

建筑施工

悬吊式作业装备与技术

◎ 吴玉厚 孙佳 张珂 编著



JIANZHU SHIGONG XUANDIAOSHI ZUOYE ZHUANGBEI YU JISHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

建筑施工悬吊式作业 装备与技术

吴玉厚 孙 佳 张 珂 编著



机械工业出版社

本书在介绍悬吊式作业技术原理及特点的基础上,系统地阐述了悬吊式作业装备的设计及制造技术,并对其重要的功能部件进行了理论研究;同时,还介绍了悬吊式作业装备的工作稳定性、安全保护技术及产业化制造技术。书后附有悬吊式作业装备操作技能培训教程。

本书可供悬吊式作业装备制造企业、高空作业施工企业的技术人员,高空作业装备的研究人员,以及从事机械设计、摩擦传动设计、装备制造等相关专业的教师和学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工悬吊式作业装备与技术/吴玉厚,孙佳,
张珂编著. —北京:机械工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-111-48547-6

I. ①建… II. ①吴…②孙…③张… III. ①悬吊结
构-混凝土施工 IV. ①TU755.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第266177号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张敬柱 王晓洁 责任编辑:王晓洁 宋亚东

版式设计:霍永明

责任校对:程俊巧

责任印制:刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·18印张·2插页·362千字

0 001—2 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-48547-6

定价:49.80元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

悬吊式作业装备采用摩擦式提升机构,将承载施工人员和作业材料的平台提升至高空施工作业面,是一种新型、高效、安全的建筑外立面安装作业装备。该类作业装备操作简单、灵活、方便,具有较好的适应性,与传统工程施工效率相比可提高80%以上。在现代高效、绿色施工快速发展的时期,悬吊式作业技术受到了广泛的关注。悬吊式作业装备以其独有的动力传递方式、架设快速、外立面作业环境要求低等优点,在航天器、船舶、大型工业建筑、超高民用建筑等外立面施工与维护中扮演着重要的角色。近年来,我国在悬吊式作业技术方面的快速发展,已经受到了世界各国的高度关注,由我国自主设计并生产的悬吊式作业装备已经销售至60多个国家和地区。

尽管悬吊式作业技术在高空施工领域取得了巨大成功,但其技术应用在异型平台结构的设计及计算、多点悬吊自动调平、大载荷提升等方面依然存在一定的制约。异型平台结构的设计研究包括方案设计、结构分析等方面,其核心是异型作业装备设计参数的选择及悬吊点的布置,以及通过静力学和动力学计算改善装备的稳定性,减少施工中的安全隐患,提高传动控制的可靠性。多点悬吊自动调平技术主要包括作业装备自动化控制系统、智能化控制系统及调平控制理论三个方面,其核心是采用理论性较强的调平控制方法设计开发自动化控制系统,并探索智能控制系统的实现可能。由于影响装备稳定性的因素很多,如钢丝绳参数、提升机构形式、绳轮结构及控制系统等,因此,实现悬吊作业装备智能控制是快速提高装备作业安全性的重要手段。大载荷提升技术研究主要是指提高悬吊式作业提升机构中钢丝绳摩擦传动的提升能力,其中,钢丝绳的多螺旋结构导致其建立模型及力学分析困难,制约了摩擦传动性能的精确计算。同时,研究中还需要考虑提升机构的提升能力、振动、温度等重要性能指标。上述问题的解决将有助于促进悬吊式作业平台技术水平的提高,改善平台的安全性和稳定性。

为了全面和快速发展我国悬吊式作业技术和装备,作者在国家科技计划项目(2008BAJ09B03, 2011BAJ02B07)的支持下做了大量的研究工作,并希望通过本书向广大的科研工作者介绍悬吊式作业技术和装备的最新成果和发展方向。本书的内容主要来源于作者近年来完成的相关研究项目的研究成果。这些成果对实现我国高端悬吊式作业装备自主设计提供了充足的理论基础,为丰富高空作业技术做出了一定的贡献。

本书共七章,分别对悬吊式作业装备与技术的主要领域进行了系统的阐述。其中,第1章重点阐述了建筑施工用高处作业技术、高处作业施工装备,以及悬吊式作业装备的原理、特点、主要技术、发展现状等。第2章从悬吊式作业装备方案设计方面给出了作业装备设计理论及设计方案两方面的内容。第3章研究了悬吊式作业装备的结构分析,从传统悬吊式作业装备和异型悬吊式作业装备两个方面进行了平台的静力学和动力学分析优化。第4章研究了悬吊式作业装备重要功能部件——柔性钢丝绳的摩擦传动、力学分析以及磨损与循环次数对提升性能的影响,同时对提升机构摩擦传动机理、摩擦传动中的相对滑动、传动系统力学等方面进行了研究。第5章主要是对悬吊式作业装备工作的稳定性进行了研究,研究中给出了影响作业稳定的主要因素,介绍了稳定性控制系统的设计和开发过程,并对实际应用中所遇到的问题进行了分析。第6章论述了悬吊式作业装备的安全保护技术,主要考虑了作业平台防倾斜保护技术,超载、超速及断绳保护技术,安全锁自动检测装置等内容,同时分类叙述了悬吊式作业装备的典型事故以及安全保护措施。第7章重点研究了悬吊式作业装备产业化制造技术,包括三吊点检测试验架、钢丝绳自动定尺卷绕设备、作业装备钢结构自动焊接技术、提升机构提升性能试验装置及提升机装配流水线等方面的内容。附录为悬吊式作业装备操作技能培训的相关内容,极大地丰富了本书的内容结构,使本书较为全面地覆盖了悬吊式作业装备与技术的主要领域。

