



# 信念蕴含能量 青春绽放光芒



申请人：燕山大学-张琳

报考专业：控制工程

申请导师：汪首坤 教授

2023年6月

# 目录

---

**一、个人基本信息**

**二、硕士科研工作**

**三、博士研究规划**

# 目录

---

**一、个人基本信息**

二、硕士科研工作

三、博士研究规划

# 一、个人基本信息

4/28

姓 名：张琳

出生年月：1998年6月

政治面貌：中共党员

籍 贯：河北省邢台市南宫市



学习经历：2020.9—至今、燕山大学机械工程学院材料工程（机械），硕士

2016.9—2020.6，燕山大学机械工程学院机电控制工程，学士

研究方向：**电液伺服系统运动控制方向（孔祥东教授团队）**

主修课程：现代伺服控制技术、控制工程理论及技术、液压伺服与比例控制系统

# 一、个人基本信息

## 学业成绩:

- 本科期间，综合绩点2.928/4.5，综合测评排名38/116，获“三等奖学金”5次。
- 研究生期间，总成绩绩点3.40/4.5，学位课平均成绩86分，综合测评排名2/42，获“国家奖学金”1次，“一等奖学金”1次，“三等奖学金”2次。

**燕山大学学业成绩单**

学院: 机械工程学院      专业: 机械设计制造及其自动化      班级: 机电控制16-3      学号: 16010101413      姓名: 张琳  
 学位证书号:      学位证号:      授予学位类别: 工学学士学位

课程名称	性质	学分	成绩	类别	课程名称	性质	学分	成绩	类别	课程名称	性质	学分	成绩	类别
2016-2017学年 第1学期														
※高等数学A I	公必	5.0	B	正考	大学物理II	公必	3.0	B+	正考	物理实验A II	公必	1.5	B+	正考
工程化学	公必	2.0	B+	正考	复变函数C	专基	1.5	A	正考	形势与政策 II	公必	0.5	B+	正考
国防教育与军事训练	公必	2.0	B+	正考	概率论与数理统计B	公必	3.0	B	正考	2018-2019学年 第1学期				
画法几何A	专基	1.5	C+	正考	金工实习A	专基	5.0	B+	正考	传热学(三级项目)	专基	2.0	B+	正考
机械工程导论	专基	1.0	C+	正考	※理论力学B	专基	4.0	C+	正考	电子工艺实习B	专基	1.0	B+	正考
计算思维导论	公必	2.0	C	正考	数学建模	公选	2.0	B+	正考	电子技术A	专基	3.0	C+	正考
思想道德修养与法律基础A	公必	2.0	C+	正考	※体育III	公必	0.6	B+	正考	互换性原理与测量技术B	专基	1.5	C+	正考
思想道德修养与法律基础社会实践	公必	1.0	B+	正考	外语AIII	公必	3.0	C+	正考	机械拆装实验(三级项目)	专基	1.0	A	正考
※体育I	公必	0.4	B	正考	物理实验A I	公必	2.0	B+	正考	※机械设计A	专基	4.0	C+	正考
※体育I	公必	0.6	B+	正考	中国近现代史纲要A	公必	2.0	B+	正考	机械设计课程设计A(二级项目)	专基	4.0	B+	正考
外语A I	公必	3.5	C+	正考	中国近现代史纲要社会实践	公必	1.0	B+	正考	控制工程基础(三级项目)	专基	2.5	B	正考
职业生涯规划与就业指导 I	专选	0.25	A	正考	2017-2018学年 第2学期					※毛泽东思想和中国特色社会主义理论体系概论II	公必	2.0	C	正考
2016-2017学年 第2学期														
大学生公民素质教育(网络课程)	公选	1.0	B	正考	《老子》《论语》今读(网络课程)	公选	2.0	B+	正考	形势与政策III	公必	0.25	C+	正考
大学物理I	公必	3.0	B	正考	※材料力学B	专基	4.5	C+	正考	液压流体力学(三级项目)	限选	2.5	B	正考
※高等数学II	公必	6.0	D+	正考	创新、发明与专利实务(网络课程)	公选	1.5	B+	正考	2018-2019学年 第2学期				
管理心理学	公选	1.0	D+	正考	创业与经营实训	公必	1.0	A	正考	测试技术(三级项目)	专基	2.0	B+	正考
※机械制图A(三级项目)	专基	4.0	B+	正考	创业与企业管理(三级项目)	公必	1.5	A	正考	大学生恋爱与性健康(网络课程)	公选	1.5	C+	正考
计算机技术基础A	公必	2.5	C+	正考	※电工技术A	专基	3.0	C	正考	人生与人生(网络课程)	公选	1.0	A+	正考
马克思主义基本原理B	公必	2.0	B	正考	工程材料B	专基	2.0	C	正考	生产实训B	专基	3.0	B+	正考
马克思主义基本原理社会实践	公必	1.0	B+	正考	※机械原理A	专基	4.0	B	正考	※体育IV	公必	0.4	B	正考
※体育II	公必	0.4	B	正考	机械原理课程设计(三级项目)	专基	1.0	A	正考	微机原理及应用(三级项目)	专基	2.5	A	正考
※体育II	公必	0.6	B	正考	计算机辅助设计(三级项目)	专基	1.5	B	正考	系列专题讲座	专选	1.0	B+	正考
外语A II	公必	3.5	B	正考	金属工艺及机械基础(三级项目)	专基	3.0	B	正考	形势与政策IV	公必	0.25	B	正考
线性代数B	公必	2.0	C+	正考	※毛泽东思想和中国特色社会主义理论体系概论I	公必	1.0	B+	正考	※液压传动系统(三级项目)	限选	2.5	A	正考
形势与政策 I	公必	0.5	A	正考	※毛泽东思想和中国特色社会主义理论体系概论I	公必	2.0	B	正考	※液压伺服与比例控制系统(三级项目)	限选	3.0	B	正考
2017-2018学年 第1学期														
毕业设计(论文)题目	5000kN粉末成型液压机系统设计				毕业设计成绩:	B+				毕业设计学分	17			
必修课程总学分	177.5				选修课程总学分	16				学位课总学分	50.5			
英语四级														

注: ※表示学位课      教务处(盖章)      打印日期: 2021-12-20      第1页, 共2页

**燕山大学硕士研究生成绩单**

学号: 202022010404      姓名: 张琳      性别: 男      出生日期: 1998-06-20  
 学院: 机械工程学院      学科(类别): 材料工程(机械)

入学日期	2020-09-01	毕业日期	导师姓名		成绩
类别	课程名称	学时	学分	选修学期	备注
学位课	矩阵分析	32	2.0	1	91
	数值统计	32	2.0	1	83
	工程伦理	32	2.0	1	88
	第一外语(英)	48	2.0	1	81
	中国特色社会主义理论与实践研究	36	2.0	1	97
	机械力学	32	2.0	1	76
	应用弹性力学	32	2.0	1	84
	先进制造技术	24	1.5	1	87
	控制工程理论及技术	24	1.5	1	85
	文献检索	16	1.0	1	93
非学位课	自然辩证法概论	18	1.0	1	88
	“习近平新时代中国特色社会主义思想”研读	20	1.0	2	89
	实验室安全培训	2	0.2	1	95
	研究生论文写作指导	10	0.5	1	90
	现代流体力学II	16	1.0	1	95
	现代伺服控制技术II	16	1.0	1	90
	心理健康教育专题	4	0.1	1	合格
	科学道德与学风建设专题	2	0.1	1	80
	创新创业指导专题	2	0.1	3	90
	其他培养环节				
总学分	23.0	学位课总学分	17.0	学位课平均成绩	86



# 一、个人基本信息

6/28

## 论文成果：

发表SCI论文4篇，会议论文1篇，在审论文2篇，其中第一学生作者发表一区Top1篇。

论文	期刊类型	作者排名	状态
<b>A review of energy storage technologies in hydraulic wind turbines</b>	SCI (一区Top、IF=11.53)	2/8 (第一学生作者)	见刊
Bivariate active power control of energy storage hydraulic wind turbine	SCI (二区、IF=8.907)	3/7 (第三学生作者)	见刊
Research on a Power Smoothing Control Strategy for Energy Storage Hydraulic Wind Turbines	SCI (三区、IF=4.035)	3/5 (第三学生作者)	见刊
A novel collaborative control algorithm for MPPT of wind energy hydraulic conversion system	SCI (三区、IF=3.71)	3/7 (第二学生作者)	录用
First-Order Sensitivity Analysis of Hydraulic Wind Turbine Control System	会议论文	2/8 (第二学生作者)	见刊
<b>水平轴风力机气动转矩模型优化研究</b>	EI	1/8 (第一学生作者)	在审
Adaptive Frequency Modulation Control Study of Hydraulic Wind Turbine with Hydraulic Energy Storage	SCI (一区Top、IF=8.63)	4/8 (第四学生作者)	在审

# 一、个人基本信息

## 专利成果:

授权知识产权13项，以第一学生作者授权发明1项、实用新型2项，软件著作权5项。

专利成果	专利类型	作者排名	状态
一种液压型风力发电机高电压穿越控制系统方法	发明专利	2/6 (第一学生作者)	授权
一种新型气动爬行机器人	实用新型专利	2/6 (第一学生作者)	授权
一种高精度非接触式多点测厚仪	实用新型专利	2/6 (第一学生作者)	授权
液压型风力发电机组并网转速控制软件	软件著作权	2/7 (第一学生作者)	登记
大型水平轴风力机特性分析软件	软件著作权	2/6 (第一学生作者)	登记
储能式液压型风力发电机组功率控制仿真软件	软件著作权	4/7 (第一学生作者)	登记
低阶系统时域频域快速分析软件	软件著作权	2/6 (第一学生作者)	登记
储能式液压型风电机组并网转速智能控制仿真软件	软件著作权	2/6 (第一学生作者)	登记

# 一、个人基本信息

## 科研竞赛：

作为负责人带领团队参加科研竞赛，共斩获“互联网+”国家级铜奖等**国家级奖项6项**。

获奖竞赛	获奖等级	作者排名
第七届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛高教主赛道	国家级铜奖	2/11
TRIZ杯第九届中国大学生创新创业方法大赛	国家级二等奖	1/5
第六届“创客中国”新能源中小企业创新创业大赛	国家级二等奖	1/5
第十七届全国“挑战杯”竞赛“黑科技”专项赛	国家级“行星”作品	2/9
第十五届全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛	国家级三等奖	2/7
2021年第五届普译奖全国大学生翻译比赛英译汉组	国家级二等奖	个人奖



# 一、个人基本信息

## 科研竞赛：

带领团队获“挑战杯创业竞赛”河北省一等奖等省级奖项8项、校市级奖项10余项。

获奖竞赛	获奖等级	作者排名
2022年“挑战杯”河北省大学生创业计划竞赛	省级一等奖	1/14
第七届河北省“互联网+”大学生创新创业大赛	省级金奖	2/10
第十届中国（河北）青年创业创新大赛	省级一等奖	1/5
2021年第九届“东升杯”国际创新创业大赛（河北赛区）	省级一等奖	1/11
第二届河北省TRIZ杯大学生创新方法大赛	省级一等奖	1/5
第二届河北省TRIZ杯大学生创新方法大赛	省级二等奖	2/5
“河北建投杯”2022年河北省大学生节能减排社会实践与科技竞赛	省级三等奖	2/7
第二届河北省TRIZ杯大学生创新方法大赛	省级三等奖	4/5



## 个人总结:

- 学业成绩: 硕士期间绩点3.40/4.5, 综合测评排名2/42, 获“国家奖学金”1次
- 论文成果: 发表SCI论文4篇, 会议论文1篇, 其中第一学生作者发表一区Top1篇
- 专利成果: 以第一学生作者授权发明专利1项、实用新型2项, 软件著作权5项
- 学科竞赛: 共斩获国家级奖项6项, 省级奖项8项、校市级奖项10余项

以上的成果即是对我硕士阶段能力的肯定, 也是为我博士阶段提出的更高的要求。

# 目录

---

一、个人基本信息

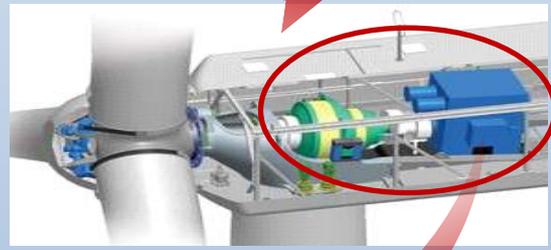
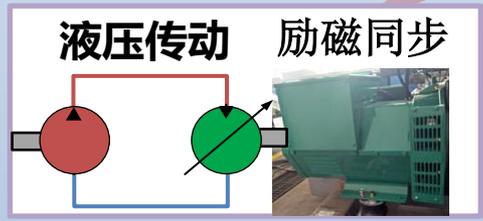
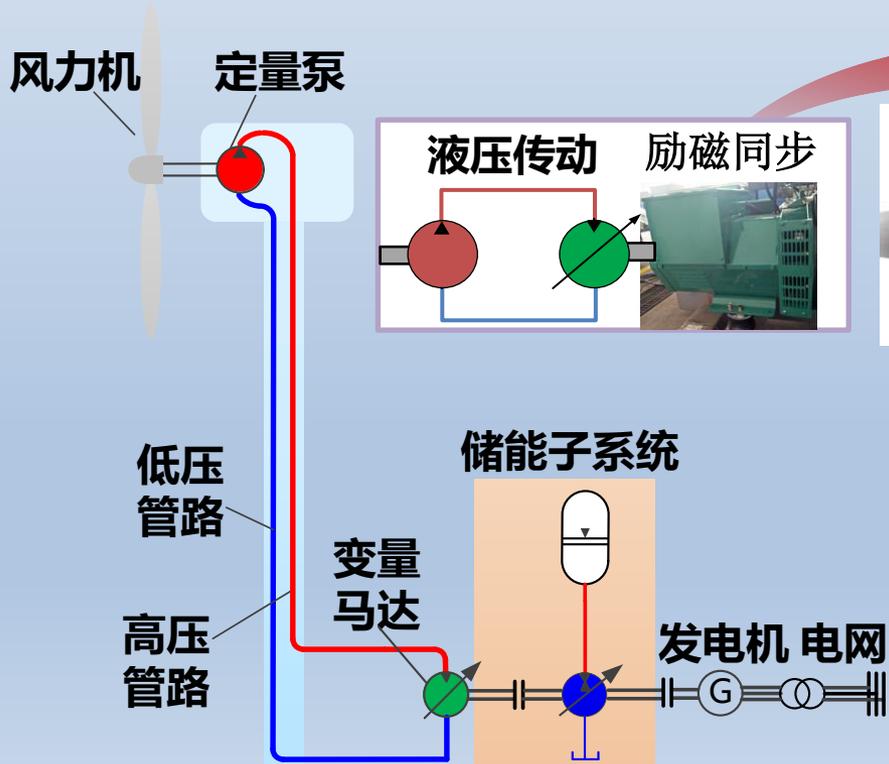
**二、硕士科研工作**

三、博士研究规划

# 二、硕士科研工作

## 课题背景:

机型		重量	寿命
传统机组	空中吊装 运维成本高	功重比小 机舱重量大	刚性传动 寿命较高
液压型机组	落地安装 运维成本低	功重比大 机舱重量轻	柔性传动 寿命高



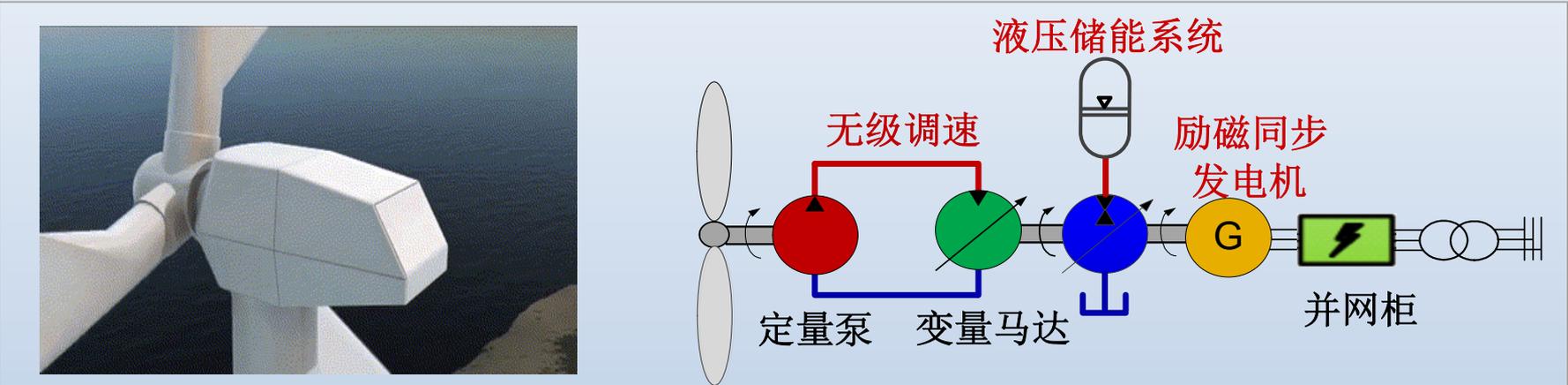
**电能质量高!**

**机舱重量轻!**

**运维成本低!**

**易于大型化!**

## 存在挑战:



### 低速大扭矩液压泵

➤ 能量转换



### 变流器功能

➤ 并网控制

变流器

➤ 故障穿越



## 液压调速系统



## 液压储能系统

### 需要攻克的问题

特性分析：机组明确**风轮特性**

基本功能：机组具备**并网发电**

抵抗干扰：机组匹配**内外扰动**

论文成果：A review of energy storage technologies in hydraulic wind turbines (SCI 发表)

