

项目一 认识动车组牵引系统

【项目描述】

通过本项目学习，使学生掌握动车组供电牵引系统的组成及作用，动车组牵引方式的类型和各自的特点；同时了解国际上3种典型的动车组技术平台的技术性能。

【知识目标】

- (1) 掌握动车组供电牵引方式的类型及特点；
- (2) 掌握动车组牵引系统的组成结构；
- (3) 掌握动车组动力配置方式。

【能力目标】

- (1) 能自主学习动车组3种技术平台的技术特点；
- (2) 能自主学习动车组3种技术平台的结构性能；
- (3) 能描绘动车组关键技术特征。

任务一 动车组牵引供电系统

【任务描述】

- (1) 掌握动车组供电牵引系统的组成及作用；
- (2) 掌握动车组动力配置的方式及性能比较。

【相关知识】

动车组的电力牵引系统，包括供电部分和动车组本身的牵引传动部分。供电部分指的是从变电站到受电弓，而动车组自身的传动部分指的是从受电弓、牵引变压器、牵引变流器到牵引电机的主电路部分涉及的内容。从动车组的发展过程看，动车组的传动方式主要包括交-直传动方式和交-直-交传动方式。

一、动车组供电牵引系统的组成及作用

交-直传动系统是指机车或者动车组由交流供电而采用直流电机驱动的传动方式，从图

1-1 可以看出，列车从电网中获得电能，由变流器将交流电转换成直流电，并且通过变流器来控制牵引电机的工作速度。

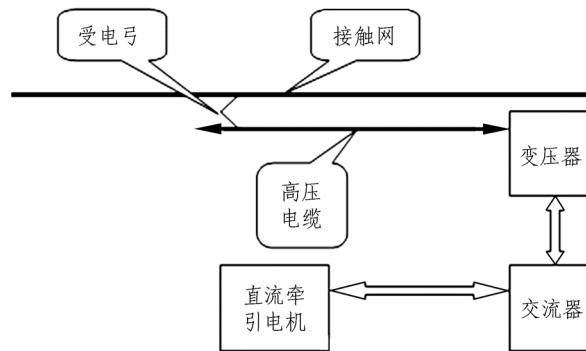


图 1-1 交-直牵引传动系统

交流传动系统是由变流器供电的异步或者同步电动机作为列车动力的传动系统。目前，变流器主要有交-交变流器和交-直-交变流器两大类。

列车受电弓从接触网上取得的是一定频率和恒定电压的电源，而牵引电动机在列车所要求的转速、转矩范围内工作，这就要求电动机电源的电压和频率可以进行调节，变流器就能实现这样的功能。交-交变流器是将电网的交流能量直接转换为电压和频率适合于交流电动机需求的能量，交-直-交变流器是将电网所得的电能转换成直流电，然后进一步转换成电压和频率可以调节的交流电，如图 1-2 所示。

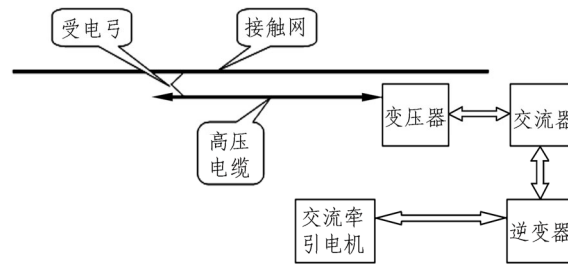


图 1-2 交-直-交牵引传动系统

目前，机车或者动车组采用的交流传动系统基本结构可以分为 3 类，分别为电压型交-直-交变流器供电的异步牵引电机系统、电流型交-直-交变流器供电的异步牵引电机系统和交-交变流器供电的同步牵引电机系统。从世界铁路技术发展趋势来看，未来干线铁路牵引系统将主要采用电压型交-直-交变流器供电的异步电机系统。

功率半导体和变流技术的进步，控制方法和控制装置的完善，这些都促进了交流传动技术的发展，使变流器-电机牵引系统的性能得到了满足，图 1-3 是动车组牵引系统原理示意图，这些性能包括：平稳起步、抑制滑行和空转、再生制动、调速范围等等，而且实现了由一个控制器控制多台电机并联运行。

