

中国能源转型

—— 交通低排放之路



磐之石 ROCK ENVIRONMENT
AND ENERGY INSTITUTE
环境与能源研究中心



磐之石 ROCK ENVIRONMENT
AND ENERGY INSTITUTE
环境与能源研究中心

致力于推动以程序正义和理性批判为基石的环境政策决策机制的建立，
使社会向更加包容、公正和可持续发展的方向发展。

报告撰写：赵昂、林佳乔、潘小川、袁雅婷

报告校对：李颖、姜超

报告设计：北京形有色广告有限公司

发布日期：2019年11月

发布方：磐之石环境与能源研究中心

报告资助方：德国伯尔基金会北京办公室

网站：www.reei.org.cn

邮箱：info@reei.org.cn

电话：+86 (10) 61438032



微信公众号

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
海因里希·伯尔基金会(德国)北京代表处



非营利出版物，免费赠阅

前言

磐之石对于交通相关的议题关注已久，从航空业的气候行动到交通部门的能源转型都进行过研究和探讨，本年度的《磐之石能源评论 2019》则将关注焦点集中在交通部门，结合过去 7 年对能源转型、碳定价和清洁空气政策等方面的研究经验，通过六篇评论文章，我们从可持续交通决策框架、低排放交通政策、交通部门的公共健康影响、电动汽车环境和健康影响的全生命周期评价等视角，呈现国内外可持续交通发展的态势和案例、与此相关的政策和技术方面所面临的挑战、以及对交通领域低碳转型的政策建议，期待我们的文章有助于推动我国交通领域可持续能源转型政策的探讨。

本年度报告先就面向 21 世纪的可持续交通政策框架展开讨论，指出为发展可持续交通可以从改变居民出行方式的方面切入，将重点放在发展城市公共交通网络和服务能力之上，作为交通部门减缓气候变化的长期关键的方案之一。在此框架下，我们分析了中国低排放交通的已有政策并给出了政策建议，同时用日本作为案例探讨可持续交通发展之路，也对于中国交通领域更有雄心的气候承诺进行了比对分析，建议中国交通领域需加速低碳发展进程以应对日益严峻的气候变化问题。我们还对中国与交通相关的健康影响以及防控效益进行分析。最后，我们用全生命周期评价方法分析了电动汽车与传统燃油车的在气候变化、生态环境和公共健康等方面的差异，并提出推进交通可持续转型中国应该尽快实现电力系统的低碳发展的建议。

《磐之石能源评论》作为机构的核心年度报告，也是我们首次尝试这种聚焦于交通部门的专题讨论形式，期望能带给在低碳交通和能源转型及气候变化领域工作的人以更多的思考，促进交通部门的可持续发展。本年度报告的完成离不开机构成员的通力协作，借此机会感谢各位参与报告的磐之石员工的努力和投入。我们也特别向本报告的特邀撰稿人北京大学公共卫生学院潘小川教授表示感谢。最后，我们感谢资助今年报告的德国伯尔基金会北京代表处，期待我们在能源转型政策分析领域的合作在 2020 年有新的成果。



林佳乔

磐之石环境与能源研究中心联合主任

2019 年 11 月 01 日

作者简介

赵昂

磐之石环境与能源研究中心联合主任及创始人，在中国环境保护和能源政策领域工作多，长期关注气候变化治理、空气污染治理和能源转型及其健康、社会影响等议题，文章发表于：China Environment Series、Environmentally-Aware Business Models and Technologies、International Journal of Applied Logistics、Energytransition.org、《中华环境》和《环境资源与能源评论》。他拥有北京大学文学学士和伦敦政治经济学院环境政策科学硕士学位。

林佳乔

磐之石环境与能源研究中心联合主任及创始人，研究领域包括能源政策、低碳发展以及碳市场，有多年的能源与气候变化方面的学习和管理经验。文章先后发表于《中国战略新兴产业》、《中华环境》、《应用生态学报》等期刊及中国能源网、中国碳交易网等网站。他拥有东北师范大学生物学学士及硕士学位和英国曼彻斯特大学环境科学硕士学位。

潘小川

北京大学医学部公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系，教授、博士生导师。主要研究方向：环境流行病学、环境健康风险评价、大气细颗粒物污染的人群健康效应评价。先后参加和主持国家和北京市重大科研项目以及美国环保局、欧盟 FP6、FP7 项目、德国 DFG、澳大利亚 ALA 项目和韩国环境科学研究院等多项国际合作科研项目。在国内外核心期刊发表论文 100 余篇，获省部级科研成果 2 项，申请国家发明专利 1 项。

袁雅婷

磐之石环境与能源研究中心助理研究员，研究兴趣主要集中于碳市场和可持续发展，拥有辽宁大学理学学士和英国爱丁堡大学环境可持续发展硕士学位。

目 录

面向 21 世纪的城市地面可持续交通政策的决策框架：社会包容、环境可持续性和公共健康的“三重平衡”视角	4
1. 城市交通决策的综合性	4
2. 可持续交通决策模型	4
3. 洛杉矶：再造一个全球典范？	6
中国交通领域低排放政策回顾	8
1. 交通污染物控制方面	8
2. 低碳交通相关政策	10
更有雄心的国家自主贡献：交通领域需加速低碳发展	15
1. 中国交通碳排放现状与横向比较	15
2. 各国 NDC 中关于交通部门的承诺	16
3. 回顾中国 NDC 以及与其他排放大国的对比	17
应对城市地面可持续交通转型的挑战：日本的经验	21
1. 交通部门碳减排的大背景	21
2. 交通运输部应对气候变化的政策	22
3. 日本富山（Toyama）可持续交通策略实例	25
4. 政策建议	25
交通污染的健康危害及防控效益分析	27
1. 交通相关大气污染的现状	27
2. 交通相关空气污染物的主要健康影响	28
3. 控制交通相关污染后的人群健康效益	30
从全生命周期评价看电动车在可持续交通发展中的作用	32
1. 电动车是否真的绿色？	32
2. 电动车的未来：放在更广阔的社会、经济和技术的发展条件下考量	33
3. 发展电动车：中国的挑战在于尽快实现电力系统的低碳化发展	34

面向 21 世纪的城市地面可持续交通政策的决策框架：社会包容、环境可持续性和公共健康的“三重平衡”视角

赵昂

20 世纪的城市地面交通（以下简称城市交通）发展与国家经济增长水平（包括增长速度和增长质量）紧密相关。第二次世界大战至 21 世纪前十年的半个多世纪，世界经济增长的亮点出现在北美、欧洲和东亚地区，这些地区城市交通的发展在以修建更多道路提供更多私家车辆供给和以加大公共交通投资和供应之间寻找平衡，随着交通对城市空气污染贡献的增加以及全球在应对气候变化方面付出更多努力，传统上以促进 GDP 增长、提升人口流动性、控制交通拥堵、提供成本有效和安全的公共交通服务为主要目标的城市交通决策面临挑战，将社会公正、发展的包容性、气候变化、公共健康等因素纳入交通决策过程，似乎正在成为促进低排放（包括常规污染物和碳排放）交通系统实现的必要过程。本文即结合美国交通决策的模型和洛杉矶城市交通低排放发展的案例，来探讨面向 21 世纪的城市可持续交通的政策框架¹。

1. 城市交通决策的综合性

交通系统包括三个相互关联的领域：交通政策和规划、交通系统的设计和建造以及交通系统的运营、维护和运行寿命到期后的处置。虽然本文主要讨论第一个方面，但对后两个方面的考量也会影响到规划和政策。在规划和政策决策时，应当从全生命周期的角度考量如何有效处置交通系统运行到期后所产生的垃圾；如何在考虑了投资和经济可行性的因素后，也考虑交通系统的设计和建造与环境对用户友好性等因素，从而实施一种综合性的交通规划和政策决策。

城市交通规划和政策决策的复杂性体现在，它不仅涉及社会（交通便利性、安全性和交通资源的分配）、经济（出行时间和财务成本的可承担性、拥堵的社会和经济成本）等问题，而且对城市环境（空气污染、水污染、自然生态系统 / 生物多样性的影响 - 破坏栖息地 - 分割、噪音等）、公共健康以及全球气候变化都产生直接的影响。面向 21 世纪的城市可持续交通的政策决策框架，需要突破城市地域和利益纠结的局限，从长期的时间尺

度（如五十年以上）和全球的视角来审视问题和解决方案，跳出之前传统的决策模式，建立起一套包括新的评价指标的决策框架：

- 是否承担全球应对气候变化的责任，促进交通部门净零排放发展为目标；
- 是否改善城市环境质量为目标，持续减少危害公众健康的污染物排放；
- 是否控制城市交通资源这一重要公共品的供需平衡为目标，通过经济手段限制私家车数量的增长和加大包括地下和地上各种公共交通服务的能力和水平；
- 是否考虑到经济发展的包容型，为低收入城市人群提供可负担的、安全和可靠的公共交通出行可能；
- 是否与城市设计和规划结合，为未来实现城市的低碳发展提供支持和方案。

接下来，我们将展示美国政府和民间机构如何促进可持续交通发展的决策流程方面作出尝试和改变。

2. 可持续交通决策模型

每个城市当下交通系统的特性各有差异，实现低排放可持续交通的基础和能力也各不相同，但是上述所

建议的可持续低排放城市交通决策框架具有普遍性，目前在美国使用的决策模型也将本文所提及的因素考虑在

内。这里作以简要梳理。

GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation) 是交通系统温室气体、污染物排放和能源使用评价模型，由美国能源部 Argonne 国家实验室开发并持续更新，这一模型针对能源和交通政策的变化如何导致能源使用的全生命周期的产出变化。例如，在未来五年内促使 30-50% 的乘用车使用充电式电动或混合动力，美国的道路的全生命周期碳排放可以减量多少，相应的成本是多少。

交通决策离不开城市规划和社区设计。由一家非营利机构 EcoDistricts 开发的同名决策模型，聚焦于社区层面的决策，帮助将基础设施、建筑和交通等决策整合到社区行动中。这一模型正在开发四个决策框架，分别涉及机构组织、表现和评价、融资和政策支持。这一决策框架涉及很多新的理念和技术，包括自行车专用道、绿色街道、社区能源和水资源管理、公共艺术空间和智能电网等。

关于在城市规划决策中如何考虑可持续交通因素，UrbanSim / UrbanFootprint 是一个有趣的模型。这一模型支持都市发展的规划和分析，并将土地使用、交通、经济和环境等因素结合进决策过程，这有助于发现政策变化和基础设施对社区的影响，例如交通出行的便利性、住宅的可负担性和相应的碳排放。借助模型可以做情景分析，例如如何将经济、环境和公共健康等因素综合考虑，从而作出一定情景下未来交通发展的分析。

美国包括州和城市的地方政府也在决策中使用模型方法，例如纽约州交通部开发了交通和环境可持续发展的绿色领导力模型 (GreenLITES)，以此来认可和提升本州决策者将可持续发展的方法纳入与地区交通发展相关的规划、项目的设计和评价中，从而提升交通系统的可持续性。

类似的，美国伊利诺伊州交通部也开发了一个工具：伊利诺伊 - 宜居和可持续交通政策工具 (I-LAST)，提供了一套详尽可持续实践名录和简要的评价一个项目是否符合可持续性的方法，这一工具旨在最大可能减少

对环境的影响、降低资源消耗和能源消费。工具具有较强的实操性，因为它提供了一整套可参照的潜在可持续实践的清单，而且包括针对每种实践操作的相应原材料列表，这大大帮助了决策者将理念和方法落实到实践操作中。

通过以上的模型介绍可以看出来，政策制定者亟需一个决策工具，可以综合性地从交通系统的全生命周期来审视和思考可持续性，由于开发工具的机构常常是政策决策利益相关者之一，从组织架构、经验、习惯和专业的角度来看，他们所开发的模型都有所侧重，缺少从宏观、长远的战略视角来思考面向未来的可持续低排放交通的决策框架究竟应该是怎样的。这样的挑战已经被业界人士充分认识到，美国交通研究委员 (Transportation Research Board, TRB)²2015 年发表了一系列“交通面临的战略议题”报告，其中一份题为“可持续性作为交通政府决策部门的组织原则”的报告分析政府交通决策部门如何管理和组织，从而支持一个更加可持续的社会，并用模型详细解释了一个交通决策部门如何才能从着眼当下和短期利益走向聚焦长远和系统性方法来提供公共服务。报告中提出的一个概念是“三重底线” (Triple-Bottom Line, TBL)，即决策中应将经济、环境和社会三类因素都作为底线来衡量和计算。“三重底线是一种综合性的概念，不排除任何政策领域和系统。基于交通具有与其他人类活动整合的根本属性，很难将交通系统隔离来看。可持续交通要求考虑对可持续性 (Sustainability) 进行一种广泛的定义。在此种要求下，要考量交通如何影响整体社会的可持续性，同时也要考量交通之外的政策如何相互协调合作实现可持续性。”³

TRB 最新发布的《交通领域中的关键议题 2019》报告指出十二个关键议题⁴，涉及交通系统治理 (决策和制度安排、系统表现和资产管理、投融资和更高效和多样的交通人力资源的培育)，货运系统如何低碳发展，交通服务的公平性、安全性、健康性和应对人口变化和频发灾害的韧性，管理交通领域的研究和技术创新等，也有专门的一个部门讨论面向保护生态环境和实现可持

续发展的交通。其实，这十二个关键议题都与交通系统的可持续发展有关系，特别是交通部门治理、技术创新和能源转型是重中之重。如何立即行动，抓住应对气候变化的短暂时间窗口，将交通系统引入可持续发展的轨道，不少地方政府已经作出努力，接下来我们将观察一

个案例，这个城市曾经是 20 世纪 60、70 年代引领全球城市发展的样板——鼓励私家车发展、大兴高速公路、城市“摊大饼”式扩张，而当前正在洗心革面，开创一种回应气候变化的低碳城市发展模式，可持续交通即为创新的核心之一。

3. 洛杉矶：再造一个全球典范？

洛杉矶县（以洛杉矶市为核心、包括 80 多个城市在内的大洛杉矶地区）面积一万多平方公里，人口超过 1000 万（洛杉矶市有 400 万），经济总量（GDP）2017 年超过 1 万亿美元，位列同年全球各国 GDP 排名的第 16 位⁵。

