

中国重型车市场分析和燃料能效技术发展潜力

作者: Oscar Delgado Hanyan “Ann” Li (李晗嫣)

鸣谢

本项目由威廉和弗劳拉基金会、气候工作基金会以及能源基金会出资支持。作者在此特别向赵立金（中国汽车工程学会）、郑天雷（中国汽车技术研究中心）、何卉、杨柳含子、Rachel Muncrief和Ben Sharpe表示感谢，感谢他们为本项目所作出的重要贡献并协助审阅。© 2017 国际清洁交通委员会。

地址：1225 I Street NW, Suite 900, Washington DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

目录

概述	iv
1. 介绍.....	1
2. 中国市场掠影和发展趋势	3
2.1 重型车市场概况	3
2.2 半挂牵引车.....	11
2.3 整体式卡车：货车和自卸汽车	19
2.4 专用车辆.....	25
3. 基准车辆性能.....	32
3.1 方法论及假设条件	32
3.2 基准车辆特征	32
3.3 典型行驶工况循环和负载	34
3.4 基准车辆性能	34
4. 技术潜力	38
4.1 中国重型车能效技术综述.....	38
4.2 方法论	39
4.3 三阶段以后的技术潜力分析	41
5. 总结	44
6. 政策建议.....	46
参考资料.....	49

插图列表

图1. 2007-2014年中国大陆各省重型车登记注册情况.....	3
图2. 2014年中国大陆各省重型车登记注册情况.....	4
图3. 2007-2014年中国重型车登记注册发展趋势和市场解析（按车型分类）.....	5
图4. 2007-2014年中国15吨以上卡车登记注册情况解析.....	6
图5. 2014年全球主要市场重型车生产企业情况解析.....	6
图6. 2014年中国重型车登记注册情况（按车辆类别和燃料类别划分）.....	7
图7. 2014年中国各类重型车按级别权重后的油耗加严幅度以及市场份额.....	9
图8. 2014年中国重型车市场份额（按车辆类别和燃料类别划分）.....	10
图9. 按燃料类别划分的中国重型车市场份额发展趋势.....	11
图10. 中国生产企业发展趋势解析：半挂牵引车，2007-2014年.....	12
图11. 中国发动机生产企业发展趋势解析：半挂牵引车，2007-2014年.....	13
图12. 中国半挂牵引车最大组合总质量发展趋势：2007-2014年.....	14
图13. 2014年中国半挂牵引车最大组合总质量分布情况.....	14
图14. 中国半挂牵引车车桥结构发展趋势：2007-2014年.....	15
图15. 中国半挂牵引车发动机排量发展趋势：2007-2014年.....	16
图16. 中国半挂牵引车发动机功率发展趋势：2007-2014年.....	16
图17. 2007-2014年中国各类挂车市场份额发展趋势.....	17
图18. 2014年中国各类挂车的负载能力（最大负载）.....	18
图19. 2007年与2014年中国挂车负载能力对比.....	18
图20. 中国生产企业发展趋势解析：整体式卡车，2007-2014年.....	20
图21. 中国发动机生产企业发展趋势解析：整体式卡车，2007-2014年.....	20
图22. 2007-2017年中国货车最大总质量发展趋势.....	22
图23. 2014年中国货车最大总质量分布情况.....	22
图24. 2007-2014年中国自卸汽车最大总质量发展趋势.....	23
图25. 2014年中国自卸汽车最大总质量分布情况.....	23
图26. 2014年中国整体式卡车负载能力分布情况（按车桥数量划分）.....	23
图27. 中国整体式卡客车车桥结构发展趋势：2007-2014年.....	24
图28. 中国整体式卡车发动机排量发展趋势：2007-2014年.....	24
图29. 中国整体式卡车发动机功率发展趋势：2007-2014年.....	25
图30. 中国各类专用车辆年度注册情况发展趋势：2007-2014年.....	26
图31. 中国专用车辆登记注册数量和分类解析：2007-2014年.....	26
图32. 中国生产企业发展趋势解析：专用运输车，2007-2014年.....	27
图33. 中国发动机生产企业发展趋势解析：专用运输车，2007-2014年.....	27
图34. 2007-2014年中国专用运输车最大总质量发展趋势.....	29
图35. 2014年中国专用运输车最大.....	29

图36. 2007和2014年各类专用运输车负载能力对比	29
图37. 中国专用运输车车桥结构发展趋势	30
图38. 按车桥数量划分的负载能	30
图39. 专用运输车发动机排量发展趋势	30
图40. 专用运输车发动机功率发展趋势	31
图41. C-WTVC和WHVC工况时间速度解析图.....	34
图42. 特定质量级别半挂牵引车各车型燃油消耗量	35
图43. 特定质量级别货车各车型燃料消耗量.....	36
图44. 半挂牵引车能量审核.....	37
图45. 燃油经济性潜力	42
图46. 三阶段和更高节油技术潜力下的燃料消耗量对比：半挂牵引车	43
图47. 阶段和更高节油技术潜力下的燃料消耗量对比：货车	43

表格列表

表1. 2007-2014年中国重型车生产企业登记注册排名情况	7
表2. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额： 半挂牵引车，2014年.....	8
表3. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额： 整体式卡车，包括专用运输车，2014年.....	8
表4. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额： 客车，2014年	9
表5. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：半挂牵引车	13
表6. 2014年中国挂车基本信息（注册挂车平均值）	19
表7. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：货车.....	21
表8. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：自卸汽车	21
表9. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：专用运输车	28
表10. 中国基准卡车车辆特征	33
表11. C-WTVC权重比例	34
表12. 规定工况循环和负载条件下的基准油耗	36
表13. 半挂牵引车技术潜力假设条件.....	41
表14. 货车技术潜力假设条件	42

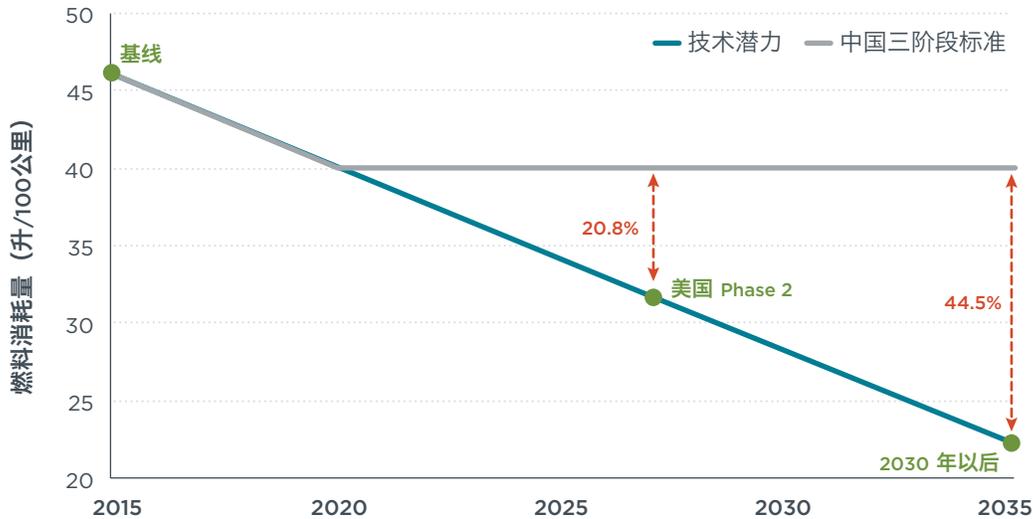
概述

中国目前拥有世界上最大的重型车市场，重型车燃料消耗量居世界第二位 (Sharpe和Muncrief, 2015)。在2012到2040年期间，重型车的燃料消耗量还会以每年3%的速度增长，占这一期间中国交通领域能源消耗总增量的34% (美国能源信息管理局EIA, 2016)。尽管重型车在数量上仅占中国道路车辆的约10%，但其燃料消耗量约占道路燃料消耗量的50%，这是因为重型车单车年度燃料消耗量要远远高于乘用车，重型车车型更大，行驶的里程也更多。

中国的管理部门正在制订管理政策和出台相关措施来减少重型车领域的油耗及二氧化碳(CO₂)排放。中国是全世界四个实施了重型车燃料消耗量标准的国家之一，而该标准是确保重型车减排的关键措施。中国于2011年开始实施燃料消耗量标准并且在逐步加严，更为严格的新标准将于2019年对新认车型开始执行，2021年开始对在生产车型开始执行。根据新的管理要求，根据车辆类别，新生产重型车的油耗将降低18%-29%。中国要想实现长期减排目标，还需要在加强重型车油耗管理方面进一步努力。对于管理部门而言，要想在削减油耗方面做出睿智的决策，就需要先充分了解重型车市场的情况以及车辆技术的提升潜力。

本研究对中国重型车市场进行了分析，调查了目前市售车辆在采用现有节能技术后的节油潜能。在本次研究中，我们获取了中国8年间的重型车登记注册数据并进行了分析。我们从登记注册数据中提取了车型年、车辆生产企业、发动机生产企业以及多项车辆/发动机技术规格信息。根据分析结果和其他一些额外数据，我们在车辆模拟软件中确定了两款有代表性的且销量最大的2015年基准车辆：一款半挂牵引车和一款整体式运输卡车。然后在模型中引用技术方案，技术方案包括可实现商业化应用的现有技术以及在2020-2030年期间可应用的预期技术。模型软件会模拟出应用不同技术方案的节油潜能（与基准车型油耗相比），从而确定中国新生产重型车的技术发展潜力。

图ES1展示了实施中国目前计划实施的第三阶段燃料消耗量标准与实施更为严格的管理要求对于半挂牵引车节油潜能的影响差距。2020年以前，第三阶段油耗标准可实现新生产半挂牵引车的油耗每年降低约3%。2020年之后，中国如采用目前美国Phase2重型车温室气体管理方案中的各项技术，通过提升发动机能效、降低轮胎滚动摩擦和改善半挂牵引车空气动力设计，则可使油耗进一步降低约21%。中国还可以在2025-2030年期间采用一些预期届时可实现商业化应用的发展中技术，例如废热回收、半挂牵引车整体空气动力学设计以及混合动力传动等，这样可以在2020年油耗水平基础上实现重型车油耗总体降低约45%。



图ES1. 三阶段和预期技术潜能之间的油耗影响对比：牵引车-挂车

本报告中还发现了一些中国重型车市场的特点和发展趋势，这些因素都与今后的政策制订息息相关：

- » 已纳入管理和未纳入管理的车型：目前的燃料消耗量标准共涵盖六类重型车——半挂牵引车、整体式卡车（包括整体式货车和自卸汽车）、专用运输车、客车和城市客车。这些车辆约占重型车市场的85%，仍有约15%的重型车未被纳入燃料消耗量标准当中。这其中包括替代燃料车和专用作业车。这部分车辆的市场份额预计将会有所增长。而在其他市场上表现出显著节油契机的挂车，也没有被纳入到燃料消耗量标准当中。
- » 长途货车：和美国欧洲等地不同，在中国，半挂牵引车并不是道路长途货运的唯一车型。半挂牵引车和大型整体式货车都在中国长途货运领域使用。半挂牵引车大约占中国重型车市场份额的21%，在美国其市场份额为23%，欧盟为26%。在15吨以上的车辆级别中，这一差异更为显著。在该级别中，中国非牵引车的销量几乎是牵引车的三倍。而在欧盟，两类车的销量基本相仿；在美国，牵引车的销量则是非牵引车的三倍 (Sharpe和Muncrief, 2015)。在美国和欧盟长途货运领域中很常用的厢式或篷式半挂车，在中国也并不太常用，仓栅式挂车才是中国最为常用的类型。这些挂车用钢梁焊接出框架，但顶部和侧部并没有遮盖。另外，挂车的“脱挂和转挂”功能也没有得以充分的应用。
- » 车辆生产企业：与高度集约的西方市场相比，中国的重型车市场比较零散化，有超过460家车辆生产企业。其中中国排名前10的生产企业所占的市场份额不足70%。在美国，排名前5的生产企业占据了市场份额的70%，在欧盟这一份额为91%。中国半挂牵引车市场共有七家主要生产企业，合计占市场份额的90%以上，另有约20家小型生产企业，其2014年市场份额达到10%，在2007年时这些小企业的市场份额为4%。整体式或非铰接式卡车市场上则有超过70家生产企业。在发动机生产企业中，排名前七位的生产企业占据了99%的牵引车发动机市场和95%的整体式卡车发动机市场。
- » 车辆和发动机规格及发展趋势：在对8年的数据进行分析时可以看出牵引车的尺寸呈增大趋势，中型半挂牵引车的最大组合质量（GCW）从2007年的41.2吨增至2014年

的45.5吨。牵引车发动机的排量和功率平均值从2007年的9.1L/228kW增至2014年的10.1L/250kW。不过，发动机排量和功率仍然低于欧盟和美国，欧美的平均发动机排量在13-15L之间，典型发动机功率范围在300-450kW之间。整体式卡车的车辆最大总质量（GVW）也有所增加，比如16吨的双桥结构车辆，已经达到了管理的最上限。整体式卡车的典型传动结构为双桥结构，而自卸汽车多数用于建筑和矿山，负载更重，其典型结构为三桥或四桥。市场上最常见的车型是车辆最大总质量16吨的整体式卡车和车辆最大总质量25-31吨的自卸汽车。自卸汽车的发动机排量和功率都要比整体式货车更大。

根据本次研究的结果，我们将会为中国重型车燃料消耗量政策的未来发展提出几点推荐意见。如果中国目前提出的标准能够切实有效的实施，那么将会在未来几年内取得显著的节油效果。然而，中国要想在技术和能效方面与美国接轨，则还需要进一步推动重型车市场的发展。根据目前已知的技术，重型车仍有相当大的节油潜能。以这些先进技术为基础出台更为严格的标准并给予较长的过渡期，可以确保生产企业有效应用这些先进技术。

此外，中国的长途货运行业在车辆调配方面没有美国和欧盟那么有效。政策制订者应考虑出台相关政策或奖励机制，鼓励使用半挂牵引车和厢式挂车，并应用挂车的可脱挂和可转挂特性来提高运输效率。这样做可以减少空驶里程，减少超载现象，减少道路上行驶的车辆数量，构建更为现代化的全国性物流体系。

最后，中国目前的重型车燃料消耗量标准并不能涵盖整个重型车市场，仍有15%的新生产重型车未被纳入管理范畴。挂车本身对于燃料消耗量会产生很大影响，但目前也没有纳入管理（美国的挂车是被纳入管理范畴的）。通过扩大管理框架，将目前未管理的车型纳入管理，中国可以进一步削减重型车的燃料消耗量。这表明，中国在未来15-20年中还有机会大幅改善道路货运体系的燃油能效。

1. 介绍

中国目前拥有世界上最大的重型车市场，重型车燃料消耗量居世界第二位 (Sharpe和Muncrief, 2015)。2012-2024年期间，中国预计将成为世界上交通领域能源使用量增幅最大的地区，重型车燃料消耗量年增幅为3% (美国能源信息管理局, 2016)。随着中国交通领域能源消耗量的增大，国家对进口燃料的依存度也在增大，随之而来也就加大了能源安全和可持续性方面的风险 (21世纪能源研究所, 2016)。自2013年底开始，中国已成为世界上最大的石油净进口国(美国能源信息管理局, 2015)。

中国将最大总质量大于3500kg的车辆分级为重型车。尽管重型车数量上只占2012年车辆销量的10.4%，但由于重型车负载高且行驶里程长，重型车的燃料消耗量占道路燃料消耗量的近一半(中国汽车技术研究中心, 2013)。中国是世界上四个通过实施标准法规来减少燃料消耗量和二氧化碳(CO₂)排放的国家之一。

中国政府目前已经发布了三个阶段的新生产重型车燃料消耗量标准。第一阶段为行业标准，于2012年中期开始对新认型式核准实施，于2014年中期开始对在生产车辆实施 (工信部, 2011)。该标准涵盖了三类重型车——半挂牵引车、货车和客车。第二阶段为国家标准，于2014年中期开始对新认型式核准实施，于2015年中期开始对在生产车辆实施 (质检总局 & 国标委, 2014)。国标中纳入了城市客车和自卸汽车，与行业标准相比，对于半挂牵引车、货车和客车的燃料消耗量限值也平均加严了10.5%-14.5% (Delgado, 2016)。第三阶段标准于2016年4月开始公开征求意见 (质检总局 & 国标委, 2016a)。标准草案与二阶段涵盖的车型范围相同，根据车辆类型，将燃料消耗量限值平均加严了12.5%-15.9% (Delgado, 2016)。新标准计划于2019年7月1日开始对新认型式核准实施，于2021年7月1日开始对在生产车辆实施。显然，这一实施日期与重型车国VI排放标准是同步的，国VI标准计划于2019年开始对新车型式核准实施，2020年开始对所有车辆实施 (环境保护部, 2016)。

我们此次开展本研究的原因有三点。首先，中国三阶段油耗标准的目的是缩小中国与日本、美国等发达国家在燃油经济性方面的差距，同时减少燃料消耗量和CO₂排放。在此次研究中，我们将对中国现有重型车群体的特点进行分析并与其它国家市场上的车辆群体进行比较，从而寻求出改善能效的途径。其次，中国从2012年就开始实施燃料消耗量标准，有必要对市场的初步发展势态进行探究。第三，此次研究将有针对性的解决一些管理方面的问题，为即将出台的三阶段标准提供推荐意见。

我们的目标是通过中立的数据分析，为中国今后的重型车燃油能效政策提供相关信息。本文将利用最新的市场数据，结合2020-2030年期间重型车节油技术发展潜力评估，对中国重型车群体进行基准分析。我们通过对重型车登记注册数据进行全面整理和挖掘，得出了重型车市场的历史发展趋势、当前市场状况以及车辆特征信息。车辆模拟模型将定义基准燃料消耗量，然后对未来有可能应用的各项能效技术予以评估。

本文用于进行市场分析的中国大陆重型车登记注册数据由埃士信咨询公司（IHS Automotive）收集¹。数据库中包含2007-2014年4536kg以上的车辆的相关记录。数据库中还包含车辆具体规格和各省逐年的车辆登记注册数量。车辆质量在3500-4536kg之间的车辆在燃料消耗量标准中也被划归为重型车，但由于缺少相关数据，并未被纳入本次分析。总体上，中国重型车数据完整性、有效性和准确性较好。数据经过预处理，去除了无效或错误数据点。在完成数据清理后，各类车型的车辆特征数据有效率可达99.4%以上。

¹ 内容由IHS全球提供，版权所有 © IHS Global SA, 2015

2. 中国市场掠影和发展趋势

2.1 重型车市场概况

重型车市场掠影

中国大陆共有34个省级行政区：23个省、4个直辖市（北京、天津、上海和重庆）、5个自治区以及2个特别行政区。车辆保有量与各地的区域经济和文化发展高度关联。图1和图2展示了2007-2014年中国大陆各省/自治区重型车平均登记注册状况。长期以来，市场的中心都聚焦于北京市和广东省，另外一些边境省份，如黑龙江和新疆的重型车登记注册数量也相对较大。这主要是由于中俄、中蒙以及和其他邻国之间的跨境货运量的增长。经济增不断助推货运量的增长。如图2所示，中国东南部物流量的增长使得部分省份的重型车登记注册份数量过了重型车登记注册总量的3%。

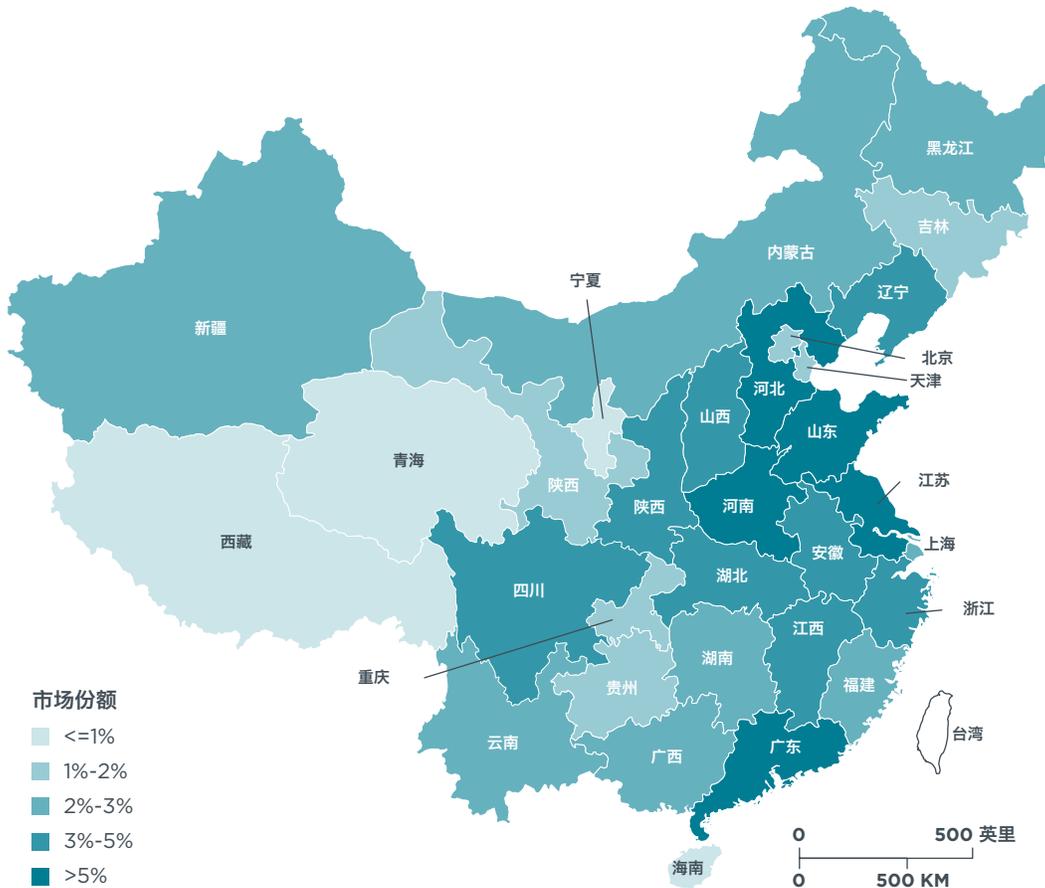


图1. 2007-2014年中国大陆各省重型车登记注册情况

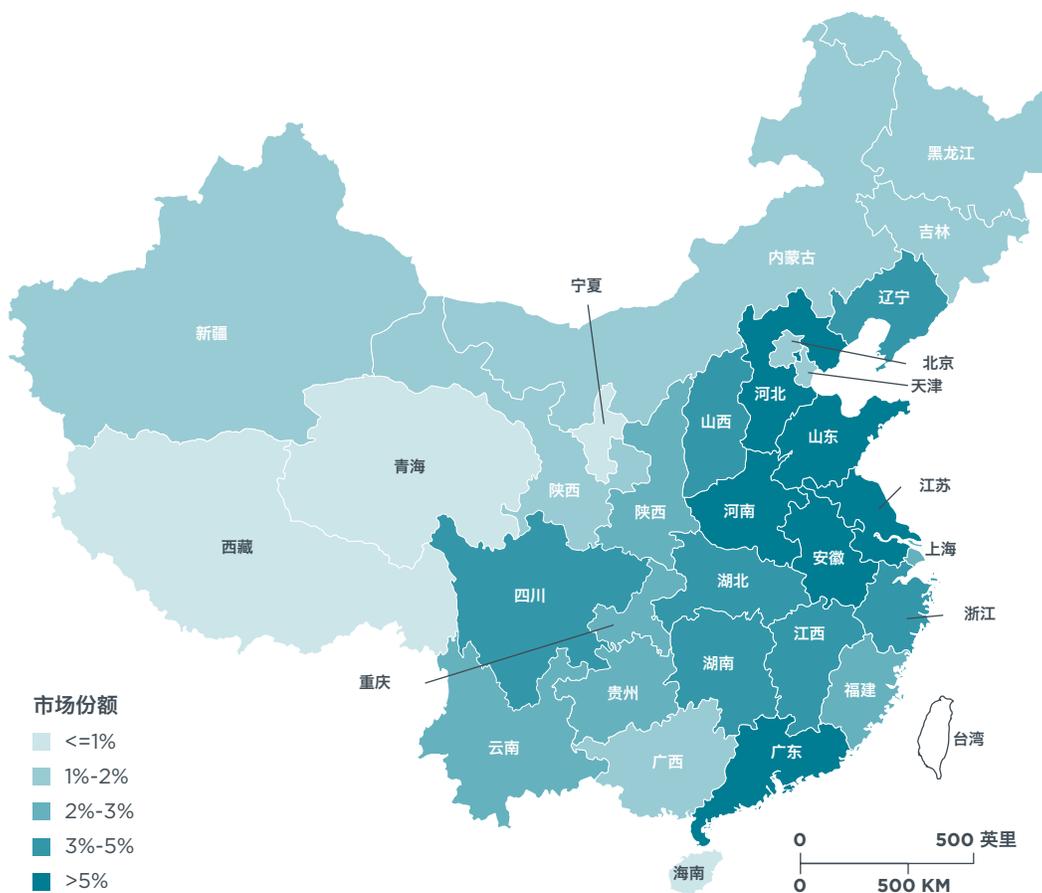


图2. 2014年中国大陆各省重型车登记注册情况

2008-2010年期间，重型车新登记注册数量大幅增长，然后出现了两年的回落期（图3）。此后，2013年的登记注册量跃增了26%，2014年下降了13%。尽管可能由于产能过剩或是经济回落因素而导致了注册数量下降趋势，但2014年的重型车登记注册数量仍比2007年多40%，即年均增长幅度5.7%。

