

# 城市污水高级处理

中国建筑工程工业出版社

# 城市污水高级处理

[美]R.L.卡尔普 G.L.卡尔普 著

俞 浩 鸣 译  
交

中国建筑工业出版社

---

本书共十二章，主要介绍城市污水高级处理的原理；各种单元处理的方法、设备、效果、运行管理经验；试验室技术以及各种单元处理的选择与组合等。

供给水排水设计、环境保护和污水处理等有关专业人员参考。

## Advanced Wastewater Treatment

Russell L. Culp

Gordon L. Culp

\* \* \*

## 城市污水高级处理

俞浩鸣译

刘锡年校

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：8 1/2 字数：189千字

1975年12月第一版 1975年12月第一次印刷

印数：1—12,380册 定价：0.82元

统一书号：15040·3259

## 译 者 的 话

本书摘译自美国 R.L.卡尔普和 G.L.卡尔普二人著的《高级污水处理》一书，介绍城市污水高级处理技术，以去除生化处理所未能去除的污染物。主要内容有化学混凝与絮凝、沉淀、氨解吸、再碳酸化、过滤、粒状活性炭吸附和再生、固体物处理等的基本原理、工程设计、设备、运行效果和管理经验；简要介绍了离子交换、加氯、臭氧氧化、反渗透、氮的硝化与脱氮、粉状活性炭吸附、电解处理、试验室技术以及各种单元处理的选择与组合等。根据全书内容书名译为《城市污水高级处理》。

本书由俞鲁达、钱荣孙、刘惠等同志协助翻译，并请刘锡年同志进行校核。

一九七五年五月

## 目 录

第一章	城市污水高级处理的目的和益处	1
第二章	化学混凝与絮凝	13
第三章	沉淀	32
第四章	氨解吸	45
第五章	再碳酸化	63
第六章	过滤	83
第七章	粒状活性炭吸附	129
第八章	粒状活性炭再生	159
第九章	固体物处理	172
第十章	其它方法	199
第十一章	试验室技术	236
第十二章	各种单元处理的选择与组合	249

# 第一章 城市污水高级处理的目的和益处

## 一、目 的

传统的二级处理过去曾认为是“完善”的方法，但还有一些污染物未能去除。城市污水高级处理的任务就是要去除这些未被去除的污染物。这些污染物包括：

1. 在受纳水体中能促进藻类生长的可溶的无机化合物，如磷或氮之类；
2. 能助长生化需氧量、化学需氧量、颜色、味道和气味的有机物质；
3. 细菌；
4. 病毒；
5. 造成浊度的胶状物质；
6. 妨碍污水重复使用的可溶的矿物质。

城市污水高级处理的目的是减少受纳水体的污染，或提供一种水质适合于重复使用的水，或两者兼而有之。高级处理方法可继传统的二级处理方法之后衔接使用，或完全代替它。

很多地区随着人口增长和用水量的增加，所产生的污染问题，用传统的二级处理方法已不能完全解决。这种事例今后难免还要增加。这就促使人们考虑把处理过的污水有意识地重复使用，以适应未来用水的需要。水的间接重复使用，在美国早已普遍实行，据估计有百分之四十左右的居民，正

在使用生活上或工业上至少已用过一次以上的水。这种间接的重复使用将来还会增加。所有这些因素表明，采用高级处理技术将会日益普及。

## 二、二级出水的特性

现行的一般二级处理的目的，将使某些地区的水质得到暂时改善，而其它地区则只能保持现状。虽然使传统二级处理方法的运转效率达到最高只是时间问题，但仍不能满足美国大部地区的需要。运转良好的二级处理厂的出水中，所存在的有关物质可分为可溶的有机化合物、可溶的无机化合物、微粒固体和病原有机体几大类。

### 有机化合物

应用生物处理法的有效二级处理过程，主要是去除城市污水中的一切可生物降解的可溶的有机物质。被去除的一部分有机物质转化成为含有生物细胞的有机物，它在出水中要消耗氧气。通常，可生物降解的有机物的净去除率可达90%左右。余下的可降解的有机物将消耗受纳水体中的氧源，是否有不利影响，则须视该水体的同化能力而定。