本书在编写过程中得到了申锡机械有限公司、中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院、高空机械工程技术研究院、北京凯博擦窗机械技术公司、沈阳正学龙机械设备集团有限公司、大连理工大学等单位的支持,特别得到沈阳建筑大学机械电子工程实验室和“高处作业装备”工程技术研究中心全体人员的大力帮助,在此一并向他们表示衷心的感谢。本书还参考了很多优秀著作,在此向各作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 建筑施工用高处作业技术	1
1.2 建筑施工用高处作业机械 装备	2
1.2.1 建筑施工用高处作业机械 的发展	2
1.2.2 建筑施工用高处作业机械 的特点	4
1.3 悬吊式作业装备与技术	5
1.3.1 悬吊式作业装备的原理及 特点	5
1.3.2 悬吊式作业装备的主要 技术	11
1.3.3 悬吊式作业装备与技术的 发展现状	11
1.3.4 悬吊式作业装备与技术的 研究内容及意义	15
第2章 悬吊式作业装备方案 设计	17
2.1 悬吊式作业装备设计理论	17
2.1.1 悬吊式作业装备的设计 方法	17
2.1.2 悬吊式作业装备的设计 参数选择	24
2.1.3 悬吊式作业装备的吊点 设计	25
2.2 悬吊式作业装备设计方案	27
2.2.1 两吊点式传统作业平台 设计	27
2.2.2 多吊点式一异型作业平 台设计	30
2.2.3 悬吊式作业装备的悬挂 型式	41

第3章 悬吊式作业装备结构

分析	42
3.1 传统悬吊式作业装备	42
3.1.1 传统悬吊式作业平台静 力学分析	42
3.1.2 传统悬吊式作业平台动 力学分析	56
3.2 异型悬吊式作业平台	67
3.2.1 异型悬吊式作业平台静 力学分析	70
3.2.2 异型悬吊式作业平台动 力学分析	82
3.2.3 异型悬吊式作业平台结 构优化	86

第4章 悬吊式作业装备重要功

能部件	90
4.1 悬吊式作业摩擦传动钢丝绳	90
4.1.1 摩擦传动钢丝绳的结构 分析	90
4.1.2 摩擦传动钢丝绳的力学 分析	96
4.1.3 钢丝绳磨损对提升性能 的影响	105
4.1.4 钢丝绳累计循环次数对 提升性能的影响	106
4.2 悬吊式作业提升机构	108
4.2.1 提升机构摩擦传动机理	108
4.2.2 提升机构摩擦传动中相 对滑动的研究	114
4.2.3 提升机构传动系统力学 分析	117
4.2.4 提升机构中两种摩擦传 动形式的研究	130

第5章 悬吊式作业装备工作

稳定性	132	6.3.2 安全锁自动检测装置的	
5.1 影响悬吊式作业装备稳定性的		控制系统	174
主要因素	132	6.4 悬吊作业装备典型事故	180
5.2 悬吊式作业装备稳定性控制		6.4.1 典型事故分类	180
系统	132	6.4.2 安全保护措施	182
5.2.1 控制系统工作流程	132	第7章 悬吊式作业装备产业化	
5.2.2 用户程序整体框架	134	制造技术	185
5.2.3 A/D 转化采样子程序设计		7.1 三吊点检测架	185
及操作	134	7.1.1 检测架基本结构参数	185
5.2.4 控制系统的可靠性分析	135	7.1.2 检测架设计计算	187
5.3 悬吊式作业控制系统应用		7.1.3 检测架静态性能分析	191
实例	141	7.2 钢丝绳自动定尺卷绕设备	195
5.3.1 工业控制系统抗干扰		7.2.1 钢丝绳自动定尺卷绕设	
研究	141	备结构	195
5.3.2 调平系统实测的过程及		7.2.2 钢丝绳自动定尺卷绕设	
数据	141	备工作过程	196
5.4 悬吊式作业装备智能控制理论		7.3 作业装备钢结构自动焊接	
探索	143	技术	197
5.4.1 提升性能模糊 PID 控制		7.3.1 作业装备的结构焊接	197
策略	143	7.3.2 焊接机器人的选择	200
5.4.2 提升性能双时标控制		7.4 提升机提升性能试验装置	202
策略	155	7.4.1 硬件结构设计	202
第6章 悬吊式作业装备安全		7.4.2 控制功能设计	205
保护技术	162	7.4.3 人机交流功能界面	210
6.1 作业平台防倾斜保护技术	162	7.5 提升机装配流水线	211
6.1.1 控制系统的调平方法	164	7.5.1 装配流水线总体结构	211
6.1.2 调平控制方法的确定	167	7.5.2 装配流水线主要技术	
6.2 超载及憋绳保护技术	169	参数	212
6.2.1 超载保护技术	169	7.5.3 装配流水线电气部分	212
6.2.2 憋绳保护技术	170	附录 悬吊式作业装备操作技能	
6.3 安全锁自动检测装置	171	培训教程	214
6.3.1 安全锁自动检测装置的		参考文献	277
机械结构	172		

