

王国华 任鹤云 编著

工业废水处理工程 设计与实例



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

工业废水处理工程设计与实例

王国华 任鹤云 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业废水处理工程设计与实例/王国华,任鹤云编著.
北京:化学工业出版社,2004.10
ISBN 7-5025-6204-4

I. 工… II. ①王…②任… III. 工业废水-废水处理
IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 108371 号

工业废水处理工程设计与实例

王国华 任鹤云 编著

责任编辑:董琳

责任校对:蒋宇

封面设计:蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印刷

北京红光印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 插页 1 字数 402 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6204-4/X·545

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

工业废水种类繁多，成分复杂，相对而言对环境的影响更大，处理难度也较高。我国经济尚处于发展之中，特别是在制药、印染、化工等领域，其产品的附加值不高，属于低端产品的较多，因而单位产值的产污量很大，更需要寻求经济有效的方法来解决工业废水的污染问题，以满足更加严格的污水排放标准的要求，这也是编写本书的主要动力来源。

虽然书中介绍了几种最新的工艺废水处理技术，但本书不是一本介绍工业废水处理新工艺的书籍，而是作者在近几年工程实践中的一些经验总结，更注重实用性和可靠性，力求提供一些解决实际问题的方法。本书可供大专院校环境工程和市政工程专业学生、设计单位工程技术人员、工厂企业管理人员进行工程实习、方案设计、运行管理时参考。

在本书的编写过程中得到了上海美境环保工程有限公司严青、彭武厚的帮助，他们提供了实例 10、实例 13 以及高效复合菌的有关资料；得到了江苏林格纯水设备有限公司周岳荣、王洪书的帮助，他们提供了实例 12。还有我的同事卢峰同志帮助书稿的整理、插图的完善等工作，还有其他很多朋友的帮助，在此一并深表谢意。

由于作者的水平所限，书中不妥之处请读者批评指正，以便再版时加以更正和充实，期待着您的来函。E-mail: wanggh@vip.163.com。

王国华

2004 年 8 月

目 录

第 1 章 工业废水的来源和特性	1
1.1 工业废水的来源	1
1.2 工业废水的水质特征	2
1.2.1 主要的水质指标	2
1.2.2 可生化性问题	5
1.2.3 重金属离子问题.....	13
1.2.4 有毒有害物质.....	14
1.2.5 pH 值	14
1.3 工业废水调查.....	15
1.3.1 调查的前期准备.....	16
1.3.2 工业废水的水质监测.....	17
1.3.3 工业废水的水量测定.....	24
1.4 污泥的沉降性能.....	26
1.4.1 运行条件的影响.....	27
1.4.2 环境因素的影响.....	27
1.4.3 水质因素的影响.....	28
参考文献	29
第 2 章 工业废水处理的实用技术	30
2.1 概述.....	30
2.2 工业废水的预处理.....	30
2.2.1 均化调节.....	31
2.2.2 pH 值中和	32
2.2.3 油脂的去除.....	35
2.2.4 有毒有害物的控制.....	35
2.2.5 逸出气体的控制.....	36
2.3 沉淀与混凝沉淀.....	37
2.3.1 沉淀.....	37
2.3.2 混凝沉淀.....	43
2.4 气浮与混凝气浮.....	45
2.4.1 气浮.....	45
2.4.2 混凝气浮.....	48
2.5 氧化还原.....	49
2.5.1 化学氧化.....	49
2.5.2 催化氧化.....	50

2.5.3	光化学氧化	51
2.5.4	湿式氧化	52
2.5.5	微电解法	53
2.5.6	电解	53
2.5.7	化学还原	53
2.6	膜过滤	55
2.6.1	电渗析	55
2.6.2	反渗透	56
2.6.3	微滤	56
2.6.4	超滤	57
2.6.5	纳滤	57
2.7	生物处理法	57
2.7.1	活性污泥法	57
2.7.2	生物膜法	72
2.7.3	厌氧生物处理法	78
2.7.4	稳定塘	89
2.7.5	土地处理	93
2.8	其他处理方法	97
2.8.1	磁分离法	97
2.8.2	隔滤法	98
2.8.3	重力分离和离心分离	99
2.8.4	萃取	103
2.8.5	汽提和吹脱	104
2.8.6	焚烧法	105
2.8.7	吸附	107
2.8.8	离子交换	109
	参考文献	111
第3章	工业废水处理的设计方法	112
3.1	设计时资料的收集	112
3.1.1	设计原始资料	112
3.1.2	自然条件资料	112
3.1.3	其他资料	113
3.2	设计前的试验验证	114
3.2.1	试验的必要性	114
3.2.2	试验内容、材料与规模	114
3.2.3	试验方法与试验周期	114
3.2.4	数据分析	114
3.3	设计工艺方案选择	115
3.3.1	工业废水分类	115
3.3.2	工业废水处理应遵循的基本原则	116

