

HUOXING WUNIFA
SHENGWUXUE YUANLI



活性污泥法

生物学原理

朱铁群 编著

HUOXING WUNIFA SHENGWUXUE YUANLI

HUOXING WUNIFA SHENGWUXUE YUANLI

HUOXING WUNIFA



西安地图出版社

SHENGWUXUE YUANLI

目 录

第 1 章 活性污泥法及其应用	1
1.1 城市排水历史回顾	1
1.1.1 排水系统是重要的城市基础设施	1
1.1.2 排水系统的发展	2
1.1.3 现代城市排水系统的功能	4
1.2 活性污泥法的起源	4
1.2.1 水传播疾病与控制	4
1.2.2 19 世纪的流行病	8
1.2.3 活性污泥法的发现	10
1.3 活性污泥法的发展	12
1.3.1 传统活性污泥法	12
1.3.2 阶段曝气法	13
1.3.3 生物吸附法	13
1.3.4 延时曝气法	14
1.3.5 完全混合法	15
1.3.6 多级处理法	15
1.3.7 特殊曝气方法的处理系统	16
1.4 活性污泥法的应用	17
1.4.1 处理城市污水	17
1.4.2 处理高浓度有机废水	20
1.4.3 处理有毒工业废水	21
参考文献	23
第 2 章 活性污泥的细菌群落	24
2.1 活性污泥的结构与性能	24
2.1.1 活性污泥的形态与组成	24
2.1.2 活性污泥的微结构	25
2.1.3 活性污泥的宏结构	26
2.1.4 活性污泥的性能	27
2.2 活性污泥细菌	29
2.2.1 细菌分类系统	29
2.2.2 活性污泥中的功能菌群	32
2.3 活性污泥细菌显微镜检测方法	41
2.3.1 活性污泥显微镜观察方法	41

2.3.2	活性污泥细菌染色方法	43
2.4	活性污泥细菌分子生物学检测方法	46
2.4.1	分子生物学检测原理	46
2.4.2	分子生物学检测技术	50
2.4.3	分子生物学检测技术在活性污泥中的应用	54
	参考文献	56
第3章	活性污泥的原生动物类群	58
3.1	原生动物及其特征	58
3.1.1	原生动物(Protozoa)概述	58
3.1.2	原生动物的细胞结构	59
3.1.3	原生动物的生理特征	63
3.1.4	原生动物的分类	65
3.2	活性污泥中的原生动物	67
3.2.1	活性污泥中原生动物的研究历史	67
3.2.2	活性污泥中的原生动物的种类	68
3.2.3	活性污泥中微生物之间的关系	71
3.2.4	活性污泥中原生动物种群的多样性	71
3.2.5	活性污泥中原生动物种群变化的影响因素	74
3.3	原生动物在活性污泥法中的作用	78
3.3.1	净化作用	78
3.3.2	絮凝作用	79
3.3.3	指示作用	79
3.4	原生动物检测技术	81
3.4.1	传统检测技术	81
3.4.2	图像分析检测技术	82
	参考文献	83
第4章	活性污泥的培养与驯化	85
4.1	活性污泥培养与驯化的环境因素	85
4.1.1	温度	85
4.1.2	pH值	86
4.1.3	溶解氧	87
4.1.4	渗透压	88
4.1.5	营养物	89
4.1.6	有毒物质	90
4.2	活性污泥的培养与驯化	91
4.2.1	微生物的增殖规律	91
4.2.2	食料与微生物比值(F/M 值)	94
4.2.3	活性污泥形成的过程	95

4.3 活性污泥培养与驯化的方法	99
4.3.1 培养与驯化前的准备工作	99
4.3.2 同步培养驯化	99
4.3.3 异步培养驯化	100
4.3.4 接种培养驯化	101
4.3.5 评定活性污泥活性的指标	101
4.4 活性污泥驯化的机理	103
4.4.1 活性污泥微生物的多样性	103
4.4.2 活性污泥驯化的选择机制	104
4.4.3 活性污泥微生物的适应性机制	106
4.4.4 影响活性污泥驯化的因素	106
参考文献	108
第5章 活性污泥微生物的代谢	109
5.1 微生物的物质代谢	109
5.1.1 活性污泥法处理有机物的过程	109
5.1.2 化能异养微生物的分解代谢	110
5.1.3 微生物的合成代谢	113
5.2 微生物能量的来源与捕获	115
5.2.1 微生物的呼吸作用	115
5.2.2 物质分解的自由能变化	118
5.2.3 氧化还原电势	120
5.3 微生物的酶促反应及其调节	122
5.3.1 酶与酶促反应	122
5.3.2 影响酶促反应的主要因素	126
5.3.3 酶活性的抑制	128
5.3.4 酶活性的调节	130
5.4 微生物对环境污染物的降解作用	132
5.4.1 有机磷农药的微生物降解	132
5.4.2 酚类污染物的微生物降解	134
5.4.3 染料污染物的微生物降解	135
参考文献	137
第6章 活性污泥法净化有机物机理	139
6.1 污水中的有机物及其降解	139
6.1.1 污水中的有机物	139
6.1.2 有机物浓度指标	141
6.1.3 主要有机物降解过程	143
6.2 微生物生化反应的化学计算	147
6.2.1 微生物生化反应化学方程式	147

