



600MW火力发电机组技术问答丛书

# 汽轮机运行技术问答

曾衍锋 韩志成 刘树华 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

600MW火力发电机组技术问答丛书

# 汽轮机运行技术问答

曾衍锋 韩志成 刘树华 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

《600MW 水力发电机组技术问答丛书》共有《锅炉运行技术问答》、《汽轮机运行技术问答》、《电气运行技术问答》3个分册。

本书采用简明扼要的问答形式介绍了大机组汽轮机运行的知识要点,方便读者的理解和掌握。全书内容包括汽轮机工作原理与本体结构、汽轮机调节与保护装置、汽轮发电机组辅助设备、汽轮机旁路系统等。本书着重解答大机组汽轮机运行中遇到的实际问题,从而使读者达到学以致用目的,并附有关键的设备图,方便读者掌握。

本书可以作为从事 600MW 火力发电机组生产一线汽轮机运行、维护、管理人员的技能培训教材,也可以作为大机组汽轮机专业技术人员的生产技能指导参考书,以及具有大中专以上文化程度的专业电力生产人员的培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽轮机运行技术问答/曾洺锋,韩志成,刘树华编著. —北京:中国电力出版社,2012.6

(600MW 火力发电机组技术问答丛书)

ISBN 978-7-5123-3222-5

I. ①汽… II. ①曾… ②韩… ③刘… III. ①火电厂汽轮机运行-问题解答 IV. ①TM621.4-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 137402 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 3 月第一版 2013 年 3 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 17.5 印张 396 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 前言

超(超)临界发电技术是目前广泛应用的一种成熟、先进、高效的发电技术,可以大幅提高机组的热效率。自20世纪80年代起,我国陆续投建了大批的600MW级及以上的超(超)临界机组。目前,600MW级火力发电机组已成为我国电力系统的主力机组,对优化电网结构和节能减排起到了关键的作用。随着发电机组单机容量的不断增大,对机组运行可靠性的要求也越来越高,由此对电厂的运行、管理等技术人员提出了更高的要求。为了满足大型火力发电机组运行人员学习专业知识、掌握机组运行技能的专业需要,特组织生产一线的有关专家历时2年多编写了《600MW火力发电机组技术问答丛书》。丛书共有《锅炉运行技术问答》、《汽轮机运行技术问答》、《电气运行技术问答》3个分册。

本丛书以600MW火力发电机组为介绍对象,以做好基层发电企业运行培训、提高运行人员技术水平为主要目的,采取简洁明了的问答形式,将大型机组新设备的原理结构知识、机组的正常运行、运行中的监视与调整、异常运行分析、事故处理等关键知识点进行了总结归纳,便于读者有针对性地掌握知识要点,解决实际生产中的问题。

本书从实用角度出发,通过总结多年来汽轮机运行的实践经验,根据汽轮机运行的理论知识,将汽轮机运行中诸多实际生产知识贯穿其中,实现理论与实际的紧密结合。

本书由漳州后石电厂曾衍锋高级工程师和内蒙古托克托电厂韩志成高级工程师主编，华北电力大学刘树华博士参与编写。全书由李小军高级工程师审稿。在编写过程中，得到同行刘雪成、张冬两位高级工程师的大力支持，谨此致谢。

限于编者的水平，本书疏漏之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见，以便今后修订，提高质量。

**编 者**

2012年12月



# 目录

## 前言

<b>第一章 汽轮机工作原理与本体结构</b> .....	1
1-1 汽轮机如何分类? .....	2
1-2 轴流式汽轮机是如何实现热能转换为机械能的? .....	2
1-3 什么是辐流式汽轮机? 辐流式汽轮机是如何工作的? .....	2
1-4 什么是中间再热循环? 中间再热循环对汽轮机有什么影响? .....	3
1-5 汽轮机额定工况、能力工况、最大保证功率工况、超压 5% 工况、设计流量工况是如何定义的? 各工况有何关系? .....	3
1-6 汽轮机的级和级组是如何定义的? .....	4
1-7 级组的变工况流通能力特性如何表述? .....	5
1-8 级组的效率特性如何表述? .....	6
1-9 什么是汽轮机的变工况? 引起变工况的原因有哪些? .....	6
1-10 什么是汽轮机的配汽? 配汽方式有哪些? .....	6
1-11 喷嘴配汽、节流配汽、滑压配汽各有何特点? .....	6
1-12 汽轮机本体由哪些部分组成? .....	7
1-13 汽缸设计有哪些基本要求? .....	7
1-14 高参数大功率汽轮机高、中压缸为什么普遍采用双层缸结构? .....	8
1-15 筒形结构的汽缸有哪几种类型? 有什么	

