

新型废树脂双界面自动化在线测量系统

司丹丹,汪海,童明炎,孙胜,吴红伟

中国核动力研究设计院,成都 610041

摘要 放射性废树脂是一种半衰期很长的固体核废料,废物处理前要求对树脂和水的质量进行测量,工程实践中通过测量废树脂混合物的水的液位和树脂/水界面高度计算出树脂和水的质量。研制出了一套新型放射性树脂液位、界面自动化在线测量系统,该系统能够解决现有系统所存在的树脂不平整、浮球不能正常上浮以及浮球不能顺畅下落的问题,同时实现了鼓泡系统、浮球驱动系统与磁致伸缩式测量仪表的集成。

关键词 废树脂;自动化在线测量;磁致伸缩;浮球

中图分类号 TL941+.39

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.03.016

A dual-interface automatic online measuring system for deposited resin

SI Dandan, WANG Hai, TONG Mingyan, SUN Sheng, WU Hongwei

Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China

Abstract Radioactive deposited resin is a kind of long half-life solid waste, and it is required to measure the quality of resin and water before waste treatment. The weights of resin and water are calculated by liquid level height and interface height of the resin mixture in practice. This project develops a new type automatic online measurement system of radioactive waste resin level height and interface height. This system can solve the existing system problems, for example, resin interface isn't smooth and floating balls can't rise and fall normally. At the same time, bubble system, floating ball drive system and magnetostriction instrument are integrated for the first time at home. It is the first domestic dual-interface automatic online measuring system for deposited resin.

Keywords deposited resin; automatic online measuring; magnetostriction; float ball

放射性废树脂由于具有极高的放射性活度,会干扰和腐蚀电子仪器,因此目前较为通用的超声波液位计、射频液位计无法安装^[1];又由于需要进行液位与树脂/水界面高度双重测量,普通的单界面测量仪已不再适用;而且在如此高放射性的条件下,一旦测量仪表出现故障,检修极为不便,且维修代价相当昂贵。因此放射性废树脂测量一直是研究难点。

放射性废树脂是一种半衰期很长的固体核废料,在放射性废物处理中要测量树脂和水的质量,通常采用对树脂混合物的水的液位、树脂/水界面高度进行测量,从而计算出树脂和水的质量的方式。树脂密度约为 1.15 g/cm^3 ,与水密度差非常小,个体颗粒平均直径为 0.7 mm 。通常,储存时将树脂与水的混合物存于储存槽中,树脂颗粒沉积在水中,树脂/水界

面要低于水的液面,且树脂/水界面由于颗粒的堆积而形成凹凸不平的起伏状,不是一个规则的平面,因此在测量树脂/水界面前要先通过鼓泡设施鼓泡吹平。目前的放射性树脂测量仪基本上使用双浮球结构作为界面位置传感器,它有两个浮子,其中一个浮子的密度小于水,另一个浮子的密度大于水而小于树脂,分别用来检测水的液面高度和树脂/水界面高度。但在鼓泡过程中,由于树脂在水中不规则的运动,树脂颗粒会将液位测量浮球卡死,而树脂/水界面测量浮球也会被树脂卡死或由于自重沉入底部,从而造成测量失败。

为解决浮球被卡死和不能顺利下滑等问题,并能实现自动化远程测量,研制出了一套新型放射性树脂液位、界面自动化在线测量系统。

收稿日期:2014-09-30;修回日期:2014-12-15

作者简介:司丹丹,助理研究员,研究方向为仪控系统,电子邮箱:110704274@qq.com

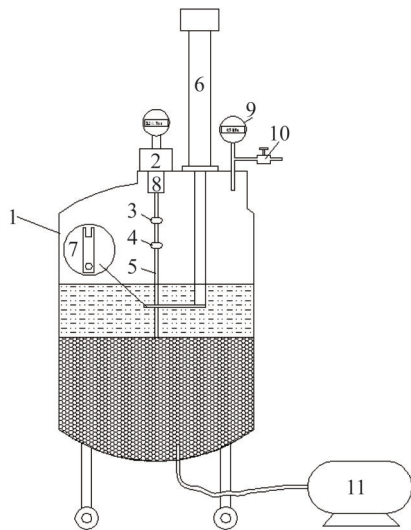
引用格式:司丹丹,汪海,童明炎,等.新型废树脂双界面自动化在线测量系统[J].科技导报,2015,33(3):95-98.

