
列车重量速度密度

王启镗 主 编

中国铁道出版社

1990年·北京

点不尽和原研究报告及有关技术政策完全相符，这由作者个人负责。

本书为进一步研究列车重量、速度和密度问题，提供了一些思路和方法，供有关决策部门，与铁路运输有关的科研、教学和设计单位，铁路系统各级领导干部和工程技术人员参考。

在写作过程中，得到本所、院内外各单位、铁道部有关局和中国铁道出版社的关心和协助，在此一并致谢。限于作者水平和时间仓促，不妥和疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

王启镡 1989年6月

内 容 简 介

本书主要是根据国家课题《铁路列车重量、速度和密度的发展》的研究成果而编写的。但着重系统地探讨制约列车重量、速度和密度的主要技术经济因素，各因素的内在联系和基本原理，以及相应的运营条件和运营效果，提出了一些问题和观点，对国内外的有关情况也作了相应的介绍和评述，有别于研究报告。

本书可供有关决策部门，与铁路运输有关的科研、教学和设计单位，铁路系统各级领导干部和工程技术人员参考。

本书编写分工：

主编：王启镡；副主编：闵保华。

刘景惠：第一章第二节之二。

黄成铭：第二章第三节。

罗冬树：第八章第一、二节。

茅于軾：第二章第一、二节；第四章第一、二节。

闵保华：第一章第四节；第四章第三、四节；第七章。

王启镡：第一章第一、二、三节；第二章第四节；第三章；第五章；第六章；第八章第三节，及全书审修并整稿。

列车重量速度密度

王启镡 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 林瑞耕 装帧设计 刘景山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 $\frac{1}{16}$ 印张：10.25 字数：270 千

1990年9月第1版第1次印刷

印数：0001—1000册

ISBN7-113-00736-8/U·226 定价：7.95元

前 言

《列车重量速度密度》一书，主要是根据国家课题《铁路列车重量、速度和密度的发展》的研究成果而编写的。该课题是由铁道部科学研究院运输及经济研究所主持，有关单位参加协作（见后记）完成的。研究的目的是为制定我国交通运输技术政策提供依据，供决策时参考。因此，需要结合我国的国情，以应用为主。有关结论和建议，已为《铁路主要技术政策》和国家《交通运输技术政策》所采纳。该课题获铁道部科技进步二等奖，《交通运输技术政策》获国家科技进步一等奖。

列车重量、速度和密度的发展方向，是铁路运输一项带有根本性的技术政策，是决定铁路运输能力和效益的基本要素。铁路线路的主要技术标准、编组站建设和车站股道有效长，机车功率和参数的选择、车辆及其制动装置的发展、通信信号制式、运输组织工作，以及路外的装卸和储存设备的能力等等，均与列车重量、速度和密度的发展水平密切相关。因此，涉及的专业很多，问题十分广泛。

本书在内容和要求上，并非各研究报告的汇集，而是着重系统地探讨制约列车重量、速度和密度的主要技术经济因素、各因素的内在联系和基本原理，以及相应的运营条件和运营效果，对国内外的有关情况也作了相应的介绍或评述，以便读者能对列车重量、速度和密度有一个较全面和较深入的理解。

列车重量、速度和密度涉及各专业的具体问题很多，有些问题还没有得到合理的解决，仍有进一步研究的必要。

书中单位采用国际单位制，但对于“重量”单位仍按习惯用kg或t，特此声明。

本书的作者们虽然为研究课题的负责人或参加者，但某些观

目 录

第一章 概 论	1
第一节 列车重量、速度、密度的基本概念	2
第二节 货物列车重量的发展	7
第三节 列车速度的发展	28
第四节 列车密度的发展	38
第二章 重量、速度与机车车辆和制动的关系	44
第一节 机车的牵引力和功率	44
第二节 机车车辆构造速度、车钩强度	54
第三节 货车的载重能力	60
第四节 制动能力和制动距离	66
第三章 列车重量、速度、密度与线路主要技术标准	78
第一节 最小曲线半径	78
第二节 到发线有效长度	88
第三节 线路的最大坡度	94
第四节 其他有关技术标准	101
第四章 运营分析	110
第一节 功率、重量、限速和平均运行速度的关系	110
第二节 起停车对附加时分和速度的影响	122
第三节 列车重量和集结停留时间	128
第四节 旅行速度及机车车辆需要数量	134
第五章 经济评价	153
第一节 经济评价的基本原理和方法	153
第二节 货物列车重量、速度的经济评价	166
第三节 提高列车重量增强运能的经济评价	178
第四节 旅客列车最高速度的经济评价	184

