

研
究
开
发HXD1C 机车粘着利用
控制的研究与优化改进张建柏¹, 曾 云²(1.兰州铁路局 机务处, 甘肃 兰州 730050 ;
2.株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)

作者简介: 张建柏 (1968-), 男, 兰州铁路局机务处总工程师, 高级工程师, 从事机车运用维修技术管理工作。

摘 要: 针对HXD1C机车在兰州铁路局实际运营过程中遇到的几个问题, 对机车粘着利用控制软件做出相应的改进。同时介绍了基于加速度微分的控制策略, 提供相关的试验波形。结果表明粘着利用控制软件的改进切实提高了HXD1C机车在长大坡道和小曲线半径线路条件下的牵引性能。

关键词: 交流传动; 粘着利用控制; 粘着系数; 轮对加速度微分; 小波分析; HXD1C 机车

中图分类号: U260.11+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)03-0017-03

Research and Improvement of Adhesion Utilization Control
for HXD1C LocomotiveZHANG Jian-bai¹, ZENG Yun²

(1.Locomotive Department, Lanzhou Railway Bureau, Lanzhou, Gansu 730050, China;

2.Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: To settle several problems of locomotive HXD1C from actual operation on Lanzhou railway line, improved adhesion utilization control software for the locomotive was presented. Adhesion control strategy basing on the differential of the wheel acceleration was offered, and the test waves were given. Results indicated the new correlative control software improving performance of the locomotive traction effectively on conditions of long, big ramp and small curve railway line.

Key words: AC drive; adhesion utilization control; adhesion coefficient; differential of wheel acceleration; wavelet analysis; HXD1C locomotive

0 引言

交流机车的粘着利用控制性能在机车运行中占据越来越重要的地位, 尤其对于长大坡道、小曲线半径居多的线路, 机车的粘着利用控制显得至关重要。兰州铁路局自2010年下半年配属HXD1C机车以来, 由于其环境特殊的气候和线路条件, 尤其是天气变化快, 坡道长大, 同时小曲线半径线路多等等因素, 对HXD1C机车(7 200 kW)的牵引性能提出极高的要求, 为此, 有必要针对HXD1C机车在兰州铁路局的实际运行情况进行相关试验研究, 修改粘着利用控制软件以适应兰州铁路局的运输条件。

1 兰州铁路局的线路条件基本概况

兰州铁路局货运主要包括武威南段、兰州西段和

迎水桥段3个段, 线路条件比较恶劣, 其中兰州西到武威南线路长250 km, 从兰州西段出发, 西行170 km到打柴沟, 路段基本上为长大坡道, 以10‰以上坡道为主, 最大坡道为13‰。通过打柴沟后即下坡至武威南。反向从武威南出发往兰州西即为上坡, 坡道也以10‰为主。

兰州西往东到陇西, 同样为10‰以上长大坡道, 距离大约200 km。

2 兰州铁路局对HXD1C机车粘着利用控制的要求

①一旦下小雨, 轨面粘着条件恶劣, 粘着牵引力不能频繁、过大幅度地变化, 否则司机无法根据显示器上的牵引力显示做出相应的操作, 即使人工撒沙, 也不能够让机车牵引力稳定, 使机车速度稳步上升。

②对机车运行过程中, 由于粘着牵引力的剧烈波动带来的机车振动, 有比较大的担忧(长时间运行会对走行部带来巨大的危害), 强调粘着牵引力的平稳。

收稿日期: 2011-04-11

③由于线路普遍为10‰长大坡道,对于机车的粘着牵引力提出很高要求,要求机车提供稳定的高牵引力,同时要求对HXD1C机车的撒沙装置与粘着利用控制软件的配合作改进。

3 改进的控制策略

针对兰州铁路局下属几个段的线路条件,针对性地改进了现有粘着利用控制软件,采用基于加速度微分的粘着利用控制新算法^[2-3],其基本控制原理如下:

机车运动方程:

$$M \frac{dv_t}{dt} = F - F_d(v_t) \quad (1)$$

电机运动方程:

