



以张家口为代表的寒冷地区 氢燃料电池公交车应用评估及发展建议

Application evaluation and development
proposal of hydrogen fuel cell bus in cold
region represented by Zhangjiakou

张家口氢能与可再生能源有限公司
Zhangjiakou Hydrogen and Renewable Energy co. Ltd.
2021 年 6 月
June 2021

摘 要

氢能在中国能源转型过程中的重要作用越来越得到认同。燃料电池汽车因为技术相对成熟而得到重视，但与保有量超过 1000 万的纯电动和插电式混合动力汽车相比，燃料电池汽车的规模还非常小，也没有得到市场的广泛认同，尤其在氢气来源、基础设施、节能减排等诸多方面存在问题而导致争议较大。

以张家口不同燃料类型公交为研究对象，本研究发现，燃料电池汽车在总拥有成本方面还存在一定问题；技术还存在提升的空间，如系统能量密度、储氢能量密度、运氢效率等；燃料电池公交在污染物排放方面优于传统燃料公交，但在温室气体排放方面，则与氢燃料的制取方式密切相关。

研究认为，随着技术进步，燃料电池汽车即将进入产业化快速导入期，未来 10 年将会大规模普及。燃料电池汽车与纯电动汽车相比的优势一是低温适应性较好；二是高功耗的场景应用广。因此，燃料电池汽车下一步推广的重点一是中国北方较为寒冷的地区，二是重点推广的领域是长距离、重载运输和高耗能场景。

研究发现，燃料电池汽车推广还需要构建较为完善的应用环境。需要政府在制氢电价、制氢加氢一体站、碳交易等方面引导行业完善政策和法规。

由于水平有限，错误在所难免，欢迎批评指正。

课题组

2021 年 6 月

目 录

一、	项目背景	1
二、	氢燃料电池公交车推广情况	2
	(一) 选择燃料电池公交的原因	2
	(二) 燃料电池公交运营有成效	3
	(三) 氢气来源从灰氢到绿氢	4
	(四) 加氢站建设模式多元化	6
三、	张家口市氢燃料电池公交应用评价	7
	(一) 研究对象和评估指标	7
	(二) 经济性评估	9
	(三) 环保性评估	10
	(四) 技术性评估	16
	(五) 评估总结	18
四、	政策建议	19
	(一) 提升燃料电池汽车的技术水平	19
	(二) 降低燃料电池汽车的购置成本和保养成本	19
	(三) 降低燃料电池汽车的氢气储运成本	20
	(四) 完善可再生能源电价机制降低氢气生产成本	20
	(五) 燃料电池汽车推广要综合考虑区域和资源禀赋	21
	(六) 探索绿氢参与碳交易市场交易	21

图目录

图 1 燃料电池公交车和团体客车	4
图 2 建投沽源制氢一期 (4MW)	5
图 3 海珀尔制氢一期 (10MW)	5
图 4 张家口已建成投运的加氢站	7
图 5 张家口地区四种公交车 TCO 经济性对比	9
图 6 WTW 阶段不同燃料公交车污染物排放强度 (g/km)	11
图 7 WTT 阶段不同燃料公交污染物排放强度 (g/km)	12
图 8 WTW 阶段不同燃料公交车温室气体排放强度 (g/km) ..	13
图 9 WTT 阶段不同燃料公交的温室气体排放强度 (g/km) ...	13
图 10 情景 1 下的不同燃料公交车碳排放强度 (g/km)	15
图 11 情景 2 下的不同燃料公交车碳排放强度 (g/km)	16
图 12 张家口天气温度统计图 (201903-202003)	17
图 13 燃料电池公交车启动成功率月度分布情况	17
图 14 不同燃料类型公交车冬季与夏季的最大续驶里程对比 (km)	18

表目录

表 1 不同燃料公交车研究对象信息表	7
表 2 不同类型公交车评价模型	8

一、 项目背景

中国的能源转型之路与西方工业化国家的能源转型之路是不同的。众所周知，中国化石能源特点是富煤、缺油和少气，是世界主要经济体中少数以燃煤为主的国家之一。率先完成工业革命的西方国家已经完成了从煤炭到油气的能源转型，并占据了全球大部分油气资源，基础设施已经完成从煤炭到油气的改造，并正在向可再生能源转型。由于先天不足和地缘政治影响，中国不容易从全球获得足够的油气资源，因此正在通过发展大规模可再生能源，探索从煤炭跳过油气直接到可再生能源的新型能源转型之路。这种能源转型之路是史无前例的，不是传统意义的化石能源结构变化，而是经济发展模式的战略转型和生活方式的变化，意味着经济结构的变化和经济技术的再造。

可再生能源成为中国能源革命的优先选项，氢能对可再生能源发展至关重要。随着中国能源体系向低碳转变，大力发展太阳能、风能等可再生能源已经成为普遍共识、战略方向和一致的优先行动。可再生能源的发展势必带来科技、工业、交通、建筑等一系列的进步，是社会经济发展新的动力和新的增长点。但可再生能源的波动性和间歇性给电力系统带来的稳定性和可靠性挑战是无法回避的，因此需要从规划引导、技术进步、政策完善、行业规范、监督保障等多方面发展储能产业。长期来看，氢能可以实现不连续生产和大规模储存，可以显著增加电力网络的灵活性，支撑更高比例的可再生能源电力发展。

