

2024中国新能源电力发展论坛

绿电转换分论坛



煤热院

天然气掺氢助力绿氢规模化 输送与利用研究

王洪建

博士/正高级工程师

国家注册咨询工程师（投资）

道石研究院 副院长兼总工程师



北京北燃实业集团有限公司
Beijing Beiran Enterprises Group Co., Ltd



北京市煤气热力工程设计院
BEIJING GAS AND HEATING ENGINEERING DESIGN INSTITUTE



目录

CONTENT

1 背景及意义

2 国内外发展现状

3 管网与终端设备研究分析

4 总结与展望



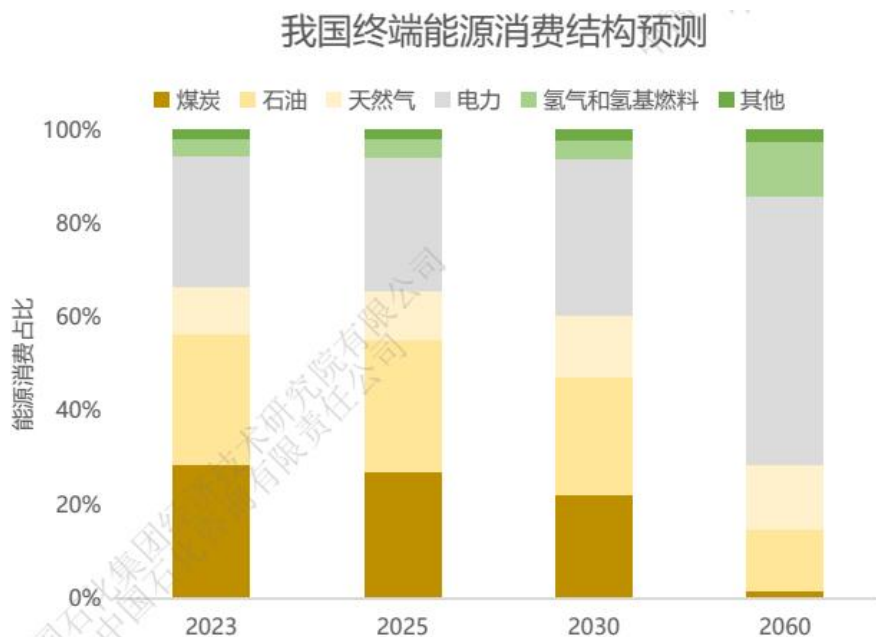
PART ONE

背景及意义

- ◆ 研究背景
- ◆ 发展氢能的意义

氢能可促进碳中和能源转型

- 氢能是一种**清洁、灵活、零碳**的二次能源，取之于水、还之于水，可大规模存储和运输
- **三大优势**：有利于**可再生能源的消纳**，有利于**终端难减排领域的碳中和**，有利于**保障能源安全**
- 预计到2050年，全球终端能源的**18%**由氢能承担，2060年氢在我国终端能源体系占比**20%**，市场规模提升**10-20倍**，**十万亿级**的新兴市场



来源：中石化技经院《中国能源展望2060》2024年

行业	实现碳中和的技术	相对难度 (1: 最易, 4: 最难)
交通	出行方式变化、电气化、 氢能和生物燃料	2
工业	再利用和回收、电气化、生物质、 氢气 、低碳区域供暖和 CCUS	4
热力	电气化、生物质、 氢气 、低碳区域供暖和 CCUS	3
电力	可再生能源、核电、储能(抽水蓄能和电池)、CCUS 和 氢气 (燃气轮机和燃料电池)	1

来源：彭博新能源财经

BloombergNEF

2024-4-11 国际氢能源委员会, 麦肯锡公司.《氢能源未来发展趋势调研报告》, 2017年.

[2] 中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟.《中国氢能源及燃料电池产业发展报告》, 2020年.



发展氢能已成为许多国家的战略选择

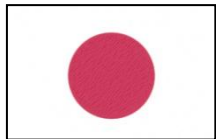
➤截至2023年底，欧美日等50多个国家地区已发布国家级氢能发展战略



- 2019年《欧洲氢能路线图》
- 2050年氢能占比24%
- 至2030年投入800亿欧元



- 2020年《美国氢能经济路线图》
- 2050年氢能占比14%
- 至2030年投入210亿美元



- 2020年《2025碳中和战略》
- 2050年氢能占比12-15%
- 至2030年投入30万亿日元

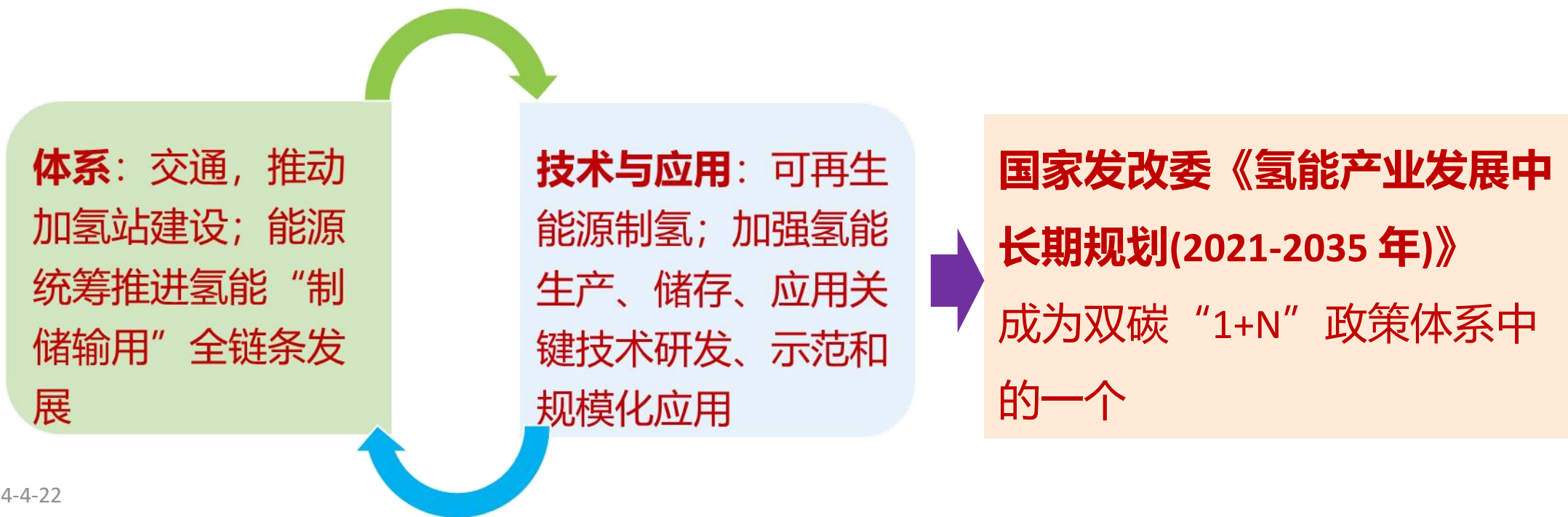


来源：中国氢能联盟

氢能明确成为我国碳中和路径的重要组成部分

➤2021年9月22日，中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见

✓到2060年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现，生态文明建设取得丰硕成果，开创人与自然和谐共生新境界。





国家发改委《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》

- 明确了氢能的战略定位、目标和主要任务
- 储运是瓶颈：开展掺氢天然气管道、纯氢管道等试点示范



✓2025年，政策环境，关键技术

建立以工业副产氢和可再生能源制氢为主的氢能供应体系。燃料电池车辆保有量约5万辆。可再生能源制氢量达到10-20万吨/年

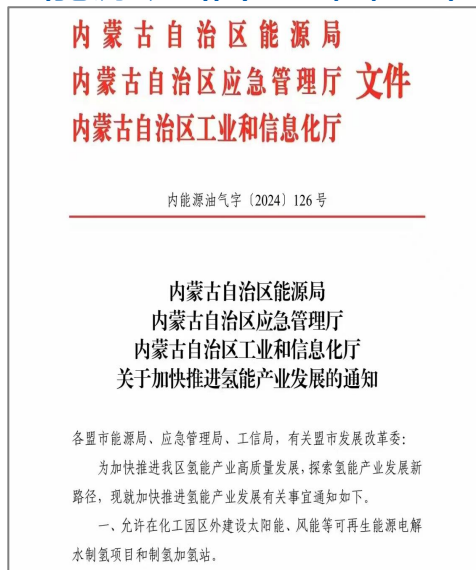
✓2030年，技术创新体系，支撑碳达峰

✓2035年，产业体系（交通、储能、工业），支撑绿色转型





- 2019年首次将氢能写入政府工作报告
- 2024年政府工作报告中，再次明确加快氢能产业发展，并**位列第一**
- 北京、上海、河北、山东、重庆、吉林、广东等均将氢能列为重要议题或议案
 - ✓京津冀氢能城市群、氢能港、氢走廊、绿色氢谷、海洋氢能、氢进万家、氢基能源、非化工园区末端制氢等



