

氢气的安全与防护初探

张素英 李大红

(中国工程物理研究院流体物理研究所)

【摘要】 笔者叙述了氢气的有关问题,对压缩气体炮的工作原理、工作流程、氢气的物理和化学性质、可能造成氢气泄露的原因及安全对策作了初步讨论。

【关键词】 氢气 压缩气体炮 安全防护

1 压缩气体炮的工作原理

压缩气体炮包括一级轻气炮和二级轻气炮。它是一种实验室的加载设备,主要用于加速弹丸达到高速和超高速,并最终撞击靶板,以研究材料的动态响应特性。

根据高压气体释放方式,一级轻气炮可分为活塞式、包绕式、双膜式等。图1给出了双膜式一级轻气炮的结构示意图,它是由高压段、双膜段、发射管、弹丸、靶室及回收装置等部分组成。实验时,先将炮本体及靶室箱体抽成133 Pa左右的低真空,再向高压室内充以氢或氦气、空气或氮气,充气压力 p_0 一般不超过40 MPa。为了减轻膜片a所承受的压力,同时在双膜段充以 $p_0/2$ 的高压气体。弹丸由弹托和弹片组成,置于双膜片b的前方。实验时将双膜段的单向排空阀瞬时打开,使膜片a的压强由 $p_0/2$ 逐渐增加直至达到金属膜片的破坏强度而破裂,最终导致高压段的气体瞬时地破膜而出,继而使膜片b破裂,从而推动弹丸高速运动,并最终碰撞靶板。

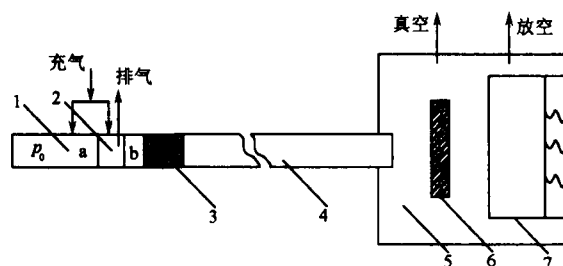


图1 双膜式压缩气体炮装置示意图

1. 高压段 2. 双膜段 3. 弹丸 4. 发射管
5. 靶室 6. 靶板 7. 捕捉回收器

二级轻气炮实际上是由二门一级气体炮耦合

而成,其具体结构如图2所示。它是由火药室、泵管、高压段、发射管和靶室等组成,由高压聚乙烯制成的活塞放置在泵管内,泵管与火药室通过膜片1被隔离开。实验时,泵管内充以1~2.0 MPa的氢气或氦气。弹丸装填在发射管内,而高压段与发射管则是通过膜片2被隔离开。正式实验时,火药室内的火药气体迅速膨胀并导致膜片破裂,从而推动活塞压缩泵管内的氢气到数百兆帕的高压,并导致第二膜片破裂,从而推动弹丸达到超高速运动。可以看出,火药室、泵管和高压段组成了一个类似于一级炮的高压室,并产生了数千大气压的压强,它比一级炮高压段的压强高出1~2个数量级,这是采用通常的机械压缩泵所不能达到的,从而使二级炮可以获得比一级炮更高的弹丸速度。

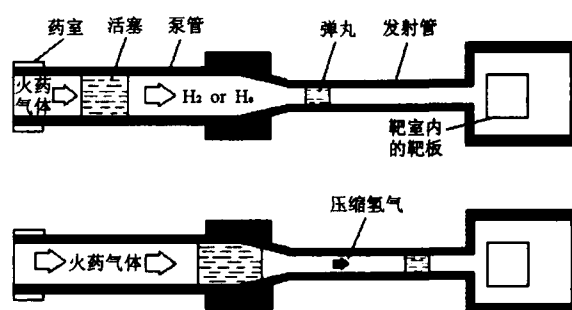


图2 二级轻气炮系统示意图

究竟选用氢气还是氦气作为工质一般要根据实验室的环境条件及弹速指标、经济承受能力和实验条件来决定。原则上说氢气分子量小,价钱便宜,来源较广泛,而且可以比较容易达到最高弹速,这些条件均优于氦气。但是它属于可燃易爆气体,它的危险性比较大,因此在一些通风条件和防爆能力较差的实验室一般都不采用氢气。

