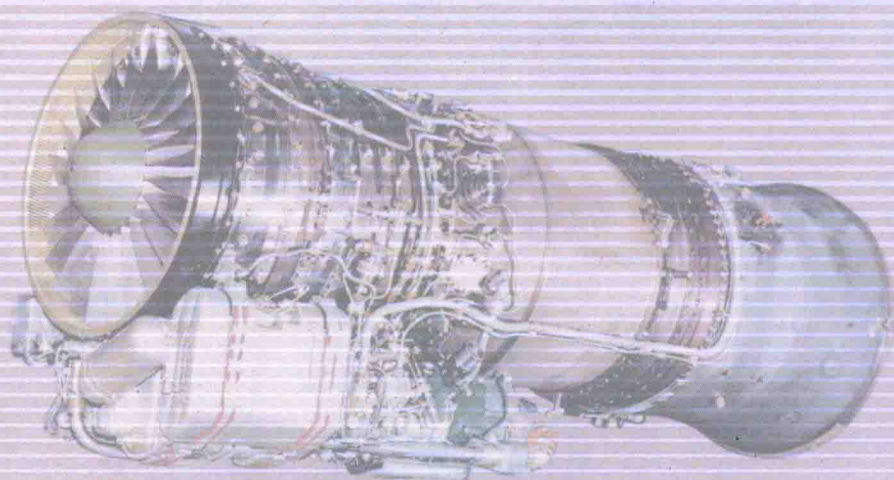




# 涡喷发动机故障模式 与机理分析及预防技术

向巧 张铀 王良 古道清 著

*WOPEN FADONGJI GUZHANG MOSHI  
YU JILIFENXI JI YUFANG JISHU*



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 涡喷发动机故障模式 与机理分析及预防技术

向 巧 张 铀 王 良 古道清 著

北京航空航天大学出版社

## 内容简介

本书针对发动机在使用和维修过程中发生的主要故障,结合多年在发动机修理中的维护、维修经验和科研攻关成果,汇编了涡喷-7和涡喷-13系列发动机压气机、燃烧室、涡轮、加力燃烧室、导管、附件传动、燃油系统、滑油系统、电气系统、性能问题等10个方面的典型故障,并对典型故障的故障现象、原因分析、排除方法以及维护建议作了较为详细的说明,具有很强的实用性。本书可供涡喷-7、涡喷-13系列发动机战场抢修及维护、修理单位的工程技术人员使用,亦可供设计部门参考借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

涡喷发动机故障模式与机理分析及预防技术 / 向巧, 张铀, 王良著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5124-2038-0

I. ①涡… II. ①向… ②张… ③王… III. ①涡轮喷气发动机—故障诊断 IV. ①V263.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第009308号

版权所有,侵权必究。

## 涡喷发动机故障模式与机理分析及预防技术

向巧 张铀 王良 古道清 著

责任编辑 赵延永

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:35.75 字数:915千字

2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷 印数:1000册

ISBN 978-7-5124-2038-0 定价:380.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

航空发动机是装备领域的高端产品,是衡量一个国家军事装备水平、科技工业实力和综合国力的标志,被誉为现代工业“皇冠上的明珠”。在我国航空产业蒸蒸日上的形势下,研究航空发动机修理和制造技术,对于提升我国航空发动机设计制造整体水平具有重大战略意义和现实价值。

成都航利(集团)实业有限公司长期致力于我军主战航空动力装备维修保障,先后承修了涡喷-6、涡喷-7、涡喷-13系列航空发动机,至今已为国内外用户维修各型发动机上万台。本书作者之一,中国工程院院士向巧秉承“修理胜于更换”的理念,带领集团公司攻坚克难,开拓创新,从传统的换件维修跃升到再制造、深度修理,实现了修旧超新,取得了显著的政治效益、军事效益和经济效益。

