

污水处理基本原理

[英] R.L.博尔顿 L.克莱因 著

酆永刚 译

中国建筑工程出版社

86644

608

C.2

污水处理基本原理

[英]R.L.博尔顿 L.克莱因 著

邴永刚 译

3/244/09



中国建筑工业出版社

本书主要介绍污水处理基本原理，内容包括：污水性质、水质分析、污水处理和排放、污泥处理和处置、水污染控制趋向等共13章。

可供给水排水设计、污水处理、环境保护等专业人员和大专院校师生参考。

SEWAGE TREATMENT BASIC PRINCIPLES AND TRENDS

R.L. BOLTON, A.M.C.T., L.R.I.C., M.
Inst. W.P.C., M.I.P.H.E., F.R.S.H. Manager,
Rochdale Corporation Purification Department
L. KLEIN, M.Sc., Ph.D.(Lond.), F.R.I.C.,
M. Inst. W.P.C.

污 水 处 理 基 本 原 理

郇 永 刚 译

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

湖北省新华印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6 3/4 字数：148千字

1975年3月第一版 1975年3月第一次印刷

印数：1—20,180册 定价：0.54元

统一书号：15040·3260

译 者 的 话

本书是英国 R. L. 博尔顿和 L. 克莱因二人所著，1961年第一次出版，共11章。1971年再版时，著者又作了修改，并增加了两章。书中主要介绍污水处理的基本原理，阐述如何把污水处理成为符合排放标准的水，以及用何种方法向河流或其他内陆水系排放等。内容偏重于污水处理原理的叙述。作者还在污水初步沉淀、好气生物处理、改善最终出水的方法、污泥处理和处置、小型污水处理设备及水污染控制等方面，介绍了一些较新的技术。这些内容可以作为我国污水处理的参考。

书中有一些资本主义的管理体制、经营方式、技术经济政策、收费计算方法等方面的内容，翻译时全部作了删除。

原书有个别错误，翻译时也作了改正，并用译注说明。

由于译者水平所限，书中难免有错误之处，请广大读者批评指正。

译 者

1974.6.27.

目 录

第 一 章	绪言.....	1
第 二 章	污水性质和化学分析.....	6
第 三 章	沟渠系统、雨水溢流设施及暴雨 污水处理.....	35
第 四 章	初步处理.....	45
第 五 章	初步沉淀.....	57
第 六 章	好气生物处理.....	76
第 七 章	改善最终出水的方法.....	106
第 八 章	污泥处理和处置.....	116
第 九 章	流量测量.....	140
第 十 章	工业废水的效应.....	147
第十一章	小型污水处理设备.....	172
第十二章	水污染控制方面的趋向.....	178
第十三章	化学计算.....	202

第一章 绪 言

污水处置的常用办法是把它排放到潮汐河流或内陆河道中去。本书主要阐述如何把污水处理成适合于排入内陆河流中去的方法。

河道中的洁净自然水充氧正常并含有大量的各种生物如原生动物、细菌、水生植物和水生动物。它们相互依存，从而构成一个复杂的体系，以保持水流的洁净状态。水体主要通过表面曝气从大气中获取溶解氧，而且此过程被水流流速和流经岩石、石块及堰时引起的扰动所促进。在15°C时，与空气保持平衡的纯水含有 10.1 毫克/升的溶解氧，但此饱和标准随水的温度而改变，水温升高其值下降，水温降低其值增加。在任何已知温度下，水体含盐量的增加也会降低溶解氧的饱和标准。表 1 示出的是不同温度时洁净水溶解氧的饱和标准，其中数据以英国水污染研究实验室[●]的最近研究成果为依据。

利用溶解氧的生物会破坏进入河流的有机物质，同时植物通过光合作用，用已形成的盐类和二氧化碳构成自身的结构。可见，由于各种生物和溶解氧的存在，河流具有相当的自净能力，但这种能力是有限的。如果河流中溶解氧含量严重地减少，一些生物将会死亡或被驱散，结果使厌气生物开

● 该实验室早期的实验结果是用碱性碘化钾的文克莱 (Winkler) 分析法；由于碘蒸气的挥发使取得的数值偏低百分之三到四。以后的实验由于使用了特殊碱性碘化钠试剂，避免了此种挥发，消除了偏差的数值。

