

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书

装甲车辆动力系统 集成设计

赵长禄 张付军 韩恺 著
魏春源 主审

Armoured Vehicle Powertrain
System Integrated Design

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

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书

装甲车辆动力系统 集成设计

赵长禄 张付军 韩恺 著
魏春源 主审

Armoured Vehicle Powertrain
System Integrated Design

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

内 容 简 介

本书以装甲车辆动力系统为例,系统地阐述了动力系统集成设计的方法、流程和技术手段,分析论述了功率流集成设计与系统匹配、液流系统、燃烧空气系统、冷却空气系统等子系统的设计匹配方法,按照系统能量分析的方法,以装甲车辆的两个典型工况为应用案例,对动力系统能量流动态协同匹配进行了比较详细的阐述。

本书可供高等学校相关专业的研究生作为教学参考用书,也可为相关领域的科研人员提供借鉴。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

装甲车辆动力系统集成设计/赵长禄,张付军,韩恺著. —北京:北京理工大学出版社, 2016.7

ISBN 978-7-5682-2693-6

I. ①装… II. ①赵… ②张… ③韩… III. ①装甲车-动力系统-系统设计 IV. ①TJ811

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第175332号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地大天成印务有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/16.75

字 数/388千字

版 次/2016年7月第1版 2016年7月第1次印刷

定 价/58.00元

责任编辑/钟 博

文案编辑/杜春英

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

“系统方法”这一概念早已被人们广泛应用于工程领域，但是对于某些特定对象，如车辆动力系统，如何具体应用系统方法进行分析与设计尚缺乏全面深入的探讨。本书将车辆动力系统作为一个完整的系统，探讨系统方法在系统的分析与集成设计过程中的实现方式，从集成设计方法、手段以及针对军用车辆中的部分具体实现案例等角度试图提出系统解决方案。

车辆动力系统主要由发动机、传动装置、辅助系统构成。在传统设计中，人们往往是在车辆总体设计思想指导与约束下分别进行各系统的设计。然而，整个动力系统涵盖了驱动车辆行驶所需能量的产生、转换、传递、消耗、管理等功能，其功能的一体化特征导致其设计与运行参数客观存在着强耦合关系。因此，设计过程与产品实现方式的要求必然是采用整体的、系统的、集成的方法，进而实现系统的综合功能。动力系统集成设计既是系统方法在车辆动力系统设计中的实践，也是实现动力系统整体性能的主要手段。

本书由赵长禄教授主持编著。全书共8章。其中第1、2章由赵长禄教授撰写，第4、5章由张付军教授撰写，第3、6、7、8章由韩恺副教授撰写。全书由赵长禄教授拟定编写大纲和统稿。

在本书相关内容的研究过程中，得到了马彪教授、黄英教授、刘波澜副教授、王义春副教授，以及兵器201研究所的杨占华研究员等的大力支持和帮助，在此表示感谢！

陆宏泽博士、高思远博士、杨守平博士、剧冬梅硕士、闫晓雯硕士、汪洋硕士、石扬硕士、朱炎锋硕士、袁豪杰硕士、王康硕士等研究生参与了本书部分章节相关内容的研究，在此表示感谢！

感谢汪长民教授阅读了本书书稿的部分章节，并提出了宝贵意见。

魏春源教授在审阅本书书稿时提出了宝贵意见，对此致以谢忱！

本书是在大量的教学科研活动基础上总结形成的，可以作为本专业研究生的教学参考书及选用教材，也可以为该领域工程技术人员提供参考。

由于时间仓促，加之实用案例有限，书中在所提出的观点、方法以及书写规范等方面存在不足之处，恳请专家、学者提出宝贵意见，以利改进。

1 总论	1
1.1 动力系统设计技术的发展	1
1.2 动力系统集成设计技术特点	7
2 动力系统集成设计方法	10
2.1 动力系统分析方法	10
2.1.1 动力系统分析原则	10
2.1.2 “多维”结构系统分析方法	11
2.1.3 “正向”和“逆向”参数匹配方法	13
2.1.4 系统能量匹配参数耦合分析方法	16
2.1.5 层次化和模块化建模方法	18
2.2 动力系统集成设计原则与流程	20
2.2.1 方案设计	21
2.2.2 详细设计	29
2.2.3 关键部件性能评估	37
2.2.4 性能试验验证	47
2.3 动力系统集成设计管理与动态集成仿真	47
2.3.1 动力系统集成设计管理	47
2.3.2 动力系统动态集成仿真	50
3 动力系统集成设计技术	52
3.1 动力系统集成设计环境	52
3.1.1 动力系统集成设计环境总体方案	52
3.1.2 动力系统集成设计环境功能分析	53
3.1.3 动力系统集成设计环境的实现	55
3.1.4 设计流程功能模块	56
3.1.5 通用设计平台功能模块	57
3.2 动力系统集成设计数据库	59
3.2.1 数据信息分类	59
3.2.2 设计数据的组织管理机制	60
3.2.3 知识数据的组织管理机制	62
3.2.4 设计功能模型	64
3.2.5 数据信息动态关联机制及实现	65
3.3 动力系统多学科动态集成仿真系统	67
3.3.1 动力系统动态集成仿真建模方法	67
3.3.2 协同仿真数据传递机制和接口技术	70
3.3.3 协同仿真时间同步推进机制	74

