

# 斜波薄膜填料与丝网填料性能对比试验研究

黄春花, 宋志勇, 黄文慧, 刘 轶, 杨 岑

中国水利水电科学研究院水力学研究所, 北京

收稿日期: 2026年3月2日; 录用日期: 2026年3月25日; 发布日期: 2026年4月2日

## 摘 要

为了探究不同类型淋水填料的冷却性能差异, 为冷却塔优化设计提供数据支撑, 本文在淋水填料热力阻力性能测试平台上, 对斜波薄膜淋水填料和丝网淋水填料进行了热力阻力特性测试。试验在淋水密度为  $11.19 \text{ t}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、断面风速为  $2.1 \text{ m/s}$ 、进水温度为  $41^\circ\text{C}$  的统一工况条件下, 以斜波薄膜  $1.8 \text{ m}$  高淋水填料为基准, 对比分析了丝网淋水填料的出塔水温、压差损失及冷却数。研究表明: 丝网淋水填料的冷却性能弱于斜波薄膜淋水填料; 填料热力性能与阻力呈正相关关系, 热力性能越优, 流动阻力越大。该研究成果可为冷却塔填料选型及结构优化提供重要参考。

## 关键词

淋水填料, 斜波薄膜淋水填料, 丝网淋水填料, 热力性能, 阻力特性, 冷却数

# Comparative Experimental Research on the Performance of Inclined Wave Film Packing and Wire Mesh Packing

Chunhua Huang, Zhiyong Song, Wenhui Huang, Yi Liu, Cen Yang

Institute of Hydraulics, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing

Received: March 2, 2026; accepted: March 25, 2026; published: April 2, 2026

## Abstract

To explore the differences in cooling performance among different types of packings and provide data support for the optimal design of cooling towers, this paper conducts tests on the thermal resistance characteristics of inclined-wave film packings and wire mesh packings on a thermal resistance performance test platform for packings. The test was carried out under the unified operating conditions of a water spraying density of  $11.19 \text{ t}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , a cross-sectional air velocity of  $2.1 \text{ m/s}$

and an inlet water temperature of 41°C. Taking the 1.8 m-high inclined-wave film packing as the reference, a comparative analysis was performed on the outlet water temperature, pressure loss and cooling number of the wire mesh packing. The research results show that the cooling performance of the wire mesh packing is weaker than that of the inclined-wave film packing; there is a positive correlation between the thermal performance and resistance of the packings—the better the thermal performance, the higher the flow resistance. The research results can provide important reference for the selection and structural optimization of cooling tower packings.

## Keywords

Packing, Inclined-Wave Film Packing, Wire Mesh Packing, Thermal Performance, Resistance Characteristics, Cooling Number

Copyright © 2026 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

### 1.1. 研究背景

淋水填料作为冷却塔的核心换热部件[1],其热力阻力性能直接决定冷却塔的冷却效率、能耗水平及运行稳定性。优质淋水填料需同时满足换热效率高、流动阻力小、耐老化、易安装等要求。目前,常用的淋水填料类型包括斜波薄膜填料、S波薄膜填料、丝网状填料、蜂窝填料等,不同类型填料的结构特性差异显著,导致其热力阻力性能存在明显区别。蔡辉[2]等逆流薄膜填料表面水膜的特性进行了实验研究,研究表明示踪剂在薄膜填料表面的扩散角大小和滞留时间的长短是确定该填料热力性能好坏的关键因素;孙庆杰[3]等采用数值模拟与试验研究相结合的方式,对薄膜填料单通道的热力性能受其进口流量和进口水温的影响;翟险峰[4]分析了冷却塔填料的更新改造后,冷却塔的冷却性能得到提高,年耗电量降低了,实现了碳减排;兰昭洪[5]研究了金属丝网波纹填料在化工生产中的应用,提高了产品的质量并降低了能耗;钟瑞欣[6]等通过对比试验研究,得出金属丝网填料用于吸收操作时,具有效率高、阻力低的优点;商丹枫[7]等通过模型试验与模拟试验相结合的方式,研究了微米尺度不锈钢丝网填料的阻力特性,表明丝网的压降与丝网填料的厚度及通过丝网的介质流量成正比关系。

