

混合动力传动机构研究

袁丽娟◎著

Research on
Hybrid Power
Transmission
Mechanism

非
外
借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

混合动力传动机构研究

袁丽娟◎著

Research on
Hybrid Power
Transmission
Mechanism



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书首先对混合动力汽车的工作模式进行简要介绍,并对动力耦合的形式进行了分析,确认了行星齿轮机构为具体的动力耦合方式。针对某重型混合动力汽车在 Matlab 中进行建模仿真,得出数据后导入 Ansys 中进行运动学及动力学分析,分析结果验证了行星齿轮式耦合机构的可靠性,并为机构的进一步优化提供了参考依据。本书结构明了,实用性强,可作为机械及车辆相关专业研究生、教师及研究者的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

混合动力传动机构研究 / 袁丽娟著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5170-6007-9

I. ①混… II. ①袁… III. ①传动机构-研究 IV. ①TH132

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 267685 号

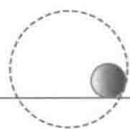
责任编辑: 陈 洁

封面设计: 王 伟

书 名	混合动力传动机构研究 HUNHE DONGLI CHUANDONG JIGOU YANJIU
作 者	袁丽娟 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: mchannel@263. net (万水) sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 13. 25 印张 215 千字
版 次	2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	52. 00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



在过去的几十年中，汽车技术得到了迅速的发展，与此行业相关的各个企业也需要做更多的工作以跟上汽车行业发展的脚步。与此同时，许多新科技类著作在汽车的研究中发挥着越来越重要的作用。这些新著作不仅涉及传统整车技术方面，还有很多是电子技术和信息技术方面的。

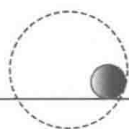
日益恶化的空气以及能源问题，让我们在购买汽车时，做出不同寻常的选择，这也致使汽车行业向清洁能源型发展。混合动力汽车综合了电动汽车和传统内燃机汽车的优点，成为目前业内开发的热点。混合动力汽车同时具有内燃机驱动和电力驱动系统，在不降低常规汽车性能的前提下，逐步实现低油耗和低排放的目标。本书研究对象是混合动力汽车动力耦合机构的关键——行星齿轮机构。在理论分析的基础上对其进行建模仿真并分析其结果。本书主要做混合动力汽车传动系统的一些研究，分析方法和结构安排对于混合动力汽车前期的开发工作具有一定的参考意义。

本书首先对混合动力汽车的工作模式和工况进行简要介绍，确定了本书特有的几种工作模式，并对动力耦合的形式进行了分析，确认了本书混合动力汽车的动力具体的耦合方式。对发动机、电动机、发电机三者之间的工作进行分析，得出了行星齿轮耦合机构内行星架、齿圈、太阳轮的运动情况。

在对行星齿轮静力学和动力学分析方面，本书在现有数据的基础上，对其加工处理，取数据中的极具代表性的区间段，在扭矩最大的情况下，理论计算齿轮的疲劳强度。基于 SolidWorks Simulation 和 Motion 对其疲劳强度进行静力学和动力学仿真。在理论计算的基础上，分析仿真结果。在对比二者的情况下，分析了行星齿轮耦合机构各个部件的应力极值，得出了理论计算与仿真结果是比较吻合的结论。

作者

2017年8月



前言	
第 1 章 概述	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 清洁环保型汽车国内外发展现状与趋势	3
1.2.1 纯电动及燃料电池汽车	5
1.2.2 混合动力汽车	5
1.3 混合动力系统国内外研究现状及发展趋势	6
1.3.1 混合动力系统研究现状	6
1.3.2 混合动力系统的分类	7
1.4 本书主要的研究内容与结构安排	9
1.4.1 本书主要的研究内容及研究对象	9
1.4.2 基于 Matlab 建立整车模型	10
第 2 章 基于 SolidWorks 混合动力耦合机构三维建模	13
2.1 引言	13
2.1.1 SolidWorks 软件概述	13
2.1.2 耦合机构概述	14
2.2 耦合机构模型的简化	15
2.3 混合动力耦合机构建模	16
2.3.1 行星齿轮机构建模方法	16
2.3.2 行星齿轮机构的图纸设计	22
第 3 章 行星齿轮机构的实体装配	26
3.1 耦合机构行星齿轮的装配	26

