

结构参数和运行工况对挡水板性能的影响研究

周薛豹¹, 赵 军¹, 吴 昌², 孙 娜³

¹上海理工大学能源与动力工程学院, 上海

²MSC Software, 上海

³上海电机学院, 上海

Email: 1975212624@qq.com, zhaojun@usst.edu.cn, wuchangqiuzhi@126.com, 1819645228@qq.com

收稿日期: 2021年8月16日; 录用日期: 2021年9月1日; 发布日期: 2021年9月8日

摘 要

为了得到挡水效果好、阻力小、间距大的挡水板, 采用MSC Cradle商用CFD求解器进行数值模拟, 研究了不同的结构参数和运行工况对挡水板挡水效果和阻力系数的影响规律; 在满足漏风比为零的条件下, 突边夹角、突边半径、板倾角、板间距对分离效率无影响; 随着突边夹角增大, 阻力系数先减小后稍有增大; 随着突边半径增大, 阻力系数先减小后稍有增大; 随着板间距增大, 阻力系数逐渐减小, 在漏风比为零时, 挡水效率基本无变化, 在漏风比大于零时, 挡水效率逐渐减小; 随着板倾角增大, 阻力系数逐渐增大; 随着粒径增大, 阻力系数先降低后趋于平稳, 分离效率逐渐增大后趋于平稳; 随着风速的增大, 阻力系数逐渐增大, 分离效率先增大后趋于平稳。本文研究结果对于挡水板的优化设计具有重要的指导作用。

关键词

挡水板, 气液分离, 数值模拟

Research on the Influence of Structural Parameters and Operating Conditions on the Performance of Water Eliminator

Xuebao Zhou¹, Jun Zhao¹, Chang Wu², Na Sun³

¹School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

²MSC Software, Shanghai

³Shanghai DianJi University, Shanghai

Email: 1975212624@qq.com, zhaojun@usst.edu.cn, wuchangqiuzhi@126.com, 1819645228@qq.com

Received: Aug. 16th, 2021; accepted: Sep. 1st, 2021; published: Sep. 8th, 2021

文章引用: 周薛豹, 赵军, 吴昌, 孙娜. 结构参数和运行工况对挡水板性能的影响研究[J]. 流体动力学, 2021, 9(3): 57-71. DOI: 10.12677/ijfd.2021.93006

Abstract

In order to obtain the water eliminator with good water eliminates effect, small resistance and large distance, the influence law of different structural parameters and operating conditions on the eliminator effect and resistance coefficient of the water eliminator was studied by numerical simulation. Under the condition that the air leakage ratio is zero, the separation efficiency is not affected by the angle, the radius of the edge, the inclination angle of the plate and the distance between the plates. With the increase of the arc angle, the drag coefficient decreases first and then increases slightly. As the radius of the arc increases, the drag coefficient decreases first and then increases slightly. When the air leakage ratio is zero, the water eliminator efficiency basically does not change. When the air leakage ratio is greater than zero, the water eliminator efficiency decreases gradually. With the increase of plate inclination angle, the drag coefficient increases gradually. With the increase of particle size, the drag coefficient decreases first and then tends to be stable, and the separation efficiency increases gradually and then tends to be stable. With the increase of wind speed, the drag coefficient increases gradually, and the separation efficiency increases first and then tends to be stable. The research results of this paper have an important guiding role for the optimal design of the water eliminator.

Keywords

Water Eliminator, Gas-Liquid Separation, Numerical Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

挡水板主要应用于制冷设备内机出风口、喷淋室和蒸汽发生器等热湿交换场所,起气液分离作用。起初,应用在纺织厂空调系统中的挡水板大多是6折120°或6折90°并带有突边的形式,但是这种形式阻力大、用料多,同时制造过程及后期维修麻烦[1]。随后,为解决之前挡水板阻力大、易腐蚀、维修困难等问题,设计出了90°的人形玻璃挡水板。但由于不便拆卸、易破碎、无法清洁等问题便被淘汰[2]。六十年代,通过将挡水板形式改变为3折90°不带突边,板间距为40 mm,可以明显减少挡水板所受到的阻力,该形式结构简单,方便安装[2]。七十年代初,针对挡水板进行了进一步的研究设计,有效解决了挡水板原有问题。国内目前大部分应用的是多折形和波纹形等形式的挡水板,其主要特点是阻力小,同时这种形式的挡水板过水量相对适宜[3]。

不同的挡水板其挡水效果和阻力系数不同,当前的挡水板,大多存在阻力大、挡水效果差或间距太小、成本高等问题,因此挡水效果好、阻力小、间距大的挡水板有很重要的应用价值,本文以某一挡水板为例,通过数值模拟,研究挡水板的不同结构参数和工况参数对挡水板阻力和挡水效果的影响规律,为挡水板的设计研发提供了重要参考。

2. 挡水板挡水机理分析

2.1. 挡水机理分析

在制冷设备运行过程中会出现凝水现象,所以挡水板在制冷设备中主要起到气液分离作用,由于通

常的制冷设备内部风速较高,容易带出其中未能完全雾化的液滴,所以使用挡水板,没有挡水板的话出风就会带出水滴了,同时不会影响制冷设备正常工作。目前气液分离器根据原理不同可以分为两类:机械分离和传质分离,其中传质分离主要应用于化工领域均相混合物的分离[4]。机械分离又可以细分为重力分离、过滤分离、离心分离和惯性分离[5]。

