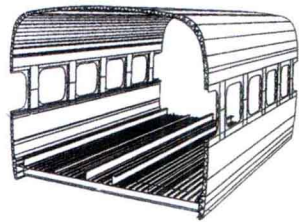




中国科协科普专项资助



“解读中国铁路”科普丛书之一



漫话

MANHUA

高速列车

GAOSULIECHE



杨中平 著

什么是动车组？

它与机车有什么不同？

有多少种动车组？

动车组为什么跑得快？……

——饱览动车组风驰电掣的精彩！



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

解读中国铁路 科普丛书

IEDU ZHONGGUO TIELU KEPU CONGSHU



杨中平 著

中国铁道出版社

2009年·北京

内 容 提 要

什么是高速列车？高速列车与动车组有什么不同？有多少种高速列车？高速列车为什么跑得快？……本书为你解读高速列车的车体及转向架、牵引传动系统、受流技术、制动系统、运行控制系统和节能降噪技术，向你展现世界各国高速列车的技术演变并展示中国高速列车的风采！

图书在版编目 (C I P) 数据

漫话高速列车 / 杨中平著. —北京: 中国铁道出版社, 2009
(解读中国铁路科普丛书)
ISBN 978-7-113-10938-7

I. ①漫… II. ①杨… III. ①高速列车—普及读物
IV. ① U292.91-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 235778 号

书 名: 漫话高速列车

作 者: 杨中平

责任编辑: 严介生

电 话: 010-51873155

设计总监: 吴大公

封面题字: 吴俊亮

装帧设计: 崔丽芳

环衬篆刻: 邹 路

责任印制: 郭向伟

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)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

版 次: 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1040mm 1/16 印张: 11.5 字数: 261 千

印 数: 0001 ~ 2000 册

书 号: ISBN 978-7-113-10938-7

定 价: 60.00 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, 请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 010-51873174, 路电 021-73174 (读者服务部)

打击盗版举报电话: 市电 010-63549504, 路电 021-73187

“解读中国铁路” 科普丛书

总顾问 孙永福（中国工程院院士）

总策划 郑建东 吕长清

策 划 国建华 钟加栋

主 编 严介生 丁国平 吴大公

时代的列车

(代序)

铁路纵横交错，四通八达，连接千家万户，贯通五湖四海，是经济发展的牵引机，是社会运行的大动脉。

当今中国的铁路，正以排山倒海之势，迅猛发展，运营里程接近8万公里，几乎绕地球赤道两周；尤其是在世界屋脊架起了天路长虹，不仅结束了西藏没有铁路的历史，也创造了在世界海拔最高的雪域高原铺设铁路的奇迹；我国铁路架设的桥梁和开凿的隧道之多之长之难举世罕见；自1997年以来，在短短的10年里，中国铁路成功地实施了六次大面积提速，时速200公里以上线路里程已达6200余公里；京津城际铁路最高时速达到350公里，是现时世界上最快的运营铁路；以前人们企盼的夕发朝至、当日往返的长途旅行，如今已在许多城市间实现，给人们的工作和生活带来很大方便。

人民铁路为人民，这正是中国铁路的行业宗旨。它始终坚持国家利益至上、社会效益第一，在运输能力十分紧张的情况下，优先保证关系国计民生的重点物资运输，除承担全社会85%的木材、85%的原油、60%的煤炭、80%的钢铁及冶炼物资的运输，坚持把化肥、农药、农机等“三农”物资作为运输重点，还多次圆满地完成电厂用煤、粮食、救灾物资的集中抢运任务……

中国铁路以占世界铁路6%的营业里程，完成了世界铁路25%的工作量，运输效率世界第一，完成的旅客周转量、货物发送量、换算周转量、运输密度均居世界前列，2008年大秦铁路年运量达到3.4亿吨，为世界之最。

中国铁路建设事业和运输事业日新月异，创建了一座座新的里程碑，为国家为人民做出了巨大贡献，建立了丰功伟绩。

然而目前的铁路现状还不能完全满足社会经济发展的需求，英雄的铁路员工，正在科学发展观的指导下，向着更高的目标前进：京沪高速铁路已经全面开工，

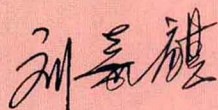
2012年时速200公里及以上客运专线及城际铁路里程将达到1.3万公里，一个更密、更快、更先进的铁路运输网正在形成。

