

2016流程设备维护技术论坛

流程工业机械装备绿色 智能化与在役再制造

北京化工大学 高金吉 杨国安

流程工业机械
装备绿色发展
及面临的挑战

一、工业绿色发展的内涵

工业绿色发展是我国绿色发展最重要的领域。

2012年我国工业能源总消耗约占全国的**71.3%**；
流程工业**钢铁、有色、石化、化工、建材、造纸等六大高能耗行业**的总能耗约占工业总能耗的**64.5%**；同时其污染物排放总量在工业污染排放总量中占较高比例，是我国工业节能减排的主力军。

——绿色发展

- **绿色发展**源于环境保护领域，是培育新的经济增长点、保护生态环境活动的总和，是资源承载能力和环境容量约束下的可持续发展。

- **广义的绿色发展**包括存量经济的绿色化改造和发展绿色经济两方面，覆盖了国民经济的空间布局、生产方式、产业结构和消费模式

- **狭义的绿色发展**包括绿色生产制造过程、产品绿色化、节能减排、清洁生产、企业绿色化

——绿色、循环、低碳发展的关系

- 绿色发展、循环发展和低碳发展相辅相成，相互促进，构成一个有机整体。绿色化是发展的新要求 and 产业的转型主线，循环是提高资源效率的途径，低碳是能源战略调整的目标。
- 从内涵看，绿色发展更为宽泛，涵盖循环发展和低碳发展的核心内容，循环发展、低碳发展则是绿色发展的重要路径和形式，因此，可以用绿色发展来统一表述。

二、工业绿色发展现状和面临的挑战

—产量居世界前列

2013年主要流程工业产品产能、产量及世界排名

行业	产品	产量	占世界比例 (%)	世界排名
钢铁	粗钢	8.22亿吨	52	第1
有色	电解铝	2204.6万吨	46	第1
石化	成品油	2.96亿吨	12	第2
	乙烯	1620万吨	12	第2
化工	化肥	7153.7万吨	35	第1
建材	水泥	24.14亿吨	58	第1
	平板玻璃	7.79亿重量箱	60	第1
造纸	纸及纸板	1.01亿吨	25	第1

二、工业绿色发展现状和面临的挑战

以上事实说明：依靠工程科技创新实现工业绿色发展是很重要的，它促使工业行业的单位产品能耗和污染物排放强度不断降低。但是，如果工业结构不合理，重化工产品总量增加过快，规模过大，能源消耗总量和污染物排放总量难以抑制，将一定程度上抵消工程科技带来的节能减排效果。

工业绿色发展必须要调整工业结构和控制重化工业（流程制造业）的产出总量。

流程工业机械
装备监控智能
化发展战略

一、我国石化能动机械运行现状

1、我国石化能动机械能效与世界先进水平对比

国外加工吨原油能耗50千克标油，国内60~70千克标油；

国外加工吨乙烯综合能耗500千克标油，国内630千克标油。

- 泵：与国外先进效率相差约2%~6%。

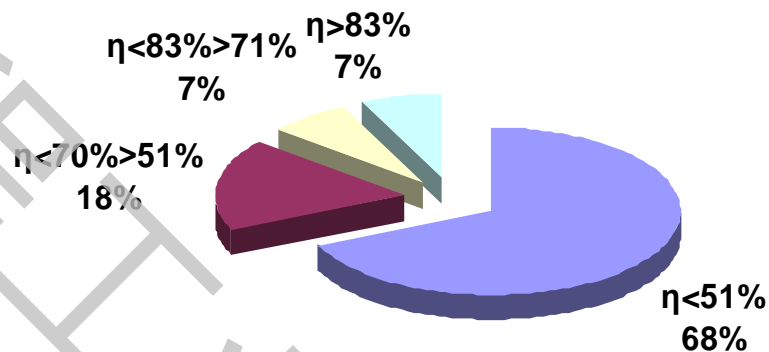
序号	流量m ³ /h	扬程m	国内%	国外%	效率差%
1	330	120	72	78	6
2	400	108	69.5	72.5	3
3	394	2282	72	76	4

- 压缩机：综合能效比国际先进水平低5~10个百分点。
- 风机：应用三元流理论，同时引进了国外的先进技术，使主要风机的设计水平与国外相当，但制造精度，可靠性低于国外水平，实际效率与国外相比仍有约3~5%的差距。

2、石化能动机械用能的突出问题

运行效率低

□ 泵机组运行效率偏低



3套装置主要流程泵运行效率统计

	<51%	51~70%	70~83%	>83%	装置概况
1号常减压蒸馏装置	13	0	1	1	1963年投产，2007年改造
3号常减压蒸馏装置	16	5	1	0	1990年投产
3号催化裂化装置	10	5	2	3	1998年投产
合计	39	10	4	4	

