

车辆冷却系统 设计手册

章慧锦 李仁业 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是美国陆军器材局出版的《工程设计手册》丛书之一，由美国泰莱达因·大陆发动机公司负责编写，并得到美、英、西德等20多家著名公司的协助，最终，由美国陆军坦克机动车局负责审定。本书是美国陆军装备实践经验资料和定量数据的权威性参考资料。

本书完整地介绍了车辆冷却系统各部件及总系统的设计原理、结构型式、计算公式、试验要求和经验教训；汇集了美国民品军用的卡车、工程建筑机械，以及装甲战车、主战坦克等车辆冷却系统的设计计算与测试数据，实例丰富、系统性强，并附有大量实用图表，可供参考。

本书适合于越野车辆、两栖车辆、工程车辆、战车以及热交换装置的工程设计者参考。

ENGINEERING DESIGN HANDBOOK
MILITARY VEHICLE POWER PLANT COOLING
Department of The Army
Headquarters United States Army Materiel Command
1975

*
车辆冷却系统设计手册

章慧锦 李仁业 译

*
国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*
787×1092¹/₁₆ 印张27³/₈ 630千字

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷 印数：0,001—3,100册

统一书号：15034·2665 定价：2.80元

译者的话

美国陆军器材局出版了一套各自独立的工程设计手册丛书，给美国陆军武器装备的设计以可资借鉴的基本资料 and 主要数据。

《军用车辆动力装置的冷却系统》为工程手册丛书之一，其实际含义包括了整车冷却系统，并非仅指动力装置的冷却系统而言，同时，还包括了民品军用的车辆。因此，译文以《车辆冷却系统设计手册》为名出版。

《车辆冷却系统设计手册》系由美国泰莱达因·大陆发动机公司通用产品部负责编写，并得到阿里逊公司、Harrison 散热器公司、英国豪顿螺旋桨公司、寇明斯发动机公司、西德 MTU 公司、飞利浦研究实验室等等 20 多家公司的协助。最终由美国陆军坦克机动车局审定。

原著附录 B 中的“装配图”大都模糊不清，重新描图时有些地方做了删减，请谅解。因限于水平，译文不当之处，请读者指正。

原 序[●]

美国陆军器材局的《工程设计手册》丛书是由一组各自独立的手册组成的。这些手册为陆军器材与系统的设计和研制提供了很有价值的基本资料和数据。手册是一组提供实践经验资料与定量数据的权威性参考书，对于设计和研制能满足武装部队技术要求的武器器材是很有用的。

《军用车辆动力装置的冷却系统设计手册》可作为车辆冷却系统设计者使用的基本参考书。该书所包括的材料取自于各种报告、出版物、会谈及各机构提供的资料。

在每章的开头都有一个摘要介绍，叙述所包括的基本内容。因为在大多数情况下，读者不是试图去阅读全书，而仅仅是选择他直接感兴趣的资料，因此，每章开头的摘要可帮助读者选取所需要的资料。

手册内给出了有关规范、规定、以及其它官方出版物的标题与编号，以便让读者知道有这些文件存在，当然，也应特别注意让读者能够获得现成版本。

在研制新型车辆时，本手册对使用者与计划负责人具有特别的价值。它可在下述方面起指导作用：

- (a) 提出实际车辆的技术规格要求；
- (b) 综合设计总的冷却系统；
- (c) 在车辆的研制周期内，完成冷却系统的研制，并修正工作计划。

在军用车辆的发展历史中，有许多因冷却能力不足，而使车辆不能在恶劣的军事环境下履行其任务的事例。所有这些失败，其原因主要是：

- (a) 设计者制定详细要求时，所依据的技术规格和要求不足；
- (b) 总车辆系统对冷却系统性能的影响，分析得不完善；
- (c) 在总的研制项目计划中，研制周期不完整，在生产型车辆提供给用户前，缩减了冷却系统应有的性能鉴定和调修工作。

这些原因经常引起冷却系统损坏或者使完成任务的能力受到局限，同时，还要花很多钱来进行工程计划的修改和系统改装；而合理的冷却系统的设计将进一步有助于能量的转换，因为提供了有效的冷却，才能有效地利用功率。用户、计划负责人及设计者正确使用本手册，就可以避免将冷却能力不足的车辆送至战斗部队。

质量、重量与力*的差别

关于质量、重量和力的词义常常被混淆，因此有必要予以澄清。物体的质量是恒定的，而重量却总是与不同地点的重力成比例的。

质量的概念是所研究的物质的总量。在各种英制单位中，质量的单位是磅质量，记为

* 根据G. J. Von Wylen和R. E. Sonntag所著《经典热力学基础》(Fundamentals of Classical Thermodynamics)一书的定义。

● 仅译部分内容，其余从略。——译者

1bm, 磅质量的规定, 最早指的是在伦敦塔中的一个铂缸筒内的质量。

在英国工程单位制中, 力的概念是一个独立的量, 力的单位按照下述实验程序来定义:

把标准磅质量悬挂在重力加速度为32.1740英尺/秒²的地心引力场中, 标准磅质量被吸引到地面的力(大气对标准质量的浮力影响也必须是标准的)被定义为力的单位, 称为磅力(lbf)。应该注意到, 我们现在已经有力、质量、长度与时间之间随机的、独立的定义。因为这些量是互相有关的, 根据牛顿第二定律, 我们可以写出:

$$F = \frac{ma}{g_c}, \text{ lbf(磅力)}$$

式中 m——质量 1bm(磅质量)

a——额定加速度 ft/sec²(英尺/秒²)

应注意 g_c 是一个恒量, 它与力、质量、长度、时间有关。

上述公式规定的单位制, 称之为英国工程制。

$$1\text{lbf} = \frac{1\text{bm} \times 32.174\text{ft/sec}^2}{g_c}$$

因此

$$g_c = 32.174 \frac{1\text{bm} \cdot \text{ft}}{1\text{lbf} \cdot \text{sec}^2}$$

