

Mc
Graw
Hill Education

插电式混合动力 电动汽车开发基础

PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE

(美) Seth Leitman 著 王震坡 孟祥峰 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

插电式混合动力电动 汽车开发基础

(美) Seth Leitman 著
王震坡 孟祥峰 译



机械工业出版社

推荐序

节能减排和应对气候变化是人类共同面临的挑战，在城市交通领域，传统燃油汽车的节能减排技术已不能满足社会可持续发展的需求。发展节能环保的电动汽车已经成为各国汽车工业发展的必然选择，以此为出发点，全球正在推动一次汽车动力技术的革命。以日本为主开发的混合动力电动汽车已经实现产业化和批量应用，以欧美为主开发的燃料电池汽车由于燃料电池自身的技术问题产业化尚待时日，全球性的纯电动汽车发展面临动力电池技术的瓶颈。以美国为主掀起的 Plug-in 电动汽车研发成为近期解决动力电池能量密度低、车辆续驶里程短的问题，达到城市内应用零排放目的的有效技术途径之一。

我国为了实现汽车动力系统转型和跨越式发展，自“九五”以来，加大了对电动汽车研发的支持力度。科技部在“十五”设立了“863 计划·电动汽车重大专项”，“十一五”设立了“节能与新能源汽车重点项目”，组织产学研合作，支持电动汽车关键技术和产业化研究。整车企业以及相应的研究机构推出了多种电动汽车整车产品，并在各地开展了丰富多彩的示范运行和演示验证工作。电动汽车的可靠性和适用性稳步提高，多个车型已经获得国家公告，处于商业化的前期。近两年来国家推出了“十城千辆”电动汽车示范城市计划和“私人购买新能源汽车”鼓励计划，通过政府补贴的方式积极推进电动汽车的产业化和商业化应用进程。重点支持以纯电动和 Plug-in 电动汽车为主的节能与新能源汽车。在可以预见的几年内，必将有大量的 Plug-in 电动汽车行驶在我国城市的大街小巷，成为我国城市交通可持续发展的一道靓丽风景线。

国际社会的普遍关注和各国政府的支持助推了电动汽车的发展。可以说，在道路交通领域，谁掌握了电动汽车产业的主动权，谁就占领了未来汽车的主流市场。

Seth Leitman 先生的著作深入浅出地论述了 Plug-in 电动汽车的发展史、整车集成技术以及各关键部件原理和工程化技术，尤其从应用的角度讲述了传统汽车改装为 Plug-in 电动汽车需要完成的工作以及使用经济性。王震坡博士和孟祥峰博士是我多年合作的同事，多年从事电动汽车技术领域的研究开发，取得了系列研究成果。现在，我又非常高兴地看到他们将该书译成中文奉献给广大读者，为

电动汽车产业发展、技术交流和科学普及做他们能做的一份努力。我深信，他们的工作对于推动我国电动汽车技术尤其是 Plug-in 电动汽车技术在中国的普及和发展大有裨益，谨此作序。



2010 年 10 月
于北京理工大学

译者序

随着节能环保、绿色出行理念受到国际社会广泛认同，电动汽车已经成为交通工具发展的热点和汽车产业研发的重点。各国、各大汽车企业即将在电动汽车领域开展新一轮的产业竞争。Plug-in 电动汽车以其良好的环保性和实用性诠释了现代内燃机技术、动力电池技术、动力耦合技术的有机结合。

2009 年看到了 Seth Leitman 先生编著的《Build Your Own Plug - in Hybrid Electric Vehicle》一书，书中翔实的内容和对 Plug-in 电动汽车关键技术的通俗陈述方式吸引了我，很想将该书推荐给广大国内读者和电动汽车爱好者。2010 年通过出版社与 Seth Leitman 先生及对方出版社取得了联系，得到了他们的大力支持，在此表示感谢。

对于该书的名字经过多次修改，在尊重内容的基础上按照我们的语言习惯确定为《插电式混合动力电动汽车开发基础》，根据国内的用词习惯也在书中将插电式混合动力电动汽车简称为插电式电动汽车或采用 PHEV 的写法，希望不要影响读者的理解。同时希望通过阅读该书，读者能对电动汽车尤其是插电式电动汽车有所理解，为我国电动汽车的科学普及以及电动汽车产业的发展尽一份力。