洛杉矶县的居民因为拥堵造成的时间损失为 61 小时/年，洛杉矶连续十多年排名全美最拥堵地区⁶。面对不能再糟的情况，洛杉矶在过去近十年已经做出改变，在《地区交通规划 2012-2035》中，洛杉矶县城市交通管理机构（Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority）计划截止到 2035 年，投资 5250 亿美元发展可持续交通⁷。到 2012 年时，洛杉矶的地铁、轻轨、液化天然气公交、自行车道等公共交通网络已经具有一定规模。

洛杉矶交通和建筑两大部门的碳排放占比达到四分之三⁸。洛杉矶在减缓气候变化的行动中自然将交通减排放在了关键的位置。在 2015 年洛杉矶已经提出了较为积极的减排目标，在将应对气候变化作为施政最重要任务的市长 Eric Garcetti 先生的带领下，洛杉矶在 2019 年更进一步推出绿色新政（Green New Deal）⁹，制定了更有雄心的减缓气候变化的目标，这里仅举出与交通和城市规划有关的内容：

- 到 2045 年电力系统实现 100% 可再生能源供应；

- 到 2035 年左右，80% 的乘用车的动力来自电力或零排放燃料，而届时电力供应的 80% 来自可再生能源；

- 到 2050 年，100% 的车辆都是电动车或者零排放车辆，到 2030 年包括轨道和公交汽车的公共交通实现 100% 电气化；

- 与港口相关的碳排放以 1990 年为基线到 2050 年减排 80%；

- 相应电动汽车公共充电桩的建设数量在 2028 年要达到 28000 个；

- 通过大力发展公共交通（到 2035 年 50% 的出行都是由步行、自行车等低碳方式组成）；

- 实施公共交通出行为导向的都市设计和规划（到 2035 年 75% 的新建住宅要选址在距离公共交通站点不超过 1500 英尺的地方）；

- 采取逆向激励手段（在高拥堵地段收取更高道路使用费）等，洛杉矶计划将居民驾车日均行驶距离从 2017 年左右的 15 英里降至 2025 年的 13 英里和 2035 年的 9 英里。

洛杉矶设定了充满机遇和抱负的行动目标，也许再过十年的时间，我们可以用事实来判断，洛杉矶是否在可持续交通发展的创新和实践中创造了一个是世界级城市低碳发展的典范。

结语：你想生活再怎样的一个城市环境当中？

宏观来讲，可持续交通发展要求我们重建社会发展模式和政策决策框架，需要我们从社会、环境和经济等“三重底线”来平衡思考和决策我们的未来；从微观上讲，可持续交通的实现有赖每个公民用行动来回答一个问题：自己希望未来生活在怎样的城市环境中？应对气候变化是目前可持续发展领域最紧迫和最重要的问题，在交通领域也是如此。在《巴黎协定》的框架下，各国政府在自己的能力和资源约束下采取各种行动减少温室气体排放，这对于达到控制全球温升不超过 2 摄氏度的目标显然作用不够，因此全球范围内非国家（政府）主体，从商业企业、社区组织，到环保团体和个体公民，越来越多的人在自下而上地加入主动改变的行动中。未来的十年时间，这两股洪流将“并肩作战”，促成包括交通部门在内的社会生活的各个部门实现可持续发展和低碳发展为核心的转型，使未来大多数人口都生活的城市变得社会包容性更高、经济和技术更具活力和创造力、人口更享有健康和幸福、自然生态环境更可持续。这或许是我们每个人愿意生活的未来城市的模样。

注释：

1. 所谓可持续性，应该包括环境、经济和社会三个方面的可持续性，具体言之，应指环境的可持续性（气候变化）、经济发展的活力和共享增长 / 价值、社会的包容、多元融合和彼此尊重（避免贫富悬殊和基于信仰和价值的族群对抗）。
2. TRB 是美国国家眼姐理事会的六个主要分支之一，由美国国家科学院、美国国家工程院和美国国家医学学会联合管理，已近百年历史。这一跨学科、跨领域的研究机构通过研究和信息交流推动美国交通领域的创新和进展处于领先地位。
3. NCHRP Report 750 Volume 4: Sustainability as an Organizing Principle for Transportation Agencies
4. “Critical Issues in Transportation 2019: Policy Snapshot” 链接：<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/policystudies/criticalissuesbrochure.pdf>
5. 根据 Statista.com 关于 GDP 的数据比较而得。
6. Achieving a Lower Carbon and More Sustainable Transportation System, Pam O’ Connor. 链接：<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/3724oconnor.pdf>
7. 同脚注 6。
8. 本段所引用的数据来自刊载于 2019 年 4 月 29 日出版的《洛杉矶时报》中关于洛杉矶市长的专访，题为 Los Angeles Mayor Proposes Ambitious Sustainability Plan。链接：<https://www.govtech.com/fs/transportation/Los-Angeles-Mayor-Proposes-Ambitious-Sustainability-Plan.html>
9. 绿色新政计划（Green New Deal Plan）链接：<https://plan.lamayor.org/targets>

中国交通领域低排放政策回顾

林佳乔

交通运输业既有传统污染物排放，也有温室气体排放，这就让空气污染与气候变化这两个备受关注的问题在讨论解决方案时面临一定的挑战。尽管污染物同源，但是其产生的影响以及形成过程都有很大差异，这就导致针对二者的政策在制定时往往是割裂的，然而在实施层面他们却又是部分重叠的，使得政策实施效果未尽人意。本文将从污染物控制和低碳交通政策这两个角度出发，回顾中国在交通低排放政策方面的发展历程，就具体问题进行讨论并给出政策建议。

1. 交通污染物控制方面

2013年初中国北方持续性雾霾天气，2013年秋国务院颁布《大气污染防治行动计划》¹，也就是所谓的“大气十条”，这其中对于交通方面提出了具体的可行性建议，主要集中在交通管理、油品品质、高排放车辆淘汰、机动车环保管理、新能源车推广等方面。同年，《大气污染防治法》和《环保法》等法规相继修订，各地区和省市层面的空气污染政策也陆续出台，比如京津

冀、长三角等地的大气污染防治行动计划。

《大气污染防治法》作为大气污染防治领域基础性法律，该法于1987年颁布，在2000年第二次修订后历经15年后再度修订，在2016年开始执行的新版中²，对于交通部门中与机动车排放相关的几个条款整理如下：

表 1：《大气污染防治法》中有关机动车排放的条款内容

条款	主要内容
第五十条	<ul style="list-style-type: none"> · 根据城市规划合理控制燃油机动车保有量，大力发展城市公共交通，提高公共交通出行比例。 · 推广应用节能环保型和新能源机动车船、非道路移动机械，限制高油耗、高排放机动车船、非道路移动机械的发展，减少化石能源的消耗。 · 鼓励条件具备的地区，提前执行国家机动车大气污染物排放标准中相应阶段排放限值。
第五十一条	<ul style="list-style-type: none"> · 机动车船、非道路移动机械不得超过标准排放大气污染物。
第五十七条	<ul style="list-style-type: none"> · 国家倡导环保驾驶，鼓励燃油机动车驾驶人在不影响道路通行且需停车三分钟以上的情况下熄灭发动机，减少大气污染物的排放。

由《大气污染防治法》中的相关条款以及实际实施来看，与机动车污染物控制相关条款的实施效果主要体现在排放限值管理方面。在节能、公共交通、驾驶行为等方面，该法只是在鼓励和倡导的层面。

1.1 机动车排放限值

目前全国范围内普遍实施的机动车排放标准是简称为“国五标准”的《轻型汽车污染物排放限值及测量方

法（中国第五阶段）》（GB18352.5—2013），国五标准相当于欧盟的欧五标准，并已于2017年1月1日起在全国实施。根据《大气污染防治法》中相关条款，较发达地区如广东省，已经在2015年起提前执行第五阶段国家机动车大气污染物排放标准³。

生态环境部于2016年底发布了《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB18352.6—2016）。第六阶段标准将于2020年7月1日开始执

行，标准内限制远高于欧洲的第六阶段排放标准和美国的 Tier3 标准，是现今为止全球机动车排放标准中最严格的标准。目前全国各地已有不少省市开始执行“国六

标准”，广东省深圳市是最早开始执行该标准的城市，自 2019 年 7 月 1 日起，北京（公交和环卫车）、上海、天津、重庆、南京和杭州等六个城市也开始实施该标准。

表 2：机动车污染物排放标准比较

污染物	国五	国 6a	国 6b	欧 VI	美国 Tier3*	(单位)
CO (一氧化碳)	1000	700	500	1000	4200-1000 (2025 年)	mg/km
THC (碳氢化合物)	100	100	50	100	-	mg/km
NMHC (非甲烷烃)	68	68	35	68	-	mg/km
NO _x (氮氧化物)	60	60	35	60	-	mg/km
N ₂ O (氧化亚氮)	-	20	20	-	-	mg/km
PM (颗粒物浓度)	4.5	2.5	3	4.5	3	mg/km
PN (颗粒物数量)	-	6.00E+11	6.00E+11	6.00E+11	-	个/km

* 排放规定为 NMOG(非甲烷有机气体)+NO_x 总量，并分为七个等级逐渐替换。

可以看到：国六 a 作为过渡阶段标准与国五相比的主要变化是一氧化碳 (CO) 限值降低 30%，并且增加了对于氧化亚氮 (N₂O) 和 颗粒物数量 (PN) 的限制，而国六 b 则相较于国五降幅更大，各污染物普遍下降 30%-50%。值得一提的是，氧化亚氮本身也是一种温室气体，根据 IPCC 第五次评估报告 (AR5)，氧化亚氮在 100 年范围的 GWP (全球变暖潜能值) 为 265⁴，也就是二氧化碳的 265 倍。机动车排放标准变化后引入氧化亚氮限值是否会减少这种温室气体排放的相关研究较少，我们也认为有必要引起重视。

1.2 燃油标准

2013 年《大气污染防治行动计划》中提出“加快石油炼制企业升级改造，提升燃油品质。争取在 2013 年底前，全国供应符合国四标准的车用汽油，2014 年底前，全国供应符合国四标准的车用柴油；2015 年底前，京津冀、长三角、珠三角等区域内重点城市供应符合国五标准的车用汽、柴油，2017 年底前，全国供应符合国五标准的车用汽、柴油。”

北京作为先行者，已经从 2017 年 3 月开始实施“京

六”油品地方标准，而且值得指出的是它比国六更严格；同年 10 月起，北方大部分省市开启了区域联合行动，京津冀及周边地区“2+26”城市自此禁售国六以下车用油品。

2018 年 6 月，国务院《关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知》中就要求“2019 年 1 月 1 日起，全国全面供应符合国六标准的车用汽柴油，停止销售低于国六标准的汽柴油……”⁵。相比国五油品，国六汽/柴油重点降低了车用汽油的烯烃、芳烃、苯等含量；降低了车用柴油指标中多环芳烃含量，并增加总污染物含量的量化指标要求，与欧盟现阶段车用油品标准水平看齐，甚至个别指标还超过了欧盟标准。

1.3 交通需求管理：行政手段与经济手段并举

除了提高机动车尾气排放标准以及油品质量升级之外，在交通需求管理方面也有不少政策措施能减少污染物排放，比如为缓解交通拥堵在部分地区实施的限行和限号，这目前在中国的大城市中比较普遍，通过限制小汽车的购买和使用来降低交通需求。各城市或地区根据各地的大气污染防治行动计划出台的具体措施，以限制

交通需求，比如前述“26+2”区域联合行动中对于污染天气的限行措施。

除此之外，前文中提到的排放标准对于污染排放强度降低也能通过限行和禁行得以实现。机动车国六标准是针对新车的标准，对已购并正在使用的小汽车影响是要根据各地的具体政策执行是否以及如何限行。但是，国六标准公布后，未来发展趋势可能会对低于国六标准

的车采取更多的限制，比如在年检和限行方面。有些城市甚至出台了禁止国四车进入市区的措施，比如在山西太原，最新的管控措施中明确重点道路国四（含）以下柴油货车全天禁止通行⁶。因此，标准升级带来的污染物排放强度的降低也是控制排放的一个手段，至于如何实施则要考虑各地实际情况，对于限行和禁行政策进行制定。

小结：

我国在污染物主要是通过大气污染防治立法做出指引机动车尾气排放标准以及油品标准升级，目前已经在部分省市执行的国六标准处于国际先进水平。通过过渡到严格排放标准和油品质量标准减少污染物排放，这是控制污染物排放总量的必经之路，因为我国庞大的机动车数量在即使施行国六标准全面实行，由于基数大，其排放总量也是相当大的。此外，鼓励公共交通和新能源车、机动车总量控制、环保驾驶等相关政策对于减少污染物排放也起到一定作用，但是这些政策的目标并不完全聚焦于在控制污染物或者推进力度很小，不作为重点进行分析。

2. 低碳交通相关政策

2.1 低碳交通政策回顾：国家、省区和城市层面

关于低碳交通，国家层面的政策可以参考《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》⁷，其中对于交通低碳发展的部分主要集中在机动车总量调控、燃料替代、发展公共交通、低碳标准体系等方面（表3）。值得指出的是该规划提出研究建立新车碳排放标准，以及鼓励低排放车辆发展。在节能减排目标方面，该规划中提出“到2020年，单位客运周转量二氧化碳排放比2010年降低5%，单位货运周转量二氧化碳排放比2010年降低13%。”

其他国家层面的政策还包括低碳省市、智慧城市、大气污染防治重点城市等基于城市规划和未来发展的政策，其也是国家层面推动直接或间接促进减少交通碳排放的政策。目前在关注交通低碳的国家部委主要是发改

委和生态环境部，交通运输部曾在2012年开展过低碳交通运输试点城市，两批试点之后并没有继续进行。

从技术角度，有关于节能与新能源汽车技术发展的路线图给出了详细的减排技术路径⁸。从国家标准方面来讲，《乘用车燃料消耗量限值》这个标准其实就对新车CO₂排放进行了间接限制，根据燃料消耗在2020年限制在5.0L/100km这个水平来计算，届时二氧化碳排放限值将在120g-CO₂/km左右，这与欧盟从2020年引入95g-CO₂/km的新车排放限值⁹还是有一定的差距。目前，第五阶段标准（2021-2025）正在征求意见过程中¹⁰，目标是到2025年乘用车新车平均燃料消耗量达到4.0L/100km左右，届时此标准也接近于世界发达国家所设定的平均水平。