3.2	电动机和发动机的装配	28
3.3	总体的装配	28
3.4	爆炸视图	29
3.4.1	建立爆炸视图	29
3.4.2	建立动画爆炸视图和解除	30
第4章	行星齿轮机构的工作模式分析	31
4.1	研究的工作模式	31
4.2	各部件的转速及转矩图绘制	32
4.2.1	爬坡工况下的转速、转矩及功率	32
4.2.2	定速最高 75km/h 工况下的转速、转矩及功率	40
4.2.3	基本定速跑圈,最高 60 公里	47
4.2.4	起伏路回车间,频繁换挡	54
第5章	混合动力耦合机构的静态分析	61
5.1	静态分析的目的和意义	61
5.2	行星齿轮机构的理论计算	61
5.2.1	行星齿轮系的传动比及其运动	61
5.2.2	齿轮接触强度计算	62
5.3	基于 SolidWorks 的行星齿轮静力学分析	64
5.3.1	软件操作步骤	64
5.3.2	静力结果评价与分析	68
第6章	混合动力耦合机构的瞬态分析	70
6.1	瞬态分析及其意义	70
6.2	定速 60、加速 90 两种工况的数据及其分析	70
6.3	基于 Motion 的运动学模拟	73
6.3.1	数据的处理	73
6.3.2	软件操作	73
6.4	仿真结果分析	82
第7章	ADAMS 模拟仿真	83
7.1	ADAMS 的介绍	83
7.2	仿真	83
7.2.1	前期处理	83
7.2.2	添加约束	85
7.2.3	添加驱动	86

7.2.4 模型仿真.....	87
第 8 章 运用有限元方法对耦合机构进行强度分析	90
8.1 有限元方法介绍.....	90
8.1.1 ANSYS Workbench 的介绍	90
8.1.2 ANSYS Workbench 数值模拟的一般步骤.....	90
8.2 耦合机构中行星排的强度分析.....	91
8.2.1 静力学方程理论基础.....	91
8.2.2 行星排的静力分析.....	91
8.2.3 结果分析.....	99
第 9 章 ANSYS 动力学分析	100
9.1 ANSYS 软件介绍	100
9.2 耦合机构的动力学分析	101
9.2.1 动力学分析介绍	101
9.2.2 耦合机构谐响应分析的理论	101
9.2.3 耦合机构模态分析	102
9.2.4 耦合机构的谐响应分析	110
9.2.5 谐响应结果分析	117
第 10 章 本书总结及其展望	120
10.1 本书总结.....	120
10.2 该领域未来展望及进一步工作方向.....	120
附录 本书所用的实验数据.....	121
参考文献.....	202

第 1 章 概述

1.1 研究背景及意义

面对日趋严重的环境恶化与资源短缺问题，要求国家政治、经济、社会发展同资源、环境相互促进、协调可持续发展。这是个世界性的难题，世界各国政府制定了相应的法律法规，汽车生产商们也积极地投入到代用燃料车和电动汽车（包括纯电动和混合动力）领域的研究和开发工作。毋庸置疑的是，清洁型交通是未来的发展大趋势，而低排放环保型汽车将是未来汽车所必须具有的特性。

随着我国经济的飞速增长，人们生活水平的提高，汽车的需求也越来越大，这同时也促使了汽车工业的飞速蓬勃发展。随着汽车数量的持续高速的增加，在能源领域和环境问题上继续会产生严重影响。目前用于汽车的能源消耗约占全世界能源总消费的近四分之一。众所周知，石油是不可再生资源，世界的石油资源日趋匮乏，且石油的急速消耗也加剧了本来就比较严重的环境恶化。能源问题、环境问题都是我们要面临的重要问题，它们涉及我们生活的方方面面，直接影响到国家的安全、社会的稳定以及可持续发展。

