

化工建筑中的防爆设计措施

张世英

天津渤化工程有限公司 天津 300193

摘要: 本文围绕化工建筑防爆设计展开探讨。阐述化工建筑特性、爆炸原理与类型、防爆设计理论, 深入分析工艺生产、建筑结构安全、人员安全与疏散需求, 针对性提出建筑布局、结构、电气与设备、通风与防爆设施设计措施, 并从设计团队、施工质量控制、维护管理机制方面保障实施, 为化工建筑防爆设计提供参考。

关键词: 化工建筑; 防爆设计; 爆炸原理; 建筑结构; 维护管理

引言: 化工建筑因涉及易燃易爆化学品, 存在诸多安全隐患, 防爆设计至关重要。化工建筑在功能、结构和空间布局上有特殊要求, 爆炸类型多样且危害大。深入理解爆炸原理与类型, 掌握防爆设计理论, 是开展有效防爆设计的基础。本文将系统探讨化工建筑防爆设计措施, 以提升化工建筑的安全性, 保障化工生产顺利进行。

1 相关概念与理论基础

1.1 化工建筑特性

化工建筑功能、结构和空间布局特殊, 深刻影响防爆设计。功能上, 服务复杂生产流程, 涉及易燃易爆化学品储存、反应与输送, 需设特殊区域。原料储存区要避光、防潮、隔热; 反应车间需为特种设备预留安装检修空间, 保障工艺流程衔接。结构方面, 承载特殊荷载。大型反应釜、储罐重量大, 要求坚固基础与承重结构; 纵横交错的管道系统, 对建筑框架稳定性要求高。部分化工建筑受高温、高压、强腐蚀作用, 需采用耐腐蚀材料与特殊加固措施。空间布局强调功能分区与安全间距。不同危险等级区域严格分隔, 生产区、仓储区、办公区分开设置, 以防火防爆隔墙、隔离带划分界限。建筑内部需保障通风, 预留管道铺设和设备维护空间, 这些特点都对防爆设计提出特殊要求。

1.2 爆炸原理与类型

爆炸是能量瞬间释放, 短时间产生高温、高压气体与冲击波造成破坏。化工生产常见物理与化学爆炸。物理爆炸由物质状态变化或压力突变引发, 如高压容器内部压力超极限破裂, 压缩气体瞬间膨胀释放能量。化工生产中蒸汽锅炉、液化气体储罐压力控制不当, 易发生此类爆炸。化学爆炸源于物质化学反应, 反应迅速且能量释放大。可燃气体、蒸汽或粉尘与空气混合形成可燃混合气, 遇火源或能量激发剧烈氧化^[1]。氢气与空气在一定浓度范围遇明火剧烈燃烧, 产生高温高压气体致爆。

化工生产中, 可燃气体泄漏积聚、粉尘飞扬形成爆炸环境, 是化学爆炸主因。物理爆炸多因设备缺陷、操作不当, 化学爆炸与可燃物质泄漏、火源控制失效相关, 明晰差异是防爆设计基础。

1.3 防爆设计理论

防爆设计围绕阻止爆炸传播、控制爆炸能量释放等核心思想展开。阻止爆炸传播通过设置物理屏障实现, 抗爆墙、防火卷帘门等结构构件能阻挡爆炸冲击波与火焰蔓延, 限制爆炸范围。在化工建筑分区设计中, 采用防爆隔墙分隔不同危险区域, 防止爆炸从一处扩散至整个厂区。控制爆炸能量释放依赖泄压设计与能量分散策略。设置泄压轻质屋面板、墙体, 在爆炸发生时优先破坏泄压, 释放内部压力, 降低建筑整体破坏程度。合理规划建筑布局, 增加建筑间距, 使爆炸能量在空间中扩散衰减, 减少对周边建筑的冲击。同时优化工艺流程, 减少易燃易爆物质储存量, 降低爆炸潜在能量。通过这些理论指导, 从建筑结构、空间布局、生产工艺多方面着手, 构建系统化防爆设计体系, 最大程度降低化工建筑爆炸风险。

2 化工建筑防爆设计需求分析

2.1 工艺生产需求

化工生产过程中, 易燃易爆物质的理化特性直接影响防爆设计标准。典型化学品如汽油、苯类物质具有低闪点、高挥发性特征, 在常温下即可形成爆炸性混合气体。反应工艺的特殊性要求防爆设计必须考虑高温高压条件下的安全防护。放热反应系统需要重点监控温度压力参数, 设置多重安全联锁装置。设备与管道系统的密封性能至关重要, 特别是法兰连接、阀门密封等关键部位需要采用金属缠绕垫片、石墨填料等高性能密封材料。压力容器的设计必须符合介质特性要求, 如液化气体储罐需要采用低温钢材并设置安全泄放装置。防爆设计还需兼顾生产工艺的连续性, 在确保安全的前提下优化

