

超超临界火电机组技术问答丛书

# 汽轮机运行 技术问答

张 磊 主编



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

超超临界火电机组技术问答丛书

# 汽轮机运行 技术问答

张 磊 主编  
孔凡平 主审



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

## 内 容 提 要

本书是《超超临界火电机组技术问答丛书》之一。

本书是以山东邹县发电厂超超临界机组汽轮机设备及其系统的结构特点、原理、功能及性能为编撰重点,突出了汽轮机设备及其系统的技术特点。全书共十一章,主要内容为1000MW汽轮机基本知识,1000MW汽轮机本体技术,汽轮机主要辅助设备,1000MW发电厂热力系统,汽轮机调节、保护及供油系统,管道与阀门,火电厂主要泵,汽轮机材料与焊接,汽轮机热力试验与调整,汽轮机的运行维护,汽轮机常见故障及检修等。

本书可作为《超超临界火电机组丛书》的配套教材使用,既可供从事超超临界火力发电机组汽轮机运行、检修工作的技术人员培训使用,也可供电厂管理人员和高等院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽轮机运行技术问答/张磊主编. —北京:中国电力出版社, 2008

(超超临界火电机组技术问答丛书)

ISBN 978-7-5083-6779-8

I. 汽… II. 张… III. 火电厂-汽轮机运行-问答 IV. TM621.4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第022683号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2008年4月第一版 2008年4月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 17.125印张 440千字

印数0001—3000册 定价35.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
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

# 超超临界火电机组技术问答丛书

## 编委会

主任	苏庆民	温盛元	马天忠		
主编	张磊				
副主编	柴彤	李洪战	刘红蕾	霍永红	
	孙奎明	高洪雨	闫修峰	宋志明	
	张华	尤华	吴雪梅	李超	
参编	兰圣增	张东风	叶飞	廉根宽	
	周长龙	张斌	片秀红	张传伟	
	尹君	张伟	孔祥生	潘磊	
	张志龙				

## 前 言

超超临界发电技术是在超临界发电技术基础上发展起来的一种成熟、先进、高效的发电技术，可以大幅度提高机组的热效率，在国际上已经是商业化的成熟发电技术。近十几年来，世界上许多发达国家都在积极开发和应用超超临界参数发电机组。超超临界发电技术是我国电力工业升级换代，缩小与发达国家技术与装备差距的新一代技术，因此随着超超临界火电机组的国产化，我国在今后新增的火电装机结构中必将大力发展超超临界机组。超超临界火电技术的发展，还将带动制造工业、材料工业、环保工业及其他相关产业的发展，创造新的经济增长点，是电力工业可持续发展的战略选择。

为帮助从事超超临界火力发电机组设计、制造、运行和检修工作的技术人员和管理人员尽快掌握超超临界火力发电技术，山东省电力学校组织编写了《超超临界火电机组技术问答丛书》。

《超超临界火电机组技术问答丛书》以山东邹县发电厂超超临界火电机组为例，编写内容紧密结合现场实际，知识点全面，数据充分，可作为《超超临界火电机组丛书》的配套教材使用，既可供从事超超临界火力发电机组运行、检修工作的技术人员培训使用，也可供电厂管理人员和高等院校相关专业师生参考。

《超超临界火电机组技术问答丛书》共五个分册：《超超临界火电机组技术问答丛书 锅炉运行技术问答》、《超超临界火电机组技术问答丛书 汽轮机运行技术问答》由山东省电力学校张磊主编，《超超临界火电机组技术问答丛书 电气运行技术问答》由山东省电力学校李洪战、霍永红主编，《超超临界火电机组技术问答丛书 热工控制技术问答》由山东省电力学校柴彤主编，《超超临界火电机组技术问答丛书 环境保护与管理技术问答》由山东省电力学

校张磊、刘红蕾合编。

在《超超临界火电机组技术问答丛书》的编写过程中，华电国际、中国东方电气集团公司、西北电力设计院、山东省电建一公司、山东省电建三公司、山东省电力研究院、山东省电力咨询院提供了大量的技术资料和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于水平所限，加之时间仓促，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