在该书的翻译和编写过程中得到了机械工业出版社的大力支持，北京理工大学电动车辆国家工程实验室的刘鹏、陈科等博士研究生，辛涛、马骁、陆春、韩海滨、孙晓辉、史胜杰等硕士研究生参与了相关章节的翻译工作，在此对他们一并表示感谢。

由于我们知识和经验的限制，书中难免会有一些错误和不当的地方，真诚地希望同行朋友和广大读者提出宝贵意见和指正。

王震坡 孟祥峰

2010 年 10 月

于北京理工大学电动车辆国家工程实验室



我是一名电动汽车的狂热爱好者，电动汽车的时代已经来临了。然而我认为任何事情都是需要一步步来做的，混合动力汽车继续发展下去就是插电式混合动力电动汽车(PHEV)。对于那些已经拥有混合动力汽车以及想拥有一辆节能环保车辆的人来说，插电式混合动力电动汽车就是他们的下一步选择。同时我认为与其苦苦等待汽车制造商来推出他们的插电式电动汽车，不如我们自己来打造一辆属于自己的插电式电动汽车。

插电式混合动力电动汽车的浪潮已经席卷了社会的各个阶层。Al Gore 和 Leonardo DiCaprio 最近拍摄了一部纪录片，其主题就是石油和化石燃料的消耗是如何导致全球变暖的，以及我们如何来改善环境。Al Gore 在 2007 年获得了诺贝尔奖，表彰他对全球气候变暖这一问题所做出的研究。同时，石油价格一路飙升，已经达到每桶 140 美元，即每加仑 4.5 美元，传统汽车的使用成本越来越高。

插电式混合动力电动汽车能够很好地解决这些问题。PHEV 车辆避开了高昂的油价，每天只需要花费几美分来充电。在以纯电动模式行驶时，它的废气排放量为零。

插电式混合动力电动汽车充电所需的电能除了来自发电站以外，还可以来源于太阳能、风能以及其他可再生能源。即使考虑发电站发电过程的排放污染物，与现在的车辆相比，PHEV 车辆仍然是非常环保的。随着发电站排放量减少，插电式混合动力电动汽车将会更加环保。

与此同时，插电式混合动力电动汽车也可以推动经济的发展。我们都知道应该加大电动汽车的市场份额，而混合动力电动汽车、插电式混合动力电动汽车以及低速电动汽车都能推动电动交通行业的发展。从中国到印度，再到英国，最后回到美国，电动交通能够催生一个新的工业，并且能够推动我们的制造业发展，从而能够生产出更加清洁高效的车辆。我最近跟一家电动汽车公司的老板交谈时得知，随着传统汽车公司逐渐撤离底特律，美国汽车工会对于电动汽车越来越感兴趣。由传统汽车向电动汽车的过渡，可增加国内就业岗位，从而推动本国经济的发展。这就是为什么我希望我们能拥有一种无污染、无燃油消耗的交通模式的原因。

作者介绍

作者 S. 雷特曼(Seth Leitman)是 ETS Energy 公司的一名管理者,公司主要是销售有机、天然、对自然无危害的商务用品以及家庭用品。同时,作者在其博客(网址是 www.greenlivingguy.com)上与人们讨论如何生活才能对自然无危害、更加节能以及电动汽车的各种问题。他还为 Planet Green(www.discovery.com)网站写一些关于清洁交通的文章,同时为 Greenopia(www.greenopia.com)网站写关于电动汽车的文章。

作者现任麦格劳-希尔出版社的顾问编辑,本书是 *Green Guru Guides* 系列丛书中的一本。他曾在洛克菲勒大学(奥尔巴尼)公共事务与政策研究生院做研究,获得了公共管理硕士学位,重点关注国际经济的比较研究,注意力主要集中在世界银行以及国际货币基金组织的项目上。后来在纽约州能源研究和发展管理局工作,作为主要领导者组织了 US. DOE 清洁城市行动,纽约州的七个环保城市中的五个参与了该行动。同时他还是“保护清洁空气和清洁水源的清洁燃料客车项目”(Clean Fueled Bus Program for the Clean Air/Clear Water Bond Act)行动的负责人,该行动提供了超过一亿美元的资金来鼓励运输业者购买可代替燃料的公交车。在主持这些项目之后,作者发现了电动汽车以及混合动力电动汽车的好处,并且受到了深深的触动,他认为电动交通是将来发展的趋势。

