



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材

新能源汽车概论

(第3版)

崔胜民 主编



扫一扫联系客服



电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材

新能源汽车概论

(第3版)

崔胜民 主编



扫一扫联系客服



电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

新能源汽车概论/崔胜民主编.—3版.—北京：北京大学出版社，
2020.4

（高等院校汽车专业“互联网+”创新规划教材）

ISBN 978-7-301-31007-6

I.①新... II.①崔... III.①新能源—汽车—高等学校—教材
IV.①U469.7

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第002655号

书名：新能源汽车概论（第3版）

XINNENGYUAN QICHE GAILUN(DI-SAN BAN)

著作责任者：崔胜民 主编

策划编辑：童君鑫

责任编辑：李娉婷

数字编辑：蒙俞材

标准书号：ISBN 978-7-301-31007-6

出版发行：北京大学出版社

地址：北京市海淀区成府路205号 100871

网址：<http://www.pup.cn> 新浪微博：@北京大学出版社

电子信箱：pup_6@163.com

电话：邮购部010-62752015 发行部010-62750672 编辑部010-62750667

印刷者：

经销者：新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 401千字

2011年5月第1版 2015年8月第2版

2020年4月第3版 2020年4月第1次印刷

定价：45.00元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题，请与出版部联系，电话：010-62756370

目录

[内容简介](#)

[第3版前言](#)

[第1章 绪论](#)

[1.1 能源的定义与分类](#)

[1.2 新能源汽车的定义与分类](#)

[1.3 发展新能源汽车的必要性](#)

[1.4 新能源汽车技术路线](#)

[第2章 新能源汽车类型](#)

[2.1 纯电动汽车](#)

[2.2 增程式电动汽车](#)

内容简介

本书介绍了能源的定义与分类、新能源汽车的定义与分类、发展新能源汽车的必要性及新能源汽车技术路线；详细描述了纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车的结构、原理及特点等；全面系统地论述了电动汽车用动力电池、电动汽车用电动机、电动汽车能源管理和回收系统、电动汽车充电技术；介绍了新能源汽车向智能网联汽车和无人驾驶汽车发展过程中涉及的汽车轻量化技术、汽车网络技术、汽车环境感知技术和汽车先进驾驶辅助系统。

本书内容丰富，图文并茂，实用性强，可作为高等院校车辆工程及其相关专业的教材，也可作为从事新能源汽车相关领域工程技术人员、管理人员和科研人员的参考用书。

第3版前言

石油短缺、环境污染、气候变暖是全球汽车工业面临的共同挑战，新能源汽车已经成为汽车工业的发展趋势，一些国家已经提出了停售燃油汽车的时间表。我国是一个石油短缺的国家，又是一个石油消费大国，石油对外依存度逐年增加，2019年已经超过70%。为此，我国多次出台政策，鼓励发展新能源汽车，已经取得较好成效，2019年我国新能源汽车累计销售突破120万辆，排世界第一。

本书对《新能源汽车概论》（第2版）进行了全面修订，更新并增加了一些新的内容，删掉一些陈旧的内容，更适合作为教材使用。本书全面系统地论述了新能源汽车的基础知识。全书共分7章。第1章阐述了能源的定义与分类、新能源汽车的定义和分类、发展新能源汽车的必要性和新能源汽车的最新技术路线；第2章介绍了纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车的结构原理和特点等；第3章介绍了电池的类型、电池的性能指标、电动汽车对动力电池的要求和技术路线，对铅酸蓄电池、镍氢蓄电池、镍镉蓄电池、锂离子蓄电池、镍锌蓄电池、空气电池、蓄电池的充电方法和性能测试进行了详细介绍，对燃料电池发电系统和6种常用燃料电池及太阳电池、超级电容器、飞轮电池进行了阐述；第4章介绍了电动机的类型、电动机的主要性能指标和电动汽车对电动机的要求，对直流电动机、无刷直流电动机、异步电动机、永磁同步电动机和轮毂电动机及电动机控制器进行了详细介绍；第5章介绍了电动汽车能量管理与制动能量回收系统；第6章介绍了电动汽车充电设备的类型、充电方法和充电方式、电动汽车车载充电机和非车载充电机；第7章介绍了新能源汽车向智能网联汽车和无人驾驶汽车发展过程中涉及的汽车轻量化技术、汽车网络技术、汽车环境感知技术和汽车先进驾驶辅助系统。

本书在编写过程中查阅了大量资料，引用了一些网上资料和参考文献中的部分内容，特向其作者表示深切的谢意，同时，对书中所用图片的拍摄者表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大专家和读者批评指正。

编者
2020年1月

第1章 绪论

教学目标

通过本章的学习，要求读者了解能源的定义与分类，掌握新能源汽车的定义与分类，了解发展新能源汽车的必要性，了解新能源汽车技术路线。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
能源的定义与分类	了解什么是能源，能源如何分类	能源知识
新能源汽车的定义与分类	掌握什么是新能源汽车，新能源汽车包括哪些类型	通过对比普通燃油汽车与新能源汽车，掌握新能源汽车的概念；根据驱动汽车的能量不同，掌握新能源汽车的类型
发展新能源汽车的必要性	了解为什么要大力发展新能源汽车	石油短缺、环境污染、气候变暖是发展新能源汽车的根本原因
新能源汽车技术路线	了解新能源汽车发展里程碑，纯电动汽车、插电式混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的发展总体思路、发展目标、技术路径和发展重点	节能与新能源汽车路线图

导入案例

汽车的发明极大地缩短了人与人之间的空间距离，方便了人们的生活。汽车已经成为当今社会的重要交通工具。但汽车保有量的大幅度增加，给地球带来了资源过度消耗、空气污染和气候变暖等负面问题。

图1.1所示为我国某石油城石油基本枯竭的照片。



图1.1 石油枯竭

图1.2所示为我国某城市空气污染的照片。



图1.2 空气污染

图1.3所示为因气候变暖，一头北极熊在北极圈的挪威斯瓦尔巴群岛上被活活饿死的照片。

试想，如果我们还继续大量使用燃油汽车，未来会是什么样？新能源汽车都包含哪些类型，技术发展路线如何？通过本章的学习，读者可以得到答案。



图1.3 气候变暖造成北极熊饿死

1.1 能源的定义与分类

能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。凡是能被人类加以利用以获得有用能量的各种来源通常都可以称为能源。

能源种类繁多。经过人类不断开发与研究，已经有更多新能源能够满足人类的需求。根据不同的划分方式，能源可分为不同的类型。

1.按能源的来源分类

按来源的不同，能源可以分为来自地球外部天体的能源、地球本身蕴藏的能源、地球和其他天体相互作用而产生的能源。

(1) 来自地球外部天体的能源，主要是太阳能。除直接辐射外，太阳能为风能、水能、生物能和矿物能等的产生提供基础。人类所需的绝大部分能量都直接或间接地来自太阳。各种植物通过光合作用把太阳能转换为化学能在植物体内储存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代埋在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的。它们实质上是由古代生物固定储存下来的太阳能。此外，风能、水能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的。

(2) 地球本身蕴藏的能源，通常指与地球内部的热能有关的能源和与原子核反应有关的能源，如原子核能、地热能等。

(3) 地球和其他天体相互作用而产生的能量，如潮汐能。温泉和火山爆发喷出的岩浆就是地热的表现。地球分为地壳、地幔和地核三层，是一个大热库。地壳就是地球表面的一层，一般厚度为几千米至几十千米不等；地壳下面是地幔，大部分是熔融状的岩浆，厚度约为2865km，火山爆发一般是这部分岩浆喷出；地球内部为地核，地核中心温度达6000℃。可见，地球上的地热资源储量也很大。

2.按能源的产生方式分类

按产生方式的不同，能源可以分为一次能源和二次能源。

(1) 一次能源，即天然能源，是指自然界中以天然形式存在（并没有经过加工或转换）的能量资源。一次能源包括可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气资源。其中水、石油和天然气是一次能源的核心，它们成为全球能源的基础。除此以外，太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能及核能等可再生能源也属于一次能源。

(2) 二次能源，即人工能源，是指由一次能源直接或间接转换为其他种类和形式的能源，如电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等能源都属于二次能源。

3.按能源的性质分类

按性质的不同，能源可以分为燃料型能源和非燃料型能源。

(1) 燃料型能源，如煤炭、石油、天然气、泥炭、木材等。

(2) 非燃料型能源，如风能、水能、地热能、海洋能等。

人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的。最早的燃料是木材，之后是各种化石燃料，如煤炭、石油、天然气等，现正研究利用太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源。当前化石燃料消耗量很大，但地球上这些燃料的储量有限。未来，铀和钍将提供人类所需的大部分能量。一旦控制核聚变的技术问题得到解决，人类实际上将获得无尽的能源。

4.按能源消耗后是否造成环境污染分类

按消耗后是否造成环境污染，能源可以分为污染型能源和清洁型能源。

(1) 污染型能源，是指利用以后会对环境造成污染的能源，如煤炭、石油等。

(2) 清洁型能源，是指利用以后不会对环境造成污染的能源，如水能、电能、太阳能、风能及核能等。

5.按能源使用的类型分类

按能源使用的类型不同，能源可以分为常规能源和新型能源。

(1) 常规能源，包括一次能源中的可再生的水能和不可再生的煤炭、石油、天然气等能源。

(2) 新型能源，是相对于常规能源而言的，包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能及用于核能发电的核燃料等能源。由于新型能源的能量密度较小，或品位较低，或有间歇性，按已有的技术条件转换利用的经济性尚差，还处于研究、发展阶段，只能因地制宜地开发和利用。但新型能源大多数是再生能源，资源丰富，分布广阔，是未来的主要能源之一。

6.按能源的形态特征或转换与应用的层次分类

世界能源委员会推荐的能源类型分为固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。其中，前三个类型统称化石燃料或化石能源。已被人类认识的上述能源，在一定条件下可以转换为人们所需的某种形式的能量。例如，煤炭加热到一定温度，能和空气中的氧气化合并放出大量的热能，可以用热来取暖、做饭或制冷，也可以用热来产生蒸汽，用蒸汽推动汽轮机，使热能转换为机械能；也可以用汽轮机带动发电机，将机械能转换为电能；如果把电送到工厂、企业、机关、农牧林区和住户，则电能可以转换为机械能、光能或热能。

7.按能源是否能够再生分类

能源按是否能够再生，分为再生能源和非再生能源。凡是可以不断得到补充或能在较短周期内再生的能源称为再生能源，反之称为非再生能源。风能、水能、海洋能、潮汐能、太阳能和生物质能等是可再生能源；煤、石油和天然气等是非再生能源。地热能基本上是非再生能源，但从地球内部巨大的蕴藏量来看，又具有再生的性质。核能的新发展将使核燃料循环具有增值的性质。核聚变的能比核裂变的能高出5~10倍。核聚变最合适的燃料重氢（氘）大量地存在于海水中，可谓“取之不尽、用之不竭”。核能是未来能源系统的支柱之一。

经济的发展对能源的需求日益增加，许多发达国家都很重视对可再生能源、环保能源及新型能源的开发与研究。随着科学技术的不断进步，人类会不断开发研究出更多新能源来替代现有能源，以满足全球经济发展与人类生存对能源的高需求。能够预计，地球上还有很多尚未被人类发现的新能源。

1.2 新能源汽车的定义与分类

新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源（或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车。非常规的车用燃料是指除汽油、柴油、天然气、液化石油气、乙醇汽油、甲醇等之外的燃料。

新能源汽车没有统一分类标准。目前，我国的新能源汽车主要包括纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车。

1. 纯电动汽车

纯电动汽车（**Blade Electric Vehicles, BEV**）是一种采用单一蓄电池作为储能动力源的汽车，如图1.4所示。它利用蓄电池作为储能动力源，通过储能装置向电动机提供电能，驱动电动机运转，从而推动汽车行驶。纯电动汽车的驱动能量完全由电能提供、由电动机驱动。电动机的驱动电能来源于车载可充电储能系统或其他能量储存装置。



【比亚迪宋纯电动汽车】



图1.4 纯电动汽车

2.增程式电动汽车

增程式电动汽车（**Extended Range Electric Vehicles, EREV**）是一种在纯电动模式下可以达到其所有的动力性能，而当车载可充电储能系统无法满足续驶里程要求时，可打开车载辅助供电装置为动力系统提供电能，以延长续航里程的电动汽车，而且该车载辅助供电装置与驱动系统没有传动轴（带）等传动连接，如图1.5所示。它是介于纯电动汽车和混合动力电动汽车之间的一种过渡车型，具有纯电动汽车和混合动力电动汽车的特征，有人把它划分为纯电动汽车范畴，也有人把它划分为混合动力电动汽车范畴，认为它是一种插电式串联混合动力电动汽车，发动机为驱动电动机或锂电池组供电，不直接驱动电动机。



【商用增程式电动汽车】

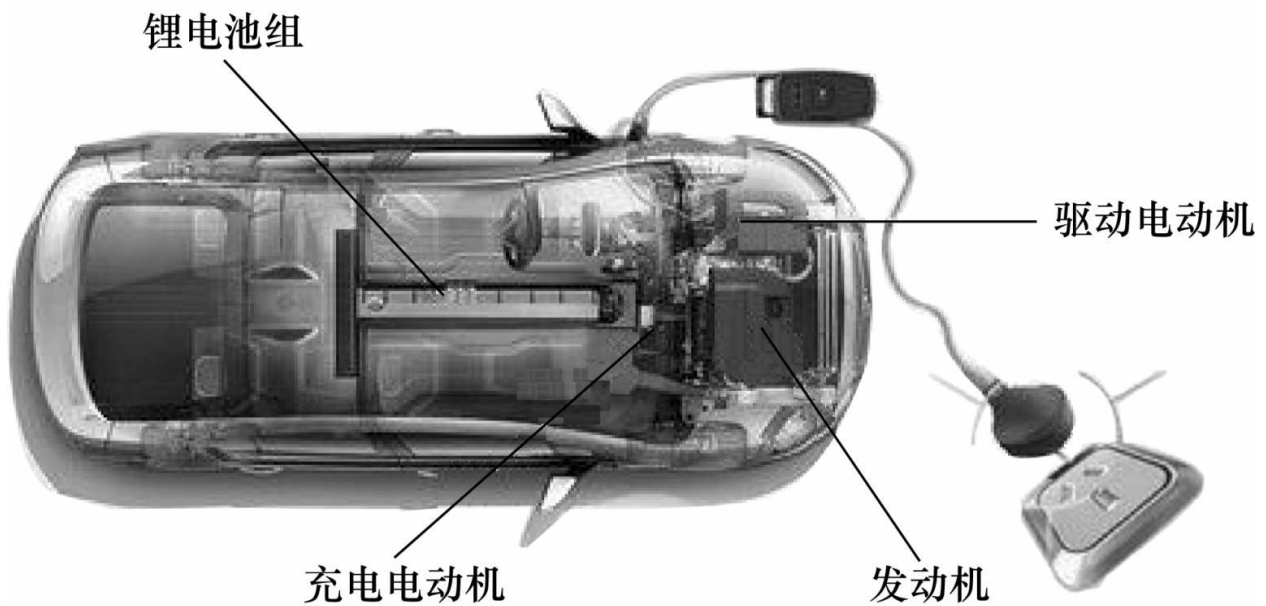


图1.5 增程式电动汽车

3.混合动力电动汽车

混合动力电动汽车（**Hybrid Electric Vehicles, HEV**）是指驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系统联合组成的汽车，汽车的行驶功率依据实际的汽车行驶状态由单个驱动系统单独或多个驱动系

统共同提供。因各个组成部件、布置方式和控制策略的不同，混合动力电动汽车有多种形式。

混合动力电动汽车一般分为常规混合动力电动汽车和插电式混合动力电动汽车（图1.6）。我国把常规混合动力汽车划归于节能汽车，重点发展插电式混合动力电动汽车。



【大众插电式混合动力SUV】

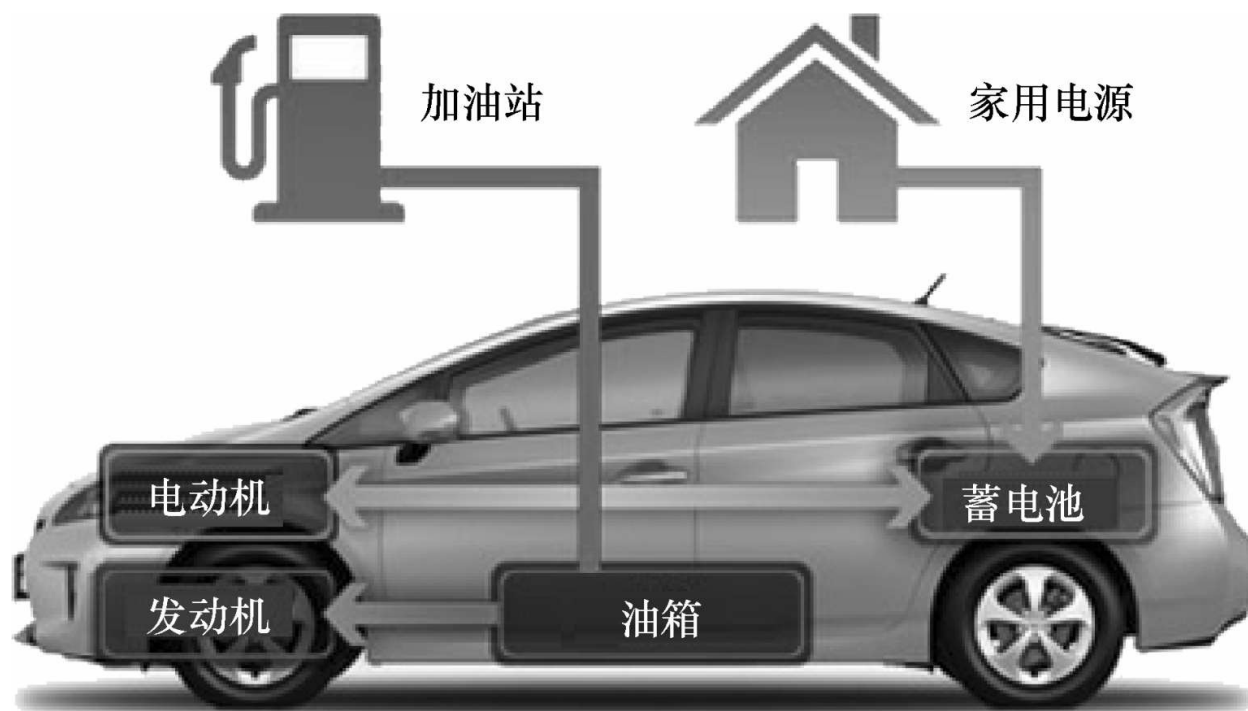


图1.6 插电式混合动力电动汽车

4. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车（**Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV**）是以燃料电池系统作为单一动力源或者是以燃料电池系统与可充电储能系统作为混合动力源的电动汽车，如图1.7所示。以燃料电池系统作为单一动力源的电动汽车称为纯燃料电池电动汽车。以燃料电池系统与可充电储能系统作为混合动力源的电动汽车称为燃料电池混合动力电动汽车。

