

● gaosu tielu gailun

高速铁路概论

(第二版)

中国铁道出版社

高速铁路概论

(第二版)

钱仲侯 主编

中国铁道出版社

2004年·北京

内 容 简 介

高速铁路是我国铁路发展的必然趋势。本书比较全面、系统而又概要地阐述了高速铁路的基本知识、基本概念和基本原理。

全书共分十章，主要内容包括：国内外高速铁路概况，高速铁路线路、牵引动力、车辆、信号与控制系统、通信、车站及枢纽、运输组织以及高速铁路的环境保护。最后一章介绍了具有发展前途的磁悬浮铁路。

本书可供铁路运输、机务、工务、电务、车辆等部门技术人员及干部、职工学习，并可用作铁路大、中专院校的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

高速铁路概论/钱仲侯主编. —2版. —北京: 中国铁道出版社, 1999.12
ISBN 7-113-03503-5

I. 高… II. 钱… III. 高速铁路-概论 IV. U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 44898 号

书 名: 高速铁路概论 (第二版)

主 编: 钱仲侯

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)

责任编辑: 褚书铭

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京兴达印刷有限公司

开 本: 850×1168 1/32 印张: 10.125 字数: 267千

版 本: 1994年6月第1版 1999年12月第2版 2004年3月第5次印刷

印 数: 7001~11000册

书 号: ISBN7-113-03503-5/U·962

定 价: 17.80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

自从1964年世界上第一条高速铁路在日本问世以来,已经有近35年的历史。在这35年中,高速铁路日益显示出它旺盛的生命力。人们清楚地认识到,它是诸多高新技术的综合集成,是新一代的铁路。它标志着世界铁路的未来!由于它具有明显的经济效益和社会效益,所以欧洲、北美和亚洲等许多国家和地区,纷纷兴建、改建或计划修建高速铁路。我国的第一条高速铁路——京沪线也在拟议和计划之中。

然而,我们对于高速铁路的了解和认识还很不够。为了便于我国从事经济工作,包括从事交通运输工作的广大干部和大专院校师生,对这个新一代的铁路有一个比较全面、系统而又概要地了解,我们编写了这本《高速铁路概论》。编写时力求简明扼要,着重讲清有关的基本知识、基本概念和基本原理。它可以作为《铁道概论》(佟立本主编,中国铁道出版社1999版)的姐妹篇。如果读者有了《铁道概论》的知识作基础,阅读本书时可能就更便捷了。当然,读者有兴趣直接阅读本书,也是完全可行的。本书第1版于1994年出版后,受到了广大读者的欢迎和好评。5年来,各国的高速铁路有了不少新的进展,我们对高速铁路的认识也在加深。为了使读者对它能有更好的了解,这次我们对本书进行了一次较大的修订,包括新写了高速铁路的车站及枢纽、高速铁路的运输组织和高速铁路的环境保护三章,其余各章也作了不同程度的更新、补充和删节,使本书的内容更加充实。

本书由钱仲侯担任主编。参加第1版编写的人员有:章育平(原第一、七、八章)、佟立本(原第二章)、杨超(原第三章第1~4节)、黄子扬(原第三章第5节)、缪龙秀(原第四章)、张凤翥和高继祥(原第五章)、李承恕(原第六章)及董志升(原第九

章)参加第2版编写和修订的人员有:章育平(第一章)、佟立本(第二章)、杨超(第三章)、缪龙秀(第四章)、张凤翥(第五章)、李承恕(第六章)、刘其斌(第七章)、杨浩(第八章)、刘建明和陈佐(第九章)及董志升(第十章)。

本书在编写过程中,广泛地参考了国内外许多文献资料。由于参考的文献资料较多,只能就其中主要的列于书后。在此,谨向这些文献资料的作者、译者和出版单位表示衷心的感谢和歉意。

由于本书涉及的内容非常广泛而又属于高新技术,我国的高速铁路尚处于拟议、计划和研讨之中,各方面的情况都不断发展变化。尽管我们在编写过程中不少章节都数易其稿,但限于编者的水平和时间,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编 者

