

6400t液压复式起重机液压成套设备的研究

李兴奎 甘秋萍 严李荣 梁利文 吕振刚
谢诗 庞俊辉 卢卫平 张毅 何克

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:6400t液压复式起重机主要用于大型煤化工、石油化工项目建设中超大、超重设备吊装,最大额定起重量6400t,起吊高度120m,设备设计制造国产化率100%,解决了现有大型履带吊存在安装周期长、占地面积大等弊端。本文介绍了该起重机的液压成套设备。

关键词:提升系统 顶升系统 缆风系统 提升器底座平移系统 塔架平移系统 标准节顶推系统 溜尾系统

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2015.06.004

1 项目背景

随着我国煤基合成油技术的成熟及产业化技术的发展,单系列年产180万t煤合成油装置将应用到年产540万t煤基合成油工厂。其核心设备费托反应器(直径10.5m、高度61.2m、单台重约3000t)的运输、吊装成为项目建设关键路线和世界性技术难题。

为解决费托反应器吊装困难,中化二建集团有限公司、太原重工股份有限公司、柳州欧维姆机械股份有限公司、中科合成油技术有限公司决定联合开发6400t液压复式起重机。由柳州欧维姆机械股份有限公司负责研制6400t液压复式起重机的液压成套设备(含控制系统)。

6400t液压复式起重机是全球起重能力最大的陆地起重机,最大额定起重量6400t,起吊高度120m,设备设计制造国产化率100%。主要用于大型煤化工、石油化工项目建设中超大、超重设备吊装。解决现有大型履带吊存在安装周期长、占地面积大等弊端,及采用液压单门架起重机存在缆风绳的布置及地基基础硬化费用高等问题。

2 研究的主要内容及技术指标

2.1 研究的主要内容

6400t复式起重机液压成套设备主要包括以下8大系统(如图1):

- (1) 满足于6400t负载时液压提升系统;
- (2) 满足于1000t负载时提升器底座滑移系统;
- (3) 塔架自顶升系统;

- (4) 单门架顶升缆风系统;
- (5) 溜尾门架滑移系统;
- (6) 拽溜系统;
- (7) 标准节顶推系统;
- (8) 监视系统;

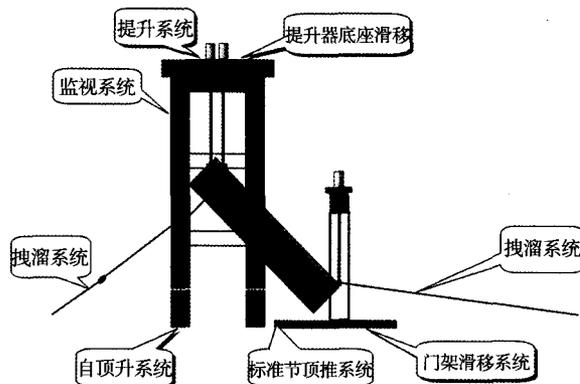


图1 液压成套设备分布示意图

2.2 主要技术指标

600 t主提升装置	缆风绳系统用200t提升器装置
设备参数:	设备参数:
单台额定起重能力: 600t	单台额定拉力: 200t
16台额定起重能力: 16 × 600t	公称压力: 25MPa
公称压力: 25MPa	额定提升速度: 10m/h
额定提升速度: 10m/h	行程: 300mm
行程: 400mm	6台泵站总功率: 约240kW
16套泵站总功率: 1040kW	
100 t滑移装置	门架自升降用200t 油缸
单台额定顶推力: 100t	单台额定顶升力: 200t
单台额定拉力: 不小于50t	公称压力: 25MPa
公称压力: 25MPa	额定顶升速度: 10m/h
滑移速度: 3~5m/h	行程: 3400mm
	8台泵站总功率: 约320kW

