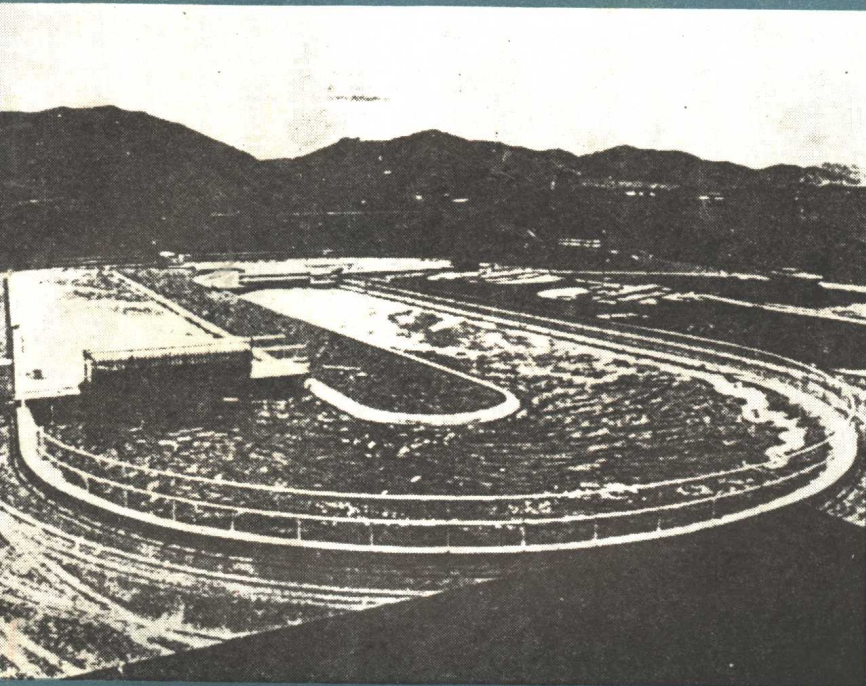


[美] 米克尔 G·曼特 著
布鲁斯 A·贝尔

袁懋梓 译 张中和 校

中国建筑工业出版社



污水处理的 氧化沟技术

污水处理的氧化沟技术

[美] 米克尔G·曼特 著
布鲁斯A·贝尔
袁懋梓 译
张中和 校

中国建筑工业出版社

本书介绍了氧化沟的发展历史,氧化沟的过程动力学,特别是对硝化及脱硝机理方面,论述较详;介绍了氧化沟的几种专利装置,在氧化沟设计方面,列有计算实例。此外,还介绍了氧化沟的运行维护以及经济指标等方面的内容。可供市政工程和环境工程方面的设计、科研、教学及管理有关人员参考。

**Oxidation Ditches
in Wastewater Treatment**

by
Mikkel G. Mandt

Bruce A. Bell

Ann Arbor Science Publishers

1982

污水处理的氧化沟技术

袁懋梓 译

张中和 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
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 4½ 字数: 119千字

1988年11月第一版 1988年11月第一次印刷

印数: 1—5,120册 定价: 2.65元

ISBN 7-112-00442-X/X·14

5556

译校者的话

本世纪五十年代以来，随着富营养化现象的不断出现，人们开始认识到，对于有些水环境，仅仅去除碳源BOD已经不够了，还需要进一步除氮、除磷。

在此期间，氧化沟问世。经过三十多年的发展和改进，在各种活性污泥法中，它已处于领先的地位，被评价为处理效果可靠，基建费用不高而运行费用又较低的方法。特别是它的封闭环式池型，尤其适用于生物除氮、除磷。

我国在八十年代前后所应用的氧化沟，才开始具有生产性规模。近两年来，无论是城市污水还是工业废水处理，氧化沟的应用都有增加。在可以预见的将来，这一趋势必然还会发展。

目前国外有关氧化沟的专著还不多，本书内容全面、精练。作者之一曼特，是美国俄亥俄州州立大学的卫生工程学硕士，多年来在发展氧化沟技术，特别是射流曝气氧化沟方面，作过很多贡献，曾取得污水处理方面的专利四十多项；另一作者贝尔，是纽约大学的环境工程学博士。可以认为，本书作为氧化沟的专著，有一定参考价值。

