

# 仿生柔性技术减少煤粘附的试验\*

丛茜 杨晓东 柴雄梁 任露泉

**【摘要】** 针对煤与工作部件表面的湿粘和冻粘问题,根据生物柔性脱附功能,设计了仿生柔性试件,研究了仿生柔性技术对煤的脱附效果。通过与45号钢的对比试验证明,湿粘时仿生柔性试件法向粘附力约为45号钢的60%,滑动阻力比45号钢小40%;冻粘时法向粘附力可降低80%,切向粘附力可降低75%。

**关键词:** 煤 仿生 粘附

**中图分类号:** TD524;Q811

**文献标识码:** A

## 引言

煤在储运过程中对运煤矿车、装载机铲斗、取煤机、落煤斗、储煤仓等工作部件的粘附非常严重。全国煤矿平均粘车率为15%左右。由于地域差异和季节不同,一定含水率的煤在0℃以下会出现冻粘现象,在冬季漫长的东北地区,这种现象尤为明显。根据现场调研,矿车冻粘时粘煤量远远超过湿粘时粘煤量,可达40%~70%,由此造成煤炭企业产量的虚实比达20%~25%。因此解决煤的粘附问题已成为当务之急<sup>[1~2]</sup>。

仿生脱附研究发现,许多土壤动物如田鼠、蚯蚓、蛇、马陆、蛴螬等,主要生活在粘湿土壤环境中,不论是全身触土,还是身体部分触土,均存在二维柔性面或三维柔性体,其体表已形成了有利于土壤脱附的特殊柔性体表结构<sup>[3~6]</sup>。本文根据生物柔性防粘特性,设计仿生柔性试件,进行仿生柔性技术减少煤粘附的试验研究。

## 1 试验方法与设备

为了结合生产实际情况,试验用煤机械组成见表1。

表1 煤的机械组成

塑限	液限	各粒级质量分数/%		
$W_L$ /%	$W_P$ /%	0.1~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.005 mm
22.5	28.58	51	43	6

煤对物体的粘附危害程度与煤试样的含水率有

极大关系,煤的含水率通常在10%~18%之间。本文煤试样含水率分别选为10%、14%和18%。试验时根据所需含水率,计算出应加的水量,混合均匀,放置于阴暗处2~3 d,保证煤的含水率均匀一致。

柔性试件选用100 mm×70 mm×10 mm长方体轻质木板,并在100 mm×70 mm表面上布置3种柔度试件,仿生柔性试件材料为聚对苯二甲酸乙二醇酯,即PET柔性网。通过在试件与木板之间布置不同厚度的海绵实现仿生柔性试件的不同柔度(如图1所示)。柔度是指单位力作用下产生的变形,1号为小柔度试件、2号为中柔度试件、3号为大柔度试件。

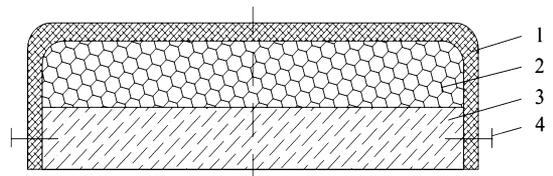


图1 仿生柔性试件结构简图

1. PET 2. 海绵 3. 木板 4. 固定销

冻粘试验时试样为直径1.35 cm的圆柱形煤块。由于触煤工作部件多为钢铁材料,故湿粘与冻粘对比试件选用同尺寸的45号钢,钢表面进行磨光处理。

法向粘附力的测试方法是在煤试样表面上对仿生柔性试件施加预定正压力,经过一定的保压时间后,卸载拉脱试件,所测得拉脱力除以试件面积。

切向粘附力的测试方法是将仿生柔性试件放置在煤试样表面上,在试件上放置一定质量的砝码,产生预定要求的正压力,保压一定时间后,对试件施加侧向拉力,以一定的速度拖动试件移动,测得试件与

收稿日期: 2005-07-29

\* 教育部优秀青年教师资助项目和吉林省教育厅科技发展计划资助项目(吉教合字,2001第053号)

丛茜 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室 教授 博士生导师,130025 长春市

杨晓东 吉林工程技术师范学院机电工程系 教授,130052 长春市

柴雄梁 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室 硕士生

任露泉 吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室 教授 博士生导师

煤试样粘附界面的滑动阻力,用试件面积相除。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 柔度对法向粘附力的影响

