



清华大学
Tsinghua University

北方地区冬季清洁供暖现状和实现途径

清华大学建筑节能研究中心

夏建军

2017年6月29日



主要内容

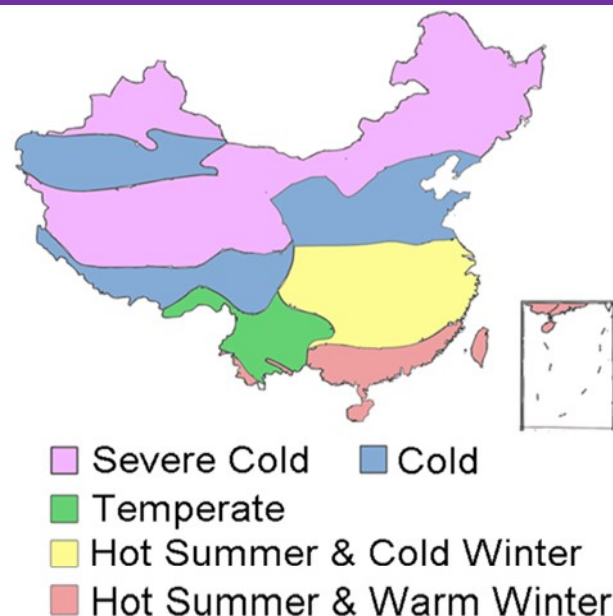
- 背景
- 当前存在的问题
- 清洁供热实现途径
- 总结

1. 供暖面积持续增加

严寒和寒冷地区、部分夏热冬冷地区，
15个省、市、自治区

我国冬季供暖面积以年均约10%的增速飞速增长，至2015年已达131亿平方米

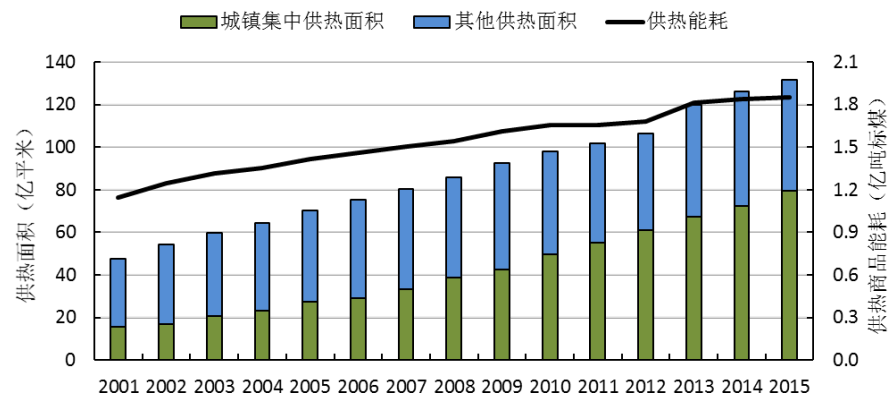
当年北方城镇供暖能耗为1.91亿吨标煤，约占建筑总能耗1/4。



2. 供暖供需关系极度紧张

供暖需求的飞速增长导致我国北方地区供暖热源能力的扩容无法及时跟进

近年北方雾霾严重引发广泛关注，传统化石能源供暖受到限制



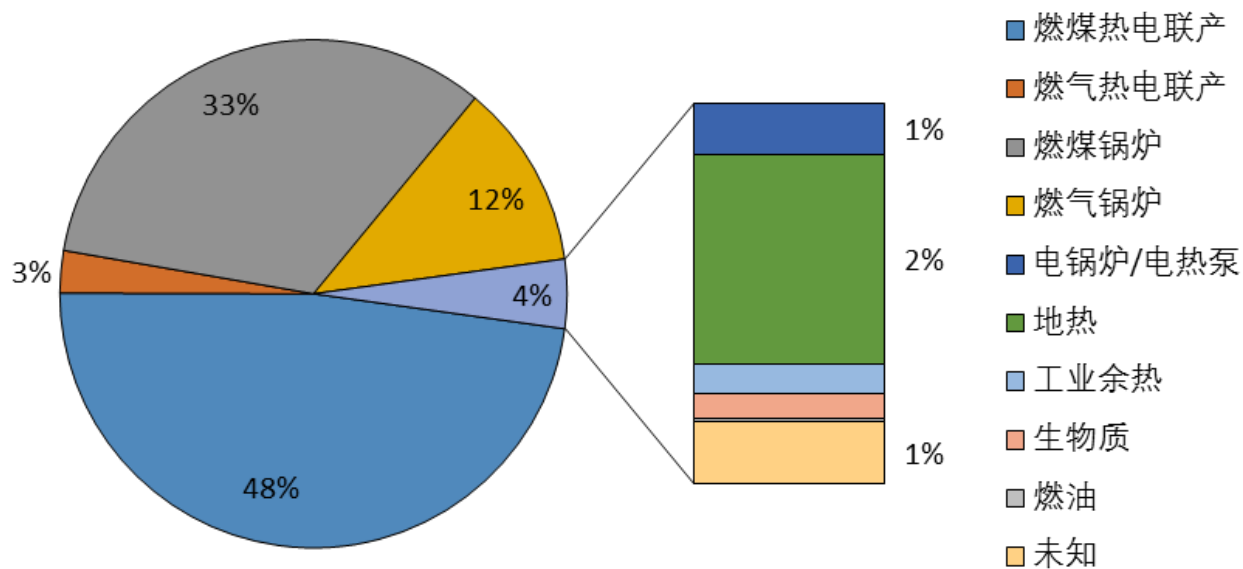
我国北方地区供暖面积增长情况



北方集中供热现状

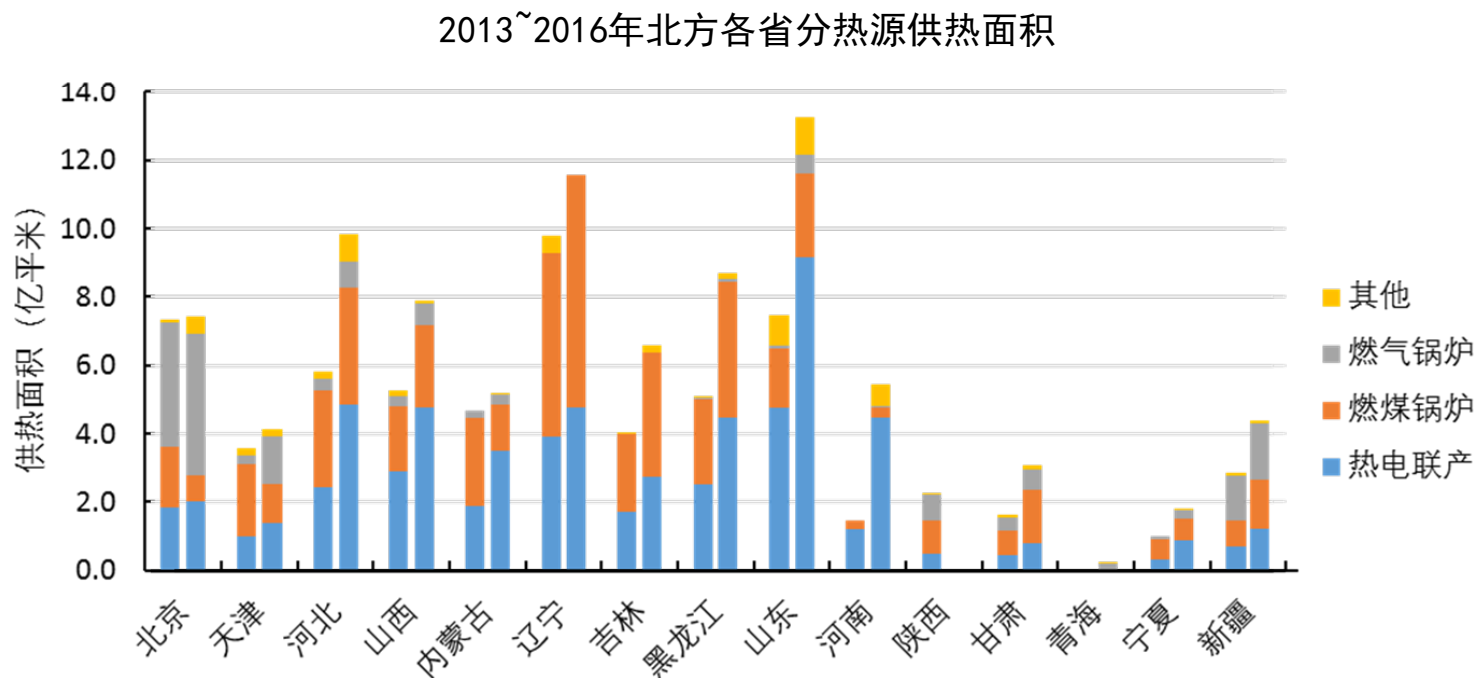
- 城镇集中供热以热电联产为主（占52%），其中燃煤热电联产占48%
- 其次是锅炉（占45%），其中燃煤锅炉占33%
- 其他类型热源仅占4%

2016年北方地区各类热源供热面积比例



北方各省集中供热现状

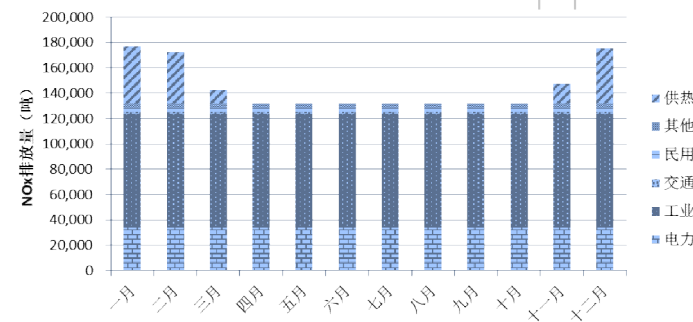
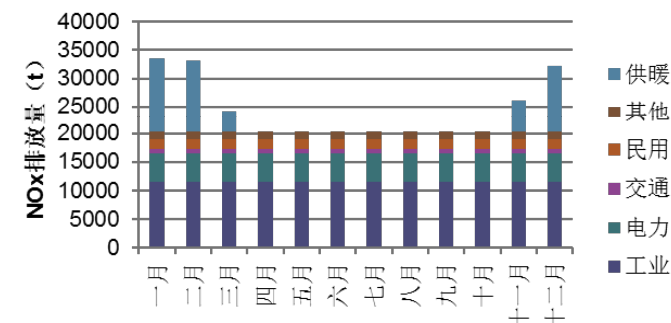
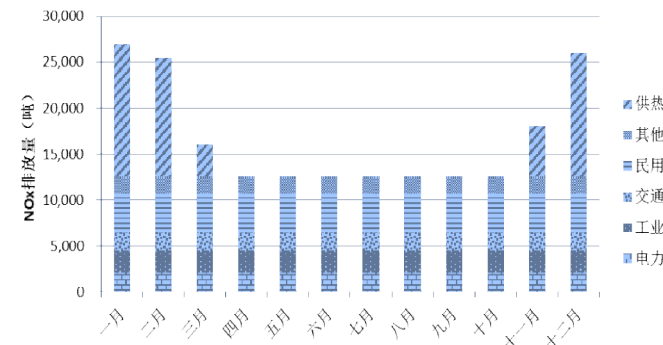
- 从2013到2016，各省市的城镇集中供热面积均有所增长
- 热电联产、燃气锅炉及其他新型供热方式的供热面积及比例有所提高
- 燃煤锅炉的总量及比例有所压减





问题和挑战（雾霾问题）

