



报告

欧盟-中国钢铁和汽车行业 脱碳合作潜力

Anastasia Steinlein、Carolin Grüning、Daniel Weiß、莉娜（Lina Li）、
Paula Janssen 和 Philipp Wagner

本报告在欧洲气候基金会（ECF）支持的“钢铁和汽车行业绿色价值链：欧盟与中国对话和合作潜力”项目框架内编写而成。本报告所产生的法律责任全部由作者承担。

建议引用：Steinlein, A.; Grüning, C.; Weiß, D.; Li, L.; Janssen P. and Wagner, P. 2022: 欧盟-中国钢铁和汽车行业脱碳合作潜力。柏林：adelphi research gGmbH

出版机构： adelphi research gemeinnützige GmbH
Alt-Moabit 91
10559 Berlin
+49 (030) 8900068-0
office@adelphi.de
www.adelphi.de

作者： Anastasia Steinlein, Carolin Grüning, Daniel Weiß, 李莉娜 (Lina Li),
Paula Janssen and Philipp Wagner (adelphi)

排版： adelphi

图片来源： 封面： Anamul Rezwan - pexels.com.

版本日期： 2022 年 10 月

© 2022 adelphi

欧盟-中国钢铁和汽车行业 脱碳合作潜力

Anastasia Steinlein、Carolin Grüning、Daniel Weiß、李莉娜 (Lina Li)、Paula Janssen 和
Philipp Wagner

adelphi

adelphi 是欧洲领先的独立智库，致力于气候、环境和发展的研究与行动。我们由大约 280 名战略家、思想领袖和实践者组成，在重点区域和全球层面开展工作，为当前最紧迫的政治、经济和社会挑战寻找解决方案。作为一家政策咨询机构，我们支持向碳中和及可持续宜居社会的公正转型。我们的工作以跨学科研究、循证咨询和利益相关者对话为基础。通过这些工具，我们制定政策议程，促进政治沟通，为推动政策发展提供信息支撑，并为决策者提供支持。

自 2001 年以来，我们在全球范围内为众多国际客户和伙伴组织成功完成 1000 多个项目，涉及**能源、气候、资源、金融、外交和商业**等领域。

我们以可持续发展作为内部及外部行为的基础。我们**致力于为子孙后代打造美好未来**，在力所能及之处减少二氧化碳排放，并对当前不可避免的排放实行碳抵消。我们采购并完全使用绿色电力，在采购方面始终遵循环保和社会责任标准，并使用符合道德标准的金融服务。通过项目工作，我们为实现积极的环境表现做出贡献。我们在企业环境保护方面的工作流程通过了欧洲系统性环境管理体系的最高级别认证，即生态管理与审核体系（EMAS）认证。

Carolin Grüning

咨询顾问

gruening@adelphi.de

www.adelphi.de

执行摘要

最近爆发的包括新冠疫情或俄乌冲突在内的危机，导致了全球贸易和物流体系的受到重创。这让全世界的政策制定者看到了全球供应链的脆弱性，在许多情况下开始考虑回迁生产设施，以减少对国际合作伙伴的依赖。这也出现在中国与欧盟的贸易关系中。

正如本研究中钢铁和汽车行业案例所示，欧洲和中国的经济目前通过复杂的供应链紧密联系在一起。尽管双方都在努力推动供应链多样化，但这些联系可能会长期存在下去。这是由于中国和欧盟这两个行业的需求都在增长，而建立替代供应链是一个漫长的过程。

在此背景下，中欧供应链对实现全球气候目标起着至关重要的作用。钢铁和汽车生产过程会排放大量温室气体。其中很大一部分排放发生在全球供应链中，例如原材料开采、零部件生产或运输环节。然而，迄今为止，两地围绕工业脱碳制定的政治和经济战略缺少针对供应链排放问题的对策。相反，我们可以看到，中欧出于经济因素考虑，重点制定国内减少供应链的复杂性和提高本地化程度的政策。

政策制定者似乎不愿意对与国际贸易联系紧密的产品施行脱碳，因为这可能会影响市场竞争力并导致“碳泄漏”。欧盟和中国已经针对这一领域采取初步措施，包括考虑引入进口关税或碳边界调整机制。然而，有关这些建议的讨论一直围绕着日益增多的国际冲突，而非加强欧盟和中国的气候合作。不过，在全球经济高度互联的背景下，合作是实现气候目标的唯一途径，特别是在供应链脱碳领域。

在此背景下，本报告旨在通过增进中欧在钢铁和汽车行业脱碳战略方面的相互了解以促进双方合作。本研究的主要发现之一是，中国和欧盟在钢铁和汽车行业供应链脱碳进程中许多共同的策略和挑战。这为开展合作并将解决方案扩展到双边/国际层面提供了许多机会。

针对钢铁行业，中国和欧盟都制定了雄心勃勃的行业目标，并着力提高新生产方法的成熟度和规模，特别是作为脱碳战略的氢气炼钢。主要挑战包括需要对现有脱碳技术试点和示范项目进行大量投资。

在汽车行业，欧盟和中国都已经启动电动化转型，在脱碳战略中更加重视供应链的温室气体排放。由于汽车供应链复杂而漫长，政策制定者和行业利益相关者在正确计算汽车生命周期排放量方面面临挑战，因此正在确立统一标准的制定方法。其他挑战包括“绿色”材料（如绿色钢材）供应不足，尚不能完全满足汽车行业的需求，以及绿色能源供应不足。此外，中国和欧盟都将促进循环经济发展，特别是提高电动汽车电池的循环性，作为减少汽车供应链中环境影响的一个关键方法。

目录

执行摘要	II
引言	1
钢铁行业	4
1. 背景：欧盟和中国的钢铁行业	4
1.1 中国钢铁行业	5
1.2 欧盟钢铁行业	6
1.3 欧盟与中国的钢铁贸易关系	7
2. 钢铁供应链的温室气体排放	8
2.1 全球碳排放	8
2.2 中国碳排放概况	9
2.3 欧洲碳排放概况	10
3. 钢铁行业的脱碳方法	11
3.1 政策方针	12
3.1.1 中国的政策方针	13
3.1.2 欧盟的政策方针	14
3.2 行业方针	16
3.2.1 中国的行业方针	17
3.2.2 欧盟的行业方针	18
4. 欧盟和中国钢铁行业脱碳面临的主要挑战	21
4.1 欧盟面临的主要挑战	21
4.2 中国面临的主要挑战	22
4.3 中欧合作面临的主要挑战	23
汽车行业	24
1. 背景：欧盟和中国的汽车行业	24
1.1 中国汽车行业	26
1.2 欧盟汽车行业	27
1.3 欧盟与中国的汽车贸易关系	28
2. 汽车供应链的温室气体排放	29
2.1 钢材	32
2.2 铝	32

2.3	电池材料	32
2.4	汽车供应链中的其他温室气体排放源	33
3.	汽车行业的脱碳方法	33
3.1	政策方针	33
3.1.1	欧盟的政策方针	35
3.1.2	中国的政策方针	38
3.2	行业方针	39
4.	欧盟和中国汽车生产脱碳面临的主要挑战	43
4.1	欧盟面临的主要挑战	44
4.2	中国面临的主要挑战	45
4.3	中欧合作面临的主要挑战	45
	欧盟和中国钢铁和汽车行业价值链绿色化的机会	47
	政策行动领域	47
	行业行动领域	48
	参考文献	50

图目录

图 1：初级和次级生产路线	4
图 2：欧盟的主要钢铁贸易伙伴	8
图 3：中国各行业碳排放	9
图 4：中国、欧盟、美国和墨西哥每吨钢铁的二氧化碳排放量（按路线划分）	10
图 5：汽车价值链简图	24
图 6：汽车主要零部件和原材料简图	25
图 7：中型内燃机汽车和纯电动汽车的生命周期排放量	30
图 8：内燃机汽车排放总量在不同生命周期阶段的百分比分布	31

表目录

表 1：欧盟和中国的中央政策方针	12
表 1：主要低碳炼钢技术的技术就绪水平（TRL）*	21
表 3：欧盟和中国的中央政策方针	34

缩略语表

ADC	中汽数据有限公司
BF-BOF	高炉-氧气顶吹转炉
CAFC	乘用车企业平均燃料消耗量并行管理办法
CATARC	中国汽车技术研究中心
CBAM	碳边界调整机制
CCUS	碳捕集、利用与封存
CDP	碳信息披露项目
CO₂	二氧化碳
DRI	直接还原铁
DRI-EAF	直接还原铁-电弧炉
EAF	电弧炉
ETS	碳排放交易体系
EU	欧盟
EUR	欧元 (€)
EV	电动汽车
GDP	国内生产总值
GHG	温室气体
HBIS	河钢集团
H-DRI	利用氢气直接还原铁
ICE	内燃机
JV	合资企业
kWh	千瓦时
LCA	生命周期分析
MSP	矿产安全伙伴关系
NEV	新能源汽车
NMC	锂-镍-锰-钴-氧化物 (LiNiMnCoO ₂)
OEM	整车厂
PHEV	插电式混合动力汽车
R&D	研发
SOE	国有企业
t	吨
USD	美元

引言

欧盟与中国的关系对各经济体在未来实现气候中和具有重大意义。《巴黎协定》提出要将全球气温变暖限制在 1.5°C 范围内，欧盟和中国将在实现这一目标的过程中发挥至关重要的作用。这是由于欧盟和中国的人均温室气体（GHG）排放量很高，两地投资的项目遍布全球各地，并且两地在全球贸易中占据首要地位。中国和欧盟的经济总量约占全球三分之一，温室气体排放量也约占全球总量的三分之一。

中国和欧盟都在制定更加严格的气候目标，并已设定宏远的气候目标。在欧洲，2021 年 7 月生效的“Fit for 55”一揽子计划为整个欧盟设定了具有约束力的新气候目标，包括到 2030 年，温室气体排放较 1990 年水平减少 55%；到 2050 年实现净零排放。中国也采取了类似政策路径。作为其“1+N”一揽子气候政策框架的一部分，中国已经确认 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和两个关键目标。“1”指的是指 2021 年 5 月发布的《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》，“N”代表分领域分行业碳达峰实施方案，以及科技支撑、能源保障、碳汇能力、财政金融价格政策、标准计量体系、督察考核等保障方案。

为实现这些气候目标，两地都采取了政治和经济措施，以推动关键经济部门脱碳。然而，这些目标和举措基本未能涵盖一个在减少全球温室气体排放方面具有巨大潜力的关键领域：供应链。对一般消费品公司而言，供应链约占其温室气体排放总量的 80%（Bové 和 Swartz 2016，第 3 页）。全球供应链紧密交织，只有通过全球合作才能有效减少其中产生的温室气体排放。然而，欧盟和中国目前的脱碳措施有意对供应链区别对待，或者忽视供应链视角。原因包括：供应链错综复杂；衡量供应链中二氧化碳排放量的标准不同；关于货物采购的信息不完整；碳足迹评估数值不准确等。不过，经济因素似乎是主要考量：政策制定者似乎不愿意对与国际贸易联系紧密的产品施行脱碳，因为这可能会影响市场竞争力并导致“碳泄漏”。

近几个月这种情况有所改观。近期政策有意施压以加快供应链脱碳，企业在减少其整个价值链中的碳排放方面正承受越来越大的压力。尽管两地在供应链脱碳的一些政策上并无争议，如欧盟和中国采用的产业分类目录法，但可能在其他政策上存在不一致的情况。特别是，欧洲有意在欧盟碳排放交易体系（ETS）的基础上引入碳边界调整机制（CBAM），以防止碳泄漏，保护行业竞争力，并保障欧盟实现新气候目标，此外七国集团主席国德国也力推“气候俱乐部”的概念。由于欧洲的利益相关者怀疑中国对本国钢铁实行倾销价格，欧洲政策制定者决定对中国钢铁产品征收更高关税，钢铁贸易领域已经出现不和谐的声音。这导致围绕钢铁业及其供应链脱碳的双边合作受到严重影响。

为了化解欧盟与中国之间的潜在冲突，当务之急是促进利益相关者之间的对话。为有效减少全球供应链中的温室气体排放，欧盟和中国主要利益相关者之间的合作至关重要。需要将迄今为止在国家层面制定的解决方案扩大到双边和全球范围内。在此背景下，本研究提议研究如何在欧盟和中国之间两个重要的双边贸易领域，即钢铁和汽车行业，加强两大经济体之间的相互理解和合作。中欧在这些领域的合作至关重要，原因在于双边供应链紧密相连，而且从技术角度看，脱碳问题只能通过合作加以解决。

钢铁是所谓的“难减排行业”之一：相对于产生的排放量，其行业利润率很低。虽然中国和欧盟都已采取重要的创新方法促使该行业脱碳，但该行业仍处于近期贸易政策争论的旋涡中心。欧盟和中国之间大规模的钢铁贸易，已使该行业成为一个特别敏感的领域。因此，中欧迫切需要增进对彼此脱碳战略的了解，针对当前形势形成共识，并采取富有成效的方法来化解潜在冲突。由于中欧钢铁行业之间多有交织，这一点尤其重要：即使双方在国内和国际市场已经形成激烈竞争态势，但两地钢铁贸易量仍然十分巨大，在 2020 年达到 350 万吨。

汽车行业与钢铁行业唇齿相依，因为后者在汽车制造材料供应和生产过程排放量中占据显著份额。除钢材外，铝和电池材料是汽车供应链中温室气体的主要排放源。在钢铁行业，欧盟和中

国之间供应链的互联尤其紧密。随着欧洲汽车厂商计划从中国进口更多电池材料以扩大其电动汽车产量规模，这种互联可能会随着时间的推移而增加。一些欧洲车企已经开始对其供应链，包括中国工厂的生产工艺进行脱碳。这是加强双边贸易合作的一个良好起点。同时，中国和欧盟都在努力减少对进口的依赖，以保护自己免受供应链中断的影响。供应链某些领域的竞争和异化加剧，可能会使未来的脱碳合作变得复杂。

本研究的结果基于大量文献综述，以及对欧盟和中国的政府、企业和民间社会代表进行的 15 场访谈。本研究旨在促进欧盟与中国及其主要利益相关者的交流互动，通过支持所在行业的联合减排行动，助力达成更高的气候目标。鉴于中国是欧洲供应链的重要组成部分——反之亦然，供应链的负责任、可持续环保化需要欧盟和中国在相互理解和形成合作意愿的基础上共同努力。¹

¹ 本研究的结果将作为与中欧商界、政界、科学界及民间社会专家举行的研讨会的参考资料。基于本研究的概述和已确定的行动领域，将提出旨在加强欧盟与中国钢铁和汽车行业供应链脱碳方面的建议。

欧盟-中国钢铁和汽车行业脱碳合作潜力



在欧盟和中国，汽车和钢铁行业面临着类似的脱碳挑战，并采取相同的关键方法□□挑战



汽车		钢铁	
挑战	方法	挑战	方法
缺乏主要排放数据和统一方法来计算车辆生命周期排放量 “绿色”材料（如绿色钢材）供应不足 绿色能源供应并非总能满足企业需求	统一车辆生命周期排放量的核算标准 推进电动汽车电池的循环使用	净零钢技术的成熟度低，规模小 需要大量投资来发展脱碳技术的试点和示范	设定雄心勃勃的行业目标 扩大新生产方式的规模并提高其成熟度，特别是氢基钢材
欧盟从中国采购大量钢、铝和电池材料，这些材料流向汽车制造领域，欧洲汽车制造商越来越多地通过本地化供应链扩大在中国的生产规模		2020年，欧盟向中国出口140万吨钢铁，中国向欧盟出口210万吨钢铁	



欧盟钢铁和汽车行业在二氧化碳排放总量中的占比



中国钢铁和汽车行业在二氧化碳排放总量中的占比

钢铁和汽车行业各占全球排放总量的7%-8



到2050年实现气候中和（绿色新政）

到2060年实现气候中和（1+N框架）

欧盟和中国的气候目标

资料来源：该信息图描述了研究结果，更多参考资料见研究报告。

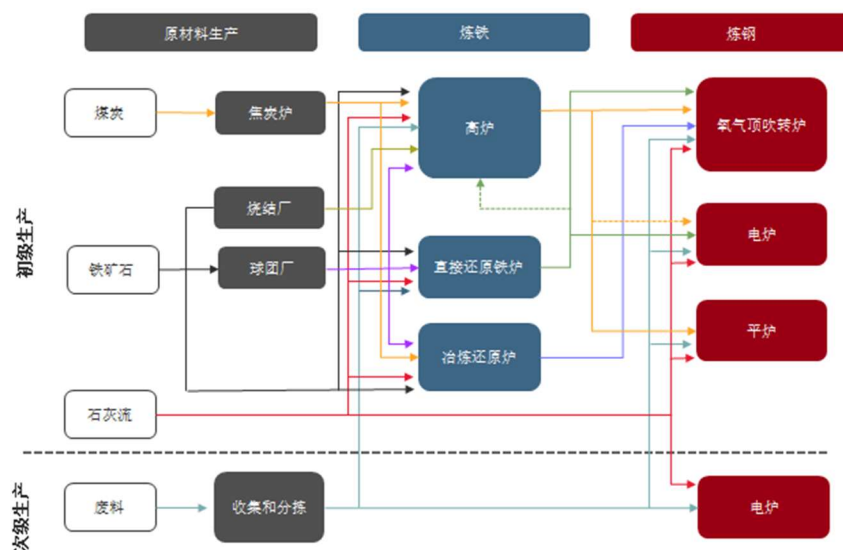
钢铁行业

1. 背景：欧盟和中国的钢铁行业

钢铁是汽车或建筑等制造业供应链中的关键材料。与其他行业相比，钢铁行业的生产过程为能源密集型，因此该行业的碳排在供应链排放中占很大比例（罗兰贝格 2020）。温室气体排放发生在钢铁行业价值链的不同层次：在生产过程中属于范围 1 层次，在能源供应中属于范围 2 层次，在采矿活动及运输和航运中属于范围 3 层次。

钢铁行业的生产过程主要使用两种方法：**初级和次级生产路线**。

图 2：初级和次级生产路线



资料来源：改编自国际能源署 2020，第 27 页

初级生产路线占全球钢铁产量的 95%。煤炭和铁矿石是预加工中所需的原料，通过全球各地的采矿活动获取（Li 等，2022）。煤炭被用作分离铁和氧的还原剂。铁矿石被加工成烧结铁或球团，而煤炭在焦化厂被转化成焦炭。然后，将烧结铁或球团与焦炭一起在高炉中熔化，以生产出生铁（罗兰贝格 2020）。

初级路线可以分为两种主要方法。**高炉-氧气顶吹转炉（BF-BOF）**法使用正在加工的生铁来炼钢。将氧气吹到铁水上以制造钢，最后根据预期用途将钢液倒入各种模具中（欧钢联 2022）。该方法采用回火和涂层技术，通常用于制造长形产品（由钢坯制成），如棒材或线材，也可用于生产扁平钢带（由钢锭制成）。

直接还原铁-电弧炉（DRI-EAF）法也是初级路线的方法之一。该方法使用高品质的直接还原铁（DRI）颗粒，而氢气和一氧化碳则作为主要还原剂。然而，该方法的能耗较高，主要利用天然气来生产还原合成气（国际能源署 2020）。**次级生产路线**约占全球钢铁产量的 25%。它采用不同的生产方法：废金属在带石墨电极的电弧炉（EAF）中加热以炼钢（罗兰贝格 2020）。用这种方法可以生产各种高品质钢，例如基础产品或需要柔性和较小产能的特种钢。

钢铁市场分为不同的**钢材配送和储存**等级：可以直接配送到钢铁使用行业，或者运送到中间商，例如负责为市场提供库存的库存商或贸易商（欧钢联 2021）。不过，在**使用钢材**时，必须区分钢材表面消费量和实际钢材消费量：钢材实际消费量指最终钢材使用量，而由于钢材存在库存，表面钢材需求可能会高得多（欧钢联 2021）。

钢材报废可以采取不同形式：即使钢材达到 35 年的平均产品寿命（Cooper 等，2014），由于废钢重新炼钢能耗只有长流程钢铁生产能耗的 50%，因此它仍然可以用于电弧炉生产（Kong 等，2021）。

在**全球范围**内，钢铁生产扮演着核心经济角色。这主要是因为钢铁生产为其他工业提供关键原料：2020 年，49% 的钢铁原料用于建筑行业，16% 的钢铁原料用于机械工程，还有 9% 的钢铁原料用于汽车行业（steelonthenet 2020）。钢铁生产一直在稳步推进全球化：目前，每年各国之间的钢铁交易量约占钢铁年产量的 25%（国际能源署 2020）。预计到 2050 年，钢铁需求将从目前的 18 亿吨/年增长至 25 亿吨/年（能源转型委员会和 Material Economics 咨询公司），因此行业采用新的低碳和碳减排技术，如氢能或碳捕集与封存，以减少生产过程中的碳排放。不过，这些新技术仍处于试验阶段，尚未大规模使用。此外，越来越多的人认为，废钢使用技术既能降低生产成本，又能减少碳排放。因此，自新冠疫情爆发以来，废钢价格翻了一番，俄乌冲突爆发后（Hoffer 2022），废钢涨价趋势更加明显。

1.1 中国钢铁行业

中国是**全球最大的钢铁生产国**。2020 年，中国粗钢产量达到 10.648 亿吨，而 2019 年这一数字为 9.954 亿吨（世界钢铁协会 2021a）。尽管 2020 年爆发新冠疫情，中国钢铁产量在 2020 年和 2021 年仍有所增长（国际能源署 2021a）。2020 年，中国粗钢产量占世界粗钢总产量的 56.7%（世界钢铁协会 2021a）。在可比水平上，中国 2022 年 3 月粗钢产量为 8830 万吨（世界钢铁协会 2022）。

中国的钢材表观消费量持续快速增长，2020 年达到 9.95 亿吨成品钢（世界钢铁协会 2021a），占当年全球钢材表观消费量的 56.2%（世界钢铁协会 2021a）。高炉-氧气顶吹转炉路线占中国钢铁产量的 90%，其中约 80% 的钢铁由铁矿石制成（国际能源署 2021a）。废钢的使用主要是通过高炉-氧气顶吹转炉路线进行的初级生产的一部分（国际能源署 2021a）。基于电弧炉的次级炼钢仅占 10%（Chen 等，2021）。

在国际层面上，中国**对铁矿石生产所需的钢铁原料进口需求相对较高**，2019 年铁矿石进口量达到 10.691 亿吨（世界钢铁协会 2021a）。由于中国自身采矿活动的储存能力不足，2018 年中国的铁矿石进口量占全球铁矿石贸易量的 67%（DERA 2020）。同年，中国还从澳大利亚进口了 60% 的铁矿石和铁精矿，从巴西进口了 24% 的铁矿石和铁精矿（DERA 2020）。2020 年，中国钢材进口量为 3990 万吨（世界钢铁协会 2021a），主要来自日本（2020 年 500 万吨）和亚洲其他国家（2020 年 2380 万吨）（世界钢铁协会 2021a）。

中国的原料出口率较低，2020 年铁矿石出口量仅为 1470 万吨（世界钢铁协会 2021a）。2020 年中国钢材出口量达到 5140 万吨（世界钢铁协会 2021a），但中国生产的大部分钢材供国内使用，2018 年，次级制造商消耗了 95% 的钢材（国际能源署 2020）。钢材出口地主要为亚洲，不包括日本（2020 年 2750 万吨）和非洲（830 万吨）（世界钢铁协会 2021a）。

中国的主要钢铁行业集群集中在中部和东部地区，其中河北省、江苏省和山西省占 40%（Chen 等，2021）。产量最大的三家钢铁公司分别为中国宝武钢铁集团公司、河钢集团（HBIS）和江苏沙钢集团（Chen 等，2021）。上世纪 80 年代和 90 年代，中国的钢铁行业在进入高速发展阶段之前，主要进行产能建设（Lin 等，2021）。不过，由于现有产能的使用年限相对较低，因此需要定期更换生产设施，通常一个经营周期结束后就要更换（国际能源署 2021a）。生产设施通常在一个经营周期后就要更换，而不是进行大规模翻新，目前中国排放密集型资产的平均寿命仅为 25 年，而国际平均寿命为 40 年（国际能源署 2021a），这可能会阻碍中国钢铁行业的脱碳进程。

中国的钢铁行业已融入整个产业的国内供应链。钢铁对建筑行业（2020年钢材消费量占比为58.3%）、机械行业（16.4%）和汽车行业（5.4%）尤其重要（Chen等，2021）。由于中国建筑行业已经结束经济高峰期，钢铁行业的供应链已逐渐转向汽车行业，后者很可能成为钢材的主要下游消费者（Li等，2022）。此外，钢铁生产一直是中国经济发展的核心，有力助推工业化、城市化和公共基础设施建设（Lin等，2021）。

中国的钢铁经济交流基于“一带一路”倡议框架下的重要陆路和海上运输路线，由于中国与中亚及欧洲的经济交流日益密切，这些路线或将进一步扩大（Maçães，2016）。钢铁行业已转移到中国西部以及参与“一带一路”倡议的国家（经合组织，2018）。此外，从政治角度来说，钢铁行业在全球市场中也至关重要。全球十大钢铁企业中，中国独占7席（世界钢铁协会2021a）。从这个意义上而言，中国在钢铁出口方面控制着全球大部分供应链。

1.2 欧盟钢铁行业

2020年，欧盟²粗钢产量为1.393亿吨，占全球粗钢总产量的7.6%，是仅次于中国的第二大粗钢生产地（欧钢联2021）。与2019年（1.59亿吨）相比，该数字下降了11.5%（欧钢联2020a）。钢材产量下降反映了用钢行业需求的持续转变，这种转变出现于2019年，2020年受新冠疫情影响而有所加剧。德国是最大的钢铁生产国，2020年粗钢产量为3566万吨，占欧洲粗钢总产量的四分之一，其次为意大利，占欧洲的14%，法国和西班牙各占8%（欧钢联2021）。

欧盟使用两种主要的粗钢生产过程：57%的粗钢生产通过高炉-氧气顶吹转炉路线完成，42%的粗钢生产通过直接还原铁-电弧炉路线完成。从钢材质量来看，79.0%的钢材为“非合金碳钢”，即在炼钢时未添加任何元素，16.5%的钢材为“其他合金碳钢”，即在生产过程中添加不同的元素，还有4.5%的钢材为不锈钢，即耐腐蚀钢材（欧钢联2021）。

2020年，欧盟钢铁实际消费量为1.42亿吨，低于2019年（1.58亿吨）和2018年（1.62亿吨）的水平（欧钢联2021）。2019年实际消费量为1.58亿吨，2020年为1.42亿吨。38%的成品钢需求来自建筑行业，16%来自汽车行业，15%来自技术工程行业，14%来自金属制品行业（欧钢联2021）。

炼钢需要两种主要原料：铁矿石和焦煤。2020年，欧盟铁矿石进口总额为81.9亿美元。最大进口伙伴为加拿大（29%）、巴西（20%）、乌克兰（16.7%）、俄罗斯（12.4%）和南非。欧盟铁矿石出口总额为19.6亿美元，最大出口目的地为中国（22%）、沙特阿拉伯（18.2%）和土耳其（11.4%）（TrendEconomy 2021）。焦煤是一种供应风险很高的重要资源，因此欧盟将其列为关键原料。欧盟的焦煤进口依存度高达62%。主要进口来源国为澳大利亚（24%）和美国（21%）（欧盟委员会2020a）。

2020年，欧盟进口2120万吨成品钢材（欧钢联2021），低于2019年2530万吨的进口水平（欧钢联2020a）。在扁材（包括线材、条材、钢轨和棒材以及各类钢结构型材和钢梁）进口方面，主要进口来源国为土耳其（19.6%）、韩国（16.5%）、俄罗斯（14.1%）和印度（11.3%），其次为乌克兰（8%）、台湾地区（中国）（5.7%）和中国（5.7%）。在长材（包括片材和板材）进口方面，主要进口来源国为俄罗斯（19%）、土耳其（16%）和白罗斯（14.4%）。中国为第八大长材进口来源国，占进口总量的5.8%（欧钢联2020a）。

欧盟钢铁保障措施为特定钢材设定了配额，其形式是基于一定时期内传统进口的平均数量的关税配额。如果超过配额，则欧盟将对超出的进口产品征收25%的关税。例如，欧盟以人为操纵低价销售为由，对中国钢铁紧固件（路透社2022）或中国钢制风塔（路透社2021）征收反倾销关税。不过，进口份额低于3%的发展中国家不受这些措施的影响。配额规模经定期调整后已增加5%，增幅达三倍（欧钢联2019b）。

² 该数据包括英国。

2020年，**欧盟出口 1770 万吨成品钢材**（欧钢联 2021），低于 2019 年的出口水平，当年成品钢材出口量为 2050 万吨（欧钢联 2020a）。在扁材出口方面，主要出口目的地为土耳其，占出口总量的 24%，其次为美国（10.8%）和中国（7%）。在长材出口目的地方面，主要贸易伙伴为瑞士（13.2%），其次为加拿大（9.3%）和土耳其（9.2%）。中国是第八大出口国，占出口总量的 3.9%（欧钢联 2020a）。