《超超临界火电机组技术问答丛书》编委会

2008年3月

## 本书前言

本书是《超超临界火电机组技术问答丛书》之一。

本书是以山东邹县发电厂超超临界机组汽轮机设备及其系统的结构特点、原理、功能及性能为编撰重点，突出了汽轮机设备及其系统的技术特点。全书共十一章，主要内容为 1000MW 汽轮机基本知识，1000MW 汽轮机本体技术，汽轮机主要辅助设备，1000MW 发电厂热力系统，汽轮机调节、保护及供油系统，管道与阀门，火电厂主要泵，汽轮机材料与焊接，汽轮机热力试验与调整，汽轮机的运行维护，汽轮机常见故障及检修等。

本书由山东省电力学校张磊主编并统稿，其中，第一、三、四、七章由山东省电力学校叶飞编写，第二章由山东电力学校兰圣增编写，第五章由山东电力学校周长龙编写，第六、九~十一章由山东电力学校张磊编写。全书由华电国际邹县发电厂孔凡平主审。

由于水平所限，加之时间仓促，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年3月

# 目 录

前言

本书前言

## 第一章 1000MW 汽轮机基本知识

- |      |                                                   |   |
|------|---------------------------------------------------|---|
| 1-1  | 超超临界的热力学概念是什么? .....                              | 1 |
| 1-2  | 什么叫超超临界机组? .....                                  | 1 |
| 1-3  | 超超临界机组与常规的超临界机组相比<br>有什么优势? .....                 | 2 |
| 1-4  | 超超临界机组与常规亚临界机组相比,<br>其经济性如何? .....                | 2 |
| 1-5  | 目前火电机组容量参数发展的形势如何? .....                          | 3 |
| 1-6  | 大容量机组具有什么优势? 提高单炉容量<br>受什么因素影响? .....             | 3 |
| 1-7  | 超超临界火电机组研制的技术难点和关键<br>技术有哪些? .....                | 3 |
| 1-8  | 超超临界机组在降低煤耗和减排 CO <sub>2</sub> 方面<br>有哪些优势? ..... | 4 |
| 1-9  | 最近十几年, 国外投运了哪些超超临界机组?<br>其参数如何? .....             | 4 |
| 1-10 | 世界上第一台超临界机组的情况是怎样的? .....                         | 4 |
| 1-11 | 美国研究利用超超临界机组的情况是怎样的? .....                        | 5 |
| 1-12 | 日本研究利用超超临界机组的特点如何? .....                          | 6 |
| 1-13 | 目前日本利用超超临界机组的情况怎么样? .....                         | 6 |
| 1-14 | 俄罗斯发展超超临界机组的情况怎样? .....                           | 7 |
| 1-15 | 到目前为止超超临界机组最高热效率是多少? .....                        | 7 |



1-16	美国能源部 (DOE) 提出的火电新技术发展的 Vision 计划的内容和目标是什么? .....	7
1-17	欧盟启动的“AD700 计划”的目标和意义是什么? .....	8
1-18	引进超临界机组技术对我国提高资源利用率有何作用? .....	8
1-19	为什么说我国应大规模建造 1000MW 级的超超临界机组? .....	9
1-20	我国目前汽轮机生产水平如何? .....	9
1-21	我国目前掌握的超超临界机组技术的情况如何? 下一步研究方向如何? .....	9
1-22	发展超超临界机组对我国有什么特殊意义? .....	10
1-23	在引进技术或自主开发我国的超超临界机组时应注意什么? .....	10
1-24	1000MW 等级的超超临界汽轮机一般采取什么形式? .....	11
1-25	超超临界机组在低负荷运行时会出现哪些问题? .....	11
1-26	提高蒸汽温度对超超临界机组有什么影响? .....	11
1-27	目前超超临界机组温度处于什么范围内? .....	12
1-28	提高蒸汽压力对超超临界机组有什么影响? .....	12
1-29	举例说明, 在经济性上, 提高蒸汽压力有何优势? .....	12
1-30	为什么说主汽压力由 25MPa 升到 28MPa 的经济效益的获得是有限的? .....	13
1-31	超超临界机组对容量有什么要求? 如何选取? .....	13
1-32	超临界汽轮机再热蒸汽压力与温度的选择应注意什么? .....	14
1-33	超超临界机组采用二次再热有什么优缺点? 为什么说我国现在适于采用一次再热形式? .....	15
1-34	外国投运机组采用二次再热的情况怎么样? .....	15

