



现代轨道理论研究

ADVANCED STUDIES IN MODERN TRACK THEORY

(第二版)

雷晓燕 圣小珍 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

首届“三个一百”原创图书
铁路科技图书出版基金资助出版

现代轨道理论研究

(第二版)

雷晓燕 圣小珍 著

中 国 铁 道 出 版 社

2008年·北 京

内 容 简 介

本书是以雷晓燕教授为学科带头人带领的课题组二十余年来关于现代轨道理论与实践研究成果的系统总结。研究内容属现代轨道理论中的前沿问题,涉及高速铁路轨道动力学、现代铁路引起的环境振动、现代铁路引起的环境噪声、现代轨道稳定性及现代轨道中的力学问题等方面。全书共分10章,内容包括:高速铁路轨道动力学、现代轨道稳定性问题、现代轨道中的力学问题、地面列车诱发的环境振动、地下列车诱发的大地振动、铁路环境振动预测与评价、高速铁路环境噪声预测与评价、轮轨噪声与控制、统计能量分析基本理论和高架轨道噪声分析的统计能量法。

本书注重内容的严谨与完整,各章之间既有联系又相对独立,读者可通篇阅读也可按专题阅读;注重理论联系实际,增加信息量;期望把作者在本领域内的最新研究成果和发展动向介绍给读者。

本书可作为土木、交通、环境、道路与铁道工程专业本科生、研究生、教师和工程技术人员的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代轨道理论研究/雷晓燕,圣小珍著.—2版,一北京:中国铁道出版社,2008.1
ISBN 978-7-113-08344-1

I. 现… II. ①雷…②圣… III. 轨道(铁路)—理论研究 IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194070 号

书 名:现代轨道理论研究(第二版)

作 者:雷晓燕 圣小珍

责任编辑:江新锡 陈若伟 电话:51873018 电子信箱:jxinxi@sohu.com

封面设计:陈东山

责任校对:张玉华

责任印制:李佳

出版发行:中国铁道出版社 地 址:北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054

印 刷:北京佳信达艺术印刷有限公司

版 次:2006年9月第1版 2008年1月第2版 2008年1月第2次印刷

开 本:787mm×960mm 1/16 印张:27.5 插页:2 字数:646千

(印 数:1~1000册)

书 号:ISBN 978-7-113-08344-1/U·2122

定 价:55.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 电路(021)73187

作者简介



雷晓燕

雷晓燕,华东交通大学教授,同济大学、西南交通大学、南昌大学兼职教授、博士生导师,国家“百千万人才工程”第一、二层次人才,江西省主要学科学术和技术带头人,美国机械工程师协会 ASME 高级会员,中国交通运输协会常务理事,中国力学学会理事,江西省铁道学会副理事长,《铁道学报》、《交通运输工程与信息学报》、《铁道科学与工程学报》编委。

1982 年和 1984 年在上海铁道大学先后取得学士和硕士学位,1989 年在清华大学取得博士学位。1991-1994 年奥地利 University of Innsbruck 访问学者,2001 年日本九州工业大学客座研究员,2007 年美国 University of Kentucky 高级研究员。主持国家 973 计划、国家自然科学基金、省部级及国际招标项目 30 余项,发表学术论文 120 余篇,出版学术专著 6 部;作为第一完成人获江西省自然科学一、二等奖、江西省科技进步二、三等奖共 5 项、江西省普通高等学校优秀教材一等奖 1 项;主持通过省部级科研鉴定项目 6 项。

主要研究方向:①现代铁路交通环境振动与噪声;②高速铁路轨道动力学。



圣小珍

圣小珍,1982 年毕业于南昌水利水电高等专科学校(现南昌工程学院)数学力学师资班,1987 年在西南交通大学工程力学与数学系取得硕士学位,2001 年在英国南安普敦大学声与振动研究所取得博士学位。1999 年至 2004 年,在南安普敦大学声与振动研究所从事研究工作,研究方向为轮轨噪声、地面和地下列车产生的大地振动和噪声、钢轨表面不平顺的产生和控制。现任英国霍尔赛特工程公司声与振动高级工程师,英国声学学会会员,华东交通大学、南昌工程学院客座教授,西南交通大学牵引动力国家重点实验室客座教授。

