

“十一五”国家重点图书

铁路客运专线（高速）轨道结构关键技术丛书

# 车辆—轨道—路基 系统动力学

刘学毅 王平 著

CHELIANG-GUIDAO-LUJI  
XITONG DONGLIXUE



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

“十一五”国家重点

铁路客运专线（高速）轨道结构关键技术丛书

# 车辆-轨道-路基系统动力学

刘学毅 王平 著

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

-----  
图书在版编目 ( C I P ) 数据

车辆-轨道-路基系统动力学 / 刘学毅, 王平著.  
—成都: 西南交通大学出版社, 2010.3  
(铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书)  
ISBN 978-7-5643-0535-2

I. ①车… II. ①刘… ②王… III. ①铁路车辆—系  
统动力学②轨道(铁路)—系统动力学③铁路路基—系  
统动力学 IV. ①U270.1②U213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 242345 号  
-----

铁路客运专线(高速)轨道结构关键技术丛书  
车辆-轨道-路基系统动力学

刘学毅 王平 著

\*

责任编辑 万方 张波

特邀编辑 于河

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 18.375

字数: 330 千字

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

**ISBN 978-7-5643-0535-2**

定价: 38.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

随着世界范围内高速、重载铁路运输的快速发展，轮轨系统的动力作用加剧，对列车运行的舒适性和安全性要求更高、各部件的变形失效明显加快，轮轨系统动力学应运而生且发展迅速。

经过 20 多年的基础理论与试验数据积累，轮轨系统动力学的研究方法和研究成果已逐渐应用于铁路运输的系统分析与接口匹配、结构与参数选择、安全性判识与质量评价、病害成因分析与预防减缓措施等多个方面，并逐步由定性分析向定量研究快速发展。

在铁路机车车辆和线路的设计中，如车辆走行部、高速道岔、轨道过渡段、高速桥梁等，已成功地应用了轮轨系统动力学的基本原理和相关研究成果，部分结构的设计已初步建立起了基于动力学设计的基本原理和方法，正在完成由静力或准静力设计向动力设计的转变。除满足轮轨系统中各部件的强度和耐久性要求之外，力求使系统的结构与参数最合理配置，从而实现轮轨系统的动力特性优化，在保障铁路运输舒适、安全的前提下，尽可能优化各部件的工作环境并延长部件的使用寿命。

本书比较系统地总结了轮轨系统动力学近年来的主要研究成果及进展，全面地构建了车辆-轨道-路基系统动力学的基本原理、计算模型、计算参数及计算方法，并重点介绍了典型的应用研究情况，旨在为相关专业的研究者或研究生提供一个比较完整的参考资料。

本书的内容大致可分为四个部分。

第一部分即第一章绪论，简要介绍了我国高速、重载铁路运输的发展历程与现状，比较系统地介绍了国内外车辆-轨道-路基系统动力学的发展现状、主要研究内容及主要研究的问题。

第二部分是建立车辆-轨道-路基系统耦合动力学所必需的基础，即第二、三、四章的内容。在第二章车辆振动分析中，重点介绍了车辆的垂向振动、轮轨蠕滑的概念及计算方法、蛇形运动与曲线动力通过等方面振动分析的模型及算法；第三章轨道振动分析中，比较详细地介绍了轨道垂向、横向及纵向振动分析的模型及算法，连续支承模型的解析解法、点支承模型的有限单元与模态

解法，时频转换及频域分析方法等；第四章路基振动分析中，重点介绍了路基的分层模型解法、路基中常见的振动分析模型及参数确定方法。

第三部分即第五章轮轨耦合振动分析，该章中系统地介绍了车辆-轨道-路基系统垂向及空间耦合振动的各种典型的平面耦合振动模型及空间耦合振动模型及解法，如连续支承模型的导纳方法、点支承模型的有限单元解法，并详细地介绍了有关的程序实现要点。

