

## 关于城市污水处理厂设计的若干问题

为了加强城市污水治理,保护水环境,中央增加了投资力度。1998年分二批下达的城市污水治理项目达117项,投资约300亿元。1999年又下达近百亿国家债券资金,支持城市污水处理厂建设。为了确保污水处理厂建设后的正常运行,国家已明确在水价中增收排污费。一年多来,全国有上百座城市污水处理厂正在建设,按照“七大流域、三大湖泊和重点沿海城市及其近岸海域要新增城市集中式污水处理能力 $2000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ”和“非农业人口50万以上城市都要建设城市污水处理厂”的目标,在2000年年底以前,还有上百座城市污水处理厂正立项要求建设。我国现有668个城市中,仅有123个城市有307座不同处理等级的城市污水处理厂,其中城市污水二级处理率10%左右,全国17000个建制镇,绝大多数没有排水和污水处理设施。纵观世界各国,排水系统和污水处理率均有一个逐步发展和逐步完善的过程。国家提出至2000年我国污水处理率要求达到25%,2010年达到40%,这是根据国家(包括地方)财力,在各方面作出努力后争取达到的目标。为使来之不易的投资取得实实在在的效益,针对目前城市污水处理中有关建设规模和工艺技术谈一些个人的看法。

### 1 合理确定建设规模

对一个城市来说,需根据城市总体规划和排水规划,分期分批地建设污水管网和污水处理厂,要根据水环境保护的目标,分期实施,逐步到位。城市排水工程建设是一项系统工程,涉及城区管渠改造,污水的收集、输送(包括泵站),污水处理和排放利用,以及污泥处置等问题;在河网城市,还需考虑上游、下游和水体自净问题。

合理地确定设计的污水水量和污水水质,直接涉及工程的投资、运行费用和费用效益。不少城市由于市区污水管道未形成系统,缺乏长期积累的污水水质水量资料,一般采取按规划面积、人口和工业发展的预测来推导污水量,并提出生活污水量、工业废水量和公建、商业污水量各占的比例,其不确定因素较多,因此提出的设计污水量往往偏大。实际上,按规划计算的污水量与可能有污水量、实际可能收集到的污水量和根据需要进行处理的污水量是不同的,设计的污水量在很大程度上取决于污水管网普及率和实际可能收集到的近、远期污水量,并分期建设污水处理厂。要充分认识到城区内管网改造的复杂性和艰巨性,有的取决于旧城市的改造和道路的改造,有的埋了干管,支管迟迟未建成,致使许多已建成的污水处理厂在相当一段时间内“吃不饱”。对设计的污水水质,应该对现有实测的水质资料进行分析(包括工业废水正在限期达标排放的水质水量变化和管渠内地下水的渗入量),对雨污合流和老城区排水系统需科学地确定污水管道的截流倍数(干管和支管可

采用不同的截流倍数)。现在设计的需处理污水水质偏高的问题是普遍存在的，设计的污水水量和污水水质要通盘考虑，留余地过大，既增加投资亦会使设备闲置或低效运行。

## 2 城市污水处理厂的工艺选择

污水处理厂的工艺选择应根据原水水质、出水要求、污水厂规模，污泥处置方法及当地温度、工程地质、征地费用、电价等因素作慎重考虑。污水处理的每项工艺技术都有其优点、特点、适用条件和不足之处，不可能以一种工艺代替其他一切工艺，也不宜离开当地的具体条件和我国国情。同样的工艺，在不同的进水和出水条件下，取用不同的设计参数，设备的选型并不是一成不变的。

具体工程的选择要求包括：

- ① 技术合理。技术先进而成熟，对水质变化适应性强，出水达标且稳定性高，污泥易于处理。
- ② 经济节能。耗电小，造价低，占地少。
- ③ 易于管理。操作管理方便，设备可靠。
- ④ 重视环境。厂区平面布置与周围环境相协调，注意厂内噪声控制和臭气的治理，绿化、道路与分期建设结合好。

