

发展中国家 城市污水管理

——原理与工程技术

**Municipal Wastewater Management in
Developing Countries:**
Principles and Engineering

〔马来〕 Zaini Ujang 主编
〔丹麦〕 Mogens Henze

中国环境科学出版社

发展中国家城市污水管理

——原理与工程技术

〔马来〕 Zaini Ujang 主编
〔丹麦〕 Mogens Henze

崔成武 译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

发展中国家城市污水管理/(马来)吴江·采尼,(丹)汉斯主编;
崔成武译. —北京:中国环境科学出版社, 2008.9

ISBN 978-7-80209-777-3

I. 发… II. ①吴…②汉…③崔… III. 发展中国家—城市污
水—污水处理—研究 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115528 号

版权登记号 图字: 01-2008-4587

Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles and Engineering
© IWA Publishing 2006'together with the following acknowledgement: 'This
translation of Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles
and Engineering is published by arrangement with IWA Publishing of Alliance
House, 12Caxton Street, London, SW1H0QS, UK, www.iwapublishing.com

责任编辑 丁 枚 任海燕

责任校对 尹 芳

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印	刷	北京中科印刷有限公司
经	销	各地新华书店
版	次	2008 年 9 月第 1 版
印	次	2008 年 9 月第 1 次印刷
开	本	787×960 1/16
印	张	17.5
字	数	300 千字
定	价	42.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

中文版序

中国污水管理行业的快速发展需要通过最为先进的城市污水管理信息和技术来实现。其中市政基础设施的建设和投资应发挥出最大作用，因而技术和管理方面的因素就显得尤为重要。这正是将本书翻译为中文的主要原因。

通过本书可以加深对污水处理知识的认识，从而提高相关决策的质量。由于污水可以产生各种严重的环境问题，因此世界上所有国家都需要对污水进行妥善的处理。本书是由国际上知名的专家和学者撰写，可确保本书的高质量和信息的新颖性。

本书的英文版《Municipal Wastewater Management in Developing Countries》由 IWA 出版社出版。翻译工作是由崔成武先生在丹麦技术大学环境工程系学习期间完成的。在此我向崔成武先生在本书翻译过程中所付出的辛勤劳动以及严谨细致的工作态度表示衷心的感谢。



摩根·汉斯
丹麦技术大学环境工程系
2008年1月

前 言

本书从可持续的环境卫生角度详述了发展中国家应用的新型污水管理方法，涵盖了与污水管理相关的概念以及法律、管理、财政和工程等方面的内容。本书可供在校研究生、相关科研人员、工程和咨询人员以及政策制定者参考阅读。本书由来自发达国家和发展中国家相关专业的教授和工程人员撰写，其基本特点如下：

- ❖ 内容新颖；
- ❖ 全面阐述了可持续的环境卫生系统；
- ❖ 列举真实案例；
- ❖ 对案例进行分析、核算。

采尼·吴江（Zaini Ujang）

马来西亚技术大学

摩根·汉斯（Mogens Henze）

丹麦技术大学

目 录

第 1 章 发展中国家可持续卫生系统	1
1.1 简介	1
1.2 相对贫困的发展中国家	7
1.3 高速发展的国家	7
1.4 社会经济类别	8
1.5 可持续发展和卫生系统	9
1.6 发展中国家可持续卫生系统	12
参考文献	13
第 2 章 出水水质标准的设定	14
2.1 简介	14
2.2 水质	20
2.3 排放标准	23
2.4 回用标准	27
2.5 发展中国家实例研究	32
参考文献	34
第 3 章 发展中国家污水基础设施建设的策略和计划 ——马来西亚的发展经验	38
3.1 简介	38
3.2 污水政策	44
3.3 成本分担	46
3.4 排水区策略	51
3.5 结论	54

参考文献	55
第 4 章 发展中国家污水处理技术	56
4.1 简介	56
4.2 生物膜系统	57
4.3 活性污泥处理系统	65
4.4 混合工艺	76
4.5 结论	77
参考文献	77
第 5 章 收集系统在旱季和雨季的功效	78
5.1 简介	78
5.2 收集系统的类型	79
5.3 旱季污水的来源和流量	81
5.4 暴雨量	85
5.5 旱季及雨季流量	91
5.6 污水水质	92
5.7 雨水水质	99
5.8 雨水影响的缓解技术	101
5.9 排水管道中的物理、化学和生物过程	102
5.10 结论	105
参考文献	105
第 6 章 传统小型分散式污水系统	107
6.1 简介	107
6.2 小型化系统及其可持续性	110
6.3 排水系统	113
6.4 小型化系统	115
6.5 就地处理系统	119
6.6 小型就地处理系统的选择	125
6.7 非洲实例研究	128
参考文献	131

