

Giant 炼油厂火灾爆炸事故给我们的启示

唐彬¹ 天津市居安企业管理咨询有限公司

何琛² 上海于睿商务咨询有限公司

关键词: 管线打开、能量隔离、上锁挂牌、泄露、火灾、爆炸事故、美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)

摘要

本文结合美国化学品安全与危害调查委员会对美国 Giant 炼油厂物料泄露导致火灾爆炸事故的分析，从管线打开、能量隔离以及上锁挂牌方面深刻分析产生爆炸事故的原因，并提出改进措施。

1. 介绍

化工生产基本要素包括人力、设备、物料等，但有时机器与设备会危害到维修或保养人员，这是因为当进行维修作业时，可能有意外的设备启动、能量导通或者设备储存的能量释放。当实施并遵守适当的管线打开、上锁、挂牌程序，成为控制潜在危害能量计划的一部分时，这些伤亡是可以避免的。据美国职业健康安全管理部门统计，有效的管线打开、上锁挂牌程序每年可以预防 120 起死亡事故。本文通过美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)对美国 Giant 炼油厂物料泄露导致火灾爆炸事故的分析，提出了管线打开时能量隔离的重要性，并阐述了上锁挂牌的关键步骤。

2. Giant 炼油厂火灾爆炸事故经过

2004 年 4 月 8 日，在新墨西哥州詹姆斯敦市，Giant 炼油厂突然发生物料泄露，导致火灾和爆炸。事故导致六名员工受伤，并造成全厂员工以及附近的旅游中心和车站的人员全部疏散。炼油烷基化单元的设备和支撑结构损坏，并造成了 1300 万美元的损失，整套装置直到第四季度才恢复。因为此事故造成的破坏严重，美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)调查了

这个事故，在此分享一些经验教训，希望防止类似事故再次发生。

2.1 炼油厂烷基化单元生产工艺

Giant 炼油厂位于新墨西哥州，盖洛普市东部 27.4km，每天处理 22000 桶原油。该炼油厂是由其在 1982 年购买。这起事故发生在炼油厂的氢氟酸（HF）催化烷基化装置。氢氟酸是一种有害、有毒、腐蚀性的化合物，在烷基化工艺中被用作催化剂。幸运的是，在这起事故中，氢氟酸没有大量泄露。

在脂肪烃与烯烃的烷基化反应中，数烷基化汽油的生产最为重要。烷基化工业装置在第二次世界大战初期由美国首先建成，所得油料辛烷值高，敏感性小，而且具有理想的挥发性和清洁的燃烧性，是汽油理想的调合组分。烷基化汽油占汽油总量的比例，美国 1995 年为 12.5%，中国 1993 年为 3.5%。在烷基化单元，烯烃和异丁烷原料混合，然后与氢氟酸在反应器中产生烷基化汽油。

2.2 事故发生过程

在事故前一天，烷基化装置操作工准备切换烷基化物再循环泵。在切换备用泵时，操作工发现它不能转动；所以需要进行维修。

第二天早上，维修班长指派了一名机械工程师和技工修复备用泵的密封。烷基化装置的操作工准备了工作许可，并向维修人员告知。其中用于隔离备用泵设备，进行维修的是一个 $\frac{1}{4}$ 圈旋塞阀。旋塞阀最适于作为切断和接通介质以及分流，但是依据适用的性质和密封面的耐冲刷性，有时也可用于节流。旋塞阀通过旋转 90 度使阀陀上的通道口与阀体上的通道口相通或分开，实现开启或关闭的一种阀门。旋塞阀的阀陀的形状为圆柱形或圆锥形。使用一个阀扳手闭合或打开。关四分之一圈即可停止物料流动。

在进行维修准备工作时，当班操作工凭借阀门扳手的位置，认为泵进口阀是开着的。他把扳手搬到了垂直于阀体的位置，认为已经关闭了阀门。但是实际上该阀门是开着的。（参见图 1）。

