

## 氢能知识系列讲座 (11)

## 氢的安全性

清华大学核能与新能源技术研究院 ■ 毛宗强

## 一 氢气是安全的燃料

凡是燃料都具有能量，都隐藏着着火和爆炸的危险。我们很熟悉的天然气、汽油、液化石油气和电都是如此。根据美国交通部的资料，从1986~2003年间，美国天然气加注发生2406次事故，300人死亡，1364人受伤，直接财产损失约3亿美元；天然气输送发生1467次事故，60人死亡，232人受伤，直接财产损失约3.6亿美元。同样在1986~2003年间，美国发生过3302次汽油输送事故，37人死亡，254人受伤，直接财产损失约8.6亿美元；平均每年汽油加注发生7400次事故，2人死亡，70人受伤，直接财产损失1800万美元。1998年美国国内发生1600多起液化石油气(LPG)着火事故，41人死亡，260人受伤，直接财产损失约3000多万美元。另外根据美国消防部门资料，1998年美国发生38300起因电引起的住房火灾，284人死亡，1184人受伤，直接财产损失约6.7亿美元；2000年美国有400人因触电死亡。事实上人们不会因噎废食，也不会因为能源的事故就不做饭、不开车。只要人们注意能源安全，就能将事故消灭在萌芽之中。

氢气作燃料并不是什么新鲜事物。早在人们使用汽油、天然气之前，就已经使用城市煤气做饭、开车了。而城市煤气中，大约50%是氢气。人们对城市煤气的安全并没有什么特别的顾虑。今天，人们关注氢的安全，表明对氢更加重视。

任何燃料的安全性都与其本身的性质密切相关。由于氢的特殊性质，使得氢的安全有不少特点。然而和其他燃料相比，氢气是一种安全性比较高的气体。

氢气无毒，不像有的燃料毒性很大，如甲醇就很危险。据报2000年11月，肯尼亚内罗毕郊区曾发生过添加甲醇的私酿酒一次导致140多人死亡的重大事件。

氢气在开放的大气中，很容易快速逃逸，而不像汽油蒸汽挥发后滞留在空间中不易疏散。

有人做过试验，两辆汽车分别用氢气和汽油作燃料，然后作泄漏点火试验(见图1)。可见，点火3秒钟后，高压氢气产生的火焰直喷上方。而汽油由于比空气重，则从汽车的下部着火。到1分钟时，氢气作燃料的汽车只有漏出的氢气在燃烧，氢气汽车没有大问题；而汽油车则早已成为一个大火球，完全烧光。这说明了氢气汽车要比我们现在普遍使用的汽油车安全得多。

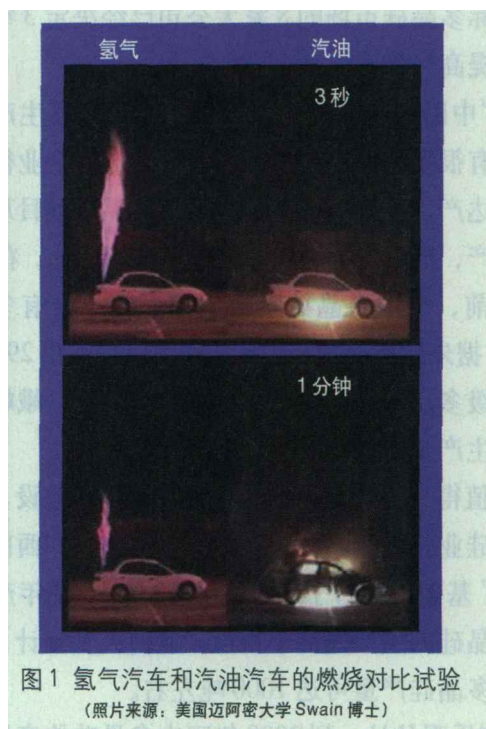


图1 氢气汽车和汽油汽车的燃烧对比试验  
(照片来源：美国迈阿密大学 Swain 博士)

由于氢焰的辐射率小，只有汽油、空气火焰辐射率的十分之一，因此氢气火焰周围的温度并不高。有文章指出，在类似上面的试验中，氢气在后背箱位置燃烧，而汽车后玻璃安然无恙，窗内温度还不到20℃。

