

双管全自动水压试验机组的开发*

王海红, 刘继高, 王 钊, 赵 伟, 王 旭

(中国重型机械研究院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 由于进口的水压试验机组不仅不能满足国内市场的需求而且价格高, 因此国内急需研制生产工艺先进、自动化程度高、节奏快的水压试验机组。中国重型机械研究院为此开发出 $\Phi 48\sim 178$ mm 双管全自动水压试验机组。重点介绍了该机组的工艺参数、设备性能和组成及其功能、生产工艺流程及其特点等。

关键词: 双管全自动水压试验机组; 设备性能; 设备组成; 工艺流程; 特点

中图分类号: TH871.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2007)05-0022-05

Development of Dual-pipe Fully-automatic Hydrostatic Testing System

Wang Haihong, Liu Jigao, Wang Zhao, Zhao Wei, Wang Xu

(China Heavy Machinery Research Academe, Xi'an 710032, China)

Abstract: Hydrostatic testing systems featuring technological advancement, high automation level and fast operation cycle are badly needed to be developed due to the fact that the imported similar systems not only fail to meet the domestic market demand, but also are too expensive. Therefore China Heavy Machinery Research Academe has developed $\Phi 48\sim 178$ mm dual-pipe fully-automatic hydrostatic testing system. Elaborated in the paper are the main aspects of the system, including technological parameters, equipment characteristics/composition and functions, and process flows and characteristics, etc.

Key words: Dual-pipe fully-automatic hydrostatic testing system; Equipment characteristics; Equipment composition; Process flow; Characteristics

0 引 言

随着我国石油天然气工业的飞速发展, 油井开采深度的不断增加, 对油套管及流体管的需求量急剧上升。根据相关标准(规范)的要求, 对高钢级油套管及流体管必须做水压试验, 但是进口的水压试验机组不仅不能满足国内市场的需求而且价格高, 为此急需开发工艺先进、自动化程度高、节奏快的水压试验机组。中国重型机械研究院(原西安重型机械研究所)在设计研制单管水压试验机的基础上,

对水压试验机组提高生产节奏这一关键问题进行了深入的分析、研究和论证, 开发出 $\Phi 48\sim 178$ mm 双管全自动水压试验机组。本文将重点介绍该机组的设备性能、工艺参数、设备组成、各组成部分的功能、工艺流程及其特点。

1 设备性能及工艺参数

(1) 生产能力: 以直径 114 mm、长度 $10.5\text{ m}\pm 500$ mm 的钢管为例, 其最高生产节奏为 140 根/h, 最低为 120 根/h。

(2) 适用的钢管规格范围: 钢管直径 48~178 mm(油管直径为 48.26, 60.32, 73.02, 88.9, 101.6, 114.3 mm; 套管直径为 114.3, 127, 139.7, 168, 177.8 mm), 长度 6~15 m, 壁厚 3~15 mm, 最大钢管重量 1.0 t; 被试钢管定尺误差为 500 mm, 钢

* 本项目 2005 年获中国机械工业集团科学技术二等奖, 2006 年获西安市科学技术二等奖, 2007 年获陕西省科学技术三等奖。

王海红(1970-), 女, 工程师, 主要从事冶金设备设计及调试工作。

管的外径公差为 $\pm 1\%$, 钢管的壁厚公差为 $\pm 12.5\%$, 钢管的直度偏差不超过 2‰ 。

(3) 水压机最大试验压力为 75 MPa , 采用径向大间隙密封; 密封圈内径比钢管外径大 $15\sim 20\text{ mm}$, 便于钢管导入; 密封圈厚度仅为 $35\sim 40\text{ mm}$, 试压盲区小。

(4) 试验压力精度: 控制精度为 $\pm 1\%$ (最大试验压力); 压力波动 $\leq 0.35\text{ MPa}$ (试验压力 $\leq 30\text{ MPa}$ 时)或 $\leq 0.65\text{ MPa}$ (试验压力 $> 30\text{ MPa}$ 时); 压力传感器的检测精度为 0.2% 。

(5) 保压时间为 8 s (保压时间可调范围 $5\sim 300\text{ s}$), 采用增压器连续保压。

(6) 试验用水: ①工业过滤水, 其悬浮物 $\leq 150\text{ mg/L}$, 总硬度 $\leq 10.6^\circ\text{Dh}$, 压力 $\geq 0.3\text{ MPa}$; ②净循环水, 其压力 $\geq 0.2\sim 0.5\text{ MPa}$, 温度 $\leq 33^\circ\text{C}$ 。

