

铁路运输能力利用理论

徐 瑞 华



西南交通大学出版社

铁路运输能力利用理论

徐瑞华

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书在系统分析铁路运输系统及其能力特性的基础上,运用逆向思维提出了能力利用中的无效能力的概念,从计划和执行两个层次分析了无效能力的转化及与完成生产任务间的辩证关系。运用动态大系统理论,构造了反映系统车流变化、设备利用及作业能力特点的动态数学模型。给出了能力损失的定义、产生原因、特征和有关数量指标。系统地阐述了能力损失在各子系统间的传递及恢复过程,建立了它的有关的递推关系,揭示了能力损失传递及恢复过程中的延迟、吸收和迭加规律。运用计算机仿真的方法研究了延误型能力损失——双线自动闭塞区段列车区间运行延误的传递过程及对通过能力的影响。运用排队论、计算机仿真的方法研究了区段—技术站系统的能力损失及其在各子系统间的传递过程。本书还对模型及应用程序的进一步扩展以满足实时控制要求进行了讨论,提出了建立铁路运输能力损失传递及恢复预警系统的设想。

铁路运输能力利用理论

徐 瑞 华

责任编辑 刘娉婷

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段 610031)

冶金部西南勘查局测绘制印厂印刷

*

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 4.625

字数: 120千字 印数: 1-500册

1997年11月第1版 1997年11月第1次印刷

ISBN 7-81057-033-1/T·219

定价: 9.80元

序

我国铁路运输能力的利用，长期以来一直以最大限度地发挥运输设备潜力这一单一目标为基础，对铁路运输能力问题的研究也主要基于这样的出发点。运输实践表明，这样的运输能力利用方式对扩大运输能力、最大限度地满足客货运输数量需求方面起到了积极的作用，但片面追求运输设备最大效能的发挥，也造成了运输可靠性、灵活性和适应性较低，运输质量和运输安全状况较差等不良后果，已难以适应我国社会主义市场经济对铁路运输提出的新要求。因此，深入研究铁路运输能力利用和发展规律具有十分重要的意义。徐瑞华博士在这方面进行了卓有成效的研究和探索。本书正是他近几年研究成果的总结。

本书率先精辟地指出：铁路运输系统是一连续性、离散性、随机性、有控性等相互交织在一起的复杂动态大系统。运输能力问题研究是包括运输数量、运输质量、社会经济效益等的多目标问题，是包括能力计算、利用、加强和发展等内容相结合的系列研究，而其中能力利用是该系列研究的核心或主线。这首次明确刻划了研究能力问题的目标、内涵和重点，使人耳目一新，为开拓这一领域的研究起到了奠基作用，具有深远的理论和实践意义。

书中运用动态大系统的理论和观点，从设备运用中随机发生的故障中断、作业延误及设备空闲等形成的无效能力研究入手，深入系统地研究了铁路运输系统无效能力和有效能力在计划和执行两个层次上相互转化的辩证关系；在此基础上，新颖地构建了以车流保有量和输入、输出量来表述系统能力利用状况的动态数学模型，给出了执行计划中能力损失的广义定义；系统地研究

了能力损失在时间和空间上的传递过程：深刻地揭示了能力损失及其恢复过程中的延迟、吸收和迭加规律。

为阐明所提出的理论对铁路运输实践的指导作用，本书研究建立了基于列车运行图的区段——技术站系统能力损失影响的模拟分析模型。模型从故障发生的随机性和列车运行的受控性出发，以列车运行图为基础确定较合理的列车运行恢复方案，结合技术站作业过程的模拟，考察能力损失传递和恢复过程中的内在规律和数量指标。通过实例模拟运行，验证了上述理论研究分析是完全正确的，这为进一步研究系统能力利用的合理负荷和储备量奠定了基础。书中还分析了列车区间运行延误的传递特性及其对通过能力的影响，建立了列车区间运行延误影响的模拟分析模型，通过计算机模拟，对不同列车追踪间隔时间和缓冲时间条件下多种速度列车运行中延误的传递规律进行了分析，为列车追踪间隔时间和缓冲时间的确定提供了理论依据。

