

技支撑计划重点项目《农村安全供水集成
(项目编号: 2006BAD01B 08-03)

划课题项目《四川省重点流域农村水污染
套设备研究》(项目编号: 2006Z10-009)

资助项目

人工快速渗滤 系统机理研究

及其在农村生活污水处理中的工程应用

陈俊敏◎著

西南交通大学出版社
• 成都 •

内容简介

本书是作者自 2002 年以来在农村生活污水处理领域的研究与工程实践经验的总结。综合运用现场调查、室内试验和工程示范等手段,在前人研究的基础上,介绍了我国农村地区地表水环境污染现状、人工快速渗滤系统的国内外研究现状及基本工艺原理、农村生活污水的水质水量特征;论证了采用人工快速渗滤系统处理农村生活污水的可行性,分析讨论了人工快速渗滤系统有机物降解、脱氮、除磷的机理,提出了针对农村生活污水处理的人工快速渗滤系统最优结构和运行参数,并结合工程实例分析其实际运行效果。

本书可供从事水污染治理工作的工程技术人员参考,也可以作为高等院校环境工程、市政工程、给排水工程专业高年级本科生和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

人工快速渗滤系统机理研究及其在农村生活污水处理中的工程应用 / 陈俊敏著. — 成都:西南交通大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-5643-1791-1

I. ①人… II. ①陈… III. ①农村—生活污水—污水处理 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 124313 号

人工快速渗滤系统机理研究及其在农村 生活污水处理中的工程应用

陈俊敏 著

*

责任编辑 牛 君

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:170 mm×230 mm 印张:10.25

字数:148 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1791-1

定价:25.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

前 言

在农村环境污染的诸多因素之中，农村生活污水，由于其来源分散、配套处理工艺落后、环保资金匮乏以及农村地区人员环保意识相对较弱等因素，大部分未经任何处理就近直接排入沟渠、水塘、河流、水库和湖泊，导致河流发黑发臭、湖库富营养化等问题，对自然生态环境和饮用水安全构成重大威胁，因而越来越受到人们的关注。

为了探寻适合我国农村实际情况的生活污水处理工艺，自 2002 年以来笔者综合运用现场调查、室内试验和工程示范等技术手段，在前人研究的基础上，开展了一系列的研究工作。本书即是笔者多年在农村生活污水处理领域的研究与工程实践经验的总结。全书共分 8 章，介绍了我国农村地区地表水环境污染现状、人工快速渗滤系统的国内外研究现状及基本工艺原理、农村生活污水的水质水量特征；论证了采用人工快速渗滤系统处理农村生活污水的可行性，分析讨论了人工快速渗滤系统有机物降解、脱氮、除磷的机理；提出了针对农村生活污水处理的人工快速渗滤系统最优结构和运行参数，并结合工程实例分析其实际运行效果。

第 1 章为绪论，介绍了我国水污染现状，城市与农村生活污水治理现状及面临的挑战等背景，同时也对本书写作的目的、主要内容和框架结构进行了必要的介绍。

第 2 章为土地处理系统和 CRI（人工快速渗滤）系统研究综述，首先介绍了土地处理系统的类型、应用现状、发展前景以及存在的缺

点, 然后从填料性能、污染物去除机理、工艺参数、复氧、堵塞等方面总结了前人在人工快速渗滤系统领域所取得的主要研究成果。

第 3 章为农村生活污水水质水量特征调查与分析, 首先介绍了农村生活污水水质水量特征调研点位与时间、调查内容与调查方法, 接着对调查结果进行了分析, 总结了农村生活污水的水质水量特征及与城市生活污水的区别, 最后提出了适用于我国西南地区农村生活污水处理工程的设计进水水质指标。

第 4 章为 CRI 系统基本工艺原理及处理农村生活污水的可行性分析, 系统介绍了 CRI 系统的组成和基本工艺原理、运行的影响因素以及优缺点, 分析了 CRI 系统处理农村生活污水的可行性及技术优势。