作者也是纽约电力局的市场开发策略制定专家,该组织是美国最大的国有公用事业组织。他所从事的电动和混合动力汽车市场开发、营销以及售后服务项目,是服务于纽约大都会地区的。通过该项目将纽约电力管理局的电动汽车及混合动力汽车由原来的 150 辆提高到了 700 辆,有力地提升了公众对该项目的理解和认知。

同时,作者还是 NYPA/TH! NK 清洁通勤行动项目的主要负责人,在其领导下清洁能源车辆由原来的 3 辆上升为 100 辆。他从联邦政府、项目合作伙伴、参加者(电动汽车驾驶员)和福特汽车公司筹得了 650 万美元的项目活动资金。他启动了一项激励计划,驾驶电动汽车可以在地铁站前的电动汽车充电站停车。该项目在《今日美国》、美联社、路透社、《纽约时报》、CNN、《早安美国》以及其他媒体上都有报道,这是当今世界上最大的电动汽车停车充电站项目。他还与电力研究院、纽约州能源研发局(NYSERDA)以及美国能源部共同发表了有关 NYPA/TH! NK 清洁通勤项目以及绿色学校的报告。

致 谢

我要感谢所有为该书的出版提供过帮助的人，但是首先我要感谢我的家人，他们伴随我一路走来，见证了我为电动汽车所做的一切。随着全球变暖问题的加剧，他们也越来越多地支持我的工作。我现在所做的努力也是为了让我的孩子们能有一个更加美好、更加适宜居住的家园。

首先，我要把这本书献给我美丽的妻子 Jessica 以及我可爱的儿子 Tyler 和 Cameron。他们伴随我走到现在，并且在我写这本书时，给与我很大的鼓励。对于一个人来说，创业的开始是最艰难的，但是我的妻子一直在背后支持我、鼓励我，在那段艰苦的岁月里我们一直共同努力。Tyler 和 Cameron 则用他们的快乐、聪明来鼓励我。当我看到他们在我们现在生活的地球上慢慢长大时，我希望这本书能为他们的将来做点事情。

当然我还要感谢其他的人。

我要感谢加州汽车组织的 Felix Kramer，《电气时代》的 Remy Chevalier，《懒人环保》的 Josh Dorfman 以及《Plug In》的 Chelsea Sexton。正是他们的努力才使得插电式混合动力电动汽车成为了现实。他们都在用各自的方式努力地从事这项工作。Felix Kramer 曾经告诉我，他一直努力地说服人们，电动汽车才真正是最好的汽车。

同时，我还要感谢 Steve Clunn，他为这本书的出版提供了很大的帮助，他现在是一名电动汽车改装专家，在佛罗里达州拥有一家名为 Grass Roots EV 的汽车改装厂。在过去的三年里，我们一直在讨论电动汽车的改装问题。我自始至终都支持他，我认为他所做的是正确的。现在他的生意非常兴隆，每天有许多车等着他去改装，这对他来说是一件好事，对整个改装行业来讲也是一个好兆头。

当然我一定要谢谢麦格劳-希尔国际出版公司的 Judy Bass，她是那么的友善，并且自始至终都信任我。我一直认为凡是来到我身边的人都是有他们的原因的。而她来到我身边的原因就是来保佑我，让我有机会写这本书，让我能够在这个行业中掀起一股浪潮。