铁路运输能力合理利用问题研究是一项难度相当大的全新课题。徐瑞华博士卓有成效地进行了这项具有开创性意义的工作，创造性地对铁路能力利用问题提出了一整套理论和方法，将铁路运输能力问题的研究推向一个进行计算、利用、加强和发展等相结合的系列研究的新高度，开创了一个新起点。本书理论水平高，实际意义大，文笔流畅，逻辑性强。

我郑重推荐并期待着这本铁路运输能力利用的理论专著早日问世。



作者简介

徐瑞华，男，1963年4月出生江苏省苏州市。1982年毕业于兰州铁道学院运输系，获工学学士学位，毕业后留校任教。1984年考取铁道运输专业硕士研究生，师从滕传琳教授，1987年6月毕业，获工学硕士学位，分配至上海铁道学院运输管理工程系行车教研室任教。1992年3月考入北方交通大学运输管理工程系攻读博士学位，导师为胡安洲教授，1995年8月毕业，获工学博士学位。现为上海铁道大学运输管理工程系副教授。

主要研究方向为铁路运输组织现代化、运输系统能力及运输系统仿真。先后主持和主要参加国家、省、部、局级科研项目十余项。在学术刊物和学术会议上发表论文二十余篇。曾先后获得IET基金研究生奖、“宝钢教师奖”、上海市优秀青年教师、铁路青年科技拔尖人才等奖励和荣誉称号。

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 国内外研究成果及存在问题综述	5
1.2.1 国内研究成果综述	5
1.2.2 国外研究成果综述	8
1.2.3 国内外研究中存在的问题	10
1.3 本书的主要内容	11
第二章 铁路运输系统能力利用中的无效能力	13
2.1 概 述	13
2.2 铁路运输系统能力特性	15
2.2.1 铁路运输系统特性	15
2.2.2 铁路运输系统能力特性	17
2.3 铁路运输系统能力利用分析	18
2.3.1 能力利用中的无效能力	19
2.3.2 能力利用中的有效能力 和无效能力的转化关系	20
2.3.3 无效能力与完成生产任务之间的辩证关系	21
2.3.4 系统总体有效能力	23
2.4 本章小结	24
第三章 能力利用中的能力损失分析	25
3.1 能力利用问题描述及建模	25
3.2 能力利用中的能力损失	28

3.3	能力损失的产生原因分析.....	29
3.4	能力损失源及其数量指标.....	31
3.5	本章小结.....	36
第四章	能力损失的传递特性分析	38
4.1	能力损失的传递过程.....	38
4.1.1	故障及排除期.....	39
4.1.2	系统恢复期.....	41
4.2	能力损失的传递规律.....	42
4.2.1	延 迟.....	42
4.2.2	吸 收.....	47
4.2.3	迭 加.....	49
4.3	本章小结.....	53
第五章	列车区间运行延误传递及其影响分析	55
5.1	概 述.....	55
5.2	列车区间运行状态分析.....	57
5.3	列车区间运行延误传递的延迟性分析.....	61
5.4	列车区间运行延误的模拟分析.....	63
5.4.1	模拟模型	63
5.4.2	模拟框图	65
5.4.3	各模块功能	66
5.5	模拟实例及结果分析.....	69
5.6	本章小结.....	71
第六章	区段—技术站系统能力损失及其传递分析.....	73
6.1	技术站系统能力损失的传递分析.....	73
6.1.1	到解子系统能力损失的传递	76
6.1.2	出发子系统能力损失的传递	79

6.2	区段系统列车晚点及传递分析	82
6.2.1	列车运行图的动态自适应性 及调控作用分析	82
6.2.2	区段系统能力损失的最终体现	87
6.3	本章小结	90
第七章 区段—技术站系统能力损失的模拟分析		91
7.1	概述	91
7.2	区段系统能力损失恢复方案的确定	96
7.2.1	区段系统的列车运行过程分析	96
7.2.2	列车区段运行的基本条件	98
7.2.3	初始可能延误列车集合的确定	101
7.2.4	初始可能延误列车出发点的设定	104
7.2.5	列车运行恢复方案的确定	106
7.3	技术站系统能力损失的模拟分析	109
7.3.1	车站技术作业过程和 列车运行图的协调关系	109
7.3.2	技术站系统能力损失的模拟分析	111
7.4	模拟实例	115
7.5	本章小结	120
第八章 结束语		121
8.1	本书工作总结	121
8.2	有待进一步研究的问题	124
参考文献		127
后记		137

