

## 真空管道运输——真空产业发展的新机遇

张耀平

(西南交通大学交通运输学院, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 真空管道高速磁浮交通是一种即将问世的全新运输系统,其基本原理是,在地上或地下建设大型管道,管道中铺设磁浮轨道,并抽成一定真空,让磁悬浮车在此真空管道中无机械磨擦、无空气阻力地运行,速度可比任何汽车、火车和飞机都快。真空技术、设备和配件是真空管道运输系统必不可少的组成部分,而且在整个系统中占很大比重。真空管道运输系统的建设与应用,将给真空产业创造巨大的市场空间,是真空产业、真空科学与技术发展的新机遇。

**关键词:** 真空管道运输;真空产业;机遇

中图分类号: TB79

文献标识码: B

文章编号: 1002-0322(2006)02-0056-04

## Evacuated tube transportation (ETT)—— a new opportunity for vacuum industry

ZHANG Yao-Ping

(College of Traffic &amp; Transportation of South West Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract** ETT high-speed maglev transportation is a new transport system that will come up. Its basic operation principle is to build a large-size tube system on ground or underground with maglev tracks laid down in it and air pumped out from it, then the maglev train can run without mechanical friction and air resistance. The speed of the train will exceed any automobile, railroad train and airplane. Vacuum technologies, equipment and fittings are absolutely necessary for their costs to amount to and for a large proportion in the total cost of the whole ETT system. The application of ETT will create a tremendous market for vacuum industry. Anyway, ETT is a new opportunity for vacuum industry.

**Key words** ETT (Evacuated Tube Transportation); vacuum industry; opportunity

100多年前,铁路的出现带来了世界钢铁行业的空前繁荣。铁路,不仅是钢铁的主要用户,也不断刺激着钢铁生产工艺与技术的提升。飞机和汽车的出现,成为世界石油、汽油最大的消费者。今天,真空对非专业人士来说,最熟悉的就是家家都有的热水瓶,还有近些年流行起来的保温杯,而对其他工业领域的应用则不很熟悉。无论如何,大家都感觉到,真空设备、器件、工艺、技术等是一个前景广阔的行业。

真空应用,未来还有哪些更重要的领域?本文介绍一种正受到科学界关注的新系统——真空管道运输,它对真空产业的影响,将类似于铁路之于钢铁,是未来真空行业最重要的应用方向之一,也将是真空市场上最大的买家。建议有远见的真空界企业、行业协会和研究人员密切注视真空管道运输的发展动向,为这一巨大市场的到来做好应对准备。

## 1 真空管道运输系统介绍

## 1.1 真空管道运输概念及发展历程

真空管道运输,英文为 Evacuated Tube Transportation,缩写为 ETT,这是此系统的美国发

明人 Daryl Oster 先生在他的专利中最早使用的名称。早期,国外也有人把它叫作 Vacuum Tube Transportation,但现在一般不用此叫法,而是使用 Daryl Oster 在他的专利文献中所使用的名称(美国专利号: 5950543)<sup>[1][2]</sup>。由于真空管道运输跟高速磁悬浮列车密不可分的联系,所以我们有时也叫作“真空管道高速磁浮交通”。

地面高速运输系统要克服巨大的空气阻力,当速度超过 500 km/h 后,空气阻力就非常巨大,所以人们产生了建设真空管道磁浮线路的设想。

早在 20 世纪 60 年代,美国兰德咨询公司和麻省理工学院的专家通过技术分析,设想了一种高速运输工具——真空管运输系统,而且预计在 21 世纪可能成为现实。该设想的轮廓是:横贯美国东西,由纽约到洛杉矶修建一条长 3950 km 的地下隧道,隧道内抽成相当于 1% 个大气压的真空,将磁浮系统安装在隧道内,在这种真空管道中,时速可达 22500 km/h,即令采用该理论速度四分之一的速度,即平均速度 6750 km/h,由纽约到洛杉矶也只要 36 分 30 秒的旅行时间<sup>[3][4]</sup>。

