



Theory and Implementation of
Super Large-scale Project System Integration

超大型工程系统集成 理论与实践

张曙光 著



科学出版社
www.sciencep.com

超大型工程系统集成

理论与实践

张曙光 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一本详细阐述超大型工程系统集成理论与实践的专著。本书是在作者长期工作经验积累的基础上完成的。书中创造性地提出了超大型工程系统集成理论,并结合中国客运专线工程系统和动车组研发进行了实例剖析。

本书内容共分三篇 10 章,具体分析描述了超大型工程系统集成理论与方法、客运专线工程系统集成实践、时速 200 km 与 300 km 动车组集成实践。

本书可供从事客运专线设计、研究的工程技术人员阅读,也可作为高等院校车辆工程、交通运输工程、管理科学与工程等相关专业高年级本科生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

超大型工程系统集成理论与实践/张曙光著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-018747-5

I. 超… II. 张… III. ① 高速铁路-建设-研究-中国 ② 高速公路-建设-研究-中国 IV.F532.3 F542.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 036502 号

责任编辑: 鞠丽娜 / 责任校对: 赵 燕

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 三函设计

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2007 年 3 月第一次印刷 印张: 23 1/2

印数: 1—4 200 字数: 550 000

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<环伟>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8002 (BI06)

序

为争取在尽可能短的时间里缩短与世界发达国家铁路之间的差距，必须要加快推进中国的客运专线系统建设，这是实现铁路和谐发展、促进国民经济可持续发展、缓解运输需求与运输能力矛盾的有效方法。

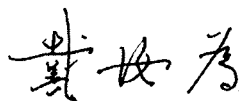
如何又好又快地实施类似中国客运专线这样规模宏大、技术新、难度高、层次复杂、时间紧的超大型工程系统是摆在中国现代化建设进程中的重要问题，也是一个具有技术创新和理论创新的问题。

铁道部副总工程师张曙光先生的专著《超大型工程系统集成理论与实践》是他长期在中国铁路客运专线工程系统建设工作中积累宝贵经验的基础上完成的。

本书以大尺度、多粒度的超大型工程系统为研究对象，以动车组与客运专线工程为实例，创造性地提出了超大型工程系统的集成理论，其核心思想在于，不侧重去认识、发现系统及其演化机理，而是着眼于系统内部各元素的调控与改造方法，着力于对组成系统的核心元素进行重组和重构，努力提升核心子系统的性能，以实现整个系统性能上的突破。在方法上，立足国际范围内现有成熟资源，充分利用国际市场机制，以我为主，引进和消化少量关键技术与装备并进行再创新，积极寻求在较短时间、以较低成本形成自主知识产权的超大型工程系统技术与装备制造体系，以促进国内相关产业链的发展。该书从技术集成、工程集成与管理集成三个方面论述了超大型工程系统的集成理论，强调了理论与实践的结合，突出了方法论。

本书是一本详尽描述超大型工程系统集成理论与实践的专著，书中所述内容对于超大型工程系统的实施具有适用性与通用性。本书的出版对推进我国超大型工程系统的建设具有重要的指导与参考意义。

中国科学院院士



2007年2月

前 言

铁路作为国家重要的基础设施、国民经济大动脉和大众化交通工具，在构建社会主义和谐社会的历史进程中，不仅肩负着促进区域、城乡经济发展以及人与自然和谐等方面的重大责任，同时还肩负着为构建社会主义和谐社会提供运力支持、当好先行的重大历史使命。在这样的历史时期，铁道部提出要全面落实科学发展观和构建社会主义和谐社会的战略任务，抓住机遇，开拓进取，深入推进和谐铁路建设，为我国又好又快发展做出新的更大贡献。结合国情，在尽可能短的时间内，以较低成本、高质量地实施我国的铁路客运专线系统工程，是实现铁路现代化、为国民经济可持续发展提供运力保障的重大举措。

