

# 波形钢腹板组合梁安全性 设计理论研究

主 编 陈卓异 王荣勇 徐立武  
副主编 杨雨阳 王华庆 屈圆奇



**澳門科學出版社**  
Macao Scientific Publishers

书名：波形钢腹板组合梁安全性设计理论研究

著者：陈卓异 王荣勇 徐立武

出版：澳門科學出版社

地址：澳门南湾大马路恒昌大厦 11 楼 F 座

印刷公司：广州市创艺印务有限公司

出版日期：2024 年 3 月

版次：2024 年 3 月第一次印刷

发行数量：3,000 册

开本：787mm×1092mm 1/16

印张：14.75

字数：351 000

ISBN 978-99981-25-22-3

CIP 序列号：2024030106



## 前 言

本书紧密围绕波形钢腹板组合梁的力学性能和运营安全，开展构造设计与基础理论研究。采用试验探索和理论分析的方法，重点研究波形钢腹板组合 T 梁、槽型梁和箱梁的静力特性、构造特点、设计理论等内容，建立了波形钢腹板组合梁的抗弯承载力计算理论和曲率延性分析方法，提出了一种考虑波形钢腹板组合梁剪切变形影响的挠度计算理论，完善了开口截面组合梁的偏载受力性能及计算方法，建立了适用于波形钢腹板组合梁具有普遍性规律的桥面板、横梁和剪力滞系数设计理论。

本书可供从事波形钢腹板组合梁设计、施工和研究的工程技术人员参考，也可作为高等院校桥梁专业研究生和高年级本科生的教学参考用书。

波形钢腹板组合梁创造性地将钢-混两种材料相结合，充分利用了混凝土抗压强度高、波形钢腹板抗剪强度高和稳定性好的优点，使两种材料各尽其能，扬长避短。最早在房屋建筑和厂房中采用了波形钢腹板组合工形梁的结构，后又衍生出箱形截面，广泛应用于公路和人行桥梁；2010 年，国内首次将波形钢腹板应用于槽型梁，提出波形钢腹板预弯组合槽型梁的结构形式，具有梁高小、避免腹板开裂等优点；出于简化施工工艺考虑，探索了波形钢腹板预应力槽型梁的结构形式。为便于实现桥梁施工工业化和快速化，波形钢腹板组合 T 梁在国内外得到关注，并在日本的曾宇川桥上首次得到采用。

结构不断创新，波形钢腹板组合梁的理论也快速发展。对波形钢腹板的剪切稳定性、变形刚度、畸变应力、横向变形刚度等开展了丰富地研究工作。需要强调的是，仍按照钢筋混凝土梁抗弯承载力的算法来计算波形钢腹板组合梁的抗弯承载力和延性存在一些问题；其剪力滞后效应、横梁计算方法、桥面板设计方面的基础理论研究不够系统。

作者有幸得到了湖南省自然科学基金项目（11JJ5031），江苏省普通高校研究生创新计划基金项目（CXZZ120110），湖南省教育厅基金项目（16C0058）等课题的支持。开展了波形钢腹板组合 T 梁和槽型梁等结构的创新性试验探索，对波形钢腹板组合梁的设计计算理论进行了精细化研究。正是因为上述的支持和鼓励，才使作者在他人研究的基础上，不断地进行吸收和探索，进而取得上述成果，才有了本书写作的基础。感谢为研究工作及本书写作提供立项资助、文献参考、学术交流与工程背景的管理者、专家和同仁，感谢书中所列参考文献的作者。

全书共分十一章。

第一章介绍了开展本研究工作的目的和意义。

第二章介绍了波形钢腹板组合梁的发展历史，论述了结构创新、力学性能和设计基本理论方面的发展动态，明确了需要研究的主要问题。

第三章研究了波形钢腹板组合 T 梁的力学性能，开展了静载试验，采用混凝土的损伤塑性模型和钢材的理想弹塑性本构进行非线性分析，探索了开裂荷载和抗弯承载力设计理论的精确性。

