



高碑店污水处理厂设计

李远义；常憬

(北京市市政设计院)

1 概况

高碑店污水处理厂是北京市建设的第一座大型城市污水处理厂，其设计规模为 100 万 m^3/d ，远景规划最终规模为 250 万 m^3/d 。该厂位于东郊高碑店村南，距旧城广渠门约 8km，地处市区边缘，但水、电、交通等条件均甚便利。处理厂接纳旧城区及东郊工业区的排水，流域面积约 100 km^2 ，人口约 220 万。

五十年代初，北京城区旧沟经过整修建了新的排水系统，这些下水道都是就近排入河渠。随着城市的发展污水量迅速增长，使城区护城河严重污染，环境恶化。五十年代中期，按照城市总体规划确定了分流制的排水原则，并开始修建各河渠的污水截流管，也即分流制污水管系统的干管。1960 年，本地区的污水管网系统基本形成，并在高碑店建成一座 25 万 m^3/d 污水经格栅、沉砂、沉淀后为农田灌溉服务、临时性的初级污水处理厂。八十年代以后，据统计全系统下水道总长已达 530km，污水量增加达 80 万 m^3/d ，占全市总排水量的 40%，超出了现有排水设施的能力，迫切需要建设新的二级污水处理厂并完善截流管网。经过长期的调查研究，并进行了小型和中型试验，为新的高碑店污水二级处理厂的设计，提供了坚实可靠的依据。本工程分两期建设，第一期 50 万 m^3/d 于 1993 年完成投产，第二期 50 万 m^3/d 将于 1995 年完成。

2 设计数据

2.1 污水水量

根据近年的统计监测，本系统的总水量已超过 80 万 m^3/d ，其中 50%以上为工业废水，预计 2000 年污水量将超百万 m^3/d 。本工程设计按 100 万 m^3/d 的规模考虑，总变化系数采用 1.2，在建厂的同时修建通惠河南岸干管和南护城河干管，使本流域内的污水全部得到处理。

2.2 污水水质

a.由于工业废水的影响，污水 COD 最高达 800mg/L 以上，一般在 500~600mg/L 左右，COD/BOD 比率在 2~3 之间，较难生化降解。

b.污水 SS 值偏高，特别是当降雨初期高得惊人，估计由于城区大部为合流道的原因。

c.根据实测资料，在严冬季节高碑店污水厂的水温仍能保持在 15℃以上，这对生物处理是十分有利的。

根据上述资料，设计中采用基本数据：BOD200mg/L，COD500mg/L，SS250mg/L， $\text{NH}_3\text{-N}$ 30mg/L， $T_{15^\circ}\sim 25^\circ\text{C}$ 。

