

高速重轨平立复合矫直控制工艺模型研究*

但斌斌, 陈 满

(武汉科技大学 机械自动化学院, 湖北 武汉 430081)

摘要: 以高速重轨矫直实际生产为依据, 从重轨轧制工艺的能耗、前滑、矫直压力、平直度、应力应变五个方面建立了高速重轨平立复合矫直控制工艺模型。将该模型应用于实际生产, 结果表明, 模型能够准确地计算出不同规格重轨的压下分配量, 所预测的平直度数值与实测数据相符合, 达到了控制工艺模型设计初始的参数要求。

关键词: 重轨; 矫直; 控制工艺模型

中图分类号: TP273

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)22-0069-03

Research on the process control model for high speed heavy rail level and vertical compound straightening

DAN Bin Bin, CHEN Man

(College of Machinery and Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: According to actual production straightening heavier rail of energy consumption, rolling process before sliding, straightening pressure and straightness, stress and strain of five aspects, establish a high-speed heavy rail flat vertical composite straightening control technology model. This model is applied to practical production, the results show that the model can accurately calculate the pressure of different specifications for heavy rail under share, predicted straightness and numerical corresponds with the measured data, the control process model design parameters of the initial requirements, the effect is good.

Key words: heavy rail; straightening; process control model

铁路提速对重轨尺寸精度和平直度的要求有了明显提高, 国产重轨如何适应需求是一个具有重大意义的课题, 尤其对于高速铁路建设这一问题更加突出^[1]。

本文以高速重轨矫直为实际背景, 研究了影响矫直效果的决定因素, 建立了高速重轨平立复合矫直控制工艺模型, 以实际生产的历史数据为基础进行了试验, 取得了较好效果。

1 背景介绍

1.1 矫直过程简介

重轨生产工艺流程如图 1 所示, 高炉炼铁—平炉炼钢—模铸—初轧开坯—坯料清理—钢坯加热—开坯粗轧—精轧—锯切—机械打印—缓冷—矫直—铣头钻孔—超声波探伤—高频淬火检查—分级入库。

重轨在轧制和冷却过程中, 因相变应力和热应力等原因, 必然发生弯曲变形。为了得到平直的重轨, 必须经

过矫直工序。

矫直过程如图 2 所示。从图中可看出随着钢轨进钢, 三点弯曲矫直关系建立, 进行一次弯曲矫直。矫直过程就是不断弯曲使钢轨经历弹塑性弯曲变形, 达到平直。可分别计算作用在各个辊子上的矫直力, 要得到作用在各辊子上的压力, 必须先确定各个辊子处的弯矩。弯矩取决于弯曲变形量的大小。在辊式矫直机上, 重轨随着矫直辊的转动不断前进并反复弯曲。因此, 矫直辊上的扭矩按照功能相等的原理确定, 即重轨弯曲变形所作的功应该与矫直辊在矫直扭矩的作用下使重轨前进所作的功相等。

1.2 高速重轨矫直的核心控制工艺

平立式复合矫直机的核心控制工艺是通过对接轨型号、钢轨成分、外形尺寸、轧制速度等参数分析, 拟定立式矫直机和水平矫直机各压下辊的轧制力和合理压

* 基金项目: 教育部重点实验室开放基金资助项目 (2009A07)

