



危化品企业建筑/结构抗爆量化分析及设计

-----如何量化确定建筑/结构的抗爆能力

刘 萍

康安保工艺安全

*****第四届 CCPS 中国过程安全会议*****

危化品企业建筑/结构抗爆量化分析及设计

-----如何确定建筑/结构的抗爆能力

【摘要】随着近年来一系列安全事故的发生，企业对安全问题越来越重视。企业的安全设计要“事前有预防”，又要“事后有控制”，采用防护措施降低人员伤亡和财产损失，并防范事故影响的进一步扩大。因此通过系统的方法计算确定合理的建筑/结构的抗爆能力，维护建筑内人员设备以及重要结构的安全，确保将各种风险控制在可接受的范围之内显得尤为重要。本文通过量化分析的方法，计算识别化工企业所有失效模式的爆炸后果、频率以及风险，确定建筑/结构的抗爆能力。

关键词：火灾爆炸分析；建筑；结构；风险管理；抗爆能力

Quantitative Blast Analysis of Chemical Plants Building and Its Design Application

随着化工生产储存装置逐渐大型化、复杂化，安全问题日益突出，火灾、爆炸、泄漏等重大恶性事故不断发生，如2013年中石化管道爆炸事故、2015年漳州PX装置爆炸事故、2015年日照LPG球罐爆炸事故和2015天津8.12爆炸等，这些事故不仅造成了人员和财产的重大损失，也导致了严重的社会问题。



在安全设计上，我们既要“事前有预防”，采取预防措施尽量避免事故的发生，又要“事后有控制”，采用防护措施降低人员伤亡和财产损失，并防范事故影响的进一步扩大。因此通过系统的方法计算确定合理的建筑/结构的抗爆能力，维护建筑内人员设备以及重要结构的安全，确保将各种风险控制在可接受的范围之内显得尤为重要！

1、 建筑/结构爆炸量化设计

1.1 建筑/结构爆炸设计现状

目前国内对建筑/结构的抗爆能力的规范要求主要参考GB50183《石油天然气工程设计防火规范》、GB50160《石油化工企业设计防火规范》、GB50058《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》和GB50779《石油化工控制室抗爆设计规范》。上述规范规定了不同装置和建筑/结构之间的最小防火抗爆间距，其中GB50058针对控制室提出了更多的防爆要求，提出可以通过安全分析来综合评估确定控制室的防爆能力，相信这将大大改善当前建筑/结构抗爆能力设计不足的问题。



而在国外通过量化分析的方式确定建筑/结构抗爆能力已成为通用做法。美国的化学工程师协会（CCPS）指出采用单一的防火抗爆间距有可能会过度设计或设计不足的问题，建议应对各装置分析和建立失效模型，量化计算爆炸事故的可能性和后果，并最终确定建筑/结构的抗爆能力。

美国API 752指导文件中提出各企业对不同的装置和建筑/结构可根据自己的风险接受水平选择合适的设计标准,建议采用基于后果或基于风险的标准确定建筑物的防火抗爆能力。

英国化工行业协会(CIA)关于化学品生产场地内建筑物的选址及设计导则,推荐使用 1×10^{-4} /年作为爆炸风险的设计标准,这也是目前国内采用量化爆炸分析时比较通行的标准。

1.2 爆炸量化设计过程

爆炸量化设计过程如图1所示:

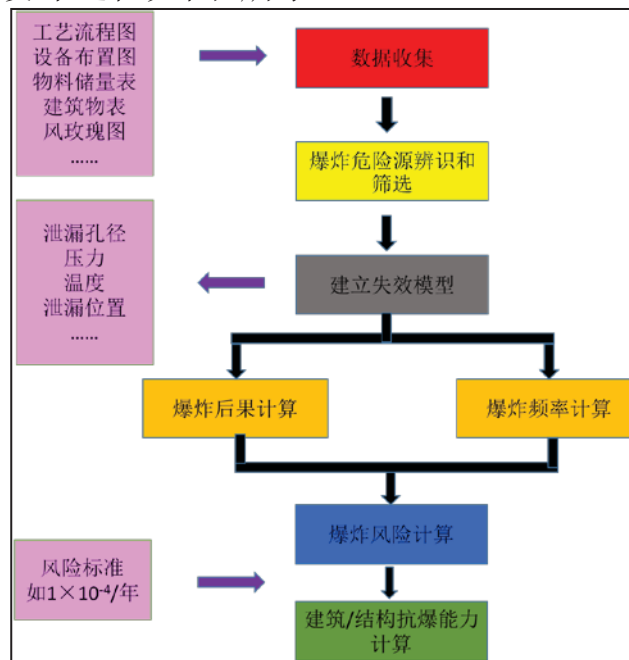


图1 爆炸量化设计过程示意图

失效模型建立后,需要量化计算爆炸的后果和频率,需要指出的是,蒸汽云爆炸是大量的可燃物质泄漏后产生的气云扩散到受限空间积聚并被点火源点燃,与空气混合加快从而加剧燃烧而形成的,如图2所示。因此需要有经验的设计人员通过对设备布局的分析确定潜在的爆炸区域,并根据可燃物质的类型、PES的尺寸、设备结构的分布和通风情况确定爆炸的强烈程度。

