

行驶力学 履带车辆

[联邦德国] W. MERHOF

E.M. HACKBARTH 著

韩雪海 刘侃 周玉琰 译

LÜDAI CHELIANG XINGSHI LIXUE



内容简介

本书对主战坦克的机动性,以及转向机构、行动装置的分类和构造,作了系统深入地探讨,还对履带车辆的直线行驶和转向行驶的力、速度和功率,即行驶力学进行了分析和计算。

本书列出了履带车辆整车设计和传动系统(变速、转向)、行动装置(推进、悬挂)设计计算所适用的260多个计算公式和近300个图表;整理汇集了西方国家,特别是联邦德国坦克有关设计计算、试车试验的大量数据和资料,其中有些很宝贵,具有重大参考价值。

本书作为一部重要参考书和辅助教材,将在我国坦克履带车辆行业的科研设计、生产制造、使用试验和教学部门,得到广泛地使用。

FAHRMECHANIK DER
KETTENFAHRZEUGE

W. Merhof

E. M. Hackbarth

Leuchtturm-Verlag

2. Auflage 1985

履带车辆行驶力学

韩雪海 刘毅 周玉珑 译

责任编辑 李永亨

国防工业出版社 出版发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

北京卫顺排版厂排版 国防工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张16 $\frac{1}{2}$ 276千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷 印数:001—900册

ISBN 7-118-00461-8/TJ·30 定价:7.30元



译者的话

联邦德国的坦克和装甲履带车辆的结构和性能特征,以及型号和装备演变,对我国读者并不陌生。但有关主战坦克的总体设计、主要部件选型以及各个系统设计计算方面的资料,实为少见。本书是我国第一部联邦德国坦克设计的专著。它的出版发行,将有助于我国读者,对这个主要坦克生产国的坦克设计情况有所了解。

本书是在联邦德国陆军高等技术学院教材的基础上,编篡而成的。它概括地介绍了行驶力学理论,着重对转向行驶、转向传动、转向机构的结构和性能,以及行动装置作了详尽深入地叙述。这就完成了底盘设计的主要组成部分——由转向机到履带行动装置的设计计算。本书所提供的实例和计算例题中的数据是很宝贵的,多数可直接采用或具有重大的参考价值。本书所列的计算公式和关系式,可用于坦克履带的部件和系统的优化设计中,对我国开展计算机辅助设计(CAD)将会大有裨益。

本书是我国坦克、履带车辆科研设计人员的重要设计参考书,也可作有关高等院校的参考教材。

本书承北京理工大学朱经昌教授作了技术校订;本书的出版,得到部、院领导和叶伟同志的大力支持,内蒙一机厂陈慧同志作了大量组织工作;在此表示衷心感谢!

韩雪海 刘侃 周玉珑

1988年6月

第一版序言

本书为从事战斗车辆技术工作的工程师和对此感兴趣的技术人员，提供了一份内容丰富的文献。履带车辆行驶力学这一特殊题目，虽然经常有人提起，但实际上多未被深入引用过。

本书要在此沟通联系。本书以达姆斯塔特陆军高等技术学院有关履带车辆技术讲座内容为基础。直到今日，由于引用高等技术学院的教材，本专业汇集遂得广为流传，此际能找到大量佐证资料并遇到希望出版本书的考虑。

1979年以后，达姆斯塔特陆军高等技术学院不再讲授履带车辆技术的专业课程，加之在德语地区别处再无此类教材范围的汇编资料，这就使把已积累的知识连贯起来，加以表述的工作更加麻烦。对从事履带车辆多种层次的材料研究人员来说，本书不啻是一种帮助和思想推动。本书不但深受国防技术专业人员的欢迎，而且也受凡愿扩大其车辆技术一般知识的专业人员的欢迎。

作者感谢达姆斯塔特陆军高等技术学院及其司令官，和协助出版本书的合作者所提供的支持，无此等支持，本书实难以问世。

W. Merhof

E. M. Hackbarth

1981年9月

第二版序言

对“履带车辆行驶力学”的需求，使本书有必要出一个新版本。不过，除个别更正外，现行第二版仍保持原有内容不变。为了使内容深化，也为了使教材和对履带车辆的构造有更清楚地阐述，新版本的使命之一，便是补充增添已论述过的直线行驶和转向行驶的内容，使臻于完善。用计算例题，使履带车辆行驶力学的难点和已叙述过的知识、结论，再一次得到阐明，这就加强了本书的工具书特色。