始产生，代替了有机物的正常氧化而使有机物分裂成讨厌的产物，最终使河水呈腐败状态，以及因硫化氢等而散发出恶臭气味等等。

因此，如果含有悬浮状态、胶体状态和纯溶液状态的有机物的污水，不经处理就排入水系，悬浮固体将在缓流和堰后沉淀而形成污泥堆积，污泥中的有机部分将夺去河流中的溶解氧并最后导致腐败。特别是在暖和天气，因产生气体而使一部分污泥浮升到水面。此外污泥中无机部分会帮助摧毁河流中的动植物生命。处于胶状扩散和纯溶液状态的有机物质，也会起到减少溶解氧的作用。

在压力为 760 毫米汞柱，空气由水蒸气饱和
和保持平衡的纯水中氧的溶解度

表 1

温 度 (°C)	溶 解 氧 (毫克/升)	温 度 (°C)	溶 解 氧 (毫克/升)	温 度 (°C)	溶 解 氧 (毫克/升)
0	14.6	12	10.8	24	8.4
1	14.2	13	10.5	25	8.3
2	13.8	14	10.3	26	8.1
3	13.5	15	10.1	27	8.0
4	13.1	16	9.9	28	7.8
5	12.8	17	9.7	29	7.7
6	12.4	18	9.5	30	7.6
7	12.1	19	9.3	31	7.4
8	11.8	20	9.1	32	7.3
9	11.6	21	8.9	33	7.2
10	11.3	22	8.7	34	7.1
11	11.0	23	8.6	35	7.0

当污水排入河道时，河流中溶解氧含量将在短时间内大幅度下降，但是如果该河流处于洁净状态，由于有机物化为无害的最终产物及水体再曝气，溶解氧将开始增加，虽然其增

加速度较慢（见图 1）。然而，如果污水量占河水流量的很大比例，且污水特性较强，它的需氧量将大于河流中存在的溶解氧及再曝气所能提供的氧气，结果使河流降到污染状态并可能终致腐败。

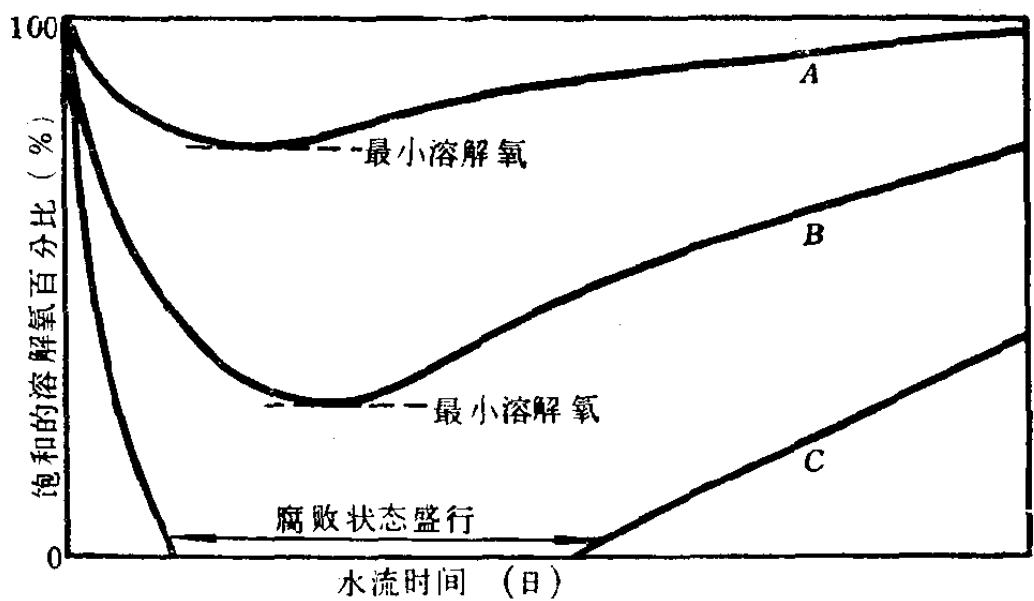


图 1 受(A)轻度(B)重度(C)严重污染后，污染河流的溶解氧衰减和恢复的凹形曲线

“英国皇家污水处理委员会”认识到污水稀释问题至为重要，根据排放入河中的污水可能受到的稀释程度，推荐了污水出水用的以下标准：

- | | |
|-------------|---|
| 稀释度大于 500 | 原污水经过格栅或需要时经过沉砂池处理后，可以排放。 |
| 稀释度为300~500 | 悬浮固体不超过150毫克/升。 |
| 稀释度为150~300 | 悬浮固体不超过60毫克/升。 |
| 稀释度为8~150 | 5 日生化需氧量（18.3℃） ^① 不超过 20 毫克/升，且悬浮固体不超过 30 毫克/升（排入内陆河流的污水 |

