

引用格式: 马劲瑾, 白岩, 邵佳佳, 等. 洗衣机性能分析: 标准测试程序与用户模式的比较[J]. 标准科学, 2026 (4): 156-163.
MA Shaojin, BAI Yan, SHAO Jiajia, et al. Performance Analysis of Washing Machines: A Comparison Between Standard Test Procedures and User Modes in China[J]. Standard Science, 2026(4): 156-163.

洗衣机性能分析: 标准测试程序与用户模式的比较

马劲瑾^{1,2} 白岩^{1,2} 邵佳佳^{1,2} 白雪^{1,2*}

[1.中国标准化研究院; 2.国家市场监督管理总局重点实验室(能效水效及绿色化)]

摘要: 【目的】本研究面向洗衣机标准性能测试程序的合理设计, 探讨了不同用户使用模式与标准测试程序在洗衣机洗净得分、耗电量和用水量方面的性能差异。【方法】对3台洗衣机在不同洗涤模式下进行了性能测试。【结果】标准测试程序比快洗和轻柔洗模式具有更高的洗净得分、耗电量和用水量。此外, 半载下的洗净得分整体上高于满载, 而用水量和耗电量差异则因型号不同而呈现不同的规律。洗涤时间与洗净得分、耗电量之间具有较强的正相关性, 而与用水量几乎不相关。【结论】本研究的结果有助于直观理解洗衣机在不同使用条件下的性能表现, 为进一步优化标准对洗衣机性能测试的洗涤时长规定指明方向。

关键词: 洗衣机; 标准测试; 性能; 程序

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2026.04.017

Performance Analysis of Washing Machines: A Comparison Between Standard Test Procedures and User Modes in China

MA Shaojin^{1,2} BAI Yan^{1,2} SHAO Jiajia^{1,2} BAI Xue^{1,2*}

(1.China National Institute of Standardization; 2.Key Laboratory of Energy Efficiency, Water Efficiency and Greenization for State Market Regulation)

Abstract: [Objective] This study aims to design a reasonable standard performance testing program for washing machines, and explore the performance differences between different user usage modes and standard testing programs in terms of washing machine washing scores, power consumption, and water consumption. [Method] Performance tests were conducted on three washing machines under different washing modes. [Result] The standard test program has higher wash scores, power consumption, and water usage than the fast wash and gentle wash modes. In addition, the overall cleaning score under half load is higher than that under full load, while the differences in water consumption and power consumption show different patterns depending on the model. There is a strong positive correlation between washing time, washing score, and power consumption, but almost no correlation with water consumption. [Conclusion] The results of this study contribute to a visual understanding of the performance of washing machines under different usage conditions, and provide guidance for further optimizing the standard for the washing time requirements of washing machine performance testing.

Keywords: washing machine; standard test; performance; program

基金项目: 本文受中国标准化研究院基本科研业务费项目“电动洗衣机能效水效测试方法优化及标准样品研究”(项目编号: 542024Y-11384)资助。

作者简介: 马劲瑾, 博士, 博士后, 研究方向为终端用水器具标准化。
白雪, 通信作者, 博士, 研究员, 研究方向为节能节水标准化。

0 引言

洗衣机作为常见的家用电器,有效节省了洗涤衣物所需的时间和精力。不同类型的洗衣机,如波轮式、滚筒式和搅拌式,其洗涤性能也各不相同^[1-2]。为帮助消费者进行选择并便于市场监管,每台洗衣机在上市前都必须进行性能测试。GB/T 4288—2018《家用和类似用途电动洗衣机》中规定的电动洗衣机测试方法与国际电工委员会(IEC)标准相似。根据IEC标准(IEC 60456),洗衣机的性能包括洗净得分、含水率、漂洗性能、耗电量、用水量、程序运行时间等。洗涤性能测试是在特定条件下,使用标准纺织试验材料和洗涤剂对洗衣机进行运行测试。洗衣机能效标准和标识系统有助于消费者了解产品的基本信息,从而促进社会节能减排^[3-4]。

