

6400吨液压复式起重机测控系统研究

甘秋萍 李兴奎 吕振刚 谢诗 刘俊
严李荣 梁利文 庞俊辉 张毅 黄柯菡

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:6400吨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6400吨,起吊高度120米,设备设计制造国产化率100%。到2013年底,已成功应用于山西潞安高硫煤清洁利用油化电热一体化示范项目两台费托合成反应器的吊装。本文介绍了该起重机测控系统的组成和基本性能,对石油化工行业大型反应器罐的吊装具有重大推广意义。

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 工业以太网 同步控制 光纤

1 前言

当前,石油化工行业及煤制油行业发展迅速,对大吨位起重机的需求越来越大,6400吨液压复式起重机应运而生。该设备由柳州欧维姆机械股份有限公司、太原重工集团、中化二建集团、中科合成油技术有限公司联合开发,整机可分为单双门架两大工况,每种工况又可以具有不同跨度、高度的组合。

6400吨液压复式起重机采用复式结构吊装整体大型超重设备,采用单门架结构吊装中型设备。最大额定起重量6400吨,自重2368吨,起吊高度120米,最大中心跨距31.2米。液压提升器可沿主梁平移,主梁可带载500吨平移。单门架附着构筑物可实现空中带载1000吨平移。设备的吊装安全性高,转场机动性强(如图1)。



图1 6400吨液压复式起重机

2 测控系统概述

6400吨液压复式起重机包括8大测控系统: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、监视系统(如图2)。

为降低成本,增强控制系统的通用性,提升系统、提升器底座平移系统融入到提升系统中;顶升系统、缆风系统、爬行系统融入到顶升缆风系统中;标准节顶推系统采用现场控制方式,信号不进入总控室。

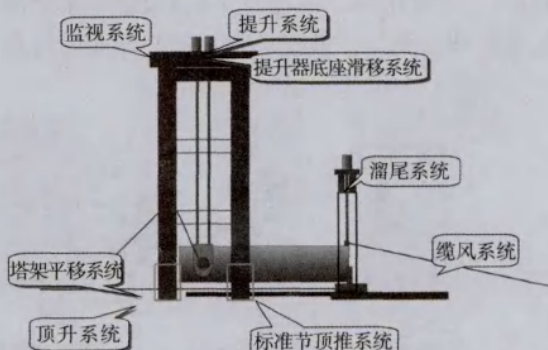


图2 测控系统分布示意图

6400吨液压复式起重机测控系统中控室放置于集装箱内,含提升系统主控台、顶升系统主控台(与溜尾系统共用)、缆风系统主控台、视频监视系统主控台(如图3)。

现场控制箱及泵站起动箱放置于泵站上,均为封闭式,有效避免了水汽进入箱体;接插件采用防水接头,防护等级达到IP67;各控制箱安装有加热及散热装置,确保系统能在各种环境下正常运行。

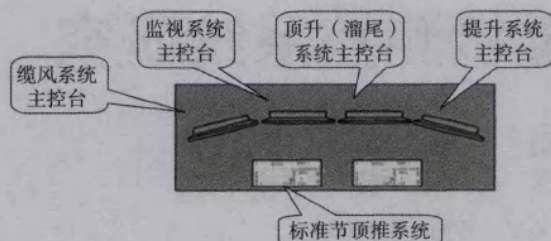


图3 中控室示意图

3 各系统的组成及性能

3.1 提升及提升器底座滑移控制系统

提升系统含16台600吨提升顶、16台液压泵站、1套控制系统（与提升器底座滑移控制系统共用），提升顶及液压泵站放置于主梁上，位于6400吨液压复式起重机最顶部，完成重物的提升和下降。

提升器底座滑移系统含4台100吨滑移顶、2台液压泵站（泵站8及泵站16）、1套控制系统（与提升控制系统共用），滑移顶放置于滑移梁上，完成提升器底座滑移。

提升及提升器底座滑移控制系统不但要实现6400吨复式起重机主提升系统的控制，而且还要兼顾主提升器底座滑移控制之功能。系统包括1个主控台、16个现场控制器、16个泵站启动箱、2个配电柜。液压泵站8和液压泵站16除实现提升功能外，另附加有主提升器底座滑移