本书原文单位全用英制，译校时已尽可能改为法定单位制；原文尚存在若干舛误，也已作了订正。但限于水平，不足甚至错误之处，尚希读者指正为感。

译校者

1987年11月

前 言

人们对利用氧化沟处理污水并不陌生。近年来，氧化沟的应用却引起了人们新的、极大的兴趣。许多厂商提供了自己独特的氧化沟系统，在氧化沟的应用方面做了大量工作。但有时由于受专利权的限制，人们难以方便地获得氧化沟设计和操作的有关资料，因此需要有一部汇集这方面资料的书籍，本书正是为满足这一需要而问世的。

本书试图既从理论上、又从实践上向读者提供氧化沟的有关资料。为了使设计人员能够一举获得一切所需的资料，我们把设计中的动力学理论基础与实验数据和方程式融为一体，通过大量的例子来指导读者利用这些资料。本书所列的数据、动力学常数以及劳动力需要量之类的资料，为读者提供了一个有关氧化沟的综合资料来源。

米克尔 G·曼特
布鲁斯 A·贝尔

目 录

第一章 历史、说明和发展.....	1
1.1 基本情况.....	1
1.2 典型特性.....	5
第二章 过程动力学.....	7
2.1 过程微生物学.....	7
2.1.1 微生物的分类.....	7
2.2 新陈代谢和能量.....	8
2.2.1 能量反应.....	9
2.3 细菌动力学.....	15
2.3.1 环境条件.....	17
2.4 动力学在氧化沟中的应用.....	25
2.5 动力学数据.....	30
第三章 过程变型.....	32
3.1 生物法去除营养的过程变型.....	34
第四章 硝化和脱硝.....	36
4.1 氮和氨的存在.....	36
4.1.1 氨对消毒的作用.....	36
4.1.2 对水生物的毒性.....	36
4.1.3 氮需氧量.....	37
4.1.4 富营养化作用.....	37
4.1.5 对公共卫生的影响.....	38
4.2 硝化中的生物化学反应.....	38
4.3 硝化动力学.....	39
4.3.1 环境因素对动力学的影响.....	41
4.3.2 环境因素对硝化动力学的综合影响.....	44
4.4 硝化动力学在氧化沟设计中的应用.....	44
4.4.1 安全系数.....	46

4.5	脱硝作用	48
4.5.1	脱硝的生物化学	50
4.5.2	环境条件	51
4.5.3	脱硝动力学	52
4.6	脱硝动力学在氧化沟设计中的应用	54
第五章	需氧量和传氧	57
5.1	传质理论	57
5.1.1	传质	57
5.1.2	平衡关系式	58
5.2	传氧模式	59
5.3	用于模拟和分析不稳定状态试验数据的标准方法	61
5.4	需氧量的确定	63
第六章	混合与水力学	69
6.1	混合的考虑	69
6.2	水力学的考虑	71
第七章	专利工艺	75
7.1	卡罗塞系统	76
7.1.1	卡罗塞系统的处理性能	79
7.1.2	设计的考虑和程序	82
7.2	射流曝气氧化沟	87
7.3	奥尔伯系统	93
7.3.1	奥尔伯曝气池池型	93
7.3.2	曝气圆盘	93
7.3.3	系统模式	94
7.3.4	硝化和脱硝	94
7.3.5	奥尔伯系统的设计参数	95
7.4	帕斯维尔氧化沟处理厂	96
7.4.1	转子	97
7.5	障碍式氧化沟	103
7.6	综合式系统	104
第八章	操作和维修	106
8.1	操作要求	106

8.1.1	氧化沟的控制	106
8.1.2	氧	107
8.1.3	仪表的使用	108
8.2	操作和维修要求	108
8.3	氧化沟处理厂的性能与对比工艺	109
8.3.1	氧化沟的性能	109
8.3.2	氧化沟的对比工艺	111
第九章	氧化沟的设计	115
9.1	预处理和一级处理	115
9.2	反应池的设计	116
9.2.1	动力学设计	116
9.2.2	氧的供给	118
9.2.3	沉淀池的设计	119
9.2.4	污泥	120
9.2.5	设计举例	121
9.2.6	例9.1设计小结	128
第十章	经济考虑	129
10.1	费用的种类	129
10.1.1	因工艺而异的费用	129
10.1.2	因地区或气候而异的费用	129
10.1.3	因厂址而异的费用	130
10.2	费用数据	130
10.2.1	建造费用	131
10.2.2	操作和维修费用	133
10.2.3	总费用	133
10.3	小结	135

