

# 坦克

## 装甲车辆设计

动力系统卷

冯益柏 主编



化学工业出版社

# 坦克

## 装甲车辆设计

### 动力系统卷

冯益柏 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书较为详细地介绍了坦克发动机总体技术、坦克发动机总体设计理论基础、坦克柴油发动机的设计技术、坦克燃气轮机设计技术、动力辅助系统与辅机设计技术、新型发动机探索研究、坦克动力舱设计技术和坦克整体推进系统设计技术等内容。与此同时还扼要介绍了坦克动力系统的基础知识，是本行业研究、设计、制造、管理、应用及教学人员必读必备之书，也可作为培训教材使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

坦克装甲车辆设计——动力系统卷/冯益柏主编. —  
北京: 化学工业出版社, 2015. 1  
ISBN 978-7-122-22163-6

I. ①坦… II. ①冯… III. ①坦克-动力系统-系统设计 IV. ①TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 249843 号

---

责任编辑: 仇志刚  
责任校对: 王 静

装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司  
装 订: 三河市胜利装订厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 30 $\frac{3}{4}$  字数 846 千字 2015 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 180.00 元

版权所有 违者必究

# 《坦克装甲车辆设计》编写人员名单

编委会主任：王玉林 冯益柏

主 编：冯益柏

副 主 编：白晓光 李春明

编 委（按姓氏笔画排序）

马英新	王 宇	王 晶	王少军	王玉林	王曙明
石 磊	叶 明	白晓光	冯益柏	宁功韬	吕小岩
刘 勇	苏 波	杜 宏	李 萍	李 毅	李春明
李福田	杨玉淳	张文超	张玉龙	张立群	张存莉
张树勇	张振文	卓 峰	周广明	周黎明	孟 红
赵银虎	官 平	徐劲松	凌 云	唐 进	黄 健
曹 宁	曹 辉	曹福辉	窦铁炎	魏道凯	

# 序

第二次世界大战确定了坦克“陆战之王”的主体地位。自1916年诞生以来至今，坦克已经走过了百年的辉煌发展历程，在战场上显示出强大的作战能力，成为现代陆军的主要“杀手锏”，一直在各国陆军装备中占据极其显赫的重要地位，故而受到了各国的高度重视，使坦克一跃成为一个国家国防力量和综合国力的重要象征。

20世纪90年代以后，各国主战坦克的发展速度虽然放缓，但都在致力于高新技术的应用和新型坦克车辆的研制工作。以美国为首的西方坦克大国在传统坦克设计理念上已经发生了创造性的变革。多功能、智能化、轻型化、网络化赋予了坦克装甲车辆新的内涵和时代技术特征，进一步催生了以坦克为标志的“装甲时代”向以网络化武器平台为标志的“精确打击信息化时代”转型。目前世界上第四代坦克装甲车辆仍在探索之中，它的面世和装备部队仍需相当长的一段时间，但近几年高技术局部战争的经验表明，保持并发展一定数量、技术先进的主战坦克是各国军队长远核心能力建设的必然需要。因此，各国仍积极以技术改进提升和研制新型坦克来加快坦克装备更新换代的步伐。

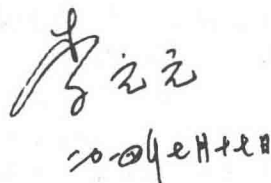
随着高新技术在军事工业上的成熟应用，极大地推动了现代坦克的整体发展进程，也促进了新时代军事变革下坦克技术的日臻完善和升华。随着一大批新技术、新原理、新工艺快速发展和广泛应用，催生了许多新技术理论的创造发明和持续演化，带动了与坦克装甲车辆领域交叉融合的多学科技术进步，也更加强化了坦克装甲车辆在立体攻防联合作战中的生存能力。

当今世界坦克装甲车辆技术始终保持着快速发展的态势，新型主战坦克、新型轮式装甲战车之所以能取得突破性进展，主要归结为动力传动技术、主被动防护技术、车辆电子技术等新技术取得的重大突破和能力提升，使坦克迅速成为具有高技术特征的陆军机动作战平台。这一期间，坦克装甲车辆领域的创新概念与技术研究正逐步成熟和发展起来。

当前，世界政治、经济和军事正在发生着深刻和巨大的变化，无论是发达国家还是发展中国家，都面临着前所未有的挑战。技术创新是一项事业、是一个行业迅速发展乃至一个国家强国和强军的必由之路。《坦克装甲车辆设计》系列专著图书是在系统学习和借鉴国外坦克的基础上，科学总结我国坦克装甲车辆和轮式装甲车辆20余年研制工作的实践经验与成功做法，结合我国陆军机械化、信息化装备建设的具体需求，从10个方面系统论述了坦克装甲车辆的技术发展路径、创新性设计思想和工程设计方法。主编冯益柏同志作为兵器首席专家，凭借在坦克装甲车辆从业30余年的丰富经验，在诠释坦克装甲车辆及其技术主要特征与技术创新思想的表现形式上，以独特的技术视角和丰富的工程实践积淀的真知灼见，对坦克装甲车辆及其技术，从理论创新和工程应用上做了深入研究和催人思考的总结与提炼，本专著图书在关键领域中提出的创新性概念、