钢铁是**欧盟经济的主要行业**。欧盟 23 个成员国拥有 500 多个钢铁生产基地，直接就业人数为 33 万人（欧盟委员会 2021b）。钢铁为欧盟经济带来约 830 亿欧元的直接附加值。此外，钢铁行业为汽车、机械、建筑等下游产业提供主要原料，对欧盟经济贡献了超过 1.4 万亿欧元的附加值。钢铁行业 and 主要消费行业合计约占欧洲总附加值的 9%（麦肯锡 2021）。

1.3 欧盟与中国的钢铁贸易关系

欧盟与中国之间正在进行**大规模的钢铁贸易**。2020 年，欧盟向中国出口 140 万吨钢铁，占欧盟钢铁出口总量（1.185 亿吨）的 1.2%。中国向欧盟出口 210 万吨钢铁，占中国 2020 年钢铁出口总量（5140 万吨）的 4.1%（世界钢铁协会 2021a）。然而，新冠疫情导致中国与欧盟之间的钢铁贸易遭遇额外瓶颈，原因是多次封城和物流供应链中断严重影响了两地的钢铁生产（Zhang, 2022）。

总体而言，中国目前是欧盟的第六大钢材出口目的地，2010 年至 2020 年期间，双方贸易量略有增长（欧钢联 2021）。2020 年，欧盟 7% 的扁材和 3.9% 的长材出口中国（欧钢联 2021）。

2010 年至 2020 年期间，中国对欧盟的钢铁出口量总体上有所增长，但在 2015 年至 2021 年期间出现下降（欧钢联 2021）。2019 年，欧盟 10.1% 的进口扁材和所有进口长材的 7.5% 来自中国（欧钢联 2020a），2020 年受新冠疫情影响，该比例有所下降（欧钢联 2021）。事实上，欧盟进口的大部分钢铁产品均来自中国。

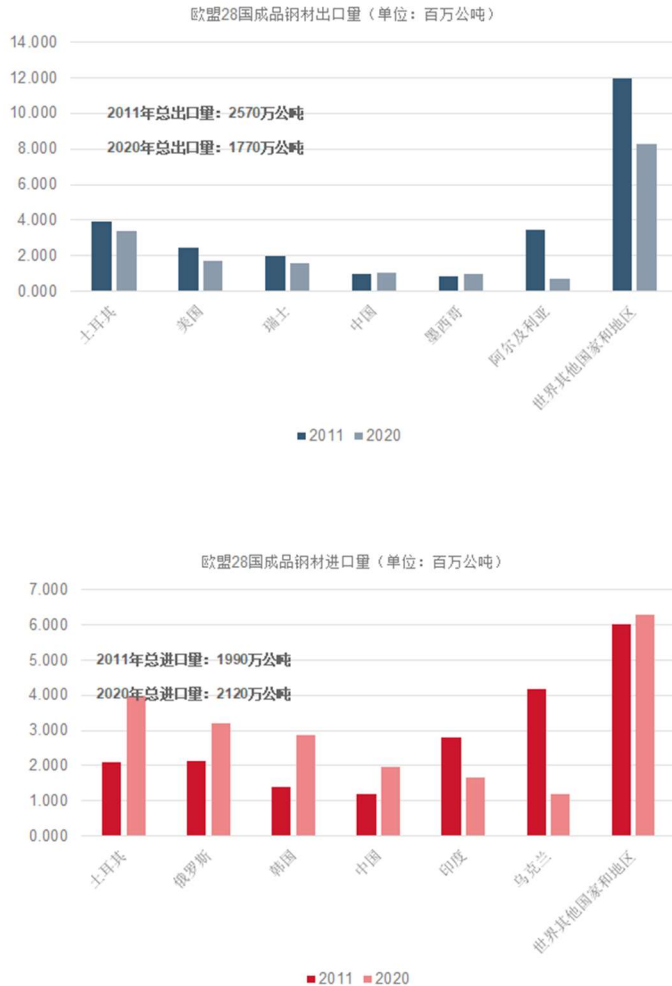
总体而言，**中国对欧盟的钢铁出口**比欧盟对中国的钢铁出口更为显著（DERA 2020）。从这个意义上讲，在钢铁产品进口方面，中欧之间发生钢铁采购竞争的可能性较小：中国的进口量（3790 万吨）低于欧盟（1.284 亿吨）（世界钢铁协会 2021a）。此外，欧盟国家之间的钢铁贸易量为 9580 万吨。不过，中国和欧盟从其他亚洲国家（中国和日本除外）和独联体（CIS）的钢铁进口量都很高（欧钢联 2021）。

由于欧盟和中国都高度依赖铁矿石进口，无法通过国内采矿活动满足自身需求，因此对铁矿石的高需求导致双方产生**竞争**（DERA 2020）。例如，2018 年，中国的铁矿石进口量占全球贸易量的 67%（DERA 2020）。

还有一些竞争**来自对其他国家和地区的钢铁出口**。在一些国家（如印度、沙特阿拉伯、马里、马达加斯加、玻利维亚），欧洲和中国的金属出口商都在积极进行钢铁贸易（DERA 2020）。同时，针对中国向印尼或印度等第三国钢铁制造商提供补贴，作为回应，欧盟已向受益于中国这种资金支持的钢铁产品征收补偿性关税（欧盟委员会 2022c）。尽管如此，中国生产的大部分钢铁都用于国内，2018 年，次级制造商消耗了 95% 的钢铁产品（国际能源署 2020）。原料方面，由于中国国内需求旺盛，铁矿石原料出口这块不太可能出现竞争。中国是铁矿石的主要开采国之一，但铁矿石出口规模较小（2018 年，中国的铁矿石出口量仅占金属矿石出口总量的 0.5%）（国际能源署 2020）。不过，对于其他出口国和销售市场而言，钢铁领域可能存在一些竞争。

另一个竞争领域围绕**废钢**展开：事实上，基于高炉-氧气顶吹转炉和基于电弧炉的钢铁制造商之间存在着激烈的周期性和区域性废钢资源竞争（Chen 等，2021）。由于使用废钢炼钢的能源密集度较低，未来几年中国对废钢的需求或将增长（国际能源署 2021a）。

图 2：欧盟的主要钢铁贸易伙伴



资料来源：欧洲钢铁工业联盟 2021，第 42、48 页。

2. 钢铁供应链的温室气体排放

2.1 全球碳排放

钢铁行业的碳排放占全球碳排放总量的 **7%至 9%**，2020 年该行业二氧化碳排放量为 26 亿吨（世界钢铁协会 2021b）。国际能源署预测，到 2050 年，全球钢铁需求可能会增加三分之一，尽管钢铁行业正努力减少其碳影响，但届时该行业每年的二氧化碳排放量可能达到 27 亿吨（国际能源署 2020）。钢铁行业是碳排放最大的工业门类，主要原因是其煤炭依赖度非常高。平均而言，生产 1 吨粗钢会产生 1.4 吨直接二氧化碳排放及 0.6 吨间接二氧化碳排放（国际能源署 2020）。

不同生产路线的温室气体排放差异很大。

2019 年，**高炉-氧气顶吹转炉路线**占钢铁总产量的 71%，是碳排放强度最高的路线。通过该工艺生产的每吨钢材直接排放约 1.2 吨二氧化碳。此外，据估计，每吨钢材平均有来自外部电力

热力的 1.0 吨二氧化碳间接排放。高炉-氧气顶吹转炉路线的生产约有 90% 基于喷煤，其余部分基于喷吹其他燃料，如天然气或木炭（国际能源署 2020）。

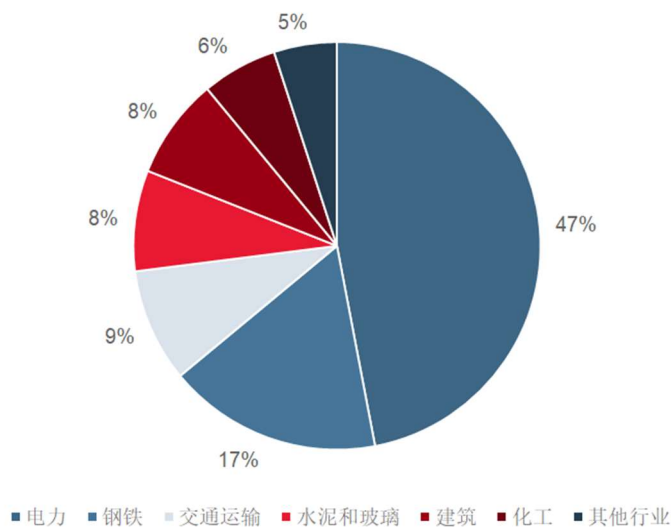
直接还原铁-电弧炉是第二种可能的钢铁生产路径，其排放强度较低。这主要是因为 70% 的直接还原铁-电弧炉生产是基于天然气而非煤炭。基于天然气的直接还原铁-电弧炉路线每生产一吨粗钢，会产生 1.0 吨的直接二氧化碳排放。按照目前全球发电的平均二氧化碳排放强度，即每千瓦时排放 538 克二氧化碳，这一工艺还将产生 0.4 吨二氧化碳的间接发电排放（国际能源署 2020）。由于发电的原因，燃煤直接还原铁-电弧炉路径产生的直接排放和间接排放几乎是燃气直接还原铁-电弧炉路径的三倍（国际能源署 2020）。

基于废钢的电弧炉的钢铁生产排放强度要低得多。每生产一吨粗钢仅产生大约 0.04 吨二氧化碳直接排放。基于废钢的电弧炉路线会产生 0.3 吨二氧化碳的额外间接排放（国际能源署 2020）。

2.2 中国碳排放概况

2017 年，中国钢铁行业的二氧化碳排放量超过 15 亿吨，占国内排放总量的 17%。钢铁是仅次于电力行业的第二大排放行业（落基山研究所 2021）。

图 3：中国各行业碳排放



资料来源：改编自落基山研究所 2021，第 8 页

关于中国铁矿石开采活动产生的温室气体排放数据较少。我们对专家的采访表明，关于采矿业温室气体排放的可用信息总体较少，但随着采矿业向更偏远的地区转移，这些排放可能会有所增加。

中国的钢铁生产主要依赖高炉-氧气顶吹转炉路线，其碳强度是电弧炉生产过程的两倍以上。高炉-氧气顶吹转炉生产过程贡献了 90% 的中国钢铁产量，而基于电弧炉的二级钢铁行业仅占 10%。相比之下，高炉-氧气顶吹转炉的世界平均份额为 73%，远低于中国水平（落基山研究所 2021）。

电炉生产仅占中国粗钢产量的 10%。只有在有足够废金属的条件下，才能使用电弧炉路线。不过，在一国经济发展的早期阶段，当国家基础设施、建筑存量、汽车数量和工业快速增长

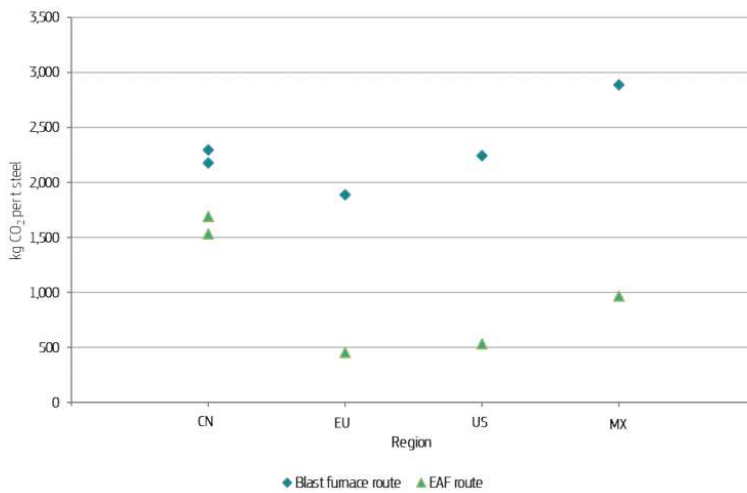
时，由于可用的废金属较少，通常需要使用铁矿石来生产大部分钢铁。中国目前使用的大部分废钢都被混合到初级生产中，这些产品几乎全部通过高炉-氧气顶吹转炉路线进行加工（国际能源署 2022）。

2.3 欧洲碳排放概况

欧洲钢铁行业的二氧化碳排放量占欧盟排放总量的 4%，占工业二氧化碳排放量的 22%。欧洲约 60%的钢铁通过高炉-氧气顶吹转炉路线生产，剩余 40%通过电弧炉路线生产（罗兰贝格 2020）。

欧洲通过高炉-氧气顶吹转炉路线和电弧炉路线生产的每吨钢铁的二氧化碳排放低于中国、美国 and 墨西哥，如下图所示。

图 4：中国、欧盟、美国和墨西哥每吨钢铁的二氧化碳排放量（按工艺划分）



Kg CO ₂ per t steel	每吨钢排放的二氧化碳公斤数
Region	地区
Blast furnace route	高炉路线
EAF route	电弧炉路线

资料来源：欧盟委员会 2021b，改编自弗劳恩霍夫 2017

造成这种差距有以下几个原因。欧盟使用高效高炉和氧气转炉。考虑到直接排放（范围 1）、电力消费产生的二氧化碳等间接排放（范围 2）和原料供应（范围 3），它们平均每生产一吨钢铁就会排放约 2.0 吨二氧化碳。由于欧盟已实现大部分发电脱碳，因此电网电力的排放系数是次级路径（电弧炉）二氧化碳排放的决定性因素（欧盟委员会 2021b）。

在欧洲，钢铁的循环利用水平很高。平均而言，欧盟 85%的废钢得到循环利用。欧盟委员会认为，这种回收利用之所以有效，是因为废钢具有经济价值：欧盟每年产生的 1.31 亿吨废钢价值 300 亿欧元。欧盟成员国的废钢使用量高达 9400 万吨，占欧洲钢铁行业用铁量的一半（欧盟委员会 2021）。

3. 钢铁行业的脱碳方法

无论是中国还是欧盟，要求钢铁行业脱碳的呼声日益强烈。接受本研究采访的中国和欧洲专家认为，必须转向低碳生产路线已成为钢铁生产商的共识。有多个原因造成这一发展趋势：中国和欧盟越来越重视国家和地区碳减排目标；进口国要求钢铁行业实现绿色发展；企业自身设定了碳减排目标，而且企业需要推广自有品牌。建筑、汽车和机械行业对绿色和低碳钢材的下游需求也被认为是绿色钢铁发展的一个重要因素。

中国和欧盟政界和工业界的利益相关方采取雄心勃勃的方法，助力满足对可持续钢铁日益增长的需求。

3.1 政策方针

表 1：欧盟和中国的中央政策方针

	中国	EU
关键战略	<ul style="list-style-type: none"> 1+N 政策体系：2030 年前碳达峰，2060 年前碳中和 《2030 年前碳达峰行动方案》 	<ul style="list-style-type: none"> 《欧洲绿色新政》（“Fit for 55”一揽子计划）：为 2030 年（温室气体排放量减少 55%）和 2050 年（碳中和）设定具有约束力的全欧盟气候目标
进口限制	<ul style="list-style-type: none"> 对钢铁原料实行零进口税 	<ul style="list-style-type: none"> 碳边界调整机制
碳排放交易	<ul style="list-style-type: none"> 钢铁行业未参加全国碳市场，但参与区域碳市场 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟碳排放交易体系下的钢铁行业
绿色金融	<ul style="list-style-type: none"> 绿色金融和工具统一标准和统计系统 示例：绿色债券支持项目目录（2015 年版）；绿色产业指导目录（2019 年版） 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟可持续投资分类法
与企业的合作	<ul style="list-style-type: none"> 中央政府管辖的国有企业 	<ul style="list-style-type: none"> 研发计划（见下文）
循环经济	<ul style="list-style-type: none"> 行业和地区计划 示例：《京津冀及周边地区工业资源综合利用产业协同转型提升计划（2020-2022 年）》 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟生态标签 《生态设计指令》（2009 年版） 国家倡议
标准	<ul style="list-style-type: none"> 中国证监会统一标准 	<ul style="list-style-type: none"> 《能源效率指令》 《可再生能源指令》 行业协会 由世界钢铁协会等行业倡议制定的标准
研发	<ul style="list-style-type: none"> 地方政府、国有企业、大学和公共/私营研究机构之间的合作 	<ul style="list-style-type: none"> 地平线欧洲与“欧洲清洁钢铁伙伴关系” 投资欧盟基金
国际合作	<ul style="list-style-type: none"> “一带一路”倡议：基础设施项目 公司间合资企业 	<ul style="list-style-type: none"> 可持续铝全球协议 欧盟“全球门户”

资料来源：adelphi 根据本章所述政策文件编制的表格

3.1.1 中国的政策方针

作为“1+N”政策体系的一部分，中国**2030年前实现碳达峰、2060年实现碳中和**的重要政治目标最近得到确认：中国国家主席习近平于2020年9月在联合国大会上发表讲话，承诺加快中国的脱碳进程，力争于2030年前实现二氧化碳排放达到峰值、2060年实现碳中和。在2020年12月举行的**气候雄心峰会**上，习近平主席宣布提高2030年的排放强度目标（单位国内生产总值的二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，高于之前宣布的60%-65%）。此外，政府还承诺到2030年，非化石能源占一次能源消费比重将达25%左右，风电和太阳能发电总装机容量达到1200吉瓦以上（中国外交部2020）。

2021年10月，中国政府向《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）提交了最新的**国家自主贡献（NDC）**和中长期温室气体低排放发展战略。以上提出的目标被列为中国国家政策框架的重要工作。2021年3月，中国发布了2021-2025年的“十四五”规划，其中设定了一个具有约束力的目标，即单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，且单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%（《碳简报》2021）。

这些国家自主贡献随后转化为指导中国转型进程的重大政策措施：2021年10月26日，国务院（中国最高行政机关）发布了**《2030年前碳达峰行动方案》**，列出到2030年必须实现碳达峰的十个领域以及43项关键任务，涵盖钢铁、电力、工业、建筑、交通运输、循环经济、碳汇等领域。该方案包括钢铁行业脱碳的详细政治计划，内容包括促进钢铁行业结构优化和清洁能源替代，推进非高炉炼铁技术示范，提升废钢资源回收利用水平以及推行全废钢电炉工艺。该方案还要求深化钢铁行业供给侧结构性改革，推广先进适用技术，深挖节能降碳潜力，鼓励钢化联产，探索开展氢冶金，二氧化碳捕集利用一体化等试点示范，推动低品位余热供暖发展（国务院，2021）。

2021年11月15日，中国工业和信息化部发布了《“十四五”工业绿色发展规划》，进一步落实了国家碳达峰行动方案。该规划的目标是到2025年，钢铁、有色金属和其他行业的单位工业增加值二氧化碳排放相比2020年降低18%（Li等，2022）。

在中国钢铁行业的脱碳过程中，**可再生能源的可得性**起着重要作用。2021年，中国出台了将影响国内能源市场的新政策。为应对2021年出现的**能源供应紧张情况**，中央政府实施了行政和财政措施，包括改革煤电定价体系以增加煤炭供应。除了中央政府的减排目标外，还有其他原因导致能源危机：煤炭供需不匹配；新冠疫情导致工业能源需求增加（《明镜》周刊2021）。为支持煤炭开采和电力行业，政府出台了一项措施，计划提供2000亿元人民币（313亿美元）贷款，支持煤炭清洁高效利用，提升能源安全保障能力（Tsang，2022）。除该计划外，政府还推出一项低成本贷款计划，以支持低碳项目，包括安装可再生能源装置、智能电网和碳捕获技术安全（Tsang，2022）。

此外，煤电企业现在必须通过电力市场售电，且没有价格保证。它们还可将部分成本转嫁给工商业用户。从长远来看，这种新的定价机制可能会**使煤炭相对太阳能和风能发电的竞争力下降**。放宽能源总量控制目标可能是另一个增加可再生能源需求的措施，某些可再生能源增量将不计入各省的能源消费总量目标。国家发改委还明确表示，可再生能源消费不纳入能源消费总量控制（Tsang，2022）。

中国的目标是加快各省市之间的可再生能源交易。近年来，可再生能源的产能有所扩大。据中国电力企业联合会预测，到2022年底，中国的可再生能源发电累计装机容量将达到1.3太瓦，占全国总装机容量的50%（Lin，2022）。目前，可再生能源电力可以通过直接交易（绿色电力证书）或在试点市场进行交易。北京计划到2030年，**通过设立全国统一的电力市场体系来建立全国性标准**，该交易体系包括省级、跨区域和全国性交易计划。此举将加快中国各省市之间的低碳能源交易。此外，国家发展与改革委员会认为，该体系能够降低市场参与者的风险（Lin，2022）。

2022年3月，工业和信息化部、国家发展和改革委员会、生态环境部发布**《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》**，对中国钢铁行业提出明确的碳减排目标。指导意见要求到2025

年，80%以上钢铁产能完成超低排放改造，吨钢综合能耗降低 2%以上，水资源消耗强度降低 10%以上，确保 2030 年前实现碳达峰（国家发改委 2022）。

中国证券监督管理委员会制定了上市公司气候与环境信息披露的统一标准；金融主管部门已开始制定统一的绿色金融和工具标准和统计体系，如《绿色债券支持项目目录（2015 年版）》或《绿色产业指导目录（2019 年版）》。绿色金融标准为气候和环境信息披露奠定了基础。中国企业必须根据 2003 年发布的信息披露办法、原环境保护局发布的《环境影响评价法》（EIAL 2002）以及后来增加的《环境影响评价公众参与办法》（2006 年）来披露信息并让公众参与（PowerShift 2021）。

上述政策方针会对中国的钢铁行业产生直接影响。原因是中国的**国有企业（SOE）**拥有自己的管理架构。由于国有企业的政治影响力较大，行业专业知识丰富，它们会密切参与决策过程。中央国有企业（即央企）直接受中央政府管辖，行政级别很高。有影响力的国有企业的首席执行官通常为部长级，这意味着他们比地方官员拥有更大的权力。接受本研究采访的专家认为，中国政治和经济利益相关者之间的密切关系能够促进钢铁行业脱碳和低碳技术发展。2020 年，中国十大钢铁集团的钢铁产量占全国钢铁总产量的 63%。不过，未来生产将集中在最大的企业，国有企业的收购也将增加（Chen 等，2021）。中国国有企业更加遵守国家政策，并在整个钢铁行业中发挥主导作用。例如，在习近平主席宣布中国的碳中和目标后，宝武、河钢集团和鞍钢集团等国有企业也宣布了各自的碳达峰计划（Chen 等，2021）。在地区层面，国有企业还与地方政府、大学以及公共和私营科研机构密切合作，以促进行业技术研发，例如绿氢领域（Brown 和 Grünberg，2022）。

长远规划方面，中国还在推行与**循环经济**相关的政策。事实上，中国的回收利用体系正在不断提高效率，并倾向于在全国范围内加强标准制定（Chen 等，2021）。中国的国家政策支持这一趋势。例如，中国制定了《京津冀及周边地区工业资源综合利用产业协同转型提升计划（2020-2022 年）》，以建立原料和废钢的跨行业回收链（Chen 等，2021）。这种强化后的回收利用过程与钢材和基础设施寿命的延长以及废钢回收率的提高密切相关：由于二氧化碳排放减少，对通用钢的需求持续下降，而次级钢的需求却在增加（Chen 等，2021）。循环经济和再生钢铁的概念正在成为主流，并得到不同政策和强化标准的支持（Chen 等，2021）。

尽管钢铁行业未被纳入**全国碳排放权交易体系（ETS）**，但钢铁企业已经积极参与了八个区域碳排放权交易市场，并有望在不久的将来加入全国碳市场（Li 等，2022）。通过这种方式，可以在国家层面上对钢铁企业的排放进行监管。受访专家强调，钢铁行业未来可能被纳入全国碳市场，与区域碳市场的链接可能会加强中国的碳定价。

加强**国际合作**是中国钢铁行业低碳转型框架的另一个组成部分。尽管中国钢铁行业的业务仍然集中在国内，但“一带一路”倡议的成员国持续开展大型基础设施项目。预计未来几年这一趋势将更加明显，从而带动中国钢铁需求和直接出口的增长。许多钢铁制造商还可能扩大国际业务，进一步参与钢铁合作项目，改进钢铁出口路线，并在中国推广更环保的钢铁生产方法（Chen 等，2021）。

总而言之，在需求侧适应中国钢铁生产脱碳的过程中，中国的政策制定者发挥着主导作用。通过集体排放目标设定政治框架、推进回收利用过程和参与国际合作，为钢铁行业创造一定程度的可预测性，并能加强供应链的跨行业协同效应。

3.1.2 欧盟的政策方针

与中国不同的是，欧盟的钢铁行业是私有化的。不过，该行业受不同政策框架和需求预期的影响和驱动。欧洲钢铁行业的脱碳进程受各种政策行动的影响。这对欧洲利益相关者尤为重要，有助于实现《巴黎协定》的目标和欧盟自身的气候目标（布鲁塞尔自由大学 2018）。

在欧盟，欧盟委员会于 2021 年 7 月提出“**Fit for 55**”一揽子计划，为整个欧盟设定了具有约束力的新气候目标（到 2030 年，温室气体排放较 1990 年水平减少 55%；到 2050 年实现净零排

放)。为实现这些宏远目标，欧洲的排放水平需要在未来几十年大幅下降。目前，欧盟正努力加强和扩大气候、能源及交通运输立法（欧洲理事会 2022）。

“Fit for 55”一揽子计划的核心是实施**欧盟碳排放交易体系（EU ETS）**和**碳边界调整机制（CBAM）**。这两份立法文件旨在推动包括钢铁行业在内的欧洲工业脱碳。目前，欧盟的共同立法者正在欧洲议会和理事会探讨这些问题。

首先，欧洲钢铁行业被**欧盟碳排放交易体系**覆盖。欧盟碳排放交易体系被视为减少能源和制造业（包括钢铁行业）温室气体排放的重要工具。它建立在“总量控制与交易”原则的基础上，该原则对欧盟碳排放交易体系覆盖的设施可以排放的温室气体排放总量设定了上限，并允许设施购买或获得可以交易的排放配额。设施必须提交足以覆盖其所有排放量的配额。另一方面，如果某个设施减少排放，则可以使用剩余配额来满足其未来的需求，或者与其他没有足够配额的设施进行交易。根据“Fit for 55”一揽子计划，到 2030 年，欧盟碳排放交易体系所覆盖行业的温室气体排放量将比 2005 年的水平减少 61%，欧盟将通过减少配额总量来实现此目标。减少钢铁行业的配额将作为一种激励措施，以加速向绿色钢铁转型。自 2005 年欧盟碳排放交易体系启动以来，钢铁行业一直参与总量控制与交易计划，但欧盟碳排放交易体系允许钢铁行业获得免费配额。作为“Fit for 55”一揽子计划的一部分，这些免费配额将被逐步取消。从这个意义上讲，碳市场在一定程度上推动了脱碳进程，未来几年碳排放配额数量将大幅减少（Li 等，2022）。通过这种方式，欧洲需求侧构建了一个可预测的监管框架，将全球竞争的不利影响降至最低（欧钢联 2019a）。事实上，正如本研究的专家访谈所揭示的，钢铁行业目前正处于竞争异常激烈的环境中：钢铁产量长期过剩，工厂目前往往处于关闭状态，因此投资脱碳对于投资者来说存在很大风险。

碳边界调整机制作为“Fit for 55”一揽子计划的一部分而启动，目的是在欧盟提高气候变化目标时减少碳泄漏风险。碳泄漏是指由于严格的气候政策，企业将生产转移到气候措施相对宽松的国家。碳边界调整机制最初将适用于被认为具有高碳泄漏风险和高碳排放风险的商品进口，如钢铁、铝、化肥、电力和水泥。碳边界调整机制旨在激励非欧盟国家的生产商实现绿色生产，使其与欧盟目标保持一致。根据政策草稿，如果商品被欧盟碳市场覆盖，则该商品的欧盟进口商必须购买相当于该商品在欧盟内已支付碳价的配额。配额价格将由欧盟碳排放交易配额的拍卖价格确定。因此，欧盟的目标是确保进口商支付与国内生产商相同的碳价，从而保持其行业竞争力，包括钢铁行业。欧盟委员会认为，碳边界调整机制旨在解决减少欧盟温室气体排放的问题，同时避免这些减排努力被欧盟以外的排放增加所抵消。这可能导致全球绿色钢铁需求上升（欧盟委员会 2021c）。根据现行政策，欧盟对进口的多种中国钢材征收反倾销税和关税（EURACTIV 和路透社 2020）：它们特别关注中国钢铁行业的补贴支持及反倾销措施。碳边界调整机制政策可以补充或部分取代目前对中国进口钢材征收的关税。

“Fit for 55”一揽子计划中包括的其他政策也将导致对绿色钢材的需求增加，并推动**共同标准的进一步制定**。关于新能效指令（《**能源效率指令**》）的提案将要求欧盟国家共同确保到 2030 年，能耗相比 2020 年参考情景预测的能耗额外减少 9%（欧盟委员会 2022b）。

“Fit for 55”一揽子计划还包括一项《**可再生能源指令**》修正提案，新目标是到 2030 年，可再生能源占最终能源消费的 40%，当前目标是 32%（欧盟委员会 2022d）。

