

学校实验室安全管理探析

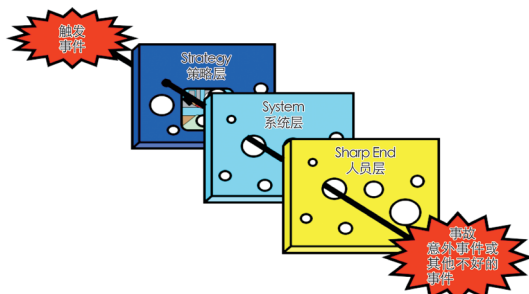
文_张静 张燕 / 陶氏化学(中国)投资有限公司

谈到学校教学安全,教学实验室安全是一个不可回避的引人关注的话题。由于其独特的功能,实验室往往客观存在诸多不安定因素,比如人员密集,空间拥挤,实验变化频繁,使用和存放的物品种类繁多,在实验中会经常使用到各种易燃、易爆、有毒、腐蚀性化学品、玻璃仪器及各种电器设备等。如此环境复杂、隐患遍布的实验室,如果在设计布局上稍有疏忽,发生事故的几率就会大大增加。这些都加大了实验室安全管理工作的难度。因为未严格按照规范操作或马虎大意引发火灾事故,因为化学品管理不善导致爆炸等惨痛教训和严酷事实屡见不鲜,也愈发突显出校园实验室安全管理和教育的重要和紧迫。

本文将首先从安全保护模型入手,讨论学校安全保护模型的建立;然后借鉴工业界实验室经验,提出实验室设施配备的安全方案和实验室操作的安全规则。

◎ 建立“瑞士乳酪模型”的实验室安全保障系统

“瑞士乳酪模型(Swiss Cheese Model)”,由行为心理学家 James Reason 提出。该模型最初应用于航天、核工业等高风险行业,随后逐步被工业界所采用。该模型提出任何事故发生,必定有与其关联的触发事件。触发事件随时随刻发生,但并没有必然地导致事故。究其原因,是因为有许多有意无意的保护措施在位。理论上,我们可以把这些保护措施归为3层保护屏障,即 Sharp End——来自个体自身保护;System Barrie——来自系统的监督和



瑞士乳酪模型 (Swiss Cheese Model)

管理;Strategy Barrier——来自组织高层的战略上的管控和领导。为保证整体安全水平,就应着眼于在事故之前建立一道道坚固的保护层。如果这些保护层上存在着漏洞,不安全因素就会像个不间断的光源,透过所有这些保护层的漏洞,最终导致事故的发生。下面将针对学校如何建立起3层保护屏障——讨论。

☛ 第一层保护屏障,Sharp End——来自个体自身保护

它依赖于个体的知识、经验、技能,也与个体的健康、习性、个性、精神状况、心理能力、反应敏锐度、听看闻感官能力相关。事故根本原因和分析的统计数据显示,绝大多数个人伤害事故的发生,都可以找到在个体自身保护上的漏洞。这里的个体,在工厂,是指一线从事生产的员工;在学校,可以对应于在实验室做实验的学生。学校有责任教育学生,帮助学生树立对自身安全负责的理念,充分认识到自己本身就是一道保护屏障。在进入实验室之前,学生应接受操作技能教育和安全知识教育,学习分析实验现象、控制实验全过程的能力,并在操作中不断强化良好、安全的操作习惯。



这些观念和知识可以包括：

- 在不了解实验风险、安全知识欠缺的情况下，绝不可盲目开展实验。

- 充分了解实验试剂、原材料的危害性，以及设备的风险。

- 实验时，保持良好的精神状态专注实验。这不仅能高效地完成实验，更能在很大程度上减少因压力过大、分心、马虎大意、慌乱而造成事故。

- 合理安排实验，不一次同时做几件事情，避免忙中出错。

- 严格遵守学校制订的实验室安全规章制度，不抱存侥幸心理，违反操作规程也会引发安全事故。

☞ 第二层保护屏障，System Barrier——来自系统的监督和管理

这个保护层的建立，可以依赖于对风险的识别以建立有效的程序和规范、合适的监督和有效的培训。教师应在提高自身安全意识的前提下，在实验室确定切实的操作要求和实验室操作规范，提供有效的培训。这些工作可以包括：

