

“八五”铁路技术进步丛书

重载铁路工程

阚叔愚

陈岳源 编著

周锡九

中国铁道出版社

1994年·北京

第三章重载铁路轨道。本章共分三节，主要介绍随着运输密度的增加、轴重增大、行车速度提高条件下给轨道带来更大的重复动荷载，从而使轨道部件提前破坏，各种磨损、变形加速，增加了养护维修工作。本章从这些前提出发，根据国内外成功的实践经验，介绍了相应的合理轨道结构和科学的工务技术管理制度，并指出在重载运输条件下，工务部门必须走“轨道重型化、养路机械化和科学化管理”的道路。

第四章重载铁路路基。本章共分四节，重点阐述了在重载条件下对路基强度及稳定性的要求和我国重载路基的设计标准。并从“列车动荷载对基床变形影响”因素出发，在理论上阐述重载铁路路基设计的依据和有关土的压实问题，其中有关内容综合了大秦铁路路基试验研究成果。

本书编写人员有：阚叔愚（第一、二章）、陈岳源（第三章）、周锡九（第四章）。孟志勇、赵宝春同志为本书插图进行微机设计，特此致谢。本书在编写过程中参阅了国内外大量书刊资料，特别是参照了铁道部科学研究院等单位近年来卓有成效的研究成果，在此向这些单位和有关同志表示衷心的感谢，并向关心本书出版的各界人士致以诚挚的敬意。限于水平，谬误在所难免，敬请批评指正。

作 者

1992年8月25日

(京) 新登字063号

内 容 简 介

铁路货运重载化, 是解决我国铁路进一步适应国民经济发展的需要的重要途径, 也是我国铁路发展的趋势。本书即为此而编写, 其主要内容是: 重载铁路总体设计、重载铁路轨道以及重载铁路路基等。同时, 介绍了重载铁路的发展状况, 并结合中国铁路的实际, 阐述了近年来重载运输在我国的发展和需待解决的问题。本书可供铁路设计、科研、施工及养护人员使用, 并可为高等院校师生参考。

“八五”铁路技术进步丛书

重 载 铁 路 工 程

阙叔愚 陈岳源 周锡九 编著

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 于文著 封面设计 陈东山

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 7.75插页: 1 字数: 174千

1994年1月 第1版 第1次印刷

印数: 1—1000 册

ISBN7-113-01474-7/TU·315 定价: 5.95元

前 言

为了适应我国国民经济飞跃发展的需要，做为先行部门的铁路，必须有一个较大的发展。面对当前铁路客货运输全面紧张，以及各种交通运输手段的激烈竞争，大力提高铁路的输送能力和降低运输成本的出路，是向科学技术要效益。因之，集当代科学技术发展水平之大成的重载铁路和高速铁路应运而生。本书就是面对中国铁路发展的两大趋势——重载和高速铁路中的货运重载化而编写的，主要内容是介绍重载铁路的总体设计、重载铁路的轨道结构及路基。全书共分四章，其要点如下：

第一章绪论。全章共分二节，主要介绍重载铁路的发展，国外几个典型发展重载铁路运输国家的状况，并结合中国实际阐述近几年重载运输在我国的发展和需待解决的问题，以及开行重载列车的条件和重载运输方式的选择，发展重载运输的基本原则，同时介绍了各种类型重载运输方式输送能力增加值的计算。

第二章重载铁路总体设计。全章共分五节，由于重载铁路的建设是一个很复杂的综合技术条件的协调和处理问题，必须用系统工程的理论和方法建设重载铁路，使总体设计达到最优。全章讲述了总体设计内容和工作程序，点线能力协调和不同层次的配套技术，主要技术标准的合理确定、重载铁路的平面纵断面设计以及单线铁路开行重载合并列车的设计要点和一些基础理论问题。例如列车纵向动力作用和线路参数等，并结合一些设计实例加以阐述。

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 重载铁路的发展	1
一、重载铁路运输.....	1
二、世界重载铁路概况.....	2
三、中国重载铁路的发展.....	7
四、重载铁路输送能力.....	11
第二节 开行重载列车的条件和重载运输方	
式的选择	15
一、开行重载列车的条件和重载方式的选	
择	15
二、我国发展重载运输的基本原则.....	18
第二章 重载铁路总体设计	20
第一节 重载铁路和系统工程	20
一、运用系统工程的理论和方法建设重载铁路.....	20
二、重载铁路总体设计.....	23
三、点线能力协调.....	28
四、我国重载运输发展的总体规划.....	32
五、不同层次的重载运输配套技术.....	34
第二节 重载铁路主要技术标准	36
一、重载铁路等级划分.....	36
二、重载铁路主要技术标准.....	38
第三节 重载铁路平面纵断面设计	61
一、基本原则和原理.....	61

