

国外铁路 机车及动车组揽胜

铁道部运输局装备部 组织编写
铁道科学研究院机车车辆研究所



北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>

铁道部机务干部培训教材

国外铁路机车及动车组揽胜

铁道部运输局装备部 组织编写
铁道科学研究院机车车辆研究所



北方交通大学出版社
· 北京 ·

905200

铁道部机务干部培训教材

《国外铁路机车及动车组揽胜》编审人员名单

主 编：陆 阳

主 审：孙增友 周 伟 张大勇 孙剑芳

铁道部运输局装备部

许景林 周大林 崔 震 曹松阴 靳少华

狄 威 李群锋

铁道科学研究院机车车辆研究所

张 波 杨万坤 王成武 李学峰 段明民

陈志强 周志良 曹宏发 刘小腾 李 红

图书在版编目 (CIP) 数据

国外铁路机车及动车组揽胜 / 铁道部运输局装备部, 铁道科学研究院机车车辆研究所组织编写. — 北京: 北方交通大学出版社, 2003.11

ISBN 7-81082-225-X

I. 国… II. ①铁… ②铁… III. ①机车—简介—世界
②动车—简介—世界 IV. U26

中国版本图书馆CIP数据核字 (2003) 第094015号

责任编辑：贾慧娟 郭 洁

版式设计：北京莱瑞文化传播有限责任公司

印 刷 者：北京地大彩印厂

出版发行：北方交通大学出版社

邮 编：100044

电 话：010 - 51686045, 62237564

经 销：各地新华书店

开 本：889×1194 1/16

印 张：7.75

字 数：200千字

版 次：2003年11月第1版

2003年11月第1次印刷

印 数：3000册

定 价：56.00元

前言

自1825年世界上第一条铁路在英国诞生以后,铁路便以其速度和运能上的巨大优势,极大地推动着世界经济的发展和社会的进步。20世纪50年代,飞机大规模跻身于世界长途运输领域,与此同时,短途运输又开展了一场全球性的汽车竞赛。于是铁路在公路和民航运输的双重夹击下迅速衰弱,曾一度被贬为“夕阳产业”。仅美国在20世纪中叶,就拆除铁路9万多公里,比今天全中国铁路的总和还要多。“身边不见火车行,耳畔频闻折路声。”一场浴火重生的挑战摆在了牵引人面前,世界铁路精英从不愿自动退出历史舞台,“子归夜半犹啼血,不信东风唤不回。”以电气化和内燃化为代表的铁路牵引动力现代化开始了反击,提出铁路机车行业必须冲破传统模式,以适应高速发展的市场经济要求,并积极采用新技术、新工艺,在重载货运、高速客运和信息技术方面取得了骄人的成绩。经过30年不懈努力,铁路牵引动力发生了革命性的变化。在很多领域实现了重大突破,如:大功率交—直—交变流技术,分布式网络控制、诊断技术,高水平走行部设计、制造技术,材料力学,空气动力学,高性能的复合制动技术,可靠的供电受流技术和智能化的检修技术等。今天我们总结发达国家在内燃机车、电力机车和动车组(高速列车和摆式列车)方面的成就,旨在了解当今世界铁路机车和动车组发展水平,加快中国铁路装备现代化进程,以实现铁路跨越式发展的目标。

世界百年经济发展和技术进步的历史,曾有过一次又一次后进赶上先进的成功范例。他山之石可以攻玉,美国赶上英国是这样,日本赶上美国是这样,亚洲“四小龙”的崛起更是这样。这些国家无一不是打破常规,瞄准发达国家的最新技术,带动了工业化,实现了跨越式发展。诞生于19世纪、成长在20世纪的中国铁路,在走过它127年的漫漫路程之后,终于在21世纪头几年迎来了自身发展“大提速”的历史性转折,拉开了跨越式发展宏伟工程的序幕,中国铁路机务实现从“先行难先行”到“先行真先行”的更深刻历史性转折已经为期不远!