第1章 概述

近年来,国内建筑脚手架坍塌和高处坠落事故频频发生,据统计,在我国群死群伤事故中,建筑事故的死伤数仅次于采矿和交通事故。为了有效地解决建筑施工安全生产中存在的突出问题,2006年国务院在全国安全生产工作会议上明确提出了关于在建筑施工等重点行业开展安全生产专项整治的要求,方案中明确提出了要改革施工工艺,尽量减少此类多发事故。为此,国家通过制定相应的政策法规与科研攻关,集中力量研发并生产推广了一批先进适用的高处作业装备和技术,用以保证建筑施工中的安全,提高施工效率和施工质量,达到大幅度提升建筑业经济效益和建筑施工科技含量的目的,有效地遏制了建筑施工坍塌、坠落等重大安全事故的发生。

1.1 建筑施工用高处作业技术

建筑施工作业领域主要可以分为地上施工和地下施工两个方面,根据国家标准GB 3608—2008《高处作业分级》规定:地上施工由地表作业(作业高度在0~2m)、一级高处作业(作业高度在2~5m)、二级高处作业(作业高度在5~15m)、三级高处作业(作业高度在15~30m)及特级高处作业(作业高度在30m以上)组成。其中,高处作业主要包括临边、洞口、攀登、悬空、交叉5种建筑施工类型。随着全球总人口数字的节节攀升,人均居住面积逐年减少,以及密集的城市化建设模式使高层、超高层建筑呈现井喷式增长,高层建筑的施工量随之增多。建筑施工用高处作业技术是指针对高层建筑施工所形成的包括作业装备设计技术、施工保护技术、平稳运行控制技术、典型装备的附着技术、悬吊技术及装备产业化制造技术等技术体系,这些技术主要服务于高层建筑的施工作业。

1. 高处作业装备设计技术

高处作业装备设计技术包括结构设计、强度计算及动静力学分析等内容,其中强度计算是其核心内容,主要负责验证所设计的结构是否满足强度要求。参数的优化设计及新产品的开发是近年来研究的重点,推动了装备的轻量化设计、绿色制造及系列化的发展。

2. 高处施工保护技术

高处施工保护技术包括防倾斜保护技术、防超载保护技术、防坠落保护技术等内容,在高处施工作业中操作人员的安全是首要考虑的问题,安全保护技术的原理及动作执行的可靠性是研究的重点。随着高层建筑施工工量的增加,高处施工保护技

术的研发正面临着严峻的考验。

3. 高处作业装备平稳运行控制技术

高处作业装备平稳运行控制技术是通过控制器来保证作业装备在工作过程中的性能,其中控制器的自动化程度决定了该技术的整体水平。目前,该技术的实现主要依靠 PLC 及单片机对作业装备驱动器和执行器的控制,控制算法和策略也是技术研究开发的重点。

4. 典型装备的附着技术和悬吊技术

附着技术是高处作业装备在施工建筑表面存在着力点时需要考虑的相关技术,该技术主要考虑附着点的确定、附着形式的选择、附着力的计算及附着构件强度的校核等方面。悬吊技术是高处作业装备采用从建筑物顶端进行悬挂方式作业的相关技术,该技术主要研究吊点数目的确定、悬吊方式的选择、作用点的受力计算及悬吊构件强度的校核等方面。

5. 装备产业化制造技术

高处作业装备产业化制造技术是包含开发核心部件生产线、智能焊接机器人的使用、零部件安全检查装备的开发及工艺流程规划的综合技术。产业化制造技术的进步大幅度提高了装备制造精度、缩短了高处作业施工装备的生产周期,满足了建筑施工市场的需求。

随着全球建筑市场的迅速膨胀,建筑业对安装设备的技术要求越来越高,高层建筑维修和建筑物设备安装工程越来越多,如混凝土筒仓检修、高大烟囱检修、电厂冷却塔检修、水电站大坝检修、电厂锅炉检修、风力发电厂塔架和风机发电机检修、大型船舶外表面检修等。同时,现有大型建筑保养、维护作业范围也在逐年上升。高处作业技术的发展和运用越来越受到人们的重视,通过提高作业技术水平能够解决建筑施工中所面临的一系列安全问题,积极采用先进的建筑施工高处作业技术,对于全面提升我国建筑施工用高处作业的整体水平有着重要的意义。

1.2 建筑施工用高处作业机械装备

1.2.1 建筑施工用高处作业机械的发展

最原始的高空作业采用竹木等制成的梯子或架子作为工具,梯子在一一定的时代和环境下为高处作业提供了最基本的平台,是高处作业机械的雏形。早期建筑工人采用搭设跳板完成建筑立面施工,跳板结构的进化和发展成为了后来的竹木脚手架。采用竹木搭建的多层脚手架,其作业高度可以得到提高。在建筑业发展早期,竹木脚手架得到了推广应用,但由于竹木脚手架存在强度低、易发生火灾等问题,逐渐被钢管制成的移动式脚手架所代替,钢质脚手架有效地解决了强度问题,为现代建筑向高空发展做出了突出的贡献,是高处作业机械的重要组成部分之一。但是,由于钢制脚手架的搭设需要消耗大量的钢材,且钢结构件长期暴露在空气中容