### 2.1 关于活性污泥法

当前流行的污水处理工艺有：AB法、SBR法、氧化沟法、普通曝气法、A/A/O法、A/O法等，这几种工艺都是从活性污泥法派生出来的，且各有其特点。

#### ① AB法(Adsorption—Biooxidation)

该法由德国Bohuke教授首先开发。该工艺对曝气池按高、低负荷分二级供氧，A级负荷高，曝气时间短，产生污泥量大，污泥负荷  $2.5\text{kgBOD}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$  以上，池容积负荷  $6\text{kgBOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$  以上；B级负荷低，污泥龄较长。A级与B级间设中间沉淀池。二级池子F/M(污染物量与微生物量之比)不同，形成不同的微生物群体。AB法尽管有节能的优点，但不适合低浓度水质，A级和B级亦可分期建设。

#### ② SBR法(Sequencing Batch Reactor)

SBR法早在 20 世纪初已开发，由于人工管理繁琐未予推广。此法集进水、曝气、沉淀、出水在一座池子中完成，常由四个或三个池子构成一组，轮流运转，一池一池地间歇运行，故称序批式活性污泥法。现在又开发出一些连续进水连续出水的改良性SBR工艺，如ICEAS法、CASS法、IDEA法等。这种一体化工艺的特点是工艺简单，由于只有一个反应池，不需二沉池、回流污泥及设备，一般情况下不设调节池，多数情况下可省去初沉池，故节省占

地和投资，耐冲击负荷且运行方式灵活，可以从时间上安排曝气、缺氧和厌氧的不同状态，实现除磷脱氮的目的。但因每个池子都需要设曝气和输配水系统，采用滗水器及控制系统，间歇排水水头损失大，池容的利用率不理想，因此，一般来说并不太适用于大规模的城市污水处理厂。

### ③ A/A/O法(Anaerobic—Anoxic—Oxic)

由于对城市污水处理的出水有去除氮和磷的要求，故国内10年前开发此厌氧—缺氧—好氧组成的工艺。利用生物处理法脱氮除磷，可获得优质出水，是一种深度二级处理工艺。

A/A/O法的可同步除磷脱氮机制由两部分组成：一是除磷，污水中的磷在厌氧状态下( $DO < 0.3 \text{ mg/L}$ )，释放出聚磷菌，在好氧状况下又将其更多吸收，以剩余污泥的形式排出系统。二是脱氮，缺氧段要控制 $DO < 0.7 \text{ mg/L}$ ，由于兼氧脱氮菌的作用，利用水中BOD作为氢供给体(有机碳源)，将来自好氧池混合液中的硝酸盐及亚硝酸盐还原成氮气逸入大气，达到脱氮的目的。为有效脱氮除磷，对一般的城市污水，COD/TKN为3.5~7.0(完全脱氮COD/TKN>12.5)，BOD/TKN为1.5~3.5，COD/TP为30~60，BOD/TP为16~40(一般应>20)。

若降低污泥浓度、压缩污泥龄、控制硝化，以去除磷、BOD<sub>5</sub>和COD为主，则可用A/O工艺。

有的城市污水处理的出水不排入湖泊，利用大水体深水排放或灌溉农田，可将脱氮除磷放在下一步改扩建时考虑，以节省近期投资。

### ④ 普通曝气法及其变法

本工艺出现最早，至今仍有较强的生命力。普曝法处理效果好，经验多，可适应大的污水量，对于大厂可集中建污泥消化池，所产生沼气可作能源利用。传统普曝法的不足之处是只能作为常规二级处理，不具备脱氮除磷功能。

近几年在工程实践中，通过降低普通曝气池容积负荷，可以达到脱氮的目的；在普曝池前设置厌氧区，可以除磷，亦可用化学法除磷。采用普通曝气法去除BOD<sub>5</sub>，在池型上有多种形式(如下文所述的氧化沟)，工程上称为普通曝气法的变法，亦可统称为普通曝气法。

### ⑤ 氧化沟法

本工艺50年代初期发展形成，因其构造简单，易于管理，很快得到推广，且不断创新，有发展前景和竞争力，当前可谓热门工艺。氧化沟在应用中发展为多种形式，比较有代表性的有：

