



国际电气工程先进技术译丛



Springer

电动汽车 融入现代电网

Electric Vehicle Integration into
Modern Power Networks

[墨] Rodrigo Garcia-Valle 等著
[葡] João A. Peças Lopes 译
郭春林



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

电动汽车融入现代电网

[墨] Rodrigo Garcia-Valle
[葡] João A. Peças Lopes 等著
郭春林 译



机械工业出版社

Translation from English language edition:

Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks

by Rodrigo Garcia-Valle and João A. Peças Lopes

Copyright © 2013 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社出版, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2013-4449 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

电动汽车融入现代电网/(墨) 罗德里格等著; 郭春林译. —北京: 机械工业出版社, 2014. 11

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Electric vehicle integration into modern power networks

ISBN 978-7-111-48182-9

I. ①电… II. ①罗…②郭… III. ①电动汽车 - 关系 - 电网 - 研究
IV. ①U469.72T②M7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 233553 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘星宁 责任编辑: 刘星宁

责任校对: 闫玥红 封面设计: 马精明

责任印制: 李 洋

北京市四季青双青印刷厂印刷

2014 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm • 18.25 印张 • 355 千字

0 001 - 2 800 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48182-9

定价: 78.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心: (010)88361066

教 材 网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

本书研究的是电动汽车逐步融入现代电网所带来的挑战和机遇。本书首先对当前电动汽车和电池的技术发展水平进行了全面介绍,描述了评价电动汽车部署对电网稳态和动态运行影响的动态分析工具,检验了消除影响的策略,以及支撑大规模可再生能源同时接入的可能性。本书还介绍了新的商业模式和控制管理架构,以及将电动汽车作为主动负荷接入时所需要的通信基础设施。最后,本书讨论了电动汽车融入现代电力系统的监管问题。

本书起源于2010年和2011年由EES-UETP支持的两个课程,由产业界和学术界的杰出研究者与专业人士撰写,共分9章。

本书内容适合多方面的读者,可以为关注电动汽车及其应用前景的人们提供入门介绍,为电动汽车及电网融合的研究者们提供基本方法、模型和经验,为政策制定者提供理论与技术支撑,也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。



译者序

随着石油资源的日渐枯竭、环境污染的不断恶化、温室效应的不断加剧，电动汽车（Electric Vehicle, EV）已经成为了国际社会高度关注的热点问题。各国政府纷纷制定政策与规划，开展各种形式的示范和推广工程。美国通用、福特、戴姆勒-克莱斯勒公司及日本丰田公司等国际汽车业巨头纷纷投入大量资金开发下一代电动汽车。在我国，新能源汽车产业被确定为七大战略性新兴产业之一，政府大力推进“十城千辆”工程，推出了财政补贴等系列支持措施，发布了《节能与新能源汽车产业发展规划》。

通过实践与研究，人们深刻地认识到，充电基础设施是电动汽车系统的重要组成部分，电动汽车的发展离不开电网的支撑。另一方面，可再生能源的规模化接入给电网带来了巨大挑战，这要求我们充分利用电动汽车负荷的可控性，通过协调优化来降低不利影响、提高系统性能、增加新能源的利用。因此，电动汽车与电网的融合受到了国内外学者和产业界的高度重视，进行了大量的研究，获得了丰富的研究成果。

本书由 Rodrigo Garcia-Valle 和 João A. Peças Lopes 主编，目的就是在这方面成果进行总结。Garcia-Valle 和 Lopes 分别是丹麦理工大学的教授和葡萄牙波尔图系统与计算机工程研究中心的学者，他们在欧盟 MERGE 和丹麦 EDISON 项目的支持下对电动汽车和电网融合进行了大量研究。2010 年和 2011 年，他们主持了 EES-UETP，在丹麦和葡萄牙举办了两个课程。之后，他们在此基础上完成了本书的撰写工作。

本书包括 9 章，分别由这一领域有丰富经验的产业界和学术界的杰出研究者与专业人士执笔，对作者们在电动汽车领域进行的研究工作和成果进行了详细介绍，描述了电动汽车逐步融入所带来的挑战和机遇。书中对当前电动汽车和电池的技术发展水平进行了全面介绍，研究了电动汽车的部署给电网带来的影响与挑战，描述了稳态和动态运行影响的分析工具，检验了消除影响的控制策略以及支撑大规模可再生能源接入的可能性，介绍了新的商业模式、控制管理架构以及所需要的通信基础设施，讨论了电动汽车融入现代电力系统的监管问题。

