

# 数字液压 在结晶器振动中应用

王经苗

2016年5月

# 公司简介

北京亿美博科技有限公司是注册在北京中关村地区的高新技术企业，成立于1998年，由获得中国第一批政府特殊津贴的国家级液压专家为首，率领一批高科技人材，专门从事机、电、液一体化的产品开发与研究。是国家重点科技攻关项目、国家863项目、国家火炬计划项目、科技部科技创新基金项目以及国家级新产品计划项目承担企业，获得信息产业部软件认证，通过ISO9001认证。



# 公司简介

**亿美博科技**作为中国科技自动化联盟成员，也是数字液压技术的领导者，正在天津投资建设数字液压生产基地，旨在打造代表中国制造2025理念的数字液压智慧工厂。



“**数字液压**”作为新一代的液压传动技术路线，将液压缸、液压马达的运动特性完全数字化，大大简化了液压传动与控制技术。由于实现了全程数字化，基于数字液压器件的大数据和基于预测性维护的云计算等信息化和智能化相关服务也成为可能。



# 主要产品



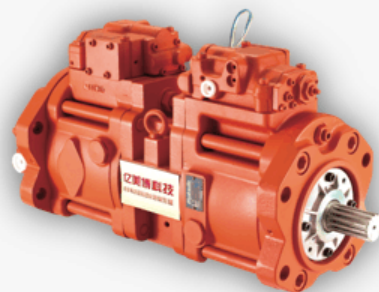
## 数字液压缸

数字液压缸的运动特性与电脉冲一一对应，即：电脉冲的频率对应数字油缸的运动速度，电脉冲的数量对应数字油缸的运动行程。最精密数字缸可实现微米级控制。



## 数字液压马达

数字液压马达的运动特性与电脉冲一一对应，即：电脉冲的频率对应数字马达的运动角速度，电脉冲的数量对应数字马达的角行程。数字液压马达是精密低速大扭矩控制的最优选择。



## 数字可编程功率敏感泵

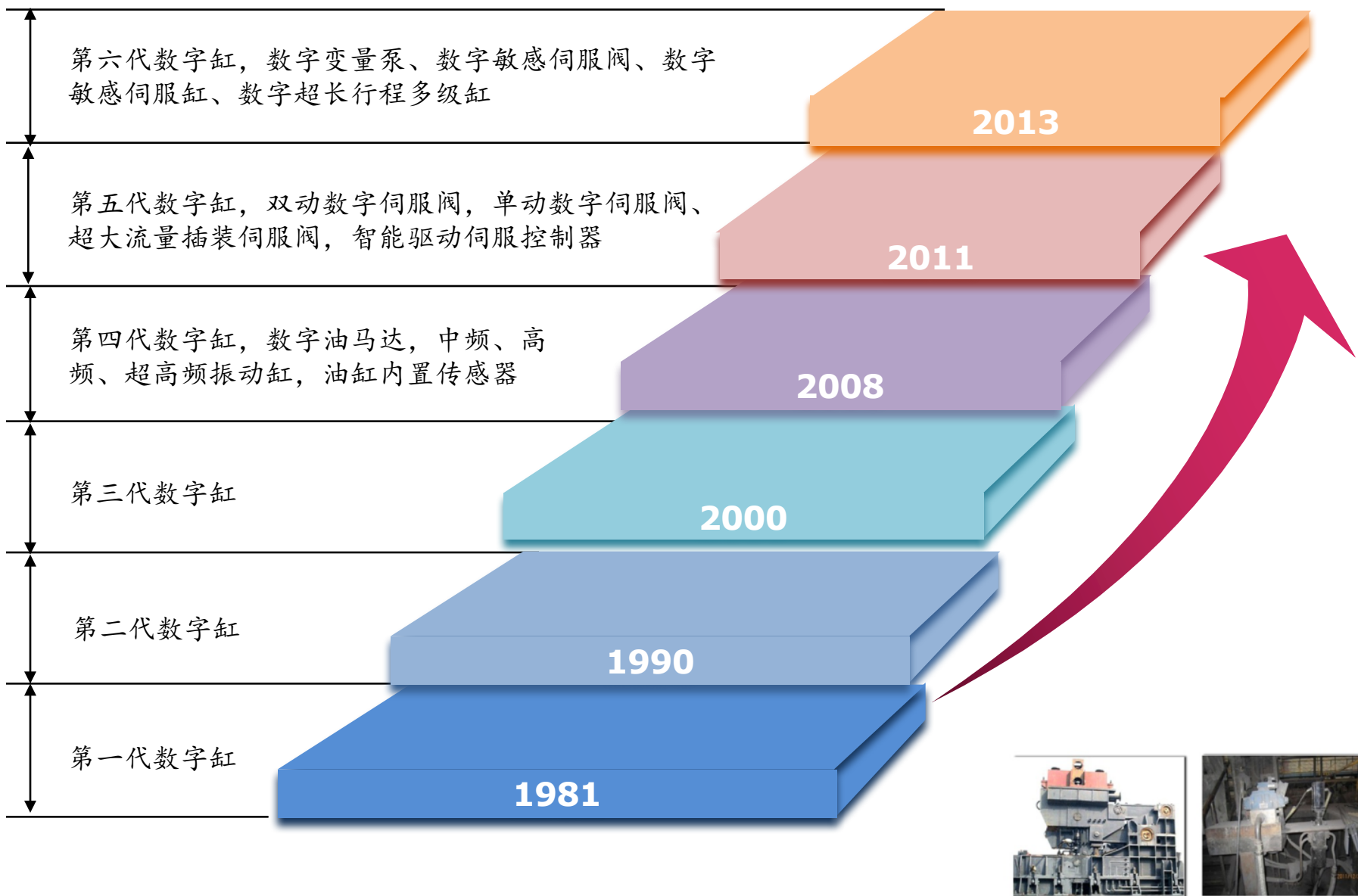
可直接与电脑、现场总线或网络系统联接，实现功率可编程输出，也可以适应负载敏感、恒功率等工况需要，是实现液压高效节能运作最优秀的数字液压器件。