本文研究的斜波薄膜填料是典型的PVC薄膜淋水填料,具有较大的比表面积和合理的水流通道,在冷却塔中应用广泛;网状填料则具有流道通畅、不易堵塞的优势,适用于水质较差的运行条件。为明确两种填料的冷却性能差异,本文以斜波薄膜1.8 m高淋水填料为基准,通过试验研究探究丝网淋水填料的出塔水温、压差损失及冷却数变化规律,为工程实际中的填料选型及组合优化提供科学依据。

### 1.2. 研究内容

本文研究的主要内容是:在统一的试验工况下,测试斜波薄膜淋水填料、网状淋水填料的热力阻力性能参数;基于辛普生数值积分法计算淋水填料的冷却数;以斜波薄膜淋水填料为基准,分析丝网淋水填料的性能偏差。

### 1.3. 试验条件

试验设定统一参数条件:淋水密度 11.19 t/(m<sup>2</sup>·h),填料断面风速 2.1 m/s,进水温度 41°C,进塔空气

温湿度以实际环境条件为准。测试参数包括进塔空气干、湿球温度，出塔空气干、湿球温度，进、出塔水温，淋水密度和断面风速，断面阻力及大气压等。试验时先调节好各试验参数达到稳定状态，进行数据采集及热平衡计算，控制热平衡误差在 $\pm 5\%$ 以内。

