

中国天然气利用机遇



前言

随着技术创新与政策改革不断推进，中国能源行业正向着多元化、清洁化、数字化和市场化方向转型。在转型过程中，天然气作为优质高效，绿色清洁的低碳能源，在能源消费结构中的比重也不断攀升。2017年6月，国家发展改革委等13个部委联合发文，提出“逐步将天然气培育成我国现代清洁能源体系的主体能源之一”。主体能源的提出，进一步明确了天然气在能源结构的地位，鼓舞了行业发展的信心。但同时需要注意的是，当前在推广天然气应用过程中依然面临一系列的挑战，包括供气成本过高、市场化程度不足、企业认知度较低、配套政策滞后等。为了推动天然气的可持续应用，在壳牌的支持下，普华永道思略特历时6个月，通过市场调研、专家访谈、数据分析和模型演算等方法，撰写、发布了本《中国天然气利用机遇》的报告。这份报告量化分析了天然气的经济、环保、安全、效率等价值，同时也根据当前能源市场改革中的实际情况剖析了天然气在不同产业和地域的机遇和挑战，并就发展方向提出建议。我们希望借此机会推动各领域对天然气的关注，探讨天然气行业的明天并寻求新的合作机会，为中国能源市场的改革和绿色事业做出自己的一份贡献。

报告联系人



单小虎

合伙人

tiger.shan
@strategyand.cn.pwc.com



丘志恩

执行总监

joshua.yau
@strategyand.hk.pwc.com



林骏达

高级经理

junda.lin
@strategyand.cn.pwc.com

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

可持续发展已经成为中国国家战略最重要的组成之一

国家战略规划

“十三五规划”

能源发展“十三五”规划

“十三五”
生态环境保护
规划

“十三五”
环境保护标准

绿色发展是中国可持续发展以及中国人民过上更好的生活的前提

建立节约型社会 and 环境保护必须成为基本国策

“十三五”期间，二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放标准将进一步加强

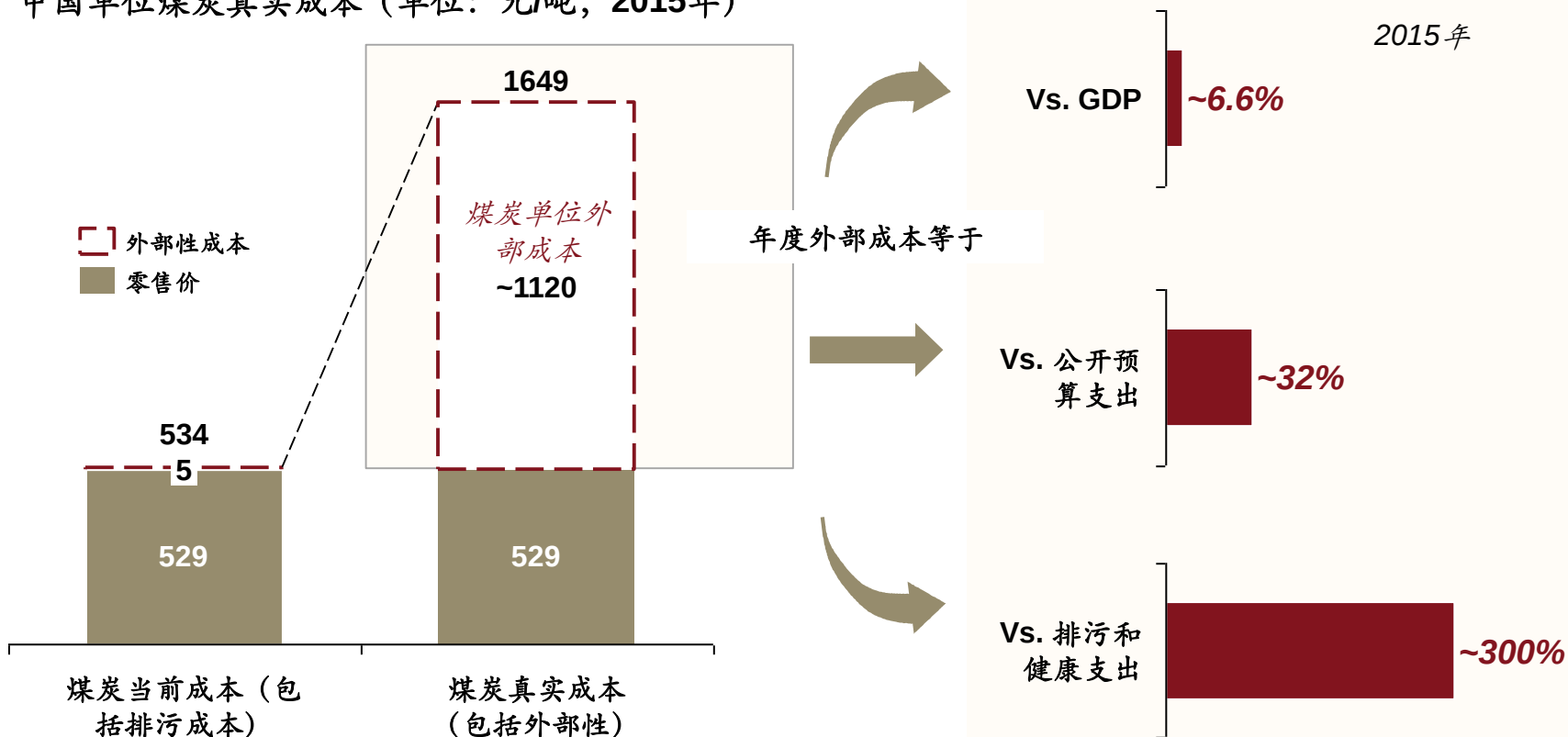
“十三五”期间，旨在将二氧化硫和氮氧化物的累计排放分别减少15%

资料来源：发改委，环保部，思略特分析

但是以煤炭为主的能源系统因为其空气污染而对社会造成了巨大的成本损失

中国2015年单位煤炭消费外部成本（空气污染相关）

中国单位煤炭真实成本（单位：元/吨，2015年）



注1：新的环境税将在2018年取代排污费，届时煤炭的污染成本也将增加

注2：外部性成本是指煤炭生产和消耗带来的环境和健康成本

资料来源：国际货币基金组织《正确为能源定价》《煤炭的外部性2012》，国务院，新华社，网易新闻，思略特分析

除了与空气污染相关的成本损失，煤炭消费可能还会导致**2700亿元**的气候损失

煤炭碳成本，以30元/吨的碳价计算

中国煤炭碳成本（单位：亿人民币）

- 如果考虑环境变化的外部性，**2015年煤炭的碳排放成本~2700亿元**

2700

煤炭成本（反映气候变化的影响）

Vs. GDP

~0.4%

2015年

Vs. 公开预算支出

~1.8%

Vs. 污染和健康支出

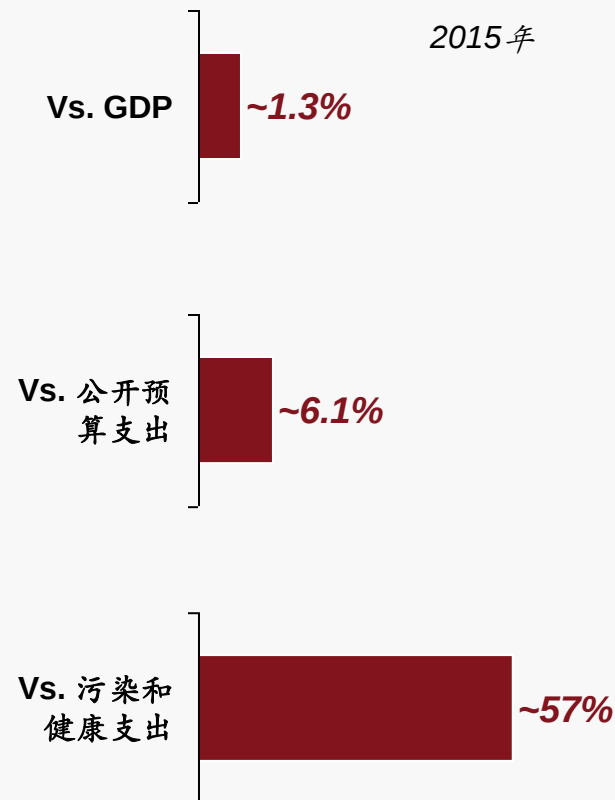
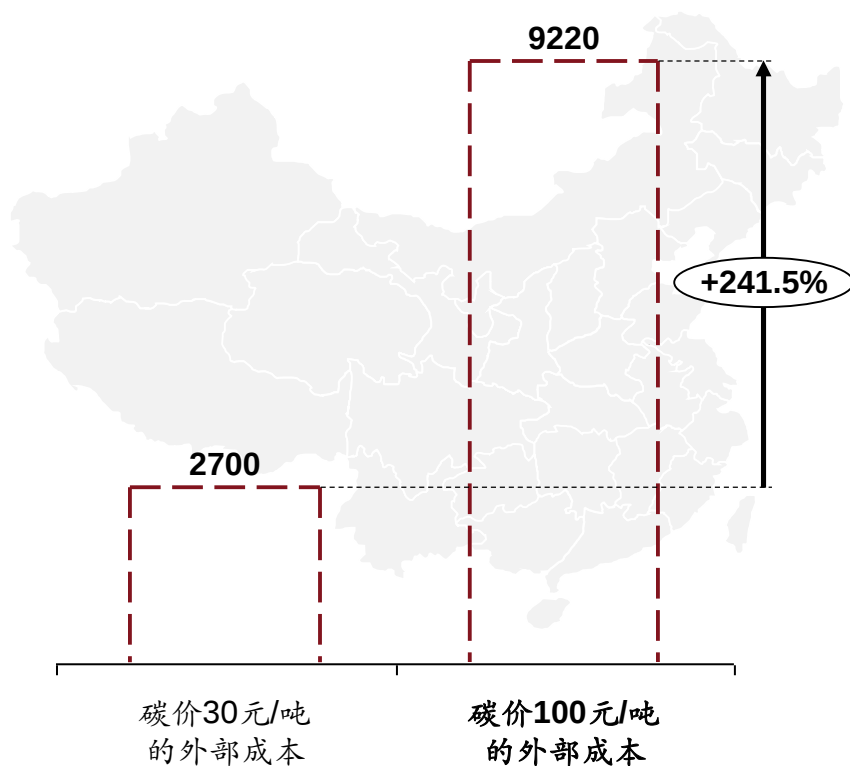
~17%

资料来源：国际货币基金组织《正确为能源定价》，统计局，思略特分析

如果使用更高的、100元/吨的碳成本，中国的碳成本总和将从2700亿元上升到~9200亿元

煤炭的气候变化外部成本，以100元/吨的炭价计算

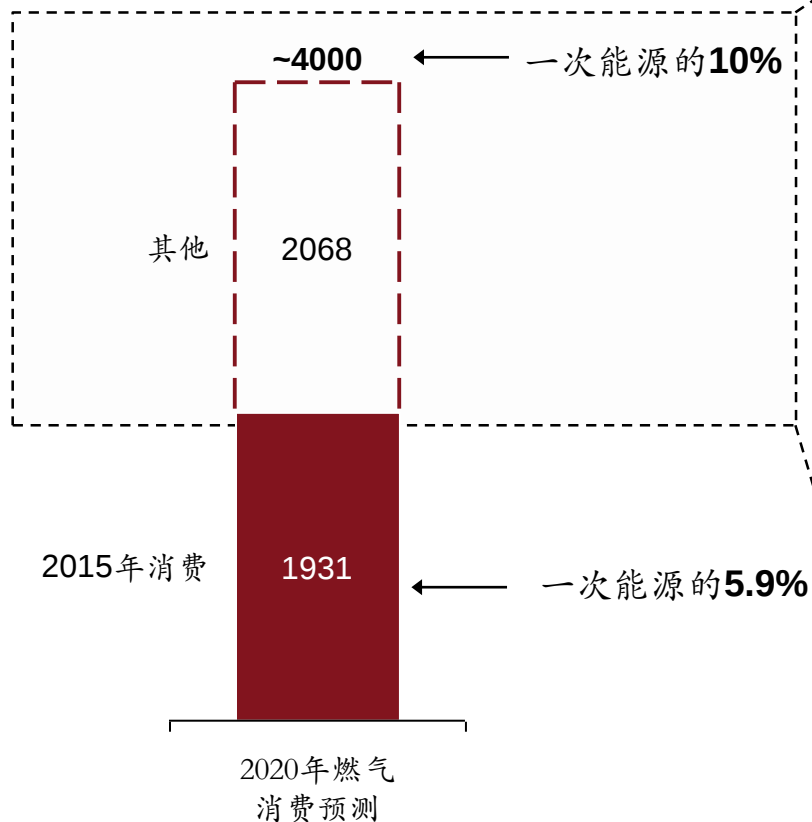
中国煤炭碳成本（单位：亿人民币）



资料来源：国际货币基金组织《正确为能源定价》，统计局，思略特分析

2020年实现天然气消费占比一次能源消费10%可以节约~850亿元的净成本

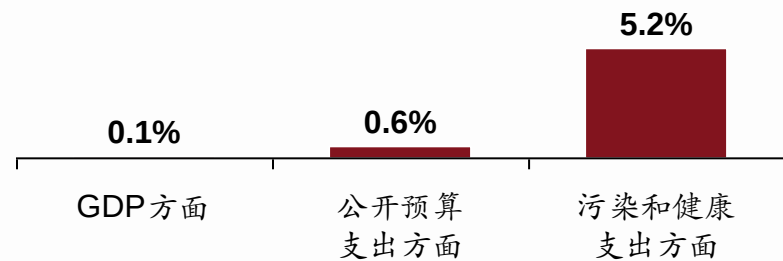
2020年天然气消费预测 (单位: 亿立方米)



2020年煤改气带来的成本节约

- 假设所有天然气额外消费都来源于煤改气
- 4%的额外天然气消费*总成本降低~850亿元 (大气污染的外部成本降低, 燃料成本上升)

2020年总节约预测vs.2015年财务数据



*注: 不包含主要产煤大省煤炭产量降低对GDP造成的负面影响

资料来源:《中国能源发展“十三五”规划》, 国际货币基金组织《正确为能源定价》, 统计局, 思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

加强各种不同领域的煤改气应用可以帮助中国实现2020年前天然气占消费比10%的目标

工业用热



- 总体而言，煤改气要优于煤炭锅炉改造
- 主要关注纺织、食品、纸业、陶瓷等高价值行业和山东、河北、江苏等主要地区
- LNG为主的供气促进市场竞争，能有效降低天然气价格

民用



- 天然气作为更加清洁和便捷的能源，更适合用于烹饪、热水器等家用场合
- 大型集中的天然气热电联产更适用于环境敏感区域和非产煤区域

分布式能源



- 分布式天然气热电联产效率达到70%以上且排放减少后，将成为中国电力改革和微电网发展的核心
- 能源需求较大且较稳定的用户以及利用率较高的用户为近期的主要客户：数据中心、工业园区等

电厂



- 天然气调峰厂是能源灵活性的重要资源，加上可再生能源日益增加，需要更灵活的电网系统来整合各类能源
- 灵活性定价有助于鼓励投资调峰厂

- 加强煤改气在这些领域的应用可以帮助中国达到2020年天然气占10%的能源结构目标，同时还有交通、化工和其他领域的天然气应用

资料来源：专家访谈，思略特分析

天然气是中国改革的战略推动者

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

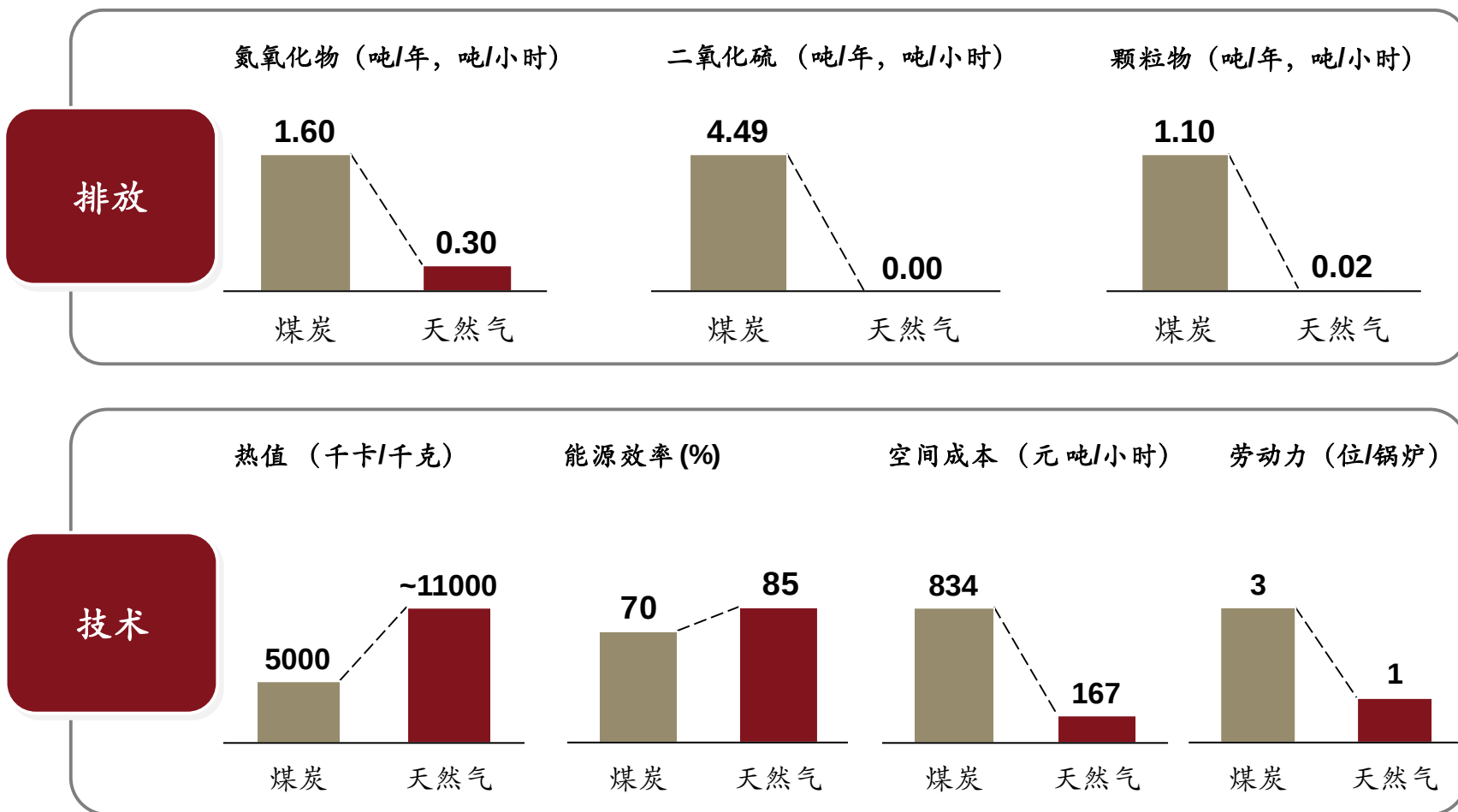
热电联产- 集中供热

热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

作为一种工业燃料，天然气提供的价值绝非只有减排



资料来源：专家访谈，北京燕京啤酒电改气项目环境影响评估报告，思略特分析

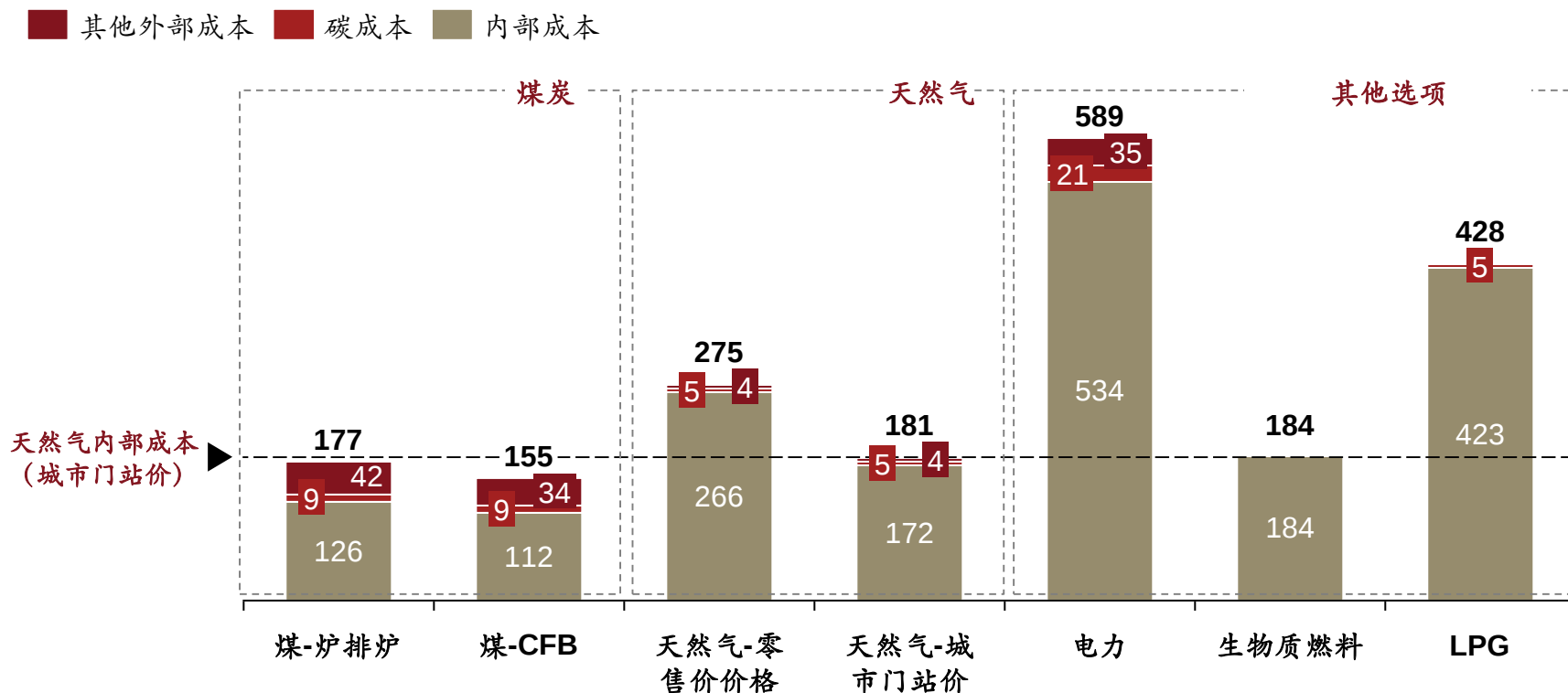
对于投资者而言，煤改气可以帮助降低政策风险，节约土地成本，提升产量和减少设备故障

描述	案例						
降低政策风险 煤锅炉可能面临关闭的政策风险，导致沉没成本，影响工厂运营	江苏常熟一家纺织企业：被迫关闭一个价值400万人民币、运营两年的煤锅炉 成本上升让我们不得不更新技术和产品 ----- 运营总监						
节约土地成本 天然气锅炉不需要煤炭储藏和废物处理；节约用地和相关成本	云南某制烟厂：天然气锅炉房建筑面积仅有煤炭锅炉房的1/4 建设股某纺织公司：节约几百平方米空间，改造成仓库						
提高产量 天然气锅炉将有更高的热值，供应也更稳定，将提升特定行业的产量和质量	新疆一家化工企业：产品营收（单位：元）增长33.4% <table><thead><tr><th>锅炉类型</th><th>产品营收 (单位：元)</th></tr></thead><tbody><tr><td>煤炭锅炉</td><td>12,300</td></tr><tr><td>天然气锅炉</td><td>16,410</td></tr></tbody></table> +33.4%	锅炉类型	产品营收 (单位：元)	煤炭锅炉	12,300	天然气锅炉	16,410
锅炉类型	产品营收 (单位：元)						
煤炭锅炉	12,300						
天然气锅炉	16,410						
减少设备故障 天然气锅炉更加稳定，故障率更低，工作时间更长	新疆一家化工企业：煤炭锅炉由于设备故障率很高，每年关闭30次，合计47个工作日						

资料来源：专家访谈，文献研究，思略特分析

如果以城市门站气价计算，天然气锅炉对比譬如电锅炉、生物质燃料锅炉和LPG锅炉等其它锅炉具有很强的成本竞争力

不同锅炉的单位成本（元/吨时）

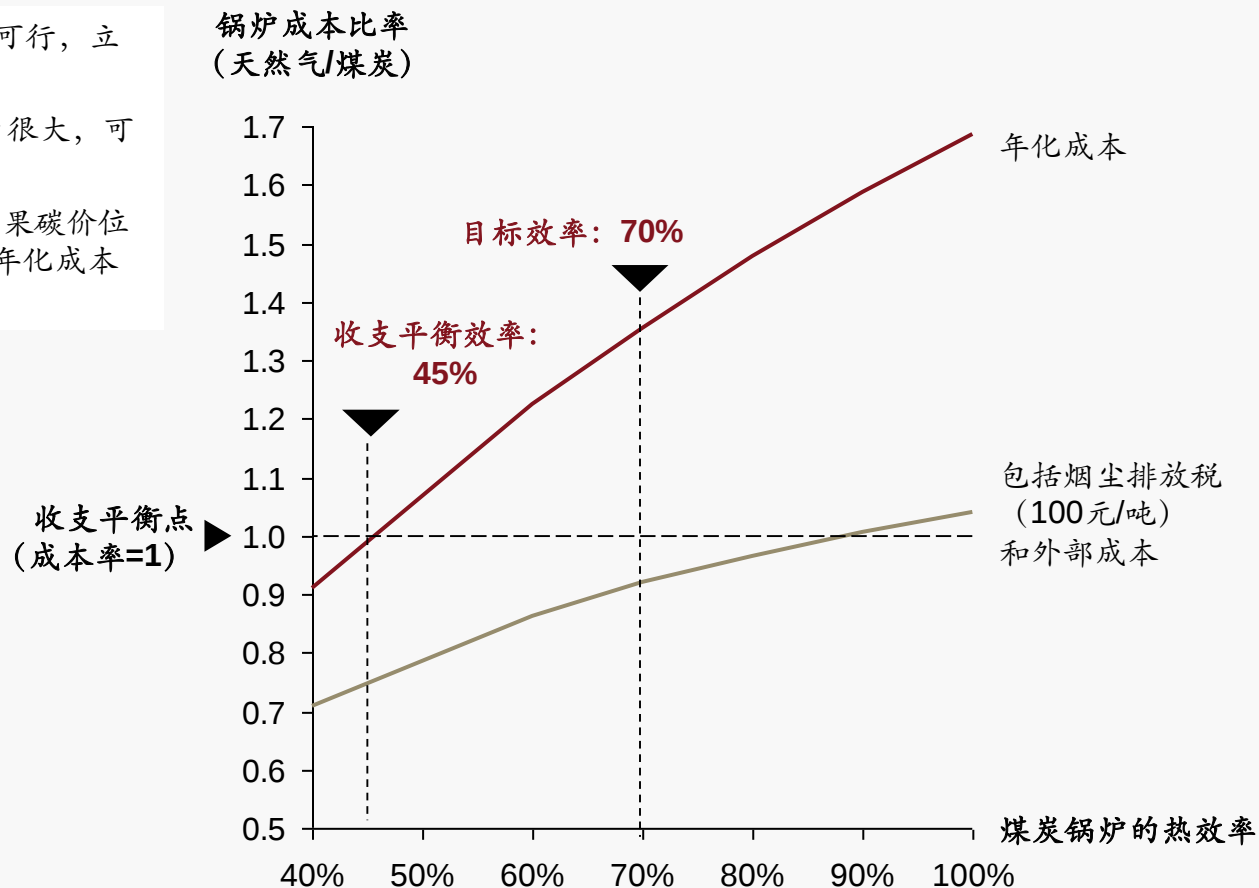


注: 1. CFB*= 循环流化床; 2. 碳成本30元/吨 3. 天然气零售价: 2.9元/立方米, 天然气城市门站价: 1.8元/立方米 4. 生物质燃料和液化石油气的外部成本信息不足
资料来源: 国际货币基金组织《正确为能源定价》, Wind, 315i, 思略特分析

天然气锅炉改造可以首先将效率低于70%的燃煤锅炉定为改造目标

热效率对成本比有着怎样的影响？设城市门站气价为1.8RMB/立方米

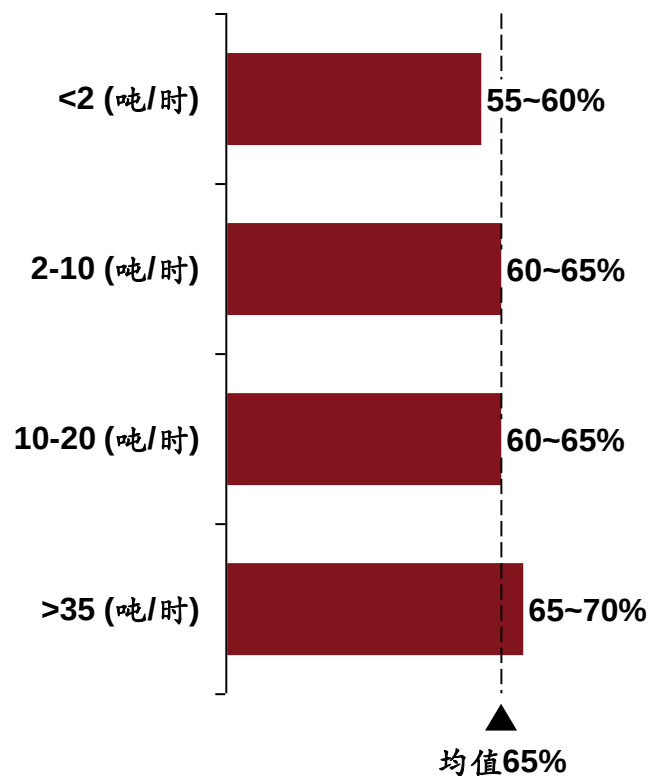
- 效率低于45%：经济可行，立即转换
- 效率为45-70%：潜力很大，可今后转换
- 效率为90%以下：如果碳价位100元/吨，煤改气从年化成本角度看可行



