

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.02.007

清扫车工作参数对清扫效率的影响研究*

苏毅烽, 严世榕*

(福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要:针对清扫车清扫效率的影响因素问题,对盘刷转速、清扫车速以及风机风量3个工作参数进行了研究,利用ADAMS建立了盘刷机构运动学模型,模拟了不同盘刷转速和清扫车速下的盘刷运动情况,得到了相应的清扫轨迹,通过对比结果选取了最佳的轨迹,并取其对应的盘刷转速与清扫车速作为后续优化的初始参考值;利用Matlab数据拟合工具分别对3组不同清扫车风机风量下的盘刷转速、清扫车速及清扫效率的试验数据进行了拟合,提出了给定风机风量下清扫效率与另外两者之间的关系式,并应用Matlab中的fmincon函数对其进行了优化。研究表明,在 $8\,235\text{ m}^3/\text{h}$ 的风量下,盘刷转速为 106 r/min ,清扫车速为 6.38 km/h 时,能够在达到理想的清扫效率的同时有效地减少清扫车的噪声和能耗,这可为清扫车工作参数的选择提供参考。

关键词:清扫效率;盘刷转速;清扫车速;Matlab优化

中图分类号:U469;TH6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)02-0160-05

Research of the effects of sweeper's working parameters to the working efficiency

SU Yi-feng, YAN Shi-rong

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Aiming at researching effect factors to the working efficiency of sweeper, working parameters, including brushes' rotating speed, cleaning speed and the air volume of centrifugal fan were discussed, a kinematics model of the brush was founded in ADAMS to simulate the motion trail of brush in the case of different brushes' rotating speed and cleaning speed. Then a set of brushes' rotating speed and cleaning speed which generated the best motion trail was selected to be initial reference for subsequent optimizing. In addition, Matlab fitting tool was applied to figure out the relationship among brushes' rotating speed, cleaning speed and working efficiency by making use of three data sets with variable air volume, and the formula was proposed which was then optimized by fmincon function in Matlab. The results indicate that when the air volume is $8\,235\text{ m}^3/\text{h}$, rotating speed 106 r/min and cleaning speed 6.38 km/h , the best working efficiency can be realized. In this situation, noise and energy consumption of sweeper can be reduced availably. It will provide a reference for determining sweeper's working parameters.

Key words: working efficiency; brushes rotating speed; cleaning speed; Matlab optimization

0 引言

道路清扫车作为城市道路环卫的重要工具,在各大中小城市已得到广泛的应用,但相比于国外,国内的

清扫车技术水平相对较为落后,清扫车产品可靠性低于国外产品,主要存在国产基础件质量不稳定、整车制造工艺专业化程度低、产品检测方面投入较少等问题^[1-2]。此外,国内清扫车缺乏对清扫车工作装置系统

收稿日期:2015-11-02

基金项目:福州市科技计划(2015-G-64)

作者简介:苏毅烽(1991-),男,福建泉州人,主要从事车辆动力学与控制方面的研究. E-mail:875489560@qq.com

通信联系人:严世榕,男,博士,教授. E-mail:mesryan@fzu.edu.cn

的分析,没有一个量化的标准,对工作参数的设置选择的参考指导作用有限。Libardo V. Vanegas 等人^[3]利用盘刷台架进行实验,在不同参数下对不同垃圾进行清扫,得出盘刷侧倾角在 15° ,盘刷转速在 120 r/min ,车速为 2 km/h 时可以保证高清扫效率。Peel G. M^[4]认为提高盘刷的转速盘刷的触地压力会减小,但是盘刷总的消耗功率趋于不变。宋永刚等人^[5]研究指出盘刷与地面的接触点的绝对速度要在 $3\text{ m/s} - 12\text{ m/s}$ 之间,内倾角在 30° 左右,合理选择盘刷的转速和车速对清扫效率的影响至关重要。许礼鸿在文献^[6]中提到,在清扫一般道路时,车速控制在 $5\text{ km/h} - 6\text{ km/h}$ 。考虑到成本问题,清扫细小颗粒时清扫速度也不能过低,以 3 km/h 为宜^[7]。

