

双碳背景下整车厂的关键节能降碳技术

文 | 韩明、门峰、邢晓威、包伟伟

2020年中国宣布了“二氧化碳排放力争2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的双碳战略，中国着眼顶层设计和产业全局，制定发布了碳达峰行动方案和实施方案，为我国早日实现双碳战略目标指明了方向。汽车制造产业供应链长、制造工艺及装备繁杂、能源及资源消耗大，本文分析了汽车制造厂能源消耗特征，统计分析了主流生产规模的汽车制造厂能耗及单车能耗指标，提出了整车厂关键节能降碳技术措施，为汽车制造厂的节能降碳工作提供一些参考，助力我国新时代汽车产业早日实现碳达峰碳中和的重大战略目标。

前言

2000年以来，我国汽车市场的年均复合增长率达到了12.8%，远高于世界主要汽车强国及全球汽车市场总体水平，2023年已经突破3000万辆/年的产销规模，已连续14年位居全球第一，截至2023年，我国汽车保有量高达3.36亿辆，位居全球第一。作为先进工业技术创新的先导产业和国民经济的支柱产业，汽车制造业肩负的双碳责任重大，各个汽车企业应积极响应国家碳达峰碳中和战略，部署好企业减碳降碳路径，跟进实施各种节能降碳措施，助力我国顺利实现双碳战略目标。

汽车制造的能源消耗特征

汽车制造的产业与企业特征

汽车是由多层次、树状结构、大量零部件构成的综合性工业产品。一辆标准配置的燃油乘用车由发动机、车身、底盘、内饰等十个左右的总成系统，几十个分总成系统，上千个独立功能件和三个左右的单体零部件构成。汽车生产制造是典型的“多峰”体系。“峰尖”是各整车制造企业，一级零

部件供应商（总成、分总成级）的独立性较强，同时为不同整车配套的不多；从二级供应商（独立功能件级）开始延伸，同时为不同整车配套的供应商开始增多；到初级供应商（标准件、单体部件级），已经很难分清属于哪个整车配套体系。

以整车制造为核心的零部件配套体系具有相对的独立性，整车企业通常具有较强的体系控制能力。巨大的经济总量、广泛的关联效应，决定了整车与零部件企业间的紧密协同关系。在汽车产业链中，整车与零部件处于上下游位置，但这种上下游关系具有明显的双向共生特征：没有强大的整车需求拉动，不可能有发达的零部件产业；没有强大的零部件产业支撑，也不可能拥有强大的整车制造业。

整车制造企业通常由生产核心区、生产辅助区和生产附属区三大功能区构成。生产核心区通常由冲压车间（主要包括多工位压力机、多连杆压力机、液压研配机等）、焊装车间（主要包括主焊线、车门线、侧围线、凸焊区、机舱线、车调线等）、涂装车间（主要包括电泳线、中涂线、面涂线、注蜡线、打胶线、打磨线等）、总装车间（主要包括仪表线、底盘线、组装线、动力线、机能检测线等）四个主工艺车间

表 1 某年产 25 万辆乘用车制造企业每年实际消耗的主要能源

序号	能源品种	实物单位	年消耗量		
			实物	折标煤 (t)	百分比
1	电能	万 kWh	13191	16212	46.57%
2	热力	GJ	145740	4973	14.28%
3	天然气	万 m ³	659	8002	22.99%
4	汽油	吨	1066	1569	4.51%
5	压缩空气	万 m ³	9815	3926	11.28%
6	自来水	万 m ³	51	131	0.38%
	合计	标煤 t		34812	100%