在该单位制中, g_c 有两个数字值和度量单位, 并被称为重力转换常数。应该强调永远不能使用磅(或符号 lb), 因为它不能清晰地表明是磅质量, 还是磅力。

工程师们常常用磅(lb)来作为质量与力的单位。在他们谈到10磅水的容积的时候, 他们的意思是10磅质量(1bm)。每平方英寸10磅的压力指的是10磅力(1bf)。重量是重力。上面所说的10磅水(质量)在给定的地点精确地称量并不是10磅, 除非重力加速度是32.174英尺/秒²。

因此, 在本手册内, 对“lb”有特别的规定。规定物质的质量用“1bm”, 而谈到力时, 则用“1bf”表示●。

本手册是由美国泰莱达因·大陆发动机公司(Teledyne Continental Motors), 通用产品部(General Products Division)为美国陆军器材局的主合同商——三角研究院(Research Triangle Institute)的工程手册办公室准备的。一个由美国陆军器材局的主要部门的成员组成的特设的工作小组负责技术监督与指导。本手册所列数据的最终选择与批准是由小组主席、美国陆军坦克机动车局的Edward J. Rambie先生作出的。

● 本手册译文中, 以“磅”、“磅力”分别作为质量与力的单位。——译者

目 录

第一章 军用车辆冷却系统总论	
1-1 内容范围	1
1-1.1 往复式内燃机的常规冷却系统	3
1-1.2 旋转式发动机的常规冷却系统	6
1-2 冷却要求	7
1-3 典型的冷却系统	9
1-3.1 普通卡车	9
1-3.1.1 水冷系统	9
1-3.1.2 风冷系统	12
1-3.2 特种用途车辆	12
1-3.2.1 水冷系统	12
1-3.2.2 风冷系统	16
1-3.2.3 军用工程建筑设备系列(FAMECE)	17
1-3.3 战斗车辆	18
1-3.3.1 坦克	18
1-3.3.2 采用水冷发动机的战车	24
1-4 军用条件的特殊性	30
1-4.1 军用条件的困难性	30
1-4.1.1 越野使用	31
1-4.1.2 在世界范围使用的环境极限条件	32
1-4.1.3 重武器射击的冲击载荷	36
1-4.1.4 缺少维修保养	36
1-4.1.5 军事人员的操作	36
1-4.1.6 空降与空中运输能力	36
1-4.1.7 考虑冲击和振动的设计	37
1-4.2 防弹性	38
1-4.2.1 防弹的必要性	38
1-4.2.2 防弹格栅及其对冷却气流的影响	38
1-4.2.3 防弹要求对冷却系统设计的影响	39
1-4.3 战斗车辆战术使用方式的影响	41
1-4.3.1 坦克-步兵分队	41
1-4.3.2 用顶甲板载运人员	41
1-4.4 可靠性和耐久性	41
1-4.4.1 可靠性和耐久性在军事使用中的重要性	41
1-4.4.2 冷却系统在总体可靠性中的重要性	41
1-4.4.3 获得冷却系统可靠性的方法	42
1-4.5 维修要求	44
1-4.5.1 可接近性	44
1-4.5.2 积木式组合件的更换	44
1-4.5.3 简单性	45
1-4.5.4 冷却水、燃料与润滑剂	45
1-4.5.5 整个动力传动组件的更换	46
1-4.6 红外特征	47
1-4.6.1 什么是红外现象	47
1-4.6.2 减弱战车的红外特征	47
1-4.6.3 红外辐射问题	47
1-4.6.4 红外辐射最小化的技术措施	48
1-4.6.5 满足未来要求的减弱方法	51
1-4.6.6 防红外伪装	51
1-4.6.7 减弱红外辐射试验的数据实例	51
1-4.7 仓库储存	52
1-4.8 专用附件	52
1-4.8.1 严寒地区专用的辅助设备	52
1-4.8.2 涉水装置	55
1-4.8.3 涉水要求对冷却系统设计的影响	55
1-4.8.4 附件对车辆冷却系统的影响	56
参考文献	58
相关文章	60
第二章 军用车辆的动力装置——热源	
2-0 符号说明	61
2-1 发动机热量传递的基本过程	61
2-1.1 军用车辆的动力装置	62
2-1.2 基本的标准空气循环	62
2-1.3 标准热力循环的变化	66
2-1.4 普通往复式发动机的排热率	67
2-1.5 估计发动机排热率的方法	67
2-1.6 冷却剂	73
2-1.6.1 润滑油	73
2-1.6.2 空气	74
2-1.6.3 液体	74
2-1.7 气缸冷却肋片	75
2-1.8 排气歧管	75
2-1.9 燃气轮机的排热率	76
2-1.9.1 润滑油	76
2-1.9.2 排气系统	76
2-1.10 其他型式的车辆发动机	76
2-1.10.1 斯特林发动机	76
2-1.10.2 转子发动机(汪克尔发动机)	79
2-1.10.3 兰金循环发动机	82
2-1.11 其他型式的动力源	82
2-1.11.1 燃料电池	82

2-1.11.2 蓄电能	82
2-1.11.3 原子能	82
2-1.11.4 组合式动力装置	82
2-2 传动装置和驱动部件	82
2-2.1 多传动比齿轮传动装置	82
2-2.1.1 离合器	84
2-2.1.2 功率损失和效率	84
2-2.2 横向驱动传动装置	87
2-2.2.1 内制动器	89
2-2.2.2 转向离合器	89
2-2.3 液力传动	90
2-2.3.1 静液式	90
2-2.3.2 动液式	91
2-2.3.3 静液机械式	93
2-2.4 电力传动	96
2-2.4.1 冷却要求	96
2-2.4.2 功率损失和效率	97
2-2.5 分动箱与最终驱动装置	98
2-2.6 液力减速器	98
2-3 其他热源	98
2-3.1 液压系统	98
2-3.1.1 马达	98
2-3.1.2 泵	99
2-3.2 电动机和发电机	99
2-3.3 喷油泵	99
2-3.4 空气压缩机	100
2-3.5 环境控制装置	100
2-3.6 阳光与地面的辐射热	101
2-3.7 辅助发动机	102
2-3.8 动力室通风装置的热负荷	102
参考文献	104
相关文献	106

