



EPTCHINA.CN
中国电力科技网

SXEC 苏夏

大机组供热改造与优化运行技术2019年会



李永红

北京清华同衡规划设计研究院能源所教授级高级工程师，注册设备工程师，负责供热、燃气等能源基础设施的规划、以及建筑节能、供热新技术等。作为主要人员参与发明的“基于吸收式换热的热电联产供热技术”和“全热回收的天然气高效清洁供热技术及应用”分别获得2012年和2016年北京市科技一等奖。作为主要负责人参与、承担了太原、石家庄、济南、张家口、郑州等城市以电厂余热回收、引入长距离热源，城市热网大温差输配为特点的集中供热专项规划。

构建大温差长输集中供热新模式

主办单位：中国电力科技网 协办单位：江苏苏夏能源集团 2019年9月25-27日 中国·石家庄

构建大温差长输 集中供热新模式

李永红

北京清华同衡规划设计研究院有限公司

2019.9

目 录

1. **清洁供热面临的挑战**
2. **大温差长输集中供热新模式**
3. **长输供热尚待研究的其他问题**
4. **总结及建议**

北方城镇供暖整体情况 (2016)

■ 城镇总供热面积141亿平米

◆ 锅炉供热，占47%，占比多，能效低

◆ 燃煤锅炉32%

◆ 燃气锅炉15%

◆ 燃煤热电联产供热占45%

◆ 还存在较多的小机组，煤耗高，但作为民生采暖机组保留，例如山东省小机组占比高达28%

◆ 仍然有超过其供热能力约50%的余热尚待挖掘

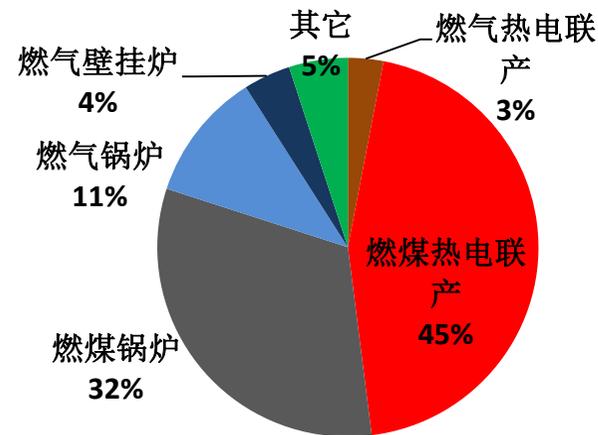
◆ 乏汽余热，超过现有供热量的30%

◆ 烟气余热，燃煤热电占供热量的15%，天然气热电厂40%

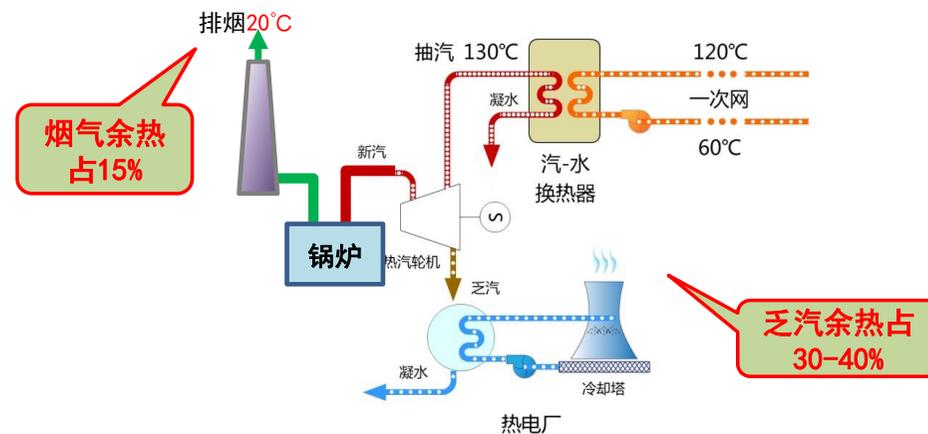
◆ 电热泵、地热、工业余热等其他方式供热占5%

■ 北方供暖一次能源消耗为2亿tce

◆ 其中燃煤1.7亿吨、天然气270亿m³ (160亿m³)



北方城镇供热热源组成比例



热电厂余热潜力

清洁供热面临的挑战

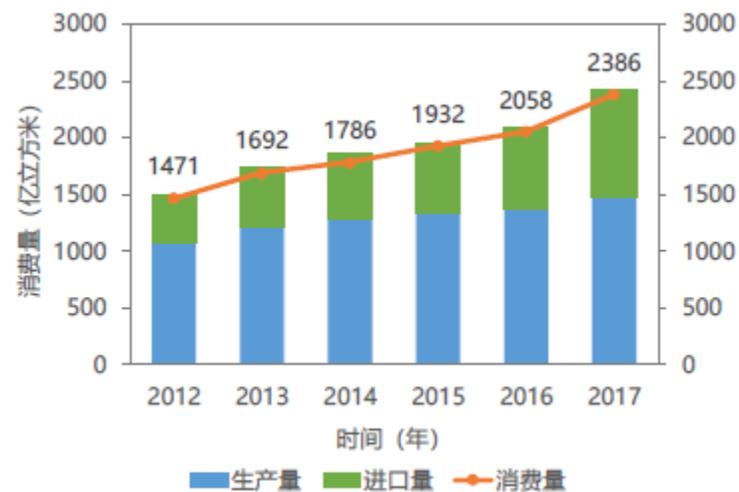
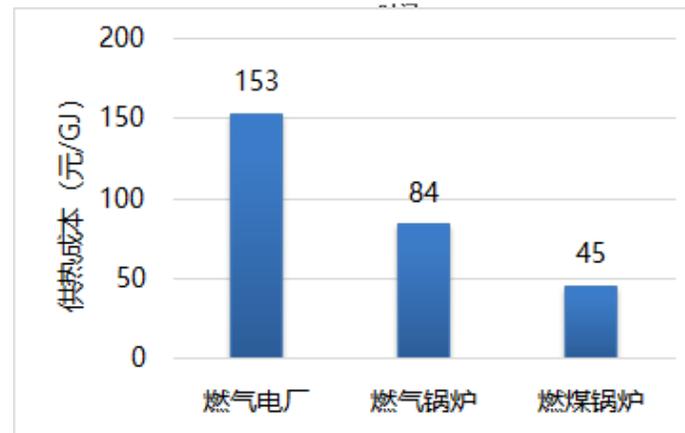
■ 煤改气

■ 天然气锅炉高能低用

■ 天然气热电联产

- 耗气量大，是燃气锅炉的3-5倍
- 供热成本昂贵
- 仍然有氮氧化物污染

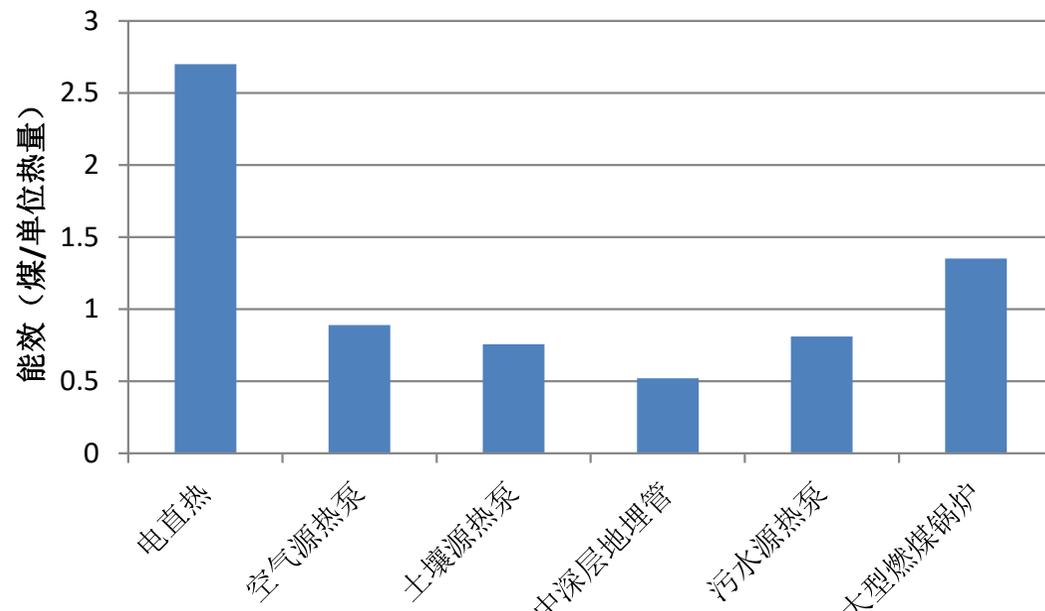
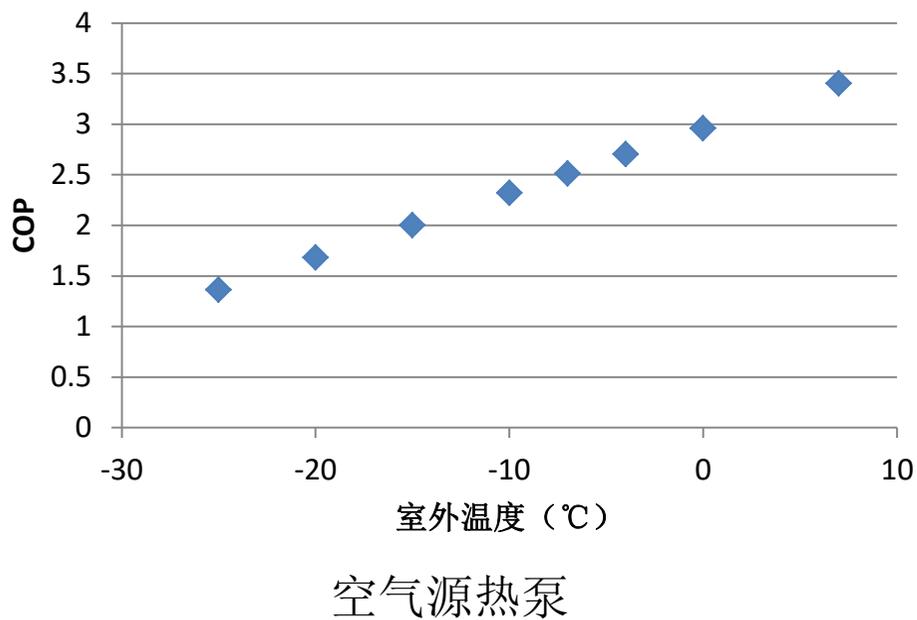
■ 北京、天津、乌鲁木齐等地燃气供热存在问题