图3根据国家燃料消耗量标准中的车型分类对市场情况进行了解析。专用车辆占比为30%，是重型车市场上占比最大的车辆类型。专用车辆又分为两类，不过在图3中没有体现，即专用运输车辆和专用作业车辆(全国汽车标准化技术委员会, 2009)。专用作业车用于完成交通货运以外的工作，并没有被纳入燃料能效管理范围。专用运输车则是用于运输特种货品，例如水泥、垃圾和天然气，在管理上会将这类车划归到在车型尺寸上与之最为接近的五类被管理车型当中。自卸汽车和货车都属于整体式卡车，车辆驾驶室和车身是一个整体，共用一个底盘。所有不属于自卸汽车或专用车辆的整体式卡车，统统划归为货车。

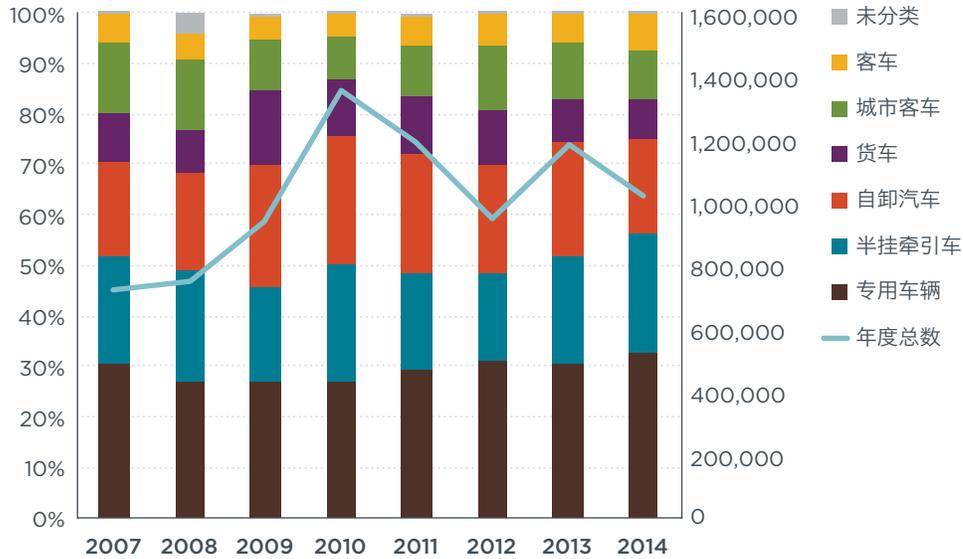


图3. 2007-2014年中国重型车登记注册发展趋势和市场解析（按车型分类）

图4展示了2007-2014年期间车辆最大总质量在15吨²以上的卡车的登记注册情况（相等于美国的Class8）。从2011年到2014年，牵引车卡车的占比从32%增长至37%。经济的持续增长需要并推动物流行业不断发展。物流运营商更换了更大型的卡车，并对挂车进行脱挂和转挂操作，从而提高货运效率。不过，在15吨以上车辆级别中，中国半挂牵引车的占比（37%）还是要远远低于美国（75%）和欧盟（50%）（Sharpe和Muncrief, 2015）。半挂牵引车要比大型货车更为高效，大型物流运营商可以根据长途货运需求来对牵引车进行调配。半挂牵引车的占比较少可能是由于私人车主和小型货运公司无力购买半挂牵引车，或是没有考虑到节油方面的收益。自卸汽车在中国市场上非常常见，多用于建筑和矿山作业。从2011年到2014年期间，自卸卡车的销售份额从31%下降至25%，这主要是因为煤矿运输方面的需求有所缩减（Zhang, 2016）。

2 吨是中国管理标准中使用的质量单位，1吨=1000公斤=1.1短吨=2200磅

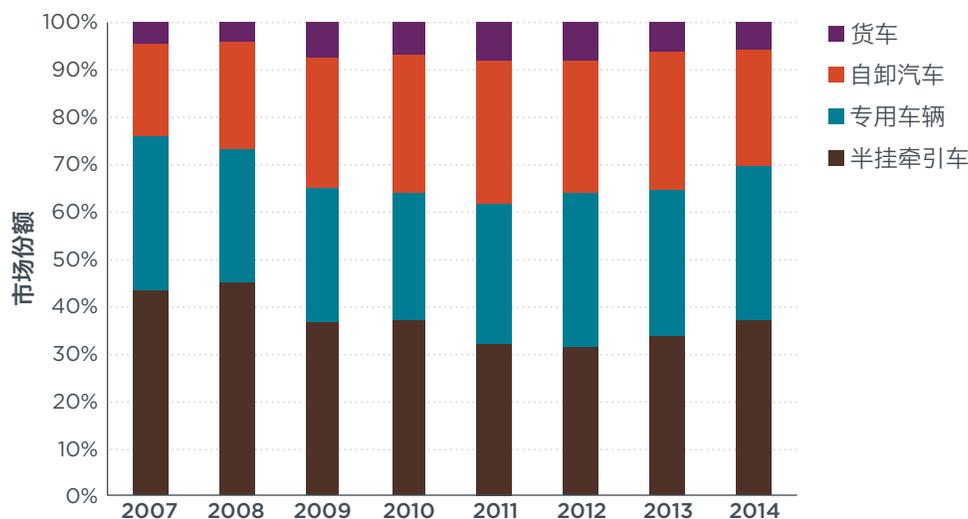


图4. 2007-2014年中国15吨以上卡车登记注册情况解析

与其它主要车辆市场相比，中国重型车市场的集约化程度要低很多。图5展示了排名前五的卡车生产企业的市场份额情况。在中国，排名前五的生产企业合计约占市场份额的50%，而在欧盟排名前五的生产企业的合计市场份额为91%，美国为70%，巴西为90%，印度为93%。而中国排名前十的生产企业的合计市场份额还不足70%，剩余的市场份额则由超过450家小型生产企业分享。



图5. 2014年全球主要市场重型车生产企业情况解析

来源：Muncrief和Sharpe (2015), Sharpe (2015).

注：中国市场上标注了10家最大的生产企业，然后展示了第11-20位生产企业的合计份额，以及第21-50位生产企业的合计份额，剩余的市场份额标注为其他。

表1列出了2007-2014年销量排名前10的生产企业的年度登记注册量以及他们2007-2014年期间的合并市场份额。其中三家领军企业是东风汽车、一汽集团和北汽集团。

表1. 2007-2014年中国重型车生产企业登记注册排名情况

车辆生产企业	年度登记注册数量排名								2007-2014 市场份额
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
东风汽车	2	1	2	2	1	1	1	1	18.3%
一汽集团	1	2	1	1	2	2	2	2	16.6%
北汽集团	3	3	3	3	3	3	3	3	12.5%
江淮	5	6	5	6	4	4	4	5	5.5%
陕汽重汽	6	5	6	5	5	6	5	4	5.1%
中国重汽	4	4	4	4	6	8	7	7	5.1%
宇通	9	9	8	8	7	5	6	6	3.6%
厦门金龙	7	7	7	7	8	7	8	8	3.4%
上汽集团	8	8	9	9	9	10	9	9	2.8%
中联重科	10	10	10	10	10	9	10	10	1.6%
前10企业市场份额	73.3%	74.4%	72.2%	74.1%	73.2%	74.0%	76.3%	77.5%	74.4%

燃料消耗量标准范围

如图6所示，基于2014年的数据，中国计划出台的三阶段燃料消耗量标准可涵盖大约85%的重型车市场。该标准适用于车辆最大总质量大于3500kg的六类车型：货车、自卸汽车、半挂牵引车、专用运输车、客车和城市客车。本标准仅适用于安装汽油或柴油发动机的车辆，专用作业车辆（4.6%）和使用替代燃料的重型车（10.8%）不在本标准涵盖范围内。

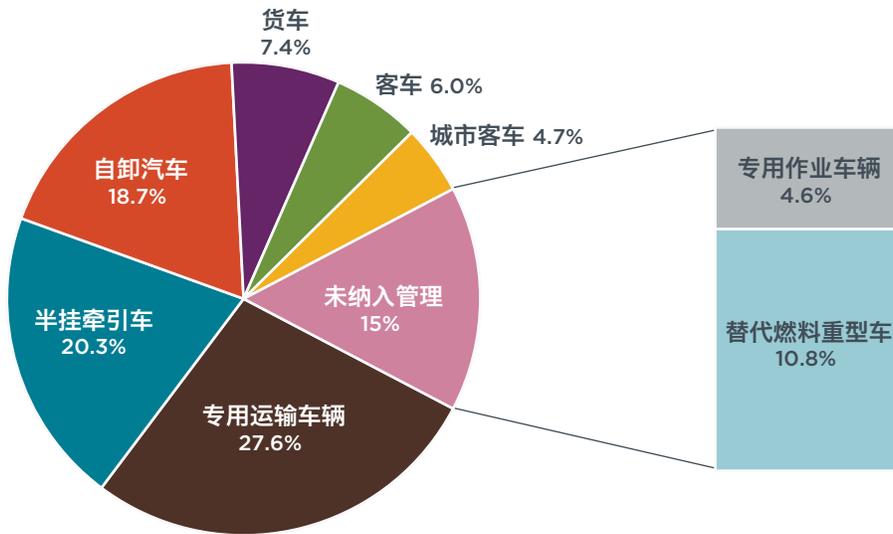


图6. 2014年中国重型车登记注册情况（按车辆类别和燃料类别划分）

标准中的燃料消耗量限值是根据半挂牵引车的最大组合总质量（GCW）和其他车型的最大车辆总质量（GVW）来设定的。处于同一质量级别的重型车都应适用同一限值。表2-4对三阶段和二阶段标准进行了对比，展示了三阶段标准的油耗削减幅度和严格程度。表中还列出了各个质量级别的半挂牵引车、货车和客车2014年度的市场份额。专用运输车辆是以自卸汽车（有液压升降系统）或整体式卡车（不带液压升降系统）的燃料消耗量限值为基础来进行管理的。在表3中，货车的和自卸汽车的市场份额中包含了专用运输车辆。

在城市客车中，车辆最大总质量3.5-4.5吨级别的对应标准最为严格，加严了17.9%。而车辆最大总质量14.5-16.5吨级别的对应标准最为宽松，只加严了10.7%。重型车在各个质量级别并不是平均分布的，例如，60.9%的半挂牵引车都属于46-49吨这一级别。

表2. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额：半挂牵引车，2014年

最大组合总质量（吨）	加严比例	市场份额
3.5-18	15.2%	0.0%
18-27	15.3%	0.3%
27-35	15.8%	2.4%
35-40	15.0%	5.6%
40-43	15.5%	13.2%
43-46	15.6%	17.1%
46-49	14.9%	60.9%
>49	15.6%	0.4%
权重平均加严比例	15.1%	

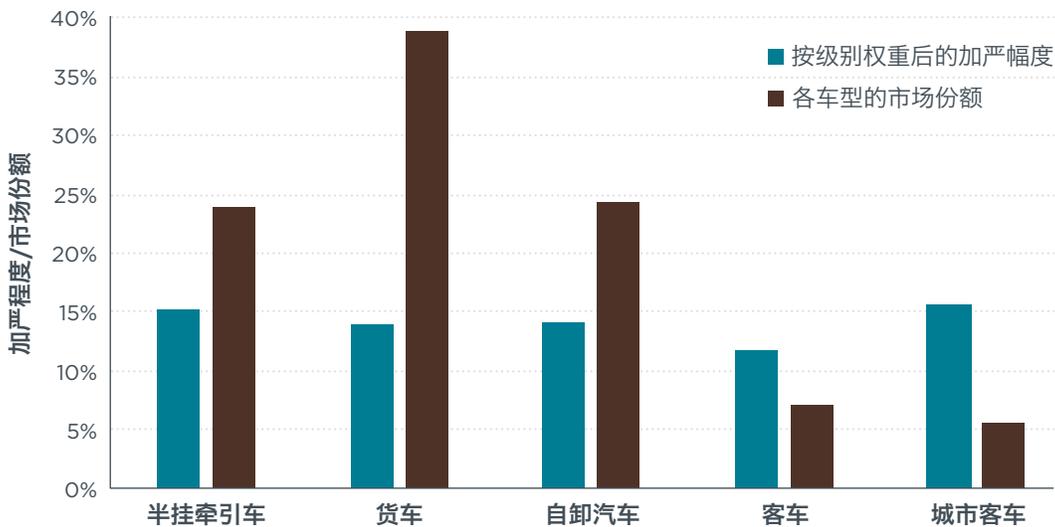
表3. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额：整体式卡车，包括专用运输车，2014年

最大总质量（吨）	货车		自卸汽车	
	加严比例	市场份额	加严比例	市场份额
3.5-4.5	11.5%	0.0%	13.3%	0.0%
4.5-5.5	12.9%	1.7%	15.6%	0.9%
5.5-7	13.8%	1.9%	14.3%	5.1%
7-8.5	14.2%	8.9%	14.6%	2.4%
8.5-10.5	14.9%	6.9%	15.2%	2.0%
10.5-12.5	14.8%	4.9%	13.7%	7.5%
12.5-16	14.3%	36.1%	10.7%	7.6%
16-20	14.3%	0.5%	13.2%	0.7%
20-25	13.3%	19.8%	14.9%	39.6%
25-31	12.8%	19.3%	13.8%	34.3%
>31	15.4%	0.0%	15.3%	0.0%
权重平均加严比例	13.8%		14.1%	

表4. 中国三阶段燃料消耗量标准各质量级别限值加严比例（相对于二阶段）与市场份额：客车，2014年

最大总质量（吨）	客车		城市客车	
	加严比例	市场份额	加严比例	市场份额
3.5-4.5	15.2%	0.0%	17.9%	0.0%
4.5-5.5	14.8%	12.1%	16.1%	25.8%
5.5-7	11.3%	22.8%	16.0%	21.5%
7-8.5	12.1%	6.7%	14.4%	17.4%
8.5-10.5	13.5%	4.6%	13.8%	11.7%
10.5-12.5	11.5%	14.0%	14.2%	4.2%
12.5-14.5	11.2%	7.8%	16.4%	5.9%
14.5-16.5	10.7%	16.4%	17.6%	10.2%
16.5-18	11.3%	15.4%	17.3%	3.2%
18-22	10.8%	0.1%	15.9%	0.0%
22-25	12.7%	0.2%	15.4%	0.0%
>25	15.3%	0.0%	15.3%	0.1%
权重平均加严比例	11.8%		15.6%	

从三阶段加严幅度分析中可以看出，城市客车的市场份额-权重节油幅度最高，为15.6%，其次是半挂牵引车，节油幅度为15.1%（图7）。节油幅度最小的是客车，为11.8%。和表3一样，图7中的货车和自卸汽车中也包含了专用运输车。基于2014年的数据，重型车整体的权重节油幅度为14.2%。这是根据车辆保有量进行的评估，并非实际油耗，所以无法与车辆的实际节油情况精确对应。例如，半挂牵引车限值加严1%与城市客车限值加严1%是不同的，因为半挂牵引车的油耗要比城市客车高。

**图7.** 2014年中国各类重型车按级别权重后的油耗加严幅度以及市场份额

目前，中国的替代燃料重型车主要是天然气车、混合动力电动车和纯电动车。如图8所示，2014年城市客车中有53%，客车中有17%，半挂牵引车中有16%是替代燃料车，而燃料消耗量标准并不适用于这些车辆。天然气燃料主要用于城市客车、客车和长途半挂牵引车。电动和混合动力则主要用于城市客车。目前中国是全球电动大客车保有量最大的国家，电动大客车保有量约为17万辆，而全球电动大客车总量约为173万。到2020年，中国计划将运营的电动大客车增加到20万辆以上，计划建立仅4000家供电动大客车专用的充电站（国际能源署，2016）。

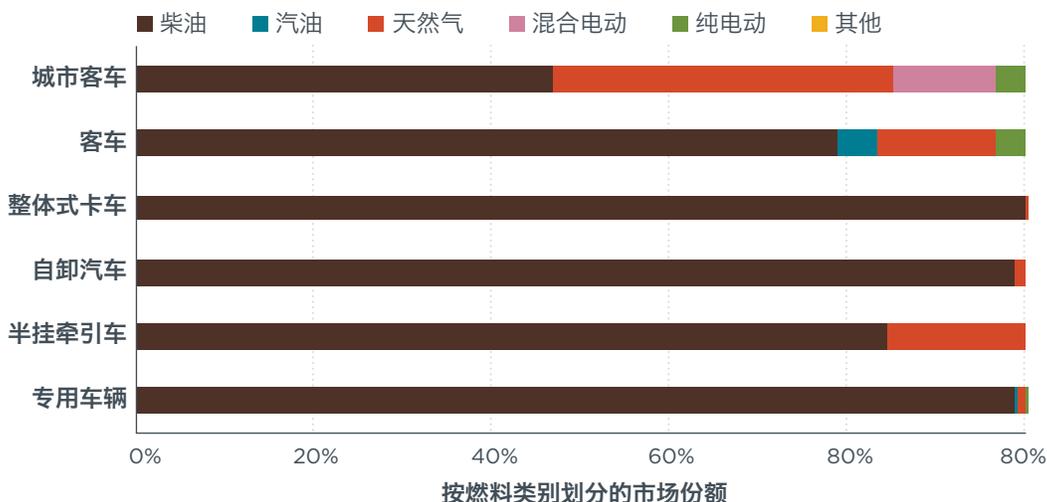


图8. 2014年中国重型车市场份额（按车辆类别和燃料类别划分）

替代燃料车的市场份额呈稳步增长态势（见图9）。其中增长最快的类别是天然气车，从2007年到2014年增长了10倍，年均增幅144%。作为中国绿色交通战略的一部分，中央政府和地方政府都在大力推进天然气车辆发展（财政部&交通部，2011年；四川省发改委，2013年）。与汽柴油车辆相比，这些车辆具有一些改善空气质量方面的优势。但是，天然气发动机的能效比汽柴油发动机要低，并且，天然气中90%是甲烷，是一种很容易在供应链环节发生泄漏的高强度温室气体（Camuzeaux, Alvarez, Brooks, Browne, & Sterner, 2015年; Clark等人, 2017年; Delgado和Muncrief, 2015年）。天然气车辆目前没有纳入燃料能效管理范畴，如果天然气车辆数量持续增长，将会给减缓气候变化带来相当大的挑战。

从2007年到2014年，混合动力电动车在重型车市场中的份额以年均43%的增长率增加。政府通过财政措施鼓励购买新能源汽车，包括纯电动车、插入式混合动力车和燃料电池车。鼓励措施包括补贴、免费上牌和免购置税（财政部、工信部&发改委，2013年；财政部、工信部&税务总局，2014；美国能源信息管理局，2014）。2007年登记注册的新能源重型车为121辆，2014年增长至5839辆，这一增长趋势还在继续。

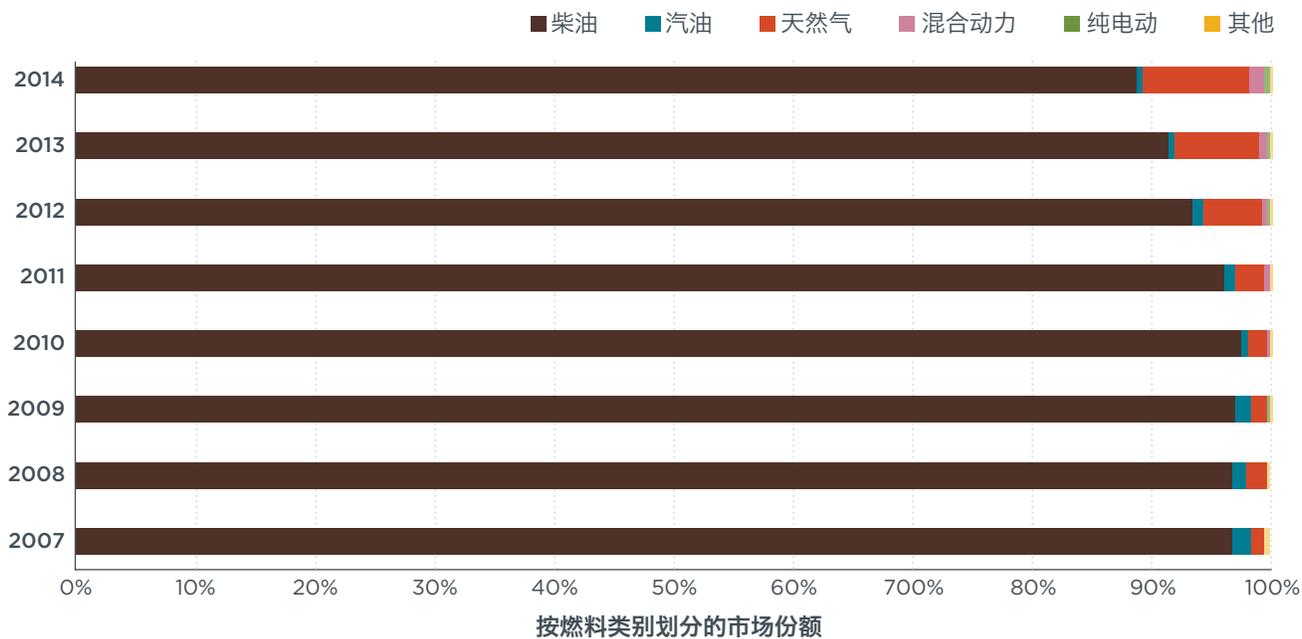


图9. 按燃料类别划分的中国重型车市场份额发展趋势

2.2 半挂牵引车

牵引车被用于和半挂车组合，承运各种负载需求。2014年，中国重型车市场上半挂牵引车的比例为24%，几乎都用于长途货运。

牵引车生产企业

从2007年到2014年期间，与重型车市场上的其他车型相比，中国牵引车市场的集约度是比较高的。其中排名前七的生产企业：一汽、东风、北汽、陕西重汽、中国重汽、中国兵器工业集团和华菱星马的合计市场份额超过90%（见图10）。不过，随着小型生产企业的竞争力不断增加，七大生产企业的市场份额在以每年约1%的速度递减，从2007年的96%降至2014年的90%。在此期间，牵引车生产企业从18家增至26家。新增的竞争压力可能会刺激技术进步(KPMG国际, 2011年)。国内生产企业在不断取得技术进步，从而满足燃料消耗量标准(质检总局&国标委, 2016b; 贸促会汽车分会, 2015)。2014年，以第二大生产企业东风为例，共投资3.29亿美元用于扩展其技术中心、设计先进发动机和开发绿色汽车(Shen和Kazunori, 2014)。