第三章 传热装置

3-0 符号说明	107
3-1 概述	108
3-2 传热方式	108
3-2.1 辐射	109
3-2.2 传导	109
3-2.3 对流	109
3-3 传热肋片	110
3-4 热交换器	111
3-4.1 热交换器的类型	112
3-4.1.1 稳流式热交换器	112
3-4.1.2 瞬流式热交换器	112
3-4.2 按流体流动相对位置分类的	

热交换器	112
3-4.2.1 平行流	113
3-4.2.2 反向流	113
3-4.2.3 十字交叉流	113
3-4.2.4 十字交叉-反向流	113
3-4.2.5 十字交叉-平行流	113
3-4.2.6 按流动相对位置分类的热交换器的比较	113
3-4.3 根据传热表面几何形状分类的热交换器	115
3-4.3.1 板-翅式散热片表面	115
3-4.3.2 管状散热表面	115
3-4.3.3 散热片与管子的配置	117
3-4.4 根据流体种类分类的热交换器	117
3-5 热交换器的设计和选择	117
3-5.1 双流体热交换器芯的热设计原理	119
3-5.1.1 热计算的基本公式	119
3-5.2 热交换器内的流体压力降	124
3-6 车辆的冷却	125
3-6.1 直接冷却	125
3-6.2 间接冷却	125
3-6.2.1 散热器	125
3-6.3 发动机油冷却器	139
3-6.3.1 散热器水箱型油冷却器	139
3-6.3.2 水冷板形油冷却器	141
3-6.3.3 套-管形(管-束形)油冷却器	141
3-6.4 传动装置油冷却器	141
3-6.5 油冷却器的选择与优化实例	142
3-6.6 油冷却器的优化	144
3-6.7 后冷却器	147
3-6.8 龙骨(Keel)型冷却器	150
3-6.9 冷却系统部件的布置	157
3-7 绝热	158
3-7.1 目的与应用	158
3-7.2 热物理特性对传热的影响	159
参考文献	163
相关文献	164

第四章 风扇及风扇驱动装置

4-0 符号说明	165
4-1 引言	165
4-2 风扇	165
4-2.1 离心式风扇	166
4-2.1.1 前弯叶片风扇	167
4-2.1.2 后弯叶片风扇	167
4-2.1.3 径向(直)叶片风扇	167
4-2.1.4 非设计点特性	167

4-2.2 轴流式风扇	168	4-16 风扇驱动噪音	197
4-2.2.1 螺旋桨式风扇	168	4-17 废气引射器	197
4-2.2.2 轴向管式风扇	169	参考文献	199
4-2.2.3 轴向叶片式风扇	169	相关文章	199
4-2.3 离心式风扇与轴流式风扇的比较	170	第五章 冷却系统的控制与仪器使用	
4-2.4 混流式风扇	170	5-1 冷却系统的功用	200
4-2.5 挠性叶片风扇	171	5-2 加压水冷系统	200
4-3 军用车辆的冷却风扇	171	5-2.1 冷却水工作温度的影响	200
4-4 风扇产生的总压力差	172	5-2.2 冷却水泵的气穴现象	200
4-5 风扇空气马力	174	5-2.3 后沸腾	201
4-6 风扇效率	174	5-2.4 海拔高度的影响	201
4-7 风扇性能	175	5-3 冷却控制的方法	201
4-7.1 风扇叶片顶端速度	175	5-3.1 节流冷却空气	202
4-7.2 出口速度	175	5-3.1.1 散热器百叶窗	202
4-7.3 标准的风扇部件	175	5-3.1.2 防寒百叶窗	203
4-8 风扇定律	175	5-3.2 加热冷却空气	205
4-8.1 性能的变量	175	5-3.3 加热润滑油与冷却水	205
4-8.2 风扇噪音	176	5-3.4 调节冷却风扇的速度	206
4-8.3 风扇定律的限制	180	5-3.5 控制冷却水流量	206
4-8.4 风扇定律的使用实例	180	5-3.6 控制进入油冷器的机油流量	206
4-9 比速度	181	5-4 控制件与仪表设备	207
4-10 系统阻力对风扇性能的影响	182	5-4.1 散热器盖	207
4-10.1 系统阻力	183	5-4.1.1 概述	207
4-10.2 风扇与系统的匹配	184	5-4.1.2 散热器盖的类型	207
4-11 多级风扇系统	184	5-4.2 稳压箱	210
4-11.1 平行工作	184	5-4.2.1 用途	210
4-11.2 串联工作	185	5-4.2.2 应用与工作	210
4-12 风扇选择	185	5-4.2.3 稳压箱的安装	211
4-12.1 标准设计	185	5-4.3 恒温器	212
4-12.2 风扇选择程序	186	5-4.3.1 用途	212
4-12.3 风扇选择实例	188	5-4.3.2 工作	212
4-12.4 超规格风扇	189	5-4.3.3 一般结构	213
4-13 风扇的安装	189	5-4.3.4 分类	213
4-14 风扇导风圈	192	5-4.3.5 促动元件的类型	215
4-15 风扇驱动与速度控制	193	5-4.3.5.1 皱纹膜式	215
4-15.1 机械驱动	193	5-4.3.5.2 软蜡式	215
4-15.1.1 皮带驱动机构	193	5-4.3.6 恒温控制方式	216
4-15.1.2 轴驱动	194	5-4.3.7 恒温器冷却水循环系统	218
4-15.1.3 齿轮箱驱动	194	5-5 温度信号传送装置	218
4-15.2 电力驱动	194	5-6 报警装置	219
4-15.3 液力驱动	195	5-7 冷却水面指示器	219
4-15.4 粘性风扇驱动	196	5-8 冷却水面和冷却水进气报警装置	220
4-15.5 变节距叶片风扇	197	参考文献	221
		相关文章	222

第六章 格 栅

6-0 符号说明	223
6-1 不防弹的格栅和挡网	223
6-2 防弹格栅	226
6-2.1 用途	226
6-2.2 格栅的设计	226
6-2.3 型式和结构	226
6-2.3.1 文氏管式	226
6-2.3.2 杆式	227
6-2.3.3 鱼钩式	228
6-2.3.4 桌面式	228
6-2.3.5 人字式	229
6-3 气流阻力特性	230
6-4 防弹特性	231
6-5 噪音	231
6-6 试验和鉴定	232
6-7 格栅安装的设计因素	233
参考文献	234
相关文献	234

