

“提升火电灵活性改造” 情况介绍

国核电力规划设计研究院

- 一、外部环境
- 二、措施及政策
- 三、灵活性改造技术
- 四、集团试点项目简介
- 五、热水罐设计工作进展

一 外部环境

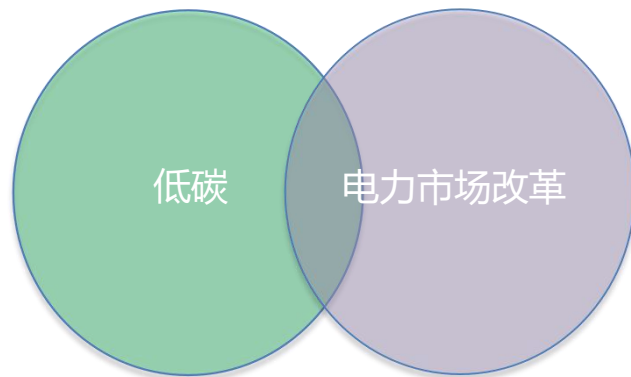
中国能源发展的两个趋势：

1. 低碳战略和目标

中国CO₂排放于2030年达到峰值，单位GDP排放比2005年下降60%-65%。9月3日中国递交《巴黎协定》批准文书。大力发展可再生能源和清洁能源是趋势。

2. 电力市场化改革

9号文等。



一 外部环境

2015年底，我国风电和太阳能发电装机规模分别达到1.45亿千瓦、4300万千瓦，均居世界第一位，可再生能源总发电量也位居世界第一。

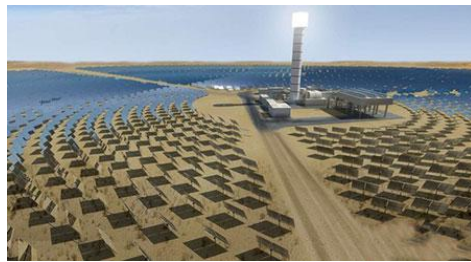
“十三五”电力规划即将出台：到2020年，力争风力发电达到2.5亿千瓦，力争光伏发电达到1.5亿千瓦，光热发电达到500万千瓦。



1.45亿 → 2.5亿



4300万 → 1.5亿



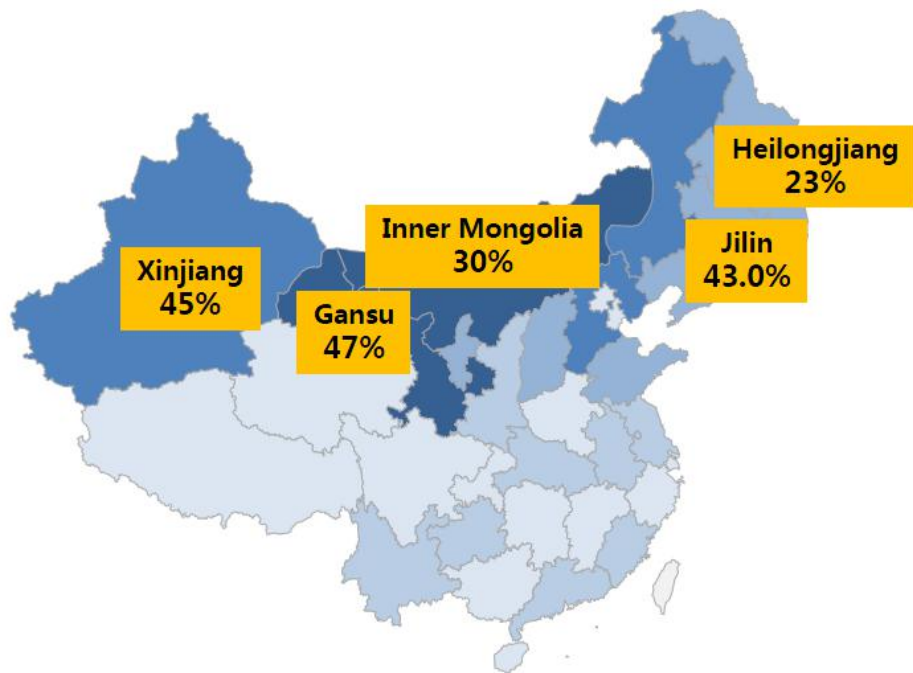
500万

一 外部环境

十二五期间，全国累计弃风电量超过900亿kWh，2016年上半年全国弃风率为21%，同比增加6个百分点，弃风总量323亿kWh。三北地区七个省区达到或者接近20%，新疆和甘肃甚至达到了47%和45%。