第 5 章为 CRI 系统有机物降解室内试验研究, 采用人工试验土柱模拟 CRI 系统, 介绍了试验的目的和意义, 人工试验土柱的结构填料、运行参数和启动过程; 对人工试验土柱各出水口的水质进行了监测。研究表明: 人工试验土柱对 COD 的去除率达 85% 以上, 主要由于发生在 0~900 mm 好氧段的生物降解作用; 改进型人工试验土柱对 COD 的去除率达 90% 以上, 主要由于发生在 0~1 800 mm 好氧段和兼氧段的生物降解作用, 总去除率比改进前提高了约 10%。

第 6 章为 CRI 系统脱氮机理室内试验研究, 对人工试验土柱各出水口的水质进行了监测。研究表明: 人工试验土柱对氨氮的去除率达 85% 以上, 主要是发生在 0~900 mm 好氧段和 900~1 200 mm 兼氧段的硝化反应的结果; 人工试验土柱 900 mm 处, 硝态氮达到最大值, 14.08~15.06 mg/L; 人工试验土柱中兼氧段和厌氧段 (1 200~1 500 mm), 由于停留时间较短 (0.4 d)、C/N 比较小、不属于完全的饱水区, 溶解氧浓度很难达到反硝化反应的要求, 反硝化反应进行不彻底, 硝态氮转化为 N_2 的较少, 在兼氧段和厌氧段硝态氮浓度下降仅占最大值的 10% 左右, 因此人工试验土柱出水氨氮去除率很高, 可达



85%以上,而总氮去除率仅有28.35%~29.78%。改进型人工试验土柱,是在原人工试验土柱的基础上增加了溢流池,采取分段进水的方式。不同进水方式对比试验结果表明:进水口组合0 mm:900 mm优于0 mm:700 mm,进水比例2:1优于1:1。在改进型人工试验土柱1 800 mm处所有氨氮、总氮的去除率达到最大值,氨氮的去除率为97.97%~98.77%,总氮的去除率为58.55%~61.92%;改进型人工试验土柱1 800~2 200 mm段,由于缺乏碳源,厌氧段末端发生了同化反硝化和氨化作用,导致氨氮和总氮的浓度不降反升,上升的幅度为5%~8%。在水力负荷1.0 m/d条件下,以《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)中一级A标为设计出水水质指标,最优的人工快速渗滤系统参数如下:分段进水,进水口组合0 mm:900 mm,进水比例2:1;最优落干期好氧带长度为700 mm;最优落干期兼氧段长度为700 mm;最优落干期厌氧段长度为400 mm;最优饱水区长度为1 100 mm;最优出水方式为溢流出水,出水口高度为自人工试验土柱底部往上1 100 mm处。

第7章为CRI系统除磷机理室内试验研究,对人工试验土柱各出水口的水质进行了监测。研究表明:人工试验土柱和改进型人工试验土柱对于总磷的去除效率都在40%~52%,出水总磷浓度都在2.0 mg/L以上。吸附试验结果表明:在试验采用的5种特殊介质中海绵铁对磷的吸附效果最好;不同渗滤介质除磷效果的对比试验结果表明,由于海绵铁的加入,试验柱对于总磷的去除率提高了约60%。

第8章为CRI系统工程应用实例,介绍了凤凰河二沟污水处理工程、彭州市丽春镇柏条河污水处理工程、成都军区某部生活污水处理工程的概况、技术参数、跟踪监测等,并分析了各工程的实际运行情况。

本书撰写过程中,引用了大量国内外同行的研究成果,参考了大量文献,笔者深表感谢,尤其是中国地质大学环境科学系钟佐桑教授



及其弟子等的相关研究成果对笔者的研究工作启发很大，在此表示深深的谢意。本书中试验部分是在西南交通大学地球科学与环境工程学院杨立中、付永胜教授的指导和刘方、张鑫、范兴建等师弟师妹帮助下完成的，示范工程部分是笔者与刘杰老师共同完成的，本书的校稿工作由万俐博士完成，在此深表谢意。另外，本书的主要研究成果获得了“十一五”国家科技支撑计划重点项目《农村安全供水集成技术研究示范》（项目编号：2006BAD01B 08-03）和四川省科技攻关计划课题项目《四川省重点流域农村水污染治理关键技术与成套设备研究》（项目编号：2006Z10-009）的资助，在此也一并表示深深的谢意。