W. Merhof

E. M. Hachbarth

1985年1月

目 录

第一章	引论	1
第二章	符号简缩写	4
第三章	行驶力学 (概论)	11
1.	发动机的选用	11
1.1	选用合适的动力装置	12
1.2	电驱动	13
1.3	柴油机	14
1.4	其它类型发动机	18
1.5	燃气轮机与增压柴油机比较	20
1.6	柴油机-燃气轮机综合动力装置	27
2.	换档	27
2.1	齿轮变速箱	29
2.2	无级变速箱	33
2.3	动力流: 发动机-行驶路面	36
3.	力向地面 (行驶路面) 的传递	37
4.	履带车辆行驶阻力	40
4.1	行动装置阻力	40
4.1.1	行动装置构造	40
4.1.2	履带预加张力	42
4.1.2.1	履带预加静张力	42
4.1.2.2	履带预加动张力	45
4.1.2.3	履带总预张力	47
4.1.3	履带牵引力	47
4.1.4	行动装置的单项阻力	50
4.1.4.1	主动轮啮合摩擦阻力	50
4.1.4.2	履带导向齿摩擦阻力	51
4.1.4.3	链节摩擦阻力	54

4.1.4.4 撞击阻力	55
4.1.4.5 内滚动阻力	56
4.2 外行驶阻力	56
4.2.1 车首阻力	56
4.2.2 爬坡阻力	58
4.2.3 空气阻力	58
4.2.4 拖挂阻力	59
4.2.5 加速阻力	59
4.3 滚动阻力	60
4.4 计算例题	61
第四章 转向行驶的物理基础	63
1. 履带车辆实现转向行驶的难度	63
2. 现代履带车辆转向行驶时的履带运动	64
3. 履带主动轮速度	67
3.1 大半径区 $R \geq \frac{S}{2}$ 的速度	67
3.2 小半径区 $S/2 \geq R \geq 0$ 的速度	68
3.3 相对主动轮速度	70
4. 主动轮上的力	71
4.1 大半径区 $R \geq S/2$ 转向行驶时主动轮上的力	72
4.2 小半径区 $S/2 \geq R \geq 0$ 转向行驶时主动轮上的力	74
4.3 转向阻力系数	75
4.4 主动轮上相对力的关系	78
5. 主动轮上的功率	79
5.1 大半径区 $R \geq S/2$ 转向行驶时主动轮上的功率	79
5.2 小半径区 $S/2 \geq R \geq 0$ 转向行驶时主动轮上的功率	79
5.3 主动轮上相对功率关系	79
5.4 转向行驶时主动轮上所需的总功率	80
6. 履带车辆转向灵活性	81
7. 简化假定的讨论	86
7.1 履带宽	87

7.2	横滑、转向中心	87
7.3	对转向中心位置的影响	89
7.4	不等速的转向过程	92
7.5	纵向滑移、横向滑移的理解	93
第五章	转向传动的评价	96
1.	转向传动比的产生	96
1.1	转向半径-转向传动比-行驶速度的关系	96
1.2	差速式转向机构	97
2.	输入功率、损失、效率	100
2.1	履带主动轮上所需的功率	100
2.2	传动损失和转向损失	101
2.3	效率	103
3.	功率平衡	104
3.1	功率流与规定转向传动比的关系	104
3.2	以转向半径表达的功率平衡	106
3.3	转向行驶速度	108
4.	精确转向	110
5.	对于现有转向机构的评价	111
5.1	转向机构的分类	112
5.2	独立式转向机构	115
5.2.1	离合器-制动器转向机构	115
5.2.2	行星转向机	125
5.2.2.1	由离合器-制动器转向机构发展而来的行星转向机构	125
5.2.2.2	行星排的基本原理和传动方式	126
5.2.2.3	行星转向机构的行驶力学特性	132
5.3	差速式的转向机构	138
5.3.1	单流差速式转向机构	138
5.3.1.1	单差速器转向机构	138
5.3.1.2	多重转向差速器	144
5.3.2	双流转向机构	155
5.3.2.1	原理	155

