

文章编号:2095-0411(2016)02-0067-06

## 波纹板聚结分离器分离效率影响因素研究

齐玉成,赵会军,邵悦,慈智,朱伟

(江苏省油气储运技术重点实验室(常州大学),江苏 常州 213016)

**摘要:**室内搭建实验平台,配制与生产单位相似浓度的油水混合液进行室内试验,针对流量、板间距、聚结板倾斜角度、板组数、温度 5 个影响因素进行  $0.1\sim 0.4\text{ m}^3/\text{h}$  4 个不同流量下的试验,优化试验参数,试验结果表明:流量  $Q$  为  $0.1\text{ m}^3/\text{h}$  时分离效率保持在 85% 以上,高于其他流量下的分离效率。板间距增大,分离效率变低,板间距为 0.63 厘米时处理效果好。当  $Q=0.1\text{ m}^3/\text{h}$  时,聚结板组出口处倾斜  $1.5^\circ$  时分离效果好,随着板组数增多,分离效率提高。温度对分离效率有一定的影响,但是在含油质量浓度为  $150\text{ mg/L}$  时试验效果不明显。

**关键词:**聚结分离器;分离效率;影响因素;最优方案

中图分类号:TQ 316.334

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2016.02.013

## On the Influencing Factors of Separation Efficiency of Corrugated Plate Coalescing Separator

QI Yucheng, ZHAO Huijun, SHAO Yue, CI Zhi, ZHU Wei

(Jiangsu Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Changzhou University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** By setting up the experimental platform indoor, similar unit concentrations of oil-water mixture were prepared and produced for indoor test. It was tested under four different flow rates ranging from  $0.1\text{ m}^3/\text{h}$  to  $0.4\text{ m}^3/\text{h}$  on five factors: flow, plate spacing, coalescence plate tilt angle, plate number and temperature, then the experimental parameters were optimized. The experimental results show that when the flow rate is  $0.1\text{ m}^3/\text{h}$ , the the separation efficiency is maintained at above 85%, much higher than the separation efficiency of other flow rates. When the plate space increases, the separation efficiency gets low. And when the plate space is 0.63cm, the treatment effect is good. When the flow rate is  $0.1\text{ m}^3/\text{h}$  and the coalescence plates group exit inclination sets at  $1.5^\circ$ , the separation effect is good. With the increase of the number of plate group, the separation efficiency is improved. Although the temperature has a certain influence on the separation efficiency, when the oil concentration is  $150\text{ mg/L}$ , the test result is not obvious.

**Key words:** coalescence separator; separation efficiency; influencing factors; best solution

随着生产需求的增大,油田开始通过人工注水或注气实现二次采油<sup>[1]</sup>,油田产出物中的含水量逐

步提高,油田含油污水处理问题日益严峻,对含油污水的处理速度和除油率要求越来越高,进一步提高

收稿日期:2015-07-23。

基金项目:江苏省自然科学基金资助(BK20150269)。

作者简介:齐玉成(1991—),男,山东济南人,硕士生。通讯联系人:赵会军(1965—),E-mail:zhj@cczu.edu.cn

油田污水处理设备的处理效率,不仅关乎企业发展更是对环境负责任的态度<sup>[2-5]</sup>。

近些年来,波纹板聚结分离器由于其结构简单、能耗低、分离效率高等优点<sup>[6-7]</sup>,受到各大企业的关注,市场需求巨大。与传统油田污水处理设备相比,聚结分离器占地面积小、处理量大、处理速度快且不造成水体二次污染,因此有必要开展聚结分离器分离效率试验研究,通过分析影响聚结分离效率的因素<sup>[8-9]</sup>,优化各项参数(流量、板间距、聚结板倾斜角度、板组数、温度),在不添加化学药品的前提下,进一步提高聚结分离器的分离效率,为实际生产提供参考依据。

