CAST工艺中曝气控制的研究

文/汪慧贞，陈鹏 北京建筑工程学院，北京 100044)
李彩斌 北京建工金源环保有限公司，北京 100101)

摘要：随着在线DO、ORP等仪表联合PLC控制技术的日趋成熟，CAST工艺的优越性充分体现。和其他生物处理技术一样，曝气控制是保证出水水质，节能降耗的关键所在。常见的曝气控制方式有时间控制，DO控制等。通过实验对DO控制法进行了检验，并对ORP控制模式作了探讨。

关键词：曝气控制 DO ORP

CAST工艺是SBR工艺的一种变型，其特点是将反应池分为两部分，前部为生物选择区也称预反应区，后部为主反应区，并增加了从主反应区向预反应区的回流系统。两个反应区厌、好氧交替的状态能很好地达到生物脱氮除磷效果。该工艺因占地少，易自动化，能除磷脱氮等优点在污水处理被广泛应用。

在污水的好氧生物处理中，有机物的分解和去除主要是通过曝气实现的，曝气的强度和持续时间也是脱氮除磷的重要控制因素。一般情况下，曝气用电在污水处理能耗中占有很大比重，此外，过大的曝气强度可能导致污泥破碎，造成出水SS超标。因此，合理地控制曝气能够达到提高出水水质、节能降耗的双重目标。

一、恒定曝气量控制法

恒定曝气量的曝气方式是指在一定的时间段内向主反应区鼓入定量的空气，在CAST工艺初期发展阶段常采用这种曝气方式。通常情况下，因难以准确判断反应的结束点，容易出现曝气不足出水污染物超标，或曝气过量不利于节能降耗，并且该种方式的最大的缺陷是脱氮除磷效果差。

二、溶解氧控制法

随着水体富营养化的加剧，对污水厂出水氮磷的含量有了更严格的限制。脱氮的关键在于硝化和反硝化进行的程度，而生物除磷则需好氧吸磷和厌氧放磷两部分反应联合完成。因此，在生物处理中氮磷的去除与反应器中溶解氧DO的高低密切相关，控制DO是脱氮除磷效果优劣的关键。此外，在线探头和PLC控制在水处理领域的应用也为更精准地控制DO提供了条件。

1、溶解氧控制方式

溶解氧的在线控制一般是把充氧反应过程分为几个时段，每阶段设定一个DO值，利用PLC控制变频风机自动调节曝气量，这样可以使主反应区的DO基本在设定值上下波动，既满足去除污染物耗氧要求，又尽量减少曝气以降低能耗。一般情况下若DO值小于1mg/L会有磷的释放，大于1mg/L就能满足普通污水去除COD的要求，要想达到较好的硝化效果必须使DO大于2mg/L[1]。但过高的DO影响后续的缺氧反硝化并浪费能耗，而且过大的曝气强度影响污泥颗粒的吸附和絮凝性能，易使出水SS增大，所以一般各时段的DO设置值逐渐增大，但最高为2mg/L。这种DO控制方式现已在许多污水厂应用并取得了良好效果。

2、溶解氧控制实制

笔者用规模100m³/d的CAST中试设备，进行了三个月的试验。其主反应区水温22℃，MLSS为3000mg/L左右，工况一的三阶段DO分别设置为1.0mg/L(30min)、1.5mg/L(90min)、2.0mg/L(30min)，工况二的三阶段DO分

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

别设置为 0.5mg/L(30min)、1.0mg/L(90min)、2.0mg/L(30min)，进出水指标见表 1。

从表 1 可看出：采用 DO 控制曝气对 COD、SS、NH_3-N、TN 均具有良好的去除效果（因污水厂处于工业区，进水 TP 严重超标，所以出水的 TP 也很高，但其平均 TP 去除量也达 15mg/L）。工况二设置了较低的 DO 控制值，不仅处理效果与工况一相比并不逊色，还减少了供氧量。因此合理设置 DO 控制值对节省曝气量、降低能耗有重要意义。