设备布局和检修空间。

2.2 建筑结构安全需求

化工建筑结构必须具备强大抗爆能力,抵御爆炸产生的冲击波与碎片冲击。有爆炸危险的设备,应避开主要受力构件布置。爆炸瞬间产生的高压冲击波,对建筑墙体、屋顶、门窗造成巨大破坏,建筑结构需能承受冲击波峰值,在爆炸冲击下不失效。对管道穿越墙体、楼板处进行加固处理,避免管道位移拉扯结构构件。建筑基础需稳固,防止爆炸时因地基震动导致建筑倾斜倒塌,通过加大基础尺寸、采用桩基础等方式,增强建筑整体稳定性,使其在爆炸事故中保持结构完整,降低二次灾害风险。

2.3 人员安全与疏散需求

保障人员在爆炸事故中安全疏散是化工建筑防爆设计的核心目标之一。爆炸发生时,高温、有毒气体、坍塌物威胁人员生命,必须设置可靠的疏散通道。疏散通道需保持畅通无阻,宽度符合人员快速撤离要求,且设置明显的疏散指示标识,引导人员快速找到逃生方向。通道材料采用不燃且具有一定耐火极限的材质,防止火灾蔓延阻塞通道^[2]。避难空间设计同样重要。在建筑内设置抗爆避难间,采用钢筋混凝土结构,配备独立的通风、供气系统与应急通讯设备。避难间位置需便于人员快速到达,且远离危险工艺区域。设计中考虑不同危险区域人员的疏散距离与时间,合理布局疏散楼梯、安全出口,确保所有人员能在规定时间内撤离至安全区域。同时对疏散路线进行优化,避免交叉与死角,提高疏散效率,最大程度保障人员生命安全。

3 化工建筑防爆设计措施

3.1 建筑布局防爆设计

合理的总平面布局是化工建筑防爆设计的基础。有爆炸危险的建筑选址应远离居民区,避开厂区主要道路及人员集中场所,需进行安全防护距离分析计算,规避外部因素诱发的爆炸连锁反应。结合当地主导风向布置建筑,将散发有毒有害气体、可燃气体、粉尘的装置及散发火花的地点,设于全年最小频率风向的上风侧,减少泄漏物质扩散至人员密集区或高温场所的风险。厂区内划分生产、储存、辅助生产等功能区,以防火墙、防火堤等保持防火及安全间距,防止事故蔓延。甲乙类有爆炸危险的生产、储存及装卸设施应布置于厂区边缘,便于疏散与应急管理。建筑内部平面布置遵循危险源分散、物流路径优化原则。易燃易爆物质存放与使用区域远离人员活动区,设专用通道与防护屏障。生产设备避免形成死角或密闭空间,防止可燃气体聚集。管道系统

走向简洁,减少拐角与盲端,降低介质残留风险。高温、高压设备独立设置操作间,实施隔离防护,降低对其他区域的潜在威胁。

3.2 建筑结构抗爆及防爆设计

爆炸发生时,建筑结构抗冲击能力直接影响人员安全与财产损失。因此厂房的爆炸危险区域的与需要做防护的非爆炸区域之间采用抗爆墙相隔。抗爆墙可由高强度混凝土、钢筋网架与填充材料构成,可吸收分散冲击波,其厚度与配筋率依预期爆炸压力计算,确保结构完整。抗爆门密封性与承压性良好,正常时通风通行,紧急时关闭阻爆。具体而言,抗爆墙采用双层钢筋网抹灰结构,内外层均设 $\phi 8@150\text{mm}$ 钢筋),中间填防爆岩棉,抹灰层掺钢纤维;现在市面上的抗爆墙也可以采用钢制纤维水泥复合轻质抗爆板墙,抗爆压力能达到 3000Kpa/m^2 ,耐火极限也能达到4h。另外,泄压设计是重要防护手段,通过合理设置泄压面积释放爆炸能量,降低内部压力,减轻主体结构破坏。轻质屋面板和墙体为常见泄压构件,爆炸时可破裂或开启,将冲击波导向设定方向,兼顾日常使用与极端条件需求。泄压墙体和屋面板应为采用小于 60kg/m^2 的轻质材料,可采用成品岩棉板夹芯板,用泄爆螺栓及牵引绞索与檩条连接;泄爆螺栓用于将岩棉夹芯板固定在屋面檩条上,当室内发生爆炸,压力达到设定值时,泄爆螺栓会自动脱落,使岩棉夹芯板开启泄压。牵引绞索则一端连接在岩棉夹芯板上,另一端固定在建筑物结构上,用于牵制开启的屋面板,防止其飞出造成二次伤害。此外,散发比空气重的可燃气体厂房及有粉尘爆炸危险的厂房,地面采用不发火防静电地面,避免做能聚集可燃气体的管沟及排水沟;有爆炸危险的厂房,门窗玻璃应采用安全玻璃。