3 关键技术的研究

3.1 主提升系统的研制

3.1.1 系统的组成及总体概述

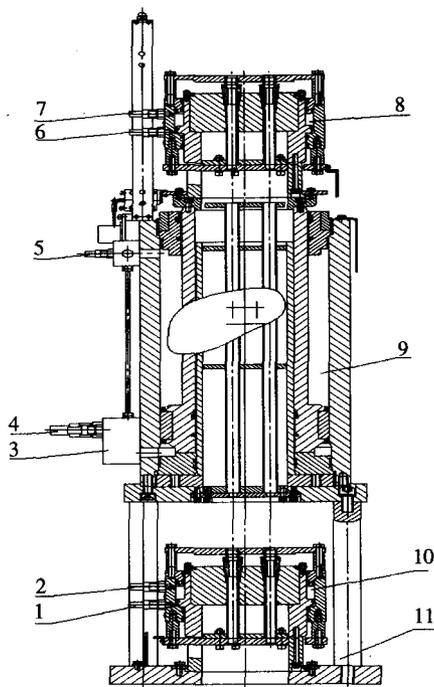
LSD6000	提升千斤顶	16台
LSDB105C	液压泵站	14台
LSDB105D	液压泵站	2台
QKTS/HY	控制系统	1套

主提升系统有承重系、动力系及控制系三大部分。其承重系包括LSD6000提升千斤顶、构件夹持器、安全夹持器及 $\phi 17.8$ 的高强、低松弛钢绞线。动力系为带有各式液压阀的泵站，它接收控制系统给出的指令开关，电磁阀从而控制油路，驱使千斤顶油缸、活塞的动作。控制系包括主控柜、泵站启动箱及联接电缆，它控制整个系统中各运动部件协调动作。

3.1.2 LSD6000提升千斤顶

工作原理：

提升千斤顶的上夹持器与千斤顶的活塞相连，下夹持器与油缸下部的撑脚相连，每台液压千斤顶有2个夹持器（如图2）。在提升工况状态：通过液压泵站向提升千斤顶提供压力油，推动千斤顶活塞作伸、缩缸运动，伸缸时设置在活塞顶端的上夹持器卡紧承载钢绞线使提升重物随之一同向上移动，缩缸时与撑脚相连的下夹持器卡紧承载钢绞线以保证提升重物安全可靠的停留在新的位置，同时设置在活塞顶端的上夹持器放松承载钢绞线，活塞回程准备下一行程的提升；在下降工况状态：千斤顶活塞在近乎完全伸缸的位置处上夹持器卡紧承载钢绞线，下夹持器放松承载钢绞线，活塞缩缸带动重物下降。在接近完全缩缸的位置处下夹持器卡紧承载钢绞线，上夹持器放松承载钢绞线后活塞空载伸缸，在近乎完全伸缸的位置处上夹持器再次卡紧承载钢绞线，下夹持器又放松承载钢绞线，如此依次循环直至重物准确的在设计位置就位。液压千斤顶及泵站的液压回路上设置了液控单向阀和平衡阀，在遇到突然停电等突发事件时可对油路进行闭锁，使提升重物安全的悬挂在已定高度。



1 上夹持器 2 主顶 3 下夹持器 4 撑脚

图2 提升顶结构示意图

3.1.3 LSDB105C/LSDB105D液压泵站

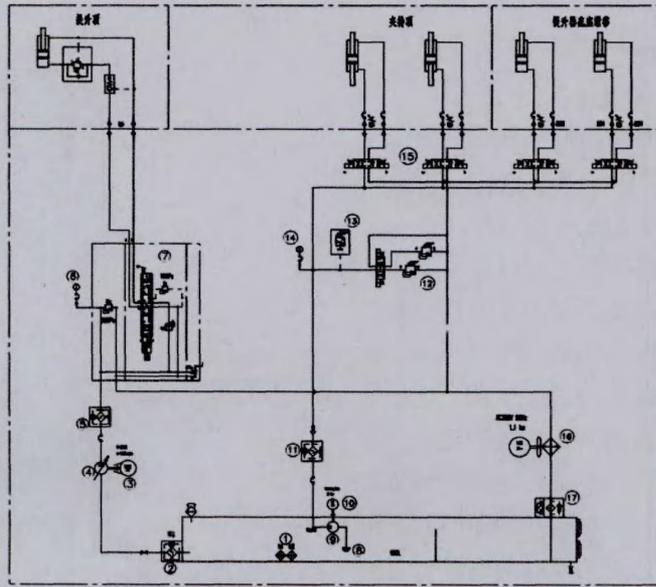
液压泵站简介：

液压泵站是专门为6400t复式起重机主提升系统提供液压动力设计的，其中LSDB105D液压泵站在满足提升的工况外，还具有为主提升器底座滑移提供动力之功能。液压泵站是通过泵站输出的液压动力去驱动千斤顶，实现提升千斤顶的主顶伸缸、缩缸，夹持器紧锚、松锚。通过控制系统协调动作，精确调节千斤顶的动作快慢，实现构件的平稳移动。