本文主要研究挡水板的不同结构参数和工况参数对挡水板阻力和挡水效果的影响规律,为挡水板的设计研发提供一定的参考。挡水效果用分离率 η 来表示,阻力用阻力系数 ζ 来表示。

2.2. 分离效率和阻力分析

分离率 η 定义为出口液滴质量流量与入口液滴质量流量之比,用分离效率表征挡水板的挡水效果,如式(1)。

$$\eta = \frac{\text{出口质量流量}}{\text{进口质量流量}} * 100\% \quad (1)$$

挡水板的阻力损失有两部分,一是在平直段由粘性造成的沿程阻力损失,二是折弯处造成的局部损失,最终阻力为两部分之和,用阻力系数表征挡水板的阻力损失性能,阻力系数 $\zeta = \frac{2\Delta P}{\rho V^2}$ 。

挡水板型式各异,沿程阻力只能在流道形状、大小、方向都不变时才能计算,而挡水板流道曲折多变,沿程损失难以理论计算,此外挡水板大多具有突边和折弯,突边和折弯的形状大小数量不同,局部阻力系数也难以理论计算。

本文通过数值模拟,得出进出口截面上的液滴质量流量和平均压力,进而得出挡水板的分离效率和阻力系数。

2.3. 挡水板形式及特点

目前常见的挡水板主要有以下几种形式:

a1 型挡水板是出现比较早的挡水板,挡水效果和阻力都一般,随着对挡水板挡水机理和阻力认知的加深和不断优化,设计出了更多类型的挡水板,其挡水效果和阻力因型式不同而各有特点[6]。a1 型挡水板如图 1 所示。



Figure 1. W-shaped eliminator (a1)
图 1. W 形挡水板(a1)

a2 型挡水板如图 2 所示。a2 型挡水板因突边的存在,可以拦截液膜,避免液膜在折弯处发生二次携带,但突边的存在同时会增大局部阻力,因此和 a1 型挡水板相比,挡水效果更好,但阻力更大。此外,突边的存在,容易造成积灰积垢。

b1 型挡水板如图 3 所示。b1 型挡水板在折弯处更加平缓,气流的流动也更加平缓,因此和 a1 型挡水板相比阻力更小,但需要更小的板间距才能保证挡水效果[7]。

和 b1 型挡水板相比, b2 型挡水板增加了突边,挡水效果有所增强,但因突边的存在,阻力有所增

加。此外,这种连续排列的三角形突边,因表面张力的存在,可以减薄液膜的厚度,打断液膜在流动方向上的连续性,使液膜能及时地流至集水盘,从而增强挡水效果。但三角形突起不可太过尖锐,要同时考虑可制造性问题[8]。图4为b2型挡水板。

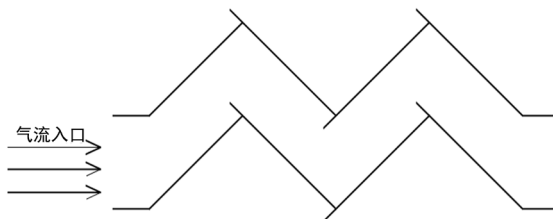


Figure 2. W-shaped eliminator with protruding edge (a2)
图2. 带突边的W型挡水板(a2)

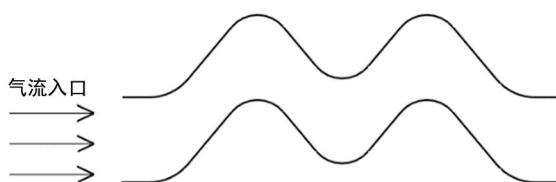


Figure 3. Corrugated eliminator (b1)
图3. 波纹型挡水板(b1)

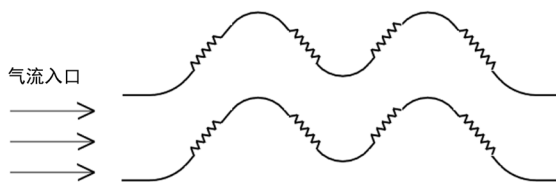


Figure 4. Corrugated eliminator with protruding edge (b2)
图4. 带突边的波纹型挡水板(b2)

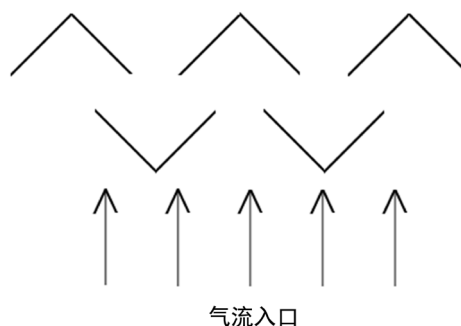


Figure 5. Triangular eliminator (c1)
图5. 三角形挡水板(c1)

c1型挡水板可以显著增强气流和板面的碰撞,液滴和板面的碰撞概率更大,因而挡水效果较好,但阻力也较大[9]。c1型挡水板如图5所示。

与c1型挡水板相比,c2型挡水板采用圆弧替代直边,使气流的流动更加平缓,同时增加了导流板,使流场变化更为平缓,因而阻力有所减小,但液膜易在圆弧边缘处发生二次携带。图6为c2型挡水板。

通过以上分析可以发现,影响挡水板挡水效果和阻力的因素有是否连续、是否有突边、折数、间距、倾角、材质、表面特征等,这些因素都是挡水板本身的结构特征,可以归纳为结构参数。除了结构参数外,

