关于微孔曝气器比较与选择的探讨

Comparison and Selection of Microhole Aerators

吴　敏（同济大学环境科学与工程学院，上海　200092）
姚念民（国美(天津)水务设备工程有限公司，天津　300074）

摘　要　对常用微孔曝气器从材料、结构形式、技术性能和布置方式等各方面进行了分析比较，并就推广使用高效节能的聚乙烯管式曝气器提出了建议。

关键词　微孔曝气器　氧利用率　单位通气量　单位服务面积　阻力损失

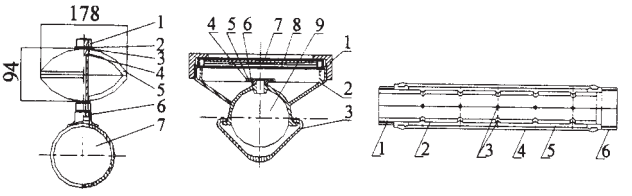
曝气是污水好氧生物处理系统中一个重要的工艺过程，目前广泛使用鼓风曝气系统，由鼓风机提供经净化的空气，通过管道系统送入生物池底部的专用微孔曝气器。专用微孔曝气器的作用是将空气分散成气泡，扩散到混合液中，使气泡中的氧溶解到混合液中，提供微生物生化反应所需要的溶解氧，同时保证污水的充分混合，使活性污泥处于悬浮状态，通过泥、水、气三相的充分接触，保证活性污泥充分利用水中的溶解氧来分解有机污染物和含 N、P 的营养物，因此，曝气效果的好坏极大地影响生物处理系统的效率。同时，曝气又是一个非常耗能的过程，一般情况下曝气的能耗要占整个处理系统能耗的 60%～80%。因此，研究开发并推广使用高效节能的专用微孔曝气器是污水生物处理领域的重要课题。

1　对微孔曝气器的基本要求

看似结构简单的微孔曝气器应满足一系列互相矛盾，有些甚至是相互对应的要求：(1)为了保证较高的氧利用率，曝气器扩散的气泡直径应足够小；要使污水充分混合，保证活性污泥处于悬浮状态，曝气器扩散的气泡直径应足够大；(2)为了降低曝气器的能耗，曝气器的空气阻力损失理论上应等于零；要保证生物池长度方向布气均匀，曝气器的阻力应足够大；(3)在风机重新启动时，应避免或者减少发生水击的可能性，同时应具有较强的抗水击能力；(4)应具有良好的抗堵性能，曝气器内部不应被空气带进来的灰尘颗粒所堵塞，表面不易被微生物所粘附；(5) 所用材料的化学稳定性好，机械强度高，使用寿命长；(6)安装、更换方便、快速；(7)能适应水量、水质波动，便于风量的自动调节。

2　常用微孔曝气器的基本情况

常用微孔曝气器按材料可分为：陶瓷（刚玉）、橡胶膜片和聚乙烯 按结构形式可分为 板式，盘式和管式。目前，在我国主要使用盘式和管式曝气器（见图 1）。



A. 刚玉孔曝气器　B. 盘式橡胶膜孔曝气器　C. 管式聚乙烯孔曝气器
1—螺母；2—垫圈；3—橡胶垫；4—通气螺杆；5—玉曝气壳；6—联接座；7—布气管
1—压盖；2—曝气底座；3—卡瓦；4—止回膜架；5—止回膜；6—密封圈；7—布气盘；8—曝气膜；9—输气管
1,6—联接管接；2—支承管；3—通气管；4—布气层；5—气流分配层

图 1　几种常用微孔曝气器的结构外形示意图

盘式微孔曝气器一般安装在水平输气管道上，而管式微孔曝气器则是输气和布气合二为一，采用管式微孔曝气器的曝气系统不需要铺设专门的水平输气管道。

常用微孔曝气器的技术性能参数见表 1。由表 1 可以发现，它们的技术性能的差异是很大的，这主要是由于材料和结构形式的不同决定的。由此，还造成在充氧混合效率，布气均匀性，抗堵塞能力，安装布置方式，连续正常工作时间，使用寿命和日常运行能耗等各方面的很大差异。