氢能是张家口市发展可再生能源的探索。2015 年国务院批复同意设立张家口可再生能源示范区，指出要依托张家口的独特优势开展可再生能源应用综合示范，对引领可再生能源创新发展，推动能源革命，促进经济落后地区转型升级，推进生态文明建设具有重要意义。截至 2020 年底，张家口市可再生能源装机规模达到 2003 万千瓦，成为全国非水可再生能源第一大城市。2020 年底可再生能源占终端能源消费比达到 30%，跻身国际一流行列。柔性直流、虚拟同步电站、智能风机、异质结光伏发电、跨季节储热、氢燃料电池汽车等一大批国际领先的技术得到示范应用。张家口市根据发展需求将氢能作为“3+2”产业予以大力扶持，以氢能交通作为氢能利用的先导，加快培育氢能产业发展的经验受到了国务院办公厅表扬。

二、 氢燃料电池公交车推广情况

（一） 选择燃料电池公交的原因

城市公交电动化是我国交通领域节能减排重要举措。截止 2020 年底，中国城市公共电汽车共有 70.44 万辆。其中纯电动公交占比 53.8%，已经成为我国城市公交的主力，这也得益于中国动力电池技术发展相对成熟、产业规模大等有利因素。但是北方地区的公交电动化进展较为缓慢，除了经济因素外，重要的是低温对动力电池性能影响较大。

动力电池低温下的缺陷导致其不能满足公交需求。动力电池在低温下充放电效率低导致的充电时间长、车辆续驶里程短的问题，一直

困扰着北方寒冷地区，尤其是类似张家口这样的地区，冬季气温经常达到零下十几度。冬季纯电动公交由于需要电力制暖，因此车辆能耗大幅度提高，需要充电次数增加，进而影响了车辆的运力。

燃料电池公交不受低温影响且驾驶体验与燃油公交相当。燃料电池公交采用高压气态氢作为燃料，不受低温影响，10 分钟左右即可完成加注，续驶里程可达 300 到 400 公里，能够满足运营一天的燃料需求。同时，燃料电池系统释放出来的热量可以被收集起来作为客舱的热源，与燃油公交类似，减少制暖电力消耗，提升系统效率。

（二） 燃料电池公交运营有成效

截至 2021 年 3 月，张家口市累计投运燃料电池公交 304 辆，累计完成载客量 3400 万人次，累计运行 1463.5 万公里，是全国燃料电池公交车运行数量最多、最稳定的城市之一。另外，张家口市崇礼区是 2022 年北京冬奥会赛区之一，为践行“绿色交通”承诺，冬奥会期间，张家口市将提供 515 辆燃料电池客车用于冬奥会赛事服务，赛后大部分车辆仍然用于主城区城市公交，部分车辆将用于景点旅游、通勤客车和接待用车等。



图 1 燃料电池公交车和团体客车

（三） 氢气来源从灰氢到绿氢

张家口市于 2018 年投运第一批燃料电池公交，当时使用的氢气来自北京京辉气体。该氢气有天然气重整和网电电解水两种方式制取。从 2020 年 8 月海珀尔制氢项目一期启动生产以来，张家口燃料电池公交的氢气全部采用海珀尔制氢的氢气，实现了从灰氢到绿氢的转换。

已经建成的绿氢生产项目有海珀尔制氢项目一期和河北建投沽源风电制氢示范项目一期，正在建设中的有崇礼新天风能制氢一期、国家能源集团投资的尚义风电耦合制氢示范项目和赤城风氢储示范项目、张家口交投壳牌制氢项目。到 2021 年底，制氢能力达到 26.8 吨/天。上述 6 个项目中，有 4 个项目采用风电直接制氢。2 个项目（海珀尔制氢和交投壳牌制氢均位于桥东区望山循环经济园区）采用网电制氢，采用“四方协作机制”在电力交易平台上获得可再生能源电力。这种不直接以可再生能源制氢，但通过购买可再生能源电力生产氢气的也可被认为是可再生能源制氢，符合《低碳氢、清洁氢与可

再生氢的标准与评价》(T/CAB 0078 -2020) 中规定, 详见附录 B 可再生能源电力及碳抵消的说明。



图 2 建投洁源制氢一期 (4MW)



图 3 海珀尔制氢一期 (10MW)

四方协作机制是张家口可再生能源示范区为可再生能源本地消纳实现清洁供暖，在机制体制上实现的突破，既“政府+电网+发电企业+用户侧”共同参与的电力交易机制，通过市政府与国网冀北电力有限公司合作建立可再生能源电力交易平台，政府部门每月在平台上发布下个月可再生能源需求电量和挂牌电价，可再生能源发电企业自愿竞标，清洁电力通过电网交易平台进入供电大网，由电网公司根据风电供暖用户需求统一分配电量，实现了政府要绿、企业要利、居民要暖的多赢，为国家推进北方地区冬季清洁能源供暖，突破可再生能源消纳瓶颈提供了可复制可推广的成功经验。

（四） 加氢站建设模式多元化

本着满足冬奥会运营需求和冬奥会结束能正常运营的原则，张家口市制定《张家口氢能保障供应体系一期工程建设实施方案》，拟在2021年底前完成16座加氢站建设，包括14个固定式（35MPa）和2个撬装式（70MPa）。全部加氢站设计加注能力为14吨/天（12小时计算），峰值可达28吨/天，最高可满足2000辆燃料电池中重型车辆的加氢需求。

目前已建成4座加氢站，分别是东望山加氢站、创坝加氢站、纬三路加氢站及中石油太子城加氢站。其中东望山加氢站是海珀尔制氢场的配套加氢站；创坝加氢站是张家口市第一座加氢站，建成之初是撬装式加氢站，目前正在改造为固定式加氢站；纬三路加氢站是合建

