

起重机设计中的“人—机—环境”大系统观

莫秀萍¹ 郭伟²

(1.宁夏银起集团有限公司, 宁夏 银川 750011; 2.宁夏共享集团有限公司, 宁夏 银川 750021)

摘要 主要论述了人机工程学对于起重机设计的重要性, 设计起重机起升机构、运行机构及其操纵装置、显示装置、驾驶视野、座椅位置、安全保护架等时, 应对人体测量数据、人的视觉特性、人体生物力学特性等进行研究, 以提高起重机在使用中的主动安全性。并对人体感觉功能对环境的舒适要求与设计关系的协调提出了一些建议。

关键词 起重机 人机系统 人机工程学 主动安全性

1 前言

起重机械是现代工业生产不可缺少的设备, 是一种涉及人身及财产安全的产品, 设计、制造、安装和维护等各个环节必须严格按标准执行。它通常具有多种复杂功能, 以满足客户的种种需求, 产品技术涉及机械、电控、液压等领域的多项技术, 是一种包含大系统的复杂产品, 其工作形式多是反复循环作业, 工作时, 驾驶员要频繁的使用操作手柄(或者按钮)来控制机构的起升、下降和行走, 频繁使用加速踏板、变速手柄以及制动器控制开关等来控制吊车的行驶速度和启动、停车。同时还要避让走道上的障碍物、一起作业的吊车和意外出现的行人, 这些要求驾驶员在心理和身体状态上必须高度集中。因此, 起重机的主动安全性设计除了保证金属结构可靠的承载能力和良好的使用性能外, 应以减轻操作者的心理压力, 创造一种宜人的工作环境, 降低发生误操作的可能性为核心, 用人机工程学的基本理论作为其设计和评价的重要基础。

2 人机匹配与人机系统总体设计

传统的设计观把思想集中在机械的功能实现和行为分析上, 以性能最大限度的满足用户的使用要求为宗旨。现代的设计观要求同时考虑人和环境等工业设计方面的因素, 以大系统的观点统一处理设计中的问题, 同时兼顾性能、造价、尺寸、消耗、可靠性、环境污染等指标, 再进行优化匹配。那么, 要求起重机在主动安全性设计过程中将人、起重机和环境作为一个系统

来研究, 就要根据人的各种特性来设计和改造这个系统, 确保起重机操作使用安全, 舒适与维修方便, 有利于创造良好的环境条件, 满足人的心理、生理需要, 使人和起重机的作用得到充分发挥。

现代的起重机人—机界面宜人性不断提高, 这个系统通过人机界面完成各项工作, “人—机—环境”大系统的基本组成如图1所示。

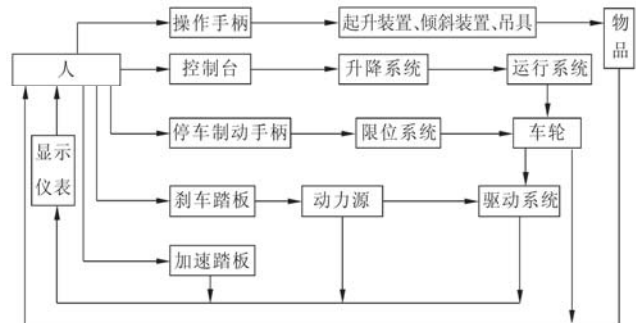


图1

3 人机工程学在起重机主动安全性设计中的应用

人机工程学目的就是使人们在机器运行中操作便捷, 环境舒适, 反应灵敏, 提高效率。设计人员必须使产品在使用中与人体相协调。根据人体身高、臂长及出力等各种数据, 来确定机器高度、操作零件尺寸、重量和排列位置等。

影响起重机主动安全性的系统有起升系统、运行系统、制动系统及其操纵装置、仪表显示系统、司机室

作者简介: 莫秀萍(1972-), 女, 工程师, 主要从事减速器制造工艺及起重机设计。

驾驶视野座位系统及电控系统等。

3.1 起升系统

起升机构都设有超载保护装置, 超载限制器中的传感器与底座一起安装于卷筒一端。超载限制器主要由电阻应变式传感器和电气控制两部分组成, 具有声光报警并切断起重机起升电机回路电源等功能。超载限制器的综合误差不大于 $\pm 5\%$, 当吊钩起吊额定载荷90%时, 能发出音响及灯光信号, 当起吊105%额定载荷时, 能自动切断起升动力电源和发出警报。起升机构高速旋转的外露运动部件都设有可拆卸式安全网罩。现在越来越多的起升机构(包括运行)都采用变频控制或切电阻控制或其它形式的调速系统, 调速变速装置使车的操作变得十分容易, 能平稳地进行启动或制动, 对带有调速系统的电机上设有编码器和超速开关。起升机构设有上升限位及重锤式限位共三道保护, 使得操作者在操作过程中确保吊钩在上极限位置时万无一失。

