

介质作用下轮轨增粘特性^{*}

刘腾飞, 王文健, 郭火明, 刘启跃

(西南交通大学 机械工程学院, 成都 610031)

摘 要: 利用 MMS-2A 滚动摩擦磨损试验机研究了水、油和落叶介质作用下轮轨粘着特性, 分析了介质工况下砂、氧化铝和研磨块对轮轨增粘效果的影响。结果表明, 水、油和落叶介质会使轮轨粘着系数明显下降, 相比干态, 水、油和落叶介质工况下, 轮轨粘着系数分别降低约 53%、83% 和 86%; 落叶与水混合物形成良好的润滑剂, 此工况下粘着系数最小; 3 种介质工况下, 撒砂、撒氧化铝颗粒和使用研磨块均能提高粘着系数; 水和油介质工况下, 氧化铝颗粒提高粘着系数最为明显, 砂次之, 研磨块最差; 落叶介质工况下, 由于落叶浆较厚, 砂颗粒较大, 能迅速穿透增大接触面积, 故其最为明显, 氧化铝次之, 研磨块最差。

关键词: 轮轨; 粘着系数; 水; 油; 树叶

中图分类号: TG115.58

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2013)01-0086-05

Improving Adhesion Characteristics of Wheel/rail Under the Medium Conditions

LIU Teng-fei, WANG Wen-jian, GUO Huo-ming, LIU Qi-yue

(Mechanical Engineering College, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: The adhesion characteristics of the wheel/rail were investigated under the conditions of water, oil, and leaves using a MMS-2A wear testing machine. The effects of sand, alumina particles and abrasive agent on improving adhesion behavior under different conditions were explored and analyzed. Results show that mediums including water, oil, and leaves remarkably decrease the adhesion coefficient of the wheel/rail. Compared with the dry condition, the decrease rates of the adhesion coefficient under water, oil, and leaves conditions are about 53%, 83%, and 86%, respectively. The adhesion coefficient is the smallest under the leaves and water conditions because of the good lubricating capability of the mixture of leaves and water. Sanding, spraying alumina particles, and using abrasive agent all make the adhesion coefficient increase under the conditions of water, oil, and leaves. The effect of improving adhesion of spraying alumina is the best under water and oil conditions and using abrasive agent is relatively poor. The leaves are crushed and thick slurry is formed, and then the bigger sand particles are easier to indent into this layer and increase the contact area. Therefore, the effect of improving adhesion of sanding is the best and using abrasive agent is relatively poor under this condition.

Key words: wheel/rail; adhesion coefficient; water; oil; leaves

0 引 言

铁路运输中车辆的牵引和制动性能受轮轨间粘着特性影响^[1]。进入 21 世纪以来, 伴随着我国铁路事业的飞速发展, 尤其是高速、重载重大战略的实施及机车技术的进步, 机车的牵引负荷

日益提高, 轮轨间需要传递的载荷不断增大, 提高机车的粘着性能成为一个重要的研究课题^[2-4]。当机车的牵引力超过轮轨间的最大粘着力时, 机车车轮发生空转, 机车达不到加速性能要求。制动时制动力大于轮轨间的粘着力则会造成车轮在钢轨上滑行, 引起车轮踏面擦伤, 振动加大, 乘

收稿日期: 2012-10-16; **修回日期:** 2012-12-10; **基金项目:** * 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)(2011CB711103); 牵引动力国家重点实验室开放课题(TPL1204); 四川省应用基础项目(2011JY0129); 中央高校基本科研业务费专项资金(SWJTU12CX037)

作者简介: 刘腾飞(1989—), 男(汉), 河南太康人, 硕士生; **研究方向:** 轮轨关系

网络出版日期: 2013-01-14 11:45; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20130114.1145.006.html>

引文格式: 刘腾飞, 王文健, 郭火明, 等. 介质作用下轮轨增粘特性 [J]. 中国表面工程, 2013, 26(1): 86-90.