工程技术方法以及典型系统的发展演变与技术特征等内容，在总体编排上脉络清晰、结构严谨、数据翔实可靠，具有极强的实用性、先进性和工程指导性，最优地实现了理论与实践的有机统一。本专著图书提出的设计理论、研究方法以及各卷中所涉及的主要技术论点与研究体系，为我军主战坦克的发展论证提供了有价值的信息和可借鉴思路，值得从事坦克装甲车辆的专业人士深入研究和思考，是推动我国坦克装甲装备技术创新的良师益友，也是我国坦克装甲车辆工程研制人员的重要参考。

十八年前，因科研工作我与冯益柏同志相识，与坦克装甲车辆事业结缘，此后一路同行，深深被他对发展我国坦克装甲车辆科技的强烈使命感、创新精神和卓越业绩而感动。该系列专著图书倾注了主编冯益柏同志、主要编者和广大工程研究人员的大量心血和智慧汗水。该专著图书的出版，必将为坦克行业提供坚实的基础理论和工程方法，更加坚定了我国坦克专业技术领域会产生诸多创造与发明的信心，推动我国坦克装甲车辆事业走向新的辉煌。

Handwritten signature of Feng Yibo in black ink, consisting of stylized characters and a date.

中国工程院院士、吉林大学校长

# 前言

坦克具有强大的直射火力，远距离精确打击能力，快速的越野机动性，坚固的装甲防护能力和反应快速的指控系统，是地面作战的主要突击兵器，也是装甲部队的基本装备，在武器装备中占据极其重要的地位，特别是主战坦克是一个国家国防力量的象征和综合国力的体现。

坦克自1916年问世，世界各国研制出多种类型的坦克，均在战场上展示出强大的作战能力，故而受到各国的高度重视，均投巨资大力研发。到目前为止，坦克已发展到第三代，第三代坦克在技术上取得了前所未有的进步。它将当代科学技术的最新成就集于一身，特别是计算机、激光、自动控制、热成像、综合电子技术、数据多路传输技术、定位导航技术、装甲、隐身、主动和综合防护技术等应用在坦克中应用，使坦克设计与制造技术得到快速发展，战技性能大幅度提升。

现代坦克已成为陆军的机动作战平台，配备了大威力、高膛压、高初速火炮和多种高性能常规或制导弹药，装弹自动化，高水平的火控系统，安装了大功率，高紧凑发动机及高功率密度液力机械综合装置。采用了各种隐身伪装、装甲防护和特种防护，发展了综合电子信息系统，使坦克技术进一步完善和提高，这些设计与制造技术也应用于坦克协同作战的步兵战车，装甲运输车和各种配套车辆，使整个装甲战斗车辆的设计与制造发生了质的提升和飞跃，战技性能明显提高。

随着高新技术在军事工业上的应用，以及未来战争特点的变化，坦克的发展也面临十分严峻的挑战，目前世界各国在新一代坦克设计与制造上广泛采用新的设计思想与理念，一大批新原理、新技术、新工艺在设计与制造中得到应用，使新一代坦克设计与研制取得了长足进步。

为了普及并总结坦克设计基础知识和实用技术，推广并宣传近年来在新一代坦克设计与制造中出现的新原理、新技术和新工艺成果，笔者编写了《坦克装甲车辆设计》系列书。系列图书共有十卷，分别为：总体设计卷，武器系统卷，动力系统卷，传动系统卷，行走系统卷，防护系统卷，综合电子信息系统卷，履带式战车卷，轮式战车卷，坦克装甲车辆可靠性、维修性及保障性卷。

本书突出实用性、先进性、可操作性，侧重将理论与实践相结合，用实用数据和实例说明问题，全书结构清晰严谨，语言精练，数据翔实可靠，信息量大，适用性强，是本专业研究、设计、制造、管理、教学人员必备必读之书，若本书的出版发行能对我国新一代坦克装甲车辆的设计与制造起到促进与指导作用，笔者将感到十分欣慰。

《坦克装甲车辆设计》的出版是件幸事，然而由于水平有限，文中不妥之处在所难免，望读者批评指正。

编者

2014.7

# 目录

## 第一章 概论

第一节 简介	1
一、坦克发动机的类型与分类	1
二、坦克发动机发展简史	2
三、发展特点	8
四、坦克发动机技术的发展特征	9
五、主战坦克动力技术发展现状与趋势	11
第二节 典型的坦克发动机系列	17
一、为坦克专门研制的系列	17

二、民机军用型发动机系列	20
三、坦克发动机的单位体积功率、单位功率重量	22
第三节 坦克发动机的未来	23
一、性能要求	23
二、现在的几种发动机	23
三、未来的前景	24
四、未来创新动力探索研究	25

## 第二章 坦克发动机总体技术

第一节 美国坦克发动机总体技术	27
一、简介	27
二、发动机的总体布局、结构和性能特点	33
三、发动机的性能和评价参数	49
第二节 俄罗斯坦克发动机总体技术	49
一、简介	49
二、发动机的总体布局、结构和性能特点	53
三、发动机的性能和评价参数	71
第三节 德国坦克发动机的总体技术	75
一、简介	75
二、坦克发动机	76
三、以民用机型为基础发展的军用机型	78
四、发动机的总体布局、结构和性能特点	83

五、发动机的性能和评价参数	89
第四节 英国坦克发动机总体技术	94
一、简介	94
二、发动机的总体布局、结构和性能特点	96
三、发动机的性能和评价参数	107
第五节 法国坦克发动机总体技术	108
一、简介	108
二、发动机的总体布局、结构和性能特点	111
三、发动机的性能和评价参数	119
第六节 日本坦克发动机总体技术	121
一、简介	121
二、发动机的总体布局、结构和性能特点	123
三、发动机的性能和评价参数	128