1 设计内容

目前国内双界面测量装置普遍采用双浮球结构,但在实际工程应用中存在浮球被树脂掩埋以及被树脂卡涩卡死的现象,使得浮球无法上浮或下降到树脂/水界面或水面,以及树脂/水界面不平测量不准等问题,无法顺利实现高精度的双界面测量。为了解决以上问题,本项目设计了一套废树脂双界面自动化在线测量系统。

本系统的总体思路是通过在现有测量仪表的基础上增加辅助设施,使测量仪表的功能可以无障碍实现,达到连续测量放射性树脂液位、界位的目的。使用双浮球式磁致伸缩仪表作为本系统的基本测量单元,为避免浮球在鼓泡的过程中被掩埋,设置了浮球提升装置,在鼓泡前就将浮球提升至贮罐顶部;同时为避免浮球在回落过程中被卡涩,设置了浮球回落驱动装置,在浮球下滑时对其施加一个驱动力,保证浮球顺利下滑。

测量系统由设备主体、测量仪表、压力监控系统、浮球驱动系统、鼓泡系统和电气控制系统组成。废树脂液位、界面自动化在线测量系统结构如图1所示。



1—筒体;2—磁致伸缩测量仪表;3—液面测量浮球;
4—树脂/水界面测量浮球;5—测量杆;6—气缸;7—提升架;
8—浮球回落驱动装置;9—压力表;10—超压排放阀;11—空压机

图1 废树脂液位、界面自动化在线测量系统

Fig. 1 A dual-interface automatic online measuring system for deposited resin

1.1 设备主体

设备主体为带有支架、脚轮的不锈钢筒体(模拟罐)^[2],筒体内部装有水和树脂的混合物,筒体的侧壁开有前后两道窥视窗,以便在试验过程中观测筒体内部的变化情况,前窥视窗上还安装了基准标尺。基准标尺安装在筒体100~750 mm高度位置,标尺读数精度为1 mm。

1) 测量仪表实现对废树脂和水的界位、水的液位的连续

在线测量,选用磁致伸缩式液位/界位测量仪。该仪表利用磁致伸缩测量原理,通过发射脉冲和返回脉冲之间的时间差计算测量界面高度,测量精度高,满足在线测量需求^[3]。

2) 压力监控系统用于监测筒体内部压力,防止筒体内部因吹气而导致超压。该系统的压力表监控筒体内部压力,当压力达到限制时,压力数据与控制系统联锁点触发,排气阀打开,释放筒体内压力,使筒体内压力回复正常范围,保证系统正常运行而不出事故。

3) 浮球驱动系统,主要实现两个功能:在测量前将浮球提升至筒体顶部,防止鼓泡过程中浮球被树脂卡死或掩埋;在测量时降到底部,使浮球能够分别回弹至水的液面和树脂/水界面处,防止浮球因杂物堵塞不能顺畅回落。基于两项不同功能,浮球驱动系统又分为提升装置和回落驱动装置。

4) 鼓泡系统,为了防止因树脂/水界面不平造成测量不准确,该系统中设计了鼓泡系统,从筒体底部向筒内吹气,在经过一段时间的静置,等树脂/水界面平静之后进行测量,能够较准确地测量出树脂/水界面。

5) 电气控制系统,对鼓泡、驱动、测量、压力监测等各子系统进行集中监测和控制,通过预设鼓泡时间和静置时间能够实现系统的在线自动测量,通过对压力信号的监测,能够联锁排气阀进行泄压,保证了系统的安全运行。

1.2 测量工艺

本套装置的设计引入了浮球驱动机构,实物如图2所示,包括气缸、空压机、提升架、弹簧等。



图2 浮球驱动机构

Fig. 2 Floating ball driving mechanism

在测量树脂前将测量浮球提升至储存罐顶部,待树脂鼓泡完毕后再将浮球自动放回测量界面上进行树脂/水界面的测量。提升装置采用气缸驱动,气缸连接提升架带动浮球升降。同时调整浮球重量及其与树脂/水界面的接触面积,提高测量精度。

系统在装料和测量前,先将提升架提高带动浮球到筒体顶部,然后在进行装料或鼓泡操作,这样就能避免浮球在装料或鼓泡操作中被树脂卡死或掩盖;当装料或鼓泡操作结束,树脂/水界面静置时,气缸带动提升架下落,在弹簧的作用下,浮球沿测量杆下落,分别到达树脂/水界面和水面,此时读取磁致伸缩测量仪数据,能够准确得出测量数据。通过以上驱动机构的设计及测量流程的控制,确保浮球沿测量杆正常运动,解决了树脂将浮球掩盖,浮球不能正常上浮和浮球与测量杆之间的缝隙被杂质堵塞,浮球不能顺畅下落的两个技术难题。

