

气浮工艺及影响净水效果的主要因素探讨

李 新,王广丰

(青岛理工大学机械学院, 山东 青岛 266033)

摘 要: 总结对比了分散空气气浮法、电凝聚气浮法、生物及化学气浮法、溶解空气气浮法和静电喷涂空气法等五种气浮净水工艺的特点及应用范围,重点分析了近年来国内外溶气气浮新工艺的特点,并详尽阐述了影响气浮工艺效果的各种控制因素。

关键词: 气浮工艺;净水效果;因素

Air Flotation Process and the Main Effect Factors of Water Purifying

LI Xin, WANG Guang-feng

(Mechanical School, Qingdao Technological University, Shandong Qingdao 266033, China)

Abstract: The basic principle and categories of flotation process such as the dispersed air flotation, electro-coagulation-flotation, biological and chemical flotation method, dissolved air flotation and electrostatic spray air were generally presented. The new flotation process was summarized and the effect factors of air flotation were also introduced in details.

Key words: air flotation; effects; factor

气浮技术最早用于矿冶工业^[1],是一种高效、快速的固液分离技术。气浮净水是指在待处理的水中通入或产生大量的微细气泡,使其作为载体与杂质絮粒相互粘附,形成整体密度小于水的状态,并依靠浮力使其上浮至水面,从而实现固液分离。自上世纪七十年代以来,该项技术在水处理领域颇受国内外专家学者的关注并得到迅速发展,目前该技术广泛应用于炼油、化工、造纸、制药等工业废水和城市生活废水以及工业用水、生活饮用水的处理上。

按照产生气泡的方式不同,可以把气浮过程分为分散空气气浮法、电凝聚气浮法、生物及化学气浮法、溶解空气气浮法和静电喷涂空气法等^[2-4]。分散空气气浮法产生的气泡直径较大,一般用于矿物浮选,也可用于含油脂、羊毛等废水的初级处理及含有大量表面活性剂废水的泡沫浮选处理电凝聚气浮法;产生的气泡较小且均匀,气浮效果好。但存在耗电量较多,金属消耗量大、电极易钝化等问题,仅适用于小型工程;生物及化学气浮法因受温度、废水性质、药剂种类等条件的限制,净水处理的稳定性和可靠度都较差,因此实际应用较少;静电喷涂空气法是一种相对比较新的在液体中产生气泡的方法,产生直径大小约为10~180 μm 的微细气泡;压力溶气气浮法与上面几种方法相比水中的空气溶解度大,能产生足够的微细气泡,扰动性很小,整个工艺流程及设备较简单易管理,特适用于絮粒松散、细小的固液分离系统。

1 气浮净水溶气新工艺

1.1 涡凹气浮技术

涡凹气浮技术^[5](Cavitations - Air Flotation,简称CAF)是

1985年美国发明的一种新型水处理气浮技术,该技术具有能耗低、效率高等优点。该技术是一种集吸气、混合、气浮固体和澄清水排放等过程于一体的空气气浮工艺。其水处理过程是:被处理的废水与絮凝剂一起进入曝气段,特制的涡凹曝气机将全部空气以“微气泡”的形式打入其中,同时曝气机使室内形成空穴产生负压,形成一个真空区。从进气管吸入的空气被直接送入水下并吸入真空区从而产生大量微气泡。在空穴室的负压作用下,约有1/4的水量又回到空穴室进行自然循环,在循环过程中,大量微气泡夹带原水中的悬浮物上浮到水面形成浮渣并进入气浮段,然后被刮渣机刮入排渣沟,气浮系统中螺旋推进器把浮渣排走。该溶气工艺如图1所示。

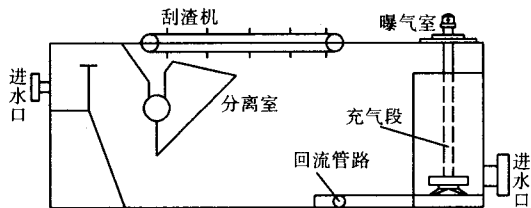


图1 涡凹气浮(CAF)溶气工艺

由于系统中空气是经特殊曝气机带入,带有微气泡的水体进行自然循环,系统无需空压机和循环泵,从而使得整个气浮系统结构紧凑、操作简单、自动化程度较高,极大提高了工作的可靠性,并且具有投资省、运行费用低、节能效益显著等优点。另外该装置产生的气泡直径大大小于溶气气浮法产生的气泡的直径,因而气泡在水里上浮速度很快,对被处理废水中悬浮物、