3.3.3	工业废水处理工艺选择	119
3.4	水力高程设计	120
3.4.1	水力学基本原理	120
3.4.2	水力断面图设计	124
3.4.3	水力计算控制节点	125
3.5	污水处理厂(站)总体布置	125
3.5.1	污水处理厂(站)总体布置概述	125
3.5.2	处理流程与平面布置	126
3.5.3	平面布置要点	129
3.5.4	管渠设施	134
3.5.5	生产管线	134
3.5.6	生产辅助管线	135
3.5.7	管道综合和管廊	136
3.5.8	建筑设计要点	137
3.5.9	道路	138
	参考文献	139
第4章	工业废水处理的运行调试	140
4.1	调试前的准备工作	140
4.2	单体调试	141
4.3	联动调试与维修	142
4.4	活性污泥培养	144
4.5	运行的异常情况及其对策	144
4.6	活性污泥管理的指示生物	147
4.7	试运行阶段	147
4.7.1	水质分析项目及频率	148
4.7.2	调整PLC运行模式	148
4.7.3	污泥脱水系统协调	148
4.7.4	化验分析室工作	148
4.7.5	运行数据统计	149
4.8	构筑物的运行管理	149
4.9	常用机械设备维护	150
4.9.1	铸铁镶铜闸门的维护	150
4.9.2	阀门电动装置	150
4.9.3	潜水泵的维护	150
4.9.4	旋转式格栅除污机	150
4.9.5	三叶型罗茨鼓风机	150
4.9.6	多相流泵(用于气浮)	151
4.9.7	可调堰门	152
4.9.8	计量泵的维护	152
4.9.9	螺杆泵的运行维护	152

4.9.10	离心脱水机的运行维护	153
4.10	常用电气仪表维护	155
4.11	安全	156
4.12	调试运行实例	156
	实例1 五粮液集团公司PBT工程塑胶污水处理工程开车调试和运行情况	156
	实例2 重庆川染化工总厂废水处理改造工程运行调试	157
	实例3 福州洋里污水处理厂运行调试	158
第5章	工业废水处理工程实例	164
5.1	新昌制药厂废水处理工程	164
5.2	仙琚制药股份废水处理工程	172
5.3	金山的含氰废水处理工程	181
5.4	大庆的含氰废水处理工程	191
5.5	上海拖拉机内燃机公司废水处理工程	194
5.6	金山含油废水处理工程	199
5.7	上海桃浦化工区废水处理工程	202
5.8	上海染化八厂废水处理工程	212
5.9	重庆川染化工总厂废水处理改造工程	216
5.10	浦东新区机场镇养鸡场废水处理工程	219
5.11	三得利食品公司废水处理工程	220
5.12	一汽大众油漆车间涂装生产线废水处理工程	223
5.13	上海龙马神汽车座椅有限公司废水处理工程	227
5.14	MBR法处理涂料废水	229
5.15	MBR法处理垃圾渗滤液工程	231
5.16	平炉焦炭(HOK)法处理印染废水	234
5.17	五粮液集团公司PBT工程塑胶污水处理工程	235
5.18	AF+生物接触氧化法处理涤纶废水	238
5.19	UASB+SBR法处理淀粉废水	244
5.20	西南合成制药股份有限公司一分厂污水处理场技改工程	246

第 1 章 工业废水的来源和特性

1.1 工业废水的来源

在人类生活和生产活动中，从自然界取用了水资源，经生活和生产活动后，又向自然界排出受污染的水。这些改变了原来的组成，甚至丧失了使用价值而废弃外排的水称为废水。废水包括生活污水和工业废水。工业废水是指工业生产过程中排出的废水，包括工艺过程用水、机器设备冷却水、烟气洗涤水、设备和场地洗涤水等。工业废水中除间接冷却水外又称为工业污水，是工业废水处理的主要对象，本书中均以工业废水来命名。

工业废水是区别于生活污水而言的，含义很广。由于工业类型繁多，而每种工业又由多段工艺组成，故产生的废水性质完全不同，成分也非常复杂。根据废水对环境污染所造成的危害的不同，大致可划分为固体污染物、有机污染物、油类污染物、有毒污染物、生物污染物、酸碱污染物、需氧污染物、营养性污染物、感官污染物和热污染等。虽然部分污染指标和城市污水相同，但其浓度或数值常常与城市污水相差非常大。比如说某些工业废水中 COD 浓度高达几千甚至上万，而城市污水一般多为几百左右，另外工业废水的可生化性一般来说要比城市污水差得多；重金属和其他有毒有害物质的浓度也常常比城市污水高很多。这些都加大了工业废水的处理难度。

工业废水中的某种污染物，可以由以下一方面原因或多方面原因引起：①该污染物是生产过程中的一种原料；②该污染物是生产原料中的杂质；③该污染物是生产的产品；④该污染物是生产过程的副产品；⑤该污染物是废水排放前预处理或处理过程中因输送、投加药剂等原因或其他偶然因素造成的。根据工业废水所含的主要有害物质，划分其来源，见表 1-1。