- 冬季供暖期是雾霾天气频发季节
- 冬季供暖化石能源燃烧是导致雾霾的主要原因之一
- 供暖期的排放源：
 - 燃煤锅炉房（1500万吨），
 - 燃气锅炉房（100亿m³），
 - 农村散煤燃烧（1800万吨）
- 工业及发电燃煤和污染
 - 发电煤耗：年耗煤量8500万吨
 - 工业煤耗：2亿吨
- 等效污染排放指数 和冬季相对排放量 总计4亿吨， 供暖占55%
 - 燃煤发电排污：1 = 3000 万吨 7.5%
 - 大型燃煤供暖锅炉：2 = 2000 万吨 5%
 - 工业煤耗平均排污：3 = 1.5亿吨 37.5%
 - 20吨以下燃煤供暖锅炉：4 =2000 万吨 5%
 - 农村散煤：10 = 1.8 亿吨 45%





- 习近平强调，推进北方地区冬季清洁取暖等6个问题，都是大事，关系广大人民群众生活，是重大的民生工程、民心工程。
- 推进北方地区冬季清洁取暖，关系北方地区广大群众温暖过冬，关系雾霾天能不能减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。要按照企业为主、政府推动、居民可承受的方针，宜气则气，宜电则电，尽可能利用清洁能源，加快提高清洁供暖比重。



2017年政府工作报告

- 加大生态环境保护治理力度。加快改善生态环境特别是空气质量。
- 坚决打好蓝天保卫战。今年二氧化硫、氮氧化物排放量要分别下降3%，重点地区细颗粒物(PM2.5)浓度明显下降。
- 要加快解决燃煤污染问题。全面实施散煤综合治理，推进北方地区冬季清洁取暖，完成以电代煤、以气代煤300万户以上，全部淘汰地级以上城市建成区燃煤小锅炉。加大燃煤电厂超低排放和节能改造力度，东中部地区要分别于今明两年完成，西部地区于2020年完成。抓紧解决机制和技术问题，优先保障可再生能源发电上网，有效缓解弃水、弃风、弃光状况。
- 治理雾霾人人有责，贵在行动、成在坚持。全社会不懈努力，蓝天必定会一年比一年多起来。