(7) 压缩空气: 使用压力为 $0.4\sim 0.6\text{ MPa}$ 。

2 设备组成

双管全自动水压试验机组所完成的设备功能, 可概括为对齐、冲洗、测长、双管试压、控水、步进送料等。其机械设备主要包括大、小步进送料装置各 1 套, 冲洗、对齐、测长装置 1 套, 通畅装置 1 套, 双管试压装置 1 套, 控水装置 1 套等。设备基本平面布置如图 1 所示。

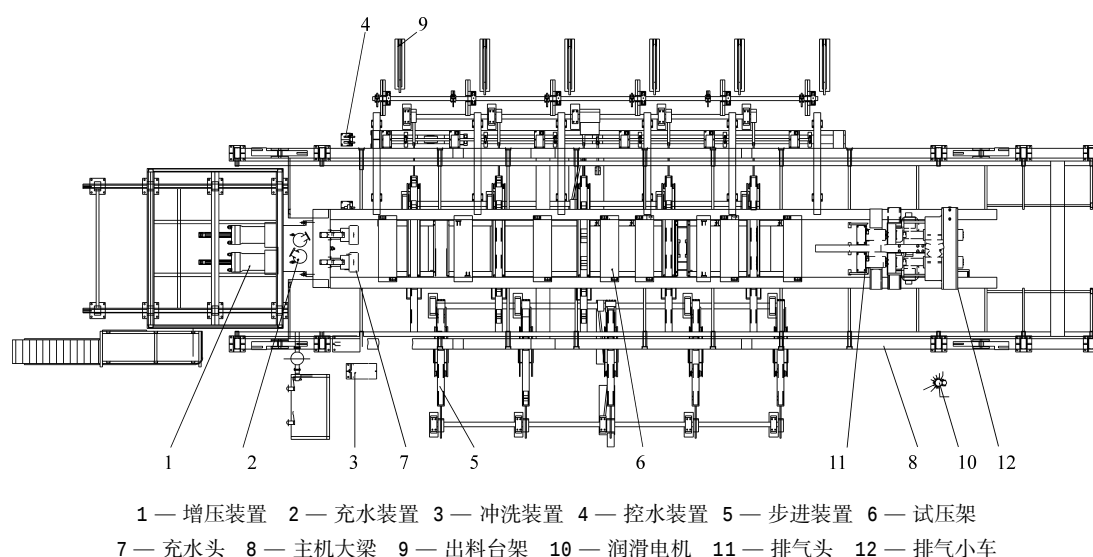


图 1 双管全自动水压试验机组的设备平面布置示意

2.1 步进送料装置

上料台架上的钢管通过 1 号步进送料装置送至对齐、冲洗、测长工位, 在完成钢管对齐、冲洗、测长后, 又通过 1 号步进送料装置将钢管分别送至通畅工位和待料工位, 为 2 根钢管同时送至 2 个试压工位创造条件。通畅工位和待料工位的 2 根钢管由 2 号步进送料装置同时送至 1 号、2 号试压工位, 钢管试压结束后再通过 2 号步进送料装置从 1 号、2 号试压工位送至控水工位, 钢管控水后由拨料器从控水工位拨到出料台架。

为使钢管水平移动快速、准确, 平移机构液压缸采用比例阀控制, 实现低速启动、快速平移、减速精确和停止到位。

2.2 冲洗、对齐、测长装置

钢管到达冲洗、对齐、测长工位后由 5 组气缸

升起装置水平升至冲洗高度, 由测长液压马达驱动送料小车向机头方向送料对齐, 液压马达的控制采用比例换向阀。冲洗时 5 组液压马达驱动钢管旋转, 以便将钢管的内表面冲洗干净。钢管冲洗完成后落下待测, 测长送料小车自动返回并测出钢管的长度。

