



国电华研
GDHY



“煤改电”对电网的影响及典型接线模式

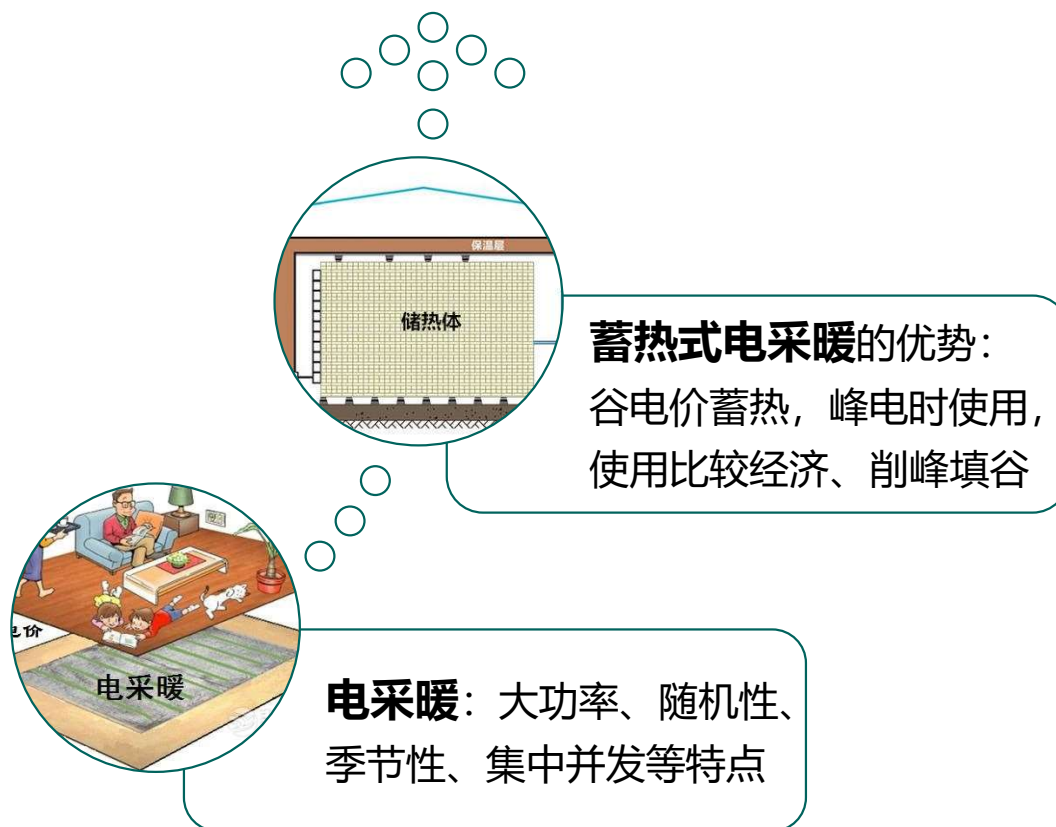
——国电华研公司副总 宋季冬——

清洁供暖发展势头强劲

电采暖是清洁供暖的一种主要方式

电采暖开启采暖的新时代

- 推动能源消费革命
- 落实“双碳”战略
- 实施能源工作指导意见
- 南方地区的采暖市场势头强劲



电网致力更好服务电采暖



能源消费电气化

新型电力系统
“桥梁” “纽带”