第四部分是关于车辆-轨道-路基系统动力学的典型应用研究实例，重点介绍了轮轨系统中各有关计算参数的选择方法、轨道合理刚度研究、高速道岔动力分析、钢轨波形磨耗成因及预防减缓措施、高速铁路上振动位移波的特性及影响因素等目前线路设计和运营维护方面重大问题研究中的应用情况。

本书编著过程中，参考和引用了本课题组 10 多年来的部分研究成果，也参考和引用了大量国内外其他研究者的研究成果，作者尽可能地在书后的参考文献中列出，但也不免有遗漏，在此对广大研究者和同仁一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中谬误和疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正，作者将十分感激并将在今后的研究中不断改进与完善。

**刘学毅 王平**

2009 年 12 月 8 日于成都

## 主要符号表

- $a$ ——轨枕中心距，或振动加速度，或轮轨接触斑长半轴；  
 $a_i$ ——轮轨接触斑长半轴，或接触斑延线路方向的半轴；  
 $b$ ——两股钢轨轨顶中心距之一半，或轮轨接触斑短半轴，或轨枕宽度；  
 $b_1$ ——一系悬挂点横向距之一半；  
 $b_2$ ——二系悬挂点横向距之一半；  
 $b_f$ ——轮轨接触斑短半轴，或接触斑垂直于线路方向的半轴；  
 $C$ ——待定常数，或等效阻尼；  
 $[C]$ ——总阻尼矩阵；  
 $C_{11}, C_{22}, C_{23}, C_{33}$ ——计算蠕滑力系数时由接触斑长短半轴比确定的四个常数；  
 $C_b$ ——路基等效阻尼；  
 $C_r$ ——扣件等效阻尼；  
 $C_s$ ——道床等效阻尼；  
 $c$ ——阻尼；  
 $c_{1x}$ ——一系悬挂的纵向阻尼；  
 $c_{1y}$ ——一系悬挂的横向阻尼；  
 $c_1, c_{1z}$ ——一系悬挂的垂向阻尼；  
 $c_{2x}$ ——二系悬挂的纵向阻尼；  
 $c_{2y}$ ——二系悬挂的横向阻尼；  
 $c_2, c_{2z}$ ——二系悬挂的垂向阻尼；  
 $c_{2\xi}$ ——二系悬挂的点头角阻尼；  
 $c_{2\psi}$ ——二系悬挂的侧滚角阻尼；  
 $c_b$ ——路基垂向阻尼（半枕或分布阻尼）；  
 $c_{cr}$ ——临界阻尼；  
 $c_{eq}$ ——等效阻尼；  
 $c_r, c_{2r}$ ——扣件垂向阻尼（一组扣件或分布阻尼）；  
 $c_{r1}, c_{r2}, c_{r3}$ ——路基分层建模中各参振质量层下的分布支承阻尼；  
 $c_{ry}, c_{1r}$ ——扣件横向阻尼（一组扣件或分布阻尼）；