易受到腐蚀,腐蚀后构件的结构安全性会受到严重影响,采用钢质脚手架施工中坍塌事故时有发生,给国家和施工企业造成了巨大的经济损失,同时严重威胁着施工人员的生命安全。

随着现代建筑业、楼宇物业、科技工业的发展,高处作业涉及的领域已经非常广泛,高处作业机械已经开始向轻量化、智能化、系统化方向发展,国内外先后研制了机械化的高空作业车、高空作业平台、高处作业装备、高层建筑擦窗机等先进的机械作业产品,并以减少高空作业的安全事故,减少资源的消耗,提高劳动生产率为目标,探索性地采用无脚手架施方法。

现代高空作业机械是将人员、工具、材料等通过平台举升到空中指定位置进行安装、维修等多种作业的专用高空作业设备,其主要包括车载式工作平台、移动式升降工作平台、固定式升降工作平台及悬吊式作业平台。

高空作业机械在国外的发展主要集中在欧洲、美国和日本等发达国家和地区,其中欧洲是高空作业机械最主要的产地,德国、法国、英国、芬兰、丹麦等国都有很多高空作业机械的生产企业,其产品的主要特点是产品作业高度规格全,技术水平高。美国的高空作业机械产品主要集中在北美地区,基于北美地区的法规和政策,高空作业机械以绝缘型为主,约占总量的65%,其产品的特点是作业高度较低,结构型式简单。日本高空作业机械使用普遍,常规型和绝缘型产品都得到了广泛使用。日本高空作业机械的作业高度较低,小巧、灵活是其主要特点。

我国高空作业机械生产企业从20世纪70年代初起步,至今已有40多年的历史。到目前为止,国内生产企业已由早期的七八家发展到现在的100余家。截至2013年10月,列入工业与信息化产业部公告的生产高空作业机械的厂家共140家;中外合资企业有13家;国外独资企业有4家。我国目前高空作业车类型约有280余种,主要生产厂家有杭州爱知工程车辆有限公司、沈阳北方交通重工集团、徐州海伦哲专用车辆有限公司、北京凯特专用汽车有限公司及北京三兴汽车有限公司。主要产品有折叠臂、伸缩臂及混合臂等产品,其中折叠臂产品仍是目前国内最主要的产品型式。近几年,我国高空作业平台的需求量逐年增加,主要表现在品种数量不断增加、新产品开发速度较快。单桅柱铝合金平台、双桅柱铝合金平台、车载剪叉式平台、剪叉式平台、折臂式平台、箱型截面铝合金桅柱平台、自行式剪叉式平台、蜘蛛式高空作业平台和自行式曲臂、直臂平台等产品相继开发成功。同时,随着高层建筑的不断扩大和发展,悬吊式作业装备和技术也得到了飞速的发展,国家在“九五”、“十一五”期间分别对悬吊式作业技术的研发进行了重点支持,形成了包括江苏申锡建筑机械有限公司、无锡市小天鹅建筑机械有限公司等集研发、生产及销售为一体的新型企业。

1.2.2 建筑施工用高处作业机械的特点

建筑施工用高处作业机械的主要特点是多变的作业范围需求、具有局限性的施工空间、存在较为突出的安全问题等，针对不同的作业高度，高处作业机械类型存在着不同的特点。

首先，采用液压传动的高空作业车有自行式高空作业车、车载式高空作业车之分，其作业领域包括路灯等塔类结构的维修和维护，桥梁、高压线等悬空结构的施工及维护，高大空间设备安装与维保，建筑外立面装饰等。高空作业车具有操作可靠性高、工作幅度大、设备结构复杂等特点，根据其结构类型可以分为伸缩臂式、折叠臂式、混合臂式、垂直升降式、剪叉式等。对于起升量较大的施工作业，可以选择垂直升降式；对于作业高度、机动性要求较高的施工作业，可以采用自行走式；如果需要快速架设，则可以选用折臂升降式。高空作业车移动性好，转移场地方便，外形美观，已经在高处作业领域得到了快速的发展，为高处作业施工中的主力军。

其次，主要采用电动和液压两种形式的高处作业平台，该类作业平台具有造型美观、体积小、质量轻、结构紧凑、移动方便、升降平台平稳、操作方便、安全可靠、储存运输便捷、施工成本低等特点。近年来，高处作业平台也在向多元化方向发展，高处作业平台与高处作业车最大的不同是：高处作业平台在工作过程中不可以自行移动，需要附着支撑结构完成作业。高空作业平台的主要产品分为单立柱、双立柱、多柱、剪叉式及套筒式升降平台，为了减轻平台质量，制造材料主要采用高强铝合金型材。由于高处作业平台具有操作方便，能进入一般门厅，可随意进出电梯且耗电少、无污染、工作时不伤地面，可用于贴墙工作及探出作业，工作无死角等优良的作业特点，广泛适用于机场、体育场、宾馆、大型超市、影剧院等大厅内的高空作业，在厂房、写字间、商场、车站等场所也有广泛的使用空间。