应用生物降解技术的二级处理，当然不能去除非降解性的有机物。这些有机物使下游给水中带来气味和味道的问题，它们也能使出水带有颜色，从而不适宜于许多直接的重复使用，并使受纳水体不符合游览水体（包括体育活动）的美观要求。有的情况还会使在受纳水体中所生长的鱼类有异味。它们流经下游给水处理厂，还会对下游用户引起原因迄今尚未查明的长期生理反应。有的情况可使受纳水体产生泡沫，虽然由于采用了可生物降解的洗涤剂，已能使这一问题

大为减轻。

### 无机化合物

磷和氮是藻类生长所需的两种关键性元素，用传统的二级处理不能有效地去除。磷酸盐还会干扰下游给水处理厂的混凝过程。磷的主要来源是现代洗涤剂中所采用的磷酸盐组分。受纳水体中藻类生长会造成许多危害：1.使游览水体不符合美观要求；2.使下游给水产生气味和味道；3.使下游给水处理中，过滤运转发生问题；4.在夜间或藻类死亡后需要大量氧气。促进可厌藻类生长的磷和氮的最低浓度问题，还存在着争论。但是在单纯由南太和湖污水处理厂出水的蓄水库里，除磷至0.1毫克/升的浓度已使藻类生长降低到无关紧要的程度。

在城市里的水经过使用，其矿物性质起了变化。增加的无机盐包括有：钙、镁、钠、钾、氯化物、硫酸盐和磷酸盐等。这些盐类在下游给水的正常处理中并不能除去。其结果，一个固定给水水源的溶解固体的含量随着经过一连串的用户而增加。人们一般认为饮用水的溶解固体的上限为500毫克/升。过量的溶解固体浓度能引起用户轻度腹泻，但尚未发现永久性的有害生理反应。溶解固体的浓度还对灌溉用水、工业用水、或家畜和野生动物的用水有害处。钙和镁给下游水带来了硬度。

### 微粒固体

虽然有效的二级处理能去除90~95%的进水悬浮固体，但由于运转不良、水力或有机物超负荷、或机械失灵等原因，都可使二级处理失常，而经常出现去除率很差的现象。对于许多直接重复使用的水，去除率90~95%是不够的。悬浮固体能妨碍出水消毒，导致病原有机体带出。当二级处理



全部失灵而排入小河流时，会产生污泥沉淀而造成长期缺氧，还有碍美观。运转情况经常不稳定是二级处理厂的一个主要缺点。正确应用高级处理技术去除所有悬浮固体，可以克服这个缺点。

### **病原有机体**

二级处理能大量降低进入的病毒和细菌浓度，但在二级处理出水中查明，病毒和细菌仍时常出现。已确证传染性肝炎是一种水传染的病毒疾病，病毒能在清水中生存十星期之久。由于危害健康，在很多方面二级处理的出水肯定不能直接重复使用。

## **三、不可避免地重复使用**

几个城市位于同一条河流或同一个湖泊的沿岸，大家都使用该水体作为给水水源并排放污水，就不可避免地导致重复使用。美国给水厂协会的最近研究资料表明，在所调查的155个城市中，平均每30加仑给水中含有1加仑是曾经通过上游城市的污水系统的。因此，许多用作游览和给水水源的河流中，含有已被上游许多工业、农业和城市用过的水。水不可避免地重复使用，已是既成事实，并习以为常，只不过未被注意而已。

## **四、有目的地重复使用**

世界上许多地区，回收污水的出水，进行直接的和有目的地重复使用的需要，正在日益增加。重复使用是掌握有效利用有限的新鲜水源的关键，从而获得有价值的新水源，来增

加现有供水水源，并成为将来的主要供水水源。一般认为我们并不缺水，但为了将来用水的需要，现在已面临的情况是必须消除浪费和避免轻率降低水源水质，来最大限度地利用现有的水源。

### 工业用水

工业用水的水质要求因用途不同差异很大。例如，冷却水的水质要求与锅炉用水就大不相同。在某些工业应用中，如某些电子制造工序、高压锅炉用水和饮料用水等，其水质要求超过饮用水标准。把全部工业用水所需的特定标准一一列出是不可能的。当考虑污水回收用于工业的某一特定情况时，应规定所需的水质，并应从污水水系或从其它水源获取同样水质的水，进行经济比较，对每个水源的质和量考虑的项目都应一致。