笔者在本书撰写过程中虽然已经尽了个人最大的努力，但由于水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者和同行赐教。

陈俊敏

2011年8月于成都



目 录

1	绪 论	1
1.1	研究背景	1
1.2	本书的主要内容与框架结构	7
2	土地处理系统和 CRI 系统研究综述	11
2.1	土地处理系统研究综述	11
2.2	CRI 系统的研究综述	17
3	农村生活污水水质水量特征调查与分析	27
3.1	农村生活污水水质水量特征调查的目的与意义	27
3.2	农村生活污水水质水量特征调查方案	27
3.3	农村生活污水污染源调查结果	30
4	CRI 系统基本工艺原理及处理农村生活污水的可行性分析	45
4.1	CRI 系统的基本工艺原理	45
4.2	CRI 系统的影响因素	47
4.3	CRI 系统的特征及处理农村生活污水的可行性分析	49
5	CRI 系统有机物降解室内试验研究	51
5.1	CRI 系统有机物降解试验概况	51
5.2	CRI 系统有机物降解试验结果分析	55
5.3	改进型 CRI 系统有机物降解试验概况	61

5.4	改进型 CRI 系统有机物降解试验结果	65
5.5	小 结	70
6	CRI 系统脱氮机理室内试验研究	73
6.1	人工快速渗滤系统脱氮试验概况	73
6.2	人工快速渗滤系统脱氮试验结果分析	74
6.3	改进型 CRI 系统脱氮试验概况	88
6.4	改进型 CRI 系统脱氮试验结果分析	89
6.5	小 结	104
7	CRI 系统除磷机理室内试验研究	107
7.1	CRI 系统除磷试验概况	107
7.2	人工快速渗滤系统除磷试验结果分析	108
7.3	人工快速渗滤系统常用渗滤介质简介	110
7.4	不同渗滤介质除磷效果的对比试验概况	116
7.5	不同渗滤介质除磷效果的对比试验结果分析	118
7.6	小 结	122
8	CRI 系统工程应用实例	123
8.1	凤凰河二沟污水处理工程	124
8.2	彭州市丽春镇柏条河污水处理工程	129
8.3	成都军区某部生活污水处理工程	136
	参考文献	141

1 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 我国的水污染现状

水资源属于基础性自然资源，也是战略性经济资源，是生态与环境的控制性要素。近年来，随着经济的飞速发展和城市化水平的不断提高，水资源匮乏和水质污染成为全国各地面临的主要难题之一。

我国是一个严重干旱缺水的国家。淡水资源总量为 28 000 亿 m^3 ，占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居世界第 4 位，但人均只有 2 200 m^3 ，仅为世界平均水平的 1/4、美国的 1/5，在世界上名列 121 位，是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。根据《中国水资源公报》^[1]，全国 669 座城市中有 400 座供水不足，110 座严重缺水；在 32 个百万人口以上的特大城市中，有 30 个长期受缺水困扰；在 46 个重点城市中，45.6% 水质较差；14 个沿海开放城市中有 9 个严重缺水。

根据《2010 年中国环境状况公报》^[2]，全国废水排放总量逐年增加，地表水和地下水污染依然较严重，湖泊（水库）富营养化问题突出。

2010 年，全国废水排放总量为 617.3 亿吨，比上年增加 4.7%。其中工业废水排放量 237.5 亿吨，占废水排放总量的 38.5%，比上

年略有降低；生活污水排放量 379.8 亿吨，比上年增加 7.0%。生活污水排放量占废水排放总量的 61.5%，比上年略有上升。从图 1.1 可以看出，2006—2010 年废水排放总量仍呈上升趋势。工业废水排放量自 2007 年开始呈现逐年下降趋势，生活污水排放量继续保持增长趋势。