二、列车动力作用和线路参数·····	62
三、线路平面纵断面设计·····	69
四、实例 运煤专线神木—朔县重载铁路设计·····	71
第四节 单线铁路开行重载合并列车设计要点·····	76
一、提高单线铁路能力的重要措施·····	76
二、待避站数目的确定及其位置的选择·····	78
三、车站的股道配置及合并列车到发线有效长 的确定·····	81
四、重载合并列车的起动和下坡制动·····	83
第五节 大秦线——中国第一条重载单元列车 铁路·····	86
一、修建意义和设计能力·····	86
二、大秦铁路选线和设计施工·····	87
三、大秦铁路的现代化技术装备·····	89
第三章 重载铁路轨道·····	91
第一节 概 述·····	91
一、重载轨道工作特点·····	91
二、重载运输条件下的合理轨道结构·····	93
三、国外重载轨道结构状况·····	95
四、我国重载轨道状况·····	97
第二节 重载运输与钢轨的关系·····	100
一、重载条件下对钢轨工作性能的要求·····	100
二、重载条件下钢轨受力分析·····	110
三、重载条件下钢轨伤损·····	124
四、重载条件下的无缝线路·····	138
第三节 重载条件下的轨下基础·····	142
一、概 述·····	142
二、重载条件下的轨枕·····	142

三、重载条件下的混凝土枕扣件·····	146
四、重载条件下的道床工作特点与要求·····	149
第四节 重载条件下道岔工作及结构特点·····	160
一、重载条件下道岔工作特点·····	161
二、重载条件下道岔主要特征·····	162
三、重载条件下道岔结构·····	165
第五节 重载线路的工务技术管理·····	167
一、强化轨道结构,实现科学养路·····	167
二、重载线路的大中修及维修·····	169
三、重载线路的轨道几何状态及监测管理·····	172
第四章 重载铁路路基·····	179
第一节 重载铁路路基的主要特点·····	179
一、重载对路基强度及稳定性的要求·····	179
二、重载铁路路基设计的技术标准·····	181
第二节 路基基床及加强·····	188
一、列车动荷载对基床的影响·····	188
二、影响基床变形的因素·····	193
三、基床加强·····	196
第三节 路基压实·····	197
一、土的压实原理·····	197
二、压实土的特性·····	202
三、我国重载铁路路基压实标准·····	206
四、路基压实及压实机械·····	211
第四节 路基压实质量的控制与检测·····	217
一、概 述·····	217
二、核子密度湿度仪·····	218
三、承载板试验·····	219
四、电子压实计·····	221

五、碎石类土路基填筑质量控制·····	230
六、砂类土路基填筑质量的控制·····	231
七、粘性土路基填筑质量控制·····	233
参考文献·····	239

第一章 绪 论

第一节 重载铁路的发展

一、重载铁路运输

(一) 自60年代以来,一些幅员辽阔、资源丰富、工业发达国家的铁路,为适应产品生产发展、产品流通、国际贸易增长的需要,为了降低运输成本以适应各运输业之间日益激烈的竞争形势,在货运方面先后发展了适合于本国具体条件的各种型式重载运输。重载运输用于运送大宗货物效率高、成本低,具有广阔的发展前景,它成为许多国家铁路追求的现代化货运方式。主要重载运输方式有:

1. 北美式重载单元列车

列车是由大功率机车双机或多机牵引,26~50 t大轴重、大容积百辆以上专用同型货车组成,直接往返于矿山、工厂、电站、港口之间,多行驶在货运专用铁路或货运为主的铁路上。列车重量大、密度小,主要为了降低运输成本。