每台泵站包括电机、负载敏感变量柱塞泵、齿轮泵、控制阀、油箱、风机冷却和加热系统等等。

液压泵站的特点：

泵站是由比例多路阀与负载敏感变量泵组成的液压回路（如图3），是液压调速系统中先进的一种，在计算机的控制下，实现千斤顶无级调速，使每一顶的受力均匀，构件平稳运动。在工作中，泵站根据负载的流量需要自动调节泵头的输出流量，系统不会出现溢流，系统发热量小，温升小，可靠性高。



1 电加热器 2、8 吸油过滤器 3、10 电机 4 柱塞泵 5、11 高压过滤器 6、14 压力表 7 比例阀
9 齿轮泵 12 叠加式溢流阀 13 压力继电器 15 换向阀 16 风冷机 17 回油过滤器

图3 LSDB105D液压原理图

3.1.4 QKTS/HY主提升控制系统

主提升控制系统为网络式远程计算机控制系统。可控制16台600t提升千斤顶、4台100t滑移顶、16台液压泵站。16个工作站同步控制，同步偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内，当偏差大于 $\pm 10\text{mm}$ ，系统发出报警信号，可以自动调节并修正系统偏差。

它的构成为每个泵站配置1个现场控制器及1个泵站启动箱，每个现场控制器控制1台提升顶

及1台泵站。各现场控制器之间采用以太网通信单元通信，所有的检测、控制信号集中到接线盒，通过接插件的连接方式进入现场控制器。16台现场控制器通过网线连接到安装在泵站1上的交换机，由于提升平台与中控室的通信距离超过150m，提升平台上的交换机与中控室的交换机通过四芯户外多模铠装光纤连接，最后连接到提升主控台上。每8台泵站共用一套动力配电柜（如图4）。

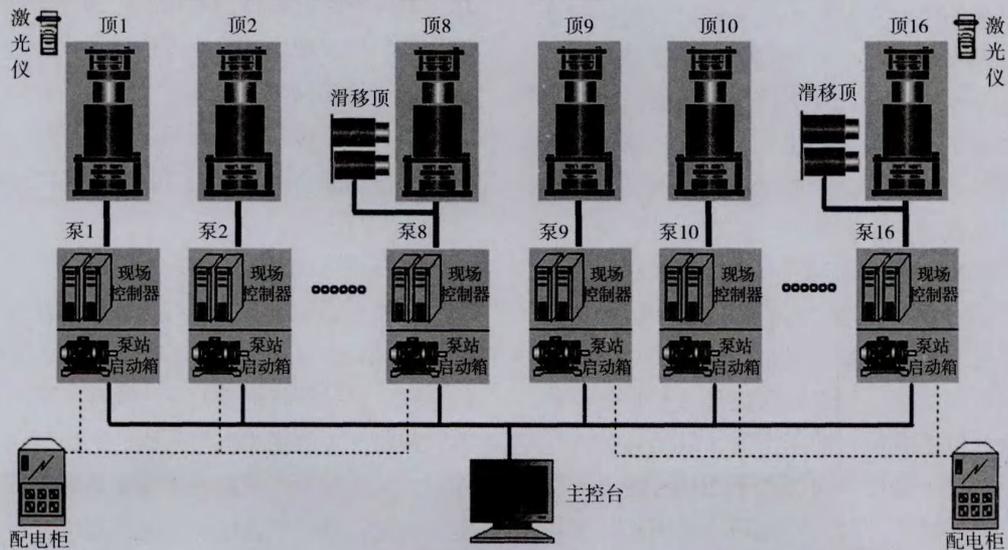


图4 主提升控制系统框图

系统配置2台激光测距仪检测吊重的高度，消除累积误差。提升平台上配置4台倾角传感器检测门架四个角的X轴、Y轴倾斜角度，配置1台风速仪检测风速。

现场控制箱采用PLC控制，在就地控制状态下，能对1个泵站和1~2台千斤顶进行自动、手动、调整操作；在远程控制状态下，现场控制箱只能进行急停操作。

系统的主控台采用工控机+PLC+组态软件的方式，在联网状态下，当系统为远程控制状态时，所有的操作均由主控台完成，系统的各种状态均显示在屏幕上。

系统采用了比例阀进行同步调节，每一片比例阀驱动一台千斤顶。改变比例阀开口大小，即可改变千斤顶的运行速度。

3.2 顶升、缆风、门架滑移系统的研制

3.2.1 系统的组成及总体概述

LSD2000F-300	缆风千斤顶	6台
YD200-3400	顶升千斤顶	16台
JGQ1000	爬行器	6台
YD80/16-250	滑移千斤顶	16台
YD80/16-320	变幅千斤顶	16台
LSDB60	液压泵站	8台
LSDB60A	液压泵站	2台
QKDS/LF	控制系统	1套

