




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通 系统概论

上海工程技术大学 谭复兴 高伟君 等 编著

Higher Education

 知识产权出版社
全国百佳图书出版单位

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通 系统概论

上海工程技术大学 谭复兴 高伟君 等 编著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

内容提要

本书入选了“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，书中系统地介绍了城市轨道交通发展的沿革、各相关学科的基础知识和基本理论，内容深入浅出，图文并茂。全书共分为六大篇：第一篇为绪论，阐述了轨道交通 100 多年来的发展历史和沿革，并介绍了当前城市轨道交通的各种形式；第二篇为土建，涵盖城市轨道交通网络规划、选线设计、轨道结构和车站设置等四个方面的内容，涉及城市轨道交通从规划、土建施工到线路铺轨等全部的基础工程；第三篇为车辆，从城市轨道交通使用的车辆、电传动系统和供电系统三个方面分别阐述了城市轨道交通车辆与动力的基本技术和发展趋势；第四篇为信号，介绍城市轨道交通的现代化通信和信号系统的设备、软件等方面的特点和基本技术；第五篇为管理，介绍如何从管理角度来保障城市轨道交通系统的运行安全，并有效降低运营成本；第六篇为环保，分析城市轨道交通振动与噪声的来源，介绍各种减振降噪装置和措施。

本书既可作为高等院校轨道交通相关专业师生的教材或教学参考书籍，也可作为从事轨道交通系统工程技术人员的参考资料和培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通系统概论/谭复兴等编著. —北京:
知识产权出版社, 2011. 8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5130-0734-4

I. ①城… II. ①谭… III. ①城市铁路—概论—高等学校—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 155889 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

城市轨道交通系统概论

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG XITONG GAILUN

上海工程技术大学 谭复兴 高伟君 等 编著

出版发行：知识产权出版社

社 址：北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址：<http://www.ipph.cn>

发行电话：010-82000860 转 8101/8102

编辑电话：010-82000860 转 8024

印 刷：北京市凯鑫彩色印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16

版 次：2007 年 9 月第 1 版

字 数：581 千字

定 价：40.00 元

ISBN 978-7-5130-0734-4/U·014 (3639)

邮 编：100088

邮 箱：bjb@cnipr.com

传 真：010-82005070/82000893

编辑邮箱：zhangbing@cnipr.com

经 销：新华书店及相关销售网点

印 张：24.5

印 次：2011 年 8 月第 3 次印刷

印 数：8001~11000 册

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题，本社负责调换。

序

随着科学技术的发展，特别是电子电气技术、计算机技术和信息技术的迅猛发展，城市轨道交通的车辆、运行控制技术等都在不断地更新换代，业已进入到电气化、自动化的新阶段。

自1969年北京修建第一条地铁开始，在不到40年的时间里，我国城市轨道交通取得了长足发展。北京、上海、天津、广州、深圳、重庆、武汉、南京、大连和长春等城市，迄今为止，已陆续修建了线路总长度达418km的城市轨道交通，起步虽晚但发展迅猛。

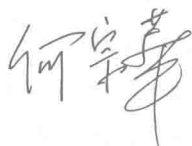
当前，为贯彻国家的“公交优先”战略方针，我国的城市轨道交通还将继续稳步发展。为支撑城市轨道交通事业的现代化创新格局，需要不断发展拥有独立知识产权的高新技术。为此，我国城市轨道交通行业，迫切需要培养大批具有专业理论与技能的人才，以应对城市轨道交通的建设发展、运营管理和不断技术创新的需要。

因此，在高等院校中，设立城市轨道交通学科，开设城市轨道交通相关课程，已迫在眉睫，也是为该行业产、学、研相结合奠定基础的战略任务。

上海工程技术大学组织编写的《城市轨道交通系统概论》一书，较为系统和重点地介绍了城市轨道交通发展的沿革、各相关学科的基础知识和基本理论。这对于攻读轨道交通专业的学生来说是非常必要的，同时，对从事轨道交通事业的工程技术人员和生产厂商，也是很有参考价值的。

