

Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants

污水处理厂污泥减量化技术

[意] Paola Foladori Gianni Andreottola Giuliano Ziglio 著

周玲玲 董 滨 译

戴晓虎 审校

中国建筑工业出版社

污水处理厂污泥减量化技术

Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants

[意] Paola Foladori Gianni Andreottola Giuliano Ziglio 著

周玲玲 董 滨 译
戴晓虎 审校

中国建筑工程出版社

著作权合同登记图字：01-2011-5878 号

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理厂污泥减量化技术/ (意) Paola Foladori 等著; 周玲玲等译.
北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-112-14352-8

I. ①污… II. ①P…②周… III. ①污水处理厂-污
泥处理-技术 IV. ①X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 111431 号

Copyright © 2010 IWA Publishing

Translation Copyright © 2012 China Architecture & Building Press

This translation of *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants* is published
by arrangement with IWA Publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London,
SW1H 0QS, UK, www. iwapublishing. com

责任编辑: 石枫华 姚丹宁

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 王雪竹

污水处理厂污泥减量化技术

Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants

[意] Paola Foladori Gianni Andreottola Giuliano Ziglio 著

周玲玲 董滨 译

戴晓虎 审校

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 字数: 325 千字

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-14352-8

(22396)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

译者序

随着我国城市污水处理率逐步提高和新的污水处理厂数量增加,城市污泥的产量逐渐增大。我国城市每年排放的干污泥量预计已达到 600 万 t (折合含水率 80% 的湿污泥 3000 万 t)。与此同时,城市化进程的加快使原来消纳污泥的农田变成了城区,污泥处理的难题在一些大城市开始出现,并向中小城市蔓延。污泥处理与处置已成为我国急需解决的一个问题,也是我国科技人员研究的热点问题之一。

我国污泥处理起步较晚,早期建设的污水处理厂存在“重水轻泥”现象,污泥处理处置单元不完善,污泥的安全处理处置是我国水污染控制领域的薄弱环节。污泥减量化、稳定化、资源化处置已经成为制约城镇污水处理的重大共性问题,迫切需要寻找能够稳定、清洁、大规模处理处置污泥的技术手段。

国外发达国家在污泥处理、处置与资源化技术方面具有较高水平,其对污泥处理与处置资源化理论技术及管理经验对我国研究人员具有很多参考作用。学习、借鉴和发展发达国家关于污泥处理、处置与资源化利用方面的研究成果与经验对于我国解决污泥问题是十分迫切和必要的。

本专著由意大利特伦托大学 (University of Trento) 著名学者 Paola Folladori, Gianni Andreottola 和 Giuliano Ziglio 先生编著,书中内容多是从实践中总结出来的理论,并较好地用理论知识解决实际工程问题,体现了理论体系和工程应用的结合。该书的出版会有助于我国污泥处理与处置方面的教学、科研和工程实践,对于提高我国污泥行业向更高层次发展具有一定的指导意义。

本书共 14 章,内容涵盖了污泥减量技术的各方面,包括污水处理厂污泥产量和来源及处理处置成本;污泥减量技术的应用原则及机理;各种污泥减量技术的特点、工艺流程、优缺点及依托技术;当前应用最广泛和最具前景的污泥减量技术及各项技术的性能对比。

全书的翻译工作由同济大学相关人员负责完成。其中董滨负责翻译第 1 章至第 7 章,周玲玲负责翻译第 8 章、9 章、10 章、11 章、12 章、14 章,张永吉翻译第 13 章,全书译稿校正由戴晓虎、周玲玲完成。

本书在中国的翻译出版,期待在一定程度上能提高我国污泥处理、处置与资源化利用水平,从而实现污泥减量化、稳定化、资源化的目标。另外,本书的出版还有助于我国在污泥处理方面,推动在设计及运行管理方面的应用。本书得到了水体污染控制与治理科技重大专项课题——城市污泥及有机质的联合

