

供暖散热器热工性能实验台建设及实测研究

曹昌盛* 蔡 健 王晓东 高 军

同济大学机械与能源工程学院 上海 201804

【摘要】：散热器是供暖系统中常见的供暖末端装置，其热工性能对于供暖系统设计选型至关重要。依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》，建设散热器热工性能标准化实验平台，提升建环专业本科实验教学条件，加深学生对散热器传热机理和多参数耦合调控的理解。对一钢制柱型散热器的热工性能进行实测研究，对比分析不同标准下散热器标准散热量及回归特征公式的差异，进一步分析散热器低温工况供热能力，并提出相应的选型修正方法。

【关键词】：供暖散热器；散热量；热工性能；低温供热

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.023

引言

散热器是供暖系统中最为常见的一种供暖末端装置，种类多样，包括钢制板型、钢制柱型为代表的辐射型散热器及铜管铝翅片为代表的对流型散热器^[1]。散热器热工性能的准确测定对于供暖系统设计及供暖末端设备选型至关重要，而准确获取散热器热工性能特征公式则依赖于标准化的测试平台^[2-4]。本文将基于 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》^[5]开展散热器热工性能实验平台的建设工作，重点聚焦实验测试过程水流量、温度等多参数的稳定调控及精准测定，充分保障散热器热工性能实验测试结果的准确性，提升我校建环专业本科实验教学条件，加深学生对散热器传热机理和多参数（水流量、进出水温度、小室温度等）耦合调控的理解。

基于搭建好的散热器热工性能标准化实验平台，研究分析不同标准下某钢制柱型散热器标准散热量及回归特征公式的差异。此外，在空气源热泵等低碳节能供热技术大力推广应用趋势下，散热器实际运行工况的进水温度远小于标准工况规定的进水温度^[6-8]，本文将进一步分析散热器在低温工况下的供热能力，并提出低温场景下散热器的选型修正方法。

1 供暖散热器标准化实验平台建设

1.1 硬件系统及装置

依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》，散热器热工性能实验系统如图 1 所示。该系统主要包括安装被测散热器的小室、小室六个壁面外的循环空气夹层、冷却夹层内循环空气的处理装置、实验系统检测及控制装置、供给被测散热器的热媒循环系统及被测散热器样品。小室是

4000mm×4000mm×2800mm（长×宽×高）的六面体房间，材质为不锈钢。小室在测试过程中均应保持气密且小室内壁面不应结露；小室内表面应涂非金属亚光涂料，其发射率不应小于 0.9。本实验平台建设过程中，小室采用循环空气冷却，小室围护结构、小室内空气测点布置、夹层及外舱围护结构设置均符合 GB/T13754-2017 的规定要求。小室中心轴线上距地 0.75m 高度的温度测点为小室基准点空气温度，控制要求为 $18.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 。被测散热器的热媒循环系统由高位溢流水箱、水温粗调加热控制装置、水温精调加热控制装置、被测散热器、进出水温测量装置（Pt100 铂电阻、标准水银温度计）、流量调节装置、流量测量装置（电磁流量计、称重天平等）、低位水箱、循环水泵、溢流管、玻璃视镜等组成。高位溢流水箱置于实验室屋顶，为散热器提供恒压水头。散热器实验平台的部分实物装置见图 2。