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - \frac{1}{R_g} F \cdot R \quad (2)$$

根据式(2),可以得出式(3):

$$F = \frac{R_g}{R} (T_m - J_m \frac{d\omega_m}{dt}) \quad (3)$$

对式(3)两边同时求导:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{dF}{dv_s} \cdot \frac{dv_s}{dt} = \frac{R_g}{R} (\frac{dT_m}{dt} - J_m \frac{d^2\omega_m}{dt^2}) \quad (4)$$

的项)

取 $\frac{dT_m}{dt} = k_1$, 同时记 $a = \frac{d\omega_m}{dt}$, $\dot{a} = \frac{d^2\omega_m}{dt^2}$, 将其代入式(4)得

$$\frac{dF}{dt} = \frac{R_g}{R} (k_1 - J_m \dot{a}) \quad (5)$$

在机车粘着控制中,希望机车粘着工作在其特性曲线峰值点左边一点。此时, $\frac{dF}{dt} \geq 0 (F = M \cdot \mu)$, 将其代入式(5)得出:

$$\frac{R_g}{R} (k_1 - J_m \dot{a}) \geq 0 \quad (6)$$

$$\Rightarrow \dot{a} \leq \frac{k_1}{J_m} \quad (7)$$

式中: v_t 为机车速度; M 为机车重量; J_m 为电机、轮对其附件折算到轮对上的转动惯量; T_m 为电机力矩; $F_d(v_t)$ 为机车运行阻力; R 为机车轮对半径; R_g 为传动比。

从上述的推导中,可以看出,要使机车工作在粘着峰值点左边一点,只要在机车车轮加速度微分值达到 k_1/J_m 之前,将力矩给定维持,就可以使机车工作在粘着峰值点左边一点,从而实现最优粘着利用控制^[1, 4-5]。