## 第三章 坦克发动机总体设计理论基础

第一节 设计理论基础	130
一、热和比热容	130
二、气体定律	131

三、理想循环	131
四、发动机的压-容曲线	132
五、发动机的“三效率”	133



六、发动机的基本参数	134
<b>第二节 发动机的特性设计</b>	137
一、发动机的工作状态	137
二、发动机特性设计	138
<b>第三节 坦克发动机性能指标的设计</b>	146
一、使用要求	146
二、主要性能指标	148
三、发动机的适应性设计	152
四、柴油机工作过程的有关参数值	153
五、燃气轮机功能指标	154
<b>第四节 坦克发动机可靠性设计</b>	154

一、可靠性指标	154
二、可靠性设计	157
三、可靠性试验	161
<b>第五节 发动机爆震及其控制</b>	166
一、爆震的发生	166
二、爆震的研究	167
三、爆震的控制	168
四、燃料抗爆值的评定	169
五、爆震的化学控制	170
六、影响爆震的环境因素	171
七、发动机对燃料辛烷值的要求	171

## 第四章 坦克柴油发动机的设计技术

<b>第一节 简介</b>	173
一、柴油发动机的主要类型与特点	173
二、坦克柴油发动机的基本结构	177
三、柴油发动机关键技术	187
四、坦克柴油发动机研究与应用	195
<b>第二节 发动机整机与机体设计技术</b>	207
一、整机设计	207
二、发动机机体设计	210
<b>第三节 发动机燃烧室与活塞组的设计</b>	212
一、发动机燃烧室设计	212
二、发动机活塞组的设计	218
<b>第四节 气缸设计</b>	233
一、设计的基本要素	233
二、气缸体的铸造	234
三、气缸盖的设计	235
四、气缸套	238
<b>第五节 发动机连杆、曲轴、轴承等部件的</b>	

<b>设计</b>	239
一、连杆组	239
二、曲轴的设计	242
三、轴承/轴瓦的设计	246
四、减震器的设计	253
<b>第六节 喷油泵和喷油器的设计</b>	255
一、简介	255
二、结构及主要参数	256
三、喷油泵/嘴设计发展方向	267
<b>第七节 发动机增压器的设计</b>	269
一、柴油机增压方式	269
二、增压器的结构设计	271
三、增压器与发动机的联合工作	282
<b>第八节 发动机电子控制装置的设计</b>	297
一、汽油发动机电子控制系统的组成和功能	297
二、柴油机电子控制系统的组成和功能	298

## 第五章 坦克燃气轮机设计技术

<b>第一节 简介</b>	304
一、基本概况	304
二、主要类型与特性	305
三、燃气轮机的优缺点	308
四、燃气轮机与柴油机的对比	311
<b>第二节 坦克燃气轮机主体装置的设计</b>	319
一、燃气轮机主体装置的结构	319
二、燃气轮机压气机设计	321
三、燃气轮机涡轮设计	326

四、燃气轮机燃烧室的设计	328
五、燃气轮机热交换器的设计	329
六、燃气轮机相关部件设计与计算	330
<b>第三节 坦克燃气轮机</b>	337
一、美国 AGT-1500 燃气轮机	337
二、俄罗斯 GTD-1250 燃气轮机	345
三、GT601-750 燃气轮机	349
四、LV100 燃气轮机	351
五、LV50 燃气轮机	352

## 第六章 动力辅助系统与辅机设计技术

<b>第一节 发动机冷却系统的设计</b>	354
一、简介	354

二、风扇及风扇驱动装置的设计	358
<b>第二节 发动机空气滤清器的设计</b>	371

一、简介	371	二、换热器的设计	386
二、空气滤清器的指标设计	375	<b>第四节 辅机的设计</b>	387
三、空气滤清器结构设计	377	一、简介	387
四、空气滤清器设计方案	380	二、辅机的功能	388
<b>第三节 发动机换热器的设计</b>	382	三、辅机的组成	389
一、换热器的类型	382	四、辅机的布局及性能参数	391

## 第七章 新型发动机的探索研究

<b>第一节 陶瓷发动机</b>	395	一、液压自由活塞发动机	402
一、简介	395	二、StarRotor 布雷顿循环发动机	404
二、高性能结构陶瓷	396	三、保罗二冲程柴油机	404
三、氮化硅陶瓷发动机的应用	398	四、高能量密度摆盘发动机	404
四、新型发动机陶瓷元器件的开发	399	五、蒸发制冷半闭式循环涡轮机	405
五、日本坦克用陶瓷发动机	401	六、高能量密度邦纳发动机	406
六、陶瓷发动机的研究进展	401	七、美国热机系统公司的吉赛尔 (Giesel) 涡轮复合发动机	406
<b>第二节 新概念发动机</b>	402		

