

车辆传动系统分析

CHELIANG CHUANDONG XITONG FENXI

国防工业出版社

刘修骥 编著





数据加载失败，请稍后重试！

车辆传动系统分析

刘修骥 编著

机械工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

车辆传动系统分析/刘修骥编著. —北京:国防工业出版社,1998.1

ISBN 7-118-01699-3

I. 车… I. 刘… III. ①履带车-传动系-系统分析②汽车, 轮式-传动系-系统分析 N.U463.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00956 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 519 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 38.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于1988年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖，内容明确、具体、有突出创见，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作，职责是：负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金

评审委员会

序

“传动装置”是各种不同用途车辆的重要组成部分，车辆通过它来实现和满足多种行驶要求，传动装置对车辆的机动性能起着重要的作用。近 50 年来，车辆传动系统加速发展，经历了机械传动、液力机械传动、电液操纵液力机械综合传动和自动变速的发展过程，其技术水平和种类有了较大的提高和增长，先进技术日益成熟。高速履带车辆的大功率、多功能、高性能、高功率密度的综合传动装置，已成为代表机械工业最高水平的复杂产品之一。在我国高速履带车辆实现现代化目标中，这样的综合传动装置是亟需提高的一项重要技术，对我国军民车辆在跨世纪的世界竞争中，具有重要的意义。

贯彻科技是第一生产力的思想，落实我国总体规划提出的目标，必须以科学技术为先导。在车辆传动技术方面要赶上世界先进水平，首先应对它们的发展及其理论具有较全面、较深刻的了解和分析，这是创新设计所必需的基础。分析的深度和广度，在一定程度上决定了选择发展方向的正确性和生命力。这对车辆发展全局，有着重要影响。

北京理工大学刘修骥教授是我国军用车辆工程专业教育的创建人之一，40 余年来在车辆工程学术上多有建树，桃李盈门。他根据国家需要，以先进的车辆传动装置为目标，将多年来对车辆传动研究的成果进行总结和分类，沿着发展历史，以新的体系，对多种传动特别是履带车辆复杂的综合传动新技术，进行了大量理论研究和分析，揭示其性能规律，提出了许多深刻见解和结论。

刘教授以三年时间，扶病贡献的这本《车辆传动系统分析》专著，内容新颖，图文并茂，颇具深度和广度，有较高的理论水平和学术价值。相信它的出版发行对提高我国车辆传动技术水平，推动我国传动装置的发展，迎接 21 世纪的挑战，将有所裨益。

刘修骥

**国防科技图书出版基金
第二届评审委员会组成人员**

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	刘琯德		
委 员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘 仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯 迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

地面车辆的种类繁多，用途、目的和使用条件各异。对于用以改造发动机性能来满足车辆行驶需要的传动系统（以后书中均简称为传动系），要求既高且多。在超过一个世纪的岁月中，机动车辆传动系虽不断发展进步，但仍未臻理想。现代车辆传动系的变化无穷，各国各车，往往各有千秋，专利方案也很多。在传动系的性能日益进步中，有的原理和结构相当复杂，用简图表示也难于看懂。它们涉及许多技术，具有不少待研究的专门问题。但这方面的理论文献不多见，更缺乏研究专著。

汽车、拖拉机和工程车辆的传统传动系，多以固定轴齿轮式为主，较复杂的如行星齿轮式的液力自动变速箱等。高速履带车辆，包括各种装甲战斗车辆、后勤车辆和一些民用运输车等，所用的综合传动系的功能、结构和理论规律都更复杂，其主要发展过程大体可归纳为：

- (1) 变速和转向机构分置的机械式单功率流传动系；
- (2) 机械式双功率流综合传动系；
- (3) 液力行星式双功率流综合传动系；
- (4) 液压转向或液压复合转向的液力机械式双（或多）功率流综合传动系。