- $c_{tx}$ ——扣件纵向阻尼（一组扣件或分布阻尼）；  
 $c_s, c_{sz}, c_{2s}$ ——道床垂向阻尼（半枕或分布阻尼）；  
 $c_{sx}$ ——道床纵向阻尼（半枕或分布阻尼）；  
 $c_{sy}, c_{1s}$ ——道床横向阻尼（半枕或分布阻尼）；  
 $D$ ——车轮直径；  
 $E$ ——车轮及钢轨钢材弹性模量；  
 $E_b$ ——道床弹性模量；  
 $E_r$ ——路基基床表层弹性模量；  
 $F$ ——钢轨断面面积；  
 $F_i$ ——轮缘力；  
 $f$ ——蠕滑力系数；  
 $f_0$ ——模态法求解中钢轨的截断频率；  
 $f_{11}, f_{22}, f_{23}, f_{33}$ ——轮轨蠕滑力系数；  
 $G$ ——计算轮轨接触刚度时的常数；  
 $g$ ——重力加速度；  
 $H$ ——横向力，或轨道外轨超高，或道床厚度；  
 $H_1$ ——路基基床厚度；  
 $H_c, H_b, H_w$ ——作用在车体、构架及轮对上的未被平衡的离心力；  
 $H(s), H(\omega)$ ——传递函数与频响函数；  
 $h(t)$ ——脉冲响应；  
 $i$ ——表示位置及个数的脚标；  
 $j$ ——复数中的虚部符号；  
 $J, J_z$ ——钢轨在竖直面内的抗弯惯性矩；  
 $J_{b\xi}$ ——整个转向架，或单侧转向架的点头转动惯量；  
 $J_{b\psi}$ ——转向架的侧滚转动惯量；  
 $J_{b\phi}$ ——转向架的摇头转动惯量；  
 $J_{c\xi}$ ——整个车体，或单侧车体的点头转动惯量；  
 $J_{c\psi}$ ——整个车体，或半个车体的侧滚转动惯量；  
 $J_{c\phi}$ ——整个车体的摇头转动惯量；  
 $J_s$ ——轨枕的侧滚转动惯量；  
 $J_{t\phi}$ ——刚性转向架摇头转动惯量；  
 $J_{w\phi}$ ——轮对的摇头转动惯量；  
 $J_{w\psi}$ ——轮对的侧滚转动惯量；  
 $J_y$ ——钢轨在水平面内的抗弯惯性矩；

- $K$  —— 等效刚度；  
 $[K]$  —— 总刚度矩阵；  
 $K_{30b}$  —— 路基基床表层的  $K_{30}$  值；  
 $K_{30d}$  —— 路基基床底层的  $K_{30}$  值；  
 $K_b$  —— 路基等效刚度；  
 $K_r$  —— 扣件等效刚度；  
 $K_s$  —— 道床等效刚度；  
 $k$  —— 刚度；  
 $[k]^e$  —— 钢轨单元的单元刚度矩阵；  
 $k_1, k_{1z}$  —— 一系悬挂的垂向刚度；  
 $k_{1x}$  —— 一系悬挂的纵向刚度；  
 $k_{1y}$  —— 一系悬挂的横向刚度；  
 $k_2, k_{2z}$  —— 二系悬挂的垂向刚度；  
 $k_{2x}$  —— 二系悬挂的纵向刚度；  
 $k_{2y}$  —— 二系悬挂的横向刚度；  
 $k_{2\xi}$  —— 二系悬挂的点头角刚度；  
 $k_{2\psi}$  —— 二系悬挂的侧滚角刚度；  
 $k_{2\phi}$  —— 二系悬挂的摇头角刚度；  
 $k_b$  —— 路基垂向刚度（半枕或分布刚度）；  
 $k_{eq}$  —— 等效刚度；  
 $k_H$  —— 轮轨接触弹簧刚度；  
 $k_r, k_{rz}, k_{2r}$  —— 扣件垂向刚度（一组扣件或分布刚度）；  
 $k_{r1}, k_{r1}, k_{r3}$  —— 路基分层建模中各参振质量层下的分布支承刚度；  
 $k_{ry}, k_{2r}$  —— 扣件横向刚度（一组扣件或分布刚度）；  
 $k_{rx}$  —— 扣件纵向刚度（一组扣件或分布刚度）；  
 $k_s, k_{sz}, k_{2s}$  —— 道床垂向刚度（半枕或分布刚度）；  
 $k_{sy}, k_{1s}$  —— 道床横向刚度（半枕或分布刚度）；  
 $k_{sx}$  —— 道床纵向刚度（半枕或分布刚度）；  
 $L$  —— 路路面激振荷载的分布宽度、或拉氏变换符号；  
 $l$  —— 轨枕长度、或轨面垂向不平顺波长、或模态法分析中轨道模型的长度；  
 $l_1$  —— 转向架固定轴距之一半；  
 $l_2$  —— 车辆前后转向架中心距之一半；  
 $l_q$  —— 车辆全长（车钩中心距）；  
 $M$  —— 等效参振质量；



