



21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

汽车底盘构造与维修

qiche dipan gouzao yu weixiu

主 编 蒋运劲 唐作厚

副主编 姜金堂 陈海军 郭 峰 刘学军



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

汽车底盘构造与维修

主 编 蒋运劲 唐作厚

副主编 姜金堂 陈海军
郭 峰 刘学军

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书通过对现代汽车底盘典型实例的分析,系统阐述了现代汽车底盘的构造、工作原理,汽车底盘各系统总成的拆装、检测、调整和维护方法,常见故障原因分析以及诊断和排除方法。本书主要包括 12 个课题:汽车底盘概述、离合器、手动变速器与分动器、万向传动装置、驱动桥、汽车行驶系概述、车架与车桥、车轮与轮胎、悬架、汽车转向系统、汽车制动系统和汽车底盘维护。

本书图文并茂,通俗易懂,可供高等学校汽车运用技术等专业教学使用,可作为相关行业岗位培训或自学用书,也可供汽车维修技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车底盘构造与维修/蒋运劲,唐作厚主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.2

ISBN 978-7-5640-3037-7

I. ①汽… II. ①蒋…②唐… III. ①汽车-底盘-结构-高等学校:技术学校-教材②汽车-底盘-车辆修理-高等学校:技术学校-教材 IV. ①U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 018948 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津市建新彩色印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 22.75

字 数 / 428 千字

版 次 / 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 39.80 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

目前国内汽车底盘构造与维修类教材繁多，但其内容多是重理论轻实践，结构原理图不够清晰，没有突出实践环节，学生不容易理解，不能很好地让学生掌握基本的专业知识与技能。

本教材力求克服这些缺点，强调学中做、做中学，以增加教材的新意和亮点，以使學生尽快地掌握汽车后市场所需能力。为此，我们将教材内容划分为12个课题，每个课题设有专业理论知识目标和技能目标，在讲述专业理论知识之前，每一个课题均用很大的篇幅详细介绍相关实训的步骤及装配技术要求，并配有大量的图片，使其更加直观、通俗易懂。同时减少过多的理论叙述，着力提高学生的实际操作能力，符合以实践为导向的最新职业技术理念。本书主要讲解现代汽车底盘传统的结构原理和维修方法，与《汽车底盘电控技术》教材配套使用。

本书是由作者集多年教学和实践经验编写而成，内容充实，通俗易懂，实用性强。可作为高等学校汽车运用与维修、汽车检测与维修技术、汽车运用技术、汽车电子技术和汽车保险理赔等专业的教学用书，也可供汽车维修技术人员学习参考。

全书由蒋运劲、唐作厚任主编，姜金堂、陈海军、郭峰、刘学军任副主编。蒋运劲编写课题1和课题2；陈海军编写课题11；刘学军编写课题8和课题9；唐作厚编写课题10和课题12；姜金堂编写课题4和课题5；郭峰编写课题6和课题7；王洪广编写课题3）。

本书编写得到了相关专业资深教师的大力支持和帮助，在此对他们努力的工作和无私的支持表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中错漏在所难免，希望广大读者予以批评指正。

编 者

目 录

课题1 汽车底盘概述	1
实训1 汽车底盘及传动系认识	1
1.1 汽车底盘的基本组成与功用	2
1.2 传动系的功用与组成	4
1.3 传动系的布置形式	5
1.4 汽车行驶的基本原理	8
课题2 离合器	10
实训2 离合器及操纵机构的拆装、检验及调整	10
2.1 概述	18
2.2 典型离合器构造	22
2.3 离合器操纵机构	28
2.4 离合器的维护	32
2.5 离合器常见故障的诊断与排除	32
课题3 手动变速器	38
实训3 手动变速器的拆装与检修	38
3.1 概述	45
3.2 普通齿轮变速器的变速传动机构	48
3.3 同步器	57
3.4 手动变速器操纵机构	62
3.5 分动器	68
3.6 变速器常见故障的诊断与排除	71
课题4 万向传动装置	76
实训4 万向传动装置的拆装与检修	76
4.1 概述	82
4.2 万向节	83
4.3 传动轴与中间支撑	94
4.4 万向传动装置的维护	96
4.5 万向传动装置常见故障的诊断与排除	97
课题5 驱动桥	102
实训5 驱动桥的拆装与调整	102
5.1 概述	112