## 1 试验装置及方法

### 1.1 试验装置

如图 1 所示,室内搭建一套循环分离装置,实验所用聚结分离器长 2 000mm,宽 300mm,高 1 100mm,入口管径 20mm,入口管流与堰板的夹角为  $60^\circ$ ,在搅拌罐中配制含油质量浓度为 150mg/L 的油水混合物,经搅拌机充分搅拌混合后,形成油水乳化液,经流量计进入聚结罐聚结沉降分离,分离后的油水进入混合罐,经过离心泵之后,再次形成稳定的乳状液,经搅拌罐后进入聚结罐完成一次循环。试验通过流量计来调控入口流量,用比色皿每隔 3min 分别对入水口和出水口进行取样,使用 721 型紫外分光光度计分析其中含油浓度,通过分离器出口取样的含水率来评价油水分离效果。

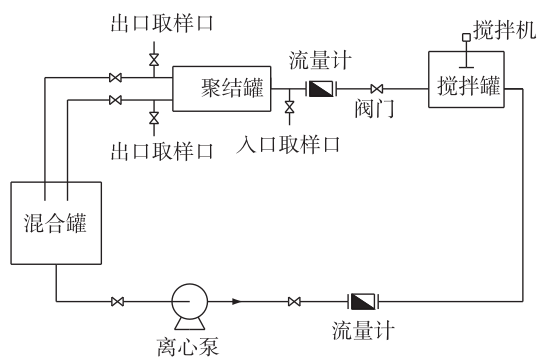


图 1 试验装置流程图

Fig.1 Flow chart of experiment process

### 1.2 试验内容

实验主要研究入口流量、板间距、聚结板倾斜角度、板组数量、温度 5 个因素对含油污水分离效率的

影响。实验用比色皿每隔 3min 分别对入水口和出水口进行取样并分析其中含油质量浓度:①在聚结板长度、板间距及其它条件固件情况下,改变来液流量  $0.1 \sim 0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,分析不同流量下聚结板除油的分离效率;②在聚结板长度及其它条件固件情况下,在  $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$  的 4 个不同流量下对板间距 0.63、1.27、1.90cm 进行试验,分析特定流量下不同板间距对聚结板分离效率的影响;③在聚结板长度及其它条件固件情况下,在  $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$  的 4 个不同流量下分别对单组聚结板平置、入口处倾斜  $1.5^\circ$ 、 $3^\circ$ ,出口处倾斜  $1.5^\circ$ 、 $3^\circ$  进行 20 组试验,分析特定流量下不同倾斜角度对聚结板分离效率的影响;④在聚结板长度及其它条件固件情况下,在  $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$  的 4 个不同流量下分别对单组聚结板和双组聚结板分别进行试验,分析特定流量下不同板组数量对聚结板分离效率的影响;⑤在聚结板长度及其它条件固件情况下,在  $0.1 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$  的 4 个不同流量下分别对 40、50、 $60^\circ\text{C}$  3 种不同温度下的含油污水进行 12 组试验,分析特定流量下不同温度对聚结板分离效率的影响。

## 2 试验结果分析

### 2.1 标准曲线测定与分离效率计算

试验以含油污水处理前后的含油浓度来衡量聚结分离性能,采用 721 型紫外分光光度计测定含油浓度,配制含油质量浓度分别为 25、50、150、200、300mg/L 的 5 种标准溶液。选定合适的波长,用 10mm 比色皿以常温的自来水作为标准样品参照来测定其吸光度,经空白校正后,得到配制的试验油品相应的吸光度值,确定试验油品标准曲线图,见图 2。

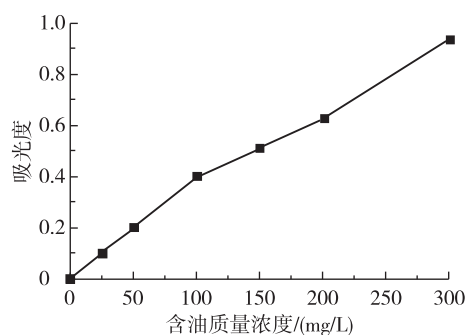


图 2 试验油品标准曲线图

Fig.2 Oil standard curve chart

在入口处和出口处开设取样口,利用紫外线分

光光度计,测定水样的吸光光度值,对照标准曲线,查出处理前后水样中油的质量浓度。通过公式(1)对分离效率进行计算。

$$\lambda = \frac{E_i - E_o}{E_i}$$

(1)

