

# 超高速真空管道交通技术发展现状与趋势

文 / 金茂菁 黄玲 (科技部高技术研究发展中心)

超高速真空管道交通是采用磁悬浮列车技术,利用密闭管道,通过抽取空气达到接近真空的低气压环境,从而实现列车全天候在无轮轨阻力、低空气阻力、低噪声模式下超高速(1000km/h及以上速度)运行的新型轨道交通技术。本文对目前国际上超高速真空管道交通技术研究现状与发展趋势进行了梳理分析,并提出了我国的发展对策建议。

## 一、关于超高速真空管道交通

### 1. 定义与特点

超高速真空管道交通,是采用磁悬浮列车技术,利用密闭管道,通过抽取空气达到接近真空的低气压环境,从而实现列车全天候在无轮轨阻力、低空气阻力、低噪声模式下超高速运行的新型轨道交通技术。

制约轮轨高速发展的主要有轮轨阻力、空气阻力以及噪声三大因素。轮轨阻力及粘着力对高速列车运行安全起着决定性作用,但超高速轮轨关系与脱轨机理研究尚未突破;稠密大气中气动阻力与速度的二次方成正比,德国磁悬浮列车和日本新干线轮轨列车的实测数据表明,时速超过400km时,空气阻力所占列车牵引力的比例超过80%;气动噪声随速度的七次或八次方剧增,旅客无法接受。因此,真空管道交通是未来绿色、节能、超高速轨道交通技术的重要发展方向。

### 2. 作用与意义

民用领域,时速1000km的超高速轨道交通运输,可以替代未来石油能源紧缺时代的航空运输,实现长距离、洲际超长距离大运量客货运输。

军事领域,管道超高速轨道电磁炮、轨道电磁弹射等技术在航母飞机弹射、导弹发射等方面具有广阔应用前景。

航空航天领域,采用真空管道大功率、超高速轨道助推技术,可实现火箭空中点火、快速重复发射,克服目前井下发射成本高、周期长等缺点。

因此,发展超高速真空管道轨道交通技术,对于引领未来超高速轨道交通技术发展、助力国防安全具有重大意义。

## 二、国际发展现状与趋势

目前,国际上具有代表性的真空管道交通技术方案有三种:一是采用常导电磁悬浮的瑞士SWISSMETRO方案,二是采用气动/永磁悬浮和轮轨

列车的美国Hyperloop系统计划,三是采用高温超导磁悬浮技术的美国ET3和我国西南交通大学的方案。

### 1. 美国

1904年,现代火箭之父Robert Goddard在演讲中提到,要在波斯顿和纽约之间建一条真空管道铁路线,这是最早的关于真空管道交通的设想。20世纪60年代,美国麻省理工学院的研究人员提出建设真空管道磁浮线路的设想;1978年,兰德公司的研究人员提出,由电磁悬浮车辆和地下一定真空度的管道组成地下交通——运输之星。

1998年,美国公布21世纪交通公正法(Transportation Equity Act for the 21st Century, TEA-21),以法律形式规定要在美国发展磁悬浮交通技术,由联邦铁道部和交通部具体负责实施。

1999年,美国佛罗里达机械工程师Daryl Oster获得真空管道运输系统发明专利,并在美国佛罗里达州注

册成立了Et3.com公司。2003年以来,美国铁路员工Brad Swartzwelte提出了“美国地铁”的思路,即在美国建设真空管道磁悬浮地下铁路系统,使城市到城市之间直线联接,形成畅通无阻的地下交通网络。

2013年,特斯拉汽车首席执行官艾伦·马斯克提出超级胶囊高铁(Hyperloop)的方案,并参与加州高铁项目的竞争;2015年2月,Hyperloop Transportation Technologies公司准备在加州5号州际公路附近建设长约8公里的Hyperloop超级高铁试验线路,从2016年开工,预计将于2019年完工。

2016年5月11日,美国超级高铁公司Hyperloop one在内华达州荒漠首次对Hyperloop管道运输中的推进系统进行公开测试,实现了1秒加速到96km/h,这使得超高速真空管道交通技术概念在全球范围内产生了轰动效应。

