

# 第一届自抗扰控制研讨会纪要

天津大学, 2012 年 10 月 12-13 日

---

第一届自抗扰控制研讨会于 2012 年 10 月 12-13 日, 在天津大学举行。主办单位为天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室, 中科院数学与系统科学研究院, 和美国克利夫兰州立大学先进控制中心。参会者来自国内数十个单位, 包括大学、研究机构、企业, 共一百余人。部分与会人员于 10 月 12 日下午参观了天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室的实验装置, 包括汽油机和柴油机, 并在聆听了宋康和何宇同学关于内燃机控制问题的介绍和分析后进行了讨论。接着各高校的研究生与多年从事自抗扰控制研究的老师们展开了互动。华北电力大学的郝玉春, 北京控制工程研究所的王泽国, 大连海事大学的雷正玲, 和天津理工大学的赵健等同学, 分别介绍了自己的研究工作, 以及遇到的种种疑惑和问题, 并与在座的老师同学们展开了几个小时的热烈讨论, 使会议成为名符其实的“研讨会”。

会议的第二天以报告形式于 10 月 13 日上午九点到下午五点, 在天津大学会议中心第三会议室举行。中科院数学与系统科学研究院的郭雷院士首先致开幕词。他回顾了韩京清教授创立自抗扰控制方法所走过的历程, 勉励与会人员以此为榜样, 在理论和应用研究上做出自己独特的贡献。郭雷院士还特别提到: 为解决挑战性实际问题, 必须研究基础理论; 为引领理论发展的方向, 必须面向实际问题。

接着天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室副主任谢辉教授做了大会报告, 题为“现代内燃机控制技术的发展与挑战”。他分别介绍了内燃机在我国国民经济中的重要地位(占全国石油消耗量的 66%, CO<sub>2</sub> 释放量的 25%), 汽油机和柴油机控制技术的发展与挑战, 以及先进控制技术对节能减排举足轻重的作用。谢辉教授的报告为研讨会建立了浓厚的学以致用气氛。

接下来是十四个关于自抗扰控制理念, 方法和应用的报告。中科院数学与系统科学研究院的黄一教授首先提出自抗扰要做什么、怎么做的问题, 指出自抗扰的核心思想是通过扩张状态观测器, 估计、补偿总扰动, 使系统还原为标准的积分串联型, 再加以控制。她还介绍了近来自抗扰工程应用和理论分析的进展。克利夫兰州立大学的高志强副教授从韩京清控制思想的发展历程入手, 把握自抗扰的前提、方法、命题、和方法论, 进而讨论自抗扰控制理论和技术研究的课题和规划。最后他回顾了十几年来对自抗扰范式的理性思考以及参数化的技术落实, 使它既能在学术上讲出道理又能在工程实践中有效地解决问题。为此, 南开大学的孙明伟副教授还结合飞行器若干问题上的工程实践与长年的思考, 讨论怎样把自抗扰控制的理念与工程师的思维习惯相结合, 提出在实践中学习和熟悉动力学, 从而把自抗扰控制用的有的放矢, 扬长避短。

另外, 北京理工大学自动化学院的夏元清教授, 中科院复杂系统智能控制与管理国家重点实验室副主任侯增广研究员, 清华大学精仪系吴丹副教授, 中科院数学与系统科学研究院薛文超助理研究员分别在研究方法和应用课题上各自做了介绍。夏元清教授引入了滑模控制与自抗扰控制相结合的复合控制理念, 通过取长补短提高闭环系统品质。侯增广研究员

给大家展示了康复机器人被动与主动控制的问题、方法和最新成果，以及它们在脊椎神经损伤和中风病人康复中的重要作用。吴丹和薛文超博士分别讨论了自抗扰控制的频率特性。吴丹借用描述函数分析非线性自抗扰控制器的频域特性，发现它具有改进品质、减小稳定裕度的特点。薛文超的理论研究表明，自抗扰控制系统的特点是它的相位裕度和剪切频率与系统一些不确定参数几乎无关，在工程上具有独特的优势。