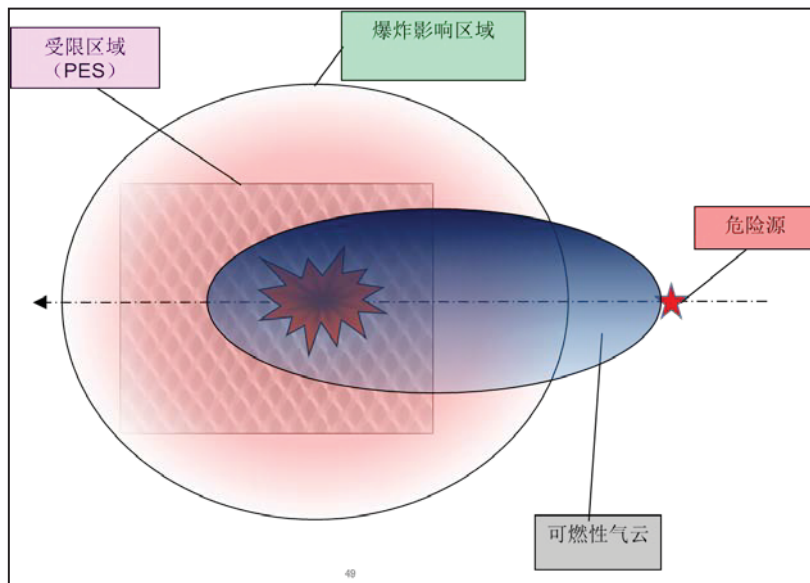


图2 蒸汽云爆炸示意图

1.3 建筑/结构爆炸量化设计的目的

建筑/结构爆炸量化设计主要目的是：

- ◆ 辨识能够引起建筑物/结构严重损坏的所有潜在的泄漏工况，评估爆炸对周围建筑物和结构产生的影响；
- ◆ 为建筑/结构材料和厚度的设计提供参考；
- ◆ 为建筑物/结构的选址提供依据；
- ◆ 可分析不同的防护措施的有效性，为成本效益分析提供支持。

2、某集团工业园区建筑/结构爆炸量化分析案例

康安保工艺安全自 2015 年 9 月对某集团工业园球罐区进行了火灾爆炸分析。

2.1 某集团工业园区简介

某工业园液化丙烷需求量 100 万吨/年、混合丁烷需求量 70 万吨/年；年销售丙烯 30 万吨、MTBE 可达到 100 万吨、丙烯酸及酯 60 万吨、正丁醇 10 万吨等。

2.2 爆炸分析结果与建议

(1) 爆炸分析结果



康安保工艺安全对工业园球罐区进行了火灾爆炸分析，给出了基于后果和基于风险（ 1×10^{-4} /年）两种标准下主要建筑物/结构所应能承受爆炸超压的最低设计要求，评估现有建筑物/结构的抗爆能力并提出了整改意见；分析给出了超压等高线图，建议新建的建筑/结构根据该图选址并确定抗爆能力，分析结果见附录。

采用 1×10^{-4} /年频率作为标准的爆炸超压对储罐区附近的汽车衡产生的超压为 1.33psi，在此超压下大窗户和小窗户通常破碎、房屋建筑物受到较小的破坏或钢结构的建筑物轻微变形；对保安楼产生的超压为 0.54psi，在此超压下会造成大窗户和小窗户通常破碎，窗户框架偶尔遭到破坏；因此，建议对汽车衡和保安楼进行加固（如采用防爆玻璃、修建防爆墙等）或搬迁到相对安全的位置。而对其他的建筑物/结构建议业主核实现有的抗爆能力，以确定是否需要采取额外的抗爆措施。

(2) 抗爆分析建议

- ◆ 根据本次爆炸分析，在长期有人的建筑物中汽车衡所在位置的个人风险最高，建议作为重点整改对象进行加固或搬迁。
- ◆ 由于保安楼人员较多，根据爆炸分析，爆炸超压会造成普

