



城市轨道交通系列教材

# 轨道交通车辆 造型设计

RAIL CAR STYLING DESIGN

徐伯初 李 洋 等 著

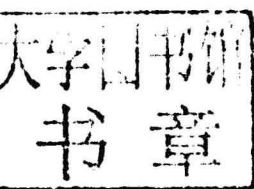


科学出版社

城市轨道交通系列教材

# 轨道交通车辆造型设计

徐伯初 李 洋 等 著



科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是我国第一部关于轨道车辆造型设计的著作，其特点是从工业设计角度出发探讨轨道车辆头型与内室设计。本书以作者参与和主持的“十一五”国家科技支撑计划项目和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目的成果为基础，结合作者多年讲授“交通工具造型设计”课程积累的经验整理而成。

本书中的实例多以高速列车为例，同时兼顾地铁、城轨等轨道车辆。本书可作为设计专业本科生和研究生的教材，也可作为车辆制造企业的设计和技术人员的培训教材和参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

轨道交通车辆造型设计 / 徐伯初, 李洋等著. —北京: 科学出版社, 2012.10

城市轨道交通系列教材

ISBN 978-7-03-035766-3

I. ①轨… II. ①徐… ②李… III. ①轻轨车辆—设计—高等学校—教材 IV. ①U270.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 243741 号

责任编辑: 杨 岭 于 楠 / 封面设计: 陈思思

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年10月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 350千字

定价: 93.00元

## 《城市轨道交通系列教材》编委会

|      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|
| 主 编  | 蒋葛夫 | 翟婉明 |     |
| 副主 编 | 阎开印 |     |     |
| 编 委  | 张卫华 | 高 波 | 高仕斌 |
|      | 彭其渊 | 董大伟 | 潘 炜 |
|      | 郭 进 | 易思蓉 | 张 锦 |
|      | 金炜东 |     |     |



# 前 言

随着我国城市化进程的加快,轨道交通车辆的设计与制造业步入一个快速发展的时期,目前我国已实现了高速列车的自主研制,其水平已位居世界前列。与此同时,我国一些高校、科研院所和车辆制造企业也加大了对轨道车辆设计与研究的投入力度,着力培养一批从事轨道车辆造型设计的专业人才。由于轨道交通车辆设计需要车辆工程、人机工程、材料与结构、制造工艺及工业设计等学科知识的紧密结合,目前在学校教学和企业培训中尚没有适合的教材供使用。

作者早在1997年工业设计专业开设之初就将轨道客车内室设计作为产品设计专业的实践课题,随后围绕轨道交通车辆的设计展开教学改革,并最终在2007年开设了“轨道交通工具设计”课程,其教学内容明确为轨道车辆的造型设计,从而为本书的成形积累了丰富的素材。在教学的同时,作者主持了国内车辆制造企业的多项委托设计项目,在轨道车辆造型设计领域积累了丰富的实践经验,并最终形成了本书。

本书是我国第一部关于轨道车辆造型设计的著作,其特点是从工业设计的角度出发探讨轨道车辆头型与内室设计。本书以作者参与和主持的“十一五”国家科技支撑计划项目(项目编号:2009BAG12A01-E05-2、2009BAG12A01-E06、2009BAG12A01-F02)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(项目编号:SWJTU09ZT42、2010XS55)的研究成果为基础,并综合了作者多年讲授“轨道交通工具设计”课程积累的经验。全书由徐伯初、李洋统稿,共分7章,其中徐伯初撰写第1章,魏峰撰写第2章,徐平、李洋撰写第3章,王海霞、徐伯初撰写第4章,李洋撰写第5章,朱金艳、李娟撰写第6章,徐伯初撰写第7章。

本书十分注重理论研究与设计实践的结合,在知识的深度与广度之间进行了一些取舍,目的是尽可能完美地搭建一个轨道车辆造型设计的整体框架。本书中涉及的一些探讨不够深入的具体章节将在以后的著作中单独进行研究,比如轨道车辆内室照明环境的设计。为增强对设计实践的参考价值,本书还专门探讨了轨道车辆设计的技术与方法。

