

# 新型混凝土改性亲水性填料的开发与应用

周芬<sup>1,2</sup>, 汪晓军<sup>1,2</sup>

(1. 华南理工大学环境工程与科学学院, 广东 广州 510006;  
2. 工业聚集区污染控制与生态修复教育部重点实验室, 广东 广州 510006)

**摘要:**通过在塑料填料表面附着混凝土, 制得新型混凝土改性亲水性塑料填料, 实验证明了新型填料的亲水性。通过厌氧悬浮填料床处理垃圾渗滤液, 证明了新型填料与普通塑料填料相比在废水处理中的优势。当进水 COD 质量浓度在 5 000 ~ 6 000 mg/L, 新型填料反应器的平均处理效率为 30%, 比普通塑料填料反应器处理效率提高 5% ~ 10%。

**关键词:**混凝土; 亲水性; 填料; 厌氧悬浮填料床

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2011)10-0049-04

## Development and application of hydrophilic filler modified with concrete

ZHOU Fen<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-jun<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. The Key Lab of Pollution Control and Ecosystem Restoration in Industry Clusters, Ministry of Education, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** A novel filler is developed through making concrete adhere to the surface of plastic filler, which is proved to be hydrophilic. The advantages of the new hydrophilic filler in landfill leachate treatment by anaerobic suspending media beds are shown compared with the plastic filler. When the COD mass concentration of influent leachate is 5 000 - 6 000 mg/L, the average COD removal efficiency with the novel filler is 30%, which is 5% - 10% higher than that treated by the plastic filler.

**Key words:** concrete; hydrophilic; filler; anaerobic suspending media beds

由于一些无机材料表面具有很好的亲水性, 近年来利用无机材料制作水处理填料的研究不断增加, 如利用无机陶粒、火山岩制作曝气生物滤池的生物填料。这些采用无机物填料的水处理系统具有挂膜速度快、处理效率高等优点。但用陶粒、火山岩等无机物很难做成空隙率高、抗堵塞性能好的无机填料, 故在废水的厌氧处理或高负荷有机废水的好氧处理过程中, 使用陶粒或火山岩等制作的填料, 往往容易发生结块、堵塞问题, 引起处理系统处理效果的劣化。针对上述无机材料所遇到的问题, 出现了对其他填料亲水性方面进行的改性研究。据文献报道<sup>[1]</sup>, 在表面结构改性时, 有研究者将填料浸入含氧酸等化学腐蚀液中, 从而除去填料表面的弱界面层, 糙化表面; 有的研究者在填料表面涂抹亲水材料, 表面接枝带有亲水基团的高聚物单体; 也有用紫外线辐照塑料填料, 使其表面氧化而形成极性基团; 还有的研究者采用强氧化性溶液, 如重铬酸钾-硫酸、高锰酸钾-硫酸, 与塑料生物填料表面进行化学反应, 从而改变填料的表面分子结构。这些技术处理过的填料表面润湿性能有很大的提高, 但也存在

不少缺陷: 应用溶液浸泡或者表面接枝处理过的填料在运行过程中由于水流的作用很容易发生表面消磨和脱落。汪晓军等<sup>[2]</sup>发明出一种水处理弹性塑料填料, 它是在塑料中混入水溶性高分子材料改善材料表面亲水性能, 能大大提高微生物挂膜速度和强度, 但是其生产成本大幅度提高。由于塑料合金水溶性材料的加入, 使塑料填料的强度降低, 因而限制了其广泛应用。由此笔者所在课题组又开发出一种新型填料, 采用在塑料表面附着一层薄薄的混凝土, 提高塑料表面的亲水性。混凝土具有亲水性, 且比塑料原料便宜很多, 也不会降低塑料本身的强度。另外, 塑料的密度小于 1, 比水轻, 而混凝土的密度大于 1, 在塑料表面附着一层混凝土后, 可提高整个塑料填料的密度, 通过调整附着的混凝土的量来调节混凝土表面改性的塑料填料的密度, 从而生产密度与水几乎相同的悬浮性的填料, 用于水处理领域。采用这种方法改进塑料填料表面的亲水性, 可以克服以前改进塑料填料亲水性方法存在的缺陷, 又能生产出所需密度的填料。由于其价格低廉, 所以具有大规模应用的前景。

