

液压提升技术的研究开发与应用

肖仁富 龙跃 唐建国 梁来

【摘要】 预应力技术在我国的成功开发与推广应用，为传统的吊装技术的进步提供了技术支持。本文简要介绍了液压提升技术的研究开发与工程应用。

【关键词】 液压提升技术 提升千斤顶 液压系统 控制系统 工程应用 提升 转体 顶推

1、液压提升技术特点简述

液压提升（转体、顶推）技术是为了降低超大、超重（目前已应用的整体提升最大重量为 5800 吨）、超高结构（被提升构件高度 110M）高空（最高安装高度 350M）安装难度和施工成本，或因环境条件限制（跨江河、峡谷、铁路、公路），构件先在地面拼装（或在工厂制造并用合适的交通工具运输至工程所在地）、然后整体提升（或转体、顶推，已水平转体最大重量为 13685 吨）的工程需要而开发的一项机、电、液压一体化的创新技术，具有自主知识产权，属国际领先水平。与传统的吊装技术——扒杆、卷扬机、塔吊相比，由于提升系统应用液压技术，运行平稳；设备体积小，不受环境条件限制，出力大；所需工作面小，使用灵活；应用计算机、自动控制技术和检测技术，可实现高精度、多点同步控制。

液压提升技术经过早期的产、学、研联合研发，后期的实践与 OVM 技术中心的多方位的继续开发，产品技术不断上新的台阶，工程应用也获得同步增长。在多种类型工程的施工技术进步中发挥着越来越大的作用。

2、液压提升技术的研究开发

预应力技术在我国的成功开发与应用，为传统提升技术的进步提供了技术支持。液压提升技术的开发正是以预应力技术及机具（锚夹具、顶、泵）为基础的创新，并使其从预应力领域走向新的工程应用领域，推动了施工技术的进步。

肖仁富：柳州欧维姆工程有限公司 高工

液压提升技术与预应力技术相比较，相同点：都使用了千斤顶、液压泵、钢绞线及锚夹具。不同点是：在应用技术方面，引入自动控制技术和自动检测手段，将分散、个体、手动操作变为集中、多点同步、自动控制；在应用目的方面，后者应用于工程的预应力施加与锚固。前者应用于工程构件的移动。

根据多点同步、自动、高精度控制的需要，对千斤顶、锚夹具、泵进行再次技术创新：将锚夹具与小型千斤顶以不同的结构形式组合，并引入可感知其工作状态（锚夹具的夹紧或开启状态）的传感元件，使其成为受控的“机械手”（千斤顶的上下“机械手”的松、紧与千斤顶活塞的伸缩动作相配合，通过承重钢绞线将构件提起或放下）；将泵站上的手工调节的油路“开”“闭”阀，改由受控的电磁阀及流量受控的液压阀组件代替，使其成为受控的动力装置；自动控制技术的应用使系统自动完成工程所赋予的任务；计算机的引入，给液压系统的运行赋予人的智慧，将整个系统由自动化提升到智能化水平。

提升系统通常由提升千斤顶、液压驱动系统（泵、液压阀组件及油路）（提升千斤顶、液压驱动系统亦通称为液压系统）、控制系统、检测系统、承重索、承重夹持器六部分组成。其具体配置，根据工程实际需要确定。

液压提升系统原理如图 1 所示。

下面集中就液压提升系统的一些技术问题进

行简要阐述。

2.1 提升千斤顶

提升千斤顶是系统的关键设备。按工作形式，又分为间歇式提升千斤顶（LSD 型。见图 2 所示）与连续提升千斤顶（QDCL 型。见图 3 所示）两种类型。其区别主要表现在，后者是在前者基础上用两只主顶按应用需要串联而成。连续提升千斤顶的上下两只主顶交替运行，动作连续协调，提升速度快。

2.1.1 提升千斤顶是系统动力执行机构，其特性通常用额定提升力 F 表征： $F=PS$

式中， P —— 额定油压；

S —— 千斤顶活塞面积

2.1.2 提升千斤顶夹持器（机械手）

提升千斤顶夹持器既是千斤顶提升过程的承重装置，又是松紧动作、荷载切换的执行机构。既要保持操作灵活，又要确保安全可靠。目前，夹持器已设计出第三代，工程应用的适应性更强；