2. 前苏联超长超重列车和合并列车

列车是由大功率机车或4轴、8轴大型车辆组成,轴重一般22~25 t,列车密度大,多行驶在客货混用铁路上,除可降低运输成本外,主要是提高运输能力。

3. 加拿大式的由几个车组编成的始发直达重载列车

这种列车每个车组前都有机车,在到达站,车组连同机车分别摘解后驶向各自货主的专用线。

(二) 我国土地辽阔,随着改革开放及生产的日益发

展，现有铁路运输能力远远不能适应需要，尤以煤炭运输更为紧张。因之，在我国发展重载运输是解决日益尖锐的运输和运量之间矛盾的重要手段之一。但是，我国铁路不同于美国路网能力有富余的条件，虽类似前苏联运能紧张情况，而技术运营设备和技术水平又低于美国和前苏联。所以，需要从中国实际情况出发，既吸取国外经验，又结合各条线路条件和特点，选择适用于各种不同线路条件并能获得较佳技术经济效益的重载运输方式。

二、世界重载铁路概况

（一）美国

1. 美国铁路以货运为主，铁路线长而且大多是单线，据统计，1980年美国铁路营业里程为31.7万km，其中专营货运的线路为26.9万km，占84.7%。多年来美国铁路承担的货运量，在各种运输业总货运量中所占的比重虽有所下降，但货运周转量仍占较大比重，1981年为37.7%，特别是大宗散装货物远距离运输主要由铁路承担，品种大多是煤，其次是农产品、矿石和化工产品。因此，保持和提高铁路货运在运输业中的地位，提高货运的效率和经济效益是美国铁路发展的重要方针，近30年来美国铁路在与其它运输方式货运竞争中，大力发展重载运输，开行大轴重重载列车，以求降低运输成本，提高竞争能力。

2. 自60年代开始，远距离运送煤炭大宗货物多采用单元重载列车，运行在煤矿、发电站或港口之间。这种列车采用同型大轴重大容量货车、大功率内燃（或电力）机车、双机或多机牵引，编组成万吨以上重载列车，固定编组、在固定的始终站之间循环直达运输，而且是由一个货主、运送一个品种货物，固定一种车型，同时产、运、销三方面配合协

调，保证货物运输和装卸达到高效率。美国铁路单元重载列车运输煤炭的能耗和运输成本与其它运输方式比较如表 1—1。

美国铁路单元列车运输煤炭能耗及成本比较 表 1—1

运输方式		铁 路 货 运			卡 车	驳 船	煤浆管道
		总平均	集装箱	单元煤炭列车			
BTU/ 净重吨 英里	运营能耗①	660	1000	370	2100	420	1000
	货运能耗②	1130	1420	590	2800	540	1150
	总 能 耗③	1720	2040	890	3400	990	1270
运煤成本 (美分/吨英里)		1.3 (普通列车)		0.7	4.5	0.3	0.6

(1973年价格) 资料来源: Progressive Railroading 1982, No.3

说明: ①运营能耗中的牵引能耗包括精炼加工损失;

②将运营能耗与维修能耗, 车辆制造能耗建筑能耗加在一起;

③在货运能耗中加上间接能耗, 但不包括其他运输方式的能耗。

3. 美国铁路在发展重载运输过程中, 为提高技术经济效益和保证行车安全, 采取了以下主要措施:

- (1) 线路改建和加强 (主要是铺设重轨);
- (2) 采用新型重载车辆;
- (3) 发展高效率装卸设备;
- (4) 重载列车多机牵引遥控装置 (Locotrol);
- (5) 提高列车运行与运输组织工作;
- (6) 加强轮轨关系的动力学研究试验。

(二) 前苏联

前苏联铁路1981年营业里程为 14.3万km, 大多客货共运, 能力接近饱和, 挖掘列车密度的潜力已不太大, 因而近年来提高运输能力主要靠提高列车重量, 发展重载运输, 其

全路货运量、货运周转量、货运密度以及货物列车密度皆居世界首位。

前苏联重载运输的特征是行驶超长超重列车、组织合并列车，发展直达运输，从1979年开行第一列 6000t 运煤重载列车时起，列车重量分别逐年增加到10,000t、16,000t，以致达到3.4万 t，平均列车牵引吨数已达 3,000t，单线铁路运输能力有的每年已达到4000万t。

在线路方面除延长站线有效长外，主要是强化轨道结构，加强线路的养护维修，铺设65~75kg/m重轨和无缝线路。同时采用复线双方向自动闭塞设备，在区间增建渡线，这样，可在一条线上因线路大修施工或接触网停电维修或因发生事故而封锁线路的情况下，组织列车在另一线上按单线自动闭塞方式反方向运行通过，可使由于线路封锁对运输能力的影响减少到最小程度。