第六章 高速、重载铁路的运营特征	192
第一节 高速铁路概述	192
第二节 高速铁路的运营特征	208
第三节 重载铁路的运营特征	229
第七章 双线自动闭塞区段的列车密度	241
第一节 双线自动闭塞的列车间隔时间	241
第二节 组合列车和零摘列车的扣除系数	252
第三节 旅客列车的扣除系数	255
第四节 区间能力的利用及其主要影响因素	268
第五节 双线自动闭塞区段的列车密度及列车重量、速度与密度的匹配	278
第八章 列车重量、速度和密度的展望	292
第一节 铁路在货物运输中的地位和作用	292
第二节 铁路在旅客运输中的地位和作用	301
第三节 我国列车重量、速度和密度的展望	308
后 记	320
主要参考文献	321

第一章 概 论

从1825年铁路诞生160多年来,随着生产和技术的发展,各种现代化交通运输工具的出现和竞争,铁路所承担的客货运输量的比重,已由垄断地位而日趋下降。但是,由于铁路具有巨大的运输能力、不受气候条件的影响而连续不间断地运行、安全可靠性高、能源消耗和运输成本较低,以及使用能源可以多元化等特点,所以在现代化交通运输系统中,仍然起着重要作用。尤其近二十多年来,高速和重载运输的发展,以及铁路对解决有关能源、环境和社会状况等问题中的作用,已经引起各国政府的注意,并重新评价铁路和制订相应的交通发展政策。

在我国交通运输系统中,铁路始终处于主导地位,承担的货物周转量和旅客周转量,分别占各种现代化运输方式总和的70%和60%。但是,由于铁路建设和经济发展不相适应,致使运量和运能的矛盾十分突出,成了国民经济中的薄弱环节。因此,扩大铁路的运输能力,是经济建设中的战略重点之一。

扩大铁路的运输能力,除了建设新线以外,提高列车重量和提高运行速度以及增加行车密度,是其主要措施。列车重量和速度的不断提高,是社会经济发展的需要。纵观交通运输工具的发展史,本质上就是载重能力和运行速度的发展史。但是,列车重量和速度的发展水平,与铁路线路的技术标准、机车车辆和通信信号的发展、运输组织工作以及外部条件等密切相关,在一定的历史时期内,并受技术和经济的制约。因此,列车重量和速度的提高,需要相关部门协调发展,并以社会效益作为评价目标。列车重量和速度的发展方针,是铁路建设中一项具有战略意义的技术政策,也是决定铁路运输能力和经济效益的基本要素。

一般说来,货物运输重载化和旅客运输高速化,是当前世界各国铁路发展的基本趋势。这是现代化大生产方式和生活水平提高的必然结果。但是,由于各国的经济发展、国土面积、地理条件、资源和人口状况、工业结构、技术水平、运营条件,以及其他交通运输工具的发展程度等各不相同,在发展的速度、达到的水平、侧重点和运营方式上是有很大差别的。

美、苏等国,着重发展货物运输重载化。美国铁路上,大多组织由专用车辆组成的重量在万吨以上的重载列车,机车车辆固定编组,循环运行于装卸点之间;苏联铁路上,则开行部分由普通车辆组成,重量为六千至万吨的超重超长和合并列车(两列普通重量的货物列车,合并为一列运行),大多在技术站上编组。日本和西欧等一些国家,则着重发展客运高速化,旅客列车最高速度在 55.6m/s (200km/h) 以上。日本客运高速化的途径为新建专用的高速客运线;而西欧各国除新建部分高速线外,多为改造客货共用的既有线。这都是由各国的国情所决定的,换言之,是由各自的社会经济效益所决定的。

第一节 列车重量、速度、 密度的基本概念

一、列车重量

所谓列车重量,实质上是指列车中机车的牵引重量,即“车列”的自重和载重之和,也称列车总重或牵引总重。不包括车列的自重,其实际载运货物的重量,则称之为列车载重或净重。

按照列车的定义,是指由一定数量的车辆编成的车列,由机车牵引(或推进),或由具有动力的车辆编成,并有列车标志的才称之为列车。但列车重量通常却不包括机车(以及蒸汽机车的煤水车)本身的重量。

