

如何在化工企业执行有效的能量隔离

高永宜¹ 陆津燕²

诺力昂化学品（上海）有限公司 利乐包装设备（上海）有限公司

摘要：化工企业在日常的检维修过程中，由于对危险能源的控制不到位而引发了很多安全事故。当前国内外的法规对能量隔离的管控在法律的层面上提出了特别的要求，通过对锁定挂牌测试 LOTOTO 流程的详细梳理，着重强调有效的能量隔离计划 EIP 对企业的安全运行有着关键的作用。

关键词：危险能源；锁定挂牌测试 LOTOTO；能量隔离计划 EIP

1 引言

化工和制造业的日常运营中，设备与机械的维护、检修和清洁工作不可或缺。然而，这些活动常常伴随着各种危险能源，如电能、机械能（移动或旋转设备）、热能（机械设备、管道、化学反应）、势能与动能（压力、弹簧力、重力）、化学能（毒性、腐蚀性、可燃性）、辐射能，以及可能潜在或存储的其他能量形式^[1]。这些能源是化工生产不可或缺的组成部分，但同时也带来了潜在的安全风险。据统计，化工行业每年因能源失控导致的事故占比超过 15%。这些事故不仅威胁到员工的生命安全，还可能导致环境污染和巨大的经济损失。为了应对这些风险，有效的能量隔离计划（EIP）如锁定挂牌测试（Lockout/Tagout/Tryout，简称 LOTOTO）程序应运而生，它是一种系统化的方法，用于确保在设备维护期间，所有潜在的能量源都被安全地隔离和控制。

2 国际国内的法规依据

国际上，LOTOTO（锁定/挂牌/测试）程序通常遵循美国职业安全健康管理局（OSHA）的标准。OSHA 的 1910.147 条款详细规定了锁定挂牌的程序、培训要求、设备标识和能源隔离的具体步骤。主要时间点包括：1989 年

颁布的在工业环境中危险能量的核心控制标准，1993 年颁布并适用于建筑行业、船舶修理行业及进入受限空间的控制危险能量，1995 年也颁布了针对电力行业的员工在进行电气设备维护时的能量控制措施。

国内 1999 年颁布的《生产设备安全卫生设计总则》（GB5083）中要求对于机械设备的可动零部件，包括人员易触及的可动零部件，应尽可能封闭或隔离。《企业安全生产标准化基本规范》（AQ/T 8004—2013）明确要求企业需要建立能量隔离和锁定挂牌的程序。在 GBT 33579—2017 版的《机械安全 危险能量控制方法 上锁 挂牌》中要求制造商在设计、制造、安装机器的过程中应考虑危险能量的控制，以使用户在机器全生命周期内从事有关活动时，能有效控制危险能量。对于石油和化工行业，《石油化工企业设计防火规范》（GB 50160—2008）的第 6.3.3 条中明确要求在设备和管道的检修、维护、清洗、拆除等作业中，应当采取可靠的隔离措施，防止能量意外释放。新更新的国标《危险化学品企业特殊作业安全规范》（GB30871—2022）中也明确要求在特殊作业时要对所有潜在的、可能因失控造成人身伤害、环境损害、设备损坏及财产损失的能源进行有效的控制、隔离

和保护，包括机械隔离、工艺隔离、电气隔离及放射源隔离等。

3 近几年国内企业发生的 3 起典型事故案例

1) 2023 年 2 月，上海某工厂发生一起机械伤害事故，导致一名 31 岁的工人身亡。官方调查报告显示，事故的直接原因是两名工人交接班时未能严格执行相关安全锁定措施。

2) 2021 年 5 月，上海某公司发生了一起严重的爆燃事故。事故发生在烯烃部 2 号乙烯装置的停车检修期间。相关人员未能正确关闭阀门，导致轻石脑油泄漏并引发爆燃，造成人员伤亡和经济损失。

3) 2020 年 11 月，广西某公司在实施二期工程项目时发生着火事故，造成 7 人死亡、2 人重伤。事故直接原因是隔离阀门操作失误，导致 LNG 泄漏并引发火灾。具体如图 1 所示，TK-02 储罐隔离阀门 0301-VX-2001 阀门采用仪表逻辑隔离方式，仪表工程师赖某在仪表连锁作业时，因操作失误将 0301 - XV - 2001 阀门开启，低压外输汇管中的 LNG 从切割开的管口中喷出，LNG 雾化气团与空气的混合气体遇可能的点火能量产生燃烧，导致事故发生。