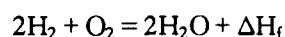
2 氢气的物化特性

在通常状态下,氢气是一种无色无味的气体。在所有气体中密度最小,在低温高压条件下氢气可以变成无色液体。液态氢在 $-239\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开始沸腾。氢气难溶于水。下表给出了氢气的主要物理特性。

氢气的性质

化学符号: H_2	熔点: -259.14 K	空气中燃烧比:4.0%~75.0%
分子量:2.02	1大气压下的沸点: -252.2 K	空气中爆炸比:18.0%~59.0%
分子直径:2.4 Å	气化热:446.65 kJ/kg	O_2 中燃烧比:4.65%~94.0%
密度:0.090 g/dm ³	定压比热:14.27 kJ/kg	O_2 中爆炸比:18.3%~58.90%
气体常数:420.6 N/kg·K	定容比热:10.130 kJ/kg	空气中着火温度: 585°C
临界温度: -239 K	绝热指数: $K=1.407$	O_2 中着火温度: 560°C
临界压力: $12.8 \times 10^5\text{ Pa}$	粘度: 0.84×10^{-2}	着火最低能:0.02 J
临界密度:31 kg/m ³	导热系数:0.585 kJ/m·h·c	燃烧热:284.65 kJ/mol
火焰发射率:0.1	火焰速度:270 cm/s	火焰温度:2045 $^{\circ}\text{C}$

氢气可以和空气发生化合反应,纯净的氢气可以在纯氧中燃烧发出淡蓝色的火焰,生成水并放出大量的热。当2个体积氢和1个体积的氧混合时即可形成所谓“爆鸣气”,即



并放出大量的热 ΔH_f 。如果在一个密闭容器内, H_2 与 O_2 充分混合,反应时所放出的能量全部用于加热水蒸气,则水蒸气将迅速膨胀造成较高内压,有可能导致容器或管道破裂,并引起爆炸。由于氢的着火能仅为0.02 J左右,它比烷烃着火能高一个数量级,利用化纤的摩擦产生的静电也比氢的着火能高出好几倍。因此,一般情况下外部环境可以比较容易提供氢氧燃烧的点火能。依此,在使用氢气作为气体炮工质时应该特别注意氢氧燃烧或爆炸。由于氢与空气中的氧气化合时,所生成的火焰是无色的,这就更易留下隐患和防护的困难。

3 造成氢爆的因素及安全对策

轻气炮实验室拥有十余门不同口径的一级炮和二级炮。为了达到最大弹速,每门炮的耗氢量大多在 4 m^3 以上。为便于说明导致氢爆的可能因素,图3、图4给出了氢爆事故树及其安全对策。