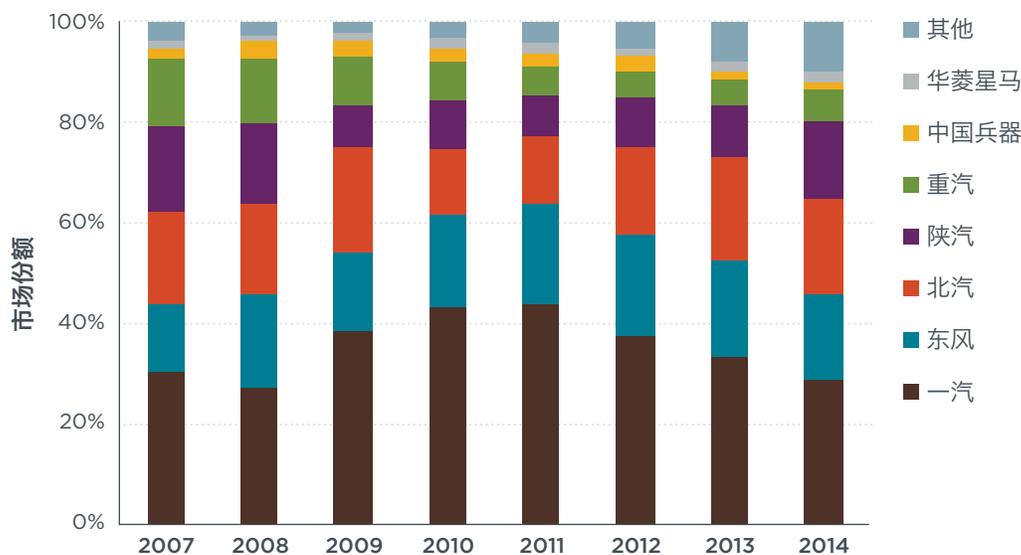


图10. 中国生产企业发展趋势解析：半挂牵引车，2007-2014年

发动机生产企业

尽管2007-2014年期间共有21到26家较为活跃的半挂牵引车发动机生产企业，但牵引车发动机市场的集约程度比牵引车市场还要更高。2014年，前七大发动机生产企业的合计市场份额达到98.6%，相比之下前七大牵引车生产企业的合计份额为90%。图11展示了2007-2014年期间中国发动机生产企业的市场份额情况。

潍柴动力是国内一家大型发动机供应商，其市场份额接近50%，发动机产品涉及所有类别的重型车。一些牵引车生产企业也会生产发动机。一汽集团是牵引车市场的领军企业，同时也是第二大发动机供应商，占重型车发动机市场份额约四分之一。另外还有一些其他的国内生产企业，东风2014年的发动机市场份额为8.2%，中国重汽的市场份额为6.7%。

还有一些发动机是中外合资生产的。例如，东风、陕汽和北汽都与美国的发动机生产企业康明斯进行了50/50合资。双方希望通过合资的模式来增加产品的技术价值、改善燃油经济性并减少污染物排放。康明斯（2010）对国内生产企业的投资主要是针对一些关键技术，包括涡轮增压器和过滤器产品。不过，由于合资产品的市场份额相对较小，可能会导致这些先进技术发动机的价格偏高，从而对消费者的购买决定产生影响（KPMG国际，2011）。根据登记注册数据，除了康明斯以外，还有其他一些合资发动机企业，例如四川现代。不过因为这些企业市场份额很小，这部分合资企业都被划归到了“其他”企业当中。

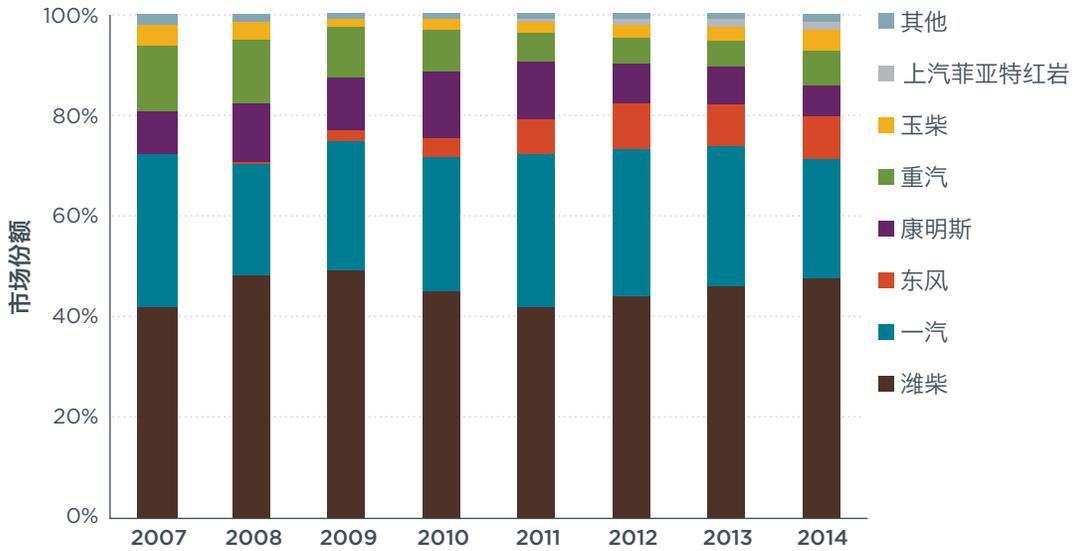


图11. 中国发动机生产企业发展趋势解析：半挂牵引车，2007-2014年

注：康明斯包含了康明斯与国内所有生产企业的合资。

每家半挂牵引车生产企业都有自己的发动机供应商群体。表5列出了2014年主要牵引车生产企业和他们的发动机供应商。一些非常大型的牵引车生产企业会自己生产发动机。例如，一汽有75%的发动机是自己生产的；东风的发动机自产比例为29%，重汽为97%。另外一些牵引车生产企业则主要依赖发动机供应商。陕汽产品中95%采用的是潍柴发动机，北汽产品中潍柴发动机的使用率为96%，中国兵器集团产品中潍柴发动机的使用率为99%。

表5. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：半挂牵引车

		发动机供应商							
		潍柴	一汽	康明斯	重汽	东风	玉柴	上汽红岩	其他
车辆生产企业市场份额	一汽	25%	75%						
	东风	11%		49%		29%	11%		
	北汽	96%		4%					
	陕汽	95%		2%	2%				1%
	重汽	2%			97%		1%		
	中国兵器	99%							1%
	华菱星马	86%		3%	1%			1%	9%
	其他	59%	1%		1%		12%	12%	15%
发动机生产企业市场份额		45%	27%	10%	8%	5%	3%	1%	1%

最大组合总质量

半挂牵引车的最大组合总质量指牵引车的整备质量加上牵引力或是挂车最大许可质量，保卡挂车净重和负载重量。燃料消耗量限值是根据半挂牵引车的最大组合质量来分级的。

本次研究的数据中不包含半挂牵引车的最大嘴和质量 and 整备质量，但包含有牵引力数据。要计算半挂牵引车的最大组合总质量，就需要合理评估牵引车的整备质量。在本次研究中

整备质量是通过牵引率即牵引力与整备质量的比率来估算的。我们假设平均牵引率为4.75，根据此前的研究（Wang和Zhang，2015），在中国较新的835款牵引车车型中，牵引率在4.5-5.0之间的达到半数以上。我们又根据中国汽车网所列出的2014到2016年期间进行型式核准的194个新车型对这一数值进行了校核，这194个车型的平均牵引率为4.74（中国汽车网）。

因此，我们将牵引率设为4.75，通过数据库中的最大牵引力数据来推算牵引车的整备质量，然后将整备质量与牵引力加和，计算出半挂牵引车的最大组合总质量。例如，某牵引车最大可以牵引40吨的挂车，那么可以推算出其整备质量为8.4吨，最大组合总质量即为48.4吨。这一方法计算出的结果与中国部分主流车型的标注值是一致的。

图12展示了半挂牵引车最大组合质量的发展趋势。从2007年到2014年，最大组合总质量中间值增长了13%，从41.2吨增至45.5吨。从2007年到2014年，最大阻值总质量第一和第三四分位数的差距从13.3吨缩减至4.6吨。最大组合总质量的平均值增长了10%。2007年，最大组合总质量大于40吨的半挂牵引车占比60%，到2014年这一比例增长至92%。

大部分半挂牵引车的最大组合总质量集中在管理规定所允许的最大值附近。2014年，最大组合总质量的峰值为49吨，而这正是六桥半挂牵引车最大组合总质量的上限（见图13）。图中黄色的竖线代根据车桥数量决定的最大组合总质量最大值。虚线则是燃料消耗量标准中划分的质量分级限值(质检总局 & 国标委, 2016a, 2016b)。最常见的质量级别为46-49吨，这部分车辆占牵引车市场份额达60%。在这一最大组合总质量级别中，又有60%以上的车辆在48-49吨之间，与管理上限的差值小于1吨。最大组合总质量在43-46吨级别的半挂牵引车约占市场份额20%，其中45%以上与管理上限的差值小于1吨。

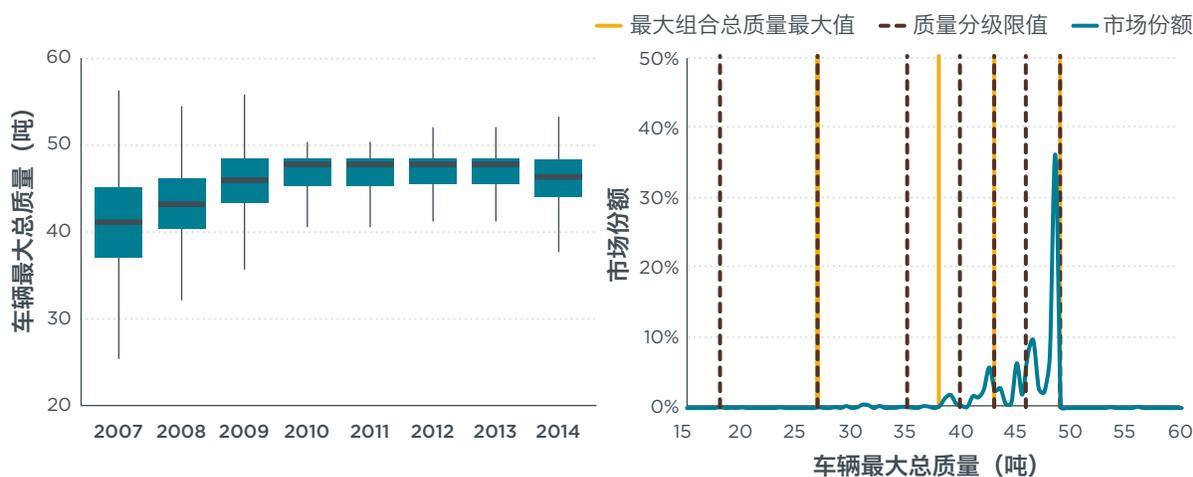


图12. 中国半挂牵引车最大组合总质量发展趋势：2007-2014年³

图13. 2014年中国半挂牵引车最大组合总质量分布情况

3 箱线图从五点数据来展示数据分布情况: 最小值、第一四分位、中间值、第三四分位和最大值。中间的矩形是第一和第三四分位之间的区间，矩形中的横线代表中间值。箱体上下的延长线表示最小值和最大值。第一和第三四分位之间的区间是四分位差，又称IQR。此图中没有显示离群值，所谓离群值即大于等于第三四分位 $3 \times IQR$ 倍或小于等于第一四分位的 $3 \times IQR$ 倍

尽管根据车桥的数量，半挂牵引车最大组合总质量限值与道路车辆限重规定是相一致的(质检总局 & 国标委, 2016b)，但中国长期以来一直存在半挂牵引车超载方面的问题。超载会降低燃油经济性和安全方面的隐患，容易引起刹车是故障，超载的重量还会影响司机的操控 (Jun & Bensman, 2010)。通过加强对超载的管理，这一问题已经得到了明显改善(交通部, 2016; 交通部&公安部, 2016)。通过加强执法力度和对道路车辆进行日常检查，从2006年到2012年，北京道路上被检查的车辆的超载车辆比例不到1% (北京交通研究中心, 2013)。在株洲市，固定和移动检查站的设立将超载车辆比例从2014年的7.1%降至2015年的0.6% (Rednet.cn)。不过，超载现象依然在中国道路上普遍存在，需要进一步加严管理措施，通过国家和地方政府的协作，联合解决这一问题 (Deng, Wang, & Yu, 2015; Dou, Zhang, & Hu, 2016; KPMG国际, 2011; Xu, Zhang, Wang, & Zhang, 2016)。

车桥结构

如图14所示，从2007到2017年期间，牵引车的车桥结构分布发生了很明显的变化。尽管三桥牵引车仍是最常见的结构，但双桥牵引车的比例在2007-2010年期间增长了一倍，达到了60%以上。此后，单桥牵引车的市场份额开始不断增长，2014年其市场份额达到半数以上。(图中采用行业术语，用轮毂数量来表述车桥结构。因此，有六个轮毂的三桥牵引车，其动力被传送至双桥四轮毂，被称为6x4。只有一个驱动桥的三桥牵引车被称为6x2，以此类推。图14中没有纳入不太常见的结构，不常见的结构包括8x4, 8x2, 和4x4, 其合计市场占比不足0.1%)。

单桥驱动的牵引车可以减轻车重，传动和燃油乳化时的能量损耗较小，由此可减少约2.5%的油耗(北美货运能效委员会NACFE, 2013)。单桥驱动结构的潜在缺点是会降低牵引力，但就算应用牵引强化系统，仍然可以实现油耗降低2% (美国环保局, 2016)。单桥车辆的增加可能还反映出了路况方面的改善，即牵引车不再需要应对非常艰难的路况条件。

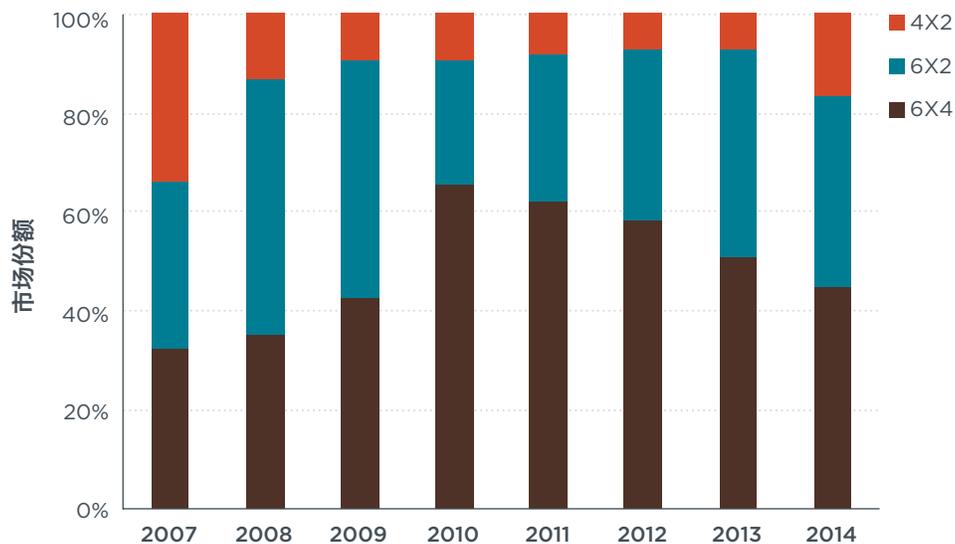


图14. 中国半挂牵引车车桥结构发展趋势：2007-2014年

发动机排量和功率

如图15所示，牵引车发动机的排量一直在持续增大。在2007-2014年期间，11升以上的发动机的份额从6%增至41%。发动机平均排量从2007年的9.1升增至2014年的10.1升。不过，中国的牵引车发动机在尺寸上仍然和欧美有显著差距。中国12升以上的牵引车发动机仅占1.4%，而欧盟牵引车发动机的典型排量为13升，美国则为15升(Sharpe和Muncrief, 2015)。2014年中国牵引车发动机排量与最大组合总质量的比率为0.22升/吨，欧盟的平均比率为0.32升/吨，美国则为0.41升/吨，几乎达到中国比值的两倍。

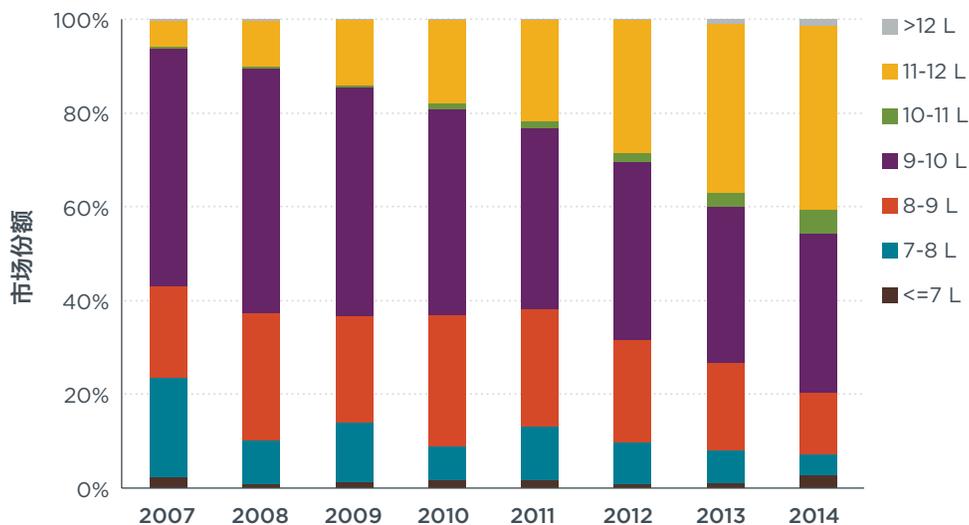


图15. 中国半挂牵引车发动机排量发展趋势：2007-2014年

随着发动机排量的不断增大，牵引车发动机的功率也在持续增大（见图16）。从2007年到2014年，发动机平均功率增大了15%，从228 kW增至263 kW。额定功率大于250 kW的发动机的比例从2007年的25%增至2014年的56%。额定功率大于300 kW的发动机占比不足20%。相比之下，欧盟和美国的典型牵引车发动机功率为300 - 350 kW。

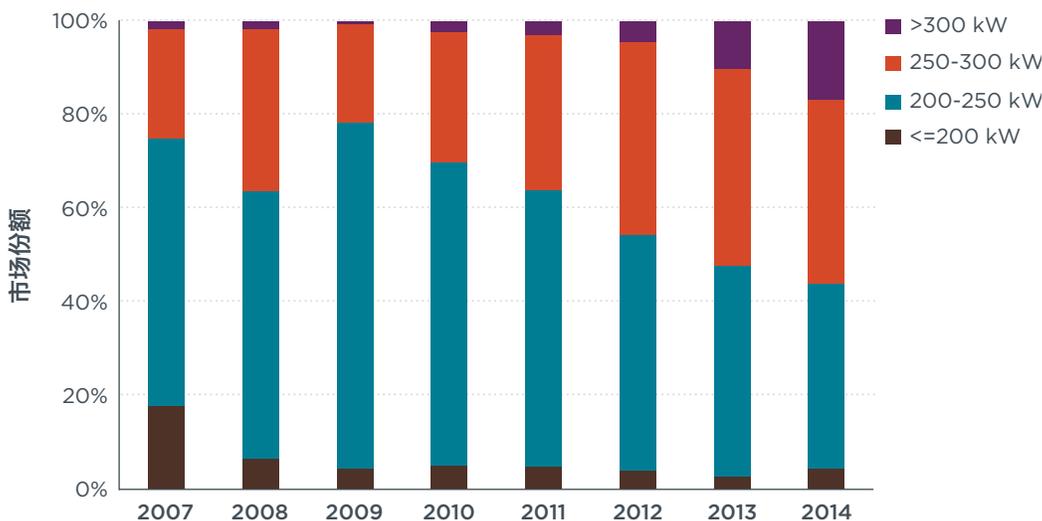


图16. 中国半挂牵引车发动机功率发展趋势：2007-2014年

挂车

在中国，牵引车和挂车是分开销售和登记注册的。尽管挂车会对油耗产生很大的影响，却并未被纳入燃料消耗量标准的管理范围之内。在我们研究的8年时间周期内，牵引车和挂车的登记注册比例大约为1:1。这就说明挂车的脱挂和转挂功能并没有被充分应用，大部分牵引车总是拖着同一个挂车。物流运营方面不够高效，例如挂车功能应用不充分和半挂牵引车的应用率较低会导致长途运输成本增高。中国物流成本占GDP总值的18%。在美国，这方面的成本约占GDP的9% (Xiong, 2010)。近年来，中国一直在大力推进货运交通领域的能效。例如，2014年，来自20家物流公司的1000量卡车参与了由中国绿色货运行动支持的示范项目，通过改进车队管理、提升车辆技术和节能驾驶行为来降低货运领域燃料消耗量（能源基金会中国，日期不详）。

中国90%以上的挂车都是三桥的，其余的是双桥的。六桥半挂牵引车有三桥在牵引车上，三桥在挂车上，这是较为常见的结构，因为这种结构可以承担较大的负载。六桥半挂牵引车的最大组合总质量限值为49吨，比五桥组合车辆的限值（43吨）高出14%。交通运输设备生产企业中国海运集装箱集团在2007-2014年期间的市场份额在挂车市场上排名第一，销售额占比为15%。2014年，排名前十的生产企业的合计市场份额为37%。除中集集团外，业内还有240多家生产企业。在美国，厢式挂车的销售比达到68% (Sharpe等人, 2013)，而在中国市场上，仓栅式和平板式挂车的市场份额达到半数以上（见图17）。

