

公路大件运输技术

Gonglu Dajian Yunshu Jishu

肖建英◎著

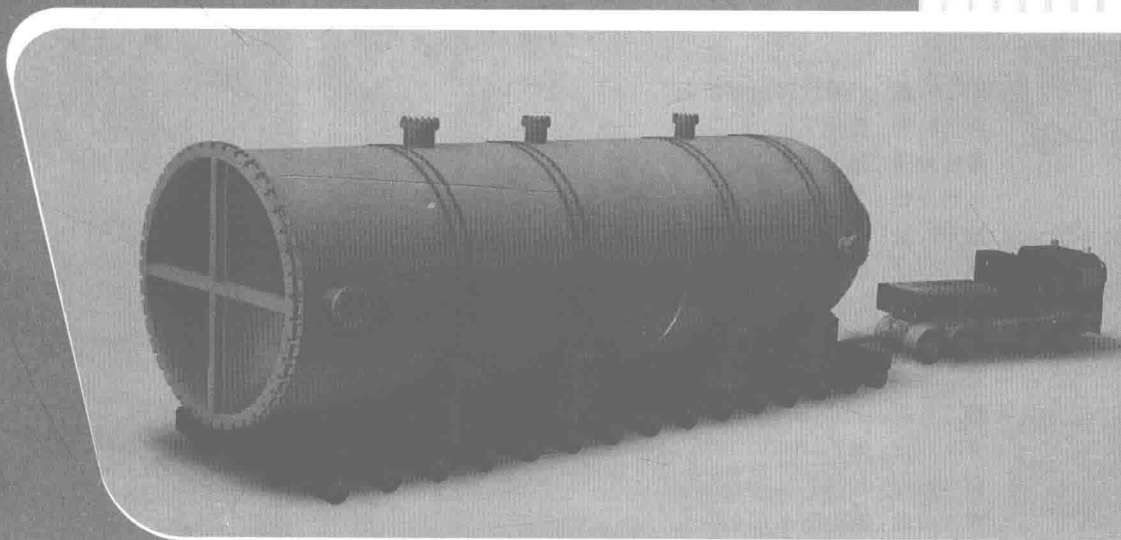


人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

公路大件运输技术

Gonglu Dajian Yunshu Jishu

肖建英◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分为八章,主要内容包括:大件运输车辆形式,挂车的液压支承系统组合与承载后的受力、稳定性计算,货物绑扎加固计算,道路通过能力计算,牵引能力计算,装卸车设计与计算等。本书采用数学、力学方法建立理论模型,在实践的基础上建立校核与评价标准,附有实例计算,力求阐述的系统性和完整性,并注重理论与实际的结合。

本书主要供大件运输技术人员使用,也兼顾到大件运输、物流管理人员和工程建设管理者对大件运输方法和安全控制方法的需求,同时也可作为高等院校交通运输专业的学生了解公路大件运输方法和运输理论的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路大件运输技术 / 肖建英著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015.4

ISBN 978-7-114-11892-0

I. ①公… II. ①肖… III. ①公路运输—货物运输
IV. ①U492.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 284431 号

Gonglu Dajian Yunshu Jishu

书 名:公路大件运输技术

著 作 者:肖建英

责任编辑:钟 伟

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:12.25

字 数:268 千

版 次:2015 年 4 月 第 1 版

印 次:2015 年 4 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11892-0

定 价:50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者简介

肖建英,交通运输部成绩优异的高级工程师(教授级高工),陕西人,生于1957年。

1982年于西安公路学院(现长安大学)汽车运用工程专业毕业后,一直在中国远洋物流有限公司从事大件运输技术工作,现为中国远洋物流技术专家委员会委员。享受国务院颁发的“政府特殊津贴”,受聘为大连海事大学客座教授。1996年主持开发了“公路大件运输计算机决策系统”,2012年主持开展了水路、公路“大件运输关键技术研究与应用”项目研究,并升级了“大件运输计算机决策系统”,科技成果鉴定意见认为达到了国际先进水平,项目获得了中国航海科技一等奖(部级科技进步奖)。2007年主持开发的“大件货物滚装上下船辅助决策系统”获得中国航海科技三等奖,滚装模型和方法获得国家发明专利授权。2009年主持开发的“飞机大部件跨洋运输研究项目”获得中国航海科技二等奖。研究设计的运输装备和方法获3项国家发明专利。

前言 > > >

随着工业制造技术的不断提高和电力、石化等工程装机容量、规模的不断加大,现代工程项目建设的设备质量和尺寸越来越大,如核电蒸汽发生器质量700多吨,石化反应器质量约2000吨,模块化工厂构件质量达1万多吨。公路大件运输作为现代工程项目的重要支撑,影响着这些项目的建造和发展,已经成为支持现代工业和社会发展不可或缺的庞大产业。