5.2 主减速器	113
5.3 差速器	118
5.4 半轴与桥壳	127
5.5 四轮驱动系统	130
5.6 驱动桥常见故障的诊断和排除	144
课题6 汽车行驶系概述	155
实训6 汽车行驶系的认识	155
6.1 行驶系的功用与组成	156
6.2 行驶系的受力分析	158
课题7 车架与车桥	160
实训7 车桥的拆装与检修	160
实训8 四轮定位检测	162
7.1 车架	164
7.2 车桥	168
7.3 车轮定位	172
7.4 车桥常见故障诊断与排除	176
课题8 车轮与轮胎	181
实训9 车轮与车胎的检测	181
8.1 车轮	184
8.2 轮胎	187
8.3 轮胎的使用与检修	193
8.4 车轮与轮胎的维护	200
8.5 车轮及轮胎常见故障及排除方法	205
课题9 悬架	208
实训10 悬架系统的拆装与检测	208
9.1 概述	210
9.2 弹性元件	212
9.3 横向稳定装置	215
9.4 减振器	216
9.5 非独立悬架	217
9.6 独立悬架	220
9.7 悬架检修及常见故障的诊断与排除	222
课题10 汽车转向系统	225
实训11 转向器的拆装与检测	225
10.1 概述	238
10.2 机械转向系	240

10.3	动力转向系	259
10.4	机械式转向器的检查	271
10.5	动力转向系的检查与调整	271
10.6	转向系常见故障的诊断与排除	273
课题 11	汽车制动系统	276
实训 12	车轮制动器的拆装与检测	276
实训 13	制动系的维护	284
11.1	概述	287
11.2	车轮制动器	289
11.3	驻车制动器	298
11.4	液压制动传动装置	302
11.5	气压式制动传动装置	313
11.6	制动系的维护与维修	318
11.7	制动系的故障诊断	324
课题 12	汽车底盘维护	332
实训 14	汽车底盘维护	332
12.1	汽车维护制度	341
12.2	汽车定期保养制度	344
12.3	汽车维护生产工艺	347
12.4	质量保证期	352
参考文献		354

课题1 汽车底盘概述

【学习目标】

1. 理论知识目标

(1) 了解常见轿车或货车底盘各系统的功用、组成、安装位置及基本工作原理。

(2) 认识驾驶室内与汽车底盘有关的仪表和操纵装置。

(3) 掌握传动系的功用与类型。

(4) 掌握汽车的驱动形式和传动系的布置形式。

(5) 了解汽车传动系各总成的位置及装配关系。

2. 技能目标

(1) 对照汽车底盘，能说出各系统结构组成、功用和安装位置及传动系的布置形式。

(2) 能叙述汽车行驶的基本原理。

(3) 能讲出与汽车底盘相关的仪表和操纵装置的名称及作用。

实训1 汽车底盘及传动系认识

【实训目的】

(1) 对照汽车底盘（常见轿车或货车），能说出各系统结构组成、功用和安装位置。

(2) 能讲出与汽车底盘相关的仪表和操纵装置的名称及作用。

(3) 认识传动系的组成及布置形式。

(4) 了解底盘构造的特点、各部分的名称和规格型号。

(5) 了解汽车维修常用工具和专用工具的基本使用方法。

【实训器材】

汽车整车四辆，汽车举升机四台。

【实训内容】

(1) 熟知安全规则与工具的使用。

(2) 认识常见轿车或货车底盘的组成及各系统、总成的安装位置和作用。

(3) 认识汽车外部附件。

【实训步骤】

1. 安全规则与工具的使用

(1) 学习汽车维修的安全规则，如工具安全使用规则、汽油安全使用规则、维修废品的处理规则、安全用电规则、车底工作时的安全规则和维修作业的安全

要求等。

(2) 学习常用与专用汽车维修工具使用的基本方法, 常用工具(如开口扳手、梅花扳手、套筒扳手、扭力扳手、快速扳手、活动扳手、轮胎套筒扳手、螺丝刀、手锤等)、举升设备(千斤顶、双柱举升器、四柱举升器、剪式举升器)、螺栓拆装机、拆装紧配合零件的工具(压床和各种拉器)等。

