

# 走进科学前沿——磁悬浮列车

磁悬浮列车是一种现代高科技轨道交通工具，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。

1922年，德国工程师赫尔曼·肯佩尔提出了电磁悬浮原理，继而申请了专利。20世纪70年代以后，随着工业化国家经济实力不断增强，为提高交通运输能力以适应其经济发展和民生的需要，德国、日本、美国等国家相继开展了磁悬浮运输系统的研发。

中国第一辆磁悬浮列车2003年1月开始在上海运行。2015年10月中国首条国产磁悬浮线路长沙磁浮线成功试跑。2019年5月23日10时50分，中国时速600公里高速磁浮试验样车在青岛下线。

## 一、发展现状

磁悬浮列车在世界上对磁悬浮列车进行过研究的国家主要是德国、日本、英国、加拿大、美国、苏联和中国。美国和苏联分别在20世纪70年代和80年代放弃了研究计划，但美国最近又开始了研究计划。英国从1973年才开始研究磁悬浮列车，却是最早将磁悬浮列车投入商业运营的国家之一。

1984年4月，从伯明翰机场到火车站之间600 m长的磁悬浮运输系统正式运营，旅客乘坐磁悬浮列车从机场到火车站仅需90 s。但1995年，在运行了11年之后，被停止运营。

德国从1968年开始研究磁悬浮列车，刚开始时，常导型和超导型

并重，于1977年分别研制出常导型和超导型试验列车。但后来经过分析比较，决定集中力量只发展常导型磁悬浮列车。目前德国在常导磁悬浮列车研究上的技术已经成熟。

日本从1962年开始研究常导型磁悬浮列车，后来由于超导技术的发展，日本从20世纪70年代开始转向研究超导型磁悬浮列车。1972年12月在宫崎磁悬浮铁路试验线上，速度达到了204 km/h。1979年12月又进一步提高到517 km/h。1982年11月，磁悬浮列车的载人试验获得成功。1995年载人磁悬浮列车试验时的速度高达411 km/h。1997年12月在山梨县的试验线上创造出速度为550 km/h的世界最高记录。最高时速与试验线的长度有关，德国的试验线两端是环形的，直线部分只有约7 km，日本的试验线是直线且很长，故能达到较高的时速。

中国在20世纪80年代初开始对低速常导型磁悬浮列车进行研究。1994年10月，西南交通大学建成了首条磁悬浮铁路试验线，并同时开展了磁悬浮列车的载人试验，成功地进行了4个座位，自重4 t，悬浮高度为8 mm，时速为30 km/h的磁悬浮列车试验，于1996年1月通过铁道部组织的专家鉴定。然后，在铁科院环形试验线轨距2 m，长36 m，设计时速为100 km的室内磁悬浮试验线路上成功地对长6.5 m，宽为3m，自重4 t，内设15个座位，设计时速为100 km/h的低速常导6 t单转向架磁悬浮试验车进行了试验，于1998年11月通过了铁道部科技成果鉴定，填补了中国在磁悬浮列车技术领域的空白。

2016年，由中车株洲电力机车有限公司牵头研制的时速100公里长沙磁浮快线列车上线运营，被业界称为中国商用磁浮1.0版列车。商用磁浮1.0版列车较适用于城区。

2018年6月，中国首列商用磁浮2.0版列车在中车株洲电力机车有限公司下线。2.0版列车设计时速提升到了160 t，并采用三节编组，最大载客500人。此外，车辆牵引功率提升30%，悬浮能力提升6 t。商用磁浮2.0版列车适用于中心城市到卫星城之间的交通。

2019年5月23日10时50分，中国时速600公里高速磁浮试验样车在青岛下线。这标志着中国在高速磁浮技术领域实现重大突破。

## 二、电磁分类

根据磁悬浮列车所采用的电磁铁种类可以分为常导吸引型和超导排斥型两大类。

### 1. 常导吸引型

常导吸引型磁悬浮列车是以常导磁铁和导轨作为导磁体，用气隙传感器来调节列车与线路之间的悬浮间隙大小，在一般情况下，其悬浮间隙大小在 10 mm 左右，这种磁悬浮列车的运行速度通常在 300~500 km/h 范围内，适合于城际及市郊的交通运输。

### 2. 超导排斥型

超导排斥型磁悬浮列车是利用超导磁铁和低温技术，来实现列车与线路之间悬浮运行，其悬浮间隙大小一般在 100 mm 左右，这种磁悬浮列车低速时并不悬浮，当速度达到 100 km/h 时才悬浮起来。它的最高运行速度可以达到 1000 km/h，然其建造技术和成本要比常导吸引型磁悬浮列车高得多。

