

# 海洋行业标准

## 《聚丙烯中空纤维微孔膜》

（征求意见稿）

### 编制说明

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所

2024年7月

## （一）工作简况

### 1. 任务来源、计划项目编号、标准负责起草单位和参加起草单位

本标准《自然资源部办公厅关于印发 2022 年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（自然资办发〔2022〕39 号）下达的标准修订项目，项目计划号 202224004。标准负责起草单位：自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所。参加起草单位：浙江净源膜科技股份有限公司、山东招金膜天股份有限公司。

### 2. 制定背景

聚丙烯中空纤维微孔膜具有高强度、耐酸碱等特点，结合膜产品的价格优势，在膜分离领域应用广泛。现行的聚丙烯中空纤维膜产品标准为推荐性海洋行业标准 HY/T 110-2008《聚丙烯中空纤维微孔膜》，由自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所编制。随着聚丙烯中空纤维微孔膜制备工艺、性能测评技术、膜应用领域的发展，标准技术内容在适应性、先进性和规范性方面存在不足，本次修订标准重点解决以下两个问题：

#### 1. 完善膜产品性能指标体系

经调研，我国膜产业现已发布并实施 83 项标准，标准内容主要涵盖膜产品、膜产品性能检测以及膜装置三个方面。在膜产品（含膜、膜组件和膜元件）标准方面，发布标准 36 项，见表 1。标准汇总情况表明，膜产品标准具有数量多、分类细特点，在膜产业标准化工作中占重要地位。

表 1 我国膜、膜组件及膜元件产品标准汇总

序号	标准名称	标准号	归口单位
1	膜分离技术 术语	GB/T 20103-2006	国家海洋标准计量中心
2	中空纤维微滤膜组件	HY/T 061-2017	同上
3	中空纤维超滤膜组件	HY/T 062-2002	同上
4	管式陶瓷微孔滤膜元件	HY/T 063-2002	同上
5	聚偏氟乙烯微孔滤膜	HY/T 065-2002	同上
6	聚偏氟乙烯微孔滤膜折叠式过滤器	HY/T 066-2002	同上
7	微孔滤膜	HY/T 053-2001	同上
8	中空纤维反渗透技术 中空纤维反渗透组件	HY/T 054.1-2001	同上
9	折叠筒式微孔滤膜过滤芯	HY/T 055-2001	同上

10	卷式超滤技术 平板超滤膜	HY/T 072-2003	同上
11	卷式超滤技术 卷式超滤膜元件	HY/T 073-2003	同上
12	陶瓷微孔滤膜组件	HY/T 104-2008	全国海洋标准化技术委员会
13	中空纤维膜 N <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> 分离器	HY/T 105-2008	同上
14	聚丙烯中空纤维微孔膜	HY/T 110-2008	同上
15	超滤膜及其组件	HY/T 112-2008	同上
16	纳滤膜及其元件	HY/T 113-2008	同上
17	水处理用浸没式平板膜元件	HY/T 252-2018	同上
18	中空纤维帘式膜组件	GB/T 25279-2010	全国分离膜标准化技术委员会
19	氯碱工业用全氟离子交换膜 通用技术条件	GB/T 30295-2013	同上
20	氯碱工业用全氟离子交换膜 测试方法	GB/T 30296-2013	同上
21	氯碱工业用全氟离子交换膜 应用规范	GB/T 30297-2013	同上
22	分离膜外壳	GB/T 30300-2013	同上
23	膜生物反应器通用技术规范	GB/T 33898-2017	同上
24	卷式聚酰胺复合反渗透膜元件	GB/T 34241-2017	同上
25	液体除菌用过滤芯技术要求	GB/T 34244-2017	同上
26	气体除菌用聚四氟乙烯微滤膜折叠式过滤芯	GB/T 36118-2018	同上
27	除菌用聚四氟乙烯平板式微滤膜	GB/T 36138-2018	同上
28	膜蒸馏用中空纤维疏水膜	GB/T 37215-2018	同上
29	膜曝气生物膜反应器 (MABR) 中空纤维膜组件	GB/T 42281-2022	同上
30	柱式中空纤维膜组件	HG/T 5111-2016	同上
31	扩散渗析阴膜	HG/T 5112-2016	同上
32	膜组件及装置型号命名	GB/T 20502-2006	中国标准化协会
33	环境保护产品技术要求 膜生物反应器	HJ 2527-2012	未提及
34	环境保护产品技术要求 中空纤维膜生物反应器组器	HJ 2528-2012	未提及
35	聚四氟乙烯双向拉伸过滤薄膜	QB/T 5002-2016	全国塑料制品标准化技术委员会
36	饮用水处理用浸没式中空纤维超滤膜组件及装置	CJ/T 530-2018	住房和城乡建设部市政给排水标准化技术委员会

平板和中空纤维膜产品的国家、行业标准中规定的性能指标，主要集中在孔性能、拉伸性能、特定应用性能等。孔性能是膜产品性能的重要指标，GB/T 20103-2006《膜分离技术 术语》通用术语 2.1.30 中，把平均孔径、孔径分布、最大孔径和孔隙率统称为孔性能。现行标准HY/T 110-2008《聚丙烯中空纤维微孔膜》提出了最大孔径和孔隙率两项指标，未提出平均孔径分级和孔径分布的指

标要求。在平均孔径分级和孔径分布技术要求方面，本次修订提出孔径分布、平均孔径与最可几孔径的相对偏差技术要求。此外，膜机械性能也是膜产品关键指标，修订标准中增加了断裂拉伸强力和断裂伸长率性能要求。

## 2. 更新优化膜性能测试方法

### ①更新最大孔径、孔径分布及平均孔径与最可几孔径的相对偏差测试方法

现行标准最大孔径参照 HY/T 051-1999《中空纤维微孔滤膜测试方法》执行，修订标准改为参照 GB/T 32361-2015《分离膜孔径测试方法 泡点和平均流量法》执行，两项标准方法原理相同，区别是测试溶液，HY/T 051-1999 采用水和乙醇，GB/T 32361-2015 采用低表面张力、低挥发性溶液，最大孔径测试范围更宽。

最大孔径、孔径分布及平均孔径与最可几孔径的相对偏差均采用相同原理测试，因此，增加的两项指标孔径分布及平均孔径与最可几孔径的相对偏差参照 GB/T 32361-2015 和 HY/T ××××-2024（即将发布）执行。