车舒适性降低等缺点^[5-6]。因此,如何提高轮轨间的粘着一直是铁路部门所关心的问题。

大量的研究表明,轮轨间的粘着系数是一个受多种因素影响的变量。粘着系数随时间、轮轨条件及地点而变化^[7]。在同一地点,又随钢轨轮廓、坡度、线路天气状况及其他污染物而变化。以降雨、结露形式出现的水和为降低轮缘与轨侧磨耗而渗入到踏面的润滑油,会使轮轨粘着急剧降低。特别是秋天的落叶,给机车的运行带来了极大的麻烦^[8-10]。为改善轮轨间的粘着,常用的增粘方法有向接触面喷撒砂颗粒、电弧与等离子处理、机械方法、化学方法等,后3种方法通过净化轮轨的接触表面来提高粘着系数,方法相对复杂,费用较高,适用性不广^[11]。国内外普遍采用撒砂增加粘着系数^[12],日本在新干线上高速喷射氧化铝粒子取得了很好效果,我国高速动车组上采用研磨块改善轮轨间的表面接触状况^[13]。

为了解砂、氧化铝、研磨块对轮轨增粘特性的影响,利用MMS-2A摩擦磨损试验机进行了水、油和树叶介质下的轮轨粘着特性试验,研究结果对实际中轮轨增粘可提供重要的技术参考。

1 试验部分

试验在MMS-2A型摩擦磨损试验机上进行。试验通过双圆盘试样以对滚形式来模拟轮轨间接触条件,钢轨试样装于上试验轴,代表车轮的轮盘装于下试验轴。试验采用赫兹模拟准则,即保证实验室条件下模拟轮轨试样间的平均接触应力和轮轨接触区椭圆的长短半轴之比同现场工况相同。试样的上下结构尺寸如图1所示。

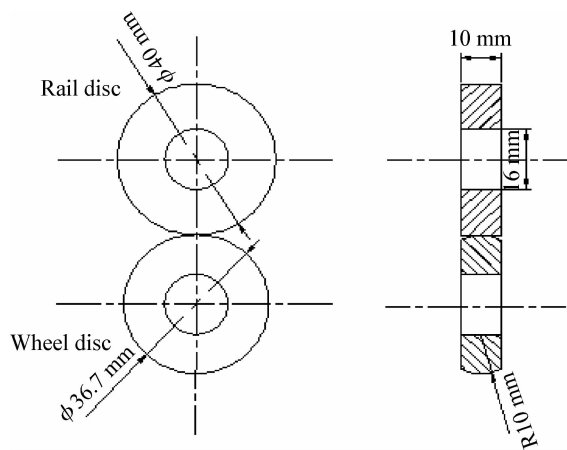


图1 轮轨试样尺寸结构示意图

Fig. 1 Shape and dimension of test specimens

试验中轮轨试样间的切向力 T 与法向力 N 的比值即为粘着系数 μ , 即:

$$\mu = T/N \quad (1)$$

试验参数:轮轨上下试样转速分别为 360 r/min (线速度 0.753 m/s) 和 400 r/min (线速度 0.769 m/s), 纵向蠕滑率 $\zeta=2\%$ 。依据赫兹模拟准则, 轮盘的横向曲率半径为 10 mm, 轨盘的横向曲率半径为 ∞ 。取垂向载荷 135 N 来模拟现场轴重 25 t, 依据赫兹接触理论计算其最大接触应力为 1450 MPa。试验时间 60 min; 模拟钢轨的材料为 U71Mn 热轧钢轨, 车轮材料为 CL60 钢。

试验在水、油和落叶介质下进行; 水为自来水, 油为成都铁路局成都车辆段所回收机车燃油、齿轮润滑油、机油等油混合物; 砂子为铁路现场使用的砂子, 直径约为 0.5~1 mm, 主要成分为石英, 粘土成分小于 2%, 莫氏硬度为 7。氧化铝选取中性, 粒径 100 μm 左右, 莫氏硬度为 9; 研磨块为陶瓷及氧化铝, 氧化铁等硬质颗粒组成的复合材料, 其已在 CRH2 型高速动车组上投入使用, 根据模拟轮的宽度截取长和宽各为 1.5 cm 大小的研磨块。