1-35	为什么说二次再热不适合应用在我国超超临界机组上? .....	16
1-36	超超临界机组在再热方面有什么特点? .....	16
1-37	超超临界机组在给水加热器的配置上有什么特点? .....	17
1-38	超超临界发电机组在选型时要研究哪几个技术参数? .....	17
1-39	超超临界机组在机炉蒸汽参数匹配上有什么特点? .....	17
1-40	再热蒸汽系统管道的压降对机组热经济性的影响是什么? .....	18
1-41	火电机组的机炉参数匹配关系如何确定? .....	18
1-42	超超临界机组机炉温降压降的选择要注意什么? .....	19
1-43	为什么说机炉温降不宜采取 3℃? .....	19
1-44	机炉压降如何选择较为合适? .....	19
1-45	机炉压降主要取决于哪些方面? .....	20
1-46	在进行超临界、超超临界机组的设计时,如何优化主蒸汽参数的选取? .....	20
1-47	提高蒸汽的压力和温度对热耗率有哪些影响? .....	21
1-48	考虑材料的实用性及耐用性时,蒸汽温度定为多少度较合适? .....	21
1-49	提高蒸汽温度和 提高主蒸汽压力对提高机组热效率哪个更有效? .....	21
1-50	提高蒸汽压力对机组安全运行有什么影响? .....	22
1-51	为何目前我国超超临界机组主蒸汽压力不宜采用 30~31MPa? .....	22
1-52	主蒸汽压力采用 25MPa 和 28MPa 哪个更好? .....	22
1-53	汽轮机容量增加受哪些因素影响? 采用什么措施可以解决这些问题? .....	22
1-54	我国选择 1000MW 级汽轮发电机组在运输和	

	装配方面是否能达到要求? .....	23
1-55	超超临界机组的造价与常规机组的造价 相比有何特点? .....	23
1-56	超超临界大容量汽轮机机组宜采用什么形式? .....	24
1-57	1000MW 机组通常采用什么样的机炉配置? .....	24
1-58	超超临界火电机组目前都采用哪些材料制造? .....	24
1-59	超超临界汽轮机通常采用两排汽的理由是什么? .....	25
1-60	超超临界汽轮机单流高压转子的蒸汽冷却通常 采用哪些方法? .....	26
1-61	汽轮机单轴布置有哪些优缺点? .....	26
1-62	汽轮机双轴布置有哪些优缺点? .....	27
1-63	汽轮机各级中, 冲动和反动是如何应用的? .....	27
1-64	超超临界机组的低压缸有什么特点? .....	27
1-65	超超临界机组阀门及轴承的设计有何特点? .....	27
1-66	汽轮机通常采取哪些防固粒腐蚀措施? .....	28
1-67	如何正确选择机炉容量? .....	28
1-68	美国设计的大容量火电机组(核电机组除外) 对机炉容量有何特殊要求? .....	28
1-69	锅炉朝着大容量、高参数的方向发展, 对其效率 会产生什么影响? .....	29
1-70	超超临界机组采用了哪些新的结构模式? .....	29
1-71	西门子公司开发超临界汽轮机的业绩如何? .....	30
1-72	西门子公司生产的超超临界机组的情况怎么样? 在我国投运的情况如何? .....	30
1-73	西门子公司超临界大功率汽轮机的主要特点是什么? .....	31
1-74	上汽西门子在抗汽隙激振方面具有哪些明显的 技术优势? .....	31
1-75	上汽汽轮机总体方案是怎样的? .....	31
1-76	上汽汽轮机能承受哪些可能出现的运行工况? .....	32
1-77	上汽汽轮机零部件的使用寿命是多长? .....	32
1-78	上汽汽轮机转子有什么特点? .....	33