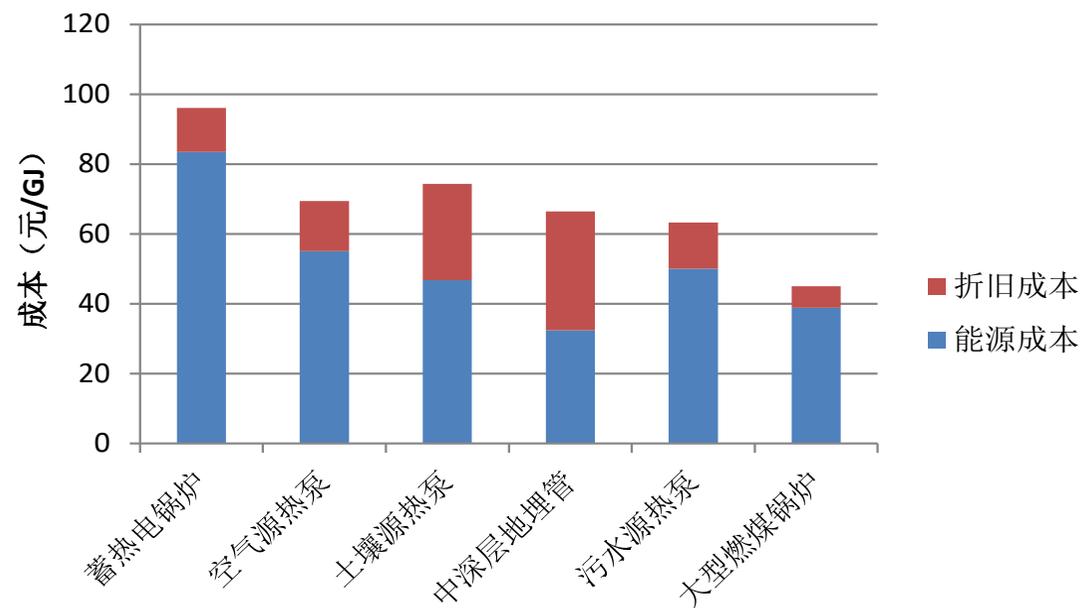
清洁供热面临的挑战

■ 煤改电

- 电直热浪费能源，且供热成本高
- 电动热泵受资源条件限制，难以大规模推广



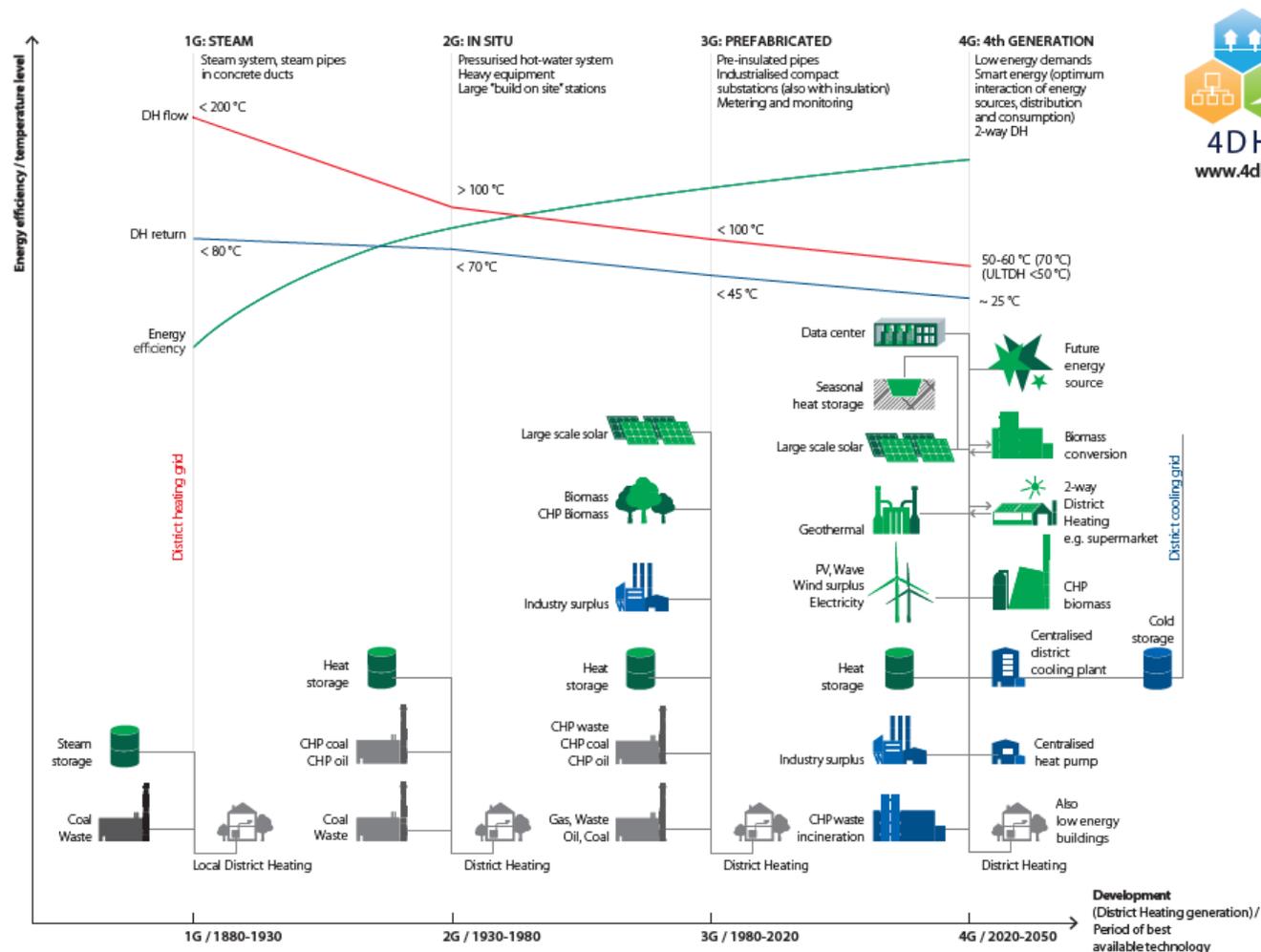
火电供电煤耗按310g/kWh，供电输配损失按6%



欧洲第四代区域供热技术

■ 关键点

- 低温热网供热，供水温度50~60℃，回水温度25℃
- 热源，分散的可再生能源、工业余热联网供热
- 此技术不适用于中国国情，热网温差小，输送能力低
- 热源规模大，距离远
- 城市规模大，且热负荷密集



清洁供热面临的挑战

■ 电厂余热潜力巨大，可满足现状整个北方城镇供热需求

- 目前北方地区单机300MW以上的火力发电厂装机容量5.8亿KW，
- 利用余热可实现200亿平米供热能力；

■ 电厂距离城市负荷中心较远，利用余热供热的关键：

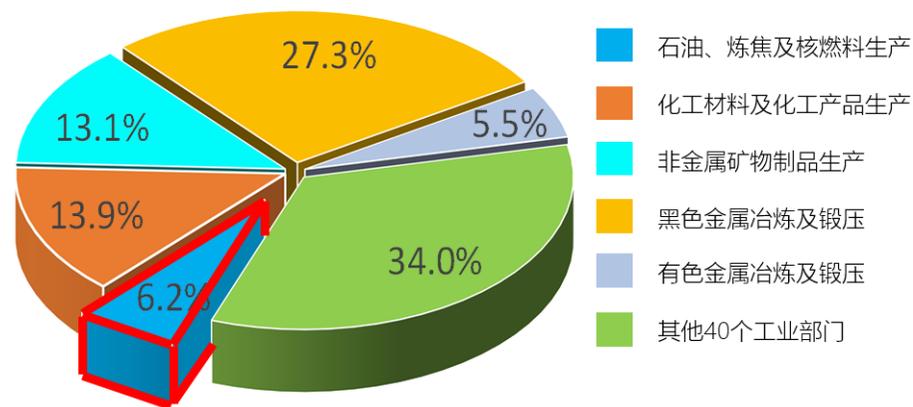
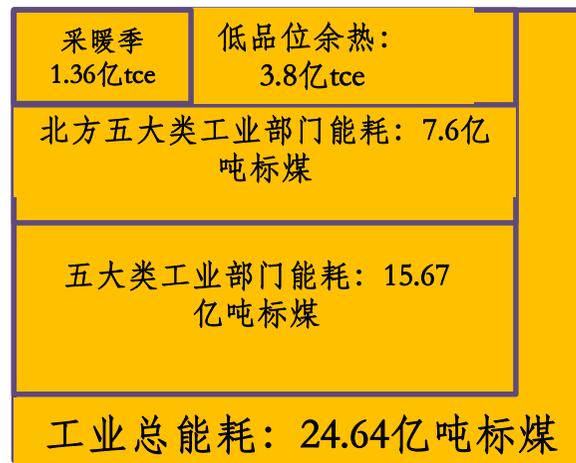
- 如何大幅度提高热网输送能力，实现超远距离热量输送
- 如何高效回收余热



北方地区火力发电厂分布图
(单机300MW以上机组)

清洁供热面临的挑战

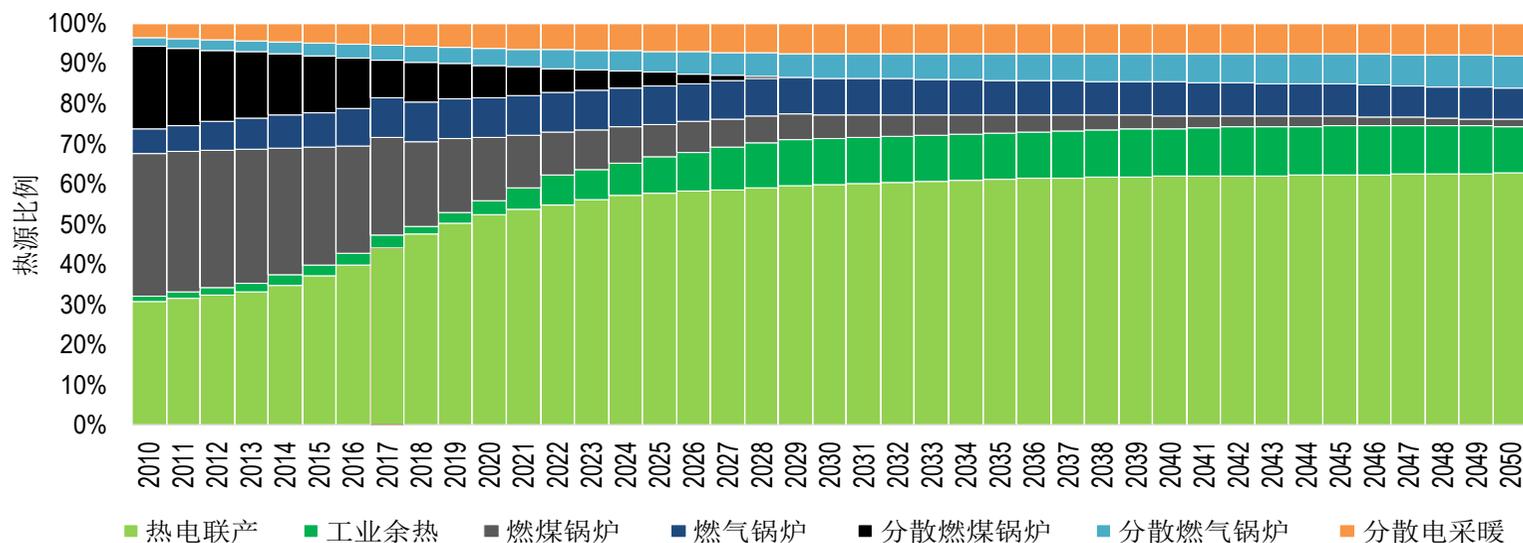
- 北方五大类高耗能工业部门每年采暖季排放的低品位余热1.36亿tce
- 北方地区规模以上的产业可利用120GW低品位热量，为40亿平米建筑提供供暖基础负荷



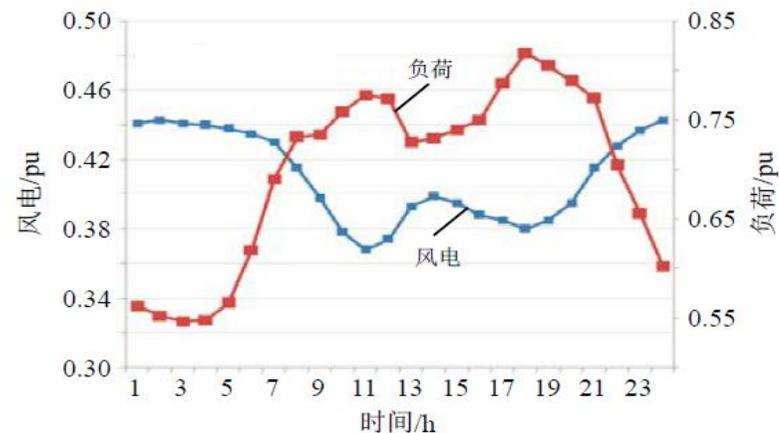
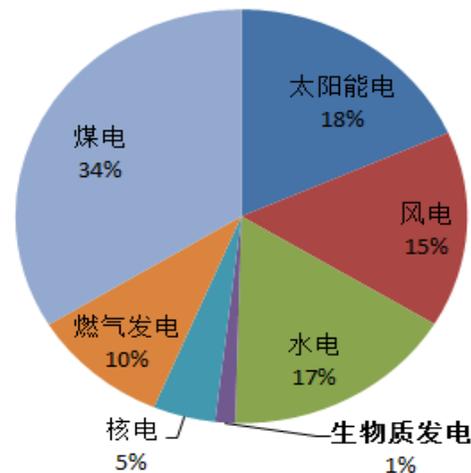
工业余热分布