当前世界范围内的技术转移方式和特点发生了重大变化,转移速度大大加快,转移成本大大降低。中国铁路必须把引进先进的关键技术与自主创新结合起来,缩短与发达国家铁路先进技术的时空距离,形成后发优势,使我国铁路机务技术装备达到或接近发达国家水平。为了实现这个目标,我们面临的首要任务就是了解、学习国外先进的和关键的技术。《国外铁路机车及动车组揽胜》的编者以中国铁路技术装备现代化直接参与者的身份投入到世界铁路机车和动车组的情报搜集整理中,期望推荐出当今世界上优秀的或有特色的机车车型及动车组,向奋战在铁路一线的机务干部做一简要介绍。

全书共分六部分:第一、二部分介绍具有当今世界先进水平或技术转让较为成功的**内燃机车**和**电力机车**;第三部分介绍国外**重载运输**的特点和发展方向;第四部分介绍**摆式列车**的发展历史和基本原理,并列举了目前世界上主要的几种摆式列车;第五部分介绍**高速列车**概况和发展历史,并重点介绍法国、日本、德国、西班牙、意大利和韩国的高速列车。第六部分**专题介绍**目前国外牵引动力装备上采用的一些新技术,这些新技术包括交流传动技术、径向转向架技术、共轨式电控高压柴油喷射技术和线性涡流制动技术等。本书作为机务干部培训教材,基本上反映了当今世界铁路动力装备技术的先进水平。

铁道部运输局装备部
铁道科学研究院机车车辆研究所
2003年11月

目 录

内燃机车

现代内燃机车的主要技术特征	1
典型交流传动内燃机车介绍	3
AC4400 型内燃机车	3
SD90MAC 型内燃机车	7
国外内燃机车概览	10
JT42HW-HS 型内燃机车	10
GT46MAC 型内燃机车	11
蓝虎系列内燃机车	12
T9PA1 型内燃机车	13
AC6000CW 型内燃机车	14

电力机车

现代电力机车的主要技术特征	16
典型交流传动电力机车介绍	17
152 型交流传动电力机车	17
国外电力机车概览	21
189 型多流制电力机车	21
120/120.1 型电力机车	22
S252 型电力机车	23
E412 型电力机车	24
Re465 型电力机车	25
BR101 型电力机车	27
1116 型电力机车	29
127 型电力机车	31
12X 交流传动电力机车	32
IORE106 型电力机车	33

重载运输

国外重载运输的特点	35
新技术在重载机车中得到普遍应用	35
国外重载运输实例	39
重载运输技术的研究方向	40

摆式列车

摆式列车的发展历史	41
摆式列车的基本原理	42
国外摆式列车介绍	43
意大利 ETR450 摆式列车	43
瑞典 X2000 摆式列车	43
瑞士 ICN 摆式列车	44
德国 ICT 摆式列车	45
德国 ICT-VT 摆式列车	47
英国 Virgin Pendolino 摆式列车	48
美国 Acela 摆式列车	50

高速列车

世界高速铁路发展概况	52
法国的高速列车	55
TGV Atlantique 高速列车	56

TGV Réseau 高速列车	58
TGV Eurostar 高速列车	60
TGV-PBA 高速列车	62
TGV Thalys 高速列车	63
TGV Duplex 高速列车	65
AGV 高速列车	66
日本的高速列车	68
500 系高速列车	69
E2 系高速列车	70
E3 系高速列车	71
E4 系高速列车	71
700 系高速列车	72
德国的高速列车	73
ICE1 高速列车	73
ICE2 高速列车	76
ICE3 高速列车	78
西班牙的高速列车	80
AVE 100 高速列车	81
Talgo 350 高速列车	82
Euromed 高速列车	83
Velaro 高速列车	84
意大利的高速列车	85
ETR480 高速列车	85
ETR500 高速列车	86
ETR500P 高速列车	87
韩国的高速列车	88