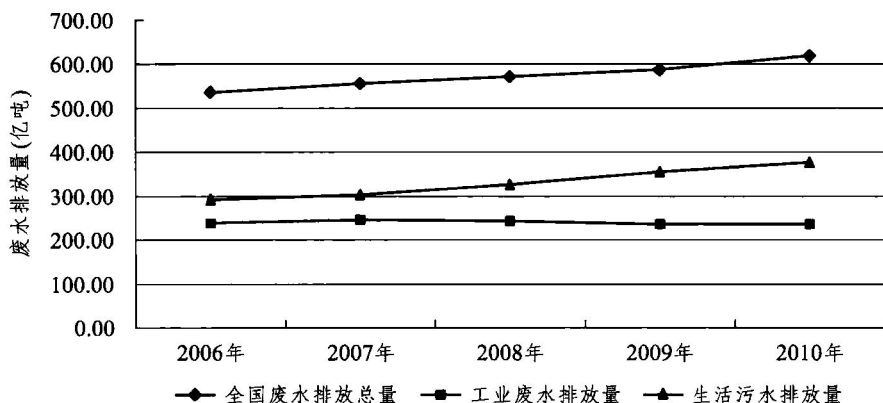


图 1.1 2006—2010 年我国废水排放量年际变化趋势

我国水污染主要体现在以下几方面：

1. 河流污染状况

全国 204 条河流 409 个地表水国控监测断面中，Ⅰ～Ⅲ类、Ⅳ～Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 59.9%、23.7% 和 16.4%。主要污染指标为高锰酸盐指数、五日生化需氧量和氨氮。长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河七大水系总体为轻度污染，其中，长江、珠江水质良好，松花江、淮河为轻度污染，黄河、辽河为中度污染，海河为重度污染。

2. 地下水污染状况

2010 年，对全国 182 个城市开展了地下水水质监测工作，水质监

测点总数为 4 110 个。分析结果表明：水质为优良级的监测点为 418 个，占全部监测点的 10.2%；水质为良好级的监测点为 1 135 个，占 27.6%；水质为较好级的监测点为 206 个，占 5.0%；水质为较差级的监测点为 1 662 个，占 40.4%；水质为极差级的监测点为 689 个，占 16.8%。全国地下水质量状况不容乐观，水质为优良-良好-较好级的监测点总计为 1 759 个，占全部监测点的 42.8%，2 351 个监测点的水质为较差-极差级，占全部监测点的 57.2%。

3. 湖泊（水库）污染状况

全国 26 个国控重点湖泊（水库）中，满足Ⅱ类水质的 1 个，占 3.8%；Ⅲ类的 5 个，占 19.2%；Ⅳ类的 4 个，占 15.4%；Ⅴ类的 6 个，占 23.1%；劣Ⅴ类的 10 个，占 38.5%。主要污染指标是总氮和总磷。大型水库水质好于大型淡水湖泊和城市内湖。

全国 26 个国控重点湖泊（水库）中，营养状态为重度富营养的 1 个，占 3.8%；中度富营养的 2 个，占 7.7%；轻度富营养的 11 个，占 42.3%；其他均为中营养，占 46.2%。由于排入湖库的氮、磷等营养物质不断增长，主要湖泊氮、磷污染较重，导致富营养化问题突出。

4. 集中式饮用水源地水质污染状况

2010 年，全国 113 个环保重点城市共监测 395 个集中式饮用水源地，其中地表水源地 245 个，地下水源地 150 个。监测结果表明：重点城市年取水总量为 220.3 亿吨，达标水量为 168.5 亿吨，占 76.5%；不达标水量为 51.8 亿吨，占 23.5%。

综上所述，一方面我国面临着水资源匮乏的窘境，一方面全国的水污染状况没有得到有效的遏制，水污染正从城市向农村蔓延，从支流向干流延伸，从区域向流域扩展，从地表向地下渗透。