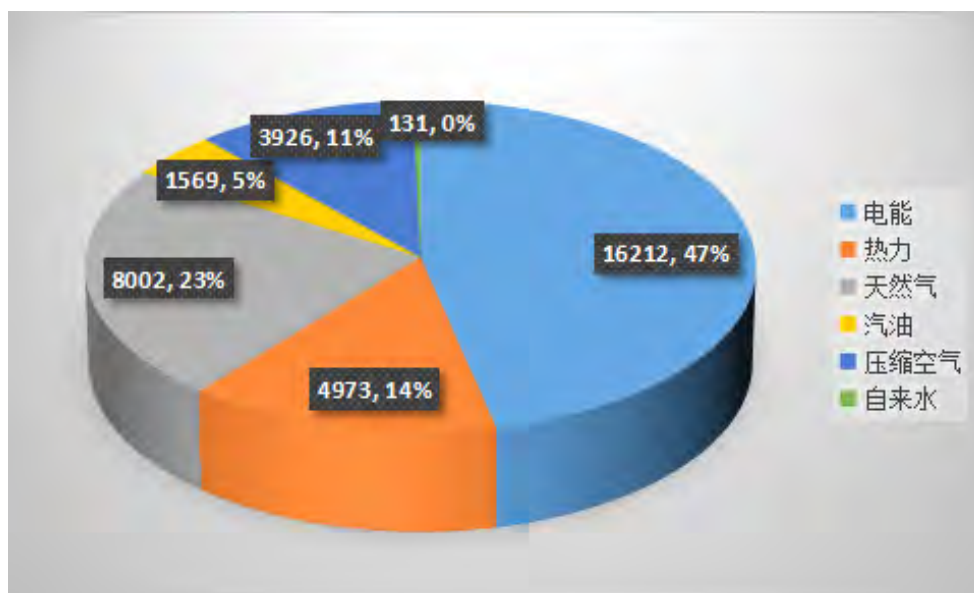


图 1 某年产 25 万辆乘用车制造企业每年实际消耗能源比例图

和动力站房构成（主要包括配变电站、空压站、制冷站、给水泵房、循环水泵房、燃气锅炉房等）；部分企业还包括成型车间（五个主工艺车间）；个别企业还包括电池 PACK 车间和发动机车间。生产辅助区则主要由加油站、污水处理站、各类库房、企业内道路试验场地等构成。生产附属区主要由食堂、办公楼等构成。

汽车制造的能源消耗现状

汽车制造厂消耗的主要能源有电能、天然气、压缩空气和自来水，若位于采暖区的汽车制造厂还需要消耗热力，若生产燃油汽车的汽车制造厂还需要消耗汽油，表 1 为北方地区某年产 25 万辆汽车制造厂的年能源消耗表。

由此图 1 可看出，电能、天然气和热力是消耗占比较

表 2 典型汽车主机厂能源消耗量统计

序号	整车厂	年产能（万辆）	年消耗总量（折标煤 t）	单车耗量（kg/ 辆标准煤）
1	整车厂 1	30	36157	120.52
2	整车厂 2	30	36425	121.42
3	整车厂 3	25	34812	139.25
4	整车厂 4	24	33719	140.50
5	整车厂 5	20	29562	147.81
6	整车厂 6	15	24207	161.38

大的能源，其中电能占总能耗的近一半，天然气占总能耗 22.99%，热力占总能耗的 14.28%，压缩空气占总能耗的 11.28%，汽油和自来水占总能耗的比例均较小。

汽车制造厂每年会消耗大量能源，其消耗能源的多少与年生产纲领、产品特点、工艺特点、装备先进性等多个方面紧密相关，但最主要的影响因素还是年生产纲领，年生产纲领越大，能源消耗越大，同时由于规模效应的影响，年生产纲领越大，单车能耗指标越低，如表 2 所示。

整车厂关键节能降碳技术

(1) 空压机群控技术。压缩空气是汽车制造应用最广泛的动力源之一，通常压缩空气系统设备消耗的电能占企业全部电能消耗的 15% 左右，是汽车制造企业耗电量最多的设备之一。空压机组群控技术，通过通讯协议，实现空压机组的数据采集与指令收发，能实时监控所有设备的运行状态，可远程启停，同时进行远程调控加载/卸载/压力等主要参数，实现空压机组的群控操作。该技术可明显提高空压机的利用效率，有效地节能减排。某企业在实施群控项目后，每个月直接节约的电费就能到几万元的水平。空压机群控技术的有效实施，需要对工厂范围内，各种场合、各种应用情景，以及各细分情景下详细控制方案有丰富的信息数据积累，对企业数字化能力有较高的要求。

(2) 空压机余热利用技术。对于空压机来说，空压机

从环境中吸入空气，经过压缩后将高压空气排出，这一过程不但提高了压力势能，同时产生了大量的压缩热。根据美国能源署统计，真正用于增加空气势能所消耗的电能，在总耗电量中只占 15% 很小一部分，大约 85% 的电能将转化为热能，并由各种冷却器排风扇带走，排放到环境中，这些热能并没有得到很好的利用。如果可以根据相应的类型压缩机的结构和原理，专业的进行改造，将其热量回收，结合工厂实际情况将这些热源进行利用，那么就可以变废为宝，将原本排入环境的热量收集利用，减少用于其它用途加热的燃料消耗量。某企业在空压机稳定运行的基础上，依靠先进技术设计热交换机组，将回收的空压机热能就近用于企业内锅炉预热、生活热水、空调采暖等，热能回收利用效率明显提升，经济效益可观。

(3) 制冷机节能技术。1) 冷凝器在线清洗技术。冷凝器换热效率是决定制冷机工作效率的主要因素，保持冷凝器铜管的洁净非常重要。该技术采用胶球在线物理清洗装置代替传统的人工清洗（化学清洗 + 人工捅刷）：胶球在循环水进出口压力差作用下，跳动抹擦、洗刷冷却管内泥沙污物，泥沙污垢被胶球冲刷下来随着水流带出，胶球经循环水带动进入捕球器，胶球被分离出来后重新进入装球室，胶球泵往复循环将胶球再次打入空调主机冷却水管，进行连续清洗。该技术可确保冷凝器内壁清洁，平均端差温度由原先的 $3.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 降低至 $1.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，提高节能近 10%。2) 制冷