5.3.2.1.1	双流转向机构的特性	155
5.3.2.1.2	汇流排的作用	160
5.3.2.1.3	双流转向机构的发展	164
5.3.2.1.4	总结	166
5.3.2.2	多半径双流转向机构	167
5.3.2.2.1	原理	167
5.3.2.2.2	规定转向传动比的计算	173
5.3.2.2.3	功率平衡	175
5.3.2.2.4	实例	196
5.3.2.3	无级双流转向机构	207
5.3.2.3.1	原理	208
5.3.2.3.2	计算基础	210
5.3.2.3.2.1	最小转向半径	210
5.3.2.3.2.2	功率平衡	211
5.3.2.3.3	无级转向输入的结构型式	214
5.3.2.3.3.1	液压转向机构	214
5.3.2.3.3.2	液力转向机构	228
5.3.2.3.3.3	液压-液力转向机构	231
5.3.2.3.3.4	液压-机械转向机构	239
5.4	履带车辆动力传递和转向机构的另一种方案	246
第六章	履带行动装置的难点	249
1.	任务和课题的提出	249
1.1	行动装置的任务	249
1.2	行动装置对机动性的影响	250
1.2.1	越野能力	250
1.2.1.1	地面单位压力	250
1.2.1.2	附着力	251
1.2.1.3	越壕能力	252
1.2.1.4	攀越能力	251
1.2.1.5	车底距地高	253
1.2.1.6	侧倾坡	253
1.2.2	反应能力	254

X

2. 行动装置的种类和结构	254
2.1 行动装置的分类	254
2.2 履带行动装置构造	256
2.2.1 主动轮	256
2.2.2 带履带张紧装置的诱导轮	258
2.2.3 负重轮和平衡肘	260
2.2.4 托带轮	261
2.2.5 弹性元件和减震器	261
3. 对行动装置的要求	262
3.1 振动载荷	262
3.1.1 振动方式和起因	262
3.1.2 对加速度的承受能力	265
3.2 悬挂装置	266
3.3 减震器	268
3.4 设计和使用可靠性	271
4. 应用中的履带行动装置的性能	272
4.1 复合悬挂行动装置	272
4.2 独立悬挂	274
4.2.1 扭杆弹簧装置	274
4.2.2 碟形弹簧悬挂装置	282
4.2.3 液压空气弹性元件	282
4.2.4 交替蓄能悬挂装置	292
附录	293
参考文献	326

第一章 引 论

一辆坦克的战斗性能是由机动性、火力和防护诸因素来决定的，而要使这些因素充分发挥作用，还取决其可驾驭性。

这些因素是相互密切关联的，以致无法给它们明确排出一个先后次序来。例如，高加速能力可以改善车辆在越野时的防护力。

坦克的机动性是由车辆行驶技术性能和战术使用性来决定的（参阅表1），包括：

加速度	}	为此采用发动机单位功率（亦称吨功率）作为粗略的比较基准值。但是，以此作为特征量不免有问题，因相当大部分的行动装置损失和风扇功率（风扇位于动力-传动装置总成上）必须从发动机功率中引出，而关系重大的主动轮功率也是由此获得的。
横向加速度		
速度		
爬坡能力		
转向性能		