专题介绍

交流传动机车牵引变流器的工作原理	90
牵引变流器的组成	90
四象限脉冲整流器的工作原理	90
逆变器的工作原理及波形调制	92
径向转向架技术介绍	96
柔性纵向定位刚度转向架	96
自导向径向转向架	97
迫导向径向转向架	97
共轨式电控高压柴油喷射系统	98
线性涡流制动	100
故障诊断与检修	101
日本 Doctor Yellow 高速检查列车	101
德国 ICE 高速列车的诊断检修系统	102
美国 GE 公司的远程监控诊断服务系统	106
ECP 技术	108
高速铁路事故及启示	111
德国 ICE 高速列车事故与弹性橡胶车轮技术	111
法国 TGV 高速列车事故与铰接式连接技术	115
司机的座椅	118
旅行速度记录	119



内 燃 机 车

目前,全世界 1/4 以上的内燃机车在北美,那里有最大的统一的内燃机车市场,从而为内燃机车工业和技术的成熟奠定了基础。这个统一的大市场造就了两个内燃机车业巨人——美国的 GE 和 GM,而这两个公司的技术代表了世界上最先进的内燃机车技术。

现代内燃机车的主要技术特征

为了满足重载货物列车和高速旅客列车牵引任务的要求,各内燃机车供应商都开发出了新一代内燃机车。这些机车包括:美国 GE 公司生产的 AC6000CW 型机车,美国 GM 公司生产的 SD90MAC 机车,德国庞巴迪公司和美国 GE 公司合作开发的新一代“蓝虎”系列机车,澳大利亚 Clyde 和美国 GM 合作生产的 4000 型窄轨内燃机车,俄罗斯柳迪诺沃内燃机车厂与美国 GM 公司合作生产的 T Θ P A 1 型内燃机车等。这些机车在发动机、传动系统、控制系统、走行部等关键部件上,大多采用了电子控制燃油喷射技术、交流电传动技术、计算机控制技术、径向转向架技术。采用这些新技术,提高了机车的动力性、燃油经济性、排放性、可靠性和可维护性。现代内燃机车的主要技术特征是:

(1) **新型单机大功率柴油机装车功率已达到 6300 马力。**新型柴油机基本上都采用了电子控制燃油喷射系统,实现了喷油量、喷油压力、喷射时刻的充分解耦控制,改善了柴油燃烧品质,从而极大地提高了柴油机燃油经济性和排放性。

机车柴油机采用模块式结构设计,便于安装和维修。主要模块有:采用中间体,将活塞连杆组、气缸套和气缸盖组合为一体的动力单元;装有挺柱和推杆的配气机构单元;包括进排气管道、冷却水管道和润滑油管道的组装单元;可以侧向拆卸的凸轮轴单元。在组装台上,这些组装好的模块单元成套地安装在机体上,维修时可成组更换。

(2) **交流传动技术得到成熟发展。**由于交流牵引电机取代了传统的直流牵引电机,大量的转换开关、接触器和继电器减少了,系统可靠性得到明显提高,维修费用大幅度下降。

交流传动机车比相同装车功率的直流传动机车具有更好的粘着性能。例如,美国 GE Dash9 型直流传动机



车持续牵引力为 485 kN, 而同样功率的 AC4400CW 型交流传动机车在速度为 10 km/h 时, 持续牵引力已达 645 kN。因此, 交流传动机车能获得更大的牵引力。

(3) **微机技术和诊断技术的应用**。车载微机系统包括: 柴油机控制、恒功励磁控制、动力制动控制、辅助发电机控制、防空转与防滑行控制、机车控制、电-空联合制动控制等功能。微机控制系统的应用既提高了机车及柴油机工作的经济性和可靠性, 又提高了机车状态显示和故障诊断的自动化程度。

近年来, 用于交流传动内燃机车的技术先进、可靠性较高的微机控制系统有: 德国 ABB 公司研制的 MICAS 系统、德国 SIEMENS 公司研制的 SIBAS-16 和 SIBAS-32、美国 GM 公司开发的 EM2000(32 位)微机控制系统和 GE 公司开发的用于 AC4400CW 和 AC6000 型交流传动内燃机车上的微机控制系统等。

