



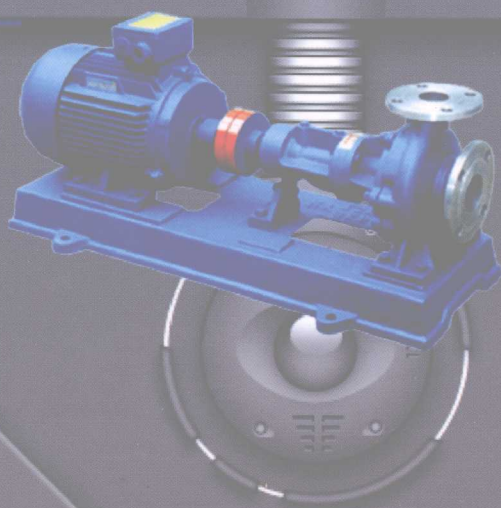
袁周 黄志坚 编著

工业泵

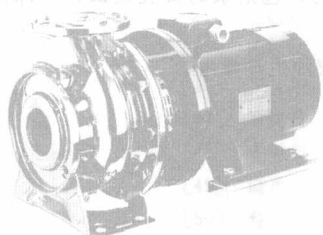
GONGYEBENG

CHANGJIAN GUZHANG JI WEIXIU JIQIAO

常见故障及维修技巧



化学工业出版社



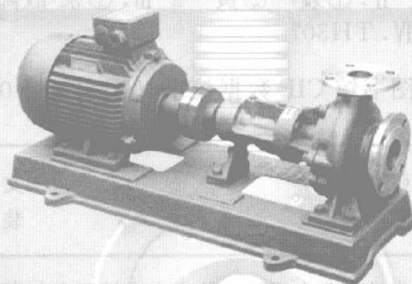
袁周 黄志坚 编著

工业泵

GONGYEBENG

CHANGJIAN GUZHANG JI WEIXIU JIQIAO

常见故障及维修技巧



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在简要介绍常见工业泵结构原理的基础上,从故障诊断思路方法、修理工艺、维修技巧等角度,系统总结了各类泵维修实践经验,提出了多种故障诊断和维修的方法和技巧,包括泵的安装调试、零部件的修理方法和技巧,以及许多典型泵的维修实例,内容新颖,实用性强。

本书可供泵类设备运行、安装、维修、设计人员以及相关专业的院校师生等参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业泵常见故障及维修技巧/袁周,黄志坚编著. —北京:化学工业出版社,2008.5

ISBN 978-7-122-02735-1

I. 工… II. ①袁…②黄… III. ①泵-故障诊断②泵-故障修复 IV. TH307

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 060391 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈 喆

责任校对:吴 静

装帧设计:韩 飞

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张23¼ 字数602千字 2008年8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:49.00 元

版权所有 违者必究

前言

泵广泛应用于电力、化工、冶金、石油、农业等国民经济的各个部门，是能源消耗的大户，每年泵的耗电量约占全国总发电量的 1/5。因此，提高泵在各个生产系统中的安全性、可靠性和经济性显得非常重要。快速诊断泵的故障、合理维修设备、不断改进泵在系统中的运行效果，是从事泵类设备设计、安装运行及维护工程技术人员共同的目标。

近年来，泵类设备维修领域存在一些薄弱环节，工作质量与工作效率都有不足之处，主要原因是，大量的机械工程类大学毕业生在毕业后的几年内，所做的工作都和维修有关，而工科学生在校几乎没有受到维修设备领域的正规培训；工业生产中实际发生的修复业务，多由经验丰富却没有学历的工程师或工人来处理，这些人也缺乏正规的各种维修基本知识培训，因此不能进行高水平的维修工作；维修项目的管理者虽受过高等工科教育，一般也只能按说明书从事修理，而设备的设计者一般缺少使用经验，而且从用户得到的反馈也少，故制定的维修说明也不一定合理。因此，本书旨在帮助泵类设备运行、安装、维修工作者及设备设计人员更好地掌握泵类设备使用维修理论与方法，取得更大效益。

本书从故障诊断思路方法、修理工艺、修理技巧等角度，系统总结各类泵维修实践经验。本书数据资料详实新颖，实例丰富，提出了多种故障诊断思路与维修工艺方法，内容新颖，通俗易懂。

