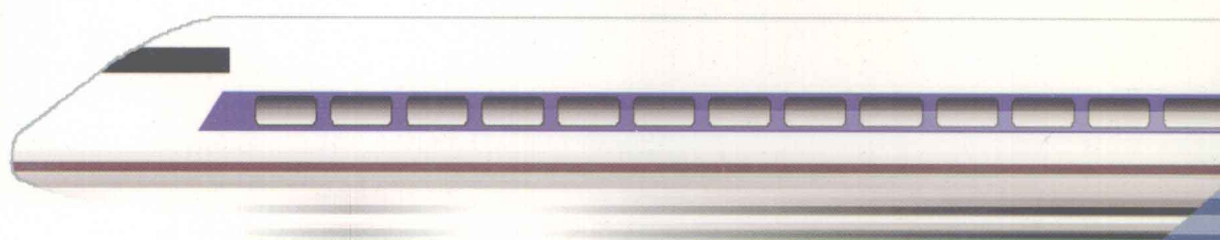


# 高速列车维修 及其保障技术

董锡明 编著



GAOSU LIECHE WEIXIU JIQI BAOZHANG JISHU

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



# 高速列车维修及其保障技术

董锡明 编著

中国铁道出版社

2008·北京

## 内 容 简 介

本书对高速列车的维修理论,各国高速列车的维修实践以及维修基地及其设施和装备等进行了详细的论述。内容包括高速列车维修概论、高速列车可信性工程、高速列车故障及其分析、寿命与寿命管理、高速列车技术诊断、高速列车维修管理、高速列车维修制度、维修现状与发展趋势等。

本书可供从事机车车辆研究、设计制造、运用及检修人员学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

高速列车维修及其保障技术/董锡明编著. —北京:中国  
铁道出版社,2008.5

ISBN 978-7-113-08946-7

I. 高… II. 董… III. 高速列车—维修 IV. U292.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 071057 号

**书 名:** 高速列车维修及其保障技术

**作 者:** 董锡明 编著

**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:** 聂清立 **编辑部电话:** (010) 51873138

**封面设计:** 薛小卉

**印 刷:** 北京昌平百善印刷厂

**开 本:** 889 mm×1194 mm 1/16 **印张:** 26.50 **字数:** 793 千

**版 本:** 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

**印 数:** 1~4 000 册

**书 号:** ISBN 978-7-113-08946-7/U·2223

**定 价:** 65.00 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,请与本社发行部调换。

联系电话:(市电) 010-51873117

网址: <http://www.tdpress.com>

从我国铁路第六次大面积提速开始,具有世界先进水平的高速列车在我国铁路上开行,大幅度地提高了我国铁路旅客运输的能力,取得了巨大的社会效益和经济效益。

为了保证高速列车安全可靠的运行,必须采用先进的技术、科学的管理对高速列车进行维修。可以说,现代高速列车的维修是保持和提高铁路客运能力的重要因素;是铁路安全运输的重要保证;是产生效益的巨大源泉;是可持续发展的重要环节;是铁路树立信誉、完善服务的重要手段。因此,各国铁路对高速列车的维修都给予了高度的重视和科学的管理。

随着愈来愈多的高速列车投入运用,如何维修、管理好这些高速列车,使它们安全、可靠、高效、经济地运营,无疑成为当前迫切需要解决的问题,从而引起人们极大的关注。面对这种形势,急需一本系统论述和全面介绍高速列车维修及其保障技术的书籍,因此作者撰写了《高速列车维修及其保障技术》一书,对高速列车的维修理论,各国高速列车的维修实践以及维修保障(主要指维修基地及其设施和装备等)技术进行了详细的介绍。这里特别要指出的是,作者在总结各国机车车辆维修经验和“以可靠性为中心维修(RCM)”理论的基础上,提出了高速列车“可信性维修(DCM)”的新理论和新概念。书中对这种理论、概念和方法作了介绍,并与“可靠性为中心维修(RCM)”理论进行了对比,来说明这种理论的新发展。这种理论不仅适用于高速列车,同样也适用于其他机车车辆和现代复杂技术装备系统的维修。作者期望,所提出的理论和观点能起到抛砖引玉的作用,在高速列车引进技术的平台上,能够自主创新出适合于我国自己铁路运输装备的维修理论和体系来。

本书主要介绍 200 km/h 及以上电动车组的维修及其保障技术。全书共分十三章。为保持本书的完整性和独立性,第一章介绍了高速列车的基本概念及分类,高速列车的发展和各国高速列车的概况。当然,如果想详细了解高速列车技术、高速列车工作原理与结构特点请参阅作者撰写的另外两本有关高速列车的专著<sup>[3,4]</sup>。第二章介绍了维修概论,包括维修的目的与意义,维修的基本概念,维修类别,技术装备维修理论与发展。第三章介绍了高速列车可信性和 RAMS 的基本概念,分别阐明了高速列车可靠性、维修性和测试性、可用性、安全性、保障性的定义、要求和指标。第四章介绍了高速列车的故障及其分析,故障模式、影响及其危害度分析(FMECA),故障树分析(FTA)等。第五章介绍了高速列车寿命与寿命管理,论述了寿命的定义及分类,寿命的确定方法,寿命管理以及提高寿命和可靠性的措施。第六章介绍了寿命周期费用(LCC)分析,主要涉及 LCC 的基本概念,高速列车常用的 LCC 模型以及 LCC 分析与评价,并以高速列车 ICE3 和 X2000 型为例说明 LCC 在高速列车中的应用。第七章介绍了高速列车的技术诊断,论述了诊断的基本概念,介绍了高速列车常用的诊断技术,诸如振动诊断、声诊断、红外线诊断、润滑油分析技术和性能趋向诊断等。第八章介绍了高速列车的维修信息管理,论述了维修信息管理的基本概念,信息管理系统的发展、构成和应用实例。第九章介绍了高速列车的维修制度,论述了高速列车维修制度的现状与发展,“以可靠性为中心”的维修制度(RCM),详细介绍了作者提出的“可信性维修(DCM)”的概念、理论与特点。第十章、第十一章和第十二章分别介绍了德国、日本和法国高速列车的维修策略、维修体制、维修基地及其维修装备。第十三章作为总结,论述了高速列车的维修现状与发展趋势,介绍了维修的新观念和新发展,高速列车维修制度、高速列车维修相关技术的发展。