表 3：近年国内低碳交通相关政策梳理

国家层面	
《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020年）》 ¹¹	<ul style="list-style-type: none"> 指出以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向；鼓励发展天然气和生物燃料等替代燃料驱动的乘用车； 要求推动乘用车燃料经济性水平的持续改善，通过乘用车燃料消耗量的标准升级，实现 2020 年到，当年生产的乘用车平均燃料消耗量降至 5.0 升 / 百公里（L/100km），节能型乘用车燃料消耗量降 4.5 L/100km 以下。
《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》	<ul style="list-style-type: none"> 调控机动车保有量控制，积极推广天然气、纯电动汽车；鼓励发展低排放车辆； 积极发展城市公共交通，将 2020 年大中城市公交出行分担比率提高到 30%； 研究制定交通行业的低碳标准体系，以及研究建立新车碳排放标准等具体措施； 提出到 2020 年，单位客运周转量二氧化碳排放比 2010 年降低 5%，单位货运周转量二氧化碳排放比 2010 年降低 13%。
“十三五”控制温室气体排放工作方案 ¹²	<ul style="list-style-type: none"> 提出建设低碳交通运输体系，到 2020 年，营运货车与营运客车单位运输周转量二氧化碳排放比 2015 年分别下降 8%、和 2.6%，城市客运单位客运量二氧化碳排放比 2015 年下降 12.5%。 完善公交优先的城市交通运输体系，鼓励使用低碳和清洁的运输工具，到 2020 年，新能源车生产能力达到 200 万辆、累计产销量超过 500 万辆。 <p>提高乘用车和重型商用车燃料消耗量限值标准，研究新车碳排放标准；深入实施低碳交通示范工程。</p>
全国低碳试点省市（发改委）	<ul style="list-style-type: none"> 广东：推广使用新能源、可再生能源利用技术和节能减排新技术，促进理念、政策、体制机制和技术的全面创新，为加快建设低碳交通运输体系提供科技支撑和政策保障。 重庆：推进交通清洁能源工程建设，主城区新增公交车和出租车一律使用天然气等清洁能源。 杭州：进一步完善地铁、公交车、出租车、免费单车、水上巴士“五位一体”的低碳交通体系。
大气污染防治重点区域（生环部）	<ul style="list-style-type: none"> 京津冀：优先给予政策与资金支持，率先实现公交车和出租车领域的新能源车替代。针对小型车污染问题，着力解决公众对新能源车的接受能力，通过完善充电基础设施建设等，开展小型车的新能源车替代，逐步实现绿色交通体系的完善。
《节能与新能源汽车技术路线图》 ¹³	<ul style="list-style-type: none"> 未来 15 年发展以新能源汽车和智能网联汽车为主，汽车产业初步实现电动化转型； 也同时提出了节能汽车思路是重点发展混合动力车、提高小型车比例、兼顾天然气汽车； 碳排放目标：汽车产业碳排放总量先于国家提出的“2030 年达峰”的承诺和汽车产业规模达峰之前，在 2028 年提前达到峰值；

《乘用车燃料消耗量限值》(GB 19578-2014)和《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》(GB 27999-2014)实施 ¹⁴	<ul style="list-style-type: none"> 2016年1月1日起，要求汽车生产企业2016年平均燃料消耗标准需满足6.7 L/100km； 此后要逐年提升燃料效率，到2020年平均燃料消耗量降至5.0 L/100km
省区层面	
《海南省清洁能源汽车发展规划》 ¹⁵	<ul style="list-style-type: none"> 该规划提出2030年实现“绿色智慧出行新海南”的总目标，并提出了2020年、2025年、2030年三个阶段性目标。 公共服务领域力争2020年实现清洁能源化；社会运营领域力争2025年实现清洁能源化；私家车领域力争2030年全省新增和更换新能源汽车占比100%。
城市层面	
低碳试点省（区）市的碳排放达峰目标	<ul style="list-style-type: none"> 加速纯电动和混合动力汽车发展； 推进氢燃料电池汽车示范应用； 大力发展公共交通和轨道交通； 建立行人、非机动车和公交优先的路权体系； 鼓励支持共享交通有序、快速发展； 增加铁路水路运输比例； 发展物流的同时，抓住货运行业减排机遇； 探索交通减排机制创新，通过市场手段促进减排。
企业层面	
汽车制造销售商	<ul style="list-style-type: none"> 沃尔沃：2019年起停止生产销售传统内燃车型，抛弃柴油发动机，上市新车配备电动机。 菲亚特-克莱斯勒(FCA)集团：2022年FCA旗下纯电或混动车数量达到50%。 大众：五年内逐渐停止销售燃油车，直至实现车型的电动化。

在省区层面，各地要落实国家“五年计划”中涉及交通部门的能源强度和碳排放强度达标这两个目标责任，主要是针对营运车辆。此外，2019年春被广泛关注的“禁燃”话题，源于海南省未来交通清洁、低碳化的目标，从2030年起全省将全面禁止销售燃油汽车。在城市层面，目前全国已确定的87个低碳试点省市中，有72个已经提出了自己的碳排放达峰目标。有不少城市甚至将达峰时间定在2020年，大部分城市的目标是在2025-2030年达峰。

2.2 对于当前低碳交通政策的建议

从国家宏观政策层面来讲目前的低碳交通政策并没有很聚焦，并且处于规划和工作方案执行的层级，设定的目标也主要集中于营运交通领域，对于增长最快的非营运领域，也就是私家车等方面，尚缺乏有效的控制政策。我们观察到的具体问题和建议如下：

- 出台交通部门应对气候变化的专门政策

依据《中国应对气候变化国家方案》以及《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》等文件，制定并组织落实交通运输行业应对气候变化的专门方案或专项

行动计划，并细分到公路、铁路、水运和航空等子部门。

- 扩大交通排放达峰目标范围

虽然有一些城市提出了城市层面交通碳排放达峰，但是大多数城市并没有设置目标，因此需要进一步扩大低碳城市试点以增加承诺达峰城市的数量和规模，并将其扩大到更大的省区范围。

- 强化交通低碳政策与标准体系

车辆碳排放标准及其对应的碳减排量应与国家宏观层面的国家自主贡献（NDC）挂钩；就如同空气污染物管理一样，特定的空气质量水平对应着各行业污染物的排放总量限制，并以此来制定排放限值标准和相应政策。

- 更明确低碳技术路线

提高低碳燃料占比是不同低碳路线都要考虑的问题，如何合理评估不同低碳燃料如LNG（液化天然气）、CNG（压缩天然气）、电力、氢燃料等的经济型与可行性，目前还存在较大的任意性和行业判断影响合理技术路线的选择。

- 协调经济发展和社会公平

多数城市交通政策主要是围绕实现低碳城市的目标，而对实现可持续和宜居城市等更宏观的目标缺乏相应的配套政策，如在实现低碳城市的基础上促进社会经济的发展和公平。对于出行的公平性考虑不足。

- “禁燃”的讨论应该开启

目前国内仅有海南省出台了有关禁售燃油车的政策。欧盟、美国等地已对“禁燃”纷纷表态，中国对于燃油车未来的发展规划以及禁售时间表，也应更大尺度开启讨论，如省区甚至国家层面。

- 国家级低碳政策需增加协同性

住建部和科技部推出了国家智慧城市试点，智慧城市对于低碳交通的发展有促进作用，但是其中具体政策可能与发改委主导的全国低碳试点省市有所重叠。因此，不同部委推出的针对低碳交通的政策在制定和实施过程中应做适当的协调，避免政策效果打折扣。

- 碳定价缺失

由于交通领域的移动源特性造成碳排放小且分散，这让基于市场、成本有效的政策手段如碳排放权交易来控制交通部门碳排放面临挑战。目前，新加坡已经部门全覆盖实施了碳税，而我国对于交通部门碳定价的选择仍处于讨论阶段，支持实施碳税的人认为其更简单易行。

结语

由于交通部门传统污染物与温室气体排放具有同源性，导致不少交通低排政策是有重叠性的。但是总的来说，实现交通部门减排主要有四类手段：控制交通活动水平、优化交通方式构成、提高燃料使用效率和促进清洁能源应用¹⁶。目前国内清洁交通、低碳发展还是依赖于燃料替代以及出行方式替代来减少化石燃料消耗减量，进而减少传统污染物以及温室气体排放。中国城市交通部门减排面临的普遍问题是，提高车辆能效的现有技术措施所带来的减排作用和效率相对较低，不足以抵消排放量的增长。

在中美贸易战打响之后，国家对于汽车等重点消费品的倾斜¹⁷，“严禁各地出台新的汽车限购规定，已实施汽车限购的地方政府应根据城市交通拥堵、污染治理、交通需求管控效果，加快由限制购买转向引导使用……”，这给国内未来的低排放交通的发展带来不确定性，在目前的经济情景下未来可能面对更多类似问题。因此，如何用市场手段代替限行、限购这类行政手段，通过基于市场的机制来进行交通活动水平管理并平衡汽车产业的发展是未来交通政策的挑战之一。

低排放交通应该能作为交通部门未来发展的一个口号，我们最后建议在制定低排放交通政策时不仅着重讨论解决方案层面的问题，也应该将公众健康的因素考虑进来，以及进一步探讨如何提高公众绿色出行意识以及转变既有驾驶行为等方面。

注释：

1. 《大气污染防治行动计划》，国务院。链接：http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content_2486773.htm
2. 《中华人民共和国大气污染防治法》，生态环境部。链接：http://zfs.mee.gov.cn/fl/201811/t20181113_673567.shtml
3. 广东省环境保护厅关于广东省提前执行第五阶段国家机动车大气污染物排放标准的通告。链接：http://www.gdep.gov.cn/zwxx_1/zfgw/shbtwj/201502/t20150215_199209.html
4. Global Warming Potential Values, GHG Protocol. Link: http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf
5. 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知国发〔2018〕22号。链接：http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm
6. 太原市出台载货车通行市区管控措施，人民网。链接：<http://sx.people.com.cn/n2/2019/0320/c189132-32755667.html>
7. 国家应对气候变化规划（2014—2020年），2014，国家发改委。链接：<http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201411/W020141104591413713551.pdf>
8. 《节能与新能源汽车技术路线图》，2019，节能与新能源汽车技术路线图战略咨询委员会，中国汽车工程学会 编
9. Reducing CO2 emissions from passenger cars, European Commission. Link: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
10. 汽车强制性国家标准《乘用车燃料消耗量限值》和《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》征求意见的函，2019。链接：<http://www.catarc.org.cn/StandardRevision/detail/1247.html>
11. 国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）的通知，2012，国务院。链接：http://www.gov.cn/zwgk/2012-07/09/content_2179032.htm
12. 国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知国发〔2016〕61号。链接：http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm
13. 《节能与新能源汽车技术路线图》，节能与新能源汽车技术路线图战略咨询委员会，中国汽车工程学会 编，2017，机械工业出版社。
14. 乘用车燃料消耗量第四阶段标准发布，2015，工信部。链接：<http://www.miit.gov.cn/newweb/n1146285/n1146352/n3054355/n3057585/n3057592/c3616946/content.html>
15. 《海南省清洁能源汽车发展规划》，2019，海南省政府。链接：<http://www.hainan.gov.cn/hainan/szfxwfbh/201903/1c7d9c22de134a0194f25a92fedaca8d.shtml>
16. 《中国低碳城市交通发展研究》，杨宝路著，2017，中国环境出版社
17. 《推动重点消费品更新升级 畅通资源循环利用实施方案（2019—2020年）》，2019，发改委。链接：<http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201906/W020190606539195149373.pdf>

更有雄心的国家自主贡献：交通领域需加速低碳发展

林佳乔

中国在《巴黎协定》下的气候承诺在新兴经济体中横向比较是具有雄心的，国家自主贡献（NDC，Nationally Determined Contributions）中也提到了2030年左右排放达峰这样的目标，但是放在全球升温2℃甚至是1.5℃温升控制的情景下，中国被认为应该承担更多的责任。在此背景下，作为世界第一排放大国，中国的NDC又被冠以“严重不足（highly insufficient）”¹的标签。

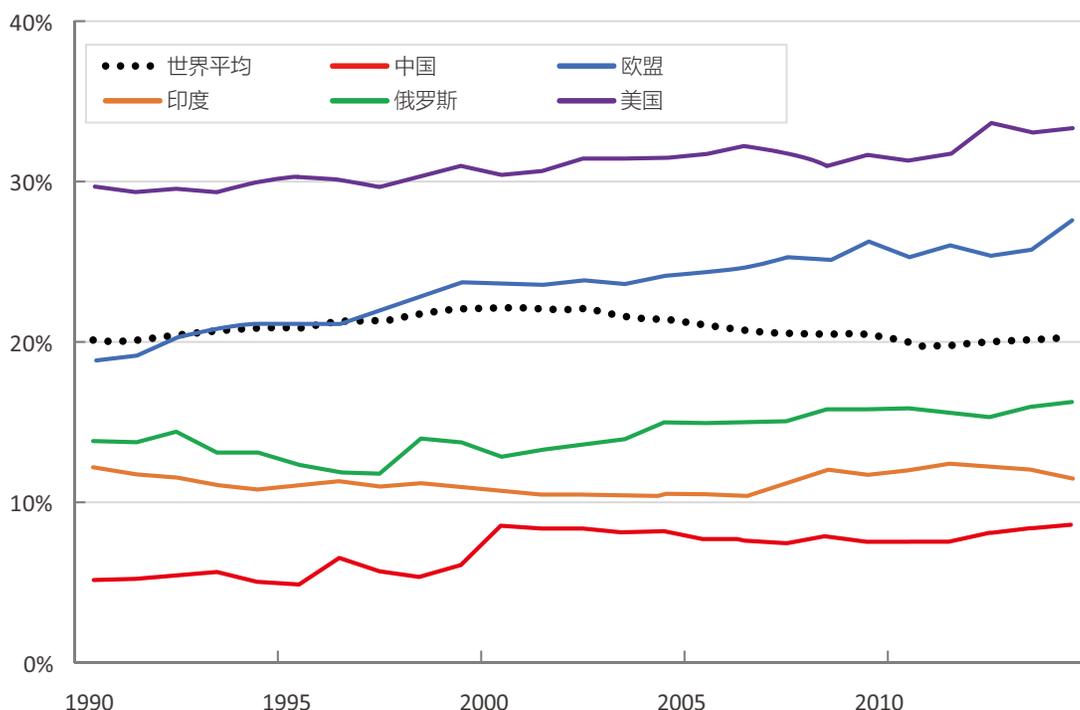
因此，有必要在总量目标的控制下仔细分析各部门的减排空间及未来发展趋势，为中国日后的NDC更新提供必要的支持。根据我国碳排放构成的数据，交通运输业的碳排放占比排在第三位²，目前中国的交通领域排放现状是占比逐年增加，而且增速快，尤其是公路交通部门，由于城市化进程带来的私家车数量快速增长，所带来的排放增速不容忽视，也成为交通部门低碳化的主要障碍。

