
生物除磷

设计与运行手册

Biological Phosphorus Removal
Manual for Design and Operation

P.M.J.Janssen,K.Meinema,H.F.van der Roest 著

祝贵兵 彭永臻 译



中国建筑工业出版社

生物除磷

设计与运行手册

Biological Phosphorus Removal

Manual for Design and Operation

P. M. J. Janssen, K. Meinema, H. F. van der Roest 著

祝贵兵 彭永臻 译



中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2005-2957

图书在版编目 (CIP) 数据

生物除磷设计与运行手册 / P.M.J.Janssen 等著; 祝贵兵, 彭永臻译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07323-5

I. 生… II. ①P…②祝…③彭… III. 生物处理—脱磷—技术手册 IV. X703-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 030046 号

©IWA Publishing 2002

©China Architecture & Building Press [2005] through Vantage Copyright Agency, Naning, Guangxi, P.R China

This translation of **Biological Phosphorous Removal—Manual for Design and Operation** is published by arrangement with IWA Publishing of Publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London, SW1H 0QS, UK, www.iwapublishing.com

Chinese translation copyright ©2005 by China Architecture & Building Press
All rights reserved

Biological Phosphorous Removal—Manual for Design and Operation by P.M.J Janssen K. Meinema and H.F van der Roest 由 IWA Publishing 正式授权我社在全球翻译、出版、发行本书中文版

《生物除磷设计与运行手册》是国际水协多年来研究成果的最新总结。本书从基础理论出发，把最新的理论研究成果结合实际除磷工艺详细地介绍了生物除磷在设计与运行方面的具体内容，并对一些处理构筑物的优化组合进行了研究，对影响生物除磷工艺除磷效率的影响因素进行了分析。通过分析荷兰 12 座典型生物处理厂长期运行结果，总结了大量有关生物除磷系统运行的设计和管理经验，并以决策图的形式给出了生物除磷的设计方法。

本书由浅入深，理论结合实际，有助于从事污水生物除磷方面的科研人员和设计工作者更好地理解和应用生物除磷系统。

* * *

责任编辑：田启铭 石枫华 戚琳琳

责任设计：崔兰萍

责任校对：李志瑛 孙爽

序

磷是生命活动的一种必需元素，而且，也是一种稀有的自然资源。但是当今社会对这种不可再生资源的存储和重复利用关注甚少。

磷被利用后，以污水的形式被排放。如未加处理，磷能够使受纳水体发生富营养化。全世界范围内对污水中磷的去除的要求日益增强。尽管一些政策法规主要是防止受纳水体富营养化，但是从污水中对磷进行修复使磷再生利用变得日益有益。

传统化学除磷和生物除磷是污水除磷的两种可行性技术。近年来，生物除磷技术的应用要远高于化学除磷。从重复利用的观点看，生物除磷具有更好的应用前景。在生物除磷过程中，磷在活性污泥中聚集，所以其修复过程相对简单。然而，在活性污泥工艺中，生物除磷是最复杂的过程之一。但是即使是在这种技术刚处于起步阶段而且人们对生物除磷的一些基础知识所知甚少的情况下，这种复杂性也没有阻碍其在实际条件下的应用。现今对于污水生物处理，生物除磷是一种先进而且可靠的技术。例如在荷兰的 2000 座污水处理厂中，有 50 座采用了生物除磷技术。在荷兰通过生物除磷技术的实际应用所获得的一些知识以及在全世界范围内所收集的有关生物除磷的信息都记录在本手册中。本手册从生物除磷的背景知识开始，对生物除磷技术在微生物和生化方面的研究进展以及在实际中生物除磷工艺的结构的发展进行了

重点论述。对除磷效率的一些影响因素进行了详细探讨。除对生物除磷技术进行陈述外，本手册还提供了工艺设计和确定设计参数的准则，以优化生物除磷工艺运行。在本书中，对荷兰 12 座采用不同结构的生物除磷工艺进行了详尽描述，并根据现今的生物除磷知识对运行结果和实际经验进行了分析，从生物除磷的许多方面对所描述的生物除磷污水处理厂进行了比较。通过收集、整理、分析污水处理厂的长期运行数据，验证了生物除磷稳态模型。手册在生物除磷工艺知识、实际经验和生物除磷污水处理厂运行分析的基础上，提供了设计生物除磷工艺的系统方法，并以此作为本书的结尾。还提供了解决生物除磷运行方面的一些知识和保证出水达到排放标准的一些可靠方法。通过采用决策图加强了生物除磷工艺的优化运行。