通过**支持更绿色钢铁供应链的研究、创新和转型**，欧盟进一步加强新技术的使用。研发领域投资有助于建立行业路线图及可行的行业标准，并促进投资决策（德国能源署 2022）。由于此类投资计划会对劳动力市场转型和区域结构变化产生直接影响（德国能源署 2022），欧盟在这一领域的资金支持选择呈多样化特点（欧钢联 2019a）。在地平线 2020 计划及煤炭和钢铁研究基金的支持下，地平线欧洲计划建立了欧洲清洁钢铁伙伴关系”。计划将提供约 7 亿欧元资金，用于碳中和钢铁生产突破性技术的创新活动（欧盟委员会 2021b）。投资欧盟基金（InvestEU Fund）允许对能源密集型行业进行投资（欧盟委员会 2021）。最后，欧盟碳排放交易体系的创新基金为钢铁行业的研究和创新提供了额外资源。例如，该基金正在支持一个氢基炼铁和炼钢的完整价值链试点项目，覆盖从采矿到无化石能源炼钢的所有环节（瑞典钢铁集

团 2022)。这样，欧洲政策制定者通过几个低息投资工具支持低碳转型。这些工具既可供钢铁生产商自己使用，也可供科研机构等其他私人 and 公共行为主体使用。

此外，通过**拉动对气候友好型产品的需求**，例如整个供应链的透明碳足迹，可以缓解透明度监管缺失的问题。欧洲在该领域的行动还通过国家倡议得到补充。例如，荷兰的目标是到 2050 年实现全面循环经济，到 2030 年将金属、矿物和化石原材料的消耗减少 50% (Reckordt 2022a)。法国、芬兰和荷兰也计划将建筑标准扩大到全生命周期排放。欧盟委员会也可提出相应的建议 (Chen 等, 2021)。标准制定工作也得到责任钢 (ResponsibleSteel) 或零排放钢 (SteelZero) 等行业协会的支持，这些协会促进对话并支持建立机制 (Li 等, 2022)。目前关于企业可持续发展尽职调查的欧洲指令提案也预计将纳入气候义务 (欧洲企业正义联盟 2022)。

欧盟生态标签等标签或 2009 年《生态设计指令》为进一步制定与产品整个生命周期相关的可持续性标准奠定基础 (德国能源署 2022)。它们还朝着循环经济的方向发展，能够通过扩大生态设计指令来加强循环经济，例如通过量化产品或数字产品护照的环境影响 (德国能源署 2022)。有批评称，欧洲内部市场缺乏统一的规则和标准，阻碍了循环经济在欧洲的推广 (德国能源署 2022)。还可以通过扩大数字化来强化标准制定工作，例如通过覆盖供应商、提供商和消费者之间市场传播的标准化数据交换 (德国能源署 2022)。这项工作由多个项目共同推动，例如由世界可持续发展工商理事会 (世界可持续发展工商理事会, 2021)。

在**国际层面**，欧盟也一直在通过多种机制促进绿色钢铁生产。例如，欧盟与美国在钢铁和铝贸易方面的谈判取得了进展。《可持续钢铝全球安排》侧重于生产方法及其脱碳的共同标准，主要与绿色钢铁及铝有关。该协议也向美国和欧盟以外的其他国家开放，这些国家旨在参与制定低碳金属贸易的共同标准 (欧盟委员会 2021d)。

为应对钢铁行业对绿色能源的需求，欧盟在能源伙伴关系和欧盟全球门户战略框架内扩大了对**气候中和氢能的国际推广** (见供应侧)。根据其氢能战略，欧盟打算加强与东部和南部邻国的伙伴关系。2020 年成立的欧洲清洁氢能联盟 (European Clean Hydrogen Alliance) 提出与西巴尔干地区、乌克兰及非洲联盟的合作计划 (德国能源署 2021)。欧盟也可从澳大利亚和智利等地区进口氢能 (德国能源署 2021)。这些转型伙伴关系需要建立联合基础设施项目及签订共同经济协议，以便制定共同的国际标准，提升经济连通性 (德国能源署 2022)。由于绿色能源的可用性更高，因此欧盟希望这些生产国将受益于更有利的生产条件和更低的成本。

金融行业也有助于增加对绿色钢铁的需求。可持续金融指金融行业在做出投资决策时会考虑环境、社会和治理 (ESG) 因素，从而对可持续经济活动和项目进行长期投资的过程。

2020 年 6 月 22 日，欧盟通过了一项关于可持续金融的立法提案，其中包括关于建立推进可持续投资框架的法规 (**欧盟分类法**)。该法规的主要目的是确定“可持续投资”概念，以引导资本流向可持续投资。该分类法涵盖钢铁制造业，条件是生产过程相关的温室气体排放量 (根据欧盟碳排放交易体系基准使用的方法计算) 低于相关欧盟碳排放交易体系基准的数值。当温室气体排放量低于上述阈值时，任何新钢铁生产，或新钢铁与回收钢铁生产的组合均被视为符合条件。此外，对于任何使用电弧炉生产的钢铁，如果最终产品中有 90% 以上的铁来自废钢，均被视为符合条件。这种情况下，不适用其他阈值 (欧盟委员会 2021a)。

总而言之，欧盟的需求侧方法涵盖了欧盟碳排放交易体系、研发资金支持、共同标准和国际合作等碳政策。这些方法与钢铁行业的密切沟通相辅相成。欧洲钢铁生产完全脱碳的目标涉及欧盟内部和外部的多个利益相关者，这些利益相关者可能会在增强新技术方面实现协同效应。

3.2 行业方针

中国和欧盟的工业部门已采取多项措施，以推进钢铁行业及相关供应链的脱碳进程。尽管钢铁行业设定了有雄心的碳减排目标，但低碳技术尚处于早期阶段 (Kong 等, 2021)。钢铁行业大都使用高炉-氧气顶吹转炉法，该方法为碳密集型，每生产一吨钢铁会排放约 2 吨二氧化碳

(Kong 等, 2021)。然而, 使用废钢的电弧炉炼钢或基于氢能的直接还原铁方法等工艺代表着行业正为减少温室气体排放做出初步努力。

3.2.1 中国的行业方针

中国高炉机组的平均使用年限约为 13 年, 即不到这些设备典型寿命的三分之一, 需要进行更详细的研究方能了解**中国钢铁行业的现状**。由于使用年限较短, 中国钢铁行业替换高碳资产的成本可能更高, 原因是生产方式的快速转型可能会使原有的生产路线变得多余和不经济 (Chen 等, 2021)。中国的高炉产能集中在中部和东部地区, 特别是占全国高炉产能 40% 的河北省、江苏省和山西省 (Chen 等, 2021)。电弧炉产能主要分布在中国西南地区, 包括四川省、云南省和广东省 (Chen 等, 2021)。

中国于 2020 年 9 月宣布的双碳目标向本国钢铁行业发出了积极的发展信号 (Lin 等, 2021)。中国钢铁行业已做出积极回应, 并实施了一些关键脱碳措施: 宝武钢铁集团、河钢集团、中国冶金工业规划研究院等央企计划到 2050 年实现碳中和目标, 并制订了具体行动计划 (Chen 等, 2021)。例如, 宝武钢铁集团宣布其目标是 2023 年力争实现碳达峰, 2035 年力争减碳 30% (Lin 等, 2021)。河钢集团甚至在 2021 年 3 月发布《绿色低碳发展行动计划》后, 计划 2022 年实现碳达峰 (Lin 等, 2021)。

预计脱碳主要通过**引进新技术**来实现, 新技术可分为二氧化碳管理技术和直接避免二氧化碳排放技术 (Lin 等, 2021)。在**二氧化碳管理**方面, 中国已经开始实施碳捕集、利用与封存 (CCUS) 等技术, 并计划从本世纪 20 年代末开始推广。迄今为止, 碳捕集、利用与封存技术已经用于小规模示范 (见良好实践方框), 但降低成本可能会扩大碳捕集、利用与封存的应用规模 (Lin 等, 2021)。

氢基炼钢被认为是**直接避免碳排放**的关键解决方案 (Chen 等, 2021)。宝武、酒泉钢铁、建龙钢铁等公司已与国内外合作伙伴在氢基炼钢领域启动合作计划, 这可能成为初级路线的一部分 (Chen 等, 2021)。宝武钢铁集团还在进行一个在高炉中加入氢气的试点项目, 该项目可能会减少 30% 的碳排放 (即使中国主要使用从煤中生产的灰氢) (Lin 等, 2021)。向可再生能源的转型可能提升绿氢的生产份额, 从而进一步提高脱碳率。

此外, 中国钢铁制造商已将**能源效率和节能改造**列入议程。在追求脱碳目标的过程中, 中国钢铁行业主要关注节能减排 (Lin 等, 2021)。2000 年以来, 中国吨钢综合能耗下降了约 40% (Chen 等, 2021)。能源技术和能源管理的改进导致能源强度下降, 特别是在 2010 年至 2019 年期间, 部分程度上归因于与生产控制相关的政策。中国提高能效的关键方法包括使用更高效的加工设备, 提升副产品和废物回收率, 以及采用更高效的铸轧方法 (Lin 等, 2021)。因此, 要达到全球先进的技术水平, 除了中国供应侧已经实施的产品和生产工艺创新外, 还需要更多的技术创新 (Lin 等, 2021)。某些技术的突破和技术成熟, 如干熄焦 (CDQ), 在提高能效方面发挥了核心作用 (Lin 等, 2021)。

此外, 由于废钢具有巨大的减排潜力, 中国钢铁制造商已经考虑**利用废钢资源**, 并着力发展电弧炉炼钢的可能性 (Lin 等, 2021)。总体而言, 中国钢铁制造商的废钢资源消耗总量从 2016 年的 9000 万吨增至 2021 年的 2.3 亿吨。这意味着废钢消耗量平均每年增长 9.8%。尽管中国的废钢消耗量不断增长, 但与国际水平相比数量仍然很低 (Chen 等, 2021)。中国企业不断增加废钢进口量, 从而延长钢铁供应链: 2025 年再生钢铁原料的进口量将达到约 1000 万吨, 2030 年将达到 2000 万吨 (Chen 等, 2021)。不过, 废钢的主要供应来源为返回废钢 (在炼钢过程中产生) 和社会废钢 (在下游产品中产生), 数量在 2016 至 2020 年间飙升 (Lin 等, 2021)。无论在国内还是全球范围内, 早期使用的钢材逐渐达到报废状态, 从而向市场释放越来越多的可用废钢资源。通常, 电弧炉法的低碳强度能够极大地推动钢铁供应链的整体脱碳 (Chen 等, 2021)。由于废钢能够大幅减少提取的原料数量, 因此利用废钢进行炼钢可以降低供应链的总排放量。

一般来说，电弧炉炼钢比例在粗钢产量达到峰值的中后期开始上升：大约需要 10 到 15 年时间可将这一比例从总产量的 10% 提升至 20%（Chen 等，2021）。中国对废钢需求的激增可能会继续支持这一转型，从而扩大中国在不同国家的进口市场。

据估计，到 2050 年，电弧炉法的生产份额将从 10% 增加至 60% 左右（Chen 等，2021）。正如接受本研究采访的专家所指出的，到目前为止，**供应链上的材料效率潜力**尚未得到充分开发（Lin 等，2021）。事实上，材料效率战略可以帮助降低全球钢铁需求的增长幅度，同时提供相同的材料服务（国际能源署 2020）。2040 年后，随着国际市场对绿色钢铁的需求增加，中国或将成为绿色钢铁的主要出口国，并在国内和国际层面扩大其作用（Chen 等，2021）。然而，国际能源署的政策情景（国际能源署 2020）表明，由于印度的产量增加了两倍之多，以满足旺盛的国内需求，中国在全球产量中的主导地位将有所下降，占比将从目前的略高于 50% 下降至 2050 年的 35%。目前，中国对高耗能的高炉-氧气顶吹转炉炼钢路线的依赖延缓了脱碳进程（Lin 等，2021）。接受我们采访的专家表示，由于成熟度较低，脱碳技术尚未覆盖中国钢铁行业的广泛产能。

3.2.2 欧盟的行业方针

欧盟正试图将自身定位为绿色钢铁替代品的领导者，其推出一系列创新的企业举措，来替代传统的高排放生产路线。例如，瑞典钢铁生产商 Hybrit 计划于 2026 年交付全球第一批不使用煤炭生产的“绿色钢材”（《卫报》2021）。不过，在大规模采用脱碳技术前，仍然需要对其进行改进（Fennell 等 2022）。

欧盟工业界已认识到积极促进**钢铁供应链脱碳**的重要性。自 1990 年以来，欧盟钢铁行业的排放量已经下降 26%，主要得益于能效提高及回收利用率提升（布鲁塞尔自由大学 2018）。据估计，在没有技术发展的情况下，“基准”情景将导致 1990 年至 2050 年期间温室气体排放量减少 10%（欧钢联 2019a）。开发一条整合多种生产技术的“当前项目”路径，可能使二氧化碳排放量到 2050 年减少 74%。不过，这需要建立完全碳捕集的“闭环系统”，否则会降低减排量。为进一步减少核心环节和下游的剩余排放，需要无二氧化碳的能源（欧钢联 2019a）。通过绿色电力和绿色气体应用与“替代路径”相结合，可能实现高达 95% 的减排。

欧盟已经确定和评估了几项可能立即带来收益的技术：例如，**保温改进、锅炉改进和热交换器**是欧盟钢铁生产的简单解决方案（Fennell 等，2022）。尽管欧盟钢铁行业已经确定多项技术，但它们的可用性和潜力差异极大（罗兰贝格 2020）：主要方案包括使用氢能、碳捕集、使用和储存以及还原铁矿石的替代方法。

氢基直接还原工艺和电化学还原法可以取代焦炭或天然气作为铁矿石的替代还原剂（罗兰贝格 2020）。例如，对欧洲钢铁行业而言，**氢基竖炉直接还原法**的潜力非常大，并且就绪状态相对先进。不过，在开发该方法时，需要考虑到目前对铁矿石球团的依赖以及因进口氢能而导致的高昂运营成本。（欧洲议会，2021b）。HYBRIT（突破性氢能炼铁技术的英文缩写）是 SSAB、LKAB 和 Vattenfall 成立的合资企业，这个领先的项目宗旨是在炼钢过程中用氢气替代煤炭（HYBRIT 2022）。另一种基于氢能的炼钢法是**氢基直接还原铁-流化床**：这种情况下，还原发生在流化床而非炉中（罗兰贝格 2022）。使用绿氢生产直接还原铁可以减少 97% 的排放，但目前为止其排放是使用“灰”氢的 2.5 倍（Fennell 等，2022）。

碳捕集、利用与封存（CCUS）技术具有易于安装的潜力，也可与其他行业共享基础设施（罗兰贝格 2020）。不过，碳封存仍然被认为成本高昂、能源密集（Fennell 等，2022）。事实上，这项技术尚未得到充分利用，需要 99.9% 的纯二氧化碳气流来降低压缩和存储气体成本，这需要其他技术来更好地分离二氧化碳（Fennell 等，2022）。此外，碳捕集、利用与封存还需要与其他技术结合，例如使用生物质而非化石燃料，或者改善储存地点的保温性能。位于瑞典吕勒奥的 Swerea Mefos 设施正在运营一个碳捕集、利用与封存试点单元（欧洲议会，2021b）。德国钢铁制造商蒂森克虏伯也于 2018 年启动了 Carbon2Chem 项目。Carbon2Chem 是一个碳捕集与利用项目，重点是再利用二氧化碳及其他气体，以生产氨和甲醇等化学品（欧洲议会 2021b）。

生物质技术可能有助于使用木炭或其他形式的生物质来取代煤和焦炭。生物质能够部分取代化石燃料、天然气或替代焦炭（罗兰贝格 2020）。它们的优势在于可用性和效率极高。然而，生物质的使用可能导致与农业土地需求的冲突，构成高社会风险（Fennell 等，2022）。

此外，**等离子直接炼钢**和**电解工艺**的研究一直在进行中，尽管它们具有高效的优势，但技术仍处于初始阶段，尚无法保证商业可行性（罗兰贝格 2020）。因此，氢基直接还原铁技术已被欧洲钢铁制造商认定为最有前景的脱碳技术（罗兰贝格 2020）。

欧盟正在关注另外两项炼钢工艺解决方案，即**使用更少原料或循环利用废钢**（Fennell 等，2022）。目前，次级路线占欧洲钢铁产量的 40%，废金属在带石墨电极的电弧炉（EAF）中加热以生产钢（罗兰贝格 2020）。融合更多废金属是二氧化碳减排战略的核心部分（欧钢联 2019a）。此外，根据现有的回收利用技术，也可能涵盖报废产品或应用中的废料。总体而言，使用废电弧炉（EAF）和其他“替代路径”或可助力钢铁行业减少高达 80% 的二氧化碳排放。

不过，在绿氢领域，不断上涨的天然气价格可能会使可持续氢能较预期更快地具有竞争力。根据彭博新能源财经分析师的计算，在欧洲、中东和非洲的部分地区，绿氢已经比从天然气中提取的“灰”氢更加便宜（Witsch，2022）。

良好实践范例

欧盟和中国企业积极参与技术方法的开发工作，以应对钢铁供应链的脱碳挑战。大量良好实践正在推动钢铁生产过程脱碳，并影响更多下游产品的碳足迹。

在中国，利用钢铁尾气是当前关于钢铁行业减排的关键项目的核心（国际能源署 2021a）。中国钢铁生产商首钢集团、美国碳回收公司朗泽技术（LanzaTech）和新西兰投资人唐明集团（TangMing）共同组建了一家合资企业，专注于将高炉炼钢过程中产生的废气转化为生物燃料。位于河北省曹妃甸京唐炼钢厂的首套工业设备于 2018 年在中国投产，2018 年至 2021 年期间生产了 6 万吨乙醇并上市销售。炼油和炼钢过程中产生的废气被发酵成乙醇，并通过化学方法转化为乙二醇。然后，循环利用钢厂废气中的乙醇以低碳燃料混合物的形式被直接在道路运输市场出售，或者用于制造瓶子或 T 恤等 PET 产品。这项技术可以减少大约 10 万吨二氧化碳排放（《国际生物质能源杂志》2021）。高炉煤气中有价值的元素应用于其他行业的能源环节，给供应链带来与炼钢相关的新机遇（国际能源署 2021a）。

此外，使用氢能是中国钢铁制造商推进脱碳的核心战略。中国第二大钢铁公司河钢集团一直在计划并开始与意大利特诺恩公司（Tenova）在河北合作建设一座氢基炼钢厂。其目标是在未来几年投产 120 万吨钢，从而更新传统冶金技术。整合太阳能和风能等绿色能源将是绿氢生产的核心。最后，生产每吨钢铁仅排放 250 公斤二氧化碳（Zhong 2020）。

欧盟方面，使用氢气进行钢铁生产是目前在钢铁行业测试的关键技术之一。自 2019 年以来，德国钢铁生产商蒂森克虏伯一直尝试往高炉中注入氢气，以取代部分注入的煤炭，目前已完成多个测试阶段（蒂森克虏伯，2019）。这家总部位于杜伊斯堡的钢铁制造商利用高炉中的电解氢混合物，对正在进行的高炉作业中的氢气使用情况进行了一系列测试。这项技术旨在可持续地减少钢铁生产的二氧化碳排放量：到 2030 年，公司内部生产和过程的排放量（范围 1 排放）和能源外购的排放量（范围 2）将减少 30%。使用喷煤会排放二氧化碳，而使用氢气则会产生水蒸气。这意味着，在生产过程的这一阶段，二氧化碳排放量最多可减少 20%。作为州政府发起的 IN4climate.NRW 倡议的一部分，该项目得到德国钢铁工程师协会运营研究所（BFI）的科学支持。

最后，再生钢铁的使用和融合构成欧洲钢铁行业减少钢铁供应链二氧化碳排放量的一项主要战略。斯洛文尼亚钢铁集团 SIJ 就是一个范例，其生产基地位于耶塞尼采（Jesenice）和拉夫内纳·科罗什凯姆（Ravne na Koroškem）。由于该公司只使用废钢，并努力提高能效，符合欧盟分类法的要求，因此碳足迹特别低。作为 2.3 亿欧元债务融资的一部分，欧洲复兴开发银行为 SIJ 集团提供 2500 万欧元的资金支持，以推进该公司的刀具、棒材和卷材专业生产进一步脱碳（欧洲复兴开发银行 2022）。

4. 欧盟和中国钢铁行业脱碳面临的主要挑战

4.1 欧盟面临的主要挑战

要减少钢铁行业的排放，最简单的办法就是提高生产效率。不过，欧盟钢铁生产商的效率已经名列全球前茅，并几乎将效率提升至最高水平。这基本上锁死了进一步提高能效以降低二氧化碳强度的空间。因此，要实现大幅减排，达成欧盟的减排目标，必须进行大规模行业转型。不过，新生产方法在成熟度和规模方面目前尚处于试验阶段，预计到 2040/2050 年才能实现工业规模。欧洲钢铁行业正将目标对准三条主要的低碳钢铁生产路径，即电气化、氢能利用以及碳捕集、利用与封存。然而，这些技术大多尚处于中等成熟水平，这也是钢铁行业脱碳面临的关键挑战之一。

表 1：主要低碳炼钢技术的技术就绪水平（TRL）*

路径	技术	技术就绪水平	欧盟研发项目
电气化	增加循环利用路线（电弧炉）	成熟	
	铁矿石电解（+电弧炉）	4	Siderwin
氢	H-DRI：氢直接还原（+电弧炉）	5	Hybrit、Salcos、tkH2steel
	氢等离子体熔炼还原	4	
碳捕集、利用与封存	综合熔炼工艺与碳捕集和封存相结合	6-7	Hisarna
	捕集和回收高炉-氧气顶吹转炉路线的废气并将其转化为合成燃料	8	Steelanol、Igar
	捕集和回收高炉-氧气顶吹转炉路线的废气并将其转化为化学品	7	Carbo2Chem、Carbalyst

*技术就绪水平（TRL）是一种衡量技术成熟度的方法，等级分为 TRL 1（成熟的基本原理）到 TRL 9（系统测试、启动和运行）

资料来源：（改编自欧盟委员会 2021b；欧委会联合研究中心 2022）

目前正在开发的另一种方法被称为**铁矿石电解法**。这种电化学过程利用电将悬浮在电解液中的铁矿石分解成铁和氧气。具体而言有两种技术前景良好，即碱性铁电解和熔融氧化物电解。由于电解不会直接排放二氧化碳，如果使用的零碳电力，那么此过程可能接近碳中和。

越来越多的欧洲钢铁制造商**倾向于利用氢气直接还原铁法（H-DRI）来炼钢**，欧洲各国已宣布大约 20 个相关项目。该方法的主要优势是完全避免使用化石燃料，并可能在 2030 年前具备市

场成熟度，但这一过程需要大量低二氧化碳含量的氢和电力。欧洲的产能可能无法满足这一需求，因此必须从邻近地区进口绿氢。

最后，**碳捕集技术**是炼钢业探索减少二氧化碳排放的解决方案之一，不过难点在于必须通过广泛的工艺改造才能实现大幅减排。脱碳进程在一定程度上受到技术市场成熟度不足以及生产过程复杂转型的阻碍。

除技术障碍外，**经济问题也可能减缓脱碳进程**：进一步发展低碳技术需要在研究和创新方面进行大量投资。此外，在目前的市场情况下，由于氢气、绿色电力和废钢价格高昂，低二氧化碳生产路线会增加生产成本（欧盟委员会 2021b）。例如，根据欧洲钢铁协会（European Steel Association）的数据，由于对电力和氢气的需求特别高，通过初级路线生产绿钢的成本可能比传统钢材高出 110 至 320 欧元/吨（欧盟委员会 2021b）。欧盟委员会的分析表明，欧洲绿色钢铁的发展依赖于必要的投资、长期的市场信心以及强有力的政策框架，该框架注重有效的碳泄漏措施并防止不公平贸易行为（欧盟委员会 2021b）。

在地缘政治和地缘经济层面上，**碳泄漏**是欧盟和中国实现共同脱碳过程中面临的主要挑战。防止碳泄漏是欧盟的优先事项之一，目的是防止进口国和出口国之间产生不公平贸易条件，并加强欧盟以外的脱碳进程（德国能源署 2022）。事实上，将生产从欧盟转移到碳排放标准较低的国家可能被视为不公平行为，因为国内钢铁制造商将面临比非欧洲生产商更严格的碳排放政策。欧盟委员会计划到 2035 年，用二氧化碳边界调整机制（CBAM）取代免费分配。该机制规定，进口产品将被收取与欧洲内部生产相同的二氧化碳价格。作为单边碳边界调整机制的替代方案，欧盟还讨论成立碳俱乐部：碳俱乐部是不同国家或经济地区的联盟，就排放记录和定价的共同或协调框架条件达成一致（德国能源署 2022）。这两种建议都可能会使中欧钢铁关系产生争议：中国的利益相关者可能会坚持加入由欧盟推动的碳俱乐部；另一方面，碳边界调整机制的政策可能被视为强加负面的贸易限制。因此，正如接受采访的专家所述，要维持钢铁行业的经济信任关系，相互理解碳标准是中欧贸易关系必须解决的一个重要挑战。

4.2 中国面临的主要挑战

接受采访的专家认为，与欧洲一样，中国钢铁行业面临的一大障碍是**脱碳技术的成熟度较低**。许多技术现在正处于开发和测试阶段，没有可靠的经验可供借鉴。对传统生产路径的依赖度仍然很高。在中国，基于高炉、废钢和氢气的钢铁生产尚处于起步阶段。

专家还指出，缺乏可靠的废料也是障碍之一。事实上，脱碳的一个主要障碍是**现有产能的年限较低**，平均只有 15 年左右，而美国约为 35 年，欧洲约为 40 年。中国钢铁行业的排放密集型资产的平均寿命约为 25 年，较 40 年的全球平均水平少了 15 年。因此，工艺变更成本将会很高（国际能源署 2022）。专家在采访中提到的其他障碍是，由于回收利用系统不成熟，国内的废料供应有限。第三个原因是，氢冶金等突破性炼钢技术仍不成熟。内部数据显示，中国的主要钢铁生产商宝武需要 23 年时间才能实现碳达峰。

采访中提到的另一项挑战是**钢铁的政治敏感性**。钢铁是工业能力及国家实力的象征，与军事应用高度交织。这使得钢铁脱碳问题比能源和电力等更为敏感。钢铁生产历来是政府政策文件的关键目标之一，因此有关钢铁脱碳的争论可能面临一些阻力。

一些受访专家还提到，**政策支持不足**是中国面临的重要障碍。政策体系需要更加注重加强顶层设计、改善政策环境、激发创新动力、建立合作机制、降低系统性风险等问题。

最后，受访专家还强调了**经济障碍**。阻碍钢铁行业低碳发展的主要经济障碍是中国钢铁行业的产业集中度较低，以及该行业对低碳发展所需的技术和设备缺乏投资动力。与此同时，该行业正面临高成本压力。中国钢铁行业的脱碳面临着诸如机组平均寿命短、转型投资巨大等挑战。中国钢铁行业的技术路线以长流程为主。短流程炼钢和氢能（绿氢）还原技术等低碳技术成本高，需要额外投资，减缓了行业低碳转型。

4.3 中欧合作面临的主要挑战

当前政治形势与其说是围绕着加强跨国合作，不如说是围绕着日益加剧的冲突：在绿色钢铁问题上，欧盟和中国之间存在着**巨大分歧**。过去几年里，美国对中国钢铁征收高额关税，而中国在 2009 年财政刺激措施出台后内部产能大幅增加，这导致更多廉价的中国钢铁出口到欧洲市场，欧盟的政策制定者已经对从中国进口的钢铁征收了多项关税。最近，欧洲钢铁制造商不断呼吁签署《钢铁绿色新政》和开征碳边境税，以创造公平竞争环境，降低二氧化碳减排对欧盟市场竞争力的影响，这也有助于保护国内市场不受中国进口钢铁的影响，并帮助该行业在新冠疫情后复苏（欧钢联 2020b）。

欧洲钢铁制造商呼吁对**欧盟和非欧盟生产商实施统一的碳成本限制，以实现公平竞争**（Simon, 2020）。针对进入欧盟的碳密集型产品，欧洲钢铁制造商希望欧盟在实施旗舰气候政策——欧盟碳排放交易体系——的同时能引入碳边界调整机制，以防止碳泄漏，保护行业竞争力，并维护欧盟的新气候目标（Karish 等, 2021a）。该想法是在《欧洲绿色新政》的背景下提出的，并非贸易保护。面对欧盟碳排放交易体系下不断高企的碳价，欧盟提议在实施碳排放交易体系的同时实施碳边界调整机制，以防止碳泄漏，维护行业竞争力，实现新的欧盟气候目标。考虑到欧盟和中国在欧盟碳边界调整机制下拟覆盖行业³的贸易关系，按绝对值计算，中国预计是受欧盟碳边界调整机制影响最大的国家之一——尽管最初的覆盖范围只涉及中国对欧盟出口的一小部分（Karish 等, 2021b）。

大多数中国利益相关者认为，**碳边界调整机制的影响将非常巨大**。尤其是在钢铁等利润率不是特别高的上游价值链早期阶段，中国制造的产品可能会失去相对价格优势（以及由此带来的吸引力），对欧洲工业来说，从其他“更环保”的合作伙伴那里采购会更具吸引力。部分原因是欧洲和中国的利益相关者之间没有相互接受可持续发展标准。中国对欧盟碳边界调整机制的另一个担忧是，该机制有可能像一些欧洲利益相关者所提议的，在价值链下游进一步扩张。2021 年 7 月的碳边界调整机制立法提案也提到这种潜在的范围扩张，尽管这种情况是否会发生以及如何发生还远未明确。