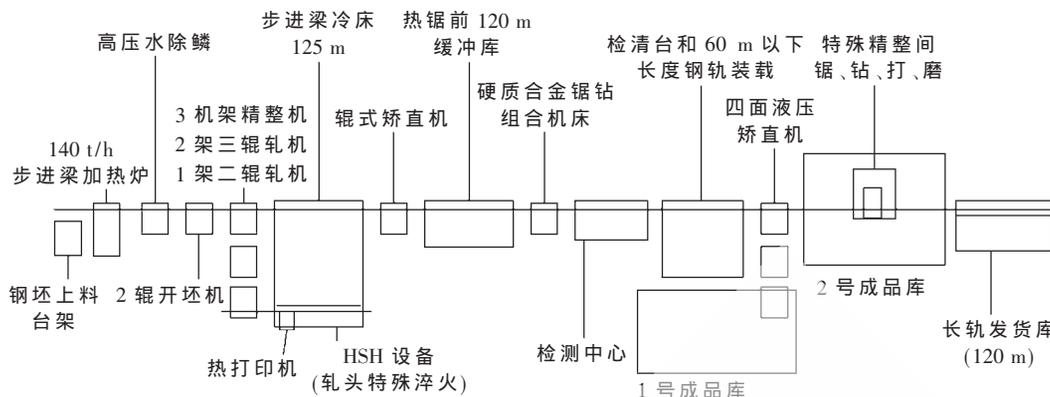


图1 重轨生产工艺流程

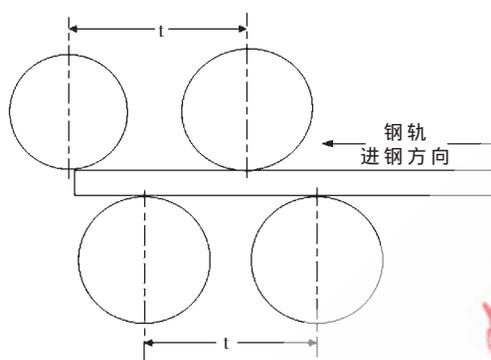


图2 矫直过程

下量的分配比例,通过控制系统对各压下辊进行精确控制,实现钢轨矫直^[2]。

矫直机的基本参数包括:矫直辊径、矫直辊距、矫直辊数、矫直辊身长度。这些基本参数的正确选择对重轨的矫直质量、设备的结构尺寸和功率消耗等都有重要的影响。由于上述些参数在设备改造完毕后基本上已经确定,因此需要制定适应设备和产品的生产工艺,即确定上述的平立式复合矫直机的核心控制工艺。

2 总体建模及模型简化

平立复合矫直参数模型是通过矫直过程中各参数和变量之间所存在的某种数量相互之间的关系,采用形式化语言,概括或近似表达出来的一种数学结构。从建模方法角度看,参数化模型可分为理论模型、理论统计模型和统计模型。在实际生产过程中,所应用的模型一般是根据现场数据观测的基础上,经过回归分析方法建立的理论统计模型。建立模型的过程如下:

(1)确定问题系统及变量关系。在对目标系统分析的基础上,确定描述问题的变量及相互关系以及问题所属系统、模型大概的类型,提出相关假说。

(2)确定最佳的试验方案和方法。由于工程技术问题均具有很强的工艺性,因此除少数试验在实验室进行外,应特别重视生产性试验。在进行试验时,必须配置性能稳定,具有一定精度的检测装置,而且要严格保持试验条件稳定,精心操作,详细记录,对数据进行正确的判

断、筛选和分析。

(3)确定合理的模型结构。模型结构反映了实际过程的内在规律,对试验数据的拟合精度有本质的影响,有些情况下应用试验数据进行多种模型结构的拟合,从中选出最合适模型的表达形式。

(4)确定模型中的最佳参数。目前广泛采用最小二乘识别的回归分析方法来确定模型中的最佳参数。

(5)检验修改模型。模型只有在被检验、评价、确认基本符合要求后,才能被接受,否则需要修改模型,这种修改有时是局部的,有时甚至要全部推倒重来。

建模完成后,需要进一步对模型简化,其步骤是:

(1)除去一些变量。在机理分析中的一些条件下,常将描述分布参数系统的偏微分方程简化为集中参数的常微分方程。在统计分析中,则采用主成分分析法、向后回归法(淘汰法)和逐步回归方法,以减少变量个数。或在建模之前,采用正交试验方法,在众多因素(变量)中找出对指标有显著影响的少量因素,再进行优选试验,进而建立模型。