本书由袁周与黄志坚编著，其中第 1、2、4、5、6 章由袁周编写，第 3、7、8 章由黄志坚编写。

因时间仓促，书中不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 泵类设备设计制造及使用维修概论	1
1.1 泵类设备设计制造及使用维修现状与发展趋势	1
1.1.1 我国泵行业技术的主要发展趋势	2
1.1.2 国内泵优化设计历史、现状及发展趋势	2
1.1.3 长短叶片离心泵技术现状与发展趋势	5
1.1.4 船用泵的发展现状和趋势	6
1.1.5 国内外轻便泥浆泵的现状	7
1.1.6 石化泵的应用及技术发展趋势	9
1.1.7 电站泵的现状及技术发展趋势	12
1.1.8 排灌用离心泵的研究现状和趋势	13
1.1.9 高速部分流泵技术的发展	14
1.2 泵的分类及主要性能参数	18
1.2.1 泵的分类	18
1.2.2 典型泵结构、用途、型号含义	20
1.2.3 离心泵工作原理和性能特点	22
1.2.4 轴流泵工作原理和性能特点	27
1.2.5 混流泵工作原理和性能特点	28
1.2.6 旋涡泵的工作原理和性能特点	28
1.2.7 往复泵的工作原理和性能特点	31
1.2.8 其他泵工作原理和性能特点	32
第2章 泵类设备安装调试及运行维护	38
2.1 泵类设备安装调试一般要求及标准规范	38
2.1.1 泵的安装及操作一般规定	38
2.1.2 离心泵的安装及操作	40
2.1.3 井用泵的安装	43
2.1.4 立式轴流泵和导叶式混流泵的安装	45
2.1.5 机动往复泵的安装	47
2.1.6 蒸汽往复泵的安装与操作	49
2.1.7 计量泵的安装	49

2.1.8	螺杆泵的安装	50
2.1.9	水环式真空泵的安装	51
2.2	超大型斜流泵安装及调试	51
2.2.1	安装过程	51
2.2.2	动车调试过程	53
2.3	大型立式泵水导轴承安装方法的改进	53
2.3.1	概述	53
2.3.2	故障现象	54
2.3.3	事故原因分析	55
2.3.4	改造措施	55
2.3.5	小结	56
2.4	B640 II 冷凝泵的安装及运行	56
2.4.1	B640 II 冷凝泵概况	56
2.4.2	泵的构造与组成	56
2.4.3	验收、搬运、保管与安装工具	57
2.4.4	泵的安装	58
2.4.5	运转及操作	61
2.4.6	维护及保养	63
2.5	64LKXA-19 型泵的安装及调试	64
2.5.1	64LKXA-19 型泵概况及有关数据	64
2.5.2	泵的结构	65
2.5.3	泵的安装	65
2.5.4	泵的运行	67
2.5.5	常见故障、原因及措施	68
2.6	特大功率水泵、电机的安装调试实例	69
2.6.1	工程的施工特点	69
2.6.2	机组设备安装要点	69
2.6.3	联动试车前的必备条件	70
2.6.4	机组调试、试运行	71
第3章	泵类设备故障诊断与监测方法	72
3.1	泵类设备故障诊断方法综述	72
3.1.1	基于信号处理的方法	72
3.1.2	基于解析模型的方法	72
3.1.3	基于知识的方法	73
3.1.4	展望	74
3.2	泵类设备模糊诊断法	75
3.2.1	概述	75
3.2.2	电潜泵系统工况的模糊诊断	75
3.2.3	混凝土输送泵故障模糊诊断	76
3.2.4	五缸柱塞泵故障模糊综合诊断	78
3.3	泵类设备神经网络诊断法	82

3.3.1	概述	82
3.3.2	RBF 神经网络在往复泵故障诊断中的应用	82
3.4	油田注水泵故障诊断专家系统	84
3.4.1	概述	84
3.4.2	专家系统设计	85
3.4.3	诊断实例	87
3.5	螺杆泵工况综合参数诊断系统	88
3.5.1	概述	88
3.5.2	测试系统的功能与技术指标	88
3.5.3	系统构成与工作原理	88
3.5.4	小结	89
3.6	大型泵站辅机系统故障树分析法	89
3.6.1	概述	89
3.6.2	大型泵站辅机系统故障树的定性分析	90
3.6.3	大型泵站辅机系统故障树的定量分析	93
3.7	泵类设备故障假设-验证分析法	94
3.7.1	概述	94
3.7.2	给水泵故障分析实例	95
3.8	故障模式及影响分析法在泵类设备维修中的应用	96
3.8.1	FMEA 在设备维修管理中的应用	96
3.8.2	离心泵 FMEA 实例	97
3.9	风险评价法在油浆泵抢修中的应用	99
3.9.1	概述	99
3.9.2	危害识别与风险评价	100
3.9.3	重大风险控制措施	100
3.9.4	实施效果	101
3.10	泵类设备在线监测技术与方法	102
3.10.1	泵类设备监测概述	102
3.10.2	给水泵状态监测与辅助维修系统	103
3.10.3	基于虚拟仪器的水泵监测诊断系统的开发及应用	104
3.10.4	变频调速水泵状态实时监测与故障智能诊断	107
3.10.5	输油泵在线监测及故障诊断系统	110