本书针对涡喷-7、涡喷-13系列发动机设计制造缺陷和使用中典型故障,研究了故障模式,分析了故障机理,得出了故障规律,提出了预防技术。

本书分为10章,共收录了涡喷-7、涡喷-13系列发动机压气机、燃烧室、涡轮、加力燃烧室、导管、附件传动、燃油系统、滑油系统、电气系统、总体性能等10个方面的典型故障,并对典型故障的故障模式、原因及机理、排除方法以及预防技术进行了详细论述。

本书可作为有关维护和大修单位工程技术人员故障研究和排除以及预防技术的教科书,可作为航空类院校师生专业培训教材,亦可供航空发动机设计制造部门借鉴。

在本书的编著过程中,张凌、陈忠、龙振华等同志付出了很多努力和劳动,刘俊、白先玉、骆正军、吴有元、苏立军等一线撰稿的工程技术人员提供了非常宝贵的素材;航空发动机相关研制单位提供了翔实的案例和参考素材。在此,编者一并向上述为本书出版做出贡献的领导、专家和同志们致以衷心的感谢和敬意。

由于水平有限,错误和不当之处在所难免,所收资料难免有挂一漏万之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2016年3月

# 目 录

第1章 压气机	1
1.1 压气机叶片损伤	3
1.1.1 故障现象	3
1.1.2 原因分析	3
1.1.3 控制技术	4
1.1.4 控制要求	4
1.2 一级压气机盘脱出	4
1.2.1 故障现象	4
1.2.2 原因分析	7
1.2.3 控制技术	8
1.3 一级转子叶片榫头和一级盘榫槽裂纹	8
1.3.1 故障现象	8
1.3.2 原因分析	9
1.3.3 控制技术	9
1.3.4 预防技术	9
1.4 二级压气机转子叶片损伤	10
1.4.1 故障现象	10
1.4.2 原因分析	13
1.4.3 控制要求	13
1.5 二级压气机转子叶片裂纹掉块	13
1.5.1 故障现象	13
1.5.2 原因分析	14
1.5.3 控制技术	15
1.5.4 预防技术	15
1.6 二级压气机叶片裂纹	15
1.6.1 故障现象	15
1.6.2 原因分析	15
1.6.3 控制要求	17
1.7 二级压气机转子叶片打伤	17
1.7.1 故障现象	17
1.7.2 原因分析	20
1.7.3 控制要求	20
1.8 四级盘辐板径向裂纹、均压孔边裂纹	20

1.8.1	故障现象	20
1.8.2	原因分析	22
1.8.3	控制技术	22
1.8.4	预防技术	24
1.9	四级叶片榫头断裂	24
1.9.1	故障现象	24
1.9.2	原因分析	25
1.9.3	控制技术	25
1.10	压气机喘振	25
1.10.1	故障现象	25
1.10.2	原因分析	25
1.10.3	控制技术	26
1.10.4	预防要求	26
1.11	压气机颤振	26
1.11.1	故障现象	26
1.11.2	原因分析	26
1.11.3	控制技术	27
1.11.4	预防技术	27
1.12	四型发动机叶片断裂	27
1.12.1	故障现象	27
1.12.2	原因分析	28
1.12.3	主要维护措施	29
1.13	压气机转子叶片疲劳寿命研究	29
1.13.1	试验方案	30
1.13.2	试验内容	30
1.13.3	结论	33
1.14	维修案例	33
案例 1	227 号发动机一级压气机叶片疑似裂纹分析	33
案例 2	287 号发动机压气机以及叶片疑似裂纹分析	36
案例 3	063 号发动机二级压气机叶片叶尖裂纹分析	36
案例 4	095 号发动机二级压气机叶片裂纹分析	45
案例 5	084 号发动机二级压气机叶片裂纹	49
案例 6	发动机二级压气机叶片裂纹分析	53
<b>第 2 章</b>	<b>燃 烧 室</b>	<b>59</b>
2.1	燃烧室外套后安装边前缘裂纹	60
2.1.1	故障现象	60
2.1.2	原因分析	64
2.1.3	控制技术	66