此外，进一步发展的液压机械连续无级综合传动系，性能优良，颇具前途。已开始在日本、美国等国成功地使用，但目前的技术要求和价格尚偏高。

高速履带车辆这些综合功能（集液电自动操纵的变速、转向、制动和各种辅助驱动于一体）、大功率高密度（达 1000kW 以上和近 1000kW/m^3 ）的复杂传动装置，与一般由几对不同传动比的齿轮轮流啮合构成的变速箱显著不同，已成为机械工业一种机电液一体的高技术水平代表性产品。

本书力图以辩证和历史唯物主义的观点，对轮式和履带式车辆的现代传动装置，从功能本质进行较全面系统的理论分析和研究。书中涉笔的内容有：

- (1) 回顾总结车辆传动技术发展历史和形成的道路，帮助未来寻找继续前进的方向；
- (2) 揭示车辆传动机构设置的内外因素和实质，深入体会对传动系的要求；
- (3) 按主要特色来逐级区分传动系的类型，或以图表来明确表示，分析比较其优缺点，强调随条件作适当的客观选择；
- (4) 分解传动系的构成环节，阐述其组成原则，比较各机构和研究其间的匹配关系；
- (5) 介绍有意义的和有代表性的传动方案，深入剖析一些典型实例的性能规律和特点，了解和掌握世界车辆传动的概况；
- (6) 注视和分析世界车辆的最新传动，跟踪先进技术，探索新原理，附带也研究一些非常规传动方案的特殊性能，帮助开阔思路寻找新的生长芽点；
- (7) 重点分析各种传动的速度、力矩特性，建立运动学和动力学关系式，图解其直

驶和转向性能；

(8) 着重研究传动在各种工况下的功率流程及功率分配、功率平衡、功率损失和传动效率，绘制较全面表达的图形；

(9) 建立传动性能数学模型和一些框图，计算一些重要的指标参数，进行讨论比较；

(10) 收集和统计重要性能参数，绘制参考图表，研究其变化和对车辆行驶性能的影响；

(11) 总结评价各种传动系。

书中除研究汽车、拖拉机等单功率流传动系外，重点分析高速履带车辆用的双流综合传动系，突出研究其中新近发展较多的液压转向和液压复合转向新技术，进一步按发展分析从机械传动，经液压无级传动和液压机械分流传动，到最新的液压机械连续无级传动的过程。专章研究履带车辆的相关型液压机械连续无级综合传动。书中按编著者的研究体会，初次系统地揭示它们的组成关键和基本规律，建立其理论模型和设计基础。

这些新的传动技术引起不少同仁的兴趣，提及的文献虽多，但多属泛论车辆而未深入传动系，更未见有从理论上系统研究的著述。编著者考察过的国外传动厂家，或接触过的国外技术专家教授，对深入内容很少介绍，涉及军用车辆传动更加保密。落后受人欺，落后要挨打。这是促使编著者分析研究和编著本书的重要原因。

书中约有近 700 个关系式，概括代表许多理论规律。其中许多是从实际中提升归纳和推导得来，尽量争取有的放矢、简明扼要，避免华而不实。有些公式未进一步细致推导。例如，传动工况中的一些动态过程，即使以较多篇幅推导一系列繁复的公式，终因缺乏部件惯量的具体数值而难于实用；即使有部件实物，则又以实验为主，故书中暂予割爱。

图形对于车辆传动具有不可或缺的特殊意义，能够一目了然地具体表明用语言和公式所不能说明或难于全面表达的内容。传动分析往往是从方案图开始，而结果常以曲线表示。书中多数插图是经长期收集、大量统计和计算，或创造性地设计图面，并几易其稿修改的结果。经过努力在国内外调查收集，书中精选一些具代表性、包括最新传动的方案图。它们变化多端，有助于开阔视野和思路，也有助于把握世界车辆传动发展的脉搏。各国传动简图的画法往往各不相同，现已按我国标准和习惯，以简明方式统一改绘。

在强调先进技术特别是国防技术保密、强调知识产权和专利保护的今天，加强培养开拓创造的能力具有特殊重要的意义。编著本书的一个指导思想，是试图以车辆传动发展历史为纲，大体沿其发展的内在线索，最终以启发创造、促进发展为目的。温故知新、推陈出新和鉴往知来等成语都说明，研究过去的发展，有助于深入了解现在，才能帮助发展未来。书中注意综述发展的过程和前途，广泛参考各国多种方案，注意分析技术的前因后果，着重研究历史和新技术的来龙去脉等，都是希望有益于培养创新开拓能力的目的。

