

试验研究

# 厌氧消化处理污泥的实验设计与探究

李晓昕

(莫纳什大学,澳大利亚墨尔本维多利亚 3800)

**摘要:**厌氧消化特别适合处理含有高有机质的污泥。通过对墨尔本一个猪肉加工场的气浮污泥进行收集后,本实验探究了厌氧消化的沼气生成量以及不同温度对沼气生成量的影响,得出了沼气中甲烷( $\text{CH}_4$ )平均含量在 60% 以上;II 相污泥厌氧消化产生的沼气累积量明显高于 I 相等的结论。沼气累积产量在先进进行 3 天高温( $55\text{ }^\circ\text{C}$ )后转移至中温( $35\text{ }^\circ\text{C}$ )进行余下 11 天的 II 相厌氧发酵条件下达到最大值 333 ml。墨尔本的东污水处理厂(Eastern Treatment Plant)在对生活污水应用生物处理法之后再对污泥进行厌氧发酵,每天产生沼气的量约为  $40\ 000\ \text{m}^3$  且其发电量可供给 40% 的自身用电需求,真正达到污泥的减量化、无害化和资源化的利用,为中国污水处理厂大量污泥的积累问题提供了一条可行的解决途径。

**关键词:**厌氧消化;污泥处理工艺;沼气; $\text{CH}_4$

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)03-06

## THE EXPERIMENT DESIGN AND DISCUSSION OF ANAEROBIC DIGESTION ON SLUDGE TREATMENT

LI Xiao-xin

(Melbourne, Victoria 3800 Australia)

**Abstract:** Anaerobic Digestion is suitable for treating sludge which has high organic loading. After collecting the DAF (Dissolved Air Flotation) sludge from a meat industry in Melbourne, this study has investigated the bio-gas production from anaerobic digestion and the effect of temperature on the bio-gas production; furthermore, it has been found that the average Methane content( $\text{CH}_4\%$ ) in the bio-gas is more than 60% and II Phase Anaerobic Digestion bio-gas production is significantly larger than I Phase. The peak bio-gas production is about 333 ml which appears under the II Phase condition (first 3 days in the Thermophilic situation following by the rest 11 days in the Mesophilic situation). The Eastern Treatment Plant in Melbourne employs biological treatment method to treat the domestic wastewater and then uses the anaerobic digestion to manage sludge, the daily bio-gas production is approximate  $40\ 000\ \text{m}^3$  and this amount can supply around 40% of on-site electricity demand after power generation. The Anaerobic Digestion has the advantages of volume reduction, environmental friendly and resource recovery which is a feasible solution for the problem of treating large sludge accumulation in wastewater treatment plants in China.

**Key words:** Anaerobic Digestion; Sludge Management; Bio-gas; Methane

收稿日期:2015-06-08

作者简介:李晓昕(1989-),男,河南郑州人,研究生,所学专业:莫纳什大学(Monash University)环境工程 研究方向:水处理及资源化利用。

“民以食为天”,肉类食品的生产、加工以及销售不仅关系到民生问题而且在国民经济中的重要作用不断提升。依据《中华人民共和国国家标准—肉类加工厂卫生规范》(GB 12694-90)<sup>[1]</sup>的适用范围,肉类加工厂可理解为“屠宰猪、牛、羊和生产分割肉与肉制品的工厂”;澳大利亚新南威尔士州环境保护署<sup>[2]</sup>对肉类加工厂的量化定义如下:

1) 屠宰动物(包括家禽)且具有每天 3 000 千克以上处理能力的;

2) 从屠宰动物中生产衍生产品包含以下之一的:

制革厂(如毛皮、羊皮场等);

每天预期超过 200 吨生产能力(油脂、脂肪或它们的衍生物或蛋白质类物质)的油脂提取工厂;

年产量预期超过 5 000 吨的工厂,产品包括以下之一或多项的:皮革、粘合剂、宠物食品、明胶、肥料、肉类产品;

