村镇生活污水净化沼气池设计图例技术分析

夏邦寿，胡启春，宋立

（农业部沼气科学研究所，成都610041）

摘要：通过调研，从四川、浙江和江苏收集整理了一些具有代表性的生活污水净化沼气池设计图例。该文就其中五个典型沼气装置的特点进行了技术分析，以期为这一技术的优化设计提供依据。中国这类沼气池有共性的技术特点，即均采用二级厌氧消化加后处理措施（兼氧滤池）的处理模式，但是各自在单元设计上存在差异。近期设计与早期设计相比较，采用合流型进水方式较多，同时倾向于简化处理单元。现有部分装置设计中参数选用随意性较大，填料使用有问题，这些都影响到装置对生活污水处理的效果。

0引言

从上世纪80年代开始，作为中小城镇住宅和公厕的配套设施，生活污水净化沼气池在借鉴农村沼气池和传统化粪池技术的基础上首先在四川发展起来[1，2]。这种简易的生活污水处理技术以其投资分散、不耗能源、运行费用低以及节约用地等优点逐渐发展成为中国南方生活污水分散处理的主要技术，已经得到广泛应用，到2004年末[3]，中国的生活污水净化沼气池已经达到137013处，总池容574万m^3。

近年来生活污水厌氧消化分散处理技术在全球已经有较快的发展，印度等国将其称为DEWATS技术 [4，5]。

目前随着农村经济结构的调整和发展，中国乡镇建设发展很快，面对村镇生活污水排放量不断增加的趋势，生活污水净化沼气池技术将有很好的发展应用前景。然而，应用中一些技术问题也比较突出，比如处理负荷低，出水不稳定、运行效果易受季节气候影响，出水水质尚难达标，N、P去除效果差等[6-8]。如果不及时解决生活污水净化沼气池的技术瓶颈，提升其处理能力，这项技术的发展和推广应用必然受到限制，后继乏力。

2006年以来，笔者在四川、浙江和江苏等地进行了较大规模的生活污水净化沼气池调研，走访了20多个县市的相关部门，实地考察了部分现场、收集了大量相关资料和设计图纸，本文从全国收集到的近百份生活污术分析，以期为这一技术的优化提供依据。

1代表性设计图例及其主要参数

1.1代表性设计图例

1.1.1生活污水净化沼气池通用标准图集（90SS-1）1991年四川省农村能源办公室等四家单位联合编制的《生活污水净化沼气池通用标准图集（90SS-1）》，是中国最早的一套生活污水净化沼气池设计图集，包括条型，矩型和圆型三个系列10种规格。其中8种池采用分流型进水工艺，2种规格较小的池为合流型进水工艺。图1所示为条型A100型净化沼气池，总有效容积100m3，为隧道式分隔池，采用分流型工艺。前处理区包括沉淀区和厌氧消化区。厌氧消化区又分为厌氧I区和Ⅱ区两个单元，厌氧Ⅱ区内设有软填料。

1.1.2浙江省生活污水净化沼气池通用图集

该图集于2003年9月正式在浙江省范围内实施，包括20、30、50、80和100m^3等五种规格，同时适用于分流型和合流型工艺。按每人每天排放污水量150L进行设计，污水总水力停留时间为3d。图2所示是有效容积50m3装置示意图[9]，为圆拱池与矩形池相联接的串联池，沉砂池底部有10%坡度，厌氧Ⅱ区预留有其他污水进水孔。厌氧Ⅱ区内装有DTL－150软填料。值得一提的是，在后处理区侧墙上设有拔风管，能够与出水区上部盖板的小孔形成空气对流。

1.1.3江苏省《生活污水净化沼气池》图集

该图集与浙江池类似，于2004年编制完成。图3所示为有效容积17m^{3}装置示意图[10]。厌氧区为两个圆柱形池，在厌氧Ⅱ区设有一折墙。后处理区为矩形兼氧生物滤池，分成四格，池中填料选用不同级配的石灰石碎石，粒径为5～40mm，填料层厚度约500mm。结构上两个厌氧池以及矩形兼氧生物滤池都独立，通过PVC管连接，这样有助于避免地基不均匀沉降。

