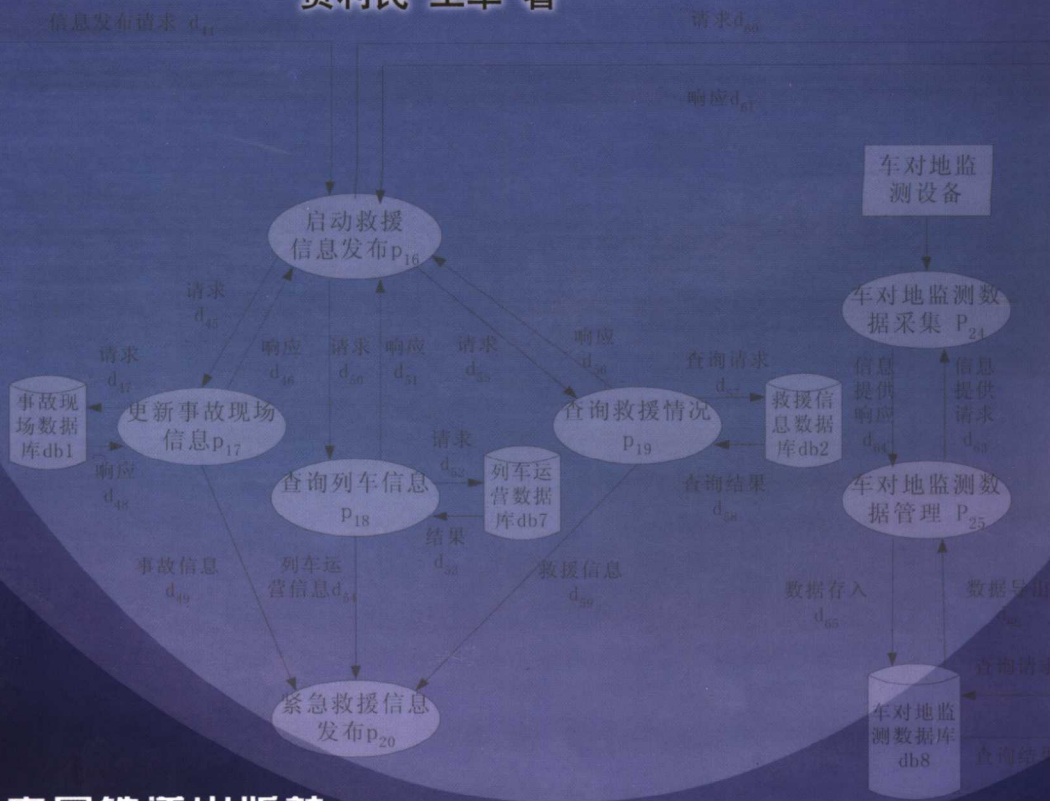


铁路智能运输系统设计

优化理论与方法

贾利民 王卓 著



铁路智能运输系统设计 优化理论与方法

贾利民 王 卓 著

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北 京

内 容 简 介

本书以铁路智能运输系统(RITS)发展需求和实际问题为背景,对铁路智能运输系统设计理论进行了深入地研究,反映了作者在铁路智能运输系统领域的开创性工作,是一本全面介绍铁路智能运输系统设计理论的学术专著。

本书共分六章:第一章概要介绍铁路智能运输系统的概念、本质特征、发展现状及研究方法;第二章主要介绍系统设计的原则和主要内容,重点对结构化系统设计方法进行了介绍;第三章主要介绍 RITS 体系框架设计的方法与原则;第四章概要介绍模糊解释结构模型法、模糊物元分析、遗传算法、模糊偏好和模糊逻辑等方法理论;第五章介绍总体结构设计的主要内容,包括逻辑结构设计、物理结构设计和逻辑结构到物理结构的优化映射的主要任务与一般步骤;第六章结合 RITS 系统的典型子系统——紧急救援子系统,进行应用及分析。

