

真空管道运输系统管道模型结构分析与实验内容

李炎炎¹ 张耀平¹ 姚应峰²

(1.西南交通大学物流工程学院 成都 610031; 2.西南交通大学牵引动力国家重点实验室 成都 610031)

摘要 对真空管道运输(ETT)系统管道实验模型的整体结构和尺寸、主要功能部件的设置以及该管道实验模型建成后将进行的实验内容等进行了分析和介绍。

关键词 真空管道运输系统 管道实验模型 结构分析 实验内容

中图分类号 U17 **文献标识码** A

The Structure Analysis and Experiment Contents of Tube Model for Evacuated Tube Transportation

Li Yanyan¹ Zhang Yaoping¹ Yao Yingfeng²

(1. College of Logistics Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031;

2. State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: This paper concerns the tube model of Evacuated Tube Transportation (ETT) System, discusses the structure and dimension of ETT tube model, designed the main component of ETT tube model and analyzes how to set them. The contents of experiment after the ETT tube model finished are introduced.

Key words: Evacuated Tube Transportation (ETT) ; tube experimental model; structure analysis; experiment contents

0 引言

21世纪,随着我国综合国力的不断增强,生活水平大幅度提高,人们对交通运输的速度和质量也提出了更高的要求。但是运输中的交通阻塞、事故多发、能源浪费和环境污染已经成为当今交通发展中的制约瓶颈。建立一个“安全、快捷、舒适、绿色”的可持续发展的交通运输环境已成为时代的要求。

真空管道运输(Evacuated Tube Transportation, 简称ETT)系统使磁悬浮车体运行在真空管道中,同时克服空气阻力和地面摩擦力,从而大大提高交通工具的运行速度,因其安全、快速、方便、高

效、无污染、低能耗等优点而受到人们的普遍关注。但是目前对真空管道运输(ETT)系统的研究尚处于起步阶段,大量的基础理论需要认真的探索和研究。建造ETT系统的管道实验模型,将为ETT系统的理论研究和实践研究起到铺垫作用,其建造过程以及建成后的实验内容将填补国内外ETT系统研究中实验方面的空白。

1 管道实验模型结构分析

1.1 ETT系统管道介绍

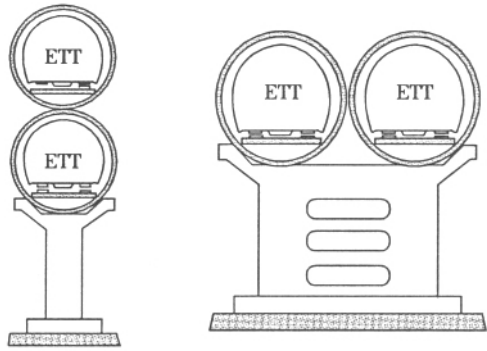
实际运营中的ETT管道可采取如图1所示的上下结构或水平结构布置。ETT系统的管道可设置在地上或地下,这要根据当地的地形和经济条件来

收稿日期:2007-08-13

作者简介:李炎炎,1979-,女,硕士研究生。主要研究方向:真空管道高速磁浮交通基础研究。

基金项目:国家自然科学基金“真空管道高速磁浮交通基础研究”(项目编号:50678152)。

决定。据估计，直径 3m 的管道几乎可以满足所有的运输需求。



(a)上下结构管道截面 (b)水平结构管道截面

图 1 ETT 管道结构布置

1.2 管道实验模型断面尺寸、形状

本文讨论的 ETT 管道实验模型，大小可容纳磁悬浮车体通过，高度便于人们的研究观察。考虑到造价因素和维护使用的方便，管道实验模型的长度定为 10 m、宽度为 1.5 m、高度为 2.25 m，在本文中墙壁的厚度暂定为 0.15 m，具体数据可根据将来建造时的情况进一步计算确定。管道实验模型的断面为拱形结构，其尺寸及形状如图 2、图 3。

