

喷溅装置水力性能试验研究

——XX TP-III 28 mm口径喷头

黄春花, 宋志勇, 刘轶, 黄文慧, 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1月3日; 录用日期: 2026年1月27日; 发布日期: 2026年2月3日

摘要

喷溅装置作为冷却塔配水系统的核心部件, 其水力学性能直接影响淋水均匀性与填料换热效率。为明确XX TP-III型喷溅装置的水力特性, 为冷却塔优化设计提供数据支撑, 本文通过喷溅装置模型试验系统, 对该装置在不同水头压力下的流量系数、均布系数及喷溅半径进行了系统测试。试验在XX TP-III型喷溅装置的套管喷嘴口径为28 mm、喷淋高度1.0 m的条件下, 设置0.6~1.4 m共5个工作水头工况, 试验结果表明: 该喷溅装置的平均流量系数为0.91, 流量特征数为8.867, 喷水均布系数至0.025~0.216; 喷溅半径与水压呈正相关, 水压越高, 喷溅范围越宽广。该研究成果验证了XX TP-III型喷溅装置优良的水力学性能, 可为冷却塔配水系统选型及参数优化提供重要参考。

关键词

喷溅装置, 水力特性, 流量系数, 均布系数, 喷溅半径, 冷却塔

Hydraulic Performance Research on the Splash Device

—XX TP-III 28 mm Nozzle Diameter

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

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

Received: January 3, 2026; accepted: January 27, 2026; published: February 3, 2026

Abstract

As the core component of the water distribution system in cooling towers, the hydraulic performance of the splash device directly affects the water distribution uniformity and the heat exchange

efficiency of packings. To clarify the hydraulic characteristics of the XX TP-III sprayer and provide support for the optimal design of cooling towers, this paper conducts systematic tests on the flow coefficient, uniformity coefficient and splash radius of the device under different water head pressures through a splash device model test system. The test was carried out on the XX TP-III sprayer with a nozzle diameter of 28 mm and a spray height of 1.0 m, with 5 water head conditions set in the range of 0.6~1.4 m. The test results show that: the average flow coefficient of this splash device is 0.91, the flow characteristic number is 8.867, and the water splash uniformity coefficient ranges from 0.025 to 0.216; the splash radius is positively correlated with water pressure—the higher the water pressure, the wider the splash range. The research results verify the excellent hydraulic performance of the XX TP-III splash device, which can provide important reference for the selection and parameter optimization of the water distribution system in cooling towers.

Keywords

Splash Device, Hydraulic Performance, Flow Coefficient, Homogeneous Coefficient, Splash Radius, Cooling Tower

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

在冷却塔运行过程中，喷溅装置承担着将热水均匀分散为细小水滴、均匀淋洒在填料表面的关键功能[1]。喷溅装置需满足流量稳定、喷洒均匀、喷溅半径适配、水头适应性强等要求，其性能直接影响气液接触面积与换热效率，均匀分散的细小水滴在填料表面形成薄水膜，减小交面热阻，延长热水在空中的运行路径与时间，从而充分发挥填料的换热潜力；反之，喷洒不均会导致填料局部干区或积水，显著降低冷却效率。

陆振铎[2]等对 TP-III 型喷溅装置进行了试验研究，发现该喷溅装置的喷溅半径大，适用于槽式和管式配水；闵健[3]等研究了 XPH 型和 TP-II 型喷嘴在冷却塔内部的组合布置方式，为冷却塔配水的优化设计及改造提供了参考；吴俊杰[4]等对不同喷头口径的组合布置进行了整塔分区配水的优化计算，确定了最优的喷头口径组合；张世宏[5]等分析了巢湖电厂 1#塔内部喷溅装置改造后带来的收益及应用推广价值。本文为了量化 XX TP-III 喷头的水力学性能，明确流量特性、喷洒均匀性及喷溅范围与水头压力的关联规律，开展针对性试验研究，为工程应用提供科学依据。