站，可以为车辆加油和加氢；中石油太子城服务区加氢站是建于高速公路服务区的固定式加氢站。



创坝加氢站



纬三路加氢站



东望山加氢站



中石油太子城服务区加氢站

图 4 张家口已建成投运的加氢站

三、 张家口市氢燃料电池公交应用评价

（一） 研究对象和评估指标

研究对象包括 10.5 米的氢燃料电池公交车(以下简称 FCV Bus)、纯电动公交车(以下简称 BEV Bus)、柴油公交车（以下简称 ICE Bus）及天然气公交车（以下简称 CNG Bus）。

表 1 不同燃料公交车研究对象信息表

公交类型	CNG	BEV	FCV
品牌	东风扬子江	福田汽车	福田汽车
投运线路	13 路	4 路	33 路
车队数量(辆)	21	28	23
车长（m）	10.5	10.5	10.5
平均日行驶里程(km)	182	187	192

公交类型	CNG	BEV	FCV
年均运行时长（天）	300	300	300
驱动电机额定功率（kW）	——	150	100
燃料电池额定功率（kW）	——	——	30.5
动力电池容量（kWh）	——	121（锰酸锂电池）	82.8（锰酸锂电池）
最高车速（km/h）	69	69	69
续航里程（km）	460	251	520（氢系统里程）

为对比评估氢燃料电池公交车、纯电动公交车和柴油公交车在严寒地区的适用性，研究构建了适用于三类公交车的指标体系。鉴于张家口市本地已基本完成柴油公交车的退换，取而代之以本地天然气公交车代替柴油公交车进行对比，柴油公交车则采用全国平均水平进行对比。基于学界已有的新能源汽车研究体系研究成果，结合自身对新能源汽车行业的理解，将经济性、环保性、技术性作为一级指标，并确保二级、三级指标与新能源汽车发展具有强相关性，最终形成评价体系。

表 2 不同类型公交车评价模型

一级指标	二级指标	三级指标
经济性	车辆购置成本	车辆价格 购置补贴
	燃料使用成本	百公里燃料成本 燃料补贴
	运营管理成本	维修保养成本 检测成本 人工成本 其他成本 运营补贴
技术性	低温适应性	冷启动时间 余热管理
	能耗	百公里能耗 低温续驶里程
环保性	燃料周期排放	温室气体排放强度 污染物排放强度

（二） 经济性评估

经济性分析是从车辆用户的角度考虑，计算其燃料周期成本（既总持有成本，TCO），对比指标是汽车燃料周期的单位里程成本。采用单位里程成本的原因是由于当前张家口在运的纯电动公交和燃料电池公交均为 2018 年上线，尚未退役，无法计算残值。燃料周期成本为车辆购置、燃料使用及运营管理三大环节成本构成。

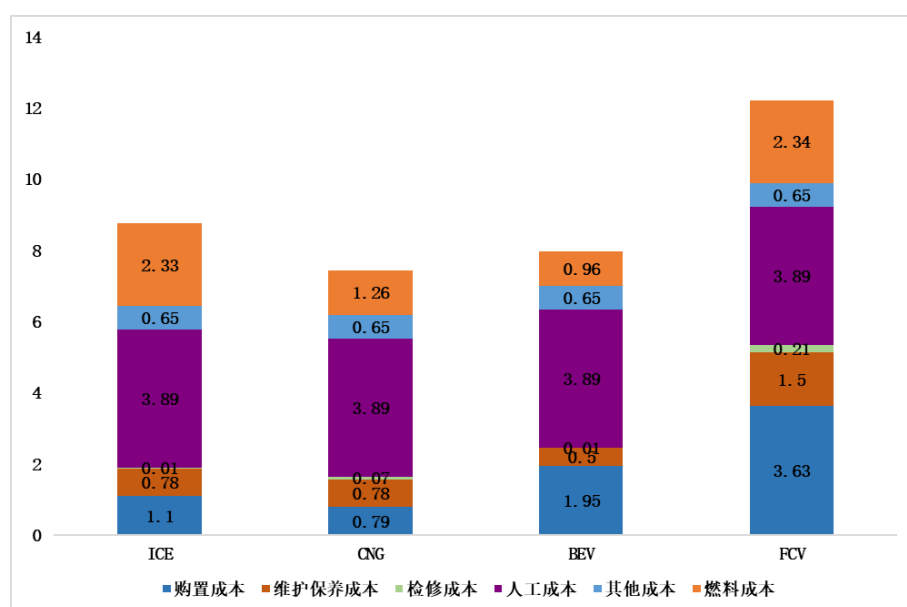


图 5 张家口地区四种公交车 TCO 经济性对比

在不考虑环境成本的情况下，氢燃料电池公交 TCO 成本（总拥有成本）最高，每公里成本达 12.22 元，远高于柴油公交的 8.75 元、天然气公交的 7.43 元以及纯电动公交车的 7.96 元。这还是在本地政府对氢气零售价做出 30 元/kg 限定的情况下，如根据实际制氢、运氢、加注的成本来看，现阶段张家口地区氢气成本远高于 30 元/kg。因此从经济性角度看，氢燃料电池公交车现阶段并不具有经济性。

（三） 环保性评估

环保性评估研究主要从微观角度研究车用燃料从“井口”到“车轮”（WTW）阶段的能源使用和排放问题，包括两个阶段包括汽车燃料周期上游 WTT (Well to Tank)和汽车燃料周期运行阶段 TTW(Tank to Wheel)两个阶段，在这两个阶段分析不同类型公交的污染物排放和温室气体排放强度，单位是 g/km。