1.1.2 我国城市生活污水处理现状

依据《2010—2012 年全国城乡环境卫生整洁行动方案》，目前全国正在开展全国城乡环境卫生整洁行动，到 2012 年底，城市生活污水处理率力争达到 80%^[3]。目前我国一些大中型城市生活污水已引起高度重视，相继建立起相应规模的污水处理厂。截至 2010 年 9 月底，全国已有 593 个城市建有污水处理厂，占设市城市总数的 90.7%；累计建成污水处理厂 1 623 座，形成污水处理能力 1.04 亿 m^3/d ；36 个大中城市（直辖市、省会城市和计划单列市）建有污水处理厂 376 座，处理能力达 4 368 万 m^3/d ^[2]。

目前，城市生活污水二级处理方法主要采用生物处理方法，常用的城市生活污水生物处理方法包括活性污泥法和生物膜法两大类。活性污泥法的工艺类型很多，最早应用的是普通活性污泥法，为了不断提高处理效率和革新工艺，发展出了一系列的活性污泥法成套处理工艺，如 SBR 法^[4-8]、UNITANK 法^[9-13]、氧化沟法^[14-20]、AB 法^[21-23]、A/O 法^[24-35]、A/A/O 法^[36-47]等。生物膜法的类型也很多，主要有生物滤池法、生物转盘法、生物接触氧化法、生物流化床法等^[48-54]。这些处理方法在处理生活污水时各有优势，都能取得较好的出水效果。

1.1.3 我国农村生活污水处理现状

目前我国农村地区环境形势严峻，点源污染与面源污染共存、生活污染和工业污染叠加、各种新旧污染与二次污染相互交织，工业及城市污染向农村转移，土壤污染日趋严重，已成为中国农村经济社会可持续发展的制约因素^[1]。大部分垃圾未经处理，直接堆放在田头、路旁，甚至抛掷到沟渠、水塘，造成二次污染，影响环境

卫生和农村景观；大部分生活污水未经处理直接渗入地下或直排沟渠、水塘，污染河流和地下水；乡镇工业布局规划不合理，末端治理措施不完善和监管不到位，造成工业污染严重；化肥、农药使用不合理造成的局部地区面源污染突出；综合利用措施滞后，畜禽养殖污染日益凸显等。

农村环境污染的诸多因素之中，农村生活污水，由于其来源分散、配套处理工艺落后、环保资金匮乏以及农村地区人员环保意识相对较薄弱等因素，大部分未经任何处理就近直接排入沟渠、水塘、河流、水库和湖泊，导致河流发黑发臭，湖库富营养化等问题，对自然生态环境和饮用水安全构成重大威胁，因而越来越引起人们的关注。

1.1.4 我国农村生活污水治理面临的挑战

随着我国社会主义新农村建设和城乡统筹的推进，乡镇经济的迅速发展，城镇化进程的不断推进，广大农民生活水平的迅速提高及生活条件的明显改善，农村生活用水量和污水排放量不断增加，2010年我国村镇污水排放量约 270 亿吨，占我国生活污水排放总量的 80% 以上^[55, 56]。一般来说，农村用水以河水、井水和自来水三者结合使用，自来水为饮用水源，河水、井水作为辅助用水，主要用于厨房用水、洗涤用水、冲刷地面、饲养家禽等。因此，农村生活污水来源主要是厨房污水、洗涤、沐浴和部分卫生洁具排水，其有机物和氮、磷等营养物质浓度较城市生活污水高，人均排量少，一般间歇排放，日变化系数大（一般在 3.0 ~ 5.0 之间），不含有毒物质^[57, 58]。但是总的来说，目前我国农村生活污水污染源调查工作开展滞后，农村生活污水的水质水量特征基础数据很少。

我国地域辽阔，农村人口居住分散，规划滞后，农村生活污水处理工作难度特别大，目前尚属起步阶段，存在许多困难和问题。一是

建设资金严重缺乏。农村生活污水治理设施属于公益性项目,需要大量公共财政资金投入,由于各农村地区地方财政一般比较困难,加上大部分村集体经济薄弱,资金投入严重不足,治污项目很难开展。二是认识不到位,农村污水治理尚未引起人们的足够重视。三是总体上还缺乏适合我国农村地区实际的污水处理技术。

