

一种桥式起重机基础受力分析技术在工程实践中的应用与研究

刘 君

国家能源集团乌海能源有限责任公司, 内蒙古 乌海
Email: zlc200802116@163.com

收稿日期: 2021年6月20日; 录用日期: 2021年7月22日; 发布日期: 2021年7月30日

摘 要

本论文对国家能源集团公司某煤矿井下使用的桥式起重机结构进行了认真分析, 同时对桥式起重机的安装基础进行了详细介绍, 最后通过建立空间力系的力学平衡方程分步骤地对桥式起重机基础的受力情况进行了力学分析, 定量地分析出桥式起重机基础所承受的力并与基础中钻孔内混凝土的抗拉强度进行了比较和分析, 为桥式起重机基础的设计和施工提供了科学依据和理论指导, 保证了矿井的安全高效地生产。

关键词

桥式起重机基础, 受力分析技术, 实践与应用

Application and Research of a Kind of Bridge Crane Foundation Force Analysis Technology in Engineering Practice

Jun Liu

National Energy Group Wuhai Energy Co. Ltd., Wuhai Inner Mongolia
Email: zlc200802116@163.com

Received: Jun. 20th, 2021; accepted: Jul. 22nd, 2021; published: Jul. 30th, 2021

Abstract

This thesis carefully analyzes the structure of the bridge crane used in a coal mine of the National Energy Group Corporation. At the same time, it introduces the installation foundation of the bridge

crane in detail. Finally, the bridge crane is analyzed step by step by establishing the mechanical balance equation of the space force system. The mechanical analysis of the force of the crane foundation is carried out, the force of the bridge crane foundation is quantitatively analyzed, and the tensile strength of the concrete in the borehole in the foundation is compared and analyzed, which is the design and construction of the bridge crane foundation. It provides scientific basis and theoretical guidance to ensure the safe and efficient production of the mine.

Keywords

Bridge Crane Foundation, Force Analysis Technology, Practice and Application

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随在机械、冶金、电力、交通运输、采矿、建筑、造船、化工、国防和港口等工业部门中广泛地使用各种形式的起重机是伴随着现代工业的发展而不断地发展起来的[1]。各种形式的起重机不仅仅是减轻体力劳动的重要工具，而且还是流水作业和大批生产不可或缺的重要组成部分，同时它也是大幅度提高劳动生产效率，实现自动化、机械化的重要途径，并且在很多场合下在生产过程中起辅助作用[2]。常见的门式起重机、桥式起重机、塔式起重机、门座起重机、铁路起重机、汽车起重机、缆索起重机、桅杆起重机等形式的起重机是按照起重机体型特点来进行的分类[3]。当然起重机的分类方法远远不止这些，还有很多其他类型的分类方法。例如在门式起重机和桥式起重机中，又按吊具不同分为：抓斗、吊钩、电磁、抓斗电磁、挂梁等起重机[4]。从金属结构来看，还可依据主梁形式不同分为箱型双梁和箱型单梁起重机等[5]。横架于料场、车间和仓库上方进行吊运物料是桥式起重机最为显著的特点[6]。另外它的另一个显著特征就是形状与桥梁相似都是将两端坐落在高大的金属支架或者水泥柱上。充分利用桥架下面的空间吊运物料，不受地面设备的阻碍是桥式起重机的一个非常大的优势，主要是由于它的桥架沿铺设在两侧高架上的轨道纵向运行节省了很大的使用空间[7]。也正因为有如此多的优点才使得桥式起重机成为使用数量最多、应用范围最广的一种起重机械。但是这种桥式起重机基础的建设非常的重要，桥式起重机基础不仅要承担重物的力，由于桥式起重机在轨道上运行、停车等操作，所以还要承担冲击载荷的力[8]。国内外由于桥式起重机基础固定不牢固造成的人身伤亡事故比比皆是[9]。另外，由于钢铁工业新技术的应用，钢铁质量得以提高，在设计起重机主梁强度时，可使用较高的许用应力，而不需要很高的安全系数，以便减少起重机材料的用量，从而降低设备的重量和价格[10]。因起重机重量的减少，可用功率较小的驱动装置启动，因此而减少电力，节省开支，并且还大大缓解了桥式起重机基础的受力状况[11]。因此非常有必要对桥式起重机基础进行力学分析，为桥式起重机的安全运行提供理论依据和科学指导。