## 第八章 坦克动力舱设计技术

<b>第一节 发动机对坦克机动性能的影响</b>	408	四、车辆行驶中功率损失及其效率	428
一、坦克车辆发动机标定功率的选定	408	五、车辆牵引特性计算	430
二、单位功率对坦克车辆机动性能的影响	409	六、发动机扭矩储备系数对车辆牵引特性 曲线的影响	434
三、单位体积功率和比重	415	<b>第三节 动力舱的设计</b>	434
四、热效率与百公里油耗	416	一、简介	434
五、环境的适应性	417	二、动力舱尺寸的制约因素和设计原则	435
<b>第二节 发动机扭矩函数的传递</b>	423	三、动力舱的重要部件——动力装置	437
一、车辆行驶阻力变化特点	423	四、动力装置各系统的原始数据计算	442
二、传动装置的主要功能及其组成	424	五、坦克动力舱的应用与发展	444
三、传动范围、排挡数目及其划分原则	427		

## 第九章 坦克整体推进系统设计技术

<b>第一节 简介</b>	450	四、SESM 公司 ESM350 动力传动机组	459
一、发展整体式推进系统的必要性	450	五、瑞典 S 坦克组合动力装置	460
二、整体式动力传动技术	451	六、液压自由活塞发动机整体推进系统	462
三、整体推进系统设计与布置	452	七、动力传动系统一体化仿真平台	467
四、国外坦克推进系统的发展	452	<b>第三节 动力系统发展思路与建议</b>	469
<b>第二节 先进整体推进系统的设计</b>	453	一、发展思路	469
一、美国的整体推进系统	453	二、发展建议	477
二、MTU 动力传动机组	458	<b>参考文献</b>	480
三、欧洲动力传动机组	459		



# 第一章 概论

## 第一节 简介



发动机是一种将不同工质的热能转化为机械能的做功机械。按作用原理，可分为内燃机和外燃机，按结构形式，可分为旋转式和往复式。现在坦克装甲车辆上应用的发动机主要是往复式柴油机和旋转式燃气轮机。发动机是动力源，是车辆最重要的部件。对于战斗车辆，发动机的重要性不仅在于提供驱动功率，决定车辆机动性，而且其外形尺寸、燃油经济性以及在车辆的安装位置都与战车的生存能力有着密切的关系。

### 一、坦克发动机的类型与分类

坦克车辆发动机有许多种类型。根据主要结构特点和所用车型，可大致做如下分类。

#### (一) 按主要结构特点分类

##### 1. 往复式活塞式发动机

(1) 按实现循环的方式 四冲程，活塞移动四个行程或曲轴转两转完成一个循环；二冲程，由活塞移动两个行程或曲轴转一转完成一个循环。

(2) 按进气方式 自然吸气，它依靠活塞使工作气体吸入气缸，并称非增压式发动机；增压进气，为增大发动机的功率，使进入气缸的工作气体预先经过压气机压缩后供入气缸。由于增压方式颇多，又可分为以下几种：① 机械增压，压气机由曲轴经传动齿轮驱动；② 涡轮增压，压气机由排气经涡轮驱动。涡轮增压通常为一级，亦有采用二级或三级的；③ 复合增压，由涡轮增压和机械增压组成的供气系统；④ 动力涡轮复合，由涡轮增压供气加动力涡轮输出功率的系统；⑤ 超高增压旁通补燃系统。

(3) 按冷却方式 液冷，风冷。



(4) 按使用的燃料 汽油；柴油；多种燃料，燃用柴油为主，可使用煤油，应急状态使用汽油。

(5) 按气缸排列方式 有直列、对置活塞式，对置气缸式、星型、V型和X型。

## 2. 燃气轮机

(1) 按循环方式 简单循环；带回热循环。

(2) 按燃气发生器 单转子，单转子筒形燃烧室；单转子环形燃烧室；双转子，双转子筒形燃烧室；双转子环形燃烧室。

### (二) 按主要用途分类

运载车辆，特别是装甲车辆其种类繁多，用途各异，而对发动机的外形尺寸、重量及功率等要求各异。

#### 1. 专门军用品

出于生存能力的考虑，要求坦克第一线突击战斗车辆具有尽可能小的车体外廓尺寸。因此要求专门研究、设计和制造的坦克发动机具有以下性能：适应动力舱布置要求和布局紧凑的外形；外廓尺寸小，即高的单位体积功率；重量轻，即高的单位重量功率；高的可靠性；低散热量。

自1928年以来，前苏联、美、德等国均持续地研制和发展坦克专用的发动机。

#### 2. 民机军用品

这里的民机是指专门设计用于工业或各种重型车辆、船舶和机动车辆的水冷柴油机，它们的功率范围在300~735kW。

由于专门研制的军用机型，其全寿命周期费用高，因而那些对发动机尺寸、重量要求相对不苛刻的二线作战车辆，如自行火炮、导弹发射车、输送车等，根据车辆使用要求和费用考虑，多选用在民用发动机基础上经改造而成的军用机型。这类机型特点是：具有高的功率密度、高的可靠性、耐久性和较低的全寿命周期费用。

#### 3. 直接选用型

经稍加改动或不做改动的性能优异的民用运输车辆发动机，主要用于轮式装甲车辆或作业装置的机型。它们有往复活塞式的汽油机、柴油机、增压柴油机、燃气轮机。

## 二、坦克发动机发展简史

### (一) 往复活塞式发动机

#### 1. 早期发展概况

1862年法国人罗沙(B. D. Rochas)对内燃机热力过程进行了理论分析之后，提出了改善热效率的四项原则(气缸的冷却面积尽量小；膨胀前气缸内压力尽可能高；膨胀时活塞的速率尽可能快；膨胀范围尽可能大)，以及实现这些原则的措施。这是认识上的一次飞越，也是第一次提出了等容燃烧的四冲程循环原理。