1-79	上汽汽轮机汽缸有哪些特点? .....	33
1-80	原 ABB 公司汽轮机有哪些特点? .....	34
1-81	Alstom (阿尔斯通) 的汽轮机有哪些特点? .....	34
1-82	Alstom 研制开发的刷子汽封有哪些特点? .....	34
1-83	Alstom 汽轮机的末级叶片有哪些特点? .....	34
1-84	日本东芝公司目前研制超临界机组的技术水平如何? .....	35
1-85	东芝公司设计的汽轮机有什么特点? .....	35
1-86	东芝公司的汽轮机转子有哪些特点? .....	35
1-87	东芝公司在汽轮机叶片设计上有什么特点? .....	35
1-88	东芝公司的汽轮机叶片及排汽方式是怎样的? .....	36
1-89	为改善超临界汽轮机的可靠性, 日立公司采用了什么措施? .....	36
1-90	为进一步提高机组效率, 日立公司采用了什么技术? .....	36
1-91	东方汽轮机厂生产的 1000MW 汽轮机有哪些特点? .....	37
1-92	东汽日立汽轮机汽缸设计上有什么特点? .....	37
1-93	东汽日立汽轮机叶片及转子有什么特点? .....	37
1-94	东汽日立汽轮机喷嘴有什么特点? .....	38
1-95	东汽日立汽轮机旁路系统有什么特点? .....	38
1-96	东汽日立汽轮机的冲转参数如何? .....	39
1-97	东汽日立对汽轮机零部件运行寿命的要求是怎样的? .....	39
1-98	东汽日立汽轮机对转子振幅有何要求? .....	40
1-99	东汽日立汽轮机对汽缸的要求是什么? .....	40
1-100	东汽日立汽轮机对轴承及轴承座有什么要求? .....	41
1-101	东汽日立汽轮机在适应不利运行条件方面有哪些特点? 启动方式上有什么特点? .....	42
1-102	东汽日立汽轮机应用机型的基本参数是怎样的? .....	42
1-103	东汽日立汽轮机各部分的质量是多少? .....	43
1-104	东汽日立汽轮机的性能保证参数是多少? .....	43
1-105	东汽日立 1000MW 汽轮机主蒸汽管道采用什么形式? .....	43
1-106	东汽日立汽轮机抽汽系统是什么形式的? .....	44

1-107	东汽日立投运的辅助蒸汽系统如何?	44
1-108	东汽汽轮机的滑销系统为什么能保证长期灵活运行?	45
1-109	三菱公司设计制造的超超临界机组有什么特点?	45
1-110	三菱公司 TC4F-48 型 1000MW 汽轮机的参考机型有什么特点?	45
1-111	哈汽—三菱汽轮机有哪些主要技术特点?	46
1-112	哈汽—三菱公司汽轮机加热给水系统的特点是什么?	46
1-113	哈汽汽轮机能承受哪些可能出现的运行工况?	47
1-114	哈汽汽轮机的设计寿命是怎样的?	47
1-115	哈汽汽轮机有哪些技术要求?	47
1-116	三菱公司采取什么措施防止低频振动?	49
1-117	哈汽汽轮机各部分的质量是多少?	49

## 第二章 1000MW 汽轮机本体技术

2-1	汽轮机本体由哪几部分组成?	50
2-2	汽轮机转动部分包括哪些部件?	50
2-3	汽轮机静止部分包括哪些部件?	50
2-4	以某发电厂 2×1000MW 机组为例,说明汽轮机本体的整体布置是怎样的?	50
2-5	汽轮机转子的作用是什么?	51
2-6	汽轮机转子可分为哪两种基本类型?	51
2-7	按制造工艺,轮式转子分为哪几种形式?	51
2-8	套装转子的结构是怎样的?	51
2-9	为什么套装转子只用于中压汽轮机转子或高压汽轮机的低压转子?	51
2-10	整锻转子的结构是怎样的?	52
2-11	整锻转子的优、缺点是什么?	52
2-12	组合转子的结构是怎样的?	52
2-13	使用焊接转子的原因是什么?焊接转子的优、	52