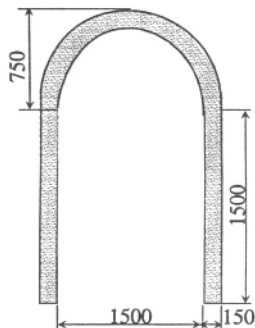


图 2 管道实验模型断面尺寸

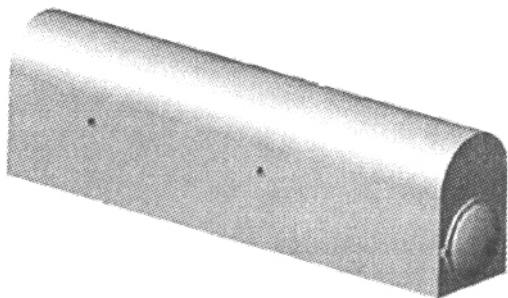


图 3 管道实验模型外观图

2 管道实验模型功能部件设置与分析

2.1 观察孔的结构与工艺

ETT 管道实验模型长达 10 m，在建造以及实

验过程中为了尽量保证管道内部结构多角度的可视性，便于实验观察与检测，管道的两侧墙壁及端墙均设置观察孔。

观察孔的分布如图 4 所示。观察孔 1、2 之间间隔为 4 m，2 与端墙之间间隔为 2 m；观察孔 4、5 与 1、2 的水平位置相对错开 2 m 后间隔仍为 4 m，观察孔 4 与端墙间隔为 4 m，观察孔 3 位于端墙的中间。

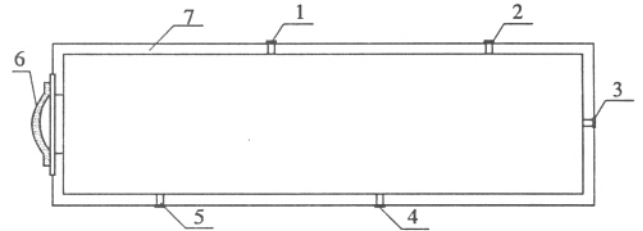


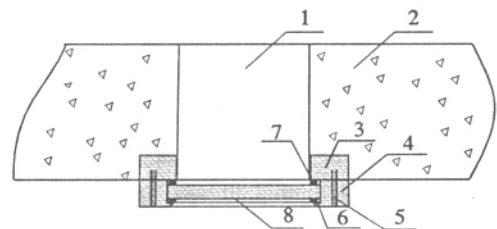
图 4 观察孔的分布图

由于管道实验模型内外压强差的作用，观察孔的直径越大，对观察孔玻璃窗的强度要求就越高，在综合考虑实用性和经济性的情况下，管道实验模型观察孔的直径暂定为 20 cm，观察孔玻璃窗厚度为 5 cm。

在真空环境中，既要保证观察孔与墙壁连接处的气密性，又要保证观察孔能够承受内外压力差值的不均衡性，这就对观察孔的结构提出了较高的要求。

观察孔的形状可选择圆形或者矩形，但是从受力分析的角度考虑，圆形比矩形受力更均匀，从工艺角度分析，圆形比矩形更容易加工以及安装，ETT 管道实验模型采用圆形结构的观察孔。

如图 5 所示，在浇注混凝土墙壁 2 时，可预留观察孔 1，并在二次浇注时将金属法兰盘 3 浇注在墙壁 2 上，通过两个环型密封圈 6、7 把钢化玻璃 8 紧密地靠近金属法兰盘 3，通过若干个螺钉 5 把金属法兰盘 4 固定在金属法兰盘 3 上，同时固定钢化玻璃 8，完成观察孔的密封和定位。



1—观察孔；2—混凝土墙壁；3—金属法兰盘；4—金属法兰盘；5—螺钉；6—环型密封圈；7—环型密封圈；8—钢化玻璃

图 5 观察孔的剖视图

2.2 管道开口处的结构与工艺

在管道实验模型的一端墙壁上设置开口（位置见图4，θ），为了保持管道实验模型的密闭性，必须对管道实验模型的开口进行特殊密闭处理，同时由于模型内外压力差值的作用，很容易将门挤压变形，所以平面形状的开口不适合真空环境应用。

因为模型内为真空状态，大气压力将从四面八方作用到门上，长时间作用下门将会向模型内侧凹陷变形，所以将开口设计为带有弧形的向外突起的形状，来平衡各方向的压力，门的形状可选择圆形和矩形，如图6所示。