Seth Leitman

目 录

推荐序

译者序

序

作者介绍

致谢

第1章 插电式电动汽车如今能够兴起的原因	1
1.1 插电式电动汽车的定义	1
1.2 把你的汽车改装成一辆插电式电动汽车的理由	1
1.3 了解插电式电动汽车	3
1.3.1 内燃机汽车	3
1.3.2 混合动力电动汽车	5
1.3.3 纯电动汽车	6
1.4 纯电动汽车的定义	7
1.4.1 电动机	7
1.4.2 电池	8
1.4.3 控制系统	9
1.5 将自己的汽车改装成插电式混合动力电动汽车	10
1.6 降低对石油依赖的同时保护环境	10
1.6.1 广泛推广插电式电动汽车有助于有效减少废气排放	10
1.6.2 加州空气资源委员会零排放的国家报告	11
1.6.3 美国能源部阿贡国家实验室	11
1.7 插电式电动汽车运行维护更加便宜	11
1.7.1 20~25 美分每加仑	12
1.7.2 购买价格	12
1.7.3 使用价格底线	13
1.7.4 回报	13
1.8 安全第一	13
1.9 你也可以做到	14
第2章 插电式电动汽车的环保性与节能性	15
2.1 插电式电动汽车的环保方式	15

2.2	环保且经济	16
2.2.1	节能车	16
2.2.2	责任在谁	17
2.3	有毒液体和固体废物污染	19
2.4	输入有毒液体产生的污染	19
2.5	电力公司青睐插电式电动汽车	20
2.6	本章小结	21
2.6.1	内燃机的遗留问题是环境问题	21
2.6.2	积极主动的解决方案	21
第3章	插电式电动汽车的历史	23
3.1	早期的混合动力以及纯电动汽车	23
3.1.1	保时捷的插电式电动汽车	23
3.1.2	插电式电动汽车的引进	23
3.1.3	电力混合动力汽车的法案	23
3.1.4	新一代汽车伙伴关系计划	24
3.1.5	电动汽车没落的原因	24
3.1.6	911 事件以及我们对电动汽车的重新理解	25
3.2	混合动力电动汽车进入市场	27
3.2.1	丰田普锐斯	27
3.2.2	本田 Insight	27
3.2.3	本田 Civic 混合动力汽车	27
3.2.4	福特 Escape 混合动力汽车	28
3.3	插电式电动汽车能够投入市场归功于安迪·弗兰克	28
3.4	加州大学戴维斯分校的插电式电动汽车	29
3.4.1	美国加州汽车倡议(CalCars)	29
3.4.2	美国插电式电动汽车协会	31
3.4.3	美国电力研究院-戴姆勒克莱斯勒插电式电动汽车计划	31
3.4.4	CARB 用行动支持 PHEV	31
3.4.5	经济刺激 PHEV 的发展	32
3.5	改装公司	33
3.5.1	Hybrid Plus PHEV	33
3.5.2	A123 系统公司和 Hymotion 公司	33
3.6	已上市的 PHEV 和即将上市的 PHEV	34
3.6.1	丰田的 PHEV	34
3.6.2	通用汽车和雪佛兰 Volt	34

3.6.3	Fisker Karma 插电式混合动力跑车	37
3.6.4	AFS Trinity 的超级混合动力汽车	37
3.6.5	福特公司的 Escape PHEV	38
3.6.6	凤凰汽车公司的混合动力汽车	38
3.7	结论：插电式电动汽车的时代已经到来	38
第4章	最合适的插电式电动汽车	40
4.1	插电式电动汽车的购买决策	40
4.2	改装节省时间和金钱	40
4.3	购买现成的插电式电动汽车	41
4.4	由混合动力电动汽车改装的实例	41
4.5	插电式电动汽车的改装决策	48
4.6	底盘的重要性	48
4.7	电池的重要性	49
4.7.1	步骤	49
4.7.2	成本问题	49
第5章	动力系统和插电式电动汽车的设计方法	52
5.1	混合动力电动汽车的工作原理	52
5.2	混合动力系统的类型	52
5.2.1	串联式混合动力电动汽车	52
5.2.2	并联式混合动力电动汽车	54
5.2.3	混联式混合动力电动汽车	54
5.3	选择安装方法	54
5.4	如何制造和设计插电式电动汽车	54
5.4.1	经典的安装方法	55
5.4.2	可供选择的安装方法	56
5.5	传动系统	59
5.6	电动机与内燃机的区别	60
5.7	设计电动汽车	63
5.7.1	计算概述	63
5.7.2	电力电子、电气设备	64
5.7.3	降低固有损失	65
5.8	购买电动汽车的底盘	66
5.8.1	为什么改装是最好的方案	67
5.8.2	改装的不利一面	67
5.8.3	选用底盘时的考虑因素	68

