

超超临界二次再热机组 热力设备及系统

国电科学技术研究院 组编

CHAOCHAOLINJIE
ERCI ZAI RE JIZU
RELI SHEBEI JI XITONG



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超超临界二次再热机组 热力设备及系统

国电科学技术研究院 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

目前,我国已有数台超超临界二次再热机组正式投产,全国还有大量的超超临界二次再热机组正在建设和筹建中,为了总结、提高、积累机组的设计、运行、调试、性能试验方面的经验,同时培训火电技术人员尽快掌握超超临界二次再热机组发电技术,国电科学技术研究院结合工程实践,汇集了国内已经投产的超超临界二次再热机组的有关技术资料,组织编写了《超超临界二次再热机组热力设备及系统》。

本书包括锅炉篇和汽轮机篇,共十六章。本书内容翔实丰富、信息量大,可供超超临界二次再热机组锅炉、汽轮机专业安装调试、运行维护等岗位生产、管理人员工作学习参考,也可作为岗位培训及高校师生学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

超超临界二次再热机组热力设备及系统/国电科学技术研究院组编. —北京:中国电力出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-5198-1509-7

I. ①超… II. ①国… III. ①超临界-超临界机组-火力发电-发电机组-热力系统-性能
IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 304578 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:孙 芳

责任校对:黄 蓓 郝军燕

装帧设计:王英磊 赵姗姗

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2019 年 1 月第一版

印 次:2019 年 1 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:23.75

字 数:581 千字

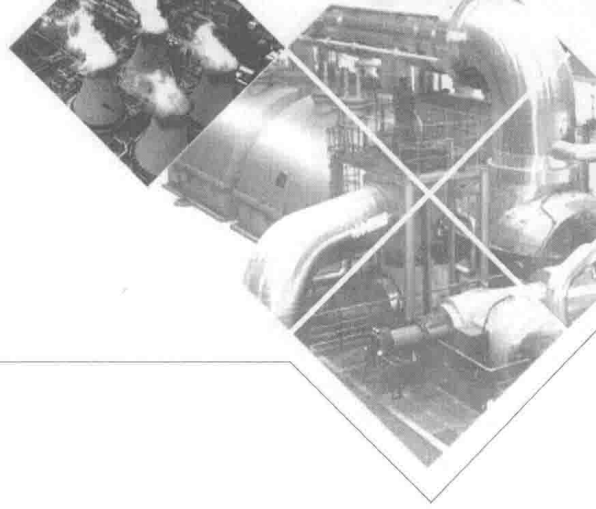
印 数:0001—2000 册

定 价:128.00 元



版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心部负责退换



前 言

目前,我国已有超超临界二次再热机组正式投产,全国还有大量的 1000MW 级超超临界二次再热机组正在建设和筹建中。为了总结、提高、积累机组的设计、运行、调试、性能试验方面的经验,同时培训火电技术人员尽快掌握超超临界二次再热机组发电技术,国电科学技术研究院结合工程实践,汇集了国内已经投产的超超临界二次再热机组的有关技术资料,组织编写了《超超临界二次再热机组热力设备及系统》一书。

全书内容翔实丰富、信息量大,可供超超临界二次再热机组锅炉、汽轮机专业安装调试、运行维护等岗位生产、管理人员工作学习参考,也可作为岗位培训及高校师生参考。

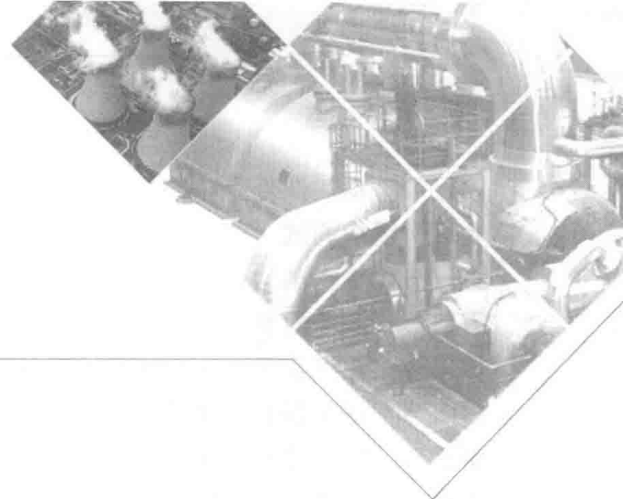
本书旨在通过对国内已投产一次与二次再热机组以及不同类型二次再热机组设备及系统之间的分析比较,力求反映我国超超临界二次再热机组的发展状况和最新技术特点,为从事超超临界二次再热机组的有关技术人员提供参考,促进我国二次再热技术的发展。本书重点涵盖了超超临界二次再热机组设计参数、设备及系统、运动操作与调整、系统调试、性能试验等方面内容。