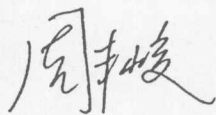
序

《现代轨道理论研究》是雷晓燕、圣小珍教授为实现我国铁路轨道结构现代化,适应客运高速化、货运快捷和重载化的需要而撰写的一部专著。

《现代轨道理论研究》专著的第一版是由中国铁道出版社在2006年出版发行的,著作出版后,产生了很大反响,先后被国内高等院校和设计单位用作研究生教材和参考书,并于2007年被国家新闻总署评为首届“三个一百”自然科学类原创图书。首届“三个一百”原创图书把原创性放在首位,所收图书均为国内作者编著、国内出版社出版、确属精品力作的图书,“三个一百”包括:人文社科类原创图书100种、自然科技类原创图书100种、文艺与少儿类原创图书100种。《现代轨道理论研究》是中国铁道出版社选送众多图书中唯一获奖的著作。该书的第二版是作者在第一版专著的基础上,根据近年来承担国家973计划、国家自然科学基金、教育部、铁道部、江西省及重大国际招标等一系列相关科研课题研究取得的最新成果重新补充、修订而成,对原著有了重要发展,主要体现在:理论性更强,系统性更好,内容更新颖、先进,与工程实际的结合更紧密,充分反映了时代特色和创新精神。尤其是作者在“高速铁路轨道动力学”、“现代轨道稳定性分析”、“现代轨道中的力学问题”、“地面列车产生的环境振动”、“地下列车产生的大地振动”、“铁路环境振动预测与评价”及“高速铁路环境噪声预测与评价”等方面的工作在国内是开创性的,其研究成果陆续发表在国际学术期刊上,具有原始创新。

我相信,该书第二版的及时出版,必将对创新“铁道工程”学科、促进铁路的科技进步,及对实现我国铁路跨越式的发展做出重要的贡献。

中国工程院院士



2007年11月8日

前 言

从1964年世界上第一条高速铁路建成并投入运营以来,全球投入运营的高速客运专线已有4000 km,另有在建的6000 km。按照我国铁路“十一五”确定的目标,“十一五”期间,我国将新建铁路10000 km,其中客运专线5000 km以上,建成武广、郑西、石太客运专线,开工建设北京至武汉、哈尔滨至大连、天津至秦皇岛客运专线,建成京津、广珠、广深、沪宁、沪杭城际客运铁路……。以此为标志,我国铁路建设的新高潮已经到来。

然而,随着列车行车速度的不断提高,交通密度的日益增加,荷载的逐渐加重,列车与轨道的相互作用也随之加剧。为适应铁路发展的这种变化,世界各国铁路加强技术创新,在铁道工程中广泛采用新技术、新设计、新材料、新工艺和现代化的管理方法,并由此出现了现代铁路轨道的概念。现代铁路轨道是伴随着高速、重载铁路的出现而形成的,它必须适应客运快速、高速化,货运快捷、重载化的要求。与传统铁路轨道相比,现代轨道具有如下特点:①高标准的路基;②新型的轨下基础;③超长的无缝线路;④轨道养护维修的科学管理;⑤安全运营;⑥铁路与环境的协调。显然,传统的轨道力学和结构分析方法不能适应现代铁路轨道分析和设计的需要。随着计算机和数值方法的迅猛发展,新理论和新方法不断被应用于轨道力学与轨道工程中,使得解决大量过去无法求解的和在铁路现代化进程中新出现的各种复杂的问题成为可能。

本书是以雷晓燕教授为学科带头人带领的课题组二十余年关于现代轨道理论与实践研究成果的系统总结。在过去的20年中,作者带领的课题组先后获得了国家973计划(2007CB416607)、国家自然科学基金(50268001、50568002),江西省自然科学基金(0250034、0450012),中-奥、中-日和中-美科研合作,教育部“高等学校骨干教师资助计划”(GG-823-10404-1001),铁道部科技发展计划(98G33A),及江西省主要学科学术和技术带头人培养计划(020001)等项目的资助,在高速铁路轨道动力学、现代铁路引起的环境振动、现代铁路引起的环境噪声、现代轨道稳定性及现代轨道中的力学问题等五个方面进行了深入和系统的研究,并取得了许多新的研究成果。研究内容均属现代轨道理论中的前沿问题,内容包括:高速铁路轨道动力学、现代轨道稳定性问题、现代轨道中的力学问题、地面列车产生的环境振动、地下列车产生的大地振动、铁路环境振动预测与评价、高速铁路环境噪声预测与评价、轮轨噪声与控制、统计能量分析基本理论和高架轨道噪声分析的统计能量法。参加项目研究工作的有:雷晓燕、圣小珍、刘林芽、吕绍棣、毛利军、陈水生、刘朝阳、冯青松、罗文俊、刘庆杰、罗锐、伍明辉等。