采暖期尤其严重：

2016年1-3月份，内蒙弃风35%；黑龙江弃风36%；吉林弃风53%；辽宁弃风40%。

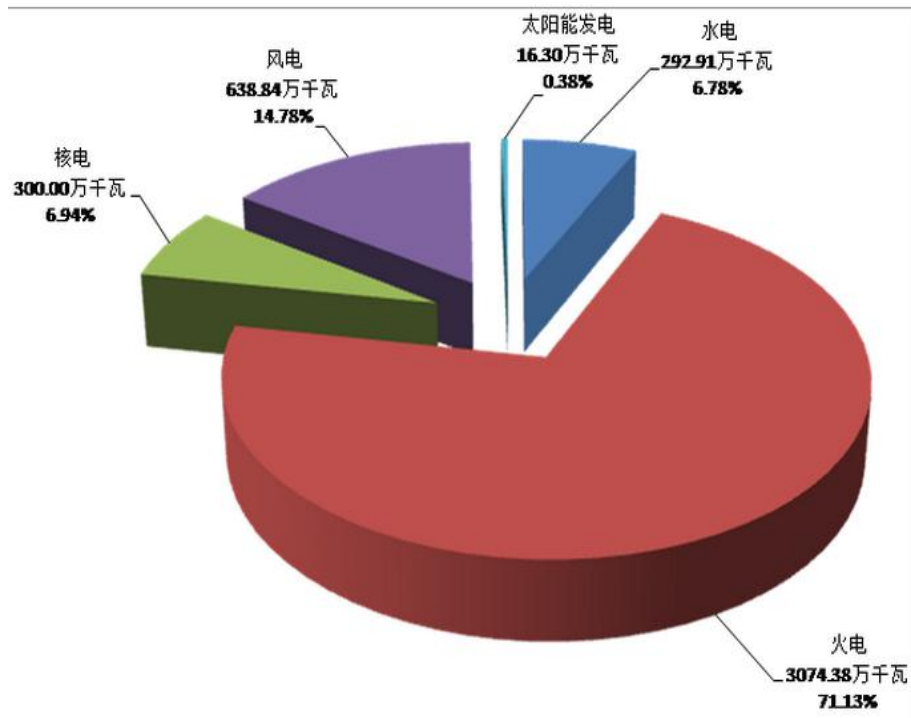


一 外部环境

电力构成：

以辽宁省为例，发电装机总量为4322万千瓦，其中：水电、火电、风电、核电和太阳能的装机分别为293万千瓦、3074万千瓦、639万千瓦、300万千瓦和16万千瓦，分别占总装机的6.8%、71.1%、14.8%、6.9%和0.4%。

采暖期的1-3月弃风为14.4 亿千瓦时，
弃风率40%，利用小时数347小时。



二 措施及政策

我国“三北”地区，由于燃煤热电比例高，冬季供暖期调峰困难，弃风问题严重。国家层面采取措施之一：“三北”地区主力供热火电机组，通过灵活性改造提升电力系统调节能力，促进可再生能源的消纳。

2016年6月28日，国家能源局确定灵活性改造第一批16个示范试点项目。

国家电投4个厂：本溪发电公司、东方发电公司、燕山湖发电公司和白城发电厂；

2016.07.28，国家能源局确定第二批6个试点：

国家电投1个厂：通辽第二发电有限公司

二 措施及政策

2016年出台了一系列政策促进三北地区风电消纳，其中与灵活性有关的有：

(1)国家能源局《关于做好“三北”地区可再生能源消纳工作的通知》国能监管[2016]39号

做好风电等可再生能源清洁供暖工作/研究利用冬季夜间风电替代燃煤锅炉进行清洁供暖;