本书是作者们辛勤研究的结晶，比较全面地总结了电动汽车融入电网所带来的挑战与应对措施，尤其是欧盟国家在这些方面的研究成果和实践经验，并梳理和构筑了电动汽车研究的基本方法体系。本书内容适合各方面的读者，可以为关注电动汽车及其应用前景的人们提供入门的介绍，为电动汽车及其电网融合的研究

IV 电动汽车融入现代电网

究者们提供基本方法、模型和经验，为政策制定者提供理论与技术支撑。本书易读、实用，启迪性、实践性很强，是一本值得信赖的参考书。

译者郭春林作为华北电力大学的一名教师，在国家高技术研究发展计划(863计划)“电动汽车充电对电网的影响及有序充电研究(2011AA05A109)”等项目支持下，一直关注和致力于电动汽车与电网融合的研究，开发了电动汽车与新能源电网互动实验平台，对电动汽车充电负荷特性、对电网影响以及有序利用进行了深入研究。在工作中，我与相关行业的研究者和业界人士进行了广泛接触，深刻地感受到需要对电动汽车方面的研究成果进行系统总结和介绍。“他山之石，可以攻玉”，我国提出电动汽车要“弯道超车”、抓住历史机遇实现汽车产业的跨越式发展，就更需要认真借鉴先进国家的经验。因此，我非常高兴并且努力地完成了本书的翻译，希望本书的出版能够给大家带来帮助。为我国电动汽车的研究和应用略尽绵薄之力。

在翻译工作中，我的研究生唐哲慈、陈俊、陈文、李宗峰、陈钦磊、齐文波等提供了很多协助，华北电力大学肖湘宁教授、张建华教授、李岩松副教授、刘文霞副教授给予了多方支持，在此一并表示感谢。同时，也感谢我的太太刘卉和儿子郭履正，他们对我的工作给予了巨大的支持。

尽管在翻译过程中，我们常常渴望多一份圆满、少几许缺憾，然而由于时间仓促、水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正！如有建议或意见，欢迎与我联系。联系邮箱为：gcl@ncepu.edu.cn。

译者

前 言

在未来几年，为了大量降低二氧化碳的排放量，全世界必须在经济、低碳化方面做出巨大的努力。在这方面，需要做出最大改善的领域之一就是交通领域。事实上，只有交通领域的二氧化碳排放量大量减少，才能有效地解决排放问题。有两种方法可以实现这一目标：①内燃机汽车更多地使用生物燃料；②向电气化交通转变。然而，在交通领域实现向电气化的转变要取得成功，必须同时提高无碳（无二氧化碳）排放发电技术的比例，即基于可再生能源的电力能源。在这方面，欧盟做了大量努力。事实上，欧盟制定的能源方面的目标，需要认真考虑各种整合可再生能源的潜在方案，以满足电力需求。另一方面，由于引入电动汽车导致的预期将不断增长的能源需求，所以需要建立可变电源利用这一创新理念。使用动态技术来预测电力供应和需求（包括市场化的电价），被视为优化电网平衡的基础。欧洲风电市场的装机容量预计在 2020 年将满足 14% 的电力消耗。今天在丹麦和葡萄牙，风力发电占总发电量的 20% 以上。然而，这种可再生能源的可变特点对整个系统提出了特殊要求，包括未来采用主动负荷管理和储能技术。最近的一些试验项目和研究表明，电动汽车的电池能够帮助提供一种有效的方式，来处理风电厂的可变电能。此外，相对静态的电网系统也必须智能化，以应对未来的电力供应和需求。公用电力企业将整合大规模可再生能源发电技术，作为其长期发电战略的核心部分。并网式电动汽车可能使得可再生能源在电力网络和市场的整合更为容易，因为它们作为负荷是非常灵活的，所以最适合为电网提供平衡服务。本书旨在介绍技术发展情况并确定所需的解决方案，以支撑将规模化电动汽车与我们的社会融合在一起。本书部分资料来自欧盟资助项目电网下的移动能源（Mobile Energy Resources in Grids of Electricity, MERGE）和丹麦的基于可持续能源与开放网络的分布式和统一市场下的电动汽车（Electric Vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks, EDISON）。

本书灵感来自于 2010 年和 2011 年由电气能源系统-大学企业培训合作伙伴计划（Electric Energy Systems-University Enterprise Training Partnership, EES-UETP）支持的分别在丹麦和葡萄牙举办的两个课程。