当前普遍使用的燃油发动机汽车存在种种弊病，统计表明在占 80% 以上的道路条件下，一辆普通轿车仅利用了其动力潜能的 40%，在市区还会跌至 25%，更严重的是排放废气污染环境。20 世纪 90 年代以来，随着全球汽车工业的发展，汽车的产量、销售量和保有量在逐年增加，因此对石油资源的需求、对生态环境的影响也越来越大。世界各国对改善环保的呼声日益高涨，各国制定了一系列十分严格的排放法规，要求生产厂家设法减少汽车排放，开发无污染和超低污染汽车，各种各样的电动汽车也脱颖而出。虽然人们普遍认为未来是电动汽车的天下，但是目前的技术问题阻碍了电动汽车的应用。如今，

世界的政治、经济、技术形势发生着迅速的变化，变化的特点是全球化，这就加速了国际间的竞争和合作，变化的推动力是创新，而不是原有的动力。今后 50 年，全球人口将由 60 亿增加至 100 亿，汽车保有量将由 7 千万增加到 2.5 亿。如果这些汽车都采用内燃机，那么所需的燃料从何而来？而其排的废气如何处理？因此，我们必须开发清洁、高效、智能的交通车辆，才能使 21 世纪的交通可持续发展。混合动力汽车由于具有节能、低排放、能源利用多元化的特点，在世界范围内已经成为新型汽车开发的热点。专家估计在未来一段时间内电动汽车还无法取代燃油发动机汽车，为此想出了一个两全其美的办法，开发了一种混合动力汽车装置 HEV (Hybrid-electric Vehicle)。

混合动力装置就是将电动机与辅助动力单元组合在一辆汽车上做驱动力，辅助动力单元实际上是一台小型发动机或动力发电机组，这样既利用了发动机持续工作时间长、动力性好的优点，又可以发挥电动机无污染、低噪声的好处。混合动力汽车采用两种或两种以上的能源来提供动力，当前比较普遍的方案是采用发动机和动力蓄电池的组合，动力蓄电池通过提供辅助动力或全部驱动力，另外还能实现能量回收。由于混合动力汽车采用多种能源来提供动力，因此需要采用动力复合装置来有效地实现多种动力的耦合。行星齿轮机构由于具有结构紧凑、传动比大、效率高和工作可靠的优点，在车辆传动和动力复合等方面得到了广泛的应用，所以本书主要研究混合动力耦合机构的工作原理。

汽车的使用对环境产生相当严重的污染。除去直接污染源：一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化合物和硫化物以外，还有造成温室效应的二氧化碳，占二氧化碳总排放量的 20% 多。随着汽车保有量的不断增加，大气污染日益严重。汽车对于生态环境的毁坏也超乎想象，汽车在行驶的过程中，会排放大量的污染物和有害气体，这对于人体健康和生态环境都是一个不小的威胁。据世界卫生组织对 60 个国家 10~15 年的监测发现，全球污染最严重的十个城市，中国占 8 个，中国城市大气中的总的悬浮微粒和二氧化碳含量就全球来讲是最高的，全国的酸雨面积已占国土资源的 30% 以上，我国因为酸雨和二氧化硫污染造成的损失每年达 1100 亿元，并导致广泛的疾病。为了缓解这个矛盾，各国政府和机构制定了越来越严格的排放法规。

而从能量损耗方面来讲，现代汽车简直就是在挥霍能源。除去排气损失 33%、气缸冷却 29%、发动机摩擦损失 13%、传动和车桥 5.5% 以及制动损失 7.5% 外，只有非常少的 12% 的能量转化为驱动力传递到车辆的轮胎处。而这传递到轮胎的 12% 的能量中，其中又有一半加热轮胎、路面和周围空气，只有剩下的 6% 能给汽车提供前进的动力。当我们考虑到在多数天气情况下需要

大部分能量用来加热或制冷车内的空气，所以汽车最终用来运送驾驶人员的能量还不到内燃机燃烧化石能量的1%。

1.2 清洁环保型汽车国内外发展现状与趋势

国外对清洁环保型汽车的开发与研究早在20世纪70年代就已经开始了，其最初目的是克服电动汽车的续航能力不足。而当代各个汽车巨头对混合动力汽车的关注是应对日益严重的石油危机和环境恶化。在清洁环保型汽车研发早期，由于电动机、电子控制等技术因素的限制，在那段时间开发的混合动力系统是不成熟的。其后一段时间由于石油危机的消除，人们对清洁环保型汽车的热情随之淡化，投入也相应的减少。而当今时期所必须面对的现状，又让人们开始对混合动力汽车产生了极大的兴趣。从总体来说，清洁环保型汽车的发展历史还处于初期，由于在市场竞争和研究过程中遵循技术保密原则，目前能找到的关于此方面的外文文献大多涉及的是概念层面的研究，很少有对具体参数的选取方法。