中国客运专线建设是一个超大型工程系统，具有规模巨大、技术先进、工程难度高、层次复杂、实施时间紧迫等特点。

作者利用系统集成的思想和方法成功解决了客运专线这样的超大型工程系统集成的问题，不仅取得了令世人瞩目的经济效益，也带来了显著的社会效益。

本书在详细论述超大型工程系统集成理论体系的基础上，以客运专线工程系统集成和其中成熟度最高的动车组子系统为例论述了系统集成理论的应用。

全书内容分为三篇共 10 章。

第一篇论述了超大型工程系统的集成理论与方法。第一章叙述了超大型工程系统的产生背景，通过对复杂巨系统的比较分析，对超大型工程系统进行了概念性的界定。第二章描述了超大型工程系统集成理论的基本内容，包括其研究范畴、核心思想与目标、理论背景、应用条件以及体系结构，着力于对组成系统的核心元素进行重组和重构，以提升核心子系统的性能，实现整个系统性能的突变、跃升。第三章是本书的核心内容，详细描述了超大型工程系统集成方法论，主要包括技术集成的理论与方法、工程集成的理论与方法、管理集成的理论与方法。

第二篇叙述了客运专线工程系统集成实践。客运专线是信息技术、自动控制技术和新材料、新工艺等多种技术门类、多专业综合的巨大系统集成，代表了当今世界铁路发展水平的最高成就。其中，第四章叙述了客运专线工程系统的实施需求与实施目标，通过介绍其系统构成，概述了客运专线工程系统集成方法。第五章具体从工务、通信信号、牵引供电、运营调度与客运服务角度叙述了客运专线工程系统集成内容与方法。第六章叙述了客运专线工程系统的接口处理，重点描述了客运专线中高速动车组与其他系统的集成与接口方法设计。

第三篇叙述了时速 200 km 与 300 km 动车组系统的集成实践。高速动车组是当今世界高新技术的集成，采用了机械、材料、电子、计算机、网络通信、工程仿真等领域的最新技术，应用了高速轮轨系统动力学、大功率牵引、制动控制、列车运行控制、可靠性与安全性技术等铁路专业领域的最新重大成果，高速动车组是高速铁路的标志性装备，是客运专线工程系统的核心元素。其中，第七章叙述了动车组系统构成、实施需求

与实施目标，概述了动车组系统集成。第八章叙述了动车组系统的技术集成，主要从组成动车组系统的各个核心元素如车体、转向架、牵引传动与控制、制动、网络控制系统分别加以描述。第九章从流程设计、布局设计与组织体系等方面具体描述了动车组系统的工程集成方法。第十章介绍了动车组系统集成过程中的创新性环节。

贯穿全书的思想是，积极利用全球化的浪潮进行集成创新，借助超大型工程系统的集成理论体系，能够在较短时间内以较小代价实现国内外先进技术资源的整合、重构，构建具有自主知识产权的超大型工程系统，以实现效率和效益的共同提升。

本书的出版得到了铁道部、有关企业与科研机构、有关专家学者的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！特别要感谢长期从事综合集成理论与应用的戴汝为院士在本书的成稿过程中给予热情的指导与帮助。由于时间所限，本书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

作者

2007年3月

目 录

第一篇 工程系统集成理论

第一章 绪论	1
1.1 超大型工程系统的产生与实施.....	1
1.1.1 超大型工程系统的产生及其特征.....	1
1.1.2 超大型工程系统的实施.....	3
1.2 超大型工程系统——中国铁路客运专线.....	5
1.2.1 中国铁路的需求与问题分析.....	5
1.2.2 中国铁路客运专线是一个超大型工程系统.....	10
1.3 超大型工程系统集成理论的提出.....	11
第二章 超大型工程系统集成理论的基本内容	15
2.1 研究范畴.....	15
2.1.1 超大型工程系统集成理论的研究对象.....	15
2.1.2 超大型工程系统集成理论的相关概念.....	16
2.1.3 超大型工程系统集成理论的特征.....	20
2.2 核心思想与目标.....	21
2.2.1 超大型工程系统集成理论的核心思想.....	22
2.2.2 超大型工程系统集成理论的目标.....	22
2.3 理论背景.....	23
2.3.1 系统论.....	23
2.3.2 控制论.....	24
2.3.3 协同论.....	25
2.3.4 集成理论的学术范围.....	26
2.4 应用条件.....	26
2.4.1 存在可集成单元.....	26
2.4.2 能够获得可集成单元.....	27
2.4.3 各集成单元具有可集成性.....	27
2.5 体系结构.....	28
2.5.1 超大型工程系统集成理论研究内容.....	28
2.5.2 超大型工程系统集成方法论简述.....	30
第三章 超大型工程系统集成方法论	33
3.1 技术集成的理论与方法.....	33
3.1.1 技术集成的范畴.....	33
3.1.2 技术单元的辨识.....	41
3.1.3 技术体系的划分.....	44