3) 年预期产量超过 200 吨的冲刷、套色染或碳化含脂原毛的工厂。

在中国,仅猪肉产量,改革开放以来,随着农村养猪专业户、大户、规模养猪场的大量涌现,猪肉产量逐年增加,据统计,从 2001 年的约 4 000 万吨到 2005 年的约 5 000 万吨其年产量以 3.77%—4.21% 的速度递增,2006 年更是达到 5 197 万吨,占世界总产量的 50.1%,使中国名副其实成为世界最大的猪肉生产和消费大国<sup>[3]</sup>。猪肉产量的逐年增加,必然使屠宰场数量亦随之增加,据有关报道,2012 年底中国生猪屠宰企业总数约为 1.47 万家,大型屠宰厂数量约占其 10%—15% 左右,屠宰能力大于 50 万头每年<sup>[4]</sup>。

一般情况下,肉类加工厂的废弃物来自多个部分,例如屠宰前冲洗牲畜的废水、冲洗车间地面和器具废水、牲畜本身废弃物、屠宰过程中产生的屠宰废水、浮选过后的油脂、牲畜内脏如瘤胃残余物等<sup>[5][6]</sup>,它们通常被视作混合态废弃物故亦被称作“废物流”(W.P.Tritt & F.Schuchardt,1992),有数据表明,屠宰废水的排放量约占全国工业废水排放量的 6%<sup>[7]</sup>;因其具有高生物需氧量(BOD)及化学需氧量(COD)的特性,故必须经过处理达到排放标准后方可排入外环境。未处理的肉类加工厂废弃物外排会引起外环境严重的污染问题,2003 年位于玻利维亚(Bolivia)西部城市拉巴斯(La Paz)

的一个屠宰场每天直接排放含有 BOD 约 160 kg 废水 137 m<sup>3</sup> 和 4.4 吨的固体废弃物至附近一条名为 Choqueyapu 的河流,导致其水体水质下降、生物多样性遭到严重破坏<sup>[8]</sup>。

### 1 “废物流”处理工艺回顾

于凤、陈洪斌<sup>[9]</sup>对肉类加工厂的“废物流”处理技术总结为生物处理、自然生态处理和化学处理。自然生态处理因其对“废物流”预处理要求较高、占地面积较大(例如人工湿地处理法其占地面积为传统污水处理厂的 5—10 倍<sup>[9]</sup>)故在中国其可行性有待商讨;化学处理方法主要是向“废物流”中加入化学混凝絮凝剂从而促使污水中的各种颗粒沉降、胶体脱稳以达到去除效果,但其局限性在于投加化学药剂剂量通常过大而引起化学污泥产量高且较难处理;此外,大量化学药剂投加到水体后对环境是否产生影响亦有待考察。在中国,肉类加工厂“废物流”主要以生物法为主进行处理<sup>[10]</sup>,其处理原理主要依靠微生物将“废物流”中的大分子有机物质降解为易生物降解的小分子有机物从而达到去除 SS、BOD 等目的。

根据微生物种类的划分,常用生物处理法又可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法,以下为部分常见肉类加工厂“废物流”生物处理法流程图:

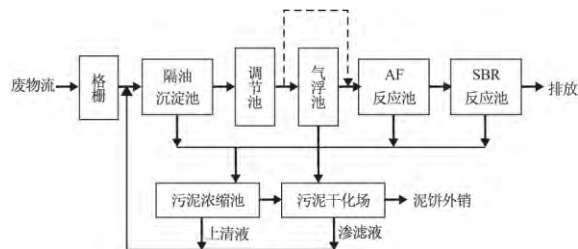


图 1 好氧生物处理法—序批式活性污泥工艺流程

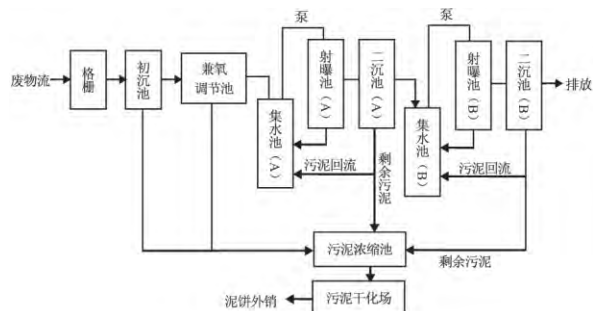
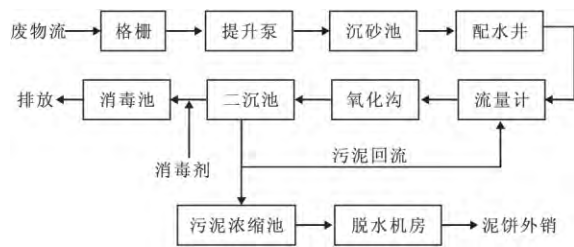
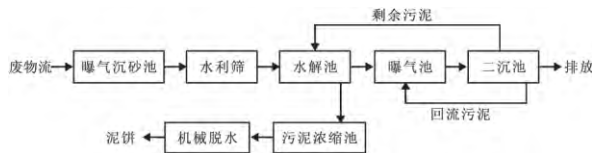
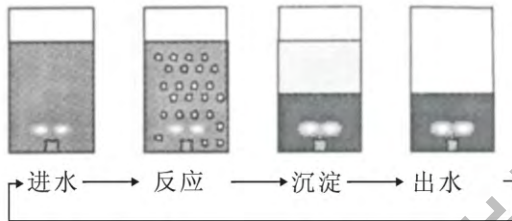
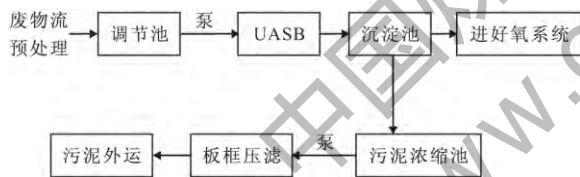


图 2 兼氧厌氧-AB 两级射流曝气生物接触氧化工艺流程<sup>[12]</sup>

图3 好氧生物处理法-氧化沟工艺流程图<sup>[13]</sup>图4 好氧生物处理法-水解(酸化)处理工艺流程图<sup>[14]</sup>图5 厌氧生物处理法-厌氧序批式活性污泥工艺运行模式图<sup>[15]</sup>图6 厌氧生物处理法-上流式厌氧污泥床工艺流程图<sup>[16]</sup>

以上处理工艺在对“废物流”处理后外排废水可满足其规定的污染物排放标准。但经过对比观察后不难发现,无论是何种处理方法,其最终的处理均是污泥的处理,如污泥得不到妥善处置,仍然会形成二次污染等环境问题,且目前对污泥的处理方法都是将其浓缩、干化后最终制成泥饼外销;此外,付融冰等人<sup>[17]</sup>在对不同的污泥常规处理方法的经济及运行费用比较后发现,不同的浓缩方法均有不同程度的耗能,就拿浓缩活性污泥来看,离心法所得的污泥含固率最高,但因其效率低和运行费用高的弊端而被气浮浓缩法所取代。在中国,城市污水处理厂污泥年产量已超过1亿吨<sup>[17]</sup>,而有污泥处理工艺的仅占30%左右<sup>[17]</sup>,然而其污泥浓缩处理设备普遍存在性能差,效率低和能耗高等的问题,如何将产量巨大、成分复杂的污泥

进行妥善安全地处理并使其无害化、资源化,已成为环境界关注的重大课题。

和城市污水厂污泥理化性质相似,经过处理“废物流”后的污泥同样具有含碳水化合物、固体(如TS、VS)含量高、有机物质富集(如高BOD、COD、TN等)、脂肪含量高、蛋白质富集及其降解产物(如可挥发性有机酸、有机胺类和其他有机氮化物)<sup>[18]</sup>的性质。研究发现,厌氧消化工艺特别适合处理此类污泥,其可以将有机物质转化为沼气,不仅能够解决日益增长的污泥所造成的环境问题,而且还能在一定程度上缓解当前日益紧张的能源供需矛盾<sup>[19]</sup>;W.P. Tritt & F.Schuchardt<sup>[17]</sup>对用厌氧消化处理肉类加工厂污泥的优点总结为:1.显著降低水中杂质的浓度;2.剩余污泥产量低;3.剩余污泥的生物稳定性好;4.无异味排放;5.其产生的沼气可作为一次性绿色无污染的能源用在肉类加工厂。