当前,美国以其雄厚的经济实力和强大的科研能力,正积极发展超高速真空管道交通技术。以超级高铁概念,成立的3家公司(Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies和Space X)已经开始从事相关研发工作。另有一家名为Arrivo的初创公司,最近也决定加入开发超级铁路Hyperloop的竞争行列。

## 2. 瑞士

瑞士工程师Nieth,于1974年提出在瑞士建设真空隧道超高速地铁工程项目的建议;1981年,该建议得到洛桑理工学院专家们的支持,并进行可行性研究。

1992年,瑞士成立了专门从事真空管道开发的Swissmetro SA公司;1995年,提出了真空管道由两个直径

5米的隧道组成、车体运行采用电磁悬浮方式的技术方案;1997年瑞士地铁申请建设日内瓦到洛桑的试验段,由于联邦政府无法投入足够资金,计划暂时停止,目前的研究是尽快建立一条约15米的试验线。

## 3. 日本

近年,日本的超高速真空管道交通技术取得了突破性进展。2015年4月21日,山梨磁悬浮试验线“L0系”列车实现603km/h载人运行最高速度,该记录至今仍为地面轨道交通工具的世界纪录。

东京至大阪设计时速505km/h的低温超导磁悬浮工程已经开工建设,计划在2027年投入运营。

## 4. 其它方面

1994年,时任美国国家宇航局(NASA)高级概念研究所主管的John Mankins提出了“MagLifter”系统,该系统主要由推进系统、电源系统、支撑系统和供给系统4部分组成,相当于代替了传统运载火箭的第一级,在沿山体修建的真空管道中使用电磁推进装置,从而省去了大量的化学能推进剂。

类同于MagLifter线路结构,美国Prof. James Powell等人提出的StarTram星际列车方案,也是一种将真空管道技术应用于航空航天领域的设想,分为Gen-1载物航天系统和Gen-2载人航天系统。StarTram方案拟采用低温超导磁悬浮技术,重点考虑了多种真空管道发射出口方案,包括可伸缩隔板,50mm厚的冲破式塑料薄膜,磁流体动力泵和气体动力喷射器等,从而实现低成本、可重复发射。

综上所述,以美国、日本在超高速真空管道交通技术的工程化研究已走在国际前列,并就“超级高铁”概

念开展多项国际合作,并在国家、军事和民用等多层面投入。

## 三、我国发展现状与水平

早在20世纪70年代,我国就对美国科学家提出的真空管道运输系统设想作过报道;1988年,铁道工程专家郝瀛教授在其《中国铁路建设》一书中,把真空管道运输系统视为未来铁路发展的一种模式作了介绍。

2004年1月,西南交通大学在国际上首次提出时速600km及以上载人超高速真空管道高温超导磁悬浮列车技术方案,并通过了包括14位院士在内的50余位专家的论证;2004年12月,四川院士咨询中心首次院士论坛再次研讨了真空管道高温超导磁悬浮车重大技术和应用前景。与会院士和专家一致建议,应大力支持具有我国自主知识产权的,高温超导磁悬浮车技术开发及产业化;何祚庥院士也提交了书面意见,认为在石油能源高度紧张的情况下,开展超高速磁悬浮列车技术研究,更具特殊意义,在管道真空度问题上也不会存在原则性技术困难。

我国虽然研究起步较晚,但发展迅速。2014年6月,西南交通大学牵引动力国家重点实验室研制成功世界首条真空管道高温超导磁悬浮车环形试验线“Super-Maglev”(见图1),并计划于2017年底建成430km/h真空管道高速比例模型试验线(见图2),进一步开展真空管道系统、高速高温超导磁悬浮列车等工程化关键技术的研究。