用户在使用洗衣机时的洗涤习惯差异很大^[5]。世界不同地区家庭洗衣的耗水量和耗电量存在显著差异^[6-7]。已有研究表明,洗衣机耗电量、用水量和洗净得分主要受用户的经济意识、水的pH值、洗涤温度等因素影响^[8-12]。一项调查结果显示,洗涤模式、洗涤温度及衣物与水的比例等用户选择对电动洗衣机的耗电量和用水量有显著影响^[13]。然而,目前还没有针对不同洗涤模式下洗衣机耗电量、用水量及洗净得分的研究。

洗衣机的性能测试标准程序通常是一个隐藏程序。该程序的进入通常需要组合按键,而非在面板上直接显示的。该标准程序能否如实反映用户的实际使用需求和习惯,对消费者至关重要,因为他们在购买洗衣机产品时,只能通过依据该标准测试程序得到的能效标识上的数据来评估产品性能。如果标准测试程序下的性能测试结果是依靠与用户常用洗涤模式相背离的方式实现的,不仅会误导消费者的选择,也会影响到洗衣机品牌的可信度和市场声誉。因此,深入探究标准测试程序与最常用洗涤程序在洗净得分、耗电量等方面的差异是必要的。

由于运行时间或洗涤方法的不同,洗衣机的洗涤程序可能会影响其洗净得分、耗电量和用水

量。本研究选取了2种常用的洗涤程序和3台洗衣机的标准测试程序进行性能测试;在标准条件下测量每台洗衣机的洗净得分、耗电量和耗水量,并记录每个洗涤周期的洗涤时间;基于收集到的数据,对洗涤时间和各种性能参数之间的相关性进行分析,旨在探索洗涤时间与各种性能参数的关系。

1 材料与方法

1.1 测试用洗衣机

本研究选取了某知名品牌的3台洗衣机进行测试,分别定义为WM1、WM2及WM3。这3台洗衣机均为带有加热功能的滚筒式(水平轴)洗衣机。WM1是一台变频洗衣机,而WM2和WM3的额定功率为50 Hz。3台洗衣机的负载容量均为10 kg。洗衣机性能测试方法参照适用于GB/T 4288—2018《家用和类似用途电动洗衣机》。本研究中,快洗被定义为一种省时模式,所需时间少于20 min。轻柔洗是指为需要温和洗涤衣物设计的洗涤程序。上述2种模式在每台洗衣机控制面板上使用的术语可能略有不同。

1.2 洗衣机性能测试

3台洗衣机的性能测试按照GB/T 4288—2018进行。测试所需的设备与材料包括待测洗衣机、用于对比的标准参比洗衣机、由符合标准要求的特定棉织物组成的标准负载,以及标准粉状洗涤剂IEC-P或羊毛洗涤剂IEC-W。

负载布由GB/T 4288—2018中规定的标准洗涤织物(床单、衬衫、餐巾和手帕)组成。床单呈水平“Z”字形放置,与洗衣机轴线垂直。2件衬衫在同一平面上交替朝相反方向铺放。毛巾和手帕从后向前平行于滚筒轴线摆放。当使用多个物品时,应交替方向放置。负载布的老化处理按照标准进行管理,有效使用时间在4小时至180小时之间,混合负载的比例为1/3新负载(4~60小时)、1/3中等负载(61~120小时)和1/3旧负载(121~180小时)。测试在受控条件下进行:环境温度为 (23 ± 2) ℃,相对湿度为 $65\%\pm 5\%$,电源为单相交流电,电压和频率波

动在额定值的 $\pm 1\%$ 以内。测试用水的硬度为 0.542 mmol/L。

测试流程始于待测洗衣机与参比机的准备工作,包括清洁和预运行。随后,将负载布装入2台机器,并根据标准要求加入精确称量的洗涤剂。测试过程中,待测洗衣机运行选定的程序,而参比机则运行相应的标准参比程序。2台机器同时启动,不使用任何延时功能。测量从程序开始直至结束,其间连续记录总用水量和耗电量。洗涤测试分别在满载和半载条件下平行进行3次,取3次测试结果的平均值作为最终检测结果。

