

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2016.02.002

# 混合动力汽车驱动系统技术轨道识别研究

杨中楷

(大连理工大学科学学与科技管理研究所 大连 116024)

**摘要:** 通过获取混合动力汽车驱动系统技术领域的专利属性数据和引用关系数据,应用前期研究所形成的识别算法与可视化方法体系,绘制专利引文网络可视化图谱并从中识别技术演进路径,综合数据资料对技术演进路径图谱进行解读,展示混合动力汽车驱动系统技术发展的历史脉络,识别新技术演进路径的产生可能性与发展方向。对我国相关领域的发展战略提供决策参考。

**关键词:** 技术轨道, 专利引文网络, 混合动力汽车, 驱动系统

## Research on Identification of Technological Evolution Path of Hybrid Vehicle Driving System

YANG ZhongKai

(Institute of Science Studies and S&T Management, Dalian University of Technology, Dalian, China 116024)

**Abstract:** This study employed the recognition algorithm and visualization method system to render the patent citation network visualization mapping of hybrid vehicle and identify the technology evolution path. Furthermore, according to the technology evolution path and mapping, we revealed the historical context of hybrid vehicle driving system, and also identified the trend and probability of driving system of hybrid vehicle in the future for supporting the further development of related field in China.

**Key words:** Technological evolution path, patent citation network, hybrid vehicle, driving system

**基金项目:** 国家社会科学基金项目“基础性专利的形成机理与培育机制研究”(13CGL019). 青年学者优秀论文奖励计划。

**作者简介:** 杨中楷(1977-),男,汉族,大连理工大学人文与社会科学学部,副教授,博士生导师,研究方向:专利计量与科技管理。

## 1 引言

### 1.1 混合动力汽车与低碳交通

随着全球工业经济的发展、人口数量的增加以及人类生产生活方式的无节制，世界气候正面临越来越严重的问题。在1997年12月举行的“联合国气候变化框架公约”第3次缔约方大会上，149个国家和地区的代表通过了《京都议定书》，开启了全球应对气候变化的行动规则。2008年，联合国环境规划署将“改变传统观念，推行低碳经济”确定为“世界环境日”的主题，呼吁各国发展低能耗、低污染的“低碳经济”，通过技术创新和制度创新减缓人类活动对气候造成的不良影响<sup>[1]</sup>。2009年12月7日，随着哥本哈根世界气候大会，应对气候变化国际行动不断走向深入，寻求以减碳为目的的低碳发展模式，已成为全世界的共识。“低碳交通”就是在日常出行中选择低能耗、低排放、低污染的交通方式，更是实现全球低碳发展模式不可缺少的重要环节。

混合动力汽车是传统汽车向电动汽车转变的过渡产品。国际电工委员会(IEC)电动汽车技术委员会将混合动力汽车(HEV: Hybrid Electric Vehicle)定义为：有一种以上能量转换器提供驱动动力的混合型电动汽车。也可简单定义为：将电力驱动和辅助动力单元(APU: Auxiliary Power Unit)合用到一辆车上<sup>[2]</sup>。它的基本结构就是在电动汽车(EV)和燃料电池电动车(FCEV)的基础上增加一套辅助动力系统——动力发电机组或某种原动机，原动机可以是内燃机、燃气轮机等热机。作为融合了内燃机汽车和纯电动汽车两者特点的混合动力汽车，既可充分利用传统汽车的技术成果和工业基础，又可有效减少排放、降低油耗，是现阶段传统发动机汽车向零排放电动汽车过渡的最可行方案之一<sup>[3]</sup>，也是目前实现低碳交通的最有效手段。

