

超超临界火电机组技术问答丛书

电气运行 技术问答

李洪战 霍永红 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

电气运行 技术问答

李洪战 霍永红 主编
闫修峰 宋志明 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。

本书可作为《超超临界火电机组丛书 电气设备与运行》的配套教材。全书共分十一章，主要内容为基础知识与基本理论、同步发电机及其运行、同步发电机的励磁系统、电力变压器及其运行、电气接线和配电装置、断路器和隔离开关、互感器和避雷器、保安电源和 UPS、直流系统、继电保护以及自动装置等。每一章均以问答形式，从设备运行及检修维护角度精心设计了难易适中的技术问答题目，并结合实际给出了详尽的答案，供读者参考。

本书可供从事超超临界火电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员培训使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气运行技术问答/李洪战, 霍永红主编. —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 978-7-5083-7062-0

I. 电… II. ①李…②霍… III. 火电厂-电力系统运行-问答
IV. TM 621-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060979 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 14.625 印张 392 千字 2 插图

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 热工控制系统技术问答》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

随着超临界机组已向大容量、高参数、高效率、低污染的超超临界机组发展的国际大趋势，中国电力工业也进入了大机组、大电厂、大电网、超（特）高压、自动化和信息化的全新发展时期。尽快掌握世界先进的超超临界发电技术，尽快提高百万千瓦级超超临界发电机组的设计、制造、运行、维护及管理水平，成为电力工业相关生产人员、科研人员、管理人员及其他相关专业技术人员的迫切要求。在此背景下，我们以华电山东邹县发电厂 $2\times 1000\text{MW}$ 发电机组相关技术资料以及机组安装、调试、运行、维护等过程的相关经验，编写了本书。

本书以大量翔实的技术资料为基础，紧密结合现场实际，经过精心归纳、整理和总结，以问答形式编写了超超临界火电机组的发电机、变压器、继电保护与自动装置以及其他电气设备和系统的性能、特点及运行维护知识。本书内容丰富，覆盖面广，突出所涉及问题的实用性和针对性，通俗易懂，易于掌握，是一本适合生产、科研、管理及其他工程技术人员使用的参考书。

本书由山东省电力学校李洪战、霍永红主编并统稿，尹君、潘磊、张志龙参编。全书共分十一章，其中第一、十、十一章由霍永红编写，第二、五、六章由李洪战编写，第三章由华电邹县发电厂尹君编写，第四、七章由黑龙江佳木斯热电厂潘磊编写，第八、九章由大唐佳木斯第二发电厂张志龙编写。华电邹县发电厂闫修峰和山东省电力学校宋志明担任本书主审，对全书进行了认真审阅并提出了很多宝贵意见和建议。

在本书编写过程中，得到了华电邹县发电厂现场技术人员的大力支持和帮助，参阅了大量正式出版文献以及邹县发电厂、设备制造厂、电力设计院及安装单位的大量技术资料等，在此一并表示感

谢。

由于编者水平所限，本书疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

前言

本书前言

第一章 基础知识与基本理论

- | | | |
|------|----------------------------------|----|
| 1-1 | 电场和磁场的基本概念是什么？各有什么特性？ | 1 |
| 1-2 | 电力线与磁力线各有何特点？ | 1 |
| 1-3 | 电路和磁路的基本概念是什么？它们的区别是什么？ | 1 |
| 1-4 | 如何描述电和磁之间的基本关系？ | 2 |
| 1-5 | 什么是楞次定律？如何利用楞次定律判断感应电动势或感生电流的方向？ | 3 |
| 1-6 | 人们对电磁现象的认知过程是怎样的？ | 4 |
| 1-7 | 物质的磁性是从哪里来的？磁性物质的分类及其特点有哪些？ | 5 |
| 1-8 | 磁场的特征是什么？ | 6 |
| 1-9 | 表征磁场特性的四个物理量是什么？ | 6 |
| 1-10 | 什么是铁磁性物质的磁滞回线？ | 8 |
| 1-11 | 计算铁环气隙中的磁感应强度 B 的数值。 | 9 |
| 1-12 | 电机的性能与其磁场有什么关系？ | 11 |
| 1-13 | 电机设备绕组的电抗（电感）与什么因素有关？ | 11 |
| 1-14 | 什么是电机的可逆性原理？ | 12 |
| 1-15 | 什么是涡流损耗？它对电机设备有什么影响？ | 12 |
| 1-16 | 什么是磁滞损耗？ | 13 |
| 1-17 | 什么是交流电的谐振？ | 13 |
| 1-18 | 什么是过渡过程？为何会产生过渡过程？ | 13 |
| 1-19 | 什么是基波？什么是谐波？ | 13 |