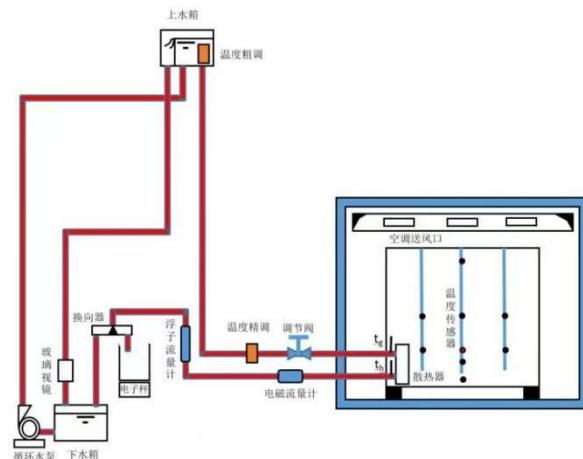


图 1 散热器热工性能实验系统

作者简介：曹昌盛（1988-），男，工学博士，高级工程师，上海市嘉定区曹安公路 4800 号，邮编 201804。



图2 散热器热工性能实验装置

1.2 控制系统及装置

1.2.1 温度参数调控

(1) 热水循环系统温度调控

依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》的规定要求，散热器热水循环系统需保证散热器的进水温度、出水温度波动控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，对控制系统控制精度提出了较严格的要求。本实验平台的热水循环系统采用了高位溢流水箱基础温度粗调控制与散热器进水温度精调控制相结合的方案。在高位溢流水箱内，采用了3组3kW恒定功率加热+1组3kW的PID无级调节功率加热模式，实现了热水循环系统基础水温 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 粗调节。在待测散热器进口处安装了PID控制的管道式微型电加热器，其满量程加热功率为0.3kW；通过散热器进口处前置的管道式微型电加热器进行精细化地无级加热功率调节，实现了散热器进水温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 精调节。本实验平台的进水温度控制范围可达40-90°C，精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 闭式小室温度调控

依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》的规定要求，闭式小室基准点温度波动应控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，小室6个内表面中心点温度波动应控制在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。本实验平台采用了夹层循环空气冷却系统来抵消小室内散热器的散热量，进而维持小室基准点温度18°C的标准规定要求；循环冷却空气风量为8000m³/h，夹层内空气平均流速可达0.25m/s，满足标准0.1m/s~0.5m/s的规定要求，保证小室6个壁面均匀冷却，实现了小室内表面中心温度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、基准点温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的精度控制要求。

1.2.2 流量参数调控

依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》的规定要求，热水循环系统的水流量波动应控制在 $\pm 1\%$ 。本实验平台采用溢流水箱保证上水箱恒定水位高度，为散热器提供恒压水头；辅以高灵敏度和高稳定性的微量调节电动针阀（控制信号为4~20mA）进行热水循环系统的流量调控，水流量波动满足了标准的规定要求。鉴于水流量与进水温度、出水温度、

小室温度等多个温度参数的耦合关系，水流量的稳定调控对散热器进水温度、出水温度和小室基准点温度的稳定调控起到了重要的支撑作用。

1.3 数据采集系统及装置

GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》要求通过自控系统对相关参数进行实时监测，当在至少60min内得到的所有读数（至少12组）与平均值的最大偏差小于规定值时，可以认为达到稳态条件，方可进行相关参数测试及记录。散热器热工性能实验测试参数主要包括空气温度、小室内表面温度、进出口水温、水流量等，对应测点位置、测量误差要求及本实验平台所用测试仪器见表1。基准点空气温度及进出口水温采用Pt1000铂电阻和二等标准水银温度计同时进行测量，Pt1000铂电阻监测对应测点温度并实时反馈到数据采集系统，二等标准水银温度计用于校核Pt1000铂电阻；其他相关温度测点亦可实时反馈到数据采集系统。水流量采用电磁流量计测量，并实时反馈到数据采集系统，每组实验前采用称重法对电磁流量计进行校核。相关实验仪器定期进行标定校核，保障实验测试准确性。散热器热工性能实验数据采集系统界面如图3所示。

表1 供暖散热器热工性能测试参数及相关要求

测试参数	测点位置	测点数	扩展不确定度/测量误差/准确度等级要求	所用测试仪器
空气温度1	基准点（距地0.75m）	1	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	Pt1000铂电阻、二等标准水银温度计
空气温度2	垂直中心线	4	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	Pt100铂电阻
小室内表面温度	六个内表面中心点	6	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	Pt100铂电阻
夹层空气温度	夹层4周空间	4	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Pt100铂电阻
进出水温	散热器进口与出口	2	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	Pt1000铂电阻、二等标准水银温度计
水流量	热水系统供水立管	1	≤ 0.5 级(流量计) $\leq 2\text{g}/10\text{kg}$ (称重法)	电磁流量计、高精度天平、秒表



图3 散热器热工性能实验数据采集系统界面

2 供暖散热器新旧标准实测对比及低温供热选型分析

2.1 新旧国标实测对比分析

散热量是衡量散热器热工性能的重要指标，也是散热器选型的重要依据。依据标准 GB/T 13754-2008《采暖散热器散热量测定方法》^[9]和 GB/T 13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》，本文对一钢制柱型散热器的散热量进行测定，分析新旧标准下标准水流量、标准散热量及回归特征公式之间的差异。根据上述两个标准要求，散热器特征公式测试实验需至少在3个规定的过余温度工况下进行，包括1个标准测试工况和2个规定测试工况；且应在标准测试工况确定出标准水流量，并将其作为余下2个规定测试工况的基准水流量。两个标准的具体测试工况要求见表2。由于两个标准对于标准工况和标准过余温度规定的差异，2008标准规定的标准过余温度更高，相应地，其标准散热量越大，则在相同进回水温差条件下，其对应的标准水流量就越大。在实测过程中，2008标准和2017标准的标准水流量分别为0.0329kg/s、0.0217kg/s。