式中: $E_i$  为入口含油量,mg/L; $E_o$  为出口含油量,mg/L; $\lambda$  为除油率。

2.2 流量对分离效率的影响

由图 3 可知,随着流量的增加,含油污水的处理效率不断下降,随时间推移最后稳定在一定的分离效率内。单位空间内的处理量加大,处理能力则大大降低;流速过大时,板间流速增大,油滴在聚结板组内的停留时间过短,油滴之间及油滴与聚结板之间尚未充分接触便随水流冲出板层<sup>[10]</sup>流至出水口,出水处测得的含油量显著增加,油水分离效率急剧下降。由图 3 可知流量为 0.1m<sup>3</sup>/h 时分离效率保持在 85%以上,远高于其他流量下的分离效率。故推荐处理流量为 0.1m<sup>3</sup>/h。

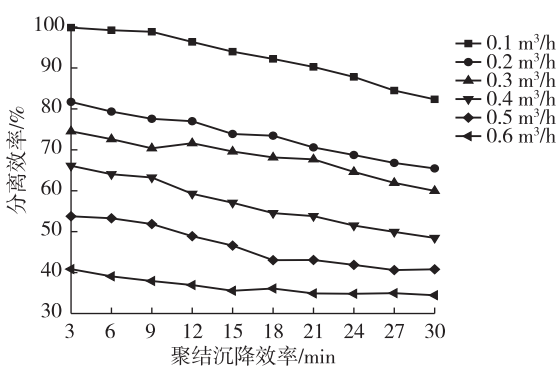


图 3 不同流量下聚结板除油的分离效率

Fig.3 The separation efficiency of the oil removal of the coalescence plate under different flow rate

2.3 板间距对分离效率的影响

图 4 中(a)、(b)、(c)、(d)分别为入口流量为 0.1、0.2、0.3、0.4m<sup>3</sup>/h 时板间距对分离效率的影响,由图 4 可知在相同流量下,分离效率随着板间距的增大不断降低。当板间距离较小时,油滴浮升距离较短,有利于油滴在波纹流道中聚并、碰撞成大油滴<sup>[11-13]</sup>,油滴在重力的作用下实现油水分离。