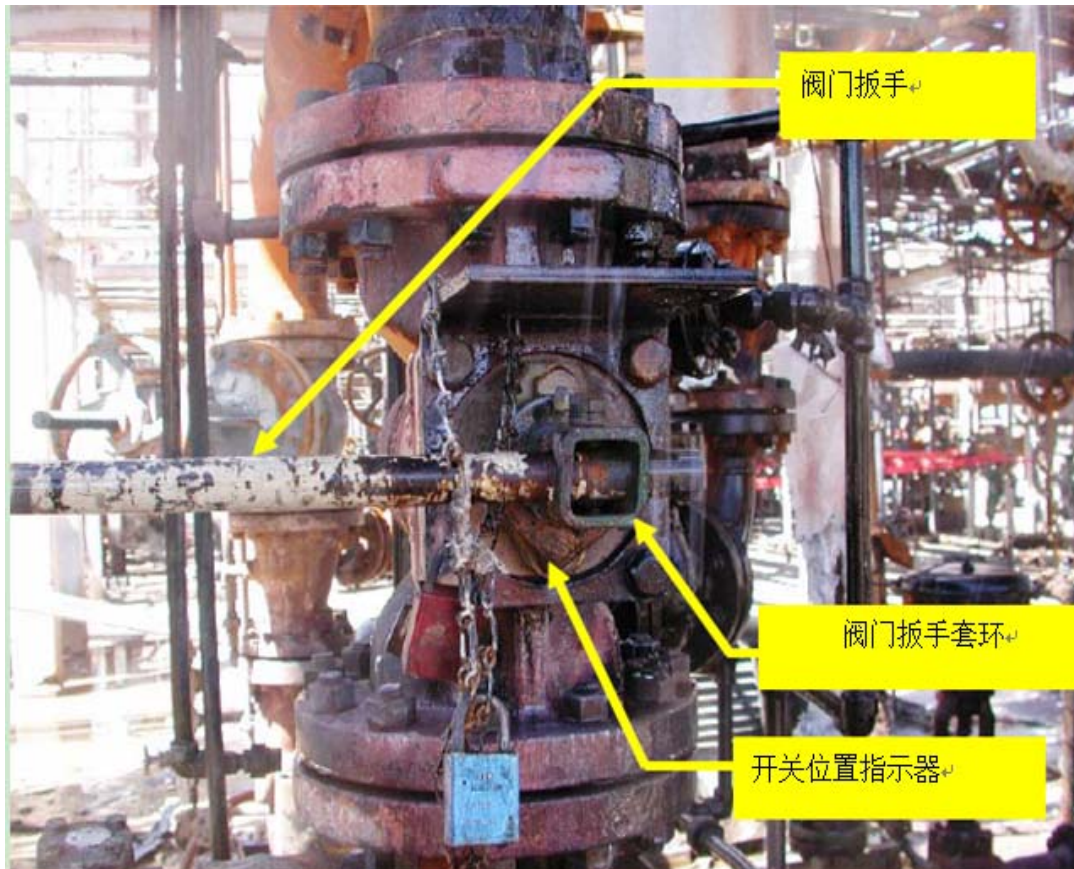


图 1：泵进口阀

操作工在进口阀和出口阀放置了标识牌和锁链，以防止不慎打开，并指示阀门已经关闭。此台泵需要拆下来送去修理，负责修理的技工去取工具。当他回来时，机械工程师告诉他，阀门已被关闭，隔离，标记、上锁，并根据该公司的隔离锁定（LOTO）程序，他们可以进行拆泵操作。然后，操作工打开泵的放空管线，以确认泵壳没有压力。