### 1.2 技术轨道

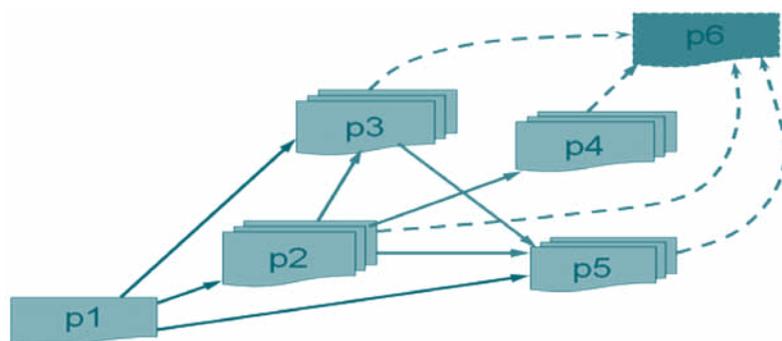
“技术范式”和“技术轨道”的概念最早由意大利的技术创新经济学家乔瓦尼·多西提出，他于1982年总结了克莱珀、普赖斯等人对技术演进的线性和动力问题的研究<sup>[4-5]</sup>，并以纳尔逊和温特的“自然轨道”<sup>[6]</sup>为基础对“技术范式”和“技术轨道”进行了定义。多西认为某一技术领域若有较大的发展或突破，相应的技术体系即会形成一种技术范式。若该技术范式长期地支配该领域技术创新的方向，那么这一范式就形成一条技术轨道<sup>[7-8]</sup>，沿技术轨道进行创新可以帮助企业获取可持续竞争优势<sup>[9-10]</sup>。可见，技术轨道能够为企业技术创新提供理论指引和决策参照，但应该如何识别技术轨道则被认为是操作层面的核心问题。休谟和道恩<sup>[11]</sup>关于DNA的文献引文网络的研究，揭示出文献引文网络中与主流知识流动对应的“关键路径”，从另一个侧面验证了多西的看法的可行性。沃斯培根和罗伯托先后针对燃料电池技术和以太网技术开展了基于专利引文网络的技术轨道识别研究的开创性研究工作<sup>[12-13]</sup>。虽然上述两项研究还停留在尝试性阶段，但已经展示出专利及其引文网络在技术轨道识别方法的应用前景，直接为进一步研究的深入开展指明了方向。

综上，本文意欲将混合动力汽车的专利及其引文网络作为主要研究对象，识别混合动力汽车技术轨道，展示混合动力汽车的关键技术发展轨迹，为我国混合动力汽车技术的发展提供借鉴和参考，推进我国低碳交通事业的发展。

## 2 技术轨道识别原理方法

### 2.1 原理假设

图1描述了一个简单的专利引用过程中的知识活动。p1~p6节点代表6项专利，箭头代表

图1 专利引用过程中的知识活动<sup>[14]</sup>

知识流动方向。在这个专利引用过程中，包含了两个层次的知识活动：一是知识的产生与传播。由于一项专利申请被核准会受到严格的新颖性检查，因此一项新专利尤其是发明专利的诞生，一般都代表着新知识的产生。新的知识产生之后，在相当长的一段时间内不会受到其他专利的注意。统计数据表明，一项专利一般会在授予后的第2年开始被其他专利引用，第5~8年达到高峰，以后迅速下降。而在某一时间点，当其他研发人员参考本专利的技术进行新的技术创新进而申请新的专利时，专利引用过程就付诸实现。在图1中，专利 p1 → 专利 p2、p3、p5，专利 p2 → 专利 p3、p4、p5，专利 p3 → 专利 p5、p6 等专利引用过程清晰可见，形成了初具规模的引文网络。专利 p1 中的知识经过层层流动，可以直接到达 p2、p3、p5 等专利节点，也可能间接流动至 p4、p6 两节点。可见，专利引文网络延伸了专利引用过程，拓展了知识流动的渠道，极大地促进了知识扩散的深度和广度。

从另一个层次来看，在知识流动的过程中，知识本身并非是一成不变的，知识的发展与重组时有发生。如果说知识的传播乃至发展都属于知识的物理变化，当来自各个方向的知识积累达到一定程度，各种知识融会贯通、互相交织，则有可能产生知识的化学变化，虽然与已有的知识基础无法完全脱离，但崭新的知识组合以