我国政府在“九五”期间已将清洁环保型汽车列为重大科技攻关课题。经过十几年的发展，我国混合动力汽车技术与国外仍有较大差距，但是我们的差距在不断缩小，我们取得的成就还是很显著的。在整车和关键零部件乃至上路示范运行方面取得了可喜的成果。在中国，混合动力整车相关单位已达到二十多家，部分为国家“863”资助。为进一步有效推动混合动力汽车的发展，我们需要政府和企业共同努力，根据形势发展适时出台更有力的措施。同时，汽车厂商自身要降低混合动力汽车的成本，跨国公司要适当地支持自主品牌发展清洁环保型汽车。

根据国家产业技术政策，“十一五”期间，主要在能源、环境、资源等领域，重点开展产业技术的开发。汽车产业方面结合国家能源结构调整战略和排放标准的要求，积极开展电动汽车、车用动力电池等新型动力的研究和产业化，重点发展混合动力汽车技术和轿车柴油发动机技术。国家在科技研究、技术改造、新技术产业化、政策环境等方面采取措施，促进混合动力汽车的生产和使用。

20世纪90年代以来，国外所有知名汽车公司均投入巨资开始进行混合动力汽车的研制和开发，不少样车的主要动力性能指标已达到了燃油汽车的水平。进入21世纪后，各国加快了HEV的概念产品化的进程，相继推出了不同

形式的 HEV 产品, Toyota 的 Prius, Honda 的 Insight, Daimler Chrysler 的 ESX3, Ford 的 Pro digy, Nissan 的 Tino, GM 的 Precept 等都是具有代表性的车型;其中 Prius, Insight 车型都显示出了优良的环保与节能性能,这标志着 HEV 市场的逐渐成熟。随着电动汽车、混合动力汽车性能的日益提高以及其成本的不断降低,混合动力汽车的市场份额逐渐增大,已成为重点发展的新型汽车。

目前,我国在新能源汽车的自主创新过程中,坚持了政府支持,以核心技术、关键部件和系统集成为重点的原则,确立了以混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车为“三纵”,以整车控制系统、电机驱动系统、动力蓄电池/燃料电池为“三横”的研发布局,通过产学研紧密合作,我国混合动力汽车的自主创新取得了重大进展,并已经基本掌握了混合动力汽车关键零部件和动力系统平台,建立了相关技术标准和测试能力,汽车混合动力技术已进入科研向产业化转型的关键时期。

混合动力汽车既保持了电动汽车超低排放的优点,又发挥了传统内燃机汽车高比能量的长处,因此混合动力汽车代表着 21 世纪初汽车工业发展的一个重要方向。与传统型汽车相比,混合动力汽车充分吸取了电力/热力系统中最大的优势,在节能和排放上胜出一筹;与纯电动汽车相比,HEV 的电压和功率等级与电动车类似,但蓄电池容量大大减小,因而其造价成本低于电动汽车。HEV 在近 20~30 年内会很有发展前景,这一点是毫无疑问的。汽车行业专家预言,随着混合动力汽车性能的日益提高以及其成本的不断降低,其市场份额正逐步增大,不久的将来,新生产的汽车中 HEV 将占 40%以上,与传统燃油汽车分享市场。国内混合动力汽车正处于样车试制阶段,已开发出混合动力轿车、混合动力中巴车、混合动力大客车样车,而国外日本等少数国家汽车制造商已开始了逐年增长的小批量商业化生产,并正在广泛进入世界市场。我国的汽车工业应在国外产品涌入之前,集中科研力量攻关,迅速开发出自己的产品。

