

教育部高等学校机械学科过程装备与控制工程教学指导分委员会 编

过程装备与控制工程

第十一届全国高等学校过程装备与控制工程专业
教学改革与学科建设成果校际交流会

论文集



化学工业出版社

教育部高等学校机械学科过程装备与控制工程教学指导分委员会 编

过程装备与控制工程

第十一届全国高等学校过程装备与控制工程专业
教学改革与学科建设成果校际交流会

论文集



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

过程装备与控制工程:第十一届全国高等学校过程装备与控制工程专业教学改革与学科建设成果校际交流会论文集/过程装备与控制工程专业教学指导分委员会编. —北京:化学工业出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-122-06088-4

I. 过… II. 过… III. ①化工过程-化工设备-教学研究-高等学校-学术会议-文集②化工过程-过程控制-教学研究-高等学校-学术会议-文集 IV. TQ02-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 105226 号

责任编辑:程树珍
责任校对:关雅君 汪寅初

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装订:三河市万龙印装有限公司
880mm×1230mm 1/16 印张39 $\frac{3}{4}$ 字数1565千字 2009年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:200.00 元

版权所有 违者必究

前 言

第十一届全国高等学校过程装备与控制工程专业教学改革与学科建设、科技研究成果校际交流会于2009年8月在山西太原召开,为了便于相互交流、学习和借鉴,我们编辑出版了此次会议论文集。本论文集共收录36所学校的论文近200篇。

本论文集收录的论文分过程装备与控制工程专业本科教学质量与教学改革、化工过程机械学科建设、“十一五”科技发展及产学研结合等部分,所涉及的领域广泛,内容丰富,反映了各院校过程装备与控制工程专业学科建设与教学改革的新思路、新动向、新举措和新发展,以及该专业的研究方向、研究成果和特色。此论文集的出版,对于我国过程装备与控制工程专业的发展将有很大的促进作用。

过程装备与控制工程专业的校际交流会,在历届教学指导委员会的领导下和各院校的积极参与下,已经成为团结同仁、凝练共识、交流借鉴、促进专业发展的盛会。同时,许多专家学者不惜时间和精力,撰写论文,踊跃投稿,为各届校际交流会的成功举办和论文集的出版奠定了基础。

承蒙化学工业出版社的大力支持和无私奉献,本论文集得以顺利出版,在此,过程装备与控制工程专业教学指导分委员会代表本届会议承办单位太原理工大学和全国高校各位论文作者向出版社领导、编辑和为论文集出版付出辛勤劳动的同仁致以衷心的感谢。

为了尽量展现全国过程装备与控制工程专业教学改革与学科建设成果,本论文集未对论文内容进行限制和审查,只在体例格式和文字上做了必要的整理和编辑。由于时间仓促和编者水平所限,本文集的错误之处在所难免,请读者批评指正。

教育部高等学校机械学科
过程装备与控制专业教学指导分委员会
2009年6月

目 录

流程工业基于风险的动态智能维修与故障自愈工程	高金吉 (1)
构建本科人才培养新体系, 培养创新拔尖人才——以研究型大学为例	李志义 (10)

1 过程装备与控制工程专业教学改革

A 多学科与交叉学科教育的课程体系改革与建设的新思路、新动向、新举措和新发展

A1 过程装备专业“工程流体力学”课程认识与新版教材特点	黄卫星 肖泽仪 李建明 杨 菁 金玉连 (16)
A2 《过程机器》课程的教学内容和方法的探讨	张建伟 张春梅 禹言芳 (19)
A3 “过控”专业膜分离技术本科选修课课程建设探索	黄维菊 肖泽仪 褚良银 魏 星 陈文梅 (21)
A4 素质教育理念与过程原理及设备课程建设	徐 波 王树林 李生娟 李来强 (25)
A5 过程装备与控制工程专业核心课体系的改革与实践	林玉娟 (27)
A6 我校过程装备与控制工程专业课程设置的探索与实践	潘宏侠 姚竹亭 黄晋英 陆辉山 (30)
A7 过程装备与控制工程专业测控技术课程构建	黄晋英 潘宏侠 郭彦青 麻博 (33)
A8 基于 MATLAB 的热力系统工具箱开发实践	孟 江 安 坤 (37)
A9 多媒体讲授《化工设备机械基础》课程的利与弊	董俊华 张及瑞 (40)
A10 以过程装备机械基础课程为纽带 促进相关专业的协同发展	赵志广 于新奇 郭彦书 朱玉峰 (42)
A11 《典型过程装备控制技术》课程建设与教法改革	李 斌 宋鹏云 仇月仙 (44)
A12 基于专业特色的《过程流体机械》课程改革探索	李多民 (47)
A13 浅析能量方程中各种类型功的区别与联系	刘俊明 (49)
A14 统烟平衡方程的研究	刘俊明 (52)
A15 对热量有效能相关问题的讨论	刘俊明 (54)
A16 CAI 辅助教学的几点看法	罗玉梅 (57)

B 高等学校过程装备与控制工程特色专业建设

B1 以特色专业建设为契机, 构建过程装备创新人才培养体系	李 云 张早校 魏进家 (60)
B2 过程装备与控制工程专业毕业设计质量监控体系的研究与实践	魏秀业 潘宏侠 姚竹亭 闫宏伟 (62)
B3 过程流体机械教学中创新及实践能力的培养	高 强 潘宏侠 陆辉山 姚竹亭 (65)
B4 过程装备与控制工程省重点专业建设与改革	李 伟 戴 光 李宝彦 林玉娟 张 颖 (68)
B5 过程装备与控制工程特色专业建设的探索与实践	戴 光 李 伟 张 颖 (71)
B6 “过控”国家特色专业建设点的思路及方案	王维慧 曾 涛 周 敏 林海波 石 艳 (74)
B7 积极适应行业发展, 探索过控专业建设特色	伍 广 华玉洁 李雪斌 董美英 唐 琮 李 坤 (76)

C 过程装备与控制工程品牌专业与精品课程建设

C1 过程装备与控制工程专业教学团队的建设与思考	段滋华 (80)
C2 《控制工程基础》多媒体课件的设计与开发	邓鸿英 张生昌 牟介刚 郑水华 (83)
C3 《过程装备基础》课程建设的探讨	朱孝钦 胡明辅 宋鹏云 杨玉芬 李淑兰 (86)
C4 过程机械系列课程建设的研究与实践	李 映 金英子 吴震宇 崔宝玲 鲍 敏 (89)
C5 过程装备与控制工程新建专业建设的几点体会	金英子 李 映 吴震宇 (92)
C6 过程设备设计专业课教学与实践探索	陆辉山 潘宏侠 姚竹亭 高 强 黄晋英 (95)
C7 《过程装备控制技术》课程建设和改革的实践与探索	刘彩霞 (98)
C8 过程原理及设备精品课程建设	张 玮 蒋 宁 陈冰冰 高增梁 (101)
C9 工程流体力学教学改革的探索与实践	郑水华 任建莉 牟介刚 (104)
C10 过程装备机械基础课程建设与实践	于新奇 郭彦书 赵志广 彭培英 (107)
C11 《过程装备控制技术应用》网络教学课件	李 敏 杜 娟 贵 伟 (110)

C12	“过程流体机械”省级精品课程建设的实践及总结	张颖	戴光	李伟	徐淑珍	丛蕊	(113)
C13	“过程装备控制技术及应用”CAI课件制作	李敏	杜娟	贵伟			(115)
C14	数字化立体教学模式的探索与实践	张琳	胡爱萍	张锁龙			(119)

D 双语教学示范课程建设

D1	完善双语教学体系,建设适应“链条”	龙飞飞	李伟	赵俊茹			(124)
D2	专业英语教学的改革与实践			高红利			(126)

E 过程装备与控制工程专业人才培养模式创新实验区建设

E1	过程装备与控制工程专业教学改革探讨	姚竹亭	潘宏侠				(130)
E2	面向工程的“过程装备及控制工程”人才培养模式创新实验区的探讨	董金善	顾伯勤	周剑锋	巩建鸣		(133)
E3	浅议高校班导师的素质建设				刘彩霞		(136)
E4	改变过程装备与控制工程专业实践教学模式的探讨				曾振祥		(139)
E5	面向长三角地区经济主战场的专业人才培养计划制定	彭旭东	高增梁	盛颂恩			(142)

