

上海东方明珠电视塔 天线桅杆整体攀升技术

肖仁富

一、前言

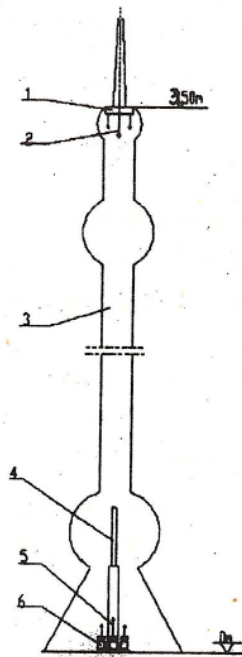
在我国一些大型重点建设工程中,往往有超大、超重、超高钢结构需要在地面拼装,然后再整体提升就位。传统的提升方法已越来越不适应此类工程建设需要。因此,对构件整体提升技术及其配套装置的研制与应用提出了越来越迫切的需求,同时也为吊装工程提供了技术创新的机会。

1992年,上海市动工兴建的东方明珠广播电视塔,塔高460米,为世界第三、亚洲第一高塔。仅其钢结构的天线桅杆就有118米长(伸出塔外110米)、450吨重,安装在距地面350~460米的高空中。如此高耸的钢结构,显然不宜在高空中拼装,而需要在地面拼装,然后整体提升到位。但应用什么方法实现整体提升?是运用传统的卷扬机组提升,或是采用国外直升飞机吊装的方法,还是采用液压提升新技术?上海市有关部门经过反复研究论证,在市领导的支持下,最后决定采用液压提升新技术。由上海市机械化施工公司、同济大学和柳州市建筑机械总厂组成产学研联合小组,共同承担这项艰巨的提升安装工程。经过周密准备和反复试验、检验,1994年4月20日正式提升,一次成功,创造了我国高空吊装大型构件的新记

录,在国际上亦属首例。

二、液压提升方式的选择

液压提升有三种方式:一是提升方式,液压设备安装在460米高处,并高出构件安装底座;二是顶升方式,提升设备置于450吨重的构件下方;三是攀升方式,提升设备安装于被提升构件之上,通过提升千斤顶下部吊环与构件铰接,由千斤顶背负着构件,一个行程一个行程地向上攀升。第三种方式的提升设备与被提升构件一起运行,安装检查比较方便,有利于保证提升工程的安全性、可靠性,因而最后确定选用攀升方式,如图1所示。



图中:

- 1、承重夹持装置
- 2、钢绞线
- 3、塔体
- 4、钢天线
- 5、钢绞线
- 6、LSD40型千斤顶

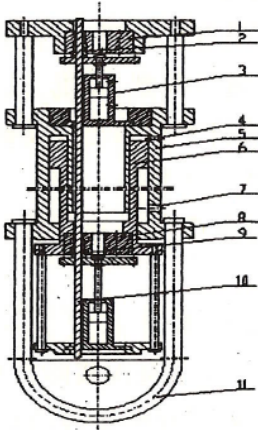
图1 攀升方式示意图

肖仁富:柳州 OVM 工程公司高级工程师

三、液压提升装置及工作原理

1、液压提升装置的结构

液压提升装置由柳州市建筑机械总厂研制的 LSD40 型提升千斤顶和 OVM 夹持系统组成,千斤顶的基本结构如图 2 所示。该提升装置由一台承重及提升的主千斤顶和上、下两套夹持装置组成。上夹持装置与主千斤顶的活塞连接,下夹持装置与主千斤顶的缸体连接。上下两套夹持装置分别用两台小千斤顶控制其夹紧与松开。提升装置的主要技术参数如表 1 所示。



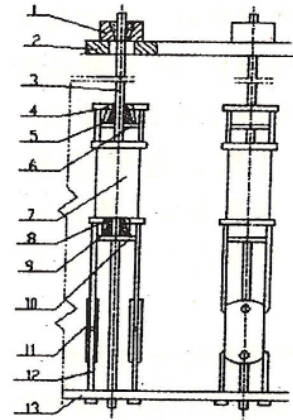
1 上夹持器 2 夹片 3 小千斤顶 4 油嘴
5 提升千斤顶主顶油缸 6 提升千斤顶主顶活塞
7 油嘴 8 下夹持器 9 夹片 10 钢绞线 11 吊杆