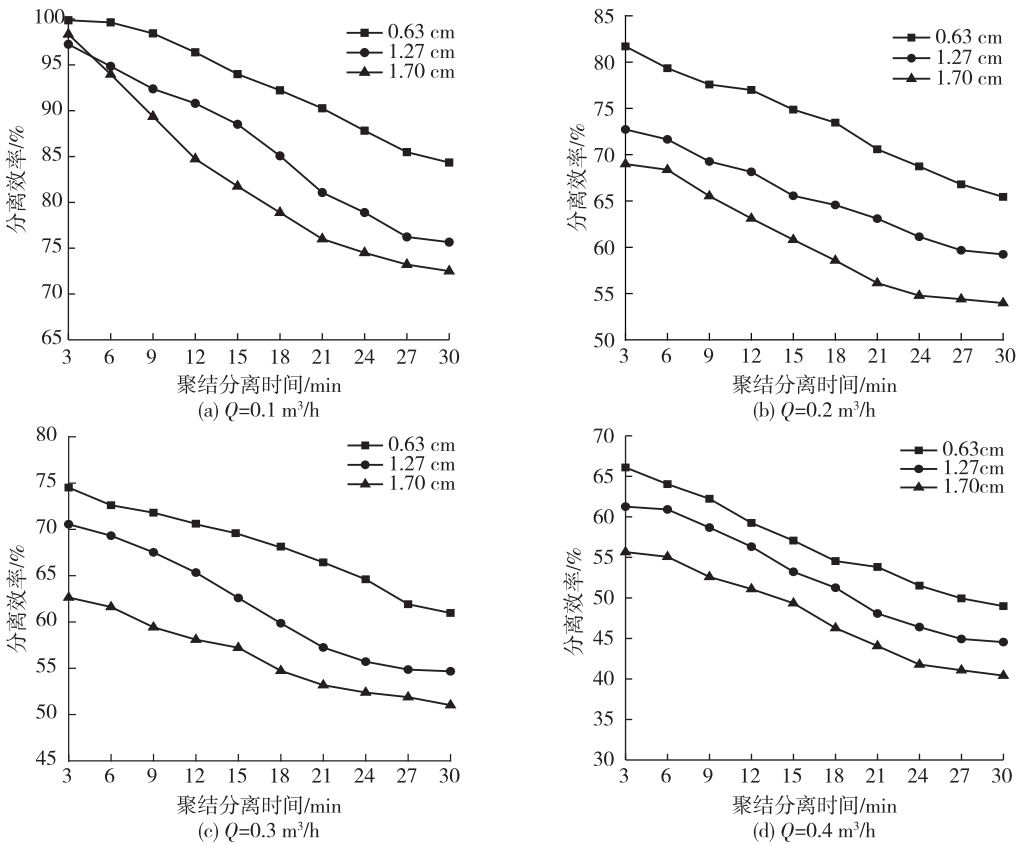


图 4 板间距对分离效率的影响

Fig.4 Influence of plate spacing on separation efficiency

分析上图可知,相同流量下分离效率随板间距增大而降低,板间距为 0.63cm 时,聚结分离效率高

于 1.27cm 和 1.90cm,这主要是由于板间流量随板间距的增大而增大,板间流场相对加快,单块板处理量增大,小油滴碰撞、聚并时间变短,不利于形成大油滴;板间距增大,使油滴浮升距离变大,大量处在聚结中的小油滴尚未在聚结材料表面形成油膜便被冲出聚结区,使聚结分离效率大大降低<sup>[14-15]</sup>,故此推荐板间距为 0.63cm。

## 2.4 倾斜角度对分离效率的影响

图 5 中(a)、(b)、(c)、(d)分别为入口流量为 0.1、0.2、0.3、0.4 m<sup>3</sup>/h 时板组倾斜角度对分离效率的影响,由图 5 可知板组倾斜角度 0°和板组出口处倾斜 1.5°这 2 类工况下的分离效率相较其他 3 种情况要高。当流量相对偏小时板组出口处倾斜 1.5°分离效率较高;而流量相对偏大时,板组倾斜角度 0°的分离效果更佳。

由于聚结板的表面改性处理后,聚结板上表面的材料性质更利于油水两相分离,故出口处的板组

倾斜时分离效率要大大高于入口处倾斜的板组。当板组倾角为 0°时,可将板组近似看成平板结构,含油污水在运动过程中相对碰撞机会少,油滴聚结时间相对较长,分离效率相对较差。当出口板组倾斜 1.5°后,倾角增大促使斜板中经过的液流形成了一个初始垂直上浮速度,增加了油滴的相对运动速度,缩减了油滴聚并时间,便于小油滴碰撞聚结为大油滴,最后在重力作用下实现油水分离;随着倾角的继续增大,含油污水在流动过程中受力平衡性被打破,不利于油滴的聚并,同时倾角过大不仅会增大液流的运动阻力,而且聚结板的前端易发生返混现象,因此会出现出口板组倾斜角度增大至 3°后分离效率大大降低的现象。随着流量的增加,液流对流体流动状态影响愈加明显,流动形态的不稳定性会影响分离效率,故分离效率在流量变化时发生一定的偏差。试验数据表明流量为 0.1 m<sup>3</sup>/h 时分离效率较高,倾斜角度为出口处倾斜 1.5°效果好。