我国的城市轨道交通正在循序渐进地向前发展，城市轨道交通的科学技术还将不断进步，需要更多的人去学习、去掌握。编好教材仅仅是培养人才的第一步，城市轨道交通事业还有广阔的空间需要我们去开拓、去发展。

期待着这本书能够为城市轨道交通行业的人才培育，作出有益的贡献。



2007年6月于北京

前 言

城市轨道交通是一个集土建工程、轨道工程、车辆工程、通信信号工程、系统控制工程、供配电工程、运输工程和运营管理等于一体的、复杂而又高度集约的综合性系统工程。忽略任何一个环节，都不能称其为“城市轨道交通系统”。

当代的城市轨道交通系统，更是在大运量、高密度、安全和环保方面大做文章，引进了许多高新技术，与过去粗放型的地铁已不可同日而语。为了使学习城市轨道交通基础理论和专业知识的学生以及从事相关工作的人士对城市轨道交通有一个比较全面和深入的了解，上海工程技术大学城市轨道交通学院从“全面涵盖、一定深度”的角度出发，组织编写了《城市轨道交通系统概论》一书。

本书由上海工程技术大学城市轨道交通学院轨道交通专家谭复兴教授任主编，学院的部分教师和其他单位的几位专家共同参加了本书的编写。

全书共分六篇：

第一篇 绪论，包括第一章和第二章。第一章着重阐述轨道交通 100 多年来的发展历史和沿革。特别是通过回顾轨道交通随着科技进步而兴起、衰落、再繁荣的过程，阐明了科技进步是推动轨道交通发展最根本的动力；第二章介绍了当代城市轨道交通因地制宜地发展了多种车辆和轨道交通的形式，展示了当前国际上城市轨道交通的各种形式。第一章由谭复兴编写，第二章由谭复兴、顾仁杰编写。

第二篇 土建，包括第三～第六章。涵盖了城市轨道交通网络规划、选线设计、轨道结构和车站设置等四个方面的内容，涉及城市轨道交通从规划、土建施工到线路铺轨等全部的基础工程。第三章和第四章比较详细地阐述了线网规划、线路选线关联因素和控制原则；第五章介绍了一般轨道结构的构成及种类，特别介绍了城市轨道交通在城市中通行时为降低噪音而对轨道结构的改进；第六章介绍了国内外各种形式的城市轨道交通车站，着重阐述了

这些车站为了方便乘客，在车站设置、结构形式等方面所做的努力。第三章和第四章由高伟君编写，第五章由何越磊编写，第六章由谭复兴、高伟君编写。

第三篇 车辆，包括第七~第九章。从城市轨道交通使用的车辆、电传动系统和供电系统三个方面分别阐述了城市轨道交通车辆与动力的基本技术和发展趋势。随着轨道交通车辆技术和电力配送控制技术的发展，城市轨道交通的车辆和动力有了很大的改进，大大提高了车辆的高速性、安全性和稳定性，反映了城市轨道交通车辆和动力输送系统的崭新面貌。第七章由张新泉编写，第八章由师蔚编写，第九章由张北斗编写。

第四篇 通号，包括第十章和第十一章。详细介绍城市轨道交通的现代化通信和信号系统的设备、软件等方面的特点和基本技术。城市轨道交通为了满足大客流的需要，广泛采用上、下行复线和高密度追踪运行的运营模式。车辆在这种运营模式下的速度、位置、有无故障和运行状态调整等一系列控制与操作，都依赖于高速、高效的信息传输系统（通信系统）和信号控制系统（信号系统）。当前的车辆运行状态，已经不能像20世纪五六十年代采用人工操作来控制，而必须采用计算机运作的、高度自动化的信息采集—传输—处理系统和信号自动操作与控制系统。本篇由毋妙丽编写、徐金祥审稿。

