

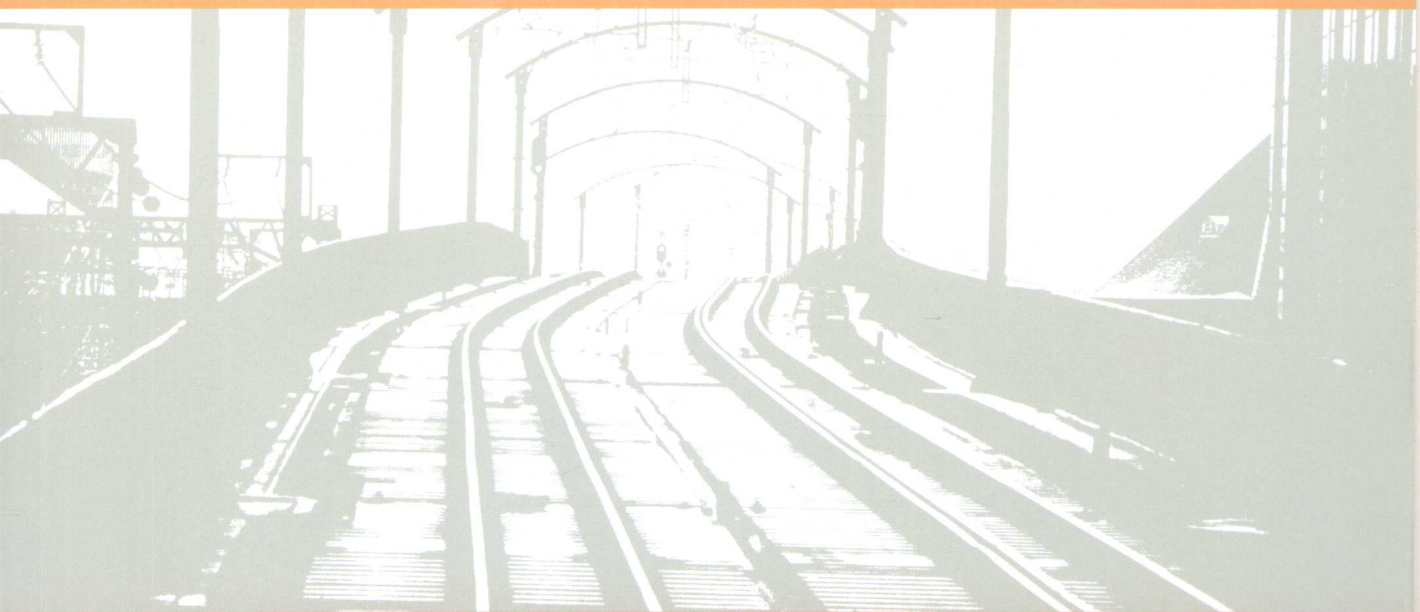


21世纪交通版高等学校教材  
城市轨道交通系列教材

# 轨道工程

*Railway Track*

练松良 主 编  
李向国 副主编  
卢耀荣 主 审



人民交通出版社  
China Communications Press

21 世纪交通版高等学校教材  
城市轨道交通系列教材

Railway Track

# 轨道工程

陈松良	主 编
李向国	副主编
卢耀荣	主 审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书首先介绍了铁路和城市轨道交通的发展历史以及轨道结构的沿革,然后系统地介绍了钢轨、有砟轨道和无砟轨道的结构形式和组成、道岔、轨道几何形位、轨道结构受力分析、无缝线路、铁路与城市轨道交通的振动与噪声、轨道结构施工等。本书结合近几年国内外铁路轨道技术的发展,介绍了新技术和新理论,同时根据城市轨道交通的特点,对城市轨道交通的有关内容作了详细介绍。

本书可作为交通土建专业铁路与城市轨道交通专业方向的本科教材,根据内容取舍,也可作为大专、函授生的教材和工程技术人员参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

轨道工程/练松良主编. —北京:人民交通出版社,  
2009.6  
(城市轨道交通系列教材)  
ISBN 978-7-114-07675-6

I.轨... II.练... III.轨道(铁路)-高等学校-教材  
IV.U213.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第040681号

21世纪交通版高等学校教材  
城市轨道交通系列教材

书 名: 轨道工程

著 者: 练松良

责任编辑: 沈鸿雁 曲乐

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20.5

字 数: 508千

版 次: 2009年6月 第1版

印 次: 2009年6月 第1次印刷

印 数: 0001-2500册

书 号: ISBN 978-7-114-07675-6

定 价: 36.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 人民交通出版社公路类教材一览

(◆教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材 ▲建设部土建类专业“十一五”规划教材)

## 一、交通工程教学指导委员会规划推荐教材

1. ◆交通规划(王 炜) ..... 33 元
2. ◆道路交通安全(裴玉龙) ..... 36 元
3. 交通系统分析(王殿海) ..... 31 元
4. 交通管理与控制(徐建闽) ..... 26 元
5. 交通经济学(邵春福) ..... 25 元

## 二、21 世纪交通版高等学校教材

### (一) 交通工程专业

1. ◆交通工程总论(第三版)(徐吉谦) ..... 36 元
2. ◆交通工程学(第二版)(任福田) ..... 38 元
3. ◆交通管理与控制(第四版)(吴 兵) ..... 35 元
4. ◆道路通行能力分析(陈宽民) ..... 27 元
5. ◆交通工程设计理论与方法(马荣国) ..... 40 元
6. ◆公路网规划(裴玉龙) ..... 27 元
7. 交通工程专业英语(裴玉龙) ..... 28 元
8. ◆交通运输工程导论(第二版)(姚祖康) ..... 23 元
9. 交通流理论(王殿海) ..... 21 元
10. 交通系统仿真技术(刘运通) ..... 26 元
11. 停车场规划设计与管理(关宏志) ..... 30 元
12. 交通工程设计(李峻利) ..... 35 元
13. ◆智能运输系统概论(第二版)(杨兆升) ..... 25 元
14. 智能运输系统概论(第二版)(黄 卫) ..... 24 元
15. ◆运输经济学(严作人) ..... 40 元
16. ◆道路交通工程系统分析方法(王 炜) ..... 28 元
17. 交通调查与分析(第二版)(严宝杰) ..... 38 元
18. 城市轨道交通系统(彭 辉) ..... 32 元
19. ◆交通运输设施与管理(郭忠印) ..... 33 元
20. 道路交通安全管理法规概论及案例分析(裴玉龙) ..... 29 元
21. 交通地理信息系统(符铎砂) ..... 31 元
22. 公路建设项目可行性研究(过秀成) ..... 27 元
23. 交通工程专业生产实习指导书(朱从坤) ..... 7 元