能源生产清洁化

电网公司推动以新能源为主体的新型电力系统，发挥电网“桥梁”和“纽带”作用，加快能源生产清洁化、能源消费电气化，“电采暖”等新型负荷的发展有利于新能源的消纳。

目录

CONTENTS

01 电采暖对电网的影响

02 电网适应性互动技术

03 电采暖接网典型模式



国电华研

01

电采暖对电网的影响

电采暖规模化接入对电网的影响



对电网供电能力的影响



对电网供电质量的影响

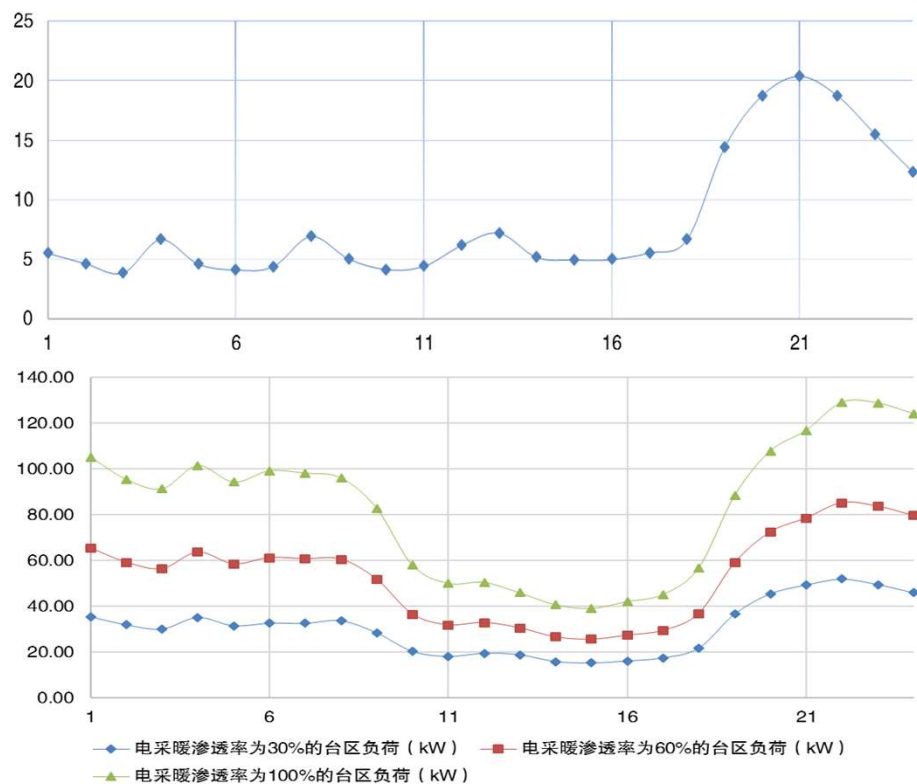


对电网规划建设的影响

对供电能力的影响

电采暖负荷接入对10kV配变供电能力的影响—

案例1：建筑保温性能一般应用空气源热泵采暖的C类供电区域典型台区

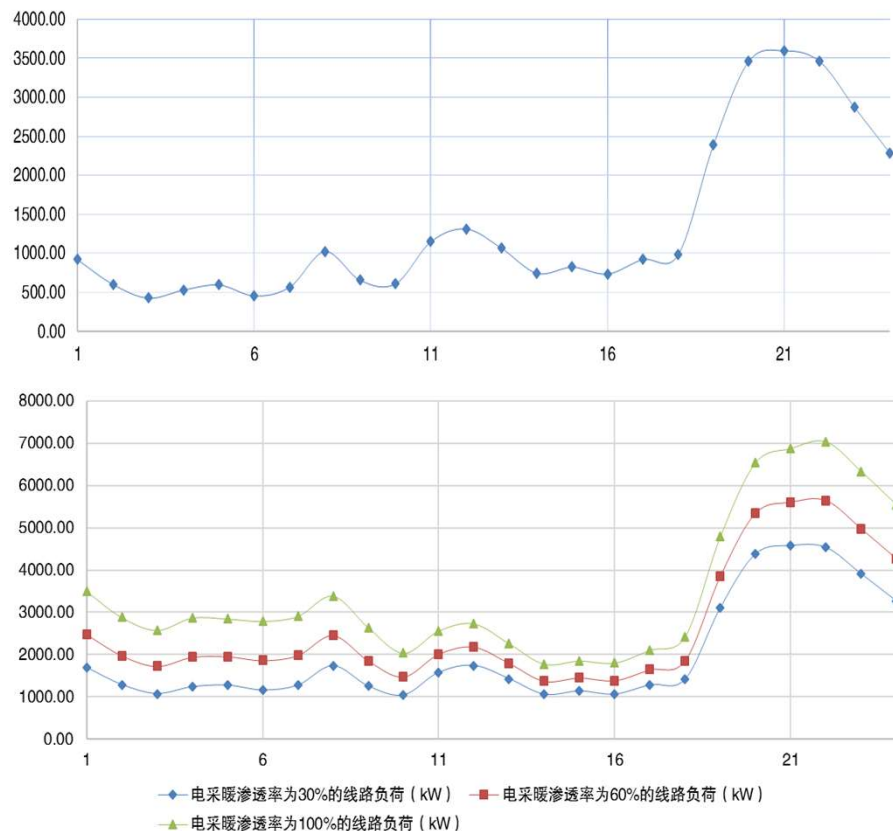


- ❑ 电采暖的渗透率达到30%时，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为58%，在该台区的安全稳定运行范围之内，无需对电网设备进行增容改造；
- ❑ 电采暖的渗透率达到60%时，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为83%，台区虽然已经重载，但短期内不会影响其安全稳定运行，其容量基本能满足新增负荷的需求；
- ❑ 电采暖的渗透率达到100%时，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为125%，台区已经严重过载，如果考虑到居民正常生活负荷的增加，这一影响还会进一步加剧。

对供电能力的影响

电采暖负荷接入对10kV配变供电能力的影响—

案例2：建筑保温性能较好应用蓄热式电暖器的C类供电区域典型台区

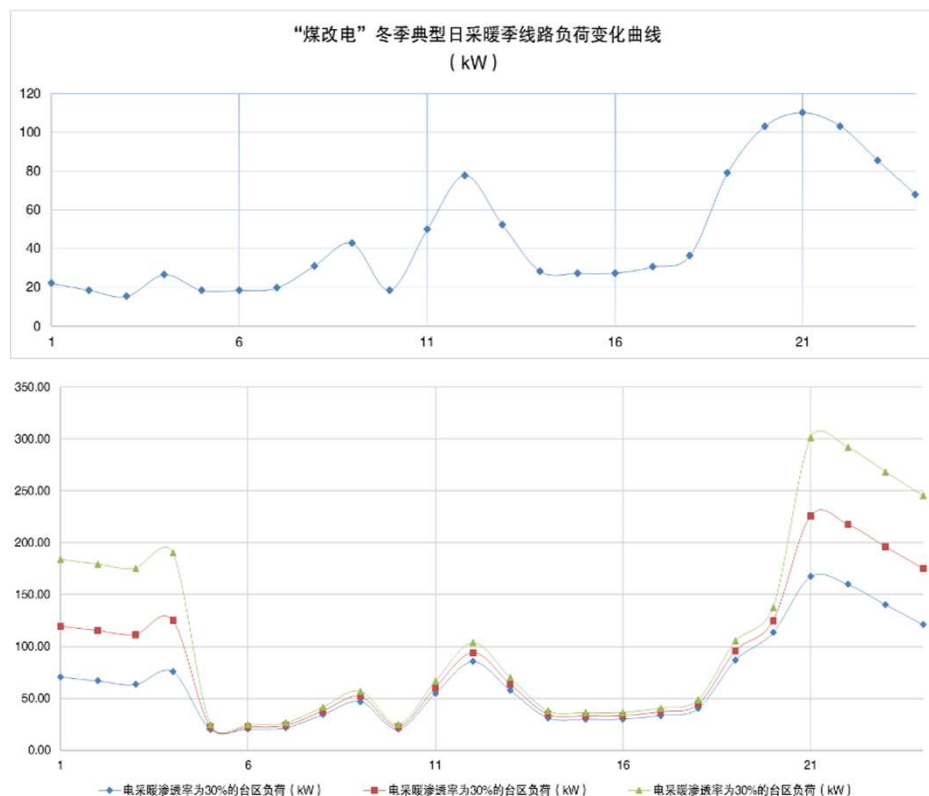


- ❑ 电采暖负荷的渗透率达30%，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为41.87%，在该台区的安全稳定运行范围之内，无需对电网设备进行增容改造；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达约60%时，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为56.50%，也在该台区的安全稳定运行范围之内；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达约100%时，该阶段该台区负荷高峰期的最大负载率为75.30%，台区接近重载，但仍在配变的安全稳定运行范围内。