2. 汽车底盘构造的认识

(1) 认识驾驶室内与底盘相关的仪表和操纵装置。

认识汽车仪表板上的速度表(里程表)、故障指示灯、各种指示灯或警告灯等; 认识照明装置、空调开关的调节、音响和其他装置的使用方法; 了解转向盘、安全气囊的位置、变速操纵装置、离合器踏板(自动变速器无此踏板)、加速踏板(油门)、制动踏板、驻车制动装置和点火开关的位置、作用和使用方法。

(2) 认识传动系统。

认识传动系的功用和组成, 了解各总成(如离合器、变速器、万向传动装置、主减速器和差速器、半轴等)的安装位置及动力的传递路线, 能区别发动机前置前驱动与发动机前置后驱动的不同之处。

(3) 认识行驶系统。

认识行驶系的功用和组成, 了解各部分(如车架或承载式车身、车桥、车轮和悬架等)的安装位置、它们之间的连接及装配关系、工作情况等。

(4) 认识转向系统。

认识转向系的功用和组成, 了解各部分(如转向操纵机构、转向器、转向传动机构、动力转向装置等)的安装位置、它们之间的连接及装配关系、工作情况等。

(5) 认识制动系统。

认识制动系统的功用和组成, 了解各部分(如制动踏板、推杆、制动主缸、轮缸、油管、助力器、车轮制动器、ABS等)的安装位置、它们之间的连接及装配关系、工作情况等。

(6) 认识汽车外部的附件。

认识转向灯、大小灯、示宽灯、防雾灯、制动灯、倒车灯、保险杠、拖钩、雨刷、后视镜、油箱、备胎等的位置和作用。

1.1 汽车底盘的基本组成与功用

汽车底盘是汽车不可或缺的组成部分。汽车底盘由传动系、行驶系、转向系和制动系四大系统组成, 其功用是接受发动机的动力, 使汽车运动并保证汽车能够按照驾驶员的操纵而正常行驶。同时, 用以支撑和安装汽车其他各总成和部件, 形成汽车的整体造型。图 1-1 和图 1-2 所示为常见轿车与货车的底盘结构

图。

汽车传动系的作用是将发动机的动力传给驱动车轮；行驶系的作用是将传动系传来的转矩转化为汽车行驶的驱动力，并将汽车构成一个整体，同时支撑汽车的总重量，承受、传递各种力和力矩，减小振动，缓和冲击，保证汽车的平稳行驶；转向系的作用是保证汽车能够按照驾驶员选定的方向行驶；制动系的作用是使行驶的汽车减速或者停车，并保证汽车能够可靠地驻车。