F 实践教学的改革、创新与发展

F1	在毕业设计中培养学生创新能力的探索与实践						张世伟	(148)		
F2	“过控”专业毕业设计选题与就业方向有机结合研究				华玉洁		宋克俭	(153)		
F3	过控专业实验室“十一五”期间的建设与发展		周勇军	董金善	顾海明		朱廷凤	(155)		
F4	“露露”易拉罐作为外压圆筒稳定性实验试件的进一步研究		高炳军	杨立栋	谢燕利		寇文雪	(158)		
F5	计算机仿真技术在过程装备教学实验中的应用与实践		杨玉芬	朱孝钦	全黄河	曹超生	毕二朋	(161)		
F6	过程装备与控制工程专业实验室建设			刘广璞	潘宏侠	刘波	王福杰	(164)		
F7	过程装备与控制工程专业课程设计的教学实践				朱海荣	彭培英	赵志广	(166)		
F8	“装控”和“热能”专业共用生产实习平台的探索研究		朱玉峰	任欧旭	崔海亭	赵志广	于新奇	王振辉	郭彦书	(168)
F9	过程流体机械网络虚拟实验室的设计与实现			张颖	丛蕊	戴光	李伟		(171)	
F10	基于网络技术的零起点开放性专业实验室及其运行机制的研究		高炳军	张少峰	苏秀革	史晓平	赵斌		(174)	
F11	基于虚拟仪器技术测控人才培养机制的探索与研究			鞠虹	王振波	金有海			(177)	
F12	加强校内外实习基地建设,改善专业实习教学效果		王宗明	王振波	孙卓辉	金有海			(180)	
F13	强化毕业设计过程管理 提高毕业设计质量					朱振华	曹国华		(183)	
F14	毕业设计环节中培养大学生综合能力的实践			戴光	杨志军	龙飞飞	赵俊茹		(186)	
F15	开放式实验教学的探索与实践				邱安城	方永奎	邱辽萍		(189)	
F16	在毕业设计中培养工程意识和能力				史晓平	陶金亮	刘鸿雁		(192)	
F17	从压缩性性能测试实验谈工科专业实验的设计				吉华	罗光华	钟月华		(194)	
F18	加强专业实习环节的探索与实践			潘宏侠	黄晋英	陆辉山	崔宝珍		(197)	
F19	力学实验教学新模式					黄茂菲	刘高君		(200)	
F20	改革毕业设计环节,培养创新能力人才				林海波	罗玉梅	林晓燕		(202)	
F21	“过控”专业实践教学体系的构建		周敏	王维慧	曾涛	林海波	石艳		(204)	
F22	建设有行业特色的专业实验室				陈兵	樊玉光	周三平		(206)	
F23	过控专业实验室“十一五”期间的建设与发展		周勇军	董金善	顾海明		朱廷凤		(208)	

G 教学方法、培养方案与教学管理

G1	利用网络平台提高化工机械基础的教学效果	陈刚	陈旭				(212)
G2	“过控”专业人才培养和教学管理模式的探索	任建莉	彭旭东	高增梁			(214)
G3	地方高校过程装备与控制工程应用型人才培养模式探索与实践	刘伟	李多民				(217)
G4	“过控”专业工程热力学课程教学的几点思考	陈叔平	俞树荣	李超	梁瑞		(220)
G5	MATLAB在“自动控制原理”教学中的应用		李来强	王树林			(222)
G6	交互式教学手段在过程装备基础教学中的应用探讨			孙海阳			(225)
G7	教育心理学在《化工自动化及仪表》多媒体课件制作中的应用	张玮	贺鸿				(227)
G8	现代控制理论课程改革的思考			张欣			(231)
G9	案例教学法在过程装备腐蚀与防护教学中的应用	王维刚	戴光	李伟	龙飞		(233)
G10	如何做好本科班主任的实践与探讨		牟介刚	郑水华			(236)

G11	过程装备机械基础课程中实践教学的探索	朱玉峰	于新奇	赵志广	(239)
G12	过程装备成套技术教学的探索与实践	杨志军	戴光	李伟	(242)
G13	过程设备设计课程教学的改革与创新	郭彦书	于新奇	崔海亭	彭培英 (244)
G14	关于过程装备与控制工程专业教学几个问题的思考			钱才富	(247)
G15	过程装备机械基础课程教学的一些体会	朱海荣	朱玉峰	齐安宾	于新奇 (249)
G16	大众化本科教育形势下地方高校如何实施有效教育			袁惠新	(251)
G17	过程装备与控制工程专业人才培养模式与课程体系的改革与实践	杨启明	梁政		(254)
G18	关于化学反应工程教学实践的体会	叶立	童正明		(257)
G19	过程装备专业外语的教材建设	康勇	李晓红	刘晖	(259)
G20	过程装备机械基础教学改革探索与实践		齐安宾	于新奇	(261)

2 化工过程机械学科建设

H 化工过程机械硕士点和博士点的建设

H1	国内外高校工学博士生培养方案比较——以化机专业为例, 探讨国内博士研究生教育	蒋宁	高增梁	(266)
H2	有毒重气扩散泄漏率方法研究	李放	顾伯勤	戴玉林 钱海燕 (269)

3 “十一五”科技发展及产学研结合

I 过程装备与控制工程在新能源、环保、石油化工领域的进展

I1	化学吸收法减排二氧化碳的装备关键技术	余云松	李云	张早校	(274)
I2	酯交换法生产碳酸二甲酯中热泵精馏工艺研究	冯诗愚	李云	顾兆林	高秀峰 (277)
I3	结垢换热设备的换热性能与在线除垢的实验研究	李洁	李多民	侯来灵	(280)
I4	氢能源的现状与发展趋势			程焕新	(283)
I5	原油电脱盐技术应用现状与研究进展	胡佳宁	金有海	王振波	孙治谦 (285)
I6	固态连续蒸馏装置的研究	赵义旭	李占勇	彭巧云	李润霞 耿县如 (289)
I7	固态蒸馏制取燃料乙醇的实验研究	胡姪君	宋继田	刘文武	郑泽春 莊俊 (291)
I8	煤基化工—动力多联产串联系统研究	张旭	郑伟	李云	(294)
I9	水力旋流器在环保工程上的应用研究	吴业巍	刘仁桓	金有海	(297)
I10	燃煤电厂烟气脱硫吸收塔有限元分析	吕宏卿	唐委校	徐熙庆	孙珊珊 (300)
I11	活塞式压缩机气量调节的 PLC 控制系统	王彦		洪伟荣	(304)
I12	离心水泵的抗震分析	祝春艳		段成红	(307)
I13	煤浆混合槽试验装置研制	陈志平	王瑾	林兴华	(309)
I14	超临界流体微粒制备技术流体动力学行为研究进展			蒋静智	(314)
I15	好氧颗粒污泥气升式反应器处理废水的运行特性	孙祥	刘凤霞	刘志军	(317)
I16	干气密封技术的研究现状及进展	马维	陈志	李建明	董蓉 欧凤兰 阙念生 (320)
I17	循环流化床锅炉内颗粒速度分布的实验研究	陈新华	姬广勤	金有海	王建军 (323)
I18	旋风管组合结构参数对分离性能的影响	开成刚	王建军	金有海	(326)
I19	球形微丸造粒过程中对微晶纤维素进行改性以提高中药载药量的方法研究	吕小燕		潘家祯	(331)

J 强化传热、传质的新设备、新技术及极端情况下的特种装备 (尺寸, 温度压力, 介质)

J1	复合钢板压力容器焊缝界面蠕变研究进展	段滋华	李煜	张牢牢	(336)
J2	吸附流化床干燥酵母废醪液流化特性的研究	安峰	叶京生	李芳	刘文武 陈敬举 (339)
J3	温度对表面活性剂溶液减阻特性影响的研究			王剑峰	魏进家 (342)
J4	波纹管降膜蒸发器及其在食品工业中的应用研究	黄坤	宋继田	赵鸿汉	张宝望 刘振义 (346)
J5	新型斜向流管壳式换热器壳程强化传热的数值模拟	古新	董其伍		刘教珊 (348)
J6	VSEP 过滤系统的试验研究	武红霞	刘凤霞	刘志军	(353)
J7	波面传热板应力分布的有限元分析	王冰	史启才	刘志军	(356)
J8	液-固循环流化床中颗粒分布的研究	任耿旭	朱玉峰	于新奇	(359)