本书包括锅炉篇和汽轮机篇,共分十六章,由李永生、马晓峰担任主编。其中,绪论由李永生编写,第一章由黄启龙编写,第二章、第三章由陈国庆编写,第四章、第五章由王爱英编写,第六章由朱旭初编写,第七章第一、四、五节由李朝兵编写,第七章第二、三节和第八章由白冬波编写,第九章、第十章由马晓峰编写,第十一~十三章由何欣荣编写,第十四章由田阳编写,第十五章由林加伍编写,第十六章由徐星编写。

在编写过程中,本书参照和引用了最新的二次再热有关文献。在此谨向本书所引用文献的全体作者致以衷心的感谢!

限于作者的能力水平,加之时间仓促,难免会出现问题和不足,恳请读者批评指正。

编者
2019 年 1 月



目 录

前言	
绪论	1
第一节 超临界一次再热机组的发展状况	3
第二节 二次再热机组发展状况	6

第一篇 锅炉篇

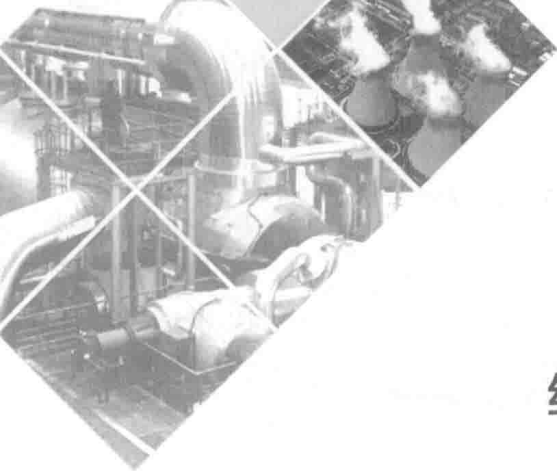
第一章 二次再热锅炉总体概况	11
第二章 锅炉汽水系统	26
第一节 省煤器	26
第二节 水冷壁	30
第三节 锅炉启动系统	41
第四节 过热蒸汽系统	47
第五节 再热蒸汽系统	58
第六节 低温省煤器	72
第三章 燃烧系统	78
第一节 燃烧理论	78
第二节 燃烧设备	81
第四章 制粉系统及设备	100
第一节 概述	100
第二节 给煤机	102
第三节 磨煤机	105
第五章 锅炉风烟系统及设备	112
第一节 概述	112
第二节 送风机、一次风机和引风机	113
第三节 空气预热器	117
第六章 锅炉运行	125
第一节 锅炉启动	125
第二节 锅炉运行的控制与调整	131
第三节 汽温调节	133
第四节 锅炉的停止运行	142

第五节 锅炉保养	144
第七章 锅炉调试	147
第一节 冷态试验	147
第二节 锅炉酸洗	150
第三节 蒸汽吹管	157
第四节 锅炉整套启动调试	164
第五节 控制策略优化	167
第八章 锅炉性能考核试验	171

第二篇 汽轮机篇

第九章 二次再热汽轮机总体概况	179
第十章 汽轮机本体及配汽系统	182
第一节 概述	182
第二节 静体部分	183
第三节 汽轮机转子	209
第四节 滑销系统	210
第五节 轴承	214
第六节 盘车装置	230
第七节 配汽系统	234
第十一章 润滑油及调节保安系统	245
第一节 主机油系统	245
第二节 EH 油系统	252
第三节 密封油系统	256
第十二章 汽轮机热力系统	268
第一节 主蒸汽、再热蒸汽	269
第二节 旁路系统	271
第三节 回热抽汽系统及其设备	275
第四节 辅助蒸汽系统	294
第十三章 汽轮机辅助设备	296
第一节 凝结水系统设备	296
第二节 循环水系统设备	298
第三节 抽气系统设备	300
第四节 给水系统设备	301
第五节 定子冷却水系统	315
第十四章 汽轮机的运行	317
第一节 机组启动前的要求及准备	317
第二节 汽轮机启动	322
第三节 汽轮机运行所需进行的试验	340