1999年7月于北方交通大学

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 世界高速铁路发展概况	(2)
第二节 高速铁路与其他运输方式的比较	(7)
第三节 我国高速铁路的建设	(11)
第二章 高速铁路的线路	(20)
第一节 概 述	(20)
第二节 线路的平面和纵断面	(22)
第三节 路基与桥梁	(31)
第四节 轨道	(35)
第五节 轨道技术监测与维修管理	(44)
第三章 高速铁路的牵引动力	(51)
第一节 概 述	(51)
第二节 受电弓与传动装置	(63)
第三节 动力车车体及走行部	(78)
第四节 制动技术	(83)
第四章 高速铁路的车辆	(91)
第一节 概 述	(91)
第二节 车体和车内设施	(92)
第三节 空气调节装置	(100)
第四节 转向架	(105)
第五节 牵引缓冲装置	(121)
第六节 制动装置	(124)
第七节 摆式车体列车	(131)
第五章 高速铁路的信号与控制系统	(141)
第一节 概 述	(141)

第二节	行车指挥自动化·····	(150)
第三节	列车运行自动化·····	(157)
第六章	高速铁路的通信系统·····	(180)
第一节	概 述·····	(180)
第二节	有线通信·····	(189)
第三节	无线通信·····	(192)
第四节	数据通信与数字网·····	(199)
第五节	图像通信·····	(202)
第六节	信息处理系统·····	(204)
第七节	高速铁路未来无线通信系统 GSM-R ·····	(207)
第七章	高速铁路的车站及枢纽·····	(213)
第一节	概 述·····	(213)
第二节	高速铁路的车站布置图·····	(216)
第三节	高速铁路引入既有枢纽的方式·····	(222)
第四节	动车段(所)与综合维修基地在车站的 设置·····	(226)
第八章	高速铁路的运输组织·····	(230)
第一节	概 述·····	(230)
第二节	高速铁路列车运行图的编制·····	(233)
第三节	高速铁路的通过能力·····	(240)
第四节	高速铁路动车组的运用与管理·····	(248)
第五节	高速铁路的行车调度指挥·····	(255)
第六节	恶劣气候条件下的行车组织·····	(265)
第九章	高速铁路的环境保护·····	(271)
第一节	概 述·····	(271)
第二节	高速铁路的噪声及其控制·····	(273)
第三节	高速铁路的振动及其控制·····	(281)
第四节	高速铁路的电磁干扰及其防护·····	(283)
第五节	高速铁路对生态和其他环境的影响及其 防护·····	(286)

第十章 磁悬浮铁路	(290)
第一节 概 述	(290)
第二节 世界磁悬浮铁路的试验与发展	(293)
第三节 磁悬浮铁路的基本制式和工作原理	(297)
第四节 磁悬浮铁路的车辆与线路	(302)
第五节 磁悬浮铁路的社会经济效益及在我国的发展 前景	(310)
主要参考文献	(315)

第一章 绪 论

社会的进步与交通运输的发展是密切相关的。人类的智慧推动了交通运输的发展，交通运输的发展又促进了人类精神文明和物质文明的建设。一个国家或地区的经济繁荣和科学文化的昌盛，工农业之间、城乡之间、地区之间、企业之间的紧密联系，以及旅游事业的兴旺等都必须有相应的交通条件。因此，“要想富，先修路”，充分反映出交通运输是国民经济的“先行”部门，是发展经济，提高人民物质文化生活水平，巩固国防，加强国内各民族的团结以及国际之间交往的重要工具。

交通工具的主要任务之一，就是节省人们的移动时间和减轻人们移动时的负担。也就是说，为了适应社会发展和人民生活水平提高的需要，现代交通运输在运送旅客方面必须致力于快速、舒适、安全、准确、方便、经济等指标的综合改善与提高。

现在，人们的时间价值观念越来越强，“时间就是生命，时间就是效益”。交通运输速度的提高能获得时间的节省，因此，力求提高运输速度已成为日益受到重视的重点科技课题之一。