清洁供热面临的挑战

- 2030年可再生能源装机容量比例超过50%，非化石能源发电量力争超50%，2050年要达到接近70%
- 电网要求煤电增加调峰能力，确保风电、光伏等非化石能源充分消纳
- 充分挖掘利用热电排放的低品位余热以及钢铁、有色、化工、建材、炼油等产业排放的低品位余热是实现未来低碳可持续发展的供热系统的重要技术保证



2030及以后占比比例



目 录

1. 清洁供热面临的挑战
2. 大温差长输集中供热新模式
3. 长输供热尚待研究的其他问题
4. 总结及建议

大温差长输集中供热新模式

- **发展电厂和工业余热为基础热源，利用天然气作为调峰热源能源，实现热电协同发展、热网大温差和长距离输配。**
 - 推行以超低排放燃煤热电联产为主的热源形式，充分利用机组的烟气和乏汽余热，“热电协同”运行提升火电灵活性
 - **大温差长输供热热管网建设**
 - 此种供热新模式可实现城市密集区无煤化，相比常规热电联产节能30%~50%，
 - 供热成本是天然气供热的一半，与大型燃煤锅炉供热相当。

长输供热模式发展的关键点

■ 高效低成本供热

- 采用大温差技术，提高热网输送能力
- 降低电厂余热回收成本
- 热电协同
- 末端调峰

■ 安全供热

- 在设计和建设过程中考虑动态水力分析，充分考虑事故状态的动态安全性
- 多热源联网，调峰热源

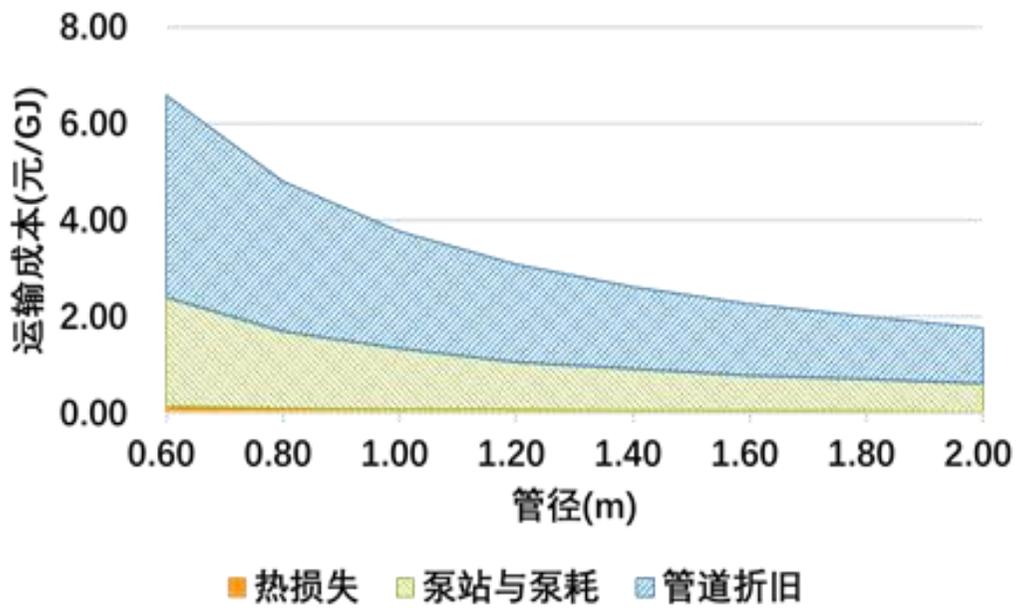
长输供热

■ 如何针对长距离降低供热成本？

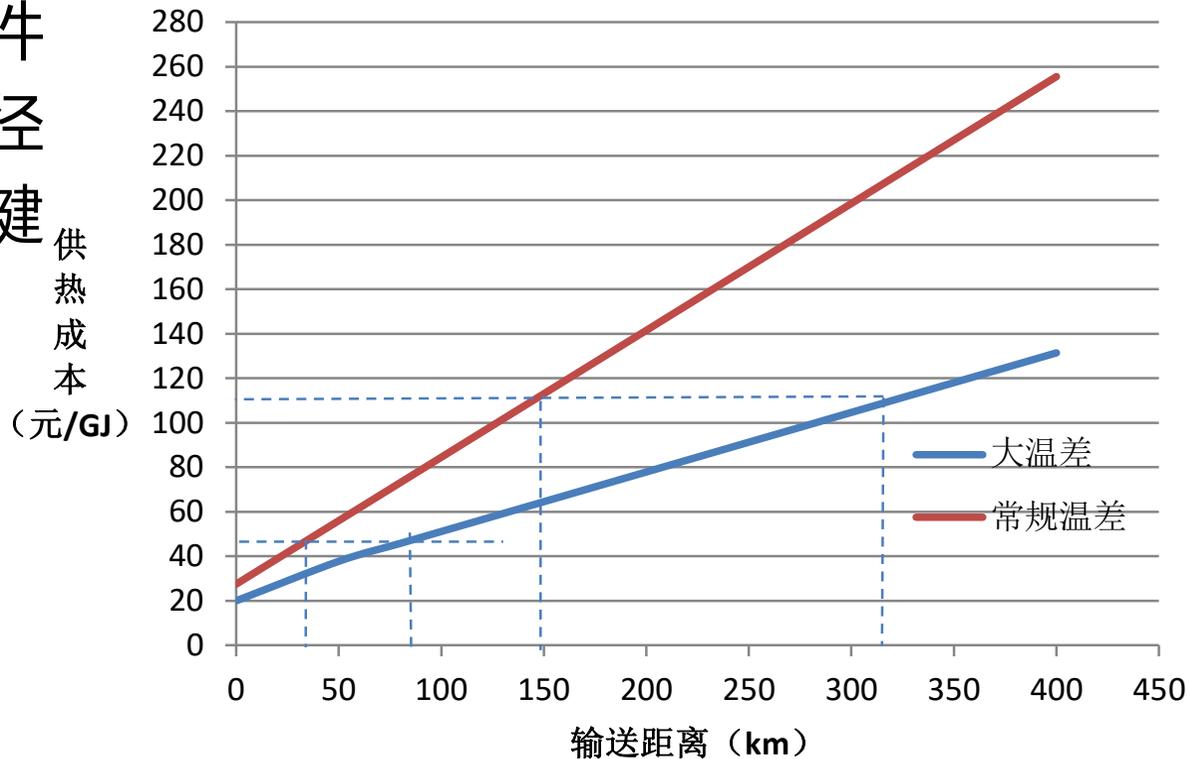
- 大管径的使用，供热规模大
- 大温差输配，即热网供回水温度由传统的130/70°C变为130/~15°C，提高长距离供热管线的输送能力70%以上，使长输管线能输送更多的热量
- 降低回水温度，大幅度地利用乏汽余热，使余热占整个电厂输出热量的55%以上，从而显著降低了近一半的电厂供热成本；
- 调峰热源，长途输送管网在整个供热期承担基本供热负荷，提高长输管网的利用率

长输供热——大温差

- 大规模输送热量是降低长输供热成本的条件
- 加大供回水温差是提高热网输送能力的途径
- 降低回水温度是降低热电厂供热能耗的关键



大温差技术的单位热量成本明显低于常规供热系统



DN1400管径，常规输配温差130/70℃，大温差改造后供回水温度130℃/20℃

长输供热——大温差改造的几种形式

■ 吸收式换热

- 高温热水驱动，利用一二次网的温差
- 靠近末端有利于降低热网回水温度

■ 吸收式换热+电热泵

- 进一步降低热网回水温度
- 长输管线管径一定的情况下，热网输送受限，输配距离较远、电厂余热未充分回收

■ 补燃型吸收式热泵机组

- 高温热水+燃气驱动，燃气作为调峰热源
- 可进一步降低热网回水温度

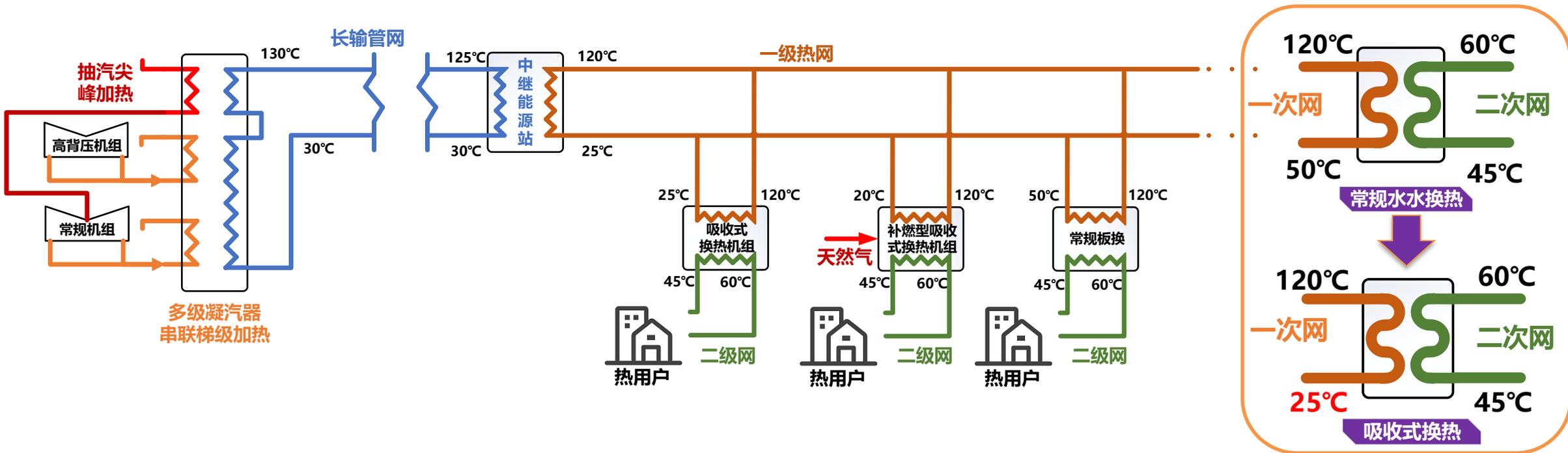
■ 板换+电热泵

- 对回收电厂余热不合适，高供低回未有效利用高温水做功能力，低供低回输配能耗增大，另外电厂提高供水温度少发的电折算相当于是COP是10~12的热泵
- 对回收工业余热合适，原因是工业余热缺少高品位的抽汽进行加热，只能供水温度低，为增加输配能力，同时为工业余热回收创造条件，二次网供水温度低，热泵COP高