### (二) 土木工程专业(路桥)/道路桥梁与渡河工程专业

#### I. 专业基础课教材

1. 土木工程概论(项海帆) ..... 32 元
2. 道路概论(第二版)(孙家驹) ..... 20 元
3. 土质学与土力学(第四版)(袁聚云) ..... 30 元
4. 公路工程地质(第三版)(袁明健) ..... 23 元
5. ▲道路工程制图(第四版)(谢步瀛) ..... 36 元
6. ▲道路工程制图习题集(袁 果) ..... 26 元
7. 道路建筑材料(第四版)(李立寒) ..... 35 元
8. ◆测量学(第三版)(许经姪) ..... 36 元
9. ◆基础工程(第三版)(王晓谋) ..... 33 元
10. 结构设计原理(第二版)(叶见曙) ..... 51 元
11. 公路经济学教程(袁剑波) ..... 23 元
12. 专业英语(第二版)(李 嘉) ..... 33 元

#### II. 专业核心课教材

13. ◆路基路面工程(第二版)(邓学均) ..... 52 元
14. ◆道路勘测设计(第二版)(杨少伟) ..... 40 元
15. 道路结构力学计算(上、下)(郑传超、王秉纲) ..... 50 元
16. 水力学(王亚玲) ..... 19 元

17. ◆桥梁工程(第二版)(姚岭森) ..... 62 元
18. 桥梁工程(第二版)(土木、交通工程)(邵旭东) ..... 52 元
19. ◆桥梁工程(第二版)(上)(范立础) ..... 42 元
20. ◆桥梁工程(第二版)(下)(顾安邦) ..... 38 元
21. 桥梁工程(陈宝春) ..... 45 元
22. ◆桥涵水文(第四版)(高冬光) ..... 28 元
23. ◆现代钢桥(上)(吴 冲) ..... 34 元
24. ◆公路施工组织及概预算(第三版)(王首绪) ..... 32 元
25. ▲桥梁施工及组织管理(第二版)(上)(魏红一) ..... 39 元
26. ▲桥梁施工及组织管理(第二版)(下)(郭晓光) ..... 39 元
27. ◆隧道工程(第二版)(上)(王毅才) ..... 65 元

#### III. 专业方向选修课教材

28. ◆道路工程(严作人) ..... 40 元
29. 道路工程(土木工程专业)(凌天清) ..... 32 元
30. ◆高速公路(第二版)(方守恩) ..... 21 元
31. 高速公路设计(赵一飞) ..... 38 元
32. 城市道路设计(吴瑞麟) ..... 22 元
33. GPS 测量原理及其应用(胡伍生) ..... 28 元
34. 公路测设新技术(雒 应) ..... 36 元
35. 公路施工技术与管理(廖正环) ..... 40 元
36. 土木工程造价控制(石勇民) ..... 30 元
37. 公路工程定额原理与估价(石勇民) ..... 36 元
38. 道路桥梁检测技术(胡昌斌) ..... 31 元
39. 特殊地区基础工程(冯忠居) ..... 29 元
40. 道路与桥梁工程计算机绘图(许金良) ..... 31 元
41. ◆公路小桥涵勘测设计(第三版)(孙家驹) ..... 31 元
42. 路基设计原理与计算(李峻利) ..... 40 元
43. 路基路面工程检测技术(李宇峙) ..... 46 元
44. 公路土工合成材料应用原理(黄晓明) ..... 22 元
45. 水泥与水泥混凝土(申爱琴) ..... 30 元
46. ◆环境经济学(董小林) ..... 32 元
47. 公路环境与景观设计(刘朝辉) ..... 30 元
48. 桥梁工程概论(第二版)(罗 娜) ..... 27 元
49. 桥梁检测与加固(王国鼎) ..... 27 元
50. 桥梁钢—混凝土组合结构设计原理(黄 侨) ..... 26 元
51. 桥梁结构试验(章关永) ..... 22 元
52. 桥梁抗震(叶爱君) ..... 15 元
53. ◆桥梁建筑美学(第二版)(盛洪飞) ..... 30 元
54. 大跨度桥梁结构计算理论(李传习) ..... 18 元
55. ◆钢桥(徐君兰) ..... 16 元
56. 隧道结构力学计算(夏永旭) ..... 29 元
57. 公路隧道运营管理(吕康成) ..... 22 元
58. ◆地铁与轻轨(第二版)(张庆贺) ..... 39 元
59. 土木工程规划学(石 京) ..... 38 元

#### IV. 实践环节及教参教辅

60. 《道路勘测设计》毕业设计指导(许金良) ..... 30 元
61. 桥梁计算示例丛书—桥梁地基与基础(第二版)  
(赵明华) ..... 18 元
62. 桥梁计算示例丛书—混凝土简支梁(板)桥(第三版)  
(易建国) ..... 27 元

63. 桥梁计算示例丛书—连续梁桥(邹毅松) ..... 20元  
 64. 结构设计原理计算示例(叶见曙) ..... 40元

**V. 研究生教学用书**

**道路与铁道工程**

1. 现代加筋土理论与技术(曹胜友) ..... 24元  
 2. 道路规划与几何设计(朱照宏) ..... 32元

**桥梁与隧道工程**

1. 高等桥梁结构理论(项海帆) ..... 35元  
 2. 高等钢筋混凝土结构(周志祥) ..... 27元  
 3. 结构分析的有限元法与MATLAB程序设计(徐荣桥) ..... 28元  
 4. 工程结构数值分析方法(夏永旭) ..... 27元  
 5. 箱形梁设计理论(第二版)(房贞政) ..... 32元

**(三) 公路工程管理专业**

1. ◆工程项目融资(赵 华) ..... 29元  
 2. 管理信息系统(李友根) ..... 31元  
 3. 公路工程定额原理与估价(石勇民) ..... 34元  
 4. 工程风险管理(邓铁军) ..... 21元  
 5. ◆工程质量控制与管理(邬晓光) ..... 29元  
 6. 公路工程造价编制与管理(沈其明) ..... 31元  
 7. 工程项目招标与投标(周 直) ..... 30元  
 8. 高速公路管理(王选仓) ..... 35元

**(四) 工程机械专业**

1. ◆施工机械概论(王 进) ..... 35元  
 2. ◆公路施工机械(第二版)(李自光) ..... 43元  
 3. 现代工程机械发动机与底盘构造(陈新轩) ..... 38元  
 4. 工程机械维修(许 安) ..... 38元  
 5. 工程机械状态检测与故障诊断(陈新轩) ..... 29元  
 6. 工程机械底盘设计(郁录平) ..... 36元  
 7. 公路工程机械化施工与管理(郭小宏) ..... 40元  
 8. 工程机械设计(吴永平) ..... 38元  
 9. 工程机械技术经济学(吴永平) ..... 23元  
 10. 工程机械专业英语(宋永刚) ..... 36元