- $[M]$ ——总质量矩阵；  
 $M_0$ ——车辆走行部单轮簧下质量；  
 $M_3, M_{i3}$ ——轮轨间的自旋蠕滑力矩；  
 $m$ ——参振质量，或计算轮轨接触斑长半轴时的积分常数；  
 $[m]^e$ ——钢轨单元的单元质量矩阵；  
 $m_b$ ——整个转向架构架、或单侧转向架构架的参振质量；  
 $m_{ba}$ ——半枕下道床块参振质量或每延米道床参振质量；  
 $m_c$ ——整个车体，或单侧车体，或半个车体，或 1/4 个车体的参振质量；  
 $m_{eq}$ ——等效参振质量；  
 $m_r$ ——钢轨每延米质量；  
 $m_s$ ——轨枕、半枕质量或每延米轨枕质量；  
 $m_t$ ——刚性转向架的参振质量；  
 $m_w$ ——轮对或单轮参振质量；  
 $N$ ——轨道模型中的轨枕数量、或钢轨单元位移插值函数、或时域计算时的响应数据个数、或钢轨内的轴向力；  
 $[N]$ ——钢轨单元位移插值函数矩阵；  
 $N_m$ ——模态法中截取的钢轨模态数；  
 $n$ ——表示位置或时间步长个数的脚标，或计算轮轨接触斑短半轴时的积分常数；  
 $P$ ——轮轨间的垂向力，或垂向激振力幅值；  
 $\{P\}$ ——总荷载列阵；  
 $P(t)$ ——激振力；  
 $P_0$ ——静轮载；  
 $q$ ——广义坐标、或曲线内外上轮载的偏载系数；  
 $\dot{q}, \ddot{q}$ ——广义速度和加速度；  
 $\{q\}, \{\dot{q}\}, \{\ddot{q}\}$ ——广义坐标列阵、广义速度列阵和加速度列阵；  
 $r_0, r_i$ ——车轮的名义滚动半径和瞬时滚动半径；  
 $R$ ——线路曲线半径；  
 $R_r$ ——钢轨轨顶截面圆弧半径；  
 $R_{r1}, R_{r2}$ ——钢轨踏面的两个主曲率半径；  
 $R_{w1}, R_{w2}$ ——车轮踏面的两个主曲率半径；  
 $s$ ——拉普拉斯算子；  
 $T$ ——系统动能，或蠕滑力；  
 $T_l, T_{l1}$ ——轮轨接触斑上的纵向蠕滑力；

