

# 项目一 电力牵引传动系统整体认知

## 【项目描述】

本项目主要学习电力机车的基本组成、工作过程、电力牵引的优越性，展示我国主型电力机车的主要技术特征与性能指标，描绘电力牵引技术的发展历程与未来发展方向。

## 【教学目标】

### 1. 知识目标

- (1) 掌握电力机车基本组成与工作过程；
- (2) 了解电力牵引的优越性；
- (3) 了解我国电力牵引发展历程；
- (4) 了解电力牵引技术的进步与未来发展前景；
- (5) 了解最新交流传动大功率电力机车技术性能及技术参数。

### 2. 能力目标

- (1) 能画出电力机车简图并标出其主要组成部分；
- (2) 能阐明牵引传动系统的工作过程；
- (3) 能通过查阅资料、网上浏览收集各种电力机车的技术资料，整理出我国干线运用电力机车的主要性能指标；通过对比这些性能指标，从而总结我国电力机车技术进步与技术升级的主要特征，结合目前铁路牵引动力发展实际，洞悉我国牵引动力的发展方向。

## 任务一 电力机车基本组成与工作过程认知

### 【教学目标】

#### 1. 知识目标

掌握电力机车基本组成与工作过程，掌握电力机车的分类。

#### 2. 能力目标

能画出电力机车简图并标出其主要组成部分，能阐明牵引传动系统的工作过程。

## 【相关知识】

### 一、什么是电力机车

一般来说，电力机车就是本身不带原动机，靠升起的受电弓接受接触网送来的 25 kV 交流电流作为能源，经机车内部一系列变换环节后向机车的牵引电动机提供电源，由牵引电动机通过传动装置驱动机车的车轮转动，从而产生牵引动力的一种动力装置。图 1-1 是一台 HXD<sub>3</sub> 型电力机车的外形图片。



图 1-1 HXD<sub>3</sub> 型电力机车外形图

### 二、电力机车的组成与工作过程

一台电力机车的主要组成部分如图 1-2 所示，电力机车的主要组成部分有受电弓、主断路器等高压电器部分；司机控制器、自动开关等低压电器部分；车体及转向架等机械部分；变流器与牵引电机等。从图中可以看出，其牵引传动系统的构成主要有受电弓、主断路器、主变压器、变流器及其控制电路、牵引电机等。接触网导线上的电流，经受电弓进入机车后经过主断路器再进入主变压器，交流电从主变压器的牵引绕组经过变流装置后，向牵引电动机供电，使牵引电动机产生电磁转矩，将电能转变为机械能，经过传动装置的传递驱动机车动轮转动。