WTW 阶段新能源公交污染物排放总体好于传统公交。在当前的张家口的电力结构下（可再生能源电力消费占比 50.6%），新能源公交均在一定程度上较少了大气污染物的排放量。其中，纯电动公交污染物排放强度最低，每运行 1 公里各项污染物排放强度均在 0.1g 以下。其次是燃料电池公交车，相较于柴油及天然气公交车，燃料电池公交在氮氧化物及挥发性有机物均表现出较好的减排效果，以张家口自供氢源的燃料电池公交车为例，在氮氧化物及挥发性有机物排放强度上表现出超过 90%到 80%的下降；但在 PM2.5 排放并无明显改善，硫化物排放强度则略有上涨。

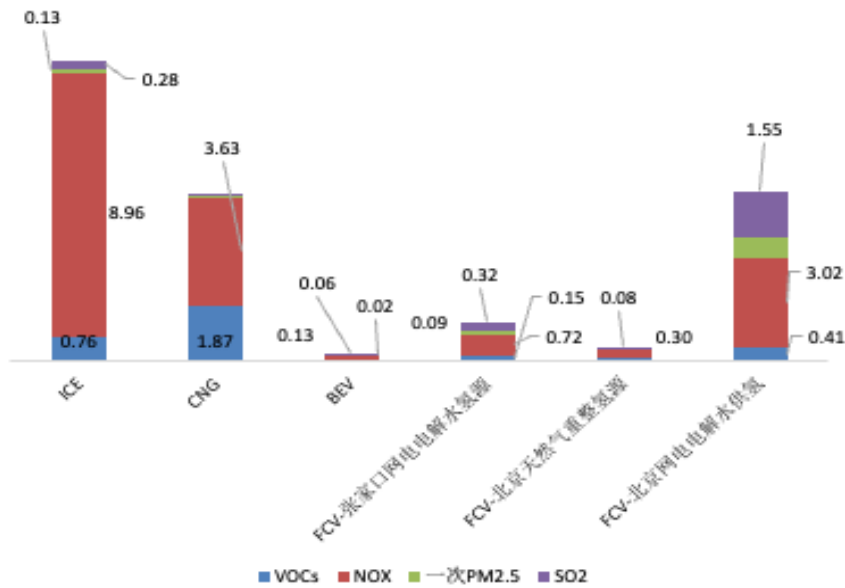


图 6 WTW 阶段不同燃料公交车污染物排放强度 (g/km)

尽管 WTW 阶段新能源公交的排放优于传统燃料公交，但是需要注意的是在 WTT 阶段，网电电解水制氢的燃料电池公交污染物排放远高于传统燃料公交，仅因为 TTW 阶段的零排放，才得以显示出 WTW 整个阶段的低排放优势来。如图 7 所示，WTT 阶段，北京电网结构下的燃料电池攻击奥在 NO_x、SO₂ 和一次性 PM_{2.5} 排放上远高于其他公交。这主要是北京电网尽管本地均采用了天然气发电，但是输入电力依然是以火电为主。

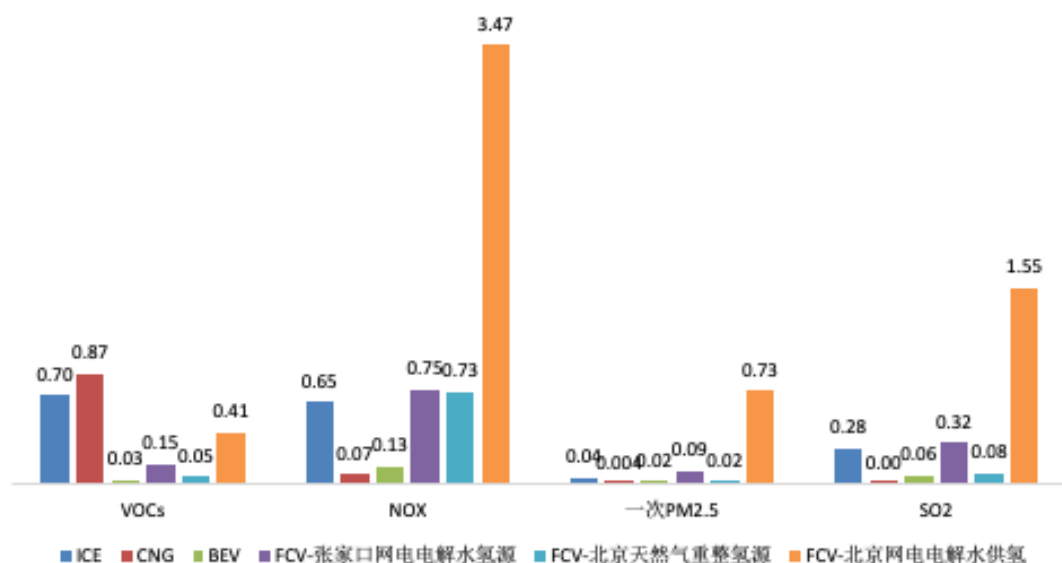


图 7 WTT 阶段不同燃料公交污染物排放强度 (g/km)

WTW 阶段新能源公交温室气体排放强度与其燃料排放因子强相关。张家口电网下 FCV 公交 CO₂e 达到了 2085.5g/km，北京市电网下 FCV 公交达到 4743.3g/km，均远高于其他燃料类型的公交车。可以判断，在仅考虑网电电解水供氢的情况下，燃料电池公交减碳效果并不理想，WTT 阶段是造成高排放强度的主要原因。目前张家口市沽源风电制氢项目已经开始试供氢，若以该氢源作为燃料，则燃料电池公交其温室气体排放强度仅为 88.3 g/km，环保性要远优于其他类型公交车。

