

铁路设计理论和技术

阚叔愚 王连子 曾学贵 主编

苗大维 张庆珩 主审

中国铁道出版社

1993年·北京

四、六章),魏庆朝(第七章),王连子(第八、十章),孟志勇(第九章)、陈峰(第十一章),白玉珍(第一章第四节)。

由于我们的理论水平和实践经验所限,本书在内容和编写方法上,以及其他问题,难免存在缺点和错误,恳请读者提出批评,给予指正。

作 者

1991 年 12 月

(京) 新登字 063 号

内 容 简 介

本书从较高层次上探讨了中国铁路路网建设、投资决策等重大宏观问题,并结合国内外最新科学技术的发展,论述了中国的高速铁路、重载铁路建设,同时介绍了运用电子计算机手段进行铁路设计的新技术。其中包括数字地形模型、铁路平纵面优化设计、CAD 技术、铁路线路列车纵向动力学以及人工智能技术在铁路设计中的应用等新理论、新方法。

本书可供铁路设计技术人员、研究人员参考,也可供铁路工程、交通工程研究生、本科生作参考书。

铁路设计理论和技术

阙叔愚 王连子 曾学贵 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 安鸿逵 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

北京燕山联营印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:18.875 字数:498 千

1993 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1 1500 册

ISBN 7-113-01395-3/TU·300 定价:16.70 元

序

中国铁路建设历史已逾百年,尤其在新中国成立以后更有了巨大发展。目前路网长度已占世界第五位,客货运量占世界第二位,许多运营指标处领先水平。铁路为祖国的社会主义建设事业,为民族团结,为巩固国防,为提高人民的物质和文化生活水平作出了重要贡献。但当前铁路运输任务十分繁忙,能力严重不足,影响到其它部门的发展,成为国民经济发展中突出的薄弱环节。为尽快改变铁路这种被动落后面貌,今后我国铁路必须有一个较大的发展,其中铁路建设事业(包括修建新线和既有线现代化改造)是一项重要工作。

我国铁路建设具有光荣的历史。伟大的爱国主义工程师詹天佑先生在贫穷落后的旧中国,靠自力更生,以杰出的成就为祖国争得了荣誉;杰出的中国桥梁之父茅以升先生为中国桥梁建设作出了卓越的贡献;新中国成立以后,在地形、地质条件异常复杂的西南地区,修建了举世闻名的成昆铁路……。所有这一切表明,我国铁路建设工作者具有光荣传统、丰富经验和聪明才智,特别是近年来在铁路建设科学技术现代化领域的科学研究中,更是成绩斐然。

现在,北方交通大学铁路选线教研室的同志们,把我国铁路建设的经验、进展和所取得的成绩,以及在这项工作研究中的最新成果,结合外国的先进技术编写成书。该书运用系统工程的有关理论和方法,探讨了中国铁路路网建设、投资决策等重大宏观问题,并论述了运用电子计算机手段进行铁路设计的新理论和新技术。这本书内容广泛,结合实际,有深度和广度,是近年来少见的有关铁路设计理论和技术方面的一本完整的、较好的论著,它的出版无疑是对我国铁路建设事业的一项重要贡献。

祝我国铁路建设事业兴旺发达!

祝社会主义祖国繁荣昌盛!

王竹亭

1992年1月10号

前 言

为了配合我国铁路建设事业发展的需要,应在较高层次的宏观决策上,运用系统工程理论来阐述和指导中国的铁路建设问题;而且,在具体工作中,还必须运用现代科学技术手段进行铁路的规划和设计,从而,推动我国铁路现代化事业的发展。当前,无论在大学教科书还是在已出版的科技参考书中,对这类重大问题进行系统的、全面的、整体的论述尚不多见。由于我国已积累了百余年铁路建设实践的宝贵经验;同时,近年来全路各有关大专院校、研究机构、设计院和各铁路局等单位或个人,对上述问题进行了大量和卓有成效的研究和探讨。因之,这一切都为编写这本具有一定广度和深度的参考书创造了基础条件。本书的出版若能对我国的铁路建设事业贡献绵薄之力,那是作者所庆幸的。