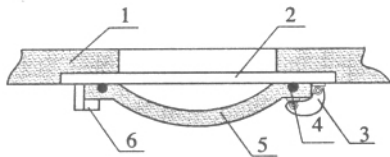


图6 开口处的剖视图

为了使门更好地与墙壁吻合密封，需在墙壁上嵌入一块铁板，使金属门与铁板通过密封圈密封，嵌入的铁板起到了一个金属门框的作用。

铁板2预浇筑在墙壁1上，为了保证铁板2的热胀冷缩度与混凝土墙壁1保持一致，可在铁板上加螺纹钢垂直嵌入墙壁增加咬合强度，门5的结构可圆可方（如图7所示），通过铰链3铰接在铁板2上，门的内侧有一圈凸起槽，装密封圈4保证密封，门5通过锁6铰合密封，壳体所有连接处都采用连续焊接，保证无漏缝、开口现象。

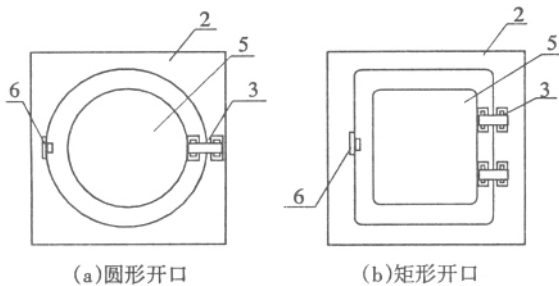


图7 开口处的正视图

2.3 安装真空表预留孔的结构与工艺

实验过程中需测量模型内部的真空度。真空表的接入采用标准接法。真空规管（规管是仪器配套标准件）的接入点要离真空泵远一些，这样测得的真空度才是容器的真实真空度。如果离真空泵太近，真空度则偏高，而且容易有油蒸汽侵入规管，

造成准确度下降。

在墙壁上预埋如图8的规管底座，如果规管座是从管道实验模型侧面墙壁接出，则需要多焊接一个弯头，保证规管底座垂直水平、开口向上，从而保证真空表读数的准确性。再用如图9的拼装螺母垂直装入规管底座，中间放置“ ”型丁腈材料密封圈相隔，保证密封。这样就可以直接将规管安装在拼装螺母内了，装入规管时，不宜太紧，用手作用规管时以拔不出、旋不转为宜。

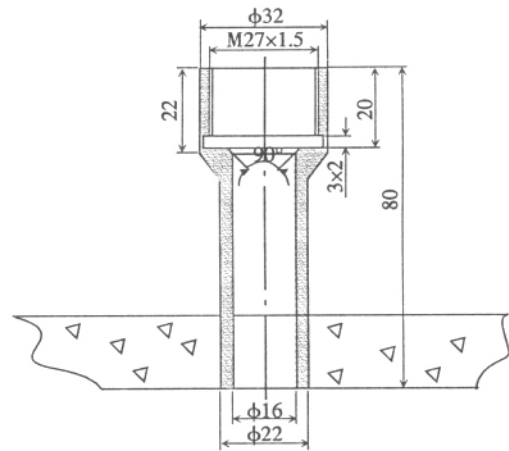


图8 真空表规管底座结构图

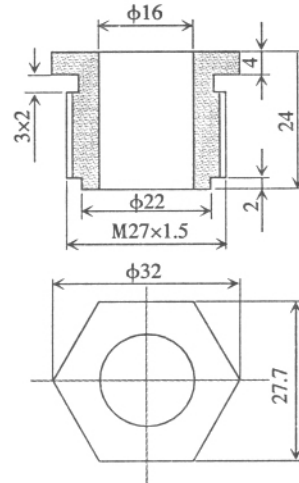


图9 拼装螺母结构图

2.4 管道电源接线处及抽气孔（放气孔）的结构与工艺

2.4.1 管道电源接线处的结构与工艺

管道实验模型内需要使用电进行工作的装置与设备，当电源进入管道壁时要求与管道壁绝缘，而且要气密。浇筑墙壁时可预先在适当位置埋置如图10的真空接线端子，真空设施或真空装置完工后，在真空壁上即有一固定的接线端子。使用时，外接电源的电线分别跟该接线端子的外接杆（1）相连，

