

物理场防除积垢节能技术*

丘泰球 刘石生 黄运贤 刘晓艳

(1 华南理工大学食品与生物工程学院轻化工研究所 广州 510640)

摘要 化工生产过程换热设备积垢的防除一直是普遍存在且难以解决的问题,目前采用的防除积垢的方法是化学法或化学与机械相结合的方法,它们都有各自的不足之处.文章在调查国内外关于物理场防除积垢节能技术研究成果的基础上,较详细地介绍了该技术的原理和应用现状,并展望了今后的发展方向.

关键词 电场,超声场,积垢

A TECHNIQUE TO SAVE ENERGY IN SCALE CONTROL BY PHYSICAL FIELDS

QIU Tai-Qiu LIU Shi-Sheng HUANG Yun-Xian LIU Xiao-Yan

(Light Chemical Engineering Research Institute, College of Food and Biological Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract The cleaning and prevention of scale in heat exchangers in chemical engineering is a widespread problem that has long been difficult to solve. At present, the main methods of scale prevention are chemical inhibition or a combination of chemical and mechanical methods, but they all have various shortcomings. In this paper the principles of cleaning and prevention of scale by various physical fields are introduced. Applications and future developments techniques we also discussed.

Key words electrical field, ultrasound field, scale

1 引言

水溶液在换热设备进行热交换过程中,由于水分不断蒸发,在溶质浓度增加的同时,溶解于溶液中的杂质的浓度不断增加,当杂质浓度超过它本身的溶解度而达到饱和状态时便会生成沉淀物析出,这些沉淀物有的成微粒浮于溶液中,大部分则附着于换热设备表面上而形成积垢.积垢是一种导热能力很低的物质,当积垢严重时,传热系数明显减小,设备效能下降,为了清除积垢,就必须停止正常生产,对换热设备进行清洗,不可避免地使生产能力下降^[1].换热设备结垢不仅影响热能利用和生产的正常运转,而且会增加生产成本.锅炉受热面结垢会恶化传热过程,降低锅炉效率,严重的还会导致锅炉爆炸事故.

为了防除积垢,人们采用了多种方法,目前普遍采用化学法或化学与机械相结合的防除积垢措施,

此法对设备腐蚀性强,且消耗高,劳动强度大,辅助时间长,操作麻烦,污染介质与环境.后来采用高压喷射法清除积垢,也只是治标不治本,仍存在劳动强度大,操作不安全,对设备磨损等弊病.

本文在调查国内外关于电场、声场等物理场防除积垢节能技术研究成果的基础上,综述了该技术的作用原理和应用现状,并展望了今后的发展方向.

2 物理场防除积垢节能技术的作用原理及现状

2.1 电场防除积垢节能技术

目前国内外电场防除积垢技术大致分三种类型的电场进行研究:静电场、电流场、交变电场.现分别

* 广东省自然科学基金(批准号:980534)和广东省重点科技攻关基金(批准号:99M02002G)资助项目

2001-08-27 收到初稿,2001-10-29 修回

介绍如下。

2.1.1 静电场防除积垢

静电场防除积垢的原理主要是静电场效应。水分子是一种偶极子,在较强的静电场中,它们顺序排列,并首尾相接,就像介质在电场中极化一样。当无数偶极子之间混入大量钙镁离子和各种酸根等正负离子或极性化合物时,由于电荷的正负端或离子间产生互相吸引(图1),于是发生了水合作用,形成具有一定数目配位水分子的水合离子,使钙镁等离子处于水分子的包围中,不易形成水垢。另一方面,水合作用可以增强其溶解能力,所以已形成的老垢也可逐渐松散,剥落,达到溶垢的目的^[2]。

