

适用于真空管道交通的高温超导磁悬浮车 低温液氮容器

张耀平

(西京学院真空管道运输研究所, 西安 710123)

摘要: 真空管道运输系统的建成以及在全球的普及与应用, 将是继火车、汽车、飞机和 IT 之后人类的又一大福祉。将使今天面临的交通困境从根本上得以解决, 也将给全球经济与社会生活方式带来全新的变化。磁悬浮车是真空管道交通系统的运行主体, 在各种不同模式的磁悬浮车中, 高温超导磁悬浮车非常适合于真空管道交通。然而, 由于真空管道中是低压环境, 用于常压环境的高温超导磁悬浮车低温液氮容器不适合直接用于真空管道交通系统。提出在真空管道交通中, 采用带压力阀的高温超导磁悬浮车低温液氮容器。这是一种压力容器, 器壁要承受压差, 当前常用的矩形高温超导磁悬浮车低温液氮容器则不适合, 进一步提出能承受较高压力的圆柱形低温液氮容器的设计构想。还对真空管道交通中真空环境对提高液氮容器保温效果的意义进行了讨论。

关键词: 真空管道交通; 高温超导; 磁悬浮车; 低温; 液氮容器

Liquid nitrogen container on high temperature superconducting maglev which fits to evacuated tube transportation

Zhang Yaoping

(Institute of Evacuated Tube Transportation, Xijing University, Xi'an 710123, China)

Abstract: Evacuated Tube Transportation (ETT) will be constructed and used widely on the world in the not far future and it will be another evangel for human beings after train, automobile, airplane and information technology. ETT will be a radical solution to nowadays austere transportation problem and will bring to significant change to global economy and society life style. Maglev will be the principal running part of ETT. Among various Maglev modes, high temperature superconducting Maglev (HTSM) is one which fits to ETT system. However, because of the low pressure circumstance in ETT tube, the liquid nitrogen container used in HTSM running in an open ordinary circumstance shouldn't be directly used in ETT system. This paper points out that a liquid nitrogen container should be installed with a pressure valve so that it fits to ETT system. Such container will be a pressure container, existing a pressure difference between two sides of the container wall, so that a rectangle container used in current HTSM will not right to be used as a pressure container. In this case, this paper suggests to use column liquid nitrogen container on HTSM in ETT which is able to endure high pressure. In addition, this paper discussed the significance that vacuum environment in ETT tube is helpful to improve the heat preservation effect of liquid nitrogen container.

Key words: Evacuated Tube Transportation; High temperature superconducting Maglev; Liquid nitrogen container

1 引言

真空管道交通系统以其超高速、节能、环保和相对安全等优点, 将使我们今天面临的交通困境从根本上得以解决, 也将给全球经济与社会生活方式带来全新的变化。其基本运行方式为, 让磁悬浮车在抽成一定真空的真空管道、隧道中行驶,

因为既无机机械摩擦又无空气阻力, 于是行驶速度可比飞机还快^[1, 2]。

磁悬浮车是真空管道交通系统的运行主体, 在各种不同模式的磁悬浮车中, 高温超导磁悬浮车非常适合于真空管道交通。然而, 由于真空管道中是低压环境, 用于常压环境的高温超导磁悬浮车低温液氮容器不适合直接用于真空管道交通系统。本文就这一问题进行探讨, 在现有低温液

收稿日期: 2009-10-13

作者简介: 张耀平(1969-) 男, 博士, 副教授/所长, 主要研究方向为真空管道运输、现代物流。

氮容器的基础上,提出适合于真空管道交通的高温超导磁悬浮车低温液氮容器设计思路。

2 当前的高温超导磁悬浮车低温液氮容器

2000年12月,世界上第一辆载人高温超导磁悬浮车研制成功,该车采用矩形低温液氮容器^[3]。王素玉等人在“一种薄底液氮低温容器”一文中,提出了一种圆柱形薄底低温液氮容器^[4]。申请号为200810147996 3的发明专利给出了一种呈矩形的“高温超导磁悬浮实验车用非金属杜瓦容器”^[5]。上述均为适用于常压环境的高温超导磁悬浮车低温液氮容器,使用过程中内外壁之间没有压差。这种低温液氮容器不能直接用于真空管道交通系统。

3 适用于真空管道交通的高温超导磁悬浮车液氮容器

对于真空管道交通,如果对车载高温超导磁悬浮车低温液氮容器不进行密封,那么在真空低压的管道中,液氮会沸腾和快速挥发。一方面会导致液氮快速耗尽,缩短车辆的持续运行时间,同时,进入真空管道中的氮气会破坏真空环境。为了避免这种现象,可能的解决途径有两种:

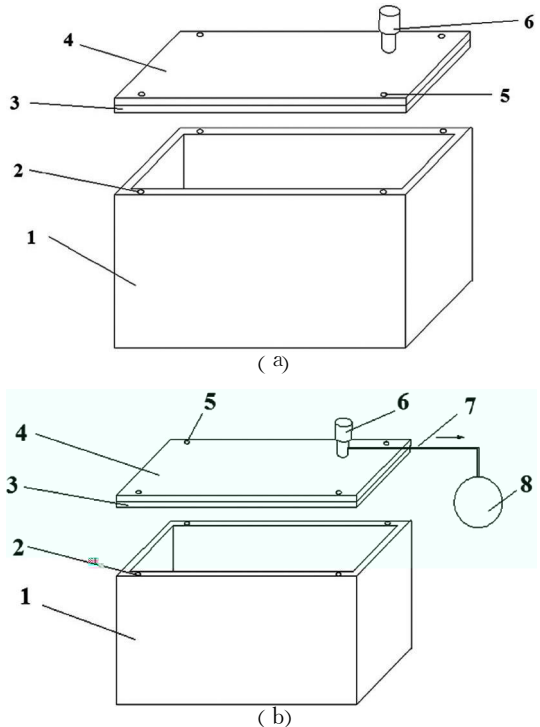
一是制作压力型低温杜瓦,让液氮容器排气口暴露在真空管道中,但在排气口设置弹性减压阀,以降低液氮因低气压环境而导致的加速挥发,同时防止因杜瓦内部压力过高可能造成的爆裂。必要时,可通过减压阀调节,在杜瓦壳体强度能承受的压力范围内使液氮的挥发低于大气环境中的挥发速率,提高一次加注液氮后高温超导磁悬浮车的持续运行时间。

二是把普通的杜瓦开口设置在常压的车体内。这时液氮的挥发会增加乘客车厢内的氮气浓度,导致乘客缺氧窒息。为防止这种情况发生,即使杜瓦容器开口在车内,仍然宜使用压力型杜瓦来降低液氮的挥发,同时还应该在车厢空气调节系统中设置降低氮浓度的功能装置。

3.1 带有减压阀的矩形低温液氮容器

为了防止液氮在低压环境中发生沸腾,降低

液氮的挥发速度,延长一次加注液氮后高温超导磁悬浮车的连续运行时间,以及避免大量氮气挥发到真空管道中导致真空环境的破坏,避免磁浮车在高速运行时杜瓦容器中的液氮洒露,可以设计一种带有减压阀式气嘴的高温超导磁悬浮车车载低温液氮容器,如图1(a)所示,它由容器体、上盖和减压阀式气嘴组成。



1—容器体; 2—容器体上沿螺孔; 3—保温层; 4—容器上盖; 5—上盖螺孔; 6—减压阀式气嘴; 7—气体管路; 8—氮气回收装置

图 1 带有减压阀的矩形低温液氮容器

Fig 1 Rectangle liquid nitrogen container with a pressure valve

容器体为薄底液氮低温压力容器,底厚3~6mm,壳体应该有足够的承压强度,上沿有用于固定上盖的螺孔,螺孔孔径、布局 and 数量可根据需要确定,容器体内部根据需要设置固定高温超导块材的结构件。

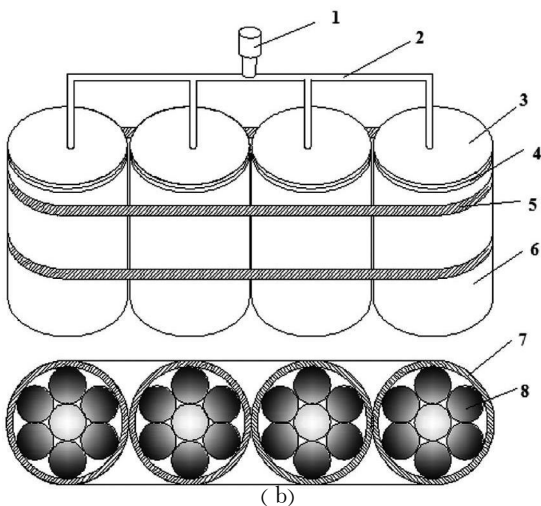
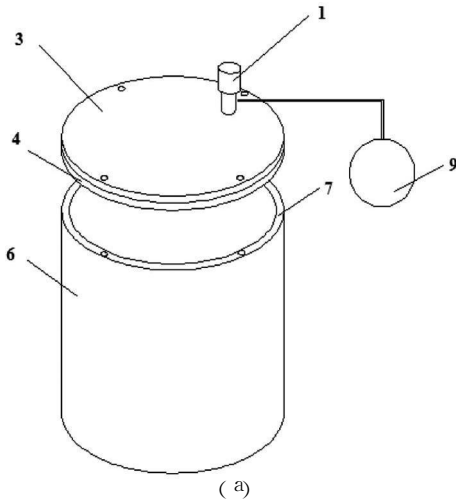
容器体可以用非金属材料制成,也可以由非磁性的金属(如不磁化的不锈钢)材料制成。如果用金属材料制作,容器体器壁设置成中空的双层结构,可以抽真空以达到所需的保温效果,也可以填充保温材料。如果容器体用非金属材料制作,侧壁则为内、外两层的夹层结构,夹层间填充有绝热保温材料。