再次，近年来快速发展的高处悬吊作业设备是高处作业机械的另一个主要分支，高处悬吊作业设备主要通过钢丝绳摩擦传动的形式实现作业平台的升降，具有架设速度快、安全可靠、不受作业高度限制、作业覆盖面广、能够实现凹立面施工等特点。本书将针对高处悬吊作业的相关装备和技术，从设计理论、结构分析、关键部件与关键技术研究及产业化制造等方面进行全面细致的叙述。

建筑施工用高处作业机械主要服务于高处施工，施工条件受环境影响明显。风载荷、地表平整度、地质条件、作业空间等因素均决定着作业机械在实际施工中的有效性。采用高处作业车、高处作业平台，还是高处悬吊作业设备，主要应考虑作业的环境因素及各种装备的自身特点。建筑施工用高处作业机械与普通的建筑机械相比，高处作业机械是高空载人设备，安全性要求高；因此，对设备本身的安全技术性能要求比普通建筑机械要高许多，操作具有极大的危险性，对设备本身的使用要求（包括人员素质、技能、使用维护保养等）比普通件组合机械

要高许多。

1.3 悬吊式作业装备与技术

1.3.1 悬吊式作业装备的原理及特点

悬吊式作业装备是采用钢丝绳等绳索机构将作业设备垂直提升至作业表面的装置,根据升降动力设置不同,可将其分为顶部卷扬和作业设备自爬升两种形式。其中,作业设备自爬升式以其结构简单、架设速度快、对环境要求低等优点在众多领域中得到了广泛的应用,如高层建筑擦窗机、风机叶片维修平台及建筑表面施工平台等。

1. 悬吊式作业装备的原理

悬吊式作业装备是将工程机械的先进技术与建筑物施工特点相结合,完成高处立面施工的装备,与其他施工形式相比具有操作简单、安全可靠、适应性强、成本低、效率高等特点。悬吊式作业装备主要由悬吊平台、提升装置、安全锁、工作钢丝绳、安全钢丝绳、悬挂机构和电气控制系统等部分组成,如图 1-1 所示。

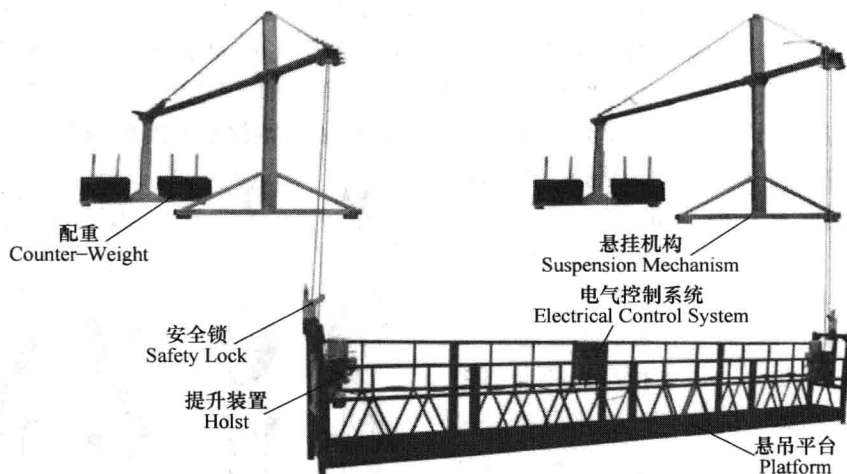


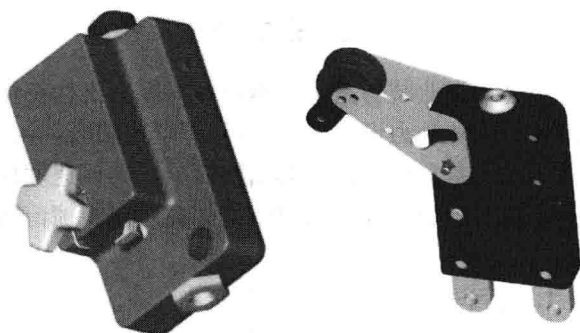
图 1-1 悬吊式作业装备示意图

悬吊平台根据规格的不同有整体平台和拼装式平台之分,其中整体式平台适合于施工环境中载重小、作业量少的悬吊作业中。主要由前护栏、后护栏、底架和安装架等部件组成拼装式平台,采用高强度螺栓将各部件进行联接,存在固定长度的标准节。拼装式平台的底架由钢板或铝板等材料焊接而成,底板有防滑波纹及踢脚板,其安装架由钢管焊接而成,底部可装脚轮,便于作业时拆装和移动。

提升装置是工作平台的主要动力装置,主要满足工作平台的上升和下降两方面的要求,其主要的组成部分有电动机及传动结构。提升装置的蜗轮蜗杆可实现反向

自锁，其作用是使悬吊平台停留在预定的位置上，这是工作平台实现其功能要求必备的基本条件，否则工作平台将无法正常工作。若提升装置失控，很可能发生平台倾翻等恶性事故。

安全锁的作用是在提升装置或工作钢丝绳失效时，能确保悬吊平台不发生坠落事故，根据其工作原理及适用情况可以分为离心式安全锁和摆臂式安全锁（图 1-2），安全锁是工作平台最重要的安全保护装置，所以对其性能要求非常严格。