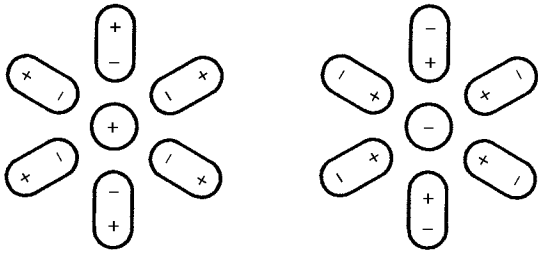


图1 以离子为核心的偶极子团

静电场水垢控制器如图2所示,它的外壳是一个内外表面经过电镀处理的套管,中心有一绕线电极,用绝缘性、耐腐蚀的聚四氟乙烯塑料密封起来,形成一个共轴圆柱电场。这种水垢控制器结构简单,没有运动部件,制造、安装和维修保养都非常方便,只要保证绝缘,耗电量也很小。

在实际使用过程中,静电水垢控制器收到了比

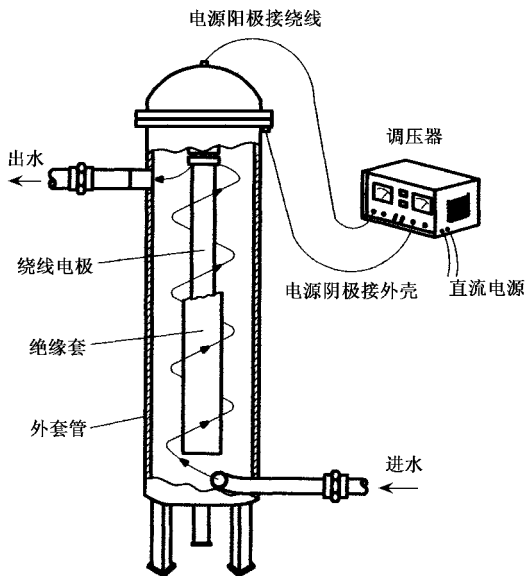


图2 静电水垢控制器

预期还要好的效果,在电场中形成的偶极团,离开电场150m后还保持原状,完全控制了水换热设备中的水垢沉积。不但如此,以前沉积的水垢也会陆续大片剥落下来。

静电场防除积垢目前只是在水处理过程中应用,尚未应用到其他溶液的换热过程。

2.1.2 电流场防除积垢

人们采用电流场防除积垢技术处理蔗糖溶液蒸发过程中的积垢和水垢,并对其机理进行过研究。早在20世纪60年代初, Springer用电流为15A、电压为15—20V的直流电通入制糖蒸发罐加热面进行防垢试验,结果甚佳。他认为,由于糖汁中的胶体是带负电荷,若把蒸发罐的加热面与直流电源的阴极相连,使带负电荷,便可防止胶体络合物在加热面沉淀下来。但试验中也发现,正极受腐蚀很快,同时此种糖汁是电的良好导体,需要较大的电流才能维持所需的电压,因此这种方法不易为工业采用。近几年来,人们正在寻求一种既经济方便又无污染的水垢处理方法。吴星五等人^[3]研究了低压静电阻垢水处理,旨在把静电场防垢除垢技术扩展运用到存在微电解的工作条件下。传统概念的静电场中不存在直接的电流,但就水体施加低压直流电而言,在微电解的条件下,离子定向运动和有效碰撞也能产生高压静电场的效果,同时电极表面能催化产生活性水。通过系统的试验认为微电解电场的主要作用有(1)向水中溶解的离子和极性的水分子施加电场力,使它们定向运动;(2)改变水中微小颗粒与水体的界面电位,使粒子的水合程度和相互聚集的状况发生变化;(3)改变水分子自身的状态和水分子间的缔合程度等。由这些作用产生的阻垢机理可以有两种:一种是在常温下可使水质稳定,增加水的溶解能力,减少结晶,把离子或胶体颗粒稳定在水溶液中;另一种是在高温下持续处理提供种晶核,促进水中的积垢成分取集成松散的泥渣沉于水底。这两种作用相反,但都能达到防除积垢的效果。