鼓励热电联产机组通过增加蓄热装置以及其它途径提高负荷调节能力。

二 措施及政策

(2)国家发改委、能源局《可再生能源调峰机组有限发电试行办法

对热电机组安装在线监测系统，加快储热、热电解耦等技术改造，争取提升热电机组调峰能力10~20%。

国家电投火电部后续编写了落实《可再生能源调峰机组优先发电试行办法》的专项行动措施。

二 措施及政策

(3) 国家能源局东北监管局修订了《东北电力辅助服务市场运营规则（征求意见稿）》：

鼓励供热电厂（也可引进第三方）投资建设储能调峰设施，同等条件下优先调用其调峰资源；采暖期热电机组的有偿调峰基准负荷率为52%；储能调峰设施不影响机组最小运行方式核定，不影响机组上网电量合同执行。

时期	报价档位	火电厂类型	火电厂负荷率	报价下限(元/kWh)	报价上限(元/kWh)
非供热期	第一档	纯凝火电机组	40% < 负荷率 ≤ 50%	0	0.4
		热电机组	40% < 负荷率 ≤ 48%		
	第二档	全部火电机组	负荷率 ≤ 40%	0.4	1
供热期	第一档	纯凝火电机组	40% < 负荷率 ≤ 50%	0	0.4
		热电机组	40% < 负荷率 ≤ 52%		
	第二档	全部火电机组	负荷率 ≤ 40%	0.4	1

二 措施及政策

(4) 国家发展改革委办公厅《关于同意甘肃省、内蒙古自治区、吉林省开展可再生能源就近消纳试点方案的复函》，吉林方案：

鼓励燃煤火电企业，特别是热电联产企业建设蓄热式电锅炉，提高热电联产供热机组的自调节能力和供热能力，提高电网调峰能力，为可再生能源发电让出空间。通过进一步优化调峰补偿机制，实现利益转移。鼓励可再生能源富集区的供热企业在供热一次管网上建设电锅炉，支持低价弃风电量通过直接交易方式直供电锅炉，实现电锅炉与就近风电场的打捆调度，一次管网的原有热源为电锅炉进行调峰。