牵引重量或列车重量,也称牵引吨数;线路(区段)方向上规定的列车重量标准,常称之为牵引定数。至于由具有动力的车

辆组成的列车（动车组），其列车重量，通常是指动车组的全部重量（自重和载重之和）。

我国铁路各区段方向上，虽然都规定有列车重量标准，但是由于列车的性质、列车编成中车辆的类型、载运货物的品类（重质或轻浮货物），以及编挂空车等等差别，不是所有的列车都能按规定的重量标准开行的。通常，不满足规定的重量标准，则需满足规定的长度（以充分利用车站到发线有效长和区间通过能力）。

在统计上，列车重量通常是指列车平均总重（或称列车平均牵引总重）或列车平均载重（也称列车平均净重）。列车平均总重是一定时期和一定范围（全路、路局等）内，平均每一本务机车公里（列车公里）所完成的总重吨公里数；而列车平均载重，则为平均每一本务机车公里所完成的货物吨公里数。列车平均总重和载重，不仅与列车重量标准，而且与运量结构、车辆类型、空率大小和组织水平等等因素有关。

列车的重量水平，通常作为货物列车的发展标志。提高货物列车的重量，涉及众多的运营、技术和经济因素，主要是：

1. 货流条件：提高列车重量，尤其是发展重载运输，主要是以重质的大宗散装货物为运输对象的。因此，首先涉及货物的品类、批量大小、产供销之间的关系以及装卸和存储设备的条件等。

2. 机车的牵引能力：根据线路坡道的大小，提高列车重量需要有相应牵引能力的机车，并有足够的车钩强度和制动能力。提高机车的牵引能力，一是采用大功率（牵引力）的机车；二是采用中等功率的机车多机牵引。而多机牵引又需解决同步操纵的技术问题。

3. 车站到发线有效长度：提高列车重量，相应增加了列车长度，因而涉及站线有效长的标准问题。既有干线上，站线有效长往往成为限制列车重量提高的主要因素。而站线延长的投资大小，与地形条件密切相关，差别很大。

4. 车辆载重能力和轨道结构强度：在到发线有效长一定的前提下，提高列车重量从内涵来说，可以采用大型车辆以提高车辆的每延米重量。但车辆大型化的措施不外是增加轴重或轴数，增加车辆（包括机车）的轴重，相应需要采用重型轨道结构和提高桥梁的活载等级；发展四轴以上的多轴车，则影响既有车辆制造、维修和卸车设备条件，需要相应改变。

5. 运输能力：提高列车重量在速度不变时，可以大大提高输送能力。但在固定机型下，提高列车重量相应要降低运行速度，尤其在双线自动闭塞条件下，货物列车速度降低，将影响追踪列车的间隔时分，降低了通过能力，并使旅客列车的扣除系数增大。

6. 运营费用：提高列车重量，相应可以减少列车对数。从而可以节省乘务人员和减少列车交会、越行次数并提高旅行速度，使运营费用得以降低。但列车重量提高其编成辆数相应增多，则车辆集结时间延长而又增加运营费用。

二、列车速度

列车速度通常分为：最高速度、运行速度、技术速度和旅行速度。此外，作为经济评价，还应考核货物列车的直达速度（或货物送达速度）。

（最高速度：是指列车在运行途中，速度可能达到的（允许的）最大极限值。旅客列车常以其最高速度作为发展的标志。旅客列车的最高速度水平，一般反映了一个国家的经济发展和这一领域的科学技术水平。法国新建的巴黎～里昂的客运线，其最高速度达 75m/s （ 270km/h ），这是目前营业线路的最高速度纪录。而普通货物列车的最高速度，一般仍在 22m/s （ 80km/h ）上下。）

运行速度：是指列车在运行途中，不计入各站的停站时间及起停车附加时间的平均速度。很多技术经济指标，与运行速度直接相关。

技术速度：货物列车的技术速度，是指列车在区段内运行，不包括各中间站上的停留时间（但包括起停车附加时间）的平均速度；旅客列车的技术速度，则系指自始发站开车起至到达终点站停车止的全部时间中，扣除沿途各站的停车时间所算得的平均速度。