2.2	P <sub>2</sub> 引气管安装座焊缝裂纹 .....	67
2.2.1	故障现象 .....	67
2.2.2	原因分析 .....	67
2.2.3	控制技术 .....	67
2.2.4	预防技术 .....	68
2.3	火焰筒裂纹、烧蚀、磨损 .....	68
2.3.1	故障现象 .....	68
2.3.2	原因分析 .....	70
2.3.3	控制技术 .....	70
2.4	火焰筒烧蚀掉块打伤涡轮叶片 .....	70
2.4.1	故障现象 .....	70
2.4.2	原因分析 .....	72
2.4.3	控制技术 .....	72
2.5	火焰筒第五段主体烧穿 .....	72
2.5.1	故障现象 .....	72
2.5.2	原因分析 .....	73
2.5.3	检查情况 .....	73
2.5.4	预防技术 .....	73
2.6	I 级导向器烧伤、断裂 .....	73
2.6.1	故障现象 .....	73
2.6.2	原因分析 .....	74
2.6.3	控制技术 .....	74
2.7	II 级导向器叶片变形 .....	74
2.7.1	故障现象 .....	74
2.7.2	原因分析 .....	74
2.7.3	控制技术 .....	74
2.8	封严绳磨损掉块 .....	74
2.8.1	故障现象 .....	75
2.8.2	原因分析 .....	75
2.8.3	控制结果 .....	77
2.8.4	预防技术 .....	77
<b>第 3 章</b>	<b>涡 轮 .....</b>	<b>79</b>
3.1	I 级涡轮转子叶片断裂/裂纹 .....	80
3.1.1	故障现象 .....	80
3.1.2	原因分析 .....	80
3.1.3	控制技术 .....	80
3.1.4	预防技术 .....	81
3.2	I 级涡轮叶片锁板槽裂纹 .....	81

3.2.1	故障现象	81
3.2.2	原因分析	82
3.2.3	控制技术	82
3.3	涡轮导向器叶片裂纹	82
3.3.1	故障现象	82
3.3.2	裂纹故障微观、SEM、ESD 分析	83
3.3.3	控制技术	85
3.4	涡轮叶片上的白色附着物	86
3.4.1	故障现象	86
3.4.2	原因分析	87
3.4.3	控制技术	91
3.5	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片故障情况	91
3.5.1	DZ4 材料Ⅱ级涡轮叶片故障	92
3.5.2	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片外场故障	92
3.5.3	带裂纹的Ⅱ级涡轮叶片专项长试考核情况	95
3.5.4	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片外场使用情况	96
3.5.5	外场对 K417 材料Ⅱ级涡轮叶片执行定期检查的要求	96
3.5.6	探伤工艺复查及有效性对比分析	98
3.5.7	主要工作	98
3.5.8	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片的使用意见	99
3.5.9	大改叶片研制进展	99
3.6	串装使用 K417 材料Ⅱ级涡轮叶片的可行性	100
3.6.1	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片材料、结构分析	100
3.6.2	叶片配装各型发动机受载情况对比分析	101
3.7	K417 材料Ⅱ级涡轮叶片情况	105
3.7.1	四型发动机性能比较	115
3.7.2	修理时分解前检查叶片叶冠间隙情况	121
3.7.3	外场叶片故障情况	126
3.7.4	厂内叶片修理中故障情况	127
3.7.5	历史上叶片掉冠故障	127
3.8	Ⅱ级涡轮叶片掉冠	128
3.8.1	故障现象	128
3.8.2	故障检查	128
3.8.3	检查分析结果	129
3.8.4	控制技术	130
3.8.5	056 号发动机 68 号Ⅱ级涡轮叶片检查情况	130
3.9	涡轮叶片颜色形貌	144
3.9.1	叶片彩虹状色差	144
3.9.2	叶片中段泛白	145