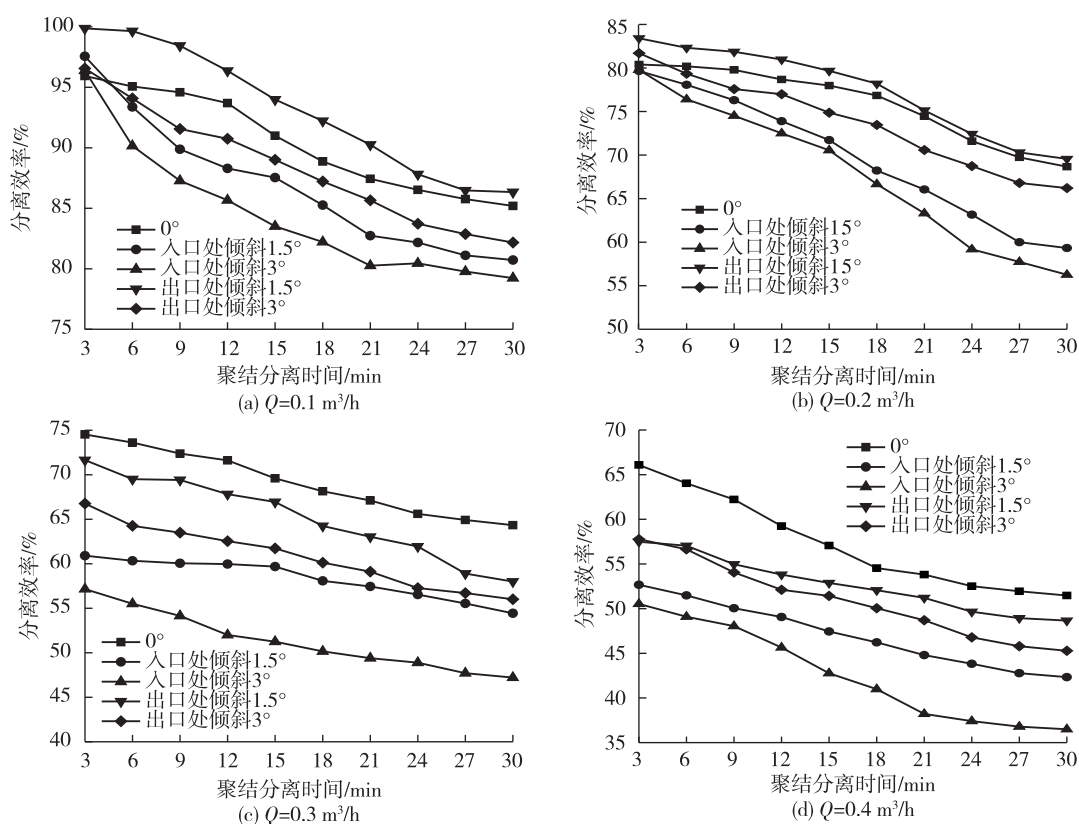


图 5 板组倾斜角度对分离效率的影响

Fig.5 Influence of plate tile angle on separation efficiency

## 2.5 板组数量对分离效率的影响

图 6 中(a)、(b)、(c)、(d)分别为入口流量为

0.1、0.2、0.3、0.4 m<sup>3</sup>/h 时板组数对分离效率的影响,由图 6 可知,在不同流量下单板组的聚结分离效率都低于双板组。当板组数量减少时,聚结板表面

积减少,表面负荷增大,流动过程中易产生紊流现象,且聚结材料对油滴的捕捉能力降低,油滴在聚结板表面碰撞、聚并的机会减少,不利于小油滴聚并为大油滴,从而降低聚结分离效率。显然,增加板组可