试验过程中, 水介质通过输液管滴在模拟轨上, 加水速度为 1 mL/min, 水温保持 20 $^{\circ}\text{C}$ 左右; 用毛刷在模拟轮轨表面均匀涂抹油介质, 根据部分弹流理论和二维滚动接触理论, 建立微凸体接触条件下的轮轨接触模型, 通过雷诺方程和膜厚方程, 计算得出运行中轮轨试样之间油膜厚度为 1.5~2 μm ; 将落叶剪成小块然后用镊子连续送到轮轨接触面; 用 PVC 管向轮轨的接触面均匀以 10 g/min 撒砂或以 5 g/min 添加氧化铝颗粒; 研磨块以 50 N 的压力接触在车轮表面。

轮轨之间的粘着力即为试样间的切向力。试验过程中使用法向传感器测量垂向载荷, 轮轨试样间的切向力通过扭矩传感器进行测量。

2 试验结果与分析

2.1 水、油介质下粘着特性

水和油介质对轮轨粘着系数的影响如图 2 所示。在运行初期轮轨试样处于磨合期, 粘着系数相对较小, 随着时间的增加, 轮轨接触面积增大, 粘着系数逐渐增大, 最后趋于稳定。干态下轮轨粘着系数最大, 最大值达到 0.69 左右。水介质下与干态相比, 粘着系数明显降低, 约为 0.32 左右,

相比于干态粘着力下降 53%。油介质下粘着系数更小,均值约为 0.114 左右,与干态相比粘着系数下降 83%,由于其值很小,轮轨之间的磨损量很小,接触面变化较小,故其曲线非常平缓。

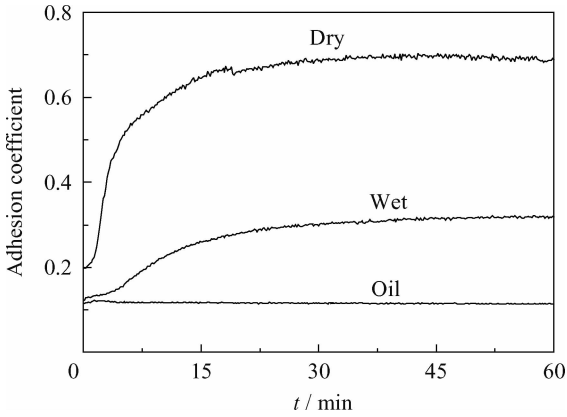


图 2 不同介质作用下轮轨粘着系数变化曲线
Fig. 2 Creep curves for the various test conditions

轮轨的接触部分不是光滑的而是存在微小的凸起,正是这些凸起的弹塑性变形产生粘着力。当接触面间存在水介质时,轮轨接触区域形成水膜,水膜承担了部分载荷,相应的微小凸起承担的载荷减少,由于水的粘度大,故粘着力较低,在同样载荷的情况下相比干态造成粘着系数降低。由于油的粘度更大,故可知其产生的粘着系数更小。水和油介质是机车实际运行中常遇到的情况,为了列车安全运行,故需采取一定措施来提高粘着系数^[14]。

2.2 水工况下不同介质对粘着系数影响

砂、氧化铝颗粒、研磨块在水态下对轮轨粘着系数的影响见图 3。结果表明:在水介质工况下,氧化铝颗粒的增粘效果最为明显,粘着系数增至 0.4 左右,提高约 25%但仍小于干态情况。水介质下撒砂,粘着系数由 0.32 增至 0.36 左右,增加约 12.5%。在运行初期,它们的粘着曲线波动较大,是由于其接触面积小,添加介质后迅速增加粘着,而停止加入后被甩出接触面,及形成的表面粗糙度也不太大的原因,但其值均大于水态情况下,随着不断添加介质及磨损加剧,粘着系数逐渐增加最后趋于稳定。研磨块的增粘效果相对较差,粘着系数提高至 0.34 左右,增加约 6%,但其曲线最为平缓,从轮轨表面观察来看,研磨块对车轮和钢轨造成的损伤最小。