1876年德国人奥托(Nicolaus August Otto)按罗沙的理论制出第一台四冲程煤气机，功率为2.94kW，压缩比为2.5:1左右，效率为10%~12%，这些指标都高于当时的其他热机。奥托机是内燃机发展史上的第一次重大技术突破。

在奥托四冲程内燃机出现后，英国人克勒克(Dugald Clerk)开始研究二冲程内燃机。二冲程发动机的曲轴每一转有一个做功行程，它克服了四冲程发动机每两转有一个做功行程的缺点。在1881年的法国巴黎展览会上展出了这种二冲程内燃机。

内燃机发展初期都以煤气为燃料，这是由于19世纪中叶，欧洲各大城市已使用煤气照明，而当时照明煤气是比较广泛且容易得到的能源。随着石油工业的发展，出现了比煤气热值要高



出许多的汽油及柴油等产品，这为后来液体燃料发动机的出现创造了能源条件。

1883年德国人G.戴姆勒(Gottlieb Daimler)研制成功了带表面蒸发型化油器的电火花点火的立式汽油机。当时内燃机的转速较低，很少超过200r/min，而他制造的汽油机竟高达1000r/min。与此同时，德国人K.奔驰(Karl Benz)也开始研制高速汽油机。

汽油机的出现为内燃机在交通运输车辆上的应用提供了条件。因为它的功率大、重量轻、体积小、热效率高，特别适应交通运输业的要求。1886年戴姆勒和奔驰分别成功地把他们制造的高速汽油机装在车辆上运行，现在公认这一年为汽车诞生年。

1893年德国人鲁·笛塞尔(Rudolf Diesel)发表了压燃式内燃机的工作原理。由于他最初提出的理论有下列缺点，所以未能实现：

- (1) 压缩过程终点的气体压力过高，高达24.52MPa，温度达800℃；
- (2) 燃烧过程保持等温条件，使每循环做功太少；
- (3) 缸壁不冷却，零件表面温度过高，润滑条件得不到保证；
- (4) 以煤粉为燃料，燃烧后产生固体的灰分，使机件磨损太快。

经过实践，笛塞尔克服了上述缺点，在1898年研制出带冷却水套的、基本上按等压过程燃烧的、以煤油为燃料、用压缩空气将煤油喷入气缸的压燃式内燃机。压燃式内燃机的热效率比电火花点火式内燃机的热效率大大提高。压燃式笛塞尔机的研制成功是内燃机发展史上的第二次重大技术突破。

于1899年开始研制机械式喷油装置，但是限于当时机械制造工艺水平较低，做不出满足要求的、精密的喷油装置。直至1914~1915年制造工艺水平提高之后，才出现了结构简单、外形尺寸小的精密机械式喷油装置。1925年在德国建成了专业化生产喷油泵的工厂(Bosch)，此后便停止使用带压气机的喷油装置，并使压燃式内燃机(柴油机)用于车辆上成为可能。

## 2. 20世纪初~40年代

1916年，汽车往复活塞式发动机已历经近30年的发展，技术日趋成熟。此间，作战需求一种能够突破由机枪、铁丝网和壕沟构成防御体系的特种车辆，于是以汽车汽油机为动力并带有装甲防护的车辆——坦克，出现在1916年的战场上。

第一次世界大战期间，坦克选用了汽车用直列4缸或6缸水冷汽油机，功率为26~110kW。例如，1916年英国生产的第一批I型坦克，安装了直列6缸水冷汽油机，功率为77kW；法国坦克采用的是直列4缸水冷汽油机。在大战结束后10年左右的时间里，坦克装甲车辆迅速发展。一些国家研制、装备了多种坦克，从而使得多种型号的发动机在坦克上竞相得到选用，功率为66~298kW，主要是汽油机，少数则采用了柴油机。它们有直列水冷汽车发动机和V型12缸水冷航空发动机，美国采用了星型风冷发动机。

随着对坦克性能要求的提高，选用当时生产的发动机，无论从功率、结构形式和车内布置等方面都不能适应坦克的需要。因此，在20世纪20年代后期，一些国家开始研制专用的坦克发动机。

英国于1928年研制了坦克汽油机和66kW的坦克柴油机。德国于30年代初期研制了V型12缸水冷坦克汽油机。1932年，美国泰里达因·大陆发动机公司(Teledyne Continental Motors)研制了星型、7缸坦克风冷汽油机。1940年末，“大陆”公司同时发展了AV-1790V型12缸和AOS-895型6缸风冷坦克汽油机。

前苏联于1932年在哈尔科夫机车车辆厂开始研制坦克高速柴油机，1939年定型；在2000r/min时功率为368kW，命名为B<sub>2</sub>，装于著名的T-34坦克。1940年，前苏联在B<sub>2</sub>柴油机上开始了机械增压的研究，功率达625kW。1947年在车里雅宾斯克厂开始批量生产B-12型增压柴油机。

第二次世界大战期间，仅前苏联在其大多数坦克上安装B<sub>2</sub>系列柴油机；其他各国则以采



用汽油机为主，而且种类、型号繁杂。发动机功率在 88~515kW 之间。

### 3. 20 世纪 50~60 年代

20 世纪 50 年代，前苏联、联邦德国先后在其重型坦克 T-10、“豹”1 上安装使用了功率为 552kW、610kW 的机械增压柴油机。美国则在 AV1790 汽油机基础上发展成 AVI1790-8 汽油喷射式发动机，装于 M46、M48 坦克，功率为 646kW，转速 2800r/min。英国在奇伏坦坦克上安装了 515kW 的二冲程柴油机。前苏联于 1955 年开始设计二冲程 5TД 坦克柴油机。