三、氧化还原电位 ORP 控制法

污水是一个复杂的微环境，其中含有多种物质，在生化反应过程中物质的组成和含量不断变化。曝气结束后，虽然 NO_3^- 等也能作为电子受体参与反硝化反应，但反应器中溶解氧很快降到零点，DO 指标无法再为反硝化和除磷所需要的厌、缺氧环境提供任何指示。而 ORP 与 NOX、磷、氨氮之间存在相关关系，能准确地反映环境的厌、缺氧状态和氧化还原能力，为反应器中的物理或生物活动提供有用的信息，因此 ORP 可以作为过程控制的参数。

1、ORP 控制模式的选择

CAST 工艺常用的曝气方式有两种，一是限制性曝气即先进水后曝气，另一就是非限制性曝气即进水同时曝气。在限制曝气的过程中，随着有机物去除、硝化、反硝化等的发生，各污染物含量会有较大变化，从而也引起 ORP 值的突变。可以以这些突变点作为各阶段反应结束的标志来控制风机。如第一阶段使曝气水平为 DO_1，当 ORP 达到第一个设定值时进入第二个阶段；第二阶段的曝气水平为 DO_2，当 ORP 达到第二个设定值时进入第三阶段；在第三阶段 DO_3 的曝气水平下，当 ORP 达到第三个设定值时停止曝气进入沉淀阶段。另外，也可以固定风机曝气量，以 ORP 的突变点控制阶段曝气的起始，但必须选取合适的曝气量以保证不出现太高的 DO。

图 1、2 是高景峰[2]等人在恒定曝气量的情况下测绘的系统 DO、ORP 等随时间的变化图，从图中可见：在恒定曝气量时，这些参数的突变点很容易找到，尤其是 ORP 与时间的导数图更能清晰反映 COD 降解基本结束、硝化结束、反硝化结束的特征点 A、B、C。

用 ORP 联合时间设定以及 DO、pH 或氨传感器等控制曝气时间、优化 ORP 值下限的控制方式[3-5]，更适合于非限制性曝气。因为非限制性曝气是边进水边曝气，生化反应持续进行，再加上反应器中原有水体对来水的稀释作用，整个反应区的 NH_3-N、COD、NO_3^--N、TN、TP 等含量不会有太大波动，相应地 ORP 的值也不会变化很大。可以通过设定 ORP 下限控制曝气，以给反应提供合适的氧化/还原环境。具体做法可像 DO 控制模式一样将反应分为几个阶段，每个阶段设置几个 ORP 值，控制风机的曝气使 ORP 值在设定值上下波动。

2、ORP 控制的参数设定

两种 ORP 控制模式下的参数设定也是当前研究的热点之一。氧化还原电位的影响因素主

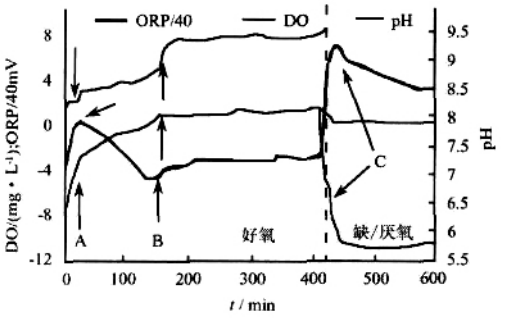

图 1 一个周期内 ORP、DO 变化图

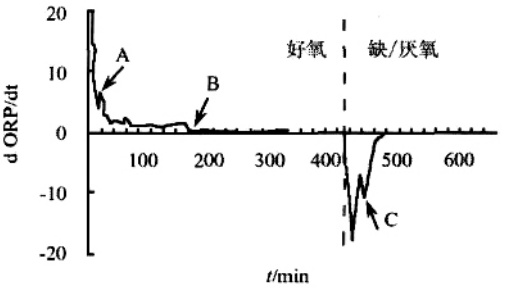

图 2 ORP 的导数–时间图

表 1 不同 DO 设置的处理效果

	指标	COD(mg/L)	NH_4^+-N(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	SS(mg/L)
工况一	进水	220~640	17~32	42~52	7~24	213~815
	出水均值	62	<1	22	7	<10
工况二	进水	320~480	15~60	25~75	20~40	340~640
	出水均值	64	<1	19	18	<10