本书分 9 章，分别由这一领域有着丰富经验的产业界和学术界的杰出研究者与专业人士执笔。

第 1 章是导言部分，对这一技术的发展情况进行了概述。

VI 电动汽车融入现代电网

第2章讲述了电池技术,包括电动汽车应用中的电池建模和设备性能的内容。

第3章讲述了电动汽车充电产生的影响,和它对日常负荷的影响。所研究的方法可用于电动车接入电网的新商业模式和管理体系。这些内容将分别在第4章和第8章进一步说明。

第4章讨论了不同的商业模式和控制管理体系。本章描述了电动汽车的充电方式,它们如何影响电动汽车及其电网连接设施的设计,以及对有关潜在商业模式的推动和限制。本章还对三个大型电动汽车接入项目进行了比较。

第5章介绍了最新的智能电网通信技术和针对电动汽车融入现代电力网络的相关标准化工作。本章对整合电动车辆的信息和通信技术解决方案进行了非常详细的描述。

第6和第7章描述了电动汽车与电力系统融合的稳态和动态特性高级模型、仿真工具和结果。这两章主要关注用不同的方法和策略来解释这一特殊主题下的几个重要问题,如生成评估电动汽车对电网影响的负荷场景、制定收费管理策略以提高电动汽车可控性、确定可行的电动汽车渗透率、电动车辆参与频率控制的可行性和电动车辆对自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)的贡献来增加电力系统可再生能源的渗透率。

第8章对电动汽车接入现代电力网络的主要监管问题进行了概述,尤其关注一般角色和关键功能的分配。针对各种充电模式,如在家充电、街边公共充电和专用充电站,本章提出并描述了一个概念性的监管框架,并对发展两个新实体,使其作为最终服务的中间推动者进行了论证。

第9章介绍了电动汽车应用的发展情况,从最早期的发展,直到遍布世界的众多电动汽车项目和活动。此外,还介绍了实际可用的电动汽车和不同的电动汽车制造商,展示了不同电动汽车技术的真实照片。

致 谢

主编要感谢所有参与了本书创作的人们，感谢 M. A. Pai 先生对本书工作的热情鼓励，感谢斯普林格出版社美国分部 Allison Michael 先生在此期间的帮助和不断的反馈。还有，各位参编者在完成本书的过程中，付出了艰苦的努力、辛勤的工作和大量的时间，在此对他们的付出表示特别的感谢！

目 录

译者序

前言

致谢

第1章 不同类型电动汽车技术发展现状	1
1.1 简介	1
1.2 电动汽车的结构	5
1.3 电动汽车储能方案的技术发展状况	7
1.4 结论	10
参考文献	11
第2章 电动汽车电池技术	13
2.1 引言	13
2.2 电力推进的功率和能量	15
2.3 电池性能和参数的基本术语	17
2.4 电池充电方法和电动汽车充电方案	19
2.4.1 充电方法	19
2.4.2 电动汽车充电方案	21
2.5 电池化学技术	23
2.5.1 充电电池的基本原理	24
2.5.2 美国先进蓄电池研究联合体的目标	26
2.5.3 插电式混合动力汽车中镍氢电池和锂离子电池的性能比较	27
2.5.4 电池在电动汽车上的应用现状	28
2.5.5 电动汽车电池的发展趋势	30
2.6 电池建模	32
2.6.1 电池的等效电路模型	32
2.6.2 电池电路模型未来发展的需要	36
2.7 电池的实时运行特性与管理	37
2.7.1 荷电状态的估计	37
2.7.2 单体电池运行特性	39

2.7.3 单体电池平衡	42
2.8 电池聚合体	44
2.8.1 虚拟电厂的实现和控制	44
参考文献	48
第3章 电动汽车充电对系统需求的影响	51
3.1 引言	51
3.2 电动汽车需求的确定	51
3.2.1 电动汽车渗透率	53
3.2.2 电动汽车的分类	53
3.2.3 每日行程	55
3.2.4 电池消耗	55
3.2.5 所需充电时间	55
3.2.6 充电设施的可用性	55
3.2.7 充电站技术	56
3.2.8 充电损耗	57
3.2.9 充电策略	57
3.3 电动汽车对系统需求的影响	58
3.3.1 德国	58
3.3.2 英国	66
3.3.3 葡萄牙	67
3.3.4 西班牙	72
3.3.5 希腊	75
3.4 结论	77
参考文献	79
第4章 电动汽车与电网融合的商业模式及控制与运营架构	80
4.1 引言	80
4.2 车辆充电功能	81
4.3 电力基础设施有关的功能	82
4.3.1 商业模式	84
4.4 电动汽车与电网互动的要求	86
4.4.1 车内数据监控	86
4.4.2 电动汽车、电动汽车充电设施和虚拟电厂的功能	87
4.4.3 电动汽车充电设施性能	87