每组试验进行 3 次[8]，每次取 3 组满足热平衡误差的试验数据进行记录，并计算出每组试验的冷却数。

## 2. 试验装置及数据整理方法

### 2.1. 试验装置

淋水填料热力阻力性能测试在室内抽风式逆流冷却塔模拟测试平台上进行[1]，系统示意图见图 1。

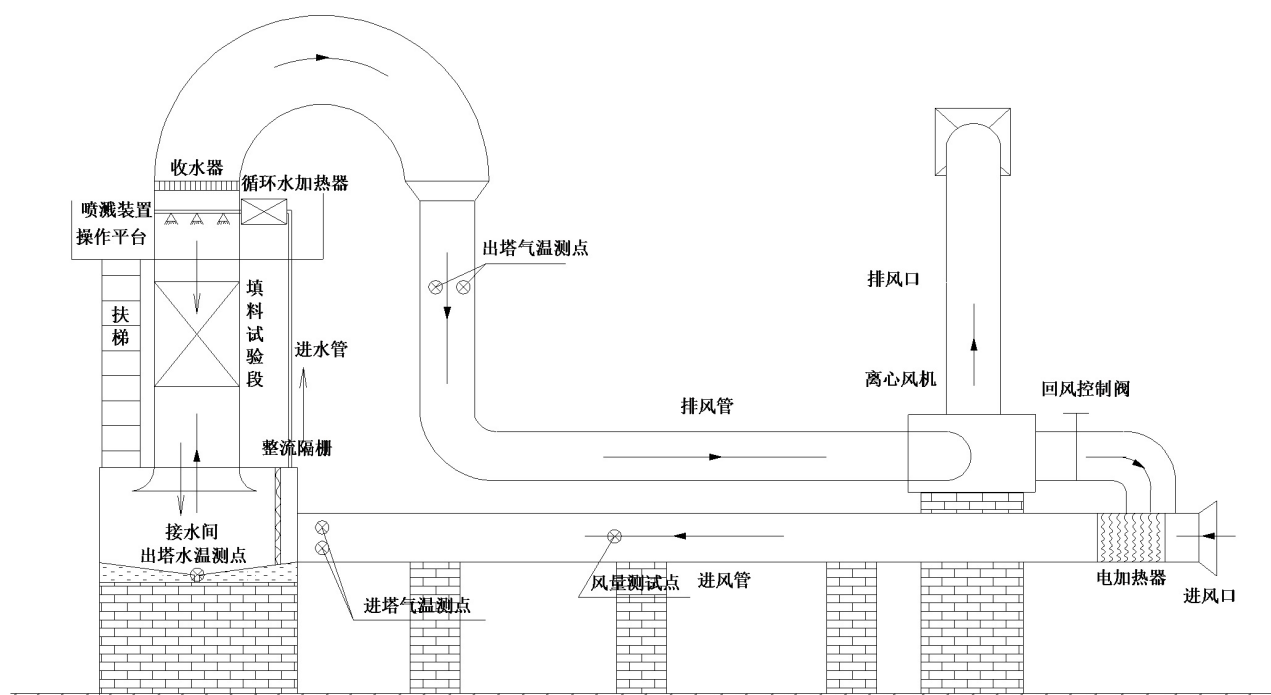


Figure 1. Schematic diagram of the test device system

图 1. 试验装置系统示意图

模拟塔试验段总高 3.0 m，淋水填料安装高度可调节范围 0.0~2.0 m，喷淋装置距离淋水填料顶面约 0.8 m (喷淋距离)。淋水填料测试区域过流断面为  $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ ，即淋水面积  $0.36\text{ m}^2$ ，系统淋水密度  $4.0\sim 20.0$  ( $10^3\text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )，淋水填料断面风速  $0.5\sim 3.5\text{ m/s}$ 。

模拟塔主要由水循环和空气循环两个系统组成：

**水循环系统：**水从蓄水池经水泵提升至加热系统加热后送至配水装置，配水装置为三根直径 25 mm 的压力水管，每根管上等距离安装三个淋水喷头，热水由淋水喷头均匀喷洒到填料顶表面，经填料进行水气热质交换后，跌落至底部集水槽汇集，再流经量水堰量测水量后返回蓄水池循环利用。

**空气循环系统：**由试验装置尾部的离心式抽风机从进风口吸入外界空气，经安装在进风管内的电加热器加热，以控制进塔的干湿球温度来达到试验所控参数要求，然后进入塔的试验段与水进行气热交换后，再从风管排出，出塔空气一部分排出室外，另一部分回流至进风管，以便调节进塔空气湿球温度。进塔风量通过变频器改变直流电机的转速控制。

## 2.2. 试验及数据整理方法

试验通过调节出所需的测试条件(淋水密度, 断面风速、进塔水温等), 在现场实测气象条件下测试填料样品的出塔水温和阻力等参数。并计算该测试条件下的气水比和冷却数。冷却数计算方法如下:

$$N = \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w dt}{i'' - i} \quad (1)$$

式中:  $i''$ ——与水温相应的饱和空气比焓, kJ/kg;

$i$ ——空气比焓, kJ/kg;

$C_w$ ——水的比热, kJ/(kg·°C);

$t_1$ 、 $t_2$ ——进、出塔水温, °C。

式(1)积分号中的各物理量不能用水温的函数式直接积分求解。实际温降  $\Delta t$  不大于 15°C 时, 采用辛普生数值积分法分两段计算, 对冷却塔的设计计算已具有足够的精度。式(1)可写为:

$$N = \int_{t_2}^{t_1} \frac{C_w dt}{i'' - i} = \frac{C_w \Delta t}{6} \left( \frac{1}{i_2'' - i_1} + \frac{4}{i_m'' - i_m} + \frac{1}{i_1'' - i_2} \right) \quad (2)$$

式中:  $i_1$ ,  $i_2$ ——进塔空气比焓和出塔空气比焓, kJ/kg;

$i_1''$ ,  $i_2''$ ——与进、出塔水温相应的饱和空气比焓, kJ/kg;

$i_m$ ——相应  $i_1$ ,  $i_2$  的平均值, kJ/kg;

$i_m''$ ——相应  $\frac{t_1 + t_2}{2}$  的饱和空气比焓, kJ/kg;