资料来源：思略特分析

很多情况下，燃煤锅炉的效率仍然低于70%，尤其是对于小锅炉而言

锅炉实际热效率
(国家平均水平, 2016)



案例：在河北测得的燃煤锅炉数据

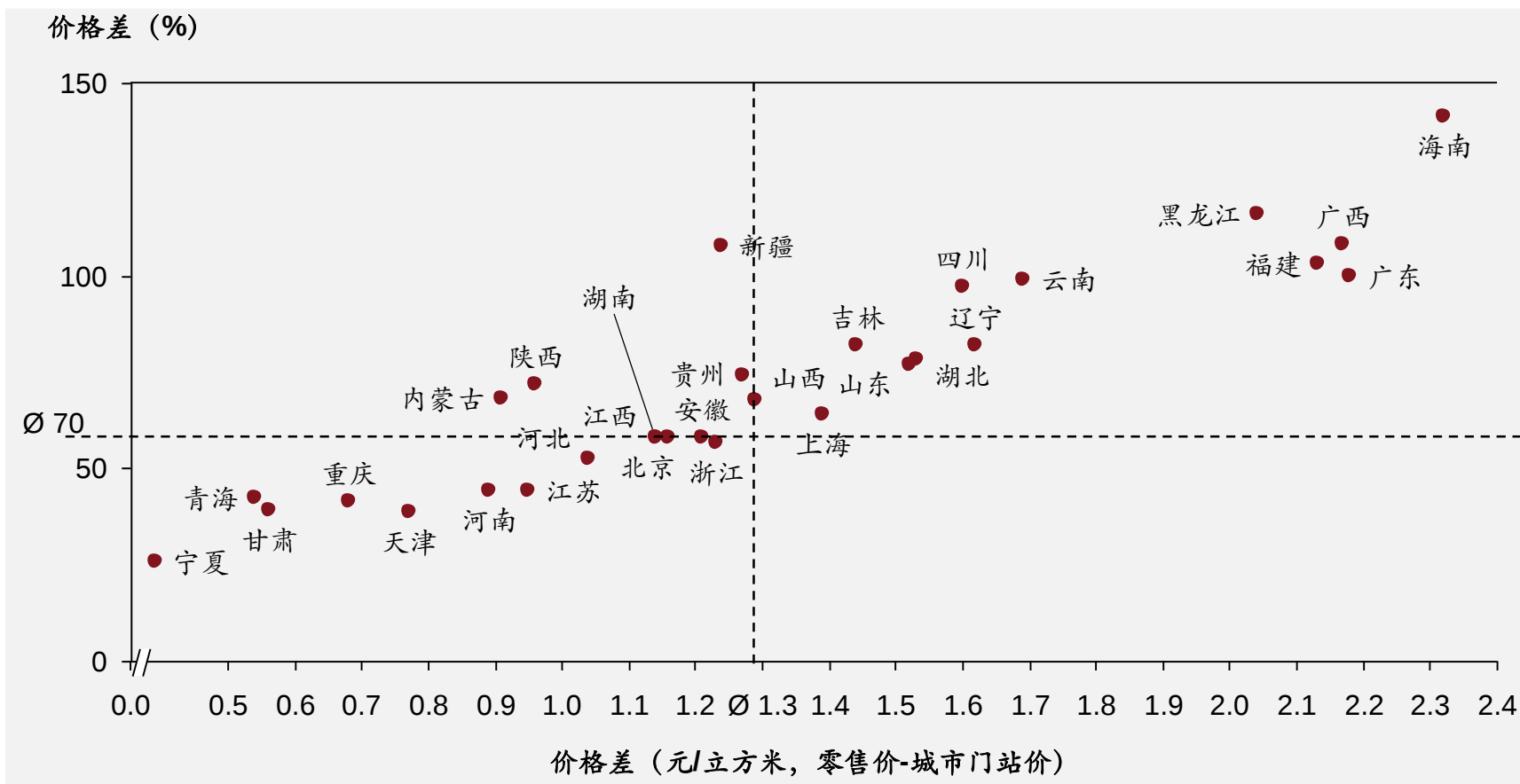
锅炉容量指数 \ 指标	2 吨/时	4 吨/时	6 吨/时	10 吨/时	20 吨/时	总计
• 数量	6	138	47	57	8	256
• 平均灰分碳含量 (%)	19.2	18.6	18.1	18.2	18.3	18.5
• 平均过量空气系数(a)	5.54	5.54	3.79	5.28	3.15	4.66
• 平均废气温度 (°C)	160	139	136	148	204	157
• 平均运行热效率	41%	57%	64%	58%	53%	57%

平均热效率只有57%

资料来源：2016年中国锅炉市场报告，315i，文献研究，思略特分析

然而，工业用气的销售价格要比城市门站气价平均高出70%（或1.3元/立方米）

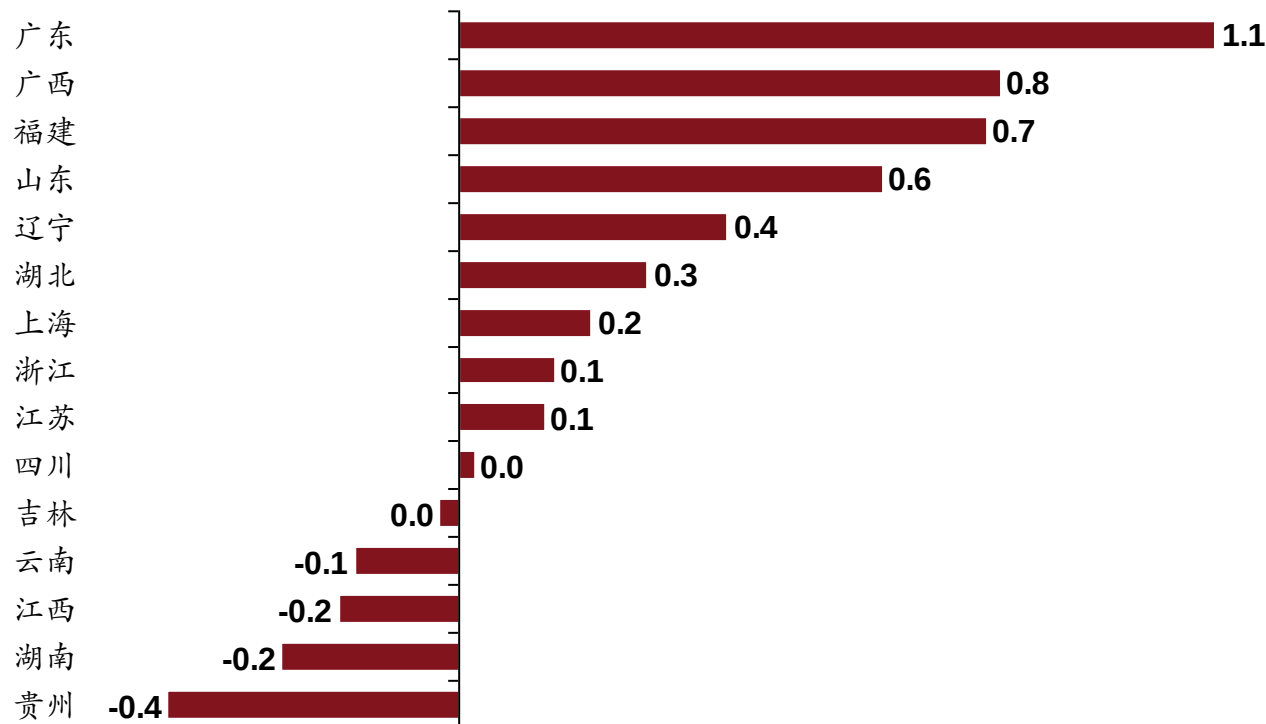
各省零售气价与基准门站价格的差距，截至2017年2月



注：此处基准门站价格根据2015年发改委公布的指导制定，实际价格可能有变
资料来源：发改委，Wind，思略特分析

对比管道气，大多数区域的LNG价格很有吸引力，这也给工业用户提供了另外一种选择

选定省份之间的气价差异（管道气 - LNG，元/立方米，2017年六月）



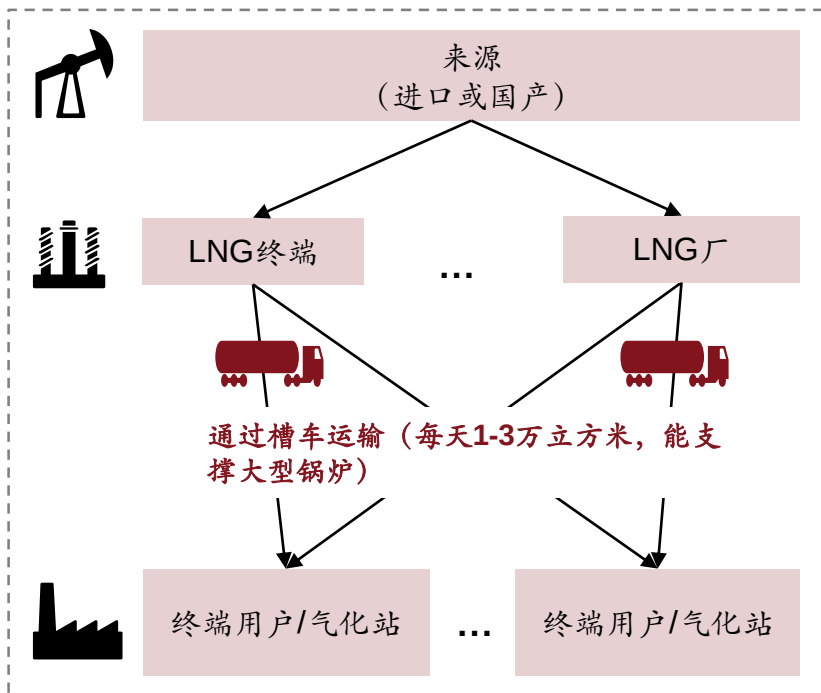
- 油价较低，供过于求，LNG价格不断下降，与管道气相比越来越有优势
- 多数是用天然气的投资者位于工业发达地区或管道气不发达地区

注：*价格差=管道气价格（工业）- LNG 价格，包括气化成本、运输成本、附加值（11%）和供应商的利润（~10%）
资料来源：2016年中国锅炉市场报告，在线天然气，思略特分析

以LNG为主的天然气供应提供了更好的选择和灵活性，并且可以成为终端用户的一种补充供应

工业用户以LNG供应为主

与管道气的对比



LNG分布式供应市场案例：

- 浙江台州：超过50家公司
- 广东潮州：~40%的陶瓷产品公司
- 山东：鼓励LNG与天然气竞争

资料来源：客户调研，文献研究，思略特分析

	LNG	管道气
• 价格	• 未受管制 • 与全球市场关联	• 部分受管制
• 运营维护成本		• 更低
• 初始投资	• 提供更多选项，包括费用或租金	• ~150万元人民币（设备、建筑和押金）
• 供应商	• 竞争大，选择多	• 连锁模式，一般每个城市有1-2家主要供应商

LNG引起的“鲶鱼效应”可以促进天然气市场发展

煤改气的倡议将在中国创造更多的分布式工业用户需求

- 自从中国出现了大量中小型工业用户之后，更加分散的市场也随着煤改气政策的实施而出现。这些分散的市场也需要更加灵活的供气商业模式

更严格的政府部门监管

- 作为清洁能源，LNG将得到地方政府的推崇，但是监管也会更严格

以LNG为主的供应模式的价值



- 推动竞争：LNG将成为天然气市场的催化剂，促进市场价格和服务的竞争



- 加速天然气市场的业务模式创新：LNG供应商正在开发租赁等创新的商业模式



- 成为管道气的有效替代产品：LNG能有效满足不断增长且分散的需求，尤其是在偏远地区，管道气网络成本过高

注*：鲶鱼效应是指有力的竞争对手使得较弱的竞争对手得到提升
资料来源：文献研究，专家访谈，思略特分析

但是监管政策以及管道气供应商对LNG的发展的阻碍仍需要解决

LNG市场关键阻碍

1 监管规范不当

- 当前LNG的监管较为陈旧，且主要针对大型再气化设备（如安全距离）
- 终端用户不能满足这些陈旧的规定，担心会出现合规风险
- 几个小型再气化项目因为达不到安全标准的要求被判为违规

2 规定模糊

- 中国多数省份没有明确的使用LNG的审批程序
- 管道气公司的“特许经营权”界限不明确
- 有些领域未受监管，如偷气、换气（用氢气）

与管道气公司的矛盾

管道气公司将LNG供应商视为市场搅局者，推动当地政府调查LNG供应商的合规状况

LNG项目的建造必须受到严格管制，坚决控制自建的LNG气化站

——湖北省建设部

《关于加强城镇天然气规划管控，严格LNG工程建设管理的通知》

资料来源：湖北省住建厅，文献研究，专家访谈，思略特分析

不恰当的监管规范：目前针对LNG使用的监管规范已过时，不适用于小规模工业用户

与LNG相关的参考标准

名称	年份
GBJ 16-87: 国家建筑设计防火规范	2001
GB/T 19204 : LNG 的一般特性	2003
GB 50183 : 石油天然气工程设计防火规范	2004
GB/T 20368 : LNG 生产、储存和运输规范	2006
GB 50028-93: 城镇天然气设计规范	2006

分析

- 由于缺乏标准，LNG供应商和用户在面对没有达到安全标准的指责时很难权衡，
- 如根据《城镇天然气设计规范》，容量低于10立方米的储罐必须距离建筑物15米，距离其他储罐20米远。多数中小工业用户由于空间有限，难以满足这个要求。



引用

- “我们选择了当地环保机构推荐的LNG供应商，且我们是煤改气的最佳实践公司，但我们依然由于无法满足安全距离被迫关门，并进行整改。”

—— 浙江某涂料生产商

资料来源：中国天然气协会LNG专业委员会，消费者调查，文献研究，思略特分析

模糊的规定：不明确的审批流程和监管漏洞也在阻碍LNG的使用

LNG监管主要问题

- 中国诸多省份没有针对工业LNG用户一致清晰的审批流程

审批流程不确定

1

- 在LNG供应链上有些部分尚未受当地政府监管，导致偷气、换气，扰乱市场，影响消费者信心

规定

2

与管道气的差异化不清晰

主要问题

3

未受监管区域

规定

- 一些管道气公司认为LNG的供应扰乱了市场公平，政府尚未明确“特许经营权”的界限



引用

- 像我们一样的很多小型用户在煤改气政策下面临较大的成本压力。我们只能使用便宜的LNG（2.5元，而管道气为3.1元），随时担心被迫关门
- 我们希望政府能承认LNG的价值，并在LNG工业方面提供更多的选择

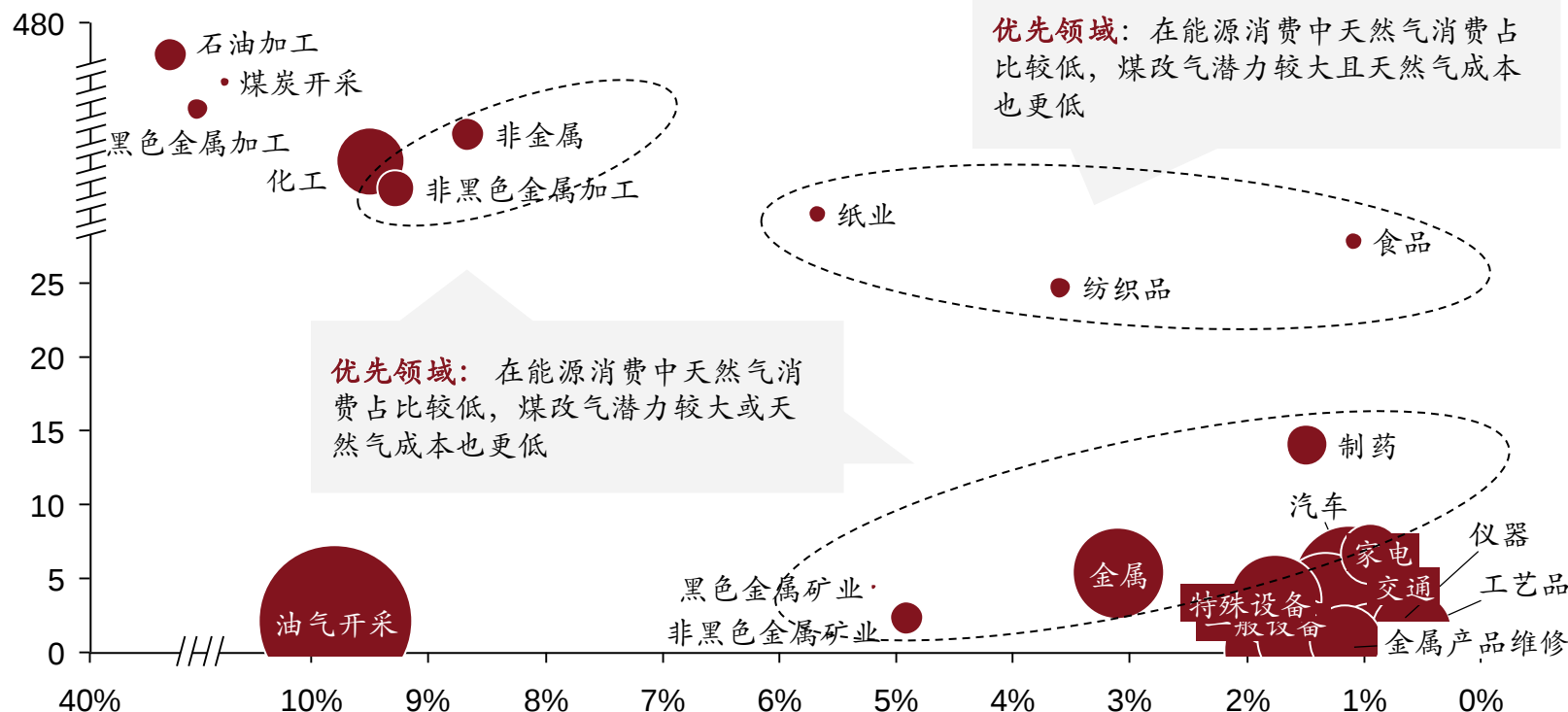
—— 广东某纺织企业

资料来源：专家访谈，文献研究，思略特分析

整体来讲，优先施行煤改气的行业应该被定位为煤炭消费量大、天然气普及率低而且有着良好的改造支付能力的工业

A 市场规模潜力
(煤炭消费, 单位: 百万吨, 2014)

B 气泡大小=能源（煤炭+天然气）消费中天然气所占的比例

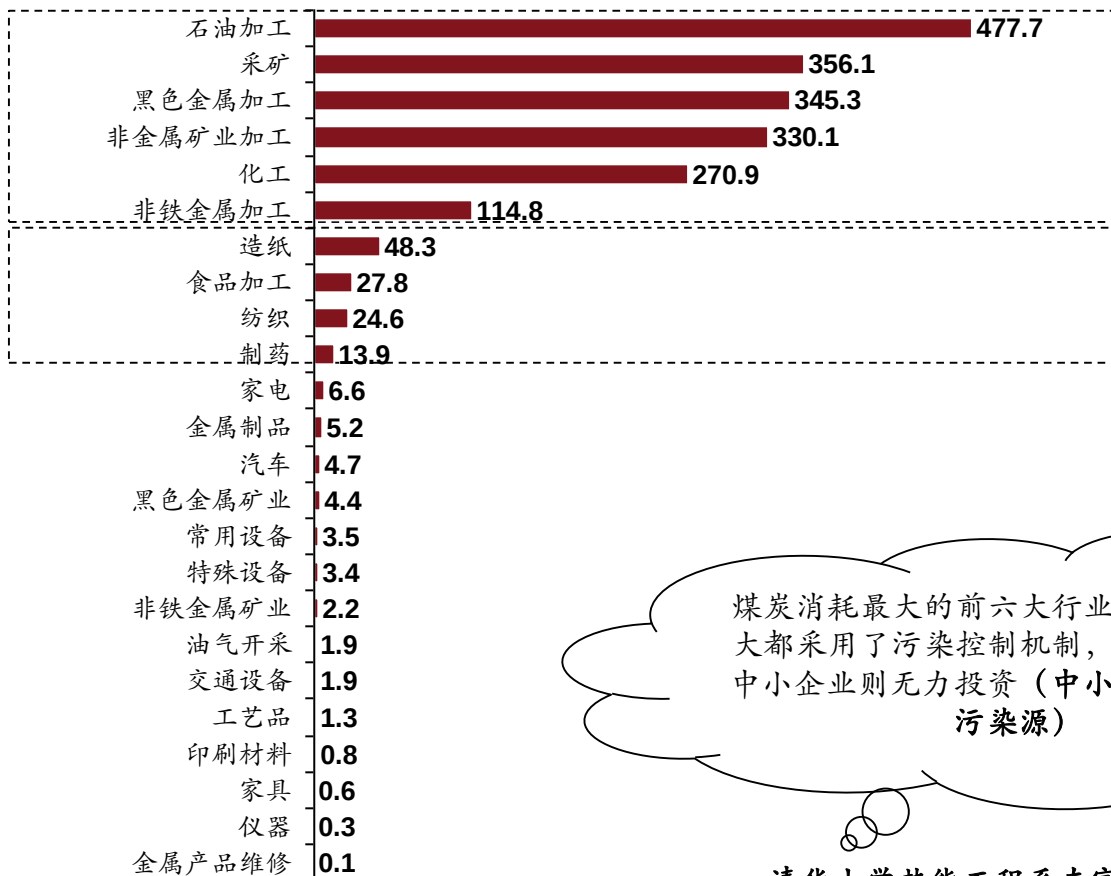


C 转换成本
(2014年总价值产出的能源成本占比)

资料来源: 2016年中国统计年鉴, 315i, 思略特分析

煤炭高消费的工业代表着更大的改造潜力

各工业的煤炭消费排名(百万吨, 2014)



最大的煤炭消费者, 主要为国企和大型上市公司, 行业更加集中

主要污染源, 主要为众多中小企业 (造纸、食品、纺织), 在污染治理方面投资有限

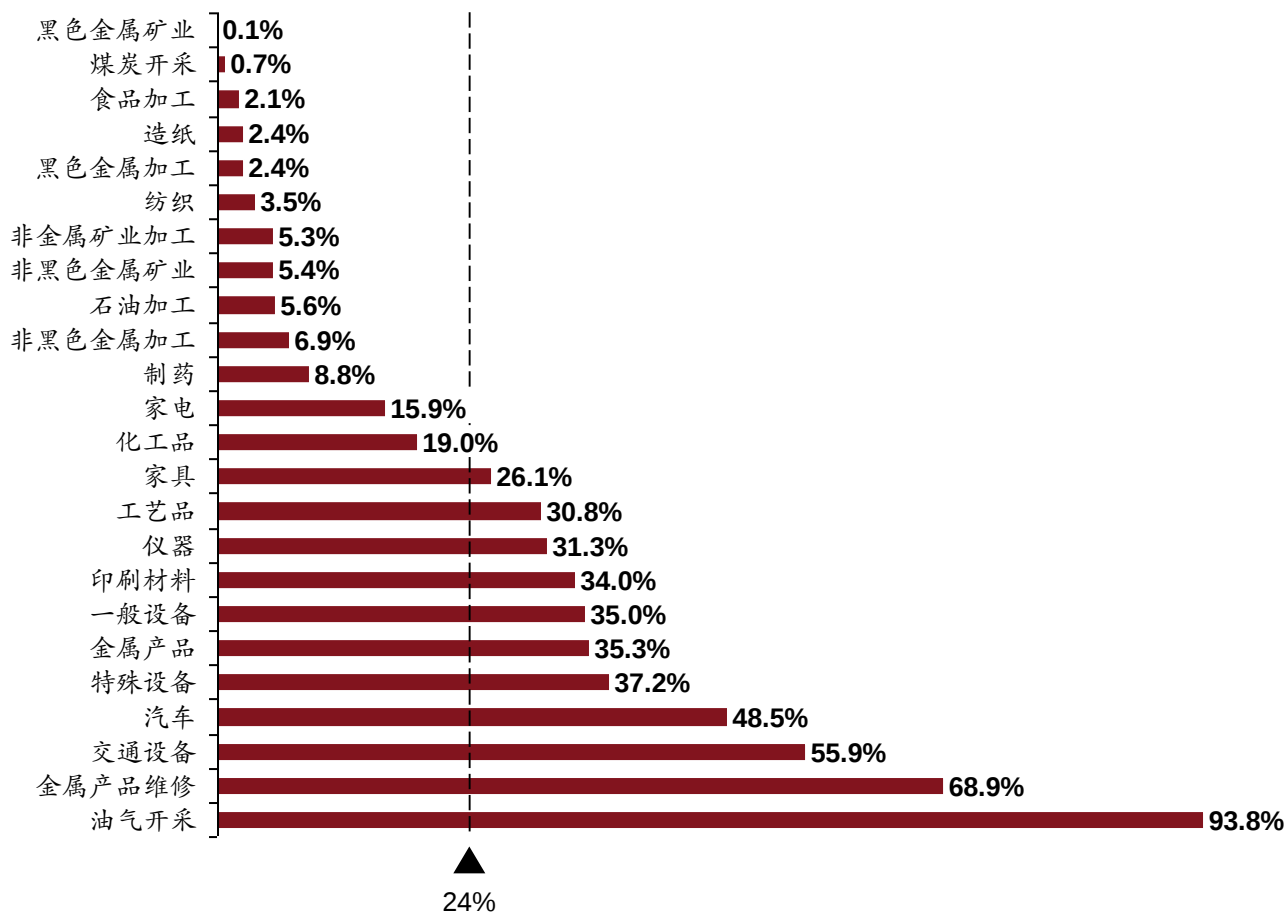
煤炭消耗最大的前六大行业中的领先企业大都采用了污染控制机制, 而其他行业的中小企业则无力投资 (中小企业是主要的污染源)

清华大学热能工程系专家

资料来源: 2016年中国统计年鉴, 思略特分析

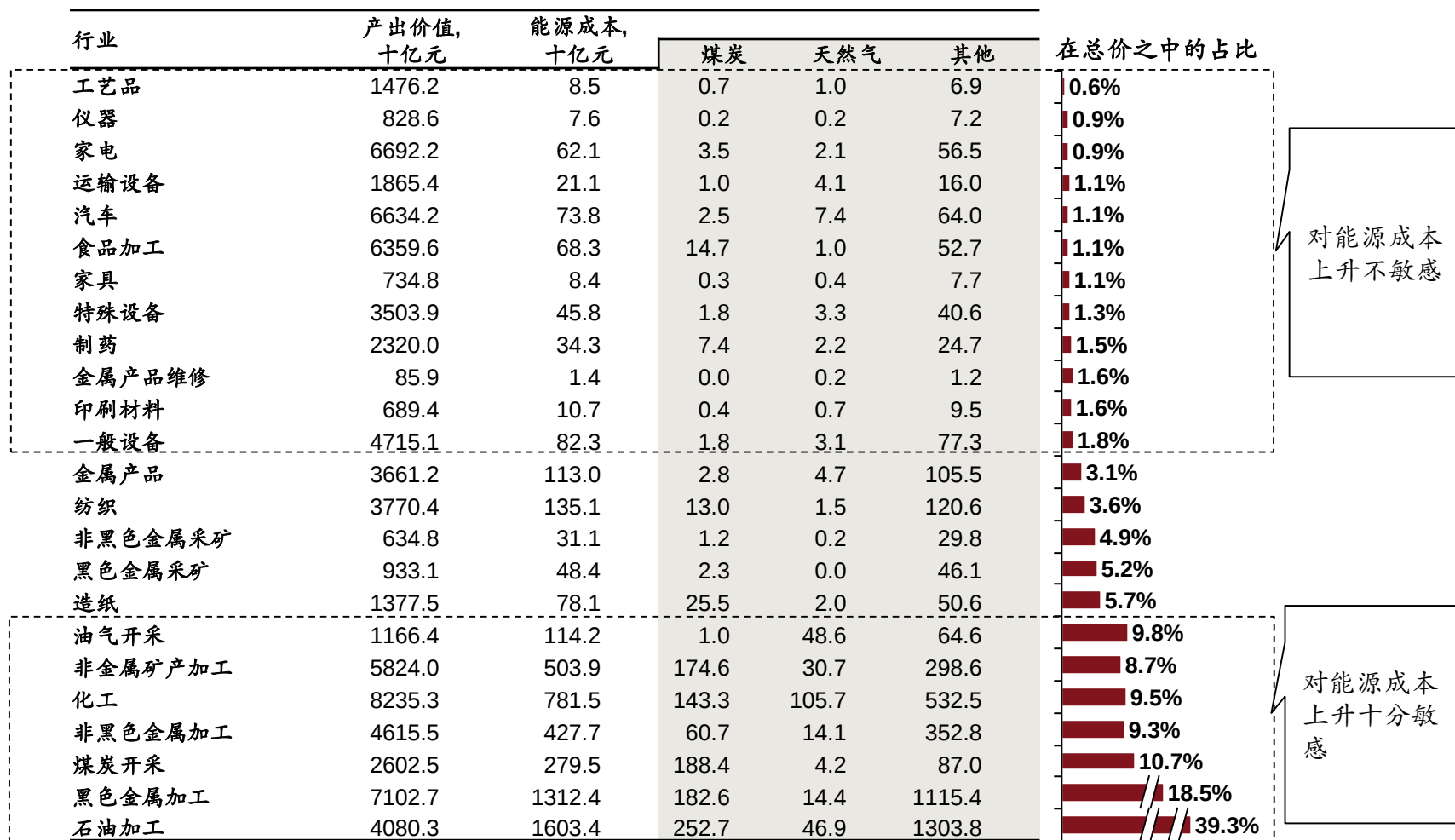
整体来讲，工业领域的天然气普及率仍低于24%，但如黑色金属矿业，食品制造业和造纸业等工业有巨大潜力