火车到底能够跑多快？桥梁到底能建多长？台湾海峡能否架起一道钢铁彩虹？密如蛛网的铁路如何保证成千上万穿梭般的列车安全有序地运行？……

铁路充满着传奇的色彩，铁路饱含着动人的故事，铁路蕴藏着深奥的知识，铁路肩负着神圣的使命！

为了开启铁路的“神秘之窗”，让更多的人认识铁路、了解铁路、热爱铁路，中国铁道学会和中国铁道出版社在中国科协科普部的指导下，组织一批资深的铁路专家学者，历时3年，编写了一套“解读中国铁路”的科普丛书，涉及高速列车、机车、车辆、线路、桥梁、隧道、通信信号、运输和安全等方面，用浅显通俗的生动语言和精美的图片，揭示了铁路的奥秘，展现了铁路的风采，读起来不仅能学到许多有关铁路的科技知识，还可以领略铁路的文化内涵，是一部精品科普图书，祝愿它早日与读者见面。

中国科普作家协会理事长
中国科学院院士



(刘嘉麒)

2009年4月3日

自序

乒乓球是中国人的“国球”，巴西人足球踢得好，美国人篮球天下无敌，日本人擅长打棒球……这些，是广为人知的。为什么这几个国家擅长的球类运动各不相同？我想，这主要与普及程度有关吧。在中国，即使是偏僻的农村学校，校园操场里总少不了水泥浇筑的乒乓球台；在巴西的大街小巷、海滨沙滩，是总能见到男女老少在快乐地玩着足球游戏的；在美国，NBA 篮球比赛总是观众如云；而日本的每所学校一般都有自己的棒球队，电视台根本不会去担心棒球职业联赛现场直播的收视率。

由此，我常想，一国如想成为科技强国，在国民中普及科技知识，应是重要的条件之一；而要在国民中普及科技知识，一条有效的途径便是多出版好的科普作品。好的科普作品，其作用至少有二：一是可有效提高国民的整体科学素养，使一国的科学研究有广泛的群众基础；二是很多时候它会激发起一些青少年立志一生致力于某一科学领域的研究热情——这样的效果通常是严肃的学术著作难以达到的。所谓“学之者不如好之者，好之者不如乐之者”，科普作品正有培养科学殿堂中“乐之者”的独特作用。

因此，好的科普作品，远的如法布尔的《昆虫记》，近的如《十万个为什么》、比尔·布莱森的《万物简史》等，其影响都是广泛而深远的。

我敢说，但凡科技强国都是重视科普作品出版的。只要到美、德、英、法、日等国的大书店去看看，店中图文并茂、文采飞扬的科普作品真是多得令人目不暇接。就以日本的铁路科普读物来说吧，新书多、种类全、专业面宽、读者对象年龄层次广——从1岁小朋友，到青少年、到成年人、到老年人的都有，这就是日本铁路科普作品的特点。在日本，铁路科普读物是无需专门到大书店或铁路书籍专卖店才能买到的，即使是车站里的小卖部，通常也会有几种铁路科普读物在出售。众多的科普读物，加上庞大的读者群，使日本铁路拥有除专家群体以外的众多建言者。不消说，正是那些科普读物吸引了很多青少年矢志铁路技术，成为铁路技术研发的“乐之者”。日本能成为一个铁路技术先进、铁路交通非常发达的国家，倘要分析其中的缘由，我认为铁路科普读物在其中便发挥了独特而重要的作用。