油脂的去除率高。

CAF 涡凹气浮系统是一种创新的工业和城市污水处理技术,它能够有效地解决压力溶气气浮(DAF)存在的各种问题。该技术自 1985 年在美国加州发明之后,首先在造纸废水处理中投入使用。现在美国和墨西哥已有 30 多家造纸厂污水处理站使用这项技术,除此之外,涡凹气浮技术还被应用于制革、印染、食品和肉类加工等工业废水处理上。我国于 1996 年从美国引进了此项技术,目前已在造纸和制革废水中投入使用。CAF 涡凹气浮系统不仅适用于造纸行业,而且还广泛应用于皮革、炼油、纺织、印染、化工以及城市污水处理等许多行业。

1.2 气液混合泵

气液混合泵^[6-7]是近年出现的新溶气工艺设备之一。该泵很好地解决了普通离心泵叶轮弯道处气穴阻塞问题,保证泵体平稳运行。这种泵工作时,液体和气体在泵的入口处同时被吸入,气、液两相在泵的增压过程中完成溶解性混合,随后在溶气水的常压释放过程中以微气泡形式析出。图 2 为气液混合泵应用于气浮净水中的流程图。

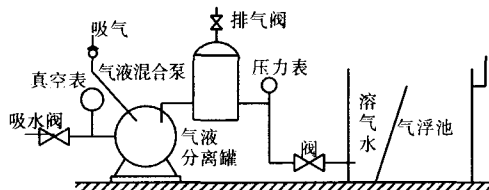


图 2 气液混合泵气浮工艺流程

采用气液混合泵进行加压溶气,可省去普通加压溶气气浮设备中的空压机、溶气罐等设备,使系统大大简化。该泵具有体积小、压力高、占地面积小、工作噪音小、结构简单及坚固耐用等一系列优点。但该类型气浮净水设备溶气量一般较小,且属于泵前射流溶气,溶气效率也相对较低,一般仅应用于小规模净水工程,较大型净水工程仍采用 DAF 工艺。

1.3 浅层气浮技术

20 世纪 70 年代美国的 Krofta 博士发明了浅层气浮池, KROFTA 净水工艺^[8-9]的突出点是“零速度”原理和“超浅池”结构。“零速度”原理是 KROFTA 设备的关键技术,该原理是原水从池中心的旋转接头进入,通过配水器布水,配水器的移动速度和进水流速相同,此种进水方式对水体的扰动非常小,使得颗粒的悬浮和沉降在同种静态下进行。应用“超浅池”理论设计的池深只有 650mm,有效水深小于 550mm,此外悬浮物的分离在进出水的巧妙隔离下不受 V_上、V_下的限制,气浮分离时间只有 3~5min,使设备占用空间大幅度减小。在此工艺过程中,浮渣的清除用螺旋泥斗,浮渣彻底瞬时清除、隔离排出,对水体几乎没有扰动。

图 3 所示为 KROFTA 气浮池溶气管新溶气机理的示意图。该工艺中“零速度”混水机理显著减小了溶气水对废水污粒的扰动,与“超浅池”结构相结合使常规单池净水时间由 20~30min 缩短为 2~3min,显著提高了单池净水能力,但并未从根本上解决溶气过程能耗较高问题。

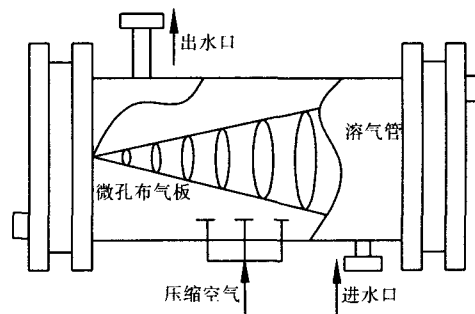


图 3 KROFTA 气浮机的溶气管示意图

1.4 其他溶气系统

泵前吸气式气浮系统(M-DAF)与传统溶气系统相比取消了空气压缩机和溶气罐,具有无需空压机、投资较低、易于操作等优点。ES-DAF 装置^[10]是在 M-DAF 溶气装置的基础上衍变而来,该溶气装置能够溶解更多的气体,并且该溶气系统气泡粒径随着环流比的增大而减小,与传统溶气气浮装置相比具有节省基建投资和占地面积,操作维护非常简便等优点。