**三、普通高等学校规划教材**

1. 交通土建工程制图(第二版)(和丕壮) ..... 38元  
 2. 交通土建工程制图习题集(第二版)(和丕壮) ..... 20元  
 3. 画法几何与土建制图(第二版)(林国华) ..... 39元  
 4. 画法几何与土建制图习题集(第二版)(林国华) ..... 25元  
 5. 土木工程制图(丁建梅 周佳新) ..... 36元  
 6. 土木工程制图习题集(丁建梅 周佳新) ..... 18元  
 7. ◆土木工程计算机绘图基础(尚守平) ..... 39元  
 8. 工程经济学(李雪琳) ..... 22元  
 9. 工程测量(胡伍生) ..... 25元  
 10. 交通土木工程测量(张坤宜) ..... 33元  
 11. 结构设计原理(毛瑞祥) ..... 26元  
 12. 路基路面工程(何兆益) ..... 45元  
 13. 道路勘测设计(第二版)(孙家驹) ..... 46元  
 14. 道路与桥梁工程概论(黄晓明) ..... 32元  
 15. 公路施工组织与管理(赖少武 李文华) ..... 35元  
 16. 公路工程施工组织学(第二版)(姚玉玲) ..... 38元  
 17. 公路施工与组织管理(廖正环) ..... 22元  
 18. 公路养护与管理(许永明) ..... 18元

19. 水力学与桥涵水文(叶镇国) ..... 38元  
 20. 桥位勘测设计(高冬光) ..... 20元  
 21. 道路规划与设计(李清波) ..... 46元  
 22. 道路交通环境工程(张玉芬) ..... 19元  
 23. 公路实用勘测设计(何景华) ..... 19元  
 24. 公路计算机辅助设计(符铎砂) ..... 30元  
 25. 公路工程预算与工程量清单计价(雷书华) ..... 35元  
 26. 公路工程估价(周世生) ..... 42元  
 27. 软土环境工程地质学(唐益群) ..... 35元  
 28. 公路与桥梁施工技术(盛可鉴) ..... 30元  
 29. 桥梁美学(和丕壮) ..... 40元  
 30. 桥梁结构理论与计算方法(贺拴海) ..... 58元  
 31. 钢管混凝土(胡曙光) ..... 38元  
 32. 隧道施工(于书翰) ..... 23元  
 33. 公路隧道机电工程(赵忠杰) ..... 40元  
 34. ◆道路交通管理与控制(袁振洲) ..... 40元  
 35. 交通工程学(第二版)(李作敏) ..... 28元  
 36. 交通项目评估与管理(谢海红) ..... 36元  
 37. 工程项目管理(周 直) ..... 20元  
 38. 测绘工程基础(李芹芳) ..... 36元  
 39. 工程机械运用技术(许 安) ..... 40元  
 40. 现代工程机械液压与液力系统(颜荣庆) ..... 39元  
 41. 水泥混凝土路面施工与施工机械(何挺继) ..... 30元  
 42. 现代公路施工机械(何挺继) ..... 45元  
 43. 工程机械机电液一体化(焦生杰) ..... 28元

**四、高等学校应用型本科规划教材**

1. 结构力学(万德臣) ..... 30元  
 2. 道路工程制图(谭海洋) ..... 28元  
 3. 道路工程制图习题集(谭海洋) ..... 24元  
 4. 道路建筑材料(伍必庆) ..... 37元  
 5. 土木工程材料(张爱勤) ..... 39元  
 6. 土质学与土力学(赵明阶) ..... 30元  
 7. 结构设计原理(黄平明) ..... 47元  
 8. 结构设计原理学习指导(安静波) ..... 35元  
 9. 结构设计原理计算示例(赵志蒙) ..... 40元  
 10. 工程测量(朱爱民) ..... 30元  
 11. 基础工程(刘 辉) ..... 26元  
 12. 道路勘测设计(张维全) ..... 32元  
 13. 桥梁工程(刘龄嘉) ..... 45元  
 14. 公路工程试验检测(乔志琴) ..... 47元  
 15. 路桥工程专业英语(赵永平) ..... 44元  
 16. 水力学与桥涵水文(王丽荣) ..... 27元  
 17. 工程招标与合同管理(刘 燕) ..... 33元  
 18. 工程项目管理(李佳升) ..... 32元  
 19. 公路施工技术(杨渡军) ..... 64元  
 20. 公路工程机械化施工技术(徐永杰) ..... 32元  
 21. 公路工程经济(周福田) ..... 22元  
 22. 公路工程监理(朱爱民) ..... 33元  
 23. 道路工程(资建民) ..... 38元  
 24. 道路工程CAD(许金良) ..... 23元  
 25. 路基路面工程(陈忠达) ..... 45元(估)

各地经销商电话见人民交通出版社网站首页,网址:<http://www.ccpress.com.cn>。

# 前 言

城市轨道交通定义为“以电能为动力,采取轮轨运转方式的快速、大运量公共交通。”目前国际轨道交通有地铁、轻轨、市郊铁路、独轨铁路、有轨电车以及悬浮列车等多种类型。城市轨道交通和其他公共交通相比,具有用地省、运能大的特点。轨道线路的输送能力是公路交通输送能力的近 10 倍,每一单位运输量消耗能源少,采用电力牵引,对环境的污染小。

中国城市轨道交通发展迅速,规划建设的轨道交通网络总里程已达 5 000km,总投资估算将超过 8 000 亿元。随着城市化的快速推进,作为中国城市公共交通网络重要组成部分的城市轨道交通网络建设也在快速发展,北京计划 22 条总长约 1 000km;上海计划 18 条总长约 810km;广州计划 15 条总长约 610km。北京、上海、天津、广州、深圳、南京、武汉、成都、重庆、长春、苏州、杭州、沈阳、哈尔滨 14 个大城市轨道交通的近期建设规划将达到 1 700km 左右;青岛、西安、厦门、济南、长沙、郑州、石家庄、宁波、无锡、福州等大城市,也正在积极开展城市轨道交通建设的规划工作,表明我国城市轨道交通即将进入一个新的历史发展阶段。至 2007 年底,中国北京、上海、广州、深圳等 10 个城市已建成的轨道交通线路营业里程已达 602.3km,目前还有 12 座城市的 36 条轨道交通线路在建设中。

自 1825 年在英国第一条铁路投入运营以来,目前全世界已有铁路超过 120 万 km。至 2002 年底,全世界已经建成高速铁路并投入运营的国家有 10 个,线路总长 5 435km;在 2007 年前,世界上已有 9 个国家及我国台湾省建成并陆续投入运营 16 条高速铁路,总长度达到 3 267km。

目前,我国铁路在运输市场中仍占主要份额。至 2007 年底,我国的铁路营业里程为 7.8 万 km。2004 年国务院批准了《中长期铁路发展规划》,我国将建设“四纵四横”铁路快速客运通道以及 3 个城际快速客运系统,至 2020 年铁路营业里程将达到 10 万 km,铁路还需投资 2 万亿元。自 1997 年开始,我国铁路已进行了 5 次提速,2006 年进行了最高时速为 200km/h 的第 6 次提速。我国的重载铁路——大秦线,列车的牵引重已达 2 万 t,年运量达 3 亿 t;按照规划,大秦线将开行 4 万 t 列车,年运量达 4 亿 t,以缓解晋煤外运的紧张状态。