4	功率流集成设计与系统匹配	82
4.1	功率流集成设计的基本流程	82
4.2	功率流参数概念设计	82
4.2.1	发动机外特性	82
4.2.2	传动装置主要参数	85
4.2.3	传动装置传动比分配	88
4.2.4	液力变矩器	90
4.2.5	功率流传递效率	92
4.3	功率流概念设计模型体系	94
4.3.1	发动机模型	94
4.3.2	传动装置模型	95
4.3.3	离合器模型	97
4.3.4	液力变矩器模型	97
4.3.5	车辆动力学模型	100
4.3.6	控制模型	103
4.4	功率流稳态匹配分析	105
4.4.1	直驶牵引特性分析	105
4.4.2	动力性参数影响规律研究	106
4.4.3	经济性参数影响规律研究	109
4.5	功率流动态模型	111
4.5.1	涡轮增压柴油机动态模型	111
4.5.2	传动装置和整车模型	118
4.6	功率流动态模型校核	122
4.6.1	转矩对比分析	122
4.6.2	燃油消耗率对比分析	123
4.7	加速工况下功率流动态分析	124
4.7.1	典型参数的动态变化历程	125
4.7.2	影响车辆动态特性的参数分析	126
4.7.3	车辆动态特性改进方法研究	132
4.8	循环工况下功率流动态分析	134
4.8.1	典型参数的动态变化历程	134
4.8.2	影响车辆动态特性的参数分析	136
4.8.3	车辆动态特性改进方法研究	141
5	液流系统集成设计与系统匹配	145
5.1	液流系统集成设计的基本流程	145
5.2	液流系统方案概念设计	147
5.2.1	液流系统总体方案	147
5.2.2	高低温双循环两级中冷方案分析	158
5.3	液流系统关键部件设计	168

5.3.1	散热器设计	168
5.3.2	水泵设计	172
5.4	液流系统详细设计	173
5.4.1	冷却水系统阻力特性试验	173
5.4.2	冷却水系统阻力匹配分析	174
6	燃烧空气系统集成设计与系统匹配	177
6.1	燃烧空气系统集成设计的基本流程	177
6.2	燃烧空气系统方案设计	179
6.2.1	燃烧空气系统的总体方案	179
6.2.2	燃烧空气系统阻力分析	179
6.3	燃烧空气系统关键部件设计	186
6.3.1	空气滤清器的研究方法	186
6.3.2	空气滤清器的结构设计方法	188
6.3.3	空气滤清器主要结构参数的影响分析	191
6.3.4	单、双级旋流管性能对比分析	196
6.4	燃烧空气系统详细设计	201
7	冷却空气系统集成设计与系统匹配	202
7.1	冷却空气系统集成设计的基本流程	202
7.2	冷却空气系统方案概念设计	204
7.2.1	冷却空气系统的方案设计	204
7.2.2	冷却空气系统方案仿真模型	205
7.2.3	冷却空气系统阻力分析	208
7.3	冷却空气系统关键部件设计	213
7.3.1	风扇选型设计的流程	214
7.3.2	风扇选型设计	215
7.4	冷却空气系统详细设计	218
7.4.1	冷却空气系统阻力的测试方法	218
7.4.2	冷却空气系统阻力测试结果	221
8	动力系统能量流动态协同匹配分析	223
8.1	动力系统加速过程能量流动态匹配分析	223
8.1.1	动力系统仿真模型	223
8.1.2	动力系统协同仿真系统	231
8.1.3	动力系统协同仿真分析	233
8.2	动力系统循环过程能量流动态匹配分析	238
8.2.1	动力系统仿真模型	238
8.2.2	典型循环工况构建方法	243
8.2.3	典型循环工况下的能量利用研究	251
8.2.4	典型循环工况下能量转换机制研究	253

1.1 动力系统设计技术的发展

车辆动力系统是驱动车辆行驶所需能量产生、转换、传递、消耗与管理的各部件及子系统的有机综合体。其功能主要是完成从燃料燃烧释放的化学能向机械能的高效转换，实现理想的驱动特性，满足车辆对最高车速、最大爬坡度和最短加速时间等的驱动要求。同时，动力系统还应具有良好的经济性、结构紧凑性、可靠性、可操作性和可维修性等。