编著本书作为引玉之砖，望能为前进奠筑基础，启发创造，促进不断发展。然而，创造发展近似发明，传动的现有发展也多属专利，既很难做，也很难讲述其创造的方法。可能有各种情况：缺少创新的需要，或有创新之心却无创新之胆，或缺创新之力，或缺条件与信任及支持，或所创不新或欠成熟，或急功近利而臆希其成，或一蹴未就而被迫

下马。测绘仅供参考借鉴，仿制则只能亦步亦趋而难乎为继。凡此种种，都不能满足今后不断发展前进的要求。

从来不可能包教发明，创造也不能保证一举成功。对于发展现代复杂传动装置，最根本的亟需，是真正提高水平和能力，提倡创造，离开拐杖走路。有相当价值和前途、有较大技术跨度、风险小而成功率高的创造，首先要有一定的基础，即广泛收集资料信息，下真功夫和深入消化吸收，作到对别人有较全面和深刻的了解和分析才行。在此充分掌握的基础上，参考过去的逐步发展，抓住关键，周密分析，广泛联想各种变化，深入研究，按实际需要和现实条件，启发创新，并努力反复完善其结构和改进提高，才能在不断前进中树立自己的有强生命力的优秀传动系，并进一步高瞻远瞩地全盘规划，开拓成便于生产和使用的传动系列。

为免思想僵化和因循保守，证明发展不必拘于一途，书中还分析了一些非常规的特殊传动系。例如，自适应转向半径的3K单功率流传动和液力转向双流传动，双侧变速传动及其几种特殊改进方案，能从箱外制动箱内的等效汇流行星排，等轴式和不等轴式的中央差速双流传动，等比式、双速率式和双重汇流的液压机械连续无级传动系等。当然，不是每个芽苞都能开花，但每个硕果都是从芽苞开始生长的。

书中循序渐进的讲述次序一般是：先老传统，后新发展；先轮式车辆传动；后履带式车辆传动；先变速，后转向；先单功率流传动，后双（多）功率流传动；先机械有级式，后液压无级式；先低效率传动，后高效率传动等。

由于读者所习专业或从事工作的差异，对车辆传动分析涉及的一些基础知识和应用元件可能不全熟悉。限于篇幅，本书不能一一从头讲述，只选择少数顺便简单提及。如发动机、流体力学、行星机构、履带车辆转向力学、液压元件、液压传动系等。这有助于本书叙述体系的完整，而更多专门知识请读者另行自修。应特别指出，现代车辆传动系奇妙变化层出不穷的关键，许多都在于对多自由度行星齿轮机构的灵活运用，行星变速只是其中的一个方面。对行星传动的融会贯通，是发展现代车辆传动的重要基础。不熟知所用机构和元件，或只熟悉个别元件，对系统都难求甚解。本书中只择要简述行星机构及行星变速的分类和分析方法。进一步专门深入车辆行星传动，著者曾在参考文献[3]中有所述及，可供读者参阅。

世界各国在车辆传动中的一些名词定义、计算和讨论条件及观点上，存在着一些差异，不太一致。又由于本书参考的资料信息来源不一，个别数据仅来自片纸只字或口述介绍，而文献中对传动的发展背景、具体结构和参数等，往往又语焉不详。同时，车辆和传动的生产中，不同批、不同年代的产品结构甚至数据都可能变化，或参数测量基准和方法的不一致（如转向半径），以致正式公布的数据也难免偶有差异。这些问题对本书的分析虽无关宏旨，不伤大体，但也可能造成书中个别欠准确或甚至偏颇之处。由于本书是对地面车辆传动系较全面深入分析的初次尝试，许多观点仅属个人管窥蠡测，或挂一漏万，在所难免。限于编著者水平，书中内容不一定能达到自期的编著目的，谨希读者谅解，并对谬误之处，不吝指正。

