

基于1 000 MW级超超临界燃煤机组利用中调门参调方式提高工业供热能力的技术研究与应用

文/姜建强 王 勇
国能寿光发电有限责任公司

摘要：寿光电厂一期工程建设2×1 010 MW超超临界湿冷机组，于2016年11月底通过168 h试运行，实现双投。后续通过技术改造实现了对外供汽和供热，但随着先进制造业园区、临港工业园、滨海高新区园等寿光电厂周边工业园区的发展，热用户蒸汽需求不断上升，对热源的数量和稳定性提出了更高要求，而且供汽压力也满足不了上游客户多样化的需求，有必要通过供汽增容改造提高供汽能力，为产业发展赋能助力。

关键词：1 000 MW级；超超临界；供汽能力；中调门；供汽参数；效益

寿光电厂一期（2×1 000 MW级）工程建设2×1 010 MW超超临界湿冷机组，1[#]机组于2016年7月底通过168 h试运行，2[#]机组于2016年11月底通过168 h试运行。锅炉为东方电气集团东方锅炉股份有限公司生产的超超临界参数变压直流炉、一次再热、平衡通风、半露天布置、固态排渣、全钢构架和全悬吊结构Ⅱ型锅炉。汽轮机为上海电气集团股份有限公司生产的超超临界、一次中间再热、四缸四排汽、单轴、双背压和凝汽式汽轮机。汽轮机具有九级非调整回热抽汽，给水泵汽轮机排汽进入主机凝汽器。

《寿光市热电联产规划（2017—2030）》提出，羊口镇重点联动潍坊市、东营市、烟台市共同打造环莱州湾产业基地，打造突破既有发展路径、实现产业多元化的新经济平台。随着先进制造业园区、临港工业园、滨海高新区园等寿光电厂周边工业园区的发展，热用户蒸汽需求不断上升，对热源的数量和稳定性提出了更高要求。羊口镇政府从长远发展的战略考虑，对国能寿光电厂的供汽能力提出了更高要求，以满足周边工业园区的发展需要，

并达到各利益相关方共赢互惠发展的目的。羊口镇和广饶区域现阶段所需供汽量约为312.7 t/h，近期（2022年）用汽需求量约为1 017 t/h。折算到热源出口，滨海区现阶段所需供汽量约为804.4 t/h，2030年用汽需求量预测共约为989.9 t/h。国能寿光电厂一期供汽改造完成后，供汽能力仅为150 t/h（单台机组），而且供汽压力也满足不了上游客户多样化的需求，有必要通过供汽增容改造提高供汽能力，为产业发展赋能助力。本次研究主要是在满足附近工业用户用汽的基础上，在1 000 MW机组对外供汽能量梯级利用技术上开展研究与应用。

主要内容

目前机组供给的中压工业供汽在负荷400 MW以上才能满足基本要求。2022年以后羊口镇工业供汽用量持续增加，目前寿光电厂工业供汽量已无法满足羊口镇用户需求，存在压力和流量不满足企业要求的问题，机组工业供汽增容改造后，可解决流量不够的问题。依据锅炉厂计算分析，冷段额定

抽汽量为75 t/h，最大抽汽量不超过100 t/h，否则锅炉再热器会超温。前期供热改造工程已经按冷段抽汽75 t/h作为三抽供汽（75 t/h）的备用，电厂出口2.6 MPa(a)，350 ℃。汽轮机各级抽汽同样不具备550 t/h左右的工业供汽能力，因此考虑从再热段进行抽汽，满足工业供汽最大供汽能力需求。