全书共分10章,其中第1、2、3、6、7、8、9、10章由雷晓燕撰写,第4、5章由圣小珍撰写,全书由雷晓燕统稿。

书中内容取材力求新颖、理论先进,尽可能把作者在本领域内的最新研究成果和国内外最新发展动向介绍给读者。注重理论的严谨与完整,各章之间既有联系又相对独立,读者可通篇阅读也可按专题阅读。注重理论联系实际,增加信息量。期望该书对读者能有一些启发和帮助。尽管如此,限于作者水平,错误和不当之处还请读者批评指正。

作者

2007年于孔目湖

Preface

Since its opening of the world's first high-speed railway line in 1964, about 4 000 km of high-speed passenger lines have been placed into commercial operation and another 6000 km are currently under construction. According to the 11th five-year national plan, a total of 10000 km of new railways will be built in China, of which 5 000 km are passenger lines. During the next five years, construction will be completed for passenger lines from Wuhan to Guangzhou, Zhengzhou to Xi'an, Shijiazhuang to Taiyuan, together with intercity passenger lines including Beijing to Tianjin, Guangzhou to Zhuhai, Guangzhou to Shenzhen, Shanghai to Nanjing, Shanghai to Hangzhou, and others. In addition, passenger line construction will be commenced from Beijing to Wuhan, Harbin to Dalian, and Tianjin to Qinghuangdao.

It is well accepted that interactions between vehicles and railways become more significant as train speeds, train density, and axle loads increase. This has generated technical innovations by railway industries in every country. New technologies, new designs, new material and modern management methods have been introduced into railway infrastructures and equipment, and these have cultivated the emergence of the concept of modern railway track. Modern railway tracks are adapted for high-speed and heavy-haul railways in order to meet the requirements of fast and super-fast passenger transportation and heavy-haul freight transportation. In contrast to traditional railway tracks, modern railway tracks exhibit the following features: (1) High quality subgrade; (2) innovative types of track beds; (3) very long continuously welded rails; (4) scientific management of track maintenance; (5) safe operation; and (6) environmental protection. It is obvious that traditional railway mechanics and structural analysis methods cannot meet the requirement in the analyses and designs of modern railway tracks. Due to the rapid advances in computing technology during the past ten years, new theories and methods have been continuously developed and applied to railway engineering. Many old problems, which were impossible to solve in the past, and new ones which have emerged during the modernization of railways, represent readily available solutions.

During the past twenty years, a group of researchers led by Professor Xiaoyan Lei at East China Jiaotong University have endeavored to research the many issues associated with modern railway tracks, including high – speed railway track dynamics, railway induced environmental vibration and noise, stability and buckling of modern railway tracks, and mechanics of modern railway tracks. These research activities have been funded by the National Basic Research Program of China (No. 2007CB416607), the Natural Science Foundation of China (No. 50268001 and 50568002), the Natural Science Foundation of Jiangxi Province (No. 0250034 and 0450012), the Education Ministry of China (GG – 823 – 10404 – 1001, via the Funding Plan for Key Teachers in Universities), the Railway Ministry of China (98G33A, via the Science and Technology Development Plan) and Jiangxi Province (No. 020001, via the Training Program for Leading Scientists in Key Subjects). These activities were enriched through cooperative programs between China and Austria, China and Japan, and China and USA. All the issues they have investigated represent cutting – edge technologies in railway engineering. Results from these research activities are expected to have significant impacts both academically and in practice. The aim of this book is to summarize these results. The ten chapters encompass: 1) high – speed railway track dynamics; 2) stability of modern railway tracks; 3) mechanics in modern railway tracks, 4) ground vibration from surface trains; 5) ground vibration from underground trains; 6) prediction and assessment of railway environmental vibration; 7) prediction and assessment of environmental noise for high – speed railways; 8) wheel/rail noise and its control; 9) basic theory of statistical energy analysis; and 10) statistical energy analysis of noise from elevated railroads. Chapters 4 and 5 were written by Dr Sheng. The others were written by Prof. Lei who also assumed the responsibility for compilation of the total book.