图 2 提升千斤顶结构图

2、工作原理

采用夹持装置和钢绞线作为承力件。承重夹持器安装于 350 米高处的钢筋

砣塔体的承力基座上。钢绞线上端被锚固在承重夹持器(亦称天锚)上,下端穿过千斤顶及其上、下夹持器,如图 3 所示。通过计算机控制泵站,泵站控制主千斤顶及两台小千斤顶,通过主千斤顶活塞与缸体的往返相对运动及上下两套夹持装置对钢绞线交替夹紧与松开,使构件随千斤顶逐个行程的攀升。



1 天锚 2 塔体支撑 3 钢绞线 4 上锚固器
5 夹片 6 夹片动作控制缸 7 主千斤顶
8 下锚固器 9 夹片 10 夹片动作控制缸
11 铰接部位 12 吊杆 13 桅杆底盘

图 3 攀升工作原程图

四、可靠性分析与现场试验

为了确保攀升工程万无一失,在无类比工程可供参考的情况下,此次攀升工程从设备、材料到防护均采取了足够大的安全系数及系统保护措施。

(一)可靠性分析

表 1 OVM—LSD 提升千斤顶主要技术参数

公称提升力	400KN	额定油压	21MPa
活塞行程	300mm	穿心孔径	Ø104mm
钢绞线根数	6 根	整机外型尺寸	Ø300mm × 1717mm

1、攀升能力储备系数

设计、安装 20 台 LSD40 型提升千斤顶，千斤顶攀升能力总计为 $20 \times 400 = 8000\text{KN}$ ，攀升 $450 \times 9.8 = 4410\text{KN}$ 重的桅杆，能力储备系数为 $8000/4410 = 1.81$ ，具有足够的能力储备。

2、攀升承重件的安全系数

选用 $\varnothing 15.2$ 的高强度低松弛钢绞线作为柔性承重杆。每台提升千斤顶安装 6 根、每根长 353 米的钢绞线，20 台千斤顶共安装 120 根钢绞线，按破断荷载 254KN 计算，能承受最大荷载为 30480KN，计算安全系数为 7。考虑到风振、偏载等因素，安全系数不会小于 3~4。

3、夹持装置的安全系数

OVM 锚具夹持钢绞线的效率系数大于 0.95，即在 95% 的钢绞线极限破断力下，锚具可以夹持住钢绞线而不使其破断。夹持装置的安全系数： $30840/4410 \times 95\% = 6.56$ 。可见夹持装置的安全系数是很高的。

4、防护装置

(1) 千斤顶

提升千斤顶的进油口均装有液压锁，以防万一出现提升千斤顶与泵站之间的油路断开，如油管爆裂、油管接头松脱，主千斤顶活塞能保持原位，被攀升构件不会下降。

(2) 夹持系统

顶部承重装置安装于电视塔顶部的塔体支撑上，用于夹持承力钢绞线；下部夹持装置安装于被提升构件下方，作为安全夹持器，以备提升千斤顶万一出

现意外时，钢绞线被安全夹持器夹住，防止构件下坠，并便于更换检修提升装置。

(3) 控制系统

提升千斤顶的上、下夹持装置是提升过程的承力装置。攀升中不允许上、下夹持装置同时处于松开状态。控制系统对上、下夹持装置的运行动作采用互锁逻辑设计，确保在任何情况下，提升千斤顶的上、下夹持装置至少有一套处于夹紧状态，保证被提升构件不会失控下滑。