- 教师进行实验设计时应评估实验的各项安全性、融合安全要素的考虑，比如采取尽

可能本质安全的实验方案，准备必要的状态良好的实验工具、安全用具。

- 备课一定要备安全，如实验要点、注意事项、学生可能发生哪些失误的操作、万一发生问题怎样处理等问题，若没有备足“安全”二字，就不算备好完整的课，就已经埋下了安全隐患。

- 实验课开始时，宣读实验室纪律，讲透实验要点、注意事项，做好操作安全示范，否则容易使学生对本次实验一知半解，到了操作时分，只好临阵擦枪、仓促上场，就很可能造成安全事故。在开始一个新的实验之前，对所采用的试剂、操作方法、操作步骤进行严格的安全评估，针对每一具体步骤，制订严格的安全措施，并制订包含设备操作步骤、重要参数限值、个人防护用品要求、设备维修保养等内容在内的操作程序，该程序需获得教师的批准实现标准化操作。

- 指导学生实验时，应认真进行巡回辅导，及时纠正不当操作，学生在实验过程中遇到安全问题时，能够积极帮助解答。

- 当需要院校层面的支持才能解决时，应主动向学校领导提出，寻求有效的解决办法；结合实验室特点和实际情况制订具体的安全管理制度和危险性实验的操作规程，通过安全检查和监督确保安全管理制度的实施。

☞ 第三层保护，Strategy Barrier——来自于组织高层的战略上的管控和领导

包括在组织机构的设置上赋予安全管理部门一定程度的奖惩权限，资源配置上考虑安全的投入，目标设立时明确安全的承诺，营造校园文化时融入安全的元素。具体的要求可以分解为：

- 领导应确保实验室安全投入，加强实验室安全防护硬件设施和仪器设备安全运行管理，实现本质安全化，将实验室事故消灭于萌芽状态。

- 根据不同实验室制订有针对性的、切实可行的安全技术，建立和完善实验室安全管理的各项规章制度，建立长效机制促使安全管理制度化、规范化、标准化。

- 构建学校自上而下的安全管理体系，全方位和全员化落实实验室安全责任制；加强



制度的落实和执行力度，建立明确的安全奖惩措施，在安全管理中加大监督、监控、检查、整改和责任追究的力度。

- 充分利用安全宣传阵地，广泛开展安全教育和培训活动，大力倡导安全文化，设立实验室安全教育作为实验室准入制度的前置环节。

- 充分发挥领导的示范效应和权威效应，努力营造院校的安全文化氛围，带领全校树立“保障安全，人人有责”的观念，对实验室安全工作常抓不懈、警钟长鸣。

在这里还需强调的是这3个保护层之间是相互关联且呈动态变化的。组织高层的管控和引导对于系统层的作用起着决定性的作用，离开组织高层支持，设施的本质安全会变成空泛的纸上谈兵。很难想象，在一个设施安全漏洞百出的实验室里，教师们如何去要求学生严格执行那些安全操作要求。而学生对于自身安全的重视，是保证所有程序得以贯彻执行的基础。没有学生参与的实验室安全管理，犹如建造在没有基础上的高楼，随时有倾覆的危险。学校每天都有各式实验活动开展，是一个动态的过程。那就意味着每一层的保护层也要随之而调整，不断改善提高。任何一种防护措施都不是一成不变的。这是一项非常艰巨的工作，只有构建校领导、教师、学生全员参与的实验室安全管理网络体系，全方位落实实验室安全责任制，从“要我安全”的思想意识转变