清洁供热当前面对的困惑

- 雾霾治理
 - 替代燃煤，调整能源结构，煤改电、煤改气
- 城镇化发展
 - 供暖需求，低成本高质量
- 农村建设
 - 解决供暖问题，改善生活环境
- 电力过剩问题
 - 弃风，热电比失调



需求侧与供给侧热电比是否不匹配？

- 热电比： 城市冬季对热量的需求量/对电力的需求量
- 当热电联产为城市的主要热源时，热电厂输出的热力与电力有一定的比例关系
 - 当需求端热电比小于供给端时：可以从外界输入电力
 - 当需求端热电比大于供给端时：需要额外增加热量供给（锅炉或其它）
 - 当接入风电，进一步减少了供给侧热电比，电厂只好同步减少电力和热量
- 实际案例：
 - 近几年东北地区由于电力消费降低，导致供热量不足，只好弃风并停掉红沿河部分核电机组
 - 2016-2017供热季北京出现电力负荷下降，导致热电厂减少热量输出。为了保证供热，春节期间弃风



几个北方城市冬季需求侧的热电比

城市	供热面积/亿 m ²	最大供热量	最大电负荷	最小电负荷	热电比
哈尔滨	1.93	9650MW	3060MW	2000MW	3.15/4.8
长春	2.28	11400MW	3000MW	2000MW	3.8/5.7
沈阳	2.8	14000MW	4430MW	3000MW	3.16/4.3
乌鲁木齐	1.78	8900MW	4900MW	3500MW	1.82/2.55
呼和浩特	1.3	6500MW	1580MW	1000MW	4.11/6.5
银川	1.0	4500MW	2500MW	1500MW	1.8/3
太原	1.8	9000MW	3600MW	2500MW	2.5/3.6
张家口	0.84	4620MW	1930MW	1350MW	2.39/3.4
北京	8	32000MW	15820MW	10000MW	2.02/3.2
石家庄	2	9200MW	5580MW	3500MW	1.65/2.6
济南	1.5	6750MW	5000MW	3200MW	1.35/2.1
青岛	1.6	7200MW	6500MW	4200MW	1.11/1.7
烟台	0.9	4050MW	6240MW	4100MW	0.65/0.95



供给侧不同电源热源形式热电比的不同

机组	种类	最大发电量	最大抽汽发电量	最大抽汽量	乏汽量	不回收乏汽热电比	回收乏汽热电比
		MW	MW	MW	MW		
机组A	燃煤抽凝机组	315	243	391.5	93.72	1.6	2.0
机组B	燃煤抽凝机组	350	290	417.1	140.60	1.4	1.9
机组C	燃煤抽凝机组	330	261	363.5	185.3	1.4	2.1
机组D	燃气蒸汽联合循环机组	860	790	539.3	60.5	0.68	0.76



供给侧和需求侧热电比的矛盾

- 不同类型的城市需求侧热电比不同，工业比例高的城市热电比可在1.5以下，纯消费城市热电比最高可达到5。东北地区由于产业结构调整，导致需求侧热电比增大，这是目前电力过剩的原因
- 需求侧热电比还随气候变化。极寒天气热电比最大，初末寒期小
- 热电联产的供给侧热电比与电厂形式有关。燃煤热电联产热电比在1.5~2之间，而改为燃气热电联产后，热电比不到1。这是近年北京和天津“煤改气”之后出现电力过剩导致热量不足的原因
- 采用大型蓄热电锅炉，可以减电增热，缓解供需之间热电比的矛盾，但只要有纯发电的热电厂在运行，电锅炉就是在“用三份煤出一份热”，浪费能源，增加排放！



- 1. 电直热方式
 - 电热膜、发热电缆和碳晶等（分散末端） $COP=1$
 - 大型蓄能式电锅炉（集中） 部分热量在热源、输配环节损失， $COP<1$
 - 针对分散末端，发电煤耗按照 310gce/kWh ，供暖的一次能源消耗为 86.11kgce/GJ
 - 目前北方地区风电占供电比例仅约10%，未来若增加到30%，供暖一次能源消耗可降低至 60.28kgce/GJ ，仅相当于 $COP=1.4$ 的电热泵
 - 煤价按照 1000元/tce ，按照发电煤耗 310gce/kWh ，计算电价为 0.31元/kWh ，供暖的一次能源成本为 60.28元/GJ ，难以承受



城乡能源系统必须面对的问题

- 找到“灵活电源”，可以实现大范围电力调峰，从而解决城市用电的峰谷差问题，并全额接纳风电
- 找到更多的热源，加大源侧的热电比，慎重建设燃气热电联产
- 增大需求侧电力比例，减小热量比例，从而降低需求侧热电比
- 在农村加大高效率用电负荷，实现高效的“煤改电”