3.1.4	技术集成的模式	47
3.1.5	技术集成的优化与创新	53
3.1.6	技术集成效应评估	57
3.2	工程集成的理论与方法	59
3.2.1	工程集成的范畴	59
3.2.2	工程集成的战略规划	63
3.2.3	工程集成的资源规划	63
3.2.4	工程集成的平台规划	64
3.2.5	工程集成的方法设计	65
3.3	管理集成的理论与方法	87
3.3.1	管理集成的范畴	88
3.3.2	管理集成的设计	91

第二篇 客运专线工程系统集成实践

第四章	客运专线工程系统集成概述	95
4.1	客运专线工程系统需求分析与建设目标	95
4.2	客运专线工程系统构成	95
4.2.1	工务工程系统	95
4.2.2	动车组系统	96
4.2.3	通信信号系统	96
4.2.4	牵引供电系统	96
4.2.5	运营调度系统	97
4.2.6	旅客服务系统	97
4.3	客运专线工程系统集成方法概述	97
4.3.1	系统集成核心思想与主要内涵	97
4.3.2	集成过程管理方法	98
第五章	客运专线工程系统集成内容	100
5.1	工务工程	100
5.1.1	系统概述	100
5.1.2	系统集成目标与关键技术	103
5.1.3	工程设计	104
5.1.4	施工技术	122
5.1.5	综合检测	124
5.1.6	系统匹配及与其他系统的接口	124
5.2	通信信号	126
5.2.1	系统概述	126
5.2.2	铁路专用通信技术	131

5.2.3	列车控制系统技术	138
5.2.4	调度集中控制技术集成	157
5.3	牵引供电	172
5.3.1	系统概述	172
5.3.2	供电电源电压等级	175
5.3.3	牵引网供电方式	176
5.3.4	变电所与电力监控系统	178
5.3.5	高速接触网	180
5.3.6	自动过分相技术	184
5.3.7	综合接地技术	185
5.4	运营调度	194
5.4.1	系统概述	194
5.4.2	运营调度系统组成	196
5.4.3	运营调度系统结构功能	196
5.4.4	运营调度系统接口体系	204
5.5	客运专线客运服务技术集成	208
5.5.1	系统概述	208
5.5.2	客运专线票务系统集成技术	210
5.5.3	旅客服务系统集成技术	216
5.5.4	市场营销策划技术	219
5.5.5	客运组织技术	227
5.5.6	接口技术	231
第六章	客运专线系统接口	232
6.1	接口概念与接口管理	232
6.1.1	接口概念	232
6.1.2	接口管理	233
6.2	系统内部与外部接口	233
6.2.1	通信信号与工务工程接口关系	233
6.2.2	运营调度与工务工程接口关系	234
6.2.3	牵引供电与工务工程接口关系	234
6.2.4	工务工程与动车组接口关系	234
6.2.5	通信信号与运营调度接口关系	235
6.2.6	通信信号与牵引供电接口关系	235
6.2.7	通信信号与动车组接口关系	236
6.2.8	运营调度与牵引供电接口关系	237
6.2.9	运营调度与客运服务接口关系	237
6.2.10	牵引供电与动车组接口关系	237
6.2.11	客运服务与工务工程的关系	238

6.2.12	整体系统综合接口关系	238
6.2.13	外部接口关系	238
6.3	动车组与客运专线其他系统的接口	239
6.3.1	动车组与工务系统的接口关系	239
6.3.2	动车组与牵引供电的接口关系	246

第三篇 时速200 km与300 km动车组集成实践

第七章	动车组集成概述	249
7.1	动车组组成、分类及技术特点	249
7.1.1	动车组组成	249
7.1.2	动车组分类	250
7.1.3	动车组技术特点	251
7.2	动车组系列	252
7.2.1	日本高速动车组	253
7.2.2	欧洲动车组	254
7.2.3	我国时速 200 km 与 300 km 动车组集成	258
第八章	动车组核心元素集成实践	261
8.1	概述	261
8.1.1	动车组集成原则与目标	261
8.1.2	动车组核心元素接口特征	262
8.2	车体技术集成	263
8.2.1	车体技术集成主要原则	263
8.2.2	车体技术集成实践	264
8.3	转向架技术集成	268
8.3.1	动车组转向架技术集成要素	268
8.3.2	高速转向架技术集成原理	269
8.3.3	CRH 系列动车组转向架的集成实践	272
8.4	牵引传动与控制集成	277
8.4.1	高速动车组牵引传动系统集成理论	277
8.4.2	动车组牵引传动系统集成要素——牵引受电弓	279
8.4.3	动车组牵引传动系统集成要素——主变压器	281
8.4.4	动车组牵引传动系统集成要素——牵引变流器及控制系统	286
8.4.5	动车组牵引传动系统集成要素——牵引电动机	292
8.4.6	动车组牵引传动与控制系统集成实践	297
8.5	制动技术集成	305
8.5.1	动车组制动系统集成原则	305
8.5.2	动车组制动系统集成要素	307

