



# ETT：处在科技前沿的 下一代运输方式

张耀平



**摘要：**本文回顾了真空管道运输从概念设想到专利技术形成的发展过程，对当前世界范围内真空管道运输的研究开发现状进行了考察。分析表明，美国、瑞士和中国是较早启动该项研究的国家，中国具备率先发展真空管道运输系统的有利条件。

**关键词：**真空管道运输；研究；发展

## 1 引言

人类没有停止过对更高速度的追求。在这种追求过程中，前人的高速旅行期望不断地由梦想变成现实。迄今，公共运输工具中速度最快者当属飞机和磁悬浮列车。然而，飞机和磁悬浮列车均有其极限速度。这种速度并非人们旅行的最理想速度和终极速度。飞机和磁悬浮列车速度不能继续提高的障碍是空气阻力，空气阻力跟速度平方成正比地增加。这意味着要想在飞机和磁悬浮列车的基础上实现突破，创造下一代高速运载工具，则需要考虑从根本上减少或消除空气阻力。一个合乎逻辑的可能思路是：建设真空管道，让车辆无接触、无摩擦地在其中运行，即可使速度在飞机基础上数倍地提高。这种运输方式就是真空管道运输，英文中称为

“Evacuated Tube Transportation (ETT)”，它将给今天的运输模式与运输格局带来革命性变化。

## 2 真空管道运输的设想

世界科技史上，任何一项重大发明或发现都是人类共同智慧的结晶，是一代又一代人思想积淀的量的积累达到一定程度时质变的体现。最终实现这一转变者，即被人们认定为该技术的发明人或缔造者，从而载入科技发展的史册。至于真空管道运输，从思想萌芽到概念提出，再到专利申请与获得，大致也经历了类似的过程。

现代火箭之父Robert Goddard，在Worcester工学院1904年的开学典礼上演讲时提到：在波斯顿至纽约之间建一条真空管道铁路线，车辆通过电磁方式悬浮在轨道上，消除金属之间的接触。这种运行方式从波斯顿到

纽约的旅行时间只需10分钟（根据作家Edward Pendray所著的Robert Goddard传记记载）<sup>[1]</sup>

1965年，EDWARDS LK发表了题为“高速管道运输（HIGH-SPEED TUBE TRANSPORTATION）”的文章，提出了一个能够在90分钟内从波斯顿到达华盛顿的客运系统设想。此系统由一对抽成一定真空的管道组成，其中的车辆运行速度为500mph。<sup>[2]</sup>

还有资料显示，早在20世纪60年代，美国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3950km的地下隧道，隧道内抽成相当于1%大气压的真空，将磁浮车系统安装在隧道内，在

这种真空隧道中, 时速可达 25000km/h, 即令采用该理论速度 1/4 的速度, 即平均速度 6750km/h, 由纽约到洛杉矶也只要 36 分 30 秒的旅行时间。<sup>[9]</sup>

Forgacs 的研究对真空管道与大气环境中的运输线路进行了比较。他提出的真空管道运输系统由真空泵抽成一定真空、埋置于地下, 且用永久磁铁对车辆提供悬浮力, 速度为 966 km/h, 相应的普通线路速度为 483 km/h。研究表明, 真空管道中速度提高增加的效益远远大于开挖隧道增加的成本, 足以补偿隧道开挖工程费用; 真空管道运输系统对环保贡献巨大, 而能耗又非常小。另外, 对不同的悬浮方式作了比较, 用电池提供悬浮力的系统可能造成牵引力损失, 不如采用永久磁铁优越。还指出真空管道运输系统最好采用永磁悬浮模式。<sup>[4]</sup>

1978 年, 美国兰德 (Rand, www.rand.org) 公司的研究人员 Robert M. Salter 在他的研究报告 (Trans-Planetary Subway Systems: A Burgeoning Capability) 中作了如下描述: 一种叫“运输之星”的地铁系统, 由电磁支撑和在地下一定真空度的管道中运行的车辆组成, 能够在 1 小时内穿越美国。该系统跟地方运输系统之间有转运联接, 还可以进行货物运输。但是隧道开挖