2014年各工业天然气消费排名 能源消费中（煤炭+天然气）天然气的占比



资料来源：2016年中国统计年鉴，思略特分析

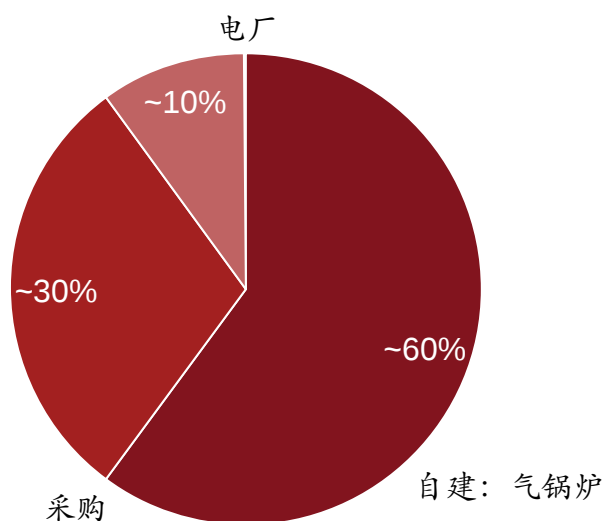
能源成本占产值更低的行业更有能力承担改造成本



资料来源：2016年中国统计年鉴，思略特分析

食品业：某领先食品生产商出于企业社会责任以及环保达标的目的自2007年起便一直在使用天然气

该公司蒸汽来源



天然气蒸汽

- 不同地区的16家工厂采用气锅炉
- 在企业社会责任和长期战略评估的驱使下，第一台气锅炉购于2007年

采购蒸汽

- 企业30%的蒸汽需求来自外部采购
- 大部分蒸汽从天然气和其他清洁能源锅炉采购

电厂蒸汽

- 两家工厂使用电厂和发电机的蒸汽

企业社会责任和满足中央和地方政府的环保目标是推动行业龙头企业使用气锅炉的主要动力

资料来源：专家访谈，思略特分析

食品业：煤改气为这家领先的食品生产商提供了环境、运营和品牌价值

收益领域		天然气锅炉
	环境	周边和工作环境更清洁
	安全	紧急情况即刻自动关停
	稳定	能维持温度稳定
	裁员	无需专人进行燃料装载
	激励政策获得	面对本地监管者有较大的议价能力
	企业社会责任形象	作为行业领袖企业社会责任形象更好

“我们的产品需要稳定的运行温度。天然气锅炉可以提高我们的生产效率的产品质量”

作为一个被树立的为促进煤改气的成功典范,我们和当地政府开展了很多协商,同时也得到了很多有力的支持。

“在我们选择使用天然气之前,我们做了很多试验和计算,这是许多厂家没有做过的,同时我们发现若长期使用,天然气是十分有利的。”

— 该公司某设备主任

资料来源：专家访谈，思略特分析

食品业：某家在北京的领先啤酒生产商已经将它的所有燃煤锅炉改造为天然气锅炉，环境和工厂本身都因此获益

项目背景

- 燕京啤酒是该地区规模最大的啤酒生产商之一
 - 占地面积：约15万平方米
 - 资产规模：约4.5亿元
 - 生产能力：大于 250吨啤酒
 - 员工总数：超过2000名
- 煤改气前，燕京啤酒拥有10个6吨/时的燃煤锅炉
- 2015年，燕京啤酒将公司所有燃煤锅炉改造，最后得到一个4吨/时的天然气锅炉、一个6吨/时的天然气锅炉和五个10吨/时的天然气锅炉
- 燕京啤酒满足政府减排要求

煤改气的关键益处

1

空气

- 天然气锅炉排放的空气污染物浓度低、体积小

2

水资源

- 天然气锅炉脱硫脱硝反应不会产生废水

3

固体废物

- 天然气锅炉不会产生煤渣

4

噪音

- 天然气锅炉噪音比燃煤锅炉小

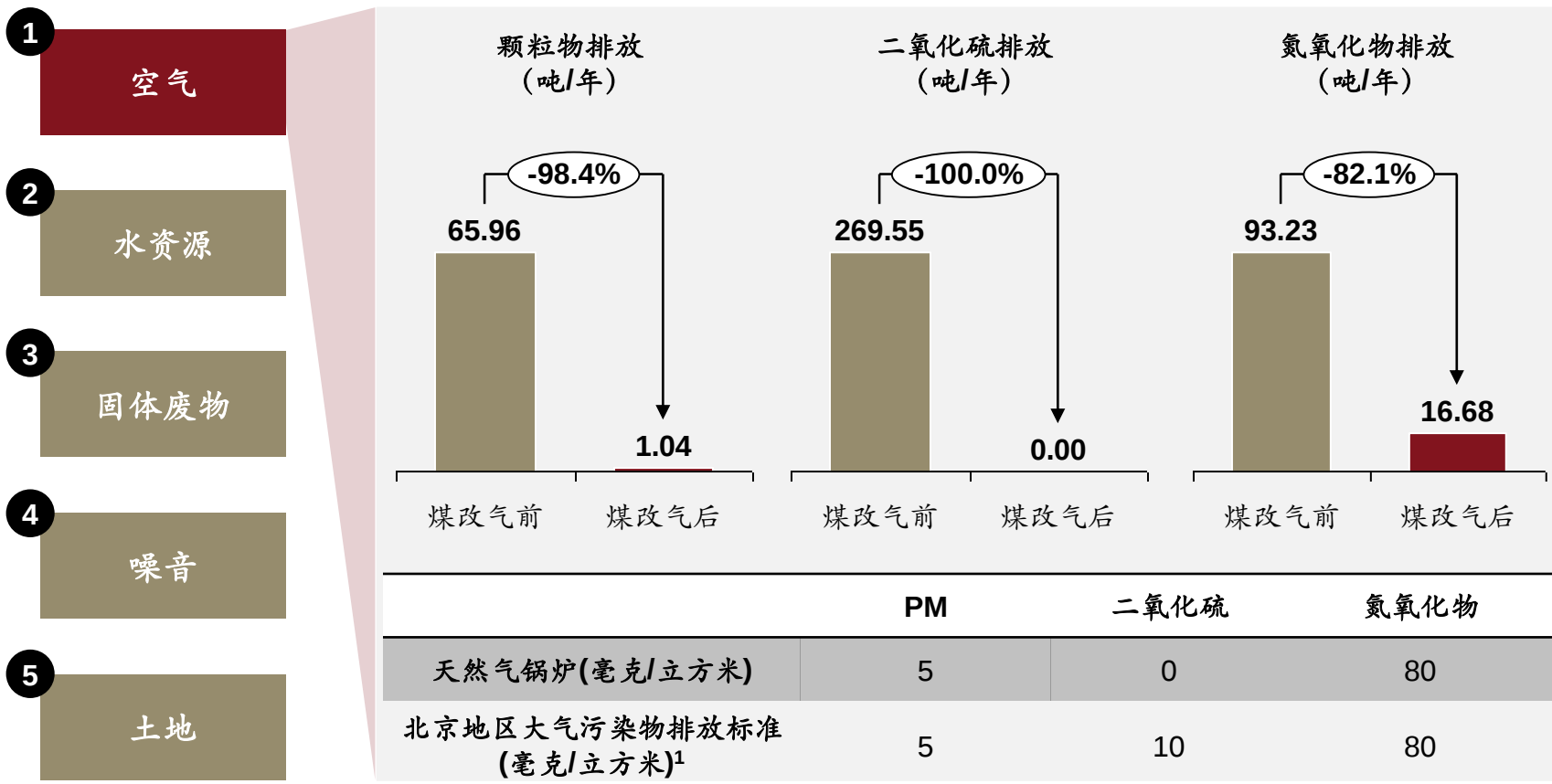
5

土地

- 天然气通过管道输送，无需储存，因而天然气锅炉占地面积小

资料来源：《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

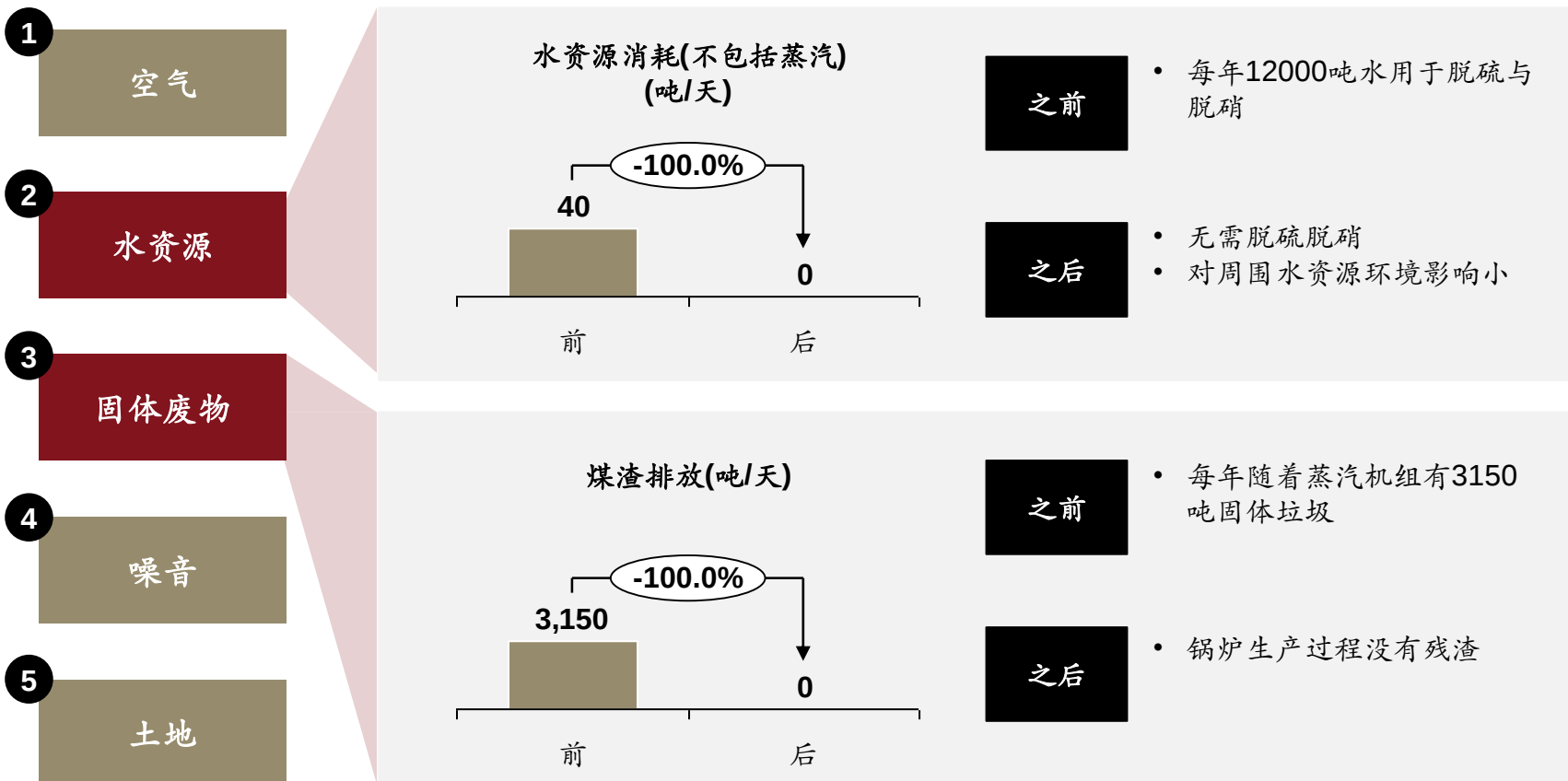
食品业：煤改气解决了空气污染难题-颗粒物、二氧化硫和氮氧化物减排分别达到98%、100%、82%



1) 《锅炉大气污染物排放标准》(DB11/139-2015)适用于2017年3月31日以前建造的新工业锅炉

资料来源：《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

食品业：煤改气消除了全部的水资源消耗和固体废物排放



资料来源：《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

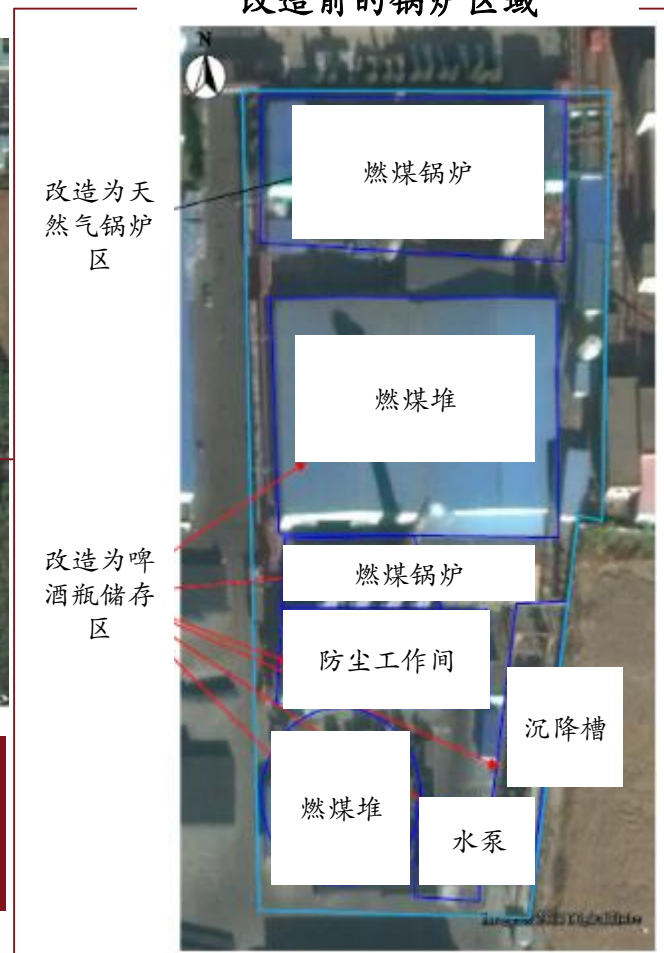
食品业：煤改气减少了80%的锅炉占地，增加了不动产的利用

啤酒厂总览



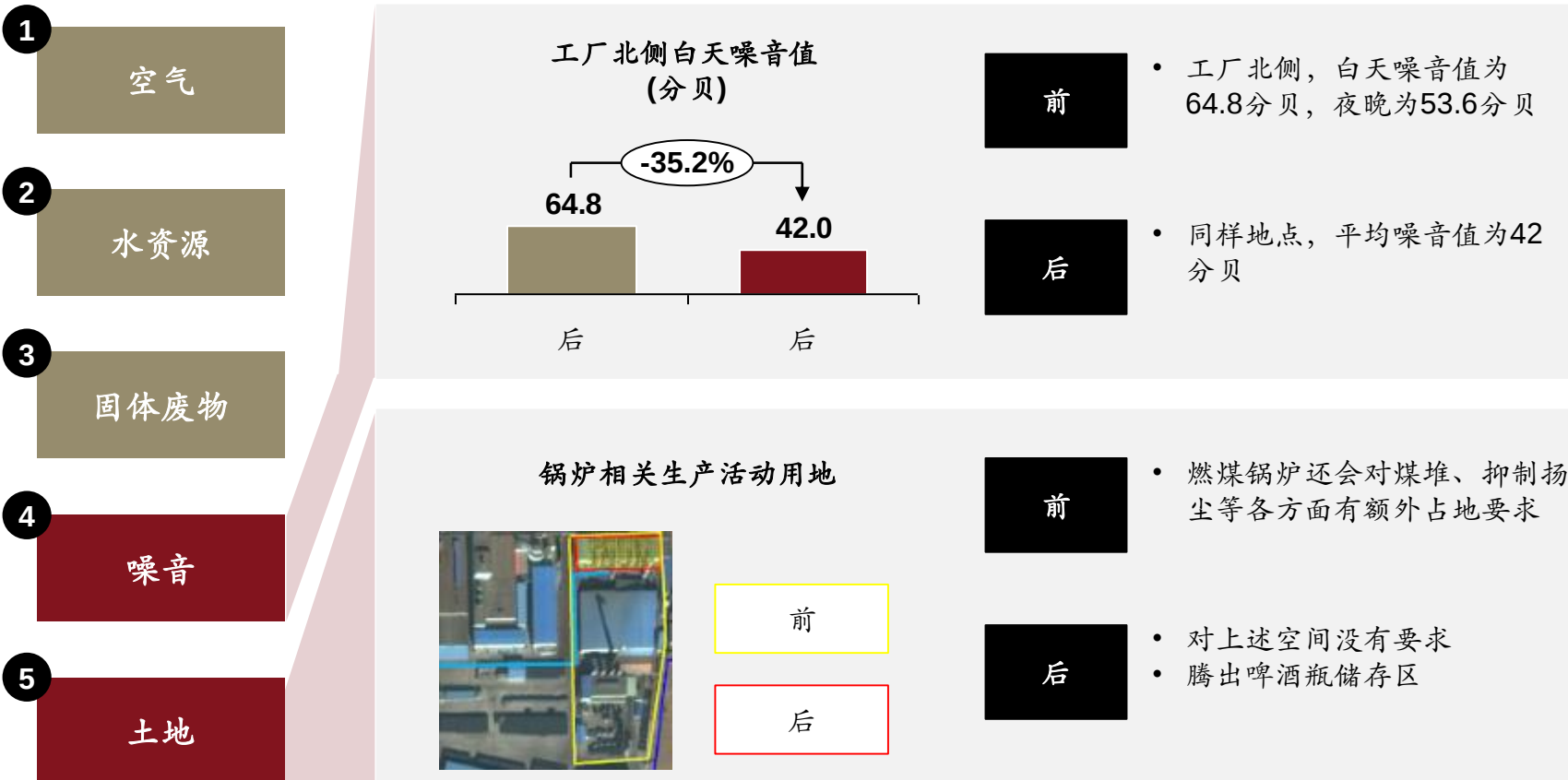
煤改气后，原锅炉区（总面积：2,500平方米）只有~20%的区域用于生产水蒸气，其余80%的区域用于储存等其他用途

改造前的锅炉区域



资料来源：数据和图片来自于《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

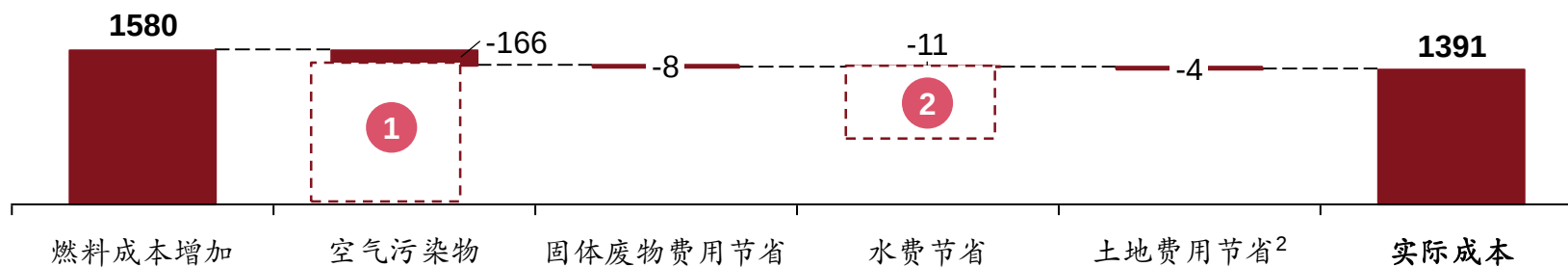
食品业：煤改气降低了噪音并减少土地利用面积



资料来源：数据和图片来自于《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

食品业：煤改气同时也降低了土地污染成本和占地需求

每年燃料成本增加 vs. 以目前税费计算的运行费用减少 (万元)

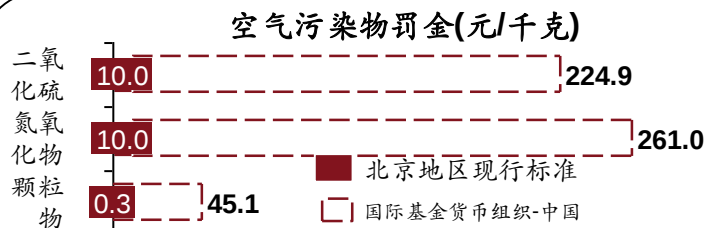


1

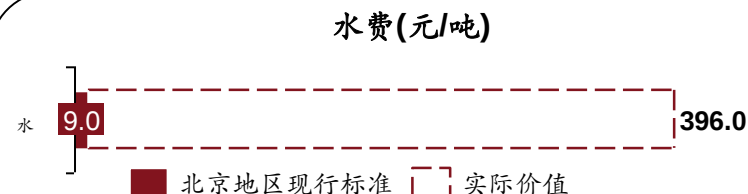
S1: 空气污染物费用若增加到9.5倍

2

S2: 水价若增加到44倍



空气污染物罚金若平均增加到**9.5倍**，空气污染物罚款费用将节省**1500万元**



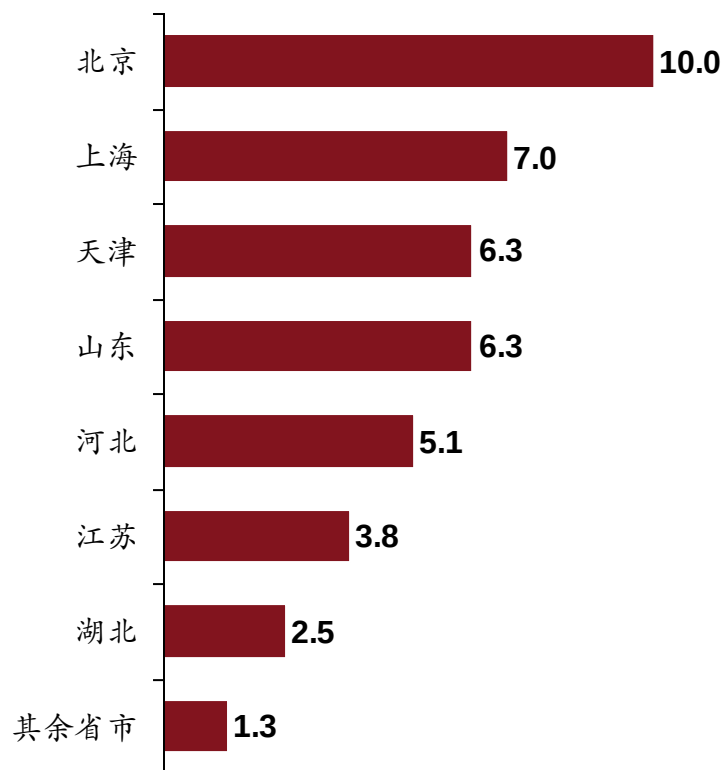
中国人民大学环境学院院长表示，“水的实际价值没有通过水费体现”。截至2015年底，用水总费用为1000亿元（实际价值的2.27%）

需提高污染处理费用和水费来弥补这一差距

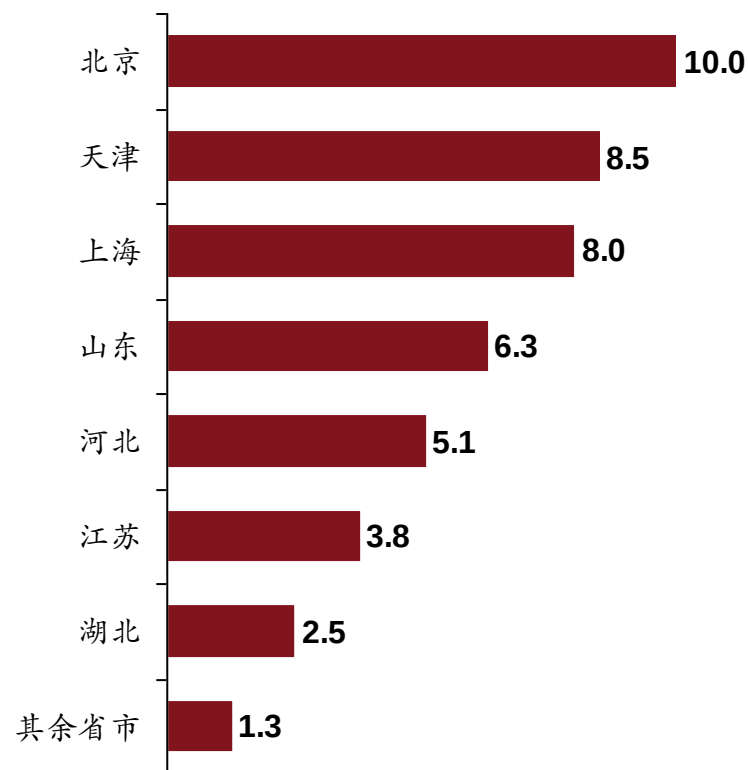
1) 显示贬值后的年度成本 (30年)；2) 煤价：487元/吨，天然气价格：2元/立方米，土地租赁价：200元/立方米每年，汇率：1美元兑换6.217人民币
资料来源：《燕京啤酒股份煤改气环评报告》，思略特分析

相对北京和上海，中国其他省份的污染治理成本仍然十分低

二氧化硫，元/千克



氮氧化物，元/千克



2018年新的环境税将代替排污费，届时二氧化硫与氮氧化物的排放成本将会增加

资料来源：文献研究，新华社，网易新闻，思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

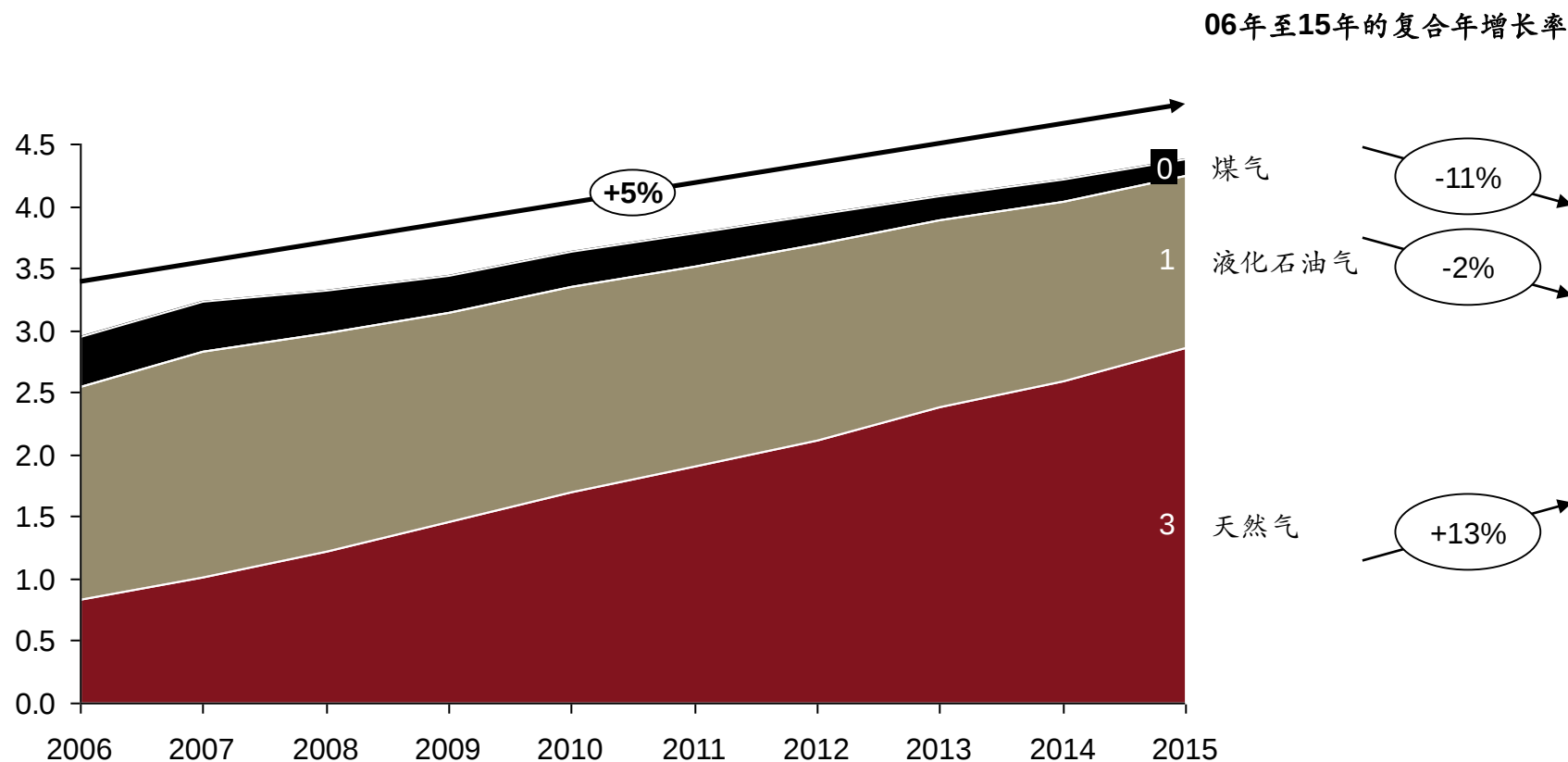
天然气在民用方面比煤炭更加清洁，安全，方便和高效

	天然气	煤炭
清洁	 • 机组发电时可以减少空气和固体废物污染	 • 碳、二氧化硫、氮氧化物以及煤渣排放量高
安全	 • 天然气锅炉、天然气灶、天然气热水器需要时，可随时关闭	 • 燃煤锅炉、燃煤灶、燃煤热水器冷却需要时间，不能迅速关闭
便捷	 • 管道天然气供应为终端用户带来便利	 • 燃煤储存需要空间，装填需要人力
高效	 • 热效率超过85%，平均热值达11000千卡/立方米	 • 热效率约为70%，平均热值仅为5000千卡/千克

