



国际电气工程先进技术译丛

电动汽车技术、 政策与市场

Electric Vehicles: technology, policy and
commercial development

(巴西) João Vitor Fernandes Serra 著
朱磊 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

电动汽车技术、 政策与市场

(巴西) João Vitor Fernandes Serra 著
朱磊 译



机械工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电动汽车技术、政策与市场 Electric Vehicles: technology, policy and commercial development/ (巴西) 塞拉 (Serra, J.) 著; 朱磊译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 5
(国际电气工程先进技术译丛)
ISBN 978-7-111-41984-6

I. ①电… II. ①塞…②朱… III. ①电动汽车—汽车工程—研究②电动汽车—产业政策—研究 IV. ①U469.72②F416.471

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 062404 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: 张俊红 责任编辑: 朱 林

版式设计: 霍永明 责任校对: 张 薇

封面设计: 马精明 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 11.5 印张 · 228 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41984-6

定价: 59.80 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

译者序

电动汽车是个火热的话题。

能源紧张和环境污染的问题日益突出，越来越紧扣政府和民众的心弦，节能减排、发展新能源汽车也越来越成为迫切的需求。国务院于2012年7月发布了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，规划指出以纯电动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向，提出到2015年时纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量力争达到50万辆，到2020年时产能达200万辆、累计产销量超过500万辆的目标。

这一雄心勃勃的规划目标预示着更多的资金、人才和关注投向电动汽车这一领域。国内几乎所有的汽车企业都制定了电动汽车的发展计划。例如比亚迪汽车先后发布了F3DM混合动力汽车和E6纯电动车，而后者已经在深圳市作为出租车批量运营。在北京，北汽集团的E150和长安汽车的E30等纯电动出租车也相继在平谷、密云和房山等郊区县投入运营。在上海，电动汽车可免交牌照费，新建小区都将配备充电设施。

然而电动汽车仍然没有进入普通个人消费者的市场，在电动汽车发展的道路上，仍有许多障碍有待扫除。一方面，消费者对电动汽车仍存质疑：电池的续航能力是否够用？充电是否方便？价格是否划算？另一方面，汽车厂商和服务提供商对电动汽车的发展模式仍存争议。究竟采用快充、慢充还是换电模式？这些问题期待一个明确而有力的回答。

本书正是带着丰富的案例、翔实的数据、严谨而全面的分析、敏锐的市场触觉来回答这些问题的。本书从历史、技术、市场和社会等多个角度分析了电动汽车的现状和发展前景，对电动汽车和燃油汽车进行了全面对比，指出了电动汽车替代燃油汽车的必然性。难能可贵的是，本书没有艰深的技术话题，而是着重从经济和市场角度讨论电动汽车发展的可能性，对比研究了多种商业模式，对投资人、政府和产业界人士都能产生有益的启发。

我国在短短十几年内成为了全球最大的汽车市场，但汽车对于很多中国家庭来说还是一件新鲜事物，他们没有对传统汽车的依赖，因而更容易接受电动汽车。同时，我国在传统汽车的技术方面与发达国家存在巨大的差距，而电动汽车在发达国家的历史也不长，差距相对较小。因此，电动汽车给我国带来了难得的发展机遇，我国也给电动汽车提供了广阔的发展空间。

电动汽车的发展不仅仅是技术的问题，更是市场、金融与管理的问题。与技术

IV 电动汽车技术、政策与市场

相比，后面这几个方面更需要长期的积累与探索，也是我国与发达国家之间的主要差距。希望本书能够在这些方面加强国内外的经验交流，给我国的电动汽车市场带来一些新的素材和灵感。

本书主要由朱磊翻译，参与翻译的还有孔亮、李琦、王永兴、张保仓、孟金磊、柳丹、张悦旻、朱蓓等人，在此表示感谢。

由于译者水平所限，加之翻译时间仓促，书中疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

朱 磊

2013 年夏于北京

原 书 序

新千年伊始，在人们寻找内燃机替代品的过程中，电动汽车开始聚积能量蓄势待发。如果电动汽车真的能够实现大规模的商业应用，那么它将在后工业革命发展史上留下浓墨重彩的一笔，而本书也将在这一历史进程中做出其独特的贡献。