本书中，双功率流传动等的编著基础中有王秉愚教授的工作，固定轴齿轮变速是在周纪良高级工程师研究基础上的发展，赵毓芹教授对履带车辆单流转向，并和胡纪滨讲师一起对一些液压复合转向与编著者共同进行过研究。雷起蓉高级工程师和刘卉、孙卫

平工程师三年来共同为本书稿做出巨大贡献。此外，本书的编著出版中还得到许多同志的关心和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

编著者
于北京理工大学
还读我书斋

内 容 简 介

本书论述履带和轮式车辆，包括汽车、拖拉机、工程车辆、坦克和装甲车辆等的传动系统的分类组成、理论规律、性能模型、参数计算、比较评价和方案发展等。为有助于创造性发展，书中贯穿历史和未来，按理想、实用的原则，广泛分析各类型传动系的方案变化，深入讨论其运动学和动力学特性，重点研究较复杂的高速履带车辆双功率流综合传动及其液压无级转向和最新的液压机械连续无级传动等的理论规律。

全书共七章，含约 700 个关系式和 300 幅图表，大多是著者提出的新内容；建成新的体系。可供各车辆、传动和机械专业研究生和本科高年级作为教材，也可供有关研究、设计、试验和技术管理等人员参考之用。

ISBN 7-118-01699-3/U · 121

定价：38.00 元

目 录

第一章 车辆传动系的特点及发展概况	(1)
§ 1.1 轮式和履带式车辆的历史回顾和传动问题	(1)
§ 1.2 对车辆传动系的要求	(5)
§ 1.3 车辆传动系的历史概况	(9)
§ 1.4 直驶变速技术的发展.....	(16)
§ 1.5 履带车辆转向技术的发展.....	(23)
§ 1.6 地面车辆传动系的新技术.....	(26)
第二章 车辆传动系的变速机构分析	(33)
§ 2.1 固定轴齿轮变速机构分析.....	(33)
§ 2.2 行星差速和变速机构分析.....	(49)
§ 2.3 液力传动特性.....	(73)
第三章 车辆的单功率流传动系	(89)
§ 3.1 单功率流传动系.....	(89)
§ 3.2 履带车辆单流转向机构分析	(104)
§ 3.3 履带车辆的双侧变速兼转向传动系	(115)
第四章 履带车辆双功率流传动系的基本理论规律及分析	(130)
§ 4.1 传动机构的分流和汇流特性及其在双流传动中的应用	(130)
§ 4.2 双流传动系的运动学分类	(135)
§ 4.3 双流传动系的运动学特性	(140)
§ 4.4 双流传动系两功率流的分配	(146)
§ 4.5 双流传动转向效率的分析	(149)
§ 4.6 双流传动各种等效的汇流行星排的讨论	(162)
§ 4.7 中央差速双流传动系分析	(169)
§ 4.8 双流传动系的传动比分配	(176)
第五章 履带车辆的液压转向和液压复合转向系	(181)
§ 5.1 液压元件一般特性的选择	(182)
§ 5.2 液压传动系性能及其选择	(194)
§ 5.3 液力转向方案和应用液压无级转向的传动装置	(202)
§ 5.4 液压无级转向的理论规律和转向的有限功率平衡计算	(211)
§ 5.5 液压加机械复合转向的分析	(223)
§ 5.6 液压液力复合转向分析	(234)
§ 5.7 双半径液压转向和有限转向功率平衡的参数调整	(244)
§ 5.8 液力式和液力机械式双流传动系的特性比较	(248)