长输供热——大温差的实现技术

• 吸收式换热

- 突破常规换热的温差极限，一次网回水温度显著低于二次网温度；
- 提高热网输送能力60%以上；
- 热网回水温度的降低同时也为回收电厂余热创造有利条件



长输供热——大温差的实现技术

■ 分布式降温——热力站大温差改造

- 热力站空间不够，采用分体型和模块机
- 调峰和降温结合



分体型



模块机



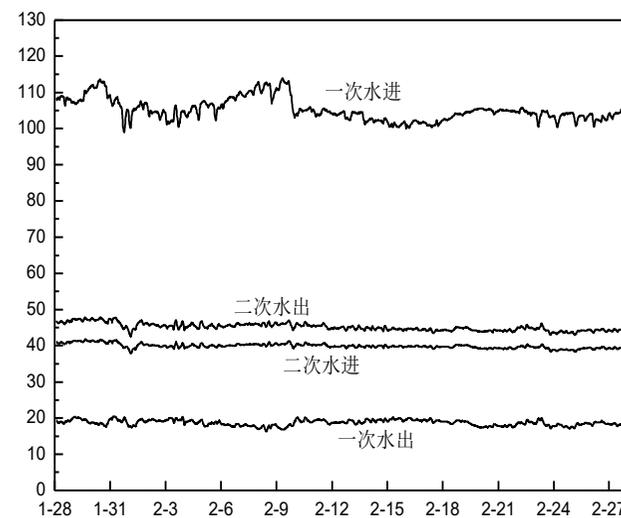
补燃型



楼宇型



温度 $^{\circ}\text{C}$

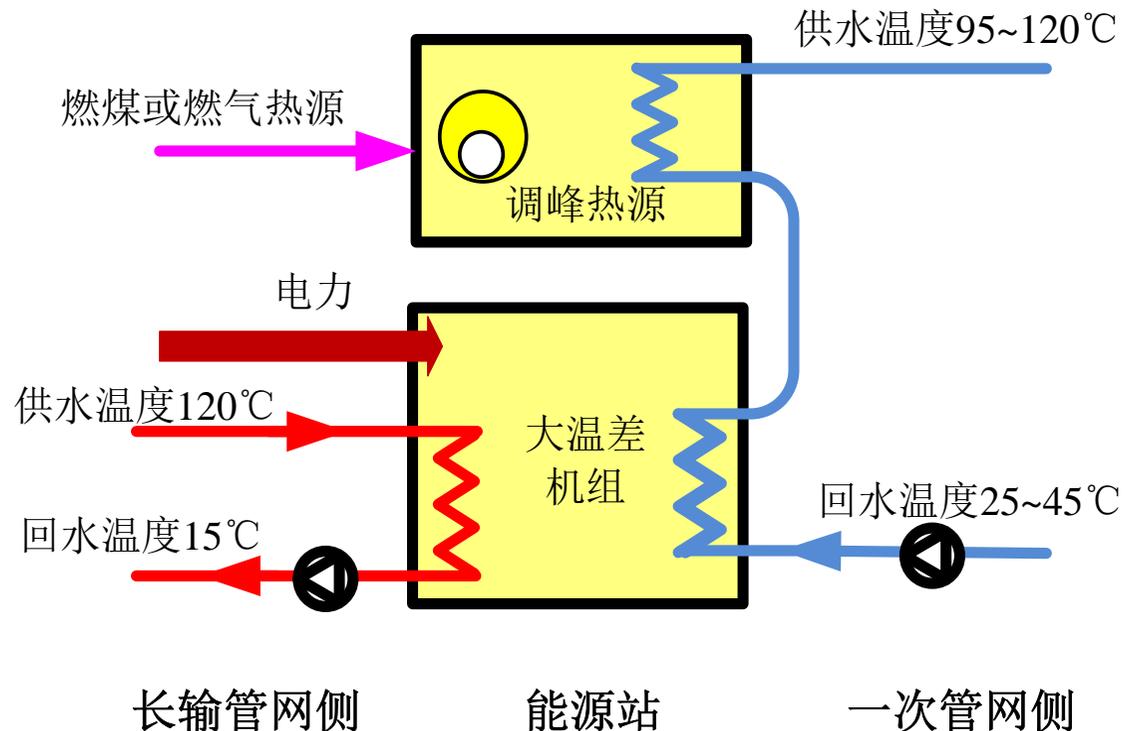


日期

长输供热——大温差的实现技术

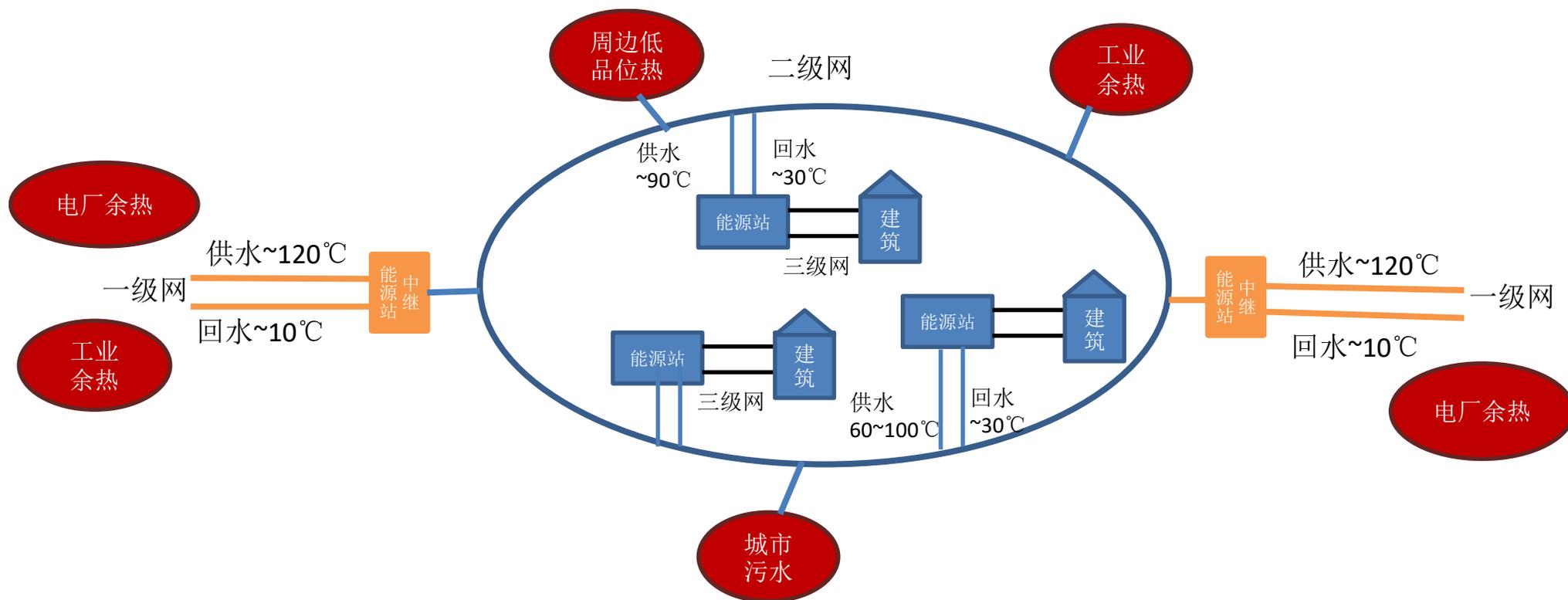
■ 集中式降温——中继能源站

- 充分利用现状供热区域热水管网，由于承压耐温限制，利用原有小型热电厂用地、燃煤锅炉房、大型换热站用地改造为能源站，进一步降低回水温度至 $15 \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，燃气调峰或用现状燃煤锅炉调峰，能源站内设大温差机组
- 由于集中大温差机组的出水温度比在热力站要高很多，因此若达到和热力站处大温差机组相同低的回水温度，需要额外消耗燃气或电力来驱动热泵，能耗较高



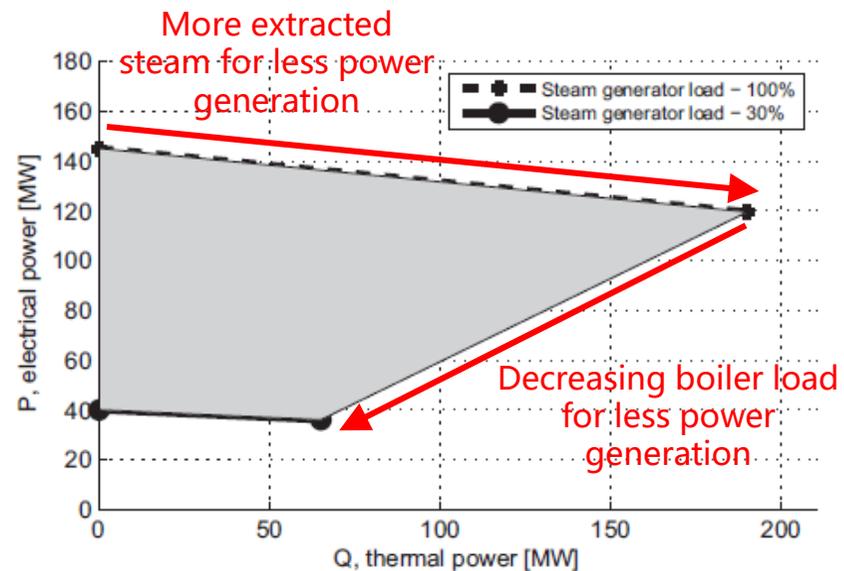
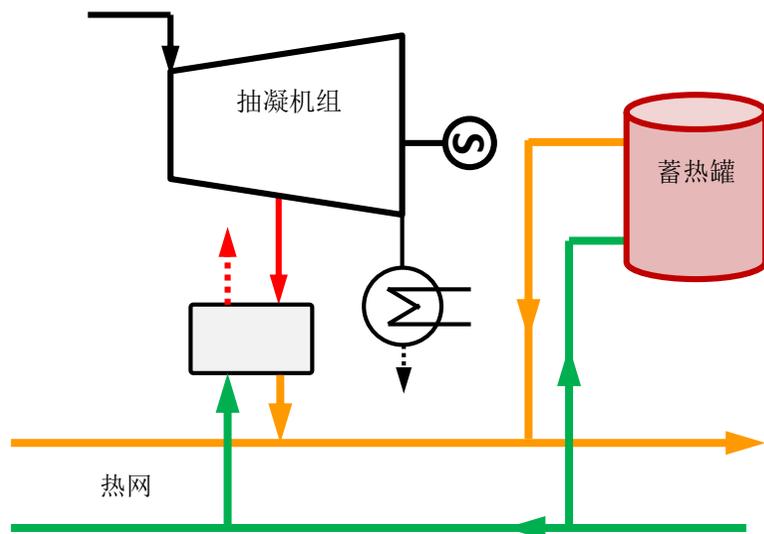
长输供热——大温差的实现技术

■ 三级网系统，分布式与集中式降温相结合



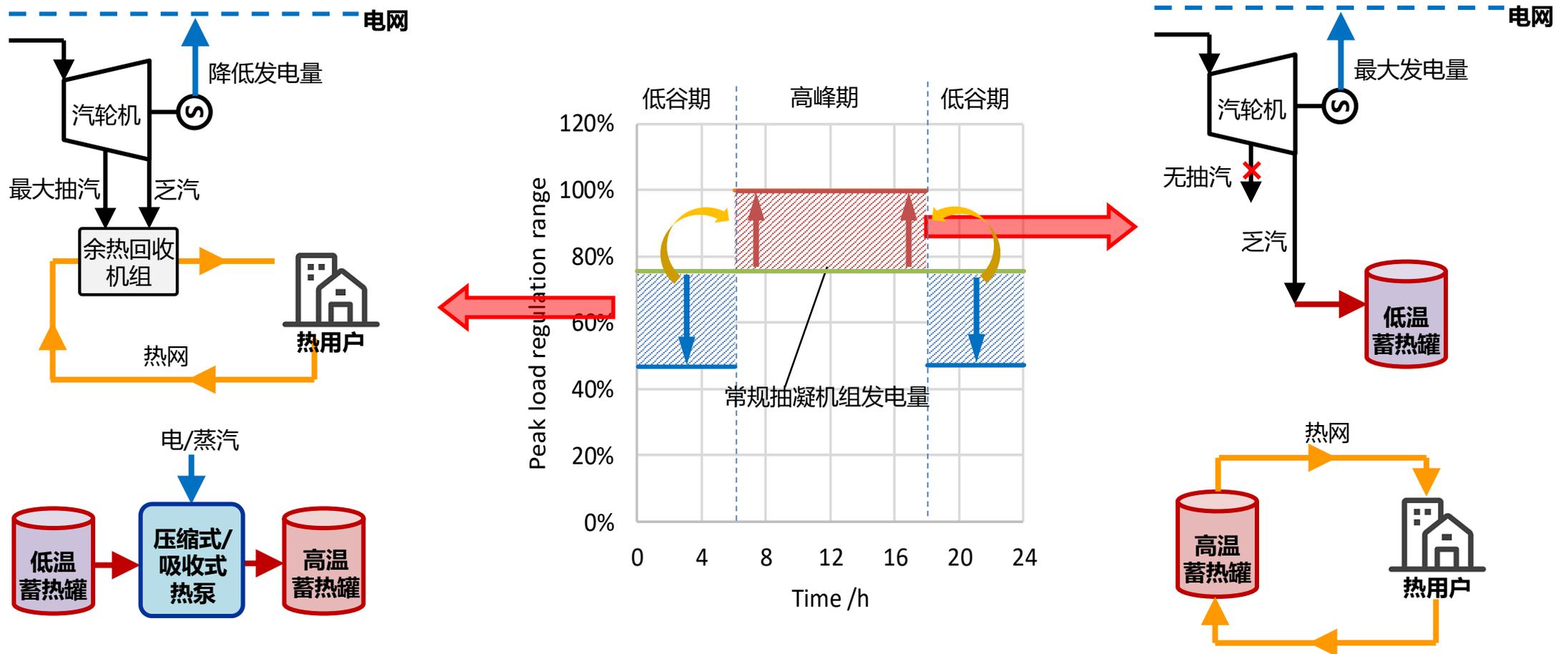
热电协同模式

- 欧洲的热电联产机组采用并联的蓄热罐去满足热电调节



热电协同模式

- **电负荷低谷期：** 1) 机组最大抽汽工况，自身发电量降低； 2) 利用电动热泵额外消耗发电量为电力高峰期制造供热量。电热泵是高效的电热转换装置。
- **电负荷高峰期：** 电厂纯凝工况运行，实现最大发电量，利用蓄热罐平衡供热量。