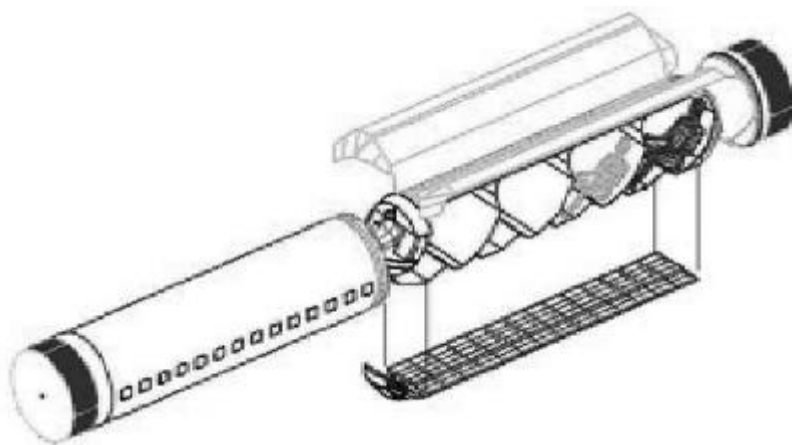


图1 Daryl Oster 发明专利中描述的 ETT 车体

是一个复杂、昂贵的问题, 在地下几百英尺的岩石中挖掘隧道要求采用先进的隧道挖掘机。<sup>[5][6]</sup>

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 年获得真空管道运输 (ETT) 系统发明专利, 至此, 真空管道运输作为一项正式的专利技术被记录在世界科技发明史上。在此后的几年中, 关于真空管道运输的评价, 一些人认为它并不是什么新发明, 也有人说在几十年前他们都有类似的设想。因为道理很简单, 旅行速度要想继续提高, 必须克服空气阻力, 而在地表消除空

气阻力的惟一有效方法就是建设真空管道。但是, 历史的光环最终只落到对该发明起决定性作用的人身上。从这种意义上来说, 历史所承认的真空管道运输系统的发明人大概只有 Daryl Oster 了。

### 3 美国 Et3.com 公司的 ETT 研究工作

Daryl Oster 的 ETT 专利 (美国专利号: 5,950,543) 包括如下内容: 沿线路方向的两根抽成真空的管道, 车体, 真空设备, 悬浮部件, 加速装置, 能够回复能量的刹车系统, 减振

装置, 管道定位器, 辙叉系统, 自动控制、检测与维护装置, 施工方法, 安全系统等。<sup>[7]</sup>

ETT 车体如图 1 所示:

为了促进 ETT 研究与开发工作, Daryl Oster 于 1999 年在美国佛罗里达州注册成立 Et3.com 公司。公

表 1 佛罗里达高速铁路项目招标备选技术方案<sup>[8]</sup>

1、American Maglev	10、Maglev 2000 of Florida Corporation
2、Amtrak-America's High Speed Rail Program	11、Magplane, Inc.
3、Alaris Tilting Train, Madrid-Valencia, Spain	12、Rotem Corporation
4、Alfa Pendular Tilting Train, Portugal	13、Siemens
5、Arlanda Express, Sweden	14、Talgo
6、Bombardier	15、TGV Web
7、Eurostar, UK-Europe	16、Thalys
8、Evacuated Tube Transport	17、Transrapid
9、Korean Train Express	



司采用特许加盟制度 加盟费100美元 加盟后即成为Et3.com公司的一名特许人 不仅意味着持有该公司的一份股份 同时可以继续发展其他对ETT有兴趣、愿意支持、推动ETT发展的成员。这种方式的好处是可以调动和联合社会各界人士 把对ETT的支持者凝聚起来 ,从各自的领域为ETT早日实现贡献力量。

Daryl Oster夫妇辞去了其他可以获得较高薪水的职位 ,专心致力于ETT的研究与开发工作。除了出租房产 (必要时会卖掉其中一些 )的收入作为基本研究经费外 他们没有其他收入来源 过着最节俭朴素的生活。

根据美国佛罗里达高速铁路建设署 (Florida High Speed Rail Authority , FHSRA ) 的计划 ,将在Tempar-Lakeland-Orland之间修建一条137km的高速铁路。2002年 ,共有来自世界各国的17家公司的技术方案得到提名( 如表1所示 )。

Et3.com公司的ETT方案名列其中。在2003年的最后一轮竞标中 ,共有四个方案入围 ETT方案建议报告是其中之一。2003年3月 ,FHSRA主持的四个方案的竞标答辩在佛罗里达举行 当时Daryl Oster在中国 没能亲自出席答辩 导致ETT方案支持率下降。ETT方案处于不利竞争地位