	优点? 在哪些机组上有应用? .....	8
1-16	高、中压合缸有什么优、缺点? .....	9
1-17	大功率汽轮机低压缸有什么特点? .....	9
1-18	汽轮机的汽缸是如何支撑的? .....	10
1-19	什么是汽缸安装位置的稳定性? 什么是汽缸的 稳定性准则? .....	10
1-20	什么是汽轮机的滑销系统? 根据滑销的构造形 式及安装位置可分为哪些种类? .....	11
1-21	什么是汽轮机的膨胀死点? 通常布置在什么 位置? .....	11
1-22	隔板有什么作用? 什么是隔板套? .....	11
1-23	采用隔板套安装结构有什么优点? .....	11
1-24	曲径式汽封的工作原理是怎样的? 按安装位置 如何分类? .....	12
1-25	什么叫汽轮机轴端自密封汽封系统? .....	12
1-26	什么是主(再热)蒸汽导管? 什么是进汽接管? .....	12
1-27	什么是调节级和压力级? 调节级对于大型汽轮 机是否是必需的? .....	13
1-28	什么是管道安装的冷拉法? 冷拉法为什么在 主蒸汽管道安装中得到广泛应用? .....	13
1-29	什么是中低压联通管? 其为何必须设置 膨胀节? .....	14
1-30	汽轮机本体阀门指哪些阀门? 各有什么作用? .....	14
1-31	主蒸汽阀(MSV)有哪两种典型结构? 各有什么 优、缺点? .....	15
1-32	为了减小主蒸汽阀和再热蒸汽阀的开启力矩, 在结构设计上有什么措施? .....	15
1-33	主蒸汽调节阀的阀碟和阀座在结构上有 哪些特点? .....	15
1-34	对汽轮机主阀(MSV/RSV、GV/ICV)	

	的严密性有什么要求? .....	16
1-35	什么类型的机组无法执行汽轮机主阀 (MSV/RSV、GV/ICV)的严密性试验? .....	16
1-36	高压缸排汽止回阀的作用是什么? 高压缸排汽 止回阀是否是必须的? .....	16
1-37	汽轮机的抽汽止回阀操纵杆与阀碟的连接结构 有什么特点? .....	16
1-38	汽轮机的抽汽止回阀操纵机构有什么要求? .....	17
1-39	汽轮机的转子有哪几种形式? 各有什么特点? .....	17
1-40	什么叫汽轮发电机组转子的临界转速? .....	18
1-41	什么是高温转子的冷却? 其目的是什么? .....	18
1-42	汽轮发电机组的联轴器可分为哪几种形式? 各有什么特点? .....	18
1-43	刚性联轴器的螺栓连接分为哪两种形式? .....	19
1-44	刚性联轴器的螺栓端部和螺母为什么都 埋到凸缘内? .....	19
1-45	动叶片按形线如何分类? .....	19
1-46	调节级叶片在结构上有什么特点? .....	19
1-47	末级叶片在结构上有什么特点? .....	20
1-48	什么叫叶片的调频? .....	20
1-49	末级长叶片相对于短叶片需面临哪些特殊问题? .....	20
1-50	对末级叶片的水冲蚀有哪些防护措施? .....	21
1-51	什么是小容积流量工况? 一般发生在哪些级? .....	21
1-52	小容积流量工况对经济性与安全性有什么影响? .....	22
1-53	为什么排汽缸要装设喷水减温装置? 该喷水减 温装置由哪些部件组成? .....	22
1-54	什么是转子的 2 点支撑方式? 什么是转子的 3 点支撑方式? .....	22
1-55	轴承座有哪些典型结构? .....	23
1-56	机械设备中的滑动轴承如何分类? .....	23