□ 压缩机运行效率与动力负载率低

某石化企业所测试的压缩机中，效率最低的只有29.4%，最高67.5%，负载率最低53.1%。

名称	型号	效率%	负载率%	电机利用率%
氢压缩机	BTD-NICC	38.7	53.1	29.3
氢压缩机	2D12-5.2/14-84	29.4	80.6	25.3
氢压缩机	4M80-30/2.2-200-BX	37.9	67.8	26.9
燃料气压缩机	LG-68/6	33.5	60.4	22.8
燃料气压缩机	2D16-74/16-BX	67.5	65.2	27.1

二、我国高端压缩机组健康与能效监控现状

- 石化行业先进企业通过**监控系统的改造升级**，压缩机组**能效明显改善**。
- 通过应用**透平压缩机综合控制系统（ITCC）**，透平压缩机**能效明显提升**。

如催化主风机及能量回收机组优化控制系统改造。一个140万吨/年催化装置，压缩机组控制优化改造后，蒸汽消耗量可从改造前**每小时54吨**，降至**每小时45吨**，**每吨蒸汽按200元计算**：改造后每年可节省**（54-45）吨/小时×200元/吨×8000小时=1440万元**。

--健康监控发展趋势

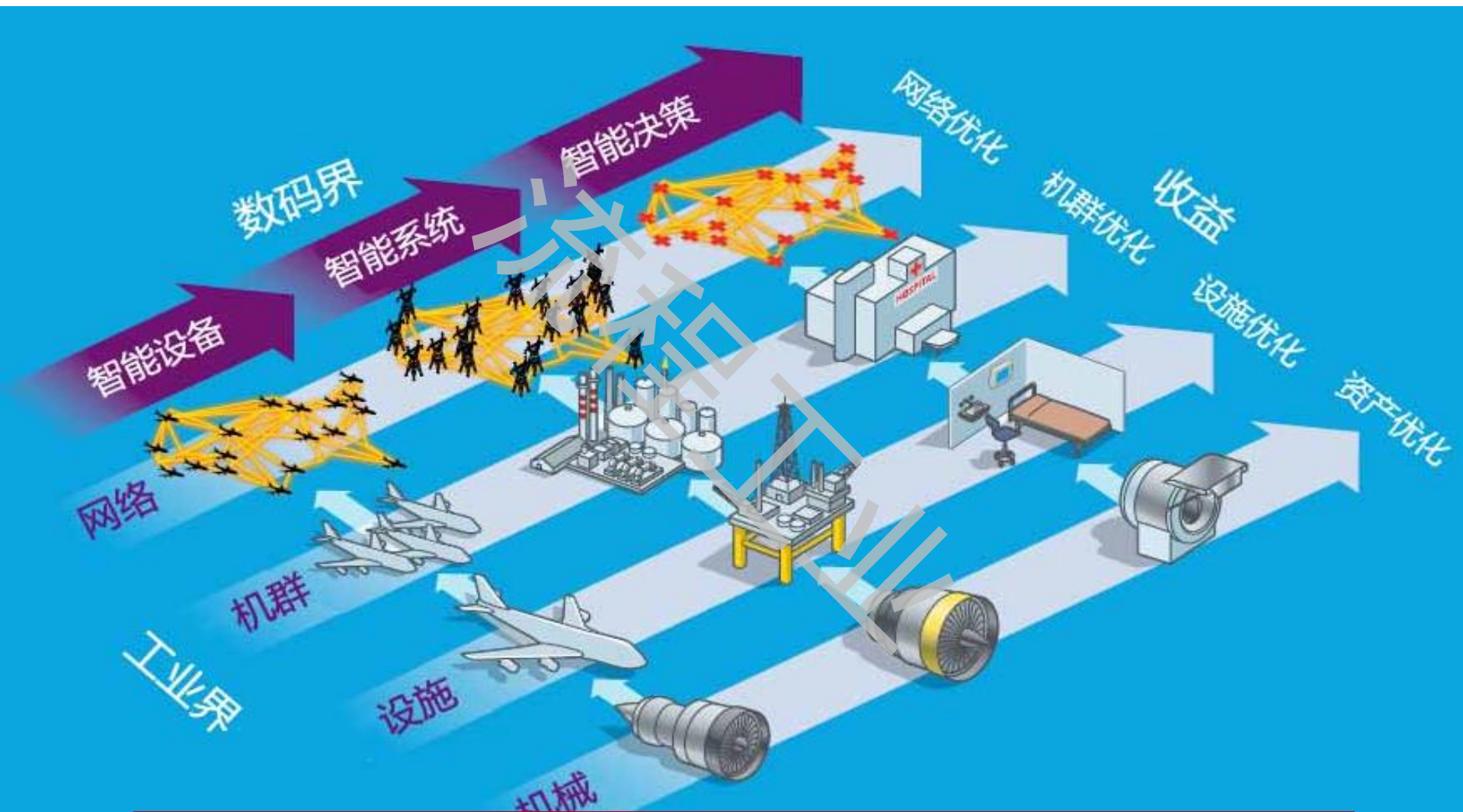
随着传感技术和信息技术的发展，目前高端压缩机组健康监控系统正在不断向**多参数、多机组和主辅协调的智能化、集成化**方向发展。