低点排放口因为没有配备阀门来隔离泵体，所以没有使用。（参见图 2）

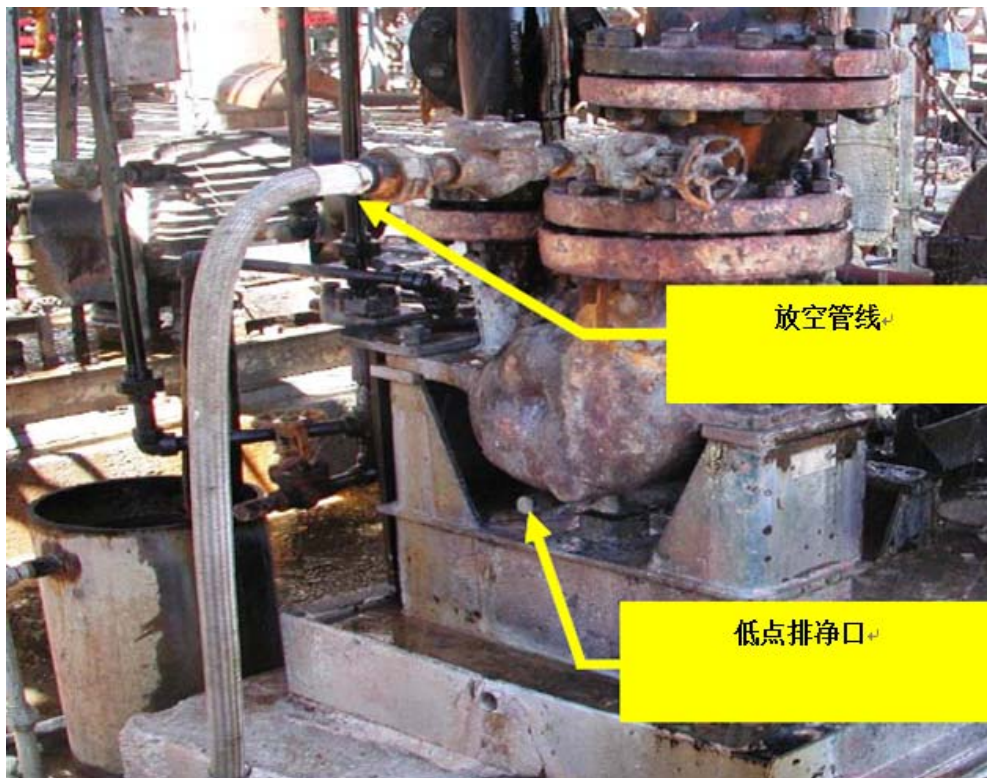


图 2：泵进口端放空管线

在将放空管线连接到火炬线后，烷基化汽油从泵壳体流经软管，几秒钟后流空。操作工和维护人员认为泵已完成泄压，并准备拆泵。而实际上，放空管线被堵塞，泵未泄压。在将泵的联轴器和泵壳法兰面的螺栓分别卸下后，由于泵壳体法兰面分离（见图 3），烷基化汽油突然泄露，压力在 1.03MPa，温度 176°C。整个炼油厂都听见了巨大的泄漏咆哮声。修理技工被吹到了旁边的泵上，造成肋骨骨折。物料吹进了机械工程师的眼睛，他来到洗眼站，清洗了他的眼睛后快速离开了泵房，操作工的的衣服上沾满了喷出的汽油，并迅速点燃，导致了操作工严重烧伤。在泄露发生大约 30 至 45 秒后，爆炸相继发生。该炼油厂的安全员在泄露发生时距离泄漏点约 100 米。他试图把打开一个火灾控制器，朝着泄漏点走去；结果被大火烧伤。其他两名工人从装置中逃离，只是受了轻伤。

