



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102527069 B

(45)授权公告日 2016.12.14

(21)申请号 201210008221.4

CN 1639532 A,2005.07.13,

(22)申请日 2012.01.12

CN 2775567 Y,2006.04.26,

(65)同一申请的已公布的文献号

JP 特开2009-150251 A,2009.07.09,

申请公布号 CN 102527069 A

李强等.复合结构毛细蒸发器传热特性研究.《工程热物理学报》.2008,第29卷(第1期),第148-150页.

(43)申请公布日 2012.07.04

(73)专利权人 中国林业科学研究院林产化学工业研究所

审查员 杨轶嘉

地址 210042 江苏省南京市锁金五村16号

中国林业科学研究院林产化学工业研究所

(72)发明人 孙先玉 孙博 李伟扬

(51)Int.Cl.

B01D 1/22(2006.01)

(56)对比文件

US 4898231,1990.02.06,

权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种毛细蒸发原理、工艺及其设备

(57)摘要

本发明涉及一种毛细蒸发原理、工艺及其设备,即依据于毛细管在液相中存在着毛细管上升即表面张力现象,借此液体固有毛细管上升现象及其表面张力现象,发明了一种毛细蒸发原理、工艺及其设备。本发明毛细蒸发器是通过溶液的不断再沸蒸发及其诸多毛细蒸发管束其液体表面张力的作用实现溶剂蒸汽的不断冷凝和排出而实现溶液的浓缩与溶剂蒸汽的毛细冷凝与分离。蒸发再沸通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或升膜或降膜或分子蒸发实现,毛细蒸发冷凝可以是自然直接冷凝或间接风冷凝或间接水冷凝与冷却。本毛细蒸发器可以采用单效或二效或三效或多效组合使用。本发明毛细蒸发器蒸发效果好,工作效率高,就热能的利用而言节能、低碳、高效。

1. 一种毛细蒸发工艺,其特征在于包括以下步骤:

毛细蒸发依据于毛细管在液相中存在的表面张力现象,其借助于溶液蒸发固有的溶液表面张力的内在动力而加速了溶液的毛细组合、耦合化蒸发、冷凝与分离;

毛细蒸发工艺为:其通过溶液的不断再沸及其诸多毛细蒸发管束其液体表面张力的作用实现溶剂蒸汽的不断冷凝和排除而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发分离;溶液毛细蒸发的再沸与诸多毛细束冷凝、分离、浓缩经组合、耦合化成再沸和毛细管冷凝分离两部分或一体化蒸发;再沸通过外加热源盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸发或升膜或降膜蒸发或分子蒸发来实现,毛细蒸发通过诸多毛细蒸发管组合化的液体表面张力的作用实现溶剂的自然直接或间接的风冷凝或直接或间接的水冷凝及其排除,进而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发冷凝分离;即蒸发溶液进入毛细蒸发再沸加热后,进入毛细蒸发耦合化汽液分离器气液分离;蒸发蒸汽进行毛细蒸发组合、耦合化冷凝便得到毛细蒸发溶剂,而不凝性气体通过常压或抽真空排出;毛细蒸发耦合化气液分离室的循环液通过反复的毛细循环蒸发得到毛细蒸发浓缩液;毛细蒸发的再沸加热采用蒸汽或导热油热媒;毛细蒸发组合、耦合化冷凝器的冷凝或冷却冷媒采用空气或水;

毛细蒸发器由毛细蒸发再沸器(1)、耦合化汽液分离器(2)、毛细冷凝吸嘴组合器(3)、毛细蒸发组合、耦合化冷凝器(4)、接管(5)、接管(6)、蒸汽或导热油热媒(7)、空气或水冷媒(8)、不凝性气体(9)构成;毛细蒸发组合、耦合化冷凝器(4)由毛细冷凝吸嘴组合器(3)及其毛细冷凝管束(10)组成;