鉴于书中涉及的内容范围广泛,问题复杂,有较大难度,因此,本书除了介绍我校近年来发表的论著和科研成果外,还大量参阅和引用了国内外专家学者在有关学术刊物和学术会议公开发表的论著和资料,在此,一并向这些同志们表示深切的谢意,并向关心和帮助本书出版的同志表示由衷的谢意。

本书由已故德高望重的王竹亭教授做序,在此,我们谨以本书的出版寄托对敬爱的老师王教授的怀念之情。

本书共十一章,内容包括:绪论、铁路建设规划、铁路建设决策、铁路建设总体设计、铁路动态设计、重载铁路、高速铁路、线路列车纵向动力学、数字地形模型、铁路线路平纵面设计优化、计算机辅助设计、专家系统方法在铁路线路设计中的应用等。

本书由阚叔愚、王连子、曾学贵主编,苗大维、张庆珩主审。参加编写的有:阚叔愚(前言,绪论,第一、二、三、五章),曾学贵(第

目 录

绪 论	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 铁路建设和系统工程	(2)
第三节 铁路现代化	(8)

上篇 铁路建设规划和决策

第一章 铁路建设规划	(21)
第一节 世界铁路和中国铁路	(21)
第二节 路网发展规划和旧线建设	(38)
第三节 路网规模估算理论和方法	(52)
第四节 各种集资形式的铁路建设	(62)
第二章 铁路建设决策	(69)
第一节 决策科学的基本理论和方法	(69)
第二节 铁路投资决策——铁路建设可行性研究	(82)
第三节 铁路建设项目的经济评价	(98)
第四节 决策分析中计算机的应用	(129)
第五节 项目评估决策	(136)
第三章 铁路总体设计	(155)
第一节 铁路总体设计任务	(155)
第二节 铁路等级和主要技术标准确定	(156)
第三节 铁路建设项目总体设计内部外部工作 协调	(167)

中篇 现代化铁路设计

第四章 铁路动态设计	(186)
第一节 概 述.....	(186)
第二节 铁路动态设计基本方程.....	(187)
第三节 确定型铁路动态设计.....	(191)
第四节 随机型铁路动态设计.....	(202)
第五节 小 结.....	(208)
第五章 重载铁路	(209)
第一节 概 述.....	(209)
第二节 重载合并列车.....	(216)
第三节 重载铁路的技术装备.....	(235)
第四节 新建单线铁路按重载运输设计的特点.....	(241)
第五节 大秦铁路——中国第一条重载单元列车 铁路.....	(249)
第六章 高速铁路	(258)
第一节 概 述.....	(259)
第二节 高速铁路技术.....	(266)
第三节 高速铁路设计.....	(284)
第四节 建设中国式的高速铁路.....	(313)
第七章 列车运动仿真与纵断面参数研究	(325)
第一节 计算机仿真基础.....	(325)
第二节 线路-列车动力学概述	(332)
第三节 列车纵向运动仿真模型.....	(336)
第四节 列车纵向运动仿真系统.....	(354)
第五节 列车动力学现场试验与仿真模型验真.....	(362)