6.2.2	微生物产能反应计算	149
6.2.3	微生物对能量的利用	151
6.3	活性污泥微生物反应动力学	154
6.3.1	莫诺(Monod)模型	154
6.3.2	劳伦斯-麦卡蒂(Lawrence - McCarty)模型	157
6.3.3	其他模型	160
6.4	活性污泥的毒性抑制	161
6.4.1	毒性抑制作用机理	161
6.4.2	毒性抑制的控制模式	164
6.4.3	毒性抑制评价	164
	参考文献	166
第7章	活性污泥法脱氮机理	167
7.1	传统生物脱氮工艺	167
7.1.1	顺序生物脱氮工艺	167
7.1.2	分级生物脱氮工艺	167
7.1.3	前置生物脱氮工艺	168
7.1.4	脱氮工艺生物学过程	169
7.2	生物硝化机理	170
7.2.1	硝化反应的过程	170
7.2.2	硝化反应动力学	172
7.2.3	环境因素对硝化反应的影响	173
7.3	生物反硝化机理	177
7.3.1	反硝化微生物	177
7.3.2	反硝化过程	179
7.3.3	反硝化动力学	180
7.3.4	影响生物反硝化过程的因素	183
7.4	生物脱氮新技术	185
7.4.1	短程硝化/反硝化脱氮机理	185
7.4.2	同时硝化/反硝化脱氮机理	188
7.4.3	好氧反硝化脱氮机理	191
7.4.4	厌氧氨氧化脱氮机理	195
7.4.5	氧限制自养硝化/反硝化(OLAND)脱氮工艺	198
	参考文献	199
第8章	活性污泥法除磷机理	200
8.1	生物厌氧/好氧除磷机理	200
8.1.1	强化生物除磷	200
8.1.2	强化生物除磷微生物	201
8.1.3	强化生物除磷的生化过程	203

8.1.4 强化生物除磷机理	207
8.2 生物厌氧/好氧除磷工艺	211
8.2.1 生物除磷工艺	211
8.2.2 生物除磷脱氮工艺	212
8.2.3 提高生物除磷能力的途径	215
8.3 生物反硝化除磷机理与工艺	216
8.3.1 反硝化除磷现象	216
8.3.2 反硝化除磷机理	216
8.3.3 反硝化除磷工艺	218
8.3.4 影响反硝化除磷的因素	220
参考文献	221

第 1 章 活性污泥法及其应用

1.1 城市排水历史回顾

1.1.1 排水系统是最重要的城市基础设施

(1) 城市基础设施

城市基础设施(urban infrastructure)是城市生存和发展所必须具备的基础设施,是生产单位实现经济效益、环境效益和社会效益的必要条件之一。城市基础设施通常指工程性基础设施,它包括能源、给水排水、交通、通信、环境、防灾等系统(见图 1-1)。给水排水系统是城市的重要基础设施,决定着城市经济与社会发展,生态与环境保护的水平。

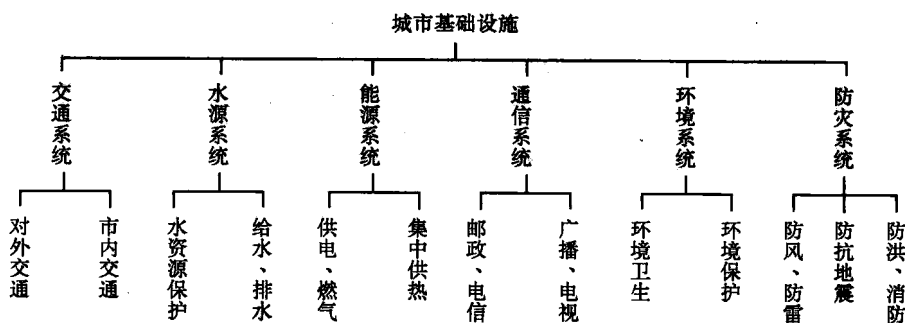


图 1-1 城市基础设施

(2) 排水系统

城市居民在生产和生活过程中产生的污废水,以及大气降水的径流都需要及时、可靠、有组织地收集、输送、净化、再利用或排放。城市污水要通过城市排水管网送到城市污水处理厂进行净化,达到规定的水质标准后再加以利用或排入水体。因此,建筑排水管道、城市排水管网和污水处理厂构成了城市排水系统(见图 1-2)。

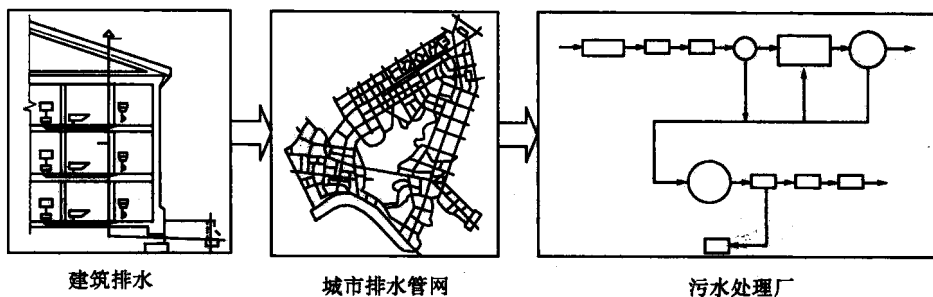


图 1-2 城市排水系统示意图

1.1.2 排水系统的发展

(1) 古代的排水

在人类开始结群定居时,排水系统的雏形就已经产生。从观察大自然的河湖水系,古人很早就知道利用地势高低来布置管渠,收集、排除雨污水(见图 1-3)。从现代发掘的古城池遗址可看到,古巴比伦的首都和我国的周朝殷都均有较明显的排水管渠。一些研究资料表明,用于排放厕所污水的下水道于公元前 7 世纪在古巴比伦的首都建成;到古希腊、古罗马时代,都市中的下水道已很完善,有的还形成了网络。现代发掘出的古罗马都市遗址下巨大的排水陶管,已成为举世闻名的罗马文明高度发达的标志。不过当时人们对公共健康问题重视不够,把强迫家庭设立卫生设备视为侵犯人权,因而家庭污水管并不与室外下水道相联,各家庭污水管单独管理,室外下水道用于排除雨水,排涝泄洪。