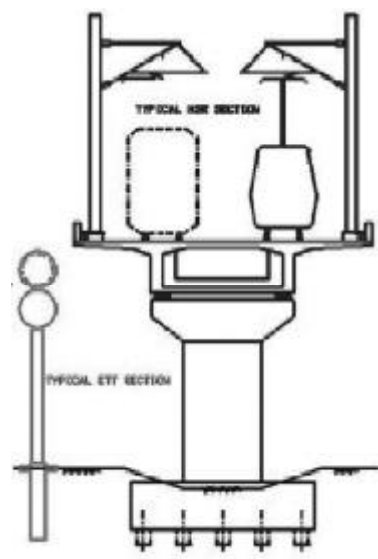


图2 ETT断面与普通高速铁路断面比较

表2 ETT方案的主要技术参数与成本概算

项目	单位成本( 美元 )	单位	数量	容量	成本( 美元 )
6座车体	\$27,600	ea	134	6	\$3,684,600
车站 ( 700 人 / 小时 )	\$7,100,000	ea	3	700	\$21,300,000
管道线路	\$1,973,000	mile	89		\$175,597,000
供电站	\$500,000	ea	6	1 m W	\$3,000,000
设计费	\$50,000	mile	96		\$4,800,000
工程勘测费	\$100,000	mile	96		\$9,600,000
真空站	\$200,000	ea	17		\$3,400,000
道叉	\$5,200,000	ea	3		\$15,600,000
安全检测器	\$500,000	ea	3		\$1,500,000
<b>ETT 基础设施总费用</b>					<b>\$238,481,600</b>
交通隔离费用	\$1,556,000		86		\$133,816,000
保险费					\$250,000,000
合同费					\$238,481,600
加工费					
管道加工	\$474,000	ea	36		\$17,064,000
车辆加工	\$870,000	ea	1		\$870,000
高温超导磁浮轨道	\$710,000	ea	1		\$710,000
绕线机	\$120,000	ea	4		\$480,000
设施	\$1,500,000	ea	1		\$1,500,000
合计					\$881,403,200
专利使用费		%	6		\$52,884,192
<b>总计</b>					<b>\$934,287,392</b>

(资料来源: ETT PROPOSAL FOR FLORIDA HIGH SPEED GROUND TRANSPORTATION SYSTEM, PHASE 1, PART 1 TAMPA to ORLANDO , by et3.com Inc.)

的原因还有:( 1 )旧有技术势力较强大 ,形成对ETT这种新技术的抵制 ;( 2 ) FHSRA 的竞标支持者同时是其中一个方案的支持者 造成对其支持方案的偏袒和对 ETT 方案的歧视 ;( 3 )ETT毕竟没有任何试验线 未经过实践检验 技术可行性容易受到质疑。

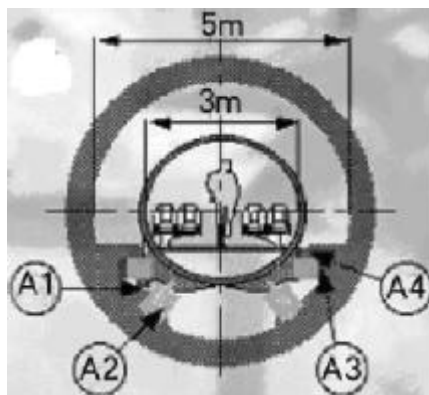
FHSRA ETT 方案的主要技术参数与成本概算如表2所示。

下面是 ETT 方案跟普通高速铁路的断面尺寸比较示意图( 图2 )。

由于政府支持以及资金筹措等方面的原因 ,目前 FHSR 计划处于停顿状态。然而 ,ETT从获得专利到列入政府高速线路备选方案 ,是一个不小的进步。



图3 SwissMetro系统

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

#### 4 瑞士的Swissmetro系统

Swissmetro是一种完全设置在地下交通设施,由两个直径5米的隧道组成。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米处。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米高空的气压相当。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500kph。如图3所示。

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。

#### 5 中国在真空管道运输领域的研究与发展

早在20世纪70年代,我国有些报纸就对美国科学家提出的真空管道运输系统设想作过报道。后来还有一些评论文章相继见报。1988年,老一代铁道工程专家郝瀛教授在他的《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与描述。<sup>[3]</sup>后来还有其他书籍作过类似的介绍。<sup>[6]</sup>

2001年,我国在这一领域的研究人员跟Daryl Oster建立联系,启动了真空管道运输在中国的研究与推动工作。令人欣慰的是,真空管道运输理念在中国的认可程度甚至超过美国。开始时,尚有部分嘲笑、怀疑和视其为科学幻想者。随着一些专业领域教授、院士层面专家表示出认同、关心和支持,人们开始转向理解,并给予力所能及的支持。

2002年底,Daryl Oster来到中国,先后应邀到北方交通大学、中

科院电工所、西南交通大学、北京特运科技公司、铁道部专业设计院等单位演讲报告ETT及其研究工作。由于Et3.com公司提交给FHSRA的ETT方案选用高温超导磁浮技术,高温超导块材和永久磁铁是建设ETT系统的主要材料,所以Daryl Oster走访了北京有色金属研究院超导研究中心。作为意向的超导块材供应方,Et3.com公司跟北京有色院超导中心签订了合作协议。其他签订合作协议的还有山西磁材联盟、铁道部专业设计院、北方交通大学建筑设计院、西南交通大学超导研究开发中心等单位。