作为量度越野能力的地面单位压力

制动性能

涉渡能力

潜渡能力

越壕能力

过垂直墙能力

车底距地高

装在车上的动力装置、变速箱、转向机、行动装置的性能特征，以及车辆的几何尺寸均对性能有影响。

本书探讨的战斗性能中的机动性，主要是指转向性能和行动装置。

表1 几种主战坦克的性能数据

	豹 式	豹1	豹2	M60A1	XM-1	T-62	T-72
战斗全重(t)	44.8	42.4	55	51.6	53.4	38	41
最大速度(km/h)	55	65	68	48	72	50	60
燃油储备(l)	720	910	1160	1470	1997		
最大行程(公路, km)	200	550	340	450	450	500	480
发动机类型/气缸数	汽油机/12	柴油机/10	柴油机/12	柴油机/12	燃气轮机	柴油机/12	柴油机/12
功率(kW)	515	610	1100	478	1118	427	580
单位功率(kW/t)	11.5	14.5	20	9.2	20.9	11.2	14.1
变速箱类型	机械、同步器	行星-变速 (动力换挡)	行星-变速 (动力换挡)	行星-变速 (动力换挡)	行星-变速 (动力换挡)	机械、同步器	机械、同步器
转向机类型	单半径、双流	双半径、双流	液压-液力 双流-差速	单半径、双流	液压、双流	行星式	行星式(?)
车底距地高(m)	0.54	0.45	0.48	0.41	0.48	0.45	0.42
单位压力(10^5 Pa)	0.87	0.9	0.83	0.86	0.92	0.8	0.83
最大爬坡度(%)	60	60	60	60	60	60	60
过垂直墙高(m)	0.9	1.15	1.1	0.91	1.24	0.95	0.8
越壕宽(m)	1.9	3	3	2.66	2.77	2.7	2.7
转向比	1.5	1.57	1.77	1.45	1.63	1.46	1.53

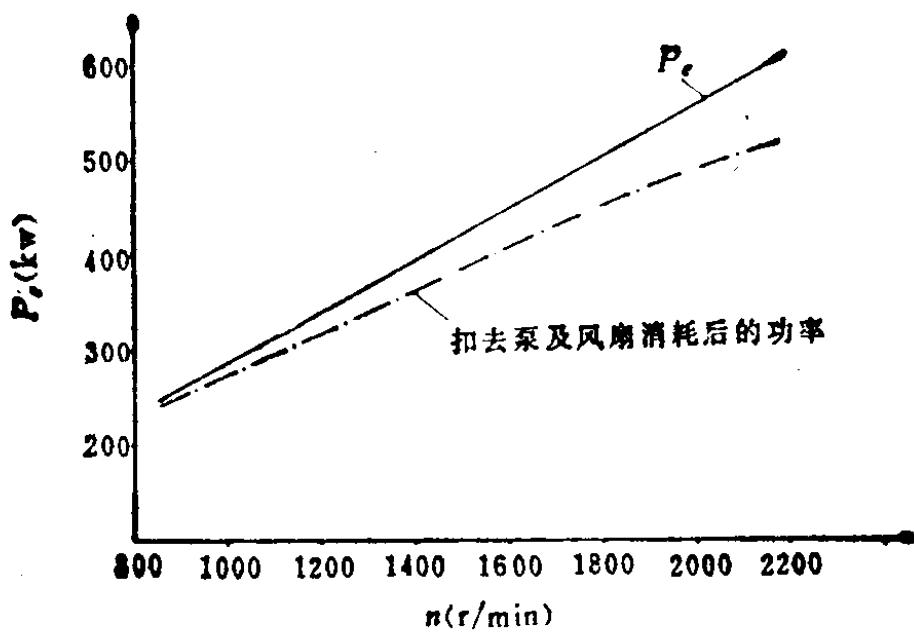


图1 豹1坦克的全功率特性

第二章 符号简缩写

A	迎风投影面积	m^2
A_K	气体弹簧活塞面积	m^2
a	加速度	m/s^2
a_s	平衡肘长度	m, mm
b	车宽	m, mm
b_o	燃油消耗率	g/kWh
b_K	履带宽	m, mm
c	弹簧长数	$\frac{N}{m}, \frac{N}{mm}$
c	撞击系数	$\frac{h}{km}$
C_w	空气阻力系数	
d	扭杆直径	m, mm
D_T	主动轮直径	m, mm
F_o	履带主动轮 (转向外侧)	N
F_{A_o}	拖挂阻力	N
F_{i_o}	转向阻力	N
F_B	加速阻力	N
$F_{B_{u,}}$	车首阻力	N
F_D	减震力	N
F_G	车重	N
F_{GKT}	上部履带环重量	N
F_i	履带主动轮力 (内侧)	N
F_{i_o}	转向阻力 (内侧履带)	N
F_{K0}	履带链节摩擦力	N
F_{KS}	撞击阻力	N