目前,我国城市生活污水常用处理工艺,如 SBR 法^[4-8]、UNITANK 法^[9-13]、氧化沟法^[14-20]、AB 法^[21-23]、A/O 法^[24-35]、A/A/O 法^[36-47]、生物滤池法、生物转盘法、生物接触氧化法、生物流化床法等^[48-54],虽然都能取得良好的效果,但也存在一些难以克服的缺点。主要体现在以下几方面:

(1) 基建投资和运行费用高。例如,要建一个 10 万吨的常规二级污水处理厂,则基建投资就高达上亿元,每年的运行费用是基建投资的 10%~20%。当这些方法用于居住分散的农村地区生活污水处理时,由于规模较小,单位水量的基建投资和处理成本将更高。如此高的投资和运行成本,农村地区是难以承受的。

(2) 操作复杂,难以管理。如活性污泥法经常出现污泥膨胀问题,一旦发生,需停止运行,再重新启动,会造成很大损失。据报道,在法国平均有 1/4 应用活性污泥法的污水处理厂中存在污泥膨胀问题^[54]。农村地区的污水处理工程一般规模小,缺乏专职的管理人员,人员的专业技能和管理水平也相对较低,正确地操作上述复杂的工艺难度较大。

(3) 产生大量的污泥,处理成本高且容易造成二次污染。污泥处理与处置的成本很高,而且即使进行处理后,对环境潜在的危害仍然不能得到根本的解决。

(4) 传统的污水二级生物处理方法可以有效地去除 SS 和 COD 等,但是对氮、磷等营养物质的去除率较低(30%~50%)。

(5) 上述废水生物处理方法一般动力消耗较大,处理单位污水的能耗高。

基于上述原因,要将城市生活污水常用的处理工艺直接嫁接到农村地区是行不通的。而农村生活污水无害化排放不仅是社会主义新农

村建设和城乡统筹的要求,也是改善农村居民生活环境的需要。因此,就我国而言,针对农村生活污水的水质水量特征,积极研究开发建设成本低、处理效果好、运行无费用或低费用、适合分散处置的生活污水处理技术,探索适合农村生活污水的处理模式,具有很强的现实意义。

目前,国内研究较多的农村地区生活污水处理技术有:地理式有/无动力厌氧处理技术^[59-64]、人工湿地(包括地表水、潜流、垂直流)生态处理系统^[65-73]、快速渗滤处理系统^[74-76]、地下渗滤处理系统^[77-79]、净化槽技术^[80-84]、沼气池技术^[85]、高效藻类塘技术^[86-90]、一体化氧化沟等^[91-97]。其中,人工快速渗滤系统(Constructed Rapid Infiltration System, CRI 系统)是在对各种类型土地处理系统研究总结的基础上,针对传统污水土地处理系统普遍存在的水力负荷低、单位面积处理能力小等问题提出的,它在很大程度上借鉴了污水快速渗滤土地处理系统和人工构造湿地系统的优点,并取长补短,逐步发展成为具有自身特色的新型污水处理技术。由于其兼具了污水快速渗滤土地处理系统和人工构造湿地系统的优点,越来越受到人们的青睐。

1.2 本书的主要内容与框架结构

1.2.1 主要内容

笔者写作本书的目的是分析 CRI 系统中 COD、NH₃-N、TN、TP 等污染物的降解机理,并在此基础上提出 CRI 系统的优化改进措施,探讨 CRI 系统的最优结构和运行参数,为 CRI 系统在我国农村生活污水处理工程中的推广应用提供理论基础和科学依据。因此,本书的主要内容包括:

(1) 农村生活污水水质水量特征调查分析, 以及 CRI 系统应用于农村生活污水处理的可行性分析: 于沱江流域上中下游分别选择有代表性的村庄, 调查农村生活污水水质水量特征, 调查项目: 排水量、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、SS、pH 等, 根据农村生活污水水质水量的特征, 分析采用 CRI 系统处理农村生活污水的可行性。

