

变频器在曝气转刷自动控制中的应用

邓荣森, 李尚月, 王涛, 李伟民

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:变频器用于曝气转刷的自控中,通过调节曝气转刷的转速,实现氧化沟需氧量与充氧量的最佳匹配,在保证出水水质的同时,可以最大限度的降低能耗。同时论证了变频调速的可行性和必要性。全面介绍了在实际应用中曝气转刷的三种控制方式,其中计算机系统自动控制方式中的变频调速控制可以实现节能。

关键词:变频器;曝气转刷;自动控制;节能;控制方式

中图分类号:TM921.51;TU992.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2004)05-0086-04

Application of VVVF to the Automatic Control of Aeration Brush

DENG Rong-sen, LI Shang-yue, WANG Tao, LI Wei-min

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P.R.China)

Abstract: As VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) used in the automatic control of aeration brush can realize the best matching of oxygen demand and oxygen supply through changing the revolving velocity of aeration brush in an oxidation ditch, as a result, the energy consuming is reduced in the greatest extent with guaranteed effluent water quality. At the same time, the feasibility and necessity of VVVF in the automatic control of aeration brush is proved. In this paper all ways of the control of aeration brush are introduced in the factual use. The energy saving can be achieved through the control of changing frequency in the automatic control ways of computer system.

Keywords: VVVF, aeration brush; automatic control; energy saving; ways of control

氧化沟中的曝气转刷具有充氧、混合和推流等功能,其中充氧功能占主要地位。在使用氧化沟作为污水处理工艺的城市污水处理厂中,曝气转刷的能耗占总能耗的40%左右,因而,降低曝气转刷的能耗能取得明显的经济效益。目前,氧化沟中的曝气转刷的数量和功率按理论需氧量来设计,并适当增设一定数量的曝气转刷作为备用。相当多的氧化沟污水处理厂由于种种原因并没有设置变频调速,在这种情况下,当需要降低DO值时,就通过减小曝气转刷的浸深或运行台数,除造成能量的浪费外,还可能导出水水质的不稳定。此外,氧化沟中DO值过低,则好氧菌活性下降,微生物难以形成易沉淀的絮体;DO值过高,则不仅会增加能耗,同时也会造成混合液絮体分散和破碎,使二沉池的固液分离发生困难。而氧化沟中混合液需氧量是不断变化的,影响DO值的因素有进水水质、氧转移速率、微生物量及其活性和底物的去除速率。因而,在采用氧化沟工艺的污水处理厂的自动控制中,采用变频器对曝气转刷进行变频调速,使之根据DO值的变化在一定范围内(35 rpm~75 rpm)降低或提高曝气转刷的转速,不仅能保证良好的污水处理效果,而且还有显著的节能效果。目前的氧化沟设计,多采用水下推动器配合使用,使转刷只担负充氧任务成为可能,因而转刷的变频设置更为必要。本文拟通过对氧化沟转刷的变频控制进行论述和实例分析,以提请工艺设计师和污水处理厂管理者重视。

1 变频调速

1.1 变频调速控制方式^[1]

在恒转矩情况下,当电源频率在低于工频(50 Hz)范围内调节时,电动机转速 n 与电磁转矩 M 之关

* 收稿日期:2004-05-28

作者简介:邓荣森(1938-),男,四川成都人,教授,博士生导师,主要从事水污染控制与理论研究。

系即机械特性见图1。A、B、C3点处对应3个转速 n_A 、 n_B 、 n_C ,但转矩相等。

1.2 变频调速节能效果显著^[1]

变频调速可以实现鼠笼式异步电动机无极调速;电动机的启动电流小,即实现软启动;方便地进行加减速控制,而且该技术用于一些高能耗设备的控制上,具有非常显著的节能效果,通过对用电设备进行变频调速技术改造,可使总耗电量减少30%~40%,节能效果显著,同时便于使控制系统自动化、高性能化。工艺专业工程师常采用单速或双速驱动电机,忽略了调频节电的经济效果。

