

标引序号和符号说明:

- 1 —— 驱动装置;
- 2 —— 密封平盖;
- 3 —— 物料分布器;
- 4 —— 刮板;
- 5 —— 转子;
- 6 —— 内筒体;
- 7 —— 加热夹套;
- 8 —— 内置冷凝器;
- 9 —— 定位块;
- 10 —— 耳座;
- a* —— 物料入口;
- b* —— 加热夹套热媒入口;
- c* —— 重馏分出口;
- d* —— 轻馏分出口;
- e* —— 内置冷凝器冷媒出口;
- f* —— 内置冷凝器冷媒入口;
- g* —— 抽真空口;
- h* —— 加热夹套热媒出口。

图 1 分子（短程）蒸馏器结构示意图

4.2 工艺参数

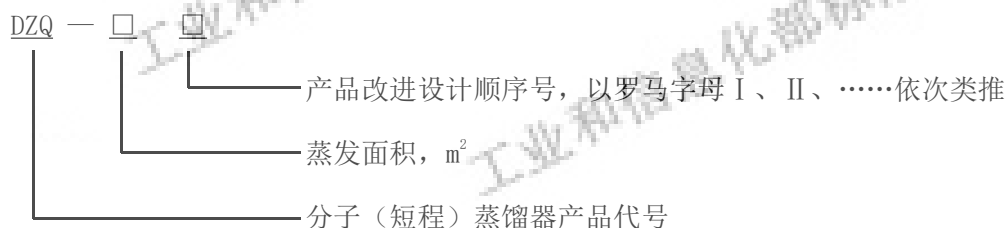
蒸馏器的技术条件及工艺参数应符合表1的规定。

表 1 技术条件及工艺参数

序号	名称	技术条件及参数
1	内筒体工作压力（真空度）/Pa	1~10
2	加热夹套热媒	水、水蒸气或导热油
3	热媒工作压力/MPa	0.25~9.90
4	内置冷凝器管箱内冷媒	冷却水或恒温水
5	内置冷凝器管箱内工作压力/MPa	0.25~0.50
6	转速/（r/min）	10~360（可调）
7	蒸发面积/m ²	0.2~100.0
8	冷凝面积/m ²	1~400
9	功率/kW	0.75~110.00

4.3 型号

蒸馏器型号规格的表示方法如下：



示例 1：蒸发面积 20 m² 的分子（短程）蒸馏器，其型号表示为：

DZQ-20

示例 2：蒸发面积 60 m²，经第 2 次设计改进的分子（短程）蒸馏器，其型号表示为：

DZQ-60 II

4.4 规格及参数

蒸馏器型号规格及参数见表2。

表 2 蒸馏器型号规格及参数

型号规格	蒸发面积 m ²	主筒体直径 mm	型号规格	蒸发面积 m ²	主筒体直径 mm
DZQ-0.5	0.5	500	DZQ-15	15	1 350
DZQ-1	1	500	DZQ-20	20	1 550
DZQ-2	2	600	DZQ-25	25	1 650
DZQ-4	4	700	DZQ-30	30	1 650
DZQ-6	6	900	DZQ-50	50	2 150
DZQ-8	8	1 000	DZQ-65	65	2 770
DZQ-10	10	1 100	DZQ-80	80	3 270
DZQ-12	12	1 100	DZQ-100	100	3 270

5 要求

5.1 一般要求

蒸馏器应符合 GB/T 150（所有部分）的规定。

5.2 设计要求

5.2.1 设计工艺条件

蒸馏器的设计工艺条件数据应包括原料液的进料速率、进料温度、出料温度、原料液组分、各组分含量、原料液及馏出组分的物理化学性能等指标。物理化学性能指标应至少包括原料液及各组分的密度、粘度、化学腐蚀性、凝固点、泡点或沸点、不同温度下的液态或气态动力黏度及其雷诺数、工作压力下分子平均自由程、不同温度下对应的蒸汽压和密度、显热或潜热、冷凝热、蒸发系数、爆炸极限、毒性、生物特性等。