- 大型透平压缩机组健康监控技术发展趋势是压缩机运行状态的**远程监测、智能控制及故障自愈化**。
 - 往复式压缩机组健康监控技术发展趋势是**由单参数监测发展为多参数监测**，智能控制健康状态，不断提高压缩机组运行安全可靠
- 性。

--能效监控发展趋势

- 由单一参数测量向**多参数同时测量**，并应用历史实际运行数据自动形成真实的性能曲线，建立可参考的数据库。
- 由单台机组调控向**压缩机群的集中调控系统发展**，采用智能化算法分配负载，使各压缩机在最优工况运行。
- 建立主辅设备交互作用的关联耦合模型，进行机组**主辅系统协调控制**，提高机组系统效率。

工业互联网的应用



数字化 信息化 网络化 集成化 智能化

三、我国健康与能效监控智能化发展战略对策

我国高端能源动力机械健康与能效监控智能化发展总体战略思路：

夯实产业基础
科技创新驱动
科学政策引导
专业人才培养

夯实产业基础

- 开展高端能动机械及工艺流程基础理论研究
- 重视仪器仪表产业发展，特别是高端、高性能传感器的研发制造
- 加强零部件、元器件、中间件、关键特种材料等中场产业的发展
- 实施标准化战略

科技创新驱动

- 解决共性技术研究缺位的问题
- 引进技术消化吸收再创造仍是一种十分重要的技术创新模式
- 紧抓新一代信息技术发展变革机遇
- 加强政府导向作用，促进科技体制改革

科学政策引导

- 政府主管部门应负责顶层设计，制定发展战略和规划
- 完善财税政策，采用财政补贴、减免税、专项基金等方式支持企业进行监控智能化升级，鼓励自主创新
- 科学政策引导必须和依法规范发展相结合

专业人才培养

- 积极推行有效的行业各层次人才培养计划，培养监控智能化专业人员
- 立足于自身科研队伍，建立精通相关学科领域的监控智能化专业队伍
- 建立基于工业互联网的设备健康能效监控中心