J9	蒸发器支座的强度和稳定性有限元分析	王维刚	翟庆宏	(362)				
J10	运用适度原理预防煤粉爆炸	苏丹	高 聪	李 化	黄卫星	(365)		
J11	纳滤过程非平衡热力学模型通量验证	欧凤兰	李建明	陈 志	曹 蕾	谢念生	马 维	(369)
J12	天然气净化用 PSC-100 型导叶式旋风管内流动参数的实验研究	王兆凤	王建军	金有海	(372)			
J13	在役设备微小试样取样机及其控制系统的研制	沈 睿	惠 虎	(376)				
J14	板翅结构换热器传热性能研究进展	武法森	周惘彦	涂善东	(379)			
K 化工机械及承压设备的安全、检测与检验								
K1	独立分量分析在信号处理中的应用	李 伟	丁 蕾	蒋 鹏	(384)			
K2	基于 HHT 的玻璃纤维自增强塑料声发射信号分析	王艳茹	蒋 鹏	丁 蕾	刘黎明	(387)		
K3	空压机中多级轴瓦对中校准方法的研究	曹国华	耿立明	王志胜	朱振华	(391)		
K4	曲面弓形折流板换热器实验试样和测试系统的研制	黄志国	戴凌汉	金广林	(394)			
K5	关于卧螺离心机双轴系统动力特性的研究	王宇涵	钱才富	范德顺	(397)			
K6	RBI 技术在压力管道的应用			刘 雁	(400)			
K7	高压容器双锥密封的研究进展	全黄河	杨玉芬	朱孝钦	曹起生	(404)		
K8	氨气逆布雷顿制冷系统报警及联锁系统设计	张属馨	艾小涛	王 毅	杨 斌	(407)		
K9	在役埋地压力管道的微波无损检测	杨 晨	刘 念	渠 达	马海桃	赵海翔	段滋华	(410)
K10	超高压灭菌实验研究			夏远景	李志义	(413)		
K11	平板膜微滤特性的实验研究	谷智赢	刘凤霞	刘志军	(416)			
K12	声发射检测技术的研究进展			戴 光	(419)			
K13	承压气体管道泄漏声源特性声发射实验研究			郭福平	李 伟	(422)		
K14	小冲孔试验技术研究若干进展	凌 祥	周志祥	郑杨艳	(425)			
K15	气固提升管内一维轴向模型及颗粒浓度预测	岳 莲	胡 坤	田雪莲	黄卫星	(429)		
K16	高浓度钻井泥浆酸化破胶及固液分离实验研究	朱 丽	田雪莲	岳 莲	李海龙	黄卫星	(432)	
K17	疲劳近门槛值区断裂模式转变的实验研究	朱明亮	轩福贞	王正东	涂善东	(435)		
K18	图像处理在红外测温技术中的应用			赵灿灿	潘家祯	(438)		
K19	采用小波分析对金属拉伸声发射信号的处理方法研究			李 娟	潘家祯	(441)		
K20	基于应变设计管道环向缺陷评估方法简介			李晓红	(444)			
L 失效分析的理论与实践								
L1	石化弯管冲蚀失效的数值模拟及管径影响分析	偶国富	曹 晶	袁 杰	(448)			
L2	制氢转化炉管下支管开裂原因分析			李多民	(451)			
L3	浮环密封偏心环隙内的周向临界雷诺数的研究	董 蓉	陈 志	贾江宁	马 维	李建明	(455)	
L4	注水点位置的改变对反应流出物空冷器腐蚀影响的实验研究	张 静	宣征南	侯来灵	(458)			
L5	压力容器短时受火后的可靠性分析			杜黄立	轩福贞	(461)		
L6	利用 Master Curve 方法研究 16MnR 钢韧脆转变区断裂韧性	曹昱澎	惠 虎	轩福贞	李培宁	王仙河	(465)	
L7	旋风分离器磨损失效问题分析			赵新学	金有海	(469)		
L8	压力管道失效的分析方法讨论	李晓红	康 勇	刘 晖	(472)			
M 计算机模拟、仿真与计算机应用								
M1	计算颗粒力学在化工过程机械领域的应用	赵永志	江茂强	郑津洋	(476)			
M2	多层与单层 Ω 形膨胀节强度、刚度等效的有限元分析	蒋 怡	冯武文	(479)				
M3	用 ANSYS 软件对气动脉冲阀阀片的优化设计	王鹤翔	王勇明	潘家祯	(482)			
M4	直喷式柴油机燃烧中多环芳香烃形成的数值研究			席 军	钟北京	(484)		
M5	基于 Labview 的往复式压缩机状态监测系统	叶 林	洪伟荣	(487)				
M6	关于罐式集装箱有限元计算强度判据的探讨	郎 爽	钱才富	(490)				
M7	低温液化气体储罐筒体与夹套间拉筋的有限元分析			魏冬雪	钱才富	(492)		
M8	V 形与 U 形膨胀节的轴向承载与变形补偿能力的比较	李艳艳	钱才富	王焕庆	(495)			
M9	干气密封端面气膜流场的三维模拟分析	刘亚莉	赵丽丽	张 强	董华东	戚俊清	(498)	
M10	新型排气芯管对旋风分离器内流场控制的数值研究	许伟伟	金有海	王建军	(501)			

M11	大直径电站阀门数值分析	石 艳	张应迁	林海波	周 敏	黄茂菲 (504)
M12	焦炭塔锻件部位的热应力分析				段滋华	陈晓玲 (507)
M13	焊接接头延性裂纹扩展的数值模拟		孙慧敏	王国珍	轩福贞	(511)
M14	涡旋波流动机理分析及流场数值模拟		刘凤霞	刘志军	周集体	(515)
M15	平板膜微滤过程的数值模拟		刘翠波	刘凤霞	刘志军	(518)
M16	波面流道内粉粒体流动特性的离散元模拟		冷涛田	史启才	刘志军	(521)
M17	超高压处理牡蛎灭菌实验研究及人工神经网络模拟		邓记松	夏远景	李志义	(525)
M18	数据采集处理与网络化管理在过程装备与控制实验中的应用	崔海亭	王振辉	郭彦书	陈曹维	茹长春 (529)
M19	工业采暖锅炉水煤浆燃烧过程的数值研究				朱柳娟	顾伯勤 (532)
M20	人口数对切入式旋流器内速度场影响的模拟研究		王振波	马 艺	金有海	(535)
M21	深孔镀铬生产线自动化改造		潘宏侠	郭彦青	周 杰	(538)
M22	PET 圆柱壳轴向冲击屈曲的数值模拟				李 强	郑水英 (543)
M23	PET 瓶吹塑成型过程的有限元模拟				张召翠	郑水英 (546)
M24	变压器油中溶解气体在线监测装置的应用研究		李太魁	艾小涛	王 毅	袁晓玲 (549)
M25	航空发动机包容性有限元数值仿真方法研究	何 庆	李娟娟	丁志伟	陆 晓	宣海军 (552)
M26	T 型管道中冷热流体混合过程的热波动数值模拟		朱维宇	卢 涛	王奎升	(555)

N 设计理论与规范研讨

N1	白酒蒸馏过程中潜甑现象的理论分析	李海龙	易 彬	税良扬	许德富	黄卫星 (560)
N2	乙烯急冷器急冷雾滴蒸发模型选用			申玉辉	仇性启	张海平 (563)
N3	基于球形孔扩张理论的海底沉积物取样高度研究	刘 健	仇性启	王 媛	薄万顺	许俊良 (566)
N4	非标准半圆管夹套容器的设计				陆 怡	(569)