8.5.3 动车组制动系统集成实践	314
8.6 动车组网络控制系统集成	316
8.6.1 网络控制系统基本功能与集成要素	316
8.6.2 基于 TCN 技术的网络控制系统集成实践	317
8.6.3 基于 ARCNET 技术的网络控制系统集成实践	321
第九章 动车组工程集成的实施	329
9.1 动车组工程集成流程与布局	329
9.1.1 动车组工程集成流程	329
9.1.2 动车组工程集成布局	331
9.2 动车组工程集成的技术实施	338
9.2.1 工程集成技术	338
9.2.2 工程集成的实施	339
9.3 工程集成组织体系与技术平台的建立	343
9.3.1 动车组工程集成组织体系	343
9.3.2 动车组工程集成技术平台的建立	344
第十章 动车组技术创新体系的集成实践	345
10.1 概述	345
10.2 动车组技术创新体系的集成实践	346
10.2.1 动车组技术创新体系的创建	346
10.2.2 动车组技术创新体系的集成实践	348
主要参考文献	360

第一篇 工程系统集成理论

第一章 绪 论

超大型工程系统是一个开放的复杂巨系统，以该系统为研究对象的集成理论属于系统科学的一个分支，是系统科学中开放复杂巨系统综合集成理论与方法的一个方面。对于开放的复杂巨系统的研究，钱学森先生指出，目前还没有形成从微观到宏观的理论，也没有从子系统的相互作用构建出来的统计力学，但有了研究这类系统的方法论，就可以逐步建立其理论。他还指出，要建立开放的复杂巨系统综合集成的一般性理论，必须从一个一个的具体的开放的复杂的巨系统入手，只有这样，这些研究成果多了，才能从中提炼出开放的复杂巨系统的一般理论。

1.1 超大型工程系统的产生与实施

1.1.1 超大型工程系统的产生及其特征

系统具有目的性，人造系统的目的是人们根据实践的需要确定的。工程系统是人造系统，其目的就是发挥系统的整体优势和综合优势，在有限的条件下最大程度地提高质量和效益。随着技术水平和工程能力以及管理水平的提高，人造系统的规模越来越大，从而使得建设工程系统的目标越来越宏大，涉及的范围越来越广，投资额越来越高，已经超出了对大中小型项目的一般界定，越来越向超大型工程系统发展。超大型工程系统是为了实现区域或者国家目标（往往是宏观战略）而建设的项目，具有宏观性和战略性，如曼哈顿工程、阿波罗计划、三峡工程等。以三峡工程为例，孙中山很早就已经提出建设，直到 20 世纪 90 年代才实施，其间经过了近 70 余年的历史变迁。建设三峡工程的目的主要有两个：一是防洪、蓄水；二是水力发电。1998 年的长江洪水，共夺走了 1500 多人的生命，导致 231 万人受灾，670 万群众和数十万军队参加抗洪抢险，耗用抢险物资价值 130 多亿元。除觐洲湾溃口外，长江九江大堤决口，湖北执行荆江分洪预案，分洪区内 51 万多人舍家弃业、扶老携幼、牵牛赶猪地转移，洪水留给人们的是惨痛的记忆。三峡工程建成后，如再遇特大洪水，可通过调节三峡库容能有效调控洪水，保护长江中下游至少 1500 万人口和 150 万公顷耕地，且年均发电量达 847 亿 kW·h。

像三峡工程这样的工程系统是超大型工程系统。由于这些超大型工程系统与外部环境以及工程子系统之间存在能量、信息或物质的交换，从已经认识的比较清楚的子系统到可以宏观观测的整个系统之间层次很多；系统内子系统或者组件的组成模式多种多样，有的甚至不清楚具体模式或是一些基本模式的组合或变异体；系统是由时空交迭或分布