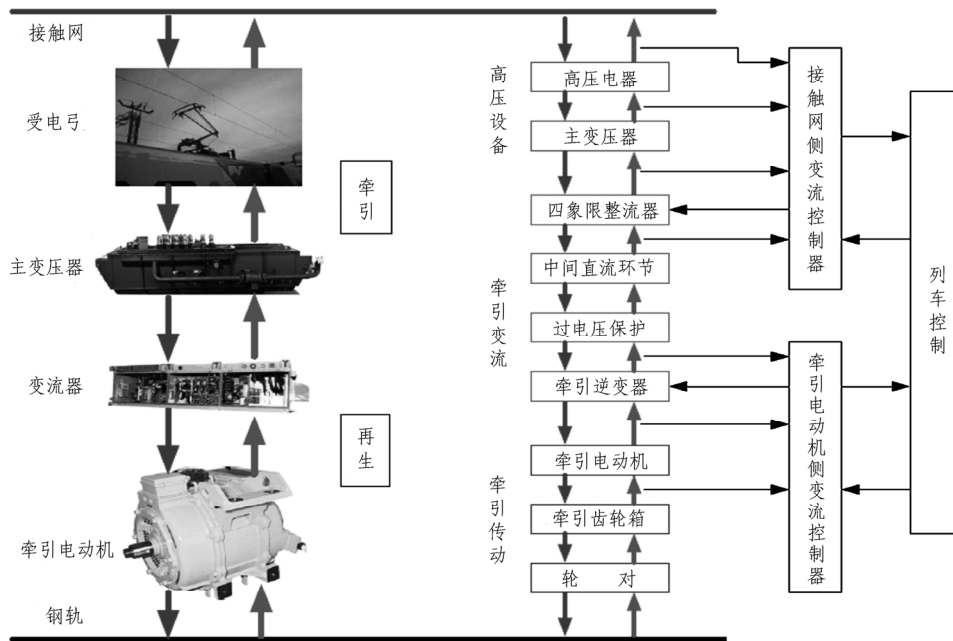


图 1-3 动车组牵引系统原理示意图

二、动车组牵引方式

高速列车动力配置方式可分为动力集中和动力分散两大类。所谓动力分散就是将列车动力分散置于各车辆轴或大部分车辆轴上，动力集中则是将列车动力集中于列车两端动力车的动轴上，形成推挽式牵引。

动力集中式高速列车，以法国 TGV 和德国 ICE 水平最高。摆式动车可运行于小曲线、线路改造量不大的线路上，尽管车辆结构复杂，但效果不错。瑞典 X2 摆式动车具有代表性。

日本新干线高速列车是动力分散的典型，其 300 系动车组的最高速度达到 270 km/h，已代替原有的 0 系和 100 系等直传动动车组。

从 300 km/h 以内高速列车的牵引模式看，目前有日本采用的动力分散布置模式，也有西欧诸国采用的两端动力车（实质为机车）、中间为拖车的动力集中模式。

1. 动力分散方式

日本采用动力分散模式是由历史原因造成的。究其原因有以下几方面因素：

(1) 日本高速铁路的规划始于 1957 年。高速必然要求机车具有较大的功率，如日本新干线 0 系列每一车组的总功率为 11 840 kW。当时要研制功率大重量轻的牵引电动机并且采用动力集中方式是不可能的，因此必然会考虑采用动力分散布置方式。就目前情况而言，日本国内运用的机车功率也是偏小的，不能满足动力集中式高速列车牵引的需要。

(2) 日本的铁路是松软路基，高速时，如何减小机车对线路的动力作用，在当时还是缺

乏经验的，因而只能采用较轻的轴重，如 0 系动车组的轴重为 16 t。

(3) 日本铁路的站间距短，主要运载的是通勤旅客，因而必须适应频繁的起动和制动，这样动力分散有其优越性。

(4) 为减少线路投资，采用了大的坡道，如东海道干线坡道为 20‰。同时列车要求有大的起动加速度和大的牵引力。当时由于对黏着机制没有充分的认识，也没有很好的抗空转、抗滑行的保护装置，只能采用较小的黏着系数。所以单轴极限牵引力受到限制，采用动力分散也是必然的结果。

2. 动力集中方式

欧洲发展现代高速列车比日本晚了近 20 年，工业技术水平已大大提高，日本高速化中出现的问题和教训，欧洲尤其是德国已做了大量的研究。如高速受流问题，日本采用多台受电弓受流，造成了弓网间共振，受流效果很差，接触导线严重电蚀，一般 2~3 年就要更换。研究认为两受电弓间的距离超过 200 m，即能防止共振。随着高速列车基础研究的突破和新技术的发展，出现了 TGV 和 ICE 两种不同技术风格的动力集中式高速列车。

欧洲各国的高速列车，几乎均采用推挽牵引的动力集中模式。两端为动力车，中间全部为拖车。法国的 TGV，德国的 ICE，均采用这种模式。意大利也从原来采用的 ETR450 动力分散型转而采用 ETR500 的动力集中型。所以就发展趋势而言，欧洲各国明显是以动力集中模式为主流。英吉利海峡隧道高速列车 TMST 的标准编组也是两端配置动力车，牵引 16 辆客车，即 2 (1L+8T)，但可以分组运行，每辆动力车牵引 8 辆客车。它以 TGV-A 高速列车为样本，所以也是动力集中方式。要求能分组运行是为了更大的机动性，一旦在隧道内发生事故或者故障，可以从两端紧急疏散。