表 1-1 工业废水中主要有害物质及其来源

序号	有害物质	废水主要来源
1	酸	化工、矿山、钢铁、有色金属冶炼、机械、电镀工业等
2	碱	化纤、制碱、造纸、印染、皮革、电镀工业及石油炼厂等
3	汞及其化合物	氯碱、炸药、汞制剂农药、化工、仪表、电镀、汞精炼工业等
4	镉及其化合物	金属矿山、冶炼、电镀、化工、金属处理、电池、特种玻璃工业等
5	六价铬及其化合物	矿山、冶炼、电镀、化工、金属处理、电池、特种玻璃工业等
6	砷及其化合物	矿石处理、制药、冶炼、化工、玻璃、涂料、农药、化肥工业等
7	酚	焦化、煤气、炼油、合成树脂、化工、染料、制药工业等
8	氰化物	焦化、煤气、电镀、金属清洗、有机玻璃、丙烯腈合成、炼油工业及黄金工业等
9	铅及其化合物	冶炼、化工、农药、汽油防爆、含铅油漆、搪瓷工业等
10	油	炼油、机械、食品加工、油田、天然气加工工业等
11	硫化物	化工、皮革、煤气、焦化、染色、黏胶纤维、炼油、油田、天然气加工工业等
12	游离氯	造纸、织物漂白、化工工业等
13	有机磷、有机氯	农药、化工工业等
14	多氯联苯	电力、塑料、润滑油工业等
15	放射性物质	原子能工业、放射同位素实验室、医院、武器生产等

1.2 工业废水的水质特征

1.2.1 主要的水质指标

为了表征废水水质，规定了许多水质指标。常用的有：悬浮固体、生化需氧量 BOD、化学需氧量 COD、总需氧量 TOD、总有机碳 TOC、氮、磷、pH 值和碱度等。一种水质指标可能包括几种污染物的综合指标，而一种污染物也可以造成几种水质指标的代表。如悬浮物可能包括有机污染物、无机污染物、藻类等；一种有机污染物就可以造成 COD、BOD、pH 值等几种水质指标的代表。

1.2.1.1 悬浮固体 (suspended solid)

废水内的污染物可分成可溶成分和悬浮固体，目前二者之间尚无明确界线。水样经过滤后，凡不能通过滤器的固体颗粒物称为悬浮性固体。悬浮性固体是测定多泥沙的河水和某些工业废水的重要指标。悬浮物多，会堵塞管道，淤积河床。测定悬浮性固体通常用玻璃砂芯滤器、滤纸、滤膜等作为滤器。现在国际上常采用 $0.45\mu\text{m}$ 作为滤器的孔径标准。

悬浮固体中，颗粒粒径在 $0.1\sim 1.0\mu\text{m}$ 之间者称为细分散悬浮固体；颗粒粒径大于 $1.0\mu\text{m}$ 者称为粗分散悬浮固体。

悬浮固体由有机物和无机物组成。故又可分为挥发性悬浮固体（英文缩写为 VSS）和非挥发性悬浮固体（英文缩写为 NVSS）两种。前者又称为灼烧减重，后者又称为灰分。把悬浮固体在马弗炉中灼烧（温度为 600°C ），所失去的重量称为挥发性悬浮固体；残留的重量称为非挥发性悬浮固体。图 1-1 所示为生活污水及某些工业废水悬浮固体含量。

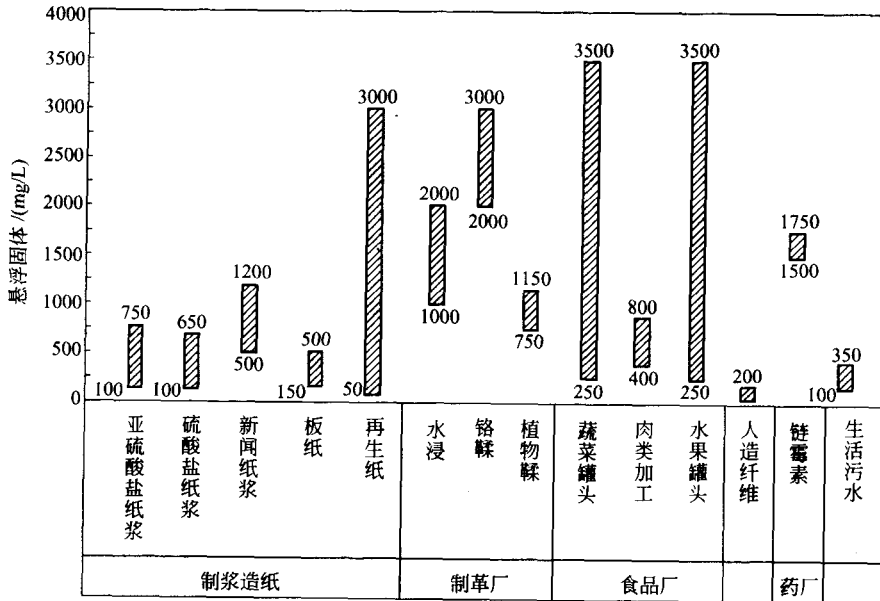


图 1-1 生活污水与部分工业废水悬浮固体含量

1.2.1.2 生化需氧量 BOD (biochemical oxygen demand)

地面水水体中微生物分解有机化合物的过程中消耗水中的溶解氧的量，又称生物需氧量，全称是生物化学需氧量，通常记为 BOD。微生物在分解有机物过程中，分解作用的速度和程度同温度和时间有直接关系。为了使测定的 BOD 数值有可比性，采用在 20°C 条件

下，培养五天后测定溶解氧消耗量作为标准方法，称为五日生化需氧量，以 BOD_5 表示。 BOD 反映水中可被微生物分解的有机物总量，以每升水中消耗溶解氧的毫克数来表示。 BOD 小于 1mg/L ，表示水体清洁；大于 $3\sim 4\text{mg/L}$ ，表示已受到有机物的污染。延长存放时间，可以测得微生物降解水中有机物所需的全部氧量，称总生化需氧量，以 BOD_u 表示。一般按生化耗氧规律以 BOD_5 推算。