Young-Man Yoon<sup>[20]</sup>等人用厌氧消化方法处理日家禽屠宰能力约为120 000头肉类加工厂的污泥后发现,沼气产量为35.4 Nm<sup>3</sup>/1 000头;Y. Zhang<sup>[21]</sup>等人用混合厌氧消化处理城市固体废弃物和屠宰场废物的混合物后发现,在VS=4 kg/m<sup>3</sup>·d的情况下沼气产量为1.25 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d,每吨(t)湿重沼气产生量为102 m<sup>3</sup>;Ania Escudero<sup>[22]</sup>等人用半连续厌氧消化的方法处理屠宰场固体废弃物后发现,在有机物负荷=1.3 gVS/L·d、水力停留时间(HRT)=125 days、固体废物:水稀释比例=1:2.7的条件下,沼气产量为2 L/L·d。

针对肉类加工厂的上述特点以及厌氧消化工艺的特点,本研究采用批量的棕色瓶作为厌氧发酵反应发生器,以污泥为厌氧消化底物,考察厌氧消化工艺产沼气的发酵过程以及不同温度对沼气产量的影响,并分析产生沼气的成分,探讨厌氧消化工艺转化污泥中的有机质产沼气的可行性,以期对污泥无害化、资源化和减量化处置提供一条途径。

## 2 材料与方法

### 2.1 污泥和接种污泥

污泥取自墨尔本市CSF猪肉加工厂经过气浮处理后的污泥-DAF Sludge(以下简称“污泥”),取回的污泥置于塑料桶中储存并置于5℃冰箱中保存,以备实验所需,它的主要成分测定如表1所

示;接种污泥取自某中温(35 ℃)厌氧消化罐,取回的接种污泥置于塑料桶中储存并置于 35 ℃的保温箱中保存,以备实验所需,它的主要成分测定如表 2 所示。

### 2.2 污泥厌氧消化的批量实验设计

批量实验设计为 I-相污泥厌氧消化和 II-相污泥厌氧消化;厌氧消化发生器均采用 500 ml 棕色窄口瓶,每个棕色瓶中均放置 200 ml 接种污泥+50 ml 污泥而后通过加入浓度为 0.2 N 盐酸或 0.5 N 氢氧化钠以达到调节 pH=7±0.2 的目的;利用持续充入氮气 1 分钟以排尽瓶中空气而后塞入橡胶瓶塞的方法使其达到无氧气状态以满足厌氧消化的发生条件。所有棕色瓶均置于温度可控的机械振动器中并以恒定转速使其混合均匀从实验第 1 天开始直至第 14(15)天厌氧消化反应结束为止。第 1 天和第 14(15)天取出一定数量的棕色瓶进行沼气产生量的测定以及成分分析。

#### I-相污泥厌氧消化实验设计

I-相污泥厌氧消化在实验开始时将全部棕色瓶均置于中温条件(35 ℃)下。4 个棕色瓶自始至终均被置于 35 ℃的机械振动器中。

#### II-相污泥厌氧消化实验设计

前 3 天在高温条件下(55 ℃),然后在中温条件(35 ℃)下进行,余下 10-11 天的厌氧消化为 I-I-相污泥厌氧消化实验。实验共设 4 个棕色瓶(半数用作转移半数用于数据采集及分析)并被放置于 55 ℃的机械振动器,3 天后其中 2 个被转移至 35 ℃的机械振动器中继续进行余下的 11 天消化反应。

### 2.3 分析方法

pH 测量采用 pH 酸碱度表;

TS 含量采用重量法测定-USEPA Gravimetric

Method (Method 8217);

VS 含量采用重量法测定-Gravimetric Method (Method 8164);

总 COD 含量 (COD<sub>t</sub>) 和可溶性 COD 含量 (COD<sub>s</sub>)采用反应器消化法测定-Reactor Digestion Methods (Method 8000) (Jirka, A.M. et al. 1975; Federal Register, 1980);

总氮含量(TN)和可溶性氮(Soluble N)含量采用硫酸消化法测定-Persulfate Digestion Method (Method 10072) (HACH Company, 2005);

可挥发性酸含量 (VA) 采用酯化方法测定-Esterification Method (Method 8196) (The Analyst, 1962);

碱含量 (Alkalinity) 采用滴定法测定-Titrimetric Method (Method 8203) (Craig D. Adams, et al, 2002);

沼气产量采用排水法测定-Water Displacement Method(P.Juntarasiri, et al,2011);

