

ICA 技术在污水厂的应用现状及发展

马 勇, 彭永臻

(北京工业大学 北京市水质科学和水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022)

摘 要: 详细说明了仪表、控制和自动化 (Instrumentation, Control and Automation, ICA) 技术在污水处理系统中应用的限制性因素和发展动力, 介绍了 ICA 技术在国内和欧洲部分国家的应用现状, 给出了污水处理厂常用的实时控制方法, 强调传感器已不是污水处理系统在线控制的主要瓶颈, 指出污水处理厂的运行缺乏灵活性以及管理人员水平较低是难以实现在线控制的主要原因。

关键词: 污水处理系统; ICA 技术; 在线传感器; 运行优化

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2007)12-0011-05

Current Application and Future Trend of Instrumentation, Control and Automation Technology in Wastewater Treatment Plants

MA Yong, PENG Yong-zhen

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality and Water Environment Recovery Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The constraints and incentives for using instrumentation, control and automation (ICA) in wastewater treatment system were expounded in detail. The current status of ICA in domestic and some European countries was also introduced, and the real-time control strategies commonly used in wastewater treatment plants were presented. In addition, it was emphasized that the bottleneck of on-line control of wastewater treatment systems was not sensors but lack of operation flexibility and unskilled operator.

Key words: wastewater treatment system; ICA technology; on-line sensors; operational optimization

仪表、控制和自动化 (ICA) 技术在污水处理领域的重要性越来越明显, 在未来 10~20 年内其投资将占整个污水处理系统投资的 20%~50%。ICA 技术可为污水处理厂的运行带来以下主要优势: 降低系统的运行能耗, 保证系统的高效运行; 保证出水水质稳定并满足污水排放标准; 增加污水厂的处理能力, 在现有污水厂反应器容积下充分提高系统的脱氮率, 无需改建或扩建污水处理厂^[1]。笔者简单说明了 ICA 技术发展的限制性因素和发展

动力, 介绍了该技术在我国的和欧洲部分国家的应用现状, 最后提出了 ICA 技术的发展趋势。

1 ICA 技术的限制性因素和发展动力

采用 ICA 技术的主要目的是实现污水厂的高效运行, 在出水水质满足排放标准的情况下使运行费用尽可能低。目前 ICA 技术并没有在污水厂获得广泛应用, 其主要原因有^[2]: 不完善的教育—培训—知识体系; 风险投资者或组织机构之间缺乏合作; 缺乏应用 ICA 技术所能带来的经济效益

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20060005002); 北京市科委国际合作项目; 北京工业大学博士科研启动基金资助项目 (52005013200702)

的认识；检测工具不可靠、不稳定；污水处理厂设计存在限制性因素,排水收集系统不完善；ICA 技术缺乏透明度以及软件和仪器行业不规范。

上述一些限制性因素也可能成为 ICA 技术的发展动力,欧洲水协会实施了一些新的经济性政策,例如,“污染者交税”原则和到 2010 年水价升高政策都对水资源的高效利用起到了促进作用。ICA 技术的发展动力如下:逐渐严格的污水排放标准;污泥减量的需求;经济动力;降低运行能耗和增加产出的需求;污水处理厂的设计越来越复杂;污水再生回用等观点的出现;新型、便宜、操作简单技术的出现(如计算机和网络技术)^[3]。

为了满足逐渐严格的污水排放标准,ICA 技术在新建、改(扩)建污水厂的应用方面具有显著优势。如果污水厂的进水量增加,应用 ICA 技术可能无需扩建即能满足出水水质要求,从而大大节约系统的基建费用和运行费用^[4]。当前普遍认为仪表是污水厂实施过程控制的最薄弱环节,随着科学技术的发展,在线仪表的性能和可靠性大大提高,可以直接应用在许多控制程序中。此外,应用 ICA 技术可以降低污水厂设计的安全系数,提高污水厂的运行效率和控制灵活性。

2 ICA 技术的应用现状

2.1 在国内的应用

目前,我国污水处理厂的自控系统一般设置手动与自动两套系统。由于小型污水处理厂(如啤酒厂、饮料厂、味精厂等污水处理系统)资金不足、技术力量薄弱及生产的季节性等原因,所采用的检测