的组件构成的,系统内肩负不同角色的组件通过多种交互模式,按局部或者全局的行为法则平等交互,涌现出宏观与整体形态;系统中某些子系统或基本单元之间的局部交互,例如技术引进等,经过一定的生命周期之后在整体上演化出一些独特的、新的性质,形成某些模式;还有工程系统中基本单元或子系统的数目极其巨大,成千上万甚至数以亿计。因此,这些超大型工程系统往往是开放的复杂巨系统。从历史上实施的这些超大型工程系统来看,具有如下特征:

(1) 投入巨大

超大型工程系统由于规模浩大,投资动辄几百亿、上千亿甚至上万亿元,往往会动用数十万甚至上百万的人力投入到工程中。

(2) 以政府为主导

由于投资巨大,企业或者市场难以在短期内筹集和调用如此巨大的资金,同时还要承担工程建设风险和市场风险,这是企业难以承担的,因此,这些超大型工程系统是以政府作为投资主体。如二战时期美国原子弹的研制、1946年计算机的研制、阿波罗计划、三峡工程等都是由政府主导的。

(3) 工程覆盖面广

超大型工程系统会同时涉及工业工程、机械工程、电子工程、土木工程、化工工程、计算机甚至航空工程等。如三峡工程,涉及了前6个工程;又如高速轨道交通工程涉及工业工程、机械工程、电子工程、土木工程、计算机等。

(4) 涉及多个学科和领域

超大型工程系统规模比较宏大,层次和结构复杂,工程覆盖面广,必然会涉及很多学科领域,由于其目标长远,具有前瞻性,为了能够在较短时期内实现建设目标,也必然要求采用最先进的知识和技术,以保证系统功能的先进性;在系统实施过程中会遇到许多技术、工程和管理难题,需要集中一批不同学科和领域的专家进行攻关,实现现有技术和资源的整合,进行技术、工程和管理创新。

(5) 建设和实施过程复杂

超大型工程系统的整体涌现性使超大型工程系统要比一般系统复杂,同时由于系统的大型化、复杂化,难以在整体上把握,因此也使得其子系统,如可行性研究、设计、施工等十分复杂,难度自然加大。

(6) 系统管理难度大

超大型工程系统涉及大量的人力、物料、设备、能源和信息,有大量的人流、物流、信息流在不断地传递、更新和交替。如何接受和从宏观上把握这些“流”,将是一个极为复杂的过程,也是一个大工程,而如何统筹处理、安排、调度这些“流”将决定着整个工程系统的成败。正因为如此,不仅要从技术和工程角度来分析超大型工程系统,还必须从管理系统角度,用系统科学的理论和方法来分析研究超大型工程系统。

(7) 系统层次比较多

超大型工程系统包含多个层次。以三峡工程为例,三峡工程作为一个超大型工程系统,其一级子系统包含发电系统、输电系统、航道运输系统和管理系统等;管理系统包含财务管理系统、人力资源管理系统、物料管理系统、市场营销管理系统、生产管理系统等;人力资源管理系统包含招聘、薪酬管理、培训、绩效考核等子系统;招聘子系统

还包括岗位研究、工作分析子系统等。

(8) 涉及的行业和产业多, 效益巨大

超大型工程系统由于投入巨大, 工程浩大, 涉及多个学科领域, 从而会促进有关产业的发展。如三峡工程, 系统建设本身涉及了建筑业、钢铁业、水泥业、机械制造业、电子及微电子业及相关服务业等; 建成后, 除防洪外, 还可以推动长江中上游的水上运输业, 三峡及周边地区的旅游业, 并通过水力发电, 影响华中、华东、华北的供电状况, 改善这些地区的工业用电不足的状况, 最终影响这些地区的工业成本和产品的国际市场竞争能力, 同时降低居民用电成本、提高居民生活质量等。由此可见, 三峡工程的经济效益和社会效益都是巨大的。

1.1.2 超大型工程系统的实施

历史上, 在不同的时代都曾出现过一些超大型工程, 如古埃及的金字塔, 古希腊的宙斯神像, 土耳其的摩索拉斯陵墓, 古巴比伦的空中花园, 印度的泰姬陵, 中国的秦始皇兵马俑等。这些古代工程是当时先进科学技术、管理水平最杰出的代表。在现代, 也出现了如“曼哈顿工程”、“阿波罗计划”、“三峡工程”等举世瞩目的超大型工程系统。