如今，中国铁路，尤其是高速铁路，发展速度之快，堪称前无古人（大约也会后无来者吧）。我常常想，无论从眼前还是长远计，让更多的中国人了解中国铁路的现状，了解一些铁路基础知识，对中国铁路的发展应该是一件极其重要的事情。因此，大约在2007年年初的时候，中国铁道出版社热心而认真的严介生高级编辑约我撰写本书，我犹豫一阵后便答应了。至于犹豫的理由，是我觉得要写好一本科普作品，须得具备两个条件：首先是作者要有深厚的专业功底，厚积薄发，用浅显的文字表达出要描述事物的本质和原理；二是作者应有很好的文字功底，要有将枯燥的东西讲得引人入胜的本领。而我，距离这两个条件都实在差得太远，但想到这件事情的意义，自己又是从事高速铁路教学和研究的，与其去做一些用以蒙名和应付考核的所谓研究项目的功夫，大约还不如写本科普读物更有切实的意义。最终，在一番踌躇之后，我还是勉力应承下来了。

在终日世俗的忙乱中，总想寻得一些属于自己的安宁时光，尽所能写好这本小书，然而，现实却很难让我做到这一点。因此，或作或辍，竟历时2年才完成，效率之低，令自己都有些吃惊。至于书中内容，大多是在夜深人静的时候写就的，也有的是在出差外地的宾馆里所作，也有的是利用节假日的片刻安闲完成的……总之，是在不同时间、不同地点和不同心情下断断续续完成的。因此，各章节的语气不尽相同，后面几章原理介绍的深度也有差别，这些，都令自己深感遗憾，这些遗憾大约还将伴我相当长的一段时间。

在写书的两年多时间里，《铁道知识》杂志社的罗春晓编辑、青岛四方车辆股份有限公司的金泰木主任设计师、西南交通大学的吴松荣副教授和博士生周福林、中国科学院力学所的赵桂林博士、北京交通大学硕士生顾云、黄云鹏、邱晓露、王迅、陆峰、谷杨心等同学都给予了我真诚的帮助，倘这书能不让所有的读者都失望，我想，这就是对帮助过我的人最好的感激表达吧。中国铁道出版社的严介生高级编辑和吴大公副编审为此书付出了大量的心血，在此一并致以诚挚的谢意。

写作过程中，本书主要参考了以下书籍：钱立新主编的《世界高速铁路技术》（中国铁道出版社，2003年）；铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组编的《高速铁路技术》（中国铁路出版社，2005年）；内田清五著，陈贺、李毅、杨弘译的《日本新干线列车制动系统》（中国铁道出版社，2004年）；张曙光主编的《CRH₁型动车组》、《CRH₂型动车组》、《CRH₅型动车组》（中国铁道出版社，2008年）等。在此，向书籍作者们表示衷心的感谢！