4 其 他

O 其他与过程装备与控制工程相关的新技术

O1	钢丝缠绕增强塑料复合管钢丝允许最大缠绕间距研究				李雅娴	(574)
O2	造纸机干燥部热泵炯效率计算与分析		乔丽洁	陈海峰	史 诺	(578)
O3	声发射检测技术的应用探讨			刘金娥	段 权	(581)
O4	焦车运行精确定位与连续控制		侯来灵	秦 将	杨惠平	(584)
O5	神经网络控制在液位控制系统中的仿真研究				李 欣	(587)
O6	中国泸州白酒各风味物质的馏出规律	王 春	沈才洪	张 良	易 彬	黄卫星 (590)
O7	泡沫金属阻力和传热特性分析			张银钐	付全荣	段滋华 (594)
O8	黄瓜冻干在线质量检测及其工艺研究		代宏哲	曹艳萍	高续春	(597)
O9	高炉冷却壁管内液固两相流强化传热实验研究		张 琳	卜庆选	胡爱萍	曹 骏 (600)
O10	表面微孔造型在机械密封中的应用				张贺房	于新奇 (602)
O11	304 奥氏体不锈钢在酸性氯化钠溶液中应力腐蚀敏感性的研究		黄毓晖	轩福贞	涂善东	王正东 (605)
O12	泡沫金属材料在冲击载荷作用下的变形分析				晁攸明	(608)
O13	超临界反溶剂过程制备蛋白质超细微粒		刘学武	夏远景	李志义	(611)
O14	超临界流体在制备药物微胶囊中的应用		魏 炜	池 胜	李志义	(615)
O15	组织工程细胞支架的超临界流体制备工艺研究进展		丁兆红	刘学武	李志义	(618)
O16	授课艺术与中国文化				陈建国	(621)
O17	水饱和和蒸汽压的 Antoine 常数的比较				刘 晖	(624)

流程工业基于风险的动态智能维修与故障自愈工程

高金吉

(化工安全教育部工程研究中心 北京化工大学, 北京, 100029)

【摘要】 本文在探讨维修工程的目标与成本、策略与方式、架构与管理的基础上, 提出了一种应用于流程工业的先进维修模式——基于风险的动态智能维修系统。依据实时监测和定期检测的动态数据, 参照故障模式、原因和风险分析的结果信息来实现日常的设备诊断和及时提出维修决策建议。通过开发研制基于 SOA 的维修和安全保障集成信息平台实现了基于风险的动态智能维修系统, 并在工程应用中取得成效。在此基础上, 在系统科学和控制论的指导下, 移植现代医学“自主调理”治疗原理, 包括免疫、防御、代偿、自修复和适应等, 提出和探讨了以故障预防和在运行中自行消除为目标的装备系统故障自愈原理。故障自愈工程可使装备减小依赖人的程度, 使维修的部分责任从装备的使用方转移到装备的设计制造方, 为研制出具有自愈功能的新一代装备提供技术支持。

【关键词】 先进维修工程; 基于风险的维修 (RBM); 动态智能维修 (DIM); 远程诊断网络; 故障自愈 (FSR)

1 先进维修工程与最佳维修系统模式研究

石化、冶金、电力等流程工业成套装备日趋大型化、高速化、自动化和智能化, 维修工程对保障设备安全稳定运行、提高设备使用效率、延长使用寿命和降低生产成本起到了越来越重要的作用。信息、通信和人工智能的发展会大大促进先进维修工程的开发和应用^[1]。

1.1 先进维修工程 (AME: advanced maintenance engineering)

目标与成本

目标 确保装备系统在既定周期运行的安全可靠性和功能可利用度。

成本 确保尽量少的维修代价, 减少过剩检测和维修。

策略与方式

策略 以实际状态为依据, 基于设备风险进行决策, 实施主动维修, 预防为主, 精确维修。

方式 面对人-机-过程-环境复杂系统, 采用无缝集成; 信息成为重要资源, 通信成为重要手段, 知识成为维修保障能力建设的核心。

架构与管理

架构 SOA 信息共享, 闭环程序化, 灵活适应, 快速反应。

管理 变职能驱动为流程驱动, 全局动态优化, 准确、协同的科学决策。

1.2 信息、通信和知识工程推动维修方式进步

信息、通信 (ICT) 和知识工程 (KE) 推动维修方式的进步, 信息是用以消除随机不确定性的东西, 通

信是重要手段, 而知识是科学决策的依据。如图 1 所示, 如果对过程设备的故障 (模式、现象、概率)、故障产生的原因及其可能的后果完全不清楚, 那就只能进行事后维修 (BM) 和定时维修 (TBM); 如果对设备进行实时监测或定期检测, 对设备状态及其变化趋势心中有数, 就可以实施状态维修 (CBM); 如果对故障的概率和后果有所了解, 就可以采用以可靠性为中心的维修 (RCM); 进而对故障机理和故障的初始原因也有所掌握, 就可以采用主动维修 (PDM)、根治维修 (RM)。面对人-机-过程-环境复杂系统, 信息成为重要资源, 通信成为重要手段, 知识成为维修保障能力建设的核心^[2]。

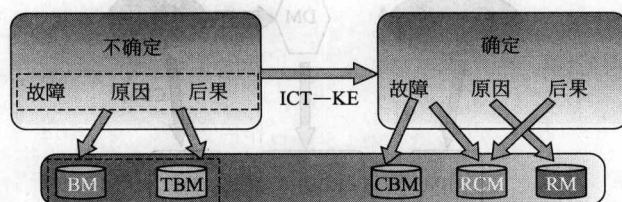


图1 基于对设备的故障、原因和后果了解程度不同的各种维修方式

以可靠性为中心的维修 (RCM; reliability centered maintenance) 是目前国际上通用的用以确定装备预防性维修需求、优化维修制度的一种系统工程方法。RCM 分析所得到的维修计划具有很强的针对性、科学性。这样可以将有限的维护资源投入到维修风险大的设备, 将提高高风险设备可靠度, 确保发挥装置最佳效益^[3]。

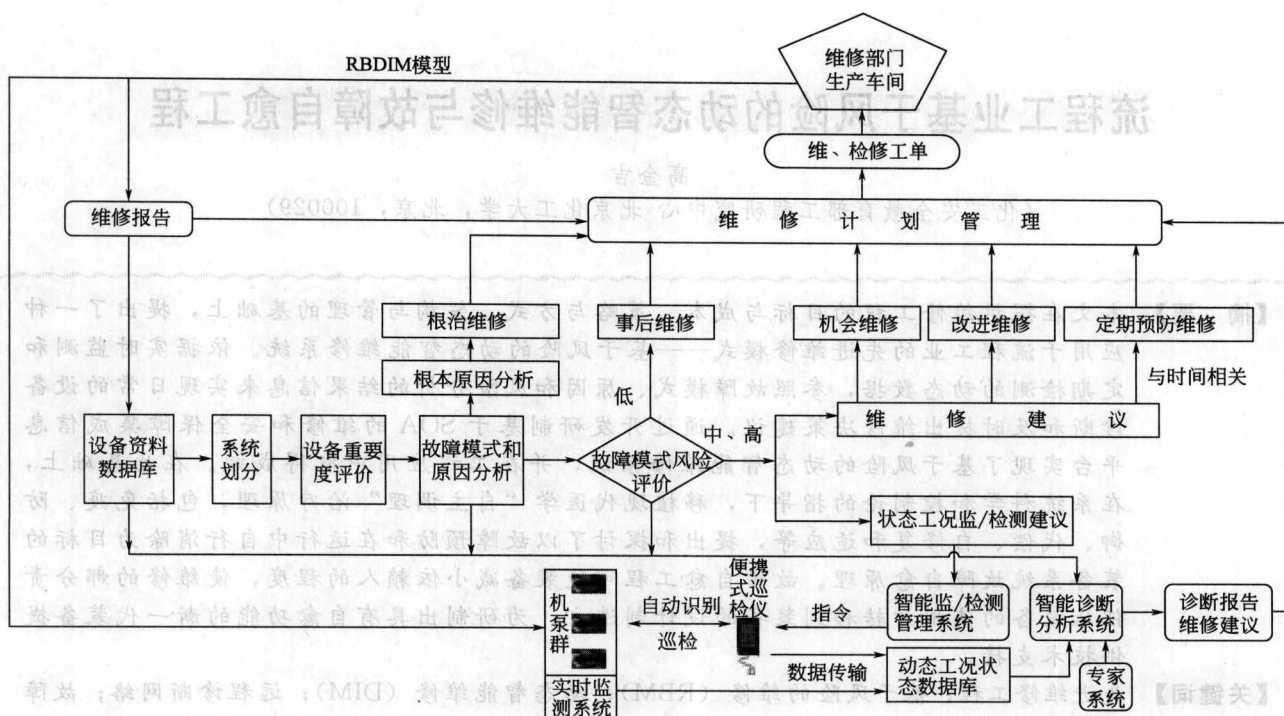


图2 RBDIM系统路线图

目前在石化等流程工业所应用的 RCM 实际上并不单纯的“以可靠性为中心”，而是在对系统和装备进行功能与故障分析的基础上进行风险分析。以可靠性为中心的维修对故障的模式进行分析并考虑故障概率和后果，实质上，是一种基于风险科学决策的方法。但是，这种方法提供的维修策略和建议是每隔两三年进行一次，并没有做到以设备的实际状态为依据，因此，可以说是静态的维修决策方式，为此开发了基于风险的动态智能维修系统（RBDIM），如图2所示。不难看出，RBDIM是RBM和DIM的综合集成，如图3所示。RBDIM可以以实际状态为依据，基于风险科学决策，达到实时主动维修，预防为主，精确维修。

