

文章编号: 1005-8451 (2016) 10-0001-04

基于计算机仿真技术的钢轨打磨模式决策方法

周鹏刚¹, 杨 岳¹, 丘文生²

(1. 中南大学 CAD/CAM 研究所, 长沙 410075;

2. 广州铁路(集团)公司 广州大型养路机械运用检修段, 广州 511400)

摘要: 基于计算机仿真技术的打磨模式决策方法根据目标廓形选择最优的打磨模式, 避免了因打磨模式选择不当导致的打磨遍数过多的问题, 有效地提高了打磨作业效率, 减少了作业量, 对提高钢轨打磨车的应用水平具有借鉴意义, 为实现线路精确打磨的目标提供技术保障。

关键词: 计算机仿真; 钢轨打磨; 打磨模式; 决策方法

中图分类号: U216.424 : TP39 **文献标识码:** A

Decision approach of rail grinding patterns based on computer simulation technology

ZHOU Penggang¹, YANG Yue¹, QIU Wensheng²

(1. CAD/CAM Institute, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Guangzhou Railway Group, Guangzhou Heavy Railway Maintenance Machinery Operation and Maintenance Depot, Guangzhou 511400, China)

Abstract: This article proposed a decision approach of rail grinding patterns based on computer simulation technology. The approach selected the optimal grinding pattern depending on the target profile shape, avoided too much grinding due to the improper selection grinding pattern, effectively improved the efficiency of the grinding operation, reduced the amount of grinding work, had reference significance to improve the application of rail grinding vehicle, provide the technical support for the rail grinding.

Key words: computer simulation technology; rail grinding; grinding patterns; decision approach

钢轨打磨是铁路线路的常规维护项目之一^[1]。线路的提速和高速铁路的发展, 使得钢轨打磨作业任务日益增多, 人工确定打磨方案的方式已经不能满足现场需要, 亟需通过先进的技术手段提高打磨作业决策的科学性, 实现线路精确打磨。打磨模式的决策是利用钢轨打磨车进行打磨作业的关键, 打磨模式直接关系到钢轨打磨的质量^[2]。本文开展基于计算机仿真技术的钢轨打磨模式决策方法研究, 并通过现场试验对所提出的方法进行验证。

1 钢轨打磨模式技术现状

目前, 钢轨打磨施工主要通过钢轨打磨车进行^[3], 常见的钢轨打磨车有 GMC-96、PGM-48 线路打磨车和 RGH20C 道岔打磨车。以 GMC-96 为例, 钢轨打磨作业时, 通过工务系统有大量实际打磨经验的技术人员从已有的打磨模式库中选取与线路测量轮廓和

病害相匹配的打磨模式进行施工; 在必要的情况下, 对打磨工艺参数进行调整, 以保证打磨效果。GMC-96 打磨模式库中共有 99 种打磨模式, 按适用的场合, 分高铁、重载、测磨、廓形、肥边、波磨、部分磨头不工作、自编以及维护保养共 9 种类型。人工通过肉眼观察, 或者便携式轨廓仪对线路进行测量, 进行病害判别, 既无法保证准确性, 而且工作量很大。不同的打磨模式, 其打磨角度分布完全不一样, 打磨模式选择出现偏差, 对后续打磨作业的安排造成了困难, 严重时可能导致不良廓形的出现, 对行车安全造成重大影响。

部分铁路局的工务系统使用简单的自编软件, 利用 CAD 软件的二次开发插件对线路的测量廓形和打磨目标廓形进行比对, 依据打磨作业车的实际经验手工定义打磨模式, 在一定程度上提高了打磨模式的适用性, 但采用这种方式的作业效率普遍低下, 且对操作者依赖性较高, 自编打磨模式耗时耗力。近来, 也有采用智能化的廓形仪, 一次完成钢轨廓形

收稿日期: 2016-03-05

作者简介: 周鹏刚, 在读硕士研究生; 杨 岳, 教授。

的测量和打磨模式的生成，但受钢轨打磨车车型众多、线路情况复杂等不确定性因素的限制，生成的打磨模式尚无法达到完全满足打磨作业需要的程度。利用计算机仿真技术对钢轨打磨过程进行仿真，根据仿真计算结果来决策出最佳打磨模式，对使用者的要求相对较低，可代替大量的实验，具有很好的实际应用价值。