译者序

生物质能源回收与综合利用技术（编号：2011CX07316—004）的资助。在本书翻译过程中，得到了我国“千人计划”特聘教授、污泥处理处置与资源化专家戴晓虎教授的精心指导，他认真细致地审校了全书，保证了本书的翻译质量，在此向他致以诚挚感谢。在翻译阶段初期，段妮娜、罗凡、张一清、王媛、董斌等同学也做了大量工作，在此一并致谢。同时感谢中国建筑工业出版社和国际水协出版社（IWA Publishing）对本书翻译工作的支持。

由于译者知识水平和能力有限，本书的翻译难免有不妥和疏漏之处，恳请各位读者不吝指教，以便将来再版时加以更正。

译者

2012年2月于上海同济大学

原 著 序

污水处理厂产生的污泥体积只占相应处理污水体积的一小部分 (1%), 但是污泥处理费用占污水处理厂总费用 (包括运行消耗、人力资源、能源能量和污泥处理) 的 20%~60%。20 世纪 90 年代中期以来, 人们认识到污泥处置这一重要问题。如今 (比如在欧洲国家) 重点关注于生物废物防治的共同战略: 原则上控制污泥的产生 (减量), 对其最大化的重复利用, 并从中回收物质和能源, 而不是当作废弃物处置。因此, 根据这一策略, 需要通过与污水或污泥处理工艺耦合的各种污泥减量技术来减少污水处理厂产生的污泥量。目前, 文献中报道了各种技术, 并且可以产业化应用。

本书目的是综述现有或推荐的污泥减量技术, 但因为每种技术的差异性, 可能不够详尽。事实上, 虽然有些技术已经比较成熟, 可以在污水处理厂应用, 但很多技术仍然停留在小试或中试试验阶段。

本书包括关于污泥产量和来源的引言章节 (第 2 章) 和针对当前国际环境的处理成本 (第 3 章), 各种污泥减量技术的应用原则和涉及的机理 (第 4 章)。第 5 章和第 6 章综述了各种污泥减量化技术, 将其划分为与污水处理工艺耦合 (第 5 章) 和与污泥处理工艺耦合 (第 6 章) 的污泥减量化技术。这些章节中, 从主要特点、工艺流程、优缺点以及依托技术 (生物、化学、热处理、物理、机械处理) 等方面介绍大多数现有的技术。第 8 章到第 13 章具体描述了最新的、应用最广泛的和最有前景的技术, 这些技术来源于文献中的最新成果, 突出了现在的研究主线。第 14 章对比各种减量技术的性能, 及主要技术的缺点和影响。

在过去的 5 年里, 作者在意大利特伦托大学土木与工程学院的工作小组, 通过试验研究, 已经对污泥减量化技术有全面的认识。这一研究工作是由特伦托省的污水处理公司的员工以及作者共同完成的, 诚挚的感谢编辑 Eng. Paolo Nardelli 的热忱合作, 并对我们的研究提出的宝贵和具有创造性的建议。

依托特伦托大学合作者的辛苦工作, 本书得以完成, Ilaria Nobile 和 Veronica Menapace 做出了巨大的贡献, 为本书绘制了完美的图表。Sabrina Tamburini 为本书中提供了精致的手绘图, 特别感谢我的同事 Roberta Villa 协助完成了艰难的研究工作。最后感谢 Marco Ragazzi 教授, 与我们分享丰富的污泥处理与处置方面的经验和知识。

作者

目 录

译者序

原著序

第 1 章	引言	1
第 2 章	污水处理厂污泥的组成和来源	4
2.1	引言	4
2.2	污泥的组成	5
2.3	污泥产量	7
2.4	典型产泥数据	11
第 3 章	目前重要地区污泥处置技术及成本	13
3.1	引言	13
3.2	污泥处理处置总费用	15
第 4 章	污水处理厂污泥减量技术基本原理	19
4.1	引言	19
4.2	胞溶和隐性生长	21
4.3	解偶联代谢	23
4.4	内源代谢	25
4.5	生物捕食	26
4.6	改善惰性固体的生物可降解性	27
4.7	水热氧化技术	28
第 5 章	污水处理工艺中的污泥减量技术综述	30
5.1	添加酶制剂的酶水解技术	31
5.2	高温微生物的酶水解技术 (高温好氧反应器)	32
5.3	机械破解	33
5.4	超声波破解技术	34
5.5	热解处理	35
5.6	化学和热化学水解	36
5.7	臭氧氧化技术	37
5.8	强氧化剂氧化技术	38
5.9	电处理	39
5.10	投加化学解偶联剂	40