5.8.4 购买或借手册	68
5.9 将 Prius 改装成一辆插电式电动汽车	68
第6章 插电式电动汽车的发动机和电动机	71
6.1 内燃机	71
6.1.1 化石燃料	71
6.1.2 混合动力电动汽车的集成电动机辅助系统	72
6.1.3 手动集成电动机辅助系统	72
6.2 电动机	74
6.2.1 电压	74
6.2.2 电动机的巨大作用	74
6.3 直流电动机	75
6.4 应用在插电式电动汽车中的直流电动机	76
6.4.1 电动机外壳、框架或轭	76
6.4.2 直流电动机的分类	76
6.4.3 串励式直流电动机	77
6.4.4 并励式直流电动机	78
6.4.5 复励式直流电动机	78
6.4.6 永磁直流电动机	79
6.4.7 无刷直流电动机	80
6.4.8 通用直流电动机	80
6.5 交流电动机	81
6.5.1 变压器	81
6.5.2 交流异步电动机	81
6.5.3 多相交流异步电动机	81
6.5.4 绕线转子异步电动机	83
6.6 现阶段插电式电动汽车电动机的最佳选择方案	84
6.7 结论	84
第7章 控制器	85
7.1 控制器概述	85
7.2 晶体控制器	85
7.3 电池管理系统	87
7.4 交流控制器	89
7.4.1 Elithion 控制器的封装	90
7.4.2 选择器	90
7.4.3 控制器独立高压前端	91

7.4.4	直流控制器	92
7.5	2CH00xxx BMS 控制器 CAN 协议规范	92
7.5.1	CAN 总线协议	93
7.5.2	CAN 工具	93
7.5.3	传送的 CAN 信息	93
7.5.4	CAN 显示协议	93
7.5.5	标准动力电池包信息	94
7.5.6	BRUSA 充电机控制信息	95
7.5.7	BMS 控制器	97
7.5.8	接收到的 CAN 信息	97
7.5.9	接触器控制信息	98
7.5.10	需求 CAN 报文和响应 CAN 报文	98
7.6	总结	99
第8章	电池	101
8.1	电池概述	101
8.2	活性物质	102
8.2.1	总化学反应	102
8.2.2	放电化学反应	102
8.2.3	充电化学反应	103
8.2.4	充电状态	104
8.2.5	平衡过程	104
8.2.6	电池外部特性	104
8.3	基本电气名词解释	105
8.3.1	电压	105
8.3.2	电流	105
8.3.3	功率	105
8.3.4	电池容量与额定电压	105
8.3.5	功率密度	106
8.3.6	能量密度	106
8.3.7	容积功率密度	106
8.4	电池性能	106
8.5	影响 PHEV 电池性能的其他因素	107
8.6	电池安装和维护指南	108
8.6.1	安全性	108
8.6.2	改装后的 Prius 功率测试	108

8.7	目前最佳的电池方案	109
8.8	未来最佳的电池方案	110
8.9	电池现状概述	110
8.10	结论: 未来将是超乎想象的	114
第9章	充电机和电气系统	116
9.1	充电机概述	116
9.2	理想的蓄电池充电机	116
9.3	其他充电解决方案	118
9.3.1	快速充电	118
9.3.2	更换蓄电池组	119
9.4	V2G 前途光明	119
9.4.1	何为充电控制点	119
9.4.2	充电控制硬件	122
9.4.3	提供给消费者的 V2G 报告	122
9.5	现实生活中的蓄电池充电机	122
9.5.1	Manzanita Micro 公司的 PFC-20	122
9.5.2	Elithion 充电机	122
9.6	PHEV 的电气系统	123
9.6.1	主接触器	123
9.6.2	主断路器	123
9.6.3	熔断器	124
9.6.4	安全联锁	124
9.6.5	低电压、小电流测量系统	125
9.7	线路连接	125
9.7.1	线缆和连接器	126
9.7.2	连接器	126
9.7.3	Ford 翼虎插电式混合动力车上的 C4227A 控制连接器	127
9.7.4	C4227C 高压转换器	128
9.7.5	接触器总成	128
9.7.6	接触器的工作流程	128
9.7.7	接地	131
9.8	结论	133
第10章	插电式电动汽车的改装	134
10.1	改装概述	134
10.2	改装的目的	135