仪表大部分是国产的离线仪表,监测手段为取样后测定各水质指标,然后根据测定结果调整设备的运行状态。由于这些仪表的准确性差且非连续性监测,故设备运行状态的调整滞后,常常导致出水水质不稳定。一些大型污水处理厂为了实现自动化控制、保证出水水质达标,或借鉴国内外先进的技术和经验自行开发,或利用政府投资和国外的优惠低息贷款成套引进德国、丹麦、澳大利亚等国的污水处理工艺、设备、监测仪器仪表、自控系统及相应的软件。由于设备配套性好、技术先进、自动化程度高,系统能够连续、稳定地运行,并能保证出水水质达标。但上述运行未考虑系统的控制优化,仅仅保证了系统连续运行这一最基本要求,对出水水质的达标是基于足够大的反应器或较高的曝气量,这就造成国内污水处理厂运行和管理费用约是国外的 2 倍,而运行管理人员数又是其若干倍,且大部分已建污水处理厂仍处于人工操作状态,至今未考虑其过程控制和运行的优化。污水处理控制系统规模庞大,控制程序复杂,其设计、运行和维护必须按系统工程来对待,而且先进仪表和设备的大量应用对控制系统的稳定性和可靠性提出了越来越高的要求,我国传统的人工手动操作已远远不能获得良好的控制效果。

2.2 在欧洲部分国家的应用

ICA 技术在欧洲各国的应用程度不同,在人口当量 >1 万人的污水处理厂必须配置 SCADA (监控和数据获取)系统,但也仅仅用于数据获取而不是控制优化。表 1 是对欧洲 9 个国家 ICA 技术应用状况的调查。

表 1 欧洲污水处理厂(人口当量 >5 万人)仪器化水平和测定的主要目的

Tab 1 Instrument level and main measurement objective in European WWTPs (population equivalent larger than 50 000)

项目			奥地利	比利时	捷克斯洛伐克	丹麦	瑞典	法国	德国	荷兰	瑞士
传统 在线 传感器	温度	应用	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
		目的	M	M	M	M	M,B	M	M	M	
	电导率	应用	+++	+	+	+	+++		+++	+	+++
		目的	M	M	M	M	M		M	M	M
	pH	应用	+++	++	++	++	+++	++	++	++	+++
		目的	M	M	M	M	M,B	M	M,B	M,B	M
	ORP	应用	+	+	+++	+	+	++	++	+	++
		目的	M, (B)	M,B	M, (B)	M,B	M	M,B	M,B	M	
	气压	应用	++	+	+	++	+++	+++	+++	+	+++
		目的		M		M,B	M,B	M	B		M,B
	水界面	应用	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++
		目的	M	M,B		M,B	M,B	M	M,B	M,B	M,B, F

续表 1 (Continued)

项目			奥地利	比利时	捷克斯洛伐克	丹麦	瑞典	法国	德国	荷兰	瑞士
	流量	应用	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
		目的	M,B	M,F	M,(B)	M,B,F	M,B,F	M,F	M,F	M,F	M,B,F
	气量	应用	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	++
		目的	M,B	M	M,(B)	M,B	M,B	M	M,B	M,B	M,B
	DO	应用	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++
		目的	M,B	M,B	M,B,(F)	M,B	M,B,F	M,B	M,B	M,B,F	M,B
	浊度	应用	+	+	+	++	++	+	++	++	+++
		目的	M,B	M	M	M,B	M	M	M	M	M
	TSS	应用	+	+	++	+++	+++	++	++	++	+++
		目的	M,B	M,B,F	M	M,B	M,B,F	M	M,(B)	M,B	M,B
	污泥层	应用	+++	+	+	+	+	++	+	+	+
		目的	M,(B)	M,B	(M)	M,B	M,(B)	M	M,(B)	M,B	M
高级 在线 传感器	BOD	应用		+	+		+		++	+	+
		目的		M			M		M,(F)	M,(F)	M
	COD	应用			+	+	+		+	+	+
		目的				M,B	M		M	M,(F)	M
	TOC	应用		+	+		+		++	+	+
		目的		M,B,F			M		M	M,(F)	M
	氨氮	应用	++	+	+	+++	+++	+	++	+++	++
		目的	M,B	M	(M)	M,B,F	M,(B,F)	M	M,B,(F)	M,B	M,B
	硝酸氮	应用	+	+	+	+++	+++		++	+++	++
		目的	M,(B)	M,B	(M)	M,B,F	M,B		M,B	M,B	M
	总氮	应用			+	+	+		+	+	+
		目的					M		M	M	M
	磷酸盐	应用	+	+	+	+++	++		++	+	++
		目的	M,(B)	M,B		M,B	M,B,F		M,B,(F)	M	M
	总磷	应用			+	+	++		+	+	+
		目的			(M)	M,B	M,(B)		M	M	M
	呼吸计	应用	+++		+	+	+	+	+	+	+
		目的	M,B			M,B	M	M	M	M,(B)	
	毒性	应用		++	+	+	+		+	+	+
		目的		M,F		M	M		M	M	
	SV I	应用		+	+	+	+		+	+	+
		目的		M,F		M,B	M		M	M	
注：++代表经常应用,标准; ++代表正常应用; +代表不常应用。 M代表监控; B代表反馈控制; F代表前馈控制。											

