

集装箱码头RTG的防摇技术

■ 李文泽

(诺尔起重设备(中国)有限公司)

摘要: RTG防摇的重要性, 防摇系统的简易分析, 防摇系统的方法。

关键词: RTG; 防摇系统

DOI编码: 10.3969/j.issn.1002-5944.2018.14.115

1 概述

轮胎式集装箱起重机(RTG)是目前世界各大港口集装箱码头堆场的主要起重装卸设备, RTG换场作业灵活, 作业活动范围广, 堆场利用率高, 受到广大港口码头的欢迎。

RTG在工作的过程中, 即将集装箱在大车和小车之间进行装卸操作的过程中, 很容易出现集装箱摆动的情況。造成集装箱摆动的原因主要是风、摩擦等对处于提升状态集装箱的扰动。这种情况是万万不能忽视的, 轻则影响工作效率, 重则导致安全事故, 造成生命和财产损失。因此, 业界一直都对解决这种摇摆问题的研究非常重视。起重机在工作中, 在速度不断变化的情况下并受到外力干扰, 使得吊具发生不同程度、不同方向的摆动, 难以定位而使工作循环时间加长, 在影响生产效率的同时造成一定的安全隐患, 有时甚至还会由于集装箱的偏摆导致碰撞事故的发生, 最终造成严重的经济损失。

在实际的起重机工作过程中, 起重机操作员起着非常重要的作用, 依靠其自身丰富的操作经验可以应对吊具摇摆的问题, 但这无疑增加了操作员的劳动强度, 降低了工作效率。并且并不是所有的操作员都具备足够的操作经验。因此, 提高起重机的自动化程度, 尤其是加强自动化的防摇、减摇操作, 从而提高工作的效率及安全性, 具有非常重要的现实意义。目前, 起重机吊具防摇系统研究已经成为众多机构和厂商关注的焦点。

2 防摇系统的分析

RTG防摇控制系统的作用主要是在短时间内减小甚至消除吊具的摆动现象, 使其相对于小车的中心竖直线处于

稳定状态(在规定允许范围内轻微摆动)。RTG防摇控制系统一方面提高了起重机的工作效果和工作效率, 使集装箱的起重、定位、码放都更加快速、准确、安全; 另一方面也很大程度的减轻了操作人员的劳动强度, 一定程度上避免了对操作员经验的依靠。

RTG是一个非常复杂的系统, 为了分析其本质, 并在满足工程实用和允许范围内对其进行简化处理:

在RTG的工作过程中, 一般情况下大车都是固定不动的, 因此大车的运动因素可以不考虑;

风力和空气阻尼的影响忽略不计;

吊重始终在平面做水平运动;

起升钢丝绳的质量忽略不计。

考虑小车运行牵引力、吊重的偏摆及小车与轨道间的摩擦阻力, 分析得出如下图所示的小车-吊重偏摆系统的简化学力学模型:

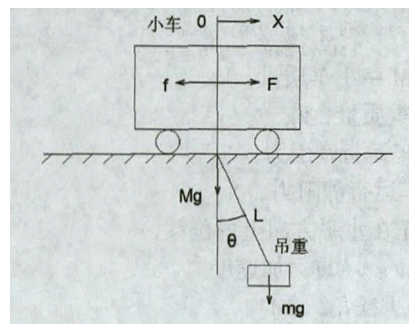


图1 小车-吊重偏摆动力学模型

其中,

M ——小车质量;

m ——吊重质量;

L ——起升钢丝绳的长度;

X——小车水平位移;
 θ ——吊重偏离竖直方向摆角;
 F——小车运行牵引力;
 f——小车运行静阻力;
 g——重力加速度 (9.8m/s^2).

用 T 代表起升钢丝绳张力, 通过微积分方程得到公式:

$$M\ddot{x} - T\sin\theta - F + f = 0 \quad \text{式 (2-1)}$$

根据达朗伯原理, 分析吊重 m 的受力情况: 它受重力 mg, 缆绳张力 T, 法向惯性力 F_g^n , 切向惯性力 F_g^t , 水平惯性力 F_1 作用。如图 2 所示。

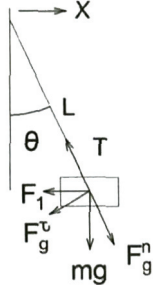


图 2 吊重力学分析

根据在水平方向上动力学平衡, 可得

$$T\sin\theta + F_1 + F_g^t \cos\theta - F_g^n \sin\theta = 0 \quad \text{式 (2-2)}$$

公式中: 法向惯性力 $F_g^n = m(L\dot{\theta}^2 - \ddot{L})$

切向惯性力 $F_g^t = m(L\ddot{\theta} + 2\dot{L}\dot{\theta})$

水平惯性力 $F_1 = m\ddot{x}$

且由式 (2-1) 可知:

$$T\sin\theta = M\ddot{x} - F + f$$

代入到式 (2-2), 有:

$$(M+m)\ddot{x} + mL(\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta) + m\dot{L}\sin\theta + 2m\dot{L}\dot{\theta}\cos\theta = F - f \quad \text{式 (2-3)}$$

