

重载铁路大功率电力机车的现状与展望

刘华

(中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

【摘要】介绍了重载铁路牵引装备的发展历程、各国典型重载线路及牵引机车的情况, 对我国铁路重载电力机车的发展情况及技术特点进行了分析总结, 结合各国重载铁路的现状与趋势, 提出了我国重载电力机车核心关键技术突破建议。

【关键词】重载铁路; 电力机车; 重载列车

一、重载铁路牵引装备的发展历程

(一) 重载铁路的概念及演变

重载铁路是长期开展货运重载运输且重载运输量达到一定规模的铁路运输线路。国际重载协会先后于1986年、1994年和2005年三次修订了重载铁路标准^[1]。

1986年10月在加拿大温哥华召开的第三届国际重载大会上讨论确定, 要求重载铁路应至少满足下列三个条件中的两项:

- 列车重量至少达到5000t;
- 轴重21t及以上;
- 年运量2000万t及以上。

1994年修订标准的要求重载铁路至少满足以下三个条件中的两项:

- 列车重量至少达到5000t;
- 轴重25t及以上;
- 在长度至少为150km的线路上年运量不低于2000万t。

在2005年国际重载协会理事会上, 对新申请加入国际重载协会的重载铁路, 要求至少满足以下三条标准中的两条:

- 列车重量不小于8000t;
- 轴重达27t及以上;
- 在长度不小于150km线路上年运量不低于4000万t。

我国于2013年2月1日起实施的新版《铁路主要技术政策》引用了2005年重载协会的对重载铁路的规定。为满足列车牵引重量8000t及以上, 轴重为27t及以上、在至少150km线路上年运量大于4000万吨三项条件中两项的铁路。

(二) 国际上重载电力机车的现状

随着重载铁路的快速发展, 国际上重载铁路牵引装备也得到了广泛应用, 并推动了美国、巴西、澳大利亚、南非、瑞典等国家重载运输水平的提高^[2]。

目前重载国家的重载运输线路代表及机车使用代表: 美国的联合太平洋铁路, 采用内燃机车牵引108辆39t轴重的车辆组成的组合列车; 北欧挪威至

瑞典的矿山铁路, 采用2台电力机车重联牵引68辆30t轴重车辆组成的单元列车; 南非的Orex矿石线和COALlink运煤专线, 采用电力和内燃机车混编牵引342辆26~30t轴重车辆组成的单元列车; 澳大利亚的纽曼山—海德兰铁路线, 采用内燃机车牵引682辆40t轴重的车辆组成的组合列车。中国的大秦铁路、朔黄铁路及神朔铁路, 采用组合列车方式开行HXD1单机(SS4G/B采用1+1)牵引万吨和1+1(SS4G/B采用2+2)牵引两万吨列车, 具体如表1。

重载铁路牵引机车的典型代表如下表: 美洲、澳洲主要采用交流传动内燃机车, 如: GE公司的SD90MAC六轴交流传动内燃机车, 启动牵引力达890kN; 北欧、南非和中国主要采用交流传动电力机车, 如庞巴迪公司的IORE六轴交流传动电力机车, 株机公司的HXD1型、国能号八轴和20E型四轴交流传动电力机车, 各国典型重载机车代表如表2:

根据以上统计, 可以看出目前重载发达国家都采用大轴重机车牵引的单元列车或组合列车的方式来实现重载牵引。国外重载运输的主要特点是单列重量大, 但运行速度和线路开通密度相对较低, 因而美国、加拿大、澳大利亚、巴西等国家较多采用内燃机车。只有瑞典采用电力机车, 而南非则内燃、电力机车都予以采用, 并且内燃和电力混编。

我国作为人均资源少, 资源相对比较集中的国家, 重载铁路的发展不能直接走国外发展的既有道路, 必须走一套中国特色的快速度、高密度、大重量、节能绿色的重载发展道路, 因此, 中国重载牵引装备都采用大功率的交流传动电力机车。

二、我国铁路重载电力机车平台建设

为了推动重载牵引装备的进步, 我国在重载铁路电力机车也进行了不断的努力, 并取得了十分显著的成效, 通过重载货运电力机车的自主研发打造了中国铁路重载电力机车平台, 以我公司为例, 通过以SS3B、SS4G、SS4B型机车为代表的直传动重载货运电力机车和以国能号、HXD1机车为代表的大功率交流传动重载货运电力机车的研制, 打造了具有完全自主知识产权的直流及交流重载电力机车平