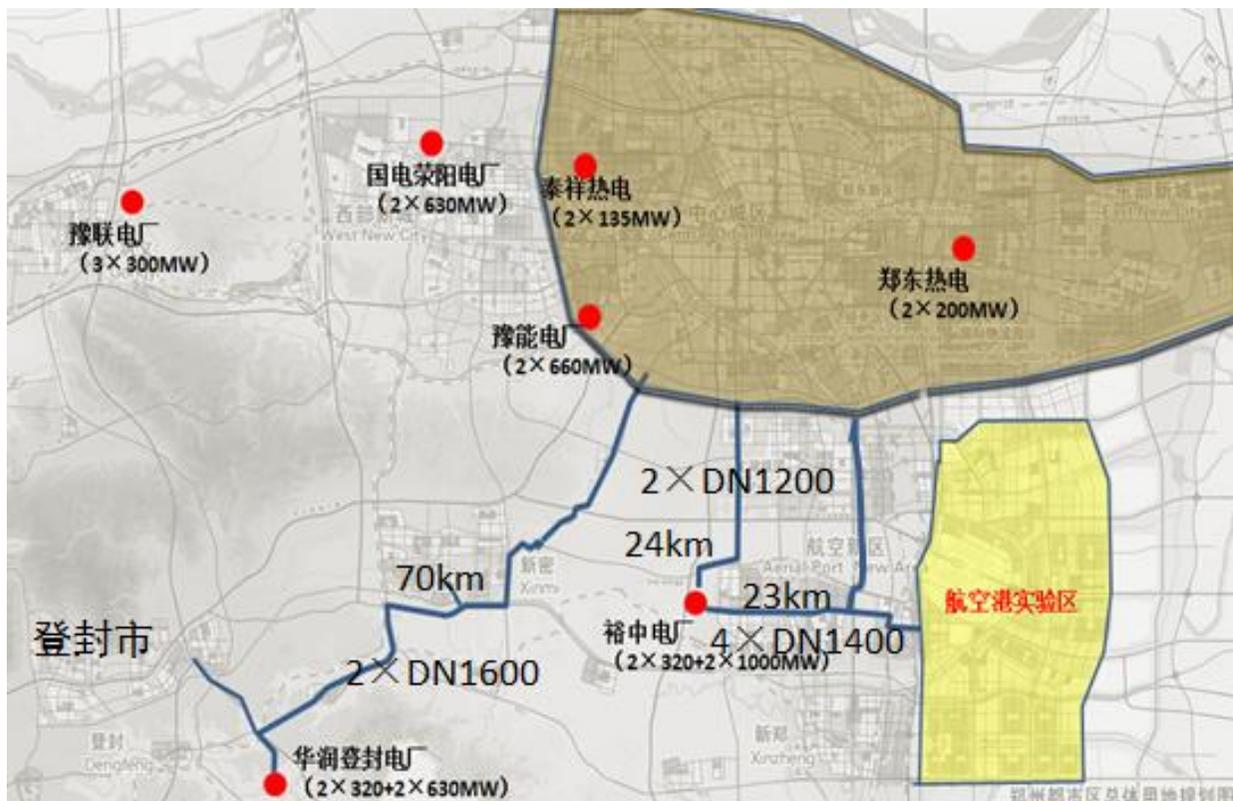
长输供热发展情况

- 目前国内以太原为首、石家庄、济南、郑州、银川、呼和浩特、西安等省会城市以及山西晋城、河北张家口、北京等地级市均正在推进或论证引入城市周边的电厂热源，涉及供热面积超过10亿平米

长输供热项目名称	供热规模 (万平米)	长输管线 长度 (km)	管径	高差 (m)	实施情况
太原南部热电联产	3000	42	2×DN1400	30	已实施
石家庄西柏坡电厂至市区	8500	27	4×DN1400	50	已实施
石家庄上安电厂长输	10000	20	4×DN1400	165	已实施一路
银川灵武电厂东热西送	8000	46	4×DN1400	50	已实施一路
银川京能电厂东热西送	4000	39	2×DN1400	150	论证阶段
晋城阳城电厂至市区	3000	24.6	2×DN1400	131	初设阶段(隧道7km)
济南邹平六电东部	9900	73	2×DN1600	70	初设阶段
济南信发集团西部	10200	65	4×DN1400	65	初设阶段
郑州登封电厂至市区供热	6000	70	4×DN1400	240	论证阶段
呼市托克托电厂至市区	9100	70	4×DN1400	50	论证阶段
京能电厂至大同市区	3500	40	2×DN1600	132	论证阶段
华能铜川电厂至西安市区	3700	70	2×DN1400	300	论证阶段
盘山电厂至北京	6000	81	2×DN1400	40	论证阶段

长输供热发展应注意的问题

1、优先全面挖掘本地热源（包括电厂乏汽余热、烟气余热及其它工业余热）的基础上，再建设长输供热热源项目。具体实施时应避免舍近求远



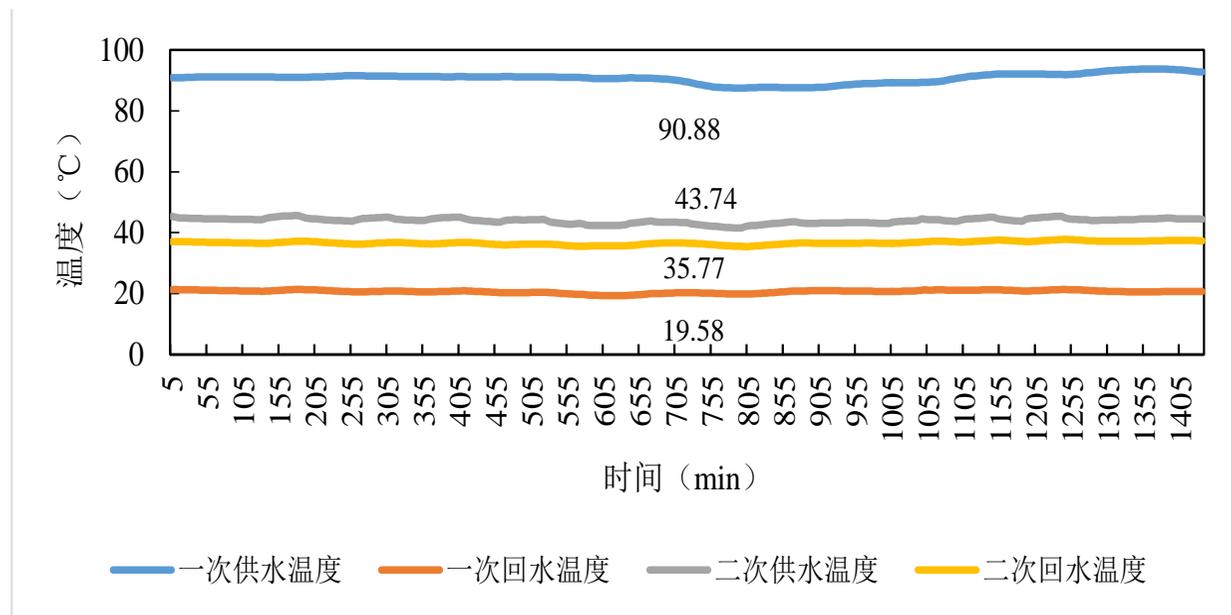
郑州市登封电厂项目



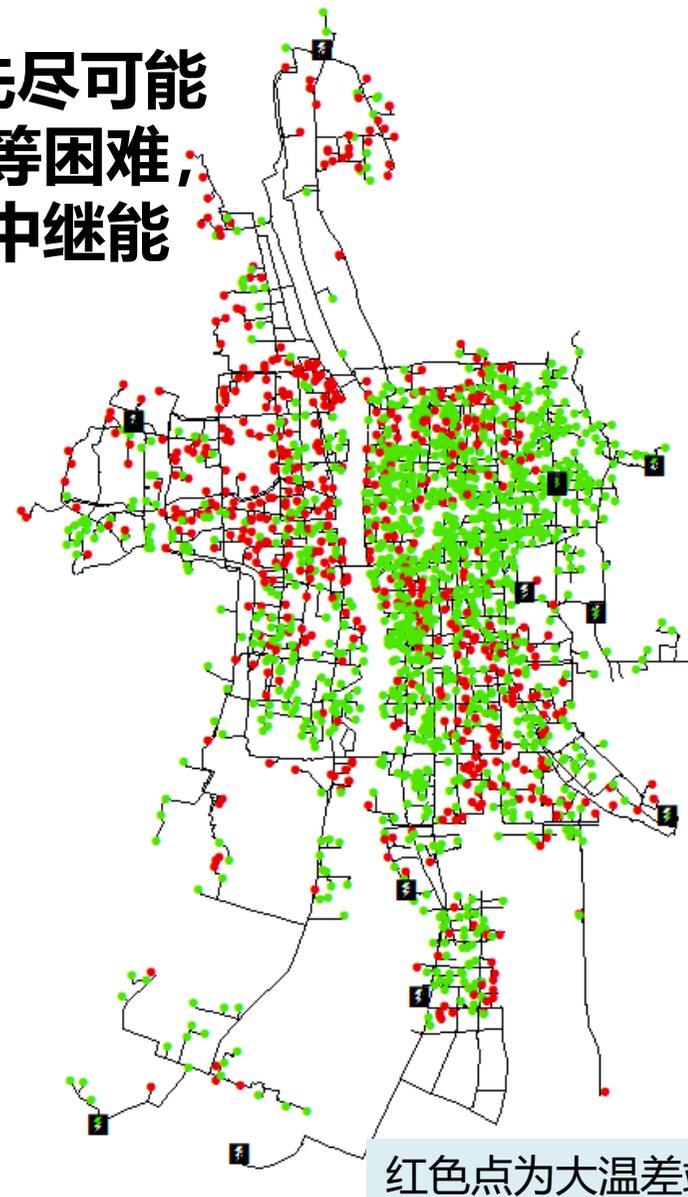
呼和浩特市托电项目

长输供热发展应注意的问题

2、分布式设置大温差机组是降低回水温度的首选方式，应先尽可能靠近用户降低热网回水温度。克服热力站改造存在空间狭小等困难，无法通过上述方式实现降低回水温度的目标时，再考虑设置中继能源站结合调峰热源进一步集中降低热网回水温度。