按悬浮技术，磁悬浮列车按悬浮方式有电磁吸引式悬浮(EMS)和永磁力悬浮(PRS)及感应斥力悬浮(EDS)两种。

## 三、工作原理

由于磁铁有同性相斥和异性相吸两种形式，故磁悬浮列车也有两种相应的形式：一种是利用磁铁同性相斥原理而设计的电磁运行系统的磁悬浮列车，它利用车上超导体电磁铁形成的磁场与轨道上线圈形成的磁场之间所产生的相斥力，使车体悬浮运行的铁路；另一种则是利用磁铁异性相吸原理而设计的电动力运行系统的磁悬浮列车，它是在车体底部及两侧倒转向上的顶部安装磁铁，在 T 形导轨的上方和伸臂部分下方分别设反作用板和感应钢板，控制电磁铁的电流，使电磁铁和导轨间保持 10~15 mm 的间隙，并使导轨钢板的排斥力与车辆的重力平衡，从而使车体悬浮于车道的导轨面上运行。

通俗的讲就是，在位于轨道两侧的线圈里流动的交流电，能将线圈变为电磁体。由于它与列车上的超导电磁体的相互作用，就使列车开动起来。列车前进是因为列车头部的电磁体(N极)被安装在靠前一点的轨道上的电磁体(S极)所吸引，并且同时又被安装在轨道上稍后一点的电磁体(N极)所排斥。当列车前进时，在线圈里流动的电流流向就反转过来了。其结果就是原来那个S极线圈，现在变为N极线圈了，反之亦然。这样，列车由于电磁极性的转换而得以持续向前奔驰。根据车速，通过电能转换器调整在线圈里流动的交流电的频率和电压。

稳定性由导向系统来控制。“常导型磁吸式”导向系统，是在列车侧面安装一组专门用于导向的电磁铁。列车发生左右偏移时，列车上的导向电磁铁与导向轨的侧面相互作用，产生排斥力，使车辆恢复正常位置。列车如运行在曲线或坡道上时，控制系统通过对导向磁铁中的电流进行控制，达到控制运行目的。

“常导型”磁悬浮列车及轨道和电动机的工作原理完全相同。只是把电动机的“转子”布置在列车上，将电动机的“定子”铺设在轨道上。通过“转子”“定子”间的相互作用，将电能转化为前进的动能。我们知道，电动机的“定子”通电时，通过电磁感应就可以推动“转子”转动。当向轨道这个“定子”输电时，通过电磁感应作用，列车就像电动机的“转子”一样被推动着做直线运动。

## 四、列车类型

“空轨磁悬浮”的轨道由钢架支起，在车的正上方，远远看去，就像是车被悬挂在空中一样。

磁悬浮列车是由无接触的电磁悬浮、导向和驱动系统组成的新型交通工具，磁悬浮列车分为超导型和常导型两大类。

简单的说，从内部技术而言，两者在系统上存在着是利用磁斥力还是利用磁吸力的区别。

### 1. 实用型

磁悬浮列车 2009 年 6 月 15 日，国内首列具有完全自主知识产权

的实用型中低速磁悬浮列车，在中国北车唐山轨道客车有限公司下线后完成列车调试，开始进行线路运行试验，这标志着我国已经具备中低速磁悬浮列车产业化的制造能力。中低速磁悬浮列车是一种新近发展起来的轨道交通装备，性能卓越，适用于大中城市市内、近距离城市间、旅游景区的交通连接，市场前景广阔。中低速磁悬浮列车利用电磁力克服地球引力，使列车在轨道上悬浮，并利用直线电机推动前进。与普通轮轨列车相比，具有噪声低，振动小，线路敷设条件宽松、建造成本低、易于实施、易于维护等优点，而且由于其牵引力不受轮轨间的黏着系数影响，使其爬坡能力强，转弯半径小，是舒适、安全、快捷、环保的绿色轨道交通工具，在各种交通方式中具有独特的优势。中低速磁悬浮列车项目是唐车公司与北京控股磁悬浮技术发展有限公司、国防科学技术大学等共同开展的磁悬浮技术工程化应用研发项目，被科技部列入国家“十一五”科技支撑计划。

## 2. 其他类型

利用磁铁吸引力使车辆浮起来的磁悬浮列车，用的是“T”形导轨，车辆的两侧下部向导轨的两边环抱。在车辆的下部的内翻部分面上装有磁力强大的电磁铁，导轨底部设有钢板。钢板在上，电磁铁在下。所谓电磁铁，就是一个金属线圈，当电流流经线圈时，能产生磁力吸引钢板，因而车辆被向上抬举。当吸引力与车辆重力平衡，车辆就可悬浮在导轨上方的一定高度上。改变电流，也就改变磁场强度，使悬浮的高度得到调整。另一种磁悬浮列车，采用相斥磁力使车辆浮起。它的轨道是“U”形的。当列车向前运动时，车辆下面的电磁铁就使埋在轨道内的线圈中感应出电流，使轨道内线圈也变成了电磁铁，而且它与车辆下的磁铁产生相斥的磁力，把车辆向上推离轨道。

利用相斥磁力悬浮的列车，一开动很快就可以加速到时速 50 公里，跑了 50~60 m 的距离之后，便在轨道上悬浮起来。

磁悬浮列车的发展，将使地面交通发生革命性的变化。它速度快，运行安全、平稳舒适、无噪声，可以实现全自动化运行。