第一章 绪 论

1.1 问题的提出

铁路是国民经济的大动脉，是社会发展的先行产业。在我国，铁路运输又是综合交通运输体系中的骨干和先导，然而长期以来我国铁路建设严重滞后于国民经济发展，铁路运输能力严重短缺，远远不能满足运输需求的增长，铁路已成为制约国民经济发展的突出薄弱环节。因此，铁路运输能力问题研究一直是铁路运输界长期研究的热点和重点课题。日前，我国的经济建设正从计划经济体制逐步向社会主义市场经济体制转变，国民经济高速增长，这将给铁路运输造成更为巨大的压力，运能紧张的局面在今后相当长的时间和相当大的地区范围内仍将持续；同时，市场经济体制的不断发育和完善，运输大市场的形成，铁路又面临竞争的挑战和大发展的良机。据 1994 年统计资料^[1]表明，我国铁路运能紧张和货源不足的问题同时存在，一方面，因有些地区运输能力紧张，到上海、广州、柳州、成都方向的请求车，只能满足 40%左右；另一方面，由于运输市场竞争日趋激烈，东北、西北几个铁路局出现了往年少有的货源紧缺局面，全年日均请求车下降幅度达 28.2%，运输形势不容乐观。因此，做好新形势下的铁路运输能力问题研究，完善和丰富已有的研究成果具有十分重要的理论和现实意义。

铁路运输能力问题的研究，国际上存在着两种理论体系：一种是以充分发挥铁路运输设备效能为出发点，以中国、前苏联为代表，其行车组织采用柔性“按图行车”方式；另一种是以保证

实现对运输工作的质量要求为出发点，以德国、日本为代表，其行车组织采用硬性“按图行车”方式。我国采用前者是基于运能长期短缺的国情、路情的必然选择和前苏联运输组织管理体制影响的结果。长期运输实践证明，这种理论体系和行车组织方式，对充分挖掘运输潜力、扩大运输能力、最大限度地满足客货运输数量需求方面都曾起到了积极的作用。表 1-1 给出了国内外有关国家铁路运输的统计资料。

表 1-1 部分国家铁路运输情况统计表

国家	运量		周转量		运输密度			列车密度 (列/日)		
	客运 (万人)	货运 (万吨)	客运 (亿人 公里)	货运 (亿吨 公里)	客运 (万人 公里/ 公里)	货运 (万吨公 里/ 公里)	计 (万换算 吨公里 /公里)	客车	货车	计
美国①	32080		210.3	14802.5	10.52	740.33	750.85		8.81	
前苏联	352672	352806	3829.3	33646.3	259.71	2281.94	2541.65	19.26	36.72	57.13
日本	867592	5830.1	2470.3	267.7	1219.85	132.19	1352.04	92.59	12.36	104.94
前西德	107037	27959.9	456.4	631.27	168.54	233.12	401.66	43.26	20.54	64.23
英国	73970	13580.8	320.6	172.7	193.31	104.16	297.47	61.68	9.03	70.71
印度	385764	34140.3	2956.5	2427.0	474.04	389.15	863.19	16.01	10.76	27.11
中国	94208	147898	2824.84	10948.1	528.8	2049.6	2578.4	15.7	36.5	52.2

注：①美国为 1989 年资料；资料来源：《1993 年中国交通年鉴》。

我们从表 1-1 中不难看出，我国铁路承担了巨大的客货运量和客货周转量，客货运输密度是世界上任何国家所难以比拟的。但同时我们应清醒地认识到，由于片面追求运输设备最大效能的发挥，造成了设备超负荷运转，运输可靠性、灵活性和适应性低，运输质量和运输安全状况差等不良后果。据 1994 年统计资料^[1]，1994 年运输安全正点工作出现滑坡，全年发生行车重大、大事故 35 件，比上年增加 12 件，增幅 52.2%，为历史上最多的一年，旅客列车运行正点率为 89%，比上年下降 0.2%。这样的局面迫使我们要对以往能力问题研究的传统理论和方法进行反思。