1.3 控制系统设计

电气控制系统对测量仪表、压力监控系统、浮球驱动系统、鼓泡系统4个子系统进行集中控制,由PLC控制系统、显示面板和设备控制箱、相关的继电器、延时开关、电磁阀、减压阀等组成,测量仪表及测量控制流程简介如下。

磁致伸缩液位计是利用魏德曼效应原理(磁致伸缩原理),通过现代先进的电子技术手段,精密的计测脉冲波间的时间值,达到精确测量液体的液位的目的^[4]。这种液位计的电子元件密封在不锈钢管体内,不受辐射的影响,这一方式、原理生产的液位计是目前测量液位领域最为精确、便于安装、维护,性能稳定、可靠、成熟的产品^[5]。

控制系统先采集筒体内部的压力信号,若压力超过设定值,则打开排气阀;若压力在允许范围内,则启动空压机,首先自动打开气缸通气阀向气缸充气,气缸上升过程中其尾部提升架带动两个测量浮球升至筒体顶部。然后,延时开关自动打开鼓泡管阀门,向筒体内部鼓泡吹气,鼓泡吹气持续一段时间。静止一段时间,待树脂/水界面已经形成稳定的平面后,控制使气缸下落,两个浮球在浮球回落驱动机构的作用下沿测量杆下滑,分别滑落在液面和树脂面上。此时,PLC控制系统采集磁致伸缩测量仪表的测量读数,完成一个测量循环。该测量系统的测量控制流程如图3所示。

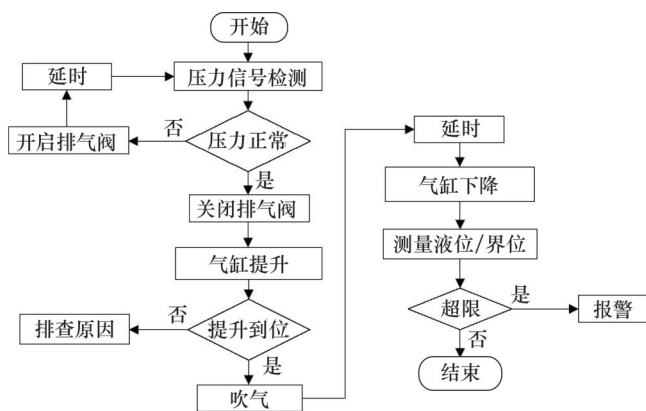


图3 测量控制流程

Fig. 3 Control process of measurement

2 实验结果

用设计的模拟罐代替现场的树脂罐,并在模拟罐中多次注入不同量的树脂和水,以空压机代替现场气源,监测仪表和气缸用法兰与筒体连接。将罐体观察窗标及读数作为液面、界面的基准值,在控制系统中设定水的液位、树脂/水界面高度的修正参数。为了保证测量的精度和连续性,在本台样机上进行了参数确定性实验,通过前后窥视窗观察筒体内树脂/水界面的平整度,确定出最佳的鼓泡时间和静置时间。

废树脂液位、界面测量装置控制系统安装、调试后运行正常,与装置连到一起进行相关实验,得出最佳实验参数设置。对相关实验参数进行分析,得出如下结论:1) 装置控制系统界面显示正常,报警器和控制按键工作正常;2) 装置连接空压机,鼓泡时压力达到设定限值后,停止进气,保压,设定排气压力0.015 MPa,停止排气压力0.003 MPa;3) 通过实验得出吹气时间 t_1 设为40 s,等待时间 t_2 设为50 s时,静置时间合适,树脂/水界面最平;4) 气缸运行和浮球回落驱动正常,浮球就位正常。

根据实际工况和测量对象等制定实验方案,测量对象包括阳离子树脂、阴离子树脂和混合型树脂,实验温度为20~33℃,样机可验证测量高度范围100~750 mm(标尺可观测范围)。实验方案分别对阳离子树脂、阴离子树脂和混合型树脂在不同温度下进行不同液位、界位实验。以阳离子树脂为测量对象,25℃时的测量试验数据见表1。