为“我懂安全，我要安全，我保安全”的思想意识，形成人人重视安全，人人具备安全技能的良好氛围，才能积极进行持续改进，不断提高学校整体安全水平。

◎ 实验室设施配备的安全方案

建立保护实验室安全保护屏障的体现之一就是学校领导积极投入资源为实验室配备安全防护设施、设备，为教师、学生创造安全的实验环境，这也是学校领导对安全的承诺和表率。在实验室的日常运行中，实验室的安全防护设施能帮助降低实验室风险，在提供安全保障的同时，也能在紧急情况下帮助实验人员正确应对突发情况、减少损失。实验室的安全防护设施、设备主要有包括消防系统、安全冲淋站/洗眼器、泄漏吸附材料、泄漏急救用品等在内的应急设施，以及通风系统、电器安全铺设、有害化学品管线限流截止装置、有害化学品泄漏探测报警系统、个人防护用品、危害警告标志等日常安全保障设施。

- 火灾自动报警系统、消火栓系统、自动灭火系统、灭火器等消防设施的配备，能够在火灾初期发出报警，使人们能够及时发现火灾，采取有效措施扑救，最大限度地减少因火灾造成的生命和财产的损失。

- 设置应急照明和疏散指示标志。指示

标志应设在走道及拐角处距地面 1 米以下的墙面上，且灯光疏散指示标志的间距不应大于 20 米。实验楼主要疏散通道应设置防、排烟设施，火灾时可通过自然排烟和机械防、排烟方式阻止烟气进入，并把烟气排出实验室外。

- 每间隔 10 秒步行距离设立 1 个安全冲淋站/洗眼器，保证分别为 20 加仑/分钟和 0.4 加仑/分钟连续出水 15 分钟的水量。一旦发生化学品暴露使用该安全设备时，一定要维持冲淋至少 15 分钟，直至救护人员赶到救助。

- 实验室应急物品包括化学品泄漏处理包和急救药箱。实验室一旦发生化学品泄漏，为避免泄漏区域进一步扩大，减少泄漏有害化学品挥发，及时收集并处置泄漏化学品，实验室应准备化学品泄漏处理包。一般应包括吸附棉、收集袋/桶、小铲子等，有些特殊化学品应额外准备相应的物品，比如生物菌灭活剂、异氰酸酯中和剂等。实验室应备有急救药箱，以便发生人身伤害事故时进行简单的应急处理。急救药箱内常备的药品和医疗器具应该有消毒酒精、烫伤膏、创可贴、医用橡皮膏、纱布、镊子、消毒棉球等，并应保持药箱内物品的洁净和有效。

- 有毒有害化学品操作应放在通风橱内进行，以控制吸入风险。通风橱应装有风速显示及报警装置，一旦风速不能达到 0.4 ~ 0.6 米/秒，就能发出报警提醒操作人员停止有毒有害化学品操作。有些高危作业区域甚至可以设置一旦发生通风失效设备就会自动停运的连锁装置，从而控制失去关键通风导致的风险。

- 敷设在通道上的电线应有所保护避免磨损，且避免电线乱敷乱设造成人员绊倒的风险。有避免水、化学品溅到或进入插座的措施。如果在 1.8 米的距离内有水源，比如靠近水槽区域的插座，应考虑在该插座上安装接地故障电流漏电保护器 GFCI (Ground Fault Circuit Interrupter)。通风橱中设备的电线应从线槽穿出，不会被夹在通风橱门框下。实验室新增过多仪器设备，尤其是大型仪器，要考虑室内配电总容量。如果容量不够，必须增容，以免过载。

- 如果实验室内涉及窒息性的惰性气体、易燃气体、有毒有害易挥发化学品等危险化学品的使用，应考虑以下安全设施的安

装：管线系统上安装限流环 (flow restriction orifice) 或者过流截止阀 (excess flow check valve)，一旦发生泄漏可以很大程度上减缓泄漏速度甚至自动切断供给源头从而降低风险；在下游压力过大有反压到供给源并污染供给源的可能性时，安装单向阀可以消除这个风险；针对化学品的危害特性，比如在可能导致窒息风险的惰性气体实验室、易燃气体操作实验室、高毒化学品操作实验室安装相应的化学品浓度探测报警器，这样一旦发生泄漏，探测报警器能够很好地及时探测到异常的化学品浓度，提醒操作人员及时响应。