铁路运输能力是一定的运输组织生产环境因素和目标条件

综合影响的结果。运输组织的环境因素包括了定移设备数量、运输需求数量和结构、运输组织方式、国家经济发展水平和方针政策等诸多因素；目标条件包括了运输数量、运输质量和社会经济效益等多项目标。因此，运输能力问题研究应该是包括运输能力的计算、利用、加强和发展等方面的系列研究^[56]。

能力计算是提供铁路运输生产能力的评价标准，衡量运输能力利用、确定能力加强和发展的重要依据；能力利用、加强和发展则是在考虑到运输组织环境因素和目标条件的变化对铁路运输能力的利用和配置方案所做的规划和决策，各部分研究分属不同的决策阶段和层次，各有其自身的特点，同时后续研究又以前面的研究为基础，呈现出不断反馈、滚动发展的趋势。各部分研究的相互联系可用图 1-1 表示。

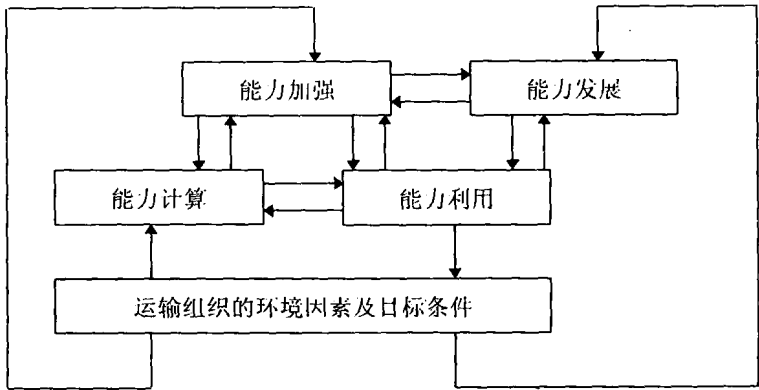


图 1-1 能力问题系列研究相互关系图

从图 1-1 中可看出，能力利用研究中在整个系列研究起着极为重要的作用，不仅能力计算要以一定的能力利用方案为基础，并充分考虑到各方案的可实现性；而且能力加强和发展也应根据不同能力利用方案中的薄弱环节及能力利用过程中各相关环节负荷转化的可能性来规划和设计。而这些正是以往研究中由于片

面追求发挥设备的最大效能而未被引起足够重视的问题。

社会主义市场经济体制的逐步建立和完善，将带来运输组织环境因素和目标条件的改变，也将给铁路运输能力研究提出新的要求和课题：

1. 社会主义市场经济体制要求以市场机制作为资源配置的基本方式，因此，原有计划体制下的资源配置、生产力布局、产业结构等都将发生变化，铁路运输作为实现社会产品供求平衡，调节经济资源配置的一种手段，其运输组织方式必将随之变化；同时，铁路运输能力本身在我国是一种极为紧张的经济资源，因此，需要对运输能力进行新的优化利用和配置。

2. 社会主义市场经济体制的建立和完善，将带来客货运输需求的数量和结构变化，旅客和货主对服务质量要求（如及时性、直达性、安全性、方便性、舒适性等要求）和期望值提高，客货运输的随机波动也将随之增加；同时，运输市场的形成，铁路运输走向市场参与竞争势所必然，这一切都说明，铁路运输将不应仅以充分发挥设备效能为唯一目标，而应是以包括服务质量、生产效率等在内的多目标，因此，铁路运输能力的合理利用问题应引起足够的重视。

3. 在计划经济向社会主义市场经济转变的过程中，各地区经济发展的不平衡带来的既有线运量和新增运量、区际间运量和全路平均运量、主要方向和重要物资运量增长的不平衡，也要求我们在能力利用研究中加以考虑。