功能（如图4）。系统采用工业以太网通信，可控制16台600吨提升顶及4台提升器滑移顶。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150米，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（如图5）。

每台提升顶安装有1个磁致伸缩式位移变送器用于检测活塞伸长量，1个压力变送器用于检测提升顶的油压，8个接近开关分别为“上锚紧、上锚松、1#位、2#位、3#位、4#位、下锚紧、下锚松”信号。

每个滑移顶上安装有用于上、下限位的接近开关。由于滑移顶只有伸缩缸动作，所以两台滑移顶配一个压力变送器（安装于泵站内）。

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。

系统采用比例阀进行同步调节，每一片比例阀给一台千斤顶供油。改变比例阀开口大小，即可改变千斤顶的运行速度。

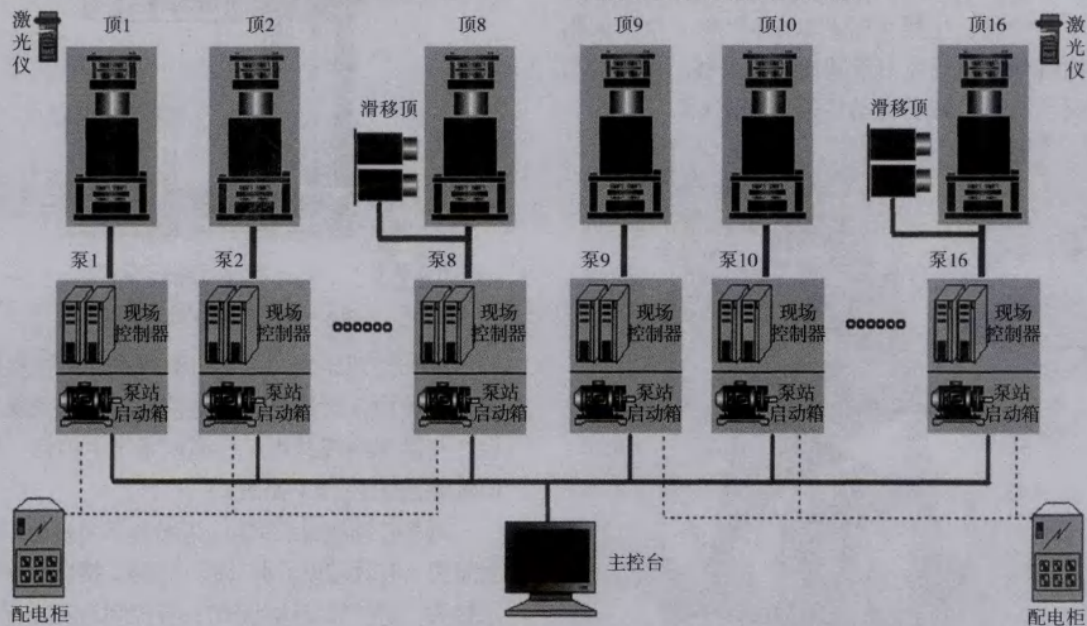


图4 提升及提升平移控制系统框图

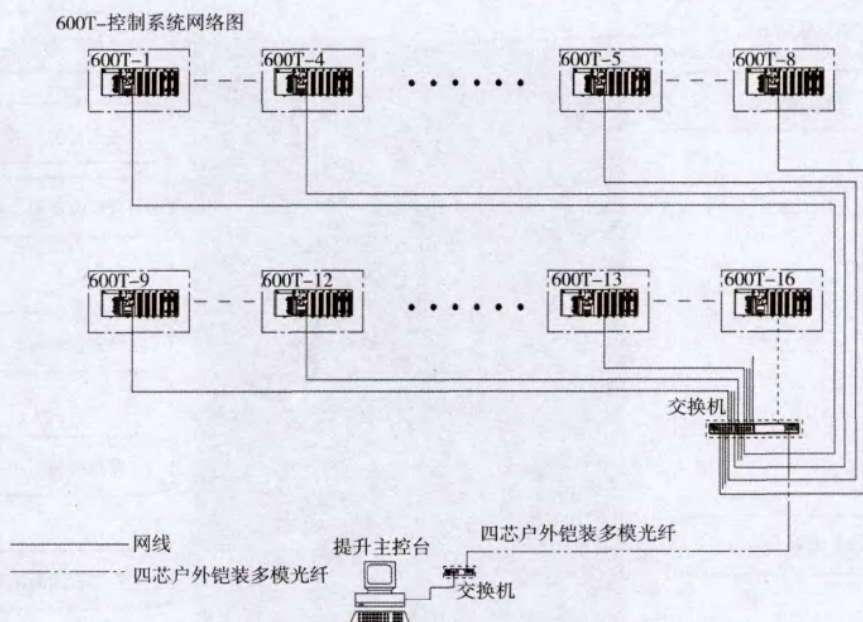


图5 提升及提升平移控制系统网络拓扑图

(1) 主控台