氢气是燃气的一种，是未来绿色燃气的重要组成部分

➤从历史到未来，氢气都是重要的燃气

✓历史：人工煤气中氢气体积占比30%-60%，煤制天然气中氢气含量3%

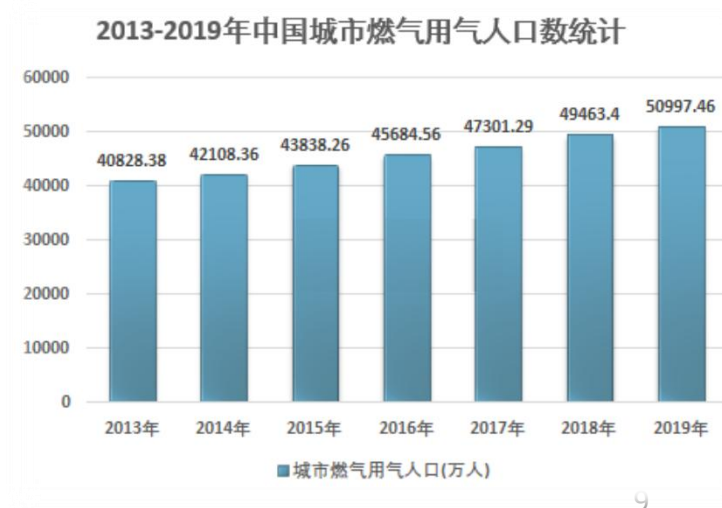
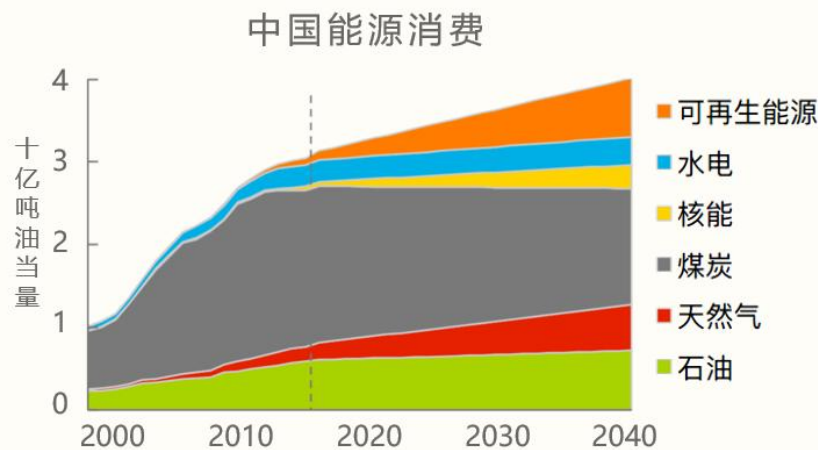
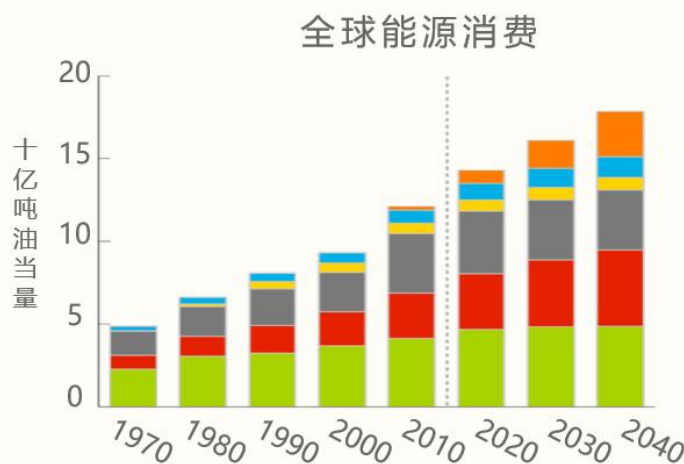
✓未来：IGU将氢气纳入到新燃气范围内，是可再生燃气的重要组成部分

➤充分利用已有的天然气基础设施，氢能与天然气深度融合，将加快氢能的规模化商业化应用，

✓中国是当前天然气消费市场增长最快的国家之一，2040年占比达22%

✓2022年，我国城市燃气用气人口达到6.67亿人，城镇居民燃气普及率98.06%

✓2022年，全国长输天然气管道总里程 11.8 万公里，城市天然气管道长度98.04万公里



2024-4-22

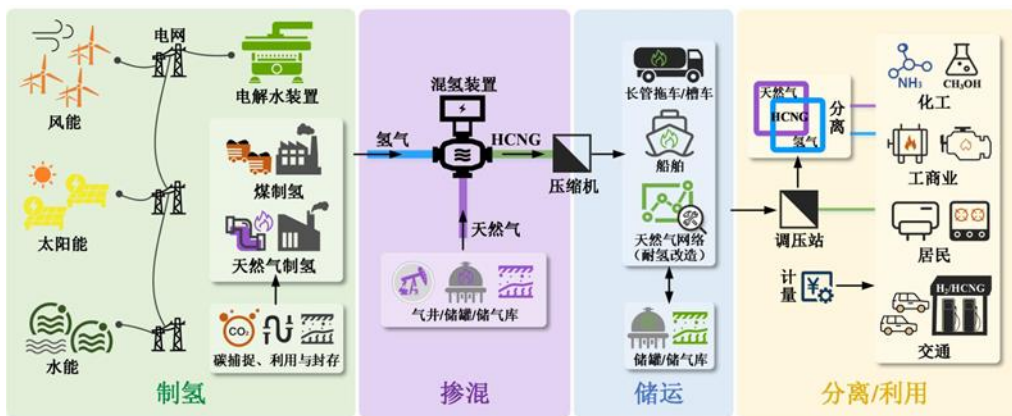
数据来源：国家统计局、住建部、《BP世界能源展望2019》

天然气掺氢技术是氢能与天然气融合发展的纽带

➤ 天然气掺氢技术：可再生能源制取的氢气与天然气混合，通过天然气管网输送到终端用户，在终端实现掺氢天然气的利用

➤ 技术优势

- ✓ 高效低成本地输送氢气
- ✓ 大规模储能载体，可实现大规模可再生能源消纳
- ✓ 降低天然气利用过程碳排放强度，实现“氢进万家”
- ✓ 燃气资源有效补充，保障燃气供应安全



掺氢天然气供应链^[1]

➤ 天然气掺氢应用场景：城燃、长输、点供

- ✓ 直接利用：用于居民和商业用户（燃气灶、壁挂炉等）、工业用户（内燃机、燃气轮机、工业锅炉等）等，是掺氢天然气利用和实现“氢进万家”的主要途径
- ✓ 间接利用：结合实际情况和掺氢比例等因素在适合条件下（掺氢比例>15%），可将掺氢天然气中的氢气进行提纯，应用于交通、分布式发电等领域

➤ 天然气掺氢技术可促进氢能与天然气深度融合，是国际氢能发展的重要方向，也是助力实现我国“双碳”目标的有效途径之一

[1] 邱玥, 周苏洋, 顾伟, 潘光胜, 陈晓刚. “碳达峰、碳中和”目标下混氢天然气技术应用前景分析[J/OL]. 中国电机工程学报: 1-20.



能源储存：有助于解决弃电消纳问题，推动绿氢产业发展

- 发展天然气掺氢技术能够大规模利用可再生能源制取的绿氢，实现**大规模氢储能**，有效解决大规模风电/光伏**消纳**问题，从而进一步提高可再生能源在能源生产结构中的**渗透率**
 - ✓ 欧洲可再生能源制氢的在营或在建项目有**35%**都用于天然气掺氢。截至2020年，全球共有**40**多个示范工程，每年有**2900吨**氢气掺入天然气管网
 - ✓ 按照我国天然气消费量计算，通过天然气掺氢比例为**10%**（体积比）时，具备**300多万吨/年**的氢气消纳能力，消纳**1700多亿度**绿电，从而进一步提高可再生能源在能源生产结构中的渗透率
 - 预计2030年通过天然气管道掺氢可具备消纳绿氢**150万吨**的能力，可利用绿电**834亿千瓦时**，占可再生能源发电总量的**1.8%**（含风、光、水）
 - 预计2060年通过天然气管道掺氢可具备消纳绿氢**1691万吨**的能力，可利用绿电**9405亿千瓦时**，占可再生能源发电总量的**6.9%**（含风、光、水）

年份	光伏发电量 /亿千瓦时	风电发电量 /亿千瓦时	常规水电 /亿千瓦时	合计 /亿千瓦时
2020年	2611	4655	13600	20866
2030年	13500	16400	17195	47095
2050年	48750	51920	22497	123167
2060年	54000	59000	22852	135852

注：数据来源为全球能源互联网发展合作组织《中国碳中和之路》



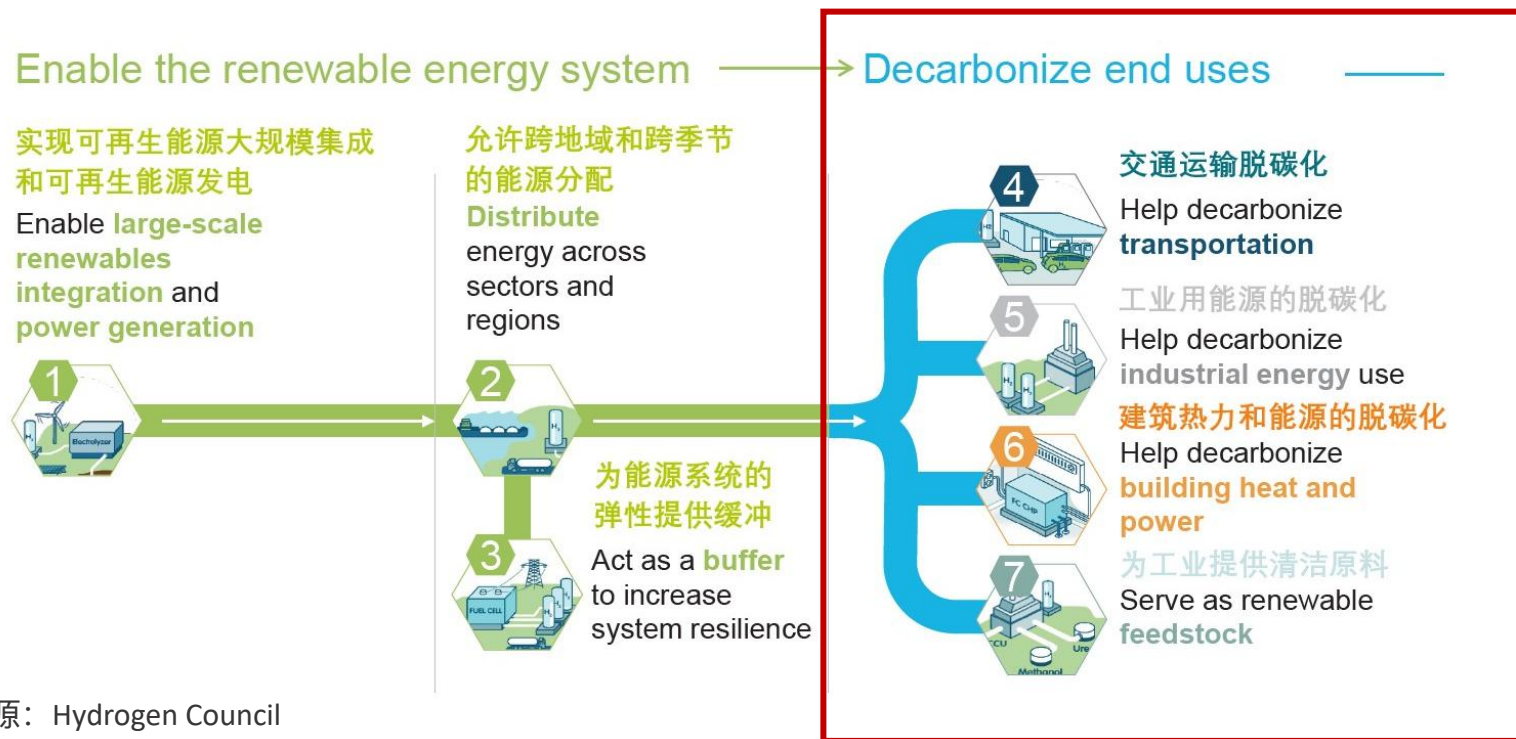
煤热院

- ## 大规模运输



能源消费：有助于终端消费深度脱碳，实现“氢进万家”