二零零九年五月二十五日
杨中平记于北京

目录 CONTENTS

引言	1
----------	---

第一单元 初识高速列车	2
-------------------	---



给高速列车画个“素描”	4
列车的速度有几种?	6
列车的动力放在哪儿?	8

第二单元 动力分散还是集中?	10
----------------------	----



动力分散方式异军突起	13
动力集中方式后来居上	17
动力分散方式重新崛起	20
向动力分散方式转型	22

第三单元 国外高速列车一瞥	24
---------------------	----



日本：新干线各系列车	27
法国：从 TGV 到 AGV	44
德国：ICE 高速列车家族	50

第四单元 奔向高速之路	58
-------------------	----



从既有线提速起步	61
跨上新的速度高峰	69

第五单元 中国高速列车 72



什么是动车组? 75

动车组新兴一族 80

擅跑短途的 CRH₁ 82

“双胞胎”兄弟 CRH₂ 84

跑得最快的 CRH₃ 86

耐寒经冻的 CRH₅ 88

第六单元 高速列车车体与转向架 90



高速车体 93

高速转向架 100

第七单元 高速列车的牵引传动系统 104



采用何种牵引电机? 107

直流传动还是交流传动? 109

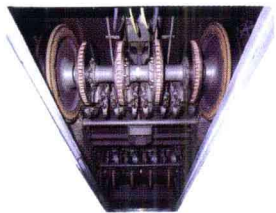
千呼万唤始出来 111

妙哉! 交流传动 116

交流传动揭秘 118

第八单元 高速列车的制动技术 128

性命攸关的制动系统 130



有多少种制动方式?	132
高速列车的复合制动	136

第九单元 高速列车的受流技术 138



什么叫受流?	140
如何向高速列车供电?	141
接触网如何悬挂?	143
如何提高受流质量?	148

第十单元 高速列车的运行控制 150



闭塞区间与信号	153
日本的高速列控系统	155
法国的高速列控系统	158
德国的高速列控系统	160
中国的高速列控系统	162

第十一单元 高速列车的节能降噪 164



节能节能再节能	166
降低噪声保护环境	167

结束语 172

引言

提起高速列车，人们常用“子弹头列车”、“陆地航班”、“贴地飞行”、“追风之旅”……这些字眼来称赞它。高速列车已进入了并正在改变着人们的生活，它大大拉近了城市间的距离，它加快了人们出行的节奏，它改善了人们乘火车的环境，它彻底颠覆了人们以往乘火车拥挤不堪的印象……它为什么这么神奇？它究竟有什么奥秘？许多人希望进一步了解它。这正是推动作者撰写此书的原因。

高速列车离不开高速铁路，但一说到高速铁路，大多数人第一印象就是高速列车。漂亮的流线型车头，风驰电掣般的速度，充满现代感与美感的矫健身躯，宽敞、明净、雅致的车厢……这些，就是人们对高速列车的感受。说高速列车是高速铁路系统中的主角，应该不会有太多的人反对，至少，从那些非专业乘客的眼光看来大概如此。究其原因，大约是高速列车与我们关系更亲近的缘故吧？高速列车把我们迅速载向目的地，它的速度，它的服务，它的舒适，它的票价……这些都与我们的出行关系太密切了。至于其他方面，如相关的线路轨道、牵引供电、通信信号等情况，离我们就相对要远一些了。

本书就是专门介绍高速列车的，不过，有两点需要事先声明。

其一，虽然在人们眼中高速列车是高速铁路系统的主角，但并不意味着其他子系统就不重要。其实，高速铁路是一个集众多高新技术于一身、异常复杂的超大型系统。它还有许多方面也许是不太为人们所熟悉的，例如：为高速列车铺设的无砟轨道和无缝线路；为高速列车提供电能的牵引供电系统；为高速列车安全运行保驾护航的通信与信号系统；担负指挥高速列车在线路上井然有序运行的运营调度系统；为旅客提供包括售票在内的各种服务的客运服务系统，等等。这些都是高速铁路的子系统。事实上，要想实现列车的高速运行，委实不容易。专家们需要运用土木、机械、材料、电气、通信、计算机等多学科最前沿的技术，让各个子系统都安全、可靠、协调地动作起来，才能让高速列车安全、飞快地跑起来。它们为高速列车提供了“大舞台”，否则高速列车便会“英雄无用武之地”。

其二，国人习惯上把高速列车称作“动车组”。作者文中所介绍的高速列车，实际上说的也是高速动车组。但是动车组并不等于就是高速列车，两个概念间的差别，我们将在第五单元里讲到。

下面，就让我们先来初步认识一下高速列车吧！

第
1
单元



初识高速列车

.....> CHUSHI GAOSU

.....> CHUSHI GAOSU LIECHE



给高速列车画个“素描”

看到高速列车，首先扑入我们眼帘的便是它那漂亮的流线型车头和修长的身躯了。

我们熟悉的地铁列车或者中、低速干线铁路列车，车头形状多显得方正、朴素，而高速列车的车头却呈漂亮的流线型。为什么会有这样的差异呢？

在微风中逆风行走，我们几乎不会意识到风的阻力存在。然而，若是在5级以上的大风中逆风而行，风的阻力之大，就会让我们体会到什么叫寸步难行了。列车运行时受到的空气阻力与速度的平方成正比，因此，中、低速列车运行就好比我们在微风中行走，设计人员基本上不用专门去考虑空气阻力的影响。可是，对于时速200公里以上的高速列车，情形可就不一样了，设计者们总要挖空心思，利用空气动力学原理，通过车头流线型的优化设计来尽量减小空气阻力。车头流线型除了降低运行阻力外，还有降低运行时的气动噪声、减小列车交会时的压力波、抑制隧道微气压波等作用，因此，设计出漂亮、符合技术要求的流线型车头可不是一件容易的事情。