1. 中国交通碳排放现状与横向比较

IEA（国际能源署）的数据显示2014年中国交通运输业碳排放量为7.8亿吨二氧化碳，占中国能源相关总排放的8.6%，这个比重仍大大低于世界平均水平

20%。在世界五大排放国（地区）中，美国和欧盟的占比都在30%上下；印度也略高于中国，2014年为11.5%。

图 1：五大排放主体的交通部门碳排放占总碳排放比例



数据来源：世界银行数据库 CO₂ emissions from transport (% of total fuel combustion). Link: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS>

中国具体的趋势为，1998年之后有一个快速增长期，但是在2000年之后趋于稳定，占比在8%左右浮动。

2. 各国 NDC 中关于交通部门的承诺

IPCC 第五次评估报告（AR5）对于降低交通部门的温室气体排放强度提出了一套策略，包括利用“避免（Avoid）”和“转变（Shift）”策略，以补充“改善（Improve）”措施³。在一些国家的NDC中，能体现出如何平衡这些策略，比如约旦的NDC，其中既包括了“避免”策略（例如车辆限制、拥堵费等），也包含“转变”策略（例如提高公共交通、鼓励骑行和步行等）以及“改善”策略（例如提高燃油效率、促进燃料低碳化、提高电动出行比例等）。

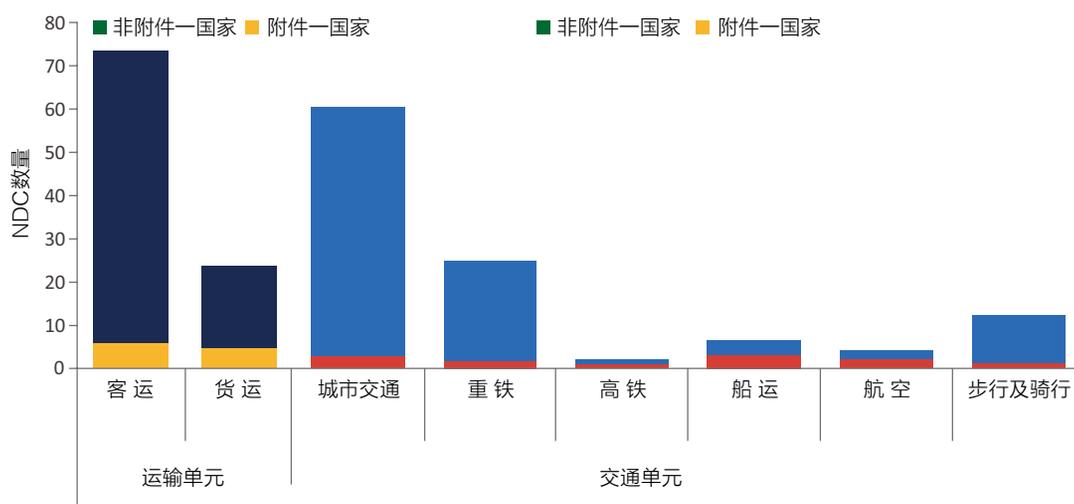
由于各国的城市化和工业化阶段不同，从排放清单来看，发达国家的城市碳排放主要是来自于建筑领域，而新兴国家在主要是来自于交通领域，快速增长的发展中国家碳排放则主要来自于工业领域⁴。这就导致了各

随着中国总碳排放的增速放缓，交通能耗增速维持较高水平，未来交通排放占比会更趋向于世界平均水平。

国对于自身NDC侧重点不同，在制定交通部门承诺时也就需要综合考虑这些因素。

对于已提交NDC或INDC国家中，将近四分之三明确提到交通部门的减排措施，有机构对于这些措施进行了分析，除了区分了不同的运输方式，也同时标明了国家类别（附件一国家 vs. 非附件一国家）。在运输方式方面，NDC中的措施都明显偏向客运，对于货运考虑不足，尤其是非附件一国家。其他客运措施中，城市运输和重型铁路也有较多的NDC都会提到的会采取行动；相比之下，高铁、水运、航空受到的关注要少得多，都在个位数；而对于步行和骑自行车的减排措施，有十几个国家提到。

图 2：已提交 NDC 中交通减排措施考虑国家数量



来源：Transport and Climate Change: How Nationally Determined Contributions can Accelerate Transport Decarbonization, By Cornie Huizenga, Secretary General and Karl Peet, Research Director, Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport

注：附件一国家是指在1992年《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)和《京都议定书》中确定了减少温室气体排放量特别承诺的缔约国，基本上都是发达国家；其中的例外是土耳其和白俄罗斯虽然是在附件一中但是没有在京都议定书中作出减排承诺。非附件一国家就是指附件一国家之外的所有其他缔约国。

3. 回顾中国 NDC 以及与其他排放大国的对比

作为中国对于气候变化方面的国际承诺，NDC 反映了一个国家的气候行动雄心，因此有必要对中国的 NDC 进行分析并与其他主要排放国进行比较，尤其是本文关注的交通领域碳排放，这有利于我们了解对于未来 NDC 更新时中国的交通部门需要在哪一方面进行加强。

中国对于交通部门的气候承诺在中国提交的 NDC 中有所提及⁵，体现出中国对于低碳交通发展的重视。

尽管 NDC 中提到控排措施是粗线条的，却也与国内的低碳交通发展政策一致（详见本评论“[中国交通领域低排放政策回顾](#)”一文），换句话说提炼了国内现有的低碳交通方面的规划、政策和措施。

根据目前最新的排放数据（2017 年），全球超过 70% 的碳排放集中在 10 个经济体⁶，但是由于这些国家和地区的发展水平不一致，交通方式构成差别较大，因此交通排放在各自排放总量中占比也不同。

表 1：近年国内低碳交通相关政策梳理

国家 (按总排放由高到低排序)	交通部门 碳排放* (CO ₂ e)	NDC 中交通部门 (覆盖部门、减排目标、减排措施)
中国	7.8 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 构建绿色低碳交通运输体系，优化运输方式，合理配置城市交通资源，优先发展公共交通，鼓励开发使用新能源车船等低碳环保交通运输工具，提升燃油品质，推广新型替代燃料。到 2020 年，大中城市公共交通占机动化出行比例达到 30%。推进城市步行和自行车交通系统建设，倡导绿色出行。加快智慧交通建设，推动绿色货运发展。 创新低碳发展模式。深化低碳省区、……、低碳交通试点，探索各具特色的低碳发展模式，研究在不同类型区域和城市控制碳排放的有效途径。
美国	17.3 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 引入 2012–2025 轻型车燃料经济性标准，以及 2014–2018 重型车燃料经济性标准
欧盟 (28 个成员国)**	8.7 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 欧盟的 NDC 代表了所有欧盟成员国的共同目标，而且是有法律约束力的；具体为：到 2030 年使国内温室气体排放量比 1990 年至少减少 40%，交通作为 NDC 中的一个重点部门，在能源使用这一大类之下。但是交通部门并没有一个单独的减排目标。

印度	2.3 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 到 2030 年，将铁路在陆地运输中的份额从 36% 增加到 45% 加快混合动力和电动汽车的制造和推广 制定有关生物燃料的国家政策 设定乘用车燃油效率标准 建造超过 1,100 公里的地铁线路 批准建设 39 个城市交通和公共快速交通项目 在东部和西部分别建造两个专用货运走廊，总长超过 3,300 公里 促进沿海运输和内陆水运的增长 在沿海地区修建约 5,000 公里的公路网
俄罗斯	2.4 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 没有特别提到交通部门
日本	2.1 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 交通部门温室气体到 2030 年比 2013 年的水平降低 27% (不超过 1.63 亿吨 CO₂e) 提高公路、铁路、航空以及水运的能源使用效率 推广下一代汽车 通过选择最近的港口来减少陆路运输距离，并在港口全面实现低碳化 推广智能交通系统 ITS (例如，控制交通信号灯) 促进自动驾驶、生态驾驶和汽车共享 优化卡车运输 促进公共交通，向以铁路为主的模式转变
韩国	0.9 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 将二氧化碳平均排放标准从 2015 年的 140g-CO₂/km 提高到 2020 年的 97g-CO₂/km 引入与汽车燃油效率和碳排放相关的低碳标准 为电动和混合动力汽车制定激励措施，包括减税 扩大基础设施，实现环保公共交通
伊朗	1.4 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 加强执行国家燃油消耗和排放标准
沙特阿拉伯	1.3 亿吨	<ul style="list-style-type: none"> 在运输部门引入能效标准 促进城市公共交通的发展和利用：采取必要行动，加快首都及其他两个大城市的地铁发展

* 数据为 2014 年；** 该表格并没有包括德国，虽然作为第七大排放主体，但其 NDC 与欧盟一致。

参考：Transport in Nationally Determined Contributions (NDCs) Lessons learnt from case studies of rapidly motorising countries by GIZ 2017.

比较上表各排放大国交通方面做出的承诺，美国 and 伊朗都仅仅在燃油效率和标准方面提出了一条措施，沙特阿拉伯则在此基础上提到了公共交通的开发。欧盟虽然设置了减排目标，但是交通部门并没有一个单独的排放总量限制，而且具体实施还要根据各成员国的实际情况。总的来说，与货运有关的减排措施都需要在 NDC

中普遍加强。

在公共交通出行比例已经较高的日本和韩国，侧重点在“改善”策略，提及能效和排放标准。日本在 NDC 中做出了很全面的交通部门低碳化整体策略，提出了交通部门的 2030 排放总量控制，也特别提到航空和水运等子部门，并且细化到了港口低碳化，值得指出

的是日本是唯一一个在 NDC 中提出基于行为模式改变鼓励“生态驾驶”的国家。韩国则是唯一提出将二氧化碳平均排放标准写入 NDC 的国家，提出到 2020 年达到的 97g-CO₂/km 水平，这与欧盟 95g-CO₂/km 水平接近。

中国和印度作为两大发展中国家，由于公共交通尚欠发达，尤其是印度，所以 NDC 中也强调了“转变”策略，印度同时也提出很多量化指标，主要针对铁路和公路。中国的 NDC 中关于交通部门的“避免”策略方面并没有单独提及，而在“转变”策略方面提到了“优先发展

公共交通、鼓励开发使用新能源车船、推进城市步行和自行车交通系统建设等”，在“改善”策略方面提到了“提升燃油品质、推广新型替代燃料、加快智慧交通建设、推动绿色货运发展等”。值得注意的是，中国提出了低碳交通试点，这也是具有中国特色的探索，有助于开发出独具特色且易于复制的低碳交通发展模式。不足之处在于，并没有提出具体的交通部门减排目标，以及更长时间尺度的承诺，仅仅提到要“研究在不同类型区域和城市控制碳排放的有效途径”。

结语：中国在 NDC 更新时应加强交通部门承诺力度

2019 年是重要的一年，因为在 2020 年底之前，根据“塔拉诺阿对话”达成的共识，《联合国气候变化公约》缔约方将有机会在 2020 年之前提交新的或更新原有的 NDC⁷，同时各国还要提交到 2050 年低排放战略。在此，我们基于中国与世界主要排放国 NDC 的对比，我们建议中国在 NDC 更新前提高交通部门的承诺力度：

- 明确交通部门的排放达峰年份

目前中国的 NDC 中对于交通部门的排放达峰并没有提及，这对于排放增速仍然较高的交通部门来讲是有必要的，起码能指导中国未来的低碳交通发展方向，并通过限制排放总量为“转变”策略提供政策层面的支持。此外，对于非营运交通的排放，由于国家的减排计划并未覆盖此排放领域，也没有提出具体的减排目标⁸，因此在交通排放路径以及控制政策制定时，要考虑更完全地覆盖排放对象。

- 提高关于电动汽车发展的承诺

对于现有 NDC 中提到的“电动汽车到 2020 年，大中城市公共交通占机动化出行比例达到 30%”⁹，这一条应该适时进行更新了，不光是要将覆盖范围限制在公共交通工具，也应该更多的关注私家车电动化比例，并且着眼更长的时间尺度如 2030、2035 年。目前在征求意见的《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》¹⁰，提到了未来电动汽车占比的目标，这些目标的制定应该考虑到气候变化的因素，并且尽可能在中国的 NDC 中体现出来。

- 加强对于航空排放的考虑

虽然航空业的碳排放相关的政策主要依赖于国际民航组织牵头实施的国际航空碳抵消计划（CORSIA），但这个体系本身并不直接减少碳排放，而是中和超过限值的排放量；考虑到中国航空旅行尤其是国际航空的高速增长势头，中国应该不光是简单地进行碳中和，而是在航空能效以及航空生物燃油方面展示具体的规划目标。对于国内航空来讲，也有必要在更新 NDC 时，展示具体计划和时间表以说明未来如何在中国碳市场中将航空部门的排放考虑其中。

- 强调对于交通和健康的关系

由于减少交通部门的碳排放会同时减少汽车尾气中的污染物排放，有些国家会将以空气污染为导向的措施也加入到 NDC 中，因为减少空气污染的措施往往也会带来直接或间接的碳减排作用；因此中国也有必要回顾考虑健康的尾气控制政策或者缓解拥堵措施对于碳减排的贡献。这样有助于是否需要更快的从汽车到公共交通的模式转换，

或从汽油 / 柴油汽车到电动汽车的技术改进。

- 政府部门间的协调、中央与地方的协调

除了相关国家政府部门（能源、交通、规划、环境、工业等）之间的广泛协调之外，地方政府也能参与到交通部门的 NDC 制定中，因为他们都具有所需的专业知识，并受这些具体措施实施后的直接影响。

- 在 NDC 中明确燃料经济性标准

交通部门能效提升需要实施更严格的车辆燃油经济性标准，这一点并没有在中国的 NDC 中有所体现。但其实 2016 年 1 月 1 日起，中国已经实施《乘用车燃料消耗量限值》这一国家标准，而且预计在 2020 年后引入更严格的标准。因此，有必要在 NDC 中将这种情况说明。

- 加强交通低碳相关法律规范和标准制度体系

在可能的情况下，给出乘用车碳排放标准的出台时间表，并可以据此计算出实施标准对应的碳减排量，这将有助于 NDC 中交通部门的总量控制目标的设定。碳排放标准的制定，需要政策制定者在宏观角度，考虑燃料经济性标准，加强交通低碳相关法律规范和标准制度体系的整合。