液压缆风绳系统有承重系、动力系及控制系三大部分。其承重系包括LSD2000F-300提升千斤顶、构件夹持器及 $\phi 15.2$ 的高强、低松弛钢绞线。动力系为带有各式液压阀的泵站，它接收控制系统给出的指令开关电磁阀从而控制油路，驱使千斤顶油缸、活塞的动作。控制系包括主控柜、泵站起动箱及联接电缆，它控制整个系统中各运动部件协调动作。当用单门架进行吊装时需要用缆风系统对缆风绳进行调节，起到稳定门架的作用；当用双门架进行吊装时则无需用缆风系统。

顶升系统由YD200-3400顶升千斤顶、变幅油缸、滑移油缸、液压泵站及控制系统组成（如图4）。

门架滑移系统由LGQ1000爬行器、液压泵站

及控制系统组成。此项技术成功应用，可取代高成本的大吨位履带吊溜尾。

3.2.2 结构设计

塔架采用模块化设计（如图5），标准节高度为6m，顶升采用千斤顶顶升，顶升高度为120m，顶升方式采用下顶升方式，随着塔架的升高，顶升千斤顶负载越来越大，到最后一节，顶升千斤顶需承受全部塔架重量，通过计算，每台顶升千斤顶额定顶升力为200t，如按顶升一次实现安装1节标准节，则千斤顶行程最少为6200mm，千斤顶制造难度大，成本高，因此采用行程3400mm，顶升两个行程安装1个标准节，中间就需要进行负载转换，为此研发一种新型套架，既确保顶升过程塔架导向作用，又能进行负载转换。

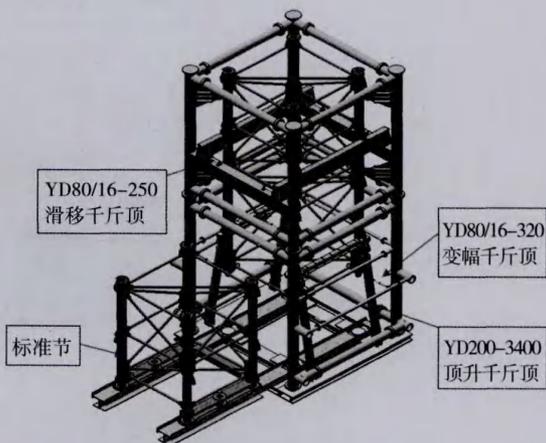


图5 标准节顶升装置

3.2.3 LSD2000-300F缆风千斤顶

LSD2000-300F缆风千斤顶用于单门架缆风绳的收紧及放松。也作吊装过程中重物的拽溜系统执行机构（如图6）。

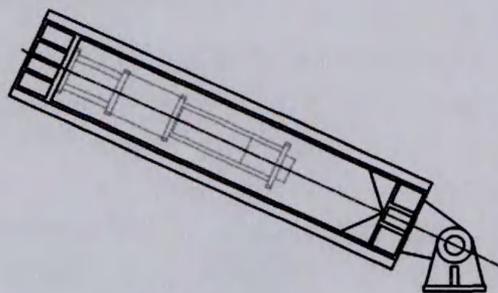


图6 缆风绳千斤顶安装方式图

3.2.4 YD2000/25-3400A顶升千斤顶

YD2000/25-3400A千斤顶用于复式起重机顶推系统中标准节钢架的顶升(如图7)。

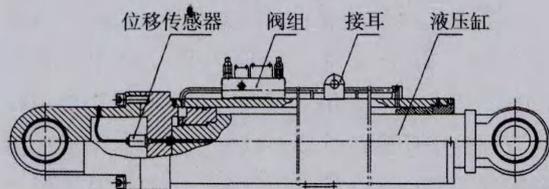


图7 YD2000/25-3400A千斤顶结构原理图

YD80/16-250滑移千斤顶用于复式起重机单

门架顶升过程中负载转换横梁的前后移动。

YD80/16-320变幅千斤顶用于复式起重机顶推系统中顶升千斤顶角度的改变。

3.2.5 JGQ1000夹轨器

夹轨器是一种依靠自动锁紧轨道形成反力来推移重物构件的设备,其将预应力锚夹具的锚固技术与液压千斤顶技术进行融合。通过锚夹具锚固和放松钢轨,再利用千斤顶活塞伸缩,带动构件移动,实现构件的整体双向移动(如图8)。

