

军用桥梁 设计原理

The Design Theory of Military Bridges

孙文俊 陈宝泉 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军用桥梁设计原理

The Design Theory of Military Bridges

孙文俊 陈宝泉 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

军用桥梁设计原理/孙文俊,陈宝泉编著. —北京:国防工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-118-05434-7

I. 军... II. ①孙... ②陈... III. 军用桥梁—设计
IV. E951.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 168261 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 9½ 字数 235 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王峰 张涵信 程洪彬

秘书长 程洪彬

副秘书长 彭华良 蔡锺

委员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

(按姓氏笔画排序)

李德毅 杨星豪 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

本书主审委员 张涵信

前 言

军用桥梁设计是一项极具挑战性的工作。军用桥梁装备只有不断采用新材料、新技术和新工艺,才能实现其军事职能,满足现代战场对机动保障不断增长的需要。由于从事军用桥梁设计研究的人员稀少,因此设计理论研究相对薄弱,而理论研究成果的缺乏,必然导致相关设计规范的内容陈旧、滞后,宏观要求多,具体要求少,不能适应军用桥梁装备迅速发展的需要。因此,设计人员要想获得一个技术、战术水平较高的军用桥梁装备,不突破常规是不可能的。换句话说,与民用桥梁设计相比,从事军用桥梁设计的人员有着更为广阔的发明创造空间。同时,也要求设计人员具有深厚的设计理论功底。因循守旧,不能取得装备进步;突破规范,必须有充分的理论依据作保证。

目前,军用桥梁装备设计的依据主要来源于两个方面:一个是以《军用桥梁设计准则》为代表的军用标准和规范;而另一个就是有关部门在 20 世纪 80 年代中期汇编的《舟桥设计手册》。前者的内容主要来源于国内教材和国外的相关信息,后者的内容来源于工程结构设计领域取得的相关研究成果。从介绍军用桥梁设计的有关书籍内容看,往往是结论多,推导过程少,理论性稍显不够,造成了本来就为数不多的研究设计人员在装备设计中对一些技术问题是知其然,而不知其所以然。一旦设计条件发生变化,往往需要进行大量的试验验证工作,而试验验证工作一旦缺少了理论上的指导,其学术性和可靠性也将大打折扣。由于所从事工作的缘故,20 多年来我们一直对军用桥梁的设计原理、设计要求等情有独钟,始终都在关注和探求军用桥梁设计方法和设计原理之间的内在关系。军用桥梁的一大特点是结构自身的重量很小,但所能

承受的负荷却很大。因此,军用桥梁的抗力储备相对于民用桥梁要低很多,设计军用桥梁时,对结构分析数据的精度要求自然要超过民用桥梁。除此之外,设计人员还必须熟知军用桥梁在使用中可能出现的各种极限状态(因为建立力学模型与结构的极限状态紧密相连。例如,疲劳问题需要用断裂力学和损伤力学的原理建立力学模型;稳定问题不能应用解线性问题的叠加法等),并能从设计的角度控制各种极限状态对结构的互相作用。从这个意义上讲,任何设计方法都必须在正确的力学分析理论指导之下,即任何设计工作都必须有相应的理论交代。入于有法,出于无法。设计人员只有了解了设计原理,才能正确应用设计原理,最终达到理论创新和设计创新的目的。作者认为一部与专业基础理论结合较为紧密的《军用桥梁设计原理》的作用就在于此。专业参考书的目的在于给人以启发,以便于研究设计人员在遇到具体工程问题时,能够从理论的高度切实探求和把握事物的本质;能够使人养成良好的科学素质,坚持用理论分析的数据和科学试验的结果作为决策问题的依据;能够在理论的指导下,从国外一些支离破碎的信息中获取对装备发展有益的正确信息而不被表面现象所蒙蔽。