主控台采用工控机 + 组态软件方式，具有位移检测、压力检测、数据显示、数据记录及查询、故障报警等功能，同时能显示累计提升行程、重物总重量。设置故障应急操作装置，可以自动调节并修正系统偏差，同步控制精度 $\pm 10\text{mm}$ ，偏差大于 $\pm 10\text{mm}$ 时，系统发出报警信号。在联网状态，当系统为远程控制状态时，所有的操作均由主控台完成；当系统为就地控制状态时，每个现场控制器均可单独对1台顶和1台泵站进行控制，系统的各种状态均显示在屏幕上。

所有顶的最高压力及所有比例阀的开口值均能单独设定，对不同的操作人员设不同操作权限，保证系统的安全。

提升及提升器底座滑移控制系统组态画面由十大部分组成：提升系统、滑移顶控制、电磁阀动作、泵站状态、控制柜状态、参数设定、比例阀设定、实时报表、历史报表、历史曲线、报警画面。

警画面。

按下图6所示的画面切换按钮即可进入相应的画面。按下“退出”按钮，则退出到欢迎界面，继续选择“退出”按钮，系统将退出组态程序。

单台提升顶的状态信息如图7所示。

(2) 现场控制器

现场控制器采用PLC控制，16台现场控制器中有14台只控制1台提升顶、1台泵站；另2台（节点8、节点16）现场控制器除控制1台提升顶、1台泵站外，还要控制2台滑移顶。每台提升顶配置有1个位移变送器、1个压力变送器、8个接近开关（4个用于活塞位置检测、4个用于上下夹持器松紧状态检测）。每个滑移顶只安装用于上、下限位的接近开关。所有模拟量信号均通过光电隔离后进入PLC，有效避免电磁干扰。