3.9.3	叶片中段泛黑 .....	145
3.9.4	叶片疑似烧伤 .....	146
3.9.5	叶身黑斑缺陷 .....	151
3.9.6	叶片超温的判断 .....	152
3.10	I级涡轮叶片砂带磨削研究 .....	153
3.10.1	技术指标 .....	154
3.10.2	研究主要工作过程 .....	154
3.10.3	工艺验证分析 .....	159
3.10.4	主要技术难题 .....	159
3.10.5	存在的问题及改进措施 .....	160
3.10.6	结论及应用前景 .....	160
3.11	涡轮叶片啮合面表面裂纹 .....	160
3.11.1	故障现象 .....	160
3.11.2	原因分析 .....	161
3.11.3	控制技术 .....	164
3.12	涡轮叶片叶冠冷却孔裂纹 .....	164
3.12.1	故障现象 .....	164
3.12.2	裂纹原因分析 .....	165
3.12.3	控制技术 .....	166
3.13	维修案例 .....	168
案例 1	036 号发动机涡轮叶片过热检查 .....	168
案例 2	356 号发动机 I 级涡轮叶片过热检查 .....	171
案例 3	469 号发动机涡轮叶片过热检查 .....	173
案例 4	024 号发动机涡轮叶片超温检查 .....	175
案例 5	273 号发动机涡轮叶片超温检查 .....	179
案例 6	314 号发动机 I 级涡轮叶片超温检查 .....	183
案例 7	056 号发动机 II 级涡轮叶片掉冠断口分析 .....	186
案例 8	314 号发动机涡轮盘超温检查 .....	194
案例 9	071 号发动机涡轮盘超温检查 .....	195
案例 10	075 号和 306 号发动机涡轮盘超温检查 .....	196
案例 11	036 号发动机涡轮盘超温检查 .....	201
案例 12	057 号发动机涡轮叶片超温检查 .....	202
案例 13	057 号发动机 II 级涡轮叶片超温检查 .....	205
案例 14	057 号发动机 I、II 级涡轮盘超温检查 .....	209
案例 15	264 号发动机 I 级涡轮叶片疑似裂纹分析 .....	211
案例 16	426 号发动机高压涡轮叶片过热检查 .....	216
案例 17	036 号发动机涡轮叶片过热检查 .....	220
案例 18	216 号发动机 II 级涡轮叶片超温检查 .....	222
案例 19	270 号发动机 I 级涡轮叶片疑似裂纹分析 .....	225

案例 20	815 号发动机 I 级涡轮叶片疑似裂纹分析	229
案例 21	505 号发动机 I 级涡轮叶片超温检查	233
案例 22	506 号发动机 I 级涡轮叶片超温检查	236
案例 23	070 号发动机 I 级涡轮叶片超温检查	239
案例 24	072 号发动机 II 级涡轮叶片超温检查	242
案例 25	094 号发动机 II 级涡轮 K417 叶片掉冠	245
<b>第 4 章</b>	<b>加力燃烧室</b>	<b>249</b>
4.1	加力燃烧室振荡燃烧	250
4.1.1	故障现象	250
4.1.2	原因分析	251
4.1.3	控制技术	252
4.2	扩散器后安装边裂纹	252
4.2.1	故障现象	252
4.2.2	原因分析	253
4.2.3	控制技术	254
4.2.4	预防技术	254
4.3	加力筒体脱开	254
4.3.1	故障现象	254
4.3.2	原因分析	255
4.3.3	控制技术	255
4.3.4	预防技术	256
4.4	加力筒体鼓包、裂纹、烧蚀	257
4.4.1	故障现象	257
4.4.2	原因分析	257
4.4.3	控制技术	257
4.5	状态操纵盒引起的喷口不随动	257
4.5.1	故障现象	257
4.5.2	原因分析	257
4.5.3	控制技术	257
4.6	喷口随动异常	258
4.6.1	故障现象	258
4.6.2	原因分析	258
4.6.3	控制技术	258
4.7	乙 III 发动机换装 F 加力部件可行性分析	259
4.7.1	主要问题	259
4.7.2	可行性研究	259
4.7.3	结论	260
4.8	维修案例	261