旅行速度：货物列车的旅速，是指列车运行区段内，包括各中间站停留和起停车附加时分在内的平均速度；而旅客列车的旅速，则指自始发站开车起至终点站停车止的全部时间所算得的平均速度，也称直通速度。

直达速度：是指列车运行方向上，不仅包括各中间站，还包括在技术站（区段站、编组站）上的全部停站时间在内所算得的平均速度。

货物送达速度：是指货物自铁路承运时刻起，至交付收货人时刻止的全部时间所算得的货物平均运送速度，它反映了货物运送的全过程。

提高列车最高速度的根本目的，在于缩短人或物的送达时间。在机型已定和最高速度不变的前提下，减少列车的停站次数和停站时间（对于货物列车尤其要减少技术站改编中转次数和时间），相应也可以加速人或物的送达。不过，对于旅客特别快车来说，首先都是尽可能地减少停站次数和压缩停站时间，因而这方面存在的潜力是有限的。只有提高最高速度以提高全程的运行速度，才能进一步缩短旅行时间。对于货物列车来说，由于运行时间占货物送达时间的比重很小，提高其最高速度的效果则要小得多。

最高速度越高，无疑运行速度也越高。但运行速度提高的幅度，不仅取决于最高速度的绝对值，而且取决于按最高速度运行的距离长短，这与线路的平面和纵断面条件密切相关。仅仅“瞬间”达到最高速度，往往是没有实际价值的。

提高列车的速度，同提高列车重量一样，涉及众多的技术经济因素，主要是：

1. 机车车辆：列车速度越高，其单位重量需要的机车功率越大，因而要有大功率的机车；最高速度提高，机车车辆本身的构造速度需要相应提高，尤其是数量庞大的货车车辆，其构造速度不够标准的需要淘汰或改造；车辆的制动能力要与最高速度相匹配，特别是大量货车的制动问题；高速旅客列车的牵引和制动，则涉及很多的新技术、新材料、新工艺，需要有较高的技术和工业水平。

2. 线路技术标准：线路上最小曲线半径的标准和车站上道岔号码的大小，是影响旅客列车最高速度的重要因素之一。无疑，速度越高，要求曲线半径也越大，而客货列车的速差越大，相应也要增大曲线半径，但小半径曲线的改造，则涉及地形条件和工程投资。提高列车通过车站的速度，则需采用大号码或新型道岔。同时，速度越高，道口的安全防护问题也更加突出，需要采取相应的措施。

3. 运输能力：提高列车的运行速度，尤其在双线自动闭塞条件下，可以缩短追踪列车的间隔时分，提高通过能力；但大幅度提高旅客列车的最高速度，相应要延长制动距离，使最小闭塞分区增长和间隔时分增大（货物列车最高速度或信号显示制式不变），则又降低通过能力。

4. 运营费用：提高列车运行速度，加速了机车车辆的周转，减少了机车车辆的需要数量和列车乘务人员，节省了有关支出；但列车单位重量的功率相应增大，燃料消耗大大增加，而要加大有关支出。

三、列车密度

列车密度，也称行车密度。通常在统计上，列车密度是指在一定的时间和范围（如全路或某一条线）内，平均每天每一公里线路上，所分摊到的客货列车数。它是按平均每天各种列车所行驶的公里（列车公里）数的总和，被线路的总长度（营业公里）去除所得的平均列数。

本书所说的列车密度，是指线路的控制区间，一昼夜内实际可能通过的客货列车数。它是以一定的通过能力为基础的，即根据平行运行图的通过能力，考虑了运营中存在的各种影响能力利用的因素之后，实际可能通过的列数。

在客货共用以货为主的线路上，平行运行图的通过能力是以能通过多少货物列车数来表示的。双线自动闭塞条件下的通过能力，取决于追踪列车的间隔时分。一般列车运行速度高，则间隔时分短、通过能力大，相应的列车密度也可能较大。

双线自动闭塞条件下，列车密度的大小除与速度有关外，还受下列一些因素的影响，主要是：

1. 技术站的设备能力：货物列车密度与技术站的列车到发、编解能力和进站咽喉结构密切相关，并常受其限制；列车密度越大，车站作业延误的机率和能力的损失也可能增大。

2. 线路设备条件：列车密度增大，线路养护维修工作量相应增大，在无法利用列车间隙进行养护维修时，需要设置“天窗”，相对降低了列车密度；列车密度增大，平交道口的事故率可能增加，从而影响行车安全和列车密度。