(2)合并一些变量。在构造模型时,把性质相同或相似的变量合并成少数有代表性的变量。尽管这样会降低模型的精度,但只要能满足建模的基本要求,就是可行的。

(3)改变变量的性质。常用的方法是把某些非主要的或暂时的变量看作常量,把连续变量看作离散变量,或把离散变量看作连续变量。

(4)改变变量之间的函数关系。当处理非线性问题遇到困难时,或建模精度要求不高时,常将非线性函数在某点处展开,取消两项作为近似表达式,即用线性关系逼近非线性关系式,这一线性化方法在工程界被广泛采用。

(5)改变约束关系。为简化模型有时还可以对变量的约束条件加以改变,如增加一些约束,或去掉一些约束,对约束进行一些修改等。例如在求解数学规划问题时,若要得到目标函数的极大值,而不一定能找到真正解时,则增加约束后求得的可行解一般偏低,称之为保

技术与方法 Technique and Method

守解或悲观解;去掉一些约束求得的解,往往偏高,称之为冒进解或乐观解。虽然它们都不是问题的真正解,但可以通过它们了解到真正解的范围,对问题进行初步评价是有用的。

(6)模型结构的转换。若某种模型在理论上很漂亮,但求解很困难,甚至无法求解;或者某种模型,要求具备某种数据,而这种数据不具备或不易得到,只有改用其他形式的模型,即改变模型的结构。模型结构的转换,需要在对问题透彻理解和想象的基础上,实现视角的转换,即从不同的角度观察问题,进而采用不同的数学工具描述同一问题。

3 控制工艺模型

控制工艺模型是重轨矫直过程中各参数和变量之间所存在的某种数量相互之间的关系,采用形式化语言,概括或近似表达出来的一种数学结构^[3]。从建模方法角度看,参数化模型可分为理论模型、理论统计模型和统计模型。在实际生产过程中,所应用的模型一般是在现场数据观测的基础上,经过回归分析方法建立的理论统计模型^[4]。以科学理论和生产实践为基础,研究建立重轨钢矫直过程中理论统计型模型的方法和程序。

控制工艺模型的基本任务是根据来料条件及对成品的要求,通过数学模型的计算,确定各辊的压下量、矫直力、速度等,以保证获得尽可能符合要求的重轨钢成品^[5]。模型计算流程图如图3所示。



图3 模型计算流程图

根据图3所示的计算要求,可知平立复合矫直参数模型包含如下几个部分:

(1)结构参数模型。用于计算和分析平立复合矫直过程中的辊径,由此确定各辊预压下量,是最重要的控制模型之一。

(2)力能参数模型。用于计算矫直力和工作转矩。

(3)工艺参数模型。用于计算和分析平立复合矫直各辊的压弯量。

(4)平直度模型。用于计算在初始设定参数的情况下,模型能够得到的矫直效果。

(5)自学习模型。用于从数据库中存储的历史数据中智能学习参数相互之间的关系,给出优化的调整值。

(6)应力应变模型。自学习模型的智能化需要大量样本库数据的支持。样本数据可来源于实测数据库,但实测数据库的数据并不一定能反映最佳的力学性能。应力应变模型的作用是通过运用 ANSYS 有限元软件分析数据库中的数据对重轨钢力学性能的影响,优化自学习模型中的样本库。

设计开发从重轨轧制工艺的能耗、前滑、矫直压力、平直度、应力应变五个方面为突破口的控制工艺模型。其中,能耗模型的主要作用是进行负荷分配,确定初始压下量,它是计算矫直力矩的前提,因而是最重要的控制模型之一。前滑模型用于计算矫直辊转速。矫直压力模型是设备最重要的工艺参数,是制定工艺制度的依据。矫直压力模型也是能耗模型、前滑模型和平直度模型的基础。平直度模型用于计算在初始设定参数的情况下,模型能够得到的矫直效果。应力应变模型的作用是通过运用 ANSYS 有限元软件分析数据库中的数据对重轨钢力学性能的影响。参数模型不仅从轧制工艺的各个方面实现了复合矫直工艺控制,也很好满足了多规格重轨工艺参数的控制需求^[6]。