沼气体成分采用气相色谱法分析而得-Gas Chromatograph Varian 450-GC (Harris, Daniel C. 1999)。

## 3 数据收集、分析与讨论

### 3.1 数据收集

实验第 1 天沼气产量、第 14(15)天沼气累积产量及其各自成分的数据收集与分析见图 1。对沼气产量仅收集第 1 天和第 14(15)天数据的原因是厌氧消化的 3 个阶段(依次为水解纤维素和蛋白质等、乙酸形成、甲烷产生)大致在 14(15)天内完成<sup>[23]</sup>。

### 3.2 数据分析

图中数据表明,无论 I 相还是 II 相厌氧消化

表 1 污泥的主要性质

pH	TS(%)	VS(%)	COD <sub>t</sub> (mgCOD/L)	TN (mgTN/L)	Soluble N (mgTN/L)	COD <sub>s</sub> (mgTN/L)	VA (mgAceticAcid/l)	Alkalinity (mg/L)
5.55	7.83	6.75	253,400	3,020	1,560	12,050	3,370.5	16,470

表 2 接种污泥的主要性质

pH	TS(%)	VS(%)	COD <sub>t</sub> (mgCOD/L)	TN (mgTN/L)	Soluble N (mgTN/L)	COD <sub>s</sub> (mgTN/L)	VA (mgAceticAcid/l)	Alkalinity (mg/L)
7.24	3.05	2.08	32,500	2,930	1,945	1,800	625	16,020

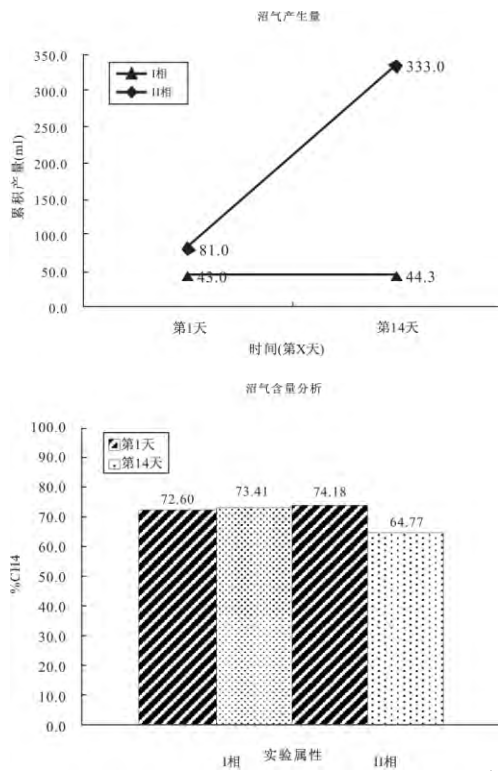


图7 沼气产量和CH<sub>4</sub>含量分析

在实验阶段均有沼气产生；沼气累积产量从第1天到第14天均有上升的趋势，其中II相上升趋势明显高于I相；根据此上升趋势可以推断出沼气累积产量在14天后仍然会有继续积累的趋势。

经过气象色谱法对沼气成分分析后发现，此次产生的沼气成分主要为甲烷(CH<sub>4</sub>)和二氧化碳(CO<sub>2</sub>)，图中仅对CH<sub>4</sub>含量分析的原因是CH<sub>4</sub>是一种有利用价值的资源化气体。图中CH<sub>4</sub>含量表明，I相和II相厌氧消化产生沼气中CH<sub>4</sub>含量均高于

60%；对比第1天和第14天沼气中CH<sub>4</sub>含量可知，I相厌氧消化沼气中CH<sub>4</sub>含量略微升高，然而II相厌氧消化沼气中CH<sub>4</sub>含量却明显下降。

### 3.3 讨论

(1) II相厌氧消化沼气产量呈明显增长趋势且明显高于I相厌氧消化的原因在于前3天的高温条件(55℃)促使更多可溶性COD(CODs)和VS产生，同时促使其厌氧消化的水解阶段更加彻底[24]。