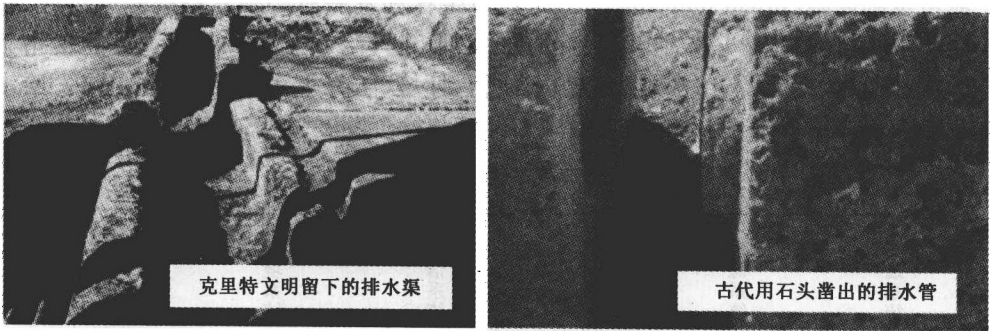


图 1-3 古代城市的排水设施

(2) 近代排水

令人遗憾的是,发达的古罗马排水系统丝毫未能影响中部欧洲的文明。随着罗马文明的衰落、古代都市的毁灭,欧洲城市的雨水和污水随意排放,排水工程又回到无秩序的原始状态。随后,迅速发展的城市与落后的排水设施的矛盾造成水环境生态破坏(见图 1-4),饮用水源受到污染,各种疾病流行泛滥,尤其是英国著名的“布鲁德大街水井”事件,使伦敦市民陷于无限的恐慌中。直到 19 世纪初,随着细菌的发现、病毒理论的建立,欧洲各国才意识到排水系统对健康影响的重要性,开始不惜巨资修建排水工程,使用水洗厕所,并通过立法允许家庭污水排入城市下水道,城市的现代排水体系开始诞生。



图 1-4 莱茵河的污染与治理

(3) 现代排水

城市早期的排水系统采用“合流制”，即城市雨水和污水由一套管系收集与排除。“合流制”排水形式比两套管系的“分流制”造价低、施工简单，在世界各国被迅速推广和发展起来。随着城市与工业的发展，通过合流下水道直排污水对环境水体造成了严重污染，西方发达国家在强大的环保压力下采取措施，一方面将“合流制”管系改造为“截流式合流制”排水系统，一方面在新建地区采用“分流制”排水系统，建设污水处理厂，将污水处理后排放到自然水系。污水处理厂成为排水系统中的一个单元，逐渐发展起来。

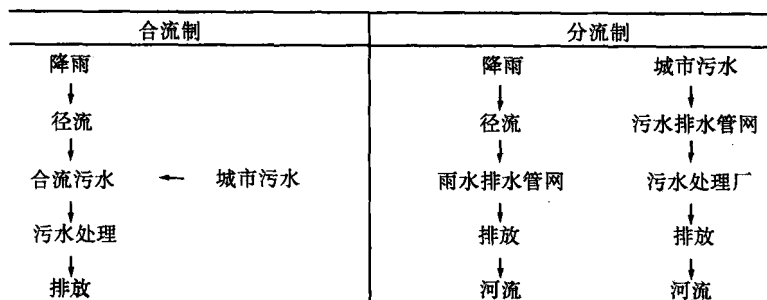


图 1-5 现代城市的排水体系

(4) 排水系统的发展过程

①创建阶段。19世纪中期，西方国家先后发展了现代城市给水排水系统，结束了早期排水工程只是建造管渠，将污废水和雨水直排水体的历史，到1911年德国已经建成70个污水处理厂。但在其后的半个世纪里，城市排水系统发展较为缓慢，例如1957年西德的家庭污水入网率仅50%，1961年日本东京仅为21.2%。

②发展和治理阶段。从20世纪60~70年代开始，西方国家投放大量财力铺设污水管道、建设污水处理厂，提高污水的收集率和处理率；并对工业废水、污水处理厂尾水的排放做出严格的规定（又称“点源”治理）。1979年，东京污水入网率达到70%；1987年，前西德污水的入网率已达95%，处理率达86.5%，城市居民人均污水管长达4m。然而，城市水环境的质量仍然不尽人意。在传统的排水观念中，人们一直认为合流管渠内的污水会被暴雨水稀释（稀释比为1:5~1:7），溢流后不再危害水体。事实上并非如此，1960~1962年在英国北安普敦的调查发现，暴雨将沉淀在合流管渠内的污泥大量冲起，并经溢流井溢入水体，形成所谓的“第一次冲刷”。为了减少溢流，人们提高了溢流井内的堰顶高程，但这样又增加了管渠内的沉积物，一旦被更大暴雨冲起、挟入溢流，仍然会造成水体污染。