缺点是什么? .....	52
2-14 鼓式转子的结构是怎样的? .....	53
2-15 1000MW 机组整锻转子的特点是什么? .....	53
2-16 无中心孔的整锻转子的特点是什么? .....	53
2-17 无中心孔转子的优点是什么? .....	54
2-18 上海 1000MW 汽轮机转子的特点是什么? .....	54
2-19 焊接式转鼓形转子与套装式和整锻转子相比, 有哪些优点? .....	54
2-20 尺寸相似的焊接转子与实心整锻转子相比, 有何不同? .....	55
2-21 叶片的作用是什么? 其组成是什么? 对在湿蒸汽 区工作的叶片有何要求? .....	55
2-22 叶型部分的作用是什么? .....	55
2-23 按叶型部分横截面的变化规律, 叶片可分为几种类型? 其特点分别是什么? .....	56
2-24 叶根的作用是什么? 常用的叶根有几种形式? .....	56
2-25 T 形叶根的结构特点是什么? 其装配方法是什么? .....	56
2-26 外包形 (菌形) 叶根的特点是什么? .....	57
2-27 叉形叶根的结构特点是什么? .....	57
2-28 枫树形叶根的结构特点是什么? .....	57
2-29 围带的主要作用是什么? .....	57
2-30 常用的围带有哪几种形式? 其各自的特点是什么? .....	57
2-31 拉筋有几种结构形式? .....	58
2-32 拉筋的主要作用是什么? 其特点是什么? .....	58
2-33 上海 1000MW 汽轮机的整个机组叶片分 为几种结构类型? .....	58
2-34 上海 1000MW 汽轮机的高、中压第一级叶片 的特点是什么? .....	58
2-35 上海 1000MW 汽轮机的高、中、低反动式全弯曲扭动静 叶片级的特点是什么? .....	59
2-36 上海 1000MW 汽轮机的低压末三级的调频长叶片级	

的特点是什么? .....	59
2-37 东方—日立 1000MW 汽轮机末级叶片的特点是什么? .....	60
2-38 汽缸的作用是什么? .....	60
2-39 针对汽缸的结构,应着重考虑哪几方面的内容? .....	60
2-40 汽缸的总体结构是怎样的? .....	61
2-41 汽轮机的高压缸为何多采用双层缸结构? .....	61
2-42 高、中压缸采用双层缸结构的优、缺点是什么? .....	62
2-43 汽轮机本体进汽部分指的是什么? .....	62
2-44 汽轮机本体进汽部分的结构特点是什么? .....	63
2-45 汽轮机本体排汽缸指的是什么? .....	63
2-46 汽轮机本体排汽缸的结构特点是什么? .....	63
2-47 汽轮机本体法兰和连接螺栓的结构特点是什么? .....	63
2-48 为了克服螺栓的应力松弛现象,应采取什么措施? .....	64
2-49 为了减少汽缸、法兰以及连接螺栓之间的温差,应采取什么措施? .....	64
2-50 1000MW 机组高压缸的特点是什么? .....	65
2-51 1000MW 机组中压缸的特点是什么? .....	65
2-52 1000MW 机组低压缸的特点是什么? .....	65
2-53 汽缸的支撑定位包括哪几部分? .....	65
2-54 汽缸的支撑方法有哪几种? .....	66
2-55 猫爪支撑有哪几种? .....	66
2-56 何谓下缸猫爪?它支撑在哪里? .....	66
2-57 非中分面猫爪支撑的特点是什么? .....	66
2-58 中分面猫爪支撑的特点是什么? .....	66
2-59 上缸猫爪支撑的特点是什么? .....	67
2-60 内缸采用什么支撑方式? .....	67
2-61 台板支撑的特点是什么? .....	68
2-62 滑销系统的作用是什么?其组成有哪些? .....	68
2-63 横销的作用是什么? .....	68
2-64 纵销的作用是什么? .....	68