2. 问题的提出

2.1. 矿井概况

国家能源集团公司某矿井田开拓方式是斜井-立井混合式开拓方式，该矿目前主要在16[#]煤层布置两个综放工作面。全矿井采用中央分列式通风，共有主斜井、副斜井进风，回风立井回风3个井筒。2014

年6月中煤科工集团重庆研究院对该矿煤层自燃倾向等级鉴定结果为16[#]煤层为II类自燃煤层；最短自然发火期16[#]煤层为63天。2018年矿井瓦斯等级鉴定的矿井瓦斯绝对涌出量为6.52 m³/min，矿井相对涌出量2.48 m³/t，属于低瓦斯矿井。该矿井采用无轨胶轮车运输材料和人员，计划在井底车场设置一个组装站，在组装站中组装液压支架和无轨胶轮车等设备，同时还可以维修一些井下常用的大型设备如采煤机、综掘机等设备。因此在组装站中需要安装一台桥式起重机来吊运设备和重物。

2.2. 提出问题

2.2.1. 桥式起重机的结构分析

国家能源集团公司某矿采用了山东龙辉起重机械有限公司生产LG型单梁桥式起重机，桥架，提升机构，小车、大车移行机构，小车导电装置(辅助滑线)，操纵室，起重机总电源导电装置(主滑线)等构件共同构成了LG型单梁桥式起重机的总体结构。

1) 桥架

主梁、端梁、走台等部分共同构成了桥架结构，也是组成起重机的最基本的构件。桁架、箱形、圆管、腹板等组成了主梁跨架。其中端梁分布在主梁的两端，走台设置在两个主梁的外侧，并且为了操作人员的人身安全期间在走台周围还设置了安全栏杆。另外将大车移行机构设置安装在驾驶室一侧的走台上，将辅助滑线设置安装在走台的另一侧。提供给小车移动的导轨铺设在主梁的上方。在大车移动机构拖动下，沿车间长度方向的导轨上移动是桥式起重机的一个显著特点，也是它的一个非常明显的优势。

2) 大车移行机构

大车拖动电动机、减速器、传动轴、制动器及车轮等部件共同构成了大车移行机构，驱动方式有分别驱动与集中驱动是大车移行机构的两种主要的驱动方式。

3) 小车移行机构

桥架导轨上安放着小车，小车的主要特点是能够沿着车间宽度方向进行来回移动。提升机构、小车架及小车移行机构等共同构成了小车。由制动器、小车电动机、减速器、联轴节及车轮等共同构成了小车移行机构。减速箱装在小车的一侧和减速箱在两个主动轮中间是小车移行机构最主要的传动形式。

4) 提升机构

由减速器、提升电动机、制动器、卷筒等共同构成了提升机构。提升电动机经联轴器、制动轮与减速器连接，减速器的输出轴与缠绕钢丝绳的卷筒相连接，钢丝绳的另一端装吊钩，当卷筒转动时，吊钩就随钢丝绳在卷筒上的缠绕或放开而上升或下降。对于起重量在15 t及以上的起重机，备有两套提升机构，即主钩与副钩。由此可知，重物在吊钩上随着卷筒的旋转获得上下运动；随着小车在车间宽度方向获得左右运动，并能随大车在车间长度方向做前后运动。这样就可实现重物在垂直、横向、纵向三个方向的运动，把重物移至车间任意位置，完成起重运输任务。

5) 操纵室

操纵室又称驾驶室是指操纵起重机的吊舱。提升机构控制装置、大、小车移行机构控制装置及起重机的保护装置等共同构成了操纵室。一般情况下是将操纵室固定在主梁的一端，但是个别情况下也有将操作室设置安装在小车下方随小车移动的。通向走台的舱口通常设置安装在操纵室的上方以便于检修人员检修大、小车机械与电气设备时上下走动时使用。

2.2.2. 桥式起重机的基础分析

桥式起重机轨道基础断面图如图1所示，首先对该矿井底车场组装硐室巷道两帮进行掏槽，用来铺设轨道，掏槽规格为深×宽×高为1000×150×150 mm，掏槽完毕后，将11[#]矿用工字钢(1000 mm)放入槽内，放入后工字钢统一外露400 mm，所有外露工字钢截面要使用激光调成一条直线，工字钢调直后