注：HY/T ××××-2024《聚四氟乙烯中空纤维微孔膜》（即将发布）基于 GB/T 32361-2015 提出了孔径分布及平均孔径与最可几孔径的相对偏差计算方法。

### ②优化孔隙率测试方法

现行标准孔隙率参照 HY/T 065-2002《聚偏氟乙烯微孔滤膜》，采用压汞法测试。压汞法虽有标准支撑，但实施的可操作性受限。首先，需要计量进汞前后质量，测后清洗样品管和处理汞废液，过程繁琐且接触剧毒汞试剂，安全和环保性差；第二、压汞法属于仪器分析技术，需要膜生产厂家具备压汞仪，且压汞法测试时间长，孔隙率作为膜性能基础指标，可参照测试快捷、重复性和准确性高的标准方法。

修订标准改为参照 HY/T 039-1995《微孔滤膜孔性能测定方法》，根据膜表观密度和膜材料的密度计算膜孔隙率。现已获得相关试验数据，与压汞法数据对比一致。

### ③完善相关测试步骤，提高规范性和可操作性

现行标准的气体通量测试方法没有明确膜组件长径比和填充率等条件，通过试验研究，上述两个指标均显著影响测试结果。在标准预研阶段，开展了膜组件

填充率和膜组件长径比的趋势分析，进行了壳程进气和管程进气方式的对比，试验数据说明，明确关键测试步骤是标准规范性和适应性的必要条件。

本标准基于标准制修订工作先进性、适应性、规范性基本原则，开展HY/T 110-2008《聚丙烯中空纤维微孔膜》技术内容的修订研究工作。修订标准充分调研国内外聚丙烯中空纤维微孔膜产品，采用先进标准测试方法评测膜性能，完善膜性能指标体系，更新膜性能指标要求。通过上述标准化活动，为聚丙烯中空纤维微孔膜产品规范化生产、膜产品性能评价、膜工程运行和膜技术应用研究提供支撑。

本标准旨在优化建立膜产品性能指标体系，对标国外聚丙烯中空纤维微孔膜产品。标准适用于聚丙烯中空纤维微孔膜生产、使用和检验，实施主体为聚丙烯中空纤维微孔膜生产厂家，从事聚丙烯膜脱气、脱氧、污废水净化处理工程应用的企业，从事聚丙烯膜研制、膜性能检测、聚丙烯膜过程研发的高校、检验部门和科研单位。修订标准将为准确评测聚丙烯中空纤维微孔性能，研发生产高性能聚丙烯膜产品提供指导，推进膜产品优势产业发展。

### 3. 主要工作过程、标准主要起草人及其所做的工作

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所接到标准编制任务后，成立了标准起草组。工作组按照海洋标准制修订工作流程执行。主要工作过程如表 2。

表 2 标准编制的主要工作过程

时间	工作内容
2022.10 ~ 2022.11	<b>接收任务和成立工作组。</b> 接收标准编制任务，组织承担单位和协作单位标准起草人，成立标准起草组。
2022.12 ~ 2023.05	<b>技术调研和文献检索。</b> 调研国内外聚丙烯中空纤维微孔膜技术现状，学习国内外中空纤维膜产品标准及性能测试方法标准。
2023.06 ~ 2023.11	<b>测试膜产品性能。</b> 针对孔性能、机械性能、渗透性能的技术要求，开展膜产品性能测试。
2023.12 ~ 2024.07	<b>编写标准材料。</b> 编写标准征求意见稿、编制说明，开展试验验证。材料上交全国海洋标准化技术委员会海水淡化与综合利用分技术委员会。

标准主要起草人包括：

李晓明、关毅鹏、刘国昌、刘铮、冯厚军、李兆魁、傅寅翼、张伟政、王新艳。主要起草人任务分工如下：

李晓明、关毅鹏：负责制定标准结构、确立性能要求、编写标准草案和编制说明；

刘国昌、刘铮：负责调研国内外膜产品生产、应用和研发情况；

李晓明、傅寅翼：负责实施部分膜性能验证试验；

冯厚军、李兆魁：负责修改标准草案和编制说明内容；

张伟政、王新艳：负责审核标准草案和编制说明内容。

（二）标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据）。修订标准时，应增列新旧标准水平的对比。

除结构调整和编辑性改动，修订标准与现行标准的主要技术变化见表3。

表3 修订标准与现行标准的主要技术变化

序号	内容	主要技术变化
1	术语和定义	1、删除了聚丙烯中空纤维微孔膜定义中的注（见2008年版的3.1）和气体通量定义中的注（见2008年版的3.5），删除了膜纤维平均直径（见2008年版的3.3）和纯水通量（见2008年版的3.6）的术语和定义。
2	型号	2、增加了平均孔径与最可几孔径的相对偏差的术语和定义（见3.5） 删除了产品分类（见2008年版的4.1），更改了型号的编写规则（见第4章，2008年版的4.2）
3	技术要求	1、删除了平均直径、壁厚控制范围、外径偏差、壁厚偏差、纯水通量要求（见2008年版的5.1.2） 2、增加了平均孔径、外径和壁厚相对偏差、孔径分布、平均孔径与最可几孔径的相对偏差、断裂拉伸强力、断裂伸长率的技术要求（见5.2）及其试验方法（见6.2、6.3、6.6、6.7、6.9）
4	试验方法	1、删除了膜纤维平均直径及壁厚、纯水通量试验方法（见2008年版的6.2、6.4） 2、更改了孔隙率试验方法（见6.4，2008年版的6.3）、最大孔径试验方法（见6.5，2008年版的6.1）、气体通量试验方法（见6.8，2008年版的6.5）
5	检验规则	更改了检验项目、抽样方案和判定规则（见7.1.1、7.2.2、7.2.3，2008年版第7章）

注：表中序号为现行标准和修订标准的章条号。

## 1. 范围

修订标准更改了现行标准陈述“范围”的表述形式。

将现行标准中“本标准规定了聚丙烯中空纤维微孔膜产品分类及型号、要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存”改为“本文件规定了聚丙烯中空纤维微孔膜的型号、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存”。