1.2.1 洗净性能测试

洗衣机的洗净得分通过测量污布的反射率来评估,测量使用白度计(PN-48B, PNSHAR)进行。分别测量污布洗涤前和洗涤后的反射率。每种污渍类型取4个读数平均值作为最终反射率。每块污布样本沿中线跨越正反两面划分为4个测量区段。洗衣机的洗净得分通过其去污率来量化,计算公式如式(1)所示:

$$D = \frac{R_w - R_s}{R_o - R_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中: D 为去污率(%), R_w 和 R_s 分别为污布洗涤前和洗涤后的反射率, R_o 为原布(未污染)的反射率。洗净得分 C 的计算公式为:

$$C = \frac{D_t}{D_r} \quad (2)$$

式中: D_t 和 D_r 分别为待测洗衣机和参比洗衣机的去污率(%)。

1.2.2 耗电量与用水量测试

一个完整标准洗涤周期的总耗电量使用电能表直接测量,其分辨率 $\leq 0.1 \text{ W} \cdot \text{h}$,不确定度 $\leq 1\%$ 。一个完整标准洗涤周期的总用水量使用液体流量计直接测量,其分辨率为 0.01 L。

单位功效耗电量是指洗衣机在一个工作周期内的耗电量与其额定容量的比值,而单位功效用水量是指洗衣机在一个工作周期内的用水量与其额定容

量的比值。单位功效耗电量 $E_e[\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{cycle} \cdot \text{kg})]$ 和单位功效用水量 $W_e[\text{L}/(\text{cycle} \cdot \text{kg})]$ 的计算公式为:

$$E_e = I_e g \frac{(E_1 + 2E_2)}{2m} \quad (3)$$

$$W_e = I_w g \frac{(W_1 + 2W_2)}{2m} \quad (4)$$

式中: I_e 为能效补偿系数,对于波轮式洗衣机, I_e 取0.85, I_w 取 0.7; E_1 和 E_2 分别表示满载和半载容量下的耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{cycle}$; W_1 和 W_2 分别表示满载和半载容量下的用水量, L/cycle ; m 为额定洗涤容量,kg。

1.3 洗涤时间与洗净性能相关性分析

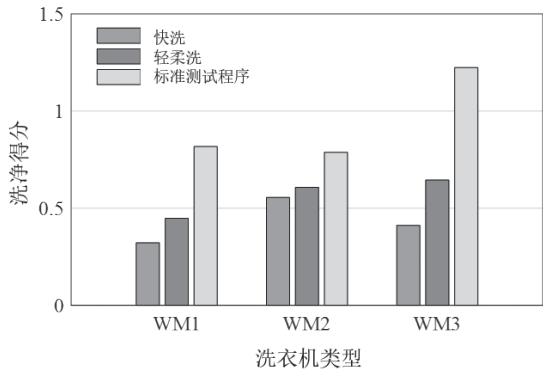
不同的洗涤模式具有不同的洗涤时长。为探究洗涤时间与洗涤性能之间的关系,记录每个周期的洗涤时间,并取其平均值作为每台洗衣机的最终洗涤时间。洗涤时间与洗衣机性能参数之间的相关性分析及所有的数据分析均使用Matlab 2024a (Mathworks, Inc., USA)完成。