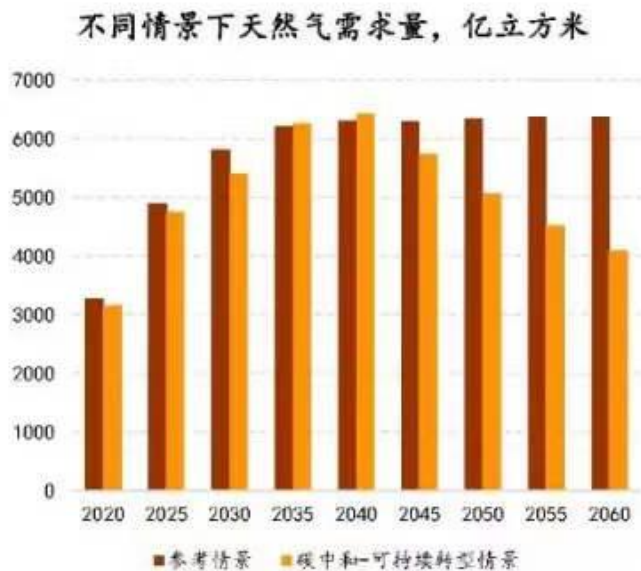
- 天然气掺氢终端利用有利于实现工业、建筑等领域的深度脱碳，成为各国碳减排的战略选择。**英国、德国、澳大利亚、中国**等已将天然气掺氢的应用列入到国家氢能规划中
 - ✓ 在掺氢比例为**10%和20%**情况下，可实现**碳减排3.5%和7.6%**（等热值计量）
 - ✓ 预计**2030年**，天然气掺氢技术的碳减排潜力可达到**10-20Mt/年**
 - ✓ 预计**2060年**，天然气掺氢技术碳减排潜力可达**114-229 Mt/年**，碳减排贡献率可达**1.22%-2.46%**



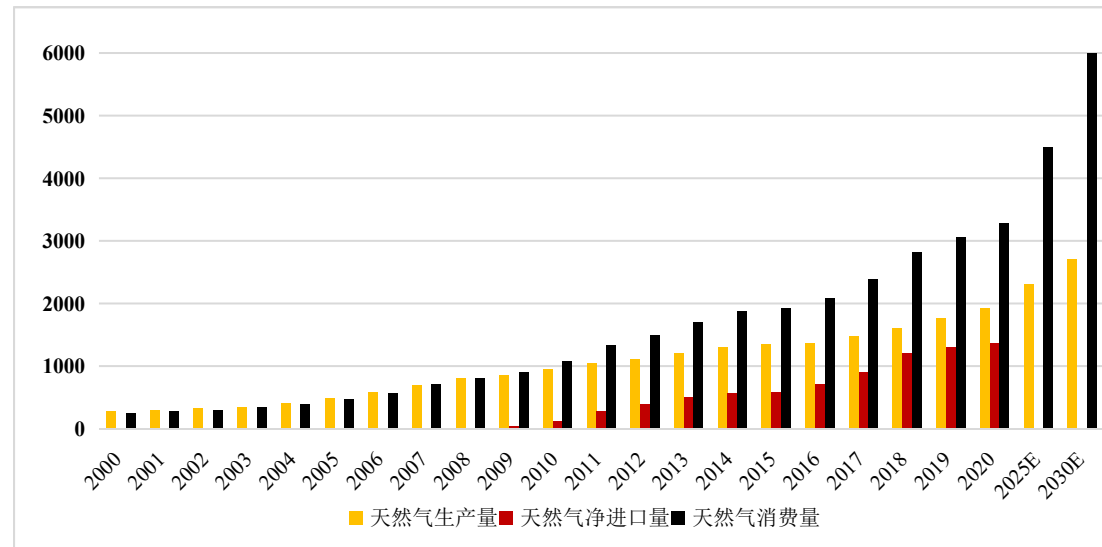


能源安全：有助于缓解天然气供应压力，保障国家能源安全

- 氢气作为燃气的一种，是天然气资源的有效补充。用掺氢天然气作为燃料可缓解天然气的供应压力，有利于降低我国天然气对外依存度
 - ✓ 当前我国天然气对外依存度接近50%。到2040年前，我国对天然气的需求仍处于增长阶段
 - ✓ 到2030年，预计替代天然气约51亿立方米/年；到2060年，预计替代天然气约572亿立方米/年



天然气需求量预测（单位：亿立方米）



2000年以来我国天然气产量、净进口量及消费量情况（单位：亿立方米）



面临的挑战



➤ 四方面的挑战

- ✓ 天然气管道掺氢输送：相容性、完整性等风险
- ✓ 掺氢天然气终端利用：燃料互换性、安全性等
- ✓ 天然气掺氢经济性：计量方式、碳税、氢价等
- ✓ 顶层设计方面：缺乏相关专项规划及标准体系

		氢气	甲烷	天然气
摩尔质量 (kg/kmol)		2	16.043	16~19
密度 (kg/m ³)	25°C, 1bar	0.08988	0.657	0.7~0.9
	液态	70	422.62	--
沸点 (°C)		-253	-161.5	--
导热系数 (W/m*°C)		0.1805	0.034	0.026~0.042
热容 (kJ/K*kg)		14.42	2.23	1.85~2.34
气化潜热 (kJ/kg)		446.1	480.6	--
自燃温度 (°C)		500	537	450~540
爆炸极限 (%)		4.0-75.0	4.4-17	5-15
单位质量 能量密度 (MJ/kg)		119.93	55.6	71.7
	汽油	44~49.6		
单位体积 能量密度 (MJ/m ³)	25°C,1atm	10.05	37.8	33.4~41.0
	25°C,250bar	--	9000	9000
	25°C,690bar	4500	--	--
	液态	8491	22200	--
	汽油	34200		

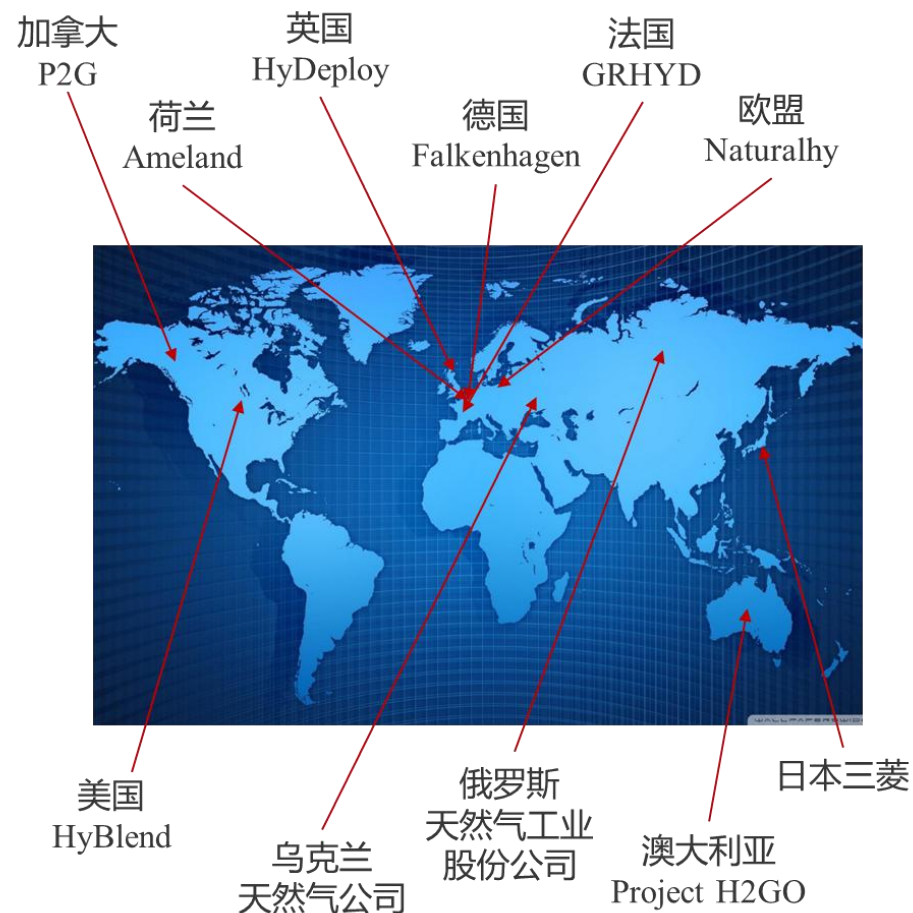
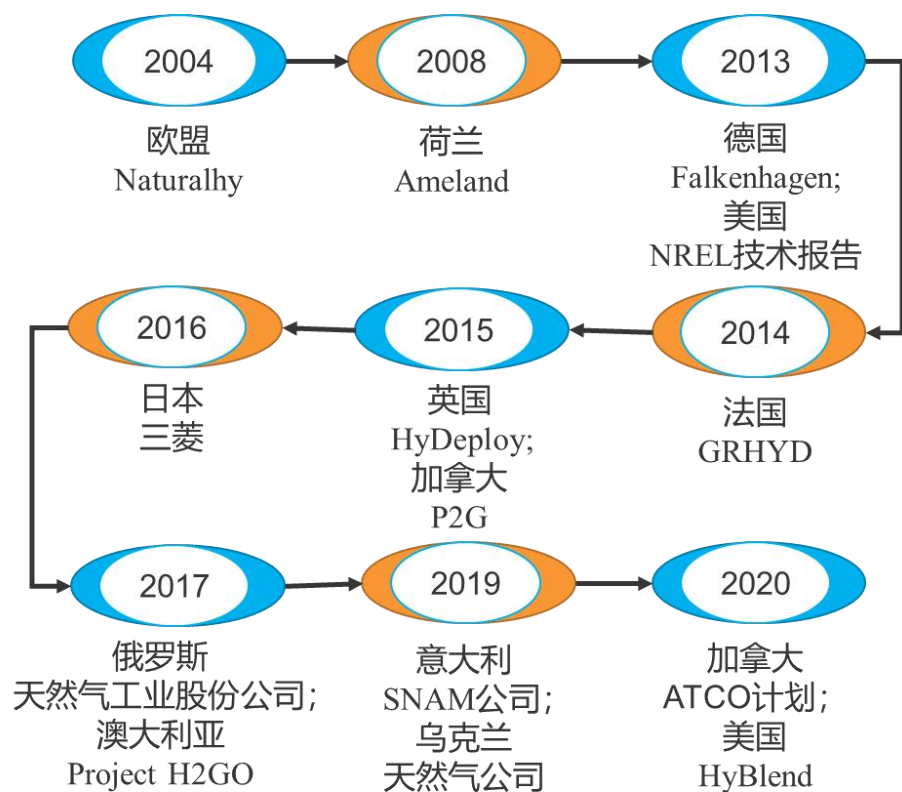