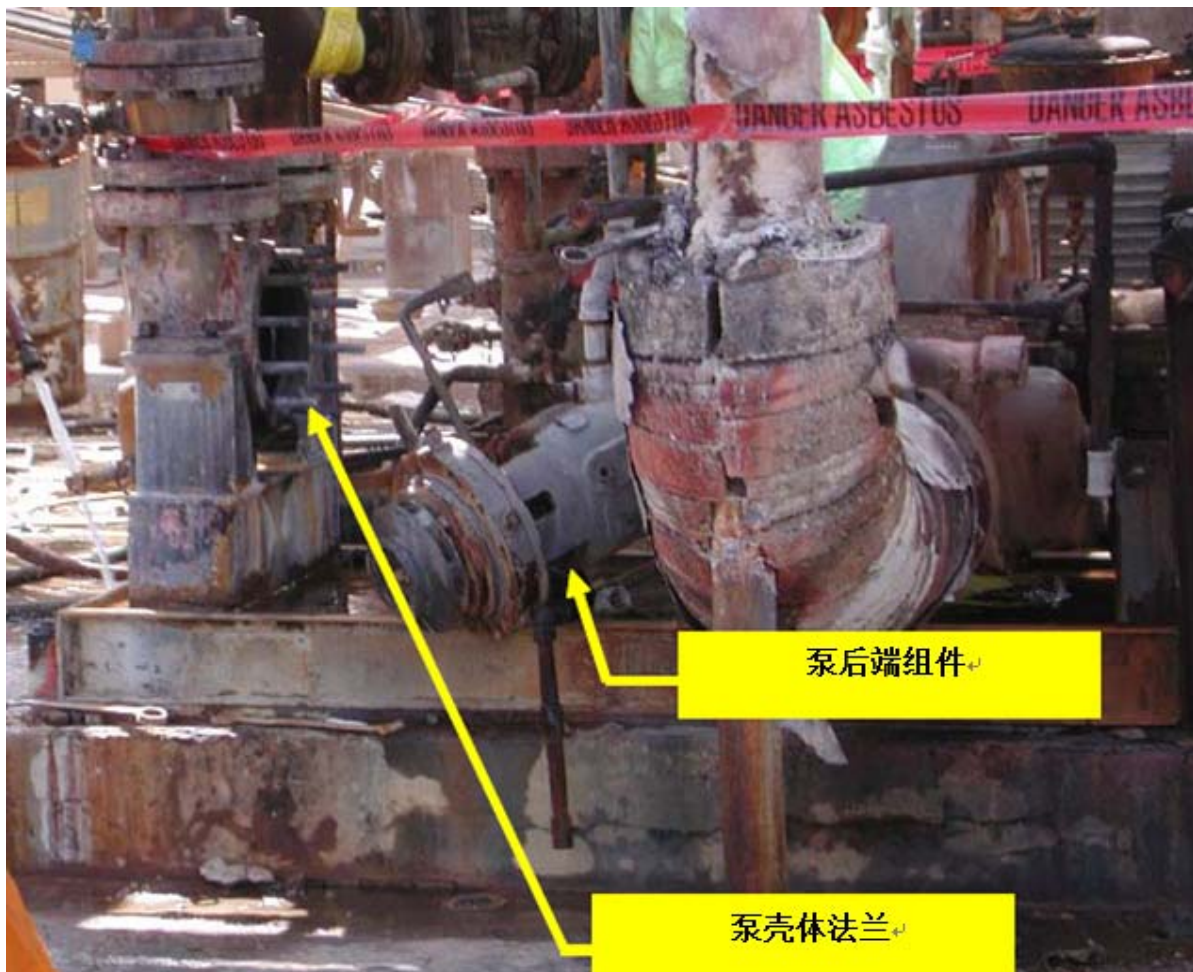


图 3：损坏的泵体

3.Giant 炼油厂火灾爆炸事故原因分析

CSB 研究了物证和现场，并采访证人，分析了以下引起爆炸的原因：

3.1 上锁、挂牌和隔离

虽然机械工程师和操作工对事故泵进行了上锁挂牌，他们错误地认为该泵已被隔离、泄压。在上锁挂牌之前，他们没有充分确认该泵已被隔离或放空。有效上锁挂牌（LOTO）程序包括特殊的要求来检测设备，以确定和确认上锁设备、挂牌设备的有效性以及其它能量控制措施。

3.2 阀门设计

CSB 通过采访操作工发现，他们有时会根据阀门扳手的位置来确定阀门是否打开或关闭。如果扳手是垂直于该阀门方向，它被认为是关闭的。如果扳手平行于阀门方向，它被认为是开启的。从技术上讲，该扳手的目的是为了表示阀门的位置，因为在阀门阀杆装有位置指示器，用于指示阀门开关（见图 4）。然而，一些工厂员工经常根据扳手的位置来确定阀门开关，部分原因是扳手比阀杆位置指示器更加明显。