2.3 出水水质

出水的水质标准即污水所需的处理程度，取决于出水的用途。北京市位于干旱的华北地区，年降水量不足 600mm，水资源极为缺乏。因此，污水作为水资源已势在必行。

a.灌溉农田

农田灌溉是处理厂出水的主要用途，由于灌溉是季节性的，一年之中有半年是雨季和冬季，污水须另谋出路。

b.景观用水

平时河道除排洪、污水外无其它补给水，经处理后的出水补给河道，可以美化城市环境，但水质必须清洁。

c.工业回用

工业回用潜力最大的是作为冷却水，但要解决腐蚀、结垢、泡沫和生物增殖等问题。

d.市政杂用

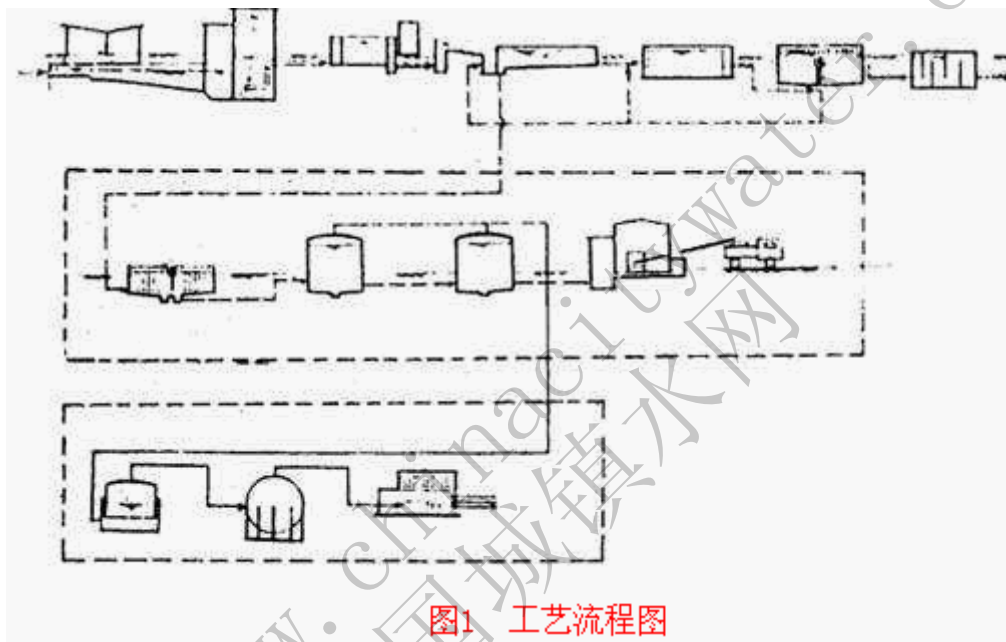


如浇灌花木、草坪，洒马路、冲厕等。

上述几种用水对水质要求不高，但一般二级处理出水是不够的。设计考虑提高处理水平，使污水中的氨氮达到硝化，以利于后续的深度处理和消毒。出水水质标准规定： $BOD < 16\text{mg/L}$ ， $SS < 30\text{mg/L}$ ， $NH_3-N < 3\text{mg/L}$ 。

3 处理工艺

针对上述出水要求，通过试验研究，选用先进的缺氧好氧活性污泥法，延长曝气时间，使出水完全硝化；污泥处理采用两级中温硝化工艺；沼气用以发电，补充能源；发电机的冷却水供消化池加热；回用水的深度处理，增加混凝沉淀和砂滤，使出水水质进一步提高(图 1)。



4 厂区布置及主要构筑物

4.1 平面布置

高碑店污水处理厂是一座有 30 年历史的老厂，原有构筑物现已残破不堪，此次改建除保留原有进水泵房及试验场外均被拆除，重新布置。全厂分水处理、泥处理、中水处理、试验场及管理五个区，各区之间用较宽的绿带分隔以美化环境。为节约用地并便利维修，厂内管网设置环状通行式管廊。

4.2 进水泵房

进水泵房按最大污水量 $120 \text{万 m}^3/\text{d}$ 设计。北京市城区下水道多为合流，原有泵房能力改建为 $50 \text{万 m}^3/\text{d}$ 作为提升初期雨水之用。

4.3 初沉池

初步设计为圆形池后改矩形，节约用地达 6.6万 m^2 之多。此外，矩形池还有配水管路短、水头损失小、配水均匀、排泥方便等优点，并有利于与工作间和管廊相结合，为管理提供便利。根据试验结果，初沉池去除 BOD 和 SS 分别为 20% 和 50%。

4.4 曝气池

共设 24 座曝气池，每座长 96m、宽 28m、深 6m，分 4 组布置，每组 6 池。每座池隔成 3 条宽 9.3m 的廊道。第一廊道的进水端划出 $1/4$ 长 24m，作为缺氧区。平均停留时间为 9.25h，以保证充分硝化。采用微孔空气扩散装置，并根据计算机模拟、结合试验数据，将曝气器布置成渐减曝气的形式，使供气量在曝气



池的各段内与微生物需氧相适应。曝气器分配百分比为:第一廊道 65%，第二廊道 23%，第三廊道 12%。

4.5 二沉池

采用 50m 幅流式圆形池 24 座，与曝气池相同，有利于运行管理。每池装有周边传动的旋转吸泥机，及时回流活性污泥。二沉池效率的高低直接影响出水水质的优劣，因此，设计采用较小的水力负荷和较长的停留时间，即 $21.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 及 4.52h。