上盖由盖板和密封层组成, 布置有压力阀式气嘴。上盖板有数个为紧固螺栓预留的螺孔, 位置与容器体上沿的螺孔相对应。上盖要有足够的承压强度, 设置成绝热保温的夹层结构, 可以固定锁紧在容器体上, 以便于打开和盖紧。上盖也可制作成法兰形式的。

这种杜瓦容器为压力容器, 容器体和上盖结构都要承受一定的压力。上盖的保温层和容器体上沿均带有密封圈。

为避免氮气泄露到真空管道中或车辆客舱内, 可用气体管路把气嘴连接到车载的氮气回收装置, 如图 1(b)所示。

3.2 带有减压阀的圆柱形低温液氮容器



1—减压阀式气嘴; 2—液氮加注管/氮气排放管; 3—容器上盖; 4—保温层; 5—容器紧固箍; 6—容器体; 7—容器壁; 8—超导块材; 9—氮气回收装置

图 2 带有减压阀的圆柱形低温液氮容器

Fig 2 Round liquid nitrogen container with a pressure valve

带有减压阀的低温液氮容器属于压力容器, 器壁要承受压差, 图 1 中的矩形高温超导磁悬浮车低温液氮容器的承压强度难以承受这种压力, 因此, 应该考虑能承受较高压力的圆柱形低温液氮容器, 如图 2(a)所示。

由于永久磁体价格较高, 高温超导磁悬浮车系统的轨道不宜太宽, 以 100~150mm 为宜, 最大不要超过 200mm。那么单个圆柱形低温液氮容器的体积则受到直径的制约, 不能像矩形容器那样按需要延长, 其容积以及所能容纳超导块材的容器底部面积则十分有限。对于确定载重量和确定永磁轨道宽度的高温超导磁悬浮车, 圆柱形容器的单体个数必然会多于矩形容器的单体个数。

众多的液氮容器单体会给加注液氮的操作带来不便, 为解决这一问题, 可通过保温的液氮管道把单个圆柱形容器连接起来, 并采用一个能方便加注液氮的减压阀, 如图 2(b)所示。

4 真空环境对低温杜瓦的意义

车载低温杜瓦的保温效果决定着高温超导磁悬浮车的运行成本, 以及一次加注液氮后的连续运行时间。但是追求良好的保温效果对杜瓦容器制作工艺提出了更高要求, 制作成本相应提高。为了取得良好的保温效果, 杜瓦容器壁通常采用中空的双层不锈钢薄壁, 双层薄壁内部抽成真空。其困难在于, 承载超导块材即与永磁轨道表面相对的底部薄壁要求尽可能薄, 以避免尽可能少地损失净悬浮高度。中空且较薄的壁厚不可避免地降低了杜瓦容器的整体强度。

所幸的是, 当高温超导磁悬浮车用于真空管道中时, 上述的困难与矛盾则得到缓解。这是因为, 真空是良好的绝热介质, 当低温杜瓦放置于真空的管道中时, 该真空环境已经对杜瓦容器起到保温作用, 这时杜瓦容器真空薄壁中的真空度可以相应降低, 于是杜瓦容器薄壁的制作工艺可以得到简化, 强度要求也可能相应降低。更重要的是, 当高温超导磁悬浮车的杜瓦容器处于管道真空环境中时, 可使用不抽真空的薄壁杜瓦容器, 而可能获得同样的保温效果。需要注意的是, 如果利用管道真空环境对杜瓦进行保温, 则这种高温超导磁悬浮车在运行期间不宜驶出管道真空环