对供电能力的影响

电采暖负荷接入对10kV线路供电能力的影响—

案例1：建筑保温性能一般应用空气源热泵采暖的C类供电区域典型10kV线路

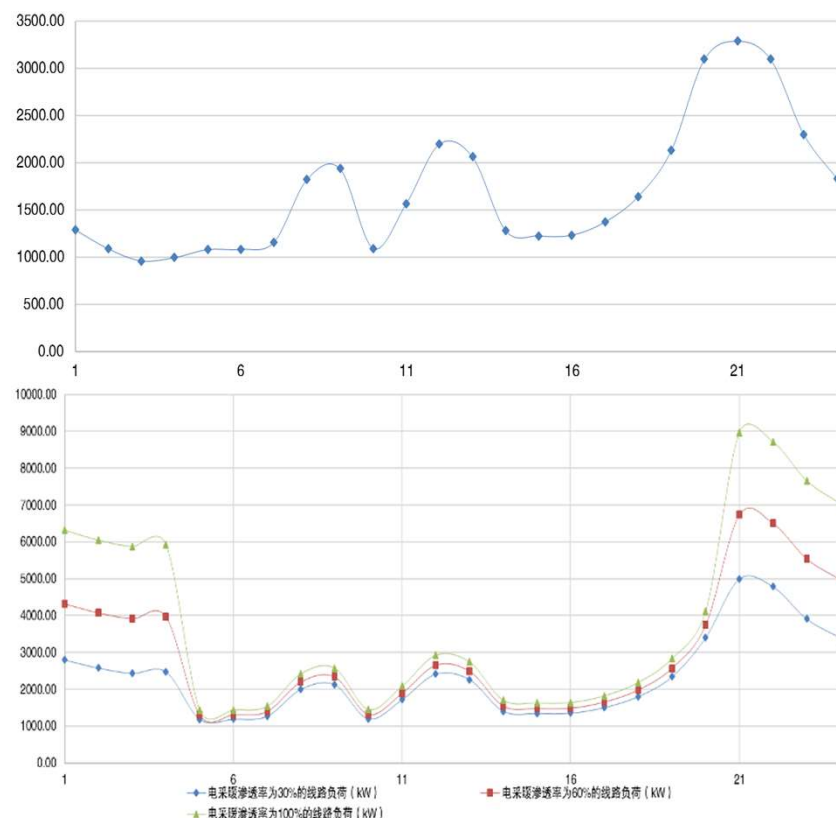


- ❑ 电采暖负荷的渗透率达30%，该阶段该线路负荷高峰期的最大负载率为57.28%，通过相关技术措施的协同配合该负载情况下该线路基本能满足线路故障情况下的转供电需求；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达60%时，该阶段该线路用电高峰期的最大负载率为70.07%，无法满足故障情况下的线路转供电，影响了电网的供电可靠性；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达100%时，该阶段该线路负荷高峰期的最大负载率为85.96%，线路已经重载，须新建线路转切负荷。

对供电能力的影响

电采暖负荷接入对10kV线路供电能力的影响—

案例2：建筑保温性能较好应用蓄热电锅炉采暖的C类供电区域典型10kV线路

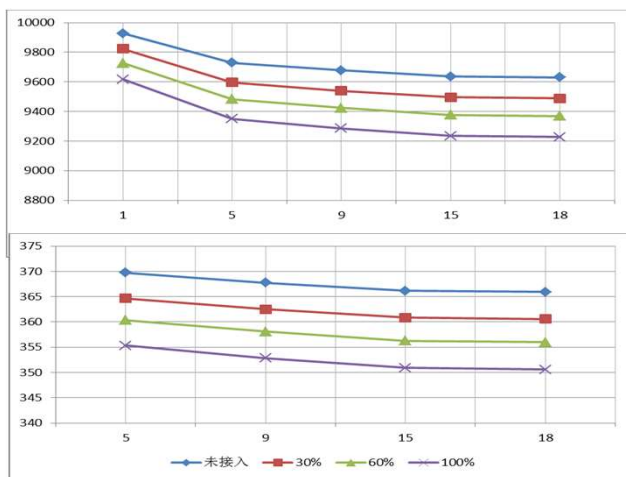


- ❑ 电采暖负荷的渗透率达30%，该阶段该线路负荷高峰期的最大负载率为62.46%，线路故障的时候无法满足10kV线路“N-1”的需求；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达60%时，该阶段该线路负荷高峰期的最大负载率为84.23%，线路已经重载，无法满足故障情况下的线路转供，影响了电网的供电可靠性；
- ❑ 电采暖负荷的渗透率达100%时，该阶段该线路负荷高峰期的最大负载率为112.22%，线路已经过载，严重的影响线路的安全稳定运行，须新建线路转切负荷。

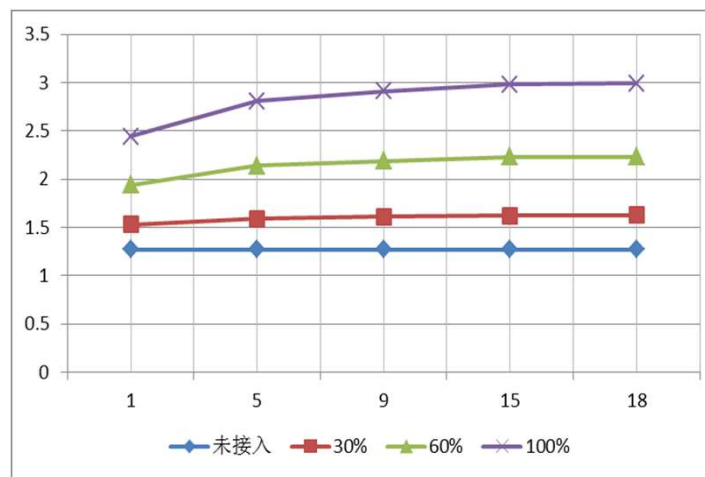
对供电质量的影响

电采暖负荷接入对低电压和谐波的影响

- (1) 仿真案例空气源热泵渗透率为30-60%时，10kV和配电台区的低压节点均能满足标准要求。渗透率为100%时，多数节点都不能满足标准要求。
- (2) 仿真案例空气源热泵渗透率为100%时，10kV母线总谐波畸变率为2.99%，仍满足标准规定的要求。
- (3) 在空气源热泵的发展初期，10kV供电线路末端节点的电压偏差不满足标准要求的的可能性比较大，应重点对该方面加强治理；当空气源热泵全范围推广采用时，需要在变电站、中压线路、配变变压器等各层级均配套相应的无功补偿装置。



10kV母线和配电台区电压



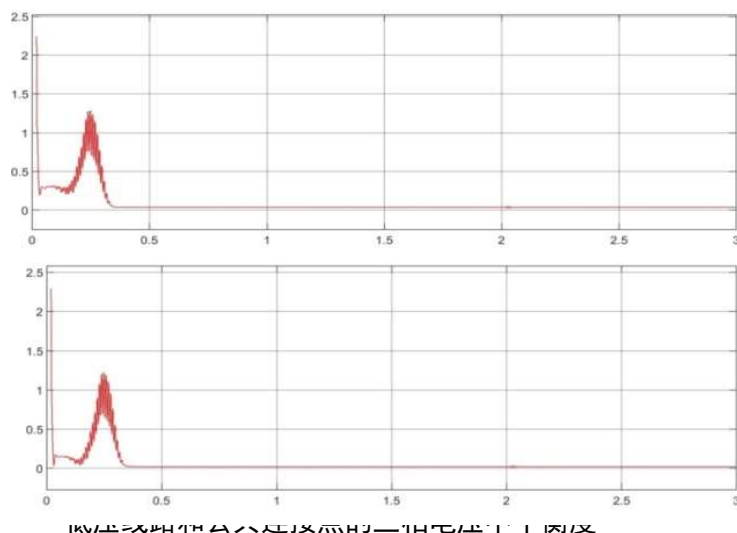
系统节点谐波畸变率

对供电质量的影响

电采暖负荷接入对三相不平衡和供电可靠性的影响

(1) 空气源热泵的启动过程三相电压不平衡现象较为严重。根据北京通州煤改电地区调研情况，严重的台区三相不平衡程度在60%~70%左右，且不平衡波动，进一步加大了三相电压偏差。