① 现为20℃。

出水的正规皇家委员会标准)。

这个委员会还推荐了这样的条件，即接收排放出水的河流，生化需氧量应当不超过 4 毫克/升，而且在18.3°C时(假设的夏季最高温度)它的溶解氧不低于 4 毫克/升。如果上述这些限度不被违反，河流将不会成灾或显出明显的污染象征。该委员会还建议河流水系按其 5 日生化需氧量 (B.O.D) 可作如下分类：

分类	五日生化需氧量 (毫克/升)
很洁净	1
洁净	2
尚洁净	3
可疑	5
坏的	10

污水出水和河水混合体的生化需氧量可用公式 $(x+yz)/(z+1)$ 计算。

式中 x ——污水出水的生化需氧量 (毫克/升)；
 y ——排放口上游河水的生化需氧量 (毫克/升)；
 z ——稀释因数 (河水对污水出水的比例)。

由上可知，如果把生化需氧量为 20 毫克/升的污水出水排入按洁净水 (生化需氧量为 2 毫克/升) 和污水比例为 8:1 的河流中去时，排放口以下河流将具有不超过 4 毫克/升的 5 日生化需氧量。

英国已广为采用 20 毫克/升生化需氧量和 30 毫克/升悬浮固体的污水出水标准。然而，如果当 (1) 受纳河流稀释度小于 8:1、(2) 河水不洁净或 (3) 对排放口下游水流清洁度要求特高 (如用作饮水水源) 时，就要求污水出水具有较之皇家委员会推荐的更为严格的标准。同时必须指出，上述标准

为最大值。每一污水处理厂管理人员，应该确保该厂的污水出水在任何时候均处于此标准范围之内。

污水处理厂的流程，基本上可以分为下述过程：

- (1) 粗颗粒固体物的去除和(或)分解。
- (2) 杂粒的去除。
- (3) 暴雨污水的分离和处理。
- (4) 悬浮固体的去除。
- (5) 好气生物处理。
- (6) 从生物氧化污水中去除悬浮物。
- (7) 出水的最终改善。
- (8) 污泥的处理和处置。

各污水厂实施处理的各阶段方法不一，顺序也可不同，而且有些阶段可被完全省去。

第二章 污水性质和化学分析

污 水 的 性 质

生活污水由洗涤盆、浴室、洗衣机（肥皂水和脏水）、厨房（食物、脏水）和盥洗室（大、小便及废纸）排放的水构成。它是各种形式的无机物和有机物的复杂混合物，包括（1）漂浮和悬浮的大小固体颗粒，（2）胶状和凝胶状扩散物和（3）纯溶液^①。污水也含有微生物尤其是细菌、病毒和原生动物，因此它是一个极好的细菌繁殖的媒介物，有些细菌可能就是病原菌（产生疾病的），一般污水每毫升可含有几百万个细菌。污水中也包括了漏入污水道的地下水和来自街道、屋顶等地的地表水。英国的许多城镇尚把各种工业废水如来自纺织厂、化工厂、煤气厂、制革厂、屠宰场、纸浆和造纸厂等的废水排入污水中。