第四节	机组的停运及保养.....	342
第十五章	汽轮机调试.....	346
第一节	汽轮机油系统循环及调试.....	346
第二节	回热抽汽系统调试.....	347
第三节	汽轮机整套启动调试.....	350
第十六章	机组性能及试验.....	353
第一节	机组设计性能.....	353
第二节	机组性能试验.....	359
第三节	汽轮机优化试验.....	367
参考文献		370



绪 论

中国是以煤电为主的国家，煤电在电力生产中的主导地位在较长一段时间内无法改变。发展高效率超超临界燃煤机组是高效清洁燃煤发电的方向，对我国建设节能环保型社会具有重要意义。

中国超超临界火电机组发展最快，截至 2016 年底仅 1000MW 超超临界机组就已建成投产 90 余台，是世界上数量最多的国家之一。目前，中国 27MPa，600℃/600℃ 等级一次再热超超临界发电技术已经逐步成熟，运行性能先进，发电效率达到 45% 以上，处于世界领先水平。在此基础上为了进一步提高火电机组发电效率、降低煤耗，需要进一步提高机组蒸汽参数，而材料的高温性能成为关键制约因素。现有材料（主要包括 HR3C、超级 304H、P91 和 P92）条件限制继续大幅提高蒸汽参数，特别是蒸汽温度。如果要进一步提高参数，只能采用镍基合金材料，但目前发展更高参数火电机组所需要的镍基合金材料并不具备商业化的条件。

在现有一次再热超超临界发电技术基础上采用二次再热技术，原蒸汽参数基本不变或适当提高，可以不需要更换新材料，仍采用现有成熟金属材料，可进一步提高循环效率 3% 左右，是目前技术条件下提高火力机组热效率的合理途径。

但采用二次再热技术，在提高发电机组循环热效率的同时，也带来系统设计的复杂性，使投资增加，运行复杂。20 世纪 60~90 年代火电厂燃料成本便宜，二次再热技术由于其效率提高带来燃料耗量降低的优势不足以抵消投资成本的增加。因此，世界上大多数二次再热机组都在 20 世纪六七十年代投运，八九十年代投运的二次再热机组明显减少，21 世纪内除中国外再没有二次再热机组建造和投运。据不完全统计（见表 0-1），全世界至少有 52 台二次再热超临界机组投入运行，其中德国共投运 11 台二次再热超临界机组，美国共投运 23 台二次再热超临界机组，日本共投运 13 台二次再热超临界机组，丹麦投运 2 台二次再热超超临界机组。其中，丹麦的 Nordjylland 电厂 3 号机组采用二次再热、深海水冷却等技术，是当时世界上机组效率（发电效率 47%）最高的燃煤发电机组。从投产机组参数分析，二次再热机组基本不采用亚临界机组，绝大多数是超临界机组，二次再热技术更适用于主蒸汽压力达到 27MPa 以上的超超临界机组。

目前国内随着燃料成本及环保压力的不断上升，二次再热技术重新得到关注。东方电气集团、哈尔滨电气集团、上海电气集团三大火电设备制造商均有在建二次再热机组项目，已投产二次再热机组 6 台，目前已有 9 个电厂、18 台机组在建。

国内已投产的二次再热机组 6 台中，1000MW 超超临界机组 4 台，660MW 超超临界机组 2 台。包括：华能安源电厂 1 号、2 号 660MW 超超临界二次再热机组，采用了哈尔滨电气集团制造的锅炉，东方电气集团制造的汽轮机和发电机；国电泰州发电公司二期 3 号、4 号

