

低温氢气火焰传播特性实验 (实验、课题名称)**安全风险评估报告****一、实验流程概述****(1) 实验设备 :**

不锈钢管道 (长 1 m , 内径 22 mm) 1 根 , PCB 压力传感器 2 个 , PCB 电荷放大器 2 个 , 示波器 1 台 , 高压点火装置 1 个 , 真空泵 1 台 , 液氮罐 3 个 , 压力表 1 个 , 真空表 1 个 , 8L 氢气气瓶 1 瓶 , 40L 氧气气瓶 1 瓶 , 6L 预混气瓶 1 瓶 , 木槽 1 个 , 实验操作台 1 个 , 插板若干。

(2) 实验物料 :

氢气 , 氧气 , 液氮。

(3) 实验条件 : 温度、压力、酸碱性等

充有预混气的管道被置于木槽中液氮液面以下 , 使管道内预混气温度冷却至极低温 (77 K) 。

(4) 基本操作流程 :

1. 提前 24 h 将氢气和氧气按实验设计当量比预混到 6L 的预混气瓶中 , 并将预混气瓶静置 24 h 使瓶内氢气和氧气混合均匀 ;
2. 实验前先检查管道气密性 , 待气密性良好后连接仪器设备 ;
3. 将预混好的预混气充入管道 , 直至管道内气体压力达到所需条件 ;
4. 将液氮倒入装有管道的木槽内 , 使液氮液面浸没管道 6 min 左右后点火 ;
5. 电脑保存实验数据 , 回收剩余液氮 , 收拾仪器设备等。

二、风险分析**(1) 实验物料 (参照化学品 MSDS)**

物料名称	分子式	危险性类别	危险理化性质	接触表现
氢气	H ₂	第 2.1 类 易燃气体	爆炸下限 : 4.1% 爆炸上限 : 74.1% 最小点火能 : 0.019 mJ	氢气在生理学上是惰性气体 , 仅在高浓度时 , 由于空气中氧分压降低才引起窒息。

氧气	O ₂	第 2.2 类 不燃气体	燃烧性：助燃	1. 常压下，当氧的浓度超过 40% 时，有可能发生氧中毒。 2. 吸入 40% ~ 60% 的氧时，出现胸骨后不适感、轻咳，进而胸闷、胸骨后烧灼感和呼吸困难，咳嗽加剧；严重时可发生肺水肿，甚至出现呼吸窘迫综合征。 3. 吸入氧浓度在 80% 以上时，出现面部肌肉抽动、面色苍白、眩晕、心动过速、虚脱，继而全身强直性抽搐、昏迷、呼吸衰竭而死亡。 4. 长期处于氧分压为 60 ~ 100kPa(相当于吸入氧浓度 40% 左右)的条件下可发生眼损害，严重者可失明。
液氮	N ₂	第 2.2 类 不燃气体	沸点：-195.6℃	1. 皮肤接触液氮可致冻伤； 2. 在常压下汽化产生的氮气过量，会使空气中氧分压下降，引起缺氧窒息。

(2) 事故形式和后果


事故形式	事故发生环节/部位	可能原因	事故后果
冻伤	1. 实验时，将液氮倒入木槽环节； 2. 实验结束，将木槽中液氮回收环节； 3. 实验过程中，管道冷却环节。	1. 倾倒液氮时，由于操作力度过大，导致液氮飞溅； 2. 不戴防冻手套直接回收液氮； 3. 木槽内液氮暴露在常温环境中，会剧烈沸腾，从而飞溅出木槽。	1. 操作过程中，飞溅出的液氮与皮肤接触，导致冻伤； 2. 木槽中液氮挥发气化，导致空气中氧分压下降，引起缺氧窒息。
泄漏	1. 混气过程中，阀门处泄漏； 2. 实验过程中，管道上光纤连接处泄漏； 3. 气瓶出口，软管与阀门连接处泄漏。	1. 阀门内芯磨损导致关不紧； 2. 光纤连接处，螺母未拧紧，导致管道气密性不好； 3. 由于多次拆卸，软管处出现开裂，导致泄	1. 氢气发生泄漏，没有点火源点燃情况下，会导致室内氧分压过低，引起窒息； 2. 氢气发生泄漏，与室内空气预混，遇到点火源发生燃爆事故；