3.2 运行系统

大小车运行机构在极限位置的碰撞或与临近起重机的碰撞采用吸收动能大, 反弹小的聚氨脂缓冲器, 以降低因碰撞给司机造成的不适感觉, 也有利于提高起重机主结构件和驱动系统的使用寿命, 确保行车安全。两台相邻起重机还设有红外线防撞装置, 实现预减速。人、小车运行机构均设接近开关, 具有减速和停车功能。为了维修方便, 在端梁及小车梁上设有千斤顶顶点位置, 以方便更换车轮。车轮的轴承采用自动调心的球面滚子轴承, 这可以在一定程度上补偿工人安装误差和车架变形。

3.3 制动系统

制动器是起重机起升机构及运行机构的重要安全性部件。

起升机构必须设常闭制动器。在设计选型时, 制动时间的长短与作业特性要求有关, 安装及检修精密设备的起重机制动时间过短, 安装工人难于准确定位, 影响作业质量。而高速度、高效率作业的起重机制动时间

布置, 尤其重要。目前, 各制动器生产厂家纷纷推出新的更宜人的制动系列产品。

运行机构的制动都有限位开关及缓冲器做辅助配合, 保证制动的可靠和平稳。

露天行驶起重机采用手动自锁式防风抗滑装置需在停车后手动锁定, 不能保证起重机有风作业的安全, 机动夹轨器机构复杂, 而且断电或停电后无法进行机动锁定。新型防风抗滑装置能保证起重机在有风条件下安全作业, 遇大风时可通过断电利用锚杆自重进行自动锁定。起重机安装有风力报警系统, 保证起重机在接近额定最大风力时的作业安全, 从而增加起重机的作业时间, 并对司机的心理状态起着安定作用。

3.4 操纵装置

操纵装置是指能将操作者的响应输出转换成机器设备的输入信息, 进而控制机器设备运行状态的机构。在操纵装置的设置中, 必须充分考虑人体的体型、尺度、生理特点、运动特征和心理特征, 以及人的体力和能力限度, 才能使所设计的操纵装置具有较高的宜人性, 为操作者安全、准确、舒适、持续地操纵提供保障。所有机构均由司机室联动台(也有采用凸轮控制的)上主令控制器操作, 控制起升及大小车机构的运行。起重机的操纵装置有脚踏板、手柄及各种按钮等。

联动台首先布置在驾驶座前方最优区域内, 各项控制按钮在遵循排列整齐均衡原则的同时, 必须以操作者方便、迅速、准确为依据, 以及根据人的眼睛对横向排列比纵向排列辨别能力更准确的特点等进行设计; 只有认真考虑人的因素, 才能提高操作的准确性和可靠性, 才能充分发挥人及机器的功能。选择操纵指示装置、仪表的合理形式与布局, 并把重要的仪表放置在人的视线容易看到的醒目的部位。同时, 操纵指示装置、仪表的高低位置等, 要按照人体结构的尺寸决定选择范围, 过高或过低都会使操作者感到不便, 容易疲劳, 长期使用会影响健康, 并带来安全隐患。

脚踏板的设计应以人体下肢尺寸和力学参数为基础。一般为脚悬空式, 形状多采用矩形平面板。踏板与

机等有特殊作用的起重机, 对于制动器的合理选择和

起重机行使或作业时, 由于前方视野和工况不断

变化,要求驾驶员几乎不用前倾就可操纵工作装置、制动手柄等,以确保行使和作业安全。

3.5 显示装置

显示装置是指能通过可视化的数值、文字、曲线、符号、标志、图形、可听的声波以及其他人体可感知的刺激信号向“人”传递“机”的各种运行信息的器具。车上使用最普遍的显示装置是视觉显示装置,主要有各种仪表和信号指示器。从人机工程学的观点考虑,使用阴极射线管、气体放电管和发光二极管等屏幕式电子显示装置更理想,它既可显示数字量和模拟量,又能显示过程参数的变化曲线或图形,更适合人的心理和生理特点,且认读速度和准确度较高,能减轻驾驶员的疲劳和紧张程度。