2.1.3 液压锁

在工程应用过程中，系统通常要处于两种状态：（1）工作状态，带荷载运行。（2）停机状态，带荷载悬挂。当系统处于负荷、停机状态时，要求活塞保持原位——即每台千斤顶承载力在停机状态时须保持不变。提升千斤顶的进油口上的液压阀就具有该项功能。

2.2 承重索与承重夹持器

2.2.1 系统使用的承重索采用 1860Mpa 级高强度底松弛钢绞线。钢绞线的承重安全系数 $K_{安}$ 通常取：

$$8.5 \geq K_{安} \geq 2.5 ;$$

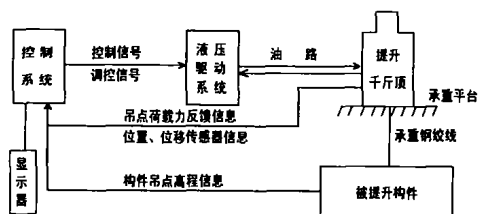


图 1 液压提升系统原理图

2.2.2 穿过千斤顶的同一旋向的钢绞线束受力后易使千斤顶活塞出现扭转现象。为克服这一不利因素，通常选用两种不同旋向的钢绞线相配使用，以平衡其产生的扭转力矩；

2.2.3 通过承重索与被提升构件相连接的承重夹持器的锚固效率系数 $\geq 95\%$ 。

2.3 液压驱动系统

2.3.1 泵站（或液压阀组件）上设置与单元千斤顶的主顶、夹持器相对应的油路，它们是提升千斤顶的动力源；

2.3.2 油路的开、闭均采用受控电磁阀；

2.3.3 供给一个吊点上多台千斤顶主顶的油路上接有可调控其流量的液压阀组件；

2.3.4 泵站油路上均采用限载溢流技术，可对动态负载进行限制，防止设备超负荷运行；

2.3.5 其它保证液压系统正常工作的技术措施，如油温检测、降油温措施、滤油装置等。

2.4 控制系统

控制系统应用控制技术控制液压系统执行机构按规定流程和工程技术要求运行。具有手动控制液压提升单元（单项单元或吊点联动单元）的功能和自动控制液压系统同步运行的功能。

2.4.1 以逻辑电路、可编程控制器为基础的同步自动控制系统。目前在提升、转体、顶推工程中均有广泛应用。

2.4.2 计算机控制系统

2.4.2.1 计算机控制系统由控制执行模块（强



图 2 LSD200 型提升千斤顶



图 3 QDCL2000-200 型提升千斤顶

电部分)和低压控制模块(弱电部分)组成;

2.4.2.2 控制执行模块包括总控制台、泵站控制箱(或总电气柜)、吊点控制箱等。其基本功能是执行控制指令,驱动液压系统执行机构按控制指令动作;

2.4.2.3 控制模块由计算机、可编程控制器组成。程序员将液压系统执行机构的运行流程及须符合的技术要求程序化,计算机根据程序发出控制指令,并同时不断接收、处理由检测系统反馈回来的信息,对液压系统执行机构进行适时控制或调控;

2.4.3 调控模式

调控对象为吊点高程误差及荷载力误差。通常以高差调控为主、荷载力调控为辅。调控模式为PLD及其衍生调控模式、阶跃自适应调控模式、模糊控制模式等。由于设备为慢速运行系统,调控精度均能达到预计目标,满足工程要求。

2.5 检测系统

2.5.1 装在提升千斤顶上的位置检测传感元件,可测定活塞位移和夹持器的工作状态(是夹紧还是开启);

2.5.2 高程检测装置。每个吊点处安装一台,可测知吊点的高程信息;

2.5.3 油压检测传感器。检测吊点液压单元的荷载力;

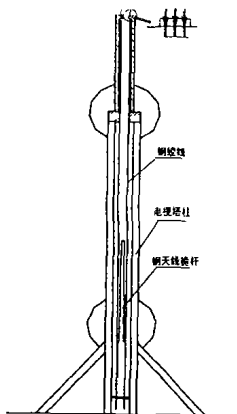


图4 上海东方明珠广播电视塔钢天线桅杆提升示意图

2.5.4 监视器。可监视目力不及地方设备的运行情况。

2.6 前景

网络技术的兴起与发展为远程遥控提供了可能与技术支持。如果有需要,指挥、操作人员可远离现场,计算机通过网络向工程所在地的液压系统发出控制指令,并接收、处理液压执行机构的运行流程信息和检测系统的吊点高程和吊点荷载力信息、摄像头传送回来的现场信息,对液压系统进行适时调控。由于是远程发送、接收,可采用数字编码及相关技术,使信息或控制指令远程传送准确无误。

