

汽车列车选型与设计

周天佑 编

交通部公路科学研究所情报资料室

一九九一年七月

前 言

随着经济和科学技术的发展，在国内外汽车运输业中，汽车列车起着越来越大的作用。近年来的实践证明，汽车列车是完成大量货物运输；提高运输效率、降低运输成本的有效途径。目前，无论是汽车列车的使用技术和制造技术都有了新的发展，为适应这种新形势的需要，特编写了此书。

该书内容侧重于汽车列车的选型、设计与计算。介绍了牵引车和挂车及主要总成的结构型式、特点；牵引车与挂车的合理匹配；挂车的总体设计及各主要总成的设计与计算。可供汽车和挂车的制造、使用、管理、科研等部门的工程技术人员和高等院校有关师生参考。

交通部公路科学研究所汽车二室长期从事汽车挂车技术的研究和挂车产品的开发，取得了丰硕成果。在本书编写过程中，引用了该室的有关科研成果。

本书完稿后，请清华大学汽车工程系余志生教授进行了校审。

由于编者水平及所掌握的资料有限，错误和不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

在此对在编写过程中给予支持和帮助的单位 and 同志，表示衷心感谢。对本书的出版给予大力支持的博山汽车挂车制造厂表示衷心感谢。

编者 1990.1

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 汽车列车的类型.....	(1)
第二节 汽车列车的发展过程与前景.....	(3)
第三节 我国汽车列车发展的途径.....	(11)
第二章 牵引车及牵引连接装置	(16)
第一节 牵引车的型式及结构特点.....	(16)
第二节 拖挂质量的确定.....	(22)
第三节 牵引车与挂车的牵引连接装置.....	(31)
第三章 汽车挂车的总体设计	(46)
第一节 汽车挂车总体设计的主要任务和一般顺序	(46)
第二节 汽车挂车分类及选型.....	(52)
第三节 挂车尺寸参数和质量参数的确定.....	(62)
第四节 汽车列车主要性能参数的计算.....	(80)
第四章 挂车车架结构设计与计算	(103)
第一节 车架的结构型式.....	(103)
第二节 车架的受力分析.....	(108)
第三节 车架的设计与计算.....	(110)
第四节 车架有限元法计算.....	(128)
第五章 挂车悬架和车轴设计与计算	(148)
第一节 悬架结构设计与计算.....	(148)
第二节 车轴结构设计与计算.....	(161)
第六章 半挂车支承装置与全挂车转向装置	(169)
第一节 半挂车支承装置的结构设计与计算.....	(169)

第二节	全挂车转向装置及牵引拖台	(178)
第七章	汽车列车制动系结构与计算	(184)
第一节	制动系的结构	(184)
第二节	汽车列车制动力分配和制动稳定性	(199)
第三节	汽车列车驻车制动	(216)

第一章 概 论

第一节 汽车列车的类型

近年来,随着汽车运输事业的发展和货运量的不断增加,汽车的载质量不断增加。由于大型汽车的发展受到车辆总质量及轴载质量法规的限制,提高汽车载质量最有效的途径是实行拖挂运输,发展汽车列车。

汽车列车是一辆汽车(货车或牵引车)与一辆或一辆以上挂车的组合。

汽车列车的型式有:轿车牵引可短期住宿的宿营挂车组成的汽车列车;客车牵引乘客挂车、铰接通道式客车型式的汽车列车;载货汽车或牵引车牵引各种挂车组成的货运汽车列车等。在这些不同型式的汽车列车中,主要是各种类型的货运汽车列车。

汽车列车主要有以下四种类型。

一、全挂汽车列车

全挂汽车列车是汽车通过牵引杆连接一辆或一辆以上的全挂车而组合的汽车列车。

全挂汽车列车的牵引汽车是一辆载货汽车或配带压重的专用牵引汽车,在牵引汽车与全挂车之间用牵引连接装置连接组成全挂汽车列车。全挂车可以自行承担自身重量和载荷。牵引汽车在摘掉挂车后,可单独从事货运或拖带另一辆