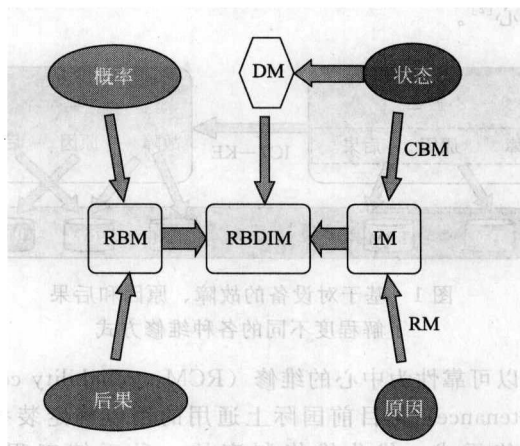


图3 RBDIM是RBM和DIM的综合集成

本文提出的RBDIM有以下主要特点。

① RBDIM的结果，如故障模式，原因，概率，故障后果影响和风险分析，不但指导维修决策而且指导监

测和检测。

② RBDIM将故障模式和风险分析的结果与实时监测/检测的动态数据作为日常诊断和维修决策的依据。

③ 实施维修决策，监测和检测的结果，可以作为故障模式，原因，概率，故障后果影响和风险分析的参考。

2 基于风险的监检测和维修

在石化企业实施基于风险的监检测和维修系统，是在对系统进行功能与故障分析的基础上进行风险分析，即依据故障概率和故障后果来确定风险等级，用规范化的逻辑决断程序，确定各故障后果的预防性对策用以指导维修决策和监测/检测；通过现场故障数据统计、专家评估、量化建模等手段在保证安全性和完好性的前提下，以最小的维修停机损失和最小的维修资源消耗为目标，优化系统的维修策略和指导日常监测/检测，如图4所示。

实践证明：通过RBDIM系统分析所得到的维修计划和监测/检测方式具有很强的针对性，避免了“多检测、多维修、多保养、多多益善”和“故障后再维修”，使维修工作更具科学性。

3 监测系统数字化、智能化、网络化

3.1 远程监测诊断中心（RMDC）

建立远程监测诊断中心（RMDC）的目的和意义如下。

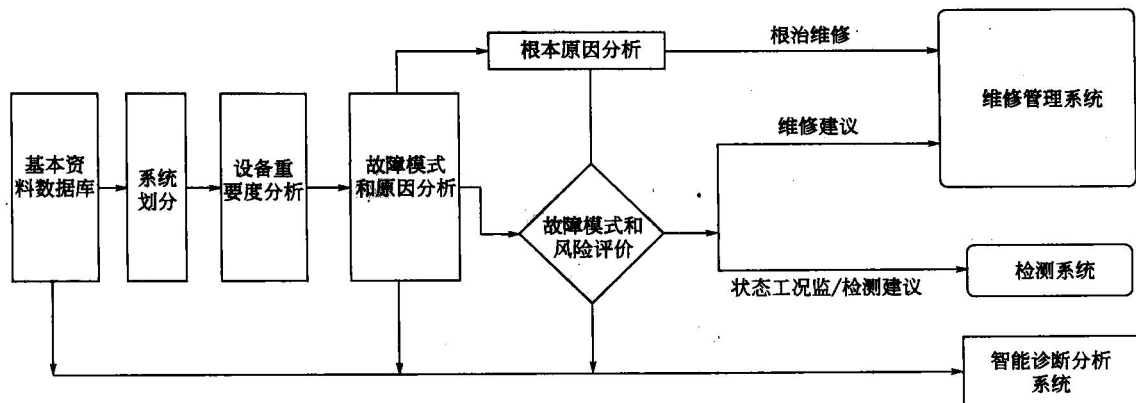


图4 基于风险的监/检测和维修系统

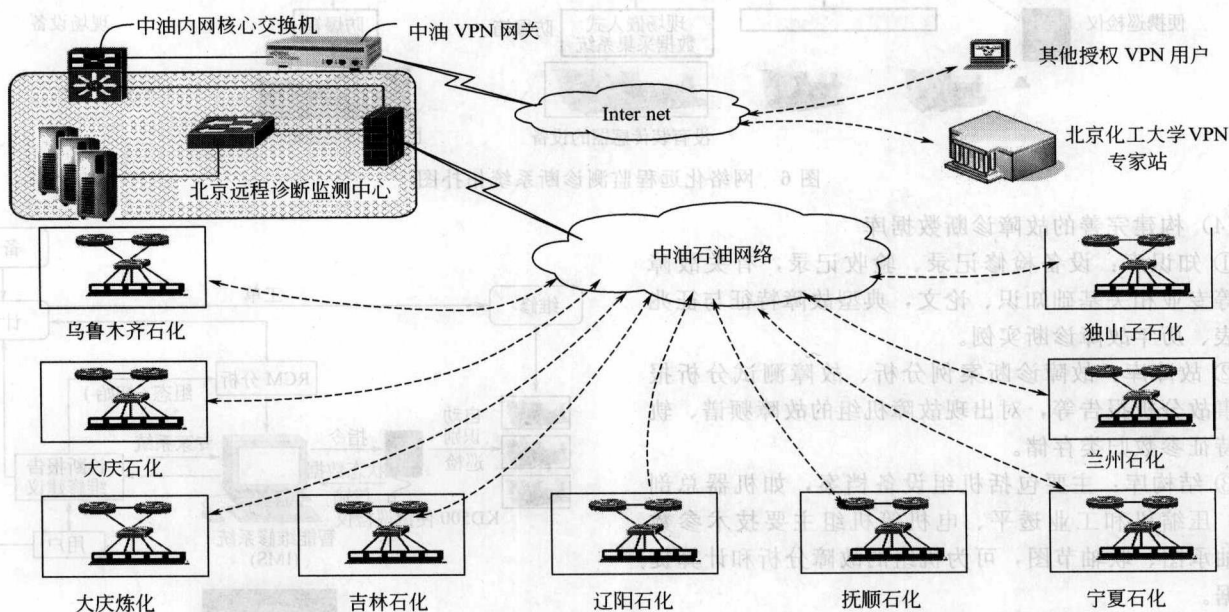


图5 中国石油远程监测网（9个石化分公司）

① 能够做到移动的是数据而不是专家。当机组发生故障时，能够减少专家的奔波，解决现场专家不足的问题。

② 能够充分发挥有经验的专家的作用，减少判断故障的时间和误判，提高故障诊断的及时性和准确率，能够早期发现故障，及时采取预防措施，避免或减少事故的发生。

③ 为进一步对机组工况和状态进行综合分析，为机组节能优化运行和节能改进，促进从预防性维修到预测性维修的转变提供平台。

为了满足高带宽的需求，中油远程诊断网采用中石油内部可扩展专线，用于下属九个石油分公司级数据中心的185台关键设备和超过5500台装置的数据上传，目前九个石油公司各通过2M的专线上传服务器数据。同时为了满足各地专家和专家站对数据的远程监测分析，在中油内部网架设共享VPN专线。远程监测网如图5和图6所示^[4,5]。