因为作者科研项目研究的特殊性,本书中的分析多以高速列车为例,同时兼顾地铁、城轨等轨道车辆,可作为设计专业高年级本科生及研究生的教材使用,也可作为车辆制造企业相关人员的培训教材和参考资料。

由于时间所限和轨道车辆造型设计的学科交叉性,尽管作者试图在本书中阐明所有与造型设计相关的问题,但疏漏之处仍不可避免,请广大读者不吝赐教。

徐伯初

2012年6月

# 目 录

## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 轨道交通车辆设计概论 .....        | 1  |
| 1.1 轨道交通的发展历程 .....           | 1  |
| 1.1.1 轨道的发展演变 .....           | 1  |
| 1.1.2 轨道车辆的发展演变 .....         | 2  |
| 1.2 轨道交通车辆的类型 .....           | 10 |
| 1.2.1 地铁 .....                | 10 |
| 1.2.2 轻轨 .....                | 11 |
| 1.2.3 有轨电车 .....              | 11 |
| 1.2.4 磁悬浮列车 .....             | 12 |
| 1.3 轨道交通车辆设计的特点 .....         | 13 |
| 1.3.1 轨道车辆造型设计的影响因素 .....     | 13 |
| 1.3.2 主要设计公司及其轨道车辆设计的特点 ..... | 14 |
| 1.4 轨道交通车辆设计的趋势 .....         | 23 |
| 1.5 本章小结 .....                | 23 |
| 第 2 章 轨道交通车辆造型技术基础 .....      | 25 |
| 2.1 车体结构设计 .....              | 25 |
| 2.1.1 车体结构设计的基本原则和要求 .....    | 25 |
| 2.1.2 车体结构简介 .....            | 26 |
| 2.2 车体流线型外形设计 .....           | 30 |
| 2.2.1 车体外形与空气动力学 .....        | 30 |
| 2.2.2 流线型头车设计 .....           | 32 |
| 2.2.3 车体外形设计 .....            | 34 |
| 2.3 限界 .....                  | 37 |
| 2.4 转向架 .....                 | 39 |
| 2.4.1 转向架的主要组成部分 .....        | 40 |
| 2.4.2 转向架的分类 .....            | 43 |
| 2.4.3 我国动车组转向架简介 .....        | 48 |
| 2.5 材料与工艺 .....               | 49 |
| 2.5.1 车体材料与轻量化 .....          | 49 |
| 2.5.2 组装工艺 .....              | 51 |
| 2.6 本章小结 .....                | 51 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第3章 轨道交通车辆造型设计的美学因素 .....       | 53  |
| 3.1 轨道交通车辆造型的美学特征 .....         | 53  |
| 3.1.1 形式美 .....                 | 53  |
| 3.1.2 技术美 .....                 | 57  |
| 3.1.3 意象美 .....                 | 59  |
| 3.2 轨道交通车辆造型设计的美学要素 .....       | 60  |
| 3.2.1 形 .....                   | 60  |
| 3.2.2 色 .....                   | 63  |
| 3.2.3 光 .....                   | 67  |
| 3.2.4 质 .....                   | 71  |
| 3.2.5 情 .....                   | 74  |
| 3.3 轨道交通车辆造型的美学分析 .....         | 76  |
| 3.3.1 高速列车造型的美学特征分析 .....       | 77  |
| 3.3.2 地铁造型的美学特征分析 .....         | 77  |
| 3.3.2 有轨电车造型的美学特征分析 .....       | 78  |
| 3.4 轨道交通车辆造型的美学设计理念 .....       | 79  |
| 3.4.1 我国的传统美学精神 .....           | 79  |
| 3.4.2 道家美学思想的外化——生长造型设计理念 ..... | 80  |
| 3.4.3 对我国轨道车辆造型设计的启示 .....      | 81  |
| 3.5 本章小结 .....                  | 83  |
| 第4章 轨道交通车辆造型设计的文化因素 .....       | 85  |
| 4.1 设计与文化 .....                 | 85  |
| 4.1.1 设计的文化属性 .....             | 85  |
| 4.1.2 文化诉求是提升设计价值的重要途径 .....    | 87  |
| 4.1.3 人文关怀是时代对设计的要求 .....       | 88  |
| 4.2 轨道车辆造型设计的文化性 .....          | 90  |
| 4.2.1 车辆造型与文化传统 .....           | 90  |
| 4.2.2 车体涂装与民族性格 .....           | 91  |
| 4.2.3 内室设计的文化气息 .....           | 94  |
| 4.2.4 阿西乐高速列车造型设计的文化解读 .....    | 96  |
| 4.3 中国传统文化与轨道车辆造型设计 .....       | 99  |
| 4.3.1 中国传统文化的特点 .....           | 99  |
| 4.3.2 中国轨道交通车辆设计的传统 .....       | 101 |
| 4.3.3 基于中国文化传统的轨道车辆造型设计要求 ..... | 104 |
| 4.4 设计实例——郑州市地铁造型设计 .....       | 109 |
| 4.4.1 郑州市文化传统 .....             | 109 |
| 4.4.2 意象的概括、抽象与提取 .....         | 112 |
| 4.4.3 设计符号的提炼与移植 .....          | 112 |