使用水泥将掏槽夯实,工字钢固定后,将加工好的铁板套入工字钢内,随后将铁板使用3根 $\Phi 18 \times 1600$ mm 锚杆固定。11#工字钢底部与铁板之间焊接一块工字钢,当工字钢固定件固定后,另外在工字钢上方铺设一层长 \times 宽 \times 厚为 $30000 \times 400 \times 20$ mm 的铁板并与工字钢固定,工字钢上方铁板固定后在铁板上方架设30 kg 轨道,最后将轨道与铁板固定,如图2所示。其次每隔1500 mm 使用11#工字钢、20 mm 厚铁板安设一组支撑点固定件,固定件一共需要100组(两帮各50组),每根工字钢底部距离顶板2430 mm,掏槽时需要矿地测科现场标定腰线,施工队组根据腰线进行掏槽。轨道铺设后要前后、左右平齐。井底车场组装硐室顶板打吊锚索(外露400 mm),用来起吊轨道与起重机。工字钢固定件用长 \times 宽 \times 厚为 $500 \times 400 \times 20$ mm 的铁板进行加工,铁板中上部掏一个工字钢形状的孔用来套工字钢用,再在铁板上掏3个 $\Phi 20$ mm 的锚杆眼用来打设锚杆用。

怎样才能保证桥式起重机的基础稳定可靠,能够满足起重机频繁起重,并且在冲击载荷的作用下不发生安全事故成为非常重要的研究课题。本论文正是在面临这样的技术难题的情况展开了技术研究的。

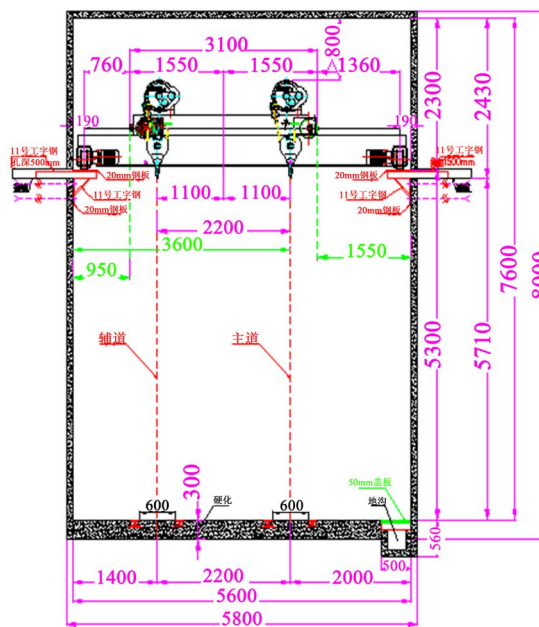


Figure 1. Cross-section view of bridge crane track foundation
图1. 桥式起重机轨道基础断面图

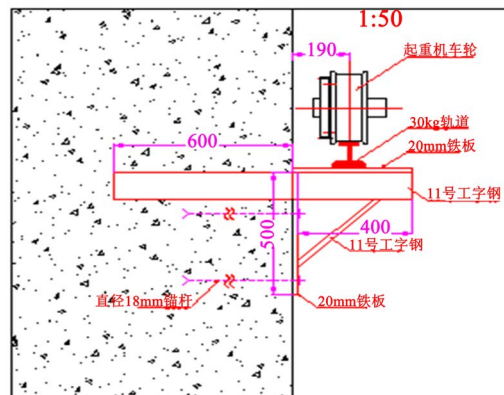


Figure 2. Cross-section of bridge crane foundation construction
图2. 桥式起重机基础施工断面图

3. 问题的分析与解决

3.1. 桥式起重机基础受力分析

本论文中只针对桥式起重机基础的一组支撑点固定件进行力学分析，其他组支撑点固定件的力学分析和这组相同就不再一一分析了。并且采取逐一建立空间力学坐标系的方法划分若干个力学分析单元，逐渐逼近煤壁的受力分析，最后与煤壁钻孔内 C30 号混凝土的抗拉强度来进行分析比较判断桥式起重机基础的可靠性和稳定性，为安全生产提供理论依据和科学指导。

3.2. 桥式起重机的桥式横梁受力分析

当桥式起重机小车移动至最左边时，以右侧支撑点 B 为基准原点，对桥式横梁进行受力分析，此时支撑点 A 受的力最大，如图 3 所示。

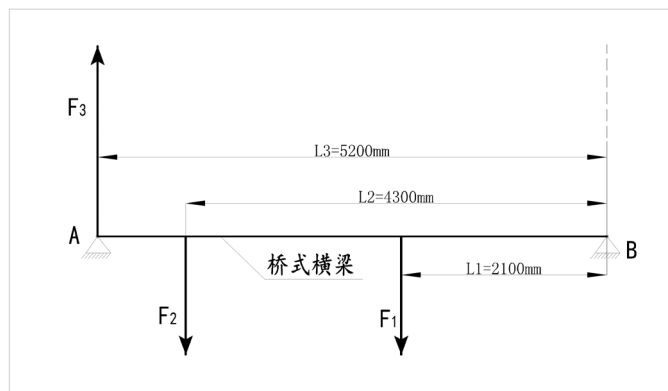


Figure 3. Schematic diagram of the force analysis of the bridge beam of the bridge crane
图 3. 桥式起重机的桥式横梁受力分析示意图