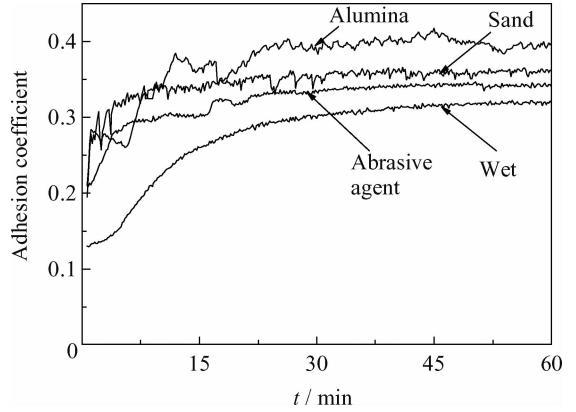


图 3 水态工况下不同介质的粘着系数曲线
Fig. 3 Traction curve of sand, alumina and abrasive agent under the wet conditions

2.3 油工况下不同介质对粘着系数影响

图 4 为油介质工况下 3 种不同介质的轮轨粘着系数曲线。由图可知,氧化铝和砂的增粘效果明显,粘着系数增加至 0.35、0.32,分别提高 218%和 190%。粘着系数波动较为明显,这是由于添加氧化铝和砂介质后轮轨之间的振动引起的,虽能增加轮轨粘着系数,但也会加剧车轮和钢轨的表面损伤。使用研磨块后粘着系数非常稳定,提高至 0.16 左右,增加约 45%。

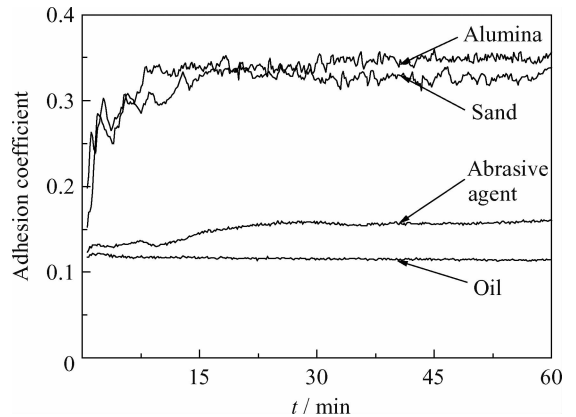


图 4 油工况下不同介质轮轨粘着系数曲线
Fig. 4 Traction curve of sand, alumina and abrasive agent under the oil conditions

上述试验结果表明:氧化铝颗粒、砂、研磨块都能增加水和油介质工况下轮轨间的粘着力。水介质工况下,向接触表面撒氧化铝颗粒后,因挤压作用,形成微小粒子嵌入轮轨表面并产生凸起,该凸起穿破接触面内的水膜,增大固体接触的比率。此时轮轨之间的粘着力由接触面内固

体粗糙峰接触产生的切向力和水膜产生的切向力,及氧化铝颗粒与轮轨接触产生的切向力之和。氧化铝颗粒硬度较高,具有较高的机械强度,其剪短阻力产生较大的粘着力,即使颗粒从表面脱落,轮轨表面的粗糙度相应增大。砂子与氧化铝相比增粘效果较小,因嵌入到接触表面内的砂粒,硬度小,机械强度相对较低,极限粒径小,不能充分冲破接触面内的水膜,故其产生的粘着力相对氧化铝低。油介质工况下的机理同样如此。研磨块以小于踏面闸瓦压紧力的力压在车轮踏面上,可以起到清除踏面污染物和增加轮轨表面粗糙度的作用,因车轮和钢轨之间仍有水膜或油膜存在且使车轮的粗糙度增加有限,故其虽也可以提高轮轨之间的粘着力但相对砂和氧化铝效果较差。

2.4 树叶工况下不同介质对粘着系数影响

图 5 为树叶介质对轮轨粘着的影响,可以看出碾碎的落叶使轮轨间的粘着系数下降约 86%,约 0.099 左右,碾碎树叶形成的良好润滑剂存在于轮轨接触表面导致粘着系数急剧下降。加入树叶的同时再添加水介质,结果使粘着系数更小,其值约为 0.08,这是因为树叶与水形成良好的润滑剂作用导致粘着系数大幅下降。因为连续加入树叶,故其粘着曲线比较平缓。秋天下过雨后,落叶极易粘在轨道上,因此为了机车的安全运行需要及时清理钢轨上的落叶污染物。