3.3 建筑防爆电气与设备设计

电气系统作为潜在点火源,需严格遵循防爆设计规范。依据爆炸危险区域等级,选用隔爆型、增安型或本质安全型电气设备,照明灯具、开关等均具备对应防护等级,防止电火花引燃可燃物质。电气线路避开高温、潮湿及腐蚀性区域,采用穿管保护或封闭式桥架敷设,确保接地系统可靠,导除静电避免放电点火。化工生产设备注重密封与耐压设计。关键设备采用高性能密封结构防止介质泄漏,高温、高压反应装置配置过压保护、温度监控系统,避免参数失控引发爆炸。转动设备定期检查润滑与磨损,设备连接部位采用防松动结构,配备安全阀、爆破片等安全附件,异常工况下自动泄压保障运行安全。

3.4 通风与防爆设施设计

通风系统在化工建筑中不仅承担着调节空气质量和温湿度的功能,更在防止可燃气体或粉尘积聚方面发挥关键作用。设计时应根据不同区域的危险等级选择合适的通风方式,优先采用机械通风,确保空气流通效率。送风口与排风口应合理布置,避免气流短路,确保新鲜空气能够覆盖整个工作区域。排风系统应具备防爆性能,风机、过滤器等部件应选用防爆材质,并安装于室外安全区域。防爆设施的配置是提升整体安全水平的重要补充^[3]。可燃气体报警装置可在泄漏初期及时探测并发出警报,提醒操作人员采取应对措施。阻火器安装在管道系统中,能够阻止火焰蔓延,防止爆炸从一个区域扩展到另一个区域。抑爆装置则通过快速喷射惰性气体或灭火剂的方式,在爆炸初始阶段抑制反应发展,降低爆炸威力。这些设施应根据工艺流程与建筑布局进行统一规划,确保其在关键时刻能够有效发挥作用。

4 防爆设计实施保障

4.1 设计团队专业能力保障

化工建筑防爆设计需要多学科协同配合,组建专业化的设计团队是确保设计质量的首要条件。设计团队应当包括化工工艺、建筑结构、电气工程等专业人才,形成优势互补的专业架构。化工工艺专业人员负责分析生产过程中的危险因素,明确易燃易爆物质的特性参数,为防爆设计提供基础数据。建筑结构专业人员根据爆炸荷载计算结果,确定抗爆结构的构造形式和材料选择,重点优化抗爆墙、泄压口等关键部位的构造设计。电气专业人员则负责爆炸危险区域的划分和防爆电气设备的选型,确保电气系统设计符合防爆要求。各专业人员通过定期会审、协同设计等方式保持密切沟通,确保设计方案的系统性和完整性。设计团队需要及时跟踪防爆技术发展动态,将新材料、新工艺、新技术应用到实际工程中,不断提升防爆设计水平。

4.2 施工质量控制

施工阶段的质量控制直接关系到防爆设计的实现效果。施工单位应当建立完善的质量保证体系,制定详细的施工方案和质量控制计划。在抗爆结构施工过程中,要重点控制钢筋工程的绑扎质量、模板工程的支设精度和混凝土工程的浇筑质量。钢筋绑扎必须严格按照

设计要求控制间距和保护层厚度,模板支设要确保尺寸准确、支撑牢固,混凝土浇筑要做到振捣密实、养护到位。防爆电气设备的安装要特别注意接线盒的密封处理、电缆的敷设路径和接地系统的可靠性。所有电气设备安装完成后,必须进行严格的绝缘测试和功能测试。管道系统的施工质量同样关键,特别是法兰连接、阀门安装等关键部位,必须确保密封可靠。施工过程中要建立完善的质量检查制度,对每道工序进行严格把关,确保各项防爆措施落实到位。

4.3 维护管理机制

为确保防爆设施长期有效运行,必须建立完善的维护管理制度。制定详细的检查维护计划,明确各项设施的检查周期和维护要求。定期检查抗爆结构的完好性,重点关注墙体裂缝、构件变形等问题,发现问题及时修复。对防爆电气设备要进行定期检测,包括绝缘性能测试、接地电阻测量等功能检查。可燃气体报警系统要定期进行标定和测试,确保其灵敏度和可靠性。建立完整的维护档案,详细记录每次检查维护的情况,为后续维护工作提供依据。同时要加强对操作人员的培训,使其掌握防爆设施的基本原理和操作要求,提高日常维护管理水平。通过建立长效的维护管理机制,确保防爆设施始终处于良好的工作状态,为化工生产提供持续的安全保障。

结束语

化工建筑防爆设计是保障化工生产安全的关键环节。通过合理的建筑布局、可靠的建筑结构、安全的电气与设备设计以及完善的通风与防爆设施,可有效降低爆炸风险。同时,设计团队的专业能力、施工质量控制和维护管理机制,是确保防爆设计有效实施的重要保障。未来,应持续关注防爆技术发展,不断优化设计措施,为化工行业安全发展提供有力支持。

参考文献

- [1]秘嘉,王燕贞,王天琪.石油化工建筑防爆设计及措施分析[J].建材与装饰,2025,21(3):61-63.
- [2]崔盛.化工厂区爆炸危险厂房防爆及泄压设计[J].化工设计,2025,35(2):38-44.
- [3]潘炫霖.化工企业建筑防火安全技术措施[J].化工管理,2023(2):93-95.