$C_w$ ——水的比热, kJ/(kg·°C);

$\Delta t$ ——冷却水温差, °C。

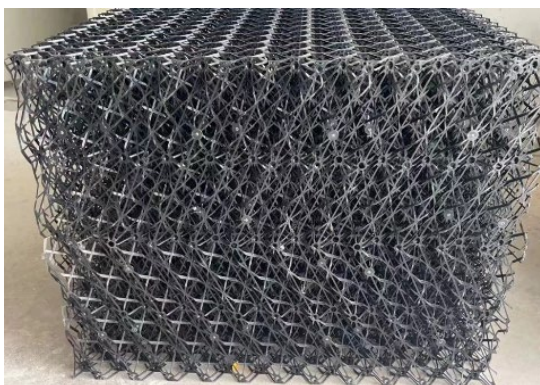
## 3. 淋水填料样品及对比参数

试验填料样品是斜波薄膜淋水填料和丝网淋水填料。斜波薄膜淋水填料的比表面积及空隙率都比丝网填料小, 一般情况下斜波薄膜填料的比表面积为 150~450 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 空隙率为 68%~80%, 丝网填料的比表面积为 300~1200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 空隙率为 85%~95%, 见图 2 和图 3。

本文以斜波薄膜淋水填料为基准, 对比研究丝网淋水填料的热力阻力性能差异, 主要对比参数为出塔水温、阻力和冷却数。



Figure 2. Inclined wave film packing  
图 2. 斜波薄膜淋水填料



**Figure 3.** Wire mesh packing  
**图 3.** 丝网淋水填料

#### 4. 试验结果及分析

本文试验研究在基本相同气象和进水条件下进行,见表 1,试验时进行 3 次的记录,取记录数据的平均值,以斜波薄膜淋水填料的测试结果为基准,对比丝网淋水填料的出塔水温、压差损失及冷却数,见表 2。

**Table 1.** Table of meteorological conditions

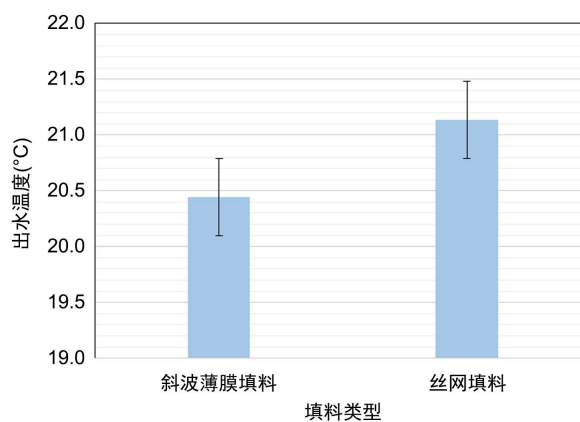
**表 1.** 气象条件表

填料类型	淋水密度 $t/(h \cdot m^2)$	填料断面风速 m/s	大气压 hPa	进塔干球温度 $^{\circ}C$	进塔湿球温度 $^{\circ}C$	进水温度 $^{\circ}C$
斜波薄膜 1.8 m 高	11.19	2.10	1024	14.60	7.72	41.00
网状 1.8 m 高	11.19	2.09	1024	14.26	7.55	41.02

**Table 2.** Parameter comparison table

**表 2.** 参数对比表

填料类型	出水温度 $^{\circ}C$	压差损失 Pa	冷却数	与基准温度偏差(%)	与基准压力损失偏差(%)	与基准冷却数偏差(%)
斜波薄膜 1.8 m 高	20.44	82.78	2.81	0.00	0.00	0.00
网状 1.8 m 高	21.13	71.77	2.38	3.38	-13.30	-15.29



(a)