注释：

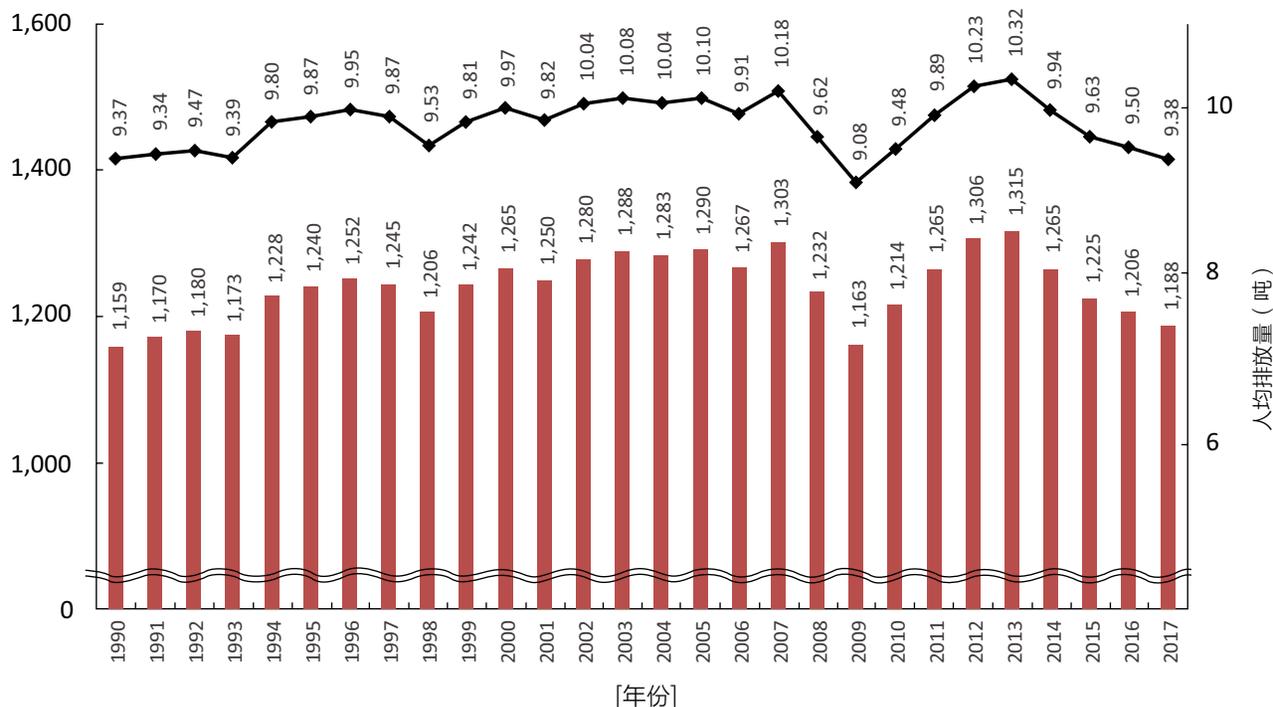
1. Climate Action Tracker, China profile. Link: <https://climateactiontracker.org/countries/china/>
2. 《中国低碳交通发展》，何增荣主编，2018，经济日报出版社。
3. Ralph Sims et al., 2014: Transport. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Link: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf
4. 《气候变化与低碳城市规划》第 2 版，顾朝林主编，2013，东南大学出版社
5. 我国提交应对气候变化国家自主贡献文件，国家发改委 2015 年。链接：
http://www.ndrc.gov.cn/xwzx/xwfb/201506/t20150630_710204.html
6. Fossil CO2 emissions of all world countries – 2018 Report. Link: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/fossil-co2-emissions-all-world-countries-2018-report>
7. 4 Reasons for Countries to Enhance Their NDCs by 2020, WRI, 2017. Link: <https://www.wri.org/blog/2017/11/4-reasons-countries-enhance-their-ndcs-2020>
8. 柴麒麟，傅莎，温新元. 中国实施国家自主贡献的路径研究 [J]. 环境经济研究, 2019, 4(02): 110–124.
9. 《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》，2015，原国家发改委应对气候变化司。链接：<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/China%20First/China%27s%20First%20NDC%20Submission.pdf>
10. 《新能源汽车产业发展规划（2021–2035 年）》征求意见稿曝光，第一电动。链接：<https://www.d1ev.com/news/zhengce/101363>

应对城市地面可持续交通转型的挑战：日本的经验

赵昂、袁雅婷

作为世界第五大温室气体排放国，日本 2017 年碳排放总量 11.88 亿吨，占全国温室气体排放总量的 92.0%。自 1990 年以来，日本二氧化碳排放总量和人均排放量几乎维持在同一水平，尽管其间有两次（分别在 1993–1998、2009–2017）总排放量出现先升后降的态势。日本近三十年碳排放的趋势与其经济增长率较低、能源结构变化小、人口规模基本维持不变的特点有密切关系。

图 1：日本碳排放总量和人均排放的趋势



来源：日本温室气体排放清单报告，2019

日本碳排放的行业和部门分布在过去近 30 年变化趋势变化明显。能源消耗（主要是化石燃料燃烧）产生的二氧化碳排放量占总排放量的 95.0%，根据图 2 所提供的数据，笔者初步计算得出，2017 年，能源工业排放占 42.7%，其次是制造和建筑业占 23.0%，而交通部门是第三大排放部门，占比 17.3%。1990–2017

年间，能源工业排放增幅为 37.6%，制造和建筑业排放减少了 22%，交通部门排放量略有增加，增幅 2.1%，与同期总排放量的增幅相近。日本交通部门的碳排在 2001 年达到峰值 2.67 亿吨，2017 年已经降至 2.05 亿吨，十六年降幅为 23%。

1. 交通部门碳减排的大背景

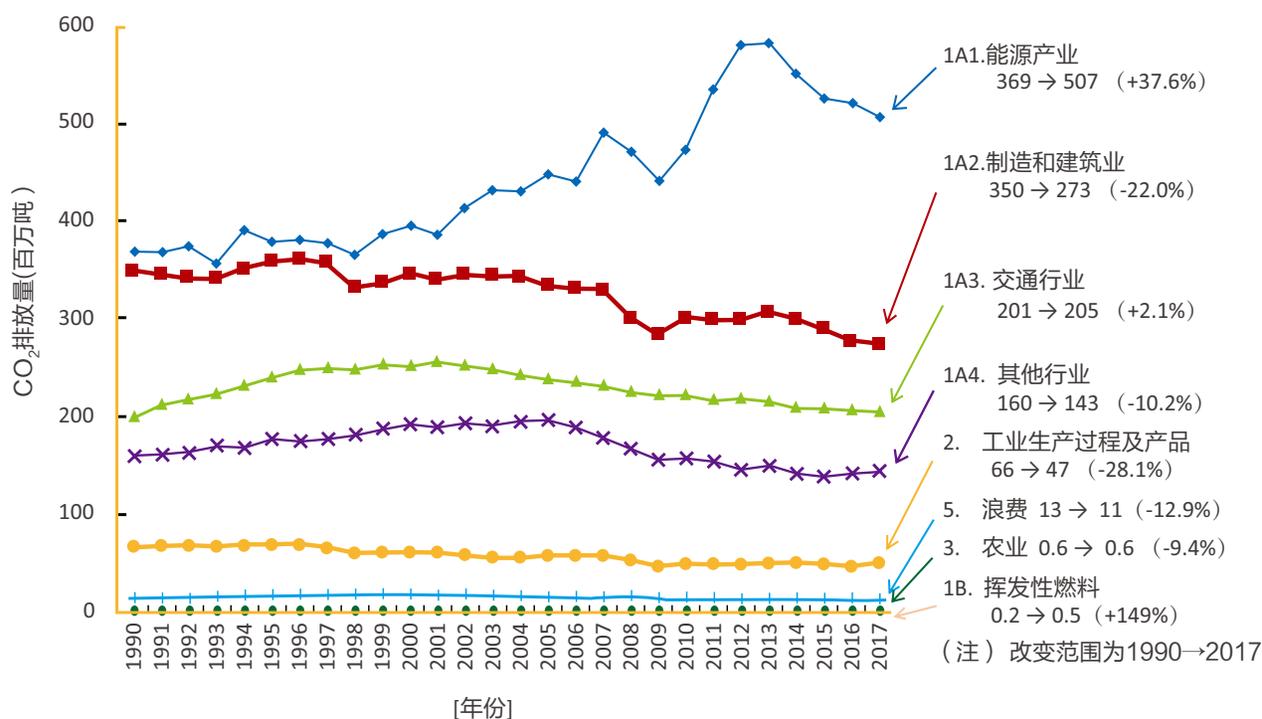
讨论日本交通部门碳减排的经验，必须说明日本的经济态势和人口增长趋势，因为这两个因素是影

响交通碳减排的结构性因素。根据世界银行的数据¹，以 2010 年不变价美元计算，日本的 GDP 从 1990 年

4.704 万亿增加到 2017 年的 6.141 万亿，27 年间增幅为 31%；同一期间，日本的人口总数从 1990 年的 1.235 亿增加到 2017 年的 1.268 亿，增幅仅有 2.67%。更重要的是 2010 年是日本人口的峰值年，达到 1.281 亿，随后逐年在下降。日本可能是发达经济体中唯一面临人口总数已经在下降过程中这一巨大挑战的国家。

在这样的背景下，我们来看日本交通部门在减少碳排放、提高效率方面有哪些值得借鉴的地方。因为道路的二氧化碳排放量占交通部门总排放量的比例最大，因此本文将介绍日本为实现二氧化碳减排目标所提出的道路交通减排的措施，包括一些日本城市的可持续交通政策的案例，以供中国建立低排放交通系统参考。

图 2: 日本不同部门碳排放趋势 (1990-2017)



来源：日本温室气体排放清单报告，2019

2. 交通运输部门应对气候变化的政策

为了达成日本在京都议定书中所承诺的目标，日本国土交通省于 2002 年首次提出了气候变化应对政策，作为日本履行承诺的指导依据。日本每年更新对策，并在 2016 年公布了最新对策，并揭示了全国和各部门的温室气体减量目标，其中，2030 年度交通运输部门的碳排放量要较 2013 年的水平减少 28%²。要实现这样的目标，可持续的交通体系是必由之路。日本交通运输部门由此给出的对策主要涵盖了两个方面：一是环境友

好型汽车的普及和应用；二是向环境负荷少的公共交通占主导地位的交通系统转变。

2.1 环境友好型汽车的普及和应用

(1) 提高汽车燃油效率 (Improvement of fuel economy)

以汽车制造商为对象，促进有助于提高汽车燃油效

率的技术革新。乘用车、卡车以及公共汽车的燃油效率目标是通过采用“Top Runner”标准来制定，即给定车辆重量类别的燃油效率目标值的设立是基于迄今为止

该重量类别的世界领先燃料效率性能。在 2000–2016 年间，日本国内新型的汽油动力车平均燃油效率显著提高。

图 3: 日本国内新型汽油动力车平均燃油效率的变化趋势（2000–2016）



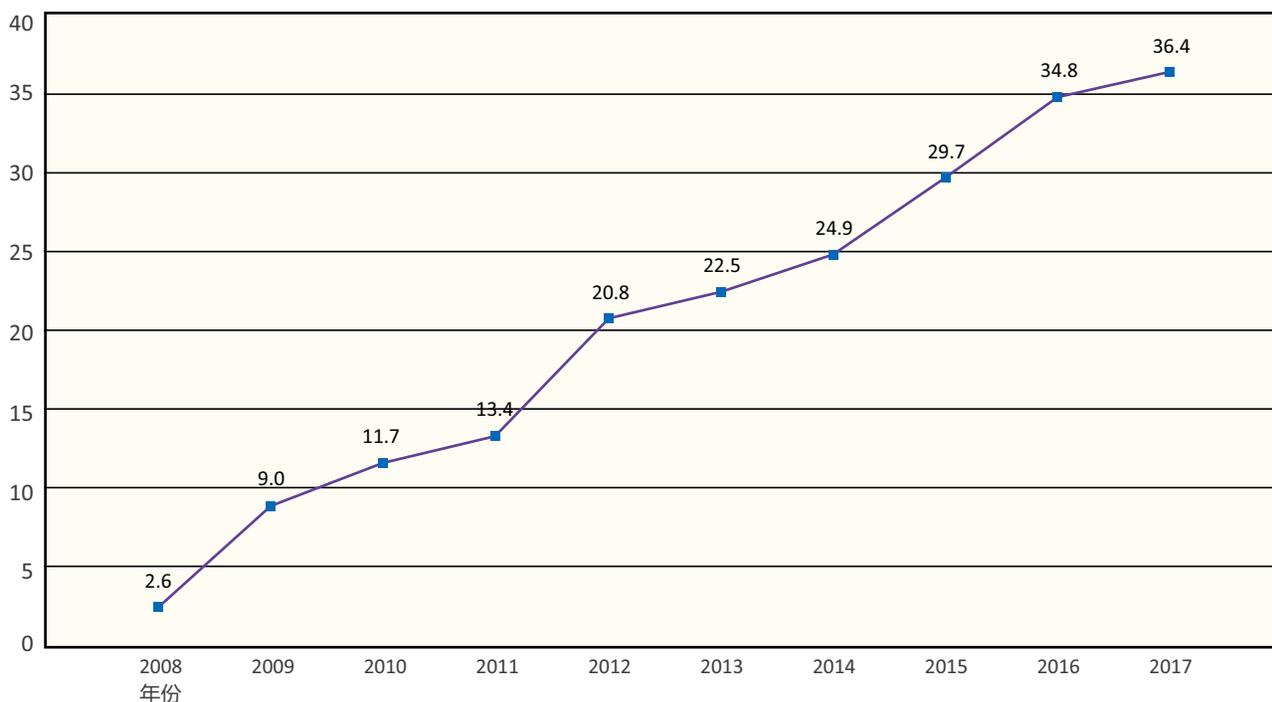
来源：日本汽车工业协会（Japan Automobile Manufacturers Association）

(2) 推广环境友好型汽车的使用（Promotion of eco-friendly vehicles）

政府对于购买环境友好型汽车给予一定财政补助，鼓励新能源汽车的普及与应用。例如 2017 年 4 月 1 日至 2019 年 3 月 31 日，购买新能源汽车（包括混合动力汽车，插电式混合动力汽车，电动汽车，燃料电池汽车和其他新能源汽车）免除购置税；购买二手的新能源汽车扣除 4,200 美元的购置税³。从 2009 年开始，当