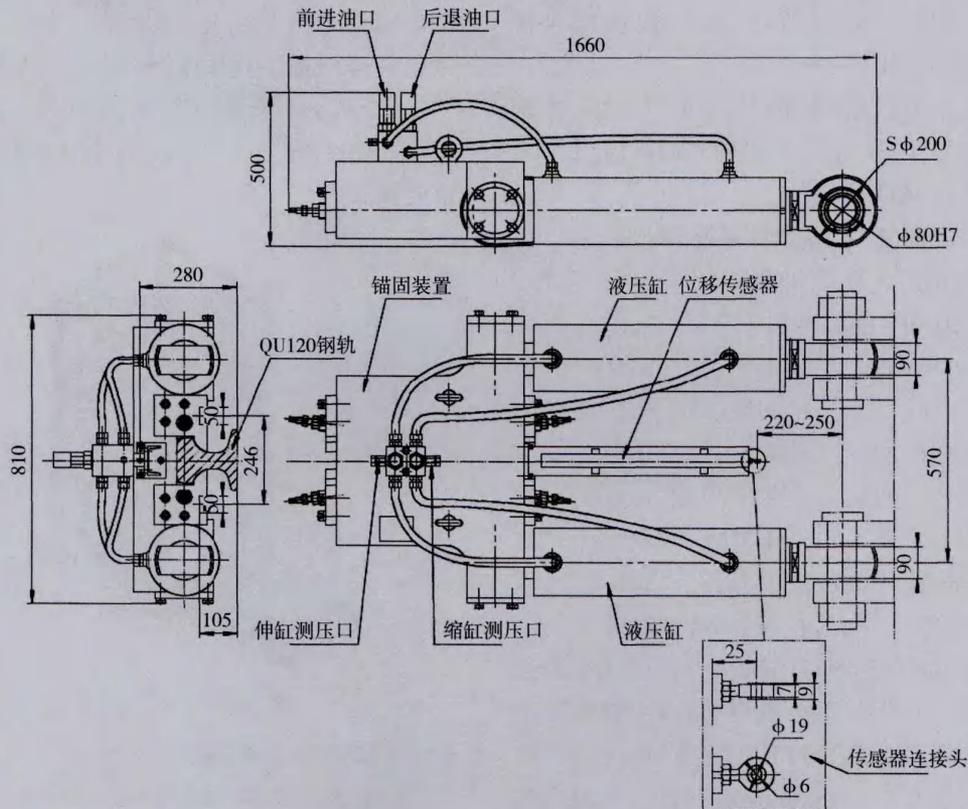


图8 JGQ1000夹轨器结构图

3.2.6 LSDB60/LSDB60A液压泵站

液压泵站简介:

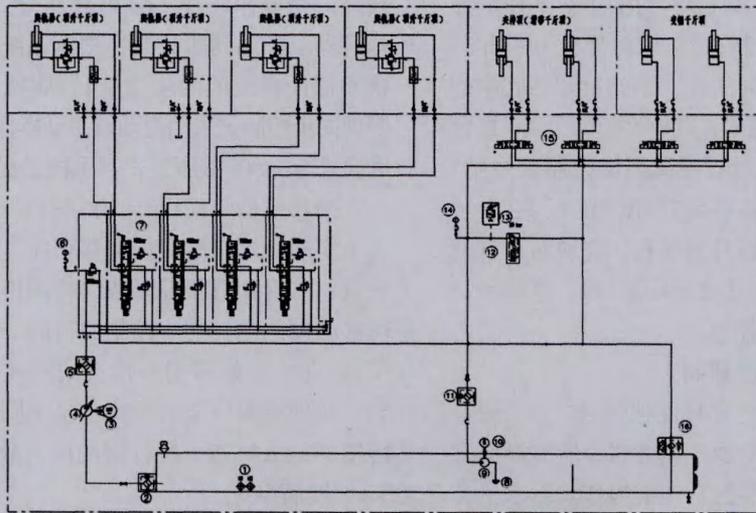
LSDB60/LSDB60A液压泵站是专门为6400t复式超重机塔架顶升系统、塔架平移系统提供动力设计的,其中LSDB60液压泵站为缆风绳千斤顶、顶升千斤顶、滑移千斤顶、变幅千斤顶等提供动力。LSDB60A液压泵站为顶升千斤顶、爬轨器、滑移千斤顶、变幅千斤顶等提供动力。通过泵站输出的液压动力驱动千斤顶执行各种规定动作