表 1 各国典型重载线路情况

国家	重载线路代表	年运量	最大轴重	牵引机车代表	机车类型	典型牵引编组方式	牵引重量
美国	联合太平洋铁路	2亿吨以上	39t	SD90MAC C43aci AC6000CW	内燃	多机重载牵引 108辆	13600吨
瑞典	挪威-瑞典单线矿山铁路	3000万吨	30t	IORE电力机车	电力	双机重联牵引 68辆	8500吨
南非	Orex矿石运输专线 COALlink运煤专线	4100万t 6700万t	26~ 30t	20E C30Ai	电力 内燃	多机重载牵引 342辆	34300吨
加拿大	柏林顿北方及圣太菲铁路	2.2亿吨以上	39t	SD90MAC AC4400CW AC6000CW	内燃	多机重载牵引 80~130辆	10000~15000吨
澳大利亚	纽曼山—海德兰铁路线	1.09亿吨	40t	SD90MAC C43aci AC6000CW	内燃	多机重载牵引 682辆	99734吨
巴西	维多利亚—米纳斯 卡拉亚斯—矿山铁路	1.3亿吨 1.08亿吨	30t	SD90MAC AC4400CW AC6000CW	内燃	多机重载牵引 336辆	32000吨
中国	大秦铁路 朔黄铁路 神朔铁路	4亿吨 2.4亿吨 2.47亿吨	25t	SS4G、SS4B、HXD1 机车、国能号机车	电力	多机重载牵引 336辆204辆	10000~20000吨

表 2 各国典型重载机车

牵引机车	运行最高速度	轴重	牵引力	功率	轴式	制造商
SD90MAC	120km/h	31.75t	890kN	4476kW	C0-C0	GE
C43aci	115km/h	23t	535kN	3370kW	C0-C0	GE
AC6000CW	75km/h	32t	890kN	4660kW	C0-C0	GE
C30Ai	100km/h	21t	548kN	2500kW	C0-C0	GE
IORE	80km/h	30t	600kN	5400kW	C0-C0	庞巴迪
20E	100km/h	21.5t	320kN	3000kW	B0-B0	中车株机
国能号	120km/h	25t	760kN	9600kW	2（B0-B0）	中车株机

表 3 我国典型重载交流传动电力机车

轴重	轴式	单轴功率	起动牵引力	最高速度	代表车型	应用范围	牵引吨位	编组方式
25t	6轴	1200kW 1600kW	570kN	120km/h	HXD1B HXD1C	国内各路局	3000吨~ 5000吨	单机牵引/双机固定重联
25t	8轴	1200kW	760kN	120km/h	国能号机车 HXD1机车	神朔铁路、 朔黄铁路	10000吨~ 20000吨	单机牵引/双机固定重联 /“2+1”、“1+1”多机编组牵引
25t	12轴	1200kW	1140kN	120km/h	国能号机车	神朔铁路、 朔黄铁路	10000吨~ 20000吨	单机牵引/“1+1”多机编组牵引
30t	8轴	1200kW	910kN	100km/h	30吨轴重机车	山西中南部 通道	10000吨~ 20000吨	单机牵引/“1+1”多机编组牵引

台，典型重载交流传动电力机车代表如表3。

通过以上统计可知我国重载电力机车平台目前发展有如下几个特点：

（一）交流传动技术的推广和应用

由于交流传动技术在电力机车上应用，有良好的牵引性能、电网功率因数高、功率大、体积小、重量轻、运行可靠、动态性能和粘着利用好的优点，我国

重载电力机车目前主要以交流传动技术为主流。

（二）轴重以25吨为主

目前我国运用的重载电力机车平台根据线路轨道条件可分为23t和25t，并以25t轴重为主，并正在开展30t轴重相关技术平台的研究工作。

（三）轴式多样化

目前国内重载电力机车平台可根据线路牵引要

求及条件可分为6轴、8轴、12轴、24轴平台，6轴通过多机重联可以满足8000t~10000t铁路货物列车牵引，8轴已经实现了10000t~20000t列车牵引。如牵引能力有更大需要，还可采用12轴或者24轴机车来提高牵引能力和牵引功率。

（四）轴功率大

为了满足国内高速、重载运输需求，目前国内重载电力机车轴功率都比较大，主要以1200kW和1600kW为主。

（五）编组方式多样化

我国为了满足不同线路条件的需要，在重载运输专线上采用不同的编组方式进行牵引，如：双机固定重联、“2+2”、“1+2+1”、“1+1”多机编组牵引等。

我国重载电力机车虽然得到了快速的发展和运用，为我国铁路重载电力机车平台建设打下了良好的基础，但是与发达国家相比仍有一定差距，仍需从机车本身、编制方式、部件及子系统等方面的发展考虑，通过相关核心技术不断提高平台建设水平。