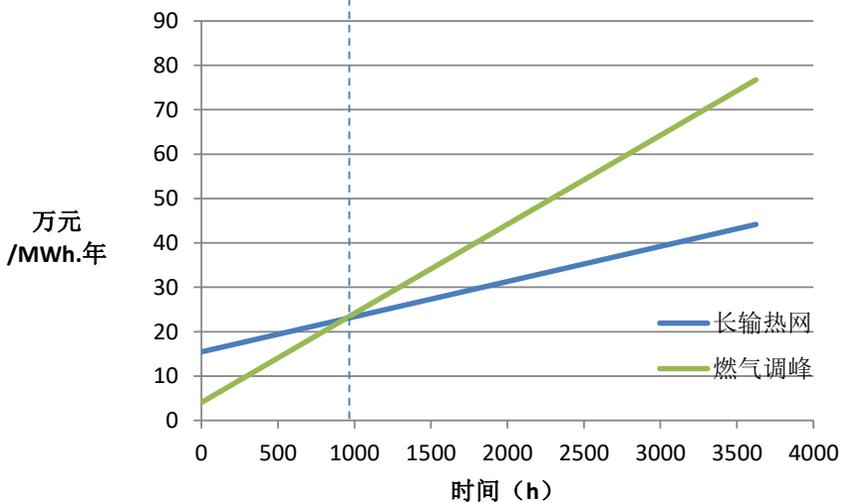
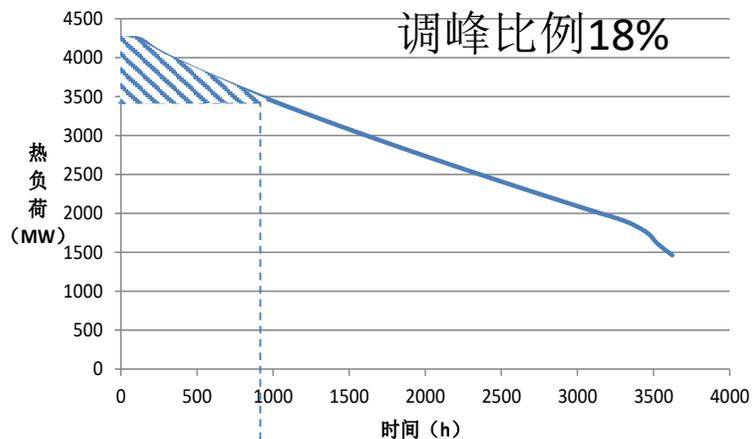


2018/12/11某大温差热力站吸收式换热机组参数



长输供热发展应注意的问题

3、通过多热源联网或采取燃气分布式调峰措施，使长途输送管网在整个供热期承担基本供热负荷，降低长输热网的输热成本，同时进一步增加城市供热系统的安全性。



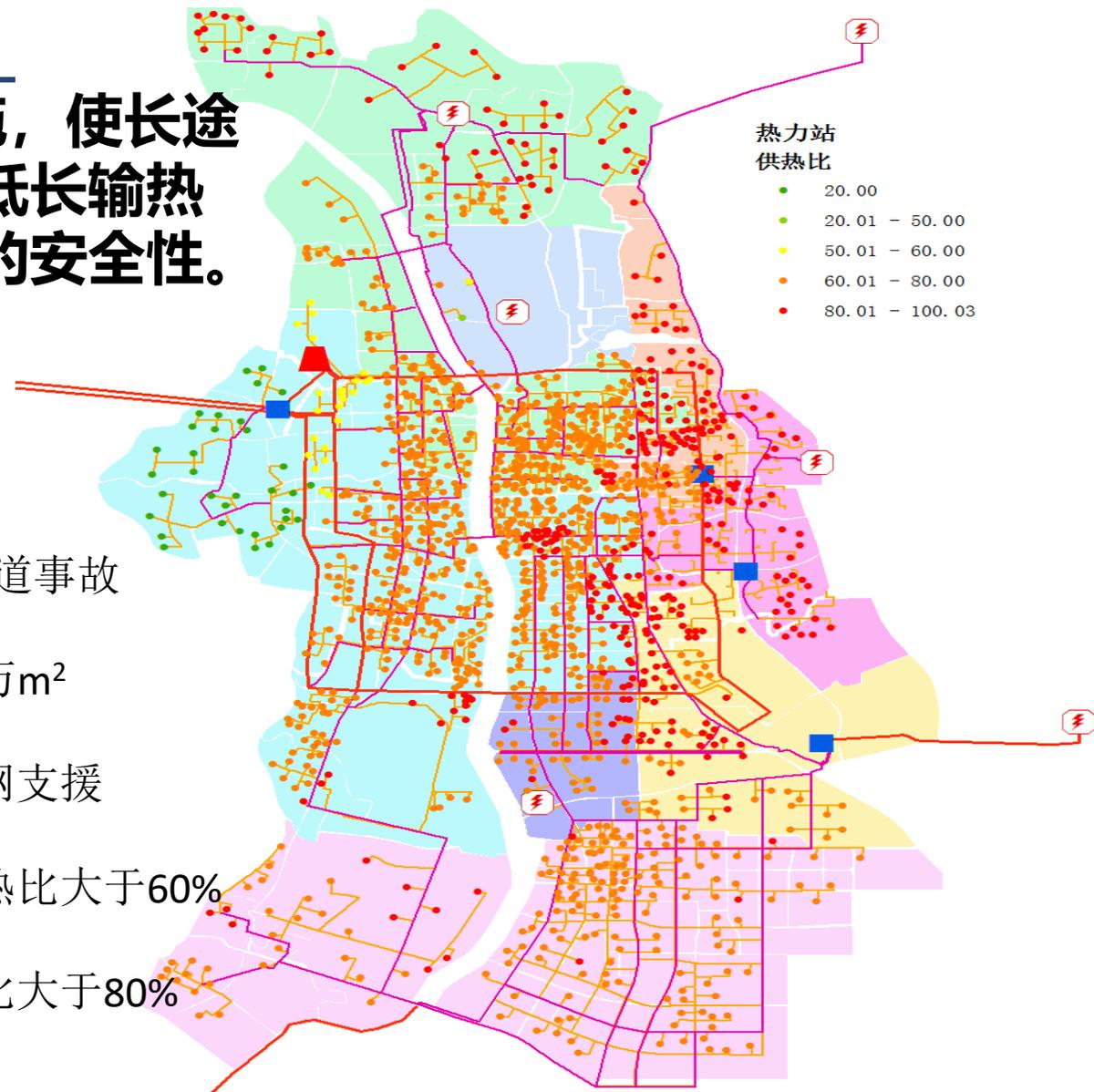
古交热源/长输管道事故

影响面积：7600万m²

其他热源通过环网支援

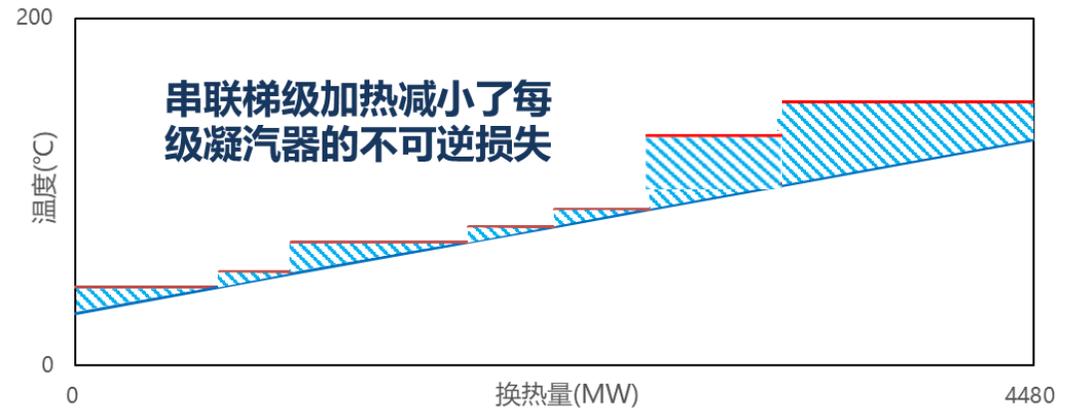
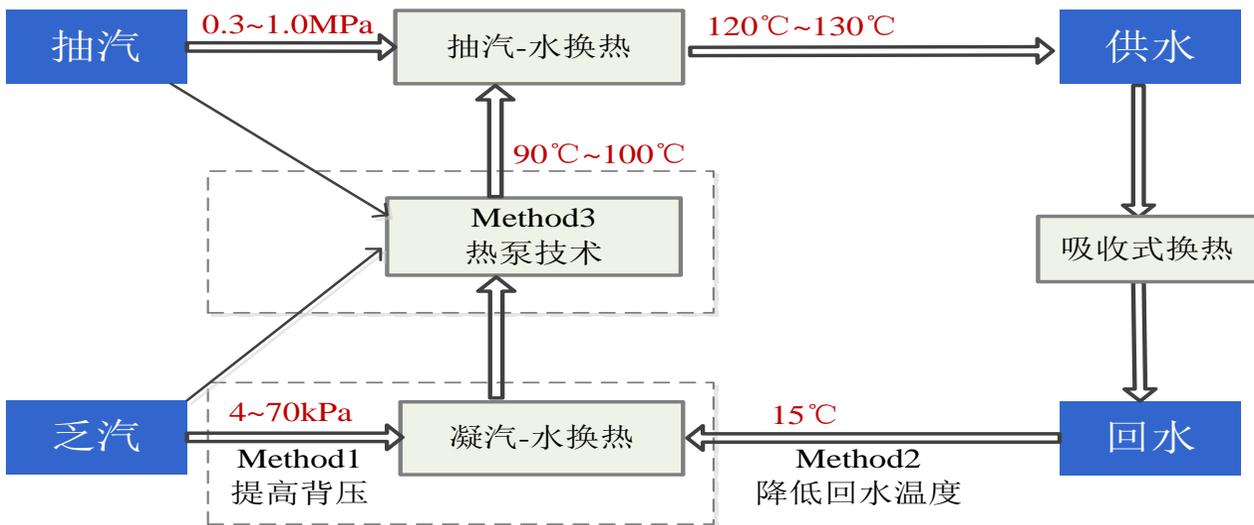
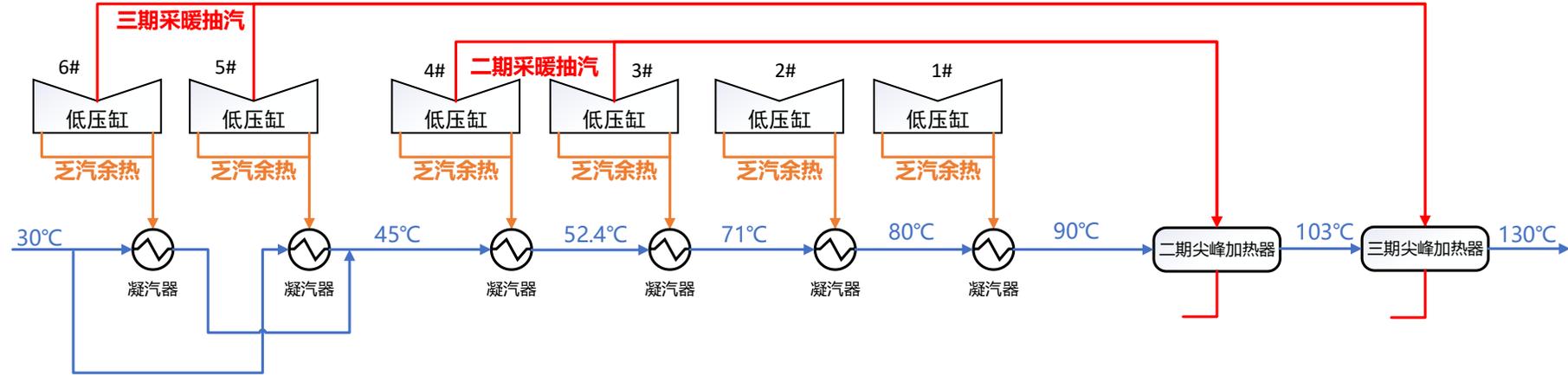
绝大部分区域供热比大于60%

大部分区域供热比大于80%



长输供热发展应注意的问题

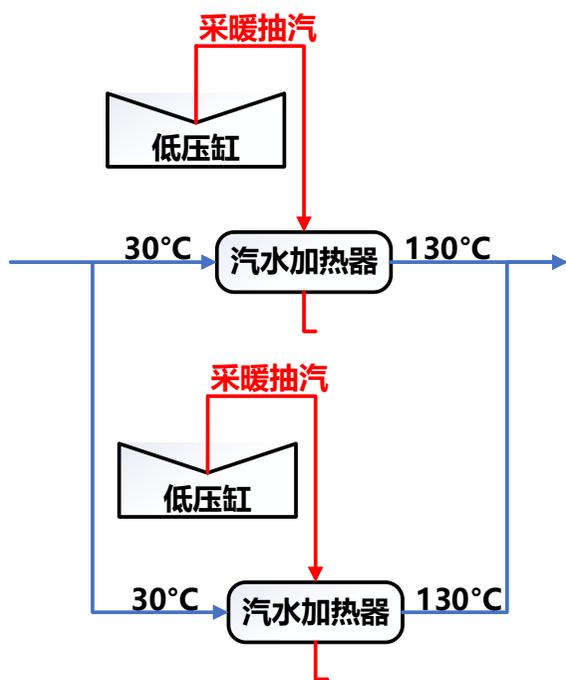
4、降低热网回水温度应与热源的余热回收工艺统一考虑，实现热电厂在传统热电联产基础上能耗进一步降低。对于多台机组要采用多级汽轮机乏汽串联梯级加热工艺



