

污水生物处理

中国建筑工程出版社

污 水 生 物 处 理

北京市市政设计院
甘肃省建筑勘察设计院 摘译
吉林省给水排水设计院

中国建筑工业出版社

DISPOSAL OF SEWAGE AND
OTHER WATER-BORNE WASTES
second edition

Karl Imhoff
W.J. Müller
D.K.B. Thistlethwayte

DESIGN HANDBOOK OF
WASTEWATER SYSTEMS
B.L. Goodman

* * *

污 水 生 物 处 理
北京市市政设计院
甘肃省建筑勘察设计院 摘译
吉林省给水排水设计院

*

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: 6 1/2 字数: 142 千字
1975年9月第一版 1975年9月第一次印刷
印数: 1—14,430册 定价: 0.50元
统一书号: 15040·3247

译 者 的 话

《污水生物处理》摘译自《污水和其它废水处理》第十二、十三章的污水各种生物处理的原理和方法以及《废水系统设计手册》第四、六、八章的污水各种生物处理的设计原理、设计数据和计算实例。可供给水排水设计、污水处理和环境保护工作人员参考。

本书第一、二章由北京市市政设计院翻译，第三、四、五章由甘肃省建筑勘察设计院和吉林省给水排水设计院翻译。

北京市市政设计院

甘肃省建筑勘察设计院

吉林省给水排水设计院

1975. 4 .12

31823

目 录

第一章 生物处理法	1
第一节 概述	1
第二节 土地过滤或间歇砂滤	5
第三节 生物过滤	9
第四节 淹没式滤池, 接触曝气池	26
第五节 曝气	29
第六节 活性污泥处理法	30
第七节 湖塘处理	58
第八节 厌气性或腐化性生物处理	62
第二章 污泥处理	64
第一节 概述	64
第二节 污水处理的污泥量	66
第三节 污泥处理的目的和方法	68
第四节 污泥消化	70
第五节 消化池	75
第六节 两阶段消化	84
第七节 污泥消化池容积的计算	86
第八节 污泥气的生产和利用	89
第九节 消化池的加热	91
第十节 其它过程所产污泥及废物的消化	94
第十一节 污泥干化	96
第十二节 污泥池	99
第十三节 污泥机械脱水和干化	100
第十四节 污泥焚化	103

第十五节 污泥固体的最终处置	104
第三章 生物处理的设计和计算	108
第一节 活性污泥法	109
第二节 生物滤池设计	147
第三节 曝气系统	150
第四章 污泥处置的设计和计算	158
第一节 重力浓缩	158
第二节 压力浮选	161
第三节 好气消化	163
第四节 厌气消化	165
第五节 污泥干化场	175
第六节 消化污泥的淘洗	176
第七节 真空过滤	182
第八节 焚化器的运行	187
第五章 三级处理	189
第一节 补充沉淀	189
第二节 营养质的去除	192
第三节 三级过滤	196

第一章 生物处理法

第一节 概 述

当简单沉淀和化学处理不能保证在排放以前取得足够的净化程度时，就要求助于在自净作用中发挥作用的那些微生物。使用这种手段的方法叫做生物处理法。生物处理法可以用好气法，也可用厌气法，但厌气法是特指“腐化处理”，好气法通常包括那些标准处理技术，如活性污泥法、生物滤池、间歇砂滤池、污水灌溉和氧化塘等，这些处理过程本质上都是好气性的。厌气法包括化粪池、厌气塘和污泥、废渣的厌气消化等。

生物处理法的原理是借助一些特殊装置，通过人工曝气或自然曝气以取得自然氧气，用来强化和维持好气菌的活动。这就造成一些凝聚性的粒子状物质，这些物质，或是在处理结构上粘附一层粘膜（如生物滤池的碎石滤料，或接触曝气装置的材料），或是在活性污泥法的装置中呈自由浮悬状颗粒。这些凝聚体从污水中吸附细微的浮悬状、胶状物质，甚至也吸附溶解性的物质。随后这些固体或多或少被活的微生物分解，或改变其性质，使其可用简单机械方法容易地从净化过的水中分离出来。这些方法中最重要的生物活动，只有在存在溶解氧的情况下才能维持，因为氧连续不断地被捕食的微生物所消耗，所以必须不断地补充。有的氧是靠绿藻之类的光合性生物的活动来取得，这在氧化塘的情况