1825年英国修建了世界上第一条铁路。由于当时在速度上大大高于轮船和马车，以及具有运量大、可靠性高等优点，使铁路在19世纪后半叶和20世纪初迅速发展，成为各国的交通运输骨干，形成了铁路的“第一个新时代”，对推动社会和经济的发展与繁荣发挥了重要作用。但是，社会和经济的发展与繁荣，又对交通运输提出了更多的需求。从20世纪50年代开始，进入了交通运输工具现代化、多样化的时期，铁路开始受到汽车和航空运输兴起的竞争。高速公路和喷气式客机的出现，使铁路在速度上居于劣势，长途客运受航空运输排挤，短途客运被汽车运输取代，铁路陷入了“夕阳产业”的被动局面。这就迫使人们重新认识提高

铁路行车速度的重要性。也就是说，为了适应形势的发展，必须下决心研制、开发高速新科技，把铁路推向一个新的发展时期。

第一节 世界高速铁路发展概况

提高列车速度是铁路赖以生存和适应社会发展的唯一出路。为此，从20世纪初至50年代，德、法、日本等国都开展了大量的有关高速列车的理论研究和试验工作。1903年10月27日，德国用电动车首创了试验速度达210 km/h的历史记录；1955年3月28日，法国用两台电力机车牵引三辆客车试验速度达到了331 km/h，刷新了世界高速铁路的记录。铁路高速技术，至20世纪60年代已进入实用阶段，80年代至90年代又取得了一系列新成就、新突破，使铁路进入了“第二个新时代”。

当今世界上，铁路速度的分档一般定为：时速100~120 km称为常速；时速120~160 km称为中速；时速160~200 km称为准高速或快速；时速200~400 km称为高速；时速400 km以上称为特高速。对于“高速”的水平，随着技术进步而逐步提高。西欧把新建时速达到250~300 km、旧线改造时速达到200 km的称为高速铁路；1985年联合国欧洲经济委员会在日内瓦签署的国际铁路干线协议规定：新建客运列车专用型高速铁路时速为300 km，新建客货运列车混用型高速铁路时速为250 km。

1964年10月1日，世界上第一条高速铁路——日本的东海道新干线正式投入运营，时速达到210 km，突破了保持多年的铁路运行速度的世界记录，从东京至大阪只须运行3小时10分钟（后来又缩短到2小时56分）。由于其旅行速度比原有铁路提高一倍，票价较飞机便宜，从而吸引了大量旅客，使东京至名古屋间的飞机航班不得不因此而停运。这是世界上铁路与航空竞争中首次取胜的实例。继东海道新干线之后，又陆续建成山阳、东北、上越等新干线。目前日本高速铁路的营业里程已达1831.5 km，并计划再修建5 000 km高速铁路，成为日本陆地交通运输网的支柱。高速铁路的运营成绩和取得的巨大经济效益和社会效益，扭转了过

去虽然通过理论研究和试验证明铁路具有大幅度提高速度的潜力，但受到安全、造价等认识的困扰，长期给人们以可望不可及之感；纠正了人们对铁路已不适应经济快速发展、工作节奏快和高流动社会需要的错觉，给各国铁路带来了新的生机。之后，法国在1981年建成了它的第一条高速铁路（TGV东南线），列车时速达到270 km；后来又建成了TGV大西洋线，时速达到300 km；1990年5月13日试验的最高速度已达515.3 km/h，可使运营速度达到400 km/h。1993年TGV北线（也称北欧线）开通运营，全长333 km。它可由巴黎经里尔，穿过英吉利海峡隧道通往伦敦，并经欧洲北部比利时的布鲁塞尔，东连德国的科隆，北通荷兰的阿姆斯特丹，成为一条重要的国际通道。被称为“欧洲之星”的高速列车于1994年11月在法、英、比三国首都间正式投入运营。1997年12月以巴黎、布鲁塞尔、科隆、阿姆斯特丹四个城市字首命名的TGV-PBKA高速列车开始运行。1994年5月大巴黎区外环线建成后，北线、东南线和大西洋线可绕过巴黎相对连接成为一个高速铁路网系统。法国的高速铁路后来居上，在一些技术、经济指标上超过日本而居世界领先地位，现在已有高速铁路1 200多公里，而且由于TGV列车可以延伸到既有线上运行，因此TGV的总通车里程已达5 921 km，覆盖了大半的法国国土。