数字液压是实现装备数字化、信息化，进而推动实现智能化的核心共性技术。它是工业4.0和“中国制造2025”实现的基础保证。





# 数字液压缸





# 结晶器强振动

结晶器振动的作用有如下两点：

①防止铸坯在凝固过程中与结晶器铜壁发生粘结而出现坯壳拉裂或漏钢事故。

②减小拉坯阻力及改善铸坯表面质量。





# 结晶器振动方式的发展过程

大致分为四个时期：

## ①同步振动

结晶器向下振动时，其速度与其拉坯速度相等。

**优点：**结晶器能实现与拉坯速度同步运动，对铸坯有利。

**缺点：**振动机构必须与拉坯速度实行严格的同步联锁，当结晶器由往下振动转为往上运动的转折处加速度过大，机构中会产生相当大的冲击，因此，现已不再采用。





# 结晶器振动方式的发展过程

## ② 负滑动振动

负滑动振动是指当结晶器往下振动时，其速度大于拉坯速度，形成负滑动。

负滑动振动的特点是：结晶器先以比拉速稍高的速度下降一段时间出现负滑动或负滑脱。然后再以较高的速度上升，克服了同步振动时产生较大加速度的缺点。结晶器在下降或上升过程中都有一段稳定运动时间，有利于坯壳的生成和裂纹的愈合。