3、工程应用技术

从二十世纪八十年代液压技术应用于桥梁顶推工程及上海东方明珠广播电视塔钢桅杆天线安装工程中在我国首次应用液压提升技术开始,至今已成功地完成数十个工程项目的施工。随着工程施工项目的增多,工程应用技术也不断得到完善和发展。

工程应用分类

按工程应用形式分类,又可分为提升、转体(包括竖转、水平转体)和顶推三大类。

3.1 提升

按工程需要,又可分为攀升法、提升法和顶升法。

3.1.1 攀升法

攀升法曾应用于我国第一个液压提升工程—上海东方明珠广播电视塔钢天线桅杆提升工程



图5 首都机场四机位机库屋盖钢结构提升

(提升高度达 350M, 见图 4), 及首都机场四机位机库屋盖钢结构提升工程(见图 5)。其特点是, 承重钢绞线锚固于上方承重平台上(或建筑结构能提供的支撑平台上), 提升设备就安装于被提升构件之上(见图 6), 通过提升千斤顶下部吊环与构件铰接, 提升千斤顶背负着构件一个行程、一个行程地沿着承重钢绞线向上攀升。

3.1.2 提升法

此前工程应用中, 大多数应用提升法。如北京西客站、上海大剧院两工程的钢屋架整体提升(两工程整体提升重量分别为 1800 吨、5800 吨)、虎门大桥钢箱梁提升(在珠江水面 70M 以上的柔性主缆上提升)(见图 7、图 8、图 9)等。其特点是: 与攀升法设备安装方式相反, 提升千斤顶安装于高于被提升构件设计安装位置的上方的承重工作平台上, 通过钢绞线并用承重夹持器将钢绞线反锚于被提升构件的下方(见图 10)。安装于承重工作平台上的提升千斤顶牵引钢绞线, 将构件提升到设计安装高度。

3.1.3 顶升法

该方法常用于拱桥(如天津彩虹桥、桂江三桥)、悬索桥的横梁或桥面箱梁提升架设施工, 且桥面距水面约 10M 左右高度的工况下。其特点是:

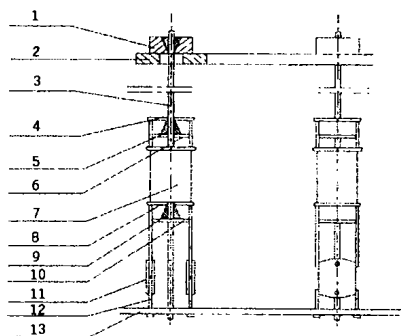


图 6 攀升法设备安装示意图

- 1、承重锚固器 2、承重平台 3、承重钢绞线
4、千斤顶上夹持器 5、夹片 6、夹片动作控制器
7、千斤顶 8、千斤顶下夹持器 9、夹片
10、夹片动作控制器 11、铰接装置 12、吊杆
13、被提升构件

提升系统不需要安装在象虎门大桥使用的类似承重工作平台上, 而是直接利用特定设计的锚索连接器与拱桥(或悬索桥)的吊杆锚头相对接。提升千斤顶反装于被顶升构件(如横梁、桥面箱梁)下方, 千斤顶在构件下方通过与吊杆锚头相接的钢绞线使力, 将横梁或桥面箱梁顶升到安装高度。该方法的缺陷是提升千斤顶要反复装卸。优点是, 充分利用了工程现有条件, 节省了承重工作平台的设计、制作, 降低了施工成本。

3.2 转体

3.2.1 水平转体

我国于二十世纪七十年代已将水平转体技术应用用于桥梁工程施工中(动力系统为卷扬机)。水平转体单边重量为数千吨。随着我国经济发展, 设计、施工技术的进步, 单边转体重量超万吨的桥梁就已有两座——广东丫髻沙大桥(单边转体重量 13685 吨)和贵州水柏铁路上的北盘江大桥(单边转体重量 10400 吨, 见图 11, 设备安装见图 12、13)。由于液压技术较卷扬技术具有明显优势——易于应用自动控制技术, 同步性好; 柔性承力索为低松弛钢绞线, 易于实现转体精确控制——使液压技术在水平转体工程施工中获得推广应用。