本书面向广大受过良好教育、心系环保的读者群——学生、学者、经济分析师、投资人，当然还有电动汽车行业的专业人士，以其不同寻常的见解，解读了围绕交通技术可持续发展的一系列问题。本书对电动汽车技术的讲解简洁高效，直击重点，涵盖了车辆设计、电池需求与基础服务设施等最关键的技术。不管在发达国家还是发展中国家，电动汽车的商业化手段与相关政策，既可能阻碍也可能促进技术向更加环境友好的未来发展。这类话题的相关文献日益增多，而本书在这些资料中可谓出类拔萃。

一些人可能已经对石油依赖的问题忧心忡忡，例如 X 代人（大致于 1965 ~ 1980 年出生的人）和千年代人（大致于 1982 ~ 2003 年出生的人），他们思想活跃，富有主见，开始走进投票亭，走向汽车市场。对于这样一群人，作者将以全面的视角和最新的资讯，同他们讨论全球性和地区性的气候变化和能源效率的问题。本书以一种人人都能理解的方式，严肃而又不失创造性地解读了这些问题。

汽车业的巨头们，包括通用、福特、丰田等在内，正试图用最新的车身设计、自动导航、电子安全系统等帮助电动汽车打开市场，而本书则牢牢抓住个人交通方式转型最基本的方面。

我们正处于历史的转折点上，这体现在城市生活的方方面面。正如经常提到的，随着城市化进程的完成，人类社会第一次出现城市居民多于农村居民的状态。而读者可能不知道，全球有将近一千个城市对交通系统深度依赖，这些城市都在探求更好的解决交通问题的方案。如果电动汽车能得到推广，那么许多国家在未来几十年中都不必再为燃油忧虑，许多城市将摆脱交通拥堵和空气污染的困扰，数十亿人将享受更好的出行方式。本书将及时、全面、高效地帮读者把握这一新浪潮的脉搏和方向。

Tim Campbell 博士

目 录

译者序

原书序

绪论 时代的危机..... 1

第1部分 个人交通——把握历史机遇

第1章 内燃机战胜电动车.....	7
1.1 汽车工业的兴起	7
1.2 汽车工业的世纪.....	15
1.3 展望未来.....	20
1.4 路在何方.....	25
参考文献	26
第2章 可持续发展的全球挑战	27
2.1 能源消耗与资源局限.....	27
2.2 环境影响.....	33
2.3 替代方案.....	40
2.4 抓住机遇.....	44
参考文献	45

第2部分 电动汽车技术可行性

第3章 汽车驱动系统	49
3.1 基本概念.....	49
3.2 内燃机汽车.....	51
3.3 电动汽车.....	56
3.4 混合动力：电动化之路.....	60
3.5 路刚刚开始.....	65
观点1：电动汽车的天然优势	66
附录：汽车分类	67

参考文献	68
第4章 汽车储能系统	69
4.1 储能系统的性能指标	69
4.2 内燃机的储能系统	72
4.3 电化学电池储能系统	73
4.4 燃料电池储能系统	83
4.5 超级电容储能系统	86
观点2: 鸿沟正在缩小	90
参考文献	91
第5章 电动汽车充电设施	92
5.1 能源服务	93
5.2 对电网的影响	105
观点3: 成熟的全套解决方案	111
参考文献	112

第3部分 电动汽车发展路线图

第6章 电动汽车的成本效率	117
6.1 资金成本	117
6.2 使用成本	120
6.3 社会成本	124
6.4 电驱动的成本效率	130
6.5 简单的事实	136
参考文献	137
第7章 电动汽车发展路线	138
7.1 市场预测综述	139
7.2 市场形成期 (2010—2020)	146
7.3 跨越鸿沟 (2015—2025)	153
7.4 决胜时刻	159
参考文献	159
第8章 电动汽车的政策支持	161
8.1 政府的必然选择	161
8.2 路在前方	166
8.3 结论	173
参考文献	173

