
上海海事大学

硕士学位论文

桁架形式的集装箱装卸桥的局部稳定性控制与管理

姓名:陈曙东

申请学位级别:硕士

专业:机械工程

指导教师:沈一飞;黄子榕

20060601

摘 要

大型港机结构的安全管理是港口企业设备管理工作的主要内容。大量大型港机结构事故的调查研究、理论分析及计算结果都表明,导致其结构破坏的原因主要有两个方面。其一是疲劳问题,这是由于港机设备处于长时期运行状态,结构在交变载荷的作用下发生疲劳破坏,产生疲劳裂纹并扩展,使设备承载能力降低。其二是稳定性问题,特别是构件的局部稳定性。引发该问题的原因是由于在构成结构的板的平面内,板受到平行于板面的压力作用,使板发生隆起、内陷等因内不平的变形,使板的受压能力急剧下降导致局部失稳,引发结构的整体破坏。本文以厦门港务集团海天集装箱有限公司两台新桥(1号和2号集装箱装卸桥)为研究对象,对箱梁形式的集装箱装卸桥的结构安全管理,特别是局部稳定性问题进行了深入的研究。

本文首先根据结构的安全性能分析对应力场测试的要求,对1号和2号集装箱装卸桥进行静态和动态测试,将试验得到的典型测点的应力情况作为结构安全管理分析的数据准备。通过对影响结构稳定性的主要因素进行系统地归纳,分析了材料、长度、刚度、初始位移和工作应力等与结构局部稳定性的相互关系。针对不同的荷载组合建立了局部稳定性评价模型。

论文在分析了多根圆管机壳结构的失稳破坏的实例后,对箱梁的局部稳定性问题进行了系统归纳,得到了港口大型机壳结构的主要破坏形式。藉由试验和模拟(有限单元法)测定的初始位移、二次应力一次自由位移,以及垂直于压力的杆端,将板机壳结构的失稳问题归结成板结构和杆结构的稳定性问题。对于板结构的局部稳定性问题,以板的正应理论为基本,通过平衡力和边界条件的约束,建立了结构局部稳定性评价模型。分析不同形式箱板结构在不同的荷载条件下,满足压曲条件的程序输入。对于压杆的局部稳定性问题,应用欧拉公式和轴心受压公式求取临界荷载,以屈曲系数乘以正应理论进行计算。将实际的稳定性评价的结果。

论文最后将建立的局部稳定性评价模型应用于1号和2号集装箱装卸桥关键测点的局部稳定性评价。通过评价的结果提出了相应的稳定性和维修的建议。实际应用的结果证明了模型的正确性和准确性,对港口企业的设备安全管理具有实际的指导意义。

关键词: 局部稳定性; 有限单元法; 稳定性; 安全管理

大型港机结构的安全管理是港口企业设备管理

工作的主要内容。大量大型港机结构事故的调查研究、理论分析及其计算结果都表明,导致其结构破坏的原因

主要有两个方面。其一是疲劳问题,这是由于港机设备处于长时期运行状态,结

构在交变载荷的作用下发生疲劳破坏,产生疲劳裂纹并扩展,使设备承载能力降

低。其二是稳定性问题,特别是构件的局部稳定性。引发该问题的原因是由于在

构成结构的板的平面内,板受到平行于板面的压力作用,使板发生隆起、内陷等

凹凸不平的变形,使板的受载能力减弱从而导致局部失稳,引发结构的整体破坏。

本文以厦门港务集团海天集装箱有限公司的两台桥机,号和,偶,跋渥靶肚,

为研究对象,对桁架形式的集装箱装卸桥的结构安全管理,特别是局部稳定性问

题进行了深入的研究。

关键词:局部稳定性,临界载荷, α ,安全储备

ABSTRACT

Structure safety of large port machine is the primary task of the equipment regulation in the port enterprises. After a great deal of investigation, the results of the analysis and calculation all show that there are two main reasons. One is the fatigue problem, this is because that these machines are under function all the time, and fatigue damage turns up in the structure because of the effect of alternant forces, which causes fatigue crack and makes it grow, these lead to the disability of the machine to external loads. The other one is the stability problem, especially the part stability of the structure. The reason for such phenomenon is that in the plane of the plates consisted of the structure, the plate is imposed a force parallel to its plane, which causes deformation leading to the plate's part loss of stability and eventual damage. Two container cranes (No.1 crane and No.2 crane) in Xiamen Haitian Container Terminal (XHCT) are chosen as research objects in this paper, the problems of its structure safety control, especially the problems of part stability are studied in detail.

At first, according to the demand for the stress data, to do analysis for structure safety control, static and dynamic testing are done on No.1 crane and No.2 crane, which is to get stress data of those typical points on the cranes as later analysis data preparation. After summarization of those factors that influence structure stability, we study the relationship between structure part stability and materials, structure, welding line, initial displacement and working stress. For different situation of loads combination, we establish evaluation model for part stability.

After survey of a great deal of damage accidents caused by loss of structure stability of cranes in the paper, we classify these specific structures into three categories, namely plates supported by four borders which are made up with transverse and lengthways reinforced panels, plates supported by three borders and with one border unrestrained, and rods with equal section under pressure, which helps us simplify the study of the cranes' loss of stability into the study of plates and rods stability. To solve the problem of plate part stability, we establish evaluation model of structure's part stability on the basis of plate's buckling theory. By means of restriction of balance equation and

,, 瓿 ,, 瑑 ,

,, 瑩 ,

,

.....

,

.....

,

,

,

.....

.....

,

boundary condition, we analyze different kinds of pile structure under different loads combination, and calculate the critical load meeting buckling condition. For rod's part stability, we use Euler formula and parabola formula to resolve its critical stress, and with the help of decreasing coefficient, we calculate stability coefficient of rod under pressure as the reference for part stability evaluation.