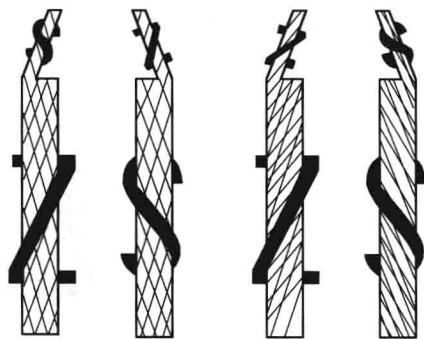
a) 离心式安全锁

b) 摆臂式安全锁

图 1-2 安全锁

悬吊式作业装备中钢丝绳有工作钢丝绳和安全钢丝绳之分，其中工作钢丝绳与

提升装置配合实现悬吊平台的升降，安全钢丝绳与安全锁配合确保悬吊平台的作业安全。钢丝绳是由绳丝捻制成绳股、绳股再进行捻制形成的结构，钢丝绳中钢丝直径的差别、股中不同层钢丝的捻角、捻距等因素都会影响钢丝绳的性能。按股内钢丝之间的接触状态可将钢丝绳分为点接触、线接触和面接触钢丝绳，根据绳股的捻向可分为右交互捻、左交互捻、右同向捻和左同向捻 4 种，如图 1-3 所示。悬吊式作业装备中主要采用高强度、镀锌抗腐、柔度好、捻制均匀、松紧一致、光滑平整的线接触交互捻制钢丝绳。



a) 右交互捻 b) 左交互捻 c) 右同向捻 d) 左同向捻

图 1-3 钢丝绳的捻制形式

悬挂机构是架设于建筑物作业面顶部的支撑机构，通过钢丝绳来承受悬吊平台、额定载重量等重量的结构。悬挂机构由前梁、中梁、后梁、前支架、后支架、上支柱、配重、加强钢丝绳、插杆、连接套等组成，前、后梁插在中梁内，可伸缩调节。为适应作业环境的要求，可通过调节插杆的高度来调节前后梁的高度，前、后支架下配有滚轮，可以用来移动悬挂机构，配重的数量根据悬吊装置的规格进行配置。

电气控制系统中的行程开关可以防止平台冲顶。在平台上安装限位器，一旦发生冲顶现象，限位器自动触动钢丝绳上端的限位挡板，工作平台会自动停止运动。钢丝绳是工作平台产品中最重要的易损件，钢丝绳失效将直接导致悬吊平台坠落，

这是十分危险的。电气控制系统中的漏电保护器可以在电气设备（或线路）发生漏电或接地故障时，能在人尚未触电之前就把电源切断，或者当人接触带电体时，在0.1s内切断电源。

（1）悬吊式作业装备的优点

1）同人力悬挂高空作业形式相比，悬吊式作业装备具有的优点如下：

①安全性方面。人力悬挂高空作业采用绳索将携带少量作业工具的施工人员悬挂于建筑物表面进行施工作业，因绳索长时间使用后会有磨损或断裂，施工人员作业的强度及负荷较大，加之无其他必要的安全保护措施，经常发生恶性坠落事故。相比之下，悬吊式作业装备具有多重保护装置，几乎覆盖了施工作业中可能发生的危险工况。

②施工效率方面。人力悬挂高空作业过程中无外来动力源，仅靠施工人员自身的重力作用，从建筑物顶端滑降至底端进行建筑物表面作业。与之相比，悬吊式作业装备采用电动机带动载人、载物作业平台实现悬吊平台在建筑物表面的升降过程，升降速度可达到7~14m/min，大大提高了高处作业的施工效率，缩短了施工周期。

③实现升降操作方面。人力悬挂高空作业无法实现从建筑物底端向顶端进行施工，而悬吊式作业装备可以实现往复式自由的升降过程。

2）同传统搭建脚手架式高空作业相比，悬吊式作业装备具有的优点：

①安全性方面。对于传统搭建脚手架式高空作业形式，在脚手架搭设阶段主要是施工人员悬挂安全带作业，由于脚手架扣件的重复利用，腐蚀严重的扣件容易引起大面积脚手架的坍塌，脚手架外的防护网容易在焊接施工中形成火灾隐患，众多安全隐患使得每年会发生多起恶性伤亡事故。悬吊式作业装备具有配合安全钢丝绳的安全锁、防触顶和墩底的限位机构及过流保护电控系统等保护装置，大大降低了坠落性安全事故的发生。

②施工效率方面。传统脚手架式的搭设和拆除需要较长的施工期，同时脚手架构件的整理、运输、储存等都需要大量的人力、物力配合完成，搭设和拆除构件是施工过程中需要重点控制时间节点的环节，如果不能及时完成将严重影响施工效率。而悬吊式作业装备的架设过程十分简单，仅需要在建筑物顶端安装固定的悬挂机构，放下工作钢丝绳和安全钢丝绳，便可实现悬吊平台的施工作业。