曼哈顿工程, 又称曼哈顿计划, 总部建在田纳西州, 占地 202 km^2 , 是为了先于纳粹德国制造出原子弹, 美国陆军部于 1942 年 6 月开始实施的利用核裂变反应来研制原子弹的计划。该工程集中了当时西方国家 (除纳粹德国外) 最优秀的核科学家, 某些部门有博士头衔的人比普通职员还多, 其中不乏诺贝尔奖得主。原子弹的总设计师奥本海默开始时对困难估计不足, 认为只要 6 名物理学家和 100 多名工程技术人员就足够了, 但到 1945 年, 已发展到了拥有 2 000 多名文职研究人员和 3 000 多名军事人员, 其中包括 1 000 多名科学家。曼哈顿工程历时 3 年, 调用了 16 万科学家及工程技术人员, 有 20 万人在 37 个秘密工厂和实验室内专职从事研制工作, 投入人力 50 余万, 投入的总经费达 22 亿美元 (相当于今天的 260 亿美元), 足够打造 40 条航空母舰。曼哈顿工程是第二次世界大战中最昂贵的武器研制工程, 在 1945 年 7 月 16 日成功地进行了世界上第一次核爆炸, 并按计划制造出两颗实用的原子弹, 整个工程取得圆满成功。

三峡工程是世界上工程规模最大的水电工程, 其中包含的世界之最: 土石方开挖约 $10\,260 \text{ 万 m}^3$; 土石方填筑约 $2\,930 \text{ 万 m}^3$; 混凝土浇筑约 $2\,715 \text{ 万 m}^3$; 金属结构安装约 28.1 万 t; 还有水电站机电设备安装量、三峡大坝总方量、水电站装机容量、输变电工程规模、永久船闸工作水头和边坡开挖高度、升船机总吨位和提升高度、施工通航运量、三期碾压混凝土围堰施工强度等等。主体工程总工期为 17 年, 第 9 年开始启用永久通航建筑物和第一批机组发电。工程形成的三峡水库库容达 393 亿 m^3 , 其中防洪库容为 221.5 亿 m^3 , 水库调节洪水可以削减的洪峰流量达每秒 $2.7 \sim 3.3 \text{ 万 m}^3$, 属世界水电工程之最。三峡工程将使长江最为险要的荆江河段的防洪标准, 由不足 10 年一遇提高到百年一遇, 可以使 1500 万人口和 153 万多公顷的耕地免遭特大洪水发生时的毁灭性灾害, 是世界上保护人口和耕地最多的防洪工程。三峡工程是世界上发电量最大的水电工程。三峡电站将安装 26 台单机容量为 70 万 kW 的水轮发电机组, 年平均发电 846 亿 kW·h, 比国外最大的巴西和巴拉圭两国合建的伊泰普水电站年发电量多出 130 多亿 kW·h。三峡工程是世界上提高航运效益最显著的水利工程, 工程建成后, 改善了长江中险滩最多

的川江航道,使重庆至宜昌的行船吨位由 1500t 级提高到万吨级,运输成本降低 35%~37%。三峡水库淹没陆地面积 632 km²,库区淹没涉及川、鄂两省的 19 个县(市),全部或部分淹没 2 个县级市、11 个县城、140 个集镇、326 个乡、1351 个村。据 1992 年调查,淹没线以下有耕地(含柑桔地)35.94 万亩,居住人口 84.41 万人,最终搬迁安置的人口达 113.38 万人,动态移民最终超过 120 万人。世界上人口在百万以下的国家有 36 个,百万移民相当于迁建一个国家,因此,三峡移民工程是世界上水库移民最多、工作最为艰巨的移民建设工程,移民搬迁和安置的规模和难度均属世界之最。工程静态总投资高达 900.9 亿元(按 1993 年物价水平计算,其中枢纽工程 500.9 亿元;移民安置 400 亿元)。