2. 试验装置及测量方法

喷溅装置的模型试验系统装置示意图如图 1 所示，试验平台照片见图 2。喷溅装置系统主要由水泵、各管段、稳压箱、阀门、各配水管、喷头及接水槽组成，喷头喷淋系统的试验流量范围为：5.0~13.0 t/h，配备相应的水泵和电磁流量计[6]。

在喷溅系统中水量监测系统主要包括变频控制器、电磁流量计、各检测仪器等。水量的控制由变频控制器调节。测压系统包括塑料软管、测压排等，以配水管管中心截面为测量基准，在配水管上下及两旁四个位置各布一个小孔，由软管连通接入测压排，测压排显示的水头高度即此处管中心截面的工作水头。

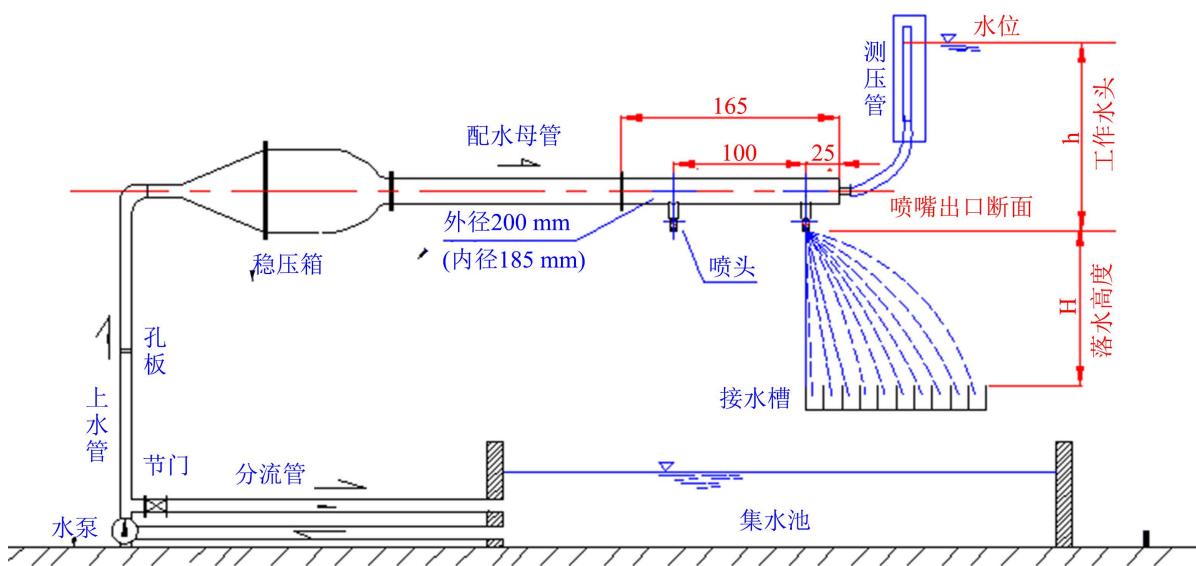


Figure 1. Schematic diagram of the sprayer device
图 1. 喷溅装置示意图



Figure 2. Photo of test platform
图 2. 试验平台照片

3. 试验数据分析

3.1. 喷溅装置的流量系数和流量特征数

喷溅装置的出流是在配水母管上开小孔，测量孔口出流量，其泄流量不随时间改变，流动性质符合短管出流，按短管出流公式计算孔口出流量，即：

$$Q = vA = \mu A\sqrt{2gh} \quad (1)$$

或

$$Q = K\sqrt{h} \quad (2)$$

式中： Q —— 流量($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)； μ —— 流量系数； K —— 流量特征数($\text{m}^{5/2}/\text{h}$)；