铁路和城市轨道交通的轨道结构没有本质的区别,都是列车运行的重要基础设施,其结构性能对列车的安全、平稳运行有重要的影响。近几年来,我国客运专线建设、既有线路提速改造和城市轨道交通建设等方面,新技术、新工艺和新型轨道结构不断出现。同时,轨道结构动力学、轮轨动力学、列车—轨道相互作用等理论也不断完善和发展。作为本科教学的教材,在能全面地反映轨道结构的基本理论和专业技术的基础上,同时也应反映国内外最新的成熟理论和技术。本教材是在以前本科专业教材的基础上,进一步完善了轨道结构理论,融入了轨道工程发展的新理论和新技术。

本教材的目的是要求交通土建专业铁路与城市轨道交通方向的学生能对铁路轨道有一较全面的了解,并对近几年来轨道结构的新技术、新产品有所了解,使得毕业的学生能胜任铁路和城市轨道的设计、施工、管理、教学和科研等方面的工作。此外,也可根据具体情况取舍本教材的内容以适应不同的教学对象。

本教材共分十章,第一章介绍世界和我国铁路的发展,铁路轨道的起源和前期的发展;第二章介绍钢轨;第三章介绍有砟轨道;第四章介绍当今世界铁路和城市轨道交通的无砟轨道,以及世界发达国家主要的无砟轨道的结构类型;第五章介绍道岔的基本结构;第六章介绍轨道的几何形位;第七章介绍轨道结构受力的计算和分析方法;第八章介绍无缝线路的基本原理、桥上无缝线路和超长无缝线路;第九章介绍城市轨道交通的减振动降噪以及城市轨道交通轨道结构类型;第十章介绍有砟和无砟轨道结构的施工。

全书由同济大学练松良教授主编,石家庄铁道学院李向国编写了第十章,并参与了第四章的编写,李海锋参与了第六章的编写。全书由中国铁道科学研究院卢耀荣研究员主审。

在本书编写过程中,得到了同济大学院系领导的大力支持,并以王午生教授主编的《铁路线路工程》为主要参考文献,上海港铁建设管理有限公司司宝华提供了关于轨道交通轨道维修方面的大量资料,中铁上海设计院集团有限公司刘富、段桂平为本教材提供了有关轨道交通无砟轨道方面的资料,在此表示衷心感谢。

作 者  
2008 年 12 月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 铁路运输交通的发展.....	1
第二节 轨道在铁路运输中的地位和作用.....	5
第三节 轨道类型与发展.....	6
第四节 铁路运营条件与轨道结构的关系 .....	11
思考题 .....	14
<b>第二章 钢轨</b> .....	15
第一节 钢轨的功用和类型 .....	15
第二节 钢轨截面设计原则及我国主型钢轨截面形状 .....	16
第三节 钢轨材质及其力学指标 .....	18
第四节 钢轨尺寸允许偏差及平直度要求 .....	20
第五节 钢轨损伤 .....	22
第六节 钢轨接头 .....	29
思考题 .....	34
<b>第三章 有砟轨道</b> .....	35
第一节 有砟轨道的结构形式和组成 .....	35
第二节 扣件 .....	36
第三节 轨枕 .....	42
第四节 道床 .....	48
第五节 其他轨道部件 .....	52
第六节 特殊地段的轨道过渡段 .....	53
思考题 .....	56
<b>第四章 无砟轨道</b> .....	58
第一节 无砟轨道结构及国内外使用情况 .....	59
第二节 无砟轨道扣件 .....	71
第三节 无砟轨道过渡段 .....	78
思考题 .....	81
<b>第五章 道岔</b> .....	82
第一节 道岔的种类和单开道岔的构造 .....	82
第二节 道岔的几何形位 .....	93



第三节	单开道岔总布置图 .....	98
第四节	过岔速度、提速道岔和高速道岔 .....	103
第五节	城市轨道交通道岔的应用 .....	111
思考题	.....	112
<b>第六章</b>	<b>轨道几何形位</b> .....	<b>113</b>
第一节	机车车辆基本知识 .....	113
第二节	城市轨道交通线路平面与纵断面及线路限界 .....	118
第三节	轨道几何形位基本要素 .....	123
第四节	曲线轨道轨距加宽 .....	126
第五节	曲线轨道外轨超高 .....	129
第六节	缓和曲线 .....	134
第七节	缩短轨 .....	141
第八节	曲线轨道方向整正 .....	143
思考题	.....	153
<b>第七章</b>	<b>轨道结构力学分析</b> .....	<b>154</b>
第一节	概述 .....	154
第二节	作用于轨道上的力 .....	155
第三节	轨道结构垂向受力分析及计算方法 .....	159
第四节	无砟轨道弹性支承叠合梁计算 .....	178
第五节	曲线轨道横向受力分析 .....	182
第六节	机车车辆—轨道动力作用的仿真计算概述 .....	187
思考题	.....	191
<b>第八章</b>	<b>无缝线路</b> .....	<b>193</b>
第一节	概述 .....	193
第二节	无缝线路温度力计算 .....	197
第三节	线路纵向阻力和无缝线路温度力分布 .....	200
第四节	无缝线路稳定性 .....	205
第五节	普通无缝线路设计 .....	214
第六节	桥上无缝线路 .....	215
第七节	纵向力的测定 .....	221
第八节	超长无缝线路 .....	223
第九节	应力放散和应力调整 .....	226
思考题	.....	227
<b>第九章</b>	<b>铁路与城市轨道交通的振动与噪声</b> .....	<b>229</b>
第一节	振动的产生及评价方法和标准 .....	229
第二节	噪声的产生及评价方法和标准 .....	235

第三节	铁路噪声的组成	248
第四节	轮轨噪声	251
第五节	轨道交通减振降噪技术措施	257
	思考题	268
<b>第十章</b>	<b>轨道施工</b>	<b>269</b>
第一节	有砟轨道施工	269
第二节	无砟轨道的施工	282
第三节	道岔的施工	290
第四节	一次性铺设无缝线路的施工	297
	思考题	304
<b>附录 1</b>	<b>国外铁路机构名称简称</b>	<b>306</b>
<b>附录 2</b>	<b>国外大型养路机械公司</b>	<b>307</b>
<b>附录 3</b>	<b>常用公英制转换</b>	<b>308</b>
<b>附录 4</b>	<b>铁道工程汉英词汇</b>	<b>309</b>
	<b>参考文献</b>	<b>316</b>