③暴雨雨水的管理阶段。为了进一步改善城市水体水质，首先是对雨污混合污水在溢流前进行调节、处理及处置，使之溢流后对水体的水质影响在控制的目标之内。例如美国一些州要求混合污水在溢流之前就地做一级处理，并对每个溢流口因超载而未加处理的混合污水溢流次数加以限制（华盛顿州每个溢流口每年1次，旧金山市为4次）。其次是对污染严重地区雨水径流的排放作了更严格的要求，如工业区、高速公路、机场等处的暴雨雨水要经过沉淀、撇油等处理后可以排放。

④现代综合管理和利用阶段。人类自 20 世纪初,就开始了污水处理技术的研究和实践。长期以来,尽管污水处理技术不断发展,但都市排水系统的功能仍是及时排除雨、污水,防止市区内涝;集中处理污水,达标排放,防止公共水域水质污染。多年实践中,这样的污水处理,只保护了局部城区生活环境,却污染了全流域,造成了长期危害。实际上,良好的水环境不应该是局部地域的,它的范围是整个流域乃至全球的。

随着经济迅速增长和城市人口高度集中,在 20 世纪末,人类需要比以前多 25% ~ 60% 的淡水资源才能满足全球人口的饮用、卫生、农业和工业生产之需。与此同时,城市污水作为可贵的淡水资源已为世人所瞩目,污水深度处理和再生回用事业不但使城市得到了第二水源,而且也找到了恢复水环境的可行之路,它的系统功能、规划设计、处理水出路等,都应该本着恢复水环境和实现可持续发展来考虑。因此,城市排水系统进入到现代综合管理和利用阶段。

1.1.3 现代城市排水系统的功能

自 21 世纪起,排水系统的功能逐渐从以往的防涝减灾、防污减灾转向污水和营养物质的再循环,恢复良好水环境,促进水资源的可持续利用。据统计,2003 年中国城市污水量为 $460 \times 10^8 \text{ t}$,如果能回收其 1/3,就能够解决今后 10 ~ 15 年的城市缺水问题。污水中大量的氮磷营养物质若能回归于农田,对于农业的可持续发展,保持土壤肥分,减轻农田径流的面源污染都会收到显著的效果。现代城市排水系统的基本功能将是:

①城市水循环利用的基地。城市污水的再生与回用(用于工业、农业、景观、小溪等),为城市提供了稳定的第二水资源,用较少的新鲜水就可以满足城市的用水之需,从而维持社会用水的健康循环。

②流域水资源重复利用的枢纽。再生水作为优质的排放水,不但不会污染下游水体,反而成为下游城市水资源的一部分,每个城市的排水系统都是实现流域内城市群间水资源重复利用的枢纽。

③营养物质循环的枢纽。污水厂污泥制作肥料,遵循土壤营养成分的循环规律,将 N、P 回归农田,是土壤肥分循环的枢纽。

④物质与能源回收的基地。城市物质消耗的代谢产物在经过排水系统后转入污泥当中,其中有大量的有机物质可以回收可观的能源,如有效地利用消化池沼气可以补充污水处理消耗的能量。工业废水处理可以回收各种贵重物资,成为循环经济的重要部分。放流水势能发电,污水热泵可以回收剩余热能,等等。污水厂应作为物质与能源的回收基地,维持自然界的物质循环。

1.2 活性污泥法的起源

1.2.1 水传播疾病与控制

(1)原虫性水传播疾病

①蓝氏贾第鞭毛虫(*Giardia lamblia*)。1681 年,列文虎克在他自己的排泄物中发现

蓝氏贾第鞭毛虫;1859年, Vilem Lamb 在小孩腹泻的大便中再次发现蓝氏贾第鞭毛虫;1954年, Robert Rendtorff 用志愿者口服蓝氏贾第鞭毛虫包囊的方法证实了这种原生动物的感染性。

蓝氏贾第鞭毛虫以包囊的形式随病人粪便排出, 在环境中可以长期存活, 人们通过摄入环境中处于耐受期的包囊而被感染(见图1-6)。蓝氏贾第鞭毛虫是美国发病最频繁的肠道寄生虫, 是水传播疾病中最常见的病因之一。

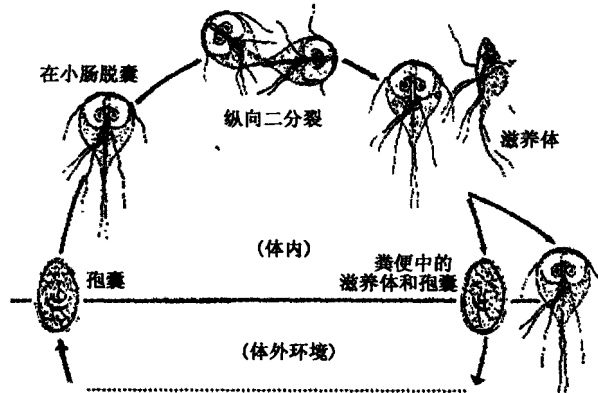


图1-6 贾第虫生活史

②隐孢子虫(*Cryptosporidium*)。隐孢子虫为体积微小的球虫类寄生虫,广泛存在多种脊椎动物体内。寄生于人和大多数哺乳动物的主要为微小隐孢子虫(*C. parvum*),由微小隐孢子虫引起的疾病称隐孢子虫病(cryptosporidiosis),是一种以腹泻为主要临床表现的人畜共患性原虫病。