此外，一个潜在争议点是德国总理奥拉夫·朔尔茨在担任七国集团主席期间提出的“**气候俱乐部**”构想。即使最终采纳的概念不再将碳定价制度作为成员条件，它仍然提到碳泄漏是对国际贸易关系的主要威胁（G7 德国 2022）。根据俱乐部的具体设计（将在 2022 年予以明确）及德国的实际推行方式（包括如何与德国更广泛的气候外交工作保持一致），中国可能感到会被该“气候俱乐部”所孤立或针对，从而给推进中欧气候伙伴关系增加另一个障碍。最后，考虑到美国和中国之间的紧张关系等地缘政治问题，在气候关系方面，需要就钢铁行业脱碳的政策和行业方针达成更强有力的共识。

最后，**围绕废钢的竞争也在加剧**：电弧炉炼钢可能是促进钢铁脱碳的技术之一，废钢资源对电弧炉炼钢至关重要。欧盟和中国都可能增加废钢进口，不过废钢资源的稀缺性可能导致该领域出现潜在竞争，并且合作减少（Chen 等, 2021）。

因此，需要在政策和行业层面采取**协调一致**的方法，使这两个最大排放国重新为气候目标而共同努力。由于中欧钢铁行业在供应链和贸易量方面紧密交织，在脱碳问题上采取协调一致的政治行动是一项挑战。在另一个层面，推广绿色钢铁的共同努力需要解决潜在冲突，并建立相互理解的关系。

³这些行业包括钢铁、水泥、电力、化肥和铝。

汽车行业

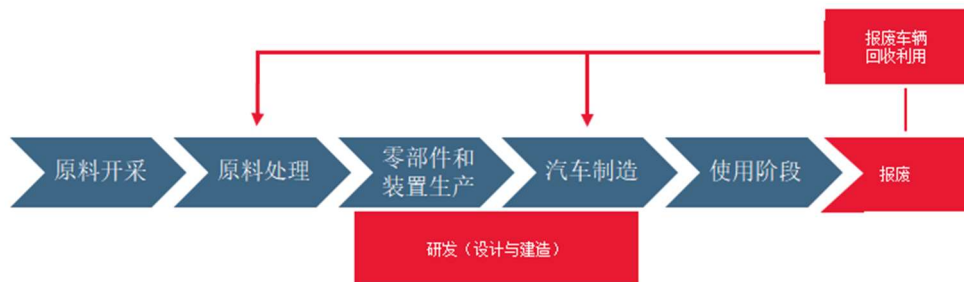
1. 背景：欧盟和中国的汽车行业

中国和欧盟的汽车行业都对钢铁产品有着巨大需求。⁴ 2021 年，全球汽车销量增长到约 6670 万辆（丰业银行 2022）；2022 年，全球汽车行业市场规模达到近 2.8 万亿美元（IBISWorld 2022）。最重要的行业分支包括商用车和乘用车。无论是从需求还是从供应来看，中国都是全球最大的汽车市场：2021 年，中国新注册登记汽车超过 2100 万辆，美国（1490 万辆）和欧洲（1170 万辆）紧随其后（德国汽车工业联合会 2022）。

就市场规模而言，最重要的汽车零部件细分市场是车身制造（2020 年市场规模为 1730 亿美元），其次是内燃机（ICE）制造（2020 年市场规模为 1440 亿美元）（Coffman 等，2021，第 3 页）。汽车行业为全球制造业就业做出了重大贡献。根据联合国工业发展组织《工业统计数据库》的信息，2018 年“机动车”行业的就业人数为近 500 万人（联合国工业发展组织 2022）。

汽车行业价值链的简图如下：

图 5：汽车价值链简图

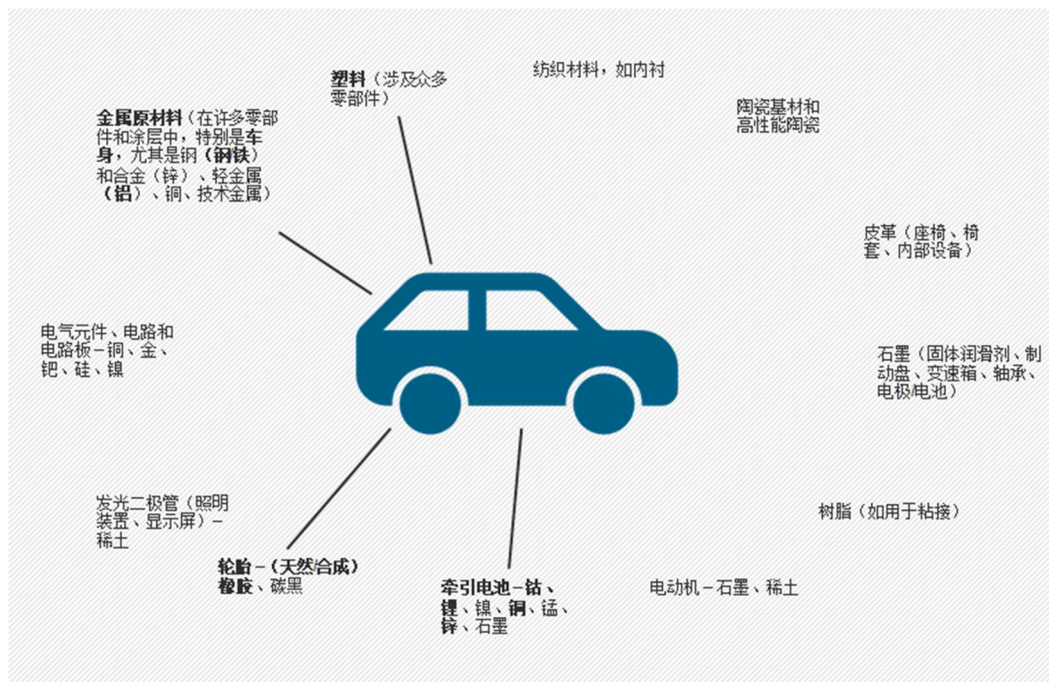


资料来源：改编自 Braun 等，2021，第 11 页

汽车价值链具有高度复杂、国际化的特点，涉及许多不同的原材料和工艺流程，其中一些与温室气体排放有关。此外，通过其供应商，汽车行业还与其他工业部门相关联，不仅包括钢铁行业，还包括化工、铝、电子行业以及纺织和皮革行业（Weiss 等，2022）。一辆现代乘用车由数万个零部件组成，这些零部件由不同供应商公司制造（Braun 等，2021，第 12 页）。

⁴ 本研究所界定的汽车行业包括参与制造汽车、挂车及半挂车的公司和活动，涵盖汽车零部件和配件制造以及挂车和车身制造（Braun 等，2021）。本研究将重点研究汽车行业及其上下游价值链，而汽车的使用阶段（通常定义为“交通运输行业” [Braun 等，2021]）将不包括在内。

3：汽车主要零部件和原材料简图



资料来源：改编自 Weiss 等，2022，第 64 页

汽车行业属于资源密集型和温室气体密集型行业。钢和铝占汽车自重的 50%到 60%，这两种材料主要用于制造车身。就数量而言，这两种金属在汽车行业的原材料采购中所占份额最大（Groneweg 2020，第 5 页）。同时，根据汽车制造商戴姆勒的数据，这两种材料在汽车整个价值链上的二氧化碳排放量中占比很高，约占价值链上总排放量的 60%（Groneweg 2020，第 27 页）。2018 年，汽车行业总计消耗了 1060 万吨钢、100 万吨铝、10.8 万吨铜、47.6 万吨锌和 29.2 万吨铅（Braun 等，2021，第 14 页）。

与此同时，汽车行业目前正在向电动化全面转型。与电动汽车（EV）相关的零部件销售市场正在快速增长，而内燃机（ICE）零部件的销量要么停滞不前，要么出现下滑（Coffman 等，2021，第 4 页）。这也对价值链结构和温室气体的主要排放源产生了巨大影响。电池-电控发动机的生产对新的原材料，特别是锂和钴的需求持续增长（Weiss 等，2022）。锂离子电池包是现代电动汽车中最常用的电池类型，占 99%（Slowik 等，2020，第 17 页）。预计 2030 年电动汽车年销量将达到 2800 万辆，原材料需求量如下：约 10 万吨锂、7 万吨锰、8.2 万吨钴、9000 吨磷、1.6 万吨铁、60 万吨镍和 22.5 万吨石墨（Slowik 等，2020，第 20 页）。虽然转向以电池为动力的交通出行可以大大减少汽车在使用阶段的二氧化碳排放，但在生产阶段造成的上游二氧化碳排放变得更加显著。

除了电动化转型所推动的结构调整外，近年来，在各种外部政治和经济因素叠加影响下，汽车供应链也面临着发展压力，例如新冠疫情对中国和欧盟经济造成影响，导致工厂停产，造成半导体供应瓶颈和原材料短缺风险（Coffman 等，2021，第 8 页）。乌克兰冲突对汽车制造商造成了负面影响，对欧洲汽车制造商的影响尤甚。除销售数字下降外，汽车制造商还必须寻找新的供应商，以替代乌克兰和俄罗斯供应商。再加上芯片持续短缺，多重因素叠加，对许多欧洲制造商的交付能力造成了严重影响。2022 年春季，中国汽车制造商的销售数字也有所下降（2022 年 4 月销量同比下降 1.2%，为 182 万辆）（德国之声 2022）。

汽车供应链错综复杂，全球相互关联，并且依赖于众多能源和碳密集型上游行业（包括钢铁），这些因素使汽车行业成为脱碳的关键行业。同时，这种复杂性也给供应链的脱碳带来挑战，因为后者需要许多不同利益相关者开展合作。

1.1 中国汽车行业

自 2019 年以来，中国一直是全球最大汽车市场。根据中国汽车工业协会的数据，2021 年中国汽车销量为 2628 万辆（新华社 2022）。

2020 年，中国汽车整车进口金额 420 亿美元。中国跃升为全球第三大汽车进口国；按进口金额统计，汽车在中国所有进口产品中排名第四。2020 年的主要进口来源国是德国（167 亿美元）、日本（86.9 亿美元）、美国（62.4 亿美元）、英国（35.6 亿美元）和斯洛伐克（19.8 亿美元）（OEC 2022）。

最近，中国生产的大部分汽车都进入了快速增长的国内市场，自 2019 年起，出口比例仅为 4%（Sebastian 2021）。然而，中国在汽车出口方面扮演着日益重要的角色。2020 年，中国汽车整车出口金额 92.2 亿美元，成为全球第 17 大汽车出口国。2020 年，中国汽车出口的主要目的地是美国（12.9 亿美元）、沙特阿拉伯（11 亿美元）、俄罗斯（4.56 亿美元）、德国（4.08 亿美元）和澳大利亚（3.9 亿美元）。2019 至 2020 年间，中国汽车出口增长最快的市场是挪威、比利时和沙特阿拉伯（OEC 2022）。

过去 30 年里，中国汽车行业快速发展。该行业如今由国际品牌整车厂（OEM）和越来越多的国内品牌组成。2015 年，中国乘用车产量超过 2100 万辆，占全球总销量的近三分之一（Wenten 2020，第 279 页）。

主要汽车产业集群位于中国沿海地区。根据中国国家统计局的数据，2020 年，广东地区的汽车产品居全国首位，约 310 万辆；其次是吉林和上海，各约 260 万辆，湖北近 200 万辆（中国国家统计局 2021）。在中国，最重要的制造商包括所谓的传统“四大”——一汽（FAW）、东风、上汽和长安（Wenten 2020，第 283 页）以及四大独立汽车制造商——奇瑞、吉利、比亚迪和长城（Wenten 2020，第 285 页）。“四大”是国有企业，奇瑞是安徽省芜湖市政府所有的国有控股企业。比亚迪和吉利是民企，河北保定政府仅持有长城汽车的少数股权（Wenten 2020，第 285 页）。2021 年，上汽是中国领先的汽车制造商，销量为 275.7 万辆，其次是长安（175.5 万辆）、吉利（132.8 万辆）和长城（128.1 万辆）（中汽协 2022）。

在国内品牌崛起之前，中国汽车行业长期以来的一大特点，是由活跃在全球的外国制造商与国有企业组建的合资企业。1980 年代至 90 年代，汽车行业是受国家管控的“支柱产业”之一。整车厂只能以与中国公司合资的方式进入中国市场（Wenten 2020，第 281 页）。例如，1984 年，德国大众汽车集团与上汽集团以及法国制造商标致与广州羊城汽车厂分别签约成立了合资企业，只有上海大众延续至今（Wenten 2020，第 282 页）。外国品牌继续主导市场，例如，2012 年和 2013 年，大众汽车中国区业务贡献了集团 40% 的利润（Wenten 2020，第 285 页）。

然而，特别是在电动汽车市场，国际品牌与国内品牌之间的平衡正在悄然变化：比亚迪从锂离子电池生产商起家，如今在电动汽车电池生产方面拥有竞争优势（Wenten 2020，第 287 页）。在电驱动领域——包括电动汽车和电池——中国也确立了全球领导地位：自 2021 年起，中国是全球最大的电动汽车市场，2020 年总销量达到 130 万辆，占全球销量的 40% 以上。中国电池生产商宁德时代在全球电动汽车电池市场的份额高达 30% 左右，是全球电动汽车生产商的主要供应商（Pattison 和 Firdaus 2021）。2020 年，中国锂离子电池产能约占世界产能的 77%（Weiss 等，2022，第 79 页）。由于全球多个经济体对电动汽车的需求持续增长，中国的汽车和电动汽车行业目前正在加大出口力度，着力满足欧洲市场需求（Sebastian 2021）。

中国在汽车零部件生产方面也占据着关键地位：2019 年，中国轮胎出口金额为 146 亿美元，占全球 18.1%。因此，中国是全球最重要的轮胎出口国（Weiss 等，2022，第 100-101 页）。

除了持续走高的汽车出口量，中国还是汽车生产所需核心原材料的主要出口国。例如，中国在全球锌市场上扮演着关键角色：中国既是矿业大国，也是最大的精炼锌生产国。2018 年，中国锌矿砂产量约占全球 38%。中国在 2012 年的全球精炼锌产量排名中也位居榜首，占全球精炼锌总产量 1264 万吨的 38%（Weiss 等，2022，第 90 页）。此外，中国是电池的关键原材料——锂的第三大生产国，年开采量约为 7000 吨，仅次于澳大利亚（6 万吨）和智利（1.8 万

吨) (Weiss 等, 2022, 第 75 页)。据估计, 2020 年, 中国精炼厂提供了全球 85% 的电池用钴, 钴是锂离子电池的关键成分 (Pattison 和 Firdaus, 2021)。在钴矿产量和储量最大的国家刚果民主共和国, 中资公司的行业占比高达 70% (Pattison 和 Firdaus 2021)。中国还采取政治手段, 助力获得电动汽车的关键原材料, 例如, 通过助力国有和私营矿业公司获得国外的基本初级资源 (锂、钴等) 并扩大国内产能 (Wenten 2020, 第 288 页)。

关于中国汽车行业为中国生产业务采购原材料的问题, 一位接受本研究采访的专家表示, 汽车生产用钢将主要从国内公司采购。此外, 中国还是铝价值链的所有环节, 包括铝土矿开采和铝回收的主要生产国之一 (经合组织 2019, 第 49 页)。

1.2 欧盟汽车行业

欧盟汽车行业对欧洲经济极为重要, 2020 年营业收入约为 9360 亿欧元。汽车行业对欧盟 GDP 的贡献率超过 7%, 占欧盟研发总支出的 28%。在 2019 年投入的 620 亿欧元研发资金中, 汽车零部件供应商使用 250 多亿欧元, 在汽车行业申请的 9000 多项专利中, 估计三分之二来自汽车零部件供应商 Brown 等, 2021, 第 18 页)。

该行业每年向世界其他地区出口超过 560 万辆汽车, 为欧盟的贸易平衡贡献了 740 亿欧元的顺差 (Brown 等, 2021, 第 18 页)。2020 年, 欧盟汽车产量 (1210 万辆) 占全球总产量的 15% 以上。乘用车方面, 2021 年欧盟产量 (900 万辆) 占全球总产量的 16% 以上 (欧洲汽车制造商协会 2022)。

该行业由各种商业服务机构和总共 140 万家公司组成。此外, 该行业为 1380 万欧洲人提供了直接和间接就业机会。例如, 在制造业中, 汽车行业就业人数 (350 万人) 占欧盟总就业人数的 11% 以上 (Brown 等, 2021, 第 18 页)。

欧盟是一些世界领先的汽车制造商及汽车零部件供应商的总部所在地。其中包括大众汽车 (按 2020 年销售额排名第一)、戴姆勒 (排名第三)、宝马 (排名第七)、斯特兰蒂斯 (排名第九)。此外, 非欧盟汽车制造商 (如现代汽车捷克共和国分公司) 在欧盟各地设有组装厂 (Brown 等, 2021, 第 18 页)。主要汽车零部件供应商包括博世 (全球排名第一, 2019 年)、大陆集团 (排名第二)、采埃孚 (排名第五)、米其林 (排名第九) 和法雷奥 (排名第十) (Brown 等, 2021, 第 19 页)。

就欧盟内部价值链而言, 汽车行业是整合程度最高的生态系统。超过 45% 的生产依赖于欧盟内部的跨境价值链, 特别是捷克共和国和法国的依赖度更高, 还有意大利、西班牙、奥地利和波兰 (Brown 等, 2021, 第 20 页)。其中包括直接、间接以及上游价值链, 如汽车行业、金属生产和加工行业、机械工程和塑料加工行业 (Weiss 等, 2022, 第 31 页)。德国是最重要的汽车生产国和销售国之一, 其高端汽车产量约占细分市场销量的 80% (Braun 等, 2021)。

按电动汽车销量和电动汽车在汽车总销量中的份额统计, 2020 年欧洲超过中国, 成为全球最大的电动汽车市场 (Brown 等, 2021, 第 25 页)。2020 年, 所有类型的电动汽车数量占欧洲上路汽车总量的 6% (Brown 等, 2021, 第 17 页)。需要注意的一点: 与其他市场不同的是, 欧洲汽车制造商未来 10 至 15 年的电动汽车战略依赖于纯电动汽车 (BEV) 和插电式混合动力汽车 (PHEV) 之间的平衡销售组合。插电式混动车的电池更小, 利润更高, 被广泛视为一种过渡性技术。因此, 在欧洲, 插电式混动车的销售增速快于纯电动汽车, 到 2021 年 6 月占电动汽车市场的 54%。相比之下, 在中国, 纯电动汽车的份额明显更高, 为 83% (Brown 等, 2021, 第 29 页)。

作为汽车行业电动化转型的一部分, 欧洲提出了越来越多的国内电池供应倡议。Northvolt 就是这方面的范例: 这是一个欧洲电池生产项目, 依靠投资顺利实施, 根据与制造商大众汽车、宝马及沃尔沃签署的供货协议生产出货, 目标是在欧洲电动汽车电池市场占据 25% 的份额。欧洲整车厂大众汽车、斯特兰蒂斯和雷诺也宣布了试点和大规模工厂计划, 目的是在内部或通过合资企业提高独立电池生产能力 (Brown 等, 2021, 第 37 页)。欧盟理事会 2022 年 6 月

同意，自 2035 年起禁止新注册登记的内燃机汽车进入欧洲市场（欧盟理事会 6/29/2022），这类战略性政治决定或将加快汽车行业电动化转型和发展国内配套产能。

1.3 欧盟与中国的汽车贸易关系

欧盟和中国的汽车市场紧密相连。欧洲汽车制造商依赖从中国进口的汽车生产所需的铝、钢和锂等原材料（欧洲汽车制造商协会 2019）。此外，欧洲汽车制造商越来越多地通过本地化供应链扩大其在中国的生产规模。同样，中国汽车行业也依赖于欧洲的利益相关者。中国电池生产商日益加大在欧盟的投资力度，中国电动汽车重点出口欧洲市场（Sebastian 2021）。这些动态表明，汽车市场将加强互联互通，中国和欧盟国家的公司将越来越多地出现在供应链的各个阶段。仅在德国，汽车行业上游价值链中就有约 48 亿欧元的附加值产生于中国，包括直接供应商和次级的供应链两个层面（Weiss 等，2022，第 31 页）。**欧盟与中国在汽车行业的主要贸易板块涉及车身材料，主要是钢和铝，以及电池等制成品。**随着向电动化的转变，对锂、钴、石墨和镍等金属的需求也在增加（Power Shift，2020 第 5 页）。

车身原材料生产方面，2018 年，钢材占欧盟金属原材料进口金额的 6%，其中 20% 来自中国，11% 来自土耳其，10% 来自俄罗斯（DERA 2020，第 31 页）。制造商所需的大部分钢材（94%）在欧盟采购（欧洲汽车制造商协会 2019）。关于从中国进口的钢材直接流入欧洲汽车生产环节的数量，目前没有详细数据，但中国是欧盟扁钢产品重要的进口伙伴，这些产品最常用于汽车、管道、家电和机械行业（国际贸易署 2020，第 6 页）。2020 年，欧盟进口约 1660 万吨扁钢产品，占成品钢材进口总量的 78% 以上（欧钢联 2021，第 39 页）。从土耳其进口的扁钢产品占比最大，为 19.6%（330 万吨），其次是韩国，为 16.6%（280 万吨）。来自中国的扁钢产品进口量为 5.7%（94.3 万吨），落后于俄罗斯、印度和乌克兰（欧钢联 2021，第 43 页）。相反，从欧盟出口到中国的扁钢产品略少。在 2019 年欧盟出口的 1380 万吨扁钢产品中，仅有不到 5%（70.4 万吨）进入了中国市场（欧钢联 2020a，第 48 页）。正如接受本研究采访的一位专家所指出的，中国汽车制造商主要从国内生产商那里采购钢材。

根据**欧盟钢铁保障措施**，基于特定时期传统进口产品的平均数量，为某些钢铁产品制定了关税配额。虽然条例对一些大量使用但不限于汽车行业的钢铁产品给予了单独配额，但汽车行业担心这可能会导致钢材价格上涨和欧盟生产商产能紧张（欧洲汽车制造商协会 2019；Kinch 和 Rubin 2022）。2019 年，在新的配额期开始几天后，中国供应商就用完了出口欧洲的汽车行业用涂层扁钢的年度配额（Fastmarket 2019）。

欧盟还从中国采购大量铝。2021 年，欧盟进口铝的 6.6% 来自中国，铝主要用于制造轻型汽车。（Karish 等，2021a）。根据欧洲铝业协会的数据，中国原铝产量占全球原铝总产量的 54%（欧洲铝业协会 2021）。在德国，汽车行业的用铝量几乎占到市场需求总量的一半（Buchenau 和 Tyborski 2021）。在汽车行业电动化转型的背景下，这一需求未来将会上升。铝每立方英尺的重量只有钢的三分之一左右，非常适用于轻型结构。所以铝材对纯电动汽车尤为重要。在纯电动汽车中，必须抵消重型电池造成的车重增加，以减少能耗。纯电动汽车的用铝量比内燃机汽车多 45%（Kong 等，2021，第 16 页）。2021 年 10 月，欧盟委员会在认定铝型材行业为非市场化后，对铝型材征收了 21% 至 32% 的反倾销税（Reimers 等，2021）。

就欧洲对成品**电池和原材料**的需求而言，对华贸易关系也具有重要意义。智利（40%）、澳大利亚（29%）和阿根廷（16%）的锂矿产量约占全球总产量的 90%，但中国拥有全球大部分硬岩锂精炼厂（45%）（Bobba 等，2020，第 19 页）。中国还是其他电池材料的市场领导者，如镍、钴、石英及其他稀土元素。中国满足了欧盟 98% 的稀土进口需求（欧盟委员会 日期不详）。中国、非洲及拉丁美洲合计提供了全球 74% 的电池原材料（Bobba 等，2020，第 11 页），而欧盟产量仅占 1%（Bobba 等，2020，第 19 页）。在电池和电池组件的生产方面，中国几乎是唯一的市场领导者。中国生产的锂电池电芯占全球总产量的 90% 以上（Hempel 2021）。全球 60% 的锂电池电芯产自中国，而欧盟所占份额仅有 0.2%（Bobba 等，2020，第 20 页）。2021 年，中国电动汽车电池产能占全球 77%，最大的制造公司来自亚洲（Brown 等，2021，第 36 页）。随着欧盟采取举措增加本地电动汽车电池产量，欧洲制

造商正在将自己定位为市场竞争者，这也将加剧全球对电池原材料的竞争（Reisch 2022，第 2 页）。

2. 汽车供应链的温室气体排放

2018 年，全球汽车行业的温室气体排放量约为 48 亿吨二氧化碳，约占全球二氧化碳排放总量的 9%（Braun 等，2021，第 14 页）。此外，2018 年汽车行业的碳足迹超过欧盟温室气体排放总量。根据 2019 年绿色和平组织（Greenpeace）的一份报告，排放量最大的五家企业分别是大众汽车（5.82 亿吨二氧化碳）、雷诺日产（5.77 亿吨二氧化碳）、丰田（5.62 亿吨二氧化碳）、通用汽车（5.3 亿吨二氧化碳）和现代起亚（4.01 亿吨二氧化碳），占整个行业碳足迹的 55%（Stephan 等，2019，第 2 页）。

在中国，汽车行业是温室气体排放量增长最快的三个领域之一，因此该行业在实现中国气候目标的过程中扮演着重要角色（中汽数据 2020，第 3 页）。一位受访专家指出，中国汽车行业尚未建立全生命周期碳排放核算体系，该体系涵盖原材料采购、整车生产、整车销售、整车使用、整车处置和回收利用环节，因此难以获得关于汽车行业供应链温室气体排放的可靠数据。然而，中汽数据有限公司（ADC）的计算显示，2019 年中国量产的所有新乘用车的生命周期排放量为 6 亿吨二氧化碳（中汽数据 2020，第 46 页）。还应指出的是，过去几年里，中国启动了几项工作，旨在对本国汽车行业温室气体排放进行全生命周期核算，包括世界汽车生命周期联合研究工作组于 2020 年制定的《中国汽车低碳行动计划》和中国汽车技术研究中心于 2021 年发布的乘用车碳排放核算技术规范文件。本文件将在着重介绍应对供应链排放的政策和行业方针的章节中深入讨论这两项举措。

交通运输行业的数据显示，交通运输碳排放占中国碳排放总量的 10% 左右。公路运输是交通运输行业碳排放的主要来源，2018 年占比约为 73%。2020 年，汽车行业碳排放约占公路运输排放总量的 97.8%，使汽车行业成为中国温室气体排放的重要来源（Zhao 等，2022，第 1 页）。

在欧盟，乘用车和货车的二氧化碳排放量分别占欧盟排放总量的 12% 和 2.5% 左右（欧盟委员会 2022a）。

按全球平均水平统计，内燃机汽车的排放量为 202 克二氧化碳当量/公里，而电动汽车的油井到车轮（well-to-wheel）排放量为 83 克二氧化碳当量/公里（国际能源署 2021b）。国际清洁能源委员会从 2021 年开始的估算显示，汽车行业温室气体排放量的地区差异很小：在欧洲注册登记的内燃机汽车的生命周期排放量为近 250 克二氧化碳当量/公里，而在中国注册登记的内燃机车辆中，该数字约为 255 克二氧化碳当量/公里。2021 年在欧洲注册登记的电动汽车的生命周期排放量比同类汽油车低 66% 至 69%。在中国，电动汽车的数值估计比内燃机汽车低 37% 至 45%（Bieker 2021，第 i 页）。其他数据估计，中国汽车生产阶段每年碳排放量约为 0.6 亿至 0.7 亿吨二氧化碳（Zhao 等，2022，第 7 页）。中汽数据的计算显示，2010 年至 2019 年，中国乘用车（包括内燃机汽车、混合动力汽车、插电式混合动力汽车和纯电动汽车）的全生命周期温室气体排放量稳步下降（从 2010 年的 243.6 克二氧化碳当量/公里降至 2019 年的 212.2 克二氧化碳当量/公里）（中汽数据 2020，第 46 页）。

图 7：中型内燃机汽车和纯电动汽车的生命周期排放量

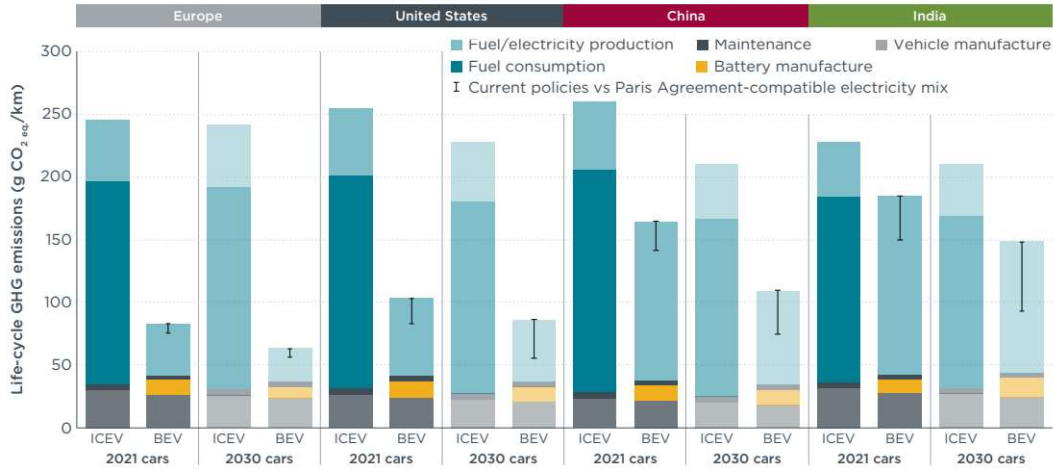


Figure ES.1. Life-cycle GHG emissions of average medium-size gasoline internal combustion engine (ICEVs) and battery electric vehicles (BEVs) registered in Europe, the United States, China, and India in 2021 and projected to be registered in 2030. The error bars indicate the difference between the development of the electricity mix according to stated policies (the higher values) and what is required to align with the Paris Agreement.