- $T_2, T_{i2}$  —— 轮轨接触斑上的横向蠕滑力；  
 $T_3, T_6, T_9$  —— 分别为 3, 6, 9 自由度系统的动能；  
 $T_R, T_{iR}$  —— 轮轨接触斑上的合成蠕滑力；  
 $t$  —— 时间；  
 $U$  —— 系统势能；  
 $U_3, U_6, U_9$  —— 分别为 3, 6, 9 自由度系统的势能；  
 $\{u\}, \{\dot{u}\}, \{\ddot{u}\}$  —— 广义坐标列阵, 广义速度列阵, 加速度列阵；  
 $V, v$  —— 车辆前进速度；  
 $V_1, V_2$  —— 车轮上轮轨接触斑的纵横向刚体移动速度；  
 $V'_1, V'_2$  —— 钢轨上轮轨接触斑的纵横向刚体移动速度；  
 $W$  —— 轴重；  
 $W_i$  —— 某一车轮下的磨耗功；  
 $x, \dot{x}$  —— 纵向位移, 速度；  
 $y, \dot{y}$  —— 横向位移, 速度；  
 $y_0$  —— 轮对纯滚动线距线路中心线的距离；  
 $y_b, y_{bi}$  —— 转向架构架横向位移；  
 $y_c$  —— 车体横向位移；  
 $y_i$  —— 钢轨单元节点横向位移；  
 $y_r, y_{ri}$  —— 钢轨横向位移；  
 $y_s, y_{si}$  —— 轨枕横向位移；  
 $y_w, y_{wi}$  —— 轮对横向位移；  
 $z, \dot{z}, \ddot{z}$  —— 垂向位移, 速度, 加速度；  
 $\{z\}, \{\dot{z}\}, \{\ddot{z}\}$  —— 垂向位移列阵, 速度列阵, 加速度列阵；  
 $z, z_i$  —— 垂向位移, 或钢轨单元节点垂向位移；  
 $z_b, z_{bi}$  —— 转向架构架垂向位移；  
 $z_{ba}, z_{bai}$  —— 道床垂向位移；  
 $z_c$  —— 车体垂向位移；  
 $z_r, z_{ri}$  —— 钢轨或钢轨节点垂向位移；  
 $z_s, z_{si}$  —— 轨枕垂向位移；  
 $z_w, z_{wi}$  —— 轮对垂向位移；  
 $\alpha, \alpha_i$  —— 振动方程特征根的实部；  
 $\alpha_r, \alpha_w$  —— 钢轨及车轮的位移导纳；  
 $\alpha_{r1}, \alpha_{w1}$  —— 钢轨及车轮的交叉位移导纳；

- $\beta, \beta_i$ ——振动方程特征根的虚部, 或钢轨与基础的刚比系数, 或由轮轴弯曲造成的车轮转动角;
- $\gamma$ ——蠕滑率又称为蠕滑, 或道床材料的密度;
- $\gamma_1, \gamma_{i1}$ ——轮轨接触斑上的纵向蠕滑率;
- $\gamma_2, \gamma_{i2}$ ——轮轨接触斑上的横向蠕滑率;
- $\gamma_r$ ——路基基床表层材料的密度;
- $\Delta$ ——轨面垂向不平顺幅值;
- $\Delta t$ ——数值积分中的时间步长;
- $\delta$ ——变分符号, 或虚位移符号, 或狄拉克函数, 或轮轨间的垂向相对压缩量;
- $\delta_i$ ——轮轨游间之一半;
- $\delta W$ ——系统的虚功;
- $\delta W_3, \delta W_6, \delta W_9$ ——分别为 3、6、9 自由度系统的虚功;
- $\zeta_D, \zeta_\eta$ ——轨道各种振动响应对轨道刚度及扣件/道床刚度比的敏感系数;
- $\eta$ ——扣件/道床刚度比;
- $\eta_r, \eta_{rz}$ ——轨面垂向不平顺值;
- $\dot{\eta}_r, \dot{\eta}_{rz}$ ——轨面垂向不平顺随时间的变化率
- $\eta_{ry}$ ——轨面横向不平顺值;
- $\dot{\eta}_{ry}$ ——轨面横向不平顺随值时间的变化率
- $\eta_w, \eta_{wi}$ ——车轮上不平顺值;
- $\theta_i$ ——钢轨节点在垂直面内绕  $y$  轴的转角, 或由轮轴扭转形成的车轮转角;
- $\theta_{yi}$ ——钢轨节点在水平面内绕  $z$  轴的转角;
- $\theta_{zi}$ ——钢轨节点在垂直面内绕  $y$  轴的转角;
- $\lambda$ ——车轮踏面锥度、或椭圆积分常数、或振动方程的特征根;
- $\mu$ ——轮轨间的库仑摩擦系数;
- $\mu_1$ ——轮缘摩擦系数;
- $\mu_d$ ——轮轨间的滑动摩擦系数;
- $\xi$ ——阻尼率;
- $\xi_b, \xi_{bi}$ ——转向架构架点头角位移;
- $\xi_c$ ——车体点头角位移;
- $\nu$ ——车轮钢轨材料的泊松比;
- $\phi$ ——道床材料的内摩擦角;
- $\phi_1$ ——路基基床表层材料的内摩擦角;
- $\phi_b, \phi_{bi}$ ——转向架构架摇头角位移;