5.2.2 设计工艺参数

蒸馏器的设计工艺参数计算应按下列规定确定。

- a) 实际成膜厚度：实际成膜厚度 δ 宜为 (0.05~0.5) mm；原料液在蒸发面上的名义成膜厚度 σ_m 应按公式 (1) 计算，再经试验修正后确定实际成膜厚度 δ 。

$$\sigma_m = \sqrt[3]{\frac{3\nu^2 \times Re}{g}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ_m ——名义平均成膜厚度，单位为米 (m)；
 ν ——物料运动粘度，单位为平方米每秒 (m²/s)；
 Re ——雷诺数；
 g ——重力加速度，单位为米每平方秒 (m/s²)。

雷诺数 Re 应按公式 (2) 计算。

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- Re ——雷诺数；
 ρ ——物料密度，单位为千克每立方米 (kg/m³)；
 v ——物料流速，单位为米每秒 (m/s)；
 d ——蒸馏器直径，单位为米 (m)；
 η ——物料动力粘度，单位为千克每米秒 (kg/m·s)。

- b) 馏出料液分子平均自由程：平均自由程 λ_m 应按公式 (3) 计算。

$$\lambda_m = \frac{k}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{T}{d^2 P} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- λ_m ——馏出料液分子平均自由程，单位为米 (m)；
 k ——波尔兹曼常数，取值 $1.3806505 \times 10^{-23}$ ，单位为焦每开 (J/K)；

- T ——温度，单位为开（K）；
 d ——分子有效直径，单位为米（m）；
 P ——分子逸散环境压力，单位为帕斯卡（Pa）。

5.2.3 蒸馏器加热蒸发面积的核算与设计取值

蒸馏器的加热蒸发面积 A 应按公式（4）进行估算，然后根据预定的进料速率进行圆整取值，或通过试验确定。

$$A = \frac{Q}{K\Delta T} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- A ——蒸馏器加热蒸发面积，单位为平方米（ m^2 ）；
 Q ——蒸馏器换热量，单位为瓦（W）；
 K ——传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；
 ΔT ——加热壁两侧流体的温差，单位为摄氏度（ $^\circ C$ ）。

蒸馏器的换热量 Q 应按计算公式（5）计算。

$$Q = WH' + (F - W)h_1 - Fh_0 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- Q ——蒸馏器换热量，单位为瓦（W）；
 W ——馏出轻组分量，单位为千克每小时（kg/h）；
 H' ——馏出轻组分热焓值，单位为焦耳每千克（J/kg）；
 F ——原料液进料量，单位为千克每小时（kg/h）；
 $(F - W)$ ——馏出重组分量，单位为千克每小时（kg/h）；
 h_1 ——馏出重组分热焓值，单位为焦耳每千克（J/kg）；
 h_0 ——原料液热焓值，单位为焦耳每千克（J/kg）。

传热系数 K 应按计算公式（6）计算。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R_1 + R_2 + \frac{\delta}{\lambda}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- K ——传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；
 α_1 ——热流体的传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；
 α_2 ——冷流体的传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；
 R_1 ——加热壁内侧污垢热阻，单位为平方米摄氏度每瓦（ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ）；
 R_2 ——加热壁外侧污垢热阻，单位为平方米摄氏度每瓦（ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ）；
 δ ——加热壁厚度，单位为米（m）；
 λ ——加热壁的导热系数，单位为瓦每米摄氏度（ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ）。

5.2.4 蒸馏器内置冷凝器冷凝面积的计算与设计取值

蒸馏器内置冷凝器的换热面积应按公式（7）进行估算，然后根据预定的进料速率进行圆整取值，或通过试验确定。

$$A_L = \frac{Q}{K_1 \Delta T_1} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

A_L ——蒸馏器冷凝器冷凝面积，单位为平方米（ m^2 ）；

Q ——蒸馏器冷凝换热量，单位为瓦（W）；

K_1 ——传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；

ΔT_1 ——冷凝管内外流体的温差，单位为摄氏度（ $^\circ C$ ）。

蒸馏器的冷凝换热量 Q 应按计算公式（5）计算。

传热系数 K_1 应按计算公式（8）计算。

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R_1 + R_2 + \frac{\delta}{\lambda}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

K_1 ——传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；

α_1 ——热流体的传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；

α_2 ——冷流体的传热系数，单位为瓦每平方米摄氏度（ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）；

R_1 ——冷凝壁内侧污垢热阻，单位为平方米摄氏度每瓦（ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ）；

R_2 ——冷凝壁外侧污垢热阻，单位为平方米摄氏度每瓦（ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ）；