毛细蒸发工艺设备流程为:蒸发溶液进入毛细蒸发再沸器(1)加热后,随即进入毛细蒸发耦合化汽液分离器(2)、毛细冷凝吸嘴组合器(3)气液分离;蒸发蒸汽进入毛细蒸发组合、耦合化冷凝器(4)、毛细冷凝管束(10)便得到毛细蒸发溶剂,而不凝性气体(9)通过接管(5)常压或抽真空排出;毛细蒸发耦合化气液分离器(2)、毛细冷凝吸嘴组合器(3)的循环液通过接管(6)反复的毛细循环蒸发得到毛细蒸发浓缩液;毛细蒸发再沸器(1)加热采用蒸汽或导热油热媒(7)加热;毛细蒸发组合、耦合化冷凝器(4)、毛细冷凝管束(10)采用空气或水冷媒(8)冷凝或冷却。

## 一种毛细蒸发原理、工艺及其设备

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及一种毛细蒸发原理、工艺及其设备。该技术属于化学工程的热工传导分离工程及热工设备技术领域。

### 背景技术：

[0002] 本发明涉及一种毛细蒸发原理、工艺及其设备，即本发明依据于毛细管在液相中存在着毛细管上升即表面张力现象，借此液体固有毛细管上升现象及其表面张力现象，发明了一种毛细蒸发原理、工艺及其设备。

[0003] 众所周知，当干净的玻璃毛细管插入液体中时，若此液体能润湿毛细管壁，则因表面张力的作用，液体沿毛细管上升，直到上升的力被液柱的重力所平衡而停止上升，即称之为毛细管上升，此正是毛细管蒸发加速的原理与动力。此毛细力可以加速蒸发溶剂气相的分离！

[0004] 液膜有自动收缩的趋势，这种收缩表面的力叫表面张力。其物理意义在于表面张力是沿着与表面相切的方向，垂直通过液体表面上任一单位长度收缩表面的力。任何液体，在一定的条件下均有一定的表面张力。如水在20℃是的表面张力为72.75mN/m。

[0005] 鉴于此，本发明毛细蒸发器蒸发效果好，工作效率高，就热能的利用而言节能、低碳、高效。

### 发明内容：

[0006] 一种毛细蒸发原理、工艺及其设备，其特征在于包括以下步骤：

[0007] 本发明毛细蒸法原理即为毛细管自然上升法。

[0008] 我们知道，毛细管自然上升力其几乎是不受任何受力方向的作用与影响。当干净的玻璃毛细管插入液体中时，若此液体能润湿毛细管壁，则因表面张力的作用，液体沿毛细管上升，直到上升的力( $2\pi \gamma \cos\theta$ )被液柱的重力( $\pi r^2 \rho gh$ )所平衡而停止上升，即：

$$[0009] \quad 2\pi \gamma \cos\theta = \pi r^2 \rho gh \quad (1)$$

[0010] 整理(1)式，得到：

$$[0011] \quad \gamma = \frac{r^2 \rho gh}{2 \cos\theta} \quad (2)$$

[0012] 式中： $\gamma$ 为表面张力， $r$ 为毛细管直径， $\rho$ 为液体密度， $g$ 为重力加速度， $h$ 为液柱高， $\theta$ 为接触角。

[0013] 液膜有自动收缩的趋势，这种收缩表面的力叫表面张力。其物理意义在于沿着与表面相切的方向，垂直通过液体表面上任一单位长度收缩表面的力，通常存在表面张力，其单位用mN/m表示。

[0014] 任何液体，在一定的条件下均有一定的表面张力。如水在20℃时的表面张力为72.75mN/m。

[0015] 本发明涉及一种毛细蒸发原理、工艺及其设备，即依据于毛细管在水相中存在的

表面张力现象,并借助于液体的存在的表面张力实现了毛细蒸发工艺及其设备。

[0016] 本发明溶液毛细蒸发工艺是依据于毛细管在液相中存在的表面张力现象,并借助于液体固有的溶剂表面张力而加速溶剂的毛细组合、耦合化冷凝、分离及其溶液的浓缩。