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要有：①氧化还原电对的性质；②氧化态和还原态物质的浓度；③参加反应的电子数；④体系的温度；⑤体系的酸碱度[6]。对于一个水体来说，往往存在多个氧化还原电对，构成复杂的氧化还原体系，而其氧化还原电位是多种氧化物质和还原物质发生氧化还原反应的综合结果，它反映出体系氧化性还原能力的相对程度。同时反应系统中化合物的组成、pH和温度等对系统氧化性还原能力的影响都可以通过氧化还原电位的变化反映出来[7]。因此ORP参数的设定难以取用统一值，应该考虑以上多方面的影响，以经验值为准。

四、ORP控制中试方案

中试过程中特别关注了ORP的变化，在DO设置不变的情况下ORP随其它指标的变化情况见表2。从表中可见：大致上曝气结束点的ORP值随温度的升高、进水负荷的增大、污泥浓度的提高而增大。

曝气时段ORP的变化情况如表3及图3所示。

中试CAST系统采用的是非限制性曝气，即边进水边曝气，因此考虑采用三阶段ORP值控制曝气。根据表3数据，0时刻为闲置和曝气的交界点可舍去，第一阶段取第10分钟至第30分钟的ORP平均值-49mV，第二阶段取第40分钟至第90分钟ORP的平均值9mV，第三阶段取后30分钟ORP的平均值30mV。即使三个时间段内ORP分别在-49mV、9mv、30mv上下波动。在试验过程中不断调整ORP的设定值，在保证出水水质的情况下，最低的ORP设置是试验探求目标。目前这一实验正在进行之中。

五、结语

CAST工艺有多种曝气控制方式，恒定曝气量控制由于存在诸多弊端，已经很少使用。当前

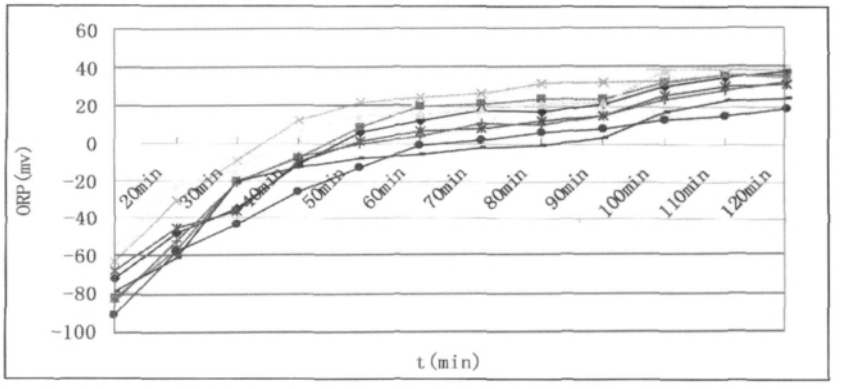

图3　曝气过程中ORP值随时间变化情况

表2　各工况的实验条件及ORP值

	进水负荷(m^3/h)	温度(℃)	污泥浓度(mg/L)	进水氮磷	曝气始末ORP值(mV)
工况一	10	23	3205	进水氮磷浓度基本相同	-76~197
工况二	10	23	2290		-71~57
工况三	5	22	3190		-53~98
工况四	5	22	1998		-85~65
工况五	5	12	3500		-76~60