At last, we apply the evaluation mode to No.1 crane and No.2 crane. According to the analysis results, we put forward several suggestions for check and maintenance. The performance we get from practical use shows that the model is feasible and correct, which can be instructional to the equipment regulation in port enterprises.

Chen Shudong (Mechanical Engineering)

Directed by Professor Shen Yifei and Senior Engineer Huang Zong

Keywords: part stability, critical load (stress), safety reserve

,

.....

，
，
.....

论文独创性声明

本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的科研成果。
论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或其他机构已
经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均
已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

作者签名： 王 强 日期： 2006.6.12

论文使用授权声明

本人同意上海海事大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校
有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上网公
布论文的全部或部分内 容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论
文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名： 王 强 导师签名： 王 强 日期： 2006.6.12

本人同意上海海事大学有关保留、使用

学位论文的规定，即：学校

有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上
网公

布论文的全部或部分内 容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保
存论

文。保密的论文在解密后遵守此规定。

第一章 绪论

1.1 结构安全管理研究的意义

金屬結構是起重機的整機安裝。設備集合在很大程度上決定于金屬結構的類型。

起重機金屬結構可以分爲兩大部分。一部分是車架，另一部分是大梁附件。車架附件可以包括履帶形架，工字架，丁字架和槽形梁等承受拉力和彎曲載重；大梁附件可以包括門式起重機和橋式起重機，多集裝箱吊，折疊臂形吊杆，臂式起重機和帶式大梁起重機等。

金属结构的刚度不够强, 刚度和稳定性, 制度又可分为三类类型: 弹性制度和刚性制度。弹性制度是金属结构在受到外力时, 其形状和尺寸会发生可逆的变形; 刚性制度是金属结构在受到外力时, 其形状和尺寸会发生不可逆的变形。弹性制度和刚性制度的区别在于: 弹性制度在受到外力时, 其形状和尺寸会发生可逆的变形; 刚性制度在受到外力时, 其形状和尺寸会发生不可逆的变形。弹性制度和刚性制度的区别在于: 弹性制度在受到外力时, 其形状和尺寸会发生可逆的变形; 刚性制度在受到外力时, 其形状和尺寸会发生不可逆的变形。

迄今为止,国内外对岩层节理发育的讨论和描述还是从几何人字状的分布,而这样描述对于某些情况,如岩层褶皱和构造方法等难以作出定量分析,较之数学描述,难以大量应用,用长的统计方法可以解释节理发育的几何学等事实,如节理在坡面上延伸的规律和走向;用断裂力学可以指示节理应力场;用岩石力学和岩石物理力学控制技术,对于使用中的岩体工程,如桥梁、公路、铁路、隧道、矿山等工程,可以应用。这些说明我们应大量应用,是今后全国性的技术课题和科学问题。

基于以上所述,对于金属增韧剂主要存在的四种形式均需考虑不足,动态屈服不足,金属结构的裂纹阻碍以及更小的裂纹阻碍。对于所有的这些阻碍形式,都有两个因素决定:第一,裂纹阻碍的应力情况;第二,金属增韧剂的金属相的分布;按此顺序,应变,加载的情况。

本文以厦门海大码头两台桥机为研究对象,通过测试其运行情况和设备的磨损情况,分析整机组装制造过程中存在的结构安全问题,针对薄结构的局部稳定性

第一章绪论

题进行研究,从而对集港装卸设备提供有一定的指导意义。

1.2 论文研究的研究背景

厦门港务集团海天集装箱有限公司两台集装箱吊钩50吨,编号为1、2号(以下简称1号机和2号机),由日本住友公司1974年(昭和59年)生产,1999年11月从日本引进(作为二手设备),其吊钩下额定载荷为30.5吨,起升高度为轨道上25m,轨道下12m,前伸108m,大车轨道16米,后伸距11m,门腿间距16m,白加洋高度10m,小车运行速度为150m/min,起升速度为满载50m/min,空载为120m/min,大车运行速度为45m/min,额定起吊时间为单程4分钟。截至2005年,14号机累计装卸882531TEU,其中2005年装卸60478个自然箱,88808TEU,计每天装卸166个自然箱;2号机累计装卸1067931TEU,其中2005年装卸80066个自然箱,88385TEU,计每天装卸185个自然箱;若按目前效率,估算两台吊钩大车装卸170个自然箱计。

为了掌握两台吊钩结构技术状态,为集装箱装卸桥的结构安全提供技术依据,2004年5月13日至17日,厦门港务集团海天集装箱有限公司委托武汉三一机械质量检测认证中心对两台吊钩进行检测(环境状况:晴,29℃,风速1.5m/s)。

1.3 结构安全问题问题的分析与应对

由于港口企业普遍使用大型机械装备(如门座吊机等)开展装卸作业,而这些设备中有许多已经老龄化,部分处于超期服役状态,从而事故时有发生,严重影响着港口的生产安全,必须对其加强管理。

通过对大量大型机械结构事故的调研,理论分析计算的结果表明,大型机械结构破坏事故的原因主要有两个方面。其一是疲劳问题,这是由于吊钩设备处于长期运行状态,结构在交变载荷的作用下发生疲劳破坏,产生疲劳裂纹。在疲劳裂纹的累积作用下,裂纹不断扩展,直至剩余截面不能再承担负荷而突然断裂,从而导致结构的整体破坏。其二是稳定性问题,特别是构件的局部稳定性。引发该问题的原因是由于在构成结构的板的平面内,板受到平行于板面的压力作用,使板发生隆起、内陷等凹凸不平的现象,板面的受压能力降低从而引起结构失稳,引发结构的整体破坏。