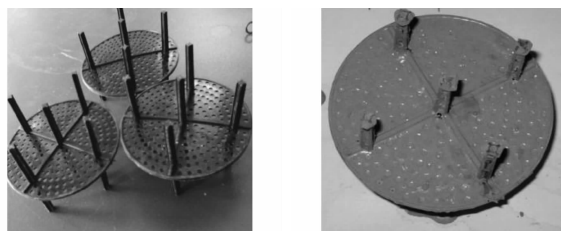
收稿日期: 2011-06-08

作者简介: 周芬(1987-), 女, 硕士生, 主要从事污染控制研究, 020-39381865, 416438267@qq.com; 汪晓军(1964-), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为水处理, 通讯联系人, cexjwang@scut.edu.cn。

## 1 填料的制作

在塑料填料[由一般的塑料材料,如聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)制成]的表面附着一层混凝土,从而改善塑料填料表面的亲水性,改进其水处理应用效果。

由于混凝土与塑料表面的亲和力比较差,若塑料材质本身不作任何处理,则混凝土即使附着在塑料填料的表面,也很容易从塑料填料的表面剥离下来,达不到应有的亲水性表面改性效果。笔者除了在混凝土中加入1~2种添加剂外,还在填料的塑料片上开一系列一定直径的小孔,将填料塑料片泡入混凝土浆固化后,通过小孔对塑料片两边的混凝土附着层的固定作用,大大提高了混凝土附着强度,从而生产出附着混凝土的亲水性塑料弹性填料。未上水泥浆的塑料填料与新型填料如图1所示。



(a) 未上水泥浆的塑料填料

(b) 新型填料

图1 塑料填料与新型填料

### 1.1 制作方法

将塑料弹性填料浸入制好的混凝土浆料中,然后取出,待其附着在弹性填料表面的混凝土浆料晾干、固结。每隔6h进行表面喷水养护。经24h凉干后即得成品。

新型上浆填料的2个性能评价指标:①填料上浆率:指单位质量填料沾上的水泥质量。上浆率过低会使填料密度过小而导致填料在污水处理中上浮;上浆率过高会使填料密度过大而导致填料悬浮困难。②填料质量损失率:指填料上浆后从一定高度自由落体,单位质量填料所损失的质量。质量损失率越小,说明填料上面的混凝土粘得越牢固,越有利于其在污水处理中的应用。

### 1.2 填料性能的影响因素

#### 1.2.1 水泥对比对上浆填料性能的影响

通过配制不同的水泥配比[ $m(\text{水泥}):m(\text{水})$ ]对填料进行上浆,不同水泥配比下的填料上浆情况如表1所示。

由表1可知,水泥配比越大,填料的上浆率越

大,这是因为配比越大,水泥浆越稠,因而黏性也越大。继续增大水泥配比至2:1时,水泥浆由于过稠无法对填料上浆。而当水泥配比为1:1时,填料表面只有很薄的一层水泥浆,密度、强度及上浆度均不能满足要求,因而最佳水泥配比为(1.5~1.8):1。

表1 水泥对比对填料上浆性能的影响

$m(\text{水泥}):m(\text{水})$	1:1		1.5:1		1.8:1	
	1	2	1	2	1	2
填料净质量/g	7.654	7.523	7.633	7.558	7.665	7.631
浸泡后质量/g	9.657	9.555	13.151	13.287	21.082	19.758
上浆率/%	26.17	27.01	72.29	75.80	175.04	158.92

#### 1.2.2 PVA 加入量对上浆填料性能的影响

田砾等<sup>[3]</sup>的研究表明,高模量聚乙烯醇(PVA)纤维可增强水泥基材料韧性,使其呈现抗应变硬化和多缝开裂特征,从而改善结构耐久性。林水东等<sup>[4]</sup>的研究结果也表明,PVA纤维能提高水泥砂浆的抗裂性。水泥本身的硬度很大,附着在塑料表面后更容易开裂和脱落,因而在水泥浆中加入PVA能改善水泥浆性能。为使浆料在填料表面附着得更牢固,在浆料中添加PVA的同时还加入另外一种混凝土改性添加剂B。

配制浆料 $m(\text{水泥}):m(\text{水})=1.8:1$ ,加入不同含量的PVA(以水泥的质量为参照),并加入混凝土改性添加剂B,其质量分数为1%(以水的质量为参照),填料上浆后从1m高处自由落体摔下,测其质量损失率。填料上浆及抗摔情况如表2所示。