第二次世界大战后的 10~15 年间，坦克主要使用 V 型 12 缸、四冲程水冷柴油机和 V 型 12 缸、四冲程风冷汽油机，功率 176~596kW。由于柴油机的燃油消耗率较汽油机约低 20%~30%，所以，在相同的燃料容积条件下，坦克行程储备大；柴油运输、储存、使用比较安全，火灾危险小。因此，50 年代各国坦克动力发展的主要趋势是柴油机化，装机功率略有提高。此间，坦克柴油机的平均有效压力为 0.59~0.86MPa，燃油消耗率 252~265g/(kW·h)，转速为 1800~2200r/min。

1926 年瑞士人波希 (Alfred J Buchi) 提出了利用发动机排出的废气能量来驱动压气机，从而形成发动机增压的废气涡轮增压理论。但因受当时技术水平的限制，发展缓慢。在第二次世界大战中，少数航空发动机采用了增压技术，以补偿在高空时的功率下降。随着叶片机技术的发展，美国“大陆”公司于 1959 年，在 AV1790 基础上研制成功了涡轮增压、风冷坦克用柴油发动机 AVDS1790-2；在 2400r/min 时，功率为 552kW，并于 60 年代初装备于 M60 坦克。

20 世纪 60 年代中期，在 AVDS1790 基础上又研制了 AVCR1360-2 可变压缩比活塞、涡轮增压柴油机，功率可达 1103kW。随后又发展了可变截面涡轮增压系统。

前苏联于 1967 年将其所研制的对置二冲程坦克柴油机 5TД，经强化后为 5TДΦ，装于 T-64 坦克，功率达 552kW。

### 4. 20 世纪 70~80 年代

20 世纪 70 年代以来，涡轮增压技术、中冷技术继续发展，坦克发动机一方面通过提高增压度和对增压空气冷却等途径，大幅度提高柴油机功率；同时改善发动机扭矩特性，并使其结构更加紧凑、可靠，油耗率进一步降低。到 70 年代末，已装备的涡轮增压中冷机型有：联邦德国“豹”2 坦克的 MB873Ka-500 发动机，功率为 1103kW，转速为 2600r/min；英国挑战者坦克的 CV12TCA 发动机，功率为 883kW，转速为 2300r/min。发动机主要指标已达：平均有效压力 1.07~1.79MPa，燃油消耗率 224~226g/(kW·h)，单位体积功率 229~452kW/m<sup>3</sup>，比重量 2.28~2.35kg/kW。

前苏联仍以机械增压柴油机为主。70 年代初期，B-46 机械增压柴油机装于 T-72 坦克，功率为 574kW。80 年代中，功率增至 611kW 的 B-84 机械增压柴油机装于 T-72C 坦克；功率为 647kW 的 B-88 柴油机亦完成了 350h 台架考核和装车试验。此间，通过增加数将 5TДΦ 发展成的 6TД-1 对置二冲程柴油机，于 1983 年装于 T-80УД 主战坦克。

法国于 70 年代开始在民用柴油机基础上研制超高增压坦克发动机。

以性能优良的民用车辆动力为基础，经改进并发展的军用机型，由于具有高的经济性、耐久性、功率密度，而被装甲车辆广泛选用；如美国的二冲程 6V53、6V53T、8V71T 柴油机和四冲程的 VT903 涡轮增压发动机；德国的 OM400 系列；英国的 T63544 和前苏联的 ЯМЗ-238 等机型。

应指出的是，美国康明斯公司 (Cummins) 的 V903 柴油机，经采用涡轮增压，将功率增至 368kW 的 VT903-500，装备于 M2 步兵战车；通过采用中冷、强化等技术措施，发展成 VTA903-600、750 (442kW、485kW、552kW) 机型，用于坦克、自行火炮。

涡轮复合发动机迄今已有 40 多年的历史，早期比较著名的有 Wright 航空发动机和 Napier



Nomand 舰艇发动机。由于动力涡轮的匹配、传动机构的复杂和成本等原因，在车用发动机领域内长期未得到显著的发展。从事车用涡轮复合发动机研究与开发的著名公司与机型有康明斯公司的 TCPD-450，采用低压缩比、可变截面、高压比涡轮增压中冷的 LCR-V903 机型，功率达 735kW，转速 3200r/min，燃油消耗率为 207g/(kW·h)；卡特匹勒 (Caterpillar) 公司的 3406 机型，三菱公司的 10ZG 二行程柴油机，斯堪尼亚 (Scania) 公司 11L6 和奔驰 (Benz) 公司在 OM442LA 基础上发展的 BR400 机型。涡轮增压柴油机采用动力涡轮后功率提高的幅度一般为 10%~13%，经济性改善为 3%~5%。