Efforts have been made to present the theories rigorously, systematically, equally, and to explore their applications in practice. The chapters are relatively independent of each other, so that readers can review chapters based on their interest without referring specifically to other chapters. The authors are well aware that there are possibilities for improvement. Comments and criticisms from readers will be highly appreciated.

The authors are grateful to those who have been involved in the research and have made contributions. They are Linya Liu, Shaodi Lu, Lijun Mao, Shuisheng Chen, Zhaoyang Liu, Qingsong Feng, Wenjun Luo, Qingjie Liu, Kun Luo, Minghui Wu and others. The authors also thank those helpful in writing and publishing this book.

本书所用主要符号

- a_0, b_0 ——轮轨接触椭圆的长、短半轴
 a_i ——第 i 个轮对距第一个轮对的距离
 a^e ——单元结点位移向量
 a_{m+1} —— $m+1$ 荷载步时梁的总位移
 $a_t, \dot{a}_t, \ddot{a}_t$ —— t 时刻的位移、速度、加速度向量
 $a_l, \dot{a}_l, \ddot{a}_l$ ——下部结构结点位移、速度和加速度向量
 $a_u, \dot{a}_u, \ddot{a}_u$ ——车辆的位移、速度和加速度向量
 A ——钢轨的横截面面积
 A_b ——声屏障衰减值
 A_e ——附加衰减
 A_h ——房屋建筑引起的衰减
 A_t ——树木引起的衰减
 A_s ——考虑屏障和地面吸收衰减作用后的声级修正值
 A_n ——第 n 阶车轮模态的径向导纳
 A_{WR}, A_{WA} ——车轮径向、横向振动辐射面积
 b ——轨道结构与大地表面接触宽度的一半
 B_n ——第 n 阶车轮模态的横向导纳
 B ——单元应变矩阵
 c ——波速、车速
 c_b ——梁的弯曲波速
 c_l ——钢轨纵向波速、杆的纵波波速
 c_p ——相速度
 c_g ——群速度
 c_{crit}, c_{min} ——轨道临界速度
 c_1, c_2, c_R —— P -波、 S -波和瑞利波的波速
 C_g ——重力角刚度
 C_{s1}, C_{s2} ——车辆一、二系悬挂阻尼
 C_{x1}, C_{y1} ——轨下垫层阻尼系数

- C_{y2} ——道床阻尼系数
 C_{y3} ——路基阻尼系数
 $\text{Cov}(E_i', E_j')$ ——随机变量 E_i', E_j' 的协方差
 $\mathbf{C}^e$ ——单元阻尼矩阵
 $\mathbf{C}_b^e$ ——单元比例阻尼矩阵
 $\mathbf{C}_D^e$ ——由支承引起的单元阻尼矩阵
 $\mathbf{C}_l$ ——下部结构的阻尼矩阵
 $\mathbf{C}_u$ ——车辆的阻尼矩阵
 $\mathbf{D}$ ——材料常数矩阵
 D_0 ——黏弹性材料在一个应变周期中耗散的能量
 $D(U)$ ——位移 U 的方差
 E ——材料的弹性模量
 EI ——梁的弯曲刚度
 E_R ——一根钢轨单位长度所具有的能量
 E_T ——单位轨枕长度所具有的能量
 E_t ——切线模量
 E_G ——单位长度钢梁翼板所具有的能量
 $E(U)$ ——位移 U 的期望值
 $\langle E_1 \rangle, \langle E_2 \rangle$ ——子系统 1, 2 实际的时间平均能量
 f ——频率
 f_{11}, f_{22} ——纵向和横向蠕滑系数
 f_u, f_l ——上、下截止频率
 $f_{1/4}$ ——1/4 波长厚度共振频率
 F_x, F_y ——纵向和横向蠕滑力
 F_{wi} ——轮轨接触力
 $f(x, t)$ —— t 时刻 x 截面处的结点力向量
 f_c ——接触摩擦单元等效结点荷载向量
 $\mathbf{F}^e$ ——单元结点力向量
 $\mathbf{F}_e^e$ ——广义梁单元弹性力向量
 G ——轮轨接触挠度系数、地面衰减系数
 G' ——储能剪切模量
 G'' ——耗能剪切模量
 G^* ——剪切复模量