在垂直方向上建立平衡方程, 有

$$m\ddot{x}\cos\theta + mg\sin\theta + F_g^t = 0 \quad \text{式 (2-4)}$$

整理得:

$$\ddot{x}\cos\theta + L\ddot{\theta} + 2\dot{L}\dot{\theta} + g\sin\theta = 0 \quad \text{式 (2-5)}$$

因此, 小车—吊重偏摆系统的线性化模型为

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} + mL(\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta) + m\dot{L}\sin\theta + 2m\dot{L}\dot{\theta}\cos\theta = F - f \\ \ddot{x}\cos\theta + L\ddot{\theta} + 2\dot{L}\dot{\theta} + g\sin\theta = 0 \\ M\ddot{x} - T\sin\theta - F + f = 0 \end{cases} \quad \text{式 (2-6)}$$

式中: M—小车质量, kg

m—吊重质量, kg

F—小车运行牵引力, N

f—小车运行静阻力, N

x—小车在水平方向上的位移, m

g = 9.8m/s^2 —重力加速度

θ —吊重摆角, rad

T—钢绳总张力, N

L—吊重摆长, m

因 RTG 进行装卸及运输作业时, 一般都是吊重到达相应的高度后, 才开始启动小车, 从而尽量削弱吊重的摆动现象并避免不必要的安全事故。因此, 起升钢丝绳的长

度 L 的变化可以忽略不计, 假定其长度变化为 0。则:

$$\dot{L} = \ddot{L} = 0$$

则 (2-6) 方程可简化为:

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} + mL\ddot{\theta}\cos\theta - mL\dot{\theta}^2\sin\theta = F - f \\ \ddot{x}\cos\theta + L\ddot{\theta} + g\sin\theta = 0 \\ M\ddot{x} - T\sin\theta - F + f = 0 \end{cases} \quad \text{式 (2-7)}$$

且只考虑在操作点 $\theta = 0$ 附近只有很小的变化, 可得:

$$\sin\theta = 0, \cos\theta = 1, \dot{\theta}^2 = 0$$

则 (2-7) 方程可简化为:

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} + mL\ddot{\theta} = F - f \\ \ddot{x} + L\ddot{\theta} + g\theta = 0 \\ M\ddot{x} - T\theta - F + f = 0 \end{cases} \quad \text{式 (2-8)}$$

根据 (2-8) 式, 可得在 t 时刻, 对小车—吊重偏摆系统有:

$$\ddot{x}(t) + L\ddot{\theta}(t) + g\theta(t) = 0 \quad \text{式 (2-9)}$$

可得:

$$\ddot{\theta}(t) + \frac{g}{L}\theta(t) = -\frac{\ddot{x}(t)}{L} \quad \text{式 (2-10)}$$

根据式 (2-10), 可以看出吊重的摇摆运动是具有一定的规律性的, 在一定的周期内做重复性运动, 且吊重偏摆角度 θ 、偏摆角速度 $\dot{\theta}$ 与小车运行加速度 $\ddot{x}(t)$ 成正比。从而得出, 在已知摆长 L 和确定小车运行加速度 $\ddot{x}(t)$ 的情况下, 通过计算即可以得出吊重的偏摆角度 θ 、偏摆角速度 $\dot{\theta}$ 。因此, 小车的运行速度成为整个反馈控制系统的关键, 只要能够通过对反馈信息的科学分析得出小车的运行速度, 进一步加以控制, 从而可实现减摇的目的。

RTG 是一个非常复杂的、涉及原理多样的系统。通过对式 (2-7) 的分析可以得出, 防摇控制的方向与输入、输出的方向具有很大的关系, 会随其变化而发生变化。因此, 可以主要从两个方面进行对 RTG 防摇减摇的研究, 一是对吊具、大车、小车的机械防摇设计, 二是加强电气设计实现精准控制。

3 目前防摇系统的现状

RTG 的吊具防摇系统具有非常重要的现实意义。因此, 当今无论是国内还是国外, 无论是厂商还是研究机构, 都对 RTG 的吊具防摇系统相当关注, 不断加大研究力度。目前使用较为广泛的防摇系统主要有:

3.1 传统的机械式防摇装置

传统的机械式防摇装置主要包括减摇钢丝绳、卷筒和力矩限制器传动链及带单向轴承的卷筒和制动器等关键部件。将该装置安装在小车架下方, 就能在小车运动中削弱摆动幅度, 通过机械手段消耗摆动的能量, 进一步使摇摆现象消失。

传统的机械式防摇装置的工作原理主要是: 在进行钢丝绳的缠绕时, 要选择科学适当的方法, 保证起升滑轮与牵引滑轮处于同一平面并偏离一定角度; 保证卷筒只能单方向运动, 即钢丝绳的收绳方向。RTG 工作过程中, 需要

始终保持减摇钢丝绳处于卷起的状态, 这需要对方矩限制器的持续通电。一旦吊具发生摇摆的现象, 就需要不断的加大减摇钢丝绳的张力, 通过不断重复以上步骤, 使吊具的摇摆幅度不断减小, 从而最终实现减摇的目的。