第六节 线路纵断面参数的动力响应.....	(374)
-----------------------	-------

下篇 铁路设计新技术

第八章 数字地形模型.....	(395)
-----------------	-------

第一节 航空摄影测量基本知识.....	(395)
---------------------	-------

第二节 数字地形模型.....	(421)
-----------------	-------

第三节 数字地形模型的应用.....	(426)
--------------------	-------

第九章 铁路设计自动化.....	(437)
------------------	-------

第一节 概 述.....	(437)
--------------	-------

第二节 铁路线路纵断面优化.....	(440)
--------------------	-------

第三节 铁路线路平面优化.....	(485)
-------------------	-------

第十章 计算机辅助设计.....	(497)
------------------	-------

第一节 概 述.....	(497)
--------------	-------

第二节 计算机辅助设计系统.....	(498)
--------------------	-------

第三节 CAD 系统设备简介	(505)
----------------------	-------

第四节 如何选择 CAD 微型机	(507)
------------------------	-------

第五节 计算机辅助设计工程实例.....	(508)
----------------------	-------

第十一章 专家系统方法在铁路线路设计中的应用.....	(515)
-----------------------------	-------

第一节 专家系统简介.....	(515)
-----------------	-------

第二节 线路设计专家系统的一般知识.....	(523)
------------------------	-------

第三节 铁路线路设计专家系统的建造过程.....	(531)
--------------------------	-------

第四节 单线铁路技术改造方案决策专家系统 (ESORR)的开发	(565)
--	-------

参考文献.....	(591)
-----------	-------

157.最早的公铁两用铁拱桥.....	87
158.最早的下承式熟铁拱桥.....	87
159.第一座公铁两用钢拱桥.....	89
160.跨度最大的铁路钢拱桥.....	89
161.最宽的铁路钢拱桥.....	89
162.跨度最大的预应力混凝土铁路拱桥.....	90
163.最早的预应力混凝土刚梁柔拱和刚梁刚拱铁路桥.....	90
164.跨度最大的预应力混凝土地下铁和公路两用悬臂拱桥.....	90
165.跨度最大的预应力混凝土地下铁和公路两用梁、拱联合系桥.....	91
166.第一座预应力混凝土箱形、变截面拱桥.....	92
167.第一座箱形梁和拱的组合式钢梁桥.....	92
168.第一座铁路悬索桥.....	92
169.第一座公铁两用悬索桥.....	93
170.按公铁两用设计建筑的跨度最大的悬索桥.....	93
171.施工中的公铁两用跨度最大的悬索桥.....	93
172.计划修建的公铁两用、跨度最大的悬索桥.....	94
173.第一座铆接的双线铁路箱形梁桥.....	95
174.桥墩最高的铆焊箱梁铁路桥.....	95
175.第一座正交异性板桥面双线铁路桥.....	95
176.第一座用耐候钢修建的箱形梁铁路桥.....	96
177.第一座水下公铁两用桥.....	96
178.跨度最大的预应力混凝土地下铁及公路两用连续刚架桥.....	96
179.第一座铝合金铁路桥.....	97
180.最早的全结构钢铁路桥.....	97
181.第一座焊接的钢桥.....	97
182.跨度最大的简支桁梁铁路桥.....	97
183.最早的桁架梁设计者.....	97
184.第一座预应力混凝土铁路跨线桥.....	98
185.第一座预应力混凝土简支梁铁路桥.....	98
186.跨度最大的预应力混凝土简支梁铁路桥.....	98
187.最早的预应力轻混凝土铁路桥.....	98
188.跨度最大的连续钢桁梁铁路桥.....	99
189.最早的预应力混凝土连续梁铁路桥.....	99
190.跨度最大的预应力混凝土连续梁铁路桥.....	99
191.跨度最大的预应力混凝土地下铁道和公路两用连续梁桥.....	100
192.第一座带挂梁的悬臂桁梁桥.....	100
193.第一次用平炉钢建成的悬臂桁梁桥.....	101
194.跨度最大的悬臂钢桁梁桥.....	101
195.跨度最大的预应力混凝土悬臂梁铁路桥.....	102
196.跨度最大的预应力混凝土T型刚架铁路桥.....	102
197.跨度最大的预应力混凝土斜腿刚架铁路桥.....	102
198.跨度最大的钢斜腿刚构铁路桥.....	103

357.第一台能“讲话”的打夯机.....	189
358.捣固枕木机械之“最”.....	190
359.规模最大的科技展览中的铁路运输.....	191
360.最早推行“标准时”的人.....	192
361.轨道高速试验的先驱者.....	192
362.火车上印刷的第一份报纸.....	193
363.最小的铁路题材雕塑品.....	194
364.最早获得诺贝尔文学奖的铁路职工子女.....	195
365.总工龄最长的铁路世家.....	195
366.铁路集团中的最大富翁.....	196
367.最大的国际性铁路期刊.....	196
368.最长的“地铁美术馆”.....	196
369.独一无二的枕木博物馆.....	197
370.最大的国内集中管理的铁路系统.....	197

十、附 表

表一、世界各国（地区）铁路概况表.....	198
表二、世界著名地下铁道一览表.....	207
表三、世界各国其他地下铁道概况.....	208
表四、世界著名的列车表.....	215
表五、世界长大铁路桥梁一览表.....	220
表六、世界长大铁路隧道一览表.....	226
表七、六国铁路牵引动力现代化进程表.....	229
表八、世界铁道信号发展史简表.....	230
表九、世界各国铁路轨距类型表.....	231
表十、国际性铁路组织概况表.....	234