专利成果：一种液压型风力发电机高电压穿越控制系统方法 (发明专利 授权)

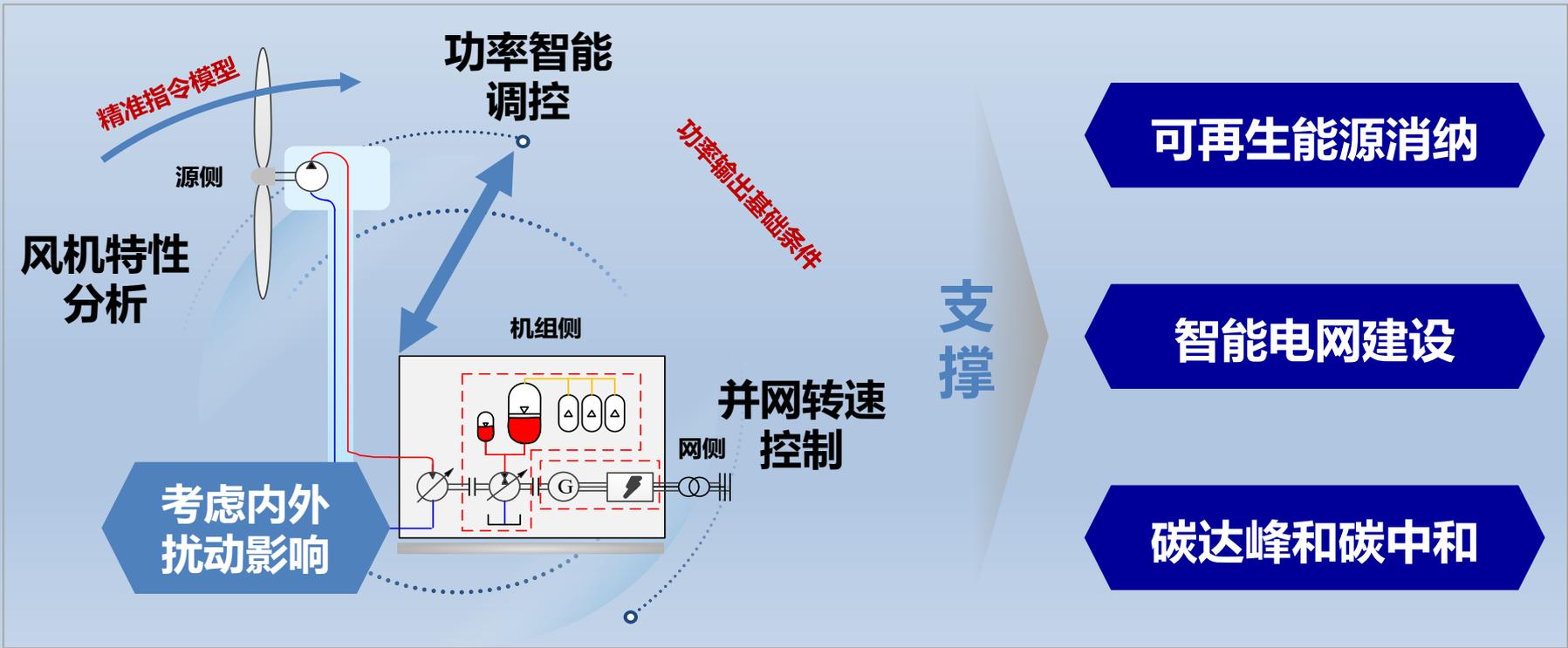
## 研究内容及意义

## 内外扰动下储能式液压型风电机组的有功功率控制问题

风力机叶片  
流固耦合特性分析

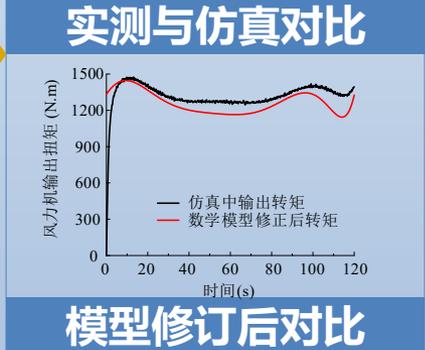
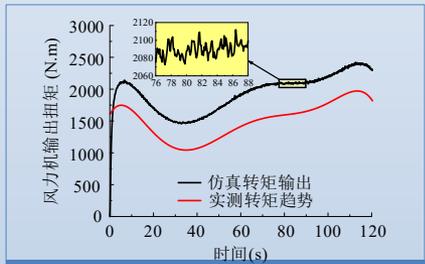
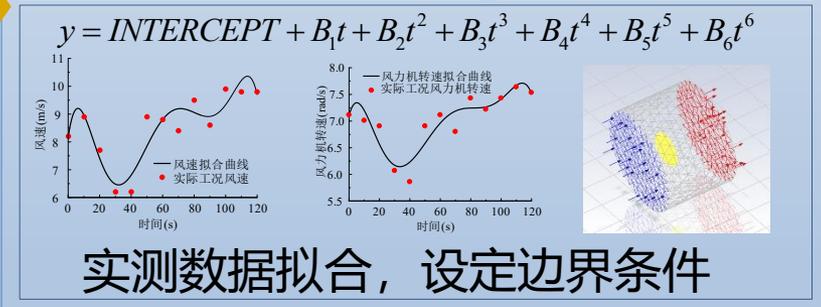
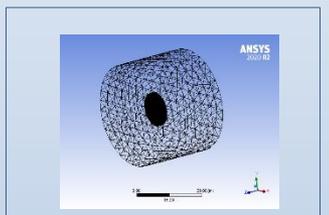
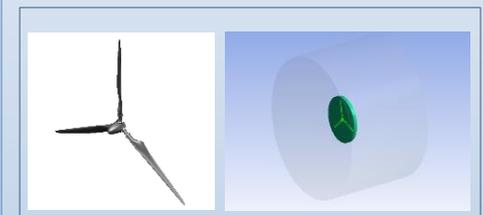
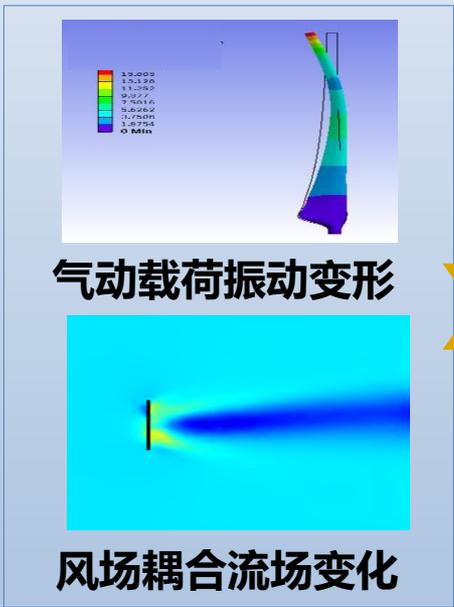
模糊自适应PID  
并网转速控制研究

RBF神经网络滑模  
有功功率控制研究



## 课题研究点一：风力机叶片流固耦合特性分析

分析叶片材质、风速与风力机输出转矩的耦合作用对风力机运行特性的影响，明确风力机气动转矩模型，**为风电机组有功功率控制提供精准指令模型。**



- 中小型风力机叶片受材质不同而产生的形变在控制时可忽略。
- 输出转矩受风影响存在较大波动和抖颤，修正后的风力机转矩误差为5.60%。

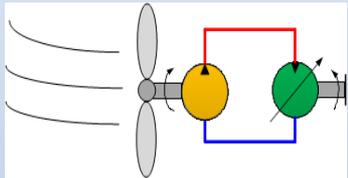
论文成果：水平轴风力机气动转矩模型优化研究（EI 在投）

软著成果：大型水平轴风力机特性分析软件（已登记）

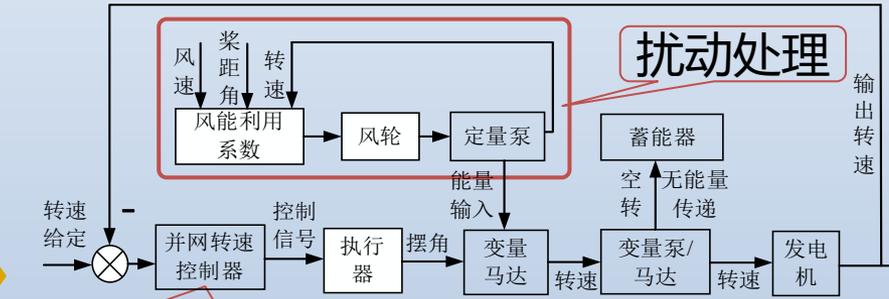
# 二、硕士科研工作

## 课题研究点二：模糊自适应PID并网转速控制研究

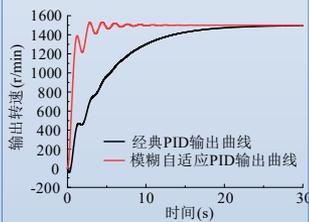
对系统模型简化和稳定性分析，确定PID控制参数范围，提出模糊控制对PID进行在线主动调参，**为后续实现机组有功功率控制提供了基础条件。**



**风速变化 非线性**



**扰动处理**

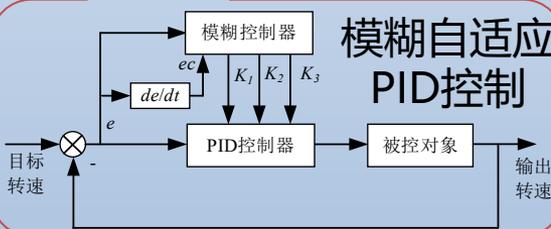


**主动控制效果**

**1 波形相同**    **2 相序相同**

**3 频率相同**    **4 幅值相同**    **5 相位相同**

**严苛的并网要求**

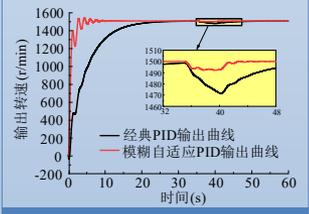


**模糊自适应PID控制**

**小信号线性化**

$$\gamma \cdot \dot{\theta}_m = \gamma_0 \dot{\theta}_{m0} + \Delta\gamma \dot{\theta}_{m0} + \gamma_0 \Delta\dot{\theta}_m$$

$$\gamma \cdot P_h = \gamma_0 P_{h0} + \Delta\gamma P_{h0} + \gamma_0 \Delta P_h$$

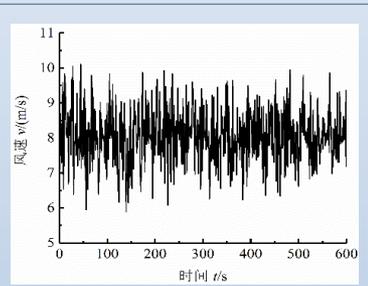


**抵抗干扰效果**

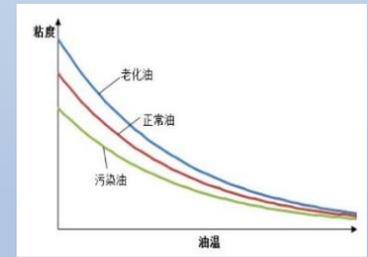
- 模糊自适应PID控制器响应时间比最优参数下传统PID快17.9 s。
- 当有4 m/s的风速突变时，模糊PID控制在响应时间快9.2s，波动转速小21.2r/min。

## 课题研究点三：RBF神经网络滑模有功功率控制研究

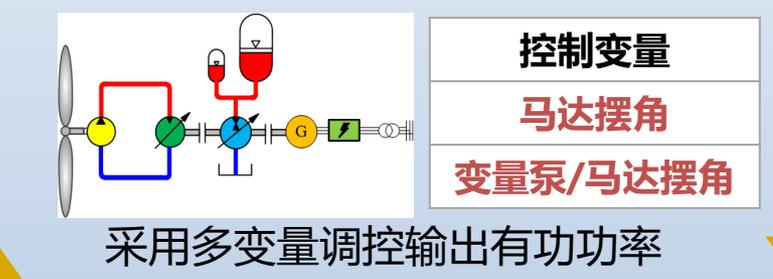
提出滑模控制器和RBF神经网络相结合，对内外扰动自主识别和主动补偿，引入储能子系统协助主传系统进行功率快速精准控制，实现机组有功功率智能控制。



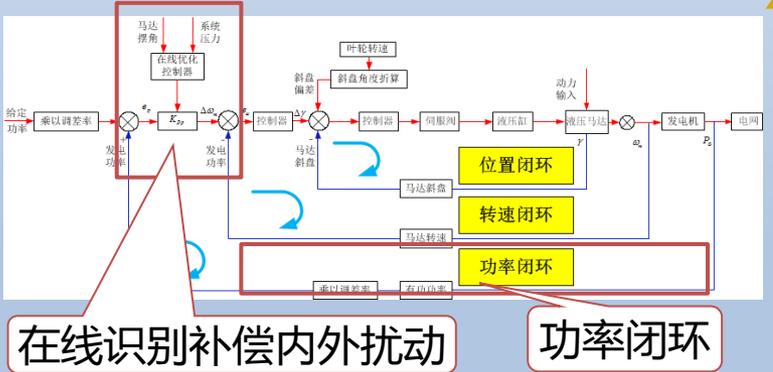
外部风功率波动



内部系统参数时变

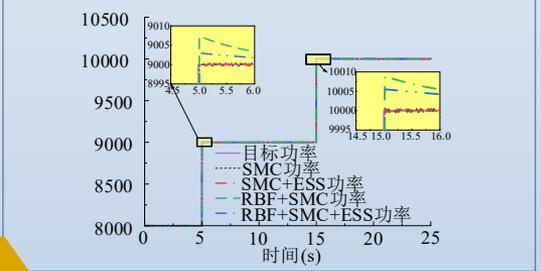


采用多变量调控输出有功功率

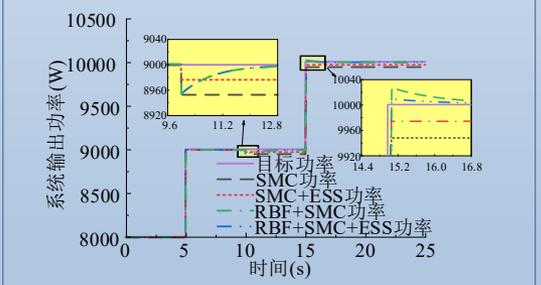


在线识别补偿内外扰动

功率闭环



外扰动控制补偿效果对比



内扰动控制补偿效果对比

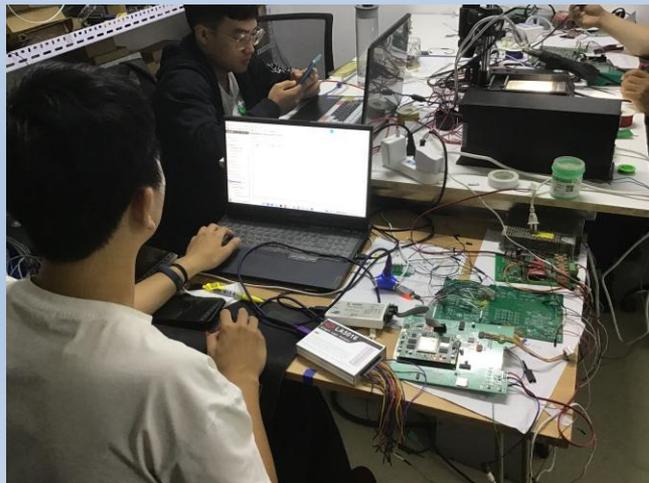
➤ RBF神经网络滑模结合储能子系统控制器对系统内外扰动的补偿效果最佳。

论文成果：Bivariate active power control of energy storage HWT (SCI 发表)

软著成果：储能式液压型风力发电机组功率控制仿真软件 (已登记)

### 横向项目：

- 项目名称：**伺服通道控制模块研制（经费：53万）**
- 项目类型：校企合作项目-中国航空工业集团公司北京长城航空测控技术研究所
- 参与时间：2021.09-2022.03
- 项目简介： 本项目研制的伺服通道控制模块，主要完成电液伺服运动控制、数据处理运算、传感器信号采集、伺服阀驱动以及数据传输通讯等功能。
- 负责内容： 1.配合软件工程师完成**芯片驱动程序的编写**。 2. 对电路板上的芯片进行测试，并完成相应的**调试大纲和调试报告**。 3.利用VIVADO软件对已编辑好的功能程序进行仿真模拟测试，配合软件工程师**排查代码错误**。