		漏。	3. 氧气泄漏时，常压下，当氧的浓度超过40%时，有可能发生氧中毒。
火灾	<ol style="list-style-type: none"> 1. 混气过程中，氢气从阀门处泄漏，遇点火源引起火灾； 2. 实验过程中，氢气从管道上光纤连接处泄漏，遇点火源引起火灾； 3. 气瓶出口，氢气从软管与阀门连接处泄漏，遇点火源引起火灾； 4. 插板多级串联，导致过载，引起火灾。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 氢气泄漏时，可燃气体报警器故障，未报警； 2. 实验室排气扇故障或门窗未打开通风； 3. 实验中，人员衣物上静电，插板电火花等点火源的存在； 4. 插板使用过程中，不能多级串联； 5. 初期火势很小时，烟雾报警器未报警，人员未及时发现扑灭； 6. 消防灭火器故障或未设置，导致初期火势很小时未及时发现扑灭，导致后面火势控制不住。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室内发生火灾，导致实验仪器损坏； 2. 更严重的情况是，火灾有可能导致人员伤亡。
爆炸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 混气过程中，阀门处泄漏氢气，遇点火源引起爆炸； 2. 实验过程中，氢气从管道上光纤连接处泄漏，遇点火源引起爆炸； 3. 气瓶出口，氢气从软管与阀门连接处泄漏，遇点火源引起爆炸。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由于人员衣物上静电，操作过程中引起爆炸； 2. 插板处电火花引起爆炸； 3. 气体输送过快产生静电，导致室内发生爆炸； 4. 实验操作过程中，排气扇或门窗没有打开通风或者排气扇损坏，导致氢气泄漏出来与空气混合，遇点火源发生爆炸； 5. 实验操作过程中，可 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室内发生火灾，甚至更严重的爆炸，导致实验仪器损坏； 2. 更严重的情况是，爆炸有可能导致人员伤亡。

		燃气泄漏时可燃气报警器故障，未及时报警，导致最终的爆炸事故。	
中毒	1. 混气过程中，氧气从阀门处泄漏。当氢气浓度超过 40% 时，最终导致氧中毒； 2. 气瓶出口，氧气从软管与阀门连接处泄漏。当氢气浓度超过 40% 时，最终导致氧中毒。	实验中，排气扇或门窗未打开通风，导致室内氧气浓度超过 40%，造成人员氧中毒。	常压下，当氧的浓度超过 40% 时，有可能发生氧中毒。
触电	1. 真空泵、示波器及电脑等仪器连接电源线路部分； 2. 高压点火装置壳体以及连接线路部分；	1. 仪器设备未接地； 2. 实验人员不规范的连接与操作电子仪器设备； 3. 仪器设备自带电线绝缘表层磨损，未及时更换或使用绝缘胶带修补。	人员连接仪器设备过程中可能导致触电。
腐蚀性伤害	本实验不适用该情形。		
辐射	本实验不适用该情形。		
灼烫	本实验不适用该情形。		

三、风险控制和应急

(1) 实验物料

物料名称	危险性标志 (参照 GHS 标签)	存储位置	个体防护措施	人员现场急救
氢气		1. 存储在带有报警装置的气瓶柜中，并用锁链固定好； 2. 应与氧化剂、卤素分开存放，切忌混储。	1. 实验操作过程中，打开排气扇或者门窗进行通风； 2. 实验室内设置可燃气报警器； 3. 实验操作人员必须经过安全教育培训，才可实验；	1. 若人员由于氢气浓度过高而窒息，应迅速脱离现场至空气新鲜处。保持呼吸道通畅； 2. 若人员因燃爆事故发生烧伤，用剪刀小心减掉身上黏

			<p>4. 实验场所，严禁吸烟；</p> <p>5. 实验室内若发生小型火灾，可拿位于楼道内的灭火器扑灭；</p> <p>6. 实验过程中，穿戴好实验服，护目镜以及手套等。</p>	<p>连的衣物；</p> <p>3. 使用冷水冲洗烧伤部位，并立即就医；</p>
氧气		<p>1. 存储在实验室靠墙处或专有气瓶架或气瓶柜中，并用锁链固定住；</p> <p>2. 与易燃气体分开存储。</p>	<p>1. 实验操作过程中，打开排气扇或门窗进行通风；</p> <p>2. 实验操作人员必须经过安全教育培训，才可实验；</p> <p>3. 实验过程中，穿戴好实验服，护目镜以及手套等。</p>	<p>若人员发生氧中毒昏迷时，应立即将昏迷人员搬离至室外新鲜空气处，并立即就医；</p>
液氮		<p>存储在液氮罐中</p>	<p>1. 实验操作过程中，穿戴好防冻手套，防冻服及防护头盔；</p> <p>2. 实验操作人员必须经过安全教育培训，才可实验；</p> <p>3. 倾倒液氮过程中小心谨慎，不要用力过大，导致液氮飞溅出；</p> <p>4. 实验操作过程中，打开排气扇或门窗进行通风，防止液氮挥发导致窒息。</p>	<p>1. 若人员冻伤，用干净自来水对受冻处连续冲洗，并立即就医；</p> <p>2. 若人员因室内氮气浓度过高，导致窒息，应立即将人员搬离至室外呼吸新鲜空气。</p>

