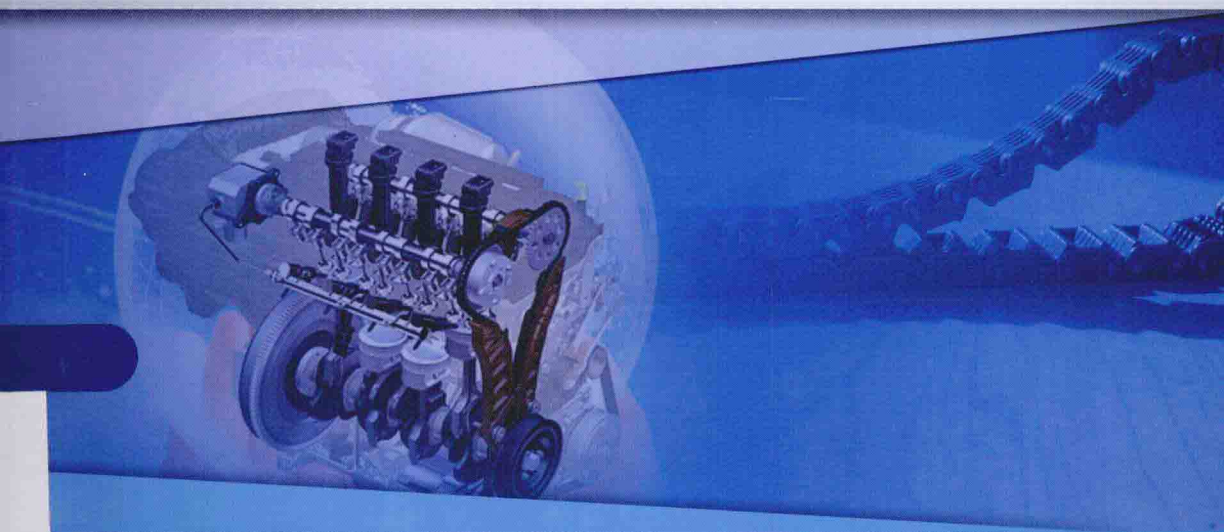


# 汽车用链传动系统设计 及动力学分析

冯增铭 王飞 著  
汤乐超 李军



科学出版社

# 汽车用链传动系统设计 及动力学分析

冯增铭 王 飞 汤乐超 李 军 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书阐述了汽车发动机正时齿形链系统、汽车动力传动用齿形链系统以及无级变速用链传动系统的设计方法、动力学分析与性能评估等关键技术。本书内容包括正时齿形链系统数字化设计方法、正时链系统用液压张紧器设计与分析、正时齿形链系统动力学分析与性能评估、混合动力传动用齿形链传动系统设计及分析、齿形链的刚柔混合接触分析、无级变速用链传动系统及新型滚销链式 CVT 仿真分析等。

本书可供高等院校及科研院所相关科研人员与研究生、汽车行业与链传动行业相关工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车用链传动系统设计及动力学分析/冯增铭等著. —北京:科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-042634-5

I. ①汽… II. ①冯… III. ①汽车-链传动-系统设计②汽车-链传动-动力学分析 IV. ①U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 277386 号

责任编辑:刘凤娟 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 9 月第一次印刷 印张:19 3/4

字数:400 000

定价:109.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

本书是作者在已完成的国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2009AA04Z109)、吉林省重大科技专项课题(20126003、20116004)以及正在运行的吉林省自然科学基金项目(20140101085JC)最新研究成果的基础上,结合多年来教学、科研与生产过程中的工程应用实例、科学研究总结和技术经验积累撰写而成的。全书由冯增铭、王飞、汤乐超、李军、王艳鹏、刘高洋、李俊龙、浦前帅、邓强、孔繁朝、贾艳辉等撰写,奚佳欣与吴慧参与了书稿的编辑工作。

本书阐述了汽车发动机正时齿形链系统、汽车动力传动用齿形链系统以及无级变速用链传动系统的设计方法、动力学分析与性能评估等关键技术。本书内容包括正时齿形链系统数字化设计方法、正时链系统用液压张紧器设计与分析、正时齿形链系统动力学分析、混合动力传动用齿形链传动系统设计及分析、齿形链的刚柔混合接触分析、无级变速用链传动系统及新型滚销链式 CVT 仿真分析等。

利用本书所阐述的汽车发动机正时齿形链系统、汽车动力传动用齿形链系统以及无级变速用链传动系统的设计方法、动力学分析与性能评估等关键技术可以指导开发具有自主知识产权的汽车发动机正时链系统、汽车动力传动用齿形链系统以及无级变速用链传动系统,填补了国内汽车行业在该领域的技术空白,具有重要的学术价值和工程应用价值。本书可供高等院校及科研院所相关科研人员与研究生、汽车行业与链传动行业相关工程技术人员参考使用。

