

# 城市污水处理厂设计中的节能考虑

温 瑛

(普拉克环保系统(北京)有限公司, 北京 100005)

## 0 概述

污水处理厂的运行费用, 主要由电耗、维修费、药剂费、污泥处置费、水费等组成。其中电费通常能占到整个运行费用的30%~40%。当然在不同污水处理厂的运行中, 实际电耗占比与污水处理厂规模、污水的水质特征、处理程度、处理工艺、运行模式等因素有关。

在能保障污水处理量和尾水达标排放的前提下, 对污水处理厂运行进行优化管理, 节约能源费用, 降低处理成本是保障污水处理厂正常运行的重要手段。近几年以电费为主的能耗费用不断上涨, 电耗基本占总能耗的70%以上, 所以节能重心通常放在节电方面。

关于污水处理厂节能降耗的措施很多, 主要可以从优化工艺设计及管路设计、设备选型, 加强日常运行管理等方面入手。本文仅从设计角度, 以典型的城市污水处理厂工艺单元为例, 提出一些节能降耗的设计措施供交流。

## 1 污水处理厂的工艺选择

污水处理工艺的选择是污水处理厂设计的核心, 也是决定污水处理厂能耗高低的关键因素。

对于城市污水处理厂, 因为废水可生化性通常比较好, 基于运行费用的考虑, 基本上采用生物处理工艺。针对不同的进水水质和处理程度要求, 以及处理厂可用地的限制, 除了传统的曝气池工艺外, 可供选择的工艺很多。如氧化沟工艺: 设备简单、易管理, 无需二沉池, 20世纪90年代中后期比较流行, 但曝气设备能耗较传统曝气池工艺高; SBR工艺: 节省占地, 自控程度高, 易于模块式扩建, 但设备闲置率高; 随着污水回用要求的提出, MBR工艺逐渐得到推广, 出水水质优于一级A标准, 但设备维护费用及能耗较高。在老污水处理厂的升级改造中, 悬浮填料工艺也常有应用。不同的处理工艺对污水处理厂的运行与节能尤为关键。

生物脱氮除磷活性污泥法的处理流程(见图1)。从城市管网收集的污水重力送入污水处理厂进水井, 经粗格

栅拦截大杂物后, 经提升泵提升, 经过细格栅、沉砂池等预处理后, 进入初沉池完成一级处理, 再经过曝气池、二沉池等二级处理设施, 达标后排放到自然水体。二沉池的混合液由泵提升回流到曝气池, 二沉池剩余污泥和初沉池的污泥经过污泥浓缩脱水处理后, 由运输工具运往垃圾处理场进行最终处置。

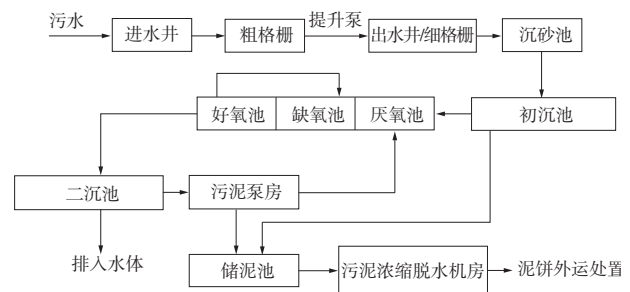


图1 生物脱氮除磷活性污泥法流程

污水处理厂能耗最大的地方在污水提升、生化处理阶段的曝气以及污泥脱水(若采用离心脱水设备)。根据统计数据, 这几部分的能耗总和占到全厂总电耗的80%~90%。因此设计中节能考虑的重点主要集中在这几个部分。

## 2 污水处理厂设计流程中的节能考虑

### 2.1 总图

污水处理厂进水管高程和最终尾水排放水体的水位通常是由规划给定的, 在污水处理厂设计过程中不能更改。为降低污水提升高程, 应在进行水力高程设计时, 考虑尽量将污水处理构筑物布置在地势较低和邻近排放水体处, 设计时以排放点水位高程为基准, 最终排放构筑物内的水面高程只要能满足尾水排放需要即可。同时应设法减少工艺线内的水头损失, 总图布置应紧凑、顺畅, 尽量缩短管道输送长度, 减少管道的转折、迂回。构筑物间尽量采用渠道连接。同时尽量减少跌水。在进行水头损失计算时应准确, 根据经验选择合理的安全余量。