第4章 泵类设备常见故障诊断、排除及典型案例 113

4.1	泵类设备故障概况	113
4.2	泵振动故障与排除及诊断案例	113
4.2.1	故障振动诊断技术基础	113
4.2.2	离心泵振动的原因及其防范措施	125
4.2.3	一台大型锅炉给水泵振动原因分析及处理	127
4.2.4	调速给水泵振动故障诊断及处理	130
4.2.5	干式螺杆真空泵振动监测与故障诊断	135
4.2.6	抽水站立式泵机组振动故障的原因分析及消除措施	139

4.3	泵汽蚀诊断与排除及案例	142
4.3.1	压力脉动法诊断离心泵汽蚀的试验研究	142
4.3.2	给水泵汽蚀诊断模型的分析与控制	146
4.3.3	黄河二号离心泵抗磨蚀措施	149
4.3.4	循环水泵汽蚀的原因及改进措施	152
4.4	离心泵组常见故障诊断与排除及案例	154
4.4.1	离心泵机组常见故障分析	154
4.4.2	离心泵的日常维护	157
4.5	潜水电泵常见故障及维修方法	157
4.5.1	常见故障	157
4.5.2	大型潜水泵的日常维护保养与维修	158
4.5.3	潜水电泵维修的注意事项	161
4.5.4	案例分析	162
4.6	隔膜泵故障维修的典型案例分析	162
4.6.1	GEHO 隔膜泵的操作要点与工艺改进	163
4.6.2	HMD-G-32-0250 型隔膜泵故障检修及分析	165
4.6.3	ZPM11×20×1250 隔膜泵的隔膜故障	166
第5章	泵类设备的修复方法与技巧	168
5.1	修复工艺概论	168
5.1.1	修复工程学的特点	168
5.1.2	失效分析技术	170
5.1.3	修复的一般原则	173
5.2	泵类设备零部件修复常用工艺	177
5.2.1	泵的零件的清洗	177
5.2.2	离心泵零件检查与修理	178
5.3	焊接修复	184
5.3.1	铸铁零件的修复	184
5.3.2	碳钢件的修复	186
5.3.3	合金钢件的修复	187
5.3.4	有色金属件的修复	189
5.3.5	堆焊	191
5.4	修复热喷涂	193
5.4.1	热喷涂的工艺过程	194
5.4.2	热喷涂涂层的形成	194
5.4.3	喷涂层的力学性能	195
5.4.4	影响热喷涂层的质量因素	195
5.4.5	几种常见的热喷涂技术	198
5.5	修复电镀	199
5.5.1	电刷镀	199
5.5.2	镀铬	202
5.5.3	低温镀铁	204

5.5.4	复合电镀	207
5.6	机加工修复	208
5.7	利用塑性变形修复零件	209
5.7.1	镦粗法	209
5.7.2	挤压法	209
5.7.3	扩张法	210
5.7.4	轴类件的热校直法	210
5.8	其他修复方法	210
5.8.1	熔覆修复	210
5.8.2	胶接修复	213
5.8.3	钢接(金属扣合)修复	216

第6章 泵的主要零部件修理及案例 217

6.1	轴类及键类的修复及案例	217
6.1.1	泵轴损坏的主要形式及原因	217
6.1.2	热校直法修复弯曲泵轴	217
6.1.3	冷压法	219
6.1.4	磨损的修复方法及特点	220
6.1.5	水泵轴颈修复	221
6.1.6	表面工程在电站循环水泵轴修复中的应用	222
6.1.7	高压给水泵长轴热弯曲的原因分析	225
6.1.8	冷粘维修工艺在泵轴修复上的应用	226
6.1.9	用Plazjet热喷涂技术修复酸浴循环泵轴套	228
6.1.10	电厂循环泵轴系断裂事故分析及防范措施	229
6.2	壳体件的修复及案例	231
6.2.1	修复壳体件的常用方法	231
6.2.2	日本产4HNN-153型脱碳液泵体的焊接修复	232
6.2.3	隔膜泵盖裂缝的修复	235
6.2.4	磁力泵隔离壳的修复	235
6.2.5	挖泥船泥泵壳和泥泵衬板的抗磨修复	238
6.2.6	Loctite98733在水泵内壁的涂刷试验	242
6.2.7	用柔软陶瓷复合材料修复水泵汽蚀	243
6.2.8	贝尔佐纳(Belzona)高分子修复材料在真空泵修复中的应用	244
6.2.9	引滦泵站水泵汽蚀破坏的修复方案比较	246
6.2.10	DG150-59给水泵中段裂纹的处理	248
6.3	叶轮的修复及案例	249
6.3.1	概述	249
6.3.2	大型水泵叶轮损坏的电刷镀修复	250
6.3.3	贝尔佐纳高分子材料修复水泵叶轮	251
6.3.4	复合涂料修复水泵过流部件汽蚀麻面	253
6.3.5	挖泥船泥浆泵过流元件的抗磨镶衬	255
6.3.6	输油离心泵维修中的喷砂除垢工艺	256