80 年代以来，由于微电子控制、燃油喷射、涡轮增压可调技术的发展，使车辆柴油机性能获得突破性进展。由于高燃油喷射压力 (98~118MPa)、高燃烧峰值压力 (11.77~14.71MPa) 和高压比增压器 (压比 3 以上)，使柴油机平均有效压力大幅度提高 (达 1.667~2.158MPa)、燃油消耗率降低 [达 195~210g/(kW·h)]、排气烟度下降和气体排放明显改善。典型的机型是德国的 MT883Ka-500，美国的 XAV28-1450 可变截面增压中冷、低散热坦克柴油机；美国的 L10，德国的 TBD234 系列民用车辆动力。应指出的是，在 12 缸基础上经改进发展出的 TBD834 增压中冷柴油机，在 2300r/min 时，功率达 735kW，用于巴西 EE-T1 主战坦克。该机的平均有效压力为 17.78MPa，升功率达 34.028kW/L，单位体积功率 709.57kW/m<sup>3</sup>，首次大修时间 4000h。据资料报道，TBD834 功率又增至 808kW，并采用了可变截面涡轮增压系统。

带有电子控制、可调涡轮增压系统的 L10 柴油机，80 年代后期在装甲车辆上进行了行驶试验。

法国、美国联合研制的 V 型 8 缸、两级涡轮增压中冷、军民通用柴油机 E9，在转速 2500r/min 时，功率覆盖范围为 368~736kW。平均有效压力为 1.08~2.148MPa，升功率高达 44.88kW/L。

## 5. 20 世纪 90 年代

超高增压旁通补燃发动机 UDV8X1500，功率为 1103kW，装于法国“勒克莱尔”主战坦克投入现役。该机平均有效压力达 3.22MPa，升功率 66.97kW/L，单位体积功率 606.29kW/m<sup>3</sup>，比重量 1.68kg/kW。

MT883Ka-500 发动机，通过扩大缸径、行程，发展成 MT883Ka-501 发动机，功率达 1200kW。以 MT883Ka-501 为基础，采用顺序增压并提高转速至 3300r/min，压比至 4.8，研制出 MT883Ka-512 发动机，功率为 1660kW；采用两级增压、中冷和顺序增压研制出 MT883Ka-523，功率达 1920kW，后者用于高航速两栖车辆。机型平均有效压力达 2.21~2.81MPa，升功率达 60~70kW/L。

TBD234 柴油机通过扩大缸径、行程发展成 TBD616 系列机型，单缸功率由 60kW 提高至 86kW。

燃油喷射压力在 98~160MPa，燃烧峰值压力为 12.26~14.71MPa，燃油消耗率达 195~210g/(kW·h) 的多种民用车辆动力已投放市场，这些发动机带有电子控制、可调增压器、电磁控制单体燃油喷射泵、中、高压共轨燃油喷射系统、压气机性能拓宽等新技术。如美国的 M11 带全电子控制管理系统柴油机，德国的带单体燃油喷射泵的 1015 柴油机，英国的 210Ti、1300 系列，日本的 J08C 等机型。

## (二) 燃气轮机

### 1. 早期发展概况

我国在宋朝时出现了“走马灯”，这是一种以燃气驱动简单装置。

1791 年英国人巴伯 (J. Barber) 建议过有往复式压气机的燃气轮机，但未能实现。1902



年美国工程师莫科制造了燃气轮机装置，其空气压缩机由燃气轮机驱动。

20世纪20年代中期，许多学者和工程师为发展燃气轮机的理论和设计进行了卓越的工作；前苏联的茹科夫斯基院士等为现代涡轮流体动力学理论奠定了基础；法国工程师吉奥马在燃气轮机布置上提出了将涡轮压气机和动力涡轮分别置于不同的轴上，即双轴燃气轮机的设想。

## 2. 20世纪30~40年代

20世纪30年代初，燃气轮机理论逐渐形成。前苏联学者乌瓦洛夫教授在建立燃气轮机理论方面作出了重大贡献，1935年出版了《燃气轮机》一书。英国学者哈威尔、格列菲斯对轴流式压气机；康斯坦特对涡轮机的理论都作出了重要的贡献。

1937年，英、德均开始了涡轮喷气发动机的实验，1939年装有涡轮喷气发动机为动力的飞机在德国腾空而起；1941年，喷气式飞机首次在英国进行了飞行试验。此后，短短十年多的时间里，作战飞机全部使用了燃气轮机。航空动力发生如此大的变革，其根本原因是：燃气轮机较往复式塞式发动机具有更高的单位体积功率和单位重量功率，高的可靠性、耐久性。

20世纪40年代末期，前苏联进行了地面运载车辆用燃气轮机的研究。1948年开始军用履带车辆实验燃气轮机的研制。

## 3. 20世纪50~60年代

由于燃气轮机在飞机上显现的杰出性能，英国、美国和前苏联等国于20世纪50年代开展了多种型号用于地面车辆的燃气轮机的研究制造工作。

英国为坦克研制了735kW的帕森斯(Parsons)坦克燃气涡轮轴(Turboshaft)发动机；该机为无回热循环，由一级离心式压气机和一级轴流涡轮组成的燃气发生器转子，二级轴流涡轮构成的动力涡轮转子，二个单筒燃烧室组成。通过装车试验结果，由于燃油消耗率高达544g/(kW·h)，空气耗重约6kg/s而未能采用。

英国研制了由一级离心式压气机和一级轴流涡轮组成的燃气发生器转子，一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子，一个单筒燃烧室组成的罗沃尔(Rover)汽车燃气轮机；它们的功率分别为74kW、136kW。74kW机型带有回热度约为0.3的回热器。

美国莱卡明(Lycoming)发动机公司研制了T-53坦克燃气涡轮轴发动机，功率为625kW。T-53为无回热循环，由五级轴流式压气机、一级离心式压气机和一级轴流涡轮组成的燃气发生器转子、一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子、一个环形燃烧室组成。