试验温度为 26℃,保压时间为 10 min,考察含水率为 16% 的煤与仿生柔性试件的法向粘附力和正压力关系,如图 2 所示。

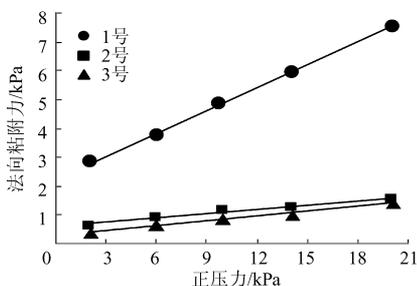


图2 煤与仿生柔性试件法向粘附力与正压力关系图

试验结果表明,与1号仿生柔性试件相比,3号法向粘附力可降低82%左右;2号法向粘附力可降低78%左右。由此可见,柔度在减小法向粘附力中起重要作用,且效果显著。这是由于仿生柔性试件在受到外来压力时海绵变形,PET柔性网各单元之间可以相对转动、移动,产生柔性变形,有效地减小了仿生柔性试件与煤之间的粘附强度,起到缓冲作用,使作用在接触面上的真实法向粘附力减小。

随正压力的增加,煤与仿生柔性试件之间的法向粘附力呈增加的趋势。正压力对小柔度仿生柔性试件(1号)的法向粘附力影响最大,其线性回归方程的斜率最大。这是因为大柔度的仿生柔性试件(3号)在正压力作用下产生柔性变形大,起到良好的缓冲作用,使法向粘附力增加幅度较小;而小柔度的仿生柔性试件在正压力作用下变形小,较容易与煤表面压实,使法向粘附力增加幅度较大。

### 2.2 湿粘时仿生柔性试件与45号钢对比试验

在煤的法向粘附力测量仪和滑动阻力测量仪上分别对1号仿生柔性试件与45号钢进行了法向粘附力和滑动阻力试验,煤的含水率为16%,试验温度26℃,保压时间10 min,滑动速度为3 mm/s。试验结果如图3所示。

由于仿生柔性试件在空间上既能相对转动又能相对移动,可吸收一部分能量,有效地减小柔性试件与煤之间的粘附强度。试验结果表明,湿粘时仿生柔性试件的减粘脱附效果明显优于45号钢。其法向粘附力约为45号钢的60%,滑动阻力比45号钢小40%。

### 2.3 冻粘时仿生柔性试件与45号钢对比试验

冻粘时测试温度为-26℃,冷冻时间为20 min,

滑动速度为3 mm/s。图4为1号仿生柔性试件与45号钢的法向粘附力和切向粘附力试验曲线。

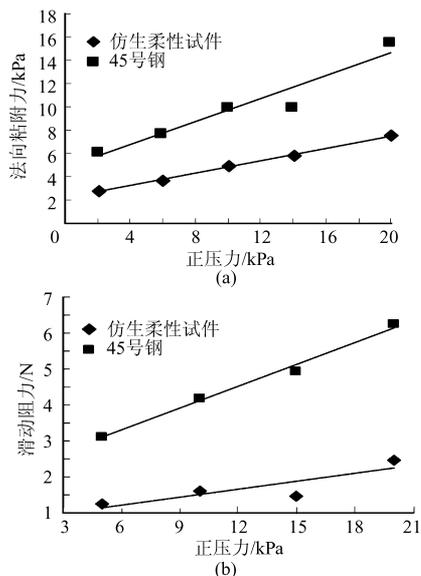


图3 湿粘时仿生柔性试件与45号钢的粘附性能对比曲线  
(a) 法向粘附力 (b) 滑动阻力

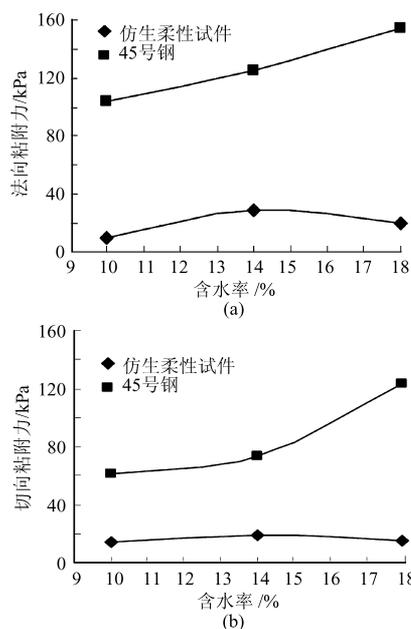


图4 冻粘时仿生柔性试件与45号钢的粘附性能对比曲线  
(a) 法向粘附力 (b) 切向粘附力

冻粘试验表明,随着煤含水率增加,45号钢的法向粘附力与切向粘附力也随之增加。这是因为当煤含水率很小时,煤可视为固体,仅有的水分被煤颗粒牢牢地吸附在表面上,此时结成的冰很薄,在煤颗粒与固体材料之间形成不连续的薄冰,分子之间的作用力很小,冻粘力小;随着煤含水率的继续增加,煤和固体材料之间的冰增厚,不连续的冰开始连续,煤与固体材料之间布满冰层,冻粘力也随之增大。仿生柔性试件由于具有柔性变形能力,将吸收一部分