2 结果与讨论

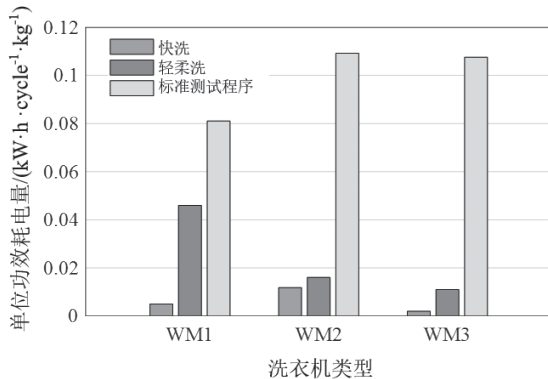
2.1 洗涤程序对洗衣机性能测试结果的影响

图1显示了不同洗衣机在不同洗涤模式下的洗净得分、耗电量和用水量。从洗净得分来看,3台洗衣机均呈现出从快洗到轻柔洗再到标准测试程序依次升高的现象。对于WM1和WM3,标准测试程序下的洗净得分是快洗下的2倍。从图1(b)中可以看出,标准测试程序的单位功效耗电量显著高于快洗和轻柔洗下的耗电量。这与Kimmel等^[14]的研究类似。该项研究使用了与本研究不同的负载,但是也表明40℃棉麻程序(相当于标准测试程序)的耗电量是20℃羊毛程序(本研究归类为轻柔洗)的75倍。从图1(c)可以看出,对于3台洗衣机而言,快洗模式下的单位功效用水量最少。此外,快洗模式与标准测试程序之间的用水量差异较耗电量差异更小。WM1和WM3在快洗、轻柔洗和标准测试程序上的单位功效用水量呈现递进趋势,而WM2则在轻柔

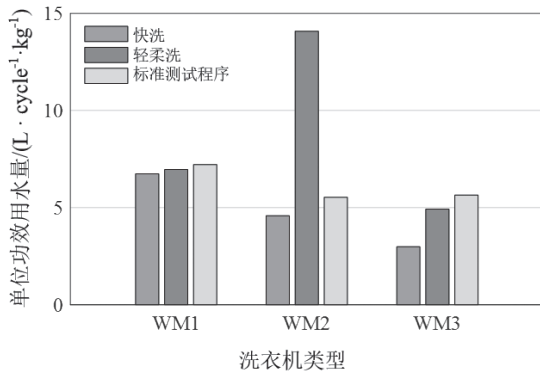
洗模式下要耗费更多的水,这可能是因为,WM2在程序设计时增加了进水或浸泡次数,以起到保护羊毛类衣物的作用,也可能是因为其标准测试程序利用延长洗涤过程中的浸泡时间,在节水的前提下提高洗净性能。



(a) 洗净得分



(b) 耗电量



(c) 用水量

图1 不同洗衣机在不同洗涤模式下的性能表现

为进一步探究洗涤测试时的装载质量对洗衣机性能测试结果的影响,本文对比了3台洗衣机在

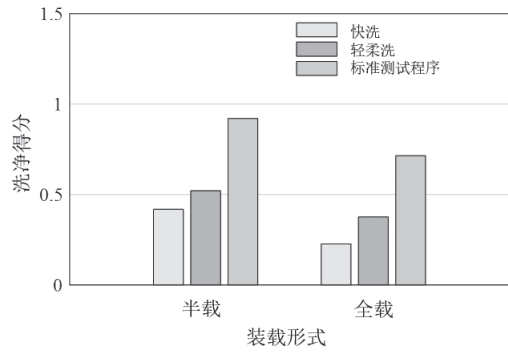
半载和满载条件下的洗净得分、耗电量和用水量测试结果,如图2所示。对于WM1而言,半载条件下的洗净得分整体上比全载条件下的洗净得分要更高一些。如图2(b)所示,快洗模式下的半载和全载耗电量结果接近,轻柔洗程序下的半载和全载的耗电量也接近。半载条件下的用水量和满载条件下的用水量相差不大。WM2表现出与WM1相似的趋势。在标准测试程序下,3台洗衣机半载与满载的用水量差异范围为7.34~19.99 L。值得注意的是,WM3的耗电量随装载质量的变化趋势与WM1和WM2不同。在标准测试程序下,WM3全载的耗电量反而要低于半载时的耗电量。这说明,洗衣机的耗电量与衣物重量并不一定成正比。耗电量产生的主要原因是加热,该加热过程不受负载重量的影响。相比之下,用水量在全载条件下则普遍呈现出比半载条件下更高的趋势,这可能是因为测试所用的洗衣机均配备水位传感器和质量传感器,这两个传感器会根据检测到负载的质量来调整进水量。其他研究中也观察到与本研究类似的结果^[15-16]。