我们不是军用桥梁专家,充其量只能算作军用桥梁装备研究设计的有心人,斗胆谈论军用桥梁设计原理,自不免贻笑于大方之家。因此,虽对军用桥梁设计原理情有独钟,但也一直未敢动写书的念头。由于工作的关系,孙文俊同志长期从事渡河桥梁装备研究工作并担任工程装备专业委员会渡河桥梁专业学组组长10年之久,陈宝泉同志长期从事我军渡河桥梁装备研究开发的科研管理工作,应该讲我们对本领域的情况是比较了解的,也深感学术研究方面的不足,尤其在一些经验缺乏的同志当中更需要这方面的知识;由此我们感到了一份责任,并且有了写书的冲动。在军用桥梁设计理论尚待深入研究的今天,若能以一得之见奉献给相关的专业读者,也就算求得无愧我心了。作为军用桥梁设计方面的一本基础性书籍,《军用桥梁设计原理》是在两位作者的共同策划下完成的。全书共分十章,由孙文俊同志完成全书内容的编写,能否

达到作者初衷还有待读者的检验。军用桥梁是一种可移动的桥梁,它不但具有快速投入使用的能力,而且具有快速转移的能力。这样的军用桥梁,大多为可以拆装的金属结构,其中绝大部分为钢结构。因此在许多设计基本原理方面与民用钢桥设计相类似,但在连接方式、使用寿命等方面也有其自身的特点,使之成为独特的军用工程结构设计技术。

随着市场经济改革的不断深入和军事技术不断向民用领域的渗透,从事军用桥梁设计研究的人员也会逐年增加,市场竞争将日益激烈。而这种局面的形成也必然会推动着军用桥梁专业理论的快速发展和专业技术向国防和国家工程建设的快速转化。从这个意义上讲,本书不但可为军用桥梁专业研究设计人员提供技术帮助,而且可为军事工程技术引入民用工程领域起到积极的促进作用。其意义又比作者的初衷有了更大的进步。

值得一提的是在本书撰写和出版过程中,始终得到工程兵技术装备研究所领导和同行们的大力支持和协助,作者对此表示诚挚的谢意。

由于作者水平的限制,书中不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。

目 录

第 1 章 军用桥梁的类型和装备系统组成	1
1.1 军用桥梁的特点和作用	1
1.2 军用桥梁的类型	3
1.3 军用桥梁装备的系统组成和跨越式发展	7
第 2 章 军用桥梁的总体设计	11
2.1 军用桥梁的设计思想	11
2.1.1 系统设计的思想	11
2.1.2 投入少、效益高的设计思路	12
2.1.3 需求牵引和定性、定量分析	13
2.2 军用桥梁的设计要求	15
2.2.1 军用桥梁装备设计总体要求	15
2.2.2 军用桥梁结构设计要求	17
2.2.3 军用桥梁的设计参数	24
2.3 计算机辅助设计技术及其应用	30
2.3.1 概述	30
2.3.2 军用桥梁 CAD 应用系统的工作流程	31
2.3.3 有限元方法简介	32
第 3 章 军用桥梁的结构材料、设计载荷和计算方法	36
3.1 军用桥梁的结构材料	36
3.1.1 结构钢材的种类	36
3.1.2 钢材的力学性能	37
3.1.3 军用桥梁对结构材料的要求	41
3.2 军用桥梁的设计载荷	46

3.2.1	静载荷(恒载)	46
3.2.2	基本可变载荷(活载荷)	47
3.2.3	桥梁的设计活载荷	50
3.2.4	桥梁上的水平力	55
3.2.5	风载荷	57
3.2.6	其他桥梁载荷	59
3.2.7	载荷组合	59
3.2.8	载荷的横向分配	60
3.3	结构设计的计算方法	62
3.3.1	失效概率和可靠性指标	65
3.3.2	安全系数与安全指标的关系	68
3.3.3	分项安全系数的推导	69
3.3.4	军用桥梁极限状态设计方法	72
3.3.5	军用桥梁的安全	76
3.3.6	疲劳寿命	79
3.4	军用桥梁装备的试验验证	83
3.5	小结	92
第4章	轧制梁和板梁的设计	95
4.1	概述	95
4.2	军用板梁桥的内力分析	98
4.3	梁的扭转	99
4.3.1	梁的剪应力分布和剪切中心	99
4.3.2	梁的扭转	102
4.4	梁的整体稳定性	107
4.4.1	理想直梁的弯扭屈曲	108
4.4.2	实际直梁的弯扭屈曲	114
4.5	梁的局部稳定性(板件的屈曲)	116
4.5.1	板的弹性屈曲临界载荷	117
4.5.2	板的屈曲后性态	125
4.5.3	残余应力的影响	129