资料来源：思略特分析

作为一种更加清洁、安全的燃料，天然气正在取代煤气和LPG成为最基础的民用燃料

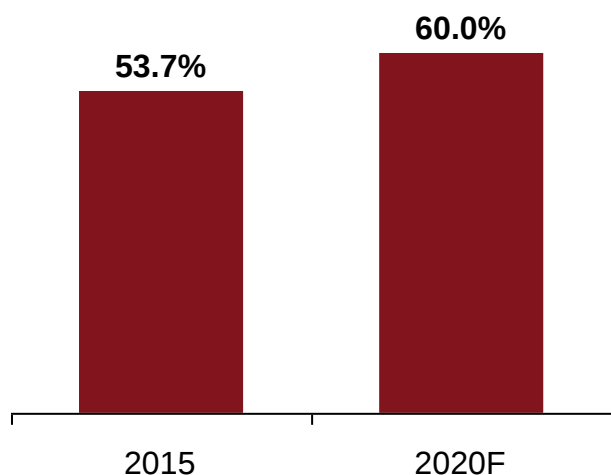
天然气和其他能源的民用供应（主要为烹饪和洗漱）(亿人)



资料来源：万得，思略特分析

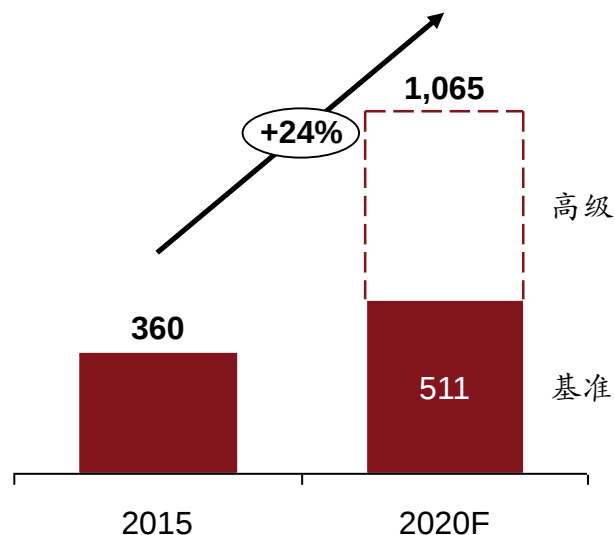
城镇化将驱使民用天然气需求在2020年达到至少510亿立方米

中国城镇化率（城镇居民占总人口的比例）



- 中国国务院公布《国家新型城镇化规划（2014-2020）》称，2020年要使常住人口城镇化率达到**60%**
- 世界银行估计，中国人口年均增长率为**0.5%**，预计2020年达到**14.1亿**

中国民用天然气需求(亿立方米)

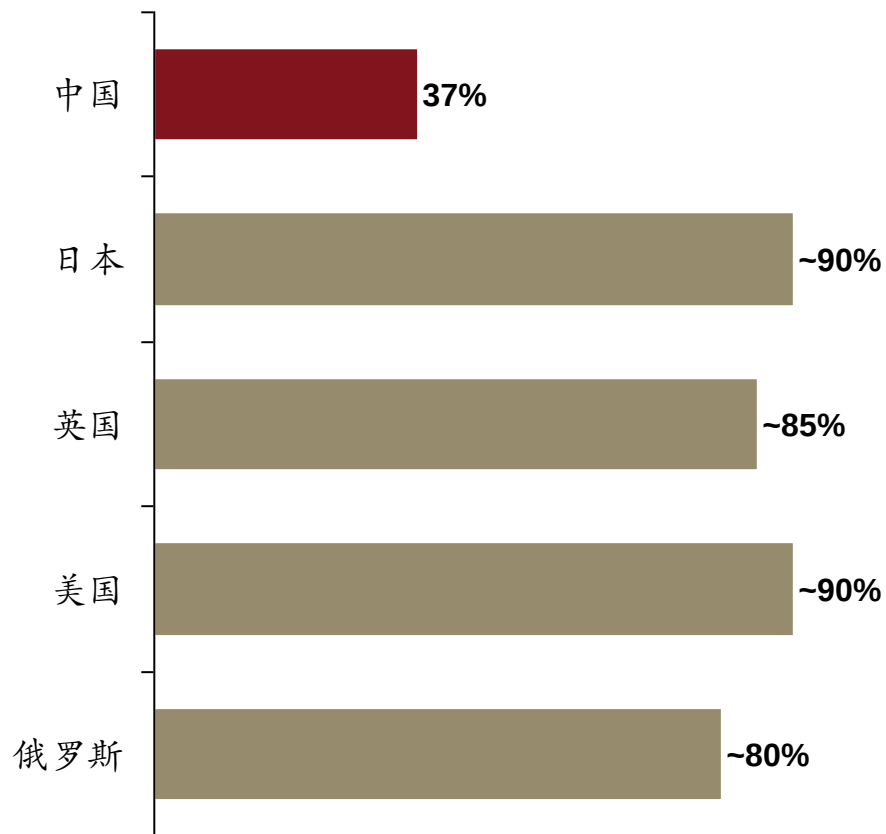


- 2020年预测：
 - 一般情景：居民天然气覆盖率在过去五年内增长了**11个百分点**，达到**48%**，实现稳定增长
 - 乐观估计：全部城镇常住人口都使用天然气

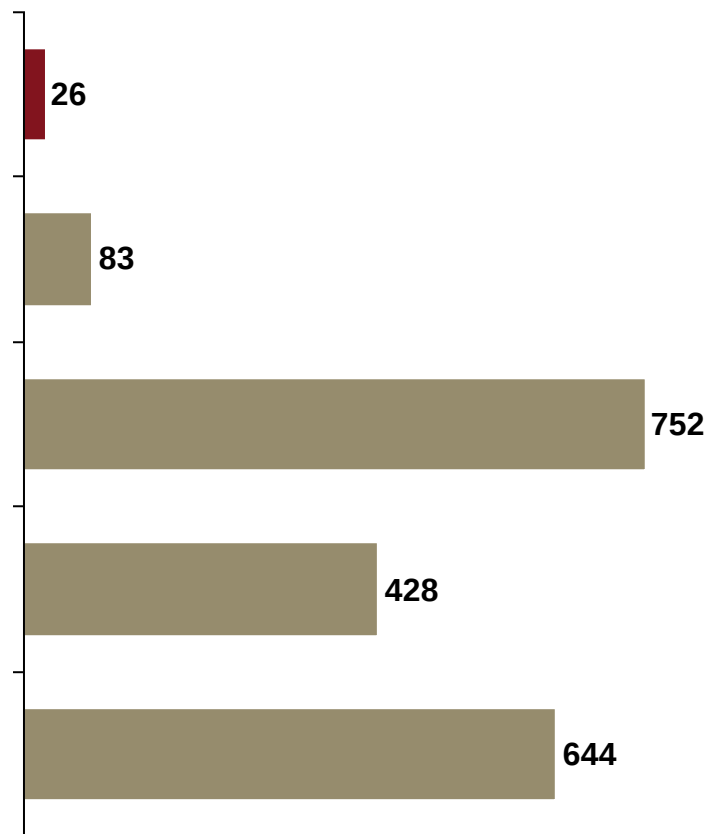
资料来源：新华社，世界银行，万得，思略特分析

然而，由于我国民用天然气普及率和人均消费量仍然低于发达市场水平，其增长空间和潜力依然充足

城镇天然气普及率（%，2015年）

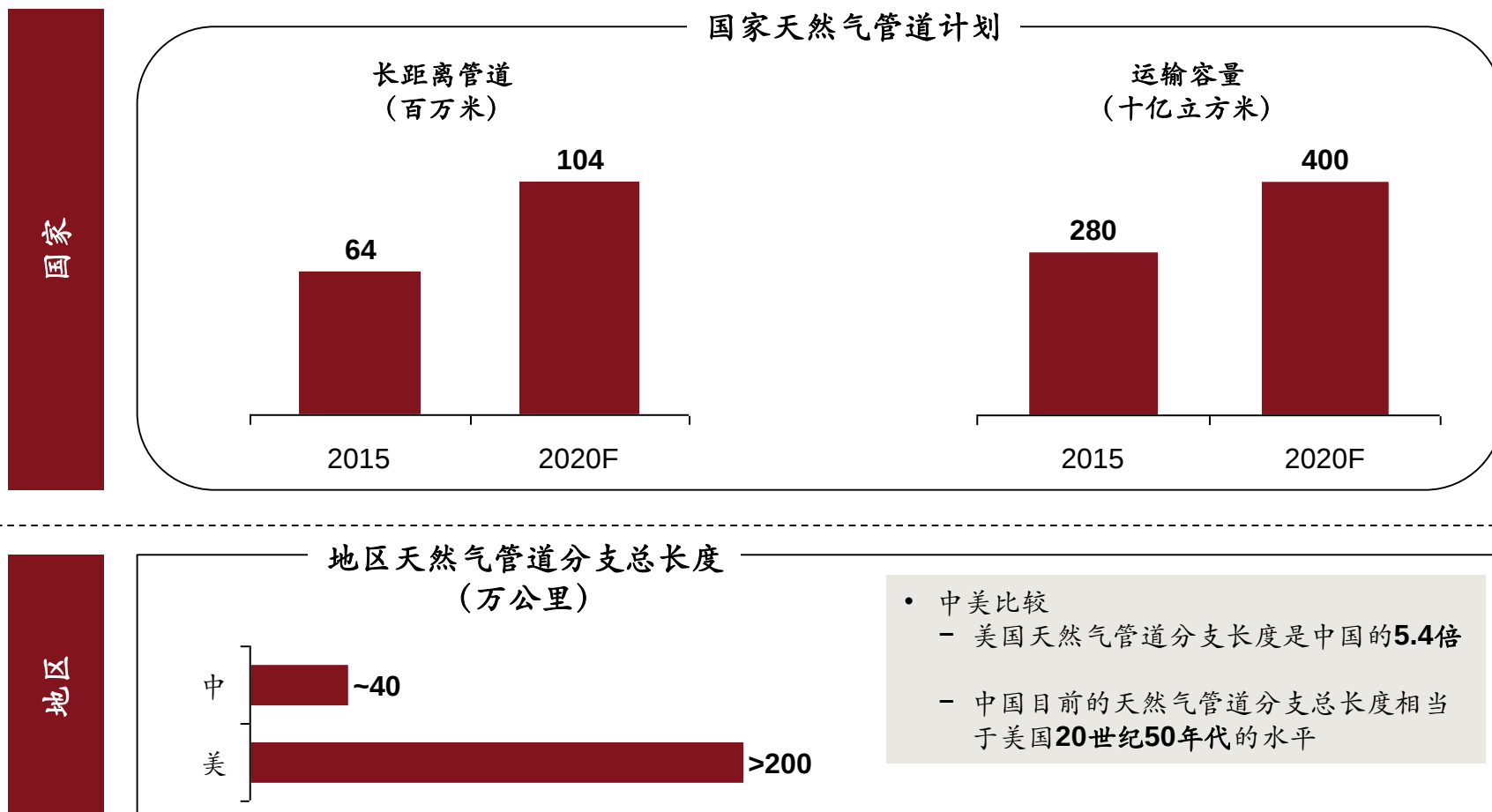


人均民用天然气量（立方米/年，2015年）



资料来源：《国际石油经济》，思略特分析

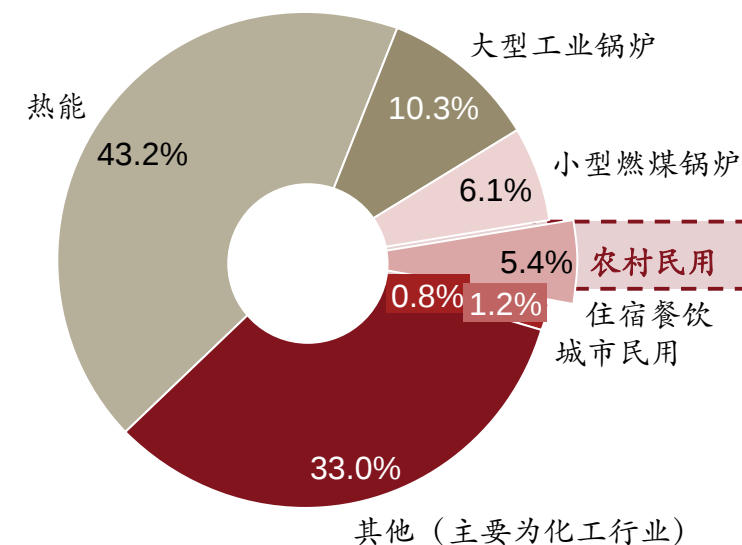
我国天然气普及率和消费量低的部分原因是基础设施建设不足



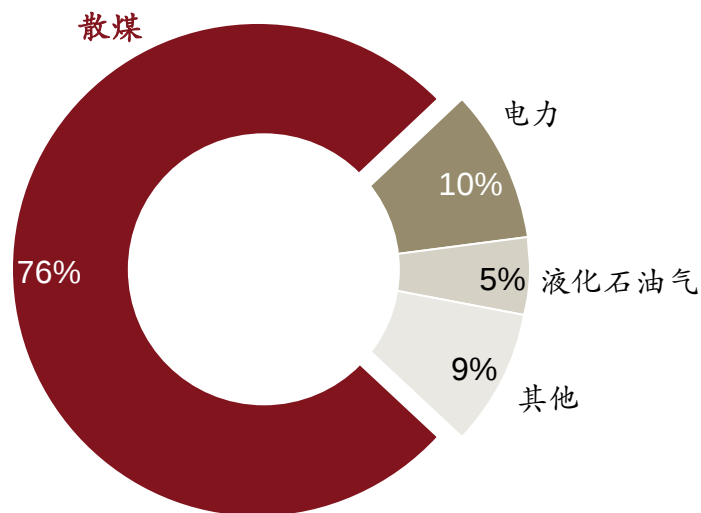
资料来源：《天然气“十三五”规划》，国家能源局，文献研究，思略特分析

同时，虽然散煤消费只占到煤炭总消费量的不足14%，散煤依然是农村地区最主要的能源

2014年中国煤炭消费结构 (%)



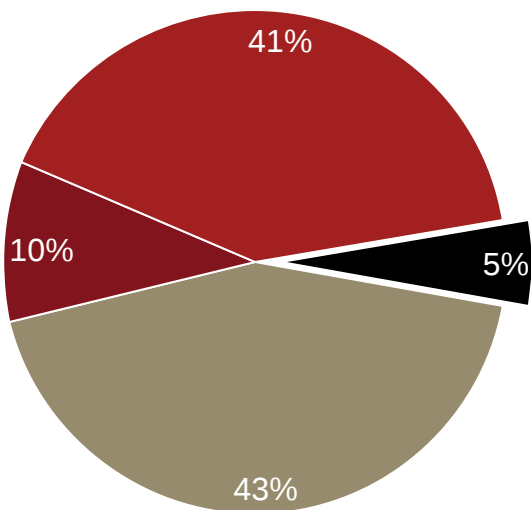
2014年河北保定农户能源消费结构 (%)



注*：样本规模为河北保定的534户家庭
资料来源：国家电网能源研究所，中国环境科学研究院，思略特分析

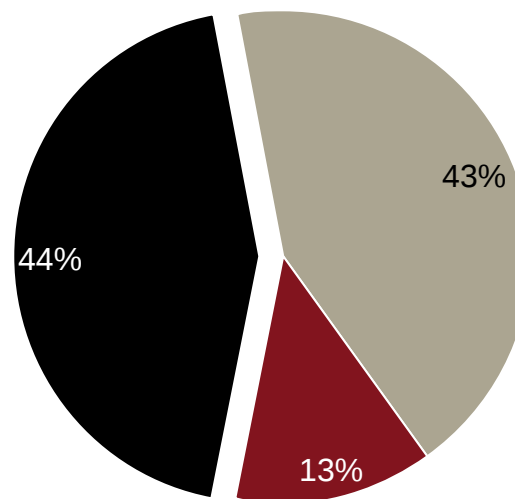
尽管农村地区的民用散煤在整体煤炭消费中占比很小，但排放量很高

煤炭消费份额 (%)



■ 散煤 (农村居民) ■ 热能煤 (发电) ■ 大型燃煤锅炉 (工业) ■ 其他

PM2.5年度排放对比
(2014年, 1万吨)

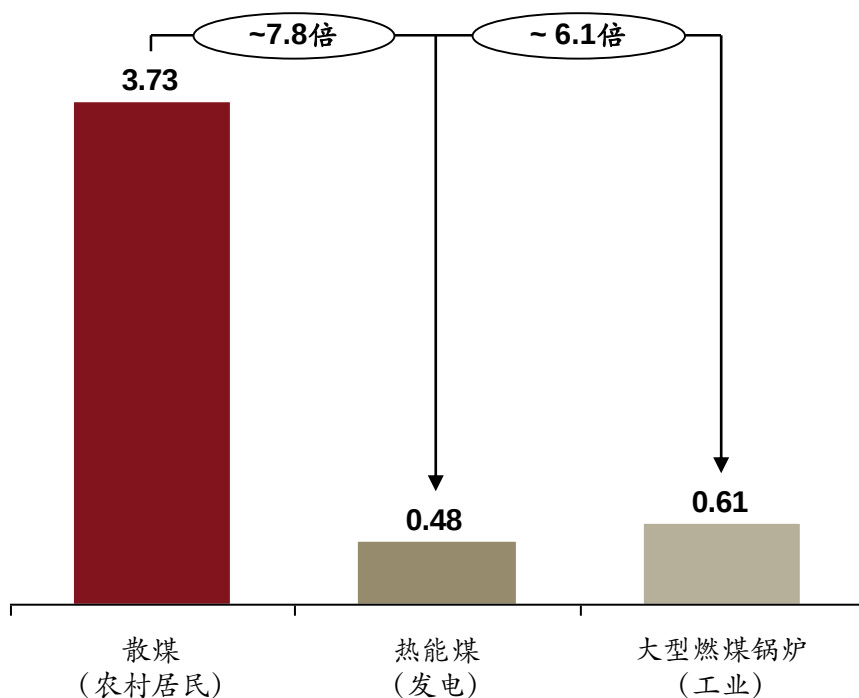


资料来源：国家电网能源研究所，思略特分析

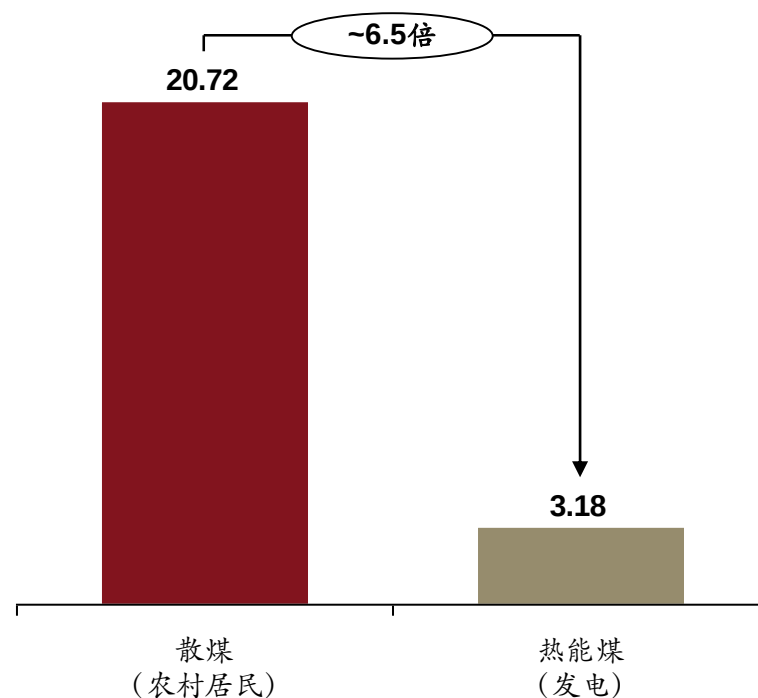
这是因为散煤的单位排放远高于发电站、锅炉等工业用煤

单位排放对比（千克/吨）

PM2.5



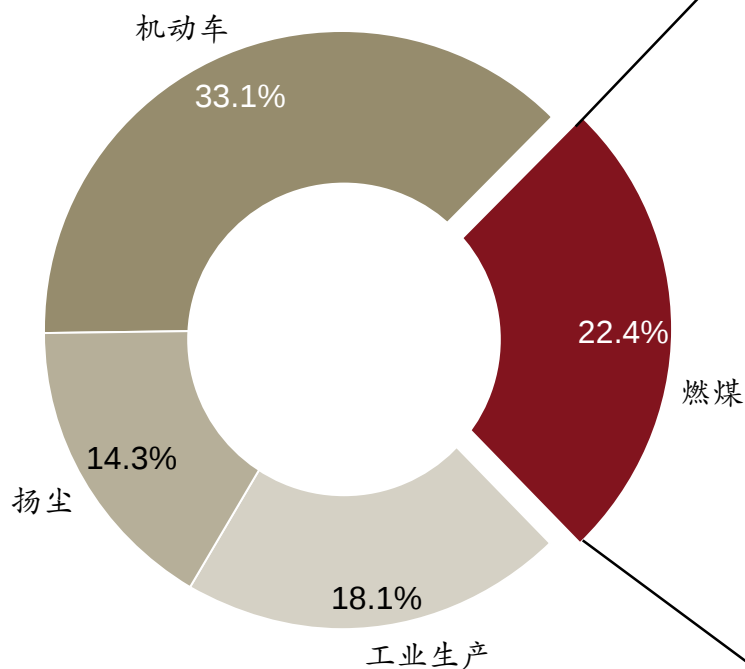
二氧化硫



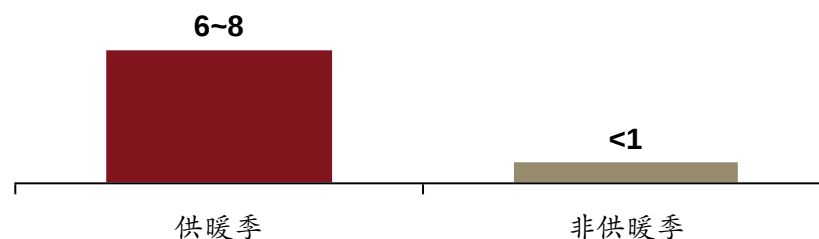
资料来源：国家电网能源研究院，思略特分析

此外，污染还会扩散到城市地区，尤其是在供暖季 (1/2)

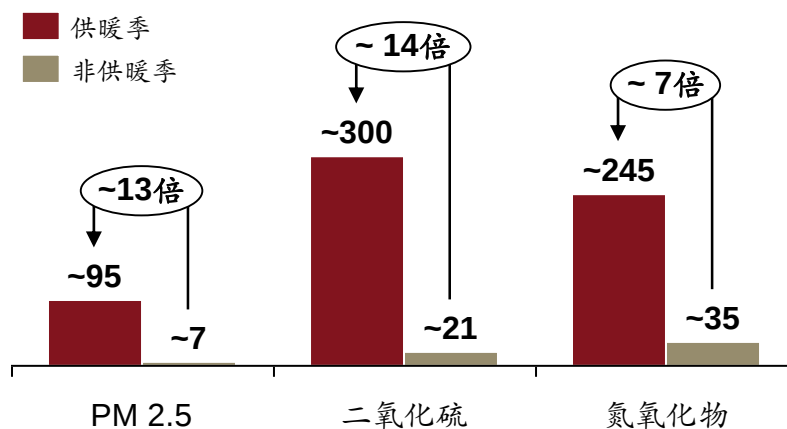
2014年北京PM2.5排放来源



北京平均煤炭消费对比 (吨/天)



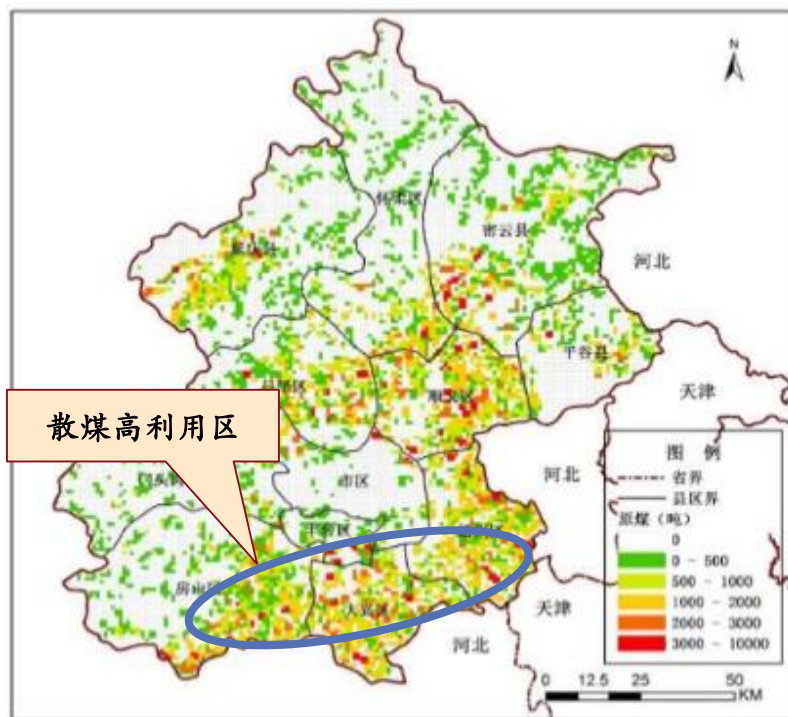
2015年北京污染物排放对比 (吨/天)



注：机动车排放源主要是卡车；工业生产排放源主要是燃煤锅炉；燃煤排放源主要是供暖和发电
资料来源：北京市环境保护局，思略特分析

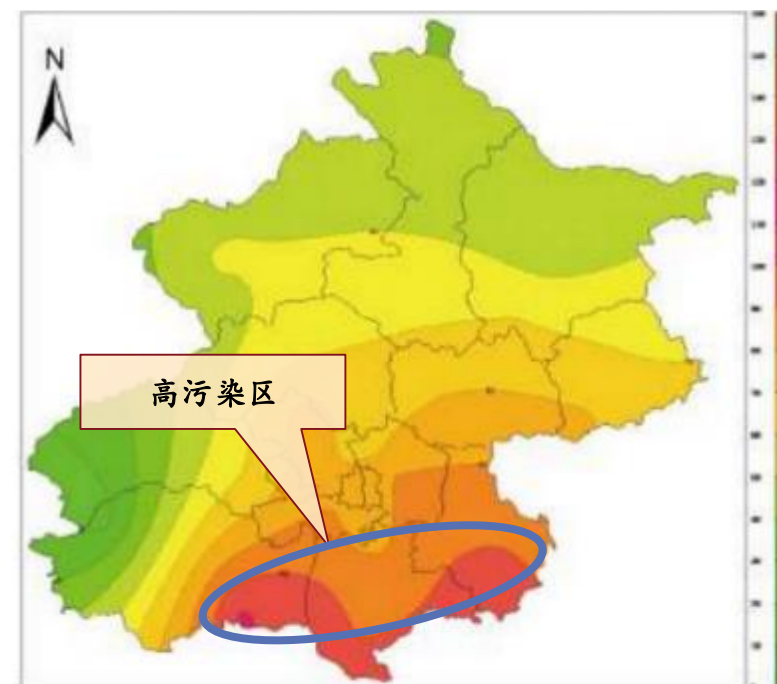
此外，污染还会扩散到城市地区，尤其是在供暖季 (2/2)

