

综
述
与
评
论

交流牵引电动机的发展态势

苟军善, 侯康鹏

(北车永济新时速电机电器有限责任公司 技术中心, 山西 永济 044502)



作者简介: 苟军善(1963-), 男, 高级工程师(教授级), 长期从事牵引电机设计开发与制造。

摘 要: 介绍了交流牵引电动机的发展和优势特点, 对未来几种牵引电机从结构特点到材料使用的发展趋势做了详尽叙述, 给出了分析和看法。

关键词: 异步牵引电机; 永磁同步电机; 直接驱动; 直线电机; 高压电动机; 开关磁阻电机

中图分类号: TM34

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2011)03-0001-05

Development Trend of AC Traction Motor

GOU Jun-shan, HOU Kang-peng

(Technology Center, CNR Yongji Xinshisu Electric Equipment Co., Ltd., Yongji, Shanxi 044502, China)

Abstract: Advantage and development of AC traction motor were introduced. Development tendency in future of several types of traction motors were detailed described on structure characters and material applications, and at the same time, analysis and viewpoints were provided.

Key words: asynchronous traction motor; permanent synchronous motor; direct drive; linear motor; high-voltage motor; switched reluctance motor

0 引言

交流牵引电动机是现代交流传动中机电能量转换的核心部件, 它和变流器被称为交流传动的“心脏”, 随着交流控制技术的发展而发展。它的性能某种程度上决定了机车与动车动力的品质, 同时也是轨道交通行业升级换代的关键部件。交流牵引电机和现代电力电子技术、控制理论的结合, 开辟了轨道传动领域的新纪元, 是目前交流传动领域研发的主流热点。

1 交流牵引电机的发展概况

1.1 早期发展阶段(19世纪90年代至20世纪50年代初)

1891~1892年德国西门子公司试验成功了三相交流电源直接供电的最早的绕线式转子异步牵引电动机。

1898年德国西门子公司在一台两轴车上安装了变压器, 并由三根架空线提供10 kV、50 Hz的三相交流电。该车采用了三相绕线式异步牵引电动机。

1903年德国试验线上交流传动车辆的最大速度达

到210 km/h, 采用的是绕线式异步牵引电动机。1917年德国试制成功采用“劈相机”将单相交流供电进行旋转、变换为三相交流电的试验车, 采用的是三相异步牵引电动机。

1943年匈牙利国铁定购的机车和1955年法国国营铁路的一台样车上都装有旋转变频机组, 但由于系统结构复杂、机组体积庞大, 这2种机车都没有继续发展下去。

1955年水银整流器机车问世, 标志着电力牵引传动交直技术实用化的开始, 使电力牵引交流传动技术的早期发展阶段终告结束, 用于交流传动的牵引电动机的研制也告一段落。

1.2 近代发展阶段(20世纪60年代以来)

1964年分谐波控制的逆变器(即现在的脉宽调制逆变器)的出现使电力牵引系统发生了根本性的技术革命, 交流传动技术发展进入了一个新的时代。

1971年德国研制成功第1台交流传动内燃机车(DE2500), 采用三相异步电动机。

1980~1987年间研制了4台DE2500交流传动内燃机车(德国), 改装了12001交流传动电力机车(瑞士), 对

收稿日期: 2011-01-22

不同供电方式下的PWM逆变器—异步牵引电机系统在转差—电流控制下的机车性能进行了多方面的试验,结果向世人展示了交流传动系统的意想不到的优越性,这些机车采用的是三相异步牵引电动机。

1983年研制成功BR120型交流传动干线电力机车,这是交流传动机车发展史上的一个重要里程碑,标志着交流传动技术走向成熟阶段,其采用了三相异步牵引电动机。

1988年德国西门子ICEV动车创造了407 km/h的世界第一速,采用的是三相异步电动机。

80年代至今,随着磁场定向控制和直接转矩控制等交流传动控制技术的发展,德国、法国、日本、美国等各国已研制出多种型号的交流传动电力机车、交流电传动内燃机车和高速动车组。