1.2.1 曝气转刷工作性能 曝气转刷是由电动机拖动,曝气转刷对电动机来讲是一种“负载转矩与转速成平方关系”性质的负载,即负载转矩 M 与转速 n 的平方成正比

$$M = Kn^2$$

式中: K 为比例系数。

曝气转刷充氧能力随转速的增加而增大,曝气转刷充氧能力 Q 与转速 n 的1次方近似成正比

$$Q = Cn$$

式中: C 为比例系数。

由于曝气转刷的轴功率是负载转矩与角速度的乘积,而曝气转刷的负载转矩与转速成平方关系,因此曝气转刷的轴功率 P 与转速 n 的3次方成正比

$$P = Dn^3$$

式中: D 为比例系数。

1.2.2 曝气转刷低效运行的原因 由于按需氧和供氧关系作选型依据,实际上曝气转刷的定速运行与实际需氧量是不适应的。曝气转刷的台数设置,总是考虑理论需氧量,并在此基础上进行功率的选配。由于进水水质、流量等变化,氧化沟某一时段的需氧量也随着变化,在大多数情况下,曝气转刷都工作在偏离氧量最大需求的状态下,即曝气转刷按不变的设计指标投入运行,造成供氧量过大。

当氧化沟中混合液溶解氧量过高,需要减小曝气量时,通常的控制方法是降低可调式溢流堰,减小曝气转刷的浸深。此时曝气转刷的负荷率下降,而曝气转刷仍全速运转,造成了电能的浪费。

1.2.3 变频调速的节能效果 如上所述,采用变频调速后,当实际需求氧量较少时,通过调低曝气转刷的转速,曝气转刷的轴功率可以成3次方规律降低,折入电机的轴功率也减少,从而使运行电耗大幅度地降低。与采用减小曝气转刷的浸深的方法相比,变频调速可高效地实现需用功率与实际供给功率的合理匹配。

充氧能力随曝气转刷的浸深和转速的变化而变化,且变化幅度较大。采用曝气转刷的浸深来调节溶解氧与变频调速调节溶解氧两种情况下充氧能力与消耗功率的关系曲线如图2所示,①为曝气转刷浸深的调节曲线,②为变频调速调节曲线。由图中看出,调节曝气转刷的浸深使充氧能力增大或减小,只能使消耗功率有较小的改变;因为异步电动机空载与负载时界限出功率变化不大;而采用变频调速方法调节,充氧能力稍有减小(即转速稍有降低),消耗功率便有较大幅度的减小。且还可以省去转刷浸深调节系统。假如曝气转刷的额定功率为45 kW(9m),与之配套的变频器价格约为2万元,一年运行8760 h,装变频器后节电率为30%,每年可节电11260 kW·h,按每度电0.3元计算,每年节约电费成本3.5万元,不到一年就可以收回成本,因而曝气转刷采用变频调速经济是合算的。

2 曝气转刷的控制方式

随着我国自动化技术和仪表检测技术的发展,自动化调节仪表逐渐被污水处理厂所采用。近几年来,我国新建的城市污水处

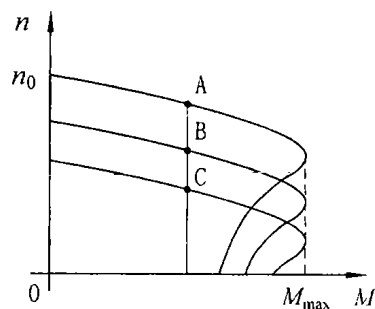


图1 恒转矩调速的机械特性

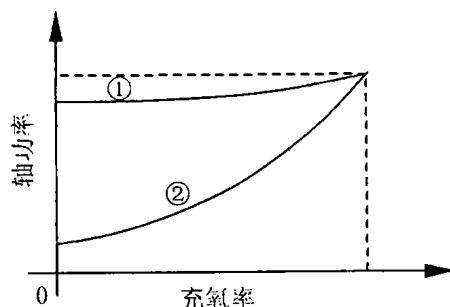


图2 充氧率与轴功率关系图

理厂已经大量应用可编程控制器(简称 PLC)系统,缩短了我国污水处理厂与世界上发达国家污水处理厂在自动控制领域的差距。因而,氧化沟中的曝气转刷可采用 PLC 分站来实现控制,并与控制其它部分的 PLC 分站一起实现对整个污水处理厂的自动控制。考虑到目前变频器价格较贵,在氧化沟污水处理厂中,可以将一部分曝气转刷装上变频器,其余的曝气转刷仍按额定转速运转,根据近年来部分污水处理厂的使用经验,变频器产品质量应得到保证。