帕式(Passveer)简称单沟式，表面曝气采用转刷曝气，水深一般在2.5~3.5m，转刷动力效率

1.6~1.8kgO<sub>2</sub>/(kW·h)。

奥式(Orbal)简称同心圆式,应用上多为椭圆形的三环道组成,三个环道用不同的DO(如外环为0,中环为1,内环为2),有利于脱氮除磷。采用转碟曝气,水深一般在4.0~4.5m,动力效率与转刷接近,现已在山东潍坊、北京黄村和合肥王小郢的城市污水处理厂应用。若能将氧化沟进水设计成多种方式,能有效地抵抗暴雨流量的冲击,对一些合流制排水系统的城市污水处理尤为适用。

卡式(Carrousel)简称循环折流式,采用倒伞形叶轮曝气,从工艺运行来看,水深一般在3.0m左右,但污泥易于沉积,其原因是供氧与流速有矛盾。

三沟式氧化沟(T型氧化沟),此种型式由三池组成,中间作曝气池,左右两池兼作沉淀池和曝气池。T型氧化沟构造简单,处理效果不错,但其采用转刷曝气,水深浅,占地面积大,复杂的控制仪表增加了运行管理的难度。不设厌氧池,不具备除磷功能。

氧化沟一般不设初沉池,负荷低,耐冲击,污泥少。建设费用及电耗视采用的沟型而变,如在转碟和转刷曝气形式中,再引进微孔曝气,加大水深,能有效地提高氧的利用率(提高20%)和动力效率[达2.5~3.0 kgO<sub>2</sub>/(kW·h)]。

## 2.2 关于曝气生物滤池

曝气生物滤池实质上是常说的生物接触氧化池,相当于在曝气池中添加供微生物栖附的填(滤)料,在填料下鼓气,是具有活性污泥特点的生物膜法。曝气生物滤池(BAF)70年代末起源于欧洲大陆,已发展为法、英等国设备制造公司的技术和设备产品。由于选用的填料不同,以及是否有脱氮要求,设计的工艺参数是不同的,如要求处理出水BOD<sub>5</sub>、SS<20mg/L,去除BOD<sub>5</sub>达90%以上的工艺,其容积负荷为0.7~3.0 kgBOD<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup>·d),水力停留时间1~2h;以硝化(90%以上)为主的工艺,其容积负荷为0.5~2.0kgBOD<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup>·d),水力停留时间2~3h。

一般认为,生物膜法处理城市污水,在国内尚需积累经验,处理规模不宜过大,约5×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d左右为宜。国外(主要在欧洲)处理水量有达到36×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d的,这与其填料材质、自控手段和先进的反冲洗装置有关,也与其有长期积累的运行管理经验有关。

## 2.3 关于UNITANK工艺

UNITANK工艺和类似的TCBS工艺、MSBR工艺一样,都是SBR法新的变型和发展。它集“序批法”、“普通曝气池法”及“三沟式氧化沟法”的优点,克服了“序批法”间歇进水、“三沟式氧化沟法”占地面积大、“普通曝气池法”设备多的缺点。

典型的UNITANK工艺是三个水池,三池之间水力连通,每池都设有曝气系统,外侧的两池

设有出水堰及污泥排放口,它们交替作为曝气池和沉淀池。污水可以进入三池中的任意一个,采用连续进水、周期交替运行。在自动控制下使各池处在好氧、缺氧及厌氧状态,以完成有机物和氮磷的去除。

UNITANK工艺由比利时Seghers公司首先建在我国的澳门特区,处理水量 $14 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (不下雨时平均处理水量为 $7 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ),池型封闭,设计采用的容积负荷为 $0.58 \text{kgBOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,总的反应池体积为 $46800 \text{m}^3$ ,曝气池水力停留时间为8h,出水的 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{SS} < 20 \text{mg}/\text{L}$ 。

这类一体化工艺是传统活性污泥工艺的变形,可以采用活性污泥工艺的设计方法对不同的污染物加以去除,如考虑硝化,其负荷一般在 $0.05 \sim 0.10 \text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,硝化率视污水温度而异。而要求污泥稳定化,其污泥负荷和污泥龄要远远超过硝化时的数值。容积利用率低是此类一体化工艺共同的主要问题,就是说在一个较长停留时间的曝气系统内,有50%左右的池容用于沉淀。