3. 行车指挥系统：调度指挥水平，直接影响列车密度；而列车密度增大，运行延误的机率和影响范围也随之增大，相对又降低了通过能力（列车密度）。双线自动闭塞的列车密度提高到一定程度后，行车指挥工作要靠自动化来实现。

列车重量、速度和密度，涉及众多的技术、运营和经济因素，且相互制约，存在着错综复杂的关系，是一项重大的技术经济课题，也是各国铁路工作者十分关注的问题。

第二节 货物列车重量的发展

随着生产的发展和科学技术的进步，无论哪一种交通运输工具，都是越来越向大型重载方向发展。从1825年世界上出现了一条客货共用铁路——英国达林顿（Darlington）至斯托克顿

(Stockton)铁路以来(据称当时第一趟列车的载重约九十吨),列车重量已提高了近百倍。目前,北美铁路的重载列车,合理编成多在百辆左右,列车载重在九千吨上下。

列车重量的不断提高,固然是适应生产发展的需要,但更重要的是能获得较好的经济效益。一般说来,提高列车重量的目的,或着眼于降低运输成本(如美国铁路),或着眼于提高运输能力(如我国和苏联铁路),其实质都是经济效益问题。

提高列车重量的经济效益如何,涉及技术和运营等多方面的因素。而运量结构——货物的品类、数量等,是决定列车重量的首要前提。一般说来,幅员辽阔、资源丰富、铁路运量以大宗散装货物为主的国家,列车重量都比较大。在现代化大生产的条件下,煤炭、矿石等货物的产销批量大、到发点集中、装卸和集结时间短、车辆载重能力利用率高。同时,生产和需求均相对均衡、稳定,价格较低,对速度的要求也不高。从而才有可能组织大重量的列车和获得较好的经济效益。而日用和工业产品、鲜活易腐等较贵重的或急运货物,情况则相反。

列车重量的提高,除了运量结构这一基本要素以外,还受技术和设备条件的制约,因而各国铁路列车重量的发展是不平衡的。

一、我国铁路运量的增长和设备的发展

1. 旧中国铁路的运量与设备概况

旧中国的铁路,担负的运量很少。据1932年国有铁路平汉、北宁、津浦、京沪、沪杭甬、平绥、正太、道清、汴洛、陇海、广九、湘鄂、胶济、南浔等十四路的统计,营业里程共6921km(北宁路仅统计至山海关,关外段自1931年“九·一八”事变后,被日本帝国主义侵占,故未统计在内)。十四路的总货运量(起运吨数)仅有 $2512 \times 10^4 \text{t}$,相应的周转量为 $43.8 \times 10^8 \text{t} \cdot \text{km}$,货运密度仅有 $63.3 \times 10^4 \text{t} \cdot \text{km}/\text{km}$;总客运量(起运人数)仅 3397×10^4 人,相应的周转量为 $32.6 \times 10^8 \text{人} \cdot \text{km}$,客运密度仅

47.1×10^4 人·km/km；共有机车1146台、客车1810辆、货车15355辆，货车平均载重量仅有27.8t。

旧中国的铁路，技术落后、设备简陋，且种类规格繁多；技术标准很低，又极不统一。同一线路上的桥梁活载等级、最小曲线半径、最大坡度、建筑净空等技术标准也不一致。蒸汽机车的类型也极其复杂，多达一百几十种；车辆多为载重30t的小型车；钢轨种类也多达二百余种，正线上的钢轨重量绝大部分都在42kg/m及以下。

钢轨情况以津浦线为例（按建国后的1953年资料统计）：钢轨重量在37kg/m及以下者占线路长度的6.4%，38~42kg/m的约占70.1%，最重为43kg/m；从轨龄来看，属于1910年以前的钢轨占线路长度的55.4%，1911~1920年的占6.8%。

旧中国的铁路，设备落后，运量负荷也小，所以货物列车重量也小，且各路的差别很大。国有铁路货物列车平均载重仅在250t上下，且多年变化不大。据1931~1935年度的统计，国有铁路各路的货物列车平均载重吨数如表1—1所示。