由表 1 可知 ,所有污水厂都配备了传统的在线传感器 ,如温度计、水位计、流量计和 DO 测定仪 ,pH 计、气量计和 SS 仪的应用也很普遍。但是 ICA 技术在不同国家的应用水平差别很大 ,丹麦、德国、荷兰、瑞典和瑞士应用高级在线传感器较多 ,常用的主要是营养物传感器 ,如氨氮和硝酸氮在线传感器。污水厂配置的那些价格昂贵和维护繁琐的在线传感器仅用于检测 ,并未真正发挥其功能 ,这说明在线传感

器并未充分应用到高级控制策略中。前馈控制的应用也很有限 ,仅用于污水流量的控制 (如控制污泥回流比恒定) ,表明实现污水厂的过程控制还有很长的路要走。污水厂配备传感器的数量和出水水质及其处理率有很好的相关性 ,并与国家政策、经济因素和公众意识有关。应用 ICA 技术的污水厂数量可以作为一个国家污水处理水平高低的标准 ,调查结果表明 ,当前普遍应用的控制策略是控制好氧区

的 DO 浓度 (反馈控制)和不同类型的流量控制。需要说明的是 ,除丹麦采用交替式活性污泥工艺外 ,其欧洲污水处理厂常用的实时控制类型见表 2。其他欧洲国家采用的脱氮工艺主要为前置反硝化工艺。

表 2 欧洲污水处理厂普遍应用的实时控制类型

Tab 2 Common real-time control type in European WWTPs

测定项目		控制变量	控制类型 (应用)
曝气	DO (1个或多个传感器)	气体流量和 /或压力	恒定设定值 (+ + + ,B); DO 曲线控制 (+ + ,B)
	气体压力	气体流量和 /或压力	气体需求设定值 (+ + + ,B)
	氧化还原电位	气体流量和 /或压力	主要在 SBR 反应器 (+ + ,B)
	呼吸计	气体流量和 /或压力	在奥地利比较普遍 (+ ,B)
硝化反应	好氧区末端氨氮浓度	DO 设定值	可以间歇曝气 ,开 /关 (+ ,B)
	好氧区始端氨氮浓度	DO 曲线	根据氨氮负荷调整 (+ ,F)
反硝化反应	进水流量	内循环回流量	(+ + ,F)
	反应器末端硝酸氮	内循环回流量	应用反硝化容量 (+ + ,B)
	缺氧区硝酸氮	外碳源投加量	提高反硝化 (+ ,B 或 F)
污泥	进水量	回流污泥量	比例控制 (+ + + ,F)
	SS	回流污泥量、污泥排放量	经常恒定 MLSS (+ + ,B)
	污泥层高度	回流污泥量	爱尔兰标准 (+ ,B)
	污泥龄	污泥排放量	通常手动 (+ ,B)
化学物质投加	流量	聚合物、P - 沉淀物	(+ + ,F)
	磷酸盐	P - 沉淀物	基于负荷 (+ ,B 或 F)
	SS	P - 沉淀物	(+ ,F)
	pH	石灰投加量	厌氧消化 (+ + ,B 或 F)
其他	进水量	内部流量分配	分步进水方法 (+ ,F)
	流量、水位、雨量测定	进水缓冲、暴雨池等	包括排水系统、均化进水 (+ ,F)
	磷酸盐	流量、醋酸投加量等	生物除磷过程 (+ ,B 或 F)
注 : + + + 代表经常应用 ,标准 ; + + 代表正常应用 ; + 代表不常应用。 M 代表监控 ;B 代表反馈控制 ;F 代表前馈控制。			

控制的分类可以基于不同原则 ,不同的测定方式也可以相互结合 ,如污水流量和浓度可以计算负荷 ,因此可以将负荷作为控制信息。通常几个控制器可同时应用 ,常用的控制结构是 PD 控制 ,高级控制 (如模糊控制、神经网络和基于模型的预测控制)也在不断发展 ,而基于污水处理厂所有单元的控制或综合性控制 (包括污水管网)则很少见。

3 污水处理系统 ICA 技术的发展趋势

未来 10 年污水处理面临的主要问题是新建或升级现有污水厂以实现脱氮除磷的深度处理 ,因此对营养物去除效果的控制是 ICA 技术的一个重要内容^[5]。调查发现对更便宜和更稳定的在线传感器需求较大 ,尤其是营养物测定装置。对仪器的冗余、传感器综合数据质量的监测和故障监测系统的需求也很大。除常用类型的传感器 ,还需要一些新型技术如软件传感器、综合芯片传感器、在线成像分析、石英结晶体微平衡传感器、激光和超声波传感器、滴定传感器、荧光 DNA 传感器、抗体探针及其他