- $\phi_c$ ——车体摇头角位移；  
 $\phi_w, \phi_{wi}$ ——轮对摇头角位移；  
 $\psi_b, \psi_{bi}$ ——转向架构架侧滚角位移；  
 $\psi_c$ ——车体侧滚角位移；  
 $\psi_s, \psi_{si}$ ——轨枕侧滚角位移；  
 $\psi_w, \psi_{wi}$ ——轮对侧滚角位移；  
 $\Omega_3$ ——车轮上轮轨接触斑绕  $z$  轴的刚体旋转速度；  
 $\Omega'_3$ ——钢轨上轮轨接触斑绕  $z$  轴的刚体旋转速度；  
 $\omega, \omega_i$ ——振动圆频率，或振动方程特征根的虚部；  
 $\omega_3, \omega_{i3}$ ——轮轨接触斑上的自旋蠕滑。

# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	1
第一节 我国重载、提速和高速铁路运输的发展概况 .....	1
第二节 轮轨系统动力学的发展概况 .....	7
第三节 车辆-轨道-路基系统动力学的研究内容及研究的问题 .....	15
<b>第二章 车辆振动分析方法</b> .....	19
第一节 应用哈密尔顿原理建立振动方程组 .....	19
第二节 车辆垂向振动的分析模型与方程 .....	23
第三节 车辆振动方程的求解 .....	30
第四节 轮轨间蠕滑力的计算与修正 .....	33
第五节 车辆蛇形运动稳定性 .....	44
第六节 车辆动态曲线通过 .....	51
<b>第三章 轨道振动分析方法</b> .....	56
第一节 轨道振动分析的计算模型 .....	56
第二节 叠合梁模型轨道垂向振动分析 .....	69
第三节 连续弹性支承轨道横向和纵向振动分析 .....	75
第四节 弹性点支承轨道垂向振动有限元法求解 .....	80
第五节 弹性点支承轨道垂向振动模态法求解 .....	90
第六节 轨道振动的频域分析 .....	98
<b>第四章 路基振动分析方法</b> .....	109
第一节 道床及路基的振动参数计算 .....	109
第二节 路基振动分析的分层建模方法 .....	116
第三节 路基振动分析的其他建模方法 .....	122

<b>第五章 轮轨系统耦合振动分析</b> .....	127
第一节 轮轨振动耦合关系 .....	127
第二节 车辆-轨道耦合振动分析模型 .....	134
第三节 连续弹性支承轨道耦合模型的导纳方法求解 .....	147
第四节 车辆-轨道垂向耦合振动模型的有限单元解法 .....	153
第五节 半车-轨道空间耦合振动模型的有限单元解法 .....	164
<b>第六章 车辆-轨道-路基系统动力学的应用研究</b> .....	179
第一节 车辆-轨道-路基振动系统中的参数 .....	179
第二节 轨道合理刚度及其匹配关系的研究 .....	191
第三节 道岔动力学理论及其应用 .....	201
第四节 钢轨波形磨耗成因及预防减缓措施 .....	225
第五节 高速铁路轨道位移波研究 .....	247
第六节 车辆-轨道-路基系统动力学的其他应用 .....	266
<b>参考文献</b> .....	273

# 第一章 绪 论

由弓网、列车（机车或动车、车辆）、轨道、路基（或桥梁、隧道等轨下基础）组成了一个轮轨大系统。有关轮轨系统振动特性、振动响应和各部分动力作用关系的研究，称之为轮轨系统动力学。轮轨系统动力学的研究领域宽广，研究内容也十分丰富，通常来讲，只要是针对轮轨系统中的某一个动力学问题进行动力学建模和分析的研究，都可归入轮轨系统动力学的研究范围。