(2) CRI 系统中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等污染物降解机理的室内试验研究: 通过测定人工试验土柱不同高度处出水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等指标的变化规律, 分析各类污染物的降解机理, 据此对 CRI 系统提出改进措施, 进一步测定改进型人工试验土柱不同高度处出水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等指标的变化规律, 获取针对农村生活污水处理的 CRI 系统最优结构和运行参数。

(3) 分段进水和溢流出水对 CRI 系统处理效果的影响: 为了提高 CRI 系统的脱氮除磷效果, 基于室内试验研究结果, 对 CRI 系统进行改进, 通过分段进水和溢流出水进一步加强 CRI 系统的处理效果。

(4) 结合工程实例分析 CRI 系统的实际运行效果: 结合已有的工程实例, 对其处理效果进行跟踪监测, 分析其运行效果和存在的问题, 同时对其技术经济指标进行分析。

1.2.2 框架结构

本书遵循农村生活污水污染源调查→农村生活污水水质水量特征分析→CRI 系统应用于农村生活污水处理的可行性分析→室内试验→优化改进→室内试验→工程应用的思路; 具体技术路线为: 调查、试验和工程应用相结合, 在对前人就相关问题的理论、试验研究成果进行分析的基础上, 通过现场调查获取农村生活污水水质水量特征, 据此分析采用人工快速渗滤系统处理农村生活污水的可行性, 通过室内试验研究分析人工快速渗滤系统中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等污染物降解机理和处理效果, 以此为基础对原有工艺进行改进, 并进一步进

行室内试验研究, 探讨人工快速渗滤系统处理农村生活污水的最优结构和运行参数, 结合工程实例分析 CRI 系统的实际运行效果。本书具体框架结构见图 1.2。

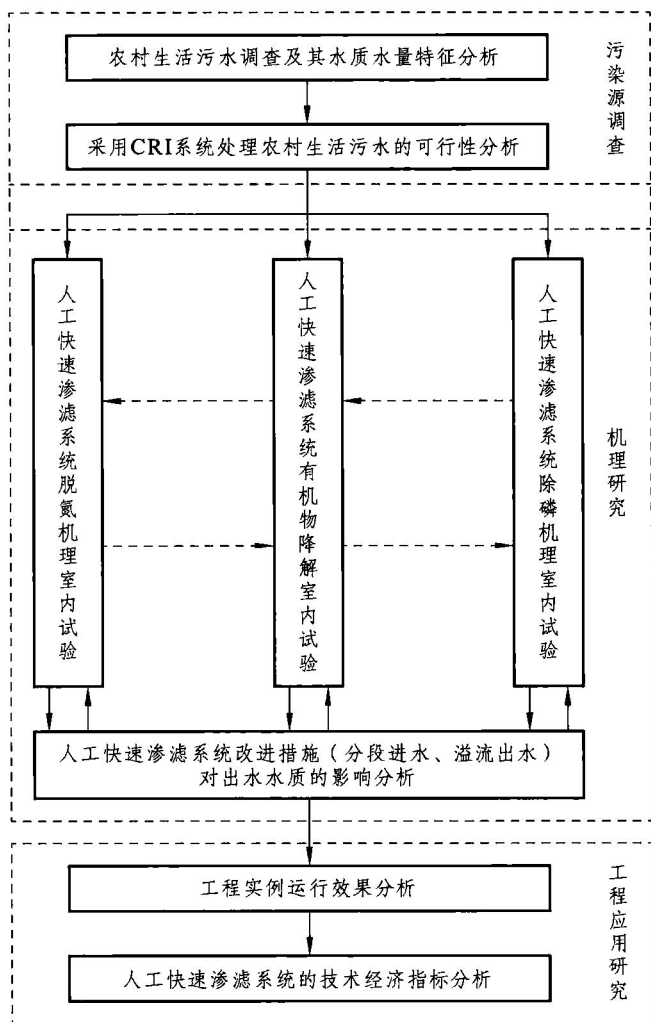


图 1.2 本书的框架结构