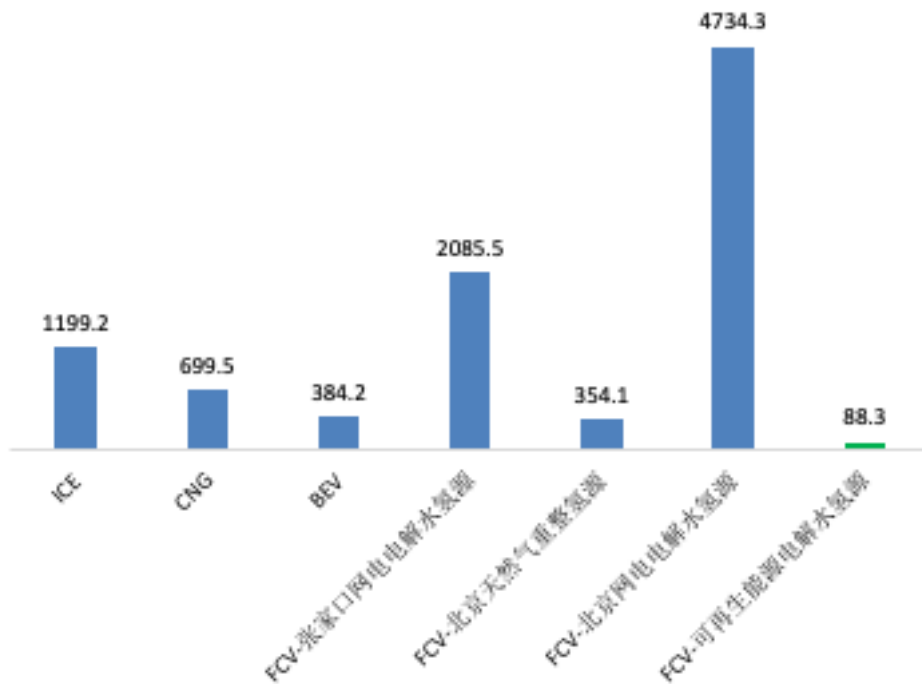


图 8 WTW 阶段不同燃料公交车温室气体排放强度 (g/km)

如图 8 所示，WTW 阶段燃料电池公交的碳排放强度远高于传统燃料公交的主要原因是氢燃料来自网电电解水制取，而网电是以火电为主，自然碳排放强度上升。如图 9 所示，可见燃料电池公交的碳排放全部在 WTT 阶段，而 TTW 阶段则为 0。

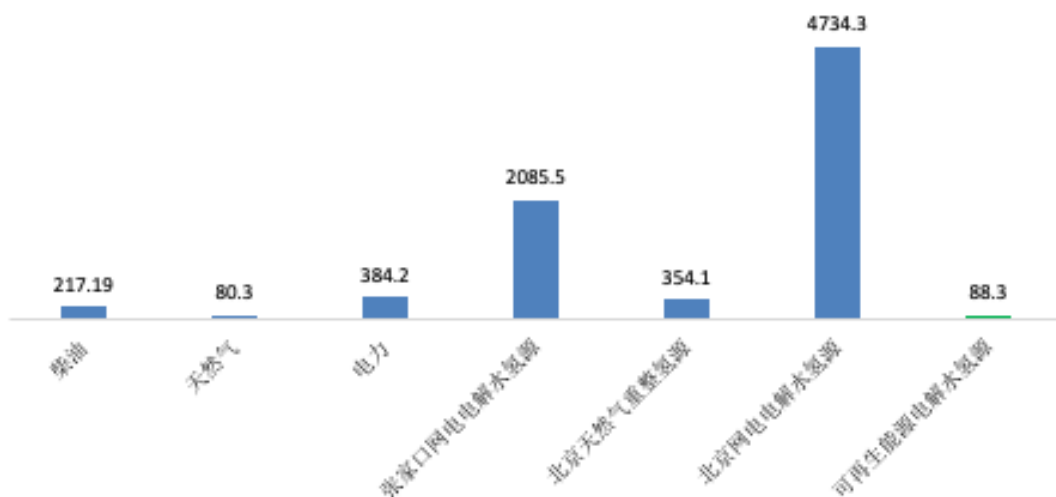


图 9 WTT 阶段不同燃料公交的温室气体排放强度 (g/km)

不同情境下的燃料电池公交车排放测算。上述研究得出张家口氢燃料电池公交具有良好的污染物减排效果，但在减碳方面表现的并不理想。主要有以下原因，一是该批 FCV 公交推广时期较早，搭载的电池系统功率仅有 30kW，百公里耗氢量大；二是张家口地处北方严寒地区，冬季耗氢量大，拉高了全年的平均耗氢量；三是本研究中数据时间跨度在 2019 至 2020 年底，张家口市氢源均来自网电电解水，耗能较大，绿氢尚未大规模供应。

分析来看，仅依靠网电制氢驱动公交车运营显然不具备环保性，低碳氢源的燃料电池公交才是合适的发展道路。因此对绿电、绿氢等不同低碳情景下的燃料电池公交车排放表现进行分析研究。