### 横向项目：

- 项目名称：**液压型风力发电机组理论研究与产业化示范（经费：223万）**
- 项目类型：校企合作项目-秦皇岛正时乐液压社会有限公司
- 参与时间：2021.05-2021.09
- 项目简介：搭建国内首台液压型风力发电示范样机，完成基本功能的同时，实现风电机组并网转速控制、功率控制等控制理论研究、算法实现和调试。
- 负责内容：1.配合电气工程师完成**现场设备线路的排查**。2.利用MATLAB软件和dSPACE ControlDesk软件**编写dSPACE运动控制器的控制策略**。3.利用dSPACE控制器实现液压风电机组的**并网转速与功率输出控制**。



### 横向项目：

- 项目名称：**南京工程学院液压型风力发电机组地面系统（经费：130万）**
- 项目类型：高校战略合作项目-南京工程学院
- 参与时间：2021.01-2021.05
- 项目简介：搭建包括风力机模拟系统、液压主传动系统、主控系统和发电机并网系统在内的液压型风力发电机组地面模拟研发实验平台。
- 负责内容：1.配合控制工程师**利用MACS软件控制Moog控制器实现伺服电机的转速控制**。2.控制并网柜和shark200实现**液压风电机组试验台安全并入电网**。3.将液压风电试验台的转速和功率进行采集处理，**分析实验数据，完成项目验收报告**。



### 横向项目：

- 项目名称：**汽车起重机回转性能提升仿真研究（经费：40万）**
- 项目类型：校企合作项目-三一汽车起重机械有限公司
- 参与时间：2020.06-2020.12
- 项目简介：建立起重机的机电液仿真平台，基于仿真平台分析起重机回转不稳定原因，提出稳定回转控制策略，并在仿真平台和整机上验证改进措施的可靠性。
- 负责内容：1.配合液压工程师利用AMESim软件完成**液压系统建模**，对机械模型处理，以便实现机电液联合仿真。2.全程参与台架测试和整机测试的**测试大纲制定以及现场测试**。3.根据实验数据分析回转压力脉动的具体来源，**制定稳定回转的控制策略**。



### 科研工作总结：

- **毕业课题：储能式液压型风电机组风力机特性与有功功率智能控制**
  - 课题研究点一：风力机叶片流固耦合特性分析
  - 课题研究点二：模糊自适应PID并网转速控制研究
  - 课题研究点三：RBF神经网络滑模有功功率控制研究
- **横向课题：参与校企合作项目及高校战略合作项目共4项**
  - 校企合作项目：伺服通道控制模块研制
  - 校企合作项目：液压型风力发电机组理论与产业化示范
  - 高校战略合作项目：南京工程学院液压型风力发电机组地面系统
  - 校企合作项目：汽车起重机回转性能提升仿真研究

以上科研经历既形成了我对控制学科的知识体系，也为博士阶段提供了知识储备。

# 目录

---

一、个人基本信息

二、硕士科研工作

**三、博士研究规划**

## 拟研究方向：

- 研究方向：**特种无人车辆的路径规划与运动控制**
- 具体内容：**以震源车、固定翼无人机自主承接无人车及车辆转运无人车等特种无人车辆在复杂地形、复杂作业任务，复杂的作业环境下的路径规划与运动控制技术展开研究，并在研究过程中积极发现新问题、新思想和新方法。**

## 研究计划与目标:

德以明理

学以精工



努力博士期间构筑学术生涯高度，力争毕业后以更高起点进入**高校科研岗位**开展工作

# 三、博士研究规划

## 已参与的科研工作：

自2022年7月，承担导师组内部分科研任务，并**参与论文撰写5篇，录用1篇。**

- 参与《液粘调速及其控制方法研究》项目，负责**验收资料的汇总修改及PPT优化完善。**
- 国基金面上《基于异构智能体协同的无人机移动回收控制方法研究》**内容梳理及排版。**
- 负责《风扇传动液粘调速控制方法研究》专著**的内容梳理及初稿撰写**工作。
- 了解团队特种无人系统研究基础，学习无人系统的相关技能，**指导组内硕士论文撰写。**

论文	所投期刊	状态
<b>Research on path planning of mobile robot based on DWA-IMP-A* algorithm</b>	<b>CCC会议</b>	<b>录用</b>
<b>Characteristic analysis and data modeling of Hydro-viscous Drive in Speed Regulating System</b>	<b>International Journal of Systems Science</b>	<b>在审</b>
<b>A Novel Double Closed Loop Control of Temperature and Rotational Speed for Integrated Multi-Parameter HSCS</b>	<b>Mechanical Systems and Signal Processing</b>	<b>在审</b>
<b>Characteristic Analysis Method for Integrated Multi-Parameter Hydro-viscous Speed Control System</b>	<b>Nonlinear Dynamics</b>	<b>在审</b>
<b>Double closed-loop control of temperature and speed of liquid - viscous system under data - driven model</b>	—— ——	<b>撰写</b>

## 研究规划总结：

- 拟研究课题：特种无人车辆的路径规划与运动控制研究
- 研究计划与目标：科创专项计划，国家留学基金、博士国家奖学金
- 已参与的科研工作：参与论文撰写5篇，录用1篇

以上的规划既指明了我博士期间的努力方向，也是对我未来工作的激励和督促。

## 总结

- 所获荣誉：**国家奖学金、河北省优秀毕业生、燕山大学优秀共青团员等**
- 所获成果：**SCI论文4篇，发明专利2项，实用新型2项，软件著作权5项**
- 学科竞赛：**国家级奖项6项，省级奖项8项、校市级奖项10余项**
- 硕士课题：**储能式液压型风电机组风力机特性与有功功率智能控制**
- 拟研究方向：**特种无人车辆的路径规划与运动控制研究**

# 感谢各位老师!

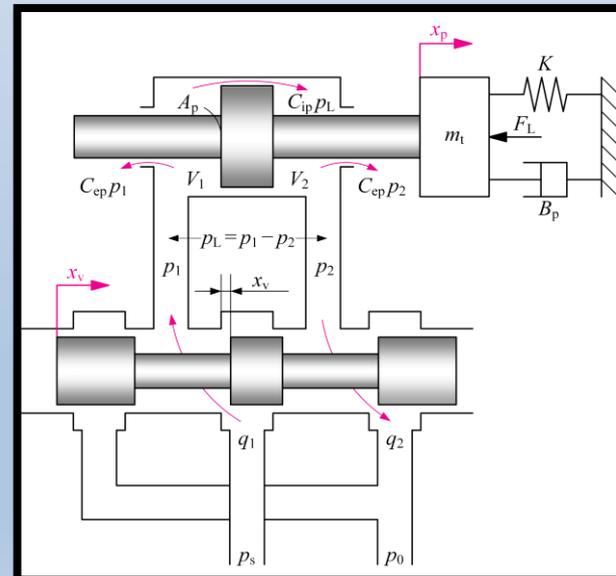
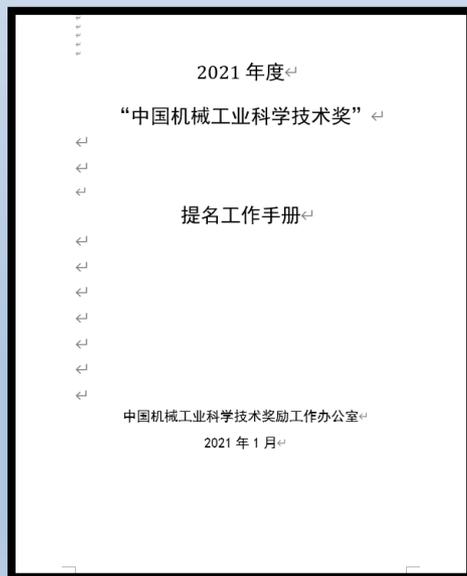
# 附录：成果及项目详细介绍

---

- 一、学术成果介绍-事务工作、论文、专利**
- 二、项目介绍-伺服通道控制模块研制**
- 三、项目介绍-液压型风力发电机组理论与产业化示范**
- 四、项目介绍-南京工程学院液压型风力发电机组地面系统**
- 五、项目介绍-汽车起重机回转性能提升仿真研究**

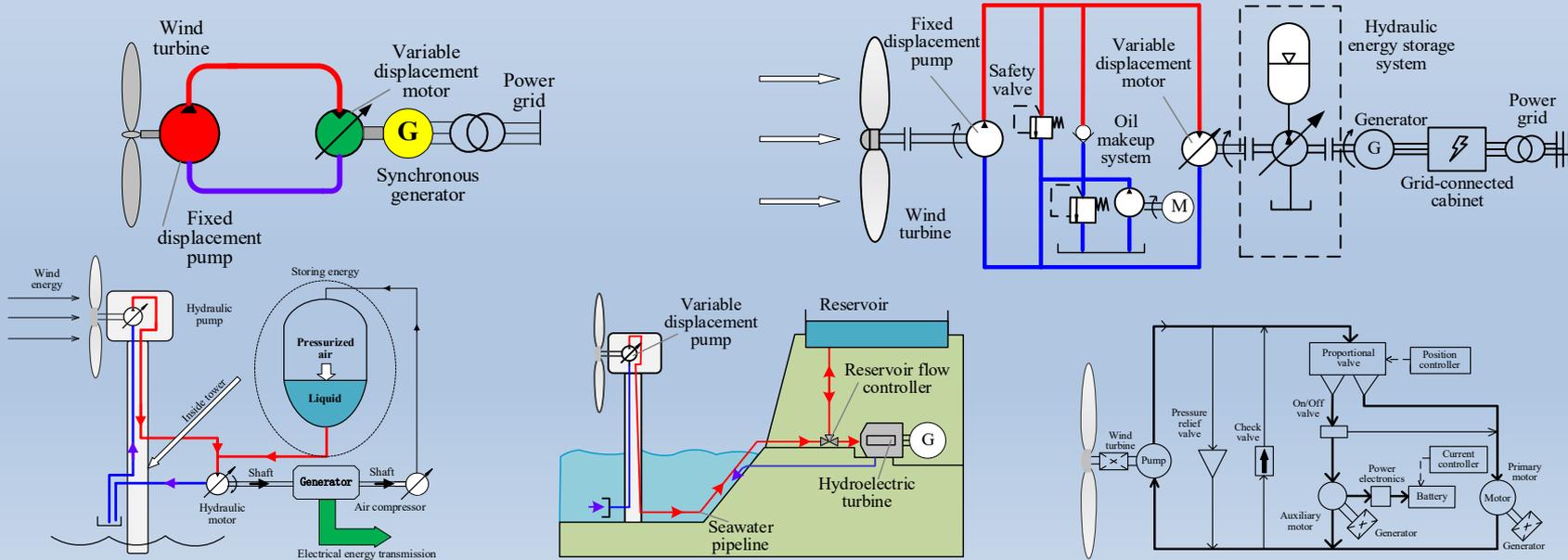
## 事务工作:

- 2021年度中国机械工业科学技术奖材料初稿撰写、材料汇总整理、修改及上传。
- 2021年度河北省科学技术奖材料初稿撰写、材料汇总、整理上传及PPT初稿制作。
- 青年拔尖人才支持计划-国防科技领域推荐书国防能源供给液压风电部分撰写。
- 《液压伺服与比例控制系统》第四章“液压动力组件建模分析”的内容汇总及排版。



## 学术论文:

- 论文题目: A review of energy storage technologies in hydraulic wind turbines
- 个人贡献: **2/8 导师一作 (查阅文献、文章构思、文章撰写、排版投出、后期修改)**
- 录用期刊: Energy Conversion and Management (SCI 一区top、IF=11.53)
- 文章内容: 考虑风力发电的随机性和间歇性, 对液压式风力发电机组的储能技术进行了综述。总结了液压蓄能器、压缩空气储能技术和飞轮储能技术在水力风力发电机组中的能量传递和再利用原理。讨论了蓄能系统对水力风力发电机组的稳定速度、最优功率跟踪、功率平滑和电力系统调频等功能。最后, 展望了储能技术在水力风力发电中的发展和应用前景。



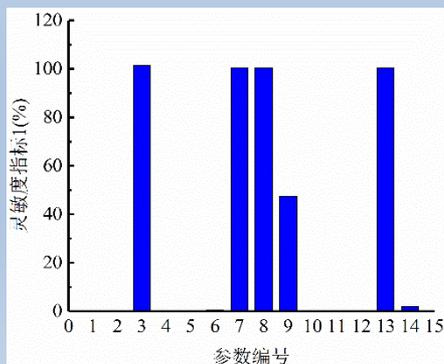
## 学术论文:

- 论文题目: **First-Order Sensitivity Analysis of Hydraulic Wind Turbine Control System**
- 个人贡献: 2/8 导师一作 (理论分析、文章撰写、排版投出)
- 所投会议: the 6th Korea-Japan-China Joint Workshop on Fluid Power
- 文章内容: 本文以ADRC控制的液压风电机组功率平稳输出控制系统为研究对象, 建立液压型风电机组和ADRC控制器的数学模型, 采用一阶轨迹灵敏度分析方法, 选用了两种灵敏度衡量指标, 分析了包括系统的结构参数、工作参数和控制参数在内的14个参数机组输出功率的影响。并基于Matlab仿真软件分析验证了本文的理论结果。

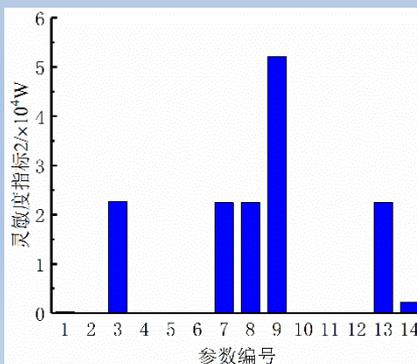
### 两种灵敏度衡量指标

$$s_1 = \frac{|\Delta x_1|}{P_s} \Big|_{\max} \times 100\% = \frac{|\lambda_{3f}^i| \cdot \Delta \alpha_i}{P_s} \times 100\%$$

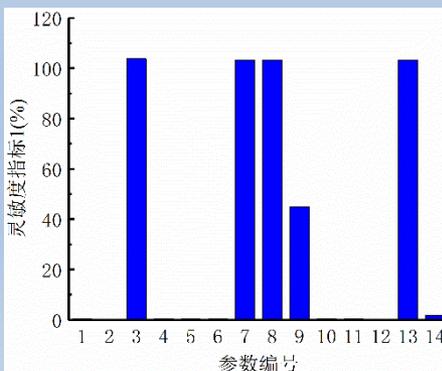
$$s_2 = \int_0^t |\lambda_{3f}^i| \cdot \Delta \alpha_i dt$$



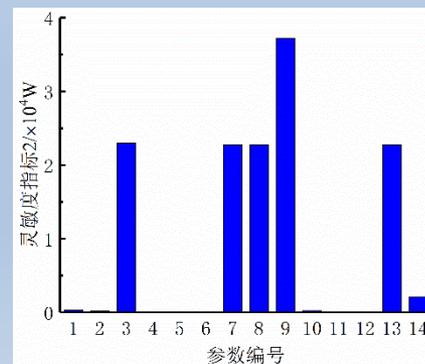
阶跃至5200W灵敏度指标1



阶跃至5200W灵敏度指标2



阶跃至4500W灵敏度指标1



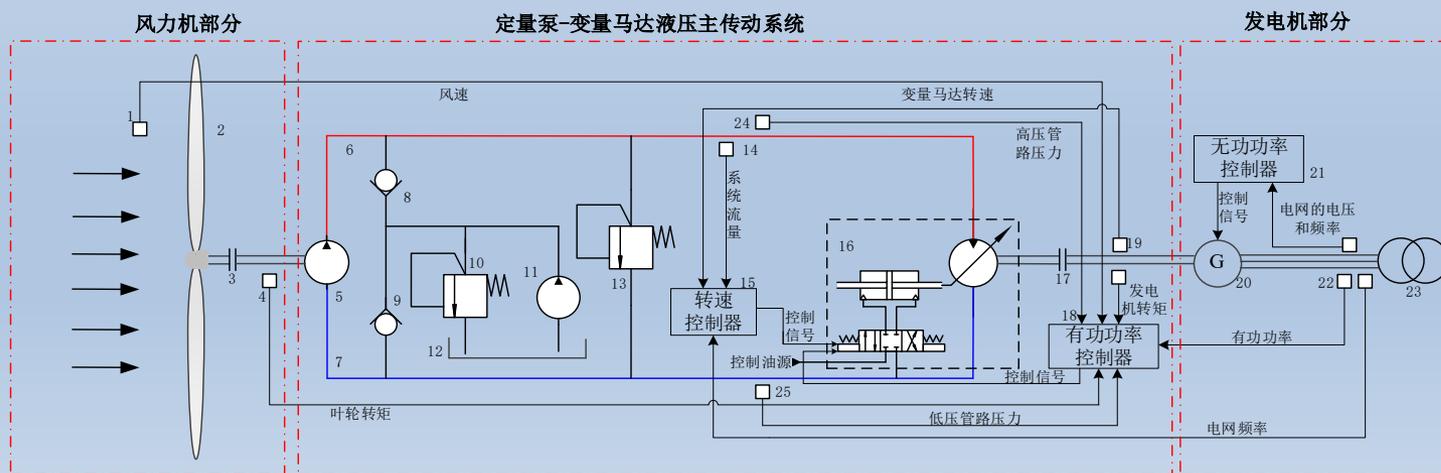
阶跃至4500W灵敏度指标2

## 学术论文：

- 论文题目：**A novel collaborative control algorithm for MPPT of wind energy hydraulic conversion system**
- 个人贡献：3/6 导师一作（实验验证、文章撰写、排版投出）
- 录用期刊：Wind Energy (SCI 三区、IF=3.71)
- 文章内容：以液压风电中的最大功率点跟踪为研究对象，提出了最大功率点跟踪(MPPT)控制策略，结合自抗扰控制(ADRC)和线性二次调节器(LQR)控制方法，解决了最大功率点跟踪控制过程中模型中的乘性非线性问题和外界干扰对控制性能的影响。
  