2.1 就地控制方式

将总变配电室内低电压配电柜上各转刷的手动/自动转换开关置于手动位置时直接在柜面上控制转刷的开/停。从安全生产考虑,就地设置是十分必要的,由维修人员控制,必要时设置更为安全的保护措施。

2.2 计算机系统手动控制方式

在控制中心配电柜上的手动/自动转换开关置于自动位置时,操作人员可在控制室内的计算机上用键盘或鼠标器控制转刷的开/停。因为有就地控制,不对现场维修人员构成威胁,但信息一定要反馈。

2.3 计算机系统自动控制方式

当手动/自动转换开关打到自动位置时,由 PLC 内部程序完成转刷的自动控制^[2]。

由于混合液中的 DO 浓度越高,ORP(氧化还原电位)值越高。当混合液中存在 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 时,其浓度越高,ORP 值也越高;而当存在 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 时,ORP 值则随 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度升高而降低。好氧段混合液的 ORP 值则应控制在 40 mV 之上。因而 ORP 值也可作为控制曝气转刷的参数。相应地有氧化还原电位的变频调速控制的方式。曝气转刷有 3 种自动控制方式:方式 1 为运行时间表控制,方式 2 为溶解氧的变频调速控制,方式 3 为氧化还原电位的变频调速控制。

2.3.1 运行时间表控制 PLC 根据设定的 24 h 运行表来确定转刷的开停,应预先计算出来并列成操作表格或做成处理厂操作手册的一个章节,方便操作人员辨别工况。运行时间表控制为开环控制,以氧化还原电位和溶解氧含量值作为参考,由现场工艺工程师根据进水 BOD、COD 及流量计算出所需供氧量,进而确定转刷的启停时间和台数,其中每台转刷运行时间可单独以分钟设定,从而减少转刷运行总台数,达到降低能耗的目的。此种控制方式在进水稳定的情况下运行较为方便,PLC 只需根据运行时间表对转刷进行控制。

2.3.2 溶解氧的变频调速控制 当进水变化较大,人为无法确定某段时间耗氧量的情况下,为了降低运行成本,又要保证出水水质达标,可采用溶解氧的变频调速控制。将氧化沟 DO 值作为第一受控变量,以曝气转刷的转速作为第二受控变量的独立的控制系统可有效地用于 DO 值控制。先设定 DO 的浓度值(一般为 2mg/L 左右),当系统开始工作后,溶解氧测定仪将实测 DO 值经变送器转变成控制标准电流输入模拟块,经 A/D 模数转换后,进入 PLC 与设定的 DO 值进行比较。对比较得出的偏差进行 PID(比例、积分、微分)运算,并以此结果控制变频器的输出频率,以调整曝气转刷的转速,使曝气转刷的充氧能力得到改变。当测定的 DO 值比设定的 DO 值小时,逐渐增大变频器的输出频率(不超过工频 50 Hz);当测定的 DO 值比设定的 DO 值大时,逐渐减小变频器的输出频率。其控制示意图见图 3。由于氧化沟体积很大,而曝气量和 DO 值的变化之间存在时间滞后,要使系统稳定地实现 DO 控制,可使变频器定时发出增大或减小频率的指令,定时的时间间隔为 10 min 左右。这种时间间隔要通过生产实践调整核定。

由于方式 2 与方式 3 具有相同的结构和功能,现以方式 2 溶解氧的变频调速为例说明控制过程。首先全部开启转刷,曝气转刷根据氧化沟的溶解氧值调整转速和运行台数。当溶解氧测量值高于设定值时,逐台降低装有变频器的曝气转刷的转速,若溶解氧仍高于设定值,逐台关闭曝气转刷至所需溶解氧设定值。反之,当溶解氧低于设定值时,逐台开启转刷至全部转刷开启。考虑到溶解氧变化的滞