2.1.3 高频电场防除积垢

利用高频电场处理蔗糖溶液或水溶液进行防垢效果的试验早有报道。20世纪60年代有人利用如图3所示的装置进行处理糖液的防垢试验,其原理是利用高频电场力,使通过该装置的糖液所含的成垢物质受到振荡,积垢中的结晶物理状态发生变化,降低积垢对加热面的附着力。试验结果表明,沉积于加热管的积垢量相对减少,特别显著的效应是改变了糖液的钙盐的物理性质,使之既不凝聚,又不形成

坚固沉淀,而成为深色的泥渣。近几年来采用高频电场处理水的防垢试验日趋增多,柴天禹利用自制的频率为 12MHz 的高频电场发生器产生放射状电力线,并有很好的接地,被处理水通过具有连续放射状高频电场力线区域(图 4),试验获得了较满意的结果,并认为高频电场处理水的防垢效果不仅与频率、电场强度有关,也与水的 Ca^{2+} 浓度、pH 等条件有关。其作用机理为:静电斥力作用和晶体在电场作用下发生畸变,阻碍和破坏了晶体的正常生长,抑制了晶体的生长速度,从而减少和防止积垢沉积^[4]。

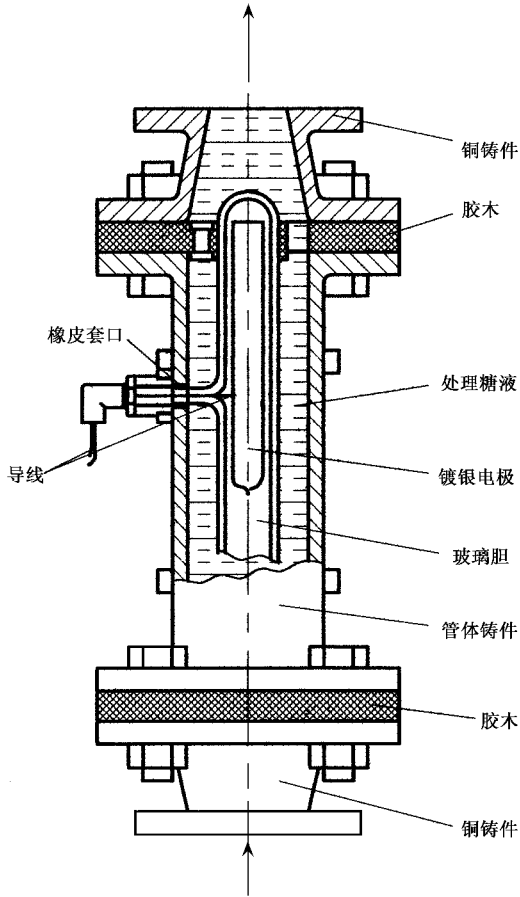


图 3 电子防垢器

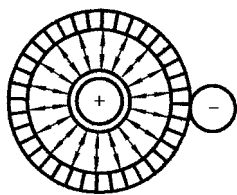


图 4 高频电场力线示意图

2.2 超声场防除积垢技术

超声场防除积垢在 20 世纪 60 年代国外有人进

行过室内试验,随着电子工业的发展,90 年代以来,国内外学者对超声防除积垢的研究已深入扩展到油田、糖厂、化工厂等。前苏联科学家 M. Nchepnoe 于 90 年代初研究了糖液蒸发过程中超声对减缓积垢形成的影响,研究发现,当声强大于 $15\text{W}/\text{m}^2$ 时,超声波可使积垢系数(垢层热阻与总热阻之比)降低并做到整个生产期(甜菜糖厂)不洗罐^[5]。国内华南理工大学^[6-9]、八一糖厂等^[10-12]单位进行了超声防除积垢的试验。1992 年,华南理工大学受国家自然科学基金资助立项研究超声波防除积垢机理,1995 年经同行专家教授评审获广东省高教科技进步奖,1997 年试制出样机在英德糖厂进行扩大试验,1998—1999 年受广东省自然科学基金和广东省重点攻关项目基金以及企业的联合资助,将样机进行改进,在广东省紫金糖厂进行生产性试验,并在此基础上深入研究和探讨了超声波防除积垢动态机理。研究表明,超声波之所以能有效地防除积垢是由于它能降低积垢沉积速率,另一方面它能提高积垢脱除速率。由于超声波的作用,溶液主体的物理化学性质(溶液的粘度、表面张力、电导率)发生变化,缩短了成垢物质的成核诱导期,迅速生成比换热器表面大得多的界面,有很强的争夺水中成垢物质离子的能力,减少了粘附于换热面成垢离子数量,这样就降低了积垢的沉降速率。超声波在溶液中通过空化作用可以使水分子裂解为 $\text{H}\cdot$ 自由基和 $\text{HO}\cdot$ 自由基,甚至 H^+ 和 OH^- 等。而 OH^- 与成核物质离子可形成如 CaOH^+ 、 MgOH^+ 等配合物,可以增加水的溶解能力,使其溶垢能力相对提高。水声解产生的 H^+ 自由基的寿命比较长,它进入管道后产生还原作用,可以使生成的积垢剥落下来,这两方面都会增大积垢的脱除速率,从而达到溶垢除垢的目的。