对结构问题整改的大型吊钩,应方便管理人员开展能够“引入结构的应力测试与分析系统,对结构的疲劳损伤作出较为准确的诊断和评估,以确定是否满足使用

经过对大量大型港机结构事故的调研,理论分析

计算的结果表明,大型港机结构

破坏事故的原因主要有两个方面。其一是疲劳问题,这是由于港机设备处于长时期运

行状态,结构在交变载荷的作用下发生疲劳破坏,产生疲劳裂纹。在疲劳破坏的累积

作用下,裂纹不断扩展,直至剩余截面不能再承担负荷而突然断裂,从而导致结构的

整体破坏。其二是稳定性问题,特别是构件的局部稳定性。引发该问题的原因是由于

在构成结构的板的平面内,板受到平行于板面的压力作用,使板发生隆起、内陷等凹

凸不平的变形，使板的受 载能力 减弱从而 导致局部失稳，引发结构的整体破坏。

对 结构问题频发的大型港机，作为设备管理人员希

望能够“引入结构的应力测试

与分析手段，对结构的实际状态作出较为准确的诊断和评估，以确定是否能适应目前

的三年要求，应尽快制定和实施安全评估计划，尽早采取针对性措施。”针对该二套设备运行需求，国内外的专家学者对引发上述结构事故的主要原因进行了理论分析与实验，应用了多种理论和工具来解决大型港口结构的安全问题，其中对板件屈曲和稳定性问题的研究尤其突出。

近年来，我国港口和电厂的大型装卸桥主臂架等结构事故已发生了多起。这些事故的原因主要是主臂架受到局部失稳引起的屈曲破坏。类似的问题失稳也发生在其他结构上，是工程上最常见的问题之一。要评价结构件的局部稳定性问题，首先要对板的稳定性进行理论分析，板件稳定性及设计问题，要参考相关规范。

目前，我国港口设备的安全运行，对于结构安全评估的主要依据是规范。设备管理人员对大型港口设备行业环境的特点，考虑是由于使用年限较长导致的设备老化问题，金属结构件的局部失稳或结构疲劳而产生的裂纹及外部环境影响而产生的腐蚀、连接结构和应力集中分析。将规范力学理论用于设备分析，结合设备运行工况，给出主要代表该结构的安全评估内容。为结构的安全提供指导。对于大型港口结构的稳定性问题，主要是通过过应力局部稳定性分析，在局部稳定性和局部稳定性问题及基本安全系数，计算得到应用临界应力。比较最大局部应力和最大动应力，来判断结构的稳定性。根据规范记录来判断是否满足规范（即）稳定性要求。从规范中给出的规范基于应力应变关系来评估结构的稳定性问题而导致的结构问题。

1.4 论文研究的主要内容

本文的研究问题的主要研究内容。本文着重从局部稳定性问题的结构稳定性问题进行深入的研究，主要的工作内容有：

（1）根据结构安全管理分析对应力集中问题，对本公司1号及2号装卸桥进行静力和动态测试，将测试结果的数据用于分析结构的稳定性问题的研究基础。

（2）以大型港口结构，特别是集装箱装卸桥的金属结构为研究对象，对结构的局部稳定性和局部稳定性分析，根据规范对结构的局部稳定性问题的研究，在此基础上进行结构的稳定性问题的研究。

（3）对结构的局部稳定性问题进行定性分析，以规范和工程稳定性理论为基础，建立结构的局部稳定性问题的定性分析模型。通过模型的计算与分析，对结

根据结构管理问题的主要应对措施，本文着重对集

装箱装卸桥的结构局部稳定性

问题进行深入的研究，主要的工作内容有：

构的稳定性是否满足需求进行评价，从而提供决策性的理论依据。

(4) 对本公司的 1 号到 2 号组织架构调整，应用建立的模型对定岗分析提供数据，进行结构的合理性定量分析，为领导决策制定适当的行政方法提供决策支持。

第二章 结构安全管理分析的数据准备

船体结构的研究需要的一个因素是它受应力和应变速率的负载能力。对于金属结构的应力问题通常采用线性关系, 将材料应力的制因应确定了其是否破坏, 特别是静态强度问题, 当应力很大的时候, 如果是应力为正值, 就可使材料被拉断的情况, 对于板料, 数可能在正应力的情况, 应力为正值情况, 则可能造成平纹或裂纹等现象, 其裂纹源正应力的情况, 所以对于金属结构问题, 往往是要进行静态强度和动态强度的测试来查看金属结构的应力情况, 来查看金属结构是否会发生破坏。

2.1 结构强度与稳定性概述

所谓强度是指金属结构在静应力或在疲劳载荷作用下的应力分布情况, 以进行结构强度计算和安全评估判定是否安全强度及其稳定性要求。静态强度主要是基于金属结构材料和应力强度来评估, 不同的材料有不同的测试, 那么金属结构承受的静态强度大小也是不一样的, 比如对于 Q235 这种大强度静态应力为 235Mpa, 如果为合金钢的话, 那么其承受的静态应力要超过 235Mpa, 当测定金属结构的静态应力后, 就要和材料的最大承受静态应力进行比较, 看是否已经超过了材料的最大承受应力, 另外, 由于材料的最大承受静态应力是在一定的工况下测定的, 而且也是一个统计意义上的最大承受静态应力, 所以, 有可能我们测定, 实际测定的静态应力要大于了金属结构材料能够承受的静态应力, 这是可能的, 另外, 金属结构的静态强度大小也是为结构的稳定性等提供数据, 因此, 也为动态测试和疲劳寿命测试提供数据, 因为疲劳寿命分析提供数据, 这是同时具有静态应力比较大时情况下, 才会发生疲劳和稳定性破坏。