美国的通用汽车公司研制了无回热循环，由一级离心式压气机和一级轴流涡轮构成的燃气发生器转子，一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子，一个单筒燃烧室组成的GT-300汽车燃气轮机，该机功率为238kW。GT-304汽车燃气轮机由一级离心式压气机和一级轴流涡轮构成的燃气发生器转子，一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子，4个单筒燃烧室和带有回热度约为0.7的回热器所组成，该机功率为149kW。

克莱斯勒(Crysler)公司发展了带有回热循环(回热度0.83~0.87)的汽车燃气轮机，功率为88kW。

意大利菲亚特(Fiat)公司研制了无回热循环，由二级离心式压气机和二级轴流涡轮构成的燃气发生器，一级轴流涡轮构成的动力涡轮转子，三个单筒燃烧室组成的汽车燃气轮机，功率为220kW。

1955年在Г. А. 奥格洛布林领导下前苏联着手研制坦克用燃气轮机，1956~1957年研制出两台功率为735kW的ГТД-1坦克用燃气轮机。

前苏联汽车研究所(НАМИ)研制了НАМИ-053燃气轮机；输出功率为257kW；装于大型客车进行了500km的试验。

高尔基汽车厂研制了功率为184kW的ГАЗ-99В的燃气轮机，装于БТР-60П轮式装甲输





送车进行了试验。

1965年,于鄂木斯克的特种设计室,在ГТД-3Φ直升机发动机基础上,研制了ГТД-3ТЖ坦克试验用燃气轮机,功率为588kW,燃油消耗率388~408g/(kW·h),横向装于重型坦克进行了约4000km的试验。

1962~1967年间,车里雅宾斯克厂为坦克专门研制了带回热器的ГТД-700燃气轮机,其功率为618kW,燃油消耗率为320~326g/(kW·h)。

1968年12月,克里莫夫厂研制成功了功率为735kW的ГТД-1000T三轴坦克燃气轮机。

1965年10月,美国军方与莱卡明公司签约,为坦克专门研制燃气轮机。1967年,瑞典装备的Strv-103b坦克,选用了柴油机与燃气轮机并联的组合动力装置。

#### 4. 20世纪70~80年代

1976年12月,经过激烈的争论和技术评定,美国陆军正式宣布为新型主战坦克选用燃气轮机为动力。1979年命名的AGT-1500坦克燃气轮机,正式投入生产,功率为1119kW。

1970年,前苏联的ГТД-1000T坦克燃气轮机开始批量生产。

1976年7月6日,以燃气轮机ГТД-1000为动力的T-80主战坦克正式列装于前苏军。1980年,以AGT-1500燃气轮机为动力的M1主战坦克正式列装于美军。

1986年,AGT-1500燃气轮机的性能进一步改善,燃油消耗率降至264g/(kW·h)。1986年,ГТД-1000燃气轮机功率增至809kW,装于T-80BB主战坦克。80年代末期,ГТД-1100燃气轮机进一步强化,功率达920kW,命名为ГТД-1250。

1982年,美国开始了第四代坦克推进系统的论证研究。1984年,作为第四代推进系统动力方案之一的LV100燃气轮机性能样机开始研制。1990年完成研制,样机性能完全达到陆军的要求。

#### 5. 20世纪90年代

1990年12月,美国陆军与通用电器(General Electric)公司签订了研制LV100全尺寸样机的合同。1996年完成了LV100全尺寸样机的研制。LV100燃气轮机零件数目比AGT-1500减少30%,功率为1103~1470kW,燃油消耗率213g/(kW·h)。

1990年ГТД-1250燃气轮机正式生产,装于T-80У主战坦克。1995年,俄罗斯已将ГТД-1250燃气轮机的功率提高至1103kW,并于1997年装于黑鹰主战坦克。据悉,以燃气轮机为动力,功率达1640kW的电传动坦克样车已投入试验。

坦克发动机将主要朝着高的功率密度、良好的扭矩特性、低的燃油消耗率、高的可靠性和寿命、良好的维修性发展。随着往复式柴油发动机功率密度的增长,其所承受的机械和热负荷越来越高,存在着由风冷发动机向水冷发动机发展的趋势。由于技术发展和费用的考虑,民机军用型亦将进一步发展。燃气轮机在继续提高循环过程温度,优先选择压比及回热器效率,进一步降低使用油耗,减小体积等方面,将获得较大进展,从而在主战坦克上将扩大应用。旋转活塞式发动机在未来装甲车辆上也有应用的可能。

坦克动力装置的发展趋势是:在总体布局和结构上,发动机辅助系统与发动机本体将朝着集成比、模块化机组方向发展,以进一步减小体积、降低重量和拆、装简捷;在功能上,将与整车的三防、空调装置、红外抑制装置、传动和操纵装置的电子控制装置等具有较大的兼容性。辅助系统的主要部件将继续提高性能,如研制高风压大流量、高效率 and 结构紧凑的风扇,大流量和体积小的空气滤清器,高效率的滤清元件和散热元件等。随着陶瓷材料和隔热技术的发展,冷却系统、润滑系统在结构、尺寸,所采用的冷却介质和润滑剂等方面,都将发生重大变化。

随着高新技术的发展,在坦克车辆上采用新能源(核能、燃料电池及太阳能)的动力,亦存在着应用的前景。