车辆动力系统设计技术经历了从经验设计到预测设计，从按各系统分离设计到系统集成设计的发展历程。

以装甲车辆动力系统为例，其传统的设计方法是將发动机、传动装置、辅助系统和车辆总体等分别作为独立部分，各自进行研究。研究人员往往致力于提高各部分的性能，而对整车性能和各系统之间的相互影响考虑不周，甚至出现将各部分之间的连接简单地作为“机械部件汇总”的情况。这种“分散、堆积、拼凑”的研究方法，导致了片面追求某一局部先进指标而忽略总体性能问题，或在系统组合时出现性能匹配问题等。这种局部的“高水平提升”既无法实现“系统大于各部件之和”的量的优化，也无法实现“结构集成与功能集成有机统一”的质的转化，原因在于任何一个先进部件（或技术）的采用能否提高整车总体的机动性还存在一个合理匹配问题。

传统动力系统设计方法的技术特点如图 1.1 所示。

首先，根据整车设计要求和指标需求对发动机的标定功率进行选定，一般认为发动机标定功率主要取决于装甲车辆的战斗全重和最大速度，因此，既可按照公式（1.1）计算发动机的标定功率，并由发动机设计者依据设计经验计算发动机外特性，也可以通过已有发动机稳态工况的外特性曲线进行对比分析得到。同时，应明确发动机的主要结构形式（如气缸排列形式等）和结构参数（如缸径、冲程等）。

$$P_e = \frac{f_0 G g v_{\max}}{3.6\eta} \quad (1.1)$$

式中 P_c ——发动机标定功率, kW;
 G ——战斗全重, t;
 g ——重力加速度, m/s^2 ;
 v_{max} ——车辆最大速度, km/h;
 f_0 ——车辆在规定路面上行驶时的地面阻力系数;
 η ——车辆总效率。

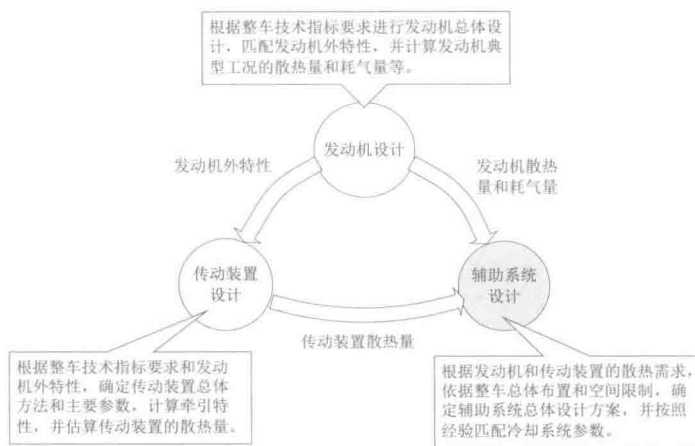


图 1.1 传统动力系统设计方法的技术特点

传动装置设计者根据发动机所提供的动力性能（发动机外特性曲线）和车辆行驶对牵引力和速度变化的要求，进行传动装置的总体方案设计以及传动比的确定和分析，包括发动机布置形式和传动类型选择、排挡划分、传动比确定、牵引特性计算和总传动比分配等。

发动机和传动装置的主要参数确定后，进行车辆的直线行驶和转向牵引特性计算和分析，验算发动机与传动装置的匹配是否满足整车机动性设计指标的要求。这种计算很难全面考虑不同的外界环境温度与压力、运行工况、行驶阻力和驾驶操作模式等因素对动力系统整体性能匹配的综合影响。

在发动机和传动装置等主要部件的类型、总体结构方案初步确定后，根据车辆用途、乘员人数等进行动力系统的总体布置，其目的就是要在动力舱的空间尺寸和位置等方面对动力系统和部件进行约束。

在进行辅助系统设计（主要讨论对动力系统总体布置和设计有较大影响的冷却系统设计）时，一般采用统计资料得出的经验公式或参照同系列发动机的试验数据对比等方法估算发动机的散热量，根据不同传动类型的效率估算传动装置的散热量，进而匹配冷却系统主要部件的设计参数，并根据整车动力舱的尺寸约束完成辅助系统总体设计方案。由于装甲车辆工作环境的特殊性和动力舱容积的局限性等因素，通过经验公式或类比计算得出的散热量与实际情况差别较大。装甲车辆动力舱冷却风道的阻力计算由于缺乏精确的计算方法，很难保证参数选取的精度，而此参数又是影响冷却风量的重要参数之一，冷却风量是影响冷却系统性能最重要的参数之一，同时也是最难控制与准确计算的参数，因此很难保证辅助系统的设计能够满足各种环境和工况下的需求。

在结构布局上, 20 世纪 50 年代以前, 车辆动力系统多采用“顺其自然”的布置形式, 即根据部件的外形尺寸, 按照动力的传递路线和沿气体、液体的自然流向来布置各部件, 部件之间的布置比较松散, 动力舱空间较大。根据动力系统选型进行匹配, 能够实现有限的系统参数优化综合性能。对于特种车辆, 尤其是坦克装甲车辆动力系统, 均采用这种设计方式。如苏联 20 世纪 40 年代的 T-34 坦克, 发动机为纵向布置 (发动机曲轴中心线与车体中心线平行)。