(4) **径向转向架的成功运用**。径向转向架通过一套可使轮对径向调节的机构, 实现曲线通过时轮对相对钢轨的径向调节, 明显改善机车运行品质和稳定性, 提高了机车粘着利用率。径向转向架在通过曲线时可使轮对冲角减小, 横向作用力降低; 改善了机车曲线通过能力, 减少轮轨磨耗; 提高了行车的安全性。径向转向架使钢轨所受横向力与垂向力之比(脱轨系数)降低, 减少了列车脱轨的危险性。

(5) **采用轴控方式**, 使机车的每一轮对都能发挥到最佳状态, 并能够根据某一根轴的运行状态信息, 任意地调节该轴的转矩和转速。

(6) 在**重视继续提高机车的经济性、可靠性和耐久性的同时**, 还特别注意**降低机车全寿命周期运用成本和减少有害物的排放**。

(7) **加强机车的模块化和系列化设计**, 缩短机车的研制周期, 努力满足市场的需要, 迅速适应市场的变化。

(8) **机车模块化维修**缩短了检修时间, 提高了运用效率。

(9) **机车维修与运用分离**, 已成为国外运输组织的一种成功模式, 其好处如下:

- ◆ 提高机车性能;
- ◆ 延长机车服役时间, 整合维护周期和运行范围;
- ◆ 吸收世界上最好的维修经验;
- ◆ 采用专业厂商技术、管理和培训经验;
- ◆ 可控制成本和性能;
- ◆ 使铁路机务部门更能关注机车的运用和收入, 而不是机车的维修和管理。

典型交流传动内燃机车介绍

▲ AC4400 型内燃机车

AC4400 是美国 GE 公司生产的高性能交流电传动内燃机车。该型机车共生产了 2700 多台,以产品寿命周期成本低和可靠性高而著名。该车采用了单轴控制技术,实现了高粘着大牵引力的目标。



技术参数

型号	AC4400
出厂日期	1993 年
装机功率	4400HP
重量	174/192t
轴重	29 ~ 32t
粘着系数	全天候 35%
控制方式	轴控
起动牵引力	645kN
最高速度	128km/h
生产厂家	GE 公司
用户	美国
生产台数	2700 台