生化需氧量的检测不易准确。水样的储放、稀释、接种等检测程序都应按照标准方法进行。对于有毒的工业废水常采用专门的设备处理，有时甚至无法测定。

城市污水的 BOD_5 一般在 200mg/L 左右。未受废水污染的水体， BOD_5 常低于 2mg/L 。高浓度有机工业废水的 BOD_5 可达数千、上万毫克/升。图 1-2 列出了生活污水和部分工业废水的 BOD_5 值，供参考。

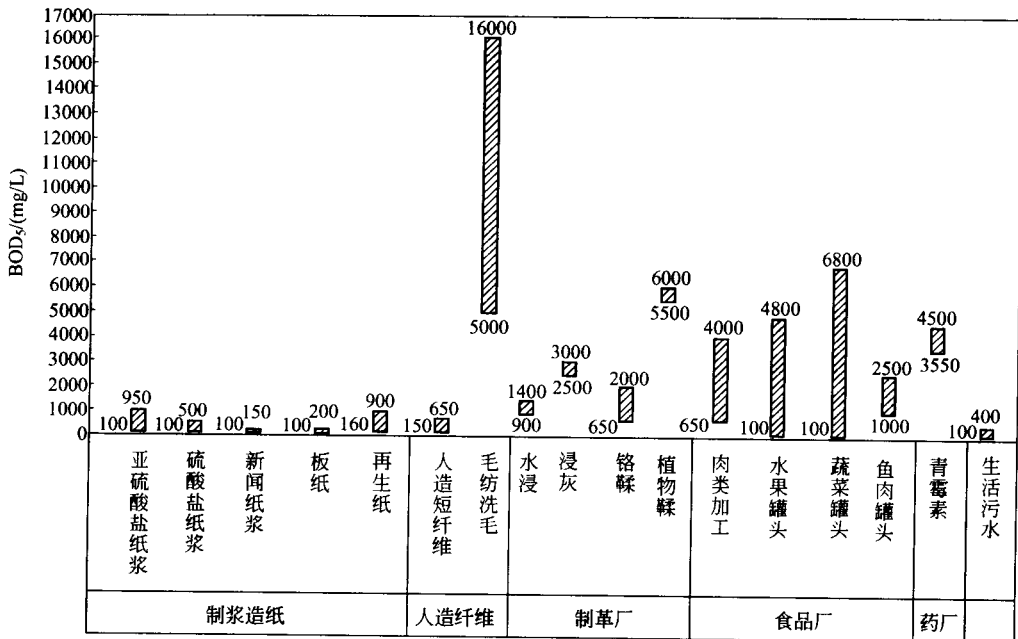


图 1-2 生活污水和部分工业废水 BOD_5 值

需要特别注意的是，城市污水的 BOD_5 在整个 BOD_u 中所占的比重约为 68%，典型的降解曲线如图 1-3 所示。而工业废水中其比例可能小于 50%，比较个别的例子是垃圾渗滤液的 $BOD_5 \approx 20\%$ 的 BOD_u ，这也说明工业废水的降解速率较低，通常需要较长停留时间的原因。

1.2.1.3 化学需氧量 COD (chemical oxygen demand)

水体中能被氧化的物质在规定条件下进行化学氧化过程中所消耗氧化剂的量，以每升水样消耗氧的毫克数表示，通常记为 COD。水中各种有机物进行化学氧化反应的难易程度是不同的，因此化学需氧量只表示在规定条件下水中可被氧化物质的需氧量的总和。化学需氧量主要反映水体受有机物污染的程度。

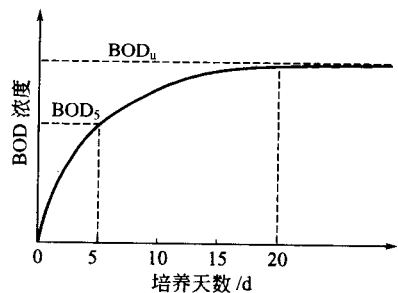


图 1-3 典型 BOD 降解曲线

当前测定化学需氧量常用的方法有以下两种。①高锰酸钾法。用 0.01mol/L 高锰酸钾酸性溶液为氧化剂，加入水样，煮沸 10min ，或者将水样放在沸水浴中煮 30min ，然后将高

锰酸钾消耗量折算成每升水样耗氧的毫克数，采用符号 COD_{Mn} 。此法多用于测定较清洁的水样。测定结果在 $1mg/L$ 以下表示水体很清洁；大于 $3\sim 4mg/L$ 者表示水体已受到明显污染。②重铬酸钾法。以 $0.250mol/L$ 重铬酸钾强酸溶液为氧化剂，以硫酸银为催化剂，加入水样，使之回流 $2h$ ，然后将重铬酸钾的消耗量折算为每升水样耗氧的毫克数，采用符号 COD_{Cr} 。此法的氧化程度比高锰酸钾法高，用于污染严重的水和工业废水的水样。同一水样用上述两种方法测定的结果是不同的，因此在报告化学需氧量的测定结果时要注明测定方法。