(2) A+、A、B类区域供电可靠性目标可以完全满足电采暖设备的供暖需求，而对于C、D、E类区域，在建筑保温性能一般和较差的情况下，三种类型电采暖设备均有可能无法满足可靠供暖，因此在该种类型区域下，应重点关注集中使用电采暖设备的用户供电可靠性需求。



地区	类型	满足供暖需求的最大平均停电时间 (h)
保温性能较好	空气源热泵	4.5
	地源热泵	4
	蓄热电采暖	6.5
保温性能一般	空气源热泵	3.5
	地源热泵	3
	蓄热电采暖	5.5
保温性能较差	空气源热泵	2.5
	地源热泵	2
	蓄热电采暖	4.5

不同类型和不同地区电采暖设备的供电可靠性要求

对电网规划建设的影响



国电华研
GDHY

电采暖负荷接入对规划原则的影响

对电网规划的影响

1、规划思路

- 1、侧重电网可靠性的提升
- 2、考虑分区域电采暖负荷预测方法
- 3、城市单位建设用地负荷指标相应调整
- 4、配合市政规划，支撑政府部门的政策落实

2、规划标准

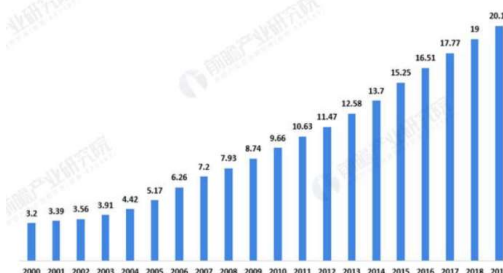
- 1、要求提高网架建设标准
- 2、要求提高智能化建设标准

3、规划目标

- 1、要求缩短年户均停电时间
- 2、提高户均容量标准

4、规划规模

- 1、变电容量缺额建设
- 2、网架完善配套建设
- 3、用户侧的电源接入建设



对电网规划建设的影响

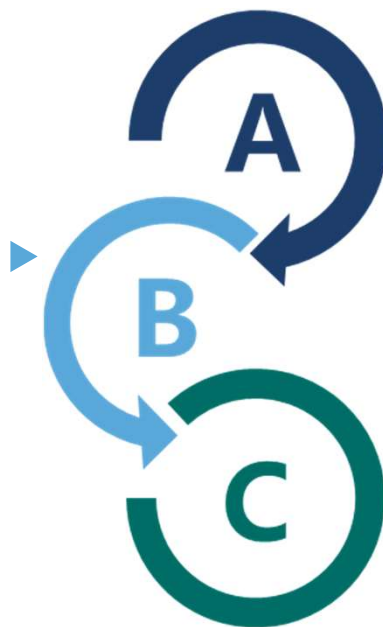


国电华研
GDHY

电采暖负荷接入对规划建设的影响

电网全寿命周期

蓄热电锅炉配套加强网架为主要目的的项目可能会与原有配电网建设工程项目重复，导致总体投资估算过大，**预留资金过多而出现资源闲置**，投资不合理等现象。



原规划内项目建设

- 为保证用户安全、可靠供暖，蓄热电锅炉配套电网建设项目优先级很高，其他原有配电网建设工程项目可能会出现**滞后现象**。

电网投资时效性

- 相关支持政策的不完善，导致无法精确的预测配套电网投资规模，**加大了电网过度投资或投资不足风险**；蓄热电锅炉配套电网建设周期比蓄热电锅炉改造周期长，难以实现当年报装用户的供暖期供电。



国电华研
GDHY

02

电网适应性互动技术

蓄热式电采暖与电网适应性互动技术



国电华研
GDHY

互动激励措施

峰谷电价、实时电价
电价、补贴激励

电网规划建设

考虑电采暖的电网安全经济评估
考虑电采暖的电网规划
针对配电设备互动举措



互动运行控制

电采暖负荷预测、特性及需求
侧响应、经济调度

互动激励措施——电价、补贴激励



国电华研
GDHY

东北（辽宁）电价政策

- 辽宁省经信委、发改委、环保厅、住建厅、物价局、东北能源局、省电力公司联合印发了《关于明确相关优惠政策大力推进煤改电供暖工作的通知》，明确了煤改电电量采用直交易方式、执行一般工商业电价类别、谷段**延长到10小时**、**红线外供配电设施由电力公司出资**等条款。
- 现行电价政策：**居民谷段电价0.2798元/千瓦时，非居民谷段电价0.3298元/千瓦时**；补贴政策：对煤改电供暖项目用电量，各市政部门要给予**不低于每千瓦时0.011元的价格补贴**。

西北（新疆）电价政策

- 新疆电供暖用户由电网企业代理打包参与交易，按照直接交易价格0.03元/千瓦时，**集中式电供暖谷段到户电价0.1241元/千瓦时（23:00-09:00,14:00-16:00）**；平段到户电价0.2141元/千瓦时；集中供暖方式综合到户平均电价0.1691元/千瓦时。分散式电供暖和热泵技术等供热方式谷段到户电价0.1461元/千瓦时；平段到户电价0.2581元/千瓦时；分散式供暖方式综合到户平均电价0.2021元/千瓦时。
- 电供暖用户到户电价由市场形成的上网交易电价、相应时段输配电价和**政府性基金**构成。

互动控制策略——电采暖负荷预测



国电华研
GDHY

电采暖负荷预测方法：基于热电耦合的负荷预测理论分析方法

根据负荷预测的影响因子和数学模型，进行电采暖负荷预测分析，即在其他因子不变的情况下，重点做电采暖负荷随天气变化（主要为温度、湿度、光照）的敏感度分析。再通过其他影响因子的负荷预测结果，两者相加，得到某区域电网的总负荷预测结果。