本书的素材一方面来自作者及其同事们近年来在这一领域内的研究成果;另一方面来自国内外发表的许多文章、资料和书籍,作者在此对他们表示诚挚的谢意。

作者感谢中国铁道科学研究院机车车辆研究所的同事们,特别要感谢铁道部机车车辆大修规程管理研究室的文礼、李忠厚、申恩福、赵中喜、闫志强、王华胜、林荣文等同志,感谢他们在编写这本书的过程中所给予的支持与帮助。最后,还要感谢我的老伴黄厄文女士,她帮助我进行了大量的图表文整工作,使本书得以顺利完成。

由于作者水平所限,遗漏、谬误恐所难免,对所提出的批评指正,谨表谢意!

董锡明

2008.2 于北京

# 目 录

<b>第一章 高速列车概况</b> .....	1
第一节 高速列车基本概念及分类.....	1
第二节 高速列车的发展.....	7
第三节 各国高速列车概况.....	22
<b>第二章 维修概论</b> .....	62
第一节 维修的目的和意义.....	62
第二节 维修基本概念.....	65
第三节 维修类别.....	73
第四节 技术装备维修理论与发展.....	80
<b>第三章 高速列车可信性工程</b> .....	88
第二节 可靠性、可用性、维修性与安全性(RAMS).....	96
第三节 高速列车可靠性.....	105
第四节 高速列车维修性和测试性.....	132
第五节 高速列车可用性.....	139
第六节 高速列车安全性.....	145
第七节 高速列车保障性.....	148
<b>第四章 故障及其分析</b> .....	156
第一节 概    述.....	156
第二节 故障模式、影响及其危害度分析(FMECA).....	164
第三节 故障树分析(FTA).....	181
<b>第五章 寿命与寿命管理</b> .....	199
第一节 寿命的定义及分类.....	199
第二节 寿命的确定方法.....	202
第三节 寿命管理.....	204
第四节 提高机车车辆寿命和可靠性的措施.....	206
<b>第六章 寿命周期费用(LCC)分析</b> .....	211
第一节 概    述.....	211
第二节 寿命周期费用 LCC 模型.....	215
第三节 寿命周期费用分析与评价.....	224



第四节	LCC 在高速列车中的应用实例 .....	227
<b>第七章</b>	<b>高速列车技术诊断</b> .....	231
第一节	概    述 .....	231
第二节	诊断基本概念 .....	232
第三节	诊断技术 .....	235
第四节	高速列车诊断技术 .....	240
<b>第八章</b>	<b>高速列车维修信息管理</b> .....	258
第一节	概    述 .....	258
第二节	信息管理的基本概念 .....	259
第三节	信息管理的发展 .....	260
第四节	维修管理信息系统 .....	263
<b>第九章</b>	<b>高速列车维修制度</b> .....	274
第一节	维修制度基本概念 .....	274
第二节	维修制度的发展 .....	283
第三节	以可靠性为中心维修制度(RCM) .....	287
第四节	可信性维修 DCM .....	294
<b>第十章</b>	<b>德国高速列车 ICE 的维修</b> .....	308
第一节	概    述 .....	308
第二节	高速列车 ICE 的维修体制 .....	312
第三节	ICE 高速列车维修基地的维修设施和装备 .....	332
<b>第十一章</b>	<b>日本新干线高速列车的维修</b> .....	346
第一节	概    述 .....	346
第二节	日本新干线高速列车的维修体制 .....	349
第三节	日本新干线高速列车维修基地及其装备 .....	356
<b>第十二章</b>	<b>法国高速列车 TGV 的维修</b> .....	370
第一节	概    述 .....	370
第二节	法国高速列车 TGV 的维修制度 .....	375
第三节	TGV 列车维修基地及其设备 .....	379
<b>第十三章</b>	<b>高速列车维修现状与发展趋势</b> .....	396
第一节	维修的新观念和新发展 .....	396
第二节	高速列车维修制度 .....	400
第三节	高速列车维修相关技术的发展 .....	405
<b>参考文献</b>	.....	412



# 第一章 高速列车概况

## 第一节 高速列车基本概念及分类

### 一、高速铁路与高速列车

#### (一) 高速列车与高速铁路定义

迄今,高速铁路的定义有如下几种标准:

1. 1970年日本政府第71号令的定义为:凡在一条铁路的主要区段上,列车的最高运行速度达到200 km/h及以上的干线铁路。
2. 1985年欧洲经济委员会在日内瓦签署的国际铁路干线协议规定:列车最高运行速度达到300 km/h及以上的客运专线或最高速度达到250 km/h及以上的客货混用线。
3. 1986年国际铁路联盟(UIC)的定义是:最高速度至少达到250 km/h的专用线或最高速度达到200 km/h的既有线。

可以看出,各个标准对高速铁路的定义不尽相同,而且随着科学技术的进步,高速的定义还会变化。目前,一般可以将铁路速度分级定义如下:

- (1) 100~120 km/h 称为常速;
- (2) 120~160 km/h 称为中速;
- (3) 160~200 km/h 称为准高速或快速;
- (4) 200 km/h 以上称为高速。