2 钢轨打磨模式决策方法

2.1 打磨模式决策总体方案

目前，计算机仿真技术已经广泛应用于机械制造、铸造焊接、电子设备等领域，技术成熟度较高，且大多数计算机的处理器已经足以胜任大量计算的需要，可以很好地解决钢轨打磨模式决策的问题。结合钢轨打磨车的实际应用和施工标准，以研究打磨量与打磨工艺参数的关系为基础，运用数值计算的方式对打磨过程进行仿真计算，实现根据测量廓形和打磨目标廓形，从已有的打磨模式库中选定最优的打磨模式，并将打磨模式结果通过专用数据接口传递给钢轨打磨车的打磨控制系统。图1是基于计算机仿真技术的打磨模式决策方案设计。

钢轨打磨模式的区别在于打磨头摆动角度和驱动打磨头的电机的工作功率的不同，表1是GMC-96钢轨打磨车打磨模式库中针对高铁线路的4#和8#钢轨打磨模式的

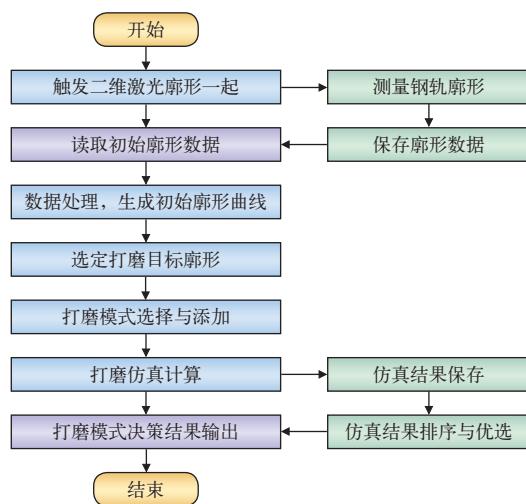


图1 基于计算机仿真技术的打磨模式决策方案

对比情况。选取钢轨廓形的测量数据作为研究对象：

(1) 对离散量进行曲线拟合建立钢轨廓形数学模型，根据打磨头和钢轨的接触关系建立单个打磨头的数学模型；

(2) 将单个打磨头作用于钢轨廓形，得到单个打磨头打磨后的钢轨廓形，实现对单个打磨头打磨过程的仿真，不同打磨头的循环作用模拟钢轨打磨车多个打磨头的实际打磨作业；

(3) 根据相关标准或管理办法建立打磨效果评价的目标函数和约束条件，对照选定的打磨目标廓形，对不同打磨模式作用后的钢轨廓形进行排序和优选确定最佳打磨模式。

基于计算机仿真技术，设计钢轨打磨模式决策方法算法，可实现多个打磨模式打磨廓形预测，并依据仿真结果决策出适合当前线路廓形的最优打磨模式。

表1 不同钢轨打磨模式对比

| 打磨模式 | 磨头 | 1/2 | 3/4 | 5/6 | 7/8 | 9/10 | 11/12 | 13/14 | 15/16 | 17/18 | 19/20 | 21/22 | 23/24 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4# | 角度 | -3 | -4 | -7 | -8 | 8 | 9 | 12 | 13 | 16 | 17 | 20 | 21 |
| | 功率 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 8# | 角度 | -3 | -4 | -7 | -8 | -12 | -16 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 | 11 | 11.5 |
| | 功率 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 打磨模式 | 磨头 | 25/26 | 27/28 | 29/30 | 31/32 | 33/34 | 35/36 | 37/38 | 39/40 | 41/42 | 43/44 | 45/46 | 47/48 |
| 4# | 角度 | 21.5 | 24 | 25 | 25.5 | 28 | 29 | 29.5 | 32 | 33 | 33.5 | 35 | 38 |
| | 功率 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 8# | 角度 | 12 | 12.5 | 15 | 15.5 | 16 | 16.5 | 19 | 19.5 | 20 | 20.5 | 23 | 27 |
| | 功率 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |

2.2 钢轨打磨仿真算法

由于钢轨打磨是按打磨头在钢轨的纵向排列顺序进行的^[4]，这样就可以根据选择的打磨模式中的砂轮排布和单个砂轮的打磨量，从几何的角度对打磨后的廓形进行预测，如图2所示。用直角坐标系内的直线段模拟钢轨打磨车砂轮底面，直线段以一定的步长逐渐逼近钢轨原始廓形曲线来模拟打磨头砂轮逼近的过程。作为砂轮的直线段和作为钢轨的曲线相交接触并相交后，开始计算所夹面积作为已完成的打磨量。当已完成的打磨量通过打磨量与打磨工艺参数关系计算所得值的偏差在预设范围内的时候，停止直线段的逼近，将曲线与直线段求交获得两个交点。两个交点区间之外的钢轨廓形仍为原来的曲线，区间内的曲线用两个交点为端点的直线段替换，