4.6 污泥浓缩池

设计将活性污泥送到初沉池的进水中，使其与生污泥合并沉淀，然后将混合污泥(含水率预计为 97%)送入污泥浓缩池。参照英国 WRC 的研究成果，结合现场试验，选用新型升流式污泥重力浓缩池，浓缩的污泥体积减小 50%，即含水率从 97%降到 94%。固体负荷按 $50\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 计算，选用直径 24m 的池子 12 座。

4.7 污泥消化池

采用两极中温消化工艺，建消化池 16 座、 $\varnothing 20\text{m}$ 、高 25m，分为 4 组、每组 4 池，其中一级 3 池、二级 1 池，停留时间为 21d 和 7d。污泥搅拌用沼气循环的方式进行。污泥加热利用沼气发电机余热，以螺旋板逆流换热的方式进行，发电站运转前则由锅炉房供蒸汽直接加热。

5 讨论

5.1 缺氧——好氧(AO)法的优点

将污水处理到完全硝化程度的污水处理厂应采用缺氧——好氧工艺，即在活性污泥法的曝气池进水端，设置一个停留时间 1h 左右的“缺氧区”，在这个区域内氧的利用仅仅依赖硝酸盐在脱氮过程中放出的氧离子，使水中溶氧保持在 0.5 以下，以区别于厌氧和好氧。这种环境给污水处理带来许多好处，主要有：

a. 污泥沉降性能的改善

污泥膨胀是由于活性污泥中丝状菌的增殖而引起的。当污水与回流污泥混合时，由于缺氧造成对丝状菌不利的环境，使其锐减，从而改善了污泥的沉降性能、降低污泥容积指数，保证出水水质优良。

b. 脱氮作用

缺氧区内回流污泥携带的硝酸盐被反硝化，脱除部分的氮，同时放出氧离子供生物反应耗氧时利用。

c. 减少二次沉淀池污泥上浮现象

由于在缺氧区内的脱氮作用，减少了二沉池内的反硝化过程，从而也减少了污泥上浮问题。

5.2 硝化与加氯的关系

城市污水二级处理一般对出水水质不提出硝化的要求，但作为水资源进行开发、为污水的回用创造条件，这就要求污水处理厂出水必须硝化并消毒。在加氯消毒的过程中，污水中的氨氮如不去除，将与氯离子发生反应而耗掉大量的氯，氨氮的硝化又需要耗能并使管理费增加，故这里有一个经济比较的问题。经过计算优选，当氨氮降至 $3\text{mg}/\text{L}$ 左右时，硝化耗氧的费用可与因氨的减少而节约的加氯费用相平衡，使管理运行费用达到最低。

5.3 污水处理厂的节能

a. 合理布局

城市污水处理厂的布局应本着适当集中的原则，使每一座处理厂都有一定的规模，因为规模愈小则单位耗电愈多，这是目前各大城市所发生的事实所证明的。从管理的角度来说，一座大厂的运营比几座小厂的运营要容易得多，成本也低得多，出水水质更有保证。

b. 合理设计

在污水处理工艺流程中，各构筑物之间在平面和竖向布置中应尽可能紧凑，缩短管线，选用水头损失较小的进出水设施，使沿程水头损失达到最小，以降低提升能耗。

c. 沼气利用

污泥消化过程中产生的沼气可作为能源回收利用，沼气发电量一般可满足二级处理总耗电量的 30%~50%；发电机冷却水和废气的余热可用于加热消化池。这样可以使沼气能量的回收率达到 70%。

d. 曝气节能

曝气耗电是全厂总耗电量的 60%~70%，是节能的重点。首先是采用了微孔曝气器和离心式鼓风机。微孔曝气器扩散出的微小气泡增加气液两相的接触面积，提高充氧效率，在曝气池中按照微生物反应规律布置曝气器，也是节能的。离心鼓风机效率高，并可根据水质水量的变化调节风量，避免能量浪费又可改进处理效果。在曝气池的混合液中，保持正确的溶氧浓度，过高造成浪费，过低则出水恶化达不到处理程度。溶氧控制有以下几种方式：