本研究将在 ADAMS 中建立盘刷模型,仿真分析运动过程,并且在清扫效率试验的基础上,运用 Matlab 拟合出合适的效率表达式,并对其进行优化分析,得到理想的清扫车工作参数,为清扫车的参数设计选择提供参考依据。

1 清扫效率的影响因素

在中国汽车行业标准 QCT29111 - 1993 中,定义清扫效率为扫路车在 QC/T 51 规定的试验条件下所测得的被清除的路面垃圾尘土等污物的质量与作业前路面垃圾尘土等污物的质量之比,以百分率表示^[8]。

清扫时,废弃物与盘刷接触,清扫车速不变,加大盘刷转速,这时刷毛触地点的绝对速度增大,其与清扫速度的夹角也变大,废弃物以更大的能量和速度抛向吸扫区域,并且提高盘刷转速能够降低漏扫概率^[9-10]。但转速过快时,离心力过大会使刷毛向外甩出,与地面的接触面积减小,触地压力减小,影响清扫效率,还有可能造成废弃物被抛到另外一侧,导致漏扫,还会造成扬尘现象,而且刷毛的磨损也会加快^[11]。

盘刷的转速一定时,随着清扫车速的增大,刷毛触地点的绝对速度变大,但其内倾角变小,不利于废弃物落向吸嘴吸扫区域,同时清扫车速增大,单位时间内盘刷在前进的方向上移动的距离增大,由于清扫地面的次数不变,就会导致漏扫现象。但车速太低会导致在单位时间内的清扫面积减少,造成清扫能力不足,所以清扫车速应当在保证达到清扫效率目标的前提下尽可能提高,这样才能在一定的时间内清扫更多的路面^[12]。

风机风量的提高可以更好地将垃圾吸入垃圾箱内,提高清扫效率,但过大的风机风量会加大风机的噪声和功率,因为发动机输出功率的 70% 都用于风机消

耗,而且风机工作的气流噪声也是产生清扫车噪声的主因,因此在能够保证清扫效率的前提下,应该尽量降低风机的风量,因此研究者在清扫车工作参数的设计优化过程中应综合考虑各种因素的影响,找到最佳的参数组合。

2 ADAMS 运动仿真

进行清扫时,盘刷由于自身的旋转和水平直线运动,与路面接触的点形成的轨迹呈现余摆线的形状,盘刷运动轨迹如图 1 所示。

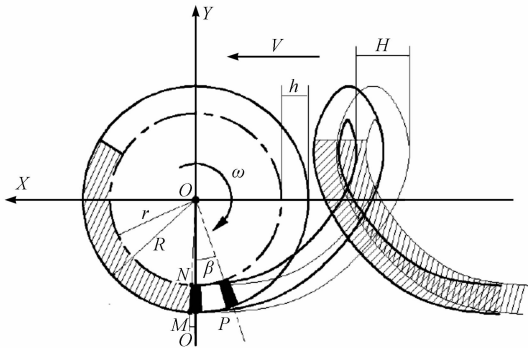


图 1 盘刷运动轨迹

两黑色块表示相邻的刷束与地面接触的部分,在清扫过程中就形成了余摆带阴影部分的轨迹,相邻刷束轨迹会有重叠的部分,这才能保证不发生漏扫的情况,所以要保证相邻刷束的清扫宽度 H 要小于等于两倍的刷束宽度 h ^[13]。

为了探讨盘刷转速和清扫车速的变化对于清扫过程的影响,本研究利用 ADAMS 建立盘刷机构的模型,该模型如图 2 所示。

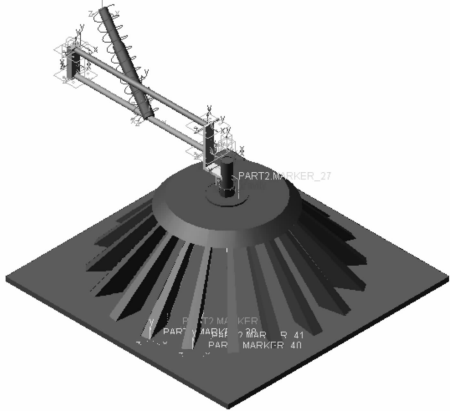


图 2 盘刷机构模型

参考实际情况,本研究设置盘刷半径为 0.45 m ,盘刷刷束的数量为 20,触地压力为 252 N 。添加完必需的约束和驱动后,进行仿真,并标记相邻刷束与地点的接触点,即可得到相邻刷束的运动轨迹。