北方热泵供暖的低温热源

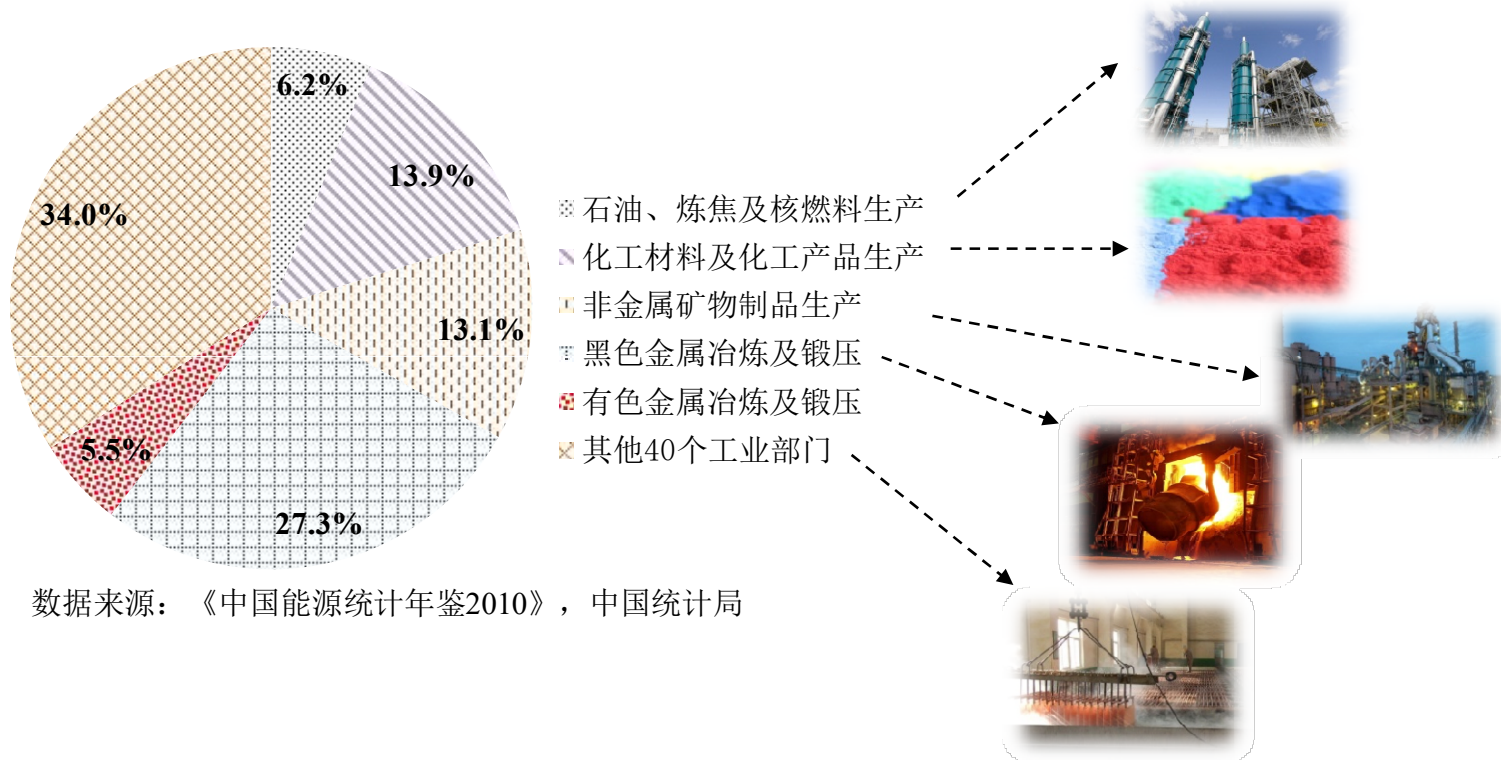
- 利用工业低品位余热的电动热泵
- 中水、污水水源热泵
- 海水水源热泵
- 浅层地埋管换热式地源热泵
- 中、深层地埋管地源热泵
- 空气源热泵
 - -5°C 以上的夏热冬冷地区空气源热泵
 - -5°C 到 -20°C 范围的寒冷地区空气源热泵
 - 低于 -15°C 的严寒地区空气源热泵

城市周边大量工业余热被闲置

□ 我国工业能耗占全社会总能耗的2/3，但能源利用热效率不足50%，工业节能需求巨大。

《工业节能“十二五”规划》（2012.2.27）：

到2015年，规模以上工业增加值能耗比2010年下降21%左右，“十二五”实现节能量6.7亿吨标准煤。



□ 五大高耗能工业企业余热量大且集中、品位相对较高、利用潜力巨大。



我国北方低品位工业余热资源

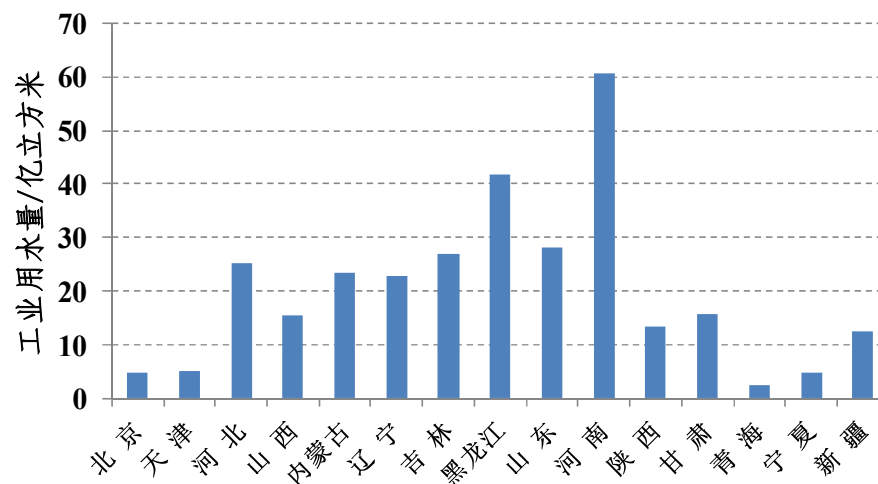
1、能耗角度估计

采暖季 1.14亿tce	低品位余热： 3.13亿tce	2012年
北方五大类工业部门能耗： 7.83亿吨标煤		
五大类工业部门能耗： 15.67亿吨标煤		
工业总能耗：24.64亿吨标煤		

- 工业能耗数据来自《中国统计年鉴2013》；
- 五大类高耗能工业部门能耗数据来自《中国能源统计年鉴2013》；
- 五大类高耗能工业部门的低品位余热比例按照40%估计；
- 采暖季按照120天计算，工业生产按照330天计算。

北方地区工业余热总量约**1亿吨标煤**

2、水耗角度估计



全国高用水行业：火力发电、纺织印染、石油化工、造纸、钢铁，占比2/3。其中火力发电占3/4。

2012年，北方采暖地区工业用水总量**260.3亿m³**
 五大类工业占比1/6（保守估计）
 主要用于冷却（约70%）→约**30亿m³/年**
 $r=2500\text{kJ/kg}$ ，**总余热量0.94亿tce**

北方五大类高耗能工业部门用于冷却的水耗“径流量”
~30亿m³/年

V.S.

南水北调中线设计输水量
径流量
95亿m³/年



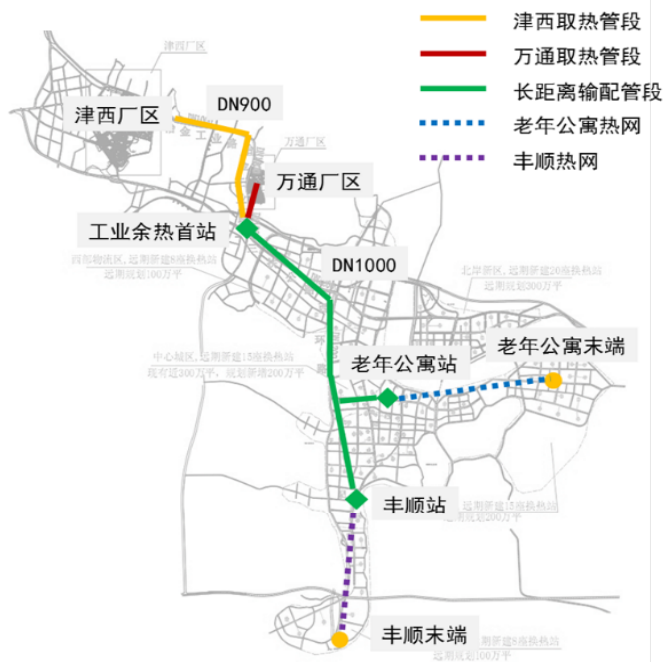
2015年底，国家发改委、住建部制定了《余热暖民工程实施方案》

“到2020年，通过集中回收利用低品位余热资源，替代燃煤供热20亿m³以上，减少供热用原煤5000万吨以上…选择150个示范市（县、区），探索建立余热资源用于供热的经济范式、典型模式…”