- 论文题目：**Research on a Power Smoothing Control Strategy for Energy Storage Hydraulic Wind Turbines**
- 个人贡献：3/5 导师一作（实验验证）
- 录用期刊：Energy Science & Engineering (SCI 三区、IF=4.04)
- 文章内容：以储能式液压风电机组的输出功率作为控制输出，利用反馈线性化方法解决建模过程中的相乘非线性问题，并建立了转矩补偿控制器。通过控制变量泵/马达的排量，实现储能子系统能量充放电，实现储能式液压风电机组输出功率平滑控制。

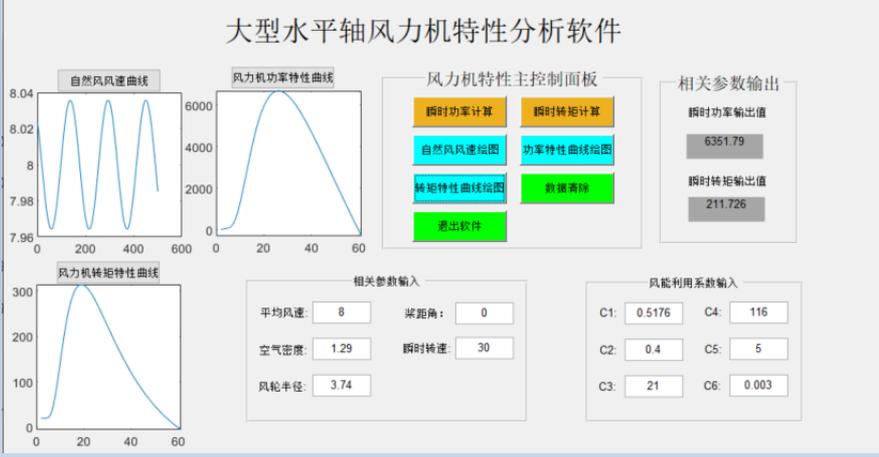
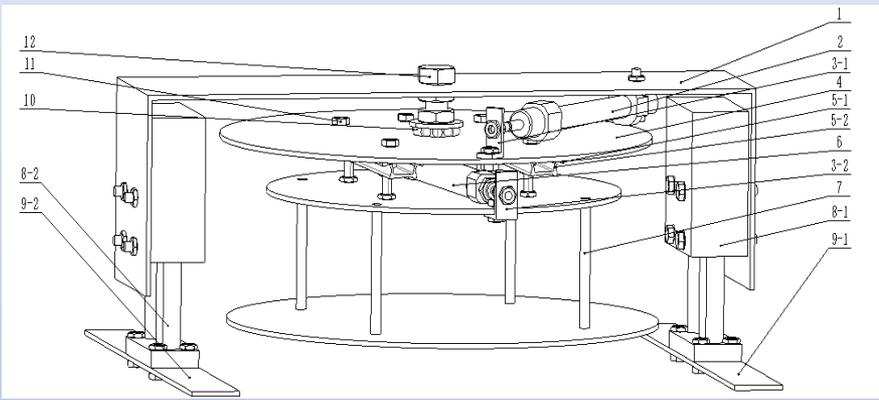
## 发明专利:

- 专利名称：**一种液压型风力发电机高电压穿越控制系统方法**（2/6 导师一作）
- 专利内容：提出了一种液压型风力发电高电压穿越控制系统，使系统可以通过调整变量马达摆角，实现风电机组高电压穿越过程中的有功功率控制和有功功率平滑。
- 专利名称：**一种解决起重机回转启动冲击的控制系统及方法**（5/8 导师一作）
- 专利内容：提出了一种解决起重机回转启动冲击的控制系统及方法，使系统能够根据工况对，对控制阀芯的控制信号进行定值延时，以使阀口开度与负载进行匹配
- 专利名称：**储能式液压型风电机组的高电压穿越控制系统及控制方法**（5/6 导师一作）
- 专利内容：提出了一种储能式液压型风电机组的高电压穿越控制系统，在高电压故障时，利用液压储能部分对系统中输入的能量进行实时调控，从根源上协调能量的调配。



## 实用新型及软件著作权：

- 实用新型授权3项，以第二作者（导师一作）身份授权2项。
- 软著著作权授权4项目，以第二作者（导师一作）身份授权3项目，在审3项。



## 项目概述：

### □ 项目来源：

- 校企合作：伺服通道控制模块研制
- 甲方：中国航空工业集团公司北京长城航空测控技术研究所
- 乙方：燕山大学

### □ 项目简介

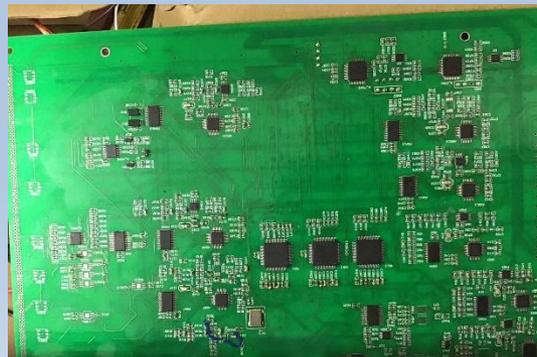
- 本项目研制的伺服通道控制模块，主要完成电液伺服运动控制、数据处理运算、传感器信号采集、伺服阀驱动以及数据传输通讯等功能。伺服通道控制模块部署于配套的机箱内，每个机箱内置1个伺服通道控制模块。
- 对标：美国MOOG控制器系列中TCU模块
- 猜测：伺服控制器III（MSC III）

### □ 项目流程

- 选芯片、设计电路、画板、焊板、**编程序、测试与调试（参与）**  
编程序：编写每个芯片的驱动程序和整体的功能程序、  
测试与调试：先验证程序再上板测试硬件的可靠性。



## 硬件部分：



**硬件：核心板+顶板+底板**

- **核心板：与上位机通讯，数据的运算处理。**
- **顶板：用于辅助核心板。**
- **底板（8层）：从传感器采集、简单处理数据。**
  
- **顶板包含两个模块**
- **底板包含九个模块**

## 硬件模块：

### □ 顶板电路中的模块：

- 编码器模块：测转矩转速，含SSI、正交、EnDat编码器（4路只接受）。
- 从站模块：用于与上位机通讯。

### □ 底板电路中的模块：

- 载荷模块：检测载荷上的力（4路双向）。
- POT电位计模块：位移传感器，用于系统位移给定。（4路双向）。
- LVDT模块：输出位移（4路双向）。
- 伺服模拟量模块：输出模拟量，用于驱动伺服阀（2路只发送）。
- 模拟量输入模块：外部加载指令模拟量输入（2路只接受）。
- 加速度模块：测量加速度（2路双向）。
- 监控模块：测量板子内部电压、电流大小。
- 切换航插模块：切换POT/LVDT/编码器传感器所连的航插。
- 断线检测模块：测各部分电压、电流通断。

## 硬件芯片：

核心板（包含核心芯片和核心板）：ZNQY7010、ZNQY7020、ZNQY7045。

芯片+开发版：200T+PE300。

单片机：STM32。

AD5754：数字信号转模拟信号后输出。

PGA280：高精度放大器，用于放大信号。

ADS127L01：模拟信号转数字信号。

AD7606：同步采用ADC，用于监控。

PGA970：高集成度系统LVDT传感器信号调节器。

ADA4177：精密运算放大器。

THS4551：差分输入差分输出运算放大器。

TPS54620RGY：电源芯片。

ADG1408：简单逻辑，用于航插切换和监控。

B2B：用于顶板与底板连接。

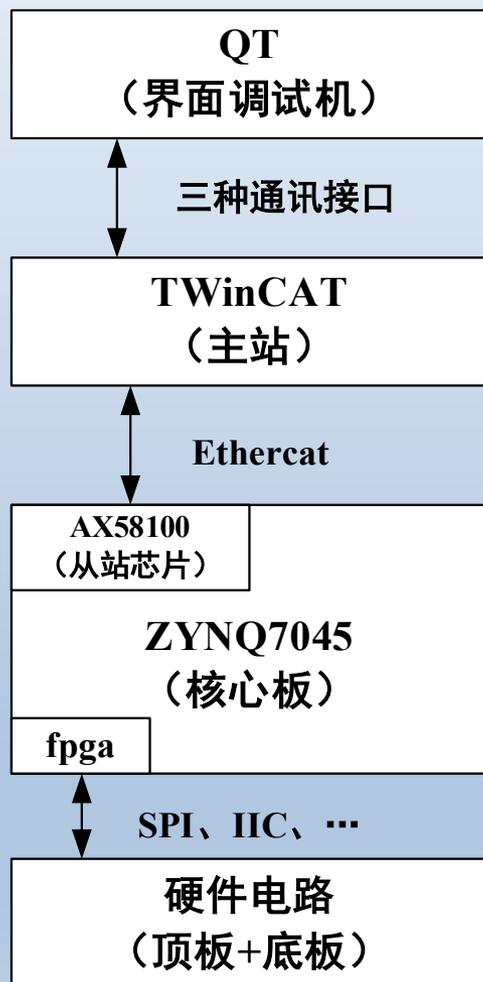
CH423：提供多个输入输出引脚，用于扩展I/O引脚。

MAX485：读编码器。

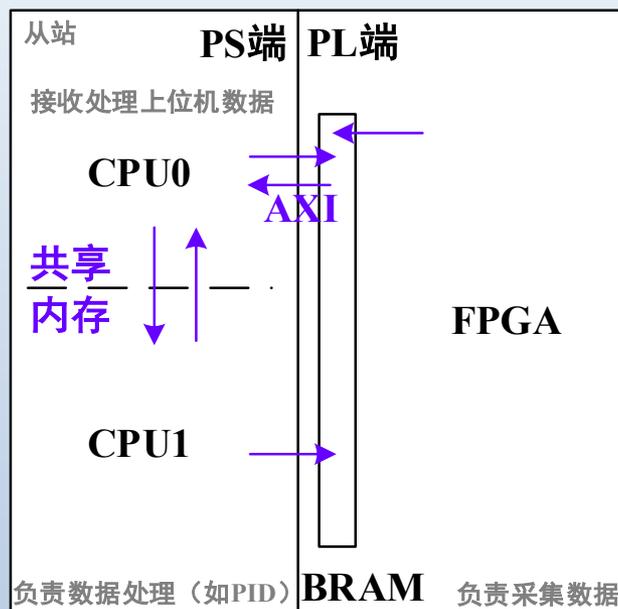
SN74AVC32T245：电源芯片。

AX58100：EtherCAT 通讯。

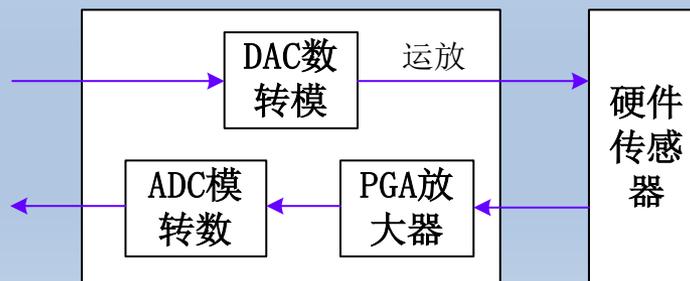
## 软件原理:



整体工作流程图



ZYNQ 7045内部工作流程



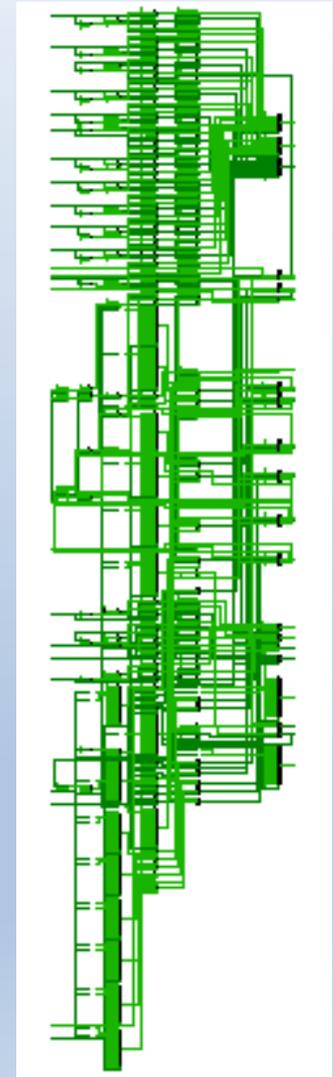
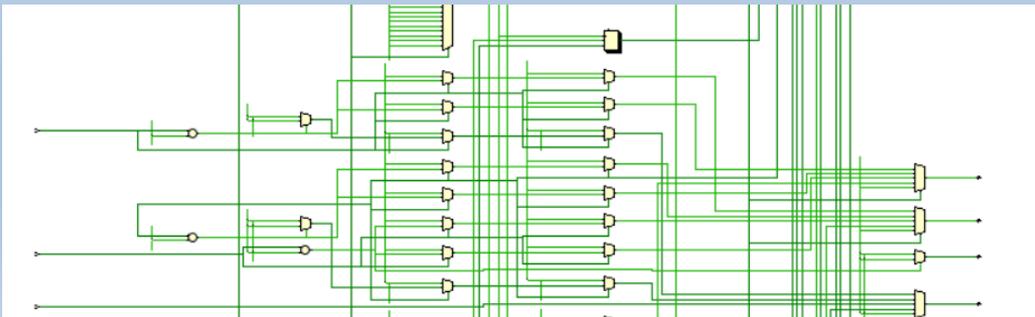
硬件电路的工作原理

CPU0和CPU1算是两个ARM, ZYNQ系列中既有ARM, 也有FPGA, 有些芯片只有FPGA, 用FPGA也可以做成ARM, 但是ARM的优势就是浮点运算能力强。

FPGA并行操作指四个通道可以同时工作采集, 但单个通道在操作时还是要串行操作。

## FPGA相关知识:

- 所有芯片都是由多个电容、电阻、二极管和运放组成的。
- FPGA称为现成可编程门阵列。简单而言就是将多个单元模块（电容、电阻、二极管等）通过编程等手段将其组合连接，使其既可以模拟芯片，又可以控制芯片。应用领域为通信领域、算法实现领域和嵌入式领域，应用的是硬件思维和并发思维。
- VIVADO在编完程序后，第一步为RTL分析（电路分析），其本质就是FPGA将各模块组合连接的过程（见右图）。



## VIVADO简单实用:

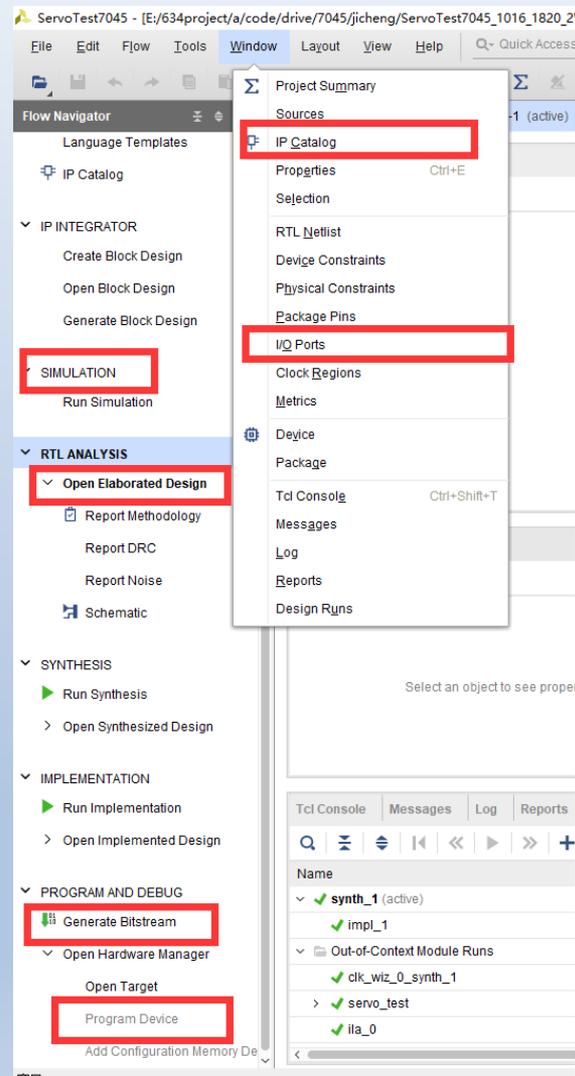
□ FPGA编程环境: VIVADO软件 Verilog语言

□ 使用步骤:

- 1、写行为代码。
- 2、行为测试 (仿真测试、仿真程序自己写)。
- 3、IP Catalog生成时序 (类次用库引入时间函数)。
- 4、Open Elaborated Design (代码分析)。
- 5、I/O Ports加入约束。
- 6、Generate Bitstream(编译比特流)。
- 7、program Device 烧写程序。