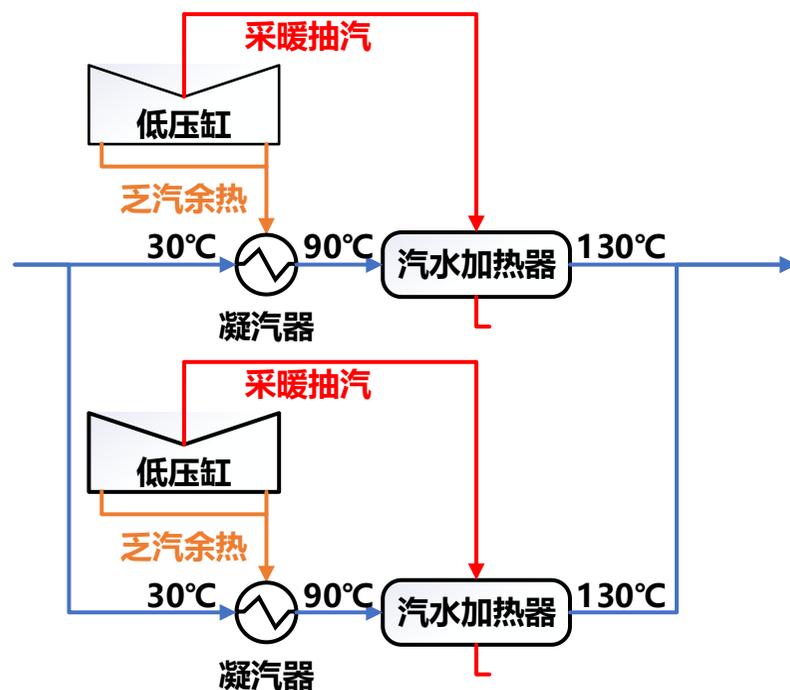
长输供热发展应注意的问题

■ 随着热网回水温度的降低，电厂多机组余热回收需采用合理工艺

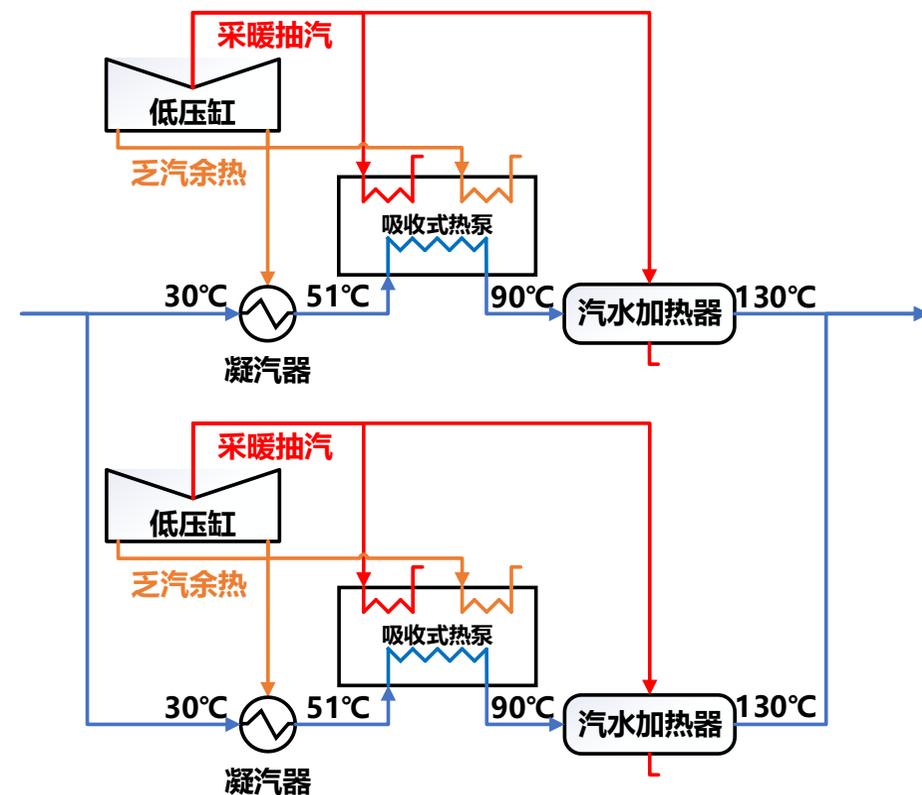
■ 现在的热电厂坚持机组并联工艺，换热环节不可逆损失大



抽汽供热比例100%
单位供热影响发电量
46~69kWh/GJ



抽汽供热比例40%
乏汽供热比例60%
单位供热影响发电量33 kWh/GJ



抽汽供热比例63%
乏汽供热比例47%
单位供热影响发电量31 kWh/GJ

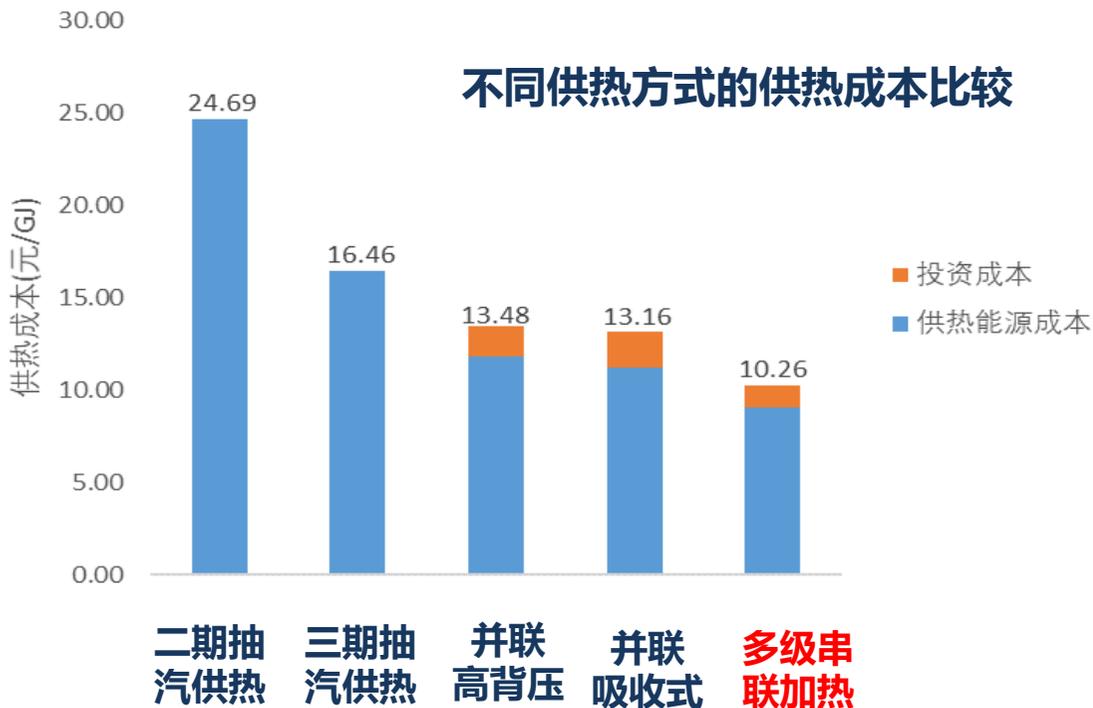
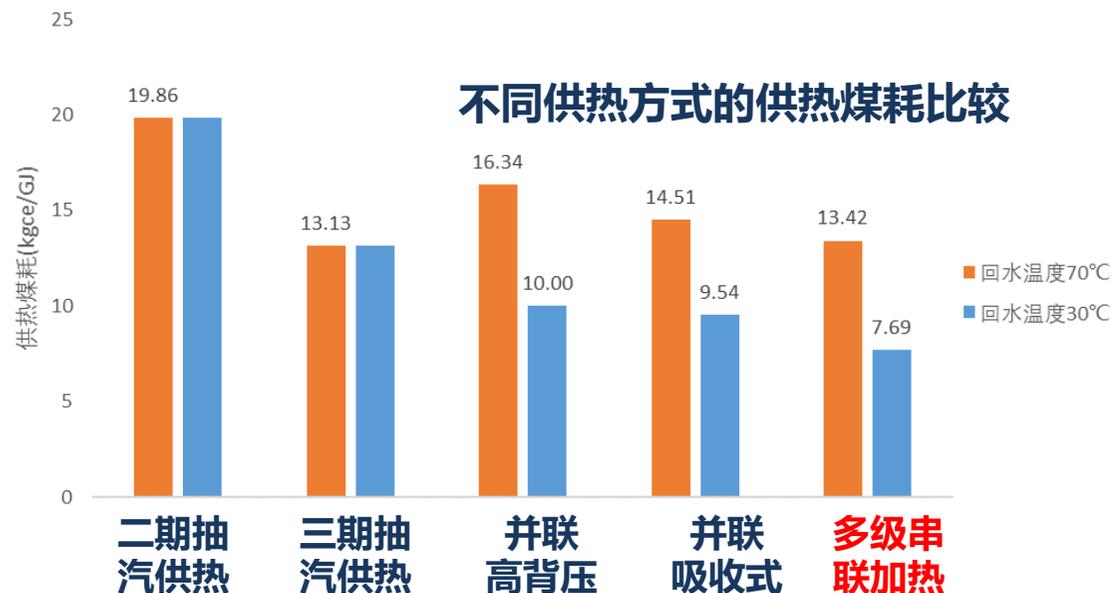
长输供热发展应注意的问题

■ 电厂余热利用在供热能耗和经济性方面具有突出优势

- 供热能耗只有常规热电联产50%，仅有锅炉房供热的20%
- 热乏汽余热占总热量的70.8%
- 供热煤耗7.69kgce/GJ
- 投资较少，总供热成本10.26元/GJ，远低于其他方式