提高聚结分离效率,但过多的板组会使聚结分离器过于笨重,故在条件允许的情况下,建议使用双板组。

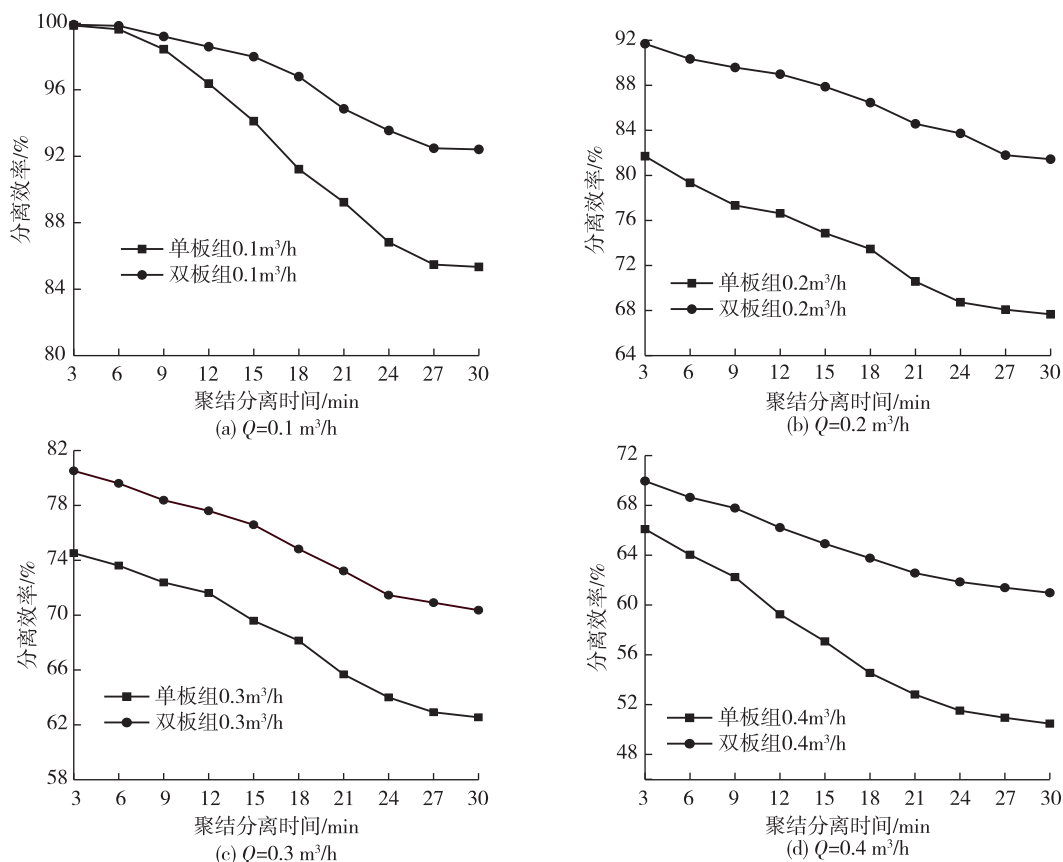


图 6 板组数对分离效率的影响

Fig.6 Influence of the number of plates on separation efficiency

## 2.6 温度对分离效率的影响

图 7 中(a)、(b)、(c)、(d)分别为入口流量为 0.1、0.2、0.3、0.4  $\text{m}^3/\text{h}$  时温度对分离效率的影响,由图 7 可知,分离效率随温度的升高略有提升,效果不明显。温度升高使含油污水粘度降低,油滴在板间运动更加活跃,单位体积内的有效碰撞增加,使乳化油和分散油更容易去除。且温度升高,使小油滴动能增大,加速了油滴上浮,更容易在聚结材料表面碰撞、聚并。故分离效率随温度的升高而升高,但在试验结果中并没有明显体现,主要是由于试验处理的含油污水含油量较少,温度对含油污水粘度影响很小。

## 3 结论及建议

1)随着流量的增加,分离效率逐步下降,依据试

验结果及数据分析推荐最佳处理流量为 0.1  $\text{m}^3/\text{h}$ 。在相同流量下,板间距越大,分离效率越低。推荐最佳板间距为 0.63cm。

2)当出口板组倾斜一定角度时,液流易形成了一个初始垂直上浮速度,增加油滴的相对运动速度,缩短油滴聚并时间,促进实现油水分离,依据试验结果及数据分析推荐聚结板组出口处倾斜 1.5°。

3)随着板组数增多,分离效率提高,在经济条件允许的情况下建议用双组板。温度对分离效率有一定的影响,但是试验效果并不明显,主要是由于试验所用溶液皆为配制溶液,含油量较少,温度对粘度影响效果不明显。