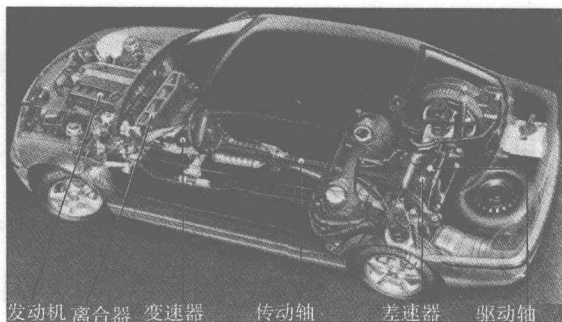


图 1-1 轿车底盘结构

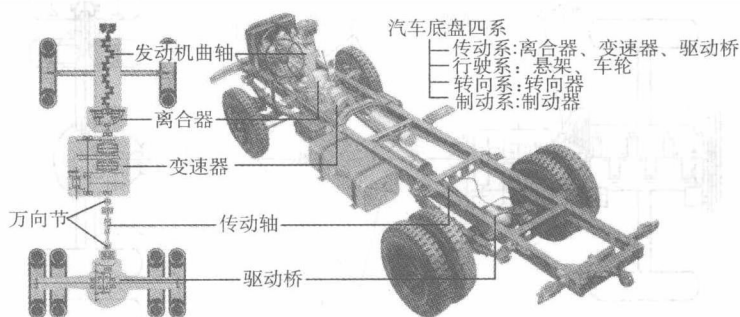


图 1-2 货车底盘结构

早期的汽车底盘上的许多零件都是从自行车的零部件改进而来的，如钢管构架、滚动轴承、链传动等。随着齿轮变速器、差速器、摩擦式离合器的相继研制成功，充气轮胎、万向传动装置和锥齿轮主减速器、后桥半独立悬架等的采用，汽车底盘的发展进入了一个崭新的阶段，人们对汽车的种种要求逐步得以实现。20 世纪 80 年代以前，汽车底盘以机械控制系统为主。20 世纪 80 年代以后，随着科学技术的发展，“机—电—液”一体化技术应用到汽车上，加上电子技术、计算机技术、现代信息及通信技术在汽车上越来越广泛的应用，如今的汽车底盘已演变成为一种高科技产品。与传统汽车相比，现代汽车的动力性、燃油经济性、乘坐舒适性、操纵稳定性、安全性等基本性能得到了显著的改善和提高。操作简便性、工作可靠性、维修方便性也比过去有了长足的发展。

随着关于能源、排放、安全等法规的不断强化和完善，以及人们对舒适、豪华、便利的不断追求，人们对汽车性能的要求越来越高，而电子技术的发展使汽车性能进一步提高和改善成为现实。电子技术的发展，也为汽车向电子化、智能

化、网络化、多媒体化的方向发展创造了条件。

现在的汽车大多是带有一些电子控制的机械装置。不久的将来，汽车将转变为带有一些辅助机械的电子装置，汽车的主要部分将向消费类电子产品转移。

电子控制系统在汽车上的应用越来越广，这对汽车的使用与维修提出了更高的要求。因此，检修这些装备了电子装置的汽车，除需要相应的机械知识外，还需要具备更多的电子技术和电子设备知识及故障检修的基本技能。

1.2 传动系的功用与组成

汽车传动系是指从发动机到驱动车轮之间所有动力传递装置的总称。传动系的作用是将发动机输出的动力传给驱动车轮。不同的汽车，其底盘的组成稍有不同，如载货汽车及部分轿车，其底盘一般由离合器、变速器、万向传动装置、驱动桥等组成，如图 1-3 所示。

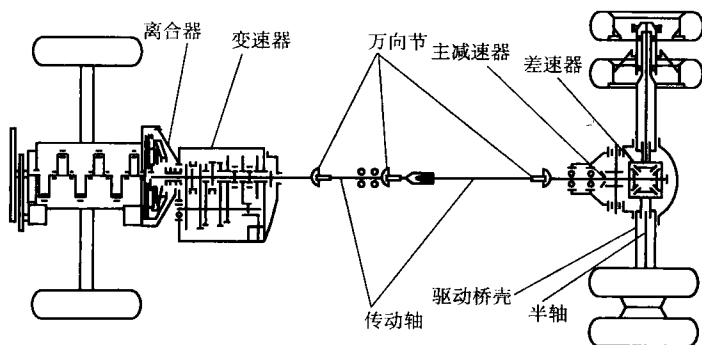


图 1-3 机械式传动系的组成及布置形式示意图

1.2.1 传动系的功能

汽车传动系的基本功能是将发动机输出的动力按照需要传递给驱动轮。

1.2.2 传动系的类型

按结构和传动介质不同，汽车传动系可分为机械式、液力机械式、静液式、电力式等。现代汽车上普遍采用机械式和液力机械式传动系。

1.2.3 传动系的组成

传动系的组成与类型取决于发动机的类型和安装位置、汽车总体结构形式、汽车行驶系及传动系本身的结构形式等诸多因素。

1. 机械式传动系

图 1-3 所示为普通双轴货车上采用的机械式传动系。发动机纵向安置在汽

车前部，后轮为驱动轮。传动系由离合器、变速器、传动轴和万向节组成的万向传动装置，以及安装在驱动桥壳中的主减速器、差速器和半轴等组成。发动机发出的动力依次经离合器、变速器、万向传动装置、主减速器、差速器和半轴，最后传递给驱动轮。