关于线路限制坡度，由于采用大功率电力或内燃机车双机或多机牵引，它已不是控制既有线超长超重车列或合并列车载重的关键因素了，对于陡限坡地段不必要大量投资改建。根据大功率电力和内燃机车双机牵引参数，计算的不同坡度上的列车牵引吨数如下表

前苏联铁路计算的各种坡度列车重量表 表 1—2

限制坡度 (‰)	7.0	8.5	9.5	11.0	13.0	15.0	18.5	23.5
列车重量 (‰)	12000	10000	9000	8000	7000	6000	5000	4000

(三) 加拿大

加拿大铁路营业里程约7.5万km，占世界第三位，以货运为主，运送煤、矿石、谷物等大宗货物，公路铁路竞争激烈。

加拿大铁路的重载运输列车轴重大约30吨左右，牵引重量万吨以上，除开行单元列车外，又发展了由几个车组组成或几个短小列车编组而成的重载列车，每个车组前部都有机车。这种列车可以直达同一到达站而有不同收货人，列车在到达站，各车组可以摘挂，分别驶向各自收货人的专用线。

加拿大铁路为提高列车重量采用载重100t的新型专用货车，车体自重轻并装有径向转向架和自卸装置。对于多机牵引的重载列车采用无线电遥控同步运转技术（Locotrol），并推广列车动力分析器（TDA）。

加拿大铁矿公司为开发布拉多半岛的大铁矿，新建两条以运输铁矿石为主的重载铁路，每日开行列车2~7列，采用的主要技术标准是：1435轨距，单线，限制坡度重车方向4‰，空车方向14‰， R_{min} 为437m和218m，平均站间距离16km；会让站会车线长度按容纳最长列车设计，长者可达6.5km、列车总重达3万t，铺设66kg/m钢轨，采用调度集中和列车无线电话指挥行车，列车最高速度重车48km/h，空车64km/h。

（四）南非

现有铁路2.3万km，主要是1067mm轨距的窄轨铁路，在一些以运送矿石、煤炭为主体的线路上，开行由6~7台内燃机车牵引200余辆车皮、载重2.0万t的重载列车，列车全长2.2km。1989年8月在一条矿石专用铁路上，创造了开行重载列车的4项世界记录：列车长度最长——7300m；编组车辆数最多——660辆；列车牵引吨数最重——71232t以及行驶距离最远——861.5km。南非重载货运专线——埃尔梅洛至理查兹铁路其线路特征和技术标准如表1—3。

（五）澳大利亚

澳现有铁路4.3万km，其中2/5小轨距1067mm的窄轨铁

路，余皆为1435~1600mm的准轨和宽轨铁路，大部分为政府所有。为了提高铁路运输效益、节约能耗、降低成本、减少人力，故不仅在运量大的线路上提高列车重量，即使在窄轨铁路也努力从技术上系统地推行重载运输。

埃尔梅洛至理查兹湾铁路的线路特征 表 1—3

项 目	1971年新线及旧线改造标准	80年代线路加强和改造标准
轨 距	1067 m m	1067 m m
干线长度	422k m (其中222k m系新线)	451k m
限制坡度	重车方向 } 15‰ 空车方向 }	6 ‰ 15‰
曲线半径	500 m	500 m
会让站距离	11k m	11k m
钢 轨	57k g / m	60k g / m
轨 枕	混凝土轨枕、间隔697 m m	混凝土轨枕、间隔650 m m
计划年运量	22.5Mt/年	44Mt/年

例如，昆士兰窄轨铁路（1067mm），随着机车车辆的更新，在供电、通信信号、轨道和桥梁方面的改造配套完善后，该线路已实现5机牵引（二主机、三从机，并采用同步遥控操纵），达到牵引100辆71t货物列车的记录。

澳准轨铁路最有特色的是哈默斯利和纽曼山重载铁路，它们均开行专门运送矿石的单元列车。纽曼山铁路于1969年建成，由矿区惠尔巴克山至黑德兰港，全长490km，开行单元列车固定车底循环运输。列车在矿山装载完毕，起车运行9h后到达港口，往返周转大约24h，列车编组150辆，总重1.9万t，用3台3900马力的电传动内燃机车牵引，该线的年运量已达3000万t以上。

澳大利亚重载运输推动了铁路的技术进步，包括轨道结构、车辆构造、轮轨关系以及在列车动力学领域研究等等方

面都有了长足的发展，同时又提高了重载运输的安全可靠性。

(六) 世界几条重载铁路主要参数 (表 1—4)