现代大件运输车辆技术也在迅速发展。随着液压、计算机控制等技术的应用,挂车可以通过模块式的组合形成不同的车组形式,以适应不同的货物质量和道路条件。

为了保证运输安全,大件运输需要预先进行方案设计和技术计算。对于承载挂车来说,既要考虑用足够多的车轮分散道路荷载,又要限制挂车的宽度和高度以利于通过狭窄路面和高空障碍,因此车体长度大、宽度窄、高度低,带来的问题是车体强度、刚性、稳定性相对较差,因此,需要对挂车承载后的受力、变形和稳定性进行分析。大件车辆装载后尺寸很大,运输常常要途经急弯、路面起伏等复杂的道路环境,通过能力经常受到限制,因此,需要对弯道、竖曲线等通过条件进行模拟和判断。大件货物质量或百吨或千吨,运输道路或平坦路面或陡坡,运输所需牵引力差别很大,常常需要进行牵引车的配备与计算等。这些计算涉及学科多,影响因素多,需要在实践的基础上进行总结和研究。

笔者长期从事大件运输技术工作,曾系统地进行了公路大件运输关键技术研究,并从1996年至2012年两次主持开发、升级了“公路大件运输计算机决策系统”,并在此基础上完成了本书的撰写。

本书共八章,第一章大件运输车辆及基本参数,介绍了大件

运输车辆的常见形式、装载方法和基本性能,供初接触大件运输的人员入门;第二、三、四章主要阐述大件运输车辆装载的受力与稳定性计算,包括挂车液压支承系统的组合、轴载、车体的纵向强度和变形、行驶稳定性等;第五章阐述绑扎加固计算;第六章阐述道路通过能力计算;第七章阐述牵引能力计算;第八章阐述装卸车有关的设计与计算等。

本书采用数学、力学方法建立理论模型,在实践的基础上总结校核与评价标准,附有实例计算,力求阐述的系统性和完整性,注重理论与实际的结合。

本书主要供大件运输技术人员使用,在撰写时也兼顾到大件运输、物流管理人员和工程建设管理者对大件运输方法和安全控制方法的一般需求,阐述时尽量由浅及深,概念部分尽量通俗易懂。本书也可作为高等院校交通运输专业的学生了解公路大件运输方法和运输理论的参考书。

在此,特别致谢我长期从业的中国远洋物流有限公司,是她给我提供了很多实践和研究的条件,也一并致谢我的大件运输技术工作同事,是他们鼓励并支持我完成了本书的撰写。

由于知识的局限,本书肯定有很多缺陷和不完善的地方,有些计算没有将特殊车型包含在内,有时可能会出现偏差,这需要依靠大家在实践中不断地发现并予以纠正,真诚地希望得到读者和有关专家的批评指正。

作者
2014年8月

第一章 大件运输车辆及基本参数	1
第一节 液压平板挂车的基本形式	1
一、牵引式全挂车组	1
二、牵引式半挂车组	1
三、自走式车组	2
四、全回转自走式车组	3
第二节 液压平板挂车的主要结构	4
一、挂车悬架	5
二、挂车车体	5
三、挂车转向系统	6
第三节 液压平板挂车的基本参数	8
一、挂车轴数、轴距	8
二、挂车纵列数	8
三、挂车长度	8
四、挂车宽度	8
五、挂车高度	8
六、挂车轴重、轴自重、轴载重和允许轴重	9
七、挂车车轮最大转角	10
八、常见挂车的基本参数值	11
第四节 液压平板挂车的变形和组合形式	11
一、横拼挂车车组	11
二、全回转任意组合挂车车组	12
三、低平台挂车车组	13
四、长货挂车车组	13
五、桥式挂车车组	14
六、钳夹式挂车车组	16

第二章 挂车的液压支承回路与承载力	18
第一节 液压支承原理与编点	18
第二节 液压支承回路合力与轴载	21
一、挂车坐标系	21
二、各回路合力位置	21
三、挂车轴载	23
第三章 运输稳定性	26
第一节 挂车的静态几何稳定性	26
一、静态几何稳定性的概念	26
二、挂车的稳定面	27
三、重心位置	27
四、挂车的横向稳定角	27
五、挂车的纵向稳定角	29
六、长货、桥式挂车车组的横向稳定角	30
七、采用稳定角进行挂车的稳定性校核	31
八、通过改变编点改善稳定性的方法	32
第二节 稳定性的力学分析方法	34
一、影响稳定性的因素	34
二、稳定性计算方程组	41
三、横向稳定性计算与校核	43
四、极限侧风校核	48
五、纵向稳定性校核	49
第三节 塌点稳定性	53
一、塌点后的车体倾斜角	53
二、临界重心高度	54
三、塌点稳定性校核	54
第四章 挂车的受力与变形	55
第一节 概述	55
第二节 货物两个支点时挂车的受力与变形	57
一、挂车主纵梁所受外力	58
二、截面弯矩的计算与校核	59
三、截面切向力的计算与校核	63
四、纵向变形的计算与校核	64
第三节 货物多个支点时挂车的受力与变形	67
一、力学模型的简化	67
二、弯矩、切向力与变形计算	68
第四节 挂车纵向强度的加强	70