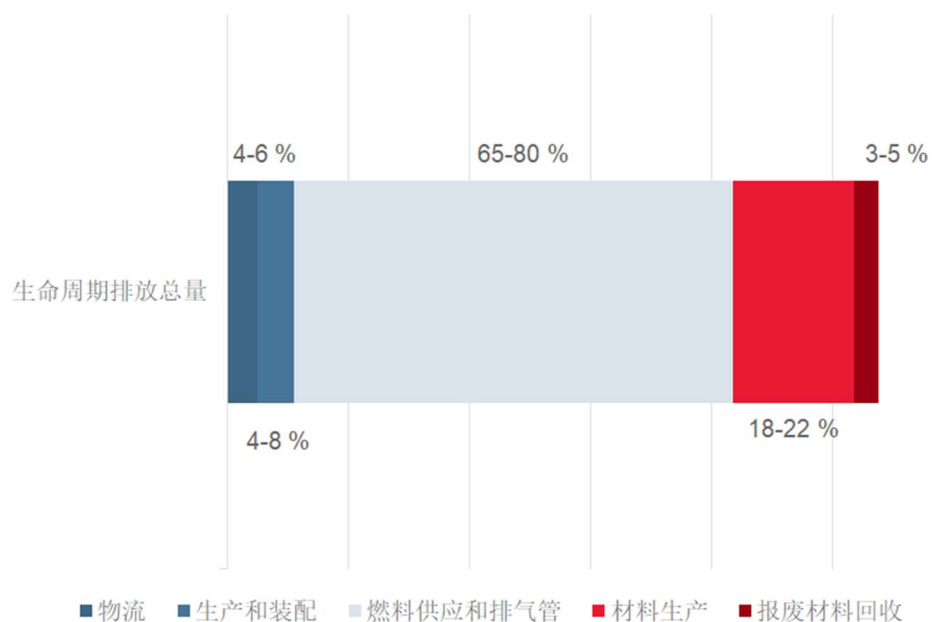
Europe	欧洲
United States	美国
China	中国
India	印度
Life-cycle GHG emissions (g CO ₂ eq/km)	生命周期温室气体排放量 (g CO ₂ eq/km)
Fuel/electricity production	燃料/电力生产
Maintenance	维护
Vehicle manufacture	车辆制造
Fuel consumption	燃料消费
Battery manufacture	电池制造
Current policies vs Paris Agreement-compatible electricity mix	现行政策与符合《巴黎协定》的电力结构
ICEV	内燃机汽车
BEV	纯电动汽车
2021 cars	2021 年汽车
2030 cars	2030 年汽车
Figure ES.1. Life-cycle GHG emissions of average medium-size gasoline internal combustion engine (ICEVs) and battery electric vehicles (BEVs) registered in Europe, the United States, China, and India in 2021 and projected to be registered in 2030. The error bars indicate the difference between the development of the electricity mix according to stated policies (the higher values) and what is required to align with the Paris Agreement.	图 ES.1. 2021 年在欧洲、美国、中国和印度注册登记及预计 2030 年注册登记的平均中型汽油内燃机汽车 (ICEV) 和纯电动汽车 (BEV) 的生命周期温室气体排放量。误差条表示根据既定政策发展的电力结构 (较高值) 与符合《巴黎协定》的要求之间的差异。

资料来源：（Bieker 2021，第 ii 页）

上述数字反映了生命周期排放量，包括生产、使用阶段和报废时的排放。虽然尾气排放占汽车排放总量的 65%至 80%，这部分排放发生在使用阶段（并与燃料供应的间接排放有关）（Hannon 等，2020，第 2 页），但在汽车价值链中，有许多温室气体的主要排放源发生在生产阶段的材料和工艺流程。图 8 还显示，尽管在中国注册登记的内燃机汽车和电动汽车的平均生命周期碳强度高于在欧洲注册登记的汽车，但这主要是由于中国的燃料/电力消费排放水平较高，而中国和欧盟国家的汽车制造水平相似。根据欧洲汽车制造商协会的数据，2005 至 2020 年间，欧洲制造商生产的每辆汽车的排放量下降了 33.1%，而汽车生产的排放总量下降了 48.5%，表明生产阶段的排放量也呈微降趋势（欧洲汽车制造商协会 2021b）。

Hannon 等人（2020）估计，内燃机汽车的当前生命周期排放中，约 18%-22%源自材料生产过程，约 3%-5%源自报废材料回收阶段。迄今为止，整车厂在其脱碳工作中往往忽略了这两个领域（Hannon 等，2020，第 2 页）。

图 8：内燃机汽车排放总量在不同生命周期阶段的百分比分布



资料来源：改编自 Hannon 等，2020，第 2 页

在向汽车电动化和替代驱动转型而导致尾气排放减少的背景下，估计材料和生产层面的排放量（相对值和绝对值）将继续上升。Hannon 等人（2020）估计，材料生产的排放量可能从 2020 年占生命周期排放量的 18%增长到 2040 年的 60%（达到比尾气排放量更高的水平，后者将占全生命周期排放量的 40%）（Hannon 等，2020，第 3 页）。中汽数据（2020）介绍说，尽管 2010 年至 2019 年中国制造的乘用车的全生命周期排放量有所下降，但这主要是由于燃料周期内的温室气体排放减少，而车辆周期内的温室气体排放增加，主要因为使用了二氧化碳密集型轻质材料和电气化（中汽数据 2020，第 46 页）。电气化使得供应链在汽车制造商的整体脱碳努力中日益重要。德国汽车制造商宝马估计，如果不引入适当的脱碳措施，纯电动汽车的供应链足迹可能达到内燃机汽车的近两倍，这将几乎抵消使用阶段减少的所有温室气体排放（宝马 2022a，第 79 页）。

汽车供应链中有哪些温室气体的主要排放源？ 鉴于供应链的复杂性和差异性（这是由于汽车生产中不同部件和原材料，以及不同类型的内燃机汽车和电动汽车在生产方面存在差异），必须单独考虑每条供应链的主要排放源问题。然而，可以确定一些主要排放源，它们适用于中国和欧盟生产的汽车。一方面，这是由于相关材料/部件或工艺的高碳强度以及在汽车行业中的大量使用。总体而言，高温室气体排放发生在整车厂的各个上游阶段（直接供应商和上游供

应商)：例如，汽车行业从金属生产和加工行业获得大量产品，由于大多需要大量能源和使用化石燃料，此类行业与温室气体排放相关。由于中国的能源结构中燃煤发电占比很高，这一点在中国尤其重要。这同样适用于直接供应商和上游供应商一级的发电和能源开采。此外，汽车行业从化工行业采购产品，而化工行业与温室气体排放有关，汽车零部件的直接供应商在生产中也会排放温室气体。在汽车供应链的材料和零部件运输过程中也会产生温室气体排放(Weiss 等, 2022, 第 37 页)。汽车供应链中温室气体的主要排放源包括：钢、铝和电池材料(零部件和电池芯生产)。锌、塑料(用于制造汽车的各种部件)和轮胎也与温室气体排放有关。

2.1 钢材

汽车行业是钢和钢材消费的重要行业。正如第一章所述，钢铁生产具有高度能源和碳密集的特点。每生产 1 吨钢大约会排放 1.8 吨二氧化碳，主要归因于冶炼厂的高炉作业。钢铁生产所需铁矿石的开采也与高能源需求相关(Weiss 等, 2022, 第 84 页)。

平均而言，对于欧盟生产的内燃机汽车，生产过程和供应链的温室气体排放总量的 34%源自所需的钢材。对于欧盟生产的电动汽车，生产和供应链的排放总量的 27%源自所使用的钢材(Material Economics 咨询公司 2021, 第 11 页)。

用钢材生产汽车板，需要对炼铁中的参数(某些稀有元素的比例)进行微调。正如本研究采访的一位专家所强调的那样，这意味着汽车板生产中的减排可以追溯到上游领域，因此，在汽车钢材生产环节实现减排可以促进钢铁行业的整体减排进程。

2.2 铝

铝是仅次于钢的最常用的汽车原材料之一。铝和铝材的生产也与高二氧化碳排放有关，这是由于冶炼过程中需要大量能源(占铝生产二氧化碳排放总量的 60%至 79%)(Hannon 等, 2020, 第 4 页；国际铝业协会, 2021, 第 3 页)。

2018 年，全球铝行业的温室气体排放量达 11 亿吨，约占全球排放总量的 2%。这一碳足迹的 90%来自初级生产过程(国际铝业协会 2021, 第 3 页)。

2.3 电池材料

在大多数电动汽车的全生命周期排放中，10%至 75%的制造相关能耗和 10%至 70%的制造相关温室气体排放源自电池生产。尽管数据范围很广，但大多数电动汽车生命周期评价得出结论，大部分温室气体排放源自电池生产(欧洲环境署 2018, 第 24 页)。

由于能耗高，电池芯生产过程中会排放大量温室气体：镍锰钴氧化物电池芯是锂离子电池技术的不同类型之一，其排放量在 61 至 106 公斤二氧化碳当量/千瓦时电池容量。这主要归因于使用化石燃料的高温过程(煅烧、石墨化)和干燥过程。根据生产国煤炭在混合物中的比例，温室气体排放量可能更高或更低(Weiss 等, 2022, 第 68-69 页)。

在中国，电池芯生产主要集中在广东和江苏两省，全国三分之二的电力来自燃煤(Weiss 等, 2022, 第 80 页)。因此，中国电池生产的排放总量中，35%至 50%来自电力消耗(欧洲环境署 2018, 第 29 页)。生命周期评价的计算结果表明，电池制造和电池组装的排放量占电池生产排放总量的 3%至 80%(欧洲环境署 2018, 第 24 页)。

其余来自原材料提取和加工，这两个环节发生在电动汽车电池供应链的开端：能源密集型的钴冶炼和精炼过程，特别是在中国(由于燃煤发电的高比例)，排放大量二氧化碳。铜的开采和加工也与温室气体排放有关，具体取决于能源来源。根据提取方法的不同，开采每吨锂矿产生的二氧化碳排放量在 5000 公斤(从盐湖中提取)到 5000 公斤(从岩石中提取)之间(Weiss 等, 2022, 第 71-75 页)。鉴于欧盟高度依赖从中国进口的关键电池原材料，中国

燃煤发电的高占比也严重影响欧洲汽车行业减少供应链温室气体排放的能力（Christmann 2021，第 198 页）。

2.4 汽车供应链中的其他温室气体排放源

汽车生产的其他领域和供应链环节也与大量温室气体排放有关。例如，根据电力结构的不同，**车身**生产中的焊接和锻铁成型等能源密集型工艺会造成高排放。鉴于中国燃煤发电的占比很高，这一点也特别重要（Weiss 等，2022，第 93 页）。

锌的一次能源需求为 37500 兆焦耳/吨，对气候的影响为每吨锌 2600 公斤二氧化碳当量。约 65%的排放来自冶炼环节，30%来自锌精矿的开采和生产环节，5%来自锌精矿的运输环节。由于中国是重要的锌生产国，燃煤发电在能源密集型工艺中同样扮演着重要角色（Weiss 等，2022，第 91 页）。

轮胎和橡胶生产过程中也会排放大量二氧化碳；生产 10 公斤轮胎会产生约 334 公斤二氧化碳当量（Weiss 等，2022，第 104–105 页）。

此外，汽车上安装了许多**塑料件**。以典型的内燃机汽车为例，生产每辆车上所有塑料件的二氧化碳排放量为 0.36 吨（Hannon 等，2020，第 4 页）。

3. 汽车行业的脱碳方法

欧盟和中国对汽车供应链脱碳的需求日益高涨。两地的政策和行业利益相关者也面临着复杂而漫长的汽车供应链造成的类似挑战，相应地缺乏全面的温室气体排放数据，以及更广泛的地缘政治挑战。监管措施已经推动电动化转型，从而减少了汽车使用阶段的排放。如今，欧盟和中国的政策和经济激励措施越来越多地关注整个价值链上的排放，例如通过对排放密集型制成品征税。

汽车制造商也注意到公众对绿色产品的需求，这方面的需求反映在近年来全面制定的脱碳目标和战略中，欧洲汽车制造商表现得尤为积极。尽管汽车行业的脱碳也已成为业内热议话题，但大多数行业利益相关者尚未充分记录自己的范围 3 排放。为了填补数据空白并改善供应链在记录二氧化碳排放方面的合作，一些公司正在讨论标准化数据交换的选项，例如通过区块链解决方案。同样，跨行业倡议旨在将供应链不同部分的利益相关者聚集在一起，共享有关二氧化碳减排机会的知识，并正在制定二氧化碳核算的统一标准。

3.1 政策方针

近年来，汽车行业重点关注减少使用阶段的排放量。在这方面，中国和欧盟的**监管压力**，例如针对纯电动汽车设定排放限值或提供经济激励，促使**该行业推进电动化转型**（Schäpe 和 Tsang 2021，第 9 页）。此外，两个市场的**客户偏好**也加速电动汽车市场的扩张步伐。市场对低碳汽车的需求不断增长。

在欧盟，碳排放交易体系和免费配额的逐步取消、拟议的碳边界调整机制以及对温室气体排放报告要求的收紧等政策，将增加对整个价值链上的二氧化碳排放进行核算的压力。此外，欧盟的汽车排放量计算方法未来将有望覆盖全生命周期的排放量。

为了充分记录**乘用车的全生命周期排放量**，中国已加紧制定温室气体核算的技术标准和限值（中汽数据 2020，第 3 页）。尽管**中国尚无针对汽车全生命周期排放的政策**，但国际汽车制造商实现全生命周期温室气体中和的雄心给中国的发动机制造商和供应商带来压力。另一方面，中国汽车制造商尚缺乏技术知识和管理经验。大多数情况下，中国汽车制造商并未始终遵守国际标准及顺应发展趋势（中汽数据 2020，第 4 页）。考虑到汽车行业相互交织，欧洲和

中国的下游参与者在欧盟市场都有自身利益，因此协调统一生命周期排放核算标准是很有潜力的政策合作方向。

表 3：欧盟和中国的中央政策方针

	中国	EU
关键战略	<ul style="list-style-type: none"> 1+N 政策体系：2030 年碳达峰，2060 年碳中和 30:60 双碳目标也强调了汽车行业 “双循环”新发展格局 	<ul style="list-style-type: none"> 《欧洲绿色新政》（“Fit for 55”一揽子计划）：为 2030 年（温室气体排放量减少 55%）和 2050 年（碳中和）设定具有约束力的全欧盟气候目标 可再生能源指令（REDIII）
限制/降低车队排放	<ul style="list-style-type: none"> 新能源汽车项目 《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》 	<ul style="list-style-type: none"> (EU)第 2019/631 号条例 对电机效率的要求 计划从 2035 年起只允许使用零排放汽车
进出口限制	<ul style="list-style-type: none"> 以出口配额或出口税的形式对钴和铜等初级原材料进行出口限制（欧盟委员会，贸易壁垒日期不详） 在国内市场限制外国电池企业 	<ul style="list-style-type: none"> 碳边界调整机制（CBAM）
碳排放交易	<ul style="list-style-type: none"> 全国碳排放权交易市场 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟碳排放交易体系（通过汽车供应商产生间接影响）
尽职调查监管	<ul style="list-style-type: none"> 无 	<ul style="list-style-type: none"> 《关于企业可持续发展尽职调查指令的提案》

绿色金融	<ul style="list-style-type: none"> 绿色金融和工具的统一标准和统计系统；比如：绿色债券支持项目目录（2015年版）；绿色产业指导目录（2019年版） 中国人民银行《金融机构环境信息披露指南》 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟可持续投资分类法 《增值税指令》 绿色公共采购标准 城市交通一揽子计划
与企业的合作	<ul style="list-style-type: none"> 国有汽车制造商，如中国第一汽车集团有限公司 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟电池联盟 欧洲汽车制造商协会 欧洲汽车研发理事会（EUCAR）
循环经济	<ul style="list-style-type: none"> 2016年循环发展引领行动 《中华人民共和国循环经济促进法》（2018修正） 电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策 工信部发布《新能源汽车动力蓄电池梯次利用管理办法》 	<ul style="list-style-type: none"> 《循环经济行动计划》 报废车辆指令 2000/53/EC 关于设定车辆回收配额等的委员会第 2005/293/EC 号决定 (EU)第 566/2011 号条例和 (EC)第 595/2009 号条例，涉及获取维修服务等 《电池指令》（第 2006/66/EC 号指令）
标准	<ul style="list-style-type: none"> 中国证监会统一标准 	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟委员会和欧盟可持续金融技术专家组对基准（气候、ESG披露）的统一欧盟标签
国际合作	<ul style="list-style-type: none"> 中国正在确保获得国外的关键电池原材料 	<ul style="list-style-type: none"> 矿产安全伙伴关系（MSP）

资料来源：作者根据本章所述政策文件编制的表格

3.1.1 欧盟的政策方针

近年来，欧洲政策制定者推出各种政策以降低汽车行业的二氧化碳排放，推动行业转型。在欧盟，中央气候框架政策，如**绿色新政**和欧盟通过实施 **Fit for 55** 一揽子计划到 2050 年实现**气候中和**的约束性目标，为工业脱碳设定了一个雄心勃勃的明确目标，其中包括作为欧盟工业领导地位所依赖的关键生态系统之一的汽车行业。汽车行业备受关注，无论是在**限制汽车排放**方面，还是在**提高汽车和电池的循环性能**方面。最后一个方面是《**循环经济行动计划**》（2020）的核心，该计划推广更多循环商业模式（Brown 等，2021，第 78 页）。

一方面，汽车行业必须应对消费者和政界对绿色生产日益增长的需求；另一方面，汽车行业本身也是供应链中低碳产品的主要需求者。如今，产品的二氧化碳效率已成为汽车制造商越来越想要利用的**竞争优势**（Böttcher 和 Müller 2013，第 478 页）。

与汽车行业**供应链相关**的关键政策工具包括**碳排放交易体系**，此工具设定碳价，并降低某些行业的排放上限。欧洲汽车行业并未直接参与碳排放交易体系。然而，由于许多供应商参与了该体系，汽车行业受到间接影响（欧洲汽车制造商协会 2021a）。随着第四阶段逐步取消碳排放

交易体系中的免费配额，碳证书的价值增加，该体系必将对汽车行业产生更大影响（欧洲汽车制造商协会 2021a）。

此外，作为钢和铝等高碳原材料的主要下游消费者，汽车行业将受到拟议的**碳边界调整机制**的影响。未来可能会对关键零部件和原材料征收高额且不断增加的税款（约合每吨二氧化碳排放 75 欧元）。此外，碳边界调整机制还伴随着制造商行政负担的增加，例如衡量供应链和产品线的排放量。这将鼓励汽车行业积极寻求碳强度较低的投入，以避免支付更高成本（Titievskaia 等，2022）。

未来，供应链上产品的碳排放甚至可能引起更多关注。全球范围内，正在通过尽职调查立法加强对供应链的监管，而欧盟委员会最近公布了《**关于企业可持续发展尽职调查指令的提案**》。目前的指令草案规定，所有公司必须根据《巴黎协定》采取气候过渡计划，包括短期、中期和长期减排目标（欧盟委员会 2022 年 2 月 23 日）。

为配合这些旨在加快供应链脱碳的总体政策，欧盟在**法律层面规定了二氧化碳限值和对欧盟车队的要求**。欧盟范围内专注于减少汽车行业使用阶段二氧化碳排放的法规促使成员国**推进汽车行业电动化转型，并增加了对低碳汽车的需求**。过去的立法实例包括对乘用车引入强制性二氧化碳标准，**例如通过 2020 年 1 月 1 日生效的(EU)第 2019/631 号条例**，和电动机能效要求（欧盟委员会 2019 年 10 月 1 日的(EU)第 2019/1781 号条例规定了电动机的生态设计要求）（Böttcher 和 Müller 2013，第 483 页）。得益于这些法规，2020 年排放量同比减少 20%（气候行动总司 2021）。(EU)第 2019/631 号条例规定了 2020-2024 年期间乘用车（95 克二氧化碳/公里）和货车（147 克二氧化碳/公里）的控排目标。此外，根据整个欧盟的目标，每年为各个欧盟制造商设定具体排放目标。到 2025 年和 2030 年，欧盟整个车队的乘用车二氧化碳排放量要分别降低 15%和 37%（欧盟委员会 2022e）。虽然这些欧盟温室气体排放标准制定了严格的规定，但**忽略了对车辆全生命周期排放量的计算**（中汽数据 2020，第 2 页）。为了解决和减少供应链，特别是电动汽车生产中按比例增加的全部二氧化碳排放量，还有必要考虑原材料和制造阶段因素。现行的(EU)第 2019/631 号条例考虑到了这一事实，其中一项条款要求欧盟委员会在 2023 年之前彻底审查**该条例的有效性**，并考虑在随后的二氧化碳条例中将**车辆生命周期排放量**纳入考量的可能性（Mock 2019）。从 2023 年起对该条例进行相应调整并扩大适用范围，纳入生命周期分析（LCA）排放，这些规定将大大增加汽车行业的压力。

除了排放限值外，还有各种旨在促进汽车供应链脱碳的**经济激励措施**。其中包括欧盟碳排放交易体系、《增值税指令》、欧盟绿色公共采购标准、欧盟分类法和城市交通一揽子计划。根据欧盟委员会的数据，为实现 2030 年气候目标，每年需要投入约 3500 亿欧元（欧盟委员会 2020b）。因此，《可持续发展融资行动计划》（Sustainable Finance Action Plan，部分自 2021 年 3 月起生效）和欧盟分类法（自 2020 年 7 月 12 日起生效）均专注于动员投资。欧盟分类法是一个可持续经济活动的分类系统（Teubler 和 Söndgen 2020，第 7 页）。欧盟分类法为包括汽车行业在内的大约 80 个行业分支设定了标准，以确定它们是否可持续（Schütze 等，2020，第 974 页）。此外，它还规定欧盟委员会与专家一起，根据技术上详细的评估标准拟定一份无害环境活动清单。欧盟委员会于 2022 年 2 月初提出授权法案《欧盟可持续金融分类目录》（欧盟委员会 2022 年 2 月 2 日）。该法案规定，只有纯电动汽车、氢燃料汽车和燃料电池汽车等碳中和汽车将在分类目录中被归类为可持续汽车，因为二氧化碳阈值被设定为 50 克二氧化碳/公里。这将使允许的分类目录阈值低于目前欧盟车队 95 克二氧化碳/公里的限值（Schütze 等，2020，第 976 页）。当考虑价值链中的温室气体排放时，欧盟分类法并未明确涵盖车辆的最终生产环节，但明确涵盖了所用材料的生产环节。因此，产品供应商可以明确使用公共资金，以限制其购买低排放或零排放钢材（Teubler 和 Söndgen 2020，第 15 页）。该分类法规包含对欧盟成员国、金融市场主体和公司的**披露要求**。其中包括披露金融产品组合中符合分类目录标准的投资比例的义务。如果公司的商业伙伴受到报告义务的影响，则可能还包含公司数据，其中包括价值链（Teubler 和 Söndgen 2020，第 9 页）。

还有一些法规通过减少汽车行业对原材料的依赖力争**间接实现脱碳目标**（Material Economics 咨询公司，2018）。在最近的新冠疫情和乌克兰冲突期间，供应瓶颈变得更加突出，令汽车

制造商愈发意识到需要使用再生材料。欧盟的目标是进一步提高报废车辆拆解和回收的环保水平。

循环经济的目的是通过优化资源利用、最大限度地减少浪费和污染，使增长与环境影响脱钩。2020年3月通过的**欧盟《循环经济行动计划》**重点通过再制造和再利用等几项战略打造资源利用闭环（Baldassarre 等，2022，第38页）。欧盟关于汽车零部件再利用的法规规定了针对再利用的激励措施。**《关于报废车辆的指令》（2000/53/EC）**，连同欧盟委员会2005年4月1日第2005/293/EC号决定（针对该指令中规定的再使用/回收利用和再使用/再利用目标制定了细则），主要涉及报废车辆的转让、回收和环境无害化处置。指令明确规定了车辆的再使用和再利用配额（85%）以及再使用和回收利用配额（95%），并规定了向欧盟委员会传输数据的义务（Braun 等，2021，第12-13页）。

为了确定在**推动全球循环经济发展**方面的知识和治理差距，欧盟在其2020年《循环经济行动计划》（欧盟委员会2022e）中提议建立一个全球联盟（GACERE）。中国不是该联盟的成员。

此外，(EU)第566/2011号条例和(EC)第595/2009号条例涉及消费者获取维修和维护信息的问题（Braun 等，2021，第13页）。电池和汽车入选关键价值链名单，以增加旨在扩大循环产品市场的**行业行动**（Brown 等，2021，第78页）。

在关于改善欧洲汽车行业循环性的争论中，电池扮演着核心角色。使**电池在整个生命周期中更具可持续性**是《欧洲绿色新政》的一个关键目标。**《电池指令》（第2006/66/EC号指令）**规定了欧盟境内电池和蓄电池的市场投放、收集及环境无害化处置（欧盟委员会2020年12月10日a）。2020年，欧盟委员会发布了**新电池法**的提议草案，以取代第2006/66/EC号指令，并提高投放欧洲市场的电池的可持续性。草案将要求所有汽车、工业和电动汽车电池在其生命周期结束时全部回收，草案尚未获得通过。这将要求电池制造商接受来自最终用户的此类电池并免费收回。此外，该提案预计将对所有投放到欧盟市场的电动汽车电池⁵强制引入特定的碳足迹声明（欧盟委员会2020年12月10日b）。此项规定表明，**欧盟打算统一电池碳足迹的计算规则**，目的是使委员会能够引入电池的最大碳足迹阈值，旨在助力达成欧盟到2050年实现气候中和的目标。提案规定，自2027年7月起，在电动汽车电池和可充电工业电池的整个生命周期内引入强制性最大碳足迹值（欧盟委员会2020年12月10日c）。对汽车电池引入这样的强制性二氧化碳生命周期排放限值，将大大增加欧盟和中国电池芯制造商的压力，促使其推行脱碳生产。然而，接受本研究采访的专家们声称，目前的草案尚未充分解决**电池生产的碳足迹**问题。欧洲议会提议将铝原料铝土矿、铜和铁等资源以及钴、石墨、锂和镍等关键电池原材料纳入新的电池法规，但欧洲理事会成员国希望将这些材料从清单中删除（Reckordt 2022b）。此外，研究人员强调，为了确保电池的高效循环经济，进口电池和对出口到欧盟以外的电池废料的管理应适用于与欧盟境内生产的新旧电池相同的要求（Thomaset 2022，第8页）。在这方面，仍有可能提高试行条例在促进脱碳方面的潜力。

此外，欧盟与其他十个西方国家采取了进一步措施⁶，于2022年6月建立了**矿产安全伙伴关系（MSP）**，以实现电池关键原材料供应链的绿色化。该伙伴关系的主要目标，是确保钴、锂和镍等关键矿物的采购、加工及回收方式使成员国能够与志同道合的国家分享其地质资源。主要目标是建立健全和负责任的商品供应链，以满足绿色新政标准，包括气候基准。与此同时，欧盟也在努力减少目前对中国进口的依赖。如果矿产安全伙伴关系实现了既定目标，欧盟及其他成员国将不再依赖从中国进口的部分原材料。该倡议的一个要旨是，相比与中国建立贸易伙伴关系，与类似的政治制度合作更容易在供应链中遵守气候和环境标准（Maihold 2022，第8页）。

⁵ 这是进一步规定：有内部存储，容量超过2千瓦时。

⁶ 澳大利亚、加拿大、芬兰、法国、德国、日本、韩国、瑞典、英国和美国。

3.1.2 中国的政策方针

为了加快中国汽车供应链的脱碳进程，中国出台的各种监管、金融和市场措施。一位接受本研究采访的专家强调，LCA 排放核算方法、环境产品声明、环境社会治理目标、企业社会责任、碳足迹，特别是欧盟碳抵消税，都是影响因素。

在本研究的第一部分概述的“十四五”规划中，中国承诺 **2030 年碳排放达到峰值，2060 年实现碳中和**。汽车行业对高碳排放负有责任，因此是 30:60 双碳目标中涉及的一个关键行业（Zhao 等，2022，第 6 页）。此外，中国多个省份公布了碳达峰方案。这些方案为在各个领域实现碳达峰和碳中和提出了更详细的目标和路径，如电力、钢铁和有色金属、石化、化工、建材、建筑、交通以及其他与汽车行业高度相关的行业。“十四五”规划预计，中国将在“双循环”新发展格局下继续开放本国市场。一个优先事项是通过提升新材料和电动汽车行业的竞争力，打造自主可控、安全可靠的供应链。此外，中国还引导产业链关键环节留在国内（Schäpe 和 Chan 2021）。