作为外聘专家,Daryl Oster在西南交通大学工作三个月,就建设高温超导磁浮模式的真空管道运输试验线进行了交流探讨。大家对世界上第一条真空管道运输试验线率先在中国建成充满信心。Daryl Oster离开后,西南交通大学成立了“真空管道运输研究所”,正式启动了我国在真空管道运输领域的研究开发工作。这是世界上第一个由大学或者政府部门成立的真空管道运输研究机构,表明中国



在这一领域的研究已经走在了世界前列。

## 6 其他国家的相关研究

跟中国、美国和瑞士相比,其他国家对于真空管道运输的研究只限于部分学者通过写论文发表一些个人见解,均无专门的研究机构和协作团队,研究工作缺乏系统性和组织性。

2003年,日本学者M. Okano等人在Physic C上发表文章“超导磁浮货运系统可行性研究——暨高温超导块材磁浮导轨的荷载特征”。文中描述了一种在真空管道中行驶的货运系统,这种系统采用超导块材的磁通钉扎原理进行导向。如图4和图5所示。<sup>[9]</sup>

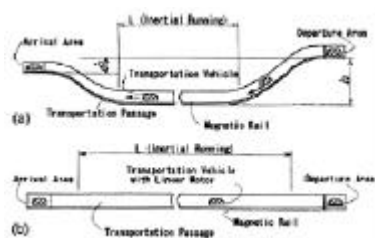


图4 车体驱动模式 (a)利用势能加速和减速;  
(b)利用直线电机加速和减速

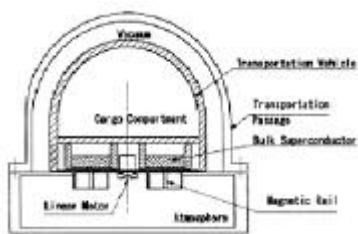


图5 带超导磁浮导轨的真空管货运系统  
断面结构

## 7 结论

真空管道运输从设想提出、概念形成到技术专利的确立,经历了

一个漫长的过程。随着20世纪末材料工艺、航天工业、计算机、自动控制、高速铁路等技术走向成熟,建设ETT所需的基础条件已经具备。尤其是,互联网、电子商务、无线通讯的高度发达,对便捷物流和超高速运输提出了新的要求。人类环保、能源意识的增强,也要求开发更加生态友好、节省能源的交通工具。因此现在启动ETT建设项目研究既有客观需求,又符合现实条件。

美国Et3.com公司的ETT系统和瑞士Swissmetro公司的Swissmetro系统都属于真空管道运输范畴,但二者之间有本质的区别。

Et3.com公司的ETT基于小管道断面、独立的小车体,高频率连续发车,除了可以低速运行,更追求高目标速度,不仅适合较短距离运输,长大距离更能发挥其优越性。而Swissmetro的出发点是为了解决瑞士本国或者欧洲范围内的运输问题,由于将来应用的目标区域较小,则没有追求超高速。管道断面以及车辆大小跟现有的地铁相当,运行车辆采用组合车列方式。可见,ETT模式更符合真空管道运输的未来发展方向。

目前,美国在真空管道运输领域的研究工作暂时处于领先地位。由于我国相关领域的研究人员能够瞄准这一国际前沿科技,并积极开展交流与合作研究,使得中国在真空管道运输领域的研究同样处于国际领先水平。近年来,我国经济保持持续高速增长,综合国力不断攀升,许多高端科技创新研究及应用开发进入世界前列。种种迹象表明,中国占领未来世界科技制高点的趋势越来越明显。就真空管道运输而

言,我国具有非常有利的研究开发基础,具备率先建成世界第一条真空管道运输试验线路的环境条件。占领这一科技制高点是中国的机遇,也是中国实现跨越式发展的机会窗口之一。

### 参考文献

- [1] <http://www.nasa.gov>
- [2] Edwards, LK High-speed Tube Transportation, Scientific American, Volume: 213 Issue: 2 PP 30-40, 08/00/1965
- [3] 郝瀛, 中国铁路建设, 成都: 西南交通大学出版社, 1988
- [4] (美) Forgacs, RL Evacuated Tube Transportation, Energy And The Environment High Speed Ground Transportation Journal Vol: 9 No: 1, 03/00/1975
- [5] Robert M. Salter, Trans-Planetary Subway Systems: A Burgeoning Capability, Rand Organization, <http://www.rand.org>, 1978
- [6] 比尔工作室 科技新启蒙 北京: 中国劳动与社会保障出版社, 1999
- [7] (美) Patent 5950543, Evacuated tube transport, by Daryl Oster, September 14, 1999
- [8] <http://www.floridahighspeedrail.org>
- [9] M. Okano, T. Iwamoto, S. Fuchino, N. Tamada Feasibility of A Goods Transportation System with A Superconducting Magnetic Levitation Guide-Load Characteristics of A Magnetic Levitation Guide Using A Bulk High-Tc Superconductor Physica C386 (2003) 500-505