在撰写本书的过程中,作者曾得到了吉林大学机械科学与工程学院、中国第一汽车股份有限公司技术中心、杭州东华链条集团有限公司、青岛征和工业有限公司、辽宁正时动力传动科技有限公司、韩国 FunctionBay 公司、上海博览达科技有限公司等单位领导与朋友的支持与帮助,在此一并表示衷心感谢。

作 者

2014 年 6 月于长春

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 正时齿形链系统数字化设计方法</b> .....	1
1.1 正时链系统国内外研究现状 .....	1
1.2 正时链系统 .....	6
1.2.1 正时链系统的作用及布置形式 .....	6
1.2.2 正时链系统的组成部分 .....	8
1.2.3 正时齿形链系统的失效形式 .....	11
1.2.4 正时齿形链系统的评价 .....	13
1.3 正时齿形链系统设计方法.....	13
1.3.1 正时系统开发 .....	13
1.3.2 正时齿形链系统设计 .....	15
1.3.3 导轨型线对正时系统的影响 .....	20
1.3.4 链条伸长量的影响因素 .....	23
1.4 正时齿形链系统数字化设计平台开发.....	25
1.4.1 软件功能介绍 .....	26
1.4.2 平台开发过程 .....	26
1.4.3 软件总体设计 .....	31
1.4.4 RecurDyn 二次开发 .....	35
1.5 系统数字化设计与分析案例.....	39
1.5.1 单顶置正时齿形链系统 .....	39
1.5.2 双顶置正时齿形链系统 .....	44
1.6 本章总结.....	49
参考文献 .....	49
<b>第 2 章 正时链系统用液压张紧器设计与分析</b> .....	53
2.1 张紧器的国内外研究现状.....	53
2.2 液压张紧器结构型式及工作原理.....	57
2.2.1 张紧器的分类 .....	57
2.2.2 液压张紧器的分类 .....	58
2.3 液压张紧器理论模型.....	64
2.3.1 柱塞运动方程 .....	65

2.3.2	单向阀钢球运动方程	65
2.3.3	单向阀进油量计算	66
2.3.4	阻尼系数计算	67
2.3.5	油液体积弹性模量	69
2.3.6	高压室体积与压力变化	71
2.3.7	油液黏度	71
2.4	液压张紧器结构设计	72
2.4.1	初始设计边界条件	72
2.4.2	设计目标	75
2.4.3	几何设计	75
2.4.4	柱塞 $P_v$ 值计算	96
2.4.5	棘爪强度校核	98
2.4.6	模态分析	103
2.5	液压张紧器动态特性分析及试验研究	105
2.5.1	动力学建模	105
2.5.2	动力学特性研究	107
2.5.3	试验研究	111
2.6	本章总结	116
	参考文献	117
<b>第3章</b>	<b>正时齿形链系统动力学分析</b>	<b>120</b>
3.1	正时齿形链系统研究现状	120
3.2	正时齿形链系统的理论基础	125
3.2.1	正时齿形链系统工作机理	125
3.2.2	汽油发动机用正时链系统开发	129
3.3	某款发动机用正时齿形链系统波动分析	135
3.3.1	链系统的传动特性	136
3.3.2	波动量的理论分析	137
3.3.3	正时齿形链系统波动量仿真分析	141
3.4	某款发动机用正时齿形链系统动态特性分析	145
3.4.1	正时齿形链系统仿真模型的建立	145
3.4.2	正时齿形链系统动态特性分析结果	151
3.5	某款发动机用正时齿形链系统试验研究	161
3.5.1	正时齿形链系统测量方法	162
3.5.2	正时齿形链系统试验分析	168
3.6	本章总结	169

附录	170
参考文献	180
<b>第 4 章 混合动力传动用齿形链传动系统设计及分析</b>	<b>183</b>
4.1 混合动力系统及齿形链系统理论基础	183
4.1.1 混合动力系统理论基础	183
4.1.2 不同传动形式特点	186
4.1.3 齿形链系统理论基础	187
4.1.4 外啮合圆销式齿形链与渐开线链轮的啮入冲击	192
4.2 齿形链传动系统的噪声分析	194
4.2.1 链传动系统噪声的产生情况	194
4.2.2 链传动系统噪声的理论计算	195
4.2.3 计算结果	200
4.3 齿形链传动系统设计及其动态特性分析	202
4.3.1 齿形链系统参数设计	203
4.3.2 齿形链系统动态特性分析	209
4.4 本章总结	216
参考文献	217
<b>第 5 章 齿形链的刚柔混合接触分析</b>	<b>218</b>
5.1 圆销式齿形链的刚柔混合接触分析	218
5.1.1 仿真模型的建立	218
5.1.2 销轴动态接触应力分析	221
5.1.3 工作链板与轮齿的接触分析	225
5.2 Hy-Vo 齿形链的刚柔混合接触分析	233
5.2.1 仿真模型的建立	233
5.2.2 内外复合链板接触动态分析	236
5.2.3 销轴的接触动态特性分析	242
5.3 本章总结	245
<b>第 6 章 无级变速用链传动系统</b>	<b>247</b>
6.1 无级变速用链传动技术研究背景	247
6.2 汽车无级变速技术的发展概况	248
6.3 国内外研究现状	251
6.3.1 滚销式齿形链研究现状	251
6.3.2 金属带式无级变速器研究现状	251
6.3.3 滚销链式无级变速器研究现状	253
6.4 滚销链式无级变速传动系统工作原理	254