2. 建国以来铁路运量的增长和技术设备的发展

从1949年10月1日建国以来，随着国民经济的迅速发展，铁路的运输量也急剧增长。自1950年到1986年：我国铁路（未包括台湾省的铁路，以下同）担负的货物周转量，由 394×10^8 t·km（394亿吨公里）增加到 8750×10^8 t·km，增长了21.2倍，平均年递增约9%；旅客周转量由 212×10^8 人·km（212亿人公里）增加到 2583×10^8 人·km，增长了11.2倍，年递增7.2%；货运量由 0.998×10^8 t增加到 13.22×10^8 t，增长了12.2倍，年递增7.4%；客运量由 1.569×10^8 人增加到 10.74×10^8 人，增长了5.8倍，年递增5.5%；货运密度由 178×10^4 t·km/km增加到 1713×10^4 t·km/km，增长了8.6倍，年递增6.5%。客货运输量的增长率都是相当高的。在各种现代化的运输方式中，铁路承担的客、货周转量的比重，1986年分别达56.3%和71%，是我国交通运输系统中的主导力量。

各路货物列车平均载重吨 (t) 表数

表 1—1

年 份 路 别	1931	1932	1933	1933年度	1934年度	1935年度
京 沪	409	332	377	328	419	430
平 汉	261	316	290	286	300	361
陇 海	300	282	283	234	238	347
胶 济	354	338	328	341	357	345
汴 洛	258	233	261	217	226	297
津 浦	223	212	224	222	242	271
道 清	187		233	227	218	271
沪 杭甬	279	278	257	249	313	266
北 宁	223	280	216	221	256	230
平 绥	156	156	156	159	172	229
滇 西	—	—	—	—	—	221
湘 鄂	159	167	138	135	176	162
粤汉南段	—	136	142	140	160	155
南 浔	202	215	161	170	131	142
正 太	132	136	127	129	128	134
广 九	45	42	36	41	44	46
国有铁路	259	246	233	229	251	273

注：表中的“年度”以当年7月1日至翌年6月31日为期。

建国以来，铁路承担的货物周转量、货运量和货运密度的增长（以1950年为100%）情况如图1—1所示。

货物的平均运程也呈增长趋势：1950年为395km，至1986年已达662km，增长了67.6%。

在货运量的构成中，主要以大宗散装货物为主，其中仅煤一项，历年来均占铁路总货运量的40%上下。煤、焦炭、石油、钢铁、金属矿石、非金属矿石、矿物性建筑材料、水泥、木材、粮食等10种品名，共约占总货运量的85%左右。

铁路货运量构成如表1—2所示。

由于运输量的急剧增长，促进了铁路建设的发展，从1949年到1986年，铁路的营业里程由21810km增加到52487km，平均每年增加829km；双线地段占营业里程的比重，由4%上升到20.2%；

电化铁路和内燃机车牵引线路的里程从无到有，已分别占到营业里程的8.4%和23.7%；线路、机车车辆和通信信号等也有较大的发展，铁路的技术标准有了提高并得到统一。

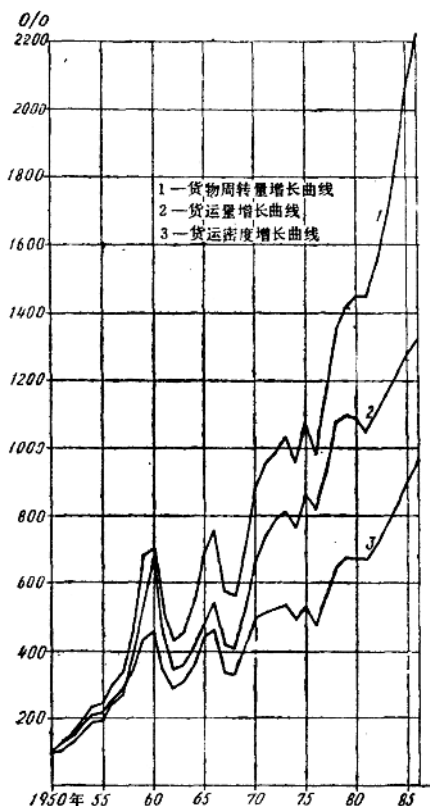


图 1—1 货物周转量、货运量与货运密度
增长曲线 (以1950年为100%)

建国以来，既有干线上的个别大坡道和小半径曲线逐步得到改善，桥梁进行了加固或重建；正线上铺设50kg/m及以上钢轨的比重逐年增长，1949年50kg/m及以上钢轨仅占正线钢轨的