□ 关于声明变量及实例化:

Top层的input、output和inout面向芯片的约束引脚。  
底层的input、output和inout则是面向上一层的实例化。Reg和wire所声明的变量为本层内部变量, 可用于本层实例化传递到下一层, 但无法传到上一层。

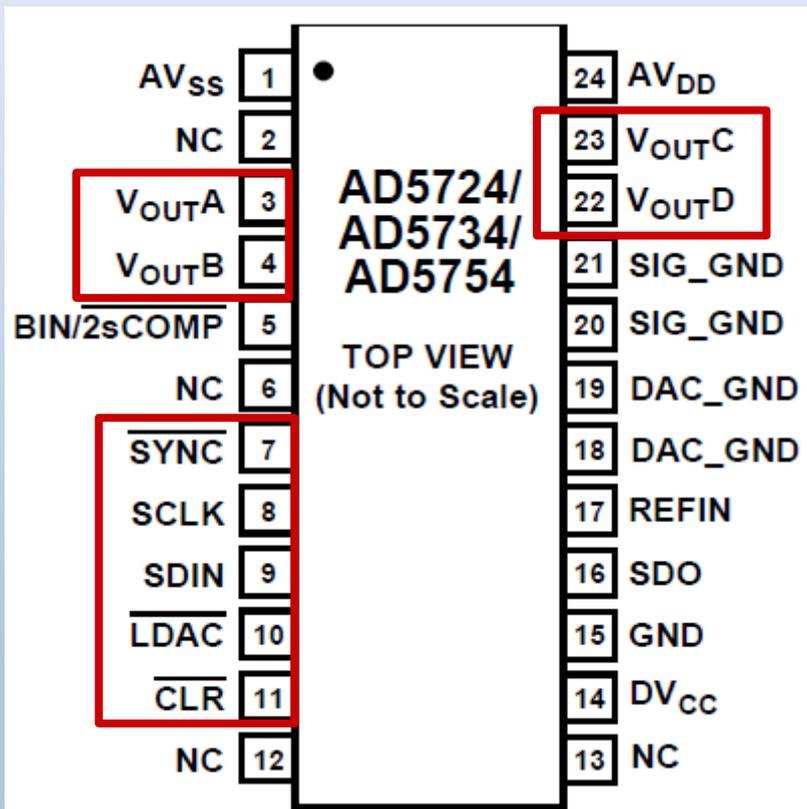


## 芯片基础知识：

- 用芯片先读数据表 (data sheet) ，做软件，做硬件侧重点不同。
- 做硬件不一定需要懂模电和数电，了解集成芯片后，直接找典型电路即可。
- 与芯片的通讯方式都是通过造时序图完成，如SPI、I2C等。
- 每个芯片都有相应的驱动，即通过程序写时序完成对芯片的调用。
- 写驱动步骤：写驱动程序→写tp测试程序对写好的程序测试→用外置逻辑分析仪测指令是否正常输出（一般不用内置逻辑分析仪，编译程序太慢）→连接板子，测量是否有返回值。
- SPI通讯总线：串行外部设备接口 高速、同步 常4条线根据数据表造时序图  
串行时钟SCK：芯片内部时钟。 主发从收MOSI：根据芯片时钟发送数据。  
主收从发MISO：根据芯片时钟接受数据。 片选CS：常高，使用时拉低。
- I2C通讯：简单、双向二线制同步串行总线。 2根线根据数据表造时序图  
时钟线SCL：上升沿输入，下降沿输出。  
数据线SDA：常高，双向传递，发送一组数据后芯片自动应答后发下一组。
- 各类芯片数据表查询：<http://www.semiee.com>
- 如何阅读芯片手册：

[https://www.bilibili.com/video/BV1Bq4y1Z7yq?from=search&seid=1928739227718821777&spm\\_id\\_from=333.337.0.0](https://www.bilibili.com/video/BV1Bq4y1Z7yq?from=search&seid=1928739227718821777&spm_id_from=333.337.0.0)

## 芯片AD5754介绍:



芯片功能：模拟量输出

命令字节(24位传输数据):

1个读写位+1个保留位+3个寄存器选择位+3个DAC地址位+16个数据位

指令

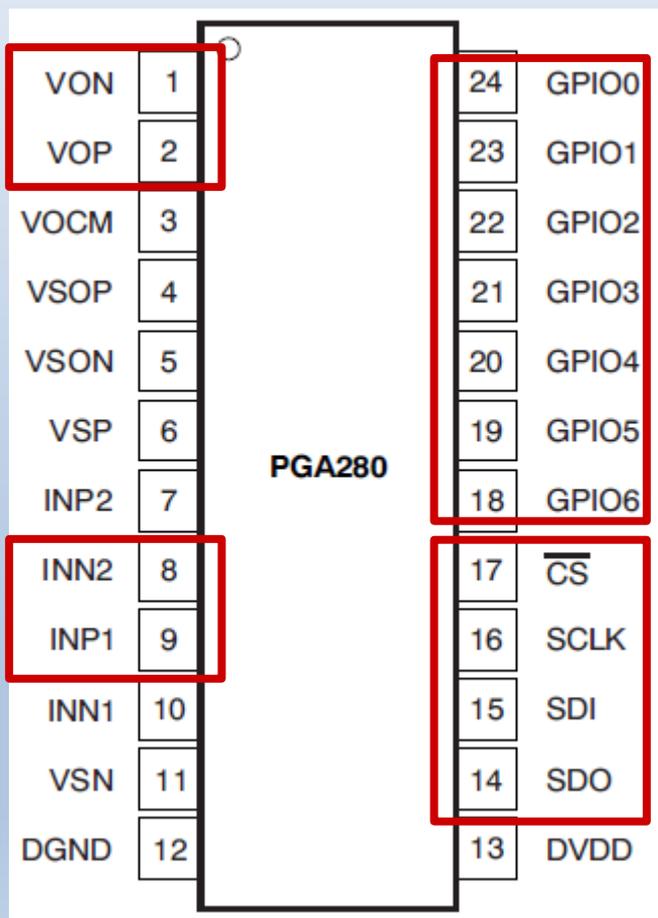
1.使能 (运行) 。10000F

2.设置量程。0C0003

3.输出各通道电压值。

24' h000000|16' h0011

## 芯片PGA280介绍:



芯片功能：高精度放大器+通用输入/输出引脚。（GPIO）

命令字节 (16位传输数据)：

01T0 aaaa dddd dddd : write

将dddd dddd 写入aaaa寄存器中

1000 aaaa 0000 0000 : Read

从aaaa中读取数据

指令

1.自检。8300 回复 \_\_ 19

2.设置增益。40 \_\_

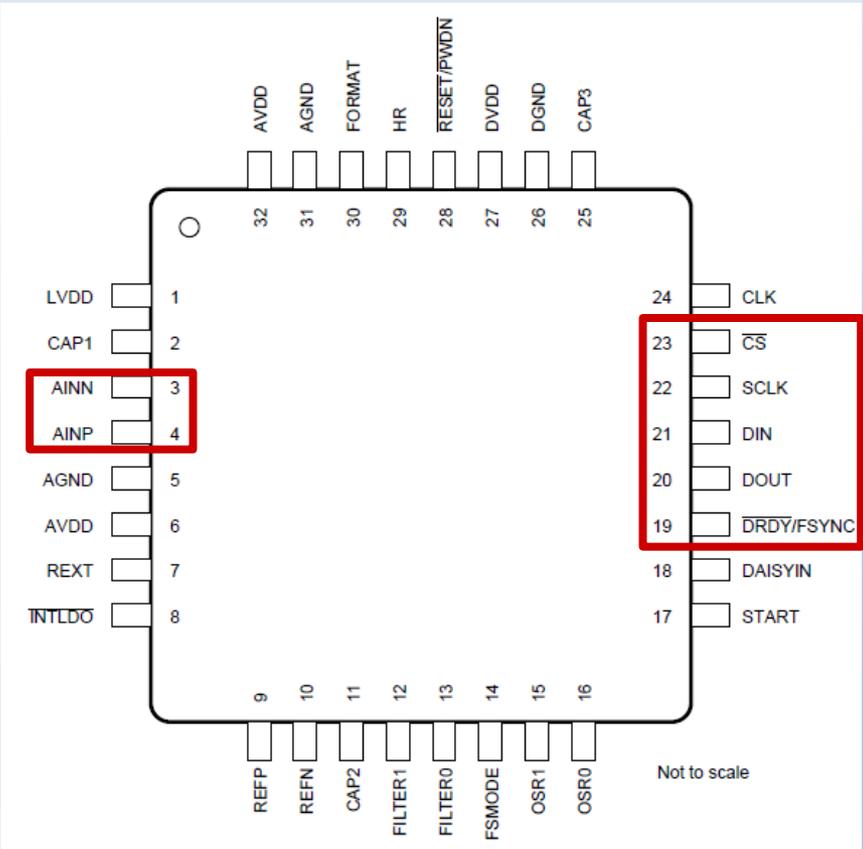
3.设置GPIO方向。48 \_\_

4.GPIO输出。采集 45 \_\_

.....

# 项目介绍

## 芯片ADS127L01介绍:



芯片功能：模拟信号转为为数字信号。

命令字节(16位传输数据):

系统命令：0000 011X重启

0000 100X启动或启动转换

0000 101X 停止转换

读：0010 rrrr 0000 nnnn

从rrrr开始读数，读取nnnn-1个。

写：0100 rrrr 0000 nnnn

从rrrr开始写，写入nnnn+1个。

指令:

1.配置 4105 0200 0000 0080

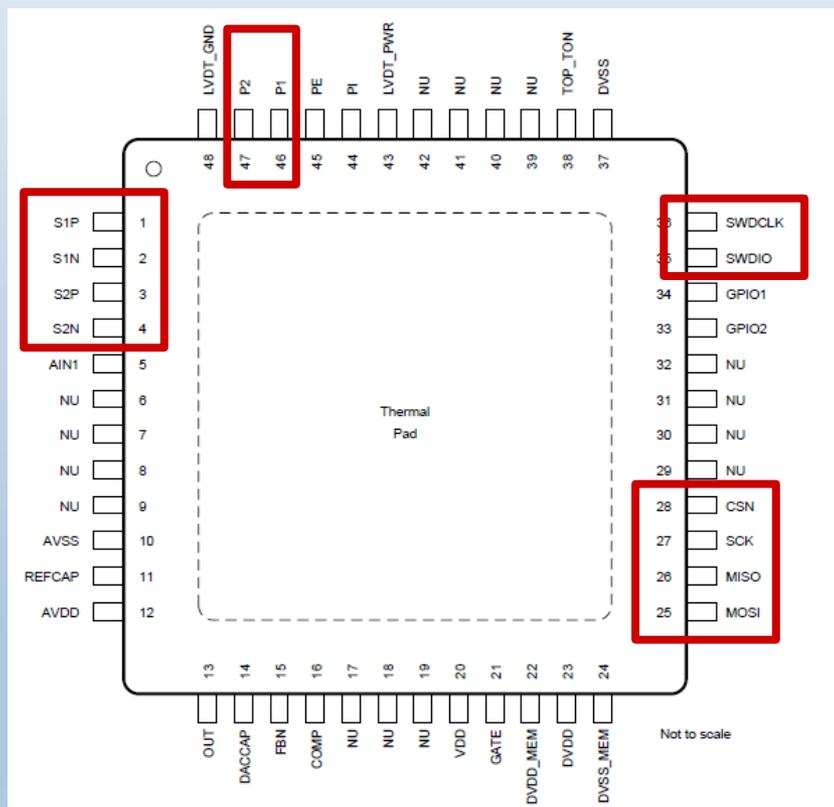
自检 20 00 00 回复 83

2.运行 08 00 启动转换

00 00 00 每次发后采集数据

(猜测发送00是为了移位进而读回数据)

## 芯片PGA970介绍:



**芯片功能：高集成芯片专用于LVDT。包含模转数、放大等全部功能。**

**系统命令(24位传输数据):**

**3位内存访问控制字+1个读写位+8位地址位+8个数据位**

**指令:**

**1.配置。018000 018000 4CC000 .....**

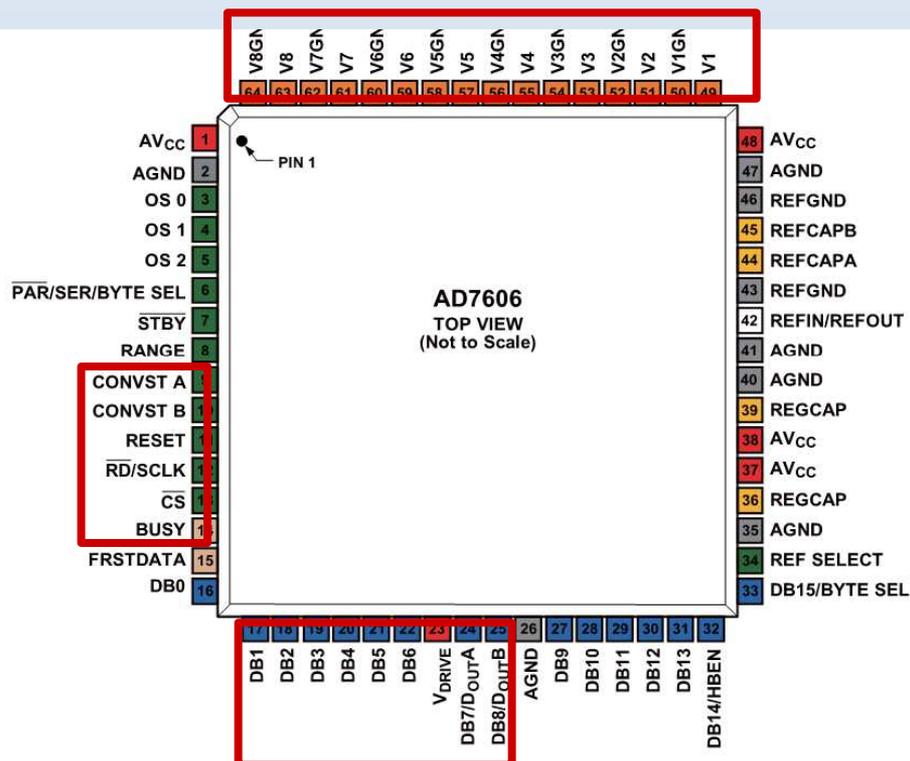
**2.运行。020000**

**024000 (采集) 02C000 (采集)**

**其他说明:**

**芯片含固件，首次使用需要用CCS烧录固件。芯片复杂，寄存器极多，相关命令是从评估板上利用上位机监控将命令记录下来的。**

## 芯片AD7606介绍:



**芯片功能：同时采样ADC，模数转换器。**

**通讯方式：并行通讯，非SPI、I2C通讯。**

**其他说明：通过数据表造时序。当数据准备好后，BUSY线自动拉低，遂进行采集。采集数据直接通过引脚传到核心板上。**

## 芯片CH423介绍:

1	I05	I04	28
2	I06	I03	27
3	I07	I02	26
4	OC0	VCC	25
5	OC1	I01	24
6	OC2	I00	23
7	OC3	OC15	22
8	OC4	OC14	21
9	SCL	OC13	20
10	SDA	OC12	19
11	GND	OC11	18
12	OC5	OC10	17
13	OC6	OC9	16
14	OC7	OC8	15

**芯片功能：提供8个双向输入输出和16个通用输出引脚。**

**命令字节：**

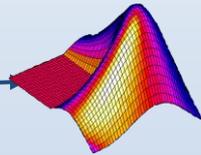
**启动+输入字节1（见下方）+应答+输入字节2（找引脚）+应答+停止指令：**

- 1.设置系统命令参数。48H**
- 2.设置低8位通用输出。44H**
- 3.设置高8位通用输出。45H**
- 4.设置双向输入输出命令。70H**
- 5.加载字数据命令。（用于二极管）**
- 6.读取双向输入输出命令。**

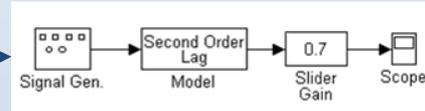
## Matlab/dSPACE 集成开发环境:



控制对象理论模型的建立



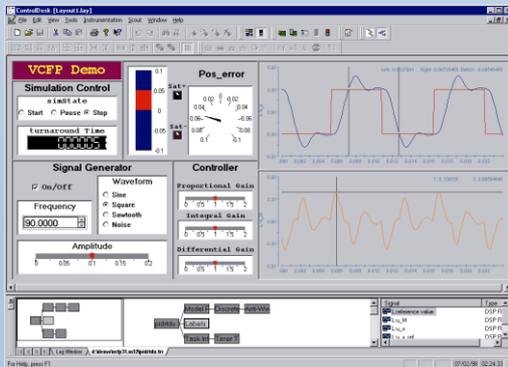
初步控制系统设计



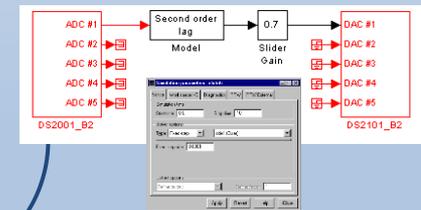
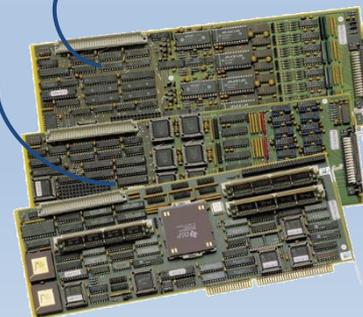
通过离线仿真对控制系统测试