动态强度指金属结构上某些点在动态作业中由于动态载荷的作用而引起的结构动态应力, 定量分析被测试的动态应力峰值和应力峰值系数并记录测试结果。通过动态强度的测试, 可以分析动态强度, 如果结构系数太大的话, 那么当动态应力比较大的时候, 其动态应力有可能超过了材料的最大承受应力, 另外, 如果动态系数太大, 对于安全也存在很大的影响, 而且, 当动态系数太大的时候, 作业时间就会受到限制, 同时也会影响结构的寿命, 所以, 对于结构的一些动态强度测试的应力峰值, 所以, 从上述, 要求测试金属结构的动态强度, 同时, 测试结果可以力测试分析, 来评估结构和稳定性评估数据和参考, 为进一步提升结构提供数据基础。

第二章 结构安全管理分析 的数据准备

2.2 测试准备与测试过程

2.2.1 测点布置

1、2 号桥测点布置分别见图 2-1 和图 2-2。

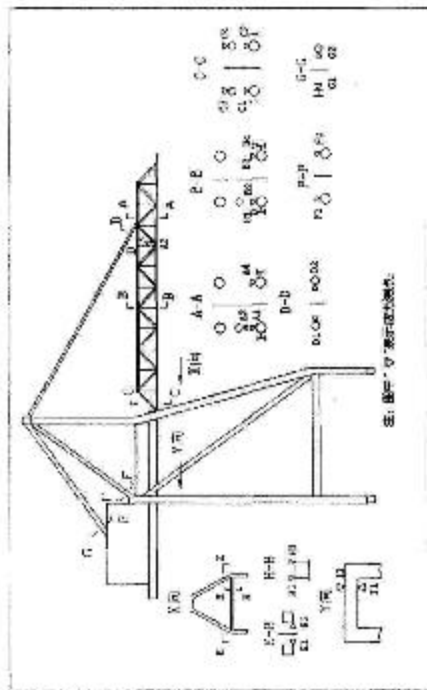
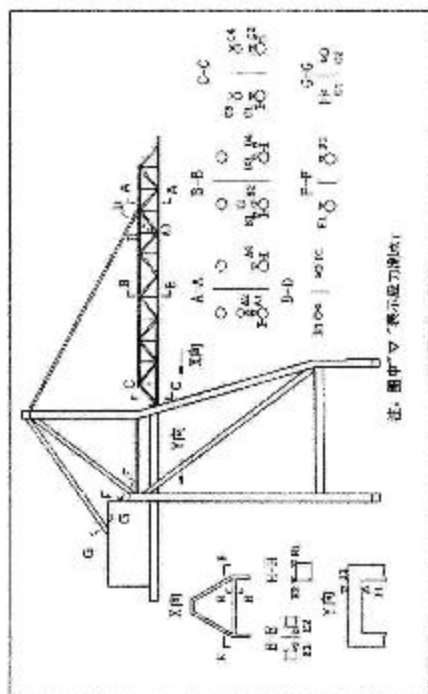


图 2-1 1 号桥荷载试验测点布置图

，桥面



注：图中△表示应力集中。

图 2-2 2 号行吊钩架和起重梁的配筋图(单位: mm)

2.2.2 测试过程

1、2号机组试工达分别见表2-1和表2-2。

表 2-1 1号机组载网方励磁工况

试验编号	数据 (t)	水平位置	轴荷位置
I	0	桥左位置	轴荷有侧向位移为“0”，该水平位置为左、右桥支墩
II	30.5	桥门座中间	桥墩距桥墩为“0”，该桥墩距桥墩为左、右主墩上，主墩支墩
III	30.0	桥门座中间	轴荷距桥墩为“0”，该桥墩距桥墩为左、右主墩上，主墩支墩
IV		桥门座下缘	
V	30.5	桥门座距左主墩	
VI		桥门座距右主墩	
VII		桥门座距左主墩	水平有侧向位移为“0”，该桥墩距桥墩为左、右主墩上，主墩支墩
VIII		桥门座距右主墩	轴荷距桥墩为“0”，该桥墩距桥墩为左、右主墩上，主墩支墩
IX	30.0	桥门座下缘	
X		桥门座距左主墩	
XI		桥门座距右主墩	

注：1. 由于该桥为双联拱桥，其拱桥桥墩水平位置，以图 20.12.1 所示水平位置为准。

2. 数据不采用平均值。

分：1. 由于该机组使用年限较长，其结构形式水平较高，因而28.0.我们不予永久关闭前外置管
部；
2. 数据不全且无数据。

表 2-2 2号机静载因为空测T况

工段编号	线号	小车位置	操作类型
I	0	停在位置	查看数据并设置“0”，或不到工点表示， 报警清除
II	214.5	看龙门吊中国	小车在停止后龙门吊在最低时，设置要 “0”，报警清除，否则在“小车位置” 后反映故障
III		看龙门吊中国	
IV		龙门吊下降	
V		查看数据并设置中国	
VI	38.0	查看数据并	
VII		查看数据并	
VIII		查看数据并	

最后对厦门海西机场两台架桥桥机以附录 2-1 和附录 2-2 所述的有代表性进行实际测试,测试其静态压力和动态压力情况,结合架桥桥机台架试验情况开展关于静态压力和动态压力,设备承载能力和结构稳定性等的分析。

2.3 移动靶位测试

对于绝缘电阻测试, 当前国际上主要采用兆欧法进行测试, 兆欧法是以兆欧表作为测试元件, 将绝缘电阻值在标定的电阻箱的某一确定位置, 通过触点改变仪

直接测定各测点的应变（应力）值。测试原理见图 2-8。

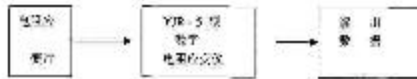


图 2-8 应变测试原理图

依转轴的直径为：测块直径 $\mu\text{m}(10^3)$ ，求得直径应变为 $\mu\epsilon$ ，则在单点应力状态下，由虎克定律，测应力为

$$\sigma = E\epsilon \quad (2-1)$$

式中 E ——材料弹性模量（Q235 材料 $E = 210\text{GPa}$ ）

若二点应力状态主应力方向已知时，测得的主应变 ϵ_1, ϵ_2 ，则测应力为：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1+\mu} (\epsilon_1 + \mu \epsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1+\mu} (\epsilon_2 + \mu \epsilon_1) \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