一、加强方法	70
二、挂车主纵梁与加强梁的弯矩计算	70
三、变形计算	71
四、货物多支点时的计算	72
第五节 低平台车组的受力与变形	72
第五章 货物的绑扎加固	79
第一节 使货物在挂车上失效的力	79
一、货物的制动惯性力	80
二、道路纵坡对货物产生的纵向作用力	85
三、车体横向倾斜对货物产生的横向作用力	86
四、车体的垂向加速度及影响	88
五、运输三维冲击加速度值	91
第二节 绑扎系统的计算与校核	92
一、货物在挂车上的失效形式	92
二、静定绑扎系统的计算与校核	93
三、超静定绑扎系统的计算机解析方法	98
四、摩擦因数的确定	101
五、绑扎索具的计算强度	102
第三节 合理的绑扎加固方式	104
第六章 道路通过能力	109
第一节 弯道通过能力	109
一、车辆转弯动态过程	110
二、圆弧弯道通过能力	114
三、直交弯道通过能力	121
四、弯道参数的测量	125
五、弯道通过能力的微分作图法	126
六、弯道通过能力的 CAD 作图法	128
第二节 道路纵向通过能力	135
一、竖曲线通过能力	136
二、道路折角通过能力	137
三、道路纵向不平通过能力	138
四、道路纵向参数的测量	138
第七章 牵引能力	142
第一节 概述	142
第二节 牵引力与行驶阻力	143
一、行驶阻力	144
二、牵引力	146

第三节 全挂车组的牵引力校核	147
一、爬坡速度与发动机牵引力校核	148
二、牵引车配重计算	149
三、牵引车驱动稳定性校核	151
四、转弯时牵引力的损失问题	152
五、多台牵引车联合牵引问题	153
第四节 半挂车组的牵引力校核	155
第五节 自走式车组的牵引力校核	158
第八章 装卸车有关计算	165
第一节 概述	165
第二节 货物托架力的计算	165
一、两个托架时受力计算	165
二、多个托架时受力计算	166
第三节 卸车梁计算	169
一、内力与截面	169
二、最大正应力校核	170
三、最大切应力校核	170
四、整体稳定性校核	170
五、局部稳定性校核	171
第四节 卸车托架计算	172
一、托架所受外力和内力	173
二、托架中部截面的正应力校核	173
三、托架紧靠支墩截面的切应力校核	174
四、货物对托架的局部压应力校核	174
五、托架腹板的局部稳定性校核	174
第五节 卸车支墩计算	175
一、支墩尺寸的确定	175
二、底板厚度计算	176
三、竖板的压应力校核	177
四、竖板的局部稳定性校核	177
五、纵向抗弯强度校核	178
六、纵向弯矩作用下的局部稳定性校核	178
第六节 分载梁和分载板计算	179
一、分载梁计算	179
二、分载板计算	179
参考文献	186

第一章 大件运输车辆及基本参数

当货物的质量和尺寸超过了常见重型载货汽车的装载极限,称其为大件货物。大件货物需要采用可以承受超重荷载的车辆进行运输,该车辆除了要保证可以安全承载以外,还要能分散荷载以满足道路、桥梁承载能力和通过能力的要求,这种车辆被称为大件运输车辆。采用大件运输车辆在公路、码头、工地现场等道路上运输大件货物习惯上称为公路大件运输。

为了满足道路和桥梁承载能力要求,大件运输车辆需要用很长的车体和很多的轮胎进行分载,并在行驶中要保持各车轮受力相等。随着现代液压技术的发展,当代大件运输车辆基本上都采用了液压平板挂车,或以液压平板挂车为基础再加装一些构件来承载货物的其他车组形式。液压平板挂车的构造特点是:以很多内置有液压缸的独立悬架为基本承载单元,通过液压管路连接各悬架液压缸,使超重的货物荷载均匀分配到各挂车轮胎,这种以液压方式平衡各悬架力的方式使挂车载货承载台低、自重小、承载能力大。液压平板挂车还被制造成模块结构,由较小轴数的挂车组成模块,各模块可以沿纵向或横向进行拼接,组合形成长度、宽度不等的挂车,以适应不同质量和尺寸的货物,同时满足道路和桥梁不同承载力的要求。

第一节 液压平板挂车的基本形式

液压平板挂车根据驱动方式和转向方式的不同,可分为牵引式全挂车组、牵引式半挂车组、自走式车组、全回转自走式车组等几种基本形式。

一、牵引式全挂车组

牵引式全挂车组如图 1-1 所示,由牵引车、牵引杆、平板挂车、液压动力机组成。挂车用于承载货物与行驶,液压动力机主要为挂车的悬架支承液压缸和转向液压缸提供液压源,牵引杆用于传递牵引力和带动挂车转向,牵引车为挂车提供行驶牵引力。