与欧盟相似，中国也逐步制定了一揽子具体政策，通过成功的试点项目、长期的中央补贴和排放标准支持**电气化转型**（Zhang 和 He，2022）。其中包括新能源汽车项目⁷（2009 年出台）以及《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》（2018 年实施），对化石燃料汽车的生产进行惩罚，对电动汽车的生产予以奖励（Chen 和 He 2022）。中国电动汽车市场之所以快速增长，在很大程度上归功于这些激励政策。与欧盟和美国相比，中国的增长速度最快，也是全球电动汽车保有量最多的国家。截至 2020 年 8 月，电动乘用车累计销量达 430 万辆，占全球总销量的 47%（Jin 等，2021）。根据一项分析，如果制造商遵守双积分政策要求，电动汽车销量在轻型汽车总销量中的份额将在 2022 年增长到 11%，2025 年增长到 22%左右（Chen 和 He 2022，第 2 页）。此外，电动汽车销量将取决于消费者需求、车型供应及其他因素（Chen 和 He 2022，第 2 页）。尽管这项政策取得了成功，但尚不清楚如果一家公司未能达到中国的积分要求将会怎样。目前尚无公开信息表明过去有哪些公司失败，以及它们的失败是否产生了任何后果（Chen 和 He 2022，第 2 页）。还有批评声音认为，针对企业平均燃料消耗量和新能源汽车的双积分政策未与碳排放控制直接挂钩（Zhao 等，2022，第 9 页）。这些电动汽车政策不包括针对**全生命周期排放**的目标。然而，为实现第 3.1.1 章所述的能源行业转型中的双碳目标，工业和信息化部目前正计划尽快制定车辆碳排放标准，并考虑在车辆的全生命周期实行此类标准。该部门还计划推广环境友好型供应链和绿色设计产品，以及贯穿整个产业链的环保低碳解决方案（Aoki 2021）。

自 2021 年起，**中国碳排放权交易政策**成为继双积分政策后的另外一个重要政策，这在第 3.1.1 章中国钢铁行业脱碳的政策方针中已经提及。中国碳市场尚未明确涵盖交通运输行业。研究人员呼吁中国政府优先建设统一碳交易市场，并开展相关研究，以将交通运输行业纳入中国碳排放权交易体系（Zhao 等，2022，第 10 页）。此外，建议税收和经济激励措施应基于对车辆全生命周期的考量。这将包括从双积分政策向碳控制政策的转变（Zhao 等，2022，第 10 页）。

与欧盟类似，**金融法规和激励措施**正在影响中国日益增长的汽车供应链脱碳需求。受访专家强调，除了国际上对环境社会治理报告的要求日益提高之外，双碳目标引发的绿色投资需求也促使金融机构在环境披露方面取得进展。近年来，各种政策文件相继出台，旨在为上市公司披露气候和环境信息设定统一标准——类似于欧盟分类法（Sausmikat 2021）。2015 年，中国人民银行发布了《绿色债券支持项目目录》，其中列出了符合绿色债券发行条件的项目，旨在通过绿色债券减少对非可持续项目的投资。欧盟分类法的对象是金融市场参与者（主要是投资者），而中国《绿色债券支持项目目录》的对象是绿色债券发行者，不包括碳排放阈值。化石燃料也未被排除在其范围之外（Dai 和 Xie 2019，第 2 页）。此外，由中央规划机构国家发展和改革委员会于 2019 年制定的《绿色产业指导目录》旨在引导资本进入绿色产业。与欧盟分类法相比，该目录侧重于污染防治而非气候变化，并且没有提供政策基础上的细节（Dai 和 Xie 2019，第 3 页）。

⁷ 在中国政府文件中，“新能源汽车”一词是指符合公共补贴条件的插电式电动汽车，包括纯电动汽车、插电式混合动力车和燃料电池电动汽车。

2021年，中国人民银行发布了《金融机构环境信息披露指南》，要求金融机构每年至少对外披露一次本机构环境信息。指南侧重于碳披露，并纳入了国际行业牵头的气候相关财务信息披露工作组的原则。指南纳入了对自身业务和融资活动的环境管理、风险分析及影响评估有具体要求的标准（中国人民银行 2021）。一位接受本研究采访的专家称，金融行业的环境披露要求将进一步加强绿色投资偏好，并增强汽车供应链中减少碳排放的意愿。此外，香港绿色金融协会在 2020 年提出了若干原则，市场主管部门和市场参与者在界定气候转型融资的操作框架时应考虑这些原则（Zhu 等 2022）。其中包括透明度和总体安排方面的要求，如披露与《巴黎协定》相一致的计划，以及对有证据证明参与低碳活动的约束。

与欧盟类似，中国也在着力加强产业循环。过去二十年里，中国制定了**循环经济发展规划**，实施了旨在协调环境与工业增长的全面概念（Bleischwitz 等，2022 年）。欧盟战略更注重废弃物分级处理和产品政策，而中国政策则采取了全面方法，涵盖一系列经济、环境和社会指标。水和空气污染被列为核心问题（Bleischwitz 等，2022，第 3 页）。相关政策文件没有为汽车行业设定具体目标，不过也对该行业及相关价值链产生了间接影响。国家发展和改革委员会发布的《2016 年循环发展引领行动》包括将循环经济方法应用于整个价值链和开发基于循环经济原则的新商业模式的总体建议。2020 年关于构建“双循环”（国内-国际循环）战略的提案是这项计划的补充，提案设想加强国内大循环，在不稳定的国际贸易环境下谋发展。此外，当前的“十四五”规划也着眼于循环经济，并在法规中进行了详细阐述，例如 2018 年修正的《中华人民共和国循环经济促进法》（2008 年通过）（Bleischwitz 等，2022，第 3 页）。中国的循环经济政策因衡量资源生产率而受到批评，因为资源生产率往往只基于单个物料流系统进行衡量，缺乏标准化核算方法。此外，脱碳问题没有得到直接解决，缺乏跨公司、跨行业和跨区域协调机制（Bleischwitz 等，2022，第 6–9 页）。

此外，中国还制定了具体政策，以提高**电动汽车电池的再利用和再使用率**。《电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策》（自 2016 年起生效）指导中国企业合理开展电动汽车动力蓄电池的设计、生产及回收利用工作，建立上下游企业联动的动力蓄电池回收利用体系。该政策规定，从“生产者责任延伸制”的意义上来说，公司要在其产品生命周期的所有阶段（包括设计、物流、消费、回收利用和处置）承担与环境 and 资源有关的责任（Muyi 和 Wenbo 2021）。2018 年发布的一部暂行办法成为该政策的补充。暂行办法要求新能源汽车生产企业负责回收所产汽车中的电池，并要求其建立废旧蓄电池回收服务网点，并加强与综合利用企业的合作（Muyi 和 Wenbo，2021）。“十四五”规划预计到 2025 年建成较为完善的动力电池回收利用体系；2021 年发布了若干政策文件，如《新能源汽车动力蓄电池梯次利用管理办法》（工业和信息化部于 2021 年 8 月发布），包括通过加强国家和地区部门以及行业利益相关者的合作，改善电动汽车蓄电池二次利用的环境保护、可追溯性和问责制的措施。几个选定的地区和城市正在实施改进蓄电池回收利用的试点项目（Hampel，2022）。

因此，中国政府正在采取一系列组合拳，包括为生产绿色产品的企业提供补贴，要求提高循环经济发展能力，以及落实需求侧措施（例如制定绿色金融标准），以此助力汽车行业脱碳。通常情况下，相关政策（尚）未专门提及汽车行业，但通过对汽车行业供应链的上游产业（如钢铁行业）的监管而对其产生间接影响。在中国，还必须在国家以国有企业的形式广泛进入汽车行业的背景下看待这些措施。国有企业采用特定的公司架构，因此需要对政府负有特殊义务，并限制公司的信息披露（García-Herrero 和 Ng 2021，第 2 页）。

总的来说，由于汽车行业对经济和国家安全都至关重要，该行业对中国中央政府具有重要战略意义，因此获得高额补贴（Brown 和 Grünberg 2022）。2009 年至 2017 年期间，政府在该行业投入约 587 亿美元，大力支持汽车电动化转型，并提高中国企业在全球电动汽车价值链中的主导地位（Sebastian 2021）。

3.2 行业方针

汽车行业和各公司越来越多地解决其环境影响问题，同时减少温室气体排放量（Böttcher 和 Müller，2013，第 479 页）。汽车制造商在个体和行业层面多措并举，力争实现其在供应链中

的温室气体减排目标。可以通过改善管理、产品设计或新技术、工艺及材料的开发和应用实现减排。

透明度：报告供应链/价值链排放

减少供应链中温室气体排放的一个重要前提，是同样沿着复杂的全球价值链进行可靠的记录。整个价值链上实现排放和资源透明，将使海外供应商能够以基本上气候友好的方式进行生产（德国能源署 2021，第 136 页）。多数大型汽车制造商报告了范围 1 和范围 2 的排放值——自有工厂和外购能源产生的排放——以及减排目标值（Agora 交通转型 2022，第 3 页）。欧盟和中国的许多汽车制造商将由世界可持续发展工商理事会（WBCSB）和世界资源研究所制定的《温室气体议定书》（GHG Protocol）作为其排放报告的主要参考**温室气体核算标准**。

然而，需要注意的是，多数中国汽车制造商并未公开披露其（在供应链中的）碳减排措施。因此，本研究主要参考了欧洲制造商的主要文献和实例。一位接受本研究采访的专家解释说，之所以缺乏信息和透明度，是由于中国汽车行业尚未实施涵盖原材料采购、整车生产、整车销售、整车使用、整车处置和回收利用的全生命周期碳核算体系，因此整个汽车产业链的温室气体排放量尚不清楚。

中国汽车技术研究中心（CATARC）是致力于填补这些数据空白的利益相关者。该中心是一家覆盖中国汽车行业所有相关领域的第三方审计机构，其子公司中汽数据有限公司（ADC）专注于中国行业数据。2018 年，中汽数据成立了**世界汽车生命周期联合研究工作组**。该工作组发布了《中国汽车低碳行动计划》，并在 2020 年与国内外多个机构的专家一起开展研究，对中国生产的汽车进行全生命周期的温室气体排放核算（中汽数据 2020）。中国汽车技术研究中心还在 2021 年发布了《乘用车生命周期碳排放核算技术规范》。文件规定了具体规则和标准，如核算范围、生命周期排放计算涉及的零部件和排放计算公式（中国汽车技术研究中心有限公司 2021）。同年，中国汽车技术研究中心与全国汽车标准化技术委员会一起发布了《中国电动汽车标准化工作路线图》（第三版），但未提及生命周期排放（全国汽车标准化技术委员会和中国汽车技术研究中心有限公司 2021）。

虽然许多公司已经披露了范围 1 和范围 2 的排放数据，但范围 3 的排放——发生在价值链其余环节的排放——却未得到一致的记录和报告，而且几乎没有为减少供应链中的温室气体排放设定目标。尽管事实上，供应链的二氧化碳排放量占多数制造商和供应商排放总量的 10%（Agora 交通转型，第 3 页）。此外，一些汽车制造商已经认识到，随着汽车电动化转型的推进，供应链排放将扮演更重要的角色：尽管由于汽车电动化转型，使用阶段的二氧化碳排放量不断减少，但供应链排放的重要性正在按比例增加。此外，由于零部件需求发生变化，供应链在行业利益相关者的脱碳计划中的重要性有所上升（参看：宝马 2022a，第 79 页；上汽 2022，第 8 页；大众汽车 2022b，第 41 页）。几家欧洲主要汽车制造商宣布了温室气体减排目标，不仅覆盖生产活动，而且涉及供应链环节：大众汽车将在 2033 年至 2035 年期间逐步停止生产内燃机汽车（大众汽车 2022b）。2021 年 9 月，宝马宣布，到 2030 年平均单车全生命周期碳排放减少 40%。戴姆勒的目标是从 2023 年起，生产环节实现气候中和（宝马 2022a）。瑞典制造商沃尔沃汽车的目标，是在 2018 年至 2025 年期间将每辆汽车的生命周期碳足迹减少 40%，并在 2040 年实现碳中和（沃尔沃汽车 2021 年 6 月 16 日）。

范围 1、2 和 3 的排放记录是公司/行业层面实现减排目标的第一项措施。通过系统记录和持续筛选，将二氧化碳排放的风险区域和主要排放源记录在子区域中。汽车公司根据这些信息制定了减排目标，并系统地固定在各个管理层面（Muslemani 等，2022；大众汽车 2022b，第 41 页）。

除了应用《温室气体议定书》或科学碳目标倡议（Science Based Targets Initiative）提供的报告和核算标准外，一些公司正在试验**数字方法**，以便在标准化数据交换平台上进行跨国界和跨行业的数据交换，从而在供应商、供货商和消费者之间进行市场沟通。开展这些工作的目的，是为了能够从通常只是对排放量的粗略估计过渡到对整个供应链的实际排放量的可靠记录。人们对分布式账本技术，例如区块链寄予厚望，（德国能源署 2022，第 20 页）。例如，Catena-X 汽车网络（汽车供应链中的国际合作伙伴联盟）正在开发一个开放、可扩展、分散

式网络，用于跨公司的安全信息和数据交换。通过该网络，可以针对汽车价值创造的核心流程创建数字图像，并测量和比较供应链中的实际二氧化碳数据（Catena-X 2022）。

汽车公司要求其供应商参与透明度计划（如碳信息披露项目 CDP 的供应链计划，其核心是就气候问题、减少二氧化碳排放或增加可再生能源的份额等进行年度报告⁸）的汽车公司还很少。整车厂可以将供应商的 CDP 排名结果纳入其采购流程，并在供应商会议和供应商管理战略中加以反映。宝马使用其供应商的 CDP 排名结果来确定授标中的投标人组别及其他事项（宝马 2022a，第 79 页）。

激励使用低碳能源

减少供应链中二氧化碳排放的一个重要手段是使用绿色电力。该手段在车用电芯的能源密集型生产中起着特别关键的作用（Hannon 等，2020，第 4 页）。汽车制造商可以影响它们的供应商，例如，通过合同约定只使用可再生能源生产电芯。宝马、大众汽车、沃尔沃汽车等汽车制造商也与电芯及其他能源密集型产品的供应商签订了关于使用绿色电力的合同（宝马 2022a，第 79 页；大众汽车 2022b，第 41 页；沃尔沃汽车 2021 年 6 月 16 日）。对于生产所需、尚不能由可再生能源覆盖的电力份额，可以使用二氧化碳排放量较低的能源，如沼气、氢气和可再生能源电力等（宝马 2022a，第 72 页）。

低碳能源的使用也在能源密集型钢铁生产中发挥着核心作用，目的是减少工艺流程排放。第 1 章中详细介绍了钢铁行业对此的做法。在这方面，汽车制造商也已经在利用自己作为重要买家的力量，对绿色钢铁生产试点项目进行大规模前期投资，或将清洁能源的使用作为采购标准，并在合同中要求供应商遵守。欧洲和中国的多家汽车制造商正在与钢铁生产商合作，测试用氢气生产钢铁，或推广使用其他低碳能源（见第 51-52 页方框）。

不同汽车制造商已经或正计划将二氧化碳减排措施作为向供应商授予合同的标准。⁹

在行业层面制定联合标准，例如通过企业/行业倡议

上述两种方法由整车厂与其供应商在个体层面上实施，但也在各种跨行业倡议中得到实施。一些倡议正致力于制定国际标准，以识别和减少高能耗原材料和产品供应链中的温室气体排放，如责任钢（ResponsibleSteel）、铝业管理倡议（Aluminium Stewardship Initiative）和可持续发展联合组织（Drive Sustainability）（铝业管理倡议 2022；责任钢 2018；可持续发展联合组织 2021）。国际统一标准将更容易比较国际供应商的二氧化碳排放情况，并有利于整车厂记录范围 3 的排放量（Muslemani 等，2022，第 6 页）。

跨行业倡议还可以产生单个公司无法自行汇编的知识。例如，可持续发展联合组织开发了“原材料展望平台”（Raw Material Outlook Platform）。这是一个可公开访问的在线平台，列出了汽车生产中的主要原材料及其在整个价值链上的相关环境、社会和治理风险，包括温室气体排放（可持续发展联合组织）。该行业的许多公司可以利用此类报告确定供应链中温室气体的主要排放源（宝马 2022a，第 77 页）。

个体公司往往与供应链较低层级上的供应商没有直接联系，也几乎没有市场势力，例如在采矿一级，它们只占有很小的市场份额（德国气候与经济 CEO 联盟和 Better Earth 2022，第 18 页）。通过在行业倡议中联手合作，公司可以整合它们作为买家的力量，对供应商施加更大影响。

公司往往通过加入跨行业倡议来履行额外的减排目标和系列标准。例如，瑞典汽车制造商沃尔沃汽车加入了零排放钢（SteelZero）倡议。在该倡议下，汽车公司承诺到 2050 年，所采购的钢材将全部为零碳钢材。该倡议由气候组织（Climate Group）和责任钢（ResponsibleSteel）共同管理，宗旨是利用采购大量钢材的行业中的不同组织的集体购买力，推动钢铁生产脱碳（零排放钢 2022）。

⁸ <https://www.cdp.net/en/supply-chain>

⁹ 宝马自 2020 年起引入了相应的奖励标准，宝马 2022a，第 79 页；大众汽车计划在未来将二氧化碳排放作为相关供应商合同的核心授予标准大众汽车 2022b。

许多倡议还组织交流活动，将整车厂和供应商聚集在一起，探讨脱碳方法。例如，可持续发展联合组织（Drive Sustainability）倡议在 2018 年携手中国合作伙伴宝马、沃尔沃汽车、沃尔沃集团、大众汽车、戴姆勒、捷豹路虎和斯堪尼亚，举行了与 25 家中国一级供应商的对话。着重探讨整车厂及其一级供应商如何制定共同方法，以提高供应链中一级以上的可持续性（可持续发展联合组织 2018）。一位受访专家强调，这种形式也正在发展成为培训模块。大型整车厂使用这些模块培训其供应商，包括脱碳专题培训。据这位受访专家介绍，二氧化碳管理方面的培训和知识建设在中国供应商中尤为重要和迫切，因为相较于欧洲，中国的许多供应商对二氧化碳减排措施了解较少，而且供应商的公司管理层对减排措施的支持往往很少。

循环经济方法/提高产品和材料效率

除了与供应商合作、共享数据及制定激励措施以减少供应商流程中的排放（例如通过采购标准）外，整车厂还在通过提高车辆的资源效率来减少供应链中的二氧化碳排放。

一方面，整车厂通过提高材料效率实现此目标，例如通过设计和制造用材更少的产品（如轻量化结构），或缩减过大车身尺寸（德国能源署 2021，第 134 页）。轻量化结构是减少车辆生命周期排放的基本方法，例如通过增加铝（混动汽车车身）、碳及其他复合材料的使用，摒弃钢等重金属。车身重量是决定使用阶段二氧化碳排放量的首要因素。较低的重量会降低油耗，从而减少二氧化碳排放。由于车辆使用寿命较长，这一点尤其重要。对于欧洲汽车行业来说，使用轻量化结构每年有可能减排二氧化碳 900 万吨（Braun 等，2021，第 21 页）。

此外，通过增加再利用和再使用配额、减少主要原材料的使用，也可以在汽车供应链上实现减排（德国能源署 2021，第 143 页）。铝的再利用和铝回收料的使用为二氧化碳减排提供了巨大潜力，特别是在车身结构中使用铝的减排潜力更加显著。熔化废铝的能耗仅为生产作为主要原材料的金属所需能耗的 5% 左右（Braun 等，2021，第 17 页）。与原生铝相比，使用再生铝可将二氧化碳排放量减少约 80%。就钢材而言，减排潜力为 70%。此外，还减少了与原材料开采相关的环境风险和损害（宝马 2022a，第 71 页）。

合成材料成分也通过回收利用变成优质颗粒，从而可用于生产新的零部件。此举可将每吨塑料对应的二氧化碳排放量减少 2 吨（取决于回收利用工艺）（Braun 等，2021，第 18 页）。其他来源称，通过在汽车零部件中增加使用再生塑料材料，如聚丙烯或聚乙烯，可以减排 34%，这些材料通常是“隐形英雄”（Hannon 等，2020，第 3 页）。

为了通过增加使用次生原料来充分挖掘二氧化碳减排潜力，必须在产品设计阶段确保材料能够再利用和再使用，而不会显著降低质量（Braun 等，2021，第 17 页；德国能源署 2021，第 137 页）。

特别是在电芯的能源密集型制造过程中，汽车制造商也在进一步开发回收利用方法，因为如果锂、镍、锰和钴等重要原材料以及铝、铜和塑料可以作为次生材料回收再利用，那么生命周期中将具有很大的温室气体减排潜力。在无需在高炉中进行能源密集型熔炼的回收利用过程中，每 62 千瓦时的电池最多可减排 1.3 吨二氧化碳（大众汽车 2022b，第 62 页）。在中国，部分城市已在 2018 年启动电动汽车蓄电池回收利用试点（Brown 等，2021，第 38 页）。目前，中国大约有 47 家电池回收企业入围政府发布的白名单。其中两家大型企业——邦普循环和格林美——占中国所有官方电池回收业务的 50% 左右。邦普循环是全球最大电池制造商宁德时代的子公司。2021 年 10 月，宁德时代还宣布将建设自己的回收厂（Hampel 2022）。在欧洲，回收电动汽车电池的初步尝试也在进行中，不过规模要小得多（Brown 等，2021，第 37–38 页）。

资源和材料替代

减少汽车供应链上二氧化碳排放的另一种方法是尽可能避免有限的原材料、材料和产品的负面影响，并使用可再生原材料：许多可再生原材料的二氧化碳平衡优于化石原材料，如大麻、洋麻、纤维素、棉花和木材。例如，用蒲公英代替橡胶可以节省运输距离，前提是蒲公英生长在

工业区附近。此举可减少运输排放。然而，通过替代减少二氧化碳排放的做法尚不成熟，而且在很大程度上依赖于所使用的工艺和材料（Braun 等，2021，第 26–27 页）。

良好实践范例

欧洲汽车制造商正在合作或投资关键技术，以实现关键原材料和部件（尤其是钢材）的无二氧化碳或低碳生产。此举使其能够减少供应链中的二氧化碳排放。

2021 年 6 月，瑞典**沃尔沃汽车集团**成为全球第一家宣布与**钢铁生产商 SSAB 合作开发**汽车行业用**无化石优质钢材**的汽车制造商。SSAB 正在 HYBRIT 倡议的框架内研究新工艺，希望通过使用绿色能源和氢气来消除炼钢过程中的碳排放。SSAB 计划从 2026 年起以商业规模向市场供应非化石燃料钢。沃尔沃汽车承诺在自己的生产中使用非化石燃料钢，从而减少供应链排放量（沃尔沃汽车 2021 年 6 月 16 日）。此外，沃尔沃汽车在中国最大的制造工厂已于 2020 年实现 100% 使用可再生能源。沃尔沃汽车通过新的供电合同实现了上述目标。根据该合同，工厂的大部分电力供应来自水电，其余电力由太阳能、风能及其他可再生能源提供（沃尔沃汽车 2021 年 6 月 16 日）。

大众汽车集团（中国）在 2021 年加速电动化转型，同时采取了多项措施，以减少供应链和生产过程中的温室气体排放。例如，大众汽车集团（中国）正在**鼓励其供应商使用可再生能源**，并与中国合作伙伴及供应商共同制定 2030 年前 100% 使用可再生能源电力的发展路线，其中包括内燃机和电动汽车供应商。该集团的供应商正在签署**承诺书**，承诺改用可再生能源电力。此外，大众汽车安徽工厂的一个项目将在 2023 年投产新能源车型，**该车型所搭载的电池将 100% 使用可再生电力生产**。大众汽车集团（中国）还在中国实施所谓的可持续发展绩效评级计划，**对供应商的可持续发展绩效进行强制性评估**，自 2021 年起纳入电动汽车生产方面。集团还致力于**在新电芯中增加使用再生成分**，并加强电池原材料的负责任采购，特别是镍、钴和锰（大众汽车 2022a）。汽车制造商还与供应商签订合同，购买其他零部件和材料的低排放产品：例如，在生产新款电动汽车时，使用**由绿色铝制成的电池外壳和轮辋以及低排放轮胎**。通过有针对性地使用更具可持续性的重点零部件，大众汽车希望将其电动汽车系列中每辆车的二氧化碳排放量减少约 2 吨（大众汽车 2022b，第 41 页）。

向整车厂供货的**汽车零部件制造商**也在与金属生产商及其他公司建立合作企业，以实现自己的脱碳目标，并满足整车厂对低碳零部件的需求。例如，西班牙金属加工商 **Gestamp**（专门从事成型技术）是欧洲汽车行业的主要供应商，在中国也设有几家工厂。该公司于 2021 年与钢铁制造商安塞乐米塔尔签署协议，使用后者的绿色钢材证书生产汽车零部件。**Gestamp** 表示，该公司根据安塞乐米塔尔的脱碳计划实现基于项目的二氧化碳减排，从而为整车厂提供碳足迹更低的产品，是汽车行业中首家具有此项能力的一级供应商（Gestamp 2021）。

4. 欧盟和中国汽车生产脱碳面临的主要挑战

汽车行业的供应链脱碳面临着多重挑战，主要归因于该行业复杂性和全球互联性。其中一些挑战是整个汽车行业所共同面临的，其他挑战则是中国或欧洲汽车行业及其供应链转型过程中所特有的。近年来，全球汽车行业面临着特殊挑战：新冠疫情导致的经济停摆、半导体供应困难以及乌克兰冲突导致该行业面临特殊的经济压力（德国之声 2022）。此现象已促使各方增加对汽车行业供应链问题的关注，但尚不清楚这些发展态势会减缓还是加快脱碳工作。然而，在欧盟成员国和中国，关于汽车行业供应链中温室气体减排的统一法定目标尚在制定中。这也使中国和欧盟在共同目标及协调统一脱碳政策、战略和标准方面的政治合作变得复杂。此外，还存在各种技术挑战，例如在提高资源效率以减少二氧化碳排放和确保绿色能源供应方面。

4.1 欧盟面临的主要挑战

汽车供应链具有高度复杂、国际化的特点，涉及许多不同的原材料和工艺流程。这在供应链脱碳的第一步也是核心步骤中，给汽车制造商带来了重大挑战：创造**透明度**并记录供应链上的所有相关排放。整车厂及其供应商需要了解不同零部件和工艺流程的二氧化碳强度，并认识到减排潜力的价值（Hannon 等，2020，第 5 页）。为达成此目标，必须在整个价值链上实现碳足迹透明化，为此必须制定并正确应用**共同报告标准**（德国能源署 2021，第 19 页）。然而，许多欧洲汽车制造商难以以可靠和可比的方式记录范围 3 的排放。尽管制造商已经有了核算其范围 1 和范围 2 排放的工具，但对间接和直接供应商的排放数据的收集在很大程度上仍不完整（Muslemani 等，2022，第 6 页）。一位接受本研究采访的专家认为，这主要是由于欧盟内部缺乏衡量供应链二氧化碳排放量的统一标准。尽管许多欧洲汽车制造商已将其排放核算和报告建立在《温室气体议定书》和科学碳目标倡议等自愿标准化方法之上，但在供应商和次级供应商层面，仍缺乏将排放量分配给个别产品的标准化选择。通过制定统一、高效的供应链数据交换标准，将可以单独计算每辆汽车的二氧化碳排放量，而无需根据平均值计算二氧化碳足迹。

欧盟的**车辆温室气体排放标准尚未涵盖全生命周期排放**，但预计到 2023 年，将对扩展(EU)第 2019/631 号条例的覆盖范围以纳入生命周期核算的可能性进行研究（Mock 2019）。这种对现有标准的修订可能会在未来大大加强对欧洲汽车制造商的报告要求。欧盟关于碳中和汽车分类法的要求给汽车行业带来了经济压力，迫使其加紧努力记录和减少供应链排放。

另一个挑战来自于汽车行业**对绿色钢材的依赖**。尽管有采用轻量化结构的趋势，但乘用车中的钢材占比依然很高。因此，减少炼钢过程中的排放是整个汽车供应链脱碳的核心。一些欧洲汽车制造商与钢铁生产商启动了绿色产品试点项目。不过，其中大多数尚未形成规模（Hannon 等，2020，第 5 页）。这使得汽车制造商依赖于使其供应链脱碳的解决方案，而目前大部分解决方案仍处于试点阶段。将规模扩大到工业水平需要投资和研发，而中小企业往往无力独立开展相关工作（德国能源署 2021，第 146 页，2022，第 12 页）。这为欧洲整车厂与中国钢铁生产商加强合作提供了潜力，因为欧盟使用的很大一部分扁钢产品进口自中国，同时许多欧洲制造商（尤其是德国制造商）正在扩大在华产能。为了使汽车行业通过对绿色产品的需求果断推进钢铁行业脱碳，必须扩大汽车制造商与钢铁生产商之间的合作，并将其扩展到国际范围。