2-65	立销的作用是什么?	68
2-66	角销的作用是什么?	69
2-67	轴承分为哪两种类型?各自的作用是什么?	69
2-68	滑动轴承的基本工作原理是什么?	69
2-69	有负载作用的两表面间建立稳定的油膜,必须满足的条件是什么?	70
2-70	油楔中的压力分布如何?如何合理选择轴承尺寸?	70
2-71	油膜振荡是如何产生的?	70
2-72	油膜振荡的现象是什么?	70
2-73	油膜振荡发生的原因是什么?	71
2-74	如何防止和消除油膜振荡?	73
2-75	为了防止和消除油膜振荡,常用的措施有哪些?	74
2-76	何谓比压?增加比压的方法是什么?	74
2-77	润滑油黏度大了有何危害?降低润滑油黏度的方法是什么?	74
2-78	调整轴承间隙的优点是什么?	75
2-79	轴承从结构上分为几类?	75
2-80	支持轴承有哪几种主要形式?	75
2-81	圆筒形轴承按支持方式可分为哪两种?	75
2-82	固定式圆筒形支持轴承的结构特点是什么?	75
2-83	轴瓦的结构特点是什么?	76
2-84	自位式圆筒形支持轴承的结构特点是什么?	76
2-85	椭圆形支持轴承的结构特点是什么?	76
2-86	三油楔支持轴承的结构特点是什么?	76
2-87	可倾瓦支持轴承的结构特点是什么?	76
2-88	高压油顶起装置的作用是什么?	77
2-89	推力轴承的作用是什么?	77
2-90	密切尔式推力轴承的工作原理是什么?	77
2-91	1000MW 汽轮机主汽门的结构特点是什么?	77
2-92	1000MW 汽轮机中压联合门的结构特点是什么?	78
2-93	盘车装置的作用是什么?	78



2-94	1000MW 汽轮机盘车装置的工作原理是什么?	79
------	-------------------------	----

### 第三章 汽轮机主要辅助设备

3-1	各辅助设备启动过程中有哪些注意事项?	80
3-2	辅助设备停运有哪些注意事项?	81
3-3	凝汽设备的任务是什么?	81
3-4	对凝汽设备的要求有哪些?	81
3-5	凝汽设备包括什么? 其工作过程怎么样?	83
3-6	目前发电厂中基本上采用什么凝汽器?	83
3-7	凝汽器内流体的流动情况是怎样的?	83
3-8	凝汽器中为什么要有空气冷却区?	84
3-9	什么叫凝汽器的汽阻? 它对凝汽器的真空度有何影响?	84
3-10	凝汽器中存在不凝气体对凝汽器的真空度会造成什么影响?	84
3-11	什么是凝结水过冷度?	84
3-12	产生凝结水过冷度的原因是什么? 如何消除?	85
3-13	多压式凝汽器与单压式凝汽器相比有何优势?	86
3-14	什么是凝汽器的运行特性曲线?	86
3-15	凝汽器热井有什么作用? 对它有何要求?	87
3-16	N-60000 型凝汽器结构形式有何特点?	87
3-17	东汽凝汽器主要设计参数如何?	87
3-18	N-60000 型凝汽器的主要特性参数如何?	88
3-19	N-60000 型凝汽器的结构是怎样的?	88
3-20	N-60000 型凝汽器喉部由哪些部件组成?	88
3-21	N-60000 型凝汽器壳体的结构有什么特点?	89
3-22	N-60000 型凝汽器水室的结构如何?	89
3-23	N-60000 型凝汽器采用什么连接和支撑方式?	89
3-24	N-60000 型凝汽器的工作过程是怎样的?	89
3-25	N-60000 型凝汽器循环水连通管是如何布置的?	90
3-26	N-60000 型凝汽器的运行参数如何?	90