# 第一章 绪 论

人类的活动离不开交通运输,在机械动力发明以前,所有的地面交通运输都是靠人力或畜力完成的,当时的旅行速度也就是人走和马跑的速度。由于没有机械动力,运输能力处于相当低的水平。随着生产力的发展和机械动力的发明,人们渴望速度更快、运输量更大的运输工具,于是就有新型的地面运输工具被发明和投入使用。在水路、铁路、公路、航空四大运输体系中,铁路的历史仅次于水路,铁路曾经或现在依然是许多国家的主要交通工具。在 180 多年的发展过程中,铁路创造了很多奇迹和“之最”,如秘鲁建成了海拔 4 818m 的世界高原铁路;我国青藏线是目前世界上海拔最高、里程最长的高原铁路,在唐古拉山的最高点海拔达 5 072m,多年冻土区铁路 550km;澳大利亚有一条长达 528km 的直线路段铁路;日本修建了 53.85km 的铁路海底隧道。铁路桥梁的建设也创造了诸多奇迹。

近几年来,我国运输市场竞争剧烈,随着高速公路的迅速发展,铁路的客运、货运有所下降,但由于铁路具有运量大、速度较快、能耗低、运价低、安全可靠、对环境污染小以及全天候运输等优点,我国的煤炭、石油、钢铁和大型设备以及中长距离(1 000km 左右)的旅客运输任务,主要还是由铁路来承担,所以铁路运输在我国整个运输体系中仍起到骨干作用。

## 第一节 铁路运输交通的发展

### 一、欧美铁路运输

不同的历史时期,人们对运输工具速度的期望值不同。1825 年,英国在大林顿(Darlington)至斯托克顿(Stockton)建成世界第一条公用商业铁路,当时的英国保守势力竭力反对修建铁路。1830 年,在利物浦(Liverpool)至曼彻斯特(Manchester)的铁路上,当机车以 22km/h 的速度牵引 17t 货物时,人们看到了铁路运输巨大的潜力,在以后的近 100 年中,铁路得到了前所未有的发展。

从 1840 年到 1913 年第一次世界大战前,由于当时高速公路和航空运输尚未发展,人们要在陆上实现快速和大运量运输只能依靠铁路,所以此阶段美国、欧洲的铁路发展突飞猛进。在此期间,世界每年平均要修建 2 万 km 以上的铁路。在 1881~1890 年这 10 年中,美国平均每年要新建铁路 1 万 km 以上。德国在 1866~1870 年间,曾将投资的 70% 用于修建长达 2 443km 的铁路。在第一次世界大战前,美国、英国、法国、德国、意大利、比利时、西班牙等国先后建成了本国的铁路网,铁路成了这些国家工业化的先驱,并奠定了工业化的基础。到 1913 年,美国的铁路营业里程达到了前所未有的 40.2 万 km,全世界铁路的营业里程达 110 万 km,其中 80% 集中在美国、英国、法国、德国和俄罗斯这 5 个国家。铁路垄断了陆上的交通运输,其所承担的运输量占全社会总运输量的 80% 以上。

在第二次世界大战期间,欧洲各国的经济受到了战争的破坏,铁路也不例外。在此期间,

铁路的行车速度大幅度降低,直到 20 世纪 50 年代中期,行车速度才恢复到战前水平,最高速度一般为 140km/h 左右,个别达到 160km/h。至于旅行速度,少数电力、内燃牵引的列车,法国、原联邦德国、美国达到 135km/h 左右,英国、意大利达到 120km/h 左右;蒸汽牵引的列车达到 110km/h。

第二次世界大战后,汽车和飞机制造业发展很快,高速公路和民用航空逐渐兴起,铁路运输业客货运量日减,营业亏损,一度被称为“夕阳产业”。但原苏联和第三世界国家,在第二次世界大战后的铁路有所发展,到 1970 年时,全世界的铁路营业里程达 127.9 万 km。

“山穷水尽疑无路,柳暗花明又一村”,高速铁路就是为了和高速公路、民用航空竞争,才逐步发展起来的。近 100 年来,世界主要发达国家都经历了高速列车的研究、试验和发展应用阶段。1964 年 10 月 1 日,日本东海道新干线东京—大阪高速铁路正式开通并投入商业运营,这是世界上第一条完全按照高速行车技术条件建造的铁路,其安全运营的最高时速达 210km (0 系列);2004 年,日本生产出 800 系列高速列车。法国是创造铁路列车试验速度最高的国家,1990 年 5 月 18 日,TGV-A set 325 高速试验列车速度达到 515.3 km/h,2007 年 4 月 3 日,TGV-POS set 4402 高速试验列车速度达到 574.8 km/h,创造了新的最高速度纪录;法国 TGV—PSE 电动车组投入运营,最高运行速度为 270km/h。1989 年,德国开始正式制造 ICE 高速列车,并于 1990 年投入运用,最高速度为 330 km/h。瑞典的 X2000 列车是目前世界先进的主动侧倾式摆式列车,由于一般既有线路的平面条件较差(曲线半径较小),使用 X2000 列车可提高列车通过曲线速度的 20%,同时不降低旅客的舒适度;X2000 最高试验速度为 275km/h,最高运行速度为 200km/h。

近 40 年来,高速铁路在一些经济发达的国家建成并投入运行,至 2002 年底,世界上已建成的高速铁路约 5 435km,在建 3 267km,时速达到 200km/h 以上的铁路已超过 10 000km。高速行车的铁路可概括为三种类型:一是客运专线型,如日本、法国的高速铁路;二是客货共线型,如德国和意大利的高速铁路;三是客货共线摆式列车型,是在既有铁路上开行摆式列车以实现高速,如瑞典、意大利、西班牙、英国、日本等国的部分干线采用了这种运行方式。

在发展高速铁路的同时,美国、加拿大、澳大利亚、巴西和南非等国大力发展重载铁路。以往没有重载铁路统一的标准,1986 年 10 月在加拿大温哥华召开的第三届重载运输会议上确定,凡属重载运输,必须满足以下三个条件中的两个,即年运量不少于 2 000 万 t 的线路,列车牵引重量达 5 000t 以上,列车轴重 25t 以上。由于美国、加拿大、澳大利亚、巴西和南非这些国家幅员辽阔,有大量的矿石、原材料和粮食需要运输,所以重载列车得到了较大的发展。这些国家重载运输特点是列车运行密度低、列车牵引重量大、车辆轴重大,如美国铁路车辆的最大轴重达 36t,以缩短列车长度。

## 二、我国铁路运输

1876 年,英国商人未经中国清朝政府批准,在上海擅自修建从上海至吴淞 14.5km 长的铁路,这是中国内地首次建造的铁路,比英国第一条铁路晚 51 年,但通车后 16 个月就被清政府拆除,路材被运往台湾。我国于 1881 年开始修建唐山至胥各庄的铁路,从而揭开了我国自主修建铁路的序幕,到 1894 年中日甲午战争前夕,近 20 年的时间里仅修建约 400km 的铁路。我国杰出的铁路工程专家詹天佑(1861—1919)于 1905 年主持修建了我国第一条由中国人自行设计施工的官办干线铁路——京张铁路,展示了中国人民的伟大智慧。自 1876 年至 1949 年的 70 余年中,全国铁路只有 21 810km,其中,只有 11 000km 的线路能勉强维持通车,