三 灵活性改造技术

我国目前开展的灵活性改造，主要是学习丹麦的做法。丹麦情况：

2015年风电发电量占用电量的42%；基本实现零弃风，弃风率小于1%。

丹麦政府计划到2020年，风电装机容量将超过火电，风电将提供50%的能源；到2050年，将彻底弃用化石燃料，全部采用可再生能源。

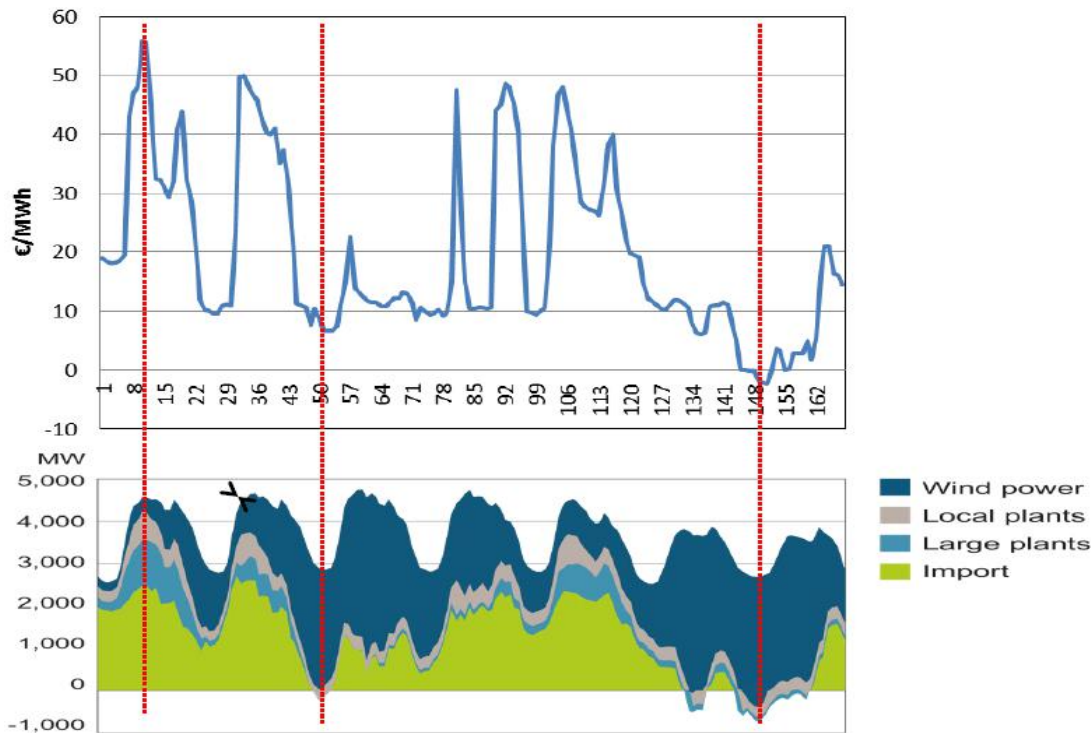
装机情况为：大型集中发电厂（化石燃料电厂）20座，装机4300MW；小型分散发电厂（多为生物质垃圾电厂）650座，装机2500MW；风电机组5000多台，总装机5100MW；光伏装机600MW。

电网情况为：通过132kV及以上的电网与欧洲邻国互连，互连电网总传输能力为5730MW，对应的现有电源总容量为6036MW。

三 灵活性改造技术

丹麦电力市场机制特点:

- 1) 电量及电价预测;
- 2) 电价波动范围大;
- 3) 火电风电同价, 风电价格和补贴分离;
- 4) 火电负荷波动大且频繁。
- 5) 邻国电力互联。



丹麦一周电负荷及电价---引自丹麦电力公司材料

三 灵活性改造技术

- 可再生能源装机比例高；
- 与周边国家建设了全面的输电电网；
- 完善的电力市场的交易机制；



➤ 电厂灵活性运行，以便获得效益最大化



- 降低最小运行负荷；
- 减小启动时间；
- 增强机组的负荷变化速度；
- 供热机组热电的热电解耦；
- 燃料灵活性-生物质或垃圾掺烧。

三 灵活性改造技术

我国与丹麦的区别：

- 1) 风电装机比例小，尽管增速很快，长时间内依然是火电装机占主要地位。
- 2) 电网内电源点多，电网互联性差。
- 3) 调度方式和电力市场机制不同。

供热机组灵活性改造的建议顺序：

- 1) 热电解耦，增加调峰时间，为将来现货交易做功能储备；
- 2) 降低最小运行负荷；
- 3) 减少启动时间和负荷爬升率；

三 灵活性改造技术

1. 蓄热水罐

蓄热水罐方案主要是在保证机组日间高负荷发电，保证正常供暖基础上，增加抽汽的量，额外加热一部分热网循环水，并从供水侧引出至蓄热水罐中储存。在夜间社会用电量低谷阶段，机组参与进行深度调峰，同时将蓄热水罐中的热水直接输送至热网供水母管中供热，以避免调峰期间采暖抽汽不足的问题。

优点：投资小，能源利用合理，可以实现热电解耦。

缺点：无法长时间连续、深度调峰，建设工期长。

三 灵活性改造技术

1. 蓄热水罐

蓄热水罐方案主要是在保证机组日间高负荷发电，保证正常供暖基础上，增加抽汽的量，额外加热一部分热网循环水，并从供水侧引出至蓄热水罐中储存。在夜间社会用电量低谷阶段，机组参与进行深度调峰，同时将蓄热水罐中的热水直接输送至热网供水母管中供热，以避免调峰期间采暖抽汽不足的问题。