第七章 系统的流动阻力的分析

7-0 符号说明	235
7-1 流体的流动条件	235
7-2 流动阻力	236
7-2.1 不可压缩流体的流动阻力	236
7-2.2 压力降的类别	237
7-2.2.1 摩擦压力降	237
7-2.2.2 动压力降	240
7-2.2.3 挡网和格栅	246
7-2.2.4 经过通道内的零部件后的空气 压力损失	246
7-2.2.5 经过一传热基体的空气压力降	247
7-2.2.6 格栅摩擦损失	247
7-2.3 减小流体压力损失的有效方法	248
7-2.3.1 格栅面积	248
7-2.3.2 均等或渐变式格栅面积	248
7-2.3.3 风道设计	248
7-2.3.4 减小弯道压力损失的措施	249
7-2.3.5 M551“谢里登”坦克的冷却气流试验	249
7-2.4 冷却系的总空气阻力实例 ——XM803实验坦克	249
7-2.4.1 系统阻力特性	250
7-2.4.2 XM803实验坦克发动机冷却 气流系统空气阻力的求解举例	251
7-3 冷却系的液体流动分析	258

7-3.1 发动机冷却水泵	258
7-3.2 油泵	260
7-3.3 流体的流动阻力	261
7-3.3.1 机油的流动阻力	261
7-3.3.2 发动机冷却水流动阻力	262
7-3.3.3 流体在管道系统中的流动阻力	263
参考文献	264
相关文献	265

第八章 系统的综合和安装设计

8-0 符号说明	266
8-1 设计标准	267
8-1.1 冷却系统分析	269
8-1.1.1 动力室分析	270
8-1.1.2 发动机的排热率	270
8-1.1.3 发动机附件和辅助设备	270
8-1.1.4 发动机油冷器	270
8-1.1.5 发动机排气	271
8-1.1.6 传动装置	271
8-1.1.7 离合器	271
8-1.1.8 液力减速器	271
8-1.1.9 燃料箱	271
8-1.1.10 动力传动系的热传导	271
8-1.1.11 气流	271
8-1.1.12 防冻措施	272
8-1.1.13 冷却系统的变量	273
8-1.2 车辆性能规格	274
8-2 冷却系统的综合设计	274
8-3 冷却系统的优化	274
8-4 冷却分系统的比较分析法	274
8-5 冷却系统设计举例	276
8-5.1 冷却系统的初步设计	276
8-5.1.1 发动机的冷却	276
8-5.1.2 传动装置的冷却	279
8-5.1.3 M114产品改进型车辆装用的试验 性动力装置冷却系统的安装设计	281
8-5.2 装有风冷柴油机的XM803实验坦克	293
8-5.2.1 发动机的冷却	294
8-5.2.2 传动装置的排热率	305
8-5.3 水冷发动机的安装	307
参考文献	312
相关文献	312

第九章 试验与鉴定

9-1 车辆试验的重要性	313
9-2 对部件试验的要求	313

9-2.1 热交换器.....	313	9-5.2 环境试验.....	354
9-2.1.1 散热器.....	313	9-6 军用系统研制说明.....	337
9-2.1.2 发动机/传动装置的油冷器.....	314	9-6.1 研制试验(DT)和使用试 验(OT)的实施.....	338
9-2.1.3 其他冷却器.....	314	9-6.2 研制试验.....	339
9-2.2 风扇.....	314	9-6.3 使用试验.....	340
9-2.3 冷却水泵.....	315	9-7 试验机构.....	341
9-2.4 格栅.....	315	参考文献.....	342
9-3 冷却系统.....	315		
9-3.1 冷却系统的车辆模拟试验.....	316		
9-3.1.1 冷模型试验.....	316		
9-3.1.2 热模型试验.....	317		
9-3.1.3 冷却系统的除气要求.....	320		
9-3.1.4 活动试验车架.....	320		
9-3.2 车辆总试验.....	320		
9-4 车辆冷却计划试验实例.....	320		
9-4.1 试验设备、方法和程序.....	320		
9-4.2 M113/M113A1冷却鉴定和产品 改进计划试验.....	324		
9-4.2.1 一般情况.....	324		
9-4.2.2 冷却试验的目的.....	324		
9-4.2.3 已定型投产车辆的冷却试验结果.....	324		
9-4.2.4 修改的车辆冷却试验.....	325		
9-4.3 M110车的冷却鉴定和产品 改进计划试验.....	325		
9-4.3.1 一般情况.....	325		
9-4.3.2 冷却试验的目的.....	325		
9-4.3.3 已定型投产车辆的冷却试验结果.....	325		
9-4.3.4 修改的车辆冷却试验.....	326		
9-4.3.5 稳压箱试验.....	327		
9-4.4 M551车的冷却鉴定和产品改进计划.....	327		
9-4.4.1 一般情况.....	327		
9-4.4.2 冷却试验的任务.....	327		
9-4.4.3 已定型投产车辆的冷却试验结果 (发动机额定功率300马力).....	327		
9-4.4.4 修改的车辆冷却试验.....	328		
9-4.5 M561车的冷却鉴定及其产品改 进计划.....	330		
9-4.5.1 一般情况.....	330		
9-4.5.2 冷却试验的目的.....	330		
9-4.5.3 已定型投产车辆的冷却试验结果.....	330		
9-4.5.4 修改的车辆冷却试验.....	330		
9-4.5.5 观测与结论.....	331		
9-4.5.6 车辆冷却液的鉴定.....	331		
9-5 美国陆军坦克机动车局在冷 却系发展中的职责.....	332		
9-5.1 第二与第三阶段的研制试 验(简称: 研制试验Ⅰ和Ⅱ).....	332		
		表1-1 军用车辆冷却性能简介(尤马 试验场)(在最高温度下进行 全负荷冷却试验的记录值).....	4
		表1-2 温度、阳光辐射、相对湿度	