案例 1	001 号发动机尾喷口异物分析 .....	261
案例 2	314 号发动机金属烧结物分析 .....	263
案例 3	300 号发动机附着物分析 .....	265
案例 4	314 号发动机金属烧结物分析 .....	268
案例 5	发动机尾喷口金属物分析 .....	271
案例 6	218 号发动机大稳定器耳环断裂分析 .....	273
<b>第 5 章</b>	<b>导 管</b> .....	<b>279</b>
5.1	加力总管变形、裂纹断裂 .....	280
5.1.1	故障现象 .....	280
5.1.2	故障分析 .....	280
5.1.3	控制技术 .....	283
5.1.4	预防技术 .....	284
5.2	加力泵高空限制器 P <sub>2</sub> 空气进气管断裂 .....	284
5.2.1	故障现象 .....	284
5.2.2	原因分析 .....	286
5.2.3	控制技术 .....	286
5.3	导管断裂 .....	287
5.3.1	故障现象 .....	287
5.3.2	控制技术 .....	290
5.4	A1300841 导管裂纹 .....	290
5.4.1	故障现象 .....	290
5.4.2	原因分析 .....	290
5.4.3	控制技术 .....	292
5.4.4	预防技术 .....	292
5.5	加力输油外圈 7BC.12.801 磨损 .....	292
5.5.1	故障现象 .....	292
5.5.2	原因分析 .....	294
5.5.3	控制技术 .....	299
5.6	P <sub>2</sub> 空气进气管 7200910 焊缝断裂 .....	299
5.6.1	故障现象 .....	299
5.6.2	原因分析 .....	299
5.6.3	控制技术 .....	302
5.6.4	预防技术 .....	302
5.7	导管断裂 .....	302
5.7.1	故障现象 .....	303
5.7.2	原因分析 .....	304
5.7.3	控制技术 .....	306
5.7.4	预防技术 .....	306

5.8	加力泵高空限制器的 P <sub>2</sub> "空气进气管 7BC.00.806 焊缝断裂	307
5.8.1	故障现象	307
5.8.2	原因分析	308
5.8.3	控制技术	310
5.8.4	预防技术	311
5.9	燃油漏油管 75008022 焊缝断裂	311
5.9.1	故障现象	311
5.9.2	故障分析	311
5.9.3	控制技术	313
5.9.4	预防技术	313
5.10	加力输油圈内圈总管 7212802 断裂	313
5.10.1	故障现象	313
5.10.2	原因分析	314
5.10.3	控制技术	315
5.10.4	预防技术	316
5.11	调节针塞进气管 370080124 断裂	316
5.11.1	故障现象	316
5.11.2	原因分析	317
5.11.3	控制技术	318
5.11.4	预防技术	318
5.12	三角座漏油	319
5.12.1	故障件结构	319
5.12.2	原因分析	319
5.12.3	控制技术	323
5.13	维修案例	323
	案例 1 发动机 P <sub>2</sub> 气路空气滤壳体焊缝裂纹分析	323
	案例 2 371 号发动机加力输油圈外圈焊缝断裂分析	328
	案例 3 410 号发动机副油路到汽化器进油管断裂检查	332
	案例 4 P <sub>2</sub> 调节针塞空气进气管裂纹分析	335
	案例 5 236 号发动机加力输油内圈总管断裂分析	340
	案例 6 237 号发动机 P <sub>2</sub> "调节针塞进气导管断裂分析	344
	案例 7 226 号发动机 P <sub>2</sub> "导管断裂分析	347
<b>第 6 章</b>	<b>附件传动装置</b>	<b>349</b>
6.1	附件传动装置机匣裂纹	350
6.1.1	故障现象	350
6.1.2	原因分析	350
6.1.3	预防技术	350
6.2	附件机匣壳体加温后漆层颜色异常	351