第五篇 管理，包括第十二~第十四章。城市轨道交通是城市中服务于广大市民和游客的现代化公共交通工具。它的建设要耗费巨大的投资，其运营将产生运营成本。系统的高速、大运量、高密度运行，必须实施严格而有序的运输管理、经济管理和安全管理。从这个意义上讲，城市轨道交通的管理本身就是系统不可分割的组成部分。而且，科学的管理不仅将保障系统的运行安全，并且会有效地降低运营成本。第十二章由何静编写、季令审稿，第十三章由朱海燕编写，第十四章由顾仁杰、谭复兴编写。

第六篇 环保，由第十五章构成。喧嚣的城市已经让人不胜其扰，轨道交通列车通过时产生的噪声和振动又加剧了城市的环境污染。为了最大限度减少这种污染，科技人员们动足了脑筋，设计和提出了各种减振降噪装置和措施。第十五章由刘加华、谭复兴编写，耿传智审稿。

本书是在谭复兴教授教学讲义的基础上，由上海工程技术大学城市轨道交通学院部分教师共同参与完成的；编写工作还得到了同济大学徐金祥教授、季令教授、顾保南教授和耿传智教授，以及上海申通轨道交通研究咨询有限

公司刘加华高级工程师和上海铁路城市轨道交通设计研究院张北斗高级工程师等的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

顾仁杰高级工程师对本书的编撰工作给予了很大帮助。

由于编写时间较为仓促，难免存在疏漏或差错，欢迎读者提出宝贵意见。

上海工程技术大学城市轨道交通学院

2007年6月

目 录

序
前言

第一篇 绪 论

第一章 轨道交通的世纪回眸	3
第一节 早期的轨道交通	3
第二节 人类历史上第一次交通革命	6
第三节 火车进入城市交通	7
第四节 科技进步使交通面貌日新月异	9
第五节 轨道交通的螺旋式发展	12
第六节 中国的轨道交通	14
第七节 对轨道交通的再认识	18
思考题	19
第二章 轨道交通的类型与形式	20
第一节 市郊铁路	21
第二节 城市轨道交通形式	24
第三节 磁浮运输系统	32
第四节 自动导轨运输系统	34
第五节 城际高速轨道交通	39
思考题	46

第二篇 土 建

第三章 城市轨道交通线网规划	49
第一节 线网规划的基本原则和主要内容	50
第二节 城市轨道交通客流预测	54
第三节 线网方案和规模研究	58

第四节	线网方案评价	69
思考题	.....	71
第四章	城市轨道交通线路工程	72
第一节	线路选线	73
第二节	线路平面	78
第三节	线路纵断面	89
第四节	限界	91
思考题	.....	93
第五章	城市轨道交通的轨道结构	94
第一节	概述	94
第二节	钢轨与连接零件	95
第三节	轨枕	102
第四节	扣件	104
第五节	道碴道床	108
第六节	无碴轨道	109
第七节	道岔	114
第八节	车挡	117
第九节	无缝线路	118
第十节	其他类型轨道结构	120
思考题	.....	123
第六章	城市轨道交通车站建筑	125
第一节	城市轨道交通车站的特点	125
第二节	轨道交通车站的分类	128
第三节	城市轨道交通车站的建筑平面组成	132
第四节	公共交通枢纽建设	139
第五节	城市轨道交通车站文化	149
思考题	.....	150

第三篇 车 辆

第七章	轨道交通车辆	155
第一节	轨道交通车辆导论	155
第二节	轨道交通车辆的组成	158
第三节	轨道交通车辆的主要技术参数	164
第四节	转向架	166
第五节	制动系统	176
思考题	.....	180