下，取得经济的溶解氧是很重要的，但是一般主要还是从大气中取氧。取氧的速度取决于水和空气的界面，因此生物处理装置必须尽可能扩展这一界面，或使空气呈小气泡状压入水中，如曝气池；或将水喷洒到空气中去，或使水匀布到很大的表面上去，从而得到足够的时间由空气中吸附氧气。水中固体的凝聚提供了更大的表面积，因此相应地生物活动所需的溶解氧也就更容易被吸收。

在普通的气压和气温下，10呎³（0.28米³）干空气含氧约0.175磅（80克）。处理构筑物容量的设计必须保证经常能供应显著过量的氧，因为实际上供氧和耗氧效率都不很高。例如在某一活性污泥装置中，由大气所供的氧实际上只利用了5~11%左右。生物滤池只利用大约5%或更少。但间歇砂滤池倒可能利用得更多些。

这些生物处理设施的大小必须能为菌胶团乳液的活动提供足够的空间，因此，一定的负荷率就要求相应的最小容积。在多数情况下，用污染质的数量作为设计基础是个较好的办法，即以生化需氧量（B.O.D.）计量污染质，并计入污水的体积。例如，污水体积为100000加仑（455米³），平均五天生化需氧量（B.O.D.₅）为500毫克/升，即可按总B.O.D.负荷为227公斤计算。表1-1所列负荷率为处理普通生活污水的处理厂实际所用数据，可供比较。

对于B.O.D.数据不易取得的情况，可用产生污水的人口作为设计依据。一般情况下，生活污水在沉淀以后，B.O.D.₅约在35~45克/人·日左右。工业废水也可以用人口当量来计算负荷率。生活污水沉淀后剩余B.O.D.₅按平均41克B.O.D.₅/人·日计算，其中约有1/3来自厨房、浴室排水，其数值约14克B.O.D.₅/人·日，另外2/3来自粪便污水，其

生活污水的生物处理设备平均负荷率

表 1-1

生物处理方法	负 荷 率 (B.O.D. ₅ /日)			
	磅/码 ³	公斤/米 ³	磅/英亩	公斤/公顷
大田灌溉	—	—	8	9
草地漫灌	—	—	30	34
间歇砂滤池	—	—	60~150	70~170
生物滤池				
低负荷	0.2~0.4	0.12~0.24	3000	3400
高负荷	1.0~2.0	0.6~1.2	20000	22000
活性污泥法				
标准负荷法	0.5~1.0	0.3~0.6	—	—
高负荷法	2.0~6.0	1.2~3.6	—	—

数值约27克B.O.D₅/人·日。因此,对于干厕制下水道系统,其人口当量为1/3人/人。

在某些特殊情况或局部情况下,必须对一般数值加以修订。以下情况即应减少负荷率:

- 1.净化程度应较一般为高。
- 2.要求硝化程度较高。
- 3.污水较稀薄,因此需要增加处理设备的容积。
- 4.雨季时处理暴雨下水所需的附加设施。
- 5.用沉淀法作预处理的效率低、不充分、或根本没有预处理。
- 6.水温异乎寻常地低。
- 7.由于构造的型式或运转的方法,以致处理效率较通常为低。
- 8.较小的处理厂,当正常的管理运行不经济时。

同样,其他情况也可能需要采用比通常情况较高的负荷率。

这些处理厂的效率，用出水与进水成分的差异来表示。B.O.D.去除率是净化效率的最简单指标。通常完全生物处理的城市污水处理厂能去除原污水B.O.D.的90~95%。在这些厂中，总净化率差不多三分之一是由预处理取得的。预处理包括沉淀，可沉的浮悬体由沉淀池分离出来，然后在处置前用特定方法（如污泥消化）加工。这里要注意，在生物处理过程中还会进一步产生固体，这些固体通常也在沉淀池中分离。这些沉淀池叫做二次沉淀池或腐殖泥池，二次沉淀池所排额外的可分解污泥，也需要在处置之前进一步处理。虽然实际上污泥固体在除去时并没有完全稳定，而且并没有消耗相当于所去除B.O.D.的氧，但分离固体所造成的净化，对生物处理的效率也有影响。

就是在所谓“完全生物处理”之中，也只有一部分有机质真正分解为完全氧化的最终产物，即：水、二氧化碳、硝酸盐、硫酸盐等。实际的分解比例视采用的处理方法而异，但下列是粗估的数值，以实际去除的B.O.D.相对数量表示：

间歇砂滤	约100%
低负荷生物滤池	80%
高负荷生物滤池	55%
标准活性污泥法	45%

但这些数字并不直接与采用上法的处理厂总净化率相关。如前所述，这是在处理中有效去除的污染质总量，是衡量处理方法效率的真实尺度，而不一定是相对稳定度。分解的最终产物包括大量的二氧化碳，或许还有一些硝酸盐。二氧化碳使出水对构筑物材料有较大的腐蚀性。虽然硝酸盐是氧的载体，可能有利于硫化物的氧化，或使腐败污水变新鲜，但