第 7 章 废物稳定塘 (WSP)	135
7.1 简介	135
7.2 什么是废物稳定塘?	136
7.3 WSP 系统的优点和缺陷	137
7.4 WSP 系统的投资和经济分析	137
7.5 WSP 的主要类型	139
7.6 其他 WSP 类型	140
7.7 厌氧塘	141
7.8 兼性塘	142
7.9 为什么塘类系统没有臭味?	144
7.10 熟化塘	144
7.11 WSP 的运行和维护	150
参考文献	151
第 8 章 人工湿地法处理污水及回用的设计与操作	155
8.1 简介	155
8.2 人工湿地的类型和功能	156
8.3 植物的类型和功能	157
8.4 污水处理机理	158
8.5 设计公式	161
8.6 设计及操作过程中应考虑的其他因素	166
8.7 运行和维护	168
8.8 实例研究	171
参考文献	175
第 9 章 可持续新方法及技术	176
9.1 简介	176
9.2 当前技术的发展与革新	180
9.3 科研需求	187
参考文献	190
第 10 章 污泥处理	192
10.1 简介	192

10.2 污泥特性	193
10.3 污泥处理	200
10.4 污泥减量	213
10.5 化粪池	214
10.6 生物固体的应用	214
10.7 污泥处置	219
10.8 法制管理	223
10.9 取样及监测	226
10.10 成本	230
10.11 实践经验	230
10.12 展望	235
参考文献	235
 第 11 章 分散式污水系统的管理	243
11.1 简介	243
11.2 存在的主要问题	245
11.3 排水区的规划和策略	247
11.4 成本投资	254
11.5 操作和维护费用	257
11.6 数据库	259
11.7 出水质量监测	263
11.8 升级改造策略	265
11.9 发展中国家污水行业发展的挑战	265
参考文献	267
 译后记	269

第 1 章

发展中国家可持续卫生系统

作者: Zaini Ujang, Mogens Henze

1.1 简介

自从欧洲工业革命以及美国、日本迅速实现工业化以来,多种具有革新意义的水和污水管理体系相继诞生。这些管理体系的主要目的是确保公共卫生的水平及保护环境,其中由饮水传染的疾病是重点防治的对象。在当时,大规模水生传染疾病的传播媒介是人类的排泄物[Feachem *et al.*, 1982]。据统计,在 2000 年,有 220 万人死于与水环境卫生相关的各种疾病(如血吸虫病、沙眼、肠道寄生虫感染等),其中 100 万人死于疟疾[联合国世界水发展报告, 2003]。在过去的 200 年间,为了预防和控制这些与水环境相关的疾病,人们提出了多种解决办法。在本书中,将此类系统称为“传统卫生系统”。

发展中国家可分为两种类型,一种类型是国家正处于快速发展和转型阶段,工业化和城市化进程较为迅速;另一种类型则是国家处于相对较慢的改革和转型阶段。两种类型都有各自的特点,需要分别讨论,特别是对与大规模资本投资相关的方案和政策,如污水管理。

1.1.1 发展趋势

表 1.1 以时间为序总结了一些发达国家水污染状况和控制方法的发展历程。由于缺乏相关资料,发展的历程也只限于现代文明社会。值得注意的是,在原始文明社会里,人们是可以根据需求和当时的技术条件来管理水资源和卫生系统的。根据 Copper (2001) 提供的资料,排水管道在美索不达米亚帝国(公元前 3500 年—公元前 2500 年)和古希腊(公元前 1700 年)克利特岛 Mino 国王的皇家宫殿中就已得到广泛的应用。而在古印度城市 Mohenjo-daro,公共厕所和粪池也已经开始广泛使用。在古希腊,人们就将公共厕所中的尿液和粪便排到农田和果园中用于农作物和果树的灌溉和施肥。排水管网系统等技术在现代文明社会中得到了广泛应用,如伦敦排水管网委员会在 1531 年就已经成立。应用化学物质被认为是原始文明和现代文明的分界线。其中,最早应用化学物质处理污水的记录出现在 1740 年的巴黎,当时使用的物质为石灰。