- G_i, G_w ——地面影响系数
 $\langle G_{12} \rangle$ ——子系统 1,2 之间平均功率流
 G_{ij} ——子系统 i 传输给子系统 j 的功率
 G_B, G_{NB} ——考虑了和未考虑屏障作用的地面衰减系数
 g ——标准自由落体加速度(又称重力加速度), $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 h_j ——第 j 层土的厚度
 H_{eff} ——有效传播高度
 $H(k)$ ——接触区滤波函数
 $H_1^{(1)}$ ——一阶第一类汉克尔(Hunkel)函数
 H, G ——边界元方程系数矩阵
 i ——虚数
 I ——单位矩阵
 k ——波数、轨道等效刚度
 k_{Hl} ——第 l 个轮对与钢轨之间接触弹簧的刚度
 k_p ——单位长度轨枕垫板刚度
 k_{RV} ——钢轨弯曲波数
 k^e ——广义梁单元刚度矩阵
 k_b^e ——梁单元刚度矩阵
 k_e^e ——由支承弹性能产生的单元刚度矩阵
 k_N^e ——大位移刚度矩阵
 k_R^e ——约束刚度矩阵
 K ——单位长度钢轨基础刚度
 K_f ——低频时的扣件刚度
 K_g ——重力刚度
 K_{s1}, K_{s2} ——车辆一、二系悬挂刚度
 K_{x1}, K_{y1} ——轨下垫层等效弹性系数
 K_{y2} ——道床弹性系数
 K_{y3} ——路基弹性系数
 K_w ——轮轨间赫兹接触刚度
 k_C ——接触摩擦单元等效刚度矩阵
 K_l ——下部结构刚度矩阵
 K_u ——车辆刚度矩阵