A ——喷溅装置出水口断面面积(m^2); h ——喷溅装置出水口处工作水头(m)。

试验测量时,用节门调节到喷嘴工作水头,此时的水位压力读数为除掉管道损失而作用于喷嘴的净压头,待水位稳定后,测量管道流量,通过测量流经喷溅装置的流量和喷嘴出口的压力,反算出喷溅装置的流量系数和流量特征数。

3.2. 喷溅不均匀性计算

评价喷溅装置水量分布的均匀性用均布系数来衡量[6]。计算均布系数用下列公式:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i/\bar{q}-1)^2}{n}} \quad (3)$$

式中: σ ——均布系数; \bar{q} —— n 个喷嘴的平均流量, m^3/h ;

q_i ——第 i 喷嘴流量, m^3/h ; n ——喷嘴的总数量, 个。

试验进行的是单个喷头的研究,通常单个喷溅装置的均匀性不能反映冷却塔内实际的喷溅效果。实际上冷却塔运行中各个喷溅装置的水量是相互叠加,相互补充的,假设各喷溅方向上水量分布与被测断面水量分布相同,设置 25 个喷溅装置、各装置相距 1.0 m 时,通过计算程序可算出在中间 1.0 m^2 的面积上水量分布的均方差值。

计算采用网格法:将 1.0 m^2 分成 400 个小网格(0.05 m × 0.05 m),分别计算出每个小网格的水量,再用公式(3)计算各工况下的均布系数值。计算得到的均布系数越小,表示该喷溅装置的水量分布的均匀性越好。

4. 试验研究结果

4.1. 试验工况

本项研究喷溅装置型号为 XX TP-III型,喷淋高度为 1.0 m,喷咀口径为 28 mm,具体试验工况见表 1。

Table 1. Test conditions

表 1. 试验工况

喷咀口径(mm)	喷淋高度(m)	工作水头(m)				
		1	2	3	4	5
28	1.0	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4

4.2. 试验数据分析

4.2.1. 流量系数分析

试验中实测不同喷嘴工作水头下的喷嘴流量值见表 2,根据实测试验数据计算出流量系数及流量特征数见表 2。该试验条件下,喷嘴的流量系数为 0.91,流量特征数为 8.867。

Table 2. The measured flow and pressure data

表 2. 实测流量与工作水头数据

工作水头(m)	流量(m^3/h)	流量系数	流量特征数
0.6	6.830	0.906	8.832

续表

0.8	7.880	0.904	8.805
1.0	8.720	0.898	8.751
1.2	9.860	0.925	9.008
1.4	10.570	0.917	8.940
平均值		0.910	8.867

根据表 2 的实测数据拟合出流量与工作水头的计算关系式, 见下式(4):

$$Q = 3602 \times d^2 \times \sqrt{g \times h} \quad (4)$$

式中: Q —— 喷溅装置流量, m^3/h ;

d —— 喷溅装置出口直径, m ;

g —— 重力加速度(取值为 9.81);

h —— 喷溅装置工作水头, m 。

4.2.2. 喷溅均匀系数分析

试验中调试水量时, 发现喷嘴下方没有水流流下, 水流沿着溅水盘边缘溅散出去, 因此在布置接水槽时, 第一个接水槽边缘距离喷头中心的距离是 0.4 m, 接水槽在径向的距离为 2.4 m。每个小接水槽的尺寸为 $0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高), 不同水压下, 各接水槽的水量分布见图 3, 根据接水槽的接水量, 利用 3.2 节介绍的方法计算该喷头的均布系数, 计算结果见表 3, 计算结果可以看出, 随着水头压力的增大, 均布系数越小, 喷洒的均匀性越好。