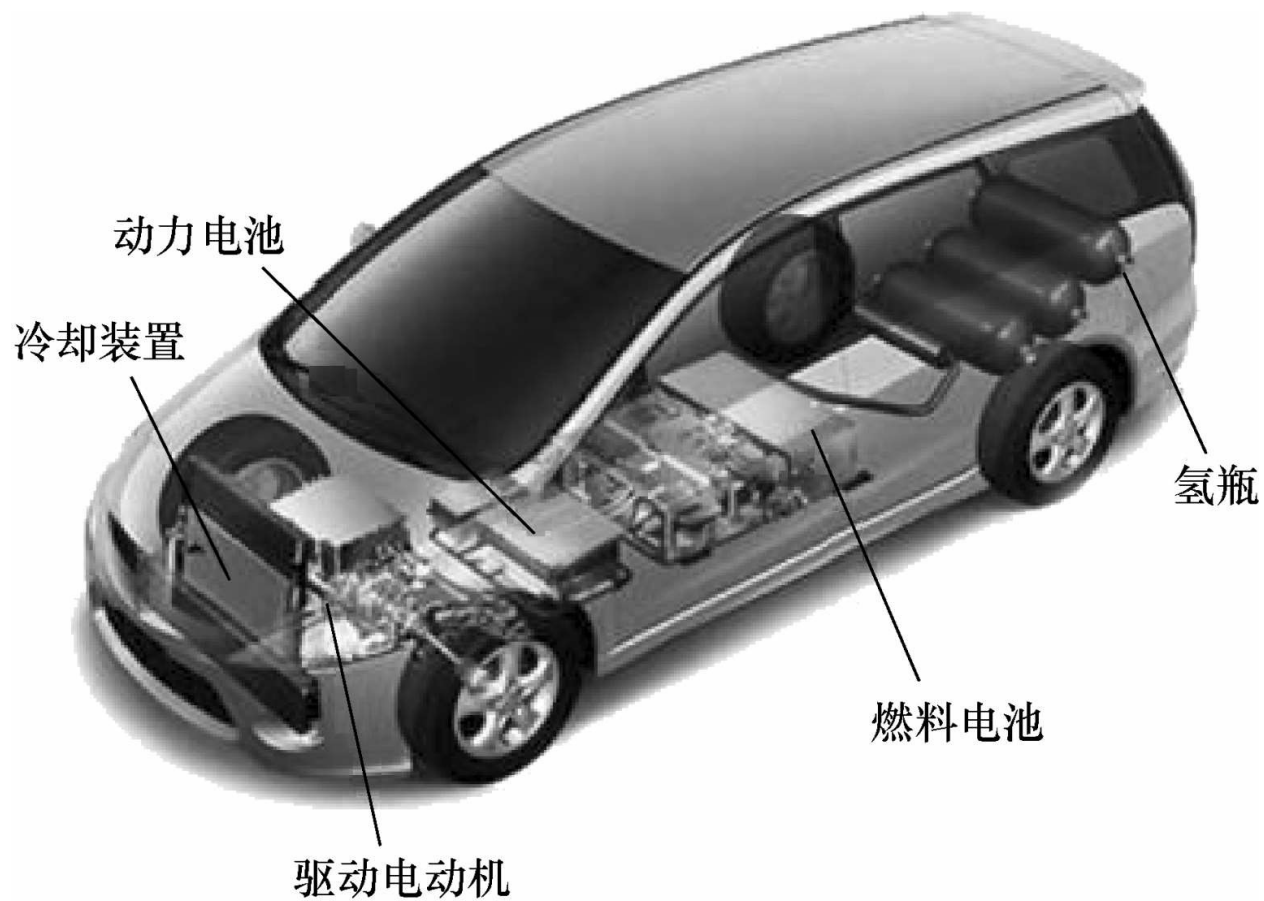


图1.7 燃料电池电动汽车



【上汽燃料电池MPV】

燃料电池电动汽车实质上是纯电动汽车的一种。一般来说，燃料电池是通过电化学反应将化学能转换为电能，电化学反应所需的还原剂一般采用氢气，氧化剂则采用氧气，因此最早开发的燃料电池电动汽车多是直接采用氢燃料，氢气的储存可采用液化氢、压缩氢气或金属氢化物储氢等形式。

1.3 发展新能源汽车的必要性

1.石油短缺

据英国石油公司（BP）发布的《世界能源统计年鉴2019》显示，截至2018年年底，全球已探明石油储量约为17297亿桶，按当前全球需求测算，可供开采使用50年。

从储量上看，最新世界排名前十名的国家或地区依次如下：委内瑞拉，3008.78亿桶；沙特阿拉伯，2664.55亿桶；加拿大，1697.09亿桶；伊朗，1584亿桶；伊拉克，1425.03亿桶；科威特，1015亿桶；阿拉伯联合酋长国，978亿桶；俄罗斯，800亿桶；利比亚，483.63亿桶；美国，392.3亿桶。中国，256.2亿桶，位于第十三位。

我国是一个石油消费大国。2018年，我国石油消费量达到6.51亿吨，1吨原油相当于7桶原油，也就是说我国平均每天的石油消费量就达到了1250万桶；石油进口量已经达到了4.62亿吨，对外依存度超过了70%。

石油在交通领域的消费逐年增长。据预测，到2020年交通用油占全球石油总消耗的62%以上。美国能源部预测，2020年以后，全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口，2050年的供需缺口几乎相当于2000年世界石油总产量的两倍。

目前世界汽车保有量突破10亿辆，预计到2030年全球汽车保有量将突破20亿辆，主要增量来自发展中国家，其中中国增速全球第一。

我国汽车产销量逐年增加。2019年我国汽车产销量分别为2572.1万辆和2576.9万辆，连续十一年蝉联全球第一，继续成为世界第一大汽车生产大国和第一新车销售市场。

我国汽车保有量增加迅速。截至2011年8月底，我国汽车保有量突破1亿辆，居世界第二位。截至2019年年底，我国机动车保有量达到3.48亿辆，其中汽车保有量为2.6亿辆，由此带来的能源安全问题将更加突出。

汽车消费的快速增长导致石油消耗加速增长。我国机动车燃油消耗量约占全国总油耗的1/3以上，这也使得中国石油对外依存度每年都在不断攀升。据统计，目前汽车用汽柴油消费占全国汽柴油消费的比例约为55%，每年新增石油消费量的70%以上被新增汽车所消耗。

2.环境污染

燃油汽车在行驶过程中会产生大量的有害气体，不但污染环境，还大大地影响人类健康。汽车尾气排放的主要污染物为一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、铅、细微颗粒物及硫化物等。这些一次污染物还会通过大气化学反应生成光化学烟雾、酸沉降等二次污染物。据统计，全球大气污染42%源于交通车辆产生的污染。随着城市机动车数量的快速增长，机动车排气污染已成为城市大气污染的主要来源。一些城市中机动车排放的污染物对多项大气污染指标的贡献率已达到70%以上。机动车排放污染已对城市大气污染构成了严重威胁。

3.气候变暖

能源的大量消耗带来温室气体排放问题。二氧化碳是全球最重要的温室气体，是造成气候变化的主要原因，而它主要来自化石燃料的燃烧。

许多科学家预测，人类在未来50~100年将完全进入一个变暖的世界。由于受到人类活动的影响，温室气体和硫化物气溶胶的浓度增加过快，未来100年全球平均地表温度将上升1.4~5.8℃，到2050年我国平均气温将上升2.2℃。

越来越多的证据表明，气候变暖是由于大气中聚集了大量温室气体（主要是二氧化碳），而人类活动是造成气候变暖的重要原因。

气候变化风险加剧，交通领域二氧化碳排放成为关注重点。据国际能源署（International Energy Agency, IEA）估计，1990年汽车二氧化碳总排放量为29亿吨，到2020年将增加到60亿吨。汽车对地球环境影响巨大。

在能源和环保的压力下，新能源汽车无疑成为未来汽车的发展方向。一些国家已经发布禁售燃油汽车的时间表，荷兰和挪威将从**2025**年开始禁售燃油汽车，印度和德国将从**2030**年开始禁售燃油汽车，法

国将从**2040**年开始禁售燃油汽车。

1.4 新能源汽车技术路线

2017年，我国发布了《节能与新能源汽车技术路线图》。

1.主要里程碑

(1) 至2020年。乘用车新车平均油耗5.0L/100km，商用车新车油耗接近国际先进水平，新能源汽车销量占汽车总体销量的比例达到7%以上，驾驶辅助/部分自动驾驶车辆市场占有率达到50%。

(2) 至2025年。乘用车新车平均油耗4.0L/100km，商用车新车油耗达到国际先进水平，新能源汽车销量占汽车总体销量的比例达到20%以上，高度自动驾驶车辆市场占有率达到约15%。

(3) 至2030年。乘用车新车油耗3.2L/100km，商用车油耗同步国际先进水平，新能源汽车销量占汽车总体销量的比例达到40%以上，完全自动驾驶车辆市场占有率接近10%。

2.节能汽车

节能汽车方面总体思路是以混合动力为重点，以动力总成优化升级，先进电子电气技术为支撑，全面提升传统燃油汽车节能技术和燃油经济水平。

(1) 以混合动力技术为重点，以动力总成优化升级、降低摩擦和先进电子电气技术为支撑，全面提升传统燃油汽车节能技术和燃油经济性水平。

(2) 以结构节能和技术节能并重，加快紧凑型及以下小型车的推广，显著提高小型车的比例。

(3) 以发展天然气车辆为主要方向，因地制宜适度发展替代燃料汽车，推动我国汽车燃料的低碳化、多元化，降低对石油的依赖。

节能汽车技术路线如图1.8所示。

发展目标	技术路径	发展重点
<p>乘用车新车平均油耗</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年：5.0L/100km ➤ 2025年：4.0L/100km ➤ 2030年：3.2L/100km <p>商用车平均油耗相比2015年</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年：降低10% ➤ 2025年：降低15% ➤ 2030年：降低20% <p>节能汽车市场占有率</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2020年：30% ➤ 2025年：40% ➤ 2030年：50% 	<p>节能乘用车</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 提高发动机热效率 ➤ 优化动力总成匹配 ➤ 降低传动损失 ➤ 减少整车能量损耗 ➤ 混合动力发动机专用化 ➤ 提高混合动力系统效率 <p>节能商用车</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 提高柴油机热效率 ➤ 降低整车能量损耗 ➤ 混合动力 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 先进内燃机燃烧机理研究 ✓ 自主控制系统开发 ✓ 全可变气门技术 ✓ 废气能量回收 ✓ 发动机热管理技术 ✓ 变速器自动化、高效化及核心零部件技术 ✓ 低摩擦技术研究 ✓ 增压器与应用技术 ✓ 先进燃油喷射系统研究 ✓ 48V系统开发 ✓ 混合动力发动机技术 ✓ 混合动力机电耦合技术

图1.8 节能汽车技术路线

3. 纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车

纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车的总体思路如下。

(1) 在应用领域上，以中型及以下车型规模化发展纯电动乘用车为主，实现纯电动技术在家庭用车、公务用车、租赁服务及短途商用车等领域的推广应用。

(2) 以紧凑型及以上车型规模化发展插电式混合动力乘用车为主，实现插电式混合动力技术在私人用车、公务用车及其他日均行驶里程较短的领域推广应用。

(3) 以动力电池、驱动电动机突破发展支撑整车竞争力提升并实现关键部件批量出口。

(4) 以覆盖全国的充电设施与服务网络建设支撑电动汽车大规模推广。

纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车技术路线如图1.9所示。

发展目标	技术路径	发展重点																		
<p>纯电动乘用车续航里程</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>300km</td> <td>400km</td> <td>500km</td> </tr> </tbody> </table> <p>公交客车单位载质量电耗水平 [kW·h/(100km·t)]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.5</td> <td>3.2</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>插电式混合动力汽车混动模式油耗</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>比2020年传统燃油汽车降低25%</td> <td>比2020年插电式混合动力电动汽车降低10%</td> <td>比2020年插电式混合动力电动汽车降低20%</td> </tr> </tbody> </table>	2020年	2025年	2030年	300km	400km	500km	2020年	2025年	2030年	3.5	3.2	3.0	2020年	2025年	2030年	比2020年传统燃油汽车降低25%	比2020年插电式混合动力电动汽车降低10%	比2020年插电式混合动力电动汽车降低20%	<p>纯电动汽车</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 提高动力电池能量密度 ▶ 提高电驱动系统效率 ▶ 底盘电动专用化 <p>插电式混合动力汽车</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 优化混合动力系统构型 ▶ 基于多信息的整车预测控制 ▶ 动力系统集成设计 <p>充电基础设施</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 快速充电技术 ▶ 互联互通技术 ▶ 充电便利性 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低成本、高效率混合动力总成开发技术 ✓ 动力电机与底盘集成技术 ✓ 纯电动汽车动力系统集成及其控制技术 ✓ 高性能动力电机技术 ✓ 新型电机控制器技术 ✓ 先进充电技术 ✓ 整车智能能量管理技术 ✓ 纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车整车控制技术
2020年	2025年	2030年																		
300km	400km	500km																		
2020年	2025年	2030年																		
3.5	3.2	3.0																		
2020年	2025年	2030年																		
比2020年传统燃油汽车降低25%	比2020年插电式混合动力电动汽车降低10%	比2020年插电式混合动力电动汽车降低20%																		

图1.9 纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车技术路线

4.燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车的总体思路如下。

(1) 近期（5年内）以中等功率燃料电池与大容量动力蓄电池的深度混合动力构型为技术特征，实现燃料电池电动汽车在特定地区的公共服务用车领域大规模示范应用。

(2) 中期（10年内）以大功率燃料电池与中等容量动力蓄电池的电混合为技术特征，实现燃料电池电动汽车的较大规模批量化商业应用。

(3) 远期（15年内）以全功率燃料电池为动力特征，在私人乘用车、大型商用车领域实现百万辆规模的商业推广；以可再生能源为主的氢能供应体系建设与规模扩大支撑燃料电池电动汽车规模化发展。

燃料电池电动汽车技术路线如图1.10所示。

发展目标	技术路径	发展重点																		
2020—2030年逐步由示范运行向大规模推广应用发展 ▶ 燃料电池车发展规模 <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5000辆</td> <td>5万辆</td> <td>百万辆</td> </tr> </tbody> </table> ▶ 燃料电池堆比功率(kW/kg) <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table> ▶ 燃料电池堆耐久性(h) <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5000</td> <td>6000</td> <td>8000</td> </tr> </tbody> </table>	2020年	2025年	2030年	5000辆	5万辆	百万辆	2020年	2025年	2030年	2	2.5	2.5	2020年	2025年	2030年	5000	6000	8000	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 燃料电池关键材料技术 ▶ 电堆技术 ▶ 系统集成与控制技术 ▶ 动力系统开发技术 ▶ 燃料电池电动汽车的设计与集成技术 ▶ 提高功率密度 ▶ 提高耐久性 ▶ 降低成本 ▶ 提高载氢安全 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 新型燃料电池核心材料 ✓ 先进燃料电池电堆 ✓ 关键辅助系统零部件技术 ✓ 高性能燃料电池系统 ✓ 混合型燃料电池动力系统 ✓ 制氢、运氢、储氢及加氢基础设施
2020年	2025年	2030年																		
5000辆	5万辆	百万辆																		
2020年	2025年	2030年																		
2	2.5	2.5																		
2020年	2025年	2030年																		
5000	6000	8000																		

图1.10 燃料电池电动汽车技术路线

思考题

- 1.什么是能源？能源如何分类？
- 2.什么是新能源汽车？新能源汽车主要包括哪些类型？
- 3.为什么要大力发展新能源汽车？
- 4.我国新能源汽车技术路线是什么？

第2章

新能源汽车类型

教学目标

通过本章的学习，要求读者能够掌握纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的类型、结构、原理和特点等。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
纯电动汽车	掌握纯电动汽车的结构、原理、驱动系统布置形式和特点，了解技术条件、关键技术和主要车型特点	纯电动汽车的结构、原理、驱动系统布置形式和特点
增程式电动汽车	掌握增程式电动汽车的结构、原理和特点，了解增程器的类型和主要车型特点	增程式电动汽车的结构、原理、传动系统布置形式和特点
混合动力电动汽车	掌握混合动力电动汽车的分类、结构、原理和特点，了解动力耦合类型、关键技术和主要车型特点	混合动力电动汽车的结构、原理、动力耦合类型和特点
燃料电池电动汽车	掌握燃料电池电动汽车的类型、结构、原理和特点，了解关键技术和主要车型特点	燃料电池电动汽车的结构、原理、关键技术和特点

导入案例

2018年，我国新能源汽车产销量分别完成127万辆和125.6万辆，比2017年同期分别增长59.9%和61.7%。其中纯电动汽车产销量分别完成98.6万辆和98.4万辆，比2017年同期分别增长47.9%和50.8%；插电式混合动力电动汽车产销量分别完成28.3万辆和27.1万辆，比2017年同期分别增长122%和118%；燃料电池电动汽车产销量完成1527辆。图2.1所示为2013年—2018年新能源汽车销量及增长率。可以看出，2018年新能源汽车销量突破100万辆。

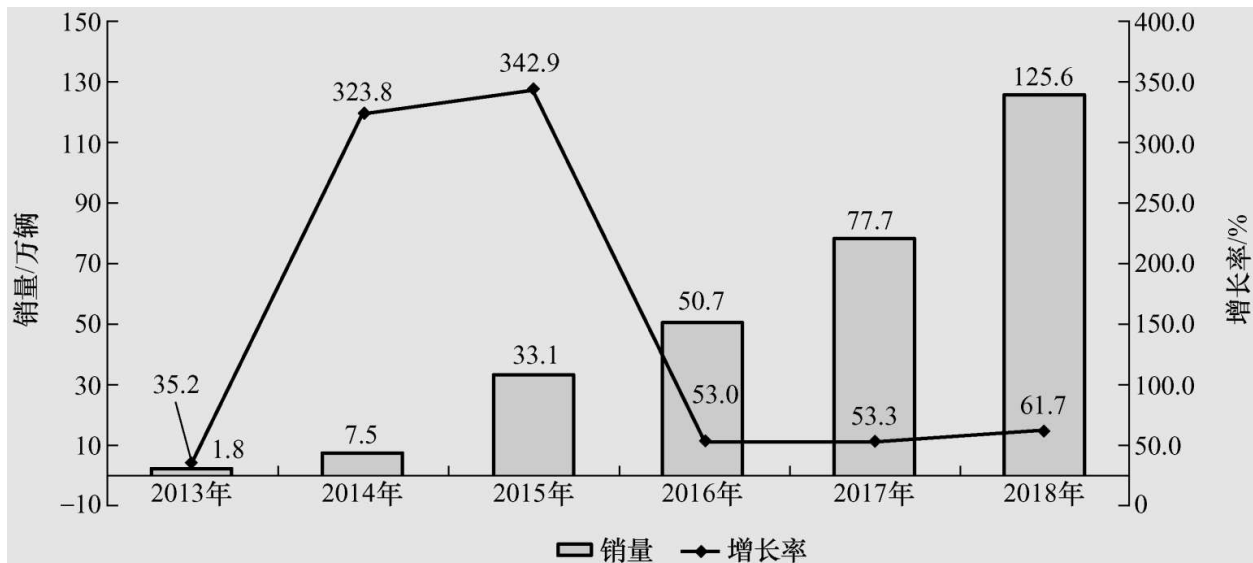


图2.1 2013年—2018年新能源汽车销量及增长率

新能源汽车包括哪些主要类型？其基本结构与原理怎样？通过本章的学习，读者可以得到答案。

石油短缺、环境污染、气候变暖是全球汽车产业面对的共同挑战，发展新能源汽车已成为共识，新能源汽车已经成为21世纪汽车工业发展的热点。

2.1 纯电动汽车

纯电动汽车是指由电动机驱动的汽车，电动机的驱动电能来源于车载可充电蓄电池或其他能量储存装置。纯电动汽车的电动机相当于内燃机汽车的发动机，蓄电池或其他能量储存装置相当于内燃机汽车油箱中的燃料。