及新的技术领域有可能就此形成。举例来说，(p2+p3+p4+p5) → p6 代表了一个知识重组的过程。p3、p4、p5、p6 已经逐渐将 p1 中的知识扩散发展开去，等到积累至一定程度，众多专利在新的技术领域进行整合，就可能产生知识的融合与重组。从 p1 知识扩展这一过程也不是突然间发生的，而是经过了其他节点的层层推进。以 p3 和 p5 为例，都从专利 p1、p2 或者 p3 中汲取了知识流，但这三项专利已处于不同的技术水平。换句话说，p3 和 p5 这两项专利中特定知识的数量和质量已超越其所引用的在先专利，产生了  $p3 > (p1+p2)$ 、 $p5 > (p1+p2+p3)$  的效果。p6 则在 p3 和 p5 的基础上继续前进，终于实现知识由量变到质变的过程，在其中产生了与 p1 可能完全不同的新的知识单元，完成了知识发展与重组的过程<sup>[14]</sup>。

## 2.2 基本算法

我们以图2来示意一个简单的专利引文链条，图中的圆点代表专利，连线代表存在引用关系，箭头的起点是被引专利，指向施引专利，所有节点按照施引和被引的时间序列排开。前一个施引专利对应成为下一个被引专利。由于专利间的交叉引用关系，真正的专利引文网络往往比专利引文链条看起来要复杂的多。但即便是一个看起来相当复杂的专利引文网络，其主体结构也与图2是一致的。

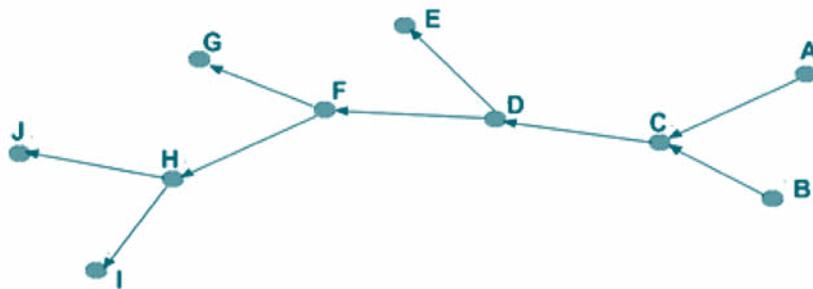


图2 专利引文链条示意图

要寻找引文网络中隐藏的从起点到终点的关  
键路径，则需要通过剪掉旁枝末节留下那些连  
续的主要节点才能实现。因此，如何判断哪些  
节点是主要节点是识别关键路径的核心问题。  
冯·瓦尔特布尔格 (Von Wartburg)<sup>[15]</sup> 等人曾  
提出，判断节点是否是主要节点应将个体节点  
的重要性与网络的“整体连接结构”结合起来  
会更具说服力。

按照这一思想，确定网络的关键路径的测算  
方法之一是搜寻路径连接数目 (Search path link  
code, SPLC)。这一指标需要考虑网络中存在的  
所有路径，并计算相邻两节点之间的连线存在于  
所有路径中的频次。在图3中，A→C这条线的

SPLC 值为4，即在网络中的所有路径中，节点  
A、C之间的连线总共出现了4次，分别出现在  
A→E、A→G、A→J和A→I这4条路径上。  
依此类推，可以算出各点 SPLC 值。

另一个测算方法是搜寻路径节点对数  
(Search path node pair, SPNP)。以图3中连  
线C→D为例，它连接了A、B和C三点指向D，  
使C与D、E、F、G、H、I、J七点相连。这样  
就可以确定C→D这条线的SPNP值为21(3\*7)，  
即这条线总共连接了21对节点。依此类推，可  
以算出各点 SPNP 值。SPNP 测度方法更多考虑  
到在路径中充当“中介者”的节点，而不是仅仅  
着眼于起点和终点。

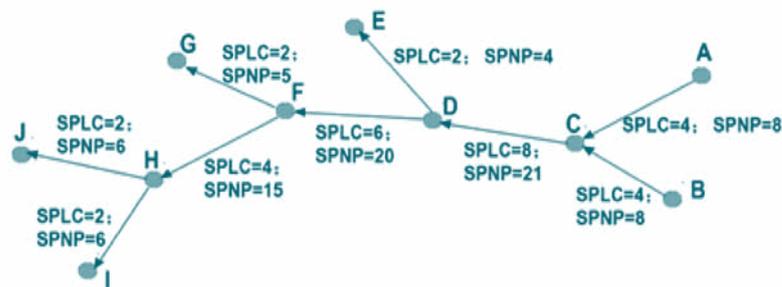


图3 路径和节点对权重测算

在图3的基础上，保留 SPNP 值不小于6的  
连线，得到的便是网络的关键路径，即粗线表示  
的部分。在这一关键路径中，剔除了次要连线  
D→E和F→G，形成以A和B为起点，J和I