挡水板在不同的工况下其挡水效果和阻力也不相同，如气流流速、液滴粒径，这些可以归纳为运行工况。

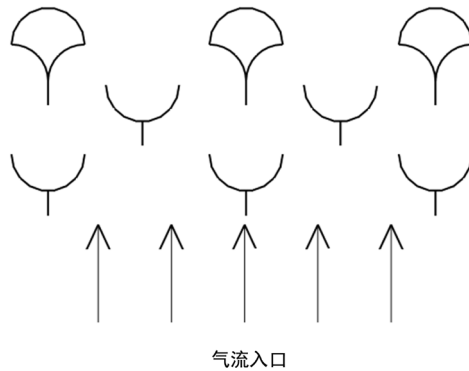


Figure 6. Cylindrical eliminator (c2)
图 6. 圆柱形挡水板(c2)

接下来将通过数值计算，分别研究结构参数和运行工况对挡水效果和阻力的影响结果及规律。

3. 数值计算

3.1. 几何模型

以某一挡水板为例，在此结构的基础上，设计不同的结构参数，得到不同型式的挡水板，再通过数值计算研究不同结构参数和运行工况下的挡水效果和阻力。图 7 为挡水板几何模型。

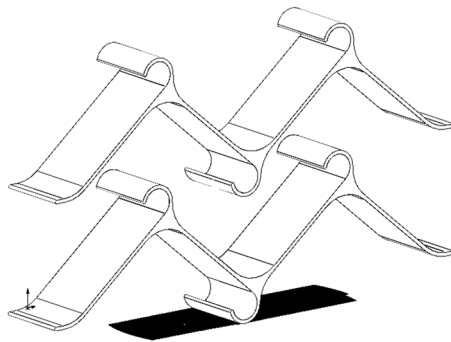


Figure 7. Geometric model of baffle plate
图 7. 挡水板几何模型

3.2. 数学模型

3.2.1. 控制方程

结合实际运行工况，对气液混合物的流动做以下简化：1) 物性参数为常数；2) 气体不可压缩；3) 不考虑液滴的蒸发；4) 不考虑液滴之间的碰撞、聚并；5) 不考虑粘性耗散；6) 液滴碰撞板面即被捕获。

连续方程： $\text{div}(\mathbf{V}) = 0$

动量方程： $\rho \frac{D\mathbf{V}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V}$

3.2.2. 湍流模型

挡水板因突边的存在，流场复杂，存在旋涡，因此采用适合旋转流动、流动分离、二次流的 Realizable

k-epsilon 模型。

3.2.3. 离散相模型

液滴的体积分数小于 10%~12%，可忽略颗粒间的相互作用、颗粒之间的碰撞以及离散相对连续相的影响，因此采用 DPM 离散相模型。

3.2.4. 边界条件

1) 连续相

流体：空气；

进口条件：速度入口条件；

出口条件：压力出口条件，表压力为 0 Pa。

2) 离散相

液滴物性：水；

注射条件：采用面注射，速度与连续相相同，流量 $0.0001 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ，随机游走模型，非稳态颗粒，单向耦合；

particle time step size: 0.05 s;

number of Particle steps: 20;

start time: 0 s;

stop time: 60 s;

出口条件: escape;

壁面条件: wall film。

4. 不同结构参数和运行工况对挡水板的性能影响

本文旨在探究挡水板不同结构参数和运行工况对挡水效果和阻力的影响规律。现根据某一挡水板的实际运行工况，分别探究突边夹角、突边半径、板间距、板倾角、粒径、风速等参数对挡水板阻力和挡水效果的影响，通过控制变量，每次仅模拟一种参数变化，模拟一共分为六组。

挡水板的优化，一定是在满足挡水效果的前提下进行，如图 8 所示，为了保证挡水效果，除板间距组模拟外，其余所有模型都保证突边最上方和板下面的距离为零，此距离与板间距的比值称为‘漏风比’，即除板间距组外，其余所有组都保证“漏风比”为零。

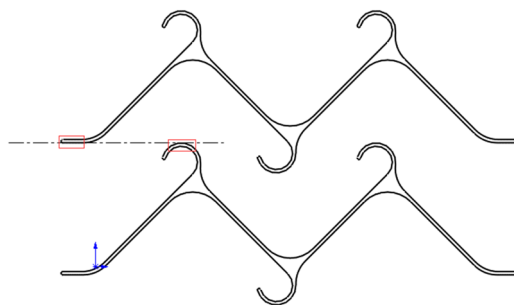


Figure 8. Air leakage ratio schematic diagram

图 8. 漏风比示意图

4.1. 突边夹角的影响

突边的存在，主要是为了收集液膜，防止液膜发生二次携带，同时也可以强化流场的扰动，有利于

细小液滴的捕捉，但突边的存在也会造成局部损失，使阻力增大。

本模型采用圆弧型突边，突边夹角指圆弧端点与圆心的连线和入口气流速度之间的夹角，如图 9 中的 β 角。

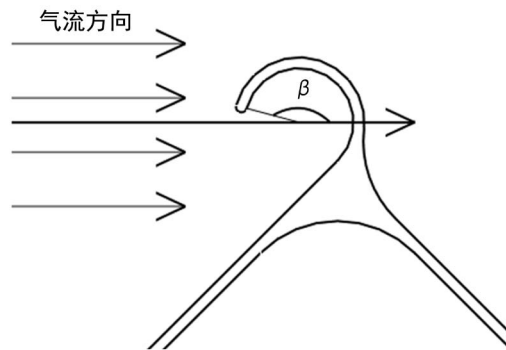


Figure 9. Angle diagram of protruding edge
图 9. 突边夹角示意图

不同的突边夹角对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样，现模拟不同突边夹角对挡水板挡水效果和阻力的影响，结构参数和模拟结果如表 1。