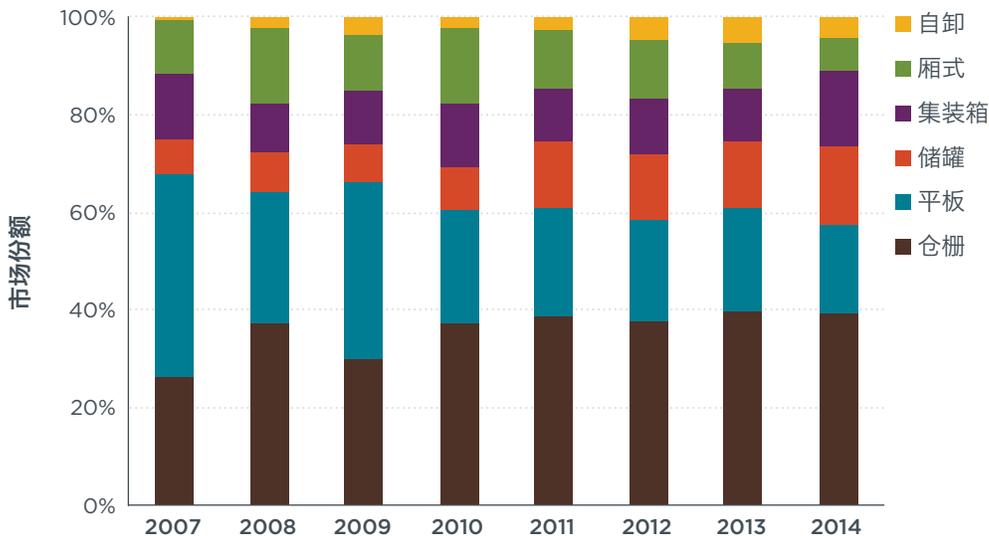


图17. 2007-2014年中国各类挂车市场份额发展趋势

与车身完全封闭的厢式挂车不同，仓栅式挂车是用钢梁构成一个框架。平板式挂车则只有一个地板，没有顶部、侧板或门。和厢式挂车一样，仓栅式挂车主要用于长途货运和散货运输。平板式挂车通常用于运输很重的超规格货物，这些常规货物无法放进标准的货运挂车当中，例如一些建筑机械、管路或钢材。不过，平板式挂车也可以运载货物集装箱。这两类挂车都比整体式挂车的负载能力更好（见图18）。在负载能力方面，仓栅式挂车第一和第三四分位的差距是0.8吨，小于比平板式挂车的3.8吨差距。仓栅式挂车的

平均负载能力比平板式挂车高5%。负载量大，净重量轻是仓栅式挂车在中国占主流地位的原因。这些挂车的价格也要低于厢式挂车，因而受到消费者的青睐。在这类挂车上，部分节油技术是无法应用的，例如加强空气动力性能的尾翼就无法用于仓栅式或平板式挂车。

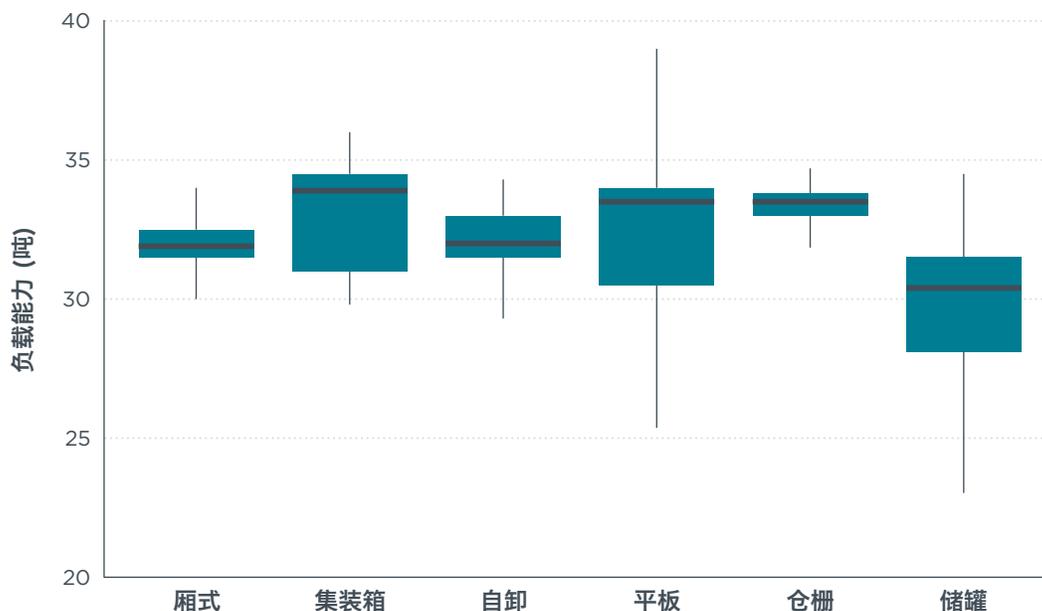


图18. 2014年中国各类挂车的负载能力（最大负载）

如图19所示，从2007年到2011年，挂车的负载能力一直在增大。挂车的平均负载量增加了20.3%，从2007年的23.5吨增至2014年的31.8吨。2014年，89.4%的挂车的最大负载额都在30吨以上。至于仓栅式挂车，起平均负载量增加了20.3%，从2007年的27.8吨增至2014年的32.9吨，且其中97%的最大负载额在30吨以上。

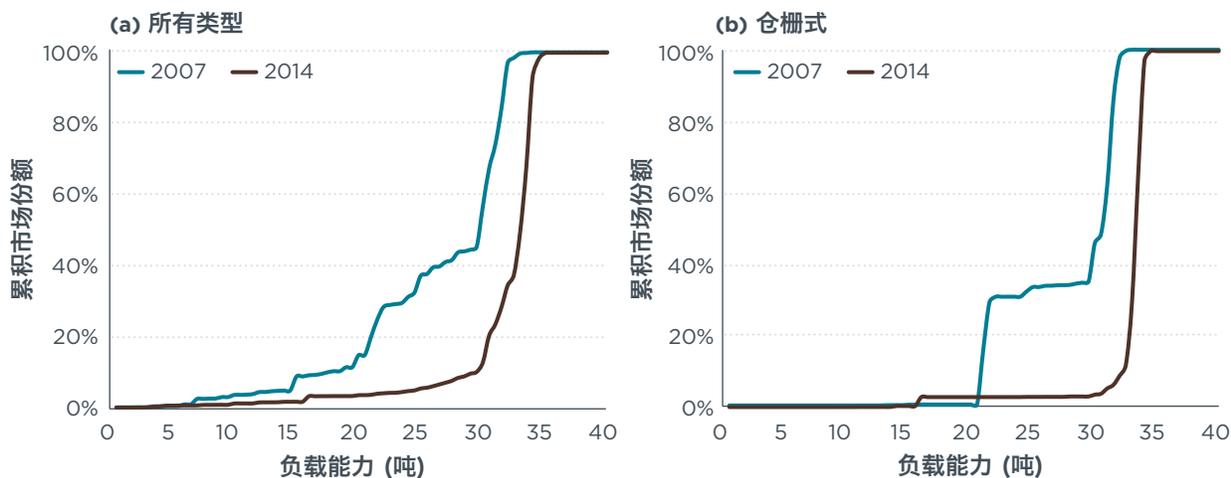


图19. 2007年与2014年中国挂车负载能力对比

表6按列出了2014年登记注册的各类挂车的尺寸和质量特征。三桥挂车的长度限值为13米，宽度限值为2.5米，高度限值为4米（质检总局&国标委，2004）。该标准已经实施了

11年时间。管理部门于2016年8月对标准进行了更新修订(质检总局&国标委, 2016b)。在新标准中, 仓栅式、储罐式、平板式和自卸式挂车的长度限值仍然是13米。厢式挂车的长度限值增加至13.75米, 集装箱挂车的长度限值增至13.95米。所有类型挂车的宽度限值均增至2.6米。最大高度限值没有变化, 仍然是4米。

表6. 2014年中国挂车基本信息 (注册挂车平均值)

挂车类型	负载 (吨)	长度 (米)	宽度 (米)	高度 (米)	市场份额
此前的管理限值	NA ¹	13 ²	2.5 ³	4	NA
更新修订后的管理限值	NA ¹	13 ⁴	2.55 ⁵	4	NA
仓栅式	32.9	12.7	2.5	3.4	40%
储罐式	28.9	11.7	2.5	3.9	16%
平板式	33.2	12.8	2.5	2.7	18%
集装箱式	31.7	12.1	2.5	1.6 ⁶	16%
厢式	30.1	13	2.5	3.6	7%
自卸式	31.1	10.6	2.5	3.2	4%

注:

¹ 无负载限值

² 三桥挂车长度限值

³ 所有挂车的宽度限值均为2.5米, 封闭式挂车除外 (2.55m)。

⁴ 所有挂车的长度均为13米, 厢式挂车 (13.75米) 和集装箱挂车 (可承载45英尺集装箱, 13.95米)。

⁵ 所有挂车的宽度限值均为2.55米, 冷藏挂车除外 (2.6米)。

⁶ 集装箱挂车的高度应测量挂车外框。总高度应大于挂车上所载的集装箱的高度。

2.3 整体式卡车：货车和自卸汽车

在燃料消耗量标准中, 货车和自卸汽车是分成两类车辆单独管理的。不过, 这两类车实质上都是整体式卡车, 车身类型也是相似的, 只不过自卸汽车带有液压升降系统。2014年, 货车在中国重型车市场中的占比为18.9%, 自卸汽车为7.4%。

整体式卡车生产企业

图20展示了货车和自卸汽车的市场份额发展趋势。这两类车辆由相同的五家生产企业占据市场主导地位: 东风、北汽、一汽、江淮以及上汽。同时, 这两类车的市场集约度也都比牵引车市场低。2014年, 新登记注册的整体式卡车共来自于73家生产企业。排名前五的生产企业的合计市场份额在2007-2014年期间持续增长, 生产企业的数量在此期间减少了25%, 说明市场正在慢慢走向集约化。不过这一趋势并没有体现在全体重型车生产企业数量上, 重型车生产企业的总数并没有明显变化。

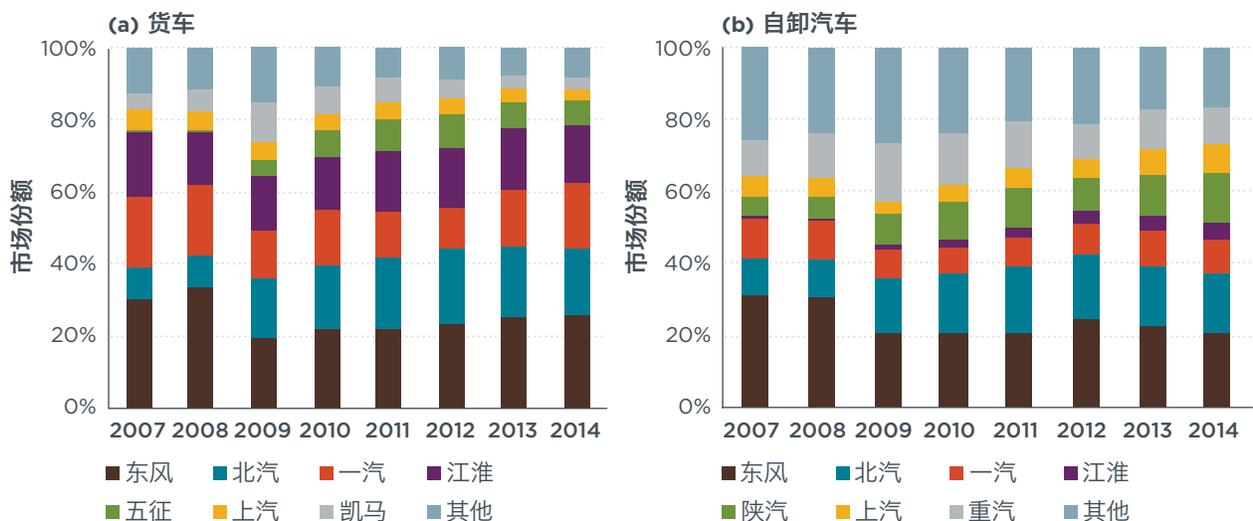


图20. 中国生产企业发展趋势解析：整体式卡车，2007-2014年

发动机生产企业

2007-2014年期间，共有37-42家发动机生产企业为货车供应发动机，有26-31家生产企业为自卸汽车供应发动机。图21展示了发动机市场的发展趋势。2014年，货车发动机83%由国内生产企业制造，自卸卡车发动机99%由国内生产企业制造。剩余的市场由包括康明斯在内的合资企业分占。

2014年，货车发动机市场份额排名前三的是一汽（28%）、玉柴（20%）和东风（16%）。自卸汽车领域，自2007年起，玉柴和潍柴的合计销量份额均超过65%。2012年以前，玉柴一直销量排名第一，2013年潍柴获得了销量第一的位置。2014年，自卸汽车发动机市场份额排名前三的是潍柴（41%）、玉柴（33%）和中国重汽（11%）。

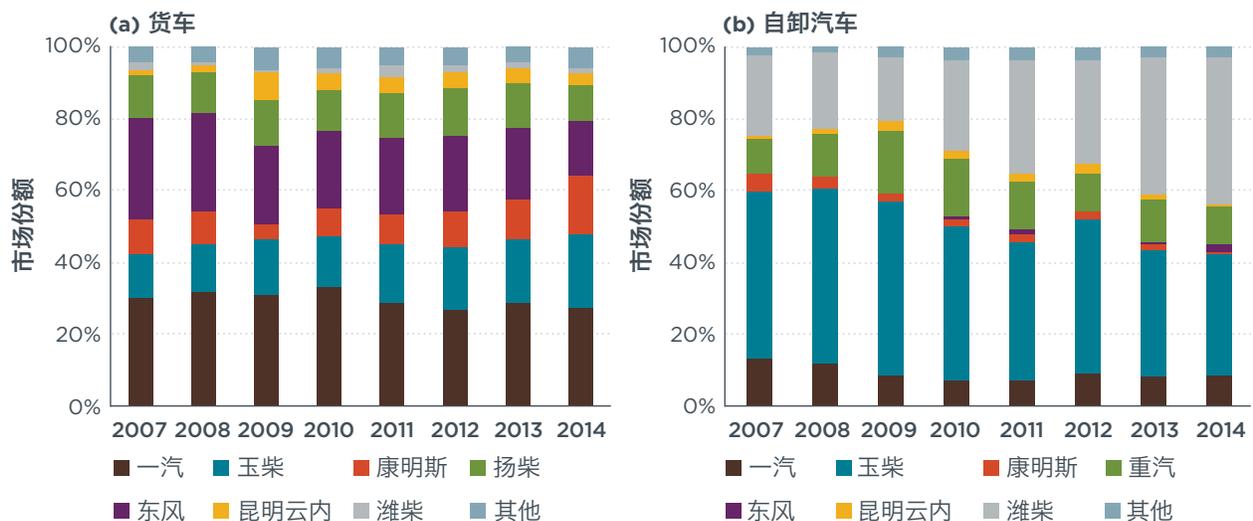


图21. 中国发动机生产企业发展趋势解析：整体式卡车，2007-2014年

表7和表8展示了2014年货车和自卸汽车主要生产企业及他们的发动机供应商。从表中可以看出，货车发动机和车辆生产企业的结合更为多样化，自卸汽车的机车结合则更为集约一些。例如，七家发动机生产企业提供了北汽货车发动机的90%，剩余10%由一些小型发动机生产企业提供。而北汽的自卸汽车中，由三家发动机企业提供了96%的发动机，小型生产企业的份额只占4%。这其中一个可能的原因就是自卸汽车发动机的功率通常会大于货车发动机，生产这类大功率发动机的企业相对较少。

表7. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：货车

		发动机生产企业							
		一汽	玉柴	康明斯	东风	扬州柴油机	昆明云内	潍柴	其他
车辆生产企业	东风		24%	39%	36%		1%		
	北汽	3%	25%	26%	8%	21%	6%	1%	10%
	一汽	100%							
	江淮	18%	32%	7%	22%	12%		4%	5%
	五征	57%	15%		1%	20%	7%		
	上汽		9%	2%	23%	49%	2%		15%
	凯马	59%	18%			14%	9%		
	其他	9%	25%	4%	7%	8%	11%	10%	26%
发动机生产企业市场份额		28%	20%	16%	16%	10%	3%	2%	5%

表8. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：自卸汽车

		发动机生产企业							
		一汽	玉柴	康明斯	东风	扬州柴油机	昆明云内	潍柴	其他
车辆生产企业	东风		80%	3%	9%			8%	
	北汽		26%				3%	67%	4%
	一汽		3%					97%	
	江淮	78%	1%					21%	
	陕汽	4%	24%			2%	2%	64%	4%
	上汽		5%			95%			
	重汽		11%					71%	18%
	其他	7%	57%		1%	2%	3%	26%	4%
发动机生产企业市场份额		9%	33%	1%	2%	11%	1%	41%	3%

车辆最大总质量

从2007到2014年，货车的平均最大总质量增加了32%。图22的箱线图展示了2007-2014年车辆最大总质量的分布状况。车辆最大总质量中间值从8.8吨增至14.6吨，第一和第三四分位的差距从7吨增至7.6吨。图23展示了2014年新登记注册货车的最大总质量分布状况（统计间隔0.5吨）。其中红色实线是法规允许的最大质量，由车桥数量决定（质检总局&国标委，2016b）。例如，双桥货车的最大质量为16吨，但如果牵引桥

两侧两个车轮并带有空气悬挂则可以增至17吨。不过，为了简明，这里只划出了16吨作为限值。

车辆最大总质量的最大值出现在16吨、25吨和31吨附近，与法规规定的最大质量级别紧密对应。在10吨附近出现的峰值则可能和大部分省份高速公路收费系统分级有关，即10吨及10吨以上的卡车会被征收更高的过路费（天津DRC，2011）。

在火车中，84%是车辆最大重质量限额为16吨的双桥卡车，因此图23中在15和16吨之间会出现峰值。图23中的虚线是燃料消耗量标准管理质量分级。12.5-16吨之间的货车占市场份额的46%，是占比最大的级别。在这一级别中，又有72%的货车的最大总质量大于15吨，即图23中的峰值。

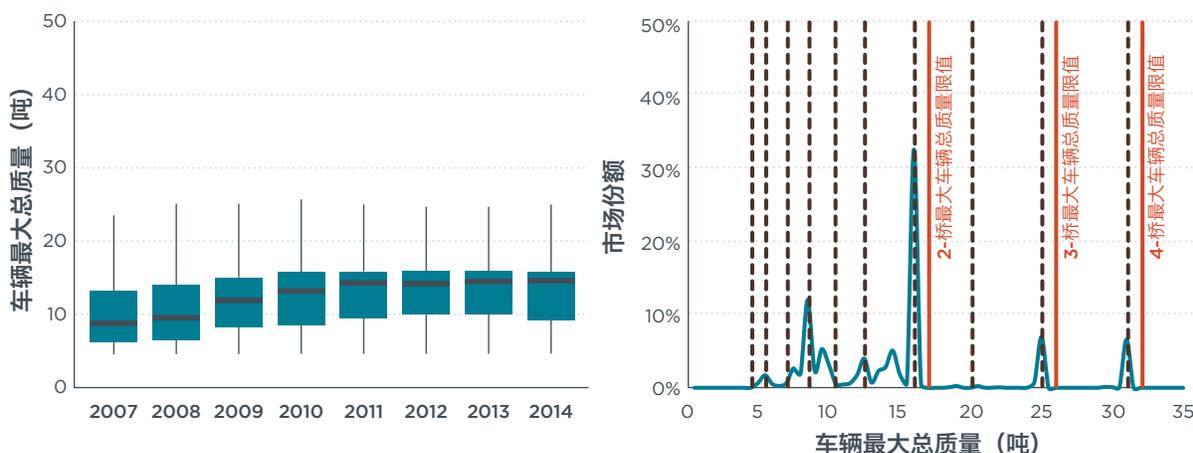


图22. 2007-2017年中国货车最大总质量发展趋势

图23. 2014年中国货车最大总质量分布情况

从2007到2014年，自卸汽车的平均最大总质量增加了45%。图24的箱线图展示了各年度车辆最大总质量的分布状况。车辆最大总质量中间值从15吨增至25吨。与此前的年份相比，2014年，自卸卡车的最大总质量范围大幅缩窄，这可能是受到二阶段燃油经济性管理的影响。在自卸卡车最大总质量方面，第一和第三四分位的差距呈明显下降趋势，从2007年的17.6吨降至2014年的6.5吨。这一趋势和货车截然相反，货车的差距是有所增大的。

自卸汽车的最大总质量通常大于货车。三分之二以上的自卸汽车有三个或三个以上车桥，并带有两个牵引车桥，因此这些车辆可以在崎岖的道路上运载像砂石和煤炭这类很重的货物。如图25所示，和货车一样，自卸汽车的最大总质量也大多集中在法规允许的最大值附近。

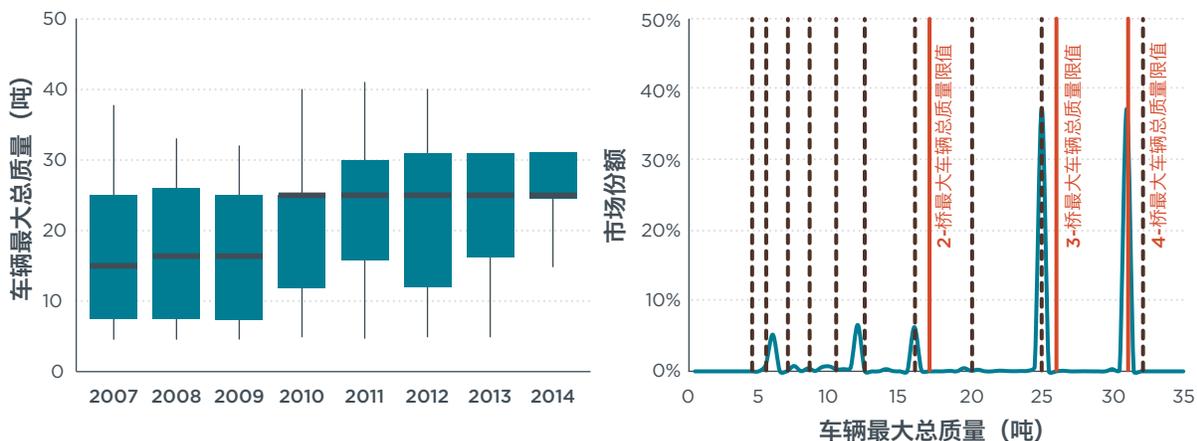


图24. 2007-2014年中国自卸汽车最大总质量发展趋势 图25. 2014年中国自卸汽车最大总质量分布情况

因为整备质量较轻，在相同的车桥结构下，货车的载重量要大于自卸汽车。图26a和26b展示了2014年不同车桥结构的货车和自卸汽车的最大负载分布情况（统计间隔0.5吨）。负载分布会根据车桥数量产生明显的峰值，特别是三桥结构的集中在13吨附近，四桥结构的集中在16吨附近。相反，货车的负载分布则较为松散。

双桥货车的平均负载为7.6吨，三桥为14.9吨，四桥为19.1吨。双桥自卸汽车的的平均负载为5吨，三桥为12.5吨，四桥为15.9吨。如前文所述，这是因为自卸汽车的液压系统额外增加了整备质量。假设最大总质量相同，整备质量增大就会导致最大负载减少。无论怎样，自卸汽车的平均负载能力高于货车。三桥和四桥结构是自卸汽车的主流，占2014年市场份额的77%。在货车中，双桥结构占84%。