第一章 历史、说明和发展

1.1 基本情况

连续环式反应池(Continuous Loop Reactor,简称CLR),通常称为氧化沟。它是由荷兰卫生工程研究所(TNO)在五十年代研制成功的。第一家氧化沟处理厂于1954年在荷兰的沃绍本(Voorshopen)投入使用,它是由该所的帕斯维尔(A.Pasveer)博士设计的,服务人口为三百六十人。这是一种间歇流的处理厂,其中氧化沟同时用作二次沉淀池。由于帕斯维尔博士的贡献,这项技术又被称为帕斯维尔沟。

氧化沟最初应用于荷兰,而今,它已成为欧洲、大洋洲、南非和北美洲的一种重要污水处理技术。截止到1976年,仅北美洲就有五百多座处理厂。近年来,采用氧化沟处理厂的速度有了惊人的进展。

氧化沟是活性污泥法的一种改型,它把连续环式反应池用作生物反应池。混合液在该反应池中以一条闭合式曝气渠道进行连续循环。氧化沟通常在延时曝气条件下使用,因为这时水和固体的停留时间长,有机物质的负荷低。它使用一种带方向控制的曝气和搅动装置,向反应池中的物质传递水平速度,从而使被搅动的液体在闭合式曝气渠道中循环。

最初由荷兰卫生工程研究所研制的帕斯维尔沟,目的是为小型居民区提供一种廉价、可靠的污水处理系统。原始的形式只是一种污水排放区域,两边呈坡形,坡上植有草皮,以保证其稳固性。在其中流动的液体深度通常为1 m(图1.1)。充氧、推进和搅动是由一个卧式表面转子(凯斯纳刷 Kesner Brush)来保

证的。凯斯纳刷过去是在矩形池中使用，产生表面曝气，其方式与旋流曝气相似。帕斯维尔沟通常在间歇曝气的情况下使用。白天把原污水引到沟中，在沟中曝气和搅动；晚上关闭表面转子，使固体沉淀，然后把上清液从氧化沟中抽走。最初建立的处理厂获得了惊人的成功，生化需氧量（BOD）的去除率达97%。后来，帕斯维尔博士在观察了曝气不充分的系统之后，又对氨和硝酸盐的去除进行了试验。

为了适应流量和有机负荷的增加，出现了连续流帕斯维尔沟。到六十年代，氧化沟已遍及欧洲各地。1964年，安大略省的加拿大水资源委员会对氧化沟进行了调查，并作出了下述结论：“根据现已获得的资料，可以得出这样的结论：氧化沟污水处理系统的造价低廉，操作简便，其出水的质量符合要求，且水质稳定”。

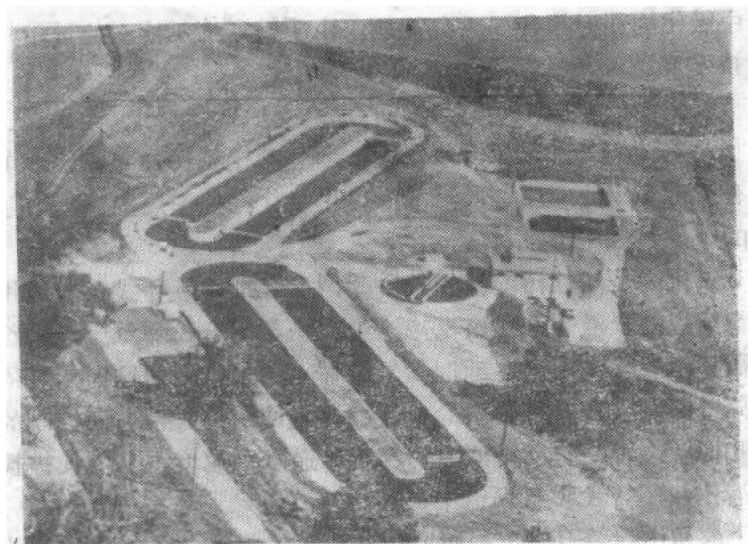


图 1.1 帕斯维尔氧化沟

1967年，勒孔特（Le Compt）和曼特（Mandt）首次把淹没式曝气推系统用于氧化沟。他们用一套以回流混合液为动力的射流器和压缩空气配合使用，沿水流途径喷射，从而提供必要的充