因此,以最高速度200 km/h以上运行的列车称为高速列车。高速列车可以由机车牵引客车组成的列车,但一般是指动车组组成的列车,称为高速动车组。严格地说,高速列车的涵义更广泛,它不但包括轮轨式列车,还应包括磁悬浮列车等。

#### (二) 高速铁路与既有线的衔接

为发挥铁路的网络作用,必然存在着高速铁路与既有线的衔接问题。目前,世界上有3种主要衔接方式。

##### 1. 通达方式

高速列车由高速线下到既有线运行的通达方式。这种方式可确保高速铁路上运行的列车高度运行,因而运输效率高。这种衔接方式适用于运输密度很高的高速铁路。但是为了通达目的,需要应用较多昂贵的高速列车,运输成本较高。

##### 2. 跨线方式

既有线的快速列车上到高速线运行的跨线方式。这种方式使高速铁路上运行的列车以两种不同的速度运营,因而高速线上的列车运营的总对数会相应减少。这种衔接方式适用于中等密度运营的高速铁路,从路网运输效率和列车等级合理配置等方面综合比较,“跨线方式”比“通达方式”更为经济。

##### 3. 换乘方式

在高速线与既有线的连接点枢纽站进行换乘的方式。这种方式显然在列车等级的配置上最经济,但对于乘客很不方便,整个路网运输效率也不高。只适用于速度差较大的线路的衔接和运输组织。





## 4. 衔接方式的选择

高速线和既有线的衔接方式应该根据各国的具体国情进行选择。对于运输密度很高的高速线和线路条件较好的快速既有线的衔接采用“通达方式”，发达国家多采用这种通达方式；对于中等密度运营的高速铁路与既有线的衔接采用“跨线方式”，这种方式对于跨线列车只需配置 200 km/h 等级的列车，成本较低，并带动了既有线的提速。中等发达国家（包括中国在内）采用这种衔接方式比较经济与现实；对于高速线与既有线路速度差较大的状况，则适用于在枢纽站“换乘方式”。尤其在高速铁路建设的初期，高速铁路较少的情况，这种“换乘方式”则是必然的选择。对于我国，应该这 3 种方式并存，按照铁路运营的经济性来进行选择，以“跨线方式”和“换乘方式”为主，在特定情况下不排斥采用“通达方式”。

## 二、高速列车分类

高速列车的分类方法很多，从不同的角度有不同的分类方法。常用的分类方法主要有：

### （一）按速度等级分类

- （1）准高速列车：最高运行速度为 160~200 km/h；
- （2）高速列车：最高运行速度为 200~400 km/h；
- （3）超高速列车：最高运行速度为 400 km/h 以上。

### （二）按牵引动力类型分类

（1）电力牵引高速列车：从高速铁路发展状况看来，80%以上的高速动车组都是采用电力牵引，尽管电力牵引具有较大的初始投资。这是由于电力牵引具有牵引功率大、轴重轻、经济性好、利于环保等优点。

（2）内燃牵引高速列车：内燃牵引高速列车由于其投资少、见效快、经济性好等优点，常常用于尚未电气化的高速铁路区段，或者作为发展高速铁路建设的一种过渡牵引型式。

（3）磁悬浮高速列车：磁悬浮列车是一种全新的交通运输工具，它与传统的列车有着截然不同的特点。它是利用电磁系统产生的吸引力和排斥力将列车托起，使整个列车悬浮在导轨上，并利用电磁力进行导向，利用直线电机将电能直接转换为推进力，推动列车高速前进。磁悬浮列车由于轮轨不接触，没有轮轨摩擦阻力，因而适于超高速运行，速度可达 500 km/h 以上；而且安全性好，污染小、利于环保，占地面积小，运行平稳，舒适性好等，因而具有非常好的发展前景。目前，由于磁悬浮系统与现有的轮轨系统不兼容，投资费用较高等缺点，尚处于进一步试验、试运营和积累经验的阶段。

### （三）按牵引型式分类

（1）机车牵引的高速列车：这是传统的牵引型式，由机车牵引车辆，不固定编组，牵引比较灵活，可一端牵引，也可两端推挽牵引。这种牵引型式一般应用于既有线改造为客货混用的高速铁路上，其运行速度一般在 200 km/h 左右。它在高速化初期为不少国家所采用，是一种投资少、见效快的牵引型式。但这种牵引型式由于机车总功率的限制，难于满足速度进一步提高的要求。

（2）高速动车组：动车组是一种带有可操作动力的具有固定编组的列车组。按照牵引动力类型又可分为电动车组和内燃动车组。高速动车组由于轴重轻、牵引功率大、载客量多、舒适、快捷、经济等优点，而被绝大部分高速铁路所采用。

### （四）按动力配置方式分类

#### （1）动力集中型高速列车

动力集中型列车是将动力装置集中安装于列车的一端或两端的动力车上，仅有动力车的轮对受电机驱动，为动力轮对。将电气设备和动力装置集中安装在动力车上。由动力车牵引列车，动力车只牵引不载客，拖车只载客不牵引。