综上所述，以往能力问题研究中的缺陷和建立社会主义市场经济体制的新形势，要求我们转变观念，吸取国内外的经验和教训，做好能力合理利用研究这一尚未圆满解决和充满新意的课题，它不仅关系到铁路日常运输活动的计划、组织和调度指挥，而且还关系到铁路运输能力的加强和发展的规划、配套和实施，具有重大的理论和实际意义。

1.2 国内外研究成果及存在问题综述

铁路运输系统是由众多固定设备和移动设备组成的复杂动态人系统，子系统间相互联系复杂，影响面广，运输组织过程中既受到众多随机因素影响，又始终受到计划的调整控制，能力利用研究正是要在充分考虑运输组织系统上述特点的基础上，深入研究实际运输组织中不可避免存在的各种无效能力及其对其它子系统的影响，确定合理的能力利用标准及相互间负荷的合理匹配。以往研究中能力利用问题虽有所涉及，但并未单独列出研究，可供直接参考的文献较少，这里我们只能对在能力计算、协调、加强和发展方面涉及到有关能力利用问题的研究成果做一回顾。

1.2.1 国内研究成果综述

能力问题的早期研究主要集中在对各单项设备能力的计算和确定上，随着对铁路运输组织系统认识的不断深入，先后出现了系统能力、系统综合能力、系统整体能力等众多的定义和概念^[13,14,15,20,21]，这些概念的形成表明人们逐步认识到孤立静态地和割裂各子系统间相互联系而进行能力研究所存在的弊病和缺陷，而着手从系统的角度出发研究铁路运输能力问题。在此基础上，先后有专家学者运用系统论的观点，考虑能力的不同利用方案，进行了编组站系统能力协调、点线系统能力协调、枢纽系统综合运输能力、铁路运输系统结合部管理及全程联网运营管理提高能力等课题的研究，并取得了许多有益的成果^[20,22,27 ~ 31,40]，但总的来讲，还存在着定性研究多，定量研究少；静态研究多，动态研究少的缺陷，尤其对系统中能力薄弱环节仍然以子系统能力最小值进行确定，没有考虑能力利用过程中能力负荷的转换，因此，所得结论仍存在进一步改进的必要。文献[32]论述了点线能

力负荷的转化,利用大系统分解协调,确定了能力负荷在点线系统间的转移和变换,得到了经济合理的点线能力转化方案及点线能力协调问题,并在实际生产组织中取得了很好的运用和扩能提效效益,为能力的合理利用提供了新的思路和方法。

运输组织生产受到的随机性影响大,随机因素既包括了车流和各项作业本身所具有的随机性特点,又包括了作业过程中各种故障和外界因素变化等突发性事件的随机性,这些都将造成运输不均衡从而导致能力损失,因而实际可利用能力是达不到计算所得的最大通过能力的。因此,我国铁路区分计算能力和使用能力,使用能力是在计算能力的基础上乘以能力使用系数而得^[25,53],由于我国铁路运输能力的使用系数是在参考前苏联铁路的基础上加以修正而得到的经验数值,缺乏足够的理论依据,因此,针对实际作业中的能力损失影响,文献[64~75]等都对铁路编组站系统作业过程中存在的各种空费时间、等待时间作了定量研究,确定了各种取值标准。文献[35~46]等对区段通过能力利用中的能力扣除和能力损失进行了研究,尤其是着重研究了诸如施工天窗等较为确定的能力扣除,提出了区段通过能力的合理负荷。文献[50]统计并研究了随机性较大的列车区间运行时分的偏离情况及其对通过能力的影响,文献[41]介绍了前苏联双线繁忙区段通过能力的利用情况,认为双线铁路的实际行车量极限为140对。上述各项能力研究结果均表明,考虑到实际运输组织不可避免地发生的能力损失的影响,实际可利用能力与计算能力间存在着一定的差距,即运输能力具有一定的有效性特点,然而上述研究均未能对随机性较大的能力损失及其对其它子系统的影响作深入的研究。

1986年根据能力的系统性和有效性特点,胡安洲等人首次提出了系统设备群的总体有效能力的概念,并多次在文章中提出了能力利用中的无效能力概念及无效能力具有传递性的特点^[60,61],1992年进一步论述和研究了能力利用中的无效能力的特点、转