2.1.1 纯电动汽车的结构原理

内燃机汽车主要由发动机、底盘、车身和电器设备四大部分组成。发动机把燃料燃烧产生的热能转换为机械能，再通过底盘上的传动机构，将动力传给驱动车轮，使汽车行驶。纯电动汽车与内燃机汽车相比，取消了发动机，底盘上的传动机构发生了改变，根据驱动方式不同，有些部件已被简化或省去；增加了电源系统和驱动电动机系统等。

典型纯电动汽车结构框图如图2.2所示。纯电动汽车主要由电源系统、驱动电动机系统、整车控制器和辅助系统等组成。动力蓄电池输出电能，通过电动机控制器驱动电动机运转产生动力，再通过底盘上的传动机构，将动力传给驱动车轮，使电动汽车行驶。

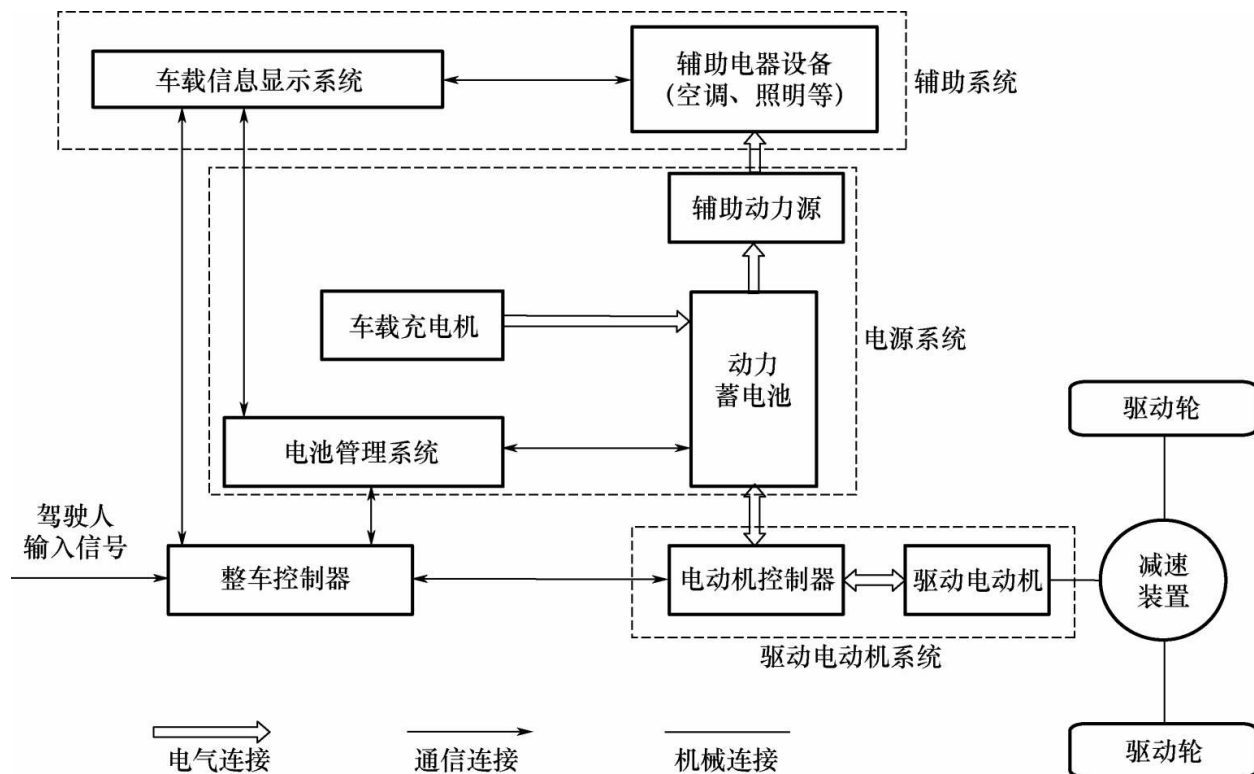


图2.2 典型纯电动汽车结构框图

1. 电源系统

电源系统主要包括动力蓄电池、电池管理系统、车载充电机及辅助动力源等。动力蓄电池是电动汽车的动力源，是能量的存储装置，也是目前制约电动汽车发展的关键因素。要使电动汽车能与内燃机汽车相竞争，关键是开发出比能量高、比功率大、使用寿命长、成本低的动力蓄电池。电池管理系统实时监控动力蓄电池的使用情况，对动力蓄电池的端电压、内阻、温度、电解液浓度、当前电池剩余电量、放电时间、放电电流或放电深度等动力蓄电池状态参数进行检测；并按动力蓄电池对环境温度的要求进行调温控制；通过限流控制避免动力蓄电池过充电、过放电；对有关参数进行显示和报警，其信号流向辅助系统的车载信息显示系统，以便驾驶人随时掌握并配合其操作，按需要及时对动力蓄电池充电并进行维护保养。车载充电机是把电网供电制式转变为对动力蓄电池充电要求的制式，即把交流电转变为相应电压的直流电，并按要求控制其充电电流。辅助动力源是供给电动汽车各种辅助装置所需的动力电源，一般为12V或24V的直流低压电源，主要给动力转向、制动力调节控制、照明、空调、电动窗门等各种辅助装置提供所需的能源。



【电动汽车三电系统】

2.驱动电动机系统

驱动电动机系统主要包括电动机控制器和驱动电动机。电动机控制器是按整车控制器的指令、驱动电动机的转速和电流反馈信号等，对驱动电动机的转速、转矩和旋转方向进行控制；驱动电动机在纯电动汽车中承担着电动机和发电机的双重功能，即在正常行驶时发挥其主要的电动机功能，将电能转换为机械旋转能；而在减速和下坡滑行时进行发电，将车轮的惯性动能转换为电能。

3.整车控制器

整车控制器根据驾驶人输入的加速踏板和制动踏板的信号，向电动机控制器发出相应的控制指令，对电动机进行起动、加速、减速、制动控制。在纯电动汽车减速和下坡滑行时，整车控制器配合电源系统的电池管理系统进行发电回馈，使动力蓄电池反向充电。对于与汽车行驶状况有关的速度、功率、电压、电流及有关故障诊断等信息还需传输到车载信息显示系统进行相应的数字或模拟显示。

4.辅助系统

辅助系统包括车载信息显示系统、动力转向系统、导航系统、空调、照明、除霜装置、刮水器和收音机等。这些辅助设备可以提高汽车的可操纵性和乘员的舒适性。

2.1.2 纯电动汽车驱动系统的布置形式

纯电动汽车驱动系统的布置形式是指驱动轮数量、位置及驱动电动机系统布置的形式。电动汽车的驱动系统是电动汽车的核心部分，其性能决定着电动汽车的运行性能。电动汽车的驱动系统布置取决于电动机的驱动方式，可以有多种形式。

1. 后轮驱动形式

后轮驱动形式是传统的布置形式，有利于车轴负荷分配均匀，汽车操纵稳定性、行驶平顺性比较好，适合中高级电动轿车和各种类型电动客货车。

后轮驱动形式主要有以下几种。

(1) 传统后轮驱动布置形式。传统后轮驱动布置形式如图2.3所示。此种布置形式与传统内燃机汽车的后轮驱动布置形式基本一致，带有变速器、离合器和传动轴，驱动桥与内燃机汽车驱动桥一样，只是将发动机换成电动机。变速器通常有2~3个挡位，可以提高电动汽车的起动转矩，增加低速时电动汽车的后备功率，一般用于改造型电动汽车。

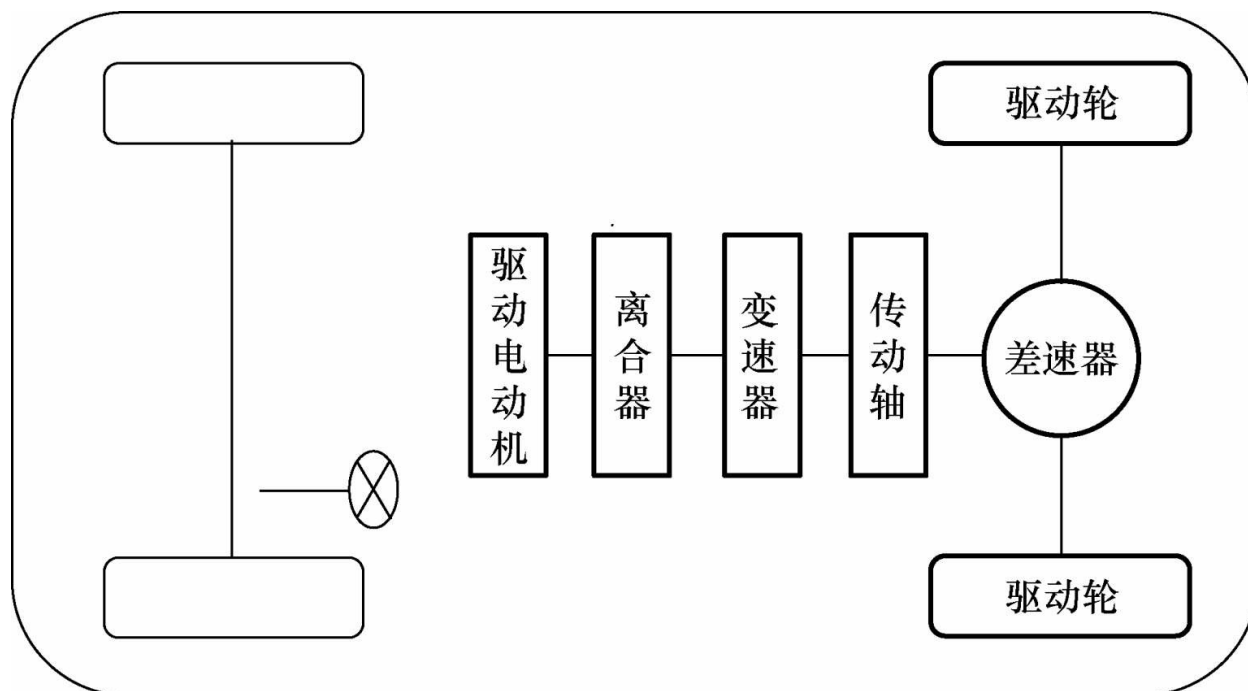


图2.3 传统后轮驱动布置形式

(2) 电动机驱动桥组合后轮驱动布置形式。电动机驱动桥组合后轮驱动布置形式如图2.4所示。此种布置形式取消了离合器、变速器和传动轴，但具有减速差速机构，把驱动电动机、固定速比的减速器和差速器集成为一个整体，通过两个半轴来驱动车轮。此种布置形式的整个传动长度比较短，传动装置体积小，占用空间小，容易布置，可以进一步降低整车质量；但对电动机的要求较高，不仅要求电动机具有较高的起动转矩，而且要求具有较大的后备功率，以保证电动汽车的起动、爬坡、加速超车等动力性。一般低速电动汽车采用这种布置形式。

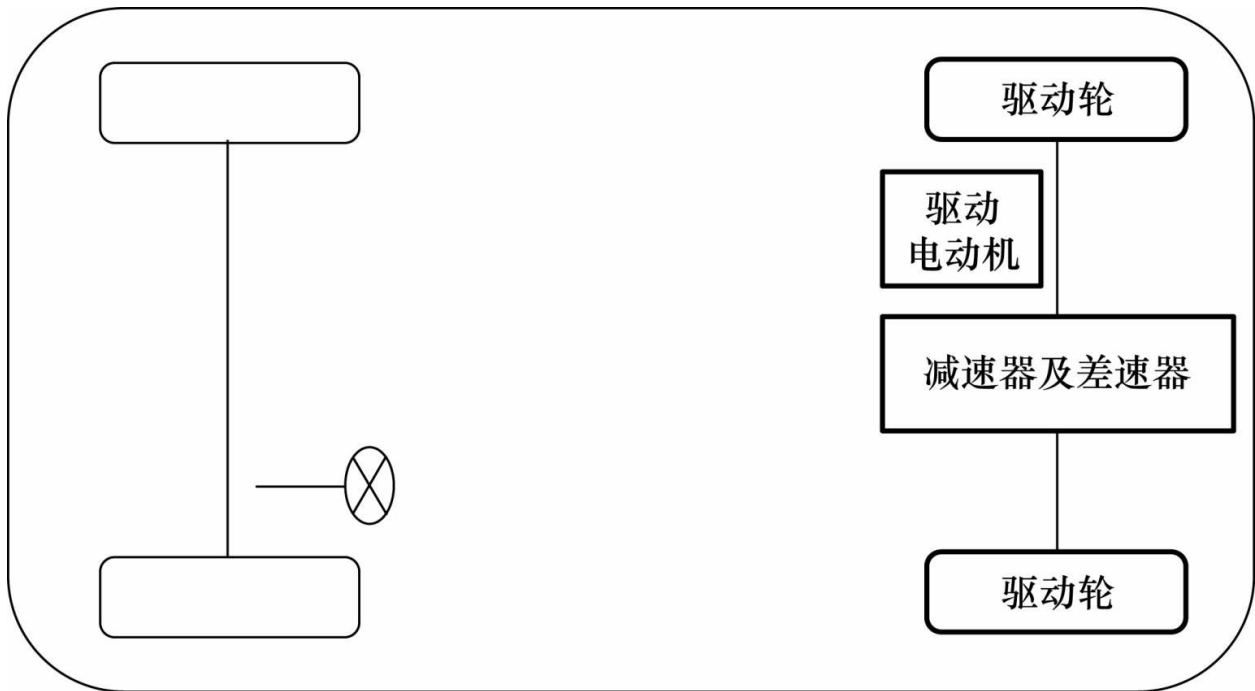


图2.4 电动机驱动桥组合后轮驱动布置形式

电动机驱动桥组合后轮驱动布置形式采用的驱动桥与内燃机汽车的驱动桥不同，需要电动汽车专用驱动桥，如图2.5所示。

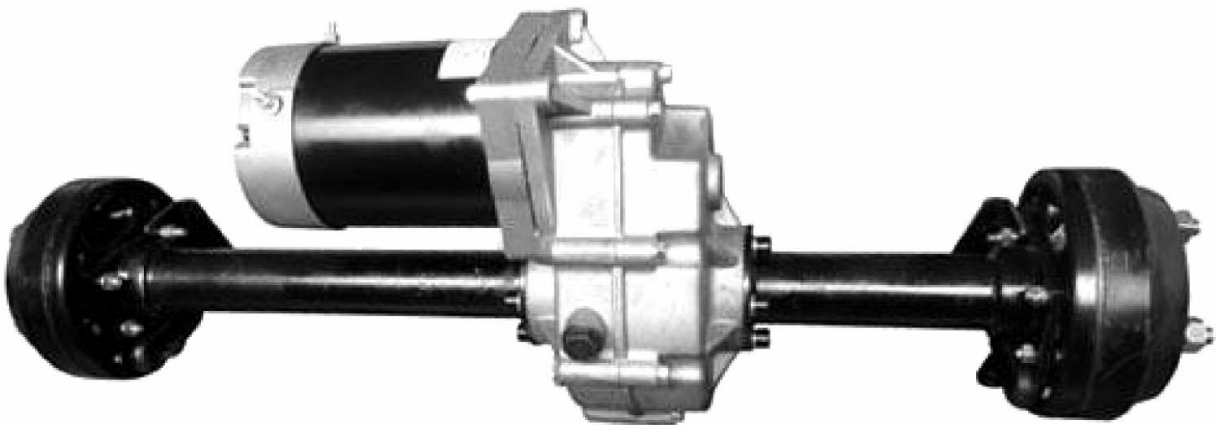


图2.5 电动汽车专用驱动桥

(3) 电动机变速器一体化后轮驱动布置形式。电动机变速器一体化后轮驱动布置形式如图2.6所示。相比单一的电动机驱动系统，一体化系统可以综合协调控制电动机和变速器，最大程度改善电动机输出动力特性，增大电动机转矩输出范围，在提升电动汽车的动力性的同时，使电动机最大限度地工作在高效经济区域内。变速器一般采用二挡自动变速器。

(4) 双电动机整体后轮驱动布置形式。双电动机整体后轮驱动布置形式如图2.7所示。此种布置形式的最大特点是取消了机械式差速器，采用两个电动机，通过固定的减速器，分别驱动两个车轮，每个电动机的转速可以独立地调节控制，通过电子差速器来解决左右半轴的差速问题。此种布置形式使得电动汽车更加灵活，在复杂的路况上可以获得更好的整车动力性能。由于采用电子差速器，传动系统体积进一步减小，节省了空间，质量也进一步减轻，提高了传动效率。但是，这种传动方式同样对电动机有较高的要求：要有大的起动转矩和后备功率；不仅要求控制系统有较高的控制精度，而且要具备良好的可靠性，从而保证电动汽车行驶的安全及平稳。