目前对新型环保汽车研究主要集中在三类:燃料电池汽车、混合动力电动汽车、纯电动汽车。纯电动汽车和燃料电池汽车由于基础设施与技术的限制,近一段时间内要想实现商业化生产是很不现实的,所以这两种方案仅仅能作为未来汽车发展的长期目标。而混合动力汽车结合了传统汽车和电动汽车的优势,综合来说,技术性、环保性都是它的优点,且实现难度较小,是世界各国汽车行业近期发展的主要方向。

1.2.1 纯电动及燃料电池汽车

纯电动汽车虽然是满足“零排放”要求的首选方案，然而其关键技术受电池和与电池相关的控制技术的制约，电动汽车的性价比远远达不到市场推广使用的要求，其主要障碍有以下三点。

1) 同样性能的纯电动汽车其造价是传统内燃机汽车的2.5倍。而且相应充电站等配套基础设施需要巨大的投资，占电动汽车成本近40%的电池组价格十分昂贵，其频繁使用或更换的成本难于被当今的人们所接受。

2) 目前没有一种能源可以提供足够高的能量，使得纯电动汽车的性能完全能与燃油汽车相匹配，导致其一次充电的续驶里程非常低而且动力性能达不到当前的内燃机汽车所能达到的动力水平。

3) 电动汽车内部相应电器设备的选取必须充分考虑能量消耗对于电动汽车续驶里程的影响，车内布局受到影响，这样就制约了汽车的舒适性，同时也极大地限制了驾驶员的乘驾乐趣。

虽然燃料电池汽车被公认为当今世界电动汽车发展的最终方向，而且世界各国的汽车巨头以及中国在内的国家级的科研机构已经推出了几代概念性的样车，但是目前仍存在着许多技术性的难题，近期实现大规模产业化的目标难度巨大。

1.2.2 混合动力汽车

混合动力汽车一般是指在一辆车中同时采用电动机和内燃机驱动，外加蓄电池储能的电动汽车，属于油电混合动力的车型。世界各大汽车厂商的开发热点也从以纯电动汽车为代表的“零排放”汽车转向以混合动力为代表的超低排放汽车(Ultra-Low Emission Vehicle, U-LEV)，混合动力汽车融合了传统内燃机汽车和纯电动汽车的优点，被世界的汽车生产厂商公认为最佳的过渡产品。与传统燃油汽车相比较，混合动力电动汽车采用传统燃料，同时配有电动机来改善低速动力输出和燃油消耗。随着控制领域的发展和发动机工况的优化，混合动力汽车在系统效率和整车的节油率上将得到大的提升。现阶段新能源汽车的发展前景是非常可观的。

1.3 混合动力系统国内外研究现状及发展趋势

1.3.1 混合动力系统研究现状

混合动力汽车 (HEV) 是指将内燃机和动力单元 (APU) 共同作为动力源的汽车, 并通过先进的控制系统使其两者的优势充分地结合, 以改善汽车的整体性能。目前其主要形式是内燃机外加蓄电池, 这种方案弥补了以往纯电动汽车电池储能的不足, 克服了纯电动汽车充电一次续航里程不足的缺点, 同时还可以达到节能减排的目的。在成本、节能、动力性等方面提供了更为广泛的发展空间, 所以混合动力汽车有着广阔的市场前景, 其主要技术实现体现在以下方面。

1) 城市工况下主要以纯电动驱动整车系统工作, 发动机尽量是在最佳工况下工作或者是停止工作达到“零”排放。

2) 发动机优良配置。低排量带来的低排放; 尽量保持最佳的工况和尽量减少低速下运行, 以实现节能燃烧和减少排放。

3) 先进的能量转换技术以及电控系统使电动机和发动机驱动系统依据不同路况的要求分别工作或者同时工作来驱动车辆的行驶, 大大地提高了汽车的机动性能和燃油经济性。

4) 再生制动的能量回收是混合动力的一个重大特点。

混合动力汽车是传统燃油汽车和纯电动汽车的最佳结合方案, 是综合两种驱动系统、充分发挥其最大功能的创新动力系统, 它的显而易见的综合优势有以下几点。

1) 发动机主要以高负荷工作 (在经济性较好的区域), 与传统车相比可以显著地降低发动机的排量, 油耗可降低 30% 左右。

2) 排放量也随之降低。丰田公司的测试数据表明, 混合动力汽车与传统的汽油车相比, CO_2 的排放量可降至后者的 53%, CO 、 HC 和 NO_x 则能达到原车的 12%。