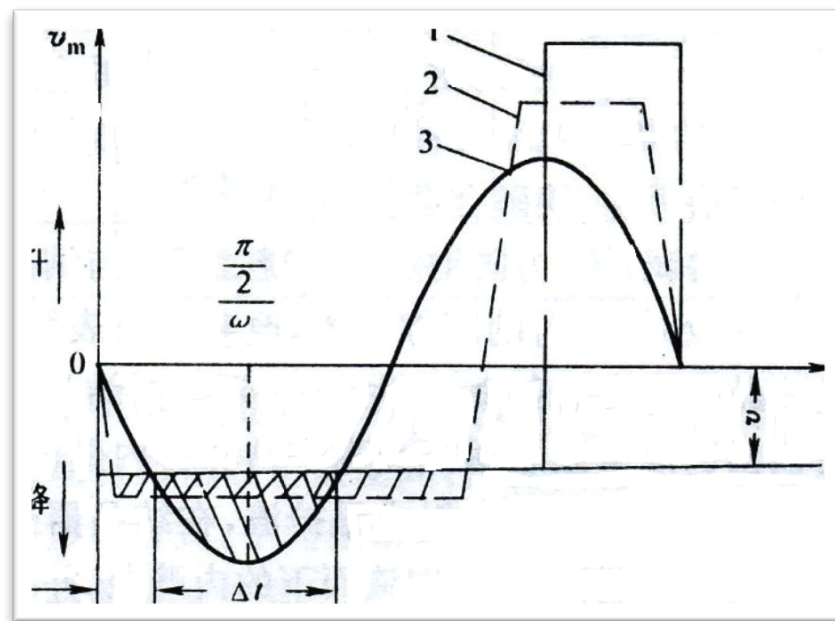


# 结晶器振动方式的发展过程

## ③正弦振动

结晶器振动时的运动速度随时间的变化呈一条正弦曲线。其特点是：结晶器在整个振动过程中速度一直是变化的，即铸坯与结晶器时刻都存在相对运动。

由于结晶器的运动速度是按正弦规律变化的，加速度必然按余弦规律变化，所以过度比较平稳，冲击力也较小。



1—同步式振动    2—负滑脱振动

3—正弦振动

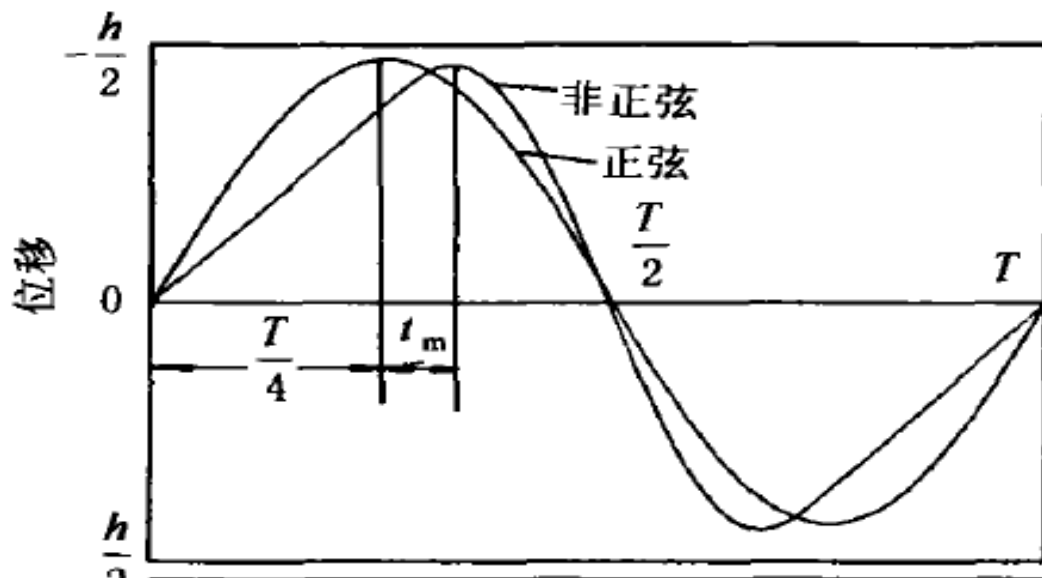




# 结晶器振动方式的发展过程

## ④非正弦振动

非正弦振动的最大特点是上升时间比下降时间长，因而加大了保护渣的消耗量，使结晶器弯月面附近的液体摩擦力减少，可以得到表面质量优异的铸坯，能满足连铸生产的要求。





# 非正弦振动几种波形函数的构造

目前有几种非正弦振动波形函数均有各自特点：

- 锯齿三角波形
- 德马克公司波形
- 分段函数波形
- 多谐相变波形

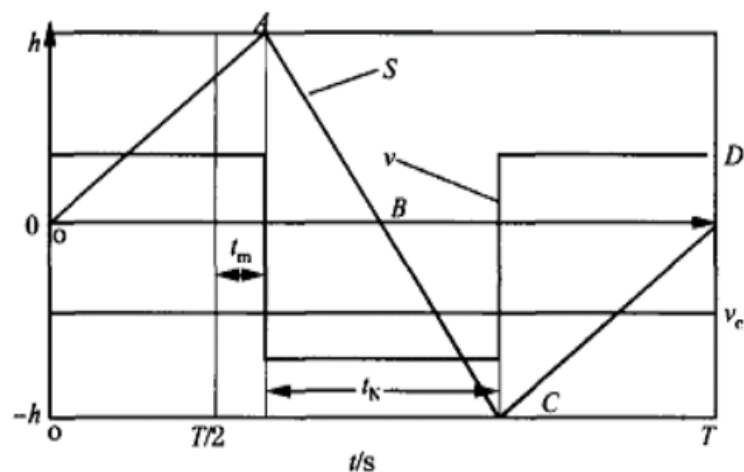




# 非正弦振动几种波形函数的构造

## ① 锯齿三角波形

三角形一非正弦振动波形，其振动参数的分析如右图所示。其位移曲线为三角形波，速度曲线为矩形。从右图看三角形波连续的速度曲线将导致机构的“刚性冲击”。所以这种非正弦振动波形的动力学特性差，对机构不利，更不适合于高频振动。





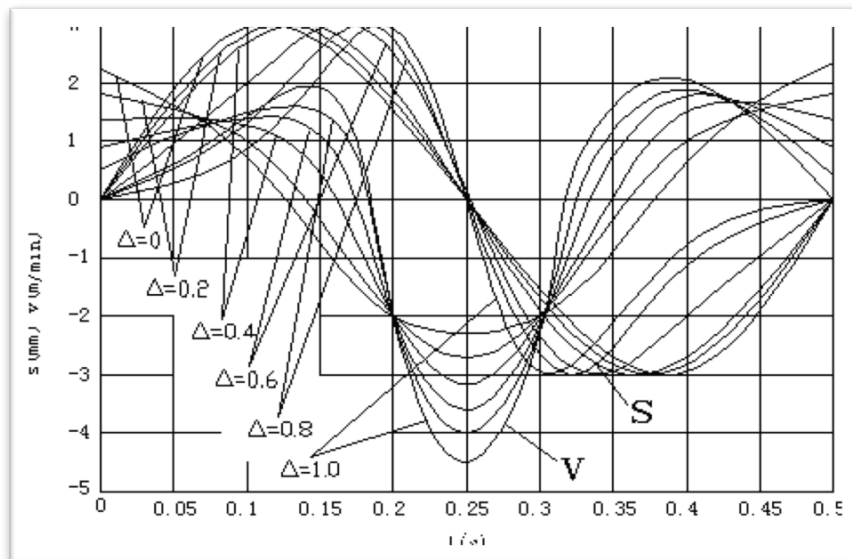
# 非正弦振动几种波形函数的构造

## ② 德马克公司的非正弦振动

位移波形曲线函数： $S=h\sin(\omega t-\Delta\sin\omega t)$ ；

速度波形曲线函数： $V=\omega h(1-\Delta\cos\omega t)\cos(\omega t-\Delta\sin\omega t)$ ；

$\Delta$ 为波形偏斜因子、 $\omega$ 为振动角频率、 $h$ 为振幅。由波形曲线下图可知：结晶器上振速度 $V$ 的变化范围大，最大上振速度 $V_{\max}$ 大，正滑脱在 $V_{\max}$ 时间段，结晶器对坯壳的摩擦阻力 $F$ 大，不利于减少拉裂、拉漏的现象。

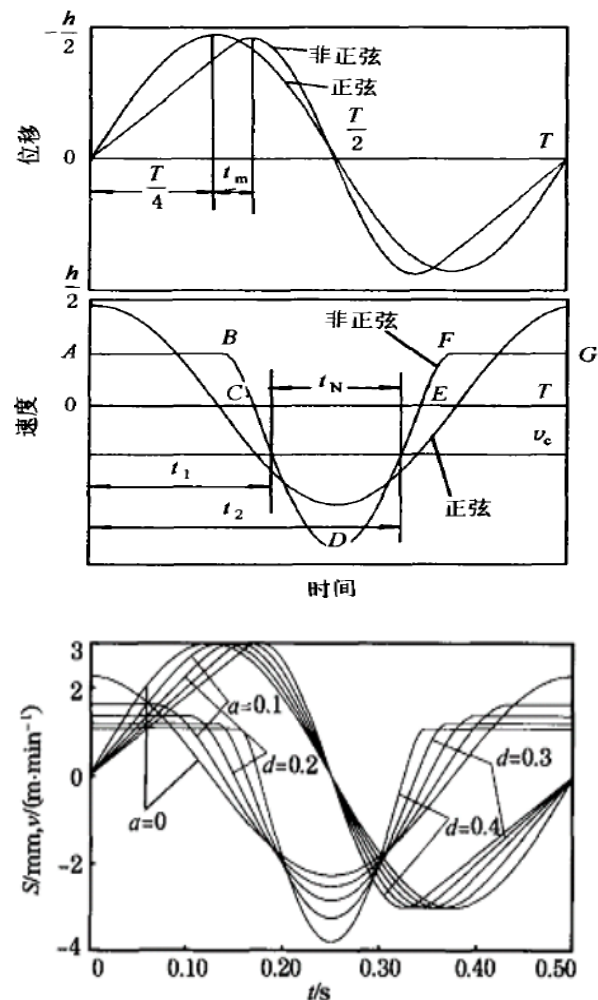




# 非正弦振动几种波形函数的构造

## ③ 分段函数法

把非正弦振动视为正弦振动的演变，其相对正弦振动的改变用分段波形偏斜率系数  $a = 4t_m/T$  表示，右图中非正弦振动的速度曲线设定由水平直线段AB、余弦曲线段BC、正弦曲线段CDE 及EF、水平直线段FG 光滑连接（连接点处具有公切线）而成。非正弦振动位移、速度波形如图所示。可以看出  $a$  越大，非正弦振动波形越偏离正弦振动波形；