表2 PVA 加入量对上浆填料性能的影响

PVA 加入量/%	0		0.5		1.0	
	1	2	1	2	1	2
填料净质量/g	8.014	7.704	7.693	7.636	7.665	7.631
浸泡后质量/g	15.937	18.182	21.553	17.866	21.082	19.758
摔后质量/g	11.363	13.370	21.000	17.698	21.073	19.753
上浆率/%	98.86	136.01	180.16	133.97	175.04	158.92
质量损失率/%	28.70	26.47	2.57	0.94	0.04	0.03

由表2看出,随着PVA的增加,填料上浆率也增大,而填料的质量损失率明显降低,这是因为PVA的加入一方面使水泥黏度变大,另一方面改性水泥在填料上的上浆效果比没加PVA时的情况好很多。当PVA加入质量分数为0.5%时,质量损失率均很低;加入质量分数为1%时,几乎没有质量损失;当继续增加PVA质量分数至2%时,浆料配制过程中出现大量气泡,严重影响填料的上浆。因为

PVA 本身是一种表面活性剂,在溶液中含有量过高时会产生大量气泡,因此最佳 PVA 投加质量分数为 0.5% ~ 1.0%。

### 1.2.3 混凝土改性添加剂 B 加入量对填料性能的影响

为使水泥更加牢固地附着在塑料填料表面,经

表 3 添加剂 B 加入量对填料性能的影响

添加剂 B 加入量/%	0		0.5		1.0		2.0	
	1	2	1	2	1	2	1	2
填料净质量/g	7.548	7.573	7.683	7.662	7.665	7.631	7.644	7.740
浸泡后质量/g	20.858	17.920	18.262	16.578	21.082	19.758	17.036	17.144
摔后质量/g	18.727	16.160	18.119	16.463	21.073	19.753	17.034	17.095
上浆率/%	176.34	136.63	137.69	116.37	175.04	158.92	122.87	121.05
质量损失率/%	10.22	9.82	0.78	0.69	0.04	0.03	0.01	0.29

从表 3 可以看出,填料的上浆率绝大部分超过 120%,可以满足一定的上浆度。随着添加剂 B 的加入,填料的质量损失率明显降低,即抗摔性能大大增强。当添加剂 B 加入量为 0.5% ~ 1.0% 时,填料几乎没有质量损失;当加入量加大到 2% 时,虽然抗摔性能也很好,但配制的水泥浆比较稠,而且加入量增大也会增加药剂成本,因此添加剂 B 的最佳加入量为 0.5% ~ 1.0%。

## 2 应用

采用厌氧悬浮填料床预处理垃圾渗滤液。垃圾渗滤液中的有机污染物浓度极高,其中含有大量易生物降解的挥发性有机酸(VFA)、可生物降解的中等相对分子质量有机物、灰黄酸类物质及生物难降解的有机物,以及大量无机重金属离子、氨氮等<sup>[5]</sup>。采用厌氧悬浮填料床预处理此类废水可以大大节省污水处理的一次性投资和运行维护费用。由于垃圾渗滤液的毒性较大,且水质、水量波动较大,使用带有填料的厌氧反应器可以大大提高厌氧系统的抗冲击能力。

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 实验装置与填料

实验用 2 个厌氧悬浮填料床,有效体积均为 3 L,反应器内分别装新型亲水性上浆填料和未上浆的塑料填料。亲水性上浆填料的制作条件为水泥与水的质量比为 1.8:1, PVA 加入量为 1%,混凝土改性添加剂 B 加入量为 1%。

#### 2.1.2 废水水质

实验用水取自佛山某生活垃圾焚烧发电厂的垃

圾渗滤液。废水 pH 为 7.8 ~ 8.5,有臭味;COD 质量浓度为 30 000 ~ 40 000 mg/L; BOD<sub>5</sub>/COD ≈ 0.45; 氨氮质量浓度为 3 000 ~ 4 000 mg/L。

过大量的尝试最终确定在浆料中加入混凝土改性添加剂 B,实验证明在加入添加剂 B 后填料上浆性能也得到明显改善。

配制浆料  $m(\text{水泥}):m(\text{水})=1.8:1$ , PVA 加入质量分数为 1%,加入不同量的添加剂 B,考察填料的上浆性能。填料上浆及抗摔情况如表 3 所示。