城市污水处理厂的日处理规模基本都在万 $m^3/d$ 以上, 如果

能减少1m提升高度，每天可以节电几万kWh，是相当可观的。

## 2.2 进水提升泵房

城市污水处理厂的污水来源通常比较复杂，不同时段的水量变化比较大。设计前应尽量做好调研工作，掌握水量变化规律，选择适当的提升泵数量及流量组合。现在污水处理厂的设计中变频技术已经得到普遍采用，配合正确的调控方式，可以避免提升泵的频繁启停，节省相当比例的电耗。目前在建的北京清河污水处理厂15万t/d扩建工程，进水提升泵房中设置了4台2800m<sup>3</sup>/h的提升泵（3用1备，配1台变频器），1台1400m<sup>3</sup>/h的提升泵，就是研究来水量变化状况后，经综合比较确定的方案。

通常进水提升泵房与出水井布置得比较近，可以考虑为每台提升泵分别设置出水管，与出水井一一对应。这样可以取消出水管路上的止回阀及隔离阀门，一方面节省投资，更重要的是可以减少沿程水头损失，降低污水提升扬程。提升泵一般不推荐共管出水方式，离心泵并联后效率会下降。

提升泵选型时，应仔细研究泵的性能曲线，所选择泵的工况点应落在高效区内。自动运行时，一般用液位进行控制。在进水泵房设计时，工艺人员对控制液位就应该有所预期。

## 2.3 细格栅

细格栅的作用在于拦截污水中的杂质，改善后续主工艺的工作条件。由于栅条及其上累积的栅渣阻挡，进行水力高程设计时需要考虑格栅前后合理的液位差。细格栅的类型比较多，比较常见的是机械回转式格栅，随着MBR工艺的应用，网板式格栅、转鼓式格栅等也经常有应用。应根据后续工艺要求，选择适当的格栅型式/规格、栅条间隙以及清污方式，减少通过格栅的水头损失。另外网板格栅、转鼓格栅需要冲洗水，可以考虑利用处理后的出水，节约自来水。

## 2.4 曝气池

曝气过程是活性污泥法的核心，是污水处理过程中能耗最大的工序，同时也是污水处理厂最能体现节能效果的部分。设计中建议注意以下几个方面。

### 2.4.1 合理选择曝气设备

曝气系统总体上可分为鼓风曝气和机械曝气。机械曝气与传统工艺的鼓风曝气形式相比，曝气系统非常简单。机械曝气最为人熟悉的场合就是在氧化沟工艺中的应用，例如邯郸西污水处理厂采用的就是曝气转盘，武汉沙湖污水处理厂一期采用的则是倒伞型叶轮曝气机。但总体而言，机械曝气的传氧效率比鼓风曝气低，也就意味着能耗高。鼓风曝气的扩散设备也有多种形式，常见的如微孔曝

气盘、微孔曝气管，还有在造纸行业用得较多的射流曝气器等。射流曝气器更不易堵塞，维护简单，但能耗要高于微孔扩散器，在大型城市污水处理厂中很少采用。总之，在进行设备选择时，需要根据处理工艺、处理规模、水质情况等进行比选。目前应用最广泛的还是微孔曝气盘，设计过程中同时应考虑到，冷凝水需要定期排放，防止空气管线内积水，增大空气管路的阻力，增加能耗，冷凝水排放管的布置应方便工人操作。

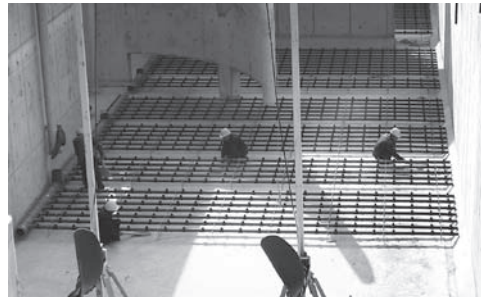


图2 某污水处理厂的生物曝气扩散系统

### 2.4.2 准确计算曝气量

计算曝气量时应依据处理工艺、进水水量和水质、处理要求、需要控制的溶解氧水平以及所选设备的传氧效率等因素，而不是简单地用汽水比进行估算。有人习惯用汽水比12:1这个经验数据来计算曝气量，但现在曝气设备的传氧效率普遍提高了，对于典型的市政污水这个比值似乎偏高。如果计算的曝气量不能满足曝气池混合需求，建议通过优化池型及设置推流器来解决。某污水处理厂采用生物曝气扩散系统（见图2）。曝气池被设计成氧化沟的池型，曝气盘分段布置，中间的过度段设置有推流搅拌器。从实际运行情况看，整个曝气池形成了很好的循环流动。