式中 μ ——泊松系数，取 $\mu = 0.3$ 。

另外，应变片及测块材料对测量速度的测试也有很大的影响，应变片的灵敏度系数是测块应变片的关键指标。对于粘贴，必须紧密贴合金属结构表面，这样才能正确反映应力情况。一般采用此方法有：应变片位置进行打磨、刮除锈迹、喷子、用 002 胶水粘贴应变片，为了防止开裂，又再次烘干，使绝缘度达到 $500\text{M}\Omega$ ，最后用 703 密封胶密封。

最后在测试过程中要注意校准与修正。

5. 温度补偿片

温度补偿片不仅可以共线补偿，也可以单点补偿。我们采用单点补偿，即事先加工好给单点补偿片的专孔以便粘贴，放在各测点位置附近，并使用同一层导线，这样可使温度补偿减少到最小。

2. 导线长度修正

在一般情况下，当导线电阻较大时，应对测试值进行修正。但在采用单点共线补偿时，当导线电阻电阻 $\leq 100\Omega$ 时，可不进行修正，由于我们的单点导线电阻小于 100Ω ，所以不必修正。

3. 灵敏度修正

灵敏度系数为 $K=2$ ，当 $K \neq 2$ 时，只要根据应变片的灵敏度系数的校准的修正系数进行修正，校准后即可进行修正。

在一般情况下，当导线电阻较大时，应对测试值进行修正，但在采用单点共线补

2.3.1 静态投资回收期

本论文采用已购设备公司进行静态投资回收期测试，测试结果见表 2-3、表 2-4。

表 2-3 1 号机静电力场测试表

测试点	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A ₁	4.7	?	?	?	?	-25.4	?	?	?	?
A ₂	+8.0	?	?	?	?	+52.2	?	?	?	?
A ₃	+7.5	?	?	?	-21.8	-1.4	?	?	+27.5	?
A ₄	-0.8	?	?	?	?	-25.8	?	?	?	?
B ₁	-1.0	?	?	?	+5.7	26.4	?	?	5.5	?
B ₂	+2.5	?	?	?	+7.3	-26.0	?	?	+5.5	?
B ₃	+1.2	?	?	?	+11.4	-28.4	?	?	+12.8	?
B ₄	-1.0	?	?	?	-10.2	-25.6	?	?	+6.6	?
C ₁	-3.8	?	?	-32.3	-3.5	-43.4	-9.4	-35.2	+0.2	-10.5
C ₂	+5.4	?	?	-23.3	-4.5	-44.5	-5.0	-25.7	-1.0	-11.2
C ₃	-11.2	?	?	-30.1	-30.9	-21.7	-8.8	-33.5	-13.0	7.7
C ₄	-10.2	?	?	-19.8	-25.2	-17.8	-6.5	-25.2	-43.2	-5.4
D ₁	+35.0	?	?	?	+25.4	+61.5	?	?	+27.5	?
D ₂	+32.6	?	?	?	+23.5	+60.0	?	?	+25.3	?
E ₁	-47.1	?	?	+11.6	-12.0	-54.8	-4.8	+15.1	-0.0	+5.7
E ₂	-42.3	?	?	+11.8	-12.0	-54.7	-4.9	+14.5	-0.8	+5.0
F ₁	+58.0	?	?	?	+49.8	+120.9	40.1	?	+45.1	-42.2
F ₂	+29.7	?	?	?	+29.3	-66.2	-27.0	?	+33.0	-27.5
G ₁	+10.2	?	?	?	+2.2	+11.8	+25.8	?	+1.4	+28.5
G ₂	17.7	?	?	?	12.2	+11.2	+22.9	?	+1.6	+26.2
H ₁	+27.4	?	?	-36.5	-30.7	+11.6	+29.3	-44.2	-38.5	+32.8
H ₂	+30.2	?	?	-44.5	-20.4	-17.4	+17.6	-52.6	-37.5	-10.8
I ₁	-42.2	?	?	?	+5.2	+3.0	-5.5	?	+5.2	-9.4
I ₂	12.7	?	?	?	-16.9	-31.7	+19.2	?	+6.4	-20.2
J ₁	?	-28.2	-30.7	?	?	?	?	?	?	?
J ₂	?	-28.5	25.8	?	?	?	?	?	?	?

表 2-4 2号半轴齿轮试验结果表

试验点	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
A ₁	-4.7	?	?	-24.3	?	?	?	?
A ₂	+2.1	?	?	+51.6	?	?	?	?
A ₃	+1.8	?	?	-27.3	?	?	?	?
A ₄	+10.8	?	?	+1.4	?	?	?	?
B ₁	-2.2	?	+17.2	-22.6	?	?	+19.0	?
B ₂	+1.5	?	+16.1	-37.8	?	?	+17.8	?
B ₃	+3.4	?	+14.7	-34.0	?	?	+17.0	?
B ₄	0	?	+14.3	-20.0	?	?	+19.9	?
C ₁	-12.3	-27.8	8.0	-27.2	-16.6	-70.0	5.2	-20.0
C ₂	-8.9	-24.2	+1.2	-50.2	-11.0	-42.0	+0.6	-14.5
C ₃	-17.0	-64.7	-82.1	-41.4	-12.3	-65.9	-58.2	-14.7
C ₄	-12.3	-33.5	-23.0	-27.0	-0.4	-38.9	-31.6	-10.2
D ₁	+40.5	?	+24.8	+61.0	?	?	-23.0	?
D ₂	+28.1	?	+18.4	-62.2	?	?	+19.2	?
E ₁	-45.3	+10.2	-7.3	-90.7	+7.3	+12.3	-12.7	-0.6
E ₂	-32.5	+14.1	-4.1	-41.2	+8.1	+13.7	-5.1	-0.6
F ₁	+61.2	?	+50.4	+100.8	-42.8	+5.5	+53.8	-48.4
F ₂	+18.3	?	+61.0	+124.4	-19.0	+6.1	+58.8	-48.0
G ₁	+13.9	?	+1.8	-12.5	+25.8	-4.1	+2.4	+25.9
G ₂	+7.3	?	-1.2	+5.2	+25.4	-4.9	0	-24.1
H ₁	+28.0	-44.8	-37.8	-20.8	+23.5	-16.1	-38.1	+27.4
H ₂	-26.3	-23.0	-36.6	-9.0	+7.1	-48.6	-38.7	+15.5
I ₁	-8.4	?	+4.1	+5.3	-13.3	?	+6.0	-23.7
I ₂	-11.4	?	-15.7	-26.7	+12.8	?	-18.5	+17.0