“本标准”改为“本文件”符合GB/T 1.1-2020要求。删去“分类”，目的是将膜亲/疏水型与产品型号合并，修改论据详见4。

将现行标准中“本标准适用于以聚丙烯树脂为主体原料，也可根据需要混合加入改性剂，经熔融纺丝拉伸法制备的中空纤维微孔膜的生产、验收、检验”删除，编辑修改为“本标准适用于熔融纺丝拉伸法制备的聚丙烯中空纤维微孔膜生产、使用和检验，其他工艺制备的聚丙烯膜可参考执行”。

## 2. 规范性引用文件

根据修订标准中要求和试验方法章节，更新了引用标准共计 8 项，见表 4。

表 4 现行标准和修订标准规范性引用文件

序号	现行标准规范性引用文件	修订标准规范性引用文件
1	GB/T 3864 工业氮	GB/T 191 包装储运图示标志
2	GB 9688 食品包装用聚丙烯成型品卫生标准	GB/T 2828.1-2012 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
3	HY/T 051—1999 中空纤维微孔滤膜测试方法	GB/T 32361-2015 分离膜孔径测试方法 泡点和平均流量法
4	HY/T 065—2002 聚偏氟乙烯微孔滤膜	GB/T 38902 中空纤维膜丝截面结构尺寸的测定 图像分析法
5		HY/T 051-1999 中空纤维微孔滤膜测试方法
6		HY/T 065 聚偏氟乙烯微孔滤膜
7		HY/T 213 中空纤维超/微滤膜断裂拉伸强度测定方法
8		HY/T ××××-2024 聚四氟乙烯中空纤维微孔膜（即将发布）

## 3. 术语和定义

修订标准采用了现行标准中 4 个术语和定义，分别为聚丙烯中空纤维微孔

膜、最大孔径、孔隙率、气体通量，删去“膜纤维平均直径”、“纯水通量”术语和定义，增加“平均孔径与最可几孔径的相对偏差”定义。

圆度是中空纤维膜的基本指标，通常用外径和壁厚表征，现行标准规定的膜纤维平均直径，通过外径和内径的算数平均值的表征不能直观反映膜圆度情况，对于其他涉及膜面积的指标如气体通量、孔隙率的计算也不科学，因此不采用。

聚丙烯膜亲水化改性工艺不同，难以规定要求，因此，修订标准删除了术语“纯水通量”、纯水通量指标要求及测试方法。

平均孔径与最可几孔径的相对偏差是修订标准增加的定义，引用自HY/T ××××-2024《聚四氟乙烯中空纤维微孔膜》（即将发布）。该指标在性能中有明确规定。

修订标准更新了保留术语的来源，删除了术语不必要的注，修订标准规定的术语和定义如下：

①聚丙烯中空纤维微孔膜 microporous hollow fiber membrane of polypropylene

外型为纤维状、空心的具有支撑作用的、其内外壁具有贯通的栅状狭长孔结构的聚丙烯微孔膜。

②最大孔径 maximum pore size

与微孔膜最大孔等效的圆形毛细管直径。

[来源：GB/T 20103-2006,5.1.5]

③孔隙率 porosity

膜孔体积与整个膜体积的百分比。

[来源：GB/T 20103-2006,2.1.32]

④气体通量 gas flux

按规定温度、压力，在单位时间内透过单位膜面积的氮气体积总量。

⑤平均孔径与最可几孔径的相对偏差 the relative deviation of average pore size and most probable pore size

膜的平均孔径与最可几孔径之差的绝对值与平均孔径的比值。

[来源: HY/T ××××-2024, 3.4 (即将发布)]

#### 4. 型号

修订标准删去了现行标准 4.1 产品分类, 将产品分类中膜亲水和疏水改性类型与型号合并。关于膜型号的表述, 修订标准参考其他现行标准, 见表 5。经对比研究, 确定标准型号由产品代号、平均孔径顺序标识, 其中产品代号由膜材质英文缩写、中空纤维英文缩写和亲疏水区别性字母表示。

膜型号体现膜基础条件和最重要的平均孔径指标, 编写内容不宜复杂, 其他重要性能如最大孔径、通量、机械强度等可在产品证明书或出厂检测报告中体现。

在技术性改动的基础上, 对现行标准的文字进行了编辑性处理, 修订内容如下:

聚丙烯中空纤维微孔膜型号由产品代号、平均孔径组成, 数值之间以连字符“-”连接。各部分之间以连字符“-”连接, 见图1。产品代号以英文缩写“PP-HF-B”和“PP-HF-L”表示, PP代表聚丙烯, HF代表中空纤维膜。B代表疏水性(hydrophobic)膜, L代表亲水性(hydrophilic)膜, 平均孔径以纳米为单位。

示例: PP-HF-B-100 表示为疏水性聚丙烯中空纤维微孔膜, 平均孔径为 100 nm。

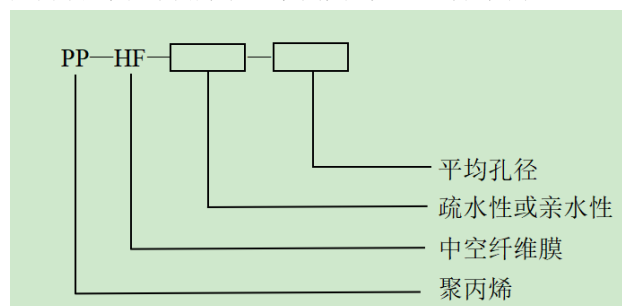


图 1 聚丙烯中空纤维微孔膜型号

表 5 现行膜产品标准中型号的表述

序号	标准号/标准名称	型号表述
1	HY/T 053-2001/微孔滤膜	1、制造材质 2、是否具有支撑体 3、膜孔径 4、膜片几何尺寸
2	HJ 2528-2012/环境保护产品技术要求 中空纤维膜生物反应器组器	1、中空纤维 2、膜生物反应器组器 3、框架材料标识 4、膜过滤面积
3	QB/T 5002-2016/聚四氟乙烯双向拉伸过滤薄膜	无型号表述, 分类按照 I 类薄