因为一般有机物无机化的最终产物是二氧化碳、氨和水，在理论上有机物的化学需氧量是可以按分子式计算的。但是，在实际测定中，并不是全部有机物都被氧化，受氧化的有机物的量决定于有机物的结构、所用氧化剂的性质和测定的操作条件。

COD 的优点是较精确地反映出废水中有机物的含量，且测定时间短，受水质限制小等，但污水中存在的还原性无机物如亚硫酸钠、硫化钠、水合肼、硫酸亚铁等，都能消耗重铬酸钾而显示出 COD 值，造成一定的误差。此外，它不能像微生物氧化有机物那样，从卫生学的角度反映水体被污染的程度。

假如废水中各成分比例相对稳定，COD 与 BOD 之间将有较固定的比例关系。一般来说， $COD > BOD_{20} > BOD_5 > COD_{Mn}$ 。 BOD_5/COD 可作为废水是否采用生化法处理的一个重要衡量指标。比值越大，越容易被生化处理，效果也越好。 BOD_5/COD 比值大于 0.3 就可采用生化处理。生活污水的这项比值常在 0.5 以上，说明生活污水很容易被生化降解，所以有些工业废水进行生化处理时常配入一定比例的生活污水，以提高 BOD_5/COD 比值，使之更适宜于生化处理。

但是，由于工业废水成分的复杂性， BOD_5/COD 比值常常会出现假阳性和假阴性的现象。

假阳性表现为 BOD_5/COD 值很大，但在实际处理过程中往往效果不好，甚至彻底失败。发生假阳性的原因一般有以下两类。一是 COD 测试中的问题，一般 COD 表示废水中有机物总量的多少，但个别有机化合物在 COD 测定条件下不易被重铬酸钾所氧化，例如环己烷等，它们的 COD 值接近于 0 ，这样它们的 BOD_5/COD 值误差就比较大，在这种情况下， BOD_5/COD 就很难表示其生物可降解性；还有就是存在对微生物具有抑制作用的物质。因为在测定 BOD 时，根据测定的需要必须将水样的 COD 浓度稀释至 $1000mg/L$ 或更低，抑制物质对生物降解的不利作用就可能被掩盖。而废水处理时进水的 COD 却很高，对微生物的毒害作用显露出来，造成了假阳性。

假阴性表现为 BOD_5/COD 很小，但实际上很易生化处理。发生假阴性的原因也大致有两种。一是在测定 BOD_5/COD 时，菌种没有经过驯化，使得所测得的比值较小。但在实际工程中，由于经过一段时间的驯化，处理效果还是比较好的。还有就是将好氧条件下的生物可降解性指标 BOD_5/COD 扩大到厌氧条件下，也容易发生偏差。比如有些化合物像分子量较大的聚醚在好氧条件下不被微生物所降解，但在厌氧条件下却仍可生物降解。所以在厌氧条件下，用 BOD_5/COD 来表示有机化合物的生物可降解性就必须特别慎重。

因此，在进行工业废水处理的设计时必须对废水水质有充分的认识，必要时通过小试或中试试验来确定处理的工艺或方法，以实现有效控制污染物的同时尽量节省处理成本。

1.2.1.4 富营养性

废水中含有的氮、磷是植物和微生物的主要营养物质，当排入水体中的这些营养物质达到一定量时常常会出现富营养化现象。富营养化是指在人类活动的影响下，生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体，引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖，水体溶解氧量下降，水质恶化，鱼类及其他生物大量死亡的现象。在自然条件下，湖泊也会从贫营养状态过渡到富营养状态，沉积物不断增多，先变为沼泽，再变为陆地。不过这种自然过程非常缓慢，常需几千年甚至上万年。而人为排放含营养物质的工业废水和生活污水所引起的水体富营养化现象，可以在短时期内出现。

关于水体富营养化问题的成因有不同的见解。多数研究者认为，氮、磷等营养物质浓度升高，是藻类大量繁殖的原因，其中又以磷为关键因素。影响藻类生长的物理、化学和生物因素（如阳光、营养盐类、季节变化、水温、水的pH值，以及生物本身的相互关系）是极为复杂的。因此，很难预测藻类生长的趋势，也难以定出表示富营养化的指标。目前一般采用的指标是：水体中氮含量超过0.2~0.3mg/L，磷含量大于0.01~0.02mg/L，生化需氧量大于10mg/L，pH值7~9的淡水中细菌总数每毫升超过10万个，表征藻类数量的叶绿素-a含量大于10 μ g/L。

对于城市污水来说，由于其含有的营养物质远远大于污泥微生物生长所需，经常还需要采用脱氮除磷工艺来控制出水中氮、磷的含量。但对于工业废水来说，某些工厂废水成分较单纯，如制糖废水、造纸废水、甲醛废水中只含有碳，如不注意，活性污泥微生物会生长不良，或因C/N比过高而引起丝状菌膨胀。另一些工厂如氮肥厂等排放的废水含氮量极高，会影响到污泥菌体胞外多聚物的形成，使污泥结构松散甚至解絮化。上述废水营养比例失调最终会影响到生化处理单元的效果，为此，须对活性污泥所需外加营养及其合理比例进行研究。