表1 25℃时阳离子树脂调试数据
Table 1 Commissioning test data record of cation resin at 25℃

编号	水的液位测量 试验数据/mm			树脂/水界位测量 试验数据/mm		
	基准值	测量值	误差	基准值	测量值	误差
1	456	456	0	283	282	-1
2	403	403	0	267	267	0
3	387	387	0	253	251	2
4	368	369	-1	244	244	0
5	345	345	0	238	238	0
6	336	336	0	220	221	-1
7	320	321	-1	206	206	0
8	315	315	0	198	198	0
9	308	308	0	184	184	0
10	297	297	0	165	165	0
11	269	269	0	152	153	-1
12	255	254	1	135	135	0
13	200	200	0	121	123	-2

阳离子树脂的试验结果表明,液位、树脂/水界位的误差均在±2 mm内。

分别对阳离子树脂、阴离子和混合型树脂在20、28、30、33℃下进行了150~750 mm可视量程范围内的不同高度的水

的液位、树脂/水界面测量实验,综合实验数据得出以下结论:1)所有测量误差均在 $\pm 5\text{mm}$ 之内;2)由于存在树脂/水界面平整度不同或浮球测点的树脂高度变化,使得树脂/水界面测量读数波动较大,液面测量读数波动较小;3)温度变化对测量精度的影响不明显;4)高度变化对测量精度的影响不明显;5)树脂类型不同,树脂密度会影响树脂/水界面浮球的下沉位置,从而带来误差。

3 结论

设计了一种用于测量水的液位和树脂/水界面的双界面自动化在线测量系统,该系统解决了现有技术所存在的树脂不平整、浮球不能正常上浮及浮球不能顺畅下落的问题。样机试验结果表明,所有测量误差在 $\pm 5\text{mm}$ 之内,该装置达到了设计要求,实现了对废树脂液位、界面的自动在线测量,精度满足要求。同时首次实现了鼓泡系统、浮球驱动系统与磁致伸缩式测量仪表的集成。

参考文献(References)

[1] 高斌. 几种物位计在实际应用中的比较[J]. 硅谷, 2013, 7: 86-87.

- Gao Bin. Comparison of several kinds of material level meter in practical application[J]. Silicon Valley, 2013, 7: 86-87.
- [2] 吕景彬, 孔劲松, 郭卫群. 一体化放射性废树脂应急接收装置设计[J]. 核动力工程, 2012, 33(4): 120-122.
- Lü Jingbin, Kong Jinsong, Guo Weiqun. Design of integrated emergency receiver equipment for radioactive scrap resin[J]. Nuclear Power Engineering, 2012, 33(4): 120-122.
- [3] 张玉. 基于磁致伸缩原理的油罐自动测量系统研究[D]. 泰安: 山东科技大学, 2009.
- Zhang Yu. The research of tank automatic measuring system based on magnetostrictive principle[D]. Taian: Shandong University of Science and Technology, 2009.
- [4] 谢芳. 磁致伸缩式液位计的原理和应用[J]. 石油化工自动化, 2012, 48(6): 60-63.
- Xie Fang. Principle and implementation of magnetostrictive liquid level gauge[J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2012, 48(6): 60-63.
- [5] 许刚, 王景林, 陈洪岩, 等. 高精度磁致伸缩液位计及其应用[J]. 化工进展, 2013, 32(增): 270-273.
- Xu Gang, Wang Jinglin, Chen Hongyan, et al. Feature and application of high accuracy magnetostrictive liquid level transmitter[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2013, 32(Suppl): 270-273.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·



中国科协与深圳市人民政府签署战略合作框架协议

2014年12月23日,中国科协与深圳市人民政府在北京签署战略合作框架协议,深圳市成为中国科协创新驱动助力工程示范市。在签约仪式上,中国科协党组书记、书记处第一书记尚勇,深圳市委副书记、市长许勤签署《中国科学技术协会 深圳市人民政府战略合作框架协议》。中国科协党组成员、书记处书记沈爱民,深圳市人大常委会副主任、市科协主席蒋宇扬等出席签约仪式。签约仪式由中国科协党组成员、办公厅主任吴海鹰主持。

2014年9月,中国科协启动实施“创新驱动助力工程”,在全国选择有代表性的城市或地区,设立创新驱动助力示范区,组织动员有关全国学会为地方政府和企业提供智力支持。各地党委政府、科协组织和全国学会广泛关注、踊跃参与。截至2014年12月16日,已有21个省推荐了26个市(区)申报创新驱动助力工程试点。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16165266.html>。