---

6.5	新型滚销链式 CVT 啮合机理及传动效率研究 .....	261
6.5.1	新型滚销链式 CVT 的结构 .....	261
6.5.2	新型滚销链式 CVT 的啮合机理 .....	263
6.5.3	新型滚销链式 CVT 的传动效率 .....	268
6.6	本章总结 .....	272
<b>第 7 章</b>	<b>新型滚销链式 CVT 仿真分析 .....</b>	<b>273</b>
7.1	新型滚销链式 CVT 动力学仿真分析 .....	273
7.1.1	基于递归算法的多体动力学理论 .....	273
7.1.2	滚销链式 CVT 动力学仿真分析 .....	278
7.2	新型滚销链式 CVT 有限元分析 .....	283
7.2.1	有限元方法的基本理论 .....	283
7.2.2	滚销链静力学拉伸分析 .....	286
7.3	新型滚销链的模态分析 .....	292
7.3.1	模态分析的定义 .....	292
7.3.2	模态分析有限元模型的建立 .....	292
7.3.3	模态频率和振型 .....	293
7.4	本章总结 .....	296
	参考文献 .....	296
<b>索引</b>	.....	<b>299</b>
<b>彩图</b>	.....	



# 第 1 章 正时齿形链系统数字化设计方法

## 1.1 正时链系统国内外研究现状

近年来,汽车发动机的正时链传动系统得到了越来越广泛的应用,相比于齿轮传动和正时带,正时链系统具有传递功率大、可靠性与耐磨性高等优点<sup>[1]</sup>,由于正时链系统良好的传动性能和较低的维护费用<sup>[2]</sup>,其市场应用前景日益广阔。中国必须提升汽车发动机的设计水平,确保发展质量,以使汽车产业由大变强,最终实现汽车强国的梦想。发动机正时系统作为发动机的重要子系统,对其设计方法进行研究,提高正时系统的设计能力,提供技术含量高的优质产品具有重要意义。而且,国家工业和信息化部(简称工信部)已经于 2010 年 10 月将汽车发动机正时系统确定为重点发展和支持的关键零部件项目<sup>[3]</sup>,因此,大力发展汽车正时系统,掌握该领域的核心技术和市场已是大势所趋。2011 年时,采用链条进行正时传动的汽车在国产汽车中的比例达到了 20%左右,为汽车发动机配套的正时链条年需求量为 500 万套,市场规模已达到 20 亿之多。而目前,主流发动机的设计都将以链条传动取代皮带传动,预计到 2016 年,正时链条的市场年需求量和市场规模将是 2011 年的 3 倍之多,将达到 1500 万套的年需求量和 60 亿的市场规模。另外,摩托车发动机正时系统也大都采用正时链系统,中国是世界摩托车生产大国<sup>[4]</sup>,年产达几千万台,因此,加速研究和开发新技术,以满足国内外配套厂家的不同需求,能够取得巨大的经济效益。

链传动作为一种基础的传动形式,在各个行业和部门得到了广泛的应用<sup>[5]</sup>。作为一种传统的传动形式,链传动具有质量轻、传动比准确、传动距离大等优点,并随着对传动机理的不断研究和对传动要求的不断提高,链传动形式不断得到新的发展,链传动种类不断得到扩充以满足各种各样的传动要求。但是汽车正时链系统往往工作在高转速条件下,其工作条件已超出普通工业链条的传递功率和最高转速极限值<sup>[6]</sup>,同时正时链条在工作过程中还承受着变速、怠速、变载荷的复杂工况,传动条件相当恶劣。而国产汽车链在高速高强度下的性能与国外产品相比还存在差距,国内现有的正时链条系统的设计技术及制造水平都不能满足汽车链开发的要求,从而国内发动机主机厂的正时链大多采用国外产品。为实现汽车行业关键零部件的国产化,推进汽车产业技术升级,在工信部印发的《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》中,已将发动机正时链条列选为重点发展的机械基础件。由于发动机排量、生产厂家的不同,汽车发动机往往具有不同