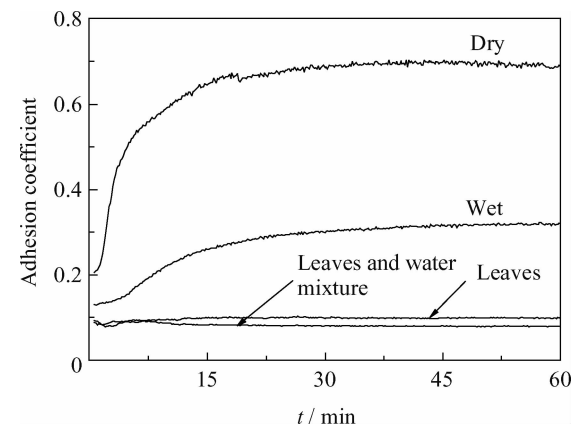


图 5 落叶介质对轮轨粘着的影响曲线
Fig. 5 Adhesion tests under the leaves conditions

图 6 为轮轨间有落叶时添加不同介质对粘着系数的影响。试验开始运行时向接触面连续添加树叶,运行 15 min 后轮轨接触面形成落叶

浆,而后向轮轨界面分别撒砂和氧化铝颗粒并同时间断添加落叶;试验过程中研磨块一直紧压在车轮表面并间断添加树叶。

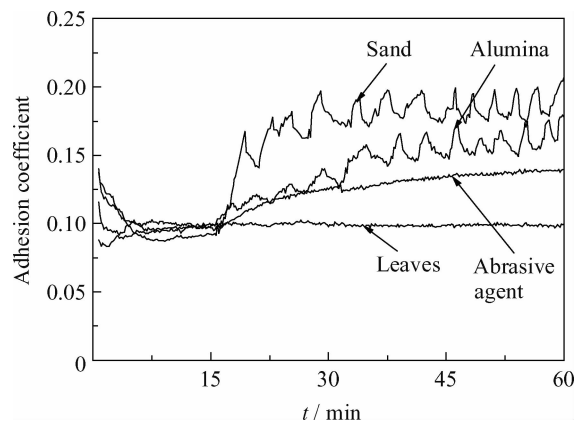


图 6 落叶工况下不同介质对粘着的影响曲线
Fig. 6 Traction curve of sand, alumina and abrasive agent under the leaves conditions

从图 6 可知,砂的增粘效果最为明显,由于砂的颗粒较大能够迅速穿透落叶浆,使粘着系数迅速提高,当再添加树叶后由于其良好的润滑作用粘着系数又迅速降低,但由于砂的存在,其粘着系数仍然高于纯落叶的工况。氧化铝虽然硬度高,但由于试验中车轮和钢轨表面的落叶浆较厚,氧化铝颗粒较小被压在落叶浆中,很难穿透并去除落叶浆,增粘效果没有砂明显。使用砂和氧化铝粘着曲线波动比较明显。使用研磨块能清除表面的落叶浆,但由于碾碎的汁液仍起润滑作用,研磨块摩擦产生的粒子较少且使轮轨的粗糙度增加有限,故增粘效果较差。

3 结 论

- (1) 介质对轮轨粘着系数具有很大影响,水、油和落叶介质将降低粘着系数,落叶与水形成良好的润滑剂,导致轮轨的粘着系数大幅下降,因此,此工况下的粘着系数最小。
- (2) 在水和油介质工况下,3 种添加介质具有不同的轮轨增粘效果。氧化铝颗粒因其极限粒径大,硬度高,增粘效果最为明显,砂次之,研磨块相对最差。
- (3) 落叶工况下,由于落叶浆较厚,砂的颗粒较大,能迅速穿透增大接触面积,所以增粘效果最好,氧化铝次之,研磨块增粘效果最差。

参考文献

[1] 金雪岩, 刘启跃, 王夏秋. 轮轨粘着一蠕滑特性试验研究 [J]. 铁道学报, 2000, 22(1): 36-39.