仪表板上的仪表应根据视觉运动规律排列,最常用、最主要的仪表信号指示器应尽可能排在视野中心 3° 范围内(最优视区),一般仪表和信号的指示器排在 20° ~ 40° 视野内,同时兼顾与操纵装置的协调性。试验证明,观察距离为800mm时,若眼球不动,当水平视野 20° 范围为最优认读范围,其正确认读时间为1s左右,当水平视野超过 20° 时,正确认读时间开始剧增。

3.6 驾驶视野

保证起重机运行和作业安全需要驾驶员及时接收足够正确的信息。驾驶视野是起重机主动安全性设计的重要组成部分,驾驶视野设计是以驾驶员的眼睛位置为定位基准。司机室应有良好的视野,驾驶在其座位上应能清楚地观察到取物装置及所吊物品在工作范围内的移动。安装在桥式起重机桥架端部的司机室其水平视野角度(工作座椅中心与司机室三侧面,即前、左、右侧的透视窗的夹角)应不小于 230° ;安装在门式起重机桥架端部的司机室其水平视野角度(工作座椅中心与司机室三侧面,即前、左、右侧)的透视窗的夹角)应不小于 270° 。安装在其它位置或能移动的司机室,应在司机室后侧设有相应的视窗。司机室宜设底部视窗,底部视窗应设有安全可靠的防护措施。

为确保夜间行车和作业安全,起重机必须配备用于前方视野的前照灯。主梁下设有防震照明灯。

露天工作的司机室,可根据供需双方协商采取遮光措施(防耀眼)和设刮水装置。

为防止腐蚀性气体腐蚀玻璃,影响司机视线,司机室应安装可换式玻璃或有机玻璃。

目前基本上全部采用全封闭的保温司机室,具有保温、防震隔音、防火、防尘、防毒和防热辐射等良好性能。

3.7 座椅位置

设计驾驶员座椅位置时,必须考虑坐姿对人体生理特点的影响和体压分布的合理性,同时在选择有关参数时,应协调好舒适性与操纵轻便性之间的矛盾,以及舒适性与视觉效应之间的矛盾等。

3.7.1 乘坐姿势

座椅的舒适性与人体的乘坐姿势及生理特点密切相关。人体脊柱是人体重量的主要支柱,由上而下承受的重量越来越大,腰曲变形也最严重,不正确的坐姿易引起腰酸、腰痛等不舒适感。所以,座椅位置应迫使驾驶员保持正确的坐姿,即臀部离开靠背稍向前移,使肩部向后倾斜,保持体腿之间的夹角达 115° ;小腿前伸,保持大腿与小腿之间夹角应适当,这样才能使上体接近于直立位置,保持胸部挺起而肩微垂的合理坐姿。

3.7.2 体压分布

人体重量作用在座椅上的压力,应考虑臀部不同部位在产生不舒适感以前所能承受的压力及作用在靠背上的压力,做到合理分布,而不是平均分配,使肩胛骨和腰椎骨2部分压力逐渐向外降低。因此,座垫上体压分布是坐骨部分的压力最高,从坐骨周围向臀部外围逐步降低,直到与座垫前缘接触的人腿下面趋于低值;靠背上的体压分布四肩胛骨和腰椎骨2个部分压力最高,以肩胛骨(相当于第5~6胸椎之间的高度)和腰椎(相当于4~5腰椎之间的高度)作为支承,以保持正确的腰曲弧形和保持腰椎不受损伤。

3.8 护顶架设计

当摩电道与司机室位于同一侧时,必须有司机室护顶架。另外在标准中规定驾驶室的净空间的高度 $\geq 2000\text{mm}$,且要满足静压试验和冲击试验的要求。从安全方面和人机的适宜性方面保证驾驶员的驾驶空间。司机室的门外带有平台,开门方向向外开,联锁保护装置应设在走台上;司机室的门外没有走台,开门方向向里开,联锁保护装置应设进入司机室的通道口上。由于作为人机系统主体的人有易出错误的特性,除通过训练提高其可靠性外,在操作机构和指示仪表设计中还需采取安全措施,以防偶然错失而造成严重后果。预防方法很多,比如整车设计中都要考虑各处栏杆门及仓口盖的联锁保护开关。