2.2 洗涤时间与洗净性能的相关性

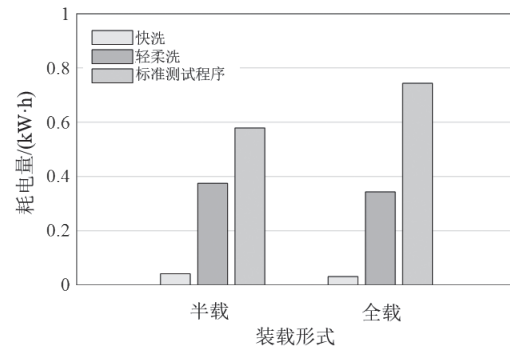
表1显示了3台洗衣机在不同洗涤模式下的洗涤时间。可以看出,对于这3台洗衣机,快洗、轻柔洗到标准测试程序的洗涤时间依次增加,且标准测试程序的洗涤时间远远大于前两者。洗衣机生产厂家为标准测试程序设置如此长洗涤时间的可能原因是希望通过减少洗涤做功、延长浸泡时间,实现在获取高洗净得分的同时具有相当低的耗电量和用水量。也就是说,如果要缩短当前对标准测试程序的洗涤时间,要么牺牲高洗净得分,要么牺牲低的耗电量和用水量。而轻柔洗与标准测试程序之间的时间差异则更大。

表1 3台洗衣机在不同洗涤模式下的洗涤时间

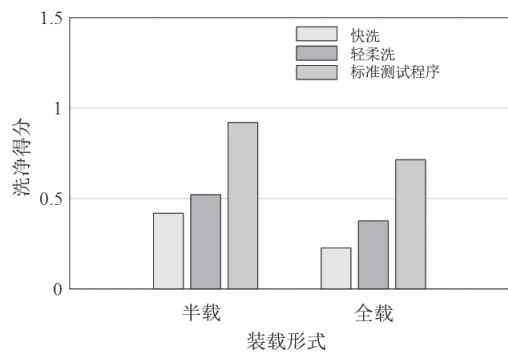
洗涤模式	WM1的洗涤时间/min	WM2的洗涤时间/min	WM3的洗涤时间/min
快洗	15	15	16.5
轻柔洗	45	39	68.5
标准测试程序	97	368	438.5