6.2.1	故障现象	351
6.2.2	原因分析	352
6.2.3	控制技术	354
6.3	制动爪脱开转速不稳定	354
6.3.1	故障现象	354
6.3.2	原因分析	355
6.3.3	控制技术	355
6.4	前机匣下方回油管接头漏油	357
6.4.1	故障现象	357
6.4.2	原因分析	357
6.4.3	控制技术	360
6.5	中央圆锥齿轮破裂	361
6.5.1	故障现象	361
6.5.2	原因分析	363
6.5.3	控制技术	365
6.5.4	预防技术	366
6.6	螺旋圆锥齿轮着色印痕不合格	366
6.6.1	故障现象	367
6.6.2	原因分析	368
6.6.3	控制技术	371
6.7	中心轴传动齿轮、主动锥齿轮工作面剥落	373
6.7.1	故障现象	373
6.7.2	原因分析	373
6.7.3	控制技术	374
6.8	双速传动装置故障	374
6.8.1	故障现象	374
6.8.2	原因分析	375
6.9	维修案例	377
	案例 1 056 号发动机液压泵结合环裂纹分析	377
	案例 2 119 号发动机滑油附件安装座固定螺栓断裂分析	382
	案例 3 328 号发动机滑油附件转速表传动齿轮磨损分析	387
	案例 4 GCr15 轴承钢球试验分析	391
<b>第 7 章</b>	<b>润滑系统</b>	<b>399</b>
7.1	燃滑油附件端盖漏油	400
7.1.1	故障现象	400
7.1.2	原因分析	401
7.1.3	控制技术	401
7.2	燃滑油附件漏油	402

7.2.1	故障现象	402
7.2.2	原因分析	402
7.2.3	控制技术	402
7.3	发动机燃滑油附件放油嘴漏油	403
7.3.1	故障现象	403
7.3.2	原因分析	404
7.3.3	控制技术	404
7.4	燃滑油附件焊缝漏油	404
7.4.1	故障现象	404
7.4.2	原因分析	405
7.4.3	控制技术	405
7.5	滑油压力表指针不指示	406
7.5.1	故障现象	406
7.5.2	原因分析	406
7.5.3	控制技术	406
7.6	滑油量异常增加	406
7.6.1	故障现象	406
7.6.2	原因分析	406
7.6.3	检查情况	408
7.6.4	结论	409
7.6.5	控制技术	409
7.7	滑油消耗量大	410
7.7.1	故障现象	410
7.7.2	原因分析	410
7.7.3	控制技术	412
7.8	施工油滤不合格导致试车滑油消耗量大	412
7.8.1	故障现象	412
7.8.2	原因分析	413
7.8.3	控制技术	413
7.9	滑油系统串油	413
7.9.1	故障统计	413
7.9.2	故障原因	413
7.9.3	控制技术	414
7.9.4	外场排故需注意的环节	414
7.10	附件封严因素引起滑油消耗量异常	415
7.10.1	故障现象	415
7.10.2	原因分析	415
7.10.3	控制技术	422
7.10.4	预防技术	423

7.11 滑油压力空中摆动	424
7.11.1 故障现象	424
7.11.2 排故过程	424
7.11.3 故障原因	424
7.11.4 启示和建议	425
7.12 滑油系统常见故障	425
7.12.1 故障原因	425
7.12.2 维护注意事项	425
7.13 某航空发动机轴承钢球失效分析	426
7.13.1 检查与分析结果	427
7.13.2 分析与讨论	429
7.13.3 结 论	430
7.14 维修案例	430
案例 1 129 号发动机滑油滤上金属屑分析	430
案例 2 0257117 航空耐油夹金属网石棉零件分析	432
案例 3 420 号发动机封严涨圈断裂分析	433
案例 4 SRO-19F 型燃滑油附件后盖焊缝裂纹失效分析	437
<b>第 8 章 燃油系统</b>	<b>443</b>
8.1 主泵故障	444
8.1.1 故障现象	444
8.1.2 故障原因	444
8.1.3 措施要求	444
8.2 最大状态转速不稳定	445
8.2.1 故障现象	445
8.2.2 原因分析	445
8.2.3 控制技术	447
8.3 发动机不能停车	447
8.3.1 故障现象	447
8.3.2 原因分析	448
8.3.3 控制技术	450
8.4 收油门慢车位置时转速下降有停车的趋势	450
8.4.1 故障现象	450
8.4.2 检查情况	452
8.4.3 原因分析	454
8.4.4 结 论	456
8.4.5 建议及措施	456
8.5 发动机转速自动下降	457
8.5.1 故障现象	457