[2] 申鹏, 宋建华, 李自彬, 等. 轮轨粘着特性试验研究 [J]. 润滑与密封, 2009, 34(7): 10-13.

[3] Hernandez E G, Lewis R. Twin disc assessment of wheel/rail adhesion [J]. Wear, 2008, 265: 1309-16.

[4] Niccolini E, Berthier Y. Wheel-rail adhesion: laboratory study of “nature” third body role on locomotives wheels and rails [J]. Wear, 2005, 258: 1172-8.

[5] 大野薰. 通过喷射陶瓷离子来增大轮轨间的粘着力[J]. 国外内燃机车, 1997, 326(8): 24-29.

[6] 王文健, 郭俊, 刘启跃. 轨道结构参数对轮轨滚动接触应力影响 [J]. 机械工程学报, 2009, 45(5): 39-44.

[7] Victor Sergeant. 粘着的利用 [J]. 国外内燃机车, 1997, 329(11): 12-16.

[8] Zhang W H, Chen J Z, Wu X J, et al. Wheel/rail adhesion and analysis by using full scale roller rig [J]. Wear, 2002, 253: 82-88.

[9] Chen H, Ishida M, Nakahara T. Analysis of adhesion under wet conditions for three-dimensional contact considering surface roughness [J]. Wear, 2005, 258: 1209-16.

[10] 高嘉年. 铁路轮轨润滑膜的减磨机理与应用 [J]. 表面工程, 1992, 4(4): 18-24.

[11] 孙琼, 臧其吉. 喷洒颗粒的增粘机理研究 [J]. 中国铁道科学, 2000, 21(4): 44-50.

[12] Oscar A C, Li Z L, Lewis R. A laboratory investigation on the influence of the particle size and slip during sanding on the adhesion and wear in the wheel-rail contact [J]. Wear, 2011, 271: 14-24.

[13] 大野薰. 轮轨间滚动摩擦及其控制 [J]. 国外铁道车辆, 2001, 38(1): 36-40.

[14] 王文健, 郭俊, 刘启跃. 不同介质作用下轮轨粘着特性研究 [J]. 机械工程学报, 2011, 47(19): 14-17.

作者地址: 四川省成都市二环路北一段 610031
西南交通大学机械工程学院
Tel: (028) 8763 4304
E-mail: ltfei1219@126.com

• 本刊讯 •

本刊关于参考文献著录的要求

本刊参考文献符合国标 GB/T7714—2005,并参考 CAJ—CDB/T1-1998 技术规范,采用顺序编码著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字标出,并将序号至于方括号内,排列于文后。参考文献应尽量引用国内外正式公开发表的引文且各项信息齐全,作者的英文名采用姓前名后格式,姓用全称且首字母大写,名用缩写且保留大写的首字母,作者在 3 名以上只列前 3 名,后加“、等”;题名后应标注文献标识类型;期刊名称(包括英文期刊)采用全称;著录期刊的年、卷、期信息应齐全。具体格式如下:

- ① 期刊:[序号] 作者. 文名[J]. 刊名, 出版年, 卷(期):起止页码.
- ② 论文集:[序号] 作者. 题名[C]. 编者. 文集名, 出版地:出版者, 出版年, 起止页码.
- ③ 学位论文:[序号] 作者. 题名[D]. 保存地:学位授予单位, 年份.
- ④ 专著:[序号] 著者名. 书名[M]. 版本. 出版地:出版者, 出版年.
- ⑤ 报告:[序号] 作者名. 报告题名[R]. 出版地:出版者, 出版年.
- ⑥ 标准:[序号] 标准代号. 标准顺序号—发布年. 标准名称[S].
- ⑦ 专利:[序号] 专利所有者. 专利题名[P]. 专利国名:专利号. 年一月一日(批准日期).
- ⑧ 报纸:[序号] 作者. 题名[N]. 报纸名, 年一月一日(版次).
- ⑨ 电子文献:[序号] 作者名. 题名[J/OL](EB/OL或DB/OL). 电子文献出处或可获得的地址, 发表或更新日期.