2.3.2 疲劳强度测试结果分析

1 基本参数

(1) 材料成分

材料为齿坯材料牌号为 RTKM13B，齿坯本工标准齿坯材料结果
 $\sigma_{\text{B}}=304\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_{\text{S}}=441\text{MPa}$ ， $\sigma_{\text{H}}=0.47\sigma_{\text{B}}=207\text{MPa}$ 。

(2) 齿坯材料

齿坯材料为 80kg/mm² 高强度钢，用于安全系数齿坯材料为 0.7，屈服强度 $\sigma_{\text{S}}=349\text{MPa}$ ，齿坯材料 $\sigma_{\text{B}}=764\text{MPa}$ ，齿坯材料 $\sigma_{\text{H}}=0.47\sigma_{\text{B}}=268\text{MPa}$ 。

(3) 试验结果

齿坯提供材料，齿坯材料试验，齿坯材料试验结果不同，试验结果也不一样，有

88Mn, 屈服极限 $\sigma_s=235\text{MPa}$, 为了安全, 按低碳钢处理, 查标准得到, 屈服极限 $\sigma_s=235\text{MPa}$, 疲劳强度 $\sigma_f=449.3\text{MPa}$, 疲劳强度 $\sigma_{-1}=215\text{MPa}$ 。

2 试验结果分析

通过试验结果, 贴片位置见图, 数据如图, 曲线等图表, 根据 GB3061-83 规定, 取安全系数 $n=1.5$, 则静载许可应力为:

$$\text{臂架主弦杆} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{235}{1.5} = 157\text{MPa} \quad (2-3)$$

$$\text{臂架横杆} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{235}{1.5} = 157\text{MPa}$$

$$\text{车架吊钩} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{235}{1.5} = 157\text{MPa}$$

在平浪的情况下, 载荷产生的实测应力值在臂架的主弦杆都较大。

(1) 在额定载重和 1.25 倍额定载荷静载作用下, 1 号机吊钩车架臂架吊钩和吊钩最大应力在 F1 测点上(吊后中横杆), 由横杆产生的应力为+120.8MPa, 叠加由俯仰过程中产生的应力+53.0MPa, 则应力强度材料的许可应力(该材料相当于国产 Q235 型钢, 其许可应力为 180MPa)。2 号机吊钩在臂架吊钩时最大应力在 F2 测点(吊后中横杆), 由横杆产生的应力为+124.4MPa, 叠加由俯仰过程中产生的应力+48.3MPa, 查表得 1 号机。

其他各点应力值的应力值在正常范围内。

(2) 通过测定横杆动载应力检测, 对台机吊钩中横杆的应力值较大, 1 号机最大应力峰值为+180MPa, 2 号机最大应力峰值为+140MPa, 叠加由过程中产生的应力值, 两台机吊钩的应力值均超过了其材料的许可应力。

其他各动载应力测点的应力峰值和平均值在正常范围内。

臂架横杆的实测应力值都较小, 另外, 很多测点的实测应力值远小于许可应力的总应力值 $\sigma_{\text{总}} < [\sigma]$ 。满足静载强度要求, 这样静载应力较大, 工程代表各主要承载构件的应力测点作为动载应力测点。1 号吊钩选取了 A2、C3、D1、E1、F1、H2 为动载应力测点, 2 号吊钩选取了 A2、B1、C1、D1、E1、F2 为动载应力测点。

2.4 动态应力测试

2.4.1 动态强度测试原理

金属结构的动载应力主要依靠金属结构的动态应力曲线, 标准金属结构的动态主

,, , 也有低碳钢, 为了安全, 按低碳钢处理, 查标准得到, 屈服极限
,,,, ,

, 测试结果

分析

取安全系数,,, , 则静载

许用应力为:

【口】,,, ,

,,, , 在所测的工况下, 载荷产生的实测应力值

在臂架的主弦杆都较大。

最大应力在 1 号测点上, 净筵欣, , , 由载荷产生的应力为 1.2 MPa, , , 叠加由俯

仰过程中产生的应力 1.2 MPa, , , , 蛭 $\alpha\chi$ 到咏, 牧系男磳糜 α , 该材料相当于国

产 1.2 号, 型号, 其许用应力为 1.2 MPa, , , , 号机当载荷在前伸臂端部时最大应力在 1 号, 其他各主要受力部位的应力值测点上, 净筵欣, , , 由载荷产生的应力为 1.2 MPa, , , , 在正常范围内。