PART TWO

国内外发展现状

国际发展现状

- 国际上从2000年初开始相关的应用示范研究，欧盟、美国、日本、加拿大等均开展了示范
- 截至2020年，全球共有40多个示范工程，每年有2900吨氢气掺入天然气管网





➤天然气掺氢示范工程：根据各国研究结果，天然气掺氢比例一般为5%-30%，其中20%为多数国家目前的最高掺氢比例

✓德国管网可掺氢10%，掺氢供热示范比例30%

国家	年份	典型项目名称	最高掺氢比例 (%)	掺氢规模
美国	2020	HyBlend	30	-
加拿大	2020	ACTO	5	-
	2018	-	2	约1.46吨/年（氢气）
欧盟	2004	NATURALHY	20	-
德国	2020	Avacon	20	-
法国	2014	GRHYD	20	约0.92吨/年（氢气）
意大利	2019	Snam	10	预计62.3万吨/年（氢气）
英国	2017	HyDeploy	20	约3.68吨/年（氢气）
澳大利亚	2021	JGN	10	约0.47吨/年（氢气）
日本	-	-	30	-
俄罗斯	2021		25	-
韩国	2022	-	20	-



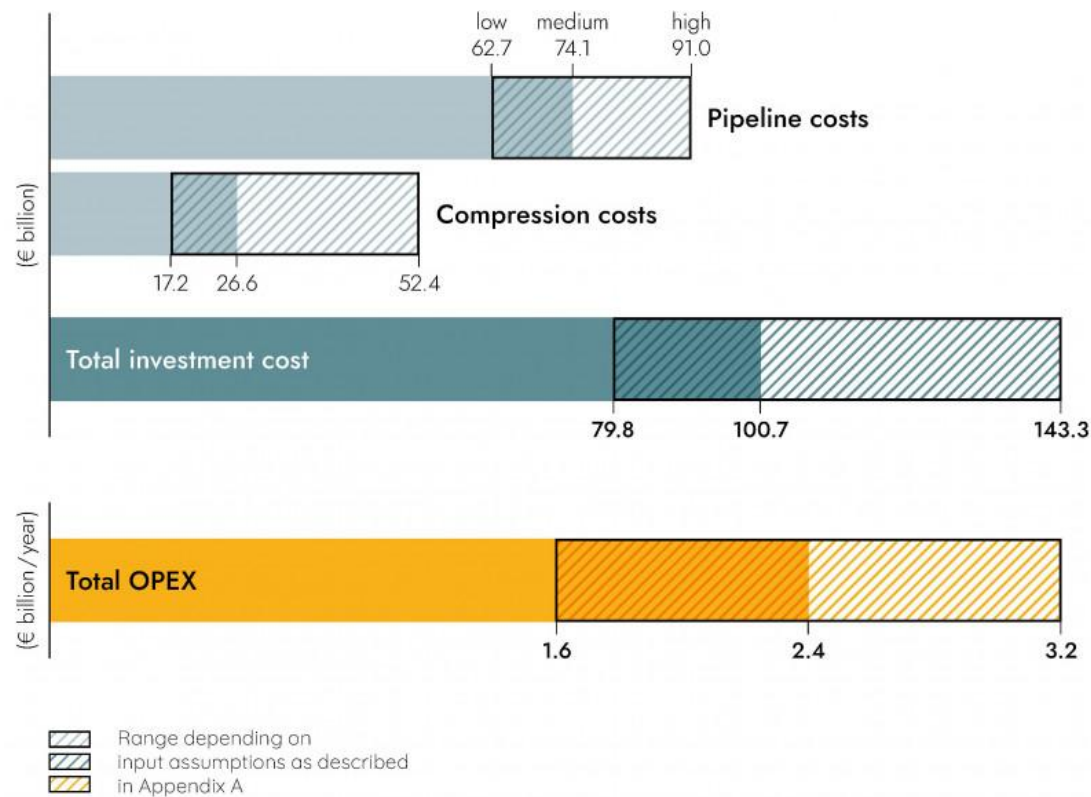
➤掺氢天然气政策及发展目标：未来国外趋向于进一步提高掺氢比例，并对现有的天然气管网进行改造和升级，以实现利用现有的天然气管网进行100%氢气的输送

国家	政策		发展目标
	发布时间	名称	
美国	2020年底	氢能项目计划	将30%的氢气掺混到现有的天然气管网中，增加不同经济部门的氢的生产、运输、储存和使用，减少碳排放
加拿大	2020年12月	加拿大氢能战略	研究在高于5%的掺氢比例下氢气对管道系统、终端用户设备性能的影响
欧盟	2020年7月	欧盟氢能战略	到2050年将大规模部署可再生氢能技术，并覆盖所有难以脱碳的领域
德国	2021年2月	能源法案	已经允许 10%（体积）的氢气进入燃气管网。这个比例将增加到 20%，在未来的部分将增加到 100%
法国	2021年3月	国家氢能战略	在2020年之前用可再生资源满足23%终端用户能源消费总量以及2024年之前工业用氢覆盖率达到10%
意大利	2020年	国家氢能战略	到2030年，实现意大利全国电解水制氢产能达5吉瓦，氢能占全部能源供应的2%；到2050年，实现氢能在意大利全部能源供应的占比提升至20%
英国	2021年8月	国家氢能战略	利用现有管网实现100%的氢气输送以及2050年二氧化碳的净零目标
澳大利亚	2019年11月	国家氢能战略	澳大利亚政府计划在2030年之前给部分居民用户供应100%可再生燃气（沼气、氢气），到2050年有效降低天然气管网输送100%氢气的风险
日本	2019年3月	第三版《氢能和燃料电池战略路线图》	到2050年左右实现国内氢气的全面使用以及相对于2013年的二氧化碳排放量减少80%
俄罗斯	2020年	氢气发展路线	将氢气的比例逐步提高到51%
乌克兰	2019年4月	乌克兰氢气发展路线	计划将天然气管道中的氢气掺混比例从体积浓度2%逐步提高到100%，并研究在不同的掺氢比例下氢气对天然气管道安全性和终端设备性能的影响



欧洲骨干管网计划

- EHB提出2040年建设**5.3万公里**的欧洲氢能主干网，预计需要**800-1430亿欧元**的总投资
- **60%**的氢气管道通过重新利用的天然气管道，40%的氢气管道为新建





国内发展现状

➤顶层设计与政策支持

✓天然气管道掺氢已列入氢能产业发展中长期规划

- 支持开展**掺氢天然气管道**、**纯氢管道**等**试点示范**，稳步构建氢能储运体系

✓多个地区对天然气掺氢示范制定相关规划及补贴政策

- 2021年，山东省潍坊市明确了掺氢天然气的发展定位和示范项目建设补贴（**设备投资额30%，≤200万**）

✓围绕掺氢天然气输配体系及“**氢进万家**”综合示范等技术方向，贯通基础前瞻、共性关键、工程应用和评估规范环节

地区	名称
国家层面	• 2021年12月，国家能源局、科学技术部发布《“十四五”能源领域科技创新规划》，提出开展纯氢/掺氢天然气管道及输送关键设备安全可靠、经济性、适应性和完整性评价，开展天然气管道掺氢示范应用 • “十四五”国家科技部重点研发计划中，设置了以研究管道掺氢为重点的专项项目 • 2021年4月16日，科技部与山东省政府签署《共同组织实施“氢进万家”科技示范工程的框架协议》
地方层面	• 北京：天然气掺氢适应性评价研究及示范验证 • 河北：明确了“天然气掺氢关键技术研发及应用示范”课题方向 • 内蒙古：在2021年自治区科技重大专项申报指南中，明确“中低压纯氢与掺氢燃气管道输送及其应用关键技术研发”课题方向



国家住建部、中燃协《天然气管道掺氢输送及终端利用研究》



- 课题支持：住房和城乡建设部2022年科学技术计划项目
- 牵头单位：中国城市燃气协会
- 指导专家

清华大学	岳光溪	院士
中国矿业大学（北京）	彭苏萍	院士
住建部城建司	楼孝荣	处长
国家能源局科技司	徐梓铭	处长
国家发改委能源所	张有生	副所长
国务院发展研究中心资源与环境政策研究所	郭焦锋	研究员



- 课题组由50多家单位组成，包括城市燃气企业、天然气中上游企业、科研院所与设计院、关键设备公司
- 现阶段通过评估后掺氢比可达到**10%**，部分改造后进一步可提升到**20-30%**，更高比例的掺氢比需要实验验证和分析，尚缺乏系统的**评估方法**和**数据库**

我国天然气掺氢应用示范

- 国家电投、中石油、北京燃气、港华燃气、佛山燃气、深圳燃气、张家口中油金鸿、乌海凯洁燃气等公司也开展了天然气示范工程的论证与示范工程
- H_2 也是燃气的一种，在人工煤气中含有20%-60%的 H_2 ，当前香港的城燃管网中 H_2 比例高达50%



燃气类型	$H_2/\%$	$CH_4/\%$	$C_3H_8/\%$	$C_4H_{10}/\%$	高热值 $H_f/(MJ \cdot m^{-3})$	高华白数 $W_f/(MJ \cdot m^{-3})$
内地液化石油气 (20Y)	-	-	75	25	103.2	79.6
香港液化石油气	-	-	30	70	116.7	84.0
内地人工煤气(5R)	19	54	-	-	13.7	21.6
内地人工煤气(6R)	22	58	-	-	15.3	25.7
内地人工煤气(7R)	27	60	-	-	17.5	31.0
香港人工煤气	51	29	-	-	17.3	24.0

[1] 户英杰, 刘文博, 闫文涛,等. 输港家用燃气灶具产品类型及热效率统计分析[J]. 煤气与热力, 2021, 41(7):6.