#### （2）动力分散型高速列车

动力分散型列车是由电机驱动的动力轮对分散布置在所有或多组轮对上，同时将主要电气设备



吊挂在车辆下部,也可以将动力装置吊挂在车辆下部。动车组的全部车辆都可以载客。

#### (五)按转向架连接方式分类

##### (1)独立式高速列车

独立式列车即为传统的车辆与转向架的连接方式,每节车辆的车体都置于两台转向架上,车辆与车辆之间用密封式车钩相连接,列车解体后车辆可独立行走。

##### (2)铰接式高速列车

铰接式列车是将车辆的车体之间用弹性铰相连接,并放置在一个共用的转向架上,因此每节车辆不能从列车上分解下来独立行走。

按照动力配置和转向架连接方式组合,可以将高速动车组分为4种类型,如图1-1所示。这4种类型的高速动车组各有其优缺点,都能满足运行速度300 km/h以上的要求。各个国家根据自身的情况和列车的使用条件来选择适用的类型。例如德国的ICE1、ICE2型列车采用独立式动力集中型(图1-1a);法国TGV型和西班牙的TALGO-350型列车采用铰接式动力集中型(图1-1b);日本新干线和德国ICE3型列车采用独立式动力分散型(图1-1c);法国AGV型列车采用铰接式动力分散型(图1-1d)。



图1-1 高速列车按照动力配置和转向架连接方式分类示意图

### 三、高速动车组的动力配置方式

如前所述,高速列车的动力配置方式有两种,即动力集中型和动力分散型。两种型式的发展都有其自身的历史原因和发展过程。

#### (一)动力集中型

动力集中型高速动车组首先是从欧洲开始发展起来的,是传统的机车牵引列车的延伸和发展,这对于欧洲铁路货运比重较大,客货混跑的状况是十分有利的。欧洲各国凭借其先进的技术,开发动力集中型高速动车组而获得成功。

动力集中型高速动车组的牵引力是由集中在动力车的动力轮对提供的,因此必须注意两个问题:一个是动力轴的轴重必须足够大,以能够提供所需的牵引力,否则动力车轮将产生空转,丧失牵引力,不但使电机的功率得不到发挥,反而会损伤车轮和钢轨;另一个问题是动力轴的轴重又不能过大,否则在高





速运行时会产生过大的轮轨力,损坏钢轨和线路。为此,欧洲高速铁路网在有关技术规程中规定:高速列车的最大轴重不得超过 166.7 kN,黏着系数值定为:低速启动时为 0.2;100 km/h 时为 0.17;200 km/h 时为 0.13;300 km/h 时为 0.09。

### 1. 动力集中型的优点

(1)可灵活编组,便于管理。因为它与传统的机车牵引列车相似,因此可以按照习惯对车辆进行编组,便于运用和维修管理。

(2)便于监测和维修保养。因为故障率较高的机械和电气设备集中在动力车中,因而工作环境较清洁,监测和维修保养也比较方便。

(3)车厢内振动小、噪声低。由于机械和电气设备都集中在动力车中,与载客拖车相隔离,因此载客车厢内振动小、噪声低、舒适性好。

(4)牵引动力车可以摘挂,能够使列车由高速线进入既有线,甚至可更换内燃机车,使列车直接进入非电气化铁路区段。

### 2. 动力集中型的缺点

(1)载客量相对减少。由于动力车不能载客,因此相对减少了载客量。

(2)轴重相对较重。由于动力车集中了全部的动力装置,还有其他的电气和机械设备,因此减轻重量比较困难,造成轴重较重。

(3)黏着与高速的矛盾难以协调。高速列车的动力车为了牵引整个列车,必须产生足够大的黏着牵引力,因此动力车的轴重不能太轻;而高速又要求列车轴重尽量轻,两者矛盾难以协调。

(4)制动性能相对欠佳。动力车的制动能力受到黏着的限制,需要拖车分担部分制动功率,因此列车的制动性能欠佳。

## (二)动力分散型

动力分散型高速动车组是从日本发展起来的,是传统的城市轨道交通列车的延伸和发展。日本铁路是世界上唯一以客运为主的国家,干线轨道交通与城市轨道交通相互融合,使这种动力分散型的电动车组得到了充分的发挥。随着高速动车组运行速度的提高(300 km/h 以上),动力分散型配置方式的优越性更加明显,某些传统采用动力集中型高速动车组的国家(例如德国)也转而改用动力分散型。

### 1. 动力分散型的优点

(1)载客量相对较多。由于动力装置分散在各个车辆中,因此不存在动力车不载客的问题,各个车辆均能载客,从而增加了列车的载客量。

(2)最大轴重较轻。由于动力装置和牵引电机的重量和功率分散在各节车辆上,因此高速列车最大轴重较轻,簧下质量更小,有利于解决高速列车动力学和轮轨磨损维修的问题。

(3)黏着与高速的矛盾容易协调。由于牵引力分散在各个动力轮对上,重量也分散在各节车辆上,因此高速列车大牵引力与轴重限制、黏着与高速之间的矛盾容易协调。

(4)具有较好的制动性能。由于制动力由各个车辆分担,可以充分地利用动力制动,因此列车具有较好的制动性能。再生制动功率提高,还可节省能源,提高经济性。

(5)具有较低的每一座位寿命周期费用(LCC)。尽管动力分散型高速列车由于增加了动力装置和牵引电机的数量,而使造价和维修费用有所增加,但由于座席的增加,使高速列车每一座席的平均寿命周期费用降低。

### 2. 动力分散型的缺点

(1)动力分散影响车厢内的舒适度。由于动力装置吊装在车辆下部,它们产生的振动和噪声会影响车厢内旅客的舒适度,因此必须采用隔振降噪的措施,具有一定的技术难度。

(2)动力装置的故障率相对较高。由于动力装置安装在车下,工作环境比较恶劣,而且要求体积小,因此动力装置的故障率相对较高。



(3)与传统管理体制不相适应。列车不能灵活编组,只能分单元编组,因此列车不能驶入非电气化铁路运行,并且与传统的运营、维修管理体制和习惯不相适应,必须建立起一套新的维修体系。