随着铁路高速、重载运输的发展，旅客列车的运行速度与货运列车的牵引质量在不断提高，轮轨系统中的各种振动加剧，与动力学相关的问题便越来越突出。应用动力学的原理和分析方法，研究解决轮轨系统在线形与结构设计、施工与运营维护中存在的问题，确保高速列车的运行舒适性和安全性，优化系统的动力学特性，延长结构的使用寿命，是轮轨系统动力学的主要研究目的和应用途径。

本章中主要介绍我国重载、提速及高速铁路运输的发展概况及其中的主要技术问题，轮轨系统动力学的相关发展历程及现状，以及车辆-轨道-路基系统动力学的主要研究对象、研究内容和应用途径等。

## 第一节 我国重载、提速和高速铁路运输的发展概况

为了解决我国铁路长期存在的运能与运量的矛盾，大力推进重载、提速和高速铁路运输的发展。自 1980 初开始，围绕运煤专线和主要繁忙干线进行重载运输改造，在繁忙干线上推广应用牵引质量 5 000 t 列车的重载货运技术，在运煤线路上推广万吨列车的重载运输技术。自 1990 年初至今，经过了 6 次大的既有线提速，将繁忙干线的大多数区段的旅客列车车速提高到 160 km/h，部分区段的车速提高到 200 km/h，少数有条件的区段的车速提高到 250 km/h。自 2002 年开始，规划并大规模修建速度 250 ~ 350 km/h 的高速客运专线，预计到 2020 年，将完成 1.6 万 km 的高速客运专线，配合既有线的提速，构建我国的快速铁路网。

## 一、铁路重载运输的发展概况

自 20 世纪 50 年代以来,重载铁路运输因其运能大、效率高、运输成本低而受到世界各国铁路部门的广泛重视,在美国、加拿大、澳大利亚、南非等国家的发展尤为迅速。目前,国外重载列车牵引质量一般为 1~3 万 t,一些国家单条重载线路年运量达到 1 亿 t;国外重载列车最大轴重已达 35.7 t 并正在积极研究 39 t 轴重的可行性,美国、加拿大、澳大利亚等国家的重载列车轴重普遍达到 32.5~35.7 t,瑞典、巴西的重载列车轴重已提高到 30 t。

我国铁路从 1980 年开始在货物运输方面大力发展重载运输。先后在大秦线、石太线及丰沙线等运煤铁路和主要繁忙干线上,进行了牵引质量为 5 000 t, 6 000 t 及 10 000 t 重载列车的试验,对列车合理操纵及重载列车对轨道的动力作用进行了全面的测试,对制动机、车钩、信号方式、线路平纵面、车站到发线有效长度、轨道结构、路基结构和桥梁结构进行了全面的改造或加强,成功地在繁忙干线上开行了牵引质量 5 000 t 的重载单元列车,在运煤线路上开行了 6 000 t 和 1 万 t 的重载单元列车和组合列车。至 1990 年,已形成了我国重载运输的成套技术研究成果并逐步推广应用,目前京沪、京广、京哈等主要繁忙干线普遍开行了 5 000 t 级重载列车。

为满足国民经济对煤炭运输的要求,从 2004 年初开始,我国铁路在大秦线进行了 2 万 t 重载组合列车技术的系统集成创新。2004 年 12 月,中国铁路第一列 2 万 t (4×5 000 t) 重载组合列车试验开行成功。2005 年底,又成功试验开行了 2×1 万 t 重载组合列车。2006 年 3 月,大秦线正式开行 2 万 t 重载组合列车,为实现年运量 2.5 亿 t 的目标打下了坚实的基础,标志着我国铁路重载运输技术已跻身世界先进行列。同时,我国轴重 25 t、运行速度 120 km/h 的重载货车,以及双层集装箱重载运输也在积极地试验和实践过程中。