- 高温表面、夹点、锋利边缘、触电、剧毒化学品等操作区应设立明显清晰的警告标志，帮助学生认识到风险的存在，时刻提醒学生注意远离火线。实验室门口应张贴清晰的应急联系人、联系方式清单，确保紧急情况时能够第一时间联系求助，并得到正确的指导。

- 学校应配备实验所需要的个人防护用品，实验室应制订基于实验操作的特定个人防护用品要求，学生应该根据要求佩戴必需的个人防护用品，为自己增加一道保护防线。

学校对实验室安全设施设备的投入是一道最基本的保护屏障。在此基础上，如果学生能在日常实验中遵循正确操作方法和要求，严格按照操作规程进行实验，那无疑又能增加一道强有力的保护屏障。



综上所述，建立一个安全的学校实验室环境，必须由学校、教师、学生三方努力，以本质安全的工程控制为基础，层层负责的防护体系为平台，在每天的实验中严格遵循安全操作方法，并且不断提高风险识别能力和应急反应能力，才能杜绝各保护层上的漏洞，让不安全因素无处可钻、无处可逃！

实验室操作的安全规则
化学品的安全操作 - 了解所使用化学品的物质资料安全数据表上显示的化学品危害信息。 - 试剂、样品须有清晰的标签。标签缺失、信息填写不全或者模糊不清也会导致严重的事故，如错把金属钠当作白磷，放入装白磷的试剂瓶中会发生爆炸；错把木炭粉当作二氧化锰，也会引起爆炸；错把硫酸当作盐酸，稀释时大量放热会发生事故。 - 不要直接俯向容器口去嗅化学试剂的气味，而应保持适当距离，摆动手掌将少许气味引向鼻孔。不要闻未知毒性的试剂。 - 取用试剂和标准溶液后，须立即将瓶塞严，放回原处。取出的试剂和标准溶液，如未用尽，切勿倒回瓶内，以免带入杂质。 - 不要在易燃物质周围使用煤气喷灯、手工焊炬、点火枪等产生明火的高能点火源，以及热表面、通电设备、摩擦生热 / 火花，或静电火花等低能点火源。 - 认清化学品与设备、设备管线、容器和仪器、废弃物的禁配性。根据化学性质分类，不兼容的化学品分开放置，决不允许敞口存放。
机电安全 - 实验室内不佩戴松散物件，长发应束起。 - 电线表面无破损或磨损，绝缘层无漏缝、开裂。 - 断开电气设备连接时，抓住整个插头拔出，不要拽电线拔下电气设备插头。 - 定期检查电源接线板。禁止在一个电源接线板插接另一个接线板。 - 不要在温度范围的最高限值长期使用电热设备。电热设备接通后不可长时间无人看管，要进行巡视，经常检查电热设备的使用情况，如温控器件是否正常，隔热材料是否破损，电源线是否过热、老化等。
玻璃器皿的安全操作 - 使用玻璃器皿前检查裂纹、划痕或其他缺陷。如有，应及时更换完好无损的备件。使用时轻拿轻放以防打碎。 - 将玻璃管插入橡胶塞或者玻璃管上套橡胶管时应带上防割手套，橡胶塞打孔过小时不可强行插入玻璃管或温度计，应涂些润滑剂或重新打孔。 - 加热试管操作时，勿使管口朝向自己或他人，以防溶液溅出伤人。 - 量筒、试剂瓶、培养皿等玻璃制品不可在火上直接加热。不应在试剂瓶或量筒中稀释浓硫酸或溶解固体试剂。 - 真空或者压力条件下使用玻璃仪器时，应该选择有 PVC 涂层的玻璃仪器或者在操作员与玻璃仪器间设立一个物理屏障。
天然气灯的安全操作 天然气灯是实验室常用的加热器具，主要成分是易燃、易爆的甲烷气体，使用时的安全操作不容忽视。 - 点燃天然气灯时，应先点燃火柴再拧开燃气阀门，且头部和手臂切勿在灯的上方。 - 天然气灯使用过程中应远离试剂架及其他不耐热物件，且实验者不可离开实验室。 - 使用防风套管，防止被风刮灭。用后须随手关闭阀门。 - 天然气灯使用过程中要保持蓝色火焰，黄色火焰通常是燃烧不充分，会产生一氧化碳。 - 及时更换已老化的橡胶管，防止天然气泄漏。 - 不要用嘴吹灭天然气灯。