为终点的，经过C、D、F、H的一条技术轨道。  
当然我们需要清醒地认识到，识别算法仅在数理  
层面有效，特定领域技术轨道的合理性尚需要结  
合实践来检验得出。

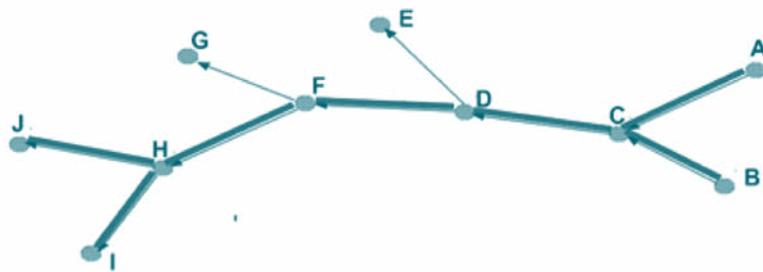


图4 识别后的技术轨道示意图

### 3 混合动力汽车技术轨道识别

#### 3.1 数据选取

本文应用台湾连颖科技股份有限公司开发的WEBPAT专利信息服务平台，利用其网络查询功能，在USPTO（美国专利商标局）数据库中，选取美国专利分类表中UPC分类号为903的这一类别的专利小类作为数据来源。数据选取范围是授权日为2001年1月1日至2011年12月31日的所有专利。

903小类包含的是混合动力汽车驱动设备安装的相关专利，特别是针对混合动力汽车的拓扑结构和相关部件以及混合动力汽车的控制系统的。该分类是由日本专利局（JPO）和欧洲专利局（EPO）为适应实际技术发展而最开始设置的新的专利分类。

#### 3.2 总量数据描述

经过对检索得到的专利数据进行整理，共得到432项专利数据，按申请年进行分解，得出图5所示903小类的专利数量时序图。有两点需要说明：一是本文所使用的美国核准专利数据库中即所有专利都是已经被授权的，但是这里的统计口径则是以申请年为准。一般来说，一项专利自提交申请到被授权要经过3年左右的时间，也就

是说，2008年前后提出申请的专利一般要到2011年前后才会得到授权。所以图5中显示的2008年至2011年专利申请量锐减，很大程度上是由专利申请到授权的客观要求所决定的。二是，美国专利局最早引入该专利分类时，只是把在日本专利局或欧洲专利局已被授权的该类专利的同族专利收录到903小类之中，并非包括应有的全部专利数据。综上，我们把注意力放在2000年到2007年这段时间，概要地对混合动力汽车相关技术的发展历程做要描述。

人类对于混合动力汽车梦想并非在环保成为时代口号后才产生，实际上，早在汽车工业渐成规模的年代，工程师和科学家已经在思考如何打造更为节能的出行工具。1916年8月，世界第一辆电油混合动力汽车问世，这款双排座的轿车是使用操纵杆代替踏板来控制油门的<sup>[16]</sup>。随后将近一个世纪的时间里，出现了多种设计的混合动力车，但都只停留在探索试验阶段。

1997年12月，全球气候变化条约国第三次缔约国会议（COP3）在日本京都召开，会议通过的《京都议定书》限定了CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、甲烷等6种造成温室的气体的排放量<sup>[17]</sup>。巧合的是，1997年底，世界上第一款量产混合动力车Prius推向日本市场，当年销售量18000辆。1999年本田混合动力双门小车Insight在美国推出，受到好评，也正是在1999年前后，日本和欧洲专利局为混合动

力汽车增设了专利小类。数据显示，USPTO 专利库共收录 2000 年申请的 903 小类专利 3 项，2001 年 1 项，2002 年为 8 项。这段时期的专利申请量较少，是混合动力汽车开始引起市场注意的过渡时期。