表 3 添加剂 B 加入量对填料性能的影响

添加剂 B 加入量/%	0		0.5		1.0		2.0	
	1	2	1	2	1	2	1	2
填料净质量/g	7.548	7.573	7.683	7.662	7.665	7.631	7.644	7.740
浸泡后质量/g	20.858	17.920	18.262	16.578	21.082	19.758	17.036	17.144
摔后质量/g	18.727	16.160	18.119	16.463	21.073	19.753	17.034	17.095
上浆率/%	176.34	136.63	137.69	116.37	175.04	158.92	122.87	121.05
质量损失率/%	10.22	9.82	0.78	0.69	0.04	0.03	0.01	0.29

圾渗滤液。废水 pH 为 7.8 ~ 8.5,有臭味;COD 质量浓度为 30 000 ~ 40 000 mg/L; BOD<sub>5</sub>/COD ≈ 0.45; 氨氮质量浓度为 3 000 ~ 4 000 mg/L。

#### 2.1.3 实验方法

第一阶段为生物膜培养阶段,此阶段由自配营养液维持微生物的生长,培养期间保证 C:N:P = (200 ~ 300):5:1,为期 22 d,此期间填料上已附着一定的生物膜。第二阶段为驯化挂膜期,此阶段采用原水稀释挂膜法,逐渐加大垃圾渗滤液在进水中的比例。为期近 1 个月挂膜驯化成功后正式运行。实验比较了塑料填料表面改性前后对垃圾渗滤液中 COD 的预处理效果,分析了新型填料在废水处理中的优势。

#### 2.1.4 分析方法

COD:快速密闭催化消解法;氨氮:纳氏试剂分光光度法;pH:pHS-25 酸度计。实验用品均为分析纯。

## 2.2 结果与讨论

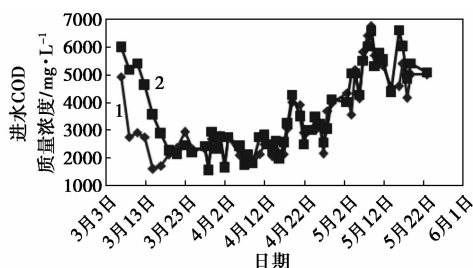
### 2.2.1 填料的亲水试验

参照文献[6]做填料上浆前后的亲水实验。将上浆后的填料 A 与未上浆的塑料填料 B 浸入水中,并在水中观察发现 A 填料表面是一片连续水迹,而 B 填料表面挂很多水珠且易脱落,这充分说明了 A 填料的水泥表面比 B 填料的塑料表面有更好的亲水性能。

### 2.2.2 反应器对 COD 的处理效果

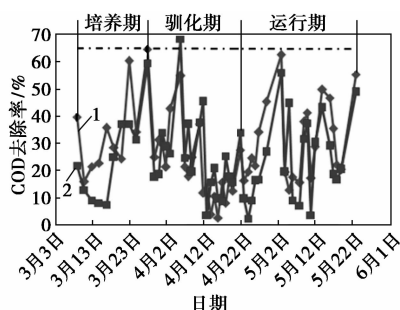
1 号反应器放入新型亲水性上浆填料,2 号反应器放入等量未上浆的塑料填料。接种污泥均取自于佛山某垃圾渗滤液处理厂厌氧池的污泥,接种厌氧

污泥体积约为容器有效体积的 30%，接种后 2 个反应器中混合液悬浮固体质量浓度 (MLSS) 约 3 300 mg/L。微生物培养阶段 (22 d) 用葡萄糖、NH<sub>4</sub>Cl、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 按 C:N:P = (200 ~ 300):5:1 的比例配制营养液, 实验控制温度在 33 ~ 35℃, 隔天出水 300 mL, 进水 400 mL。各阶段进水 COD 及 COD 去除率如图 2、图 3 所示。



1—1 号; 2—2 号

图 2 进水 COD



1—1 号; 2—2 号

图 3 COD 去除率

培养期: 由于进水的污泥中夹带一定氨氮, 在污泥接种及进水后, 2 个反应器的进水氨氮质量浓度分别是 89.4、112.3 mg/L, 为保证碳氮比, 最初进水的 COD 质量浓度分别是 4 927.5、5 978.7 mg/L。1 号反应器能很快适应废水, 随着系统的运行, COD 去除率逐渐上升, 运行到第 12、14 d 时, COD 去除率出现小幅度下降, 检测其出水 C:N 比分别为 83.2、123.8, 可能是由于营养比例失调而引起 COD 去除率下降; 第 16 d 时的 COD 去除率大幅增加, 此时的出水温度为 37℃, 可能是由于水温高使得反应器里面的微生物反应更活跃, 因而去除率得以大幅增加。1 号系统稳定时 COD 去除率为 25% ~ 40%, 最高时可达 60%。