表 1.1 发达国家水污染发展历程和相应的解决措施

年代	污染物或环境影响	解决措施
20 世纪以前	致病微生物	建设排水管网
20 世纪前 10 年	污水中的有机污染物	建设生物污水处理厂
20 世纪 50 年代	工业废水; 无机污染物	在排放到污水管网前, 进行相应的现场处理
20 世纪 60 年代	其他有机物: 杀虫剂、油脂、各种溶剂	污水深度生物处理和化学处理
20 世纪 70 年代	富营养化问题	污水处理厂对氮、磷等污染物进行有效控制
20 世纪 80 年代	气味、嗅觉、色度	膜技术; 活性炭
20 世纪 90 年代	温室气体	生物技术
21 世纪初	痕量污染物、生态有害物	膜技术

在 19 世纪初,公共卫生关注的重点是污水中的致病微生物。正是这些微生物导致了欧洲大范围的伤寒症和霍乱病。John Snow 证明在 1848—1854 年爆发的霍乱与供水水源受到污染有关。当时采取的防范措施就是建设排水管网。污水产生后就应该得到有效的收集,并通过管道输送到远离人群的地方,最后排放到环境水体(主要是河流和海洋)中。可是由于污水的负荷较高,因此造成了环境

水体的有机污染问题。随后的发展结果就是引入沉淀技术，之后又开发了生物法来处理污水。当时具有代表性的工艺是采用生物滤池去除有机物，降低有机负荷。1916年，在英格兰的 Worcester 建成了世界上第一座基于活性污泥工艺的污水处理厂。1922年和1926年，类似污水处理厂也分别在丹麦的 Soelleroed 和德国的 Rellinghausen 建成[Copper, 2001]。在20世纪50年代，公众所关心的内容转移到了工业废水的污染和治理上。特别是在水俣病事件后，含有重金属的工业废水得到了广泛的关注，相应的解决措施是在现场应用各种化学方法进行妥善处理。随后，富营养化问题成了关注的焦点。特别是在欧洲，所有污水处理厂都需要对氮、磷等营养物质进行有效控制。在21世纪的第一个十年间，生态有害污染物和痕量污染物，如内分泌干扰物(EDCs)已成为发达国家首要关注的内容。EDCs，特别是雌激素和雄激素，对人体生殖器官的发育和功能有害[Matsui *et al.*, 2001]。相应的解决技术还处在研究阶段，但已经开始向膜技术方向发展。

1.1.2 传统卫生系统

一般认为，水污染控制的发展趋势对传统卫生系统具有至关重要的影响，特别体现在法制和财政框架以及技术改进等方面。卫生在字面上的含义可以理解为通过采取各种可行的方法保护与供水、污水、废物管理以及其他健康服务相关的公众健康。在过去的几十年里，环境卫生工程师主要负责卫生基础设施建设方面的工作。由于科技的迅速发展使得各学科范围不断扩大，因此自1980年后这些相关学科统称为环境工程。一般来说，传统卫生系统已经在发达国家广泛应用。表1.2列出了传统卫生系统的一些主要特点。

表 1.2 发达国家水和污水管理体系特点

对比内容	特点/传统做法
水资源	从水源保护区抽取清洁水源
水质	使所产生的污水得到充分处理后达标排放
处理目标	基于公众健康和风险评估的指导方针和标准
供水系统	管道系统采用余氯消毒
污水产生源	厕所、厨房、浴室和冲洗过程
工业废水产生源	工业过程、设备以及清洁操作过程中产生的副产物
污水收集	集中式污水管网系统：雨污合流或分流系统
集中式污水处理	去除污染物：固体颗粒、有机物和营养物质
深度处理	去除痕量污染物和生态有害物
污泥管理	污泥控制和排放