1-57	汽轮机轴承按作用分为哪两大类？其作用 分别是什么？ .....	23
1-58	汽轮机轴承的润滑方式有哪几种？ .....	24
1-59	动压滑动轴承的基本工作原理是什么？ .....	24
1-60	静压滑动轴承的基本工作原理是什么？ .....	24
1-61	动压滑动轴承的基本特性包括哪些内容？ .....	24
1-62	如何用流量连续性来分析说明半速涡动 与油膜振荡现象？ .....	25
1-63	轴承的载荷对半速涡动和油膜振荡的现象有 什么影响？ .....	26
1-64	什么是径向轴承的宽径比？其对轴承性能有 什么影响？ .....	26
1-65	汽轮机径向轴承如何分类？ .....	26
1-66	圆柱轴承、椭圆轴承、多油楔和可倾瓦径向 轴承依承载能力、稳定性和摩擦阻力如何由 大到小排序？ .....	26
1-67	汽轮机径向轴承供油方式的设计有什么 原则？ .....	27
1-68	汽轮机的轴向推力是如何产生的？有哪些 平衡措施？ .....	27
1-69	汽轮机推力轴承是如何分类的？ .....	27
1-70	什么是可倾瓦推力轴承瓦块的 $t_{75-75}$ 温度？ .....	28
1-71	可倾瓦推力轴承润滑油有哪几种供油方式？ .....	28
1-72	轴瓦材料应具备哪些性能？有哪些材料用来 作为轴瓦材料？ .....	28
1-73	汽轮机为什么要设置盘车装置？其有什么作用？ .....	29
1-74	什么是高速盘车？什么是低速盘车？各有什 么特点？ .....	29
1-75	盘车装置的驱动形式有哪几种？ .....	30
1-76	盘车的啮合装置主要有哪些形式？ .....	30

1-77	具有螺旋轴的盘车是如何投退的? .....	30
1-78	具有摆动齿轮的盘车是如何自动投退的? .....	30
1-79	具有 SSS(synchronous-self-shifting)离合器的盘车是如何自动投退的? .....	32
<b>第二章</b>	<b>汽轮机调节与保护装置 .....</b>	<b>33</b>
2-1	汽轮机调节装置经历了怎样的发展过程? .....	34
2-2	电气液压控制系统(EHC)相对机械液压控制系统(MHC)有哪些优点? .....	34
2-3	数字式电气液压控制系统(DEH)相对模拟式电气液压控制系统(AEH)有哪些特点? .....	34
2-4	汽轮机的自动控制系统由哪些功能系统组成? .....	35
2-5	什么是汽轮机的速度不等率? 电厂汽轮机的速度不等率一般为多少? .....	35
2-6	汽轮机的速度不等率大小对汽轮发电机组的控制有什么意义? .....	35
2-7	什么是汽轮机的迟缓率? 大型机组对迟缓率有什么要求? .....	36
2-8	汽轮机的迟缓率过大有什么影响? .....	36
2-9	影响汽轮机调节系统动态特性的因素有哪些? .....	36
2-10	机械液压控制系统根据调速器的形式可以分为哪几种类型? .....	36
2-11	什么是机械液压控制系统的调速油压? 通常该油压是多少? .....	37
2-12	什么叫功频电液控制? 功频电液控制系统的静态特性如何表达? .....	37
2-13	功频电液控制系统由哪几部分组成? 系统调节原理图是怎样的? .....	38
2-14	电液转换器的作用是什么? 有哪两种类型? .....	38
2-15	油动机行程位置变换器(LVDT)基本结构	