2 号反应器可能是由于初始进水负荷比较高, 到系统进行的前 10 d COD 去除率一直都在 10% 左右, 之后随着负荷降低及稳定化, COD 去除率出现上升趋势。2 号系统稳定时 COD 去除率在 20% ~

35%。

比较 1、2 号反应器可以看出, 1 号反应器比 2 号反应器能更快适应废水。

驯化期: 驯化期采用垃圾渗滤液原液的稀释液进行驯化, 逐渐加大渗滤液在进水中的比例, 进水 COD 质量浓度在 2 000 ~ 3 000 mg/L。由于前期用营养液培养了接近 1 个月, 里面存在微生物代谢产物, 而垃圾渗滤液的稀释液本身也含有不可降解物质, 使得 2 个反应器内的不可降解物质积累, 此期间 2 个反应器大部分时间进水 COD 质量浓度在 3 000 mg/L 以下, 厌氧本身对于低负荷系统没有很好的处理效果, 因此此期间 1 号反应器并没有表现出优势。驯化稳定期 2 个反应器 COD 去除率在 10% ~ 20%。

运行期: 运行期采取直接进垃圾渗滤液原液的方式, 水力停留时间 (HRT) 逐渐由 30 d 减少到 10 d, 逐渐提高 COD 质量浓度至 5 000 ~ 6 000 mg/L。因原液氨氮质量浓度为 3 000 ~ 4 000 mg/L, 为避免高氨氮含量对厌氧系统造成中毒, 采用实验室正在运行的处理垃圾渗滤液的系统中 (一级厌氧 + 二级好氧, HRT 8 ~ 10 d) 二级好氧的出水进行回流 (出水 COD 质量浓度为 800 ~ 1 000 mg/L, 氨氮质量浓度为 50 ~ 100 mg/L)。从图 3 运行期间的 COD 去除率可以看出, 4 月 22 日 ~ 5 月 4 日, 当逐渐提高 COD 负荷时, 2 个系统的 COD 去除率均逐渐上升, 而 1 号系统处理效果明显优于 2 号系统。由 5 月 4 号开始 HRT 一直为 10 d, 因而 2 个系统 COD 去除率均有所下降, 但随着系统的运行, 去除率又开始回升, 体现了一定的耐冲击性。从整个运行期间来看, 1 号系统 COD 平均去除率为 30%, 总体上比 2 号系统的处理效果好 5% ~ 10%。填料挂膜后的情况如图 4 所示, 从右至左分别是 1 号反应器填料、2 号反应器填料。从图 4 中可以看出, 1 号反应器填料表面挂有明显的厚厚一层生物膜, 且铺满整个填料表面; 而 2 号反应器填料表面只有薄薄一层生物膜, 这是因为塑料填料表面光滑且具有疏水性, 不利于

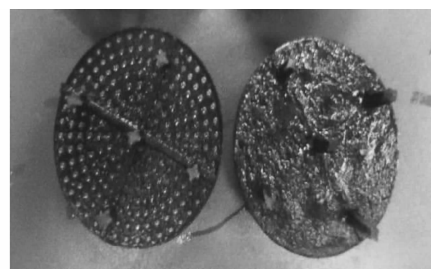


图 4 填料挂膜后

(下转第 54 页)

为七水硫酸镁结晶颗粒,由浮选机上层出来的硼酸结晶通过汇集输送到硼酸生产线得以重新利用,浮选机下部分硫酸镁晶体输送到离心机脱去其中母液,得到七水硫酸镁半成品。离心机出来的母液则返回蒸发系统继续浓缩。调整浮选机的转速和充气流量,观察物料的分层起泡情况,待物料装满整个浮选机时开启浮选机的泡沫刮板同时调整好刮板的转速。确保刮板能刮走全部的泡沫。开启浮选机的出料闸板,注意开启的程度,以保证浮选机的稳定连续运行。在不同的转速和充气量下取样分析出料口和泡沫相硫酸镁中的硼酸和硫酸镁的含量,为确定浮选机工作参数提供依据。