1-20	什么是交流电的集肤效应？如何利用集肤效应？	14
1-21	什么是半导体？	14
1-22	什么是晶闸管？晶闸管的工作原理是怎样的？	14
1-23	如何用晶闸管实现可控整流？	15
1-24	晶闸管整流的控制过程是怎样的？	15
1-25	什么是半导体三极管？如何分类？	17
1-26	什么是整流？整流是如何实现的？	17
1-27	逆变电路必须具备什么条件才能进行逆变工作？	17
1-28	整流电路、滤波电路、稳压电路各有什么作用？	18
1-29	单相半波整流电路的工作原理及特点是什么？	18
1-30	全波整流电路的工作原理及特点是什么？	18
1-31	什么是集成电路？	19
1-32	什么是运算放大器？它主要有哪些应用？	19
1-33	为什么负反馈能使放大器工作稳定？	19
1-34	防止晶闸管误触发有哪些措施？	19
1-35	DC/DC 变换电路的主要形式和工作特点是什么？	20
1-36	斩波电路的主要功能和控制方式是怎样的？	20
1-37	什么是电力系统？什么是电力网？	20
1-38	电能的生产与其他工业生产相比有什么特点？	21
1-39	什么是电气设备的额定电压？ 为什么要规定额定电压等级？	21
1-40	什么是平均额定电压？	21
1-41	电力系统的中性点运行方式有哪些类型？ 不同的运行方式有何影响？	22
1-42	中性点不接地三相系统有何特点？	22
1-43	中性点直接接地的三相系统有何特点？	22
1-44	中性点经高阻抗接地有何作用？	23
1-45	现代电力网具有哪些显著特征？	23
1-46	什么是功率因数？为什么要提高功率因数？	24
1-47	怎样提高电网的功率因数？	24
1-48	什么是中性点位移？	24

1-49	什么是无限大容量电力系统？	24
1-50	什么是保护接地和保护接零？	24

第二章 同步发电机及其运行

2-1	1000MW 汽轮发电机的主要参数有哪些？	26
2-2	同步发电机是如何发出三相交流电的？	28
2-3	发电机铭牌上有哪些内容？	29
2-4	发电机的容量如何选择？	29
2-5	三相正弦交流电流流过对称三相交流绕组时， 合成磁动势的基波具有什么特点？	31
2-6	高次谐波电动势的存在有什么不良影响？ 大型发电机采用哪些措施削弱其影响？	31
2-7	什么是发电机电压波形的正弦畸变率？ 它是如何测定的？	32
2-8	大容量机组在制造、基建和运行的经济性 方面具有哪些优点？	32
2-9	大型发电机组在参数设计方面具有哪些与 中小型发电机组不同的特点？	33
2-10	发展大容量发电机存在的主要问题是什么？	34
2-11	发电机绕组为什么都接成双星形？	35
2-12	大型发电机的定子绕组为什么采用三相双 层短距分布绕组？	35
2-13	发电机定子绕组接成三角形如何？	35
2-14	QFSN-1000-2-27 型 1000MW 汽轮发电机的 主要结构部件包括哪些？	36
2-15	发电机的机座和端盖有何作用？	36
2-16	什么是大型汽轮发电机的隔振结构？	36
2-17	大型汽轮发电机的定子铁芯如何考虑满足强度、 刚度和降低铁芯损耗？	37
2-18	为了减少端部漏磁通在压圈和边段铁芯上引起的发热和在 定子端部铁芯引起附加电气损耗，应采取哪些措施？ ...	38

2-19	转子护环、中心环、阻尼环的作用是什么？	39
2-20	大型汽轮发电机需考虑哪些特殊问题？	39
2-21	QFSN-1000-2-27 型汽轮发电机的定子绕组的布置 和固定有何特点？	40
2-22	1000MW 发电机转子槽部采用什么通风方式？	41
2-23	1000MW 发电机转子绕组的端部通风结构如何？	42
2-24	转子阻尼绕组的作用和结构是怎样的？	43
2-25	为什么水冷发电机的端部发热较严重？	43
2-26	什么是水冷发电机的电屏蔽？	43
2-27	什么是水冷发电机的磁屏蔽？	44
2-28	为什么水冷发电机定子线棒的振动较大？	45
2-29	汽轮发电机冷却技术的发展情况如何？ 有何主要问题？	45
2-30	现代大功率汽轮发电机的主要冷却方式 是怎样的？	46
2-31	水/氢/氢冷却的汽轮发电机的定子冷却水 系统的作用是什么？	47
2-32	定子冷却水系统如何构成？其工作流程如何？	48
2-33	1000MW 汽轮发电机组定子冷却水系统的参数 要求是怎样的？	49
2-34	发电机采用氢气冷却有何特点？	50
2-35	1000MW 发电机的通风系统是怎样的？	50
2-36	如何保证发电机氢气冷却系统的安全运行？	51
2-37	氢冷系统的主要控制参数是什么？	51
2-38	发电机运行中氢压降低的原因可能有哪些？	52
2-39	运行中氢压降低如何处理？	52
2-40	1000MW 氢冷发电机氢气冷却器的 容量设计原则是什么？	53
2-41	发电机运行中对氢冷系统应监视哪些内容？	53
2-42	发电机本体结构中哪些部位容易漏氢？	54
2-43	怎样防止氢气爆炸？	54