	怎样? 工作原理是什么? .....	38
2-16	什么是电气液压控制系统的伺服控制回路? .....	39
2-17	什么是 MOOG 伺服阀? 什么是 DDV 伺服阀? 各有何应用? .....	40
2-18	什么是功频电液控制系统的“反调”? 产生“反调”的原因是什么? 如何克服? .....	41
2-19	数字式电气液压控制系统的英文全称是什么? 其集中了哪两大科技进步成果? .....	41
2-20	数字式电气液压控制系统(DEH)有哪些 基本功能? .....	42
2-21	数字式电气液压控制系统由哪些部件组成? .....	42
2-22	三菱 DEH 系统有什么特点? 该 DEH 系统的主要硬件(控制器)有哪些? .....	42
2-23	三菱 600MW 汽轮机 DEH 系统转速控制 功能具体包括哪些内容? .....	43
2-24	三菱 600MW 汽轮机 DEH 系统负荷控制 功能具体包括哪些内容? .....	44
2-25	三菱 600MW 汽轮机 DEH 系统阀门管理功能 具体包括哪些内容? .....	44
2-26	三菱 600MW 汽轮机 DEH 系统中汽轮机 自动启动(ATS)功能具体包括哪些内容? .....	45
2-27	三菱 600MW 汽轮机 DEH 系统热应力监控 功能具体包括哪些内容? .....	46
2-28	对汽轮机紧急跳闸(ETS)系统有什么要求? .....	46
2-29	通常汽轮机跳闸条件有哪些? .....	47
2-30	汽轮机为什么要装设超速保护装置? .....	47
2-31	机械超速装置由哪些部件组成? 是如何动作的? 该装置是否必须配置? .....	47
2-32	隔膜阀的结构是怎样的? 其作用是什么? .....	48
2-33	组成机械超速装置的危急保安器有哪几种形式?	

	是怎样动作的? .....	48
2-34	润滑油压低保护装置有哪些作用? .....	49
2-35	真空低保护装置的作用是什么? .....	49
2-36	举例说明连续控制油动机的组成, 及如何实现快速关闭。 .....	49
2-37	汽轮机主阀的油动机关闭动作时间是怎么定义的? 有什么要求? .....	50
2-38	油动机的卸载阀结构是怎样的? 是如何工作的? .....	51
2-39	油动机回油蓄能器安装在什么地方? 其作用是什么? .....	52
2-40	在锅炉-汽轮机-发电机的大连锁(B-T-G 连锁)中, “汽轮机跳闸”状态是如何判断的? .....	52
2-41	三菱 600MW 汽轮机设置了哪些超速保护功能? .....	53
2-42	三菱 600MW 汽轮机 ETS 控制有什么特点? .....	54
2-43	简述三菱 600MW 汽轮机复位的过程。 .....	56
2-44	富士 600MW 汽轮机 ETS 控制有什么特点? .....	57
2-45	简述富士 600MW 汽轮机复位的过程。 .....	57
2-46	汽轮机监视仪表 TSI 系统主要监视哪些参数? 对 TSI 系统有什么要求? .....	58
2-47	常用的汽轮机 TSI 系统有哪些品牌? .....	58
2-48	电涡流传感器的工作原理是什么? 在电厂汽轮机上有哪些应用? .....	59
2-49	汽轮发电机组为什么要设置零转速测量? .....	59
2-50	调节系统的液压油采用高压油系统有哪些优缺点? .....	59
2-51	调节系统的液压油为什么大多采用抗燃油? 能否不采用抗燃油? .....	60
2-52	使用抗燃油作为液压油有哪些优缺点? .....	60
2-53	新的抗燃油应符合什么样的标准? .....	61