2003 年起，美国通用汽车公司开始对商业用途的 GMC Sierra 型和雪佛兰 Silverado 型货车提供混合动力选择，2004 年 Ford 汽车公司的 Escape SUV 和 Prodigy 混合动力汽车上市<sup>[18]</sup>。2005 年 9 月通用汽车、戴姆勒·克莱斯勒与宝马集团签署了关于构建全球合作联盟，以共同开发混合动力

推进系统的合作。2009 年美国混合动力汽车销量达到 29.032 万辆，虽然占美国汽车市场份额只有 2.8%，但从 2005 年起呈逐年上升趋势<sup>[19]</sup>。可以说，这段时期混合动力汽车作为发展低碳交通的重要实现手段，越来越多的被人们关注和被市场接受。专利申请情况与之相符，从图 5 可以明显看出 2003 年到 2007 年专利数量的上升：2003 年 903 小类专利申请量 33 项，2004 年骤升至 77 项，分别是 2002 年的 4 和 9 倍之多，2005 年虽有小幅滑落但随后强势反弹，2007 年达到 99 项专利的水平。



图 5 903 小类专利时序图

### 3.3 技术轨道识别与图谱绘制

把搜索得到的 432 项专利数据进行整理，目

标专利及其引用专利之间共形成 6985 对引用关系，把 6985 对专利数据导入 Pajek 软件<sup>1</sup>，其中最大连通组图谱如图 6 所示。

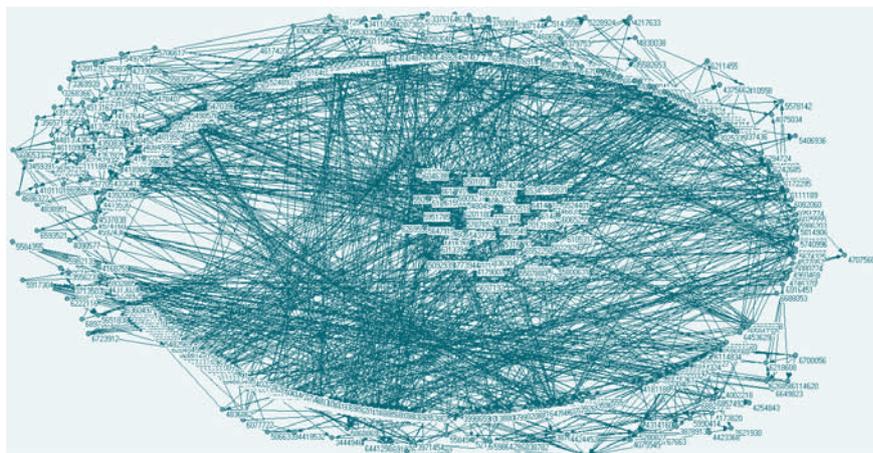


图 6 引文网络中的最大联通组

1 <http://vlado.fmf.uni-lj.xj/pub/networks/pajek/>

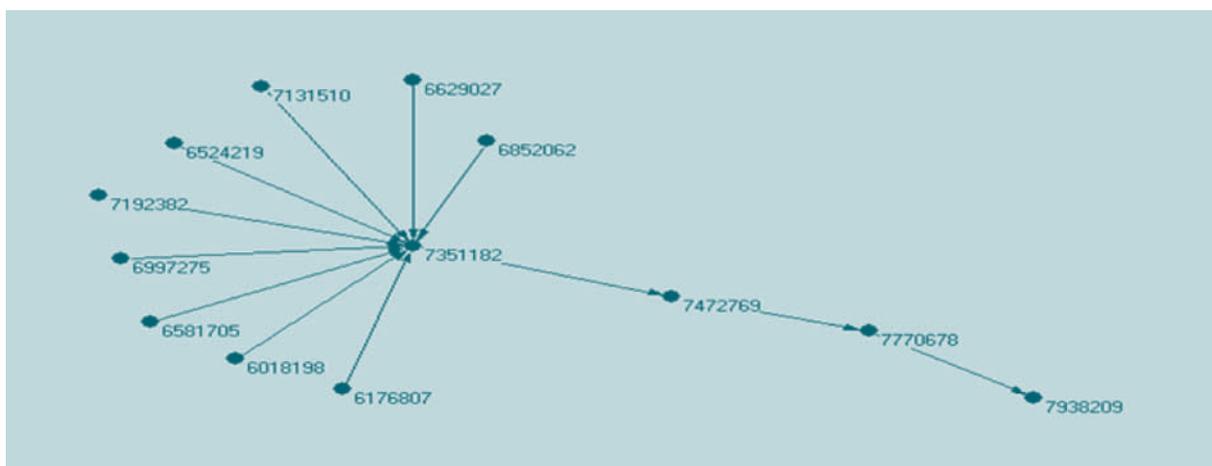


图7 混合动力汽车技术轨道 (1998-2010)