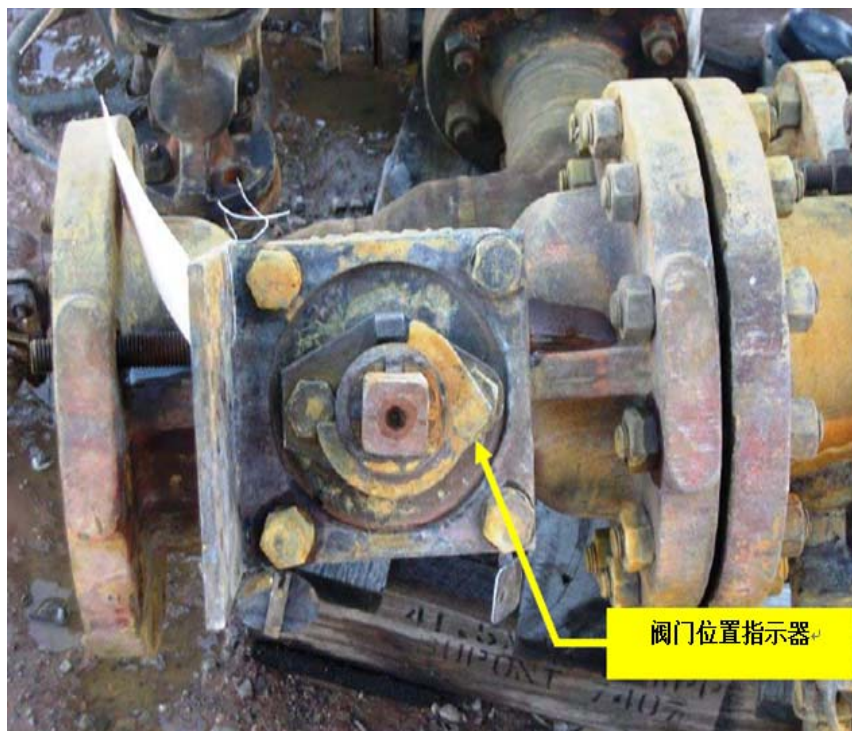


图 4：阀门位置指示器

4. Giant 炼油厂火灾爆炸事故给我们的启示

这起火灾爆炸事故有很多原因，但是最直接的原因就是在打开管线执行上锁挂牌程序时，没有有效确认设备已经被隔离，泄压和排空。尽管该公司员工相信泵在被锁定之前已经隔离，但缺乏程序来确认该泵已被隔离，泄压和排空。

根据上述的事故描述，Giant 炼油厂在事故发生前也做了相应的能量隔离以及上锁挂牌，但是泵的放空管线被堵塞，导致泄压没有进行，所以单纯从挂牌上锁的管理角度出发，未必能避免 Giant 炼油厂爆炸事故的发生，因为按照上锁挂牌的管理程序进行操作，对放空阀门的堵塞情况无法及时发现。

目前欧美大的化工公司在企业内执行管线打开管理工作，在国内如中石油等单位进行了借鉴，旨在避免类似于 Giant 炼油厂爆炸事故悲剧的发生。

4.1 什么是管线打开？

所谓管线打开，是指对于高危险物料，在首次打开管线时，给予的程序控制。在管线打开，清理，隔离后，才使用一般的 PTW, 或特殊 PTW 进行维修过程中的危险控制。

管线打开是指采取下列方式（包括但不限于）改变封闭管线或设备及其附件的完整性：

- 拆开法兰；
- 从法兰上去掉一个或多个螺栓；
- 打开阀盖或拆除阀门；
- 调换 8 字盲板；
- 打开管线连接件；
- 去掉盲板、盲法兰、堵头和管帽；
- 断开仪表、润滑、控制系统管线，如引压管、润滑油管等；
- 断开加料和卸料临时管线（包括任何连接方式的软管）；
- 用机械方法或其他方法穿透管线；
- 开启检查孔；
- 微小调整（如更换阀门填料）；
- 其他。

管线打开实行作业许可，应办理管线打开作业许可证。

4.2 管线打开作业前准备

4.2.1 风险评估

申请管线打开作业前，作业单位应针对管线打开进行风险评估，根据风险评估的结果制定相应控制措施。若管线打开作业涉及到受限空间作业、高空作业等特殊作业，则还要同时执行特殊作业的管理程序。

4.2.2 安全工作方案

管线打开作业应制定和实施安全工作方案，确保 HSE 有关的全部风险能够消除或得到控制。安全工作方案应在管线打开开始前，由熟悉系统风险的人员制定并由参与管线打开工作的人员评审。安全工作方案应包括下列主要内容：