由于牵引车有多个挡位,有方便驾驶的驾驶员座椅和转向盘,驾驶室视野良好,因此牵引车速度可以在很低到较高的很大范围内变化,最低车速小于 3km/h,最高车速大于 60km/h,在较高车速下仍然可以很好地进行方向与车速操控,因此牵引式车组更适合于长途公路运输。另外,由于牵引杆的长度和牵引杆低于挂车的承载平面,货物可以适当地探出挂车前端,使挂车可以运输较长的货物。加上挂车可以横向、纵向组合,可以采用多个牵引车联合牵引,因此,可以最大限度地适应不同货物情况和道路情况。牵引式全挂车组是最常见的公路大件运输车辆。

二、牵引式半挂车组

牵引式半挂车组如图 1-2 所示,由牵引车、液压鹅颈、平板挂车、液压动力机组成。与牵

引式全挂车比较,液压鹅颈替代牵引杆传递牵引力,同时通过鹅颈将挂车的部分荷载作用于牵引车,这样使牵引车无须额外加装为保证牵引力而安装的配重,又同时起到了挂车分载的作用。但由于鹅颈与挂车之间在水平面内不可旋转,因此挂车的转向利用牵引车鞍座与鹅颈之间的旋转角驱动转向液压缸实现。

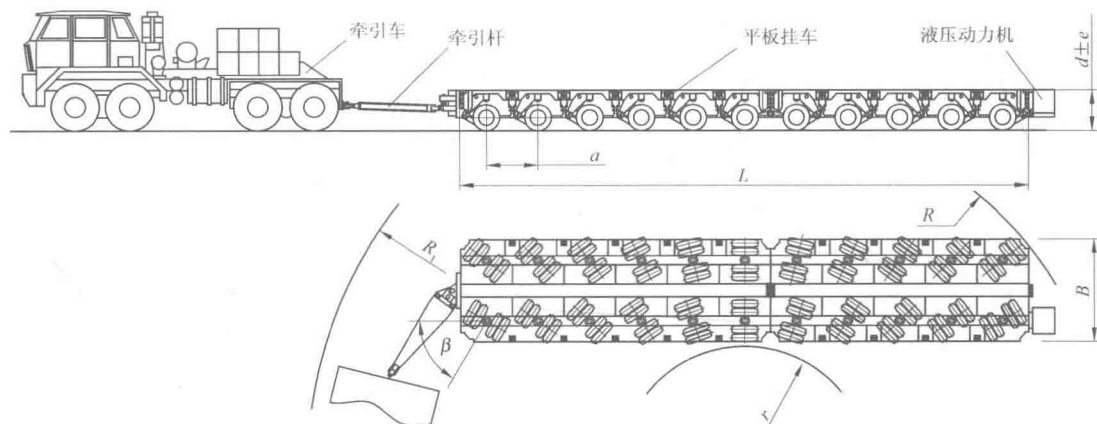


图 1-1 牵引式全挂车组

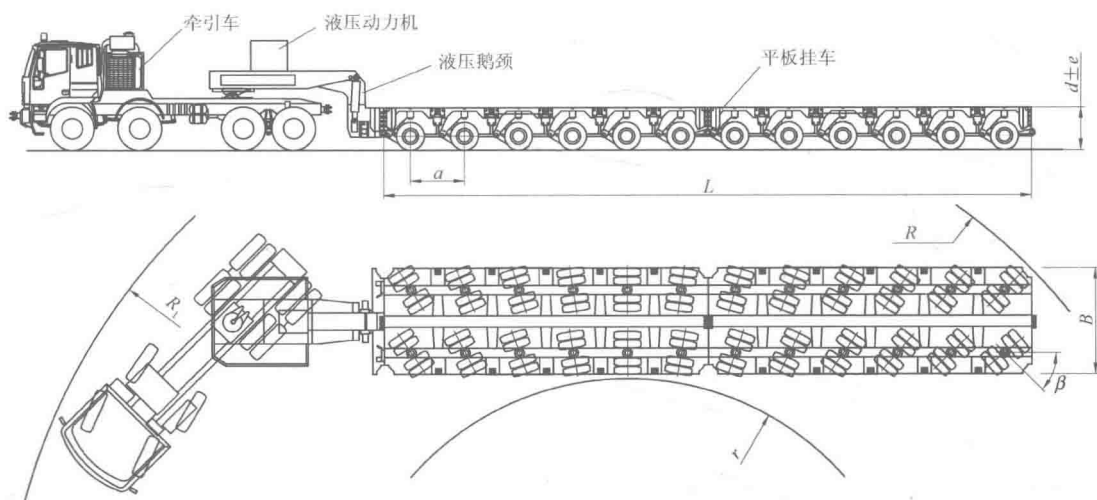


图 1-2 牵引式半挂车组

与牵引式全挂车组相比,牵引式半挂车组总质量降低,使得爬坡能力和燃油经济性变好。同时由于鹅颈转向时的活动关节比牵引杆少,使得半挂车组行驶时由转向系统间隙引起的水平摆动减小,车辆在高速行驶下的平顺性更好。另外,车组的总长度减小,也便于车组在高速公路上行驶。但鹅颈限制了装载货物的长度,同时也不能进行挂车的横向组合,对货物的适应性相对较差。