氢气燃烧不冒烟，生成水，不会污染环境。

氢也有对安全不利的特点。例如氢着火点能量

很小,使氢不论在空气中或者氧气中,都很容易点燃。根据文献的报导,在空气中氢的最小着火能量仅为0.019mJ,在氧气中的最小着火能量更小,仅为0.007mJ。如果用静电计测量化纤上衣摩擦而产生的放电能量,该能量可以比氢和空气混合物的最小着火能量还大好几倍,这足以说明氢的易燃性。

氢的另一个危险性是它和空气混合后的燃烧浓度极限的范围很宽,按体积比计算其范围为4%~75%,因此不能因为氢的扩散能力很大而对氢的爆炸危险放松警惕。

氢气爆炸范围宽,起爆能量低,但并不意味着氢气比其他气体更危险。由于空气中可燃性气体的积累必定从低浓度开始,因此,就安全性来讲,爆炸下限浓度比爆炸上限浓度更重要。丙烷的爆炸下限浓度就比氢气低,因此,丙烷比氢气更危险。

氢火焰是无色的,白天肉眼几乎看不到,夜里可以看见。图2为美国航天飞机的发射情况。图中右侧蓝色圆圈内是氢火焰,左边红色箭头指的则是碳氢燃料的火焰。所以,在白天要小心氢火焰灼伤人体。

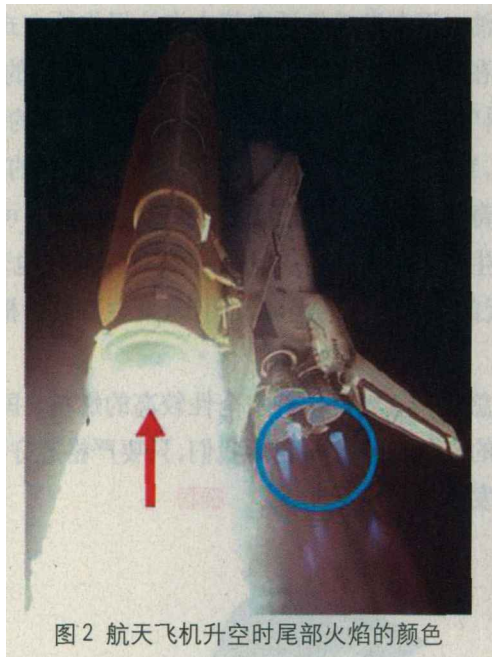


图2 航天飞机升空时尾部火焰的颜色

氢的粘度最小,所以它具有最大的泄漏速率。但氢还具有另外一个特性,即极易扩散。氢的扩散系数比空气大3.8倍,若将2.25m<sup>3</sup>液氢倾泻在地面,仅需1分钟,就能扩散成为不爆炸的安全混合物,所以微量的氢气泄漏,可以在空气中很快稀释成安全的混合气。这又是氢燃料一大优点,因为燃料泄漏后不能马上消散是最危险的。有文献指出氢的扩散系数比汽油大7.5倍,由此可以证明文献中说氢比汽

油安全是有根据的。

氢气的比重小,易向上逃逸,这使得事故时氢气的影响范围要小得多。和其他液化的气体燃料相比,液氢挥发快,有利于安全。有人曾做过试验,将3m<sup>3</sup>的液氢、甲烷和丙烷分别溅到地面上并蒸发,在相同的条件下,丙烷、甲烷和氢的影响范围分别为13500、5000和1000m<sup>2</sup>。可见液氢的影响范围最小,大约是丙烷的十三分之一,甲烷的五分之一。也就说明液氢的安全性要比丙烷和甲烷好。当然,液氢的温度比液氮低得多,需要防止冻伤。

为了保证氢气使用安全,用氢场所的氢气浓度检测就非常重要。现代科学技术的发展,已经可以做到氢气浓度快速检测。探测器的尺寸很小,安装、使用都很方便。图3是美国某公司的第一代产品和第二代产品。在很短的时间内,氢气探测器可以将氢气浓度的信息传送到中央处理器,当达到危险浓度时,就自动报警并采取相应的措施,确保安全。