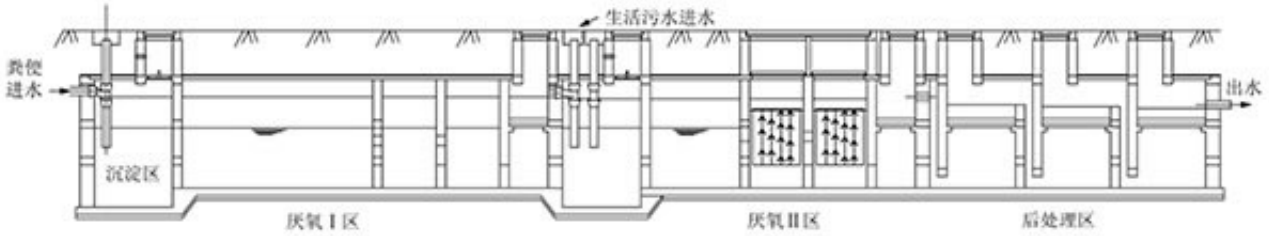

图 1　四川省生活污水净化沼气池通用标准图集工艺示意图（90SS-1-A100）
Fig.1　Sketch of Sichuan sewage purification biogas digester

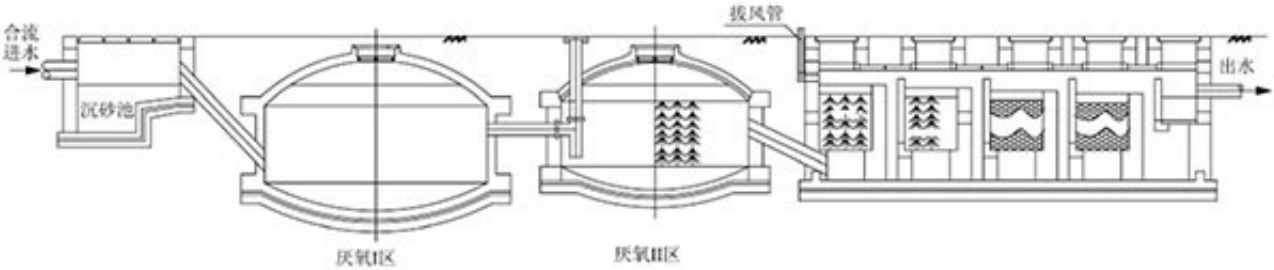

图 2　浙江省生活污水净化沼气池通用图集工艺示意图
Fig.2　Sketch of Zhejiang sewage purification biogas digester

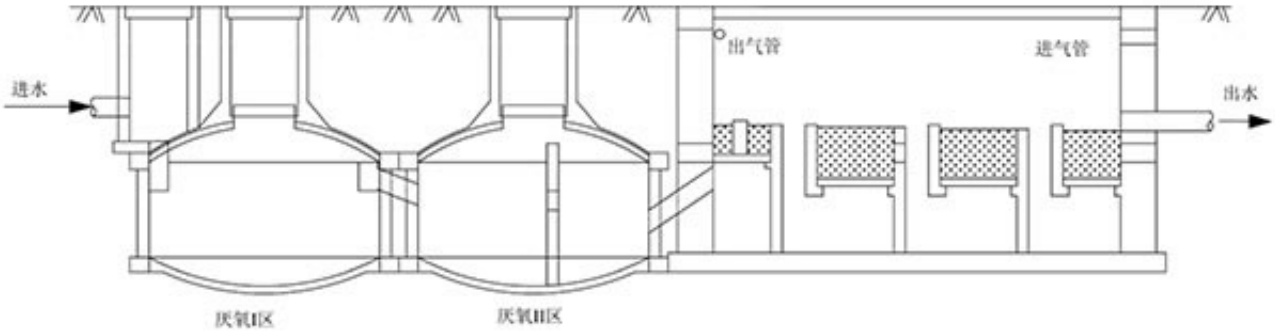

图 3　江苏省《生活污水净化沼气池》图集工艺示意图
Fig.3　Sketch of Jiangsu sewage purification biogas digester