Table 1. Under the flap in different process angle out of the water and the effect of resistance
表 1. 挡水板在不同突边夹角下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
2.50	45	19.50	45	2.5	50	298.95	78.09	99.97
2.50	65	19.50	45	2.5	50	292.15	76.32	99.99
2.50	85	19.75	45	2.5	50	252.35	65.92	99.96
2.50	105	19.50	45	2.5	50	210.19	54.91	99.98
2.50	125	19.50	45	2.5	50	190.82	49.85	99.93
2.50	145	19.50	45	2.5	50	163.54	42.72	99.95
2.50	165	19.50	45	2.5	50	132.62	34.64	99.99
2.50	185	19.50	45	2.5	50	117.45	30.68	99.60
2.50	205	19.50	45	2.5	50	119.53	31.22	99.98
2.50	225	19.50	45	2.5	50	121.75	31.80	99.99
2.50	245	19.50	45	2.5	50	122.17	31.91	99.99

可以发现，在上述参数及满足漏风比为零的条件下，随着突边夹角的变化，分离效率都在 99.9%以上，因此，在满足漏风比为零的条件下，改变夹角对挡水效果影响不大。

以夹角为自变量，对模拟结果进行三次样条插值，得出阻力系数随夹角的变化趋势，如图 10 所示。

如图 10 所示，阻力系数随着夹角增大呈现出先减小后稍有增大的趋势。从突边速度矢量图 11 可以看出，当夹角较小时，圆弧较小，圆弧凹口正对着来流方向，在近壁处气流方向急剧变化，动能损失较大，因此阻力较大；随着夹角的增大，圆弧增大，渐渐形成一个凹腔，凹腔内气流速度很小，压力较大，因此来流在到达凹腔前方向便慢慢开始转变，气流方向变化较为平缓，因此动能损失较小，阻力较小。这说明在半径不变时，随着夹角的增大，在一定程度上能减小阻力损失。

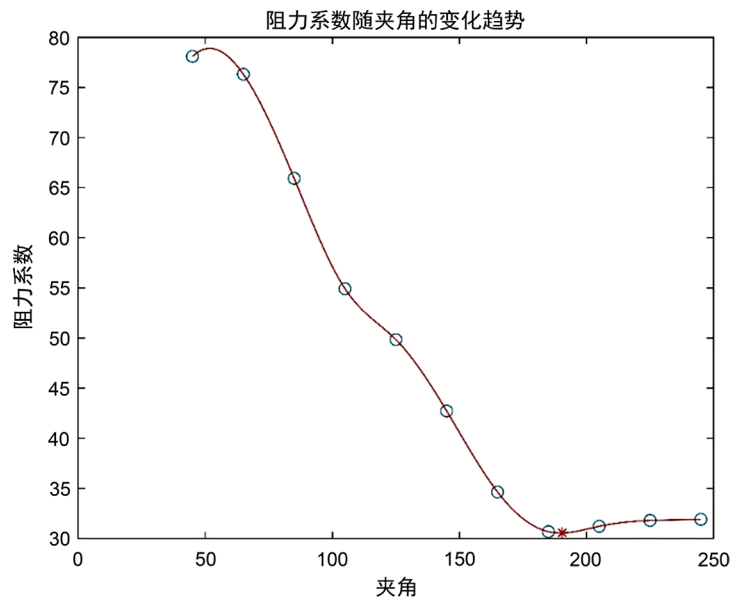


Figure 10. Trends in resistance coefficient of variation with angle
图 10. 阻力系数随夹角的变化趋势

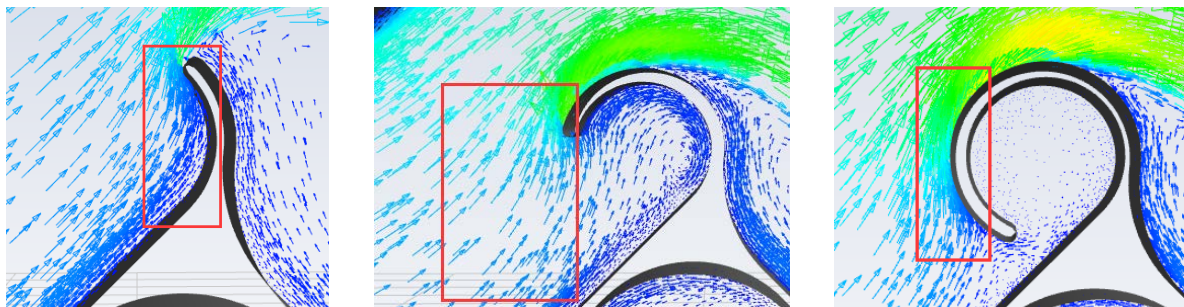


Figure 11. Sudden velocity vectors near the edge
图 11. 突边附近速度矢量图

随着夹角的进一步增大，到一定程度时圆弧形成的凹腔不再有过渡作用，导致气流直接撞击在圆弧壁面上，使动能损失有所增大，阻力进而增大，因此阻力损失系数随圆弧夹角先减小后稍有增大。