(如图9)。

3.2.7 QKDS/LF塔架顶升/缆风绳控制系统

QKDS/LF塔架顶升/缆风绳控制系统为网络式远程计算机控制系统。它的构成为每个泵站配置1个现场控制器及1个泵站起动箱。

现场控制箱采用PLC控制,系统的主控台采用工控机+PLC+组态软件的控制方式。在就地控制状态下,现场控制箱能对1个泵站和1~4台千斤顶进行自动、手动、调整操作;在联网状态下,



1 电加热器 2、8 吸油过滤器 3、10 电机 4 柱塞泵 5、11 高压过滤器 6、14 压力表 7 比例阀
9 齿轮泵 12 电磁溢流阀 13 压力继电器 15 换向阀 16 回油过滤器

图9 LSDB60A液压原理图

当系统为远程控制状态时，所有的操作均由主控台完成，系统的各种状态均显示在屏幕上。

顶升系统由16台200t顶升千斤顶、16台变幅顶、16台滑移顶、10台液压泵站及1套控制组成。每套顶升装置包括顶升顶、滑移顶、变幅顶。顶升顶用于顶升标准节钢架，滑移顶用于支承梁的前后移动，变幅顶用于改变顶升千斤顶的角度。顶升顶行程3.4m，油缸内置磁致伸缩位移传感器，滑移顶、变幅顶只设限位开关。顶升系统位于门架底部，其作用是将整个塔架顶起来，

以便新标准节安装。

当用单门架进行吊装时需要用缆风系统对缆风绳进行调节，起到稳定门架的作用；缆风系统由6台200t提升顶、6台液压泵站和1套控制系统组成。当用双门架进行吊装时则无需用缆风系统。

爬行系统由6台100t爬行器、2台液压泵站及1套控制系统（与顶升控制系统共用）组成，用于门架的滑移（如图10）。

此系统为三种工况共用，1）复式门架顶升：此时每个泵站带2台顶升顶，使用泵站1至泵

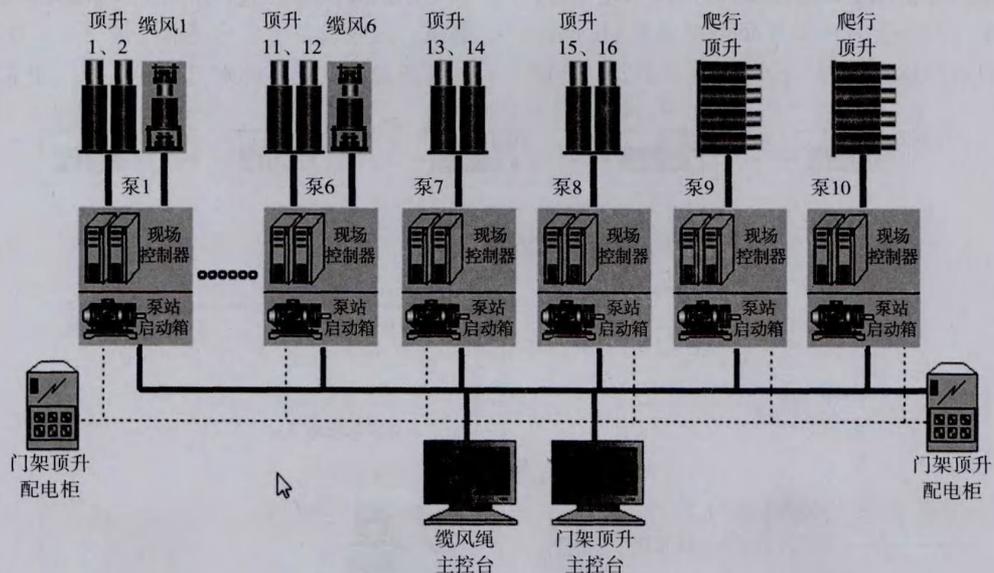


图10 顶升缆风爬行控制系统框图

站8,共16台顶升顶,主控台用门架顶升主控台,完成对顶升的控制;2)单门架顶升:此时缆风顶和顶升顶须同时工作。泵站1至泵站6中的每个泵站各带1台缆风顶,共6台缆风顶,主控台用缆风绳主控台,完成对缆风绳的控制。泵站7至泵站10中的每个泵站各带2台顶升顶,共8台顶升顶,主控台用门架顶升主控台,完成对顶升的控制;3)门架滑移:此时只用泵站9、泵站10,主控台用门架顶升主控台。