手册由 P. M. J. Janssen、K. Meinema 和 H. F. van der Roest 编写，荷兰代尔夫特工业大学 Ir. M. C. M. van. Loosdrecst 教授提供了帮助。由 Ir J. Ebbenhorst（主席）、Dr Ir J. J. W. Hulsbeek、Ir A. W. A. de Man、Ing. J. P. H. Piron、Ir P. J. Roeleveld 和 Ir P. C. Stamperius 组成的指导小组对本手册给予了大量指导。

应该强调的是，所有这些经验都是在荷兰的运行条件下获得的，而对于全世界范围的应用应有所注意。本手册的使用者如将其国家的实际条件给与充分考虑，这本手册将是生物除磷污水处理厂设计和解决运行中出现的种种问题的无价的信息资源。最后，当运行生物除磷污水处理厂时，不要忘记考虑对磷修复的一些措施。

译者序

湖泊、水库等水域由于植物营养成分氮、磷等不断补给、过量积聚，造成水体营养过剩的现象称为水体“富营养化”。由于水体中营养物质过多，水生生物大量繁殖。藻类的呼吸作用及死亡藻类的分解作用消耗大量的氧，致使水体处于严重的缺氧状态，并分解出有毒物质，从而给水质造成严重的不良后果。我国处于不同富营养状态的湖泊达 85%，湖泊富营养化，尤其是蓝藻水华暴发加剧了我国水质性缺水问题的严重性，威胁到饮用水供应，严重制约了经济建设和社会发展。

国际公认，湖泊的富营养化是由于过多的磷和氮流进湖泊以及积累在湖底沉积物内的磷和氮释放到湖水中而造成的。控制水体“富营养化”最直接有效的方法就是加强污水的处理深度，进行脱氮除磷。

为防止传统二级生物处理出水对受纳水体的富营养化污染问题及进行污水回用以削减废水排放量并减缓水资源的短缺问题，世界各国从 20 世纪 70 年代末开始在污水深度处理方面开展了广泛的研究，且取得了一些显著的成绩，其中尤以荷兰和南非为代表。对比于化学法除磷，生物除磷具有诸多优势，是目前研究和应用的热点。化学方法只是在特殊情况下作为生物法的一种补充措施。

学术专著《生物除磷—设计与运行手册》是国际水协多年

来研究成果的最新总结，在世界上具有广泛的影响力。它从基础理论出发，将最新的基础理论研究成果，如反硝化除磷菌的释磷吸磷特性和过量曝气对生物吸磷的影响等加入其中，结合实际除磷工艺详细地介绍了生物除磷系统在设计运行方面的具体知识，并对一些处理构筑物的优化组合进行了分析。对生物除磷工艺除磷效率有直接影响的一些因素进行了研究。本书通过对荷兰 12 座典型生物除磷污水处理厂长期运行结果的分析，总结了大量有益于生物除磷系统运行的设计管理经验，以决策图的形式给出了生物除磷系统的设计方法，并提供了故障诊断措施。本书由浅入深、理论结合实际，有助于读者对生物除磷系统的理解和应用。

我相信，本书在中国的翻译出版，定将有助于我国在污水深度处理、生物除磷方面的研究，并推动其在设计及运行管理方面的应用。本书由祝贵兵、彭永臻译，孟祥胜同学参与了第 5 章的翻译工作，姜莹同学负责了文字文稿方面的工作。范婕、王晓玲、吴淑云同学给予大量的帮助。本书得到了国家高新技术研究发展重大科技专项“北京城市北环水系水环境质量改善技术与示范(863-2003AA601010)一污水高效脱氮除磷深度处理技术优化集成与示范”的资助。在此，谨向《生物除磷—设计与运行手册》的各位原著作者，以及国际水协出版公司的支持和帮助表示衷心的感谢！

缩 略 词

- ASM No.1 (activated sludge model No.1, 活性污泥数学模型 1)
- ASM No.2 (activated sludge model No.2, 活性污泥数学模型 2)
- ATP (Adenosine Triphosphate, 三磷酸腺苷)
- ATU (Allylthiourea, 烯丙基硫脲)
- COD (Chemical oxygen demand, 化学需氧量)
- DAF (Dissolved Air Flotation, 溶气气浮)
- DNA (Deoxyribonucleic acid, 脱氧核糖核酸)
- DO (Dissolved oxygen, 溶解氧)
- DWF (dry weather flow, 晴天流量)
- FISH (Fluorescent In Situ Hybridisation, 荧光电位杂交技术)
- IAWQ (International association of water quality, 国际水质协会)
- MAP (Magnesium-ammonium-phosphate, 磷酸合铵化镁)
- PAO (Phosphate accumulating organisms, 聚磷菌)
- PHA (poly-hydroxy-alkanoates, 聚- β -羟基链烷脂酸)
- PHB (poly-hydroxy-butyrate, 聚- β -羟基丁酸盐)
- PHV (poly-hydroxy-valeriate, 聚- β -羟基戊酸盐)
- RNA (Ribonucleic acid, 核糖核酸)
- RWF (rain weather flow, 雨天流量)
- SVI (Sludge volume index, 污泥体积指数)
- VFA (Volatile fatty acid, 挥发性脂肪酸)