[0017] 其工艺流程为:见图1。

[0018] 本发明的毛细蒸发工艺设备流程为:见图2。

[0019] 本发明的毛细蒸发器,主要包括:毛细蒸发再沸加热器①、耦合化汽液分离器②、毛细冷凝吸嘴组合器③、毛细蒸发组合、耦合化冷凝器④、接管⑤、接管⑥、蒸汽、导热油等热媒⑦、空气或水等冷媒⑧、不凝性气体⑨等。

[0020] 毛细蒸发组合、耦合化冷凝器④主要由毛细冷凝吸嘴管束③及其毛细冷凝管束⑩组成。

[0021] 本发明毛细蒸发器加工简单,适用能力强,蒸发原理清晰、合理,换热效能高,实现了高效、节能蒸发,特别适用于溶剂的常压蒸法,实现了溶液蒸发新原理、新工艺及其新设备的创新。

[0022] 本发明毛细蒸发器是通过溶液的不断再沸及其诸多毛细蒸发管束其液体表面张力的作用实现溶剂蒸汽的不断冷凝和排除而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发分离。溶液毛细蒸发的再沸与诸多毛细束冷凝、分离、浓缩已经组合、耦合化成再沸和毛细管冷凝分离两部分或一体化蒸发。再沸可以通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸法或升膜或降膜蒸法或分子蒸发等实现,毛细蒸发可以通过诸多毛细蒸发管组合化的液体表面张力的作用实现溶剂的自然直接或间接的风冷凝或直接或间接的水冷凝及其排除,进而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发冷凝分离。

[0023] 本发明毛细蒸发器排液效果好,工作效率高,就热能的利用而言节能、低碳、高效。

#### 附图说明:

[0024] 图1本发明毛细蒸发工艺原理图;

[0025] 图2本发明毛细蒸发工艺设备流程图;

[0026] 图3是本发明蒸汽导流管式毛细蒸发器结构示意图。其中1为加热室,2为蒸发分离室,3为冷凝器,4为液封及压力平衡槽,5为毛细冷凝器,6为压力平衡管,7为毛细管束,8为蒸汽导流管;

[0027] 图4是本发明蒸汽直接式毛细蒸发器结构示意图。其中1为加热室,2为蒸发分离室,3为冷凝器,4为液封及压力平衡槽,5为毛细冷凝器,6为压力平衡管,7为毛细管束;

[0028] 图5是本发明单管式毛细蒸发器结构示意图。其中1为加热室,2为蒸发分离室,3为盘管式冷凝器,4为液封及溶剂压力平衡槽,5为单管式毛细冷凝器;

[0029] 图6是本发明毛细蒸发器单管毛细管结构示意图。其中1为毛细管锥头段,mm;2为毛细管过渡段,mm;3为毛细管段,mm; $d_{内}$ 为毛细管锥头小端内径,mm; $D_{内}$ 为毛细管锥头大端内径,mm; $L_1$ 为毛细管锥头长度,mm; $L_2$ 为毛细管过渡端长度,mm; $L_3$ 为毛细管锥头+过渡端长度,mm; $L_4$ 为毛细管直线段长度,mm。

#### 具体实施方式:

[0030] 本发明的技术核心是发明了毛细蒸发原理及其毛细管表面张力应用于毛细蒸发,

在溶液毛细蒸发中实现了毛细吸嘴管束的毛细组合、耦合力及其技术用于毛细蒸发工艺、设备的应用与设计。

[0031] 本发明的毛细蒸发器的组成,主要包括:毛细蒸发再沸加热器①、耦合化汽液分离器②、毛细冷凝吸嘴组合器③、毛细蒸发组合化冷凝器④、接管⑤、接管⑥、蒸汽、导热油等热媒⑦、空气或水等冷媒⑧、不凝性气体⑨等。

[0032] 毛细蒸发组合、耦合化冷凝器③主要由毛细吸嘴管束④及其冷凝管组⑩组成。

[0033] 本发明的实施例阐述如下:

[0034] 本发明毛细蒸发器第一实施例的溶液毛细蒸发原理为毛细管自然上升法。主要公式为:

$$[0035] \quad 2\pi \gamma \cos\theta = \pi r^2 \rho gh \quad (1)$$

$$[0036] \quad \gamma = \frac{r^2 \rho gh}{2 \cos\theta} \quad (2)$$

[0037] 式中:  $\gamma$  为表面张力,  $r$  为毛细管直径,  $\rho$  为液体密度,  $g$  为重力加速度,  $h$  为液柱高,  $\theta$  为接触角。