5.11	侧流厌氧生物反应器 (室温)	41
5.12	延时曝气工艺	42
5.13	膜生物反应器	43
5.14	颗粒污泥	44
5.15	微生物捕食	45
第 6 章	污泥处理工艺中污泥减量技术概述	47
6.1	添加酶制剂的酶水解技术	48
6.2	机械破解	49
6.3	超声波破解技术	50
6.4	热解处理	51
6.5	微波处理	52
6.6	化学和热化学水解	53
6.7	臭氧氧化技术	54
6.8	强氧化剂氧化技术 (除臭氧外)	54
6.9	电处理	56
6.10	好氧消化	57
6.11	交替好氧/缺氧/厌氧消化	57
6.12	两相消化	58
6.13	自热高温好氧消化	59
6.14	厌氧消化	60
6.15	高温厌氧消化	61
6.16	微生物捕食	62
6.17	湿式空气氧化技术	63
6.18	超临界水热氧化技术	64
第 7 章	污泥减量技术效率的评估程序	66
7.1	引言	66
7.2	COD 和 TSS 的溶解	67
7.3	分解度	68
7.4	呼吸计量法评估生物的可降解性能	70
7.5	NUR 测试评估反硝化作用的速率	72
7.6	沼气产量评估厌氧生物可降解性能	73
7.7	细菌灭活	74
7.8	污泥停留时间 (SRT) 的影响	76
7.9	最大产率系数、表观生物量产率系数和表观污泥产率系数	77
7.10	污泥减量技术的评估	78
7.11	处理频率	79

目 录

7.12 污泥的物理特性	79
第8章 生物处理	81
8.1 引言	81
8.2 污泥好氧和厌氧消化最新研究成果	83
8.3 好氧/缺氧/厌氧条件对异养最大产率系数的影响	85
8.4 侧流厌氧反应器（环境温度）	89
8.5 高温厌氧消化	95
8.6 高温好氧反应器	96
8.7 外加酶的酶水解作用	102
8.8 添加化学新陈代谢解偶联剂	105
8.9 原生动动物与后生动动物的捕食作用	108
8.10 延时曝气系统	117
8.11 膜生物反应器（MBR）	117
8.12 颗粒污泥处理系统	119
第9章 机械破解	121
9.1 引言	121
9.2 机械破解设备的类型	122
9.3 污泥破解所需的能量强度	123
9.4 溶胞-浓缩离心机	124
9.5 转动球磨机	126
9.6 高压均质器	129
9.7 高压喷射碰撞系统	132
9.8 转子-定子破解系统	133
9.9 机械破解技术的综合比较	135
第10章 超声破解	138
10.1 引言	138
10.2 超声破解系统类型和设备	140
10.3 超声处理能量评估	141
10.4 超声频率的影响	143
10.5 COD 的溶解率	144
10.6 超声破解对微生物的影响	146
10.7 超声破解对污泥沉降、脱水性能的影响	148
10.8 超声破解和污水处理组合工艺	149
10.9 超声破解和污泥处理组合工艺	150
第11章 热处理	153
11.1 引言	153

11.2	COD 溶解性	154
11.3	生物降解能力的提高	157
11.4	氮磷的溶解作用	158
11.5	微生物的影响	159
11.6	污泥沉降性和脱水性的影响	160
11.7	生物处理与热处理的集成	161
11.8	微波处理	167
第 12 章	化学和热化学处理	170
12.1	引言	170
12.2	酸、碱试剂种类	171
12.3	COD 溶解率	172
12.4	氮、磷溶解性	177
12.5	污泥脱水性能的影响	178
12.6	热化学处理与污水处理工艺的集成	178
12.7	热化学处理与污泥处理的集成	179
第 13 章	臭氧化作用	183
13.1	引言	183
13.2	臭氧工艺中的参数	184
13.3	臭氧反应器结构	185
13.4	臭氧投量的确定	188
13.5	颗粒物矿化的作用	191
13.6	COD 溶解, TSS 分解	191
13.7	氮、磷的溶解	196
13.8	臭氧化与生物处理组合工艺	197
13.9	臭氧化与污水处理组合工艺	198
13.10	污泥与臭氧化处理的组合工艺	212
第 14 章	污泥减量化技术性能比较	219
14.1	引言	219
14.2	COD 溶解性的比较	222
14.3	破解程度的比较	223
14.4	污泥减量化的比较	224
14.5	影响比较	228
14.6	安装/操作方面的比较	231
参考文献		235
附录 A 厌氧消化工程案例		254