主要特征

寿光电厂汽轮机为超超临界 1 000 MW 等级机组，其中中压主汽门和调门的喉部直径分别为 DN560和DN500。本方法通过中调门阀位开度调整对中调门稳定性、高排压力和高排温度的影响，并进行安全性校核，以此判定在机组运行中对各项安全指标的影响。最终通过采用中压调门调节来保证供汽流量，既能满足机组发电，又可提高再热蒸汽抽汽量。试验结果证明该形式机组供汽能力能达到600 t/h左右。为评估热段抽汽能力，寿光电厂与上海汽轮机厂对该厂1 000 MW级汽轮机开展了热再抽汽供热安全校核工作。根据汽机厂分析，机组再热段通过中压调门调整抽汽。再热系统抽汽压力 ≥ 4 MPa(a)，额定抽汽量为550 t/h，最大抽汽量为600 t/h。按以上条件，汽机厂进行了热力计算，计算了各工况热段调整抽汽状态下热力特性数据，并提供了抽汽工况图作为运行参考。汽机厂报告中也对高压叶片强度、机组轴向推力、高压缸排汽温度、低压缸最小冷却流量、排汽温度和排汽压力限制等进行了安全校核和分析，并进行了中调门调节特性试验。机组安全方面，2020年1月份对寿光电厂两台机组进行中调门不同负荷下的调整试验，结果证明机组供汽能力在600 t/h左右时不会对安全运行产生影响。

两台机组现有对外供应工业蒸汽能力150 t/h，本次重大技改通过对两台机组供汽改造，单台机组对外供工业蒸汽总量达到565 t/h，需改造系统如下。

(1) 热段抽汽系统

机组热段各自引出一路抽汽管道，每台机组设置进口热段抽汽减温器一台。减温器前设置一道气动止回阀、一道液动速关阀、一道电动闸阀及一道暖管电动闸阀，上述阀门均为原装进口。两台热段抽汽减温器出口管道合并为一条母管，送至增设的背压机房内。

(2) 冷段抽汽系统

原冷段抽汽至三抽管道备用管路及设备拆除，原三抽管道备用管路及设备拆除。

(3) 四抽抽汽系统

预留安装再热减温汽源至四抽至小机管道接口及隔离阀，机组启动后继续进行安装。

(4) 汽泵备用蒸汽系统

汽泵备用蒸汽系统蒸汽从热段抽汽减温器后管道上引接，每台机组设置两台减温减压器（一用一备），减温减压器后管道接至汽泵进汽管道，作为汽泵四抽进汽压力无法满足备用蒸汽运行要求。

(5) 鼓泡除氧系统

原1 000 MW主机需改造凝汽器喉部雾化并增设凝汽器鼓泡除氧装置，鼓泡除氧装置汽源来自原1 000 MW机组辅助蒸汽系统。

主要参数

依据工业热负荷调研，电厂周边工业热负荷集中连片布局，且热负荷较大。依据锅炉厂计算分析，冷段额定抽汽量75 t/h，最大抽汽量不超过100 t/h，否则锅炉再热器会超温。前期供热改造工程已经按冷段抽汽75 t/h作为三抽供汽（75 t/h）的备用，电厂出口2.6 MPa(a)，350 ℃。汽轮机各级抽汽同样不具备565 t/h左右的工业供汽能力，因此从再热段进行抽汽，满足工业供汽最大供汽能力需求。

表1

工况/进汽量	进汽量/(t/h)	再热段+再冷段抽汽量/(t/h)	调整抽汽压力/MPa	机组出力/MW
TMCR流量	2 919.5	550	5.70	846.442
100%THA流量	2 736.2	550	5.38	787.977
90%THA流量	2 428.0	550	4.83	685.091
75%THA流量	1 983.3	550	4.02	523.902
60%THA流量	1 561.1	550	3.22	392.39
额定抽汽最小进汽量	1 512.0	550	3.13	350.218
最小进汽量	1 260	389	3.0	380.9

预期市场前景广阔，本次改造按照最大工业供汽能力设计，基本确定对外供汽参数如下：高压工业蒸汽压力2.8 MPa(a)，350 ℃；中压工业蒸汽压力2.0 MPa(a)，330 ℃；低压工业蒸汽压力0.4~0.7 MPa(a)，200 ℃。