3.3 标准节顶推系统的研制

标准节顶推系统包含4台顶推泵站,4个现场就地控制箱。采用继电器控制方式,所有操作直接在控制箱上进行。伸缸、缩缸操作均要求具有点动及自锁功能。接近开关信号集中在接线盒,通过接插件方式进入控制箱。

3.4 溜尾系统的研制

溜尾系统包括溜尾门架系统、拽溜系统。溜尾门架系统含提升机构及滑移机构。2个600t提升器同步控制精度要求同主提升系统一致,4台100t爬行器(双向伸缩形式)实现溜尾门架滑移功能,拽溜系统采用2套200t液压提升器,牵引缆风采用2套200t液压提升器。

3.4.1 溜尾门架系统

提升机构:6400t液压复式起重机主吊采用8套600t液压提升工况时,溜尾门架采用两套600t液压提升器(借用主提升系统9#、10#泵站+提升器),600t液压提升器采用负载变量泵+比例阀控制,具有位移、压力、行程检测等功能,设置

故障应急操作装置。6400t液压复式起重机8个主提升器工作站同步控制,根据系统的位移、压力检测保证系统的同步性。2个溜尾门架提升器可实现同步控制,采用自动或手动操作,同步控制精度要求与6400t液压复式起重机主提升系统一致。

滑移机构:采用4台100t爬行器(双向伸缩形式)实现溜尾门架机构滑移功能。根据原系统的配置,每台爬行器设置位移检测传感器,以实现位移反馈,达到同步控制的目的。借用两套顶升(7#、8#)泵站采用一带二的形式驱动四台爬行器,实现溜尾门架的滑移。泵站阀块上安装压力传感器,采集四个爬行器的压力数据。

3.4.2 拽溜系统

拽溜系统采用两套缆风绳系统。两套拽溜系统同步控制,根据系统的位移、压力检测保证系统的同步性。同步偏差控制在10mm以内,偏差大于10mm系统发出报警信号,并可自动或手动选择(1-2#)调节系统偏差,所有的检测信号都在上位机上显示。

溜尾装置的控制系統也放置在中控室内,方便操作员一起协同操作。中控室内有专门用于操作控制溜尾门架爬行的上位计算机,溜尾门架上的提升控制和辅助缆风的控制则通过复式起重设备主门架原有的提升和缆风系统上位计算机进行。操作系统采用工业以太网(EtherNet I/P)的网络结构方式与各液压泵站上配置的控制箱进行通讯,接收设备上各传感器反馈信号,并对对应的液压设备的电磁阀发出控制信号(如图11)。