AC4400 型内燃机车全貌



AC4400 型内燃机车穿越崇山峻岭

交流传动 (AC) 与交直流传动 (DC) 内燃机车性能对比



AC4400

交流传动的恒功率区宽度是起动区的 1.5 ~ 2 倍



Dash 9

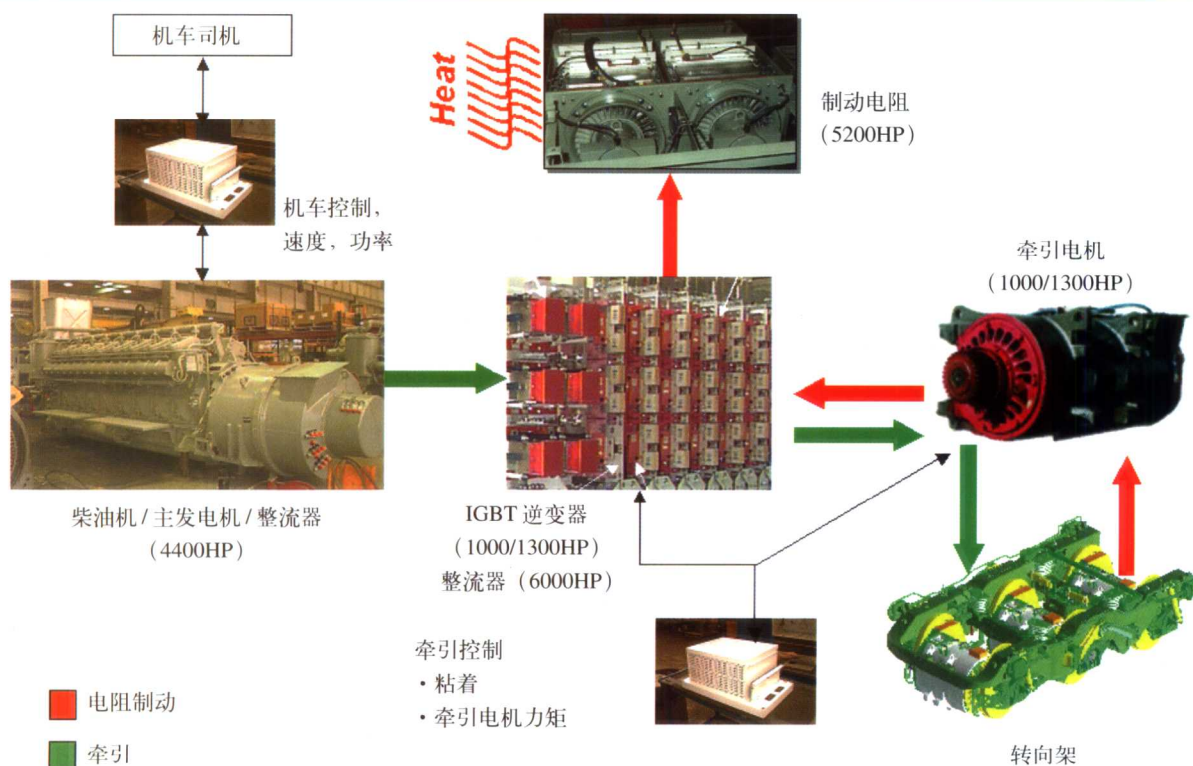
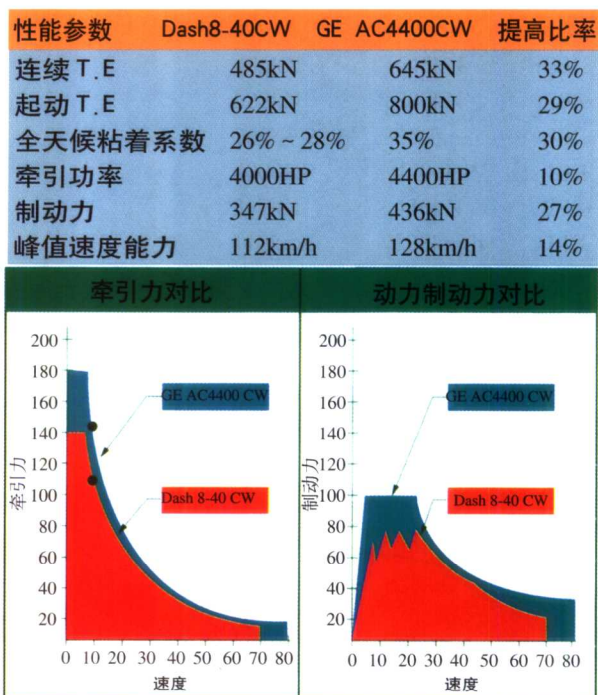
Dash9 是 1993 年 CE 公司生产的交直内燃机车, 装机功率 4460HP, C_0-C_0 转向架, 32 位微机控制。

AC 和 DC 比较结果

- 牵引能力提高
- 寿命成本降低
- 速度加快
- 慢速控制性能提高
- 单轴控制方便灵活
- 可靠性更高, 提高完成任务的能力
- 一体化小齿轮
- 技术发展潜力强劲

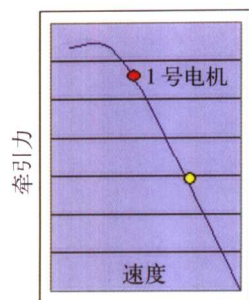
AC4400CW 的技术特点

AC4400CW通过采用交流传动技术，提高了机车的整体性能，使生产效率大大超过同等装机功率的直流机车 Dash8-40。AC4400CW 型机车和 Dash8-40机车牵引能力和动力制动能力的比较如右图所示。从图中可以看出，AC4400CW 型机车的牵引力特性和制动特性都完全覆盖Dash8-40型机车。这意味与 Dash8-40 型机车相比，AC4400CW 型机车的牵引能力更强，速度更快，而且在低速时也能产生足够的动力制动力。