表 1　几种常用微孔曝气器的技术性能参数

结构形式	材料	规格/mm	水深/m	单位通气量	单位服务面积	氧利用率(%)	气泡直径/mm	阻力损失/Pa
盘式	橡胶膜	Φ215	4	2～3m³/个·h	0.50m²/个	21.7～23.5	2	3800～4700
盘式	陶瓷(刚玉)		4～5	2～3m³/个·h	0.30～0.60m²/个	20.0～28.6	2	3840～4050
管式	聚乙烯	Φ120	4	5～25m³/m·h	3.0m²/m	22.0～28.0	2.8～3.1	1500～2500

注：盘式微孔曝气器的有关数据摘自中国有关生产厂家的技术资料；管式微孔曝气器的有关数据摘自乌克兰 ECOPOLYMER 公司的技术资料。

3　常用微孔曝气器的比较

3.1　材料

橡胶膜盘式曝气器采用硫化橡胶膜片，由于其表面密布了布气的微孔，机械强度差，运行时间的增加会造成橡胶膜片的

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

老化，回弹性能降低，引起膜片的撕裂，影响整个曝气系统的正常工作。如果污水中 Cl^- 或其他化学清洁剂含量较多，还会加速硫化橡胶膜片的硬化，缩短其使用寿命。所以，一般情况下，橡胶膜盘式曝气器的使用寿命较短。

刚玉盘式曝气器采用刚玉布气层，它是由氧化硅、氧化铝高温烧结制成，布气层较脆，表面较为粗糙。同时，布气层较厚，空气通道较长，且多为尖锐和粗糙的孔道。因此，其表面容易滋生微生物，内部容易被空气中杂质颗粒所堵塞，所以刚玉曝气器对空气洁净度的要求很高。一般需对进入鼓风机的空气进行专门的除尘处理，所用的净化设备主要是静电除尘器，投资很大。

采用聚乙烯材料的 ECOPOLYMER 管式曝气器，具有良好的化学稳定性，耐酸碱，机械强度高，抗冲击能力强，能够承受风机频繁启用产生的水击作用。同时，它的布气层表面经过专门的静电处理，较为光滑，不易被微孔生物附着，曝气器表面不易被堵塞，使用寿命长。由于它们的布气层较薄，孔道短，且为较光滑和精细的多孔介质，因此，内部不宜被空气中的杂质颗粒所堵塞，对空气洁净度的要求较底，一般不需要设置专门的空气净化设备对进入鼓风机的空气进行除尘净化。

3.2 结构形式

ECOPOLYMER 管式曝气器独有的在支承管和布气层之间的气流分布层，既保证了沿曝气器长度方向重新分配空气均匀流量，又降低了空气阻力损失及阻力损失的增长速度，由表 1 可见其初时阻力损失仅为 1500 ~ 2500Pa，是较低的。

而橡胶膜盘式曝气器为了防止风机停机时的污水倒灌，内部设置了止回膜（阀），增加了空气阻力损失，由表 1 可知其初时的阻力损失为 3800 ~ 4700 Pa，是较高的，由此还造成了风机能耗的增加。由于刚玉盘式曝气器内部设置了通气螺杆，并且其布气层较厚，空气孔道较为尖锐和粗糙，因此其空气阻力也较大。由表 1 可知一般为 3840 ~ 4050 Pa。

所有的盘式微孔曝气器只允许空气通过其上部的布气层进行扩散，布气层没有富裕，因此，一旦发生堵塞，曝气器阻力急剧增大，造成风机能耗上升，甚至影响风机的正常工作和使用寿命。同时，进入曝气器内部的积水无法被空气挤压出去，只能安装专门的泄水管路和泄水阀来排水。实际经验表明，这给日常运行操作带来麻烦，排除积水也并不理想。

ECOPOLYMER 管式曝气器管状的布气层允许空气从其圆形断面的四周扩散。刚开始曝气时，由于水位差的存在，空气只通过 α 角度的扩散层进行曝气，即只有部分面积的布气层参与曝气，布气层有富裕，但这正是管式曝气器的一个非常重要的优点（见图 2）。因为，具有独特结构的 ECOPOLYMEK 管式曝气器是一个自我调节系统，随着运行时间的增加，布气层阻力损失的增加，它可依靠曝气带宽度的变化（即 α 角变大）来进行曝气，从而保证曝气器空气阻力损失的稳定，使风机能耗最低。同时，当风机停机重新启动，曝气器内部的积水可通过下面部分的布气层被空气挤出去。因此采用管式曝气器的曝气系统不需设置专门的泄水管和泄水阀。