北京散烧煤空间分布



北京PM2.5浓度

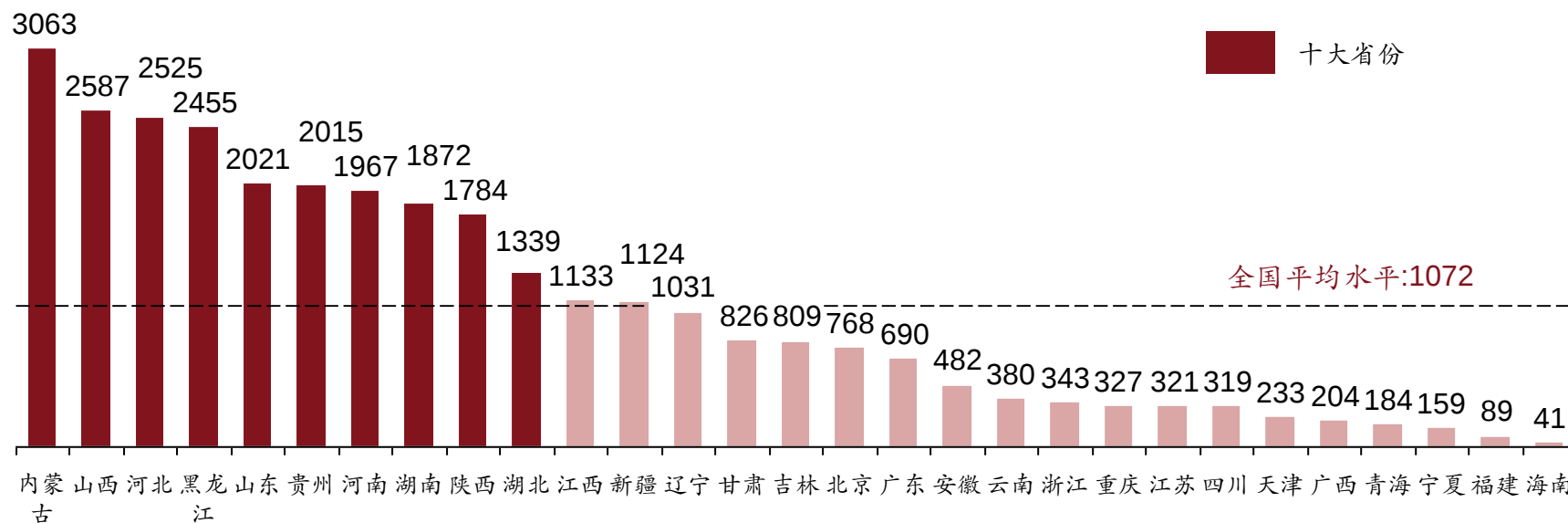
国家标准平均水平：35微克/立方米



资料来源：北京环境保护局，中国环境科学研究院，思略特分析

鉴于民用散煤对空气质量的巨大影响，应将散煤消费量高的省份作为重点减排对象

2014年中国散煤消费（万吨）

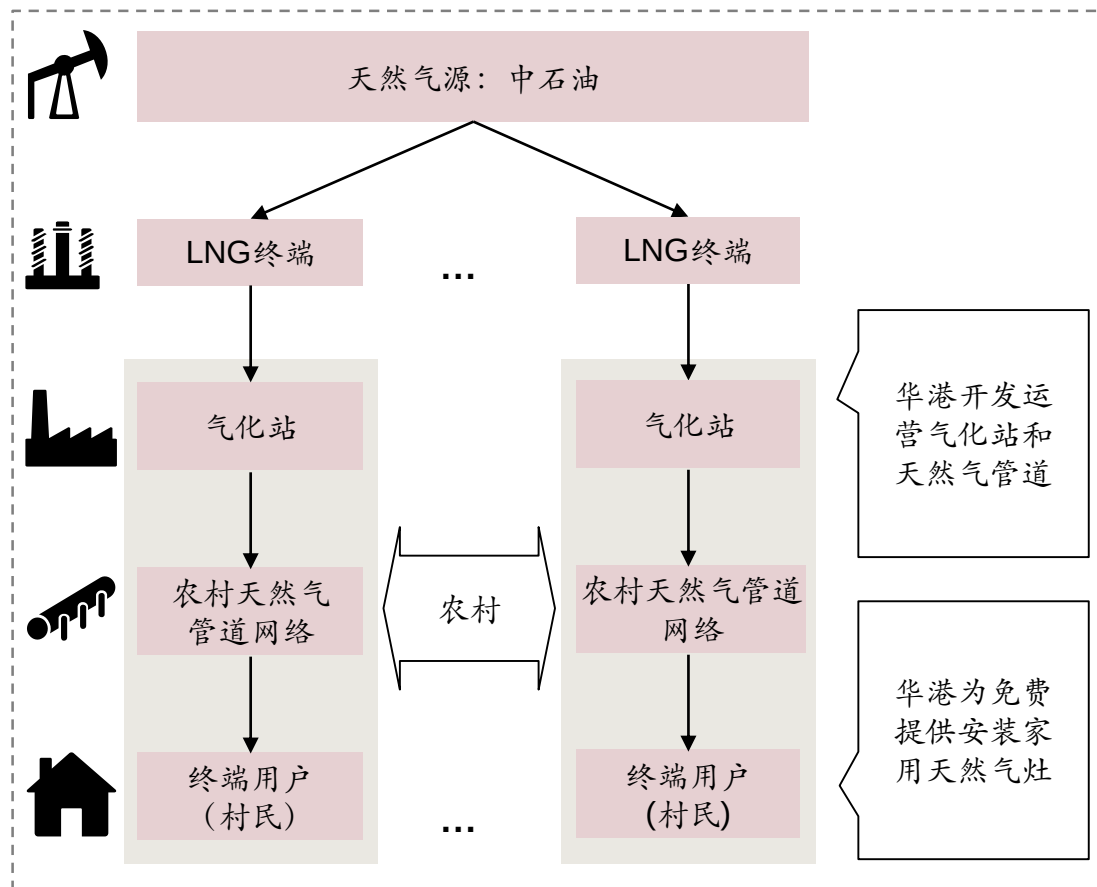


- 供暖需求是散煤消费的主要驱动力
- 不平衡的分布：2014年排名前十的省份消费了2.2亿吨散煤，占到了总量的~70%
- 主要集中在产煤省份及周边地区：内蒙古、山西、贵州等产煤省份通常是散煤消费大户

资料来源：国家电网能源研究所，国家统计局，思略特分析

案例：在促进民用天然气取代农村地区散煤使用方面有一些先行者

华港：农村地区的LNG供应



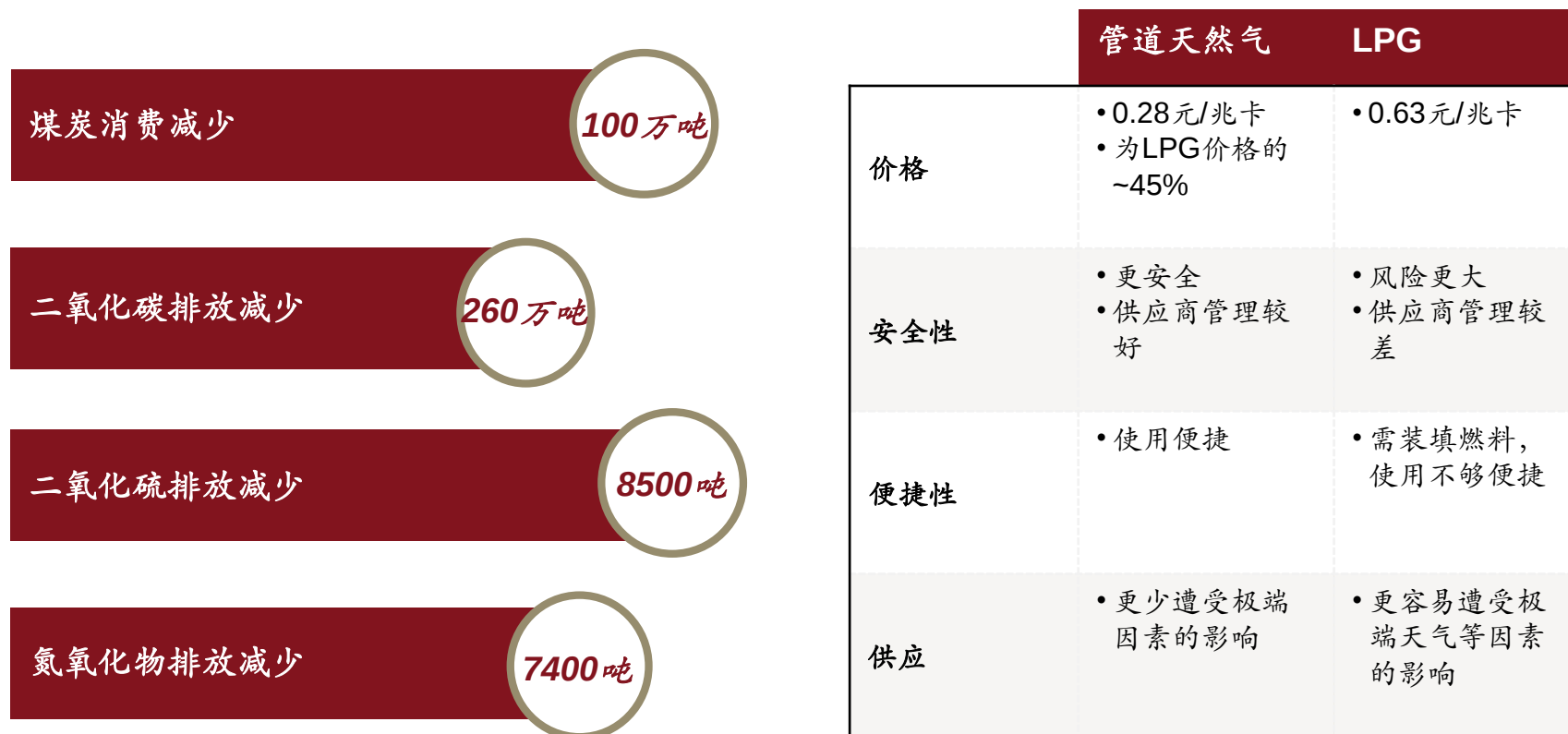
资料来源：《石油商报》，思略特分析

LNG和农村天然气管道解决了城市与农村之间的天然气管道连接问题

家用天然气灶的安装和运维补助成功促进了其在农村地区的推广

案例：华港在农村地区促进天然气使用帮助任丘市显著减少了二氧化碳，二氧化硫和氮氧化物的排放

任丘“气化村庄”的空气污染减排(共计 364 村庄) 和 LPG 的对比



1) 管道天然气的热值为8500千卡/立方米，热效率为90%；液化石油气的热值为11000千卡/千克，热效率为92%
资料来源：《石油商报》，思略特分析

案例：河北省政府也通过提供补助来支持任丘市的煤改气

2017年任丘农村地区煤改气财政补贴



- 每户家庭补贴资本支出**3700元**，含1000元的天然气壁挂炉安装费和2700元的天然气壁挂炉采购费
- 省政府和市政府将共同承担补助，华港将通过节约成本的方式提供支持



天然气管道建设

- 天然气管道建设每户每平方米补贴**4000元**
- 其中1000元的补助由省政府承担，其余部分由市政府承担



气价

- 承诺居民天然气价格至少未来三年内不会上升，维持在每立方米**2.4元**的水平
- 超过200立方米的部分，每立方米补贴**0.6元**，每户家庭每年可获得补贴的天然气总量不超过1200立方米
- 按照缴费时间，提供天然气分级奖励，100立方米至200立方米不等

资料来源：文献研究，采访，思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

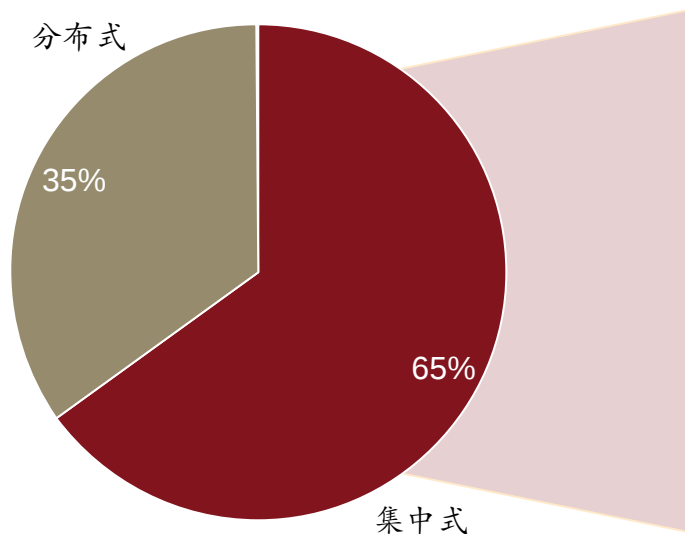
热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

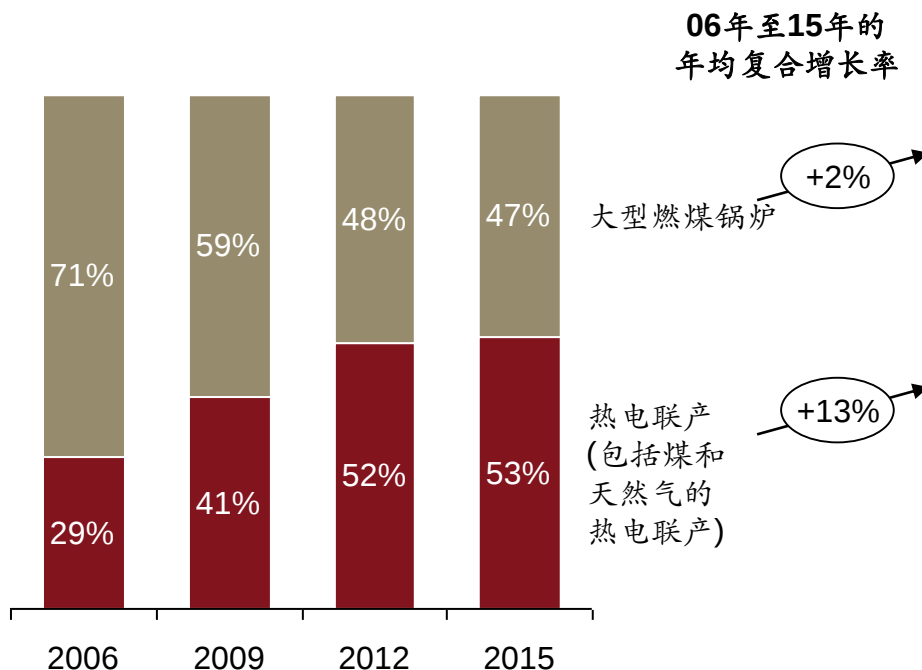
得益于热电联产的高速发展，集中供暖占2015年城市总体用热的~65%

城市供暖需求分类(%, 2015年)



- 2015年，城市集中供暖覆盖率为~65%，其余~35%的供暖依靠分散锅炉，其中大部分为燃煤锅炉
- 城市集中供暖是未来的趋势

城市集中供暖装机量(MW, 2015年)

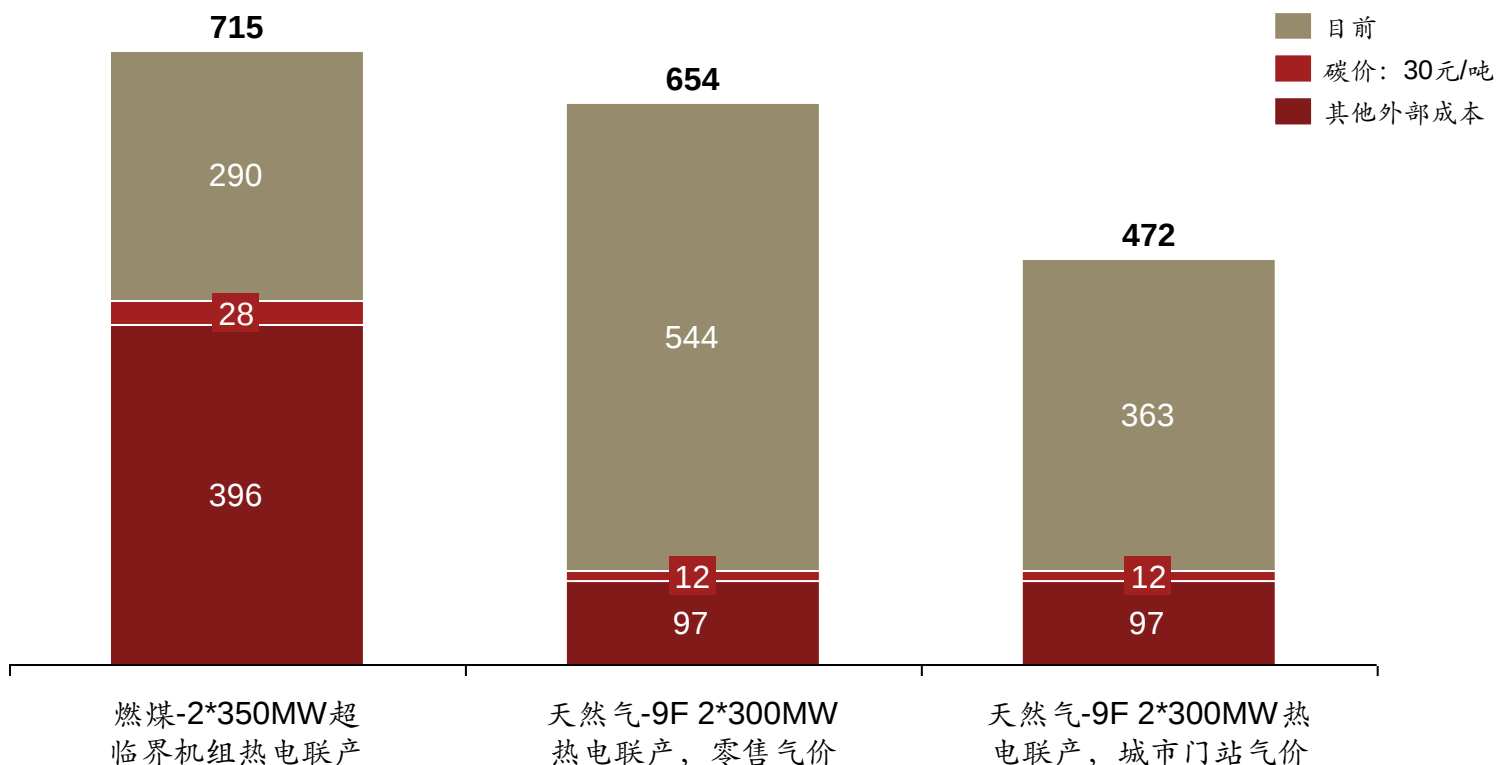


- 根据《电力行业十三五规划》，热电联合将是“十三五”期间优先发展的集中供暖方式，这表明天然气热电联合潜力巨大，有望代替目前的城市燃煤锅炉

资料来源：万得，文献研究，思略特分析

以目前的天然气价格，若考虑外部性，大规模的天然气热电联产要比燃煤热电联产更具竞争力

平均度电成本, 元/MW时



注: 煤价: 529元/吨, 天然气零售价: 3元/立方米, 城市门站天然气价: 1.8元/立方米; 以相同功率运作 (基准负荷)

资料来源: 文献研究, 思略特分析

案例：山西嘉节是中部地区最大的天然气热电联产项目

山西嘉节热电厂

案例概况

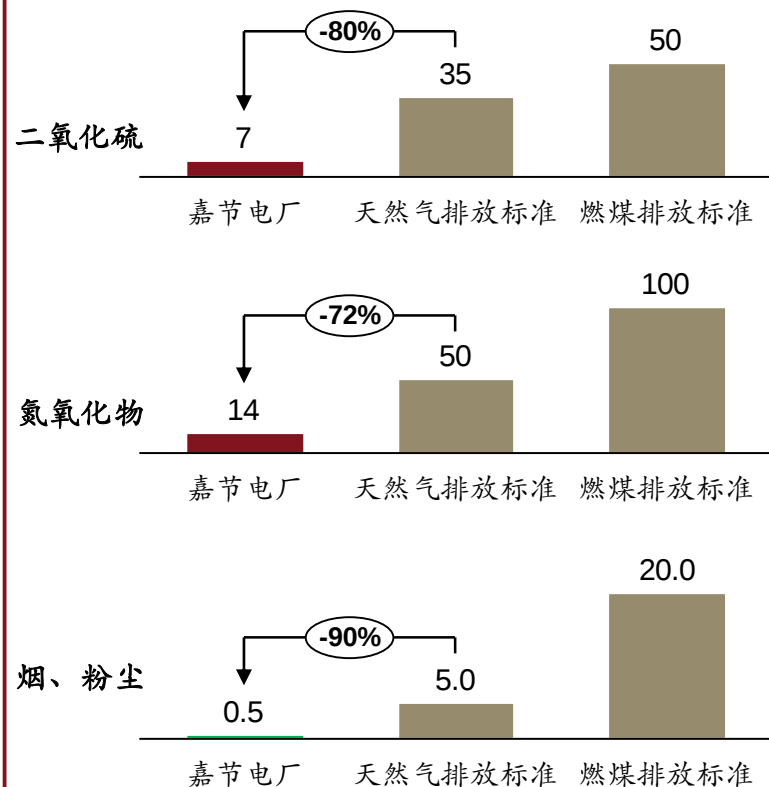
- **地区：**山西太原南部城区
- **规模：**总装机量860MW，二台298MW天然气轮机机组，以及一台264MW汽轮机机组
- **总投资：**27.6亿元
- **年均能效：**61%
- **供暖地区：**超过1200万平方米
- **天然气供应：**管道气和煤层气
- **供应商：**山西国新能源发展集团有限公司
- **项目特色：**山西嘉节热电厂不仅是山西规模**最大的**热电联合项目，而且是中国**效率最高的**天然气—蒸汽联合循环热电联产项目

资料来源：专家访谈，文献研究，思略特分析

案例：该电站的排放标准比政府更严格，显著减少了空气污染

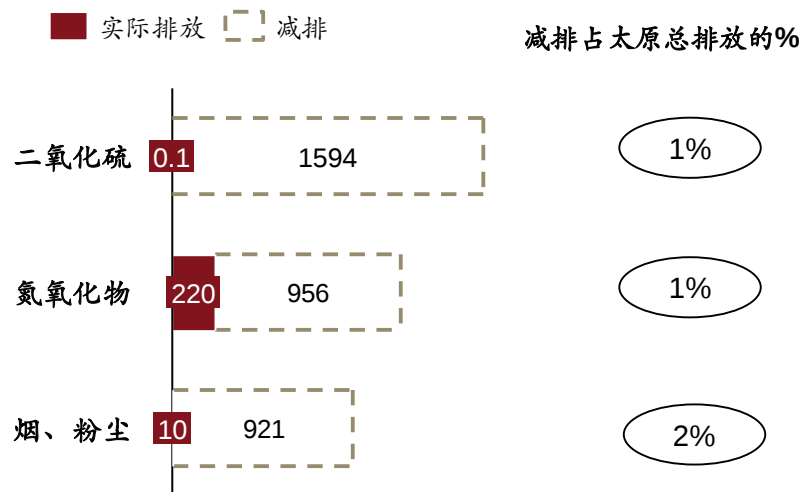
严格的排放

地方政府测量数据（单位：毫克/立方米）



污染物减排

年度污染物减排贡献率



煤改气

- 城区超过**62**个燃煤锅炉，以及郊区超过**3800**个小型燃煤锅炉将被替代

资料来源：专家访谈，《环评报告》，文献研究，思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

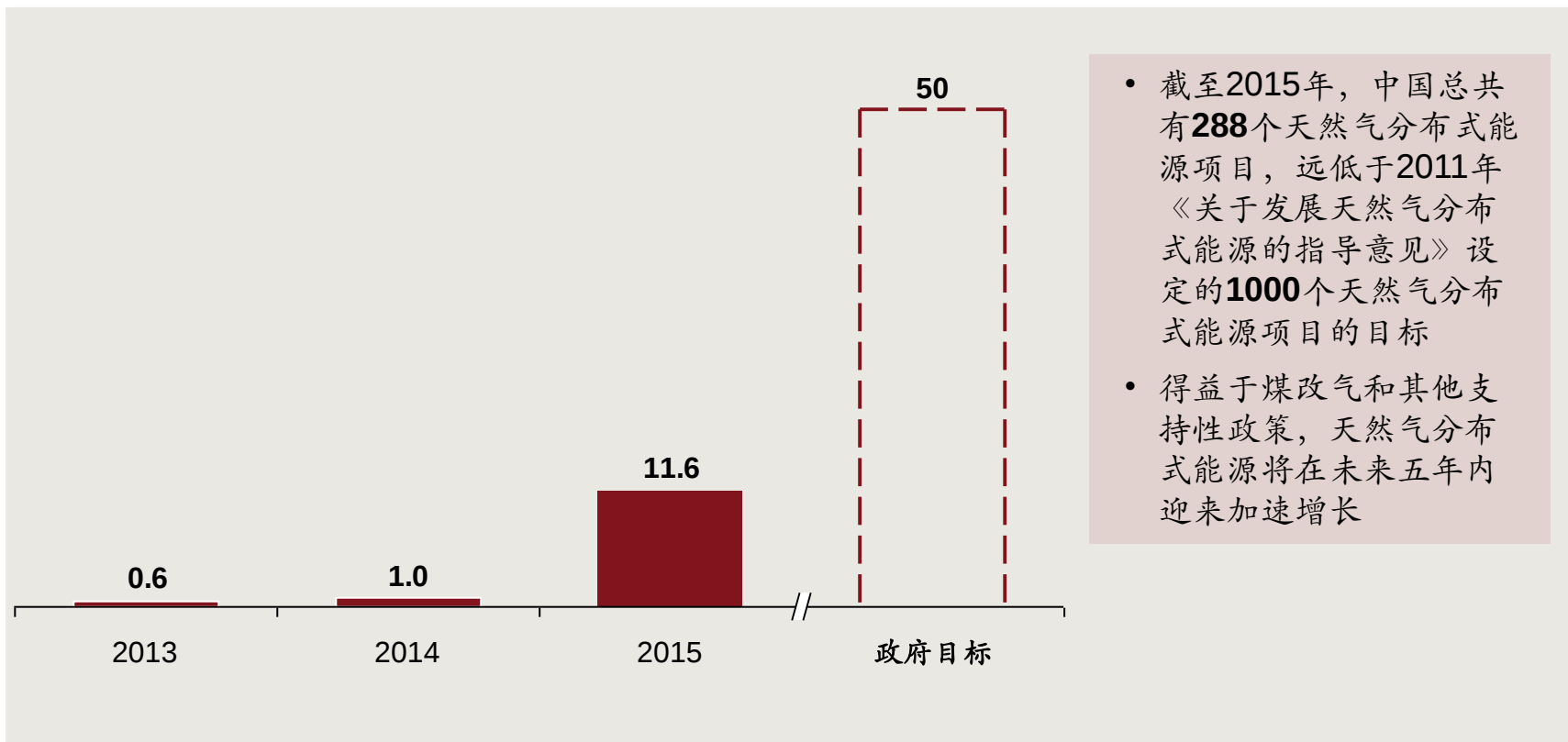
热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

天然气分布式能源系统装机容量将在2020年翻一番

天然气分布式能源系统装机容量(单位: GW)



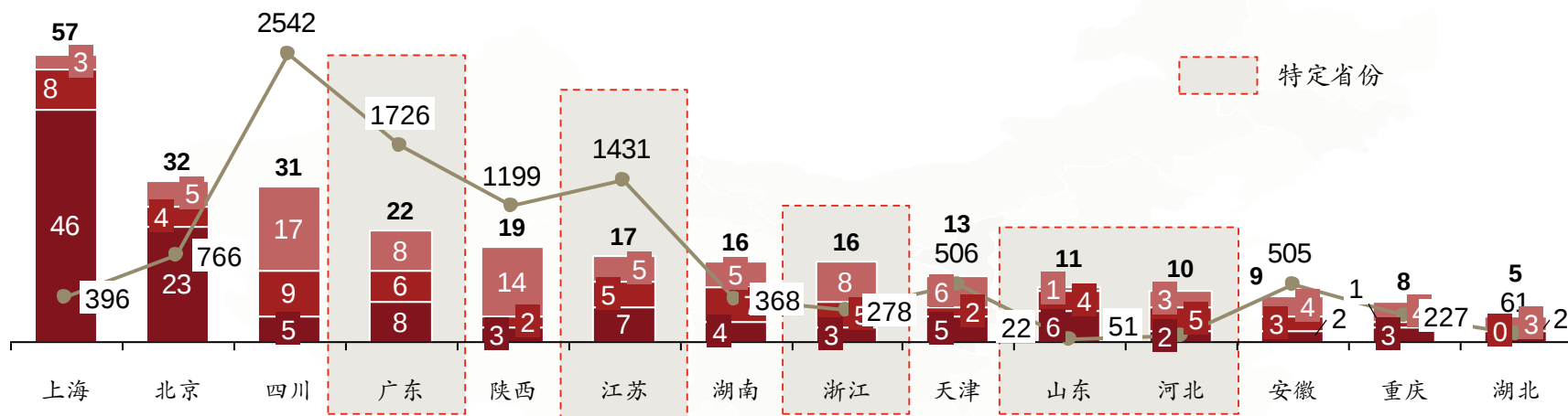
注: 2015年的数据包括现存、在建、计划

资料来源: 《天然气分布式能源产业发展报告2016》, 思略特分析

超过50%的天然气分布式能源项目坐落于长江流域和华北

天然气分布式能源系统市场分布

—●— 装机容量 (MW) ■ 计划 ■ 在建 ■ 现存



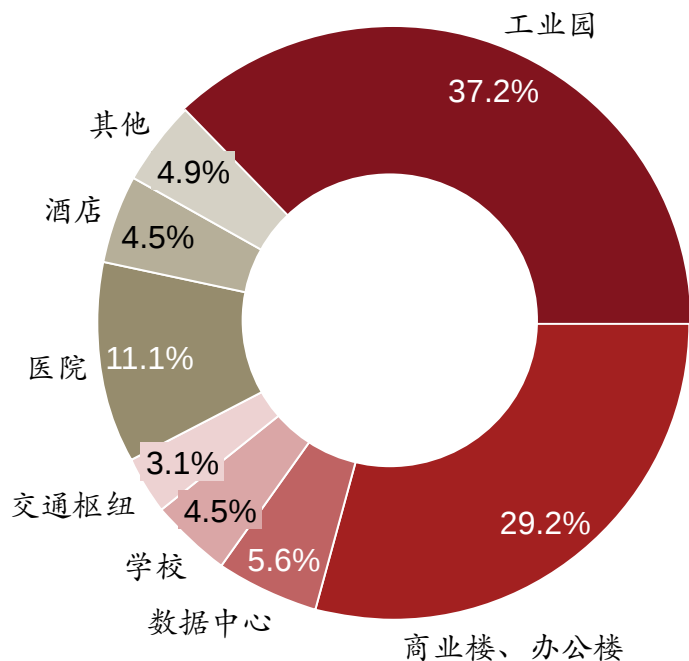
	长三角	华北	川渝	珠三角	其他地区
• 项目 #	99	70	39	22	58
• 份额	34.38%	24.31%	13.54%	7.64%	20.14%
• 装机容量	2609 MW	1346 MW	2768 MW	1725 MW	2673 MW
• 份额	23.46%	12.10%	24.89%	15.51%	24.03%