(2) 事故应急处置

事故形式	应急处置措施
冻伤	<p>1. 在使用中发生皮肤接触液氮，脱掉冻伤部位衣物；</p> <p>2. 将受伤部位放在不超过 40°C 的温水中浸泡，并立即请医生处理。</p>
泄漏	<p>1. 听到可燃气体报警器报警后，若排气扇或门窗未打开，应立即打开排气扇或门窗进行通风，防止发生窒息或燃爆事故；</p>

	<p>2. 发现泄漏后，立即关闭泄漏源头，如气瓶主阀门；</p> <p>3. 待通风并关闭气瓶主阀门后，立即逃往室外。</p>
火灾	<p>1. 当听到烟雾报警器报警时，若火势较小，可取用楼道内的灭火器进行扑灭；</p> <p>2. 若火势已经蔓延开，则室内人员立即逃往室外，远离现场，并拨打 119；</p> <p>3. 若人员出现烧伤，应立即使用干净冷水连续冲洗烧伤部位，并立即就医。</p>
爆炸	<p>1. 立即逃亡室外，并拨打 119；</p> <p>2. 若人员出现烧伤，应立即使用冷水冲洗烧伤部位，并立即就医。</p>
中毒	<p>1. 立即捂住口鼻逃离现场，并立即就医；</p> <p>2. 若发现人员中毒昏迷，应立即打开门窗，并将人员搬至室外，立即就医。</p>
触电	<p>1. 实验中保持 2 人在室内。若发生一人触电，另外一人立即切断电源开关，然后施救；</p> <p>2. 若人员触电后神志较清楚，没有外伤或外伤较轻，安静休息即可；</p> <p>3. 若人员触电后昏迷，有心跳，需要将患者置于仰卧位，解开较紧的衣物，有利于呼吸；</p> <p>4. 若人员触电后心脏骤停，需要常规进行心肺脑复苏；</p> <p>5. 若电烧伤比较严重，应立即就医。</p>
腐蚀性伤害	本实验不适用该情形。
辐射	本实验不适用该情形。
灼烫	本实验不适用该情形。

四、标准操作程序 (SOP)

操作阶段	操作内容	危险要素	安全防范措施
实验准备	1. 使用真空泵将预混气瓶内的气体全部抽空，并检查线路气密性；	用氮气检查气密性时，由于线路上阀门连接处气密性不好，泄漏至室内，导致窒息。	<p>1. 实验室安装通风设备，如防爆的排气扇等；</p> <p>2. 实验过程中打开排气扇或门窗通风；</p> <p>3. 若实验过程中出现呼吸困难，头晕等症状时，立即逃往室外呼吸新鲜空气。</p>
	2. 待气密性良好后，先将氧气充	充氧气过程中，由于线路上阀	1. 实验室安装通风设

	<p>入抽真空的预混气瓶中；</p>	<p>门或软管连接处松动导致泄漏，可能造成氧中毒。</p>	<p>备，如防爆的排气扇等； 2. 实验过程中打开排气扇或门窗通风； 3. 若人员出现胸骨后不适感、轻咳，进而胸闷等症状，应立即逃往室外。</p>
	<p>3. 充完氧气后，将氢气充入预混气瓶。并放置 24 h 保证预混气瓶内气体混合均匀。</p>	<p>由于线路上阀门或软管连接处松动导致泄漏，遇到点火源，可能发生燃爆事故。</p>	<p>1. 实验室安装通风设备，如防爆的排气扇等； 2. 实验室安装可燃气体报警器，当出现报警时，立即通风并逃往室外； 3. 实验过程中打开排气扇或门窗通风； 4. 实验室内，严禁吸烟。隔绝点火源； 5. 若烟雾报警器报警，早期火势较小时，立即取用楼道内灭火器进行扑灭； 6. 若火势已蔓延开来，应立即逃往室外并拨打 119。</p>
	<p>4. 实验前，用氮气检查管道以及线路气密性，确保气密性良好；</p>	<p>用氮气检查气密性时，由于线路上阀门连接处气密性不好，泄漏至室内，导致窒息。</p>	<p>1. 实验室安装通风设备，如防爆的排气扇等； 2. 实验过程中打开排气扇或门窗通风； 3. 若实验过程中出现呼吸困难，头晕等症状时，立即逃往室外呼吸新鲜空气。</p>

