

文章编号:1671-6833(2002)02-0092-04

环状管网布水器的水力设计

叶群峰, 杨玲霞

(郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘要:厌氧反应器UASB在实际运行中,其底部的布水器经常出现堵塞,从而造成了配水的不均匀.为了提高处理效果,根据布水器的特点及环状管网的水力计算原理,并考虑布水器所必须涉及的局部阻力,利用有限单元法进行水力计算,指出结构尺寸上存在的不足.应用实例表明,该计算结果较为合理,可为水处理工程提供一定的设计依据.

关键词:布水器;环状管网;局部阻力;有限单元法

中图分类号: TU 991.33

文献标识码: A

UASB反应器——升流式厌氧污泥床是荷兰著名教授Lettinga于70年代开发的一种新型高效污水处理装置.UASB的设计主要包括以下几个方面:布水器的设计、三相分离器的设计、出水堰的设计等.其中,布水器位于反应器的底部入口,决定进水方式和均匀性,直接影响处理效果.因此布水器设计至关重要.目前,布水器的型式主要有以下几种.

1 布水器类型及其特点

(1) 小阻力布水系统.这种系统的配水均匀性取决于开孔比.开孔比大,则孔口阻力小,但配水均匀性变差.这类布水系统的优点是结构简单,不易堵塞;缺点是孔口尺寸稍有差别或部分孔口堵塞,配水均匀性都会敏感反映出来.所以当反应器面积较大时不宜采用.典型的小阻力配水系统主要有单层和双层穿孔布水器.

双层穿孔布水器经过一次配水后,再经过二次布水,使得布水能够比较均匀.其布水效果显然好于单层布水器,但结构较为复杂,不便维护.

(2) 大阻力布水系统.该系统一般采用穿孔管代替小阻力系统中的穿孔板,其优点是配水均匀性比小阻力系统好.但是孔口水头损失太大,管道及孔口易堵塞,检修困难.

大阻力配水系统又可分以下几种.

第一种是德国专利布水器,它的特点是在池

底设置许多布水点,分布在不同高度.从水泵或其它构筑物来的水通过配水设备流进布水管,从管口流出.配水设备由一根可旋转的配水管与配水槽相连构成.配水槽为圆环形,分隔为若干间,每间与一根通进反应器的布水管相连.工作时配水管转动,每隔一定时间,污水流入一间,从此流入一根布水管.对每根布水管而言是间断进水,但对于整个反应器来说是连续进水的,布水管的瞬时流量等于整个反应器的流量.间歇式脉冲进水较传统连续式配水系统优越,脉冲配水迅速、均匀,没有死区,并能提供柔和的水力搅拌,促进生物体与基质之间的有效接触,提高了反应器的有机负荷,缩短了污泥颗粒化的过程^[1].但这种布水器构造复杂,造价较高.

第二种是枝状管网布水器,它基本能满足配水要求,但当某一管段发生堵塞时,则该管段下游的所有管道都将没有水流动,布水可靠性不高.所以,这种布水器对水质或前处理要求较高.

第三种是环状管网布水器,它的一个最大的优点是对圆柱形的反应器非常吻合.由于布置成环状,当某段管道发生堵塞时,可以从另外其它管道供水,布水可靠性高,应用较为广泛.但是,目前工程中采用的这种型式的布水器在尺寸布置方面存在严重不足,不能保证布水绝对均匀,影响污水处理效果.本文将针对这种情况,从水流运动规律方面考虑,改善不合理的尺寸结构,使布水器的设计更加合理和完善.

收稿日期:2002-01-12;修订日期:2002-03-15

作者简介:(1977-),男,浙江省金华市人,郑州大学硕士研究生.

2 布水器的水力计算

对于环状管网布水器,它由彼此相交 60°的 6 根布水干管与外、中和内环管组成.污水从中心进入配水罐,经干管到环管,再从环管上的孔口流出.该种布水器由于对称布置,而且各干管、环管均为等直径管道,出水孔口大小也相同,在不考虑水头损失的情况下,理论上可以达到均匀配水的目的.但是,因为沿程损失特别是局部阻力损失的存在,必然使得内环管上的孔口出流量大于外环管上的孔口出流量.在以往的水处理设计中,大多从生物学工艺方面考虑设施运行的好坏,极少从水力学方面考虑来改善这种不均匀的出流情况.显然,要达到均匀布水的目的,必须采用变直径干管和不同大小的出水孔口,而具体的尺寸大小需要通过水力计算来实现.