资料来源：《天然气分布式能源产业发展报告2016》，思略特分析

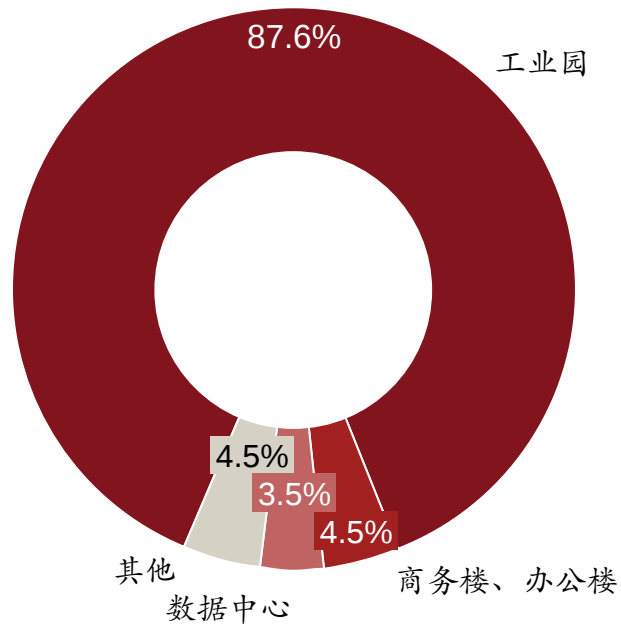
工业园，商业建筑和其他固定能源需求是中国主要的天然气分布式能源项目类型

天然气分布式能源系统市场分布（包括现存，在建，计划）

总计288个项目



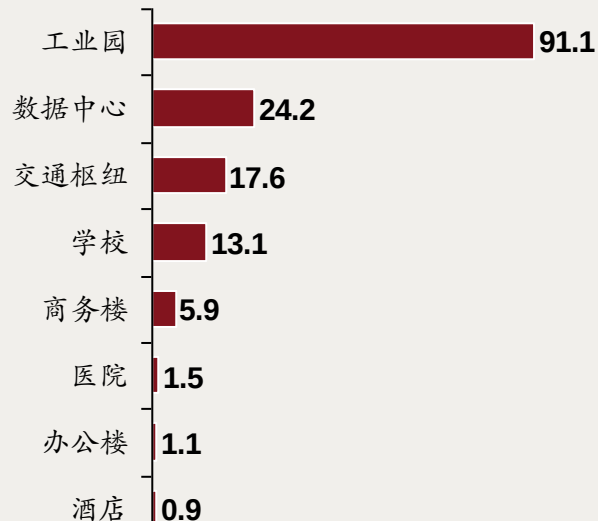
总计11GW装机量



资料来源：《天然气分布式能源产业发展报告2016》，思略特分析

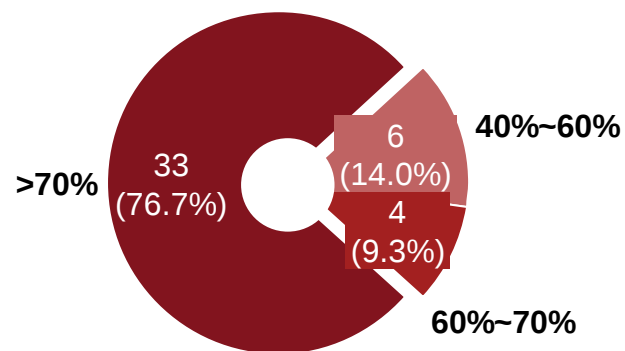
大多数项目运行效率高于70%，有助于减少排放

项目平均装机容量 (MW)



能源节约和减排分析 (基于46个案例)

能源利用 (单位: 项目 #)

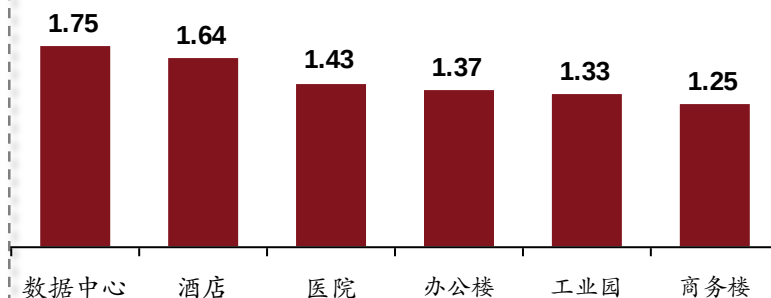


经济效率 (基于46个案例)

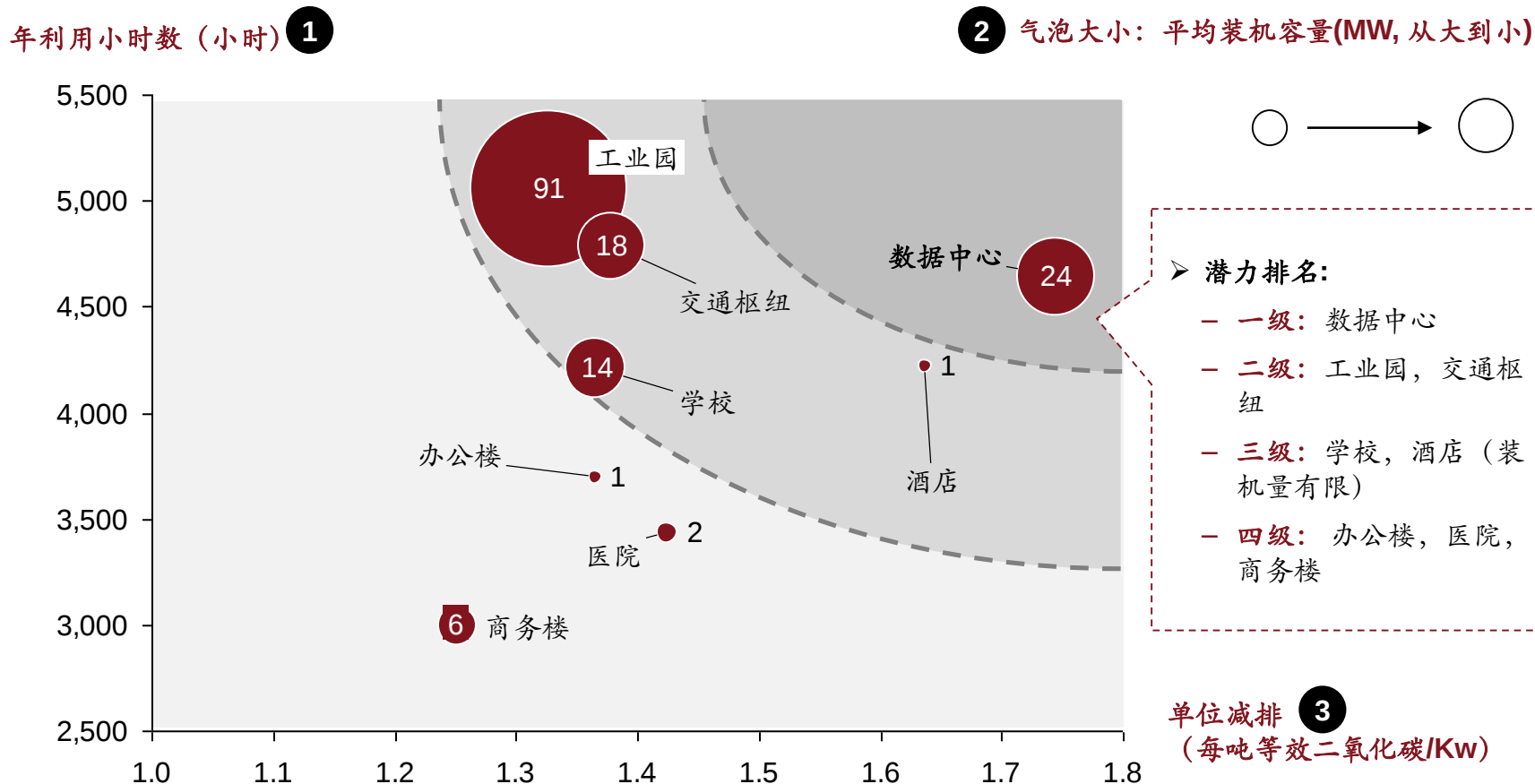
	总投资 (元/KW)	增量投资 (元/KW)
• 天然气发动机	1900 ~2000	7000~8000
• 天然气-蒸汽联合循环	9000 ~10000	6000~7500
• 微型透平	20000~22000	16000~19000

资料来源:《天然气分布式能源产业发展报告2016》, 思略特分析

平均减排 (单位: 标准煤/KW)



数据中心、工业园、交通中心等行业十分适合中国天然气分布式能源系统



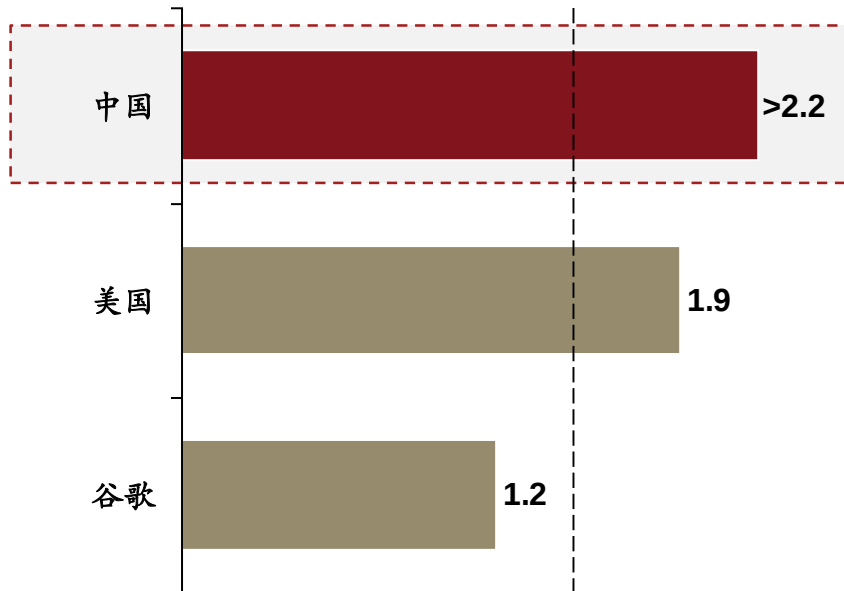
资料来源:《天然气分布式能源产业发展报告2016》, 思略特分析

但相对于美国和行业标杆，大多数中国的数据中心能源效率并不高

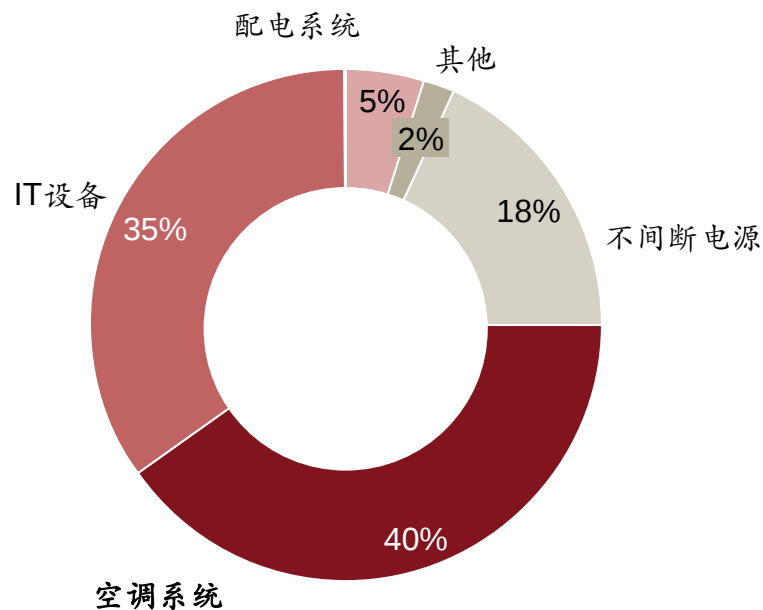
中美数据中心电源使用效率对比

中国新建的数据中心的能源效率目标:

1.5



电力消费详解

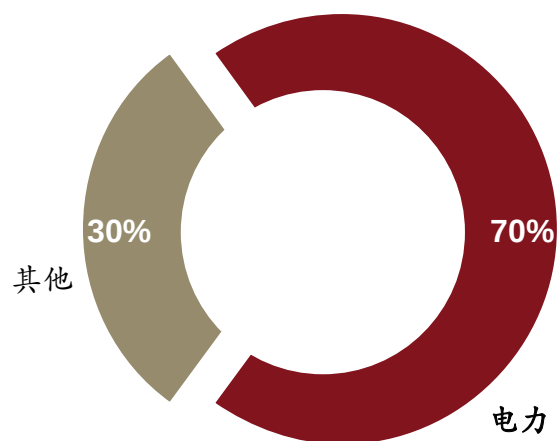


- 空调、IT设备消耗了75%的电力

注*: 能源使用效率=数据中心能源总消耗/数据中心IT设备能源消耗
资料来源: 工信部, 绿色网格, 思略特分析

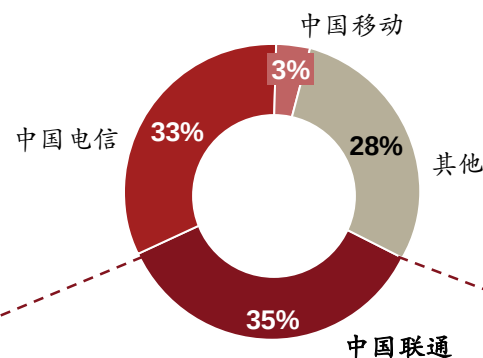
电力成本占到了数据中心运维成本的70%，能源效率将十分重要

中国境内数据中心运维成本暴增（全国平均）

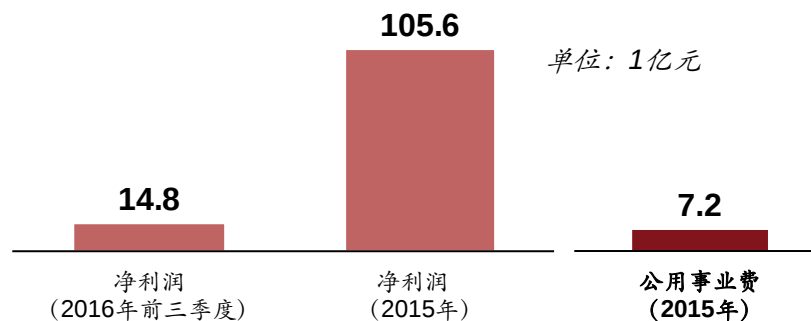


- 据工信部2013年调查发现
 - 中国225个数据中心的平均电价为**0.87元/KW**
 - 大规模和超大规模数据中心的平均电价分别为**0.66元/KW**和**0.78元/KW**，超大规模的数据中心的电价可低至**0.3元/KW**

案例：截至2015年，中国联通拥有最多的数据中心



案例：中国联通每年在能源利用方面花费7200万元的成本（水，电，暖）



资料来源：《中国联通年报》，环球数码，文献研究，思略特分析

采取天然气分布式能源系统能够提高能源效率，减少排放，增强可靠性

数据中心的能源消费特点

能量密度高

大型数据中心有~2000个甚至更多的设备间，其能量密度可达普通商业大楼的30倍

冷却需求大

95%的电力能源转化成热量能源，产生巨大的冷却需求，以维持数据中心运营能力

可靠性，安全性要求高

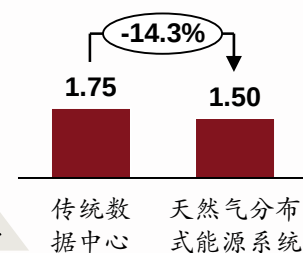
数据运营24小时不间断进行，对安全性和可靠性的要求极高

电力负荷稳定且可预测

数据中心运用天然气分布式能源的优点

- 天然气分布式能源系统可以提高能源利用效率(通常由**40% 提高到 80%**)，帮助**提高数据中心能源使用效率，减少能源成本**

新建数据中心的电源使用效率对比



更低的
电源使用效率

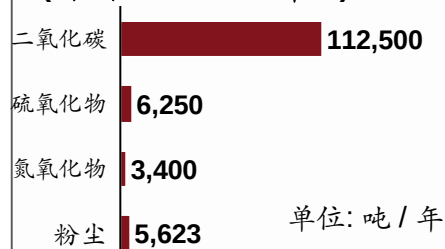
天然气分布式
能源系统

更清洁

可靠性更高

天然气分布式能源系统减排

(例: 某40MW 数据中心)



- 可靠性和持续正常运行时间也得以提高** (通过在备用系统旁增加现场发电装置)

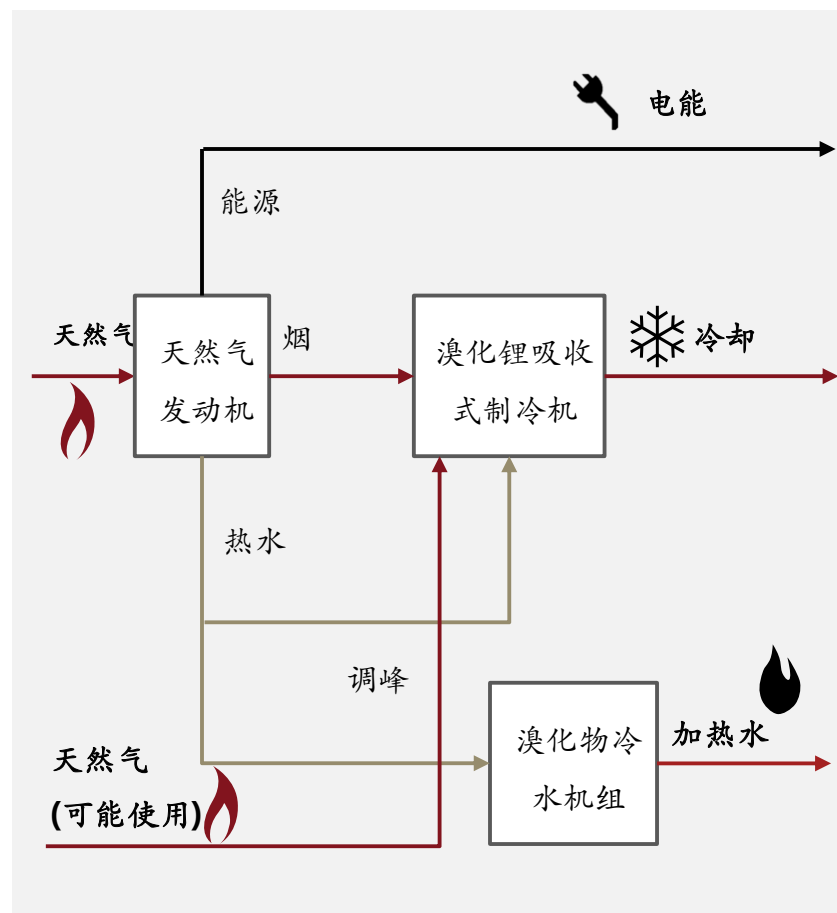
资料来源: 数据中心节能技术委员会, 文献研究, 思略特分析

案例：位于上海的腾讯数据中心采用了天然气分布式能源系统

案例简介

- **建造和运营者:** 新奥能源控股有限公司
- **数据中心需求方:** 腾讯
- **商业模式:** 建设-经营-转让
- **上线运营时间:** 2016年8月
- **装机容量:** 2540*4 KW, 为十万个服务器提供电源
- **年使用时间:** 5840小时
- **年天然气消费量:** 12,746,000 立方米
- **年能源效率:** 75.89%
- **年产能:** 5400万Kwh, 89% 自用
- **年冷却产能:** 1.62 亿MJ

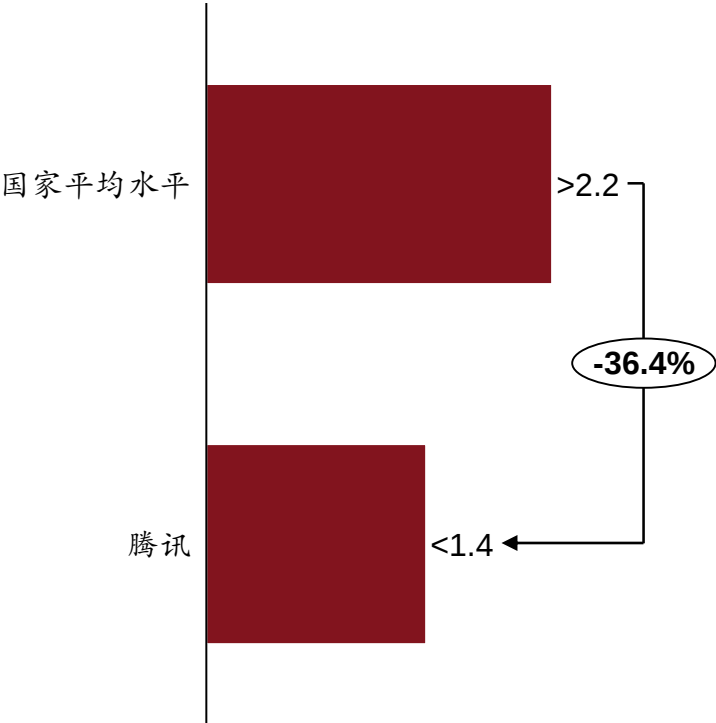
天然气分布式能源系统



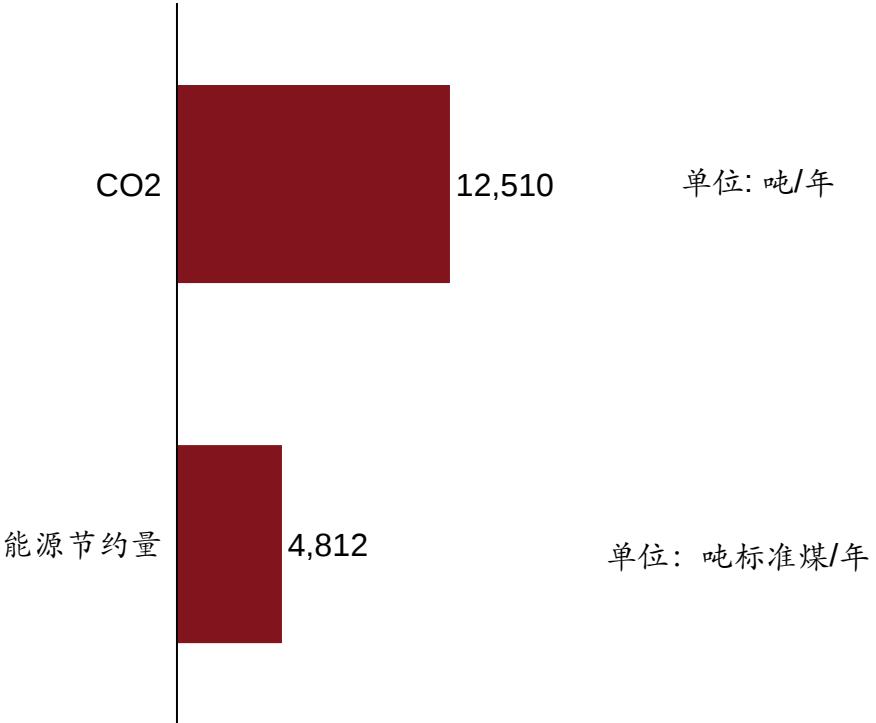
资料来源: 2016年天然气分布式能源系统市场报告, 思略特分析

案例：该项目证明了天然气分布式能源系统在环境和能源效率方面的益处

电源使用效率



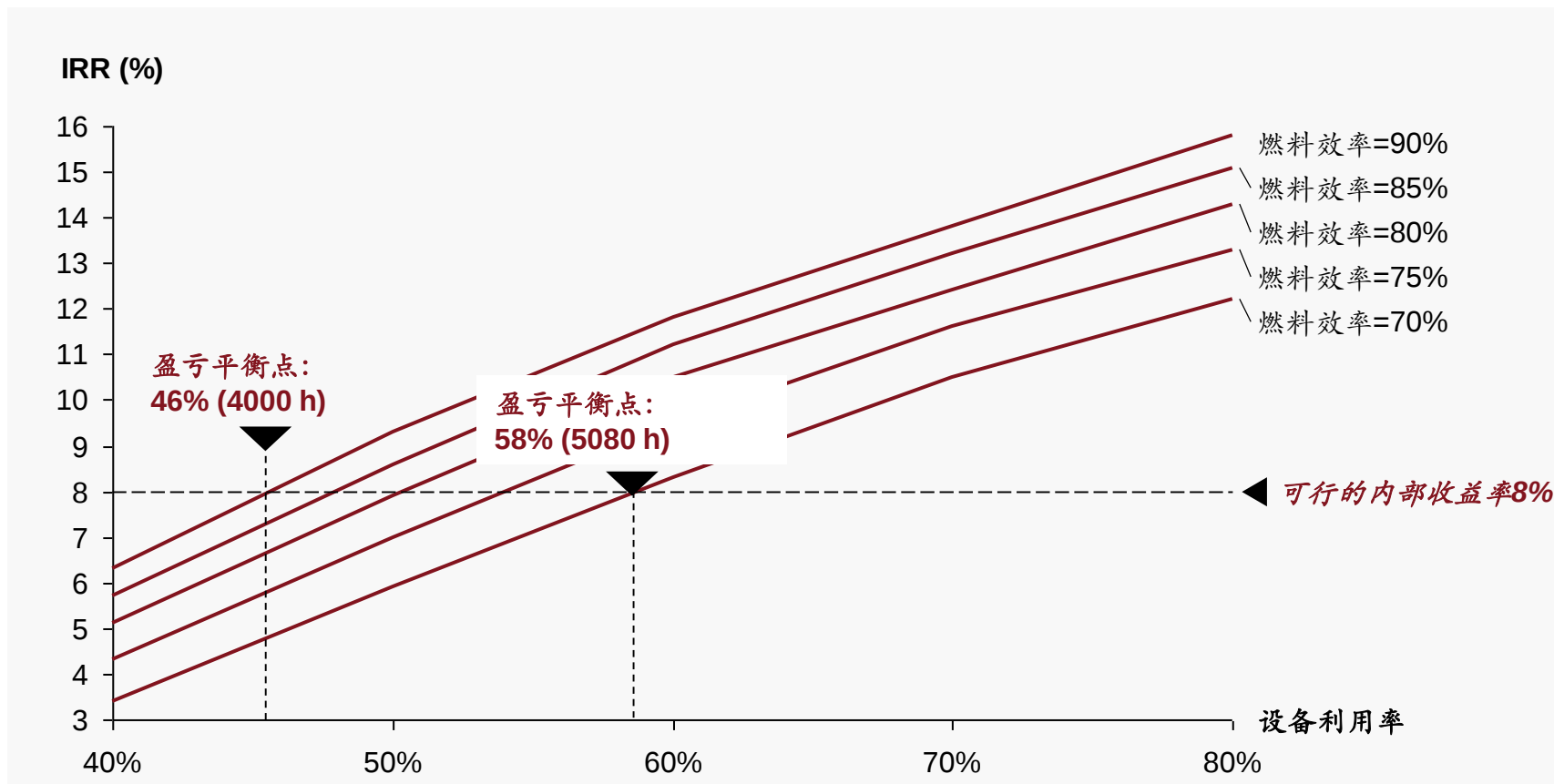
年减排量与能源节约量



资料来源: 2016年天然气分布式能源系统市场报告, 思略特分析

利用小时数和效率是评判项目可行性的两个重要因素

设备利用率如何影响项目内部收益率

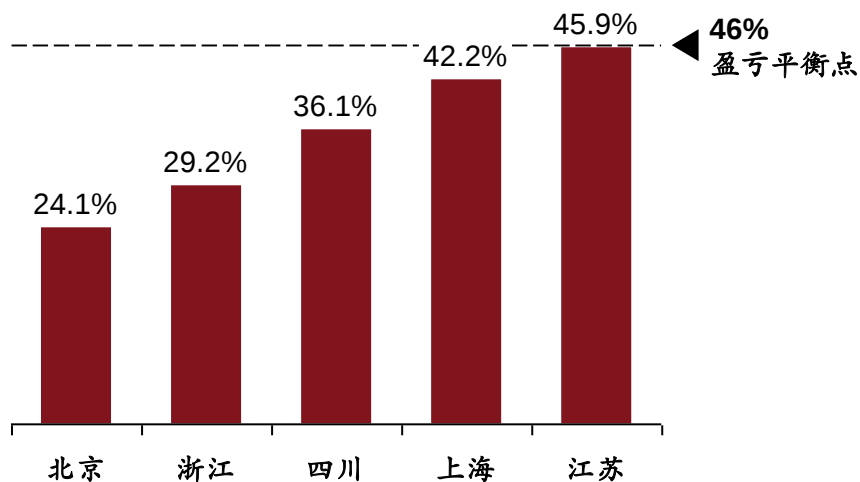


资料来源: 思略特分析

然而在很多情况下，因为利用率无法达到设计水平，大多数分布式能源系统项目都在亏损运行

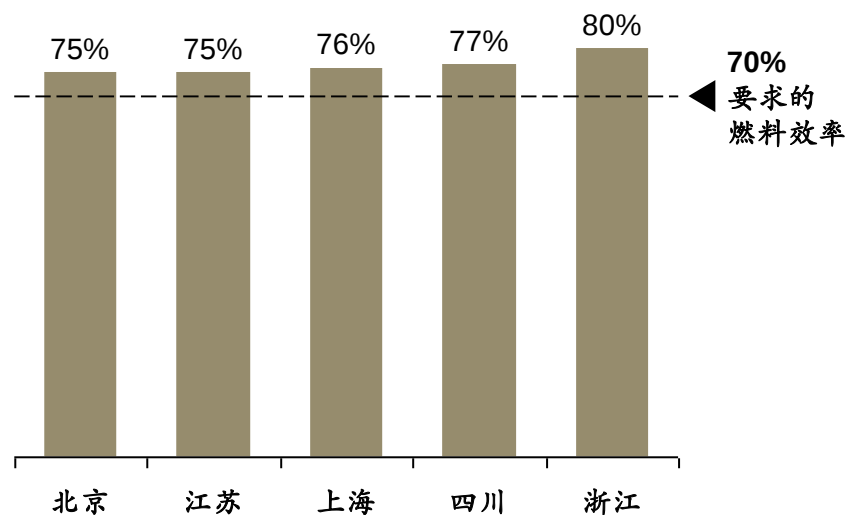
关键领域的技术指标

设备利用率(%, 2016)