1.3 我国交流牵引电动机的发展

我国交流牵引电机伴随着交流传动技术的研究始于上世纪70年代初,当时只进行一些理论研究和地面试验,采用过交流异步电动机和同步电动机。

上世纪90年代我国由南车株洲电力机车研究所有限公司和铁道部科学研究院共同研制的、功率达1 000 kW的电力牵引交流传动系统获得成功,采用的是交流异步电动机。

在此基础上,由南车株洲电力机车有限公司和南车株洲电力机车研究所有限公司于1996年共同研制的我国第1台4轴4 000 kW交流传动电力机车(原型车)诞生。该车以AC4000命名,采用JD103型三相异步电动机,标志着我国电力机车进入交流传动时代。

1999年9月我国首台交流传动内燃机车“捷力型”调车内燃机车研制成功,采用JD108型交流异步牵引电动机,标志着我国内燃机车进入交流传动时代。

2000年我国首批投入商业运营的国内单轴功率最大、达到国际先进水平的交流传动高速客运电力机车“熊猫号”和高速动车组“蓝箭号”诞生,它们采用的是三相异步电动机。

2000年6月由大连机车车辆厂和西门子公司合作研制生产的2台DF_{4D} AC型交流传动内燃机车落成,该车与后来的SSJ₃型电力机车均采用交流异步电动机。

2001年5月由浦镇车辆厂研制的“先锋号”动力分散型动车组,采用JD106S异步牵引电动机。

2003年戚墅堰机车车辆厂研制的2台DF_{8CJ}交流内燃机车采用JD123交流异步牵引电动机。

2004年以来通过引进国外高速重载、高速动车的先进技术,立足国内,自主创新,已取得了实质性的成果,将我国交流传动技术和交流牵引电机技术提升到国际一流的水平,诞生了具有我国自主知识产权的DJ₁、DJ₂、DJ₄、HXD₁、HXD₂、HXD₃以及HXN₃、HXN₅大功率交流传动电力和内燃机车,也诞生了CRH₁、CRH₂、CRH₂-300、CRH₃、CRH₅、CRH380A系列高速动车组,产

生了大功率以及高速的异步牵引电机YJ116A、YJ85A、YJ90A、YJ87A、YJ105A、YJ92A、JD160、JD121、JD123等系列电机,使我国交流牵引电机研发与发达国家的差距大大缩小,使我国交流牵引电机研制真正进入一个新时代。

2 牵引传动控制技术

变流器和异步牵引电动机已成为现代交流传动技术的关键部件,特别是异步牵引电机控制方式的发展,使交流控制技术发生了革命性的变化,也使异步牵引电机的研制飞速发展。传动控制技术普遍已由传统的转差频率—电流控制发展到磁场定向控制和直接转矩控制,而且还向数字化、无速度传感器方向发展。

2.1 转差频率—电流控制

转差频率—电流控制是过去用于交流异步电机的控制方法,它是从异步电机的稳态等效电路和稳态转矩公式出发,没有进行动态的磁通控制,对电机控制只是粗略的,因此控制精度差,动态性能差,控制品质无法满足交流异步电机动态及负载要求。

2.2 磁场定向控制(FOC)(矢量控制)

异步电动机是一个多变量、强耦合、非线性的时变参数系统,转子电流无法检测。但我们知道直流电机产生磁场的励磁电流和产生转矩的电枢电流可以分别控制,该控制原理是以转子磁通这一旋转空间矢量为参考坐标,利用坐标变换,将异步电动机定子电流分解为产生磁场的励磁分量和产生转矩的电流分量分别加以控制,这样通过坐标变换重建的电机模型就可等效为一台直流电机,从而控制转矩磁通。矢量控制具有直接的电流闭环特点,电流控制稳定性高,但矢量控制受转子参数变化影响大,磁链观测准确性较难,影响系统的性能。矢量控制在逆变器峰值电流、电机转矩脉动、谐波损耗等性能指标上比直接转矩控制差,而且矢量控制由转子磁场定向向电压定向控制、定子磁场控制和直接转矩控制方向发展,我国NJ1机车及HXD₁、HXD_{1B}、HXD₂、HXD₃机车等以及动车都应用矢量控制技术。