高速动车组经过了 50 多年的商业运营，随着运行速度的不断提高，技术日益成熟，但各技术平台性能的差异日渐明显，动力分散模式的优点较为显著，总体性能优于动力集中模式。

3. 动力分散型与动力集中型动车组的比较

动力分散型动车组轴重小，牵引动力大，起动加速快，驱动动轴多，黏着性能比较稳定，容易实现高速运转；其动力设备均可安装于地板底下，所有车辆（包括头车和中间车）均可作为客车使用，这样可提高列车定员。以新干线 300 系为例，其额定功率为 12 MW，起动加速牵引力可达到 360 kN，每吨起动加速牵引力可达到 0.5 kN，由起动加速到 250 km/h 的时间仅需 215 s、走行 9.6 km。新干线 300 系每平米定员为 3.29 人，超过 TGV-A 的 2.04 人和 ICE 的 1.85 人。当然，法国、德国并不是做不到定员高，而是更讲究舒适性。基于这种特点，动力分散型动车组比较适用于铁路路基松软、站距较短的国家，如日本等。

动力集中型动车组为世界许多国家广泛采用。其运行速度也可达 330 km/h，在现行电气化铁路的技术条件下，动力集中型动车组完全能满足目前和今后很长一段时期内铁路运营的需要。动力集中型动车组技术成熟，编组较动力分散型动车组更为灵活。另外，在成本方面，动力集中型动车组两端为动力车，设备集中，动力设备数量少；在车内环境方面，动力集中型动车组驱动装置集中在两端，远离旅客座位区，噪声小，而动力分散型动车组驱动设备分布在车下，有一定的振动影响。

经过分析可以看出：速度 200 km/h 等级的动车组，动力集中模式可以成为主要客运动力模式之一；速度在 250~300 km/h 之间，两种模式均可应用；但不可否认，动力分散型模式在速度 300 km/h 及以上有着独特的优越性。

一贯坚持动力集中模式的德、法两国，在新一代高速动车组的开发中，已放弃了动力集中模式，转为动力分散模式。德国 ICE3 新一代高速动车组采用动力分散模式（2M2T），最高运行速度达 330 km/h。法国 AGV 动车组也改用动力分散模式，速度为 320~360 km/h。由此可见，300 km/h 以上高速动车组采用动力分散模式是目前的发展趋势，也是新型高速动车组的发展方向。

任务二 动车组 3 种技术平台

【任务描述】

- （1）了解 3 种技术体系的特点；
- （2）了解动车组的关键技术组成。

【相关知识】

一、新干线、TGV、ICE 3 种技术平台比较

日本、法国、德国在高速铁路建设和高速列车研制技术方面各成体系，形成了 3 个不同技术特征的平台。由于各技术平台成长的土壤各不相同，水平有高有低。为了全面了解高速列车技术，主要围绕电力牵引技术问题，从技术特点、运营速度、运营管理、技术成熟情况等方面对 3 个技术平台进行分析。

1. 基本技术特征

日本高速列车一直采用动力分散配置模式，这主要与日本的国情、技术水准等有关。

运行速度在 300 km/h 以内，动力分散与动力集中模式都有良好的表现，在技术上不分伯仲，动力集中模式完全可以满足列车运行要求。运行速度超过 300 km/h 以上，动力分散模式总体上要优于动力集中模式。因此，对于 300 km/h 级高速列车，动力配置模式应采用动力分散模式。

法国、德国第三代高速列车 AGV、ICE3 均已放弃了一直坚持的动力集中模式，采用动力分散模式。也就是说，运行速度在 300 km/h 以上的列车，采用动力分散配置模式是必然趋势，已得到了验证与认同。

新一代高速动车组均采用交流传动技术，变流器为四象限脉冲变流器，变流器元件应用以 IGBT 为基础的各种集成、智能化器件。牵引电动机采用交流三相异步电动机，控制策略主要为矢量控制和直接转矩控制。高速动车组在控制方面，采用了网络化控制方式，使列车

的控制、智能化水平得以极大提高。

在列车供电技术上，法国是唯一掌握了用工业用电制式向列车供电的国家。

法国阿尔斯通公司研制的列车，以铰接式保证了列车的稳定性：相连的两节车厢以半刚性横向机械连接，使列车形成一个整体，没有了车厢间的冲撞，在发生重大事故（如脱轨）的情况下可避免列车解体；转向架设置在相邻的两节车厢之间，转向架数量减少 30%，重量轻（轴重小于 17 kN），降低了运营和维护成本。