全挂车。

二、半挂汽车列车

半挂汽车列车是由半挂牵引车与一辆半挂车组合的汽车列车。

半挂汽车列车的牵引车上备有牵引座，半挂车上装有牵引销，半挂车通过牵引销与牵引车上的牵引座连接（或分离），并将半挂车一部分载荷和自重分配给牵引车的牵引座处，因此，半挂牵引车必须具有支承力和牵引力。当半挂牵引车摘掉挂车后，可以用于牵引另一辆半挂车。

三、双挂汽车列车

双挂汽车列车是由一辆半挂牵引车与一辆半挂车和一辆全挂车组合的汽车列车。

由于这种汽车列车又增加了一节挂车，所以载质量增加了，提高了运输效率。但它要求牵引车应具有较大的功率，并且运行的道路条件要好。

这种汽车列车在美国和苏联应用较多，日本等国处在试运行阶段。我国由于道路条件的限制，在交通法规中规定，一辆汽车只能拖带一辆挂车。

四、特种汽车列车

特种汽车列车载荷分别加在牵引车和挂车的桥式平台上，载荷为单件式或通过载荷本身把车辆连接起来。例如，圆木或管件运输车。

在我国，全挂汽车列车、半挂汽车列车和特种汽车列车都在使用。目前，全挂汽车列车数量较多。近年来，半挂汽

车列车发展较快。但随着各种运输方式的发展及专用车的增加，还需大力发展半挂汽车列车。

双挂汽车列车增加了拖挂节数，提高了运载量，并适于我国低轴载质量的要求。随着我国公路事业的发展及路面条件逐渐得到改善，可适当发展这种型式的汽车列车。

第二节 汽车列车的发展过程与前景

一、汽车列车的发展过程

汽车列车在交通运输业上的应用已有一百多年的历史。远在1869年，法国军队第一次使用由蒸汽机驱动的汽车列车。到1885年由德国人 Gottleib Daimler和Karl Benz第一个研制成汽油内燃机汽车后，促进了汽车列车的发展及应用。1914年第一次世界大战以后，汽车列车的生产量有了显著地增长，但由于汽车列车的牵引连接装置不完善，在公路上行驶的安全性较差，使汽车列车的发展受到一定限制。到1920年以后，由于牵引连接装置的改进，出现了比较完备的结构型式，汽车列车在公路运输上得到广泛的应用。

汽车列车的发展基本经过以下几个阶段：

1. 全挂汽车列车发展阶段

全挂汽车列车能较快的发展起来，是由于它具有如下优点：

1) 全挂汽车列车运输效率高，一般全挂汽车列车装载质量为单车的2倍左右。

2) 全挂汽车列车燃料消耗低，百吨公里燃料消耗比单车低40%左右。

3) 全挂车的制造成本低，一般一辆全挂车要比相配挂的

牵引汽车的制造成本低50~60%。

4)全挂车结构简单,维修保养方便,维修费用低。

5)全挂汽车列车停放的车库占地少,因为全挂车可不备用车库。

6)全挂汽车列车比单车更适宜运输那些很少从车上装卸的设备。如,可随车移动的发电机、电焊机、临时保存的物资器材(流动加油站、仓库等)。全挂车可摘挂后较长期使用。

由于全挂汽车列车具有上述优点,主车与挂车之间用牵引钩与挂环连接,其结构简单,货车无需做改装即可与全挂车挂接使用,所以全挂汽车列车首先很快发展起来。美国从1920~1925年之间,全挂车从一车一挂发展到一车多挂,随后英国、瑞士、德国、法国、苏联等国也发展起来;日本到1930年后才开始发展,我国从1955年开展拖挂运输以来,全挂车一直在发展之中。

2.半挂汽车列车发展阶段

1920年,美国在发展全挂汽车列车的同时,开始生产半挂汽车列车,但数量一直很少。直到1925年以后,随着美国公路及行车安全各项法规的颁布,开始对汽车列车有所限制,一般为一车一挂,最多一车两挂,总长限制在12~13.5 m。这样使全挂汽车列车的发展受到一定限制,而使半挂汽车列车得到迅速发展和广泛应用。