表 0-1 世界上投运的二次再热超（超）临界机组

机组	出力 (MW)	蒸汽参数		投运时间
		压力 (MPa)	温度 (℃)	
德国许尔斯化工厂Ⅱ电厂1号	88	31	600/565/565	1956
德国弗兰肯电厂	100	28.5	525/535/535	1960
德国汉堡电厂	150	28.5	545/545/545	1962
德国格贝尔斯多尔夫Ⅱ电厂	100	25	520/530/530	1962
德国曼海姆电厂5、6号	200	27.5	530/540/530	1968
德国魏德尔电厂4号	180	25	540/540/540	1965
德国弗兰肯Ⅱ电厂1、2号	220	28.5	535/545/545	1967
德国曼海姆电厂7号	475	24.5	530/540/540	1984
美国布里德电厂1号	500	25.0	565/565/565	1960
美国爱迪斯顿电厂2号	325	24.5	565/565/565	1960
美国赫德森电厂1号	420	25.0	538/552/565	1964
美国丹纳司河电厂4号	600	25.0	538/552/565	1964
美国查克岬电厂1、2号	355	25.0	538/565/538	1965
美国瓦加纳电厂3号	315	25.0	538/538/538	1966
美国卡丁奴尔电厂1号	620	25.0	538/552/565	1966
美国海恩斯电厂5、6号	330	25.0	538/552/565	1967
美国穆金古姆河电厂6号	615	24.6	538/552/566	1968
美国赫德森电厂3号	620	25.0	538/552/566	1968
美国布拉通岬电厂6号	650	24.6	538/552/566	1969
美国大赛迪电厂2号	835	26.0	543/552/566	1969
美国美国电气电厂	800	24.6	538/552/566	1970
美国密苏利电厂1、2号	835	26.0	543/552/566	1970
美国约翰·爱蒙斯电厂1、2号	835	26.0	543/552/566	1971
日本海南电厂1、2号	450	25.5	543/554/568	1970
日本高砂电厂1、2号	450	25.5	541/554/568	1971
日本海南电厂3、4号	600	24.6	538/554/568	1972
日本新官津电厂1、2号	450	24.6	538/552/566	1973
日本姬路第二电厂5、6号	600	24.6	538/552/566	1973
日本川越（Kawagoe）电厂1、2号	700	31.0	566/566/566	1989
丹麦 Skærbæk 电厂3号	415	29.0	582/582/582	1997
丹麦 Nordjylland 电厂3号	385	29.0	582/582/582	1998
中国华能安源电厂1、2号	660	29.2	600℃/620℃/620℃	2015
中国国电泰州电厂3、4号	1000	30.0	600℃/610℃/610℃	2015
中国华能莱芜电厂6、7号	1000	30.0	600℃/620℃/620℃	2016

1000MW 超超临界二次再热机组，选用上海电气集团生产的塔式锅炉、汽轮机和发电机；华能莱芜发电公司 6 号、7 号 1000MW 超超临界二次再热机组，选用哈尔滨电气集团制造的塔式锅炉，上海电气集团生产的汽轮机和发电机。

目前，国内百万超超临界一次再热机组纯凝工况供电煤耗率的先进水平约 272g/(kW·h)。从设计指标看，超超临界二次再热机组的设计指标已全面超过一次再热机组。同等级的百万超超临界机组中，二次再热机组设计供电煤耗率比一次再热先进机组降低约 6g/(kW·h)，设计发电效率比常规一次再热机组超过 2 个百分点；性能试验结果表明，超超临界二次再热百万机组性能试验供电煤耗率比常规一次再热百万机组低约 8g/(kW·h)。根据 2016 年机组运行统计，国电泰州二次再热 1000MW 机组运行供电煤耗 272.0g/(kW·h)；华能莱芜二次再热 1000MW 机组运行供电煤耗 271.2g/(kW·h)；华能安源二次再热 660MW 机组运行供电煤耗 282.8g/(kW·h)。二次再热机组运行供电煤耗率比同型一次再热机组平均值降低约 10g/(kW·h)，充分说明了超超临界二次再热机组性能的先进性。

第一节 超临界一次再热机组的发展状况

为进一步降低能耗和减少污染物排放，改善环境，在材料工业发展的支持下，各国的超（超）临界机组都在朝着更高参数的技术方向发展。

一、美国大容量超（超）临界发电机组的发展现状

20 世纪 90 年代以来，美国高效火电机组的发展较为缓慢。现在美国没有任何投运的超过 600℃ 的超超临界机组，唯一的 AEP Turk 电厂 25MPa/601℃/610℃ 超超临界机组正在建造。目前美国拥有 9 台世界上单机容量最大的 1300MW 超临界双轴机组，见表 0-2。这些机组均为 20 世纪 70~90 年代初投入运行的，虽然机组容量为目前世界最大，但是技术水平与目前世界先进的高效火电水平有较大差距。