情景 1：未来可再生能源电力消费比例不断提高。根据《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》发展目标，到 2030 年，80% 的电力消费来自可再生能源，全部城镇公共交通、城乡居民、生活用能、商业及公共建筑用能来自可再生能源；同时河北省企业可直接通过冀北电力交易平台的可再生能源电力交易机制购买绿电用于氢气生产，张家口市制氢企业海珀尔已经通过交易的绿电制氢。据调研，海珀尔购买的绿电量可以满足制氢的所有能耗；运氢方式仍为柴油驱动的管束车（运氢距离 10km）。

考虑可再生能源占终端电力消费比例不断提升的情况下，不同类型公交的碳排放强度。研究表明，当可再生能源电力消费占比达 67% 时，氢燃料电池公交车碳排放强度将低于柴油公交；当占比升至 80% 时，氢燃料电池公交碳排放强度将与本地 CNG 公交水平相当；当可

再生能源电力消费占比达到 100%时，氢燃料电池公交碳排放强度将降低至 18g/km。

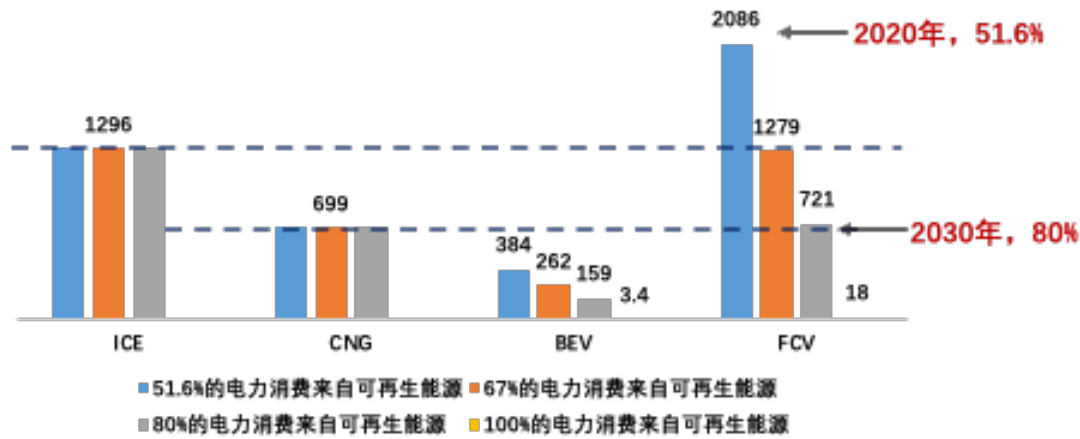


图 10 情景 1 下的不同燃料公交车碳排放强度 (g/km)

情景 2：可再生氢产能快速发展。张家口市作为全国唯一的可再生能源示范区拥有丰富的可再生能源资源，本地风力、太阳能、生物质等可再生能源制氢项目逐渐落地（如沽源、赤城制氢项目），未来绿氢将很快满足所有本地氢需求。

假设电网结构保持不变（51.6%电力消费来自可再生能源），运氢方式仍为柴油驱动的管束车（运氢距离 30km），可再生能源制氢比例不断提升的情况下，不同类型公交的碳排放强度。研究表明，当本地可再生氢占比达到 40%时，本地氢燃料电池公交碳排放强度将与柴油公交车基本持平；当可再生氢占比继续增加至 69%时，FCV 公交碳排放强度将低于 CNG 公交。根据张家口本地制氢项目规划，预计在 2025 年将实现本地全部氢气产能由可再生能源生产，届时的氢燃料电池公交车每公里碳排放将降至 78g。

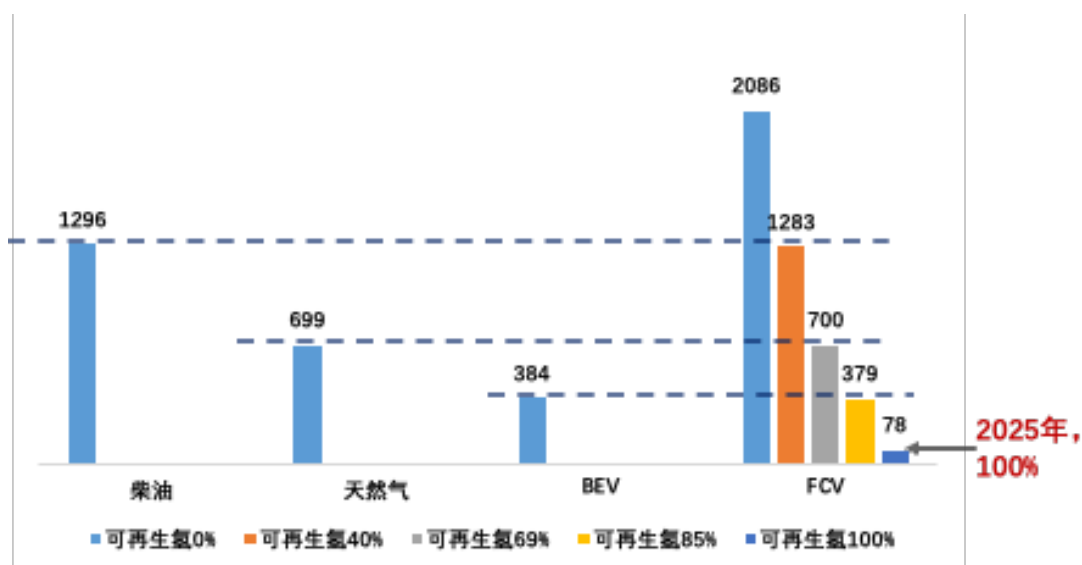


图 11 情景 2 下的不同燃料公交车碳排放强度 (g/km) ¹

(四) 技术性评估

技术性评估是对不同燃料类型公交的低温适应性进行评估，内容包括低温冷启动和余热管理。

张家口公交数据显示，纯电动公交的冬天冷启动成功率为 80%~90%，但续驶里程严重缩水；压缩天然气公交的冬天冷启动成功率在 90%左右，续驶里程损失不大。张家口市 2018 年上线 76 辆纯电动公交，得益于动力电池技术较为成熟和可靠，纯电动汽车低温冷启动成功率始终保持在 80%以上，但是冬天能耗较高，续驶里程缩水严重。原因有两点：一是低温下动力电池充放电效率低导致车辆里程缩减；二是低温下加热客舱导致能量损失巨大导致车辆里程缩减严重。