当前的机械式防摇装置, 主要都是依靠上述工作原理进行设计和工作的。但是传统的机械式防摇装置仍然具有很多的局限性, 比如结构复杂、稳定性较差、维修保养工作量大、效果不佳等。另一类机械式防摇装置, 主要是增加悬挂系统刚性抑制摇摆, 同样具有这些局限性。因此, 机械式防摇装置无论是在技术上、设计上还是应用中, 都仍然需要不断的加强研究。

3.2 电子式防摇技术

目前社会上应用较为广泛的电子式防摇装置, 大多都是通过各种传感器和检测元件将信息收集到一起, 然后由控制系统的微机对这些信息进行处理分析得出最佳的控制参数, 最后利用这个参数来控制小车的速度状态, 最终实现不断削弱摆动程度的目的。安装了这种电子防摇装置的 RTG 在工作中, 主要是通过不断改变小车的速度以实现减摇的目的, 加上小车电动机的摩擦和不断变化的绳长度, 这些都对司机造成了一定的困扰, 实际的工作效果并不理想。因此很多 RTG 的电子式防摇装置在应用一段时间后就被客户卸载了。但是, 为了更好地实现减摇防摇的目的, 传统的控制理论不仅复杂、成本费用高, 且也不利于系统的整体稳定性的提高。为了更好地避免以上的种种问题, 可以在吊具上架安装反射器, 在小车架下安装发射装置和接收装置, 通过三者的协调配合精准检测到吊具的摆动数据从而而更好的限制摆动角度, 以实现减摇。

4 结 语

上文分析的传统机械防摇技术和电子防摇技术, 都是当前较为普遍的减摇防摇技术, 但因为 RTG 本身的非线性特性和不确定性, 使得这两种技术的实际应用效果都不

甚理想。将电气防摇应用到机械防摇的基础上, 是当前正在研究的课题之一, 主要是通过控制给顶速度下的满载吊具的摆动时间以达到减摇的目的。另外, 神经网络模糊控制在减摇防摇中的应用也是当前的主要研究课题。这种技术具有较好的适应性和鲁棒性, 对不同的工作路径、载荷、吊具高度、大小车加速度等状态及风力、断电等干扰因素都能合理应对。但是需要操作人员不断重复性操作以获得训练样本, 才能开始正常的工作。模糊神经网络要根据实际对象的工作特点和控制要求对网络训练前各权初值进行有效确定, 在加快网络训练速度的同时为网络训练奠定了良好的基础。除以外, 操作人员的人为因素同样是至关重要的, 其对系统的熟悉程度、熟练程度、经验值等, 都对提高工作效率有着很大的影响。

RTG 的防摇技术具有很重要的现实意义, 无论是对于工作效率的提高、工作效果的改善、还是工作周期的缩短都意义深远。但是目前, 研究都主要集中在防摇控制方法的理论方面, 包括理论研究和仿真研究。而在实际的应用中, 理论与现实存在一定的差距, 并不能很好地指导实际应用。因此, 对 RTG 防摇技术的研究仍然需要持续关注 and 加强。

参考文献

- [1] 傅正堂, 胡志华, 宗康. 集装箱码头 AGV 电量非饱和状态下的调度优化 [J]. 大连海事大学学报, 2017, 43(03): 58-62.
- [2] 杨勇生, 冯有勇, 梁承姬, 许波, 李军军. 自动化集装箱码头自动导引小车与轨道式龙门起重机的协同调度 [J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(02): 1-6.
- [3] 赵金楼, 黄金虎, 刘馨. 集装箱码头的集卡两阶段路径优化研究 [J]. 中国管理科学, 2017, 25(04): 152-157.
- [4] 陈斌. RTG 节能减排组合方案 [J]. 港口科技, 2017(03): 21-27+44.

作者简介

李文泽, 本科, 工程师, 研究方向: 起重机小车设计。

(上接第 216 页)

图 2 中, 红色实线为预报卷取温度, 蓝色虚线为实际卷取温度。

结 语

应用神经网络对复杂的、非线性的轧钢卷曲温度控制过程进行预报, 特别是对于 RBF 网络, 它可以以任意精度逼近任一函数。通过对预测结果的分析, 基本上可以得到令人满意的结果。这对提高轧钢卷曲温度的控制精度有着非凡的意义。

参考文献

- [1] 刘玠, 杨卫东, 刘文仲. 热轧生产自动化技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.11, 156-157.
- [2] 于庆波, 刘相华, 王国栋. 人工神经网络在层流冷却卷取温度预报中的应用 [J]. 钢铁, 2002.8, 37(8), 37-40.
- [3] 马丽坤, 韩斌, 王君, 王国栋. 基于 BP 神经网络的热轧带钢卷取温度预报 [J]. 钢铁研究学报, 2006, 18(11), 27-30.
- [4] 李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.5.

作者简介

李子修, 工程师, 现从事自动控制系统开发及研究工作。

秦红波, 硕士研究生, 现从事自动控制系统开发及研究工作。