1907年, Tyzzar 首次发现隐孢子虫,直到1976年才被确认为是人类的一种病原体,存在于免疫力低下的宿主粪便中。隐孢子虫的生活史复杂,包含有性和无性阶段。宿主从被污染的水、食物或直接接触中摄入卵囊;在小肠内,卵囊脱囊,放出4个子孢子,并吸附在黏膜的上皮细胞上;小肠微绒毛融合并伸长,包裹子孢子;随后子孢子发育成滋养体,并进一步成为裂殖体;裂殖体是一种无性生殖形式,在进行多重有丝分裂和胞质分裂后,一个裂殖体生成8个第一代裂殖子;第一代裂殖子成熟后感染邻近的上皮细胞,并再次进行裂殖生殖,但只产生4个第二代裂殖子;在上皮细胞破裂后,裂殖子附着在未感染的上皮细胞并形成大配子母细胞或小配子母细胞;它们再次分裂并分别形成大配子或小配子;然后两种配子结合成合子,接着分化形成非孢子卵囊;卵囊从细胞表面脱落并随宿主的排泄物排出(见图1-7)。

③溶组织内阿米巴(*Entamoeba histolytica*)。自1875年Feder Losch首次在人体发现该原虫以来,该病已给人和动物的健康带来了严重的影响,同时也造成了巨大的经济损失。溶组织内阿米巴能引起阿米巴痢疾血样腹泻,是世界上常见的三大寄生虫致死疾病之一,已经有超过5亿人被感染,其中10万多人死亡。溶组织内阿米巴有大小不一的两种孢囊——小孢囊和大孢囊,每个孢囊都在宿主体内产生8个滋养体。只有大孢囊与疾病有关,小孢囊只形成共生体(寄生物从宿主得到好处,而宿主不被影响)。溶组织内阿

米巴与贾第虫和隐孢子虫不同,它对消毒剂没有抗性。

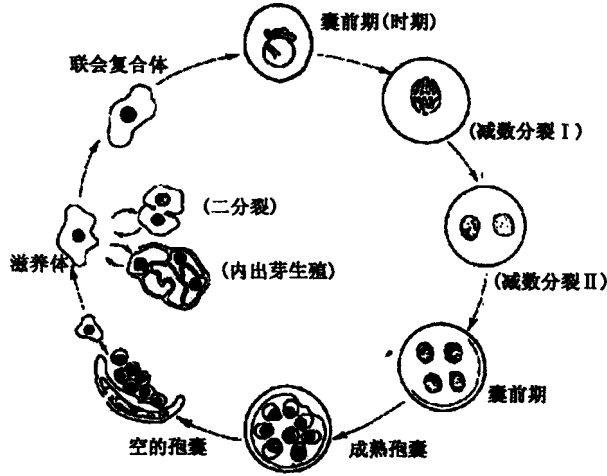


图 1-7 隐孢子虫生活史

(2) 细菌性水传播疾病

由细菌引起,并经水传播,如霍乱、伤寒、副伤寒、细菌性痢疾等肠道传染病称为细菌性水传播疾病。细菌性水传播疾病的污染源为人畜粪便、污水及其他污物,其中以人粪便引起的污染最重要。常见的病源细菌所引起的疾病及其表现症状如表 1-1 所示。

也有经呼吸道传播的介水传染病,军团病就是一个典型的例子。1976 年,美国宾夕法尼亚州的退伍军人在费城一个旅馆开会,与会代表和家属约 4 400 名,其中 221 人相继发生肺炎,有 34 人死亡,军团病由此得名。事件发生 6 个月后,病原体被分离、鉴定,命名为嗜肺军团菌。军团菌广泛存在于自然界的河水、湖水和温泉水中,在医院、家庭、宾馆的热水管道或热水器中 10% ~ 50% 有军团菌定植。被军团菌污染的尘粒、水蒸气雾滴等随人的呼吸进入呼吸道发病。我国自 1982 年在南京发现首例军团病以来,已有多起散发及小规模爆发流行。

表 1-1 细菌性水传播疾病

疾病	病原细菌	临床症状
伤寒	伤寒杆菌(沙门氏菌)	持续发烧,相对缓慢,消化道症状,全身中毒症状
细菌性痢疾	痢疾杆菌(志贺氏菌)	畏寒高热,腹痛腹泻,全身毒血症,感染性休克
霍乱	霍乱弧菌	剧烈腹泻、呕吐,脱水,电解质紊乱,多器官功能衰竭
军团病	军团杆菌	畏寒高热,咳嗽胸疼,腹泻、休克、肾功能衰竭,肺炎

(3) 病毒性水传播疾病

病原体是病毒,包括肠道病毒、甲型肝炎病毒、轮状病毒和小球病毒等引起的饮水传播疾病(见表 1-2)。这些病毒能感染胃肠道并随粪便被排到环境中,在病毒感染者的粪便中,病毒粒子的数量高达 10¹¹ 个/g。病毒一旦被排入环境中,即可通过污水、地表径流、

固体废弃物填埋及化粪池进入饮水。近年来,越来越多的证据证明肠胃炎的主导病因也是病毒。

(4) 饮用水卫生标准

19世纪末,由于人类认识到严重危害生命的霍乱、伤寒、痢疾等传染病是通过饮用水传播的,才第一次把水质与健康联系起来,于20世纪首次出现了饮用水的水质标准。全世界具有权威性、代表性的饮用水水质标准有3部:世界卫生组织(WHO)的《饮用水水质准则》、欧盟(EC)的《饮用水水质指令》以及美国环保局(USEPA)的《国家饮用水水质标准》。

