

药液过滤用离子微孔膜流量研究

郭洪英, 黄正德

(中国原子能科学研究院 核物理研究所, 北京 102413)

摘要: 研究不同的照射条件(垂直照射和发散照射)和不同滤膜孔型(柱形孔和锥形孔)对 PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)离子微孔膜流量的影响。研究结果显示:发散照射和锥形孔均可提高药液过滤用 PET 离子微孔膜的流量。

关键词: 离子微孔膜; 药液过滤; 流量; 发散照射; 锥形孔

中图分类号: TL503.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-6931(2002)06-0561-03

Flux Studies on Ion Microporous Membrane for the Use of Medical Filtration

GUO Hong-ying, HUANG Zheng-de

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-67, Beijing 102413, China)

Abstract: The influences of the irradiating condition (divergent and perpendicular irradiation) and hole shapes (cylinder and cone holes) on the flux are studied for ion microporous membrane. The results show that divergent irradiation and cone hole both can improve the flux of ion microporous membrane for the use of medical filtration.

Key words: ion microporous membrane; medical filtration; flux; divergent irradiation; cone hole

目前,国内绝大多数生产厂家使用的药液过滤膜为纤维膜,采用离子微孔膜的很少。中国原子能科学研究院开发的药液过滤用 PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)离子微孔膜经加速器产生的单能重离子照射后,再经化学蚀刻而成。该滤膜具有孔径均一、孔径易控、截留率高、对药液无吸附和吸收效应、无可迁移物质进入滤液、生化性能稳定、无人工放射性等特点,其生物、化学和物理性能指标均达到了国家标准 GB8368-1998^[1],是理想的终端药液过滤膜。

根据孔隙率和滤除率的关系^[2],离子微孔膜孔隙率通常控制在 5% 左右。孔隙率太低,滤膜流量将受到一定限制,这对小孔径的离子微孔膜影响较大,随过滤时间的延长,滤膜流量衰减严重^[2];孔隙率升高,流量虽增大,但滤除率降低。

为获得较佳的滤膜流量和滤除率,提高滤膜的过滤选择性,本工作对照射条件和滤膜孔型进行研究。

收稿日期:2002-01-11;修回日期:2002-04-20

作者简介:郭洪英(1973—),女,山东济南人,助理研究员,硕士,实验核物理专业

1 发散照射

将 PET 膜固定在照射窗前一定直径的转动轴上,以一定角度穿过照射窗,以发散照射代替垂直照射时,PET 膜平行穿过照射窗,而使来自加速器的重离子呈一定角度入射到 PET 膜上。

发散照射剖面图示于图 1。

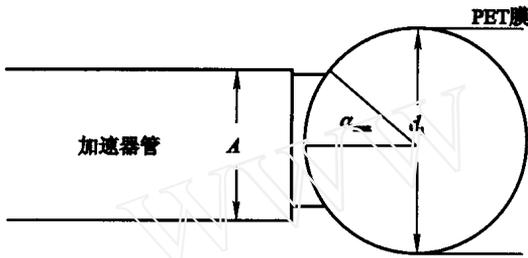


图 1 发散照射剖面图
Fig. 1 Sketch of divergent irradiation

发散照射可有效降低重孔率,提高照射密度。

H.B.L ük 等^[3]给出了发散照射条件下的孔隙率 P 与垂直照射下的孔隙率 P 的关系为:

$$P = \frac{P}{k} \tag{1}$$

式中: $k = \frac{l_0}{D} \tan(\alpha_{max})$; l_0 为蚀刻前 PET 膜厚度; D 为离子微孔膜的孔径; $\alpha_{max} = \sin^{-1}(\frac{A}{d_1})$, 为发散照射下的最大角度,其中, A 为照射窗宽度; d_1 为转动轴直径。

由式(1)计算出 P 对应的 P ,再将 P 代入下列各式^[2],计算发散照射下 PET 的滤除率 P_v (离子微孔膜滤除大于自身孔径微粒的滤除效率):

$$P_1 = e^{-4P} \tag{2}$$

$$P_2 = 4Pe^{-8P}(1 + 2.346P + 2.914P^2) \tag{3}$$

$$P = N \frac{D^2}{4} \tag{4}$$

$$P_v = P_1 + P_2 \tag{5}$$

式中: P_1 为单孔几率分布; P_2 为双重孔几率分布; N 为孔密度。

2 滤膜流量计算

重离子照射后的 PET 膜,经紫外光敏化和敏化剂预蚀刻后,用 NaOH 溶液蚀刻。控制蚀刻条件可生成不同形状的微孔。高温、低浓蚀刻(60~70 °C, $c(\text{NaOH}) = 0.5 \text{ mol/L}$),可生成圆柱形孔(图 2a);单面蚀刻生成单锥形孔(图 2b);低温、高浓蚀刻(30~40 °C, $c(\text{NaOH}) = 6 \text{ mol/L}$)生成双锥形孔(图 2c)。

根据泊肃叶(Poiseuille)流体力学层流公式^[4],圆柱形孔滤膜流量 Q_a 为:

$$Q_a = \frac{D^4 pSNt}{128 l} \tag{6}$$

式中: l 为蚀刻后滤膜厚度; η 为液体粘滞系数; p 为滤膜所受压差; S 为滤膜总面积; t 为时间。

根据液体不可压缩性和层流原理,有:

$$Q = \frac{D^4 SN}{128} \cdot \frac{dp}{dl} \tag{7}$$

单锥形孔流量 Q_b 由式(7)变换得到:

$$Q_b = \frac{3 D_{1b}^3 D_{2b}^3 pSNt}{128 l (D_{2b}^2 + D_{1b}^2 + D_{1b} D_{2b})} \tag{8}$$