的输出功率、最大转速、缸数、气缸排列形式等。相应地,正时链系统往往也采用不同的布局型式。即便同一款发动机,同样的参数,不同的正时链系统布局型式也会对产品性能造成不同的影响,设计正时链布局对发动机噪声特性、寿命等有很重要的意义,目前国内主机厂所采用的正时链系统也多由国外研究单位进行设计开发。因此,汽车链制造企业急需提高正时链系统的设计制造能力,汽车主机厂家也极为关注该方面的关键技术进展<sup>[7]</sup>。

利用计算机进行数字化设计已经得到了机械设计领域内的广泛认可,成为机械设计发展的一个方向<sup>[8]</sup>,得到了大力发展,已经成为机械设计的一种常用手段。由于数字化设计技术将为设计工作带来极大的便利,因此该技术的应用受到了科技工作者极大的重视,在我国制订的《制造与自动化领域“十五”计划及2015年远景规划》中,已经将其列入为今后制造业攻关、推广的重点方向和关键技术<sup>[9]</sup>。在产品开发过程中的设计阶段,建立包含所设计产品全部属性的数字化模型,并进行仿真分析,通过分析仿真结果,可以在实物样机制造与测试之前,提前发现设计中存在的问题,排除设计中存在的不合理性,这对改进和优化设计结果有重大帮助,同时还可以对所开发的产品在实际工作过程中的工作性能有合理且较为准确的预期。正时链系统组成零件众多,形式变化多样,一些重要的设计参数的确定往往依赖于设计者的经验,而且还没有建立起对正时链系统开发设计进行指导的行之有效的标准体系,因此正时链系统的设计、优化过程烦琐,难度较大。研究开发正时链系统数字化设计平台,能够简化设计过程,提高设计效率,保证正确性,降低大量的重复劳动,并且能够方便地建立正时链系统的数字化模型,便于对所设计的正时链系统进行动力学特性分析,以便及时发现并改进设计中存在的缺点,使产品满足主机厂商的要求,提高自主设计能力。

一般情况下,正时链系统由链轮、链条、导板和张紧器等零部件组成。对正时链系统的研究大多数集中于两个方面:一个方面是对正时链系统整体的动力学特性的研究<sup>[10-13]</sup>,另一个方面着重探究链轮的设计<sup>[14]</sup>、链条与链轮的啮合以及链条本身,通过优化链轮齿形改善链传动来提高正时系统的性能<sup>[15]</sup>。目前常用的汽车正时链条为套筒链、滚子链和齿形链,其中研究滚子链的文献较多,取得的成果也较大。

国外学者对汽车发动机正时链系统作了大量的理论研究,其中 Jesus Rodriguez 等建立了一个正时滚子链传动模型,对滚子链传动进行了分析,并考虑凸轮轴扭矩及导轨外形轮廓对系统的影响,建立了详细的接触运动学模型;还建立了动力学模型,分别分析了单缸摩托车发动机和某款汽车发动机正时链系统的动力学特性,所得到的计算结果与试验结果相比,具有很好的一致性<sup>[16]</sup>。

Enu-Kyo Jung 提出和分析了一种新的理论方法,这种方法可以减少机构自由度和工程参数,实现快速分析计算;而且建立了两个模型,并进行了对比,采用作者

所提出的理论建立的模型虽然不能获得由非线性引起的振动问题<sup>[17]</sup>,但是在特性趋势上和用详细组件建立的正时链模型的计算结果是一致的,从系统整体的角度来看,作者提出的理论可以用于正时链系统的设计初期,帮助获得系统的行为趋势,这将会使汽车正时链的研发时间大大缩短。

Michele Calabretta 等总结了兰博基尼开发正时链系统的过程<sup>[18]</sup>,认为对于汽车制造商来说效率和优化是主要关注的问题,为了在较短的时间内获得最好的结果,需要在开发的初始阶段做大量的仿真分析。为了能在短时间内开发出长寿命、耐磨损、低噪声、经济的正时链系统,兰博基尼在开发之初很注重仿真分析。分析的大致过程为,在设计之初用数学模型来计算动态力和运动特性,并依此来评估所选择的布局型式、检验零件的最大载荷是否超出许可范围、设定张紧器参数等。然后在发动机样机上对正时系统进行测试,采集链轮转速、张紧力等相关参数,将所采集的参数作为边界条件建立相关模型,在开发后期对正时链系统进行优化设计。

Pedersen S L 分别用两种方法建立了一个大型船用发动机的滚子链传动模型<sup>[19]</sup>,并用所建立的模型进行了仿真分析,两个模型的差别在于轮齿的形状,一个采用一段弧线样式,另一个为实际应用中所采用的多段弧线样式。从分析结果中可以发现在此类链传动中总是存在多边形效应,对分析结果进行对比可以发现,采用多段弧的链轮齿形的运动特性更好。