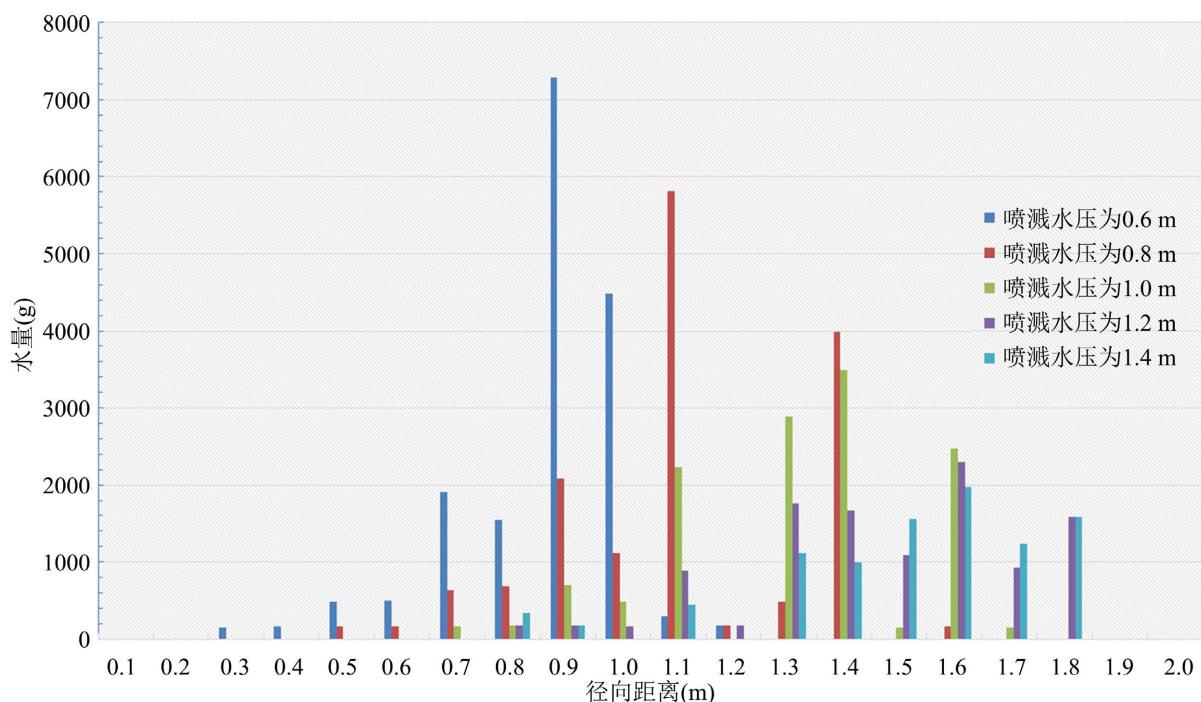


Figure 3. Under different pressure, the radial distribution of water

图 3. 不同工作水头下, 径向水量分布图

Table 3. Homogeneous coefficient of spraying distribution
表 3. 喷溅装置的均布系数

工作水头(m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
均布系数	0.216	0.074	0.072	0.025	0.027