附 录

附录A.....	344
A-1 油冷器性能.....	344
A-2 典型的散热器芯的性能——散热 片与管芯.....	361
附录B.....	367
B-1 冷却风扇的具体结构和工作特性.....	367
B-2 混流式风扇.....	377
B-2.1 军用车辆发动机冷却问题的最 优系统设计途径.....	377
B-2.2 发动机冷却系统用的混流式风扇.....	377
B-2.3 混流式冷却风扇在军用车辆中的安装.....	379
B-2.4 系统设计.....	380
B-2.5 冷却系统的优化.....	381
B-2.6 明确计量单位.....	382
B-3 底特律柴油机公司的冷却风扇.....	387
附录C.....	394
C-1 防弹格栅性能数据.....	394
附录D.....	401
D-1 散热器的试验和鉴定方法.....	401
D-2 发动机/传动装置油冷器 的试验规格和程序.....	404
D-2.1 油-气式冷却器.....	404
D-2.2 油-水式冷却器.....	406
D-3 风扇性能的试验方法.....	407
D-4 冷却水泵试验.....	412
D-5 XM803实验坦克热模型的 仪器清单和安装简图.....	413
D-6 冷却系统的除气试验.....	418
D-7 美国陆军坦克机动车局推进系统 实验室M110产品改进试验计划的№699 号试验大纲.....	421

昼夜极限一览表	8	与液压驱动的比较)	193
表1-3 冲击与振动数据	30	表4-6 电驱动冷却风扇的特性	194
表1-4 M114装甲人员输送、指挥、 侦察车在尤马试验场的机动性 试验数据	32	表4-7 冷却风扇液力驱动特性(液力驱 动与机械驱动比较)	196
表1-5 温度与海拔高度的对应关系	35	表6-1 现代军用车辆使用的防弹格栅	230
表1-6 履带车辆的里程循环	42	表7-1 公式(7-8)中所用的面积变化损 失系数	243
表1-7 轮式车辆的里程循环	43	表7-2 标准管接头对液体流动的阻力	263
表1-8 军用机动设备中使用的 润滑油、液压油、润滑油脂	46	表8-1 为最高速度是44英里/小时的车辆 所预计的传动装置的冷却要求	280
表2-1 热力循环的特性	66	表8-2 为最高速度是36英里/小时的车辆 所预计的传动装置的冷却要求	280
表2-2 军用车辆安装的冷却系统一 览表	72	表8-3 M114车的试验性动力装置的安装 和冷却系统的设计	292
表2-3 15马力的 GPU-3型斯特林发动 机的热量平衡	78	表8-4 冷却数据一览表(在AVCR- 1100-3型发动机气缸盖上测量 的温度)	295
表2-4 传动系通用术语表(美国陆军坦 克机动车局)	83	表8-5 AVCR-1100-3B 发动机气缸 的冷却特性	297
表2-5 车辆性能公式	86	表8-6 AVCR-1100-3B 后冷器的冷却 特性	303
表2-6 最大油门工况下车辆传动系 效率一览表	87	表8-7 在XM803实验坦克中安装的 AVCR-1100-3B型发动机的 冷却系统性能表	304
表2-7 传动系组合(美国陆军坦克机动 车局)	87	表8-8 冷却系统参数的研究	308
表2-8 典型的动力室温度(尤马试 验场)	101	表9-1 M113A1车的修改对冷却水温和 传动装置油温的影响	325
表3-1 散热器尺寸与车辆应用(美国陆 军坦克机动车局)	133	表9-2 M110车的修改对于冷却水温和 发动机油温的影响	326
表3-2 散热器使用与车辆、发动机(美 国陆军坦克机动车局)	134	表9-3 M551车的修改对发动机冷却水 和传动装置油底壳温度的影响	328
表3-3 各种车辆的冷却温度极限(美国 陆军坦克机动车局)	135	表9-4 M561车辆修改对发动机冷却水 温和油底壳温度(外推到120°F) 的影响	331
表3-4 散热器与压力盖的使用	136	表9-5 美国陆军试验与鉴定局的 试验类别	333
表3-5 接近最小芯体容积的油冷器设 计参数	146	表9-6 用于器材寿命循环试验的 “陆军规则”	337
表3-6 乙二醇水溶液的特性(容积比 50/50%)	163	表D-1 试验台的振幅	403
表4-1 军用车辆的冷却风扇	171	表D-2 各种气压条件下的饱和空气与 部分饱和空气的密度	411
表4-2 底特律柴油机的冷却风扇	172	表D-3 稳压箱热熄火能力	420
表4-3 风扇定律	177		
表4-4 海平面上不同温度的空气密度 值与不同海拔高度的大气 压(干燥空气)	187		
表4-5 皮带驱动的风扇特性(皮带驱动			

第一章 军用车辆冷却系统总论

本章着重说明，军用条件对车辆冷却系统的特殊影响。介绍各种不同的军用车辆冷却系统及其在苛刻的军事条件下使用的困难性。此外，还讨论了特种条件下，车辆配备的专用设备，提出了可靠性、维修方便性以及一般冷却系统的设计要求。

1-1 内容范围

本书总的目的是：确定军用地面车辆冷却系统设计及研制的系统程序。

本书适合于所有与军用地面车辆冷却系统设计和研制有关的机构和人员使用。

迄今为止，已经出现过许多在苛刻的军事条件下，军用车辆冷却系统工作能力不足的事例。因此，向军用条件知识有限的工程技术人员介绍正常军事使用条件下的困难性，是编写本书的目的之一。除此之外，还有两个具体的目的，即：

1. 提供过去的设计经验，避免重复已经作过的尝试；
2. 收集、保存这方面的专门资料，否则这些资料是可能遗失的。

冷却系统设计的成功与否，不仅由选择单个部件来决定，还必须仔细分析工作要求和系统安装的特殊问题，以及冷却系统与车辆的综合性能。只有当一切与车辆有关的因素得到充分考虑时，才能产生一项成功的冷却系统的设计方案。