冲洗对齐挡板设有轴向调整 and 高度调整装置, 可根据需要进行轴向调整, 将钢管内部冲洗干净, 为可靠试压创造条件。

2.3 通畅装置

通畅装置由前通畅枪、后通畅枪、移动小车、储气罐、压紧装置、台架和来料发讯装置等组成。

通畅工艺流程: 步进送料装置将钢管送至通畅工位→压紧装置压紧钢管→前通畅枪前进到位, 后通畅枪根据钢管测长数据前进到位靠紧钢管→小车

锁紧→通径→小车打开→前、后通径枪返回原位→压紧装置松开钢管→步进送料装置将钢管送出。

冲洗完成后,1号步进送料装置将钢管送至通径工位进行通径,同时下一根钢管进入测长工位进行冲洗、测长,测量的钢管长度与通径工位的钢管长度进行比较。若2根钢管的长度差满足同时试压条件,则由1号步进送料装置将钢管送至通径工位,同时将通径工位的钢管送至待料工位;若2根钢管的长度差不能满足同时试压条件,则1号步进送料装置不动作,由2号步进送料装置将通径工位上的钢管送至1号试压工位试压。根据设备的状况,操作人员可选择双管试压、1号位单管试压或2号位单管试压。1、2号步进送料装置按照操作人员选择的试压方式,将钢管送到相应的试压工位。

2.4 升起对中装置

升起对中装置由升起装置和夹紧对中装置组成。升起装置由升起梁和升起同步系统组成。机架同步升起系统采用同步液压马达,可保证管材在最长和最短范围变化时能稳定地同步升起,可靠性高,完全能满足水压试验时管材送进的要求。夹紧对中装置可满足钢管从 $\Phi 48\sim 178\text{ mm}$ 直径变化时均能顺利进入试压中心,并对管材进行夹紧,保证钢管试压的安全要求;钢管长度变化时夹紧装置的数量可自动增减,自动或手动调整,满足钢管长度变化的需要。

2.5 水压试验机主机

水压试验机主机由充水头、排气小车、机架等组成。

充水头由充水阀、增压器、充水头预密封及充水头移动装置组成。充水阀采用锥阀口密封及液压平衡力方式,密封可靠;增压器密封采用专有技术密封,性能可靠,使用寿命长;充水头、充水模具、排气头及排气模具的高压密封采用车氏密封方式,密封可靠,寿命长;2个充水头分别单独移动。

排气小车行走装置、排气头行走装置和锁键装置均安装在排气小车上。

机架包括本体、操作室。本体采用对称工字梁框架结构,试压时受力中心在工字梁的对称中心;在本体工字梁上设有17个调节孔位(孔间距500 mm),以满足钢管长度在6~15 m范围内变化时的试压要求;梁上设有导轨和齿条以满足排气小车的运行;梁的刚性满足在最大试验压力下密封与管体间无相对移动。排气小车在液压马达的驱动下,根

据所测钢管的长度,自动行走和停靠在适合试压的孔位后,锁键伸出将排气小车固定在工字梁上的相应位置。排气头运行位置根据光电编码器测长发讯自动调整,可实现2根钢管在长度相差500 mm时同时试压,超过500 mm时单根试压。排气小车和排气头均采用比例阀控制,实现了排气小车及排气头的高速运行及慢速精确停车,提高了设备的生产效率。

操作室设有大视野防弹玻璃窗户,可清楚地观察到前后试压头之间设备的运行状况,既方便操作,又保障了操作人员安全;同时设有监视设备和上位工控机,以便对整台设备进行监护和控制。在操作台正前方设有2套双刻度(psi/MPa)超高压压力表,直接显示试验压力;试验压力的检测使用2套压力传感器;压力记录采用有纸记录仪将试压的压力适时记录下来;同时上位工控机将试压的压力以电子文档的形式保存下来。压力调节采用2套比例溢流阀控制,可分别在上位工控机和主操作台上进行压力设定。

2.6 机罩及起重装置

由操作维修平台、起吊装置和机罩组成。操作维修平台保证足够的强度,在操作维修平台上设有起吊装置和机罩,实现模具的方便更换及工作时的安全保护。

2.7 控水装置

控水装置由多点支撑升起装置和吹水装置组成。钢管试压完成后,送到控水工位,由控水装置将2根钢管的一端抬起进行控水。多点支撑升起装置可防止细长管因自重造成的中间弯曲而发生控水不净的现象。为满足快节奏的生产要求,在钢管抬起端增设吹水装置,用高压气流将滞留在管子内表面的水迅速吹出,实现快速排空。吹水装置的高度可调。