有些地方曾用城市污水处理厂的出水作为工业冷却水。其主要条件是不应助长腐蚀、积垢、对木制冷却塔水解侵蚀作用(*Delignification*)、微生物生长和在冷却塔中产生过多的泡沫。城市污水温度的变化较地面水小，但温度经常较高。

虽然二级出水常须先经化学混凝和沉淀处理才能用作冷却水，但有些情况证明二级出水可以直接用于冷却水，结果是良好的。如用石灰混凝，必须保证 pH 值调整在 6.5 至 7.5 之间，以避免对冷却塔木质填料的水解侵蚀和冷却系统内碳酸钙的沉积。

污水成分含有悬浮固体、产生硬度的物质、溶解有机物、溶解氧或气体、藻类营养剂和产生粘液的微生物。这些成分对冷却用的供水系统不利，但采用高级处理则易于控制。通常要求浊度和硬度值低于 50 毫克/升。为了抑制积垢

和产生粘液，可在污水处理过程中结合使用化学药剂。

所有工业几乎都使用锅炉，因此都有要求优质的锅炉用水问题。锅炉用水水质要求是一个复杂的问题，许多刊物已有讨论。当锅炉工作压力增加时，锅炉用水水质要求必须提高。对于超高压锅炉（1000磅/吋<sup>2</sup>以上，即70.3公斤/厘米<sup>2</sup>以上）硬度必须完全去除，溶解固体物愈少愈好，最好少于0.5毫克/升。所需要的水应充分去除离子和空气。二氧化硅尤其有害，因它在锅炉和锅炉水管中形成硬垢。对于高压锅炉，溶解的SiO<sub>2</sub>不能超过0.2毫克/升，然而在250~400磅/吋<sup>2</sup>的压力下，可允许有5毫克/升。由于氨要损坏铜制部件，故不应有氨存在。高压锅炉，由于需去除有关溶解的矿物质，所要求的处理等级应高于正常用于高级处理的处理等级。

炼钢所要求的水质特征如下：温度低于24°C；氯化物低于175毫克/升，pH值在6.8~7.0之间，硬度低于50毫克/升，悬浮物低于25毫克/升，有机物含量和腐蚀能力应尽可能低。在炼铜和炼铝工业的几道加工工序中，利用回收废水也是适宜的。

本书所论述的除磷方法可减少藻类生长。储存的出水中含有藻类生长，就不能用于油井再加压，需过滤后才能使用，保证悬浮固体不堵塞油井。

用处理过的城市污水制造人们消费用的食物或冰，水质要求要受到与生活上重复使用的水（在下节说明）相同的限制。对于这类用途，将来最好还是使用新鲜水源。但对于其它繁多的工业用水，本书所论述的处理方法已能达到适用的水质。

## 农业用水

在美国，灌溉用水量仅次于工业用水，1960年约占全部用水量的43%（工业用水量占50%）。如前所述，过去在美国，污水重复使用的主要实例是处理过的出水用于灌溉。灌溉用水的限制，主要是注意防止污水接触人们直接消费的农作物而危害健康。城市污水高级处理技术为在灌溉方面无限制地直接重复使用污水提供了条件。通过无限制地重复使用于灌溉田地来补充地下水，早已成为常用方法。研究表明，亚利桑那州凤凰城的二级处理出水，用来无限制地灌溉，并流过经常干涸的萨尔特河（*Salt River*）河床，以补充地下水而得到改善。

灌溉用水的含盐量与卫生质量同样重要。但所要求的含盐量的绝对限度不是固定不变的，因为植物对于适应盐性、土壤类型、气候条件与灌溉方法的差异很大。离子之间的关系很重要，例如钙与钠之间有对抗影响。多数城市污水的含盐浓度常不太高，不致立即损害农作物。如果植物根区不发生淋洗作用，盐的浓度就会积累而增加到各种盐的溶解度极限。除敏感者外，大多数植物可允许水内含溶解固体达2000毫克/升。在排水良好的情况下，低于1000毫克/升的溶解固体可适于各种植物的生长。

钙和镁的比例适当，能使土壤保持良好的状态，但当钠含量占主导地位时，则情况相反。当钠的百分比

$$\left( \text{按 } \frac{\text{Na} \times 100}{\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}} \text{ 以毫克当量/升计算} \right)$$