因此，随突边夹角的增大，阻力系数呈先减小后稍有增大的趋势，最小阻力系数对应的突边夹角为 190.5° 。

4.2. 突变半径的影响

不同的突边半径对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样，现模拟不同突边半径对挡水板挡水效果和阻力的影响，结构参数和模拟结果如表 2。

Table 2. Flashing out of the water in a different process under the radius of effect and resistance
表 2. 挡水板在不同突边半径下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
1.00	165	17.00	45	2.5	50	141.30	36.91	99.94
1.25	165	17.50	45	2.5	50	137.64	35.95	99.96

Continued

1.50	165	18.00	45	2.5	50	133.60	34.90	99.97
1.75	165	18.50	45	2.5	50	124.83	32.61	99.95
2.00	165	18.75	45	2.5	50	124.93	32.63	99.97
2.25	165	19.00	45	2.5	50	127.93	33.42	99.98
2.50	165	19.50	45	2.5	50	130.53	34.10	99.97
2.75	165	20.00	45	2.5	50	134.73	35.19	99.99
3.00	165	20.50	45	2.5	50	140.33	36.66	99.94
3.25	165	21.00	45	2.5	50	146.49	38.27	99.97

可以发现，在上述参数及满足漏风比为零的条件下，随着半径的变化，分离效率都在 99.9%以上，因此，在满足漏风比为零的条件下，改变突边半径对挡水效果影响不大。

考虑到挡水板的整体尺寸，以突边半径与板间距的比值“半径比”作为自变量，对模拟结果进行三次样条插值，得出阻力系数随半径比的变化趋势，如图 12。

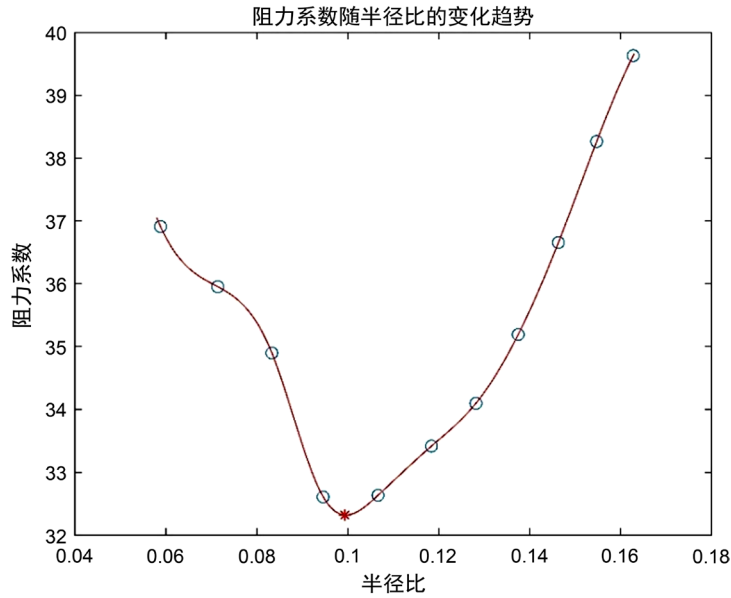


Figure 12. Variation of resistance coefficient with radius ratio trend
图 12. 阻力系数随半径比的变化趋势

如图 12 所示，阻力系数随半径比先是减小，然后增大。突边的形状为圆弧，圆弧形状在一定程度上可以使流场变化较为平缓，阻力减小，但随着半径增大的同时，圆弧吃风量也在增大，进而阻力增大。

在半径比较小的时候，随着半径比的增大，阻力减小程度大于增加程度，最终结果为阻力减小，当半径比超过某一程度时，随着半径比的增大，阻力减小程度小于增加程度，最终结果为阻力增加。

因此，随突边半径的增大，阻力系数呈先减小后增大的趋势，最小阻力系数对应的半径比为 0.1。

4.3. 板间距的影响

不同的板间距对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样，现模拟不同板间距对挡水板挡水效果和阻力的影响，结构参数和模拟结果如表 3。

Table 3. Flashing out of the water in a different process under the radius of effect and resistance
表 3. 挡水板在不同板间距下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
2	190	16	45	2.5	50	147.87	38.63	99.94
2	190	17	45	2.5	50	140.79	36.78	99.87
2	190	18	45	2.5	50	130.26	34.03	99.57
2	190	19	45	2.5	50	117.18	30.61	99.38
2	190	20	45	2.5	50	112.79	29.46	99.22
2	190	21	45	2.5	50	110.84	28.95	99.18
2	190	22	45	2.5	50	104.96	27.42	99.04
2	190	23	45	2.5	50	103.53	27.04	98.92
2	190	24	45	2.5	50	95.27	24.89	95.86
2	190	25	45	2.5	50	86.36	22.56	90.77

可以发现，在上述参数下，挡水板间距小于 23 毫米时，分离效率皆在 99%以上，间距大于 23 毫米后，分离效率开始下降，这是因为间距大于 23 毫米后，挡水板存在一定的漏风，漏风比不为零，导致一部分液滴从挡水板入口开始，整个流动过程不接触壁面，直接从出口流出，因此导致挡水效率降低。因此，在设计挡水板间距时应保证漏风比为零，这样才能保证挡水效果。