优点：投资小，能源利用合理，可以实现热电解耦。

缺点：无法长时间连续、深度调峰，建设工期长。

三 灵活性改造技术

2. 高参数抽汽

汽轮发电机组根据电网的要求实现深度调峰时，供热抽汽不足，锅炉高参数抽汽（再热热段或冷段）经过减温减压后进行供热系统。不足的供热负荷由锅炉抽汽提供。这种方式利用了高参数蒸汽，效率较低。相当于一定的低负荷下锅炉多投燃料，多提供部分蒸汽用于供暖，所以锅炉负荷相对较高，稳燃较好，排烟温度也较高，对脱硝运行有利。

优点：投资较小，施工进度快。

缺点：无法实现热电及解耦，能源利用效率低。

三 灵活性改造技术

3. 电锅炉

在供热电厂出口内建设电锅炉，利用厂用电在夜晚社会用电负荷低谷、供暖高峰阶段，降低机组负荷，消耗部分厂用电通过电锅炉产生热水，再通过水-水换热器加热热网回水或直接将热水补充进入热网，在社会用电负荷较低时把负荷让给可再生能源和清洁能源（风电，核电等），还可以弥补机组夜晚低负荷运行而带来的用于供热抽汽不足带来的供热能力不足的问题。由于电锅炉只在夜晚运行，且机组白天通常是高负荷运行，可以保证白天供热的抽气量要求，因此电锅炉方案不需设置蓄热装置。

优点：施工进度快，负荷响应快，可以长时间不间断调峰。

缺点：投资高，能源利用效率低。

三 灵活性改造技术

技术方案建议：

- 建议采用蓄热水罐；
- 供热面积较大，采暖抽汽能力较小时，可以考虑部分高参数抽汽。
- 不建议在发电机出口内设置电锅炉。

四 集团试点项目简介

1. 东方项目

位于辽宁省抚顺市,隶属国家电投东北分公司。

装机容量: 2X350MW; 投产时间: 2005年1月、2005年4月;

主机情况: 机组参数为亚临界, 湿冷。打孔抽汽, 两台可抽汽共725t/h, 可供采暖面积1005万平。现承担635万平的居民供暖。今年将新增398 万平, 总供热面积达到1033万平。

项目进展: 目前已经完成可研报告并完成审查, 根据最新的供暖面积等新的边界条件及规划院的意见进行修改。

四 集团试点项目简介

2. 本溪项目

位于辽宁省本溪市,隶属国家电投东北分公司。

装机容量: 2X350MW; **投产时间:** 在建。

主机情况: 机组参数为超临界, 湿冷。抽凝机组, 单机可抽汽530t/h, 可供采暖面积2115万平。

供暖期: 每年的11月1日至次年的3月31日, 共计151天。

项目进展: 目前已经完成可研报告并准备审查。

四 集团试点项目简介

3. 燕山湖项目

位于辽宁省朝阳市,隶属国家电投东北分公司。

装机容量: 2X600MW; 投产时间: 2011,2012。

主机情况: 机组参数为超临界, 直接空冷。打孔抽汽, 单机可抽汽420t/h, 可供采暖面积1200万平。2号机组正在实施双背压循环水供热节能改造。

项目进展: 实施双背压改造后, 单台机组负荷可以由80%降低至50%。研究后续增设水罐的方案。

四 集团试点项目简介

4. 通辽项目

位于内蒙古通辽市,隶属国家电投蒙东公司。

装机容量: 4X200MW+1X600MW; 5号投产时间: 2011,2012。

主机情况: 5号机组为亚临界, 直接空冷。打孔抽汽+热泵, 最大抽汽量520t/h, 可供采暖面积640万平。实际运行中, 尖峰加热蒸汽来自1-4号机组。

项目进展: 目前正在与业主研究技术方案。

四 集团试点项目简介

东方项目方案：

(1) 采暖期调峰时间：

根据当地用电负荷曲线，23：00至次日6:00是用电负荷低谷时间段，所以本项目将调峰时间定为7小时。

(2) 采暖期调峰负荷：

目前采暖期最小运行方式发电负荷为64~74%，参照国家能源局文件精神：争取提升调峰能力10-20%，并充分电厂实际的锅炉最低稳燃负荷及脱硝投用负荷，确定调峰负荷为40%。