超过某一土壤的允许限度时，在土壤被湿润后，粒状土壤结构即开始被破坏，甚至会封闭土壤的气孔，使土壤渗透性能降低。一般认为，灌溉用水含钠百分比不应超过50~60%，

以避免上述的这些有害反应。含有较高的阳离子交换能力的土壤，允许有较高的百分比。倘若水中含有高浓度的重碳酸盐离子，钠的危害性就会增加，因为钙和镁将趋于沉淀为碳酸盐，从而增加了钠的相对比例。因此认为水中所含的残余碳酸钠（按 $[\text{CO}_3 + \text{HCO}_3] - [\text{Ca} + \text{Mg}]$ 计算）少于1.25毫克当量/升，大概是安全的，1.25~2.5毫克当量/升应为边缘界限。

某些可溶盐类的含量如过多是有害的。例如在植物根区有700~1500毫克/升的氯化物，能使叶子枯焦，甚至植物死亡。虽然大多数城市污水的化学性质适用于灌溉，但对于这方面及其有可能危害健康方面的化学性质应予慎重测定。同时也还应警惕排入城市污水系统的工业废水中的有毒物质。

用二级处理出水浇灌高尔夫球场和公园，在美国西南地区实行已久。由于出水有偶然接触和被风吹至饮水喷泉的机会，许多场合最好采用高级污水处理以免危害健康。输送出水的管线应有鲜明的标志，以防止与饮用水管连通或共用。为了在浇灌期间防止与出水直接接触，对于这些灌区应予严格管理。

在土壤和水文条件适当的地方，通过二级出水进行地面浇灌来补充地下水源，成为使出水无限制地使用于灌溉的一种经济的方法。

牲畜用水被认为是畜类疾病传染的媒介，虽尚未认为有实际重要意义，但在未取得更多资料足以说明之前，牛群所用的水是应该完全消毒的。因为如果处理过的出水消毒不彻底，母牛乳头与污染的污水或与牧场灌溉用的污水相接触，就有感染伤寒菌或结核菌的危险。

## 生活用水

世界各地对于直接重复使用污水作为饮用水源，是否适宜，意见分歧很大。目前美国公共卫生部的立场是只要有其它水源，则无论如何都不应采用处理过的污水作为饮用水源。使用直接重复回收处理的污水，作为饮用水源，除非绝对需要，总可有许多更好的办法。公共卫生部饮用水标准的根据是经过卫生调查表明，原水水源是相对的未被污染的。这种标准对于取自新鲜水源的给水看来是可靠的，因为至今还未认为急性疾病来自于符合这些标准的水源。然而这些标准可能不适用于回收的污水，因为回收污水有痕量的有机物质存在，如农药、抗菌素、激素，或来自工业废水的痕量物质。同时，在各种不同类型的高级污水处理单元的组合中，对于病毒污染的程度也还长期未作出精确测定。

目前最慎重的途径是把污水处理后作为大量非饮用水使用，从而为饮用水增加了可用的新鲜水源。直接重复使用在尚未成为经济的而又被认为安全之前，通过补充地下水（不论有意的或无意的），或通过污水排入其它城镇用的地面水而间接重复使用，认为是已实践的方法，今后还要继续使用。

## 娱乐用水

与人体接触的娱乐和体育运动用水，必须符合美观要求，不含有由于咽入或刺激皮肤而中毒的物质，并且最好不含有病原微生物。为明确前两个条件，可制订温度、颜色、气味、pH值、浊度和特种离子的限度。但是许多州的管理当局除有关卫生条件外，对于其它条件都采用定性标准，而不采用定量标准。大多数州都按定量标准限制病原微生物的含量，虽然这些标准差别很大。娱乐水体的细菌性质与有关疾

病的发病率之间，还未确定有一定的关系。对于大肠杆菌，各州标准变化幅度在50~3000个/100毫升之间，此项数字或为每月取样的算术平均数，或为几何平均数，或为中位数。英国对于娱乐用水研究的结论是，除非水已脏得外观上产生反感，否则还认为是相当合乎公共卫生标准的。当然，在一般回收水的储水库中，未必能达到这些标准，但正确组合用本书所论述的各种单元处理方法，是容易达到最严格的州订标准的，即大肠杆菌为23个/100毫升。