2.1 数学模型^{2~4}

2.1.1 管元的基本方程

图 1 所示为任意管元(或单元)*i*,与此单元相联系的节点为*j*和*k*.

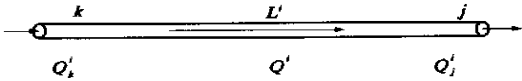


图 1 第*i* 单元
Fig.1 Element of No. *i*

管元的能量方程为

$$\Delta H = H_k - H_j, \tag{1}$$

式中: ΔH 为*i* 管元的总水头损失. ΔH 的计算公式采用谢才公式

$$V = CR^{0.5} \frac{\Delta H^{0.5}}{L^{0.5}}.$$

式中: V 为管道平均流速; C 为谢才系数,可用满宁公式计算,即 $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$; R 为水力半径; L 为管元长度.

管元的连续性方程为

$$Q = A V = 0.312 \frac{D^{8/3}}{n L^{1/2}} (\Delta H)^{1/2},$$

令 $K^i = 0.312 \frac{D^{8/3}}{n L^{1/2}} (\Delta H)^{1/2},$
则 $Q = K^i \Delta H. \tag{2}$

2.1.2 节点、单元的编号及单元方程组

规定水由*k* 流向*j* 时,管道流量为正,则 $H_k > H_j$, 设 Q_k 为单元*i* 连接于节点*k* 的节点流量, Q_j 为单元*i* 连接于节点*j* 的节点流量.假定从节点流出的流量为正,由式(1)和式(2)可得单元方

程组

$$Q_k = K^i \Delta H = K^i (H_k - H_j);$$

$$Q_j = -K^i \Delta H = -K^i (H_k - H_j),$$

写成缩写形式为

$$Q = K^i H. \tag{3}$$

式中: $Q = \begin{Bmatrix} Q_k \\ Q_j \end{Bmatrix}; K^i = K^i \begin{Bmatrix} +1 & -1 \\ -1 & +1 \end{Bmatrix}; H = \begin{Bmatrix} H_k \\ H_j \end{Bmatrix}.$

2.1.3 总体方程组

管网中任一节点需满足连续性方程,即对任一节点*m*,有

$$\sum_{i=1}^N Q_m^i = C_m.$$

其中: C_m 为节点*m* 的节点消耗.

对管网中每一节点用上述方法建立平衡,就可得到如下缩写形式的总体方程

$$KH = C. \tag{4}$$

2.2 边界条件

必须引入某些节点的边界条件才能解总体方程组.在程序中规定已知节点水头值的节点为第一边界,已知节点消耗的节点为第二类边界.若给定节点输入值,而水头是节点的待求值,其中若有一个节点的水头值已知,就可以使总体方程组(4)降一阶.

2.3 总体非线性方程组的求解

解非线性方程组(4)可采用简单的高斯—赛德尔迭代法.具体步骤如下:

- (1) 假定待求的各节点的水头值,即给定迭代初值 $\{H^0\}$;
- (2) 用初值 $\{H^0\}$ 计算矩阵 $K(\{H^0\})$;
- (3) 用 $K(\{H^0\})$ 计算待求的各节点的水头值 $\{H^1\}$,上标 1 表示迭代次数;
- (4) 将求得的水头值 $\{H^1\}$ 与初值 $\{H^0\}$ 比较,如果满足下式

$$|\{H^1\} - \{H^0\}| < \epsilon,$$

则计算结束.否则将 $\{H^1\}$ 给 $\{H^0\}$,重复步骤(2)~(4),直到满足上式要求为止.

3 布水器的合理尺寸

现对华中正大有限公司废水处理工程中 UASB 反应器的布水器进行合理尺寸的确定. UASB 反应器为圆柱形,直径为 8 m,设计处理量为 300 m³/d.底部为布水器,中心进口前水头为 12.2 m, UASB 反应器中的水位是 12.0 m.由于对称性,仅取其中的 1/6 进行计算.具体布置形式如图 2 所示.

根据布水均匀性要求,布水器单位面积上的出水量应相等.只要每个孔口的服务面积相等且出水点位于其服务面积的形心处,保证每个孔口的出水量相等,就能满足均匀性的要求.