在应用方面,国外的研究机构开发了比较成熟的发动机系统设计软件,作为世界三大权威内燃机研发机构之一的 AVL 公司所开发的软件得到了发动机研究机构的广泛应用,研究人员可以利用其正时链模块对正时链系统进行初始设计,查看其动态性能。韩国 FunctionBay 公司所开发的第三代多体动力学软件 RecurDyn 也包括专业的正时系统模块,可以做正时系统的动力学特性分析。

正时链系统最早由国外开始采用,发展到现在,国外研究机构和生产厂家掌握了丰富的开发设计正时链系统的经验,但是在公开刊物上发表的有关正时系统设计方法的外文文献较少,而且国外所发表的文章大多数内容都是采用滚子链作为研究对象,然而随着人们对齿形链啮合机理的研究越来越深入,齿形链的设计及制造技术渐趋成熟,排除成本因素,为了追求更高的静音效果,在一些高端车型上往往采用齿形链进行传动。齿形链产品对原材料和加工工艺要求较高,目前,高质量的齿形链产品只有工业发达的少数几个国家可以生产,国内生产的同类型产品在使用寿命和可靠性方面与国外相比还存在差距,国内厂家目前急需打破国外的技术壁垒。国外的厂家中,美国的博格华纳公司掌握了较为完善的技术,为通用、丰田、福特、本田、法拉利等主机厂家提供系列发动机正时系统,博格华纳充分考虑到主机厂家的性能要求和用户的使用要求,将链条正时传动视为一个完整的系统<sup>[20]</sup>,从整体的角度进行产品的设计,并结合先进的制造技术,最终提供满足客户

要求的产品<sup>[20]</sup>,其链条产品占据全球份额的50%以上。

国内学者对正时链系统也做了大量相关研究,在理论研究、仿真分析、试验研究方面都做出了大量的研究成果。但是目前国内只有少数学者和相关企业、单位致力于正时链系统的开发研究,这是由于链条的工作特性对正时链系统的整体特性影响显著,所以大多数学者都致力于链传动方式的研究,并对其啮合机理进行分析,以提高其传动性能。

孟繁忠教授结合自己的教学和工程应用实例,总结了多年的科学研究经验和 技术积累,撰写了《齿形链啮合原理》一书,阐述了圆销式及滚销式齿形链的啮合原理及其设计方法,齿形链和链轮主要参数的设计方法等,以及新型齿形链的运动学与动力学特性、磨损特性及新型 Hy-Vo 齿形链的噪声分析<sup>[21]</sup>等。

吉林大学的冯增铭对正时链系统的设计分析进行了大量深入的研究,积累了一定的设计经验。特别是在 Hy-Vo 齿形链的理论分析、齿形链的啮合机制和磨损等方面取得了大量的研究成果:建立了 Hy-Vo 齿形链与渐开线链轮的刚柔耦合接触动力学模型;对啮合过程中产生的动态接触应力进行了分析和研究<sup>[22]</sup>;对一种新型的 Hy-Vo 链的噪声特性进行了试验研究<sup>[23]</sup>;分别对内外复合啮合<sup>[24]</sup>和内啮合<sup>[25]</sup>两种不同形式齿形链的啮合迹线进行了求解,并对其多边形效应进行了对比研究和试验研究。

山东大学的王勇、薛云娜等对渐开线齿廓滚子链链轮和齿形链链轮进行了修正设计和动力学特性研究<sup>[26,27]</sup>。研究表明,对于滚子链,链轮修正后可以有效减小啮入冲击及链条与传动件间的摩擦力,有助于降低噪声;对于齿形链,在使用修正渐开线齿形链轮时,能够降低传动过程中的多边形效应,提高齿形链机构的运动平稳性。还对齿形链进行了模态分析<sup>[28]</sup>,利用有限元法,对齿形链条的横向振动进行了模拟分析。

在发动机正时链系统方面,国内也有学者和研究机构对此进行研究,并提出了一种 V 型发动机正时链系统的设计方法<sup>[29]</sup>,进行了正时链条的选择计算及其静强度验算,还进行了相关试验研究。奇瑞汽车股份有限公司的尹子明等对双顶置布置形式的正时链传动系统的设计方法进行了研究<sup>[30]</sup>,并对某款发动机的正时链系统进行了试验测试。魏森若、王忠等对发动机正时链系统的可靠性试验方法进行了研究<sup>[31]</sup>,提出将发动机的可靠性试验方法应用到正时链可靠性试验上,通过对凸轮轴的扭矩波动、链条的张力波动以及张紧器的张力波动的研究,制订出了正时链可靠性试验的相关参数,并在正时链可靠性试验台上进行了验证试验,试验结果证实该试验方法可行。