传动系各总成的基本功用如下。

- (1) 离合器：按照需要适时地切断或接合发动机与传动系之间的动力传递。
- (2) 变速器：改变发动机输出转速的高低、转矩的大小以及输出轴的旋转方向，也可以切断发动机向驱动轮的动力传递。
- (3) 万向传动装置：将变速器输出的动力传给主减速器，并适应两者之间距离和轴线夹角的变化。
- (4) 主减速器：降低转速，增大转矩，改变动力的传递方向（如 90° ）。
- (5) 差速器：将主减速器传来的动力分配给左、右半轴，并允许左、右半轴以不同角速度旋转，以满足左、右驱动轮在行驶过程中差速的需要。
- (6) 半轴：将差速器传来的动力传递给驱动轮，使驱动轮获得旋转的动力。

2. 液力机械式传动系

液力机械式传动系的特点是综合运用液力传动和机械传动，以液力机械变速器取代机械式传动系的摩擦式离合器和普通齿轮式变速器，其他组成部件及布置形式均与机械式传动系相同。

液力机械变速器由液力传动装置、有级式机械变速器、控制机构和操纵机构组成，如图 1-4 所示。液力传动装置有液力偶合器和液力变矩器两种。液力偶合器只能传递转矩，而不能改变转矩大小，可以代替离合器的部分功用。液力变矩器除具有液力偶合器的全部功用外，还能在一定范围内实现无级变速，因此目前应用较为广泛，但是，液力变矩器传动比变化范围还不能满足使用要求，故一般在其后再串联一个有级式机械变速器。

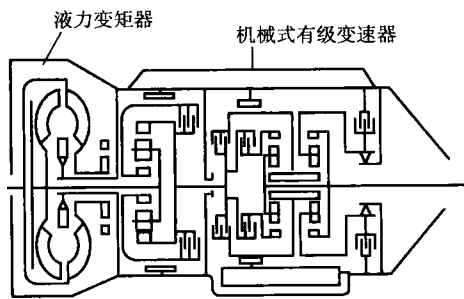


图 1-4 液力机械变速器示意图

1.3 传动系的布置形式

1.3.1 汽车的驱动形式

汽车传动系的布置形式主要与发动机的安置及汽车驱动形式有关。

汽车的驱动形式通常用汽车车轮总数 $\times$ 驱动车轮数（车轮数系指轮毂数）

来表示。普通汽车一般装有4个车轮,常见的驱动形式有 4×2 、 4×4 ;重型货车多装6个车轮,其驱动形式有 6×6 、 6×4 和 6×2 。此外,也有用汽车车桥总数 $\times$ 驱动车桥数来表示汽车的驱动形式。

1.3.2 传动系的布置形式

1. 发动机前置、后轮驱动

发动机前置、后轮驱动(英文简称FR型)是目前普通汽车广泛采用的一种传动系布置形式(见图1-5)。

它是将发动机、离合器和变速器组成一个整体安装在汽车前部,而主减速器、差速器和半轴则安装在汽车后部的后桥壳中,两者之间通过万向传动装置相连。这种布置形式的优点是:发动机散热条件好;便于驾驶员直接操纵发动机、离合器和变速器;操纵机构简单,

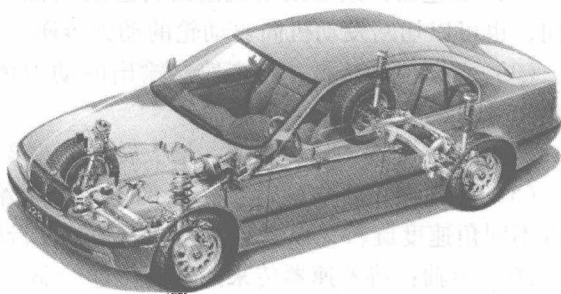


图1-5 发动机前置、后轮驱动布置形式实物图

维修方便;后驱动轮的附着力大,易获得足够的牵引力。此种布置形式适用于除越野汽车外的各类型汽车,如大多数的货车、部分轿车和部分客车。

2. 发动机前置、前轮驱动

图1-6所示为发动机前置、前轮驱动(FF型)的传动系布置形式示意图。其变速器、主减速器和差速器制为一体并同发动机、离合器一起集中安装在汽车前部。发动机有横向布置(图1-6(a))和纵向布置(图1-6(b))之分。