绪 论

第一节 概 述

一、本书主旨

基于我国铁路建设的宏大发展目标,本书试图用系统工程的有关理论和方法,从不同层次、不同深度、不同广度来探讨我国铁路的现代化、路网建设、投资决策以及采用新技术进行铁路设计等一系列重大问题,并希望对关心和参加我国铁路建设事业的同行们有所帮助和借鉴。

本书的编写力求贯穿广度和深度、宏观和微观、定性和定量的统一协调,尽可能介绍国内外最新现代科学技术和手段,同时又深入浅出,结合实际论述带有共性的实例,使本书富有新意,以供广大铁路科技工作者学习及参考。

二、本书主要内容

全书除“绪论”外,按系列顺序分三篇,共十一章。

上篇“铁路建设规划和决策”,从中国铁路现代化的长远目标着眼,以系统工程理论为基础,论述了中国铁路网的建设,工程建设项目的评估决策以及铁路建设项目(新旧线)总体设计等。

中篇“现代化铁路设计”,根据世界铁路现代化发展前景,结合即将跻身于先进国家行列的中国铁路发展的战略部署,探讨了用最新动态理论确定最优方案、对我国正在起步的重载铁路运输、高速铁路等重要课题,并就其基础理论——线路纵向动力学进行了研究阐述。

下篇“铁路设计新技术”,结合当代国内外铁路设计新技术的发展,论述了电子计算机在铁路设计中的应用,重点阐述了诸如线

路平纵面优化设计、数字地形模型、CAD 辅助设计、人工智能在铁路工程设计中的应用等近年来发展的新理论、新技术。其中,特别是体现了当代最新科学技术发展水平的人工智能技术,根据北方交通大学近年的研究成果,专门增加了一章有关这方面的论述内容。

第二节 铁路建设和系统工程

一、铁路建设系统工程

(一) 引言

铁路是一个大系统,研究和探讨铁路的发展规模、铁路发展的技术方法,无论在空间或时间上,都应当运用系统的理论和方法,求得总体上最优。所以,从系統工程的观点,铁路建设应当满足和协调下列关系。

1. 铁路的建设必须适应国家发展的需要。铁路是国民经济的重要组成部分,是为国民经济建设服务的,它以满足国家建设对铁路运输的要求作为最高准则。因而,铁路系统的现代化是保证国家国民经济发展的重要措施和手段。

2. 铁路与其它运输方式应有一个合理分工。铁路、公路、水运、航空和管道运输这五种运输方式各有自己的优缺点和适用条件,在我们这样大的国家,哪一种运输方式也不能缺少,但是,它们之间应有一个合理分工和统一的总体规划,在此基础上再形成各种运输方式各自的体系。

3. 铁路运输是一个过程系统,铁路运输旅客和货物,由发送至到达站,各个作业一个环节一个环节顺序进行,应使整个过程的各个环节(集、装、运、卸等)的能力彼此协调。

4. 铁路运输过程的综合能力是由车站装卸能力、区段(线路)通过能力、技术站的作业能力和机车车辆能力四个主要部分所组成(前三种是固定设备的能力,也可称为路网能力),从整个运输过程来看,这四种能力必须彼此协调,才能体现出最大的运输综合能

力。

所以,铁路建设就是根据上述要求,从系统工程观点出发,研究、决策我国铁路网布局和规模,合理配置编组站,采用新技术进行新线建设和旧线改造,以及运用现代科学管理方法协调和改善运输组织,从而达到规划、设计、施工、运营的最佳效果。

(二) 系统工程学

1. 系统工程学是在运筹学、控制论、电子计算技术、工程设计和现代管理科学等学科基础上,相互渗透而发展起来的一门新兴的边缘学科,是跨越各学科领域的方法性和综合性的应用学科,把自然科学、数学和社会科学中有关的观点、理论、方法和手段,根据系统总协调的需要,有机地联系起来,加以综合运用,实现系统目标的最佳效果。它是工程技术与思想方法的统一,为解决当代复杂问题提供科学的方法论。即为完成某项任务(预期目标),而提供决策、计划、方法、工作顺序等。这是系统工程学所赋予“工程”二字的新概念,也是新的逻辑方法,每一步分析都伴随着综合和整体化,并强调综合辩证逻辑的统一,实现从微观到宏观过渡的工作战略。