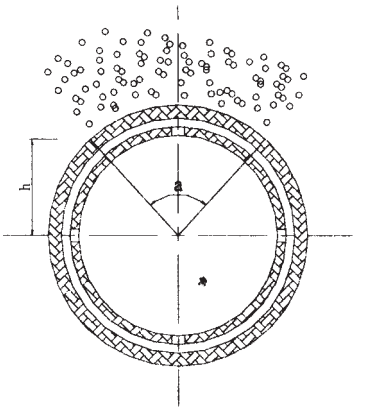


图 2 管式聚乙烯微孔曝气器曝气示意图

3.3 氧利用率和单位服务面积

从表 1 可知，在 4m 水深的脱氧清水中聚乙烯管式曝气器和橡胶膜或刚玉盘式曝气器的氧利用率相差不多，但需指出，盘式曝气器扩散出来的气泡直径随着通气量增加而增大，由此，氧利用率随着通气量的增加而下降（见图 3），因此一般盘式曝气器通过限制通气量来维持较高的氧利用率，一般它们的单位通气量为 2 ~ 3m^3/个 · h。而 ECOPOLYMEK 管式曝气器曝与盘式曝气器完全不同，气泡直径并不受通气量变化的影响，其氧利用率不随通气量的增大而下降，而是保持在一个较高水平。因此，管式曝气器可以在一个很宽泛的通气量范围内正常工作（见图 3），从节能角度考虑其最佳单位通气量为 14 ~ 20m^3/m · h。这种特性尤为适合水量水质波动较大的情况，通过风量的自动调节，使生物处理系统始终处于最佳工作状态，节约能耗，降低日常运行费用。

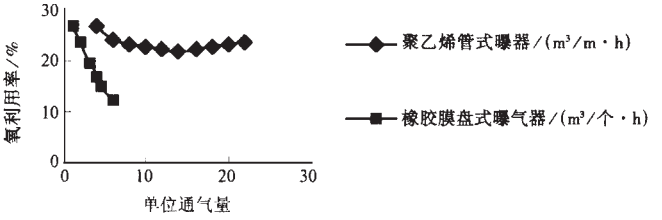


图 3 氧利用率与单位通气量的关系

从单位服务面积来看，聚乙烯管式曝气器是盘式曝气器的 6 倍左右，这是因为聚乙烯管式曝气器扩散的气泡直径一般在 2.8 ~ 3.1mm 之间，这种大小的气泡既能增大气液的接触界面，有利于氧的转移，又能形成较强的紊流并带动混合液作循环，提高了液膜更新的速度，即增加了液膜两侧的氧浓度差，有效提高了传质速度，从而有利于氧的转移。聚乙烯管式曝气器能保证活性污泥处于悬浮状态，使气水泥三相充分接触，布气均匀，避免生物池内曝气死区的产生，从而有效利用溶解氧，提高曝气效率，保证整个生物处理系统的处理效果。

3.4 布置方式

盘式曝气器一般采用环状布置来保证整个曝气器系统的

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

均匀布气。安装盘式曝气器的水平输气管道一般采 UPVC 或 ABS 等塑料管，本身不带温度补偿，输气管与固定支架之间没有缝隙，完全卡紧，所以需要在输气管路上安装管道伸缩器，来应付温度变化所引起的输气管的热胀冷缩现象。

ECOPOLYMER 聚乙烯管式曝气器布气均匀，一般采用枝状布置。管式曝气器本身带有温度应力补偿，可以在一定程度上消除温度变化所产生的应力。同时，配套提供的管支架与被固定的管式曝气器之间有缝隙，当温度变化较大时，管式曝气器能自由位移。所以布置聚乙烯管式曝气器时不需要专门的管道伸缩器。

与盘式曝气器相比，聚乙烯管式曝气器的单位通气量（14～20m^3/m·h）和服务面积（3m^3/m）都较大，因此可大大减少曝气器的数量；同时，由于其输气布气合二为一的结构，布置简单，安装方便，所有的管式曝气器单元都采用螺纹连接，使用配套的管支架用膨胀螺栓固定在生物池底。这样可以大大减轻安装工作强度，缩短安装时间，降低安装费用，并提高整个曝气系统的可靠性。