从 20 世纪 60 年代开始, 各国的坦克开始采用“适应给定空间”的动力舱布置方法, 即根据车辆总体设计的性能和布置要求, 在限定的动力舱尺寸下对各部件进行精心设计和布置, 以期获得布置紧凑的动力舱。苏联 T-54 坦克采用发动机横置的动力舱可以看作是“从重视性能的‘顺其自然’的布置到兼顾性能和体积, 以体积为重”的一个重要标志。各国坦克动力舱虽然改变了“顺其自然”的设计方法, 但推进系统中的发动机、传动装置以及辅助系统等仍分别由不同的单位研制。各研制部门在研制过程中, 较多地考虑各自研制部分的性能, 较少考虑整个推进系统的综合性能, 以至于动力系统的驱动效率、燃油消耗率等性能达不到理想状态, 即单个子系统也许是最优的, 但组合起来的系统不一定是最优的, 各子系统达不到最佳的匹配性能。在动力舱布置上强调局部而忽视全局, 在系统组合时不断地出现问题, 不但引起军方对动力舱总体布局和推进系统输出性能的异议, 而且给可维修性和使用保养带来了较多问题。

装甲车辆动力系统的发展趋势如图 1.2 所示。

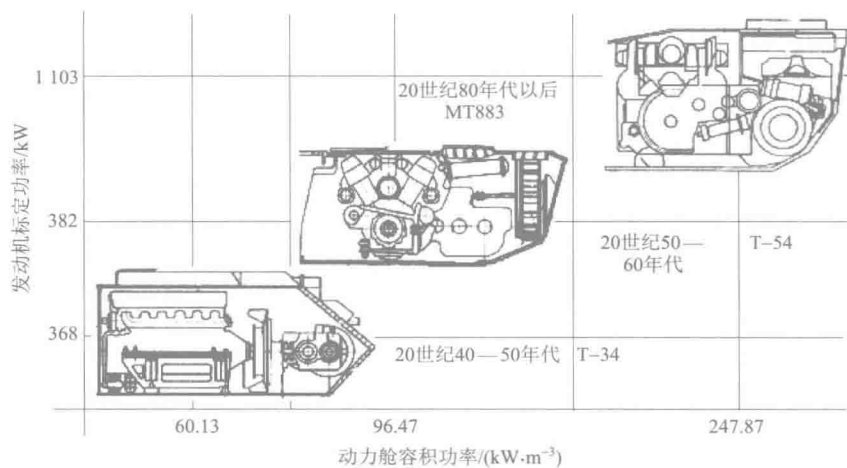


图 1.2 装甲车辆动力系统的发展趋势

20 世纪 70 年代初期, 由于对车辆性能要求的日益提高, 国外逐步开始综合考虑发动机和变速箱之间的相互影响, 并在此基础上评价动力系统设计方案。20 世纪 80 年代初期, 国外在发展三代军用车辆时开始采用“先进集成设计”的动力舱布置方法, 淡化发动机和传动装置的边界, 形成“推进系统”的新概念, 有效地提高了整个动力系统的功率, 减小了动力系统的体积和质量, 从而大大提高了整车性能。“先进集成设计”的核心思想在于“以动力舱总体积最优为目标, 实现发动机、传动装置和辅助系统等的高度集成和精细匹配”。1982 年美国开始实施的先进整体式推进系统 (AIPS) 计划产生了两种充分体现“先进集成设计”思想的动力系统技术方案: 一种是由通用电气公司以燃气轮机为动力设计的整体式推进系统 LV100 (图 1.3), 另一种是由康明斯公司以 XAV-28 柴油机为动力设计的



XAP-1000 整体式推进系统（图 1.4）。LV100 推进系统中的燃气轮机是为美国陆军坦克机动车先进整体式推进系统专门设计的燃气轮机，能满足陆军的所有要求，其执行任务时的油耗比 M1A1 坦克的 AGT-1500 燃气轮机减少 40%，怠速时油耗比 AGT-1500 减少 50% 以上。LV100 推进系统所占空间为长 1 575 mm，宽 1 900 mm，高 1 100 mm。据通用电气公司介绍，LV100 推进系统安装到坦克上，连同一天战斗日需要的 1 046 L 燃料在内，总体积为 4.81 m³，比 M1A1 坦克减少 42%，总质量在 5.5 t 以下。LV100 推进系统在全寿命周期费用方面，与 M1A1 坦克的动力系统相比，其工作时间与维修时间之比已达到 6 : 1。XAP-1000 推进系统包括与发动机有关的全部部件、传动装置、冷却系统、空气滤清器、电能及液压能产生装置、进排气管路、诊断/预测设备（红外、噪声、烟雾）、蓄电池、燃料及“三防”设备等。该系统采用的 XAV-28 发动机在 2 600 r/min 时的标定功率为 1 080 kW，足以满足先进的整体式推进系统中主动轮功率输出达 782 kW 的使用要求和其他负载要求。