T. A. Broderick等在调查了部分工业废水后，发现不少工业废水营养成分单一，在采用生物法处理时，需投加某些必需的、但在工业废水中缺乏的营养成分（见表1-2）。

表 1-2 部分工业废水所需外加营养

废水类型	需外加的营养	废水类型	需外加的营养
面包	N	水果和蔬菜	N,P
制瓶	N,P	造纸和纸浆	N,P
柠檬酸	N	梨	N,P
化学厂	P	酚	N,P
咖啡	N	菠萝	N,P
焦炉	P	破布、绳索	N,P
玉米	N	甜菜制糖	N
棉布精炼	N	大豆	N
牛奶加工	N,P	纺织	N
粮食加工	N,P	醋	N,P
甲醛	N,P	酿酒	N,P

1.2.2 可生化性问题

从理论上讲，几乎所有的有机污染物都能被微生物所降解，但从废水处理角度来看，微生物对有机物的降解能力受有机物对微生物的毒害或抑制作用的影响。对于各类工业废水，除了食品废水外，其他各类废水或多或少对微生物都有毒害或抑制作用。因此，评价工业废

水的可生化性是工业废水生化处理的首要问题。

1.2.2.1 可生化性的评价方法

评价可生化方法有多种，下面介绍几种常用的方法。

(1) 水质标准法 以废水中有机物的某些综合水质指标，评价其可生化性。长期以来，人们习惯用 BOD_5 和 COD 作为有机污染的综合指标，两者都反映废水中有机物在氧化分解时所耗用的氧量。 BOD_5 是指有机物在微生物作用下氧化分解所需要的氧量，它代表了废水中可生物降解的那部分有机物； COD 是有机物在化学氧化剂作用下氧化分解所需的氧量，它代表了废水可被氧化剂分解的有机物，当采用重铬酸钾为氧化剂时，可近似认为 COD 测定值代表了废水的全部有机物。

采用 BOD_5/COD 评价废水的可生化性是非常简单可行的。一般认为 BOD_5/COD 大于 0.45 时，该废水易生化处理，介于 0.45 和 0.30 之间时可生化处理，小于 0.25 时不宜生化处理。

(2) 微生物耗氧速度法 根据微生物与有机物接触后耗氧速度的变化特征，评价有机物降解和微生物被抑制或毒害的规律。表示耗氧速度随时间变化的曲线称为耗氧曲线。测定耗氧速度的仪器有瓦勃氏呼吸仪及溶解氧测定仪。处于内源呼吸期的活性污泥的耗氧曲线为内源呼吸耗氧曲线，投加有机物后的耗氧曲线称为底物耗氧曲线。一般用底物耗氧速度与内源呼吸速度的比值来评价有机物的可生化性。

应该指出的是，用耗氧速度法评价有机物的可生化性时，必须对生物污泥（微生物）的来源、浓度、驯化、有机物浓度、反应温度等条件作严格规定。

(3) 脱氢酶活性法 活性污泥或生物膜中微生物所产生的各种酶，能够催化废水中的各种有机物进行氧化还原反应。其中脱氢酶类能够使氧化有机物的氢原子活化并传递给特定的受氢体，单位时间内脱氢酶活化氢的能力表现为它的活性。可以通过测定微生物的脱氢酶的活性来评价废水中有机物的可生化性。

如果脱氢酶活化的氢原子被人为受氢体接受，就可在试验条件下利用人为受氢体直接测定脱氢酶活性。人为受氢体通常选用受氢后能够变色的物质，例如甲烯蓝受氢后变成无色的还原性甲烯蓝，无色的氯化三苯基四氮唑（TTC）受氢后变成红色的三苯基甲（TF），然后用比色法进行定量分析。

(4) 有机化合物分子结构评价法 有机物的生物降解性与其分子结构有关。目前研究还不够充分，初步归纳有以下的规律，可用来判断有机物的可生化性。

① 含有羧基（ $R-COOH$ ）、酯类（ $R-COO-R$ ）或羟基（ $R-OH$ ）的非毒性脂肪族化合物属易生物降解有机物，而含有二羧基（ $HOOC-R-COOH$ ）的化合物需要比单羧基化合物更长的驯化时间。

② 含有羰基（ $R-CO-R$ ）或双键（ $-C=C-$ ）的化合物属于中等程度可生物降解的化合物，且需很长的驯化时间。

③ 含有氨基（ $R-NH_2$ ）或羟基（ $R-OH$ ）化合物的生物降解性取决于与基团连接的碳原子饱和程度，并遵循如下的顺序：

伯碳原子 > 仲碳原子 > 叔碳原子

④ 卤代（ $R-X$ ）化合物的生物降解性随卤素取代程度的提高而降低。

1.2.2.2 常见有机化合物的可生化性

对于常见有机物的可生化性，国内外很多科学工作者做了大量的工作。虽然目前有关各

类有机物生物降解特性的研究还不是很完整，不同作者所发表的研究结果也有一些矛盾的地方，但这些资料总的来说已经使人们初步认识了有机物生物降解特性的规律，主要有以下几点。

① 对于烃类化合物，一般是链烃比环烃易分解，直链烃比支链烃易分解，不饱和烃比饱和烃易分解。

② 当有机化合物主要分子链上的碳被其他元素取代时，对生物氧化的阻抗就会加强，也就是说，在主链上的其他原子常比碳原子的生物利用度低，其中氧的影响最显著（醚很难被生物降解），其次是硫和氮。

