

磁悬浮列车的发展及其应用中的几点想法

屈炜 张洁 沈嘉 施雨阳

(西北大学物理系 2000 级基地班 西安 710069)

磁悬浮列车的概念最早是由美国提出来的,后来,德国、法国、日本等国相继效仿,都进行了开发与试验。

磁悬浮列车是一种与传统方式完全不同的崭新列车。它不是用普通机车牵引,而是靠通过磁场推动。它不接触导轨,而是靠一种看不见的“磁垫”使这“悬浮”在导轨上。研制磁悬浮列车要解决许多问题。首先是悬浮、前进问题。对于列车的车身和轨道也有较高的要求。

一、磁悬浮列车原理

悬浮作用只在列车行驶时才有。行驶时磁铁产

生的磁力线切割地面上的短线圈,使线圈产生感应电流,这一电流引起的磁场,极性正好与车体上磁体的极性相同。因此产生相互排斥的作用力,使得车体悬浮起来。在停车时,由于没有感应电流,所以没有悬浮力,列车便停在轨道上。在列车启动的最初阶段,列车也悬浮不起来,还得靠车轮在铁轨上行驶。通过计算机传感器测量控制列车悬浮的高度,使其保持稳定。

其前进原理是利用直线运动推动车体前进的线性马达使列车向前飞奔,并且列车上装有供驱动方向的电磁铁(如图 1)。

在扩展布拉格峰前面接近皮层的正常组织处的 RBE 值很小。而在布拉格峰处的 RBE 值变成较大,能具有质子治疗时的正常组织小损害,又具有碳重离子的治疗效果。即具有杀死癌细胞 DNA 双链功能,有效治疗抗阻型和缺氧型肿瘤。此外,锂、铍重离子的核分裂效应要小于碳重离子的核分裂效应,更适合用于治疗在纵向接近敏感器官的肿瘤,锂、铍重离子治疗时的微观剂量不均匀度(约 1%),要比碳离子治疗时的微观剂量不均匀度(约 10%)要好得多,从而由此导致的冷点和后效应问题就不再严重,计划是每个患者平均在 4 周内照 18 次。

复合放射治疗法

复合放射治疗法的特点是充分发挥各种放射粒子的优点,又尽量克服各种放射粒子的缺点,达到“用其所长,抑其所短”的综合治疗方法。首先要发挥碳重离子的高 LET 和高 RBE 的有效治疗抗阻和缺氧型肿瘤特点和避免对肿瘤前正常组织的损害,要用高精度诊断装置和尽可能的高准确度的剂量分布进行高精度碳重离子治疗,平均在 1 周内照 5 次,所用的物理剂量值约 5~ 10Gy,相当于生物有效剂量 10~ 30Gy。通过这种碳重离子治疗后,往往使辐射感应的氧恢复过程变得有效,乏氧状态有所改善,使低 LET 的 X 射线,电子或质子治疗成为有效时,再平均在 3 周内,用低 LET 射线进行治疗 15 次,所用的物理剂量值约 50~ 70Gy(用调强 X 射线进行治