由图 2 可知,布水器中的管网与一般市政管网有两点不同:一是多由弯管组成,二是多为短管,必须考虑局部水头损失.因此,在计算前需要将各弯管长度折算成直管长度,本文采用如下公式进行折算:

$$L_c=L+\sum \zeta \frac{D}{\lambda},$$

式中: L 为原弯管轴线长度; ζ 为管段两头的局部损失系数; D 为管径; λ 为沿程水头损失系数.对于旧钢管和铸铁管^[3]:

当 $V \geq 1.2 \text{ m/s}$ 时, $\lambda = 0.0210/D^{0.3}$;
当 $V < 1.2 \text{ m/s}$ 时, $\lambda = \frac{1}{D^{0.3}} \left(1.5 \times 10^{-6} + \frac{v}{V} \right)^{0.3}$.

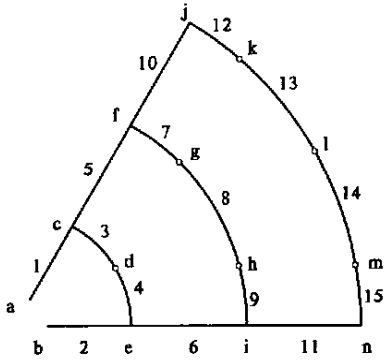


图 2 管网计算简图

Fig.2 Schematic of gridiron

由上述方法计算的折算管长列入表 1,布水器各管段的布置、长度及孔口位置如图 2 和表 1 所示,其中各弯管的长度以轴线弧长计.

表 1 本文计算值

Tab.1 The calculated values

编号	管长/ m	折算管 长/m	管径/ mm	粗糙度	流量/ (L/s)	流速/ (m/s)
1,2	0.70	2.39	57	0.0124	0.60	0.235
3,4	0.60	6.06	32	0.0124	0.05	0.062
5,6	1.20	5.02	57	0.0124	0.50	0.195
7,9	0.60	3.45	32	0.0124	0.10	0.124
8	1.20	1.29	32	0.0124	0.00	0.000
10,11	1.20	4.49	57	0.0124	0.30	0.118
12,15	0.60	3.44	32	0.0124	0.15	0.187
13,14	1.20	4.06	32	0.0124	0.05	0.062

利用 2.3 中所述的计算方法,对图 2 所示的布水器管网进行水力计算,可得各管段的直径,结果列入表 1.最后根据孔口淹没出流公式

$$Q = \mu A \sqrt{2g \Delta H},$$

式中:流量系数取 $\mu=1$; ΔH 为各孔口处的水头与 UASB 中的水头差.计算结果列入表 2.

由上述计算可知,布水器的尺寸布置和孔口面积与现有工程(华中正大有限公司废水处理工程)中采用的布水器有所不同,二者比较如表 2,3 所示.

表 2 孔口尺寸的计算值与设计值比较

Tab.2 Comparison of the orifice dimensions between

design and computation				mm
孔口编号	d	g,h	k,m	l
华中正大设计值	13	13	13	13
本文计算值	8	8	8	8

表 3 管长和管径的计算值与设计值比较

Tab.3 Comparison of the length and diameter between

design and computation					m
管段号	华中正大设计值		本文计算值		
	管长	管径 $\times 10^{-2}$	管长	管径 $\times 10^{-2}$	
1,2	0.85	7.6	0.70	5.7	
3,4,7,9,12,15	0.60	5.7	0.60	3.2	
5,6,10,11	1.15	7.6	1.20	5.7	
8	1.20	5.7	1.20	3.2	
13,14	1.15	7.6	1.20	3.2	

4 结束语

本文引入水力学概念,根据环状管网的水流运动特点,对布水器进行了较为准确的水力计算,给出了较为合理的布水器各出水孔的位置及各管段长度.图 2 所示的布水器结构简单,布水可靠性高,基本能满足布水要求,但存在一些不合理的地方,不能保证布水均匀.

根据布水均匀性的要求,布水器的管道不仅长度不同,而且直径也应不同.本文的计算结果体现了这些观点,同时也为布水器的布水均匀性设计提供了理论依据和计算方法.从表中数据看出,管道中流速太小,为了增大水力负荷,可以采用处理出水循环或间断进水的方法.