¹ 可再生氢指氢气生产过程中所消耗的能源为可再生能源。

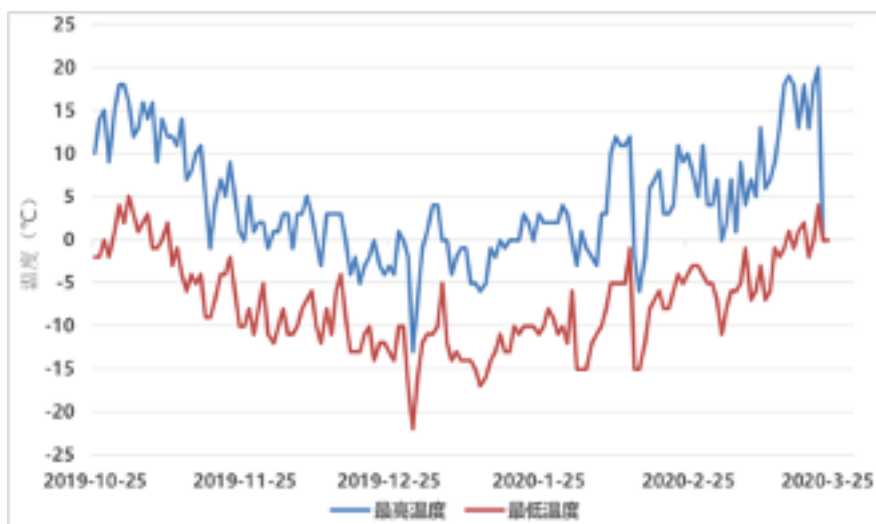


图 12 张家口天气温度统计图（201903-202003）

选择张家口 K1、K2、K3、1、2 路总计 5 条线路共 100 辆燃料电池公交车作为研究对象，采集 2019 年 3 月至 2020 年 3 月的数据进行分析，得到如下结论。

燃料电池公交车低温启动成功率最高，能够满足公交出行需求。在一年之中最寒冷季节(11 月份到 3 月份)，燃料电池公交车保持 90% 的启动成功率，与张家口 CNG 公交的启动成功率（90%）相当，高于纯电动公交。

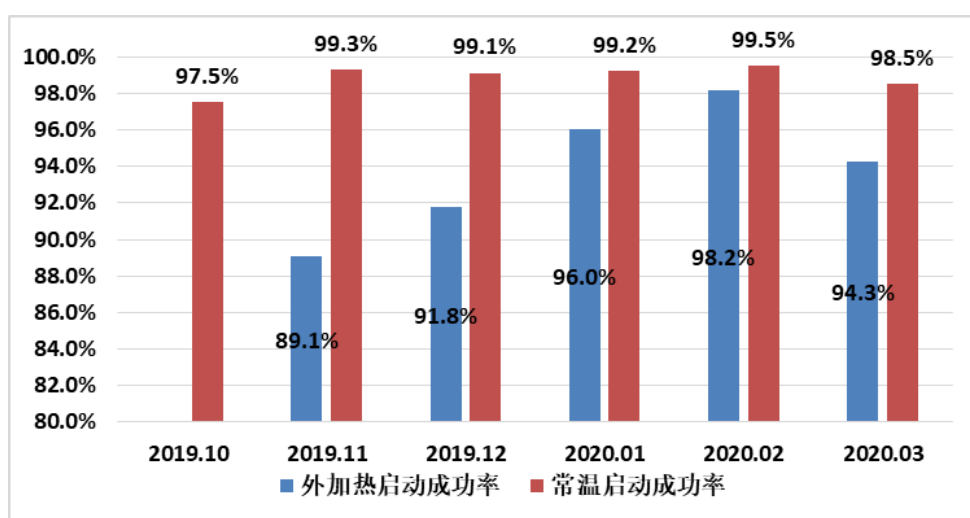


图 13 燃料电池公交车启动成功率月度分布情况

燃料电池公交冬天能耗水平优于纯电动公交。采用余热管理技术后，燃料电池公交冬天能耗与夏天相比仅上升 16.7%，而没有采用余热管理的燃料电池公交，冬天能耗比夏天要上升 70.3%。同期，纯电动公交在冬天的能耗要上升 86.9%。能耗水平的波动导致车辆的续驶里程发生较大变化。