目前,占国际市场份额比较大的正时链供应商主要有美国博格华纳摩斯链条系统、德国伊维氏和日本椿本等<sup>[32]</sup>。国内正时链条市场份 额大部分都被国外生产商所占有,国内对正时链系统进行生产制造的厂家有杭州东华链条集团有限公司、

湖州双狮链传动有限公司等,占据了国内市场不到10%的份额,为二汽神龙、重庆长安、天津夏利、北汽福田等主机厂进行配套生产。

全球有超过60%的汽车发动机采用正时链系统,国内也将有超过50%的汽车发动机采用正时链系统,因此对正时链条的需求量很大。国内对国外优质链条的国产化也做了一定的努力,博格华纳在宁波建有生产基地,从2007年起开始组装链条系统,已经为国内汽车市场供应了几百万套正时链条及正时系统,建立了高素质的技术团队,拥有丰富的正时链系统开发经验,未来将实现热处理、去毛刺、抛光等工序的深度国产化。德国伊维氏集团在上海的子公司——伊维氏传动系统(上海)有限公司,具有年产100万组正时链条的生产能力,其在中国的客户主要是整车生产厂商,包括东风、上汽、福田、长城、吉利、宝马等生产厂家。同时,该公司成立了一个研发机构,该机构以服务客户为中心,从技术水平上来说,在中国市场进行的研发工作并不落后于欧洲公司。

正时链传动系统及正时链条作为一种产品,也需要进行不断的技术革新,以达到较为理想的效果。正时链条需要满足汽车发动机准确的配气相位的要求,因此正时链条产品的开发需要与最新的汽车发动机技术相结合。在应用了汽油直喷技术和涡轮增压技术的发动机产品中,就需要设计厚链板的齿形链,在满足低噪声的前提下还需具有较高的疲劳强度。为满足燃油经济性的要求,需要减少正时链条的摩擦损耗,博格华纳开发出了一款新的6.35mm节距齿形链,背面结构采用了圆弧链板的结构形式,具有较低的摩擦系数,与传统的6.35mm节距的齿形链相比,能够使摩擦损耗减少10%~15%<sup>[33]</sup>。同时双面啮合的齿形链系统和两级的正时链系统也得到了应用。随着发动机技术的不断提升,新型发动机接连问世,汽车发动机的“个性化”要求趋势越来越明显。为满足小型化的要求,需开发新型的小节距正时链;为满足发动机超高转速的工况要求,需研究高速情况下的链条的啮合及受力情况,开发相应的正时系统。对于正时齿形链,根据啮合过程和定位方式的不同,可以将链片设计成不同的结构样式,每种结构样式都具有相应的优缺点,适应不同的工况要求。因此,依据啮合机理,开发新的结构形式或者交替排列不同结构的链片都可以改善传动性能,以适应更复杂的工况要求。

对于正时链传动系统,其整体性能的改善还与张紧器、导轨、润滑条件等有关,特别是张紧器的作用对正时链系统的性能影响重大。对张紧器进行匹配性设计、单独开发应用于某一款汽车发动机正时系统的张紧器、研发新型的多功能张紧器都有助于提升系统性能。导轨与正时链条相接触,其摩擦力造成摩擦损耗,为降低摩擦损耗,新型低摩擦系数、耐磨材料导轨不断出现。另外,导轨的结构对发动机的重量及导轨自身的可靠性都有影响,为达到最佳效果,需对导轨结构进行优化设计。

为促进正时链技术的进一步发展,在理论研究方面,将致力于正时链条的疲劳特性、高可靠度下磨损特性及噪声频谱实时分析等方面的研究,同时要完善正时系统的设计理论,研究并改进正时系统的设计方法。技术方面,要达到降低摩擦损失,提高寿命和耐磨损的目的,这对材料和制造技术要求较高,要研究并采用效果更好的热处理方式和强化措施,改善材料性能。检验和试验技术也将得到提高,检验将更加严格,通过台架试验不仅能够获得链条张力、噪声等,还将测量链条与导轨及链轮与链片间的摩擦。

## 1.2 正时链系统

### 1.2.1 正时链系统的作用及布置形式

发动机为汽车提供动力源,除电动汽车外,汽车发动机的工作原理是将燃料燃烧,将燃烧产生的热能转换为机械能。将燃烧产生的热能转换为机械能的装置称为热机,热机的种类和结构多种多样,被汽车发动机所广泛采用的是四冲程往复活塞式内燃机。