节点03、07、09、13除了对接应千斤顶的接近开关、位移及压力变送器外，还需接上倾角传感器（每个节点接1个倾角传感器），实现对系统的倾角的检测。



图6 画面切换

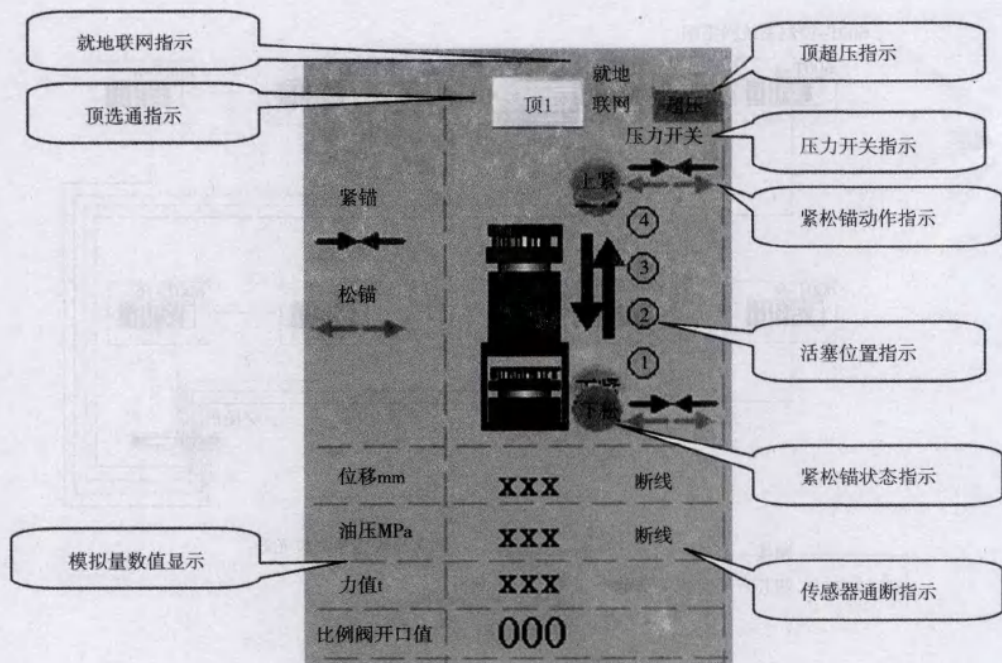


图7 单台千斤顶状态信息

节点08、16除了带有提升顶传感器接口外，还需要接上滑移（爬行）顶的压力和限位开关信号。

每套控制系统配有1个线控操作盒，将按钮盒接在现场控制箱侧面的插座上，即可实现对该控制箱上设备的手动操作。

现场控制器能实现泵站上所有比例多路阀及电磁换向阀的控制，面板上配有能进行所有的就地控制操作的旋钮和按钮。

（3）泵站启动箱

每个泵站启动箱控制1个大电机，1个小电机，有两组380V 3kW加热器及一个220V 2.2kW风扇的接口，并有电流、电压显示，共16个泵站启动箱，所有泵站均能在主控台远程启动、停止。

大电机：55kW，Y- Δ 启动（16台）；小电机：3kW（14台），直接启动；7.5kW（2台），直接启动。

（4）配电箱（2台）

每8个泵站用1个配电箱供电，每个配电箱按9路设计（1路备用），每个配电箱总功率为： $9 \times 65 = 585$ kW。

3.2 顶升、缆风、爬行控制系统

顶升系统由16台200吨顶升千斤顶、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3.5米，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（如图8）。顶升系统位于门架底部，其作用是将标准节的自顶升到预定高度。

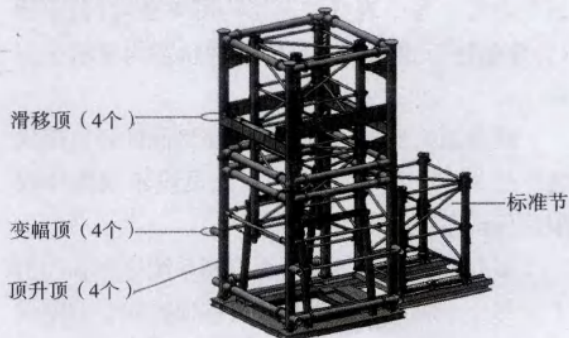


图8 顶升装置示意图

缆风系统由6台200吨提升顶、6台液压泵站和1套控制系统组成。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（如图9）；当用双门架进行吊装时则无需缆风系统。

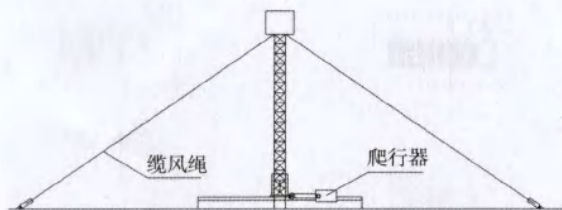


图9 单门架使用工况

爬行系统由6台100吨爬行器、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。

顶升、缆风、爬行控制系统包括2个主控台、10个现场控制器、10个泵站启动箱、2个配电箱。系统采用以太网控制方式（如图10），具有位移、压力检测等功能，设置故障应急操作装置。所有的检测、控制信号集中进接线盒，通过接插件的连接方式进入现场控制器。每5台泵站