真空壁内的电线分别跟该接线端子的内接杆 (1) 相连。

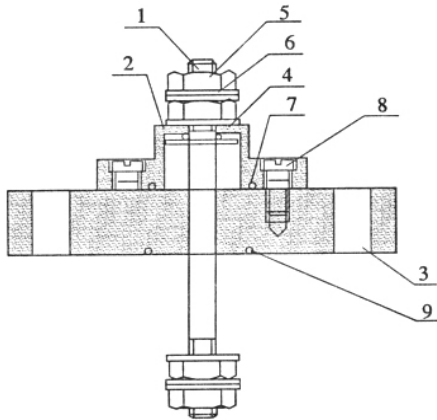


图 10 真空电源接线端子的结构

图 10 所示的是真空电源线的连接结构。根据这一原理可以组成二相、三相和四相的结构，接杆 (1) 的两端设有螺纹，中间设有圆型台阶；绝缘体 (2) 上开有一个小孔，小孔的另一面上接入一个大孔，与小孔形成台阶，大孔能让接杆 (1) 上的圆型台阶通过。接杆的一端放入一个“O”型密封圈 (4)，并通过绝缘体 (2) 的小孔，在接杆上放入一个金属垫圈 (6)，然后用螺母 (5) 扣紧。在底板 (3) 和绝缘体 (2) 之间放入密封垫片 (7)，利用绝缘体的两侧台阶孔，用螺钉 (8) 把绝缘体 (2) 和底板 (3) 固紧，在底板上备有密封垫片 (9)，在接杆两端螺纹上各放两个螺母 (5) 和金属垫圈，以方便使用。

2.4.2 抽气孔 (放气孔) 的结构与工艺

如图 11 所示，管道实验模型的抽气、放气孔，原理同上，在墙壁 (1) 上预埋法兰盘 (4)，用密封圈 (3) 密封，把带有螺纹的一面从墙壁伸出，连接三通阀 (5)，即可抽气亦可放气，也可通过阀门调整管道实验模型内的真空度。

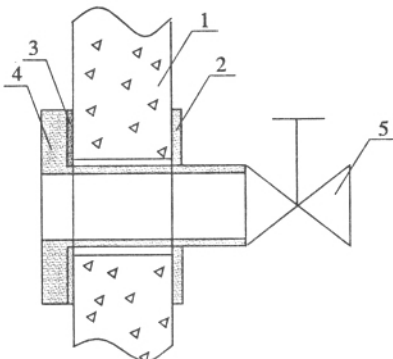


图 11 抽气孔 (放气孔) 的结构

3 真空管道运输系统管道实验模型实验内容

3.1 管道实验模型密封度的分析

对抽成真空的管道实验模型的密封度进行分析，管道实验模型属于全封闭密封，是将系统内外的泄露通道全部隔断，完全杜绝空气介质内外流动。

分析密封度和热辐射的关系，研究直线电机在真空环境中的散热问题和解决方法；分析真空环境下，相同推动力的物体，在不同真空度下的运动特性等。

3.2 真空管道漏气现象的检验和处理

通过气压表的读数变化可观察和判断管道实验模型是否处于漏气状态。对每日观察结果进行记录，结合当天的大气压力计算管道实验模型内外壁的压差，如果压差持续降低则表示系统处于不正常工作，就需要检测真空系统的漏气部位及其大小。

根据管道实验模型所处的状态可采用不同的检漏方法为 ETT 模型漏气部位进行检漏，比如：充压检漏法、真空检漏法等。

充压检漏法：在管道实验模型内部充入一定压力的示漏物质，如果管道实验模型上有漏孔，示漏物质就从漏孔漏出，用一定的方法或仪器在管道实验模型外部检测出从漏孔漏出的示漏物质，从而判定漏孔的存在、位置及漏率的大小。

真空检漏法：在管道实验模型的外部施加示漏物质，如果有漏孔，示漏物质就会通过漏孔进入模型内的空间，由敏感元件检测出示漏物质，从而可以判定漏孔的存在、位置和漏率的大小。

3.3 其他实验内容

(1) 管道实验模型的力学性能分析。对管道墙壁、顶盖、门盖及各部件进行受力分析，记录不同气压差值作用下的受力变形。

(2) 材料的放气率。管道由持久耐用的可保持真空的材料制成，主要材料有：混凝土、陶瓷、钢铁、铝、玻璃纤维和塑料，根据实际情况可能还有其他更合适的材料。管道实验模型可初步分析不同材料在不同压差作用下的放气率。