第 1 章 引 言

在城市和工业污水处理厂中,通过沉淀和过滤去除无机或有机的颗粒物以及可生物降解的化合物,从而产生了大量的污泥。大多数采用活性污泥工艺的污水处理厂,其污泥主要通过两种途径产生:

(1) 初沉污泥:来源于初沉池,是对可沉降固体的物理分离。

(2) 二沉污泥:在分离活性污泥和处理后出水的最终沉淀池中产生。二沉池污泥是微生物生长和惰性有机难降解物质积累的产物。

污泥的特点是脱水后其挥发性固体含量和含水率仍然较高(比重 $>70\% \sim 80\%$),这导致即使污水处理厂产生的污泥体积只占处理污水的 1% ,污泥的体积仍然较大。

未来的 10 年内,由于人口的增长和更加严格的排放标准的提出,以及新建污水处理厂,已建的污水处理厂进行升级改造及相应污水管网的建设而产生的污泥体积和产量会持续增加(Odegaard, 2004; Paul and Debellefontaine, 2007)。

在欧洲,在 2001 年和 2003 年分别产生了 770 万 t 和 840 万 t 干污泥,从 1998 年到 2005 年,污泥的产量大约增加了 14% ,而现在的污泥产量为 940 万 t/年(干固体),到 2010 年,产量预计会超过 1000 万 t。在欧洲,尤其是在新欧盟成员国或是候选国,越来越多的生物处理工艺导致污泥产量提高。例如,在捷克共和国,过去 10 年的污泥产量已经增加了大约 65% ,而在波兰现在的污泥产量为 50 万 t/年,但由于扩大了处理范围,其污泥产量有可能在 2015 年翻倍(Jenicek, 2007)。

北美的趋势也类似:2005 年~2010 年,美国每年的污泥产量为 690~760 万 t(Turovskiy and Mathai, 2006; Dentel, 2007)。而加拿大污泥产量接近 40 万 t,日本污泥产量每年超过 200 万 t(Okuno, 2007)。在中国,现在的污泥产量急剧增加,截至 2010 年,预计干固体约为 1120 万 t(中华人民共和国环境保护部, Chu *et al.*, 2009)。

目前为止,污泥处置的主要方式为:农业利用、垃圾填埋、焚烧或堆肥。过去在许多地方污泥的主要处置方式是在近海或近河填埋,但是现在许多国家通过法律控制海洋污染,不允许海洋排放。

在欧洲,为了禁止填埋处置可生物降解废物,填埋场的污泥处置受到了相关

规定的严格限制。因为可生物降解污泥的填埋有很多缺点：排放温室气体、需要处理渗滤液中的有害物质、循环过程中存在营养物质和有机物质的损失等。例如，在瑞士，填埋处置是禁止的，污泥需要经过脱水和干燥后焚烧，其填埋处理的仅为灰分（Böhler and Siegrist, 2004）。

在德国，只有燃烧损失小于5%的物质可以进行填埋处置。城市污泥，即使经厌氧处理后，它的燃烧损失仍然可以达到50%（Scheminski *et al.*, 2000）。而且，随着可利用的土地面积的越来越少以及其成本越来越高，选择合适的填埋场地变得越来越难。