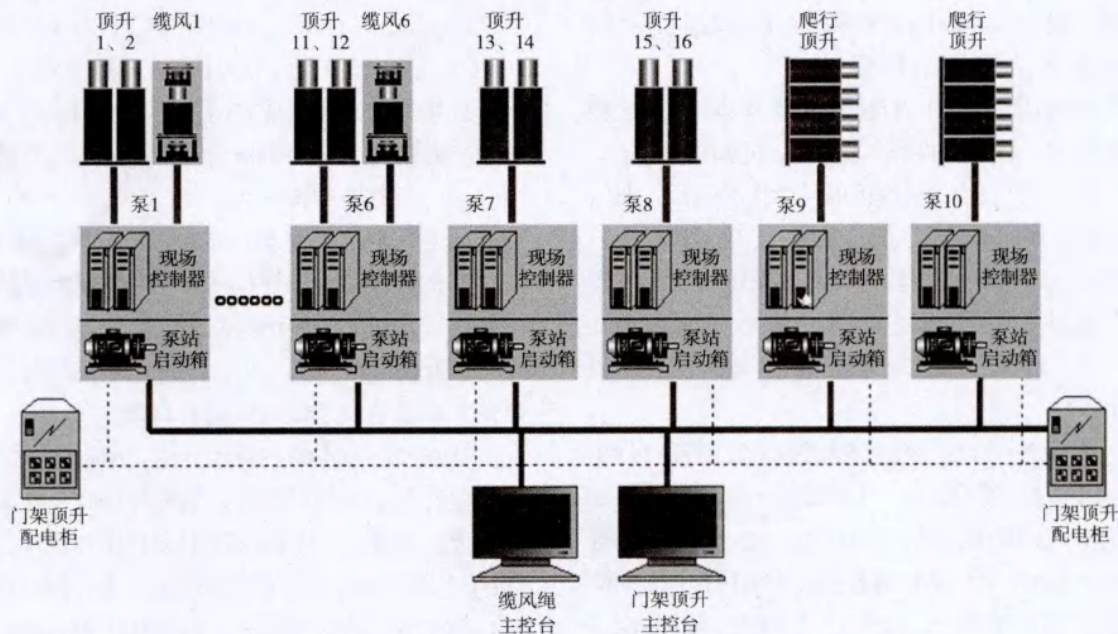


图10 顶升缆风爬行控制系统框图

由于缆风泵站（节点1至节点6）之间及泵站与主控室之间相距150米以上，所以采用光纤通信。节点07、节点08只做顶升用，离主控台较近，则从柜内以太网通讯端口直接引网线进入主控台内交换机的网口上；节点09、节点10包含爬行器控制，也同缆风节点一样，采用光纤通讯（如图11）。

(1) 主控台（共2台）

共用一套动力配电柜。

由于单门架吊装工况下需同时用顶升系统、缆风系统进行配合操作，所以顶升、缆风、爬行控制系统配有两个主控台。

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。

塔架顶升和缆风绳控制各1台主控台，均采用工控机+组态软件控制方式，具有数据显示、数据记录及查询功能。具有位移检测、压力检测、故障报警等功能。同时能显示累计行程、重物总重量。同步控制精度10mm，偏差大于10mm系统发出报警信号。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；当系统为就地控制状态时，每个现场控制器可根据