2.3 直接转矩控制

与磁场定向控制技术相比,直接转矩控制方法摒弃解耦思想和取消了复杂的旋转变换,直接转矩控制方法直接在定子坐标系上计算转矩的大小,并通过磁通和转矩的直接跟踪,即双位调节,来实现PWM控制和系统的高动态性能。直接转矩控制只与转矩的大小有关,磁通本身的小范围误差并不影响转矩的控制。这种方法对参数变化不敏感,与矢量控制的不同是它不是通过控制电流、磁链等量间接控制转矩,而是直接控制转矩,强调的是转矩控制效果。其控制方法简单直接,控制思想新颖特别,控制响应迅速,是一种高静态且动态性能优良的交流调速方法。但其在低速高

开关频率区的性能比矢量控制差。目前我国开发的DJ₁、DJ₂、AC4000、“中华之星”、“中原之星”、DF_{8BJ}等机车、动车和内燃机车都应用直接转矩控制技术。

3 异步牵引电机关键技术和新材料的使用

由于轨道牵引用异步牵引电动机运行时,需承受来自线路的强烈振动,因此需采用比普通异步电动机较大的气隙(通常为1.5~2.5 mm)。

异步牵引电机的结构如图1所示。

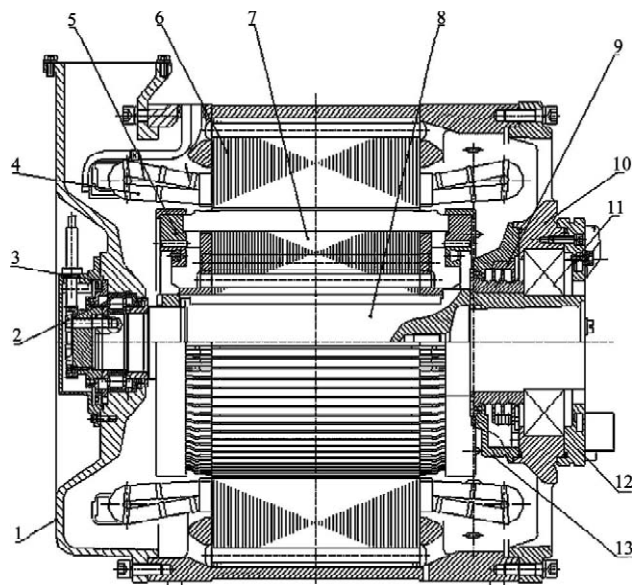


图1 异步牵引电机结构

1——端盖;2——轴承;3——轴衬盖;4——线圈;5——端环导条;6——定子铁心;7——转子铁心;8——转轴;9——内封环;10——端盖;11——轴承;12——轴衬盖;13——内轴衬盖

机座采用了无框架式机座,直接用硅钢片叠成。为保证机座的重量轻、机械强度大,满足机车高速重载、耐振动冲击和电机散热的要求,定子压圈采用优质高强度的铸钢件,端盖采用低合金高强度的铸钢件和球磨铸铁结构。

牵引电机主要采用半悬挂和全悬挂的方式。牵引电机YJ85A、YJ90A、JD160、YJ116、JD120等都是采用滚抱半悬挂方式,但都采取了一些弹性措施,使簧下质量减小,改善电机所受的振动冲击。而动车电机YJ87A、YJ105A、YJ92A、JD121采用的是全悬挂。

主动齿轮采用悬臂安装与齿轮箱一体的结构(外锥齿轮输出和内锥齿轮输出),有的采用直齿(HXD₂、HXN₅)、有的采用斜齿(HXD₁、HXD₃、HXN₃)。输出端轴承放在齿轮箱内(HXD₂、HXN₅)或与齿轮箱相连位于传动端侧面(HXD₁、HXD₃、HXN₃)。与传统的主动齿轮悬臂安装结构相比,这种结构紧凑,大大地改善了主动齿轮和轴承受力状况,有利于齿轮啮合,传递较大的扭矩,满足高速情况。如图2所示。