图8 混合动力汽车技术轨道阶段图 (1998-2010)

利用 Pajek 软件计算图 6 中每个节点的 SPLC 值, 删除次要节点, 形成引文网络中的关键路径。结合时间序列, 将此关键路径按时间进行重新梳理, 可得到图 7 中的技术轨道图谱。

结合图 7 与表 1 信息, 对技术轨道上的主要节点进行解读, 结合相关文献可以将混合动力汽车驱动领域的发展分为两个阶段 (如图 8) :

第一阶段: 混合动力汽车基本设计完善阶段 (约 2005 年之前)。

这一阶段的主要专利包括 6018198、6176807、6524219、6581705、6629027、6997275、6852062、7131510。技术发展主要内容: 混合动力汽车启动方法和动力系统。

专利 6018198 发明了一种汽车的混合动力驱动装置, 它可以提升汽车在行驶过程中重启反应速度, 进而减小减速所带来的冲击。这个混合动力驱动装置包括一个引擎、马达发电机、离合器、传动装置以及控制其他部件的控制装置。

6176807 设计了一种混合动力汽车的驱动装置。发明包括两个主要部分: 一个是可以在混合动力汽车刚刚启动之后的低速状态下为内燃机提供一个驱动控制系统; 另一个是在启动内燃机时防止震动的装置。这种驱动装置的优点是可在低速状态下启动引擎, 并有效阻止由驱动力矩波动所引起的汽车行驶平顺性恶化。

专利 6524219 设计了一种汽车推进方法及其

控制系统。这项专利的特点是：在开始阶段（一般情况是一档），可逆电机作与变速器相连，作为一个电动机工作，也就是说在这一阶段，汽车的动力完全是由电动机提供的；而当由一档变为更高档时，内燃机与电机相连，电机启动内燃机，使内燃机代替电机成为汽车的驱动装置。这种设计的优点是在不影响汽车行驶状态的情况下有效地减少了燃料消耗和废气排出。

6581705 这项专利介绍了一种使车辆保持平稳反应的启动并联式混合动力汽车的方法，该工作原理是，启动引擎，闭合断开的离合器，产生理想的马达 / 发电机转速，为引擎提供燃料，计算理想的引擎转矩。对发电机理想速度的预测可能是基于目前和过去的车辆速度及加速度，或者是根据车上油门位置而进行的。该方法特别适用于以最小力矩扰动连接动力系统的混合动力汽车。

6629027 为混合动力汽车设计了一种包括内燃机、电机、电力储存设备以及一个动力传输设备推动系统，内燃机或电机二者中至少一个的驱动输出功率通过传动设备输出到传动轴，推动混合动力汽车行驶。这项发明可以有效的减速混合动力汽车的燃料消耗和废弃排放，同时减缓由于内燃机换挡给司机带来的冲击感。

多数的机动车都是由内燃机提供主要动力，6852062 这项专利设计的引擎是通过离合器和变速器与多个驱动轴相连。一些次要组件，例如泵、压缩机、空调机等其他用电装置在汽车中的应用越来越多，这项专利所设计的驱动装置由内燃机和电机共同提供汽车驱动力，但是只有内燃机为次要组件提供动力。该专利一方面在满足汽车行驶动力需要的角度优化驱动系统，另一方面实现了混合动力汽车次要组件的用电最优化。