2.8 干油润滑系统

干油润滑系统采用散点干油润滑。

2.9 液压控制系统、气动控制系统及水系统

(1) 液压站

液压站包括1个主油箱,1套冷却、循环过滤系统,1台流量为1700 L/min、工作压力1 MPa的油泵和1台37 kW电机,30 m²冷却器(冷却水接口在油箱旁,管径为76 mm)和回油过滤器各2个。

(2) 主泵组

柱塞式恒压变量泵(流量355 L/min,压力25

MPa)4台;功率为160 kW的电机(1 500 r/min, 380 V, 50 Hz)2台;功率为132 kW的电机(1 500 r/min, 380 V, 50 Hz)2台。

(3) 主阀站

用于控制整台水压机的各种动作,其中主阀采用插装式锥阀,而先导阀、泵头溢流阀、比例溢流阀、比例换向阀采用的是德国力士乐公司产品。阀组内设有快速转换机构,可实现备用泵与主泵间切换,每台泵头均有显示压力表,方便系统压力调整。液压控制系统还设有蓄能器、冷却器等。

(4) 乳化液供液过滤系统

包括3台输出压力为0.5 MPa、流量为150 m³/h的离心式水泵,可实现回液粗过滤、回液沉淀、回液二次过滤等功能。

(5) 充液罐、分配阀

充液罐满足向被试管内充乳化液的需要,装有液位显示装置实现充水系统的自动控制。充液罐的高低压报警系统,保证了充水系统的正常工作。

分配阀实现冲洗钢管和向充液罐内充液的功能。

(6) 增压器及其阀控系统

包括2台增压器和2套集成控制阀组,用来向密封管内增压、保压及试压完成后卸压。增压器有2种增压比(1:1和1:4),根据试验压力由操作人员在主操作台上进行选择。

(7) 预密封及其阀控系统

2套预密封及其阀控系统,用来向预密封内增压及试压完成后对预密封的卸压。

(8) 气动系统及其控制

完成对控水工位试压钢管内部的吹水,包括2个压缩空气储气罐和气动三联件,用来实现气缸的平稳运行和过滤空气、油水的分离。

3 电气控制系统

双管全自动水压试验机组的电气控制系统完成包括主泵电机控制,步进上料机构的速度控制,试压压力控制,排气小车位置控制,排气头速度及位置控制,工作制度选择,机组自动化控制等。

操作方式分为手动、半自动和全自动3种。

3.1 PLC控制系统

水压试验机PLC控制系统采用西门子S7-400带分布式I/O ET200控制方案。PLC与ET200之间采用PROFIBUS DP网通讯。PLC与HMI人机

界面之间的信号传送采用MPI网络通讯的方式。上位机与二级管理机之间采用工业以太网通讯方式。整个控制系统构成了一体化的自动化网络。

3.2 HMI人机界面系统

机组设置1台HMI监控操作站,放在操作室计算机台上。HMI人机界面选用1台西门子工业控制计算机,内置以太网卡和PCI卡,与PLC和二级管理机进行网络通讯。

监控操作站用于对机组进行监控操作,主要的功能是PLC程序监控、生产过程显示、工作状态显示、参数设定、机组操作、故障报警及诊断、试压数据的存储、试压曲线生成和报表打印。

4 机组工艺流程及其特点

新开发的双管全自动水压试验机组工艺流程如图2所示。机组的特点如下。

(1) 工艺流程合理,提高了设备生产效率。

(2) 试压的钢管密封采用水平径向预压紧,密封性能好,寿命长。

(3) 充水头与主增压器一体化设计,集成度好,可靠性高。排气头具有良好的定位精度。

(4) 高效可靠的电气控制系统和网络通讯技术,使该生产线达到较高的电气控制和自动化水平。

(5) 试压数据自动存档,并可查询每根钢管的试压数据和试压曲线。

(6) 放气阀和充液阀:①充液阀、排气阀的通径是根据实践经验优化的,参数合理;②排气阀、充液阀的开启与关闭均是采用力平衡机构的液压油缸控制,而不是按常规方法利用弹簧关闭阀门;③控制阀门的液压系统是恒压系统,压力不受其他机构的运行和试验压力波动的影响;④阀口的研磨具有先进的工艺,并进行严格的渗漏试验,以确保密封性;⑤阀芯、阀座的材料选用高合金钢;⑥排气阀不但通径较大而且结构合理,试压头的放气口方位设置正确,尺寸适当,能覆盖Φ48~178 mm范围内的所有规格。通气通道设置合理,有效地提高了排气功能,加快了充液速度,提高了充水质量,减少了增压时间。