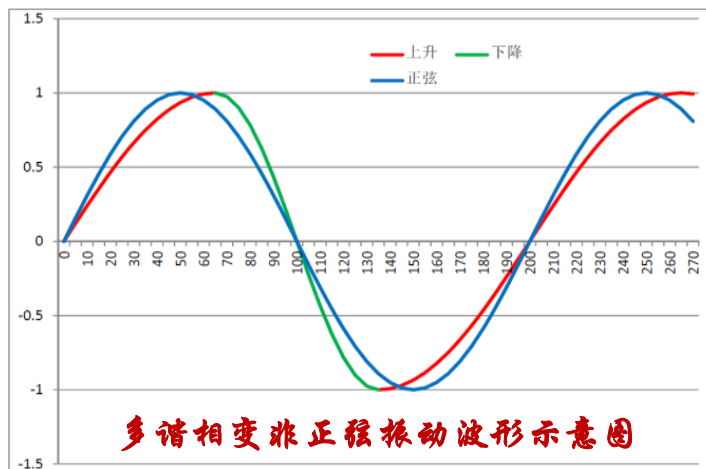


# 非正弦振动几种波形函数的构造

## ④多谐相变波形

基于德马克公司波形函数的优缺点，我公司采用了优化的多谐相变函数，结晶器振动系统的非正弦振动优化函数，最终满足以下要求：

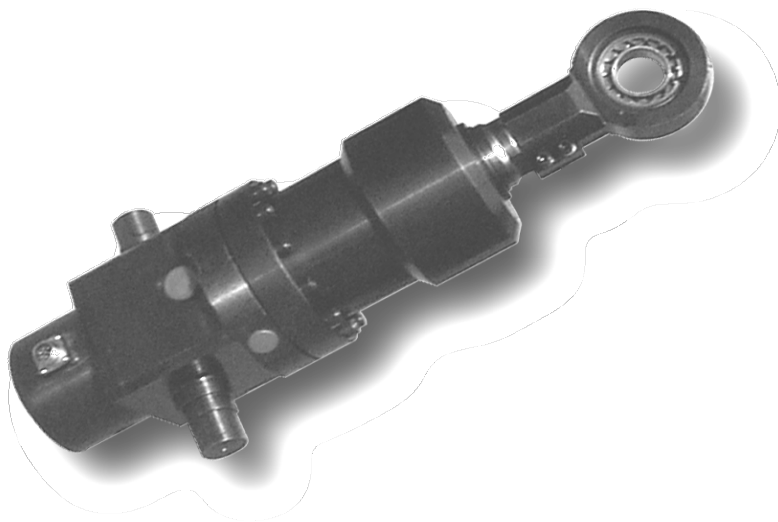
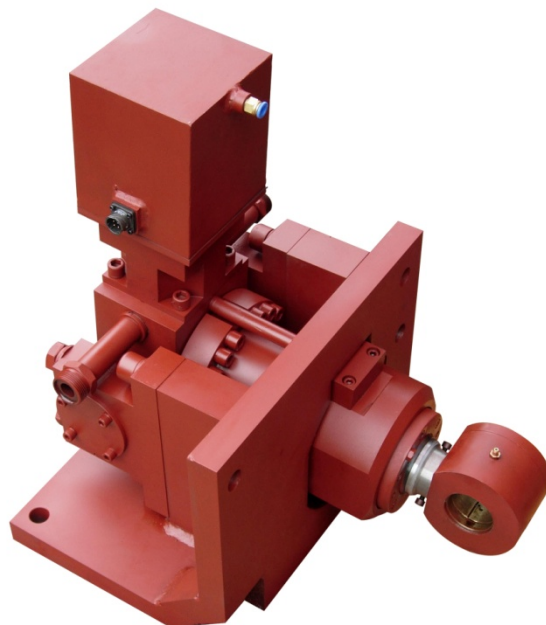
连铸工艺要求结晶器振动的上行速度 $V$ 小（降低结晶器与坯壳之间的摩擦），上行时间 $t_p$ 大（增加保护渣的消耗量 $Q$ ，改善润滑效果），较大的下行速度 $V_N$ 和必要的负滑脱时间 $t_N$ （减小结晶器在下行程时作用在坯壳面的拉力），以及较小的系统加速度 $a$ （降低系统受到的冲击保持系统稳定）。





# 数字液压振动控制系统基本性能

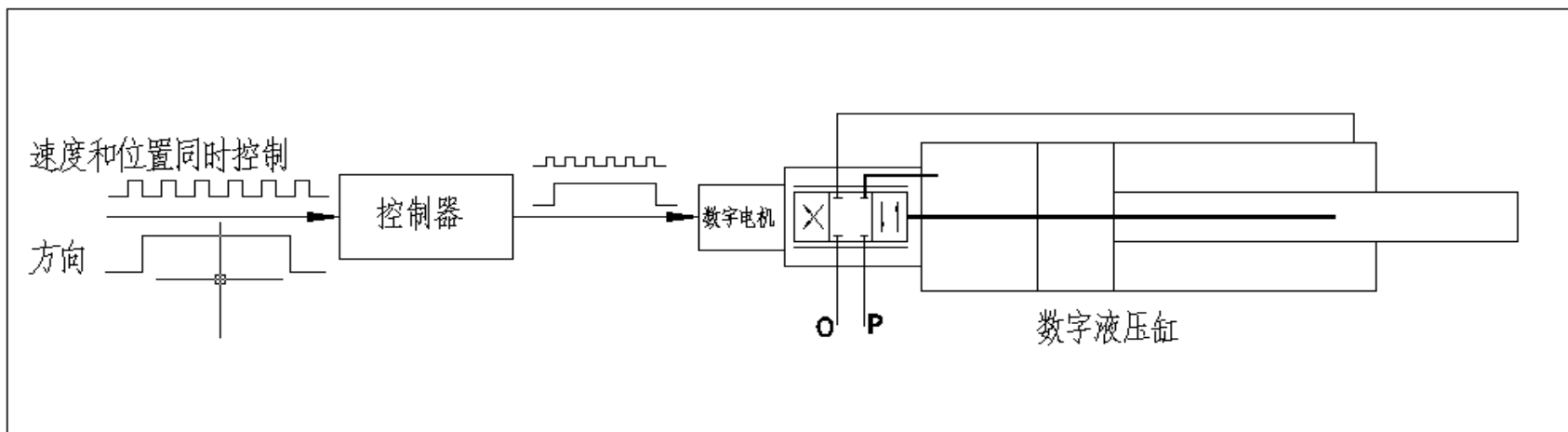
|      |                         |
|------|-------------------------|
| 振动频率 | 0-400C/min, 在线可以调节      |
| 振动幅度 | 0 - 20毫米, 在线可以调节        |
| 偏斜率  | 0-50%在线可以调节             |
| 振动波形 | 正弦波、非正弦波、三角波、梯形波等在线可以选择 |
| 使用压力 | 21MPa                   |
| 油液精度 | 9-11级                   |