对比内容	特点/传统做法
污水回用（可选）	用于景观和农业灌溉（可选）
成本投资	资金来源于政府和纳税人
操作、运行费用	当地政府筹集/当地税费

被认为是传统方法的发达国家水和污水管理系统的图解见图 1.1。其采用集中式的方法建造了大量的排水管道和大型的污水处理厂。在发达国家的许多城市和城镇已经成功地应用了这种传统方法。世界上其他一些国家，包括发展中国家，也对这种方法进行了广泛宣传并列为“标准教材”。对该方法的理解是：水首先通过管道进行运输和使用，而污水在排放到水环境系统之前应该得到有效收集、转移和处理。这种集中式处理系统的关键因素是控制水量、污水和污泥处理以及自动化技术。

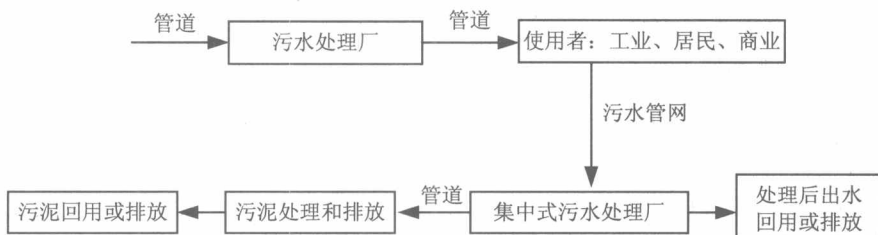


图 1.1 发达国家传统的水和污水管理体系

但传统方法至少需要满足以下四个基本要求：

- ❖ 建设污水管网和污水处理厂需要大量的成本投资。世界银行评估的 8 个发展中国家污水投资费用在 600~4 000 美元/户，平均每年费用为 150~650 美元/户（1980 年价格）[Mara, 1996]；
- ❖ 通过相关法律确保污水能够汇入排水管道；
- ❖ 较高的操作和维护费用。例如，德国管道系统重建费用预计在 1 000 亿欧元[Wilderer, 2001]；
- ❖ 房屋内部需要建立水和污水连接管道。

尽管传统方法在科学、工程和法制框架上取得了一定的进步和发展，但世界上依然有 95% 的污水在未经过任何处理的情况下直接排放到环境中[Niemczynowics, 1997]。全球只有 5% 的污水采用“标准”的卫生设施进行有效处理，而且主要集中在发达国家。而世界上其他地区依然面临着水生疾病的威胁，发展中国家水资源质量也在迅速恶化。

1.1.3 挑战

当前的挑战就是向人类，特别是生活在贫穷地区的人们提供充足的水和卫生基础设施。尽管在这方面每年的投资都会达到数十亿美元，但是世界上依然有数十亿的人口由于缺乏相应的卫生基础设施而生病甚至死亡。在 21 世纪初，全球大约有 11 亿人得不到清洁的水源供给（与 1990 年的数字相同），24 亿人生活在没有卫生基础设施的条件下（1990 年为 23 亿），40 亿人甚至没有听说过污水排放[WHO & UNICEF, 2000]。

在很多场合下，这种挑战被一些团体命名为“水和卫生系统的千年发展计划（MDGWS）”。该计划的目标是：

- ❖ 到 2015 年，使世界上得不到或负担不起清洁饮用水的人口比例减半。这个目标在联合国千年峰会上被采纳；
- ❖ 到 2015 年，使世界上得不到或负担不起卫生基础设施的人口减半。这个目标在世界可持续发展会议上被采纳。

该计划对未来的设想是：随着世界人口的增加，水资源会更为缺乏。世界上很多国家特别是发展中国家由于没有合理的污染控制措施，环境也会进一步恶化。目前，发展中国家为了克服环境恶化付出了很多努力。例如在马来西亚，在建立新规定和法规的同时，还在相关项目上投入了大量的资金[Ujang & Buckley, 2002]。这些项目包括：引进适宜的污水处理设备、集中式固体废物处理和排放技术、垃圾焚烧和填埋场以及河流治理技术等。南非、泰国等一些国家在执行可持续环境资源策略时，也有类似的发展计划和项目。如南非 Natal 大学创建的废物最小化俱乐部被认为是污染防治和清洁生产方面学院派与工程派合作的良好典范[Barclay & Buckley, 2002]。