|            |                                |            |
|------------|--------------------------------|------------|
| 4.4.4      | 设计方案 .....                     | 113        |
| 4.4.5      | 设计效果图 .....                    | 113        |
| 4.5        | 本章小结 .....                     | 114        |
| <b>第5章</b> | <b>轨道交通车辆造型设计中的人机工程学 .....</b> | <b>116</b> |
| 5.1        | 人机工程学概述 .....                  | 116        |
| 5.1.1      | 人机工程学的命名与定义 .....              | 116        |
| 5.1.2      | 人机工程学的发展 .....                 | 117        |
| 5.1.3      | 人机工程学的研究内容与方法 .....            | 119        |
| 5.1.4      | 人机工程学在工业设计中的应用 .....           | 121        |
| 5.2        | 人体测量数据及应用 .....                | 122        |
| 5.2.1      | 人体测量基本知识 .....                 | 123        |
| 5.2.2      | 人体测量数据的应用原则 .....              | 123        |
| 5.2.3      | 人体静态尺度 .....                   | 124        |
| 5.2.4      | 人体动态尺度 .....                   | 130        |
| 5.3        | 人体感知 .....                     | 135        |
| 5.3.1      | 视觉特性 .....                     | 135        |
| 5.3.2      | 听觉特性 .....                     | 138        |
| 5.3.3      | 嗅觉特性 .....                     | 139        |
| 5.3.4      | 心理感受 .....                     | 140        |
| 5.4        | 人机工程学与乘坐空间设计 .....             | 142        |
| 5.4.1      | 车辆内室布局设计 .....                 | 142        |
| 5.4.2      | 座椅设计 .....                     | 143        |
| 5.4.3      | 行李架、拉手设计 .....                 | 146        |
| 5.4.4      | 卧铺包厢设计 .....                   | 148        |
| 5.4.5      | 餐车设计 .....                     | 149        |
| 5.5        | 人机工程学与驾驶空间设计 .....             | 151        |
| 5.5.1      | 操作台元器件设计 .....                 | 151        |
| 5.5.2      | 视觉环境设计 .....                   | 152        |
| 5.5.3      | 司机腿部活动与容膝空间 .....              | 155        |
| 5.5.4      | 司机室总体设计 .....                  | 156        |
| 5.6        | 计算机模拟人机关系分析 .....              | 158        |
| 5.6.1      | 司机室人机关系仿真模型 .....              | 159        |
| 5.6.2      | 乘坐空间主要设备人机分析 .....             | 159        |
| 5.6.3      | 控制器可及程度分析 .....                | 160        |
| 5.6.4      | 操作姿势分析 .....                   | 161        |
| 5.6.5      | 司机视野分析 .....                   | 162        |
| 5.6.6      | 设计建议与司机室优化设计方案 .....           | 163        |
| 5.7        | 乘员认知特性 .....                   | 166        |