半挂汽车列车与全挂汽车列车相比,具有如下优点:

1)半挂汽车列车的牵引车与挂车的连接不是用牵引杆,而是以牵引座和牵引销相连接,这样缩短了汽车列车的总长,使半挂汽车列车更具有整体性,较全挂汽车列车机动灵活。

2)半挂车的车厢装载面积较全挂车大。

3)半挂汽车列车部分装载质量由牵引车驱动桥承担,这样可以提高驱动桥的附着质量,使牵引车的牵引力能得到充分利用。

4)半挂汽车列车行驶稳定性较全挂汽车列车好。由于采用牵引座和牵引销连接型式,行驶时的摆振现象大为减少,提高了行驶稳定性。

5)由于采用牵引座与牵引销连接,避免了全挂汽车列车牵引钩与挂环之间的撞击、振荡现象,降低行驶时的噪声。

6)半挂汽车列车是“区段运输”、“甩挂运输”、“滚装运输”的最好车型。

由于半挂汽车列车具有上述优点,所以半挂汽车列车自1925年在美国应用以来,也在其他国家得以迅速发展。美国的挂车保有量中,半挂车占87%;法国总质量6.5t以上的挂车中,半挂车占82%;日本和西德近几年新增挂车数中半挂车已接近和超过了全挂车。我国目前半挂汽车列车虽然发展很快,但从半挂汽车与全挂车的比例来看,全挂车的应用仍占优势。

3. 向大装载质量、高速、专用车阶段发展

1)大装载质量汽车列车

从第二次世界大战以后,国外汽车运输业有一个明显地发展趋向:小装载质量和大装载质量的货运汽车数量在不断增加,而中型汽车的产量则有下降的趋势。大型汽车的发展受到车辆总质量及轴载质量的法规限制,增加装载质量最合理的途径是发展汽车列车。美国、英国、日本、法国等国家公路货运都以发展大型汽车列车为主。苏联在汽车工业发展规划中,增加了大型汽车并强调发展汽车列车。现代汽车运输常用的典型半挂汽车列车是厢式半挂汽车列车,总质量为32t。

美国和西欧一些国家允许在半挂车后再挂一个由半挂车派生的全挂车，总质量40t，总长达21.3m。从目前世界各国公路运输车辆的发展趋势看，汽车列车总质量向45t方向发展。而美国全挂汽车列车的总质量已允许到62t；加拿大允许到61.2t。但过高地提高汽车列车的总质量会影响汽车列车的机动性，并对公路提出更高的要求，从综合经济效益考虑并非合理。在我国国家标准GB6420—86《货运挂车系列型谱》中规定：在公路及城市道路上运行的汽车列车允许最大总质量不大于45t。

2) 高速汽车列车

世界各国的汽车列车行驶速度在不断地提高。在高速公路上行驶的汽车列车速度可达80~90km/h。用提高速度来提高运输效率是目前的一个趋向。但是，汽车列车以高速行驶时，其燃料消耗增加，这主要是由于空气阻力的急剧增大，消耗于空气阻力的功率与速度的立方成正比例增加。为了节约燃料，一般建议最高行驶速度不超过90km/h。目前许多国家在汽车列车上装设导流罩，以减少汽车列车运行时的空气阻力。对于高速行驶的汽车列车，可以明显地降低燃料消耗。

3) 专用汽车列车

近几十年来，专用车辆在不断地发展，以满足各种货物不同运输条件和装卸条件的需要，同时保证运输质量，提高运输效率。由于全挂和半挂汽车列车具有载质量大、货厢尺寸长、能用挂、适于安装专用车身和长距离运输等优点，所以专用汽车列车的比例较高，目前美国专用挂车保有量占挂车的95%左右，其中最多的是全闭厢式挂车（约占62%左右），其次是平板车、罐式挂车和自卸挂车。