UNITANK工艺的成功与否有赖于系统采用稳定可靠的仪表及设备,因此引进技术,消化、吸收和开发先进的自控系统是应用此工艺的关键问题。一般认为,UNITANK工艺不太适用于大型( $>10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ )的城市污水处理厂。

### 3 科学地进行工艺方案比较

城市污水处理投资大,运行费用高,如不包括引进处理设备和引进沼气发电设备,每处理 $1 \text{m}^3$ 污水投资宜控制在1000元,运行费(包括折旧费)宜控制在0.5元/ $\text{m}^3$ 左右。由于现在污水处理率还不高,按用水量的0.8计算污水量,收0.2~0.3元/ $\text{m}^3$ 排水费,基本上能维持处理设备的运行。

为了降低投资和运行成本,因地制宜地进行工艺方案(主要是生物处理方案)比较是必要的。进行多种工艺方案的比较,说明处理工艺技术的发展,是好事。现在经常碰到的问题是,工艺方案比较往往不够科学,有的对工艺已有倾向和爱好,先入为主,对倾向的工艺只说优点,对不赞成的工艺强调缺点;有的把自己的小型试验数据与别的已上工程的工艺比;有的是将处理 $\text{BOD}_5$ 为主的工艺与处理 $\text{BOD}_5$ 同时进行脱氮除磷的工艺比。实际已运行的不少污水处理厂,其出水水质较好与其进水量和水质远未达到设计指标有关,各厂情况不同,不可简单地比较出水指标;有的投资包括厂外工程费用(如道路、电负荷增容等);有的投资包括征地费用(而此费用在各地出入很大);有的工艺建设投资低,运行费用高;有的工艺投资高,运行费用低;有的工艺处理污水的投资低,而污泥量较多增加了污泥的处理成本。应该看到,同样的工艺,采用的设计参数不同,其结果也是不同的。作为负责的单位,

对工艺方案的比较力求客观全面，在同等进水、出水条件下，其设计参数应包括对各种污染物的去除率、曝气时间、污泥负荷和容积负荷、曝气量和氧的利用率(及动力效率)、污泥产量(及污泥指数)等作全面分析，数据丰富就可以集思广益，扬长避短，根据技术上合理，经济上合算，管理方便，运行可靠且有利于近、远期结合的原则，进行工艺方案的优化抉择。

对一定规模(如  $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ )以上的城市污水处理厂，应作污泥稳定处理，通常采用中温消化，沼气利用，有条件的可设沼气发电(如北京高碑店、天津东郊)，这要花费不少投资，技术设备相当复杂，设备需要引进。不处置由污水处理带来的污泥，污水处理是不完整的，脱水后污泥的最终处置要具体落实，不留后患。

国内有些环保公司提出对污水处理厂投资采用多方集资和融资方案(如环保公司和业主出资 50%，其余 50% 资金由银行贷款)，然后通过收取的排污费逐年偿还，这种方法是具有积极意义的。但有两个问题需要明确：一个是出资的环保公司采用的工艺和设计参数需要通过评议，选用的设备需通过招标，正如国外贷款(包括政府贷款)其工艺和设备需评议和招标一样；另一个是要明确污水处理厂的股权和产权问题，需制订相应的政策和协议。

有的环保公司在报上一再宣传采用曝气生物滤池和气浮池替代沉淀池技术处理城市污水，投资可减至 400 元/ $\text{m}^3$ ，占地可减少 4/5，运转费用可减少一半，操作人员可减少 9/10，这完全是误导。建设部要求城市污水厂绿化占全厂 1/3 面积，再加上道路及辅助设施、办公生活设施，总面积约占全厂的 1/2。减少曝气池和沉淀池面积绝不可能使总的面积减少一半。从技术上看，用气浮池代替沉淀池，对代替初沉池来说是行不通的，对于代替二沉池需作具体比较(包括土建、设备、电耗、管理等方面)。另外，还应对大规模气浮装置的技术可行性作出评估。