2 气浮工艺的主要影响因素

2.1 混凝条件

实验表明混凝效果的好坏对气浮出水水质有很大的影响,直接在未混凝的原水中加入溶气水时,几乎不会形成浮渣层,出水水质与进水水质相比没有太大的变化。混凝效果的好坏主要反应在以下特性上:①是否增强胶粒的疏水性。胶粒的疏水性越强,越容易吸附气泡。疏水性的强弱主要与原水中表面活性物质的含量和所用混凝剂种类及剂量有关。由于亲水性胶体依靠极性基团的电荷及自身吸附的厚层水膜的双重作用在水中保持稳定,从而废水中亲水性胶体脱稳所需的金属凝聚剂比疏水性胶体用的量要多一些。②胶粒大小及密度。在疏水条件相同的情况下,带较多疏水基团的胶体粘附气泡的机会大,吸附的微气泡也多,因此更容易气浮。③混凝剂的用量。混凝剂用量胶体的特性,最终影响气浮出水水质。由实验^[11]知混凝剂用量对气浮效果的影响很明显,出水浊度随混凝剂用量的增加而降低。主要原因是高混凝剂用量条件下形成的胶体特性好,絮体容易吸附气泡;絮凝体体积增大,吸附的气泡的数量增多,在气浮时,带气絮粒上浮的性能就越好。由此可见,使用较高的混凝剂量对原水进行完全的混凝,有利于气浮处理。对于溶气气浮工艺,一般情况下铁盐混凝剂的性能要优于铝盐混凝剂,聚合混凝剂对原水水温、pH 值的适应性相对较强,不降低出水水质的情况下采用聚合混凝剂时尽量减少混凝剂投量。

2.2 絮凝及接触时间的要求

絮凝是指胶体脱稳聚结成颗粒絮体的过程,絮凝作用在于逐步扩大形成网状结构絮凝体,进而絮凝体与气泡粘附上浮于水面。絮凝体与微气泡的粘附方式有三种形式:①絮粒包裹碰撞进絮粒网状结构凹槽内的微气泡;②多个絮粒互撞结大网捕游离气泡;③已粘附气泡的絮粒间碰撞吸附架桥结大。在粘附絮凝过程中,合适的搅拌速度和接触时间有利于加速絮凝过程和提高絮凝效果。搅拌的速度过快,会将能够沉降的颗粒变成不能沉降的颗粒,进而降低絮凝效果;搅拌速度过慢,会使絮凝

剂和固体颗粒不能充分接触,不利于絮凝剂网捕胶体颗粒,进而无法更好地发挥絮凝作用。一般情况下控制搅拌速度在40~80r/min范围内,不要超过100r/min。气浮接触区停留时间对絮凝气浮的除浊效果有较大的影响。通过实验^[12]中气浮接触时间对浊度的影响知接触时间小于40s时,接触时间对出水影响较大,并且接触时间在20s内,出水浊度出现急剧上升状态。接触室停留时间减少除浊率逐渐下降的原因是:①接触室停留时间减小,气泡和絮体接触反应的时间减少;②接触室中紊流程度发生改变,扰动紊流状态不利于气泡和絮体形成稳定聚集体并且影响上浮速度,从而降低了气浮的出水质量。何华等人发现接触室停留时间在1.5min~4.0min变化时,聚合氯化铝(PAC)为絮凝剂时除浊率变化范围为20%左右,而硫酸铝为絮凝剂时除浊率变化范围12%左右。Matthew T^[12]认为溶气气浮工艺的絮凝时间应低5min,得到较好的出水水质。

2.3 气泡尺寸的影响

气泡尺寸的大小直接影响净水效果的好坏。气浮净水工艺中,气泡尺寸过大会使气泡与污粒结合不稳定,杂质分离率急剧降低,并且会出现撞碎絮粒的现象,从而影响气浮净水效果。经研究分析知,当水中的悬浮物性质一定时,气泡尺寸越小,与水中颗粒粘附时需要的气泡数量越多,增加了气泡与絮体粘附的难度,从而明显地影响污粒的获气量和上浮速度。

在一定程度上,气泡直径较大时,由于其上浮速度比较小直径气泡的上浮速度大,因此在单位时间内释气量及获气机率相同情况下,污粒在混合室的历经时间内可获得更多的气体量。从这一角度上讲,不能简单地认为气泡尺寸越小净水效果越好。Kiuru^[13]的研究结果表明,在 $10\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的表面负荷下气泡平均直径为 $40\mu\text{m}$ 时效果最佳,一般应把气泡直径控制在10~100 μm 范围内就能取得好的净水效果。