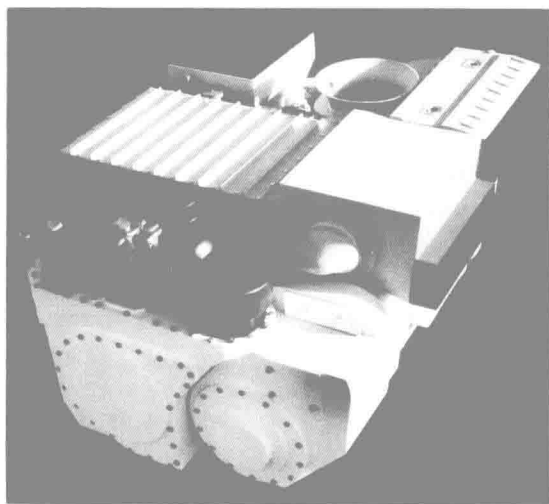


图 1.3 LV100 整体式推进系统模型

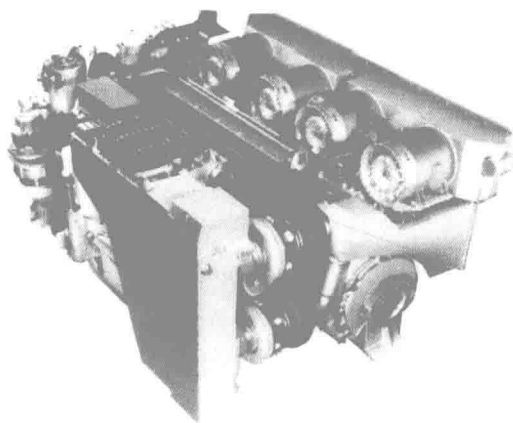


图 1.4 XAP-1000 整体式推进系统模型

图 1.5 所示为美国的 Diesel AIPS 与 M1A1 主战坦克上的 Abrams 体积对比分析。这两个“推进系统”应用在同样吨位的车辆上，具有近似的主动轮输出功率以及最大行驶里程和车速等性能，由此可以看出，AIPS 从设计开始就采用先进集成设计的思想，结构和性能统一考虑，使其无效空间相比 Abrams 急剧减小；AIPS 采用了一个紧凑、高效的空气滤清器，使空气供给系统所占体积大大缩小；通过冷却系统的合理设计，降低了辅助部件的功耗，特别是冷却风扇的功耗，极大地改善了发动机的燃油经济性，使燃油箱的体积大大减小。以上三个方面减小的体积为 3.1986 m^3 ，占体积减小量的 93.2%。此外，从图 1.5 中还可以看出，AIPS 的发动机所占体积比 Abrams 所占体积还要大一些。由此可知，通过对发动机、传动系统以及辅助系统等集成设计和综合匹配，可使整个推进系统的外形、结构和性能都达到最优，即使在某种程度上降低一点发动机的功率密度，也可以极大地提高整个“推进系统”的体积功率。