第八章 城市轨道交通电力牵引系统	181
第一节 概述	181
第二节 直流电力牵引系统	185
第三节 交流电力牵引系统	192
第四节 城市轨道交通车辆用直线感应电机	198
思考题	202
第九章 城市轨道交通供电系统	203
第一节 概述	203
第二节 中压网络	205
第三节 牵引供电计算的条件及需用参数	206
第四节 牵引变电所	207
第五节 降压变电所	210
第六节 供电系统的保护	211
第七节 接触网	213
第八节 城轨供电 SCADA 系统	217
第九节 地下杂散电流及其防护	218
思考题	220

第四篇 通 号

第十章 轨道交通通信系统	223
第一节 概述	223
第二节 通信传输子系统	224
第三节 无线通信子系统	231
第四节 公务电话子系统	234
第五节 图像监控子系统	237
第六节 广播子系统	239
第七节 时钟子系统	240
第八节 电源子系统	240
第九节 旅客导乘及信息服务系统	241
思考题	241
第十一章 信号系统	242
第一节 信号引论	242
第二节 信号(显示)、联锁、闭塞	243
第三节 轨道电路概念	252
第四节 城市轨道交通信号系统概述	256
第五节 国内部分城市轨道交通相关技术装备的现状	266

第六节 上海轨道交通信号系统介绍	266
思考题	270

第五篇 管 理

第十二章 城市轨道交通运营管理	273
第一节 运输计划	273
第二节 列车运行图	280
第三节 列车运行调度指挥	285
第四节 客运服务	289
第五节 票务管理	295
思考题	300
第十三章 城市轨道交通系统经济分析	302
第一节 城市轨道交通系统成本分析	302
第二节 城市轨道交通系统收益分析	304
第三节 我国城市轨道交通系统建设决策考量因素分析	312
思考题	314
第十四章 城市轨道交通安全	315
第一节 运营前期安全控制的主要工作	315
第二节 运营过程的安全防范	322
第三节 城市轨道交通突发安全事件(事故)的处置	331
第四节 城市轨道交通消防	338
第五节 轨道交通防、反恐怖事件简介	344
思考题	348

第六篇 环 保

第十五章 城市轨道交通振动与噪声	351
第一节 城市轨道交通振动与噪声源分析	352
第二节 轨道交通噪声特征分析	354
第三节 城市轨道交通噪声的评价与标准	356
第四节 从轨道结构角度出发缓解城市轨道交通振动与噪声的措施	359
第五节 列车辐射噪声与声屏障	371
第六节 从车辆结构角度降低轮轨噪声的措施	374
第七节 自导向和迫导向的径向转向架	378
思考题	379
参考文献	380

【第一篇 绪论】

第一章 轨道交通的世纪回眸	3
第二章 轨道交通的类型与形式	20



第一章 轨道交通的世纪回眸

[春秋·齐]《管子·度地》：“山川涸落，天气下，地气上，万物交通。”中国自古以来，“交通”就是“彼此相通、往来通达”的意思。

英文单词交通“Transport”来源于古拉丁文：Trans（英文 across）和 Portare（英文 to carry）的组合，意即携带人、物和信息从一地到另一地。

交通运输是社会发展的基础，常被比喻为一个城市、一个国家的血液循环系统，是社会生产、流通、分配、消费以及人们工作、交往、旅游等的必要条件。交通运输文明的发展历史与人类社会的发展历史相依相随，而交通运输的发展水平又与社会的科学技术发展程度息息相关，与人类活动范围的大小正相关（或成正比）。

英国交通专家托尼·M·里德利（Tony M. Ridley）认为：“交通是一种政治，对于一个国家而言，对交通的研究和发展是基础性的，它远不是一个工程技术和一个运营细节问题。”

人类在进入文明时代之前有 200 万年的历史。随着人类对自然的认识加深，人类历史的发展速度不断加快：

- 地质年代以百万年为计量单位；
- 人类史前时代以万年为计量单位；
- 自文明时代到来之后，以数百年甚至数十年为计量单位；
- 时至今日，每天都有重大事件发生，无穷无尽的信息无情地包围着我们。