表2 两个标准的测试工况参数要求

工况	实验参数	GB/T 13754-2008	GB/T 13754-2017
标准测试工况	进水温度℃	88.75	68.75
	出水温度℃	76.25	56.25
	小室温度℃	18.0	18.0
	过余温度℃	64.5±1.0	44.5±1.0
	标准水流量 kg/s	由进出水温差调试确定	由进出水温差调试确定
规定测试工况1	过余温度℃	47.0±3.0	60.0±2.5
	小室温度℃	18.0	18.0
	水流量 kg/s	同标准水流量	同标准水流量
规定测试工况2	过余温度℃	32.0±3.0	30.0±2.5
	小室温度℃	18.0	18.0
	水流量 kg/s	同标准水流量	同标准水流量

图4给出了钢制柱型散热器在两个标准下散热量随过余温度变化的实测结果及其回归特征公式。根据GB/T 13754-2008标准规定，将标准过余温度64.5℃代入其特征公式，计算出散热器的标准散热量为1689.7W；根据GB/T 13754-2017标准规定，将标准过余温度44.5℃代入其特征公式，计算出散热器的标准散热量为1120.0W。可见，由于标准过余温度的差异，该钢制柱型散热器在新旧标准下的标准散热量存在较大差异，2017标准的标准散热量仅为2008标准的66.3%。但从图2中的两条拟合曲线可以看出，两个标准测试下的散热量-过余温度拟合曲线具有很好的一致性，两条曲线回归特征公式在相同过余温度（20℃~65℃范围）下的散热量预测值偏差<5%。从传热学角度分析，散热器向室内环境的

散热量主要由传热温差（即过余温度）和传热热阻（散热器内表面换热热阻、管壁导热热阻和外表面换热热阻）决定，而外表面换热热阻在传热热阻中占据主导地位，其与过余温度有关，水流量对于内表面换热热阻的影响在这个传热过程中可忽略。因此，钢制柱型散热器的散热量主要与过余温度有关，与水流量的关系不大。

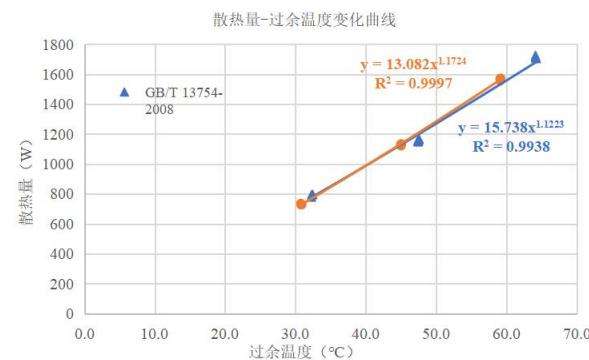


图4 两个标准下钢制柱型散热器散热量-过余温度实测结果及回归特征公式

2.2 低温工况散热量预测验证

在实际供暖系统中，空气源热泵、太阳能等低温热源的供水温度往往低于上述两个标准工况的进水温度，大致在50℃左右。因此，有必要对散热器回归特征公式在低温工况下的散热量预测值进行实测验证。本文参照2017标准工况的水流量，分别在50℃、45℃进水温度工况下进行了钢制柱型散热器的散热量测试，测试结果见表3。将表3中两个低温测试工况的过余温度代入2017标准回归特征公式，计算出散热量预测值分别为656.1W、541.7W，与实测结果的偏差分别为0.6%、1.4%。实测结果表明，散热器回归特征公式能够准确预测低温工况散热量，可减少大量低温工况测试造成的实验时间和资源浪费。

表3 钢制柱型散热器低温工况散热量实测结果

进水温度℃	出水温度℃	小室温度℃	水流量kg/s	过余温度℃	散热量W
50.0	42.8	18.2	0.0217	28.2	651.9
45.0	39.1	18.1	0.0217	24.0	534.2