从这 3 起事故报告来看，如果能量

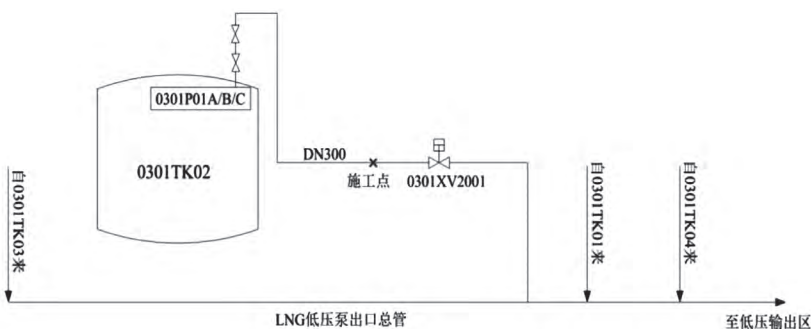


图 1 0301TK-02 事故发生的工艺流程图

源没有被有效识别和有效隔离，当这些能量意外释放时，必然会导致一些悲惨事故的发生。

4 为何会出现前述的事故

在企业日常运营中，尤其是在化工行业，能量隔离（Energy Isolation）是至关重要的安全措施，其目的是防止意外能量释放，如气体泄漏、液体溢出或机械运动，这些都可能导致人员伤亡或环境污染。然而，实际操作中能量隔离的有效执行常常遭遇挑战，如前文所述的事故案例所示。在分析这些案例时，发现以下几个主要原因导致了能量隔离在我们国内的工厂未能得到有效执行。

1) 缺乏全面的能量隔离程序：很多化工厂可能没有制定或更新详尽的能量隔离程序，或者这些程序没有被正确地传达给所有相关人员。这可能是由于管理层的忽视、资源的不足或者对程序重要性认识不足。没有明确的指导方针和操作步骤，员工可能不知道如何正确执行能量隔离，从而导致安全隐患。

2) 员工培训不足：即使存在能量隔离程序，员工可能由于缺乏适当的培训而无法正确执行。这包括对能量隔离重要性的认识、具体操作技能的掌握以及应对突发情况的能力。培训不足可能导致员工在实际操作中犯错误。或者在紧急情况下无法迅速有效地采取措施，员工可能不知道如何正确地执行能量隔离测试 LOTOTO，或者为了快速响应紧急情况而忽略了 LOTOTO 程序。

3) 设备和工具的维护问题：能量隔

离的执行依赖于各种设备和工具的正常运作，如阀门、锁具和标签系统。如果这些设备和工具没有得到适当的维护和检查，可能会在关键时刻失效，导致能量隔离措施无法实施或者执行不彻底。

4) 沟通不畅：在能量隔离的 LOTOTO 执行过程中，沟通不畅可能导致关键信息的丢失，比如未正确通知所有相关人员能量隔离的状态。

5) 监管和执行不力：在某些情况下，监管机构可能未能有效监督和执行能量隔离相关的安全规定。缺乏定期的检查和严格的执法可能导致企业在能量隔离措施上存在漏洞。此外，如果监管标准不明确或者更新不及时，企业可能无法遵循最佳实践来执行能量隔离。

5 可行的解决措施

在有效隔离和控制危险能量方面，上锁挂签测试 LOTOTO 已被行业验证并广泛认可为一种高效的安全管理工具。该方法在检维修作业过程中，确保工艺能量隔离（包括切断物料、排空、清洗及置换）合格后，使用安全锁具将阀件、电气开关、蓄能配件等固定在安全位置，防止其意外运转，并挂上标牌，以确保能量隔离不被破坏。LOTOTO 的核心理念是强化每个作业人员的自我保护意识，不仅仅依赖于监护人员，而是让每个员工都能够“自我防护”，真正将安全掌握在自己手中，体现“我要安全”的主动安全意识。有效实施 LOTOTO 能够确保现场作业中各种危险能量得到有效控制，防止意外能量释