### (三)动力配置方式的选择

关于高速列车动力配置方式的选择问题,长期以来争论不休。以日本为代表的高速铁路认为动力分散型的动力配置具有无可比拟的优越性;而西欧各国则偏向于采用动力集中型高速列车。由上述两种方式的对比可以看出,高速列车两种配置方式各有其优缺点,各个国家应该根据自己的具体情况进行选择。应该根据高速列车的使用条件、运用环境、客流状况,并结合自己的运用经验和传统技术进行决策。

#### 1. 日本铁路选择动力分散型高速动车组

日本铁路早在 20 世纪 60 年代建设世界上第一条高速铁路,当时技术水平较低,采用动力分散型高速动车组相对来说技术难度要求较低;另外,日本地质环境较差,土质松软,坡度、弯道变化多,对列车轴重要求严格,采用动力分散型高速动车组轴重容易控制;再有,日本铁路货运量少、客运量大,适于修建客运专线,利于采用轴重较轻的动力分散型的轻型高速列车;最后,日本铁路是以客运为主的,城市轨道交通发达,积累了丰富的动力分散型轨道车辆方面的经验,所以采用动力分散型高速列车可以说是轨道车辆的延伸和发展。因此,日本铁路认为,动力分散型高速列车具有无与伦比的优点,其理由列于表 1-1 中。因此可以说,日本已经将动力分散型高速列车的优越性发挥得淋漓尽致。日本铁路认为,日本高速铁路获得的巨大成功,与其正确地选择了高速列车的动力分散型配置方式有着很大的关系。

表 1-1 日本铁路动力分散型和动力集中型高速列车的对比

序号	项 目		动 力 分 散 型	动 力 集 中 型
1	定 员	列车编组	列车所有车辆均可设置乘客车厢	动力车空间无法作为乘客车厢
2		增加的潜力	轴重轻,可以采用大型车身和增加定员	车身大型化和增加定员受轴重和牵引力限制
3	轴 重		轴重轻,线路建设和维护费用低	动力车轴重大,无法实现轻量化
4	簧下质量		簧下质量轻,运行稳定性能好	簧下质量大,不利于运行稳定性
5	车轮直径		轴重轻,可以使用小直径车轮	轴重大,接触压力大,无法减小轮径
6	轴 距		轴距短,曲线通过性能良好	轴距大,曲线通过性能不良,磨损大
7	动力装置		牵引电动机装在转向架上,驱动装置结构简单	电动机装在车身上,驱动装置大而复杂
8	转向架		转向架轻、体积小,运行稳定性好	转向架重、体积大,不利于运行稳定性
9	黏着利用	黏着稳定性	可利用多动轴的黏着特性,牵引稳定	仅动力车可实现高黏着,湿轨不稳定
10		动轴数量比例	根据车型不同,分别为 50%~100%	例如 TGV(2M8T)30%,ICE(2M14T)13%
11	确 保 黏 着 措 施		检测和控制空转和打滑,使黏着最大	检测和控制空转和打滑,使黏着最大
12			全部车轴设置接触面清扫装置(无噪声影响)	接触面制动,噪声大
13			瓷粉喷洒装置(500 和 700 系,无噪声影响)	动力车设喷沙装置,产生噪声
14	制 动 方 式	耐久性	常用电制动,部件寿命长,可频繁加减速	常用机械制动,部件磨损大,更换频繁
15		冗余性	机械、电制动可互相置换,双重系统	动力车电制动系统无法由机械制动代替
16	车身压缩强度		由于牵引力分散,可降低车身压缩强度	需要具备动力车大牵引力的高强度
17	列 车 重 量	对于列车长度	车身和电气装置都向轻量化发展	重量集中在动力车上,客车轻量化
18		对于每位乘客	对于每位乘客的重量轻	对于每位乘客的重量重
19	车内噪声		通过开发隔声材料,使得差别不大	乘客车厢无动力装置噪声
20	环 保 措 施	节省能源	经常使用再生制动,节省能源	无法进行电力再生,能源利用率小
21		对环境的影响	由于轴重轻,地面振动小	由于轴重大,地面振动大



续上表

序号	项 目		· 动 力 分 散 型	动 力 集 中 型	
22	运 用	运用可靠性	从车组中将故障隔离,影响较小	动力车发生故障影响大,雨天黏着不稳	
23		利用率	车站调头	能进行车站调头运行,仅进行车厢清洁	长距离运行后,制动部件需检修
24			日常检修	时间短(受电器为检查重点)	时间长(制动部件、车轮、受电器检修)
25			列车类别	既可作为直通列车,又可作为站停列车	各站停车使用困难(机械制动件寿命短)
26	用	改变列车长度	以车组为单位进行节数改变,使性能一致	动力车性能过剩或不足	
27		改变 MT 比例	能够确保最大定员人数,选定最佳性能	客车节数变更,运输效率降低	
28	费 用	动力费用	定员多,经常使用再生制动,节电效果大	定员少,使用再生制动比例小	
29		车辆费用	对于每节车辆	小型动力装置数量较多,费用高	仅动力车设置大型动力装置,费用低
30			对于每位乘客	列车定员人数多,相对每位乘客费用低	列车定员人数少,相对每位乘客费用高
31		车辆维 修费用	转向架	制动部件磨损极小,无需日常更换	制动部件磨损大,材料费高,维修频繁
32			车轮	车轮磨损小	由于轴重大,轴距宽,车轮磨损大
33			电器装置	属静止型设备,交流电机维修作业极少	装置数量少,费用相对较少
34		线路维修费用	由于轴重轻,因此对线路影响较小	由于轴重大,线路维修费用较高	
35	基础设施建设费用	轴重轻,客运专线投资费用低	需要适应于大轴重的基础设施		