表1-2 水中的病毒

分类	种类	主要症状
肠道病毒	脊髓灰质炎病毒	发热、脑膜炎、瘫痪型小儿麻痹后遗症
	柯萨奇病毒、埃可病毒	无菌性脑膜炎,急性心肌炎和心包炎,呼吸道感染,腹泻
肝炎病毒	甲型肝炎病毒	食欲减退,上腹部不适,恶心乏力,黄疸和发热,肝功能损害
轮状病毒	A、B和C族轮状病毒	低烧、呕吐,水样腹泻,脱水并可导致死亡
小球病毒	诺沃克病毒	恶心呕吐,腹疼腹泻,肠胃炎

其他国家或地区的饮用水标准大都以这三部标准为基础或重要参考,来制订本国国家标准。英国是第一个对饮用水中的隐孢子虫提出量化标准的国家。英国政府在1999年颁布了新的水质规则,要求水源存在隐孢子虫风险的供水企业,应对出厂水进行隐孢子虫的连续监测,同时对饮用水中的隐孢子虫提出了强制性的限制标准,即出厂水中隐孢子虫卵囊要少于1个/10L。法国标准中的微生物学指标较全面,分别为耐热大肠菌群、粪型链球菌、亚硫酸盐还原梭菌、沙门氏菌、致病葡萄球菌、粪型噬菌体、肠道病毒,这7项指标并不包含在EC最新的饮用水指令中。

上海是我国最早制定地方性饮用水标准的城市之一,《上海市饮用水清洁标准》于1928年10月修订公布。1950年上海市人民政府颁布了《上海市自来水水质标准》,共有16项指标。1954年我国卫生部拟订了一个自来水水质暂行标准草案,有16项指标,于1955年5月在北京、天津、上海等12个大城市试行,这是新中国成立后最早的一部管理生活饮用水的技术法规。1959年经国家建设部和卫生部批准,将该技术法规规定名为《生活饮用水卫生规程》。1976年国家卫生部组织制定了我国第一个国家饮用水标准,共有23项指标,定名为《生活饮用水卫生标准》(编号为TJ 20—76),经国家基本建设委员会和卫生部联合批准。1985年卫生部对《生活饮用水卫生标准》进行了修订,指标增加至35项,编号改为GB 5749—85,于1986年10月起在全国实施。之后,该标准使用长达21年。其间,国家卫生部于2001年6月下发了(2001)161号文件,规定于2001年9月1日实施《生活饮用水卫生规范》,其实质是对GB 5749—85《生活饮用水卫生标准》的修订,但国家标准化委员会未予承认。我国饮用水卫生标准的发展如表1-3所示。

2006年6月,我国颁布了新的《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)。新标准由卫生部下属的“中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所”负责起草,参加起草

的包括水利部下属的“中国水利水电科学研究院”、“国家环境保护总局环境标准研究所”,以及与建设部有关的“中国城镇供水排水协会”。新标准与 GB 5749—85 相比主要变化有:①水质指标由 GB 5749—85 的 35 项增加至 106 项(其中常规检测项目 38 项,消毒剂常规指标 4 项,非常规检测项目 64 项),共增加了 71 项;②对原有的微生物指标进行了修订,微生物指标由 2 项增至 6 项,增加了大肠埃希氏菌、耐热大肠菌群、贾第鞭毛虫和隐孢子虫;修订了总大肠菌群;饮用水消毒剂由 1 项增至 4 项,增加了一氯胺、臭氧、二氧化氯。

表 1-3 我国生活饮用水卫生标准发展历程

项目	1950 年	1955 年	1959 年	1976 年	1985 年	2001 年	2006 年
总项目	16	16	17	23	35	96	106
感官与化学指标	11	9	10	12	15	19	20
毒理学指标	2	4	4	8	15	71	74
细菌学指标	3	3	3	3	3	4	10
放射性指标	—	—	—	—	2	2	2

1.2.2 19 世纪的流行病

(1) 霍乱流行

霍乱(cholera)自古以来在印度恒河三角洲呈地方性流行,1817~1923 年的百余年间曾 6 次传播到全世界,造成世界性疾病大流行。

第一次于 1817 年 8 月,霍乱病从印度出发,沿海路传播,首先到达与印度毗邻的科伦坡和缅甸,又到达菲律宾及部分中国港口,1822~1824 年包括华中和华北的中国内陆地区均出现霍乱病例。1820 年,一艘由印度派往阿曼协助苏丹镇压国内叛乱的英国士兵将霍乱带到波斯湾沿岸。同年,另一支由孟买内陆出发的英军士兵将疾病带到了波斯的锡曼城和巴士拉城(位于现在的伊拉克)。霍乱伴随着波斯商人的足迹辗转于波斯湾的众港口之间,后又随着奴隶交易飘洋过海,到达东非海岸。当霍乱传入俄罗斯时,试图用隔离检疫控制疫情的方法一下子不起作用了。霍乱沿地中海古老的商路迅速蔓延,势不可挡,直逼包括开罗在内的埃及沿海。埃及政府惊恐万状,同样寄希望于隔离检疫。幸运的是,1823 年严酷的寒冬最终遏制了疾病的流行。

(2) 英国 Broad 大街水井事件

英国躲过了第一次和第二次霍乱的全球流行,却经历了第三次(1846~1863 年)世界流行。1854 年 8 月 31 日,霍乱袭击了伦敦的索霍地区,不到一个月已经死亡了 10 500 人。一位英国医生约翰·斯诺调查发现,患病的人都饮用过布劳德大街一口抽水井的井水。更深入的调查证明,在当地霍乱流行前,布劳德大街 40 号的一名儿童有明显的霍乱症状,浸泡过孩子尿布的脏水倒入有渗漏的污水坑,此坑距离水井仅 90 厘米。斯诺的发现解释了为什么隔离检疫这种屡试不爽的办法不能阻断霍乱的传播,证明了霍乱是经水传播的一种疾病,当饮用水源如河流、水井、蓄水池和城市供水系统,受到患者粪便及其垃