(4) 泵站系统

泵站系统设有安全阀，对提升设备的上限供油油压进行控制。在提升设备运行过程中，保证提升千斤顶出现偏载意外情况时，不会超负荷运行。

(二) 提升装置与夹紧装置的可靠性试验

天线桅杆的攀升高度为 350 米，LSD40 型提升千斤顶每次实际行程为 270 毫米，整个攀升工程需要连续运行 1300 个行程、每个活塞往返 2600 次，20 台千斤顶共有 240 个夹持单元需要夹紧、松开 62.4 万次。为了检验千斤顶及夹持器在如此频繁变动的大负荷下能否正常运动，以保证攀升工程万无一失，事前，建机总厂与有关部门在工地进行了攀升工程的可靠性试验。如照片所示。试验安装了 4 台 LSD40 千斤顶，使用同济大学研制的控制系统，按照实际施工工况，共进行了 3000 多个行程的满载试验，超过实际需要行程次数的 1.2 倍。试验证明液压提升装置和夹持器装置的性能良好，夹持可靠。

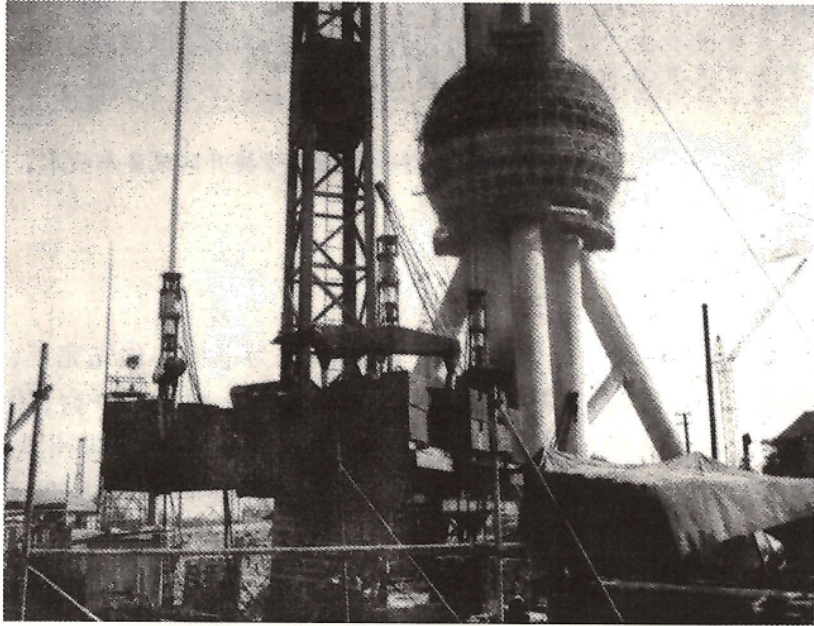


图3 上海东方明珠电视塔攀升工程实验现场

五、提升工程的安装与操作

1、安装

提升工程的安装包括夹持装置、钢绞线及设备安装。钢绞线上端固定在塔体支撑座之上的夹持装置（天锚），竖直穿过千斤顶及其上下夹持器，为防止千斤顶活塞在工作时受钢绞线自身偏转的影响，每台千斤顶的钢绞线，均选用左右捻各半，并间隔对称安装。

千斤顶安装在天线桅杆底盘之上，由千斤顶的U形吊杆与安装在桅杆底盘上的U形吊杆组成铰式连接。

安装时需注意千斤顶、钢绞线与桅杆上通孔保持同心。不能有两根钢绞线错位交叉。每穿好一根钢绞线，就装上构件夹持器的一付夹片，待钢绞线全部穿好后，压紧构件夹持器压板并将千斤顶的上、下夹持装置压紧。

2、操作

按照可靠性试验确定的工法操作。需要特别注意的是要调整好微机控制千斤顶上、下夹持器夹紧和松开的转换时间，使夹持器的负载转换时间稍慢一些。以避免钢绞线由于弹性伸长量较大，加上风载的影响，在千斤顶上、下夹持器的切换过程中产生较大的振动与惯性冲击动载。

六、结束语

上海东方明珠广播电视塔天线桅杆整体攀升安装一次成功，为我国应用液压提升技术进行了一次大胆、有效的尝试，创造了一项超高、超大构件整体提升的新纪录，不仅为上海的通讯事业做出了贡献，并为今后特殊提升工程提供了一个成功的范例，对推广应用液压提升技术将会起到积极的推动作用。