③ 对于每个碳原子上至少保持一个碳氢键的有机化合物，其支链对生物阻抗的影响较小，相反，当碳原子上的氢都被烷基或芳基所取代时，就会形成生物阻抗物质。

④ 官能团的性质、多少以及有机物的同分异构作用，对其可生化性影响很大。例如，在苯环上的氢被羟基或氨基取代，形成苯酚及苯胺之后，其生物降解性能将比原来的苯提高。然而卤代作用则将使生物降解特性降低。又如，伯醇、仲醇非常容易被生物降解，而叔醇却能抵抗生物降解。利用亚丙基生成的烷基苯磺酸盐带有一个叔碳原子，它对生物降解作用是抵抗的，而烷基-芳基磺酸盐不带叔碳原子，因而它能完全被生物所降解，这都是由于叔碳原子的键十分稳定，它不仅能抵抗化学反应，对生物反应也具有很强的抵抗能力。

⑤ 分子量大小是影响有机化合物生物降解特性的重要因素，对于聚合和复合而成的高分子化合物，由于微生物及其酶不能扩散到化合物内部，袭击其中最敏感的反应键，因此就降低了它的生物降解特性。

⑥ 有机化合物在水中的溶解度，也直接影响其可生化性，例如油在水中的溶解度很低，很难与细菌接触并为其利用，因此生物降解性能差。

⑦ 当有机化合物与其他成分混合后，其生物降解性能会发生变化，凡是在接触时有可能发生聚合作用的化合物，例如很多不饱和的有机物，可能会使生物降解性能降低，两种或两种以上化合物碰到一起能形成复合物的，也能产生相似的影响。

这些规律对于进一步进行可生化性的研究是十分有用的。利用它们，我们对于各种性质的工业废水的可生化性都可以有一个初步的估计，这就可以减少试验的盲目性及工作量。当然，因为上述规律还不十分完善，工业废水的性质又非常复杂，目前针对不同废水进行试验也还是有必要的。

目前，国内外科技界在工业废水可生化性研究的基础上，开始了提高可生化性的研究。一般，提高工业废水可生化性的途径有以下几种。

① 改革生产工艺，尽量少用或不用那些原料、半成品、成品是不易被生物降解的物质的生产工艺。

② 采用适当的预处理手段，使有碍于生物降解的某些高分子化合物及有毒物质减少浓度或从水中除去，或使不利于生物降解的官能团、化学键发生变化。

③ 分离并驯化能分解某些高分子化合物及有毒物质的特种微生物。

④ 发挥生化处理与物化处理的协同作用，提高生化处理的适应性及处理能力。

⑤ 定向选育、定向构建生物降解能力极强的高效工程菌。

表 1-3 列出了常用有机化合物可生物降解性的评定，摘自《石油化工环境保护手册》（烃加工出版社，1990 年出版），供设计时参考。

表 1-3 主要有机化合物可生物降解性的评定

序号	名 称	COD/ (mg/mg)	BOD ₅ / (mg/mg)	BOD _全 / (mg/mg)	BOD ₅ /BOD _全	BOD _全 / COD	BOD ₅ / COD	可生物降解性
一、烃类								
1	汽油	3.54		0.11		0.03		不能降解
2	苯	3.07	0.50	1.15	0.43	0.37	0.16	经长期驯化可降解
3	正丁苯	3.22	0.49				0.15	经长期驯化可降解
4	异戊二烯	3.24	0.43	0.55	0.77	0.17	0.13	不易降解
5	二甲苯	3.17	0.98	0.98	1.00	0.31	0.31	经驯化降解
6	松香油	2.10	0.60	1.20	0.50	0.57	0.29	可降解
7	α -甲基苯乙烯	3.11	1.40	1.58	0.84	0.51	0.45	可降解
8	丙苯	1.60		1.20		0.75		可降解
9	丙烯							不可降解
10	甲苯	1.87	0.19	1.10	0.17	0.59	0.10	经驯化可降解
11	苯乙烯	3.07	1.12	1.60	0.70	0.52	0.36	可降解
12	异戊间二烯	3.29	0.43	0.55	0.78	0.17	0.13	不易降解
13	四聚丙烯	3.43		0.47		0.14		不易降解
14	乙烯基甲苯	3.10		0.13		0.04		不易降解
二、醇 类								
15	丙烯醇	2.20		1.50		0.68		可降解
16	戊醇	2.73	1.23				0.45	可降解
17	苯甲醇	2.51	1.50				0.60	可降解
18	丁醇	2.60	1.26	1.43	0.88	0.55	0.48	可降解
19	丙三醇(甘油)	1.23	0.77	0.86	0.90	0.70	0.63	可降解
20	一缩二乙二醇	1.27	0.06	0.18	0.33	0.14	0.05	不可降解
21	二甲苯基甲醇	2.70	0.80	1.80	0.44	0.67	0.29	可降解
22	异戊醇	2.73	1.50				0.55	可降解
23	异丁醇	2.60	1.66	1.40	1.19	0.54	0.64	可降解
24	甘露醇	1.03	0.68				0.66	可降解
25	三甲基-1,3-丁二醇	2.15		1.35		0.63		可降解
26	甲醇	1.50	0.77	0.98	0.79	0.65	0.52	可降解
27	甲基苯基甲醇	2.62	1.00				0.38	可降解
28	辛醇	2.95		1.20		0.41		经驯化可降解
29	丙醇	2.40	1.50				0.63	可降解
30	三缩四乙二醇	1.65	0.50				0.30	可降解
31	三缩三乙二醇	1.40	0.50				0.31	可降解
32	环己醇	2.34	1.00				0.68	可降解
33	乙醇	2.08	1.25	1.82	0.69	0.88	0.60	可降解
34	乙二醇	1.50	0.54	1.23	0.43	0.84	0.36	可降解
35	季戊四醇	1.37		0.21		0.15		不能降解
36	异丙醇	2.30	2.10	1.68	0.95	0.70	0.07	经长期驯化可降解
37	丙二醇	1.59	1.16	1.52	0.76	0.90	0.68	可降解
三、醛 类								
38	甲醛	1.07	0.68	0.72	0.94	0.67	0.63	可降解
39	乙醛	1.82	0.91	1.07	0.85	0.59	0.50	可降解
40	正丁醛	2.44	1.16	1.23	0.94	0.50	0.47	可降解
41	丙烯醛	1.98	0.43	0.52	0.38	0.26	0.22	不易降解
42	巴豆醛	2.29	0.80	2.12		0.93	0.35	可降解
43	戊醛	2.60		1.28		0.49		可降解
44	丙醛	2.20		1.19		0.54		可降解
45	糠醛	1.67		1.40		0.84		可降解