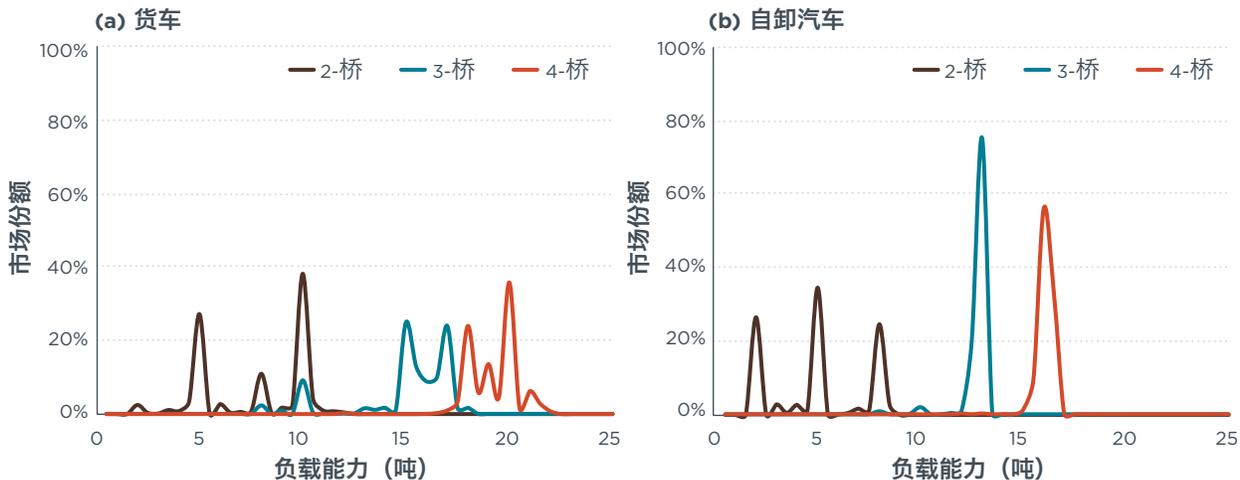


图26. 2014年中国整体式卡车负载能力分布情况（按车桥数量划分）

注：每种车桥结构的分布点总和是100%（用同一种颜色标记）

车桥结构

货车最常见的车桥结构是4x2，占2007-2014年市场份额的80%以上（见图27a）。自卸汽车的车桥数量通常比货车多，因为自卸汽车需要承载更大的负载量（见图27b）。最为常见的自卸汽车车桥结构为6x4和8x4，各占2014年市场份额的35%左右。

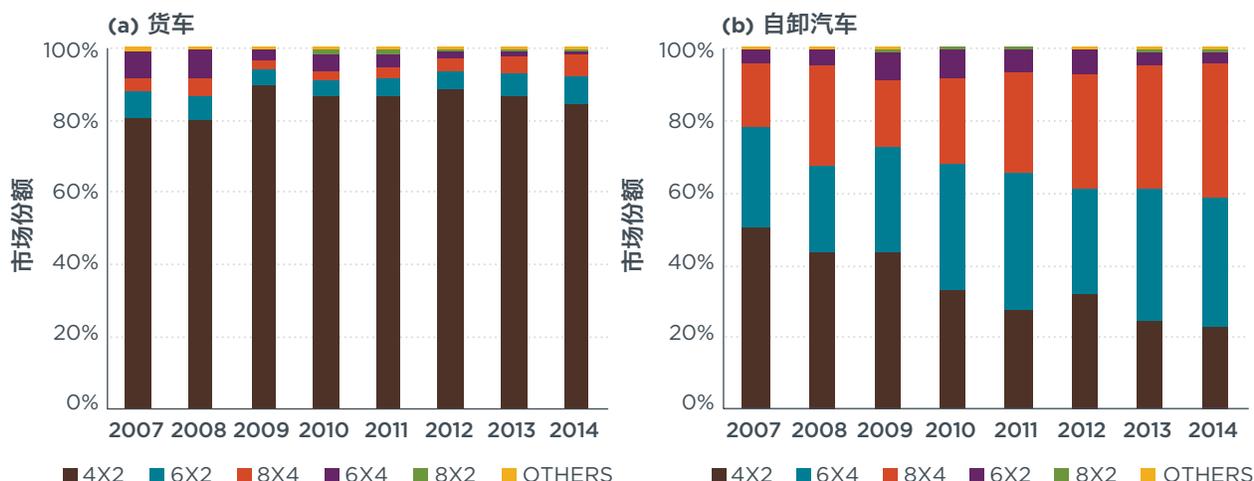


图27. 中国整体式卡车车桥结构发展趋势：2007-2014年

发动机排量和功率

自卸汽车的发动机通常要比货车发动机大。2007-2014年期间，自卸汽车的发动机平均排量为7.8升，货车为4.6升。图28a和28b展示了货车和自卸汽车发动机排量发展趋势。货车的发动机平均排量从2007年的4.9升降至2014年的4.7升。而自卸汽车的发动机平均排量则增大了15%，从7.3升增至8.4升，8升以上发动机的占比从2007年的38%增至2014年的65%。只有不到0.3%的货车发动机排量大于10升，以及不到0.1%的自卸汽车排量大于12升。

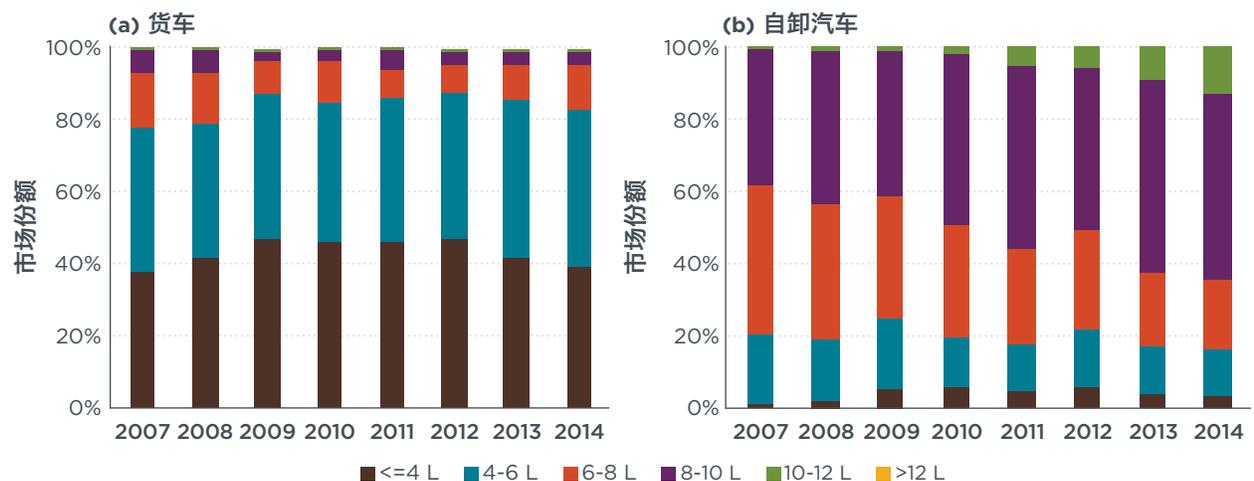


图28. 中国整体式卡车发动机排量发展趋势：2007-2014年

在2007-2014年期间，自卸汽车的平均发动机功率为186 kW,货车的发动机平均功率为107 kW。图29a和29b展示了货车和自卸汽车的发动机功率发展趋势。从整体趋势上，这两类车都趋于采用功率更大的发动机，特别是自卸汽车。货车的发动机功率增大了6%，从109 kW增至116 kW，而自卸汽车的发动机功率增大了27%，从164 kW增至208 kW。从2007到2014年，100 kW以上货车发动机的占比翻了近两番，从17%增至47%。自卸汽车方面，200 kW以上发动机的占比也增长了一倍以上，从34%增至76%。

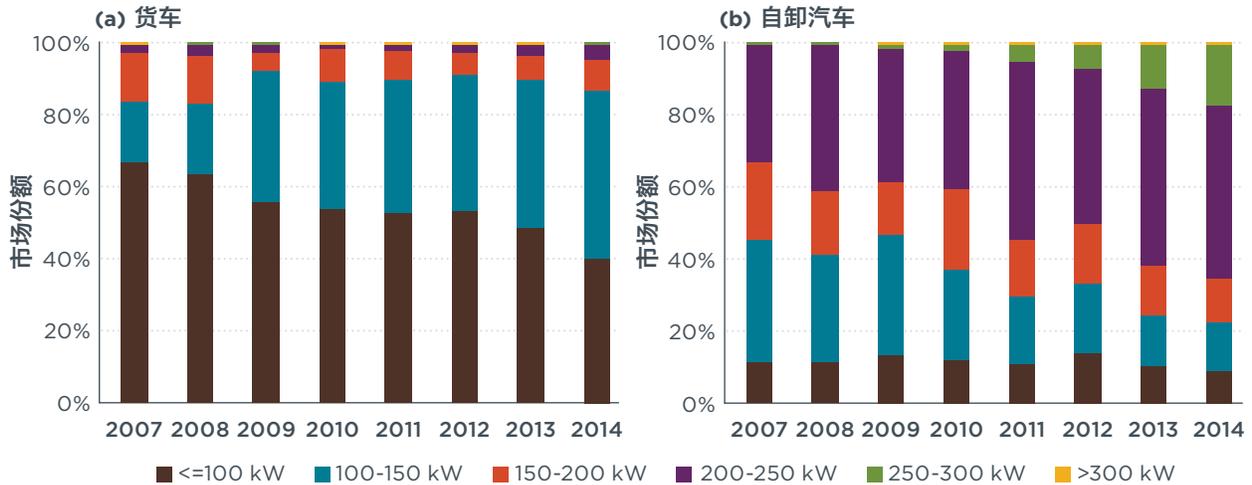


图29. 中国整体式卡车发动机功率发展趋势：2007-2014年

2.4 专用车辆

专用车辆分为两大类——专用运输车和专用作业车——又分为六小类：仓栅式汽车、厢式汽车、罐式汽车、专用自卸汽车、起重举升汽车和特种结构车（全国汽车标准化技术委员会，2009）。专用运输车专门用于运输特殊类型的货品，例如易燃液体、牲畜或海产品。如图30所示，仓栅式、厢式和罐式汽车是最常见的三种专用运输车。厢式汽车一般用于食品运输、通信车、救护车、邮政车以及运钞车等。罐式汽车则用于运输液体或气体。仓栅式汽车主要用于运输牲畜和常规货品。

专用作业车是设计用于开展特殊工作的车辆，例如抽水、扫雪或举升货物。一些常见的实例有洒水车、铺沥青车以及泡沫消防车（专用作业车名录详见管理文件GB/T 17350-2009）。如图30a和30b所示，起重举升汽车和特种结构车是专用作业车辆中最主要的两种。

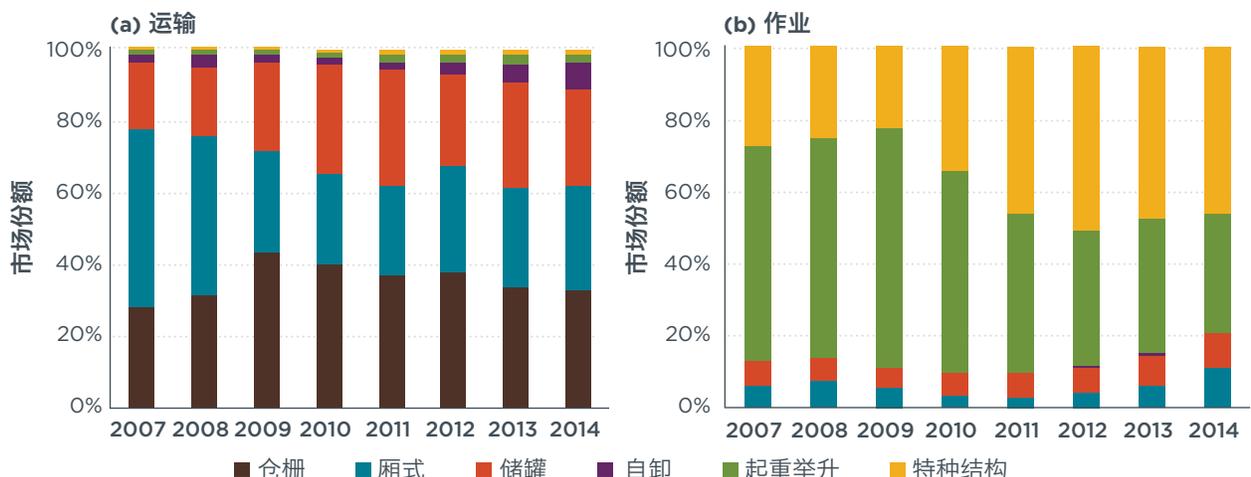


图30. 中国各类专用车辆年度注册情况发展趋势：2007-2014年

在整个专用车辆市场中，专用运输车辆占比超过80%（见图31）。下面的章节将重点介绍专用运输车，因为这部分车辆是被涵盖在中国目前的能效管理范围当中的。根据燃料消耗量标准分类规定（国家汽车标准化技术委员会，2009）和我们所进行的市场分析，2014年，根据与之相似的车型，专用运输车有93%被划归为货车进行管理，其余7%被划归为自卸汽车。这些车辆与货车和自卸汽车适用相同的限值。专用作业车在专用车辆中的比例不到20%，目前并没有被纳入燃料消耗量标准的管理范围。

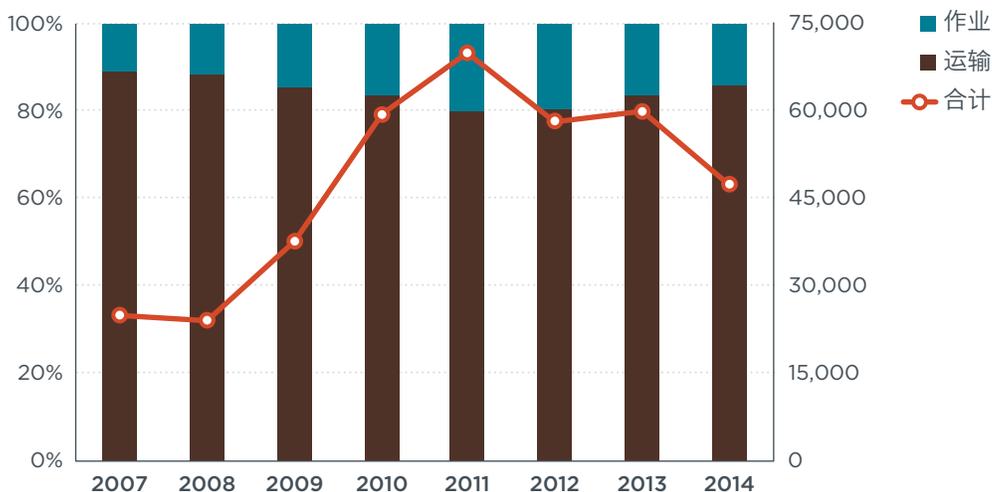


图31. 中国专用车辆登记注册数量和分类解析：2007-2014年

专用运输车生产企业

专用运输车市场上有超过250家生产企业。在2007-2014年期间，排名前七位的生产企业的合计市场份额为69%-73%（见图32）。2014年，排名前七位的生产企业的市场份额为71%，排名前25位的生产企业的市场份额为90%。剩余10%的市场份额则由约250家生产企业分享。市场整体上并没有出现明显的集约化趋势。和半挂牵引车及整体式卡车市场一样，领军企业依旧是东风、一汽和北汽。

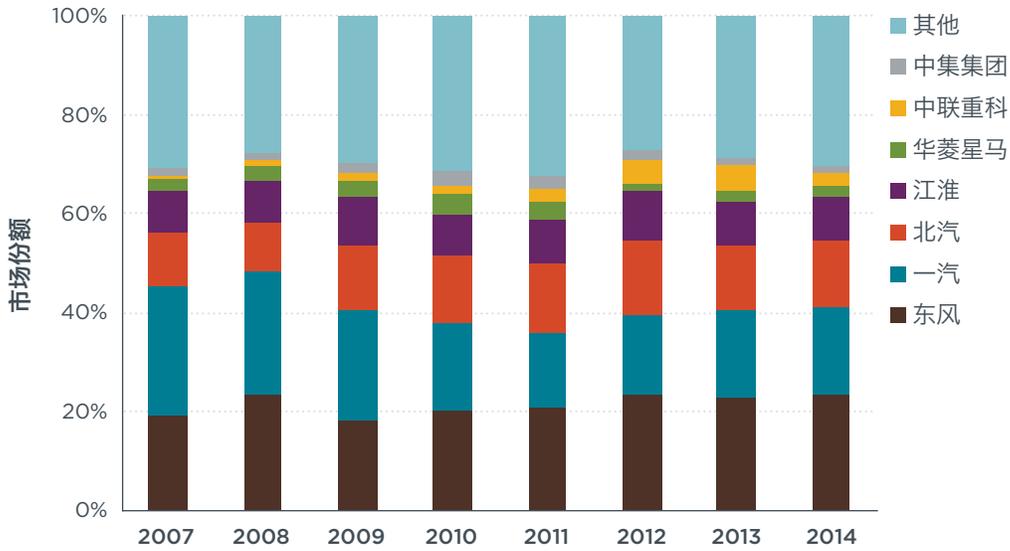


图32. 中国生产企业发展趋势解析：专用运输车，2007-2014年

发动机生产企业

在2007-2014年期间，专用运输车发动机市场中共有41-51家发动机生产企业。图33展示了专用运输车发动机生产企业的市场份额发展状况。2007年排名前七位的生产企业合计销量占市场总额的91%，2014年为89%。一汽的市场份额有所下降，从2007年的34%降至2014年的21%；康明斯合资企业的份额则有所增长，从2007年的15%增至2014年的22%。“其他”分类中包含了30多家发动机生产企业，这个数字基本保持稳定状态。

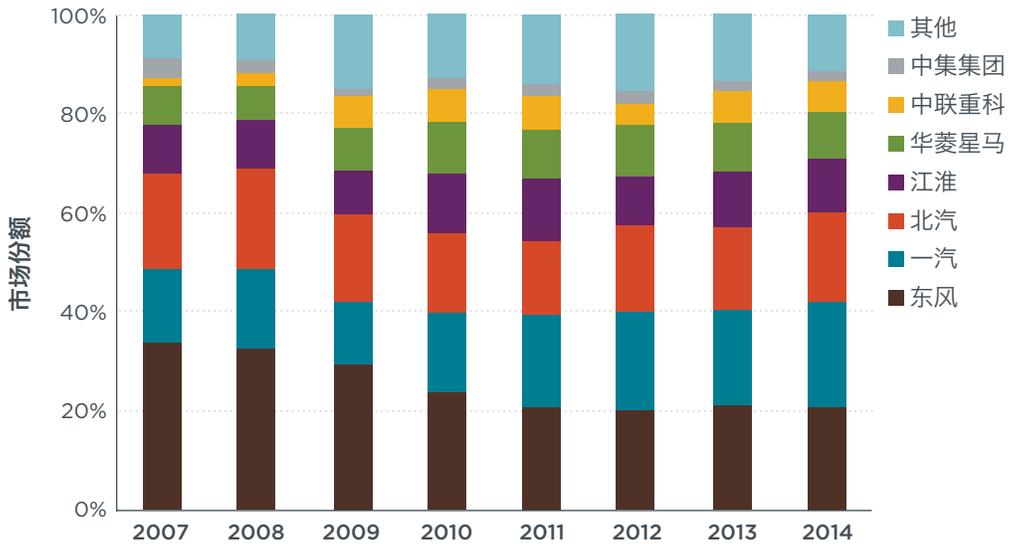


图33. 中国发动机生产企业发展趋势解析：专用运输车，2007-2014年

表9展示了主要专用运输车生产企业及其发动机供应商。在半挂牵引车及自卸汽车领域，大部分发动机是由国内生产企业提供的，而在专用运输车领域，合资企业占有相当可观的市场份额。2014年，康明斯合资企业为东风提供了44%的发动机，为北汽的车辆提供了34%的发动机。另一方面，一汽则主要采用自己生产的发动机——2014年自产发动机占比97%。在专用运输车领域中，几乎所有生产企业都会采用来自玉柴和潍柴的发动机，这两家是业内最大的发动机供应商。

表9. 2014年中国车辆生产企业及其发动机供应商：专用运输车

		发动机生产企业								车辆市场份额
		康明斯	一汽	玉柴	潍柴	东风	重汽	上柴	其他	
车辆生产企业	东风	44%	0%	32%	1%	22%	0%	0%	1%	24%
	一汽	0%	97%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	18%
	北汽	34%	1%	15%	25%	2%	0%	9%	14%	13%
	江淮	6%	17%	46%	13%	7%	0%	0%	10%	9%
	中联重科	26%	1%	2%	9%	10%	29%	0%	23%	3%
	华菱星马	0%	0%	3%	55%	0%	2%	1%	39%	2%
	中集集团	12%	19%	8%	23%	3%	28%	0%	6%	1%
	其他	17%	5%	13%	14%	9%	18%	2%	23%	30%
发动机生产企业市场份额	22%	21%	18%	11%	9%	7%	2%	11%	100%	

最大车辆总质量

在2007-2014年期间，专用运输车的车辆最大总质量有所增长。平均最大总质量增长了19%，从2007年的16.8吨增至2014年的19.9吨。图34的箱线图展示了这一发展趋势。除了2010和2011年，专用运输车最大总质量的中间值都在16吨左右。第一和第三四分位的差距则从2007年的15.6吨缩窄至2014年的9.5吨。

图35更为具体的展示了2014年专用运输车最大总质量的分布情况。其他车型在最大总质量分布上都只有一个或两个峰值，而专用运输车的最大总质量分布出现了三个峰值，这三个峰值都集中在按车桥数量划分的最大总质量管理限值附近。这是因为专用运输车的车桥结构比较多样化，其他车型的最大总质量峰值都对应的是各类车桥结构所允许的最大质量。

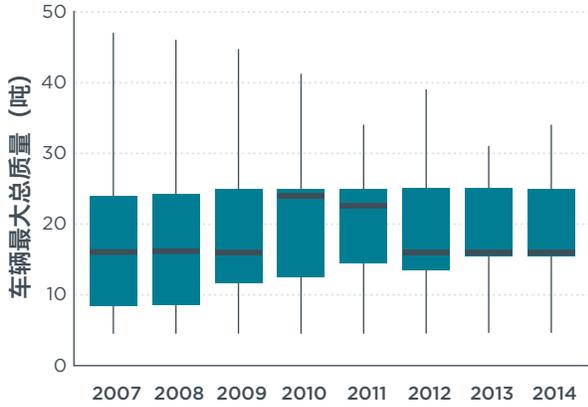


图34. 2007-2014年中国专用运输车最大总质量发展趋势

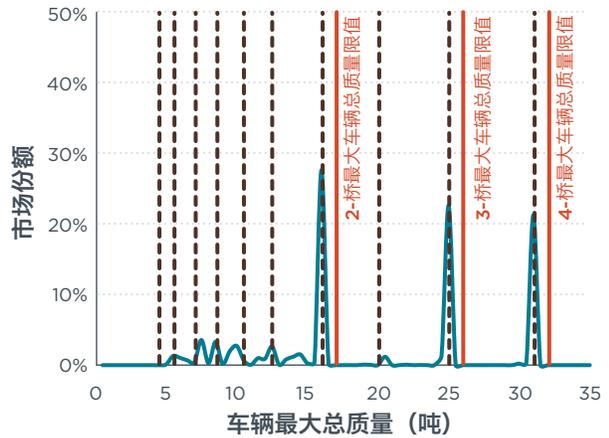


图35. 2014年中国专用运输车最大

图36a和36b展示了各类专用运输车在2007-2014年期间的负载能力。在这8年间，除了罐车之外，所有专用运输车的负载能力均由明显增加。其中最常见的两款车型的负载能力中间值明显增长：仓栅式汽车的负载能力中间值从2007年的9吨增至2014年的13吨；厢式货车的负载能力中间值从2007年的4.4吨翻倍至2014年的8.6吨。在专用运输车负载能力方面，所有车型的第一和第三四分位差异都有所增大（从2007-2014年期间）。起重举升汽车的差异范围增至2.7吨，自卸式汽车增至4.6吨，特种结构汽车增至5.8吨，仓栅式汽车增至2.3，罐式汽车增至1.3吨，箱式汽车增至1.9吨。