我国自1955年采用汽车拖挂运输以来，至1981年，全国有全挂车16.82万辆（货运），其中交通系统9.1万辆；半挂车约0.6万辆。交通系统有56%载货汽车实行拖挂，为数最多的CA-10B汽车在不同地区拖挂，运输效率提高30~50%；成本降低30~40%；油耗下降20~30%。平均每车年产量按20万 tkm计，每车每年节油2.88t，节约运输成本132万元。1981年有17.42万辆挂车投入运输，全年共节油50.2万t，节约运输成本23亿元，减少了6.97万辆汽车和相应数量的司机。

我国挂车制造工业从50年代起，逐渐形成。1955~1981年我国共生产挂车14万辆，近几年每年生产全挂车1~1.3万辆，半挂车800~1000辆。

二、汽车列车技术发展前景

随着汽车拖挂运输的发展，汽车列车技术水平不断发展和提高。国外目前汽车列车技术发展趋向主要表现在以下几个方面：

1. 减轻挂车的整备质量，增加车轴数、提高挂车的载质量

1) 减轻挂车的整备质量

挂车车架通常采用优质钢材制造。有的采用铝合金车架，例如，澳大利亚的3轴半挂车采用具有中心梁结构的铝合金车架，其载质量为28t，比用钢车架制成的同样半挂车多达1.7倍。

采用可变截面等强度的钢板弹簧，减轻自重。如美国《洛克维克》公司采用1~4片这种钢板弹簧，其自重比一般弹簧减轻30~40%。

以宽断面轮胎代替两个普通轮胎，可使双轴挂车整备质量减少320kg，3轴挂车整备质量减少500kg。

挂车车厢已广泛采用高强度的低合金钢。它比一般碳素钢强度高30~50%，可使挂车整备质量降低25%，而且容易加工和焊接，抗疲劳强度高。美国的车厢、栏板和地板采用轻质合金。用轻质合金制造的全封闭式车厢的挂车比用普通钢材制造的同类车整备质量降低40~60%。它的载质量与整备质量之比一般都在3以上。近年来，愈来愈广泛地采用塑料车厢，美国无金属骨架的厢形挂车使用玻璃纤维泡沫塑料加筋板，减轻了车辆的整备质量，且提高了抗腐蚀能力。

2) 增加车轴数，提高载质量

为了提高挂车的载质量，国外3轴、4轴的全挂车逐渐增多，与双轴全挂车相比，容许总质量增大6~8t。4轴全挂车容许总质量比3轴全挂车大2.5~4t。半挂车中两轴和三轴占多数，也有4轴半挂车。

2. 增加货厢尺寸

近20年来，美国和西欧多数国家的汽车列车宽度和高度实际上没有变化，而长度增加了。现在各国道路法规对挂车的长度有所放宽，美国12.2~12.95m长的半挂车由1960年的0.1%增加到1976年的28.2%。此外，为了尽可能满足运输要求，同一吨位的车辆往往有几种不同长度车厢的变型车。

3. 半挂汽车列车多于全挂汽车列车

前面已经谈到，由于半挂汽车列车优于全挂汽车列车，所以近些年国外多注重发展半挂汽车列车。半挂汽车列车的数量逐渐多于全挂汽车列车。

1. 专用汽车列车迅速增加

正如前面所述，为了提高运输效率，保障运输质量和安全，近年来专用车辆迅速发展。而挂车具有载质量大、货厢尺寸长、适于安装专用车身等优点，所以专用挂车迅速增加。专用汽车列车在公路运输中发挥愈来愈大的作用。

5. 产品系列化、零部件通用化、尺寸规格标准化

国外挂车实现了产品系列化、零部件通用化和尺寸规格标准化。目前部分国家除将挂车按吨位形成系列以外，还将挂车的车轴总成、悬挂、制动器、全挂车转向装置、半挂车支承装置、半挂车牵引连接装置以及一些专用车身进行系列化设计、专业化生产，然后由挂车组装厂选用并组装成多种挂车。