	<p>5. 连接示波器、点火装置、压电传感器以及真空泵等仪器设备。</p>	<p>1. 仪器设备未接地，导致触电，如点火装置壳体； 2. 仪器设备自带电线绝缘表层磨损，未及时更换或使用绝缘胶带修补，连接过程中导致触电。</p>	<p>1. 连接实验设备时，确保设备接地； 2. 待人员经过安全教育培训后才能正式实验； 3. 遇见线路绝缘表层磨损的情况，应及时用绝缘胶带缠绕修补或及时更换。</p>
<p>实验进行</p>	<p>1. 将预混气按照一定压力充入实验管道中；</p>	<p>1. 由于线路上阀门或软管连接处松动导致泄漏，遇到点火源，可能发生燃爆事故； 2. 实验管道上光纤连接处也可能发生泄漏。</p>	<p>1. 实验室安装通风设备，如防爆的排气扇等； 2. 实验室安装可燃气体报警器，当出现报警时，立即通风并逃往室外； 3. 实验过程中打开排气扇或门窗通风； 4. 实验室内，严禁吸烟。隔绝点火源； 5. 若烟雾报警器报警，早期火势较小时，立即取用楼道内灭火器进行扑灭； 6. 若火势已蔓延开来，应立即逃往室外并拨打119。</p>
	<p>2. 待预混气充入管道中后，将液氮倾倒入装有管道的木槽中。使木槽内液氮液面浸没管道，保持6 min左右后点火。</p>	<p>1. 倾倒液氮过程中，由于用力过大，导致液氮飞溅；飞溅出的液氮与皮肤接触，导致冻伤； 2. 木槽内液氮暴露在常温环境中，会剧烈沸腾，从而飞溅出木槽，导致人员冻伤。 3. 木槽中液氮挥发气化，导</p>	<p>1. 实验操作过程中，穿戴好防冻手套，防冻服及防护头盔； 2. 实验操作人员必须经过安全教育培训，才可实验； 3. 倾倒液氮过程中小心谨慎，不要用力过</p>

		致空气中氧分压下降，引起缺氧窒息。	大，导致液氮飞溅出； 4. 实验操作过程中，打开排气扇或门窗进行通风，防止液氮挥发导致窒息。
	3. 待液氮冷却 6 min 左右后点火，并采集实验数据。	若管道气密性不好，会有少量预混气泄漏出来，点火时会点燃这部分预混气，导致燃爆。	1. 打开排气扇或门窗，保持通风； 2. 实验室安装可燃气体报警器； 3. 点火时，人员位于实验室室外； 4. 若烟雾报警器报警，早期火势较小时，立即取用楼道内灭火器进行扑灭； 5. 若火势已蔓延开来，应立即逃往室外并拨打 119。
实验结束	实验结束，回收液氮，断开设备连接。	不戴防冻手套直接回收液氮，导致冻伤。	实验操作过程中，穿戴好防冻手套，防冻服及防护头盔。
<p>严禁行为：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 严禁实验过程中，不穿实验服，不戴护目镜，不戴实验手套，直接进行实验； 2. 严禁不进行安全教育培训，直接进去实验室实验； 3. 严禁实验过程中，门窗保持关闭状态； 4. 严禁实验室内出现明火，如抽烟等行为； 5. 严禁使用及回收液氮过程中，不穿戴防冻服，防冻手套以及防护头盔等； 6. 严禁实验进行过程中，长时间离开实验室。 			

五、安全培训记录

我确认已经阅读并学会了此操作程序，并与培训人充分讨论了其中的问题，我承诺严格履行此 SOP 的所有规定。

姓名	学号	受训人签名	培训人签名	培训地点	日期

实验室责任人签名：

实验地点： 实验 11 楼 B202

注：本评估报告需由课题/实验项目所有相关人员亲笔签名确认已知晓所有实验可能涉及到的风险且了解相应的应急措施，培训人员一般为受训者导师或熟悉本课题/实验的课题组其他教师。

特此鸣谢本报告编制人员：沈晓波、付文举、沈家予