以板间距为自变量，对模拟结果进行三次样条插值，得到阻力系数随板间距的变化趋势，如图 13。

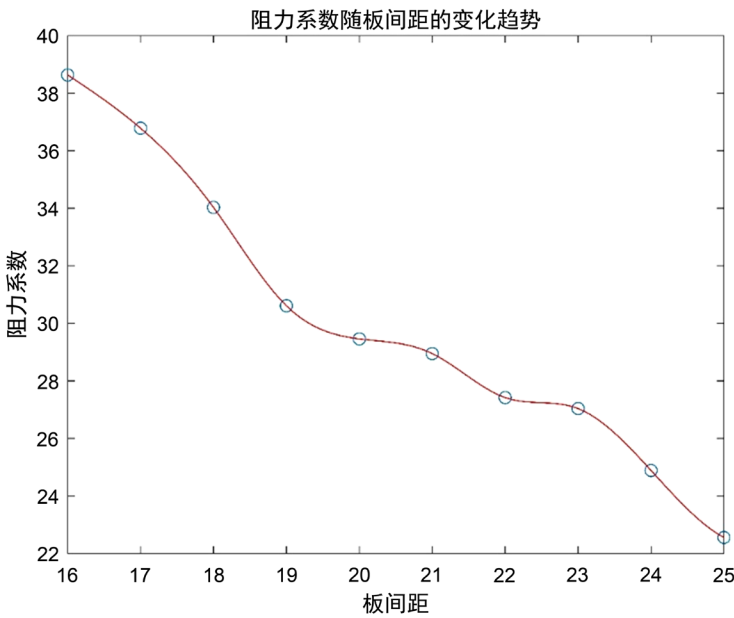


Figure 13. Variation of resistance coefficient with plate spacing
图 13. 阻力系数随板间距的变化

随着板间距的增大，有效截面积增大，阻力系数逐渐减小，因此当优化阻力时，在满足挡水效果的前提下可以适当增大板间距。

4.4. 倾角的影响

不同的板倾角对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样，现模拟不同倾角对挡水板挡水效果和阻力的影响，挡水板倾角示意图如图 14，结构参数和模拟结果如表 4。

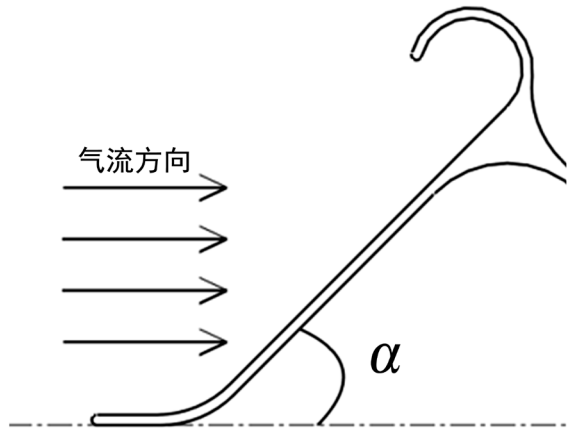


Figure 14. Angle diagram
图 14. 倾角示意图

Table 4. Flashing out of the water and the effect of resistance under different angle
表 4. 挡水板在不同倾角下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
2	190	12	25	2.5	50	55.16	14.41	99.23
2	190	14	30	2.5	50	61.39	16.04	99.31
2	190	15	35	2.5	50	69.01	18.03	99.42
2	190	17	40	2.5	50	82.91	21.66	99.45
2	190	19	45	2.5	50	101.48	26.51	99.56
2	190	22	50	2.5	50	141.72	37.02	99.37
2	190	26	55	2.5	50	203.05	53.04	99.72
2	190	30	60	2.5	50	279.39	72.98	99.76
2	190	36	65	2.5	50	385.47	100.69	99.65
2	190	45	70	2.5	50	503.25	131.46	99.59

可以发现，在上述参数及满足漏风比为零的条件下，随着倾角的改变，分离效率皆在 99%以上。以倾角为自变量，对模拟结果进行三次样条插值，得到阻力系数随倾角的变化趋势，如图 15。随着板倾角的增大，流场变化剧烈，动能损失增大，阻力系数增大，且倾角越大，阻力系数增大越快，因此，在优化挡水板时板倾角不宜太大。

4.5. 粒径的影响

不同的粒径对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样，现模拟不同粒径对挡水板挡水效果和阻力的影响，结构和粒径参数及模拟结果如表 5。