4 结 论

（1）通过对橡胶膜、刚玉盘式曝气器和聚乙烯管式曝气器的材料、结构形式、技术性能及布置方式等方面的分析比较，证明了聚乙烯管式曝气器在技术上的先进性和工程上的适用性。

（2）ECOPOLYMER 聚乙烯管式曝气器应用于国内外 300 多个城市污水和工业废水处理项目的经验证明，它具有在长期运行中保持通气量大、氧利用率高、服务面积大、阻力损失小的优良性能；并能提高生物处理效率、降低能耗、节约运行费用，是一种高效节能的微孔曝气器。

（3）推广使用聚乙烯管式曝气器，对于污水处理厂降低投资和运行成本，保持正常运转有重要的意义。 □

（上接第 15 页） 氧气，经过 20 天的培养驯化后，污泥逐渐成熟，SV_{30} 达到 23，MLSS 为 4000mg/L，该值已完全可以达到污水处理的预期效果。在系统运行一个月后，我们开始向培养槽内培养器中投加高活性营养物质，强化土壤菌活性。经过强化后的高活性土壤菌不断地输送到整个处理系统，使该系统的活性污泥始终处于高效能状态，从而保证了系统的稳定状态和出水水质的处理效果。

4.2 设备运行及处理效果

种猪场的废水经格栅去除毛发等各种杂物后进入流量调整槽，进行初次曝气，该阶段 BOD_5 去除率可达 30%，SS 去除率可达 40%。经过初次曝气后的废水经泵提升到 No. 1 曝气槽，经曝气后溢流至 No. 1 沉淀槽，该阶段 BOD_5 去除率可达 98%，SS 去除率可达 97%。在该阶段采用推流式曝气，曝气池分 3 格，废水从一端进入，池底分布曝气管，其上每格均匀安装 4 个曝气头（由日本引进），经过该曝气头喷射的空气，具有很强的搅拌和混合能力，使废水中的胶体物质物化脱稳，从而大大提高了絮凝反应速度及效果，同时利用废水中微生物所具有的吸附絮凝能力，将废水中的有机物和 SS 吸附絮凝，形成活性污泥，达到废水处理的目的。经过 No. 1 沉淀糟的废水上清液自流到 No. 2 曝气槽和 No. 2 沉淀槽进一步处理，该过程 BOD_5 去除率可达 50%，SS 去除率达 40%，处理后的水送到贮水池，一部分外排，一部分做系统消泡用水。

5 污泥处理及运行效果

该工艺过程产生的污泥为生物降解过程产生的剩余活性污泥，含水率较高，达到 99%。因此，采用机械脱水工艺，使泥水分离，泥饼运至农田做肥料，滤过水进入处理系统。该处理过程为好氧处理，不但投资少（因为该厂整个废水处理过程为好氧过程），占地面积小，而且不产生臭气。该过程在污泥贮留槽内进行，经过曝气后的污泥进行机械脱水，在脱水间内，采用 PAC（聚合氯化铝）做絮凝剂，Al_2O_3 含量 10%，每吨污泥投加 2kg 左右 PAC，脱水后的余液进入流量调整槽进行再处理。整个机械脱水情况根据污泥量多少采取间歇作业方式。

6 结 论

该系统 3 个月的运行结果表明，RBS 技术处理高浓度有机废水效果良好，其特点如下：

（1）由于土壤菌是一种兼性菌，因此其需氧量比普通曝气法少，在 ORP 为 -100mV 时，其仍可以存活。为了节约能源，该系统采用了间歇曝气。

（2）该工艺将流量调整槽作为初次曝气槽，并将活化后的污泥首先送入流量调整槽。这不仅降低了进入 No. 1 曝气槽的废水浓度，而且通过活化后的污泥去除了废水的臭味，使处理间具有良好的工作环境。

（3）该工艺耐冲击负荷能力强，出水水质稳定。因为培养器内有高活性营养物质存在，即使曝气槽内微生物失活，也能使其迅速恢复活性，保证出水水质稳定。

（4）该处理工艺没有传统脱氮过程，而是通过脱氮泵将污泥不断循环，靠土壤菌自身的特点减少亚硝酸存在，从而达到脱氮目的。

（5）系统运行 4 个月以来从未发现污泥膨胀，这说明 RBS 法克服了传统活性污泥法存在的问题。

总之，RBS 污水处理技术具有工艺简单，运行稳定，处理效果好，有节约基建费用和节能等优点，值得推广应用。 □

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