δ ——冷凝壁厚度，单位为米（m）；

λ ——冷凝壁的导热系数，单位为瓦每米摄氏度（ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ）。

5.2.5 蒸馏器内冷热面温差

5.2.5.1 蒸馏器筒体的蒸发面与内置冷凝器冷凝面的温差由原料液、馏出组分的特性决定。常见典型物料设计蒸发面与冷凝面的温度范围数值参见表 A.1。

5.2.5.2 蒸馏器的内置冷凝器冷媒入口与冷媒出口的温度差应不大于 $5^\circ C$ ，避免因内置冷凝器冷凝面温度过高，而导致气态分子靠近内置冷凝器冷凝面上时被“再蒸发”而使得冷凝失效。

5.2.6 转子密封

蒸馏器的转子密封应采用机械密封或磁力传动密封，以保护高真空工况条件下主筒体的密封效果。对于机械密封结构，轴的径向跳动量应符合HG/T 2269的规定。

5.2.7 转子刮板

蒸馏器转子刮板的设计应符合原料液的物理化学特性，使经过物料分布器下流的液膜得到充分搅动，保证液体均匀覆盖蒸发表面形成薄液膜，又强化传热和传质过程。常用转子刮板结构见图 2。

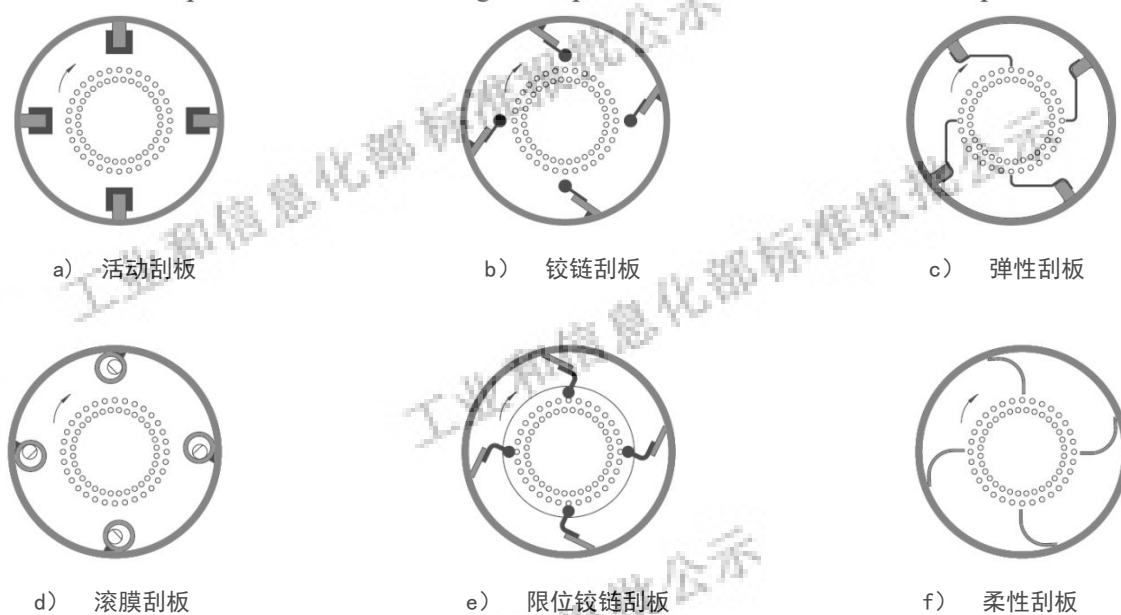


图2 常用转子刮板结构示意图

5.2.8 防飞溅挡板

5.2.8.1 蒸馏器的转子装置应设置防飞溅挡板，避免蒸发面的液滴飞溅到冷凝面上；或者被喷射的气态分子夹带到冷凝面上。

5.2.8.2 防飞溅挡板安装在转子转架的固定连接板上，结构形式主要分为 L 型和 I 型，结构形式和安装见图 3。



a) L 型防飞溅挡板

b) I 型防飞溅挡板

图3 防飞溅挡板结构形式和安装示意图

5.2.9 内置冷凝器

5.2.9.1 内置冷凝器的换热管以冷凝面换热量为设计依据。

5.2.9.2 内置冷凝器的换热管外径宜选用 25 mm 或 32 mm。

5.2.9.3 内置冷凝器的换热管排布方式应符合 GB/T 151—2014 的规定。

5.2.9.4 内置冷凝器应设置专用吊耳，方便吊装。

5.2.10 冷阱及真空系统

5.2.10.1 蒸馏器应配套相应的冷阱及真空机组，以排出蒸馏器工艺过程中逸出的气体，保证蒸馏器内部的绝对压力为 1 Pa~10 Pa，且稳定有效。

5.2.10.2 冷阱安装于蒸馏器和真空泵之间，以凝结方式在冷却的表面上捕集蒸馏器工艺过程中逸出的气体，冷阱的设计应考虑冷却管结霜情况下的加热和制冷的双重功能要求。