污水所含水分很高（99.9%或更高），全部固体物质仅占0.1%或更少些。固体部分包含纸屑（纤维素）、火柴、

① 作为粗略指标、颗粒体积近似为：

悬浮体（即很快沉淀的较粗颗粒） $> 500nm$

胶状溶液（不沉淀的极细小颗粒） $1 \sim 500nm$

纯溶液（不沉淀的离子和分子） $< 1nm$

（现在国际上常采用缩写‘ nm ’或 *nanometre*（ $=10^{-9}$ 米）代替原来的‘ $m\mu$ ’。）

此三种基团之间无明显界线：例如在胶状溶液和悬浮体之间存在一个介于两者之间具有居间性质的‘凝胶状’区域（颗粒体积在 $500nm$ 上下）。

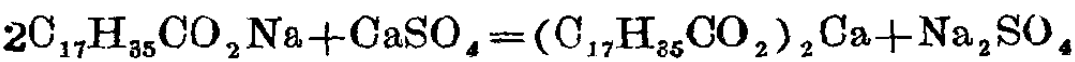
食料、肥皂、脂肪体、油料、油脂、粪便和非溶性矿物质（由雨水从街上冲来的砂、粘土、砾石等等）。出现在污水中的有机物有糖类、木纤维（存在于木材中的碳、氢、氧、复杂化合物）、脂肪、肥皂（脂肪酸的金属盐）、合成洗涤剂 and 蛋白质及它的分解产物。污水中一般都有氨和氨盐，它们由复杂的含氮有机物分解产生。污水的讨厌特性主要就是因为有含氮、含硫和含磷的有机物存在，厌气细菌极易使它们腐败，随着形成带有恶臭气味的化合物，这些化合物包括恶臭的硫化氢，有机硫化物和硫醇类，也包括某些有机胺基（特别是氮杂茛即吲哚和 3-甲基氮杂茛即粪臭素）它们散发出一种特有的令人不快的粪臭味。污水中硫化化合物不仅包括蛋白质和它的分解物，也包括了合成洗涤剂（主要为有机磺酸盐）和无机硫酸盐。

表 2 是生活污水中的一些有机物的典型例子。

污水中的尿含有 1% 左右的氯化钠（NaCl）和 2.5% 左右的尿素及各种复杂有机物。污水中许多其它物质（酚类、硫化物、甲醛、氰化物、金属污染物和游离氯等）均来自工业废水。污水中溶解的无机盐类（如氯化物、硫酸盐、磷酸盐[●]和钠、钾、铝、钙、镁和铁的碳酸氢盐）来自自来水、尿和现有的任何工业废水。生活污水也含有微量的金属，如锌、铜、铬、锰、镍和铅。

当生活用水是硬水（即钙、镁含量高），不溶解的钙、镁肥皂在洗涤时会发生沉淀，当污水在沉淀池中沉淀时它们最终与其它有机物一起沉淀为污泥。例如，硬脂酸钠（一种钠肥皂）与溶解性硫酸钙按下列方程式相互作用：

● 污水中部分磷酸盐来自商业合成洗涤剂配料制造中。



硬脂酸钠

(溶解性的)

硬脂酸钙

(非溶解性的)

生活污水中的典型有机物

表 2

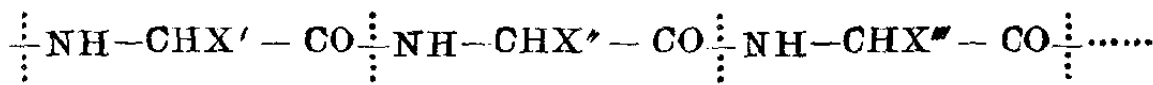
糖 类

纤维素和淀粉	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$
蔗糖和乳糖	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$
葡萄糖	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
戊 糖	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$

脂 肪

一般分子式	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OR}' \\ \\ \text{CH}_2\text{OR}'' \\ \\ \text{CH}_2\text{OR}''' \end{array}$	(此处R'、R''、R'''为相同或不同的脂肪酸残留体)
-------	---	------------------------------

蛋 白 质

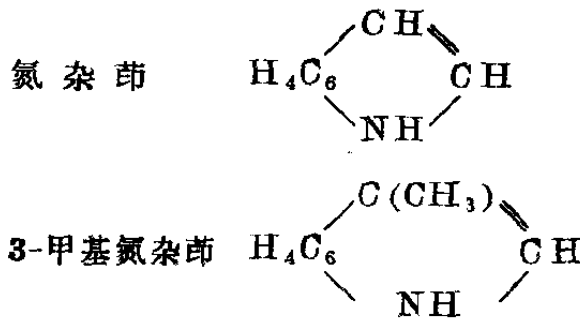


蛋白质分子结构式

无限重复，通常多于 1000 次，伴之以失水和氨基酸的缩合X'.X''.X'''等=有机基团(硫和磷也能存在于分子中)。

蛋白质分解产物

尿 素	$\text{NH}_2\cdot\text{CO}\cdot\text{NH}_2$
甘氨酸(最简单的氨基酸)	$\text{CH}_2(\text{NH}_2)\cdot\text{COOH}$
半胱氨酸(一种含硫的氨基酸物)	$\text{CH}_2(\text{SH})\cdot\text{CH}(\text{NH}_2)\cdot\text{COOH}$