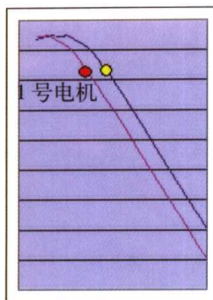


AC4400 交流传动内燃机车能量转换示意图

轴控和架控的比较



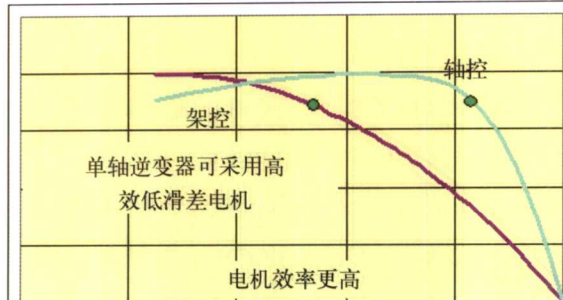
每一根轴都可获得最大牵引力



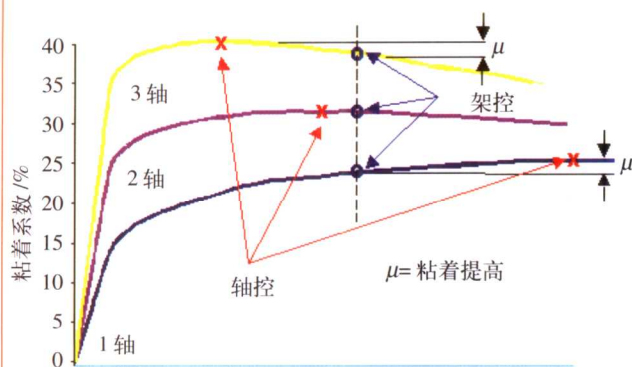
架控

最大牵引力

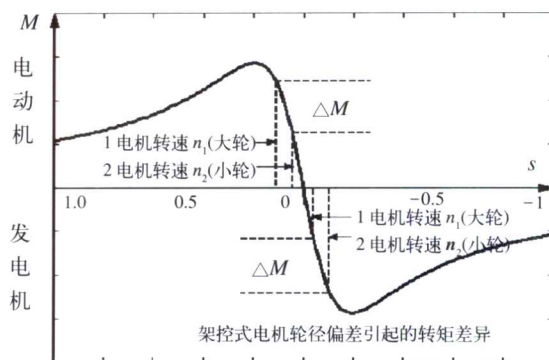
轴控



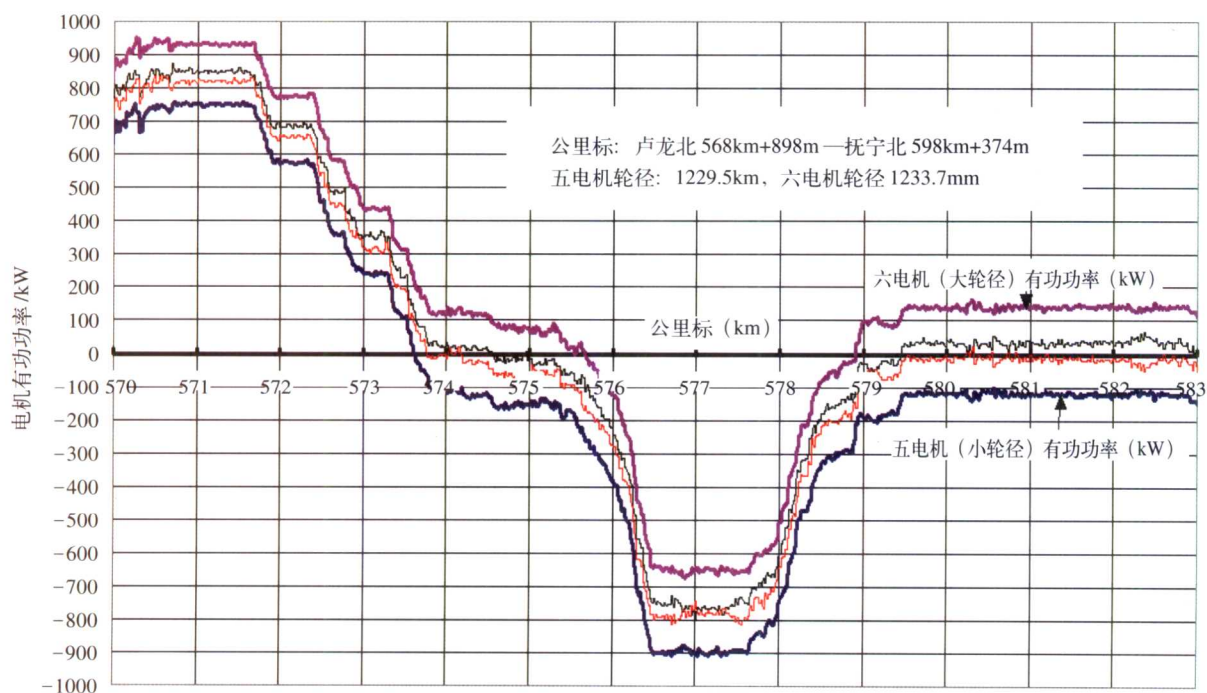
牵引电机最高效率



最大粘着能力



异步电动机的转矩-转差率曲线



DJ10003 号机车 B 端交流电机负荷分配不均运行过程图

DJ1 型电力机车采用架控方式, 五电机和六电机处于同一转向架, 两者功率相差 200kW

▲ SD90MAC 型内燃机车

现代铁路运输不仅要求内燃机车功率大、牵引力大、速度高，而且还要具有很好的可靠性、燃油经济性、排放控制性和易维护性。GM 公司的新型 16 缸四冲程 GM16V265H 型发动机完全具备以上特征，而装备了该型发动机的 SD90MAC 已经成为北美重载运输的主型机车之一。