4 人机系统与环境因素

不管是何种工作环境,人们最关心的是温度、光照、振动、噪声及色彩等几个方面。

4.1 温度环境包括温度、湿度、风速等因素,表示方式主要是有效温度(ET)、操作温度(OT)、4小时汗率指数(P.SR)和湿黑干球温度(WGBT)等。

4.2 工作环境的光线照度与人的感官疲劳和精神疲劳密切相关。人有舒适度感的基本照度要求是100Lx,照明光线应均匀,无眩光,光色合适。露天司机室应有遮阳装置,避免太阳的直接眩光,并要避免镜面、台面强反射眩光。当几面开窗有多个阴阳时,应采用控光玻璃来减弱相反方向的入射光,手和身体在台面上的阴影不要造成干扰,以免引起不舒适感觉,产生过早视觉疲劳、工作效率降低和活动能力减弱等状况。

4.3 人体是一个弹性系统,有自己的振动特性(以4Hz~8Hz、10Hz~12Hz、20Hz~25Hz为第1、2、3共振峰),人的各个器官也有自己的共振频率。振动会使人不舒适,降低人的视觉和操作效率,增多失误,尤其发生共振时,可能造成人体疾患。起重机司机室底版有吸振和缓冲减震等装置,避免达到司机生理临界范围的机械振动和将冲击传至人体。

按GB/T3811-1983《起重机设计规范》对桥式起重机(简称桥机)动态刚性的要求是当小车位于跨中时的满载自振频率应不低于2Hz。在实际使用中,动态刚性要求的满足对起重机的司机的工作条件以及桥架的疲劳性能是有重要影响的。当自振频率应过低,振幅过大,会增加结构动应力,特别是会引起司机身体感觉不适,并产生不安全感,影响操作的安全性。所以动态刚性的要求在设计中应给予充分的重视,进行校核计算。

4.4 噪声是工业中多见的污染因素。工业噪声主要是由企业内的各种设备产生的。起重机产生的噪声应在司机座位处测量,其测点位置在无其他外声干扰的情况下,不开窗时测得的噪声应不大于80dB(A),开窗时测得的噪声应不大于85dB(A)。

设计中经常采取如下几项措施:①采用能够吸收噪声的材料和结构,尽量吸收掉一些噪声能,降低噪声;②利用隔声板、隔声罩、隔声管道和消声器等坚实的材料或装置隔离噪声传播的通路,控制噪声;③对于振动较严重的噪声源,可采用弹簧、橡胶和气垫等元件减少振动力的传递或者在振动表面覆盖以阻尼材料,

降低噪声辐射率。在减噪和防噪设计中采取何种措施为好,要在仔细检测的基础上,根据噪声源和传播途径有针对性地选择,而且必须兼顾技术可行性和经济性,以获得理想效益。

4.5 起重机一般用较为鲜艳的颜色,如橘黄色,中黄色等。色彩调节的意义,首先在于充分发挥色彩对劳动者产生的一系列心理和生理的影响,增加工作兴趣,减少疲劳,提高产量和质量。再者,就是产生某种刺激,引起警觉,减少差错,避免事故。色彩调节作用的研究还在深入进行,它的意义比我们目前认识到的还要大。

5 结束语

在起重机乃至机械产品造型设计中,为了取得人机的协调、操作迅速准确和理想的视觉效果,还要运用美学法则来塑造产品,设计时,通过想象,考虑到人的生理、心理特点如何与操作系统结合,使其符合人体功能的要求。

因此,重视研究人与机器相互关系的规律,从而使机器、工具、环境适应人的各种生理和心理需求,应用到起重机的设计中,对提高起重机工作效率、保障安全、维护人的健康起着重要作用。

随着人类社会的进步和科学技术的发展,人们对产品的需求越来越高,要提高产品的性能,自然要求设计理论和方法的创新,而设计理论和方法的进步往往会带动产品的革新,从而形成良性循环。因此,现代设计理论与方法会不断地发展,并注入新的内容和活力。如果能想顾客所想,顾客需求真实地反映在产品设计的每一步中,就切实提高了产品设计的成功率。让技术人性化的科学——人机工程学不管是否引起我们的注意,但一定会逐步深入我们的工作和生活,并改变我们的世界。

参考文献:

- [1] 张质文,虞和谦等. 起重机设计手册[K]. 中国铁道出版社, 2001.
- [2] GB/T3811 起重机设计规范[S]. 北京: 国家标准出版社, 1983.
- [3] 徐灏. 机械设计手册 第一册[K]. 机械工业出版社, 2003.
- [4] 中国机械工业标准汇编. 起重机械卷[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

(收稿日期: 2007-03-19)