续表

序号	名称	COD/ (mg/mg)	BOD ₅ / (mg/mg)	BOD _全 / (mg/mg)	BOD ₅ /BOD _全	BOD _全 / COD	BOD ₅ / COD	可生物降解性
46	苯甲醛	2.42	1.62	1.78	0.91	0.74	0.67	可降解
47	异丁醛	2.44	1.16	1.23	0.94	0.50	0.48	可降解
四、酮类								
48	丙酮	2.17	1.12	1.68	0.67	0.77	0.52	可降解
49	苯乙酮	3.03	1.30				0.43	可降解
50	戊酮-3	2.60	1.00				0.38	可降解
51	庚酮-2	2.80	0.50				0.18	经长期驯化可降解
52	甲基异丁基酮	3.00	0.12				0.04	不能降解
53	甲基乙基酮	2.44	1.70				0.70	可降解
54	环己酮	2.61	1.00				4.38	不能降解
55	丁酮	3.54		0.11		0.03		不能降解
56	1,1-二甲基吡咯烷酮	1.95		1.80		0.92		可降解
57	萘醌	2.12	0.01				0.38	可降解
五、有机酸及其盐类								
58	甲酸	0.35	0.19	0.28	0.68	0.80	0.54	可降解
59	乙酸	1.07	0.77	0.86	0.90	0.80	0.72	可降解
60	乙酸钙	0.64	0.28	0.48	0.58	0.75	0.44	可降解
61	丙酸	1.51	0.84				0.56	可降解
62	丙烯酸	1.33	0.83	1.50	0.75	0.83	0.62	可降解
63	邻氨基苯甲酸	1.64	1.32				0.80	可降解
64	苯甲酸	2.00	0.96	1.61	0.60	0.81	0.48	可降解
65	苯甲酸钠	1.60	1.13				0.71	可降解
66	缬草酸	2.04	1.05				0.52	可降解
67	戊酸钠	1.61	0.48				0.30	可降解
68	酒石酸	0.52	0.30				0.58	可降解
69	庚酸钠	2.10	0.33				0.16	不能降解
70	羟基乙酸	0.63	0.18				0.28	可降解
71	葡萄糖酸-c-内酯	0.99	0.52				0.53	可降解
72	2,2-二氯丙酸钠	0.48	0.10	0.10	1.00	0.21	0.21	不能降解
73	2-甲基戊酸钠	1.69	0.57				0.35	可降解
74	松香皂	2.20	0.60	1.20	0.5	0.55	0.27	可降解
75	辛酸钠	2.07	0.76				0.37	可降解
76	棕榈酸	2.87	1.10	2.03	0.54	0.71	0.38	可降解
77	硬脂酸	2.94	1.66	1.79	0.93	0.61	0.57	可降解
78	邻苯二甲酸	1.14	0.85	1.00	0.85	0.88	0.75	可降解
79	对苯二甲酸	1.44		1.15		0.80		可降解
80	戊酸	2.00		1.38		0.69		可降解
81	己二酸钠	1.28		1.02		0.80		可降解
82	邻磺氨基苯甲酸	1.10		0.12		0.11		不能降解
83	羟基乙酸	0.63		0.45		0.71		可降解
84	甲酸钠	0.22		0.18		0.82		可降解
85	藻朊酸钠	0.84		0.58		0.69		可降解
86	草酸	0.18		0.16		0.89		可降解
87	己酸钠	2.03	0.69				0.34	可降解
88	顺-丁烯二酸	0.83	0.57				0.69	可降解
89	顺-丁烯二酸酐	0.98	0.60				0.61	可降解
90	丁酸	1.82	0.89	1.40	0.64	0.77	0.49	可降解
91	丁酸钠	1.38	0.41				0.30	可降解