(2) 本研究对屠宰废水处理过程中的高浓度有机污泥的处理找到了一种减量化、无害化和资源化的方法，对中国大多数屠宰场污泥处理具有示范意义。

(3) 该方法对其它高浓度有机废水处理厂的污泥处理具有指导意义。

(4) 厌氧消化处理污泥工艺也可用作城市生活污水处理厂生化污泥的处理，如澳大利亚墨尔本市每天有865×10<sup>6</sup> L[25]污水通过管网进入其两大污水处理厂：东污水处理厂(Eastern Treatment Plant)和西污水处理厂(Western Treatment Plant)；东污水处理厂主要负责处理其中约42%的生活污水[25]，主要工艺为生物处理法且对污泥处理设有厌氧发酵罐，产生的沼气进行发电后供给污水处理厂自行使用和加热发酵罐；其日均发电量约占据污水处理厂总用电量的40%，厌氧发酵后的剩余污泥再进行干燥而后堆放填埋的最终处理，真正达到污泥的无害化、资源化、减量化处理的最终目的。墨尔本污水处理厂其进水水量、水质、污泥产量等主要指标如表3所示。

表3 墨尔本东污水处理厂各理化指标

进水水量		进水水质			出水水质		污泥产量	厌氧发酵反应发生条件				厌氧消化罐	污泥停留时间	沼气产量
干涸期	丰水期	BOD	NH <sub>3</sub> -N	SS	BOD	NH <sub>3</sub> -N		pH	Alkalinity	VA	温度			
0.4×10 <sup>9</sup> L/day	1.6×10 <sup>9</sup> L/day	155,000 kg/day	13,500 kg/day	156,000 kg/day	<5~8 mg/L	<0.5 mg/L	160 t/day	6.9~7.2	≤3,000 mg/L	<100 mg/L	低温 (37.5℃)	8座×8,000 m <sup>3</sup> /座	16 days	40,000 m <sup>3</sup> /day

### 参考文献

[1] GB 12694-90, 《中华人民共和国国家标准-肉类加工厂卫生规范》[S]  
 [2] Definition of abattoirs, NSW EPA, Proposed Definition of Abattoirs, online available at <http://www.epa.nsw.gov.au/mao/abattoirs.htm#environmental>, accessed on 20/01/2015, 19:16 [S]  
 [3] 王贵际. 中国生猪屠宰加工技术的发展与未来[A]. 中国肉类协

会, 第四届世界猪肉大会论文集[C]. 南京: 中国屠宰技术鉴定中心, 2008.  
 [4] 中国食品科技网. 中国小型生猪定点屠宰企业约1万家 单个企业屠宰能力小. <http://www.tech-food.com/news/2013-7-5/n1005129.htm>. 2013-07-05. 15:12:11  
 [5] Ahiring BK, Angelidaki I, Johansen K. Anaerobic treatment of manure together with industrial waste. Water Sci Technol 1992;25(7): 311-8.  
 [6] Banks CJ, Wang Z. Development of a two phase anaerobic digester for the

treatment of mixed abattoir wastes. *Water Sci Technol* 1999; 40(1):69-76.

[7]何强,龙腾锐.屠宰废水处理技术评价[J].*重庆环境科学*,1995.17(3).41-44.

[8]CPTS. Diagnostico de produccion mas limpia: matadero municipal de La Paz. Final inform[J]. CPTS-03-07. La Paz, 2003.

[9]于凤,陈洪斌.屠宰废水处理技术与应用进展[J].*环境科学与管理*.2005.30(4).84-87.

[10]唐受印,戴友芝,刘忠义等.食品工业废水处理[M].北京:化学工业出版社,2001.203-204.

[11]苗利,买文宁,王正,肖传山.屠宰废水传统处理工艺的改进[J].*环境工程*.2002.20(6).71-72.

[12]万秀林,杨晓虎.兼氧-AB法处理屠宰场废水的工艺特点与生产性运行效果[J].*肉类工业*.1993.3.35-38.

[13]贾莉.氧化沟处理生活污水的工艺设计[J].*池州师专学报*.2006.20(3).58-60.

[14]朱文亭,颜玲.污水的水解(酸化)-好氧生物处理工艺[J].*城市环境与城市生态*.2000.13(5).43-48.

[15]邵享文.ASBR工艺的研究现状与发展[J].*安全与环境工程*.2011.18(4).57-63.

[16]李维振,杨瑞宗.上流式厌氧污泥床(UASB)在高浓度有机废水处理上的应用[J].*山东环境*.2000年增刊.126-127.