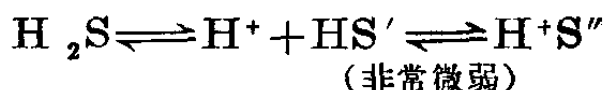
脂 肪 酸 (R—烷基基团)

合成洗涤剂

一种典型的阴离子合成洗涤剂是R-苯磺酸钠 $\text{R}\cdot\text{C}_6\text{H}_4\cdot\text{SO}_3\text{Na}$ (R—长碳氢链)

到达污水处理厂的污水可能是新鲜的，即含有若干溶解氧，特别是在雨后，有时也含有少量亚硝酸盐和硝酸盐。陈腐污水一般不含溶解氧。在腐败的污水中，厌气细菌的生长会引起腐败作用，其特征是使污水变黑并产生具有恶臭味的硫化氢（ H_2S ）。

硫化氢和硫化物由有机含硫化合物的厌气发酵和硫酸盐类的细菌还原作用产生。在很腐败的污水中，据报导 H_2S 多到 60 毫克/升。它的总量将取决于污水的强度、龄期、温度、氧化还原电势和硫酸盐含量，也取决于解脔的（蛋白质分裂的）和存在的硫酸盐还原细菌含量。 H_2S 在水溶液中微弱地按下列方程式电离



硫化氢若以气体状态存在时，将因其非常讨厌的臭鸡蛋味而被察觉。以分子形式存在的 H_2S （即引起臭味的）的百分数取决于 pH 值，以表 3 示之。当以分子形式存在时（未电离状态）， H_2S 分子逸散到空气中，在那里引起公害并使铅颜料和金属变黑。

污水中 pH 值与硫化物以未电离分子 H_2S 形式存在时的比例关系

表 3

pH	以 S 的分子形式 (H_2S) 存在的大概百分数	pH	以 S 的分子形式 (H_2S) 存在的大概百分数
5.0	98	7.5	14
6.0	83	8.0	5
6.5	61	8.4	2
7.0	37	9.6	0.1

可见污水碱性越强（即 pH 值较高）分子状态的 H_2S 越少，自然地在空气中讨厌的东西也就越少。另一方面，在酸性状态下（pH 低于 7.0）硫的较大部分将以 H_2S 形式存在而不以 S^{2-} 或 HS^- 离子存在。 H_2S 在空气中（即在污水管水面以上）很易被细菌氧化成为硫酸（ H_2SO_4 ），它能毁坏混凝土管道并腐蚀金属制品，又因它的毒性将危及在污水道、人孔和泵的集水井中的工作人员。当硫化物的浓度为 2.0 毫克/升时，对混凝土管道的腐蚀尤为严重。当 pH 为 7.5 或更高一些时，由硫酸盐还原细菌引起的 H_2S 的产生就停止了。已有使用聚乙烯基氯化物塑料板和粘土块衬里以保护污水管道内壁免受硫化氢的破坏。

污水中硫酸盐类也能引起对混凝土的直接化学侵蚀，特别是当它高达 1000 毫克/升或更多时（表现为 SO_3 ）。在此情况下，可用特殊的更贵的含高 Al_2O_3 成分的抗硫酸波特兰水泥。污水氯化（直到 50 毫克/升）似乎是预防腐蚀的最简易方法。在南非，已证明在污水中加入石灰（70 毫克/升 CaO ）使其呈碱性的办法证明对防止污水管道腐蚀特别有效。

好气和厌气过程

许多最重要的污水处理过程，其特性都是生物学的，即利用细菌和其他微生物的活性。这些过程可分为两类，好气和厌气。

好气过程

好气过程取决于为进行新陈代谢要求得到游离态氧（空气）的好气细菌的存在。因此，确保任何时候都有足够的空气供给，这一点至为重要。需氧过程的实例是生物滤池，活

性污泥法（见第六章）和陆地处理。有机物的好气氧化作用中发生的反应，可摘要如下：

$C \rightarrow CO_2 + \text{碳酸盐和碳酸氢盐} (+ \text{若干非溶解腐殖质})$ ●

$H \rightarrow H_2O$

$N \rightarrow NH_3 \rightarrow HNO_2 \rightarrow HNO_3$ （被存在的碱中和）

$S \rightarrow H_2SO_4$ （被存在的碱中和）

$P \rightarrow H_3PO_4$ （被存在的碱中和）

氨水变为亚硝酸盐和硝酸盐的转化，即正常生物滤池的重要过程，通常称之为“硝化”。在生化需氧量检定中，污水的氧化和稳定分两个阶段进行。首先，含碳物质被氧化，此阶段约需20天，然后硝化（即氨最终氧化为硝酸盐）可继续2~3个月。这两阶段能略有重叠而且一些硝化往往发生得较早，并且同时进行含碳物的氧化。