2. 系统工程学把一个极其复杂的研究对象作为有机整体来考虑,从整体与部分相互依赖、相互制约的关系中,揭示系统的特征和运动规律,并通过对系统的规划、研究、设计、建造、运行等进行协调与控制,据以实现系统的总体最优化,达到最优的设计、最优管理和最佳运行的目标。

3. 系统工程学中的“系统”(System)是指:一个极其复杂的研究对象,由相互作用和相互依赖的若干组成部分(要素)结合而成的、具有特定功能的有机整体,每一个有机整体(即系统),又是它所从属的一个更大系统的组成部分,其组成部分(要素)可以是单个的事物,也可以是一群事物组成的小系统。

作为系统工程研究对象的系统,一般具有如下几个特征:

(1) 由两个或以上的可以相互区别的要素组成的集合体;

(2) 系统内部各要素之间具有某种相互作用、相互依赖的特定关系;

(3) 系统具有明确的目的和目标;

(4) 系统各组成要素具有清晰的层次结构,系统工程主要是研究大规模的复杂系统,在一个系统内部通常就是多层次的,也就是说系统下面有分系统、分系统下面有子系统等。

(5) 系统各组成部分(要素)之间必须具有整体协调性;

(6) 系统要适应环境的变化。

4. 系统的描述方法

用数学中的集合概念描述,一般是把某种属性的一类事物形成的一个整体称为集合,集合里的各种事物称为集合的要素,用这样的集合概念来描述系统,能较明确地反映系统组成要素之间隶属关系,其数学表达式为:

$$A = \{x_i | X_i \in X, i = 1 \sim n, n \geq 2\}$$

式中 A ——系统;

x_i ——系统的组成要素或组成部分;

X ——系统的定义域或范围;

$\in$ ——属于符号;

i ——要素或组成部分的个数。

5. “系统工程是用系统科学的观点,合理地结合控制论、信息论、经济管理科学、现代数学、电子计算机和其它有关工程技术,按照系统开发的程序和方法去研究和建造最优化系统的一门综合性的管理工程技术。”

其广义定义:“从整体的思想出发,把对组成部分及其各阶段的分析、评价、综合的过程,在组织上加以有机组成,并采用系统的综合管理技术,使其不断运行和运用下去。”

其狭义定义:“以控制理论和信息理论为基础,以最优化的各种方法和技术为中心,强调系统工程是一门综合性管理工程技术。”

总之,系统工程是以大型复杂系统为研究对象,按照一定目的对其进行研究、设计、控制和管理,以期达到系统总体最优效果。

(三) 铁路建设系统工程

1. 铁路系统构成

铁路是由通路系统、动力系统、制造系统、工程系统、控制系统、信息系统、管理系统、维修系统等组成的大系统,这些子系统存在着相互关联、相互制约、相互依存、相互作用的特定关系。它们具有系统特征,即按一定顺序和一定规律排列并服从于总目标的整体性,同时又具有因时因地而变的动态性,与外部保持最佳适应状态的环境适应性,以及各子系统均具有各自的目的性等。其中,铁路工程系统和铁道运输管理系统又是庞大的铁路系统中两个重要的子系统。

2. 路网发展战略与系统工程

为实现铁路发展总目标的路网规划,必须用系统工程观点研究路网布局的合理性、通路的机动性、路网总长度的适应性、技术标准确定的适当性、运输能力的综合性,从而,才能根据国情、自然和经济地理、人口与资源分布、国土整治与环境保护、投资能力与现行政策建设各种类型的铁路等等。所以,铁路建设是一个复杂的系统工程。