2. 运营速度

目前，在轮轨高速领域，日本、法国、德国先后都掌握了时速 300 km 高速技术，但法国列车的速度最高，而且历史最长：1986 年大西洋线上的高速列车时速达 300 km，1990 年创造了时速 515 km 的世界试验速度纪录，2007 年 4 月 3 日 V150 列车又创造了时速 578.4 km 的新纪录。新一代的 AGV 列车系统，时速可达到 350 km。

法国高速列车已经安全行驶了 20 多亿千米，虽然行驶总里程低于日本新干线，但 20 多亿千米中有 80% 是在 300 km/h 下行驶的，这个比例远高于日本。

日本新干线速度最高的是 500 系动车组，最高时速 300 km，但以这个速度行驶的线路只有 100 km，也就是说时速 300 km 的比例，远低于法国。不过由于起步早、里程最长等因素，日本高速运营总里程最长，其他高速列车时速也接近 280 km。

德国高速列车 ICE3 系列于 1999 年投入商业运营，如图 1-4 所示，2002 年开通法兰克福至科隆段达到 320 km/h。西门子公司新研制的 Velaro 列车，最高时速可以达到 350 km/h。



图 1-4 德国 ICE350

3. 运营安全性

新干线运量大，除了定员高外，主要依靠发车密度最高、追踪间隔最短（仅 4 min）。也就是说，每隔 4 min，就能发出一班高速列车。能够做到这样的密集运输，是新干线独有的管理运营技术。这是新干线区别于法国、德国同行的优势所在。

在准点率方面，日本新干线位居世界首位，在大地震、多台风等国情条件下，包括自然灾害引起的晚点，平均只有 0.3 min，而且还是在班次高密度的前提下取得的，运营技术的确不一般。

在安全事故方面，法国自 1981 年开通高速铁路后，24 年来没有一例人员伤亡事故，日本这样的纪录一直保持了 40 年，但 2004 年发生了第一起人员伤亡的事故，出事地点不是在

新干线上，事故原因是司机违章，德国 ICE 铁路 2001 年出现了列车颠覆事故。

法国、德国铁路采用欧洲铁路运输管理系统（ERTMS），德国 ICE3 列车系统采用 GPS 技术显示行车路线。

新干线运营管理系统庞大复杂，有综合调度室，有信息管理、信息处理、进路控制、运行显示 4 大系统，有列车集中控制、通信信息监控、变电所集中控制等装置。对所有的运行信息，实行一元化管理，保证列车的安全准点。

4. 技术系统整合能力

高速铁路系统由基础网路设施、机车车辆与运营系统 3 个部分组成。

日本尚未掌握高速列车与现有基础设施的整合技术，新干线是一条高速列车专用线，与其他铁路没能实现联网。

阿尔斯通的高速列车自研发之初已考虑了 3 个子系统的整合，并已经成功地在 9 个国家新建，并在与原有不同的基础设施、不同信号系统的条件下商业运行。

德国虽然掌握了两种网路的整合技术，但其 300 km/h 的高速列车运营了仅 7 年时间，而且只在一条线上行驶，因此德国在系统整合方面的经验尚不如法国丰富。

5. 市场占有与技术转让情况

法国阿尔斯通公司具备在国外成功地实施高速铁路项目所需要的技术、工业和管理。在西班牙和韩国项目的实施中，每次都是法国生产首批列车，继而通过技术转让将大部分技术转移至当地。阿尔斯通公司产品出口历史悠久，市场份额大，覆盖 9 个国家和地区，在时速 270 km 的高速列车市场，占有 85% 的份额。

德国在出口西班牙 6 列 Velaro-E 之后，又出口我国唐山轨道车辆有限公司 60 列 Velaro-E 改进型。

日本于 2000 年获得了向我国台湾出口高速列车的合同，是首次海外输出。2004 年又获得了向我国四方轨道车辆有限公司出口 60 列 200 km/h 动车组的合作合同。

阿尔斯通在高速铁路项目渐进式技术转让方面积累了丰富的经验，先后成功地向西班牙、英国、韩国转让了技术，其合作伙伴都经受了全面的培训，并提供建立工厂的技术支持。交货期准时，韩国的 KTX 高速列车系统就是一个例证。

二、动车组关键技术组成

高速动车组关键技术主要有 9 项，包括轻量化车体、高速转向架、制动系统、系统集成、牵引控制系统、牵引变流器、牵引变压器、牵引电动机、列车网络控制系统等。主要配套技术包括空调、钩缓及内装饰等 10 项。

【复习思考题】

1. 试述动车组牵引传动方式及组成。
2. 试述动车组牵引系统的组成原理。

3. 动车组的牵引方式有哪些？
4. 高速动车组的关键技术有哪些？
5. 简述我国引进动车组的基本技术特征。