超声波防除积垢系统由三部分组成(见图 5):大功率超声波发生器、换能器、反应管道。其基本工作原理是:超声波发生器把市电转换成超声频的电能传给换能器,再由换能器把电能转化成超声频机械能,向流经反应管道的溶液发射超声波。

生产性试验表明,使用超声波防除积垢能提高蒸发系统的传热系数 40% 以上,提高生产能力 15%,延长洗罐周期,节约洗罐用的化学试剂,不但降低生产成本,而且不需要用酸碱煮罐,减少了加热管的腐蚀,延长了设备使用寿命。在水溶液蒸发量大的工业中,如制糖工业、橡胶工业、化肥工业、制浆造纸工业,采用超声波防除积垢技术,可以卓有成效地提高蒸发站的生产效率。超声防除积垢技术除了在

蒸发站的蒸发罐中使用外,还可应用于锅炉、热交换器、冷凝器等防除积垢,具有广泛的应用前景。

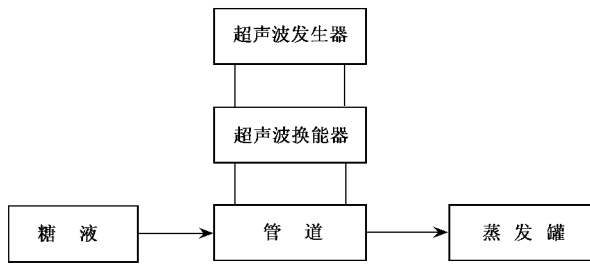


图5 超声防除积垢装置框图

3 物理场防除积垢技术的发展

利用电、磁、声等物理方法进行积垢的防除,如电子防垢器、电磁防垢器及超声波防垢器,在某些工业部门和锅炉上进行过应用研究,取得了一定的成果,但它的制造与安装受到一定的限制,用于工业中处理量大的蒸发系统难度很大。

为了克服上述技术的不足之处,人们正在运用两种不同物理场协同作用,以超声空化效应与静电效应协同作用为理论基础,采用工艺研究与机理研究相结合的方法去研究超声场-静电场协同防除积垢。

美国 Davide Rabbitt 等人提出一种防除水垢装置,他们使水流同时受到超声波和静电场作用,以显著增加水对各种盐类的溶解度而达到防除积垢的目的^[13]。

中国矿业大学何曾秋等人提出一种电磁超声波防垢除垢器^[14],如图6所示,包括有一个呈三通管接头状三通2和卡装在其一通上的、外形呈试管状的压电管1,压电管1内设置极板4,高频信号发生器5的高电位端接极板4,低电位端接三通2上,在压电管1与三通2卡接处设置密封装置6,卡装压电管1的三通2的端部安置有保护盖3,高频信号发生器的电能输送给极板4,从而在压电管1的内外侧形成高频电场,使压电管1产生高频变形而生成超声波。同时,在高频电场作用下也产生电磁波,因压电管1的外侧与水相通,一定频率的电磁波和超声波便得以在水中传播,从而使水中易结垢的钙、镁等离子分别被水分子包围,静电引力受到破坏,失去了与金属壁面的结合能力,从而实现防垢的目的。另外,超声波“空化”作用,使已生成的水垢受到高频交变应力的作用逐渐软化,最终从壁面上脱落,从而达