在日本、法国修建高速铁路取得成效的基础上，世界上许多国家掀起了建设高速铁路的热潮，意大利、德国、英国、原苏联、西班牙等国也先后新建或改建了高速铁路，就连过去曾因铁路不景气拆掉一部分线路而被称为“汽车王国”的美国，也在重视并着手高速铁路的建设。韩国和我国的台湾也都分别计划修建时速达300~350 km的高速铁路。目前，高速铁路技术在世界上已经成熟，高速化已经成为当今世界铁路发展的共同趋势。现在，世界铁路总长度约130万 km，其中运行时速至200 km以上的新建高速铁路约有4 500 km，如包括运行时速200 km的既有线路，总共已达15 000多 km（参见表1-1-1），约占总长度的1.1%，但却承担着各拥有国的相当一部分客运量。如日本的四条新干线，约占

世界一些国家高速

国别	线路名称	线路运营年份	运营区间及其里程 (km)	运营方式	牵引方式	车型
日本	东海道新干线	1964.10	东京—新大阪 (515.4)	客运专线	电动车组	0系
						300系
	山阳新干线	1975.3	新大阪—博多 (553.7)	客运专线	电动车组	0系
						100系
						500系
	长野新干线	1997	高崎—长野 (117.4)	客运专线	电动车组	700系
东北新干线	1982.6	上野—盛冈 (492.9)	客运专线	电动车组	200系	
上越新干线	1982.11	大宫—新潟 (269.5)	客运专线	电动车组	200系	
法国	TGV 巴黎东南线	1983.9 1994.7	巴黎—里昂—瓦朗斯 (530)	客运专线	电动车组	TGV-PSE
	大巴黎区外环线	1994.5	大巴黎区外环 (104)	客运专线	电动车组	
	TGV 大西洋线	1989.11	巴黎—勒芒、图尔 (308+12)	客运专线	电动车组	TGV-A
	TGV 北(欧)线	1993.6	伦敦—巴黎—布鲁塞尔 (333)	客运专线	电动车组	TGV-TMST
德国		1991	汉诺威—维尔茨堡 (327) 曼海姆—斯图加特 (105)	客货混用	电力机车或电动车组	ICE ICE-M
意大利		1988.5	罗马—佛罗伦萨 (262)	客货混用	电动车组	ETR450 (摆式车体) ETR500
瑞典		1990.4	斯德哥尔摩—哥德堡	客货混用	电动车组	X2型 (摆式车体) X2000型 (摆式车体)
西班牙		1989.9	巴塞罗那—米兰	客货混用	内燃机车	TALGO (摆式车体)
英国		1989	伦敦—利兹 (300) 伦敦—爱丁堡 (633)	客货混用	电力机车	IC 225
原苏联		1984.3	莫斯科—列宁格勒 (650)	客货混用	电动车组	3P 200

铁路概况表

表 1-1-1

编组内容	最高试验速度 (km/h)	最高运行速度 (km/h)	动车轴重 (t)	附 注
动 12	256	210	16	编组内容后改为动 16
动 10+拖 6		270	14	1991 年开始使用 300 系
		270		1972 年新大阪—冈山开始运营
动 6+拖 4 +动 6		230	15	1985 年开始使用
动 6		300	11.2	1997 年 3 月开始使用
动 12+拖 4		285	11.3	100 系的替代车组下一代的 主型动车组
动 12	319	260	17	1985 年上野—大宫才开始运营
动 12	319	260	17	
		260		
动 1+拖 8 +动 1	380	270	16	1993 年 TGV2N (动 1+拖 18+动 1) 投入运用。大巴黎 区外环线建成后,北线、东南 线、大西洋线可绕过巴黎衔接 成网
动 1+拖 8 +动 1	515.3	300	17	
动 1+拖 9 +拖 9+动 1		300	17	还可与荷兰阿姆斯特丹、德 国科隆连通
机 1+客 14 动 1+拖 14+动 1	406.9	280	19	1992 年初 ICE-M 投入运 营,主要用于欧洲国际旅客运 输
		300	17	
动 10+拖 1		250	12.5	
动 1+拖 12 +动 1	316	300	18	
动 1+拖 5	250	210	17.5	
动 1+拖 10+动 1	250	200	17	1991 年 9 月投入运营
机 1+客 5	230	200		
机 1+客 9	260	225	20.4	
动 12	200	200	17	