且铁路布局不合理、标准低劣混乱、设备简陋、运营困难。

1949年新中国成立以后,铁路路网建设得到了较大的发展。

西南地区:修建了成渝、宝成、黔桂、川黔、贵昆、湘黔、襄渝、阳安、来睦(来宾—睦南关)、黎湛、内宜、南昆、渝遂等干线。

西北地区:修建了天兰、兰新、兰青、青藏、南疆、包兰、干武等干线。

华北地区:修建了来沙、京承、京源、京通、通坨、京秦、太焦、邯长、新荷、侯月、大秦重载铁路,秦沈客运专线等干线。

华东地区:修建了蓝烟、兖石、萧甬、鹰厦、南福、皖赣、阜淮、宣杭、新长等干线。

华中地区:修建了焦枝、枝柳、汉丹、武大、大沙等干线。

东北地区:修建了沟海、通让等联络线,汤林、牙井、嫩林等森林线,以及霍林河、伊敏河等煤矿支线。

1997年,为了迎接香港回归祖国,修建了全长为2553km的京九线。

近几十年来,我国铁路的各项技术得到了较大的发展,如在长江上修建了9座铁路大桥,在安康线上修建了18km长的秦岭隧道,电气化铁路已达2万km,修建了我国第一条重载铁路大秦线,1994年修建了时速为160km/h的快速铁路——广深线,2002年建成了时速200km/h的秦沈客运专线等。2002年底,我国自主制造的“中华之星”号机车,试验速度达321.5km/h。

至2007年底,我国铁路的营业里程达7.8万km。我国铁路运输任务繁重,但全国铁路的客、货流分布极不均匀,主要集中在几大干线上。我国铁路占世界铁路总里程的6%,但完成的运输任务为世界的24%~25%。

自1994年开始,我国铁路经过了6次提速,极大地提高了铁路在运输市场的竞争能力。1997年4月1日第1次提速主要在京广、京沪、京哈三大干线进行,允许时速超过120km/h的线路延长为1398km,时速超过140km/h的线路延长为588km,时速超过160km/h的线路延长为752km。1998年10月1日第2次提速重点还是上述三大干线,允许时速超过120km/h的线路延长为6449km,时速超过140km/h的线路延长为3522km,时速超过160km/h的线路延长为1104km。2000年10月21日第3次提速主要是陇海、兰新、京九和浙赣线,允许时速超过120km/h的线路延长为9581km,时速超过140km/h的线路延长为6458km,时速超过160km/h的线路延长为1104km。2001年10月21日第4次提速主要是京九线、武昌—成都(汉丹、襄渝、达成)、京广线南段、浙赣线和哈大线,允许时速超过120km/h的线路延长为13166km,时速超过140km/h的线路延长为9779km,时速超过160km/h的线路延长为1104km。2004年4月18日,中国铁路第5次大提速,从5次提速后,部分路段加开了直达车,使路程时间再次缩短。2007年4月18日第6次提速,时速120km/h以上的线路延展长度将超过22000km,其中超过5300km线路达到时速200km/h,广深、秦沈、胶济等线的列车运行最高速度达到了250km/h。

在重载运输方面,大秦线已开行了2万t列车,年通过总重达3亿t。朔黄线也开行了万吨列车,提高了晋煤外运的能力。

在客运专线(高速铁路)建设方面,2003年以来,中国铁路紧紧抓住铁路建设的黄金机遇期,京津、武广、郑西、石太、武合、合宁、甬台温、温福、福厦等12条铁路客运专线相继开工建设,总里程超过4400km。

2004年,国务院通过了“中长期铁路发展规划”。至2020年,要求铁路营业里程达10万km,铁路还需投资2万亿元人民币。规划“四纵四横”铁路快速客运通道以及三个城际快速客运系

统;建设客运专线 1.2 万 km 以上,客运速度目标值达到 200km/h 以上。“四纵”为:北京—上海客运专线,贯通京津至长江三角洲东部沿海经济发达地区;北京—武汉—广州—深圳客运专线,连接华北和华南地区;北京—沈阳—哈尔滨客运专线,连接东北和关内地区;杭州—宁波—福州—深圳客运专线,连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。“四横”为:徐州—郑州—兰州客运专线,连接西北和华东地区;杭州—南昌—长沙客运专线,连接华中和华东地区;青岛—石家庄—太原客运专线,连接华北和华东地区;南京—武汉—重庆—成都客运专线,连接西南和华东地区。三个城际客运系统为环渤海地区、长三角、珠三角城际客运系统,覆盖区域内为我国沿海的主要城镇。

### 三、城市轨道交通

1863 年 1 月 10 日,世界上第一条长 6.2km 的地下铁道在伦敦建成通车,它采用蒸汽机车牵引。1881 年第一辆有轨电车在德国柏林工业博览会上展示,1888 年美国弗吉尼亚州里士满市建成的世界上第一条有轨电车系统投入运行,1908 年中国第一条有轨电车在上海建成通车,1969 年中国第一条地铁——北京地铁一期工程当年 10 月建成,1978 年在比利时国际公共交通联合会上,确定了新型轨道交通的统一名称,简称轻轨交通(LRT)。据粗略统计,已有 43 个国家 124 个城市建有 420 条轻轨线路。

第二次世界大战后经过短暂的经济恢复后,地下铁道建设随着全世界经济起飞而启动、加快。20 世纪 70 年代和 80 年代是各国地下铁道建设的高峰,发达国家的主要大城市如纽约、华盛顿、芝加哥、伦敦、巴黎、柏林、东京、莫斯科等已基本完成了地铁网络的建设,但后起的中等发达国家和地区,特别是发展中国家地铁建设却方兴未艾,比如亚洲共有 26 个城市有地下铁道。除了东京与大阪在二次大战前就建有地下铁道外,其余 24 个城市均是在战后建成。

旧式有轨电车行驶在道路中间,与其他车辆混合运行,又受到路口红绿灯的控制,运行速度很慢,正点率低,而且噪声大,加减速性能较差。随着汽车工业的迅速发展,西方国家私人小汽车数量急骤增长,大量的汽车涌上街头,城市道路越来越拥挤。

20 世纪 50 年代开始,世界各国大城市都纷纷拆除有轨电车线路,这阵风也波及中国。到 20 世纪 50 年代末,我国各大城市也把有轨电车线基本拆完,只剩下大连、长春个别线路没有拆光,并一直保留至今,继续承担着正常公共客运任务。

20 世纪六七十年代在地下铁道建设高潮发展时期,由于地下铁道造价昂贵,建设进度受财政和其他因素制约,西方大城市在建设地下铁道的同时,又重新把注意力转移到地面轨道上来。利用现代高科技开发了新一代噪声低、速度高、转弯灵活、乘客上下方便,甚至照顾到老人和残疾人的低地板新型有轨电车。在线路结构上,也采用了降低噪声的技术措施;在速度要求较高的线路上,采用专用车道,与繁忙道路交叉处,进入半地下或高架交叉,互不影响。对速度要求不高的线路,可与道路平齐,与汽车混合运行。