图2所示为气体交换计中沉淀污水中溶解氧上升的典型曲线。

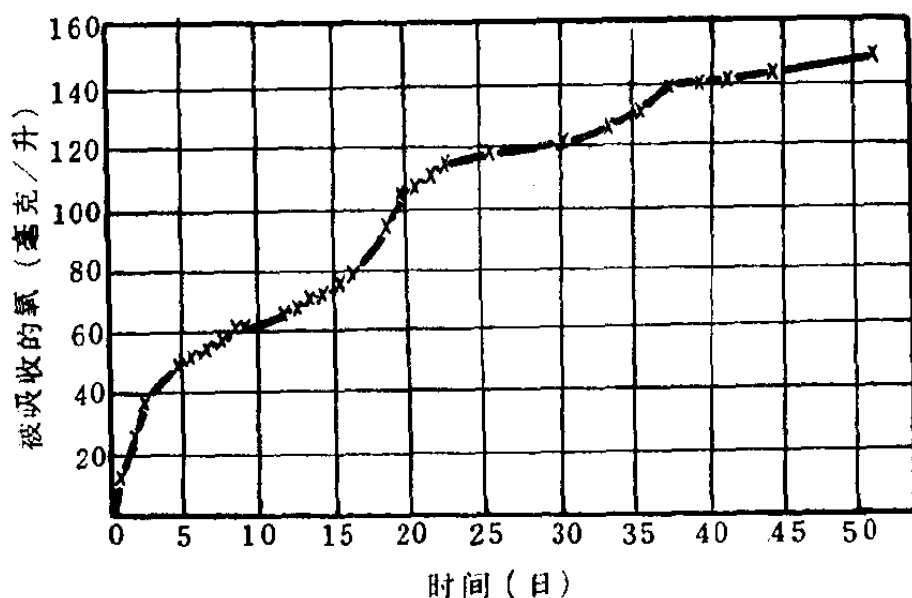


图2 气体交换计中20°C沉淀污水中溶解氧的上升曲线

- 腐殖质为一种深褐色几乎近黑色的复杂有机物，其中包含碳、氢、氧和对微生物分解非常不利的氮。

在含碳氧化的第一阶段中，还原速率在任何时候都与剩余的有机物总量成正比并且此反应是一种单分子反应。它可按下列方程式表示：

$$\log_{10} \frac{L}{L-x} = kt \quad (1) \bullet$$

式中 L ——第一阶段(含碳物)氧化中的需氧量(毫克/升)
(总含碳杂质的量度)；

x —— t 天数内的需氧量(毫克/升)(由生化需氧量试验确定)；

k ——还原常数(20°C时生活污水为0.1, 使用以10为底的常对数并以天数为时间单位。对于其它单位和别种废水 k 即为不同的数值)。它是含碳物氧化速率的量度。 k 值越大氧化越容易发生。

在任何其它温度时, k 值按下式变化：

$$k_T = k [1.047^{(T-20)}] \quad (2) \bullet$$

式中 k_T —— T °C时的常数。

第一阶段需氧量受温度的影响表示如下：

$$L_T = L_{20} [1 + 0.02(T - 20)] \quad (3)$$

使用上述三个方程式，就能计算水样在不同温度和时间
的生化需氧量。

在美国深水河流污染研究中广泛使用了上述公式，但它们在英国的浅小河流很难应用，因那里由于底部泥浆和有机悬浮物的需氧量，也由于许多情况中，大量各种密集污染排放，使问题复杂化。此外，硝化和光合作用的影响也增加了

● 该方程尚有其它一些表示形式： $\log_{10} \frac{L-x}{L} = -kt$ ，和 $x = L(1 - 10^{-kt})$ 。但上述形式用于计算最为简单。

● 也可用其它公式。