4	GB/T 36138-2018/除菌用聚四氟乙烯平板式微滤膜	膜和II类薄膜区分 无型号表述，分类按照平均厚度划分I类、II类和III类
5	HY/T 065-2002/聚偏氟乙烯微孔滤膜	1、制造材质 2、过滤精度代号
6	GB/T 37215-2018/膜蒸馏用中空纤维疏水膜	1、膜材质代号 2、膜蒸馏通量 3、膜蒸馏用中空纤维疏水膜
7	GB/T 36118-2018/气体除菌用聚四氟乙烯微滤膜折叠式过滤芯	无型号表述，分类按照气体相对湿度划分A类和B类

## 5. 技术要求

修订标准整合了现行标准的结构，按照外观、性能划分。现行标准将最大孔径、孔隙率、气体通量、纯水通量、膜平均孔径、壁厚、外径和壁厚偏差都作为基本性能要求，并将外观作为独立要求单独提出，没有明确体现基本要求和性能要求特点，结构层次不够清晰。

### 5.1 外观

修订标准中外观要求直接引用了现行标准 5.2 内容，即“膜外观应顺直，无折痕，无断丝，无肉眼可见的杂质和污物”。

### 5.2 性能

现行标准有明确数值要求的指标有平均直径、壁厚、外径和壁厚偏差、最大孔径、孔隙率、气体通量、纯水通量。修订标准在更新指标体系前，首先调研了现行平板和中空纤维膜国家、行业标准的指标情况，见表6。经对比分析，膜产品标准的性能指标主要集中在外观、尺寸（平板膜厚度偏差、中空纤维膜外径、壁厚代表圆度的偏差）、孔性能（孔径、孔隙率、最大孔径）、机械强度（针对无衬中空纤维膜），对于特定用途的膜产品，再增加功能型指标。膜组件产品标准更关注组件渗漏性或完整性、组件的通量、截留性能、产水水质等。本标准中空纤维膜产品标准，结合上述调研，做出如下调整：

① 删除了平均直径、壁厚控制范围、外径偏差、壁厚偏差，增加了外径和壁厚相对偏差的规定，并将其作为基本要求，修改原因和实验数据见5.2.1；

②更新最大孔径指标数值，增加平均孔径范围、增加孔径分布、平均孔径与

最可几孔径的相对偏差指标，实验数据见5.2.2;

③更新孔隙率指标数值，实验数据见5.2.3;

④增加断裂拉伸强力和断裂伸长率指标，实验数据见5.2.4;

⑤修改气体通量指标数值、删除纯水通量指标，修改原因和实验数据见5.2.5。

表 6 平板和中空纤维膜产品标准技术要求中提出的性能指标汇总

序号	标准号/标准名称	技术要求的性能指标
1	GB/T 36138-2018/ 除菌用聚四氟乙烯平板式微滤膜	外观、幅宽偏差厚度相对偏差、拉伸应变、热收缩率、透气率、细菌截留能力、泡点压力
2	GB/T 37215-2018 / 膜蒸馏用中空纤维疏水膜	外观、最大孔径、气体通量、膜蒸馏通量、氯化钠截留率、表观接触角
3	HY/T 053-2001/ 微孔滤膜	膜厚度、泡点压力及通量、外观
4	HY/T 065-2002/ 聚偏氟乙烯微孔滤膜	外观、过滤精度、空气通量、孔隙率、截留率
5	HY/T 072-2003/卷式超滤技术 平板超滤膜	外观、规格、机械强度、化学性能、膜性能(含标称截留分子量、纯水透过率)、有效使用寿命
6	GB/T 36118-2018/气体除菌用聚四氟乙烯微滤膜折叠式过滤芯	外观、细菌截留能力、渗漏性、完整性、阻力、耐受蒸汽灭菌次数、热空气耐受性、氧化剂耐受性
7	HJ 2528-2012/环境保护产品技术要求 中空纤维膜生物反应器组器	标准孔径、抗拉断强度、水质指标
8	QB/T 5002-2016/聚四氟乙烯双向拉伸过滤薄膜	外观、I类薄膜：透气性、过滤效率、拉伸负荷、孔径（平均孔径、最大孔径、平均孔径与最可几孔径的相对偏差）、孔隙率 II类薄膜：泡点压力、空气通量、液体通量、孔径分布
9	HY/T 062-2002/中空纤维超滤膜组件	外观、膜组件封端耐压、外观尺寸、截留率
10	HJ 2527-2012/环境保护产品技术要求 膜生物反应器组器	COD <sub>cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、SS、氨氮去除率、工艺参数
11	GB/T 25279-2022/中空纤维帘式膜组件	外观、材料、外形尺寸（含尺寸偏差）、完整性、水通量、产水指标

### 5.2.1 外径和壁厚相对偏差

膜圆度和规整性通常用膜外径和壁厚表征。现行标准提出“膜纤维平均直径控制范围为 $\phi 250\mu\text{m}\sim\phi 400\mu\text{m}$ ，壁厚为 $35\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ ”。随着聚丙烯中空纤维微孔膜应用需求的发展，不同厂家生产的聚丙烯中空纤维微孔膜外径和壁厚不尽相同，不宜限制范围。另外，现行标准提出“外径偏差不大于 $20\mu\text{m}$ ，壁厚偏差不大于 $5\mu\text{m}$ ”，对于不同外径和壁厚尺度的膜，采用外径和壁厚的绝对偏差也不科学。修订标准调研了不同品牌商品膜，采用金相显微镜测试膜外径、壁厚，计算外径和壁厚的相对偏差，结果如表7~表8。