- 对大多数分布式能源系统项目而言，设备使用时间低于3000小时设备利用率低（低于34%），是亏损的主要原因

燃料效率(%, 2016)

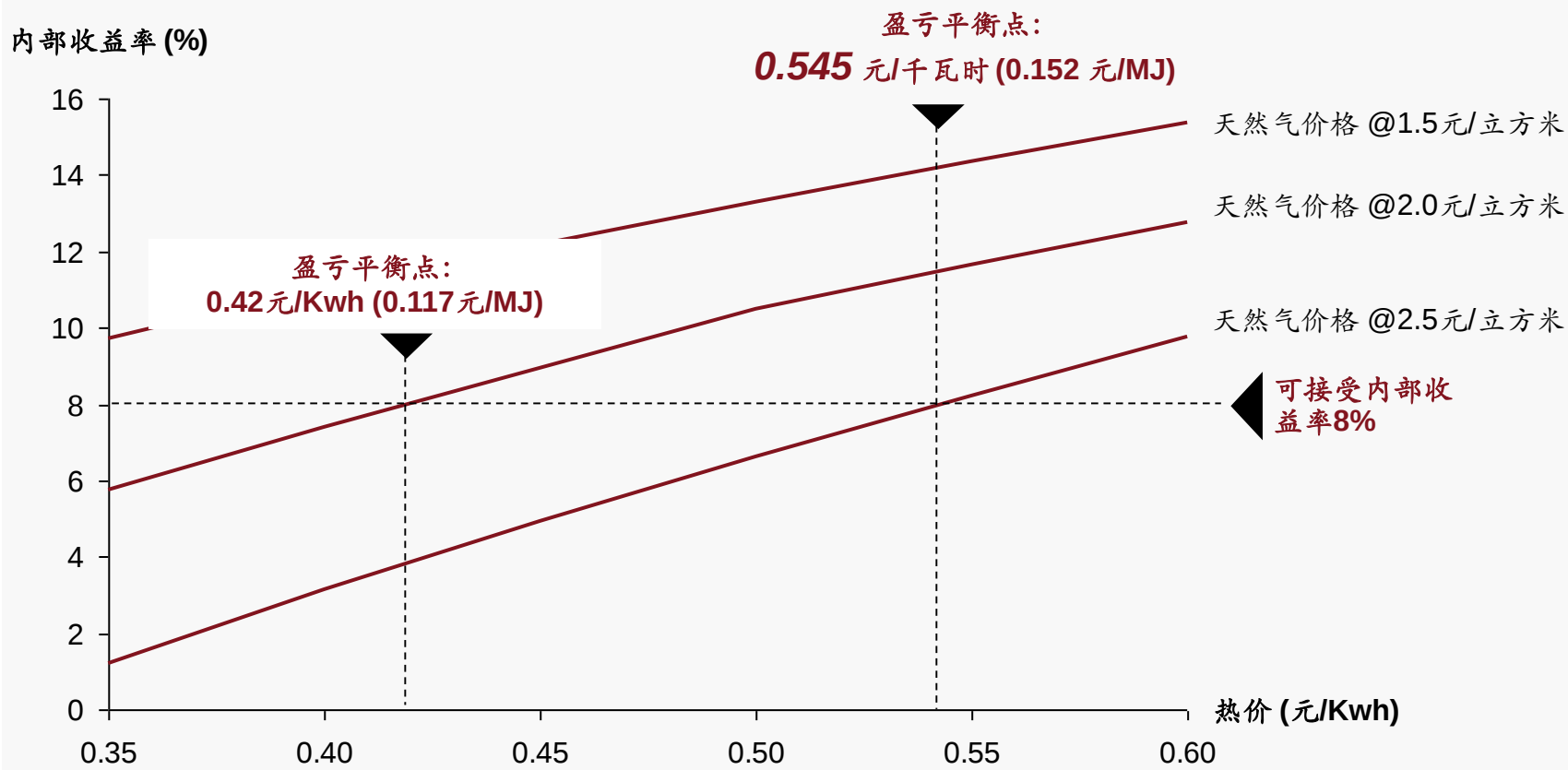


- 所有分布式能源系统项目的燃料效率须达70%

注释*: 1) 选取46个天然气分布式能源系统项目案例进行计算; 2) 根据敏感性分析, 46%是分布式能源系统项目达到盈亏平衡
资料来源: 2016年中国天然气分布式能源系统年度报告, 思略特分析

天然气价格和采暖价格是影响一个项目回报的成本和收益指标

热价如何影响项目内部收益率

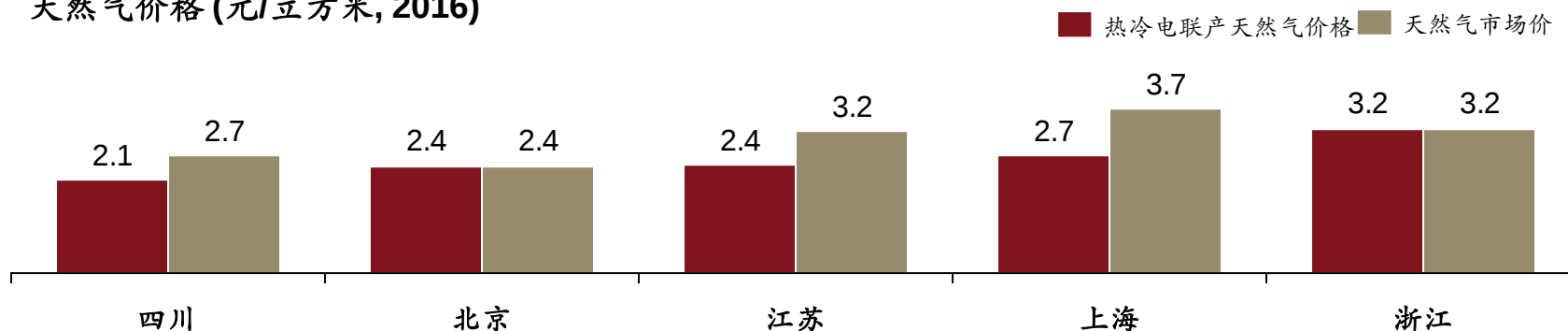


资料来源: 思略特分析

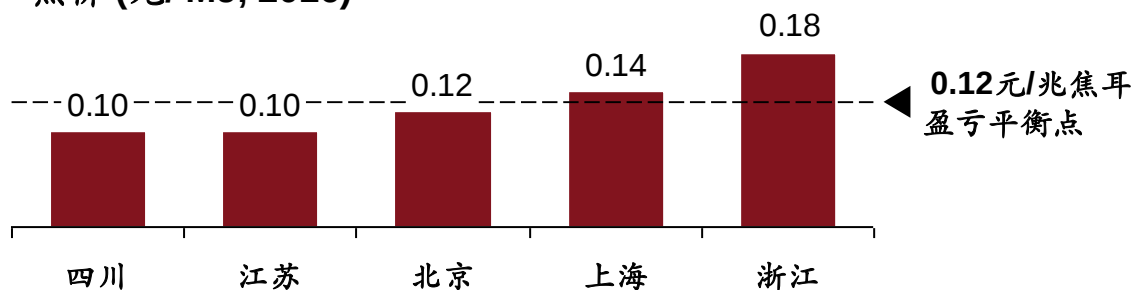
尽管大多数项目可以得到补助气价，但低廉的采暖价格降低了经济收益

关键领域的经济指标

天然气价格 (元/立方米, 2016)



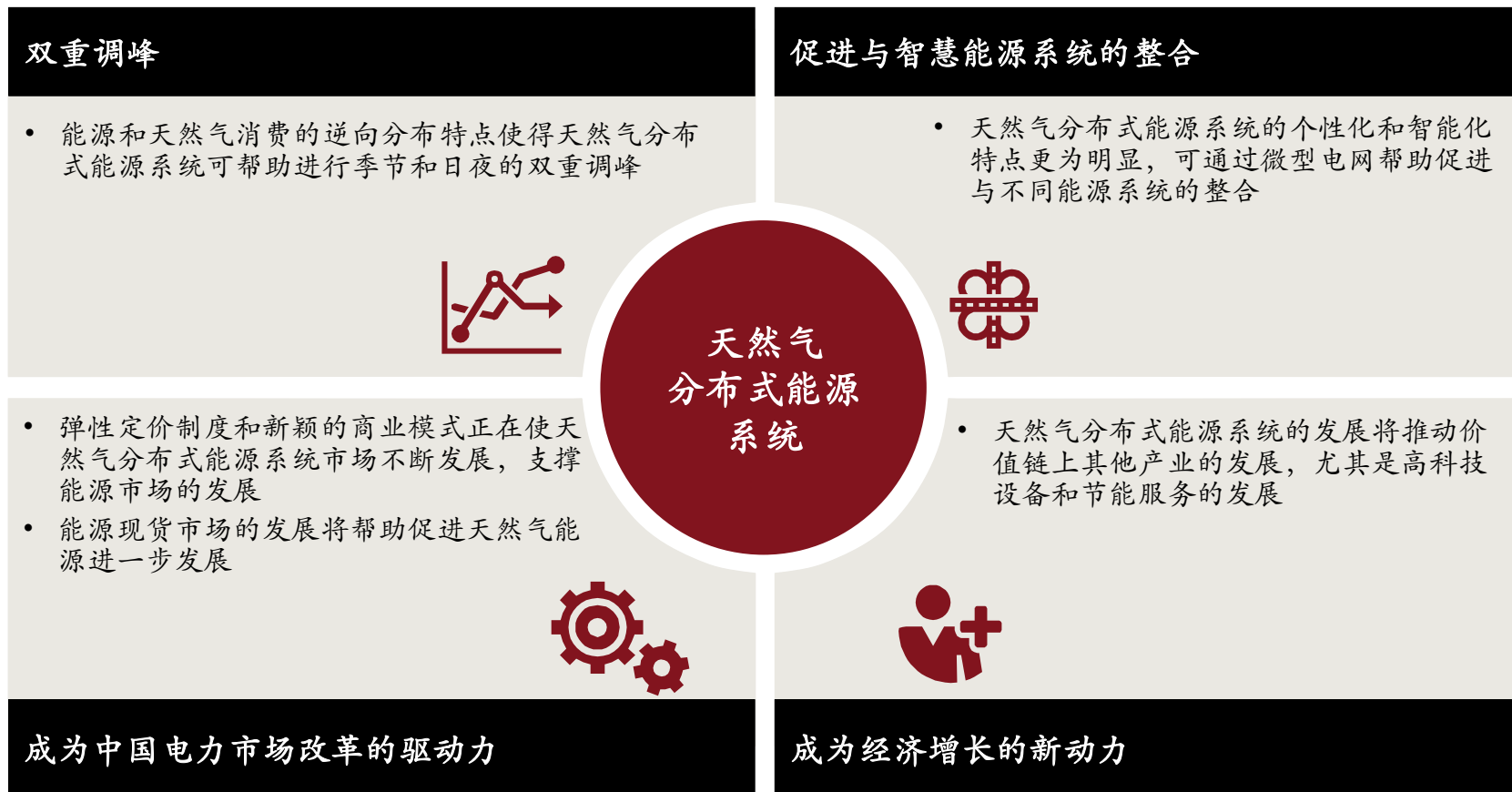
热价 (元/ MJ, 2016)



- 大多数省市的当前热价都低于预期，导致分布式能源系统项目收入不佳。
- 上海和江苏对项目提供的热价更高，提高了经济效益

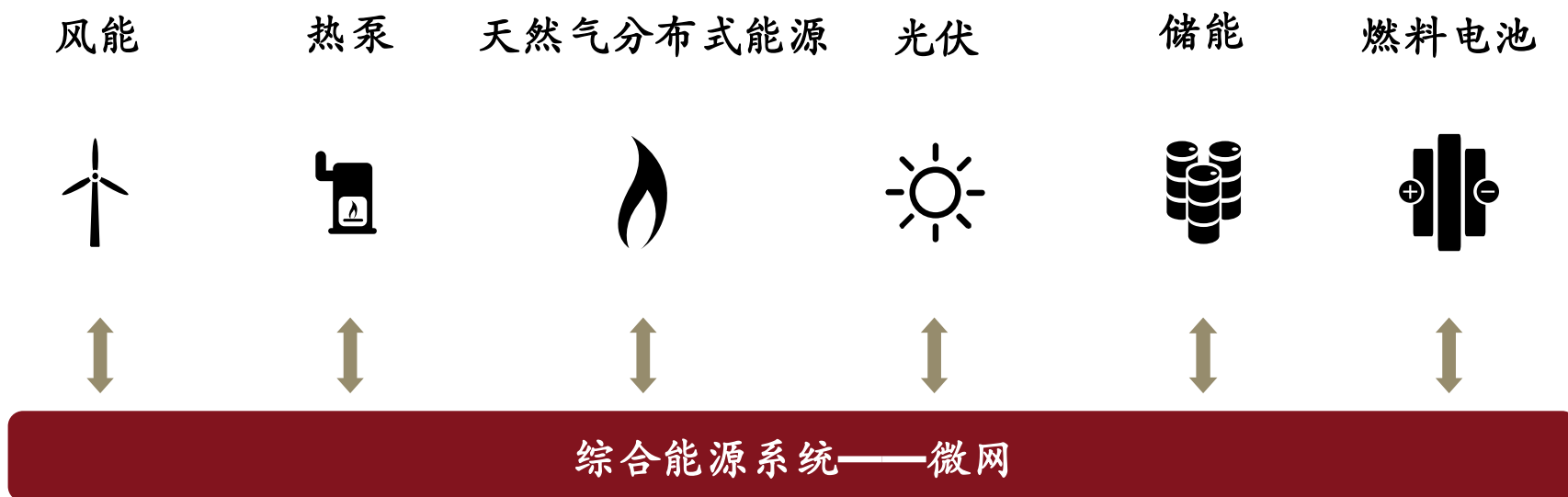
注释*: 1) 选取46个天然气分布式能源系统项目案例进行计算; 2) 根据敏感性分析, 0.12元/MJ是分布式能源系统项目达到盈亏平衡的最低热价
资料来源: 2016年中国天然气分布式能源系统年度报告, 思略特分析

天然气分布式能源系统可以提高能源系统的市场竞争力和综合性



资料来源: 文献研究, 2016年天然气分布式能源系统市场报告, 思略特分析

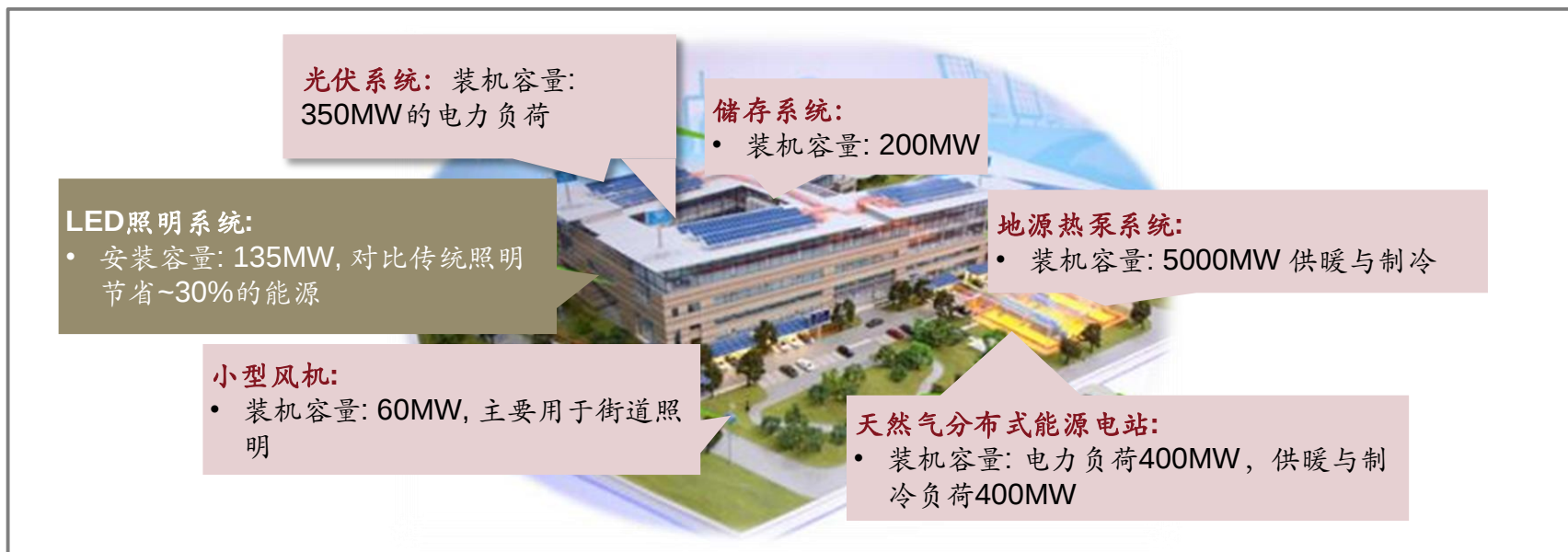
天然气分布式能源系统可以与其他能源技术结合成中国的综合能源系统



资料来源: 文献研究, 2016年天然气分布式能源系统市场报告, 思略特分析

案例：苏州协鑫研发园多微能源系统是中国第一个“六合一”能服项目

苏州 协鑫研发园的综合能源系统



案例基本信息

- **地点:** 江苏苏州, 总建造面积为20724平方米
- **建造和运营方:** 协鑫能源控股有限公司
- **上线运营时间:** 2015年3月
- **投资总额:** ~4900万人民币
- **设计能源需求:** ~3000 MW, 比传统方案低~ 30%
- **微型电网系统的能源供应率:** 超50%
- **建筑节能效率:** 超 30%

资料来源: 文献研究, 思略特分析

然而，中国天然气分布式能源系统的发展仍然被政策和市场所阻碍

政策相关

电力交易市场

- 天然气分布式能源系统参与能源交易市场具体实施措施（市场准入&退出，能源度量等）仍不清晰
- 若无辅助市场仍不能实现调峰价值

与电网的关系

- 分布式能源系统的发展可能会影响地方电网的收入，面临电网连接的问题

国家政策

- 天然气分布式能源系统在行政申请中被视为普通能源，导致项目可行性研究和申请成本都很高
- 当前尚未有国家补贴

市场相关

财政

- 项目不确定性和成功经验/案例的缺乏导致融资困难

产品价格

- 最终产物（电能，供热，制冷）的价格虽有管制，但是并没有考虑到劳务和燃料成本增加的风险

环境价值

- 分布式能源系统的环境价值（氮氧化物/硫氧化物，颗粒物，减少固体垃圾）并没有充分体现在货币价值之中

资料来源: 2016年天然气分布式能源系统市场报告, 文献研究, 思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

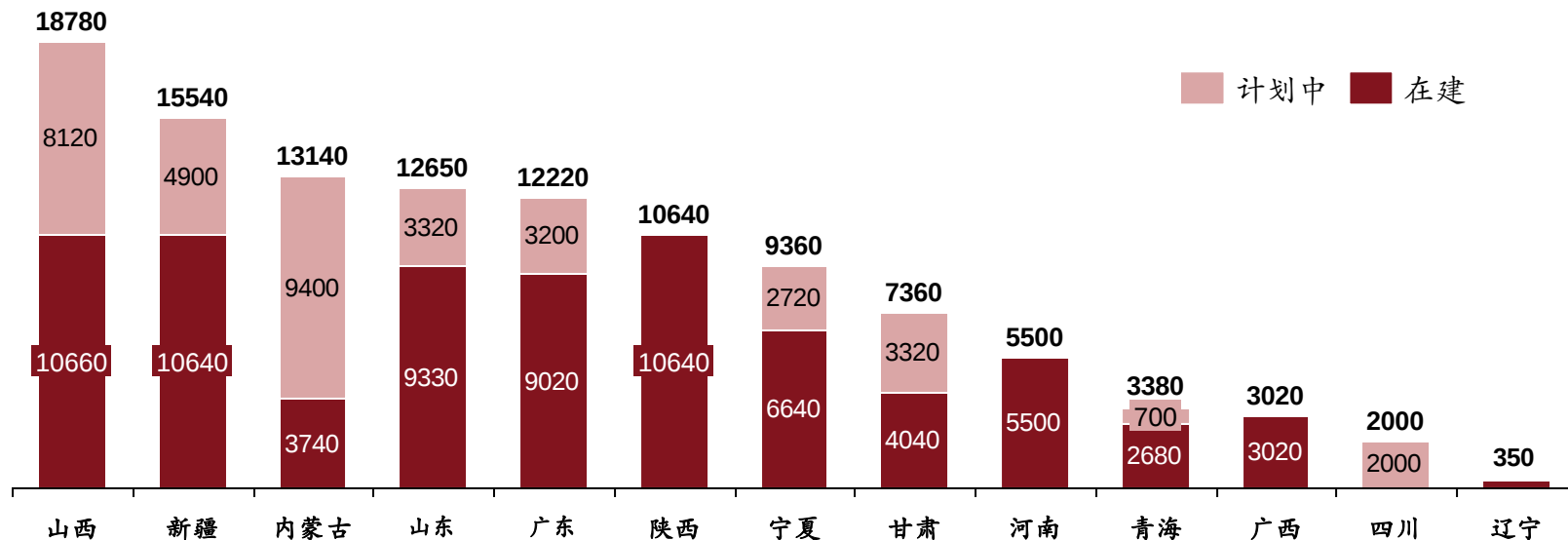
热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

中国许多计划修建的燃煤电厂由于环境和产能过剩问题而被叫停

被国家能源局叫停的项目(单位: MW)



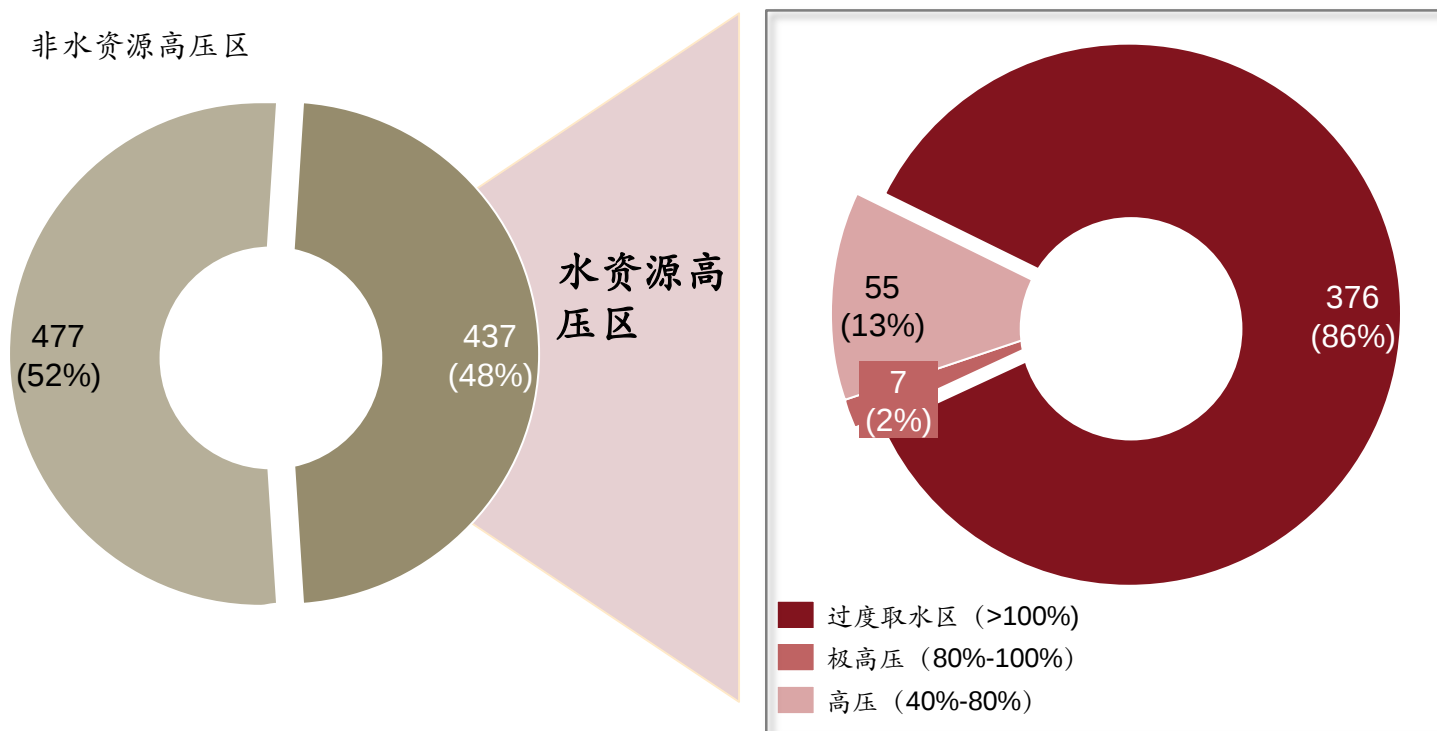
项目数	19	18	10	10	9	6	6	6	5	4	3	1	1
-----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- 中国国家能源局已经将**98个**在建或计划中的燃煤电厂项目（总产能**114GW**）延期至十四五计划或之后（其中一个项目直接被能源局叫停）
- 根据“能源发展‘十三五’规划”，截至**2020年**，燃煤发电产能总量应控制在**11亿KW**