## 2. 德国、法国高速动车组由动力集中转向动力分散

以德国和法国为代表的西欧高速铁路与日本不同。一方面,西欧各国技术先进,更何况高速铁路晚实现了 17 年,在技术方面有能力和采用传统的机车牵引车辆的动力集中方式,解决铁路高速化的问题;另一方面,西欧铁路货运占有很大的比重,采用客货通用的线路和动力集中的列车,有利于提高机车的利用率。因此,西欧高速铁路从开始以来都是采用动力集中型高速列车,可以将其看成是传统的机车牵引车辆方式的延伸和发展。但是近年来,这方面发生了根本性的变化,德国和法国最新型的高速列车 ICE3 和 AGV 型,相继采用了动力分散的方式,是什么原因促使他们发生这种转变呢?以德国高速列车为例说明之。

德国从 1970 年开始进行高速铁路和高速列车的研究和试验,1982 年开始修建高速铁路,并在 ICE 试验型的基础上,开发和批量生产高速列车 ICE1 型,于 1991 年投入运用。ICE1 是由 2M+14T 组成的电动车组。1992 年,为提高列车利用率而变更列车编组,将 ICE1 一分为二,改进设计成 1M+6T+1 控制头车组成的 ICE2 型“短编组”动车组,于 1997 年交付使用。如前所述,这两种型式的高速列动车组均为传统机车牵引模式的动力集中型,是为德国铁路运用的。1997 年,为建成欧洲统一的高速铁路网,由欧洲铁路联盟制订的新《欧洲高速铁路联网高速列车技术条件》开始生效。文件中规定,进入欧洲高速铁路网的高速列车在满足最高速度 330 km/h,线路坡度 40‰的情况下,必须将轴重限制在 17 t 以下,并要求增加座位数目等。显然,动力集中型的 ICE1 和 ICE2 满足不了这些要求,它们的轴重分别为 20.1 t 和 19.4 t。出于市场竞争的需要,德国生产的高速列车必须采用动力分散型。2000 年,德国重新设计的高速动车组 ICE3 交付使用,这种采用动力分散型的 ICE3 列车与 ICE1 和 ICE2 相比,增加了旅客定员数量,列车每米座位数从 1.9 个增加到 2.1 个,因此运营时具有更好的每座位一公里经济效益。同时,整个列车重量趋于均匀分布,因而降低了最大轴重,动轴轴重降低到 14 t,并获得了更好的牵引特性。而且还提高了再生制动的利用率,制动功率达 8.2 MW,最大制动力为 300 kN,相当于 ICE2 的 2 倍,节省了能源,降低了盘形制动的耗损和维修费用。寿命周期费用(LCC)的研究结果如表 1-2 所示。由表可以看出,ICE3 高速动车组的功率越大,消耗能源越多,其牵引的质量和座位较多,维修费用也较高,因此 ICE3 的 LCC 要高出 10%左右,但由于座位增加了 20%,而使每座位的寿命周期费用 LCC 少用 9%。



表 1-2 德国高速动车组 ICE2 与 ICE3 寿命周期费用 LCC 的对比

序号	项 目 名 称	ICE2	ICE3
1	动力配置方式	动力集中型	动力分散型
2	功率(MW)	2×4.8	16
3	质量(空车)(t)	814	900
4	可利用列车长度(m)	306(80%)	341(86%)
5	全寿命(年)	25	25
6	每年运行公里(万 km)	55	55
7	购置费用(%)	100(20.2%LCC)	118(21.5%LCC)
8	运用费用(不包括能源费)(%)	100(47.5%LCC)	104(44.9%LCC)
9	能源费用(%)	100(11.3%LCC)	125(13.5%LCC)
10	维修费用(%)	100(21%LCC)	105(20%LCC)
11	总 LCC(%)	100	110
12	平均每一座位的 LCC(%)	100	91

### 3. 西班牙高速动车组 TALGO 350 仍然采用动力集中型

从高速轮轨黏着与速度矛盾的协调来看,目前世界上趋向于采用动力分散型的高速动车组,尤其是载客量大、速度高(300km/h 以上)的高速列车,动力分散型具有较为明显的优势。但也不是绝对的,应该根据每个国家的具体情况进行选择。例如西班牙高速动车组 TALGO(也称 AVE S 102),是在西班牙传统的动车组基础上发展而来的,由 Bombardier 公司与 TALGO 公司合作生产。其编组为 2M+12T,运行速度达 330 km/h,是单轮对铰接式动力集中型高速动车组。

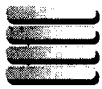
## 第二节 高速列车的发展

### 一、高速列车的发展历程

列车在既有线上以超过 200 km/h 速度运行的尝试很早就出现过。早在 1903 年德国生产的一列试验型三相交流电动车组,就创造了 210 km/h 的速度记录;1954 年法国电力机车牵引列车创造了 243 km/h 的速度记录;1955 年法国用 2 节普通的电力机车在普通铁路线上做高速试验时,创造了 331 km/h 的行车速度记录,这个记录保持了 20 年,直到 20 世纪 70 年代才被自己打破。但是,高速列车以 200 km/h 以上的速度在高速铁路上运行,却是 20 世纪 60 年代以后出现的事。1964 年日本建成了世界上第一条高速铁路(东海道新干线),并研制、使用 0 系高速列车,运营速度达 210 km/h。日本高速铁路的巨大成功极大地刺激了欧洲各国高速铁路的发展,法国、德国、意大利、西班牙等国纷纷开始效仿,世界高速铁路如雨后春笋般地兴建,从而极大地改变了铁路当时被称为夕阳工业的面貌,至今高速铁路方兴未艾,正在高速地发展。