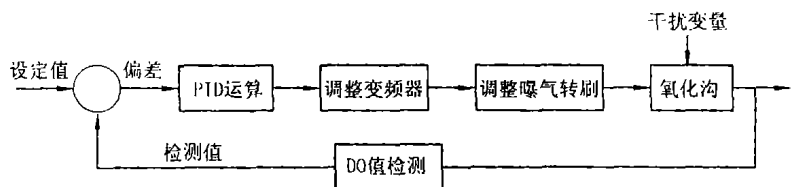


图 3 PLC 控制系统方框图

后,调整转刷台数的最小时间间隔为 15~30min(根据实际工况调整)。为了防止测量仪表出故障,可根据工艺要求设定溶解氧上限值和下限值以及最大运行时间和最大停止时间。开启全部转刷时,当运行时间超过最大运行时间而测量值未到上限值,则转到方式 1 运行;同样全部转刷停止时,当停止时间超过最大停止时间而测量值未到达下限值,则转到方式 1 运行^[3]。

由于氧化沟沿沟不同点的 DO 值和 ORP 值也不同。DO 值和 ORP 值的测试点应位于最后(相对于水流的方向)一个曝气转刷旁的弯道处,如图 4 所示,必要时在生产实践中探索出最佳设置位置。

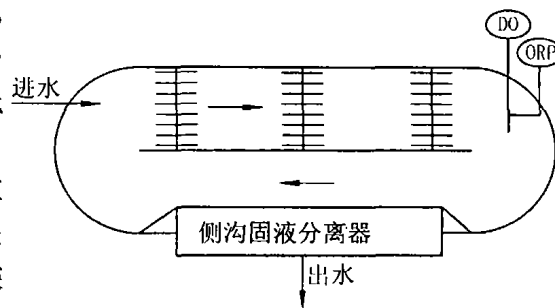


图 4 DO 值和 ORP 值测试点位置示意图

在设计上溶解氧仪和氧化还原电位计输入信号连接在 PLC 不同的输入模块上,以免由于模块的损坏造成控制失调。在用方式 2、3 运行时,溶解氧仪和氧化还原电位计探头由于受水体中污染物和水流波动的干扰,测量精度受到影响,因此每周应对仪表进行清洗和校验。校验时,应将转刷运行方式设定为方式 1^[3]。溶解氧测定仪有换膜和不换膜的两种,还有自清和人工清的,质量一定要可靠和对其经常维护。

2.3.3 计算机系统监视内容(宜设现场监视示屏系统)^[2] (1)转刷的变频调速运行状态;(2)转刷故障报警;(3)转刷手动/自动转换开关位置。

3 实例^[1]

某石油化工行业中炼油厂处理污水中,污水曝气机采用变频调速,鼠笼式电动机容量为 22 kW,变频器容量为 30 kV·A。

由于曝气机属于平方转矩特性,对变频器内各个微动开关进行合理的设定,变频器、电机工作运行时,通过改变工作频率,实测各频率点相对应的电压 U 、电流 I 、转速 n 、功率因素 $\cos\varphi$ 、功耗,测试数据列于表 1 中。

表 1 频率、电压、电流、功率因素、功耗的对应关系

F /Hz	N /r·min ⁻¹	测量点①			测量点②			$S_g = \sqrt{3}IU$ /kV·A	$P_g = \sqrt{3}IU\cos\varphi$ /kV·A
		U/V	I/A	$\cos\varphi$	U/V	I/A	$\cos\varphi$		
5	150	390	1.9~2.3	1(摆动)	40(摆动)	14	1(摆动)	1.49	1.49
10	300	390	2.4~2.6	1(摆动)	75	11	0.99	1.69	1.69
15	450	390	3.2	1	95	10	0.99	2.16	2.16
20	600	390	5	0.97~1 (摆动)	125	12	0.98	3.38	3.31
25	750	390	5	0.97	175	16	0.96	3.38	3.28
30	900	390	11	0.97	235	18	0.95	7.43	7.21
35	1050	390	15	0.98	270	22	0.93	10.13	9.93
39*	1170	390	20	0.98	310	26	0.92	13.51	13.24
45	1350	390	29	0.99	370	32	0.87	19.59	19.39

注: * 表示当日运行点;测量点①位于变频器之前;测量点②位于变频器之后。

从表中数据可以看出,电机转速下降,电动机功耗显著减小。按照生产工艺要求,曝气机电机功率在大多数时间内为 35~39 Hz,电机对应的转速为 1 050~1 170 r/min,节电率达 40% 以上。以一年运行 7 290 h 计,年可节电 104 860.8 kWh。