再次拟合曲线得到单个打磨头砂轮作用后的新的钢轨廓形曲线。

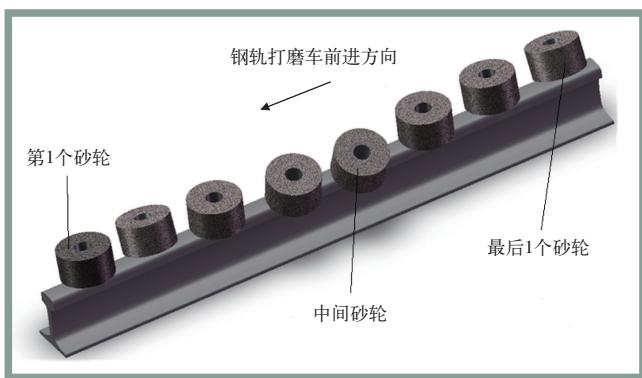


图2 打磨头砂轮排布示意图

图3是单个打磨头砂轮作用过程仿真的示意图，打磨头砂轮初始位置时，其纵向对称面与钢轨纵向对称面的夹角为 θ ，砂轮底面位于直线 P_0Q_0 处。砂轮在电机带动下旋转工作的同时也在液压油缸的作用下沿轴向进给，砂轮处于任何位置时其底面均与 P_0Q_0 平行的一条直线段在同一位置。当砂轮底面位于 P_nQ_n 处时，图2中红色区域的面积表示已完成的打磨量与单个砂轮在该角度时计算的打磨量的差值小于预设的偏差，停止砂轮的轴向进给，对钢轨廓形曲线进行更新。因此，图3中钢轨实线轮廓即可表示该打磨头单独作用后的钢轨预测廓形。重复上述过程，直至打磨模式所包含的打磨头均作用完成得到的钢轨廓形曲线作为最终打磨后的钢轨预测廓形。为了提高计算速度，对于直线段的进给步长 h 采用变步长算法，即当直线段离轨面较远时， h 取较大的值，使直线段快速逼近钢轨表面；当直线段接近钢轨表面时， h 取较小值，使仿真计算结果收敛于设定的值。实验中，单个打磨头的仿真计算时间约为1~4 s，一个打磨模式的仿真计算时间约为36~90 s。通过优化仿真算法，改进收敛阈值，计算速度还有进一步提高的空间。

单个砂轮的打磨量与打磨角度、打磨功率、车速等打磨工艺参数均有关系。打磨角度越大，打磨功率越大，车速越高，打磨量越大。打磨量与上述参数的精确关系，需通过设计实验进行研究。假设打磨量与各参数间是二次关系，则至少进行7组实验便可通过求解方程组获得打磨量的表达式。在同