5.2.10.3 真空泵的抽气量 V 应按公式 (9) 计算。

$$V = \frac{G}{M} \times N \times \frac{T}{T_1} \times \frac{P_1}{P} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

V ——真空泵的抽气量，单位为立方米每小时 (m^3/h)；

G ——冷阱中未冷凝蒸汽量，单位千克每小时 (kg/h)；

M ——气体分子摩尔质量，单位为摩尔 (g/mol)；

N ——气体摩尔体积，标准状态下，其数值为 22.4，单位为升每摩尔 (l/mol)；

T ——冷阱中被抽出的气体温度，单位开 (K)；

T_1 ——理想气体温度，单位开 (K)；

P ——冷阱内绝对压力，单位为帕斯卡 (Pa)；

P_1 ——理想气体绝对压力，单位为帕斯卡 (Pa)。

5.2.11 保温措施

基于重组分（渣）和目标产品（馏出物）有可能在常温或接近环境温度下就有可能变成固态或弹性体，蒸馏器的设计应考虑必要的保温措施。

5.2.12 整机连续运行无故障时间

在正常操作条件下保证蒸馏器运行平稳、安全，设计时应考虑整机连续运行无故障时间应不低于 8 000 h。

5.2.13 分离效率

典型物料在特定工艺条件下的分离效率参见附录 A。对于非典型物料的分离效率，通过小试试验装置进行测定，由设计方、使用方共同进行约定。

5.3 材料

5.3.1 蒸馏器材料的选用应符合 GB/T 150.2 的规定。

5.3.2 内置冷凝器换热管的尺寸偏差应符合 GB/T 151—2014 中 I 级管束的规定。

5.3.3 所有配套件、外购件均应有产品合格证明。

5.4 制造

5.4.1 机加工面未注尺寸公差应符合 GB/T 1804—2000 规定的 m 级；非机加工面的尺寸公差应按 HG/T 20584 的规定。

5.4.2 机加工面未注形位公差应符合 GB/T 1184—1996 规定的 K 级。

5.4.3 蒸馏器旋转轴与转架组焊精加工后，安装轴承处上轴头与下轴头的同轴度公差应不低于 GB/T 1184—1996 中 8 级的规定。

- 5.4.4 主筒体内表面应抛光，表面粗糙度 $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ 。
- 5.4.5 内置冷凝器管箱内外圆筒、上管箱盖板、上管板、下管板以及换热管表面应进行抛光处理，检验评判规则应符合 HG/T 4079 及设计文件的规定。
- 5.4.6 蒸馏器物料分布器平面应平整、光滑，无毛刺。

5.5 焊接

- 5.5.1 蒸馏器承压部件的焊接应符合 GB/T 150.4 的规定，并符合设计文件的要求。
- 5.5.2 焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定，焊接规程应符合 NB/T 47015 的规定。
- 5.5.3 蒸馏器筒体及夹套的焊接接头的分类应符合 GB/T 150.1 的规定。
- 5.5.4 蒸馏器筒体及夹套的焊接接头无损检测要求应符合 GB/T 150.4 的规定。其中 A、B 类焊接接头应至少进行局部射线检测；射线检测按 NB/T 47013.2—2015 的规定，技术等级应不低于 AB 级，合格质量等级应为 III 级。
- 5.5.5 加热夹套中环缝应按 NB/T 47013.3—2015 的规定进行超声检测，合格质量等级应为 II 级。受压加热夹套与筒体连接焊接接头应 100% 进行磁粉检测或渗透检测（铁磁性材料应优先选用磁粉检测），其中磁粉检测合格质量等级应为 NB/T 47013.4—2015 规定的 I 级；渗透检测合格质量等级应为 NB/T 47013.5—2015 规定的 I 级。
- 5.5.6 内置冷凝器换热管管头焊缝应按 NB/T 47013.5—2015 规定进行 100% 渗透检测，合格级别为 I 级。