在陆军部队中，军车队可能是世界上数量最大的车队，也是一种不寻常的混合车队，因此军用车辆的设计要求也是不寻常的。

军事装备的设计者，必须对各种构件进行复杂的选择，其范围从整个车辆到单个小部件。设计者必须从新设计的军用方案、现成的民用方案、以及民用方案的军用型中作出选择。对有些车辆，选择的对象是清楚的，但对于一些重型装甲车辆，如坦克、突击车、火炮运载车等，就没有相应的民用型号可供选择。尽管这些车辆，在全部军用车辆中所占的百分比很小，但这类车辆不可避免地要求有一种纯军事应用的设计和研制方法⁽⁴⁾。

军用车辆中，大多数是轮式车辆，其中主要是卡车、轿车和多用途车辆。几乎所有这类车辆都有相应的民用部件，还有许多民用车辆直接作为军用。这些作为军用的民用车辆，可能是标准的民用车型，也可能是民用车辆的军用化。

出于很多原因，现在军方采购的趋势是，尽可能购买现成的民用部件和成品零件。这样做在许多情况下，是能够获得满意的结果的。例如，民用轿车作为指挥车，在非战斗环境的军事区域内使用，就是相当成功的。其他，如成套的民用牵引车-拖车，在行驶路线得到仔细选择的情况下，可成功地用于车辆运输工作。

在大多数军用车辆中，对于民用部件与成品零件，必须：慎重权衡、合理选择、谨慎使用。

为了给选择军事器材提供基础，需要讨论民用车辆与军用车辆的工作方式、维修条件、及工作环境的差别。对于民用卡车及工业用车辆，在其车辆寿命期限内，车辆能够得到充

分的维修，能够有足够的维修次数，而且，民用车辆是在规定的耐久性期限内工作的。一般情况下，除了那些专门设计用于野外工作的卡车外，大多数卡车，都在清洁环境下工作，路面良好，坡度小。随着现代化公路网的发展，车辆几乎可以按照最佳工作条件设计。

然而，军事应用环境与民用条件，无共同之处。军事车辆可能在世界任何地方工作，可能在公路上，也可能在野外；车辆可能按计划维修，也可能不按计划维修；车辆可能按设计目的使用，也可能不按设计目的使用。尤其在战斗状态下，更是如此。

一种军用车辆往往是一项广泛冗长的系统发展计划的结果。首先，由使用部队，即美国陆军训练与条令局 (TRADOC)；或由发展机构，如美国陆军坦克机动车局 (USTACOM)；或由民用合同商，提出需要某种履行特种任务的车辆的要求。一般来说，必须准备一个书面的说明书，叙述车辆及其性能要求、武器系统，还应叙述它所履行的作用或任务。通常，这种说明书，在陆军各局间传阅，以便在最后定案之前，提出各自的意见。

在车辆、车辆结构及其任务，得到批准之后，必须准备更详细的文件，详细引证设计规格、性能、预定的任务要求。进而，选择研制小组、准备发展计划，并提供资金。至此，发展计划从概念阶段向实际车辆方向前进了一步。在车辆交付野外使用之前，还必须进行一系列广泛的试验，来验证车辆对陆军使用的适应性，并确定系统性能的合格性⁽⁵⁾。

安排一个完整的系统发展与试验周期，其目的之一，是暴露并解决实际车辆与后勤供应的问题。按照最初的设计方法，对于将会遇到的问题，或许已经预先考虑到了，或许并未预料到，但无论情况如何，都希望在车辆交付野外使用之前，能够把难点全部解决。然而，用历史的观点来看，这种简单的方法，已经是极不可靠的了。因为按照这种方法设计的大多数车辆，在出厂以后遇到的困难越来越大。冷却不充分已成了影响车辆性能的最重要的问题之一。甚至于在民用工作时，从未出现过冷却问题的民用车辆，在应用于军事用途以后，也会产生这个问题。

车辆工作的地形条件，是造成冷却不足的因素之一。军用车辆通常需要在各种不同的地形上工作，而且，大多数军用车辆必须具有离开平坦路面，越野行驶的能力。在军事实践中，除了那些经过试车，不可能通行的地形外，一般在使用中是没有地形限制的。在初期的冷却系统设计中，如果不考虑地形条件因素，就会由于过高的功率要求，而产生更高的车辆冷却要求。

军用车辆可能在超载情况下工作。这种超载状况，可能还含有车辆在错误排档工作的因素。车辆的载重量往往取决于，车体的尺寸大小，可是，有时候车体的尺寸容限，往往会引起车辆过载，特别是在战斗的条件下。

通常，在作战情况下，军用车辆的维修保养是不充分的。而且，为了能够在战场上履行多种任务，军用车辆必然是多种多样的。车辆的多样性，使车辆的组成变得极其复杂。因此，制定一项有效的维修保养程序就更加困难了。

很显然，在民用车辆与军用车辆之间存在着明显的差别。在多数情况下，这些差别会对冷却要求产生较大的影响。

军用车辆冷却系统设计者，遇到的另一个主要问题是，军用车辆（特别是战斗车辆）的动力室空间很有限。这就使冷却气流很不理想，而必须用导流板，密封挡板，格栅，风道来提供和引导空气，以便使系统获得充足的冷却。

在军用车辆上，防弹格栅、枝条杂物挡网、护板以及其他随车附件，使空气的压力下降。这些附件是军用条件下所特有的，在民用车辆中是不存在的，必须在冷却系统设计的一开始就考虑到这一因素。

车辆的剧烈振动，以及其他一些不可预测的损坏因素，如散热器片的破碎、生锈剥落、堵塞以及由于军用工作条件的影响，产生的冷却系统的损坏，都应在冷却系统设计的开始，就充分加以考虑。这样，才能使车辆在军事应用中，在各种经历过的环境条件下，具有满意的工作能力。必须注意，如果民用车辆，直接作为军用，而不作适当的调整，也会遇到严重的冷却问题。

车辆冷却系统失败的原因，可作如下分类：

1. 没有对车辆进行充分的分析，提出足够的技术要求，这包括：

- (1) 对车辆与部件的冷却性能，要求不足；
- (2) 所采用的风扇尺寸、泵及热交换器不合适；
- (3) 风扇和泵的速度，以及流体的流量不适当；
- (4) 部件和流体的工作温度极限不相适应；
- (5) 储备系数（或安全系数）不足；
- (6) 技术资料不足。