圾污染以后,病原体由口侵入,导致发病。

(3) 查找病原体

1869年苏伊士运河通航,这就极大增加了霍乱由印度次大陆大本营向地中海和欧洲传播的可能,埃及受扰频率明显增加。1883年,当地霍乱爆发,德国和其他地区人们十分恐慌,德国政府派柯赫(微生物学家)赴埃及查找病源。1883年8月,柯赫在一份来自亚历山大城患者小肠样本中发现了一种形似逗号的微生物(见图1-8)。但是,他没有获得纯培养,也就无法进一步验证该微生物就是引起霍乱的罪魁祸首。1884年柯赫赴印度加尔各答,在那里他获得了这种逗号微生物的纯培养。根据柯赫法则(见表1-4),他仍然无法完成第三原则和第四原则。对此也可以有一个合理的解释——动物感染霍乱弧菌以后不会发病。

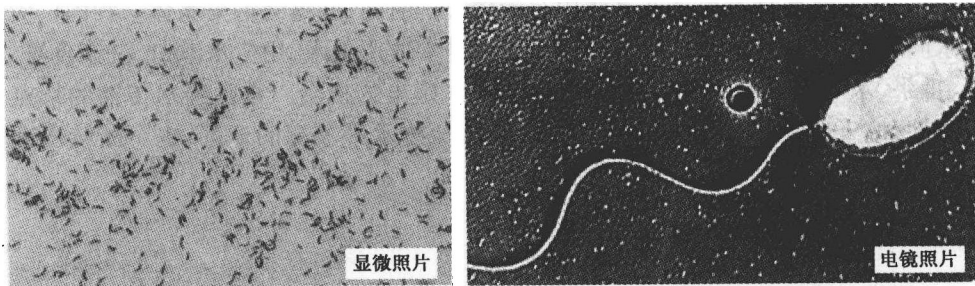


图1-8 霍乱弧菌显微图像

1905年,Cotshlich在埃及西奈半岛EL-Tor检疫站,从麦加朝圣者尸体中分离出一种类似霍乱弧菌的菌株,命名为EL-Tor弧菌,后将EL-Tor弧菌所致疾病称为副霍乱。由于两种弧菌的形态和血清学特性基本一样,临床表现及防治也完全相同,在1962年5月第十五届世界卫生大会上,将二者所致的疾病统称为霍乱。因此,霍乱可分为两型:由古典生物型霍乱弧菌引起的被称为霍乱;由埃尔托生物型霍乱弧菌引起的称为副霍乱。这两型霍乱也称古典型霍乱和埃尔托型霍乱。前6次流行于世界的霍乱是古典型,而1961年开始的第7次霍乱世界大流行则是埃尔托型霍乱,此型霍乱在中国历史上无记载,1961年首次出现于广东沿海,陆续又波及到20余省(自治区、直辖市),严重危害了人民的生命和健康。

表1-4 判定病原体的柯赫法则

序号	内容
第一原则	必须在所有病人身上发现病原体
第二原则	必须从病人身上分离并培养出病原体
第三原则	把培养出的病原体接种给动物,动物应该出现与病人相同的症状
第四原则	出现症状的动物身上能够分离培养出同一种病原体

霍乱弧菌属于细菌,菌体弯曲如弧形或逗点状,菌体一端有单生鞭毛,运动活泼,耐碱不耐酸,主要通过污染水源或食物而引起肠道感染。人类是霍乱弧菌唯一易感者,霍乱弧

菌进入消化道到达小肠,在肠黏膜表面吸附并迅速繁殖,产生的霍乱肠毒素作用于小肠黏膜,引起小肠液过度分泌,严重者出现上吐下泻,导致脱水和代谢性酸中毒、循环衰竭,甚至产生休克和死亡,霍乱病的世界大流行造成了人类的大量死亡。患过霍乱的人可获得牢固的免疫力,再感染的较为少见。霍乱弧菌对热和消毒剂抵抗力弱,在 55℃ 湿热下 15 min 即死亡,用 0.1% 的高锰酸钾处理蔬菜、水果 30 min 均可达到消毒的目的。

(4) 霍乱流行的原因

霍乱病原体历次较为广泛的流行和爆发多与水体被污染有关,特别是江河水、沟渠水、池塘水、浅井水和港湾水极易受到粪便、污物等的污染,如洗涤病人衣物、倾倒吐泻物,船上渔民排泄物直接下水以及通过河道运粪等。霍乱弧菌在水中存活时间较长,有些菌株还可以在水中越冬,所以一次污染后有可能使水体较长时间保持传播能力。水栖动物虽不染病,但霍乱弧菌有可能在其体内存活较长的时间,并继续污染水体。我国广大农村的改水问题尚未完全解决,加之夏秋季节有人经常饮用生水,用生水漱口、洗刷食具、浸洗蔬菜、瓜果、水产品等生冷食品,都可以增加经水感染的机会。霍乱经水传播的特点是呈现爆发性,病人多沿被污染的水体分布,在人群免疫水平较高的地区,也可断续出现散发病例。

1.2.3 活性污泥法的发现

(1) 早期城市污水的处理方法

在 19 世纪后期的欧洲城市,由于不能很好的管理城市污水,而且不断增长的工业又大大加重了城市排放废水的负担。在这种情况下,最便利的办法就是将这些废水就近排放到城市的河道,从而导致江河污染,水资源遭受破坏,水传染病流行。水体的严重污染,客观上要求对城市污水进行处理。英美等国相继对污水进行处理实验,从事开发水处理技术的研究。