3) 混合动力汽车的电池既可以通过外部电源用 220V 的交流电充电, 亦可以直接通过发动机充电, 使用起来较为方便, 大大地降低了其制造成本和使用成本。

4) 综合了内燃机系统和蓄电池电动机/发电机系统的共同优势, 克服了纯

电动汽车在寿命、电池能量以及价格等方面的缺陷。

基于以上几点优点，混合动力汽车被国内外汽车行业专家、学者普遍认为是目前最具有开发潜力和价值的交通工具。

1.3.2 混合动力系统的分类

根据混合动力驱动的联结方式，混合动力系统主要分为以下三类。

一是串联式混合动力系统（SHEV），串联式混合动力系统是由内燃机直接带动发电机发电，产生的电能全部通过控制单元传到电池，再由电池给电机为动供能，最后通过变速机构来驱动汽车。在这种联结方式下，电池就像一个水库，只是调节的对象不是水量而是电能。电池对在发电机产生的能量和电动机需要的能量之间进行调节，从而保证车辆正常工作。SHEV的特点是发动机工作点不受车辆的实际工况影响可以保持发动机在低能耗、高效率和低污染的状态下运转，但二次能量转换影响了它的总体节能效果。这种动力系统在城市公交上的应用比较多，轿车上很少使用。

二是并联式混合动力系统，并联式混合动力系统有两套驱动系统：传统的内燃机系统和电机驱动系统。两个系统既可以同时协调工作，也可以各自单独工作驱动汽车。这种系统适用于多种不同的行驶工况，尤其适用于复杂的路况。该联结方式结构简单，成本低。本田的雅阁和思域采用的是并联式联结方式。

三是混联式混合动力系统。混联式混合动力系统的特点在于内燃机系统和电机驱动系统各有一套机械变速机构，两套机构或通过齿轮系，或采用行星轮式结构结合在一起，从而综合调节内燃机与电动机之间的转速关系。与并联式混合动力系统相比，混联式动力系统可以更加灵活地根据工况来调节内燃机的功率输出和电机的运转。这种联结方式系统复杂，成本高。丰田的Prius采用的是混联式联结方式。

2007—2009年，除丰田以外的国外其他各大汽车生产公司也相继推出了多种混联式混合动力车型，如表1.1所示。

表 1.1 混合动力车型

生产厂家	品牌	车型	上市时间
通用雪佛兰	Malibu	中型混合动力轿车	2007
通用雪佛兰	Tahoe	SUV	2007
通用汽车	Yukon Hybrid	SUV	2007
马自达	Tribute Hybrid	SUV	2007

续表

生产厂家	品牌	车型	上市时间
克莱斯勒	Silverado Hybrid	大型混合动力皮卡	2008
福特	Fusion	中型混合动力轿车	2008
通用汽车	Sierra Hybrid	大型混合动力皮卡	2008
Mercury 公司	Milan Hybrid	中型混合动力轿车	2008
德国宝马公司	BMW X3 X6	SUV	2009
克莱斯勒	Equinox	SUV	2009

根据在混合动力系统中电机的输出功率在整个系统输出功率中占的比重,也就是常说的混合度的不同,混合动力系统还可以分为以下四类。

一是微混合动力系统。代表的车型是 PSA 的混合动力版 C3 和丰田的混合动力版 Vitz。这种混合动力系统在传统内燃机上的启动电机(一般为 12V)上加装了皮带驱动启动电机(也就是常说的 Belt-alternator Starter Generator,简称 BSG 系统)。该电机为发电启动(Stop-Start)一体式电动机,用来控制发动机的启动和停止,从而取消了发动机的怠速,降低了油耗和排放。从严格意义上讲,这种微混合动力系统的汽车不属于真正的混合动力汽车,因为它的电机并没有为汽车行驶提供持续的动力。在微混合动力系统里,电机的电压通常有两种:12V 和 42V。其中 42V 主要用于柴油混合动力系统。