政府首次推出购买环保汽车的税收激励和补贴计划后，日本新能源汽车的销售量占乘用车总销量的比例激增。2017 年，新能源汽车的注册量占新乘用车总注册量的 36% 以上（图 4），逐步接近日本政府设立的到 2030 年，新能源汽车销售份额占新车总销量的 50%–70% 的目标⁴。

图 4: 日本新能源汽车占新乘用车总注册量比例的趋势 (2008-2017)



来源: 日本汽车工业协会 (Japan Automobile Manufacturers Association)

(3) 推进生态驾驶 (Eco-driving) 的普及

生态驾驶主要是号召人们改善日常的驾驶技巧来减少油耗和碳排放。日本政府推广生态驾驶已多年, 国土交通省设立的促进委员会制定了“生态驾驶十法 (Ten Tips)”, 包括出行前、行驶中和日常汽车保养等, 并在各种国际会议和交流会上进行宣传推广。关于生态驾驶节能减排的有效性研究, 日本学者做过效果评估, 生态驾驶减少了日本车辆燃油消耗的 10%-20%, 这与二氧化碳排放成正比⁵。关于日本生态驾驶的具体内容, 请参看磐之石《能源评论 2018》中《驾驶行为改变与交通部门碳减排: 首尔和东京的经验》。

(4) 改善交通流对策及道路设施低碳化的推进

较快的车速产生的二氧化碳排放量较少。例如, 平均车速 60-70km/h 的汽车排放的二氧化碳约为平均车速 10km/h 车辆的一半, 因此提高交通道路顺畅程度对于减少车辆耗油带来的碳排放量是非常有效的措施。

- 交通信号措施。更高效的交通信号操作和集中信

号控制有助于更加平稳的交通流量。

- 基于智能交通系统 (ITS) 的拥堵缓和。通过智能交通系统为驾驶者提供实时的路段拥堵信息, 并规划最优路径, 从而减少交通堵塞;
- ETC (Electronic Toll Collection) 的推广。推进收费道路上 ETC 的利用, 减少人工收费导致的行车缓慢和道路堵塞;
- 改善自行车驶行的环境。通过重新分配道路空间, 整顿自行车的行驶空间以及自行车停车场的设施, 促进自行车替代一部分汽车出行;
- 道路网络的改善。通过环线道路等使干线道路路网连接, 通过改良交叉口而扩大交通流量;
- 安装 LED 道路照明灯设备。在新建和更新道路照明灯时, 推进节能的 LED 道路照明灯的普及。

2.2 向环境负荷少的公共交通的转变

- (1) 提高公交、铁路等公共交通方式的便利性

出于维护交通体系，推广旅游观光以及应对环境问题等因素，日本政府制定并实施了协调计划（Coordinative Plan），根据地域的不同，重新布局公交网络，以此推广公共交通出行。

- 基于公交车位置系统的公交利用促进。在各公交换乘点提供公交车位置情报、换乘情报，提高公交车的便利性，削减居民对于换乘的抵制感；

- 铁路站点的无障碍化。在较为严重的老龄化社会背景下，为使老龄、身体不便等人群安全平稳地利用轨道交通，推进铁轨站点的无障碍化；

- 鼓励发展轻轨交通系统（LRT）。促进轻轨与公交之间的连接，方便居民换乘，以改善公共交通的整体便利性；

- 站前广场交通节点整備。为实现铁路站点换乘改善、行走空间无障碍化等，对站前广场，交通通道、公

共停车场等场所进行优化等。

(2) 移动性管理（Mobility Management）的推及

移动性管理是一种以沟通为导向的交通政策，促进通勤者对通勤方式的态度和行为的改变，例如适当提高公共交通和自行车的使用率以避免过度使用私家车，为社会和个人营造一个良好的交通环境。

环保通勤（Eco-Commuting）是移动性管理的一种，旨在促进从私家车到公共交通出行的转变。公司在每个办公室指派一名员工负责研究通勤的理想化交通工具，并提供公交车、地铁和火车的时间表和路线图，以及审查通勤津贴。作为汽车保有量、使用量均在日本排名靠前的著名汽车城市丰田市，为解决上下班时间的交通拥堵问题成立了“丰田市环保交通推进协会”，该协会提出了环保通勤。除了改变以汽车为主的交通手段外，推动共享车辆通勤和错峰通勤等环保通勤的实施办法。

3. 日本富山（Toyama）可持续交通策略实例

富山市是日本生态模范城市（Eco Model City）之一，除了基本的公共交通体系，已经成功引入了共享单车系统并且成功地将LRT纳入到一个紧凑型城市中。在此之前，富山是日本所有人口稠密的县城中人口密集度最低的。它的市中心出现了“空洞化”，因为居民购买了大量的私家车和郊区住宅。随着火车和公共汽车公司开始削减航线以应对需求量的减少，乘坐火车和公共汽车出行变得更加不方便，这尤其对儿童和老年人的日常出行造成了困难。因此，富山于2003年成立紧凑型城市发展小组（Compact City Development

Group），并通过与居民、企业和当地政府的合作，开始致力于发展紧凑型城市。该计划的核心是引入新的LRT网络。富山没有选择单一中心的方法，而是采用多中心方法将现有的设施与轻轨连接起来，并引入低地板轻轨及无障碍站台方便乘坐，从此，人们能够在富山的任何地方步行即可到达公共交通站点。此外，富山还推出了共享单车系统（Cyclocity）。整个市中心共有150多辆专用自行车和15个自行车租赁站，用户可以随时在任何车站租赁和返还单车。

4. 政策建议

为实现日本在巴黎协定中提出了国家自主贡献目标（与2013年相比，2030年减少26%的温室气体排放量），日本制定了一系列的政策和计划并为之不断努力，力图通过各种效率提升、燃料替代、系统再造等软

硬件方式创建一个高效节能的交通运输体系，从而减少这一步部门的二氧化碳排放贡献。

中国作为各种资源消耗的大国，在经济高速发展的同时，也面临着艰巨的节能减排任务。过去二十年，中

国私家车的数量和使用率的增加是导致交通部门二氧化碳排放量增长的主要原因之一。为发展可持续交通，中国可以借鉴日本的既有经验，从改变居民出行方式的方面切入，将重点放在发展城市公共交通网络和服务能力之上，因为这是交通部门减缓气候变化的长期关键方案之一。日本的经验说明，任何行动应从细节入手，从点滴改变做起，逐步改善交通系统的运行效率，降低其碳排放量。本文提出以下几点建议：

(1) 加大对自行车道和公共交通（包括公交和轻轨等）交通系统的投资和建设，为交通系统基础设施的

彻底转变提供前提；

(2) 在控制私人轿车数量的基础上，加强新能源汽车的普及，建设网点布局合理的充电桩或充电站，通过替代传统燃油车实现交通部门的低碳发展目标；

(3) 促进智能交通系统的普及，提供更准确更快速的道路拥堵信息和最短路径建议，并根据实施交通流量情况调整交通信号系统的运行，从而提高效率；

(4) 设立推广生态驾驶、环保通勤等低碳行为的组织机构，并协同政府机关、各大院校、企事业单位等部门共同号召低碳节能型的驾驶行为。

结语

从长远着眼，建立符合应对全球气候变化要求的低碳、可持续交通政策体系，除了可以提供借鉴经验给其他国家和经济体，日本也有很多需要从其他国家学习的地方，例如，如何以电力系统的低碳转型来支撑交通系统电力化发展符合应对气候变化的需要。由此来讲，更多的国际交流与合作将有力促进各国更有效应对交通部门的低碳发展，减缓气候变化。

注释：

1. 数据来自世界银行发展指数—GDP 历年变化。链接：<https://data.worldbank.org.cn/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?end=2018&locations=JP&start=1990>
2. 地球温暖化対策計画（閣議決定），日本環境省，2016。Link：<http://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>
3. The Motor Industry of Japan 2018, Japan Automobile Manufacturers Association CO2 Emissions Reduction in Japan's Road Transport Sector, Japan Automobile Manufacturers Association
4. How does driving behavior change when following an eco-driving car, Ryosuke Ando,
5. Yasuhide Nishihori, Procedia Social and Behavioral Sciences, Link:<https://core.ac.uk/download/pdf/81126038.pdf>

交通污染的健康危害及防控效益分析

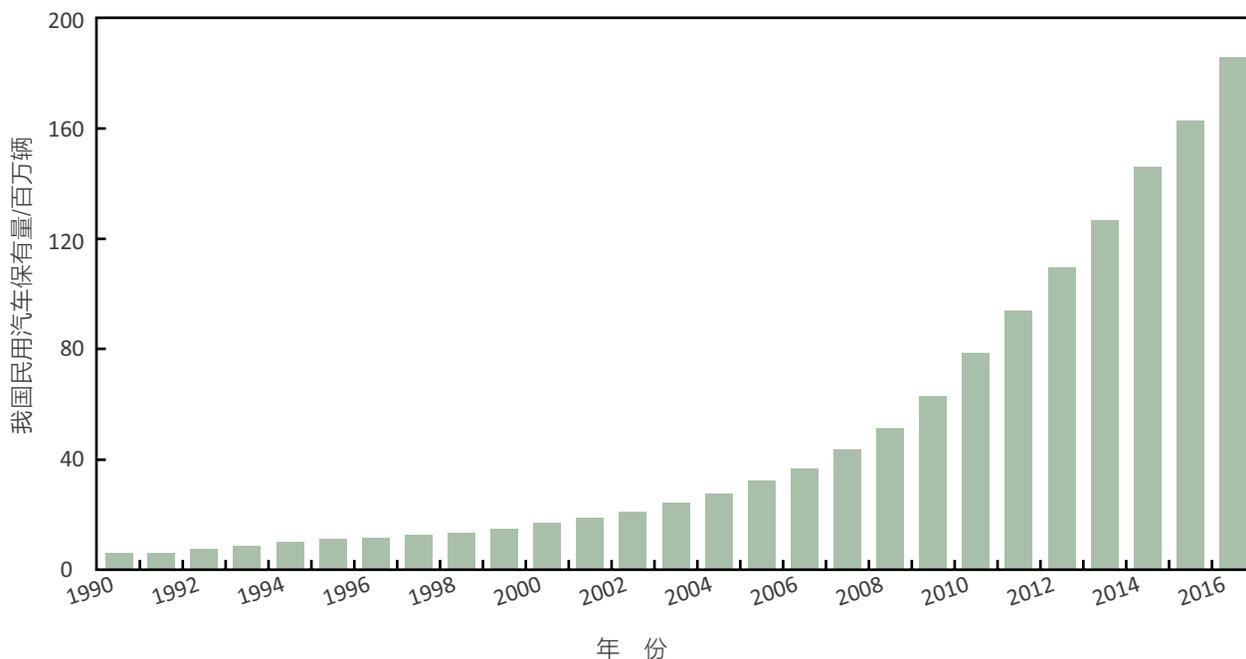
潘小川

随着我国工业化、城市化进程的快速发展，不断增加的能源需求，促使近年来化石燃料消耗明显增加，污染物排放形成的大气污染问题已经成为我国现阶段最严重的环境问题之一，同时，随着机动车保有量的快速增长，机动车污染物排放量居高不下，严重影响大气环境质量的持续改善，正在成为我国城市经济和社会发展中的一个重要环境问题，已引起相关部门和公众的极大关注和重视。有效控制交通污染，成为提高城市环境空气质量，保护公众健康的关键影响因素之一。近年来，识别和控制交通污染对城市大气质量的影响及贡献，经济有效的控制和降低机动车污染物排放，进一步改善城市大气质量，成为国家有关部门和学者亟待解决的紧迫问题之一。交通污染特征及人群健康效应的研究对预防和减少大气污染物对公众身心健康的危害，具有十分重要的公共卫生学意义。

1. 交通相关大气污染的现状

1990—2016年，我国民用汽车保有量由551.4万辆增加到18575.5万辆（图1），27年间增加了33倍。

图1：1990—2016年全国民用汽车保有量¹

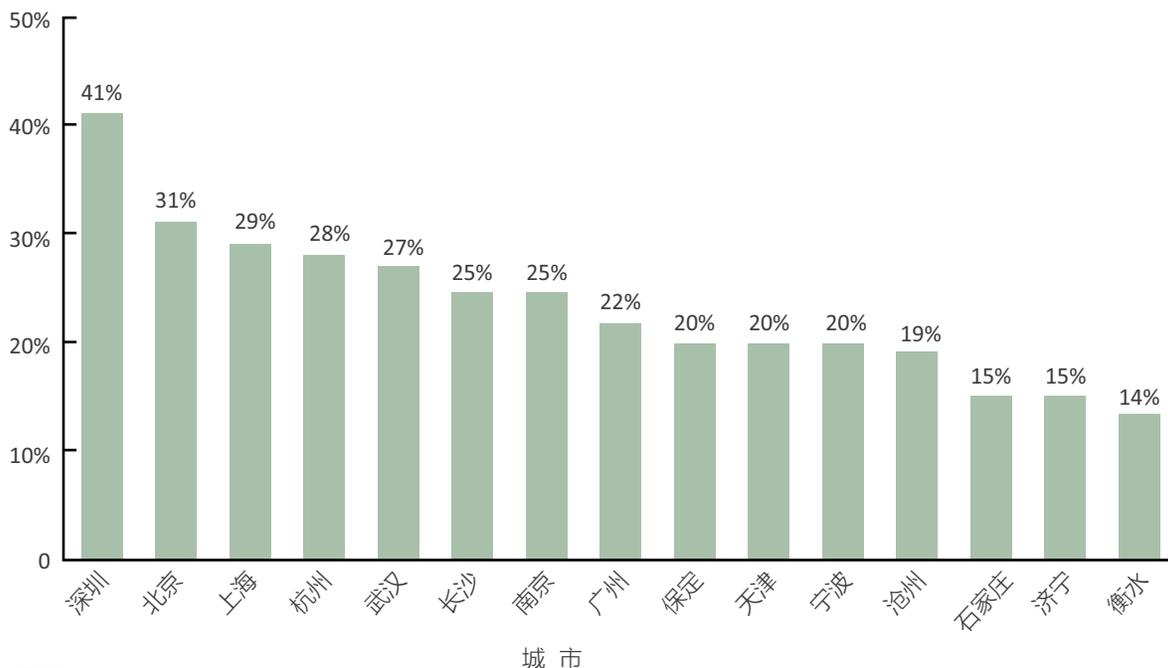


来源：见尾注1。

随着机动车保有量的快速增长，机动车的污染物排放量居高不下，对城市大气环境质量的影响越来越大。机动车尾气排放的污染物，除了CO、HC、NO_x、PM等常规污染物之外，这些气态污染物在大气中通过一系列复杂的光化学反应生成氧化性很强的光化学烟雾