为了找到可能达到最佳清扫效率的盘刷转速和清扫车速的组合,为后续的优化分析提供初始值,本研究分别设置了盘刷转速 40 r/min、80 r/min、120 r/min 和车速 5 km/h、10 km/h、15 km/h 的 9 种组合,进行 Adams 运动轨迹的仿真,取其中 3 组最具代表性的结果,如图 3 所示。

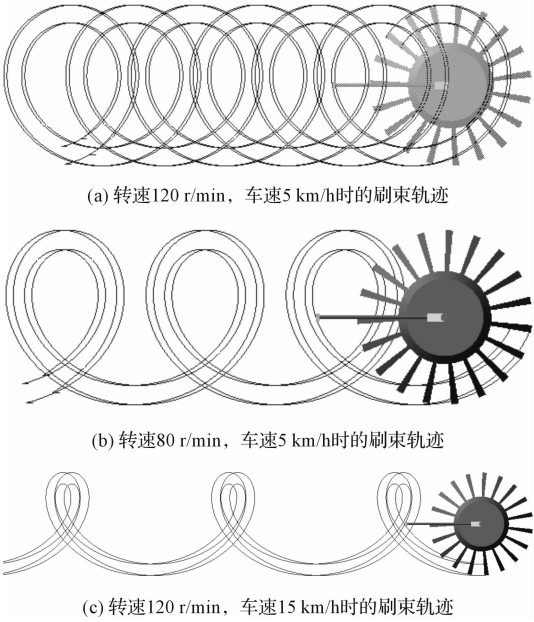


图 3 不同盘刷转速和车速下的运动轨迹

从得到的运动轨迹可以看出,在转速 120 r/min,车速 5 km/h 的情况下,盘刷的相邻刷束的余摆线绕扣横弦宽度最大,余摆带宽度重合的部分最多,这样清扫率最高,但是由于车速较慢,重复清扫的部分较多,会导致单位时间内清扫的面积较少,工作能力不足。在转速 120 r/min,车速 15 km/h 的时候,轨迹的余摆线绕扣接近消失,相邻刷束重合的部分极少,很容易就造成漏扫的现象,这样是不合理的。在盘刷转速 80 r/min,清扫车速 5 km/h 时,相邻刷束的清扫轨迹带之间没有间隙,不会发生漏扫的情况,更符合设计的要求,作为 Matlab 优化分析的初始值比较合理,有利于提高求解效率。

3 清扫效率试验及结果分析

为了能够从实际中了解以上 3 个因素对清扫效率的影响,进行试验是有必要的,但是由于自身的试验条件有限,本研究采用文献[14]中的 3 组实验数据来进行比较分析,该文献中采用 FLM506OTSL 型清扫车参照标准《5JB/T7303 — 2007 路面清扫车》,实验数据如表(1~3)所示。

表 1 保持风机风量为 6 050 m³/h 时清扫效率的实验结果

盘刷转速/ (r · min ⁻¹)	不同清扫车速下的清扫效率/%		
	v = 5 km/h	v = 10 km/h	v = 15 km/h
45	80.50	73.03	63.92
69	86.41	79.93	72.02
93	89.34	83.84	77.12

表 2 保持风机风量为 8 325 m³/h 时清扫效率的实验结果

盘刷转速/ (r · min ⁻¹)	不同清扫车速下的清扫效率/%		
	v = 5 km/h	v = 10 km/h	v = 15 km/h
58	87.31	81.72	74.67
89	92.18	87.43	81.56
121	93.08	89.85	85.54