- ◆ 清理计划，应具体描述关闭的阀门、排空点和上锁点等，必要时应提供示意图；
- ◆ 安全措施，包括管线打开过程中的保障措施（如冷却、充氮）和个人防护装备的要求；
- ◆ 必要时，预备（应急、救援、监护等）人员的要求和职责；
- ◆ 必要时，制定应急预案；
- ◆ 描述管线打开影响的区域，并控制人员进入。

4.3 清理

需要打开的管线或设备必须与系统隔离，其中的物料应采用排尽、冲洗、置换、吹扫等方法除尽。清理合格应符合以下要求：

- ◆ 系统温度介于-10℃ ~ 60℃之间；
- ◆ 已达到大气压力；
- ◆ 与气体、蒸汽、雾沫、粉尘的毒性、腐蚀性、易燃性有关的风险已降低到可接受的水平。

管线打开前并不能完全确认已无危险，在管线首次打开之后，仍然可能发生事故，因此在管线打开之前应做以下准备：

—— 确认管线（设备）清理合格。采用凝固（固化）工艺介质的方法进行隔离时应充分考虑介质可能重新流动；

—— 如果不能确保管线（设备）清理合格，如残存压力或介质在死角截留、未隔离所有压力或介质的来源、未在低点排尽和高点排空等，应停止工作，重新制定工作计划，明确控制措施，消除或控制风险。

4.4 能量隔离

4.4.1 能量隔离定义

能量隔离目的就是为了防止能量意外释放造成的人员伤害或财产损失；能量来源主要指电能、机械能（移动设备、转动设备）、热能（机械或设备、化学反应）、势能（压力、弹簧力、重力）、化学能（毒性、腐蚀性、可燃性）、辐射能等。能量隔离管理就是要将阀门、电气开关、蓄能配件等设定在合适的位置或借助特定的设施使设备不能运转或能量不能释放。

4.4.2 危险能量识别

- 电气危险：在可以通电的导线或元件可能引起人员伤害或财产损失时存在。
- 机械危险：在系统、设备、或机器出乎意料的开动，或在系统、设备、或机器进行调节、维护或服务时贮存能量释放会引起人员伤害和财产损失。
- 工艺危险：在气体、液体、或固体出乎意料的释放可能引起人员伤害和财产损失。
- 在进行危险能量识别后，应编制“能量隔离清单”。

4.4.3 上锁、挂牌

根据能量隔离清单，对已完成隔离的隔离点选择合适的锁具，填写“危险！禁止操作”标识牌，对所有隔离点上锁、挂牌。

上锁分以下两种方式：

（一）单个隔离点的上锁。属地单位监护人和作业单位每个作业人员用个人锁锁住隔离点。

（二）多个隔离点的上锁按下列顺序实施。

1. 用集体锁将所有隔离点上锁、挂牌。涉及电气隔离时，属地单位应向电气人员提供所需数量的同组集体锁，由电气专业人员实施上锁、挂牌；
2. 将集体锁的钥匙放入锁箱，钥匙号码应与现场安全锁对应；
3. 属地单位监护人和作业单位每个作业人员用个人锁锁住锁箱；
4. 作业单位现场负责人应确保每个作业人员要在集体锁箱上上锁；
5. 属地单位批准人必须亲自到现场检查确认上锁点，才可签发相关作业许可证。

上锁挂牌程序包括切断和移除设备所有能量，然后上锁，并标识，该能量在它被修理、执行

设定、保养或排除故障期间不会恢复。上锁用来确保能量隔离装置处于安全的状态，可供上锁的设备一定要上锁。挂牌注明是谁来负责机器或设备处于隔离状态，并警告防止能量再次进入。挂牌同上锁应一并使用。

4.4.4 能量隔离确认与测试

为避免设备设施或系统区域内蓄积危险能量或物料的意外释放，对所有危险能量和物料的隔离设施均应进行能量隔离、上锁挂牌并测试隔离效果。

4.4.4.1 确认

上锁、挂牌后属地单位与作业单位应共同确认能量已隔离或去除。当有一方对上锁、隔离的充分性、完整性有任何疑问时，均可要求对所有的隔离再做一次检查。确认可采用但不限于以下方式：