软件开发具体工作如下。

(1) 远程数据管理

在中石油远程诊断中心建立关键机组运行状态的实时数据库和历史数据仓库。通过内部网或互联网将分散在各分公司的关键机组（最终用户）的运行数据实时传输给远程网络中心数据仓库，通过实时数据仓库和历史数据仓库分别进行实时数据调用管理和历史数据存储、调用管理。

(2) 专家会诊

基于中油总公司内部INTERNET网，并可用于互联网中，并能方便进行远程专家会诊，充分发挥专家资源优势，对机组疑难故障进行协同会诊，提供会诊意见。

(3) 生成故障诊断报告及维修建议

现场机组发生故障后，可以将当时故障发生的过程及相关数据随时随地记录下来，形成故障诊断报告，可方便转成WORD文档格式，供管理人员和专家使用，并可作为中石油总公司设备管理者考评、指导分公司设备管理的依据。

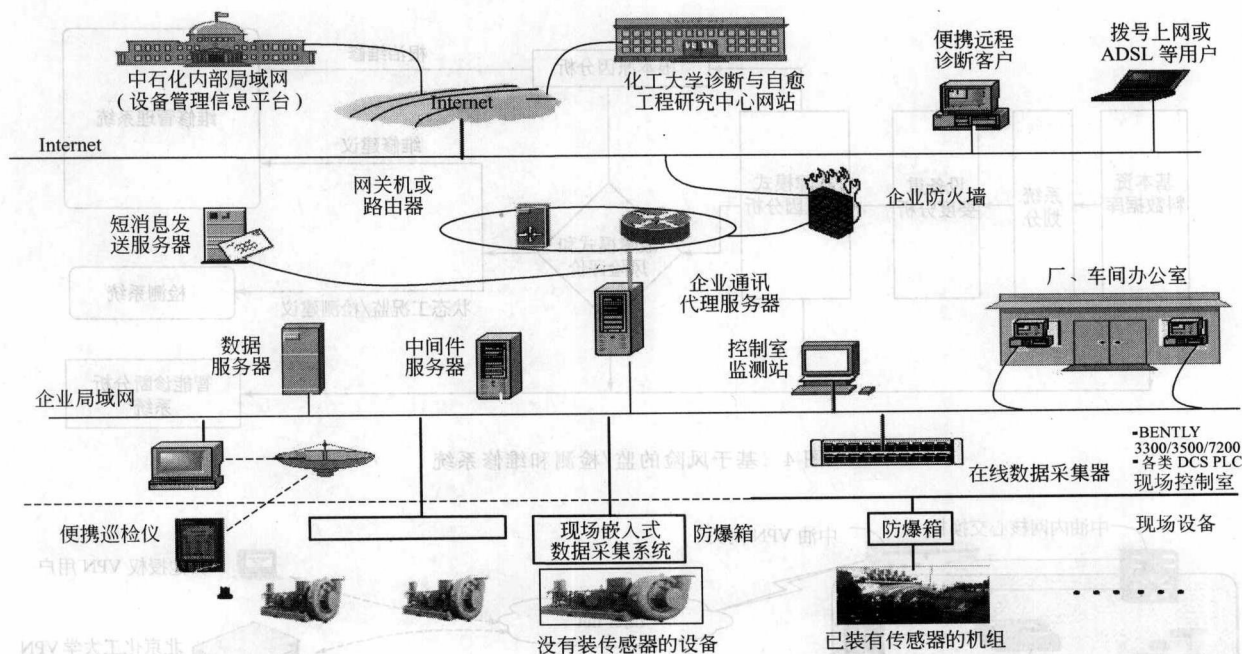


图6 网络化远程监测诊断系统拓扑图

(4) 构建完善的故障诊断数据库

① 知识库：设备检修记录、验收记录，有关故障诊断等专业相关基础知识、论文，典型故障特征与征兆对照表、历年故障诊断实例。

② 故障库：故障诊断案例分析、故障测试分析报告和事故分析报告等，对出现故障机组的故障频谱、轨迹等特征参数归类存储。

③ 结构库：主要包括机组设备档案，如机器总剖面图、压缩机和工业透平、电机等机组主要技术参数表、轴承图、联轴节图，可为机组的故障分析和计算提供依据。

(5) 关键机组运行状态统计评价

在远程中心网站首页实现中石油大型关键机组运行状态一览的功能。在该一览表中显示中石油运行机组的状态（停机或正常运行）、转速、报警情况、是否在线监测等信息。使得总公司的管理者在一个页面上就可以一目了然地观察所有大型旋转设备的基本运行情况。

3.2 装置群的数字化智能检测诊断系统

对装置群采用基于PDA的便携式巡检仪BH550及智能维修系统KD500IMS，如图7所示，可以免去人工将检测数据输入计算机的繁琐工作，突破信息化的瓶颈。

4 动态智能维修决策系统

动态智能维修决策系统（如图8和图9所示）通过各种状态监测、检测系统，获取机组可表征机组当前运行状态的各种运行参数，形成状态工况实时数据库，结合RBM对设备故障模式、原因和风险分析，进行比较

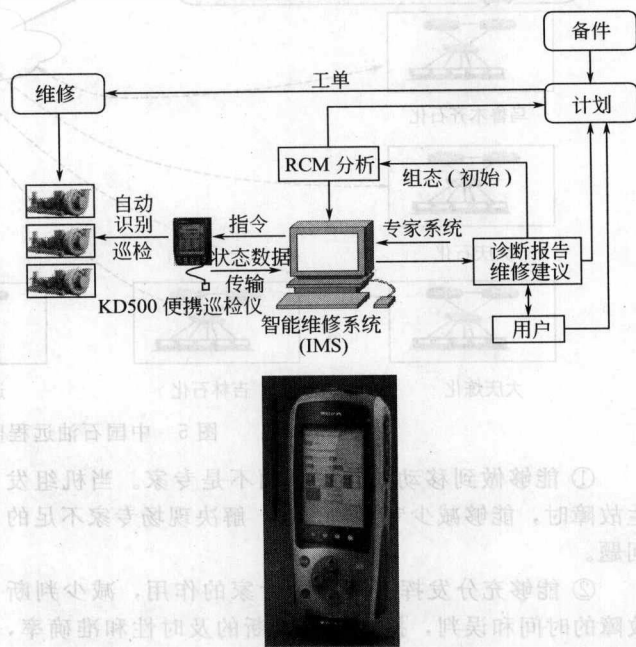


图7 BH550便携式巡检仪及智能维修系统

判别诊断预测和智能决策分析。同时生成维修及改进建议报告提交到计划部门。

5 设备故障自愈理论

装备是人类智能的物化，是功能的延伸。任何装备都是设计在一定范围内可以有序稳定运行，而实际工况可能由于其内部的变化和外部干扰偏离原设计条件，出现故障或非正常工况。故障自愈调控就是在运行中通过智能诊断预测和主动控制使其保持或返回原设计范围，确保有序稳定运行。