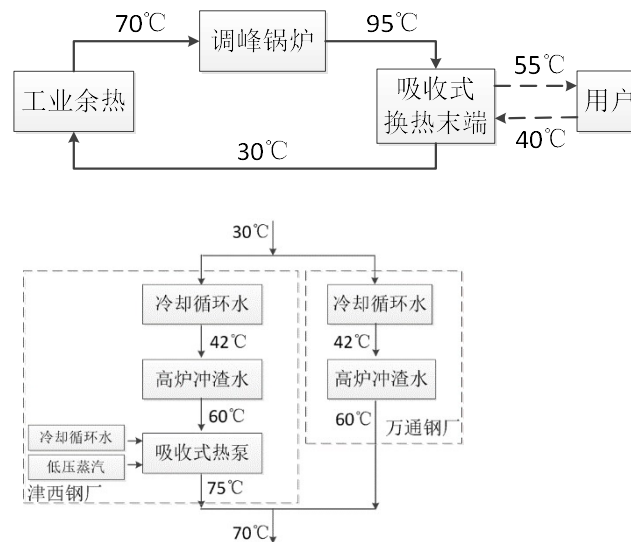
并指出余热暖民工程实施的第一项任务：

开展余热资源和热负荷需求调查

“深入开展余热资源和热负荷需求调查摸底工作，全面梳理本地区相关行业余热资源的种类、品质、数量、连续性、稳定性、分布和利用状况，准确掌握本地区供热需求现状。”



迁西钢厂低品位余热供热



效果:

- 1、最终供热1000余万平米，满足迁西县城2030年需求，一期供热360万平米；
- 2、第一期每天减少供热燃煤440t，每天减少工业用水2000t；
- 3、全国第一个完全利用低品位工业余热进行供热的县城。

特点:

- 1、末端吸收式换热降低回水温度；
- 2、长距离输送；
- 3、钢厂多种余热梯级利用；
- 4、热网充分配合余热进行调节，保证供热安全和质量。

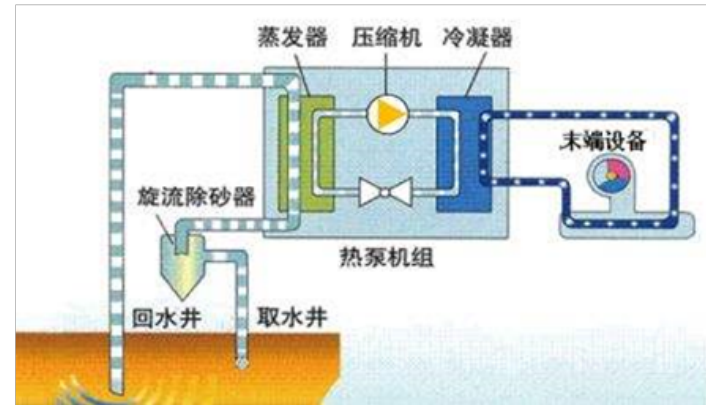
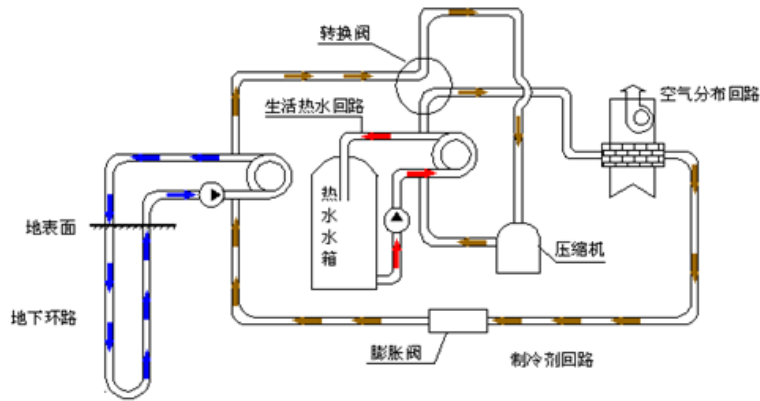


充分挖掘目前热电厂的余热资源

- 目前北方地区仍有35%的热电厂在冬季没有热电联产
 - 天津盘山220万kW
 - 张家口 200万kW
 - 唐山地区 360 万kW
 - 内蒙托克托200万kW，元宝山电厂，大板电厂，，，，
 - 目前承担冬季为电厂调峰功能，改为“热电协同”模式，即可供热
- 目前80%的热电联产电厂仍在排放冷凝乏汽余热
- 北方的核电也可以改造为热电联产方式：红沿河、海阳
- 一批工业自备电厂也可以对外供热：如电解铝企业的自备电厂



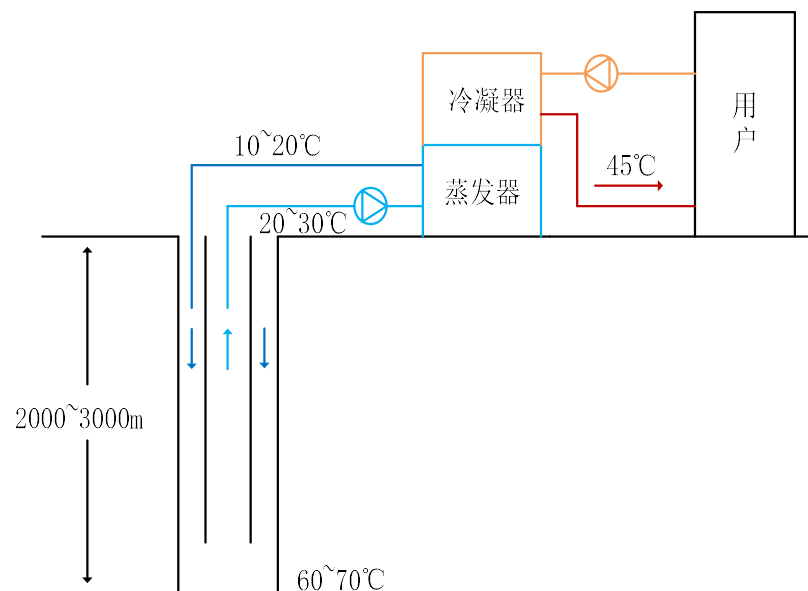
浅层地源热泵



- 由于直接抽水取热的模式在多地禁止，地源热泵成为浅层地热应用的主要方式
- 近年来在国内飞速发展
 - 北京通州副中心
- 是否需要保证冬夏之间的热平衡？
 - 当地下存在显著渗流，不需要考虑热平衡
 - 当地下以导热为主时，应仔细核算冬夏之间的热平衡
- 当需要保持冬夏之间热平衡时
 - 采用集中供热、集中供冷方式
 - 对于居住建筑来说，集中供冷电耗远高于分体空调，导致全年总的电耗大幅度增加。这种情况下，**地源热泵不适合居住建筑**
- 以北京为例，**全采暖季系统COP=3.5（考虑热源和用户的输配电耗），发电煤耗按照310gce/kWh，供暖的一次能源消耗为24.60kgce/GJ（未考虑风电），供暖的一次能源成本为24.60元/GJ**