- (1)1964 年,世界上第一列高速动车组在日本东海道新干线投入运行,时速达 210 km;
- (2)1972 年,法国 TGV 高速动车组开始试运行,其牵引动力装置为燃气轮机组,时速达 317 km;
- (3)1974 年,法国决定在修建巴黎东南线时采用电力牵引;
- (4)1975 年,日本山阳新干线全线通车,列车最高运行速度为 270 km/h;
- (5)1976 年,英国在伦敦—布里斯特间开行 200 km/h 的高速列车 HST;
- (6)1977 年,德国高速列车在慕尼黑—奥格斯堡之间投入运营,时速为 200 km;
- (7)1979 年,日本东海道新干线高速动车组最高速度达 319 km/h;日本磁悬浮列车试验速度达 517 km/h;
- (8)1980 年,德国开始研制高速动车组 ICE;





- (9)1981年,法国高速动车组 TGV 在巴黎东南线第一段上正式投入运营,速度为 260 km/h;
- (10)1982年,日本上越新干线全线建成通车,列车最高运营速度达 240 km/h;
- (11)1983年,法国巴黎东南高速铁路全线建成通车;
- (12)1984年,法国大西洋高速铁路开工;
- (13)1985年,德国开始实施曼海姆—斯图加特、汉诺威—维尔茨堡的高速铁路计划;日本东北新干线全线建成通车,最高运营速度 240 km/h;
- (14)1986年,比利时、荷兰、德国和英国决定联合修建高速铁路网;
- (15)1988年,德国 ICE 高速动车组创造了 406 km/h 的世界速度记录;
- (16)1990年,法国 TGV 高速动车组创造了 515.3 km/h 的世界速度记录;
- (17)1991年,德国曼海姆—斯图加特高速铁路建成,ICE 高速动车组正式投入商业运行,最高运营速度达 250 km/h;
- (18)1992年,西班牙马德里—塞维利亚高速铁路建成,AVE 高速动车组投入运行;德国汉诺威—维尔茨堡高速铁路建成通车;
- (19)1994年,英吉利海峡隧道高速铁路建成,高速列车从巴黎直驶伦敦;法国大巴黎区外环线建成,使北线、东南线、大西洋线连接成一个高速铁路网;
- (20)1995年,韩国汉城—釜山高速铁路开工,于 2004 年 4 月 1 日建成通车,高速列车采用法国 TGV 技术,最高运营速度为 300 km/h;
- (21)1997年,日本长野新干线投入运营,动车组最高运营速度达 260 km/h;
- (22)1998年,西班牙马德里—巴塞罗那高速铁路开工建设,高速动车组最高运营速度将为 350 km/h;
- 德国柏林—汉诺威高速铁路建成通车,采用高速动车组 ICE3,最高运营速度达 330 km/h;
- (23)2007年,法国 AGV 高速动车组创造了 574.8 km/h 的世界速度新记录。

## 二、高速列车的现状与发展趋势

目前,世界上生产高速列车的主要国家是日本、法国和德国,这三个国家在不同的时期,针对不同的高速铁路,开发了不同型式的高速列车,生产数量不同,运用年限不同,取得的经验也不一样。为了便于比较,表 1-3 列出了这三个国家生产的高速列车主要技术参数比较。

表 1-3 高速列车主要技术参数比较

制造国别		日 本				法 国			德 国		
车 型		300 系	500 系	700 系	E4 系	TGV-P	TGV-A	TGV-2N	ICE-1	ICE-2	ICE-3
制造开始年份		1990	1996	1997	1997	1981	1989	1996	1991	1996	1998
运营速度(km/h)		270	300	270	240	270	300	300	250	250	330
列 车 组 成	列车编组	10M6T	16M	12M4T	4M4T	2L8T	2L10T	2L8T	2L12T	2L7T	4M4T
	动力配置方式	2MT 分散	4M 分散	6M2T 分散	2M2T 分散	两端集中	两端集中	两端集中	两端集中	一端集中	2M2T 分散
	转向架构成	20M/12T	32M	24M/8T	8M/8T	6M/7T	4M/11T	4M/9T	4M/24T	2M/14T	8M/8T
	轴构成	40M/24T	64M	48M/16T	16M/16T	12M/14T	8M/22T	8M/18T	8M/48T	4M/28T	16M/16T
	总轴数	64	64	64	32	26	30	26	56	32	32
	客车总数	16	16	16	8	8	10	8	12	7	8
编组长度(m)		402.10	404.00	400.80	201.40	200.12	237.59	200.19	357.92	205.40	200.00
编组质量	空车(t)	637	620	634	428	385	435	380	790	420	405
	定员(t)	710	700	713	477	418	479	424	845	453	440

续上表

制造国别		日 本				法 国			德 国		
定 员	编组合计(人)	1 323	1 324	1 323	817	368	485	545	669	393	415
	一等车(人)	200	200	200	54	108	116	197	192	105	141
	二等车(人)	1 123	1 124	1 123	763	260	369	348	441	265	250
	单位长度定员 (人/m)	3.29	3.28	3.30	4.06	1.84	2.04	2.72	1.87	1.91	2.08
特 点	连接方式	车钩	车钩	车钩	车钩	铰接	铰接	铰接	车钩	车钩	车钩
	组合运用	不能	不能	不能	能	能	能	能	不能	能	能
	其他				双层			双层			
单位定员质量 (t/人)		0.54	0.53	0.54	0.58	1.14	0.99	0.78	1.26	1.15	0.98
轴重	最大(t)	11.3	11.1	11.1	15.6	17.0	17.0	17.0	19.5	19.5	15.0
	平均(t)	11.1	10.9	11.15	14.9	16.0	16.0	16.3	15.1	14.2	12.5
整列总额定功率 (kW)		12 000	18 240	13 200	6 720	6 800	8 800	8 800	9 600	4 800	8 000
人输出功率 (kW/人)		9.07	13.78	9.98	8.32	18.48	18.14	16.15	14.35	12.21	19.21
单位质量功率 (kW/t)		16.90	26.06	18.50	14.09	16.27	18.37	20.75	11.36	10.60	18.18
供电制式		25 kV/ 60 Hz	25 kV/ 60 Hz	25 kV/ 60 Hz	25 kV/ 50 Hz	25 kV/ 50 Hz	25 kV/ 50 Hz	25 kV/ 50 Hz	15 kV/ $16\frac{2}{3}$ Hz	15 kV/ $16\frac{2}{3}$ Hz	15 kV/ $16\frac{2}{3}$ Hz 12 kV/50 Hz DC 1.5 kV DC 3 kV
整列牵引电机数 (台)		40	64	48	16	12	8	8	8	4	16
起动加速度 [km/(h·s)]		1.6	1.6	1.6	1.65						2.52(计算)
起动牵引力(kN)		360				210	212.5		385	200	300
人均面积(m <sup>2</sup> /人)		1.010	1.013	1.016	0.821		1.38	1.031	1.045	1.171	1.424
平均制动减速度 [km/(hs)]		2.53	3.12	2.53		3.16	3.57				
车外噪声 [dB(A)/(km/h)]		≤75/270	≤75/300	≤75/270	≤75/240		≤95/300		≤92/300		