表7 膜外径和外径相对偏差

孔径范围	样品编号	平行样编号	外径/mm			平均外径/mm	外径与平均外径的相对偏差/%			相对偏差最高值/%
20nm-50nm(含)	1#	1#	0.279	0.293	0.292	0.298	6.4	1.7	2.0	6.4
		2#	0.317	0.312	0.307		6.4	4.7	3.0	
		3#	0.295	0.298	0.291		1.0	0.0	2.3	
	2#	1#	0.307	0.323	0.324	0.322	5.0	0.0	0.3	6.5
		2#	0.322	0.330	0.344		0.3	2.2	6.5	
		3#	0.316	0.334	0.308		2.2	3.4	4.6	
	3#	1#	0.356	0.353	0.358	0.354	0.6	0.3	1.1	3.1
		2#	0.361	0.351	0.361		2.0	0.8	2.0	
		3#	0.354	0.343	0.351		0.0	3.1	0.8	
50nm-100nm(含)	4#	1#	0.630	0.635	0.623	0.625	0.8	1.6	0.3	8.3
		2#	0.573	0.625	0.650		8.3	0.0	4.0	
		3#	0.625	0.642	0.626		0.0	2.7	0.2	
	5#	1#	0.650	0.658	0.652	0.658	1.2	0.0	0.9	2.7
		2#	0.655	0.666	0.654		0.5	1.2	0.6	
		3#	0.658	0.656	0.676		0.0	0.3	2.7	
	6#	1#	0.588	0.555	0.543	0.568	3.5	2.3	4.4	4.4
		2#	0.566	0.590	0.586		0.4	3.9	3.2	
		3#	0.556	0.558	0.569		2.1	1.8	0.2	
	7#	1#	0.521	0.500	0.495	0.518	0.6	3.5	4.4	4.4
		2#	0.526	0.510	0.541		1.5	1.5	4.4	
		3#	0.533	0.523	0.511		2.9	1.0	1.4	
	8#	1#	0.609	0.601	0.595	0.621	1.9	3.2	4.2	4.8
		2#	0.613	0.614	0.610		1.3	1.1	1.8	
		3#	0.650	0.651	0.645		4.7	4.8	3.9	

	9#	1#	0.337	0.337	0.340	0.347	2.9	2.9	2.0	3.5
		2#	0.358	0.359	0.352		3.2	3.5	1.4	
		3#	0.343	0.342	0.351		1.2	1.4	1.2	
	10#	1#	0.605	0.607	0.592	0.609	0.7	0.3	2.8	4.4
		2#	0.598	0.585	0.612		1.8	3.9	0.5	
		3#	0.636	0.627	0.615		4.4	3.0	1.0	
	11#	1#	0.621	0.611	0.641	0.614	1.1	0.5	4.4	4.9
		2#	0.607	0.584	0.596		1.1	4.9	2.9	
		3#	0.635	0.615	0.612		3.4	0.2	0.3	
100nm-200nm(含)	12#	1#	0.630	0.604	0.590	0.610	3.3	1.0	3.3	5.7
		2#	0.592	0.590	0.590		3.0	3.3	3.3	
		3#	0.623	0.622	0.645		2.1	2.0	5.7	
	13#	1#	0.485	0.485	0.488	0.460	5.4	5.4	6.1	7.6
		2#	0.462	0.460	0.463		0.4	0.0	0.7	
		3#	0.425	0.431	0.438		7.6	6.3	4.8	

表 8 膜壁厚和壁厚相对偏差

孔径范围	样品编号	平行样编号	壁厚/mm			平均壁厚/mm	壁厚与平均壁厚的相对偏差/%			相对偏差最高值/%
20nm-50nm(含)	1#	1#	0.059	0.066	0.053	0.061	3.3	8.2	13.1	13.1
		2#	0.061	0.064	0.06		0.0	4.9	1.6	
		3#	0.056	0.068	0.059		8.2	11.5	3.3	
	2#	1#	0.060	0.053	0.053	0.056	7.1	5.4	5.4	14.3
		2#	0.058	0.062	0.053		3.6	10.7	5.4	
		3#	0.064	0.055	0.050		14.3	1.8	10.7	
	3#	1#	0.056	0.061	0.054	0.062	9.7	1.6	12.9	12.9
		2#	0.060	0.060	0.070		3.2	3.2	12.9	
		3#	0.063	0.070	0.062		1.6	12.9	0.0	
50nm-100nm(含)	4#	1#	0.062	0.068	0.063	0.064	3.1	6.3	1.6	18.8
		2#	0.057	0.058	0.059		10.9	9.4	7.8	
		3#	0.076	0.068	0.062		18.8	6.3	3.1	
	5#	1#	0.069	0.068	0.067	0.069	0.0	1.4	2.9	8.7
		2#	0.063	0.066	0.074		8.7	4.3	7.2	
		3#	0.070	0.072	0.071		1.4	4.3	2.9	
	6#	1#	0.068	0.083	0.077	0.080	15.0	3.8	3.8	15.0
		2#	0.083	0.077	0.086		3.8	3.8	7.5	
		3#	0.075	0.088	0.080		6.3	10.0	0.0	
	7#	1#	0.046	0.041	0.045	0.044	4.5	6.8	2.3	6.8
		2#	0.047	0.046	0.046		6.8	4.5	4.5	
		3#	0.042	0.043	0.043		4.5	2.3	2.3	
	8#	1#	0.054	0.056	0.059	0.058	6.9	3.4	1.7	6.9
		2#	0.056	0.055	0.057		3.4	5.2	1.7	

		3#	0.061	0.061	0.059		5.2	5.2	1.7		
	9#	1#	0.060	0.061	0.062	0.062	3.2	1.6	0.0	9.7	
		2#	0.061	0.066	0.062		1.6	6.5	0.0		
		3#	0.062	0.067	0.056		0.0	8.1	9.7		
	10#	1#	0.062	0.058	0.055	0.058	6.9	0.0	5.2	6.9	
		2#	0.057	0.059	0.055		1.7	1.7	5.2		
		3#	0.058	0.060	0.056		0.0	3.4	3.4		
	11#	1#	0.055	0.056	0.058	0.056	1.8	0.0	3.6	3.6	
		2#	0.055	0.057	0.056		1.8	1.8	0.0		
		3#	0.057	0.058	0.056		1.8	3.6	0.0		
100nm-200nm(含)	12#	1#	0.068	0.067	0.071	0.063	7.9	6.3	12.7	15.9	
			2#	0.055	0.056		0.058	12.7	11.1		7.9
			3#	0.059	0.073		0.064	6.3	15.9		1.6
	13#	1#	0.065	0.065	0.062	0.068	0.0	0.0	4.6	13.8	
			2#	0.069	0.074		0.067	6.2	13.8		3.1
			3#	0.059	0.064		0.059	9.2	1.5		9.2

根据表 7 ~表 8 数据，聚丙烯中空纤维微孔膜孔径主要在 20nm-200nm 孔径范围内，膜外径主要集中在 0.3mm-0.7mm，壁厚主要集中在 0.04mm-0.09mm，全孔径范围内，外径相对偏差最高 8.3%，壁厚相对偏差最高 18.8%。外径和壁厚为膜基本指标，且孔径梯度与外径、壁厚未呈现规律的关系，修订标准对全孔径的外径和壁厚相对偏差做出统一的数值规定，即膜外径的相对偏差不大于 10%，膜壁厚的相对偏差不大于 20%。