本书结构严谨,理论和应用结合密切,便于读者自学。适用于从事轨道交通领域工作和研究的同行,以及高校、研究所相关领域的研究生及科研人员。

图书在版编目(CIP)数据

铁路智能运输系统设计优化理论与方法/贾利民, 王卓著. —北京:中国铁道出版社,2006.1
ISBN 7-113-06813-8

I. 铁… II. ①贾…②王… III. 铁路运输-自动化系统-最佳化-设计 IV. U29-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 148145 号

书 名:铁路智能运输系统设计优化理论与方法

作 者:贾利民 王卓 著

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:刘 波

责任编辑:刘 波

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京市兴顺印刷厂

开 本:680×980 1/16 印张:14.75 字数:170 千

版 本:2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2 000 册

书 号:ISBN 7-113-06813-8/U·1851

定 价:50.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

铁路作为服务于社会的一种公共运输形式,其始终不变的目的是安全、迅速、可靠、准确和经济地运送旅客和货物。随着铁路跨越式发展的实施,对铁路运输业提出了“更高、更快、更多”的要求,因此实现以保障安全、提高运输效率、提高服务质量和实现国际接轨为目的的新一代铁路运输系统——铁路智能运输系统(RITS)成为必然的发展趋势。

铁路智能运输系统是铁路运输系统经过信息化之后的高级发展阶段,具有子系统众多、关系复杂、空间范围大等特点,属于大规模复杂信息系统。目前铁路信息化建设中存在着信息资源重复建设、难共享、分布不合理等问题。具体表现在各业务信息系统基本上都是独立进行开发建设、自成体系;各系统间的互通性和互操作性差;基础数据需各系统各自维护、数据耦合及关联度大;大量信息难以被其他系统及时利用等方面。造成这些问题的主要原因是由于传统的系统设计方法如结构化方法,面向对象方法以及原型法等,只适用于小规模信息系统,缺乏系统性的思想。随着大规模复杂信息系统的出现,系统设计的工作变得复杂而细致,许多在局部能达到很好效果的应用系统,在总体性能上却不能达到最优,因此传统的系统设计方法已不能适应形势的发展和要求。

铁路智能运输系统设计优化的目的就是以系统目标为导向,协调各个子系统的设计和实现,使得最后联系起来的整体能够更好地工作,以使系统在总体性能上达到最优。目前关于 RITS 系

统设计还没有比较成型的方法理论,因此研究对 RITS 系统及其他大规模复杂信息系统普遍适用的设计方法理论已迫在眉睫。为此,作者结合自己多年在铁路智能运输系统方面的研究及实践经验撰写本书,以满足铁路运输业对智能运输系统理论和方法的迫切需要。希望本书能起到抛砖引玉的作用,并能促进铁路智能运输系统研究和应用的深入和拓展。

本书采用系统科学由定性到定量的综合集成方法,进行了 RITS 体系框架设计和总体结构设计的研究工作。体系框架设计主要包括服务框架设计、逻辑框架设计和物理框架设计。总体结构设计主要包括逻辑结构设计、物理结构设计以及逻辑结构到物理结构的优化映射。其中,逻辑结构设计主要完成对数据和功能的合理组织;物理结构设计主要完成对物理子系统的合理划分。逻辑结构到物理结构的优化映射主要是根据逻辑结构设计出的功能单元,考虑其在物理子系统上的优化分配方式,以及物理子系统在总体布局下的设备配置方案。运用 RITS 系统设计不仅使铁路智能运输系统在总体性能上达到最优,同时也降低了系统开发的难度和运行成本,提高了系统效率。