4.5.4	初始平面外变形的影响	132
4.5.5	板梁腹板中的拉力场	135
4.5.6	薄腹板梁的弯曲强度	141
4.5.7	弯剪同时作用的板梁	146
4.6	板梁加劲肋的设计	147
4.6.1	加劲肋的最佳刚度	147
4.6.2	腹板横向加劲肋上的载荷	156
4.6.3	腹板在平面内应力下的败稳作用	156
4.6.4	由腹板拉力场引起的轴向压力	159
4.6.5	腹板加劲肋间距	162
4.6.6	加劲腹板的受力和稳定校核	163
4.7	支座的约束作用	168
4.8	翼缘的平面内约束作用	170
4.8.1	受压板	171
4.8.2	受剪板	173
第5章	闭口薄壁构件的弯曲和扭转	174
5.1	闭口薄壁截面的弯曲	174
5.1.1	单室截面弯曲剪应力	175
5.1.2	多室截面弯曲剪应力	175
5.2	闭口薄壁截面的自由扭转	176
5.2.1	单室截面	176
5.2.2	多室截面	178
5.2.3	分离式的两室截面	179
5.3	单室闭口截面的翘曲扭转	180
5.4	薄壁截面的扭转几何特性	183
5.4.1	开口截面	184
5.4.2	闭口截面	186
第6章	箱形梁和板梁的加劲受压翼缘	189
6.1	概述	189
6.2	翼缘板的屈曲	190

6.3	梁形柱的总体屈曲	192
6.4	翼缘板中的剪应力和横向应力限值	194
6.5	加劲翼缘的正交异性屈曲	195
6.6	纵向加劲肋在横向加劲肋上的连续性	199
6.7	受压加劲翼缘上的局部竖向载荷	200
6.8	主梁弯矩变化的影响	202
6.9	加劲受压翼缘的横向加劲肋	202
6.10	无横向加劲肋的加劲受压翼缘	204
6.11	具有初始弯曲变形的筒形板	205
第7章 军用桁架桥		212
7.1	概述	212
7.1.1	桁架节点构造的一般原则	212
7.1.2	主桁架的受力计算	213
7.2	下承敞口式桁架桥受压弦杆的稳定性	214
7.2.1	具有连续弹性支座压杆的稳定性	214
7.2.2	《军用桥梁设计准则》对敞口式桁架桥受 压弦杆计算长度的规定	218
7.3	节点构造和节点刚性对桁架杆件内力的影响	218
7.4	桥节连接接头间隙引起的桁梁挠度	222
7.4.1	静定结构的非弹性变形计算方法	224
7.4.2	间隙影响的应用	228
第8章 预应力原理及其在结构设计中的应用		230
8.1	预应力原理	230
8.1.1	预应力的用途	230
8.1.2	预应力基本原理	231
8.2	预应力拉杆的计算	231
8.2.1	按两阶段设计	231
8.2.2	按三阶段设计	233
8.3	预应力梁	234
8.3.1	下撑式预应力梁	234