实验室操作的安全规则（续表）

气瓶的安全操作

- 气瓶搬运前应带好瓶帽，避免搬运过程中损坏瓶阀，巨大压力会瞬间释放。搬运过程中必须轻拿轻放，严禁拖拽、随地平滚或用脚踢蹬。气瓶应直立放置，在瓶身三分之一高度处加以固定；禁止暴晒，远离火源或其他高温热源。易燃气体和氧化性气体气瓶放置时需要保持 6 米的距离，或者中间有 1.5 米高、耐火能力至少达到 0.5 小时的隔离墙阻隔。
- 使用时慢慢开启气瓶阀，防止升压过速产生高温。放气时，人应站在出气口的侧面。开阀后观察减压阀高压端压力表指针动作，待至适当压力后再缓缓开启减压阀，直到低端压力表指针到需要压力时为止。使用完毕后，应用手旋紧阀门不得用工具硬扳，以防损坏瓶阀。瓶内气体不得用尽，应保持一定压力的余气以备充气单位检验取样和防止其他气体倒灌。
- 气瓶都有专门的减压阀，氧气和可燃气体的减压阀不能混用。瓶阀或减压阀泄漏时不得继续使用。

烘箱的安全操作

- 不同类型的烘箱适用情况不同，应结合实验特点进行综合考虑选择合适的烘箱。可参考下表进行选择。

常见烘箱类型	烘箱特点及适用情况
自然对流烘箱	常用于加热保存、热测试，以及常规干燥过程。可提供柔和的干燥和加热，以及较低的空气扰动，最适用于对气流敏感的材料，如粉末和箔
机械对流烘箱	常用于对干燥要求比较高的热力学过程，需要补充新鲜空气，精确的加热控制可以缩短干燥时间，而且能在短时间内达到所需温度。可对样品快速干燥和加热，有卓越的温度均匀性
真空干燥烘箱	缓和干燥热敏性物质，能极大缩短干燥时间，可进行复杂元器件的无残渣干燥，消除热处理过程中的氧化，可安全干燥可燃性溶剂
马弗炉	分台式炉和管式炉。通常最高温度可达到 1100 ~ 1200℃，可用于灰化处理多种有机或无机样品、热处理小型金属元件、重量分析等
防爆烘箱	在烘箱中使用易燃化学品，挥发的易燃气体与空气混合会产生爆炸性混合气体。防爆烘箱可用于有机物烘干、预防爆炸、热处理等

- 充分评估烘箱中易燃物料在设定温度下燃爆的风险，确定样品量的极限用量。
- 评估样品的性质，考虑烘箱的材料和样品的兼容性。
- 认真填写烘箱使用记录。打开烘箱前察看使用记录并确认烘箱内部物料情况，站立侧面位置打开烘箱门。
- 烘箱温度较高时，有烫伤风险，需要带隔热手套。
- 烘箱过夜运行时，需要有过热保护装置。
- 实验后检查烘箱，及时清理残留物料。

实验产生废弃物的管理

- 不可随意丢弃排放实验室废弃物，应统一回收，集中后送到专业回收处理单位进行处置。甲醇、甲醛等有毒有害的有机物等处置不当，可能发生中毒事件或者环境污染事件；实验后多余的金属钠随意丢弃到废液缸中或水槽中，可能发生爆炸事故。因此废弃物的管理应该做到：
 - 分类准确，标签明确、不混放。确保将要倒入桶内的废液不和已有的废液发生反应。
 - 废弃物与其盛放容器兼容。废弃物不能过满（液体 85% ~ 90%），桶盖拧严以防挥发、溢出等引发安全隐患。
 - 液体废弃物容器外放置二次容器。放置在指定场所，应避免光、远离热源，且贮存时间不宜过长。■