（二次污染物），包括如臭氧（O₃）、二次PM_{2.5}等。我国越来越多的城市大气质量正由传统的煤烟型污染转变成燃煤、汽车尾气与二次污染物相互叠加的复合型污染²，严重影响了暴露人群的身体和生活质量。

图 2： 机动车对城市大气环境中 PM2.5 浓度的贡献比例（%）



来源：见尾注 2。

我国虽然大多数城市 PM2.5 浓度的贡献仍以燃煤排放为主，但如北京、上海等一线城市以及中东部人口密集地区，移动源对大气 PM2.5 的贡献已经高达 20% ~ 45%，如图 2 所示，北京、上海的本地污染贡献中，机动车均在 30% 左右，并超过燃煤和工业生产，成为本地大气环境中最大的 PM2.5 贡献者。而且，由于机动车大多行驶在城市人口密集的区域，其尾气排放

的污染物主要通过机械扩散和热湍流扩散在人体呼吸带附近地面传播，使得交通工具内、道路两侧等交通微环境下的污染物浓度要远高于环境背景浓度，显著增加了人群的污染物实际暴露水平，使暴露人群的健康风险亦显著增加。因此可以说，交通源污染的控制正在成为我国城市大气环境污染治理及疾病防控中最突出和最紧迫的问题。

2. 交通相关空气污染物的主要健康影响

如上所述，交通相关空气污染物，除了 CO、HC、NO_x、PM 等常规污染物之外，还包括如臭氧 (O₃)、二次 PM_{2.5} 等二次污染物。其污染及健康危害的特征有三个特点：一是污染物的扩散呈线源排放的方式，即城乡交通干线或公路两侧的污染物水平高，沿着其周边浓度逐渐递减；二是成分复杂，不仅有直接排放的污染物，还有大量在大气中逐步形成的二次污染物；三是污染物

排放靠近人体呼吸带，对暴露人群的健康危害更直接，效应更快。其主要健康影响包括：

2.1 对呼吸系统的影响

由于交通相关空气污染物的排放高度接近人体呼吸带，使其对人体呼吸系统的危害更为直接。暴露人群一般是与交通密切相关的职业人群，如交通警察、公交车

司售人员、高速路口收费员、野外站岗执勤人员等，这些人群因职业特征需要长时间暴露于交通环境中，其呼吸系统的健康影响不容忽视。在我国上海、香港等地的研究显示，汽车司机呼吸系统症状如咳嗽、咽痛、咽炎的发生率均显著增加^{3,4}，说明长期暴露交通污染物使职业暴露人群的呼吸系统抵抗力下降，功能降低。儿童是交通暴露的易感人群，很多研究显示，交通污染暴露可对儿童呼吸系统产生诸多不良影响，使居住在高交通流量附近的儿童的哮喘、喘鸣、气道反应性增加等呼吸道症状发生率增加^{5,6}。

2.2 对心血管系统的影响

交通相关空气污染物涉及的心血管系统疾病主要包括心肌梗死、冠心病、高血压和缺血性心脏病等⁷⁻⁹。在加拿大温哥华进行的一项队列研究，对当地45-85岁未患冠心病的452735名居民进行了为期4年的随访，评估了PM_{2.5}、黑碳(BC)、NO₂等交通相关污染物的暴露浓度和随访期间研究对象因冠心病入院和死亡的情况，结果显示，BC浓度每增加0.8 μg/m³，研究对象冠心病入院率增加3%，死亡率增加6%，关联有统计学意义并存在线性暴露-反应关系。北京开展的一项定组研究以一组健康青年学生为研究对象，追踪观察他们从郊区校园搬迁至城区校园前后的大气污染物暴露水平变化及其对心血管系统的影响，监测数据显示虽然城区PM_{2.5}浓度低于郊区，但城区PM_{2.5}中碳素成分及气态污染物水平明显高于郊区，显示交通排放对城区大气污染物的组成影响较大，人群从郊区迁至城区后，其血液中炎症性生物标志及同型半胱氨酸水平整体呈明显上升趋势，凝血生物标志整体呈降低趋势，结果提示PM_{2.5}中交通来源的成分可能是导致上述变化的重要因素¹⁰。

2.3 对神经系统的影响

近年来，交通污染对暴露人群神经行为的影响逐渐受到研究者的关注。目前的研究提示，交通相关空气污

染物暴露可导致儿童认知功能损害等神经系统功能的影响。研究显示交通相关空气污染暴露与儿童神经行为功能降低有显著正关联。我国泉州市¹¹开展的对交通污染暴露与儿童神经行为功能之间相关性的一项研究，对来自交通污染区和清洁对照区学校的小学生进行神经行为功能测定，两区研究对象学校的NO₂平均浓度分别为36 μg/m³和7 μg/m³，分析结果显示来自交通污染区学校儿童的各项神经行为功能指数均低于来自清洁对照区的儿童。另外，在德国开展的一项研究对居住在同一地址超过20年的399名老年女性的认知功能障碍与其居住环境中交通相关颗粒物浓度的关联进行了分析，结果显示交通相关颗粒物暴露与研究对象认知功能障碍间有显著关联，并且还存在着暴露-反应关系，由于认知功能障碍是阿尔兹海默病进展的高危因素，因此该研究提示长期暴露于交通相关颗粒物亦可能是老年性阿尔兹海默病的致病因子之一¹²。

2.4 致癌效应

大量研究已经证实，交通相关空气污染物中含有多种致癌物和致突变物，如PM、多环芳烃(PAHs)、苯等，可损害机体的遗传物质和干扰细胞的正常分裂，同时破坏机体免疫监视功能，引起机体基因突变和人类癌症的发生¹³。机动车尾气中的PM与机体作用可生成活性氧，导致氧化应激、炎症反应和DNA损伤，而PAHs的致突变作用与其在机体中形成PAH-DNA加合物以及导致DNA链的断裂有关。2012年，国际癌症研究所(IARC)将柴油机尾气列为明确的人类致癌物，指出柴油机尾气暴露可引起肺癌，与膀胱癌的发生风险也呈正关联。

2.5 交通相关污染物导致的疾病负担

近年来国内对交通相关污染物导致的暴露人群疾病负担做了研究，结果显示¹⁴，我国交通源排放所造成的PM_{2.5}污染2010年可造成约11.69万人过早死亡，占当年PM_{2.5}总体健康负担(125.54万过早死亡)的

9.31%。其中，因中风死亡人数为 6.31 万人，慢性阻塞性肺疾病死亡人数为 1.32 万人，肺癌死亡人数为 0.98 万人，缺血性心脏病死亡人数为 3.08 万人，分别占我国当年交通源所致的该四种健康结局总过早死亡人数的 53.9%、11.4%、8.3% 和 26.4%。另一项研究还显示，由于我国机动车排放污染呈现出明显的区域特征，交通

3. 控制交通相关污染后的人群健康效益

近年来，控制交通污染水平是否能改善人群健康受到研究者的广泛关注。如北京 2008 年奥运会期间，北京市政府采取了一系列交通污染控制措施，包括在北京市推行新能源（天然气）替代燃煤、大力发展公共交通、实行机动车限行、禁止重型卡车日间上路、实施新的机动车尾气排放标准、淘汰老旧高排放机动车等，同时控制周边省市的工业和交通污染排放等。这些严格的交通控制措施和政策效果明显，使奥运会期间北京的交通污染物浓度显著低于奥运会前，奥运期间北京市 12 条交通干道的 $PM_{2.5}$ 、BC 浓度比奥运前显著下降¹⁶。

以此为契机，国内有研究者从人群健康影响、健康经济损失、患癌风险等方面探讨了交通污染控制后的人群健康效益。一项以出租车司机为对象的研究¹⁷，探讨了奥运会前、中、后 $PM_{2.5}$ 浓度变化与研究对象 HRV 水平变化间的关系，结果显示：交通来源的 $PM_{2.5}$ 暴露浓度升高与 HRV 水平降低间存在显著关联，而奥运会期间 HRV 水平显著升高，由于 HRV 水平反映了心脏自主神经系统的调控功能，其升高被认为是心血管疾病发病风险降低的表现，因此结果提示，交通来源 $PM_{2.5}$

源导致的健康负担不仅与交通源污染强度有关，还广泛分布在人口稠密的地区¹⁵。如山东、河南等区域，其交通源排放相关的空气污染健康负担较重，主要是因为山东、河南等区域的人口相当稠密，即使其交通源污染贡献比重不是很大，但其导致的健康负担仍然较重。

浓度的下降可在一定程度降低人群心血管疾病的发病风险。

同期有研究结合大气扩散模型、流行病学和环境经济学的方法，评估了北京市 2004–2008 年间由于交通污染造成的健康影响及相关经济损失，结果发现：与交通污染相关的急性和慢性支气管炎、呼吸系统疾病、哮喘发作等发病数及相关经济损失在 2004~2007 年间均有不同程度的增加，但是在奥运会的 2008 年出现一定程度的降低，提示实施控制交通污染相关政策可对改善人群健康产生积极作用，并减少由于健康影响导致的经济损失¹⁸。

还有研究显示，奥运会期间北京市大气中 PAHs 含量显著低于非奥运时期，并且与 PAHs 含量相对应的人群超额患癌风险在奥运期间明显低于非奥运期间，提示采取有效的交通污染源控制措施可显著降低人群的患癌风险¹⁹。上述研究结果为通过实施交通污染控制的相关政策措施，显著改善暴露人群健康提供了直接证据，也为进一步实施交通污染控制政策和措施、保护人群健康提供了重要的科学依据。

结语

中国与交通相关的大气污染及其人群健康影响日益突出，正在成为国家有关部门和学者亟待解决的紧迫问题之一。迄今为止，国内对于交通污染的健康危害在其扩散机制、人群健康流行病学、经济损失评价及相关防控的技术措施方面均积累了相当的研究经验和成果。但对于交通污染控制政策措施实施前后的对比研究和调查，尚未见系统和全面的实证研究。

注释：

1. 中国统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
2. 李培, 王新, 柴发合, 等. 我国城市大气污染控制综合管理对策 [J]. 环境与可持续发展, 2011, 36(5): 8-14
3. Jones A Y, Lam P K, Dean E. Respiratory health of bus drivers in Hong Kong [J]. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.*, 2006, 79: 414-418.
4. Zhou W, Yuan D, Ye S, et al. Health effects of occupational exposures to vehicle emissions in Shanghai [J]. *Int. J. Occup. Environ. Health.*, 2001, 7: 23-30.
5. Skrzypek M, Zejda J E, Kowalska M, et al. Effects of residential proximity to traffic on respiratory disorders in school children in upper Silesian Industrial Zone, Poland [J]. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.*, 2013, 26: 83-91.
6. Andersson M, Modig L, Hedman L, et al. Heavy vehicle traffic is related to wheeze among schoolchildren: a population-based study in an area with low traffic flows [J]. *Environ. Health.*, 2011, 10: 91.
7. Gan W Q, Koehoorn M, Davies H W, et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of coronary heart disease hospitalization and mortality [J]. *Environ. Health. Perspect.*, 2011, 119: 501-507.
8. Coogan P F, White L F, Jerrett M, et al. Air pollution and incidence of hypertension and diabetes mellitus in black women living in Los Angeles [J]. *Circulation*, 2012, 125: 767-772.
9. Beckerman B S, Jerrett M, Finkelstein M, et al. The association between chronic exposure to traffic-related air pollution and ischemic heart disease [J]. *J. Toxicol. Environ. Health.*, 2012, 75: 402-411.
10. Wu S, Deng F, Huang J, et al. Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution: Results from the healthy volunteer natural relocation (HVNR) study [J]. *Environ. Health. Perspect.*, 2013, 121: 66-72.
11. Wang S, Zhang J, Zeng X, et al. Association of traffic-related air pollution with children's neurobehavioral functions in Quanzhou, China [J]. *Environ. Health. Perspect.*, 2009, 117: 1612-1618.
12. Ranft U, Schikowski T, Sugiri D, et al. Long-term exposure to traffic-related particulate matter impairs cognitive function in the elderly [J]. *Environ. Res.*, 2009, 109: 1004-1011.
13. de Kok T M, Driessens H A, Hogervorst J G, et al. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: A review of recent studies [J]. *Mutat. Res.*, 2006, 613: 103-122.
14. XIE R, SABEL C E, LU X, et al. Long-term trend and spatial pattern of PM 2.5 induced premature mortality in China [J]. *Environment international*, 2016, 97: 180-186.
15. 吴潇萌. 中国道路机动车空气污染物与 CO₂ 排放协同控制策略研究 [D]. 北京: 清华大学, 2016.
16. Wang X, Westerdahl D, Chen L C, et al. Evaluating the air quality impacts of the 2008 Beijing Olympic Games: On-road emission factors and black carbon profiles [J]. *Atmos. Environ.*, 2009, 43: 4535-4543.
17. Wu S, Deng F, Niu J, et al. Association of heart rate variability in taxi drivers with marked changes of particulate air pollution in Beijing in 2008 [J]. *Environ. Health. Perspect.*, 2010, 118: 87-91.
18. Guo X R, Cheng S Y, Chen D, et al. Estimation of economic costs of particulate air pollution from road transport in China [J]. *Atmos. Environ.*, 2010, 44: 3369-3377.
19. Jia Y, Stone D, Wang W, et al. Estimated reduction in cancer risk due to PAH exposures if source control measures during the 2008 Beijing Olympic were sustained [J]. *Environ. Health. Perspect.*, 2011, 119: 815-820.