疗更佳)。随后的这种低 LET 的射线治疗具有很好的微观剂量不均匀度,因此也完全克服了碳重离子治疗中的冷点和后效应的缺点。

重离子治疗系统

重离子产生系统由下列部分组成:采用若干个电子回旋加速器谐振型(Electron Cyclotron Resonance)的 ECR 型离子源,或一个能在加速器束流脉冲周期之间快速进行不同类型离子源切换的 CRY-EBIS 型离子源,然后用一台直线加速器加速到 7 兆电子伏,直线加速器输出的离子再打在一个薄膜上,将离子外层的电子全部剥夺掉后再注入到一个直径 24 米、周长 75.5 米的同步加速器中,加速时间是 0.5 秒,慢引出时间 1~ 4 秒,引出束流强为 4×10^{10} 质子/秒和 2×10^8 碳离子/秒。总共有 5 个治疗室;二个水平治疗头,一个具有水平/垂直治疗头,并带有在线正电子 PET,第四个是旋转治疗室,第五个是计划用于 50 兆电子伏高能光子窄扫描,也允许通过患者体内的碳,氮,氧元素上的光子核反应,用 PET 来拍摄所传递的剂量分布。计划治疗时间在第一年每个患者需 30 分,第三年 20 分。在正式治疗 4 年后,每年工作 220 天,每年治疗 21000 次(用 3 个治疗室时),每个患者平均要 7.5 次(假定 20% 患者用氦 He、锂 Li,甚至铍 Bi,进行单独地照射治疗,平均每个患者要照 18 次,80% 患者用复合放射治疗法,平均每个患者要照 5 次),即计划治疗人数每年 2800 患者。

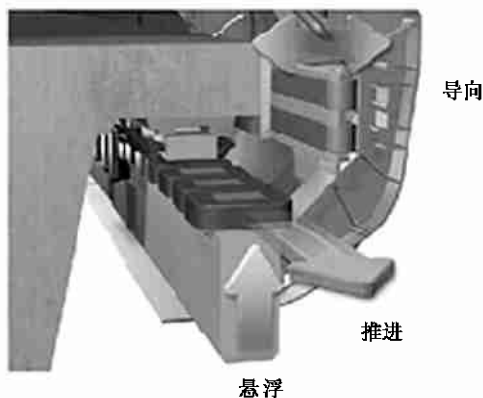


图 1

磁悬浮铁路的关键技术是超导磁铁,它被称为磁悬浮列车的心脏。超导磁铁是用零电阻转变温度极低的超导材料制造的。这种超导材料需要在液氮冷却下才能正常工作。现在我国已经能研究用液氮制冷的技术了。为了提高列车的速度,对车体的设计也有一定的要求。为了减少阻力,要求车体结构是密闭的,并且车体外形各部分要求平滑。

二、磁悬浮列车的分类

磁悬浮列车分为常导型和超导型两大类。常导型也称常导磁吸型,以德国高速常导磁悬浮列车 Transrapid 为代表,它是利用普通直流电磁铁电磁吸力的原理将列车悬起,悬浮的气隙较小,一般为 10 毫米左右,速度可达每小时 400~500 千米。超导型磁悬浮列车也称超导磁斥型,以日本 MAGLEV 为代表。它是利用超导磁体产生的强磁场,列车运行时与布置在地面上的线圈相互作用,产生电动斥力将列车悬起,悬浮气隙较大,一般为 100 毫米左右,速度可达每小时 500 千米以上。

三、各国磁悬浮列车研究情况

日本磁悬浮列车技术

1972 年日本率先研制成功电力悬浮列车。1977 年又研制成功高速电力磁悬浮试验车。现在,世界上最长的磁悬浮铁路是日本的东京——成田机场干线。日本研制的磁悬浮列车是依靠排斥力来工作的。超导磁悬浮列车的最主要特征就是其超导元件在相当低的温度下所具有的完全导电性和完全抗磁性。超导磁铁是由超导材料制成的超导线圈构成,它不仅电流阻力为零,而且可以传导普通导线根本无法比拟的强大电流,这种特性使其能够制成体积小功率强大的电磁铁。

早在 1971 年,联邦德国最先研制出电磁力悬浮试验车,它是通过磁体的吸引力来工作的。常导磁悬浮列车工作时,首先调整车辆下部的悬浮和导向电磁铁的电磁吸力,与地面轨道两侧的绕组发生磁铁反作用将列车浮起。在车辆下部的导向电磁铁与轨道磁铁的反作用下,使车轮与轨道保持一定的侧向距离,实现轮轨在水平方向和垂直方向的无接触支撑和无接触导向。车辆与行车轨道之间的悬浮间隙为 10 毫米,是通过一套高精度电子调整系统得以保证的。