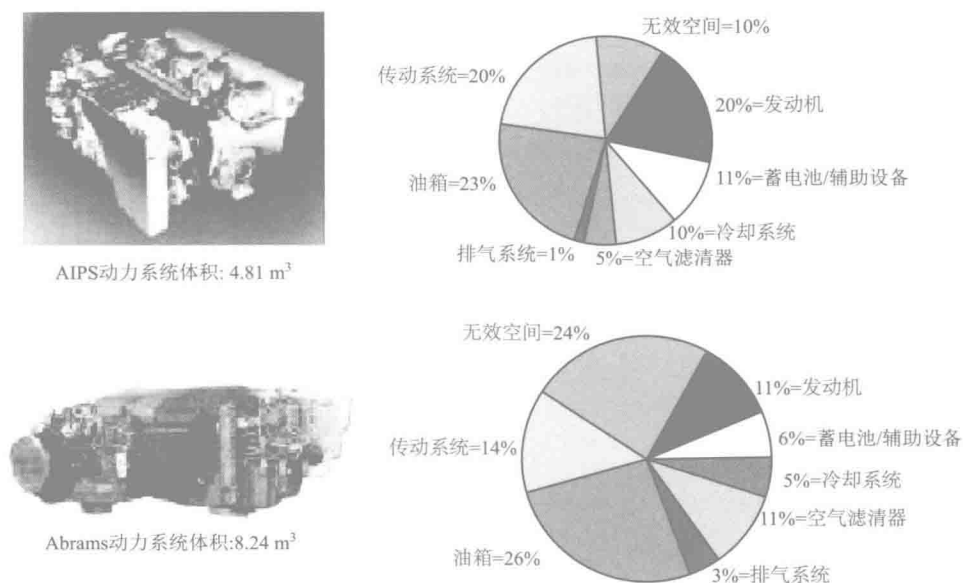


图 1.5 AIPS 与 Abrams 两推进系统的体积对比分析

以 MTU 公司的 MT883 ka-500 柴油机和伦克公司的 HSWL295TM 变速箱以及冷却系统和空滤系统等主要部件组成的欧洲动力系统是先进整体式推进系统的另一个典范（图 1.6）。该欧洲动力系统体积仅有 4.3 m^3 ，仅为 M1 坦克动力系统的 71%，用在 M1 坦克上可空出 0.95 m 的车体长度（图 1.7），使 M1 坦克加速更快，节油约 15%。安装欧洲动力系统的挑战者 2E 坦克动力舱空间节约了 1.7 m^3 的空间。欧洲动力系统的动力舱容积功率达到 $247.87\text{ kW}/\text{m}^3$ ，较“豹”2 坦克动力舱容积功率提高了 84.77%。目前，欧洲动力系统已经应用于法国出口阿联酋的“勒克莱尔”主战坦克、法国“勒克莱尔”装甲抢救车、英国“挑战者”2E 主战坦克、美国 M1A2 “艾布拉姆斯”主战坦克出口型等。典型集成式动力传动装置性能对比如表 1.1 所示。

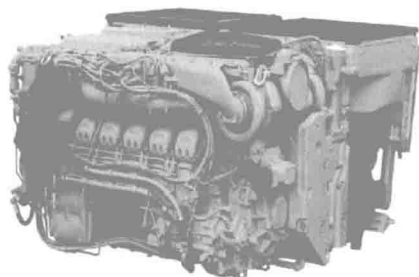


图 1.6 欧洲动力系统

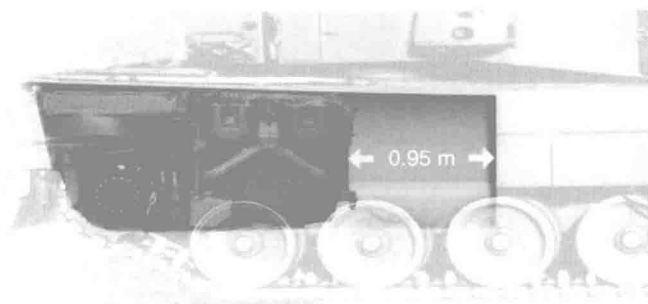


图 1.7 安装在 M1 主战坦克上的欧洲动力系统

表 1.1 典型集成式动力传动装置性能对比

系统名称	欧洲动力系统	改进型欧洲动力系统	LV100 AIPS-T	XAP-1000 AIPS-D	动力传动装置	动力传动装置
国家	德国	德国	美国	美国	美国	英国
开发商	MTU 公司	MTU 公司	通用电气公司	康明斯公司	卡特匹勒公司	珀金斯公司
发动机						
名称	MT 883 Ka-500 增压中冷柴油机	MT 883 Ka-501 增压中冷柴油机 (共轨喷射系统)	GP-1A 回热燃气轮机	XAV-28 油冷涡轮增压中冷低散热发动机 (增压比为 3.8)	C9 柴油机	C9 柴油机
(额定功率/转速) / [kW/(r·min ⁻¹)]	1 103/2 700	1 200/3 000	1 103/-	1 066/2 600	294/2 300	294/2 300
外形尺寸[(长/mm)×(宽/mm)×(高/mm)]	1 488×972×742	1 488×972×742	—	1 750×778×947	1 464.9×1 086.2×965.9	1 464.9×1 086.2×965.9
质量/kg (干重)	1 800	1 800	—	1 895	748	748
气缸数/个	12	12	—	12	6 直列	6 直列
缸径/行程	144/140	144/140	—	150/130	115/149	115/149
总排量/L	27.4	27.4	—	27.6	9.3	9.3
燃油消耗率/(g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	220	215	—	212	—	—
升功率/(kW·L ⁻¹)	40.26	43.80	—	38.68	—	—
比功率/(kW·kg ⁻¹)	0.67	0.74	—	0.56	—	—
单位体积功率/(kW·m ⁻³)	890	970	—	827	—	—
压缩比	14 : 1	17 : 1	—	15 : 1	18 : 1	18 : 1
传动装置						

续表

系统名称	欧洲动力系统	改进型欧洲动力系统	LV100 AIPS-T	XAP-1000 AIPS-D	动力传动装置	动力传动装置
名称	HSWL 295TM	HSWL 295TM	Allison 公司 全自动 变速箱	Allison 公司 全自动 变速箱	CX-28 行星式 自动变速箱	德国 HP7 Ecomat 全自动传动系统
功率/kW	1 103	1 103	—	—	140~313	—
最大转矩/(N·m)	—	—	—	—	1 831	—
转速/(r·min ⁻¹)	3 000	3 000	—	—	—	—
质量/kg	2 500	2 500	—	—	—	—
前进挡数/倒挡数	5/3	5/3	—	—	6/1	—
外形尺寸[(长/mm)× (宽/mm)×(高/mm)]	840× 1 600×750	840× 1 600×750	—	—	—	—
动力舱容积功率/ (kW·m ⁻³)	247.87	—	226.06	224.74	—	—
动力传动装置尺寸 [(长/mm)×(宽/mm)× (高/mm)]	2 100× 2 060×1 183	—	—	—	—	—
动力传动装置体积/ m ³	4.30	—	4.81	4.39	—	—
动力传动装置质量/kg	5 460	—	—	—	—	—
烟度(全负荷)	最大 1.2	最大 0.3	—	—	—	—
散热(至冷却)/kW	最大 620	最大 640	—	—	—	—
主动轮功率/kW	—	—	—	551	—	—
应用	重型坦克	重型坦克	重型坦克	重型坦克	轮式装甲车和 战术卡车	15~25 t 的轮式 陆上平台