第四章研究了波形钢腹板组合槽型梁施工阶段和使用阶段的应力变化规律，开展了 4 片梁的静载破坏性试验，完善了抗裂性设计理论和方法。

第五章分析了波形钢腹板组合箱梁的屈曲应力和波形钢板的剪切屈曲特性；探讨了波形钢腹板组合箱梁桥的受力全过程、破坏形态和破坏特点等。

第六章和第七章推到了钢腹板组合梁的抗弯承载力与弯曲延性计算方法，分析了实际矩形应力块的参数  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $k_4$  和  $k_5$  与相对应的等效矩形应力块参数  $\alpha$  和  $\beta$  的影响。

第八章建立了一种考虑波形钢腹板组合梁剪切变形影响的挠度计算理论。

第九章分析了开口截面波形钢腹板组合梁的偏载受力性能研究，考虑波形钢腹板对扭转刚度的削弱。

第十章建立了波形钢腹板组合梁桥面板、横梁计算理论以及剪力滞系数的计算方法。

第十一章给出了典型波形钢腹板组合槽型梁的设计计算示例。

全书由陈卓异统稿。第一至四章由陈卓异撰写，第五章由刘小燕撰写，第六、七章由王荣勇撰写，第八、九章由徐立武撰写，第十章由王华庆撰写，第十一章由屈圆奇撰写。中交一公局厦门工程有限公司王荣勇、徐立武、王华庆、屈圆奇，以及长沙理工大学研究生杨雨阳、彭彦泽、杨宇、郭靖、程小康和 Amoussou Ekoe 等对本文的录入、绘图和英文校对等进行了细致工作。

由于时间和作者水平有限，书中一定存在缺点和不足，恳请专家和读者批评指正。

作者

2023.1.31



# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
第二章 波形钢腹板组合梁构造及理论发展 .....	5
第一节 波形钢腹板组合梁的构造创新 .....	6
第二节 波形钢腹板组合梁的应用现状 .....	10
第三节 波形钢腹板组合梁的力学性能 .....	17
第四节 波形钢腹板组合梁的计算理论 .....	21
第五节 存在的主要问题 .....	24
第三章 波形钢腹板组合 T 梁试验与设计理论 .....	31
第一节 引 言 .....	31
第二节 试验概况 .....	32
第三节 试验结果与分析 .....	34
第四节 安全性设计理论 .....	40
第五节 本章小结 .....	44
第四章 波形钢腹板组合槽形梁静载试验与应力分析 .....	48
第一节 引 言 .....	48
第二节 试验方法 .....	49
第三节 试验梁制作过程 .....	55
第四节 试验结果分析 .....	58
第五节 有效预压应力分析 .....	64
第六节 本章小结 .....	71
第五章 波形钢腹板组合箱梁桥安全性设计理论 .....	74
第一节 引 言 .....	74
第二节 波形钢腹板组合箱梁有限元模型 .....	74
第三节 波形钢板剪切屈曲强度的参数影响分析 .....	78
第四节 波形钢腹板组合箱梁分析理论 .....	85
第五节 全过程计算与破坏特征分析 .....	88
第六节 本章小结 .....	96
第六章 波形钢腹板组合梁的抗弯承载力设计理论 .....	99
第一节 引 言 .....	99
第二节 抗弯承载力分析 .....	100
第三节 抗弯承载力计算方法验证 .....	115