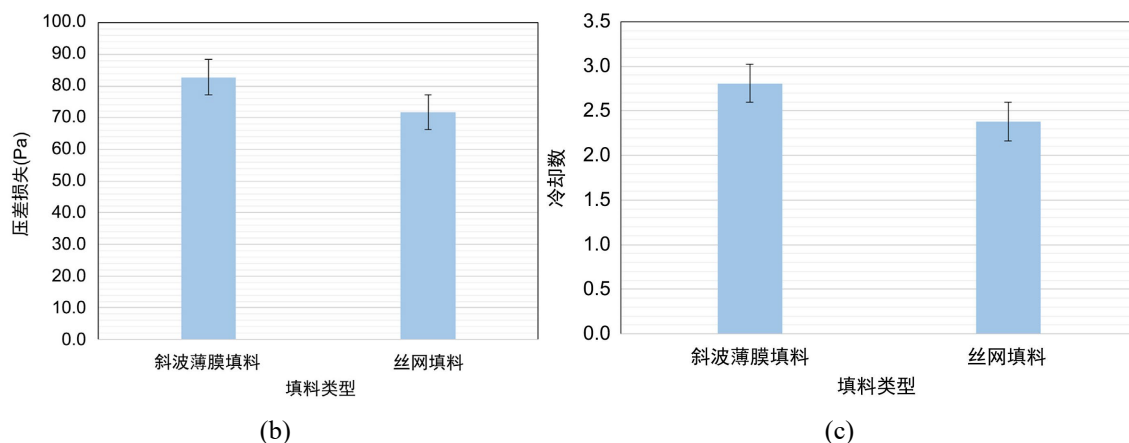


Figure 4. Standard error analysis graph

图 4. 标准误差分析图

淋水密度为  $11.19 \text{ t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ，填料断面风速  $2.10 \text{ m/s}$ ，进水水温  $41.0^\circ\text{C}$  条件下，斜波薄膜淋水填料  $1.8 \text{ m}$  安装高度时，出塔水温为  $20.44^\circ\text{C}$ ，压差损失为  $82.78 \text{ Pa}$ ，冷却数为  $2.81$ ；丝网淋水填料  $1.8 \text{ m}$  安装高度时，出塔水温比基准填料高  $0.69^\circ\text{C}$ ，偏差  $3.38\%$ ，标准误差分析见图 4(a)；压差损失比基准淋水填料低  $11.01 \text{ Pa}$ ，偏差  $-13.3\%$ ，标准误差分析见图 4(b)；冷却数比基准淋水填料低  $0.43$ ，偏差  $-15.29\%$ ，标准误差分析见图 4(c)。

## 5. 结论

通过斜波薄膜淋水填料和丝网淋水填料的对比试验研究，研究结果表明丝网淋水填料的热力和阻力性能都比斜波薄膜淋水填料低。填料阻力大会增加冷却塔的抽力；填料热力性能高，会提升冷却塔的冷却性能，应用中需根据实际需求来选取合适的淋水填料。

## 参考文献

- [1] 赵顺安, 著. 冷却塔工艺原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 蔡辉, 章立新, 尹证, 等. 逆流薄膜填料表面水膜特性的实验研究[J]. 山东化工, 2019, 48(10): 52-55.
- [3] 孔庆杰, 高阳, 姚加文, 等. 逆流湿式冷却塔内薄膜填料单通道热力性能研究[J]. 能源化工, 2022, 43(6): 80-84.
- [4] 翟险峰. 冷却塔填料更新改造与技术探讨[J]. 广西节能, 2024(4): 32-33.
- [5] 兰昭洪. 金属丝网波纹填料及其在化工生产中的应用[J]. 贵州化工, 2005(1): 13-14+33.
- [6] 钟瑞欣, 王廷缙, 吴清津, 等. 金属丝网波纹填料塔吸收二氧化碳[J]. 舰船科学技术, 1983(4): 21-25.
- [7] 商丹枫, 崔晓钰, 陈志超, 等. 微米尺度不锈钢丝网填料阻力特性研究[J]. 真空与低温, 2021, 27(6): 513-519.
- [8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 933-2005 冷却塔淋水填料、除水器、喷溅装置性能试验方法[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.