我国天然气掺氢应用示范

➤因地制宜的示范工程，掺氢规模约20.5万吨H₂/年

序号	类型	主体单位	地点	(计划) 投产时间	设计掺氢比例	掺氢规模	氢气来源
1	城燃	国家电投集团有限公司	辽宁朝阳	2020	10%	100 Nm ³ /h	电解水制氢
2	城燃	山西铭石煤层气利用有限公司	山西晋城	2021	10%	600 Nm ³ /h	煤制氢
3	长输+城燃	中石油、宁国运集团	宁夏回族自治区	2023	6-24%	--	--
4	城燃	深圳燃气	深圳	2024	5~20%	80 -500 Nm ³ /h (氢气)	光伏制氢
5	城燃	浙江能源	浙江嘉兴	2024	30%	/	/
6	城燃	乌海凯洁燃气有限责任公司	乌海	2023	5-20%	3万方/h (掺氢)	工业副产制氢
7	城燃	张家口鸿华清洁能源科技有限公司	张家口	2023	0-20%	440 万方/年 (氢气)	--
8	城燃	上海飞奥燃气设备有限公司	上海浦东唐镇	-	5-20%	--	--
9	城燃	中国石油天然气管道工程有限公司	广东湛江	2024	15.50%	47 万方/h (掺氢)	电解水制氢
10	城燃	内蒙古科技厅	通辽	-	5-20%	--	工业副产氢
11	城燃	四川博能燃气	青白江	2024	5-20%	--	--
	长输	国家管网集团科学研究总院分公司	榆林	-	一期3%	600万方/h (掺氢)	电解水制氢
12	HCNG	长岭县长润风电有限公司	长岭县龙凤湖	-	5-20%	1500 Nm ³ /h (氢气)	风电制氢
13	-	陕煤线掺氢可行性示范项目	陕西	-	5%	--	--
14	燃气轮机	中国联合重型燃气轮机技术有限公司	湖北荆门	2022	15-30%	--	--

国内现有标准规范中对天然气中氢气含量高限的要求

标准	对天然气中氢气含量高限的要求/(%)
GB/T 34537—2017 《车用压缩氢气天然气混合燃气》	25
GB/T 33445—2016 《煤制合成天然气》	3.5 (一类气)
	5 (二类气)
GB/T 37124—2018 《进入天然气长输管道的气体质量要求》	3

国内现有天然气掺氢相关团体标准

- ✓ 中国标准化协会：天然气掺氢混气站技术规程
- ✓ 中国工业气体协会：锅炉用氢气天然气混合燃气
- ✓ 中国城燃氢盟：掺氢天然气家用燃气具8项团体标准





PART THREE

管网与终端设备研究分析



天然气掺氢混气技术研究

- 混气技术在城市燃气行业有着大量应用，经过数十年的发展，常见的混气技术包括流量随动式、文丘里引射式、比例式、配比式等
- 目前，国内市场上提供的天然气掺氢设备主要为流量随动式

混气技术	流量随动式	文丘里引射式	比例式
原理	以一种大流量气源为主动气源，另一种(或几种)小流量气源为随动气源，按预先设定的体积比例跟随主动气源的变化而变化	利用气体自身的压力，通过超声速喷嘴高速喷出，在吸气室内形成负压引入外界空气，形成均匀的混合气输出	将两种气源调节成相同的压力或压差进行混合，
优势	具有及时性、准确性和控制精度	技术成熟、运行成本低、设备本安	适宜的调节压力范围为0.07MPa~0.14MPa，流量范围比为16:1

ICS 01.120
A 00



团 体 标 准

T/CAS XXXX—202X
代替 T/CAS XXXX—202X

天然气掺氢混气站技术规程
Technical regulations for hydrogen-natural gas mixing
station
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布 XXXX-XX-XX 实施

中国标准化协会 发布

天然气掺氢混气站方案设计

➤在北京科委支持下开展了混气站的方案设计研究

➤关键工艺设计

✓需要考虑设计流速

✓当前工艺压力、温度范围内，氢气节流效应系数较小，约-0.4°C/MPa，节流温升不明显，无需考虑散热

✓氢气调压一次完成，进口2-20MPa，出口0.4MPa

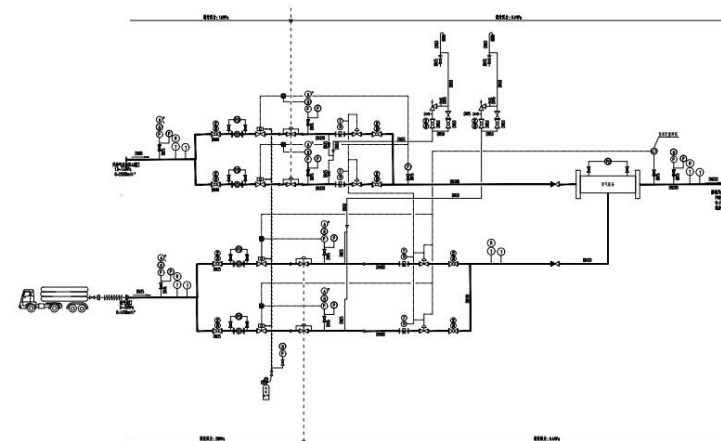
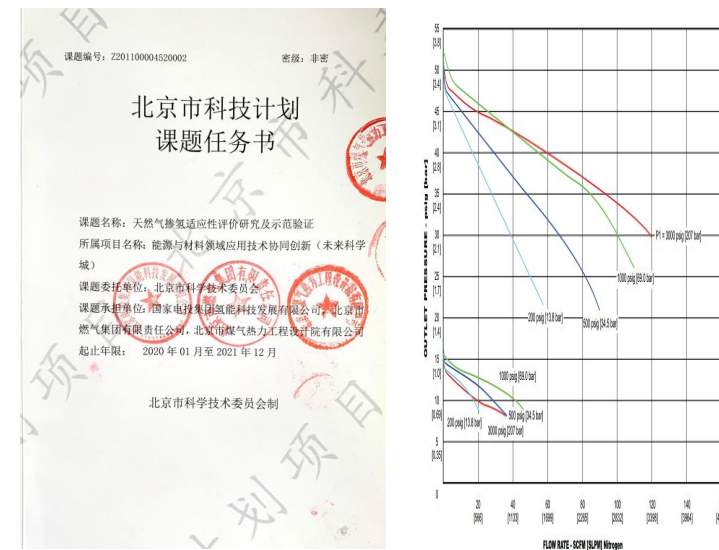
➤关键安全设计

✓氢气、天然气流程一用一备

✓每个流程设切断阀，调压器后设压力传感器，超压切断

✓调压后设超压放散

✓混气后设氢气浓度探头，浓度超标切断氢气供应



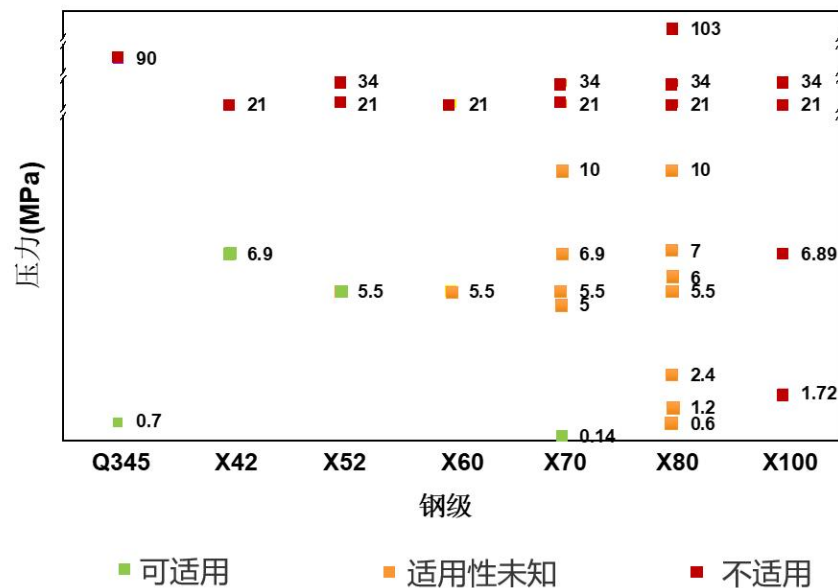
天然气掺氢工艺流程图

掺氢输送管材适应性

➤金属管材掺氢相容性研究

- ✓国外：输氢压力一般为2-7MPa，多采用无缝钢管，管道材料主要为X42、X52、X56等低强度管线钢
- ✓国内：纯氢管道输氢压力一般在4MPa以下，多采用Q235、20#钢等低钢级管材。X70和X80钢煤制气管线，一般掺氢比例为3%以下

➤输送压力低于7MPa时，X52强度等级以下的管材能够适用于掺氢天然气输送；更高钢级管线钢的适用性尚不清楚，缺乏对掺氢输送管道材料硬度、强度和韧性的具体要求



注：仅限调研文献内容

钢级	断裂韧性	塑性敏感性	疲劳裂纹扩展	慢拉伸	低周疲劳寿命
Q345			√		
X42	√		√	√	
X52	√	√	√	√	
X60	√	√	√		
X70		√	√	√	√
X80	√	√	√	√	√
X100		√	√		√