2-54	运行中的抗燃油应符合什么样的标准？常规检测周期如何？ .....	62
2-55	运行中的抗燃油水分过高的主要原因有哪些？会有哪些影响？ .....	64
2-56	运行中的抗燃油酸值过高的主要原因有哪些？如何处理？ .....	64
2-57	运行中的抗燃油颗粒度过高的主要原因有哪些？ .....	64
2-58	抗燃油对系统的密封材料、蓄能器皮囊材料有哪些要求？ .....	64
2-59	衡量液压油清洁度的常用标准有哪些？具体内容如何？ .....	65
2-60	运行中磷酸酯抗燃油的防劣化措施有哪些？ .....	67
2-61	人体接触到磷酸酯抗燃油后应如何处理？ .....	67
2-62	典型的 DEH 的抗燃油系统由哪些设备组成？ .....	67
2-63	抗燃油再生装的再生介质有哪些？各有什特点？ .....	68
2-64	简述三菱 600MW 机组抗燃油液压油站具体由哪些设备组成。 .....	68
2-65	三菱 600MW 机组抗燃油系统未设置加热器，气温偏低时如何保证油温？ .....	69
2-66	简述富士 600MW 机组控制油液压油站具体由哪些设备组成。 .....	69
2-67	富士 600MW 机组汽轮机控制油供油系统有哪些特点？ .....	70
2-68	磷酸酯抗燃油箱的呼吸器有什么要求？ .....	70
2-69	汽轮机控制油高压油泵一般采用什么类型的油泵？有哪些形式？ .....	71
2-70	叶片式高压油泵主要由哪些部件组成？ .....	71
2-71	叶片式高压油泵是如何工作的？ .....	71

2-72	可变斜盘式轴向柱塞高压油泵主要由哪些 部件组成? .....	71
2-73	可变斜盘式轴向柱塞高压油泵是如何工作的? .....	72
2-74	可变斜盘式轴向柱塞高压油泵的压力补偿控制 器是如何调整出口压力的? .....	72
2-75	高压蓄能器的作用是什么? 一般采用何种形式? .....	73
2-76	抗燃油高压蓄能器所需的容积是如何计算的? .....	73
2-77	如何测量汽轮机控制油高压蓄能器的氮气压力? .....	74
2-78	抗燃油温度为什么不宜过低或过高? .....	74
2-79	汽轮机调节与保护装置在机组正常运行时应 进行哪些定期试验? .....	74
2-80	汽轮机调节与保护装置在机组大修后应进行哪 些试验? .....	75
2-81	汽轮机控制油系统启动前应检查哪些项目? .....	75
2-82	控制油系统运行中应检查哪些项目? .....	75
2-83	针对控制油箱油位一般设置哪些报警与连锁? .....	76
2-84	高压控制油泵一般设置哪些保护与连锁? .....	76
<b>第三章 汽轮发电机组辅助设备 .....</b>		<b>77</b>
3-1	汽轮发电机润滑供油系统包括哪些 系统? 由哪些设备组成? .....	78
3-2	汽轮发电机润滑供油系统的作用是什么? .....	78
3-3	汽轮发电机组采用集装式供油系统有哪些 特点? .....	78
3-4	运行中的润滑油应符合什么样的标准? 常规 检测周期如何? .....	79
3-5	润滑油箱的作用是什么? 对油箱的结构与布置 有什么要求? .....	80
3-6	什么是汽轮机油循环倍率? 油循环倍率一般 是多少? .....	81

3-7	对汽轮机主油箱润滑油事故放油门有哪些特别要求？ .....	81
3-8	润滑油箱排烟风机的作用是什么？为什么润滑油箱内负压应维持在一定的范围内？ .....	81
3-9	汽轮发电机润滑供油系统中主油泵的作用是什么？ .....	82
3-10	对汽轮发电机润滑供油系统的主油泵有什么特别要求？ .....	82
3-11	大型汽轮发电机组主油泵动力源有没有采用电动机的？当主油泵采用电动机驱动时有哪些特殊要求？ .....	83
3-12	汽轮机直流润滑油泵(EOP)在连锁与保护设置上有什么要求？ .....	83
3-13	考虑到润滑油供油的可靠性，辅助油泵(AOP)、交流润滑油泵(TOP)、直流润滑油泵(EOP)在主油箱内的位置有什么不同？ .....	84
3-14	《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》有关润滑油压低对油泵的相关连锁与试验有哪些具体要求？ .....	85
3-15	汽轮机润滑油系统中，润滑油滤网一般安装在什么位置？ .....	85
3-16	汽轮机直流润滑油泵(EOP)出口润滑油管与润滑油母管的接口应在滤网/冷油器之前还是之后？ .....	86
3-17	汽轮机润滑油系统中滤网的过滤精度如何选择？国产金属丝网的规格数据有哪些？ .....	86
3-18	射油器由哪些部件组成？是如何工作的？ .....	87
3-19	汽轮机润滑油系统的油涡轮泵是如何工作的？ .....	87
3-20	汽轮机润滑油系统的射油器和油涡轮泵各有什么	