绪论 时代的危机

理想在实现之前，总是看上去那么的不可能。

纳尔逊·曼德拉

新千年伊始，人类社会面临着有史以来最为紧迫的危机。如果说 2008 年的经济危机还没有引发世界范围内的悲观，那么能源安全和环境问题则给全球的发展蒙上一层阴影，让人们不得不对自己的生活方式进行反思。从 20 世纪 90 年代开始，全世界都越来越意识到可持续发展所面临的严峻挑战。1992 年的里约峰会和 1997 年的《京都议定书》迈出了工业界减少二氧化碳排放的第一步。当前，石化能源仍在世界能源市场中占主导地位，但是可再生能源——例如风能和太阳能——在部分地区已经占有了一席之地。没有哪一种新能源能够以一己之力替代传统能源，多种能源共同发展，形成多样化的能源格局，才能减少对传统能源的依赖。

然而，由于人们的出行严重依赖汽车这一“油老虎”，可持续发展的努力与已经上瘾的生活习惯发生了冲突。煤是世界主要的发电能源，而石油则由于在交通领域的重要作用成为主要的一次能源。更进一步，在交通领域的石油消耗量中，有 67% 源于私家车，也就是所谓的轻型汽车（Light Duty Vehicles, LDV）。可能有些人听了会不舒服，但不得不承认，石油依赖与碳排放等问题正是在我们每个人的家门口产生的。

如今风电场和太阳电池板的概念已经家喻户晓，而可持续的交通方式却仍是一个令人陌生的概念。人们还没有意识到，LDV 技术的变革是迈向可持续化生活方式的重要一环。本书正是要与大家讨论基于电动技术的高能效、低排放的未来交通方式。诚然，当前的电动汽车（EV）技术还有许多有待提高的地方，但任何技术革新都难免存在这样一个起步阶段。不管怎样，电动汽车的能效首屈一指，它或许将成为唯一可行的可持续交通解决方案。

本书希望能引起广泛读者群的兴趣，从刚开始接触电动汽车的技术人员，到关心电动汽车相关政策的人群，以及担心电动汽车对其产生威胁的石油巨头们。我们的目的，是为让大家对围绕电动汽车的诸多复杂问题有一个基本的认识，以便更深入地讨论那些令人困惑的问题。

本书难以避免讨论一些技术问题，但面向背景多样、不同兴趣的读者群，本书将采用一种轻松的对话叙述方式，并辅以丰富的事例，帮助读者理解这些技术问题。对于那些与主题关系不甚密切的技术细节，将采用知识框的形式供有兴趣的读

者进行延伸阅读。这样，读者在深入了解某一技术细节之后，仍能够回到话题的主线上来，保持思路的连贯性。需要交代的是，由于电动汽车是一个快速发展的领域，我们的讨论素材不仅来源于科学研究和学术文献，还包括许多新闻媒体和互联网的内容。

本书的第一部分是概要性的背景介绍。第1章从历史的视角介绍了汽车工业的发展历程，从最初的蒸汽动力车的出现，到2008年经济危机中一些百年汽车巨头的衰落，有助于读者理解汽车技术现状的历史因素；第2章把目光投向了那些曾在历史上极大地推动汽车发展的因素，这些因素至今仍对汽车工业发挥着重要作用。我们要强调的是这些因素在新千年发生的一些变化，这些变化可能会引导汽车工业未来几十年的变革。

贯穿第一部分，我们希望读者铭记中国的一句老话——居安思危，这不仅强调要对眼前形势具有危机感，更召唤人们去做出改变和创新。读完第一部分，读者应当能够感觉到内燃机汽车（ICV）技术变革的紧迫性，同时也初步认识到电动汽车受到青睐的原因。

第二部分将对电动汽车技术进行剖析。第3章和第4章分别从驱动系统和储能系统两方面对ICV和EV进行技术综述和比较分析；第5章则重点介绍电动汽车发展最棘手的问题——充电设施及相关的能源服务。

第二部分是本书的核心。读完第二部分，读者将对电动汽车技术有一个全面的了解，从其自身的工作原理与性能，到它与电网的关系，再到其商业化将会遇到的挑战和机遇。基于潜在客户（司机）和厂商（服务商）存在的顾虑，我们将对电动汽车技术进行全面的评价：顾客有哪些可选方案？每公里能给车主省多少钱？充一次电能跑多远？充电设施都到位了吗？面对日新月异的发展态势，顾客和厂商都会面临哪些风险？