2014年7月,IEEE Spectrum(美国电气电子工程师学会旗舰出版物)以“The Big Picture News”的形式报道了我国高温超导磁悬浮技术

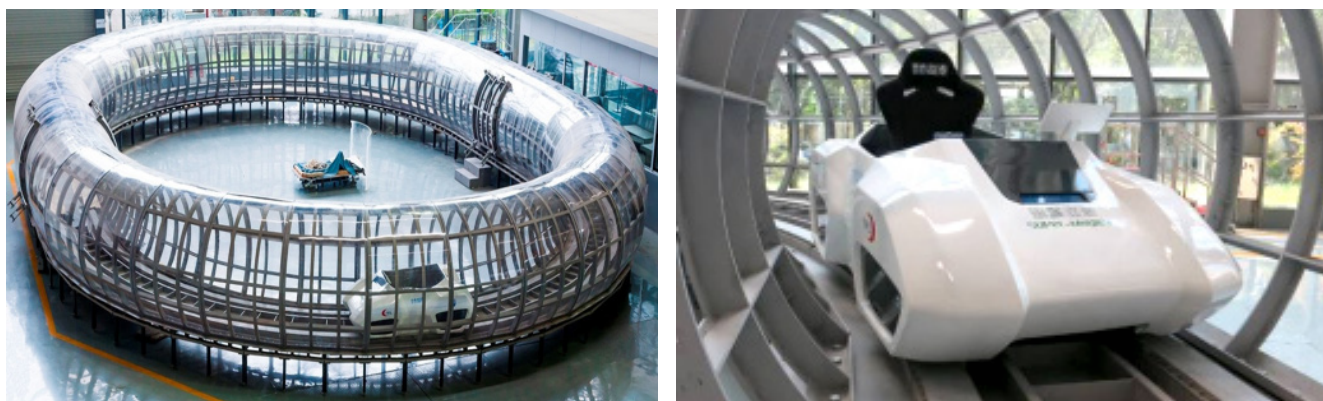


图1 真空管道高温超导磁悬浮车试验线“Super-Maglev”



图2 430km/h 真空管道高速比例模型试验线

在真空管道中的最新研究成果。英国BBC、德法ARTE、瑞士SRF电视栏目也专题报道，引发了国际对高温超导磁悬浮列车技术，以及真空管道交通的发展趋势，及其对社会和商业影响的深入探讨。

#### 四、我国进一步发展重点与对策建议

我国高速铁路系统技术已经引领世界，但随着“一带一路”、高铁“走出去”战略的深入实施，面对日本505km/h超导磁悬浮交通工程，和美国“超级高铁”等更高速度轨道交通技术的挑战，以及我国国防安全所面临的严峻考验，我们认为，应在国

家层面大力支持，充分发挥我国原创技术优势，加快开展1000km/h及以上真空管道超高速轨道交通关键技术研究工程示范，抢占制高点，引领未来真空管道超高速轨道交通技术发展，助力国防安全。

超高速真空管道高温超导磁悬浮交通技术涉及交通运输、土木、机械、电气、材料、通信与信息、控制、力学等十多个学科，是一项复杂的系统工程。为了有效推动该项技术的发展，我们建议：

一是，在科学研究方面，应进一步加强真空管道车-轨-管-气-热耦合作用机理和试验研究；加强高效抽真空新原理与技术、车体的强度及

轻量化设计、超高速真空管道运行安全技术等关键技术研发；突破大推力高速直线电机设计与制造、超高速通信信号等关键技术；最终建设20公里左右的真空管道磁悬浮试验线，开展全尺寸模型的工程化和商业化研究。

二是，在政策引导方面，可通过国家重点研发计划、地方政府重点科技项目、产学研合作项目、颠覆性创新类项目，分别布局超高速真空管道交通技术的有关基础研究、关键技术攻关，以及产业化培育项目。

三是，支持建设超高速真空管道高温超导磁悬浮交通技术创新基地，凝聚和培养多学科交叉的世界一流科学家团队。**科技**

注：本报告为科技创新战略研究专项项目“重点科技领域发展热点跟踪研究”（编号：ZLY2015072）研究成果之一。

本文特约编辑：姜念云