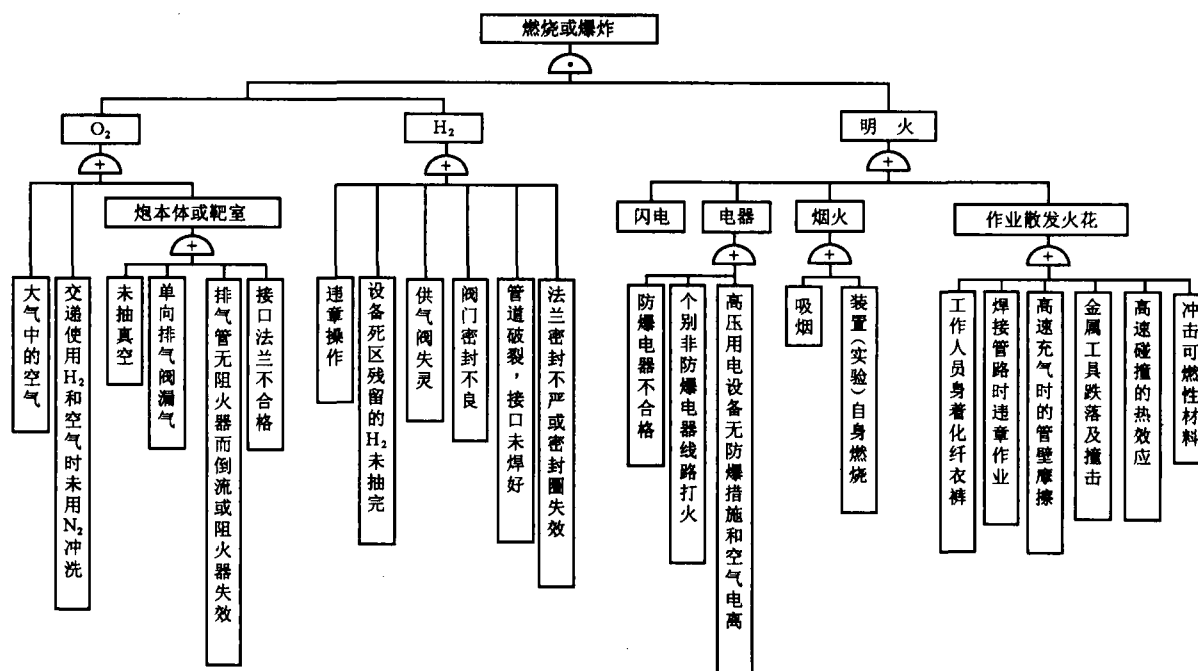


图3 氢爆事故树图

3.1 气源

可能存在的泄漏及事故隐患大致如下:各种阀门、监测仪表表头、管头的焊接部位以及法兰连接处

均有可能造成泄漏,管子的裂纹及经常性更换位置造成的疲劳也有可能造成泄漏通道。因此在使用过程中要特别注意以下几个方面:

(1) 正式使用前应检查管道及阀门的密封性,以

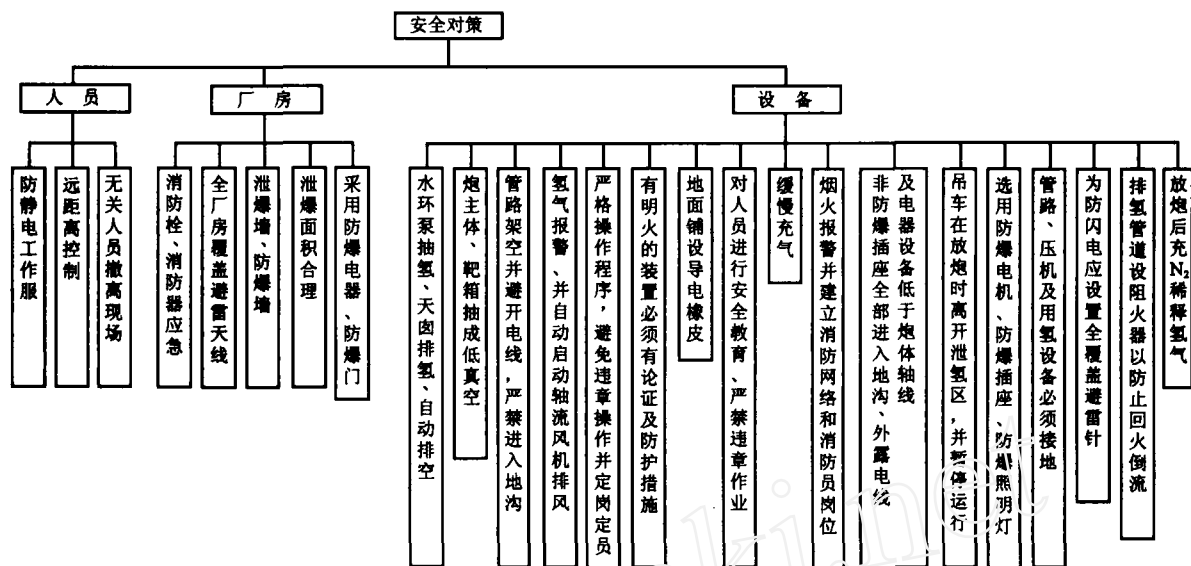


图4 防止氢爆的安全对策图

压缩 N_2 或空气代氢进行试压,以便发现泄漏部位。

(2) 氢气瓶应严格按照规范进行存放。

(3) 氢压机、贮气罐、减压罐使用前必须充 N_2 清洗,以驱散容器、设备等残存的空气。

(4) 氢气试压必须遵循高压容器的安全规范,按工作压力的1.5倍进行试压,以检验气路的耐压情况。并用工作压力作气密性试验。

(5) 贮气罐存留高压气体较多时,应经常检查阀门、油水分离设备和法兰,以免氢气缓慢漏泄。平时应对这些房间进行通风。而且氢气罐必须设有自动排空阀,以控制对外输氢量和气罐应急之用。