根据空间力系的平衡方程： $\sum M = 0$ 且设力 F_3 的方向为正[12]，则有：

$$F_3 L_3 - F_2 L_2 - F_1 L_1 = 0 \quad (\text{式 1})$$

式中： F_1 ——小车吊钩 1 所能承受的力为 49 kN；

L_1 ——小车吊钩 1 距支撑点 B 的垂距，2100 mm；

F_2 ——小车吊钩 2 所能承受的力，为 49 kN；

L_2 ——小车吊钩 2 距支撑点 B 的垂距，4300 mm；

F_3 ——支撑点 A 对桥式横梁的支撑力；

L_3 ——支撑点 A 距支撑点 B 的垂距，5200 mm。

所以 $5200F_3 = 4300F_2 + 2100F_1$

$$F_3 = \frac{4300 + 2100}{5200} \times 49 = 1.23 \times 49 = 60.27 \text{ kN} \quad (\text{式 2})$$

3.3. 桥式起重机基础悬臂梁受力分析

相对于悬臂梁来说，图 3 中支撑点 A 对桥式横梁的支撑力 F_3 与桥式横梁对悬臂梁的力 F'_3 是一对作用力与反作用力的关系，因此 $F'_3 = F_3 = 60.27 \text{ kN}$ 。

结合现场实际的受力分析图如图 4。图中以支撑点 0 为基准原点，对桥式起重机基础悬臂梁进行受力分析。

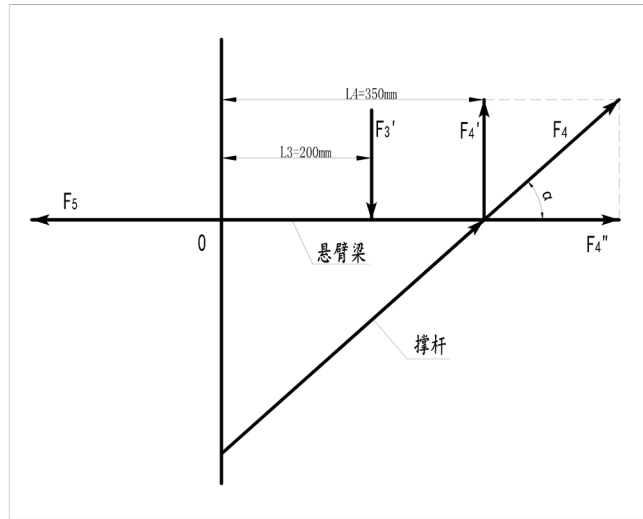


Figure 4. Schematic diagram of force analysis of cantilever beam of bridge crane foundation
图 4. 桥式起重机基础悬臂梁受力分析示意图

根据空间力系平衡方程： $\sum M = 0$ ，且设 F_3' 的方向为正[13]，则有：

$$F_3' L_3 - F_4' L_4 = 0 \quad (\text{式 3})$$

F_3' ——桥式横梁对悬臂梁的作用力，60.27 kN；

L_3 ——作用力 F_3' 距支撑点 0 的垂距，200 mm；

F_4' ——撑杆对悬臂梁支撑力的垂向分力；

L_4 ——作用力 F_4' 距支撑点 0 的垂距，350 mm。

所以

$$F_4' = \frac{L_3}{L_4} \times F_3' = \frac{200}{350} \times 60.27 = 34.4 \text{ kN} \quad (\text{式 4})$$

由于撑杆与悬臂梁夹角为 45° $\therefore \alpha = 45^\circ$

$$\therefore F_4' / F_4 = \sin \alpha \quad (\text{式 5})$$

$$\therefore F_4 = \frac{F_4'}{\sin \alpha} = 34.4 \times \sqrt{2} = 48.64 \text{ kN} \quad (\text{式 6})$$