中国磁悬浮列车技术

目前,中国对磁悬浮铁路技术的研究还处于初级阶段。经过铁科院、西南交大、国防科大、中科院电工所等单位对常导低速磁悬浮列车的悬浮、导向、推进等关键技术的基础性研究,已对低速常导磁悬浮技术有了一定的认识。初步掌握了常导低速磁悬浮稳定悬浮的控制技术。继 1994 年西南交大成功地进行了 4 个座位、自重 4 吨、悬浮高度为 8 毫米、时速为 30 千米的磁悬浮列车试验之后,由铁科院主持、长春客车厂、中科院电工所、国防科技大学参加,共同研制的长为 6.5 米、宽为 3 米、自重 4 吨、内设 15 个座位的 6 吨单转向架磁悬浮试验车在铁科院环形试验线的轨距为 2 米、长 36 米、设计时速为 100 千米的室内磁悬浮实验线路上成功地进行了试验,并于 1998 年 12 月通过了铁道部科技成果鉴定。6 吨单转向架磁悬浮试验车的研制成功,为低速常导磁悬浮列车的研究提供了技术基础,填补了我国在磁悬浮列车技术领域的空白。

2003 年初,上海建成了中国乃至世界上第一条商业化运营的磁悬浮列车,并在元旦期间进行了试运行。

四、磁悬浮列车的五项优势

和传统轮轨铁路及其他交通工具相比,磁悬浮列车的确有着无法比拟的优势。

首先,它打破了传统地面交通工具速度相对较慢的条件束缚,运营速度可达 500 千米/小时,其优越性显而易见。

表 1 主要交通工具的最高速度

普通轮轨	高速轮轨	磁悬浮列车
120km/h	300km/h	500km/h

从表 1 中我们可以看出,磁悬浮列车在平均速度上虽然比飞机慢,但对于客运来说,提高速度的主要

目的在于缩短乘客的旅行时间,按总旅行时间考虑,300千米/小时的高速轮轨与飞机相比在旅行距离小于700千米时才优越。而500千米/小时的高速磁悬浮,则比飞机优越的旅行距离将达1500千米以上。

第二,磁悬浮列车采用电力驱动,不需燃油,这使它的发展不受能源结构,特别是燃油供应的限制;同时,无有害气体排放,环境污染小。

第三,能耗低,噪音小。磁悬浮列车在500千米/小时速度下每座位·公里的能耗仅为飞机的1/3至1/2,比汽车少30%。同时,列车通过时25米距离处的噪音,在300千米/小时速度时,磁悬浮列车为79分贝,传统列车为91分贝。

第四,启动停车快,爬坡能力强,选择自由度较大。德国TR07磁浮列车启动50秒后(行程2千米),时速可达200千米/小时,100秒后(4.8千米)达300千米/小时,150秒后(9.6千米)达400千米/小时;ICE轮轨高速在150秒后(行程5千米)达200千米/小时。已经证明,磁浮列车爬坡能力可达100%,而轮轨高速为40%,在同等速度下,磁悬浮列车转弯半径小,从而其选择自由度较大,这意味着少占地面、耕地,降低总投资。

第五,磁悬浮列车与轮轨列车相比还有安全、舒适,维修少的优势。磁浮列车在结构上保证不易脱轨,推进方式保证不易撞车。磁悬浮列车没有车轮和铁轨的接触以及与受电弓的机械接触,震动小,舒适性好,其工作属于无磨损运行,维修主要集中在电子技术方面,不需大量体力劳动。

五、目前存在的技术问题

尽管磁悬浮列车技术有上述的许多优点,但仍然存在一些不足:

首先,由于磁悬浮系统是以电磁力完成悬浮、导向和驱动功能的,断电后磁悬浮的安全保障措施,尤其是列车停电后的制动问题仍然是要解决的问题。其高速稳定性和可靠性还需很长时间的运行考验。