[0038] 本发明毛细蒸发器第二实施例的溶液毛细蒸发工艺流程,如图1所示。溶液不断通过再沸加热及其诸多毛细蒸发管束其液体表面张力的作用实现溶剂蒸汽的不断冷凝和排除而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发分离。溶液毛细蒸发的再沸与诸多毛细管束冷凝、分离、浓缩已经组合、耦合化成再沸和毛细管冷凝分离两部分或一体化蒸发。再沸通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸法或升膜或降膜蒸法或分子蒸发等实现,毛细蒸发可以通过诸多毛细蒸发管组合化的液体表面张力的作用实现溶剂的自然直接或间接的风冷凝或直接或间接的水冷凝及其排除,进而实现溶液的浓缩与溶剂的毛细蒸发冷凝分离。

[0039] 本发明毛细蒸发器第三实施例的溶液毛细蒸发工艺设备流程,如图2所示。主要由毛细蒸发再沸加热器①、耦合化汽液分离器②、毛细蒸发吸嘴管束③、毛细蒸发组合、耦合化冷凝器④、接管⑤、接管⑥、蒸汽、导热油等热媒⑦、空气或水等冷媒⑧、不凝性气体⑨等。毛细蒸发组合、耦合化冷凝器③主要由毛细冷凝吸嘴管束④及其冷凝管组⑩组成。

[0040] 本发明毛细蒸发器第四实施例为蒸汽导流管式毛细蒸发器结构,如图3所示。主要由毛细蒸发加热室1、耦合化汽液分离室2、蒸汽冷凝器3、液封及压力平衡槽4、毛细冷凝器5、压力平衡管6、毛细管束7、蒸汽导流管8组成。

[0041] 毛细蒸发加热室1可以通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸法或升膜或降膜蒸法或分子蒸发等实现,耦合化汽液分离室2是导流式汽液分离器,蒸汽冷凝器3可以是列管式或盘管式或管板式或毛细管式冷凝器,液封及压力平衡槽4可以常压或真空式,毛细冷凝器5是导流式冷凝器、压力平衡管6可真空或常压操作。

[0042] 本发明毛细蒸发器第五实施例为蒸汽直接式毛细蒸发器结构,如图4所示。主要由毛细蒸发加热室1、耦合化汽液分离室2、蒸汽冷凝器3、液封及压力平衡槽4、毛细冷凝器5、压力平衡管6、毛细管束7组成。

[0043] 毛细蒸发加热室1可以通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸法或升膜或降膜蒸法或分子蒸发等实现,耦合化汽液分离室2是直接式汽液分离器,蒸汽冷凝器3可以是列管式或盘管式或管板式或毛细管式冷凝器,液封及压力平衡槽4可以常压或真空

式,毛细冷凝器5是直接式冷凝器、压力平衡管6可真空或常压操作。

[0044] 本发明毛细蒸发器第六实施例为单管式毛细蒸发器结构,如图5所示。主要由毛细蒸发加热室1、耦合化汽液分离室2、蒸汽冷凝器3、液封及压力平衡槽4、单管式毛细冷凝器组成。

[0045] 毛细蒸发加热室1可以通过外加热源如盘管或短管蒸发或外循环或内循环蒸法或升膜或降膜蒸法或分子蒸发等实现,耦合化汽液分离室2可以是直接式或导流式汽液分离器,蒸汽冷凝器3可以是列管式或盘管式或管板式或毛细管式冷凝器、液封及压力平衡槽4可以常压或真空式,单管式毛细冷凝器5只是直接式单管冷凝器。