6.3.7	稀酸泵的防腐修复实例	258
6.3.8	铸铁水泵叶轮大面积缺口低碳钢镶块补焊法	259
6.4	平衡装置的修复及案例	261
6.4.1	金属喷镀技术修复黏胶泵轴平衡活塞	261
6.4.2	维修分段多级式离心泵时要注意泵轴的轴向窜动问题	262
6.5	泵轴承的修复及案例	264
6.5.1	BZ100-500 型渣浆泵的改进	264
6.5.2	给水泵电机轴承座防渗漏处理	265
6.5.3	解决水浸式潜水电泵下轴承寿命问题的实例	266
6.5.4	水泵泵体轴承座断裂修复	267
6.5.5	应用摩圣技术减缓水泵机组轴承磨损	268
6.5.6	用胶黏剂修复水泵电动机轴承	269

第7章 泵类设备密封装置的维修及泄漏治理 270

7.1	机械密封的维修	270
7.1.1	机械密封的基本结构、作用原理、特点及分类	270
7.1.2	泵用机械密封的安装维护要点	271
7.1.3	漏损原因及其消除方法	272
7.1.4	机械密封使用维修中的注意事项	275
7.1.5	根据机械密封摩擦副磨损情况分析其故障原因	277
7.1.6	炼油厂泵类设备机械密封故障分析实例	279
7.1.7	热油泵机械密封泄漏原因及处理实例	281
7.1.8	给水泵机械密封事故的原因分析实例	283
7.1.9	CHZE200-250 型循环水泵机械密封损坏原因分析与改进	285
7.1.10	改造泵串联机械密封及系统改造	286
7.1.11	高温泵机械密封失效分析与改进	288
7.1.12	甲铵泵机械密封的改造	289
7.1.13	热媒循环泵机械密封失效及改进	290
7.1.14	乳液聚合物输送泵机械密封的改造及应用	292
7.1.15	双端面机械密封的封液系统改造	296
7.1.16	污水泵机械密封的改造	298
7.2	填料密封的使用维修	300
7.2.1	填料密封泄漏的原因及其消除方法	300
7.2.2	盘根密封的故障、排除方法及案例	300
7.2.3	R 型热水循环泵盘根密封结构改造	301
7.2.4	水泵新型填料密封技术应用	301
7.2.5	循环水泵盘根密封技术改造及选用	303
7.3	间隙密封的使用维修	304
7.3.1	填充尼龙在离心泵密封环上的应用	304
7.3.2	ZJ 系列渣浆泵在选煤厂的应用	306
7.4	迷宫密封的使用维修	307
7.4.1	双级迷宫密封离心式低温液体泵的使用维修	307

7.4.2	汽动给水泵油中进水问题的分析处理	308
7.4.3	机械密封的迷宫改造	310
7.5	浮环密封的使用维修	311
7.5.1	浮环密封失效原因分析	311
7.5.2	减少浮环密封密封油损耗的措施	313
7.6	动力密封的使用维修	314
7.6.1	离心密封	314
7.6.2	副叶轮密封在液尿泵上的应用	316
7.6.3	离心泵动力密封装置的使用维修	318
7.6.4	离心泵的动力密封改造	320
7.6.5	螺旋密封	323
7.6.6	D 型输油泵螺旋密封改造	327
7.6.7	200DI-65×10 输油泵反螺旋密封的改进和修复	329
7.6.8	锅炉给水泵螺旋密封装置的改进	330
7.6.9	螺旋密封在灰渣泵轴封上的应用	331

第8章 泵工作效率及提高措施 333

8.1	概述	333
8.2	提高泵效率的一般方法	334
8.2.1	提高泵本身的效率	334
8.2.2	提高泵的使用效率	335
8.3	48P-30 型循环泵经济性优化改造实例	336
8.3.1	经济性优化改造的技术要点	336
8.3.2	电机改双速	339
8.3.3	实施两机三泵的运行方式	340
8.3.4	循环泵的经济调度	340
8.3.5	经济性优化前后循环泵性能试验	343
8.3.6	改后经济效益分析	344
8.3.7	结论	344
8.4	600MW 机组进口冷凝泵节能优化改造	345
8.4.1	概况	345
8.4.2	节能优化改造的主要技术措施	346
8.4.3	改造前后测试结果	347
8.4.4	结论	349
8.5	16CJ-80 型轴流泵技改试验案例	349
8.5.1	基本概况	349
8.5.2	水力设计和模型试验	350
8.5.3	改造泵零部件的加工与质量控制	352
8.5.4	现场安装及运行	353
8.5.5	现场测试	354
8.5.6	结论	355
8.6	输送液化石油气磁力泵的改造实例	355

8.6.1	概况	355
8.6.2	泵存在的主要故障及分析	355
8.6.3	改造要点	356
8.6.4	磁力泵的操作要点	357
8.6.5	结论	358
8.7	合理调节排水系统的流量提高系统运行效率	358
8.7.1	水泵运行特性	358
8.7.2	水泵工况的调节	359
8.8	电厂凝结水泵的运行与增容改造实例	360
8.8.1	凝结水泵的运行与故障	360
8.8.2	改造方案的选择	362
8.8.3	改造后的运行情况	362
参考文献		364