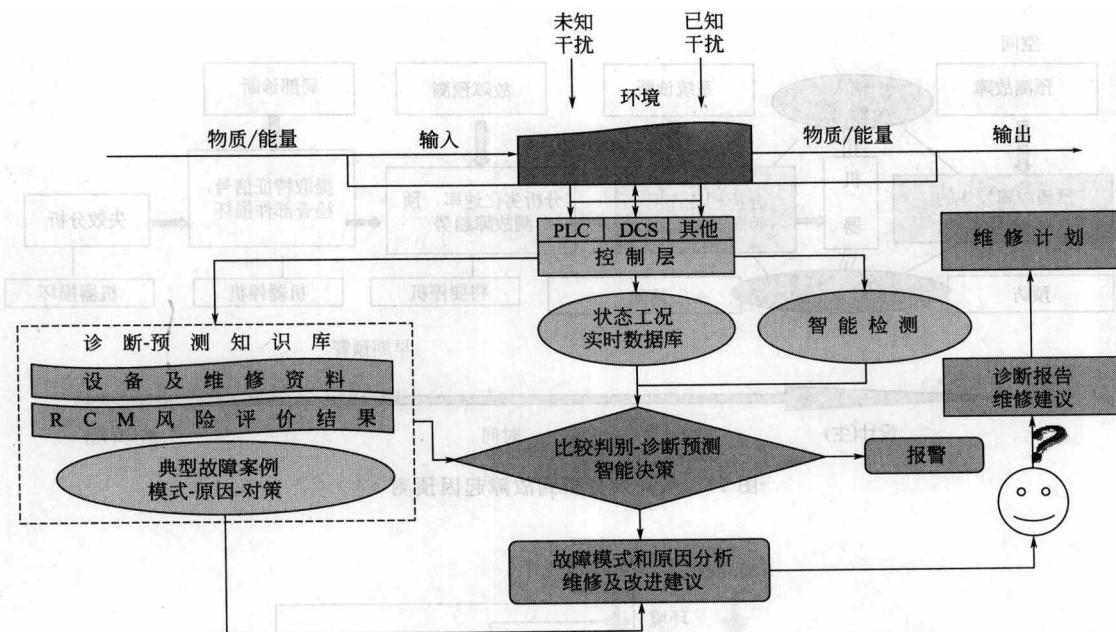


图 8 动态智能维修系统模式图

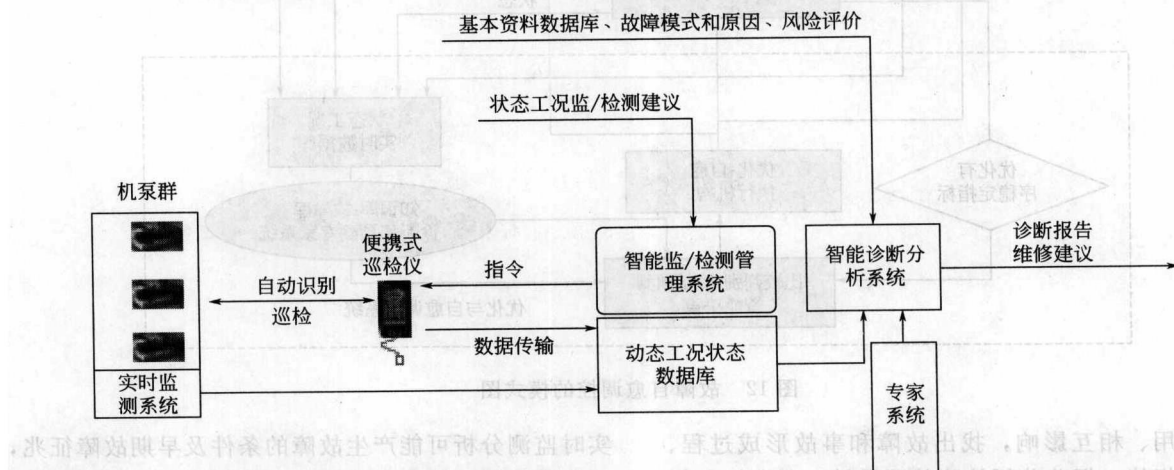


图 9 动态智能维修系统路线图

信息可以揭示结构系统、输入输出以及相互影响的变化。当机器内部子系统的相互影响和相互作用有异常变化，或这些子系统与环境、大规模输入输出物质和能量的相互影响、相互作用出现异常变化，如设备偏离了正常状态，进入早期故障状态，我们可以发现信息并实时处理，来显示故障征兆，并进行诊断和预测。

5.1 从局部诊断到系统诊断

系统论的联系性原理反映了相互作用在事物的形成和发展变化中的决定作用和地位，这是世界上的一种普遍规律。现代医学研究病理的深层规律提出“相互作用是疾病的真正终极原因”可以借鉴这些原理和方法去研究装备系统及其与环境、输入输出相互作用的关系，在多因多果的复杂关系中，找出故障、事故原因与征兆的因果对应关系。故障诊断要从内因、外因和亦内亦外因去分析和研究，如图 10 所示。

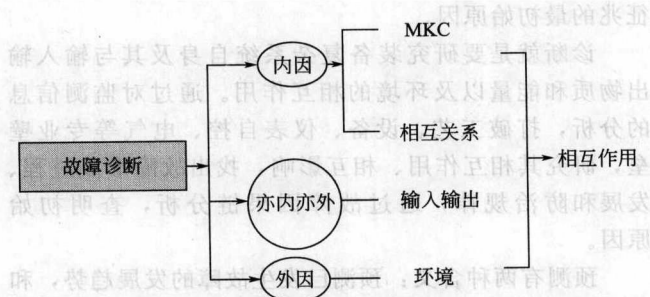


图 10 系统故障诊断是由果求因的逆过程

近年来，故障诊断已从过去的失效分析、通过信号检测、处理和特征识别发展到面对人-机-过程-环境复杂系统进行系统诊断，如图 11 所示。故障诊断不仅研究信息，而且研究关系。要研究复杂系统及其与环境、输入输出物质和能量的相互作用。通过对监测信息的分析，打破工艺、设备、仪表自控、电气等专业壁垒，研

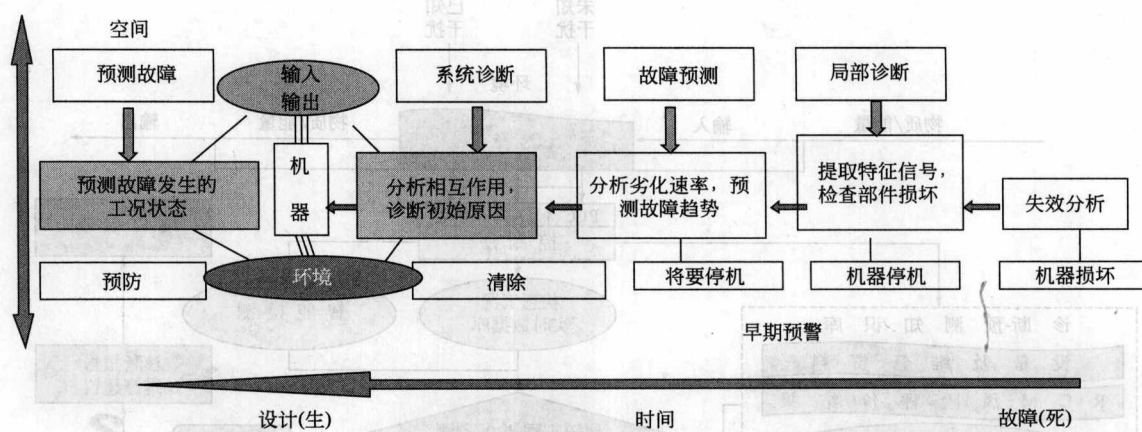


图 11 从失效分析到故障起因预测

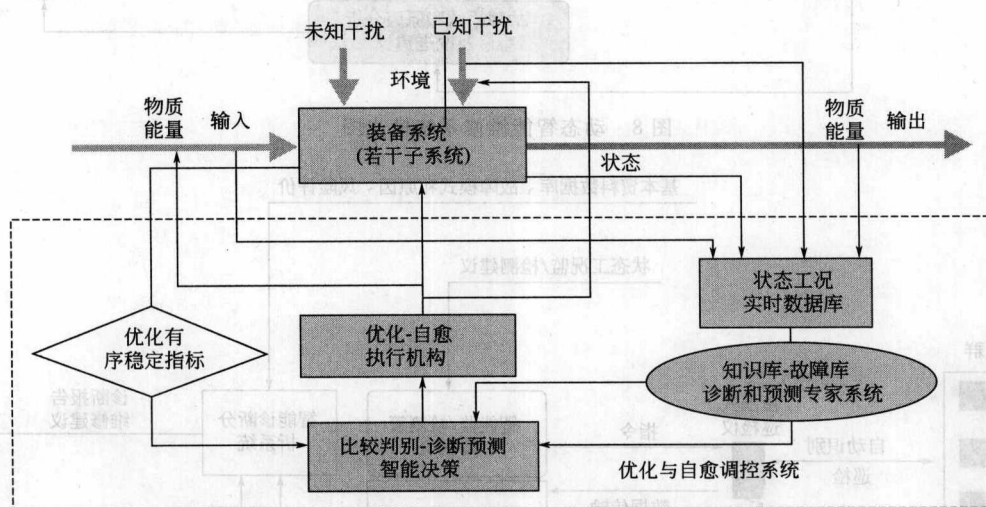


图 12 故障自愈调控的模式图

究其相互作用、相互影响,找出故障和事故形成过程、发展和防治规律。据此分析故障的因果链,研究机电仪和工艺复杂系统,从多因多果的因果链中找出产生故障征兆的最初始原因。