污水回收，并适于娱乐用水，在美国加利福尼亚州桑蒂郡 (*Santee County, California*) 水管理区已作出示范。它们处理过的污水已成为很多娱乐用湖的主要水源。把传统的活性污泥处理厂的二级出水，经过一个渗透区流到这些湖中。对加氯后的出水再通过渗透系统后的细菌含量，经过仔细检测，其大肠杆菌浓度少于2个/100毫升。从流入湖内的水中未分离出病毒。根据湖内所用的回收水质量较高、社会健康统计记录和湖水不存在病毒等情况，州卫生当局于1965年夏季同意开展游泳运动项目。随着游泳运动项目开展成功，证明污水处理效能已能达到符合公共卫生的要求和公众所接受的程度。

1969年加利福尼亚州爱尔平郡印第安河水库 (*Indian Creek Reservoir in Alpine County, California*) 为该州和各地方当局批准同意作各种接触水的体育活动使用。这个水库灌注着从加州南太和湖公用事业管理区处理厂 (*South Tahoe Public Utility District Plant*) 的10亿加仑 (37.8万立方米) 回收污水。娱乐活动项目包括划船、游泳和钓鳟鱼。湖中成功地放养了虹鳟鱼。在两个夏季的水样分析中，从处理的第二阶段中曾几次分离出病毒，但从加氯消毒过的

最终出水中，始终未发现过病毒。流入水库的水经过细菌检验，大肠杆菌始终是阴性。

对非接触水的娱乐活动，如划船和风景游览，另外规定标准是困难的，因为接触水与非接触水的娱乐活动往往是连系在一起的。对不接触水的娱乐活动的一些不利问题，包括飘浮的或可见的固体物、粘滑物质、成丛的水藻和花朵、变色、气泡、浊度、油类和泡沫等，采用高级处理方法是容易解决的。的确，回收污水所成的贮水池更容易被划船和沿岸活动所污染，其危险比有碍美观的污染源更大。

养鱼对水质的要求显然很重要。为鱼类规定一个通用的水质标准是不可能的，因为有害物质对鱼类的影响因品种、大小和鱼龄而不同。这些影响还随供水的化学组成而变化。某些盐类起增效作用，而另一些盐类则起对抗作用。溶解氧、pH值、游离二氧化碳、氨氮、悬浮固体、温度和有毒金属，都是对特定鱼种要进行测定的主要参数。暖水性的鱼类在桑蒂城规划的贮水池中放养成功，而虹鳟鱼则在南太和湖的贮水池中放养成功，食用这些单纯用回收污水出水所放养鱼，都未发现有害健康的情况。

桑蒂和南太和湖规划证明污水直接再使用作为娱乐用途是切实可行的，并为缺水地区日益增长的水体娱乐基地的需要提供了值得重视的方法。

## 五、城市污水高级处理的单元处理方法

研究一下传统的二级处理方法所产生的出水水质，很快就会发现这种处理方法不能去除造成污染问题或妨碍出水重复使用的许多污染物质。



若发现二级处理出水中所存在的物质不能满足重复使用或减免污染的要求，则必须选择相应的高级处理的单元处理方法。

设计城市污水高级处理厂时所要考虑的主要因素有下列几个方面：1.最终出水的排放或使用及其有关水质要求；2.达到要求质量所要去除的物质的性质；3.液体处理过程中所产生的有关固体物处理或废液处理问题；4.处理所使用的混凝剂或其它原料的回收和重复使用的可能性；5.污水收集系统和厂址所受到的限制；6.处理污水过程中造成大气污染或土地污染的可能性；7.全面的经济可行性。

现在用于高级处理中的各单元处理方法，一般已在各种工业废水处理中应用，并且因为较高的出水水质的需要已有发展，这种方法已用于工业废水高级处理的设计。

本书以下各章将探讨在厂规模示范成功的液体处理方面各种单元处理方法的设计条件，然后讨论液体处理所产生的固体和废液的处理。后者颇为重要，因如要得到高级处理的全部利益，显然不能把污水处理的残余物排放到有用的水源中去。在许多事例中，这些残余物的处置可以成为支配选择液体处理方法的主要因素。后面有一章则将简要地论述显示有发展前途，但尚待超越中间试验阶段进行示范的其它单元处理方法。