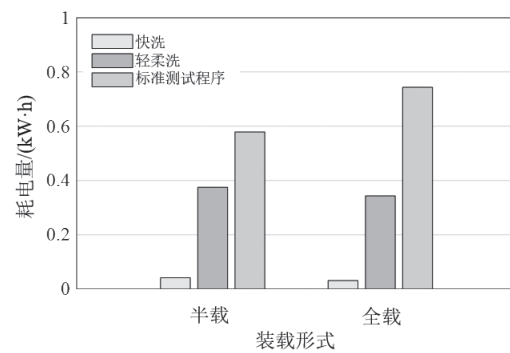
(a) WM1的洗净得分



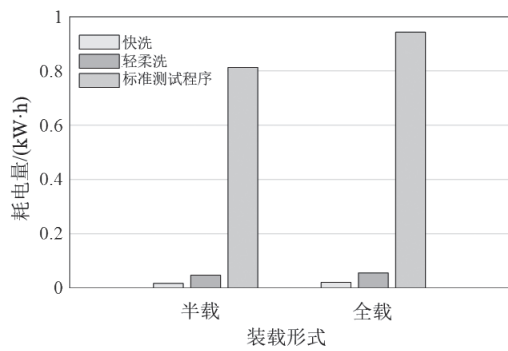
(b) WM1的耗电量



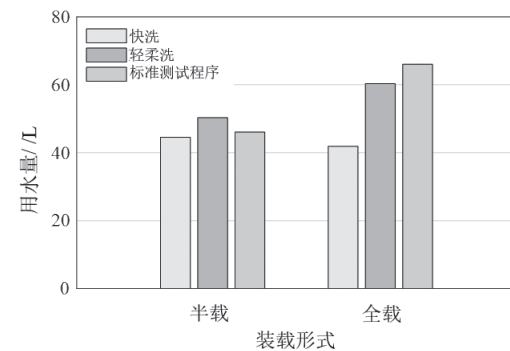
(c) WM1的用水量



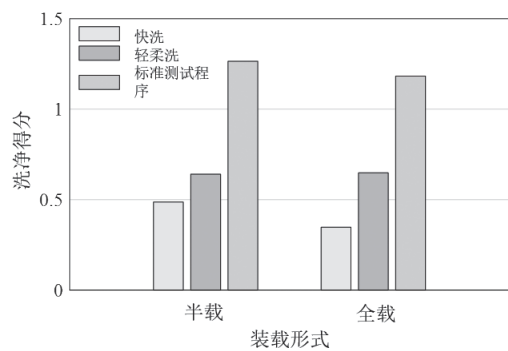
(d) WM2的洗净得分



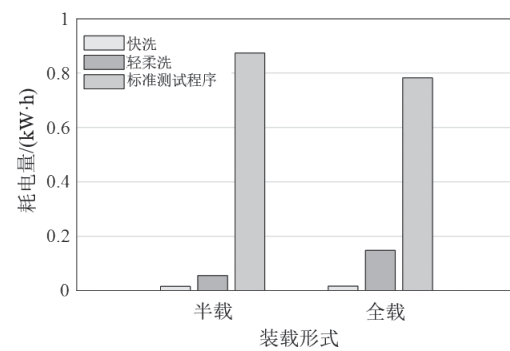
(e) WM2的耗电量



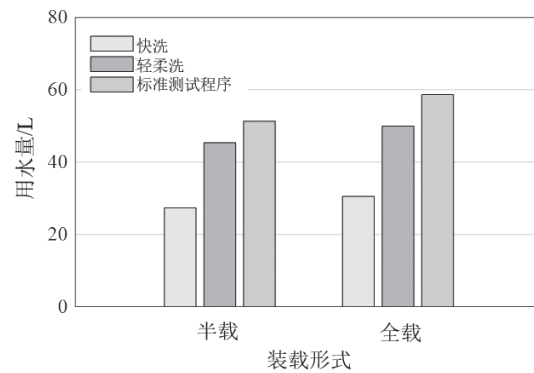
(f) WM2的用水量



(g) WM3的洗净得分



(h) WM3的耗电量



(i) WM3的用水量

图2 WM1、WM2和WM3在半载和满载条件下的性能表现

图3显示了洗涤时间与洗净得分、单位功效耗电量和单位功效用水量之间的相关性。从图3(a)可以看出,洗涤时间与洗净得分表现出强烈且显著的正线性相关,相关系数 r 可以达到0.892,这说明延长洗涤时间确实可以提升洗净得分。从图3(b)可以看出,洗涤时间与耗电量之间的相关性也较高,可以达到0.867,表明洗涤时间的增加非常可能会带来耗电量的增加。相比之下,洗涤时间与用水量之间呈现弱相关关系,如图3(c)所示。

表2展示了洗涤时间与3个关键洗涤性能指标(洗净得分、耗电量和用水量)之间相关性的 t 检验结果,以验证相关系数 r 的统计学显著性。结果显示,洗涤时间与洗净得分和耗电量都呈现显著相关性,这与图3(a)和(b)得到的结果相吻合。然而,洗涤时间与用水量之间的相关性检验没有达到统计学显著水平($t = 0.556, P = 0.5857 > 0.05$),说明洗涤时间并非决定用水量的关键因素。