齿轮箱和传动端轴承采用稀油润滑结构,齿轮

箱油通过飞溅方式进入传动端轴承内部来润滑轴承,既能满足齿轮润滑要求又能满足轴承润滑要求,尤其在高温下能形成很好的油膜,满足高速要求,还能带走轴承产生的热量。同时有的电机在齿轮箱底设有磁性漏油螺堵,使齿轮啮合磨擦产生的金属粉末吸附在磁性螺堵上,防止随油进入轴承。有的采用过滤棉线,防止齿轮箱油中的杂质进入轴承。

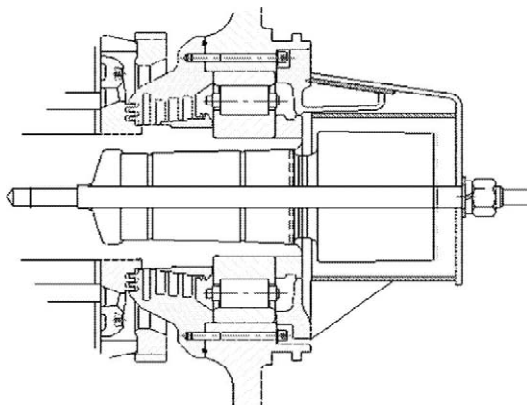


图2 内锥齿轮输出

电机两端采用防电蚀的绝缘轴承,相对于直流电机它将2种电路形成的轴电流隔绝。有的采用三轴承结构(HXD₃),有的采用主动齿轮和轴承一起,将传动端轴承放在主动齿轮外侧,使轴承承受的载荷减轻,使轴承寿命延长。

轴承盖与直流电机相比也采用无接触式迷宫结构,但迷宫腔数量多,长度长。设有回油孔,经过轴承润滑的油通过它回到齿轮箱。有些电机在轴承盖的进油孔设有过滤棉线,防止齿轮箱油中的杂质进入轴承,也设置了通大气孔与端盖上的通大气孔相连,以平衡电机内部产生的负压,防止润滑油窜入电机内部。

电机转子采用铜鼠笼结构,采用宽而薄的导条(对应宽而浅的槽型),启动电流小,启动转矩大,克服集肤效应减少损耗,增大颠覆转矩,可获得大的恒功区。同时槽宽增加,总的漏抗增大,有利于抑制谐波电流,特别适用逆变器供电。不像传统的鼠笼转子,采用窄而深的槽型及相应的导条,利用槽深的集肤效应增大启动转矩。导条端环材料有纯铜的、有合金铜的,相互焊接而成,有的电机可在端环外侧热套非磁性护环,以增加强度和刚度,使转子的机械鲁棒性加强。

电机定子线圈绝缘,采用高强度耐电晕的薄膜导线,对地采用少胶云母带和浸胶玻璃丝带,采用VPI浸漆,绝缘等级达200级,能够承受电压变化率(du/dt)大于1 000 V/ μ s电压冲击,可承受10 kV/ μ s匝间耐压冲击,满足逆变器供电的电机要求。

为配合变频调速系统进行转速(差)闭环控制和提高控制精度以及电机保护需要,在电机内部应考虑装设非接触式转速检测器和接触式温度传感器。通常在电机的非传动端装有高精度的速度传感器,在电机内部绕组端部埋设温度传感器。

这些新技术新材料的应用,使异步电机可靠性大大提高,而且制造技术也越来越成熟,为它的广泛应用打下了基础。

4 交流牵引电动机的未来发展

4.1 异步牵引电动机

除以上介绍的创新特点外,异步电动机正在向大功率、高效率、高精度动态化控制方向发展。异步电动机单位质量功率密度向大于 1 kW/kg 方向发展。驱动系统向采用新型驱动系统方向发展,即带齿式联轴节无抱轴箱结构、带齿式联轴节有抱轴箱结构、带抱轴箱无齿式联轴节结构。目前的CHR3高速动车电机驱动系统就是采用弧形齿联轴节无抱轴箱的结构。HXD1B、HXD3B采用带齿式联轴节有抱轴箱结构。图3为带齿式联轴节结构。这样的新型驱动结构牵引电机仅承受扭矩和自重,不再承受齿轮啮合作用形成的弯矩。电机轴承受力明显减小,使轴承寿命延长。同时将轴承移至齿轮箱内,不需要输出端端盖,使得牵引电机结构紧凑,重量减轻,体积减小。动车驱动系统采用此结构较多,机车驱动系统也正在向带联轴节结构方向发展。