2.4 气浮对溶气压力的要求

在加压溶气气浮系统中,溶气系统的运行费用占整个气浮净水系统的50%~90%,气浮成本大部分取决于溶气系统产生的电耗,合理的选择溶气压力不仅可以降低电耗,减少运行成本,而且还可以提高水质^[14]。内循环式射流加压溶气方法是一种采用空气内循环及水流内循环两方面有机结合的一种新的溶气方式,不需要空压机供气,通过内循环压力差使溶气水饱和和溶解,其溶气效率可达90%以上,并且采用此种方式比水泵压水射流系统节能30%左右。如溶气水的压力位0.3MPa时,循环泵的压力在0.16~0.2MPa就能满足自动进气的要求,并且其电耗约为工作泵的10%左右。通过亨利定律可知随着溶气压力的增大,溶解在水中的空气越多,溶气量越大释放时产生的细微气泡尺寸越小,数量越多,相应地去除率就增加。在气浮工艺中,一般选择压力范围在0.25MPa~0.44MPa认为比较合理^[15]。气液混合泵工作时,气液同时在泵的入口处被吸入,通过泵叶轮的切割、分散作用及泵内的高压力使气体溶解于水中实现溶气,工作压力一般在0.7MPa以下。采用气液混合泵进行加压溶气省去了空压机、溶气罐等设备,具有体积小、压力高、结构简单、工作噪音小、坚固耐用等系列优点,但由于该设备溶气量一般较小,一般仅应用于小规模净水工程。

2.5 空气注入量的控制

空气注入量的控制是气浮过程中影响溶气效率的一方面因

素,在一个标准大气压下,空气在水中的溶解量大约为水量的3%,随着压力的增加,空气在水中的溶解度有一定的升高,使用气液混合泵注入空气时,溶解量约为水量的7%~8%^[16]。当在溶气罐中有大量未溶解的气体时,减压释放未溶解的气体会产生大量的大气泡扰乱气浮系统,影响气浮效果。一般认为空气注入量稍微大于空气在水中的溶解度,使得空气在水中处于过饱和状态是比较适宜,如果气体的进气量小就会导致产生的气泡量不够而不利气浮。同时还要根据污水水质、混凝剂和减压释放器的类型控制进气量。

2.6 原水流态对气浮的影响

分离池液体流态对挟气污粒混合体的上浮速度有一定的影响,文献^[12]理论分析了液态不同流态下的挟气污粒上浮速度,并通过曲线图对比了不同水温下液体为层流和紊流时污粒的挟气量与污粒上浮1m高度时挟气污粒上浮时间及气泡直径与其上浮时间的关系。通过分析得出分离池液体流态对挟气污粒混合体的浮速有很大影响,层流浮速较紊流浮速小很多,液体紊流状态有利于提高净水效果。反应室的流态受反应室的表面负荷影响很大,表面负荷越大,液体紊流越强,足够的紊流可以增加气泡和絮体的碰撞机会,使两者在反应室里能够充分接触,有利于气泡和絮体粘附,过于猛烈的紊流碰撞会打破絮体和气泡,造成浪费。KROFTA浅层气浮池^[17]的表面负荷为可达 $12\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水体停留时间短,一般只有2~3min该气浮池占地面积小,有效节省投资,提高净水效果。

2.7 回流量的影响

在溶气系统主要为空压机和溶气罐的气浮净水工艺中,回流量的确定直接影响气浮效果、设备投资及系统运行能耗,如何降低气浮回流量是气浮研究的一个重要课题。影响回流量的因素很多,包括溶气压力、温度、溶气条件、微细泡的大小、溶气水质等,由于原水水质的多样性等因素的影响,通过实验方法对原水进行各种条件的实测来确定回流比。目前国内外在给水处理中采用的回流比多在5%~10%之间,废水处理工程中的回流比多在15%~30%之间。在加压溶气装置中采用气液混合泵溶气,回流比的大小根据泵的型号和压力确定,如果流量很小压力就达不到要求,在气液混合泵的溶气装置中回流量仅作为参考因素,主要看泵的压力。

2.8 释气系统的影响

释气过程影响释气气泡的尺寸和数量,释气系统的关键装置是释放器,溶气释放器对提高气浮净水效果和减少运行费用有至关重要的作用。最早的释放器是一个普通的减压阀,由于它不能均匀分布释气水,且释放出来的气泡的直径较大,现很少采用。通过理论和实验的研究认为,溶气水的压力影响释气效率,低压时形成的较多的直径较大的气泡,不利于气浮^[2]。有关低压释放器的研究表明,通过合理设计释放器的结构,低压释气可以达到产生大量直径较小的微气泡和使溶气水中的气体充分释放的综合释气效果。国内研制成功了具有先进技术性能的TS、TJ、TV型系列溶气释放器^[2]并得到广泛应用。

2.9 排渣方式

溶气气浮池的排渣方式主要分为两种:机械刮渣和水力溢渣。机械刮渣是借助刮渣机进行定期刮渣。水力自动排渣与目前普遍使用的刮渣机相比,具有造价低、维修简单,可以实现自动