第1章 泵类设备设计制造及使用维修概论

1.1 泵类设备设计制造及使用维修现状与发展趋势

泵产业是机械制造业的一个重要部分。据国家统计局统计,目前全国各类泵生产企业约 3000 余家。其中,乡镇及乡镇企业以上独立核算的泵生产企业约 2000 余家,国有企业 300 余家,工业总产值约 150 亿元。而泵的应用范围广,每年泵的耗电量约占全国总发电量的 1/5,堪称耗能大户。同时,全国工业泵类生产企业的平均年产量只有 3500 台左右,平均规模只有美国、日本、德国等先进国家的 1/8~1/5 左右,低于经济规模。近年来,由于小型潜水电泵的迅速发展,个别企业年产量已高达 10 万台左右。专业化程度低是我国泵类生产企业的—个主要特点。

在工艺技术和生产装备方面,以热加工为例,绝大多数企业铁水熔炼仍采用冲天炉,造型采用黏土砂。新材料及涂敷技术的开发利用方面,尚处于起步阶段。在机械加工方面,绝大多数企业尚未采用自动化生产线进行大批量产品的生产,小批量多品种产品的生产也多未采用数控机床和成组加工等先进装备和先进工艺。我国泵行业的一些主要企业,其装备和工艺基本上还处于 20 世纪 80 年代的水平。而占泵企业总数 90% 以上、固定资产原值不足 800 万元的大多数小厂,则仍然采用国外已基本淘汰的热加工工艺和超期服役的机床在生产。

目前,我国工业泵已有近百个系列、1500 多个品种。全国泵的总品种约为 3000 多种,而国外泵的品种在 6000 种以上。我国在泵的品种上仍有不少缺口,现有产品仅能基本适应国民经济发展的要求。例如,对于 250 万吨/年以上的炼油厂装置和炼油深加工装置、60 万千瓦以上火力发电机组、大型合成氨和尿素及复合肥等联合装置以及 30 万吨/年乙烯和其后加工装置等少部分具有特殊要求的装置,泵尚难以满足其要求;对于高压小流量、高压大流量、输送混合酸和腐蚀性极强的化工料浆等用泵,现有泵产品仅有很少几种可供选择。

近几年来,我国泵类产品的技术水平有了较大的提高,通过引进吸收、更新改造、消化创新,我国泵类新一代产品达到了国际 20 世纪 80 年代末、90 年代初的水平,特别是某些重大技术装备的配套产品已达到或接近国际同类产品的先进水平。

总的来说,在产品开发能力方面,泵行业企业的产品开发能力较弱;在设计能力方面,虽有一些骨干企业和科研院所的水平接近于 20 世纪 90 年代的国际水平,但掌握的水力模型少,在强度、刚度、轴承振动和可靠性设计方面还存在一定的差距。世界泵业的许多制造厂正在采用先进的 CAD/CAM/CIMS 设计与制造技术,来改进其产品设计和制造方法。我国虽有不少单位正在研究泵的 CAD/CAM/CIMS 技术,但与其他行业相比,水平较低、实用性较差。

由于泵产品的设计、开发能力、开发速度与质量控制远远不能满足我国工业发展的速度,我国核电、石油、化工、化肥等工业建设所需的泵至今还主要依靠进口。

1.1.1 我国泵行业技术的主要发展趋势

随着技术的不断进步,泵产品必将向智能化方向发展,能够对压力、流量、温度和振动等参数进行监测;能够对泵的轴、轴承和密封的状况进行评估;能够对故障的原因进行诊断等。泵行业的技术发展将集中体现在设计电子调节系统、改善驱动装置和寻求新的材料等方面。

(1) 向机、电、仪一体化的方向发展

泵产品不论是小型的家用泵、建筑用泵等通用泵,还是大型的石化、电力等工业装置用的流程泵,都在向机、电、仪一体化的方向不断发展,使泵产品更加高效、节能,使用维护更加方便,提高可靠性,延长寿命,为用户带来更大的收益。

(2) 向大型化和高速化的方向发展

随着电站、石化装置和水利工程等朝着大型化、规模化的方向发展,泵作为其配套产品必然朝着大型化和高速化的方向发展。

(3) 向多品种和多用途的方向发展

为满足不同工况和用途的需求,泵产品势必向扩大品种规格、拓展性能范围方向发展。目前国内泵产品在规格、品种和用途广泛性方面还有待于进一步提高。例如,对于高压小流量用泵、混合酸用泵和腐蚀性极强的化工浆料用泵等,还需要不断开发新品种。

(4) 理论与设计方法的科学化

加强泵的基础理论研究,注重交叉学科、边缘学科、新兴学科的相互渗透。理论研究的重点是:泵内部流动的测量、数值模拟及性能预测;一元黏性流动的数值计算;多相流动的理论与应用;泵的优化设计及设计的多样化。