它排入天然河流会助长藻类过度繁殖，最终会破坏河流的自净作用。此外，虽然硝酸盐能用人工降雨喷灌方式进入土壤，以利作物的生长，但在正常排水率下进行漫灌则效果不大。硝酸盐在天然水体中也没有什么真正价值，因为在自由溶解氧已经消失以前，它作为氧的载体并不起什么作用，因此不能用来作为避免脱氧现象和防止破坏鱼类生活的手段。所以生物处理厂运转时，通常都设法控制硝酸盐，尽量使之少产生。为了达到这一目的，就要由预处理设备中尽最大可能排出污泥，不使进入生物氧化的单元设备中。同时，固体在生物处理单元设备中的有效停留时间越短，硝化程度也就越小。这样，为了有效地运转，在活性污泥处理厂中，曝气时间和活性污泥量应尽可能保持低的数值。

另一方面，在某些情况下也可能希望尽可能多产生硝酸盐，例如，需将出水回流到进水的原污水中去，以减轻腐化状态和恶臭。在生物滤池中，可减少反冲，降低负荷；在活性污泥法中，可尽量保持高污泥量，加大空气量，并延长曝气时间，以达到这一目的。

第二节 土地过滤或间歇砂滤

土地过滤只有对合适的砂土才能采用，过滤过程是每次间歇地淹灌土地或砂滤床，然后隔一段相当长的时间，以便充分排水，自然曝气，使砂床复苏，周而复始。因此土地过滤在结构上应安排成若干独立区格，通常4~8格较好，每块面积不大于0.4公顷。建筑砂床时，将表土移去，用此在砂床四周筑矮堤，底层砂土可翻松，并向下排水。表面须整平，且用农业水管排水，水管直径4吋（100毫米）或更大

些，每条水平间距30呎（9米），埋深在砂床下3呎（0.9米）（图1-1）。进水管和排水管沿周边的岸堤下面埋设。通常设有投配池，以保证能迅速、均匀地淹没滤床，其容积应等于每块滤床一次淹灌所需污水体积，并装有自动阀门或虹吸系统，以便将沉淀过的污水依次分配到不同滤床去。负荷率决定于实际土质及进水的性质。

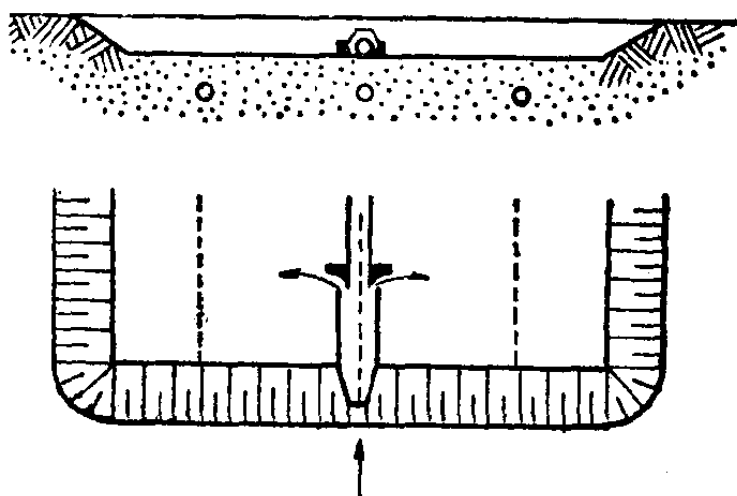


图 1-1 间歇砂滤床的布置

滤床的土壤分析

土壤颗粒用筛筛分等级，将0.1毫米（150网目）以上的颗粒分开，以下的较小颗粒则用沉淀法分离，从而得出粒径组成曲线。通常取样为0.22磅（100克干重）。曲线的一个座标为样品重量的百分比，其相应的粒径在另一对数座标上点出，读出10%及60%的重量百分比。人们发现，清水透过砂层的排水速度，或多或少与最细10%的代表粒径有关。代表粒径（即有效粒径）的定义即为有10%重量的砂粒小于此粒径。对于适当的土壤，此数值为0.0080~0.020吋（0.2~0.5毫米）。此数小于0.0080吋（0.2毫米）者，土就太密实，不宜采用；大于0.02吋（0.5毫米）者也不适用，因为除非在其上加铺较细砂层，否则淹灌时会分配不匀。除了这一规定