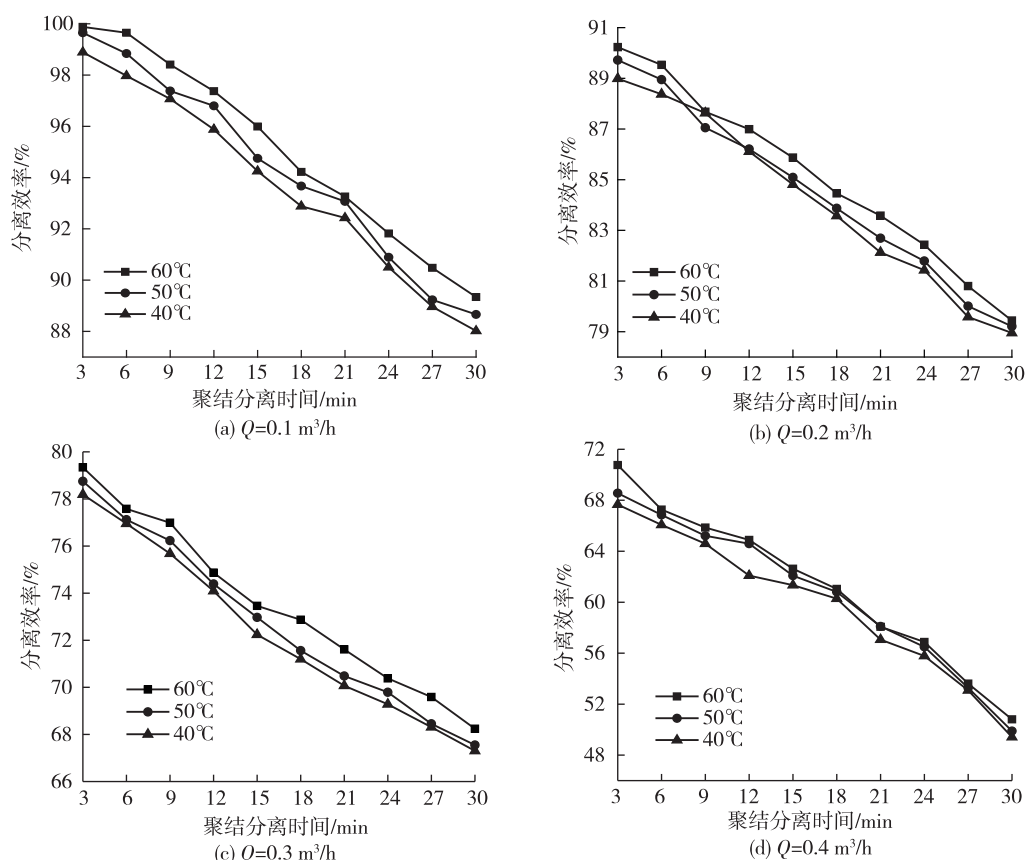


图7 温度对分离效率的影响

Fig.7 Influence of temperature on separation efficiency

## 参考文献:

- [1]李方文,吴建锋,徐晓虹,等.油田开采水中铁的去除及其对浊度的影响[J].石油化工高等学校学报,2007,20(2):23-25.
- [2]王临红,赵振兴,韩桂华,等.含油污水除油净水技术研究与进展[J].工业水处理,2005,25(2):5-8.
- [3]罗彩龙,朱琴.国内油田含油污水处理现状与展望[J].石油和化工设备,2010,13(11):55-57.
- [4]隋智慧,秦煜民.油水分离技术的研究进展[J].油气田地面工程,2002,21(6):115-116.
- [5]冯叔初,郭揆常.油气集输与矿产加工[M].东营:中国石油大学出版社,2006:278.
- [6]张银鸽,于萍,刘士雷.聚结构件倾角对分离器分离效果影响的数值模拟[J].石油矿场机械,2013,42(3):42-45.
- [7]陈文征,张贵才,尹海峰.波纹板聚结油水分离技术研究进展[J].石油矿场机械,2007,36(5):27-29.
- [8]张黎明,何利民,王涛,等.重力分离器聚结构件数值模拟及优化研究[J].化工机械,2008,35(1):17-21.

- [9]张黎明,何利民,王涛等.含聚结构件油水分离器性能研究[J].高校化学工程学报,2009,23(2):345-350.
- [10]王敏,杨昌柱.一种波纹板聚结油水分离器的研制[D].武汉:华中科技大学,2004.
- [11]候海瑞.液-液聚结分离器原理及石油化工中的应用[J].过滤与分离,2013,23(3):29-32.
- [12]孙治谦,王振波,吴存仙,等.油水重力分离过程油滴浮升规律的实验研究[J].过程工程学报,2009,9(1):123-127.
- [13]孙治谦,王振波,金有海.油水重力分离原理及聚结破乳机理初探[J].化工机械,2009,36(6):636-639.
- [14]闫志刚,杨中奇,刘帅男.高效斜板分离器结构研究与开发[J].化工设计,2012,22(1):37-40.
- [15]曹书翰,陈立功,刘先杰,等.粗粒化技术对水包油乳状液分离特性的影响[J].后勤工程学院学报,2013,29(2):25-29.

(责任编辑:殷丽莉)