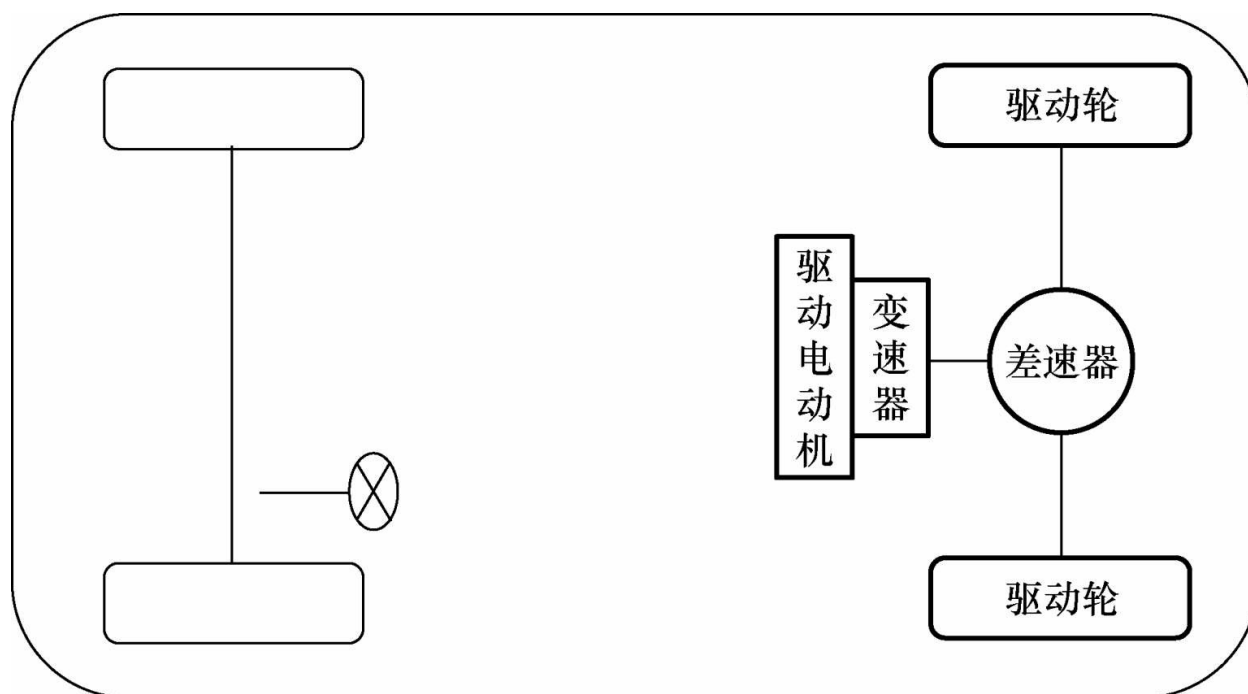


图2.6 电动机变速器一体化后轮驱动布置形式

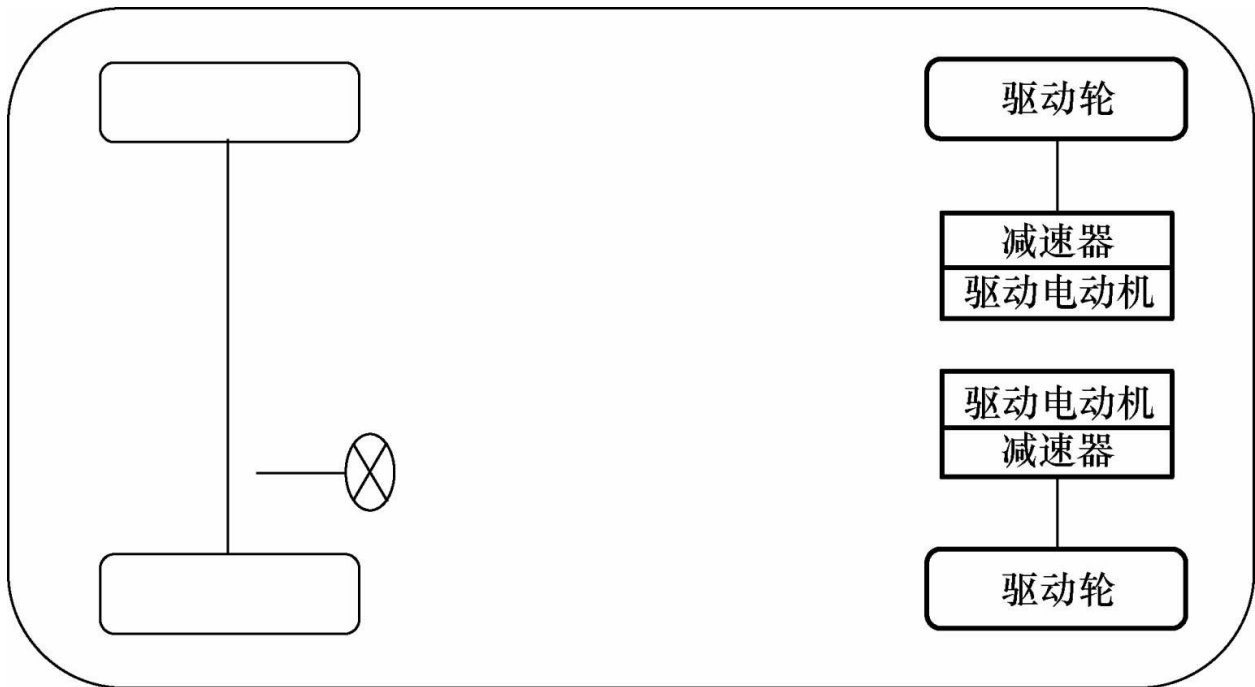


图2.7 双电动机整体后轮驱动布置形式

(5) 轮边电动机后轮驱动布置形式。轮边电动机后轮驱动布置形式如图2.8所示，轮边电动机与减速器集成后融入驱动桥，采用刚性连接，减少高压电器数量和动力传输线路长度；优化后的驱动系统可降低车身高度、提高承载量、提升有效空间。

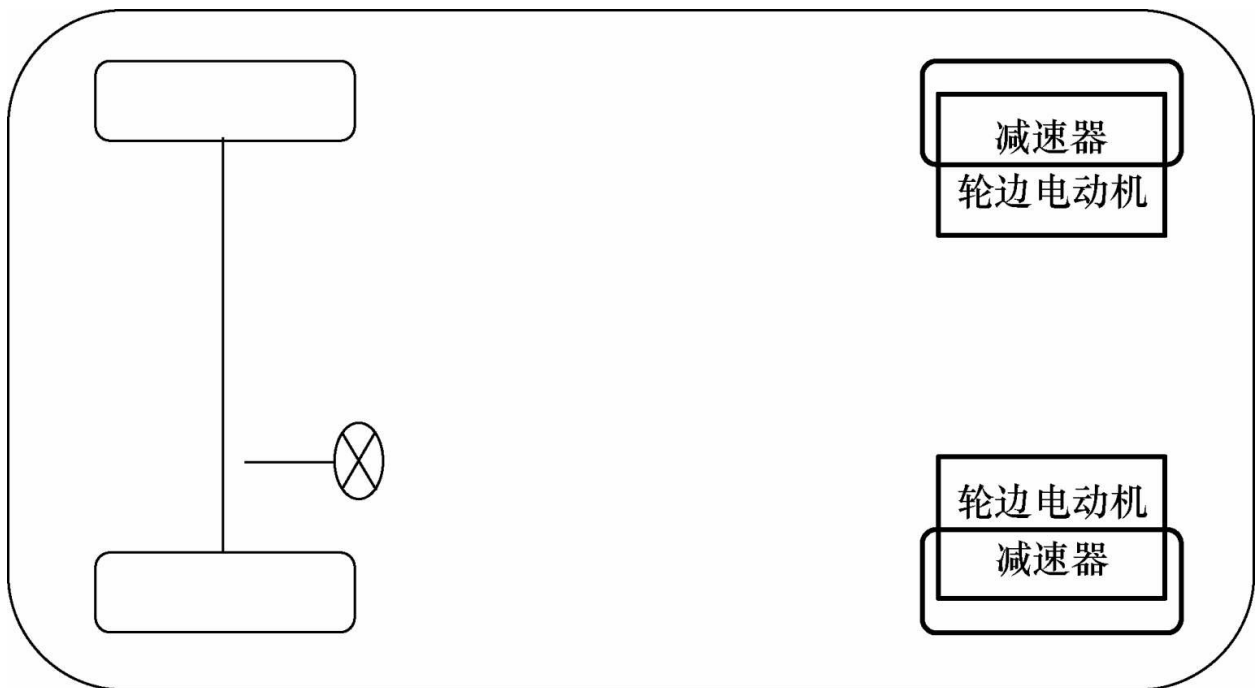


图2.8 轮边电动机后轮驱动布置形式

轮边电动机后轮驱动布置形式可用于电动客车。图2.9所示为某电动客车采用的轮边电动机后轮驱动桥实物。

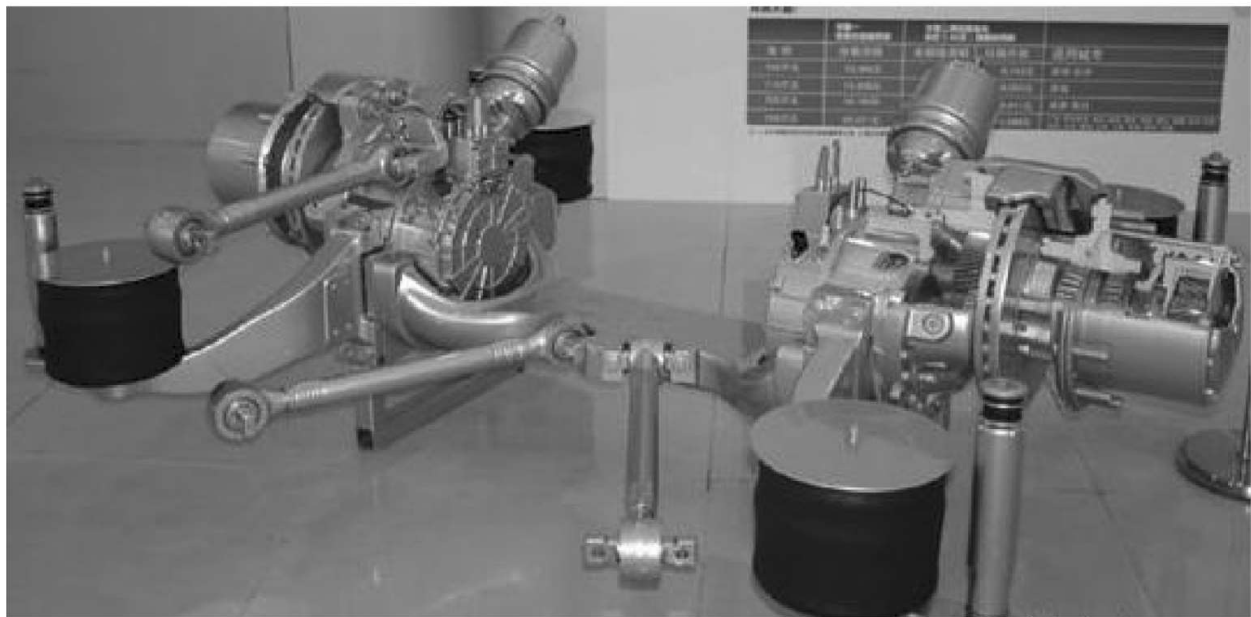


图2.9 某电动客车采用的轮边电动机后轮驱动桥实物

(6) 轮毂电动机后轮驱动布置形式。轮毂电动机后轮驱动布置形式如图2.10所示，轮毂电动机直接安装在车轮上，此时，轮毂是电动机的转子，羊角轴承座是定子。

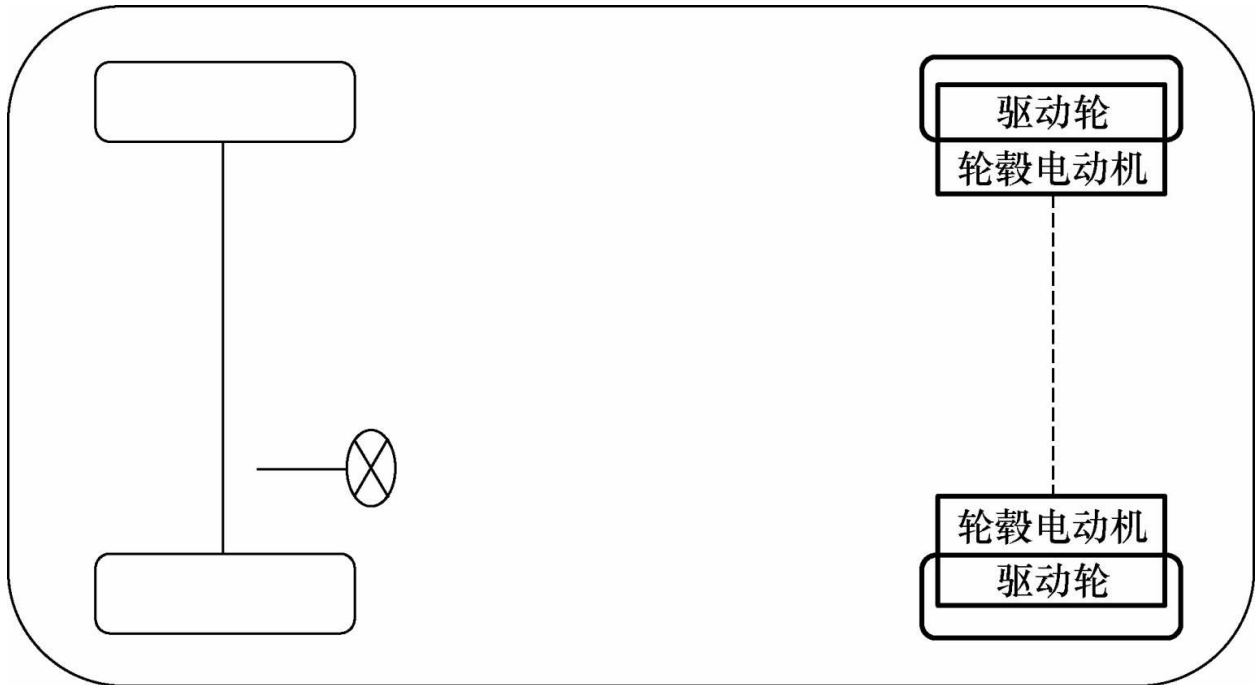


图2.10 轮毂电动机后轮驱动布置形式

图2.11所示为轮毂电动机后轮驱动纯电动汽车。轮毂电动机后轮驱动布置形式大大减少了零部件数量，减小了动力系统的体积，使车辆的动力系统变得更加简单，大大提高了车内空间的实用性和利用率。每个车轮有独立轮毂电动机的纯电动汽车与一般纯电动汽车相比，省掉了传动半轴和差速器等装置，节省了大量空间，传动效率更高。动力蓄电池布置在传统的发动机舱中，而逆变器、辅助电池、充电机等布置在车尾附近，根据实际需要，未来可以在车辆上灵活地布置电池组的位置。另外，在满足目前空间需求的前提下，未来使用轮毂电动机驱动的车辆，其体积可以变得更加小巧，这将改善城市的拥堵和停车等问题。同时，独立的轮毂电动机在驱动车辆方面灵活性更高，能够实现传统车辆难以实现的功能或驾驶特性。

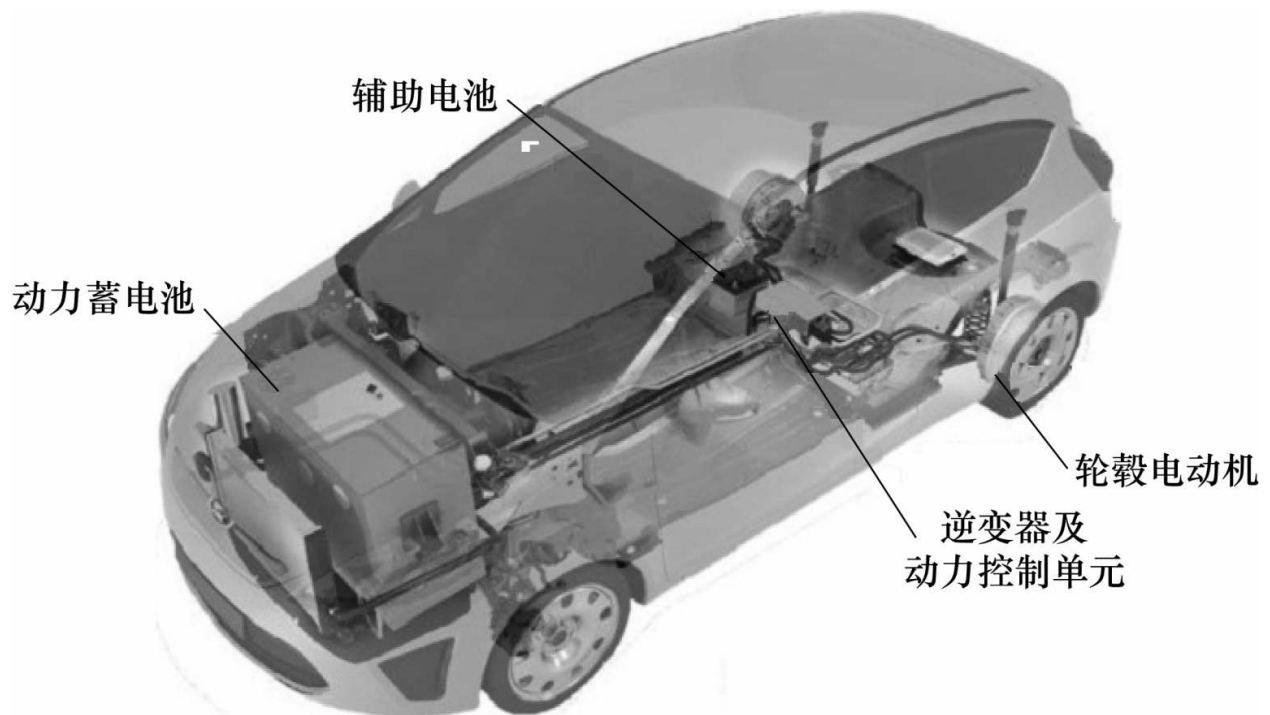


图2.11 轮毂电动机后轮驱动纯电动汽车

轮边电动机后轮驱动布置形式和轮毂电动机后轮驱动布置形式，理论上可以实现任何一种驱动形式，但由于成本过高，目前还没有厂家推出量产车，更多的是作为试验车或改装车存在。

2.前轮驱动形式

前轮驱动纯电动汽车结构紧凑，有利于其他总成的安排，在转向和加速时行驶稳定性较好；前轮驱动兼转向，结构复杂，上坡时前轮附着能力减小，易打滑；适合于中级及中级以下的电动轿车。