第三部分将会回到电动汽车发展的动力和目标上来。第6章讨论电动汽车究竟是否具有更高的成本效益和更低的排放，是否所有的因素都考虑到了；第7章讨论电动汽车可能的推广策略，基于对多份不同来源的市场预测报告解读，本书发展了自己对于市场路线的独立观点。值得注意的是，技术革新从来都不是线性连续增长的，而总是呈现出不可逆转的爆炸性增长。最后，第8章概览了电动汽车的激励政策，这些政策的出台动力主要来源于电动汽车可能带来的经济和环境效益。

正式展开讨论之前，我们需要读者明确两个基本的假设观点，作为后文讨论的基础。

如开头所述，当今社会正面临着传统技术手段不能解决的重大危机。本书对电动汽车，尤其是其充电设施的介绍似乎也暗示着不可逾越的障碍。然而读者应当意识到，这些困难并非史无前例的。纵观历史，人类社会曾一次又一次克服比这更为严重的危机，而为之消耗的资源却比汽车摆脱石油依赖的预计消耗要少得多。

1858年，伦敦市民在地面排水道和霍乱流行之中生活了半个多世纪后，英国议会决定修建被称为第一个现代化排水系统的伦敦地下排水系统。仅仅花了20年，伦敦就建成了长达2.2万千米的地下管道。并且，这些成功抑制了霍乱流行的地下管道，都是以沿用至今的高标准建设的。

在短时间内通过大规模的基础设施建设和技术更新来改变人们的生活，伦敦绝非仅有的一例。工业化国家里这类例子不胜枚举：如德国20世纪30年代建造的高速公路网；欧洲第二次世界大战后重建的马歇尔计划、美国宇航局实现首次登月的阿波罗计划、移动通信网的建设，如此种种。事实证明，发展中国家也同样可能具有这种能力。除中国有目共睹的高速发展外，1956年巴西曾推出“加速发展计划”，拟用5年的时间完成50年的发展。该计划修建了覆盖巴西全国的高速公路网，不仅带来了汽车工业和石油工业的繁荣，也促进了其他制造业和基础工业的发展。

由此引出第一个观点：历史已经反复证明，人类社会有能力在短时间内克服阻碍其发展的技术障碍和基础设施短缺。确实，电动汽车在充电设施和技术方面还存在许多障碍（本书后文将论及），但与人类社会之前所克服的困难相比，可谓小巫见大巫。

本书始终强调可持续发展对于能源安全和环境保护的重要性，并以此作为发展未来交通的基本原则。诚然，任何一本电动汽车的相关书籍都会就可持续发展的话题展开讨论，讲述电动汽车发展的道理。然而，许多人却局限于可持续发展的诉求，忽略了电动汽车市场发展的根本动力。

作为一个交通工具，汽车与其他产品相比，有其独特之处。试想一下，如果没有超酷的坐驾，詹姆斯·邦德和丹迪·祖科（约翰·特拉沃尔塔出演的电影《油脂》）还能那么拉风吗？没错，汽车除了作为交通工具以外，还是一个人身份的象征，甚至还能彰显个人与家庭的社会经济地位。

由此得到第二个观点：电动汽车既承载着向可持续发展转型的重任，同时又肩负着人们展示激情与形象的使命。确实，本书将特别讨论电动汽车对驾驶体验的影响以及消费者的反应。作者相信，在个人交通向可持续发展转型的过程中，电动汽车绝对不会牺牲驾驶体验。相反，石油巨头们也许不能料到，电动汽车的梦想很快就会变为现实。

第 1 部分

个人交通——把握历史机遇

第 1 章 内燃机战胜电动车

失败往往就是离成功只剩最后一步时选择了放弃。

托马斯·爱迪生

蓄电池电动汽车（BEV）的诞生比内燃机汽车（ICV）要早半个世纪，为何后者却成为汽车市场的霸主呢？由于我们对于时代背景的了解有限，往往容易忽视这段历史背后最具价值的经验教训。由于某些原因，我们半个世纪以来对于 ICV 和 BEV 的认识可能还存在许多偏差。例如，没有意识到西方国家的日常生活方式以及能源消耗对能源和环境的影响；又例如，不去追求或设想与当前流行的生活方式截然不同的未来。