热负荷预测

$Q(T, H, I)$



电热设备转换效率曲线预测

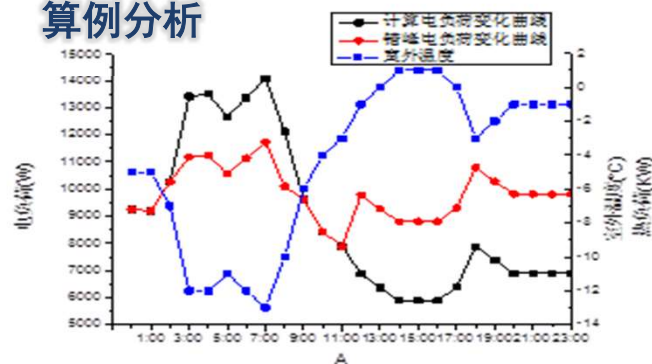
$COP = f(t_i, t_o, G_e, G_c)$



电负荷预测

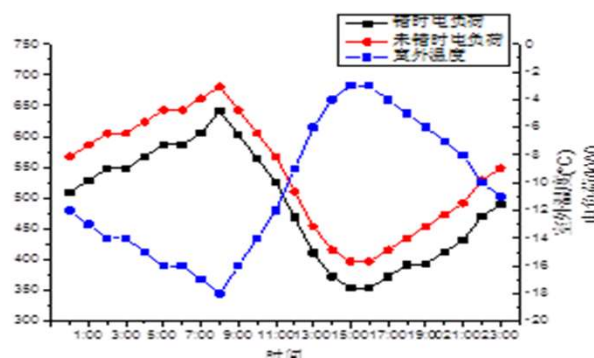
$P = Q(T, H, I) / COP$

算例分析



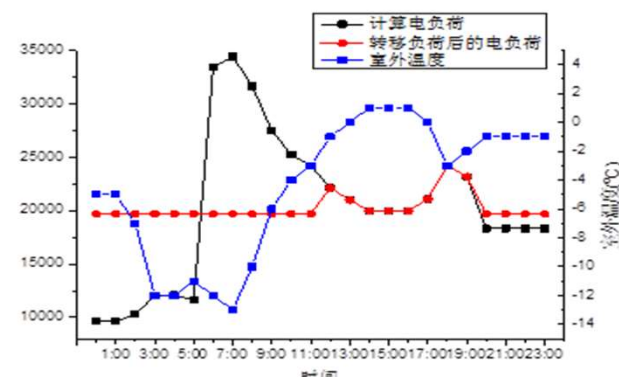
崔家楼示范区负荷预测曲线

通过蓄热电采暖装置，负荷峰值由14kW降至11kW。



青海某中心小学负荷预测曲线

应用建筑的热惯性错时取暖，日负荷下降50kW。



城市综合体电采暖负荷预测曲线

利用谷电蓄热，负荷峰值由35MW降为25MW。

互动运行控制—电采暖负荷特性及需求侧响应

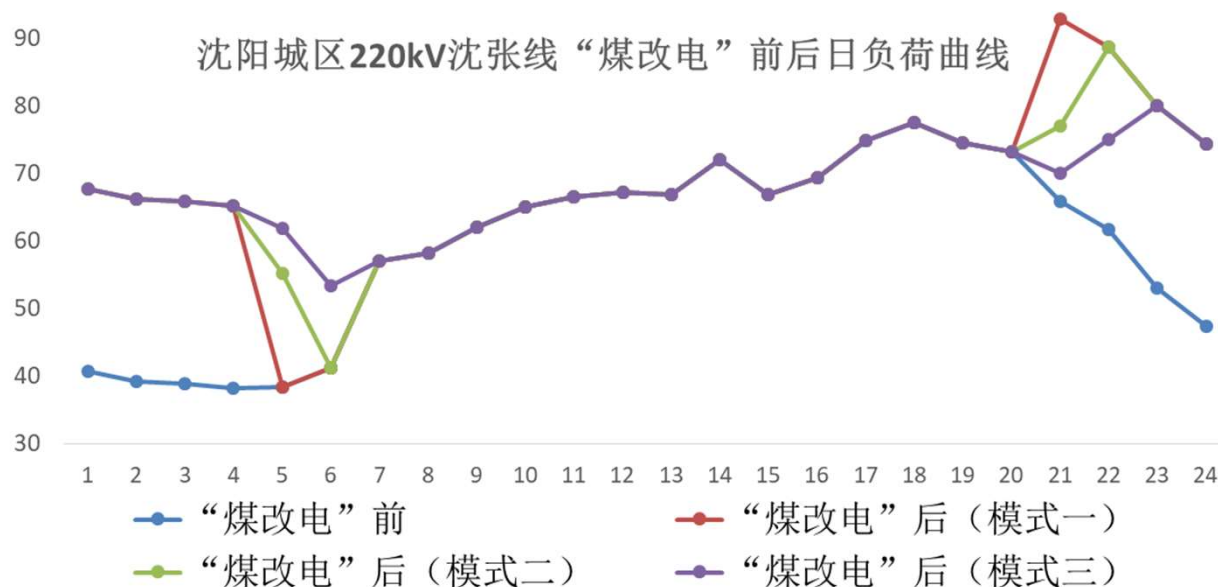


按可控负荷比例提出三种模式：

- ◆ **模式一**（无序）：21:00-5:00同时启停，与电网负荷的同时率较高
- ◆ **模式二**（部分控制）：21:00、22:00分批启，同时率较低
- ◆ **模式三**（分时分批控制）：21:00、22:00、23:00时分分批启，同时率最低

模式设定：

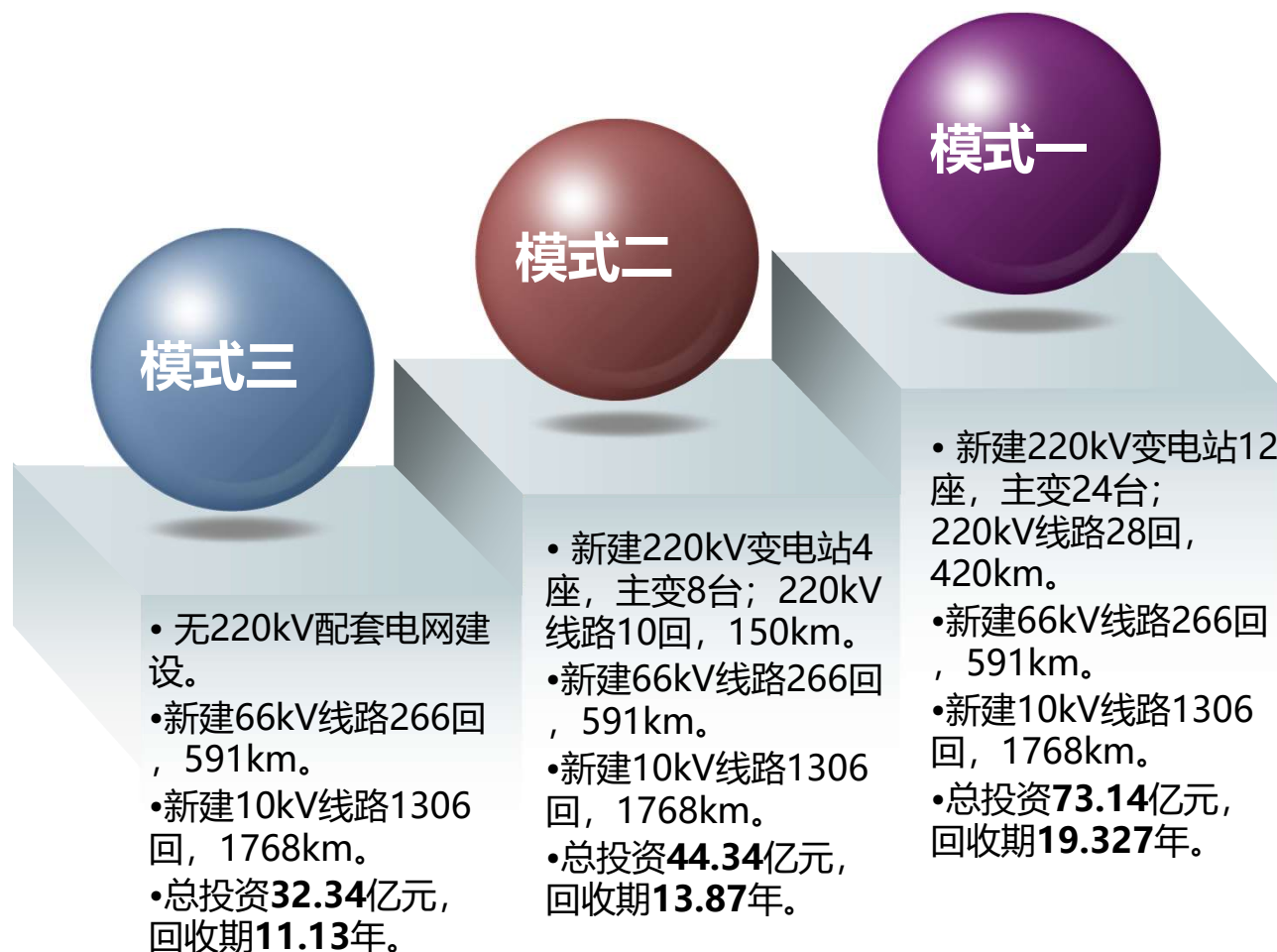
- 1、蓄热锅炉运行：加热7-8小时（24小时放热）；
- 2、辽宁谷电时段21:00—7:00（10小时）
- 3、将采暖负荷分为可控负荷（集中式）、不可控负荷（分散式）