其工作流程为：接触网电能—受电弓—主断路器—主变压器降压—变流器—牵引电机—传动装置—驱动轮对产生电磁转矩—通过轮轨接触产生牵引力—牵引列车运行。

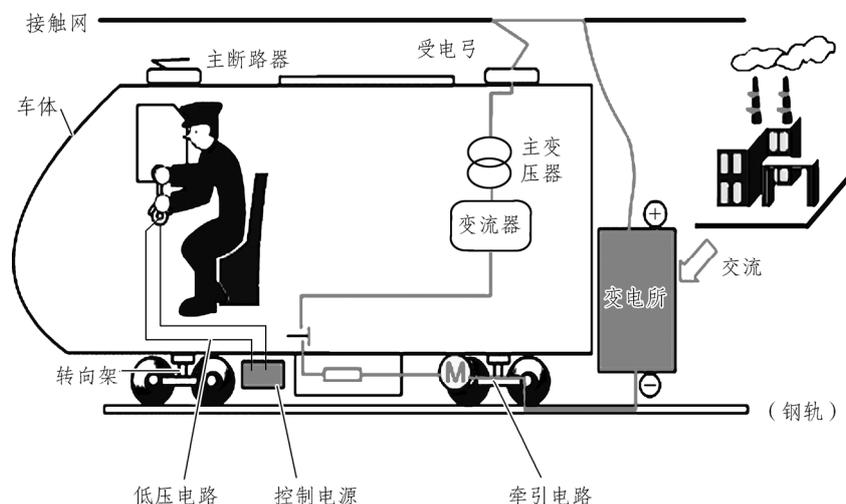


图 1-2 电力机车及其主要组成部分示意图

### 三、电力机车的类型

电力机车可按机车的不同技术指标、特征和用途进行分类。

#### 1. 按用途分类

按用途可分为客运电力机车、货运电力机车、客货混用电力机车和调车电力机车等。

客运电力机车：用来牵引旅客列车。其特点是牵引力不大，运行速度高。

货运电力机车：用来牵引重载货物列车。其特点是牵引力大，运行速度不高。

客货混用电力机车：用来牵引旅客或货物列车。其牵引力和速度介于客、货电力机车之间。

调车电力机车：用来在站场上编组列车。机车的功率不大，牵引力和速度均较低。

#### 2. 按传动方式分类

按传动方式可分为具有个别传动的电力机车和具有组合传动的电力机车。

具有个别传动的电力机车：电力机车每一轮对由单独的牵引电动机驱动。这些轮轴称为动轮或动轴。

具有组合传动的电力机车：电力机车上某几个轮对（通常为同一转向架上的几个轮对）互相联结成组，然后由一台电动机来驱动。

#### 3. 按机车动轴数分类

按机车动轴数不同可分为 4 轴、6 轴、8 轴和 12 轴等电力机车。一般动轴数较多的电力机车用作货运机车，动轴数较少的电力机车用作客运机车。

#### 4. 按供电电流制——传动形式分类

按供电电流制——传动形式不同可分为以下几类。

直流供电——直流牵引电机的直-直型电力机车。接触网供电电压为直流 1500 ~ 3 000 V，机车牵引电机为直流串励牵引电机。

交流供电——直（脉）流牵引电机的交-直型电力机车，又称单相交-直型整流器电力机车。其牵引电机为脉流串励或复励牵引电机。我国生产的韶山系列电力机车即属于此种形式。

交流供电——变流器环节——三相交流异步电机的交-直-交型电力机车。

交流供电——变频环节——三相交流同步电机的交-交型电力机车。

## 任务二 电力牵引的优越性

### 【教学目标】

#### 1. 知识目标

了解电力牵引的优越性。

#### 2. 能力目标

能对比蒸汽机车和内燃机车，找出电力机车的特点，总结电力牵引的优越性。

### 【相关知识】

#### 一、电力机车的特点

在各种牵引动力中，电力机车与蒸汽机车、内燃机车的根本不同点在于它牵引列车时所需的能量不是由机车本身产生的，而是通过接触网（或其他供电装置）供给的，这种机车称为非自给式机车。而蒸汽机车、内燃机车在牵引列车时所需要的能量，则是由机车本身装载的燃料（如煤、柴油等）燃烧而产生的，这种机车称为自给式机车。由于电力机车与其他机车这种根本的区别，客观上决定了它取用能量的万能性。对于自给式机车来说，只有机车上储存的燃料才能作为它能量的来源，这就决定了它取用能量的单一性。但对于电力机车来说，它所需要的电能却可以由一切形式的能量转换而来，如可以由热力、水力、天然气甚至于地热、原子能、太阳能、核能等转换而来，只要有相应的发电站，便可以利用相应的能量。由于这种取用能量的非自给性，使得电力机车具有一系列的特点。

#### 1. 功率大

现代铁路运输的发展，要求机车具有强大的功率。由于电力机车是非自给式机车，没有燃料储备，因而在同样的机车重量下，其功率要比自给式机车大。机车按单位重量所具有的功率称为比功率，这是衡量机车技术水平的一个标志。目前，电力机车的比功率一般达到

40~60 kW/t, 而较好的内燃机车, 其比功率也只有 25~30 kW/t。按每轴功率来说, 交-直型电力机车已达到 900 kW, 交流传动机车最高已达到 1 600 kW, 较好的内燃机车的每轴功率为 440~580 kW。从整台机车来说, 电力机车的轮周功率最高已达 9 600 kW 甚至 10 000 kW 以上, 而我国生产的大功率内燃机车最大功率为 4 800 kW。