表 0-2 美国现役单机容量最大的 1300MW 超临界双轴机组

电站	锅炉制造商	锅炉蒸发量 (t/h)	汽轮机 制造商	运行方式	主蒸汽压力 (MPa)	主/再热蒸汽 温度 (℃)	投运时间 (年)
坎伯兰郡 1 号	B&W	4535	ABB	定压	24.2	538/538	1972
坎伯兰郡 2 号		4535					1973
阿莫斯 3 号		4433					1973. 10
加文 1 号		4433					1974
加文 2 号		4433					1975
登山者 1 号		4433					1980. 9
罗克波特 1 号		4433					1984
罗克波特 2 号		4433					1989
齐默		4433			25.4		1991. 03

美国发电机组的技术发展重点在于燃煤电厂燃料利用率和环境指数的提高。1999 年美国能源部（DOE）提出了火电新技术发展的 Vision21 计划。Vision21 计划包括目前正在发展的低污染燃烧技术，煤气化技术，高效率炉膛和换热器技术，先进燃气轮机，燃料合成技

术，超临界和系统合成技术。Vision 21 计划的目标见表 0-3。

表 0-3 Vision 21 计划的目标

项目	内容
效率	煤炭作为基本燃料的机组效率为 55%~60%（HHV）；天然气作为基本燃料的机组效率为 75%（LHV）
效率	热/电联产的效率为 85%以上
燃料利用率	从煤炭中生产氢气或液态燃料的电站燃料利用率为 75%
环境影响	氮、硫氧化物，微粒的排放接近于零；二氧化碳的排放减少 40%~50%，如果配备碳捕捉装置的话，二氧化碳的排放为零

二、欧洲大容量超超临界发电机组的发展现状

2011 年以前，欧洲投运的容量 1000MW 以上的超超临界机组为 NIEDERAUSSEM-#K 机组，机组容量 1025MW，主蒸汽压力 26.5MPa，主/再热蒸汽温度 576℃/599℃，此机组为德国实施火电优化设计计划（简称“BoA”计划）第一期的依托工程。

在总结吸收 NIEDERAUSSEM-K 号机组的经验基础上，进行了进一步的改进和优化，第二期“BoA”计划的依托工程为 Neurath-F、G 号机组，容量增加到 1100MW，主蒸汽和再热蒸汽参数提高到 600℃和 605℃，电厂供电效率达到 43%，更低的污染物排放。同时，新建机组开始实施在现有材料基础上，主蒸汽压力进一步提高，再热蒸汽温度提升到 620℃的方案。

另外，丹麦的 Nordjylland 电厂 3 号机组虽然机组容量不大，但是采用了二次再热，深海水冷却等技术，是目前世界上机组效率最高的燃煤电厂之一。

据不完全统计 2005 年后欧洲开工建设的 1000MW 以上机组有 7 台，其中，3 台机组的再热汽温提高为 619℃，1 台机组的再热汽温提高为 620℃，见表 1-5。目前日本已经投运一台 600℃/620℃等级的机组（新矶子 2 号机组），德国和意大利也正在建设以 600℃/620℃等级为主（见表 0-4）的超超临界机组。其中，德国的 Datteln 4 号于 2011 年投运，容量为 1100MW。

表 0-4 国外正在建设的 1000MW 及以上超超临界机组

电厂与机组	锅炉供应商	汽机供应商	所属公司	投运时间	参数
					MW/MPa/℃/℃
橘湾 1 号	石川岛	东芝	J-Power	2001. 7	1050/25/600/610
橘湾 2 号	BHK 日立	三菱	J-Power	2001	1050/25/600/610
新矶子 1 号	石川岛		J-Power	2002. 4	600/24. 1/600/610
新矶子 2 号	石川岛	日立	J-Power	2009. 7	600/25/600/620
Torre Nord 2/3/4（意）	Hitachi；Ansaldo	MHI	ENEL	2009. 3 2009. 9 2010. 1	660/... /600/610
Westfalen			RWE		800/... /600/610
Ensdorf			RWE		800/... /600/620

续表

电厂与机组	锅炉供应商	汽机供应商	所属公司	投运时间	参数
					MW/MPa/℃/℃
Walsum 10		Hitachi	Steag	2010	750/29.0/600/620
Herne			Steag		750/... /600/620
Boxberg R		Hitachi	Vattenfall	2010	670/31.5/600/610
Moorburg A/B			Vattenfall		820/30.5/600/610
RDK 8	ALSTOM		EnBW	2011	912/27.5/600/620
Datteln 4 号			(1100MW)	2011	1100/27.5/600/620
Wilhelmshaven			E. ON	~2017	550/35/700/720