K_0, K_1, K_2 ——2.5 维有限元方程中的刚度矩阵

$\tilde{K}(\beta, \lambda, \omega)$ ——大地经傅里叶变换后的动力刚度矩阵

l ——单元长度

l_p ——机车长度

l_t ——列车长度

$l_{\text{ref}, i}$ ——第 i 个子噪声源的参考列车长度

L_1 ——转向架轴距之半

L_2 ——车辆定距之半

L_a ——振动加速度级

$L_A(t)$ —— t 时刻的 A 声级

L_{dn} ——一昼夜连续声级

L_{eq} ——等效连续声级

$L_{\text{eq}}(h)$ ——1 h 等效连续声级

L_{max} ——列车噪声最大声级

L_p ——声压级

L_s ——振动位移级

L_v ——振动速度水平, 或振动速度级

L_W ——声功率级

m ——单位长度的轨道质量

m_0 ——轮对质量

m_B ——单位长度道砟质量

m_d, m_p ——1/4 轨枕间道砟质量、轨枕质量

m_{eq} ——轨道等效冲击质量

m_R ——单位长度钢轨(两股)的质量

m_t ——轨枕质量

m_w ——车轮质量

$M_i (i=1, 2)$ ——梁单元中第 i 个结点的弯矩

M_c, J_c ——车体的质量与转动惯量

M_t, J_t ——转向架的质量与转动惯量

$M_{wi} (i=1, 2, 3, 4)$ ——第 i 个车轮的质量

$M_i(\theta)$ ——结点 i 的扭转约束阻力矩

M_T, M_G, M_R ——单位长度的轨枕、钢板梁和钢轨的质量

- M_l^e ——广义梁单元质量矩阵
 M_b^e ——梁单元协调质量矩阵
 M_p^e ——考虑轨枕和道碴质量的集中质量矩阵
 M ——2.5 维有限元方程中的质量矩阵
 M_l ——下部结构总质量矩阵
 M_u ——车辆的质量矩阵
 n ——大地的土层数
 $n(f)$ ——模态密度
 n_1, n_2 ——子系统 1, 2 的模态密度
 n_R, n_T, n_G ——钢轨、轨枕和钢梁模态密度
 N ——一列列车的车辆数、方程的维数
 $N(f)$ ——模态数
 P ——机车导向车轮与钢轨之间的垂向力
 p_A ——声压
 p_e ——有效声压
 $p(x)$ ——概率密度函数
 $p_x(x, y), p_y(x, y), p_z(x, y)$ ——大地表面单位面积所受到的作用力在 x, y 和 z 方向的分量
 $P_l(t)$ ——第 l 个轮对与钢轨之间的作用力
 $\tilde{P}_l(\Omega)$ ——定义为 $P_l(t) = \tilde{P}_l(\Omega)e^{i\Omega t}$
 $P_u(x, y, f), P_v(x, y, f)$ 和 $P_w(x, y, f)$ ——大地表面 (x, y) 处, 频率为 f 时的纵向、横向和垂向位移功率谱
 $P_z(\beta)$ ——钢轨垂向不平顺的功率谱密度
 $\langle p^2 \rangle_T$ ——路旁均方声压
 $\tilde{P}^*$ ——面力格林函数矩阵
 $q(x, t)$ —— t 时刻 x -截面处的结点位移列向量
 $q_{xi}(u)$ ——结点 i 沿钢轨轴向的约束阻力
 $q_{yi}(v)$ ——结点 i 沿钢轨横向的约束阻力
 Q_l^e ——集中荷载产生的单元等效结点荷载向量
 Q_l ——下部结构的结点荷载向量
 Q_u ——车辆的等效荷载向量
 $\tilde{Q}(\beta, \lambda, \omega)$ ——大地经傅里叶变换后的动力柔度矩阵
 r_{RV} ——钢轨惯性半径

- r_{RH} ——钢轨横向弯曲惯性半径
 R ——破坏比
 R_d ——钢轨的动压力
 R_w, R_R ——车轮和钢轨半径
 $S(f)$ ——轨道不平顺功率谱密度
 SEL ——暴露声级
 $SEL_{ref,i}$ ——第 i 个子噪声源的参考暴露声级
 $SEL_{ref,i}^m$ ——第 i 个子噪声源的修正参考暴露声级
 $S_{PR}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的在时间 T 上平均的钢轨声压谱
 $S_{PW}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的在时间 T 上平均的车轮声压谱
 $S_{\dot{Y}_{RV}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的在时间 T 上平均的钢轨竖向速度功率谱
 $S_{\ddot{Y}_{RV}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的在时间 T 上平均的钢轨竖向加速度功率谱
 $S_{RW}(k)$ ——车轮表面不平顺功率谱函数
 $S_{RR}(k)$ ——钢轨表面不平顺功率谱函数
 $S_{rough}(k)$ ——用 1/3 倍频程表示的车轮和钢轨表面不平顺功率谱之和
 $S_{\dot{Y}_{WR}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的环向平均的车轮径向速度功率谱
 $S_{\dot{Y}_{WR}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的环向平均的车轮径向加速度功率谱
 $S_{\dot{Y}_{WA}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的环向平均的车轮横向速度功率谱
 $S_{\ddot{Y}_{WA}}^{AVG}(\omega)$ ——用 1/3 倍频程表示的环向平均的车轮横向加速度功率谱
 $S_P(f; \Omega)$ ——轮载谱
 $S_u(x, y, f), S_v(x, y, f)$ 和 $S_w(x, y, f)$ ——大地表面 (x, y) 处、频率为 f 时的纵向、横向和垂向位移谱
 $S_u^0(x, y, f; \Omega), S_v^0(x, y, f; \Omega)$ 和 $S_w^0(x, y, f; \Omega)$ ——由振幅为单位值、波长为 $\lambda = 2\pi c / \Omega$ 的钢轨顶面不平顺产生的大地表面 (x, y) 处、频率为 f 时的纵向、横向和垂向位移功率谱
 $u(x, y, z, t), v(x, y, z, t), w(x, y, z, t)$ ——大地中 (x, y, z) 处在 t 时刻的纵向、横向和垂向位移
 $\mathbf{u}(x, y, z, t)$ —— (x, y, z) 点处在 t 时刻的位移矢量
 $u_i, v_i (i=1, 2)$ ——梁单元中第 i 个结点的纵向和竖向位移
 U_e ——线性应变引起的势能

