

自动化集装箱码头 ARMG 能耗分析及能量利用的研究

杨洪祥¹, 吴 丹²

(1.中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222; 2.锦州水运工程质量与安全监督处, 辽宁 锦州 121007)

摘要: 本文以 ARMG 为研究对象, 分析了集装箱龙门起重机各机构主要零部件能耗特征, 结合起重机作业流程以及绘制的整机工作循环图, 进而利用能量守恒定律从机构角度分工作阶段分析其能耗组成及能量利用情况, 得出可回收能量组成, 为现代化港口码头节能降耗工作提供理论依据。

关键词: ARMG; 能耗分析; 能量利用; 可回收能量; 码头; 港口

中图分类号: U656.1⁺35

文献标识码: A

文章编号: 1004-9592 (2018) 05-0038-04

DOI: 10.16403/j.cnki.ggjs20180509

Research on Energy Loss and Energy Utilization of ARMG Used in Automated Container Terminal Projects

Yang Hongxiang¹, Wu Dan²

(1.CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China; 2.Water Transport Engineering Quality and Safety Supervision Department, Jinzhou Liaoning 121007, China)

Abstract: ARMG is used to analyze the energy loss characteristics of main components of container gantry crane, which is combined with the crane's working flow and a whole machine circular diagram to study the composition of energy loss and energy utilization state from the aspects of mechanism and different working stages based on the law of energy conservation. The composition of recoverable energy will provide a theoretical basis for the energy conservation of modern terminals.

Key words: ARMG; energy loss analysis; energy utilization; recoverable energy; wharf; harbor

引 言

自动化集装箱龙门起重机 (automated rail-mounted container gantry crane, ARMG) 是自动化集装箱码头关键设备之一, 它是在传统轨道式集装箱龙门起重机的基础上, 综合运用自动化控制系统, 实现堆场集装箱自动化装卸作业, 有效的提高了作业效率。

本文首先对自动化集装箱龙门起重机进行概述, 结合现场作业绘制作业循环图; 其次以零部件

为对象对其能耗特征进行分析; 然后对其各机构的能量成及流向进行分析; 最后根据能量利用情况得出可回收能量组成。

1 ARMG 概述

ARMG 主要由工作机构、金属结构、电气设备、辅助设备、自动化控制系统几部分组成。主要工作机构包括起升机构、小车运行机构及大车运行机构三大机构。自动化控制系统是区别于普通集装箱龙门起重机的主要系统, 他是集计算机控制技术、传感器检测技术、网络信息技术为一体的复杂操作系统, 是实现“智能装卸”“无人码头”的关键。

ARMG 在一个循环周期作业过程中, 包括了重

收稿日期: 2018-06-19

作者简介: 杨洪祥 (1990-), 男, 助理工程师, 主要从事港口装卸工艺及设备设计工作。

载起升、重载下降、空载起升、空载下降、大车前进、大车后退、小车左行、小车右行几部分动作。根据自动化系统的控制,ARMG 自动运行至堆垛区指定位置并抓取待装集装箱,然后 ARMG 自行移动大车、小车到目标车道上方,并将吊具下降至安全高度,自动对中进行场外集卡或 AGV 装箱,装箱完毕后将吊具上升至安全高度,完成本次装箱循环,等待新装箱任务的指令。



图1 ARMG 现场作业

ARMG 整机作业循环如图 2 所示。

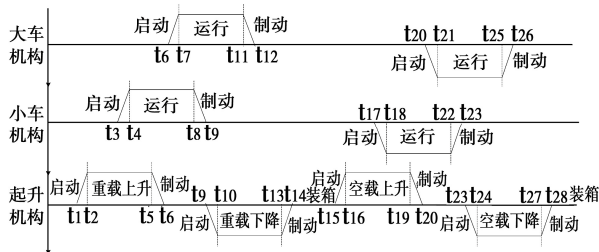


图2 ARMG 整机作业循环

ARMG 的能量随着各机构动作,在各零部件间进行复杂的转化及流动,具体组成见图 3。

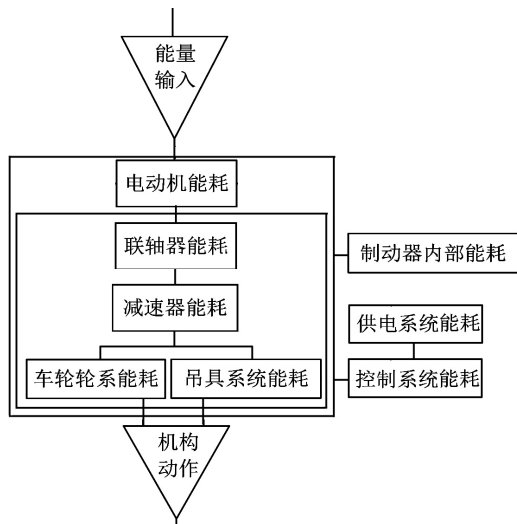


图3 ARMG 能量流向及零部件能耗

输入能量通过电机经过传动系统中的联轴器、减速器,最后驱动起升机构的吊具系统或者小车、大车运行机构的车轮轮系驱动机构完成相应作业。下面将从主要零部件、机构角度分析其能耗组成及能量利用情况,并分析得出可回收能量组成。