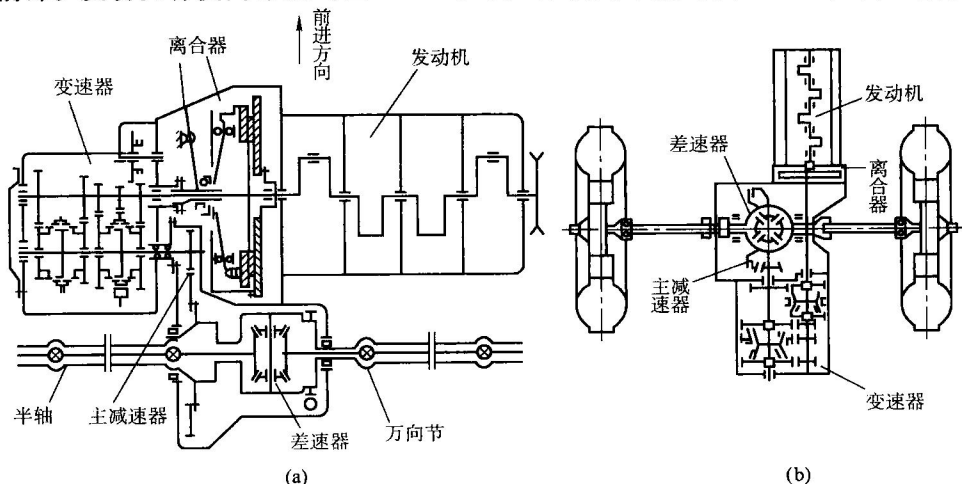


图1-6 发动机前置、前轮驱动的轿车传动系示意图

(a) 发动机横向布置; (b) 发动机纵向布置; (c) 实物图

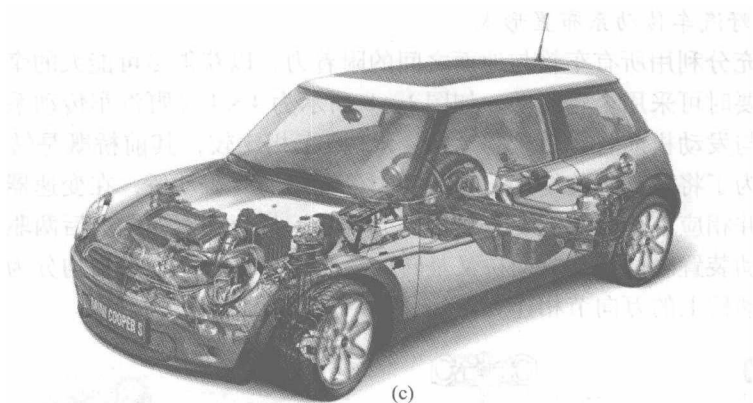


图 1-6 发动机前置、前轮驱动的轿车传动系示意图 (续)

(a) 发动机横向布置; (b) 发动机纵向布置; (c) 实物图

这种布置形式除具有发动机散热条件好、操纵方便等优点外,还省去了很长的传动轴,使传动系结构紧凑,整车质心降低,汽车高速行驶稳定性好。大多数轿车采用这种布置形式,如上海桑塔纳、一汽奥迪 100 型轿车,但这种布置形式的汽车爬坡性能差,故豪华轿车一般不采用,而是采用传统的发动机前置、后轮驱动形式。