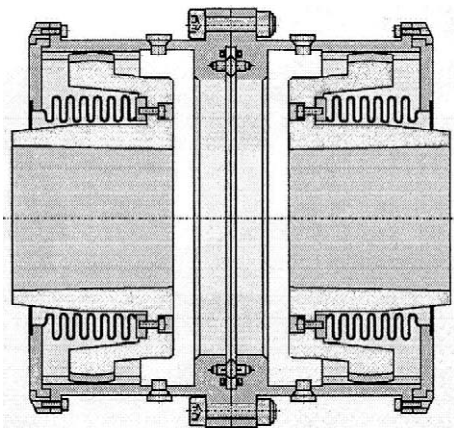


图3 带齿式联轴节结构

电机非传动端盖采用高强度的铸铝件以减轻电机重量。同时电机向采用轮对空心轴的全悬挂方式和带联轴节的体悬式方向发展,使电机重量变为簧上重量,减少对电机的振动冲击,减少电机的故障率。电机冷却方式目前有自冷和强迫通风方式。为加强电机散热能力,提高电机功率密度,牵引电机也采用全封闭水冷的形式,其已在日本异步牵引电动机RMT8型上实施。异步牵引电机冷却方式可向水冷却方向发展。

电机材料方面目前国际上研究采用非晶体金属钢片代替传统的硅钢片,这种材料就是金属原子排列无序而磁有序,是一种具有不规则原子结构的合金。它使用特殊方法制成,加工方法和传统的硅钢片不同,具有导磁率高,损耗低的特点,是一种用于电动机和发电机的整体式非晶体金属磁性部件。目前美国、日本已在研究之中,而且早已在变压器上使用这种材料。

据资料介绍采用非晶体金属钢片可以降低电机损耗60%,这也是牵引电机磁性材料研究发展的方向。

电机控制技术正在向无速度传感器方向发展,这样可减少电机的体积和传感器的故障率,降低购买昂贵传感器的费用,节约电机成本,大大提高电机控制精度和控制单元的可靠性。目前无速度传感器异步电机控制已成为交流控制的热点,国际上和我国南车株洲电力机车研究所有限公司已攻克技术上难题,正在进行工程化应用研究。

4.2 永磁同步牵引电机驱动的直接传动技术

这种方式采用永磁同步电动机作为牵引电机,利用无齿轮传动的交流传动取代目前复杂的机械传动,这是目前交流传动领域牵引电机一个发展方向。采用与车轮一体的永磁同步牵引电动机驱动的结构图如图4所示。

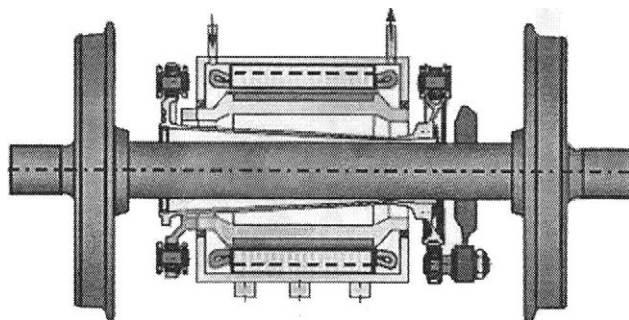


图4 永磁同步牵引电动机驱动

4.2.1 永磁同步电机用在轨道领域的技术特点及优势

与异步电机相比,永磁同步电机体积小、重量轻、功率密度大、效率高、功率因数高,转速平稳、过载能力强、可靠性高等优点满足直驱电机转速低、电机极数较多的要求。

永磁同步牵引电机采用全封闭自冷的结构,可提高电机防护等级,降低故障维修,降低电机噪声,使用寿命长。

永磁同步牵引电机在直接传动上的优点:直接传动的创新是将轮对轴承和牵引电机的轴承集成为一个共用轴承。这种共用轴承是适合于较大圆周速度的滚动轴承,可减少易损件数量而提高可靠性,减轻了车辆总体重量并提高传动效率,也是对传动轮对轴承的进一步发展。