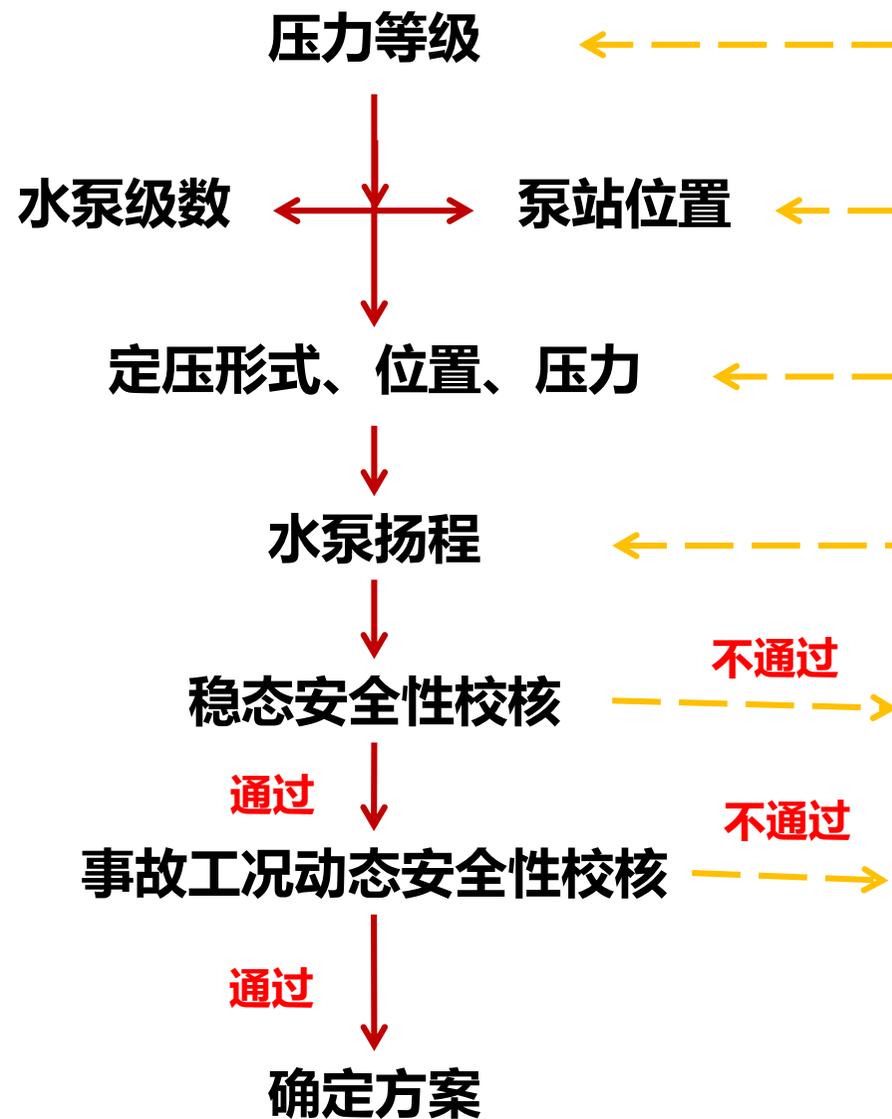
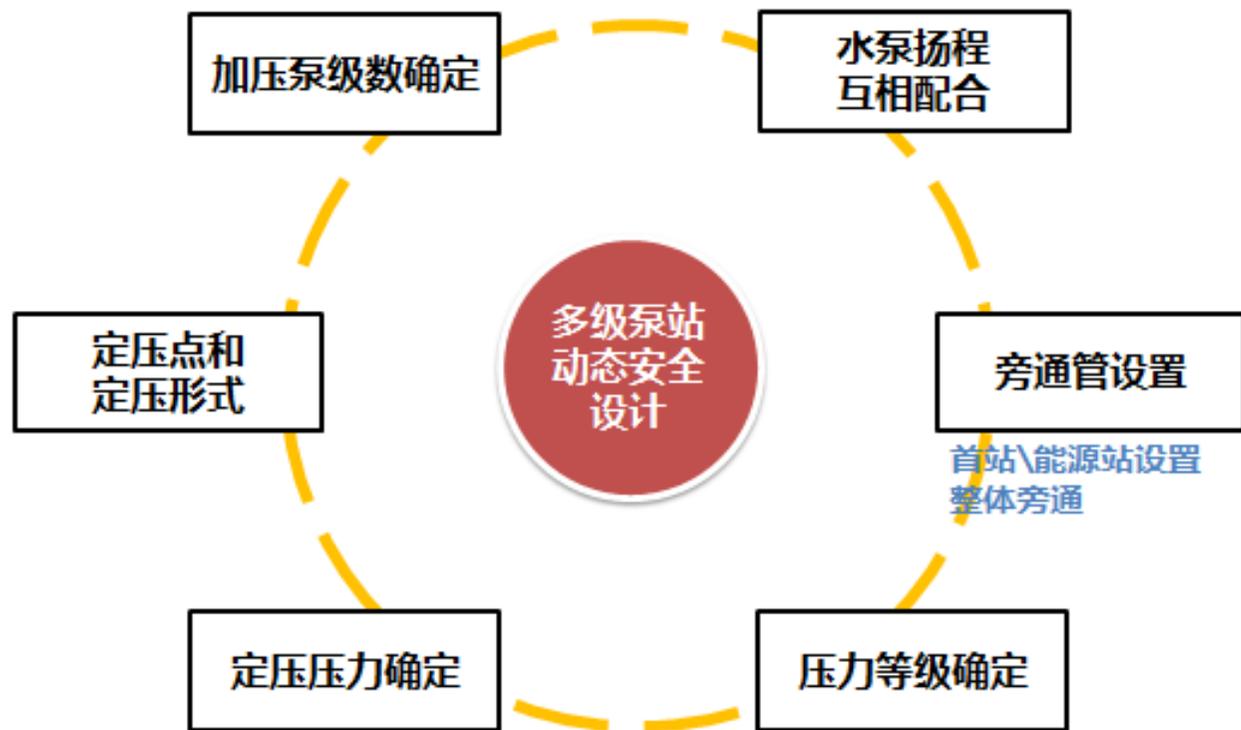
■ 主要原因

- 热网回水温度显著降低
- 多级汽轮机乏汽串联梯级加热工艺



长输供热发展应注意的问题

5、长途输热管道系统在设计 and 建设过程中要考虑动态水力分析，尤其是多级泵系统。需要充分考虑事故状态的动态安全性，需要整体分析考虑，并形成自控策略



长输供热发展应注意的问题

6、改变现有的热量结算方式，从电厂和热力公司共享热网回水温度降低的供热收益出发，从热的价值与其温度品位的原理出发，从谁投入谁受益的经济学原则出发，再考虑实际可操作性和简洁性需求，电厂与热力公司之间的热量结算

$$Q = (T_{\text{供水}} - T_{\text{回水}}) \times \text{循环流量} \times \text{水的比热}$$



$$Q = (T_{\text{供水}} - 40^{\circ}\text{C}) \times \text{循环流量} \times \text{水的比热}$$

40度以上热量为正常计费的结算热量，40度以下的热量不计费。这样给电厂和热力公司均留下了利润空间，同时具有惩罚性，倒逼双方采用合理的技术路线，精细调节，热力公司尽量降低回水温度，电厂尽量采用低品位的乏汽热量供热，从而有效地降低了供热能耗及供热成本。

目 录

1. 清洁供热面临的挑战
2. 大温差长输集中供热新模式
3. 长输供热尚待研究的其他问题
4. 总结及建议

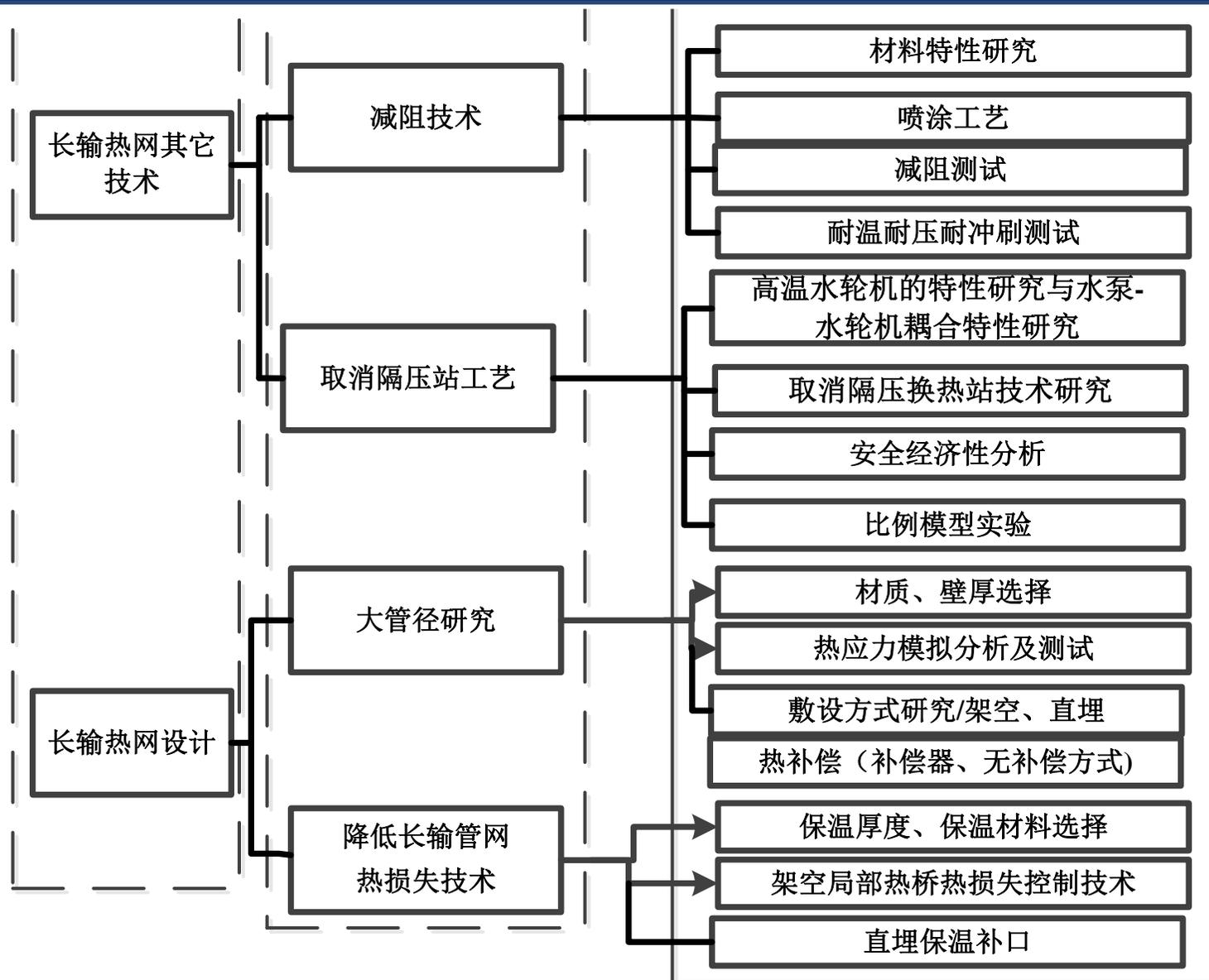
长输供热尚待研究的其他问题

■ 长输热网设计

- 大口径直埋管线研究
- 降低长输管网热损失

■ 长输热网其它技术

- 减阻技术
- 取消隔压站工艺



大口径直埋长输管线

- 保温材料耐温问题、保温补口问题
- 热补偿方式
- 热应力分析

克服大高差工艺及方法

■ 高温水轮机的特性研究与水泵-水轮机耦合特性研究

- 降低下游管网压力，回收节流的压能损失，根据供热管网的运行调节特性，和水泵水轮机的耦合特性，研究适合于供热管网运行调节的水力透平。

■ 取消隔压换热站技术研究

- 研究一种热网的切换装置，使得热网在停运的时候处于隔压状态，而在运行的时候处于直连状态，已达到取消隔压换热站的目的。

减阻

- **材料特性研究，环氧树脂和类似树脂材料改性的方法等**
- **喷涂工艺的研究与改善**
- **减阻效果测试与耐高温耐压耐冲刷效果测试**
- **实际长期环境测试**

目 录

1. 清洁供热面临的挑战
2. 大温差长输集中供热新模式
3. 长输供热尚待研究的其他问题
4. 总结及建议

总结及建议

- **大温差长输供热技术是解决中国北方城镇清洁供热问题的主流方式。应科学规划，大力推广应用。**
- **具备可利用余热条件的城市，应尽可能挖掘周边电厂和工业余热资源，避免余热应用舍近求远。**
- **长输供热要网源一体化考虑，降低热网回水温度应与热源的余热回收工艺统一考虑，实现热电厂在传统热电联产基础上能耗进一步降低。**
- **国家发改委和建设部应联合出台热电厂与热力公司关于热量的结算价格政策，改革目前统一热价，没有体现热量品位的弊端，建议制定依照供热温度的计价政策。**

总结及建议

- **长途输热管道系统在设计 and 建设过程中要考虑动态水力分析，尤其是多级泵系统。需要充分考虑事故状态的动态安全性，在此基础上完善自控策略。**
- **分布式设置大温差机组是降低回水温度的首选方式，应先尽可能靠近用户降低热网回水温度。再考虑设置中继能源站结合调峰热源进一步集中降低热网回水温度。**
- **通过多热源联网或采取燃气分布式调峰措施，使长途输送管网在整个供热期承担基本供热负荷，降低长输热网的输热成本，同时进一步增加城市供热系统的安全性。**
- **研发包括管网减阻、热网管径大型化、隔压站取消等长输供热技术，推动大温差长输供热模式的发展。**

谢谢大家!