4.4.4 电动汽车性能	88
4.4.5 电动汽车、电动汽车充电设施、整合商的相互作用	88
4.5 电动汽车整合项目实例	89
4.5.1 EDISON 项目	89
4.5.2 美国特拉华大学车辆到电网技术	91
4.5.3 德国柏林 E-Mobility 试验项目	94
参考文献	95
第 5 章 支持电动汽车应用的信息和通信技术解决方案	97
5.1 引言：背景和范围	99
5.1.1 相关项目和研究	100
5.2 智能电网和电动汽车的系统架构和模型	100
5.2.1 智能电网：简介和背景	101
5.2.2 智能电网中信息、通信和技术扮演的角色	102
5.2.3 参考模型	104
5.2.4 功能和逻辑模型	107
5.2.5 最后一英里	114
5.3 智能电网技术和解决方案	115
5.3.1 互操作性	115
5.3.2 通信技术	126
5.4 结论	137
参考文献	138
第 6 章 研究电动汽车接入电力系统（稳态和动态行为）的先进模型和仿真工具	141
6.1 简介	141
6.2 电动汽车接入电力系统研究的模型	142
6.2.1 充电方法	142
6.2.2 控制结构	145
6.2.3 电动汽车稳态研究的建模	150
6.2.4 电动汽车动态建模行为研究	151
6.3 电动汽车接入配网的稳态研究	158
6.3.1 电动汽车接入极限的确定：方法 1	159
6.3.2 电动汽车时空特性仿真工具：方法 2	163
6.4 电动汽车接入电力系统的动态研究	175

6.5 结论	177
6.5.1 稳态研究	177
6.5.2 动态研究	178
参考文献	179
第7章 电动汽车大规模接入电力系统的影响	181
7.1 引言	181
7.2 稳态研究	181
7.2.1 电动汽车接入极限的确定: 方法 1	181
7.2.2 电动汽车时空仿真工具: 方法 2	186
7.3 动态研究	202
7.3.1 电动汽车参与一次调频控制	202
7.3.2 包含电动汽车的自动发电控制	212
7.4 结论	222
7.4.1 稳态研究	222
7.4.2 动态研究	222
参考文献	223
第8章 电力系统整合电动汽车的监管制度和商业模式	224
8.1 引言	224
8.2 电力市场和监管制度	226
8.2.1 已知和明确界定的现有实体	227
8.2.2 预期且概略描述的未来实体	228
8.2.3 电力系统实体之间的互动与协调	229
8.3 电动汽车充电模式	230
8.3.1 位置和使用权	230
8.3.2 控制模式	232
8.3.3 传统整合供应商	234
8.3.4 充电桩管理	235
8.3.5 电动汽车整合供应商	236
8.3.6 充电模式的分类	237
8.4 电动汽车及其充电模式的发展阶段	237
8.4.1 起步阶段和家庭充电	237
8.4.2 巩固阶段, 公共充电和电动汽车整合	238
8.4.3 高级阶段, 输电系统运营商和配电系统运营商市场	238

8.5 结论	239
参考文献	240
第9章 世界上的电动汽车活动	242
9.1 引言	242
9.1.1 电动汽车发展的初始阶段	242
9.1.2 直到20世纪90年代的发展阶段	244
9.2 电动汽车实例	245
9.3 电动汽车赛事的展示	248
9.4 电动汽车的复兴	250
9.4.1 规模化市场中的锂电池	250
9.4.2 电动汽车新形象	251
9.4.3 快速充电改变了认识、提高了接受度	252
9.4.4 电动汽车的可用性	253
9.4.5 电动汽车进入公众视野, 开始推广	254
9.5 电动汽车活动概述	257
9.5.1 国际能源机构	257
9.5.2 从电动汽车测试中派生出的结论	258
9.5.3 世界电动汽车协会	259
9.5.4 标准化	262
9.5.5 欧洲国家的活动	263
9.5.6 美国活动情况	270
9.5.7 亚洲活动概况	275
参考文献	279