三、国内的发展状况

我国超超临界技术的应用起步较晚，但发展速度迅猛。据不完全统计，至 2016 年底全国已建成投产的机组多达 96 台。中国已是世界上 1000MW 超超临界机组发展最快、数量最多、容量最大和运行性能最先进的国家之一。

我国东方电气集团、哈电集团现有超超临界机组汽轮机进口参数为 25MPa、600℃/600℃，相应锅炉的设计参数为 26.25MPa、605/603℃。上海电气集团超超临界机组汽轮机进口参数选用 26.25~27MPa、600℃/600℃ 的方案，相配套的锅炉其主蒸汽压力为 27.5~28.35MPa。国产 1000MW 超超临界锅炉和汽轮机数据见表 0-5 和表 0-6。1000MW 超超临界机组投产统计见表 0-7 和表 0-8（按省）。

表 0-5 国内制造的 1000MW 超超临界锅炉的炉型

项目	哈锅	上锅		东锅、北京巴威
锅炉炉型	Π 型	Π 型	塔式炉	Π 型炉
燃烧方式	单炉膛八角切圆燃烧	单炉膛八角切圆燃烧	单炉膛四角切圆燃烧	单炉膛前后墙对冲燃烧
技术来源	CE-MHI	ALSTOM (CE)	ALSTOM (EVT)	Babcock

表 0-6 国内制造的 1000MW 超超临界汽轮机参数

项目	哈尔滨汽轮机厂	上海汽轮机厂	东方汽轮机厂
进汽参数	25MPa，600℃/600℃	26.25~27MPa，600℃/600℃	25MPa，600℃/600℃
型式	冲动式，四缸四排汽	反动式，四缸四排汽	冲动式，四缸四排汽
转子支承方式	双支承（共 8 个）	N+1 支承（共 5 个）	双支承（共 8 个）
技术支持/技术来源	日本东芝	德国西门子/西门子“HMN”型	日本日立/GE 技术

表 0-7 1000MW 超超临界机组投产统计

投产时间（年）	投产机组（台）	累计（台）
2006	3	3
2007	4	7

续表

投产时间（年）	投产机组（台）	累计（台）
2008	4	11
2009	9	20
2010	13	33
2011	13	46
2012	12	58
2013	5	63
2014	7	70
2015	12	82（截至2015年09月18日）

表 0-8 1000MW 超超临界机组投产统计（按省）

省（市、区）	投产台数	省（市、区）	投产台数
江苏	17	天津	2
浙江	15	辽宁	2
广东	14	宁夏	2
河南	6	广西	2
上海	4	福建	2
山东	4	新疆	2
安徽	5	重庆	2
湖北	3	合计	82

目前，1000MW 超超临界机组的最高发电效率达到 45%，处于世界先进水平之列。此外，还有一批机组正在建设之中。

第二节 二次再热机组发展状况

根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》（以下简称《纲要》），在提高发电机组的效率，降低大型火电机组污染物的排放量方面，还有巨大的空间，在 700℃ 高效发电技术目前还不能实际应用的前提下，采用在业已成熟的二次再热技术是最佳的选择之一。

通常为了提高大型发电机组循环热效率，广泛采用中间再热循环。从锅炉过热器出来的主蒸汽在汽轮机高压缸做功后，送到再热器中再加热以提高温度，然后送入汽轮机中压缸继续膨胀做功，称为一次中间再热循环，可相对提高循环效率 4%~5%。在中压缸后再次将排汽送回锅炉加热，称为两次中间再热循环，可再相对提高循环效率 2%~3%。增加再热循环可以提高循环效率，但在提高热效率提高的同时，也会带来系统设计的复杂性，使投资增加，运行复杂。因此，在国内目前运行的机组实际再热次数很少超过两次。

世界第一台二次再热的机组于 1957 年在美国投产，而中国的第一台二次再热机组来自华能集团江西安源电厂，于 2015 年 6 月 27 日建成投产。三个月后即 2015 年 9 月 25 日 17 时 58 分国电泰州电厂二期工程 3 号机组通过 168h 连续满负荷试运行，国电集团建成投产世界首台百万千瓦超超临界二次再热燃煤发电机组。

国外关于二次再热技术的研究总体上来讲起步比国内的要早很多，最早大概在 20 世纪 40 年代。而涵盖的机型也是五花八门，机组容量从 125MW 到 700MW 均有涉及，且燃煤、燃油及燃汽机组均有投运。