|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 5.7.1 设计思想与设计活动的发展 .....        | 166        |
| 5.7.2 研究内容与设计思路 .....           | 167        |
| 5.7.2 乘员认知特性的研究方法 .....         | 169        |
| 5.7.3 乘客视觉特性与车辆内室设计 .....       | 173        |
| 5.7.4 乘务员认知特性与机车操纵台设计 .....     | 174        |
| 5.8 本章小结 .....                  | 176        |
| <b>第6章 轨道车辆造型设计的程序与方法</b> ..... | <b>178</b> |
| 6.1 轨道交通车辆造型设计的程序 .....         | 178        |
| 6.2 设计调查 .....                  | 179        |
| 6.2.1 设计调查的主要内容 .....           | 179        |
| 6.2.2 设计调查的主要方法 .....           | 184        |
| 6.3 设计定位 .....                  | 185        |
| 6.4 创意设计 .....                  | 186        |
| 6.4.1 创意设计的过程 .....             | 186        |
| 6.4.2 创意设计的方法 .....             | 192        |
| 6.5 设计评价 .....                  | 214        |
| 6.6 设计实施 .....                  | 216        |
| 6.6.1 设计实施过程 .....              | 216        |
| 6.6.2 可行性分析 .....               | 218        |
| 6.6.3 样机模型 .....                | 218        |
| 6.6.4 模具制作与生产 .....             | 218        |
| 6.6.5 进入市场 .....                | 218        |
| 6.7 本章小结 .....                  | 218        |
| <b>第7章 轨道交通车辆造型设计赏析</b> .....   | <b>220</b> |
| 7.1 概念列车造型设计 .....              | 220        |
| 7.2 高速列车设计 .....                | 223        |
| 7.3 地铁造型设计 .....                | 231        |
| 7.4 有轨电车造型设计 .....              | 234        |
| 7.5 本章小结 .....                  | 235        |

# 第 1 章 轨道交通车辆设计概论

运输实现了人和物的空间位置变化，是与人类的生产生活息息相关的活动。轨道交通是现代陆地运输的主要方式之一，是一种利用轨道车辆进行人员物资运输的方式。轨道交通车辆包括火车、地铁、轻轨、有轨电车和磁悬浮列车等，它们以运量大、能耗相对较低等优点在交通运输中发挥着重要作用。

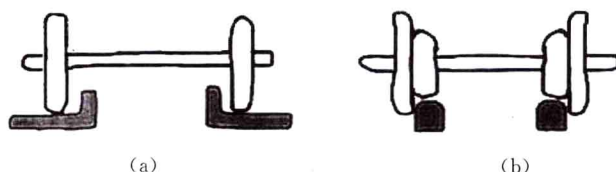
## 1.1 轨道交通的发展历程

随着蒸汽机作为动力装置的应用，19 世纪初出现了在轨道上行驶的蒸汽机车。之后，铁路在欧美成为技术发展的象征，像结网一样发展开来。轨道运输成为国家的支柱产业，预示着一个具有强大运力的新交通时代的到来。