对上述国外两个典型实例的分析可以看出,系统设计思想贯穿了动力系统的整个设计过程,动力系统采用集成化设计,不仅要求最先进的系统和部件技术,而且更着重强调系统的总体布置、结构和性能的系统优化匹配等,使得动力系统的整体性能有较大的突破。

1.2 动力系统集成设计技术特点

动力系统集成设计技术是将发动机、传动装置与辅助系统作为一个整体,研究它们之间的最优匹配问题和总体集成设计,以系统的设计方法、先进的设计手段和规范的设计流程为基础,采用集成化的设计平台和技术体系,重点关注系统功率流、热流和物质流协调一致的参数匹配,进而实现最优的综合性能。

与传统设计方法相比,在系统设计思想指导下的动力系统集成设计具有以下显著特点:

(1) 无论是结构集成还是性能匹配,都把动力系统看作一个有机的整体,全系统或子系统的配置与布局总是以系统设计目标为导向的、不追求单项指标的“高水平提升”,更加

重视动力系统整体的参数匹配。这就需要从传统的基于部件的性能评价和参数匹配,转向基于整车的性能评价和参数匹配。

(2) 无论是对单个子系统还是对部件的改进设计或创新设计,都非常重视这些子系统或部件与其他子系统或部件之间的匹配,避免因匹配不合理造成的先进子系统或部件的效率低下,整体性能不升反降。这就需要从传统的依据静态的性能评价和部件设计,转向依据动态性能的评价和部件设计。

(3) 将动力系统纳入整车的使用环境中进行综合匹配和优化,考虑环境因素对动力系统的影响,增强动力系统对各种环境和工况的适应性,以提高整个系统的效率。这就需要从传统的基于点工况的性能匹配和优化,转向基于线工况和面工况的性能匹配和优化。

(4) 动力系统集成设计技术将动力系统、传动装置、辅助装置和控制装置等作为一个整体进行设计,优化其空间布置和性能匹配,缩小系统的整体体积,改善其整体工作性能,避免因分散设计而带来的不必要的空间浪费,并在满足防护要求的前提下,减小平台质量,缩减平台的外形尺寸。

因此,集成设计技术体系构建有别于传统设计方法的系统组成分类。本书将车辆动力系统划分为发动机、传动装置、液流系统、冷却空气系统、燃烧空气系统、控制系统6个子系统。其中,液流系统是用于供给动力系统冷却、润滑所需的冷却液和机油等液体,并保证液体在动力系统内正常工作的一个系统,主要包括水泵、机油泵、各种热交换器、膨胀水箱、机油箱及相应的管路和其他组件等;燃烧空气系统是用于供给发动机缸内燃烧所需纯净空气,以及燃烧后保证废气顺利排出的一个系统,但不包括发动机本体的进排气道和气门等部件,主要包括空气滤清器(含粗滤器、精滤器、安全滤芯、集尘装置、阻力指示器(装配件)、排尘装置等)、增压器、中冷器、进排气管及连接管道等部件;冷却空气系统是用于供给动力系统冷却所需的空气,以及冷却后保证空气顺利排出的一个系统,主要包括进排气格栅、散热器、风扇、冷却风道等部件。

动力系统集成设计是将6个子系统作为一个整体进行系统化的仿真、分析和优化,通过分析动力系统系统层面的参数和部件特性对动力系统性能的影响规律以及动力系统功率流、热流、动力学和结构集成设计之间的相互耦合关系,对比不同系统方案并针对特定系统方案进行参数综合匹配优化,实现动力系统良好的动力性、经济性等综合指标。动力系统集成设计不片面强调某个子系统和部件性能最优化,而更加关注在系统层面各子系统性能是否能够充分发挥出来,研究子系统和关键部件的性能以及彼此参数匹配关系和技术方案对整个动力系统的影响,从而设计出理想的动力系统设计方案。