从全生命周期评价看电动车在可持续交通发展中的作用

赵昂

在可持续交通发展中，充电电池电动汽车（Battery electric vehicles, BEV, 以下简称电动车）被寄予厚望，因为作为当前主流交通工具的传统燃油发动机汽车（Conventional Internal Combustion Vehicles, 以下简称燃油车）是造成气候变化和空气污染的主要因素之一。电动车替代燃油车被认为是交通系统实现低碳转型的关键路径之一。然而近些年围绕电动车是否真的环保和低碳的争论始终没有停止，结合不同激励政策、工业制造技术、电力系统结构、电池使用寿命和电池回收技术等重要影响因素的相关研究不断涌现，这些研究多数使用全生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）的方法来比较电动汽车与燃油车和采用其他技术的汽车在碳排放、公共健康影响和生态环境影响等方面的优、缺点。本文在梳理概述近期研究的基础上，结合中国近年来快速发展的电动车市场，提出相关的政策建议，并希望借此机会增进与中国可持续交通发展和决策方面有价值的讨论。

1. 电动车是否真的绿色？

关于电动车是否满足可持续发展的目标的研究围绕以下主要影响因素：对气候变化的影响、对人体健康的影响和对环境生态系统的影响。采纳全生命周期评价的方法，比较电动车和燃油车的影响孰优孰劣，不仅要核算汽车原材料和电池原材料采集过程（如采矿）中污染物和温室气体的排放、汽车生产过程中的温室气体和污染物排放，还要计算汽车回收过程和电池回收处置过程中的各种影响，以及贯穿始终的电力系统的碳排放和污染物排放也需要计算在内。这样的研究过程随着人们认识的提升，仍会有新的因素被纳入进来，因此评价电动车是否符合真的绿色，是一个动态变化的过程，会随着不同的政策、技术、环境、社会和经济等因素而改变。但是，目前的研究已经说明，电动车替代燃油车符合可持续交通发展的方向。

挪威研究者 2013 年发表的一份报告¹比较了电动车和燃油车在全生命周期（汽车的生产、使用和废弃阶段）所带来的环境影响。汽车生产阶段，研究团队建立了统一的非动力总成系统框架，可以比较电动车和燃油车主要部件的环境影响，电动车选择的分别是 214kg 和 273kg 的锂镍钴锰和磷酸铁锂电池；在使用阶段，他们采用了欧盟驾驶周期规则下要求的工业性能测试规范，考虑了汽车大小、性能、轮胎和运输损耗等因素；在废弃阶段，他们依据美国 Argonne 国家实验室建立

的交通运输模型来评估汽车回收和处置过程中的环境影响，电动车的电池废弃处理包括电池的拆解和深度冷冻粉碎过程所带来的环境影响。

这份研究中所分析的环境影响包括十个方面：气候变化潜力、土地酸化潜力、颗粒物排放 / 形成潜力、光化学氧化影响潜力、人体毒性影响潜力、淡水生态毒性影响潜力、土地生态毒性影响潜力、淡水富营养化影响潜力、矿产资源枯竭影响潜力和化石燃料枯竭影响潜力。研究的主要发现表明，电动车的环境影响主要受制于其生产和使用阶段所消耗的电力的清洁程度。研究指出，延长汽车和电池的使用寿命并使电力系统更清洁和低碳是降低电动汽车环境影响的重要途径²。

从比较全生命周期的环境影响到理解全生命周期的健康影响还需要更深入的研究，一定程度上讲，评估公共健康影响要更复杂，不仅要对具体健康影响进行分类（影响涵盖涉及生理健康和精神健康的各种健康问题），而且要思考如何将健康影响进行量化以有助于比较哪种汽车带来的健康损失更大。由于研究者在评估空气污染导致的健康影响方面所积累的多年丰硕成果，针对电动车和燃油车进行全生命周期的空气污染影响的研究就显得更为相关和有针对性，并且对政策选择也有直接的帮助作用。2014 年底发布的一份来自美国国家科学院的研究³就是回应了这样的需求。

这项研究在美国的交通、能源系统和汽车技术和生产、使用的情景下展开分析，主要关注的是不同类型的汽车在可吸入细颗粒物和臭氧排放（这两种污染物是导致健康影响最重要的因素）上的差异，研究重点关注汽车使用阶段的排放，同时也分析了汽车所使用的“燃料”（如电力、化石燃料、生物质燃料等）在其生产过程中产生上述两种污染物的情形，由于汽车在废弃阶段（回收和处置）所产生的污染物非常小，此研究在分析中没

有讨论。这一研究的结论显示，带来空气污染最严重的是 100% 使用煤炭发电的电动车，其次是燃油车（包括汽油车和柴油车），接下来是使用 100% 天然气电力的电动车和混合动力汽车（既有传统燃油发动机也有可充电电池发动装置），空气污染影响最小的是使用 100% 可再生能源发电的电动车。这一研究指出，当电力系统仍主要依赖煤炭发电时，发展纯电动车其实给改善空气质量带来负面作用⁴。

2. 电动车的未来：放在更广阔的社会、经济和技术的发展条件下考量

比较在全生命周期下电动车和传统内燃机汽车的环境、健康和社会影响，不能忽视两点：第一，正如本评论集中第一篇的关于可持续交通决策框架的文章所提及的，交通系统的发展与社会经济的各个方面都有紧密结合。例如，随着人们愈加重视气候变化应对和空气污染治理，电动汽车会更被青睐。或者，由于更人性化的城市规划和设计，未来城市人们日常工作生活的出行距离更短、更好的服务使人们更倾向于选择电动公共交通工具出行；第二，技术的创新和应用也会影响电动车在可持续交通发展中的作用。当涉及电动车电池设计、性能和回收处置的技术变得更加成本有效、环境友好时，电动汽车除了已经在碳减排和改善城市空气质量方面比燃油车具备优势之外，还会在人体和环境生态毒性影响方

面补上短板。一份新的研究讨论了这一方面的问题，面临循环经济发展的条件下，电动车如何在可持续交通系统转型发展中更加具有竞争力⁵。报告特别提及电动车发展需要着重考虑以下方面：车辆设计、使用、选择环节、电动车再利用和回收环节以及电动车所使用的电力资源是否低碳等。另外，也有研究和实验在探索退役的电动车电池可拥有的第二次生命——储能应用，因为退役的电池还有很可观的能源容量，有资料表明，可以达到新电池容量的 60% 甚至更高⁶。如果在延长电池使用周期这一方面获得巨大技术改进，这将大大减少全生命周期电动汽车电池的碳排放水平。一份研究梳理了现有电动车电池技术新发展，估算了新技术对减排的潜力，如表 1 所示：

表 1: 电动车电池生产和使用过程的技术改进带来的碳排放变化的潜力

技术发展	电池生产阶段碳排放比例变化	全生命周期碳排放比例变化 (g-CO ₂ /km)
体积更大的电池	33%~66%	18%
二手电池的使用	未知	-22%
电池回收处置	-7% ~ -17%	-4%
能源强度更高的电池	-10% ~ -15%	-6%

说明：负数比例表明减少排潜力，正数比例表明增加排放的潜力。

来源：Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions., Dale Hall and Nic Lutsey. The International Council on Clean Transportation, 2018. p 10, 链接：https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

由此来讲，我们需要持续关注关于电动车全生命周期各种影响的研究，但从现有大多数的研究发现来看⁷，电动车在满足可持续交通发展中减少碳排放和降低空气污染贡献方面拥有确定的优势，当然上述文章所提到的电网电力结构的关键条件是不能缺少的。

从污染治理有效性的角度来看，相比传统燃油车，电动汽车也有一定的优势。传统燃油车的大部分污染排放发生在车辆使用过程中，这是典型的移动源污染，移动源的污染控制相对苦难；而电动汽车的污染排放主要发生在车辆和电车的生产和回收过程中以及所使用电力

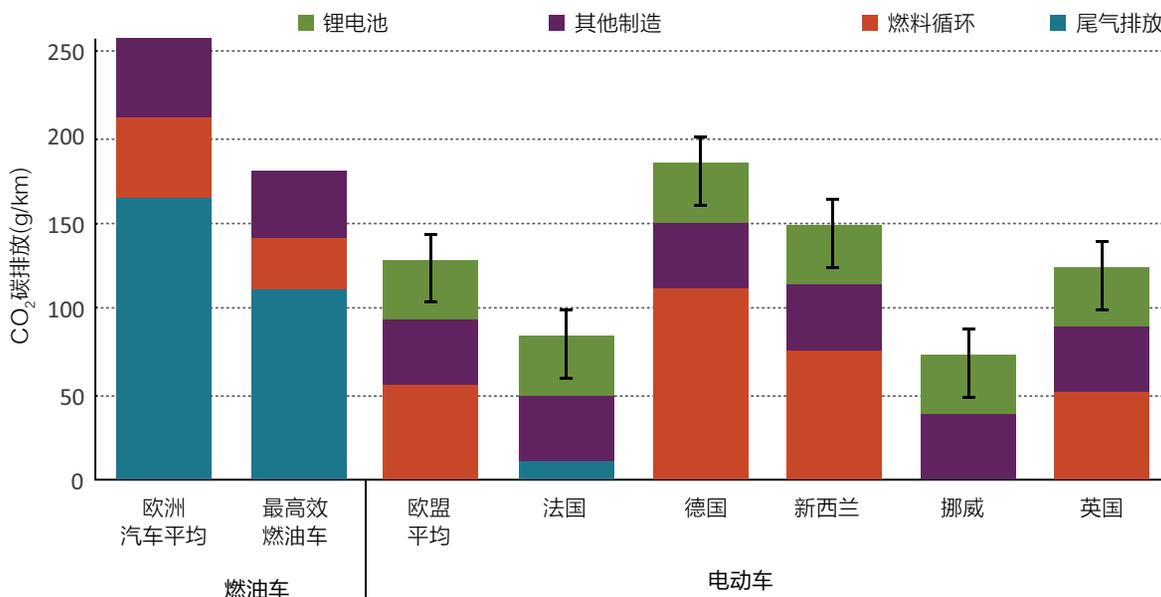
在能源资源开采和发电的过程中，电动车在行驶时并不产生污染排放，这中点源污染控制起来相对容易。因此，只要将电力系统转变为以可再生能源发电为主，那么电动汽车的环境和健康的可持续效应非常显著。然而，无论如何提高炼油水平、燃油效率，燃油车在运行时出现的大规模移动型面源污染仍无法避免，污染物一旦排放到空气中，还会经过复杂的光化学反应生成光化学烟雾（二次污染物），这其中就包括臭氧和二次颗粒物（PM_{2.5}），这显然加大了治理难度。

3. 发展电动车：中国的挑战在于尽快实现电力系统的低碳化发展

如前所述，电动车全生命周期碳排放的最大份额来自电力消耗，因此电力系统的碳强度是影响电动车碳排放水平的最大因素。有研究表明，在其他因素不变的条件下，仅是将全生命周期中电动车所处的电力系统设置为不同的国家，即这些国家的电力系统中可再生能源电力和化石能源电力所占比例各不相同。如图 1 所示，以欧盟电力结构平均碳强度水平来看，电动车全生命周期

碳排放水平显著低于能效最高的燃油车。然而，如果电动车是在不同的国家使用，其碳排放水平却相去甚远。由于法国以核电为主、挪威以水电为主，在这两个国家使用电动车，其碳减排效果最为显著，而在德国使用电动车，其气候变化影响与能效最高的燃油车基本一致。换句话说，以 2015 年德国电力结构为条件，用电动车替代能效最好的燃油车并没有碳减排的效应。

图 1: 2015 年欧洲电动车和燃油车全生命周期（15 万公里以上行驶里程）碳排放比较（单位：g-CO₂/km）



来源: Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions., Dale Hall and Nic Lutsey. The International Council on Clean Transportation, 2018. Figure 1. p 5, 链接: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

由此可看, 电力结构直接影响着电动车替代所带来的碳减排效应。与德国相比, 中国的电力结构仍然严重依赖煤炭。依据 BP 能源统计年鉴 (2018) 关于分燃料发电量的数据, 2017 年德国和中国发电电源结构 (如表 2 所示) 有显著的差距, 低碳的电源品类, 包括核电、水电和可再生能源在内, 德国的比例高达 45%, 中国相应的比例为 29%, 碳强度最高的发电电源是煤炭, 德国由于历史上对煤炭的较高依赖度, 至今仍有 37%

的发电来自煤炭, 而中国的这一比例高达 67%。从这一点来看, 当前中国电动车替代燃油车并没有碳减排效应。当然, 近年中国发展迅速的电动车市场可能带来刺激经济、增加就业、技术创新和降低交通部门传统空气污染物排放增长速度等效果, 这很可能是现阶段决策者优先考虑的因素。当气候变化应对变得更加紧迫时, 决策者的优先序考虑也许是改变的时候了。

表 2: 德国与中国发电电源结构比较 (2017 年)

	石油	天然气	煤炭	核能	水电	可再生能源	其他	总计
德国	0.9%	13.1%	37.0%	11.6%	3.0%	30.3%	4.1%	100%
中国	0.2%	3.0%	67.2%	3.8%	17.8%	7.3%	0.7%	100%

来源: 2018 BP Energy Statistics Book

结语

在应对气候变化的紧迫性日益增强的情形下, 我们看到越来越多国家和决策者将交通部门应对气候变化的出路放在了电动汽车的快速发展上, 从能源系统实现低碳转型的内在要求 (即告别化石能源, 拥抱可再生能源) 来看, 这样战略是在情理之中, 特别是从长远来看, 我们看到众多关于电动车全生命周期气候变化、生态环境和公共健康影响的评价都指向发展电动车是实现可持续交通未来的必由之路。然而, 为了更有效的实现电动车替代燃油车所带来的碳减排效果, 电力结构严重依赖以煤炭为代表的化石能源的国家应该将电力系统低碳转型放在需要急迫应对的地位, 以此为重要契机, 推动交通部门迅速承担起应对气候变化的责任, 实现可持续转型。

注释：

1. Troy R. Hawkins, et al., 2013. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles., Journal of Industrial Ecology, 17(1), pp. 53–64.
2. 王伊祎, 2015. 《电动车环境影响争论：能效和电力清洁度仍是决定因素》原载于磐之石环境与能源研究中心网站。链接：<http://www.reei.org.cn/blog/552>
3. C. W. Tessuma, et al., 2014. Life Cycle Air Quality Impacts of Conventional and Alternative Light-duty transportation in the United States. 链接：<https://www.pnas.org/content/111/52/18490>
4. 王伊祎, 2015. 《公共健康影响：玉米乙醇汽车和 100% 煤电电力纯电动车比汽油车更糟糕》原载于磐之石环境与能源研究中心网站。链接：<http://www.reei.org.cn/blog/547>
5. European Environment Agency, 2018. Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives. EEA Report No 13/2018.
6. Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions., Dale Hall and Nic Lutsey. The International Council on Clean Transportation, 2018. p 10, 链接：https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
7. Transport & Environment, 2017. Electric Vehicle Life Cycle Analysis and Raw Material Availability. A Briefing by Transport & Environment. 链接：https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_10_EV_LCA_briefing_final.pdf