境, 车站应该考虑采用登机桥式的接驳结构供乘客进出车辆, 如专利“一种用于真空管道交通的接驳走廊”(如图 3(a)所示)^[6]和 Swissmetro 所设计的那样(如图 3(b)所示)^[6]。而加注液氮的操作不得不在常压环境中完成, 那么在加注液氮后, 应该让高温超导磁悬浮车在尽可能短的时间内进入管道真空环境中, 以减少常压环境下液氮快速挥发的时间。

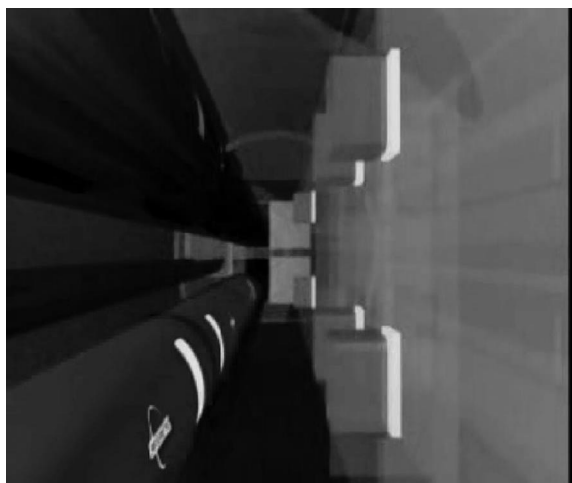
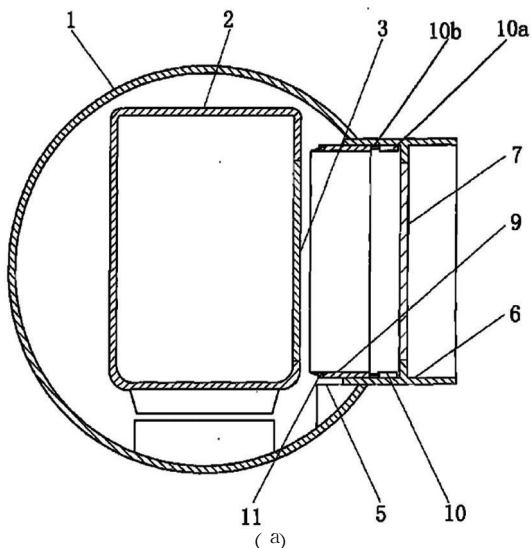


图 3 用于真空管道交通的接驳走廊

Fig 3 Aisle for connecting vehicle to outside of evacuated tube

5 结论

用于常压环境的高温超导磁悬浮车低温液氮容器一般不需要采用压力容器, 只要容器保温效果

足够好, 液氮自由挥发状态的挥发速度则很慢, 一次加注液氮后的连续运行时间能够满足车辆较长时间运行要求, 比如 8 小时以上。这种不承压的容器可以制成矩形, 单个容器根据需要可以比较大, 制作工艺简单, 容易跟车辆匹配。

而当这种开启式排气口的容器置于真空环境中时, 液氮挥发将很快, 甚至发生沸腾。为避免这种现象, 可以用带有减压阀的密封盖/法兰结构的低温液氮容器, 来减缓液氮的挥发。然而, 这种结构使液氮容器变成压力容器, 给容器的制作提出了新要求:

(1) 当前流行的矩形液氮容器不再适用, 应当考虑采用圆柱形容器;

(2) 圆柱形容器受到永磁轨道的限制, 单个圆柱容器不适合做得很大, 于是需要将较多圆柱形容器进行组合。

另外, 当高温超导磁悬浮车用于真空管道中时, 由于真空是良好的绝热介质, 当低温杜瓦放置于真空的管道中时, 该真空环境能对杜瓦容器起到保温作用, 于是杜瓦容器薄壁的制作工艺可以得到简化, 强度要求也可能相应降低。

参考文献

- [1] 张耀平, 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
- [2] Brad Swanzweller. 比飞机还快: 美国长期运输问题解决方案 [M]. 张耀平译. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [3] Wang S Y, Wang J S, Ren Z Y, et al. High temperature superconducting Maglev equipment on vehicle [J]. *Physica C*, 2003, 386: 531—535
- [4] 王素玉, 王家素. 一种薄底液氮低温容器 [J]. *低温与超导*, 1999, 27(3).
- [5] 赵立峰, 秦公平, 赵勇. 高温超导磁悬浮车用非金属杜瓦容器 [J]. 中国专利, 申请号: 200810147996.3
- [6] 董安然, 于小娟, 孟凡平, 等. 一种用于真空管道交通的接驳走廊 [J]. 中国专利, 申请号: 200710049111.1
- [7] <http://www.swissmetro.ch/EB/OL/>