2-44	密封油系统的作用和要求是什么？	55
2-45	什么是单流环式密封油系统？	55
2-46	单流环式密封油系统有几种运行方式？	56
2-47	什么是双流环式密封油系统？	57
2-48	什么是三流环式密封油系统？	58
2-49	发电机进油的原因有哪些？如何预防？	59
2-50	隐极汽轮发电机空载时的电磁状况是怎样的？	59
2-51	什么是同步发电机的空载特性？ 空载特性试验的意义是什么？	60
2-52	同步发电机对称负载运行时的电磁状况是怎样的？	61
2-53	发电机同步电抗的含义是什么？	62
2-54	同步发电机的功角 δ 的物理意义是怎样的？	63
2-55	什么是同步发电机的短路特性？有何意义？	64
2-56	什么是短路比？短路比的大小对发电机有何影响？	64
2-57	什么是同步发电机的外特性？有何意义？	65
2-58	什么是同步发电机的调整特性？有何意义？	66
2-59	电力系统同步运行的稳定性包括哪些内容？	67
2-60	何谓汽轮发电机的功角特性？	67
2-61	什么是电力系统的静态稳定？ 如何提高静态稳定性？	68
2-62	什么是电力系统的暂态稳定？ 如何提高暂态稳定性？	69
2-63	快速自动励磁调节如何调节系统稳定性？ 如何提高它的静态稳定性？	69
2-64	什么是电气制动？	70
2-65	什么是快关汽门？	70
2-66	同步发电机运行中有功功率和无功功率的调整 应满足哪些条件？	70
2-67	实际运行中，发电机的安全运行极限会受到哪 些因素的影响？	71
2-68	为什么调节无功时有功不会变，而调节有功时	

	无功会自动变化?	72
2-69	什么是同步发电机的 V 形曲线? V 形曲线 有什么指导意义?	73
2-70	1000MW 发电机正常情况下的运行方式是怎样的?	74
2-71	发电机运行中应检测、监视的参数主要有哪些?	75
2-72	1000MW 发电机的测温点是如何布置的?	75
2-73	1000MW 发电机各部位温度限额是如何规定的?	76
2-74	水冷发电机的定子铁芯发热集中在哪些部位?	76
2-75	汽轮发电机的转子为什么会发热?	77
2-76	如何防止发电机非同步并网?	78
2-77	发电机启动前应测量哪些绝缘电阻?	78
2-78	引起发电机定子绕组绝缘老化或损坏的 主要原因是什么?	79
2-79	发电机启动前必须进行哪些试验?	79
2-80	发电机冷态启动过程中有哪些注意事项?	79
2-81	发电机正常运行期间应做哪些检查?	80
2-82	发电机运行中, 电刷的检查和更换有何规定?	81
2-83	什么是轴电压与轴电流? 有何危害?	82
2-84	大轴接地电刷有何作用?	83
2-85	发电机同期并列的操作步骤是怎样的? 有哪些注意事项?	83
2-86	怎样用绝缘电阻表来测量发电机定子绕组的绝缘?	84
2-87	发电机启动前应对电刷和集电环进行哪些检查?	84
2-88	大修后的发电机为什么要做空载和短路试验?	85
2-89	发电机并、解列前为什么必须投主变压器中性点 接地隔离开关?	85
2-90	发电机大修后应做哪些典型试验?	85
2-91	发电机不正常的运行状态有哪些?	86
2-92	发电机进相运行时有哪些注意事项?	86
2-93	适应发电机进相运行的措施有哪些?	87
2-94	1000MW 发电机的进相运行能力如何?	87