# 数字液压振动控制工作原理

**工作原理：**在油缸尾部有一个小型步进电机（或者伺服电机）我们只要控制电机的转速即控制了振频繁，每转一圈，振动一次，如果我们要改变振幅，只需控制步进电机的转角即可，如果要实现非正弦振动只需控制步进电机正反的速度即可。

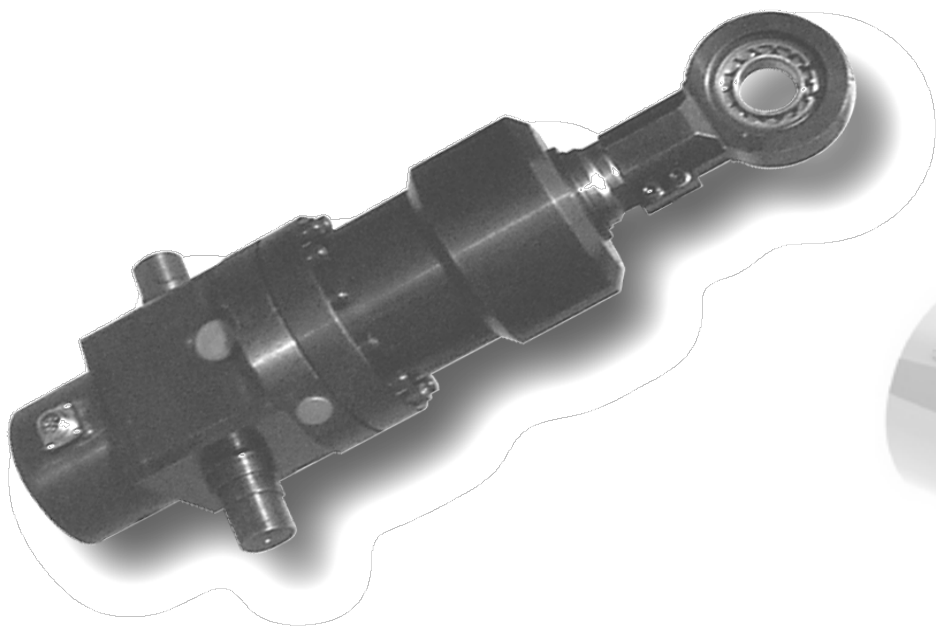


数字缸的控制原理图

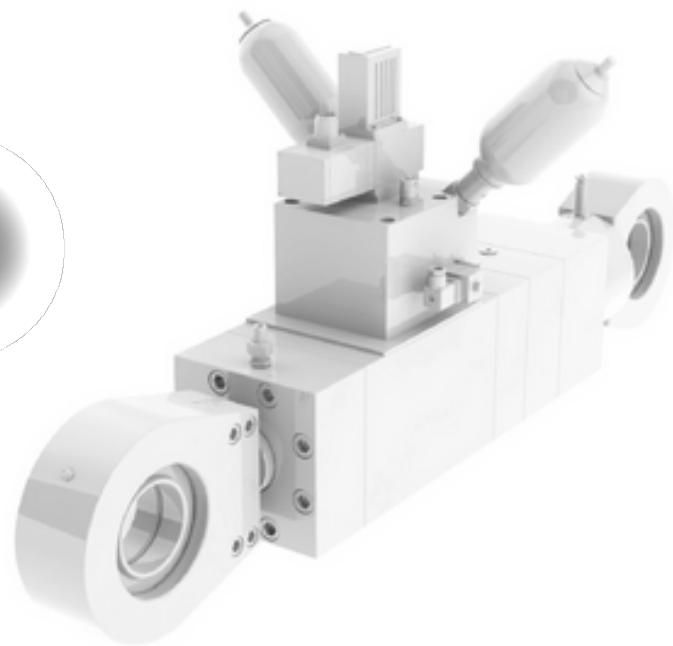
开环控制+自动闭环反馈调节，无需任何人工干预



# 数字液压缸工作原理



全功能数字缸



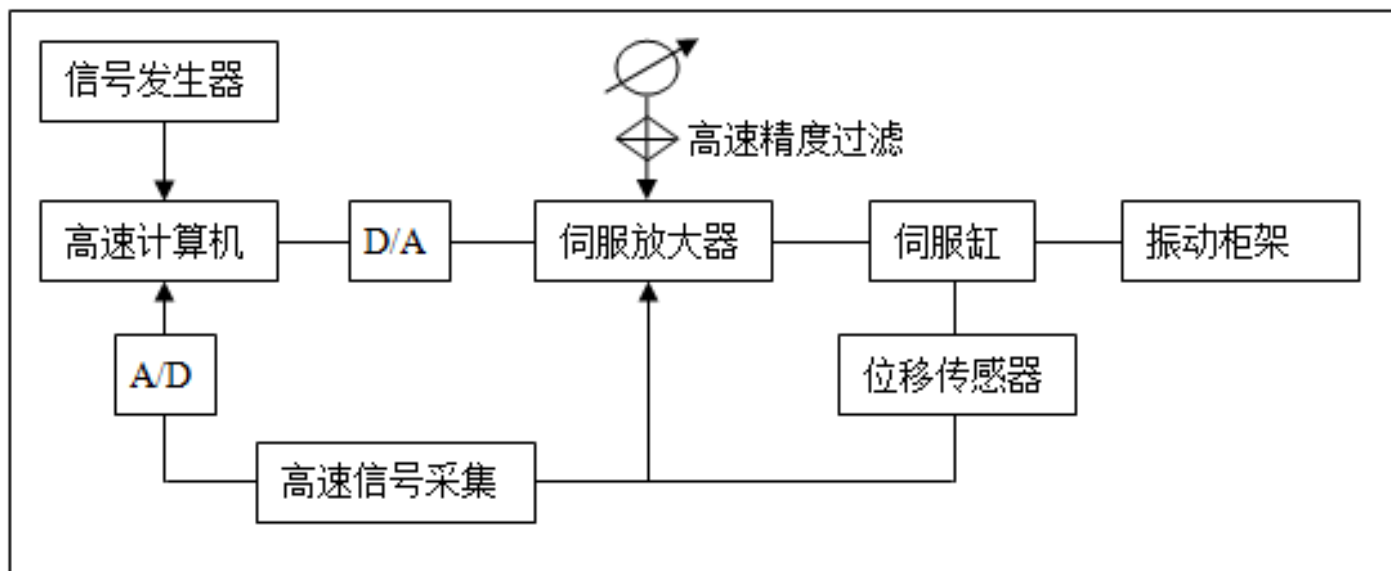
美国MOOG的电液伺服缸