注：√代表已有研究

掺氢输送管材适应性

➤非金属管材相容性研究

✓英国的HyDeploy项目和法国的GRHYD项目采用非金属（PE）管道进行掺氢输送，掺氢比可达20%

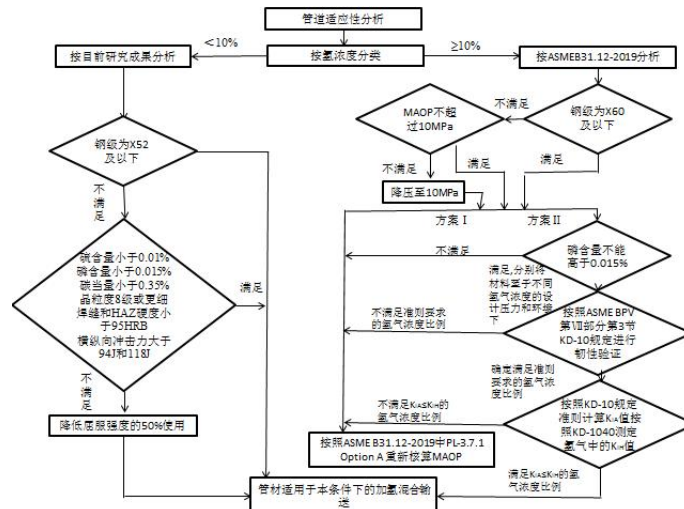
✓氢气渗透性是国际上认可的关键技术指标，但非金属材料的相容性相关研究工作甚少，目前尚缺乏统一的判别标准

材料	测试环境	测试方法	研究结果
PE80	温度（40、60、80℃）、压力（2、20bar） 气体组分（H2/CH4：纯CH4、10%H2、10%H2和纯H2）	渗透测试	渗透系数随温度升高而增大；H2的渗透性都比CH4的渗透性大
	提高温度（最高60℃）施加的 H2 压力（最高 10MPa）和 气体混合物中的氢含量（最高 100%）来表征	老化测试	研制了聚合物试样长期氢老化专用试验台
PE100	对配电网各组成部分进行了实尺度实验研究	渗透测试	随着管径的增大，渗透系数略有增加
	高达10MPa的氢气压力、60℃的温度和不同的氢/甲烷混 合比例下	老化测试	研制了聚合物试样长期氢老化专用试验台
PE100-RC	不同载荷比R=0.1、0.2和0.3	循环载荷缺口圆棒（Crack Round Bar, CRB）试验	可对管材进行寿命预测

✓新建管材

- **美国机械工程师学会规范ASME B31.12 -2019**
《Hydrogen Piping and Pipelines》
 - **金属管材：**符合氢气环境下的强度、硬度、韧性等要求，具备抗氢脆能力
 - **已列出材料：**Table GR-2.1.1 Material Specification Index for Piping and Pipe Components已列出材料可以直接使用，如：A36、A181、A350等
 - **未列出材料：**最大硬度宜小于22 HRC或250 HB，且抗拉强度宜小于800 MPa，焊缝最大硬度应小于22 HRC或250 HB。除此之外，还需进行冲击韧性、氢脆敏感性、断裂力学测试等，满足测试要求则可以使用
- **欧洲工业气体协会（EIGA）IGC Doc 121/14 -2014**
《Hydrogen Pipelines Systems》
 - **金属管材：**用于氢管线的钢的最大硬度大约为22 HRC(洛氏硬度C)或250 HB(布氏硬度C)。该硬度极限近似等于约116 ksi (800 MPa)的抗拉强度极限。焊缝的硬度也应低于22HRC或250HB
 - **非金属管材：**相容性参照ISO 11114-2 气瓶--气瓶和瓶阀材料与盛装气体的相容--第二部分：非金属材料

✓在役金属管材适应性评估方法



- 由于天然气管线建设年代跨度大、管材冶金质量差异大、焊接工艺和焊缝硬度不同，各年代不同类型管材在不同掺氢工况下的适用边界条件还缺乏**数据支撑**，尚未建立**材料数据库**
- 掺氢输送管材**标准规范**方面：国内标准**尚未健全**，**缺乏**掺氢天然气管道及现役天然气管道、燃气管网对氢气耐受度的**评价方法、指标体系**

内蒙古乌海市天然气掺氢示范项目

➤ 在内蒙古科技厅的支持下，联合乌海燃气等单位开展天然气掺氢应用示范

✓ **关键设备：**多级减压系统气密性及系统性能，研发随动流量精准掺氢设备

✓ **工艺方案：**形成掺氢燃气管输工艺与规范

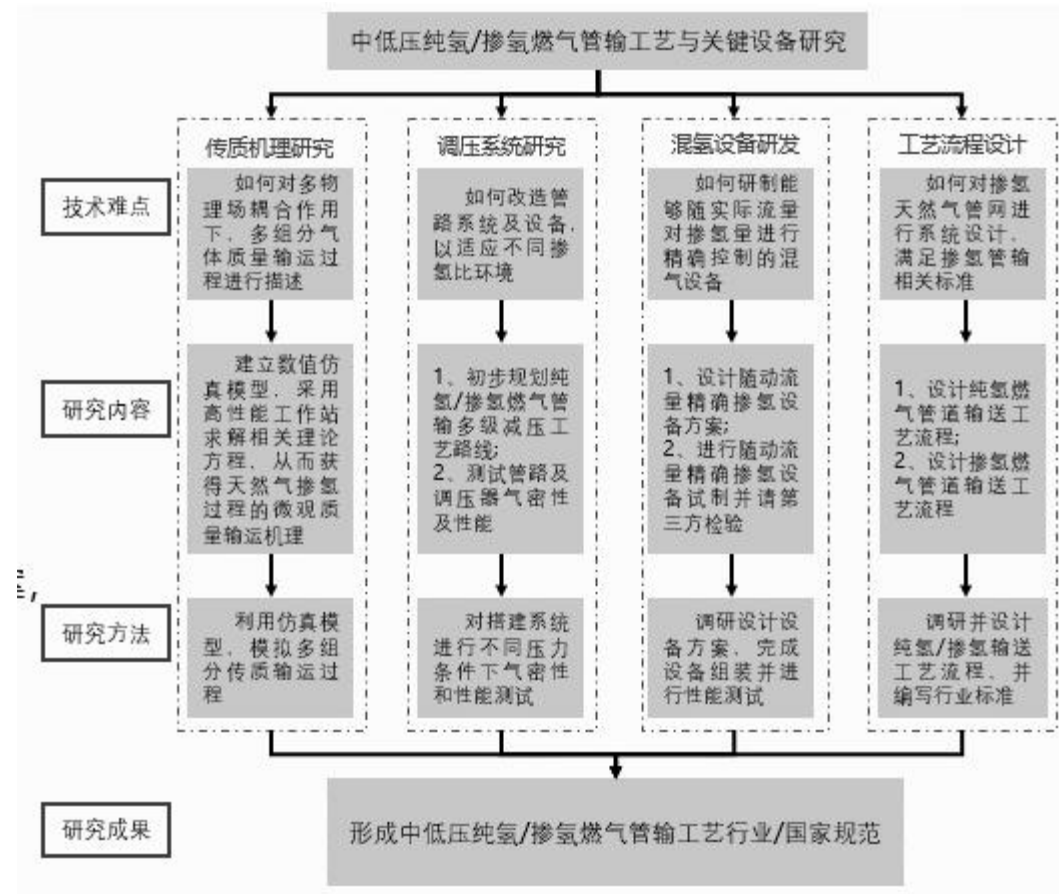
➤ 研究内容

✓ **机理研究：**获得天然气掺氢过程的机理

✓ **混气设备：**研制流量随动掺氢设备

✓ **调压设备：**测试管路调压器气密性及性能

✓ **工艺方案：**进行掺氢系统安全评估

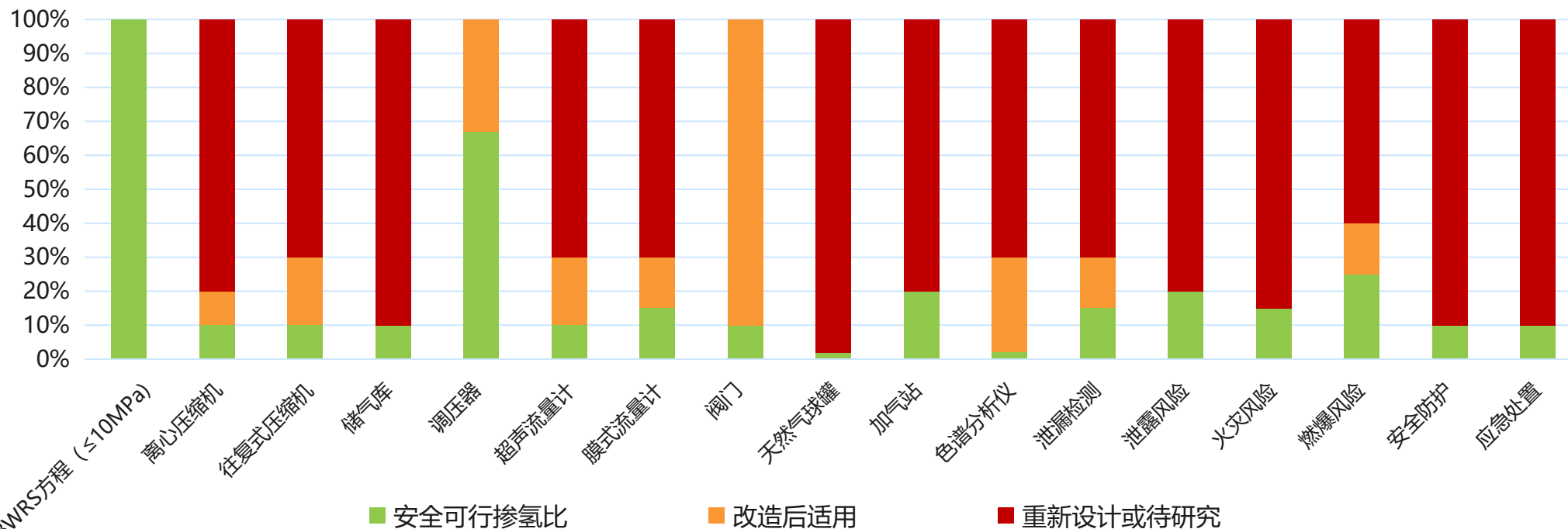




掺氢天然气输送可行性

- 天然气管道经过微小的改造（色谱仪、球罐等），掺氢比10%是安全可行的
- 管材方面：长输管道掺氢比限制主要的是高钢级管材高压下的适应性，需要进一步研究
- 设备方面：为进一步提高掺氢比，需要重点关注压缩机、流量计、加臭和气体检测仪的适应性，并加快研发高掺氢比下的色谱分析和泄漏检测方案