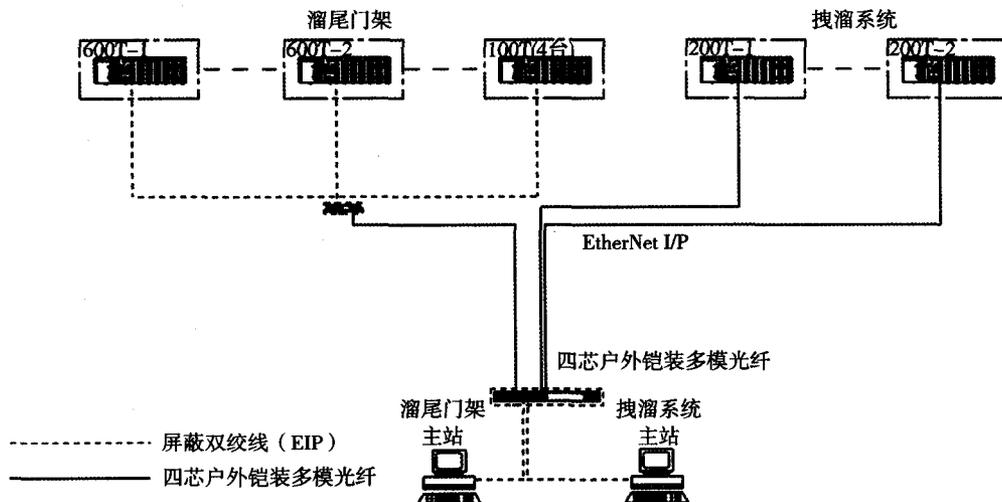


图11 溜尾系统拓扑图

3.5 监视系统的配置

6400t液压门式起重机安装一套视频监控系统,包括4台监控摄像机,2台固定式摄像机用于监视顶部提升顶及提升泵站工作情况,2台一体化球机用于监视吊具的情况,实现了吊装过程关键部位监视。

4 试验

在柳州欧维姆机械股份有限公司内完成了LSD6000提升系统性能试验(如图12)和1.25倍的静载试验;门架自升降200t顶升系统性能试验、系统1.25倍的静载试验;JGQ 1000t夹轨系统性能试验,夹轨器锚固性能和系统1.25倍静载检验;标准节顶推控制系统性能试验,系统1.25倍的静载试验。

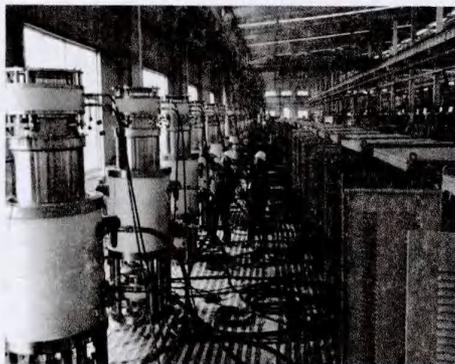


图12 公司内试验现场

在太原完成了单门架、复式门架安装与吊装试验;塔架1.25倍水平超载试验(如图13)。



图13 门架1.25倍超载试验

5 工程应用

2013年9月26日,6400t液压复式起重机在山西潞安高硫煤清洁利用工程,油化电热一体化示范项目中成功吊装首台净重2260t费托合成反应器。2013年底完成第二台反应器的吊装;2014年8月15日,6400t液压复式起重机成功吊装内蒙古伊泰杭锦旗120万t/年精细化学品示范项目油品合成装置核心设备—重达2260t的煤制油费托合成反应器。目前,该设备已完成4台费托合成反应器的吊装。

6400t液压复式起重机的成功研制及应用标志着我国起重设备达到了新的高度。

(上接第15页)

(4) 对于第2阶自振频率远高于输入地震主要频率的预应力桥梁竖向地震反应可只取第1阶振型进行计算。

(5) 对于本文涉及的这类跨度约为20~30m的预应力桥梁抗震设计来说,竖向地震反应的影响不容忽视。

参考文献

- [1] 薛伟辰. 现代预应力结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] XUE Weichen. Design of modern prestressed structure[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.
- [3] Miyamoto A, Fei K, Nakamura H, et al. Behavior of prestressed beam strengthened with external tendons[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 2000, 126(9): 1030.
- [4] 刘宏伟, 张伟, 庄惠平. 预加力对梁的动力影响分析[J]. 黑龙江科技学院学报, 2002, 12(3): 37.
- [5] LIU Hongwei, ZHANG Wei, ZHUANG Huiping. Analysis of dynamic effect of prestressed force on beam[J]. Journal of Institute of Science and Technology, 2002, 12(3): 37.
- [6] 楼梦麟, 洪婷婷. 预应力梁横向振动分析的模态摄动法[J]. 工程力学, 2006, 23(1): 107.
- [7] LOU Menglin, HONG Tingting. Mode perturbation method for lateral vibration analysis of prestressed beam[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(1): 107.
- [8] 中国科学技术咨询服务中心预应力技术专家组. 预应力工程实例应用手册(桥梁结构篇)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [9] Prestressed Technique Expert Group of Science and Technology Consultative Center of China. Handbook of applications of prestressed technique in engineering (bridge structure) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1996.
- [10] Timoshenko S, Young D H, Weaver W Jr. Vibration problems in engineering[M]. 4th ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1974.
- [11] 石树中, 沈建文, 楼梦麟. 基岩场地强地面运动加速度反应谱统计特征[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30(11): 1300.
- [12] SHI Shuzhong, SHEN Jianwen, LOU Menglin. Static features of response spectra of acceleration of strong ground motion at rock sites[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2002, 30(11): 1300.