三、中国重载铁路的发展

(一) 繁重的铁路客货运输任务

随着国民经济的迅速发展，日益严峻的运输形势摆在面前。据最新统计资料，1991年在仅拥有5.4万km铁路的我国，完成货运14.79亿t，客运9.4亿人次，换算周转量13770亿t·km。运输密度已达到2475万t·km/km，这个强度已属世界一流水平，但是，按照我国的技术装备水平，能力已经饱和，而这个运输数字仅能满足货运需要的70%，一些重要限制口还达不到50%，主要干线如京广、京沪等货物经常发生停、限装状况。我国铁路面临数量少、装备差、运量大、运距长、大宗货物多的现实（其中仅煤炭就占货运量的43%）。据预测，1995年国家要求达到运量16.5亿t、2000年达到19.0亿t。因此，必需在技术、装备、以及组织管理方面有所重大突破，即依靠内涵上的发展来提高运输能力，其中大力提高列车牵引重量、完善货运重载技术装备配套、发展重载运输，是采取的重要措施之一。

(二) 我国当前重载运输状况

1. 从开行合并列车起步

1984年11月在大同—秦皇岛（丰沙大、京秦线）首次开行两列普通列车合并一大列的重载列车之后，继之先后于沈山线、石德线、平顶山—江岸西段开行不同数量的合并列车，并于1986年正式编入列车运行图。

据不完全统计，仅1985年5月～1986年12月间，大同～秦皇岛共开行2,000多列合并列车，多运煤640万t，沈山线多

几条重载运输铁

顺序	铁路名称	运营里程 (km)	轨距 (mm)	主要货物	单线或复线	每天通过重载列车数 (列)	牵引机车	列车组		
								机车数	车辆数	每车净载重 (t)
1	美国伯林顿北方铁路怀俄明煤矿线	1287~2413	1435	煤	单线→30% 复线	10 ~ 30	内燃	4	110	90 ~ 95
2	加拿大太平洋铁路卡尔加里—温哥华线	1046	1435	煤、谷物等	单线→30% 复线	15 ~ 26	内燃	4 + 2 + 6 3 + 2	108 ~ 110	90 ~ 95
3	澳大利亚哈默斯利铁矿公司 帕拉帕布—汤姆普赖斯—丹皮尔线	338	1435	铁矿石	单线→14% 复线	7	内燃	3	180	96
4	澳大利亚纽曼山铁矿公司 纽曼山至黑德兰港线	407	1435	铁矿石	单线	10	内燃	3	144	94
5	澳大利亚昆士兰铁路占涅拉线	201	1067	煤	单线	6	内燃	3-3	148	57
6	瑞典及挪威国营铁路基吕纳—斯瓦帕—纳尔维克港线	193	1435	铁矿石	单线	15	15kV, 16 2/3 Hz 电力机车	1	52	80
7	巴西维多利亚—米纳斯线	550	1000	铁矿石、煤	单线→ 全复线		内燃	2	160	72
8	南非铁路申至萨尔达尼亚湾线	861	1067	铁矿石	单线	3	25kV 50Hz 电力机车	3	210	85

路 的 主 要 参 数

表 i — 4

成	限制坡度 (%)		最小 曲线 半径 (m)	最高速度		线路 年通 过总 重 (百万t)	车 辆 轴 重 (t)	钢 轨 重量 (kg/m)	轨 枕 类 型	说 明
	重 车 方 向	空 车 方 向		重 车	空 车					
13150	5	5	624	70	80	45 ~ 91	30	68	木 枕	线路经过改造如延 长站线修建部分复线 增加辅机
12700 13340	10	22	832 672	80	80	37 ~ 65	30	68	木枕	经过改造如限制坡 度重车方向从22%改 为10%，修建复线
26500	3 或 4	20	388	69	74	64	30	68	木枕→ 混凝土 轨枕	随运量增长将原59 kg/m钢轨换成68 kg/m轨并逐步将木 枕换为混凝土轨枕
17150	5.5	15	583	64	74	50	30 32.5	66	木 枕	
10520	10	20	300	60	60	29	18	60	木枕→ 混凝土 轨枕	
5170	10	10	672	50	60	28	25	54	木 枕	欧洲最早的重载运 输线
14400	8	10	349	60	60	100	22.5	68	枕木混 凝土轨 枕	计划将来换为混凝 土轨枕建成复线
21860	4	10	500	69	69	20	26	60	混凝土 轨枕	车辆装备径向转向架