运行中的高速列车宛如一条钢铁长龙在轨道上飞驰。这条长龙是由多节车辆通过车端连接组合在一起的，我们称之为一个列车编组。在一个编组中，有一种是带动力的车辆，其中又分两类：一类是只给列车提供动力，但不载客也不载货，这就是机车（俗称“火车头”），机车的英文是 Locomotive，因此在描述列车编组时常用“L”来表示；另一类，就是将牵引动力装置安装在车厢底部，同时还兼备载客或载货的车辆，我们称之为动车，国产“和谐号”CRH动车组编组中所带的动力车辆便属于这一类，这样的动车在英文中被称为 Motor



① 实现世界最高运营速度的“和谐号”CRH₃型动车组

Car，因此在描述列车编组时常用字母“M”来表示。在列车编组中，还有只载客但不带动力的车，我们称为拖车，写成英文是 Trailer Car，因此人们常用字母“T”来表示它。

高速列车或者说动车组具体是由哪些设备组成呢？

站在站台上，抬头往车顶上—看，你可以看到那高高升起的受电弓。绝大多数高速列车都是靠电能驱动前进的，同无轨电车获取电能的方式差不多，通过安装在车顶上的受电弓与安装于地面的架空接触网滑动接触来获取电能。

接下来，我们可以看到高速列车的车体。车体，它既是容纳乘客和司机（司机室在列车的两头）的地方，又是各种设备和部件依附的基础。所以，车体可说是高速列车最基本的组成部分了。为了减轻车体重量，如今，高速列车车体多选用铝合金材料。

车厢地板的下部，人们很少有机会看到它的真实面目，细心的乘客一般也只能在站台候车时看到一点侧影而已。在车厢的下部，最引人注目的便是类似于一台小车似的装置，由于它具有顺着钢轨转弯的导向功能，因此人们形

象地称其为“转向架”。转向架置于车体和轨道之间，用来牵引和引导车辆沿轨道行驶，并承受和传递来自车体和线路的各种载荷，缓和其动态作用力，让列车减速停车的制动装置也安装在它上面。转向架就像高速列车的“腿”，它能否正常工作，将直接关系到列车的运行安全。因此，转向架是高速列车的又一重要组成部分，虽然它不为业内人士所熟知。

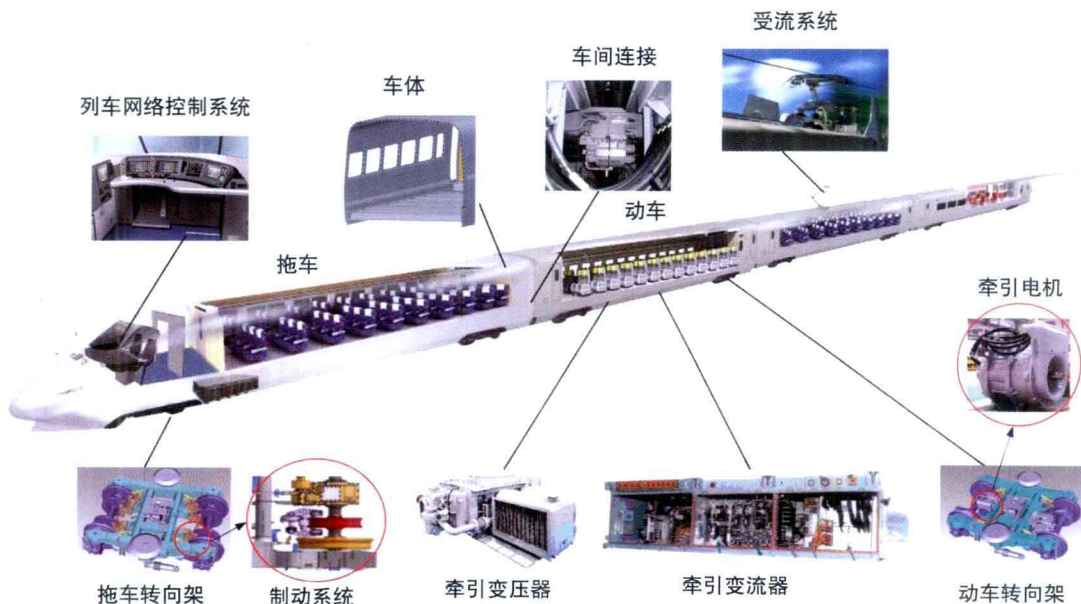
让高速列车起动或加速需要牵引力，让高速列车减速或停车则需要制动力。牵引力和制动力由谁来提供呢？肩负这两个重任的是高速列车的牵引传动系统和制动系统。早期，由于受技术的限制，高速列车采用直流电动机驱动。从20世纪80年代中期以后，随着电力电子技术的发展，用交流电动机驱动成为高速列车的主流。驱动高速列车的电动机我们称之为牵引电机。