近代以前，科学和技术水平都比较低，科学不直接影响生产，技术来源于工匠积累的经验 and 手艺。近代以后，科学和技术才开始结合起来。

18 世纪的工业革命（技术革命）是技术发展史上的一次飞跃，它开创了以机器代替手工工具的新时代。产业革命从工作机开始，以动力机为标志，运输机为其主要应用。蒸汽机火车、内燃机汽车的出现和发展是现代交通运输发展的两个重要的里程碑。

第一节 早期的轨道交通

世界人类古代文明发展较快的区域都和河流有关，例如，两河流域文明、恒河流域文明和黄河流域文明等，其中的一个重要原因是与史前人类无法解决如何在地面上克服摩擦力来运输重物的问题有关，而只能借助于水的浮力。公元前 1 万年，世界各地的人们就开始进行水上交通运输。他们把几根木头并在一起做成木筏，或是挖空树干做成独木舟；公元前 3000 年，埃及出现了世界上最早的帆船，用于尼罗河上的交通运输；公元前 2000 年，南亚的人们建造了带帆的木船，横渡太平洋，并在波利尼西亚群岛上建立了最早的社会群体。由于水路运载量大，所以人们宁可选择开挖运河而不去修路。可见，水路运输在

社会经济发展中曾经发挥过重大的作用。

而与陆上交通有关的轮子则出现于公元前 3500 年，装有轮子的车辆变滑动摩擦为滚动摩擦，改进了人类陆上交通的工具。直到 19 世纪，道路尚无路面铺装，木制车轮也没有装置充气轮胎，特别是没有出现驱动车轮的动力机械，因此轮子出现后的漫漫数千年，人类的陆上交通没有发生根本性的改变。



图 1-1 公元前 6 世纪的希腊 Diolkos 轨道

近代文明前的陆上重物运输往往借助于“轨道”，人们在不平整的地面上铺设了由原木或打磨光滑的石灰石轨道，借助人力或畜力推拉安放在轨道上的物件。人类使用轨道的最早记载是在公元前 6 世纪，在希腊有一条 6km 长的 Diolkos 轨道（见图 1-1），用来运输船只，载运船只的架子由奴隶拉着沿石灰石制成的轨道，将船只从地中海搬运到 Diolkos 海湾。Diolkos 轨道使用了 1300 多年，直到公元 900 年。马拉轨道车辆出现在希腊、马耳他和罗马帝国，至少 2000 年之前才出现使用加工过的石材作为轨道，轨道有凹槽或挡肩，限制车轮只能在轨道上行走。这种交通形式再次出现于欧洲是在 1550 年。工业革命初期通常使用数英寸宽的木材作轨道，木材首尾相接固定，并且固定在间隔为 2~3ft (61~91cm) 的横向枕木上，以保持固定的轨距。为了延长木制轨道的使用寿命，会在轨道面上包一层铁皮。18 世纪中叶，开始出现铁质车轮，这大大加剧了轨道的损坏，因此发明了铁制的轨道，3ft (91cm) 长、2in (5cm) 宽，内侧有挡边，称为平板钢轨轨道（见图 1-2）。由于平板轨道强度不够，容易变形，18 世纪