其次,常导磁悬浮技术的悬浮高度较低,因此对线路的平整度、路基下沉量及道岔结构方面的要求较超导技术更高。

再次,超导磁悬浮技术由于涡流效应悬浮能耗较常导技术更大,冷却系统重,强磁场对人体与环境都有影响。

六、解决方案

稳定性解决方案

首先,高温超导磁悬浮列车是基于第二类超导

体的钉扎效应原理,不论在水平方向,还是在竖直方向都是稳定平衡状态,所以列车悬浮时是自稳定的。

其次,我们可以把列车的轨道改成凸形、凹形或工形轨道,从而可以大大增强车身在水平方向上的稳定平衡性。在列车转弯处适当改变轨道平面的法线方向,提供合适的向心力,避免车身晃动。

再次,我们把车身设计成双层,在两层之间装置高级减震系统,从而使车身更加稳定。

磁污染解决方案

当然,除了稳定性方面的不足外,超导磁悬浮列车因其采用的超导磁悬浮技术由于涡流效应悬浮能耗较常导技术更大,冷却系统重,强磁场对人体与环境都有影响。

对此,我们设想用高磁导率的物质对列车辐射场进行屏蔽。比如,我们可以把列车及其轨道用高磁导率的物质封闭起来(如图2)。

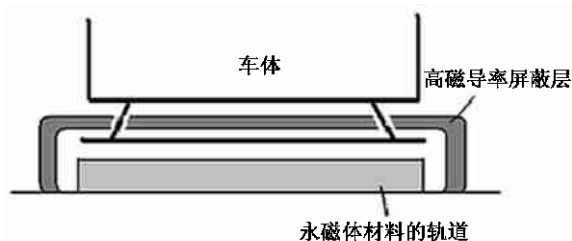


图 2

这样做的优点是:有效地屏蔽掉了轨道及其他磁体的磁辐射;高磁导率介质带有效地屏蔽掉了铁钉等铁磁物质对轨道及机车的影响,以免造成一些意想不到的影响和危害。

缺点是这样的设施造价昂贵,提高了整个工程的造价。但是,安全设施必须放在第一位。

七、对于磁悬浮列车改进的几点设想

地磁超导列车

我们知道,地球中心是一个处于高压下的固体铁核,在它的周围是可以流动的炽热的液态铁。按照地球“发动机”(dynamo)模型,正是液态铁的环行流动产生了地磁场。固体铁核的作用就正如电磁铁的铁芯,起增强和稳定的磁场的作用。固体铁核具有高电导和强的顺磁涨落,这两个因素通过法拉第定律保证了地磁场的方向在数百年的期间内不翻转。既然地磁确实存在,且有其方向一定的特点,可以设想在南北极(磁性相对较强)地区进行科学考察时,利用超导与地磁的相斥性,能够准确地把科考人

(下转 41 页)