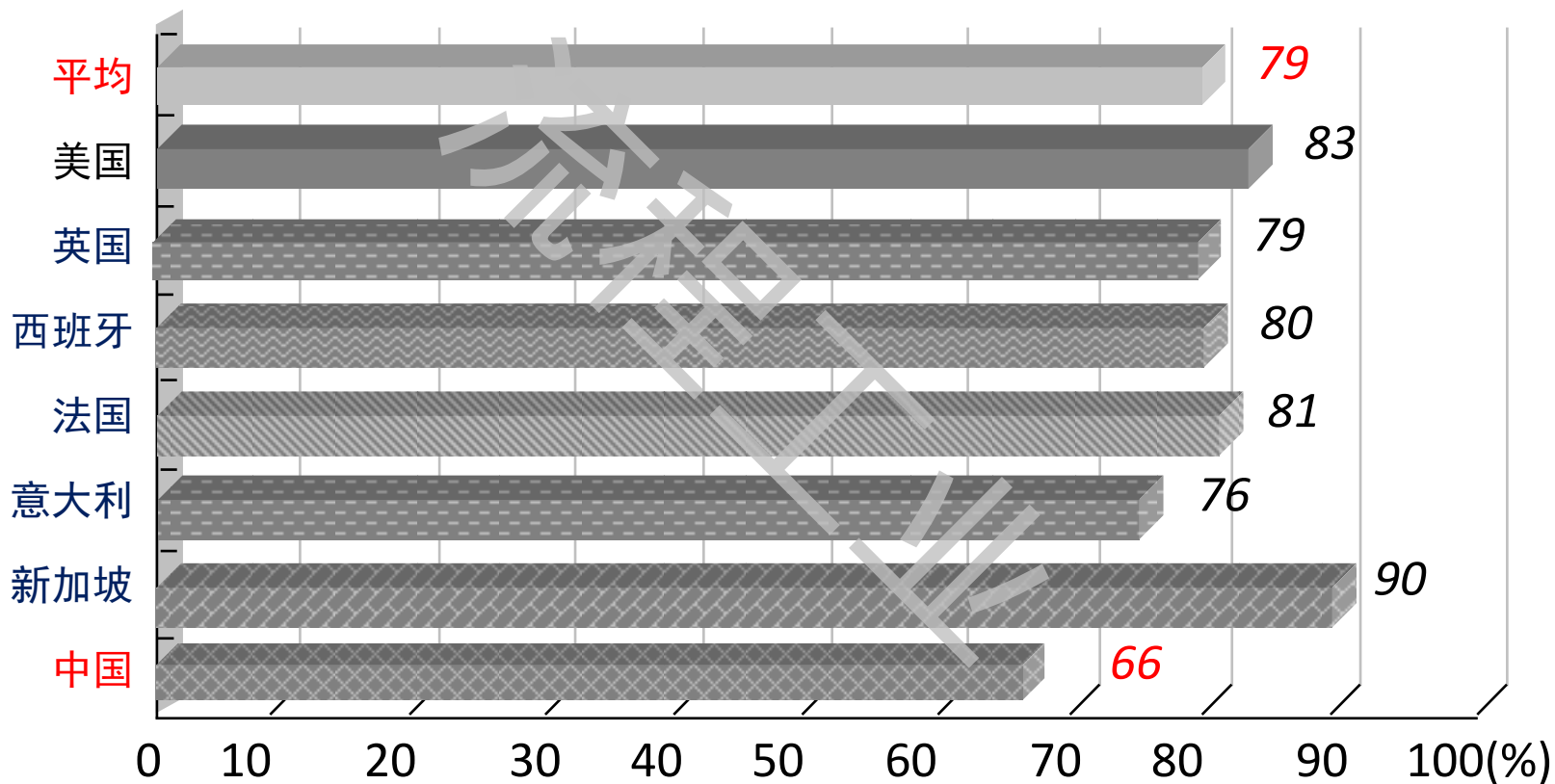
流程工业机械
装备在役再制
造工程

一、在役再制造工程的内涵

在役再制造工程是指以装备健康能效监测诊断理论为指导，以在役老旧机电装备实现提高健康能效和智能化水平为目标，以再制造后的装备更适应生产需求为准则，以先进技术和个性化再设计为手段，进行改造机电装备的一系列技术措施或工程活动的总称。

简言之，**在役再制造工程是在役机电装备高技术改造升级的新兴服务型制造产业。**

长期偏离设计工况低效运行



全球各地区空压机平均负荷百分比

中国工业空压机负荷率比全球平均水平低13%

在役再制造工程主要包括以下四部分

- 对在役运行的老旧装备进行健康能效监测和系统诊断，**查明存在的问题**；
- 以提高健康能效和智能化水平和适应生产系统需求为目标，应用新技术进行**个性化再制造设计**；
- 按再制造设计要求，进行**机件和调控系统的预制**；
- 在适当时机对装备实施**在役再制造**(单机在大检修时、有备台可适时进行)，产能过剩的企业，可停产一段时间对装备再制造，再用于生产流程。

再制造工程与在役再制造工程

再制造工程(RE): 再制造工程使废旧机器起死回生，批量化再制造出与原来一样的机器，恢复原样并技术升级，达到或高于原机水平。

在役再制造工程(REIS): 在健康和能效监测诊断基础上，对老旧和性能低下、故障频发技术落后的在役设备进行个性化再设计并改造升级，使其与生产过程更加匹配和谐，显著提高其健康、能效和智能化水平。

二、在役再制造工程的重要意义

- 对在役老旧和性能低下故障频发的装备进行健康能效监测和系统诊断，可准确查明存在的问题**有的放矢进行个性化再设计**，使装备与生产过程更匹配。
- 可提高技术水平，**大大延长装备的使用寿命**，使**老旧装备焕发青春**达到或接近新装备技术水平。
- 有利于装备**安全、节能、环保、长周期运行**，降低生产成本和产业技术升级。

- 更好地发挥基于工业互联网的装备**健康能效监测诊断系统**的作用，为个性化再设计提供科学依据。
- 应用新技术**改造老装备**，发展**新兴服务型在役再制造产业**。
- 有利于科研与工程实际的紧密结合和**科技成果转化**，为创新装备设计提供技术依据。
- 在发展**循环经济**的同时发展**产业升级经济**。

三、主要原因分析

原因之一:技术层面问题

- 在设计、选型、订购、引进装备时片面追求设备本身的效率**忽视与生产过程的匹配**，实际运行远离设计工况且设备**自适应能力差**，造成大马拉小车低效运行普遍存在。
- 我国工业企业**尚存大量低效运行、故障频发的机械装备**，这些装备在流程工业生产中仍发挥着重要作用，**不可能同时大量报废**。
- 行业相关基础技术薄弱、引进技术消化进步动力不足、国产基础产品研发及实用能力不强。