美国是最早发展超超临界二次再热火电机组的国家之一，早在 1957 年美国 Philo 电厂就投运了第一台超超临界二次再热机组，容量为 125MW，进汽参数为 31MPa/621℃/566℃/566℃。1959 年，Eddystone 电厂 1 号机投产，机组容量为 325MW，蒸汽压力为 34.3MPa，蒸汽温度为 649℃/565℃/565℃。还有容量为 580MW 的机组，蒸汽参数为 24.1MPa/538℃/552℃/566℃的 Tanners Creek 电厂。投运的二次再热机组的总台数约 25 台。

日本最典型的二次再热机组是川越电厂运行的两台 700MW 的超超临界机组和姬路电厂投运的一台 600MW 的超临界机组，其蒸汽参数分别为 32.9MPa/571℃/569℃/569℃、25.5MPa/541℃/554℃/548℃。投运的二次再热机组的总台数约为 11 台。

1979 年德国曼海姆电厂 7 号机投运了一台蒸汽参数为 25.5MPa/530℃/540℃/530℃的二次再热机组。供电和供热容量均为 465MW。截至 2015 年 6 月，丹麦的二次再热发电技术是最世界上最先进的，其 Nordjylland 电厂机组净发电效率为 47%。蒸汽参数为 29.0MPa/582℃/580℃/580℃，循环水来自大西洋的低温海水，是效率高的原因之一。另外，还有 Skaerbaek 电厂机组的蒸汽参数与此基本一致。

虽然国际上大多数二次再热机组都在 20 世纪六七十年代投运，八九十年代投运的二次再热机组明显减少，但是由于二次再热机组比相同条件下的一次再热机组热效率将提高 2% 左右，随着燃料成本及环保压力的不断上升，国际上又重新开始对二次再热机组的研发。目前，我国和世界发达国家正在开发的二次再热机组技术不是 20 世纪技术的翻版，而是在机组参数、机组容量、系统优化等方面都有了很大的突破。

在现有成熟材料技术的基础上，采用二次再热技术并进行针对性地热力系统的优化将能使火电机组的效率得到大幅度提高，同时进一步提高机组的参数和容量，建设二次再热超超临界大容量机组，可以在目前 600℃ 等级一次再热超超临界机组基础上大幅度将发电热效率提高约 2 个百分点，同时大幅度降低温室气体和污染物排放。

目前国内东方电气集团、哈尔滨电气集团、上海电气集团这三大火电设备制造商均有在建二次再热超超临界大容量机组项目。

表 0-8 中列举了中国国内自 2015 年 6 月以来陆续投产的二次再热机组，共六台。自此，中国掀起了二次再热机组的建设热潮。

表 0-8 国内近一年投产的二次再热机组情况

机组	投产日期	等级 (MW)	项目业主	设备厂商
江西安源电厂 1 号机	2015 年 6 月 27	660	华能	哈尔滨锅炉厂、东方汽轮机厂、东方电机厂
江西安源电厂 2 号机	2015 年 8 月 24	660	华能	哈尔滨锅炉厂、东方汽轮机厂、东方电机厂

续表

机组	投产日期	等级 (MW)	项目业主	设备厂商
江苏泰州电厂 3 号机	2015 年 9 月 25	1000	国电	上海电气
江苏泰州电厂 4 号机	2016 年 1 月 13	1000	国电	上海电气
山东莱芜电厂 6 号机	2015 年 12 月 23	1000	华能	哈尔滨锅炉厂、上海汽轮机厂、上海电机厂
山东莱芜电厂 7 号机	2016 年 11 月 28	1000	华能	哈尔滨锅炉厂、上海汽轮机厂、上海电机厂

国内已经进行招投标而仍然在建的二次再热电厂或机组有：广东大唐国际雷州电厂 2 台 1000MW 机组工程、华电集团句容发电厂 2 台 1000MW 机组工程、江西赣能丰城发电厂三期 2 台 1000MW 机组工程、神华国华集团广西北海电厂 2 台 1000MW 机组工程、华电集团莱州电厂 2 台 1000MW 机组工程、广东粤电惠来发电厂 2 台 1000MW 机组工程、深圳能源集团河源发电厂 2 台 1000MW 机组工程、国电蚌埠发电厂 2 台 660MW 机组工程、国电宿迁发电厂 2 台 660MW 机组工程，共 9 大电厂，18 台机组。如果包含已经建成的，将共有 12 个电厂，24 台机组。

第一篇

锅 炉 篇