第六章 液压机械连续无级传动方案原理和分析	(255)
§ 6.1 车用液压传动和液压机械分流传动的发展	(255)
§ 6.2 液压机械连续无级变速原理和各类方案	(270)
§ 6.3 液压机械连续无级传动系的组成环节和程序规律	(289)
§ 6.4 液压机械连续无级传动的汇流排组合和机械传动比的选择	(293)
§ 6.5 液压机械连续无级传动的特例分析	(310)
第七章 履带车辆的液压机械综合传动	(319)
§ 7.1 履带车辆液压传动与液压机械传动的类型和其中相关型 液压机械连续无级综合传动的组成	(319)
§ 7.2 三段连续的相关型液压机械综合传动——HMPT-500 传动 实例分析	(323)
§ 7.3 四段连续的相关型液压机械综合传动——小松 HMST 传动 特点分析例	(334)
§ 7.4 相关型液压机械综合传动的一些理论规律	(337)
§ 7.5 履带车辆的液压和液压机械各类传动所需液压元件功率的比较	(341)
参考文献	(347)

第一章 车辆传动系的特点及发展概况

地面是人类安家立业的根本基地。位于地面的人口,估计随时不会少于人口总数的百分之九十九。自从在公元前 2000~4000 年前原始条件下发明和应用车轮以来,人类在地面生活和生产活动中的“载重、致远、快速”三个方面得到突破。至今,人类在地面运动的工具,仍以利用车轮为主,在可见的将来无可取代。

现有的机动车辆及其传动系并非偶然如此。要发展未来的先进传动装置,首先应对车辆行驶需求和传动装置迄今的创造发展历史有所了解。在知其然之外,需从来龙去脉知其所以然,根据内外因素更深地准确分析,抓住并解决本质问题,才能取得成功。不作系统研究,只能亦步亦趋,难于独创和超前。贯穿过去和现在,才可瞄准将来,继往才能开创未来,目的在于向 21 世纪挑战。

§ 1.1 轮式和履带式车辆的历史回顾和传动问题

两个车轮可以分别转动的两轮车辆,被牵引直行和转向都很灵便。增大车轮直径有利于越过障碍,但直径愈大车架愈高,也愈不便于使用。限于车轮对地面的比压不能太高,两轮车辆的载重量不大。

四轮车辆的出现,可使载重量加倍。四轮畜力车辆要解决的重要问题是如何转向。在车架前端和安装两个前轮的前轴中间,用垂直销轴铰接。这样,当向前侧方牵引与前轴联为一体的车轡时,前轴和前轮的方向随之改变,引导车辆改变行进方向。这一原理,应用至今。例如载重量较大的半挂型载重汽车等。四轮车辆的畜力只司牵引,与负重作用彻底分工,因而可在速度和远程行驶这两个方面也有所提高。

车辆行驶受地面条件影响很大,重要改善还在于道路。例如在 2000 年前,我国秦代修筑的驰道和欧洲的古罗马大道都很著名,至今尚有遗迹可寻。在车架上装设各种各样的生活、生产或战斗设备,形成各种车辆,经城乡道路在各地行驶。车辆对人类做出了不可估量的巨大贡献。

热力机械的出现,突破了畜力为动力的限制。1698 年英国人瓦特(J. Watt)把蒸汽机付诸实用。1770 年法国人古诺(N. J. Gounod)制造了第一辆三轮的外燃式锅炉蒸汽机车,如图 1-1 所示。它的前后轮直径分别为 1.28m 和 1.5m,用单轮转向以免费力。其行驶速度仅 3.5~3.9km/h,持续行驶时间 12~15min。19 世纪曾经改进过多种以蒸汽机为动力的车辆,都笨重不便。图 1-2 为英国蒸汽公共汽车基本保留车轡,再用一对小轮引导前轮来转向。它有较大牵引力,但重量会造成车轮下陷,不便于行驶。