定义模型 I/O



通过ControlDesk 采集数据及观测、修改变量

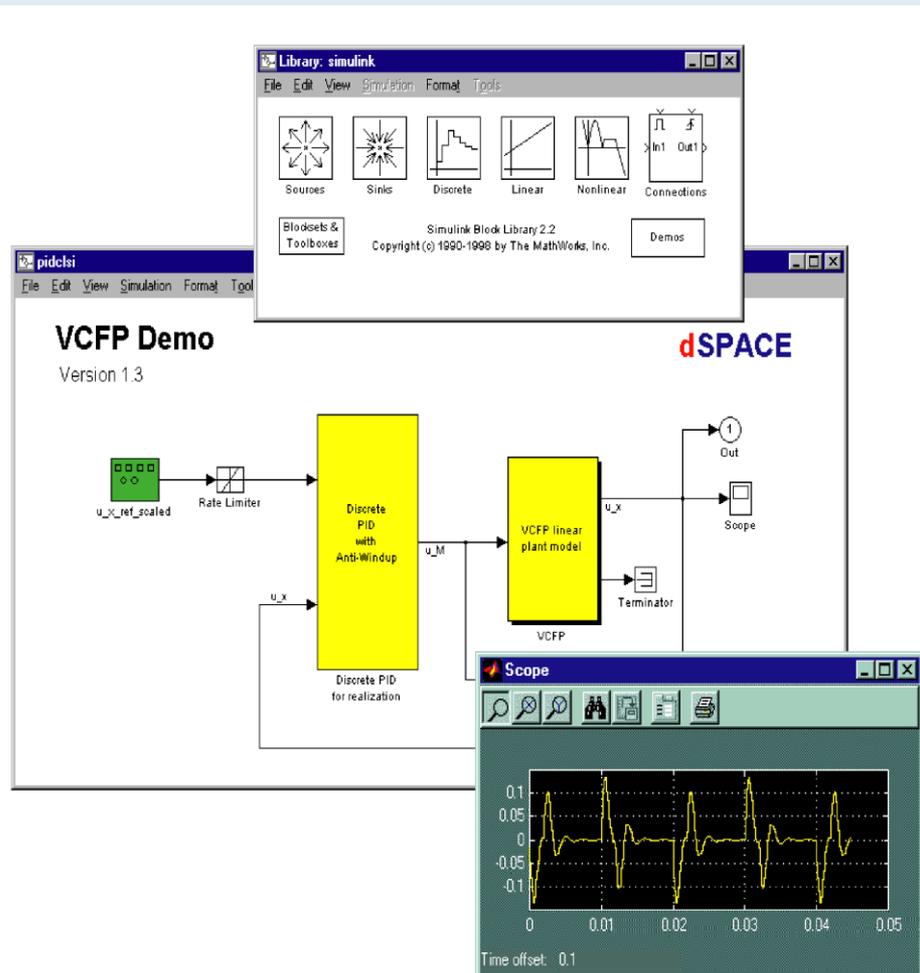


生成模型实时代码

## dSPACE 开发步骤

### 第一步

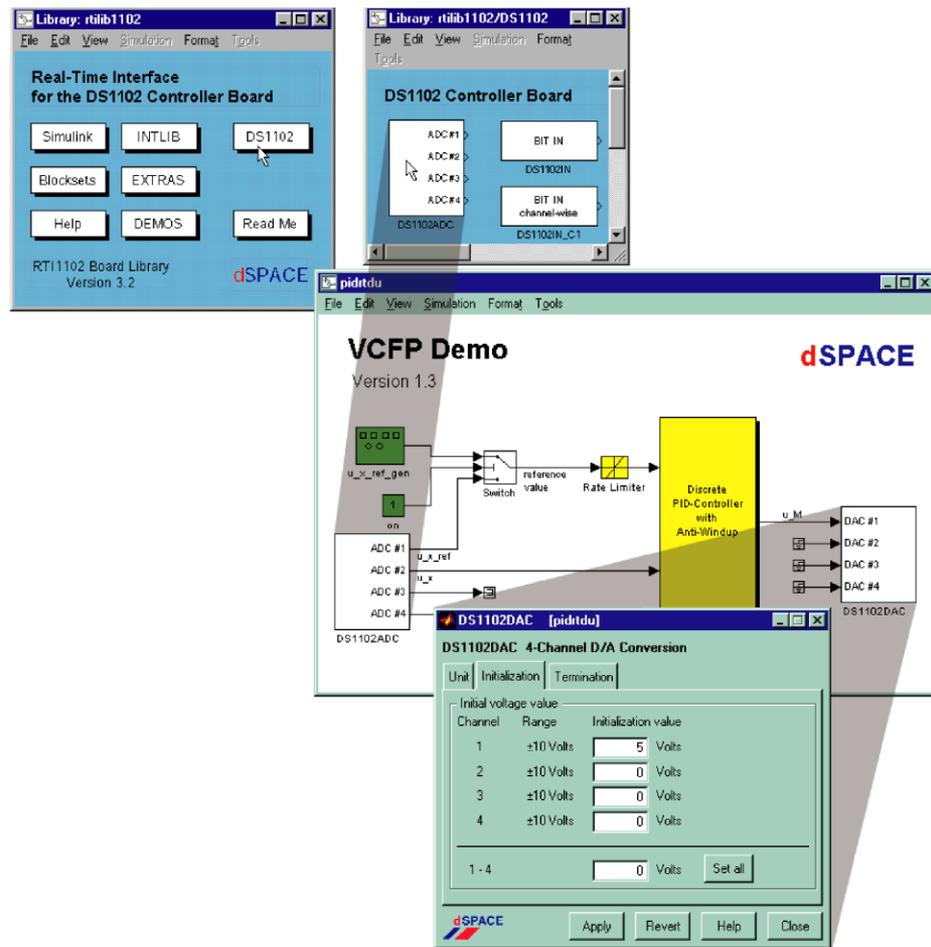
- MATLAB/Simulink
- 建立对象数学模型
- 设计控制方案
- 进行离线仿真



## dSPACE 开发步骤

### 第二步

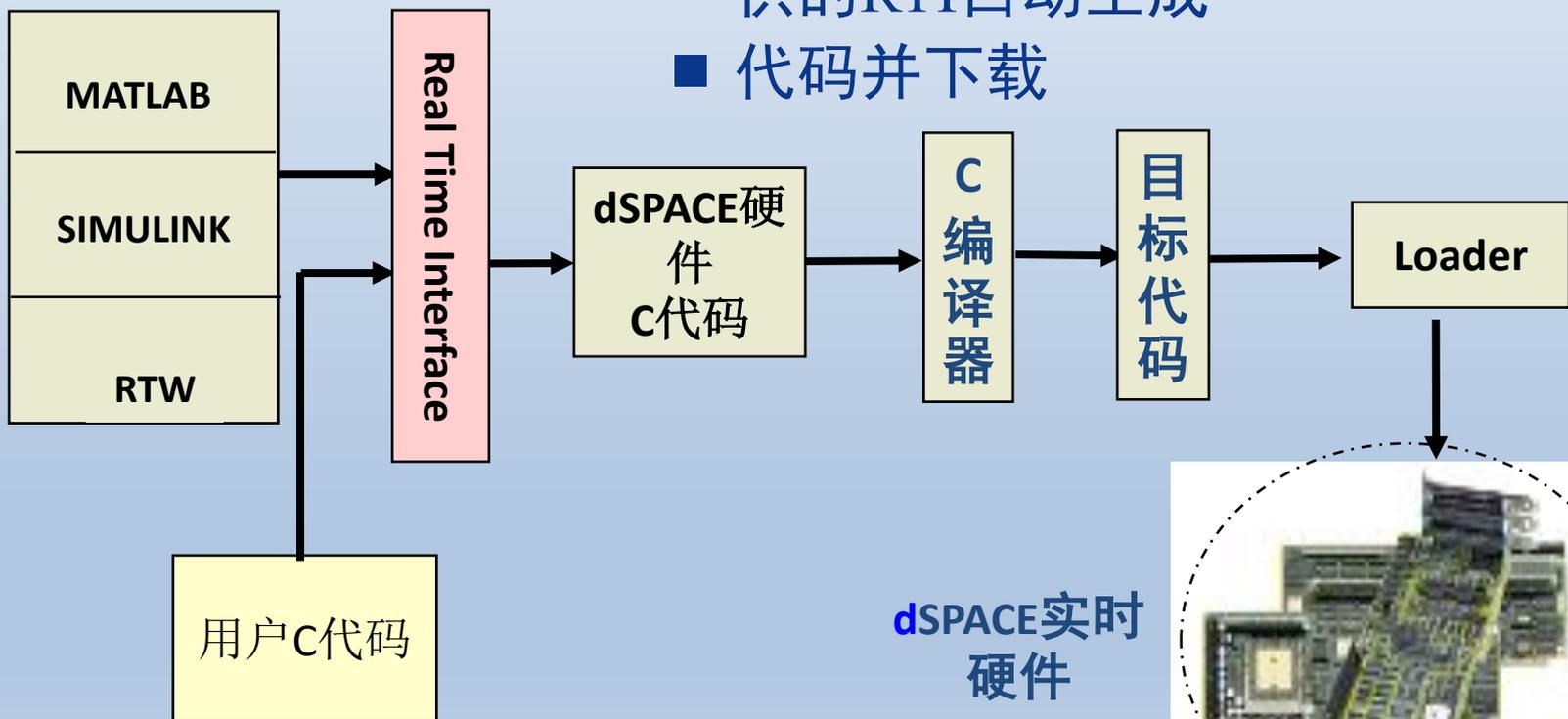
- 保留需要下载到dSPACE中的模块
- 用硬件接口关系代替原来的逻辑连接关系
- 对I/O进行配置
- 设定软硬件中断优先级



## dSPACE 开发步骤

### 第三步

- 利用RTW及dSPACE 提供的RTI自动生成
- 代码并下载



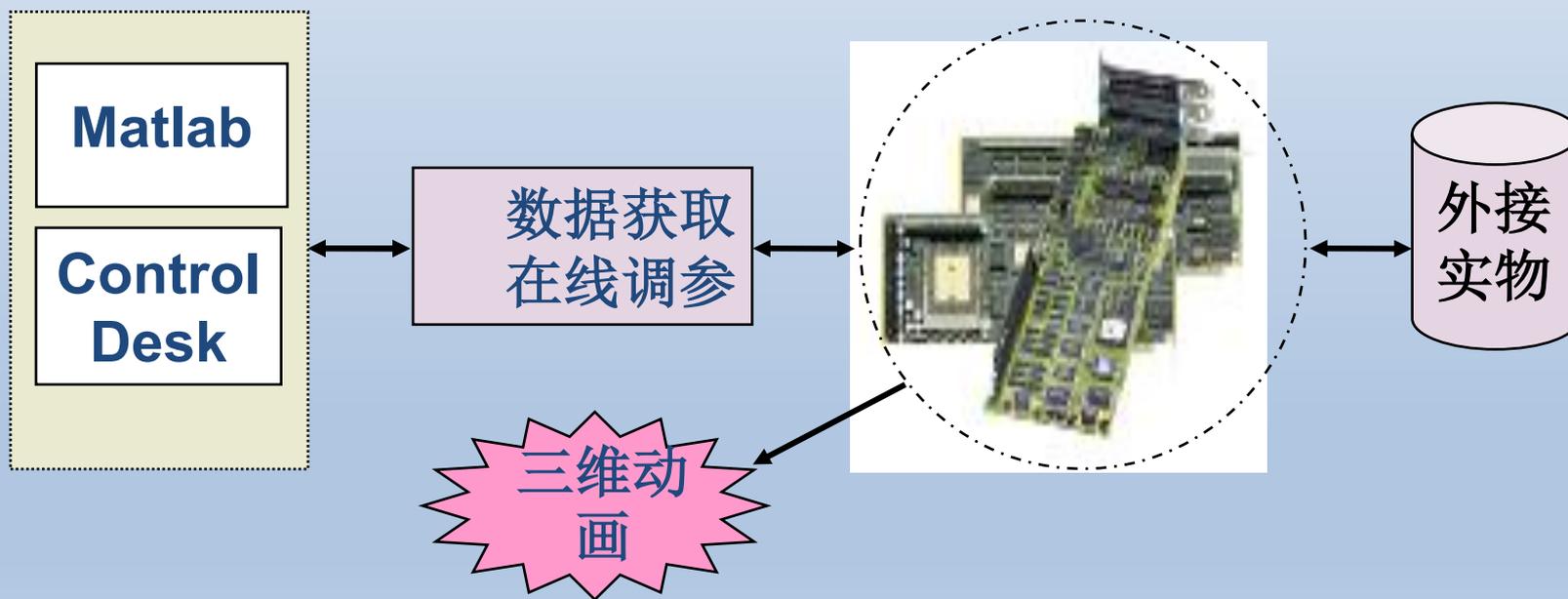
dSPACE实时  
硬件



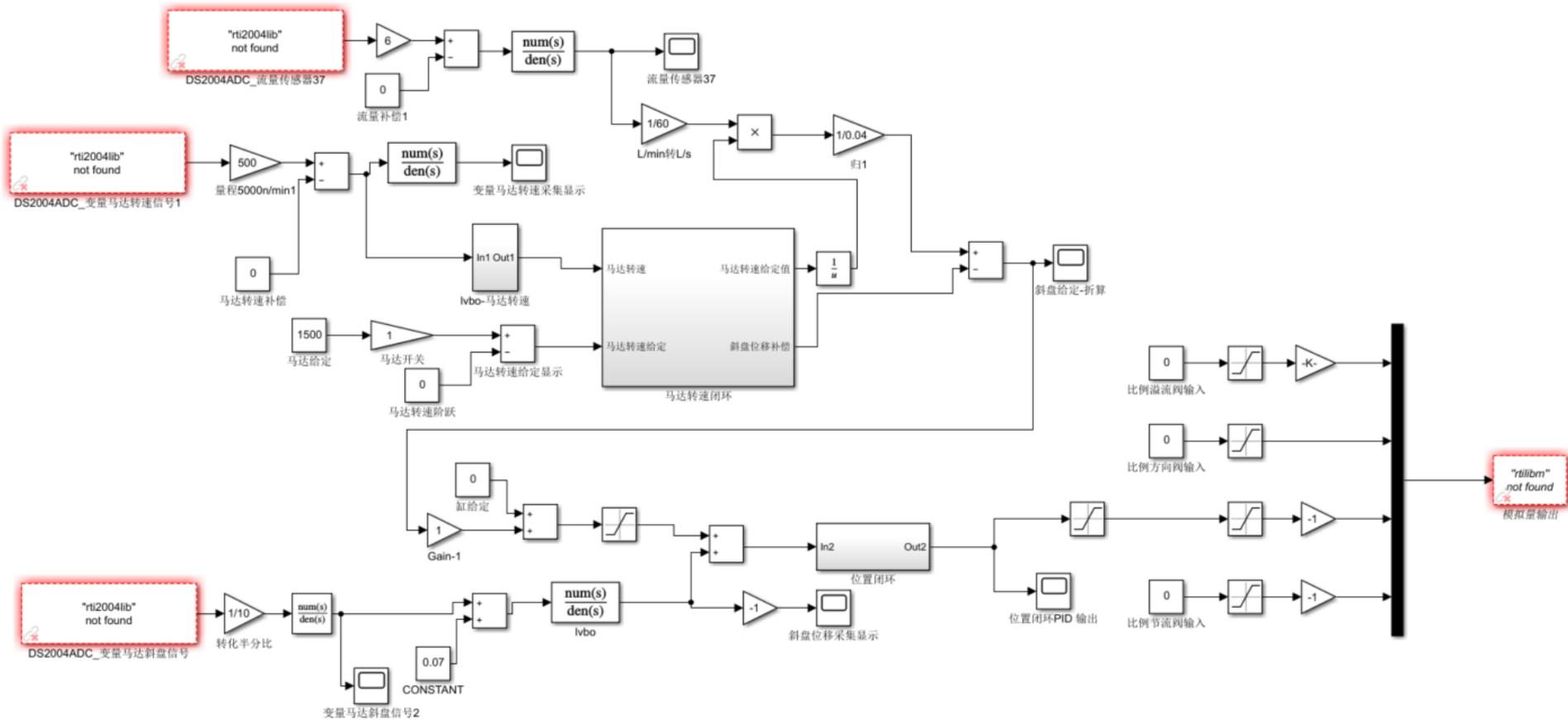
## dSPACE 开发步骤

### 第四步

- dSPACE
- 综合实验和测试环境



## 控制程序



液压回路中的阀比较多，通过根据传感器采集回来的值进行控制回路中的阀和摆角的值。

## 项目概述:



□ 搭建包括风力机模拟系统、液压主传动系统、主控系统和发电机并网系统的液压风电研发实验平台

- **风力机模拟系统:** 采用伺服驱动器控制伺服电机模拟真实风力机特性
- **液压主传动系统:** 定量泵、变量马达及其他液压系统组成元件和附件，定量泵与伺服电机同轴相连，驱动定量泵转动。
- **主控系统:** 包括逻辑控制、运动控制两个部分
- **发电机及其并网系统:** 包含励磁同步发电机和并网柜