第四节	本章小结 .....	116
<b>第七章</b>	<b>波形钢腹板组合梁的延性分析理论 .....</b>	<b>119</b>
第一节	曲率延性基本理论 .....	119
第二节	波形钢腹板组合梁延性分析 .....	121
第三节	曲率延性计算方法的验证 .....	128
第四节	本章小结 .....	129
<b>第八章</b>	<b>波形钢腹板组合梁的剪切挠度计算理论 .....</b>	<b>131</b>
第一节	引    言 .....	131
第二节	波形钢腹板组合梁受力分析 .....	132
第三节	波形钢腹板组合梁抗剪分析 .....	132
第四节	支反力-荷载分段函数计算模式 .....	135
第五节	试验验证 .....	137
第六节	本章小结 .....	141
<b>第九章</b>	<b>波形钢腹板组合槽型梁的偏载受力性能研究 .....</b>	<b>145</b>
第一节	引    言 .....	145
第二节	扭转理论分析 .....	146
第三节	试验概述 .....	153
第四节	试验结果与参数分析 .....	154
第五节	本章小结 .....	163
<b>第十章</b>	<b>桥面板与剪力滞安全性设计计算理论 .....</b>	<b>167</b>
第一节	桥面板的内力分析 .....	167
第二节	横梁的内力分析 .....	179
第三节	纵向剪力滞效应分析 .....	188
第四节	本章小结 .....	198
<b>第十一章</b>	<b>波形钢腹板组合梁算例 .....</b>	<b>200</b>
第一节	设计资料与构造尺寸 .....	200
第二节	主梁计算模型 .....	203
第三节	主梁计算结果 .....	206
第四节	横梁计算 .....	222

# 第一章 绪论

波形钢板是由平钢板轧制而成的带有波纹形状的钢板。这种材料抗剪切能力强，在剪切荷载作用下不易屈曲<sup>[1-3]</sup>。通过对波形钢板应用于体外预应力箱梁的研究发现，用波形钢板作为腹板可以有效的简化梁的施工工艺，缩短工期；可以降低预应力结构的预应力损失，提高预应力效率；可以改善结构力学性能，提高结构耐久性；可以减小结构自重，增加跨越能力<sup>[4,5]</sup>。另外，由于其抗剪能力强，剪切屈曲强度高，一般无需特别设置防剪切屈曲的纵向或横向加劲肋<sup>[6]</sup>。自从 1985 年法国 CB 公司建造了第一座波形钢腹板组合箱梁桥，日本、美国、德国、比利时、中国等许多国家均围绕此组合结构进行研究，并陆续建造了百余座波形钢腹板组合梁桥。

本书紧密围绕波形钢腹板组合梁的力学性能和运营安全，开展构造设计与基础理论研究。采用试验探索和理论分析的方法研究波形钢腹板组合 T 梁、槽型梁和箱梁的力学性能；采用理论与试验相结合的方法对波形钢腹板组合梁的静力特性、构造特点、设计理论等内容进行分析；提出适用于波形钢腹板组合梁具有普遍性的抗弯承载力、弯曲延性、挠度变形、偏载受力、剪力滞、横向受力等方面的设计理论。之所以要开展上述三个方面的研究工作，主要是基于以下几个方面的需求：

1. 丰富波形钢腹板组合结构选型，和桥梁工业化及快速化施工的需要。将波形钢腹板与 T 梁、槽型梁、箱梁等相结合形成新的结构体系，可推动桥梁工业化及快速化施工理论和技术的发展。可确保桥梁工程建设过程高质高效、服役过程长寿命高品质。同时，原有的一些结构形式已无法很好的适应新型工程项目对结构承载力、刚度以及耐久性等方面更高的要求。在这种情况下，为工程设计者提供新型、高性能结构并帮助其尽快了解和掌握这种结构的力学性能、构造要点、设计方法以及建造技术就显得十分重要。

将波形钢腹板结构与 T 梁和槽型梁结构相结合，形成一系列新型的波形钢腹板组合梁。这种新型的组合结构综合了波形钢腹板的优点，与传统梁相比，可明显简化建造工艺，有效解决腹板混凝土开裂的问题，避免了设置过多预应力导致配筋复杂、混凝土浇筑不密实等现象，有效改善结构的力学性能。对这一系列新结构进行详尽而系统的理论研究，提出相关的计算理论和建造技术，给出相应构造特性和要求，可以为桥梁及结构工程师提供一系列新型的结构选型。而其良好的力学性能和整体经济性也将令这种结构可以很好地服务于公路桥梁及轨道交通桥梁建设项目。

2019

# 历史机遇 · 打造交流合作基地

Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases



## · 粤港澳大湾区 · 发展规划纲要

解读2019年新发布《粤港澳大湾区发展规划纲要》

★★★★

### 大湾区规划 · Introduction

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确了澳门“一个中心、一个平台、一个基地”的三个定位，即：建设世界旅游休闲中心、中国与葡语国家商贸合作服务平台，**打造以中华文化为主流、多元文化共存的交流合作基地。**

It further clarified the three orientations of "one center, one platform and one base" of Macao, namely, to build a world tourism and leisure center, a business and trade cooperation service platform between China and Portuguese-speaking countries, and to build an exchange and cooperation base with Chinese culture as the mainstream and multicultural coexistence.