中深层地源热泵

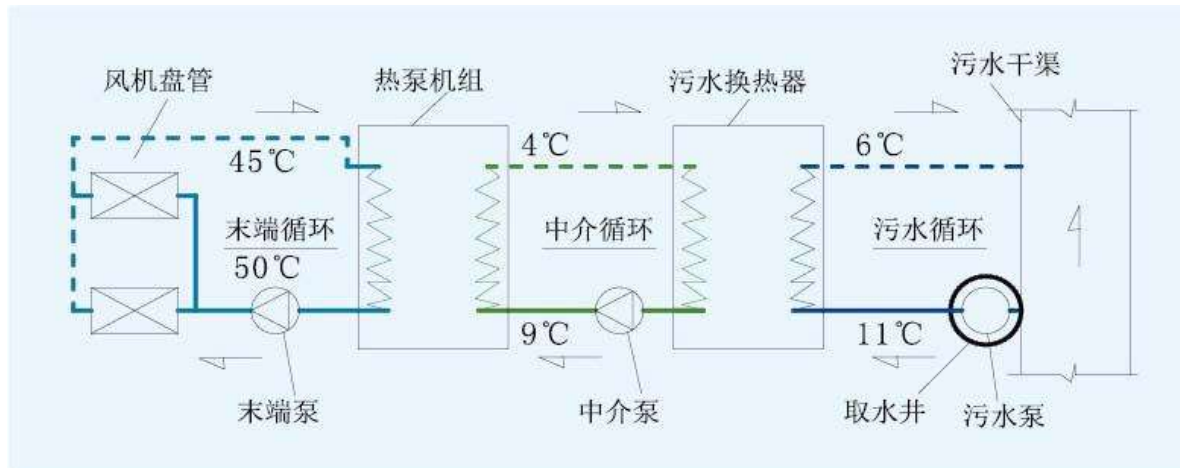
- 从西北开始，进一步在北方多地发展起来的新方式，已有多个工程
- 水在管道中闭式循环，不会造成任何污染或其它环境问题
- 在地面处水温： $20\sim 30^{\circ}\text{C}/15\sim 22^{\circ}\text{C}$
- 单井流量： $25\sim 35$ 吨/h， $250\sim 350$ kW
- 投资： 150 万 ~ 250 万（井及套管）
- 适应条件：
 - 热状况依靠地下深处传热恢复，不可供冷
 - 热性能几乎不受地域限制
 - 地质条件不同钻井成本大不相同
- 发展方向：
 - 流量优化，使得单井产热量最大
 - 蒸发器侧双机串联，提高主机COP



- 全采暖季系统COP=5（考虑热源和用户的输配电耗），发电煤耗按照 310gce/kWh ，供暖的一次能源消耗为 17.22kgce/GJ （未考虑风电），供暖的一次能源成本为 17.22 元/GJ



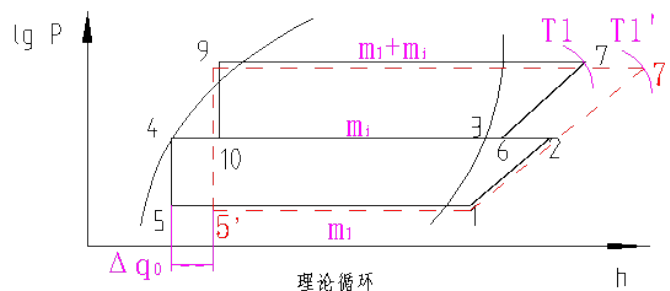
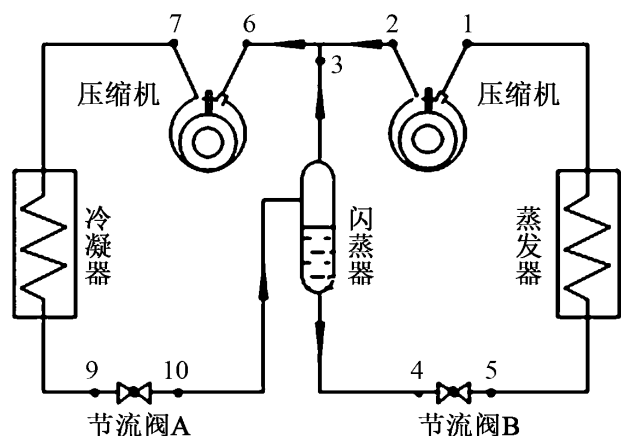
污水源热泵



- 从城市生活排放掉的废水或着是在工业生产中受到污染的水源中提取热量，实现对用户供暖的热泵系统。一种是以不经过处理的污水为热源；另一种是以再生水为热源，**一般用于城市污水处理厂周边的供热**
- 以高碑店污水处理厂二级出水为例，冬季出水水温13.5-16.5°C
 - **全采暖季系统COP=4（考虑热源和用户的输配电耗），发电煤耗按照310gce/kWh，供暖的一次能源消耗为21.53kgce/GJ（未考虑风电）**
 - 煤价按照1000元/tce，计算电价为0.31元/kWh，**供暖的一次能源成本为21.53元/GJ**



空气源热泵



- 是目前“煤改电”中应用最广泛的方式，使用条件最宽松
- 分散式（一室一机）、多联机等应优先发展，规模不宜过大
- 外温在 0°C 左右时：
 - 是热泵传统上的应用范围
 - 蒸发器化霜模式和判断方式
- 外温在 -10°C 左右时：COP可以大于2
 - 压缩机压比及排气温度过高
 - 螺杆机、涡旋机的补气增焓；转子压缩机的双级压缩
- 外温低于 -20°C 时：COP很难超过2
 - 三缸双级转子压缩机，COP接近2
- 以北京地区为例，全采暖季COP=3，发电煤耗按照 310gce/kWh ，供暖的一次能源消耗为 28.70kgce/GJ （未考虑风电）
- 煤价按照 1000元/tce ，计算电价为 0.31元/kWh ，供暖的一次能源成本为 28.70元/GJ