表3　曝气过程中ORP值的变化

时间点(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ORP(mV)	-132	-72	-48	-35	-11	6	12	18	17	21	31	36	39
	-136	-83	-57	-20	-8	9	20	21	24	24	3	37	37
	-127	-54	-23	-14	7	15	16	18	21	22	39	41	43
	-141	-63	-31	-9	12	22	25	27	32	33	34	37	56
	-137	-68	-45	-36	-10	1	7	8	12	15	26	31	32
	-128	-92	-58	-43	-26	-13	-1	2	6	8	13	15	19
	-144	-85	-52	-21	-7	0	4	11	10	15	24	29	34
	-132	-79	-61	-20	-13	-8	-6	-2	-1	3	17	23	25
	平均值(不含0时刻)为-49				平均值为9						平均值为30		

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

最常用的DO控制模式，基本能够满足脱氮除磷和节能的要求。从理论上讲ORP的控制更为精准，但其控制模式的选择和参数的设置还没有定论，尤其关于硝化和反硝化终点的ORP绝对值以及在不同工况下用ORP曲线拐点探测脱氮除磷进程的研究结果缺少统一和明确的说法。此外ORP联合时间设定以及DO、PH或氨传感器等控制曝气时间的控制方式也还处在探讨、验证阶段。

ORP控制在水处理中的应用有良好的前景，但要实现这一目标还需做大量的理论和实践工作。

参考文献

[1]郑兴灿，李亚新.溶解氧控制[M] 污水脱氮除磷技术.1998: 275- 276
[2]高景峰，彭永臻，王淑莹，等.以DO、ORP、pH控制SBR法的脱氮过程 [J]. 中国给水排水，2001，17(4).
[3]Caulet P, Bujon B, Philippe JP, et al.Upgrading of wastewater treatment plants for nitrogen removal: Industrial application of an automated aeration management based on ORP evolution analysis [J].Wat Sci Tech, 1 998, 37 (9): 41- 47.
[4]Paul E, Plisson- Saune S, Mauret M, et al.Process state evaluation of alteating oxic - anoxic activated sludge using 0RP pH and DO [J]. Wat Sci Tech, 1998, 38 (3): 299.306.
[5]陈韬，等.ORP检测在水处理中的应用[J].中国给水排水，2003，19 (5): 20- 22
[6]洪妍，郭秋梅，董铁有，韩建.ORP的测量及数显ORP标定的原理[J]，河南科技大学学报：自然科学版，2006，27(1): 1 8- 20
[7]彭永臻，邵剑英.利用ORP作为SBR法反应时间的计算机控制参数[J].中国给水排水，1997，13 (6): 6- 9.

（上接48页） 经过1个月的比较，MAG8000的所检测的流量要明显优于机械水表(数据见表2)，直接为用户带来经济效益。用户总结认为这是由于MAG8000在小流量时出色的流量检测功能所达到的效果。

性能与MAG8000相媲美的SITRANS FUS380双通道超声波流量计不仅具有计量精准、始动流量小、电池供电、丰富的无线数据通讯等特点，还具有可测量不导电介质的特点，这使其在水行业中应用更为广泛。西门子电池供电高精度流量表因其在水行业的卓越表现，必将成为水行业用户表的最佳选择。

参考文献

1、中华人民共和国国家标准《冷水水表 GB/T778》

表2 用户MAG8000与机械水表计量数据比对表

日期	污水厂(DN150)			自来水厂(DN150)		
	原表数据	MAG8000	降损率%	原表数据	MAG8000	降损率%
5月7日	3039	3913	22.3	10687	11214	4.69
5月3日	2540	3340	23.9	9845	10337	4.75
4月24日	1648	2314	28.7	8339	8740	4.58
4月17日	1271	1779	28.5	4037	4197	3.81
4月11日	1022	1437	28.8	3937	4090	3.74
4月3日	683	945	27.7	2739	2859	4.19
3月27日	367	503	27.0	1188	1250	4.96
41天累计	3410m³			9964m³		
平均流量	3.465m³/h			10.126m³/h		
平均流速	0.0544m/s			0.358m/s		
降损水量	874m³			527m³		
创收($5/m³)	$4370.00			$2635.00		
平均月创收	$3304.00			$1992.00		

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net