液压系统易于应用力偶均衡技术和同步技术,



图 7 北京西客站钢屋架提升



图 8 上海大剧院钢屋架提升

使构件在转体过程中稳定性更好。2000 年 6 月广东清远新寨大桥及 2001 年 1 月北盘江大桥水平转体工程均采用了该项技术措施，获得良好效果。

3.2.2 竖直转体

竖转是液压技术在拱桥建设中获得应用的又一方面。通常拱肋由工厂制造成形，用驳船运输至工程所在地，将拱脚提升、安放进拱座，然后两半拱肋分别竖转合拢（如 1999 年 6 月广西梧州桂江三桥拱肋竖转施工，由柳州 OVM 工程有限公司负责转体施工，见图 14、15），或沿江堤在胎架上拼装拱肋，然后再竖转加平转合拢（如 1999 年 10 月广东丫髻沙大桥拱肋竖转，由同济大学竖转施工）。使用该项施工技术，河道封航时间短，航运交通影响小。

3.3 顶推

该方法常用于高架桥、立交桥或跨河流桥梁的桥面结构（钢桁架或混凝土连续梁）施工中（见图 16、17。设备布置见图 18）。其特点是在桥端只要有一块不太大的工作场地（或混凝土连续梁

浇灌模板样台）即可拼装（浇灌）一节，向前顶推一节。再拼装（浇灌）、顶推下一节……。施工简便、快捷，特别是在施工占用场地受限制或受环境条件制约的情况下，更是如此。

顶推法按设备安放形式分又可分为集中顶推法、多点分散顶推法和集中多点分散相结合顶推法。集中顶推法应用于早期工程，已淘汰，原因是，采用集中顶推法，分散在各桥台上的摩擦力因无其它力平衡，使桥立柱产生弯矩，易导致破坏。鉴于此出现多点分散顶推法，顶推千斤顶分散在桥台上，摩擦力与顶推力基本相平衡，解决了上述缺陷。但该方法仅限于水平顶推工程，而对于具有坡度的顶推工程就要应用集中、多点分散相结合的顶推方法施工。