差不多。在每年的11月到次年的5月,吐哈原油可以通过一次加剂处理从鄯善站常温输送到兰州站,在运输过程中也没有启动加热炉进行加热,实现了安全,低耗的运输过程。

5 结论

(1)通过加注新型高浓缩降凝剂,在冬季里可以解决吐哈原油等高凝点高粘度的原油常温输送问题。

(2)吐哈原油可以通过一次加剂处理从鄯善站常温输送到兰州站,沿途九站均不开启加热炉。降凝剂的瞬时加剂量为30mg/kg,到12月末地表温度进一步降低,为了确保安全瞬时加剂量可以稍高一些,达到40mg/kg。在首站加剂热处理温度为55℃。

(3)高速剪切对加剂吐哈原油的凝点影响不大;加剂量稍高一些对吐哈原油凝点的稳定性有很大帮助;重复升温对吐哈原油的凝点的影响往往会很大,会使凝点大幅增长。所以在加剂吐哈原油的实际运输过程中,为了保证安全,防止凝管、堵管等恶性事件的发生,降凝剂的加剂量可以适当增加,但是沿途各站加热炉最好不要启动。

(4)同是吐哈原油,不同的生产批次,或者经历了不同的静置、搅拌和加温等处理,原油的物性也会有很大差别。所以原油的物性监测、加剂改性小样试验和各站的流动加剂原油的物性监测也要时时跟进,经常做,反复做,以实际实验数据为基础,调整原油输送工艺,以保证安全、并不断的降低运输成本。

参考文献

- [1] 中国石油天然气管道工程有限公司. 西部原油成品油管道工程原油管道初步设计总说明书(储-5233/1明). 廊坊:中国石油天然气管道局,2006.
- [2] 中国石油西部管道有限责任公司. 西部原油管道试运投产方案(XY41900SG-4.2.5-02-20070405). 乌鲁木齐:中国石油西部管道有限责任公司,2007.
- [3] 中国石油大学(北京)油气储运工程系,中国石油管道科技研究. 北疆混合原油与吐哈混合原油降凝剂改性试验研究报告. 北京:中国石油大学(北京),2005.
- [4] 张劲军,蔡一全,严大凡,等. 长距离管输添加降凝剂含蜡原油的模拟试验[J]. 石油规划设计,1995(2):43-46.

(上接第177页)

化等优点,而且该装置无需在气浮设备上设置轨道,无需电动机,降低了运转费用,提高出水水质。

参考文献

- [1] A. M. Gaudin. Flotation. 2d ed., McGraw-Hill, New York, 1957.
- [2] 陈翼孙,胡斌. 气浮净水技术的研究与应用[M]. 上海科学技术出版社,1989.
- [3] 石金田,张士金,井继琛. 气浮净水技术及应用[J]. 江苏化工,2003,31(1):48-50.
- [4] 徐振华,赵红卫,方为茂. 气浮净水技术的理论及应用[J]. 四川化工,2005,8(4):49-51.
- [5] 刘振预,赵水泉,张凉. 处理造纸废水的涡凹式气浮装置[J]. 纸和造纸,2001(6):58-59.
- [6] 韦君航. 气液多相流泵及其在气浮装置中的应用[J]. 石油化工环境保护,2002,25(1):20-22.
- [7] 成丽华. 气液混合泵溶气气浮理论和工艺的研究(硕士学位论文). 同济大学,2001.
- [8] 许吉现,李思敏,韩小清. 浅层气浮技术[J]. 中国给水排水,1999,

- 15(7):47-48.
- [9] 高相升,王志红. 浅析 KROFTA 气浮设备[J]. 中国造纸,1998,1:67-71.
- [10] 陈福泰等. 新型气浮装置 ES-DAF 中气泡粒径分布的表征. 环境科学,2004,25(1).
- [11] 戴豪波,徐承亮. 气浮水处理工艺影响因素研究[J]. 热力发电,2005(8).
- [12] 顾夏生,黄铭荣,王占生,等. 水处理工程[M]. 北京:清华大学出版社,1987.
- [13] Kiuru H. J., Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest one, Wat. Sci. Teck, 2001,43.
- [14] 王广丰,等. 气浮净水自换气溶气法溶解度分析[J]. 辽宁工程技术大学学报,2003,22(5):676-678.
- [15] Matthew T. Valade, et al. JAWWA,1996,86(12):35-47.
- [16] 李都望,詹健,黄晓东,等. 气浮技术控制影响因素的探讨[J]. 江西科学,2006(2).
- [17] 高相升,王志红. 浅析 KROFTA 气浮设备[J]. 中国造纸,1998(1).