### 1.1.1 轨道的发展演变

人们在很早以前就开始利用轨道进行运输。两千多年前，在古希腊和古罗马时代，人们就曾用马拉车沿着由石匠凿出的车槽来运输物品。目前研究者普遍认为，世界上最早的铁路来源于石路，其根据是考古学家在意大利庞贝古城发现了和现代铁路一样宽的石路。考古学家发现在庞贝古城的街道上砌有两排平行的石道，其距离为 1435 mm，恰好是当时战车的轮距。16 世纪德国的哈慈矿山也曾铺有两行转运矿石的石路，距离恰好也是 1435 mm。石路虽然结实，但是不易于随矿井的转移而重复使用，而且也不够轻便。1550 年，在法国和德国边界附近的勒伯德尔地区，人们开始使用木质轨道。1605 年，英格兰的煤矿也采用木轨，且轨距仍保持为 1435 mm。为了防止轨道磨损过快，人们开始在木柜上钉铁皮，但磨损问题仍然解决不了。17 世纪的英国，因为生铁价格的下跌，有人就把它熔化，铸成长方形铁板，板上有孔，可以订放在木轨上，这可能就是最初的铁轨，“铁路”这一名称也由此而来。

铁轨虽然耐磨，阻力也较小，但车辆在行驶时晃动较大，所以后来又加以改进而把它制成角铁形，其竖起的边可以挡住车轮。但是，平铺的角铁形轨道强度不够，且很容易被煤屑、泥土等掩埋。1788 年，美国人威廉·杰索把铁板轨改为立式轨，将车轮凸起的外缘改为内缘，如图 1.1 所示。



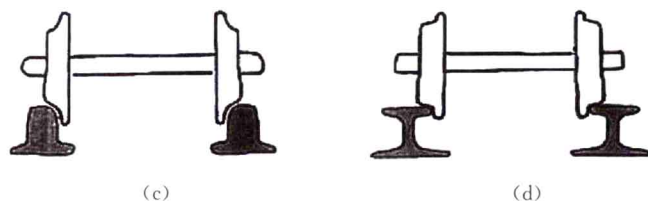


图 1.1 轨道的演变

随着科学技术的发展和人们对力学知识的深入学习，立式轨从腰鼓形逐渐演变为工字型，也就是铁轨现在的形状，如图 1.2 所示。

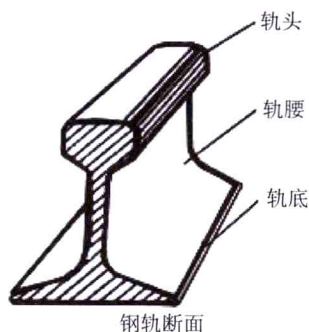


图 1.2 工字型铁轨

### 1.1.2 轨道车辆的发展演变

轨道车辆的发展变化比起铁轨要复杂得多。最早在轨道上行走的车辆是靠人力或畜力推动，随着生产力的不断发展，人员和运输物资的量也不断增加，因此对牵引力的要求也越来越大。

#### 1. 蒸汽机车时期

促使轨道车辆获得巨大发展的是蒸汽机的发明与应用。作为 18 世纪下半叶工业革命时期的一大发明，蒸汽机车开辟了近代运输的新纪元。世界上第一台行驶于轨道上的蒸汽机车“新城堡号”（图 1.3）于 1804 年由英国发明家理查德·特里维西克设计制造。

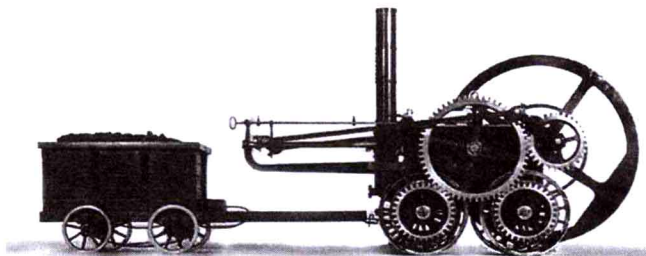


图 1.3 第一台蒸汽机车“新城堡号”

轨道交通车辆在中国的发展也已有 100 多年的历史。1881 年，中国工人采用矿场起



重锅炉和竖井架的槽铁等旧材料，试制成功了一台 0-3-0 型蒸汽机车(图 1.4)，这是中国历史上制造的第一台机车。中国最早的蒸汽机车还有“中国火箭号”(图 1.5)和收藏于中国铁道博物馆的 0 号机车(图 1.6)。