SD90MAC 型交流内燃机车各系统部件的维修性较好，模块化组件及密封模块更换容易，平均维修时间规定为：日常维修不超过 30min，更换单个部件不超过 2h，更换重大部件不超过 8h。



SD90MAC 型内燃机车全貌

技术参数

型号	SD90MAC
出厂日期	1996 年
轴式	C ₀ -C ₀
长度	24.44m
重量	192.8t
装机功率	6300HP
主发输入功率	4474kW
控制方式	架控
起动牵引力	900kN
最高速度	120km/h
生产厂家	美国 GM 公司
用户	北美
生产台数	64 台



加拿大太平洋公司拥有的 SD90MAC 型内燃机车



GM 公司为加拿大太平洋
铁路公司制造的 SD90MAC
型内燃机车侧面图



SD90MAC 型内燃机车在试验中



SD90MAC 型内燃机车司机室



SD90MAC 型内燃机车穿行
在林海雪原之中

SD90MAC 采用的关键部件

◆ 发动机

- GM16V265H 型发动机
- 额定转速 1000rpm，额定功率 6300HP
- 针对铁路应用进行了优化设计
- 排放水平满足 EPA Tier-2 的要求
- 燃油经济性高
- 高效的双涡轮增压器
- 采用电子控制燃油喷射系统