根据《中长期铁路网规划》,我国铁路将围绕十大煤炭基地,建设大能力运煤通道。重载运输技术将在我国得到更大地应用和发展。

## 二、既有铁路提速运输的发展概况

我国既有铁路提速工程自 1989 年启动。第一阶段为广深准高速铁路(后称为快速铁路)建设阶段。1989 年开始进行的广深线旅客列车最高速度提高到 160 km/h 的可行性研究,于 1990 年 7 月经过专家详细论证,通过了“广深准高速铁路实现 160 km/h 可行性研究报告”,铁道部正式下达了广深线准高速铁路科研攻关及试验计划的通知,从准高速机车车辆、线路工程,到安全保障体



系、速度分级控制及安全评估与试验,共 15 大项攻关计划开始全面执行。广深线地处路网尽头,进行改造和试验对路网影响少,全长 147 km,作为试验线路长度适中。经过 4 年的科技攻关和试验,对线路平纵面、轨道及桥梁结构、机车车辆及信号系统的改建,在研制成功 160 km/h 准高速机车车辆的基础上,于 1994 年 12 月开通 160 km/h 的旅客列车,为后来的繁忙干线提速奠定了技术基础。

第二阶段为三大繁忙干线的提速试验阶段。京沪、京广、京哈三大干线最为繁忙,总里程为 5 046 km,占全国铁路运营里程的 9.5%,但完成的客、货运周转量分别占 39.4% 和 34.4%。1995 年 9~10 月,上海铁路局沪宁线首次进行客、货列车提速试验,试验中日常运营客、货列车正常运行,旅客列车最高试验速度达 173 km/h,货物列车最高试验速度达到 100 km/h。1996 年 4 月第一列提速列车“先锋号”在沪宁线上正式运营。

1996 年 6 月,北京铁路局在京秦线上组织了提速试验,该试验为 1996 年 7 月“北戴河号”提速列车的正式运行做好了技术准备。1996 年 6~7 月,沈阳铁路局组织在沈山线上进行了大规模的提速试验,旅客列车最高试验速度达 183.5 km/h。在沈大线上专门进行了货车转 8A 型转向架提速动力性能试验,取得成功。1996 年 10 月,北京—大连间首次开行长途快速客车,运行时间由 16 h 15 min 缩短到 11 h 58 min。1996 年 11 月,郑州铁路局组织在郑武线郑州—螺河段进行了我国首次电气化铁路提速试验,客车最高速度达 185 km/h,为电气化线路接触网悬挂参数的确定提供了充分的科学依据。综合三大干线的提速试验,编制了“三大干线客货列车提速试验总结及提速装备技术条件研究论证报告”,作为全国铁路提速的技术基础和依据。1996 年底至 1997 年初,铁道部在所有提速试验的基础上,制订了“九五”期间的提速规划。

在三大干线上全面整治线路,更换提速道岔,封闭道口,进行全面的提速列车运行时分实际试验踏勘。1997 年 4 月,全国铁路第一次调整运行图。客、货列车平均运行速度分别达到了 54.91 km/h 和 31.4 km/h,比 1993 年分别提高了 6.84 km/h 和 1.41 km/h。全国铁路开行“夕发朝至”客车(旅行速度超过 90 km/h) 78 列,其中速度在 140~160 km/h 的 8 对。1998 年 10 月,全国铁路第二次调整运行图,集中在三大干线,扩大快速客车、“夕发朝至”客车的数量和范围。新运行图线路允许速度平均达到 92.8 km/h。新开快速列车 80 对,比 1997 年增加了 40 对,开行“朝发夕至”列车 116 列,比 1997 年增加了 38 列。新运行图实施后,旅客上座率、旅客发送量明显增加,货运形势也有所好转。

第三阶段为主要繁忙干线提速阶段。1999 年,我国铁路以市场需求为导向,以提高经济效益和社会效益为中心,以缩短旅行时间为目的,以科技进步为手