虽然身为一名工程师，笔者却对历史十分看重，相信只有了解历史才能展望未来。本书也将首先从历史的角度来审视个人交通的发展：为何 ICV 能够成就庞大的汽车^①工业，并且在过去的一个世纪中保持绝对的市场地位？在其前进的道路上还有哪些鲜为人知的故事？本章将向读者展示一些悄然发生的变化，其中有些变化 50 年前就已经开始发生了。这些变化逐渐积累，开始引起人们的注意，并将在新千年引发一场变革，开启电动汽车^②（EV）时代的大门。

1.1 汽车工业的兴起

1.1.1 城市化、经济增长与汽车工业

工业革命以来，人类的生活方式发生了巨大的变化。从喷气式飞机到地铁，从个人电脑到手机与因特网，从冰箱到咖啡机，人们见证了技术发展的滚滚浪潮，同时发现能源消耗的速度也因此而剧增。尤其是机动车辆带来的交通便利，已经改变了工业化国家的地缘人口分布。

① 本书针对城市家庭和企业的需求，主要关注于“小汽车”，或者说包括家用轿车和轻型卡车在内的一类车辆。这类汽车也可称为“轻型车辆”（Light Duty Vehicles, LDV）。虽然本书经常涉及更广泛的交通工具，例如公路货运、铁路和航运，但并不对它们进行详细讨论。

② 本书的核心内容是 BEV 的复苏，但认识到其他类型的 EV 也会在未来几十年的交通技术发展中扮演重要角色。因此，本书也会对这些更广泛的技术进行讨论。

在工业革命之前，人们的出行大都局限在步行和马车所能到达的范围之内。而随着机动交通工具的出现，尤其是蒸汽机或电力驱动的火车和有轨电车的出现，城市开始沿着公共交通线路扩张。而后，个人交通的发展则产生了更深远的影响，人们出行更加自由，不再受公共交通的限制。城市迅速向各个方向扩张，形成城市群带，例如荷兰的 Randstad 城市群，美国连接波士顿、华盛顿和纽约的东部走廊，以及巴西的圣保罗都市区（见图 1.1）。

20 世纪以来，工业化国家的经济增长带动了个人交通和私家汽车的强势发展，也使得城市加速蔓延。而城市的延伸使得人们需要行驶更远的距离，因而更为青睐具有续航里程优势的 ICV。城市的发展受益于个人汽车市场规模的发展，而汽车工业正是在城市的不断扩张中蓬勃壮大的。

事实上，由于工业化社会对汽车的严重依赖，以至于对于城市功能极为重要的公共交通只能算其中的一个壁龛市场（Niche Market）。欧洲的公共交通在 20 世纪的最后几十年里以惊人的速度在萎缩。例如，在英格兰和威尔士，人们乘坐公共交通出行的比例由 1971 年的 33% 下降到了 1991 年的 14%（Cervero, 1998）。类似的现象在一些发展中国家的大城市也存在，例如阿根廷的布宜诺斯艾利斯、泰国的曼谷和菲律宾的马尼拉。

个人交通、汽车工业和城市化三者之间互相促进，成为 20 世纪人类社会进步与现代化的标志。确实，很难想象世界上如果没有 ICV 以及为其服务的加油站会是什么样子。那么，为何偏偏是 ICV 技术成为现代生活中不可或缺的一部分呢？为了解答这个问题，让我们一起回顾一下汽车的起源吧。