现在世界各国汽车列车的标准、法规越来越多，越来越细，从基础标准到试验方法、规程及管理规范，直到零件、部件、总成都制订了标准。提高了零、部件的通用性、互换性。

6. 汽车列车生产向专业化方向发展

由于汽车列车设计实现系列化、标准化，这样，可将各总成标准系列零、部件，如牵引座、牵引销、悬架装置、支承装置等，进行了专业化生产，然后由总装厂根据用户要求组合成不同装载质量、不同尺寸、不同用途的挂车和专用挂车。这种专业化的生产方式，有利于提高产品质量。

7. 新结构、新材料、新技术在汽车列车上得到应用。

近年来，新结构、新材料及新技术不断地应用到汽车列车上。

前面已谈到，为减轻挂车的整备质量，采用铝合金及高强度塑料等轻质材料代替传统的钢结构件。如铝合金已用于车厢、车架；高强度塑料已用于悬架装置等。

为降低质心高度，提高汽车列车的行驶稳定性，采用高强度小尺寸轮胎。为使悬架系统结构更合理，并减少悬架本

身质量，采用等强度变截面钢板弹簧及随负荷变化的空气悬架。目前应用到汽车列车制动系统上的控制阀、继动阀、感载阀、调节装置也愈来愈多，其性能越来越好，为确保汽车列车制动时具有良好的稳定性，在汽车列车制动系统上装有防抱死装置，各种故障报警装置的应用也对汽车列车的行驶安全性起到重大作用。

8. 车辆技术性能先进

1) 制动性能好，总质量32~38t汽车列车在车速90~100 km/h时具有良好的制动稳定性。

2) 较长的挂车在后轴装有转向装置，减少了转弯时列车所占路面宽度。

3) 西德等许多国家都有3轴平衡悬架半挂车，平衡悬架的后轴——转向轴带电动气力传动锁止装置，在半挂车倒车时，用于锁止车轴，解决了倒车难的问题。每个悬架弹簧部件仅用3片抛物线弹簧，可以不使用减震器和稳定器。

4) 重视对汽车列车操纵稳定性的研究

随着汽车列车向大装载质量和高速度方向发展，汽车列车的操纵稳定性对安全行驶至关重要。

汽车列车在一定行驶状态（转弯、制动）时，在一定道路条件下，会出现挂车的侧滑和侧倾。为解决这一问题，各国都对此从理论上、试验上进行研究。

目前用选择最佳同步附着系数；装有横向稳定器（增大悬架的角刚度和减小倾斜）；降低质心高度；增大轴距；增大牵引杆长度；增大轮胎倾偏阻力系数、滚动阻力系数等方法来改善汽车列车的操纵稳定性。同时，对转向及牵引连接装置进行正常保养；保持这些机构处于良好技术状态也是提高汽车列车操纵稳定性不可忽视的重要环节。

5) 加强汽车列车行驶平顺性的研究

从理论上讲,汽车列车的每个车节具有三种线振动(纵向、横向、垂直)和三种角振动(绕 X 、 Y 、 Z 轴)。但从平顺性的观点来看,垂直方向的线振动、横向和纵向角振动是重要的影响因素。

目前对汽车列车平顺性的评价方法是,通过汽车列车行驶一定距离,对其簧上质量几个具有代表性点上的垂直加速度的分配值进行统计而作出的。为更充分的评价行驶的平顺性,要选择几种不同类型的道路进行试验,来确定垂直加速度的均方值和最大值。

通过对平顺性的理论规律和实验数据进行综合分析确定汽车列车平顺性参数的极限值,是目前各国研究汽车列车平顺性的一个趋势。

目前国外采用一些新的结构,如较大吨位的挂车采用空气弹簧悬架,使车身高度变化小,增加了车身装载高度,并装有减震器,改善了行驶平顺性。

第三节 我国汽车列车发展的途径

今后一个时期,我国应大力发展汽车列车生产,并应重点发展半挂汽车列车。据预测,到2000年,我国挂车保有量将达到120~130万辆,其中半挂车与全挂车的比例将达到1:1。到本世纪末,汽车列车的结构和使用性能、挂车的质量利用系数、汽车列车的制动性能、操纵稳定性、平顺性、挂车的使用寿命、车型种类和制造成本等方面将达到国外80年代初的水平。