回顾 20 世纪城市交通的发展历程,就是一个否定之否定的过程。有轨电车从大发展到大拆除;然后汽车登上历史舞台,逐渐成了城市交通的主角;到 20 世纪末,以地铁和轻轨为代表的城市轨道交通又恢复了它的主导地位,这是个螺旋式的上升过程。

我国正处在以城市化为中心的经济快速增长阶段,城市膨胀、人口剧增,造成城市交通的拥堵。城市化进程的加快,轨道交通的作用愈发突出。由于城市轨道交通是大容量、低能耗、环保的公共交通运输工具,所以近年来我国城市轨道交通建设速度加快,各大城市也都提出了符合自身实际的城市轨道交通线网规划和近期建设规划。北京市提出了 22 条总长约

1 000km的城市轨道交通线网规划,并以奥运为契机,加快建设步伐,2008年的轨道交通运营里程达 229.15km,总投资约 638 亿元;上海市规划了 18 条总长约 896km 的城市轨道交通线网规划,并以世博会为契机。近期提出了总长达 389km 的 10 个城市轨道交通建设项目,其中结合“十五”计划,提出建设 9 个项目,新建 193km 线路,总投资约 1 439 亿元;广州市提出了 15 条总长约 610km 的城市轨道交通线网规划,近期提出了总长达 130km 的 6 个城市轨道交通建设项目,投资额约 500 亿元。

截至目前,北京、上海、天津、广州、深圳、南京、大连、武汉、成都、重庆、长春、苏州、杭州、沈阳、哈尔滨 15 个大城市的轨道交通建设规划,已经通过了由中国国际工程咨询公司组织的专家评估,近期建设规模将达到 1 600km 左右,表明我国城市轨道交通即将进入一个新的历史发展阶段。同时,西安、青岛、厦门、济南、长沙、郑州、石家庄、宁波、无锡、福州等大城市,在长期的前期研究工作基础上,也正在积极开展城市轨道交通建设的规划工作。另外,以广州为中心的珠三角、以上海为中心的长三角、以京津为中心的环渤海地区等区域轨道交通项目也已开始规划实施。

由于在轨道交通装备制造中坚持国产化方针并有效地采用许多新技术、新设备,使地铁每公里造价由初期的 7~8 亿元人民币降低到现在的 4~5 亿元人民币。一条 20km 长的线路,3~4 年就可建成并通车运营。到目前为止,中国内地已有北京、上海、广州等 10 个城市建成轨道交通,共有 20 条线路投入运营,总长约 795.11km。

经过近 10 多年的建设,中国正在形成以地铁为骨干、多种类型的城市轨道交通体系。武汉、天津、大连等城市建成了连接市中心区的快速轻轨交通系统;长春、大连进行了有轨电车交通的现代化改造;重庆建成了我国第一条用于城市轨道交通的跨座式单轨交通系统;上海浦东龙阳路至浦东机场开通了磁悬浮高速线;广州和北京已建成或正在建设直线电机驱动的城轨车辆交通线路;北京机场内正在建设全自动化的新交通系统(APM)等,中国城市轨道交通类型呈多元化方向发展。

目前,我国高速铁路及城市轨道交通的应用技术和基础理论都处于开拓阶段,纵观我国铁路与城市轨道交通的发展趋势,为铁道与城市轨道交通工程学科方向带来了非常难得的发展机遇。

## 第二节 轨道在铁路运输中的地位和作用

有车必有路,车和路是不可分割的两个部分。毫不例外,铁路要完成运输任务,则必须有机车车辆和线路轨道,但要高效、安全地完成铁路运输任务,仅有机车车辆和线路轨道是不够的,必须要有多个部门的配合。铁路运输的运营管理包括机车、车辆、工务、电务、运输等几大铁路部门,在这几大部门中,工务是铁路运输的基础设备,工务包括线路、桥梁、隧道、路基、涵洞、道口、绿化等维修管理部门。线路(轨道属于线路管理部门)是工务的一个重要业务部门,轨道的养护维修、设备管理都由线路业务管理部门负责。工务段是主要的线路养护维修部门,大修段主要对线路进行大修和改造。

在铁路运输中,旅客和货物列车的安全需要绝对保证,无安全也就无效益。在此前提下,保证旅客列车的乘坐舒适度,提高铁路的服务质量。列车运行的安全性和舒适度是一个系统工程,受到如机车车辆、线路轨道、通信信号、运输组织、沿线气象条件、地质和水文条件等的影响,而在这些因素中,机车车辆和线路轨道状态及条件对行车安全和舒适度的影响最为直接。

为了保证列车运行的安全性和舒适度,提高铁路运输的质量,国内外很早就开展车辆与轨道、车轮与钢轨的相互作用的研究,以提高列车运行的平稳性、安全性和铁路的运输效益。

列车不同于其他道路车辆的显著特点之一是靠轨道导向运行,所以轨道是列车运行的基础,在铁路运输中是不可替代的基础设备。我国目前既有铁路,都为客货混运线路,在提速线路上,线路的平纵断面和轨道结构既要能满足速度达 160km/h 旅客列车的要求,同时又要满足速度为 70~80km/h 货车运行的要求。作为机车车辆荷载的承载结构和导向系统,轨道结构状态的优劣直接影响到行车的安全性和舒适度。近几年来,随着我国铁路的多次提速,对轨道结构也提出了更高的要求,并对线路和轨道结构进行了多次改造。

轨道是由钢轨、轨枕、联结零件、道床、防爬器、轨距拉杆、道岔、道砟等组成。为了保证轨道结构能够承受巨大的轮载,同时还要承受列车的制动力和牵引力,列车摇摆的横向力等,则就要求轨道结构整体能满足客车快速平稳和货车重载的要求。随着列车速度的提高,轨道结构所受的动荷载也相应提高,作为轨道结构的重要部件,为了提高钢轨的承载能力,减少钢轨的损伤,近几年采用高强度、高韧性钢轨,从而提高了钢轨的使用寿命和减小了轨道的养护维修量。轨枕是保持轨道稳定性的重要部件,在提速线路上采用了 III 型轨枕,整体上提高了轨道结构承载和稳定性。道砟提供轨道纵横向阻力和将轨枕传下来的荷载传递给路基,近几年在提速线路改造中采用了一级道砟,减少了线路病害。道岔是列车的转向设备,如道岔允许列车速度较低,则很难提高列车的运行速度,所以道岔也是线路改造的重要内容之一。