在中欧和东欧，通过填埋处置的污泥量有可能减少，但是所采用的技术成本却越来越昂贵，例如焚烧（Jenicek, 2007）。

最近，对于污泥处置的管理已经达成共识，即必须采取可持续方式回收污泥中的能源，将营养物质和有机组分回用于土地。

不同国家用于土地或农田的污泥量差异很大，主要取决于肥料的需求以及土壤和环境超负荷的防治需要。例如，在欧洲，污泥用于农业的百分比从0到66%不等：其中荷兰为0，瑞典为9%，澳洲为28%，意大利为32%，德国为33%，法国为58%，丹麦为59%，英国为61%，爱尔兰为63%，西班牙为66%（Müller, 2007）。尽管广泛认为，农业利用是一种从污泥中回收有价值的物质的最佳方式，但由于会对许多有害化合物存在，因此需要采取严格的标准，西欧未来在污泥农用上将会受到欧盟指标的影响。事实上，在农业上使用稳定化的污泥有很多优点，比如恢复土壤中有有机物质和营养，但是由于病原体 and 污染物质（如重金属、微污染、抑制微生物剂或药剂源污染的存在）潜在的健康风险，在很多地方污泥的土地利用需根据国家标准利用。例如，从1999年起，瑞典已经严格限制污泥的土地利用，而且出于对生态毒性的考虑，瑞士提出了一个全面禁令（Böhler and Siegrist, 2004; Lundin *et al.*, 2004）。

在发达国家，污泥农业利用的另一个限制因素是公众普遍不认可采用施用污泥培育出的农作物，这一因素比法律管理标准的发展更加重要（Müller, 2007）。考虑到营养循环的益处和有害物质污染的潜在风险，污泥农业利用仍然存在争议。

焚烧是污泥处置的另外一种最终选择，但是这一工艺的成本较高，而且会导致有机物和营养物质如有价值的磷资源（地球上的有限资源）的损失，这些有限的资源因为融合在污泥的灰分中而难以回收。

随着污泥产量的持续增长和一些国家相关处置规章制度的限制，将来污泥的处置成本会越来越高，尤其是在一些关键地区。现在，一些污水处理厂污泥处理+处置（包括耗能、人力和管理）的成本达到整个污水处理厂的总运行成本的

25%~65% (Pérez-Elvira *et al.*, 2006)。欧洲国家每吨干固体处理+处置的平均成本已经接近 500 欧元 (Ginestet, 2007a), 而且将来成本还会进一步增大。

结果, 污泥的产量越来越大, 而处置途径越来越少, 导致污泥处置的成本越来越高 (Bougrier *et al.*, 2007a)。

基于可持续发展的角度考虑, 污泥处理主要有两个目标:

- (1) 如果污泥被作为资源, 目标是从污泥中回收物质和能量;
- (2) 如果污泥被作为废物, 目标是实现污泥减量。

没有足够的经济效益吸引生产商对污泥回用投资利用 (Egemen Richardson *et al.*, 2009)。

尽管不可能存在一种不产生污泥的工艺, 但仍然存在一种更加实际和可行的方案可以减少产生污泥的体积和质量。因此, 现在污泥减量的方法重点关注以下两方面:

- (1) 减少湿污泥的体积;
- (2) 减少污泥的干质量。

提高脱水、提高污泥的含固率可显著减少需要处理的湿污泥的体积。

通过减少污泥中干固体, 减少污泥含固率和体积这一策略值得推崇, 因为在生物处理阶段污泥干质量迅速减少。本书的基本目的是减少污泥干质量, 而不是仅仅减少湿污泥的体积。

由于污泥处理途径存在诸多问题和限制, 促进了各种污泥减量技术的发展。

本书提到的污泥减量化技术对现有污水处理厂的污水处理或是污泥处理工艺都是适用的, 只需对特定的设备进行简单的改造。

在一定程度上, 污泥减量技术的选择取决于许多因素, 包括当地状况、现存的处置设施的结构、操作人员的数量和技能, 水务公司的态度以及存在问题的技术和设备的解决方法。

在很多情况下, 为了选择最佳的技术和避免不必要的成本, 需要对具体方案进行评估。事实上, 污水处理厂就地污泥减量技术的提出会产生额外的投资和操作成本, 这一方面需要通过对比已选技术 (和干污泥的有效减量) 和污泥最终处置成本来进行详细的经济优势评估。