炼化企业许多离心压缩机靠回流长期运行

三催化车间
富气压缩机
控制系统
操作界面

打印

报警显示

允许启动

登录

None

联锁显示

退出

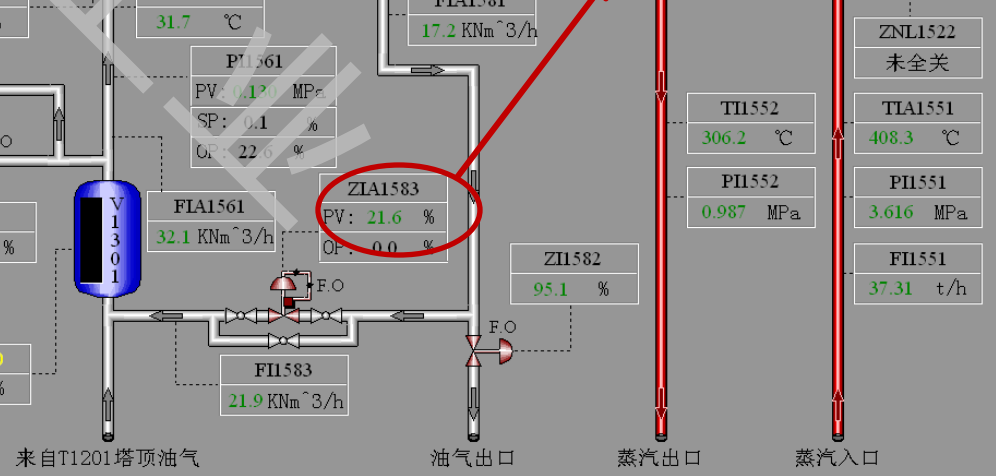
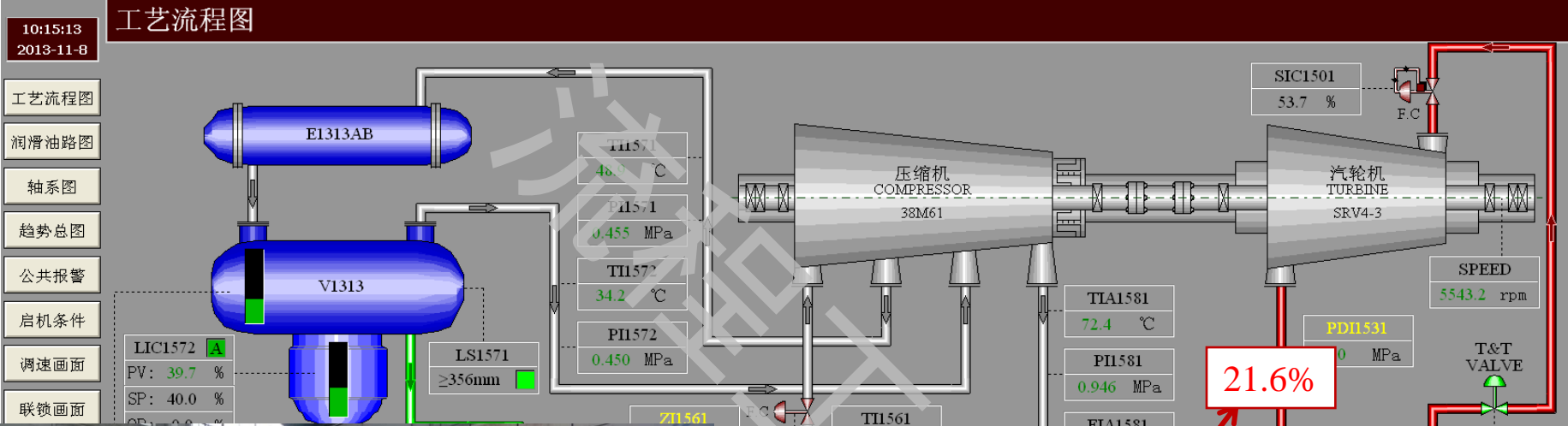
联锁切除