3. 根据以上论述,铁路工程建设系统应协调如下关系

- (1) 要作出适合国情的最适当的路网规划;
- (2) 要根据国情和资金条件理顺和协调新旧线建设关系和投资比例;
- (3) 要协调点线能力及相邻线路间能力的关系;
- (4) 要协调装、卸、运关系,发挥铁路最大综合能力;
- (5) 要协调沿线厂矿企业的同步建设和能力配套;
- (6) 在铁路工程项目内部,从总体上要理顺站前工程、站后工程各专业间关系,密切配合协调;
- (7) 铁路其它各子系统之间,以及子系统内部之间的总体协调关系;
- (8) 在建设时期就要考虑对今后铁路长期运营的站场解编列车作业、行车组织管理等创造便利条件。

因此,铁路建设必须从系统工程的角度,运用系统工程的理论

和方法进行宏观决策和实施,这样,才能发挥铁路系统之间最佳协调关系,才能使铁路建设达到最优的路网规划、最优的设计和施工,满足运输要求的最佳投资效果。

二、铁路建设决策和工程软科学

(一) 铁路建设决策

在铁路工程系统,路网规划中的铁路布局、新旧线的投资比例、建设时机、线路起迄点和基本走向、新线技术标准的合理确定、旧线技术改造方案的合理选择,以及铁路建设中各种局部方案的比选等等,这些都属于不同层次的决策问题。

做为国民经济的大动脉,当前我国铁路发展严重滞后,客货运输紧张,除了由于资金不足导致路网数量偏少和技术装备落后这一主要因素外,还有是能否做到正确进行铁路建设决策的问题,体现在:

1. 应当科学地做好交通运输的综合发展规划,各种交通运输手段的合理分工和发挥各自优势;
2. 应当科学地制定铁路路网规划,对重载铁路,高速铁路以及高速公路要有总体部署。
3. 新线建设和旧线改造关系及其投资比例。
4. 新建铁路干线的主要技术标准和基本走向、旧线改造方案的确定等,这些具体的决策问题有时因为运量的变动,有时因调查研究不够,会造成标准过高过低,投资过少或过晚。

上述的决策问题直接关系到资金的合理使用、建设时机的延误,以及由此连锁反应对国民经济发展的影响,以致不能很好发挥铁路的先行作用。

决策的得当与否,除了经验和资金条件有关外,必须结合我国国情,逐步运用现代的决策方法和手段,对铁路建设的重大问题进行科学决策。70年代中后期由资本主义国家引进的用于工程建设项目投资决策的可行性研究的理论和方法,使我国铁路建设投资重大决策有了科学依据,并正在取得巨大经济效益和成果。当前,

我国工程技术界正结合国家具体情况,进行改进和完善,国家在基本建设程序上做了明文规定:任何基本建设项目未进行可行性研究、没有充分的技术经济论证,不能下达设计任务书和给予贷款。这样才能保证铁路建设决策做到尽可能减少失误,使决策科学化。

(二) 工程软科学

对土木工程而言,从工程项目的可行性论证立项、到工程设计、工程实施、直至建设项目建成后的科学管理和控制,其中包括一系列的决策活动,含有强烈的软科学性质。所以,工程软科学是根据工程的目的,以收益和经济兼顾为准则、对各级各类工程问题进行决策的科学,包括以下内容:

1. 工程项目立项的可行性分析与论证;
2. 工程系统的组成和结构选型;
3. 工程系统的全局优化;
4. 工程方案和选型的优化设计;
5. 工程系统的实施(建造)规划;
6. 工程系统的科学管理和维修;
7. 工程经济学和设计心理学。

设计领域,包括人类在解决各种问题时对方案的构思和规划的一切活动,构思的目的是建立或产生解决问题的各种方案,而规划是对所有可用方案进行优选。因此,大到制定铁路建设方针政策、组织科技攻关研究项目,小到绘制设计工点图纸方案,都可属于设计领域,因为,在这些活动中都含有包括构思过程和规划过程,它们也就是设计过程。

从这个观点出发,工程软科学所包含的主要内容都与设计问题有关,因此,从广义的角度来看,工程软科学和工程软设计理论基本上是同一个概念和范畴。但是,从当前人们的习惯出发,可以认为工程设计主要是指工程系统设计方案的产生和优选的过程,同时,又可以把工程项目的可行性论证和工程系统的构成作为工程设计前的必要准备工作。因此,从狭义角度来看,工程软设计理论主要包括工程系统的全局优化和结构的不确定性优化设计理论。