三、自走式车组

自走式车组如图 1-3 所示,由动力箱(也称 PPU)、含液压马达驱动轮的挂车驱动模块和平板挂车组成。动力箱(PPU)内安装有发动机、液压泵和液压油箱,主要为驱动挂车行走的

液压马达提供液压动力,同时也为挂车悬架支承液压缸和转向液压缸提供液压源。挂车驱动模块和平板挂车均为可纵向、横向拼接的模块式结构。挂车驱动模块位于整个挂车的前部,并在前端悬架动力箱,在车轮中安装有液压马达,为车组行驶提供牵引力,同时与平板挂车一起共同承载货物。挂车的转向和速度可通过软线或无线连接的操作箱进行控制,操作箱可以挂在驾驶员胸前在挂车旁最适合观察的位置进行操控。

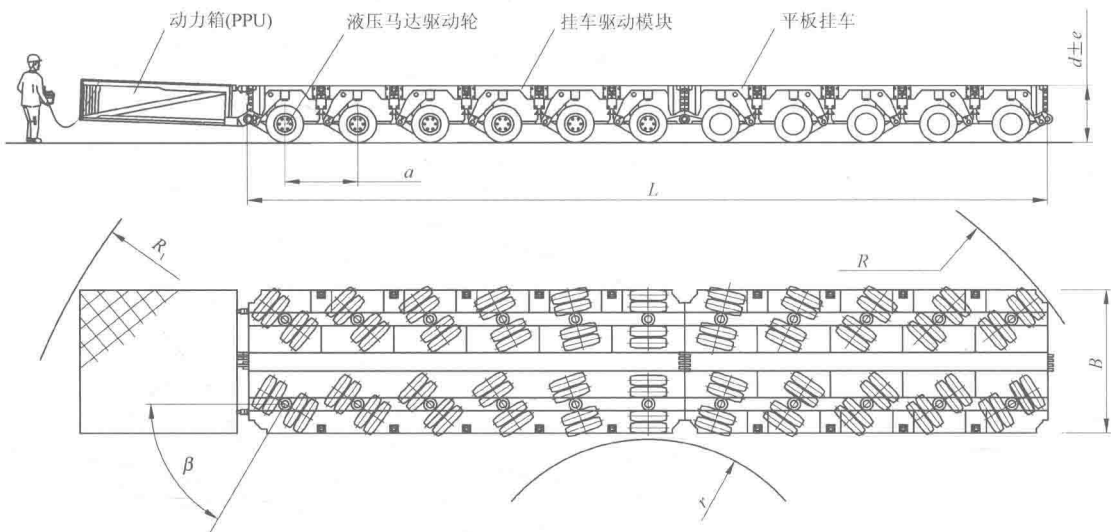


图 1-3 自走式车组

自走式车组前方没有牵引车高度的限制,可以更方便地承载超长、超宽货物进行转弯,并可以更为方便地进行车辆组合,灵活,弯道通过能力好。由于驱动车轮数量多,并且依靠货物质量进行驱动轮配重,因此驱动力大,便于运输质量更大的货物。但是,受到驱动轮液压马达速度—负荷特性的限制,随着速度的提高牵引力会迅速下降,挂车难以高速行驶,现有车型满足有效驱动力的车速为 $1 \sim 5\text{km/h}$,空车最大车速为 15km/h 。因此,自走式车组不宜长途公路运输,而更方便进行工地现场的倒运等类型的短距离大件运输。

四、全回转自走式车组

全回转自走式车组如图 1-4 所示,支承与行走驱动装置和前述的自走式车组结构相同,所不同的是转向系统。前述的自走式车组转向系统主要是采用机械连杆机构进行各车轮的转向连接,而全回转自走式车组是在每个悬架上设置了独立的转向液压缸(图 1-5)和电子角度传感器,通过计算机控制,实现每个车轮按计算机程序设定的规律进行转向。车组可以