小结

电采暖方式	具体形式	采暖季 系统COP (以北京为例)	一次能源消耗 (无风电/有风电) *风电比例30% <i>kgce/GJ</i>	一次能源成本 (无风电/有风电) *风电比例30% <i>元/GJ</i>	初投资成本 <i>万元/kW</i>
直热式	分散电采暖	1	86.11/60.28	86.11/60.28	0.05
	集中电采暖	0.8	107.64/75.35	107.64/75.35	0.1
	低温空气源	3	28.70/20.10	28.70/20.10	0.2
热泵	污水源	4	21.53/15.07	21.53/15.07	0.4
	浅层地源	3.5	24.60/17.22	24.60/17.22	0.44
	中深层地源	5	17.22/12.06	17.22/12.06	0.77



清洁供热 小结

- 城镇地区
 - 深化建筑节能改造后，平均需热量 $0.2\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ；
 - 热源主要为热电联产（ $22\text{kgce}/\text{GJ}$ ）、近零能耗的工业余热、乏汽余热，辅以天然气锅炉和热泵（ $\text{COP}=3.5$ ）为调峰热源。
- 农村地区
 - 提升农宅围护结构保温性能，取暖需热量 $0.3\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ；
 - 主要供暖热源为电热泵、太阳能、生物质；
 - 在北京、天津、河北、山西、山东、河南等地重点推广低温空气源热泵采暖，完全由电来替代传统的固体燃料进行取暖，按全冬季的平均COP为3计算，则每年的总耗电量为250亿kWh；
 - 在新疆、青海、甘肃、陕西、宁夏、西藏等地，重点推广被动式太阳房和主动式太阳能采暖技术，考虑到主动式系统中的风机、水泵等电耗（按平均占建筑采暖负荷的10%计算），则每年的总耗电量约为20亿kWh；
 - 在黑龙江、吉林、内蒙古、辽宁等地，重点推广生物质成型燃料采暖技术，采暖炉效率按80%计算，则全年的燃料消耗总量约为2000万吨。