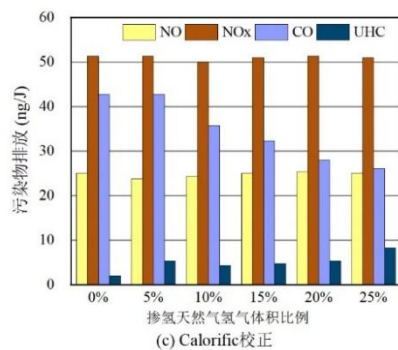
天然掺氢输送可行性总结



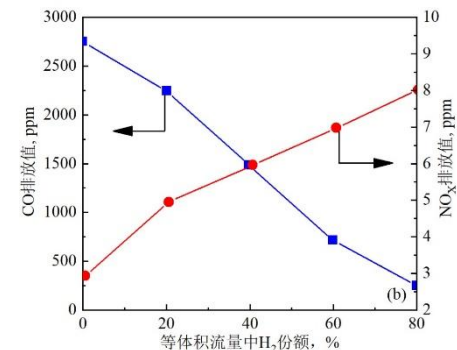
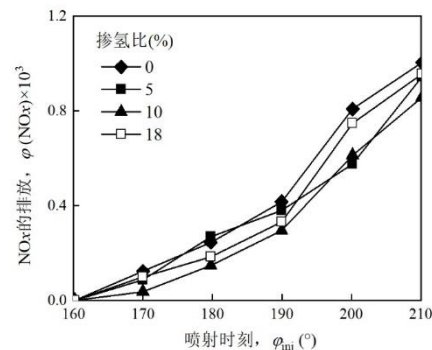
掺氢天然气应用重点研究方向

➤终端用户方面重点研究方向：燃气具、内燃机、燃气轮机等

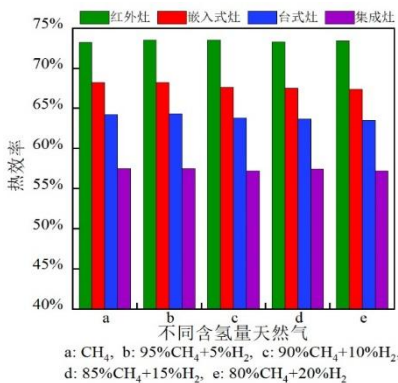
✓燃烧污染物特性：主要污染物包括NO_x和CO



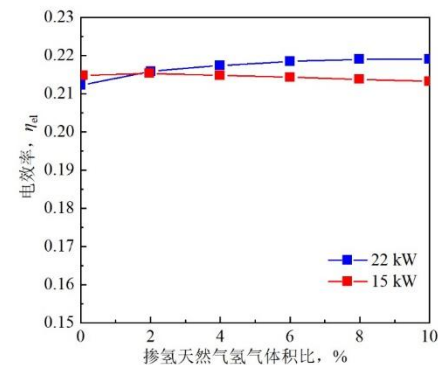
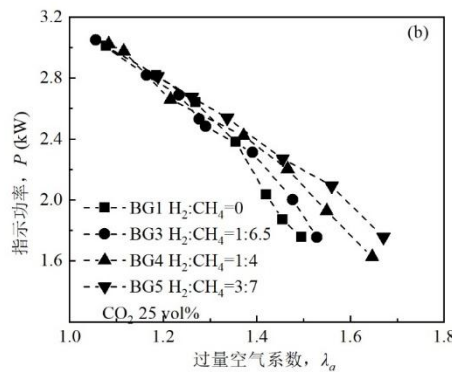
(c) Calorific校正



✓运行效率与安全性：增加掺氢天然气中的氢气比例在特定条件下改善设备的运行效率



不同含氢量天然气
a: CH₄, b: 95%CH₄+5%H₂, c: 90%CH₄+10%H₂,
d: 85%CH₄+15%H₂, e: 80%CH₄+20%H₂



掺氢天然气民用示范建设

- 国家电投集团在辽宁朝阳建设了掺氢天然气民用示范，开展民用燃气具、热水器、壁挂炉的试验测试
 - ✓ 本项目掺氢比不超过10%
 - ✓ 实验室外墙有调压箱，调压箱出口压力为2-5kPa
 - ✓ 调压箱后低压燃气管道已通至室内



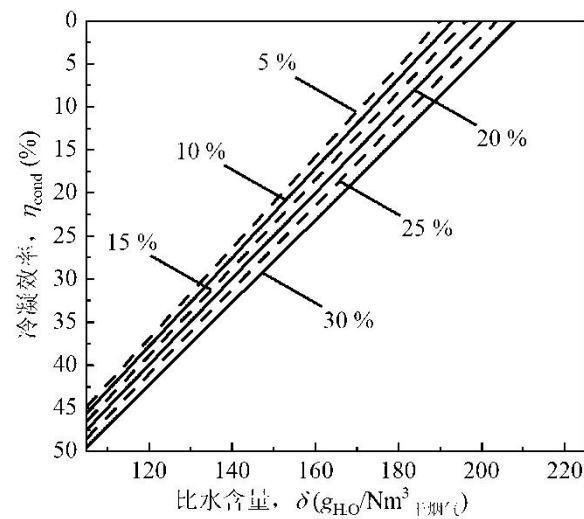
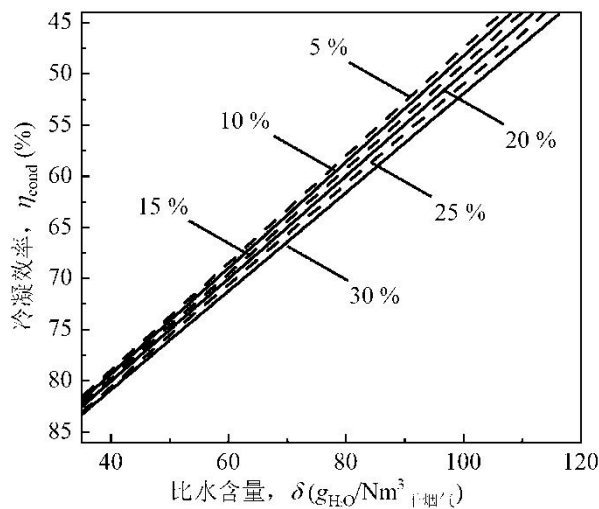
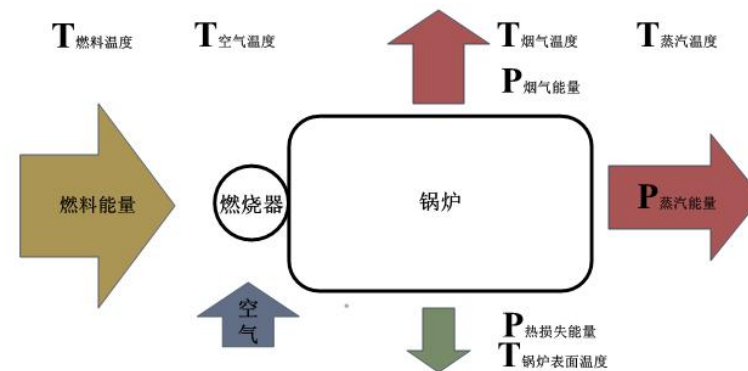
天然气掺氢用于工业燃气领域

- 掺氢天然气在工业领域主要用于燃气轮机和工业锅炉
- 在天然气中掺混适量的氢气可以提高燃气轮机效率，减少CO₂排放，但是需要对燃气轮机运行条件进行调整

污染物	适用条件	限值 (mg/m ³)
颗粒物	天然气锅炉及燃气轮机组	5
	其他气体燃料锅炉及燃气轮机组	10
SO ₂	天然气锅炉及燃气轮机组	35
	其他气体燃料锅炉及燃气轮机组	100
NO _x (以NO ₂ 计)	天然气锅炉	100
	其他气体燃料锅炉	200
	天然气燃气轮机组	50
	其他气体燃料燃气轮机组	120

天然气掺氢用于工业燃气领域

- 针对城市供热领域中的采暖锅炉，在北燃实业集团支持下，与清华大学合作开展了燃气锅炉掺氢燃烧的研究工作
- 锅炉冷凝效率随着比含水量和氢气体积分数变化的情况如右图所示，氢气的体积分数越大，废气在烟囱的温度越低，干废气的比含水量越小，锅炉的冷凝效率就会越高

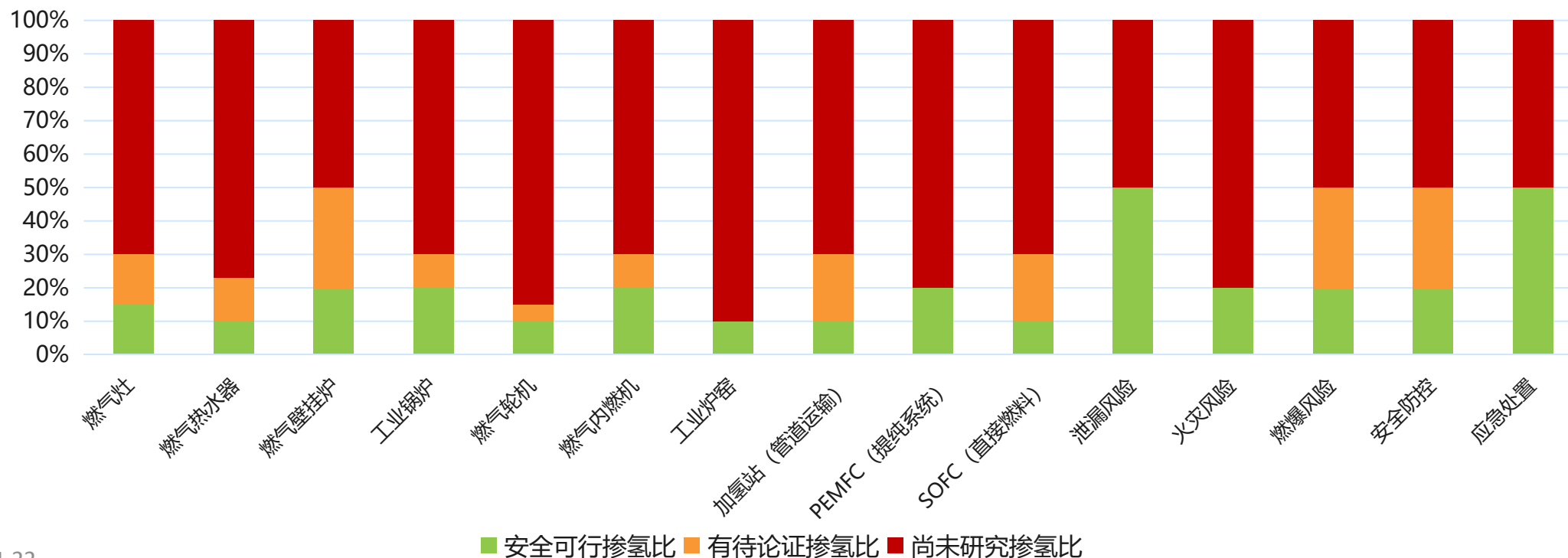




掺氢天然气终端利用可行性研究

- 终端利用设备掺氢比达到10%是安全可行的，为进一步提高掺氢比，需要重点关注燃气轮机、工业窑炉等终端设备，并且仍需对更多类型的设备进行检测，建立数据库
- 对于使用年限较长的在役设备，建议尽快建立相关的评估方法和用户数据库