车辆动力系统的能量传递、转换过程是一个涉及多学科、多领域的复杂过程。在这一过程中,各种影响能量传递、转换的因素之间相互耦合、相互影响。因此,动力系统集成设计还要探讨基于能量的多学科匹配和参数耦合分析等新的系统分析方法。动力系统能量匹配参数耦合分析方法的思想重点在于强调各学科间的相互影响,突出能够体现各学科之间关键耦合点的参数关系分析和耦合模型构建,研究耦合关系对动力系统性能指标的影响,从动力系统能量传递和耦合的系统学角度使各子系统参数得到综合匹配,实现动力系统基于能量的多学科参数综合匹配和优化,实现动力系统高体积功率和低质量功率的设计指标。

随着计算机技术的不断发展,各种专业仿真工具不断涌现,软件接口技术和数据交互技

术的发展使集成设计成为可能。上述各种技术发展的应用,为研究动力系统的系统匹配和系统设计,实现动力系统的集成设计提供了必要的设计手段支持。这些系统性、多学科、多物理现象的集成匹配仿真平台,以及各种零部件和子系统分析手段的应用,极大地缩短了动力系统开发的时间,是车辆动力系统方案对比、系统匹配、系统优化和部件参数设计的关键技术。

综合以上分析,本书将从系统方法角度出发,以军用车辆中的部分具体方案作为案例,重点探讨系统方法在系统的分析和集成设计过程中的实现方法、流程和技术手段。并能够结合科研工作中的一些具体案例深入探讨动力系统不同维度模型体系的构建方法和系统协同匹配设计方法,论述液流系统、燃烧空气系统、冷却空气系统等子系统的集成设计和系统匹配方法。探讨上述内容时,所举案例可能会在实际工程应用中有所变化,也可能有多种设计方案。而且本书不追求讨论方案为最佳方案,不详细论述部件层面的具体设计和工程实现等。

参考文献

- [1] 张均享. 高性能运载车辆动力系统 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.
- [2] 任继文, 张然治, 郭海滨. 整体推进系统——坦克动力发展趋势 [J]. 车用发动机, 2001, 8.
- [3] 张永锋, 骆清国. 装甲车辆动力传动系统整体性工程初探 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2005, 6.
- [4] 林德群, 毕小平, 陈策. 用优化理论进行军用车辆动力传动系统一体化设计探讨 [J]. 车用发动机, 2000, 4.
- [5] Philip W Lett. 坦克发动机设计的未来趋势 [J]. 国外坦克, 1989 (12): 47-52.
- [6] 周贻荃. 美国研制第四代主战坦克动力装置的 AIPS 规划 [J]. 车用发动机, 1986 (1): 8-13.
- [7] Ogorkiewicz R M. MTU 坦克发动机——新的发展成果 [J]. 国外坦克, 1989 (3): 1-5.
- [8] Ogorkiewicz R M. MTU Engine Selected for FCS [J]. Military Technology, 2005 (10): 36.
- [9] Reinhold Vogtmann. Compact Power Unit for US Army MTU Engine Chosen for Future Combat System [OL]. MTU Report, 2005 (2): 63264. www.mtu.online.com.
- [10] Charles Raffa, Ernest Schwarz. Combat Vehicle Engine Selection Methodology Based on Vehicle Integration Considerations [C]. SAE paper, 2005-01-1545, 2005.

动力系统集成设计方法

动力系统集成设计方法区别于传统的将动力系统看作由若干个部件组成、注重孤立部件研究的方法，而是将动力系统看作一个有机的整体，按照动力系统能量转换和耦合的学科实质，从功率流、热流、物质流和动力学角度，建立涉及多学科的系统化分析模型和学科间的耦合模型，对各系统的参数和系统间的参数进行综合匹配和优化，通过动力系统能量的高效转换、传递和耦合过程，保证动力系统热功转换、能量传递、驱动特性调节等基本功能的实现。

2.1 动力系统分析方法

从系统工程学的角度来讲，系统的各个部分组成一个整体之后就会产生整体具有而原来各个部分所不具备的某些性质、功能、要素等，系统的这种属性称为系统整体的涌现性。动力系统分析的首要任务就是把握系统的整体涌现性，从系统层面出发，对组成动力系统的子系统或部件进行建模、分析和结构集成，最终目标是满足动力系统作为一个整体的系统性能指标要求。

2.1.1 动力系统分析原则

由于动力系统具有整体性、动态性、多目标性和环境依赖性，以及构成系统之间、系统与环境之间、目标与目标之间均呈现出复杂的动态、消长等关系，在进行车辆动力系统设计时，并非把各子系统、部件或零件做得最好然后相加就能得到整体最优的结果。相反，根据动力系统整体功能要求，必须首先把动力、传动和辅助系统作为一个整体进行集成设计，这种集成设计高于各分系统的顶层设计。集成设计不求局部最先进，而求整体优化，满足整体功能要求，并为各分系统和零部件提出各种指标的要求，各分系统和零部件都必须符合集成设计确定的性能、技术、质量、成本等指标，达不到或盲目追求高指标都是不可行的。

动力系统集成设计研究的重点是以动力系统所在动力舱内部封闭系统、动力舱内外开放系统为主要对象，涉及动力系统本身各分系统之间、各学科之间、各部件之间，以及动力系