放导致的人员伤害、设备损害和环境破坏，从而提前预防事故的发生，提升操作及检维修作业的安全管理水平，确保作业人员的安全。

笔者将结合国际化工公司在能源隔离方面的一些好的做法，来阐述如何采用有效的能量隔离来避免检维修过程中意外能量的释放而造成安全事故发生。

完善能量隔离的流程和现场程序，包括梳理并建立工厂能量隔离的流程，如图 2 所示主要涵盖 9 个主要的流程步骤：识别危险的能量源，通知现场相关的受影响人员，关闭需要检维修的设备和阀门，切断和隔离需要维修的装置，所有现场的维修参与人员对相关的设备和阀门进行上锁并挂牌，释放设备或管道内可能存储的能量，操作人员通过点动设备按钮或打开导淋阀门等来测试验证能量隔离的有效性，开始进行现场设备或装置的维护以及作业完成后通知相关人员并拆除上锁和挂牌^[2]。

能量隔离的核心实际上是“五步法”：识别能量源、设备识别/隔离能量源、锁定/挂牌、验证隔离以及解除锁定/挂牌。正常在开始任何维护活动之前特别是在大修前，装置的生产负责人会组织相关的工艺人员，安全人员进行隔离计划或方案的准备和讨论，能量隔离计划或方案是整个隔离过程的核心。应详细列出所有必要的隔离点、所需的隔离设备（如隔离锁、盲板等），以及执行隔离的顺序。EIP 的制定需要跨部门合作，确保所有相关人员都对计划有清晰的理解。方案经过确认和批准后，工作小组会将工作范围内所有可能的能量源都必须被识别并隔离，然后通过锁定或挂牌来确保在维护期间不会被意外启动。维护或大修完成后，必须经过严格的验证步骤，确保所有隔离措施都已解除，设备处于安全状态，然后才能恢复正常操作。针对现场的不同设备和装置，我们需要制定或更新详尽的能量隔离标准操作程序（SOPs），确保涵



图2 能量隔离的管理流程

盖所有可能的能量源。通常情况需将能量隔离分为单锁隔离和多点多锁隔离。

1) 单锁隔离: 常规的单点管控流程可参考图3, 这个流程一般仅用于生产/设备/行政办公场所进行的可由一名工作人员完成、隔离点在工作人员视线范围内、具有相应作业指导书的定期设备维修保养工作。生产或设备维修人员使用个人锁进行上锁挂牌 (具体的挂牌见图4), 并填写 LOTOTO 清单, 工作完成后取下个人锁并进行设备/系统的恢复, 并将填写完整的挂牌和 LOTOTO 清单交给主管进行检查和复核。

2) 在化工生产现场的检维修过程中: 常见的也是执行时相对比较困难的是多点多锁的能量隔离, 主要包括以下关键管控流程。

第一步是准备: 工作计划人员制定工作总体方案, 需涵盖装置特定部分要进行的所有工作和活动的范围, 工作计划人员与生产装置负责人一起讨论和明确 LOTOTO 的范围。生产装置负责人准备一个隔离计划, 包括隔离图以及 LOTOTO 方案, 只有经过批准的 LOTOTO 程序中提到的隔离方法才可以使用。LOTOTO 方案中涉及到的隔离图必须是更新后的 P&ID 图, 同时生产负责人对清洗方法及能量释放验证的方法, 也需要加入到 LOTOTO 方案中, 以用来证明没有能量存在。用于物理隔离的盲板/盲法兰应根据使用的意图必须与 P&ID 图以及设备可靠性工程师达成一致。盲板/盲法兰的材料和压力等级必须记录在盲板/盲法兰上, 同时盲板/盲法兰在现场应易于被识别。



图3 单点隔离示意图



图4 常规挂牌的图样

第二步是 LOTOTO 的执行: 生产装置负责人按照装置清洗方案进行设备的清理, 同时遵循隔离方案和 LOTOTO 方案, 来锁定/标记所有隔离点。现场的维修作业人员依据 LOTOTO 方案进行能量释放的验证。针对特定的工作管线首次开拆或带电/高压, 作业人员需要按照特定的作业许可证才能工作, 而且这些作业通常由有资质和能力的专业人员来执行。