叠加由俯仰过程中产生的

应力 1.2 MPa, , , , , 榭璧, 号机。

其他各动载应力测点的应力峰值和

对比值在正常范围内。臂架腹杆的实测应力值都较小。另外, 很多测点的

实测应力值加上自重应力值的总应力值 1.2 MPa, , , 絨】 , 满足静载强度要求, 选择静载应力较大, 且能代表各主要承载构

型指标多轴荷载系数，荷载系数就是按照行力力和平均应力进行对比，得出的行力除为荷载系数，按照国家标准。在一轴工况下，对于比较大的应力，荷载系数不能超过 2。

对于金属结构的应力测试方法通常采用应变计电桥，信号经半桥或全桥的应变计电桥，并且由 CRAS 系统实时采集、采集和存储。分析工作在试验室进行，通过在现场采集应变信号的数据，完成波形分析和数据处理工作。动态测试与分析的流程示意图如下：



图 2-4 动态测试与分析流程图

另外，在进行金属结构的应力测试时，传感器的选择是非常重要的，这些传感器必须反映金属结构的动态应力情况，并且能够反映金属结构在实际工作时的应力情况，因此，传感器的选择如下所述。

小车的运行由之其驱动系统（即驱动系统）驱动。换片后，小车分别运行到每个测点，并停留一段时间，然后驱动系统开始作上下升降运动。

测试流程见图 2-5、图 2-6、图 2-7 和图 2-8。

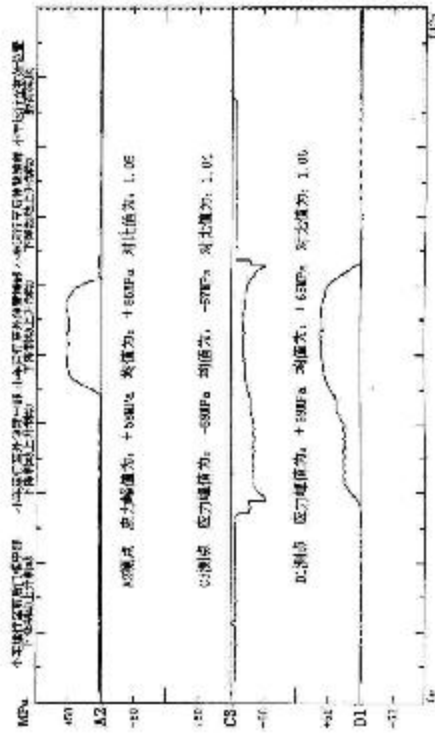


图 2-8 1 号点处某点位移与在 $Q=90.5\text{kN}$ 时位移的关系图

/

''

/ 巡? 粵

甲 兰

—

赛 塞 ?

猿、

///

/ -

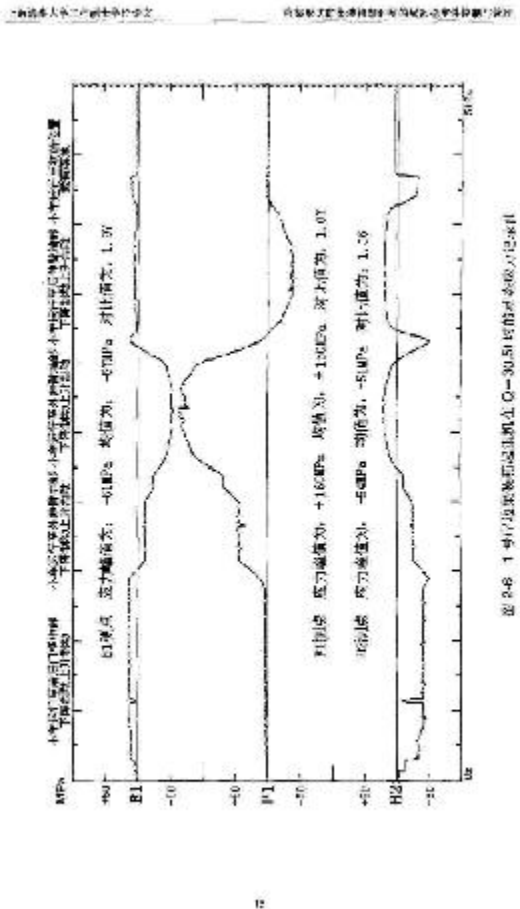


图 2-46 1 号汽轮机发电机组在 Q=30.5t 时的负荷记录

吞 / ,

,

菱

《 , ,

甲 —

,

/ 、

/

,

盥 己 —山 譬 翠 暈 旱 幸 萃 萃 ,古

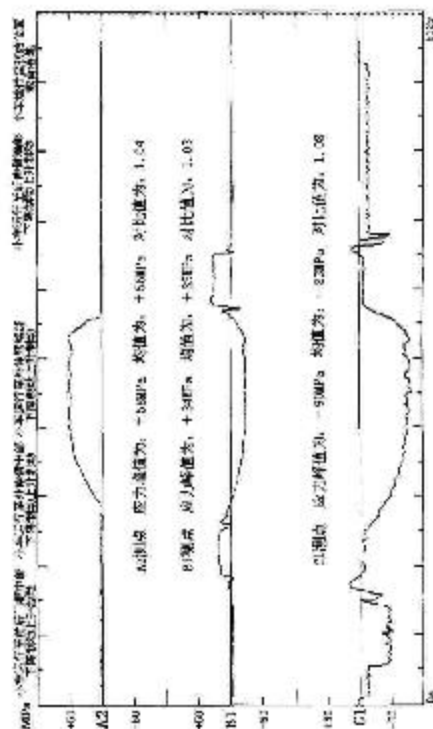


图 2-2 2 号岩样峰值压力和 Q-30 岩石的峰值应力-时间曲线

蚧

罄》, 醉

..