#### 1.4 实验流程

实验流程如图 1。

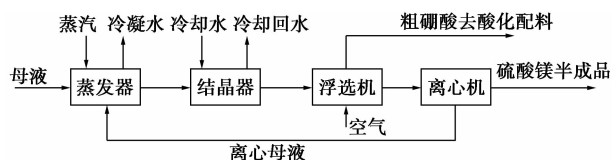


图 1 浮选流程图

## 2 实验讨论

### 2.1 硼酸生产中母液的组成

硼酸生产中母液的组成相对比较稳定,尤其是矿源一定时母液的组成基本变化不大,母液的  $\text{pH} = 2.5 \sim 3.0$ ,  $w(\text{H}_3\text{BO}_3) = 2.5\% \sim 3.5\%$ ,  $w(\text{MgSO}_4) = 20\% \sim 22\%$ ,其中阳离子为铁离子和钙离子,阴离子

(上接第 52 页)

微生物挂膜生长,而上浆填料表面的水泥层因其表面粗糙且具有亲水性,能为微生物的生长提供有利的场所。笔者发现在反应器启动 1 个星期左右时,1 号反应器填料表面即有一层明显的生物膜,而 2 号反应器不明显,这也说明了新型填料具有亲水性,利于微生物生长。

## 3 结论

(1) 新型亲水性填料制作中,采用  $m(\text{水泥}):m(\text{水}) = (1.5 \sim 1.8):1$ , PVA 加入量为  $0.5\% \sim 1.0\%$ ,混凝土改性添加剂 B 加入量为  $0.5\% \sim 1.0\%$ ,既可以保证一定的上浆率,又能保证填料的抗摔性能。由亲水性实验和填料挂膜情况可以证明,新型填料与未上浆的塑料填料相比具有良好的亲水性能。

主要为氯离子,由于含量极低,对整个实验和生产影响不大,可以忽略不计,温度为  $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 。

### 2.2 蒸发浓缩后母液组成指标的确定

25、35、100 $^\circ\text{C}$  硼酸、硫酸镁的溶解度如表 1<sup>[3]</sup>。

表 1 各温度下  $\text{H}_3\text{BO}_3 - \text{MgSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  三元体系的溶解度

温度/ $^\circ\text{C}$	液相质量分数/%		固相
	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$\text{MgSO}_4$	
25	5.51	0.00	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	5.03	7.50	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	3.09	26.00	$\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	2.50	26.10	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	0.00	26.63	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
35	7.13	0.00	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	6.21	9.23	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	4.60	17.01	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	3.62	23.70	$\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	2.76	28.10	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
100	0.00	29.40	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	27.51	0.00	$\text{H}_3\text{BO}_3$
	11.93	31.41	$\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	0.00	36.46	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

蒸发操作时母液的温度在  $68 \sim 75^\circ\text{C}$  恒温蒸发,浓缩过程实际上可以看作是恒温蒸发过程,蒸发过程中没有盐类析出。根据相系中物料的溶解特性,确定蒸发至硫酸镁质量分数为  $36\% \sim 38\%$  时为最佳,而此时硼酸的质量分数在  $4\% \sim 6\%$ 。根据各温度下  $\text{H}_3\text{BO}_3 - \text{MgSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  三元体系的溶解度可以绘制出三元相图,如图 2。

(2) 采用新型填料处理垃圾渗滤液中的 COD,反应器能快速适应废水水质,运行期间亲水性填料反应器的 COD 去除效果总体比未上浆的塑料填料反应器效果好  $5\% \sim 10\%$ 。

### 参考文献

- [1] 张近. 塑料塔填料表面改性技术[J]. 现代塑料加工应用, 1999, 11(2): 51-55.
- [2] 汪晓军, 胡勇有, 唐一. 水处理弹性亲水性塑料填料制备方法: 中国, 01129834.0[P]. 2002-05-29.
- [3] 田砾, 朱桂红, 郭平功, 等. PVA 纤维增强应变硬化水泥基材料韧性性能研究[J]. 建筑科学, 2006, 22(5A): 47-49.
- [4] 林水东, 程贤更, 林志忠. PP 和 PVA 纤维对水泥砂浆抗裂和响度性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2005, (1): 43-45.
- [5] 谢可蓉, 温旭志, 谢璨楷, 等. SBR 法在垃圾渗滤液治理中的研究及应用[J]. 广东工业大学学报, 2001, 18(4): 90-92.
- [6] 汪晓军, 罗芳旭, 何翠萍, 等. 弹性填料表面亲水性对厌氧生化过程的影响研究[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(12): 62-67. ■