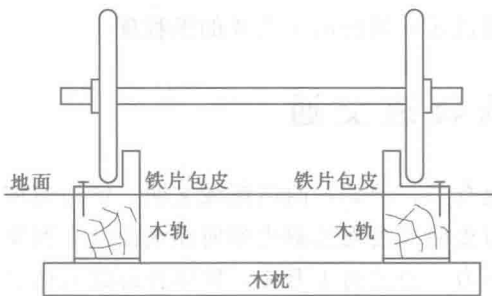


图 1-2 木轨轨道

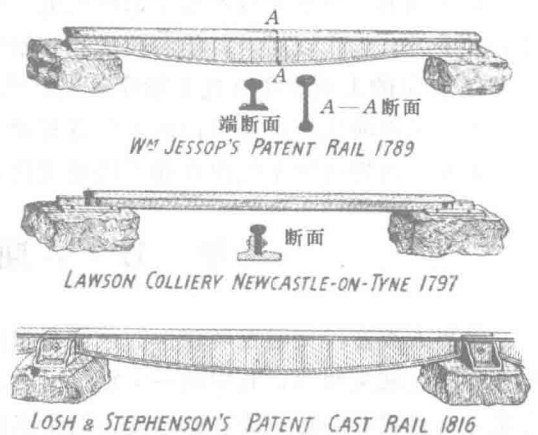


图 1-3 早期铁轨

末叶，又出现了类似现代钢轨的轨道形式（见图 1-3），铁制车轮内侧高出轮踏面形成轮缘，卡在铁轨之间以提供车辆的导向力（见图 1-4），保证车辆行驶在轨道上。这两种轨



道形式并存于英国铁路上，直到 19 世纪中叶，此时蒸汽牵引已占据了统治地位，平板轨道才逐渐退出历史舞台。就这样，木轨一步步过渡到铁轨，“木路”变成了“铁路”。

有别于其他陆上的车辆交通，载人、载物的轨道运输车辆行驶在特定的轨道上，轨道起了支承、传递车辆荷载的作用，为了使车辆只在轨道上行驶，轨道还提供了导向作用。这种运输形式就成为轨道交通。

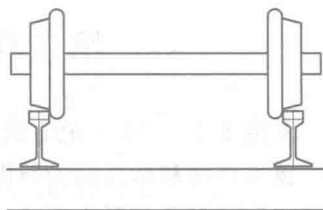


图 1-4 钢轮钢轨的导向作用

使用轨道运输的优势是明显的：把较少的材料做成轨道而无需加工整个车辆通过的路面，轨道面提供了一个较为平整的、硬度较高的车轮滚动面，并且可以把运输重物的重量通过轨道分散地分布于地面上（见图 1-5）。1804 年的英国煤矿使用过这种运输形式，当时尚无牵引车辆的动力机械，轨道被铺设在坡道上，靠重力将满载煤炭的车辆从矿井滑行到运河边的码头，同时把轻车拉上坡顶，一次运煤量可达到 10~13t。采伐木材的林区也有曾人使用这样的装置（见图 1-6）。

这种轨道形式也使用在西方的城市内，市内交通客流有一定的路线，在客流集中的路线上开通轨道交通无疑将是十分有利的，这就是为什么 1829 年伦敦和 1831 年纽约，街上出现了公共马拉或驴拉轨道车辆的原因。1860 年前后，公共马拉或驴拉轨道车辆更是风靡北美各大城市（见图 1-7）。