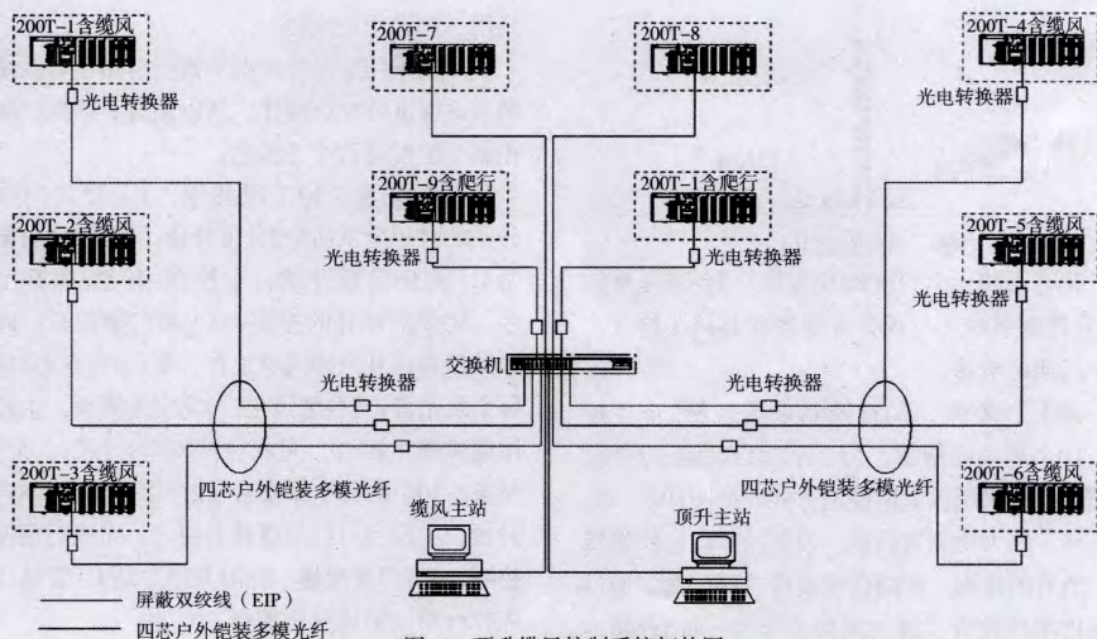


图11 顶升缆风控制系统拓扑图

使用工况对所控制的顶和泵进行就地控制，系统的各种状态均显示在屏幕上。

所有顶的最高压力及所有比例阀的开口值均能单独设定，对不同的操作人员设不同操作权限。

顶升控制系统组态画面由十大部分组成：双门架顶升（单门架顶升、爬行系统）、电磁阀动作、泵站状态、控制面板状态、参数设定、比例阀设定、实时报表、历史报表、历史曲线、报警画面。

（2）现场控制器1（缆风绳、塔架顶升用，共8台）

采用PLC控制，每个现场控制器能控制1台缆风顶（或2台顶升顶）、1台泵站。每台缆风顶配置有1个位移变送器、1个压力变送器、8个接近开关（4个用于活塞位置检测、4个用于上下夹持器松紧状态检测）。每台顶升顶配置有1个位移变送器、1个压力变送器、6个接近开关（2个用于顶升顶活塞上下限位、2个用于变幅油缸的上下限位、2个用于横移油缸的上下限位）。

现场控制器能实现泵站上所有比例多路阀及电磁换向阀的控制，面板上配有能进行所有就地控制操作的旋钮和按钮。

（3）现场控制器2（塔架顶升、爬行器用，共2台）

采用PLC控制，每个现场控制器能控制4台爬行

顶、1台泵站。每台爬行顶配置有1个位移变送器、1个压力变送器、2个用于上下限位的接近开关。

现场控制器能实现泵站上所有比例多路阀及电磁换向阀的控制，面板上配有能进行所有就地控制操作的旋钮和按钮。

如图11所示，节点01～节点06为顶升和缆风绳共用泵站，同时备有顶升系统和缆风绳系统的信号接口，做缆风绳用时，仅接缆风绳系统的信号（顶升信号接口留空），同理做顶升用时，仅接顶升系统信号（缆风绳信号口留空）。

节点07、节点08只做顶升用，节点09、节点10为爬行和顶升共用泵站，做爬行用时，作为爬行系统信号接口（顶升1压力/顶升2压力也作为爬行1压力/爬行2压力信号接口用），每台泵站总共配有4个爬行器信号接口，实际使用中每台泵站仅使用3套接口，节点09的1#接口为同步基准接口，必须接上1套基准爬行器，其余接口可任选。做顶升用时，每台泵站带2台顶升顶，只能用泵站上的1#/2#接口，3#/4#接口为爬行接口，留空。

（4）泵站启动箱（缆风绳、塔架顶升用，共10台）

大电机：37kW，Y- Δ 启动；小电机：3kW，直接启动

每个泵站启动箱控制1个大电机，1个小电

机, 有两组380V 3kW加热器。

(5) 配电箱 (2台)

每5个泵站用1个配电箱供电, 每个配电箱按6路设计 (1路备用), 每个配电箱总功率为: $6 \times 45 = 270 \text{ kW}$

3.3 标准节顶推控制系统

标准节顶推控制系统包含4台现场控制器, 为现场就地控制。此控制器包括1个电机的启动 (4kW, 直接启动)、1组电磁换向阀的控制、2个过滤器的检测、千斤顶上下限位检测。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。

由于该系统是配合液压系统使用, 使用环境比较恶劣, 而且要具有一定的抗腐蚀能力, 因此该系统大部份元件采用进口产品, 以确保系统的稳定可靠。现场控制箱及泵站启动箱均为封闭