4 模型的检验

根据所开发的平立复合矫直参数模型,结合现场实际应用情况,对不同重轨型号、不同矫直辊压下量进行统计分析,计算和实测的部分数据如表1所示。

从表中可以看出,运用所开发的模型,能够准确地计算出不同规格重轨的压下分配量,所预测的平直度数值与实测数据相符合,达到了控制工艺模型设计初始的参数要求。

重轨质量得到提高,不但可以延长重轨使用寿命、提高重轨成材率、代替进口节约大量外汇,还可以提高列车运行的安全性和平稳性、乘坐的舒适性。矫直是重轨生产过程中所必须的最后形变工艺,也是保证重轨质量的重要工序,而重轨的平直度、残余应力的大小和分布状态之间的相互联系是由重轨矫直机的结构参数和矫直工艺参数决定的。因此对重轨矫直进行全面、综合的深入研究,对提高重轨的质量、提高成材率、延长使用寿命和节约外汇等具有重要意义。

表 1 实测数据

| 编号 | R2H | R4H | R6H | R8H | R9H | R2V | R4V | R6V | R8V | 型号/(kg/m) | 计算平直度 | 实测平直度 |
|----|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----------|-------|-------|
| 1 | 15.5 | 9.5 | 5.5 | 2 | 0 | 13 | 7.5 | 4.1 | -2.5 | 60 | 0.995 | 0.992 |
| 2 | 16 | 10 | 6 | 2 | 0.5 | 12 | 8 | 4 | -2 | 60 | 0.992 | 0.992 |
| 3 | 14 | 11 | 4.8 | 2.4 | 0.2 | 10.8 | 7 | 3.5 | -2.2 | 60 | 0.991 | 0.992 |
| 4 | 15 | 10.5 | 5.2 | 1.5 | 0.1 | 10 | 10 | 5 | -2 | 60 | 0.994 | 0.990 |
| 5 | 14.8 | 9 | 5 | 1.8 | 0.4 | 13.5 | 6 | 5.4 | 0.8 | 60 | 0.990 | 0.990 |
| 6 | 16.2 | 8.6 | 4.5 | 1 | 0 | 14 | 9 | 3.8 | 0.5 | 60 | 0.991 | 0.990 |
| 7 | 16.1 | 8.8 | 6 | 2.1 | 0 | 13.8 | 7.5 | 4.1 | -1 | 43 | 0.990 | 0.990 |
| 8 | 16.5 | 9 | 5.4 | 1.5 | 0.5 | 14.2 | 8.1 | 4.6 | -1.5 | 43 | 0.995 | 0.994 |
| 9 | 15.4 | 9.8 | 5.2 | 1 | 0.2 | 12.9 | 7.2 | 3.9 | -2 | 43 | 0.997 | 0.994 |
| 10 | 15.8 | 10.5 | 5.9 | 1.1 | 0.1 | 13.6 | 7 | 3.2 | 0.1 | 43 | 0.992 | 0.990 |

参考文献

- [1] 张伟. 板带轧机自动厚度控制模型的研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(1): 95-98.
- [2] 李培玉. 一种智能故障诊断系统的研制[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2006, 48(10): 60-61.
- [3] 魏天斌. 高速重轨生产线及武钢重轨生产线的建设[J]. 武钢技术, 2005, 43(5): 25-27.
- [4] 张凯. 重轨孔型 CAD 系统的参数化设计与实现[J]. 轧钢, 2006, 23(4): 54-57.
- [5] 孙一锋. 武钢重轨生产工艺设备改造及产品开发[J]. 轧钢, 2005, 22(4): 45-47.
- [6] Senturia S n Micm—system Design[M]. Boston: Klu—wet Academic Publishers, 2001.

(收稿日期: 2010-05-24)

作者简介:

但斌斌, 男, 1970 年生, 副教授, 主要研究方向: 制造业信息化。

陈满, 男, 1985 年生, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 制造业信息化。