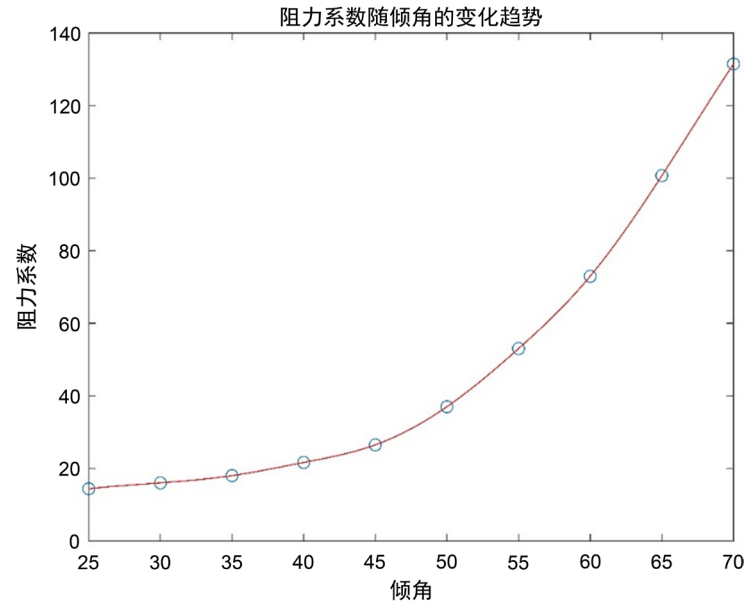


Figure 15. Drag coefficient of variation with angle
图 15. 阻力系数随倾角的变化

Table 5. Flashing out of the water in the different diameters and resistance

表 5. 挡水板在不同粒径下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
2	190	17	40	2.5	5	117.09	30.59	74.86
2	190	17	40	2.5	10	116.37	30.40	95.34
2	190	17	40	2.5	15	109.87	28.70	98.67
2	190	17	40	2.5	20	107.41	28.06	99.15
2	190	17	40	2.5	30	106.04	27.70	99.21
2	190	17	40	2.5	50	105.23	27.49	99.37
2	190	17	40	2.5	75	105.08	27.45	99.58
2	190	17	40	2.5	100	104.89	27.40	99.72
2	190	17	40	2.5	300	104.56	27.31	99.77
2	190	17	40	2.5	500	104.27	27.24	99.83

以粒径为自变量，对模拟结果进行三次样条插值，得到阻力系数和分离效率随粒径的变化趋势，如图 16。

如图 16 所示，阻力系数随粒径的增大先减小后趋于平稳，分离效率随粒径的增大先增大后趋于平稳。在粒径小于 10 微米时，即使在满足漏风比为零的条件下依然有很多液滴未能捕获。

颗粒 x 方向的力平衡方程：

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (2)$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D \text{Re}}{24} \quad (3)$$

$$\text{Re} = \frac{\rho d_p |u - u_p|}{\mu} \quad (4)$$

$F_D(u - u_p)$: 液滴所受曳力; u : 流体速度; u_p : 颗粒速度; μ : 流体动力粘度; ρ : 流体密度; ρ_p : 颗粒密度; F_x : x 方向质量力; d_p : 颗粒直径; C_D : 系数; Re : 颗粒雷诺数。

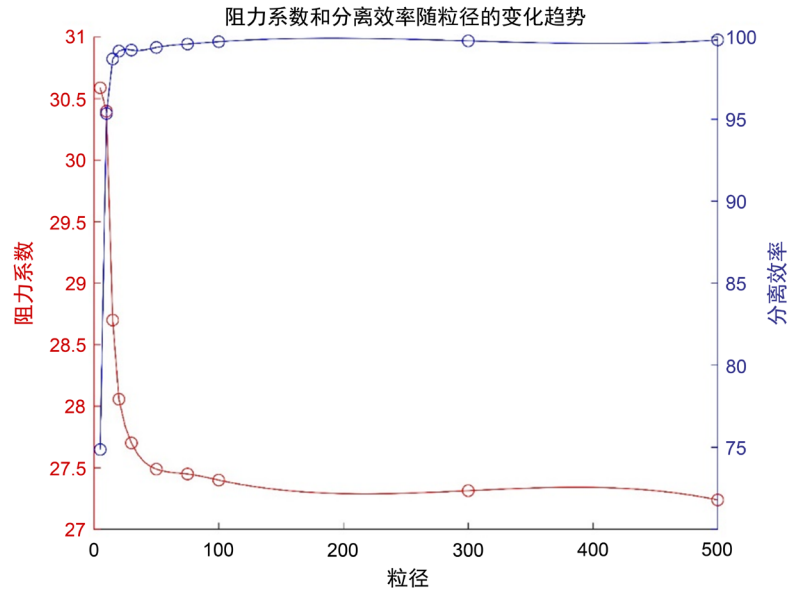


Figure 16. The drag coefficient and efficiency with the changing trends in size
图 16. 阻力系数和分离效率随粒径的变化趋势

颗粒 x 方向的动量:

$$P_x = m_p u_p = \frac{\pi \rho_p u_p d_p^3}{6} \quad (5)$$

动量与曳力的比值:

$$k = \frac{P_x}{F_D(u - u_p)} = \frac{2\pi u_p \rho_p^2 d_p^4}{9\rho C_D (u - u_p)^2} \quad (6)$$

在流场中, 液滴主要受曳力影响, 曳力是液滴在运动过程流体对液滴施加的力, 曳力越大, 液滴受流体影响越大, 越容易被流体裹挟一起运动, 越不容易分离。动量表征的是液滴在运动方向上保持运动的趋势, 动量越大, 运动趋势越不容易被改变, 从而越容易与板面碰撞, 越容易分离。动量与曳力的比值, 反应了液滴分离的难易程度, 从上式可以看出, 随着粒径增大, 动量增大, 曳力减小, k 增大, 分离效率增大, 此外, k 与粒径的四次幂成正比, 因此分离效率会随粒径的增大而骤增, 从图 16 可以看出, 模拟结果与此结论一致。

4.6. 风速的影响

不同的风速对挡水板的挡水效果和阻力影响也不一样, 现模拟不同风速对挡水板挡水效果和阻力的影响, 结构和风速参数及模拟结果如表 6。

以风速为自变量, 对模拟结果进行三次样条插值, 得到阻力系数和分离效率随风速的变化趋势, 如图 17。

Table 6. Breakwater under different wind speeds out of the water and the effect of resistance
表 6. 挡水板在不同风速下的挡水效果和阻力