往复活塞式内燃机的基本结构如图 1.1 所示。其中,各个部分的作用如下:凸轮轴为控制气门运动;气门弹簧为保证气门与凸轮轴相接触;进气门为开启时向气

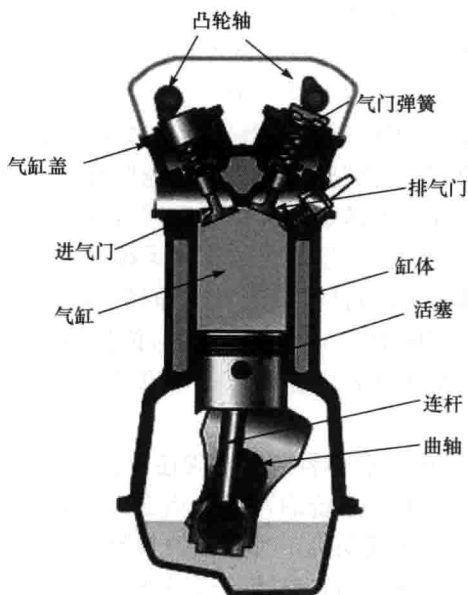


图 1.1 往复活塞式内燃机的基本结构图



缸内充气;排气门为开启时排出废气;气缸盖为密封气缸;气缸为燃烧室;活塞为改变燃烧室容积;连杆为连接活塞和曲轴;曲轴为输出动能。

气缸为内燃机的工作腔,活塞在气缸内做往复运动,连杆一端与活塞相连,另一端与曲轴相连,将活塞的直线往复运动转换为曲轴的旋转运动。其工作周期包括进气、压缩、做功、排气四个过程<sup>[34]</sup>,在一个周期内活塞往返运动两次。具体过程为:在进气阶段,进气门开启,排气门关闭,活塞由最高点运动到最低点,气缸容积增大,空气和汽油混合物进入气缸,并混合成为可燃混合气。进气过程结束后关闭进气门,开始对混合气进行压缩,此时曲轴带动活塞由最低点运动到最高点,气缸容积不断减小,压缩气缸内的混合气体,混合气体由于被压缩,其压力和温度会升高,有利于提高混合气的燃烧速度,并可提高发动机的有效热效率。火花塞在压缩过程结束的时候产生电火花,将气缸内的混合气体点燃,这时气缸内的温度和压力都迅速升高,这是因为燃烧的气体除了释放出大量的热量外,还伴随有体积的急剧膨胀,缸内的气体压力将作用于活塞上表面,通过连杆推动曲轴旋转做功。当活塞运动到最低位置时,排气过程开始,开启排气门,曲轴通过连杆带动活塞向上运动,燃烧后的剩余气体在自身剩余压力和活塞的作用力下经排气门排出气缸之外。当活塞运动到最高点时,关闭排气门,排气过程结束,下一个循环开始<sup>[35]</sup>。

实际应用中,为了增加进入气缸内的混合气体容量,同时减少进气过程所消耗的功,进气门在活塞到达最高点之前开启,在活塞到达最低点之后关闭;为了减少气缸内的残余废气容量,同时减少排气过程消耗的功,排气门在活塞到达最低点之前开启,在到达最高点之后关闭。因此,无论是进气还是排气过程,曲轴的转角均超过了 $180^{\circ}$ 。进气过程中进入气缸内的混合气的容量对发动机性能具有很大的影响,增加进气量可以提高发动机的有效功率和扭矩。为了提高进气量还需保证废气要排除干净,因为气缸的容积是一定的,残留的废气越多将会使进气量变少。可以说,换气过程对整台发动机的动力性能和经济性能意义重大<sup>[36]</sup>,因此,很多发动机应用的比较有成效的新技术都是跟提高进排气性能相关的,如涡轮增压技术、可变正时技术、可变进排气管道技术等。

进排气门是发动机配气机构的组成部分,发动机的配气机构主要由以下零件组成:气门、气门导管、气门弹簧、摇臂、摇臂轴、凸轮轴、凸轮轴正时链轮、正时链条等,不同型号的发动机的配气机构不尽相同,有些发动机上没有安装摇臂,靠凸轮轴直接驱动气门。

图 1.2 为汽车发动机进排气传动系统结构图,从设计的角度来讲,凸轮轴的布置位置并不固定,但是近阶段所设计出的新型发动机一般都采用凸轮轴上置的布置方式,从图 1.2 中可以看出,凸轮轴置于发动机缸盖内,位于发动机顶部,这种布置方式相比其他方式使用较少的传动链,传动零部件较少,结构相对简单。配气机

构的传动原理为:曲轴通过正时链条驱动凸轮轴,凸轮轴直接或者通过摇臂驱动气门开合,保证气缸正常的进气和排气。气门的运动规律对发动机的动力和运转特性有重要影响,要想使气门获得一个准确的运动规律,除了要求凸轮轴的轮廓线设计合理、制造误差小之外,还必须保证正时链传动系统运转平稳、工作可靠、传动误差较小。