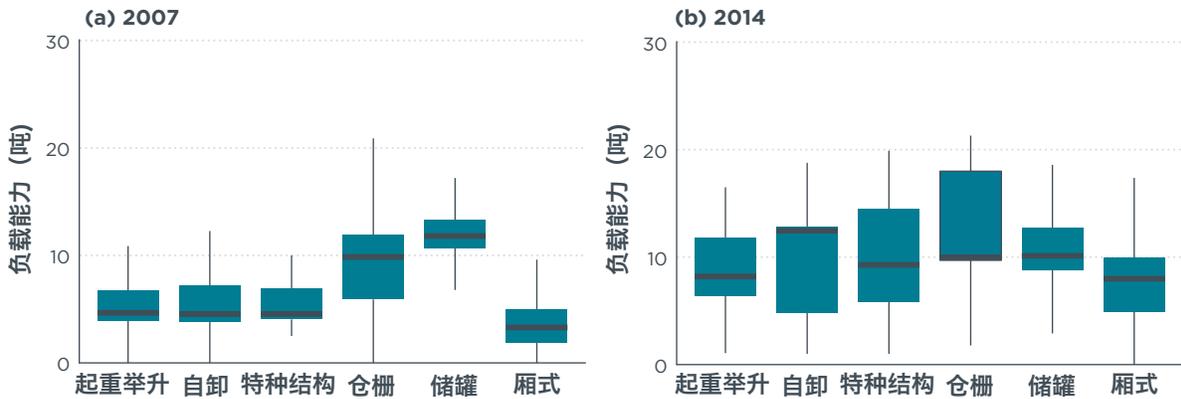


图36. 2007和2014年各类专用运输车负载能力对比

车桥结构

专用运输车最主流的车桥结构是4x2，占2007-2014年市场份额的一半以上（见图37）。其次较常见的是8x4，占2014年市场份的21%，6x2结构的市场占比从2007年的23%减少至2014年9%。牵引力增大的趋势说明，与货车相比，专用运输车会更多的在非道路区域或较为崎岖的路况下行驶。图38展示了各车桥数量对应的负载能力分布情况。即使车桥数量相同，专用运输车的负载能力差异也大。这是因为专用运输车的车身设计多种多样，运输的货物种类也不同，一些附加设备或基础装置会影响到车辆整备质量，从而对最大负载能力产生影响。

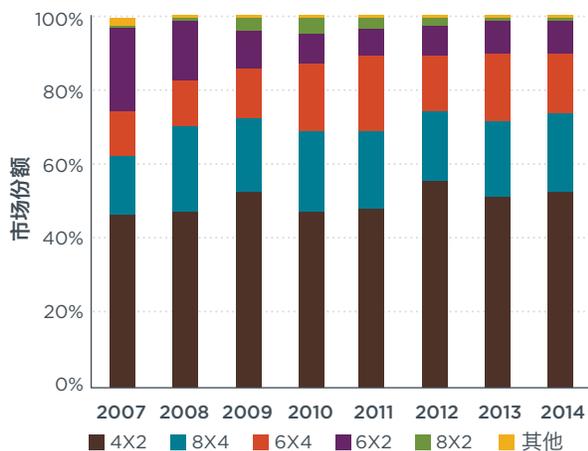


图37. 中国专用运输车车桥结构发展趋势

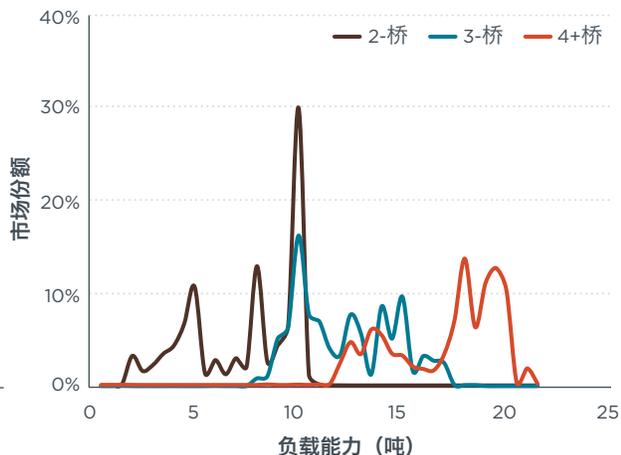


图38. 按车桥数量划分的负载能力

注：图38中每种车桥结构的分布点加和为100%（用同一种颜色展示）。

发动机排量和功率

图39展示了专用运输车的发动机排量发展趋势。整体上，发动机平均排量变化不大，从2007年的6.5升增至2014年的6.6升，增加了2%。在此期间，10-12升发动机的占比从2007年的2%增至2014年的8%。绝大多数专用运输车的发动机都是小于12升的。

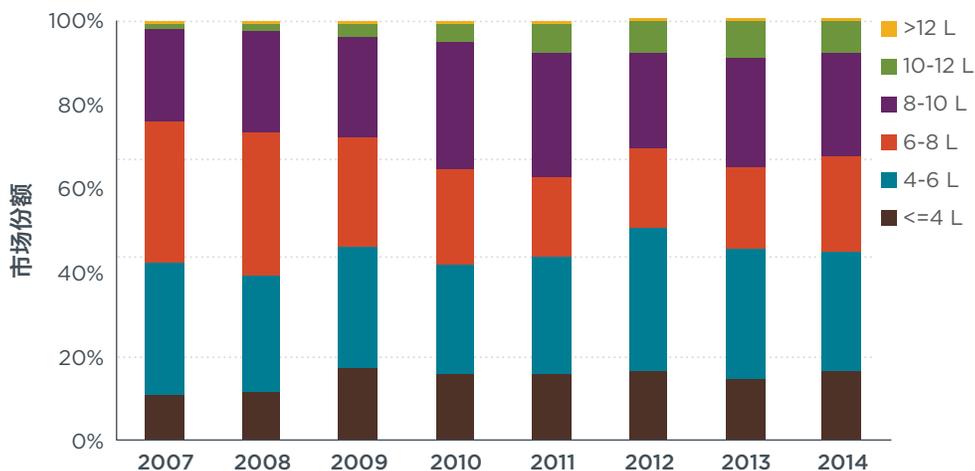


图39. 专用运输车发动机排量发展趋势

图40展示了专用运输车发动机功率发展趋势。从2007年到2014年，发动机平均功率增大了12%，从2007年的148 kW增至2014年的166 kW。2014年，特种运输车装备的发动机中，有39%在100-150 kW功率范围。功率大于250 kW的发动机的比例从2007年的2%增至2014年的11%。

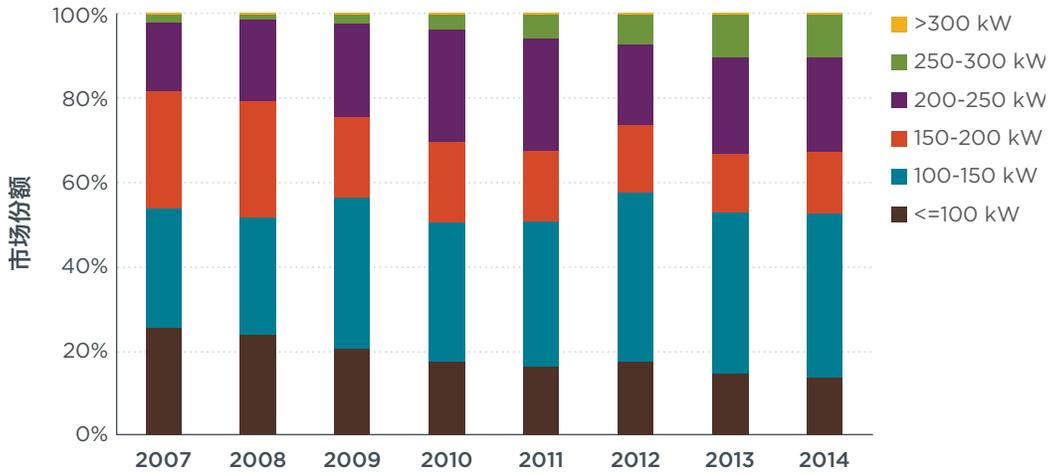


图40. 专用运输车发动机功率发展趋势

3. 基准车辆性能

本章会在市场分析的基础上为半挂牵引车和货车进行燃油能效技术评估。这两类车辆是中国道路货运的主流车型。半挂牵引车和货车的燃料消耗量占中国重型车燃料消耗总量的六成以上⁴。大部分专用运输车在结构上都与货车十分相似，因此在管理上适用于同样的燃料消耗量限值。在本次分析中，我们采用基准参数来模拟基准车型及其燃油能效。然后，我们对这些基准车型进行修改，分析特定技术的节油潜力。此次分析为我们提供了中国重型车燃油能效的基本概况，为我们评估燃油能效技术的发展潜能提供了基准参考。

3.1 方法论及假设条件

我们以半挂牵引车和货车为基础进行了基准车辆分析。此次使用的Autonomie车辆模拟软件是由阿岗国家实验室开发的，用于创建半挂牵引车模型和货车模型，从而评估基准油耗和车辆能效技术对油耗的影响 (UChicago Argonne LLC, 2016)。关于模拟模型的更多详细信息及其功能可以参阅我们此前的相关研究(Delgado和Lutsey, 2015; Delgado, Miller, Sharpe, & Muncrief, 2016)。

基准车辆代表了2015车型年的典型车辆结构。我们并没有精准的去对应特定的车辆品牌和款型，而是要根据市场分析结果，模拟出中国市场上最为典型的半挂牵引车和货车结构。我们认为，在中国市场上，每一类重型车都有很多种车型结构，其中有一部分车辆在技术方面会领先于基准代表车型。为了找出最为普及的车辆特征，我们模拟出一辆可以作为车型代表的平均车辆，将其作为第一近似值。我们所面临的一个问题就是部分车辆参数并没有现成的，例如空气动力阻力和轮胎滚动摩擦系数。为了填补这些缺失的数据，我们依靠咨询顾问和业内专家为我们提供了大量优质的市售车辆规格信息，包括发动机能效、发动机油耗图、技术市场渗透情况、传动系统技术、空气动力技术、轮胎滚动摩擦以及其他一些车辆参数。

3.2 基准车辆特征

表10列出了基准车辆的各项特征。我们模拟的半挂牵引车的最大组合总质量为49吨。这属于目前标准分级中最常见的组合总质量级别（46-49吨），这一级别的车辆占2014年半挂牵引车市场份额的六成左右。在该级别中，又有60%的车辆在48-49吨之间。根据我们的市场分析，这一级别中最为典型的牵引车大约重9吨，典型的仓栅式挂车大约重7吨，加起来的组合整备质量为16吨。

货车市场的情况要比半挂牵引车市场更为复杂一些，车辆的作业用途、负载和规格差异较大。我们设定的基准货车是一辆最大车辆总质量16吨的卡车，属于最为常见的车

4 根据重型车油耗分配比例进行评估：22%（牵引车）+31%（货车）+ [0.93（非自卸式专用运输车比例）* 0.86（专用车辆中的专用运输车比例）* 12%（专用车辆）] = 63%（中国汽车技术研究中心，2013）。

辆总质量级别（12.5-16吨）。这一级别的车辆在2014年货车市场中所占的比例最大，为46%。在该级别中，又有72%的货车在15-16吨之间。

由于受到最大整车长度限制的影响（例如半挂牵引车组合不得超过16.5米），中国的牵引车生产企业都会采用平头驾驶室设计（质检总局&国标委, 2016b）。最挂车的空间限制为88立方米，根据长度上限13米，宽度上限2.55米，高度上限4米计算得出（质检总局&国标委, 2016b）。根据中国汽车网上展示的新车型市场信息，一辆典型的16吨货车的厢体体积大约为45立方米。

在牵引车中，6x4的车桥结构是最为常见的，市场占比达45%，在货车中，最常见的车桥结构为4x2，市场占比达84%。这两类车辆中，都是手动车辆更为常见。目前国V排放标准已经正式实施（环境保护部，2016）。根据市场研究中的发动机排量和功率信息，我们通过AVL定位开发出了发动机油耗图。通过一些咨询顾问和业内专家，加上我们内部开展的一些工程评估，我们得出了空气动力阻力和轮胎滚动摩擦系数方面的数据，这些数据在表10中也有所展示。

代表车型并不能完全涵盖中国重型车市场的多样性。我们此前进行的市场分析显示中国市场的多样性比较明显，不过，从长途货运和市内货运角度而言，这两款代表车型较好的体现了最常用车型的特征。

表10. 中国基准卡车车辆特征

	半挂牵引车	货车
最大车辆总质量（吨）	49	16
车辆整备质量（吨）	16	6
最大负载（吨）	33	10
负载容积（立方米）	86	45
车桥结构	6x4	4x2
典型挂车类型	仓栅式	N/A
挂车车桥数量	3	N/A
发动机排量（升）	10	4
发动机功率（千瓦）	250	118
发动机污染物排放标准（NO _x 限值）	国V* (2.0 g/kwh)	国V* (2.0 g/kwh)
车辆燃料消耗量标准（油耗限值）	中国二阶段 (47 L/100km)	中国二阶段 (28 L/100km)
传动类型	手动	手动
变速箱档位	10	6
传动比	14.8-1	6.3-0.797
后桥比	4.11	5.00
轮胎类型	子午线	子午线
轮胎尺寸	12R22.5	8.25R20
空气动力阻力	0.75	0.77
滚动摩擦系数(N/kN)	6.8	7.7

* 注:等效于欧v

3.3 典型行驶工况循环和负载

如图41所示，我们采用了一套法规工况循环来评估基准车辆的燃油经济性(质检总局 & 国标委, 2011)。C-WTVC循环是中国用于对所有重型车进行燃料消耗量认证的工况循环，采纳自世界统一车辆循环(WHVC)。为了体现中国重型车的形式特征，C-WTVC在原WHVC循环的基础上降低了加速率和减速率，因为中国重型车的发动机功率/车辆质量比率要低于欧洲、北美和日本，而WHVC循环是基于上述国家和地区的行驶数据开发的。在后面进行各项技术的节油潜能评估时，也依然采用的是C-WTVC工况循环。

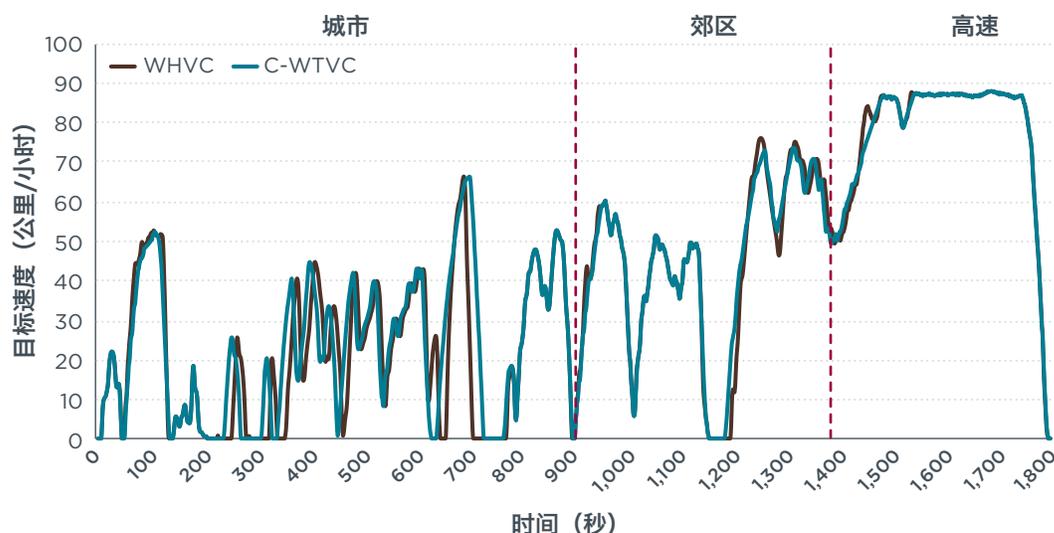


图41. C-WTVC和WHVC工况时间速度解析图

在中国的重型车标准中，燃料消耗量是根据城市、郊区和高速测试循环中的结构权重计算出的。表11中列出了权重占比(质检总局 & 国标委, 2011)。目前，重型车燃料消耗量标准的测试规程要求车辆在满载状态下进行测试。因此，本次进行分析时，基准半挂牵引车和基准货车均是处于最大负载状态。

表11. C-WTVC权重比例

车辆类型	权重			平均速度 (km/h)
	城市	郊区	高速	
半挂牵引车	0%	10%	90%	72.7
货车	10%	40%	50%	54.5

3.4 基准车辆性能

燃油经济性性能 (型式核准数据)

我们从中国汽车网上获取了2014-2016年半挂牵引车和货车车型的燃油经济性信息。该网站包含详细的车辆规格、销售价格以及型式核准油耗值信息。图42展示了两个具有代表

性的最大组合总质量级别中的半挂牵引车的燃油消耗量，共涵盖43-46吨级别的73个车型以及46-49吨级别的111个车型。我们之所以选择这两个级别进行分析是因为这是这两个级别是牵引车市场上最为常见的级别，合计占半挂牵引车市场份额的78%。中国的燃料消耗量标准是单车管理制，即每一辆车都必须满足标准限值。这和美国燃料消耗量标准的企业权重平均达标不同，在美国的管理标准中，每家生产企业都有根据销售配比制订的油耗目标限值，可以接受单车油耗不达标（美国环保局，2016）。

中国车辆的燃料消耗量分布区间非常大，有勉强满足二阶段限值的车辆，也有几乎可以满足将要出台的三阶段标准的车辆。在43-46吨质量级别中，不同车型的燃料消耗量差异可达11%，而在46-49吨质量级别中，不同车型的燃料消耗量差异可达14%。这种差异是由于发动机、传动和车辆系统的技术水平有所不同。一些燃油经济性较好的车型，例如东风的乘龙LZ4251T7DA和一起的解放CA4250P63K2T1HE4，在现有技术条件下就可以满足三阶段的限值要求。

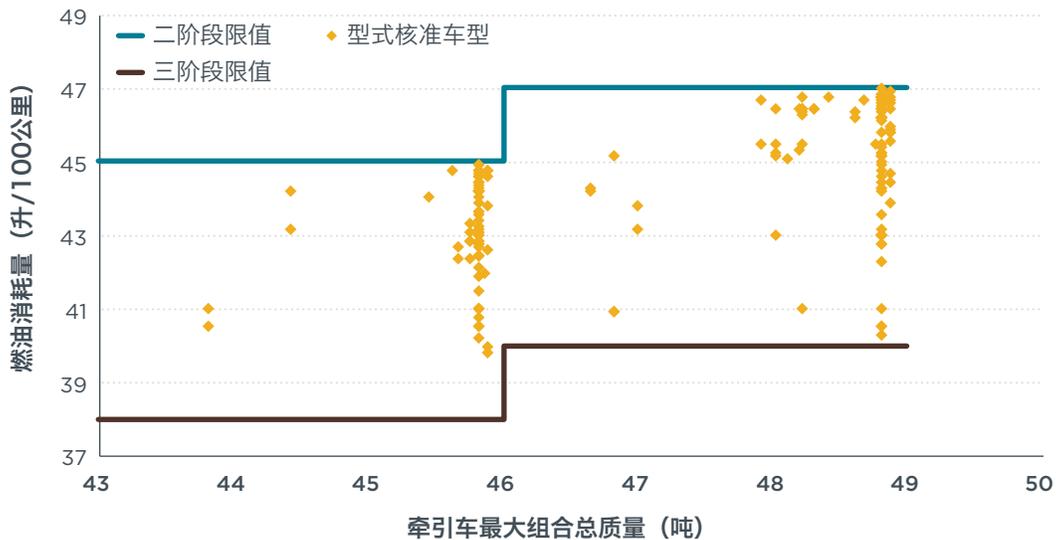


图42. 特定质量级别半挂牵引车各车型燃油消耗量

图43展示了两个有代表性的最大车辆重质量级别中的货车的燃料消耗量，共涵盖10.5-12.5吨级别的65个车型及12.5-16吨级别的233个车型。这两个级别的车辆约占市场份额的40%。和半挂牵引车一样，不同车型之间的燃油经济性车衣很大。在10-12.5吨级别中，不同车型的燃料消耗量差异可达22%，而在12.5-16吨质量级别中，不同车型的燃料消耗量差异可达14%。和半挂牵引车的情况相类似，燃油经济性较好的车型，例如江淮的HFC1161PZ5K1E1AF货运卡车和一汽的CA1140P62K1L3A1E4货运卡车，均可在现有技术条件下满足三阶段的限值要求。

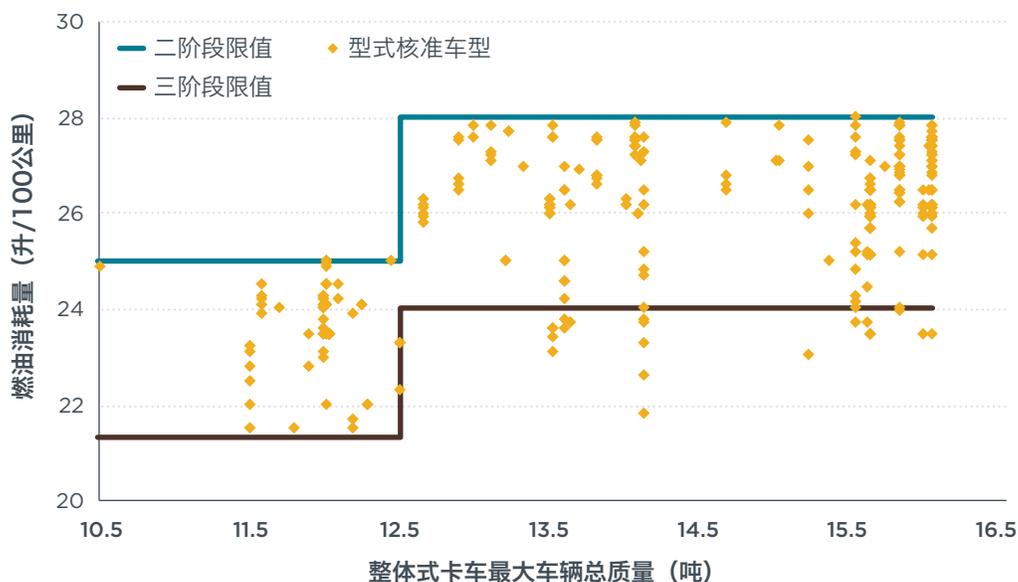


图43. 特定质量级别货车各车型燃料消耗量

燃油经济性性能模拟

表12总结了在基准车辆在典型工况循环和负载条件下的油耗结果。两辆车均符合二阶段标准，油耗水平比二阶段限值低2%-3%。这些数值为我们进行技术潜能评估提供了基础。

表12. 规定工况循环和负载条件下的基准油耗

车辆类型	最大组合/车辆总质量 (吨)	负载 (吨)	模拟油耗 (L/100km)	二阶段燃料消耗量限值 (L/100km)
半挂牵引车	49	34	46.1	47
货车	16	10	27.1	28