本书作者及其团队从事 RITS 相关领域研究工作多年,先后承担和完成了国家自然科学基金重点项目“高速铁路智能运输系统综合信息系统与关键技术的研究”(项目编号:600332020)和国家自然科学基金项目“模糊进化神经网络理论与应用研究”及“模糊混杂系统的建模理论及应用”,科技部攻关计划项目“铁路地理信息系统”、“铁路智能运输系统标准体系的研究”、“全国铁路地理信息系统应用服务平台”和“铁路智能运输系统发展战略研究”,铁道部攻关计划项目“铁路地理信息系统总体设计与开发”、“铁路地理信息系统核心技术平台研究”、“青藏铁路地理信息系统应用的研究”和“铁路智能运输系统(RITS)框架体系结构研究”,中国博

士后科学基金资助项目“铁路智能运输系统结构与优化方法研究”以及一些应用系统的开发。这些项目研究工作的开展及其成果为本书积累了素材并提供了支持。

衷心感谢国家自然科学基金委员会、国家科技部和铁道部的立项资助。向为本书做出直接贡献的孟燕博士表示感谢,书中的部分内容选自她的博士学位论文,并且孟燕博士对本书的撰写也提出了很好的建议;同时感谢北京交通大学和铁道科学研究所的李平博士、秦勇博士、王艳辉博士、蔡国强博士、徐杰博士、史天运博士、王英杰博士、蒋秋华博士和程晓卿硕士。作为研究团队的成员,他们对本书的完成给予了无私的支持与帮助。本书的出版更得益于中国铁道出版社刘波先生无私的协作支持,在此向刘波先生及中国铁道出版社表示衷心的感谢。

在编著本书的过程中,作者查阅了大量的参考文献,在叙述上力求概念明确,思路清晰,运用人们熟悉的实例来阐明提出的各种理论和方法,从而尽可能使各类读者对中大规模复杂信息系统设计有个清楚的了解和认识。由于作者知识水平和研究的深度与广度有限,书中所提到的观点、方法和理论肯定有不足之处,敬请读者指教。

贾利民 王 卓

2005年10月

目 录

第 1 章 铁路智能运输系统概述	1
1.1 RITS 的概念及内涵	1
1.2 RITS 的本质特征	4
1.3 RITS 的发展现状	6
1.4 典型的 RITS 系统	8
1.5 RITS 的研究与设计方法	19
第 2 章 系统设计的一般理论	22
2.1 系统开发的原则与方法.....	22
2.2 系统设计的目标与原则.....	29
2.3 系统设计的主要内容.....	33
2.4 结构化系统设计方法.....	36
第 3 章 RITS 体系框架设计	40
3.1 RITS 体系框架设计概述	40
3.2 RITS 体系框架设计的主要内容	45
第 4 章 总体结构设计基础理论与方法	54
4.1 模糊结构模型法.....	54
4.2 模糊物元分析.....	65
4.3 遗传算法.....	76
4.4 模糊偏好.....	94
4.5 模糊逻辑	104
第 5 章 RITS 总体结构设计理论	111

2 ● 铁路智能运输系统设计优化理论与方法

5.1 RITS 总体结构设计	111
5.2 RITS 逻辑结构设计	115
5.3 RITS 物理结构设计	126
5.4 RITS 逻辑结构到物理结构的优化映射	138
第 6 章 RITS 总体结构设计实例	158
6.1 RITS 逻辑结构设计实例	158
6.2 RITS 物理结构设计实例	172
6.3 RITS 逻辑结构到物理结构的优化映射实例	194
参考文献	220

第1章 铁路智能运输系统概述

1.1 RITS 的概念及内涵

智能运输系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)作为一种崭新的技术手段和管理体系,现已成为世界交通领域研究的热点和前沿课题。ITS 概念的形成是一个技术进步的过程,是面对由交通引发的多种情况,人们不断再认识、再处理的连续过程¹。对于 ITS 概念国内外有很多不同的定义,归纳起来主要有以下三种:

1. ITS 的广义概念包括交通系统的规划、设计、实施及运行管理智能化;而狭义的 ITS 概念主要指交通系统的管理与组织的智能化。其实质就是利用高新技术对传统的交通系统进行改造而形成的一种信息化、智能化、社会化的新型现代交通系统^{2,3}。