前轮驱动形式主要有以下几种。

(1) 电动机驱动桥组合前轮驱动布置形式。电动机驱动桥组合前轮驱动布置形式如图2.12所示。

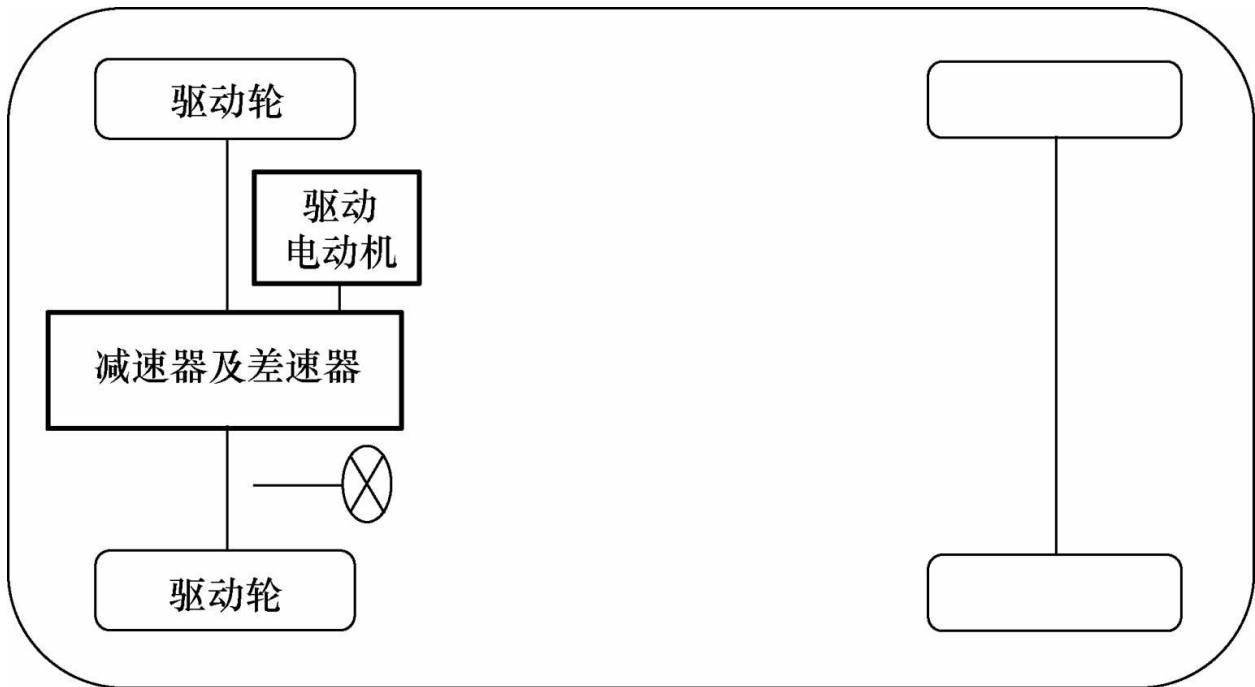


图2.12 电动机驱动桥组合前轮驱动布置形式

电动机驱动桥组合前轮驱动布置形式需要电动汽车专用前轮驱动转向桥，如图2.13所示。



图2.13 电动汽车专用前轮驱动转向桥

(2) 电动机变速器一体化前轮驱动布置形式。电动机变速器一体化前轮驱动布置形式如图2.14所示。

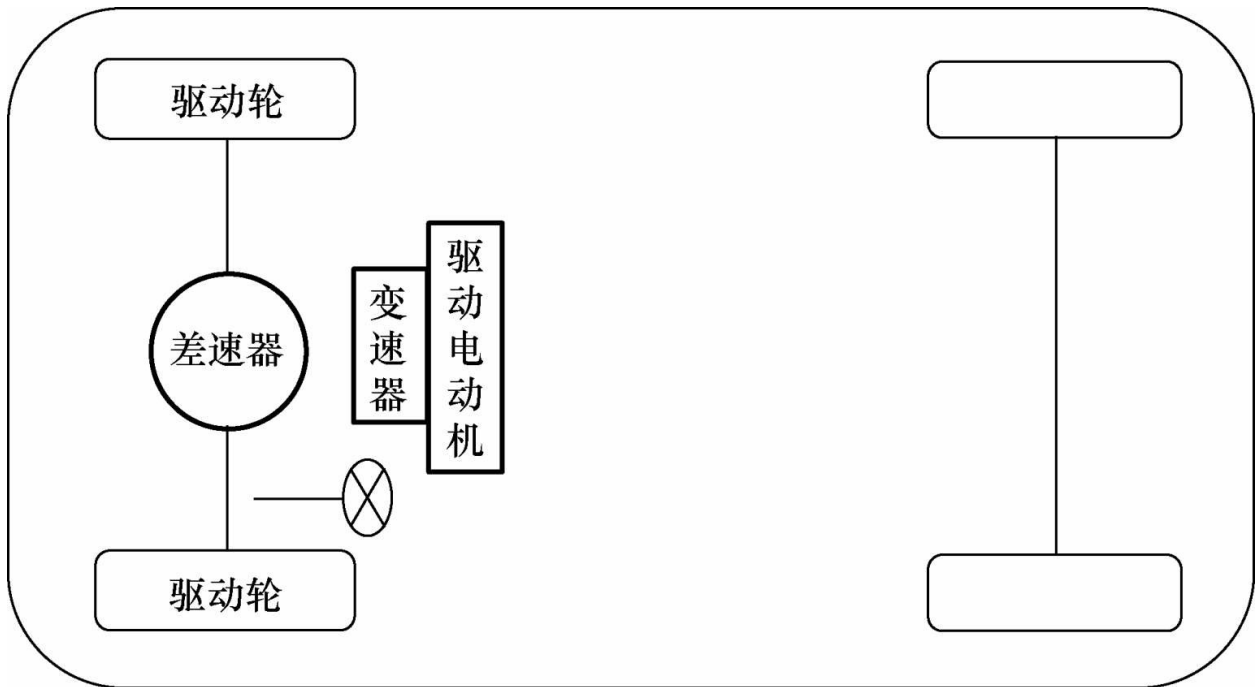


图2.14 电动机变速器一体化前轮驱动布置形式

(3) 双电动机整体前轮驱动布置形式。双电动机整体前轮驱动布置形式如图2.15所示。

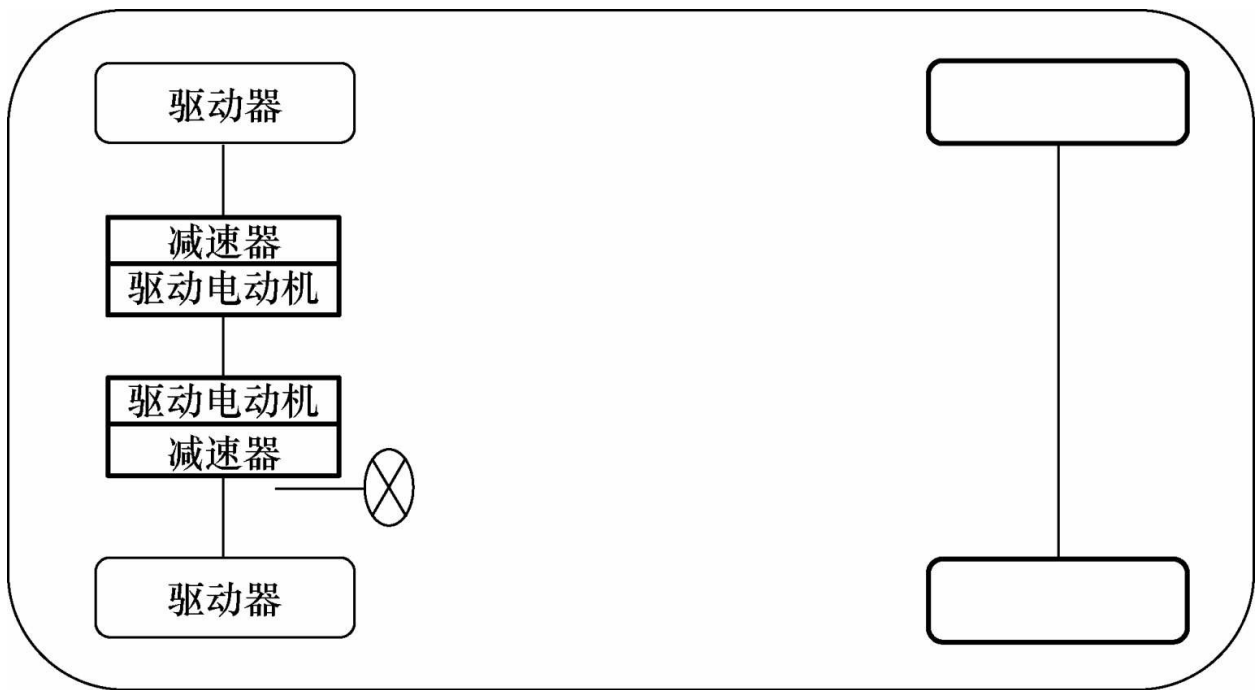


图2.15 双电动机整体前轮驱动布置形式

(4) 轮边电动机前轮驱动布置形式。轮边电动机前轮驱动布置形

式如图2.16所示。

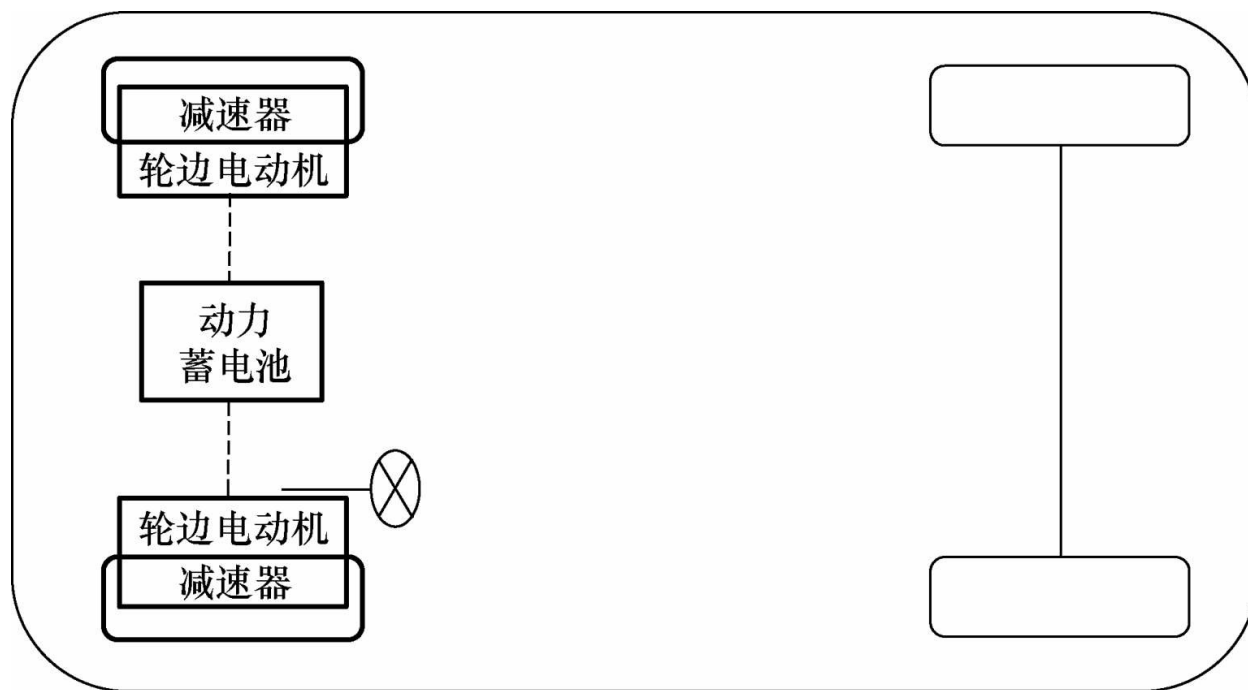


图2.16 轮边电动机前轮驱动布置形式

(5) 轮毂电动机前轮驱动布置形式。轮毂电动机前轮驱动布置形式如图2.17所示。

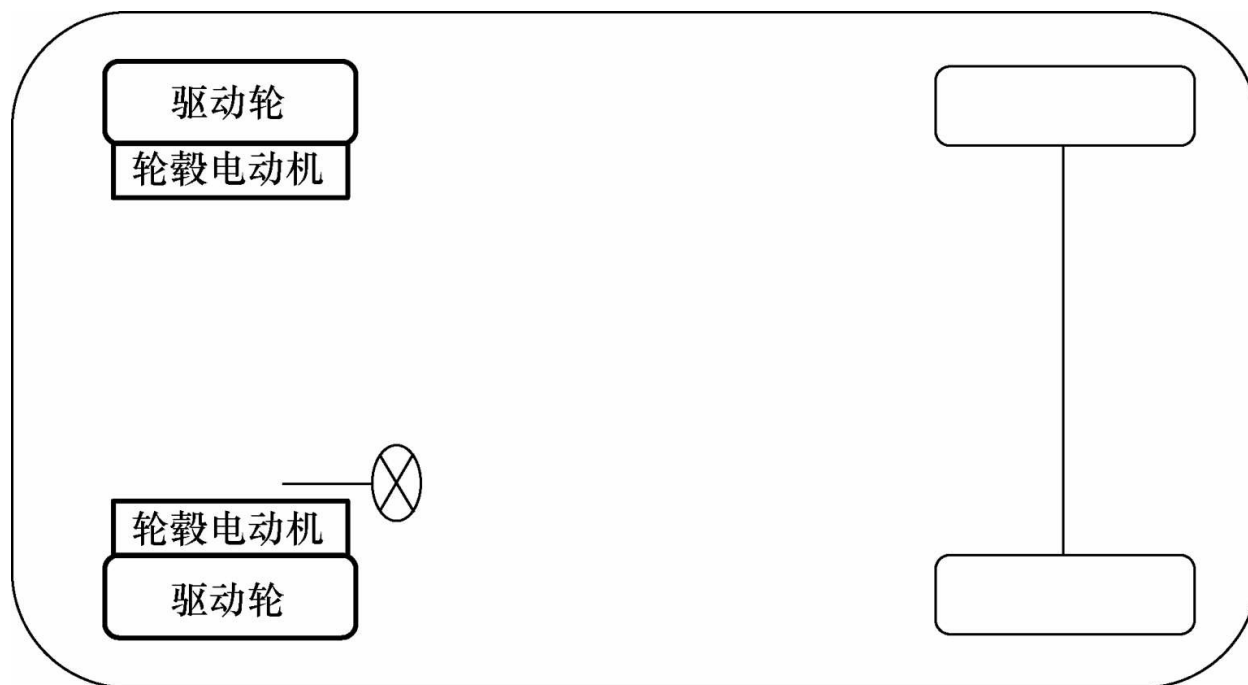


图2.17 轮毂电动机前轮驱动布置形式

3.四轮驱动形式

四轮驱动形式适合要求动力性强的电动轿车或城市SUV，与四轮驱动内燃机汽车相比，能够取消部分传动零件，提高空间的利用率和动力的传递效率。

四轮驱动形式主要采用轮边电动机或轮毂电动机形式。轮边电动机四轮驱动布置形式如图2.18所示，轮毂电动机四轮驱动布置形式如图2.19所示。

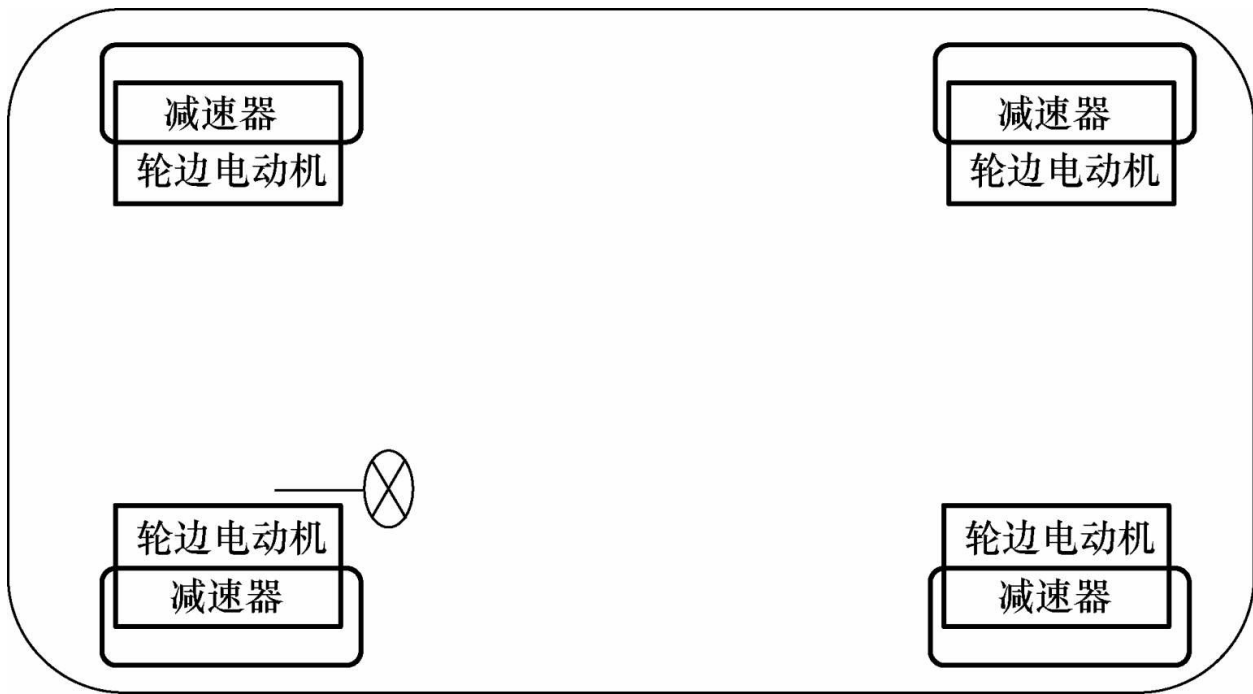


图2.18 轮边电动机四轮驱动布置形式

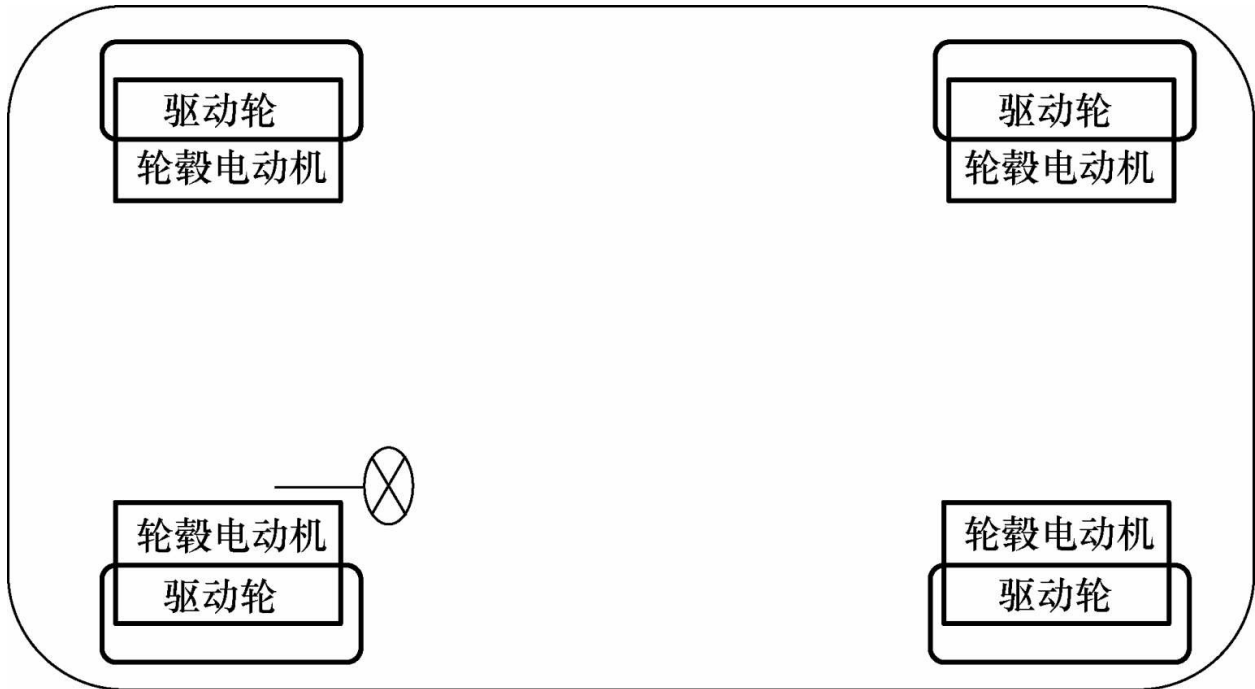


图2.19 轮毂电动机四轮驱动布置形式

四轮电动机驱动可以极大地节省空间，并且每个车轮都是一个独立的动力单元，因此能够实现对每一个车轮进行精准的转矩分配，反应更快、更直接，效率更高，这是目前传统四轮驱动汽车无法做到的。轮边电动机驱动和轮毂电动机驱动布置形式是纯电动汽车驱动系统布置形式的发展趋势。

2.1.3 纯电动汽车的技术条件

纯电动汽车主要以纯电动乘用车为主，GB/T28382—2012《纯电动乘用车 技术条件》规定了座位数在5座及以下的纯电动乘用车的技术要求如下。

1. 质量分配

车辆的电机及动力蓄电池系统应合理布置，质量分布均衡；车辆的动力蓄电池（包含电池箱及箱内部件）总质量与整车整备质量的比值，不宜大于30%。

2. 行李舱容积

车辆应具有适宜的行李舱容积。对于4座及5座车辆，按

GB/T19514，行李舱容积不宜小于 0.3m^3 。

3.安全要求

车辆的特殊安全、制动性能、乘员保护等应符合以下要求。

(1) GB/T 18384对纯电动汽车特殊安全的规定。

(2) GB 21670对制动性能的规定。

(3) GB 11551和GB 20071对乘员保护的规定。

(4) 车辆在设计时应考虑车辆起动、车速低于 20km/h 时，能够给车外人员发出适当的提示性声响。

4.动力性能要求

车辆的动力性能应满足以下要求。

(1) **30min**最高车速。按照GB/T 18385规定的试验方法测量30min最高车速，其值应不低于 80km/h 。

(2) 加速性能。按照GB/T 18385规定的试验方法测量车辆 $0\sim 50\text{km/h}$ 和 $50\sim 80\text{km/h}$ 的加速性能，其加速时间应分别不超过10s和15s。