在 19 世纪得到广泛发展的是轨道车辆。铁道的滚动阻力最小,可大幅度提高载重量和车速,也能引导车辆转向,但行驶路线受限制,不能在一般道路和在广泛地面上行驶。

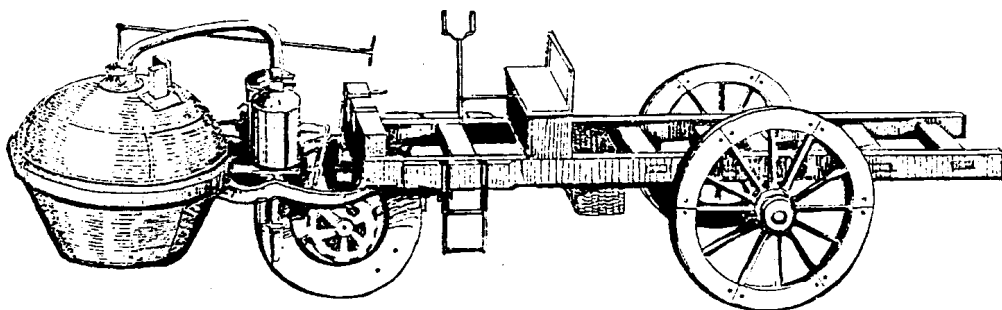


图 1-1 古诺创造的第一辆蒸汽机汽车

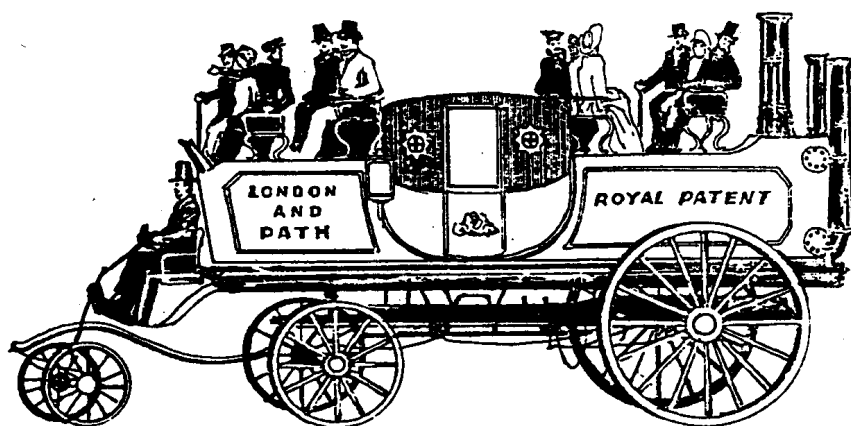


图 1-2 英国 1827 年的蒸汽公共汽车

1862 年出现了比煤气机轻便的四行程内燃机，提供了发明一般道路机动车辆的条件。图 1-3 是 1886 年德国人本兹 (K. Benz) 发明的第一辆内燃机汽车，它很轻便。实用的汽车只能在已有的马车基础上发展，但提出了一些新的传动问题。

车辆被牵引时，车轮在不旋转的车轴上自由转动。改为一对驱动车轮发出牵引力时，由转动的轮轴来驱动两侧车轮一齐转动。在转向时，两轮轨迹长度不相等，即转速应不相同。在转向半径变化时，这个转速差还是变化的。这才能避免负重的车轮在地面滚动之外，还存在滑转，影响转向不灵活，既费力还磨损车轮。从 1834 年开始出现的差速传动机构，成为解决这个问题的基础。它随着车辆转向半径变化，能以相应不同速度向两轮同时输出动力。