其铁路总营业里程的9%，却承担着约1/3的旅客周转量；法国三条新建高速铁路和TGV通行网络分别占其总营业里程的4%和18%，却承担着50%以上的旅客周转量。

归纳起来，当今世界上建设高速铁路有下列几种模式：

1. 日本新干线模式：全部修建新线，旅客列车专用；
2. 法国TGV模式：部分修建新线，部分旧线改造，旅客列车专用；
3. 德国ICE模式：全部修建新线，旅客列车及货物列车混用；
4. 英国APT模式：既不修建新线，也不对旧有线进行大量改造，主要靠采用由摆式车体的车辆组成的动车组；旅客列车及货物列车混用。

高速铁路进一步的发展趋势，是联线成网。目前欧洲各国已经建成和正在修建的高速铁路，原来都是各自独立的，现已在几个国家间沟通，今后将进一步发展成国内、国际间的高速铁路网，并与既有线相衔接；提出了“速度比小汽车快一倍，票价比飞机便宜一半”的目标，以充分发挥其优势。由于这将涉及到欧洲共同体等的10几个国家，因此在轨距、信号、供电、机车车辆等技术设备方面都制定了统一的标准，使欧洲的高速铁路网不仅是各国高速铁路的总和，而且能形成一个综合性整体。计划分别于1995年、2005年和2015年分三个阶段竣工，新建或改建1.9万km，可满足时速250km以上的高速铁路网；以及新建或改建1.1万km的时速160~200km的联络线和支线，以便连接欧洲所有的主要城市。届时欧洲将出现世界上最方便、最经济的地面高速运输系统，欧洲各大城市间都可通过高速铁路连接起来，并还将向亚洲延伸，形成洲际的高速铁路网。

在高速铁路的新技术方面，日本、德国、法国等正在研制磁悬浮铁路（参见本书第十章），其试验时速已达517km。这种列车基本上无噪音、无污染，能源消耗低。

第二节 高速铁路与其他运输方式的比较

高速铁路之所以受到各国政府的普遍重视决非偶然，是由于高速铁路克服了普通铁路速度较低的不足，与高速公路的汽车运输和中长途航空运输相比较，在下列各项技术经济指标中具有明显的优势所决定的。

1. 旅客送达时间。中长途旅客选乘交通工具首要考虑的是消耗的旅行总时间，即旅客从甲地到乙地的“门到门”时间。设由居民点到火车站或长途汽车站平均需0.5 h，到飞机场需1 h；检票、托运或提取行李、以及等候所需时间，铁路为0.5 h，长途汽车为0.25 h，飞机为1.5 h；乘坐小轿车出发或到达的市内行走时间为0.4 h；每小时的平均运行速度，高速公路为100 km，高速铁路为240 km，飞机为750 km。在旅行时间方面，其他交通运输工具与高速铁路相比，其经济旅行距离可按下式确定：

$$2t_{\text{他}} + \frac{l}{v_{\text{他}}} < 2t_{\text{铁}} + \frac{l}{v_{\text{铁}}}$$
$$l < \frac{2(t_{\text{铁}} - t_{\text{他}})}{\frac{1}{v_{\text{他}}} - \frac{1}{v_{\text{铁}}}} \quad (\text{km})$$

式中 $t_{\text{铁}}、t_{\text{他}}$ ——铁路或其他运输方式的市内旅行和办理各种手续的时间之和(h)；

$v_{\text{铁}}、v_{\text{他}}$ ——铁路或他种运输方式的平均速度(km/h)；

l ——经济行程(km)。

则乘坐长途公共汽车时

$$l < \frac{2(0.5 + 0.5 - 0.5 - 0.25)}{\frac{1}{100} - \frac{1}{240}} = 85(\text{km})；$$

乘坐小轿车时

$$l < \frac{2(0.5 + 0.5 - 0.4)}{\frac{1}{100} - \frac{1}{240}} = 205(\text{km})；$$

乘坐飞机时

$$l > \frac{2(1+1.5-0.5-0.5)}{\frac{1}{240} - \frac{1}{750}} = 1058(\text{km})$$

上述情况表明,如果乘坐高速列车,行程在85 km以上时比乘长途汽车快,在205 km以上时比乘小轿车快,在1 058 km以内时比乘飞机快,也即行程在85~1 058 km范围内,乘坐高速列车一般比乘坐其他公共交通工具节省时间。