6997275 是混合动力汽车推动力控制的方法及系统。这项专利的目的在于提升混合动力汽车的推进系统性能，以便更好地利用汽车停止到启

动这一阶段的特性，减少汽车启动过程中的给操作性能和行驶舒适性带来的影响。专利 7131510 是 6997275 的后续专利。

7192382 专利发明了一种混合动力电动汽车模式转移控制装置。这项专利是针对带有电动汽车无级变速传动系统模式、电动汽车固定变速模式、混合动力电动汽车无级变速传动系统模式和混合动力电动汽车固定变速模式 4 种行驶模式的混合动力汽车而设计的，改进了以往当司机要转换行驶模式的时候往往无法直接从一种模式转换到另一种模式的不足之处。

总的来说，这一时期是混合动力汽车基本设计形成完善阶段。国内外汽车制造厂商开发了许多混合动力汽车的驱动系统。在这些驱动系统中增设机电元器件以改善驱动效率。

第二阶段：混合动力汽车性能提升阶段（约 2006 年至 2011）。

这一阶段的主要专利包括 7351182、7472769、7770678、7938209。技术发展主要内容：混合动力汽车的燃油经济性和性能提升。

7351182 混合动力电动汽车驱动装置及控制方法。这个驱动装置包括一个电机、用来连接和切断电机和引擎联系的离合器 1、传送和切断到车轮驱动力的离合器 2 以及执行电机操作的控制装置。如果在车辆行驶中电机发出启动引擎的指令，离合器 1 和离合器 2 就会在控制模式的基础上，根据直接或间接检测到的不同电机的转速工作，继而控制装置启动引擎。

专利 7472769 是为提高燃油经济性而设计的混合动力电动汽车控制系统配置。以往的相关专利中，安装在轮子和电机之间的离合器扭矩转移能力通过使用一个相对较大的安全系数而实现控制，但是这种大安全系数使得离合器扭矩转移能力过大，造成燃油经济性降低和驱动力性能退化。新系统有选择性的控制两个离合器的合闭状态，

实现电动驱动 (EV) 方式与混合动力驱动 (HEV) 方式的转变, 通过优化电机和引擎传输电机功率的离合器扭矩转移能力实现燃油经济性。

专利 7770678 发明了一种混合动力汽车控制器。当混合动力汽车推动模式从电力驱动模式转换为种混合驱动模式时, 该控制器通过第一个离合器选择转矩来启动引擎。在驱动模式转化时发动机收到启动指令, 控制装置就从既定的位置中, 选择具有最大扭矩的转移能力的作为离合器的齿轮位置来启动引擎, 同时对第二离合器执行滑动控制。

专利 7938209 发明了一种适应脱开式离合器速度转矩特性的装置。这个装置被安装在内燃机

与电机之间, 与至少一个驱动车轮相连。它包括几个部分: 确定内燃机转速的速度传感器、离合器制动器以及内燃机电控制装置。当内燃机由于脱式离合器被打开而暂时停止时或者由于闭合离合器重新启动时, 该专利可以发挥作用, 方便混合动力传动系统工作, 提高工作效率。

综上, 不难发现, 在完善了基本设计之后, 本阶段混合动力汽车驱动系统的技术发展核心是燃油经济性和性能的提升。无论是纯电动汽车还是氢燃料电池汽车的研发都向我们证明一点: “成本过高, 难以商业化推广” 是阻碍技术发展的主要问题。混合动力汽车想要获得长足发展, 经济性是其所需解决的首要问题。

表 1 主要专利节点信息

专利号	名称	申请时间	授权时间
6018198	汽车的混合动力装置	1998-08-18	2000-01-25
6176807	混合动力汽车的驱动控制系统	1998-12-18	2001-12-23
6524219	汽车推进方法及其控制系统	2001-08-02	2003-02-25
6581705	并联式混合动力汽车启动方法	2001-06-29	2003-06-24
6629027	混合动力汽车推动系统	2002-10-02	2003-09-30
6852062	混合动力汽车引擎设计	2001-02-01	2005-02-08
6997275	混合动力汽车推动力控制方法及系统	2001-02-02	2006-02-14
7131510	混合动力汽车推动力控制方法及系统	2005-05-26	2006-11-07
7192382	混合动力汽车模式转移控制装置	2005-03-09	2007-03-20
7351182	混合动力电动汽车驱动装置及控制方法	2005-10-26	2008-08-01
7472769	混合动力汽车控制系统配置	2006-11-06	2009-01-06
7770678	混合动力汽车的驱动控制系统	2006-11-08	2010-08-10
7938209	速度转矩特性适应方法	2009-05-26	2011-05-10