高速列车在运行过程中，各种装置的运行

状态如何？万一某个装置发生故障又该如何应对？所有这些相关信息，都实时地显示在司机驾驶台的液晶显示屏上，完成这一任务的便是列车网络控制系统。当然，列车网络控制系统的功能远不止状态监测、故障诊断这些，它还具有牵引与制动控制、自动门控制和空调控制、车载试验等功能。

除了前面所述的几个组成部分外，高速列车还包括：为空调装置、空气压缩机、照明装置等设备供电的辅助供电系统；车辆连接装置；车内电气、供水、通风、取暖、车门、行李架等车辆内部设备。

综上所述，高速列车的基本组成包括两方面：机械方面有车体、转向架、机械制动系统以及车辆之间的连接装置等，电气方面有受流系统、由牵引变压器及牵引变流器和牵引电机组成的牵引传动系统、列车网络控制系统等，各系统的原理我们将在后面一一介绍。



列车的速度有几种？

不用说，高速列车的显著特点就是它的速度高，跑得快。



法国 V150 试验列车在 TGV 东线上创造了时速 574.8 公里的世界纪录

实际上，只提“速度”还是一种比较笼统的说法。细究起来，列车速度分为最高试验速度、最高运营速度、平均速度、旅行速度等好几种呢！

最高试验速度是容易理解的。专家们为什么要测试列车的最高试验速度呢？主要是他们想知道：试验列车以它的设计结构和制造工艺，把它的性能发挥到极限时，到底能跑多快？速度达到极限时，各种装置到底会发生什么样的变化？列车的各种动力学现象（空气阻力、轮轨间的摩擦阻力和黏着力、受电弓与接触网之间的受力等）如何？等等。这里要说明的是，测试列车最高试验速度时，列车运行环境可与正式商业运行时不一样，这时给它“吃的是小灶”，如将车轮直径增大，提高供电电压，专门选择一段条件最好的线路等。

目前，世界上轮轨式铁路（即以车轮在轨

道上运行的铁路，区别于磁悬浮铁路）列车最高试验速度是 574.8 公里 / 小时。这是 2007 年 4 月 3 日，法国人在 TGV 东线上用 V150 试验列车创造的纪录。

最高运营速度是指列车实际商业运行的最高速度。我们在日常交谈中，谈及某列车的最高速度为多少时，往往指的就是最高运营速度。最高运营速度既反映了列车本身的性能水平，也是一条铁路综合技术水平的直接反映。这个道理应

该不难理解，你想，没有与列车最高运营速度相匹配的轨道、信号、供电系统，列车就会有劲使不出，是无法以最高运营速度运行的。一般地，人们把最高运营速度在 200 公里 / 小时及以上的列车称为高速列车。目前，世界高速列车中，运营速度最高的是在我国京津城际铁路上运行的“和谐号”CRH₂-300 和 CRH₃ 型动车组，其运营时速达 350 公里。国外运营速度最高的是法国的 TGV-POS、TGV-R 和德国的 ICE3MF（在法国境内运行时）高速列车，时速为 320 公里。

那么，什么又是平均速度和旅行速度呢？为了便于理解，让我们用简单的小学算式来表示一下吧：

平均速度 = 运行距离 ÷ (运行时间 - 中途车站停车时间)

旅行速度 = 运行距离 ÷ 运行时间 (包括