与会人员还看到了几个自抗扰控制应用的实例。北京科技大学的王丽君老师介绍了轧钢系统中的各种抗扰思想，总结了扰动的特性，并对各种抗扰设计方案优缺点进行了分析比较，提出自抗扰控制是最有效的解决方案。清华大学博士后研究生黄春娥介绍了气化炉的自抗扰控制，包括问题的提出、分析和解决方法，以及仿真实验及结果分析。中科院数学与系统科学研究院博士生姜甜甜分析了航空发动机不稳定流动的控制问题并提出了基于 ESO 和 backstepping 的鲁棒输出反馈控制。天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室博士生宋康和何宇同学分别介绍了自抗扰控制在汽车内燃机控制应用中取得的一些初步成绩。根据自己的体会，宋康还特别谈到怎样把自抗扰的理念与对物理过程的理解和模型结合起来，提高控制器的效能，弥补低采样频率带来的影响。天津理工大学的李超和赵健同学介绍了线性自抗扰控制在电力系统 STATCOM 的解耦控制和在并联混合型有源滤波器上的应用。

第一届自抗扰控制研讨会于下午 5 时结束，郭雷院士做了简短的总结性发言，对会议的成功给予肯定，对未来的工作给予期望。会后，为了便于初次接触自抗扰控制的学生学习，研讨会组织者将部分幻灯片，有关文章和其它资料编辑成册，[供大家在网上下载](#)

## 研讨会讨论的内容、要点、体会

会上、会下大家提出了很多想法，进行了很多讨论，在此挂一漏万地汇集一下，以便日后回顾、继续讨论。还请大家不断地上传给我（z.gao@ieee.org）各自的观点、体会，不断地补充这个单子。

1. 为解决挑战性实际问题，必须研究基础理论；为引领理论发展的方向，必须面向实际问题。（郭雷）
2. 现代内燃机应用计算机技术和先进控制方法，对发动机的工作过程进行优化控制，是机、电、液一体化的、高度智能化的热动力机械，是热效率最高的动力机械。（谢辉）
3. 学习、研究自抗扰先要缕清思路：ADRC 要干什么？怎么干？它的核心是什么？理论和应用的发展是什么状况？还面临什么问题？（黄一）
4. 仿真和实验表明：在 ESO 中，适当的非线性反馈比线性反馈具有更高的效率，使闭环系统具有更好的动态特性（吴丹）
5. 请注意自抗扰研究的三个层次：理念，应用，技术。应鼓励理念的创新（例如 TD，ESO，参数化等等），灵活的应用。并在应用中抓住主要矛盾，提出技术上的关键问题（比如 NMP、时滞问题等）。技术研究要集中兵力打歼灭战，攻克技术难题！理论研究的问题均来自这三个层次，并为其提供支持。（高志强）

6. 计算机仿真是自抗扰研究的主要手段：通过它找到好的、实用控制率，然后再考虑在理论上进行论证。（韩京清老师的主张）
7. 不要为了用 ADRC 而用 ADRC，而是深刻体会实际问题，认真探讨其适用性，有的放矢。工程师应把动力系统的知识和自抗扰理念密切结合，才能灵活运用。（孙明玮）
8. 以史为镜，读史-学控制，观先人走过的路程、思想的发展，以为借鉴，以为出发点。（高志强）
9. ESO 可以降低以减少相位滞后。ADRC 优良的频域特性是可以证明的（薛文超）
10. ADRC 非常适用于解决钢铁业的控制问题。赵申的博士论文在解决时滞问题上有所突破。（王丽君）
11. 像是“修身养性”（雷正玲，谈过去非线性 ADRC 调参的漫长经历）
12. “如读天书--如饮甘泉—如饥似渴”（邱晓波，谈学习、研究 ADRC 的历程）