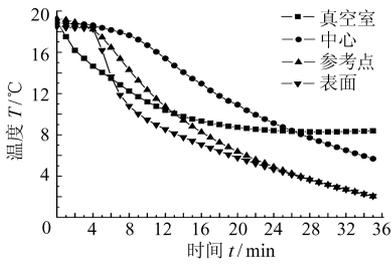


图4 胡萝卜的温度变化曲线

表1 蔬菜预冷前后质量变化

种类	效果	冷却时间 /min	蔬菜质量/g		质量损失 率/%
			初值	终值	
芹菜	好	13	216.8	205.6	5.2
白菜	好	18	1 056.0	1 030.4	2.4
胡萝卜	一般	35	638.0	618.2	3.1

真空预冷过程中都会因水分蒸发带来质量损失。这是由真空预冷的机理所决定的,其水分蒸发量则取决于蔬菜的种类、初始温度和冷却时间。

### 3 结论

(1)真空预冷对比表面积大的叶菜类蔬菜效果较好,而对水分蒸发较困难的C类蔬菜效果较差。

(2)使用罗茨水环机组实现蔬菜真空预冷过程中,由大气压降至规定的最小值(667 Pa)所需要的时间为4 min。真空室的压力变化规律与使用旋片式真空泵进行真空预冷过程基本一致。

(3)罗茨水环机组在真空预冷过程中运行状况良好。在无制冷系统的情况下,机组能够承受少量的水蒸气凝结,不会引起润滑油乳化,工况稳定。

### 参 考 文 献

- 1 Wang Lijun, Sun Dawen. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology[J]. Trends in Food Science & Technology, 2001,12 (5~6): 174~184.
- 2 贺素艳,李云飞. 果蔬真空预冷过程中热质传递的理论分析[J]. 真空与低温,2003,9(1): 29~34.
- 3 贺素艳,李云飞. 球形食品真空预冷过程中参数分析[J]. 农业工程学报,2003,19(6): 205~208.
- 4 王伟平. 真空泵抽除(水)蒸汽问题的解决[C]//中国真空学会真空获得与测试技术交流会,2001.
- 5 徐成海. 真空预冷却[J]. 真空与低温,1997,3(2):104~107.
- 6 Rennie T J, Raghavan G S V, Vigneault C, et al. Vacuum cooling of lettuce with various rates of pressure reduction [J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(1):89~93.
- 7 Tambunan A, Sagara Y, Seo Y, et al. Image analysis on temperature distribution within lettuce undergoing vacuum cooling[J]. The CIGR Journal of Scientific Research and Development, 2005(7):1~9.
- 8 申江,张于峰,邹同华,等. 津产结球白菜真空预冷试验研究[J]. 农业机械学报,2006,37(8):86~88.

(上接第210页)

能量,使滑动系统中用于粘附和摩擦的能量减小,其减粘脱附效果明显优于45号钢,法向粘附力降低80%,切向粘附力降低75%。

### 3 结束语

仿生柔性脱附技术能够有效地减少煤的湿粘与

冻粘,柔性对煤的湿粘与冻粘的脱附效果有着很大的影响。通过与45号钢的对比试验证明,湿粘时仿生柔性试件法向粘附力约为45号钢的60%,滑动阻力比45号钢小40%;冻粘时法向粘附力降低80%,切向粘附力降低75%。

### 参 考 文 献

- 1 杨晓东,任露泉,丛茜. 矿车粘附机理及其清理技术[J]. 农业机械学报,2001,32(5):107~111.
- 2 杨晓东,柴雄梁,丛茜,等. 矿车的粘附规律与粘附机理[J]. 吉林工业大学学报,2000,30(4):66~69.
- 3 任露泉,杨晓东,佟金. 动物皮毛柔性减阻作用的试验研究[J]. 中国机械工程,2000,11(11):1 272~1 273.
- 4 杨晓东,任露泉. 形体减阻类型与减阻机理仿生概述[J]. 农业机械学报,2003,34(1):130~133.
- 5 王云鹏,任露泉,杨晓东,等. 仿生柔性非光滑表面减粘降阻的试验研究[J]. 农业机械学报,1999,30(4):1~4.
- 6 任露泉,王云鹏,李建桥,等. 典型生物柔性非光滑体表的防粘研究[J]. 农业工程学报,1996,12(4):31~36.
- 7 田丽梅,任露泉,韩志武,等. 仿生非光滑表面脱附与减阻技术在工程上的应用[J]. 农业机械学报,2005,36(3):138~142.
- 8 任露泉,杨卓娟,韩志武. 生物非光滑耐磨表面仿生应用研究展望[J]. 农业机械学报,2005,36(7):144~147.