式, 有效避免了水汽进入箱体; 航空插座采用防水接头, 防护等级达到IP67。

3.4 门架式溜尾控制系统

溜尾系统包括门架式溜尾系统、拽溜系统。门架式溜尾系统含提升机构及滑移机构。2个600吨提升器同步控制精度要求同主提升系统一致, 4台100吨爬行器 (双向伸缩形式) 实现溜尾门架滑移功能; 拽溜系统采用2套200吨液压提升器, 牵引缆风采用2套200吨液压提升器 (如图12)。

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。

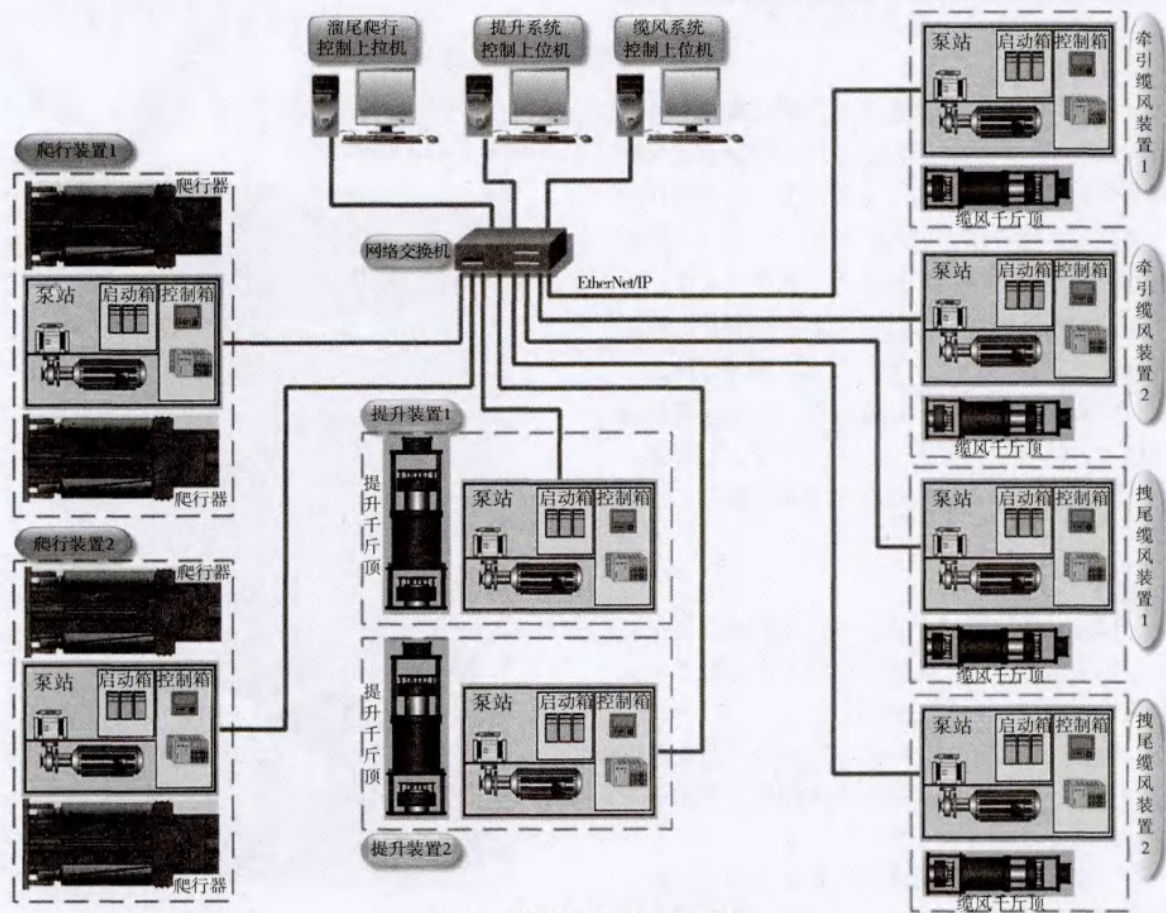


图12 溜尾门架控制系统框图

3.5 监视系统

6400吨液压复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(如图13、图14所示)。

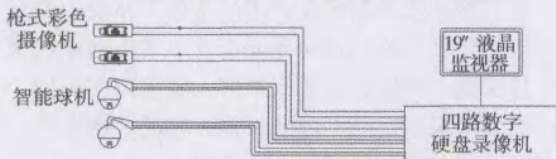


图13 监视系统拓扑图

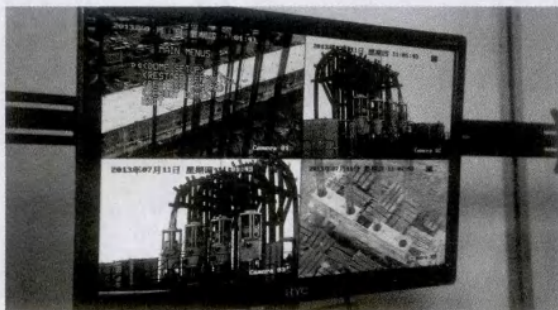


图14 试验现场监视画面

4 操作方式

主提升控制装置及缆风绳控制装置要求具有自动、手动、调整操作方式。自动控制方式为控制系统的主要运行方式。正常情况下所有操作均自动方式,在自动控制运行状态下,操作手动控制部分的任何按钮均不起作用,避免误操作。手动控制为系统的辅助运行方式,主要用于在施工过程需要对其中某一台或几台千斤顶进行伸缸、缩缸、紧锚、松锚操作,或对某一比例阀流量进行调节,调整方式仅用于钢绞线的穿索与解除。