VSS (Volatile suspended solids, 挥发性悬浮固体)

S_A 可利用的有机物

S_I 惰性可溶性有机物

S_S 易生物降解有机物

S_F 进水中的可酸化部分有机物

X_S 慢速可生物降解有机物

X_I 惰性可溶性有机物

A/O (Anaerobic/oxic, 厌氧/好氧工艺)

A²/O (Anaerobic/Anoxic/Oxic, 厌氧/缺氧/好氧工艺)

Bardephe (BARnard-DENitrification-PNOsphorus removed 工艺)

BCFS (Biological Chemical Phosphorus and Nitrogen removal 工艺)

Biodenitro (Biological (De) nitrification and Phosphorus removal 工艺)

JHB (Johannesburg 工艺)

ISAH (Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfall der Universität Hannover 工艺)

Phoredox (Phosphorus reduction oxidation 工艺)

Phostrip (Phosphorus stripping 工艺)

SBR (Sequencing Batch Reactor 序批式活性污泥法)

UCT (University of Cape Town 工艺)

目 录

序

译者序

第 1 章 概 述	1
1.1 采用新方法进行生物除磷的必要性	1
1.2 本书的目的	2
1.3 历史背景	2
1.3.1 第一次发现“过量吸磷”	3
1.3.2 微生物学研究：不动杆菌 <i>Acinetobacter</i> genus	3
1.3.3 Barnard 和南非：第一座实际处理构筑物	4
1.3.4 Rensink：释磷与吸磷的关系	4
1.3.5 生化模型的发展	5
1.3.6 硝酸盐的存在：利还是弊？	5
1.3.7 模型：逐步发展	5
1.3.8 荷兰的生物除磷技术：广泛应用	6
1.4 生物除磷的优点与缺点	7
1.4.1 生物除磷的优点	7
1.4.2 生物除磷的缺点	9
第 2 章 生物除磷基础	11
2.1 导言	11
2.2 生物除磷过程的量化解析	11

2.3	聚磷菌的微生物学基础	13
2.4	生物除磷过程中的生化反应	14
2.5	污泥中的磷组分	18
2.6	释磷与吸磷实验	20
2.7	生物除磷过程的环境影响因素	26
2.7.1	温度	26
2.7.2	pH	28
2.7.3	进水组分	29
2.7.4	硝酸盐和氧	31
2.7.5	污泥负荷与污泥龄	33
2.7.6	厌氧停留时间	34
第3章	生物除磷系统模型的设计	35
3.1	静态模型	35
3.1.1	导言	35
3.1.2	经验模型	35
3.1.3	Henze、Scheer 和 Smolders 的方法	36
3.2	动态模型	39
3.2.1	导言	39
3.2.2	生物除磷动态模型中的子过程	41
3.2.3	动态模型的比较	43
第4章	生物除磷处理构筑物	45
4.1	导言	45
4.2	生物除磷工艺	46
4.2.1	主流工艺和侧流工艺	46
4.2.2	连续或间歇式厌氧段	47
4.2.3	单独反硝化池的存在	48

4.2.4	UCT 和 Phoredox 工艺	49
4.2.5	曝气池的结构	49
4.3	生物除磷与前置酸化	50
4.3.1	导言	50
4.3.2	污泥处理中的水解和酸化	50
4.3.3	VFA 产量与反应条件的关系	51
4.3.4	初沉污泥酸化的其他方面及其与其他反应过 程的关系	53
4.4	生物除磷与污泥沉淀	55
4.4.1	导言	55
4.4.2	悬浮固体的冲失	55
4.4.3	二沉池中的厌氧条件	57
4.4.4	与污泥沉降性的关系	59
4.5	生物除磷与污泥处理	60
4.5.1	导言	60
4.5.2	污泥处理过程中的释磷反应	62
4.5.3	荷兰和其他国家的经验	64
4.5.4	防止污泥处理中磷循环的措施	66
4.6	生物除磷与辅助化学除磷	68
4.6.1	导言	68
4.6.2	辅助化学除磷对生物除磷的影响	68
4.6.3	化学试剂的投加点	69
4.7	生物除磷的控制	70
第 5 章	生物除磷处理体系	73
5.1	污水处理厂的选择	73
5.2	Amersfoort 污水处理厂	75