2 ARMG 零部件能耗分析

2.1 电动机

ARMG 的电机包括发电机与电动机,电机在 ARMG 作业过程当中起到重要的供电、发电的作用。在起升机构、小车运行机构、大车运行机构当中均有应用。发电机工作原理是通过柴油机曲轴动能带动转子,转子在定子和磁场的作用下将动能最终转化为电能。而电动机与发电机作业过程是可逆关系,因此他们的耗能相同。

ARMG 运用的电机为三相异步电机。电机内部损耗包括定子铜损耗、转子铜损耗、铁损以及机械损耗以及附加损耗几部分。其中铜损和铁损称为电气总损耗,机械损耗和附加损耗称为机械总损耗。

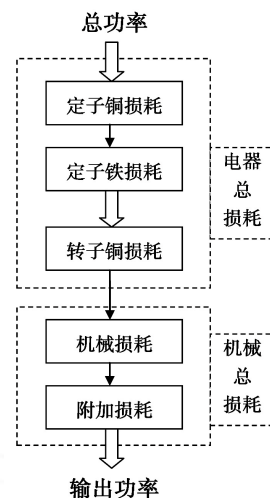


图4 电机功率传递流程

2.2 传动系统

ARMG 传动系统包括减速器、联轴器、传动轴、吊具系统以及车轮系统等部件。

1) 减速器

在减速器生命周期中,从机械构造、制造工艺、作业、维修以及折旧等方面考虑主要包括制造能耗、作业能耗、维修能耗三部分。

制造能耗包括材料与工艺方面的能耗。加工材料能耗主要指加工材料的选取以及结构的优化造

成的能耗；加工工艺能耗指加工工艺方法造成的能耗。维修损耗是指在减速器维修过程当中造成的能量损耗和因为使用年限造成的折旧损耗两部分，是减速器在生命周期中不可避免的损耗部分。

作业能耗指的是 ARMG 在作业过程当中减速器的传动效率损耗，与减速器噪声与振动有关。

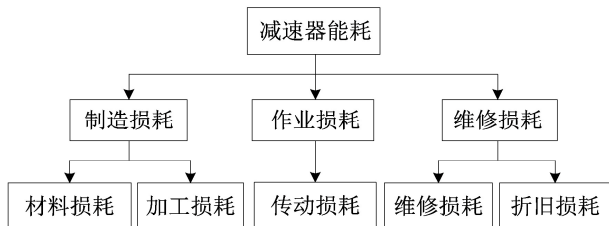


图5 减速器损耗组成

2) 联轴器

ARMG 机构中联轴器起到连接传动轴，传递扭矩的作用。ARMG 应用最广泛的是齿轮联轴器，它具有传动效率高、能耗低、体积小、承载能力大的优点，并可多齿轮同时作业，保证了高速作业下的可靠性。

在联轴器正常工作传递扭矩时，所连接的两条轴，存在对中性问题，会出现振动以及变形的现象，导致扭矩的损失，进而造成效率损失。在整个传动系统中该部分损耗数值较小，并且只要对其进行正常润滑，其效率可以稳定达到 0.99。

2.3 制动器

ARMG 各运行机构中均用到制动器。起到保证工作安全和性能的作用。ARMG 主要运用块式制动器。块式制动器是通过瓦块与制动轮的摩擦产生制动力而达到制动效果。工作过程当中弹簧会通过制动器内杠杆使瓦块与制动轮夹紧；需要起重机运转过程时，对制动器供电，衔铁会被励磁线圈吸起，与制动轮间失去摩擦力。

其能耗包括自身能耗以及消耗外部能量两部分。自身能耗指其内部系统能量损耗；消耗外部能量指将各机构所产生的动能通过制动摩擦转化成热量消耗掉。

3 ARMG 机构能量利用

3.1 ARMG 起升机构能量利用

1) 起升机构上升

ARMG 的起升机构作业工况分为负载作业及空载作业两部分。其作业流程基本一致。

在集装箱起升过程中，外网对起升电机供电，起升机构经加速上升阶段，稳定上升阶段以及减速制动阶段过程，逐步转化为起升电机的机械能，传动系统的惯性能以及集装箱的动能，最终集装箱被起吊到规定的高度，因此起升阶段供给能最终转化成为集装箱的势能被存储起来。