1.1.4四川乐山徐家碥小学净化沼气池

图4为圆拱形串联池，是四川乐山地区的代表池型。厌氧Ⅰ区内设有同心圆回流墙和折流墙，污水直接流入同心圆小池内，在小池内折墙作用下呈“S”形流动，从小池另一端流入两同心墙之间，循环流动一周后从管口流出，延长了污水的停留时间，避免了短流。厌氧Ⅱ区分布有呈三角形的折流墙，污水流入后经折流墙分开后又汇聚在出管流出，污水经过了“合—分—合”的过程，混合充分。同时，该池进料间设在沼气池拱弧之上，侧墙范围之内，有效节约了占地面积。

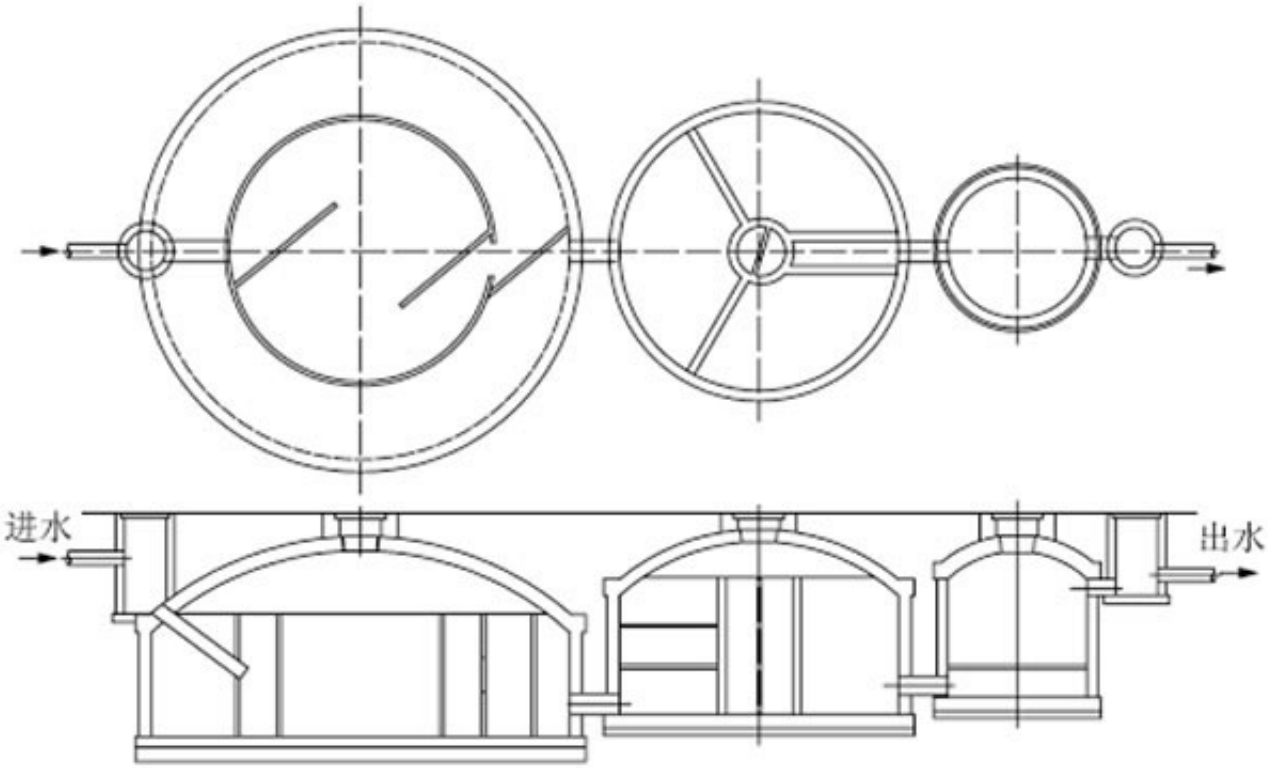

图 4　乐山徐家碥小学净化沼气池工艺示意图

Fig 4　Sketch of Leshan sewage purification biogas digester

1.1.5成都温江区美丽华商住楼净化沼气池

图5是隧道式分隔池，整个处理系统处于厌氧状态，安置有软填料的厌氧II区所占容积比例很大，后处理区仅为一设置有过滤板的出水间。厌氧I级区进料管成45°向下，出料管成45°向上设置，进料液可以冲击底层沉淀污泥，污泥不易沉积，混合充分。同时出料间底部开有方孔，方便清理沉渣。