本书希望通过综述大量文献中研究成果为在应用污泥减量技术的读者提供帮助。

第 2 章 污水处理厂污泥的组成和来源

2.1 引言

污水处理厂产生的污泥体积大约仅占处理污水体积的 1% (脱水污泥体积占处理污水体积的 0.5%)。为了高效地管理污水处理厂, 需要定期排除污泥中的惰性固体和剩余生物物质, 避免其在系统中的积累。

污水处理厂通过机械、物理、化学和生物方法的方法处理污水, 产生污泥:

(1) 初沉污泥——来源于初沉池, 是原污水中的可沉淀固体, 与生物污泥相比, 初沉污泥具有高腐熟度和良好的脱水性能, 初沉污泥中 TS 含量一般为 2%~7% (Turovskiy and Mathai, 2006);

(2) 二沉污泥 (又称为生物污泥) ——由生物处理工艺, 如活性污泥或生物膜系统产生; 二沉污泥包含利用可生物降解物质 (溶解性和颗粒态的可降解物质) 的微生物, 内源性残留物以及初沉池未去除的惰性固体 (存在初沉池) 或污水处理厂进水含有的物质 (未建初沉池)。二沉污泥的 TS 含量一般 0.5%~1.5% (Turovskiy and Mathai, 2006);

(3) 化学污泥——由特殊物质 (例如磷) 或悬浮固体的沉降产生。以化学沉降除磷为例, 这一过程需要投加一些盐类, 额外产生 15% 左右 (通常为 5~7kgTSS/kbP) 的污泥 (全世界 16 个污水处理厂的试验数据分析得出; Woods *et al.*, 1999; Battistoni *et al.*, 2002)。

污泥处理工艺处理 2~3 种污泥的混合物。

“生污泥”, 这一概念是用于区分那些未经生物或化学处理的污泥。而经污泥处理工艺后的污泥因处理方法的不同分为如下几类: 厌氧/好氧消化污泥、脱水污泥、浓缩污泥、热干化污泥等。

污水处理厂产生的其他剩余物质, 例如浮渣或通过过滤、筛分等过程分离的物质不属于在此阐述的污泥范畴, 因此不在本书的研究范围内。

在市政污水的生物处理过程中, 除了细胞生物量以外, 还有大量颗粒状不可生物降解 (惰性) 的固体随原水进入系统, 是污泥的重要组成部分。这些惰性颗粒物质可以有机的或是无机的, 但这些固体在活性污泥或生物膜系统中不能代

谢, 将其归为不可生物降解的物质 (van Loosdrecht and Henze, 1999)。

Paul 等 (2006b) 的研究表明, 当污泥停留时间 (SRT) 为 10d 而且进水中非溶解性 COD 占 20% 时, 污泥中 60% 的挥发性悬浮物 (VSS) 由惰性有机物质组成 (Paul *et al.*, 2006b)。

具体地说, 进水中惰性有机固体 (如毛发、纤维等)、微生物腐烂产生的内源性残留物以及原生动物未能完全降解细胞壁而残留下来的惰性物质, 都可能导致污泥中含有惰性有机固体 (van Loosdrecht and Henze, 1999)。