二是轻混合动力系统。代表车型是通用的混合动力皮卡车。该混合动力系统采用了集成启动电机(也就是常说的 Integrated Starter Generator,简称 ISG 系统)。与微混合动力系统相比,轻混合动力系统除了能够实现用发电机控制发动机的启动和停止,还能够实现:①在减速和制动工况下,对部分能量进行吸收;②在行驶过程中,发动机等速运转,发动机产生的能量可以在车轮的驱动需求和发电机的充电需求之间进行调节。轻混合动力系统的混合度一般在 20% 以下。

三是中混合动力系统。本田旗下混合动力的 Insight, Accord 和 Civic 都属于这种系统。该混合动力系统同样采用了 ISG 系统。与轻度混合动力系统不同,中混合动力系统采用的是高压电机。另外,中混合动力系统还增加了一个功能:在汽车处于加速或者大负荷工况时,电动机能够辅助驱动车轮,从而补充发动机本身动力输出的不足,更好地提高整车的性能。这种系统的混合程度较高,可以达到 30% 左右,目前技术已经成熟,应用广泛。

四是完全混合动力系统。丰田的 Prius 和未来的 Estima 属于完全混合动力

系统。该系统采用了 272–650V 的高压启动电机，混合程度更高。与中混合动力系统相比，完全混合动力系统的混合度可以达到甚至超过 50%。技术的发展将使得完全混合动力系统逐渐成为混合动力技术的主要发展方向。

以上各种不同的混合方式，都能在一定程度上降低成本和排放。各大汽车厂商在过去的十几年，通过不断地研发投入，试验总结，商业应用，形成了各自的混合动力技术之路，而在市场上的表现也是各具特色。

1.4 本书主要的研究内容与结构安排

1.4.1 本书主要的研究内容及研究对象

混合动力汽车的关键技术之一是对应不同工况的多种能源的耦合问题，而行星齿轮传动技术能很好地解决这一问题。一般来说混合动力汽车有四种不同的工作模式，如表 1.2 所示。

表 1.2 工作模式

车辆状态	发动机	电机	工作模式
停车	关闭	断电	空挡
小负荷	关闭	驱动	纯电动
大负荷	开启	驱动	混合驱动
制动	关闭	发电	再生制动

本书主要研究的是定速 60、加速 90 两种工况。

本书主要的研究对象为混合动力汽车的耦合机构。它来自于混联型混合动力汽车，其参数如表 1.3 所示。

表 1.3 混合动力车型主要参数

参数	数值
车辆整备质量 m/kg	2100
轮胎滚动半径 r_d/m	0.59
发动机功率 P_{eN}/kW	300

参数	数值
发动机最高转速 $n_{e_max}/(r \cdot \min^{-1})$	2100
发电机额定功率 P_{g_N}/kW	150
电动机额定功率 P_{m_N}/kW	165
电动机额定转矩 $T_{m_N}/(N \cdot m)$	450
电池容量 $C/(A \cdot h)$	100
1 挡传动比 i_1	8.054
2 挡传动比 i_2	2.971
3 挡传动比 i_3	1
后传动传动比 i_r	9.052

1.4.2 基于 Matlab 建立整车模型

Matlab 是一个高级的矩阵/阵列语言, Matlab 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件, 主要包括 Matlab 和 Simulink 两大部分。Matlab 主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通信、信号检测等领域。

本书使用了 Matlab 软件中的“Simulink Toolbox——动态仿真”工具箱中的 SimDriveline 模块和 SimPowerSystems 模块。利用该工具箱中的 SimDriveline 模块, 使用面向对象的模块化建模方法建立了发动机、离合器、电机等部件, 并对其进行了封装, 建立了整车模型。利用该工具箱中的 SimPowerSystems 模块, 将建立好的整车模型, 利用 SimPowerSystems 模块元件库中提供电气设备和元件, 如电机、传输线、串联、并联、电压和电流等, 像搭建电路一样, 模块之间通过接口变量交换相互作用信息, 最后组合成整车的仿真模型, 得到的整车模型, 如图 1.1 所示。