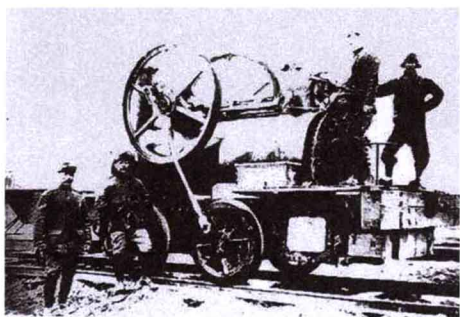


图 1.4 中国自造的第一台 0-3-0 型的蒸汽机车

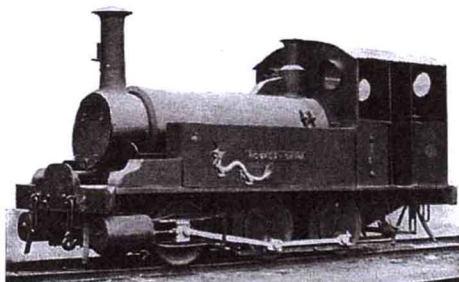


图 1.5 “中国火箭号” 机车



图 1.6 0 号机车

新中国成立以后，中国的轨道交通事业得到了长足的发展，自主设计制造的蒸汽机车有 1952 年生产的“解放型”货运蒸汽机车、1956 年生产的“胜利型”客运蒸汽机车、1956 年生产的“前进型”货运蒸汽机车、1957 年生产的“建设型”通用蒸汽机车、1958 年生产的“跃进型”工矿蒸汽机车、1958 年生产的“人民型”客运蒸汽机车、1960 年生产的“上游型”工矿蒸汽机车和唐山机车车辆厂 1965 年为援助越南设计的“自力型”米轨货运蒸汽机车等(图 1.7~1.14)。



图 1.7 “解放型” 货运蒸汽机车



图 1.8 “胜利型” 客运蒸汽机车





图 1.9 “前进型”货运蒸汽机车



图 1.10 “建设型”通用蒸汽机车



图 1.11 “跃进型”工矿蒸汽机车



图 1.12 “人民型”客运蒸汽机车



图 1.13 “上游型”工矿蒸汽机车

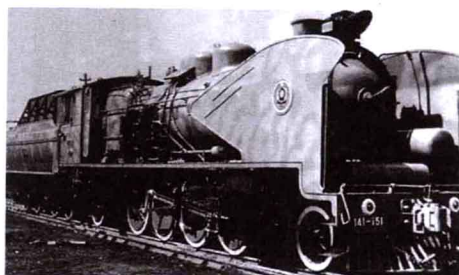


图 1.14 “自力型”货运蒸汽机车

蒸汽机车的优点是结构比较简单、制造成本低、使用年限长、驾驶和维修技术较易掌握、对燃料的要求不高。但蒸汽机车的主要缺点是热效率低，这使机车的功率和速度进一步提高受到了限制；其次是煤水的消耗量大、沿线需要设置许多供煤和给水设施、在运输中产生的大量煤烟污染环境、机车乘务员的劳动条件差等。随着铁路运量的增加和行车速度的提高，蒸汽机车已不能适应现代铁路运输的要求。

## 2. 内燃机车时期

1866 年，德国人奥托设计了一种燃烧煤气的新型发动机。这种发动机与蒸汽机在汽缸外面的锅炉里燃烧的燃料不同，它是在汽缸内点燃煤气，然后利用气体的压力推动活塞，从而使曲轴旋转，称为“内燃机”。1894 年，德国制造出世界上第一台内燃机车。这是一种没有大锅炉的新型机车，既不烧煤，也不烧煤气，而是用柴油作燃料。它所用的柴油机是德国人鲁道夫·狄塞尔发明的，从此内燃机车得到了广泛的应用。