- 在释放或隔离能量前，应先观察压力表或液面计等仪表处于完好工作状态；通过观察压力表、视镜、液面计、低点导淋、高点放空等多种方式，综合确认贮存的能量已被彻底去除或已有效地隔离。在确认过程中，应避免产生其他的危害；
- 目视确认连接件已断开、设备已停止转动；
- 对存在电气危险的工作任务，应有明显的断开点，并经测试无电压存在；
- 通过放射源检测仪检查辐射强度。

4.4.4.2 测试

- 有条件进行测试时，属地单位应在作业人员在场时对设备进行测试（如按下启动按钮或开关，确认设备不再运转）。测试时，应排除联锁装置或其他会妨碍验证有效性的因素；
- 如果确认隔离无效，应由属地单位采取相应措施确保作业安全；
- 在工作进行中临时启动设备的操作（如试运行、试验、试送电等），恢复作业前，属地单位测试人需要再次对能量隔离进行确认、测试，重新填写能量隔离清单，双方确认签字；
- 工作进行中，若作业单位人员提出再测试确认要求时，须经属地单位项目负责人确认、批准后实施再测试。

4.5 打开管线

明确管线打开的具体位置，必要时在受管线打开影响的区域设置路障或警戒线，控制无关人员进入，管线打开过程中发现现场工作条件与工作计划不一致的时候(如导淋阀堵塞或管线清理不合格)，应停止作业，进行再评估，并制定一个新的工作计划，重新办理相关作业许可证。

4.6 工作交接

管线打开工作交接的双方共同确认工作内容和工作计划，至少包括以下内容：

- ◆ 有关安全、健康和环境方面的影响；
- ◆ 隔离位置、清理和确认清理合格的方法；
- ◆ 管线（设备）状况；
- ◆ 管线（设备）中残留的物料及危害等。

生产单位、维护单位或承包商的相关人员在工作交接时应进行充分沟通，当管线打开工作需要超过一个班时间才能完成时，应在交接班记录中予以明确，确保班组间的充分沟通。

4.7 个人防护设备

管线打开作业时应选择和使用合适的个人防护装备，专业人员和使用人员应参与个人防护装备的选择。个人防护装备在使用前，应由使用人员进行现场检查或测试，合格后方可使用。

个人防护装备应按防护要求建立清单，清单包括使用何种、何时使用、何时脱下个人防护装备等内容。清单应经过批准，并确保现场人员能够及时获取个人防护装备。

对含有剧毒物料等可能立刻对生命和健康产生危害的管线（设备）进行打开作业时，应遵守以下要求：

- 所有进入到受管线打开影响区域内的人员，包括预备人员应同样穿戴所要求的个人防护装备；
- 对于受管线打开影响区域外（位于路障或警戒线之外但能够看见工作区域）的人员，可不穿戴个人防护装备，但必须确保能及时获取个人防护装备。

5. 结论

在装置内进行管线打开作业时应严格执行相应的管理规定，充分识别管线打开作业的风险，根据风险的情况采取切实可行的措施，并认真执行能量隔离的上锁挂牌的管理规定，并采取措施对隔离锁定的实际情况进行核实，在作业过程中要确保所实施的隔离没有被意外干扰或拆除。

6. 参考文件

- [1] CSB INVESTIGATION REPORT,GiantCaseStudyNO. 2004-08-I-NMOctober 2005
- [2] American Petroleum Institute1999. The Use of HydrofluoricAcid in the Petroleum RefiningAlkylation Process, RefiningDepartment Background Paper,April 1999
- [3] Center for Chemical ProcessSafety, Guidelines for SafeProcess Operations andMaintenance, 1995OSHA, Control of HazardousEnergy Lockout/Tagout,OSHA , 3120, 2002
- [4] 别朝晖能量隔离程序在化工企业中的应用《江苏安全生产》2012年第6期，38-42页
- [5]姚耀富防止误操作有了“定心丸” [J]《化工安全与环境》2012年第30期
- [6]刘怀增，熊亮，欧阳慧进“安全可视化系统”在油气田管理中的应用[J]化学工程与装备 2010年4期
- [7] 彭展“上锁挂牌”加强直接作业环节安全管理[J]化工安全与环境, 2010年第41期
- [8] 杜邦“line_break_manual”。