## 项目软硬件介绍:



### 使用硬件:

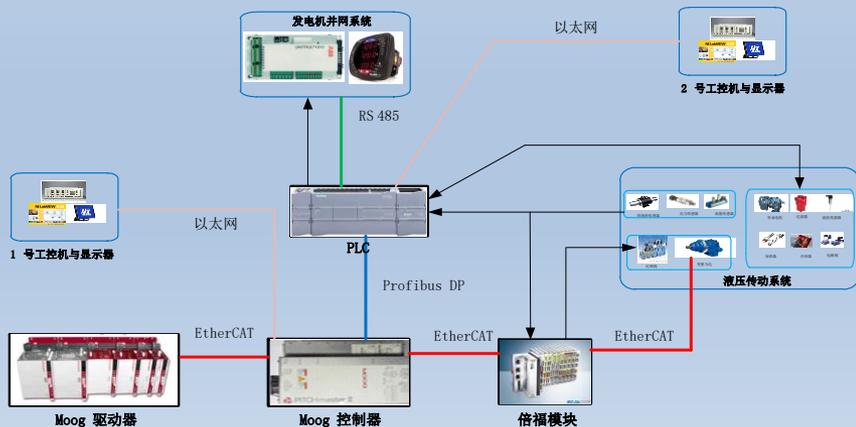
西门子1200系列PLC (逻辑控制)、MOOG控制器MSC II (运动控制)、MOOG的EPU (风力机模拟)、研华数据采集卡、研华工控机、Shark200 (检测所发电能和电网侧的电流、电压和功率等各项数据、收集数据)、ABB UN1010自动电压调节器 (监控发电机端相关状态参量、调节电压、整定电流、使其电压、频率、相位否与市电接近)

### 使用软件:

EPLAN (绘制电气原理图)、TIAprotal (PLC编程软件)、SQLServer (C#编辑页面采集数据)、MACS (MOOG控制器MSC II 配套软件)

## 控制方面概述

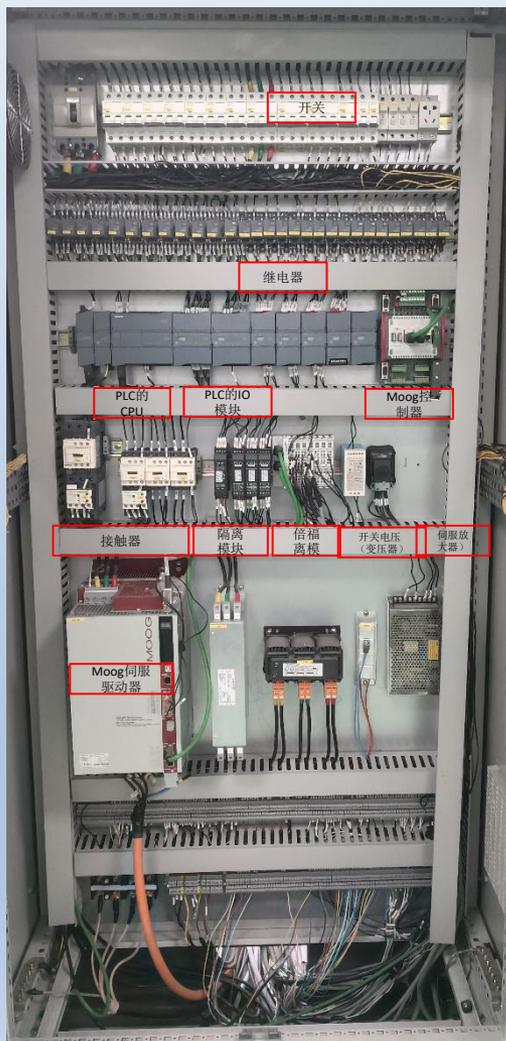
- **主控系统**：包括逻辑控制、运动控制两个部分，
- **系统逻辑控制（PLC）**：系统各部分的逻辑控制及发电机并网控制。
- 更具体而言包含系统急停、系统启停、程序退出与启动、并网故障信号显示与输出、液压主传动系统过滤器发讯、变频器故障输入、风冷电机启动与状态显示、UN-7投入/退出PF命令、系统正常运行显示、并网运行显示、UN-7切换PF与VAR模式、风力机逻辑控制。
- **运动控制功能（Moog控制器）**：风力机模拟部分及转速、功率闭环控制。
- 更具体而言并网转速控制、功率控制、低风速启动控制、数据采集与显示、指令信号给定，同时用来控制Moog驱动器（单轴伺服驱动器MSD）来驱动伺服电机转动，进而控制Moog的EPU（无刷式伺服电机+径向柱塞泵）来模拟风力机。



### 实际的通讯方式：

- 以太网（工况机和Moog控制器、）
- EtherCAT（Moog控制器和驱动器、 Moog控制器与倍福模块、倍福模块与RKP泵）
- Modbus（PLC与并网系统）
- Profibus DP（PLC与Moog控制器）
- TCP/IP（工控机与PLC）

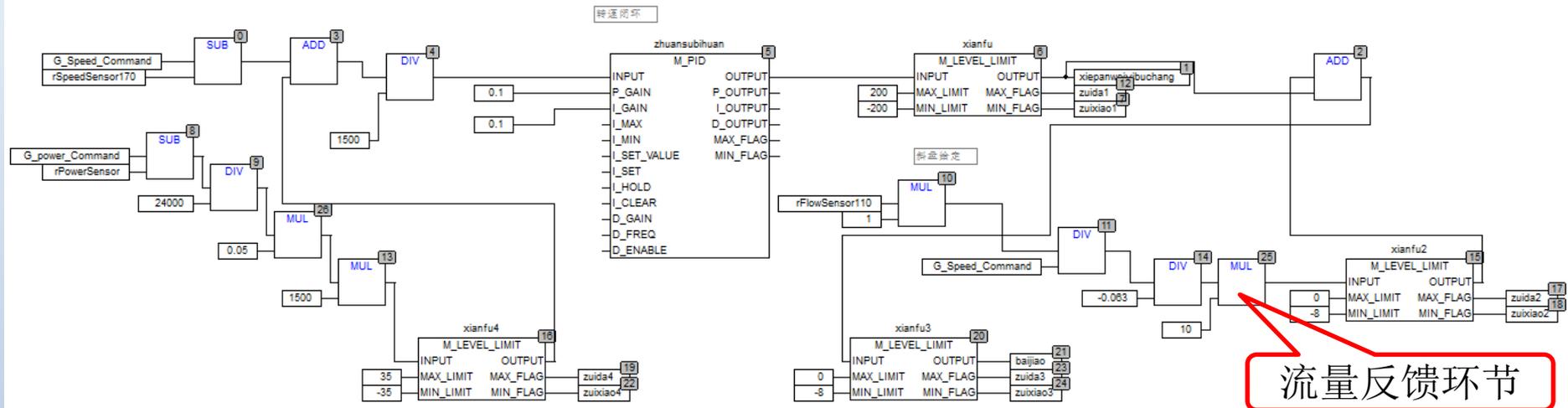
## 控制方面-系统逻辑控制



- PLC：包括一个CPU模块和多个I/O模块。其中 I/O模块功能包括控制系统硬件设备的通信、各传感器信号的采集以及控制信号的输出（数字信号和模拟信号）。
- 液压IO站采集机组传感器测量的压力、流量、温度、转速、转矩以及环境参数等信号通过PROFINET与主控PLC通讯，输出低风速启动阀控制信号，配合MOOG控制器和上位机实现传动系统压力及有功功率控制，并对机舱内各类辅助电机、油泵、风扇进行控制。
- 并网IO站通过UN-1010、Shark-200、发电机综合保护器等设备采集发电机电压、有功功率、频率、运行状态等信息，通过PROFINET与上位机、主控PLC通讯，接收主控PLC指令，实现机组并网系统的监控以及并网与解列控制，辅助实现转速和功率控制。



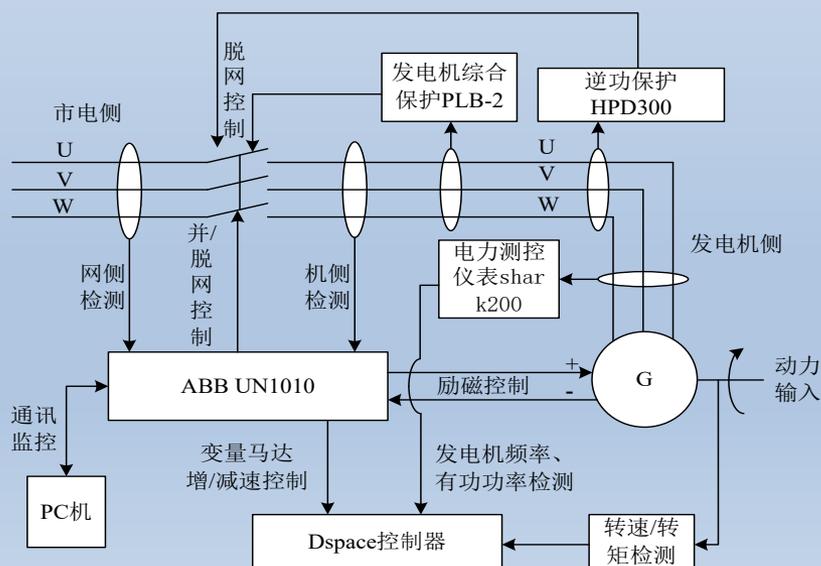
## 控制方面-运动控制功能



- 系统中存在两个变量，变量马达摆角和比例节流阀开度，本控制中比例节流阀设为了全开。
- 变量马达控制：变量马达(RKP泵)阀控缸的位置闭环控制在马达电子放大器板中完成，马达(RKP泵)斜盘摆角实际值由放大器板给出，MOOG控制器的斜盘摆角给定值经由放大器板给出，从而实现变量控制。  
(RKP泵中有自己的位置闭环，故只需要给其摆角即可)
- 比例节流阀控制：通过控制比例节流阀开度，实现叶轮的转速控制，辅助传动系统实现功率控制。
- 转速闭环控制思想：将采集到的转速与目标转速做差，做归一化处理、经PID控制、限幅、加上流量反馈所提前算出的大致摆角值，然后做摆角输出。
- 功率闭环控制思想：将采集到的功率与目标功率做差，做归一化处理、乘下垂系数（可理解为功率偏差与转速偏差的关系）、再乘以1500r转化为转速的偏差，在加到转速闭环中。

## 并网发电方面

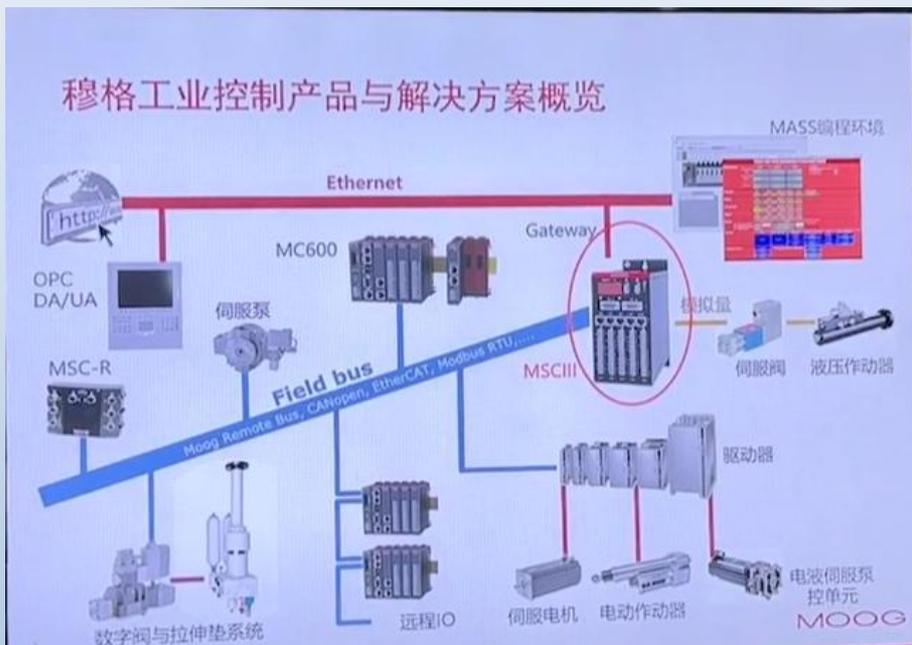
- 功能：实现单机准同期并网发电功能。
- 组成：Shark200电量检测模块、ABB1010励磁调节器模块、HPD300逆功保护继电器模块（报警保护）、PLB-2发电机综合保护装置。
- Shark200电量检测模块作为设备的监测仪表，主要检测显示发电机端的电压、频率、电流和有功功率，可反映机组的发电质量，并将上述物理量信号转换为模拟量信号，以反馈信号的形式输送给原动机控制系统。
- ABB UN1010自动电压调节器可实时监测发电机端相关状态参量，并判断上述参量是否符合并网条件。同时ABB UN1010具有自动电压调节AVR，励磁电流调节Manual，恒无功功率调节Var，恒功率因数调节PF和开环调节Open Loop，各模式间自动跟踪，无扰动切换等功能。



### 并网流程及步骤

- ①打开励磁开关（1000r/min+后）
- ②打开同期退/投开关（1400r/min+后），其作用用于观察检测发出点的电压、频率、相位是否与市电接近
- ③打开并网退/投开关：待同期表状态较好时（有些波动也无碍），打开并网退/投旋钮，系统则会在时机成熟时自动并网
- ④打开PF功能退/投开关：自动调节功率因数
- ⑤关闭退/投旋钮开关：防止分闸后再次自动并网
- ⑥并网分闸按钮：分闸时最好功率小点

## 补充知识- Moog的运动控制器MSCIII简介



### MSCIII 伺服控制器概述

硬件特性	描述	
性能与内存	CPU	四芯 1000 MHz
	最小任务循环时间	最小 200 us
	内存	1 GB RAM / 1 GB Flash EEPROM
	可保持变量	32 KB
IO接口	实时时钟	实时时钟功能
	数字量IO	8 x DI/O (可配置输入或输出)
	模拟量输入 (16位)	8 x AI (可配置为+/-10 V, +/-10mA, 4 ~ 20 mA)
	模拟量输出 (16位)	4 x AO (可配置为+/-10 V, +/-10mA, 4 ~ 20 mA, +/- 20 mA)
	参考电压输出	1 x 10 V
	位置传感器接口	4 x 可配置为SSI 或 增量式编码器
集成总线接口	EtherCAT	主站或从站
	CAN/CANopen	1 x CAN/CANopen (主站或从站)
	PROFIBUS-DP	PROFIBUS-DP 从站
	PROFINET	PROFINET 从站
	Ethernet	1 x 1000 Mbit / 100 Mbit

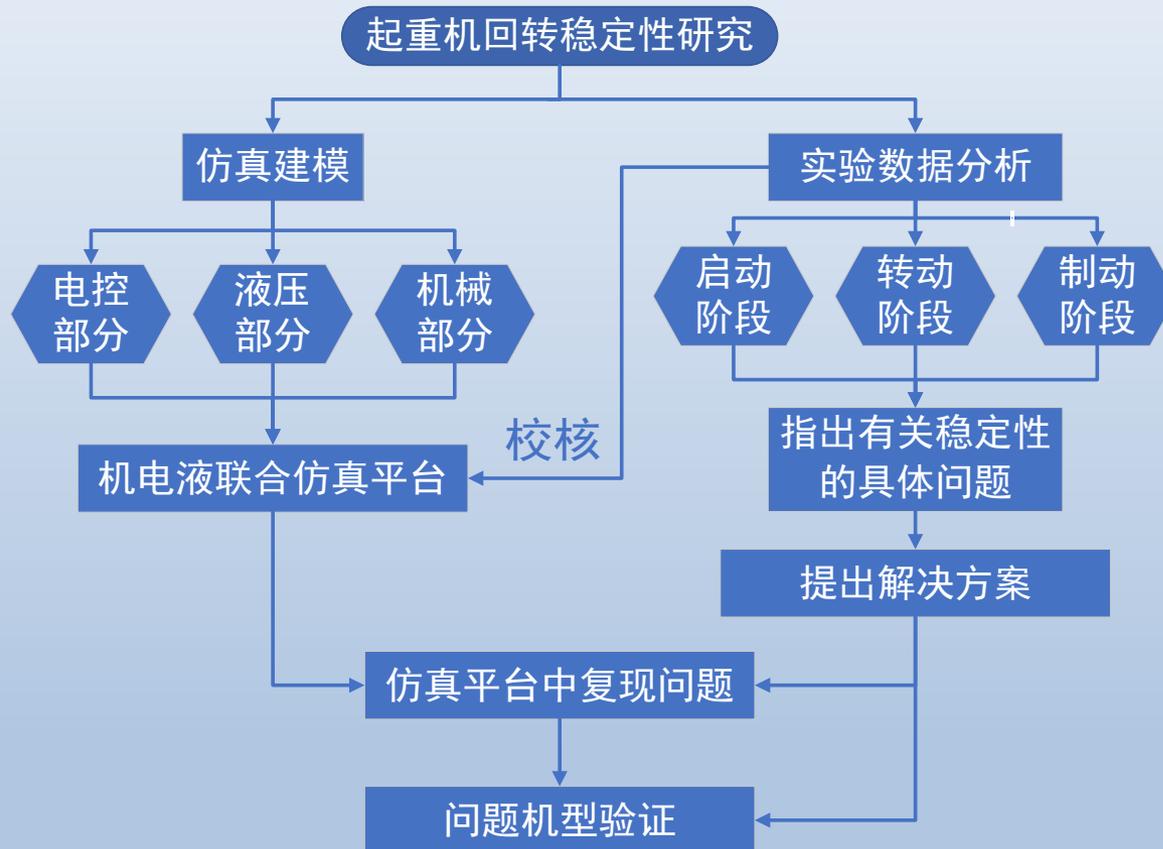
- MSCIII有8个数字量接口、8个模拟量输入、4个模拟量输出和4个位置传感器接口（SSI或增量式编码器），配有EtherCAT和CANopen接口。
- 软件为MASS，与MSCII不同，MSCII用的是MACS
- 伺服控制器与伺服驱动器用总线连接主要用于一些电动产品的控制