8.3.2	不同强度钢材组成的预应力梁	235
第9章	悬索结构	240
9.1	概述	240
9.2	空间悬索受力分析	242
9.3	柔性吊桥的计算特点	246
9.3.1	主索的内力计算	246
9.3.2	柔性吊桥的挠度	248
9.3.3	柔性吊桥的吊杆和塔架内力计算	248
9.4	刚性吊桥的计算	249
9.5	吊桥的锚碇	253
第10章	军用桥梁的连接设计	254
10.1	焊接方法和焊接结构的特性	254
10.2	贴角焊缝的性能和尺寸限制	257
10.3	贴角焊缝的计算	260
10.4	铆钉连接、螺栓连接的性能和构造要求	263
10.5	铆钉和普通螺栓受剪的计算	265
10.5.1	轴心受力构件中普通螺栓(铆钉)的计算	265
10.5.2	螺栓(铆钉)群偏心受剪	266
10.6	铆钉、普通螺栓受拉和同时受拉受剪时的计算	268
10.7	高强度螺栓	269
10.8	单销连接	272
10.9	丙丁接头连接	277
参考文献	281

Contents

Chapter 1	Types and composition of military bridges	1
1.1	Features and function of military bridges	1
1.2	Types of military bridges	3
1.3	Composition and development of military bridging equipment	7
Chapter 2	General design of military bridging equipment	11
2.1	Design thought of military bridging equipment	11
2.1.1	Thought of system analysis	11
2.1.2	Thought for high efficacy and low cost	12
2.1.3	Work for military requirements and quantitative, qualitative analysis	13
2.2	Design requirements of military bridging equipment	15
2.2.1	General requirements of military bridging equipment	15
2.2.2	Design requirements of military bridge structure	17
2.2.3	Design parameters of military bridge structure	24
2.3	Technology and application of computer aided design	30
2.3.1	General features	30
2.3.2	Work process of military bridge's CAD	31
2.3.3	Finite element method	32

Chapter 3	Material, loads and calculating method of	
	military bridges	36
3.1	Structural material of military bridges	36
3.1.1	Types of structural steel	36
3.1.2	Mechanical properties of steel	37
3.1.3	Requirements of military bridge in structural material	41
3.2	Design loads on military bridges	46
3.2.1	Dead loads	46
3.2.2	Live loads	47
3.2.3	Design live loads on bridges	50
3.2.4	Horizontal forces on bridges	55
3.2.5	Wind loading	57
3.2.6	Other loads on bridges	59
3.2.7	Load combinations	59
3.2.8	Distribution of load on bridges	60
3.3	Design and calculating method of structure	62
3.3.1	Failure probability and reliability index	65
3.3.2	Safety factor and safety index	68
3.3.3	The derivation of partial safety factors	69
3.3.4	Limit state design of military bridge	72
3.3.5	Safety of military bridge	76
3.3.6	Fatigue	79
3.4	Military bridging equipment tests	83
3.5	Interim summary	92
Chapter 4	Rolled beam and plate girder design	95
4.1	General features	95
4.2	Analysis for bending moment and shear force of girders	98
4.3	Torsion of girder	99

4.3.1	Shear force distribution and shear center	99
4.3.2	Torsion members	102
4.4	Lateral buckling of beams	107
4.4.1	Buckling of an ideal beam	108
4.4.2	Buckling of a real beam	114
4.5	Local buckling of plate elements	116
4.5.1	Elastic critical buckling of plates	117
4.5.2	Post-buckling behaviour of plates	125
4.5.3	Effect of residual stresses	129
4.5.4	Effects of initial out-of-plane imperfections	132
4.5.5	Tension field in girder webs	135
4.5.6	Bending strength of thin-web girders	141
4.5.7	Combined bending moment and shear force on girders	146
4.6	Design of stiffeners in plate girders	147
4.6.1	Optimum rigidity of stiffeners	147
4.6.2	Loading on transverse web stiffener	156
4.6.3	Destabilising effects of in-plane stresses in web	156
4.6.4	Axial compression due to tension field in web	159
4.6.5	Distance between web stiffeners	162
4.6.6	Loading and stability of stiffened web	163
4.7	Restraint at supports	168
4.8	In-plane restraint at flanges	170
4.8.1	Plates under compression	171
4.8.2	Plates under shear	173
Chapter 5 Bending and torsion in closed thin-wall		
	sections	174
5.1	Bending of closed thin-walled sections	174