注:M—动车,T—拖车,L—机车。

根据各国高速列车的发展状况,可将目前高速列车的发展趋势归纳如下:

#### (一)运行速度不断提高

高速列车的运行速度不断提高,各国铁路在自己的线路上不断地进行最高速度的试验。据统计,从1890年到1990年的100年间,全世界铁路共创造了17次行车速度记录。1964年10月日本建成世界上第一条高速铁路—东海道新干线时,列车最高运行速度突破了200 km/h,达到210 km/h。此后,列车试验速度不断被刷新:1981年2月法国TGV高速动车组的试验速度达到380 km/h;1988年5月德国ICE高速动车组把这一记录提高到406.9 km/h;半年后法国又创造了482.4 km/h的新纪录,1990





年5月法国再次刷新了自己的记录,把高速动车组的试验速度提高到515.3 km/h;2007年4月法国AGV动车组又刷新了自己保持了17年的世界记录,将高速动车组的速度提高到574.8 km/h。与此同时,德国和日本还在研究磁悬浮列车,其试验速度分别达到了450 km/h和581 km/h。

高速列车在提高试验速度的基础上也在不断地提高运营速度。与日本建成世界上第一条高速铁路—东海道新干线时的列车最高运行速度210 km/h相比,如今高速列车的最高运行速度已经有了很大的提高,表1-4列出了目前各国高速列车的最高运行速度。由表可见,德国、法国、日本和西班牙等国的高速列车最高运行速度均不低于300 km/h。西班牙马德里—巴塞罗那线,最高运营速度已达350 km/h。

表 1-4 各国高速列车的最高运营速度

序号	国别	列车型号	最高运行速度(km/h)	序号	国别	列车型号	最高运行速度(km/h)
1	德国	ICE3	330	7	美国	Acela	240
2	法国	TGV	320	8	英国	IC225	201
3	日本	500系	300	9	瑞典	X2000	200
4	西班牙	AVE S 103	350	10	奥地利	Supercity	200
5	意大利	ETR500	300	11	俄罗斯	ER200、Zug159	200
6	韩国	KTX	300				

(二)提高高速列车的可靠性、可用性、维修性和安全性(RAMS)

近代,随着铁路运输的快速发展和市场竞争的日益加剧,对高速列车的可靠性、可用性、维修性和安全性要求不断提高。铁路用户在招标采购高速电动车组时,不但对高速列车的结构型式和性能(速度、功率、牵引力和动力性等)提出严格要求,而且还要对高速列车的RAMS提出定量指标,在与生产制造商签订购买合同时规定出可靠性指标(例如故障率或MTBF)、维修性指标(例如平均修复时间MTTR)、可用性指标(例如完好率),并在高速列车交付使用后验证,对不合格者进行处罚。在铁路用户的这种严格要求下,并出于市场竞争的需要,现代的制造厂家对高速列车的RAMS都格外重视。在高速列车研制过程中要制定可靠性大纲,成立可靠性工作组,在设计时要对合同中规定的高速列车总可靠性、维修性指标进行分配,设计师和可靠性工程师相互协调配合,采取具体设计措施,保证各个系统和主要零部件可靠性、维修性指标的落实。例如近代高速列车普遍应用模块化结构来提高列车的维修性和可靠性就是一个很好的例证,高速列车模块化已经成为高速列车的一个明显发展方向。

图1-2和图1-3表示出瑞典铁路X2000型高速列车可靠性和维修性指标的验证结果,表明该高速列车具有较好的可靠性和维修性,达到了合同规定的指标要求。

(三)降低高速列车的寿命周期费用(LCC)

对于高速列车的用户来说,不仅要求高速列车在使用期内安全、可靠和易于维修,而且还要求经济性要好。这里所说的经济性好,不只是购买列车价格便宜,而且还包括列车的运用维修费用低等。也就是说,在高速列车的整个寿命周期中所发生的费用最少,这种最佳费用的概念应当贯穿在高速列车从论证直至报废的整个寿命周期中,这就是最佳寿命周期费用LCC的概念,它是衡量高速列车经济性最合理的指标。现代,用户在购置高速列车时不再象过去那样,只注重高速列车的性能和购置费,而且还要对高速列车进行LCC分析。在购置合同中要求供货商对高速列车的LCC作出承诺,规定出LCC的具体指标,并在高速列车交付使用后验证。高速列车的制造厂家应用LCC分析和性能分析比较,对高速列车产品进行设计优化,在设计阶段就可以对运用维修方案、保障资源的配置进行筹划和评估,以