收稿日期: 2005-10-07

作者简介: 张耀平(1969-),男,汉族,甘肃省天水市人,博士,副教授。

经过多年的研究与设计,美国佛罗里达机械工程师 Daryl Oster 于 1999 年申请获得真空管道运输 (ETT) 系统发明专利

### 1.2 真空管道运输系统基本结构形式

真空管道运输线路由双方向的两根管道组成,可以走地上或地下,也可以高架。两根管道可以平排,也可竖排(如图 1)<sup>[1]</sup>。管道内径 1.5~2.0 m,并抽成一定的真空。沿线每隔一定距离设置真空泵站以及车站,线路及车站布置如图 2 所示

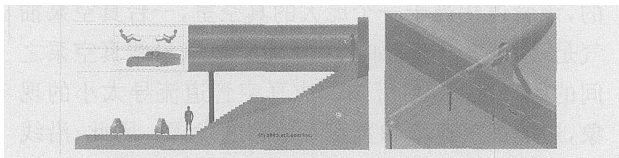


图 1 真空管道运输系统结构示意图  
Fig. 1 Scheme of ETT construction



图 2 真空管道运输线路及车站布局图  
Fig. 2 Layout of ETT track and stations

真空管道运输系统采用先进的真空技术,而且速度会比汽车、飞机甚至导弹还快,人们不禁会担心:建设成本是否很大?对这一问题的回答,通过对真空管道运输系统断面与高速铁路断面相比较(如图 3),就很容易理解其造价不会很高,而且可能十分便宜。因为在同样的设计输送能力下,真空管道运输系统的断面可以比高速铁路小很多。

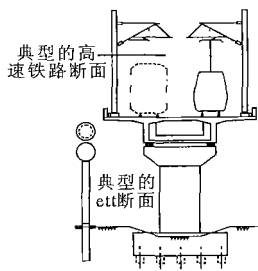


图 3 真空管道运输系统断面与高速铁路断面比较  
Fig. 3 Cross-sectional comparison of ETT system to high-speed railroad

### 1.3 真空管道运输的优越性

真空管道运输是一种新型的运输系统,最新研究资料表明,所需能耗不到当前运输方式能耗的 2%,而安全性更高、速度更快。管中抽成真空,消除了空气阻力,类似飞行器的旅行舱在管道中旅行,或者让旅行舱在无磨擦的磁浮状态运行。

真空管道运输是一种非常有效的运输方式,运营费将相当便宜。另外,真空管道运输以连续方式运行,所以可在你所期望的任何时候出发,不用担心天气条件。而且具有独特的环保优点,建设真空管道磁浮交通比建设一条公路对环境造成的损害减少 95%,对资源的消耗也少得多。就每人公里运输量而言,磁浮交通对环境的温室效应只有飞机和小汽车的 0.2%,对湿地、沼泽地的影响也较小,不会破坏自然水体和蓄水层。

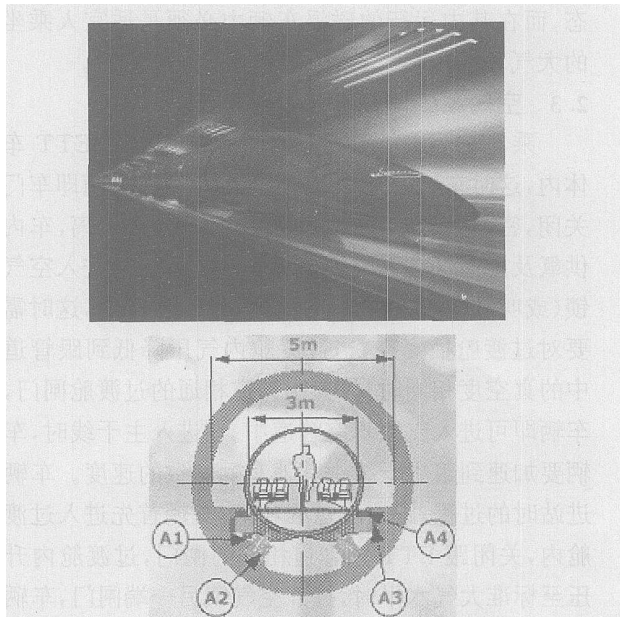
跟现有的运输工具(飞机、火车、汽车等)相比,真空管道磁浮交通具有以下优越性:

- ① 快速 纽约—洛杉矶, 45 min; 华盛顿—北京, 2 h; 本地旅行速度 350 km/h, 城际间旅行速度 1000 km/h, 国际间旅行速度大于 4000 km/h
- ② 方便 连续运行,可以在任何时候搭乘、旅行,没有时刻表,不需要遵循交通部门制定的出发时间;没有延迟与停止,到任何目的地均为直达。
- ③ 高效、节能 在一定速度下,只有当前运输能耗的 1%;材料节省达 90%。
- ④ 清洁、环境友好,使用可再生能源——少量电力,可持续性好,由于管道中抽成真空,自然形成音屏障,以致无任何对外噪声。
- ⑤ 安全。消除了相撞的可能性,不受任何气候条件影响,不会因不良天气而终断。

⑥ 现实可行。所有建设 ETT 的设备都是现成的;所涉及的各项技术都已投入商业应用<sup>[5][6]</sup>。

### 1.4 瑞士地铁

瑞士地铁 (Swissmetro) 是一种完全设置在地下下的交通设施,由两个直径 5 m 的隧道组成,线路的大部分从岩石中穿过,依据地形的变化,深度一般在地下 60~300 m 处。车站都设在城镇中心,跟城市和地面的运输线联接成网。隧道中抽成一定的真空,真空度大约跟 18000 m 高空的气压相当,这是协和式飞机作高速飞行所需的高度与大气密度,这种真空环境有利于减小空气对车体的阻力,节省用于驱动的能量。运行车体用磁悬浮方式,由直线电机驱动,设计运行速度 500 km/h 如图 3 所示<sup>[7]</sup>。



A1. 供电传感器 A2. 直线电机 A3. 导向传感器 A4. 悬浮传感器

图 4 Swissmetro 系统  
Fig. 4 Swissmetro system

本项目最早由 Rodolphe Nieth 在 20 世纪 70 年

代提出,随后受到瑞士联邦理工学院专家的支持。在联邦政府和私人企业的资助下,于 1993 年 3 月完成预可行性研究,表明这种系统在技术上和经济上都是可行的。1992 年成立 Swissmetro 公司,为主要研究筹集到一定的必要资金。1997 年 11 月,向瑞士政府提交了修建 Geneva-Lausanne 线路的申请报告。1999 年 6 月,完成了主要的研究工作。

## 2 真空管道运输系统对真空技术的要求

### 2.1 对管道材料的要求

真空管道运输系统中,管道不仅要防水、防大气渗漏,承受车辆重力,而且要求承受由于管道内外气压差形成的额外压力,要求密封良好,保证管道内真空环境不被破坏。因此要选择密封性和力学性能均较好,但价格较低的管道材料。

如果建在地下,就变成真空隧道的形式,这时可采用密封性能良好的混凝土衬砌或适当的工艺进行处理。无论是预制管道或地下隧道,都要选择放气率小的材料,在真空管道运输系统这种庞大的真空空间,材料放气率对内部真空度的影响会非常明显。

### 2.2 对密封技术的要求

管道与管道之间的接头处,必须密封严实。另外,管道沿线有许多抽气泵站,还要为维修、检查以及紧急情况预留能打开的开口,在真空管道运输系统正常工作时,这些开口都密闭,必须保证不漏气。在沿线各车站车辆进出主管道的空气锁部位,系统连续运行时少量漏气不可避免,但闭合时的密封一定要可靠,达到相应的密封要求。管道中是真空状态,而在其中运行的磁浮车辆中必须是适宜人乘坐的大气环境,因此车辆必须具有良好的密封。

### 2.3 空气锁 (Airlock) 技术研究与设计

乘客出发时,首先进入停靠在站内的 ETT 车体内,这时车体内外均处于正常大气状态。随即车门关闭,密封装置启动,使车内与车外严格隔离,车内供氧及生命保持系统开始工作。然后车辆进入空气锁(或叫过渡舱)中,过渡舱跟管道是相联的,这时需要对过渡舱抽真空,当过渡舱内气压降低到跟管道中的真空度相同时,打开跟管道相通的过渡舱闸门,车辆即可进入支线真空管道中。在进入主干线时,车辆要加速到跟主干线中其他车辆一致的速度。车辆进站时的过程,跟出发过程相似。车辆首先进入过渡舱内,关闭跟 ETT 主管道相联的闸门,过渡舱内升压至标准大气水平时,打开空气锁另一端闸门,车辆驶入站台,乘客下车。也可采用过渡舱跟站台合成一体的设计模式。