以外，还规定了“均匀系数”，即相当于60%及10%重量百分比的粒径之比。如上述实例，此二数为0.105吋（2.6毫米）及0.015吋（0.38毫米），均匀系数即为 $0.105/0.015=7$ 。系数5~10为普通土壤；相当于较小的系数即为水力分级的细砂。建议城市污水采用均匀系数小于5者，在干的滤料中，通常有自由容积或空隙25~40%，而在其排水湿润时可有进气空隙约20~25%。这些数字一般不作规定。

在上述的基础上，清水排水率大致如表1-2。

各种级配砂土的排水率 表 1-2

砂的有效粒径		清 水 排 水 率	
吋 $\times 10^{-1}$	毫 米	呎 ³ /呎 ² ·小时=呎/小时	毫米 ³ /毫米 ² ·秒=毫米/秒
0.079	0.2	2.6~7	2~6
0.118	0.3	7~14	6~12
0.157	0.4	14~28	12~24
0.197	0.5	28~42	24~36

滤床的运转，灌水2~4吋（50~100毫米），等于1~2加仑/呎²（50~100升/米²），灌水时间不大于5~15分钟。污水灌满滤床后，即均匀排出，把空气向下穿过土层排走，而由上面吸进新鲜空气，一般在1~2小时内将水排净。通常滤床每天充水一次，但对于浓污水可能需要几天才能复苏，稀污水则可以一天充水2~4次。当排水要4小时才能排净时，可以长时间休整，使其连续通气，以克服排水不畅现象。此时即不可继续进水，直到滤床表面出现一层干污泥，经过轻轻耙松后，可以除去，即可再次灌水，滤床又恢复正常的循环使用。但滤床的渗透能力逐渐降低，最后必

须将表层更换。几十年之后，如果仍要保持有效的处理，则整个滤床都必须更新。

在较寒冷的气候下，为了冬天有效运用，灌水的深度须达1呎（0.3米），以保持滤床内适宜的过滤条件，此时过滤面积是在冰盖下运行，为了保持通气，须有一定数量的松散砂子，堆出冰盖以上。在春夏时即应完成清除和整顿工作，以准备次冬过滤。

负荷率的考虑根据如下：假定每天灌水一次，对于一座3呎（0.9米）深，空隙率为20%的滤床，每天换气一次，气量合26000呎³（740米³），大约含氧460磅·氧/英亩（520公斤·氧/顷）。根据0.08磅（36克） $B.O.D_5 = 0.08 \times 1.46 = 0.117$ 磅（53克） $B.O.D_{20}$ /人·日计算，理论人口当量为4000人/英亩（10000人/公顷）。在实践中，可按上述值的一半考虑，即2000人/英亩（5000人/顷）。如果投进的污水浓度很稀，每天可换水几次，则滤床的通气量自然也相应增加。相反，如果来水很浓， $B.O.D.$ 很高，为了保持滤床内氧的平衡，即须用出水回流，或用其它清水，以稀释进水。实践中，对沉淀过的污水采用负荷率800~2000人/英亩（2000~5000人/公顷），结果很成功，砂的粒径越粗，可允许更高的负荷率。对于原污水，此值可以减半，即400~1000人/英亩（1000~2500人/公顷）。用间歇砂滤作为生物滤池出水的“精制”措施也是非常合适的，其负荷率可用4000~10000人/英亩（10000~25000人/公顷），约为沉淀污水的五倍。

土地过滤（间歇砂滤）的净化效果是相当高的， $B.O.D.$ 去除率通常超过90%，细菌去除率为95%。出水的浊度和色度一般都很低，和生物滤池出水相比，可以说是晶莹透彻。此法对于小工厂特别合适，其特点是简单，不仅可以用于

城市污水，也可用于多种工业废水，如酿酒、蒸馏、造纸、洗毛等工厂。

第三节 生 物 过 滤

生物滤池（或滴滤池）是间歇砂滤的自然发展，其中起作用的因素是生物的活动，靠适当的通气，以保证污水中的污染质好气分解和稳定。为了减少占地面积，需要发展一种比较高的具有较好通风的滤池，这类滤床需要较粗的滤料，在很高的表面负荷下，通风保持较好。

一、生物过滤的原理

用生物滤池净化含有机物的污水的过程，是一种生物过程，主要是靠滤料表面上孳生的生物膜，吸收和吸附污水中溶解的和悬浮的物质，随之是把溶解物质和形成污泥的固体分解和合成，有些固体就是由此而从污水中去掉。这种分解和氧化作用是由微生物、各种菌类和原生动物、以及其他活的有机体的活动所造成，这些活的有机体以细菌为食，防止了生物无限制地积累，造成堵塞。