(3) 爬坡性能。按照GB/T18385规定的试验方法，测量车辆爬坡车速和最大爬坡度，应符合：车辆通过4%坡度的爬坡车速不低于 60km/h ，车辆通过12%坡度的爬坡车速不低于 30km/h ，车辆最大爬坡度不低于20%。

5.低温起动性能要求

车辆在 $-20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的试验环境温度下，浸车8h后，应能正常起动、行驶。

6.续驶里程

按照GB/T18386测量工况法续驶里程，其值应大于 80km 。

7.操纵稳定性

按照QC/T480进行操纵稳定性试验，其指标应满足QC/T480的要求。

8.可靠性要求

车辆的可靠性应满足以下要求。

(1) 里程分配。可靠性行驶试验的总里程为15000km，其中强化环路2000km，平坦公路6000km，高速公路2000km，工况行驶5000km（工况按照GB/T 19750）；可靠性行驶试验前的动力性能试验里程，以及各试验间的行驶里程等可计入可靠性试验里程。

(2) 故障。整个可靠性试验过程中，整车控制器及总线系统、动力蓄电池及管理系统、电机及电机控制器、车载充电系统（如果有）等系统和设备不应出现危及人身安全、引起主要总成报废，对周围环境造成严重危害的故障（致命故障）；也不应出现影响行车安全、引起主要零部件和总成严重损坏或用易损备件和随车工具不能在短时间内排除的故障（严重故障）。其他系统和零部件参照相关标准的要求。

(3) 车辆维护。车辆的正常维护和充电应按照车辆制造厂的规定；整个行驶试验期间，不应更换动力系统的关键部件，如电机及其控制器、动力蓄电池及管理系统、车载充电系统（如果有）等。

(4) 性能复试。可靠性试验结束后，进行30min最高车速、续驶里程复试。其30min最高车速复测值应不低于初始所测值的80%，且应不低于70km/h；工况法续驶里程复测值应不低于初始所测值的80%，并且应不低于70km。

9.车辆上安装的动力蓄电池的要求

车辆上安装的动力蓄电池应满足以下要求。

(1) 一般要求。动力蓄电池根据其类型，应符合QC/T 742、QC/T 743或QC/T 744的要求。

(2) 低温容量。在环境温度-20℃时，动力蓄电池模块容量与常温下的容量比应不小于70%；动力蓄电池根据其类型，试验方法按照QC/T

742、QC/T 743或QC/T 744中相应的条款。

2.1.4 纯电动汽车的特点

1. 纯电动汽车的优点

纯电动汽车与内燃机汽车相比，具有以下优点。

(1) 零排放。纯电动汽车使用电能，在行驶中无废气排出，不污染环境。

(2) 能源效率高。纯电动汽车的能源效率已超过内燃机汽车，特别是在城市中运行，汽车走走停停，行驶速度不高，纯电动汽车更加适宜。纯电动汽车停止时不消耗电量，在制动过程中，电动机可自动转化为发电机，实现制动减速时能量的再利用。

(3) 结构简单。因纯电动汽车使用单一的电能源，省去了发动机、变速器、油箱、冷却系统和排气系统等，所以结构较简单。

(4) 噪声低。纯电动汽车无内燃机产生的噪声，电动机噪声也较内燃机小。

(5) 节约能源。纯电动汽车的应用可有效地降低人类对石油资源的依赖，可将有限的石油资源用于更重要的方面。向蓄电池充电的电能可以由煤炭、天然气、水能、核能、太阳能、风能、潮汐能等能源转化。除此之外，如果夜间向蓄电池充电，还可以避开用电高峰，有利于电网均衡负荷，减少费用。

2. 纯电动汽车的缺点

纯电动汽车与内燃机汽车相比，具有以下缺点。

(1) 续驶里程较短。目前纯电动汽车技术尚不如内燃机汽车技术完善，尤其是动力蓄电池的寿命短，使用成本高，储能量小，一次充电后续驶里程较短。绝大多数纯电动汽车的实际续驶里程在200km左右。纯电动乘用车续驶里程的发展目标是：2020年达到300km，2025年达到400km，2030年达到500km。

(2) 成本高。目前，纯电动汽车主要采用锂离子蓄电池，成本较高。

(3) 安全性。安全性有待进一步提高。

(4) 配套不完善。纯电动汽车的使用还远不如内燃机汽车使用方便，还要加大配套基础设施的建设。

随着纯电动汽车技术的突破，特别是动力蓄电池容量和循环寿命的提高，以及价格的降低，纯电动汽车的推广使用一定会得到大的发展。

2.1.5 纯电动汽车的关键技术

发展纯电动汽车必须解决好4个方面的关键技术：电池及管理技术、电动机及控制技术、整车控制技术及整车轻量化技术。

1. 电池及管理技术

电池是电动汽车的动力源，也是一直制约电动汽车发展的关键因素。要使纯电动汽车能与内燃机汽车相竞争，关键就是要开发出比能量高、比功率大、使用寿命长、成本低的高效电池。但目前还没有任何一种电池能达到纯电动汽车普及的要求。

电池组性能直接影响整车的加速性能、续驶里程及制动能量回收的效率等。电池的成本和循环寿命直接影响车辆的成本及可靠性，所有影响电池性能的参数必须得到优化。纯电动汽车的电池在使用中发热量很大，电池温度影响电池的电化学系统的运行、循环寿命和充电可接受性、功率、能量、安全性和可靠性等。所以，为了发挥最佳的性能和寿命，需将电池组的温度控制在一定范围内，减小电池组内不均匀的温度分布以避免模块间的不平衡，以此避免电池性能下降，消除相关的潜在危险。

2. 电动机及控制技术

电动汽车的驱动电动机属于特种电动机，是电动汽车的关键部件。要使电动汽车有良好的使用性能，驱动电动机应具有较宽的调速范围及较高的转速，足够大的起动转矩，体积小、质量轻、效率高，而且有动态制动强和能量回馈的性能。电动汽车所用的电动机正在向大功率、高

转速、高效率和小型化方向发展。

随着电动机及驱动系统的发展，控制系统趋于智能化和数字化。变结构控制、模糊控制、神经网络、自适应控制、专家系统、遗传算法等非线性智能控制技术，都将各自应用或结合应用于电动汽车的电动机控制系统。它们的应用将使系统结构简单、响应迅速、抗干扰能力强、参数变化具有鲁棒性，可大大提高整个系统的综合性能。

3.整车控制技术

新型纯电动汽车整车控制系统是两条总线的网络结构，即驱动系统的高速控制器局域网络（Controller Area Network, CAN）总线和车身的低速总线。高速CAN总线每个节点为各子系统的电子控制单元（Electronic Control Unit, ECU），低速总线按物理位置设置节点，基本原则是基于空间位置的区域自治。

实现整车网络化控制，其意义不只是解决汽车电子化中出现的线路复杂和线束增加问题，网络化实现的通讯和资源共享能力成为新的电子与计算机技术在汽车上应用的一个基础，同时也为X-by-Wire技术提供有力的支撑。

4.整车轻量化技术

整车轻量化技术始终是汽车技术重要的研究内容。纯电动汽车由于布置了电池组，整车质量增加较多，轻量化问题更加突出，可以采用以下措施减轻整车质量。

（1）通过对整车实际使用工况和使用要求的分析，对电池的电压、容量，驱动电动机的功率、转速和转矩，以及整车性能等车辆参数的整体优化，合理选择电池和电动机参数。

（2）通过结构优化和集成化、模块化优化设计，减小动力总成、车载能源系统的质量。这里包括对电动机及驱动器、传动系统、冷却系统、空调和制动真空系统的集成和模块化设计，使系统得到优化；通过电池、电池箱、电池管理系统、车载充电机组成的车载能源系统的合理集成和分散，实现系统优化。

（3）积极采用轻质材料，如电池箱的结构框架、箱体封皮、轮毂

等采用轻质合金材料。

(4) 利用CAD技术对车身承载结构件(如前后桥、新增的边梁、横梁等)进行有限元分析研究,用计算和试验相结合的方式,实现结构最优化。

2.1.6 纯电动汽车车型实例

1. 比亚迪E6纯电动汽车

比亚迪E6纯电动汽车(图2.20)的车身尺寸为4560mm×1822mm×1630mm,轴距为2830mm,轮距为1556mm,最小离地间隙为150mm;整备质量为2295kg;动力蓄电池和起动电池均采用比亚迪自主研发生产的磷酸铁锂离子蓄电池,额定容量为57A·h,标称电压为330V;驱动电动机采用永磁同步电动机,额定功率为75kW,峰值扭矩为450N·m,工作电压为320V;车载充电机的输入电压为220V,输出功率为200kW,充电时间为7h,如果选择快充的话,15min左右可充满电池电量的80%。

比亚迪E6纯电动汽车的续航里程为316km,0~100km/h加速时间在10s以内,最高车速可达150km/h,最大爬坡度为30%,而能量消耗率约为21.5kW·h/100km,相当于内燃机汽车消费价格的30%左右。



图2.20 比亚迪E6纯电动汽车

2.北汽E150纯电动汽车

北汽E150纯电动汽车（图2.21）的车身尺寸为3998mm×1720mm×1503mm，轴距为2500mm；整备质量为1320kg；动力蓄电池采用磷酸铁锂离子蓄电池，电池组容量为25.6kW·h；驱动电动机采用永磁磁阻同步电动机，额定功率为20kW，峰值功率为45kW，峰值扭矩高达180N·m。



图2.21 北汽E150纯电动汽车

北汽E150纯电动汽车一次充满电的综合工况续驶里程为160km，而60km/h的等速工况则为200km；最高车速为125km/h。

北汽E150纯电动汽车有三种充电方式：220V家用充电、国标慢充电桩充电、国标直流快速充电。使用快充约30min就充到80%，使用慢充需要6~8h。

3.江淮同悦iEV纯电动汽车

江淮同悦iEV纯电动汽车（图2.22）的车身尺寸为4155mm×1650mm×1445mm，轴距为2400mm；整备质量为1200kg；乘坐4人；搭载永磁同步电动机，电动机的额定功率为18kW，峰值扭矩为170N·m；动力蓄电池采用磷酸铁锂离子蓄电池，电池组容量为40A·h，电池组电压为340V，电池组能量为19kW·h。



图2.22 江淮同悦iEV纯电动汽车

江淮同悦iEV纯电动汽车最高车速为95km/h，最大爬坡度为25%，0~100km/h的加速时间为14.5s；在市区能实现最大续航里程为160km，在匀速60km/h的情况下则能实现最大续航里程为200km；能量消耗率为13kW·h/100km。

江淮同悦iEV纯电动汽车提供快充及慢充两种充电模式，其中使用快充口充电需2.5h（1h将充满80%），使用慢充口充电需8h，车内备有两种充电线，可以满足国标慢充电桩充电和家庭220V充电需要。

4.上汽荣威E50纯电动汽车

上汽荣威E50纯电动汽车（图2.23）的车身尺寸为3569mm×1551mm×1540mm，轴距为2305mm；整备质量为1080kg；乘坐4人；搭载永磁同步电动机，电动机的额定功率为28kW，峰值功率为52kW，峰值扭矩为155N·m；动力蓄电池采用磷酸铁锂离子蓄电池，电池容量为60A·h，电池组电压为300V，电池组能量为18kW·h。

上汽荣威E50纯电动汽车最高车速为130km/h，最大爬坡度为25%，0~100km/h的加速时间为15s；在市区内能实现最大续航里程为140km，在匀速60km/h的情况下则能实现最大续航里程为190km；能量消耗率为11.6kW·h/100km。

上汽荣威E50纯电动汽车提供快速及慢速两种充电模式，其中使用慢充口充电需6h，使用快充口充电30min充满80%，车内备有两种充电线，可以满足国标慢充电桩充电和家庭220V充电需要。



图2.23 上汽荣威E50纯电动汽车

5. 特斯拉Model S纯电动汽车

特斯拉Model S纯电动汽车（图2.24）是由美国Tesla汽车公司制造的全尺寸高性能电动汽车。它把电动汽车最前沿的技术进行了实际应用，集成多功能的大尺寸液晶显示屏，多样化的电池选择，支持太阳能充电，最大续航里程为502km。



【特斯拉电动汽车】



图2.24 特斯拉Model S纯电动汽车

特斯拉Model S纯电动汽车车身尺寸为4978mm×1964mm×1435mm，轴距为2595mm，最小离地间隙为152mm；整备质量为2108kg；乘坐5人。

特斯拉Model S纯电动汽车提供3种不同配置供消费者选择。特斯拉

Model S60纯电动汽车配置的电动机峰值功率为222kW，峰值扭矩为440N·m，电池容量为60kW·h，最高车速为190km/h，最大续驶里程为390km，0~100km/h的加速时间为6.2s。特斯拉Model S85纯电动汽车配置的电动机峰值功率为270kW，峰值扭矩为440N·m，电池容量为85kW·h，最高车速为200km/h，最大续驶里程为502km，0~100km/h的加速时间为5.6s。特斯拉Model SP85纯电动汽车配置的电动机峰值功率为310kW，峰值扭矩为600N·m，电池容量为85kW·h，最高车速为200km/h，最大续驶里程为502km，0~100km/h的加速时间为4.4s。

特拉斯Model S纯电动汽车可以选择传统插座充电和充电站充电两种方式。此外，特斯拉Model S纯电动汽车还支持太阳能充电，对于容量为85kW·h的电池，仅需1h就可将电量充满。

2.2 增程式电动汽车

增程式电动汽车（**Extended-Range Electric Vehicle E-REV**，）是一种既可通过外接电源获得电能驱动车辆行驶，又可通过增程器获得电能驱动车辆行驶的新型电动汽车。当动力蓄电池电能充足时，车辆运行在纯电动模式下，车辆需求功率来自动力蓄电池，增程器关闭，不参与工作；当以纯电动模式行驶距离较长，动力蓄电池电量消耗过多，动力蓄电池荷电状态降低至某临界值时，增程器将自动开启，既可以驱动车辆，又可以为动力蓄电池充电。增程式电动汽车介于混合动力电动汽车和纯电动汽车之间，兼有纯电动汽车和混合动力电动汽车的特点。



【增程式电动汽车】

2.2.1 增程式电动汽车的结构原理

图2.25所示是某款增程式电动汽车动力传动系统结构。该动力传动系统主要由驱动电动机系统、电源系统、增程器和整车控制器等组成；与纯电动汽车相比，增加了增程器。

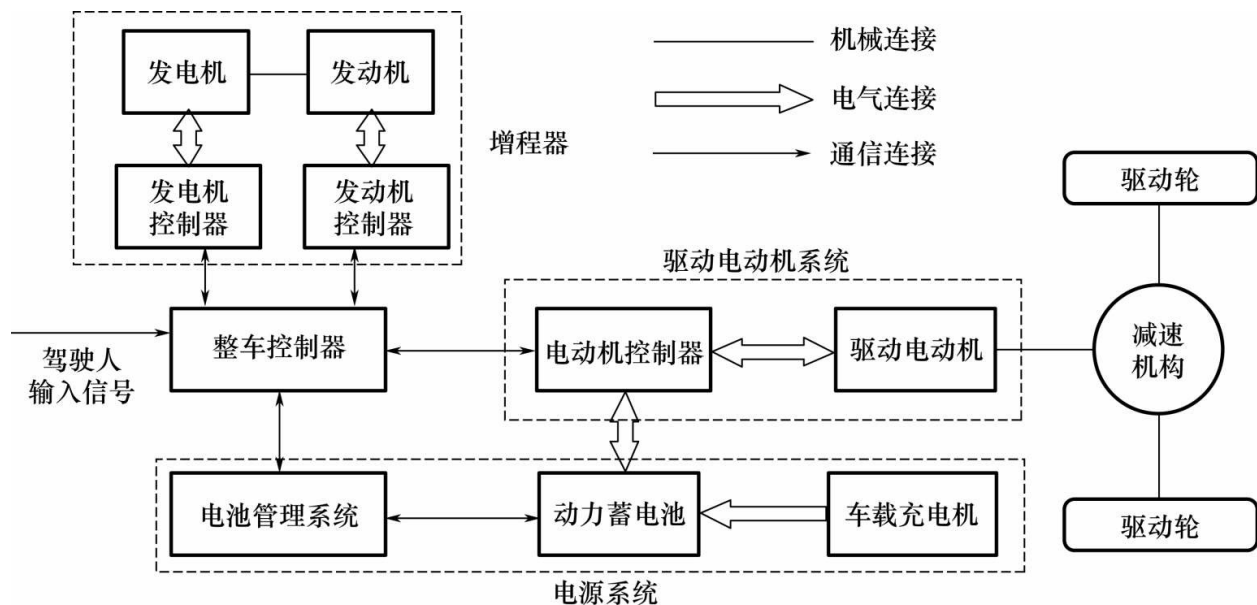


图2.25 某款增程式电动汽车动力传动系统结构

1. 驱动电动机系统

增程式电动汽车的驱动电动机系统与纯电动汽车的类似，也是由驱动电动机及电动机控制器组成的。区别在于驱动电动机的能量来源除动力蓄电池外，还有增程器。发动机与驱动电动机之间没有机械连接，是通过发电机发电将发动机发出的机械能转换为电能，然后电动机控制器根据车辆工况的需求将电能分配给驱动电动机，多余的电能将被储存到动力蓄电池中。

增程式电动汽车驱动电动机应该具备较高的功率密度，而且在较宽的转速和转矩范围内具备较好的效率特性，同时驱动电动机控制器能实现双向控制，以实现制动能量回收。

增程式电动汽车驱动电动机参数匹配方法与纯电动汽车一样，根据整车动力性匹配驱动电动机的峰值功率。在满足动力性前提下，为提高驱动电动机工作效率并减轻质量，应尽量选择较小峰值功率及高转速的电动机。

2. 电源系统

增程式电动汽车的电源系统与纯电动汽车的类似，也是由动力蓄电池、电池管理系统、车载充电机等组成的。区别在于动力蓄电池的要求需兼顾纯电动和混合动力两种模式，具体要求：在深度放电的情况下，

依然有较长的循环寿命；在较低的荷电（State of Charge, SOC）状态下可输出大功率的电，使增程式电动汽车在低荷电状态下加速性能仍然良好；在高荷电状态下可以接受大电流充电，以保证制动能量回收的效率不受荷电状态的影响；在保持高荷电状态下可延长其使用的寿命；能量密度及比能量高，以减小电池组的体积和质量；安全性好。

动力蓄电池是增程式电动汽车整车驱动的主要能量源，是能量储存装置，应具有良好的充放电性能用以保证车辆的动力性和再生制动回收的能力，其容量应能够满足增程式电动汽车性能要求的纯电动续航里程；其电压等级要与电力系统电压等级和变化范围一致；其充放电功率应能够满足整车驱动和电器负载的功率要求。

增程式电动汽车动力蓄电池参数匹配方法与纯电动汽车一样，只不过设计要求不一样。增程式电动汽车纯电动模式的续航里程较短，动力蓄电池容量要求比纯电动汽车低。

3.增程器

发动机、发电机及其控制器共同组成了增程器。增程器是增程式电动汽车动力传动系统的关键组件，发动机/发电机系统与驱动车轮在机械上是分离的，发动机的转速和转矩与速度和牵引转矩的需求无关，因此可控制发动机运行在其转速转矩平面上的任意点。通常应控制发动机使其运行在最佳工况区，此时发动机的油耗和排放降到最低程度。由于发动机和驱动车轮没有机械连接，因此可以实现最佳的发动机运行状态，并与驱动电动机系统的运行模式和控制策略密切相关。