式中: D_{1b} 、 D_{2b} 分别为锥形孔的上下端直径。

双锥形孔流量 Q_c 由式(7)变换得:

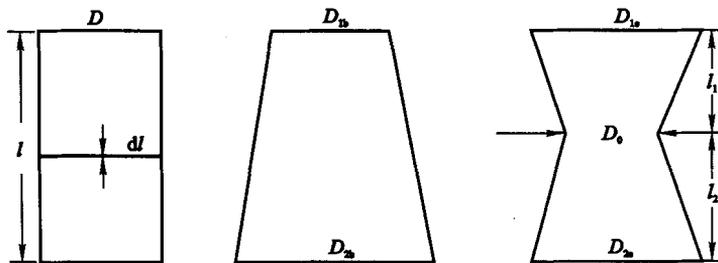


图 2 不同孔型示意图
Fig. 2 Sketch of different hole shapes

$$Q_c = \frac{3 D_{1c}^3 D_{2c}^3 D_0^3 p S N t}{128 [l_1 D_{2c}^3 (D_{1c}^2 + D_0^2 + D_{1c} D_0) + l_2 D_{1c}^3 (D_{2c}^2 + D_0^2 + D_{2c} D_0)]} \quad (9)$$

式中: D_{1c} 、 D_{2c} 分别为双锥形孔上下端孔径; D_0 为双锥形孔选择层处孔径; l_1 为双锥形孔上端 D_{1c} 与 D_0 之间的距离; l_2 为双锥形孔下端 D_{2c} 与 D_0 之间的距离。

当 $D_{1c} = D_{2c} = D_{2b}$ 、 $D_0 = D_{1b}$ 时,式(9)与式(8)相同。

3 结果与讨论

3.1 发散照射对滤膜流量的影响

发散照射条件为 $A = 31.5 \text{ mm}$, $d_1 = 50 \text{ mm}$, $\alpha_{\max} = 39^\circ$, $l_0 = 25 \text{ }\mu\text{m}$ 。对于 $P_v = 97\%$ 的不同孔径的滤膜,根据式(5)、(6)计算垂直照射和发散照射条件下的孔隙率和滤膜流量。计算结果列于表1。表中 Q'/Q 为垂直照射与发散照射下的滤膜流量比。由表1可知:发散照射可提高PET膜流量,流量增大倍数与孔隙率增大倍数相等;在相同角度的发散照射条件下,孔径越小,滤膜流量提高越显著。

表1 不同照射条件下离子微孔膜的孔隙率和流量

Table 1 Porosity and flux of ion microporous membrane in different irradiating conditions

$D/\mu\text{m}$	$l/\mu\text{m}$	$P/\%$	$P'/\%$	Q'/Q
3	18	5	33	6.6
4	17	5	25	5.0
5	16	5	20	4.0
6	15	5	17	3.4
7	14	5	14	2.8

3.2 滤膜孔型对流量的影响

在图2a中,圆柱形孔径为 D ;在图2b中,单锥形孔上径 $D_{1b} = D$,下端选择层孔径为 D_{2b} ;在图2c中,双锥形孔中间选择层孔径 $D_0 = D$,两端孔径 $D_{1c} = D_{2c} = D_{2b}$ 。

上述条件下的单锥形孔与圆柱形孔流量比 Q_b/Q_a 、双锥形孔与圆柱形孔流量比 Q_c/Q_a 的计算结果列于表2。

由表2可知:对于单锥形孔和双锥形孔,锥形孔两端的孔径比越大,滤膜流量增加越多;当双锥形孔 $Q_{1c} = Q_{2c}$ 时,流量 Q_c 与选择层孔径

表2 不同孔型流量比较

Table 2 Comparison of flux for different hole shapes

D_2/D	Q_b/Q_a	Q_c/Q_a
1.0	1.0	1.0
1.1	1.2	1.2
1.2	1.4	1.4
1.5	2.1	2.1
2.0	3.4	3.4

位置(l_1/l_2)无关。

3.3 讨论

由式(4)、(6)可求得流量、孔径、孔隙率间的如下关系:

$$Q \propto \frac{D^2}{l} P \quad (10)$$

发散照射提高了PET膜的孔隙率,单锥形孔和双锥形孔增加了PET膜的有效孔径,所以,发散照射和锥形孔都可提高滤膜流量。

滤膜流量与膜厚呈反比,因此,减小膜材厚度,也可提高滤膜流量。

4 结论

PET离子微孔膜照射条件以发散照射代替垂直照射,能有效减少重孔率,在滤除率保持不变情况下,增大了照射密度,使滤膜流量增加。在相同角度的发散照射条件下,孔径越小,滤膜流量提高越显著。控制蚀刻条件生成单锥形孔或双锥形孔可增大有效孔径,提高滤膜流量。锥形孔两端孔径比越大,流量增加越显著。

参考文献:

- [1] GB8368-1998,一次性使用输液器国家标准[S].
- [2] 郭洪英,黄正德.离子微孔膜重孔率、流速和滤除率研究[J].膜科学与技术,2002,22(2):20~23.
- [3] Lück HB, Gemende B, Heinrich B. Structure Modification of Partial Track Membranes [J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1991, 19: 925~928.
- [4] 漆安慎,杜婵英.力学基础[M].北京:高等教育出版社,1991.539.