第1章 不同类型电动汽车技术发展现状

F. J. Soares, P. M. Rocha Almeida, João A. Peças Lopes[⊖], Rodrigo Garcia-Valle, Francesco Marra[⊖]

1.1 简介

汽车行业刚兴起的时候,就有三种汽车技术在争夺市场主导权:内燃机(Internal Combustion Engine, ICE)汽车技术、蒸汽汽车技术和电动汽车(Electric Vehicles, EV)技术^[1]。它们都有自己的优缺点。很显然,能够更快地解决自身缺点的技术将在市场中占据主导地位。

内燃机汽车的主要缺点是它们所产生的噪声大、发动机起动困难、行驶距离短以及最大速度较低等^[2]。对于蒸汽汽车而言,它有两个主要的问题:在出行前需要预热大约20min,并且需要消耗大量的水^[3,4]。电动汽车的主要缺点与电池性能不佳有关,它们无法爬陡坡、续航里程短并且最大速度较低。

虽然蒸汽汽车制造商能够解决车辆出行前需要预热的问题,但是它们却找不到任何的解决方案以减少水的消耗,从而使蒸汽汽车技术在1920年左右便从市场上完全消失了^[1]。在电动汽车领域,1910年到1925年之间电池技术取得了显著的进步,使得蓄电池存储容量增加了35%,寿命延长了300%,电动汽车的行驶里程也增加了230%,而其维护成本却下降了63%^[5]。然而,内燃机汽车技术发展更快,甚至远远超过了电动汽车技术。在1900年到1912年间,一些新发明帮助内燃机汽车增加了行驶里程和最大速度,减少了耗水量,解决了起动问题。使内燃机汽车具备了显著的市场优势,从而使之到现在都处于技术领先地位^[5,6]。

如今,由于技术的进步、环保的要求以及未来可以预见的化石燃料的短缺,电动汽车行业似乎在逐渐兴起。由于多种经济和环境方面的原因,电动汽车行业

⊖ F. J. Soares, P. M. Rocha Almeida, J. A. Peças Lopes

INESC TEC, 波尔图, 葡萄牙。

邮箱: tilipe.j.soares@inescporto.pt; pedro.r.almeida@inescporto.pt; jpl@fe.up.pt。

⊖ R. Garcia-Valle, F. Marra

丹麦技术大学(DTU)电气工程系, 2800Kgs, 林格佰, 丹麦。

邮箱: rgv@elektro.dtu.dk; fm@elektro.dtu.dk。

很可能对世界汽车市场产生深远的影响。全球变暖就是推动大规模利用电动汽车的环境因素之一。全世界对这一问题的日益关注以及化石燃料价格的不断走高和剧烈波动（见图 1.1），使得决策者积极寻求减少化石能源消耗进而减小温室气体（Greenhouse Gases, GHG）排放量的措施。此外，没有尾气排放可能是电动汽车的一个非常有吸引力的特点，尤其是对于人口密集的城市地区而言，因为它对改善空气质量具有显著作用。

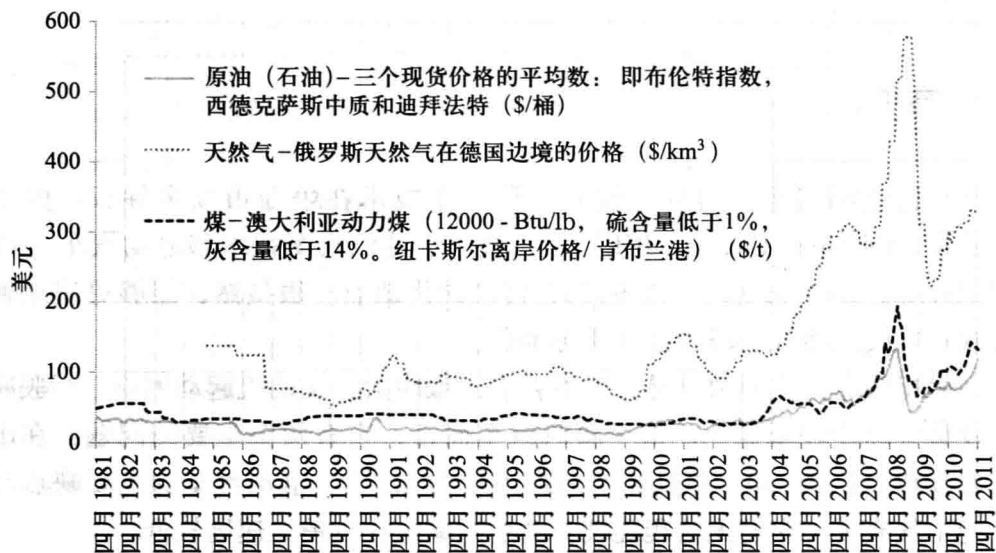


图 1.1 化石燃料价格变化^[7]