2. ITS 是采用信息、通信技术将人、车、路三者紧密协调,和谐统一,而建立起的大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的运输管理系统。

3. ITS 是将先进的计算机处理技术、信息技术、数据通信传输技术、自动控制技术、人工智能及电子技术等有效地综合运用于交通运输管理体系中,建立一种在大范围内、全方位发挥作用的准时、准确、高效的交通运输管理体系⁴。

虽然国内外对 ITS 的理解不尽相同,但不论从何角度出发,有一点是共同的:ITS 是利用各种高新技术,特别是信息技术来提

高交通运输效率,保障交通安全,提高能源利用率并最终提高服务品质的新一代交通运输系统。

目前 ITS 的研究主要是围绕着道路交通开展的,并涵盖了水运、航空等交通方式的部分内容,但很少甚至根本没有涉及轨道交通领域。铁路作为最主要的大陆性运输方式,在运输形式、管理体制、基础设备的组成等方面与其他运输方式存在很大差别,尤其是其基于轨道的运输特点,使得铁路运输具有速度快、运量大、可组织性和可控制性高等特点。随着铁路列车速度的不断提高和路网规模的不断扩大,铁路正向着客运高速、高密度,以及货运重载、长距离的方向发展,并且对智能化运输的需求也变得更高。

铁路运输的目的是在移动和固定基础设施一定的条件下,由信息流支持的实现安全、高效、便捷的客流和货流的输送。现代铁路运输业规模庞大、地域广阔、业务和社会需求复杂,要实现资源的优化使用,以及运输过程的安全、高效和便捷,就越来越取决于信息流的畅通和共享程度,因此现代铁路运输系统在本质上是建立在信息流基础上的客流和货流的输送系统。

目前社会对铁路运输业提出“更高、更快、更多”的要求为铁路运输带来了前所未有的机会。信息技术、通信技术、传感技术、智能控制与决策技术等现代科学技术在各个相关领域的丰富成就及其有机地融合,为构造新一代铁路运输系统提供了现实的可能性。而这种具有集大成者特征的铁路运输系统,就是将使整个铁路运输业发生革命性变化的铁路智能运输系统(Railway Intelligent Transportation Systems, RITS)。

RITS与载运工具、基础设施共同构成了铁路运输业的三大技术装备体系。提升技术装备水平是提高运输效益最基本的条件。在加快实现机车车辆等载运工具的技术创新和更新换代,以及提高线路、供电、通信信号等基础设施的技术水平的基础上,加

强和完善 RITS 建设,是实现高效率、高安全、高品质服务的新的铁路运输模式的迫切任务和唯一途径。

近年来,日本、欧洲等铁路运输大国均积极投入到 RITS 的研究工作中,并在行车安全及控制、旅客服务、列车定位、列车运行自动控制等方面取得了许多有意义的研究成果。目前国际上尚未有统一的关于 RITS 的定义,在此我们给出以下定义:

铁路智能运输系统(RITS)是集成了电子技术、计算机技术、现代通信技术、现代信息处理技术、控制与系统技术、管理与决策支持技术和智能自动化技术等,以实现信息采集、传输、处理和共享为基础,通过高效利用与铁路运输相关的所有移动、固定、空间、时间和人力资源,以较低的成本达到保障安全、提高运输效率、改善经营管理和提高服务质量为目的的新一代铁路运输系统⁵。简言之,铁路智能运输系统就是通过实现信息采集、信息传输、信息处理、管理与控制决策、运输服务及相应的基础设施实现和配套技术的智能化来达到整个铁路运输系统的智能化,其根本目的在于增强运输安全、提高运输效率、改善服务品质。