到除垢的目的。高频信号发生器原理如图7所示,220V交流电经变压器7送至整流滤波电路8,再经振荡电路9输出高频信号。

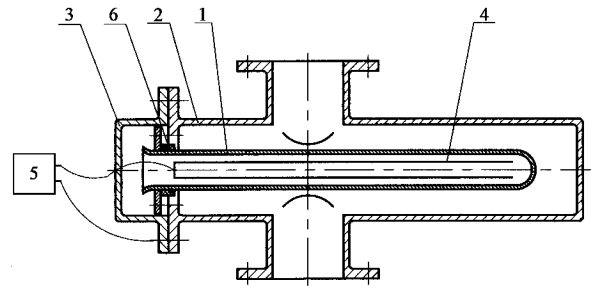


图6 电磁超声波防垢除垢器

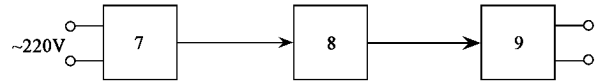


图7 高频信号发生器原理框图

本文作者丘泰球等人近年来在广东省自然科学基金资助下,参阅国外有关文献^[15,16],提出了一种超声场-静电场协同防除积垢装置^[17],如图8所示。它的外部是一个用不锈钢薄板制造的圆形套管,中心有一绕线电极,用绝缘性好的塑料套管密封起来,连接0—4000V可调直流电源的正极,外套管与输料管连接处也采用绝缘材料,接电源负极,形成一个共轴圆柱电场。在圆柱形套管的底部粘接一个喇叭形夹心式换能器,用防水电缆把发生器和换能器连接。

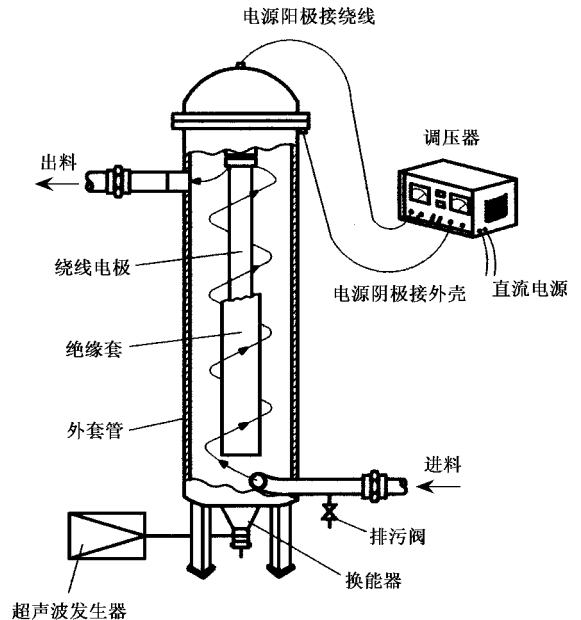


图8 超声场-静电场防除积垢装置

超声波发生器把市电能转换成超声频的电能传输给换能器,由换能器把电能转化成机械能,向流经圆柱电场的溶液发射超声波,使液流同时受到超声波和静电场作用.作者从极性和非极性液体在外加电场和超声场的作用下引起自由能的变化去考察研究超声场-静电场协同防除积垢的机理.

以上对物理场防积垢节能技术的作用原理、应用现状和发展方向作了简要的综述,希望从中能为我国化工传热设备积垢的防除寻找一条高效、实用性能的新方法有所启示.