顶升、滑移、爬行控制要求具有自动、手动操作方式。

5 安全措施

6400吨液压复式起重机不但在机械、液压采取了安全措施,而且在控制系统上也采取了一系列的安全措施,做到三保险。

(1) 无论是主控台还是现场控制器均设有急停开关,现场的任何地方出现问题均可按下急停开关来停止系统的工作。

(2) 系统安装有倾角传感器分别检测复式起重机门架X、Y轴的倾斜程度。当任意一轴倾

角超过 0.4° 时,上位机显示“倾角偏”报警。

3) 系统安装有风速仪,当检测到风速达到5级风以上时,会显示“5级风”报警。

4) 控制系统不但在硬件上采取各种保护措施,而且在软件上采取了误操作闭锁等安全措施。即在自动运行状态下操作手动控制部分的任何按钮均不起作用,避免误操作。

5) 软件上实现了不同级别的系统管理权限,操作员可以选择操作模式,查看趋势曲线及报表等;系统工程师可以根据实际情况对监控软件和下位机软件进行修改。取得权限的操作人员能在中央控制室实现对任何一台千斤顶及泵站的单独操作或联机操作。

6 工程运用

6400吨液压复式起重机已于2013年9月30日成功应用于山西潞安高硫煤清洁利用油化电热一体化示范项目第一台费托合成反应器的吊装,2013年底完成第二台反应器的吊装(如图15)。

该设备设计制造国产化率达100%,是全球起重能力最大的陆地起重机。

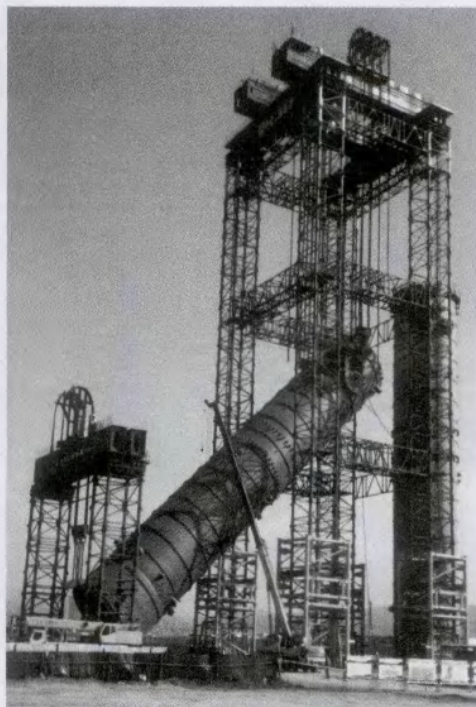


图15 反应器吊装施工现场