(6) 检修用氢设备及管路必须动用明火时,必须有详细的操作规程,并报请主管部门审查批准后方可动火。

3.2 室外管路

可能存在的泄漏主要是焊接口及管子的完好性。因此首先必须以 N_2 气按规范试压,以检验其密封性。此外还应注意:

(1) 管道必须架空,一般不允许进入地沟,以免氢气外泄串通造成事故。架空高度应能允许消防车自由通行。

(2) 管道应安接地线以消除静电影响。

(3) 为避免曝晒或雨淋,气路上应有遮阳凉棚。

(4) 气路通道应尽量避免有高压线在其上空通过。

3.3 炮室为用氢的工艺设备

要求氢气经室外管道进入炮房以后必须架空后

进入控制台,严禁用氢气管道进入地沟。可能存在的不安全因素包括炮体充压阀门、各种法兰及连接组件是否能满足规范要求。在靶室上必须设有安全排空阀。应设阻火器以免导致回火,造成靶室和发射管发生氢爆。

从事故树的分析可知,要造成氢爆必须有足量的 H_2 、 O_2 混合气体及明火。故此必须采取安全对策,以便确保人员、设备、厂房的安全。人员、厂房、设备的安全对策(见图4)的具体内容如下:

(1) 人员安全主要控制以下环节:①放炮时所有人员听到警报后全部撤离炮房,工作人员按岗位分工进入指定岗位,无关人员撤离炮室后隐蔽在指定区域内;②采用遥控操作,关好防护铁门;③工作人员必须穿戴防静电服。

(2) 厂房安全应按国家规范处理:①按国家劳动保护研究所颁发的新国标规定,即凡用氢厂房必须满足用氢房间的有效空间与泄压面积之比大于或等于10,在主体炮房设计以及各个有氢气的房间基本满足了这一要求;②采用防爆电器、防爆门,以确保氢爆后不影响到测试及其他工作间;③拟用25 cm厚钢筋混凝土作为防爆墙,而泄爆面采用大窗户、薄砖墙,所有地面应铺设橡皮;④所有用氢厂房均设有天窗排氢,根据用量大小设置壁式轴流风机,每5 min换气一次;⑤所有用氢管道必须架空并有接地,其接地电阻应不超过 $10\ \Omega$,用氢设备亦有接地线,严禁用氢管路进入地沟,以免造成扩散;⑥用氢工房除设有常规消防网络外,还应设有烟火和氢泄漏报警器,最好实现自动控制排空;⑦所有非防爆电

插销必须进入地沟,非防爆用电设备及线路原则上要低于气体炮轴线;⑧为避免雷电,应设置三点式全覆盖避雷针。

(3) 设备安全主要控制以下各环节:①炮主体及靶室均经过强度校核,按照强度要求,爆炸容器的保险系数为1.5左右,本体发生断裂的可能性很小,由于采用了气罐贮气,气体温度为常温,氢蚀对管路及炮本体不会带来太大的影响;②炮本体及靶室抽成低真空以减少空气含量;③采用充氮和水环泵排氢,以保证炮体含氢量低于氢燃或氢爆时的含量;④放炮以后,通过自动排空阀及时排除靶箱内的氢气,并设置阻火器,以防排气嘴引火后倒灌入靶室而引起氢爆;⑤各炮高压室均设有排气阀,一旦遇到无法实验时即可从单向阀中排除氢气;⑥实验时先打

开轴流风机将可能泄漏的氢气及时排出;⑦严格操作规程,禁止和杜绝违章作业;⑧有明火的装置或明火作业不得进入含氢环境;⑨为避免摩擦生热,高压室采用缓慢充气;⑩所有用氢设备或管路、压机应保持良好的接地;⑪正式放炮时吊车应脱离主炮体上空,并停止使用。

4 结 语

为了防止氢爆,应保证没有氢气泄漏和明火。用氢时人员的衣着摩擦尤其是化纤的摩擦完全可能提供足够的氢气着火能量,况且氢气在空气中燃烧时无明显火焰,更易造成疏忽。所以工作人员应特别注意。