③节省资源方面。我国当前使用量最多的脚手架是扣件式钢管脚手架，用量达到60%以上，这种脚手架的安全性较差、工效低、材料消耗量大。全国扣件脚手架钢管约有800万t，其中劣质超期使用和不合格的钢管占80%以上，扣件总量约有1012亿个，其中90%左右为不合格品，这些已构成施工机械的资源浪费。而悬吊式作业装备具有作业面广的特点，仅需少量的悬吊平台将施工建筑物截面环绕，就可完成整栋建筑外立面的施工作业，大大降低了资源的消耗。

3）同地面支撑式高空作业装备相比，悬吊式作业装备具有的优点：

①适应性方面。与地面支撑式高空作业装备,如蜘蛛车、高空作业车、桅柱式高空作业平台相比,悬吊式作业装备在施工场地要求、高度限制方面、建筑物表面接近程度、载重量等方面具有优越性。

②成本方面。地面支撑式高空作业装备主要依靠进口来源,可实现自行走功能,制造成本及维护费用很高,不适用于建筑物施工阶段使用。而悬吊式作业装备对于建筑物施工阶段和外墙维护阶段适应性较高,而且转场方便。从研发制造、转场和后期维护方面都可节约大量资金。

(2) 悬吊式作业装备的不足之处 尽管悬吊式作业装备与众多高空作业设备相比具有较多优点,但其发展与应用同时受到了一定的制约。首先,由于悬吊式作业装备的工作形式,使其在有风环境下,施工受到一定的限制,无法承受较大的风载荷作用。其次,施工人员及作业材料质量过大容易导致平台超载或偏载,如果不及及时处理可能导致平台倾翻和坠落等事故发生。

(3) 悬吊式作业装备重要部件安全要求 悬吊式作业中的钢丝绳直接关系到人身和设备的安全,国内外大量钢丝绳事故给钢丝绳生产企业和使用单位提出了要求。制造高质量的钢丝绳,建立和完善钢丝绳的安全使用规范,采用先进检测仪器,加强钢丝绳维护等都是确保钢丝绳安全使用的重要措施。因此,国家标准中对钢丝绳使用中的强制性要求如下:

1) 工作平台的每个吊点必须设置2根钢丝绳,安全钢丝绳必须装有安全锁或相同作用的独立安全装置。

2) 安全钢丝绳必须独立于工作钢丝绳另行悬挂。

3) 钢丝绳的安全系数不应小于9。

悬吊作业钢丝绳的使用表明,如果钢丝绳在危险状态下使用,其安全性较差;如果在过量的安全范围内使用又会造成浪费。美国专家对8000多个实验数据和现场资料的研究表明,使用中约有12%的钢丝绳在危险状态下工作,其中约有2%的钢丝绳受力超过额定强度的30%;约有10%的钢丝绳强度损耗超过15%。而被强制更换下来的钢丝绳中,约有70%几乎没有强度损失,其使用存在较大的浪费。研究还表明,磨损、疲劳、断丝、腐蚀等都是导致钢丝绳发生失效的因素。

安全、经济、高效地使用钢丝绳是悬吊式作业中对钢丝绳使用的主要目标,为此需要根据钢丝绳的使用情况准确地估算钢丝绳的寿命,钢丝绳的多螺旋结构使其在使用中受力极为复杂。钢丝绳的制造质量,卷筒、滑轮和轮槽的质量、材质及尺寸,钢丝绳的安全系数,钢丝绳的结构、强度、韧性、规格,钢丝绳的储运、使用和维护方法,钢丝绳疲劳等因素,都可能导致钢丝绳断裂,造成悬吊式作业装备的施工事故,因此钢丝绳的选用和维护需要受到重视。

2. 悬吊式作业提升装置

国家标准对悬吊式作业提升装置的有关强制性要求如下:

1) 提升装置传动系统在绳轮之前禁止采用离合器和摩擦传动。

2) 提升机必须设有制动器。

工作平台的提升装置是工作平台的动力，用于完成工作平台的上升和下降。根据穿绳机构的不同，主要有 α 形穿绳机构的提升装置（图1-4）和S形穿绳机构的提升装置（图1-5）。

如图1-4所示， α 形穿绳机构的提升装置端部带有盘式电动机，经减速机驱动主动盘，在主动盘与压力盘结合面的外径上，设有绳槽。在钢丝绳进出口处，绳槽的缝隙大于钢丝绳的直径；在进出口对面区域，缝隙则小于钢丝绳的直径，钢丝绳被绳槽夹紧。通过主动盘的旋转，使钢丝绳导入或导出。有的绳槽为梯形状，依靠梯形槽摩擦力的作用，使钢丝绳运动。

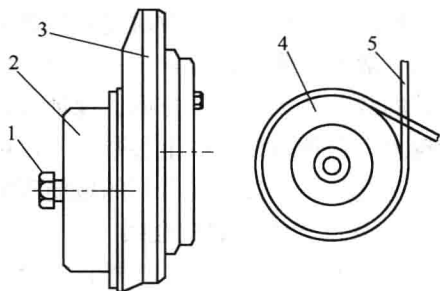


图1-4 α 形穿绳机构的提升装置原理图

如图1-5所示，钢丝绳穿入后由小滑轮压紧，绕过带槽大齿轮，由大滑轮压紧然后穿出。此种型式的提升装置中，大滑轮将钢丝绳压紧在带槽大齿轮的沟槽里容易造成钢丝绳磨损，且经常出现咬绳、断股现象。可以看出，钢丝绳的工作条件是非常恶劣的。