(5) CAD、CAM、CIMS 技术的发展与推广

生产和制造的高技术化是产品“价廉物美”的根本保证。通过利用先进的计算机辅助设计和计算机辅助制造技术,不仅保证了产品的设计质量,而且缩短了设计周期,大大提高了产品设计能力,实现了设计方案的最优化,确保了产品的可靠性。同时,计算机制造集成系统(CIMS)和虚拟技术的应用,大大地缩短了泵产品的生产周期,保证了产品的性能。

(6) 无密封泵技术

无密封泵主要包括磁力驱动泵和屏蔽泵。近年来,其之所以引人注目,主要是由于自20世纪80年代中期以来人类环保意识的日益增强。目前,越来越多的泵制造厂认识到了在其产品系列中需要增添一种无密封泵的重要性。显而易见,无密封泵的需求量将呈持续增长的强劲势头。

(7) 产品模块化和个性化

模块化泵技术是泵业技术发展的一个重要趋势。在模块化泵系列中,只需要少数几个零件就可以构成整个泵系列,从而可以降低生产成本,缩短交货时间,减少零部件和备件的库存,而个性化的发展则要求产品逐渐趋向于朝多品种、小批量的方向发展。

(8) 材料技术

近年来,各种新材料的开发和应用是推动泵技术发展的一个重要因素。泵的零部件采用了各种各样的新材料,所带来的好处主要是延长了泵在腐蚀性介质中的使用寿命和可靠性,并扩展了泵的使用范围。同时,涂覆技术和材料的表面处理技术在改善泵的流动特性、耐腐蚀性和耐磨性方面变得日益重要,具有广阔的应用前景。

1.1.2 国内泵优化设计历史、现状及发展趋势

(1) 泵优化设计初期阶段

1979年学者首先提出了离心泵的CAD。此后,国内许多研究人员对泵的CAD做了许

多研究工作。在 DJS-130 计算机和 CTS-I 绘图仪上实现了离心泵圆柱形叶片叶轮的 CAD 设计,对有关参数的计算和选定、轴面投影图的绘图及流道检查、平面投影图的绘图及流道检查作了“机辅设计”的尝试。用奇点分布法设计轴流泵叶轮叶片的设计计算子程序及绘制各计算截面翼型图、叶片轴面投影图和叶片木模图的绘图子程序,这套程序在 PS-80 微机上通过“人机对话”,完成叶轮叶片的水力设计只需 2.5h。用微型计算机进行泵水力设计实用程序的设计思想和设计方法,编制了一套离心泵的 CAD 程序,应用此程序进行了泵的设计,设计指标都达到了要求。这一时期的辅助设计,主要是针对某种单一泵型,如离心泵、混流泵、轴流泵等。而且在同一泵型中,设计适用比转速范围也有限,特别在同一泵型中的大比转速和小比转速泵的设计时,往往不能令人满意。这一时期的工作为以后的发展作了大量的探索和研究,为以后的发展奠定了基础,是不可缺少的阶段。它具有以下几方面的特点。

① 加快设计进度,缩短设计时间 这一时期的计算机辅助设计软件,大多是在 DOS 环境下开发的,主要是针对泵水力设计大量繁杂的计算绘图工作,按照常规的设计、计算、绘图和画图方法,利用计算机辅助计算和绘图速度快的特点,加快设计进度,缩短设计时间,进行多方案比较。

② 局部优化 图解为主优化主要集中在叶轮轴面流道校核和绘制流线展开图两个方面,以采用传统的图解计算方法为主。在叶轮轴面流道校核方面,以过流道面积(或轴面流速)变化规律光滑为目标,交替改变叶轮叶片轴面形状参数(叶轮前后盖板倾角、前盖板圆弧、后盖板圆弧等),达到较为直观的非劣解图示曲线;在流线展开图方面,以流线变化规律光滑为目标,交替改变流线形状参数(叶片进口角、叶片进口边、叶片出口角、包角等),达到流线光滑的较为直观的图示非劣解。

这两种优化过程具有局部的优化目标、局部的优化方法、局部的优化结果的特点。在一般情况下,是相互独立的。但如果流线的优化不能满足要求,也可能要重新优化叶轮轴面形状。

③ 依赖经验,人机对话 由于对泵内流动规律的认识还很不够,泵的水力设计还只能在半理论半经验方法的基础上进行。对泵水力设计过程中涉及到的许多因素,只能采用统计规律或经验系数的方法确定。而这些统计规律或经验系数往往是在特定的条件下获得的,有一定的选用范围。这些系数的选择,对泵水力设计结果影响很大,计算机只能给出一般原则下的系数,对于特定的泵设计,还需根据设计者的个人经验确定这些系数。

④ 设计泵型单一导致适应性差 泵型设计主要是针对某一特定问题进行的,针对性强,应用范围窄,所能设计的比转速范围不够大。对离心泵研究多,对其他泵种研究少;对叶轮叶片的计算绘图研究多,对压水室的研究少。