2. 系统设计的困难：

- (1) 由于后沸腾、进气及泄漏，引起冷却水的损失；
- (2) 系统工作状况的恶化和性能的逐渐下降；
- (3) 故障引起的节流阻力、进气及气穴等。

3. 试验不完善、不充分：

这就可能造成不完善的系统进入野外使用的情况。因而，后来出现了一些本来可以在充分的试验中能发现的故障。

4. 维修不充分，操作程序不当。

5. 加压系统损坏。

6. 部件有缺陷。

7. 装甲防护不足。

表 1-1 是一些军用车辆冷却性能的简介。显然，其中有些车辆冷却系统的性能是不可能令人满意的。本手册的目的就是：要帮助设计者，为军用车辆提供能力足够的冷却系统。

1-1.1 往复式内燃机的常规冷却系统

在内燃机里，受燃烧气体影响的零部件，在燃料燃烧过程中，不断吸收热量。这些热量必须以与吸热过程相同的速度扩散到大气中去。在给定的工作条件下，就是以这种热传导速度，建立热平衡条件。

发动机有水冷与风冷两种冷却方式。在水冷发动机里，如果要求的水套温度较高，而且为了防止冷却水，在低温条件下冻结，一般都用乙二醇与水的混合物作为冷却介质。

乙二醇的沸点是 387° F，当它与水以适当比例混合时，溶液的凝固点会降低到 -65° F，因而适用于北极工作。发动机工作的温度范围，是由恒温装置与冷却水的沸点来决定的。

表1-1 军用车辆冷却性能简介(尤马试验场)
(在最高温度下进行全负荷冷却试验的记录值)

车辆型号	车辆规格与类型	公路速度 英里/时	工作排档	冷却水温度 °F	发动机油底壳 温度° F	变速箱油池 温度° F	大气温度° F	数据外推值 °F	尤马试验场报告号
M50A2	2-1/2吨	3.7	1-L	224	244	235*	115	120	8007
M151A2	1/4吨	2.9	1	254	259	273	96	120	0049
XM809	5吨	2.5	1-L	220	254	301*	70	120	0030
M54A2	5吨	3.6	2-L	219	268	340	89	120	8015
M121	10吨	2.2	1-L	213	270	—	—	120	6013
M151A1	1/4吨	9.6	1	232	288	413	80	120	9012
M715E1	1-1/4吨	4.0	1-H	240*	258*	315*	105	120	8002
XM410E1	2-1/2吨	3.5	1-L	229	251	262	98	115	6001
XM656	5吨	5.6	3-C	247	285	243	71	115(原冷却系统)	5023
XM656	5吨	2.8	1-C	217	97	249	97	115(改进系统)	5023
XM656	5吨	2.8	1-C	225	272	261	98	115	7005
M54E3	5吨	4.1	2-L	209	232	—	93	115	OTA-202
M51A2	5吨	5.3	2-L	257*	299*	212*	94	115	7028
M35A2C	2-1/2吨	5.2	2-L	238	259	287	67	120	9077
M113	装甲人员运输车	2.0	1-C	221	251	269	85	115	OTA-200
M551	谢里登坦克	3.0	1-C	241	274	327	104	120(传动装置油至油冷器)	7027
M551	谢里登坦克	4.5	2-C	246	282	351	100	120(传动装置油至油冷器)	9029
M60E1	主战坦克	9.0	H	×	250	281	96	115	OTA-185
M60	主战坦克	9.9	L	×	300	309	90	115	无
M60	主战坦克	14	H	×	256	195	101	115	4026
M60A1	主战坦克	10	L	×	238	181	64	115	5016
XM688E1	兰斯导弹发射车	2.2	1-C	254	293	276	79	120	7016
XM727	兰斯导弹发射车	2.8	1-C	233	271	253	85	120	7003
XM747E2	兰斯导弹发射车	3.9	1-C	255	265	266	82	115	3074
XM501E3	霍克导弹轻型卡车	4.1	L	237	238	236	96	115	4040
M113E2	1/2吨	2.0	1-C	247	266	258	100	115	4040
M274	1/2吨	4.3	1-L	×	257	220	93	115	3081
M116	货运车	4.4	Gs 1	227	260	262	102	未外推	3061
LVTPX12(P7)	装甲人员运输车	4.7	1-C	224	257	243	100	125	DPS/OTA83
XM705	1-1/4吨	7.5	1-H	220	266	353	80	120	8003
M123A1C	10吨	40	5-H	163	231	426*	87	120	0143
XM520E1(GOER)	8吨	1.5	1-C	225	276	264	64	120	据1972.9.22 的函件,报告 8014

* 温度不稳定, 继续上升, L—低档; H—高档; C—变矩器工作; ×—未记录。

由于乙二醇与水的混合物的沸点比纯水高，因此，可以允许较高的工作温度。但是，混合液的比热值低于纯水，这样，对于相同的热传导表面来说，冷却液的容量要求就更大了。

风冷发动机不需要水或其他各种水与防冻液混合的冷却介质，也不需要冷却水套、泵、散热器、及其他有关的冷却水管路连接件。但是，风冷发动机必须采用单独的气缸盖结构，必须有散热肋片、导流板，车上还须安装风扇或鼓风机。通常，润滑油也必须进行冷却。风冷发动机的冷却表面是：适当分布的，具有不同长度和形状的散热肋片。只要车辆冷却系统设计合理，那么，无论是采用风冷方式，还是水冷方式，都是可以获得成功的。