10.3	改装前	135
10.4	改装中	135
10.5	Prius + 的历史	136
10.5.1	电池组	137
10.5.2	铅酸电池	138
10.5.3	高压电路	138
10.5.4	高压线缆的颜色	141
10.5.5	电动汽车充电机	141
10.6	丰田相关的控制器	142
10.6.1	电池信号模拟器板	142
10.6.2	控制板	144
10.6.3	电池 ECU 的虚拟 SOC	145
10.6.4	安装 CAN 显示器	146
10.6.5	仪表板的拆卸	146
10.6.6	CAN 总线扫描器	148
10.6.7	4.0 版的 CAN 显示器	149
10.6.8	CAN 显示器配置	149
10.6.9	原装高压电池的改装	154
10.6.10	元器件的位置	155
10.6.11	线束名称和功能	157
10.6.12	电池冷却系统	159
10.6.13	电池的高压交流电	160
10.6.14	PFC 充电机的安装	163
10.6.15	安装电池箱	163
10.6.16	联锁电池箱	163
10.6.17	整流器	165
10.6.18	大电流系统	167
10.6.19	测试数据的显示	169
10.7	喷漆、抛光与标记	172
10.8	记录改装的工作成果	173
第 11 章	最大程度地享受插电式混合动力汽车	175
11.1	牌照和保险	175
11.1.1	牌照的获得	175
11.1.2	保险的获取	176
11.1.3	有关安全的说明	176

11.2	驾驶和维修	176
11.2.1	经济性的驾驶	176
11.2.2	滑行	176
11.2.3	能量回收	176
11.3	保养 PHEV	177
11.3.1	电池护理	177
11.3.2	润滑	177
11.3.3	检测连接	178
11.3.4	应急包	178
11.4	改装是否会影响保修	178
11.5	电池板的故障排除	179
11.5.1	观察运行情况	179
11.5.2	无载检测	179
11.5.3	带载检测	180
11.5.4	更换电池板	180

第 1 章

插电式电动汽车如今能够兴起的原因

你是否希望拥有一辆行驶 100mile 油耗只有 1gal 的车呢？现在你可以梦想成真了，一辆插电式电动汽车就可以做到这些(图 1-1)。

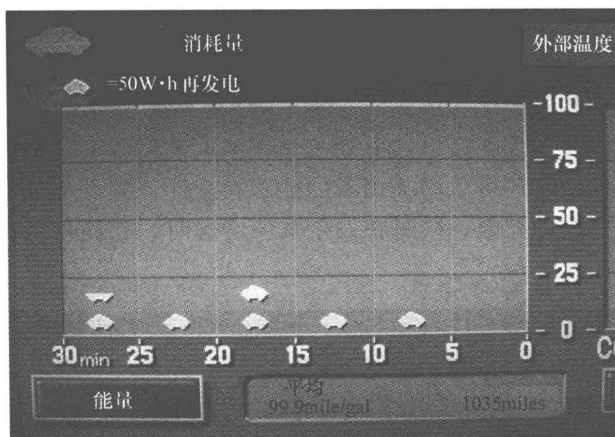


图 1-1 每加仑行驶 100mile

1.1 插电式电动汽车的定义

到底什么是插电式电动汽车呢？为什么我要拥有一辆混合动力电动汽车，并要把它改装成插电式电动汽车？

对于这个问题可以简单地回答为插电式电动汽车比混合动力电动汽车更加节能、更加环保。一辆插电式电动汽车可以看成是一辆装有电池的普通汽车，它的行驶里程可以达到 20、30、40、50、60mile 甚至 70mile，与此同时它也可以是一辆依靠电池可以行驶 20、30、40、50、60、70mile 的零排放混合动力电动汽车。

1.2 把你的汽车改装成一辆插电式电动汽车的理由

如果你仅仅是用你的车作为上下班的代步工具或只是用它在你居住的城市里