ARMG 起吊集装箱过程中，能量转化过程如图 6 所示。

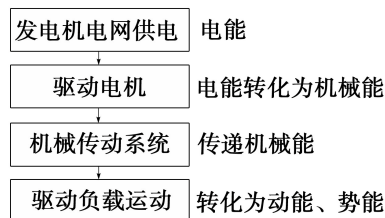


图6 起升机构上升过程能量传递流程

外网以及发电机对系统进行供应电能，驱动电机将电能转化为机械能，经过机械传动传递驱动起升机构动作，完成集装箱起吊。

2) 起升机构下降

在下降过程当中，能量来自于起升阶段所储存的势能，不需要对其供电。利用集装箱自身重力作为驱动力带动系统运转，起升机构同样经历加速下降阶段、稳定下降阶段、制动下降阶段。

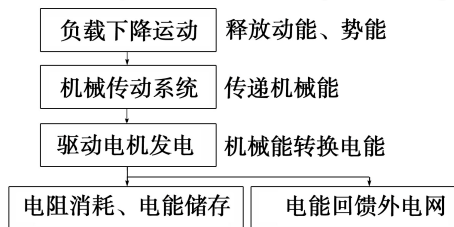


图7 起升机构带载下降能量传递流程

在此过程中势能转化成为集装箱的动能、传动系统的惯性能以及带动电机反转而产生的电能。电机反转产生的电能被电阻转化为热能消耗。

3.2 ARMG 运行机构能量利用

ARMG 运行机构包括小车运行及大车运行机构两部分，属于工作机构，完成集装箱横向与纵向运动。在分析各机构工作过程中，在相同测试环境

下, 小车、大车往复运动视为可逆过程, 且带载空载过程除载荷不同之外基本一致。

ARMG 运行机构分为加速运行阶段、稳定运行阶段、减速运行阶段, 供给能在此过程当中逐渐转化为的动能、传动系统惯性能及与轨道间摩擦阻力损耗, 最终被制动器摩擦损耗掉。

ARMG 运行机构在运行过程当中同样经历了加速、稳定、减速运行阶段。供给能在此过程当中转化为车轮与导轨或者地面摩擦损耗、传动系统惯性能及整机运行过程中的动能, 最终被制动系统摩擦消耗掉。

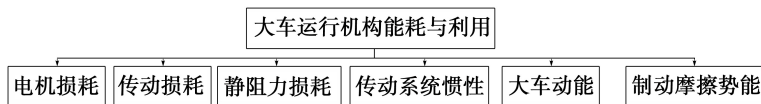


图8 运行机构能量利用

4 ARMG 可回收能量分析

4.1 起升机构可回收能量

集装箱龙门起重机起升机构可回收能量主要包括起升机构下降过程当中势能以及系统惯性能两部分。

1) 起升机构可回收势能

起升机构在下降过程当中不需要外网进行供电, 主要通过上升过程的储存的势能作为总的能量进行势能释放, 在此过程当中起升电机反转进行发电, 将势能转化为电能, 最终被制动电阻消耗。由于起升机构作业频率高, 该部分能量如果被利用起来将是非常可观的。

起升机构可回收的势能为总势能减去电机内部损耗、传动系统摩擦损耗以及下降阶段制动器制动损耗部分剩余的能量值。

2) 起升机构可回收惯性能

由于起升机构在起升阶段有速度的变化, 在传动系统会有较大惯性能的产生, 其大小等于制动减速阶段损耗能量即上升制动以及下降制动过程制动能量损耗。

在集装箱上升过程制动阶段, 制动损耗包括负载动能及传动惯性能, 需除去负载该阶段的势能。

在集装箱下降过程制动阶段, 制动损耗为下降制动消耗负载动能及起升传动系统转体惯性能并加上负载在制动段储存的势能。

4.2 运行机构可回收能量

1) 小车运行机构可回收能量

ARMG 小车具有质量大, 动作频繁的特点。小车运行机构可被回收的能量包括一个工作循环中空载惯性能及带载惯性能两部分。其惯性能数值等于制动初始阶段动能。

2) 大车运行机构可回收能量

ARMG 大车运行机构为工作机构。其运行与小车运行机构相似, 在一个作业循环过程当中, 其分为空载、重载前后运行两次。则其可回收能量包括空载运行过程惯性能、重载运行过程惯性能两部分。其数值同样与空载、带载运行过程当中动能大小相等。

5 结 语

本文将以 ARMG 为研究对象, 从主要零部件、机构角度分析其能耗组成及能量利用情况, 并得出可回收能量组成。通过分析了解到, ARMG 在作业过程中存在着复杂能量的传递及转化, 此过程中可以通过有效的节能设备, 对其可回收的能量进行回收, 以达到节能减排的效果, 为实现现代化港口码头节能降耗目标。

参考文献:

- [1] 唐朝辉. 桥式起重机传动机构能耗检测系统设计与开发[D]. 南京理工大学, 2015.
- [2] 周灵聪. 轨道集装箱龙门起重机结构系统的运动数值仿真及动力学分析[D]. 兰州理工大学, 2011.
- [3] 杨洪祥. 集装箱龙门起重机能耗检测与能效评价系统的研究[D]. 武汉理工大学, 2017.