## 5.2.2 最大孔径和平均孔径

孔性能是膜重要指标，修订标准针对国内膜产品，测试最大孔径、平均孔径，根据平均孔径数据，膜产品孔径主要集中在30nm-200nm范围，其中20nm-50nm和50nm-100nm两个范围的膜产品较多，100nm-200nm范围较少，因此，按照20nm-50nm(含)、50nm-100nm(含)、100nm-200nm(含)三个平均孔径梯度区间，随机抽取样品，测试最大孔径和平均孔径，孔径分布见图2~图14，数据见表9。

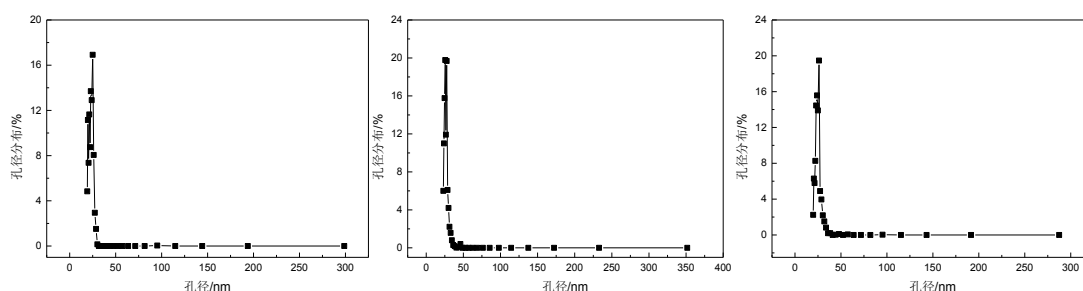


图2 1#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

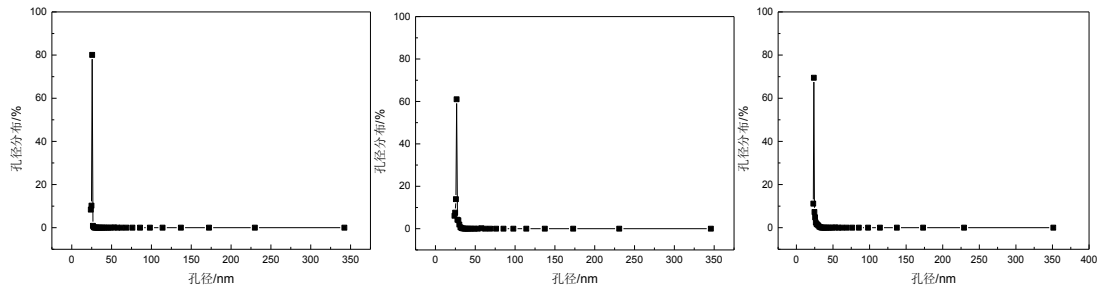


图3 2#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

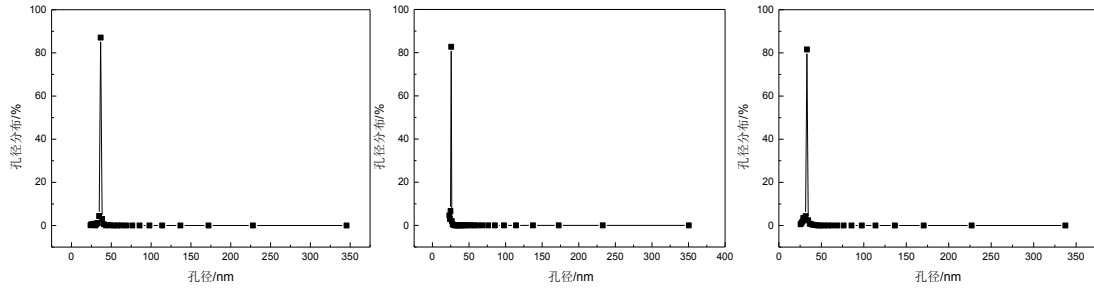


图4 3#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

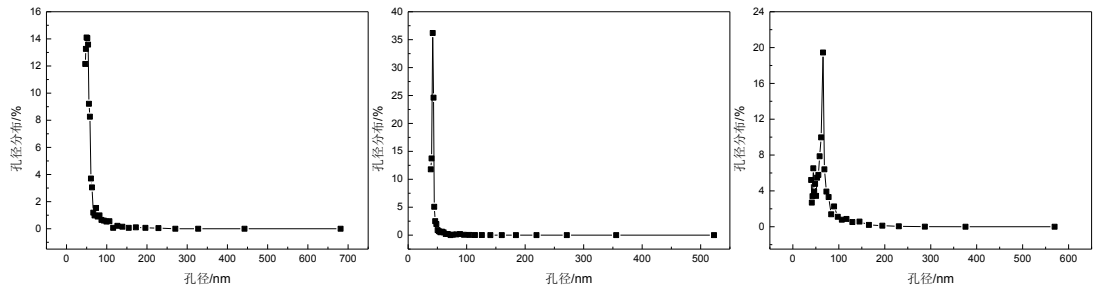


图5 4#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

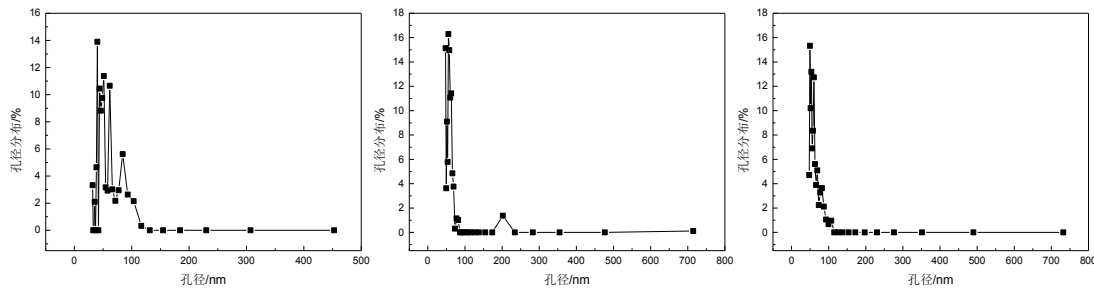


图6 5#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

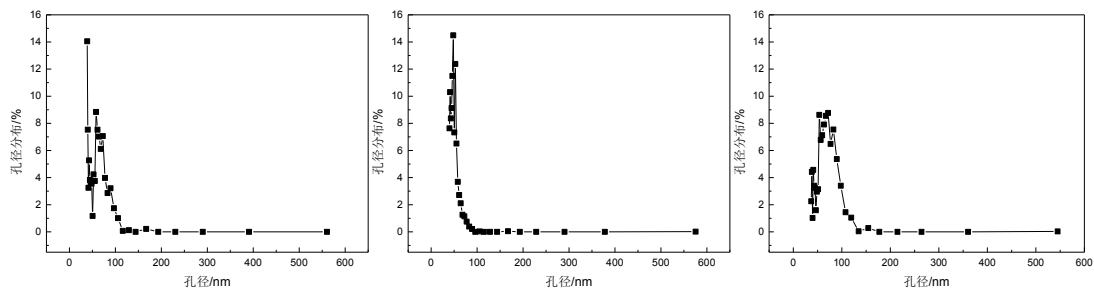


图7 6#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

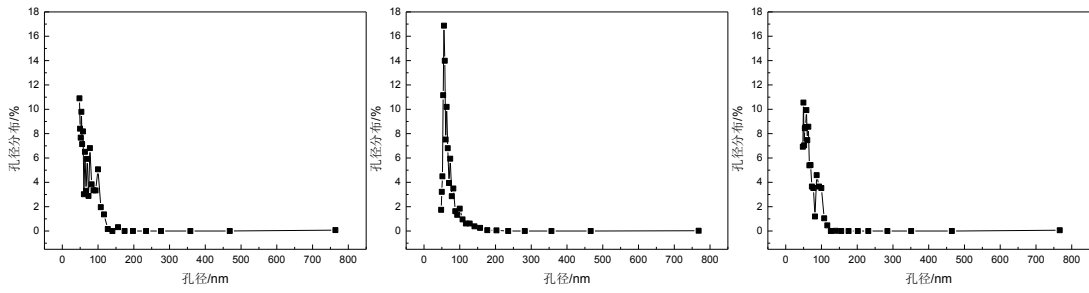


图8 7#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

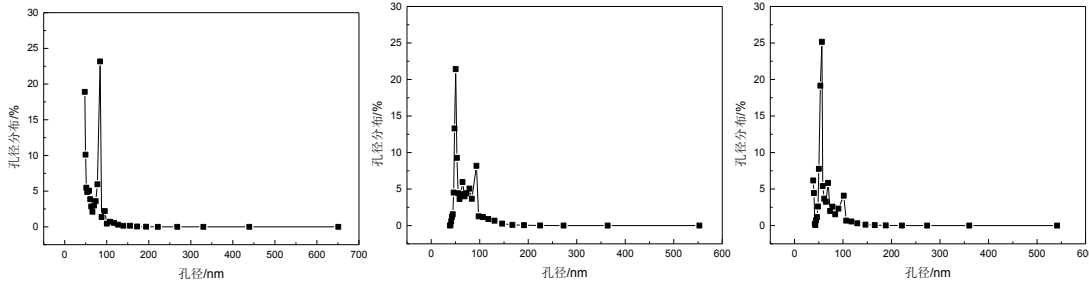


图9 8#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