据经济合作与发展组织（Organization for Economic Cooperation and Development, OECD）[⊖]，2009 年交通运输方面消耗了世界石油消费量的 53%，预计到 2035 年将增加到 60%^[8]。这方面所产生的 CO₂ 排放占世界总排放量的 19.0%，所以它自然成为了各国减轻气候变暖方面政策的主要目标之一。交通运输的重要性在发达国家更加显著，如在美国和欧盟，交通运输所产生的 CO₂ 大约分别占其 CO₂ 总排放量的 31% 和 24%^[9]。尽管对于发展中国家而言，交通运输对于 CO₂ 排放的影响较小，但是随着这些国家经济的高速发展，其影响也在急速增加。以安哥拉和中国为例，2000 年到 2007 年间它们的 CO₂ 排放量分别增加了 291% 和 87%^[9]。

然而应该强调的是，简单地以电动汽车替代内燃机汽车可能不足以有效地减少全球交通运输所产生的温室气体排放量。如果用于供应电动汽车的电力是由化石燃料发电厂发出的，那么从全球的角度来看，以电动汽车替代内燃机汽车的意

⊖ OECD 是一个由 34 个国家组成的国际性经济组织，定位为市场经济的国家之间的论坛。它提供环境使得各成员国可以相互比较政策经验，寻求共同问题的解决方案，甄别出良好措施，以及协调成员国内、国际政策。更多信息请查看 <http://www.oecd.org/>。

义不大。它只是将化石燃料的消耗从交通运输方面转移到了发电厂，而全球温室气体排放量几乎保持不变。不过可以肯定的是它会改善局部空气质量，特别是在车辆密度较大的城市地区。因为电动汽车替代内燃机汽车将会使汽车尾气污染物的排放转移到大型电厂通常所处的郊区或农村地区。

因此，为了显著减少交通运输方面温室气体的排放，决策者需要增加可再生能源（Renewable Energy Sources, RES）的开发，同时推进以电动汽车代替传统车辆的进程。这些措施如果同时实施，将会确保由于电动汽车所增长的电能需求不会增加用于发电的化石燃料总量，相应的这部分能量需求将会被“清洁”的电能所代替。

然而，虽然适当数量的电动汽车接入配电网不会引起大的波动，但随着它们的广泛应用，电动汽车的接入可能会对电网的运行和管理产生某些影响。如果将电动汽车视作一个简单的不可控的负载，那么大规模的应用将使其成为大功率负荷，并很容易与常规家庭用电负荷高峰重合。因此很容易得知电动汽车大规模接入电网后，在现有重载网络中会存在严重线路堵塞；在占主导地位的辐射网中会引起电压过低的问题；在低压网络会存在峰值负载和能量损耗增加、压降变大、相间负载不平衡等问题。

在接下来几年里这些问题很有可能会成为现实。根据国际能源机构（International Energy Agency, IEA）^①的预测，轻型电动汽车和插电式混合动力汽车（Plug-in Hybrid EV, PHEV）的销售将从2020年开始逐渐增加，到2050年全球电动汽车和PHEV的销量可能达到每年一亿辆以上^[10]（见图1.2）。

为了避免上述问题，有两种方法可以调节电动汽车在配电网中的充电。第一种方法是加强现有的基础设施并规划新的电网，这样就可以使得电网完全自如应对电动汽车的接入，甚至可以接入更多数量的电动汽车。然而，该解决方案代价昂贵，需要对现有基础电网设施进行大量的投资改造。第二种方法是在配电网制定并实施具有需求侧管理功能的充电管理策略，使之能够根据电网的要求以及车主的需要控制电动汽车的充电。从电网的角度来看，该做法可以得到更好的成效，因为它可以为这些新负荷提供弹性，允许管理体系在必要时增加或减少充电负荷值，如在需要解决支路过载问题或电压问题的时候。对于电动车车主而言，他们也能从这些方法中获益，因为他们向电网提供服务时也将得到相应的报酬。

从长远角度来看，随着可预见的电池性能的改善，电动汽车可能不仅被视作为负荷，同时也可作为分布式储能装置，因此电动汽车对于电网的潜在积极作用可能会更大。这种基于车辆到电网（Vehicle-to-Grid, V2G）的概念指出，电动汽车在停驶

① IEA 是一个拥有 29 个成员国的自治组织，旨在确保为其成员国等提供可靠、经济、清洁的能源。更多信息请查看 <http://www.iea.org/>。