今后,还有待解决的问题是:本文计算的孔口个数是现有工程中采用的个数,关于孔口个数对布水均匀性的影响有待今后进一步研究,探讨既能保证不堵塞孔口,又能提高布水均匀性的最佳孔口数目;当流量输入不均衡,或某些管段发生堵塞时,对布水不均匀性的影响.

参考文献:

[1] 苏玉民,杨云龙,王增长,等.脉冲上流式厌氧污泥

[2] 周雪漪. 计算水力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1995. 185—196.

[3] 杨景芳. 微机计算水力学[M]. 大连:大连理工大学出版社, 1991. 148—160.

[4] BREBBIA C A, FERRANTE A J. Computational Hy - draulics[M]. London : Butterworth & Co Ltd , 1983. 59—121.

[5] 中国市政工程西南设计院. 给水排水设计手册(第 1 册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 267—268.

床反应器的应用J]. 环境科学, 1996, 17(1) : 53.

Hydraulic Design of Water Distributor of Gridron

YE Qun -feng ,YANG Ling -xia

(College of Environmental & Hydraulic Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China)

Abstract : Once the water distributor on the bottom of UASB is often blocked , when operating in practice the uniformity of water distribution is destroyed . In order to improve the efficiency of water treatment , the lack of this construction is put forward in the paper in the light of the characters of the water distributor in engineering . Local resistance should be concerned at the same time , according to the principle of hydraulic computation of the gridron in the municipal engineering . Hydraulic computation is performed by finite element method . Design references and more reasonable structure dimensions about water distributors are provided for water treatment engineering .

Key words : water distributor gridron local resistance finite element method

2002 年度国家自然科学基金
受理项目申请 30621 项

截至 4 月 20 日的统计显示, 2002 年度国家自然科学基金共受理各类科学基金项目申请 30621 项, 其中面上项目 27575 项, 重点项目 699 项, 国家杰出青年科学基金项目 719 项, 海外青年合作研究基金项目 286 项, 香港、澳门、青年合作研究基金项目 30 项, 重大研究计划 268 项, 其他各类专项共 1044 项。

一、面上项目受理情况

2002 年面上项目申请共 27575 项, 其中自由申请项目为 22014 项; 青年科学基金 4298 项; 地区科学基金 1263 项。2002 年申请面上项目较 2001 年有明显增加, 增加了 3939 项, 增加 16.67%。

根据项目的研究年限, 1~2 年短期探索性项目为 788 项; 博士后申请项目数为 268 项。

按申请单位隶属关系统计: 教育部 11972 项, 占 43.4%; 中国科学院 2818 项, 占 10.2%; 中国人民解放军 2053 项, 占 7.4%; 其他中央部委(工、交、农、医、国防等) 2944 项, 占 10.7%; 各省、自治区、直辖市所属单位 7788 项, 占 28.2%。

本年度共有 1214 个单位申请面上项目, 申请项目数超过 200 项的单位有 31 个, 其中项数最多的是浙江大学(936 项)。

按申请单位所在地区统计, 超过 1000 项的地区依次是: 北京(5553 项)、上海(2875 项)、湖北(1906 项)、江苏(1872 项)、广东(1806 项)、陕西(1592 项)、浙江(1302 项)、四川(1077 项)、辽宁(1034 项)。

二、重点项目受理情况

本年度共受理重点项目申请 699 项, 其中数理科学部 86 项, 化学科学部 86 项, 生命科学部 181 项, 地球科学部 138 项, 工程与材料科学部 138 项, 信息科学部 38 项, 管理科学部 32 项。

三、国家杰出青年科学基金与海外、香港、澳门青年合作研究基金受理情况

2002 年共有 719 名青年学者申请国家杰出青年科学基金, 比 2001 年增加 34 人。其中数理科学部 105 人, 化学科学部 97 人, 生命科学部 231 人, 地球学部 65 人, 工程与材料科学部 121 人, 信息科学部 73 人, 管理科学部 27 人。

2002 年海外、香港、澳门青年合作研究基金申请人数为 316 人, 其中数理科学部 40 人, 化学科学部 26 人, 生命科学部 142 人, 地球学部 34 人, 工程与材料科学部 40 人, 信息科学部 27 人, 管理科学部 7 人。

四、受理结题情况

本年度共受理申报结题项目 3981 项, 占计划结题项目的 93.4%。