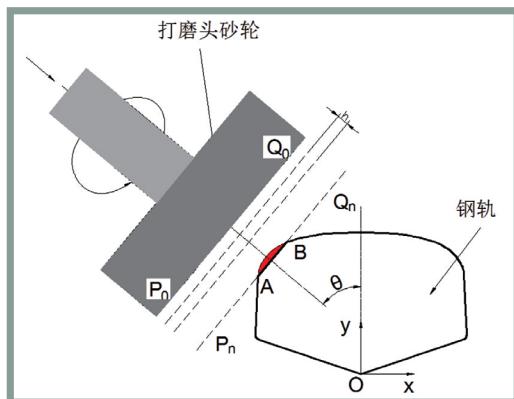


图3 单打磨头作用下钢轨打磨过程仿真示意图

一段线路上反复多次试验，其结果可以作为验证打磨量与打磨参数关系的重要依据。

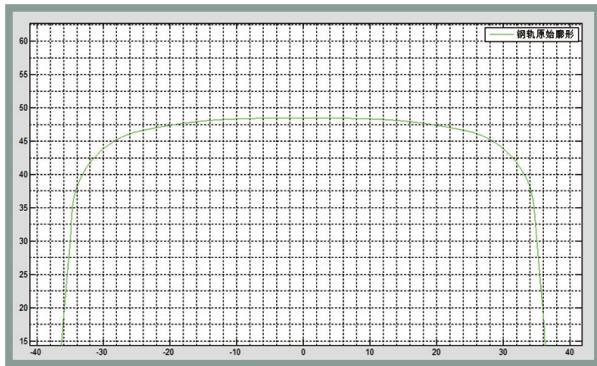
3 钢轨打磨模式决策系统开发与应用实例

3.1 钢轨打磨模式决策系统开发

鉴于图像测量法对环境条件的苛刻要求及单点激光扫描法工作效率较低的弊端，为了提高测量精度，使用激光二维轨廓仪，如图4a所示，对打磨作业前钢轨断面的实际廓形进行测量，得到钢轨表面离散点在特定坐标系下的若干坐标值，读入钢轨初始廓形的原始测量数据，应用滤波技术对干扰数据进行去噪以确保准确性，通过精简数据减少后续仿真计算的运算量。实验中使用ZLDS200HS二维激光传感器进行钢轨数据的采集，获得钢轨表面1 280个离散点的坐标值，去噪精简后剩余140个点的数据。通过计算机仿真技术对打磨后的廓形进行预测，还需要通过曲线拟合方法对其进行处理，形成钢轨原始廓形曲线，如图4b所示。



a. 钢轨数据采集设备



b. 钢轨原始廓形曲线

图4 钢轨数据采集设备及处理后的数据

考虑到 Matlab 在数据处理和图像呈现方面的独特优势，在 Matlab 编程环境下编写 GUI 界面实现钢轨打磨仿真与打磨模式自动优选，软件还具有打磨模式库管理、预测后钢轨廓形检查和不同打磨模式仿真结果切换等功能。

3.2 钢轨打磨模式决策应用实例

在铺设 60N 钢轨的线路采集钢轨廓形数据进行钢轨预打磨过程的仿真计算，添加适用于高铁线路的 3#、5#、8# 共 3 个打磨模式，选取 60N 钢轨廓形作为打磨目标廓形，仿真结果显示 8# 打磨模式作用后的钢轨预测廓形与目标打磨廓形最为接近，故在所添加的 3 个打磨模式中，8# 打磨模式为最优模式如图 5 所示，与实际打磨施工结果相符。

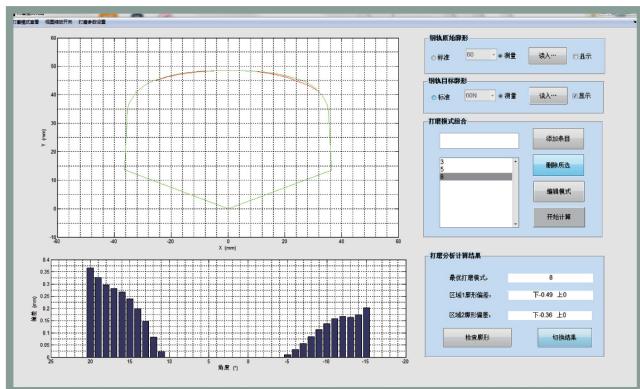


图5 钢轨打磨模式决策应用实例

8# 打磨模式打磨作业前后，分别测量轮轨间的接触光带，发现打磨后的接触光带全部居中，带宽均匀较直，轮轨间的接触关系得到了明显的改善，如图 6 所示；钢轨打磨车作业过程中，钢轨表面无连续发蓝现象。经钢轨打磨后轨廓达到了理想效果，打磨效果良好。



a. 打磨前



b. 打磨后

图6 打磨前后轮轨接触光带比较

4 结束语

基于计算机仿真技术的钢轨打磨模式决策方法运用计算机仿真技术和钢轨廓形预测算法，实现对钢轨打磨过程的仿真，在钢轨打磨任务日益繁重的背景下，无需额外的专业装备即可实现打磨模式的决策，提高钢轨打磨质量和作业效率，不再依赖于人工经验，具有较好的实际应用价值。通过有计划地制定打磨方案，及时合理安排打磨作业，可以有效地预防或消除钢轨病害、修正轨头廓形，修复或降低轨面损伤，减少轮轨接触疲劳和轨道波磨的发生，改善轮轨匹配关系，提高列车运行品质，延长线路使用寿命。

参考文献：

- [1] 金学松，杜 星，郭 俊，等. 钢轨打磨技术研究进展 [J]. 西南交通大学学报, 2010 (1) : 1-11.
- [2] 马良民. 高速铁路钢轨打磨技术研究与应用 [J]. 铁道建筑, 2011 (5) : 114-116.
- [3] 卢 军. 钢轨打磨列车打磨质量控制 [J]. 铁道技术监督, 2011 (1) : 26-28.
- [4] 王文健，陈明韬，郭 俊，等. 高速铁路钢轨打磨技术及其应用 [J]. 西南交通大学学报, 2007 (5) : 574-577.
- [5] 雷晓燕. 钢轨打磨原理及其应用 [J]. 铁道工程学报, 2000 (1) : 28-33.

责任编辑 徐侃春