1.1.4 发展中国家的困难和问题

目前，很多发展中国家简单地复制发达国家发展经验，广泛地采纳了传统卫生系统，而并没有认真考虑其投资可行性、技术应用可行性以及公众环境意识等一系列问题。例如以时间发展角度分析，日本的环境保护是随着公众对自然环境、健康问题以及各种污染物特性的理解而进步和发展的。因此，各种污染物排放标准以及污染控制措施也是按照时间顺序发展的，如图 1.2（a）所示。通常以 10 年作为一个发展阶段。如在 20 世纪 60 年代，主要应用活性污泥法和生物膜技术去除生活污水中的有机污染物，而其他各种重点控制污染物，如工业废物、营养物质以及有毒有害物质则在随后的环境质量和污染控制中有所体现[Ujang & Buckley, 2002]。

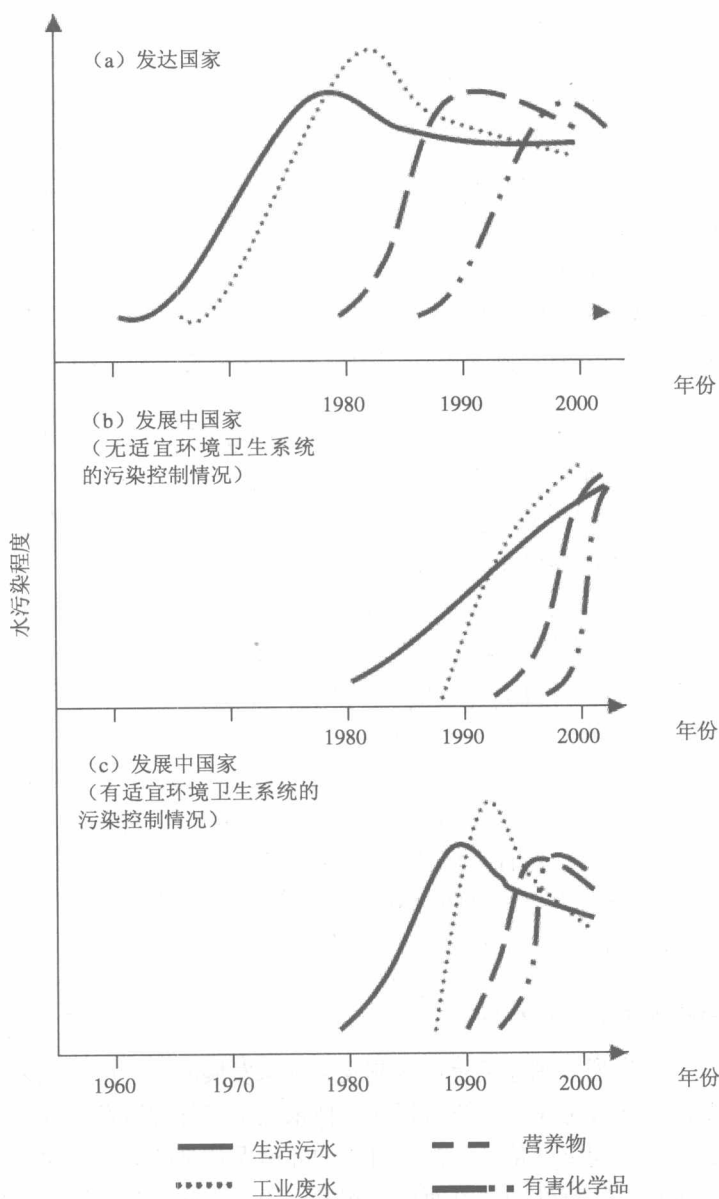


图 1.2 发达国家和发展中国家水体中污染成分的变化

一般认为，目前现有的成熟技术完全能够处理如图 1.2 (a) 所示的各种污染物。以日本和其他发达国家的发展经验来看，各阶段出现峰值的时间并不同步。

也就是说存在所谓的“技术跳跃”。图 1.2 (b) 所示为发展中国家水污染的发展趋势。从 1980 年至今, 发展中国家城市化和工业化进程迅速, 四类重点污染物(生活污水污染物、工业废水污染物、营养物和有害化学品) 几乎同时出现, 使得峰值相互重叠, 无法区分。在这种情况下, 时间就不会成为环境污染控制方法的限制因素, 出水处理的次序也没有必要遵循发达国家的发展趋势。如图 1.2 (c) 所示, 如果基于投资-收益的方法分析, 考虑公众健康、环境质量、生态旅游以及水资源可持续发展成本, 相比较而言很多深度处理技术成本并不算高。由于清洁生产的优势已越来越被人们所了解, 因此所谓经济发展必然导致环境恶化的言论也不攻自破。而且目前很多发展中国家都在倡导采用高科技方法, 这在工业中应用得尤为明显, 如开发和应用膜技术去除痕量污染物(重金属和 EDCs)、在电子工业中采用超纯水制作电子产品等。