表2 洗涤时间与洗涤性能相关性的 t 检验结果

因素	t 统计量	P 值
洗净得分	7.912	6.405×10^{-7}
耗电量	6.781	4.412×10^{-6}
用水量	0.556	0.5857

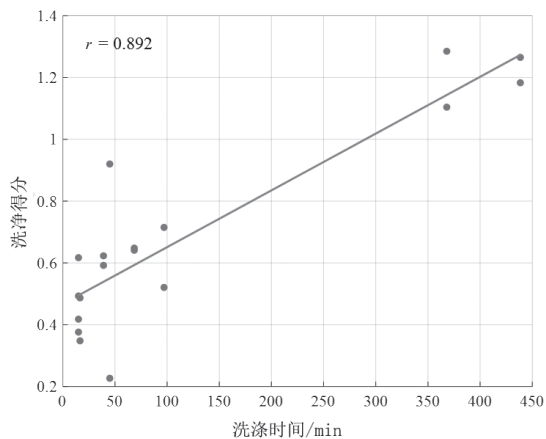
2.3 讨论

从以上结果可以看出,洗衣机标准测试程序与用户实际使用习惯在洗涤时间和装载条件上出

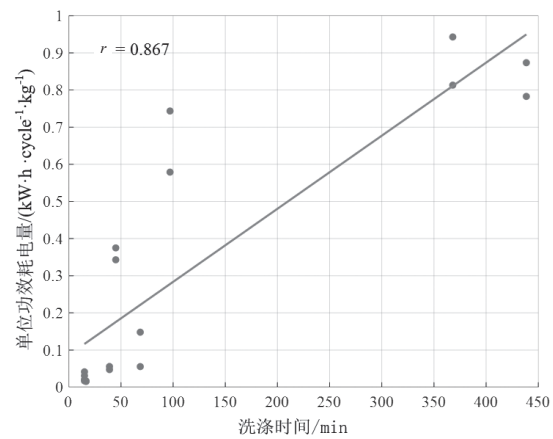
现了明显的脱节。Bao等^[17]的研究表明,在洗涤剂量固定的情况下,主洗时间是影响洗衣机洗净性能的最重要因素。他们发现,洗衣机的去污能力会随着温度或者主洗时间的增加而提高,这与本研究的结论基本一致。对于装载条件而言,用户在家庭洗涤过程中很少使用满载。半载条件下的使用方式更为常见^[18]。Jasiūnas等^[19]发现,最大负载程序下的用水效率始终最高,这与本研究中观察到的满载条件比半载条件具有更高用水量的现象一致。此外,洗涤时间与洗净得分的高度正相关可能促使洗衣机生产厂家通过延长浸泡时间来获取高洗净得分,同时营造出低耗电量和低用水量的假象,使得能效标签对于消费者来讲不再具有参考价值。

3 结语

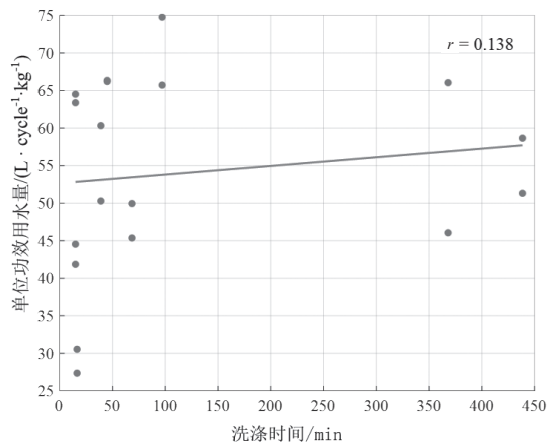
本研究对3台洗衣机在不同洗涤模式下的性能进行了测试,以探索洗涤模式对洗净得分、耗电量和用水量的影响。结果表明,在不同洗涤模式下,洗衣机的洗净得分、耗电量和用水量存在一定的规律性。在标准测试程序下,3台洗衣机的洗净得分明显高于快洗程序下的洗净得分,耗电量和用水量也与洗净得分呈相似趋势。此外,快洗的耗电量和用水量也是最低的。标准测试程序与快洗程序之间的用水量差异较小,耗电量差异较大。在



(a) 洗净得分与洗涤时间的关系



(b) 耗电量与洗涤时间的关系



(c) 用水量与洗涤时间的关系

图3 洗涤时间与洗衣机性能之间的相关性

不同装载质量下,洗衣机性能测试结果也有所不同。此外,洗涤时间与洗净得分和耗电量具有较高的正相关性,但是与用水量之间的相关性不大。本研究直观地反映出不同洗涤模式和装载条件下的洗衣机性能差异,为优化现有测试标准和开发更能满足消费者实际需求的洗涤程序提供了见解。未来的研究可以进一步探索如何在保持洗净得分的同时减少电力和水的消耗,以实现更环保、更高效的洗衣体验。