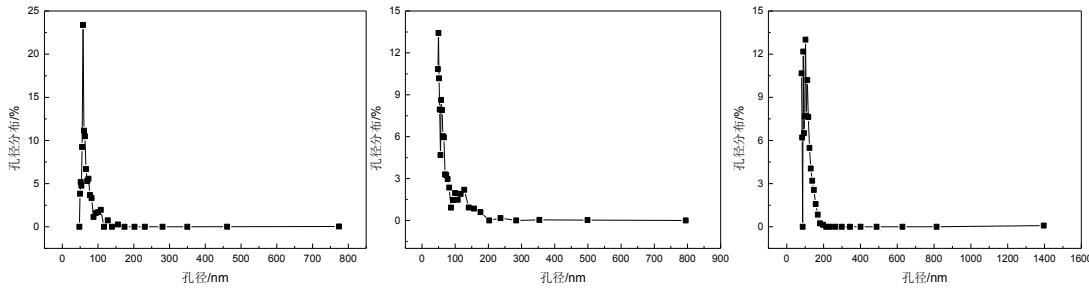


图10 9#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

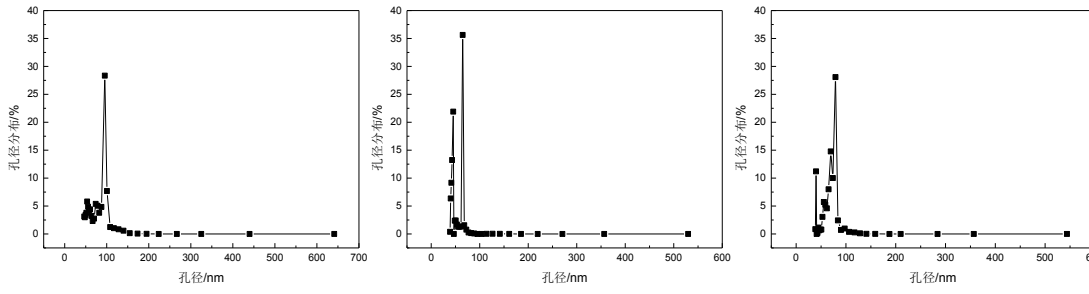


图11 10#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

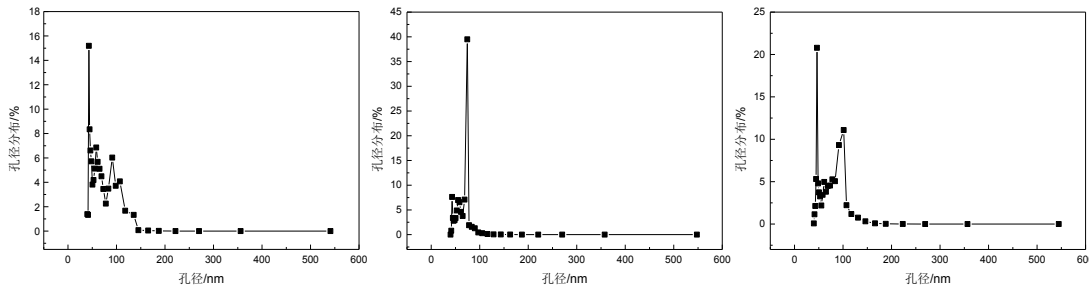


图12 11#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

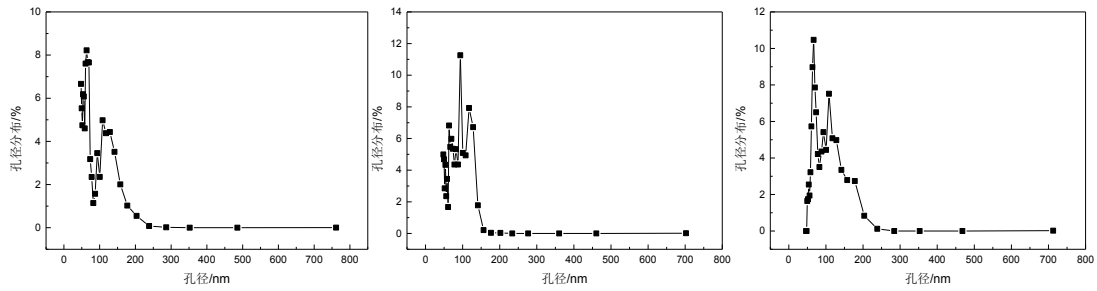


图13 12#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

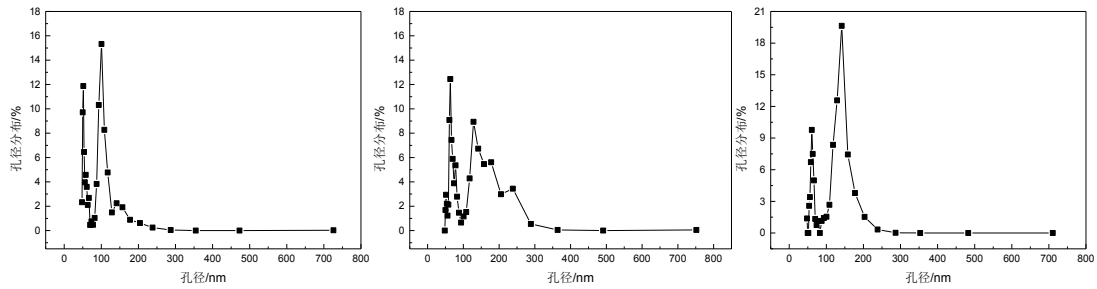


图14 13#聚丙烯中空纤维微孔膜孔径分布

表9 膜最大孔径和平均孔径

样品编号	最大孔径 /nm	平均孔径 /nm	样品编号	最大孔径 /nm	平均孔径 /nm
1#	40.1	25.2	8#	256.0	68.8
2#	44.4	27.6	9#	177.6	76.4
3#	48.3	33.3	10#	224.6	79.3
4#	262.3	50.1	11#	269.9	80.4
5#	110.9	58.2	12#	290.0	108.6
6#	139.2	62.0	13#	399.6	142.8
7#	167.3	62.2	/	/	/

根据表9数据，聚丙烯中空纤维微孔膜最大孔径与平均孔径具有关联性，平均孔径增大，最大孔径相应提高。按照测试数据，将聚丙烯中空纤维微孔膜在20nm-50nm(含)、50nm-100nm(含)、100nm-200nm(含)孔径区间规定最大孔径和平均孔径要求，见表10。

表10 聚丙烯中空纤维微孔膜最大孔径要求

孔径范围	20nm-50nm(含)	50nm-100nm(含)	100nm-200nm(含)
------	--------------	---------------	----------------

最大孔径/ $\mu\text{m}$	$\leq 0.20$	$\leq 0.40$	$\leq 0.60$