突边半径/mm	夹角 β /度	间距/mm	倾角 α /度	风速 m/s	粒径/ μm	阻力/Pa	阻力系数	分离效率/%
2	190	17	40	1	50	20.95	5.47	75.45
2	190	17	40	2	50	75.03	19.60	94.34
2	190	17	40	3	50	148.67	38.84	99.18
2	190	17	40	4	50	258.43	67.51	99.28
2	190	17	40	5	50	402.32	105.10	99.37
2	190	17	40	6	50	560.00	146.29	99.49
2	190	17	40	7	50	729.04	190.44	99.57
2	190	17	40	8	50	924.52	241.51	99.72
2	190	17	40	9	50	1045.76	273.18	99.85
2	190	17	40	10	50	1288.95	336.71	99.87

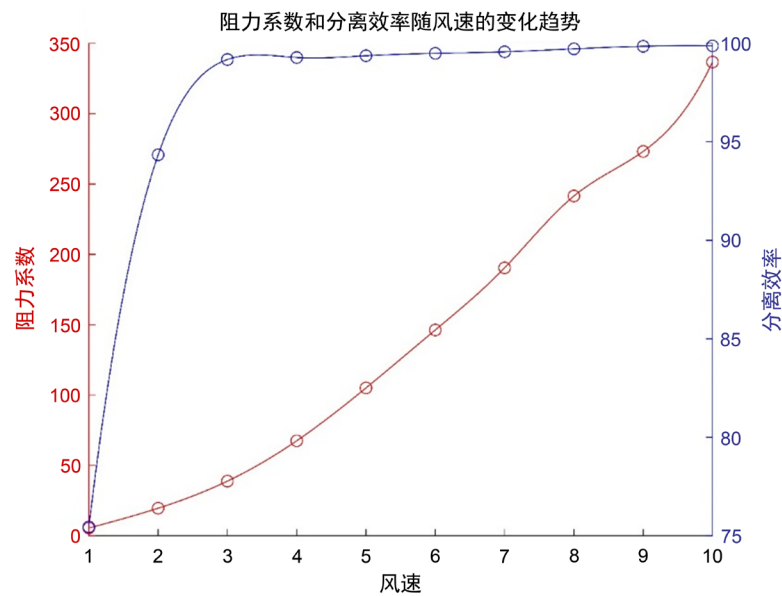


Figure 17. Changing tendency of drag coefficient and efficiency with the wind
图 17. 阻力系数和分离效率随风速的变化趋势

如图 17 所示，阻力系数随风速的增大逐渐增大，当风速为 1 m/s 时，阻力为 20 Pa 左右，但当风速增加到 10 m/s 时，阻力系数达到了 100 左右，说明风速对阻力的影响很大。风速较小时分离效率也很低，这是因为风速较小时 k 比较小，随着风速的增大 k 逐渐增大，分离效率逐渐增大。

5. 结论

本文通过数值模拟的方法，研究了结构参数和运行工况对挡水板挡水效果和阻力的影响，得出以下结论：

1) 结构参数方面：

在满足漏风比为零的条件下，突边夹角、突边半径、板倾角、板间距对分离效率无影响，因此，为

了保证挡水效果，挡水板的设计应满足漏风比接近零。

对于圆弧形突边，随着突边夹角的增大，阻力系数先减小后稍有增大，最小阻力系数对应的突边夹角为 190.5° ；随着突边半径的增大，阻力系数先减小后稍有增大，最小阻力系数对应的半径比为 0.1；随着板间距的增大，阻力系数逐渐减小，在漏风比为零时，挡水效率基本无变化，在漏风比大于零时，挡水效率逐渐减小；随着板倾角的增大，阻力系数逐渐增大，因此板倾角不宜太大。

2) 运行工况方面：

随着粒径的增大，阻力系数先降低后趋于平稳，分离效率逐渐增大后趋于平稳，在粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 时，分离效率较差，因此惯性分离器不适用于小粒径液滴的场合；随着风速的增大，阻力系数逐渐增大，分离效率先增大后趋于平稳。

参考文献

- [1] 高维骊, 刘荣超. V 形两折 90° 分离串联式玻璃挡水板设计及测定[J]. 棉纺织技术, 1982(1): 50-52.
- [2] 张威, 陈津立, 张玉斌, 王瑞娟. 纺织厂空调室蛇形挡水板的改造[J]. 上海纺织科技, 2003, 31(5): 64-28.
- [3] 孙春芳. 纺织空调节能降耗探讨[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(4): 60-61.
- [4] 李军, 卢英华. 化工分离前沿[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.
- [5] 张立峰. 波纹板内气液分离流场的数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2015.
- [6] 马婧洁, 颜苏芊, 秦莉. 纺织厂空调喷水室人字型和 W 型挡水板性能的研究[J]. 现代纺织技术, 2018, 26(4): 31-35.
- [7] 刘珊. 不同挡水板性能对比分析及节能改造[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工程大学, 2017.
- [8] 许华培. 关于挡水板原理的探讨及蛇形挡水板的研制[J]. 建筑技术通讯(暖通空调), 1985(5): 18-19+48.
- [9] 赵婷. 纺织厂喷水室中不同形式挡水板性能的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工程大学, 2015.