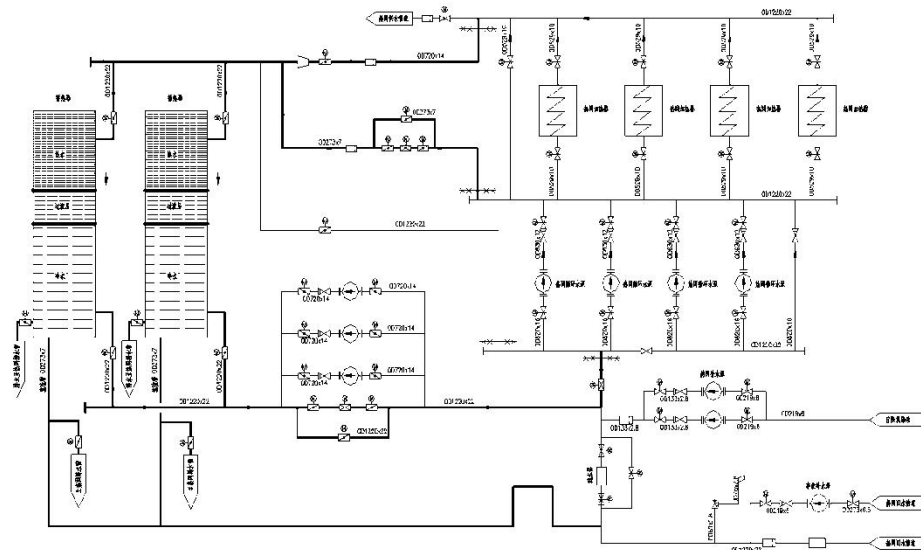
四 集团试点项目简介

(3) 蓄热罐形式:

最冷月份热网供水实际运行平均温度为 84.9°C ，最高温度为 95°C 。采用常压罐。

(4) 蓄热容量:

按平均热负荷计算，设两座储热罐，单台容积20000立方。



四 集团试点项目简介

远期运行方式（1005万平米）：

整个采暖期均按两台机组运行，两台蓄热罐运行。

受机组抽汽能力限制，最冷的1月份调峰（40%负荷）时间平均仅能达到6小时。

受设备容量，最冷月份循环水泵容量不足。

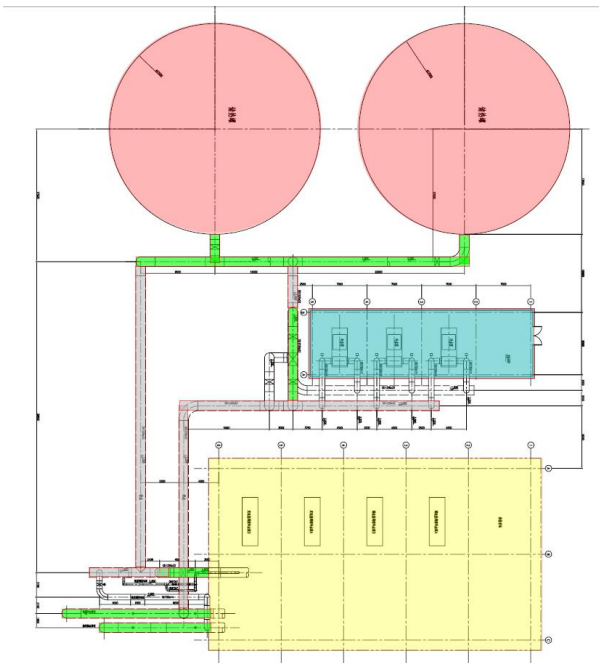
序号	名称	单位	11月	12月	1月	12月	3月
1	用户热负荷	MW	258	321	400	313	180
2	白天供热所需抽汽量	t/h	360	450	570	440	260
3	白天蓄热所需抽汽量	t/h	108	145	191	140	63
4	白天机组总抽汽量	t/h	468	595	761	580	323
5	机组运行台数	个	2	2	2	2	2
6	蓄热罐运行台数	个	2	2	2	2	2