中国第一台自主制造的内燃机车是 1958 年由大连机车车辆工厂生产的“巨龙号”电传动内燃机车(图 1.15)，后经过改进设计定型，命名为“东风型”。同年，中国生产了

第一台大功率液力传动内燃机车“卫星号”(图 1.16)。此后,中国设计制造的内燃机车以“北京”、“东方红”和“东风”三个系列最为知名(图 1.17~1.19),质量达到当时世界先进水平。



图 1.15 “巨龙号”电传动内燃机车

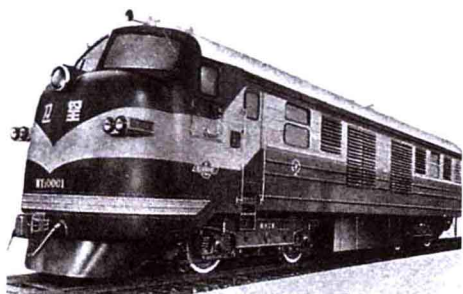


图 1.16 “卫星号”液力传动内燃机车



图 1.17 “北京”系列内燃机车

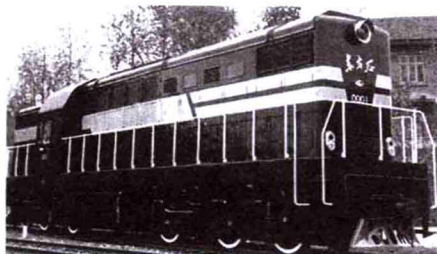
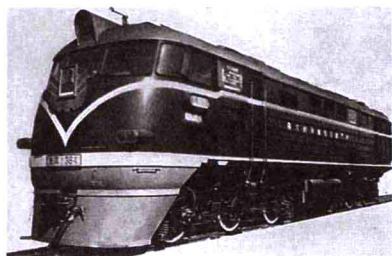


图 1.18 “东方红”系列内燃机车

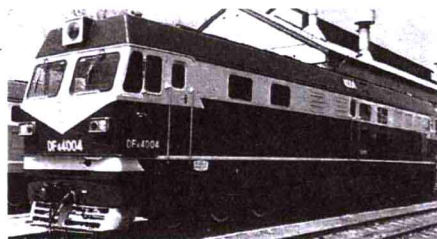




(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

图 1.19 “东风”系列内燃机车

内燃机车的优点是起动迅速、加速快、马力大，并且能较好地利用燃料的热能，从而节省了大量的燃料；但其缺点是机车构造复杂，制造、维修和运营费用都较大，同时对环境有较大的污染。

### 3. 电力机车时期

20 世纪初，电力牵引的优越性已被公认，电力机车得到了很快的发展。电力机车是从铁路上方的接触网获取电能来产生牵引动力的机车，所以电力机车是非自带能源的机车。它的热效率比蒸汽机车高一倍以上，起动快、速度高、善于爬坡；可以制成大功率机车，运输能力大、运营费用低；不用水，不污染空气，乘务员的工作环境好，运行噪音小，便于多机牵引。但电气化铁路需要建设一套完整的供电系统，在基建投资上要比采用蒸汽机车或内燃机车大得多。从世界各国铁路牵引动力的发展来看，电力机车被认为是具有发展前途的一种机车，它在运营上有良好的经济效益。

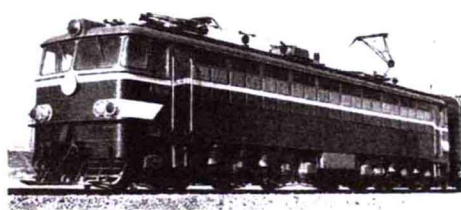
1890 年，德国和美国先后制成了性能优良靠外来电力行走的电力机车。到 20 年代末，几乎每个欧洲国家都已有电气化铁路。中国于 1958 年开始研制各种型号的电力机车。



图 1.20 第一台国产 6Y1 型电力机车



(a)



(b)



(c)



(d)





(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

图 1.21 “韶山型”系列电力机车



图 1.22 “和谐型”电力机车