发动机的温度，取决于具体的发动机结构和发动机工作条件。但是，这个温度值，必须在冷却条件许可的最大与最小温度范围之内。过冷与过热现象均应避免。对于水冷发动机来说，温度极限是用机油温度或发动机冷却水的出口温度来表示的。一般，冷却水的极限值，最小是 160°F ，最大是 212°F （散热器压力盖装定每磅/英寸²的压力大约加上 3°F ）。对水冷发动机油温的规定，是和风冷发动机一样的。对于风冷发动机来说，温度极限是用润滑油的温度范围和气缸盖的最大温度来表示的。一般，在稳态工作条件下，润滑油的温度极限是：从最小 130°F 到最大 250°F ；而气缸盖最大的温度则为 500°F 。必须在较宽的工作条件范围内，保证不超越上述温度极限。否则，就会由于过热或过冷使发动机产生问题。

在汽油机里，过高的发动机温度，不仅会引起“爆震”和功率损失，而且会引起轴承和其他运动部件的损坏。气缸盖和缸体经常会变形或断裂，特别是在发动机发生了过热却并未得到冷却的情况下，就立即添加冷却水，更容易发生上述现象。过热会使冷却水沸腾。如果车辆是在冷却水沸腾的情况下工作，那么蒸汽压力，就会迫使大量冷却水经散热器溢流管流出系统之外；然后会发生更猛烈的沸腾，造成更多的冷却水流失。最终，冷却循环停止，冷却完全破坏。这就是说，一台发动机，如果是在冷却水沸腾的情况下工作，即使只是短时间的，实际上却是造成发动机损坏的原因。

虽然，过冷现象，实际上比过热现象发生得少，但过冷对发动机也同样是危险的。发动机工作温度过低，特别是在结冰的气候条件下，会引起过多的燃料消耗，且未燃烧的燃油会使发动机的机油稀化。此外，在曲轴箱内会由于水的凝聚形成沉积物（一种氧化物）。沉积物一形成，就立刻会破坏润滑，造成发动机的严重损坏。燃烧后的燃油蒸汽，在曲轴箱里还会与水混合，并形成侵蚀发动机部件的腐蚀酸类。

对于大型水冷柴油机，通过冷却介质从气缸盖上带走的热量，是在输入能量的 15~20% 范围内变化。至于汽油机，带走的热量，则是在 20~35% 范围内变化。在 1/3 负荷时，可能高达 40%。这些数值说明，对大型柴油机，热量损失是输出制动功率的 40~50%。而对汽油机，则是输出制动功率的 100~150%^[1]。

在风冷与水冷发动机中，活塞的冷却，是通过把热量传到气缸壁和润滑油来实现的。在大多数风冷柴油机内，把相当数量的润滑油引至活塞下方，使活塞保持允许的温度。

在高输出功率的水冷发动机里，把冷却水引向最热点。一般，排气阀座是最热点。把冷却水引向最热点，可以减少蒸汽气泡的形成。如果形成的气泡附着在表面上，就会产生过热。一般，在直立式发动机里，冷却水是自下而上流动的，围绕气缸套进入气缸盖冷却水套，最后到达出口。

1-1.2 旋转式发动机的常规冷却系统

1-1.2.1 燃气轮机

燃气轮机通常是风冷的，而且，要求足够量的进排气风道。一般冷却空气是由燃气轮机的压气机抽出去的。有时候，在一些高输出功率的燃气轮机里，涡轮叶片上还有一些内冷却通道。

在使用燃气轮机的车辆里，通常需要一种油-气式热交换器，对燃气轮机的润滑油进行冷却。这种热交换器和排风道是燃气轮机冷却系统的主要部件。

燃气轮机的输出功率，在很大程度上受入口温度的影响，因此必须采取措施防止热空气回流，防止油冷器入口系统因热辐射而变热。燃气轮机进气口与排气口所要求的任何气流通道，都应该有足够的尺寸，以便使空气的压力降尽可能小些。通常，还要求消除气体入口（或压气机）的噪音。

1-1.2.2 转子发动机

汪克尔发动机与其他转子发动机的冷却系统，基本上是与往复式发动机的冷却系统一样的。而且，也有风冷和水冷两种。对风冷转子发动机，发动机壳体上可制有散热肋片，对于水冷发动机，壳体上可制有冷却水通道。在水冷方案里，可采用普通类型的冷却水泵和散热器。图 1-1 就表示了一种典型的转子发动机水冷系统。由于转子发动机壳体的局部燃烧加热，就可能产生不均匀的热应力。为了尽可能减小热应力值，通常，把冷却水套或肋片的位置，安排在受燃烧气体影响的区域。在这种结构布置中，由于进入发动机的空气与燃料的冷却，加上润滑油的流动，最终使转子保持在允许的温度值上。发动机转子，依靠润滑油经转子内的通道循环而获得冷却。油泵从油底壳抽油，并压送油液，经过滤清器，进入热交换器。然后，油液在压力下，直接进入转子体，在转子体内循环，并从转子体周

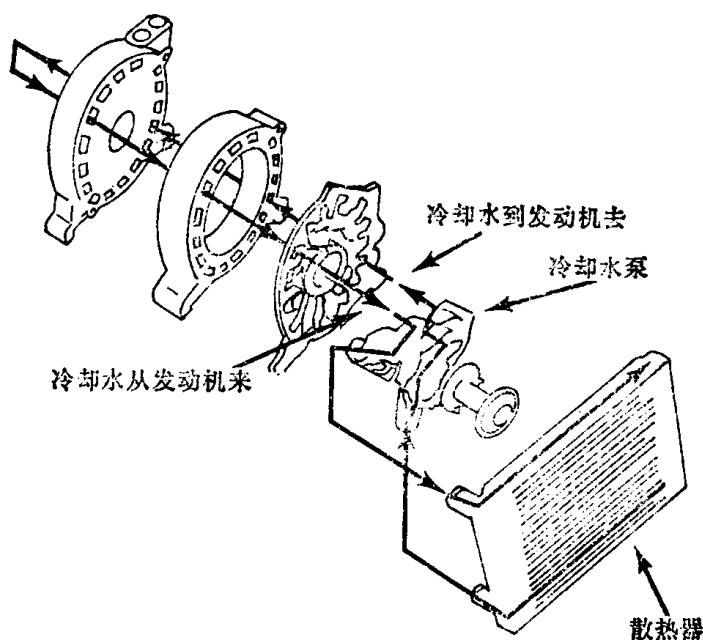


图1-1 转子发动机的冷却系统