由于超大型工程系统往往涉及数以十万、百万计的人员,投资巨大,动辄以百亿、千亿计,涵盖管理工程等技术、工程、管理的多个学科和领域,包含极为复杂的设计、试验、施工、评估等多个过程,集中了最优秀的科技人才,应用了超大型工程系统所包含领域的最先进的技术,采用了几乎所有能用的最优质资源,从而最终凝聚成了震惊世界的超大型工程系统。所以应该加强对超大型工程系统的研究,总结实施超大型工程系统的成功经验,通过理论提升,为实施其他超大型工程系统时所用,同时吸取教训,寻求理论指导和实施的方法论,从而构建出一套超大型工程系统的一般理论与方法,并将实施这些超大型工程系统时的创新成果以及构建的理论与方法应用于类似的工程系统或别的领域,推动相关学科领域的研究和相关产业的发展,为科研、生产、管理、经济服务。

超大型工程系统是开放的复杂巨系统,由于这样的超大型工程系统史无前例,在实施过程中需要解决许多难题,概括起来主要有:

1. 整体涌现性问题

若干部分按照某种方式整合成为一个系统就会产生出整体具有而部分或部分总和所没有的东西,如整体的形态、特性、行为、状态、功能、困难、机遇,整体地解决问题的途径等,许多宇宙奥秘就来源于整体的涌现性。由于超大型工程系统要耗费大量的人力、物力、财力,可以借鉴的经验也很有限,更没有现成的理论来做指导;而且由于系统的整体涌现性,所以一般系统的实施方法可能会不适用;况且超大型工程系统是一个巨系统,运筹学、还原论等理论方法有其局限性,而社会实践越来越大型化、复杂化,特别是一系列全球问题的形成,也突出强调要从整体上认识和处理问题,因此还需要有新的理论作指导。另外,由于系统的规模效应和结构效应,不同超大型工程系统的整体涌现性也会表现出不同特征,因此,对于不同类型的超大型工程系统仍然需要一些特有的方法论来作指导,也由于超大型工程系统的整体涌现性,带来了技术、工程和管理上需要解决的难题。

2. 技术难题

由于整体涌现性,超大型工程系统的实施,往往需要解决一系列的难题,如三峡工程中,永久船闸工作水头和边坡开挖高度、升船机总吨位和提升高度、施工通航运量、三期碾压混凝土围堰施工强度等,往往涉及多个学科,这些问题是一般工程难以遇到的,需要在技术上实现突破才可能实现工程系统的整体性功能。超大型工程系统的目标长远性也要求技术上是最先进的,保证在短期内不落后,这就要求不能全部采用当前的成熟

技术而必须去创新,这也必然带来技术上的难题。

3. 工程难题

超大型工程系统从工程系统的可行性研究、总体设计、筹资和融资、人员的选择、物资的调配和储存、组织施工到最后的评估,从技术的甄别、选择、采用方式到技术谈判等,都极为复杂,每完成一个环节和子系统都是在攻坚。如何统筹规划好这些环节和子系统就是一个大的工程,而且还会在每个环节和子系统,甚至组分中遇到不同的实施问题。因此,如何处理好超大型工程系统的工程问题需要深入细致研究。规模的庞大,整体涌现性导致超大型工程系统比一般工程系统具有更多的工程难题。

4. 管理难题

超大型工程系统规模庞大,涉及大量的人力、物力、财力、信息,形成错综复杂的人流、物流、资金流、信息流,这些“流”本身就是一个纵横交错的网络,而它们之间的交错最终形成了庞大的立体网络空间。人力资源管理、物流管理、财务管理、信息管理、生产运营管理等复杂程度和难度都将会因为整体涌现性问题而呈现出许多亟待解决的问题,如何综合管理又将是一个更高要求的管理系统工程。

1.2 超大型工程系统——中国铁路客运专线^①

1.2.1 中国铁路的需求与问题分析

1. 中国铁路发展取得的成就

2003年,以快速提升铁路运输能力和技术装备水平为主线,铁道部提出了跨越式发展思路。2004年1月,国务院审议通过了《中长期铁路网规划》,中国铁路建设掀开了新的一页。几年来,铁路发展取得了令人瞩目的成绩。

(1) 铁路经营业绩不断创历史新水平

运输效率创造了4个世界第一,旅客周转量世界第一,2006年中国铁路完成旅客周转量6622亿人·km,比第二位的印度高出近900亿人·km,是美国、俄罗斯两国总和的3.8倍,是日本的2.7倍;货物发送量世界第一,2006年中国铁路完成货物发送量28.7亿t,比第二位的美国多运近10亿t,是俄罗斯的2倍多、印度的4.8倍;换算周转量世界第一,2006年中国铁路完成换算周转量28569亿t·km,比第二位的美国高1300亿t·km,是俄罗斯的1.5倍、印度的2.9倍、日本的10.6倍;铁路运输密度世界第一,2006年中国铁路运输密度达到3677万t·km/km,是俄罗斯的1.6倍、美国的3.7倍、日本的2.7倍、印度的2.4倍。