4 轮对加速度的处理

改进的粘着利用控制策略是基于加速度微分的粘着利用控制算法,其算法的关键点是轮对加速度的处

理,获取比较平滑的加速度曲线。针对HXD1C机车运行在兰州铁路局的线路条件,采用小波分析的降噪措施,利用DB6小波提取有效的加速度成分,如图1所示。

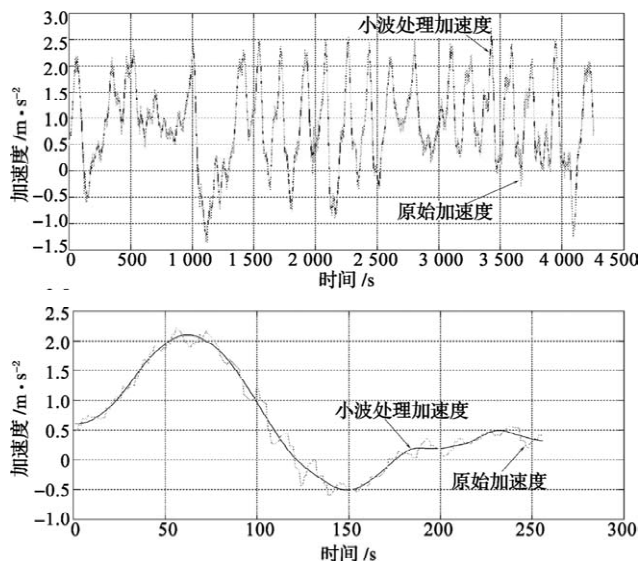


图1 DB6小波处理机车轮对加速度信号

5 改进前粘着利用控制效果和改进后对比

1) 改进前试验1

试验区段:兰州西段到打柴沟。

试验时间:上午9:00开始。

试验条件:洒水,机车挂3 500 t,爬坡,中间有12‰长大坡道。

试验结果:有相当程度的空转,电机速度和列车参考速度有较大的差值,机车有比较大的振动,实际牵引力矩较小,如图2和图3所示。

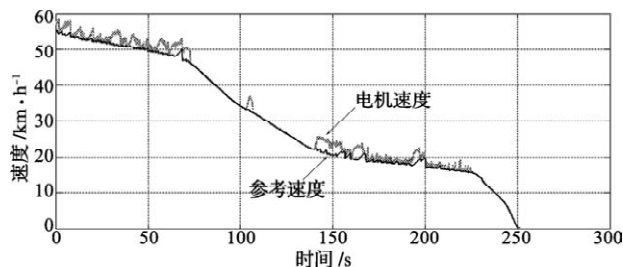


图2 改进前电机速度和参考速度

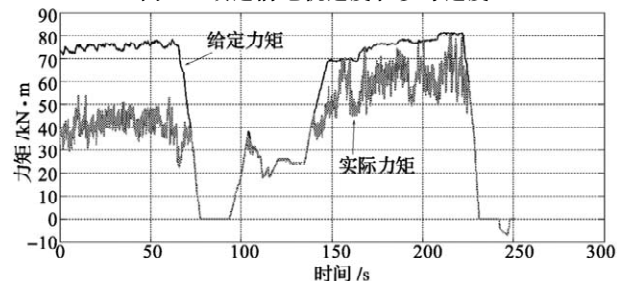


图3 改进前给定力矩和实际牵引力矩

2) 改进后试验1

试验区段:同为兰州段到打柴沟。

试验时间:11:00开始。

试验条件:同上。

试验结果：没有频繁的卸载发生，粘着实际牵引力较为平稳，空转很少发生，机车平稳爬坡向前牵引，机车速度稳步上升，如图4和图5所示。

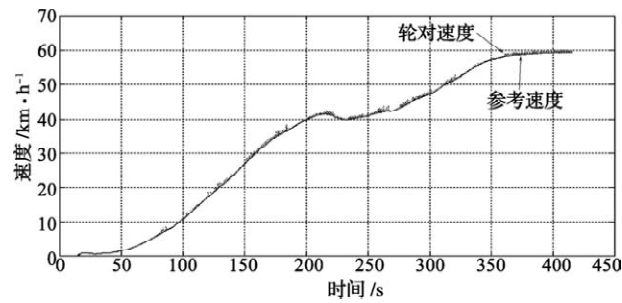


图 4 改进后电机速度和参考速度

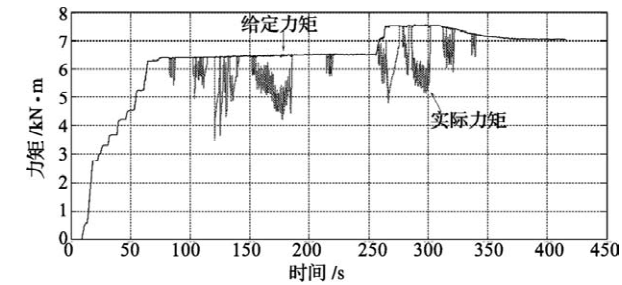


图 5 改进后给定牵引力和实际牵引力

3) 改进前试验2
试验区段：陇西到兰州西段。
试验时间：下午 14：00 开始。
试验条件：洒水，拆除撒砂装置，机车挂3 500 t，爬坡，中间有 12‰ 长大坡道。