结合中国铁路运输和信息化的实际情况,我国 RITS 的实际内涵是:利用当代先进的智能技术、信息处理技术、数据通信技术、自动控制技术、管理科学等现代高科技,以信息化为基础,通过整合实现信息共享;加强列车控制系统和安全保障系统的建设,在确保行车安全的同时,进一步提高运输效率;加强电子商务和客户信息服务系统建设,大幅度提高服务的质量、效率和适应市场的能力;加强基于管理和控制的智能化综合决策支持建设,提高决策的时效和科学性。系统建成后将覆盖客货运输管理、客户服务、列车控制与调度、安全保障、基础设施的管理与维护等领域,形成一个完整的集智能化控制、管理、决策于一体的,以保障安全、提高运输效率、改善经营管理、提高服务质量和实现国际接轨为目的的新一

代铁路运输系统⁶。

1.2 RITS 的本质特征

中国铁路覆盖地域面积跨度大,交通系统行为、运输组织模式 and 市场需求极为复杂,运输旅客流量大而且难以控制。这些复杂性的问题一直给中国铁路运输效率和安全的持续改善带来了巨大的困难。同时,中国铁路在自身的发展历史中也产生了一些复杂性问题,如从半军事化的管理体制、条块化的管理模式到铁路发展的不平衡性等。在中国铁路信息化进程中,已经形成了一些具体应用的信息系统,如 TMIS、DMIS 和铁路计算机售票系统。这些系统在结构、技术构成、管理模式、运营理念和开放性存在很大的个性差异,进一步加大了铁路运输系统的环境复杂性。铁路智能运输系统在解决这些复杂问题时,很难采用单一的系统结构、单一的规范、单一的技术标准来构造,因此必须具备开放的系统结构,使之能够有机地融合各种结构,各种规范和各种标准的子系统。从系统进化的要求来说,铁路的运输模式、业务组织流程、技术构成以及内外部需求都是不断变化的,因此 RITS 的结构和功能必须具有动态性和可重构性,应具备足够的动态行为特性来处理各种复杂问题,使具备自主和自治能力的各个智能体(子系统)之间依赖通信进行信息共享、获得理解,形成竞争和协作的处理问题机制。RITS 的本质是一个同时具有自然属性、技术属性和社会属性的并随时间发展演化的复杂巨系统。其本质特征主要包括以下三个方面⁷:

1. RITS 是复杂系统

复杂性是铁路智能运输系统最重要的特征,包括结构的复杂性、目标的复杂性、环境的复杂性、对象行为的复杂性、技术体制的

复杂性及系统进化过程中体现出来的复杂性等。面对中国铁路巨大的复杂性,主要的解决思路是在技术层面上,通过应用电子技术、计算机技术、通信技术等高新技术,对铁路运输技术进行数字化和信息化改造,实现资源共享,提高铁路运输效率,保障铁路运输安全。同时应该从系统科学的角度出发,在各个科学层面上研究中国铁路运输系统的复杂性,处理好技术与系统复杂性之间的关系,从而有效地解决各种复杂性问题,实现铁路运输的复杂目标,产生持续的发展动力。

2. RITS 是开放系统

铁路智能运输系统具备开放系统结构的特点。首先,是铁路智能运输系统具备良好的信息输入、输出行为;其次,铁路智能运输系统的信息自组织行为是其开放性结构中最根本的行为。铁路智能运输系统通过其信息自组织行为,能够兼容不同的数据库技术和数据通信技术,能够融合具有不同应用目的的数字信息系统,使得系统具备真正的灵活性与扩展性,从更高的层面上实现信息共享,特别是能够与其他运输方式进行信息的共享和交换。

3. RITS 是分布式系统

中国铁路在物理上是按地域分布的,各业务子系统是彼此分散、独立的。铁路智能运输系统中各个智能体(子系统)需通过“协商/妥协”机制,形成集体决策能力,共同求解铁路智能运输系统所面临的复杂问题,得到全局优化的解答。铁路智能运输系统的复杂性使得各个子系统不可能一开始就具备充分的智能,因此必须具备自学习能力和自适应能力,在应付处理复杂任务过程中,提高协同工作的能力。分布式智能系统结构比开放系统结构具有更高的应用层次。