永磁同步牵引电机不需要传动齿轮、联轴节和机械制动装置,旋转重量减轻,也就避免了传递损耗、噪声、维修等问题。不需要齿轮润滑油,无油直接传动系统减小了转向架和钢轨的维护。

直接驱动的永磁同步电机,稳态运行时无损耗转子,高效率。据西门子资料介绍电机效率可达96%,比异步电机提高近3%,电机重量可减轻30%左右(其中电机减少10%,联轴节代替齿轮可减少20%重量)。电机噪声可降低 $10\sim 20\text{ dB}$,电机封闭性水冷结构,发热因数取得较高,有限空间单位能流密度高。

控制简单、可靠性高,采用矢量控制比异步电机简单,与直流电机和电励磁同步电机相比没有电刷和换向器,结构简单,系统可靠性高。同时有源转子的永磁同步电机在没有变流器控制参与的情况下,通过制动电阻按自然特性制动,而且采用电制动,无制动损耗和粉尘,不污染环境。这些优点及特点,有助于保证车辆的制动安全,而且绿色环保,非常适合于轨道交通领域。

4.2.2 永磁同步电机作为直驱牵引电机的结构

永磁同步电机直驱结构有2种:一种是内转子结构的永磁直驱电机,如图5所示;一种是外转子永磁直驱电机,如图6所示。还有一种是最具优势的外转子型与车轮一体的轮毂直驱电机,这种电机已在日本NEXT250窄轨高速动车上使用,如图7所示。

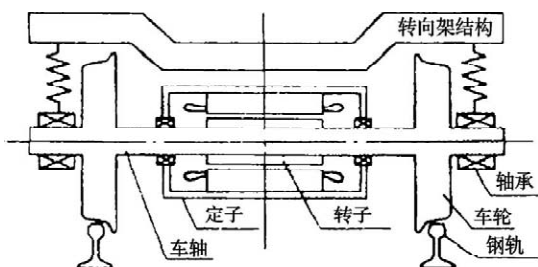


图5 内转子型（两轮驱动）

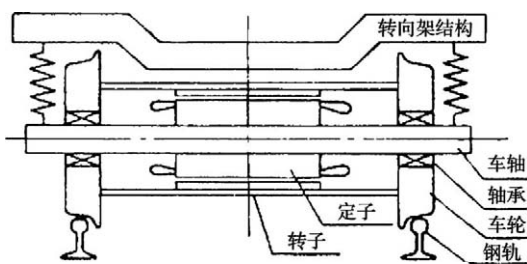


图6 外转子型（两轮驱动）

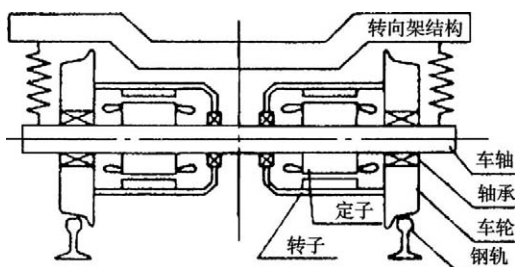


图7 外转子型（独立车轮驱动）

4.2.3 永磁同步电机研究发展概况

永磁同步电机未来将取代交流异步电动机,成为轨道交通领域和传动领域的主要驱动电机。近10年来,国外竞相开发永磁同步电机。例如:法国的ALSTOM公司试制的公路低地板车CITDIS车轮用同步永磁电动机,正在开发的720 kW下一代350 km/h AGV高速列车用永磁同步电机,在2007年为ALSTOM创造了574.8 km/h的世界铁路第1速。德国西门子针对城轨车辆开发了150 kW永磁同步电机直接驱动系统。日本开发了NEXT250高速窄轨动车组和新干线360 km/h的E954高速