### 2.4 高温超导磁悬浮车系统在真空环境中的运行特征

高温超导磁悬浮车是磁悬浮车的很有发展前景

的一种模式,也很适合于真空管道运输系统。但是,目前的高温超导磁悬浮车要使用液氮及杜瓦容器。如果杜瓦开口跟车体舱内相联,则不会对管道真空环境造成影响,但车辆设计时要考虑氮气的回收问题。如果杜瓦开口直接通向真空管道,挥发的氮气会影响管道内真空环境,这时在计算抽气速率时要考虑排放到真空管道中的氮气。

### 2.5 真空管道中真空环境的创造与保持

真空管道中的真空环境是靠真空泵等装置实现的,该管道相当于一个庞大的真空室,一台真空泵抽气是不够的。另外,如果真空管道运输沿线真空泵之间的距离太大,则可能形成真空管道流导太小的现象,影响抽气速率和真空泵效率的发挥。因此,沿线真空泵功率选择以及相隔间距设置要合理。

### 2.6 真空管道安全与应急措施

真空管道运输系统在运行过程中一旦出现故障或事故,正在行进中的车辆要能够及时停车,如果是车辆内部供氧系统的故障,更需要保证在短时间内使车内得到空气。为此,沿线需要设置紧急进气孔,当出现险情时,进气孔自动打开,空气进入管道内,一方面可以起到辅助制动作用,另一方面可以使车内及时得到空气补给。

## 3 真空管道运输系统对未来真空产业的影响

### 3.1 不同设计速度下的合理真空度范围

真空管道运输系统的管道中所要求的真空度跟管道中运行车辆的设计速度有关,设计速度越高,所需真空度也越高。原则上,真空度越高越好。管道中真空度越高,越有利于减小空气阻力,消除引起车辆振动的气体扰动,提高驱动效率。但是,高真空度要求相应地提高真空泵功率和真空系统配置,管道系统的密封、强度和结构标准也需要提高,这会导致真空管道运输系统建设成本和运营成本的增加。所以,最合理的真空度范围应该通过优化计算和经济分析来确定。目前尚无真空管道运输系统合理真空度的专门研究,这里以瑞士 Swissmetro 超音速飞机、巡航导弹、人造卫星、宇航飞船等为参照,用类比法尝试给出不同速度时真空管道运输系统可能的真空度范围(表 1)。

表 1 Table 1

设计速度 km/h	管道内真空度 (Pa)	相当标准大气压
500~ 700	$1.0133 \times 10^4$	1/10
700~ 1000	$1.0133 \times 10^5$	1/100
1000~ 2000	$0.2022 \times 10^6$	1/500
2000~ 5000	$1.0133 \times 10^7$	1/1000
5000~ 10000	$0.2022 \times 10^8$	1/5000
10000~ 20000	$1.0133 \times 10^9$	1/10000
20000 以上	小于 $1.0133 \times 10^{10}$	小于 1/100000

瑞士 Swissmetro 系统的目标速度不超过 700 km/h,考虑采用 1/10 个大气压的真空度,即  $1.0133 \times 10^4 \text{ Pa}$  这是以超音速飞机为参照确定的,超音速飞机的飞行速度是每小时 2000 多公里,飞行高度 15000~18000 m,这一高度的真空度大约是 1/10 个标准大气压。

### 3.2 所需真空容量计算

真空管道运输系统开始运行时,首先要对管道抽气,以达到设计速度所对应的真空度。抽气速率的确定取决于管道容积、系统漏气率和放气率,以及开始启动系统直到车辆可以进入管道运行的期望时间。在真空管道系统正常运营期间,沿线各泵站可能要继续补抽气,以保证管道中的真空度达到相对平衡状态。