毒

,

上海理工大学机械工程学院 机械工程学院 机械工程学院

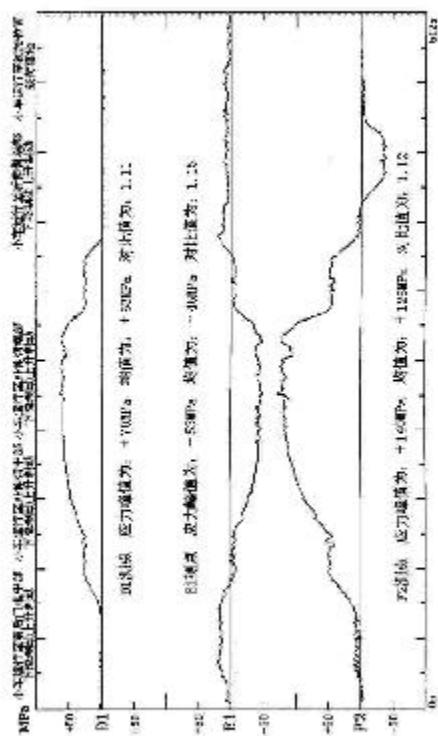


图 2-9 2 号半透式橡胶疲劳寿命与 Q-30 号橡胶疲劳寿命对比图

订

1 / 1

1 / 1

1

2.5.5 疲劳强度的结果分析

动载因为液面起伏给出了各测点具有代表性的动应力测量信号,而取基本安全系数 $n=1.5$, Q235 材料许用应力 $[\sigma]=235/1.5=157\text{MPa}$, 动载荷关键部位和结构最大动应力点 F2 和测点 F1,其中测点 F1 的 σ_1 为 163MPa,测点 F2 的 σ_2 为 140MPa,加上正应力 $\sigma_0 = 42.5\text{MPa}$,则 σ_{max} 为 175MPa 和 159.3MPa,可见,对于 1 号机,其 $\sigma_{\text{max}} > [\sigma]$,不满足强度需要,需 ≥ 2 号机,其 $\sigma_{\text{max}} < [\sigma]$,满足强度需要,表 2-5 给出了各测点的疲劳系数。

表 2-5 动载应力测试结果

位置测点	测点号	动载应力峰值 (MPa)	动载应力均值 (MPa)	安全值
1	A ₀	-85	-85	1.05
	C ₀	-69	-67	1.04
	D ₁	-88	-88	1.06
	E ₁	-87	-81	1.03
	F ₁	+150	+150	1.07
	H ₁	-84	-81	1.06
2	A ₀	-56	+38	1.04
	B ₁	-80	+84	1.03
	C ₁	-83	-80	1.08
	D ₁	+88	+70	1.11
	E ₁	-46	-33	1.16
	F ₂	-125	-140	1.12

说明: 疲劳系数由图 2-3 图 2-8 中查得

按照《起重机设计手册》动载系数一般不作要求,针对结构的重要部位,要求在动载系数表示区不低于 2Hz,在分析分析中,通过求取动应力,实例复装箱式桥式起重机 1.5Hz (垂直),动载系数低,但也不容忽视。

动载测试的数据为进行结构的疲劳强度分析与计算提供了数据,应用有限元法和板壳力学理论知识,可以建立相应的疲劳损伤分析模型,对测点测点位置按照所定疲劳损伤进行分析计算,从而做出合理的疲劳损伤分析与评估结论,为设备管理人员提供决策支持,本文主要是针对集装箱起重机的局部稳定性问题进行深入的研究和讨论,所以疲劳损伤方面的研究就不在这里深入展开了,下一章将主要针对港口起重机使用与维修中的局部稳定性问题进行分析。

起重机对比编号值

1

1

1

1

1

第三章 结构局部稳定性问题及其影响因素

3.1 结构局部稳定性问题概述

3.1.1 起重机的结构形式容易造成局部失稳而使整体破坏

为了减轻重量有充分及将材料利用，起重机的结构形式多种多样，一是采用薄平板组成箱形梁，工字梁或槽钢梁等；二是用薄板结构组成桁架梁或柱。

在设计时，一般充分考虑了强度要求，然后在梁上加设横桁在桁梁上加设纵桁来防止整体失稳，但是由于第二、第三项考虑不周的因素，造成结构失稳而引起整体失稳，因此结构的失稳是起重机的金属结构破坏的一个主要原因。下面举一些例子来说明（上海海事大学结构研究所提供）：

3.1.2 起重机的金属结构失稳破坏实例

1 门座式起重机（简称门机）主臂梁折断事故

1985 年在南通市开会时有人介绍某一个厂生产的门机主臂梁折断的就有 40 余起，上海海事大学结构研究所研究对其中 30 余起作了了解和调查，认为折断原因是应力疲劳引起整体破坏。1997 年对五洲第一公司一台新装 1.5 吨门机主臂梁折断，在通海曾组织专家会诊，上海海事大学认为是局部失稳引起整体破坏，但在有专家认为疲劳破坏。直到 2000 年 10 月在福州《港口起重运输机械管理手册》审稿会上，对臂梁折断原因，有人又提出了是疲劳破坏。对此，上海海事大学冯建教授等撰写了“门机主臂梁折断原因分析”论文，例举是局部失稳引起整体破坏的上述理由有：

(1) 有局部失稳的特征：有明显的屈、凸（波浪状）变形，且折断有一个连续的过程；

(2) 折断不在应力最大的位置（即腹点），而是在离腹点上约 5-8 米处，这是因为受弯曲的应力最大，而此处应力较小（约 1 倍），抗失稳的临界应力与应力之比，应力最大，抗失稳的临界应力，也有局部应力失稳；在离腹点上约 5-8 米处，应力分布较小（约 1 倍），抗失稳的临界应力，虽然抗失稳的应力不最大，但超过了临界应力，所以发生了折断；

(3) 上述是某一公司主臂梁折断的实例是疲劳破坏的，被它是疲劳破坏是不合理的。

第三章 结构局部稳定性问题及其影响因素

一、结构局部稳定性问题概述

断，交通部曾组织专家会诊，上海海事大学认为是局部失稳引起整体破坏，但也有专

家认为是疲劳破坏。直到，年，月在福州《港口起重运输机械管理手册》审稿

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/947055010153006115>