类型的生物传感器 ,这些传感器不是间接地从 DO 浓度、COD 浓度和营养物的测定信息来估计系统的运行状态 ,而是通过获得微生物内部更多的信息来表征系统的运行状态。此外 ,还需发展亚硝酸氮、微生物、污泥特性以及气味检测仪表的测定技术。

在控制和自动化领域 ,实现高级控制工具 (模型预测控制、模糊逻辑、神经网络、多变量统计分析、在线模拟)的稳定高效也是 ICA 技术发展的趋势 ,基于软件的监测和探测技术也是其未来发展的重要领域。污水处理系统的过程控制发展很快 ,国外专家普遍认为监控、污水厂处理系统的综合性控制将是 ICA 技术在 2010 年的主要应用方向。同时还需有较好的本地控制 (单元过程控制) ,避免局部最优化。对于先进的 ICA 技术 ,最重要的是运行操作人员理解创新性的控制策略并在实际中得到广泛应用。此外 ICA 技术的发展还需结合遥测技术、高速数字技术和网络技术的发展 ,使大量小型污水处理厂安装远距离监测和控制系统后 ,不再需要运行人

员,通过遥测就可实现污水厂的控制。

由于不同的控制策略及其性能一般需通过模拟、中试及实际污水厂试验确定,故很难进行合理比较,为此开发了 Benchmark技术,它是一种标准,包括污水厂模型、结构、进水水质、评价标准和测试步骤,因此建立一个统一的无主观因素的方法是可能的也是可行的^[6]。

4 结论

大量新型、可靠的在线传感器的出现表明它已不是 ICA技术应用的瓶颈,相反污水处理厂运行缺乏灵活性和可控制性是其面临的主要问题。

许多已经应用高级传感器的污水处理厂并没有充分发挥它们在控制中的潜力。

经济的需求及对环境和排放标准的重视将会促进污水厂不断升级以满足排放要求,由此可以促进 ICA技术的应用。

污水处理厂设计的逐渐复杂化,本质上需要 ICA技术,尤其需对污水处理厂进行综合性和全面性的控制。

参考文献:

[1] Olsson G, Nielsen M, Yuan Z, *et al* Instrumentation,

Control and Automation in Wastewater Systems [M]. London: WA Publishing, 2005.

[2] Olsson G Advancing ICA technology by eliminating the constraints[J]. Water Sci Technol, 1993, 28(11 - 12): 1 - 7.

[3] Jeppsson U, Alex J, Pons M N, *et al* Status and future trends of ICA in wastewater treatment—a European perspective[J]. Water Sci Technol, 2002, 45(4 - 5): 485 - 494.

[4] Nielsen M K Control of Wastewater Systems in Practice [R]. London: WA publishing, 2001.

[5] Olsson G, Ašpegren H, Nielsen M K Operation and control of wastewater treatment—a scandinavian perspective over 20 years[J]. Water Sci Technol, 1998, 37(12): 1 - 13.

[6] Spanjers H, Vanrolleghem P, Nguyen K, *et al* Towards a simulation-benchmark for evaluating respirometry-based control strategies[J]. Water Sci Technol, 1998, 37(12): 219 - 226.

电话: (010) 67391827

E - mail: mayonghit@163. com

收稿日期: 2006 - 12 - 13

· 工程信息 ·

山东日照港岚山北港区污水处理厂工程

该项目是日照港岚山北港区后方罐区公用设施工程的配套项目,主要处理码头含油压舱水、罐区含油废水及辅建区的生活污水,总投资为 1 520万元,占地面积为 8 250 m²。污水处理厂拟采用以物化为主要手段的综合处理工艺处理含油废水,处理能力为 50 m³/h;采用 SBR和物化处理相结合的工艺处理生活污水,处理能力为 150 m³/h。主要建设内容包括含油污水罐、污油池、污水处理间、防火堤、污水处理设施及其他配套设施,预留生活污水处理回用设施位置,远期建设回用设施。

(崔炳勇)

广东省佛山市东鄱污水处理厂(二期)扩建工程

工程内容:粗格栅及提升泵房(与一期合用)1座、细格栅及沉砂池1座、组合交替式生化反应池2座、加氯消毒池1座、鼓风机房(与一期合用)1座、污泥脱水机房(与一期合用)1座等工程项目的土建、设备和电气安装、综合管线、道路以及其他厂区内配套工程;处理规模:10 × 10⁴ m³/d;处理工艺:UN ITANK;主要设备:粗细格栅机、污水泵、污泥泵、脱水机、砂水分离器、曝气头、砂泵、离心式鼓风机、消毒系统;占地面积:2 85 hm²;服务面积:17 km²;投资金额:1. 5亿元(其中包括前期费用1 800万元);建设单位:佛山市水业集团;设计单位:广州市市政工程设计研究院;建设周期:2007年—2008年。

(北京排水集团吴家村污水处理厂 贺建国)