# 伺服液压系统控制

到目前为止，国内外所有的液压振动系统，采用液压伺服的方法，这种伺服油缸采用进口的内置式磁滞位移传感器、高速信号采集模块、高性能的专用处理器和信号发生器，配上高水平的伺服阀、伺服放大器、高精度过滤器，高水平的控制软件和抗干扰信号传输A/D转换D/A转换等等一系列优化组合，再加上十分有经验的现场调试和现场精心维护，才有可能使用成功。



# 伺服液压系统优缺点

**优点：**易于实现非正弦振动方式、响应快速、振动精度高且参数在线可调等；

**缺点：**伺服阀内部细小的射流孔极易磨损。

伺服阀随温度和混入油中的空气含量而变，当温度变化时对系统性能有显著影响。

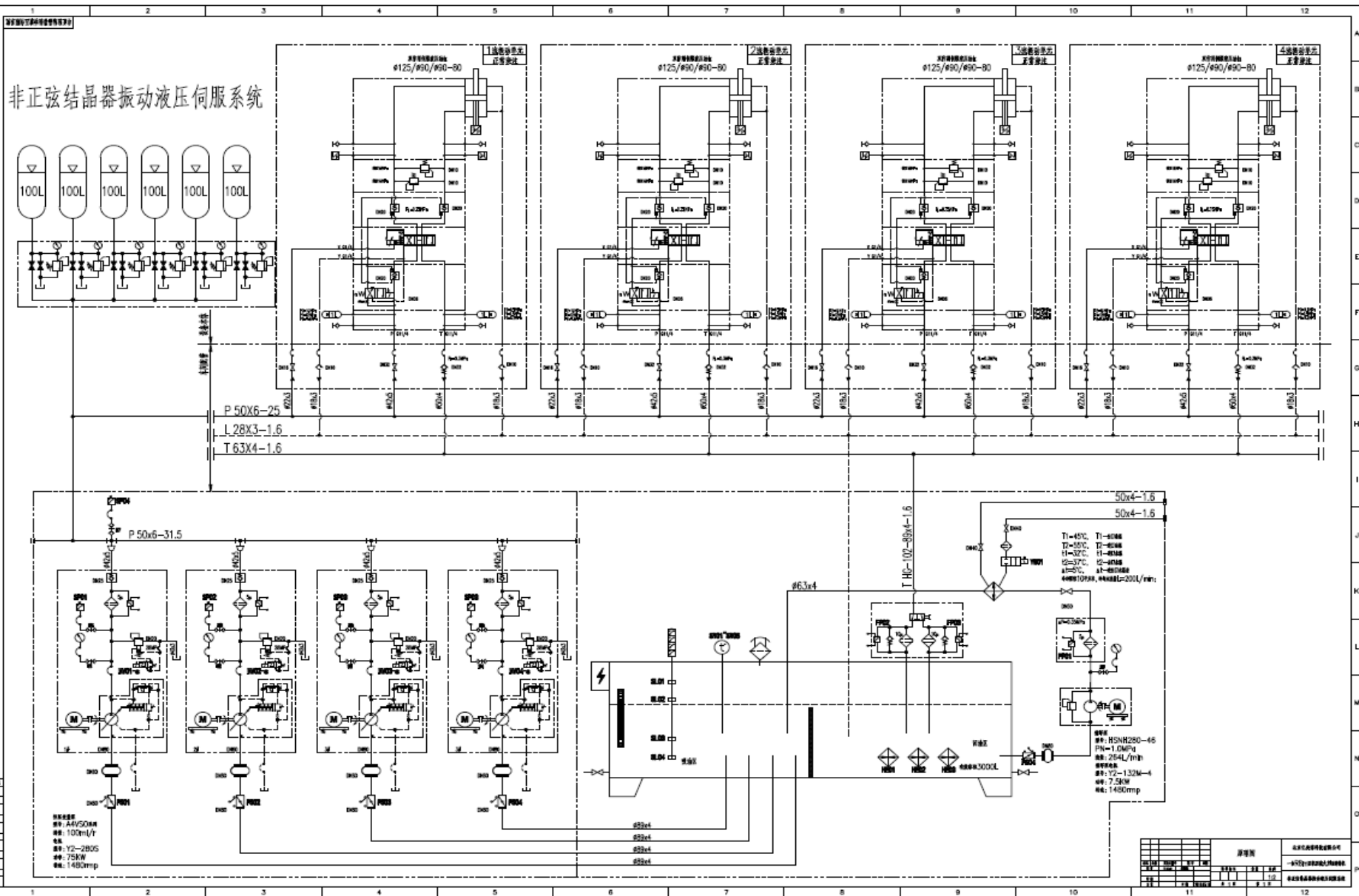
伺服控制器控制系统繁琐。每1路设有开环增益调整、反馈增益调整、零位调整和输入与反馈相位调整，伺服阀的温飘、零点漂移、系统易振荡等等不稳定因素，长期使用须调整系统参数。