◆ 交流传动技术

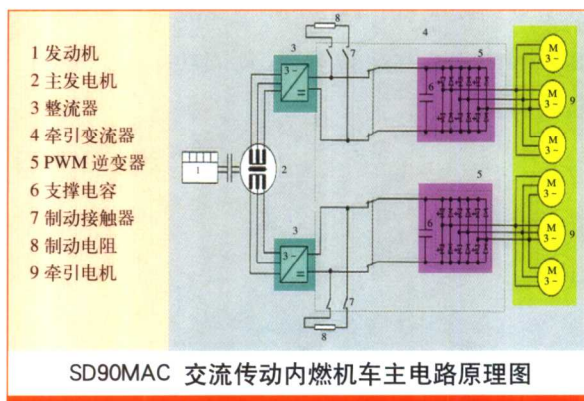
- 模块化设计使得维护更加方便
- 简单可靠的电机设计
- 采用架控方式
- 在所有天气条件下粘着系数达 35%

◆ EM2000 微机控制系统

- 32 位处理器
- 与 60 系列和 Dash-2 系列相比，模块数量和元件数量大大减少
- 提高了可靠性和运行性能
- 信息可以方便地下载到笔记本电脑上
- 很高的灵活性和可扩充性

◆ HTCR 径向转向架

- 使轮轨之间的磨损降到最低
- 提高了机车的粘着利用能力
- 改善了机车曲线通过性能
- 取消了很多传统转向架上的设备
- 电气辅助停车制动代替了手动制动



国外内燃机车概览

▲ JT42HW-HS 型内燃机车

该型号机车是英国私营铁路EWS向GE公司购买的高速内燃机车。在英国称为67系列，编号是67001~67030，主要用来代替47系列机车，牵引邮车、行包快运列车和快速旅客列车。该型机车在GE公司的授权许可下，由法国ALSTOM公司在西班牙生产。该型机车采用GE公司的12N-710G3B-EC型发动机、AR9AC6HEX型发电机、CA6型辅助发电机、D43 FM型交流牵引电机和ALSTOM公司的高速转向架，轮周功率达到3000英制马力。



JT42HW-HS 型内燃机车在运行中

美国GE公司和ALSTOM公司联合制造的
JT42HW-HS 型内燃机车

技术参数

型号	JT42HW-HS (Class 67)
出厂日期	1998 年
轴式	B ₀ -B ₀
长度	19.70m
重量	90t
起动牵引力	141kN
最高速度	201km/h
生产厂家	GE 和 ALSTOM
用户	英国
生产台数	30 台

▲ GT46MAC 型内燃机车

该型号机车是印度从 GM 公司引进的交流传动机车，是印度铁路的首批交流传动内燃机车，也是 GM 公司第一批要求低轴重（21t）的交流传动内燃机车。设计制造中的主要问题是减轻机车重量。1996 年，印度铁路与 GM 公司签订了一项为期 10 年的技术转让协议，按协议规定，印度铁路从 GM 获得 GT46MAC 型货运及 GT46PAC 型客运机车的全面制造许可。



GT46MAC 型内燃机车在被运输途中



GT46MAC 型内燃机车全貌

技术参数

型号	GT46MAC
出厂日期	1998 年
轴式	C ₀ -C ₀
长度	21.3m
重量	126t
装机功率	3061kW
主发输入功率	2983kW
控制方式	架控
起动牵引力	540kN
最高速度	120km/h
生产厂家	GM 设计， 在印度制造
用户	印度
生产台数	31+ 国产化

▲ 蓝虎系列内燃机车

蓝虎系列交流传动内燃机车是庞巴迪公司和 GE 公司合作生产的大功率、低轴重交流（直流）传动内燃机车。货运机车最高速度 120km/h，客运机车最高速度 200km/h 和 240km/h。



蓝虎系列交流传动内燃机车

技术参数

型号	蓝虎 A1 ~ A4
出厂日期	1996 — 1998 年
轴式	$B_0 - B_0$ $C_0 - C_0$
轴重	18 ~ 25t
装机功率	2230 ~ 4460HP
传动方式	交流传动 直流传动
最高速度	120/240km/h
生产厂家	GE 和 庞巴迪 联合开发
用户	美国



蓝虎系列交流传动内燃机车停靠在站场上