1.2 相对贫困的发展中国家

很多国家正面临着经济下滑导致的政局不稳和环境恶化等问题。现实的情况是, 许多发展中国家都出现了水资源缺乏和水质恶化的问题, 这在非洲和南亚的一些国家尤为明显。但是在这些国家, 其他的一些因素(如国家和种族安全、食物以及流行病控制问题) 受到重视, 而水污染问题却被忽视。

综上所述, 发展中国家的主要问题有以下几点:

- ❖ 由于大多数政策制定者和公众缺乏相关的环保意识, 使得水和废水管理部门没有军事、交通、电子、教育和健康部门重要;
- ❖ 专业知识的欠缺导致政策制定和实际执行之间存在相当的距离;
- ❖ 缺乏合理保护水资源的法律法规。如没有规定在水源区域禁止砍伐森林的相关法规;
- ❖ 来自城市化进程和人口增长方面的压力, 供水和卫生基础设施资金投入不足;
- ❖ 一些干旱地区和城市地区缺乏可开发的水资源;
- ❖ 供水和卫生基础设施相关管理体系和制度上存在不合理性。

1.3 高速发展的国家

一些发展中国家自 20 世纪 80 年代起经历了快速的工业化和城市化发展过程, 这两个过程都与环境恶化息息相关, 而污水管理体系的不完善直接导致了环境恶化。目前, 世界上 48% 的人口居住在城市区域, 而这一比例将在 2030 年达到 60%[联合国世界水发展报告, 2003]。城市化进程与高速的经济发展有着密切

的关系。总而言之，高度工业化的城市在为地区供水和卫生服务提供经济资源的同时也产生了大量废物。

在发展中国家的很多城市，供水和卫生服务取决于居住区的类型。计划合理的居住区域通常会有完善的（数量和质量）供水、卫生、公路、电力以及其他设施。但在多数城市十分常见的却是高人口密度社区内不完善的供水和卫生服务体系。在那里，人们通常使用公共厕所，而此类场所通常难以维护。上述情况在缺水国家更为糟糕。

1.4 社会经济类别

过去的很多学术研究和出版物均把发展中国家和低收入社会放在一起讨论，而大多数相应的解决办法也只适用于“穷人”。很多关于改善卫生条件的提议和建议都是不现实或片面的。理由如下：

- ❖ 不仅穷人需要适宜的卫生基础设施，“富人”以及政府公务人员（定义为社会中的中产阶级）同样也需要。很多情况下，这些“富人”是政策的制定者或是基础设施项目的执行者。但是由于他们缺乏相关环保意识使得这些项目的可持续发展性大打折扣。
- ❖ 大多数由科研院校和国际研究组织出版的关于发展中国家卫生项目的学术文章和出版物往往不具备代表性。这些文章的研究对象通常为：① 低收入的农村地区；② 大城市中的贫民区。当然，以这些区域作为重点研究对象是没有问题的。还有一些区域此时已经通过私有或公共资金建成了卫生项目，但相关的结构框架却是不可持续的。而此时却没有相关模式可以遵循。
- ❖ 很多解决方案建议为低收入群体提供免费的供水和污水处理基础设施。为了支持这些服务，公众需要自行维护和管理基础设施。可是这种结构建立在掩盖投资成本这一理想的前提条件下，而实际情况则是较高的操作和更新费用，使得项目难以维持。同时，这种结构框架还带来内部冲突，特别是关于回答“谁应该得到什么？”的问题时（分配、消费和实用性等）。

为了强调发展中国家水和污水管理方面存在的问题，需要考虑社会的各个环节，特别是居住区类型。这些环节能够反映出社会经济、精神文明和知识的发展水平，对生活方式及社会工程的设计和革新都是至关重要的。此外，区分每个项目的投资结构也十分重要。一般来说，具有较高收入的城市群体会自觉偿付污水处理费用和相对较高的供水税费。因此，可为此类群体提供相应的污水和供水服