关于清洗后的设备设施的隔离, 我们的现场严格执行 24 h 原则, 即管线开拆作业必须在管线清空的 24 h 内执行。如果超出这个时间段, 那么在作业

开始之前, 管线必须重新清空或重新确认。唯一的例外是装置在完全清空状态 (如: 装置大修期间, 整个装置和现场管线都已经完全排空)。

第三步是作业执行 (作业许可证): 在 LOTOTO 完成后, 作业许可证的接受者 (即维修人员) 负责验证隔离点并确认所有检查的能量已经释放后。作业许可证的签发人和作业接受人在完成最后的现场交底下, 双方在作业许可证上签字。生产装置负责人员将主锁锁在锁盒上, 作业接受人员 (维修人员) 将自己个人锁锁在锁盒上, 每一份工作许可都要引用该作业许可证相关的 LOTOTO 方案。所有受 LOTOTO 方案保护的作业接受者必须都将他们的个人锁锁在锁盒上。如果作业接受人 (维修人员) 必须离开工作现场超过 30min, 则作业接受人 (维修人员) 的个人锁要由其所所在部门的组锁进行替换。

第四步是解除 LOTOTO: 工作计划员检查和确认所有计划的作业都完成后, 作业许可证签发人 (生产装置负责人) 批准后开始解除隔离, 当所有的隔离点都已经复位到“正常”位置时, 就可以关闭该 LOTOTO 方案。

最后一个步骤是系统恢复使用: 当所有的 LOTOTO 标签和锁被解除后, 装置可根据试车和开车程序 (包括 PSSR) 来恢复使用。通常来说, 恢复使用不作为 LOTOTO 的流程部分来管控。

补充说明一下, 解锁过程中关注点: 当维修过程因测试等目的可能需要临时解锁待测试后恢复, 则须在 LOTOTO 清单上进行记录, 包括临时解除位号、时间、解除人员签名、确认人员签名、恢复时间、恢复人员、恢复确认人员签名等。例外的紧急解除程序, 即若未能联系到锁的主人或找不到钥匙等情况时因生产需要及时解锁, 须征得持锁人主管同意且确保工艺系统设备安全的前提下进行强制解锁, 并进行详细记录于 LOTOTO 清单上。如果所有者

忘记移除他的锁，那么签发人应该首先尝试与锁的所有者联系并在施工现场寻找。半小时后如果没有找到所有人，必须先经过生产装置授权人的签字后，才可以将这把锁剪掉。

另外对带执行机构阀门的隔离方法：如果需要隔离带执行机构的阀门，需采取相应措施以确保执行机构不可能被意外起动。当故障关的阀门被当作隔离装置时，必须确保阀门处于关闭状态，同时阀门的动力源（如压力空气，电）是被移除了，如果动力源是空气，供气必须被上锁、标定、断开。当故障保持的阀门被当作隔离装置时，也需要考虑充足的措施来关闭阀门且去除动力来源，如果动力源是空气，空气开关必须被上锁、标定。故障保持阀门在使用前必须测试。故障开的阀门不能作为隔离装置。如果带执行机构阀门被用来作为隔离设备，必须有措施来确保阀门不会被意外打开。除此之外，要现场确认该阀门处于关闭状态，如不能确认，执行机构需要被移除。笔者经历过的公司基本要求隔离点应至少需要一个隔离阀和排凝阀，该排凝阀用于验证零能量。当断开或打开涉及危险能量或存在潜在危险能量的管线或设备时，应进行二次隔离，即在一次隔离设施锁定后提供补充保护的隔离措施。具体方案可参考表 1 的良好实践。

如果用物理性断开加盲法兰作为二次隔离，那么在开始工作前须考虑潜在的物料泄漏的风险以及预防措施（包括全面的 PPE），并将其记录在作业许可证的作业前计划上。二次隔离完成后工作组代表和装置区人员必须现场确认所有的盲法兰 / 盲板与能量隔离的要求一致^[3]。盲法兰 / 盲板的隔离现场确认完后，装置区代表和工作组代表在能量隔离计划上签字及确认日期。所有作业人员都应将其个人锁和标牌锁在锁箱上。