4.2.3. 喷洒半径分布

为了测取喷头的喷洒半径分布情况，在不同工作水头条件下，试验中测量了水滴喷溅高度位置及落地位置，如图 4 所示，工作水头越大，喷溅半径就更大。

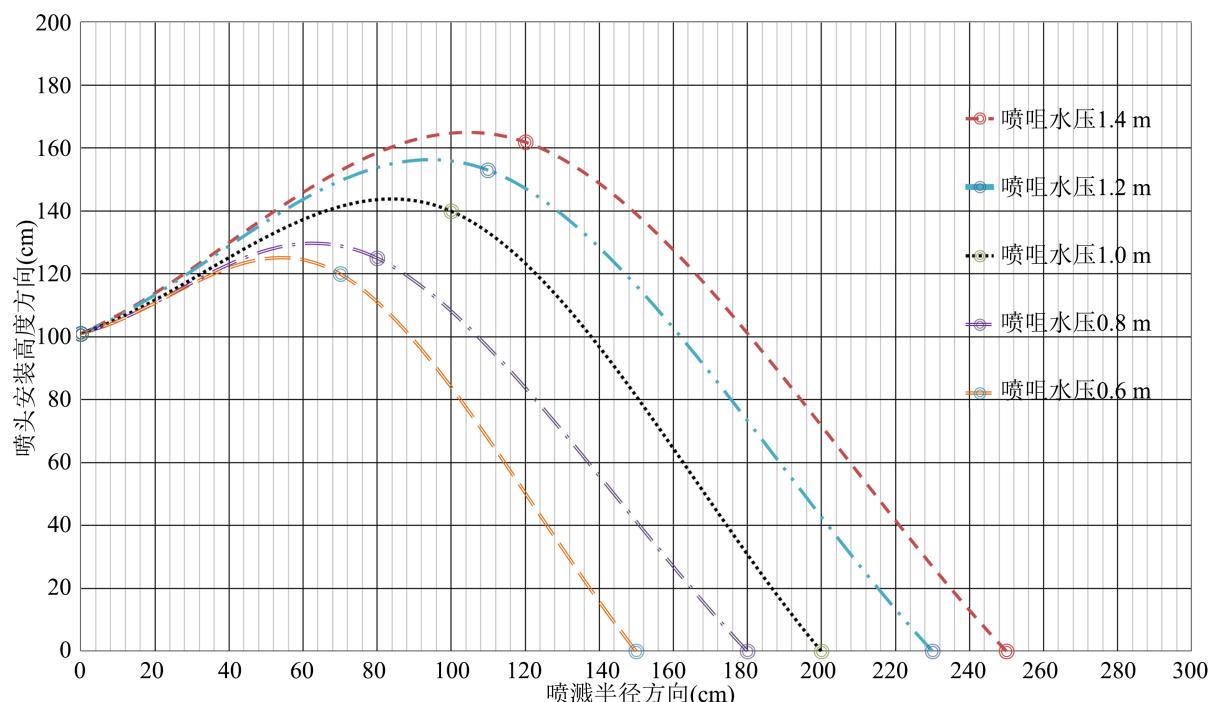


Figure 4. Schematic diagram of spraying radius under different pressure
图 4. 不同喷咀水压条件下，喷溅半径图

5. 结论

通过对 XX TP-III型喷溅装置的试验研究，XX TP-III型喷溅装置在工作水位为 0.6 m~1.4 m 时的流量系数为 0.91；随着工作水头的增大，均布系数值变小，表明其喷洒的均匀性越好；喷溅半径随着工作水头的增大而增大。本文的研究给出的是单个喷头在工作水头为 0.6 m~1.4 m 条件下的流量系数、喷溅半径以及喷头组合布置的均布系数，在冷却塔实际喷头布置中通常采用喷头间距为 1.0 m，喷头空间上为正三角形、正四边形和正六边形的布置形式，通过多个喷头喷溅水流的叠加，消除喷头下方的中空空间，实现冷却塔内部喷溅配水的均匀。具体的喷头空间布置形式，需要根据全塔冷却水量和塔内空气流动来调整，并进行全塔配水配风的优化计算，以确定最优的喷溅装置选型及布置形式。

参考文献

- [1] 赵振国. 冷却塔[M]. 北京：中国水利电力出版社, 2001.
- [2] 陆振锋, 张丽娟. 反射 III 型喷溅装置试验报告[J]. 净水技术, 1986(1): 6-11.

-
- [3] 阎健, 王连声, 姜媛媛, 等. 喷嘴及其布置方式对冷却塔性能的影响[J]. 天津科技大学学报, 2015, 30(2): 60-64.
 - [4] 吴俊杰, 李音龙, 王广涛, 等. 电厂冷却塔配水的水力计算研究[J]. 河南科技, 2025, 52(15): 53-56.
 - [5] 张世宏, 孙立春, 樊岩. 华能巢湖电厂 1#机组冷却塔喷溅装置节能改造[J]. 节能, 2013, 32(10): 74-76.
 - [6] 国电热工研究院. DL/T933-2005 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.