表 3 保持风机风量为 10 680 m³/h 时清扫效率的实验结果

盘刷转速/ (r · min ⁻¹)	不同清扫车速下的清扫效率/%		
	v = 5 km/h	v = 10 km/h	v = 15 km/h
45	92.90	89.08	84.11
69	95.67	92.38	88.12
93	94.75	92.52	89.46

通过观察试验数据可以发现,随着车速的减小和盘刷转速的增大,清扫效率提高。为了更直观地体现这一特点,本研究将风机风量为 6 050 m³/h、8 325 m³/h 和 10 680 m³/h 时所对应的清扫效率和盘刷转速与车速比值的关系进行 Matlab 数据拟合,得到拟合曲线及对应散点图如图 4 所示。

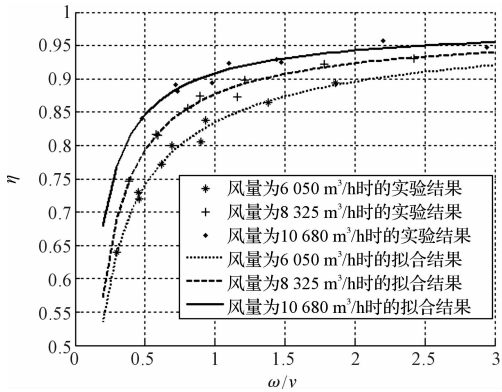


图 4 3 种风量下清扫效率与车速、盘刷转速关系
 ω/v —盘刷转速与车速之比; η —清扫效率

拟合得到的曲线为指数函数,随着盘刷转速与车速比值的增大,清扫效率一开始急剧增大,随后趋于稳定。这说明,虽然不断提高盘刷转速并降低车速有助于提高清扫效率,但是,到达一定值之后,继续提高盘刷转速或降低车速,对于提高清扫效率帮助不大,这也与第 1 节的理论分析情况相符。

4 清扫工作参数优化

本研究分别对 3 种风量下的数据进行拟合,得到

表达式,再利用 Matlab 优化得到各个风量下最佳的转速和车速组合。

4.1 清扫效率的评价公式

本研究利用 Matlab 多项式拟合出给定分量下,清扫车速、盘刷转速为变量的二次多项式关系式。以风量为 $8\,325\text{ m}^3/\text{h}$ 的情况为例,Matlab 语句如下所示:

```
data = [5.8,8.9,12.1,5.8,8.9,12.1,5.8,8.9,12.1;  
5,5,5,10,10,10,15,15,15];  
data = data';  
y = [0.873 1,0.921 8,0.930 8,0.817 2,0.874 3,0.898  
5,0.746 7,0.815 6,0.855 4];  
y = y';  
x1 = data(:,1).^2;  
x2 = data(:,2).^2;  
x3 = (data(:,1)).*(data(:,2));  
x4 = data(:,1);  
x5 = data(:,2);  
X = [ones(size(x1)),x1,x2,x3,x4,x5];  
[B,BINI] = regress(y,X)  
[B,BINT,R,RINT,STATS] = regress(y,X)  
拟合结果如下所示:
```

$$\eta = (-1.775 \times 10^{-3}) \cdot x_1^2 + (-2.440 \times 10^{-4}) \cdot x_2^2 + (8.103\,5 \times 10^{-4}) \cdot x_1 \cdot x_2 + (3.677\,0 \times 10^{-2}) \cdot x_1 + (-1.262\,6 \times 10^{-2}) \cdot x_2 + 0.766\,5 \quad (1)$$

式中: η —清扫效率, x_1 —盘刷转速, x_2 —清扫车速。
式(1)的平均相对拟合误差很小,拟合的效果理想。

4.2 优化的实现

根据查阅的相关资料,优化所需满足的约束条件有:清扫效率必须在 90% 以上,盘刷的触地点的绝对速度大小在 $3\text{ m/s} \sim 12\text{ m/s}$ 之间,速度内倾角在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间。通过观察,清扫效率最佳工作参数的优化类型属于典型的约束非线性最优化,所以本研究选用 Matlab 中的 fmincon 函数来解决该问题^[15]。