[0046] 本发明毛细蒸发器第七实施例为毛细蒸发器单管毛细管结构,如图6所示。主要标识了毛细管锥头段1、毛细管过渡段2、毛细管段3、毛细管锥头小端内径 $d_{内}$ 、毛细管锥头大端内径 $D_{内}$ 、毛细管锥头长度 $L_1$ 、毛细管过渡端长度 $L_2$ 、毛细管锥头+过渡端长度 $L_3$ 、毛细管直线段长度 $L_4$ 。

[0047] 本发明毛细蒸发毛细管及其管束吸嘴锥度为: $D_{内}/L_1=0.20\sim 0.28$ ,吸嘴管径梯度比例为: $d_{内}/D_{内}=0.1\sim 0.7$ 。

[0048] 本发明毛细蒸发器可以单效或二效或三效或多效组合使用。

[0049] 本发明毛细蒸发器第八实施例为系列毛细蒸发单管蒸发冷凝效果对比实验,效果十分显著。主要结果如表1、2、3、4、5、6所示。

[0050] 表1乙酸乙酯提取塔拉粉提取液单管毛细蒸发试验结果

[0051]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
2/12-2005	89	150 (头步)	58	74	132
2/12-2005	89	183 (头步)	70	83	153
2/12-2005	89	150 (二步)	77	63	140
2/12-2005	89	212 (二步)	115	95	210
6/12-2005	95	150 (头步)	38	95	135
6/12-2005	95	150 (头步)	64	65	129
6/12-2005	95	174 (头步)	99	64	163
6/12-2005	94	150 (二步)	60	83	143
6/12-2005	94	150 (二步)	72	67	139
6/12-2005	94	206 (二步)	89	112	201
6/12-2005	95	150 (头步)	70	56	126
6/12-2005	95	150 (头步)	63	81	138
6/12-2005	95	174 (头步)	65	70	135

[0052]

6/12-2005	94	150 (二步)	70	74	144
6/12-2005	94	150 (二步)	68	79	147
6/12-2005	94	205 (二步)	88	112	200
7/12-2005	87	150 (头步)	73	60	133
7/12-2005	87	150 (二步)	66	77	143
7/12-2005	87	150 (三步)	82	66	148
7/12-2005	93	200 (头步)	93	100	193
7/12-2005	92	315 (头步)	115	180	295
7/12-2005	90	225 (二步)	84	128	212
7/12-2005	85	245 (三步)	103	136	239
9/12-2005	86	610 (二步)	131	390	521
9/12-2005	73	623 (三步)	185	422	607
15/12-2005	88	172 (头步)	80	74	154
15/12-2005	88	360 (二步)	169	184	353
15/12-2005	88	290 (三步)	134	134	268
12/1-2006	76	654 (头步)	146	460	606
12/1-2006	73	462 (二步)	105	350	455
12/1-2006	74	530 (三步)	153	371	524

[0053] 表2乙醇提取塔拉粉提取液单管毛细蒸发试验结果

[0054]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
16/12-2005	86	235 (头步)	19	150	169

[0055] 表3正己烷n-hexane提取塔拉粉提取液蒸发溶剂蒸汽毛细冷凝试验结果

[0056]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
20/12-2005	71	295 (一步)	132	136	268

[0057] 表4甲醇提取塔拉粉提取液单管毛细蒸发试验结果

[0058]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
13/12-2005	85	400 (头步)	182	204	386
14/12-2005	80	250 (二步)	110	129	239
14/12-2005	92	335 (二步)	145	184	329
14/12-2005	80	565 (三步)	217	340	557

[0059] 表5丙酮提取塔拉粉提取液单管毛细蒸发试验结果

[0060]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
19/12-2005	82	223 (头步)	68	133	201
19/12-2005	78	295 (二步)	102	152	254
19/12-2005	76	291 (三步)	37	243	280

[0061] 表6石油醚提取塔拉粉提取液单管毛细蒸发试验结果

[0062]

试验时间	水浴温度 ℃	蒸发溶液量 ml	毛细管出液量 ml	盘管冷凝出液量 ml	总溶剂排出量 ml
23/12-2005	70	295 (头步)	91	118	209
23/12-2005	66	287 (二步)	83	179	262

[0063] 以上所述仅是本发明的优选实施例,就本技术领域的科学技术人员而言,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。