(2) 泵优化设计发展阶段

进入 20 世纪 90 年代以来,国内在水泵 CAD 领域做了许多工作,尤其是在离心泵和轴流泵的水力设计和木模图绘制方面,达到了实用的程度。其他方面的泵的 CAD 研究也有很大的发展,如无堵塞泵的 CAD 研究、优化设计方法的研究、泵的选型、电子样本、三维造型、CFD、泵数据库等方面都取得了重要进展。

① 功能齐全,实用性强 操作系统采用当前较普遍的 Windows95/98/2000,普遍采用面向对象的编程技术,设计软件易于掌握,使用方便,功能齐全,实用性强,不同水平的设计人员都可使用。江苏大学的 PCAD2000 软件功能齐全、实用性强。它除了可进行清水泵的叶轮、蜗壳水力设计外,还可进行无堵塞泵的叶轮、蜗壳以及径向导叶、空间导叶等水力部件的水力设计。在对现有双流道式叶轮水力模型进行归纳总结的基础上,有人给出了用速度系数法设计轴面图时的各系数值,提出了新的平面图流道中线方程、外流道曲线方程以及

流道中线截面面积变化规律。人们采用等宽无堵塞泵叶轮水力 CAD 的轴面投影图、平面图的数学模型及绘型方法,将变角螺线数学模型应用于叶轮流道的设计。

② 采用优化数学模型,提高设计精度 许多研究人员对泵中最为重要的叶轮轴面形状进行了研究,分析了叶轮叶片轴面形状与参数之间的关系,建立了计算过水断面面积的数学模型,改变了长期以来用图解计算方法校核叶轮轴面流道的传统方法,提高了设计精度。此时相关文献从理论上分析了轴面过水断面面积的变化规律,建立了计算过水断面面积的数学模型,探讨了盖板倾角与比转速的关系,提出了确定这一部分形状的方法;提出了一种离心泵叶轮的计算机辅助设计方法,给出了保证叶轮流道光顺的几何模型,在按过水断面面积变化规律设计叶轮流道时对轴面流道和叶片同时进行设计,使得最终设计出的叶轮轴面流道和叶片所确定的叶轮流道的过水断面面积分布情况精确地符合设计目标;论述了采用离散化技术进行离心泵叶轮轴面投影图设计的两种方法。对轴面投影图设计的正问题——由前后盖板流线确定轴面投影图的传统的设计方法进行了优化,同时着重讨论了由后盖板流线及附加中线方程确定轴面投影图的一种新的设计方法——轴面投影图设计的反问题,采用离散化技术避免了烦琐的内切圆圆心轨迹推导的数学过程,运用高次多项式作为目标函数,改变多项式的阶数及系数进行优化设计。

③ CFD 技术的应用 CFD 技术已经用于泵的 CAD。例如,将 CFD 技术用于长江三峡工程排水系统潜水排污泵的水力设计,应用通用三维流动分析软件进行流动分析和性能预测,根据计算和预测的结果设计,在减少试验工作量的前提下使性能达到工程要求,取得了很好的效果。

④ 泵及泵站系统的优化选型 应用计算机技术进行泵及泵站系统的优化选型和管理,我国的科技工作者已经进行了很多研究。例如,根据系统工程最优化的观点,采用动态经济分析法,建立了泵站工程整体优化水泵选型及管径确定的整数规划数学模型,并根据软件工程的方法对泵站 CAD 系统的开发进行了有益的探索,设计了计算机辅助水泵选型及确定经济管径的实用软件,可为中小型泵站可行性设计和初步设计提供优化方案。还有文献论述了泵和管路性能曲线编程及泵的安全量选定、泵的选型优化约束条件并在工作点计算方法的基础上,提出了泵的计算机选型优化算法,针对大连水泵厂生产的泵系列进行了编程运算。结果表明,该算法具有实用、快速、准确、可靠的优点,使所选泵最佳地满足用户运行条件及高效率要求。

⑤ 其他进展 其他主要是泵的数据库系统、泵的电子样本、泵的销售软件等都有发展。

(3) 泵优化设计发展趋势

基于传统的设计绘图方法和程序,编制的泵的水力性能计算机辅助设计软件,已经发展到了相当的水平。具有一定设计经验的设计人员,应用这种软件,可以得到泵水力设计的非劣解。这类软件的发展是进一步提高适用性和可靠性,能够适应具有不同技术水平人员的需要,能够用于宽的比转速范围,能够达到高的设计水平、可靠的设计质量、可信的设计结果。