资料来源: 国家能源局, 中国能源发展“十三五”规划, 思略特分析

此外，中国目前40%的燃煤电站装机量位于水资源极其匮乏的地区

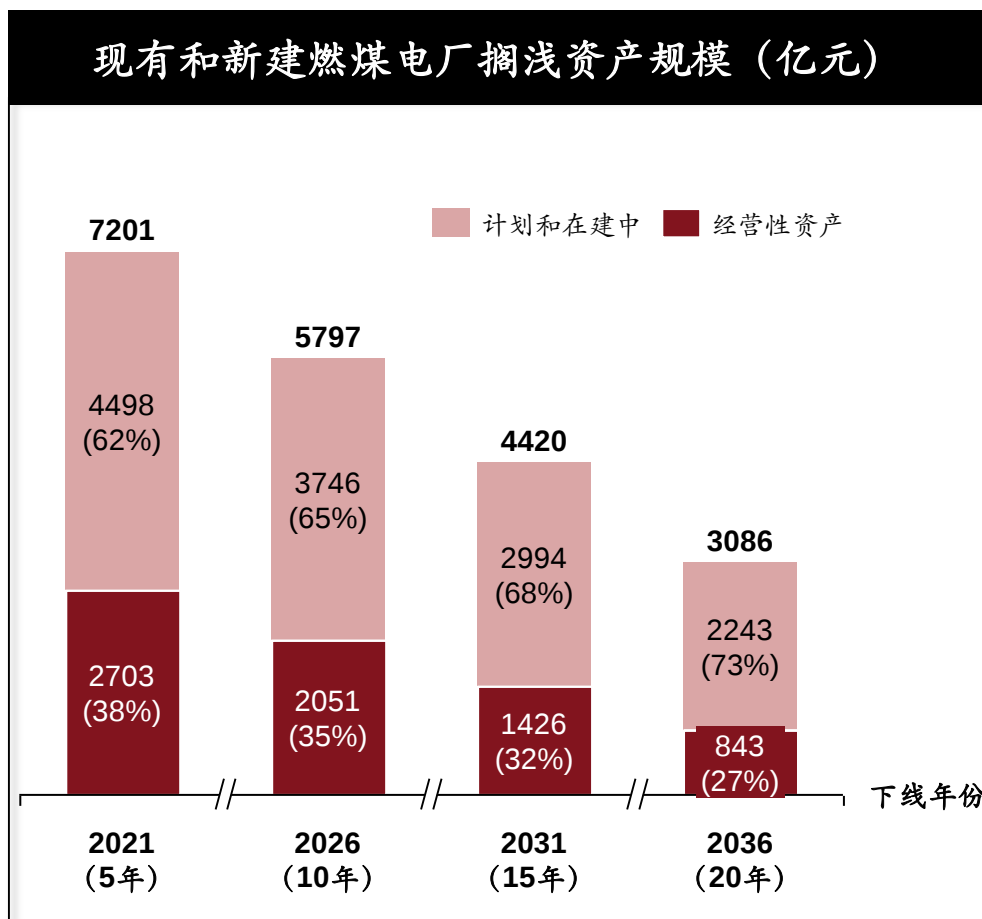
以基线水压力分布的燃煤电厂装机容量（千MW）



注释：水压至少高于基线水平40%的地区被视为高压区

资料来源：绿色和平组织《产能过剩和过度取水：解决燃煤电力产能过剩问题何以缓解水压》

煤电厂投资者面临着数万亿的资产搁浅风险

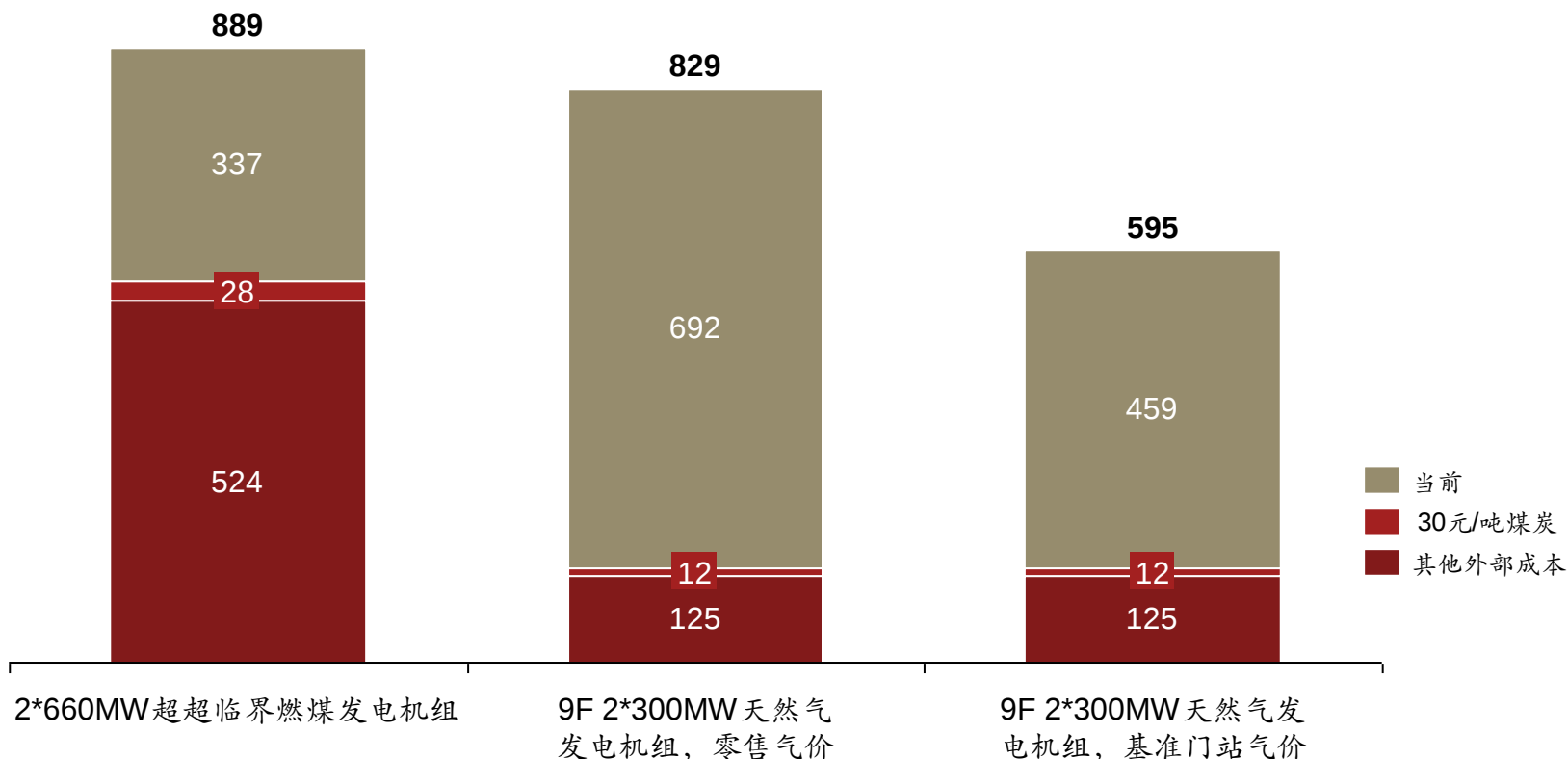


- 假设所有燃煤电厂于2036年下线, **超过3万亿元人民币的资产将搁浅**, 其中27%为经营性资产
- 如果下线时间从2036年提早到2026年 **超过5万亿元人民币的资产将搁浅**, 其中**35%**为经营性资产
- 投资燃煤电厂项目会有资产错配的风险

资料来源: 牛津大学《中国搁浅的燃煤电力资产》, 文献研究, 思略特分析

按目前的天然气价格，若考虑外部成本，天然气电厂即使作为基础负荷依然具有市场竞争力

度电成本, 元/KW



注：煤炭529元/吨，零售天然气：3元/立方米，天然气城市门站价：1.8元/立方米；在同样的57%的基准容量运营（基准装机量）
资料来源：思略特分析

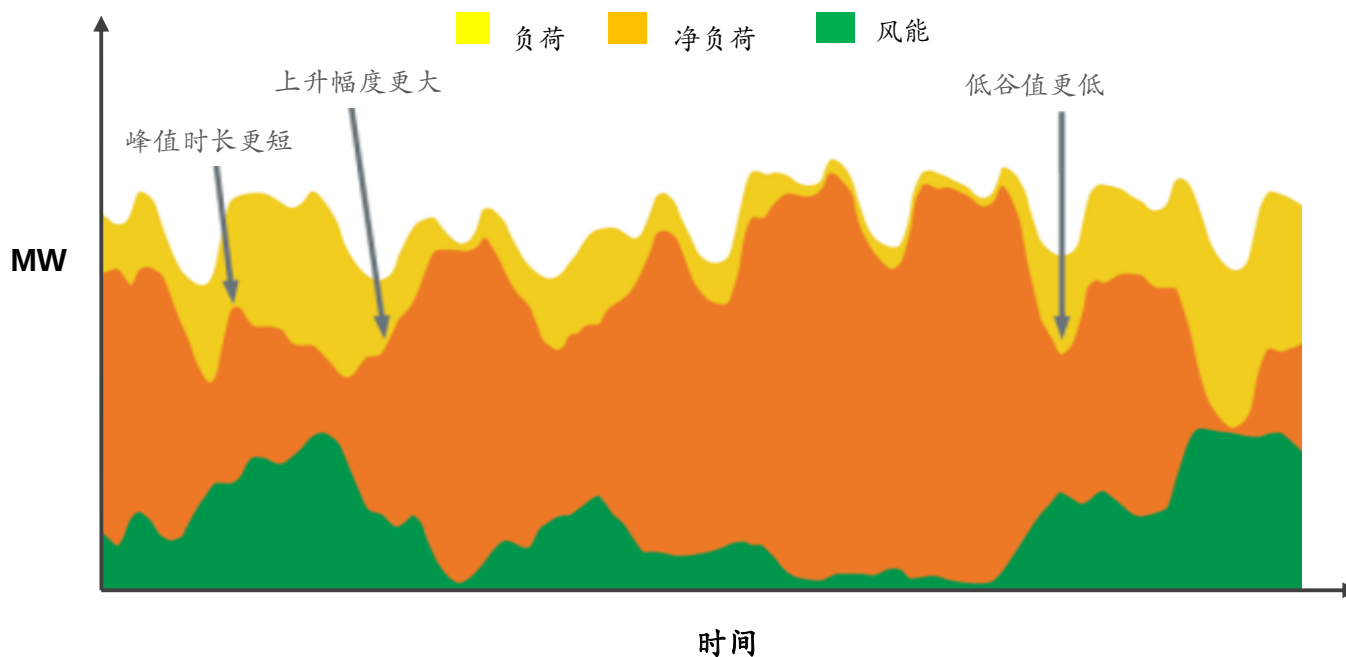
中国大多数省份都设立了较高的可再生能源投资组合标准目标来鼓励可再生能源的发展

地区	2020 RPS 目标	2015年可再生能源发电比例	2020 - 15 差值	地区	2020 RPS 目标	2015 可再生能源消费率	2020 - 15 差值
北京	10.0%	7.6%	2.4%	江苏	7.0%	3.3%	3.7%
天津	10.0%	7.6%	2.4%	重庆	5.0%	1.4%	3.6%
陕西	10.0%	2.7%	7.3%	西藏	13.0%	8.2%	4.8%
海南	10.0%	2.8%	7.2%	新疆	13.0%	10.5%	2.5%
辽宁	13.0%	4.0%	9.0%	河北	10.0%	7.6%	2.4%
山东	10.0%	7.7%	2.3%	江西	5.0%	2.2%	2.8%
河南	7.0%	2.3%	4.7%	黑龙江	13.0%	11.1%	1.9%
山西	10.0%	7.0%	3.0%	贵州	5.0%	2.0%	3.0%
广东	7.0%	1.8%	5.2%	广西	5.0%	1.0%	4.0%
浙江	7.0%	2.4%	4.6%	福建	7.0%	3.4%	3.6%
云南	10.0%	5.1%	4.9%	吉林	13.0%	12.2%	0.8%
湖南	7.0%	2.8%	4.2%	青海	10.0%	13.5%	-3.5%
湖北	7.0%	3.7%	3.3%	宁夏	13.0%	13.4%	-0.4%
安徽	7.0%	3.9%	3.1%	甘肃	13.0%	11.4%	1.6%
上海	5.0%	1.6%	3.4%	内蒙古	13.0%	12.0%	1.0%
四川	5.0%	1.4%	3.6%				

注释: RPS 表示可再生能源投资组合标准
资料来源: 国家统计局, 思略特分析

可再生能源发电厂将会对系统灵活性提出更高的要求.....

风电场如何影响电力系统的运行



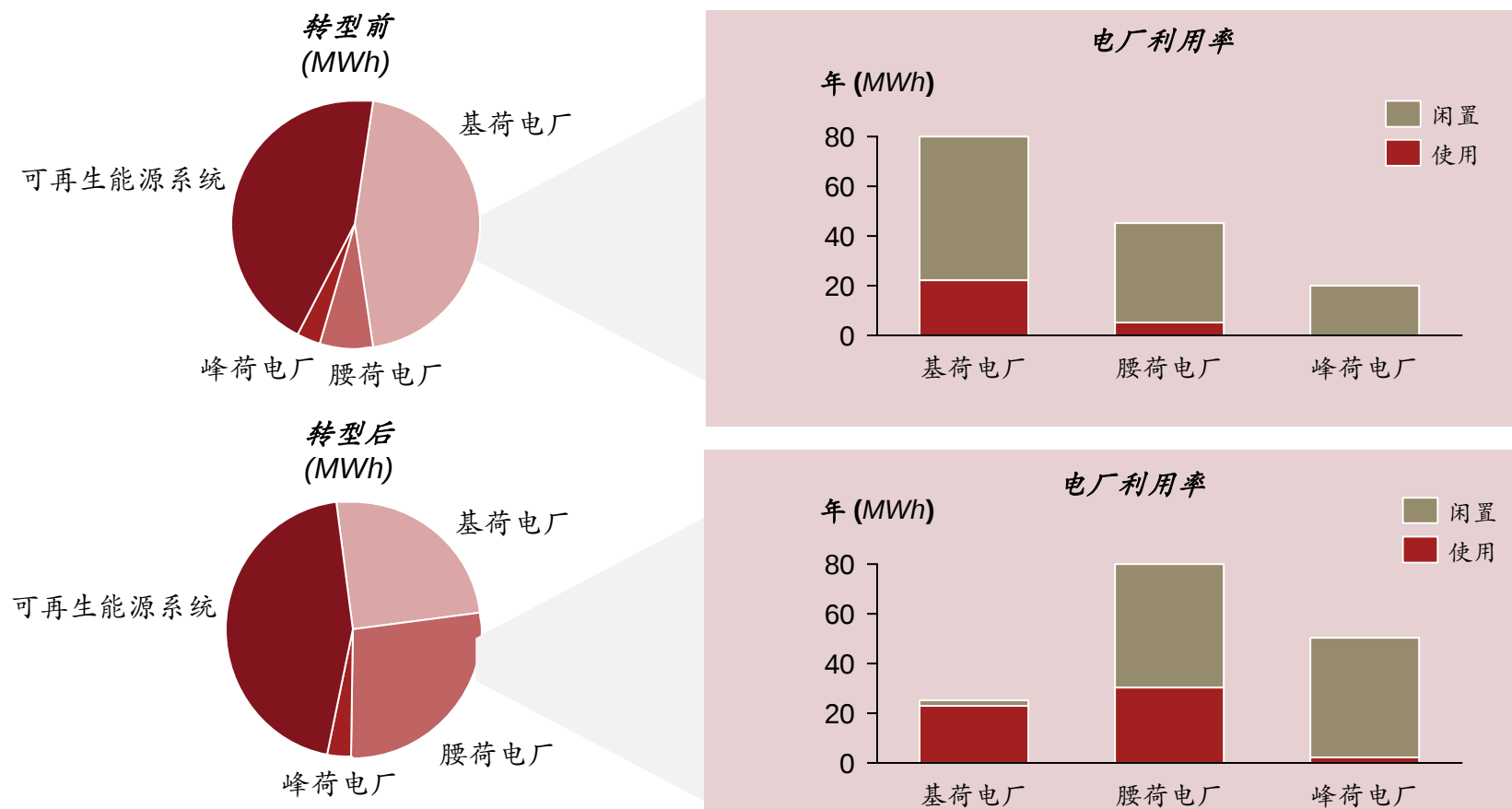
- 可再生和可替代能源研究表明，在高级可再生能源系统中需求更大的服务是那些对几十分钟和几十小时的需求做出分钟级相应的服务，并具有如下能力：

- 灵活快速的启动-停止循环能力
- 定期可调度的爬坡能力
- 爬坡能力可储存到未来使用

资料来源：“国家可再生能源实验室，增加系统灵活度以实现可再生能源的高渗透”，可再生和可替代能源：能源系统可靠性的产能机制 思略特分析

.....常规和深度调峰发电比重的升高将会帮助提高可再生能源整体效率

混合型热电厂的投资对电厂利用率的影响

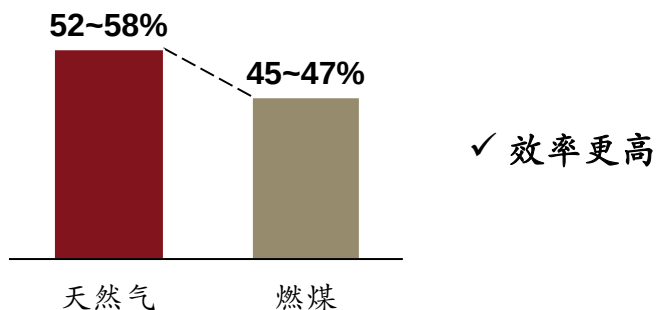


基本负荷: 设计为24小时运转以及不能大幅改变电能产出的电厂

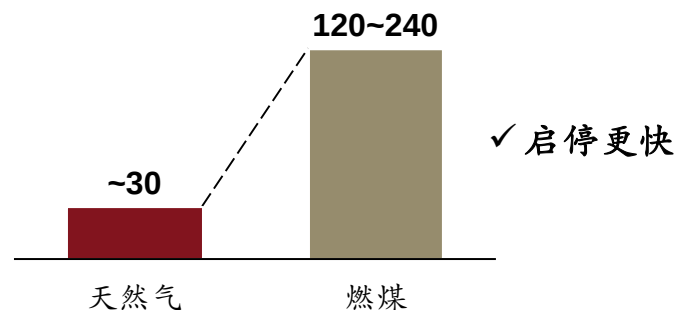
资料来源: “国际能源署, 变革的力量: 风能、太阳能和灵活能源系统的经济分析”, 思略特分析

比起煤炭，天然气能够更好地满足调峰需求

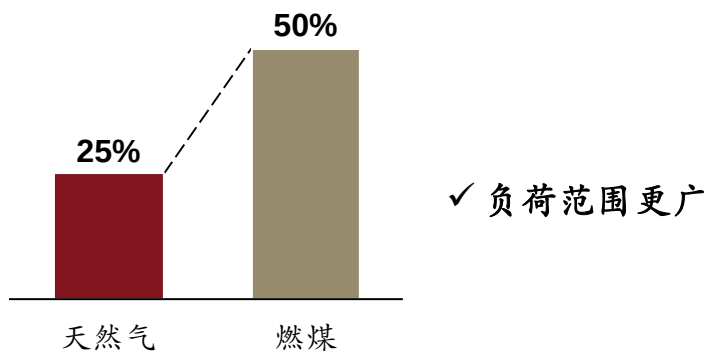
运营效率 (%)



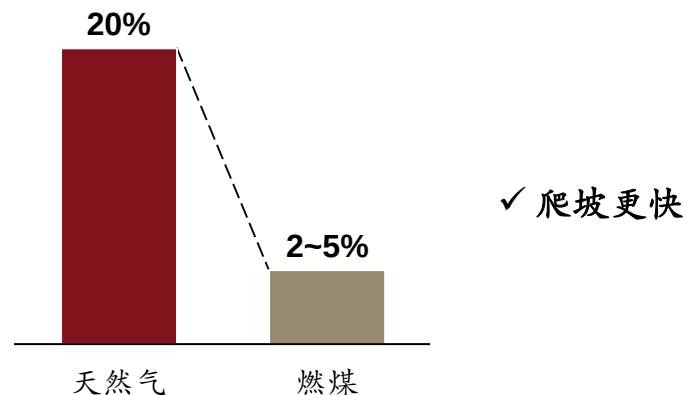
启停时间(分钟)



最低负荷 (%)



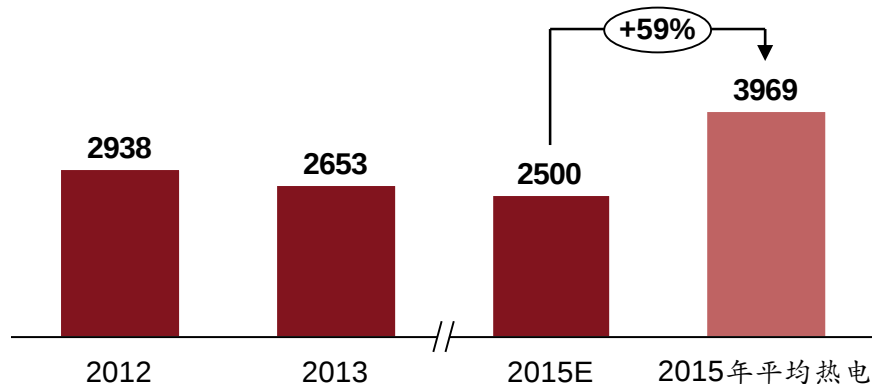
爬坡速度 (%/分钟)



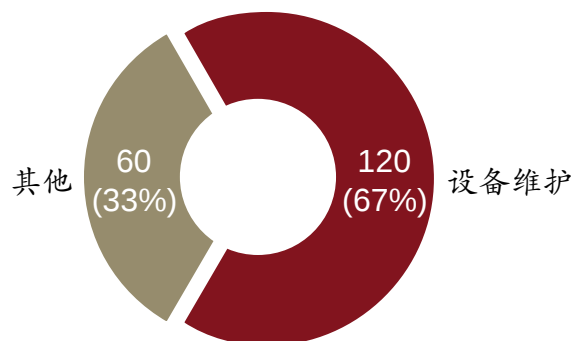
资料来源: 国网能源研究院, 文献研究, 思略特分析

然而，目前的电价机制限制了调峰潜力

天然气发电机组的年运行小时数



样机的维护成本（亿元）



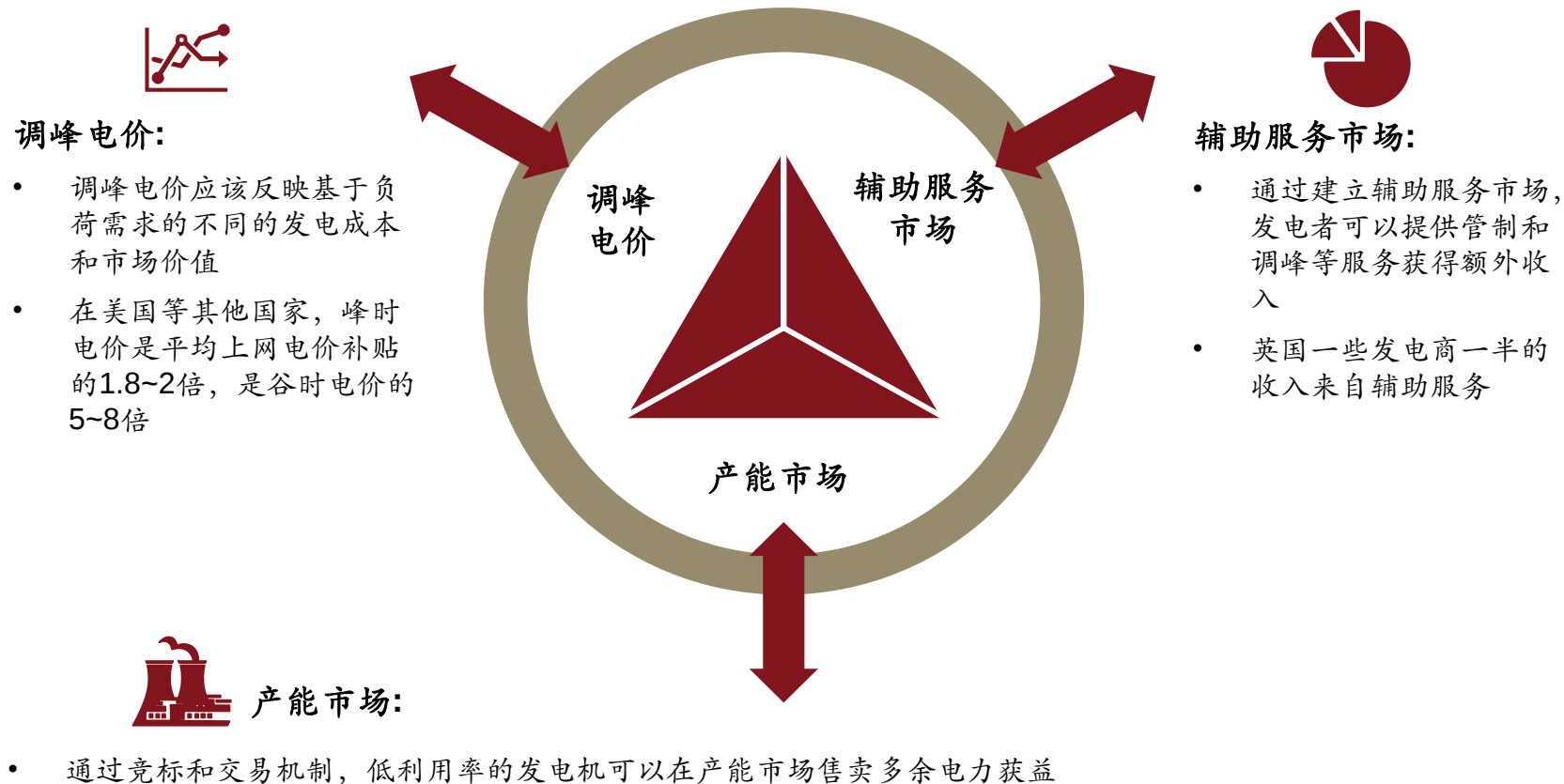
- **低利用时间：**中国70%的天然气发电者用于调峰，平均使用时间只有~2500小时
- **高运营成本：**由于频繁启停，需要超过1亿人民币用于维护

- **当前电价机制严重限制了调峰潜力：**
 - 当前电价机制不透明，不同发电设备之间差异巨大
 - 大多数天然气发电设备接受只考虑发电量的单一定价
 - 当前电价机制不能反映调峰和环保价值

主要瓶颈

资料来源：国家能源局，文献研究，思略特分析

为调峰电站的灵活性定价主要有三种方式



资料来源: 文献研究, 思略特分析

天然气是中国改革的战略推动因素

提升天然气在高价值领域的应用

工业用热

民用/商用

热电联产- 集中供热

热电联产- 分布式能源

电站

实现天然气潜力的政策行动

实现天然气潜力的政策行动

1		市场教育	推广燃煤到天然气转型的成功案例以提高市场认知度，并提供产能建设支持来让终端用户做出更好的用电决定
2		透明定价	透明的传输和分配定价、天然气管道成本，削减“中间人”成本
3		发展标准	为LNG供应制定标准和流程，鼓励能源供应领域的竞争
4		增加污染物费用&罚款	增加排放费用，罚款（氮氧化物/硫氧化物/颗粒物）和水资源费用，反映真实外部性成本
5		行业用户补贴	提供税收、设备和天然气价格补贴来鼓励富有潜力的行业和地区的燃煤-天然气转型
6		支持天然气热电联产	在环境敏感地区为大型天然气热电联产提供利用率保证，税收优惠（如免收增值税），绿色金融，（低利率）和价格补贴
7		支持分布式能源系统	对分布式天然气提供设备补贴，节能补贴和储能收费豁免，通过批发能源市场进行推广
8		峰值电厂定价	推进现货和辅助市场来实现天然气能源灵活性的价值

资料来源: 文献研究, 思略特分析

注释

名词	释义	名词	释义
CFB	循环流化床锅炉	煤改气	燃煤锅炉改为燃气锅炉
超临界和超超临界机组	锅炉内工质的参数达到或超过临界压力以上的机组，经济型有余亚临界机组	能源结构	能源总生产量或总消费量中各类一次能源、二次能源的构成及其比例关系
地源热泵	对陆地浅层能源通过输入少量的高品位能源（如电能）实现由低品位热能向高品位热能转移的装置	能源效率	能源利用效率
分布式能源系统	分布在用户端的综合能源利用系统	热电联产	发电厂既生产电能，又对用户供热
管道气	管道天然气	热值	单位质量燃料完全燃烧释放出的热量
过量空气系数	燃烧1kg燃料实际供给的空气质量与理论上完全燃烧1kg燃料所需的空气质量之比	生物质锅炉	以生物质材料作为燃料的锅炉
基本负荷	电力调节中的基本用电负荷	碳价	碳交易价格
基线水压力	流域内每年取水量与平均可用水资源量的比值	调峰	调节用电高峰
LNG	液化天然气	外部成本	生产的外部效应所引起的成本
LPG	液化石油气	一次能源	一次能源是指自然界中以原有形式存在的、未经加工转换的能量资源
利用小时数	一定时期内平均发电设备容量在满负荷运行条件下的运行小时数	装机容量	指电厂中所装有的全部发电机组额定功率的总和
炉排炉	炉排型焚烧炉		

本文仅为提供一般性信息之目的，不应用于替代专业咨询者提供的咨询意见。在根据本文所述信息采取任何举措前，请阅读者咨询其专业顾问以获取针对其具体情况的专业意见。我们不就本文所述信息的准确性与完整性提供任何明示或暗示的陈述或保证。在法律允许的范围内，普华永道思略特管理咨询(上海)有限公司，其全体合伙人、雇员及代理人，不承担或接受任何本文引起的任何责任，亦不承担任何由于阅读者可能对本文的使用而对其造成的损失、损坏或产生的费用的责任。

©2017普华永道思略特管理咨询(上海)有限公司版权所有。普华永道系指普华永道网络中国成员机构，有时也指普华永道网络。每家成员机构各自独立。详情请进入www.pwc.com/structure。