## 项目要求:



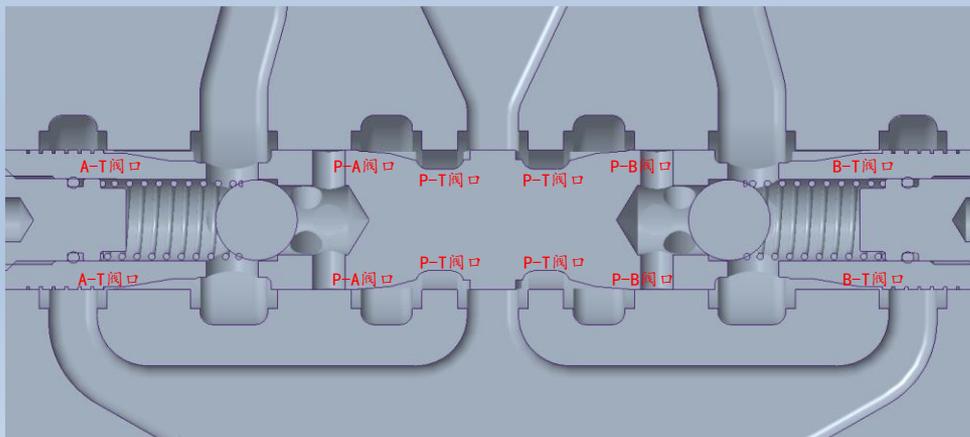
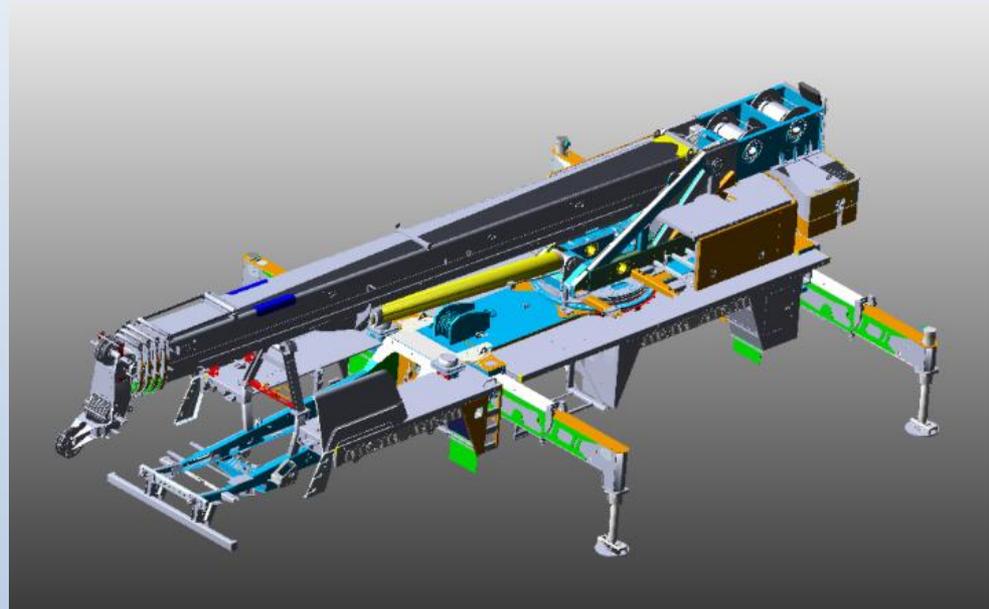
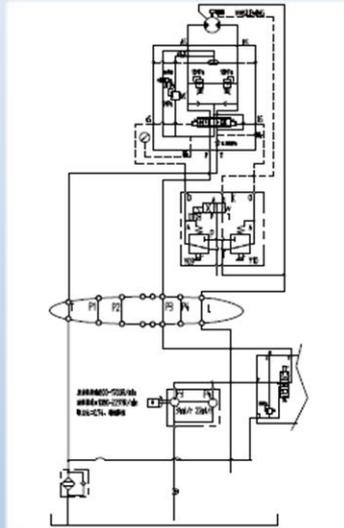
- 针对回转性能分析，建立仿真模型，模型静态精度达到85%，动态精度达到80%；
- 分析确定汽车起重机回转性能影响因素，并分析影响规律；
- 给出回转性能提升的具体措施，并通过仿真模型进行验证，对改进给出定量评价。

## 项目方案：



**机电液联合仿真：**根据所给模型和实验数据进行建立并完善仿真模型，随后在仿真中验证所出现的问题，并提出解决方案，在仿真模型中验证后进行整机验证。

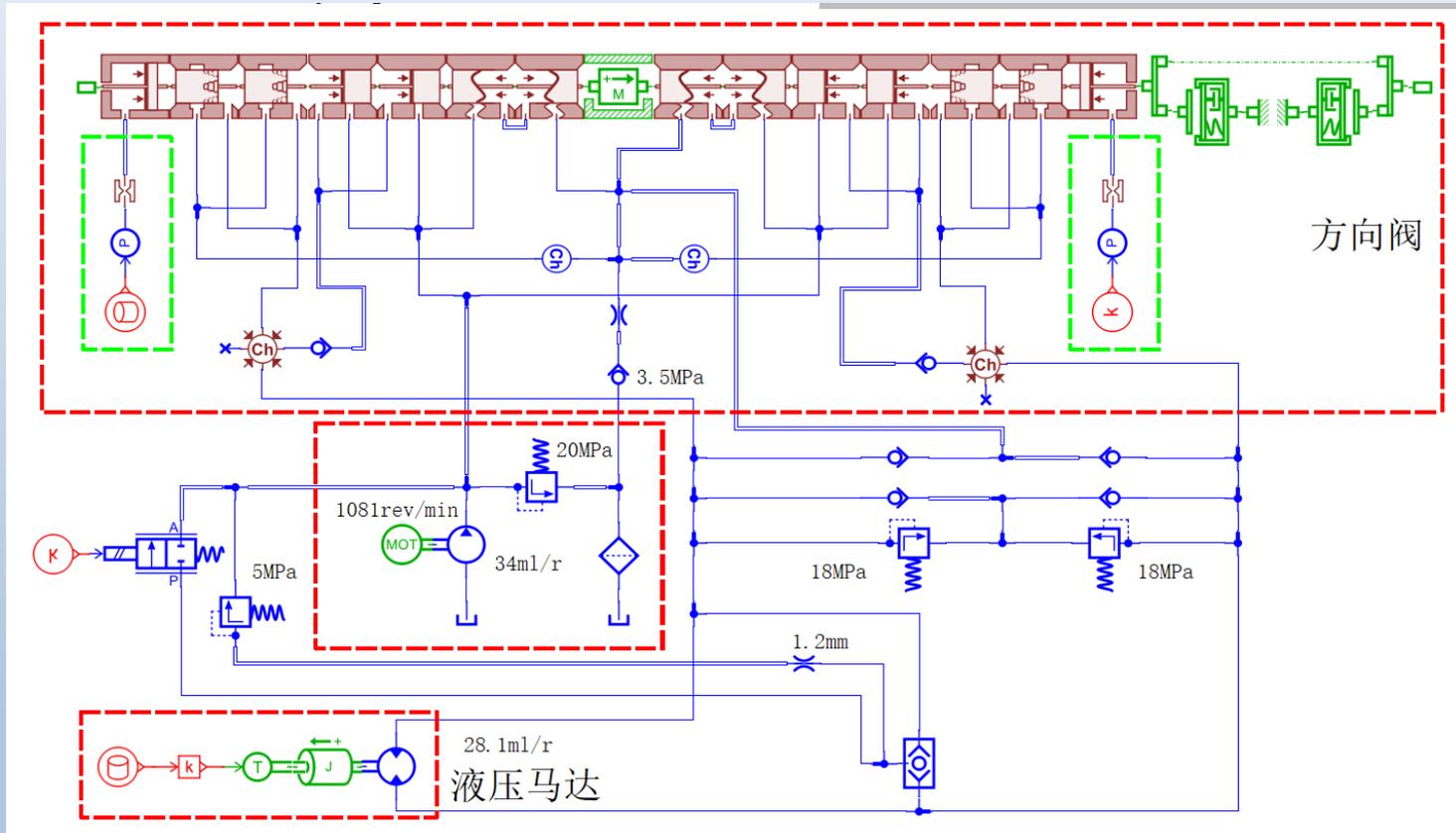
## 项目准备:



企业所给资料清单:

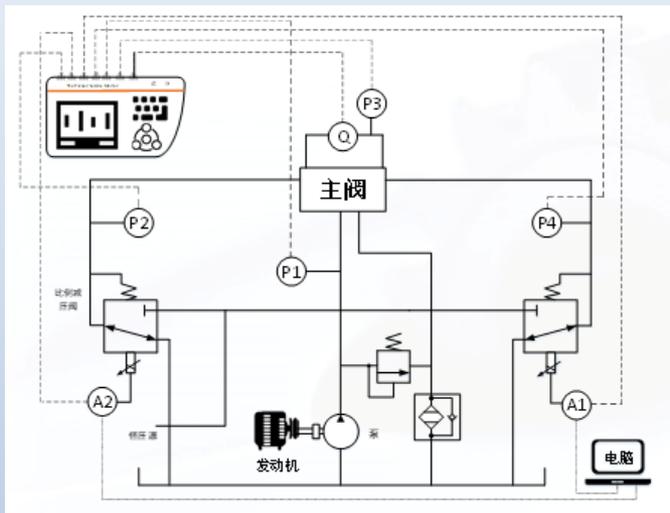
- 液压原理图
- 整机的creo模型
- 相关阀芯的creo模型
- 几组实验数据

## 项目过程:



- 1.根据系统原理图建立液压模型。
- 2.对所给Creo模型进行处理，建立机械模型。
- 3.根据实验数据调整模型的参数。
- 4.液压模型和机械模型的联防。

## 项目过程:



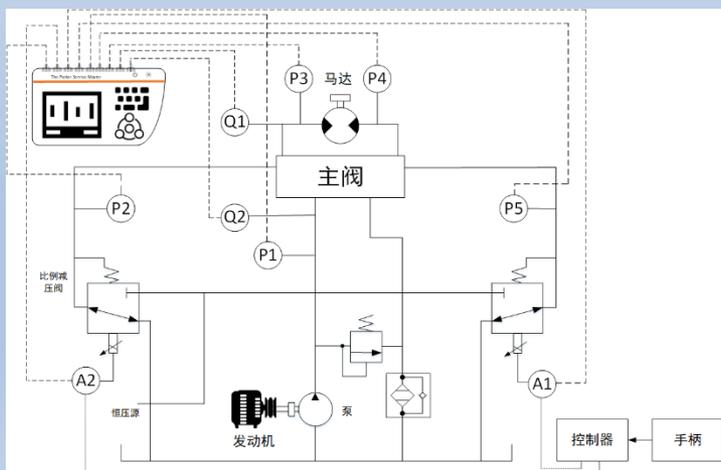
### 5.台架试验

#### 同一阀之间的对称性:

相同的电流下减压阀-主阀左右两端的流量差。

#### 不同主阀的阀口一致性:

通过给减压阀电流，使主阀开度达到最大，对各主阀最大开度下的流量进行比较。



### 6.整机试验

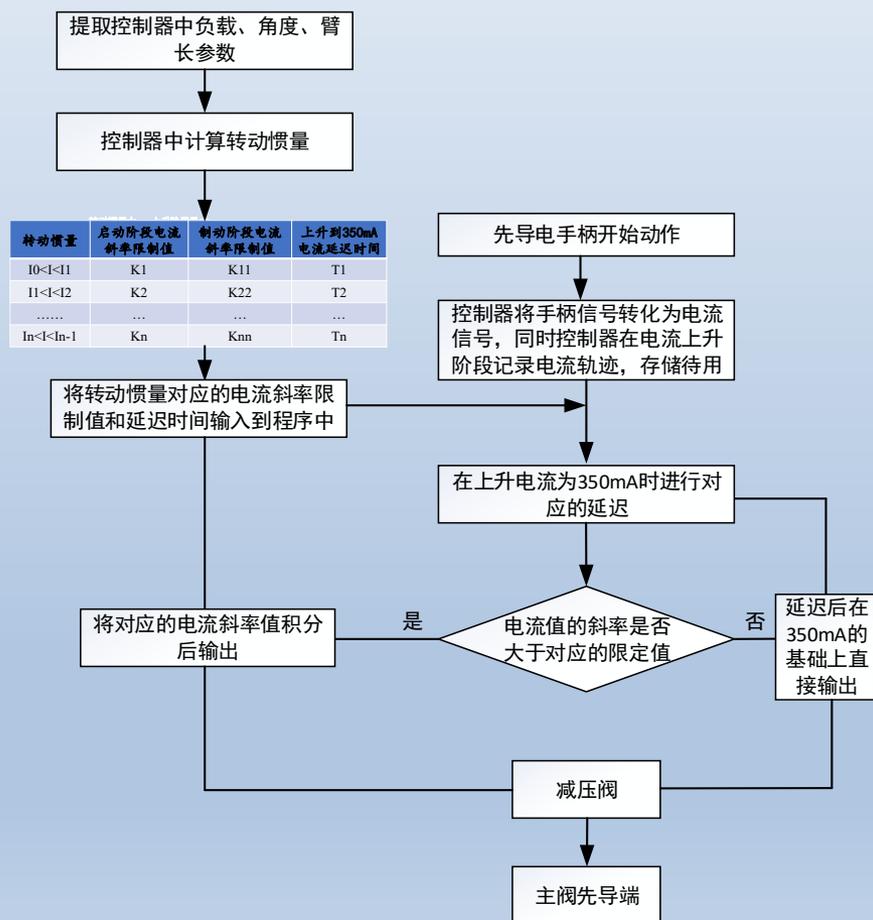
#### 确定影响稳定的因素:

通过控制变量的方法，通过对不同的负载、变幅角度、伸出节臂进行试验进而确定其影响因素。

#### 探究稳定时的阀芯运动轨迹:

对每种工况进行微动试验和手柄全开试验，对不同试验下的阀芯进行分析。

## 项目过程:

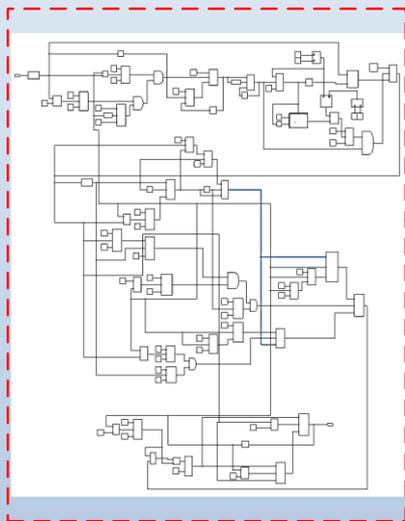


## 7.制定控制策略, 建立电控模型。

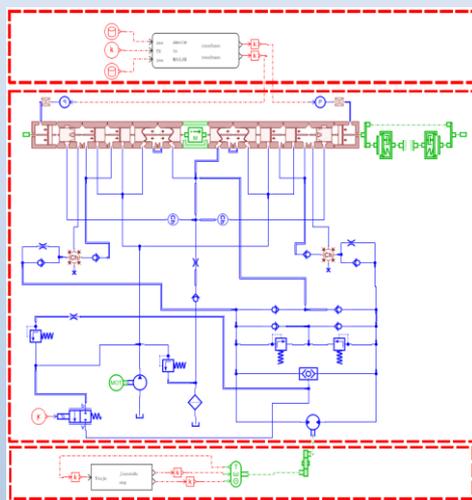
根据不同的工况, 计算对应的转动惯量, 进对阀芯的运动轨迹即控制减压阀开启电流的斜率进行规划, 从而针对不同的工况制定不同的阀芯运动轨迹。

## 8.通过仿真平台、台架和整机试验验证控制策略

## 项目过程:



控制系统



液压系统



机械系统

控制系统在**Matlab**中建模，液压系统在**AMESim**中建模，机械系统在**UG**中建模进行机电液模型联合仿真。