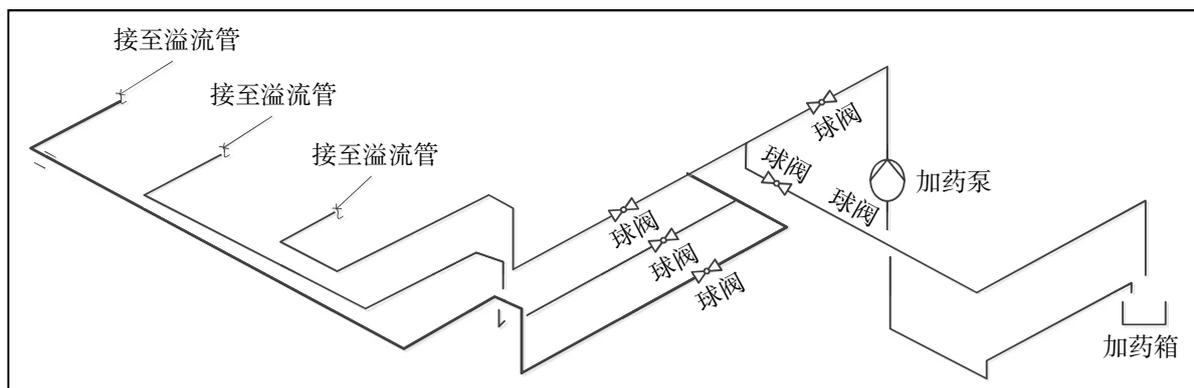


图 1 监测箱 D/E/F 管道布置图

小的目的。6 个监测箱布置和加药改造如下：

监测箱 A：所在房间空间狭小，监测箱的顶部排气管道不可达，所以改造方案不对监测箱 A 进行加药改造。

监测箱 B/C：所在房间为夹层，监测箱顶部排气阀可达，所以改造方案在排气管线上增加加药箱进行手加药。

监测箱 D/E/F：三台监测箱在一个房间，房间空旷。改造方案为在就地增加自动加药装置，具体改造说明如下：

1. 在监测箱 D/E/F 所在的房间增设碱加药箱及碱加药泵，通过碱加药泵将碱液投加至监测箱 D/E/F。

2. 在监测箱 D/E/F 的碱加药箱及碱加药泵之间通过管道及阀门相连，管道布置如图 1 所示。

3. 将碱加药泵出口隔离阀下游疏水阀连接至碱加药箱，以便每次加药完成后将管道中残留的碱液疏回至碱加药箱。

4. 将碱加药接管最终接至监测箱 D/E/F 的排气管处，接管进入处水平成一定角度，以确保所加药液不会通过排气管流出。

6 改造后的运行方式及效果

改造完成后，对放射性废液排放运行方式进行优化。监测箱 A 只是作为处理后的废液临时储存箱，监测箱 B/C 在需要大量处理放射性废液时使用，正常功率运行工况下使用监测箱 D/E/F 进行 PH 值调节和排放放射性废液。若需要排放监测箱 A 内的放射性废液，则将监测箱 A 罐体的放射性废液使用废液输送泵传输到监测箱 D/E/F 进行加药，调节 PH 值后再排放。

改造完之后进行了相应的试验验证，化学人员配置好化学药剂后，通过调节加药泵流量，并控制加药泵运行时间即可方便地调节监测箱内的 PH 值至国家排

放要求，满足了化学和运行人员的工作需求。

7 结论

经过文章对某 AP1000 机组放射性废液 PH 值低问题的原因分析、设计改造和结果验证，得出以下结论：

1. 某 AP1000 核电站放射性废液 PH 值低的主要原因是废液中含有硼酸，放射性废液处理过程中缺少对硼酸进行 PH 调节环节。

2. 从对运行和化学人员造成的负担以及工业安全角度考虑，某 AP1000 核电对比方案一和方案二，认为方案二自动加药的改造更适合于电站的长久运行。

3. 通过改造后的加药试验验证，改造方案达到自动加药的效果，并减轻了运行和化学人员的加药负担，降低了化学加药过程中的工业安全风险。

对于还在设计阶段的核电项目，可以从本文所述案例中吸取经验。在放射性液体废物系统的设计过程中，对废液排放罐体、管道进行合理布置，并根据需要增加自动加药装置，避免出现放射性废液排放 PH 值不满足国家标准要求的问题。

参考文献：

- [1] 国家环境保护部 .GB 8978-1996 污水综合排放标准 [S]. 北京：中国环境科学出版社，1996.
- [2] SNERDI.CAP-WLS-M3-001 放射性液体废物处理系统说明书 [R].2019.
- [3] SNERDI.SMG-FSAR-GL-700 Rev.0 三门核电一期工程 1&2 号机组最终安全分析报告 [R].2013.
- [4] 何艳红. 离子交换技术 [M]. 费城：罗门哈斯公司，2006.
- [5] 顾庆超. 新编化学用表 [M]. 南京：江苏教育出版社，1995.