参考文献

- [1] KATAYAMA M, SUGIHARA R. Which type of washing machine should you choose?[J]. *International Journal of Consumer Studies*, 2011, 35(2): 237-242.
- [2] PARK J, JEONG S, YOO H. Dynamic modeling of a front-loading type washing machine and model reliability investigation[J]. *Machines*, 2021, 9(11): 289.
- [3] DIAWUO F A, PINA A, BAPTISTA P C, et al. Energy efficiency deployment: A pathway to sustainable electrification in Ghana[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 186: 544-557.
- [4] MARTÍNEZ-MONTEJO S A, Sheinbaum-Pardo C. The impact of energy efficiency standards on residential electricity consumption in Mexico[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2016, 32: 50-61.
- [5] MOON D, AMASAWA E, HIRAO M. Consumer motivation and environmental impact of laundry machine-sharing: analysis of surveys in Tokyo and Bangkok[J]. *Sustainability*, 2020, 12(22): 9756.
- [6] KIM J, PARK Y, YUN C, et al. Comparison of environmental and economic impacts caused by the washing machine operation of various regions[J]. *Energy Efficiency*, 2015, 8(5): 905-918.

- [7] PAKULA C, STAMMINGER R. Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide[J]. *Energy Efficiency*, 2010, 3(4): 365–382.
- [8] BERTOCCO M, DE DOMINICIS M, FAVARO I, et al. Impact of limestone incrustation on energy efficiency of washing machine[J]. *Energy Efficiency*, 2020, 13(1): 1–15.
- [9] ÇAKMAKÇI N, CANDAN C, ARSLAN B İ. Effect of water ph on domestic machine washing performance of delicate textiles[J]. *Autex Research Journal*, 2022, 22(2): 225–233.
- [10] GAJDZIK B, JACIOW M, Hoffmann–Burdzińska K, et al. Impact of economic awareness on sustainable energy consumption: results of research in a segment of polish households[J]. *Energies*, 2024, 17(11): 2483.
- [11] GRÖNEWALD L, WEIBLEN J, LASCHKE M, et al. Sustainability by design. How to encourage users to choose energy–saving programs and settings when washing laundry[C]//*Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023: 1–14.
- [12] HONISCH M, STAMMINGER R, BOCKM HL D P. Impact of wash cycle time, temperature and detergent formulation on the hygiene effectiveness of domestic laundering[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2014, 117(6): 1787–1797.
- [13] QIAO L, BAI X, LIANG X, et al. User behavior and energy–saving potential of electric washing machines[J]. *Energy Informatics*, 2024, 7(1): 137.
- [14] KIMMEL T, KUNKEL C, AIT SGHIR M, et al. Potential of ultrasonics for energy saving in the household washing process[J]. *Energy Efficiency*, 2023, 16(5): 33.
- [15] MILANI A, CAMARDA C, SAVOLDI L. A simplified model for the electrical energy consumption of washing machines[J]. *Journal of Building Engineering*, 2015, 2: 69–76.
- [16] STAMMINGER R, BUES A, ALFIERI F, et al. Durability of washing machines under real life conditions: Definition and application of a testing procedure[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 261: 121222.
- [17] BAO W, GONG R H, DING X, et al. Optimizing a laundering program for textiles in a front–loading washing machine and saving energy[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 148: 415–421.
- [18] SCHMITZ A, ALBORZI F, STAMMINGER R. Large washing machines are not used efficiently in Europe[J]. *Tenside Surfactants Detergents*, 2016, 53(3): 227–234.
- [19] JASIŪNAS Ž, JULIÃO T, CECÍLIO J, et al. A soft sensor to assess the energy performance of laundry washing machines[J]. *Applied Energy*, 2025, 383: 125349.