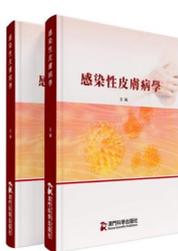


## 全球发行 · Publishing worldwide



由于国内自费书没有实际销售，出版社不会实际发行，属于非正式出版物，因此国内自费书绝大部分是属于非正式出版物。国际出版即便在没有销售市场的情况下也可以在海外发行上架。世界上其他地方（包括中国）的读者可以通过海外电商平台进行订购和销售。

Since there is no market for self-funded books in mainland China, mainland publishing houses will not actually issue them, so most of self-funded books in the Mainland are informal publications.



- 呼吸系统基本基础与临床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 临床肿瘤护理学 Clinical oncology nursing
- 感染性皮肤病学 Infectious dermatology
- 内分泌系统疾病 Endocrine system disease



- 实用小儿内科学 Practical pediatric internal medicine
- 消化系统疾病诊疗学 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 现代中医诊断学 Modern diagnostics of traditional chinese medicine
- 皮肤修复与再生 Skin repair and regeneration

## 出版流程 · Publishing Process

出版流程快速简便，在填写基本信息、签订合同并支付费用后，IBPC将原始内容进行校对、排版及封面设计；在经过多次校对后，提交申请国际书号；可根据实际需求进行印刷和馆藏存档，最后上架发行。全程专人沟通指导，以极高性价比的方式出版属于自己的作品。

The publishing process is simple and convenient, after filling in the basic information, signing the contract and paying the fee, IBPC will conduct proofreading, typesetting and cover design. After multiple proofreading, submit the ISBN application. According to the actual needs, we will arrange printing and collection archiving, and finally put on the shelves and issued.

## 检索服务 · Retrieval Service

IBPC的检索服务可提供出版物国际注册文件及出版物所在地的图书馆检索证明，为作者提供证明文件支撑。同时，优秀图书将推荐至国际数据库中收录，提升出版物的认可度。

IBPC can provide retrieval service including the registration documents and the library search certificate. Meanwhile, excellent books will be recommended for inclusion in authoritative databases to enhance the recognition of publications.

## 销售协议 · Sales Agreement

作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售纸质印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

After the author signs the sales agreement, IBPC can provide a variety of sales channels, such as the official website, JD & T-mall overseas Purchase, Amazon and other platforms, printed paper and electronic books are available, and the authors share the profits according to the sales agreement.



填写信息  
Information Filling



签订合同  
Contract Signing



支付费用  
Payment



提交书稿  
Submitting



内容校对  
Proofreading  
内容排版  
Content Layout  
封面设计  
Cover Design



申请书号  
ISBN Apply



印刷出版  
Printing



馆藏存档  
Archives



上架发行  
Publication

# 澳门科学出版社 MOSP

“以服务青少年及青年科学才俊为己任，  
打造国际性的科学技术交流平台”



## 正规国际出版，首选澳科出版

- 学术著作/个人作品 - 优质
- 中华“强国文化”输出战略 - 翻译后国际出版
- 数字教材 - 教材出书 & 数字化媒体上线

所有优质内容，均可申请出版减免资助。

所有澳门本土内容，均可申请出版减免资助；

### 澳门总部

电话：0853-62961666（澳门）

邮件：[book@mospbs.com](mailto:book@mospbs.com)

地址：中国澳门南湾大马路恒昌大厦F座11楼

网址：[www.mospbs.com](http://www.mospbs.com)（英文）| [moaj.mospbs.com](http://moaj.mospbs.com)（中文）

**特别提醒：**MOSP所有业务均有出版社的正规盖章合同，  
若有任何疑问，可联系出版社编辑确认。