四 集团试点项目简介

燃料耗量：

供暖期间因调峰减少的发电量，
在非采暖期按75%负荷纯凝工况
补发后，日标煤耗量差值
 $252.53 + 341.86 + 1620.1 -$
 $2204.03 = 10.46\text{t}$ ，燃料耗量相差
很小。

项目	单位	纯凝75%负荷	当前 供暖方式	改造后夜间	改造后白天
机组容量	MW	350	350	350	350
机组负荷率	%	75	75	40	75
发电量	MW	262.5	262.5	140	262.5
抽汽量	t/h	0	215	100	280
抽汽压力	MPa	/	0.85	0.36	0.85
抽汽温度	℃	/	340.39	309.83	340.9
主蒸汽流量	t/h	760.75	954	465	990
主蒸汽压力	MPa	16.67	16.67	16.67	16.67
主蒸汽温度	℃	538	538	523.22	538
吸热量	kJ	2092600674	2495452961	1322703824	2589620997
发电汽耗	kJ/kWh	7972	9506	9448	9865
发电煤耗	g/kWh	294.49	349.85	348.84	363.05
日发电量	kWh	857500	6300000	980000	4462500
日标煤耗量	t	252.53	2204.03	341.86	1620.10

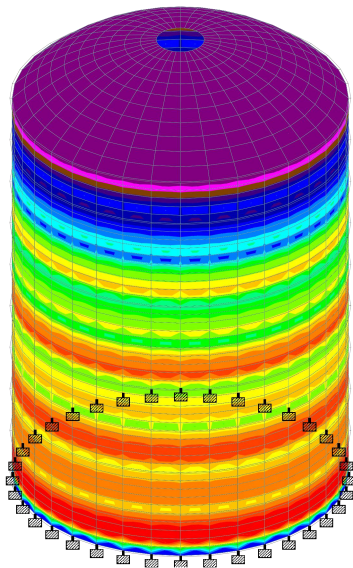


五 热水罐设计工作进展

目前，国内的电力设计院尚无热水罐的设计经验，国家和行业也无专门针对热水罐的设计标准。我院接到设计任务后，立即组织了结构专业的攻关团队，对热水罐结构设计进行系统研究，成果如下：

- 1、确定了设计热水储能罐采用的标准和钢材材质。
- 2、根据国家标准编制了罐壁、基础、顶盖的Excel计算表格，经与相关设计软件进行对比，计算结果可用于热水罐结构设计。
- 3、利用有限元分析模型建立了热水储能罐的整体模型，并对各种荷载工况进行了分析。
- 4、根据初步计算结果，绘制了热水罐的平、立、剖面图。
- 5、编写了初版的《大型热水储能罐设计技术导则》。

五 热水罐设计工作进展



大型热水储能罐设计技术导则 Design technical guidance of hot water energy storage

批...准:

审...核:

校...核:

编...写:

国核电力规划设计研究院

目次

前言	3
1 范围	5
2 规范性引用文件	6
3 术语和定义	7
4 总则	8
4.1 设计条件	8
4.2 设计	8
5 材料	9
5.1 一般规定	9
5.2 钢板	9
5.3 钢管	10
5.4 铸件	11
5.5 螺栓、螺母	11
5.6 结构型钢	11
5.7 焊接材料	11
5.8 覆层材料	12
6 设计	12
6.1 一般规定	12
6.2 罐底设计	14
6.3 罐壁设计	16
6.4 罐顶设计	19
6.5 螺栓	21
6.6 开孔和开孔补强	25
7 预制、组装和焊接	26
7.1 一般规定	26
7.2 焊接	26
7.3 焊接应力热处理	26
8 检查、试验和工程验收	27
8.1 一般规定	27
8.2 气孔限制	27
8.3 无损检测	27
8.4 压力试验	27
9 压力和真空密封装置	28
9.1 密封	28
9.2 压力限制	28

谢谢！
THANK YOU !