5.6 组装

- 5.6.1 组装应符合 HG/T 20569 的规定。
- 5.6.2 所有零部件经检验合格后方可组装。
- 5.6.3 转子架与转子轴组装后应进行静平衡测试，静平衡平衡品质级别为 GB/T 9239.1—2006 的 G 16；静平衡测试通过后再做动平衡测试，动平衡平衡品质级别为 GB/T 9239.1—2006 的 G 6.3。
- 5.6.4 内置冷凝器在焊接下管箱盖板前，应检查换热管接头的焊缝质量，检查合格后再焊接下管箱盖板。
- 5.6.5 内置冷凝器制作完成后，应检查蒸馏器冷凝器管程进出水是否通畅，有无短路情况。
- 5.6.6 内置冷凝器垂直安装后，冷凝器上管箱外圆筒与主筒体同轴度应不大于 2 mm。
- 5.6.7 设备安装垂直度公差为 0.5 mm/m。
- 5.6.8 手动盘车检查，所有转动部位应灵活，转动平稳，无卡碰和明显振动现象，无异常声响。

5.7 耐压试验

- 5.7.1 蒸馏器内置冷凝器制作完成后，管程应用水进行耐压试验，耐压试验方法应按照 GB/T 150.4 及技术文件的规定。
- 5.7.2 蒸馏器组装完工后应用水进行整体耐压试验，耐压试验方法应按照 GB/T 150.4 及技术文件的规定。

5.8 气密性试验

蒸馏器组装完工耐压试验合格后，应进行气密性试验。试验方法应符合 GB/T 150.4 及技术文件的规定。

5.9 试运转

- 5.9.1 蒸馏器出厂前应在常温常压条件下进行空载试运转。
- 5.9.2 蒸馏器试运转的转速范围应符合设计文件的规定。

- 5.9.3 蒸馏器试运转时应平稳，无异常振动声响。
- 5.9.4 蒸馏器试运转时电动机的电流应不超过额定电流。
- 5.9.5 机械密封泄漏量应符合 HG/T 2269 的要求。
- 5.9.6 设备连续正常运转的噪声应不大于 85 dB(A)。
- 5.9.7 在转子装置主轴上端密封处，轴的径向跳动量应符合 HG/T 2269 的规定。
- 5.9.8 蒸馏器试运转时表面温升应符合 HG/T 20569 的规定。机械密封顶部轴表面的温升应不超过 35 ℃；减速机表面的温升应不超过 40 ℃；电动机减速机表面温升应不超过 45 ℃。

6 检验与试验方法

6.1 转子静平衡

蒸馏器转子静平衡试验在导轨平衡架上进行，试验方法应符合 GB/T 9239.1 的规定。

6.2 转子动平衡

蒸馏器转子应参照 HG/T 20569 的规定进行动平衡试验。动平衡试验应在转子静平衡测试合格后在动平衡机上进行，试验方法应按 GB/T 9239.1 规定的方法进行。

6.3 无损检测

射线检测应按 NB/T 47013.2—2015 规定的方法进行，超声检测应按 NB/T 47013.3—2015 规定的方法进行，渗透检测应按 NB/T 47013.4—2015 规定的方法进行，磁粉检测应按 NB/T 47013.5—2015 规定的方法进行。

6.4 轴径向跳动量

在转子装置主轴上端密封处，用千分表检查转子轴径向跳动量，轴径向跳动量检验应按下列步骤进行：

- a) 转子装置组装后，应按规定的转动方向手工盘车；
- b) 盘车时应检查转子装置各连接处的松紧状态及刮板与主筒体内壁体的间隙，应无任何碰撞，转子与筒壁间隙均匀，应至少检验一次轴径向跳动量；
- c) 在设备试运转试验的过程中，应至少检验一次轴径向跳动量。