2.3 低温工况散热器供热能力分析及选型修正

基于散热器特征公式预测可靠性验证，进一步利用散热器特征公式研究散热器低温工况的供热能力，为散热器选型和供

暖效果保障提供支撑。为了量化低温工况下的散热器供热能力, 定义散热器低温散热量折减系数 Φ , 计算公式如下:

$$\Phi = (Q_{44.5} - Q) / Q_{44.5} \quad (1)$$

式中: Q 为低温工况某过余温度下的散热量, W ; $Q_{44.5}$ 为 2017 标准工况下(过余温度 44.5°C)的标准散热量, W 。图 5 给出了该钢制柱型散热器低温散热量折减系数与过余温度的变化关系。可以发现, 散热量折减系数与过余温度呈良好线性关系: 过余温度 40°C 下的散热量折减系数为 0.117, 而过余温度 20°C、15°C 下则分别高达 0.608、0.721, 散热量衰减显著。

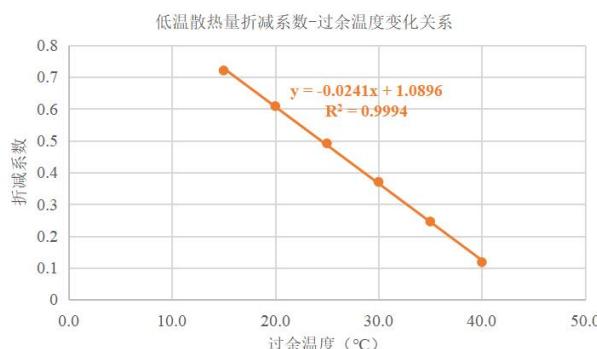


图 5 钢制柱型散热器低温散热量折减系数-过余温度变化关系

在低温工况下, 散热器散热量随过余温度发生明显衰减, 需通过增加散热器面积来保障室内供暖效果。在低温散热量折减系数基础上, 引入了散热器低温工况片数修正系数 k , 其计

算公式如下:

$$k = 1/(1-\Phi) \quad (2)$$

在散热器选型过程中, 可依据散热器标准工况下的标准散热量, 同时考虑散热器连接方式、安装形式、组装片数等影响, 参照 GB50736-2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》、《供热工程》教材初步计算确定散热器片数; 然后再考虑过余温度偏差的影响, 乘以散热器低温工况片数修正系数 k , 确定实际低温设计工况下的散热器片数。

3 结论

依据 GB/T13754-2017《供暖散热器散热量测定方法》, 完成了散热器热工性能标准化实验平台建设工作, 提升了建环专业本科实验教学条件, 加深了学生对散热器传热机理和多参数耦合调控的理解。实测研究了一钢制柱型散热器的热工性能, 发现在两个标准下因过余温度差异导致标准散热量存在较大差异, 但两个标准测试下的散热量-过余温度拟合曲线一致性好, 在相同过余温度(20°C~65°C范围)下的散热量预测值偏差<5%。研究分析了散热器低温工况供热能力, 并提出了相应的选型修正方法。

参考文献:

- [1] 冯爱荣,李忠,路宾,等.新型采暖散热器连接方式对散热量影响的研究[J].建筑科学,2015,31(6):138-144.
- [2] 周子毅.供暖散热器热工性能实验台仿真与控制系统优化研究[D].青岛:青岛理工大学,2025.
- [3] 丁海涛,刘彦佐,刘建鹏.钢制板式散热器热工性能测试分析[J].建筑热能通风空调,2021,40(2):67-70.
- [4] 李绪泉,杨琦,黄祯,等.双排钢柱型椭圆管散热器散热量拟合公式研究[J].建筑热能通风空调,2020,39(10):43-45.
- [5] GB/T 13754-2017 供暖散热器散热量测定方法[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2017.
- [6] 周扬,王海超,吴小舟.低温供暖及低温散热器研究综述[J].煤气与热力,2024,44(9):25-30.
- [7] 刘宗江.基于 TCM 模型的散热器传热优化与低温运行特性研究[D].济南:山东建筑大学,2024.
- [8] 杨茜,李德英,王梦圆,等.张家口应用热泵与散热器系统的可行性分析[J].建筑热能通风空调,2016,35(9):78-80.
- [9] GB/T 13754-2008 采暖散热器散热量测定方法[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2017.