除了绿色钢材供应量少之外，往往还**缺乏足够的绿色能源**，以至无法保证无碳生产。在欧洲汽车行业的主要生产基地（许多直接供应商、上游行业和工厂的关键地点），煤炭在当地电力结构中占很大份额，导致温室气体排放量高企不下。例如，2019 年，煤电在波兰电力结构中的占比高达 74%。在捷克共和国，煤电占比约为 45%（Weiss 等，2022，第 39–40 页）。在中国，许多欧洲整车厂设有大型生产基地，煤炭在电力结构中也占据很大份额（2019 年为 64%）（Weiss 等，2022，第 40 页）。这意味着，欧洲制造商供应链的脱碳也依赖于中国向可再生能源的能源转型。

减少供应链中温室气体排放的另一个挑战来自于**汽车行业向电动化的快速转型**，而欧洲制造商的转型速度将会更快，特别是在从 2035 年起禁止生产内燃机汽车的背景下。尽管汽车电动化转型将减少使用阶段的排放，但这一过程将在供应链中产生新的温室气体主要排放源——特别是通过增加使用二氧化碳密集型铝材（用于轻量化结构）和电池材料。中国利益相关者显然主导着全球汽车电池市场，但欧盟现在正试图扩大电池产能。应在早期阶段共同确定二氧化碳排放水平最低的生产标准，以使欧洲和中国电池制造商之间日益激烈的竞争不会导致为获取竞争优势而降低环境标准。

此外，欧洲汽车行业在**增加材料循环性**方面面临越来越大的压力，部分程度上归因于欧盟《循环经济行动计划》等政策。然而，重大技术挑战依然存在，特别是在**回收工艺**方面。虽然增加使用次生原料提供了很高的温室气体减排潜力（Weiss 等，2022，第 131 页），但仍然存在许多技术挑战：对汽车生产至关重要的金属，如钢、铝和铜的回收利用，往往导致降级回收。这意味着再生原料与原材料的质量不同。这通常是因为在拆解报废车辆时，铜和钢或不同的铝合金混合在一起。因此，特别是在汽车行业，往往不再能够进行再使用。粉碎所谓的“轻组分”和塑料也会导致回收利用过程中的质量损失（Braun 等，2021，第 15 页）。一位接受本研究采

访的专家强调，这方面是一个重大挑战。他指出，特别是合金往往是问题所在，因为生产优质原材料必须按类型进行分离。关于提高欧洲电动汽车电池产量的计划，还应注意的，电池回收利用方法尚处于早期阶段。迄今为止，中国企业一直在该领域占据主导地位。在这方面，及早交流知识可能有助于更快地采用最佳可行技术。

4.2 中国面临的主要挑战

由于**供应链的复杂性**，中国汽车制造商还面临着工艺流程脱碳的挑战。由于中国没有广泛应用的统一生命周期碳核算系统，导致缺乏汽车供应链中温室气体排放的信息，使这个问题变得更加严重。对中国主要汽车制造商的可持续发展报告的审查¹⁰也显示出缺乏对范围 3 排放的透明报告。一位接受本研究采访的专家指出，尽管电动汽车市场增长迅速，但中国消费者对绿色产品的需求并不强劲，导致缺乏改进二氧化碳报告和记录的动力。

与欧盟一样，中国汽车制造商继续严重依赖钢材和**钢铁行业脱碳**来减少自己的供应链排放。然而，迄今为止，中国尚无法供应充足的绿色钢材。中国汽车行业需要更多地利用其作为钢铁行业脱碳推动者的潜力，比如启动跨行业试点项目，一些欧洲整车厂已经开展了这方面工作。

除了缺乏可广泛获得的低碳材料和突破性技术，中国汽车制造商还面临着**绿色能源供应是否充足**的挑战。由于煤炭在电力结构中占比很高，这在中国是一个特殊挑战，受访专家也指出了这一点。汽车制造商和供应商依赖充足的清洁能源和必要的基础设施来满足低碳工艺的高能源需求（Zhao 等，2022，第 6 页）。

中国采取了**循环经济措施**，例如发布《“十四五”循环经济发展规划》、《电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策》等，但缺乏行动，导致公司、行业和区域之间难以相互协调。尽管有一些行业先驱对循环经济采取了全面、雄心勃勃的方法，但此方法尚未在更大规模上铺开。需要新指标来衡量循环经济的生产率及其对脱碳的贡献，并由不同层级的框架进行监控（Bleischwitz 等，2022，第 10 页）。由于中国是电动汽车电池的制造强国，改善汽车供应链循环性的重点之一是电动汽车电池的再利用和再使用，这在理论上为减少供应链排放提供了巨大潜力。然而，锂离子电池的再利用和再使用率非常低。原因之一是回收利用的经济效益存在不确定性，由于原材料价格低，如今回收成本往往仍高于新电池生产成本。此外，未来可能还会开发其他类型的电池，使得对锂离子电池回收利用的长期投资存在不确定性（Jacoby 2019）。这方面的研发需求仍然很大（欧洲环境署 2018，第 46 页）。中国还出现了大量非官方的小型回收商，它们所提供的回收服务的收费低于官方许可的回收商。然而，这些非官方的电池回收商并非始终可靠地回收所有有价值的资源，如钴和镍，而且经常不恰当地处置有价值的——对环境有害的——材料（Hampel 2022）。

4.3 中欧合作面临的主要挑战

由于欧盟和中国在汽车及相关领域保持紧密的经济联系，制定**一致的产品和原材料温室气体排放数据交换规则**以及制定统一的**温室气体减排标准**是关键挑战。中国和欧盟对于记录和减少生命周期排放都缺乏统一规定和应用的标准，不过许多欧洲制造商自愿使用《温室气体议定书》等国际标准。一位接受本研究采访的专家指出，中国和欧洲汽车供应链上的利益相关者往往会使用不同标准，这使得信息交换和制定协调一致的脱碳战略变得更加困难。

在中德关系中，减少供应链排放面临的另一个挑战与**铝**有关：中国是全球主要的铝供应国，而欧盟从中国进口大量二氧化碳密集型铝材。整车厂已在广泛致力于减少炼钢流程的排放，而在大多数脱碳战略中，铝仍然扮演着次要角色。促进中国和欧洲利益相关者就铝产品减排潜力进行交流的一种方式，可以是美欧**可持续钢铝全球安排**，后者专注于共同生产标准及其脱碳。该协议旨在参与制定低碳金属贸易共同标准的其他国家开放（欧盟委员会 2021d）。鉴于中国作为出口国的核心作用，加强与中国在可持续钢铝生产问题上的合作将至关重要。

¹⁰ 《上汽集团 2021 年度企业社会责任报告》和《重庆长安汽车股份有限公司 2021 年半年度报告》。

在中欧贸易关系的特定背景下，汽车供应链脱碳的最后一个挑战出现在**电动汽车电池**的生产方面。尽管欧盟试图使其进口来源多样化，但仍严重依赖从中国进口的产品，尤其是锂和电池用钴。如果欧洲利益相关者按计划增加欧盟的电动汽车电池产能，这种依赖性可能会进一步增加。尽管中国似乎愿意采用可持续水平更高的生产方式，并在电池原材料的提取和加工过程中采取更多措施来保护环境，但中国的环境标准仍普遍低于欧盟，这可能导致高二氧化碳排放（Wrede, 2022）。为了使欧盟能够以最环保的方式生产电动汽车电池，欧洲利益相关者应加强与中国供应商及政策利益相关者在原材料和零部件行业脱碳战略方面的合作。正如一位接受本研究采访的专家所指出的，在整个**矿业的排放方面，存在着很大的知识和报告缺口**。截至2021年，大多数大型矿业公司甚至没有设定与联合国将全球平均气温较工业化前水平升高控制在2摄氏度的目标相匹配的碳减排目标（Duraó 2021）。

当前的地缘政治形势，如新冠疫情或乌克兰冲突（在某些情况下导致供应困难），以及欧盟内部对供应链遵守环境和社会标准的日益增长的政治需求，导致关键原材料和行业的**供应链**出现“回流”的趋势。回流是指生产被移回或更靠近国内市场的过程，例如为了避免供应链中断（Suzuki 2021, 第2页）。欧洲努力扩大电动汽车和电池的国内产能便反映了这一点。这方面的举措包括建设欧洲电动汽车电芯工厂或建立半导体生产工厂，如英特尔在德国马格德堡的新工厂（Piller 和 Theurer, 2022）。与此同时，矿产安全伙伴关系等欧洲政策倡议旨在实现不依赖中国原材料进口的目标——这可能对电动汽车电池和原材料供应链产生重大影响。矿产安全伙伴关系的一个基本理念是，相比与中国的贸易关系，从民主的西化国家进口电池原材料时，更容易实现供应链中的气候目标以及社会和环境标准（2022, 第8页）。自新冠疫情爆发以来，中国也出现了将核心价值链重新定位的趋势。例如，中国宣布实施的“双循环”战略加强了本地消费作为经济增长和关键国内政策目标的驱动力，相对于海外进出口的重要性（Suzuki 2021, 第4-5页）。这些发展态势可能会使中欧未来的合作更加困难，包括在供应链脱碳领域。

欧盟和中国钢铁和汽车行业价值链绿色化的机会

最近爆发的危机，如新冠疫情或乌克兰冲突，导致全球贸易流崩溃，并推迟了关键货物的交付。这让全球政策制定者看到了全球供应链的极度脆弱性，并导致了回流趋势。这也适用于中国与欧盟的贸易关系。在 2021 年 9 月关于欧盟-中国新战略的决议中，欧盟议会呼吁欧盟委员会严格审查欧盟“在某些具有战略重要性的关键行业”对中国的依赖（欧洲议会 2021a），并减少“不必要的依赖”（欧洲议会 2021a）。

正如本研究以钢铁和汽车行业为例所显示的那样，欧洲和中国的经济目前通过复杂的供应链紧密联系在一起。尽管双方努力使供应链多样化，但这种联系可能会长期存在下去。原因是这两个行业在中国和欧盟的需求都在增长，而建立替代供应链是一个漫长的过程。

在此背景下，中欧供应链对实现全球气候目标起着至关重要的作用。如图所示，钢铁和汽车生产过程会排放大量温室气体。其中很大一部分排放发生在全球供应链中，例如原材料开采、零部件生产或运输环节。欧盟和中国都制定了雄心勃勃的政策和行业方针，以减少钢铁和汽车生产过程的排放。然而，欧盟-中国供应链中出现的排放问题尚未得到充分解决。有鉴于此，本研究确定了欧盟和中国的利益相关者应该合作的领域，以便有针对性地减少钢铁和汽车供应链的排放。

本研究的主要发现之一是，中国和欧盟在钢铁和汽车行业的脱碳进程中有着许多共同的政策和挑战。

针对**钢铁行业**，中国和欧盟都制定了雄心勃勃的行业目标，并着力提高新生产方法的成熟度和规模，特别是作为脱碳战略的氢基炼钢。主要挑战包括当前脱碳技术的成熟度低，以及需要对进一步开发低碳技术的研究和创新进行大量投资。

在**汽车行业**，欧盟和中国都已经启动电动化转型，在脱碳战略中更加重视供应链的温室气体排放。由于汽车供应链复杂而漫长，政策制定者和行业利益相关者在正确计算汽车生命周期排放量方面面临挑战，因此正在确立统一标准的制定方法。其他挑战包括“绿色”材料（如绿色钢材）供应不足，尚不能完全满足汽车行业的需求，以及绿色能源供应不足。此外，中国和欧盟都将促进循环经济发展，特别是提高电动汽车电池的循环性，作为减少汽车供应链中环境影响的一个关键方法。

因此，政策和行业利益相关者确定了以下行动领域，通过改善中欧利益相关者之间的对话与合作，这些领域具有巨大的温室气体减排潜力。行动领域基于共同挑战以及中国和欧盟已在采取类似做法的领域¹¹：

政策行动领域

- 1. 确保为当前脱碳技术的试点和示范项目开发提供足够资金：**中国和欧盟都需要投资，以使现有低碳技术可以投放市场。在可预见的未来，有效的研究和创新资金交易有助于加快开发成熟技术。还应探讨为联合试点项目提供资助的可能性，例如与电动汽车的低排放生产有关的项目。讨论内容可以包括推行绿色钢铁的融资方式。可以建立欧洲和中国利益相关者都可以使用的联合融资机制。这还涉及统一可持续性标准的分类法，将其作为私人投资和公共资金分配决定的基础。
- 2. 促进欧盟和中国的政策制定者就碳边界调整机制和“碳俱乐部”进行对话：**需要认真对待双方关于可能的碳边界调整政策的政策宏愿和关切。双方的政策制定者需要传达各

¹¹ 本研究的结果将作为与中欧商界、政界、科学界及民间社会专家举行的研讨会的参考资料。基于本研究的概述和已确定的行动领域，将提出旨在加强欧盟与中国钢铁和汽车行业供应链脱碳方面的建议。

自意图，以增进对政策方针的相互了解。为此需要适当的对话形式以开展交流：可以利用欧盟与中国之间的多边和双边平台，就碳和贸易政策以及各自的脱碳雄心进行对话。通过有效沟通，欧盟和中国可以共同迈向包容性“气候俱乐部”，后者基于相互信任和共同气候雄心，而非排斥。

- 3. 制定共同的价格信号：**欧盟和中国都使用碳定价机制，特别是碳排放交易机制，以促进向低碳技术的转变。以政策对话的形式在钢铁和汽车行业进行碳定价方面的合作，有助于在供应链的不同层面针对二氧化碳减排建立长期稳定的价格信号。相互学习碳排放交易体系的经验有助于两种碳定价方法的融合，并为供应链上的企业和投资者提供更清晰、更统一的政策框架。因此，关于排放交易和碳定价的政策对话可以加强监管框架，使行业参与者能够为共同的气候目标做出贡献。
- 4. 为合资企业和共同的行业方针创造公平竞争环境：**需要采用多利益相关者和跨行业方法，将中国和欧盟的公司、商业协会、非政府组织和研究机构聚集在一起，就包括范围 3 排放的脱碳路径交换信息。公私合作伙伴关系可以建立在对绿色钢铁和汽车需求的基础上，并帮助在行业和国家之间转让技术。这些交流必须确保所有参与者都能在合理条件下使用成功的技术。如果政策方针提供共同的激励措施来鼓励使用近零排放的生产技术，将可以大幅减少碳泄漏。应当为研发部门及行业数字化提供公共资金，将其作为利益相关者对话的补充。
- 5. 采取行动制定脱碳过程的联合标准：**在针对碳足迹和生命周期排放量的计算和报告制定联合标准的过程中，还应纳入范围 3 排放并覆盖所有行业。欧盟和中国的政治及经济利益相关者应合作制定国际化标准，纳入次级钢和废钢等。为此，需要建立审计人员可以应用的必要的管控和履约机制。例如，联合标准可以涵盖数据平台的建立、供应商评估指标、燃料消耗标准的统一以及情景建模。在汽车行业，应鼓励世界汽车生命周期联合研究工作组等中国汽车行业温室气体排放全生命周期核算方面的新倡议参考现有的国际标准（如《温室气体议定书》），并支持与国际伙伴进行交流，以确保标准的国际可比性。

行业行动领域

- 1. 为供应链设定明确的脱碳目标：**汽车制造商可以推动向绿钢的转变，因为其在采用钢材方面起着关键作用。首先，中欧整车厂需要为其供应链设定脱碳目标，然后以明确要求的形式传达给钢铁甚至电池供应商。钢铁行业和企业本身也可以制定明确的脱碳计划，附带明确目标（例如基于科学），并可以借鉴汽车行业的经验。
- 2. 加强跨行业合作：**部门和行业倡议，如可持续发展联合组织（Drive Sustainability）、责任钢（ResponsibleSteel）、铝业管理（Aluminium Stewardship）等，为制定温室气体排放水平转移的共同标准、交流最佳实践和成功经验提供了跨行业交流框架。此外，这些倡议有助于确定影响更深层次供应链中的利益相关者（如矿业公司）在改进脱碳工作方面的共同潜力。中欧钢铁和汽车行业的企业应越来越多地加入这类倡议，并参与直接交流。
- 3. 增加对联合研发试点项目的投资：**已有一些大型整车厂通过投资和承诺来支持钢铁行业的脱碳路径研究，以减少自己供应链上的排放。应当扩大此类合作，并加强中国和欧洲行业参与者在脱碳技术方面的合作。研发投资还应覆盖增加循环性、材料效率和回收利用等主题，特别是在钢铁、电池（材料）和铝领域。
- 4. 改善与供应商的脱碳知识共享：**许多供应商尚不具备与大型整车厂相同的脱碳策略知识。因此，应加强知识转让，例如为供应商开设二氧化碳管理培训课程。在这方面，

一个特殊的机会来自于许多大型欧洲整车厂在中国设有合资企业的现实；通过这些业务关系，整车厂与中国钢铁生产商之间可以确立培训和知识交流形式。碳信息披露项目供应链计划等倡议提供了现成架构，便于公司与自己的供应商就脱碳主题进行深入交流。

5. **共同提高供应链上温室气体排放的透明度：**仍然需要改进温室气体排放数据的收集工作，特别是下层供应链中范围 3 的排放数据。可以通过制定政策措施中所述的（各国之间的）共同标准实现这一目标。另一个解决方案是开发数字交换平台。通过该平台，供应商和客户能够以标准化的简单方式共享排放数据。一些公司已经在进行这项工作。汽车和钢铁行业公司应交换信息，以确保整个供应链上技术解决方案的可用性。在这方面，汽车行业现有的合资企业业务关系也为中欧利益相关者之间的交流提供了可能性。

参考文献

ACEA (2019): Steel import restrictions now definitive, leaving EU auto manufacturers “extremely disappointed”. Available online at <https://www.acea.auto/press-release/steel-import-restrictions-now-definitive-leaving-eu-auto-manufacturers-extremely-disappointed/>, checked on 6/17/2022.

ACEA (2021a): Position paper – Carbon Border Adjustment Mechanism. Available online at <https://www.acea.auto/publication/position-paper-carbon-border-adjustment-mechanism/>, checked on 6/17/2022.

ACEA (2021b): CO2 emissions from car production in the EU [Graph]. Available online at <https://www.acea.auto/figure/co2-emissions-from-car-production-in-eu/>, checked on 6/10/2022.

ACEA (2022): Key figures on the EU auto industry, 4/5/2022. Available online at <https://www.acea.auto/figure/key-figures-eu-auto-industry/>, checked on 7/12/2022.

ADC (2020): China Automobile Low Carbon Action Plan Research Report. Edited by Automotive Data Of China Co., Ltd.(ADC). Tianjin. Available online at http://www.auto-eaca.com/uploads/soft/200812/1_1612406751.pdf, checked on 7/12/2022.

Agora Verkehrswende (2022): Wie weit ist die deutsche Automobilindustrie auf dem Weg nach Paris? Analyse der Klimaziele großer Hersteller (Volkswagen, BMW, Daimler) und Zulieferer (Bosch, Continental, ZF). With assistance of Fanny Tausendteufel. Available online at https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Blog/20220322_Klimaleistung-Autoindustrie/Hintergrundpapier_Klimaleistung_Autoindustrie_clean.pdf, checked on 6/9/2022.

Aluminium Stewardship Initiative (2022): ASI and climate change action. Available online at <https://aluminium-stewardship.org/asi-and-climate-change-action>, checked on 6/14/2022.

Aoki, Kenji (2021): China to accelerate development of low-carbon automotive industry. Edited by Enviliance Asia. Available online at https://enviliance.com/regions/east-asia/cn/report_4408, checked on 7/21/2022.

Baldassarre, Brian; Maury, Thibaut; Mathieux, Fabrice; Garbarino, Elena; Antonopoulos, Ioannis; Sala, Serenella (2022): Drivers and Barriers to the Circular Economy Transition: the Case of Recycled Plastics in the Automotive Sector in the European Union. In *Procedia CIRP* 105, pp. 37–42. DOI:10.1016/j.procir.2022.02.007.

Bieker, Georg (2021): A global comparison of the life cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. Edited by ICCT – International Council on Clean Transportation. Available online at https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf, checked on 5/31/2022.

Bioenergy International (2021): Beijing Shougang LanzaTech New Energy Technology CCU plant achieves RSB Global Advanced Products Standard. Available online at <https://bioenergyinternational.com/beijing-shougang-lanzatech-new-energy-technology-ccu-plant-achieves-rsb-global-advanced-products-standard/>, checked on 4/27/2022.

Bleischwitz, Raimund; Yang, Miying; Huang, Beijia; XU, Xiaozhen; Zhou, Jie; McDowall, Will et al. (2022): The circular economy in China: Achievements, challenges and potential implications for decarbonisation. In *Resources, Conservation and Recycling* 183, p. 106350. DOI:10.1016/j.resconrec.2022.106350.

BMW (2022a): BMW Group Bericht 2021. Edited by Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft. Available online at <https://www.bmwgroup.com/de/bericht/2021/index.html>, checked on 6/9/2022.

BMW (2022b): Quartalsmitteilung 2022. BMW Group Quartalsmitteilung zum 31. März 2022. Edited by Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft. Available online at <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0386633DE/bmw-group-quartalsmitteilung-zum-31-maerz-2022?language=de>, checked on 6/9/2022.

Bobba, S.; Carrara, S.; Huisman, J.; Mathieux, F.; Pavel, C. (2020): Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU. A foresight study. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Böttcher, Christian Felix; Müller, Martin (2013): Drivers, Practices and Outcomes of Low-carbon Operations: Approaches of German Automotive Suppliers to Cutting Carbon Emissions. In *Bus. Strat. Env.* 24 (6), pp. 477–498. DOI:10.1002/bse.1832.

Bové, Anne-Titia; Swartz, Steven (2016): Starting at the source. Sustainability in supply chains. McKinsey & Company. Available online at <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Starting%20at%20the%20source%20sustainability%20in%20the%20supply%20chain/Starting-at-the-source-Sustainability-in-supply-chains.pdf>, checked on 9/5/2022.

Braun, Nadine; Hopfensack, Lucie; Fecke, Marina; Wilts, Henning (2021): Chancen und Risiken im Automobilsektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft. Vorstudie im Rahmen des verbundvorhabens Circular Economy als Innovationsmotor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI). Stiftung 2 Grad, WWF Deutschland, Wuppertal Institut.

Brown, Alexander; Grünberg, Nis (2022): China's nascent green hydrogen sector: How policy, research and business are forging a new industry. MERICS - Mercator Institute for China Studies. Available online at <https://merics.org/en/report/chinas-nascent-green-hydrogen-sector-how-policy-research-and-business-are-forging-new>.

Brown, David; Flickenschild, Michael; Mazzi, Caio; Gasparotti, Alessandro; Panagiotidou, Zinovia; Dingemans, Juna; Bratzel, Stefan (2021): The Future of the EU Automotive Sector. Edited by European Union. Available online at [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695457/IPOL_STU\(2021\)695457_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695457/IPOL_STU(2021)695457_EN.pdf), checked on 6/9/2022.

Buchenau, Martin-W.; Tyborski, Roman (2021): Engpässe in der Autoindustrie: Auf die Chipkrise folgt mit Aluminiummangel ein noch viel größeres Problem. In *Handelsblatt*, 10/22/2021. Available online at <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/lieferketten-engpaesse-in-der-autoindustrie-auf-die-chipkrise-folgt-mit-aluminiummangel-ein-noch-viel-groesseres-problem/27725012.html>, checked on 6/20/2022.

CAAM (2022): Leading ten domestic automobile manufacturers in China in 2021, based on sales volume (in 1,000 units) [Graph]. Edited by Statista. Available online at <https://www.statista.com/statistics/244353/automobile-manufacturers-in-china-by-number-of-cars-sold>, checked on 5/25/2022.

Carbon Brief (2021): What does China's 14th 'five year plan' mean for climate change? Available online at <https://www.carbonbrief.org/qa-what-does-chinas-14th-five-year-plan-mean-for-climate-change>.

Catena-X (2022): Catena-X. THE FIRST OPEN AND COLLABORATIVE DATA ECOSYSTEM. Available online at <https://catena-x.net/de/vision-ziele>, checked on 8/16/2022.

Chen, Ji; Li, Shuyi; Li, Ye (2021): Pursuing Zero-Carbon Steel in China. A Critical Pillar to Reach Carbon Neutrality. Edited by RMI. Available online at <https://rmi.org/insight/pursuing-zero-carbon-steel-in-china/>.

Chen, Zhinan; He, Hui (2022): How will the dual-credit policy help China boost new energy vehicle growth? California-China Climate Institute (CCCI); International Council on Clean Transportation (ICCT) (Policy Brief). Available online at https://ccci.berkeley.edu/sites/default/files/China_Dual_Credit_Policy_Brief_Feb2022.pdf, checked on 6/15/2022.

China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd. (2021): 乘用车碳排放核算技术规范. Available online at <http://www.auto-eaca.com/a/chengguofabunarong/ziliaoxiazai/zhongguoqichedit/2021/0730/411.html>, checked on 8/26/2022.

Christmann, Patrice (2021): Mineral Resource Governance in the 21st Century and a sustainable European Union. In *Miner Econ* 34 (2), pp. 187–208. DOI:10.1007/s13563-021-00265-4.

Coffman, Jason; Iyer, Raj; Robinson, Ryan (2021): The road ahead: Auto suppliers navigate new terrain. Insights from Deloitte's 2021 Automotive Supplier Study. Edited by Deloitte Development LCC. Available online at <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/global-automotive-supplier-study.html>, checked on 6/10/2022.

Cooper, Daniel R.; Skelton, Alexandra C.H.; Moynihan, Muiris C.; Allwood, Julian M. (2014): Component level strategies for exploiting the lifespan of steel in products. In *Resources, Conservation and Recycling* 84, pp. 24–34. DOI:10.1016/j.resconrec.2013.11.014.

Council of the EU (6/29/2022): Fit for 55 package: Council reaches general approaches relating to emissions reductions and their social impacts. Johannah Store. Available online at <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/29/fit-for-55-council-reaches-general-approaches-relating-to-emissions-reductions-and-removals-and-their-social-impacts/>, checked on 8/11/2022.

Dai, Lily; Xie, Wenhong (2019): Comparing China's Green Bond Endorsed Project Catalogue and the Green Industry Guiding Catalogue with the EU Sustainable Finance Taxonomy (Part 1). Edited by Climate Bonds Initiative. Available online at https://www.climatebonds.net/files/reports/comparing_chinas_green_definitions_with_the_eu_sustainable_finance_taxonomy_part_1_en_final.pdf, checked on 8/15/2022.

dena (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Edited by Deutsche Energie-Agentur GmbH.

dena (2022): DISKUSSIONSPAPIER – Auf dem Weg zur Klimaneutralität - Neustrukturierung industrieller Wertschöpfungsketten. Ergebnisse und Impulse aus einer Workshopreihe. Edited by Deutsche Energie-Agentur GmbH.

DERA (2020): Wirtschaftsmächte auf den metallischen Rohstoffmärkten – Ein Vergleich von China, der EU und den USA. Available online at <https://www.ressourcenwende.net/wp-content/uploads/2021/01/Wirtschaftsmaechte-auf-den-metallischen-Rohstoffmaerkten.pdf>, checked on 4/27/2022.

Deutsche Welle (2022): Autoindustrie leidet unter Chipkrise und Ukraine-Krieg. In *Deutsche Welle*, 4/20/2022. Available online at <https://p.dw.com/p/4A8b6>, checked on 8/15/2022.

Directorate-General for Climate Action (2021): Average CO₂ emissions from new passenger cars registered in Europe decreased by 12% in 2020 and the share of electric cars tripled as new targets started applying, 6/29/2021. Available online at <https://ec.europa.eu/clima/news->

your-voice/news/average-co2-emissions-new-passenger-cars-registered-europe-decreased-12-2020-and-share-electric-cars-2021-06-29_en, checked on 6/20/2022.

Drive Sustainability:Raw Material Outlook Platform.Empowering the automotive sector for human rights and environmental due diligence and to drive collaborative action.Available online at <https://www.rawmaterialoutlook.org/>, checked on 8/16/2022.

Drive Sustainability (2018):Driving Sustainability beyond Tier 1 in China:Awareness raising and localization activities remain priorities.European Commission.Available online at <https://www.drivesustainability.org/mediaroom/driving-sustainability-beyond-tier-1-through-supplier-oem-collaboration-in-china/>, checked on 6/14/2022.

Drive Sustainability (2021):Carbon Neutrality.Available online at <https://www.drivesustainability.org/carbon-neutrality-2/>, checked on 14/06/2022.

Durao, Mariana (2021):Most Miners Are Falling Short of Carbon Cuts Needed for UN Goal.In *Bloomberg*, 8/17/2021 (Europe Edition).Available online at <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-08-17-most-miners-are-falling-short-of-carbon-cuts-needed-for-un-goal>, checked on 6/14/2022.

Energy Transitions Commission; Material Economics:Steeling Demand:Mobilising buyers to bring net-zero steel to market before 2030.Available online at <https://www.energy-transitions.org/publications/steeling-demand/#download-form>, checked on 4/27/2022.

EURACTIV; Reuters (2020):EU extends anti-dumping duties on Chinese steel.Available online at <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/eu-extends-anti-dumping-duties-on-chinese-steel/>.

Eurofer (2019a):Low Carbon Roadmap.Pathways to a CO₂-neutral European Steel Industry.Available online at [https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/EUROFER-Low-Carbon-Roadmap-Pathways-to-a-CO₂-neutral-European-Steel-Industry.pdf](https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/EUROFER-Low-Carbon-Roadmap-Pathways-to-a-CO2-neutral-European-Steel-Industry.pdf), checked on 4/27/2022.