	优、缺点? .....	88
3-21	汽轮机润滑油冷油器的作用是什么? 冷油器设计有哪些基本要求? .....	88
3-22	目前广泛使用的冷油器按换热元件结构 特点可以分为哪两大类? 各有什么特点? .....	89
3-23	简述板式冷油器由哪些构件组成及换热 介质的流程。 .....	89
3-24	汽轮机主油箱为什么要装设排油烟风机? .....	90
3-25	简述三菱 600MW 汽轮发电机组润滑油供 油系统的流程。 .....	90
3-26	简述富士 600MW 汽轮发电机组润滑油供油 系统的流程。 .....	92
3-27	润滑油供油系统投运前应具备哪些条件? .....	93
3-28	三菱汽轮发电机组润滑油泵(TOP/EOP) 的自动启动试验是如何操作的? .....	94
3-29	三菱汽轮发电机组交流辅助油泵(AOP) 的自动启动试验是如何操作的? .....	94
3-30	三菱汽轮发电机组润滑油压低报警及跳闸 试验是如何操作的? .....	95
3-31	富士汽轮发电机组主油泵(MOP)的自动 启动切换试验是如何操作的? .....	95
3-32	富士汽轮发电机组直流润滑油泵(EOP)的 自动启动试验是如何操作的? .....	96
3-33	汽轮机发电机润滑油冷油器在做运行/备用切换 时有哪些注意事项? .....	96
3-34	润滑油供油系统的停运应具备什么条件? .....	97
3-35	汽轮机润滑油中带水的主要原因是什么? .....	97
3-36	运行中发现主油箱油位下降应检查哪些设备? .....	98
3-37	汽轮发电机润滑油系统检修后应做哪些试验 和测试? .....	98



3-38	汽轮发电机组顶轴油系统的作用是什么? .....	98
3-39	汽轮发电机组顶轴油系统有哪两种形式, 分别 适用于什么场合? .....	99
3-40	各轴承的顶轴油管上的压力表有什么作用? .....	99
3-41	在母管制的顶轴油系统中, 为什么要在进入 各轴承的顶轴油管上设置针形调整阀? .....	99
3-42	为什么顶轴油泵的入口(顶轴油泵入口油 来自润滑油)或出口(顶轴油泵入口油来自主油箱) 需安装滤网? 滤网的精度一般为多少? .....	99
3-43	在机组启停过程中, 顶轴油泵应根据什么 参数停、启? .....	100
3-44	在机组正常运行中, 顶轴油系统应检查哪些 项目? .....	100
3-45	汽轮发电机顶轴油系统在检修后应做哪些 试验和测试? .....	100
3-46	汽轮发电机组润滑油油净化装置的作用 是什么? .....	100
3-47	汽轮发电机组润滑油的油净化装置一般由 哪些部件组成? .....	101
3-48	油净化装置在运行中应检查哪些项目? .....	101
3-49	润滑油的油净化装置在主油箱中的吸油 位置应如何设置? .....	101
3-50	汽轮机轴端密封系统的作用是什么? 汽封系统由哪些设备组成? .....	102
3-51	汽轮机汽封联箱蒸汽压力一般为多少? 汽封蒸汽压力过高或过低有什么危害? .....	102
3-52	对汽轮机汽封蒸汽温度有什么要求? .....	103
3-53	DL/T 834—2003《火力发电厂汽轮机防 进水和冷蒸汽导则》中, 为了防止汽封系统积 水, 系统设计方面有哪些要求? .....	103