设管道总容积为  $V$ ,沿线各站点支线管道的容积为  $V_{支1} + V_{支2} + \dots + V_{支n}$ ,则有

$$V = V_{主} + (V_{支1} + V_{支2} + \dots + V_{支n})$$

如图 5 所示

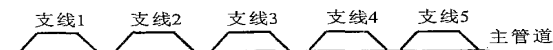


图 5 真空管道运输系统主管道与支线管道示意图

Fig. 5 Schematic of ETT's main and branch tubes

假设某条真空管道运输线路长 1000 km,管道内径为  $d = 2 \text{ m}$ ,每 50 km 设一个站,车站总数为 20,从主干线离开减速进入车站或从车站加速进入主干线的支管道均为 5 km 长,按双方向双管道线路计算,总的真空管道容积为

$$\begin{aligned} V &= 2 \times (V_{主} + 20 \times 5 \times V_{支}) \\ &= 2 \times (3.14 \times 1^2 \times 1000 + 20 \times 5 \times 3.14 \times 1^2) \times 10^3 \\ &= 6908000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

这就是说,这条 1000 km 的真空管道线路的真空空间将是 690 万立方米。按照 Swissmetro 的设想,真空隧道断面直径至少为 5 m,那么,所创造的真空空间将会更大。

### 3.3 为真空产业打造新的市场空间

当真空管道高速磁浮交通作为一种主要交通方式为社会提供服务的时候,我国所需的总里程数至少为 10 万 km,按此规模计算,我国真空管道运输系统为未来真空产业创造的市场空间将是—— 6.9 亿立方米。这么大的真空市场,恐怕是当今任何需要真空设备与技术的行业难以相提并论的。就全世界而言,真空管道运输所能打造的全新真空市场空间将更加激动人心。

## 4 结论

真空管道运输系统的建设与实施无疑将为真空产业创造一个前所未有的巨大市场空间,对真空产业的影响将是积极的和深远的,其前景十分诱人。然而,真空管道运输研究与开发只是刚刚起步,尤其许多交通运输领域的研究人员,对真空科学与技术还较陌生,因此,需要广大真空界的专家学者和工程技术人员积极投身到前期的研究与开发工作中来,促进真空科学技术跟真空管道运输这一新型交通工具的学科交叉与融合,让这一新系统早日成为现实,造福于人类,同时开创真空产业更加灿烂的明天。

### 参考文献:

- [1] [http //www. et3. com](http://www.et3.com).
- [2] [http //www. uspto. gov](http://www.uspto.gov).
- [3] 郝瀛. 中国铁路建设 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1988.
- [4] Robert M. Trans-Planetary Subway Systems A Burgeoning Capability, Rand Organization, [http //www. rand. org](http://www.rand.org), 1978.
- [5] 张耀平,梅绍祖,曾学贵. ETT——引领 21 世纪的高速运输 [J]. 世界科技研究与发展, 2002 年 4 月.
- [6] 张耀平. ETT——处在科技前沿的下一代运输方式 [J]. 综合运输, 2004 年 3 月.
- [7] [http //www. swissmetro. com](http://www.swissmetro.com).
- [8] 张耀平, Daryl Oster(美)著. 新产业时代从这里起步——关于真空管道运输的初期对话 [M]. 清华大学出版社, 2004-09.

# 橡胶密封件产品介绍——沈阳市正阳橡塑密封件厂

我厂加工生产各种真空密封件,规格齐全,并可根据用户需求加工定做,望广大用户来函选用。我们将以优质的服务令您满意顺心。我们的宗旨:正阳产品,物有所值。

产品型号与材质: O 型、J 型、JO 型、U 型、Y 型、V 型、I 型、唇型、异型、凸型、矩型、梯型、骨架油封等各种型号的氟橡胶、硅橡胶、耐热橡胶、耐油橡胶、真空橡胶密封件,广泛用于各种真空炉、真空镀膜机、真空泵、真空阀等设备与部件。

地址: 沈阳市沈河区南二经街四号  
联系人: 杨丽蓉 邮编: 110014

电话: (024) 22821121 传真: (024) 22821121  
手机: 13609894613 13842024425