### 2.4.3 应用风量调节技术

曝气过程节能的重要措施在于风量调节技术的应用。

鼓风曝气系统的控制参数是混合液的溶解氧浓度。传统活性污泥工艺的DO值一般控制在2mg/L左右，与混合液的污泥浓度有关。MBR工艺的曝气池混合液浓度可以达到10g/L，建议控制DO值在3mg/L左右。悬浮填料工艺的DO值一般控制在5mg/L左右。过高的DO值需要消耗更多的空气，从而使曝气效率降低，浪费能源。

可以采用计算机控制系统自动调节风机供气量，保持DO值稳定在设定的控制值附近。从工艺设计方面，需要为实现此控制设置空气调节阀、空气流量计、压力传感器，以及鼓风机的风量调节设施。需要提醒的是，选择空气调节阀时需要向供货商索要性能曲线，阀板开度与气量之间的关系曲线以近似线性为好。注意蝶阀不能用作调节阀。

# 城镇污水处理设施的提效改造与技术对策

王洪臣

(中国人民大学, 北京 100086)

城镇污水处理厂是重要的市政基础设施,也是水污染控制的最关键单元,在人类社会活动中发挥着重要作用。完成城镇污水处理设施大规模建设之后,提升改造(Upgrading)将是一项长期的任务。通过不断提升改造可使城镇污水处理厂更加高效地满足日益严格的环境质量要求,并在改造过程中使新技术、新材料和新设备得以应用。

城镇污水处理厂的提升改造可分为提标改造(Upgrading Effluent)和提效改造(Upgrading Performance)两个方面:提标改造是指以进一步提高出水水质为目标而进行的改造;提效改造是指在保证一定出水水质的前提下以降低能量及物料消耗为目标而进行的改造。目前,我国正在对已建污水处理设施进行不同程度的提标改造,而提效改造尚未得到重视。西方国家一直将提效改造作为污水处理领域的一个重要内容,强调高效地进行污水处理。

## 1 城镇污水处理设施提效改造的重要性

城镇污水处理是一个高能耗行业。美国城镇污水处理行业年总电耗超过200亿kW·h,已占全社会总电耗的3%,占城市总电耗的15%以上。我国污水处理程度虽然不高,但2011年总电耗也已达100亿kW·h。另外,城镇污水处理还是一个高物耗行业。美国污水处理年消耗聚丙烯酰胺等化学药剂超过5万t,我国则已超过3万t。

高能耗物耗一方面增大了处理成本,更重要的是使污水处理成为一个不可忽视的碳排放领域。美国2007年排放

温室气体71.5亿t碳当量,其中污水处理领域耗电导致的间接碳排放为0.72亿t,占总排放当量的1%。当然,污水处理的直接碳排放占总排放量中也占有相当的比例。在美国排放的71.5亿t碳当量中,甲烷5.8亿t,其中污水处理领域的直接排放达0.25亿t;一氧化二氮3.1亿t,其中污水处理直接排放0.05亿t。甲烷和一氧化二氮导致的直接碳排放为0.3亿t,加上间接碳排放,污水处理直接排放与间接排放总计1.02亿t,占总排放碳当量的1.42%。

因此,对城镇污水处理设施进行提效改造,已经显得非常必要。首先,通过改造降低能耗物耗可以降低处理成本,减轻污水处理费负担。其次,“以高能耗高物耗为基础的优质出水”以及由此带来的“减排水污染物,增排温室气体”局面不利于污水处理行业的健康发展,低碳污水处理应是未来的发展方向。另外,污水处理领域碳减排与能源交通等其他行业相比,减排成本较低,可以低成本为国家增加碳汇。美国很多州或城市已经系统地制定了污水处理碳减排计划,总体碳排放量在逐年降低。

## 2 城镇污水处理设施提效改造的技术对策

城镇污水处理设施提效改造是一个系统工程,不只是对污水与污泥处理系统的节能降耗改造,也应包括对污水收集系统提高收集效率的改造。同时,开发回收污水污泥中的能量,提高污水处理设施的能源自给率,也是提效改造的重要内容。

### 2.1 污水收集系统的提效改造

当污水处理厂实际负荷达到设计负荷时,总体能效物

许多处理厂的生物反应池会曝气过度,主要原因是缺乏自动调节系统,或者是因为调节阀不能正常工作,以致处理厂放弃自动控制。

## 3 总结

总之,尽量降低污水处理厂的能耗需要污水处理厂设计人员和运行管理人员共同努力。对于设计人员,宜将注

意力放到节能的重点区域上。同时在进行控制程序的设计时,要考虑将来运行管理人员可操作性。

总之,尽量降低污水处理厂的能耗需要污水处理厂设计人员和运行管理人员共同努力。对于设计人员,宜将注意力放到节能的重点区域上。同时在进行控制程序的设计时,要考虑将来运行管理人员可操作性。