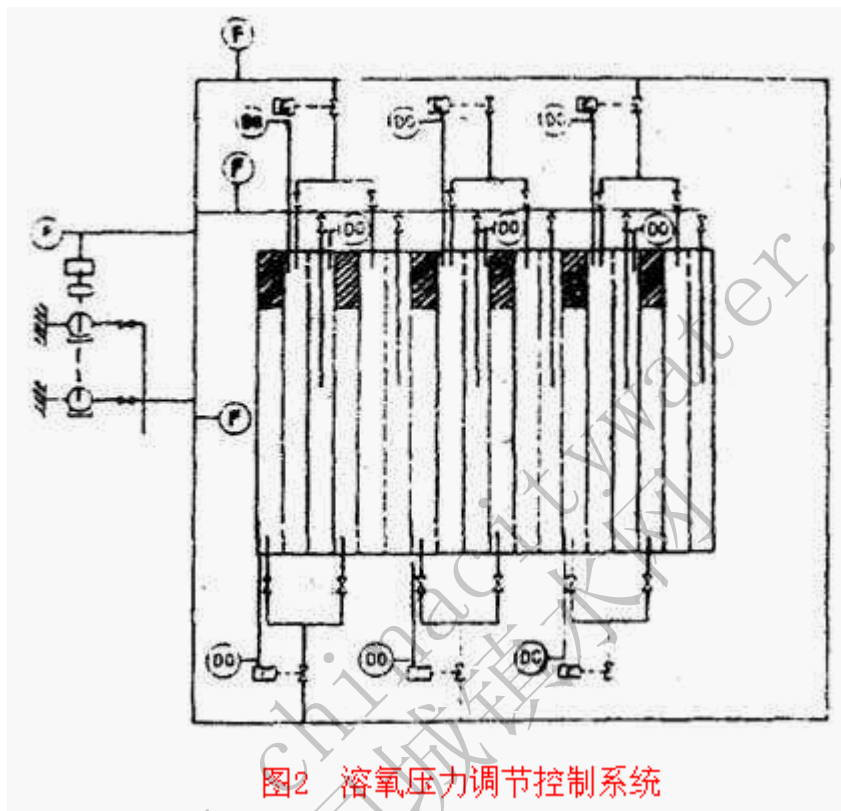


图2 溶氧压力调节控制系统

- ①直接控制。溶氧仪设在任何一点，按指定溶氧量调节气量。这一方式仅适用于完全混合式曝气池。
 - ②进水量比例控制。按污水量变化和固定的气水比进行调节供气，并用溶氧仪监测溶氧量在指定范围内。这种方法简单价廉，但受水质和水温的影响，效果不稳，适用于水质变化不大的污水。
 - ③溶氧折点控制。在均匀曝气的推流式池中，混合液耗氧速率随水流向前推进而逐渐降低，相应地 DO 浓度则逐渐上升。同时，在曝气池长的任何一个断面上，随着供气量的增加，DO 浓度也将上升。这两种变化曲线都有一个回折点，将这些折点连接起来，形成两条几乎吻合的曲线，标志着曝气池内各处最佳 DO 浓度。在实际应用中，可按所需溶氧浓度选定池长上与指定 DO 浓度相符的折点位置，设置 DO 仪控制氧量。
 - ④溶氧压力控制。上述几种溶氧控制方法均为单点控制，不是最理想的。在高碑店污水处理厂的设计中，经过曝气池各段氧传递系数 KLa 的模拟计算并参考国外经验，设计采用三个独立控制区，其中两个自动，一个手动。这样就可以有效控制溶氧浓度，达到节能和保证出水水质的效果(见图 2)。曝气池出水段只设一手动阀门，不需经常调节，因此段供气量是按搅拌需气设计的，超过了生物反应需气量，不进行随机控制气量，可适当提高出水 DO 浓度，有利于改善二次沉淀池的工作，提高最终出水的水质。
- 在设计控制系统时，指定 DO 值通常采用 2mg/L，而在实际操作中不同控制区可用不同的 DO 指定值，但不得<15mg/L。控制系统的工作首先是由溶氧仪发出信号，启动输气管上的阀门，气量的变化使管网压力变动，然后由压力传感器将信号送到鼓风机的进风叶片启动器，调节气量，使管网压力达到最佳状态。