诊断就是要研究装备复杂系统自身及其与输入输出物质和能量以及环境的相互作用。通过对监测信息的分析,打破工艺、设备、仪表自控、电气等专业壁垒,研究其相互作用、相互影响,找出故障形成过程、发展和防治规律,通过故障因果链分析,查明初始原因。

预测有两种含义：预测已发生故障的发展趋势，和研究可能产生故障时的条件。有必要通过对诸多故障征兆信息的信号处理、分析提取特征参数、计算输入/输出系统物流和能量的协调性及其有害能量的转化、研究输出物质特性的变化异常、计算分析装备系统状态和工况参数之间的非线性关系，来探测分析产生故障的原因，特别是故障萌芽时的条件和特征。

5.2 故障自愈调控原理^[6,7]

故障自愈调控 (FSR) 的定义: 在装备系统运行中

实时监测分析可能产生故障的条件及早期故障征兆,采用诊断预测、智能决策和主动控制方法使装备系统不具备产生故障的条件或自行将故障消除在萌芽中,或在故障未形成的阶段,就发现它,截获它,使它消灭于无形^[3]。

在故障自愈调控系统建模过程中,对系统响应的迅速性和正确性进行研究。由于该系统是一个拥有相当多信息的复杂系统,从大量信息中提取有用的信息,并及时采取适当措施非常重要,从而实现自愈系统调控。该系统工程原理的系统分析方法,可用于提取和分析系统信息,并建立一个智能专家知识数据库,提供有用的控制策略,以协助智能决策。

以故障的抑制和消除为目标的自愈调控系统应具备实时监测、比较判别、诊断预测、智能决策、中间转换和执行机构等几个环节^[4], 自愈调控的典型模式, 如图 12 所示。

通过以故障预防和消除为目的的主动控制来建立故障自愈机制,故障自愈调控的主要方式如下。

① FSR 的主要思想是改变工况和状态参数。可以

通过以下方法来实现:

补偿干扰的调节方式 启动反作用, 抑制故障的产生和发展;

排除干扰的调节方式 消除产生故障的干扰, 抑制故障的产生;

平衡偏差的调节方式 消除故障产生的条件, 抑制故障的产生和发展;

复合调节方式 上述方式的组合。

② 有时可以通过动态调节, 改变允许工作范围。工作范围可以是多尺度区域的一点或线。

6 装备故障自愈调控的工程应用

上述研究可为研制工业应用的故障自愈调控系统(FSR)提供科学依据和关键技术, 如在流程工业广泛应用的紧急停车系统(ESD)之前增设故障自愈调控系统(FSR), 可在确保安全的前提下大幅度减少自动联锁紧急停车, 并可开发出新一代装备, 使其具备自愈功能, 改变或减少靠人去治愈的传统维修方式。

故障自愈原理在离心式压缩机组工程应用典型实例如下。

6.1 自动平衡装置

在旋转机械的故障中, 转子动不平衡占的比例相当大, 特别是运行转子中由于结焦、结垢、热弯曲等会造成转子的不平衡, 机组会产生剧烈振动。排除这类故障

一直采用人工动平衡的做法, 而采用在线自动平衡系统, 机组可以不用停机, 在工作状态下随时自行消除转子或轴系的不平衡问题, 达到故障自愈目的。高速旋转机械主动平衡自愈系统原理如图 13 所示。自愈调控器通过对传感器监测的振动信号分析, 判别转子振动是否由转子不平衡引起的, 如果是计算出不平衡量大小和相位。据此自愈调控器通过平衡头静环向动环发出指令, 调整动环的质量分布产生新的不平衡量来抵消原来的不平衡, 达到消除振动的目的。工程上常用的平衡头有电磁和冲液式的两种^[8]。

6.2 轴位移故障自愈调控系统

在旋转流体机械(包括泵、风机、压缩机、膨胀机、透平机等)运行中, 由于转子和流体相互作用, 会产生轴向的作用力, 通常会采用一个压差式推力平衡盘来克服掉大部分的推力, 这会减少大部分的动态轴向力, 从而大大减小推力轴承的负荷。当装置出现异常情况时, ESD 系统必须关掉设备, 避免推力轴承因过载而损坏。

正在研制的一种新的推力平衡装置, 它由推力检测装置、控制器和流体流量调节装置构成一个闭环控制。推力检测装置直接或间接地检测到转子所受轴向力的变化后由控制器控制流体流量调节装置, 调节平衡盘两侧压差, 自动调节轴向力, 使其不会超过止推轴承的允许值, 从而避免非正常联锁停车, 高速透平机械轴位移故障自愈调控原理如图 14 和图 15 所示。

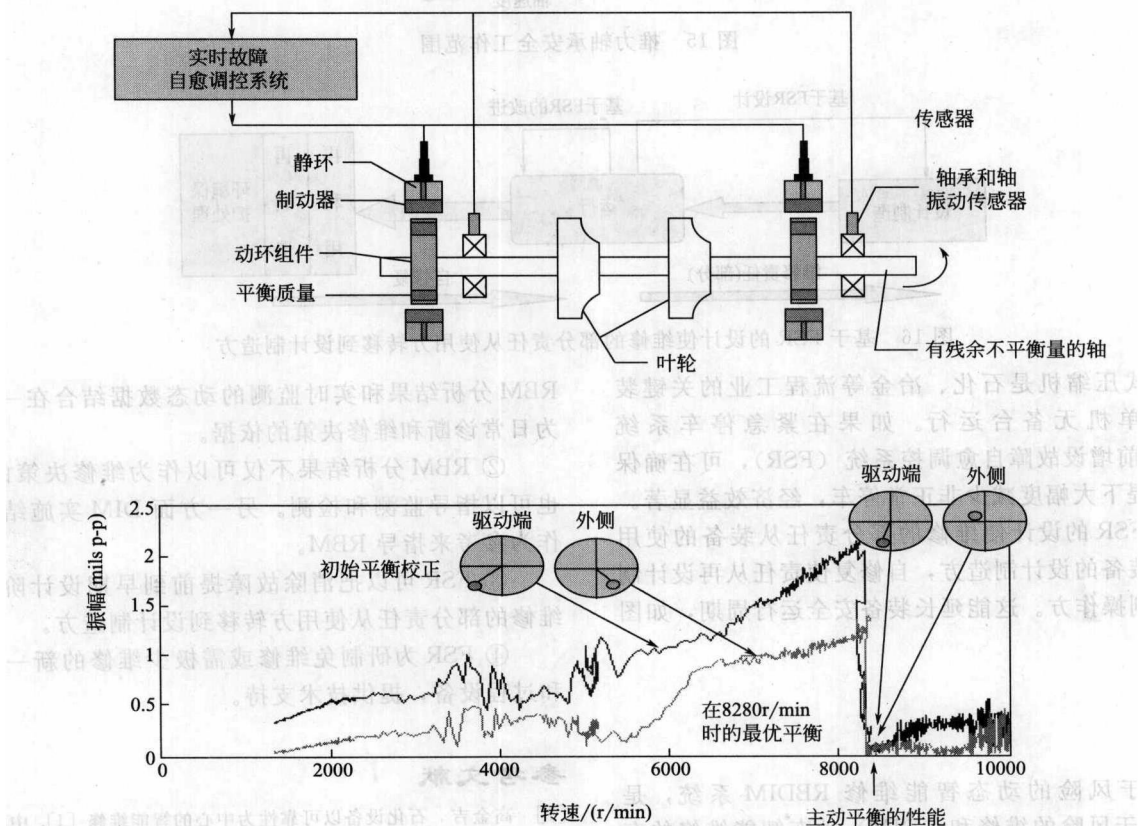
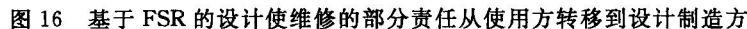
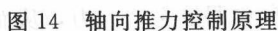


图 13 主动平衡原理



基于 FSR 的设计使维修的部分责任从装备的使用方转移到装备的设计制造方,自修复使责任从再设计制造方转移到操作方。这能延长装备安全运行周期,如图 16 所示。

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com