试验动车。庞巴迪装有永磁同步电机的牵引系统已在瑞典运行。中国北车集团永济新时速电机电器有限公司研制的功率50 kW、100 kW永磁同步电机已完成试验,并在电动大巴上运用考核30万km,运行良好。中国南车集团铁道车辆用100 kW永磁同步电机已在纯电动大巴上批量使用,额定功率200 kW的电机已进行了地面试验研究。高速列车用永磁同步牵引电机已开展研究设计,相应的控制系统研究也已展开。

4.3 高压异步牵引电动机

2000年瑞士学者M.STEINER等提出采用高压电动机的无变压器交流传动系统,该方案对牵引电机设计发展和控制提出了新的思路,变流器将直接与高压接触网直接相连;对变流器的电子器件耐压等级和牵引电机提出了新的挑战,变流器模块通过串联采用多电平的拓扑结构,可解决高压问题,但高压电机要引入新的概念。由于各个变流器模块直流中间电路电位不同,它们将成为具有不同电位的独立驱动电路的一部分。有些学者提出采用带有3个独立三相绕组的星形连接异步电动机,其三相绕组由接在不同电位的3个逆变器供电。但这种思路也在牵引领域采用高压三相异步电动机提出了严格挑战,高压情况下电机的绝缘结构要耐高压、耐电晕、耐振动、满足逆变器供电要求。这种星形连接异步电动机相应的控制系统需要我们去研究,这也是未来牵引电机研发的一个方向。

4.4 直线电机

与传统的旋转电机驱动电力机车相比,直线电机驱动的轻轨、地铁列车、高速磁悬浮列车具有高速、推力大、性价比高、振动小、噪声低、爬坡能力强、污染小、可靠性和安全性高等优点,而且可在真空中运行,目前的高速磁悬浮列车就是直线电机的典型应用。我国发改委已把“直线电机轨道交通作为交通现代化的关键技术”作为国家重大产业技术开发专项的重点内容。广州地铁4号、5号线已采用直线电机驱动系统,目前研究有常导吸附型和超导斥浮型2种。西南交通大学牵引动力国家重点实验室建立“真空管道运输研究所”,已开展真空管道高速磁悬浮列车的研究,目前已进入试验阶段,在国际上领先于美国、瑞士。直线电机及驱动系统的开发和研究将成为轨道交通领域发展热点之一。

4.5 开关磁阻电机

开关磁阻电机(SRM)是上世纪70年代发展起来的一种新型驱动装置。开关磁阻电机(SRM)又称为电流调节步进电机,定子极数和转子极数不相等,且定转子有多种不同的搭配,转子上没有绕组,完全由硅钢片叠成,坚固耐用,定子上只有几个集中绕组,电磁转矩由定转子磁阻产生,可控参数多,效率高,可方便实现四象限运行,启动电流小,启动转矩大,结构简单,制造容易,转动惯量比高,可实现高速(下转第27页)

电压	110 V
电池模块数量	32只
电池质量	464 kg
安装方式	安装于车下电池箱内或车内电气柜内

2)锂离子电池组的充电适应性

既有高速动车组中倍率镉镍碱性蓄电池充电分为恒流充电—浮充方式2个阶段。首先,使用最大充电电流 96 A 为电池充电,电压达到 U_1 后保持在 U_1 恒定,充电电流减少,电流减少至 13 A 以下时,进入浮充电状态,电压将从 U_1 转为 U_2 恒压充电。

$U_1=132.72\text{ V}(20\text{ }^{\circ}\text{C})$

$U_2=124.32\text{ V}(20\text{ }^{\circ}\text{C})$

锂离子电池组充电分为恒流升压充电—浮充方式2个阶段,以 $0.2C_5$ (64 A)充电至118 V,电压达到118 V 时恒压浮充电。此充电方式与中倍率镉镍碱性蓄电池的充电方式基本相同,通过微调既有高速动车组充电机的参数就可实现对锂离子电池组的充电。