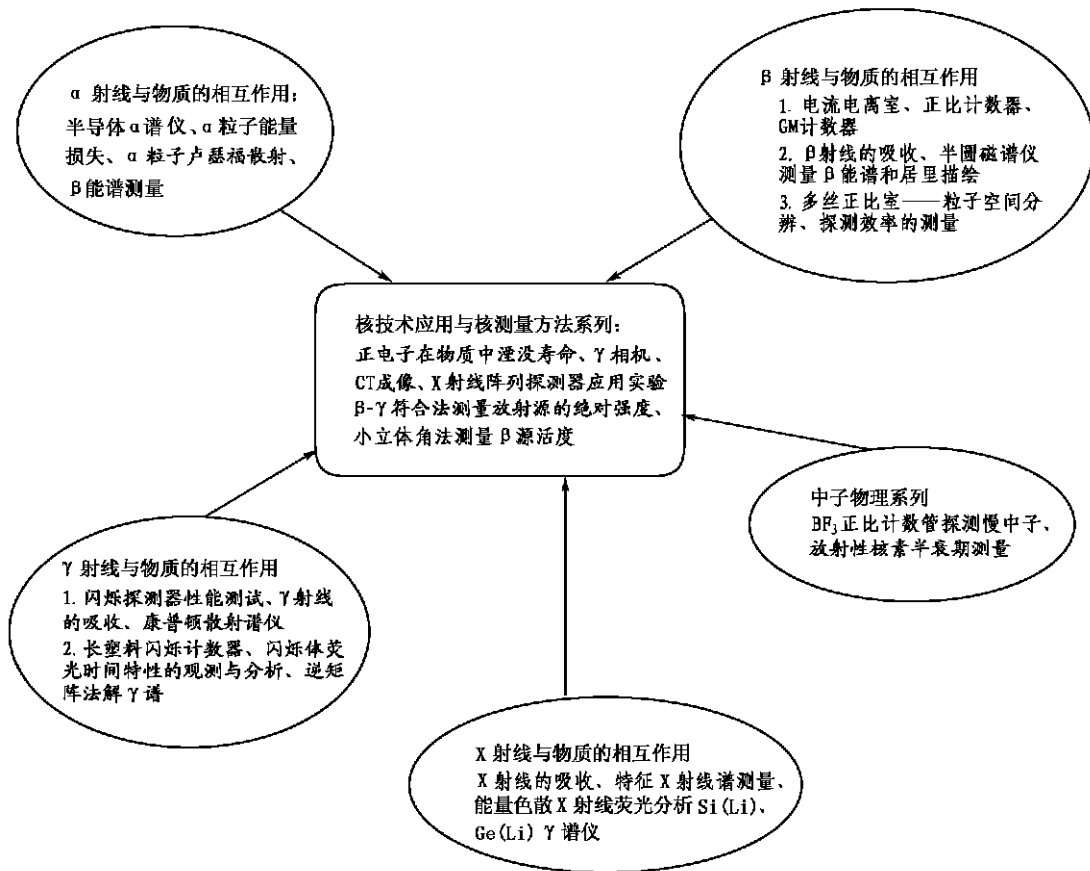


图1 核与粒子物理专业实验体系

闪烁探测器: 楷体字; 半导体探测器: 宋体字; 气体探测器: 仿宋字

要求,由学生自己设计实验方案,制定实验步骤,分析总结实验结果。即充分锻炼了学生的综合能力,综合素质得到极大提高。

专业实验课的考试改革是教学改革的一个重要切入点,实验课的考试以论文、答辩、实际操作为主,考试内容一方面加强对学生专业基础知识与技能的考查,另一方面注重考查学生的实验设计方案的选取,解决问题的能力 and 创新能力。近几年来由于实验教学内容的调整和充实,实验仪器的更新换代,用现代实验技术对传统实验内容的更新和改造,原有

的教材已很不适应当前的教学需要。因此编写有特色,适用于当前实验教学的教材是亟待解决的问题,为此我们组织了十几位教师,扩充、修订、编写了核与粒子物理实验讲义。

面对科学技术的飞速发展的今天,高校专业实验教学显得比以往更重要。今后应注重对学生动手能力和创新能力培养,充分发挥专业实验教学的特殊功能,把专业教学实验室建成培养学生综合能力和创新能力的重要基地。

(上接 37 页)

员送往极点。或者在某些特殊地区,能够利用这相斥力使超导车“悬浮”起来。但这一切都要在地磁经过一定放大器放大后,以实验进行论证。

“改进型”超导磁悬浮列车

当然我们也可以对现有的超导磁悬浮列车进行一些改造,而使其能够适应更加复杂的地理环境。如可以在列车顶部与底部对称的安装超导磁体,这

样在遇到江河、沟壑、海峡等等不宜铺设轨道的地方,架设跨江、跨沟高架磁性悬轨,利用钉扎效应把磁悬浮列车“吊”起来。这样的设计不但免去铺设水下通道或架设大桥的大规模资金投入,而且还提高了工程的简易程度与乘坐的舒适度、观赏性。当然,如果技术达到的话,把磁性悬轨换成悬缆,将更加简化工程难度,行驶在江上,感受高速缆车的乐趣。