此外, 对污泥进行高度减量化时, 需要将大部分难降解的颗粒性有机物转化为可生物降解的组分。

以上这些因素表明只有了解污泥的组成, 才能了解和估计各种污泥减量技术的潜在效能。

2.2 污泥的组成

污泥特性通常由 TS、VS、TSS、VSS、总 COD 和非溶解性 COD 这些分析指标表征。这些指标的区别在于它们代表的污泥不同组成。

总固体浓度 TS 包含: (1) 溶解性和悬浮 (颗粒状) 组分, (2) 有机 (挥发性) 和无机 (惰性) 组分, 如图 2-1 所示。

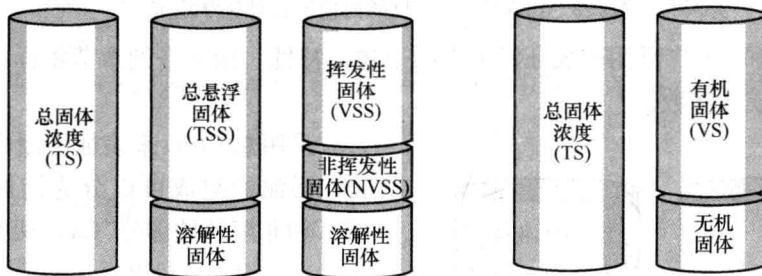


图 2-1 污泥中总固体物质的组成

总 COD 中不包括无机物, 只包括由溶解性和颗粒性组分组成的有机化合物。如图 2-2 所示。非溶解性 COD 是表征悬浮状态有机物的指标, 与 VSS 值密切相关, 两者之间的转化系数 f_{cv} 通常为 1.48 mgCOD/mgVSS。

这些指标可以概括如下:

- (1) TS (总固体浓度): 可以分为溶解性和颗粒状固体或是有机和无机组分;
- (2) VS (总挥发性固体浓度): 包括溶解性和颗粒状有机物;
- (3) TSS (总悬浮物浓度): 除溶解性有机物和无机物之外的颗粒性固体;

- (4) VSS（挥发性悬浮物浓度）：除溶解性和不溶解性固体之外的颗粒性有机物；
- (5) 总 COD=包括非溶解性 COD 和溶解性 COD 在内的化学需氧量；
- (6) 溶解性 COD=溶解化合物的化学需氧量；
- (7) 非溶解性 COD=非溶解性化合物的化学需氧量，可用于评估总 COD 与溶解性 COD 之间的差值。