通过铁路智能运输系统的本质特征可以看出,对铁路智能运输系统的研究不能只限于工程技术的研究层面,还需要从系统科

学的研究角度出发,用系统的观点来研究其中的复杂性问题,从更深的层次和更宏观的角度来界定铁路智能运输系统的本质特征。

1.3 RITS的发展现状

智能运输系统是“智能系统”和“运输系统”的结合,“智能系统”是智能运输系统区别于传统运输系统的最重要特征。智能是人们在获取知识和运用知识解决实际问题时所必须具备的心理条件和特征,包括在经验中学习或理解的能力,获得和保持知识的能力,迅速而又成功地对新环境做出反应的能力,运用推理有效地解决问题的能力等等。智能的特点是具有感知能力、具有记忆和思维能力、具有学习能力和自适应能力、具有行为决策能力。具有上述特点的系统则为智能系统,即作为智能系统应具有信息的采集、存储、传输、处理、表达和基于信息的决策制定及决策执行能力,而这种能力的高低也决定了一个智能系统的智能水平的高低。

智能运输系统就是使交通运输系统整体模拟人类智能,具有上述各种能力,能思维、能感知、会学习、会推理判断和自行解决问题,能感觉出周围环境的变化和自身状态的变化,能针对这些变化主动采取相应对策。智能运输系统其最终目的是要通过模拟出人的智能,使运输系统变得更有效率,更安全。

按照智能本身不同的程度和级别,铁路智能运输系统的发展分为以下三个阶段⁸:

1. 初级铁路智能运输系统(铁路信息化阶段):这个阶段主要是应用计算机技术、信息处理技术、地理信息技术、数据通信技术等采集、传输、共享来自铁路运输环境中的各类信息,并根据上述信息进行初级的决策和控制。

2. 较高级铁路智能运输系统(铁路信息化向铁路智能化过渡

阶段):这个阶段主要应用系统辨识、模式识别技术等对确定环境建立数学模型,从而对未来做出规划和推理。

3. 高级铁路智能运输系统(铁路智能化阶段):这个阶段主要应用数学模型对确定环境进行建模的同时,引用知识模型对非确定对象建模,从而模拟人类的理解能力,完成复杂环境下的决策。

铁路信息化是铁路智能化的初级阶段,是铁路智能化未来生存和发展的必经之路。但单靠信息化建设不能从根本上达到社会发展对铁路提出的“高安全、高效率、高品质服务”的要求,铁路信息化必须进一步发展并追求其更高的阶段——铁路智能化。

目前我国铁路正处于初级及较高级铁路智能运输系统的发展阶段。初级阶段的任务已部分完成,如实现了铁路基础设施的数字化、移动设备的整体信息化、机车车辆监控一体化、机车通号一体化等。在这个阶段中,研制成功了不少先进的业务系统,如:铁路运输管理信息系统(TMIS)、调度指挥管理信息系统(DMIS)、车号自动识别系统(ATIS)以及铁路地理信息系统(RGIS)等。较高级阶段的部分工作也已做了相应的研究,如基于运筹学模型编制列车时刻表、编组站调车自动化系统、列车速度智能控制等,但还有许多问题有待进一步地解决。高级阶段的工作如综合调度系统、智能化营运管理系统、列车自动驾驶系统等也正在筹划和准备的过程中。

国外铁路智能运输系统发展迅速,日本、美国及欧洲的一些国家目前正处于较高级及高级铁路智能运输系统的发展阶段,并取得一系列的研究成果。如在提高服务品质方面,欧洲的涉及多式联运的、基于互联网的国际铁路货物模拟——轨道追踪系统;联合国贸易与发展会议(UNCTAD)开发的基于电子商务模式的先进货物运送系统(ACIS);欧洲的旨在建立一个可靠的虚拟网络,为公众、商业终端用户提供交通和旅行者信息 ITS-net 项目;日本铁