6.5 试运转

蒸馏器组装后，应按规定的转动方向手工盘车，无异常情况，进行试运转，试运转时间应不少于 2 h。

6.6 试运转时电动机电流

在蒸馏器试运转试验的过程中，应至少检验一次电动机电流。

6.7 试运转时传动部件表面温升

在进行试运转试验的过程中，用数显测温仪测量机械密封上部处轴表面、机架轴承箱、电动机、减速机表面的温升各二次（扣除环境温升）。

6.8 噪声

在背景噪声小于被测噪声 10 dB (A) 的环境条件下, 用声级计 (A 计权) 在距离设备外壳 1 m, 距地面高 1.5 m 处分别从四个不同的方向测量四点, 噪声检验的方法应按照 GBZ/T 189.8 进行, 取其算术平均值, 数值修约间隔为 1.0。

6.9 负载试验

- 6.9.1 负载试验在使用现场进行, 负载试验前应按 5.9 的规定先进行试运转。
- 6.9.2 负载试验工艺参数及条件应符合设计要求, 由设计方、使用方共同约定。
- 6.9.3 噪声检验点应距蒸发器侧面 1 m 处, 实测噪声应排除背景噪声和反射声。

6.10 分离效率评价

分离效率按单位时间内原料液中分离出的馏出组分质量 (kg) 与单位时间内原料液中所含馏出组分质量 (kg) 的比率计算。设备交付用户后, 在使用现场进行分离效率的评价试验。在设备现场各项工艺条件符合设计要求的情况下, 由设计方、使用方共同约定, 进行测试。

7 检验规则

7.1 一般要求

每台蒸馏器应按本文件的规定检验合格, 出具产品质量合格证明方可出厂。

7.2 出厂检验

- 7.2.1 每台蒸馏器应进行出厂检验。
- 7.2.2 出厂检验应包括下列项目:
 - a) 蒸馏器的主要尺寸、外观质量;
 - b) 转子径向跳动和静、动平衡试验;
 - c) 耐压试验、气密性试验;
 - d) 无损检测;
 - e) 试运转: 试运转应符合 5.9 的规定。

7.2.3 在检验中如有指标不合格, 则允许对不合格项进行返修并复检; 复检仍不合格, 则该产品作不合格品处理。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

- 8.1.1 每台蒸馏器应在明显位置上固定产品铭牌, 铭牌可铆装, 或用螺栓固定在设备明显易见的位置上。
- 8.1.2 产品铭牌应符合 GB/T 13306 的规定。
- 8.1.3 产品铭牌应至少包括下列内容:
 - a) 产品名称;
 - b) 产品型号规格;
 - c) 执行标准编号;
 - d) 主要技术参数: 设计压力 (MPa)、设计温度、工作介质、工作压力 (MPa)、蒸发面积 (m^2)、主电机功率 (kW)、设备净重 (kg) 等;

- e) 产品编号;
- f) 制造商;
- g) 制造日期。

8.1.4 主机的转动或振动方向应在运转件用明显的标记表示,转动部分应在明显易见的位置上表示出转动方向。

8.2 包装、运输

8.2.1 蒸馏器的电动机、减速机应有防潮、防尘、防晒措施。蒸发器的涂敷、包装、运输应符合 NB/T 10558 的规定。

8.2.2 蒸馏器产品出厂应附带下列文件:

- a) 装箱单(含随机备品备件、工具清单);
- b) 产品合格证;
- c) 质量证明书;
- d) 产品使用说明书;
- e) 产品竣工总图;
- f) 易损件图;
- g) 安装基础图。

8.2.3 随机文件应装入不透水的塑料袋内保存,并随同装入包装箱内。

8.3 贮存

蒸馏器应贮存在干燥、通风的仓库内。

附录 A
(资料性)

典型物料工艺参数及分离效率

典型物料工艺参数及分离效率见表A.1。

表 A.1 典型物料工艺参数及分离效率

序号	物料名称	筒体内工作压力 (绝压) /Pa	蒸发面工作温度 /℃	冷凝面工作温度 /℃	分离效率范围 %
1	腰果酚	<5	180~200	32~38	70~80
2	单甘酯	<5	180~200	55~60	80~90
3	二聚酸	<10	200~250	40~50	75~85
4	维生素 E	<5	200~220	32~38	80~90
5	鱼油	<10	190~200	38~60	75~85
6	聚胺酯	<10	180~200	38~42	70~80
7	润滑油	<10	250~300	55~60	80~90
8	BOPET 膜	<5	200~220	110~120	55~60
9	奥克立林	<10	200~250	32~38	80~90
10	硅油	<5	250~300	32~38	80~90