2. 安全性和舒适度。安全和舒适也是旅客最为关心的因素。高速公路车祸频繁,美国每年因车祸死亡的人数约有5.5万人,死伤人数则共达200多万人;德、法、日每年的死亡人数也在万人以上,并有10万人因伤致残。民航失事也时有发生,而铁路因行车事故造成的旅客伤亡人数则大大低于公路和民航运输。1985年联邦德国铁路、公路、民航运输的事故率(每百万人公里的伤亡人数)之比大致为1:24:0.8,公路大轿车事故率为铁路的2.5倍。日本对20世纪70年代以来所发生的旅客生命财产事故分析,汽车事故是铁路事故的1 570倍,飞机是铁路的63倍。我国1987年至1988年统计,完成的换算周转量铁路为公路的3倍,而发生的事件数仅为公路的1/4,死亡人数为公路的1/282,受伤人数为公路的1/1 500。至于高速铁路,从开始运营起,日本近35年、法国10多年从未发生过列车颠覆和旅客死亡事故。高速铁路的安全性和可靠性最高已被世人所公认。由于每一旅客所占有的活动空间,高速铁路比汽车和飞机都大得多,高速列车运行平稳,震动和摇摆幅度很小,夜间行车可以使用卧铺,因而和乘坐汽车或飞机相比,长途旅客可以享受较高的舒适度。

3. 准确性。随着生活节奏的加快,人们除了时间价值观念日益增强外,还对交通运输的准确性提出了更高的要求。航空运输受气候影响,航班很难做到准点,有时还会停航。国外高速公路经常发生堵塞,行车延误在所难免。高速铁路则是全天候行车,线路为全封闭式,设有先进的列车运行与调度指挥自动化控制系统,能确保列车运行安全正点,较其他交通运输方式准确可靠。

4. 能源消耗。根据日本近年来的统计,各种交通运输工具平均每一人公里的能耗,高速铁路 571.2J,普通铁路 403.2J,高速公路公共汽车 583.8J,小轿车 3309.6J,飞机 2998.8J。如以普通铁路每一人公里的能耗为 1.0,则高速铁路为 1.42,公共汽车为 1.45,小汽车为 8.2,飞机为 7.44。这也是在当今石油能源紧张的情况下,选择发展高速铁路的原因之一。另外,在一般情况下,运价率是与能耗成正比的。

5. 运输价格。根据国外经验,高速铁路的票价,相当于普通铁路相同席别票价的 150%左右,长途汽车票价比高速铁路稍低,飞机票价则比高速铁路高级包房软卧票价稍高。据此推算,1 000 km 以内每人公里的平均运价率我国约为:高速铁路硬座 7 分,软座 11 分,软卧 24 分;高速公路豪华大客车 10 分,小型公共汽车 50 分,小轿车 100 分;大型客机国内航线 25 分,国际航线 10 美分。

6. 占用土地。4 车道高速公路的占地宽度为 26 m,复线铁路占地宽度为 20 m;如以单位运能占地相比较,高速铁路仅为高速公路的 1/3 左右。飞机航道虽不占用土地,但一个大型机场需用地 20 km²,相当于 1 000 km 复线铁路的占地面积,而 1 000 km 航线内至少要有 2~3 个大型机场,总用地约为铁路的 2~3 倍。

7. 综合造价。普通复线电气化铁路每公里造价约为 1 000 万元,高速铁路标准高些,估计为 1 300~2 500 万元。每个座席摊到的机车车辆购置费,普通铁路约为 1.2 万元,高速铁路约为 5 万元左右。高速公路每公里造价约为 1 100~2 600 万元。豪华大客车每个座席摊到的购置费约为 1 万元,小轿车则高达 10 万元左右。大型机场至少有一条宽 60 m 长 4 km 左右的跑道,路面标准高于高速公路,其他通道和停机坪也需硬面化,而配置的各种现代化导航设备,造价都是相当昂贵的。现代化大型客机每个座席的购置费约为 150 万元。这样,高速铁路的综合造价与高速公路相当而显著低于空运;如以每单位运能的综合投资进行比较时,则高速铁路将是其中最低的。