3)锂离子电池组的放电优越性

图4是110 V 320 A·h锂离子电池组的放电曲线,从电池组的放电曲线可以得出,锂离子电池组以 $0.2C_5$ 、 $0.5C_5$ 、 $1C_5$ 、 $2C_5$ 放电时,放电曲线平稳,电压变化小,即使全部放电,最低电压也在90 V之上,完全满足表4中动车组对电池系统的要求。

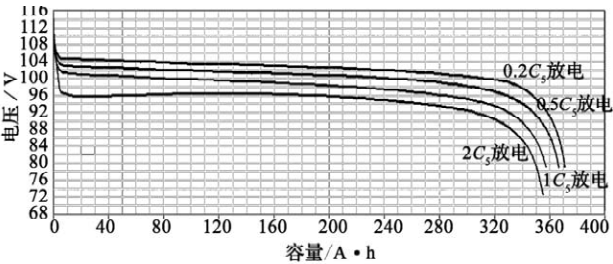


图 4 电池组放电曲线

5 结语

本文对各类型蓄电池的性能进行了分析比较,对DC 600 V 客车和高速动车组应用锂离子蓄电池的设计方案进行了研究与探讨,作为绿色环保能源的锂离子电池如果在中国铁路客车和高速动车组上普遍应用,将是中国铁路史的一次能源革命。

参考文献：

[1] 郭炳馄,等. 锂离子电池[M]. 长沙：中南大学出版社,2002.
[2] 庞 静,卢世刚. 锂离子电池高温反应及其影响因素[J]. 电池工业,2004(9)
[3] 唐致远,陈玉红,等. 锂离子电池安全性的研究[J]. 电池,2006 ,36(1)：7.
[4] 郝德利,冯熙康,王伯良,等. 电动汽车用锂离子蓄电池的研究[J]. 电源技术,2003 ,27(S1)

(上接第5页) 驱动,功率可从10 W到5 MW,转速从50 r/min到10 000 r/min,调速范围宽,电机各相独立工作,可缺相运行,并具有再生制动功能,适合于频繁启停及正反转运动。这些优点决定了开关磁阻电机(SRM)非常适用于轨道交通领域,显示出越来越广阔的应用前景。

5 结语与展望

随着现代科学技术和交通领域的迅速发展,对驱动电机的要求越来越高,新技术、新思路、新材料、新工艺不断出现,大大推动了驱动电机在轨道交通领域的研究与应用。交流牵引电机正在向大功率、高扭矩、轻量化、模块化等方向发展,而且随着控制技术的发展,交流牵引电机已成为交通领域的主流产品。世界各国都在集中力量在交流传动领域继续攻关,力求占领技术高点,当前主要在永磁电机的高速动车牵引系统和磁悬浮高速牵引系统力求突破,增强竞争能力。我国经济发展要求节能低碳绿色环保,交流牵引电机及控制系统正符合这一要求。我们应紧紧跟随世界发

展的新技术新动态,通过自主创新,研发具有中国知识产权的大功率重载交流牵引电机及控制系统和高速动车的交流牵引电机及控制系统,提升我国企业的研发竞争能力,并带动相关产业技术进步,缩小与发达国家在轨道交通领域的差距,为我国轨道交通行业牵引电机和控制系统做出应有的贡献。

参考文献：

[1] 黄济荣. 电力牵引交流传动与控制[M] 北京：机械工业出版社,1998.
[2] 李永东. 交流电机数字控制系统[M] 北京：机械工业出版社,2002.
[3] 冯江华. 轨道交通永磁同步牵引系统研究[J] 机车电传动,2010(5): 15-21.
[4] 王渤洪,石清伶. 日本铁路机车车辆传动用永磁同步电动机的研发概况[J] 机车电传动,2010(5): 41-48.
[5] 王渤洪. 创新的直接传动动力转向架 Syntegra[J] 机车电传动,2007(2): 44-51.
[6] 冯晓云. 电力牵引交流传动及其控制[M] 北京：高等教育出版社,2009.
[7] 黄成荣,等. 大功率交流传动机车驱动系统选型研究[J] 机车电传动,2010(4): 31-34.