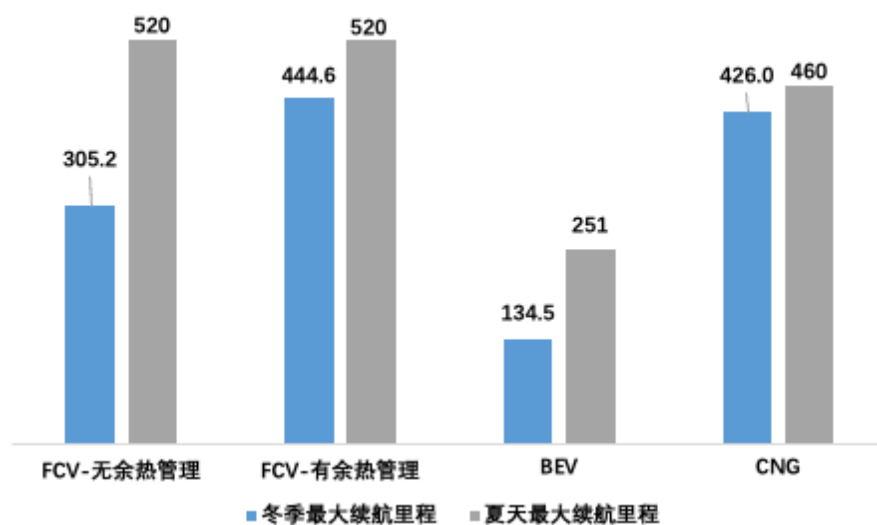


图 14 不同燃料类型公交车冬季与夏季的最大续驶里程对比 (km)

(五) 评估总结

1. 燃料电池公交总持有成本 (TCO) 是所有类型公交中最高的，降本成为下一阶段燃料电池汽车发展的首要任务，否则将无法启动大规模推广。
2. 燃料电池公交在燃料周期的污染物排放要优于传统燃料公交，但温室气体排放则与其氢源排放强度相关。只有采用高比例的绿氢，燃料电池公交的温室气体排放才会优于传统燃料公交。
3. 燃料电池公交在低温适应性方面优于纯电动公交，因此下

一阶段推广中，寒冷地区公交电动化的首选应该是燃料电池公交。

4. 高压氢气能量密度高于动力电池，燃料电池汽车在高能耗的车辆领域推广有优势，尤其是长距离、重载车辆。如城建渣土运输、港口集装箱运输、矿区矿石运输、冷链物流运输和重型环卫车等。

四、 政策建议

（一） 提升燃料电池汽车的技术水平

尽管全球燃料电池汽车发展势头强劲，但从实际来看，国内国外燃料电池汽车在技术成熟度和产品可靠性上与纯电动汽车相比还有一定差距，存在故障率高和维护成本高的问题。整车和燃料电池系统企业需要通力合作，提升技术水平，提供能够满足市场需求的、成熟稳定的产品。

（二） 降低燃料电池汽车的购置成本和保养成本

目前来看，燃料电池汽车的购置成本和维保成本均高于纯电动汽车，也远高于传统燃料汽车。因此，需要各环节通力合作，降低燃料电池汽车成本。一是通过规模化推广降低燃料电池汽车购置成本。通过前期示范，解决用户痛点，用户才可能给出大的订单，通过规模化降低单车购置成本，降低采购单价。二是通过技术进步降低维修保养。整车和系统企业通过提升产品控制策略、保持产品一致性等方法提高

产品的平均无故障时间，降低用户维保成本。另外主管部门应尽早出台车载储氢瓶检测法规，进一步降低用户使用过程中的检测成本。

（三） 降低燃料电池汽车的氢气储运成本

当前燃料电池汽车使用成本较高的主要原因之一就是氢气储运成本高。一般来说，加氢成本普遍在 8~10 元/公斤左右，运输成本普遍在 10 元/100 公里左右，仅这两项成本相加就有 18~20 元/公斤左右，相当于运行成本每公里增加 1.26~1.4 元。因此，政府应引导企业加快氢气储运技术创新，提高长管拖车的运输压力和管束水容积，提高单车运氢量，引导探索低温液氢、液氨、氢管道等多种方式提升运氢效率和经济性。政府还应超前规划并引导社会资本超前建设加氢站，降低单站加氢成本；在部分区域先行先试制氢加氢一体站，从而大幅度降低氢气成本。

（四） 完善可再生能源电价机制降低氢气生产成本

可再生能源制氢是发展方向，但目前普遍存在电价过高的问题。原因是由于我国实行两部制电价，这一电价机制在社会资的优化配置、电力成本的合理补偿、用户负担的合理分摊及尽量减少交叉补偿等方面都有重要意义，但也导致可再生能源制氢价格较高。因此需要探索可再生能源发电企业以自发自用、余电上网的灵活电价制氢，从而可以大幅度降低氢的生产成本，也有利于燃料电池汽车燃料成本的降低。

（五） 燃料电池汽车推广要综合考虑区域和资源禀赋

由于氢气的质量能量密度高于动力电池的质量能量密度，且受低温影响较小，因此燃料电池汽车比较适合寒冷地区或者长距离、重载运输等高能耗场景。因此燃料电池汽车的推广对下一步交通领域减排具有重要意义，建议在中重型卡车、工程机械、船舶等高耗能的运载机具行业开展燃料电池动力系统推广；同时也要考虑当地的资源禀赋，是否有经济性较好、低碳的氢源，否则采用高碳排放的氢源是没有意义的。

（六） 探索绿氢参与碳交易市场交易

中国要实现 2060 碳中和目标，氢能的大规模推广不可或缺。2021 年中国组建了全国性碳交易市场。但由于缺少方法学，氢能产品尚无法加入碳交易市场，这也导致绿氢较高的生产成本没有市场机制予以补贴。因此，国家层面应推动地区试点绿氢进入碳交易市场，从市场角度来弥补绿氢高成本的问题，有利于绿氢推广和碳减排。