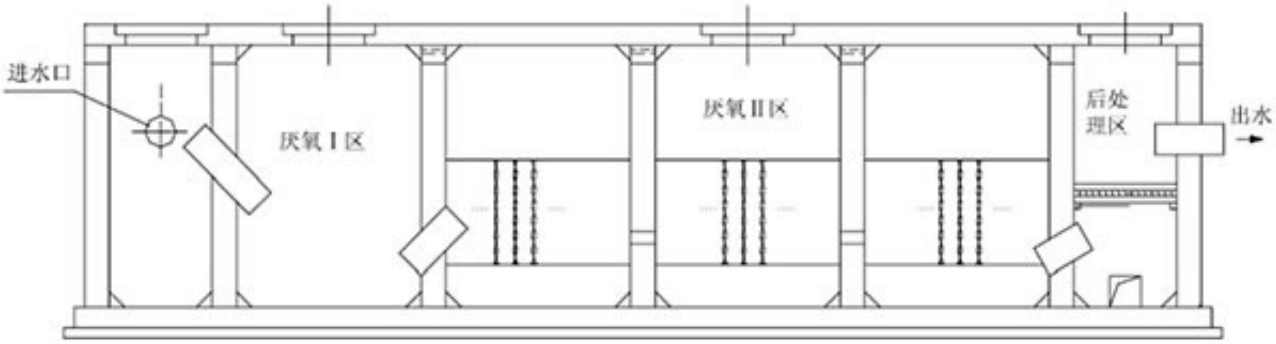

图 5　温江区美丽华商住楼净化沼气池工艺示意图

Fig 5　Sketch of Wenjiang sewage purification biogas digester

1.2处理单元分区和主要参数

在20世纪80年代早期研究中将生活污水净化沼气池称为沼气化粪池[1]

，即从传统化粪池演变而来。装置由前处理区和后处理区两个部分组成，其中前处理区由沉砂池、两级厌氧消化池组成；后处理区由多级兼氧过滤池组成。这一基本结构延用至今。依进水方式不同，净化沼气池池型布置通常分为合流型和分流型两种工艺流程。合流型是指粪便污水和其他生活污水通过同一进水管流入池内。分流型即粪便污水与其他生活污水分别排出，通过两个独立管道分别流入净化沼气池。

目前的生活污水净化沼气池主要由几个处理单元组成，分别是：沉砂井、沉淀区、厌氧Ⅰ区、厌氧Ⅱ区、后处理区。沉淀池主要截除和沉淀难降解的有机生活垃圾、较大固体颗粒等；厌氧Ⅰ区主要是厌氧消化有机物；厌氧Ⅱ区内一般设有软填料用作微生物载体，截除更多污泥，进一步降解有机物；后处理区一般设置有填料及滤料，发挥兼性过滤作用，有利于降低出水中SS浓度，净化水质。笔者对所选五种代表池进行了分析总结，对处理单元比例进行了计算，其结果如表1所示。

表1　五个典型设计图例主要参数

Table 1　Main parameters of five representative digesters' design

编号	水力滞留时间/h	处理工艺	有效容积/m^3	沉砂池	处理单元所占容积比例/%			
					沉淀区	厌氧Ⅰ区	厌氧Ⅱ区	后处理区
图1	72	分流	100	无	10．2	33.5	31.7	24.6
图2	72	合流	50	有		40.0	26.6	33.4
图3	48-72	合流	17	有		35.0	35.0	30.0
图4	96	合流	90	有		66.7	27.1	6.20
图5	96	合流	60	无	12．5	18.8	56.2	12.5

2分析与讨论

2.1进水方式和池型结构选择

如果采用分流型工艺，因延长了粪便在池内的水力滞留时间，故处理效果优于合流型的处理效果。但是实际情况是，目前实施的大多数生活污水净化沼气池都采用合流型工艺，因为这样投资较省。根据国家鼓励村镇污水处理采用源头控制技术，采用黑水、灰水分离原则，分流型工艺将更符合发展要求。