2-95	发电机运行电压过高或过低有何危害？	87
2-96	频率异常对发电机运行有何影响？	89
2-97	如何加强发电机的调峰能力？	91
2-98	发电机的不对称运行对电力系统造成哪些危害？ 应采取何种措施来提高发电机不对称运行能力？	92
2-99	什么是发电机的进相运行？进相运行对 发电机有何影响？	93
2-100	同步发电机的进相、失磁、振荡、失步等运行 状态原因、表征、危害和处理方法分别是什么？ 它们之间有什么相互联系？	94
2-101	发电机失磁后，异步运行有何特征？	95
2-102	发电机失磁后，如何进入再同步？	96
2-103	1000MW 发电机的失磁运行有何规定？	97
2-104	如何形象描述发电机发生振荡的物理过程？ 振荡的类型有哪几种？	98
2-105	引起发电机振荡的原因有哪些？ 防止振荡应采取哪些措施？	99
2-106	发电机允许变为电动机运行吗？	100
2-107	发电机甩负荷有什么后果？	100
2-108	事故情况下，发电机为什么可以短时间过负荷？ 过负荷时，运行人员应注意什么问题？	101
2-109	电气系统事故处理的一般顺序是什么？	102
2-110	定子绕组单相接地时对发电机有危险吗？	102
2-111	转子发生一点接地可以继续运行吗？	102
2-112	短路对发电机和系统有什么危害？	103
2-113	汽轮发电机的振动有什么危害？引起振动的 原因有哪些？	103
2-114	发电机出口调压用电压互感器熔断器熔断后有 哪些现象？如何处理？	103
2-115	发电机常见故障有哪些？	104
2-116	运行中，定子铁芯各部分温度普遍升高应如何	

	检查和处理?	104
2-117	运行中, 定子铁芯个别点温度突然升高应 如何处理?	104
2-118	运行中, 定子铁芯个别点温度异常下降应 如何处理?	105
2-119	运行中, 个别定子绕组温度异常升高应如何处理? ...	105
2-120	发电机断水应如何处理?	105
2-121	发电机漏水应如何处理?	105
2-122	如何进行紧急排氢?	106
2-123	运行中发现密封油压降低应如何处理?	106
2-124	什么情况下发电机应紧急停运?	107
2-125	发电机 1TV 二次电压消失有什么现象? 如何处理?	108
2-126	发电机 2TV 二次电压消失有什么现象? 如何处理?	108
2-127	当发电机出口 1、2TV 断线信号都发出时, 可能是 什么原因? 如何处理?	109
2-128	发电机 3TV 二次电压消失有什么象征? 如何处理?	109
2-129	发电机定子接地故障的现象如何? 如何处理?	109
2-130	发电机转子接地如何处理?	110
2-131	发电机变成同步电动机运行有何现象? 如何处理? ...	110
2-132	发电机主断路器跳闸如何处理?	110
2-133	发电机升不起电压应进行哪些检查?	111
2-134	励磁变压器温度高跳闸如何处理?	111
2-135	发电机启励时间超时的原因有哪些? 如何处理?	111
2-136	发电机集电环电刷发生火花如何处理?	112

第三章 同步发电机的励磁系统

3-1	励磁系统的任务是什么?	113
3-2	发电机励磁系统由哪几部分组成?	113

3-3	常用的励磁方式有哪几种?	113
3-4	什么是自并励励磁系统?	114
3-5	发电机自并励励磁系统(静止励磁系统) 有何优点?	114
3-6	采用自并励静止励磁系统如何提高电力系统 运行的稳定性?	115
3-7	为什么同步发电机励磁回路的灭磁开关不能改 成快速动作的断路器?	115
3-8	什么是理想的灭磁过程?	115
3-9	同步发电机为什么要求快速灭磁?	115
3-10	自动励磁调节器的基本任务是什么?	116
3-11	自动励磁调节器有哪些励磁限制和保护单元?	116
3-12	欠励限制器有何作用?	116
3-13	V/Hz(伏/赫)限制器有何作用?	116
3-14	反时限限制器和定时限限制器有何作用?	116
3-15	瞬时电流限制器有何作用?	117
3-16	什么是励磁系统稳定器?	117
3-17	什么是电力系统稳定器?	117
3-18	ABB公司生产的UNITROL 5000自并励励磁系统 的基本组成单元是什么?	117
3-19	UNITROL系列励磁系统的型号有何含义?	118
3-20	UNITROL 5000励磁系统包括哪些功能模块? 各有何作用?	118
3-21	UNITROL 5000型励磁调节装置有何主要功能?	120
3-22	UNITROL 5000型励磁调节装置主要的控制单元有 哪些?其作用是什么?	120
3-23	励磁系统内的通信是如何实现的?	121
3-24	UNITROL 5000型励磁系统的就地控制面板 (LCP)有哪些功能?	121
3-25	UNITROL 5000型励磁调节装置如何实现与 DCS系统的接口?	122