(7) 充水系统采用充液罐、离心泵充水系统,有效地提高了充水质量。

(8) 增压系统采用增压器增压,2种增压比,有效地减小了增压器重量,保证了增压的可靠性和

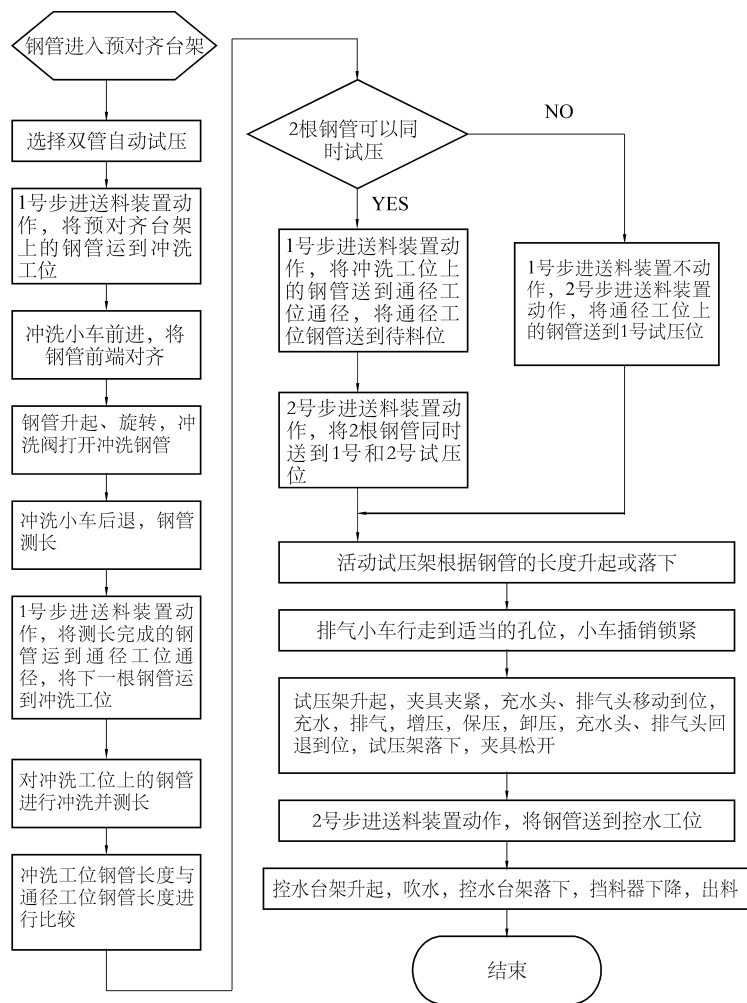


图2 双管全自动水压试验机组工艺流程

灵活性。

(9) 步进梁机构结构简单, 运行平稳。

(10) 冲洗水和试压水是两个独立的系统, 并在试压水池的设计上考虑有撇油机, 有效地保证了试压水的水质, 提高了试压的可靠性。

(11) 在水压试验机本体上设有安全防护罩, 还设有 2 t 单梁吊以方便水压试验机设备更换。

(12) 液压系统采用恒压和比例系统, 在试压过程中水压试验可与钢管旋转冲洗、控水等同步运行, 既节能又减少系统发热。

5 结 语

新开发的双管全自动水压试验机组, 其性能参数、结构形式、功能及可靠性等达到国际先进水

平, 符合国际管材加工工业的发展趋势, 是国内首套具有自主知识产权(2 项发明专利, 4 项实用新型专利)的全自动高效水压试验机组。它的成功研制, 不仅打破了我国全自动水压试验机组依赖进口的局面, 而且有效地提高了产品质量和后续工序的生产效率及整条生产线的综合成品率, 对我国管加工生产向高质量、高成品率及高生产效率方向发展起到了较好的作用。该机组已于 2005 年 8 月在国内某厂投产, 至今设备运行稳定可靠。据统计, 2006 年的产量已达 13 万 t, 已远超其原有的设计能力(年产 7 万 t), 为用户赢得了良好的经济效益。

(收稿日期: 2007-02-28)