8.5.2	故障检查 .....	457
8.5.3	原因分析 .....	459
8.5.4	结    论 .....	459
8.6	主泵油门手柄“卡死” .....	459
8.6.1	故障现象 .....	459
8.6.2	原因分析 .....	459
8.6.3	控制技术 .....	461
8.7	主燃油泵调节器活门组件失效分析 .....	462
8.7.1	机理分析 .....	462
8.7.2	污染物形貌及成分与来源分析 .....	462
8.7.3	预防措施 .....	463
8.8	油泵转子端面异常磨损 .....	463
8.8.1	故障现象 .....	463
8.8.2	原因分析 .....	463
8.8.3	控制技术 .....	469
8.9	维修案例 .....	471
案例	柱塞弹簧(311-197)断裂分析 .....	471
<b>第9章</b>	<b>电气系统</b> .....	<b>477</b>
9.1	启动发电机碳刷裂纹和掉块 .....	478
9.1.1	故障现象 .....	478
9.1.2	原因分析 .....	479
9.1.3	控制技术 .....	479
9.1.4	预防技术 .....	479
9.2	启动发电机绝缘电阻低 .....	479
9.2.1	故障现象 .....	480
9.2.2	原因分析 .....	480
9.2.3	控制技术 .....	480
9.2.4	预防技术 .....	482
9.3	启动发电机轴承损坏 .....	482
9.3.1	故障现象 .....	482
9.3.2	原因分析 .....	482
9.3.3	预防技术 .....	482
9.4	电磁开关(RDF-9)卡滞 .....	483
9.4.1	故障现象 .....	483
9.4.2	原因分析 .....	483
9.4.3	控制措施 .....	483
9.5	维修案例 .....	484
案例	177号发动机上发电机弹性轴断裂分析 .....	484

第 10 章 发动机性能 .....	493
10.1 启动不成功 .....	494
10.1.1 故障现象 .....	494
10.1.2 原因分析 .....	494
10.1.3 控制技术 .....	495
10.1.4 预防技术 .....	495
10.2 启动转速热悬挂 .....	495
10.2.1 故障现象 .....	495
10.2.2 原因分析 .....	495
10.2.3 控制技术 .....	495
10.2.4 预防技术 .....	495
10.3 转速摆动 .....	495
10.3.1 故障现象 .....	495
10.3.2 原因分析 .....	495
10.3.3 控制技术 .....	496
10.3.4 注意事项 .....	496
10.4 转速异常摆动 .....	496
10.4.1 故障现象 .....	496
10.4.2 原因分析 .....	496
10.5 $n_1$ 转速显示不稳定 .....	498
10.5.1 故障现象 .....	498
10.5.2 原因分析 .....	498
10.5.3 预防技术 .....	498
10.6 加力箱(JLX-7)故障 .....	498
10.6.1 故障现象 .....	498
10.6.2 故障原因 .....	499
10.6.3 措 施 .....	500
10.7 转速控制操纵盒(CZH-7)故障 .....	500
10.7.1 故障现象 .....	500
10.7.2 故障原因 .....	500
10.7.3 措施要求 .....	500
10.8 状态操纵盒(CZH-4B)故障 .....	501
10.8.1 故障现象 .....	501
10.8.2 故障原因 .....	501
10.8.3 措 施 .....	501
10.9 空中停车 .....	501
10.9.1 故障现象 .....	501
10.9.2 预防技术 .....	503