为了实现上述目标,加速汽车列车工业的发展和提高技

术水平，其技术途径有以下几方面：

一、加速研制和开发牵引车和挂车新车型形成产品系列

我国汽车的基本车型少，挂车车型亦少。为了适应拖挂

表1-1

序号	牵引车主要参数					挂车系列			
	发动机功率 (kW)	型号	驱动 型式	允许 列车总 质量 (t)	牵引座 上最大 质量 (t)	挂车 型式	允许最 大总质 量 (t)	最大装 载质量 (t)	整备质量 (t)
1	汽70 汽85 汽88 柴88	08.70	4×2			全 挂 车	6.00	4.00	≤2.00
2	汽99 柴96 柴96 柴99	09.96 10.96	4×2				7.30	5.00	≤2.30
3	柴113 柴118	11.113	4×2				8.50	6.00	≤2.50
4	汽121 柴118	14.113	4×2				11.00	8.00	≤3.00
5	柴147	16.147 17.147	4×2				13.50	10.00	≤3.50
6	柴169~191	19.147	6×4				16.00	12.00	≤4.00
7	汽63 柴55	10.55	4×2	9.70	3.30	半 挂 车	7.10	5.00	≤2.10
8	汽70 汽85 汽88 柴88	15.70	4×2	14.60	4.70		10.80	8.00	≤2.80
9	汽99 柴96 柴99	17.96	4×2	17.20	5.70		13.30	10.00	≤3.30
10	柴99 柴113 柴118	21.99	4×2	20.60	6.50		16.00	12.00	≤4.00
11	柴118	25.118	4×2	24.80	9.00		19.50	15.00	≤4.50
12	柴147	28.147	4×2	28.30	9.50		22.50	17.00	≤5.50
13	柴154~191	32.154	4×2	32.00	10.00		26.00	20.00	≤6.00
14	柴221~235	45.221	6×4	45.00	16.00		34.00	26.00	≤8.00
15	柴154~235		4×2 6×4 6×6	59~83	12~20		40.00	30.00	≤10.00
16	柴154~235		6×6				53.00	40.00	≤13.00

运输发展的需要,必须加速研制和开发牵引车和挂车新车型,形成车辆产品系列。

根据我国汽车车型、合理拖挂质量和我国路面情况,应尽快研制和发展表1-1所列的车型系列。

二、加快研制和发展大型汽车列车

在一定的范围内,汽车列车载质量越大,运输油耗越低,成本越低。国外提高汽车列车载质量所取得的经济效益前面已叙述。我国拖挂运输的实践也表明,大吨位的汽车列车的经济效益比中小吨位汽车列车好得多。北京市运输公司斯柯达拖挂载质量12~14t的运输成本比解放CA-10B拖挂载质量7t的运输成本低24%,油耗低41%。国外城市间公路货运大部分由大型汽车列车来完成,美国整个货物周转量的80%左右由汽车列车来承担。其中大部分(70%左右)由鞍式牵引车-半挂车组成的汽车列车完成。因此,在我国城市间公路运输中采用大型汽车列车是发展我国公路运输、降低运输成本和油耗的重要途径。

目前,我国公路货运汽车中,中、重型汽车列车只占10%左右,交通系统只占7.6%左右,大型汽车列车就更少。应重点发展3~5轴总质量为24~45t的汽车列车及与其相匹配的大型挂车。

三、大力发展半挂汽车列车

半挂汽车列车除具有前述的优点外,运输经济效益也好,西德对总质量38t的两种列车对比表明:半挂汽车列车油耗比全挂汽车列车低13%,运输成本低35%。我国扬州地区对EQ-140型牵引车和5t半挂车组成的汽车列车和EQ-140型