参 考 文 献

[1] 谭志明,邓颂九.甘蔗糖业,1989,1:37[Tang Z M, Deng S J. Sugarcane and Canesugar, 1989, 1: 37(in Chinese)]
 [2] 徐延.工业水处理,1982,2:21[Xu Y. Industrial Water Treatment, 1982, 2: 21(in Chinese)]
 [3] 吴星五,高迁耀.同济大学学报,1996,24(4):411[Wu X W, Gao Q Y. Journal of Tongji University, 1996, 24(4): 411(in Chinese)]
 [4] 柴天禹.水处理技术,1997,23(4):22[Chai T Y. Technology of Water Treatment, 1997, 23(4): 22(in Chinese)]
 [5] Chepumoi M N. Pishchevaya Tekhnoloya, 1990(4):68
 [6] 丘泰球等.甘蔗糖业,1992,4:49[Qiu T Q et al. Sugarcane and Canesugar, 1992, 4: 49(in Chinese)]

[7] 姚成灿,丘泰球.声学技术,1999,2:35[Yao C C, Qiu T Q. Technical Acoustics, 1999, 2: 35(in Chinese)]
 [8] 丘泰球等.甘蔗糖业,1999,4:29[Qiu T Q. Sugarcane and Canesugar, 1999, 4: 29(in Chinese)]
 [9] Yao C C, Qiu T Q. International Sugar Journal, 1999, 101(1212): 602
 [10] 艾录泗等.甘蔗糖业,1998(4):4[Ai L S et al. Sugarcane and Canesugar, 1998, 4: 4(in Chinese)]
 [11] 陈开正,俞明,艾录泗.甘蔗糖业,1999(3):35[Chen K Z, Yu M, Ai L S. Sugarcane and Canesugar, 1999, 3: 35(in Chinese)]
 [12] 艾录泗等.甘蔗糖业,2001,3:35[Ai L S. Sugarcane and Canesugar, 2001, 3: 35(in Chinese)]
 [13] PCT 国际专利,80/00226 号[PCT International Patent, No. 80/00226]
 [14] 何学秋等.电磁超声防垢除垢器.中国专利, No. CN2173781Y [He X Q et al. Electro-Ultrasonic Scale Preventer. China Patent, No. CN2171781Y(in Chinese)]
 [15] Pollet B et al. Ultrasonic Sonochemistry, 2000, 7: 69
 [16] Labowski M, Skrodzka E. Acustica, 1989, 68: 26
 [17] 丘泰球等.超声场-静电场协同防除蒸发罐积垢的研究(待发表) [Qiu T Q et al. Study of Scale Prevention in Evaporator by Corporation of Ultrasonic Field and Static Electric Field(to be Published)]

·物理新闻·

胎儿能听见超声波(Ultrasound Scans are Audible to a Fetus)

众所周知,超声波是一种超过人们听觉上限的应力波,这种波是不能被人们听到的.但在今年12月在美国佛罗里达州 Fort Lauderdale 市召开的美国声学年会上,来自美国明尼苏达大学 Mayo 基金会的 M. Fatemi 博士却宣称:处于母亲体内的胎儿能听见超声波.

他在报告中指出,按物理学的传统概念,超声波是一系列持续时间短、能量却很高的脉冲序列.如果我们将它作用到人体后,它以一种极有规律的节奏撞击人体内的器官;当人们将这股脉冲指向胎儿的头部时,胎儿的听觉感官就会接收到这种频率达到几千赫兹的振动.对胎儿来说,这类振动像是由钢琴的高音阶奏出的音调,其声音的大小相当于通常的100—120分贝,就像一列从远处开来的地铁火车的轰鸣声.

在报告中, M. Fatemi 博士还强调他的研究结果的另一面,即超声波对胎儿没有什么伤害,但他的研究却能很好地解释下列生理观察,当实验者用超声波探头指向胎儿头部时,胎儿会在母体内发生强有力的活动.当然现在说超声波是一种观察胎儿活动的有力工具还为时尚早,但他认为这个研究一定会对如何利用超声波来了解胎儿的发育过程提供有益的启示.

(云中客摘自 Proceeding of Acoustical Society of America paper 1pBB6 2001)