① 土地处理。早期城市污水采用土地处理(一种生物处理法),利用土地以及其中的微生物和植物根系对污染水净化处理,污水的水分和肥分也可以促进农作物、牧草或树木生长(见图 1-9)。在 19 世纪 70 年代就已经证实污水灌溉对污水的净化作用,当时人们用污水气味的变化来判断净化效果,很少用科学的方法检测进水和出水水质,也不了解有机物去除的科学原理。到了 19 世纪 90 年代已经有越来越多的证据证明,污水土地处理系统不是依靠化学氧化,而是依靠好氧的和厌氧的微生物。从 1893 的一些数据分析,依靠土地处理系统,有机物的去除率为 66%,氮和磷几乎全部去除。

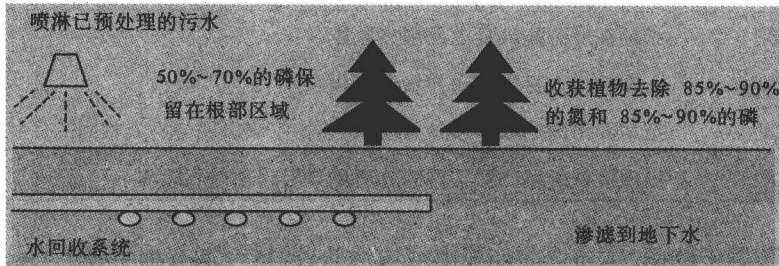


图 1-9 污水土地处理原理

②生物滤池处理。在19世纪末,另外一种污水处理方法——生物滤池(见图1-10)被用于城市污水处理。当时的生物滤池间歇运行,运行周期为8h,其中进水2h、停留时间1h、缓慢排水5h,有机物的去除率可以达到70%~75%。后来,在英国的萨顿(Sutton)和埃克塞特(Exeter)建造的生物滤池增加了24h的污水预处理,萨顿采用的是敞口容器,埃克塞特采用的是密闭容器。1897年,德国汉堡也进行了类似的生物处理实验。随后,在德国柏林附近的施塔斯多夫(Stahnsdors)建立了第一座大型的间歇式生物滤池污水处理厂。

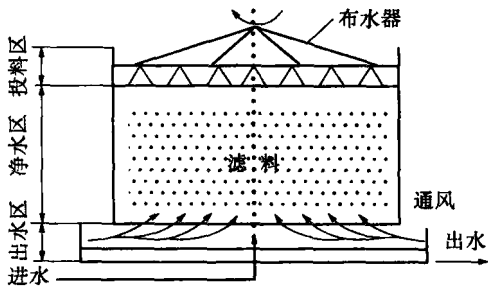


图1-10 生物滤池原理

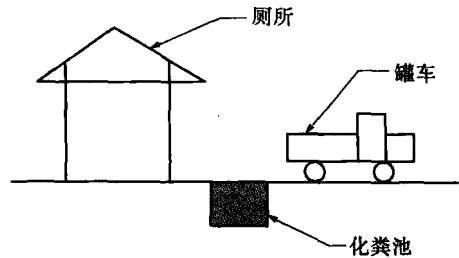


图1-11 室外厕所的化粪池

③化粪池处理。化粪池也是较早使用的一种污水生物处理方法,1896年卡梅伦(Cameron)获得了此项发明专利,尽管当时化粪池的应用受到公众抵制,在英国它仍然以法律的形式被强制推行。以后,化粪池虽然没有在污水处理方面进一步使用发展,但它为污水厌氧处理奠定了基础。直到20世纪中期,许多农村家庭和一些小城镇的居民仍然依靠它处理室外厕所的粪便,在人口密度不大和土地不紧张的地方,化粪池依然是一种非常有效的废物处理方法。现在的化粪池是作为储藏室将固体废物与液体分离,有机物在厌氧条件下发生生物降解;然后将废水排到渗滤场进一步处理,化粪池的剩余污物定期用泵排入罐车,运送到处理厂处理(见图1-11)。

(2) 活性污泥法的发现

为了寻找更有效的污水处理方法,1882年,史密斯(Angus Smith)等人开始向污水中曝气,一方面可以避免厌氧条件下的恶臭气味,同时也认为氧气是氧化废水的一种必须物质,他们的初期研究并没有产生多大的实用价值。1893年,Mather和Platt发现在曝气的污水中产生的沉淀“杂质”能够促进污水净化。1897年,福勒(Fowler)的污水处理实验也得到了同样的结果,水在净化的同时,还产生了能够迅速沉淀的物质。对此结果,福勒反而认为沉淀物会增加污水中的溶解物,污水会更难以处理。1912年,克拉克(Clark)和盖奇(Gage)在劳伦斯实验室也进行着类似的研究,他们不断地比较着污水曝气的处理效果。但是,在1913年以前,没有人想到在曝气的污水处理实验中,通过添加污水处理沉淀物(好氧细菌污泥),可以更有效地处理污水。

1914年4月3日,安登(Edward Arden)和洛克特(William T. Locket)发表了他们的研究成果:在实验瓶中加入2.27L污水,添加25%体积的沉淀污泥,加入少量的碱调节pH值,曝气,使水与污泥混合,污水中的碳和氮在24h内能够被完全去除。同年,他们在曼彻斯特市建立了第一座活性污泥法污水处理实验厂。以后的几年,这种间歇式污水处