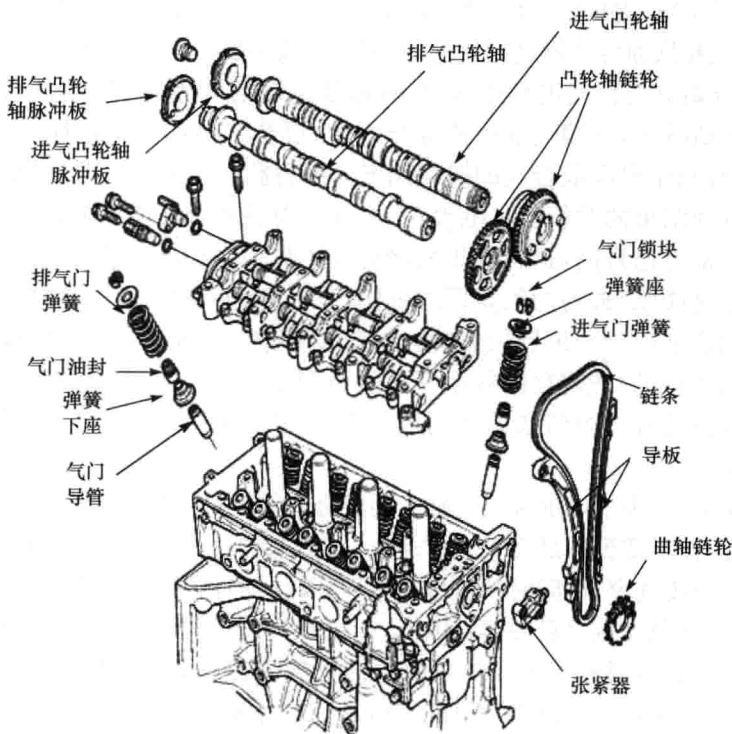


图 1.2 进排气传动系统结构图

### 1.2.2 正时链系统的组成部分

由于凸轮轴个数和位置及发动机气缸排列方式等的不同,正时链系统的布置形式也不同。尽管发动机正时系统的布局方式各种各样,有单顶置、双顶置、两层、V型、多轴等,如图 1.3~图 1.5 所示。但是无论采用哪种布局型式,发动机的正时链系统一般都由四部分组成:链轮、链条、导轨、张紧器。



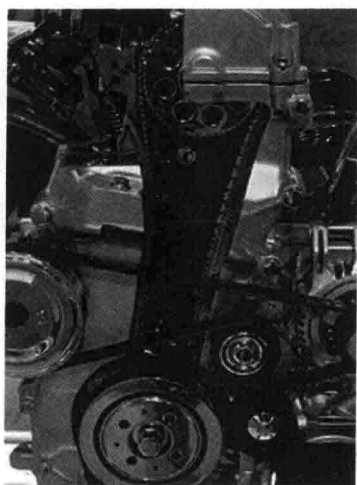


图 1.3 单顶置布局

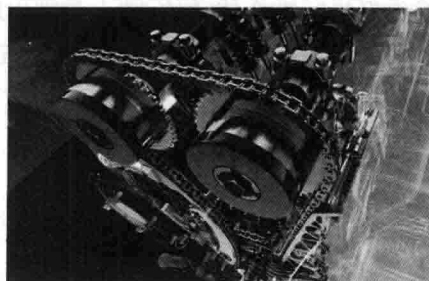


图 1.4 双顶置布局

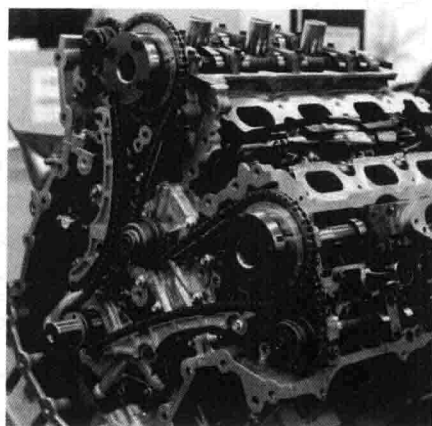


图 1.5 V型布局

### 1. 链轮

用于发动机正时系统的链轮,要满足高转速和低噪声的使用要求,因此对链轮齿形的要求较高。在链轮的设计方面,为减小链轮在工作中与链板的啮合冲击,一般将链轮齿形设计成渐开线样式,这样可以保证啮合的平顺性。在链轮的加工工艺方面,需要对链轮齿面进行热处理,以使轮齿具有较高的强度,并且不宜磨损。在整体结构上,链轮一般采用整体式,为减少链轮质量,多采用多孔结构。