## 2. 速度高

提高机车运行速度是铁路运输的另一重要方向。由于电力机车功率大, 因而可以获得较高的速度。目前, 客运电力机车运行速度已经可以达到 250 km/h, 货运电力机车也可以达到 120 km/h, 随着新型电力机车的不断出现, 机车运行速度将进一步提高。法国的电力机车在试验线路上已经达到 331 km/h 的速度, TGV 电动车组试验速度为 574.8 km/h。1995 年代表我国机车工业赶超世界先进水平的 SS<sub>8</sub> 型准高速电力机车落成, 在环行道上创造了每小时 212.6 km 的最高时速, 1998 年 6 月又在京广线郑武段上创造了 240 km/h 的试验速度。代表世界铁路最高速度等级的我国京津城际高速铁路和武广高速客运专线的高速电动车组运营速度已经达到了 350 km/h。

## 3. 效率高

机车效率的高低直接影响到铁路运输的经济指标。对于自给式机车来说, 每台机车的平均热效率实际上是基本固定的, 例如蒸汽机车的平均热效率为 8%~10%, 内燃机车的平均效率为 25%左右。电力机车本身的效率是很高的, 但考虑到整个电力牵引系统, 其平均效率则不是固定的, 它与供电系统的电能来源有关, 在由水力发电站供电的情况下, 电力牵引的效率可达到 60.70%, 在由高参数火力发电站供电时, 其效率为 25%左右, 由低参数火力发电站供电时, 其效率为 16%~18%。由此可见, 在电力牵引的电能来源平均来自各种电站的情况下, 其效率要高于内燃机车和蒸汽机车。

## 4. 过载能力强

机车在启动、牵引重载列车和通过困难区段时, 具有一定的过载能力是十分重要的。自给式机车的过载能力要受两方面的限制, 一方面受机车发动机(如蒸汽机、内燃机车的牵引发电机或液力变扭器)过载能力的限制, 另一方面又受机车所带的能量装置(如锅炉、柴油机)过载能力的限制。对于非自给式电力机车, 其能量来自较强大的供电系统, 因而机车的过载能力是较高的。

# 二、电力牵引的优越性

由于电力机车具有上述一系列的特点, 故在铁路运输中显示出很大的优越性和良好的运营效果。根据电力机车的运行经验, 其优越性表现在下述几个方面。

## 1. 运输能力强

电力机车功率大、速度高, 最符合铁路货运重载的要求, 可以提高牵引定数, 缩短区间

运行时间，因而使线路通过能力大大提高，其完成铁路运量的效果更为显著。法国、德国、日本等国电气化铁路里程占全国总运量的 30%~40%，但完成铁路运量却达到全国总运量的 52%~83%。我国宝成铁路电气化后，完成的货运量为蒸汽机车牵引的 3 倍。1980 年开通的宝天电气化铁路，牵引定数由双机 2 600 t 提高到 3 250 t，年运输能力由 570 万 t 提高到 1 400 万 t。有资料表明，1 条电气化铁路的运输能力，相当于 1.5 条内燃机车或 3 条蒸汽机车牵引铁路的运输能力。此外，电力牵引还不受外界条件的限制，在山区和高寒地区较之蒸汽机车和内燃机车更为优越。

## 2. 经济效益显著

由于电力机车的检修周期长，检修工作量少，从而减少了维修费用和人力，使机务成本大大降低。据宝鸡电力机务段统计，电力牵引的成本仅为蒸汽牵引成本的 56%。仅石家庄电力机务段的 48 台电力机车，一个月即可节约 43.8 万元。有资料表明，电力机车牵引万吨公里能耗仅为内燃机车牵引的 2/3，为蒸汽机车牵引的 1/3。此外，由于电力机车整备作业少，宜于长交路行驶，这样就可以减少机务段的数目，实现长交路轮乘制改革，使机车乘务人员和使用的机车台数也相应减少，劳动生产率大大提高。

## 3. 能源利用合理

电力牵引的能源可以来自多方面，因而实行电力牵引可以合理地利用能源，特别是可以利用丰富而廉价的水力资源和天然气资源，即使由火力发电站供电，发电站也可以使用质量较差的煤作燃料，蒸汽机车则要消耗优质煤。

使用电力牵引时，燃料的消耗也较蒸汽机车和内燃机车低得多。我国宝成铁路使用电力牵引代替蒸汽牵引后，每年可节省优质煤 10 余万吨。在第二次世界大战后，由于石油价格低廉，使得一些国家采用了以内燃牵引为主的方针，但随着工业及国防对石油需求的日益增加，特别是 20 世纪 70 年代以来，世界性石油危机使石油价格暴涨，各国对铁路电力和内燃牵引重新进行了经济评价，电力牵引更加受到青睐。因而日本、法国、德国等发达国家都趋向发展电气化铁道和电力牵引。