在工程具有坡度的工况下，且桥墩距离不相等时，其顶推力可用下式描述：

$$f(n) = f_n + \sum_{i=1}^{n-1} f_i + \sum_{i=1}^n \eta P_i \quad (1)$$

$$f_i = \mu (P_i + P_{i-1}) / 2 \quad (2)$$

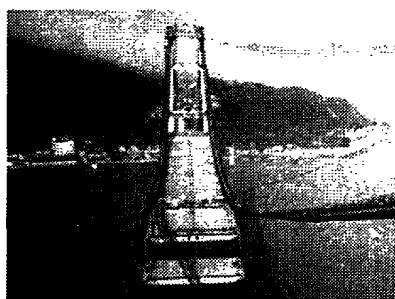


图 9 虎门大桥钢箱梁提升

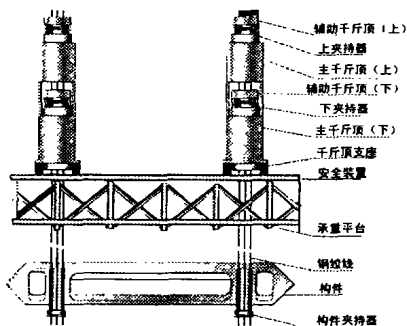


图 10 提升法设备安装示意图

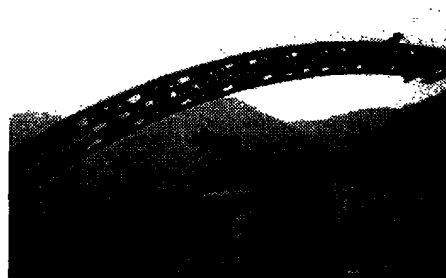


图 11 北盘江大桥水平转体

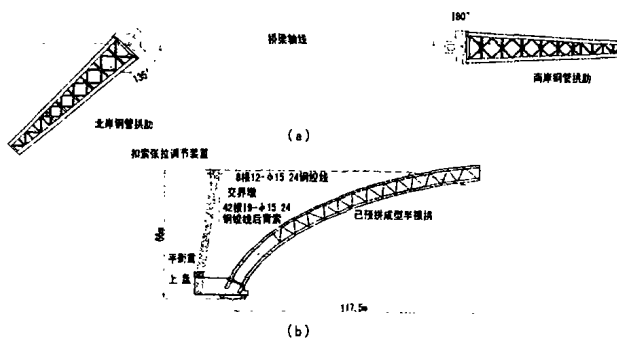


图 12 北盘江大桥水平转体示意图

(a) 钢管拱肋拼装布置图

(b) 主跨水平转体立面布置图

$$f_n = \mu (P_n x / L + P_{n-1} / 2) \quad (L > x \geq 0) \quad (3)$$

当 $L > x \geq 0$ 时, 式 (3) 为第 n 号墩的施工过程顶推力的控制提供了依据。

当 $x=L$ (第 n 节梁 (或其端部所装导梁) 已顶推至第 $n+1$ 个桥墩滑道上) 时,

$$f_n = \mu (P_n + P_{n-1}) / 2 \quad f_{n+1} = \mu P_n / 2 \quad (4)$$

当桥墩距离相等时, 式 (1) 变为

$$f(n) = f_n + \sum_{i=1}^{n-1} \mu P_i + \sum_{i=1}^n \eta P_i \quad (5)$$

当 $\eta = 0$, 即变为无坡度的水平顶推工况。(1)

式变为:

$$f(n) = f_n + \sum_{i=1}^{n-1} \mu P_i \quad (6)$$

式中 f_i —— 第 i 号墩顶所受摩擦力

μ —— 摩擦系数

η —— 坡度系数, 上坡为正

P_i —— 第 i 节梁的重力

n —— 顶推的当前节段数

L —— 第 n 节梁的长度

$$F_N = kf(N) \quad (7)$$

式中 F_N —— 顶推系统能提供的最大顶推力

k —— 系统动力储备系数

N —— 顶推总节段数

在上坡工况下, 须给构件提供一个克服势能增加 (上坡) 的力。克服该力通常由集中在能承受较大反力的主力桥台上的千斤顶分级提供。

3.4 工程应用设备配置简易设计方法

3.4.1 根据设计单位对工程提升 (转体、顶推) 力 F (吨) 的要求, 液压千斤顶的数量 M 的配置原则是:

$$M \geq 1.5 F / \text{千斤顶额定出力}$$

3.4.2 液压千斤顶须配置钢绞线根数 N 的确定原则是:

$$N \geq 2.5 F / 26$$

3.4.3 其它设备如液压驱动系统、控制系统等根据工程实际情况与需要配置。

工程应用中, 液压千斤顶的数量 M 、每台千斤顶须配置钢绞线根数 N 亦须根据工程情况 (如吊点实际荷载力) 作局部调整。

4、施工过程质量控制

施工过程还需采取多种安全性、稳定性、可靠性技术措施, 确保提升 (转体、顶升) 过程万

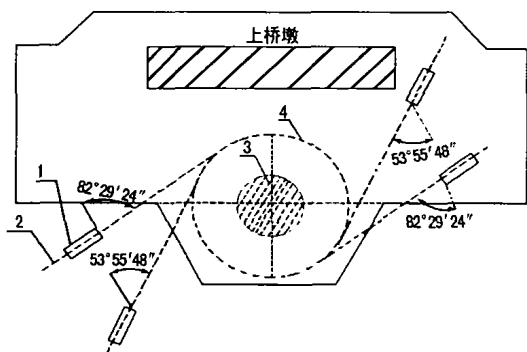


图 13 水平转体设备安装示意图

- 1、液压千斤顶 2、钢绞线 3、球铰 4、上转盘

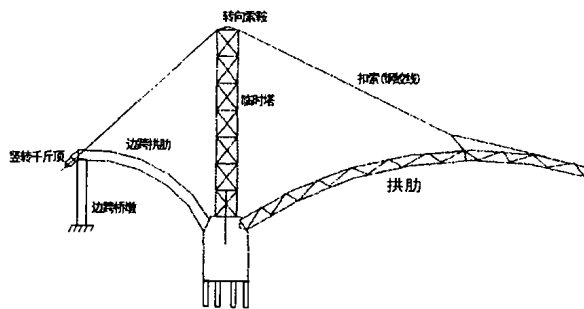


图 15 竖转及设备安装示意图

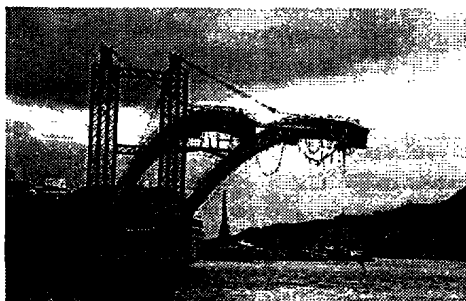


图 14 桂江三桥拱肋竖转



图 16 越南梅桥主梁顶推

无一失。

4.1 承重系统

承重系统的安全性、稳定性、可靠性是成功完成提升任务的关键因素之一，必须采取可靠技术措施，确保万无一失。

承重平台的承重能力、稳定性、安全性均须符合相关规范要求。承重系统的安全设施或附属设施不会成为结构提升的障碍。提升过程中如确须变更安全设施时，必须先采取安全技术措施后再进行；

4.2 提升系统

提升系统的安全性、稳定性、可靠性是成功完成提升任务的另一个关键因素。提升动力储备系数、控制精度必须符合设计要求。工程施工中，针对各类工程的特点，采取多种技术措施，确保提升（或转体、顶推）过程万无一失。

4.3 监测

提升过程中还要运用必要的监测设备、仪器，对承重平台的偏移、稳定性（缆风绳的拉力变化）、强度等进行监测。

4.4 环境因素

提升之前均需通过气象部门了解提升当天、当地的气象信息，5级以上风速天气条件下不得进行提升施工，并采取必要的防范措施。



图 17 万州大桥 514M 钢桁梁顶推

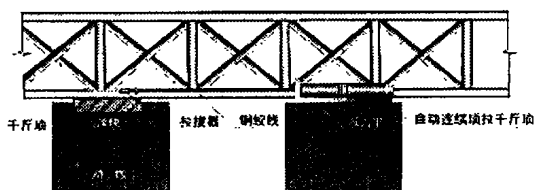


图 18 连续顶推设备安装示意图

提升系统的电磁兼容性应满足各类施工环境的要求。

5、结束语

液压提升技术从研究开发至今的数十项工程应用证明，它是一项安全、可靠、高效、高技术含量的高新技术。

在工程应用期间，获得工程界的大力支持，在此表示衷心感谢！并期望为着新的目标，进一步与工程各界朋友们进行合作。

另外，在该项技术的开发、发展过程中，倾注了许多专家和工程师们的心血，在此仅向他（她）们表示敬意！

参考文献

- 1、黄是勇：ZLD 型自动连续顶推系统. 1999. 10. OVM 论文集
- 2、吴秋凡 龙 跃：超大、超重、超高构件的整体提升安装. 1996. 10. OVM 论文集
- 3、肖仁富：上海东方明珠广播电视塔天线桅杆整体攀升技术. 1999. 10. OVM 论文集
- 4、唐建国：悬索桥钢箱梁液压提升的优越性及可行性. 1999. 10. OVM 论文集
- 5、韩学广 龙廖乾：北京西客站钢屋架整体提升设备与技术. 1999. 10. OVM 论文集
- 6、吴志勇：上海大剧院钢屋架整体提升设备与技术. 1999. 10. OVM 论文集
- 7、唐建国 梁 来 刘 璇：虎门大桥钢箱梁液压提升施工. 1996. 10. OVM 论文集
- 8、钟启宾：桥梁水平转体技术的最新研究成果. 2000. 3. 《OVM 通讯》
- 9、谢正元：ZLD 型自动连续顶推系统的工程应用. 1999. 10. 《OVM 论文集》
- 10、莫天玲 吴志勇 甘秋萍 严李荣：LSD200 液压提升系统原理与应用. 2000. 2. 《OVM 通讯》
- 11、秦立方 甘秋萍 吴志勇：LSD200 液压同步提升系统的优化及工程应用. 2001. 1. 《OVM 通讯》
- 12、甘秋萍 李兴奎：钢索式液压提升设备的控制系统. 2002. 4. 《OVM 通讯》