技术应用情况与效益

1. 实施效果

项目实施后，国能寿光发电有限责任公司可以统筹管理调度上游热源和服务下游用户，提升工业供热质量。在满足工业供汽能力最大化的前提下，通过对高品质蒸汽的梯级利用，不但可以替代当地低效率、高污染、分散的小型工业供汽锅炉和分散、低效率的小型空压机，而且有利于改善城区环境空气质量，促进当地建设和经济发展，符合国家能源、产业及环保政策。可以满足羊口镇工业用蒸汽和压缩空气的需要，显著提高能源综合利用率和综合效益，同时集中供气还有效减少了对镇区企业生产、生活环境的噪声污染。对发展寿光市经济、增加财政收入、带动当地相关产业的发展和解决劳动力就业等起到积极推动作用。作为羊口镇重要的基础设施，完善的配套可提升招商引资水平，极大地促进区域经济的高速发展，随着企业的增加，可为当地老百姓提供大量的就业机会。同时也会进一步刺激第三产业的繁荣，形成良性循环，为羊口镇及寿光市的发展做出极大的贡献。项目年产蒸汽 $1\,029.53 \times 10^4$ GJ。工业蒸汽按54.456元/GJ计算，为寿光市的财政收入做出积极贡献，同时也有利于企业自身的可持续发展。

2. 经济效益

近几年，全国电力总装机容量明显过剩，火电机组年设备利用小时数明显降低。2018年，全国6 000 kW及以上火力发电厂发电设备利用小时数仅为4 361 h，继续保持在低位水平。目前寿光电厂发电设备利用小时数略高于全国平均值。出于环保考虑，国家层面一直在鼓励燃机、清洁能源多发电上网。这些不利因素都会在未来降低寿光电厂的总发电量，同时降低发电收益。机组对外供汽增容，可降低机组煤耗；同时，增加供汽后，凝结水量、给水量增加，设备在高负荷运行，效率高，提高机组的经济性；也可拓展收入来源，提高收益。经测算，项目投资内部收益率为48.85%（所得税前），大于集团公司标准8%。项目资本金内部收益率41.79%，符合项目实际情况，大于集团公司标准10%。财务评价各项指标符合国家和行业规定，财务评价可行。

3. 社会效益

若寿光电厂不进行此次供汽增容改造，而周边

工业园区新增热用户无其他合适热源可供选择，则热用户只能自建小锅炉。与寿光电厂1 000 MW级超超临界机组相比，小锅炉燃烧效率低、污染物排放量多。因此，寿光电厂本次供汽增容改造具有良好的环保效益。寿光电厂积极参与地方经济发展、积极服务社会，和羊口镇政府本着“政企联动、互相支持、互利共赢、共同发展”的原则，建立了长效合作机制。本次供汽增容改造是寿光电厂和羊口镇政府在能源领域战略合作的具体表现，更好地发挥了寿光电厂大容量、高参数、低成本和节能环保的社会责任，为政府新型城镇化建设提供清洁可靠的工业蒸汽保障，具有良好的社会效益。

表2

财务评价指标	本项目	集团标准
总投资收益率（%）	66.31	
资本金净利润率（%）	54.33	
项目资本金内部收益率（%）	41.79	10
财务净现值/万元	98 030.91	
投资回收期/年	4.47	
投产后第3年EVA值/万元	8 470	>0
投产后第3年资本金净利润率（%）	54.33	>0

结束语

全国电力总装机容量明显过剩，火电机组年设备利用小时数逐年降低，但随着工业化建设进程深入开展，对工业蒸汽的需求大幅增加，有必要通过供汽增容改造提高供汽能力，满足客户多样化的需求，目前国内外无此大容量机组供汽改造案例，此项目完成后可为同类型机组的供汽改造提供借鉴性经验，对提高机组运行安全性和经济性具有十分重要的意义，且具有显著的社会效益、经济效益和市场推广应用前景。EA

参考文献

[1] 任林，徐文，彭文祥．1 000 MW超超临界机组供热改造[J]．能源与节能，2021(12)：94-99．
[2] 邓佳，许朋江，居文平，等．热电联产机组工业供汽优化控制机理研究[J]．热力发电，2022，51(10)：130-137．
[3] 陈健，罗海华，应坚定，等．纯凝机组多汽源工业供汽试验研究[J]．华电技术，2017，39(8)：17-20，77．