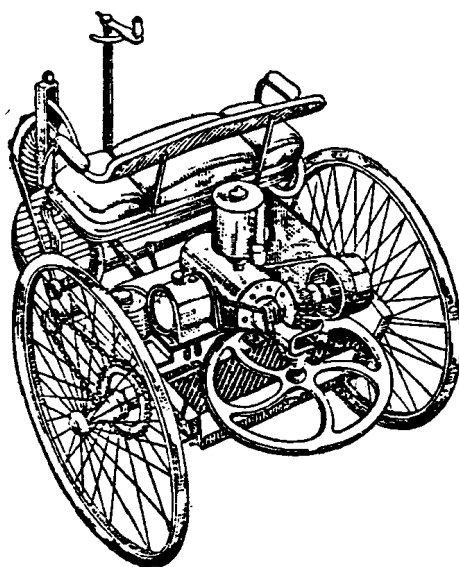


图 1-3 德国本兹发明的内燃机汽车

更为重要的另一问题，是内燃机能供利用的输出转速和力矩变化范围有限，如图 1-4 所示。它在低速时不但不能输出功率，还不能维持自身转动，需要被带动到相当转速时

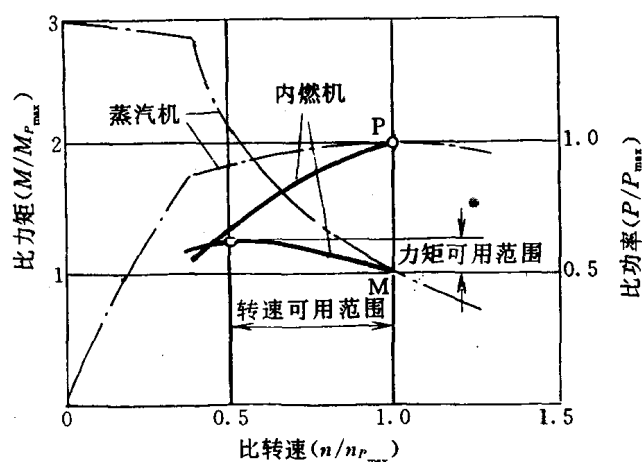


图 1-4 内燃机的可用转速和力矩变化范围和与蒸汽机范围的比较

才能起动。它不能满足车辆行驶速度和力矩所需要较广的变化范围。这是采用蒸汽机为动力时不存在的问题。蒸汽机的速度、力矩变化范围大，也能倒转，并且愈是低速力矩愈大，利于车辆起步，如图 1-4 中点划线所示。这正符合车辆的行驶需要，因而用蒸汽机不需设置变速机构，由汽缸活塞经过连杆、曲柄直接推动车轮，如近代铁道蒸汽机车那样。当用内燃机为动力时，就需要一套变速机构来扩大其速度和力矩的变化范围，使车辆能从起步、低速到高速行驶，并能攀登坡道和倒车行驶等。为能切断动力来空负荷起动内燃机，和能从零速起步，以及更换变速传动比，还需要离合器和一些操纵机构。

解决这些问题，即建立以内燃机为动力的车辆传动系统，才能使轮式汽车趋于实用。

轮式车辆离开良好道路难于行驶，车重愈重愈困难。只要受阻于途中有一处过不去，车辆就不能达到行驶的目的地，往往被迫弃车、弃物而行，既误时还误事。古代畜力车辆为克服陷车，会在轮下临时垫以石块、树枝等。据推测，由此逐渐发现可在轮外附上一些板、条等来防止一段较长距离的陷车。图 1-5 是 19 世纪初在法国提出专利的提高车轮通过性的装置，应属于原始应用的进一步发展。

如果用挠性的绳或链将一些板、条连接起来，并在若干个前后车轮之外绕过，可进一步形成履带结构。随车辆前进，履带有如不断地在前轮之前铺轨和在后轮之后回收，因而曾被称为“随车携带的无限长度的随处轨道”。正因这个轨道是随车的，履带车辆不属于真正的轨道车辆，而是地面车辆。

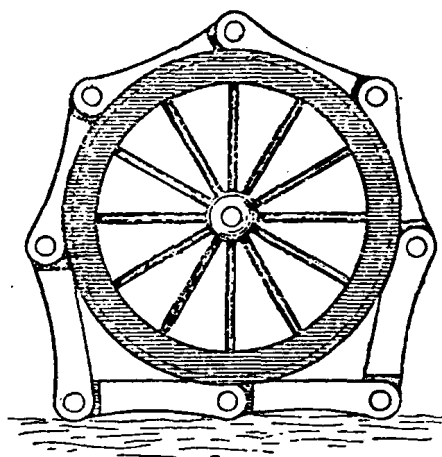


图 1-5 1831 年提出的高通过性车轮

类似现代的履带于 19 世纪在被牵引的拖车上开始使用，它只有负重轮在履带上滚动，而没有驱动轮。当以一对负重轮兼作驱动轮时，就出现一些新的问题。该负重轮所分担的负荷不大，仅靠轮缘与履带内表面之间的摩擦所能发出的牵引力不大，不足以在