[17]付融冰,杨海真,甘明强.中国城市污水厂污泥处理现状及其进展[J].*环境科学与技术*.2004.27(5).108-110

[18]W.P. Tritt & F.Schuchardt (1992), Materials Flow and Possibilities of Treating Liquid and Solid Wastes from Slaughterhouses in Germany: A Review[J]. *Bioresource Technology* 41, 235-245

[19]Bungay H R. Confessions of A Bioenergy Advocate [J]. *Trends in Biotechnology*. 2004.22(2).67-71

[20]Young-Man Yoon, Seung-Hwan Kim, Seung-Yong Oh, Chang-Hyun Kim. Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse[J]. *Waste Management*, 2014.(34).204-209

[21]Y. Zhang, C.J. Banks, Co-digestion of the mechanically recovered organic fraction of municipal solid waste with slaughterhouse wastes[J]. *Biochemical Engineering Journal*. 2012.(68).129-137

[22]Ania Escudero, Arrate Lacalle, Fernando Blanco, Miriam Pinto, Ignacio Diaz and Antonio Dominguez, Semi-continuous anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste [J], *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2.2014.819-825

[23]Gerardi, M. H. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*[M].2003. United States of America : A John Wiley & Sons, Inc.

[24]Y. Chiu, C. Chang, J. Lin, S. Huang, Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion [J], *Water Sci. Technol.* 36 (11) (1997) 155-162.

[25]Melbourne Water,2014,Sewage Treatment Process, Melbourne Water, viewed 30/01/2015,

(上接第 43 页)

是点声源,噪声绕过隔声屏障的声衰减由式(1)、(2)计算,则声屏障背面声影区内隔声量可以达到15.6dB(A)左右。虽然这种半封闭式的隔声处理隔声效果比全封闭式的差,但该隔声屏有利于气体的流通,有利于瓦斯发电设备散热。

经过上述治理后,降噪效果十分明显,经过现场测量:西厂界噪声值由治理前的68dB(A)降低到了50.8dB(A),达到了《工业企业厂界噪声标准》规定的III类标准限值。

## 5 结论

根据某煤矿瓦斯电站的实际情况,本次设计从隔声和吸声两方面综合考虑,提出了有效可行的噪声治理方案。通过实施降噪治理措施后,工业场地西厂界噪声贡献值降为50.8 dB(A),达到了《工业企业厂界噪声标准》规定的III类标准限值。该方案针对集装箱式瓦斯发电机组的噪声特性,在取得了很好的降噪效果的同时也满足了发电机组通风散热的要求。

## 参考文献

[1]刘承华,刘萍.贵州松河煤矿瓦斯电厂噪声综合治理[J].*贵州大*

学学报(自然科学版),2010,27(6):128-130.

Liu Chenhua,Liu Ping. Comprehensive Treatment of Noise for Gas Power Plant of Song-He Coal Mine in Guizhou [J]. *Journal of Guizhou University(Natural Sciences)*: 2010,27(6):128-130.

[2]杨继星,金龙哲,陈月芳,等.基于声强法的瓦斯发电机组噪声特性研究[J].*中国电机工程学报*,2010,30(26):90-94.

Yang Jixing,Jin Longzhe,Chen Yuefang, et al. Gas Power Set Noise Characteristics Based on Sound Intensity Method [J]. *Proceedings of the CSEE* : 2010,30(26):90-94.

[3]马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社,2002. Ma Dayou.Noise vibration control engineering manual [M].Beijing China Machine Press,2002.

[4]中华人民共和国环境保护部.HJ2034-2013文后参考文献著录规则[S].北京:中国环境科学出版社,2013.

Ministry of Environment Protection of the People's Republic of China . HJ2034-2013 form and structure of bibliographic reference [S]. Beijing: China Environment Science Press, 2013.

[5]国家环境保护总局.HJ/T90-2004文后参考文献著录规则[S].北京:中国环境科学出版社,2004.

Environmental Protection Administration of China:HJ2034-2013 form and structure of bibliographic reference [S]. Beijing: China Environment Science Press, 2004.

[6]陈月芳,杨继星,金龙哲,等.集中布置式瓦斯发电机组噪声治理技术分析[J].*中国电机工程学报*,2008,28(14):142-146.

Chen Yuefang,Yang Jixing,Jin Longzhe, et al. Analysis of the Noise Control Technology on Centralized Locating Gas-combustion Generator[J]. *Proceedings of the CSEE* : 2008,28(14):142-146.