天然掺氢应用终端及场景





总结与展望



天然气掺氢技术是氢能与天然气融合发展的纽带 对实现能源碳中和具有重大意义

天然气掺氢技术可充分利用已有成熟天然气基础设施，有利于实现氢能长距离、低成本输运和大规模储存；有利于降低终端碳排放强度，实现“氢进万家”；有利于缓解天然气供应压力，保障国家能源安全！

- 到2030年，预计实现绿氢消纳约150万吨/年，替代天然气约51亿立方米/年，天然气掺氢技术的碳减排潜力可达到10-20Mt/年，全产业链年产值将达到500亿元
- 到2060年，预计实现绿氢消纳约1691万吨/年，替代天然气约572亿立方米/年，可实现碳减排约114-229Mt/年，碳减排贡献率达到1.22%-2.46%，全产业链年产值将达到2600亿元

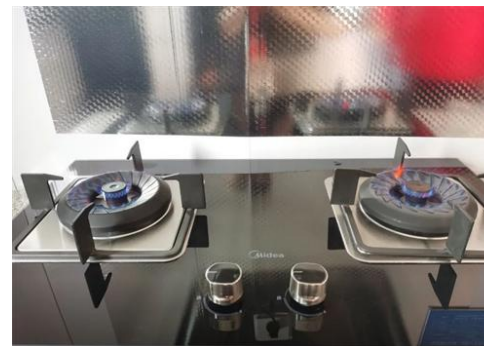
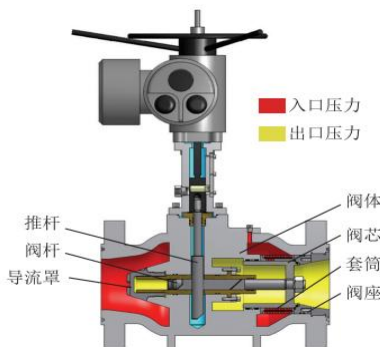
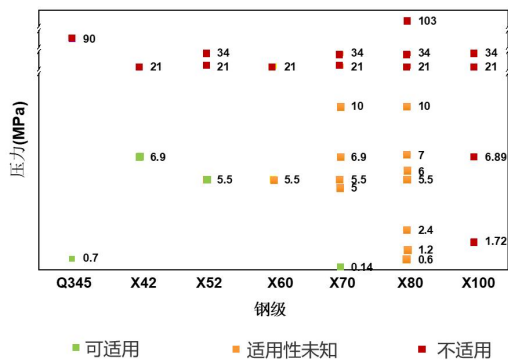


全球积极开展天然气掺氢技术的研究与示范，纳入多个国家级战略规划

- 国际天然气掺氢技术开展应用示范20多年，目前正处于商业化导入阶段，多个国家将其纳入国家能源战略规划
 - ✓ 截至2020年，全球天然气掺氢项目约40个，每年约2900吨氢气进入天然气管网，作为工商业和居民用户终端设备的燃料使用，掺氢比为5%-30%，20%为多数国家目前的最高掺氢比例
 - ✓ 英国、德国等国家已将天然气掺氢的应用列入到国家氢能规划中，以实现利用现有的天然气管网进行100%氢气的输送为发展目标
- 我国天然气掺氢技术起步较晚，但发展较快，目前正处于工程示范验证阶段，并已纳入国家科技发展规划中，标准体系有待进一步完善
 - ✓ 国家发展改革委、国家能源局制定了国家氢能发展规划，提出开展掺氢天然气管道、纯氢管道等试点示范。
 - ✓ 国家科技部和多个地方科技规划中布局了天然气掺氢技术，部分地区明确了掺氢天然气的发展定位和建设补贴
 - ✓ 目前已有2个示范项目完成了10%掺氢技术的研究；12个重点示范工程正处于论证/实施阶段，每年掺入氢气约20.5万吨，掺氢比为10%~20%
 - ✓ 人工煤气中含有高比例H₂能够长期安全运行，可为天然气掺氢的应用提供借鉴
 - ✓ 少量团体标准正在推进中，未形成天然气掺氢技术的标准体系

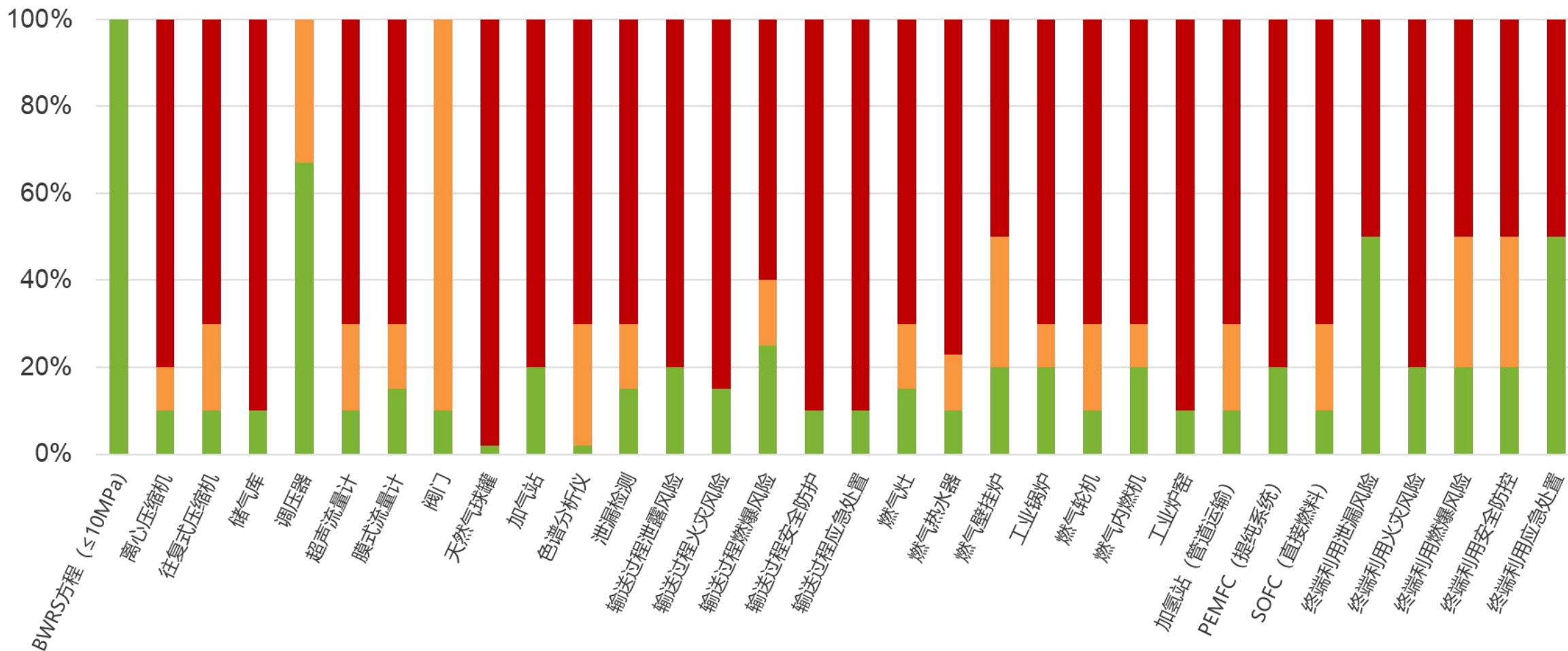
天然气掺氢技术具备大规模推广应用的技术可行性

- **技术可行性：**现阶段通过评估后掺氢比可达到**10%**，部分改造后进一步可提升到**20-30%**，更高比例的掺氢比需要实验验证和分析，尚缺乏系统的**评估方法**和**数据库**
 - ✓ **管道材料：**输送压力低于7MPa时，X52强度等级以下的管材能够适用于掺氢天然气输送；更高钢级管线钢的适用性尚不清楚；对于非金属管道，掺氢比可达20%。但由于天然气管线建设年代跨度大、管材冶金质量差异大，仍缺乏足够的实验数据支撑
 - ✓ **工艺设备：**城市燃气管道经过微小的改造，掺氢比10%是安全可行的；长输管道掺氢比的限制主要是高钢级管材高压下的适应性，需要进一步研究；为进一步提高掺氢比，需要重点关注压缩机、流量计、加臭和气体检测仪的适应性，并加快研发高掺氢比下的色谱分析和泄漏检测方案。
 - ✓ **终端利用：**掺氢比达到10%是安全可行的，为进一步提高掺氢比，需要重点关注燃气轮机、工业窑炉以及SOFC，并且仍需对更多类型的设备进行检测，对于使用年限较长的在役设备进行综合评估





天然气管道掺氢输送及终端利用关键部件掺氢比例适应性



氢能犹如冬奥会的火炬一样，薪火相传，生生不息。星星之火可以燎原，“氢进万家”未来可期！

谢谢聆听！

致 谢

本报告内容得到了国家住建部、国家能源局、北京市科委、内蒙古科技厅、江苏省科技厅、中国城市燃气协会等单位的大力支持
特此表示衷心的感谢！



扫描关注煤热院
官方微信公众号



官方网站
www.gasheat.com.cn



个人微信



北京市煤气热力工程设计院有限公司
BEIJING GAS AND HEATING ENGINEERING DESIGN INSTITUTE

地址：北京市西城区小酱坊胡同40号 邮编：100032