能量审核

图44展示了基准半挂牵引车在最大负载条件下运行C-WTVC工况循环城市部分、郊区部分和高速部分以及完整循环的能量审核结果，未考虑权重因素。结果显示车辆技术零部件的能量损失情况在整个工况循环中是不断变化的。例如，在城市部分的启停过程中，刹车造成的能耗损失比较大，而在高速部分的行驶过程中，空气阻力造成的损失比较大。在各种不同的循环下，轮胎滚动摩擦造成的能量损失均在12%以上。发动机能耗在所有循环中均占比最大，约为60%，这说明即使是小幅提升发动机能效，也可显著减少燃料消耗量。传动系统和电动辅助设备导致的能量损失相对较小。很重要的一点是，在上述审核中并没有包含长时间怠速的油耗，例如车辆怠速状态下，驾驶员在牵引车驾驶室中睡眠，这也会造成相当可观的油耗。不过，大量证明表明，怠速状态下住在车里情况在中国并不常见。

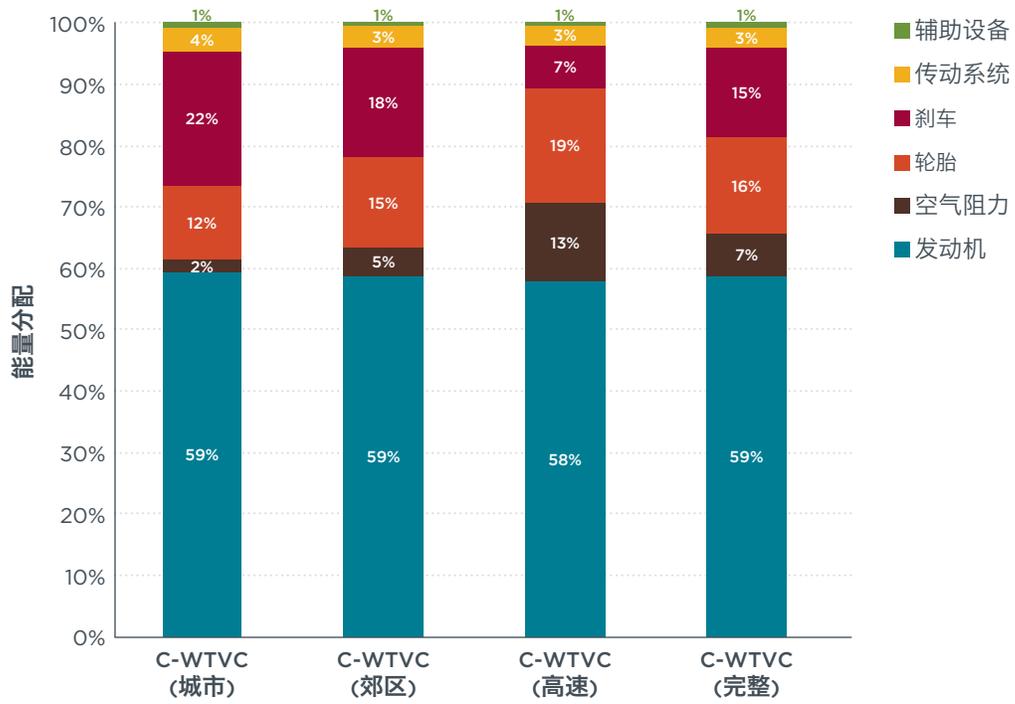


图44. 半挂牵引车能量审核

4. 技术潜力

在中国三阶段燃油消耗量标准开始公开征求意见的同时发布了一份编制说明，其中指出在现有的重型车能效管理要求下，中国重型车的平均燃料消耗量要比美国和日本高出10%-15%。文件中还指出，新标准的出台是计划到2020年进一步缩小上述差距（质检总局 & 国标委, 2016c）。因为卡车都是针对市场使用需求而专门设计的，所以很难对各地的油耗进行比较，因为各地区的地形、限速、车辆最大质量和尺寸限值以及道路基础设施建设等方面都会存在差异。还有不同标准下工况循环和典型负载方面的差异也需要予以考虑。我们不确定编制说明中10%-15%这一结论是否考虑了上述这些因素。

在本章中，我们会在相同工况循环和相同负载的完全对等条件下对中国和美国的标准进行比较。我们会将中国现有的标准与其它主要汽车市场实施的标准进行比较，研究现有标准是否设计得当，能否切实降低实际行驶油耗，另外还将研究各项技术在三阶段标准下的节油潜能。我们总结了中国节油技术的发展状况并对各项技术降低重型车油耗的潜力进行了评估。

4.1 中国重型车能效技术综述

本节将从发动机技术、减轻车重技术、空气动力技术、轮胎技术、传动系统技术以及其他先进技术入手进行分析，我们以上述技术为基础构建了燃油经济性技术潜力模拟情景。

发动机

中国的重型车发动机从技术角度上具备提升能效的发展趋势和机会。中国的生产企业正在开发更为大型的发动机（Jackson, Addis, Jun, GuoTao, & Sawant, 2008; Lan, Jin, & Di, 2011），但这些发动机与欧美市场的发动机相比，依然是功率偏小的。先进发动机技术（例如涡轮增压、涡轮组合、按需辅助设备、减少摩擦、高效SCR系统等）的市场渗透率仍然非常低（Rodriguez, Muncrief, Delgado, & Baldino, 2017）。废热回收最多可减少5.1%的油耗（Wang, Zhang, Zhang, Peng, & Shu, 2014）。其他一些研究也在努力将废热回收的节油收益最大化（Shu, Liu, Tian, Wei, & Xu, 2013; Shu, Liu, Tian, Wei, & Yu, 2014）。有研究表明，通过有机朗肯循环，可以在不额外增加燃料消耗量的前提下提高6%的发动机输出功率（Wei, Fang, Ma, & Danish, 2011）。

减轻车重

减轻车重是改善重型车燃油经济性的可行且有效的技术手段。与其它国家市场相比，中国的重型车平均要更重10%，车辆框架和悬挂弹簧的关键零部件的重量要更重30%-40%（中国汽车工程学会, 2014）。

对于半挂牵引车而言，一个减轻车重的方法就是控制牵引比，即牵引车最大牵引力与最大车辆总质量的比例，不考虑挂车的最大车辆总质量。在最大牵引力相同的情况下，其对应的挂车最大负载应该基本相同，牵引率高则说明牵引车的最大车辆总质量比较轻，那么半挂牵引车的最大组合总质量也会比较轻，燃油经济性就会比较好。据了解，中国市场上半数左右的牵引车的牵引比都在4.5-5.0之间，牵引比超过5.0的国产牵引车仅占20%（Wang & Zhang, 2015）。

对于整体式卡车而言，一个减轻车重的方法是控制负载比，即最大负载与整备质量的比。研究发现（Wang & Zhang 2015）中国有43%的货车负载比超过1.6，也有超过四分之一的货车负载比低于1.0。大约96%的自卸汽车的负载比都在0.95-1.05之间。由于整备质量偏大，所以自卸汽车的负载能力要低于货车。根据研究人员的估算，利用减轻车重方面的技术最多可削减油耗8%。

空气动力学

改善空气动力学设计可以显著减少空气阻力造成的能量损失，从而提高燃油经济性，在高速行驶时效果尤为明显。图44展示了空气动力阻力导致的能量损失，变化幅度在2%-13%。于是，减少空气阻力引起了中国生产企业和研究机构的高度重视。

东风的相关研究显示对高顶牵引车的前部外观进行修改最多可减少7%的空气阻力（Jiang, Wu, Tang, 2011）。其他研究则显示顶部整流罩，在牵引车顶部设计导流空气的凹槽结构，可以减少9%-14%的空气阻力（Gong, Gu, Li, Song, & Wang, 2010; Lu, Zhang, Liu, Le Loc'h, & Friz, 2010）。尽管挂车侧部整流罩在美国和加拿大已经是常见技术，但在中国还尚处于发展阶段。

此外还有其他一些减少空气阻力的技术。为挂车加装后尾翼可减少5%-8%的空气阻力，这一结论是通过数据模拟评估和实验测量得出的（Li, 2011; Zhang, Wang, & Tang, 2009）。在厢式货车前部安装减阻装置（井字格栅）可以减少21.3%的空气阻力，这一数据是在1:10的风洞测试中得出的有效结果（Qi, Liu, & Du, 2011）。优化自卸汽车的前部形状也能够减少13.7%的空气阻力（Wei, Wang, & Feng, 2008）。采用组合技术还能更进一步的减少空气阻力，例如，在车辆前部和后部同时加装减阻装置可减少24.8%的空气阻力（Yang & Ma, 2013）。

轮胎

低摩擦轮胎对于中国的重型车会有非常显著的节油收益，因为滚动摩擦造成的损耗与车重是成比例关系的。目前，中国尚没有强制性的轮胎标识体系。2016年4月启动了一项自愿性的绿色轮胎标识项目——中国汽车绿色轮胎等级认证（中国汽车技术研究中心，2016）。尽管研究表明低摩擦轮胎的节油效果显著，但调查发现目前这类轮胎在中国的应用率很低（M.J. Bradley & Associates, 2012）。出于价格因素，卡车车主会比较愿意购买耐久性较差、摩擦阻力较大但价格较低的轮胎，例如斜交轮胎2012年的市场份额达到50%以上（M.J. Bradley & Associates, 2012）。这一现象虽然可能已经有所改善，但目前暂时没有这方面的现成数据。与其它节油技术相比，降低轮胎滚动摩擦的性价比非常高，是中国推进能效技术的重要领域（Xin & Pinzon, 2014）。

4.2 方法论

我们利用现有资料，将模型模拟、工程分析、各项技术的节油效果计算结果结合在一起，对各类车辆进行了综合能效技术节油潜力评估。我们对目前的已知技术和一些预计在2030年以前可以在美国投入商业化应用的技术进行了分析。我们采用Autonomie车辆模拟软件来定义了基准车辆。

这样我们就可以模拟出能效技术改进对各部分能量损耗的影响，详见图44，主要包括：附件设备、传动系统、刹车、轮胎、空气动力设计和发动机。车辆模拟软件还考虑到了各项技术之间可能产生的交互作用。然后就可以计算出特定技术方案应用于基准车辆可以产生怎样的节油效果。需要注意的是，部分技术无法直接被引入模型当中。在这种情况下，我们会在后期处理时对最终的节油评估结果进行调整。这种方法与美国环保局和美国道路交通与安全管理局在开发Phase1和Phase2重型车温室气体排放及燃油经济性管理法规时所采用的评估方法较为类似（美国环保局，2011；美国环保局，2016）。

为了确定中国基准车辆到2030年的技术发展潜力，我们选择了两大技术阶段。第一阶段被称为美国Phase2阶段，代表美国卡车2027年的技术水平，即美国Phase2重型车温室气体/能效管理的最终阶段。第二阶段则代表车辆采用了更为先进的技术，即预计在2025-2030年期间才会投入商业化应用的先进技术。

我们选择将美国Phase2标准中的具体技术路线作为第一个技术标杆。美国重型车标准是世界上唯一一个对重型车适用技术进行了具体说明和分析的能效管理法规。Phase2管理方案中提供了一套用于确定节油要求严格程度的技术路线。通过权重加和可应用技术的预期应用率，可以计算出适度的节油限值要求。不过，车辆生产企业可以根据自己的技术组合方案来选择达标技术路线。在此次分析中，我们选择将美国Phase2标准中相应车型的技术方案应用到本次分析的两款代表车型上。这样一来，我们在模型中为基准半挂牵引车应用了美国2027车型年相似车型（Phase2 Class8级别高顶卧铺牵引车）上所采用的技术，同时匹配了一个符合Phase2标准的2027车型年的挂车。基准货车应用的技术方案源自一款中型重型车，即美国Class 6/7多用作业车⁵。基准车型的車輛基本结构和特定市场特征均没有做任何修改。

第二阶段设定在2030年以后，代表了更长期的技术论证，这些技术是已经或即将投入商业化应用的。对于半挂牵引车，2030年以后的技术设定为美国超级卡车（SuperTruck）

方案中所提出的技术水平，以及美国环保局和美国道路交通和安全管理局最终管理规定中的最佳可应用技术（Delgado, 2016；美国能源部，2014）。对于货车，可以采用混合动力传动技术。2030年以后的技术方案代表的是到2030年时可应用的最可行技术，而不一定是每个领域的最前沿技术。例如，货车的空气动力学设计此次就没有被纳入考虑范围，但如果车辆处于高速行驶状态，那么也会有比较实质的节油效果。另外，我们也没有考虑零排放技术，例如电池电动、有轨电动或燃料电池。我们没有评估单项技术和技术组合的成本、回本周期和成本效益。

5 尽管16吨的卡车在美国的分类中属于Class8级别，但我们选择了美国 Class 6/7级别的技术方案，因为这一级别车辆的规格和运行特点更接近于我们的基准车辆。

4.3 三阶段以后的技术潜力分析

在三阶段以后，我们的分析显示还有一些额外的机会来利用现有技术进一步降低油耗。

表13和表14列出了我们对半挂牵引车和货车进行技术潜力评估的假设条件。在两个表中，上面一部分是用于进行模拟的车辆参数，下面一部分是模拟中未纳入的一些技术的能效改善值。我们在进行技术模拟时，采用的是中国管理标准中规定的工况循环。

表13. 半挂牵引车技术潜力假设条件

	技术	等效于美国Phase 2	2030年以后
车辆参数	发动机能效 (最大制动热效率)	~47%	~50%
	牵引车空气动力阻力(CdA) ^a	5.3 m ²	5.1 m ²
	挂车空气动力阻力(delta CdA)	1.1 m ²	1.6 m ²
	轮胎滚动摩擦(RRC) ^b	5.6N/kN (导向) 5.9N/kN (行驶) 4.8N/kN (挂车)	4.3N/kN (导向) 4.5N/kN (行驶) 4.3N/kN (挂车)
	传动类型	手自一体	手自一体/双离合 ^c
	车桥结构	6x2	6x2
	后桥比	3.2	2.3
	车重减少	—	最多2800磅
技术节油效果	自动变速收益	1.8%	2.0%
	车桥结构收益	1.5%	2.5%
	车桥润滑	0.2%	0.5%
	预先导航控制	0.8%	2.0%
	改进附件装置	0.3%	1.0%
	改进空调	0.2%	0.5%
	自动充气系统	0.4%	1.0%
	先进运输信息系统 (挂车)	1.4%	1.5%
减少怠速	3.0%	5% 自动启停 / 7% 其他	

注：^aCdA是空气动力阻力区域；^bRRC是滚动摩擦系数；^cDCT 是双离合变速。

表14. 货车技术潜力假设条件

	技术	等效于美国Phase2	2030年以后
车辆参数	发动机能效 (最大制动热效率)	-44%	-44%
	轮胎滚动摩擦	6.4N/kN (导向) 7.0N/kN (行驶)	6.2N/kN (导向) 6.5N/kN (行驶)
	传动	手自一体	混合动力
	车桥比	4.33	4.33
	车重减少	10磅	400 磅
	卡车空气动力	无	无
技术节油效果	增加两个档位 (五速以上)	0.1%	1.7%
	双离合或手自一体 (相对于自动)	0.2%	3.4%
	加强混合动力	4.1%	22.9%
	传动系统深度集成	4.4%	6.2%
	车桥润滑	0.4%	0.5%
	启停	2.7%	3.8%

图45展示了两种模拟情景下的油耗降低效果。我们分析发现如果中国的半挂牵引车采用了等效于美国Phase2的技术方案，则在中国管理工况循环下可实现油耗降低31.3%。2030年以后的半挂牵引车节油技术可实现节油55.1%。中国货车在采用了等效于美国Phase2的技术方案后可实现节油29.5%，2030年以后的技术方案可实现节油43.3%。

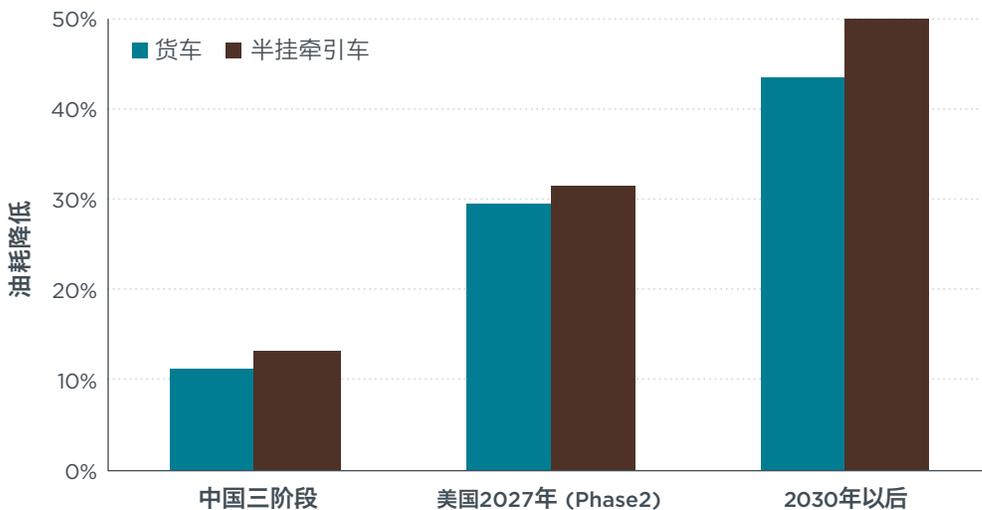


图45. 燃油经济性潜力

图46和47以中国二阶段标准为基线，展示了技术持续改进的节油效果。在实施中国三阶段之后，半挂牵引车和货车都仍有相当大的节油潜力。在三阶段标准下，半挂牵引车的年均油耗下降比例为2.8%，货车为2.4%。如果2020年以后中国的重型车仍然能保持这样的油耗改善速度，那么到2030年这些车辆的能效可达到美国Phase2车辆的水平。

如果在三阶段实施以后不再进一步加严管理要求，那么预计到2027年，中美半挂牵引车之间的油耗差距将达到20.8%，货车之间的差距将达到20.4%。如果全面应用2030年以后的节油技术，则可实现整体式卡车油耗在三阶段基础上降低35.0%，半挂牵引车降低44.5%。

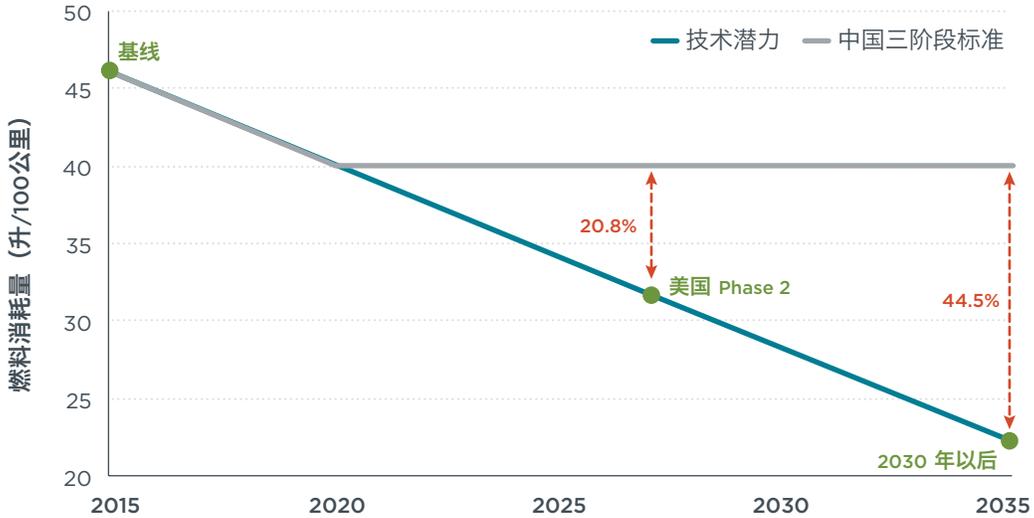


图46. 三阶段和更高节油技术潜力下的燃料消耗量对比：半挂牵引车

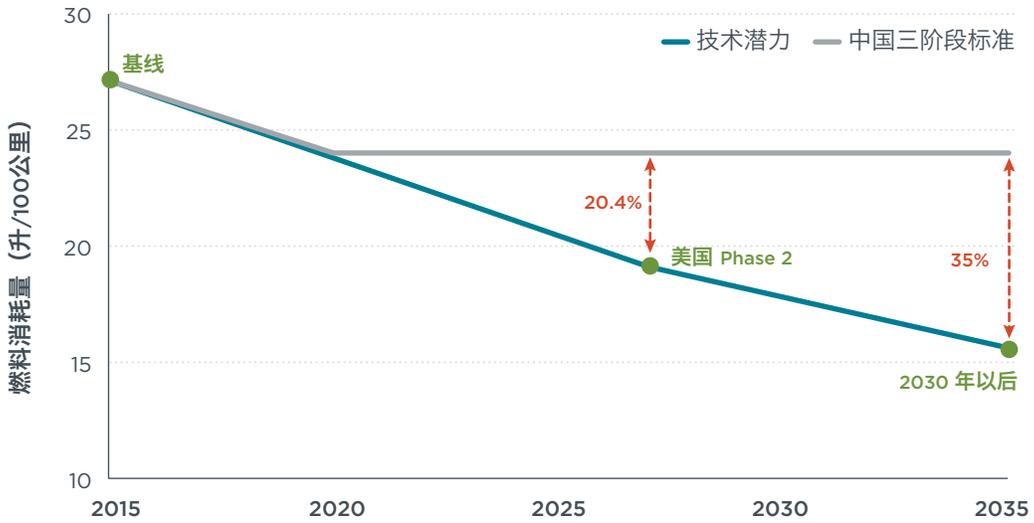


图47. 阶段和更高节油技术潜力下的燃料消耗量对比：货车

5. 总结

本文分析了中国重型车市场的主要特点，对各项先进技术的节油潜力进行了评估，指出了目前管理上存在的一些问题并提出了相应的建议。我们的主要结论如下：

- » **中国重型车市场发展迅速。**2014年重型车登记注册数量比2007年多出40%，年均增幅5.7%。这样快速的增长加大了对燃料的需求量，需要出台相应的燃油经济性管理政策。
- » **中国重型车市场上生产企业数量较多，集约程度远远低于美国和欧洲市场。**中国有460多家重型车生产企业。其中，半挂牵引车生产企业约30家，整体式卡车生产企业约70家。在专用运输车领域，有大约300家生产企业。2007-2014年期间，排名前10的重型车车辆生产企业的市场份额占62%-67%，而在美国，排名前5的生产企业的市场份额占70%，在欧洲可占到91%。
- » **中国重型车发动机主要由国内生产企业提供，发动机市场的集约程度要高于车辆市场。**中国的重型车发动机有88%来自于国内生产企业，合资企业和外国发动机生产商的发动机产品仅占半挂牵引车发动机的7%，货车的16%，自卸汽车的1%以及专用运输车的21%。排名前七位的发动机生产企业（包括合资企业）占牵引车发动机份额的99%，货车的95%，自卸汽车的97%以及专用运输车的86%。
- » **中国的物流体系不够高效。**半挂牵引车是长途货运领域中最为高效的车型，然而自2009年以来，半挂牵引车在15吨以上重型车中的比例始终不足40%。2014年，在中国最为常见的仓栅式挂车占市场份额的40%，而燃油能效最佳的厢式挂车仅占不到7%。尽管中国也开始开展一些绿色货运行动和示范项目，以求提高物流能效，但挂车脱挂转挂的特性并没有得以充分体现。如果能够大范围推广绿色货运将会获得非常显著的收益。
- » **中国卡车的尺寸在不断增大。**从2007年到2014年，半挂牵引车的车辆平均质量增加了10%，货车增加了32%，自卸汽车增加了45%，专用运输车增加了19%。
- » **发动机的排量和功率在不断增大。**从2007年到2014年，牵引车发动机的功率增加了15%，货车增加了6%，自卸汽车增加了27%，专用运输车增加了12%。与此同时，牵引车发动机的排量增加了11%，自卸汽车增加了15%，专用运输车增加了2%。另一方面，货车发动机的排量减少了4%，增大了功率/排量比。
- » **分析车型的型式核准能效表现差异很大。**尽管所有登记注册的重型车均符合当前的燃料消耗量标准（二阶段），但车辆的燃油经济性差异其实很大。在同一个车辆质量级别中，半挂牵引车的型式核准油耗值差异可达14%，货车的差异可达22%。这说明各生产企业的技术方案存在较大差异。
- » **即将出台的三阶段燃料消耗量限值能够缩小中国与发达国家之间的能效差距，但仍需要更加严格的长期标准来确保车辆达到世纪顶级能效水平。**在三阶段标准下，中国将在2015-2020年期间缩小与发达国家市场之间的燃油经济性差距。然而，在美国2020年以后的能效标准将改变这一趋势。中国需要出台更为严格的长期标准才能逐步缩小油耗差距。长期标准能够给车辆生产企业提供明确的管理目标，从而使生产企业以成本效益较好的方式去开发节油技术。