- U_N^e ——非线性应变引起的势能
 U_B^e ——梁内的应变能
 U_R^e ——约束弹簧的应变能
 U_σ^e ——初应力产生的能量
 $U_i, V_i (i=1,2)$ ——梁单元中第 i 个结点的等效结点荷载纵向和竖向分量
 $\tilde{U}^*$ ——位移格林函数矩阵
 v_1^*, v_1^{**} ——轨枕、道床的竖向位移
 v_c, φ_c ——车体沉浮振动的竖向位移、车体点头振动的角位移
 $v_{ti}, \varphi_{ti} (i=1,2)$ ——第 i 个转向架沉浮振动的竖向位移、点头振动的角位移
 $v_{wi} (i=1,2,3,4)$ ——第 i 个车轮的竖向位移
 $\langle v_R^2 \rangle$ ——钢轨均方速度
 $\langle v_T^2 \rangle$ ——轨枕均方速度
 $\langle v_G^2 \rangle$ ——钢梁均方速度
 $V_i^*, V_i^{**} (i=1,2)$ ——第 i 个结点的等效结点荷载作用在轨枕和道床上的分量
 v ——列车速度
 $v_{\text{ref},i}$ ——第 i 个子噪声源的参考列车速度
 w, w_1, w_2 ——钢轨竖向挠度
 $w_R(x, t)$ ——钢轨在 x 处和 t 时刻的位移
 $w_S(x, t)$ ——轨枕的位移
 $w_C(x, t)$ ——轨道结构和大地表面接触面之中心线的垂向位移
 $\bar{w}(\beta, \gamma, t)$ —— $w(x, y, z, t)$ 对 (x, y) 所作的傅里叶变换
 $\tilde{w}(\beta, \gamma)$ ——定义为 $\bar{w}(\beta, \gamma, t) = \tilde{w}(\beta, \gamma) e^{i(\Omega - \beta x)t}$
 W_0 ——结构中的储存能
 $W(\beta, t)$ ——傅里叶变换域中的位移
 $\bar{W}$ ——声功率
 X ——随机变量
 X^0 ——确定值
 X' ——随机扰动
 $y_0(x)$ ——钢轨初始弯曲
 $y_{0p}(x)$ ——原始塑性弯曲
 $y_{0e}(x)$ ——原始弹性弯曲
 $y_{\Delta T}(x)$ ——经过升温 ΔT 以后梁的弯曲状态

- $\dot{Y}_{WA}$ ——车轮横向运动速度
 $\dot{Y}_{RH}$ ——钢轨横向运动速度
 $\langle \dot{Y}_{RV}^2 \rangle_T$ ——钢轨竖向振动速度均方值
 $\langle \dot{Y}_{WR}^2 \rangle_T, \langle \dot{Y}_{WA}^2 \rangle_T$ ——车轮径向、横向振动速度均方值
 $z(x)$ ——钢轨的垂向不平顺
 Z_{RH} ——钢轨横向阻抗
 Z_{RV} ——钢轨竖向阻抗
 Z_{RVH} ——作用在钢轨上接触点处的竖向荷载引起钢轨横向运动的阻抗
 Z_{WR} ——车轮径向阻抗
 Z_{WA} ——车轮横向阻抗
 α ——热膨胀系数
 α, β, γ ——在 z, x 和 y 方向的波数, 单位为每米弧度
 $\theta_i (i=1, 2)$ ——梁单元中第 i 个结点的转角
 δ ——声程差
 $\delta(x)$ ——Dirac- δ 函数
 δ_{kl} ——Kronecker's delta(克罗内克 δ 函数)
 $\nabla \sigma$ ——应力灵敏度
 ϵ_x, ϵ_b ——轴向应变和弯曲应变
 ϵ_e, ϵ_N ——线性应变和非线性应变向量
 ϵ_T ——温度升高 ΔT 时的温度应变
 ϵ ——平均声能量
 ϵ^e ——单元线性应变向量
 ξ_x ——纵向蠕滑率
 ξ_y ——横向蠕滑率
 ζ_{j1}, ζ_{j2} ——第 j 层土中 P 和 S 波的波数, 定义为 $\zeta_{j1} = \omega/c_{j1}, \zeta_{j2} = \omega/c_{j2}$
 $\Phi(y, z)$ ——形状函数矩阵
 η ——损失因子、轨道表面的不平顺
 η_1, η_2 ——子系统 1, 2 的内部损失因子
 η_{12}, η_{21} ——从子系统 I 到 II 和从 II 到 I 的结构耦合损失因子
 η_G ——钢梁阻尼损失因子
 η_f ——扣件损失因子
 η_i ——与结构元件的边界能量耗散有关的损耗因子