止回阀、泄放阀、调节阀和蝶阀一般不可以作为隔离阀。如果控制阀是 SIS 阀，经仪表工程师评估确认能够防止能量的传输或释放，则允许作为隔离阀。用于公用工程系统包括饮用水、脱盐水、工业水、精馏水、消防水、冷冻水和冷却水隔离的阀门，允许使用蝶阀。管线或设备上禁止采用非常规隔离方法，如堵塞、冰冻和卷曲。另外对于电气隔离的范围一般包括：马达电路、母线、蓄电池回路、反馈线和控制回路等，可接受的电能隔离设施应限于：手动操作断路器；断开连接开关；手动操作开关（刀闸）；断开电流回路。禁止使用其他类型的电气隔离设施，包括按钮、急停按钮、选择开关和控制面板。

3) 在培训与资质方面：为了确保 EIP 的有效执行，所有参与人员必须接受适当的培训，并通过资质认证。这不

仅包括操作人员，还包括监督人员和管理人员。培训内容应涵盖能量隔离的重要性、EIP 的具体内容、以及如何在紧急情况下采取行动。

4. 最后对工作期间的变更管理一定要严格控制：在作业过程中，可能会遇到需要变更 EIP 的情况。任何变更都应经过严格的审批流程，并及时更新 EIP。变更管理的严格性对于防止意外发生至关重要。

6 总结

LOTOTO 锁定挂牌测试管理是化工和制造业中至关重要的安全措施。遵循国际和国内法规，并借鉴国内外大企业的成功案例，企业能有效保护员工免受意外伤害，确保生产过程的安全与稳定。进行全面风险评估，确保识别所有潜在风险。严格执行培训和资质要求，提升员工的安全意识和操作技能。提前参与并详细制定能量隔离计划（EIP），确保计划的可执行性和全面性。现场执行监督与检查，确保每一步都得到正确执行。严格变更管理，防止未经授权的变更。加强沟通与协作，确保所有部门和人员之间的信息流畅。持续改进，根据实际情况不断优化 EIP。

我们坚信，通过这些步骤和关键环节的严格执行，化工企业能够有效控制危险能源，降低事故发生风险，保护员工和环境的安全。这不仅符合行业标准，也是企业社会责任的体现。

表 1 一次和二次隔离方法列表

工作类型	一次	二次
非危险能量作业	阀门关闭	排凝阀注意 1: 在压力大于 690 kPa/100 psi (6.9 bar) 的饮用水、脱盐水、工业水、精馏水、消防水、冷冻水以及冷却水管线上隔离，至少需要一个隔离阀和排凝阀。 注意 2：在工厂风系统，仪表气断开 Tubing 管作为排凝点。
危险能量作业	阀门、关闭	1) 物理性断开加盲法兰，物理性断开之前，需要一个隔离阀和排凝阀。 2) 盲板与隔离阀之间需要一个排凝阀。 3) 双隔离阀和排凝阀。 注意：在饮用水、脱盐水、工业水、精馏水、消防水、冷冻水、冷却水以及工厂风系统，需要满足非危险能量隔离要求。
动火作业	阀门关闭	1) 物理性断开加盲法兰，物理性断开之前，需要一个隔离阀和排凝阀。 2) 盲板与隔离阀之间需要一个排凝阀。 3) 双隔离阀和排凝阀。 注意：公用工程系统包括饮用水、脱盐水、工业水、精馏水、消防水、冷冻水、冷却水、工厂风系统以及蒸汽系统。
受限空间作业	阀门关闭	1) 物理性断开加盲法兰，物理性断开之前，需要一个隔离阀和排凝阀。 2) 盲板与隔离阀之间需要一个排凝阀

参考文献

[1] 吉立明. 化工生产安全中的危险能量辨识与隔离方法应用研究 [J]. 化工管理, 2021, 20 (01) : 119-121.

[2] 中国化学品安全协会. 化工企业能量隔离实施指南: T/CCSAS 013—2022[s].2022.

[3] 国家应急管理部. 危险化学品企业特殊作业安全规范: GB30871—2022[s].2022.