图 2 工厂智能照明现场图

水泵优化控制。针对非变频控制的制冷水泵，启停不科学，功率大，夏季长时间运行，能耗高的问题，通过制冷阀的开度调整来控制制冷泵的启停，优化制冷水泵控制策略，实现能源节约，还延长水泵电机的使用寿命。3) 换热效率提升。板式换热器和本体换热器是制冷机高能耗部件，该技术通过选用高导热板片、减少污垢热阻、减少板片厚度来提高板式换热器的传热系数。同时通过提升蒸发温度，降低冷凝温度，有效提升换热效率，并适时关注制冷剂充注合理（冷剂充注不足或过量都会使热交换效率下降），以保证热交换效率。

(4) 智能照明技术。在典型汽车工厂（年产整车 30 万辆左右规模）中，仅生产作业区，各种照明灯具就能达到上万盏的规模，照明电耗是工厂公用工程的能源消耗大户，同时也是节能减排的潜力大户。智能照明的技术核心是：在工厂中引入智能照明控制器（通常安装在照明配电箱中，可直接省略照明分电箱），与分控、主控系统和驱动单元连接，形成工厂照明的集中控制系统。软件化的照明优化方案，能在自动识别不同区域、不同工位照明需求的情况下，及时进行照度控制（灯具点位、数量 + 自动启停），实现工厂照明的智能管控。从传统荧光灯 LED 替代 → 工序级区域照明优化（如：上班 / 下班模式自动切换） → 车间级智能照明 → 工

厂级智慧照明，是工厂照明技术进步的基本途径。

(5) 空调系统节能技术。在汽车制造过程中，每年制冷期、采暖期的空调能耗巨大，每年制冷采暖的电力消耗约占企业总电耗的 20% 左右。1) 空调机组变频改造。空调机组增加变频器及风压传感器，改造前软启动后工频运行，改造后变频启动变频运行，不仅可以解决空调机组本体故障多发问题，还可减少噪声节能降耗。某企业在对 28 台厂房空调进行变频器改造后，改造后的空调机组平均节电 20%，全年可节省电费 239 万元。2) EC 风机送风。EC 风机系统作为一种新型高效送风设备，较传统风机节能效果明显。某企业应用 EC 风机，进行送风系统改造。改造前空调电机功率 55kW，改造后风机实际运行功率 38kW，节能比率高达 30.9%，该企业 118 台空调机组，改造后可实现节省电能 12.4MWh/年。3) 空调温湿度自动监控技术。安装无线温湿度自动监测系统，实时监测车间内外温湿度，根据监测数据及时调整厂房空调的工作模式及锅炉房的热水供应，并依据历史数据积累，优化空调操作规程。某企业采用该技术后当年节约 72.5 万元天然气消耗费用。

(6) 导光管日光照明技术。出于建筑节能、环保考虑，工业建筑物应尽量采用自然采光。导光管是一套采集天然光



图3 屋顶导光管示意图

并经管道传输到室内，进行自然光照明的采光系统。该系统主要由采光装置、导光装置、漫射装置三部分构成，无需日常维护，且具有较好的气密、水密、抗风压与抗冲击性能。一些工厂在照度要求不高的一般场采用导光管后，节能效果明显，每年节省电费几万至几十万不等。

(7) 水蓄冷（储冷罐）技术。水蓄冷技术是已经成熟的储能技术，很多汽车企业都有应用。通常企业在工厂动力站房就近设置储冷罐，利用夜间波谷电价便宜的特点，启动冷水机组、冷水循环水泵、冷却循环水泵等备用机组，将储水罐水体制冷到 5°C 以下，并在白天波峰电价较高时段，释放出来供工艺、厂房空调系统制冷使用。对电网来说，该技术可削峰填谷；对企业来讲，则能明显减低电费支出。例如，某企业水蓄冷系统运行后，可替代白天波峰时段涂装车间制



图4 水蓄冷罐现场图

冷系统运行4.5小时，日转移高峰电量23300KWH，每天节省电费约1.4万元。

结束语

近年来，中国汽车制造业的能源利用效率进步明显，汽车生产制造的规模效应显著，单车能耗正在逐年降低。目前无论是单位产值能耗，还是单位增加值能耗均明显好于全国工业的平均水平，但同类企业间的单车能耗水平差距仍明显存在。各个车企应借助碳达峰碳中和的双碳战略，结合企业自身的特点，充分运用好各种节能降碳措施，既能降低能源消耗的费用，降低企业运营成本，又能助力企业实现双碳战略，最终实现汽车制造企业绿色化、低碳化的可持续发展。

MFC

参考文献

- [1] 丁仲礼. 中国碳中和框架路线图研究 [J]. 中国工业和信息化, 2021(08):54-61.
- [2] 韩明, 孔垂颖, 邢晓威, 包伟伟. 双碳背景下汽车制造企业的减碳路径 [J]. 锻造与冲压, 2023(16):19-22.
- [3] 韩明, 徐仰东, 谢毅. 基于指标分析的整车厂规划设计研究 [J]. 汽车工业研究, 2020(01):38-43.