通讯状态: L R B

汽轮机当前转速: **5543.2** RPM

防喘振阀开度: **21.6** %

油泵 A B HC泵 A B

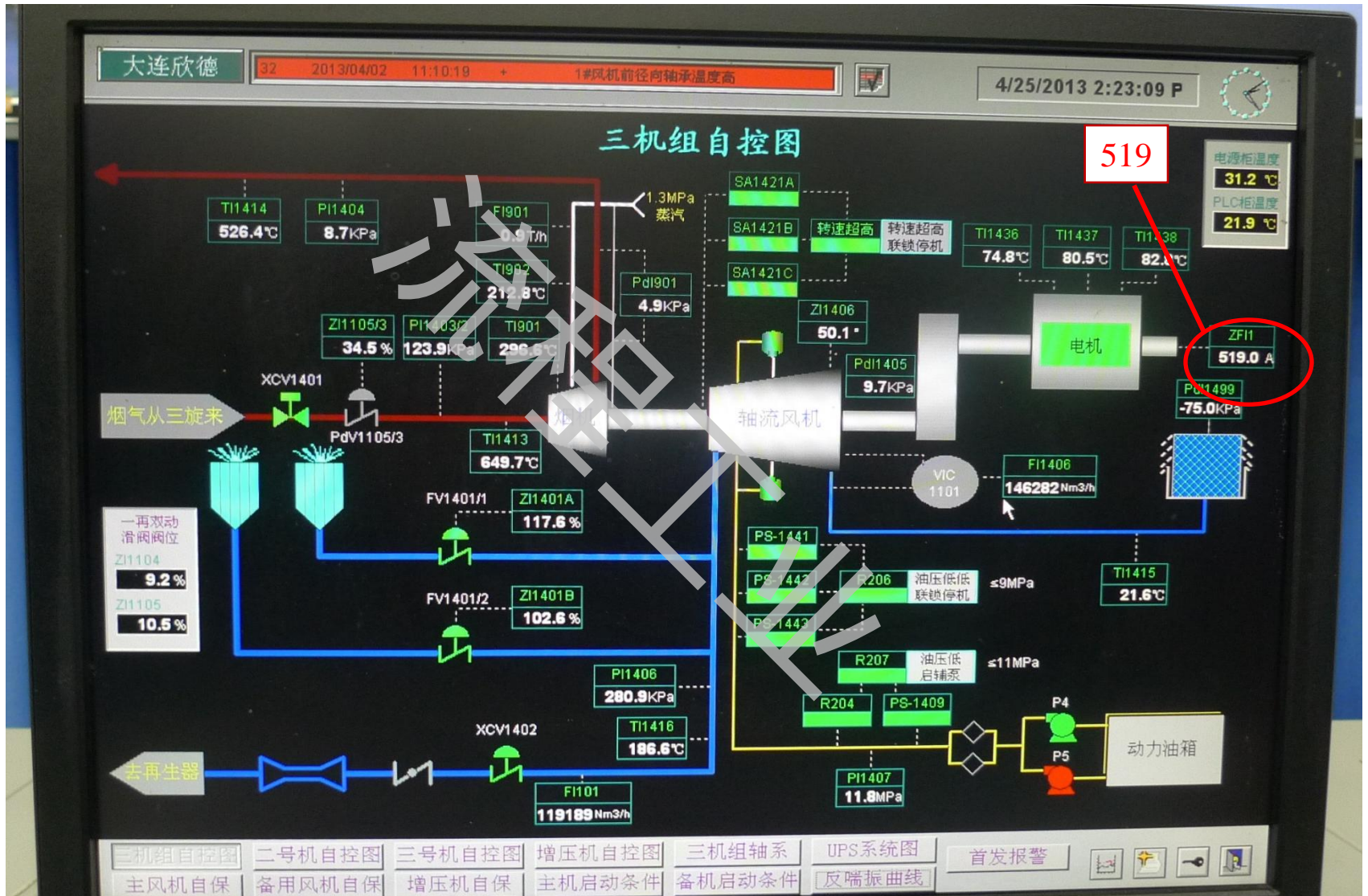


压缩机防喘振阀开度21.6%

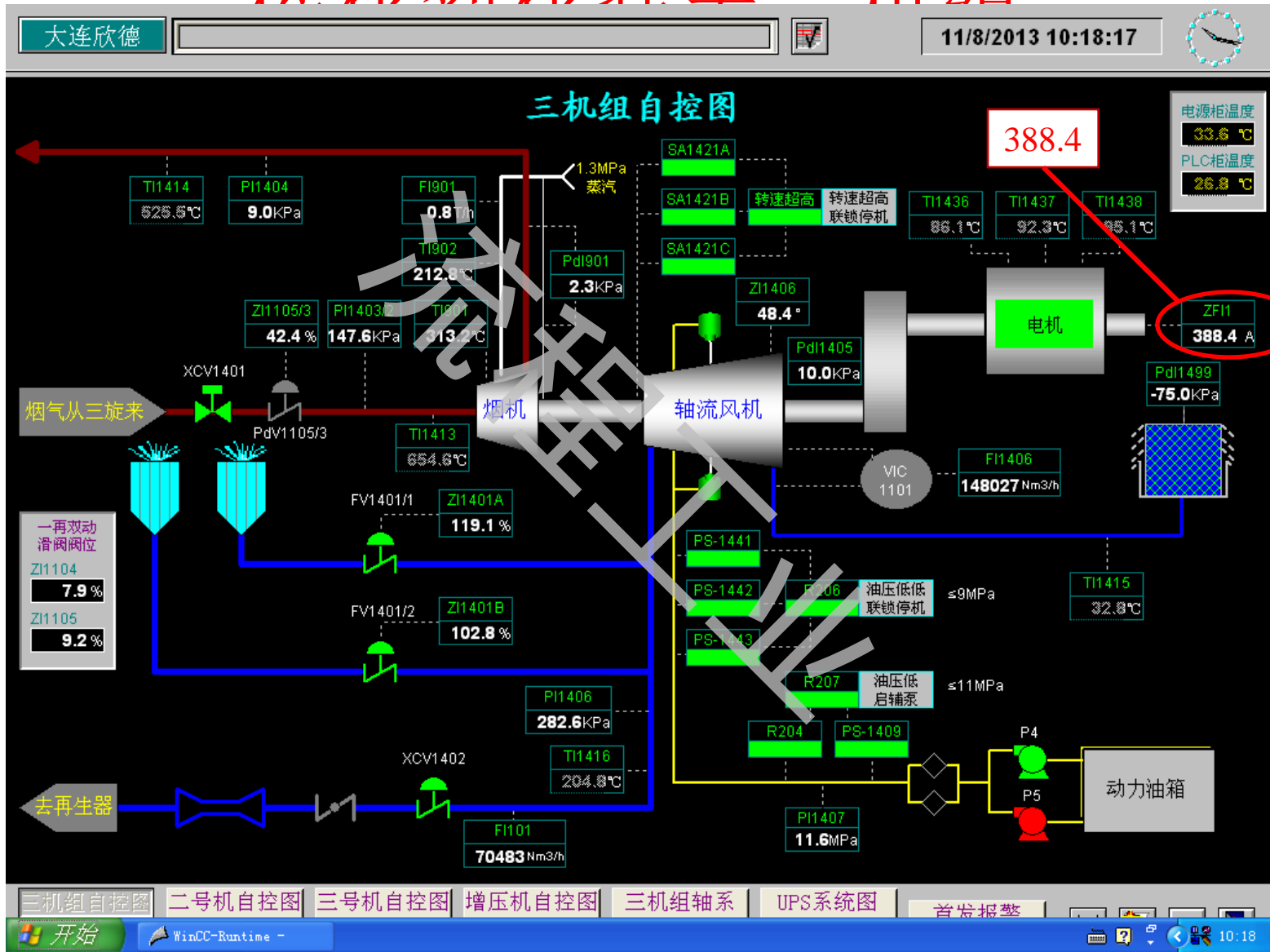
原因之二：管理问题

- **对装备节能重视不够**，企业设备管理部门只负责维修和安全，节能部门重视工艺系统节能。只要装备能安全运行，装备节能无人问津。
- 流程工业连续生产，检修时间紧迫，有些机组能源浪费严重众所周知，但**装备节能技术改造特别是关键机组无备台风险大，不愿也无暇顾及。**
- 行业内对设备运行数据管理分析存在不足。涉及到企业机密的大量核心设备运行数据仍被封存，企业自身缺少大数据分析手段。行业内交叉专业管理力量不足。

高负荷可发电的机组为确保安全一直当电动机用



高负荷可发电的机组为确保安全一直当电动机用 煤化列化装置一扣扣



催化裂化装置三机组

- 电流从519降至388,烟气轮机每年节电:

$$(519-388) \times 6 \times 1.732 \times 24 \times 330 \times 0.72 \text{ (电价)} \times 0.9 \text{ (功率因数)}$$