1. 重载机车本身，如：结合轴式选择及大轴重机车技术，大力提升机车牵引力。

2. 编组方式，如：大力发展多机编制方式，实现重载机车多机牵引重量的提升。

3. 部件及子系统，如：发展内电混合重联控制、ECP技术等。

三、重载电力机车核心关键技术突破

为了满足重载电力机车足够的牵引力，足够的制动能力，良好的控制功能，优良的动力学性能及较高的运用可靠性等特点，重载电力机车在技术上需要考虑重载的影响，并针对技术难点进行相应分析，主要包括以下几个方面：

（一）牵引传动技术

目前国内粘着利用率水平最高为为了实现在大牵引力工况下维持机车动轮在微滑状态下运行，达到最高的粘着利用系数最高为0.387，而国外粘着利用系数达到了0.46，因此应发展性能良好的粘着控制技术，如：雷达测速的粘着利用控制技术。

作为重载大功率电力机车主传动系统中的核心技术，牵引电机由于转向架驱动系统空间有限，为了满足重载牵引的需要必须具备持续大电流大转矩的特点，同时作为牵引电机的供电单元则涉及到大功率电力电子器件应用技术、变流控制技术等变流器技术。

（二）制动技术

ECP制动系统具有阶段制动和阶段缓解能力，使列车操作和速度控制更为灵活，随着ECP技术在美国、南非、澳大利亚等国重载运输中的成功运用，为解决重载列车的制动问题提供了可以借鉴的技术及经验，由此对ECP系统的研究和部件的国产化研制是重载机车技术发展的一个方向。

（三）车体及钩缓技术

目前国内重载机车车体纵向压缩载荷一般不超过

3000kN，纵向拉伸载荷一般不超过2500kN，车钩缓冲器容量不超过100kJ，为了保证机车具有较低的轮轨相互作用及良好的动力学性能，应考虑到重载列车线路条件及动力学要求对车体及钩缓装置的影响，采用高强度载荷的车体及与之匹配的大容量钩缓装置，如：纵向压缩载荷为380T，拉伸载荷为310T的车体和采用类似13A/QKX-100的扁销钩缓装置^[3]。

（四）转向架技术

为了解决重载运输带来的轮轨磨耗、轮动接触疲劳、脱轨和噪声等问题，通过轮轨形状、轮轨磨耗、轮轨硬度匹配等相关轮轨关系及匹配技术的研究和应用，改善重载机车轮轨磨耗，提高机车曲线通过能力和运行品质，以改善重载机车的动力学性能。

结合轮轨关系及匹配技术的研究从构架形式、驱动传动结构、基础制动选择、传动齿轮及轴承选型等方面对大轴重转向架技术进行深入分析研究。

（五）无线重联技术

目前大秦铁路和神朔铁路分别采用LOCOTROL技术和株所开发TEC-TROMS机车无线重联同步控制技术，为了提高通讯数据量，应发展基于更先进通讯网络的无线重联控制系统。

无线重联异步操纵技术是无线重联同步操纵控制系统技术基础上实现在起伏坡道对长大列重载组合列车从控机车的牵引/制动的异步控制，以减少长大列重载组合列车纵向力，因此应大力发展无线重联异步操纵技术。

（六）内电混合重联控制技术

目前国内重载线路主要通过电力机车实施牵引，为了能够利用和发挥现有内燃机车牵引性能，应像南非重载铁路运输线一样发展电力机车、内燃机车混合编制的重联控制技术。

四、展望

铁路运输一直是制约国民经济发展的主要瓶颈，而发展重载运输是目前及今后一段时期中国铁路发展的主要方向。建议从重载大功率电力机车的技术特点出发，结合目前国内在建的线路从系统集成技术、制动技术、车体及转向架技术、智能控制技术、安全监测技术等方面进行了分析和研究，突破重载大功率电力机车的技术难点，推进中国铁路重载运输持续发展，为中国重载牵引装备的发展做出新的贡献。

参考文献：

- [1]樊运新.我国重载电力机车发展历程及思考[J].机车电传动.2019（01）：9-12.
- [2]刘鹏；吕士勇.重载大功率电力机车技术研究及发展思路[J].重载铁路建设养护与装备安全研讨会论文集.2015.
- [3]高殿柱，樊运新，王开云，嵇道君，陈哲，邓江明，张波，李登科.重载列车纵向冲动抑制及安全屏障设计研究.电力机车与城轨车辆.2024（01）：1-7.