生活污水净化沼气池池型结构主要包括隧道池和圆拱形串联池两类。圆拱形串联池主要特点为力学结构性能好，整体上较牢固，易密封；隧道式解决了因有重车荷载又无条件设计圆拱形的较窄地形，同时对抗高地下水位浮力具有较好的力学性能。

图1和图5池采用的是矩形结构，水流在池内呈稳态推流流动，建造相对简单。图2、图3和图4池的厌氧消化单元为拱形池，力学结构较稳定，但是，容易出现短流、死角现象，不利于料液的循环流动。污水在池内流程越长，有机物与微生物接触更充分，降解更彻底。图4池在厌氧池内设有同心圆回流墙及折流墙，延长了污水的滞留时间，在一个池内实现了污水的循环流动，处理效果得到提高。

生活污水净化沼气池进出水口需要存在一定的标高差，才能弥补水头损失，保证水能够顺利流出。在所选的五个沼气池中，进出水口标高差相差较大，高的为35cm，低的只有10cm。标高差太小将不利于水排出，甚至可能出现倒流现象。

2.2处理单元分区和容积对污水净化效果的影响

根据表1数据分析，四川池（图1）的前后处理区池容的比例为7.5：2.5；浙江池（图2）的比例为2：1；江苏池（图3）的比例为7：3。乐山池（图4）和温江池（图5）中前处理区容积比例很高，几乎占90%，而后处理区越来越简化

，这代表了当地的应用现状。图5池强化了厌氧Ⅱ区作用（装有软填料），突出了软填料截留污泥及微生物吸附作用，这更有利于可溶性有机物的降解，但在一定程度上弱化了后处理区，还可能不利于氮磷去除。

本文作者之一曾经试验分析过生活污水净化沼气池各处理单元对于COD去除的贡献，发现90%的COD去除是在沉淀区和厌氧区中完成，而占总体积48%的兼氧过滤区仅仅去除了10%COD[11]。

2.3后处理区兼性滤池如何通风

要充分发挥兼性滤池的作用，改善空气流通条件尤为重要。图2池的做法是在后处理单元区侧墙上设有拔风管，与设在兼性生物滤池出水口盖板处的小孔形成空气对流，增强兼性滤池的作用，以保证后处理出水的处理效果。这种拔风管的设置与国标化粪池中通气管的设置相似[12]
。在实际应用中有一些有效的改进办法：如在多级滤池的各级过水孔处，过水面设置滴水线，自然形成曝气充氧过程，这在一定程度上能够改善池中的充氧效果[13]。

2.4填料问题

生活污水净化沼气池中的填料应能截留更多的污泥，有效发挥生物膜降解有机物的作用。从图1池到图5池所使用的填料上看，近十几年来没有太大变化。软填料多数采用维尼纶（聚乙烯醇缩甲醛）、绦纶（聚对苯二甲酸乙二醇）等材料，这些填料具有耐腐蚀、耐生物降解及价格低廉等优点，但是，使用一段时间后容易起球结团从而使得处理效率大为降低[14]
。而效果较好的半软性填料、YDT弹性波纹立体填料却因价格高而在应用上受到限制。硬填料主要使用粹石、卵石、粗砂、焦碳及陶瓷，部分池还仍然在使用聚氨酯泡沫滤板。在实际应用中，聚氨酯泡沫滤板使用一段时间后会出现断裂，影响处理效果。

目前中国正在研究和开发多孔球形悬浮填料等新型填料，这类合成填料具有比表面积较大、使用寿命长、安装简便、挂膜容易、性价比高等优点
，在示范应用中效果突出，而且能够大大减少剩余污泥量[15]
。有研究表明，在净化沼气装置的厌氧区内采用人造固定空心球状填料，在水力滞留时间2d条件下，出水达到国家生活污水排放一级标准[16]。

2.5出水排放达标问题

浙江和江苏生活污水净化沼气池提出的出水排放标准为处理后的出水达到国家《粪便无害化卫生标准》（GB7959－1997）和《污水综合排放标准》（GB8978－1996）二级（含）以上，即在主要指标中，COD值需低于120mg/L，粪大肠菌值需大于10^{-4}
。四川省制定了地方标准《城镇净化沼气池生活污水排放卫生标准》（DB51/136-1992），COD值低于或等于200mg/L即达一级标准。