互动运行控制—电采暖负荷特性及需求侧响应



利用需求侧响应管控机制，采用“模式三”对电网负荷特性优化最为明显，可**大量减少新增变电容量**，提高原有电网的设备利用率。

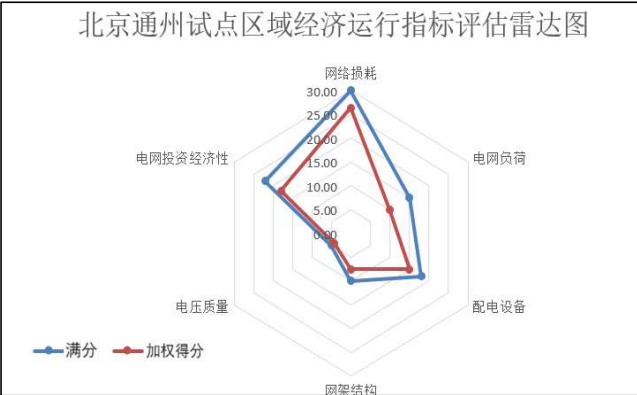


电网规划运行——考虑电采暖的电网安全经济评估

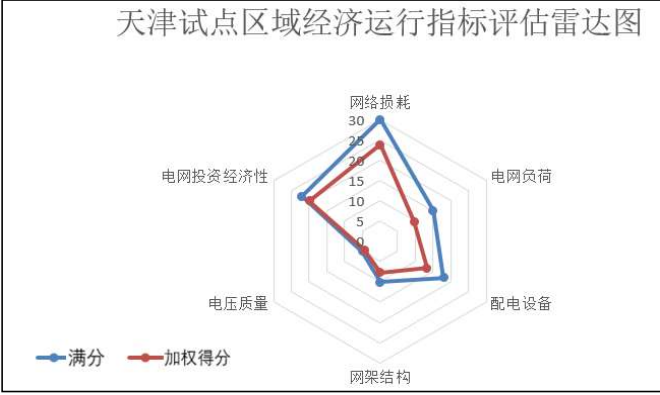


配电网安全经济评价指标体系

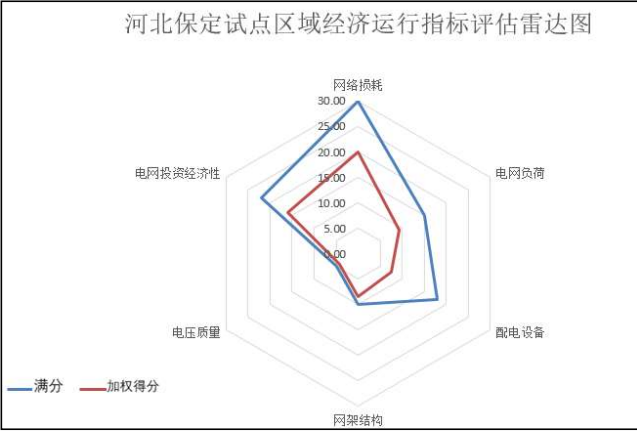
典型区域配电网安全经济评估



北京通州试点区域指标评估雷达图



天津农村试点区域指标评估雷达图



河北保定试点区域指标评估雷达图

通过试点分析结果可以看出：
北京地区的电采暖线路电网运行经济性较好，河北与天津地区的电网运行经济性较差。河北保定“电采暖配电损耗大幅增加，设备的电网投资经济性不高。