---------------------	-------------	-------------	-------------

参考HY/T ××××-2024《聚四氟乙烯中空纤维微孔膜》（即将发布），采用平均孔径与最可几孔径的相对偏差和孔径分布（以不大于平均孔径或最可几孔径最大值的累计孔径分布表示）对膜孔径分布狭窄程度进行要求。

随机抽取17个样品，计算20nm-50nm范围内聚丙烯膜的孔径偏差和孔径分布，见表11。表11中样品1#、2#、4#、5#、17#的两种孔径分布计算方式之间的差别较大，上述样品的平均孔径都低于最可几孔径，且两者偏差比较小，均低于5%，说明孔径主要集中在平均孔径和最可几孔径之间的范围。选择孔径分布计算差别最大的5#样品，孔径分布见图15。可以看出，5#样品两种孔径分布计算方式存在差别，但是孔径分布比较狭窄，说明可以采用不大于平均孔径或最可几孔径最大值的累计孔径分布表示孔径分布。

表11中平均孔径与最可几孔径的相对偏差最高是1#样品，其孔径分布见图16。可以看出，1#样品孔径分布也比较狭窄，因此，根据1#样品，平均孔径与最可几孔径的相对偏差规定不高于10%。

另外，表11中两种计算方法孔径分布最低是15#样品，根据图17，15#样品孔径分布狭窄，孔径分布为39.5%。按照GB/T 32361-2015孔径分布测试标准，压力与孔径为反比关系，20nm-50nm孔径范围下，测试压力较大，受膜机械强度影响，常发生如15#样品膜孔径分布正态分布曲线缺失情况，影响孔径分布计算，因此，根据15#样品，规定孔径20nm-50nm范围内，孔径分布不低于35%。

表11 聚丙烯中空纤维微孔膜孔性能（孔径规格：20nm-50nm(含)）

样品编号	平均孔径 / nm	最可几孔径 / nm	平均孔径与最 可几孔径的相 对偏差/ %	孔径分布 （以不大于平均 孔径的累计孔径 分布表示/ %）	孔径分布 （以不大于最可 几孔径的累计孔 径分布表示/ %）
1#	23.8	25.0	5.0	57.4	87.3
2#	26.6	27.6	3.8	64.5	84.2
3#	24.7	24.7	0.1	71.5	71.5
4#	25.6	26.1	2.1	66.5	86.0
5#	28.9	29.6	2.4	43.1	83.1
6#	35.3	34.7	1.7	71.3	71.3

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/766155214201010203>