- » **先进技术可以给中国重型车带来很大燃油经济性提升空间。**根据两种基准车型（半挂牵引车和货车）的模拟结果，如果采用美国Phase2标准中的技术方案，车辆油耗可以在中国三阶段限值的基础上进一步降低20%。2030年以后的技术则可以使油耗在三阶段限值基础上进一步降低35%-45%。

6. 政策建议

基于我们对中国市场和技术潜力所进行的分析，我们在此提出以下政策建议：

标准范围

中国目前仍有约15%的重型车没有被纳入管理范围，包括替代燃料重型车和专用作业车。由于管理和财税方面的鼓励措施，这部分未纳入管理的车辆群体会不断增长（财政部、工信部 & 税务总局，2014）。所有类别和所有燃料类型的重型车都应被纳入管理范围，从而避免出现计划外的市场倾斜并保持燃料中立原则。

例如，尽管与传统燃油发动机相比，天然气发动机的温室气体、氮氧化物和颗粒物排放较少，但天然气发动机的热效率却要比柴油发动机低5%-15%（美国环保局，2016）。此外，甲烷在输送过程中发生泄漏会导致严重的气候变化影响（Camuzeaux 等人，2015；Clark等人，2017；Delgado和 Muncrief，2015）。因此，将替代燃料车排除在管理范围之外可能会导致市场向替代燃料重型车倾斜，这些车辆的燃油能效比较差，但价格低廉。这样会导致降低油耗和降低CO₂排放的目标发生冲突。

标准设定应以环保性能为基础，不对替代燃料车或专用作业车有任何特殊保护政策。任何政策倾斜都可能会造成不公平因素和不良后果。

此外，中国的燃料消耗量标准也没有涵盖挂车。空气动力装置、低滚动摩擦轮胎和自动充气系统等挂车技术展现出了重大的节油潜力。与没有采用能效技术的基准挂车相比，单独采用先进的空气动力技术就使箱式挂车减少13%的CO₂排放（美国环保局，2016）。对挂车提出能效管理要求可以帮助促进先进节油技术的应用和发展。

为了实现重型车节油目标，我们建议扩大燃料消耗量标准的管理范围，增加以下内容：

- a. 制订针对专用作业车的燃料消耗量限值。如果这些车辆的专属特性导致难以对其难以采用一些车辆技术，例如空气动力装置，则实施发动机能效标准可以为降低这类车的燃料消耗量提供保障。
- b. 制订针对替代燃料车的燃料消耗量限值，保持燃料中立原则。
- c. 制订挂车能效限值或出台单独的挂车标准，从而进一步提升半挂牵引车的燃油经济性。

长途货运效率

市场分析表明长途货运效率有相当大的优化空间。15吨以上的半挂牵引车目前不足40%，而实践证明半挂牵引车是所有重型车中长途货运节油效果最好的车型。另外，半挂牵引车的挂车可以脱挂和转挂，从而减少空驶里程。从2007-2014年的数据来看，牵引车和挂车的登记注册比例大约为1:1。此前的相关研究显示，这一比例在3:1时可以减少负载和空载时间，从而使货运的能效更高（Sharpe, Clark, & Lowell, 2013）。

尽管厢式挂车的燃油经济性发展潜力最大，但这类挂车2014年的市场份额仅为不到7%。中国最常见的挂车类型是仓栅式挂车，占2014年挂车总数的40%。空气动力减阻装置可以提升厢式挂车的燃油能效，但对于仓栅式挂车并不适用。

今后，可以通过经济和管理方面的激励措施推动半挂牵引车脱挂和转挂功能在长途货运领域的应用，提升物流管理并采用空气动力方面设计更为优化的厢式挂车。

限值目标的阶跃函数

燃料消耗量限值和测试循环权重是根据最大车辆/组合总质量划分的阶跃函数。阶跃函数可能会影响燃料消耗量的实施效果，因为阶跃函数会产生边际效应，使得生产企业小幅改变最大车辆总质量后就可以比较轻松的满足另一质量级别的对应标准。此前有研究显示，在中国和日本的轻型车市场上就存在这种边际效应，因为轻型车油耗管理也是这样的阶跃函数模式(Hao, Wang, Liu, & Zhao, 2016; Oliver, 2005)。

边际效应同样也会影响到重型车市场。我们在此构建了两种可能的情景：

- » 首先，C-WTVC工况循环中城市、郊区和高速部分的权重比例可能会在不同质量分级中引发问题。例如，对于最大总质量在10.5-12.5吨级别的货车，郊区工况占比60%，高速工况占比30%，城市工况占比10%。而对于最大总质量在12.5-16吨级别的货车，郊区工况占比40%，高速工况占比50%，城市工况占比10%。郊区部分的油耗通常要高于高速部分，因为瞬态运行状态更多。对于一辆最大总质量接近12.5吨的卡车而言，其生产企业可能会选择将这辆车在更重的级别中进行认证，从而适用较为宽松的标准。
- » 第二，重量级别范围相对较宽也可能会引发问题。例如，我们此次选择作为半挂牵引车基准的最大组合总质量46-49吨这一级别。3吨的差异可导致3.4%的油耗差异，因此46吨的牵引车要比49吨的牵引车更容易达标。鉴于三阶段中此类车型的油耗限值加严了13.2%，那么故意降低最大组合总质量就可以完成近25%的达标任务(3.4%/13.2%)。

在设置重型车燃料消耗量标准时采用光滑函数而不采用阶跃函数会是一个避免上述问题的好办法。管理部门可能需要重新评估车辆质量级别和行驶工况权重划分方法，从而确保燃料消耗量标准的实施效果，最大程度的避免潜在的投机行为。

未来的燃油能效标准

要想让中国的重型车达到世界级的技术水平，需要出台更为严格的长期限值。如果中国在2020年以后仍然维持三阶段限值要求，则中国与发达国家市场之间的燃油经济性差距将会明显增大。例如，2027年美国Phase2标准将全面实施，美国半挂牵引车的油耗将比中国车辆低20.8%，货车油耗将比中国车辆低20.4%。中国三阶段标准于2016

年提出，给予了生产企业3-5年的准备期，要求到2019年新车型式核准达到限值要求，2021年所有在生产车辆达到限值要求。相比之下，美国Phase2标准于2015年提出，给予了生产企业12年的准备期，要求到2027年满足限值要求。如果没有充分的准备时间，车辆和零部件生产企业可能会由于没有明确的管理目标而不愿意去开发和推广那些节油效果显著但需要进行长期投资的技术。

我们建议根据已知的技术潜力，制订长期的燃料消耗量标准。下一阶段最好可以要求重型车燃油消耗量在2020-2030年期间平均降低30%（大约在二阶段达标车辆的基础上降低45%）。理想状态下，生产企业应有大约10年的达标准备期。长期目标能够促进技术方面的投资并给予生产企业足够的时间来以成本效益较好的方式实现达标管理要求。

参考资料

- Beijing Transportation Research Center. (2013). Beijing initialized disassembling illegal modification of oversizing trucks. Accessed August 4, 2016, at <http://www.bjtrc.org.cn/PageLayout/IndexReleased/NewDetails.aspx?id=DGD20130510003>
- Camuzeaux, J., Alvarez, R., Brooks, S., Browne, J., & Sterner T. (2015). Influence of methane emissions and vehicle efficiency on the climate implications of heavy-duty natural gas trucks. *Environmental Science & Technology*, 49(11), 6402–6410.
- China Automotive Technology & Research Center (CATARC). (2013). Development of fuel consumption standards for heavy-duty vehicles in China. Presented at the International Workshop on Heavy-Duty Vehicle Fuel Efficiency Technology, Standards, and Policies. Tianjin, China. Retrieved from http://www.theicct.org/sites/default/files/CATARC%20PPT_EN_1.pdf
- China Automotive Technology and Research Center (CATARC). (2016). China Green Car Tires Level Certification Program. Retrieved from <http://www.catarc.ac.cn/ac2016/content/20160427/21039.html>
- China Business Update/China Automotive Review (CBU/CAR). (2015). CBU/CAR 2015 Annual International Heavy-Duty Conference. Beijing, China. Retrieved from <http://www.chinaautoreview.com/conference/IntroductionCN.aspx?id=50>
- China Energy Foundation. (n.d.). Program Meeting for China Green Freight. Accessed April 28, 2017, at <http://www.efchina.org/News-zh/EF-China-News-zh/news-20140417-zh>
- ChinaCar. (n.d.). Type approval information of new vehicle models in China. Accessed August 4, 2016, at <http://www.chinacar.com.cn/search.html>
- Clark, N. N., McCain, D. L., Johnson, D. R., Wayne, W. S., Li, H., ... Ugarte, O. J. (2017). Pump-to-wheels methane emissions from the heavy-duty transportation sector. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 968–976.
- Cummins Inc. (2010). Meeting the challenges of global sustainability. Retrieved from https://www.cummins.com/sites/default/files/sustainability/Cummins_2010_SustainabilityReport_FULL.pdf
- Delgado, O. (2016). Stage 3 China fuel consumption standard for commercial heavy-duty vehicles. Retrieved from <http://www.theicct.org/china-stage-3-fuel-consumption-standard-commercial-HDVs>
- Delgado, O., & Lutsey, N. (2015). Advanced tractor-trailer efficiency technology potential in the 2020–2030 timeframe. Retrieved from <http://www.theicct.org/us-tractor-trailer-efficiency-technology>
- Delgado, O., Miller, J., Sharpe, B., & Muncrief, R. (2016). Estimating the fuel efficiency technology potential of heavy-duty trucks in major markets around the world. Retrieved from <http://www.theicct.org/estimating-fe-tech-potential-hdvs-gfei-wp14>
- Delgado O., & Muncrief, R. (2015). Overview assessment of heavy-duty natural gas vehicle emissions: Implications and policy recommendations. Retrieved from <http://www.theicct.org/assessment-heavy-duty-natural-gas-vehicle-emissions-implications-and-policy-recommendations>

- Deng, L., Wang, W., & Yu, Y. (2015). State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(2), 04015005.
- Dou, Y., Zhang, J., & Hu, C. (2016). The improvement of the design standard of overloaded highway. *International Journal of Security and Its Applications*, 10(2), 151-162.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2004). GB 1589-2004: Limits of dimension, axle load and masses for road vehicles.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2011). GB/T 27840-2011: Fuel consumption test methods for heavy-duty commercial vehicles.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2014). GB 30510-2014: Fuel consumption limits for heavy-duty commercial vehicles.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2016a). Fuel consumption limits for heavy-duty commercial vehicles (proposed for public comments). <http://www.cataarc.org.cn/NewsDetails.aspx?id=2683>
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2016b). GB 1589-2016: Limits of dimensions, axle load and masses for motor vehicles, trailers, and combination vehicles. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5176849/content.html>
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ) & Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). (2016c). Policy explanation: Fuel consumption limits for heavy-duty commercial vehicles. Retrieved from <http://www.cataarc.org.cn/NewsDetails.aspx?id=2683>
- Gong, X., Gu, Z., Li, Z., Song, X., & Wang, Y. (2010). Aerodynamic shape optimization of a container-truck's wind deflector using approximate model. SAE Technical Paper 2010-01-2035.
- Hao, H., Wang, S., Liu, Z., & Zhao, F. (2016). The impact of stepped fuel economy targets on automaker's light-weighting strategy: the China Case. *Energy*, 94, 755-765.
- Institute for 21st Century Energy. (2016). 2016 edition International Index of Energy Security Risk: Assessing risk in a global energy market. http://www.energyxxi.org/sites/default/files/energyrisk_intl_2016.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2016). Global EV outlook 2016—Beyond one million electric cars. Retrieved from https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf
- Jackson, P., Addis, B., Jun, G., GuoTao, S., & Sawant, U. (2008). Development of a new 13L heavy-duty diesel engine using analysis-led design. SAE Technical Paper 2008-01-1515.

- Jiang, M., Wu, H., & Tang, K. (2011). Evaluation and optimization of aerodynamic and aero-acoustic performance of a heavy truck using digital simulation. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 4, 143-155.
- Jun, X., & Bensman, D. (2010). The heart of the problem: Trucking in China's logistics sector. Presented at the 62nd Annual Meeting of the Labor and Employment Relations Association 2010. Labor and Employment Relations Association Series. January 2010, Atlanta, Georgia.
- KPMG International. (2011). Focus on emerging truck markets. Competing in the global truck industry—Emerging markets spotlight. Retrieved from <https://home.kpmg.com/ru/en/home/insights/2011/09/competing-in-the-global-truck-industry-emerging-markets-spotlight.html>
- Lan, Y., Jin, Y., & Di, J. (2011). Current situation and tendency of home and abroad heavy-duty truck diesel engines. *Vehicle Engine. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle*, 40(3). Retrieved from http://caod.oriprobe.com/articles/27696023/Current_Situation_and_Development_Tendency_of_Home_and_Abroad_Heavy_Du.htm
- Li, S. (2011). Analysis of numerical simulation on reducing drag of van body truck. SAE Technical Paper 2011-01-2286.
- Lu, L., Zhang, L., Liu, S., Le Loc'h, E., & Friz, H. (2010). Optimization of aerodynamics and engine cooling performance of a JMC mid-size truck using simulation. SAE Technical Paper 2010-01-2032.
- Ministry of Environmental Protection (MEP) of the People's Republic of China. (2016). Limits and measurement methods for exhaust pollutants from compression ignition and gas fueled positive ignition engines of vehicles (CHINA VI) (proposed for public comments). Retrieved from http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201610/t20161017_365634.htm
- Ministry of Finance of the People's Republic of China (MOF); Ministry of Industry and Information Technology (MIIT); & State Administration of Taxation of the People's Republic of China. (2014). Tax exemption for purchasing alternative fuel vehicles. Retrieved from <http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810755/c1150779/content.html>
- Ministry of Finance (MOF); Ministry of Science and Technology; Ministry of Industry and Information Technology (MIIT); & the National Development and Reform Commission (NDRC) of the People's Republic of China. (2013). Regarding the continuous promotion and application of new-energy vehicles. Retrieved from http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbqt/201309/t20130925_560223.html
- Ministry of Finance of the People's Republic of China (MOF); & Ministry of Transport of the People's Republic of China (China MOT). (2011). Special funds for reducing transportation fuel consumption and emissions: Interim measures. Retrieved from http://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/caizhengwengao/2011caizhengwengao/wg201108/201111/t20111118_608958.html
- Ministry of Industry and Information Technology (MIIT). (2011). QC/T 924-2011: Fuel consumption limits for heavy-duty commercial vehicles (the first stage). (proposed for public comments). Retrieved from <http://www.catarc.org.cn/NewsDetails.aspx?id=2683>

- Ministry of Transport (MOT); Ministry of Public Security (MPS) of the People's Republic of China. (2016). Notification of standardizing the enforcement of oversized and overloading transporting vehicles. No. 2016-00973. Retrieved from http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/glj/201610/t20161018_2100614.html
- M.J. Bradley & Associates. (2012). Reducing aerodynamic drag and rolling resistance from heavy-duty trucks: Summary of available technologies and applicability to Chinese trucks. Retrieved from <http://www.theicct.org/reducing-aerodynamic-drag-and-rolling-resistance-heavy-duty-trucks>
- Muncrief, R., & Sharpe, B. (2015). Overview of the heavy-duty vehicle market and CO₂ emissions in the European Union. Retrieved from <http://www.theicct.org/overview-heavy-duty-vehicle-market-and-co2-emissions-european-union>
- National Automotive Standardization Technical Committee (NTCAS). (2009). GB/T 17350-2009. Terms marks and designation for special purpose vehicles and special trailers.
- North American Council for Freight Efficiency (NACFE). (2013). Confidence report on 6x2 axles. Retrieved from <http://nacfe.org/wp-content/uploads/2014/01/Trucking-Efficiency-6x2-Confidence-Report-FINAL-011314.pdf>
- Oliver, B. (2005). Greenhouse gas emissions and vehicle fuel efficiency standards for Canada. Pollution Probe. Retrieved from <http://www.climatebiz.com/sites/default/files/document/Custom016C45F62799.pdf>
- Qi, X., Liu, Y., & Du, G. (2011). Experimental and numerical studies of aerodynamic performance of trucks. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 23(6), 752–758.
- Rednet.cn. (n.d.). Overloading/oversizing occurrence was reduced from 7.1% to 0.6% at check point at Zhuzhou City. Accessed August 4, 2016, at <http://news.163.com/15/1202/17/B9RL99T700014AEE.html>
- Rodriguez, F., Muncrief, R., Delgado, O., & Baldino, C. (2017). Market penetration of fuel-efficiency technologies for heavy-duty vehicles in the European Union, the United States, and China. Retrieved from <http://www.theicct.org/market-penetration-HDV-fuel-efficiency-technologies>
- Sharpe, B. (2015). Market analysis of heavy-duty vehicles in India. Retrieved from <http://www.theicct.org/market-analysis-heavy-duty-vehicles-india>
- Sharpe, B., Clark, N., & Lowell D. (2013). The U.S. Trailer technologies for increased HDV efficiency. Retrieved from <http://www.theicct.org/trailer-technologies-increased-hdv-efficiency>
- Sharpe B., & Muncrief R. (2015). Literature review: Real-world fuel consumption of heavy-duty vehicles in the United States, China, and the European Union. Retrieved from <http://www.theicct.org/literature-review-real-world-fuel-consumption-heavy-duty-vehicles-united-states-china-and-european>
- Shen, S., & Kazunori. (2014). China's Dongfeng to invest \$300 mln in technology centre. Retrieved from <http://www.reuters.com/article/dongfeng-investment-idU5L3N0LP29420140220>
- Shu, G., Liu, L., Tian, H., Wei, H., & Xu, X. (2013). Performance comparison and working fluid analysis of subcritical and transcritical dual-loop organic Rankine cycle (DORC) used in engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 74, 35–43.

- Shu, G., Liu, L., Tian, H., Wei, H., & Yu, G. (2014). Parametric and working fluid analysis of a dual-loop organic Rankine cycle (DORC) used in engine waste heat recovery. *Applied Energy*, 113, 1188–1198.
- Sichuan Development and Reform Commission (DRC). (2013). Sichuan Land and Resources Department, Sichuan Public Security Department, Sichuan Transportation Department, Administration of Quality and Technology Supervision of Sichuan Province PRC, & Sichuan Environmental Protection. (2013). Promoting natural gas for the sustainable development of transportation. Accessed October 29, 2016, at <http://www.scdrc.gov.cn/dir45/170322.htm>
- Society of Automotive Engineers of China (SAE China). (2014). Strategic study report on development of lightweight technology for automobiles in China.
- Statista. (2014). Facts on the automobile import and export industry in China. Retrieved from <http://www.statista.com/topics/1013/car-imports-and-exports-in-china/>
- Tianjin Development and Reform Commission (DRC). (2011). Notification of Jin-Ning Highway Tolling Standard. Retrieved from http://www.tjdpc.gov.cn/zwgk/zcfg/wnwj/jgwj/201306/t20130628_29783.shtml
- UChicago Argonne LLC. (2016). Welcome to Autonomie. <http://www.autonomie.net>
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2014). China promotes both fuel efficiency and alternative-fuel vehicles to curb growing oil use. Retrieved from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=16251>
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2015). China International energy data and analysis. Retrieved from https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/China/china.pdf
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2016). International Energy Outlook 2016. Retrieved from <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/transportation.cfm>
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2011). Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-duty Engines and Vehicles. *Federal Register*, 76, 79.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2016). Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-duty Engines and Vehicles—Phase 2. *Federal Register*, 81, 206. Retrieved from <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2016-10-25/pdf/2016-21203.pdf>
- U.S. Department of Energy (U.S. DOE). (2014). Supertruck making leaps in fuel efficiency. Retrieved from <http://energy.gov/eere/articles/supertruck-making-leaps-fuel-efficiency>
- Wang, L., & Zhang, N. (2015). Sustainable development of China's commercial vehicles. *Advances in Manufacturing*, 3(1), 37–41. <http://link.springer.com/article/10.1007/s40436-015-0104-7>
- Wang, T., Zhang, Y., Zhang, J., Peng, Z., & Shu, G. (2014). Comparisons of system benefits and thermo-economics for exhaust energy recovery applied on a heavy-duty diesel engine and a light-duty vehicle gasoline engine. *Energy Conversion and Management*, 84, 97–107.
- Wei, M., Fang, J., Ma, C., & Danish, S. N. (2011). Waste heat recovery from heavy-duty diesel engine exhaust gases by medium temperature ORC system. *Science China Technological Sciences*, 54(10), 2746–2753.

- Wei, X., Wang, G., & Feng, S. (2008). Aerodynamic characteristics about mining dump truck and the improvement of head shape. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20(6), 713–718.
- Xin, Q., & Pinzon, C. F. (2014). Improving the environmental performance of heavy-duty vehicles and engines: Key issues and system design approaches. In *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance towards zero carbon transportation*, R. Folkson (Ed.): Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing.
- Xiong, M. (2010). Lessons for China from a comparison of logistics in the U.S. and China. Master's Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Xu, F. Y., Zhang, M. J., Wang, L., & Zhang, J. R. (2016). Recent highway bridge collapses in China: Review and discussion. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 04016030.
- Yang, X., & Ma, Z. (2013). Drag reduction of a truck using append devices and optimization. In *International Conference on Parallel Computing in Fluid Dynamics* (pp. 332–343). Berlin, Germany: Springer.
- Zhang, P., Wang, J., & Tang, Q. (2009). Experimental investigation on the aft-body drag reduction of the tractor-trailer truck by aerodynamic add-on device [Chinese]. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*, 23(03), 12–15. <http://www.syltlx.com/EN/abstract/abstract9762.shtml#>
- Zhang, X. (2016). Future of construction trucks [Chinese]. Accessed on July 21, 2016, at http://www.cnsbv.cn/news_detail/newsId=8776.html