电网规划运行——考虑电采暖的电网规划



国电华研
GDHY

采用全寿命全周期管理，高效利用电网资源

合理界定是否需结合电采暖工程同步改造，防止“搭车上路”等情况发生，**高效利用电网资源**。

统筹规划、合理布局

在空间上尽量做到蓄热电锅炉**与其他类负荷互补**；配套电网设施闲置时可以**转切电网设备资源紧张地区的负荷**。

有序投资、科学管控

改造密集地区，**优先**提高其电网供电可靠性，使投资效益最大；重复项目优先建设，即满足电采暖要求，又解决原有供电问题。

建立数据互通平台，提高人员专业技能

政府、用户、电网公司之间建立数据互通平台，协调统一，各单位及时掌握蓄热电锅炉建设及进展情况，**引导投资决策**。

争取配套电网建设优惠政策

应积极争取蓄热电锅炉配套电网建设的优惠政策，加强与政府之间的沟通合作，**签订战略合作协议**。

目前国内用于配电网资源优化配置技术主要包括：变电容量优化配置、网架优化配置、变电-网架优化配置、多阶段优化配置模型等。

- 将不同变电站的个数作为变量，以综合成本费用最小为优化目标

- 在满足瞬时电功率平衡和线路传输容量等约束条件的前提下，寻求最优的网架优化配置方案

- 结合负荷水平，利用粒子群优化算法建立变电站规模、台数、容量的数学模型，优化电网网架

- 确定科学、合理、优质的过渡年变电站规划方案，使整个规划期内的经济性达到最优



电网规划运行——针对配电设备互动举措



国电华研
GDHY

配电网供电能力方面的适应性改造方向与重点

低压配 电网

- ◆ 采用子母变、调容调压变等设备，合理配置无功补偿
- ◆ 低压线路联络
- ◆ 低压台区切改优化

中压配 电网

- ◆ 优化线路联络
- ◆ 改造线路线径
- ◆ 加装分界开关，确保用户故障隔离

规划 运行

- ◆ 提前考虑电采暖设备负荷预测
- ◆ 优化电网运行方式
- ◆ 完善运维抢修模式

电网规划运行——针对配电设备互动举措



国电华研
GDHY

配电网供电质量方面的适应性改造方向与重点

低电压治理

- ◆ 提升电网供电能力
- ◆ 提升变电站、线路调压能力
- ◆ 增加各级电网无功补偿

谐波治理

- ◆ 采用电力滤波装置就近吸收谐波电流
- ◆ 根据不同场合选用无源滤波器或有源滤波器

电采暖改造

- ◆ 加装跟随器无功补偿
- ◆ 采用变频空气源热泵

电网规划运行——针对配电设备互动举措



国电华研
GDHY

配电网供电可靠性方面的适应性改造方向与重点

供电可靠性

电采暖规模化应用后对配电网供电可靠性提出了更高要求，尤其在可靠性水平较低的农网地区。

运行经济性

电采暖规模化应用后对配电网季节、日负荷特性曲线产生显著影响，配电网运行经济性受到更高挑战。

运行监控

电采暖作为电网新型负荷，其规模化应用对配电网运行监控范围与水平提出了更高要求。

运维管理

电采暖规模化应用对配电网运维检修、应急抢修的管理水平提出了更高要求，尤其电采暖负荷涉及民生保障，加之农网基础条件薄弱，运维抢修服务面临巨大挑战。

03

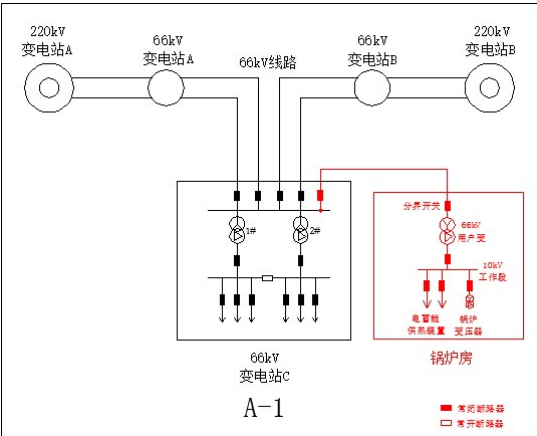
电采暖接网典型模式

东北城市典型模式——标准化

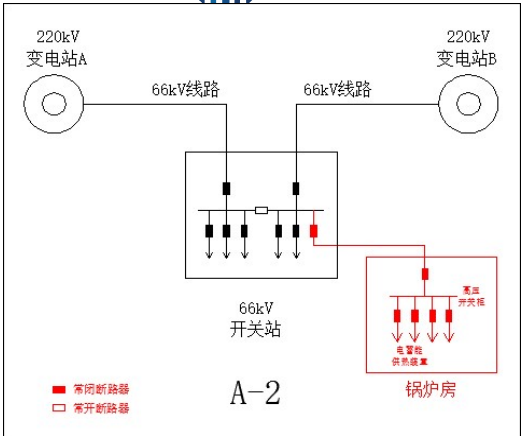


燃煤锅炉规模	需求负荷	电压等级	接线方式	
			电缆线	架空线
0 ~ 2 蒸吨	0.7~1.4MW	10kV	现有10kV供电线路供电	
2~4 蒸吨	1.4~2.8MW	10kV	环网柜新出10kV专线供电	10kV开关站新出专线供电
4~8 蒸吨	2.8~5.6MW	10kV	环网柜新出2回10kV支线供电	2回10kV主干线各新出一回专线供电
8~12 蒸吨	5.6~8.4MW	10kV	新建一座10kV环网柜专线供电	新出10kV专线供电
12~20 蒸吨	8.4~14MW	10kV/66kV	2回10kV专线供电或66kV线路（T接）供电	
20~30 蒸吨	14~21MW	66kV	66kV开闭站新出66kV专线供电	
30~50 蒸吨	21~35MW	66kV	新出66kV专线供电并与其他66kV线路联络	

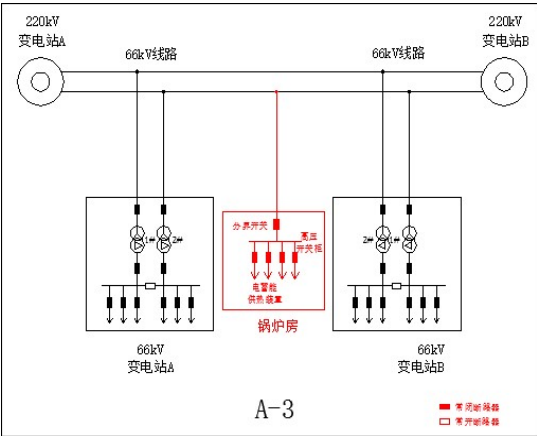
结合改造锅炉单台规模、接入电压等级、接入网架结构、接入点等划分典型供电模式。确定**9种**不同电采暖实施典型方案，并给出典型供电模式示意图