1.1.2 汽车工业的先驱

1801 年，英国康沃尔郡一位名叫里查德·特里维西克的矿主制造出第一台蒸

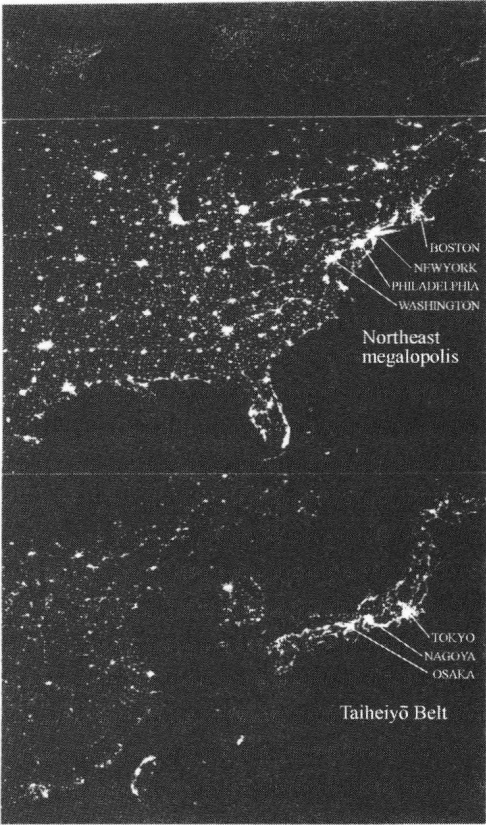


图 1.1 城市的蔓延
来源：Bill Rankin (2009)

汽机载客车（见图 1.2）——也被认为是第一辆机动车，开启了人们不再依赖马车的时代序幕。然而机动车并没有马上获得成功。当时所用的蒸汽机又吵又脏，动力性能与马车相比也没有显著提高。

随后，美国的铁匠兼发明家托马斯·达文波特于 1834 年研制成第一台直流电动机驱动的电动车。其后的几年内，发明家们制造了一系列一次性电池驱动的电动汽车，包括罗伯特·安德森的“底特律电动车”（见图 1.3）。与蒸汽机汽车相比，这些 BEV 具有更高的效率，也更安静清洁，因而更受欢迎，但却很大程度上受到不可再充电的电池的局限。

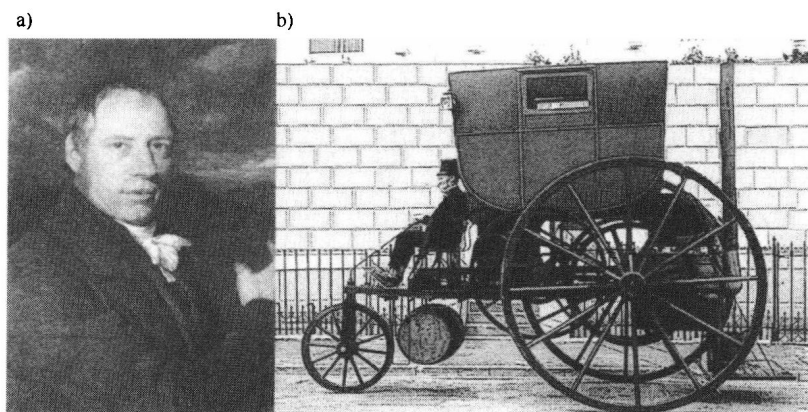


图 1.2 里查德（图 a）和他的蒸汽动力车（图 b）

来源：John Linnell (1792-1882) 作品

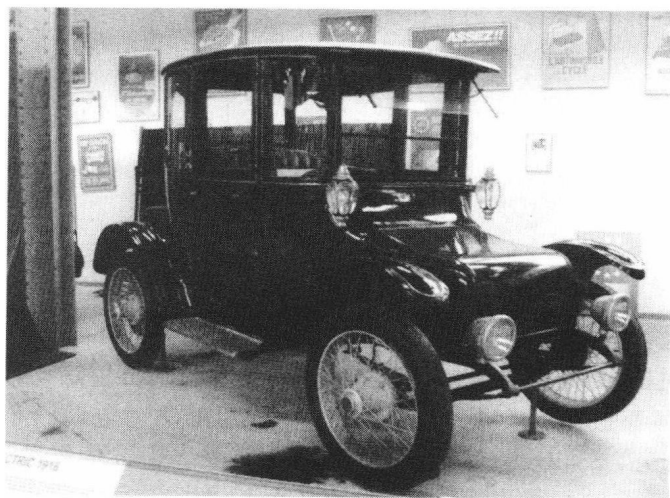


图 1.3 安德森的底特律电动车

来源：Asterion（维基资源共享）