3. 发动机后置、后轮驱动

图 1-7 所示为发动机后置、后轮驱动 (RR 型) 的传动系布置形式示意图。发动机、离合器和变速器制为一体布置在驱动桥之后。这样可以大大缩短传动轴的长度,使传动系结构紧凑,质心有所降低,前轴不易过载,后轮附着力大,并能更充分地利用车厢面积。但由于发动机后置,其散热条件差。发动机、离合器、变速器的远距离操纵使操纵机构变得复杂,维修调整不便。除多用在大型客车上外,某些微型或轻型轿车也采用这种布置形式。发动机也有横向布置和纵向布置之分,在此不再赘述。

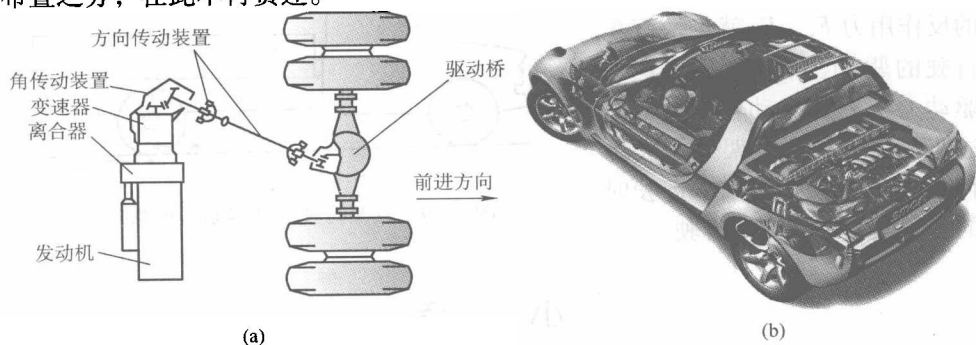


图 1-7 发动机后置、后轮驱动的传动系示意图

(a) 传动示意图; (b) 实物图

4. 越野汽车传动系布置形式

为了充分利用所有车轮与地面之间的附着力,以获得尽可能大的牵引力,越野汽车必要时可采用全轮驱动。如图1-8所示为4×4越野汽车传动系布置形式示意图。与发动机前置、后轮驱动的4×2汽车相比较,其前桥既是转向桥也是驱动桥。为了将发动机传给变速器的动力分配给前后驱动桥,在变速器后增设了分动器,并相应地增设了从变速器通向分动器、从分动器通向前后两驱动桥之间的万向传动装置。由于前驱动桥又是转向桥,所以左右两根半轴均分为两段,并用转向驱动桥上的万向节相连。

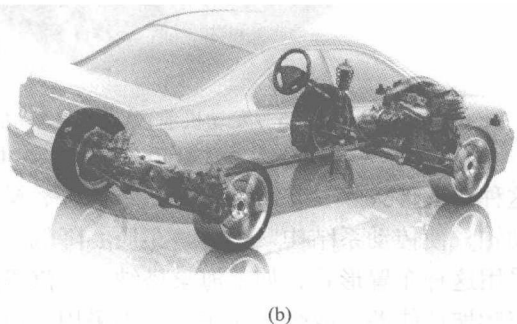
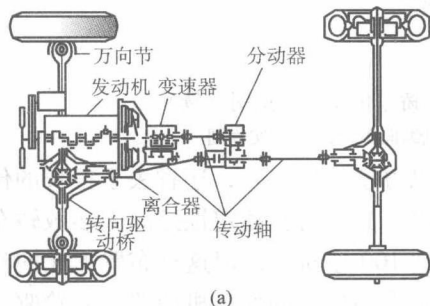


图1-8 4×4越野汽车传动系示意图

(a) 四轮驱动传动示意图; (b) 轿车四轮驱动实物图

1.4 汽车行驶的基本原理

要使汽车行驶,必须对汽车施加一个驱动力以克服各种阻力,驱动力产生的原理如图1-9所示。发动机经由传动系在驱动车轮上施加了一个驱动力矩 T_t ,力图使驱动车轮旋转。在 T_t 的作用下,驱动车轮将对地面施加一个与汽车行驶方向相反的圆周力 F_o 。根据作用力与反作用力原理,地面也将对驱动车轮施加一个与 F_o 大小相等、方向相反的反作用力 F_t , F_t 就是使汽车行驶的驱动力,或称牵引力。驱动力作用在驱动轮上,再通过车桥、悬架、车架等行驶系传到车身上,克服汽车行驶时的各种阻力,使汽车行驶。