如图1-6所示为提升装置工作原理示意图，提升装置带动载荷沿钢丝绳向上爬升。提升载荷是通过电动机驱动摩擦轮正转，摩擦轮接触面与钢丝绳形成摩擦传动来实现的；当电动机驱动摩擦轮反转时，迫使提升装置带动载荷沿钢丝绳向下运动。

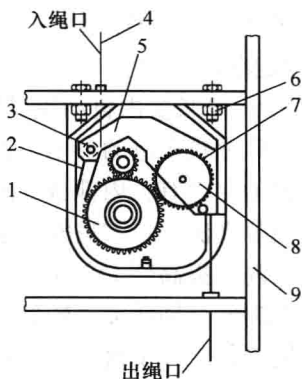


图1-5 S形穿绳机构的提升装置原理图

- 1—带槽大齿轮 2—拉簧 3—小滑轮
4—钢丝绳 5—连接板 6—紧固螺钉
7—护绳圈 8—小齿轮 9—挂架

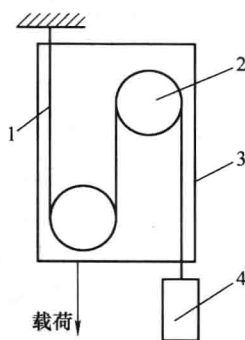


图1-6 提升装置工作原理示意图

- 1—钢丝绳 2—滑轮
3—保护装置 4—载荷

对提升装置来说,提升能力是至关重要的,影响工作平台提升装置提升能力的主要因素包括:压紧弹簧刚度系数、压紧弹簧的预紧量、摩擦轮接触面与钢丝绳之间的摩擦系数、钢丝绳在摩擦轮上的包角等。经过理论研究及分析得:压紧弹簧的簧丝直径、压簧预紧量和钢丝绳直径对提升装置提升力的影响至关重要。虽然钢丝绳与轮槽之间的摩擦系数对提升装置载荷也有较大影响,但由于此参数可控性差,所以一般不作为设计要素。一方面,保证其他条件不变时,压簧簧丝的直径越大,提升的载荷越大;另一方面,保证其他条件不变时,钢丝绳的直径越大,提升的载荷越大。合理地调整以上参数,不仅可以提高提升装置的工作载荷,而且还可以解决由压簧的压力过大而引起的融绳现象。

3. 悬吊式作业的安全锁

一般认为安全锁是工作平台安全的保障,其实安全锁只有在特定的条件下才能起到安全作用。按照锁绳的原理及使用的范围,安全锁的作用是在提升装置或工作钢丝绳失效时,能确保悬吊平台不发生坠落事故。安全锁是工作平台最重要的安全保护装置,所以对其性能的要求非常严格。

国家标准对安全锁相关的强制性规定如下:

1) 钢丝绳必须装有安全锁或具有相同作用的独立安全装置。在正常运行时,安全钢丝绳应顺利通过安全锁或独立安全装置。

2) 安全锁或具有相同作用的独立安全装置的具体要求:对离心触发式安全锁,悬吊平台运行速度达到安全锁锁绳速度时,即能自动锁住安全钢丝绳,使悬吊平台在 200mm 范围内停住;对摆臂式防倾斜安全锁,悬吊平台工作时纵向倾斜角度大于 8° 时,能自动锁住并停止运行;安全锁或具有相同作用的独立安全装置在锁绳状态下应不能自动复位。

3) 安全锁承受静力试验载荷时静置 10min,不得有任何滑移现象。

4) 安全锁必须在有效标定期限内使用,有效标定期限不大于 1 年。

当牵引钢丝绳发生故障快速下滑时,安全锁在 100mm 长度内自动锁紧钢丝绳,当平台停止升降时,安全锁可手动锁住钢丝绳,是国际上较先进的安全装置。

安全锁使用中经常出现的故障是失灵。造成失灵的原因有:内部进入砂粒、豆石、碎棉纱以及自身锈蚀,或者臂杆磕碰变形。解决的办法是:改进安全钢丝绳进口处密封装置,使其不能进入杂物。将安全锁的安装高度提高到 1500mm 以上,避开施工人员的工作面。两种安全锁相比,摆臂式防倾斜安全锁故障率较低。值得注意的是,离心触发式安全锁只在超过临界速度时才能锁住工作平台;摆臂式安全锁只在工作平台下滑斜度达到 8° (有的厂家调至 7° 甚至 $4^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 不等) 时才会锁住工作平台,若单边向上运行,其斜度虽超过 8° ,仍不会起作用。

安全锁的制动性能主要靠锁绳机构来实现。锁绳机构主要是由锁芯、琵琶板和安装销等组成。其工作原理是当工作钢丝绳发生断裂或者工作平台倾斜到一定角度时,琵琶板发生变化,并迅速带动锁芯合拢,锁住安全钢丝绳。若想锁住钢丝绳必