## 与会人员提出的问题

与会者在会上、会下的讨论中提出了很多函待解决的问题，记录如下。希望大家今后在解决问题的过程中多多交流，激发灵感，避免重复。

1. 现有理论分析中的估计误差和控制精度结果还较保守，怎样改进？（黄一）
2. 怎样将自抗扰控制思想应用于具有非最小相位不确定系统控制的理论分析？（黄一）
3. 怎样将 ESO 运用于非线性滤波？（黄一）
4. 采样频率低带来的问题可不可以按时间滞后来处理？是不是能用建模来减轻 ESO 的负担？（王丽君，宋康）
5. 非线性 ADRC 是不是也可以参数化，便于工程应用？（高志强）
6. 自抗扰控制一般用来解决输入变量个数与输出变量个数相等的问题，比如单入单出，三入三出，那么对于单入多出问题，比如直线型二级倒立摆（单入三出）的问题应该怎样思考？有没有什么好的解决方案？（雷正玲）
7. 韩老师提出的“控制器应该越用越好”的观点应该怎样落实？从  $f$  的估计和历史数据中能否发现系统的变化规律？（高志强）
8. 在 ADRC 的框架下稳定性的概念应该怎样重新定义？（韩老师）；理论研究能否走出 Lyapunov 分析的桎梏？（孙明玮）
9. 自抗扰与滑模控制率复合使用可取长补短。问题是怎样确定控制器的转换（夏元清）
10. 怎样进行包含两个非线性的 ADRC 系统的频域分析？（吴丹）
11.  $b_0$  的在线辨识；离散 ADRC 的频域特性分析。（薛文超）
12. 学习 ADRC 应该怎样入门？由哪儿入手？怎样不断地加深对她的理解？（众生）
13. 能否在国内建立一个中文网站供大家学习、研究、讨论 ADRC 的问题；供初学者下载文档；供使用者交流最新信息。（高志强）

## 自抗扰控制研讨会报告人通讯录

郭雷	中科院数学与系统科学研究院	院士	
谢辉	天津大学	教授	<a href="mailto:xiehui@tju.edu.cn">xiehui@tju.edu.cn</a>
薛文超	中科院数学与系统科学研究院	助研	<a href="mailto:wenchaoxue@amss.ac.cn">wenchaoxue@amss.ac.cn</a>
夏元清	北京理工大学	教授	<a href="mailto:yuanqing.xia@gmail.com">yuanqing.xia@gmail.com</a>
王丽君	北京科技大学	讲师	<a href="mailto:lijunwangh@163.com">lijunwangh@163.com</a>
吴丹	清华大学	副教授	<a href="mailto:wud@mail.tsinghua.edu.cn">wud@mail.tsinghua.edu.cn</a>
侯增广	中科院复杂系统智能控制与管理国家重点实验室	研究院	<a href="mailto:houl@compsys.ia.ac.cn">hou@compsys.ia.ac.cn</a>
孙明玮	南开大学	副教授	<a href="mailto:sun_mingwei@yahoo.com.cn">sun_mingwei@yahoo.com.cn</a>
黄春娥	清华大学	博士后	<a href="mailto:hce_137@163.com">hce_137@163.com</a>
黄一	中科院数学与系统科学研究院	研究院	<a href="mailto:yhuang@amss.ac.cn">yhuang@amss.ac.cn</a>
姜甜甜	中科院数学与系统科学研究院	博士生	<a href="mailto:jiangtt@amss.ac.cn">jiangtt@amss.ac.cn</a>
李超	天津理工大学	博士生	<a href="mailto:lc_doctor_tju@163.com">lc_doctor_tju@163.com</a>
赵健	天津理工大学	博士生	
宋康	天津大学	博士生	<a href="mailto:songkangtju@tju.edu.cn">songkangtju@tju.edu.cn</a>
何宇	天津大学	硕士生	<a href="mailto:heyu@tju.edu.cn">heyu@tju.edu.cn</a>
高志强	克利夫兰州立大学	副教授	<a href="mailto:z.gao@ieee.org">z.gao@ieee.org</a>
周雪松	天津理工大学自动化学院	教授	<a href="mailto:zxsmj@126.com">zxsmj@126.com</a>

## 网上研讨会资料集

1. 会议手册
2. 会议纪要（本文）
3. 幻灯片
4. ADRC 入门文章（帮助大家入门的中英文文章）

高志强 ([z.gao@ieee.org](mailto:z.gao@ieee.org))

2012 年 10 月 25 日