## 4. 有利于环境保护

蒸汽机车和内燃机车工作时，均要排出大量的煤烟和有害气体造成空气污染。使用电力牵引时则排除了这种情况，增强了环境保护。特别是在机车运行中，当机车进入市区和人口稠密地区时，电力机车的噪声干扰也大大低于蒸汽牵引和内燃牵引，因而改善了乘务人员的劳动条件和铁路沿线居民的生活环境。因而使用电力牵引的交通工具被誉为绿色大众交通。

## 5. 提高了行车安全性

宝成铁路电气化后，列车正点率大幅度提高，1962—1964 年正点率为 98.2%，以后一直保持着较高的水平。电力牵引装有电气制动，提高了长大坡道上的运行速度，保证了行车安

---

全，解决了由蒸汽牵引带来的大量车辆、轮、轴等事故，并且大大减少了因使用空气制动而产生的闸瓦熔化引起的火灾事故，因此电力牵引使行车更安全。

## 任务三 我国电力牵引发展历程展示

### 【教学目标】

#### 1. 知识目标

了解我国电力牵引发展历程；了解电力牵引技术的进步与未来发展前景；了解最新交流传动大功率电力机车技术性能及技术参数。

#### 2. 能力目标

能通过查阅资料、网上浏览收集各种电力机车的技术资料，整理出我国干线运用电力机车的主要性能指标；通过对比这些性能指标，总结我国电力机车技术进步与技术升级的主要特征，结合目前铁路牵引动力发展实际，洞悉我国牵引动力的发展方向。

### 【相关知识】

电力牵引自 1879 年 5 月在柏林举办的世界博览会上，由德国西门子和哈尔斯克公司展出了世界第一条长约 300 m 的电气化铁路以来，已有一百多年的历史了。在电力牵引发展初期，主要是采用直流电力机车，另外也有一部分三相交流制和单相低频制电力机车。由于当时科学技术的制约，直流制电力机车供电电压不高，三相交流制接触网设备过于复杂，单相低频制电力机车又需要单独的供电电网，因此电力牵引初期发展速度较慢。直流制电力牵引经历了一个时期的运用和发展，到 20 世纪 20 年代中期，接触网电压由过去的几百伏提高到了 3 000 V，世界各国电气化铁道大部分采用的都是直流制，接触网电压为 1 500 ~ 3 000 V。为了克服直流电力牵引接触网电压低的缺点，1904 年瑞士开始采用单相交流制电力牵引，用以提高接触网供电电压。但因工频电源使牵引电动机换向困难，所以采用单相低频交流制。1932 年匈牙利试验成功了单相工频交流电力机车，引起世界各国的重视，此后德国、法国相继进行研制，1950 年法国试制了引燃管整流器式电力机车，从而使直流制电力牵引中牵引电动机的一系列优点和单相工频交流制供电电压较高的特点完善地结合起来，形成了单相工频交-直流制电力牵引，开辟了工频交流电气化的新纪元，推动了电力牵引的迅速发展。从 1960 年西德制成半导体整流器式电力机车以来，目前世界各国电气化铁道大部分已采用单相工频交流制电力牵引供电系统，接触网供电电压 25 kV。1958 年美国发明晶闸管后，60 年代中期晶闸管相控机车开始问世，至今交流供电、直流牵引的直流传动技术已完全成熟。晶闸管的发明使制造大功率机车变为现实，80 年代初西德率先成功研制了交-直-交电力机车，之后英国、美国、苏联、法国、日本等国也都进行了研制。交流传动比直流传动具有极大的优越性，目前世界先进国家新造的大功率电力机车几乎都采用了三相交流传动技术，单轴功率达到 1 000 ~ 1 600 kW 的大功率客货通用型变频调速电力机车已广泛投入商业应用。在 250 ~ 300 km/h 及其以上的高速领域，交流传动的电动车组独领风骚，在 140 ~ 220 km/h 的快速客货运输领域，交-直型电力机车（或其他直流传动机车）也正在被三相交流传动技术所取代。