F_L	空气阻力	N
F_O	负重轮载荷	N
F_R	滚动阻力	N
F_{RE}	主动轮啮合摩擦阻力	N
F_{Reib}	可传递牵引力的摩擦分力	N
F_{KS}	履带导向齿摩擦阻力	N
F_{roll}	内滚动阻力	N
F_{scAer}	可传递牵引力的剪切分力	N
$F_{w.}$	外行驶阻力	N
F_{wi}	内行驶阻力 (行动装置阻力)	N
F_Z	推进力 (可传递的牵引力)	N
$F_{Zk.}$	履带外牵引力	N
F_{Zki}	履带内牵引力	N
F_{ZT}	主动轮牵引力	N
f	履带下垂量	m, mm
f_R	滚动阻力系数	
f_{roll}	内滚动阻力系数	
f_S	振动频率	Hz
f_w	转向阻力系数	
f_{w0}	转向阻力系数 (绕垂直轴中心转向)	
G	剪切模数	$\frac{N}{mm^2}$
i	行星排齿圈对太阳轮的转速比	
i_f	传动中全部固定传动比之积	
i_K	履带自有转向传动比	
i_L	转向传动比	
i_{Lf}	规定转向传动比	
i_M	变矩器扭矩比	
i_n	变矩器传动比	

i	行星排中齿圈对太阳轮的齿数比；常啮合传动比	
i_{PL}	行星排传动比	
i_{so}	变速箱可变传动比	
i_{st1}	转向离合器与汇流排中太阳轮之间的传动比	
i_{su}	汇流排传动比	
i_{sv}	侧传动传动比	
i_v	直线行驶时总传动比	
i_w	转向传动比	
i_{wa}	变矩器传动比	
i_{wo}	转向传动箱传动比	
i_{wf}	确定的转向传动比	
i_{wr}	滑摩传动比	
i_{ws}	液压转向机传动比	
J	转动惯量	kgm^2
l	扭杆长度	m, mm
l_a	履带着地长	m, mm
l_b	履带板长，近似等于履带节距	m, mm
l_{SR}	托带轮间距	m, mm
M_a	主动轮扭矩（外）	Nm
M_d	发动机扭矩	Nm
M_i	主动轮扭矩（内）	Nm
M_{pv}	泵轮扭矩	Nm
M_{TV}	涡轮扭矩	Nm
M_w	转向阻力矩	Nm
m_b	单块履带板质量	kg
n	履带张力指数	
n_A	齿圈转速（行星排）	r/min
n_a	主动轮转速（外侧）	r/min
n_{o1}	输入转速（总）	r/min
n_{Br}	转向制动器转速	r/min

n_B	自振数	Hz, r/min
n_g	履带板块数	
n_i	主动轮转速 (内侧)	r/min
n_L	零轴转速	r/min
n_m	主动轮平均转速	r/min
n_{mot}	发动机转速	r/min
n_P	行星架转速	r/min
$n_{P.}$	泵轮转速	r/min
n_S	太阳轮转速	r/min
n_{Sck}	变速箱输出转速	r/min
n_T	主动轮转速	r/min
n_{TV}	涡轮转速	r/min
n_V	直线行驶转速	r/min
n_W	转向转速	r/min
$n_{W.}$	转向转速 (外侧)	r/min
n_{W_i}	转向转速 (内侧)	r/min
P_i	主动轮功率 (外侧)	kW
$P_{.b}$	履带上所需的有效驱动功率	kW
$P_{..}$	变矩器输出功率	kW
$P_{...}$	直线运动驱动功率	kW
$P_{...w}$	转向运动驱动功率	kW
P_e	发动机功率	kW
P_G	滑摩传动元件输入功率	kW
P_{HK}	液力转向元件功率	kW
P_{HS}	液压转向元件功率	kW
P_i	主动轮功率	kW
P_K	行星排牵连功率	kW
$P_{P.}$	泵轮功率	kW
P_R	滚动阻力功率	kW