试验结果：机车速度在 15~20 km/h 有明显的空转现象，粘着实际牵引力矩在剧烈波动，驾驶室有明显晃动，如6和图7所示。

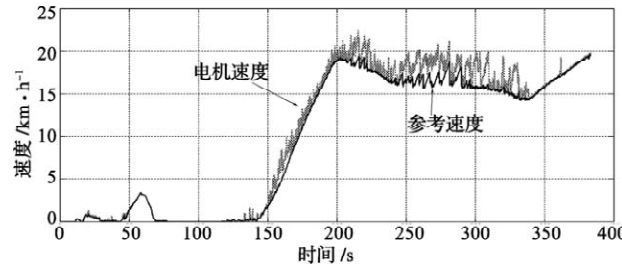


图 6 改进前电机速度和参考速度

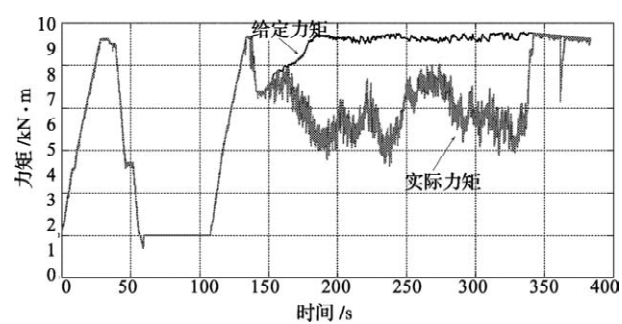


图 7 改进前给定力矩和实际牵引力矩

4) 改进后试验2
试验区段：同上。
试验时间：上午 11 点。

试验条件：同上。
试验结果：在切除撒砂装置同时洒水的情况下，验证了机车重载爬坡的能力，如图8和图9所示，实际牵引力有一定损失，但依然可以基本维持速度的上升。

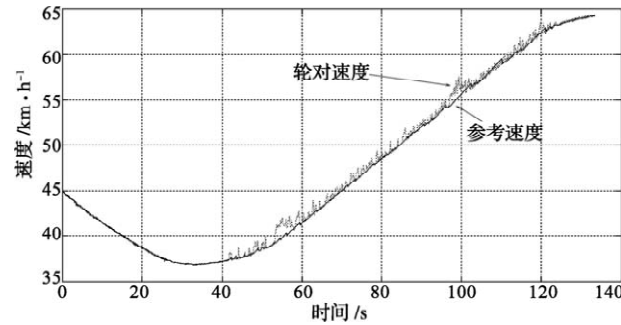


图 8 改进后电机速度和参考速度

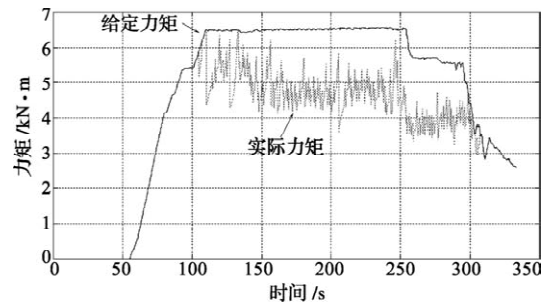


图 9 改进后给定牵引力和实际牵引力

6 结语

由于兰州铁路局特殊的线路条件，对HXD1C 机车（7 200 kW）的牵引性能尤其是粘着利用控制性能提出很高的要求。为了满足上述要求，采用基于加速度微分的粘着利用控制方法，可以切实提高机车的牵引性能，确保实际牵引力的平稳。不管是天气良好还是天气恶劣，经过改进的HXD1C 机车粘着力控制能够使轮轨粘着得到充分利用，尤其是对于大长坡道和小曲线半径的线路条件具有特别的意义。

参考文献：

[1] 李江红, 马 健, 彭辉水. 机车粘着控制的基本原理和方法 [J]. 机车电传动, 2002 (6) : 4-8.

[2] 彭辉水, 陈华国, 曾 云, 等. 基于加速度微分粘着控制方法的仿真研究 [J]. 机车电传动, 2010 (2) : 26-27.

[3] 彭辉水, 李 艳, 肖功彬, 等. 120 km/h 大功率交流传动内燃机车的粘着控制 [J]. 机车电传动, 2011 (1) : 4-5.

[4] Kiyoshi Ohishi, Ken Nakano, Ichiro Miyashita, Shinobu yasukawa. Anti-slip Control of Electric Motor Coach Based on Disturbance Observer [A] // AmC '98. Coimbra. 1998 5th International Workshop, 1998, 580-585.

[5] Yosuke Takaoka, Atsuo Kawamura. Disturbance Observer Based Adhesion Control for Shinakansen [A] // AmC '2000 proceedings. 6th International Workshop, 2000 : 169-174.