5.2.1	工艺描述	75
5.2.2	工艺设计和设计参数	76
5.2.3	生物除磷工艺的设计	78
5.2.4	结果 (无干扰时期)	79
5.3	Katwoude 污水处理厂	82
5.3.1	工艺描述	82
5.3.2	工艺设计和设计参数	84
5.3.3	生物除磷工艺的设计	85
5.3.4	结果	86
5.4	Goor 污水处理厂	89
5.4.1	工艺描述	89
5.4.2	工艺设计和设计参数	90
5.4.3	生物除磷工艺的设计	92
5.4.4	结果	93
5.5	Putte 污水处理厂	95
5.5.1	工艺描述	95
5.5.2	工艺设计和设计参数	96
5.5.3	生物除磷工艺的设计	98
5.5.4	结果	99
5.6	Hardenberg 污水处理厂	101
5.6.1	工艺描述	101
5.6.2	工艺设计和设计参数	103
5.6.3	生物除磷工艺的设计	104
5.6.4	结果	106
5.7	Elburg 污水处理厂	109
5.7.1	工艺描述	109

5.7.2	工艺设计和设计参数	111
5.7.3	生物除磷工艺的设计	112
5.7.4	结果	113
5.8	Oud-Beijerland 污水处理厂	116
5.8.1	工艺描述	116
5.8.2	工艺设计和设计参数	117
5.8.3	生物除磷工艺的设计	118
5.8.4	结果	120
5.9	Venlo 污水处理厂	123
5.9.1	工艺描述	123
5.9.2	工艺设计和设计参数	124
5.9.3	生物除磷工艺的设计	125
5.9.4	结果	127
5.10	Waarde 污水处理厂	130
5.10.1	工艺描述	130
5.10.2	工艺设计和设计参数	132
5.10.3	生物除磷工艺的设计	133
5.10.4	结果	134
5.11	Zetten 污水处理厂	136
5.11.1	工艺描述	136
5.11.2	工艺设计和设计参数	137
5.11.3	生物除磷工艺的设计	139
5.11.4	结果	141
5.12	Maastricht-Bosscherveld 污水处理厂	143
5.12.1	工艺描述	143
5.12.2	工艺设计和设计参数	145

5.12.3	生物除磷工艺的设计	145
5.12.4	结果	147
5.13	Haarlem-Waarderpolder 污水处理厂	150
5.13.1	工艺描述	150
5.13.2	工艺设计和设计参数	152
5.13.3	生物除磷工艺的设计	153
5.13.4	结果	155
第 6 章	对第 5 章中所述生物除磷污水	
	处理厂的详细讨论	158
6.1	通过运行结果检验生物除磷静态模型	158
6.1.1	基于平均运行结果的检验	158
6.1.2	高温和高硝酸盐浓度工艺条件下的校核	161
6.1.3	对 Scheer 生物除磷模型可应用性的总结	163
6.2	对出水磷浓度、磷去除和除磷的稳定性的分析	164
6.2.1	出水中磷浓度和磷的去除：基于平均结果	164
6.2.2	除磷稳定性	168
6.3	对污泥处理、污泥中的磷酸盐浓度、污泥沉淀、 生物除磷工艺的控制和缺氧除磷的分析	172
6.3.1	生物除磷与污泥处理	172
6.3.2	生物除磷与污泥中磷的含量	174
6.3.3	生物除磷与污泥沉降性	175
6.3.4	生物除磷与控制	176
6.3.5	生物除磷与缺氧吸磷	178
6.4	结论	179
第 7 章	生物除磷污水处理厂的设计与优化运行	181
7.1	导言	181

7.2	生物除磷工艺的设计	181
7.3	生物除磷工艺的优化	187
附录 1	生物除磷污泥的染色	190
附录 2	生物释磷与吸磷实验	192
附录 3	进水特性的分析方法	197
附录 4	关于生物除磷稳态模型的详细信息： 以 Scheer 生物除磷模型为例	201
附录 5	动态生物除磷模型的详细信息	209
附录 6	对生物除磷及实际处理构筑物的描述	219
附录 7	12座生物除磷污水处理厂的运行结果	238
参考文献	250