氧和推进作用，见图1.2。这种技术后来被称为射流曝气沟（Jet Aeration Channel, JAC）。

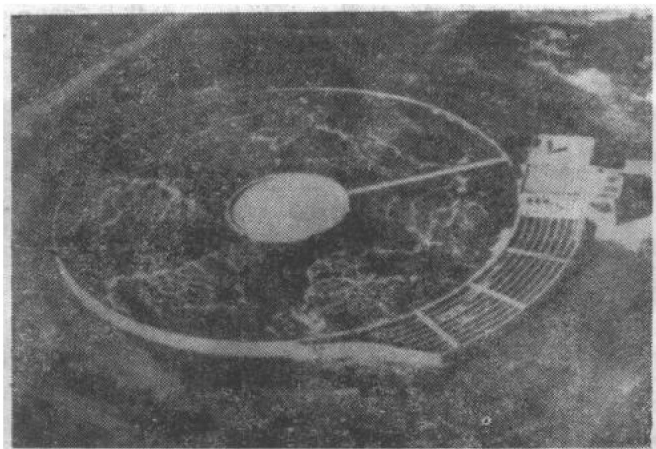


图 1.2 射流曝气沟

1968年，杜瓦尔斯-希德里克-维尔海有限公司（Dwars, Heederik, and Verhay, Ltd）的荷兰工程师们，在一个折流式连续环反应池上使用了低速表面涡轮，这种涡轮安装在中心挡板的末端，利用从低速表面曝气机中所排出的辐射流为氧化沟提供推进力，这项技术后来被称为卡罗塞（Carrousel）法（图1.3）。

从帕斯维尔、勒孔特、曼特、以及杜瓦尔斯-希德里克-维尔海有限公司的早期研制工作以来，氧化沟在工艺和机械方面已经进行了无数次改进。氧化沟的适应性和应用范围已由最初的排污沟显著地扩大了。现在，氧化沟这项技术已牢固确立，作为一种污水处理技术而被人们所接受。1978年，美国环境保护署发表了一份题为《氧化沟处理厂与其它城市污水二级处理先进技术的比较》的报告。报告中的图1.4表明，城市氧化沟处理厂的数量在美国有了明显增长。这份报告得出结论：“氧化沟处理厂能够通过最低限度的操作，稳定地达到五日生化需氧量（ BOD_5 ）和总悬浮固体（TSS）去除率的要求。另外，成本数据……表明，在

379~37850 m³/d 的流量范围中,氧化沟处理厂与其它技术相比,在经济上具有竞争力。”这份报告接着指出:“所有的资料表明,当前的趋势是氧化沟处理厂的数量在增加,尤其是5700m³/d以下规模的处理厂”。

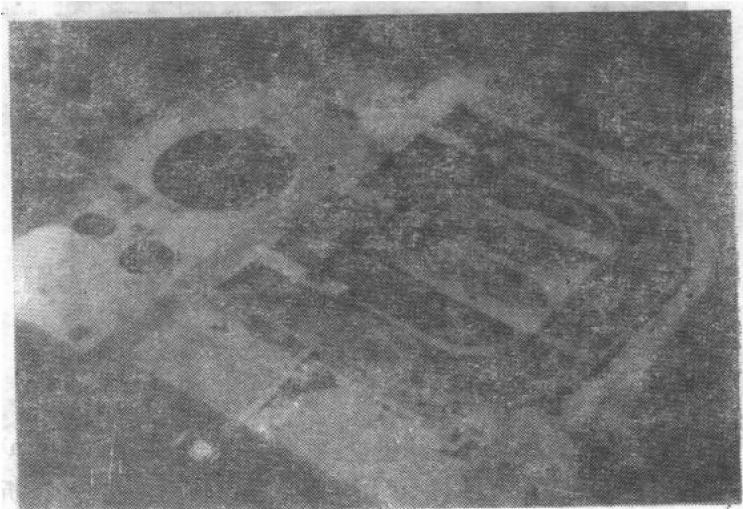


图 1.3 卡罗塞系统

氧化沟处理厂数量的增加与下面的全部或部分原因有关:

1. 工程费用相当于或低于其它污水处理技术。
2. 处理厂只需最低限度的机械设备。
3. 即使以最低限度的关注进行操作,处理厂也能保持合理的良好工作状态,这主要是因为它的设计具有较大余地。
4. 剩余污泥相对地不那么令人讨厌,而且易于在大多数处理厂中处理。
5. 即使在工作状况不良的情况下,处理厂一般也不产生臭味。

埃特里奇(W.F.Ettlich)指出:“通过与处理厂的操作人员、市政工程官员、顾问工程师和具有氧化沟处理厂直接经验的其他人员交谈,可以看出氧化沟在人们心目中的满意程度和可接