选择变频器应注意一些问题。通常变频器的主要技术经济指标以适用电机功率(kW)、输出容量(kV·A)、额定输出电源(A)表示。对于曝气转刷的负载特性,通用变频器的过流容量已能满足要求。变

(下转第 136 页)

- [13] 郑刚强. 室内装饰工程集成装配化研究[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 23(12): 40 - 43.
- [14] 冯德纯. 新型装配式建材速成墙板[J]. 中国建材科技, 2001, (5): 59.
- [15] 张清滨. 活动装配隔断盛行法国[J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 2002, (4): 15.
- [16] 装配式混凝土框架结构主筋后插工法[J]. 建筑技术开发, 1996, (6): 53 - 55.
- [17] 林宗凡, E. I. Sagan, M. E. Kreger. 装配式抗震框架延性节点的研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1998, 26(2): 134 - 138.
- [18] 张同亿, 张兴虎. 装配整体复合墙抗震性能试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2000, 32(4): 325 - 328.
- [19] 李和平. 装配式楼盖裂缝的机理分析及对策[J]. 洛阳工业高等专科学校学报, 2000, 10(3): 9 - 11.
- [20] 宋国华, 柳炳康, 王东炜. 装配式大板结构竖缝抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程, 2002, 18(1): 81 - 85.
- [21] 刘亚非, 庞涛, 顾西平. 预制预应力混凝土装配整体式房屋结构的施工实践[J]. 江西建筑, 2002, 86(3): 10 - 14.
- [22] 凌传荣, 姚小刚. BPR 思想与我国建筑企业组织模式[J]. 建筑经济, 2000(12): 7 - 9.
- [23] 张海娟, 陶树人, 张连棠. 对企业流程再造(BPR)的系统化认识[J]. 科研管理, 2002, 23(3): 112 - 117.
- [24] 郭晓阳, 周靖. 竹胶合板模板对工程质量的影响[J]. 建筑技术, 2002, (4): 275 - 277.
- [25] 孙凌. 混凝土结构工程中材料对工程质量的影响及防治措施[J]. 森林工程, 2002, (1): 57 - 58.
- [26] 欧阳斌. 混凝土工程质量通病产生原因及防治措施[J]. 中州煤炭, 2001, (3): 19.
- [27] 冯立明. 混凝土分项工程质量通病成因及其防治措施[J]. 安徽建筑, 2001, (3): 35 - 36.
- [28] 吴松勤. 重大工程质量事故综合分析[J]. 施工技术, 1999, 28(10): 42 - 44.
- [29] 胡长华. 建筑工程质量事故原因综合分析及预防[J]. 安徽建筑, 1999, (3): 91 - 92.

(上接第 89 页)

频器的输出电压可按电机额定电压 Hz 的变频器。宜设置切换盘, 切换筋是电网运转与变频器运转两种状态转换的切换装置, 用于当变频器出现故障时转入电网中继续运行的场合, 也可用于提高效率在额定速度上运转时电机由工频电网直接驱动的场所。

4 结语

鉴于变频调速设备的价格总体呈逐渐下降的趋势, 而电价却在稳定地上调, 因此对污水处理中部分大容量电机进行变频设计和改造, 回收投资周期亦很短暂, 而所创造的经济效益和社会效益则是显著的。曝气转刷采用变频调速后, 可以有效地控制氧化沟中的溶解氧, 在氧化沟中形成稳定的缺氧区, 提高脱氮效果。此外, 采用变频调速后, 可以提高污水处理厂的自动化程度, 提高污水处理厂的运行管理水平。

参考文献:

- [1] 杜金城. 电气变频调速设计技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 卜秋平. 城市污水处理厂的建设与管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 谢继荣. PLC 在污水处理厂控制系统中的应用[J]. 给水排水, 2002, 28(7): 81 - 84.
- [4] 马丽君. PLC 控制循环 VVVF 装置在给水二级泵站的应用[J]. 给水排水, 1999, 25(2): 31 - 32.
- [5] 邓荣森. 污水处理厂可行性研究报告评审标准的探讨[J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(3): 48 - 49.