增程器只提供电能，电能用来驱动电动机或者为动力蓄电池充电，增加电动汽车的续航里程，发动机到驱动电动机之间的动力传动路线没有机械连接，可以将电能用于驱动车辆，不经过动力蓄电池的充放电过程，降低了从增程器到动力蓄电池的能量传递损失。

增程器根据电能来源的不同可分为发动机/发电机组、燃料电池和超级电容器等，其中发动机/发电机组的增程器是目前应用最多、技术最成熟的增程器。增程器用发动机的选型目前主要有往复式发动机和转子式发动机。往复式发动机属于传统发动机，是最常见的一种发动机，如雪佛兰沃蓝达和沃尔沃C30配备的增程器。转子发动机一般燃烧效率较低，但其特殊的结构使其具有旋转顺畅、利于小型化的优点，符合增程器的设计要求；转子发动机在增程器上是在一定条件下起动的，因此

并不比往复式发动机逊色，如AVL研发的增程器。AVL增程器采用发动机和发电机一体化的形式配备在后轴上，采用的转子发动机旋转顺畅、噪声小，而且节省空间。

增程器中发动机与发电机的连接方式主要有两种：弹性联轴器结构连接和直接刚性连接件连接。前者轴线尺寸较大，对定位安装工艺要求高；后者发电机惯量及动态加载会给轴系带来冲击，存在动力过载损坏轴系的危险。

增程器要求稳定可靠，可以立刻起动并进入正常工作状态。为了实现高效率 and 低排放，系统要求处在最优工作点工作，因此控制器非常关键，通过控制策略和优化措施，在保证整车动力性前提下提高经济性和效率。

4.整车控制器

增程式电动汽车整车控制器通过CAN网络与发动机控制器、发电机控制器、驱动电动机控制器及电池管理系统进行信息交互，实现增程器的控制。增程器、驱动电动机、动力蓄电池三者之间通过整车控制器进行电能交互，实现能量的最优分配。同时动力蓄电池通过车载充电机充电，保证纯电动模式下的行驶。

2.2.2增程器的分类

增程器是增程式电动汽车最重要的组件之一，它与车辆的性能、油耗、燃油替代、原始成本和运行成本密切相关，增程器可以按以下方式进行分类。

1.按布置位置分类

增程器包括发电装置和辅助能量存储装置。根据增程器与汽车的安装关系（即增程器的安装位置），增程器可以分为以下几种。

（1）挂车式增程器。挂车式增程器安装在拖车上，根据行驶距离的不同决定是否使用增程器，出行前需要对出行距离做出预估：长距离行驶时需要在车上挂着的增程器适时提供能量；市区短途行驶时取下拖车，此时完全变为一辆纯电动汽车使用。这种形式由于结构具有特殊性，实用性不高，更多的是用于室内场馆车。其优点是增程器输出功率

能够根据需要设计，增程器可以使用多种辅助燃料。其缺点是使用缺乏灵活性，拖车质量和体积都比较大，不易倒车。在不确定是否需要长距离行驶时，或者有突发性事件的时候，都为驾乘者造成很大的不便，限制了驾驶的自由度。

(2) 插拔式增程器。插拔式增程器将增程器设置为可插拔的模块，这是考虑到短途行驶时不需要携带增程器行驶。这种增程器需要将增程器系统模块（包括控制器和DC/DC转换器）集中在一起，做成一个方便拆卸的独立单元。日常短途行驶时，将增程器系统整体从车上拆下，此时只用蓄电池的电能驱动车辆行驶，完全变为纯电动汽车，减轻了车辆的整备质量，提高了能量利用率；长途行驶时，将增程器模块通过机械及电气接口与整车动力系统相连，增加续驶里程。插拔式增程器对设计要求较高，并需要与动力部件及传动系统合理匹配，在匹配的基础上要求的控制策略非常复杂，还要解决振动噪声等附加问题，所以目前这种增程式电动汽车价格偏高。

(3) 车载式增程器。车载式增程器与纯电动汽车的动力系统固定在一起，结构形式简单，动力系统可以方便地实现结构布置，提高了整车的空间利用率，与插拔式增程器相比，不需要在出行前对出行距离进行预估，也不需要频繁地对增程器进行拆卸和安装，是目前应用最多的增程器系统。

2.按结构组成分类

增程器按照结构组成不同分为以下几种。

(1) 大容量蓄电池增程器。大容量蓄电池增程器的优点是便于统一标准和规格，研发周期短，成本低，容易实现量产。但是由于这种增程器基于传统的蓄电池，因此不可避免地存在能量密度较低、体积偏大、成本高等缺点。短距离行驶时的优势明显不足。

(2) 燃料电池增程器。为了达到尽量避免使用燃油，实现零排放的目标，燃料电池增程器成为一种新的选择。采用功率为5~10kW的小型燃料电池作为增程器，与车载主动力蓄电池协同工作，可以延长电动汽车的续驶里程。燃料电池增程器的结构如图2.26所示。

以用氢燃料电池的增程器为例，把燃料电池增程器分为电源及其管理系统、氢气系统、燃料电池及其控制系统3个模块。其中电源及其管

理系统子模块主要由压力传感器、电压传感器、电流传感器、DC/DC转换器、继电器、控制器铝盒、控制器插接件集合而成。氢气系统子模块主要由氢瓶、氢传感器、氢气管路、减压阀集成。燃料电池及其系统子模块由电堆、电堆控制器、电池阀、单片检测接头、电堆输出端导线、燃料电池风扇组成，可以很方便地实现拆装。采用模块化布置法的氢燃料电池增程器系统整体结构如图2.27所示。

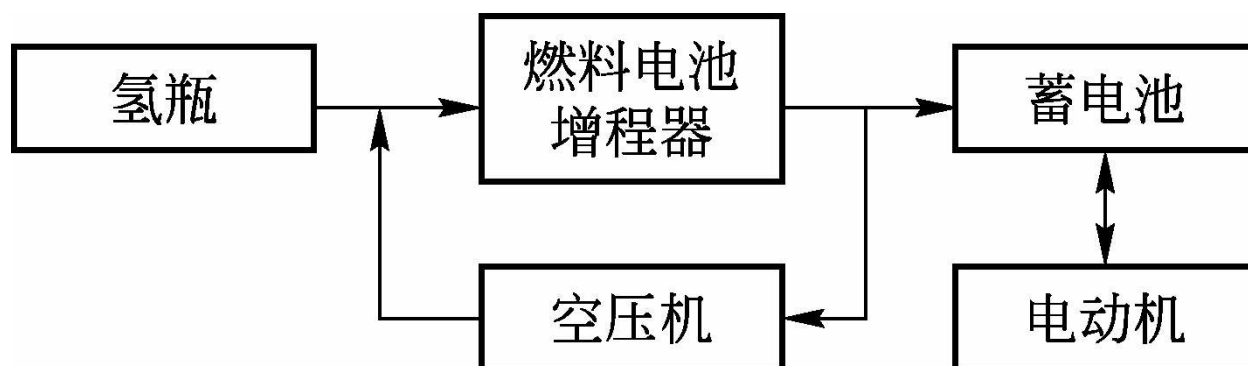


图2.26 燃料电池增程器的结构

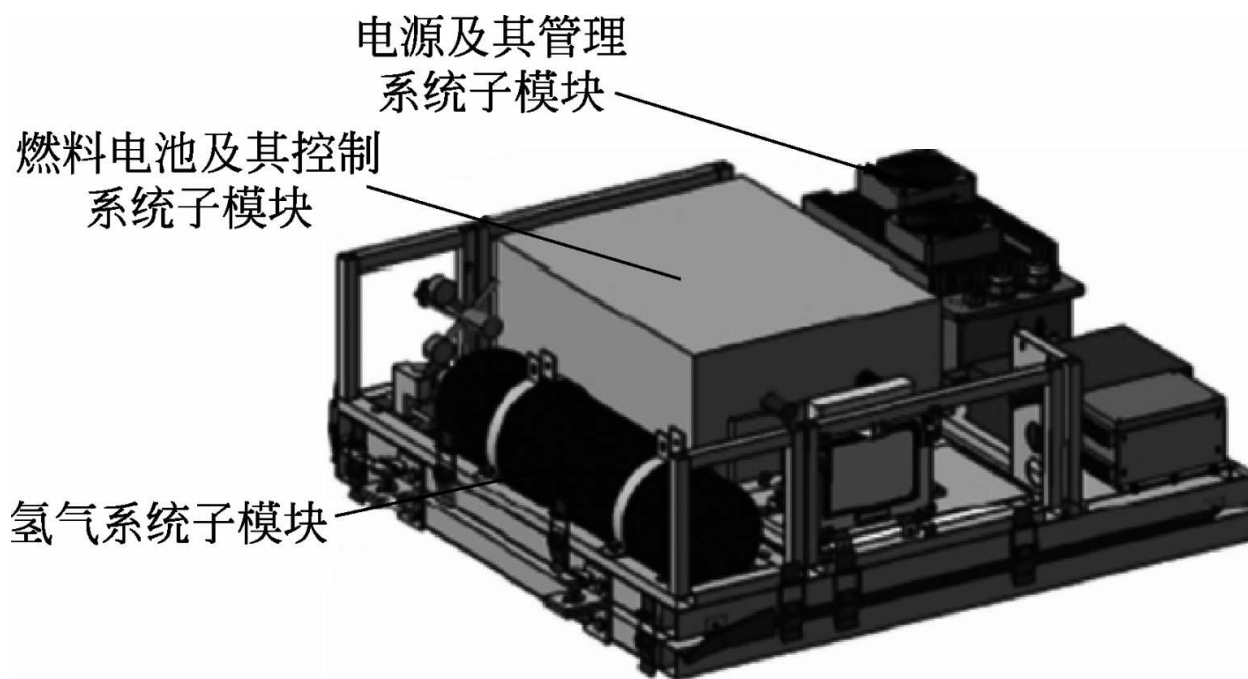


图2.27 采用模块化布置法的氢燃料电池增程器系统整体结构

目前燃料电池增程器处于开发阶段，从整车集成方面的要求来讲，需要克服的技术问题比较多：要求空压机体积小、质量轻，并需要良好的散热装置；要求较大的压缩机空气压缩比，同时保证输出的空气流量相对较小。要使燃料电池增程器能够成熟地运用于增程式电动汽车，需

要克服以上技术问题。目前增程式电动汽车的应用还处于研发阶段。

(3) 发动机/发电机组增程器。发动机/发电机组增程器可以采用多种发动机与发电机进行组合成为增程式系统, 可供选择的发动机有传统的活塞式发动机、转子发动机、小型燃气轮机等。由于这种增程系统的电能由发动机提供, 经历了发动机/发电机的能量转换过程, 因此发电机功率要大于增程系统功率, 发动机到发电机之间存在能量损失, 要求发动机功率大于发电机功率, 在满足以上结构和配置的基础上, 保证发动机和发电机都工作在转矩转速高效率区内。发动机/发电机组的增程器是目前应用最多、技术最成熟的增程器。

2.2.3 增程式电动汽车的原理

增程式电动汽车的动力传动系统在组成上与串联插电式混合动力电动汽车的动力系统相似。特殊之处在于增程式电动汽车的能量传递路线体现出两种动力系统, 但是只有一种驱动方式, 即电动机驱动。在结构上, 增程式电动汽车是在纯电动汽车的基础上开发的电动汽车, 增程器的布置对原有车辆的动力系统结构影响较小。之所以称之为增程式电动汽车是因为车辆追加了增程器, 而为车辆追加增程器的目的是进一步提升纯电动汽车的续航里程, 使其能够尽量避免频繁地停车充电。

增程式电动汽车有5种工作模式, 即纯电动模式、增程器单独驱动模式、混合驱动模式、制动模式和停车充电模式。

1. 纯电动模式

当动力蓄电池能量充足时, 使用纯电动模式。纯电动模式的能量传递路线如图2.28所示, 增程器处于关闭状态, 动力蓄电池是唯一的动力源, 相当于一辆纯电动汽车。不同之处是, 增程式电动汽车行驶里程可以设置得相对较小, 不必装备大量的动力蓄电池, 既降低了成本又减轻了汽车整备质量。动力蓄电池的能量应能够满足车辆起步、加速、爬坡、怠速, 以及驱动汽车空调等附件的功率需求。

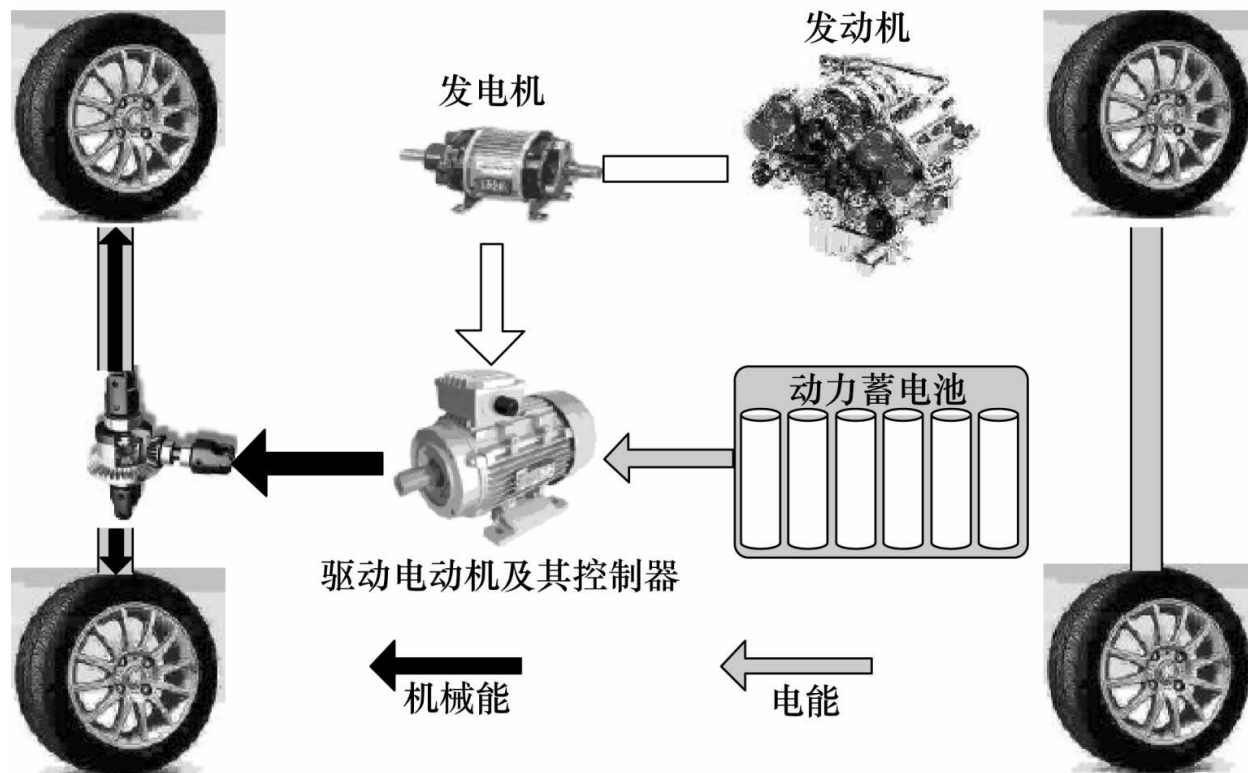


图2.28 纯电动模式的能量传递路线

2.增程器单独驱动模式

当动力蓄电池能量不足时，使用增程器单独驱动模式。增程器单独驱动模式的能量传递路线如图2.29所示。在动力蓄电池荷电状态降至设定的阈值SOC_{min}时，增程器起动，发动机根据制定的控制策略运行在最佳状况，使发电机发电，一部分用于驱动车辆行驶，多余的电能为动力蓄电池充电。

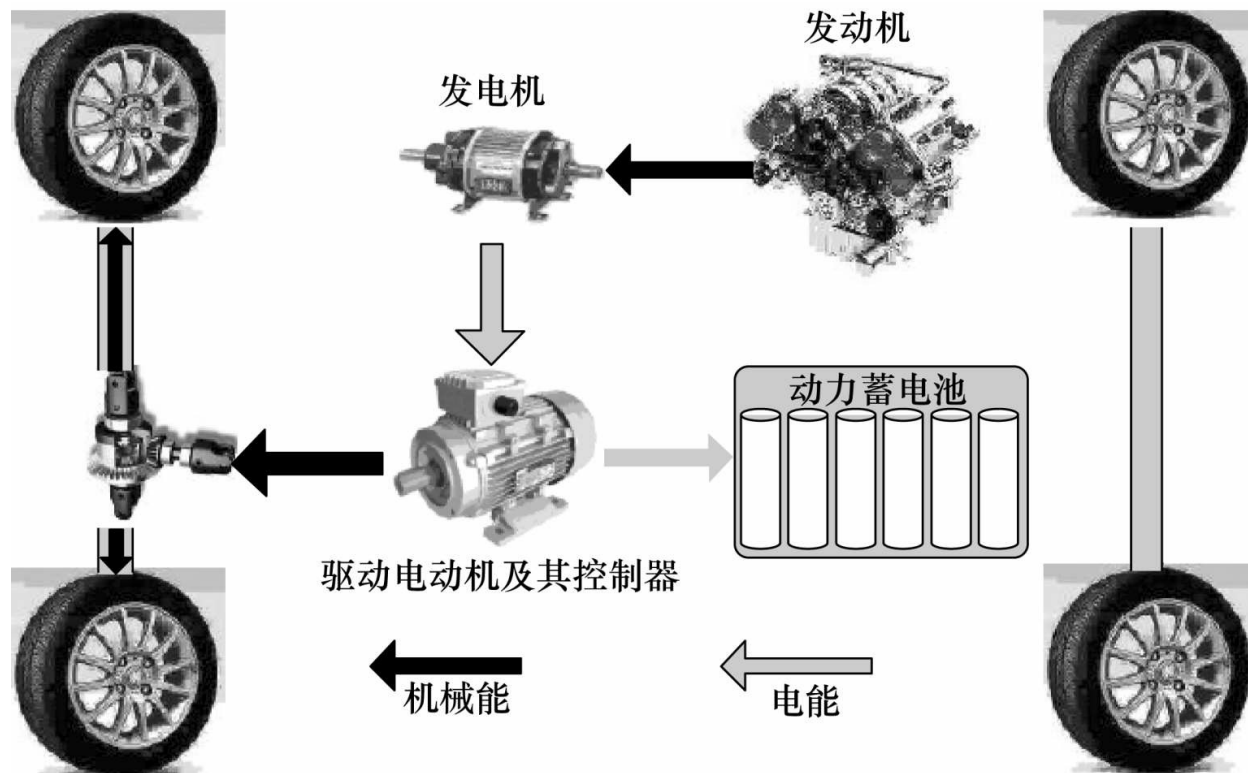


图2.29 增程器单独驱动模式的能量传递路线

当动力蓄电池电量恢复至充足时，发动机又停止工作，继续由动力蓄电池驱动电动机，提供整车功率需求。

3.混合驱动模式

当路面需求功率较大，而动力蓄电池供能不足时，增程器开启，发动机/发电机组联合动力蓄电池一起工作，提供整车行驶需要的动力的混合驱动模式的能量传递路线如图2.30所示。