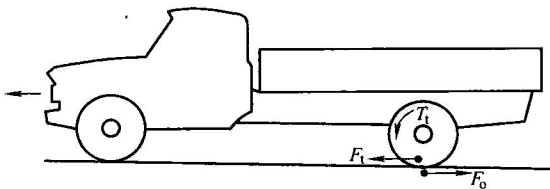


图1-9 汽车行驶的基本原理示意图

小 结

1. 汽车底盘主要由传动系、行驶系、转向系和制动系四个系统组成。

2. 20 世纪 80 年代以前, 汽车底盘以机械控制系统为主。20 世纪 80 年代以后, 随着科学技术的发展, “机 - 电 - 液” 一体化技术应用到汽车上, 如今的汽车底盘已演变成为一种高科技产品。

3. 汽车传动系的基本功用是将发动机发出的动力按照需要传递给驱动轮。

4. 汽车上广泛采用机械式和液力机械式传动系。

5. 发动机前置、后轮驱动的机械式传动系, 由离合器、变速器、万向传动装置、主减速器、差速器和半轴等组成。

6. 液力机械式传动系与机械式传动系相比, 用液力机械变速器取代了机械式传动系中的摩擦式离合器和普通齿轮式变速器, 其他组成部件及布置形式均与机械式传动系相同。

7. 汽车驱动形式通常用汽车车轮总数 $\times$ 驱动车轮数 (指轮毂数) 表示。普通汽车一般装有四个车轮。根据车轮总数不同, 常见的驱动形式有 4×2 、 4×4 、 6×6 等。

8. 汽车传动系的布置形式主要与发动机的安装位置及汽车驱动形式有关, 其布置形式有 FR、FF、RR 及越野汽车传动系等。

复习思考题

一、判断题

1. 解放 CA1092 型货车装了 6 只轮胎, 其中后面 4 只轮胎为驱动轮胎, 所以其驱动形式为 6×4 。

2. 在任何行驶条件下, 越野汽车所有车轮都是驱动轮。

二、简答题

1. 汽车传动系的基本功能是什么? 有哪些类型?

2. 解放 CA1092 型货车传动系由哪些总成组成?

3. 汽车传动系有哪几种布置形式? 各有什么特点? 分别列举其代表车型。

4. 汽车常见的驱动形式有哪些? 其代表车型有哪些?

课题2 离合器

【学习目标】

1. 理论知识目标

- (1) 熟悉离合器的功用、要求和类型。
- (2) 掌握摩擦式离合器基本结构与工作原理。
- (3) 掌握典型离合器的构造。
- (4) 了解离合器操纵机构的类型、构造与工作原理。
- (5) 掌握离合器的维护及常见故障的诊断排除方法。

2. 技能目标

- (1) 会正确解体与装配离合器。
- (2) 能对离合器的主要零件进行检验。
- (3) 会调整离合器踏板自由行程及其他调整内容。
- (4) 会分析离合器常见故障的原因及故障的排除方法。

实训2 离合器及操纵机构的拆装、检验及调整

【实训目的】

了解离合器的构造原理，规范要求、检测方法；可能的故障及原因，以及排除方法。

【实训器材】

轿车若干辆，膜片弹簧离合器总成若干个，螺旋弹簧离合器2~4个。

【实训内容】

- (1) 离合器总成的拆装。
- (2) 离合器片、压盘、碟型弹簧的检测。
- (3) 离合器踏板自由行程的检查、调整。

【实训步骤】

一、桑塔纳2000GLS型轿车离合器（机械式操纵机构）拆装与调整

1. 离合器总成的拆装与检查

- (1) 离合器总成的拆卸。
 - ① 首先观察离合器及其操纵机构在汽车上的安装和工作情况。
 - ② 拆下变速器总成。
 - ③ 在离合器和飞轮上作装配标记。
 - ④ 用大众专用工具10-201或自制工具将飞轮固定（图2-1）。