图3 新型氢气浓度探测器外型

## 二 遵守安全使用规则, 氢气很安全

国内外大量的使用氢的实践经验表明:氢有着不安全的使用记录。表1为美国1967~1977年十年中的工业用氢事故进行的统计分析,把收集到的145起事故原因分成以下7类:

表1 工业界氢事故分类

事故原因	事故发生的次数
未察觉的漏泄	32
氢氧废水的爆炸(核电厂)	25
管道和压力容器的破裂	21
不适当的惰气置换	12
放风与排气系统的事故	10
氢跟氯的反应事故	10
其他	35
总计	145

上述事故还必须和着火补充条件相结合才能酿成灾祸。这两个着火补充条件就是:(1)要有火源(包

括：热点火源和电的点火源，其中也包括静电和气体摩擦、冲波等等)；(2)氢气跟空气或氧气的混合物浓度有一定要求，过高或过低都不行。缺此两个条件，仍不会造成事故。在这些统计的工业事故中，氢只是作为石油精炼、氯碱工业或核电厂中的副产品或废气来对待，并未真正涉及到它在氢能领域中的使用。实际上，通过严格的管理和认真的执行安全操作规程，其中绝大部分的事故都是可以消除的。

### 三 历史上最著名的“氢气冤案”

兴登堡(Hindenburg)飞艇是20世纪德国人为洲际旅行设计的大型装载工具。兴登堡飞艇原是按氦气作升降工质而设计的，该飞艇已成功地完成了欧洲到美国的十余次往返飞行，由于德国人当时不可能从美国得到大量的氦，所以不得不改用氢作工质。1937年5月6日的兴登堡飞艇改用氢的首次飞行，计划在美国新泽西州的莱赫斯特(Lakehurst)海军机场着陆，当飞艇到达该机场的前一小时，机场地区下了一场大的雷阵雨，大气中还存在着静电较高的气层。由于飞艇降落时必须放出一部分氢气，而排氢时最容易产生静电发火效应，因而发生了大火灾，造成35人死亡，65人幸存。氢气是绝对不能作飞艇工质的，因氢气流动本身就会产生很高的静电位而发火，即使莱赫斯特机场不下雷雨，也是一种违反安全使用条例的活动。图4是当时正好在现场的摄影记者拍摄的兴登堡号飞艇着火瞬间。



图4 兴登堡号飞艇着火瞬间

关于1937年兴登堡灾难发生的原因，过去一般认为是由于飞艇里充了氢而引起的，使得人们对氢安全的疑虑加深。但是，几十年后，美国宇航局老资格的氢能专家 Addison Bain 为氢进行了平反。他

研究当时目击者拍摄的照片，发现飞艇并没有爆炸，就有明显可见的火焰。事实上，氢气消散得非常快，肯定是非氢物质在燃烧。而兴登堡飞艇的气袋，用易燃的化合物处理过，导电性差，容易产生静电，且极易着火。由此得出结论，造成兴登堡飞艇惨案的原因并不是氢。

人类航天史上另一个重大悲剧是1996年1月28日11点38分美国挑战者号航天飞机起飞73秒后的爆炸。已经查明原因是由于固态燃料助推火箭上的密封圈失效，首先在助推火箭侧面产生火苗，破坏了主燃料箱供应管路，引起燃料泄漏和着火，同时也使其他燃料箱中燃料着火，最终导致事故发生。此时，因为使用任何燃料都会出事故。因此，人们并没有将该事故归罪于氢。

### 四 重视氢气安全是好事

任何新燃料的更替，都会遭到怀疑，甚至反对。当年汽油刚出现时，就是如此，一直吵到美国国会。根据1875年美国国会记录，“波士顿的工程师制造出汽油，用在发动机活塞筒内汽油爆炸的方式代替燃料在锅炉里燃烧。所以，危险是显而易见的”。今天，科学和实践都证明了当年美国国会记录的无知。现在，当氢气作为汽油的替代燃料遇到同样的质疑，毫不奇怪。不过这回，美国能源部说话了：“可以安全地生产、储存和输送氢气”。美国宇航局也表态：“航天部门处理氢的经验表明，氢发生事故的机率很小”。

总之，氢气是一种安全性较高的燃料，国内外长期的氢气操作经验告诉我们，只要严格遵守规定，不会发生氢气安全事故。 