受程度都是很高的。有些氧化沟不尽理想，也有一些氧化沟处理厂由于操作方面的原因而弃置不用，但这只是极少数。

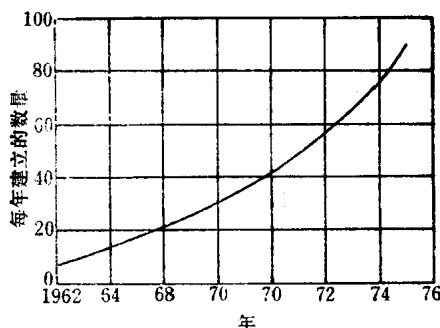


图 1.4 美国城市中氧化沟处理厂数量的增长

令人感到惊异的是，在氧化沟处理厂的应用速度日益增长的情况下，帮助人们基本上理解这项技术的公开技术资料却没有相应地增加，同时也缺乏设计和选择氧化沟所需的缜密而合理的程序。本书的目的就在于帮助填补这项空白。

1.2 典型特性

虽然对氧化沟进行了各种改进，但它们在城市污水处理方面的应用却大体相同。在常见的城市应用中，氧化沟前不需要初次沉淀，建议将进水经过格栅、栅渣经粉碎后去除。典型的曝气池尺寸按延时曝气运行决定，其水力停留时间（HRT）为10~30h，污泥停留时间（SRT）在15d以上。水力停留时间和污泥停留时间分别由方程式（1.1）和（1.2）确定：

$$\text{水力停留时间 (h)} = \frac{\text{生物反应池的容积 m}^3}{\text{每天的平均流量 m}^3/\text{d}} \times 24 \quad (1.1)$$

$$\text{污泥停留时间 (d)} = \frac{\text{曝气池的污泥重 (kg)}}{\text{每天排掉的污泥重 kg/d}} \quad (1.2)$$

使用带方向控制的曝气和搅动装置，如曝气喷射器或机械转

子曝气设备。专供氧化沟处理厂使用的转子曝气设备有水平转刷、笼式转刷、或圆盘式转刷。通常设有二次沉淀池，二次沉淀池的大小应留有余地，以防氧化沟有时产生轻而分散的生物絮体。表1.1归纳了典型的城市氧化沟处理厂的设计参数。

典型的城市氧化沟的设计参数

表 1.1

水力停留时间(h)	15~40
污泥停留时间(d)	>15
MLSS (混合液悬浮固体) (mg/L)	2000~6000
F/M (营养与微生物之比)	0.05~0.02
回流污泥比 (进水的百分比)	100
BOD去除率(%)	94~98 +
TSS去除率(%)	90~95 +

氧化沟的几何形状以椭圆形为最常见,但也有许多其它形状。在南非,常见的相互联系的多路渠道;在欧洲,常见折流的回旋渠道;在澳大利亚和美国,虽然流行圆形渠道,但仍以椭圆形为最常见。曾采用过的水深达7 m,但大多数沟深仍局限在1~2 m。许多沟道的横截面呈梯形,两侧的坡度为45°。深沟道的两侧呈直角,通常由钢筋混凝土制成。沟道的底部及两坡的建筑材料为喷浆水泥、沥青和薄膜。

第二章 过程动力学

包括氧化沟在内的任何生物处理系统，其基本目的都是去除有机固体、减少需氧量。这些有机固体可以是可沉固体、胶态固体、或溶解固体。我们靠沉淀这种物理方法来去除可沉固体。胶态和溶解有机固体是通过生物化学方法来去除的。氧化沟的第二个处理目的通常是把氨转换成硝酸盐，以减少总需氧量，以及（或）除氮，以控制水中的营养。这些内容将在第四章进行详尽的讨论。

环境工程师与医药工程师不同，他们是在未消毒的环境下进行工作的。因此，对生化过程的控制是通过生物反应池中的环境控制来完成的，从而达到促进所需有机物生长的目的。尽管在预报环境条件和生物系统对环境条件变化的反应方面，常常遇到困难，但生物反应池的环境控制还是得到了应用。

2.1 过程微生物学

为了理解氧化沟的生物动力学，有必要看一下生物系统中具有重要作用的有机物。在生物污水处理系统中，我们所感兴趣的微生物属于原生生物领域。原生生物是单细胞微生物或没有细胞组织分化的多细胞微生物。根据环境工程师的需要，原生生物可按照它们的碳源和能量来源、或按照它们利用分子氧的能力进行简便的分类。