增程器单独驱动模式和混合驱动模式都属于增程模式。增程模式的发动机可以有多种工作方式，根据控制策略的不同，可以选择发动机恒功率模式、功率跟随模式、恒功率与功率跟随结合模式，此外还有智能控制策略和优化算法控制策略等复杂控制模式。车辆停止时，可以利用市电为动力蓄电池充电。

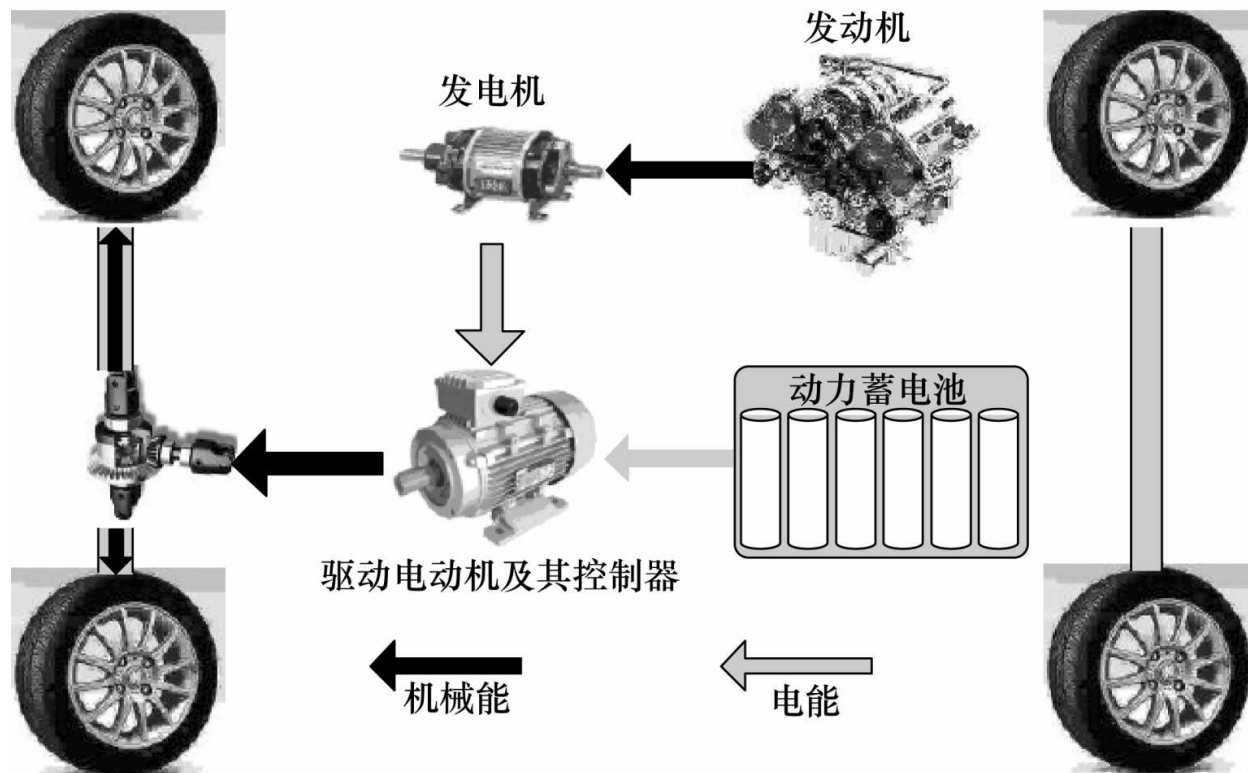


图2.30 混合驱动模式的能量传递路线

4.制动模式

在车辆运行过程中，发生减速及制动请求时，驾驶人需要踩下制动踏板。当满足一定条件时，整车即进入制动能量回收模式；当制动强度较低、制动较缓和、制动请求功率较小时，采用电动机单独制动；当发生急减速或紧急制动时，一旦车辆的制动负载功率超出电动机再生制动功率的上限，为了保护蓄电池组、限制其输入功率，此时摩擦制动器参与工作，与电动机再生制动协同提供车辆的制动功率需求。制动模式的能量传递路线如图2.31所示。再生制动可以将车辆的动能转换为电能储存在动力蓄电池中，以供车辆驱动使用，提高整车能量利用率。在再生制动情况下，电动机以发电机状态工作，回收的制动能量储存在动力蓄电池中。

5.停车充电模式

停车充电模式的能量传递路线如图2.32所示。停车时动力系统全部停止，此时通过车载充电机连接外接电网对动力蓄电池进行充电，以备下次行车使用。此模式是保证车辆大部分时候纯电动行驶的基础，可减少燃料发动机的使用频次，能够显著降低车辆的行驶成本及减少车辆的

污染物排放。

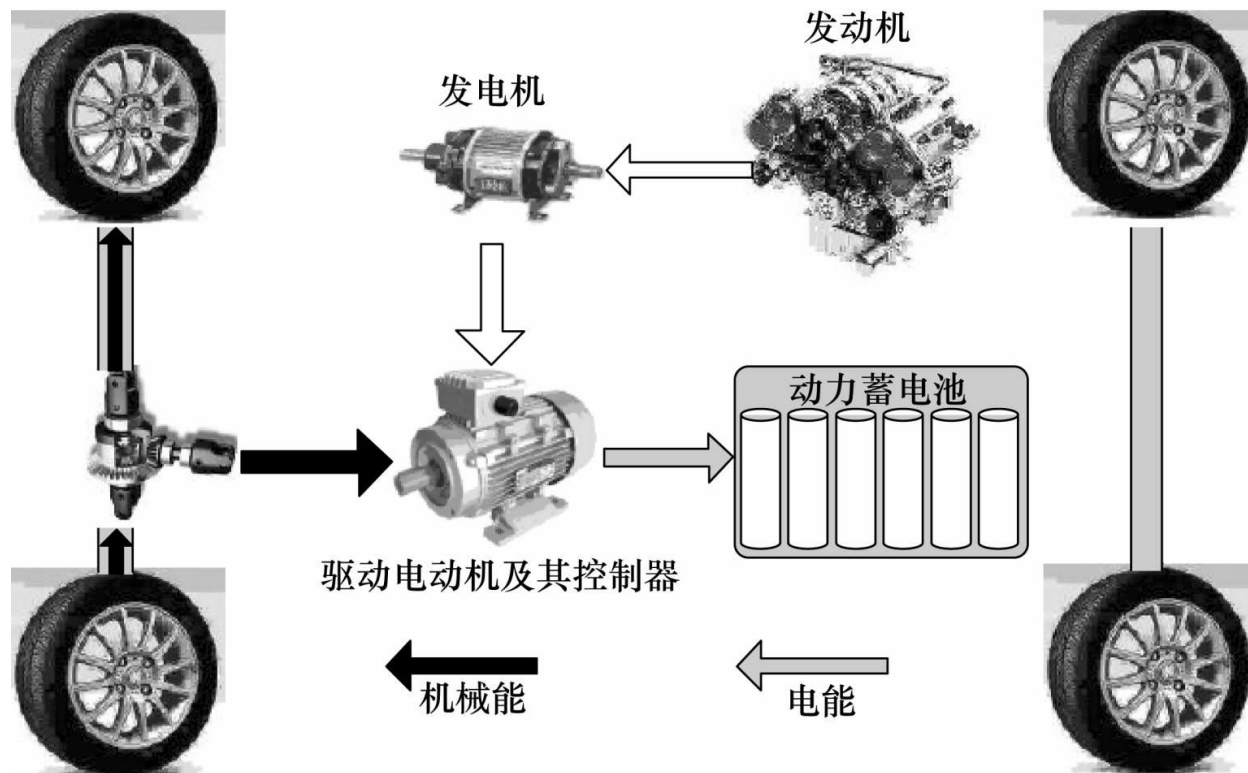


图2.31 制动模式的能量传递路线

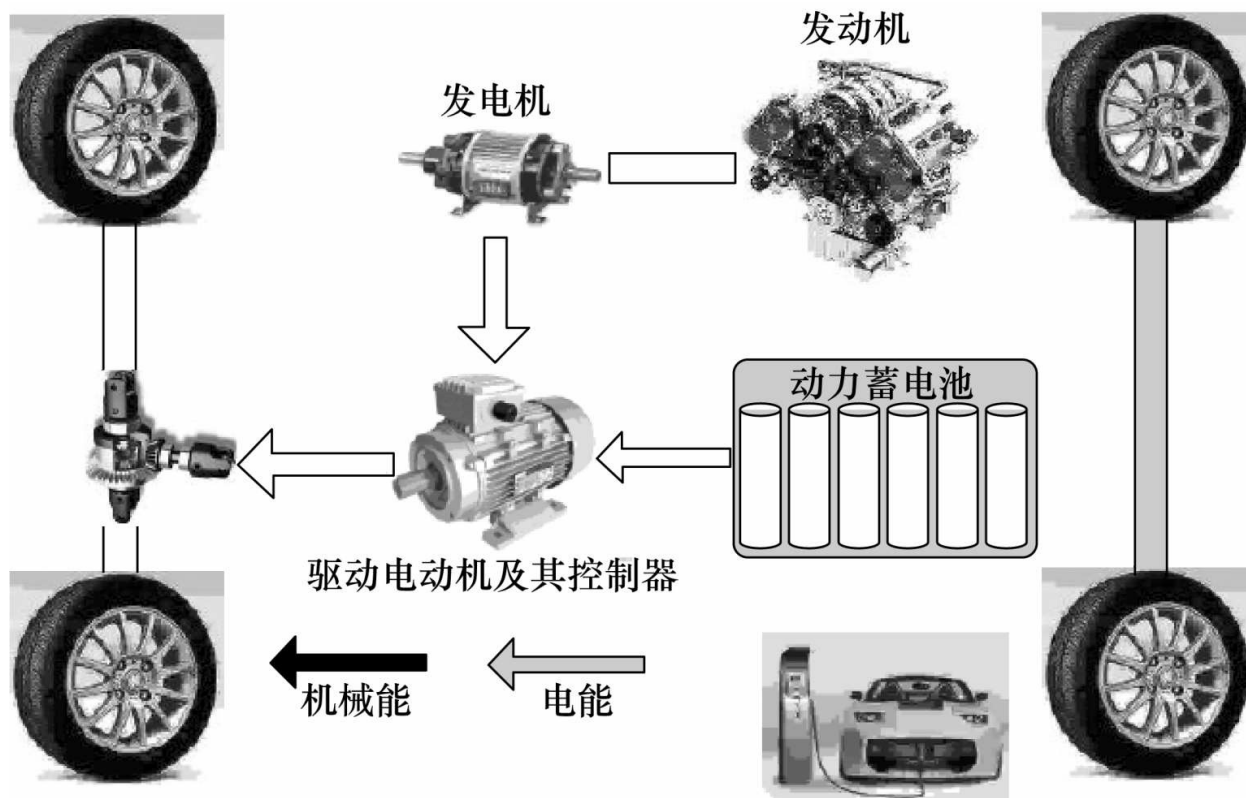


图2.32 停车充电模式的能量传递路线

2.2.4 增程式电动汽车的特点

增程式电动汽车与普通燃油驱动汽车相比，短距离行驶时不启动发动机，不排放污染物，长距离行驶时油耗比较低，在大部分情况下发动机不启动，所以噪声小。而且增程式电动汽车发动机/发电机启动时，工作于最佳工作范围内，这大大提高了发动机的工作效率。

增程式电动汽车与纯电动汽车相比，其最大优点是续航里程得到了很大提高，纯电动汽车由于完全使用价格高昂的动力蓄电池，附加成本高，而且即便纯电动汽车采用了最新的电池技术，续航里程仍然有限。一旦电池能量消耗尽，汽车就无法行驶，只能停车等待充电。增程式电动汽车的出现使这个问题得到了很好的解决，增程式电动汽车可以随时在加油站加油。在相同续航里程条件下增程式电动汽车的电池组比较小，电池容量是纯电动汽车的30%~40%，无须配备大容量的动力蓄电池，制造成本大幅降低。当电池组SOC值降低到一定限值时，转为增程模式运行，避免电池组的过放电，电池寿命得到延长。增程式电动汽车不需要周转电池，可在停车场进行市电充电，不需要建立充电站，不需要大量的换电设施和工作人员，降低了成本。

增程式电动汽车与插电式混合动力电动汽车的最大区别在于，由于动力蓄电池容量的增大及驱动系统设计的不同，增程式电动汽车在电能充足条件下行驶时发动机不参与工作。因此，这种类型的车辆并不需要像插电式混合动力电动汽车那样对其工作模式进行特定的说明。增程式电动汽车所使用的动力蓄电池、驱动电动机及动力系统的用电功率都必须从满足整车性能的要求加以设计，车辆所搭载的动力蓄电池组及其容量也必须从能够满足纯电动汽车整车性能需要的角度考虑。增程式电动汽车的工作模式看上去与早期的纯电动型插电式混合动力电动汽车相似，然而在电池电量充足的情况下，增程式电动汽车必须在所有的工作模式下维持纯电驱动模式。增程式电动汽车不需要为了驾驶速度和功率的需求而起动发动机，因此在电池电量充足的情况下不需要像早期的纯电动型插电式混合动力电动汽车那样转变成混合驱动模式运行。在增程器设计方面，增程式电动汽车允许将发动机的功率显著降低，发动机所提供的动力不需要达到车辆动力性能所需的峰值功率，仅满足车辆行驶所需要的持续动力需求即可。

混合动力电动汽车采用了复杂的机械动力混合结构，发动机和电动机复合驱动，电池能量很小，只起到辅助驱动和制动能量回收的作用。增程式电动汽车采取电池扩容的方式解决了电池驱动的续行能力问题。虽然车辆成本略有提高，但是在正常的运行工况下，有了电能补充装置的作用，电池处于良性平台充放，保证了电池的使用寿命，减少了维护成本。而电能补充装置进行电量补充且一直处于最佳工作状态，保证了发动机的最佳工作状态。而且增程式电动汽车能外接充电，尽可能利用晚间低谷电或午间驾乘人员的休整间隙充电，进一步提高了能源利用率。

增程式电动汽车与燃料电池电动汽车相比，电池成本更低，技术也更为成熟，燃料电池转换效率高，对环境无污染。随着燃料电池技术的进步和配套设施的成熟，开发和生产成本也会相应降低。

增程式电动汽车能够有效节约燃油利用率，主要原因如下。①发动机不直接与机械系统相连，发动机的工作状态相对独立，可将发动机设定于最佳效率点工作。②在电量保持模式下，主要由发动机驱动整车行驶，当需求功率较小时，发动机关闭，由动力蓄电池驱动整车行驶；当需求功率较大时，动力蓄电池提供发动机功率不足的部分，这样可避免发动机的工作点波动，保证发动机工作于最佳效率点。③当车辆制动时，电池组能有效回收制动能量。

综上所述，增程式电动汽车是一种可增加续驶里程的纯电动汽车，兼有混合动力电动汽车和纯电动汽车的特征，是现阶段解决新能源汽车技术问题最切实可行的方案之一。增程式纯电动汽车的特点如下。

(1) 在电量消耗模式下发动机不起动，由动力蓄电池驱动整车行驶，这样可减少整车对石油的依赖，缓解石油危机。

(2) 在电池电量不足时，为了保证车辆性能和电池组的安全性，进入电量保持模式，由动力蓄电池和发动机联合驱动整车行驶。

(3) 整车纯电动续驶里程满足大部分人员每天行驶里程要求，动力蓄电池可利用晚间低谷电力充电，缓解供电压力。

(4) 整车大部分情况下在电量消耗模式下行驶，能达到零排放和低噪声的效果。

(5) 发动机与机械系统不直接相连，发动机可工作于最佳效率点，大大提高整车燃油效率。

鉴于增程器工作条件的特殊性，对电动汽车的增程系统提出了以下要求。

(1) 增程系统要稳定可靠，可以立刻起动机并进入正常工作状态。当车辆长时间不用的时候要定期开启发动机运转，以使得各个部件得到良好的润滑和维护。

(2) 由于工况复杂，为了实现高效率 and 低排放的要求，要求系统处在最优工作点工作，因此控制器非常关键，通过控制策略和优化措施，在保证整车动力性前提下提高经济性和效率。

2.2.5 增程式电动汽车车型实例

1. 瑞麒X1增程式电动汽车

瑞麒X1增程式电动汽车（图2.33）的车身尺寸为3866mm×1622mm×1638mm；纯电动模式下续驶里程为100km；最高车速为120km/h；当车载电池电量消耗至最低临界限值时，一台6kW的二缸汽油发动机便开始自动起动机，继续提供电能或直接驱动电动机，以实

现300km的续驶里程；使用普通电源充电，耗时6~8h充满；而使用高压快速充电，可在30min内充满。



图2.33 瑞麒X1增程式电动汽车

2. 广汽传祺GA5增程式电动汽车

广汽传祺GA5增程式电动汽车（图2.34）搭载永磁同步电动机，可输出最大功率94kW，最大扭矩为225N·m；纯电动模式下续驶里程为80km；当电池容量不足时，配备的1.0L发动机将会通过发电机给电池供电，发动机是不参与动力驱动的；新车最大续驶里程超过600km。



图2.34 广汽传祺GA5增程式电动汽车

3. 马自达Extender EV增程式电动汽车

马自达Extender EV增程式电动汽车（图2.35）装载了一款功率为19kW、排量为0.33L的转子发动机，油箱容积为9L；并搭配了一款最大功率为74.5kW、峰值扭矩为153N·m的驱动电动机；在纯电动模式下，使用锂离子蓄电池供电时（容量为20kW·h），最大续航里程为200km；增程模式下最大续航里程为380km；该车0~100km/h的加速时间为10.8s；装配制动能量回收系统；二氧化碳排放量可以控制在15g/km内。



图2.35 马自达Extender EV增程式电动汽车

4. 雪佛兰沃蓝达增程式电动汽车

雪佛兰沃蓝达增程式电动汽车（图2.36）的车身尺寸为4498mm×1787mm×1439mm，轴距为2685mm；整备质量为1700kg；配备的锂离子蓄电池容量为16kW·h，T形布置在底盘上；使用层压式结构，288个电池单元并列布置，在每个单元之间设计了冷却水管路，低温时为温水，高温时为冷水，由此可一直保持电池在最佳的工作温度工作；动力系统由1台主电动机，1台副电动机兼发电机及1台1.4L发动机组成；主电动机峰值功率为111kW，而峰值扭矩为370N·m（可以与六缸发动机相媲美），副电动机功率为55kW；只用作发电的发动机的额定功率为62.5kW。



图2.36 雪佛兰沃蓝达增程式电动汽车

雪佛兰沃蓝达增程式电动汽车可以通过电力来全时、全速驱动车辆，其运行模式有两种：电池电力驱动和增程式电力驱动。在电池电力驱动下，依靠车载的 $16\text{kW}\cdot\text{h}$ 锂离子蓄电池组，可实现最高达 80km 的“零油耗、零排放”行驶；当车载电池电量消耗至最低临界限值时，将平顺切换至增程式电力驱动模式，此时车载发动机、发电机将自动起动，为车辆提供续驶电能，从而实现高达 490km 的续驶里程。雪佛兰沃蓝达增程式电动汽车 $0\sim 100\text{km/h}$ 加速时间仅需约 9s ，最高车速可达 160km/h 。