① CFD 的应用 CFD 技术在泵的内流数值模拟、研究泵内部流动规律和结构方面已广泛应用,取得了很多成果。但 CFD 技术在泵的 CAD 中的应用不多,还没有把 CFD 的成果应用于泵的设计。加快 CFD 在泵 CAD 中的应用,把 CFD 和 CAD 结合起来,进行“CAI-CFD-CAD”,是泵水力性能 CAD 发展的重要方向,是泵水力性能 CAD 深入发展的必由之路,是提高泵水力性能 CAD 水平的重要途径。目前,泵的 CFD 和泵水力性能 CAD 都已有相当的发展,CFD 与 CAD 的结合已有相当的基础,必将有大的发展。

② 优化方法 泵的优化设计,一直是泵设计人员所追求的,但由于种种原因,进步不快,只在局部优化。随着采用新的优化技术和汲取相近学科的成功经验,泵 CAD 中采用优

化技术会越来越多。泵的优化由局部向整体,由流线向流面、流场,由静态向动态发展。遗传算法作为一种全新的随机优化方法,遗传算法已广泛地应用于透平机械设计的多个方面,例如遗传算法直接用于气动元件的形状优化设计、超音速喷管的最佳形状、离心风扇的最佳箱体形状等。近年来已发展到可以用来协助计算流体动力学(CFD)方法进行有关流场计算等,并且已渗透到更为复杂的透平机械设计领域。如采用遗传算法对孤立翼型进行最优化设计,用遗传算法进行航空机翼的优化设计方面的研究;离心压缩机扩压器叶栅正、逆命题设计的遗传算法模型,基于遗传算法的蒸汽透平二维叶片型线自动设计系统,亚音速和跨音速工况下机翼表面的最优压力分布等。遗传算法在泵优化设计中应用还不多,文献[17]对标准的遗传算法进行了改进,并应用于泵汽蚀试验数据的拟合,取得了令人满意的效果。

③ 虚拟制造技术 虚拟制造技术是以计算机支持的仿真技术为前提,对制造过程中的各个环节,包括设计、加工、装配及生产管理等进行统一建模,形成可运行的虚拟制造环境,生成数字化的虚拟产品,实现产品设计、性能预测、工艺编制、制造装配和质量检验。它在计算机上实现样机试制过程,可及时发现产品设计和工艺过程中可能出现的错误和缺陷,在实物样机制造之前就可以预测产品性能和可制造性,节约制造成本,缩短产品开发周期,及早发现问题,及时反馈和纠正。虚拟制造技术是一种软件技术,它填补了CAD和生产过程之间的鸿沟。虚拟制造在工业发达国家,如美国、德国、日本等已得到了不同程度的研究和应用。我国清华大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学等科研教学单位也已经开展了这一领域的研究工作。虚拟技术把设计、制造、试验统一为一个虚拟环境,模糊了它们之间的界限,是CAD/CAM/CAE集成化发展的最高层次。

经过二十多年的发展,基于传统的设计绘图方法和程序,以缩短设计时间、减少设计工作量为目的的泵水力性能CAD,已经比较成熟,具有实用水平。在以后的泵的优化设计方面,将主要在以下几个方面发展:泵水力性能CAD与CFD相结合,推动流场显示技术、预测技术的发展;CFD与PIV技术结合,推动对泵内流动规律的认识和设计技术的发展;泵CAD向虚拟技术发展,结构设计技术和三维技术、动态技术的发展;更多地采用优化技术,使泵的优化由局部向整体发展,由叶轮向全部过流部件发展,由流线向流面、流场发展,由静态向动态发展。

1.1.3 长短叶片离心泵技术现状与发展趋势

低比转速离心泵应用广泛,其流量小、扬程高,由叶片泵的欧拉方程知,要实现高扬程,可增大叶轮直径和叶片出口角、提高转速及增加叶片数等,但这些措施在增加泵扬程的同时却又带来新的问题,叶轮直径 D_2 增大,泵的圆盘损失亦增大;增大叶片出口角 β_2 ,则相应的叶片包角减小,叶片变短,叶槽狭长,平面扩散严重;过高的泵转速将使叶轮内液体质点所受的离心力和哥氏力增大,叶片进口易产生二次回流,叶片出口吸力面与压力面速度梯度过大,易产生尾流-射流等;而过多的叶片数 z 则会增加叶片进口的排挤。因此按传统的设计方法,低比转速离心泵外特性呈现效率偏低,扬程-流量曲线易出现驼峰,小流量工况易产生不稳定,功率-流量曲线随流量增大上升急剧,在大流量区电机易过载等问题。

为了改善低比转速离心泵性能,国内学者们从20世纪70年代起就开展了试验研究,现已研制出一批水力性能较好的低比转速离心泵。概括目前低比转速设计理论和方法主要包括加大流量设计法、无过载设计法、面积比设计法、长短叶片设计法等。

3种设计方法分别是效率、无过载、叶轮与泵体匹配等不同研究层面提出的,有针对性,但亦存在较大的局限性。而长短复合叶片设计理念则从改善叶轮内部流场、压力场出发,通过在长叶片间设置短叶片冲刷尾流,有效地防止尾流的产生和发展,增大了有限叶片