Eurofer (2019b):Safeguarding EU Steel.Support the industry: why we need the safeguard.Available online at <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/EUROFER-Infographic-Safeguarding-EU-Steel.pdf>.

Eurofer (2020a):European Steel in Figures 2020.Available online at <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>.

Eurofer (2020b):We are ready – are you?Making a success of the EU Green Deal.Available online at https://www.eurofer.eu/assets/publications/position-papers/a-green-deal-on-steel-update/2020-10-14-EUROFER-Policy-paper-A-Green-Deal-on-Steel_V5.pdf.

Eurofer (2021):European Steel in Figures 2021.Available online at <https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2021/European-Steel-in-Figures-2021.pdf>.

Eurofer (2022):What is steel and how is steel made?Available online at <https://www.eurofer.eu/about-steel/learn-about-steel/what-is-steel-and-how-is-steel-made/>, checked on 4/27/2022.

European Aluminium (2021):Current Primary Production.Available online at <https://www.european-aluminium.eu/data/economic-data/current-primary-production/>, checked on 7/21/2022.

European Bank for Reconstruction and Development (2022):EBRD supports steel industry decarbonisation in Slovenia.Available online at <https://www.ebrd.com/news/2022/ebrd-supports-steel-industry-decarbonisation-in-slovenia.html>, checked on 4/27/2022.

European Coalition for Corporate Justice (2022):European Commission's proposal for a directive on Corporate Sustainability Due Diligence.A comprehensive analysis.Available

online at <https://corporatejustice.org/wp-content/uploads/2022/04/ECCJ-analysis-CSDDD-proposal-2022.pdf>, checked on 5/20/2022.

European Commission (2020a):Critical Raw Materials Resilience:Charting a Path towards greater Security and Sustainability.Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>.

European Commission (2020b):MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN.Mehr Ehrgeiz für das Klimaziel Europas bis 2030.In eine klimaneutrale Zukunft zum Wohl der Menschen investieren, 9/17/2020.Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0562>.

European Commission (12/10/2020a):Green Deal:Sustainable batteries for a circular and climate neutral economy.Loonela, Vivian; Gospodinova, Sonya; Stoycheva, Daniela; Dejong, Céilia.Available online at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2312, checked on 6/20/2022.

European Commission (12/10/2020b):Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020.COM/2020/798 final.Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>, checked on 15.08.2022.

European Commission (12/10/2020c):REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020.COM/2020/798 final.Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>.

European Commission (2021a):COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2021/2139.Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2139&from=EN>.

European Commission (2021b):Commissions Staff Working Document.Towards competitive and clean European steel.Available online at https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd-competitive-clean-european-steel_en.pdf.

European Commission (2021c):Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a carbon border adjustment mechanism.Available online at https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/carbon_border_adjustment_mechanism_0.pdf.

European Commission (2021d):Questions and Answers:EU-US negotiations on trade on steel and aluminium.Available online at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_21_5722, checked on 4/27/2021.

European Commission (2022a):CO₂ emission performance standards for cars and vans.Available online at https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en, checked on 6/13/2022.

European Commission (2022b):Energy efficiency directive.Available online at https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en#energy-efficiency-for-climate.

European Commission (2022c):EU counters steel subsidies resulting from export restrictions on raw materials and transnational subsidies from China.Available online at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1774.

European Commission (2022d):Renewable Energy Directive.Available online at https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules_en.

European Commission (2022e):Road transport:Reducing CO₂ emissions from vehicles.Available online at https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles_en, checked on 7/21/2022.

European Commission (2/2/2022):EU Taxonomy:Commission presents Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonisation.Ferrie, Daniel; Apostola, Aikaterini.Available online at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_711, checked on 7/21/2022.

European Commission (2/23/2022):ANNEX to the proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on Corporate Sustainability Due Diligence and amending Directive (EU) 2019/1937.COM(2022) 71 final.Available online at https://ec.europa.eu/info/publications/proposal-directive-corporate-sustainable-due-diligence-and-annex_en, checked on 8/15/2022.

European Council (2022):Fit for 55.Available online at <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.

European Environment Agency (2018):Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives.TERM 2018 - Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report (EEA report, 13/2018).

European Parliament (2021a):European Parliament resolution of 16 September 2021 on a new EU-China strategy.2021/2037(INI).Available online at https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0382_EN.html.

European Parliament (2021b):Moving towards Zero-Emission Steel.Technologies Available, Prospects, Timeline and Costs.Available online at [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL_STU\(2021\)695484_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL_STU(2021)695484_EN.pdf), checked on 4/27/2022.

Fastmarkets (2019):China exhausts EU import quota for automotive-use coated flat steel.Available online at <https://www.fastmarkets.com/insights/china-exhausts-eu-import-quota-for-automotive-use-coated-flat-steel>, checked on 7/12/2022.

Fennell, Paul; Driver, Justin; Bataille, Christopher; Davis, Steven J. (2022):Cement and steel - nine steps to net zero.In *Nature* 603 (7902), pp. 574–577.DOI:10.1038/d41586-022-00758-4.

G7 Germany (2022):G7-Erklärung zum Klimaclub.Available online at <https://www.g7germany.de/resource/blob/974430/2057898/17914a4ac1df981dde525263a09b4f8e/2022-06-28-klimaclub-data.pdf?download=1>.

García-Herrero, Alicia; Ng, Gary (2021):China's state-owned enterprises and competitive neutrality.Edited by Bruegel (Policy Contribution, 05/21).Available online at <https://www.bruegel.org/policy-brief/chinas-state-owned-enterprises-and-competitive-neutrality>, checked on 8/15/2022.

Gestamp (2021):Gestamp signs agreement with ArcelorMittal to use XCarb® green steel certificates.Available online at <https://www.gestamp.com/Media/Press/Press-Releases/2021/Gestamp-signs-agreement-with-ArcelorMittal-to-use-XCarb%C2%AE-green-steel-certificates>, checked on 6/14/2022.

Groneweg, Merle (2020):Performance-Check Automobilindustrie: verantwortungsvoller Rohstoffbezug?Eine Analyse von Industrieinitiativen und Nachhaltigkeitsberichten.Überarbeitete Version.Berlin:PowerShift; INKOTA-netzwerke e.V.

Hempel, Carrie (2022): Battery reuse & recycling expands to scale in China. Beijing recently issued a series of directives for the battery reuse and recycling industries. *electrive.com*. Available online at <https://www.electrive.com/2022/01/29/battery-reuse-recycling-expands-to-scale-in-china/>, checked on 6/10/2022.

Hannon, Eric; Nauc ler, Tomas; Suneson, Anders; Y ksel, Fehmi (2020): The zero-carbon car: Abating material emissions is next on the agenda. Edited by Mc Kinsey & Company (Sustainability Practice). Available online at <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-zero-carbon-car-abating-material-emissions-is-next-on-the-agenda>, checked on 5/31/2022.

Hempel, Sofia (2021): Neun der zehn wichtigsten Kfz-Lieferanten sind EU-L nder. GTAI - Germany Trade & Invest. Available online at <https://www.gtai.de/de/trade/europa-uebergreifend/specials/neun-der-zehn-wichtigsten-kfz-lieferanten-sind-eu-laender-615200>, checked on 6/20/2022.

Hoffer, Rewer (2022): Dringend gesucht: Schrott. Edited by Neue Z rcher Zeitung. Available online at <https://www.nzz.ch/wirtschaft/gruener-stahl-warum-der-schrott-immer-teurer-wird-id.1672104>, checked on 4/27/2022.

HYBRIT (2022): A fossil-free future. Available online at <https://www.hybritdevelopment.se/en/a-fossil-free-future/>.

IBISWorld (2022): Global automotive manufacturing industry revenue between 2020 and 2022 (in trillion U.S. dollars) [Graph]. Edited by Statista. Available online at <https://www.statista.com/statistics/574151/global-automotive-industry-revenue/>, checked on 5/20/2022.

IEA (2020): Iron and Steel Technology Roadmap. Available online at https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb0c8ec1-3665-4959-97d0-187ceca189a8/Iron_and_Steel_Technology_Roadmap.pdf.

IEA (2021a): An energy sector roadmap to carbon neutrality in China. Available online at <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china>, checked on 4/27/2022.

IEA (2021b): Well-to-wheels greenhouse gas emissions for cars by powertrains (in gCO₂-eq/km) [Graph]. Available online at <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/well-to-wheels-greenhouse-gas-emissions-for-cars-by-powertrains>, checked on 6/10/2022.

IEA (2022): An Energy Sector Roadmap to Carbon Neutrality in China. Available online at <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC127468>.

International Aluminium Institute (2021): Aluminium Sector Greenhouse Gas Pathways to 2050. Available online at <https://international-aluminium.org/resource/aluminium-sector-greenhouse-gas-pathways-to-2050-2021/>, checked on 5/31/2022.

International Trade Administration (2020): Steel Imports Report: China. Washington (Global Steel Trade Monitor). Available online at <https://legacy.trade.gov/steel/countries/pdfs/imports-china.pdf>, checked on 7/12/2022.

Jacoby, Mitch (2019): It's time to get serious about recycling lithium-ion batteries. In *Chemical & Engineering News* 97, 7/14/2019 (28). Available online at <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>, checked on 7/21/2022.

Jin, Lingzhi; He, Hui; Cui, Hongyang; Lutsey, Nic; Wu, Chuqi; Chu, Yidan et al. (2021): Driving a green future: A retrospective review of China's electric vehicle development and outlook for the future. Available online at <https://theicct.org/publications/china-green-future-ev-jan2021>, checked on 6/20/2022.

JRC (2022): Technologies to decarbonize the EU Industry. Available online at <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC127468>.

Kardish, Christopher; Duan, Maosheng; Li, Lina; Tao, Yujie; Hellmich, Mary (2021a): The EU carbon border adjustment mechanism (CBAM) and China. Unpacking options on policy design, potential responses, and possible impacts. adelphi. Available online at <https://www.adelphi.de/en/publication/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-cbam-and-china>.

Kardish, Christopher; Mäder, Mattia; Hellmich, Mary; Hall, Maia (2021b): Which countries are most exposed to the EU's proposed carbon tariffs? Available online at <https://resourcetrade.earth/publications/which-countries-are-most-exposed-to-the-eus-proposed-carbon-tariffs>.

Kinch, Diana; Rubin, Richard (2022): EC to propose potential steel import safeguard changes late May, following review. S&P Global Commodity Insights. Available online at <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/metals/051122-ec-to-propose-potential-steel-import-safeguard-changes-late-may-following-review>, checked on 6/20/2022.

Kong, Ada; Zheng, Mingyang; Zhang, Xixi (2021): Auto Environmental Guide 2021. A comparative analysis of global automakers' decarbonisation: recent actions and future plans. With assistance of Erin Choi, Madeleine Cobbing, Jiseok Kim, Daniel Read. Edited by Greenpeace East Asia.

Li, Jin; Li, Shuyi; Xue, Yujun (2022): Closing the Loop. Value Chain Cultivation for Clean Hydrogen-Based Steel. RMI. Available online at https://rmi.org/insight/closing-the-loop/?utm_medium=email&utm_source=spark&utm_content=spark-a&utm_campaign=2022_03_31&utm_term=text#, checked on 4/1/2022.

Lin, Max Tingyao (2022): BEVs emit more CO₂ than conventional cars in parts of northern China: researchers. Available online at <https://cleanenergynews.ihsmarkit.com/research-analysis/bevs-emit-more-co2-than-conventional-cars-in-parts-of-northern.html>, checked on 6/20/2022.

Lin, Yuancheng; Yang, Honghua; Ma, Linwei; Li, Zheng; Ni, Weidou (2021): Low-Carbon Development for the Iron and Steel Industry in China and the World: Status Quo, Future Vision, and Key Actions. In *Sustainability* 13 (22), p. 12548. DOI:10.3390/su132212548.

Maçães, Bruno (2016): China's Belt and Road: Destination Europe. Available online at https://carnegieendowment.org/files/Maes_Chinas_Belt_and_Road.pdf, checked on 4/27/2022.

Maihold, Günther (2022): Die neue Geopolitik der Lieferketten. »Friend-shoring« als Zielvorgabe für den Umbau von Lieferketten. Edited by Stiftung Wissenschaft und Politik. Berlin (SWP-Aktuell, 45).

Material Economics (2018): The Circular Economy. A Powerful Force For Climate Mitigation. Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. Stockholm. Available online at <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1>, checked on 6/17/2022.

Material Economics (2021): Steeling Demand: Mobilising buyers to bring net-zero steel to market before 2030. Available online at <https://www.energy-transitions.org/publications/steeling-demand/#download-form>.

Mc Kinsey & Company (2021): The future of the European steel industry. Available online at https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/the%20future%20of%20the%20european%20steel%20industry/the-future-of-the-european-steel-industry_vf.pdf.

Ministry of Foreign Affairs of China (2020): Xi Jinping Addresses Climate Ambition Summit. Available online at https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1840220.shtml.

Mock, Peter (2019): CO₂ Emission Standards for passenger Cars and Light-Commercial Vehicles in the European Union. Edited by ICCT – International Council on Clean Transportation (Policy Update). Available online at <https://theicct.org/publication/co2-emission-standards-for-passenger-cars-and-light-commercial-vehicles-in-the-european-union/>, checked on 7/21/2022.

Muslemani, Hasan; Ascuri, Francisco; Liang, Xi; Kaesehage, Katharina; Wilson, Jeffrey (2022): Steeling the race: “Green steel” as the new clean material in the automotive sector. [Oxford]: The Oxford Institute for Energy Studies (OIES paper ET, 09).

Muyi, Yang; Wenbo, Li (2021): How can China better manage its used electric car batteries? Available online at <https://chinadialogue.net/en/transport/how-can-china-better-manage-its-used-electric-car-batteries/>, checked on 6/20/2022.

National Bureau of Statistics of China (2021): Car production in China in 2020, by region (in 1,000 units) [Graph]. Edited by Statista. Available online at <https://www.statista.com/statistics/279241/car-production-in-china-by-province/>, checked on 6/13/2022.

National Development and Reform Commission (2022): China issues roadmap for high-quality development of iron and steel industry. Available online at https://en.ndrc.gov.cn/news/mediar/sources/202203/t20220325_1320408.html https://en.ndrc.gov.cn/news/mediar/sources/202203/t20220325_1320408.html.

National Technical Committee of Auto Standardization; China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd. (2021): China Electric Vehicle Standardization Roadmap. Version 3.0. Available online at <http://www.cataarc.org.cn/upload/202111/11/202111111505212000.pdf>, checked on 8/26/2022.

OEC (2022): Cars in China. Observatory of Economic Complexity (OEC). Available online at <https://oec.world/en/profile/bilateral-product/cars/reporter/chn>, checked on 5/23/2022.

OECD (2018): China’s Belt and Road Initiative in the Global Trade, Investment and Finance Landscape. Available online at <https://www.oecd.org/finance/Chinas-Belt-and-Road-Initiative-in-the-global-trade-investment-and-finance-landscape.pdf>, checked on 5/27/2022.

OECD (2019): Measuring distortions in international markets: the aluminium value chain. Edited by OECD Publishing. Paris (OECD Trade Policy Papers, 218). Available online at <http://dx.doi.org/10.1787/c82911ab-en>, checked on 7/12/2022.

Pattison, Pete; Firdaus, Febriana (2021): ‘Battery arms race’: how China has monopolised the electric vehicle industry. In *The Guardian*, 11/25/2021. Available online at <https://www.theguardian.com/global-development/2021/nov/25/battery-arms-race-how-china-has-monopolised-the-electric-vehicle-industry>, checked on 5/23/2022.

People’s Bank of China (2021): Financial Industry Standard of the People’s Republic of China. Guidelines on Environmental Information Disclosure for Financial Institutions. Annex 4 (ICS 03.060, CCS A 11). Available online at <https://www.chinadevelopmentbrief.org/wp-content/uploads/2021/08/Guidelines-for-financial-institutions-environmental-information-disclosure.pdf>, checked on 8/16/2022.

Piller, Tobias; Theurer, Marcus (2022): „Musk muss uns nicht zeigen, wie man Fabriken baut“. VDA-Präsidentin Müller. In *Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung*, 3/27/2022. Available online at <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/elon-musk-muss-uns-nicht-zeigen-wie-man-fabriken-baut-17909264.html>, checked on 6/20/2022.

PowerShift (2021): Auf dem Weg zur Regulierung von Lieferkettenverantwortung: Richtlinien in der Volksrepublik China. Available online at <https://power-shift.de/auf-dem-weg-zur-regulierung-von-lieferkettenverantwortung-richtlinien-in-der-volksrepublik-china/>.

Reckordt, Michael (2022a): Heisses Eisen – Für kaltes Klima? Available online at <https://power-shift.de/heisses-eisen-fuer-kaltes-klima/>, checked on 4/27/2022.

Reckordt, Michael (2022b): PM: Trilog zur Batterieverordnung beginnt: PowerShift fordert Aufnahme von Bauxit, Kupfer und Eisen. Available online at <https://power-shift.de/pm-trilog-zur-batterieverordnung-beginnt-power-shift-fordert-aufnahme-von-bauxit-kupfer-und-eisen-in-verordnung/>, checked on 6/20/2022.

Reimers, Ariane; Stec, Grzegorz; Grünberg, Nis; Chimits, François; Arcesati, Rebecca (2021): Germany attempts to de-escalate EU-China tensions – why and at what cost? Edited by MERICS - Mercator Institute for China Studies (MERICS Briefs). Available online at <https://merics.org/en/merics-briefs/germany-china-strategic-autonomy-climate-cooperation>, checked on 7/19/2022.

Reisch, Viktoria (2022): The race for raw materials.

ResponsibleSteel (2018): ResponsibleSteel Standard. Available online at <https://www.responsiblesteel.org/standard/>, checked on 6/14/2022.

Reuters (2021): EU sets tariffs on Chinese steel wind towers. Available online at <https://www.reuters.com/business/energy/eu-sets-tariffs-chinese-steel-wind-towers-2021-12-16/>.

Reuters (2022): EU imposes anti-dumping tariffs on Chinese steel fasteners. Available online at <https://www.reuters.com/business/eu-imposes-anti-dumping-tariffs-chinese-steel-fasteners-2022-02-17/#:~:text=Tariffs%20of%20between%202022.1%25%20and,automotive%2C%20aviation%20and%20electrical%20sectors>.

RMI (2021): Pursuing Zero-Carbon Steel in China. Available online at <https://rmi.org/insight/pursuing-zero-carbon-steel-in-china/>.

Roland Berger (2020): The future of steelmaking – How the European steel industry can achieve carbon neutrality. Available online at https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/rroland_berger_future_of_steelmaking.pdf, checked on 4/27/2022.

SAIC (2022): SAIC 2021 Corporate Responsibility Report. Available online at <https://www.saic.com/sites/default/files/2021-07/2021%20SAIC%20Corporate%20Responsibility%20Report.pdf>, checked on 6/9/2022.

Sausmikat, Nora (2021): Auf dem Weg zur Regulierung von Lieferkettenverantwortung. Richtlinien in der Volksrepublik China. Edited by PowerShift, urgwald. Available online at <https://power-shift.de/auf-dem-weg-zur-regulierung-von-lieferkettenverantwortung-richtlinien-in-der-volksrepublik-china/>, checked on 5/20/2022.

Schäpe, Belinda; Tsang, Byford (2021): 1+N: What's in China's upcoming climate plans? In *Third Generation Environmentalism Ltd (E3G)*, 10/20/2021. Available online at <https://www.e3g.org/news/1-n-china-upcoming-climate-plans-1n-xie-beijing-han/>, checked on 7/21/2022.

Schütze, Franziska; Stede, Jan; Blauert, Marc; Erdmann, Katharina (2020): EU-Taxonomie stärkt Transparenz für nachhaltige Investitionen. Edited by DIW Berlin. Berlin (DIW Wochenbericht, 51). Available online at https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.807063.de/20-51.pdf, checked on 6/17/2022.

Scotiabank (2022):Number of cars sold worldwide between 2010 and 2022 (in million units) [Graph].Edited by Statista.Available online at <https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>, checked on 5/20/2022.

Sebastian, Gregor (2021):In the driver's seat:China's electric vehicle makers target Europe.Edited by MERICS - Mercator Institute for China Studies.Available online at <https://merics.org/en/report/drivers-seat-chinas-electric-vehicle-makers-target-europe>, checked on 7/19/2022.

Simon, Frédéric (2020):Steelmakers call for 'Green Deal' to counter Chinese dumping.EURACTIV.Available online at <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/steelmakers-call-for-green-deal-to-counter-chinese-dumping/>.

Slowik, Peter; Lutsey, Nic; Hsu, Chih-Wei (2020):How Technology, Recycling, and Policy can mitigate Supply Risks to the long-term Transition to Zero-Emission Vehicles.White Paper.Edited by The International Council on Clean Transportation.Available online at <https://theicct.org/sites/default/files/publications/zev-supply-risks-dec2020.pdf>, checked on 4/29/2022.

SSAB (2022):HYBRIT receives support from the EU Innovation Fund.Available online at <https://www.ssab.com/en/news/2022/04/hybrit-receives-support-from-the-eu-innovation-fund>.

State Council (2021):The State council on printing and distributing carbon peaks by 2030.Available online at http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.

steelonthenet (2020):World Steel Demand 2020.Available online at <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2021-World-Steel-in-Figures.pdf>.

SteelZero (2022):About SteelZero.Available online at <https://www.theclimategroup.org/steelzero>, checked on 6/14/2022.

Stephan, Benjamin; Lee, Insung; Kim, Jiseok (2019):Crashing the climate:How the car industry is driving the climate crisis.Edited by Greenpeace East Asia and Greenpeace Germany.Available online at <https://www.greenpeace.de/publikationen/Crashing%20the%20Climate%20engl%20LF.pdf>, checked on 5/31/2022.

Stiftung Klimawirtschaft; Better Earth (2022):Von Haltung zu Handlung.Was Unternehmen im Hier und Jetzt für die Dekarbonisierung tun können.Edited by Stiftung Klimawirtschaft, Better Earth Advisory GmbH.Berlin.Available online at <https://betterearth.partners/de/wissen/>, checked on 6/14/2022.

Suzuki, Hiroyuki (2021):Building Resilient Global Supply Chains.The Geopolitics of the Indo-Pacific Region.Edited by CSIS - Center for Strategic & International Studies.Available online at https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/210219_Suzuki_Global_Supply.pdf?DJzRt8ACjVJAKaikeMd8mToyx0ByQ6B8, checked on 8/16/2022.

Teubler, Jens; Söndgen, Niklas (2020):Nachhaltigkeitsfilter für öffentliche Mittel.Leitfaden zur anwendung der EU-Taxonomie.With assistance of David Knewitz, Matthias Kopp.Edited by WWF Deutschland, Wuppertal Insitut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.Available online at https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7696/file/7696_EU-Taxonomie.pdf, checked on 6/17/2022.

The Guardian (2021):'Green steel':Swedish company ships first batch made without using coal.Available online at <https://www.theguardian.com/science/2021/aug/19/green-steel-swedish-company-ships-first-batch-made-without-using-coal>.

Thomaset, Elisa (2022): Die politische Debatte um die europäische Batterieverordnung – klare Regeln für nachhaltige Produkte. Edited by PowerShift – Verein für eine ökologisch-solidarische Energie- & Weltwirtschaft e.V. Berlin. Available online at <https://power-shift.de/wp-content/uploads/2022/02/Die-politische-Debatte-um-die-europA%C2%A4ische-Batterieverordnung-web.pdf>, checked on 6/14/2022.

thyssenkrupp (2019): Weltpremiere in Duisburg: NRW-Wirtschaftsminister Pinkwart startet bei thyssenkrupp Versuchsreihe zum erstmaligen Einsatz von Wasserstoff im Hochofen. Available online at https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/weltpremiere-in-duisburg.html?gclid=EAlaIqobChMIwfGiyoi39wiVMPVCh2KFwL0EAAYASABEGLikvD_BwE, checked on 4/27/2022.

Titievskaia, Jana; Morgado Simões, Henrique; Dobрева, Alina (2022): EU carbon border adjustment mechanism. Implications for climate and competitiveness. EU Legislation in Progress. Edited by EPRS - European Parliamentary Research Service (Briefing). Available online at [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698889/EPRS_BRI\(2022\)698889_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698889/EPRS_BRI(2022)698889_EN.pdf), checked on 7/22/2022.

TrendEconomy (2021): European Union | Imports and Exports. Available online at <https://trendeconomy.com/data/h2/EuropeanUnion/2601#:~:text=billion%20in%202019,-,Imports%20of%20commodity%20group%202601%20%22Iron%20ores%20and%20concentrates%2C%20including,amounted%20to%20%24%201.96%20trillion>.

Tsang, Byford (2022): Will China's power crunch shift its climate policy? In *Third Generation Environmentalism Ltd (E3G)*, 5/10/2022. Available online at <https://www.e3g.org/news/will-china-s-power-crunch-shift-its-climate-policy/>, checked on 7/21/2022.

UNIDO (2022): INDSTAT 4 Industrial Statistics Database at the 4-digit level of ISIC Revision 4. Vienna. Available online at <http://stat.unido.org>, checked on 7/12/2022.

VDA (2022): Largest automobile markets worldwide in 2021, based on new car registrations (in million units) [Graph]. Edited by Statista. Available online at <https://www.statista.com/statistics/269872/largest-automobile-markets-worldwide-based-on-new-car-registrations/>, checked on 5/20/2022.

Volkswagen AG (2022a): Sustainability Reporting and ESG Performance Regions: Volkswagen Group China. Volkswagen Group China takes solid steps to reduce carbon emissions in production and supply chain. Available online at <https://www.volkswagenag.com/en/sustainability/reporting-and-esg-performance/regions/china.html>, checked on 7/12/2022.

Volkswagen AG (2022b): Nachhaltigkeitsbericht 2021. Available online at <https://www.volkswagenag.com/de/sustainability/reporting-and-esg-performance/sustainability-report.html>, checked on 6/9/2022.

Volvo Cars (6/16/2021): Volvo Cars is first car maker to explore fossil-free steel with SSAB. Available online at <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/282789/volvo-cars-is-first-car-maker-to-explore-fossil-free-steel-with-ssab>, checked on 6/10/2022.

VUB (2018): Industrial Value Chain: A Bridge Towards a Carbon Neutral Europe. Available online at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/institute_for_european_studies_-_industrial_value_chain_-_a_bridge_towards_a_carbon_neutral_europe.pdf.

WBSCD (2021): Value Chain Carbon Transparency Pathfinder. Available online at <https://www.wbcd.org/contentwbc/download/11536/175031/1>.

Weiss, Daniel; Jungmichel, Norbert; Grüning, Carolin; van Ackern, Pia; Kriege, Katja; Buderath, Markus et al.(2022):Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen – Branchenstudie Automobilindustrie.Edited by Umweltbundesamt (Texte, 56/2022).Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltrisiken-auswirkungen-in-globalen-lieferketten>, checked on 5/20/2022.

Wenten, Frido (2020):The Automotive Industry in China:Past and Present.In Alex Covarrubias V., Sigfrido M. Ramírez Perez (Eds.):New Frontiers of the Automobile Industry.Cham:Springer International Publishing (Palgrave Studies of Internationalization in Emerging Markets), pp. 279–300.

World Steel Association (2021a):2021 World Steel in Figures.Available online at <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2021-World-Steel-in-Figures.pdf>, checked on 4/27/2022.

World Steel Association (2021b):Climate change and the production of iron and steel.Available online at <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel.pdf>.

World Steel Association (2022):March 2022 crude steel production.Available online at <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2022/march-2022-crude-steel-production/>, checked on 4/27/2022.

Wrede, Insa (2022):The EU's risky dependency on critical Chinese metals.In *Deutsche Welle*, 4/15/2022.Available online at <https://p.dw.com/p/49tFf>, checked on 7/21/2022.

Xinhua (2022): Economic Watch:China's auto sales up 3.8 pct in 2021. In *Xinhuanet*, 1/12/2022. Available online at <https://english.news.cn/20220112/b06e467ce6bb4550b2188977e313be89/c.html>, checked on 7/12/2022.

Zhang, Jing (2022): 6 key drivers shaping China's steel market amid the latest COVID-19 surge.S&P Global Commodity Insights.Available online at <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/metals/041322-china-steel-market-covid-exports>.

Zhang, Yuntian; He, Hui (2022):China's efforts to decarbonize road transport: decent, but not sufficient.Available online at <https://theicct.org/china-ev-efforts-mar22/>, checked on 6/20/2022.

Zhao, Fuquan; Liu, Xinglong; Zhang, Haoyi; Liu, Zongwei (2022):Automobile Industry under China's Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals:Challenges, Opportunities, and Coping Strategies.In *Journal of Advanced Transportation* 2022, pp. 1–13.DOI:10.1155/2022/5834707.

Zhong, Frank (2020):Blog: How hydrogen is gaining momentum in the Chinese steel industry.Edited by World Steel Association.Available online at <https://worldsteel.org/media-centre/blog/2020/hydrogen-technology-momentum-chinese-steel-industry/>, checked on 4/27/2020.

Zhu, Laqiqige; Xie, Wenhong; Liu, Yanda; Xiong, Chengcheng; Liao, Yuan (2022): Transition Finance in China. latest development and future outlook.Edited by Climate Bonds Initiative.Available online at <https://www.climatebonds.net/resources/reports/transition-finance-china-latest-development-and-future-outlook>, checked on 7/21/2022.