化、传递规律及增加能力动态储备的重要性等^[55]，至此，能力利用研究成为了一个新的研究课题和领域。之后，文献[58]考虑到实际运输组织中随机扰动造成的列车晚点及对列车运行组织的影响，研究了列车区段运行过程中列车晚点的传播及运行图动态指标体系；文献[57]对能力损失传递及恢复规律作了有关的定量研究；文献[59]对列车区间运行延误的影响进行了量化分析。这些研究成果都为进一步深入开展能力利用问题的研究提供了有力的基础。

70年代以来，针对铁路运输系统中存在的随机现象，应用排队论探索和研究铁路运输系统能力的利用和协调问题，在车流和固定设备相结合及考虑作业中存在的随机性方面迈进了一大步，并取得了很大的进展。这方面的研究成果主要集中在编组站系统的能力问题研究上，通过运用概率论和数理统计方法确定车流规律及有关作业时间的分布函数，根据排队论的理论和方法，建立有关模型，对编组站各子系统的协调条件、设备数量、系统能力等进行了研究，得到了系统稳态情况下的有关数量指标，为编组站系统的优化设计提供了一定的决策依据^[64, 67, 71, 75, 83]。对区段系统列车运行过程，有学者曾将其视为随机服务系统，将列车从两端技术站出发时刻及区间运行时间作为随机变量，对其进行了研究^[51, 52]，得出了不同区段通过能力利用率条件下的列车区段旅行时间、延误率等数量指标，并以此确定区段实际可利用能力。但是应该指出，一方面由于排队论只能适用于有限的具有特定分布规律的模型，多数情况下只能得到系统指标的近似解析解；另一方面由于铁路运输系统的复杂性，实际运输生产组织过程中，受列车运行图的适应性和调度员的调整控制作用的影响，列车运行过程以及在技术站的到发规律均非是完全随机的，而是一种随机有控或有控随机过程，相应的有关变量也是一种随机有控变量，因此排队论的进一步深入应用局限性很大，且可信性也随之降低。

计算机模拟技术为我们提供了有力的工具，自计算机模拟技术被引进我国铁路运输能力研究中以来，得到了飞速的发展和應用。很多学者先后对编组站到解系统、编发系统、车流集结过程、整个编组站系统、枢纽车流组织系统等进行了一系列模拟研究^[73~82,85]，揭示了系统作业及车流变化的内在规律，得到的系统有关数量指标较之排队论更为真实可信，为系统的优化设计提供了决策依据，然而不足的是所有的模拟研究仍然都是基于车流到发完全随机这一前提条件，忽略了实际运输组织中各种计划的调控作用。文献[79]曾根据列车运行图规定的到发时刻，进行了整个编组站系统的实时模拟研究，使得作业过程中的随机性和运行图的控制作用较好地结合起来，为编组站系统的优化设计和动态控制提供了依据，欠缺的是文中却又忽略了由于受能力损失的影响，列车实际到发时刻是在图定时刻的一定范围内波动这一随机性特点。

1.2.2 国外研究成果综述

前苏联铁路运输组织方式和我国相似，所进行的能力利用研究早于我国。文献[110]提出了实际可利用能力的概念，指出由作业中断造成的通过能力损失使实际可利用能力比现有的计算通过能力要小得多，通过能力的主要损失不在于运行中断本身，而在于中断所引起的扰动，但文中未对扰动规律作深入研究。文献[6]利用系统可靠性理论和方法研究了铁路运输技术设备和机车车辆可靠性对运输过程可靠性和指标的影响问题，对车站配线计算、可靠性指标、车站在站停留时间和经济合理的能力负荷水平进行了详细的论述。上述所做的研究表明，同样以发挥设备最大效能为目标的前苏联铁路已开始注重运输质量要求和能力的可实现性，其研究结果具有启发性，不足的是对能力损失的传递性和考虑计划的调控作用还缺乏深入的研究。

西方发达国家铁路运输组织方式不同于我国和前苏联，运输