铁路运输量维持强劲增长。2006年前11个月,旅客发送量达到11.6亿人,同比增长8.9%,已超过2005年全年11.5亿人,同期铁路货运量达到26亿t,同比增长7.4%;

^① 关于铁路的数据均根据铁道部公开发布的数据整理而成。

旅客周转量同比上升 9.7%，货运周转量同比上升 5.7%。2006 年铁路货物运输增幅较大，主要是由于部分地区的运输瓶颈得到缓解，前 11 个月的煤运量同比上升 4.4%，棉花运量上升 37%，农药和化肥运量上升 2.2%。

铁路集装箱运输增长优于预期。2006 年 12 月 18 日资料显示，中国铁路集装箱运输完成全年任务，发送量达到 304 万箱，同比增长 15.4%。在未来几年铁路集装箱运输将加速增长，在 2010 年前达到 1000 万箱运能的目标，相当于年复合增长率 29%。目前中国铁路集装箱的渗透率只有 2.73%，还远低于发达国家的 30%。一旦铁路集装箱运输的基础设施趋于完善，集装箱运输的比例将会大幅提升，给从事铁路集装箱运输的物流公司提供更大的发展空间。

铁路不仅在运输上为国民经济平稳运行作出了重要贡献，而且还从自身产生的效益中给国家支付了大量资金。铁路承担了大量公益性运输服务。仅 2003 年到 2006 年，铁路因完成公益性运输任务就少收 766 亿元。铁路承担了对公益性线路运营亏损的补贴。对西部、东北铁路中部分运营亏损的公益性线路，采取内部转移支付政策，给予大量补贴，2003 年到 2006 年，这部分支付达到 356 亿元，为国家贡献了大量的财政性资金。

(2) 铁路技术装备现代化实现重大跨越

按照原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新的途径，紧紧抓住经济全球化带来的机遇，充分发挥后发优势，引进先进技术，实现先进技术装备的国产化，提高自主创新能力。中国引进了处于当今世界最先进水平的时速 200 km 及以上动车组和大功率内燃、电力机车技术，成功地引进了时速 200 km 及以上动车组 5 大核心技术、大功率内电机车 9 大核心技术。中国铁路在充分利用几十年积累的技术资源的基础上，在重载铁路技术、工务工程技术、通信信号技术、货车制造技术、信息系统技术等方面，取得了一大批拥有自主知识产权的创新成果，最大限度地提高了国产化率。时速 200 km 及以上动车组国产化率最高可达 75% 以上，大功率电力机车最高可达 70% 以上，大功率内燃机车最高可达 85% 以上，而且这些机车车辆全部在国内生产、使用中国品牌，实现了国家利益和民族利益的最大化。同时，还建立了既有线时速 200 km 至 250 km 的技术标准体系，并掌握了工务工程、动车组、牵引供电、通信信号、运营调度、客运服务等各专业系统集成技术，实现了集成创新的重大跨越。

(3) 铁路固定资产投资持续增长

2003 年至 2006 年新开工铁路建设项目 130 多个，包括时速 200 km 及以上的武广、郑西、石太、京津等 11 条客运专线和城际轨道交通项目，里程达 3 326.7 km，全部都将在 2010 年前建成通车；4 年间共投产新线 5 160.6 km、复线 2 219 km、电气化铁路 5 856.6 km。2005 年年底，宁西线、渝怀线等一大批重大项目建成通车。2006 年 7 月 1 日，举世瞩目的青藏铁路格拉段全线胜利通车；烟大轮渡、兰武二线、迁曹铁路、上海南站等项目相继建成投产。2006 年一年就完成投资 1 553 亿元，同比增长 76%，既有线电气化改造通车里程就达到 3 847 km，是“十五”期间的 1.5 倍，完成新线铺轨 1 040 km、复线铺轨 997 km，投产新线 1 605 km、复线 705 km、电气化铁路 3 960 km。在“十一五”期间将投资 1.25 万亿元扩大铁路网建设，主要是客运专线，达 9 800 km，以缓解庞