当污水连续进入（或间断时间很短）滤池，沿滤料表面滴滤或渗透而下时，滤料上逐渐形成生物膜，其组成主要是菌类有机体，包括在污水中自然存在的那些细菌。生物膜逐渐地形成，成熟期从几周到一个月以上。只要池内保持好气条件，污水的完全净化在生物膜形成后可以连续进行，净化的程度取决于滤料与污水直接接触的有效表面积。好气性生物活动的有效区域，只限于生物膜表面以下2～3毫米的深度，因为更深的地带就成为腐化区了。

用一种盐类均匀地加入滤池表面的进水中，盐的50%穿

过滤池所需时间（半位移周期）可作为渗透率的计量尺度。通常低负荷率相当于可溶无机盐以20~60分钟穿过池高度为6呎（1.83米）的生物滤池所需的半位移时间，视生物膜的数量和性质不同，这一时间对每一滤池都不一样。最近已采用适当的放射性同位素代替盐类。

水向下渗过滤床，也起到一些冲洗作用。部分活的生物膜膜质，连同部分分解过的，或死的、不活动的膜质一起，随水逐步穿透滤床，最后以一种凝聚的浮悬液状态出现，就是一般所谓腐殖泥，这并不是好现象。滤池总是在不断地排出腐殖泥固体，但排出的数量变化很大，尽管这样会不断流失膜质，而处于良好状态的滤池仍然具有活力。这一冲洗作用自然是随着进水负荷率的加大而增强的，由于现在通常采用的负荷率变化很大，故必须对低负荷滤池和高负荷滤池加以区别。对于高负荷滤池，由于冲洗作用的加强，防止了固体在池内聚积，而低负荷滤池所含固体数量则较前者为高，而此时滤床内有机物的氧化作用则进行得更充分些。

在低负荷滤池（亦即所谓标准滤池）中，进水负荷率低到足以保证有机质在滤池内接近完全分解，这种滤池可以称为含污生物滤池。由于这种分解作用，最后出水排出的固体量较低，膜质很少连续排出。但每隔几个月（可能每年2~4次），在滤池排污期间，有较多聚积的膜质由滤池排出，排污期持续几个星期。这种滤池所排腐殖泥固体，往往含有较多无机物或土状物质，呈颗粒状而较少凝聚性，形成不易分解的较稠污泥。在低负荷生物滤池中，含氮和含氮有机化合物通常氧化较充分，产生较多的“氧化氮”，主要是硝酸盐和亚硝酸盐形式。

另一方面，高负荷滤池的运转条件只允许少量膜质聚积

在滤料表面。过量的膜质很容易冲到出水中去，这种膜质与低负荷滤池的膜质有很大的不同，虽然它们由同一种微生物所形成，但高负荷滤池的滤膜是近期生长的，且其有机质的分解程度较低。同理，高负荷滤池出水，所含氧化氮较少。高负荷滤池完成净化过程的首要部分，即将有机质等杂质吸附和吸着到生物膜上去，但对污染质的氧化和稳定作用并不充分，这些污染质以膜质和污泥的形式被冲洗出去，沉淀分离后，再用污泥消化或其他方法使之稳定。所以高负荷滤池可以称为“冲洗生物滤池”。但是它的过程并不仅仅是机械过程，正如这一名称所暗示的那样，而是主要取决于保持滤料上的生物膜持续地具有活力。

还有其他成功地运用生物滤池的方法，如把两座滤池串联起来，叫做“二级过滤”，效果与一座滤池，其高度等于一、二级滤池高度总和的效果基本相同，但做两座较浅的滤池可能有些好处，因为其通风较易，且一次过滤的出水在二次过滤配水时增加了曝气的机会，而更大的好处是土建费用比做一座高的滤池便宜得多。在二级滤池前面，可加沉淀池澄清一次出水，这样，二级滤池可以采用较小容积，滤料可以采用较小粒径。

1. 交替二级滤池是英国发展出来的另一种二级过滤方法。每座滤池都设有自己的沉淀池（腐殖泥池），管道、渠道，都和水泵相连，使每对滤池中，两池可以互换，交替作为一次和二次滤池，可以每天反转流程一次，或采用其他方便有利的方式。这种技术可用于低负荷生物滤池，其总负荷率可有显著的提高（例如提高达2倍），而包括硝化在内的净化程度不变。交替二级滤池曾在实践中成功地运用过，特别是对于奶厂废水，采用单池过滤很快就会被油脂和菌膜堵