伺服液压系统清洁度要求较高。



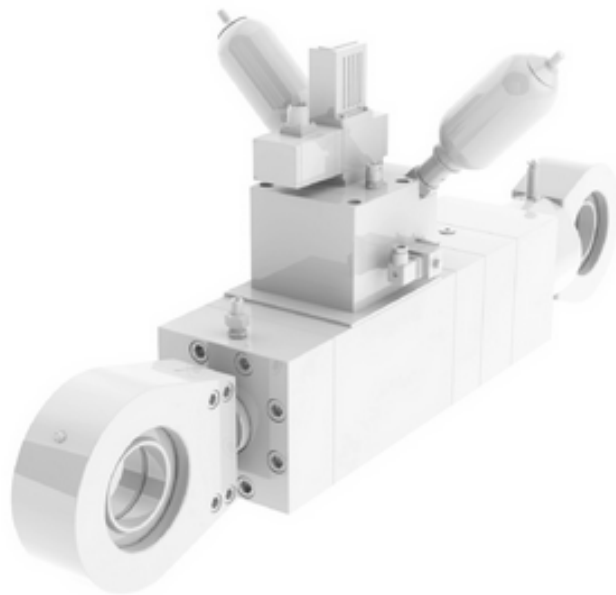
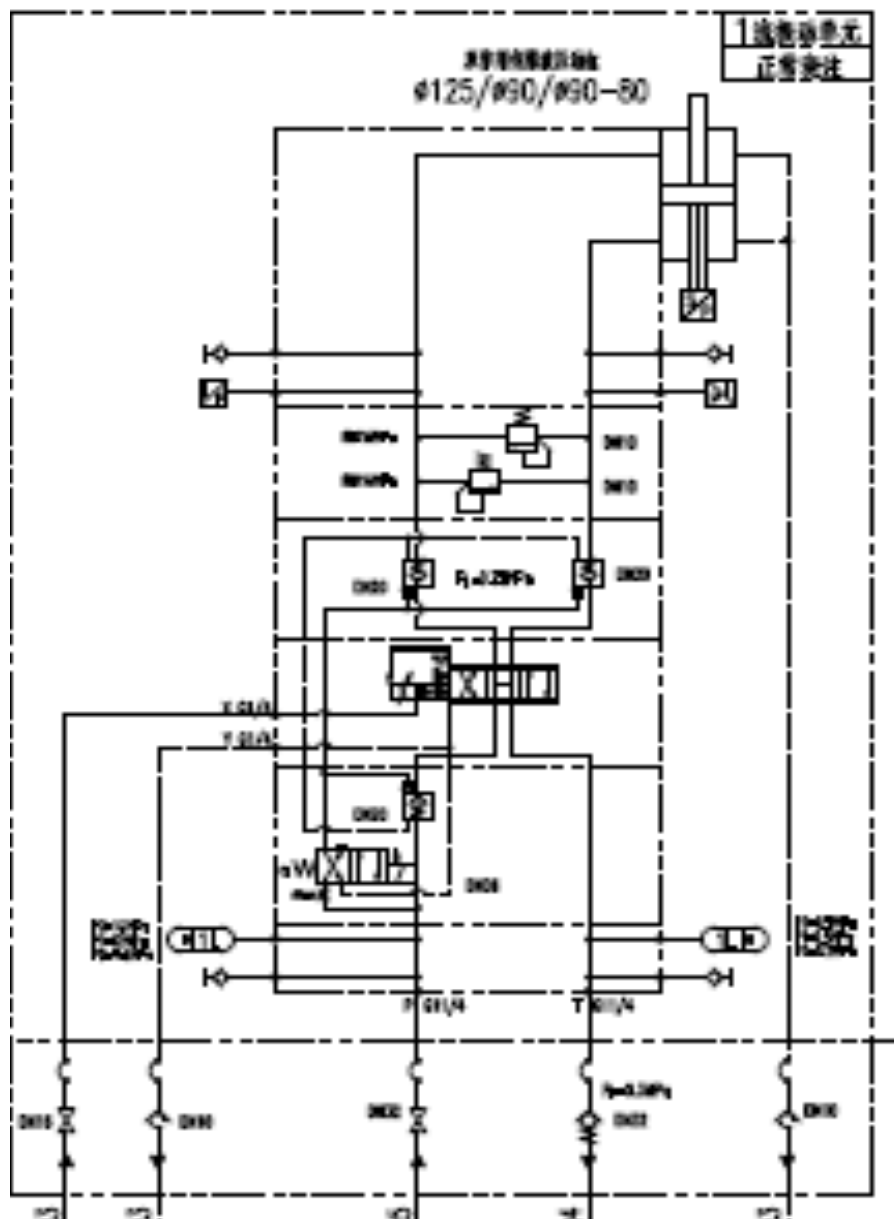
# 非正弦结晶器振动液压伺服系统