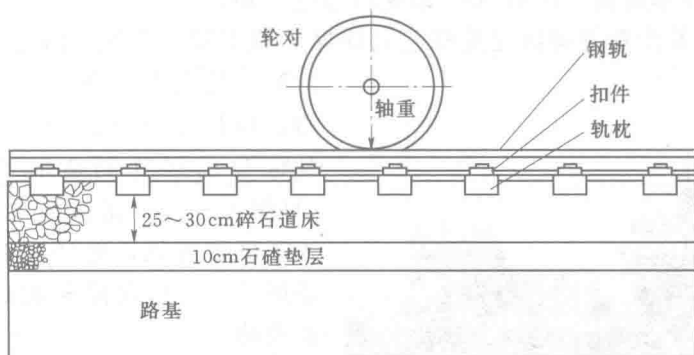


图 1-5 合理的受力



图 1-6 利用斜坡的无动力轨道车辆

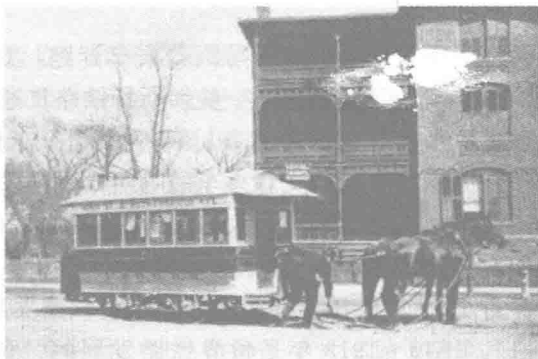


图 1-7 北美的马拉轨道车



第二节 人类历史上第一次交通革命

发生于15~16世纪的欧洲文艺复兴摧毁了长期禁锢人们思想的枷锁，带来了科学研究、技术革命和新发明的热潮，源自古罗马法制体系的欧洲法律保护私有财产、保护知识产权，这又促进了新生事物的发展。

英国工业革命的功绩之一——以煤作为能源的蒸汽机，不仅被广泛用于带动纺织机等工作机械，也被引进到交通运输中牵引行驶在路上的车辆，引发了人类历史上第一次交通革命。

蒸汽机问世后，自然有人想到将它用于驱动车辆运动。1769年，法国工程师居纽造出了第一辆用蒸汽机推动的三轮汽车。1787年，瓦特的合作者之一、英国工程师默多克（1754~1839年）发明了一辆用蒸汽机驱动无轨火车。1801年，首辆蒸汽汽车在英国问世。出于对这种新交通工具运载能力的“惧怕”，也考虑蒸汽机牵引的重型车辆对道路的高要求，伦敦运输业向法院提起了诉讼，英国法律裁决这种庞然大物不能在公路上行驶，只能运行在专用轨道上。在这种形势下，火车的发展几乎是顺理成章的了。

英国人特里维西克（1771~1833年）于1803年制造了世界上第一台可以真正使用的铁路蒸汽机车，铁木结构，长4.5m，最高时速达5km。

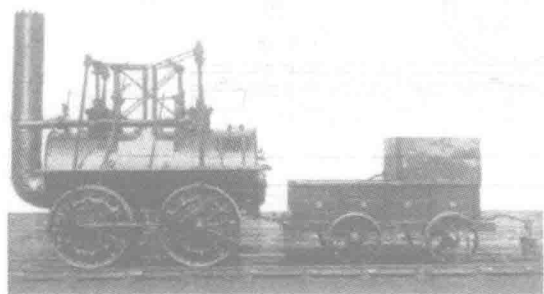


图1-8 斯蒂文森的蒸汽机车

1823年，斯蒂文森主持修建英格兰北部煤矿城市斯多克顿—河边城市克林顿之间的第一条商用铁路，正式将火车推向实用。1825年9月27日，斯蒂文森亲自驾驶他自己设计制造的“旅行号”机车（见图1-8），在新铺设的铁路上试车。为了可靠起见，他还同时采用了马作为备用动力，这次隆重的试车取得了空前的成功。

“旅行号”机车牵引6节煤车、20节挤满乘客的客车厢，载重达90t，时速达15km。这是一次盛况空前的试车典礼。铁路

两旁人山人海，有人骑马跟着火车奔跑，欢呼这一奇迹的出现。1830年，斯蒂文森修建的第二条铁路即利物浦—曼彻斯特铁路贯通。这一次，他驾驶的“火箭号”完全使用蒸汽动力，平均时速达到了29km，列车运行全程未出现任何故障。英国人用蒸汽机大大推进了陆上运输。斯蒂文森火车的鸣叫，召唤了一个“铁路时代”的到来。正是他，使世界真正认识到铁路运输的巨大的优越性。从此，巨龙奔驰在地球各地，极大地促进了世界经济的发展。

自1825年英国开通第一条铁路，铁路立刻获得了世界列强的青睐，竞相修建（见表1-1）。1840~1913年是世界铁路发展的“黄金时代”，由于铁路机车制造已相当完善，轨道结构也不断改进定型，各国修建铁路的热情日益高涨，铁路发展速度明显加快。1840