清华大学
Tsinghua University

谢谢！

清华大学建筑节能研究中心

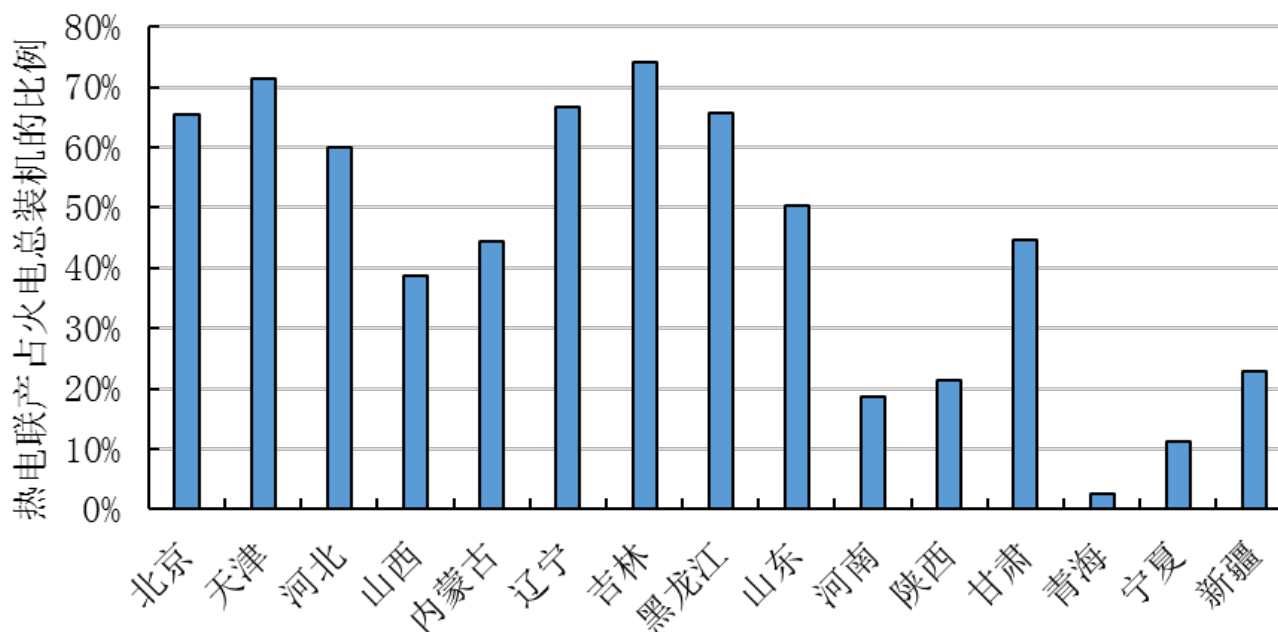
2017年6月



热电联产的发展情况

- 2014年北方地区热电机组装机容量为2.1亿kw
- 占北方地区火电总装机的43%，占北方地区总装机容量的33%
- 纬度较高的城市热电机组比例更大

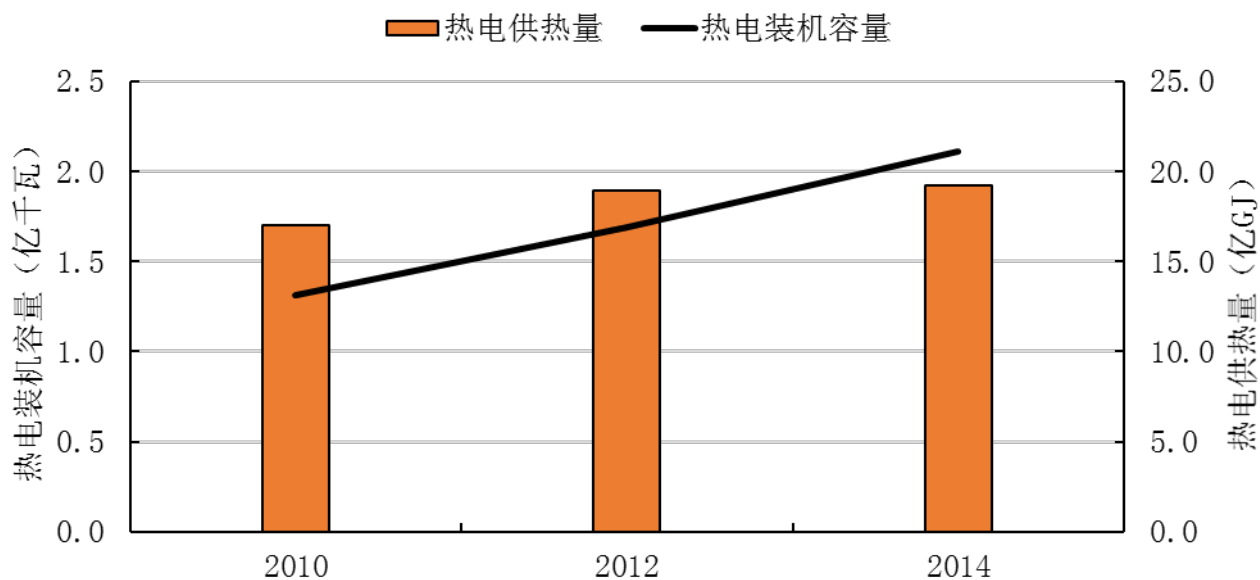
2014年北方各省热电机组占火电总装机容量的比例



热电联产发展中存在的问题

- 2010至2014年，热电装机容量增长60%
- 而热电机组供热量仅增加13%
- 热电机组的供热能力未能充分发挥

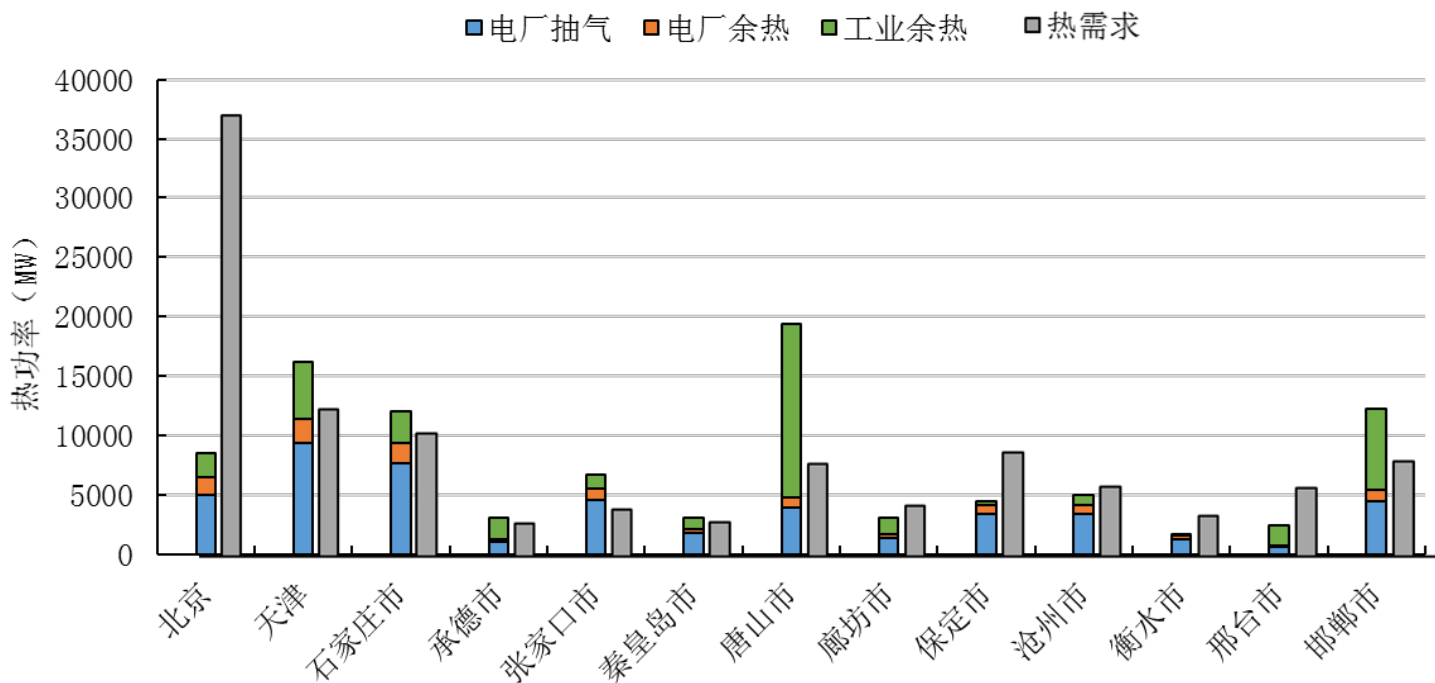
2014年北方地区热电机组装机容量和供热量



热电联产发展中存在的问题

- 区域分布不平衡
- 乏汽余热没有充分利用

河北省电厂、工业余热供热能力与城市热需求的对比

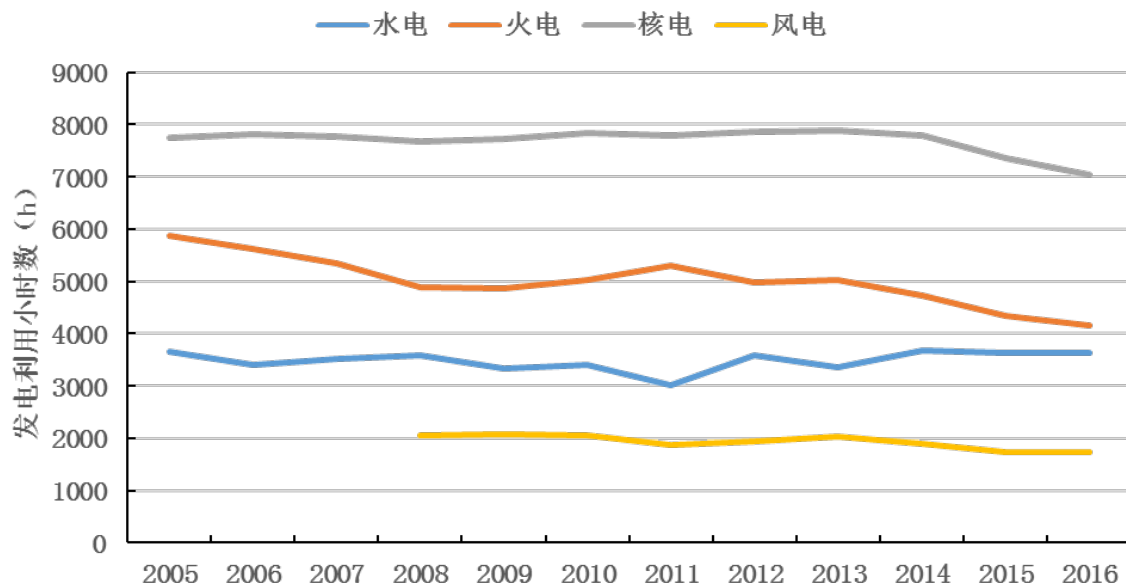




热电联产发展中存在的问题

- 北方地区整体电力过剩
- 在以热定电的运行方式下，热电联产挤占了其他电力

全国历年发电利用小时数



2015年全国发电量情况