(3) 可观察磁悬浮车在真空环境下的运行状态。

(4) 可收集杜瓦液氮在真空环境中挥发速率的数据。

(下转第 33 页)

缝再加铺条状土工合成材料的方法进行处理。具体方法是在铺筑沥青加铺层之前将旧水泥混凝土路面上的半刚性基层按一定间距 (10~15 m) 设置预切深 5~8 cm 的缝, 并在接缝上铺约 1 m 宽的土工合成材料, 以减少加铺层中的反射裂缝。

它的防裂机理主要是通过锯缝释放半刚性基层因温度下降及水份散发收缩受阻而产生的拉应力提供预定的不连续的断面位置, 从而控制随意裂缝的出现, 同时, 利用切缝上的土工合成材料在一定程度上缓解裂缝处沥青应力集中, 消除沥青加铺层反射裂缝的产生。

7 旧水泥混凝土板破碎稳定

在旧水泥混凝土板结构损坏较严重, 断板率较高, 对损坏板进行修复后再采用其它措施已不经济时, 可以对旧水泥混凝土板进行破碎和稳定处理。由于破碎板块尺寸减小, 温度下降时的收缩位移大大降低, 从而也降低了加铺层的拉应力。同时, 接缝和裂缝两侧板块的弯沉量和弯沉差也随板块尺寸的减小而减小。但破碎板的稳固是施工关键所在, 若破碎板有松动现象, 对其上的沥青加铺层也会带来不利影响。

在计算路面应力时, 可将破碎的旧水泥混凝土路面板当作底基层或基层, 用 FWD 或贝克曼梁测定弯沉反算破碎板顶面的当量抗压模量, 也可采用

承载板法直接测定破碎板顶面的当量抗压模量。

旧水泥混凝土路面采用带有改进型桩靴的打桩机、安装在拖拉机牵引的拖车上的落锤、截断机落锤或滑动落锤来进行破碎, 也可采用冲击压路机进行破碎稳固。旧水泥混凝土路面的破碎结果应为边长为 45~60 cm 大小的块, 偶尔有一些 75 cm 左右的块也可以, 同时, 大于 60 cm 的块不超过 70%。碎块并非一般意义上的明显碎块, 而是裂缝 (纹) 贯穿块与块之间形成嵌锁结构从而保全原路面具有的大部分结构强度。破碎型式应既能减少板的过度位移 (垂直和水平), 又能使板作为加铺层的稳定基础使板保持足够的结构完整性。

水泥混凝土板在水平方向所受约束愈小, 破碎效果愈好, 故在施工中选定从路肩 行车道的顺序进行破碎。

混凝土路面经过破碎以后, 应将混凝土块稳固到基层上。稳固块的目的是各点均能与基层接触, 从而提高承载力。最常用的稳固板的方法是用 15 t 轮胎压路机碾压 5 次。压路机的碾压速度小于 2.5 m/s。避免过度的碾压, 以免影响破碎块之间的嵌锁效果。

参考文献

- [1] JTJ073. 1- 2001, 公路水泥混凝土路面养护技术规范 S
- [2] JTGD- 40- 2002, 公路水泥混凝土路面设计规范 S

(上接第 13 页)

(5) 对真空泵抽气时间状态和功率组合等因素进行分析, 积累工程经验, 探讨真空管道运输系统真空泵的最佳选择方案。

4 结束语

管道实验模型的设计基础来源于对真空管道运输 (ETT) 系统的研究需求, 模型的实验内容要符合应用实际, 合理地设计管道实验模型的结构并对各个功能部件的设置进行分析是其中的关键部分, 本文中只是进行了初步的探讨, 仍然有许多难题有待

于以后进行更加深入的研究。

参考文献

- [1] (美) Brad Swartzwelder; 张耀平译. 比飞机还快: 美国长期运输问题解决方案 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [2] 张耀平. ETT —— 处在科技前沿的下一代运输方式 [J]. 综合运输, 2004, (2): 271
- [3] 张耀平 (美) Daryl Oster. 新产业时代从这里起步 —— 关于真空管道运输的初期对话 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [4] 于晓东. 真空管道运输系统危险因素辨识及评价 [D]. 成都: 西南交通大学, 2006