参 考 文 献

- 1 Φ. A. 鲍姆等. 爆炸物理学. 北京:科学出版社,1963
- 2 北京工业学院八系《爆炸及其作用》编写组. 爆炸及其作用(下册). 北京:国防工业出版社,1979
- 3 北京经济学院劳动保护系. 压力容器安全工程学,1980

论 文 作 者 简 介



邓树兴 1948年3月13日生。深圳市艾贝特实业有限公司董事长兼总工程师、副研究员,中国照明学会专家组成员,中国照明电器协会理事,深圳市节能协会副会长,深圳市节能专家组成员,从事电光源和照明电器研究。



叶 永 1939年3月出生,中国工程物理研究院流体物理研究所工作,国家首批注册安全工程师,从事科研安全管理工作30多年,先后发表了《安全与标准化》、《树立安全第一的价值观念》等30多篇论文。



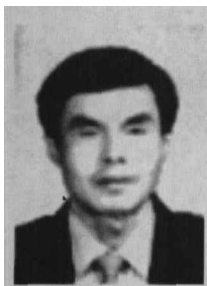
张素英 1956年6月生;中国工程物理研究院流体物理研究所;研究室副主任、高级工程师;专业领域:爆炸力学;从事爆炸力学领域研究工作20余年,在铁电陶瓷爆电换能研究方面作了大量的研究工作,分别获得过国防科学技术进步二等奖1项、三等奖两项、四等奖1项。现还负责本研究室的安全管理工作。



冯志斌 1961年12月生。中国劳动保护科学技术学会(全国职业安全健康管理体系认证机构认可委员会办公室主任)、研究生、工程师。专业领域:安全管理。多年从事劳动安全卫生标准化管理和科技进步奖的组织评审工作。现从事职业安全健康管理体系认证机构的资格认可和咨询机构的注册备案管理工作。主编了《贯彻劳动法安全生产标准手册》,发表过多篇安全生产工作方面的论文,组织编制的有关安全卫生方面的国家标准获得过省部级科学技术进步三等奖。



牛海林 1959年2月出生于山西岚县。中共党员,采煤高级工程师,国家首批注册安全工程师。1980年12月参加工作,1989年12月毕业于山西矿业学院采矿工程专业。历任西山矿务局西曲矿通风区副区长,东曲矿安全副总工程师、企管办主任,现任西山煤矿总公司东曲矿安全副矿长,西山煤矿总公司安全监察局驻东曲矿安全监察处处长。曾在《山西煤炭》等刊物发表论文多篇。如:《分区通风系统利用备用风门反风》、《受控循环通风在西曲矿的应用研究》、《掘进工作面净化通风方法》、《回采工作面上隅角瓦斯导引处理法》。曾多次在国家级报刊杂志上发表理论文章,如发表在《煤炭企业管理》上的《煤矿安全文化建设的探索与实践》。



王万冬 1956年出生,山西太原人,高级工程师,现为山西焦煤集团西山煤矿总公司技术中心开采室主任。主要从事煤矿开采方面的科研与技术管理工作。从1985年以来分别在《煤炭科学技术》、《西山科技与经济》、《西山科技》、《煤炭科学技术》、《当代矿工》等刊物上发表《高档普采工作面矿压观测》、《官地矿23407综面巷道矿压观测研究》、《回采巷道新型支架介绍》、《试验QZ-120型双柱切顶支柱矿压观测》、《煤巷锚杆支护技术的研究与应用》、《左旋螺纹钢树脂锚杆的应用》等20余篇论文。



赵俊生 40岁,采煤高级工程师,研究生。1980年毕业于河北煤炭建筑工程学院,毕业后分配到西山煤矿总公司官地矿,先后任综采四队技术队长、官地矿安监处技术科长、综合科长、副处长,现任西山煤矿总公司安监局综合处处长。长期从事基层安全监督检查工作,具有丰富的现场安全管理经验和独到的安全管理理论。



田莉莉 1953年6月出生,现在中国工程物理研究院流体物理研究所工作。自1979年8月,在研究所从事劳动保护管理工作以来已20多年,独立撰写《安全思想工作安全管理中的作用》、《防静电工作服抗静电作用》等多篇论文,并参加四川省及中国工程物理研究院安全管理工作研讨会。