根据空间力系平衡方程： $\sum F_x = 0$

$$F_5 - F_4'' = 0$$

$$\therefore \frac{F_4''}{F_4} = \cos \alpha \quad (\text{式 7})$$

$$\therefore F_4'' = F_4 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 48.64 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 34.4 \text{ kN} \quad (\text{式 8})$$

$$\therefore F_5 = F_4'' = 34.4 \text{ kN}$$

式中： F_5 ——煤壁对悬臂梁的拉力；

F_4'' ——撑杆对悬臂梁的支撑力的横向分力，34.4 kN。

由于 11#工字钢的横截面积为 0.0029 m^2 ，横截面周长为 0.5142 m 。

又因为将 11[#]工字钢插入煤壁孔中 600 mm，且用 C30 高标号混凝土进行了全长浇筑，所以孔内 11[#]工字钢浇筑的表面积为： $514.2 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} = 308,520 \text{ mm}^2$ 。

根据建筑管理规范规定查得 C30 混凝土的抗拉强度标准值为 2.01 N/mm^2 。
所以可以计算孔内浇筑 C30 强力混凝土后，孔内混凝土对悬臂梁抗拉强度

$$\sigma_b = 308,520 \times 2.01 = 620,125.2 \text{ N/mm}^2 = 620,125.2 \text{ Mpa} \quad (\text{式 9})$$

另外： $\therefore F_4'' = 34.4 \text{ kN}$ 。

又： $\therefore 11^{\#}$ 工字钢横截面积 $S = 0.0029 \text{ m}^2 = 2900 \text{ mm}^2$ 。

\therefore 在撑杆对悬臂梁支撑力的横向分力的拉应力

$$\sigma_a = \frac{F_4''}{S} = \frac{34.4 \times 10^3}{2900} = \frac{34400}{2900} = 11.86 \text{ N/mm}^2 = 11.86 \text{ Mpa} \quad (\text{式 10})$$

由于考虑到小车运动过程中存在冲击载荷的作用，因此取安全系数为 10

$$\therefore \sigma'_a = 10\sigma_a = 10 \times 11.86 = 118.6 \text{ Mpa} \quad (\text{式 11})$$

$$\sigma_b = 308,520 \times 2.01 = 620,125.2 \text{ Mpa} \gg \sigma'_a = 10\sigma_a = 10 \times 11.86 = 118.6 \text{ Mpa}$$

\therefore 通过比较再结合建筑管理规范的相关规定可以知道该基础完全能够满足工程实践的要求。

4. 结语

1) 通过对桥式起重机基础进行力学分析，为桥式起重机的安全运行提供理论依据和科学指导；同时也为其他矿井具有相似工程条件的项目提供了可供参考的价值和经验，起到了抛砖引玉的作用。

2) 通过对桥式起重机基础进行力学分析，充分证明的该矿基础的设计是完全能够满足安全生产要求的，具有重要的理论和实践意义。

参考文献

- [1] 岳勇臣, 孙荣学. 浅谈桥式起重机的检修[J]. 科技经济市场, 2015(7): 29-31.
- [2] 许开立, 陈宝智. 桥式起重机可靠性的研究[J]. 工业安全与环保, 1995(4): 12-14.
- [3] 顾苏军, 韩正铜. 采用先进制造技术加速煤矿机械的发展[J]. 煤炭科技, 2006(4): 13-16.
- [4] 严俊华. 我国加入 WTO 后采煤机械的发展趋势[J]. 煤, 2003(3): 44-46.
- [5] 李佳强, 周旭, 李庆国. 桥式起重机制造和生产工艺研究[J]. 中国高新技术企业, 2013(29): 54-56.
- [6] 赵桂荣. 浅谈桥式起重机的安全技术管理[J]. 设备管理与维修, 2005(S1): 345-347.
- [7] 雒生平, 杨玉. 新技术在桥式起重机上的应用[J]. 价值工程, 2018(26): 233-235.
- [8] 陈宏意. 桥式起重机若干常见故障及处理对策分析[J]. 中国科技信息, 2016(6): 77-79.
- [9] 孙亚峰, 赵东升. PLC 与变频调速在桥式起重机中的应用[J]. 江苏冶金, 2007(4): 55-57.
- [10] 李宏娟, 陶元芳. 通用桥式起重机结构设计及计算机软件的开发[J]. 现代制造技术与装备, 2009(2): 73-75.
- [11] 陈冬青. 降低通用桥式起重机整机高度的改造方案[J]. 起重运输机械, 2010(2): 31-33.
- [12] 王敏. 浅谈通用桥式起重机安装过程与方案[J]. 机电信息, 2014(6): 42-45.
- [13] 刘俊. 通用桥式起重机金属结构设计与验证[J]. 机械工程与自动化, 2011(5): 75-78.