推广应用中，对于生活污水净化沼气池是否能够按设计要求达标排放的问题，历来有所争议，各种调研和实验报告结论也有差别[4-6，11]。这种生活污水处理装置是否能够达标排放影响因素很多，与设计、施工、管理和使用年限等因素都有关联。

3结论

1）所选择的五种生活污水净化沼气池具有这类污水处理装置共性的技术特点，即均采用二级厌氧消化加后处理措施（兼氧滤池）的处理模式，但是各自在处理单元设计上存在差异。已建工程中近期设计与早期设计相比较，采用合流型进水方式较多同时倾向于简化处理单元。与分流型进水方式相比较，合流型投资较省，但是可能影响整体污水处理效果。

2）目前的装置和技术还存在一些问题。现有部分装置设计中参数选用随意性较大，工程设计的标准化程度还不高，迫切需要开展设计优化工作和针对性的实验研究。

3）在厌氧II区和兼氧滤池都需要放置各种填料，以滞留活性微生物污泥，是关键的技术手段之一。现有填料使用问题较多，影响到装置的污水处理效果，因此填料研发应该成为今后创新的重点。

目前全国生活污水净化沼气池的数量已达到相当规模，尤其是以四川、浙江和江苏等南方省份发展较快。

经过二十多年的发展，该技术正在走向成熟，无论是理论还是实践都积累了大量的经验和成果，通过及时总结经验，加强技术创新和标准化工作将进一步促进这项技术的推广应用。

致谢：本文成稿过程中得到四川省、浙江省和江苏省等相关农村能源办公室的大力帮助，在此表示感谢。

〔参考文献〕

[1]陈其蜀，赖跃富，赵萍．修建沼气化粪池是处理城镇生活污水的一条可取途径[J]．中国给水排水，1989，(1)：60－61.

[2]赵锡惠，曾华梁，田洪春，等．六类建造物净化沼气池设计和卫生效果研究报告[J]．中国沼气，1996，14(2)：25－28.

[3]屠运璋，屠家宝，许谚．沼气行业2004年度发展报告[J]．中国沼气，2005，23(增刊)：1－6.

[4]Lettinga G. With anaerobic treatment approach towards a more sustainable and robust environment production[A].Proceedings of the 10 th World Congress AD[C].Montreal，Canada，2004：2－12.

[5]Tamil Nadu Tsunami Resource Centre.Technical Orientation Training Workshop on DEWATS For implementing TWAD Engineers[EB/OL].http://www.tntrc.org/downloads/WATSAN/Report_on_Technical_Orientation_Training_Workshop_on_DEWATS.pdf，2007－5－9.

[6]漆贯学，唐玉娣，何伶俊，等．无动力生活污水净化沼气装置处理效果分析研究[J]．给水排水，2001，27(3)：67－70.

[7]田洪春，谢红，唐中玖，等．城镇净化沼气池处理生活污水效果评价[J]．中国沼气，2002，20(4)：33－36.

[8]邓良伟，王蓓，唐一．低维护废水处理系统处理生活污水的工程示范与探讨[J]．环境保护，1997，236(6)：15－17.

[9]刘海亚．温州市生活污水净化沼气池工程造价分析[J]．中国沼气，2006，24(3)：40－42.

[10]孙海如，周虎城，王俊玉．村镇生活污水处理技术整合研究[J]．给水排水，2006，32(7)：23－25.

[11]胡启春，王蓓，廖先明，等．斜板厌氧生活污水处理池试验研究[J]．中国沼气，2002，20(4)：8－10.

[12]中国建筑标准设计研究院．国家建筑标准设计图集：砖砌化粪池(02S701)[M]．北京：中国计划出版社，2006.

[13]毛华海．生活污水净化沼气池池型、工艺改进初探[J]．中国沼气，2003，21(4)：31－32.

[14]曾华梁，田洪春，李帮贤，等．净化沼气池填滤料种类与效果的观察[J]．中国沼气，1998，16(2)：33－35.

[15]迟玉霞．填料在水处理中的应用[J]．化工给排水设计，1998(2)：21－23.

[16]沈东升，贺永华，冯华军，等．农村生活污水地埋式无动力厌氧处理技术研究[J]．农业工程学报，2005，21(7)：111－115.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/104136.html