首先,本研究分别编写目标函数文件 objfun. m 和

约束函数文件 confun. m 分别保存在默认文件夹中。

目标函数:

```
function f = objfun(x)  
f = -(( -1.775e - 3) * x(1)^2 + ( -2.440e - 4) *  
x(2)^2 + (8.1035e - 4) * x(1) * x(2) + (3.6770e - 2) *  
x(1) + ( -1.2626e - 2) * x(2) + 7.665e - 1);  
约束函数:
```

```
function [c,ceq] = confun(x)  
c = [0.9 - (( -1.775e - 3) * x(1)^2 + ( -2.440e -  
4) * x(2)^2 + (8.1035e - 4) * x(1) * x(2) +  
(3.6770e - 2) * x(1) + ( -1.2626e - 2) * x(2) +  
7.665e - 1);  
sqrt((x(2)/3.6)^2 + (0.314 * x(1))^2 + 0.314 *  
x(1) * x(2)/3.6) - 12;  
3 - sqrt((x(2)/3.6)^2 + (0.314 * x(1))^2 + 0.314 *  
x(1) * x(2)/3.6);(x(2)/3.6 + 0.157 * x(1))/sqrt  
((x(2)/3.6)^2 + (0.314 * x(1))^2 + 0.314 * x(1) *  
x(2)/3.6) - cos(25 * pi/180);cos(40 * pi/180) -  
(x(2)/3.6 + 0.157 * x(1))/sqrt((x(2)/3.6)^2 +  
(0.314 * x(1))^2 + 0.314 * x(1) * x(2)/3.6)];  
ceq = [];
```

在 Matlab 的命令窗口中编写并运行的命令语句如下:

```
clc;  
x0 = [8,5];  
lb = [6,3];  
ub = [15,15];  
[X,FVAL,EXITFLAG,OUTPUT] = fmincon(@objfun,  
x0,[],[],[],[],lb,ub,@confun)  
同理,另外两组风量下的优化过程亦如此,为了便  
于编程计算,将盘刷转速大小除以 10,使其与车速量  
级相同,但是不影响优化结果。

4.3 优化结果及分析



优化结果如表 4 所示。


```

表 4 优化前、后结果对比

风量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	初始情况			优化结果		
	盘刷转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	清扫车速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	清扫效率/(%)	盘刷转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	清扫车速/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	清扫效率/(%)
6 070	80	5	87.03	94.6	5.32	89.10
8 235	80	5	90.14	106.0	6.38	92.12
10 680	80	5	93.12	107.3	6.45	94.60

由表 4 可知,在 3 组风量下,通过优化可以得到在合理范围内清扫效率的最优值,而且相比于初始值,转速和车速都有提高,这样清扫车在单位时间内的工作

能力更好。另外,从 3 组风量的优化结果对比可以看出,在风量最大的 $10\,680\text{ m}^3/\text{h}$ 中,其可以达到最高的清扫效率,但是由于风量较大,必然会造成更大的噪声

和能耗。而当风量为 $8\,235\text{ m}^3/\text{h}$ 时,清扫车最佳的清扫效率没有最高,但是达到了设计要求的 90%,盘刷转速和车速的大小与在 $10\,680\text{ m}^3/\text{h}$ 风量下的值也相近,因此可以认为,最佳的风机风量应该在 $8\,235\text{ m}^3/\text{h}$ 左右,此时可以达到 92.12% 的清扫效率。