### 第三节 轨道类型与发展

#### 一、轨道结构的形成和发展

最早的轨道,两条凹槽的道路(Guideways)可追溯到 2400 年前的古希腊和罗马时代,当时是利用两条车辙的凹槽以减小车辆走行的摩擦力,后来被大量模仿。现代铁路的起源可追溯到 16 世纪的德国和英格兰,Haarmann(1891)指出,最早的木槽道路起始于德国,当时是用榫头和钉子将木槽拼接起来,车辆既可在一般道路上行走,也可在木槽上行走。后来,这种木槽道路引进英格兰和德国的矿山中,大约在 1630 年,木槽轨道用横向木条连接固定,用于运输煤炭,这样一匹马能拉的重量是普通道路上的 4 倍。由于木槽很容易磨损,后来在木条上钉铁皮,但铁皮也太薄弱,很容易破损。在 1767 年,由于铸铁产量的上升,使得铸铁轨的使用成为可能。Reynolds 为了克服木条上铁皮容易破损的缺点,在轨道使用了长 5ft<sup>①</sup>,宽 4.5in<sup>②</sup>,高 1.25in<sup>③</sup>的铸铁轨,每根铸铁轨有 3 个螺栓孔,铸铁轨形状类似于现在的槽钢,凹槽朝上,并用钉子固定,车轮在凹槽内行走。

金属轨的运用大大延长了轨道和木条的使用寿命,并且大大减小了车辆的运行阻力。但凹槽形的铸铁轨受力并不十分合理。在 1776 年,Curr 引进了 L 形的铸铁轨,由于 L 形铸铁轨有垂直边,提高了轨道的导向性能,如图 1-1 所示。当时的 L 形铸铁轨下用纵向木条承垫,但当纵向木条腐烂后,横向塞入木条,或者用石块塞入 L 形铸铁轨下,这样就形成了横向轨枕支承的结构形式。从 1800 年开始,马拉车辆铁路的铸铁轨长度为 1yd<sup>④</sup>,两端支承石头上,如图 1-2 所示,此时的轨道已能运行 2~3t 的马拉车辆。

注:①1ft=0.3048m;②1in=2.54cm;③1yd=3ft=0.9144m。



直到 1789 年, Jessop 引进了铸铁梁轨和有轮缘的车辆轮, 从而结束了车辆既可在普通道路上行走, 又可在轨道上行走的历史, 至此标志着道路和铁路开始分离, 当时采用的轨距也是 1 435mm。Jessop 轨是鱼腹式, 即铸铁轨的支座处轨高较矮, 在两支点之间轨高较高, 在支座处轨底较宽, 以便铸铁轨在石支座上稳定安放。Jessop 轨长 3~4ft, 轨头宽度 1. 725in。当时车轮轮缘有在轨头内侧的, 也有在轨头外侧的和在轨头两侧都有轮缘的, 但发现, 当车轮轮缘在外侧时, 车辆运行很容易脱轨, 所以将车轮轮缘改为在轨的内侧。当时的轮缘高度为 1in, 至今的车轮轮缘也在 1in 左右。

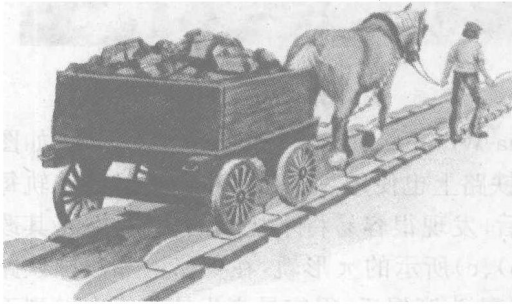


图 1-1 早期的 L 形铸铁轨轨道图

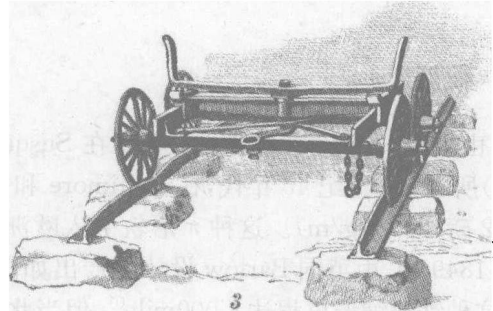


图 1-2 支承在石枕上的 L 形铸铁轨轨道

由于铸铁轨只有 4ft 长, 所以接头较多, 且铸铁较脆, 容易断裂。在 19 世纪初, 炼铁技术得到了较大的发展。Nixon 在 1803 年生产了宽 1. 25in、高 2in 的矩形截面锻铁轨, 并铺设于 Lard Carlisle 的煤矿铁路上, 轨枕为纵向支承。以后几年, Birkenshaw 生产出截面更为复杂的鱼腹式 T 形锻铁轨, 这种铁轨轨头成圆弧形, 轨腰较厚, 并用铸铁支座支承铁轨。1825 年, 在英国 Stockton 到 Darlington 的第一条公共铁路线上, Stephenson 使用的就是这种锻铁轨, 如图 1-3 所示。1829 年, 在英国 Liverpool 到 Manchester 的商用铁路上, Stephenson 也使用了这种 T 形锻铁轨。Birkenshaw 的 T 形截面轨长 15ft, 铸铁座间距 3ft, 所以一根 T 形轨有 5 个支座支承而成连续梁, 减少了铁轨的接头, 提高了铁轨和支座的承载力, 这种铁轨的重量为 35lb/码(17. 37kg/m)。

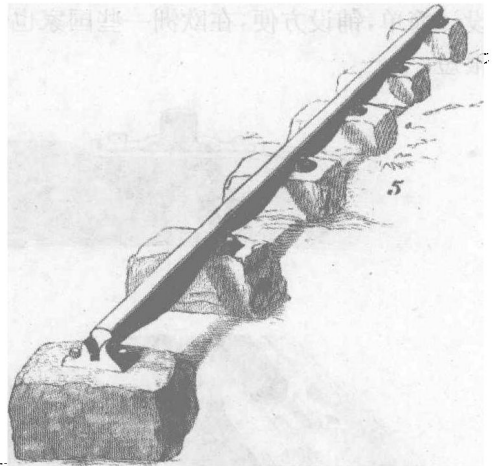


图 1-3 在 Stockton 到 Darlington 线路上使用的 Birkenshaw 锻铁 T 鱼腹形轨

由于 T 形轨的下缘较薄, 张拉应力较大, 在轨座处也由于接触应力较大而极易磨损, 在 1835 年, Manby 和 Locke 开发了一种双头轨 (Bullhead Rail)。3 年后, Robert Stephenson 将此种钢轨用于 London 至 Birmingham 的铁路上, 如图 1-4 所示, 双头轨也用轨座形式, 钢轨接头放在一轨座当中, 没有接头夹板。原设计时考虑铁轨铺设完成后, 在轮载作用下轨头磨损, 然后翻转铁轨。但使用时发现, 由于铁轨与轨座之间的磨损和腐蚀, 铁轨翻转后轨面很不平整而无法使用; 而原轨头由于磨损, 在轨座中也无法固定。这种钢轨在线路上固定困难, 影响列车速度的提高, 但英国直到第二次世界大战后才在正线上淘汰此种类型的双头轨, 现在英国的