由于非溶解性 COD 与 VSS 测定的是类似的组分（颗粒有机固体），两者较为相近（图 2-2）。

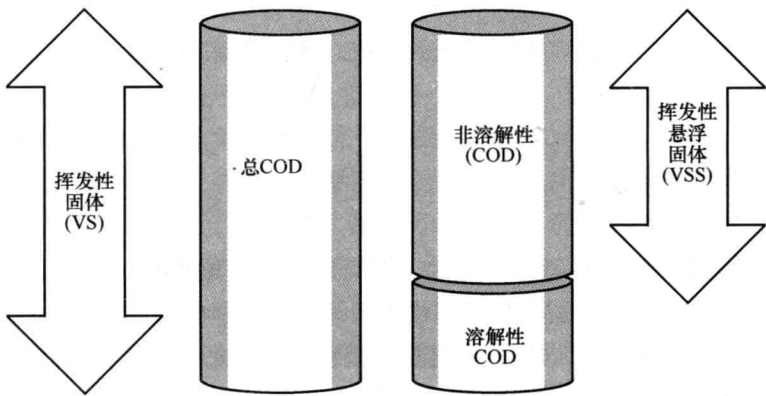


图 2-2 污泥中总 COD 的简化的物理化学组成

TSS 和 TS 广泛用于表征污泥中的干物质特性。接下来的章节将详细介绍表征污泥组成的参数。

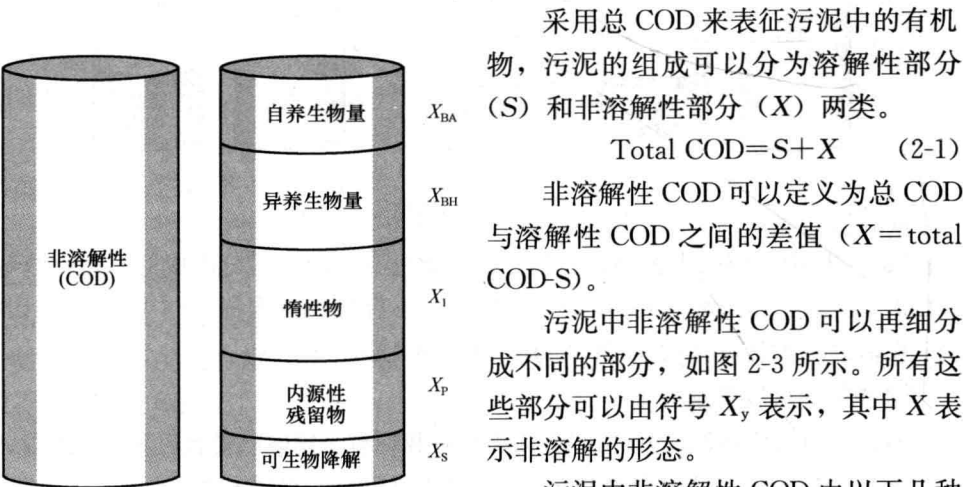


图 2-3 污泥中非溶解性 COD 的组成

采用总 COD 来表征污泥中的有机物，污泥的组成可以分为溶解性部分 (S) 和非溶解性部分 (X) 两类。

$$\text{Total COD} = S + X \quad (2-1)$$

非溶解性 COD 可以定义为总 COD 与溶解性 COD 之间的差值 ($X = \text{total COD} - S$)。

污泥中非溶解性 COD 可以再细分成不同的部分，如图 2-3 所示。所有这些部分可以由符号 X_y 表示，其中 X 表示非溶解的形态。

污泥中非溶解性 COD 由以下几种形态组成：

$$\text{非溶解性 COD} = X_I + X_P + X_S + X_{BH} + X_{BA} \quad (2-2)$$

由于运行条件和进水水质不同，这些组分所占的比例也不尽相同。下面给出这些 COD 组分的具体说明：

- (1) 异养生物量 (X_{BH})：由生物降解有机物的异养微生物构成；
- (2) 自养生物量 (X_{BA})：由硝化细菌构成；
- (3) 惰性颗粒性 COD (X_I)：进水中惰性颗粒性 COD，进入活性污泥系统时，不受生物处理的影响，并且积累在污泥中；
- (4) 内源性残留物 (X_P)：累积在污泥中的细菌衰亡期的残余物；
- (5) 可生物降解的非溶解性 COD (X_S)：可以缓慢生物降解的 COD；当泥龄足够长时，活性污泥中这一组分的含量一般很小。

在活性污泥中，自养微生物生长十分缓慢，所以在质量平衡中自养生物量 (X_{BA}) 可以忽略不计。通常认为活性生物量主要由异养微生物 X_{BH} 构成。如果忽略 X_S 和 X_{BA} 这两个含量较小的部分，活性污泥的组成可以大概表示成如下形式：

$$\text{Particulate COD} = X_I + X_P + X_{BH} \quad (2-3)$$

X_I 的累积量取决于进水水质，而 X_P 与污泥的泥龄有关。在某些情况下，尤其当污水处理厂的污泥泥龄很长时， X_I 和 X_P 这两部分含量可能大于 X_{BH} 量。

最理想的污泥减量化技术，应该达到以下目的：

- (1) 处理、溶解、减少 X_I 和 X_P 这些惰性组分，将它们转化为可溶解的或可以生物降解的物质；
- (2) 减少微生物的净生长量，保持较高的活性生物量 X_{BH} ，以确保生物过程的效率。

2.3 污泥产量

污水处理的污泥比产量一般为 $35 \sim 85 \text{ g 干固体} / (\text{人} \cdot \text{d})$ ($\text{gTS PE}^{-1} \text{ d}^{-1}$)。常规的每日污泥产量约为 $60 \sim 80 \text{ gTS PE}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (数据来源于德国和法国, Ginestet, 2007a) 或 $65 \text{ gTS PE}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (数据来源于意大利, Battistoni *et al.*, 2002), 换算成湿污泥约为 $250 \text{ g 湿污泥} / (\text{人} \cdot \text{d})$ 。

2.3.1 初沉污泥产量

初沉污泥产量取决于原污水中可沉降固体的含量，其固体含量通常为 $50 \sim 60 \text{ gTSS} / (\text{人} \cdot \text{d})$ 或 $110 \sim 170 \text{ gTSS} / \text{m}^3$ 污水 (Tchobanoglous *et al.*, 2003)。计算初沉污泥产量时，通常会考虑原污水中 TSS 的浓度 (一般为 $90 \sim 120 \text{ gTSS PE}^{-1} \text{ d}^{-1}$)，