路的 e@Train 系统等。在增强铁路运输安全方面,日本的新干线高速列车、德国的 ICE 高速列车、法国的 TGV 高速列车、美国的“蓝虎”内燃机车等都不同程度地采用了行车安全监测系统;日本还建成了铁路防灾管理系统。在提高铁路运输效率方面,建成了欧洲 21 世纪干线铁路总体解决方案的欧洲铁路运输管理系统 ERTMS、北美的先进列车控制系统 ATCS 和先进铁路电子系统 ARES、美国旧金山港湾铁路的先进列车控制系统 AATC、法国铁路的连续实时追踪自动化系统 ASTREE(Automatisation du Suivi en Temps Réel)、德国的计算机辅助综合铁路系统 CIR 和高速铁路 ICE 系统、日本新干线的列车运营管理系统 COMTRAC 和 COSMOS 及新一代列车控制系统 ATACS、计算机和无线电辅助列车控制系统 CARATCS(Computer and Radio Aided Train Control System)。

1.4 典型的 RITS 系统

尽管有关铁路智能运输系统(RITS)的概念是最近几年才产生的,但是各国有关 RITS 的研究已有较长时间的历史了。随着社会对铁路提出的越来越强烈的“高安全、高效率、高品质服务”的要求,各国纷纷投入了将智能技术、信息技术、通信技术等现代先进技术与铁路运营管理、调度指挥、行车控制、安全监控等相结合以全面提高铁路综合竞争力的研究,并在 RITS 不同的发展阶段取得了令人瞩目的成果。

1. 铁路信息化阶段——中国调度指挥管理信息系统(DMIS)

铁路运输调度管理信息系统(DMIS)是综合通信、信号、计算机网络、多媒体等多门学科技术的系统工程。DMIS 的目标是提高运输效率,保证行车安全,减轻调度人员的劳动强度,提高行车

指挥的技术水平和实现铁路运输调度指挥现代化⁹。DMIS对列车运行实行透明指挥、实时调整和集中控制,为实现中国铁路调度指挥现代化创造条件。

DMIS以实时采集列车动态运行数据为基础,实现列车的调度监督管理,为铁路运行调度提供决策依据。DMIS根据线路级别形成不同等级的行车指挥系统,向TMIS提供车站列车报点信息。通过TMIS生成行车调度和阶段调整计划,由行车指挥系统完成调度命令的下达和车站行车日志的自动生成。行车指挥系统与TMIS分局调度系统相互配合形成以行调为中心的列调(计划台)、机调、货调、客调间信息共享,以及行调与车站微机报点、计划台与确报、机调与机务段、货调与车站运货物、客调与客技站和客票中心间数据的上传下达。行车指挥系统与TMIS分局调度系统一起构成了铁路运输生产计划、实时调度指挥的技术基础¹⁰。

DMIS按照现行铁路运输调度管理体制,设计为四层体系结构如图1-1所示。

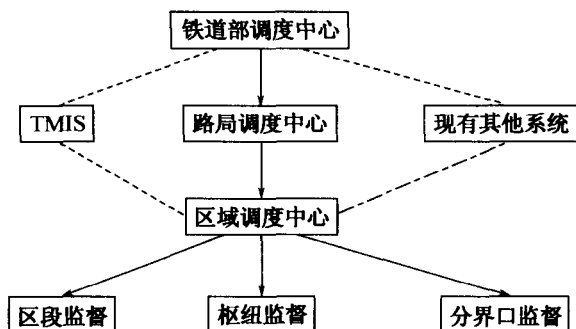


图 1-1 DMIS 四层网络体系结构

最上层是铁道部调度指挥中心调度指挥管理系统,是DMIS的核心。

第二层是铁路局调度指挥中心,在各铁路局所在地,建有路局调度指挥中心局域网。