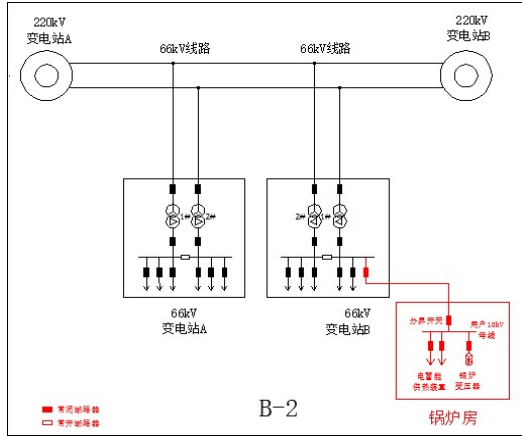
适合30 ~ 50蒸吨燃煤锅炉改造



适合20 ~ 30蒸吨燃煤锅炉改造



适合12 ~ 20蒸吨燃煤锅炉改造



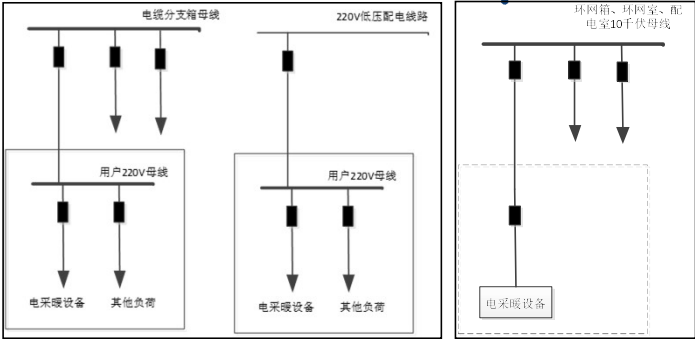
适合8 ~ 12蒸吨燃煤锅炉改造

适合农村电采暖典型设计方案



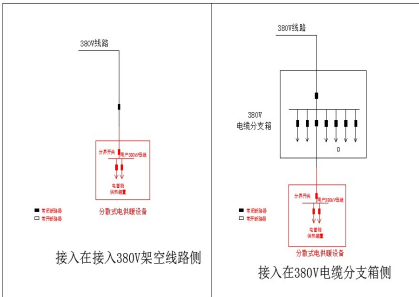
方案编号	接入电压等级	接入点	电采暖设备参考容量
DGN220-1	220V	架空线路/低压电缆分支箱	10kW及以下单相设备
DGN380-1	380V	架空线路/电缆分支箱	10kW~100kW
DGN10-1	10kV	变电站、开关站10千伏母线	1MW~6MW
DGN10-2	10kV	环网箱、环网室、配电室10千伏母线	100kW~3MW
DGN10-3	10kV	T接10千伏线路	100kW~3MW

设计方案1和2主要适用于农村电采暖区域的分散式电采暖装置；设计方案3、4、5主要适用于以蓄热电锅炉为主的集中采暖区域。



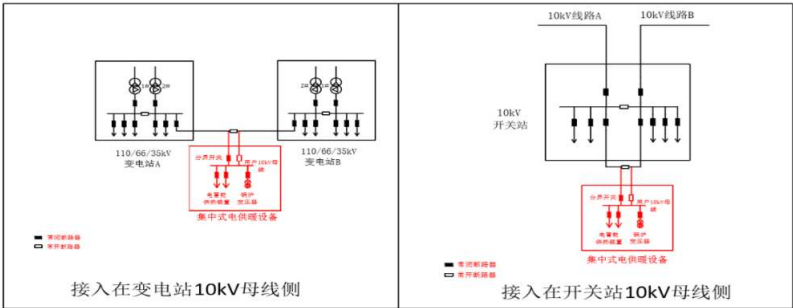
DGN220-1接线模式示意图

DGN10-2接线模式示意图



DGN380-1接线模式示意图

DGN10-3接线模式示意图



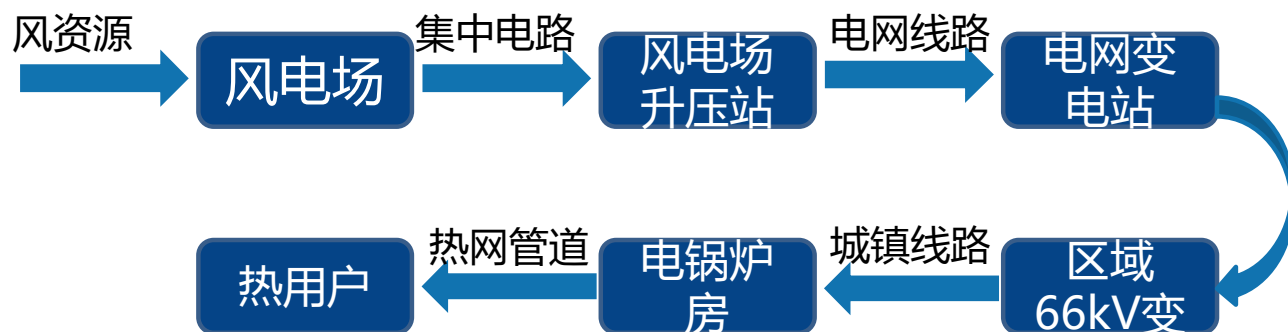
DGN10-1接线模式示意图

蓄热式电采暖与清洁能源互动模式

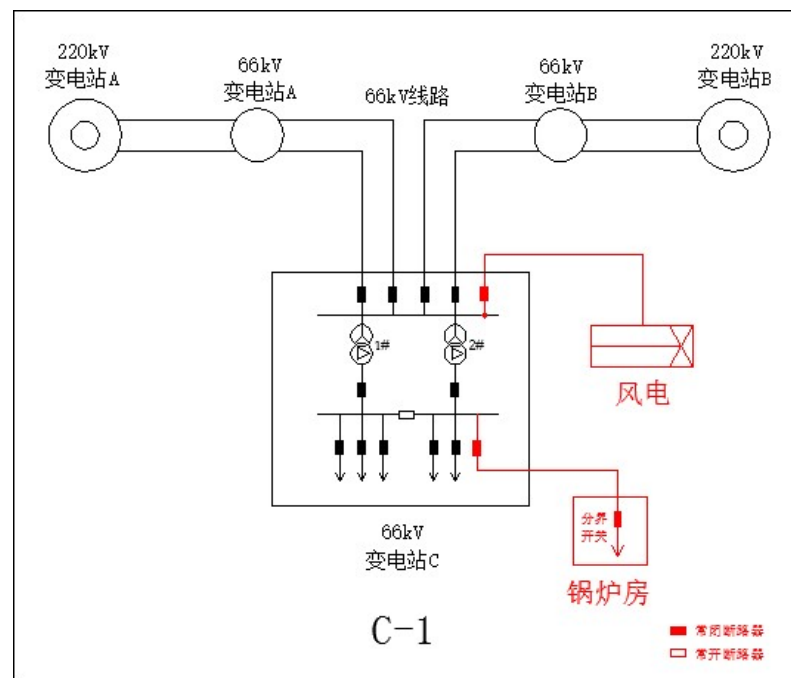


就地消纳模式：消纳风能等清洁能源，电采暖用户就地消纳分布式电源模式

各个风电发电项目均存在弃风现象，其中，辽能阜西、中广核大北山弃风率达到了23.87%、22.01%，弃风率较高。辽宁省冬季风电消纳能力不强，**弃风电力出现时间段大部分发生在夜间。**



蓄热电锅炉风电消纳工作原理：蓄热电锅炉的风电消纳就是使蓄热电锅炉利用峰、谷时段电价差进行供热，即在谷时段供热和蓄热，峰时段利用蓄热的能量进行供热，将风电限电地区的风能，通过电锅炉的能量转换，实现与集中供热企业联动供暖。



电采暖与风电（清洁能源）就地消纳模式



国电华研
GDHY



铸造优质服务 合作共赢互联

——国电华研 宋季冬 18911767602——