图 1-4 全回转自走式车组

实现多种转向模式,包括与其他车组相同的常规转向、 360° 中心回转、整体侧向平移的蟹行、仅前部转弯的扇形和随意确定转向中心的转弯等,如图 1-6 所示。

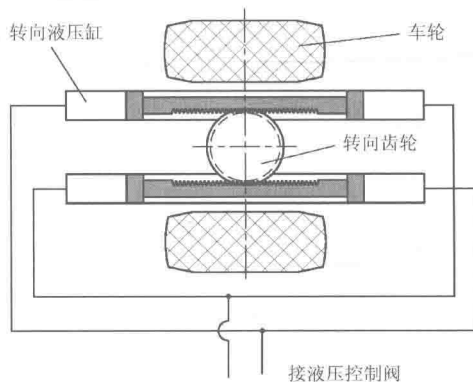


图 1-5 全回转自走式车组的转向机构

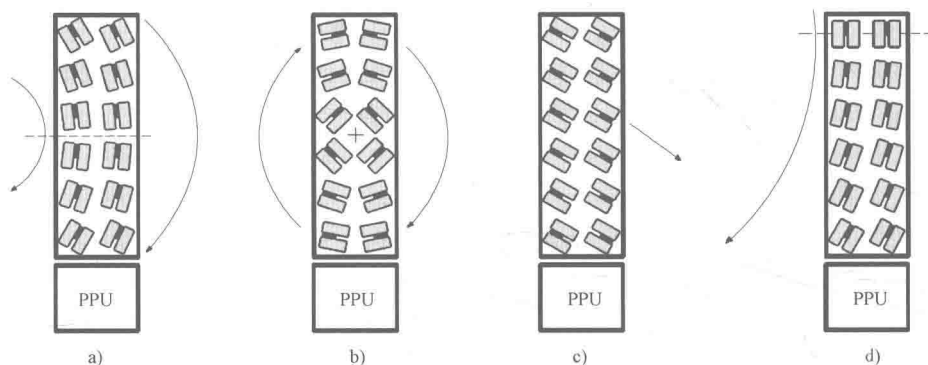


图 1-6 全回转自走式车组的转向模式

a) 常规转弯; b) 中心回转; c) 蟹行; d) 扇形转弯

全回转自走式车组的优点是转向灵活,对于体积特别巨大的货物运输在狭小的场地内转弯时具有很大的优势。由于用计算机控制各车轮转向,可以实现多个挂车以任意角度和位置进行组合,为超大货物装载带来方便。同时,全回转自走式车组的转向通过计算机程序控制,避免了拼接与组合时进行转向系统机械连杆系统的改造,使得挂车的拼接与组合可以方便快速地进行。但由于全回转挂车在每个悬架的上部都要放置转向液压缸,受结构的限制使挂车的高度比前述所有挂车要高,这使得货物的运输高度有所增加。

第二节 液压平板挂车的主要结构

液压平板挂车的结构按照功能划分有悬架、车体、制动系统、转向系统、液压支承系统、电路等,对于自走式挂车还有驱动系统。这里主要描述大件运输车辆所特有的常见悬架、车体和转向系统,液压支承系统将在第三章运输稳定性中一并描述,驱动系统将在第七章牵引能力中一并描述。

一、挂车悬架

液压平板挂车的悬架为液压独立悬架,液压是指依靠液压缸进行支承,独立是指可独立承载和转向。如图 1-7 所示,悬架由车轮(包括轮胎和轮毂)、支承液压缸、固定臂、摆动臂、制动气室等构成,主要作用是传递作用在车轮和车体之间的一切力和力矩,如支承力、制动力、驱动力等,并实现挂车的行驶和转向。

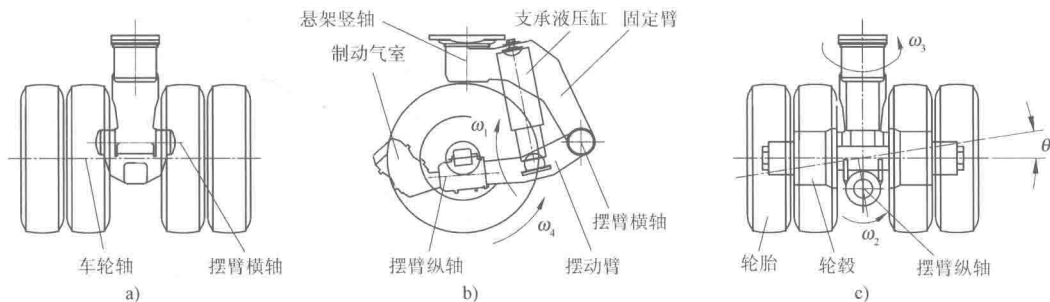


图 1-7 液压独立悬架

悬架是支承挂车和行驶的最小独立单元。一个悬架可使车轮产生 1 个垂直位移自由度和 3 个旋转自由度:

(1) 随着支承液压缸的伸缩,摆动臂以摆臂横轴为中心沿挂车纵向摆动,如图 1-7b) 中的 ω_1 ,产生车轮的垂直位移自由度,形成悬架的升降。

(2) 车轮轴以摆臂纵轴为中心沿挂车横向的摆动自由度,如图 1-7c) 中的 ω_2 ,以平衡左右两侧车轮受力。

(3) 悬架在转向拉杆或转向液压缸(全回转自走式车组)驱动下,绕悬架竖轴水平旋转自由度,如图 1-7c) 中的 ω_3 ,以实现挂车的转向。

(4) 车轮绕车轮轴的旋转自由度,如图 1-7b) 中的 ω_4 ,以实现挂车的行驶。

二、挂车车体

如图 1-8 所示,挂车车体由主纵梁、横梁、翼梁组成,翼梁用于固定液压独立悬架,承受来自于悬架的支承力,横梁用于将翼梁所承受的悬架支承力传递给主纵梁,主纵梁则具有足够的纵向刚性和强度,用于平衡货物荷载力与各横梁力的作用。车体的主要作用即是在保持挂车承载平台一定刚性的情况下,将挂车上方承载的货物荷载分散给各个悬架。当然,它也是挂车转向、液压管路和阀、制动、牵引等系统构件的附着体。

图 1-8 所示为典型 4 轴线挂车模块的车体主体结构示意图。不同型号平板挂车略有差异,但力学结构大致相同,这不影响我们对车体受力特点的整体认识。

当挂车需要纵向拼接为较多轴线时,需要将各挂车模块的主纵梁刚性地连接在一起,并使其具有相同的截面力学特性。因此主梁之间下部通过纵拼横销连接,上部通过端面挤压和高强螺栓连接,使得挂车纵向拼接后主梁成为一个整体,各截面可以承受的最大弯矩和剪力相等。

由于主纵梁、横梁、翼梁所受到的内力大小不同,因此有着不同的截面尺寸,如图 1-8d)

所示。主纵梁承受很大弯矩,需要很大的截面惯性矩,因此主纵梁截面高度尺寸最大,通常接近于挂车的最低行驶高度。横梁和翼梁所承受的弯矩和切向力较小,因此截面高度尺寸较小。

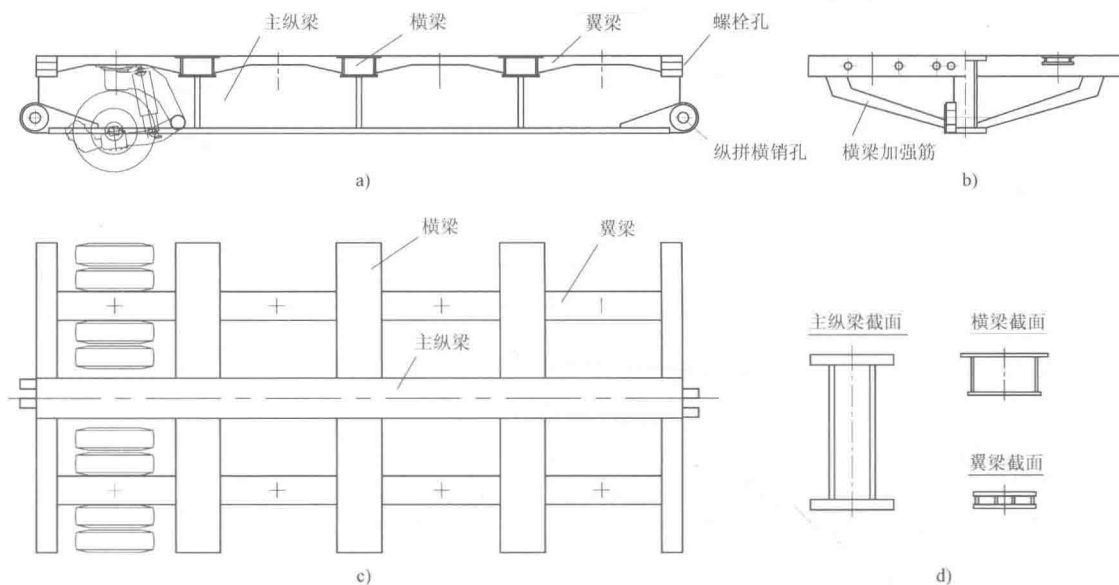


图 1-8 典型 4 轴线挂车车体示意图

a) 主视图; b) 侧视图; c) 俯视图; d) 各梁截面图

三、挂车转向系统

挂车转向系统的作用是保证在转弯过程中各车轮均处于纯滚动状态,不发生横向滑移。为此必须满足在各转弯瞬间,所有车轮的车轴延长线均相交于一点(图 1-9),该点为瞬时转向中心。