非正弦结晶器振动液压伺服系统





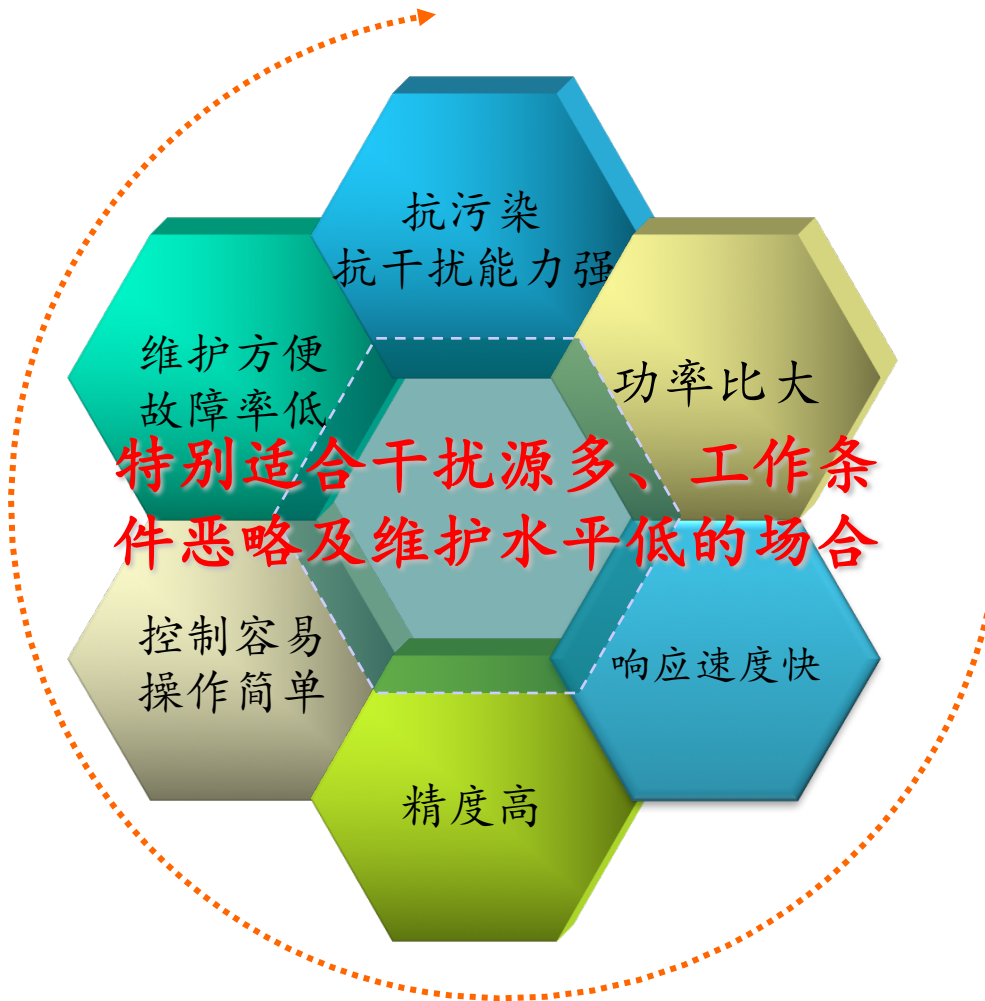
# 非正弦结晶器振动液压伺服系统







# 数字液压系统优势



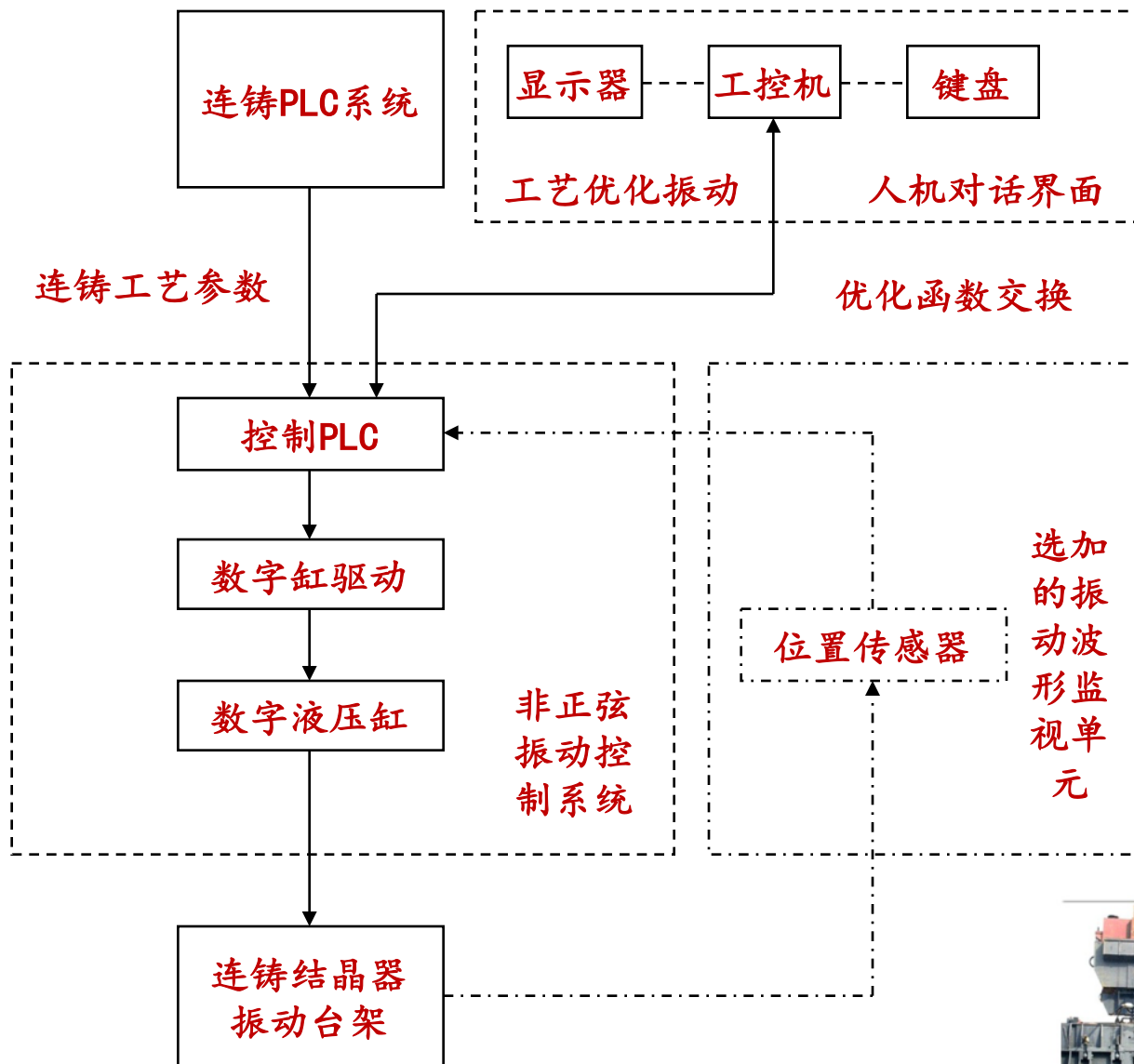
数字液压还便于实现智能控制、远程控制、联网控制、无人控制，为重型装备实现智能化、信息化提供了充分的保障。

中国现代化有了数字液压将大大提速。





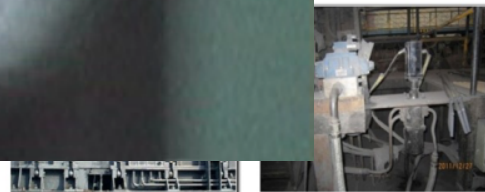
# 非正弦结晶器振动数字液压电气系统





# 案例应用

该系统已经在抚顺特钢、兆顺钢铁、南钢电炉、天津大无缝、莱芜钢铁公司等使用获得成功。



# 案例应用

## 南钢电炉结晶器非正弦振动



# 总 结

该系统十分简单，无需任何其它液压伺服元件，采用现有连铸机液压系统油源，且对油源没有特殊要求，调试极为方便，几乎可以作到即装即用，可以满足板、方坯铸机的使用要求。





# Thanks

---

北京亿美博科技有限公司 / 天津亿美博数字装备科技有限公司

[www.aemetec.com](http://www.aemetec.com)