2.1.1 微生物的分类

以有机化合物为碳源和能源的微生物叫异养微生物。异养微生物在生物污水处理系统中使有机物质向二氧化碳转化，并产生脱硝作用。自养微生物的碳源是无机碳，通常是重碳酸根离子或

二氧化碳。自养微生物可以进一步分为以光为能源的光合微生物。和能量来自无机化合物的氧化-还原反应的化学合成微生物。化学合成自养微生物以氨为能源，在氧化沟中进行硝化作用。

微生物也可以根据其利用分子氧的能力来分类。专性需氧微生物需要分子氧，而专性厌氧微生物则利用化合氧，如硫酸盐。分子氧对于专性厌氧微生物具有毒性作用，而兼性需氧微生物则既能利用游离氧，又能利用化合氧。

氧化沟中的大部分污水处理工作是由细菌来完成的。细菌是单细胞的原生生物，它们需要溶解性食物和水分，并通过二次分裂再生。它们的大小在 $0.5\sim 15\mu\text{m}$ 的范围内。在细菌的细胞中，有 $80\sim 90\%$ 的水，而固体成分的大约 90% 是有机物。有机成分近似 $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ ，无机成分则是由 P_2O_5 （ 50% ）、 SO_3 、 Na_2O 和 CaO 组成，另外还有微量的铁和铜等营养素。

通常被环境工程师解释为多细胞异养原生生物的真菌，也在生物污水处理中起着重要作用。真菌是专性需氧微生物，它们喜欢较低的pH值（最佳值大约为 5.6 ），而且对氧的需要量也较小。在氧化沟这样的悬浮微生物反应池中，真菌常给固体分离造成困难，因为它们形成沉淀性能很差的丝状菌。在处理低pH值或缺氮的污水时，真菌是个特例，因为在这些情况下它们比细菌更有利。

在生物处理系统中具有重要作用的还有单细胞原生动物和轮虫之类的多细胞微生物。这些微生物通过消耗胶体有机微粒和细菌细胞，起着一种对出水进行“精制”的作用，从而在生物处理系统中达到降低出水浊度的目的。

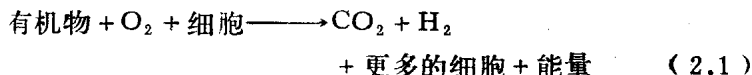
2.2 新陈代谢和能量

微生物需要大量的能量。资料表明， 1g 的大肠埃希氏菌大约需要 0.6W 的能量来维持细胞生命和进行再生。由此可见， 77kg 的大肠埃希氏菌每天大约需要 4002.58MJ 的热量，而一个

体重为77kg的人每天需要10.5~12.6MJ的热量。微生物所需的能量是从氧化-还原反应中获得的。

2.2.1 能量反应

异养微生物新陈代谢的整个反应过程可以表示如下：



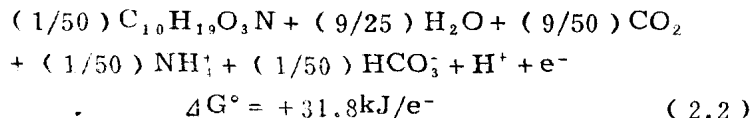
有机物质既用于产生能量，又用于细胞合成。氧化-还原反应就是将被还原物（电子给体）的电子转给起氧化作用的物质（电子受体），我们通常把电子给体看作食物。异养微生物的新陈代谢利用有机电子给体，自养微生物的新陈代谢利用无机电子给体。在需氧微生物系统中，氧是最终的电子受体。在缺氧微生物系统中，最终电子受体是亚硝酸盐或硝酸盐；而 CO_2 和 SO_4 则是厌氧微生物系统中的最终电子受体。最终电子受体决定着从“食物”中所得能量的多少。

麦卡蒂（McCarty）就生物过程中的能量产生和细胞合成提出了一种化学计算方法。表2.1列出了他所提出的氧化-还原反应。

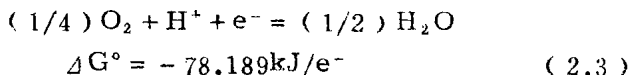
【例2.1】利用表2.1中的方程式可以求出在需氧、缺氧和厌氧情况下，从生活污水的新陈代谢中所获得的能量。

设生活污水的成分为 $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$ ，利用表示电子给体（食物）的方程式7和表示需要氧情况的方程式（3），我们可以写出下述半程反应：

给体：



受体：



把上述半程反应相加，即可得出：