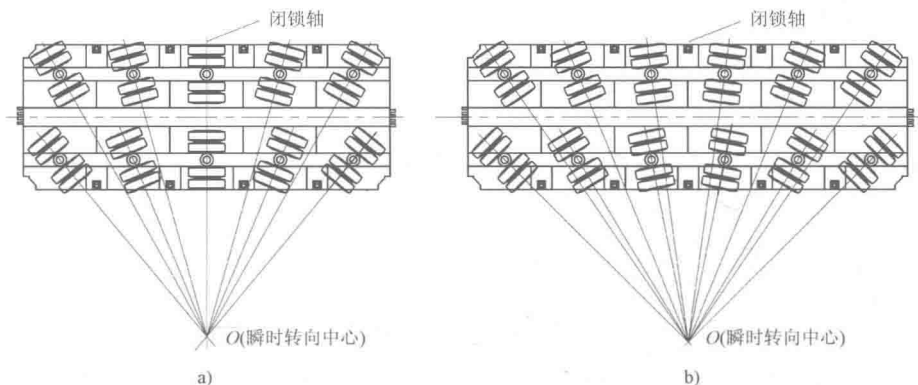


图 1-9 挂车各车轮的转向

a) 奇数轴线挂车转向; b) 偶数轴线挂车转向

对于奇数轴数的挂车,纵向中间轴线的悬架在转弯过程中常常不转向,如图 1-9a) 所示,习惯称此轴线为闭锁轴。对于偶数轴数的挂车,所有车轮常常均处于转向状态,如图 1-9b)

所示,挂车纵向中间恰好是前、后悬架转向角度的对称轴,即可以将其假想为闭锁轴。闭锁轴的延长线必然通过瞬时转向中心。

为了保证各车轮按照转向规律进行转向,非全回转式挂车基本上都采用机械拉杆式转向驱动机构。图 1-10 所示为较典型的中部有转向板的转向驱动结构方式,由转向纵拉杆、中心转向板、转向横拉杆、车轮转向板(固定于悬架上)组成,其中,两个相邻的中心转向板构成一个四连杆机构,中心转向板和车轮转向板构成一个四连杆机构。中心转向板上常常制造出多个转向拉杆孔,可对应于挂车在不同轴数下的转向连接。

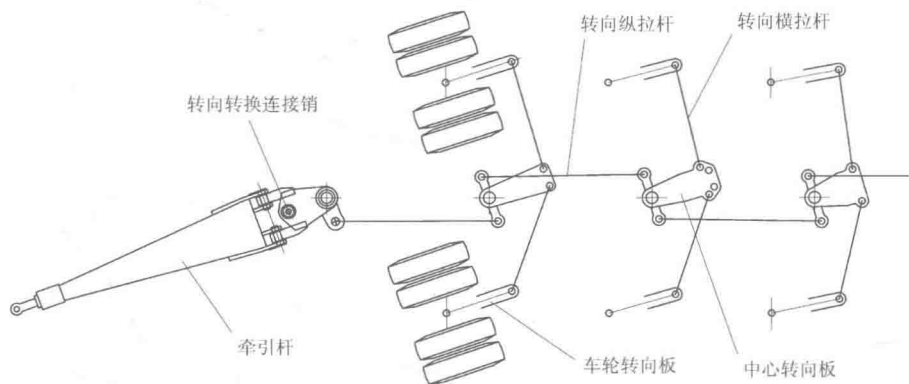


图 1-10 拉杆式转向机构

当挂车轴数较多时,挂车前部和后部的转向系统常采用液压方式进行连接,图 1-11 所示为典型的液压连接方式。其原理是:当挂车前部向右转向时,前部转向液压缸 A 的后油腔受到压缩,液压油被泵出并推动挂车后部的转向液压缸 C 动作,实现挂车后部转向系统向左等角度转向;当挂车前部向左转向时,前部转向液压缸 B 的后油腔受到压缩,液压油被泵出并推动转向液压缸 D 动作,实现挂车后部转向系统向右等角度转向。这样,即可满足前后挂车相同瞬时转向中心的要求。

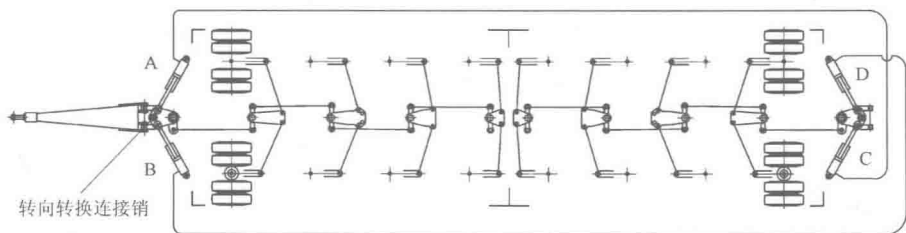


图 1-11 转向系统液压连接

对于牵引式车组,行驶时挂车的转向驱动方式可采用由牵引杆驱动转向,或由液压缸驱动转向两种方式,通过松脱和旋入转向转换连接销(图 1-11),可实现牵引杆和转向拉杆系的分离与结合,进行两种转向方式的转化。当在公路上正常行驶时,常采用牵引杆驱动转向方式,这时挂车自动跟随牵引车的行驶轨迹行驶,可以保持在高速状态下挂车转向的稳定和安全。当遇到道路急弯或需要倒车时,可松脱转向转换连接销,同时起动液压动力机,另外