=698.66万元

- 电流降至0,烟气轮机每年节电:

$$388 \times 6 \times 1.732 \times 24 \times 330 \times 0.72 \text{ (电价)} \times 0.9 \text{ (功率因数)}$$

=2069.33万元。

原因之三：政府导向和科技体制问题

- 我国缺乏在役装备运行能效的监测评价体系和考核制度,尚无相应的法规和技术标准体系。
- 科技投入和人才培养重“顶天”，轻“立地”。

高新技术赶超---解决企业工程问题

世界一流---对国家最有用

科技成果转化---本质安全化技术落后

四、在役再制造典型案例

泵机组在役再制造案例

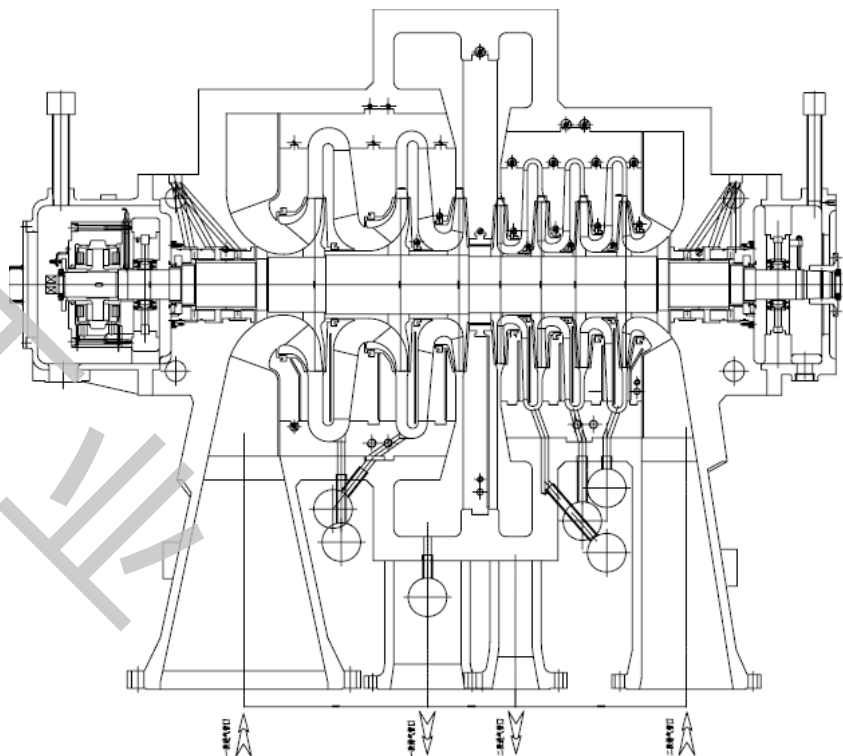
减小泵叶轮半径能降低其流量和扬程，而泵机组功率也随之减小，对于工艺稳定而流量和扬程都富裕的机泵，将叶轮缩减到合适的半径，既能满足工艺需要，更能明显降低泵机组电耗。某企业260×104t/a柴油加氢装置泵P105设计功率是195KW，电流265A，但运行中泵出口压力比生产需求有富裕，为降低电耗对叶轮切削，切削前后的运行操作数据如下表所示。