## 4 分析与讨论

本文提供的技术轨道识别方法，能够从专利引文网络中识别出技术发展的关键路径并绘制出可视化图谱，具备揭示和预测特定领域技术发展脉络与趋势的功能。参照技术轨道，可以大体明确混合动力汽车领域的宏观和微观层面的发展方向，更好地服务于我国企业技术创新活动和产业发展战略制定。

考虑到专利申请与现实应用可能存在一定的时间差距，我们应该认识到成本过高是限制混合动力汽车推广应用的巨大阻力，如何更加有效地提高燃油利用率和系统工作效率是未来一段时期内混合动力汽车技术的突破点。具体到我国，对混合动力汽车节能环保水平提升的要求更是日益迫切：根据相关部门提供的统计数据，目前，我国交通能耗已占全社会总能耗的 20%，如不加以控制，将达到总能耗的 30%，会超过工业能耗。交通已成为我国能源消耗和温室气体排放的重要来源，而道路交通工具所消耗的车用燃油又是交通能耗的主体，约占整个交通运输行业能源消费总量的 70%<sup>[1]</sup>。提升燃油经济性和系统工作效率的相关技术无疑会对我国混合动力汽车行业的发展起到决定性作用。

### 参考文献：

- [1] 刘丽亚. 走低碳交通之路 促城市可持续发展 [J]. 综合运输, 2010(1):29-32.
- [2] 程艳. 混合动力汽车及关键技术综述 [J]. 硅谷, 2010(1):164-164.
- [3] 阮武卫. 混合动力汽车发展现状及关键技术 [J]. 现代零部件, 2011(8):60-62.
- [4] Klepper S. Entry, Exit, Growth, and Innovation over the Product Life Cycle[J]. The American Economic Review, 1996, 86(3):562-583.
- [5] Klepper S. Industry Life Cycles[J]. Industrial & Corporate Change, 1997, 6(2):145-181.
- [6] Winter S G, Nelson R R. An evolutionary theory of economic change [M]. Belknap Press of Harvard University Press, VS, 1982.
- [7] Dosi G. Sources Procedures and Microeconomics of Innovation[J]. Journal of Economic Literature, 1988(26):1127-1128.
- [8] Haupt R, Kloyer M, Lange M, et al. Patent indicators for the technology life cycle development[J]. Research Policy, 2007, 36(3):387-398.
- [9] 杜跃平, 高雄, 赵红菊. 路径依赖与企业顺沿技术轨道的演化创新 [J]. 研究与发展管理, 2004, 16(4):52-57.
- [10] 许广玉. 基于技术轨道的高技术企业自主创新探析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2005, 26(3):148-151.
- [11] Hummon N P, Dereian P. Connectivity in a citation network: The development of DNA theory [J]. Social Networks, 1989, 11(1):39-63.
- [12] Verspagen B. Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: A Study on the History of Fuel Cell Research[J]. Advance in Complex System, 2005, 10(1): 93-115.
- [13] Fontana R, Nuvolari A, Verspagen B. Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: An Application to Data Communication Standards[J]. Science and Technology Policy Research, 2008, 18(4):311-336.
- [14] 杨中楷, 梁永霞, 刘倩楠. 专利引用过程中的知识活动探析 [J]. 科研管理, 2010, 31(2):171-177.
- [15] Wartburg I V, Teichert T, Rost K. Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis[J]. Research Policy, 2005, 34(10):1591-1607.
- [16] 石祖春, 王新虎. 从“生物电”到混合动力 电动汽车的发展历史 [J]. 当代汽车, 2010(2):4-13.
- [17] 何洪文, 祝嘉光, 李剑. 混合动力电动汽车技术发展现状 [J]. 车辆与动力技术, 2004(2):50-55.
- [18] 方景瑞. 国内外混合动力汽车技术 [J]. 拖拉机与农用运输车, 2005(5):1-3.
- [19] 杨德亮. 混合动力节能汽车研究现状及发展趋势 [J]. 交通节能与环保, 2007(2):22-25.