笔者将所得到的最佳的转速 106 r/min 、车速 6.38 km/h 代入到之前的 ADAMS 模型中可以得到运动的轨迹如图 5 所示。

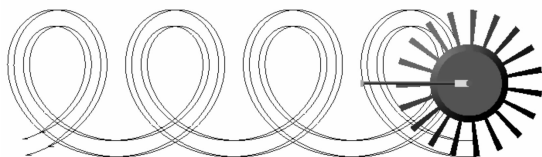


图 5 转速 106 r/min 、车速 6.38 km/h 时的刷束轨迹

与图 3(c) 的初始值的轨迹进行对比可以得到,在最佳的转速和车速下,相邻刷束的余摆带重合度差距不大,但是在单位时间内作业的距离和区域变大,工作能力变强。

5 结束语

本研究为了研究清扫车的盘刷转速、清扫车速以及风机风量 3 个工作参数对于清扫效率的影响,在 ADAMS 中建立了盘刷模型,通过对比不同盘刷转速和清扫车速组合下运动轨迹的运动轨迹,得到优化的初始值。笔者通过 Matlab 数据拟合工具分别对 3 组不同风量下的清扫效率表达式进行拟合,对拟合得到的以盘刷转速和清扫车速为变量的效率表达式进行优化分析,得到以下结论:

(1) 在风量 $6\,070\text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下,由于风量过小,即便是在最优的转速和车速组合情况下,清扫效率也难以达到要求的 90% 以上;

(2) 在风量最大的 $10\,680\text{ m}^3/\text{h}$ 下,清扫效率虽然达到最大,但是由于风量变大,势必带来更大的噪声和能耗;

(3) 在 $8\,235\text{ m}^3/\text{h}$ 的风量下,盘刷转速为 106 r/min ,清扫车速为 6.38 km/h 时,同时满足清扫效率和减

少清扫车的噪声和能耗的要求。因此上述结果可以作为清扫车工作装置参数较为理想的选择,这为清扫车的参数设计提供一定的参考依据。

参考文献 (References):

- [1] 秦超. 清扫车概况及清运装置设计[J]. 汽车零部件, 2015(5):56-66.
- [2] 卢振伟,吴军委,何子燊,等. 基于国外两款吸扫式清扫车的流场性能分析[J]. 专用汽车, 2015(8):92-96.
- [3] LIBARDO V V, MAGD M A, GRAHAM A P. Effectiveness of gutter brushes in removing street sweeping waste[J]. *Waste Management*, 2009, 30(10):174-184.
- [4] PEEL G M, PARKER G A. Initial investigations into the dynamics of cutting brushes for sweeping[J]. *Dynamic systems, Measurement, and Control*, 2002, 124(12):675-681.
- [5] 宋永刚,姚莉娜. 高等级公路清扫车盘刷性能与技术研究[J]. 西安公路学院学报, 1995, 15(1):66-71.
- [6] 许礼鸿. 吸扫式路面清扫车使用效能影响因素分析[J]. 公路与汽运, 2005, 19(2):116-117.
- [7] 徐会敢,任国涛,赵金鹏. 清扫车盘刷清扫效率试验研究[J]. 工程机械与研究, 2013(7):185-186.
- [8] 全国汽车标准化技术委员会. QCT29111-1993 中华人民共和国汽车行业标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1993.
- [9] 赵小峰,杨建辉,张志峰,等. 清扫车工作参数对清扫效率的影响[J]. 建筑机械化, 2011, 32(7):44-45.
- [10] 周力,张志峰,杨建辉. 盘刷工作参数对清扫车清扫效率的影响[J]. 工业技术, 2012(9):76.
- [11] 全宝国. 扫路车盘刷系统设计与仿真分析[D]. 长春:吉林大学机械科学与工程学院, 2012.
- [12] 徐会敢,任国涛,赵金鹏. 清扫车盘刷工作参数试验研究[J]. 建设机械技术与管理, 2013(4):107-111.
- [13] 竺开华,陈文钦. 余摆线在农业机械上的应用[J]. 应用与研究, 1975(3):11-13.
- [14] 张晨光. 清扫车工作装置的匹配性能研究[D]. 西安:长安大学机械学院, 2010.
- [15] 褚洪生,杜增吉,阎金华,等. MATLAB7.2 优化设计实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

苏毅烽,严世榕. 清扫车工作参数对清扫效率的影响研究[J]. 机电工程, 2016, 33(2):160-164.

SU Yi-feng, YAN Shi-rong. Research of the effects of sweeper's working parameters to the working efficiency[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016, 33(2):160-164.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>