参数	叶轮直径 (mm)	电机电流 (A)	泵出口压力 (MPa)
车削前	310	255~270	1.65~1.70
车削后	290	196~203	1.45~1.50

车削叶轮后该泵电流明显降低，以平均电流降低65A计算，**每年可节电29.98万kW h，获经济效益14.99万元。**

透平压缩机组在役再制造案例

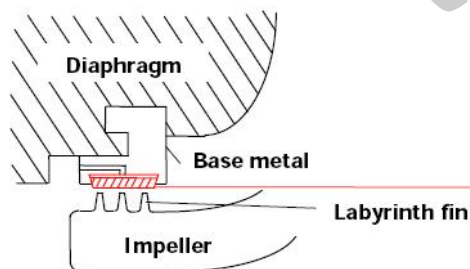
2002年荆门石化80万吨/年催化裂化装置，富气压缩机-汽轮机组由美国ELLIOTT公司引进。投产后实际需要气量为33000Nm³/h比机组设计正常点流量42000Nm³/h少了9000Nm³/h。机组长期在防喘振阀14%开度下运行。



38M7I透平压缩机剖面图

透平压缩机组在役再制造案例

1. 采用三元流场设计，提高通流部分气动效率
2. 叶轮级间口环密封采用金属软密封，减少级间内泄漏
3. 采用反旋绕式平衡盘密封，降低平衡盘气流扰动激振



Layout map of Abradable Seal at Impeller



Abradable seal material (FLUOROSINT)

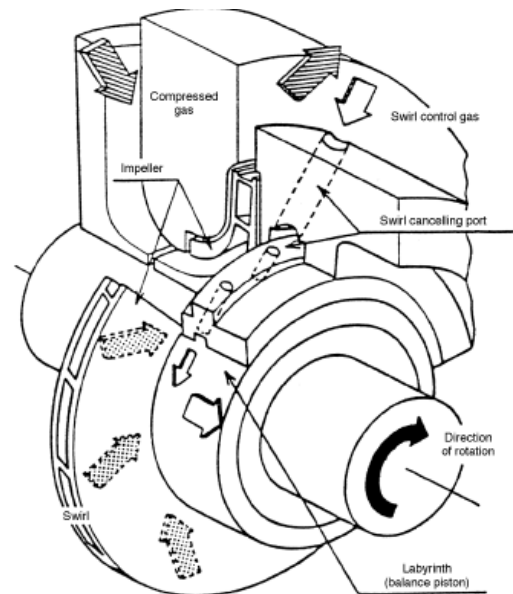


Figure 3-29—Typical Shunt Line Schematic to Reduce Entry Swirl



改造前后的运行参数对比

工艺参数	流量 Nm ³ /h	进出口压力 Mpa	防喘振 阀 %	转速 RPM	功率 Kw	蒸汽流量 t/h	整机效率 %
改造前	42000	0.16/1.6	14	6536	4300	66	74
改造后	33000	0.16/1.6	0	6559	3530	58	79-80

改造成本

压缩机转子隔板270万元
设计费55万元
工程费35万元
总成本 360万元

节能收益

由于关闭防喘振阀，同样向系统送32100Nm³/h的富气，汽轮机节约8t/h。
按照每吨中压蒸气80元计算，
每8000小时节约运行成本512万元

烟机在役再制造案例

中石化某分公司2#催化裂化烟机改造

- 二催化的旧烟机型号为YLII-10000B，设计效率最大只有82%左右，2009年3月实际功率测试，**实际效率仅有69.58%**。
- 2010年10月对现有烟气轮机进行扩能改造。新烟机是由中航工业成都发动机（集团）有限公司负责整机设计。

烟机在役再制造案例

- 采用全新的全三维有粘气动设计技术，烟机的最佳工作点在最高效率点上，叶片型面采用复合弯扭设计，减少催化剂的堆积，提高效率同时减少二次流产生的磨损。
- 改进了密封和烟机排气壳体。
- **效率测算达到86%左右**，改造后新烟机比旧烟机每小时至少多发电约1800KW，按0.62元/度计算，一年可**多创造效益930万元**，新烟机总投资约800万元，那么新烟机的投资成本只需10个月就可以收。

国家强大制造业是基础

制造业的发展任重道远

祝各位幸福快乐！