通玻璃的破损，导致室内人员伤亡，建议对保安楼面对装置区采用实体墙隔离。

- ◆ 由于铁路值班室的位置还没有确定，业主可根据铁路值班室可接受风险水平，采用对应的爆炸超压等高线来确定值班室的位置和抗爆能力。

3、小结

建筑/结构爆炸量化设计是根据不同的设计目的，通过系统的危险源辨识和风险分析方法，量化计算识别所有失效模式的爆炸后果、频率以及风险，确定建筑/结构的抗爆能力。除爆炸量化分析外，量化分析方法也可用作建筑物/结构的火灾毒性分析，从而确定其防火防毒能力，使建筑内人员以及设备、结构的危险处于较低的水平。

附录 A: 爆炸分析爆炸线结果 (基于后果)

图 A 爆炸超压等高线

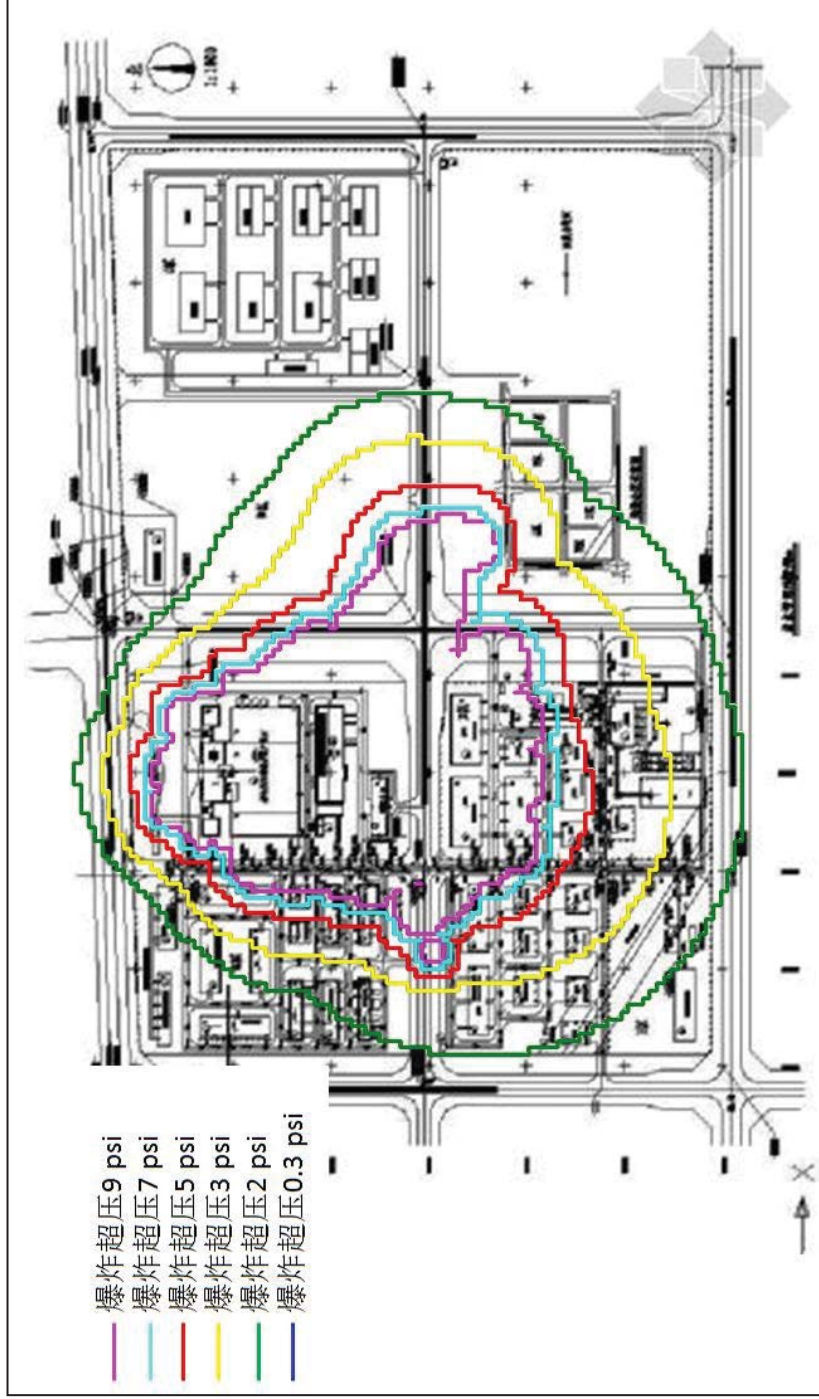


表 A 基于最严重后果的球罐区周围主要建筑物/结构的超压

建筑物/结构	基于后果的超压 (psi)	说明
MTBE 内浮顶罐	11.3	重型机械工具 (3 178kg) 移位并严重损坏, 非常重的机械工具 (5 448kg) 幸免; 钢结构建筑变形, 并离开基础; 油储罐破裂。
丁醇罐	2.21	房屋的墙和屋顶局部坍塌以及钢结构建筑物的轻微变形。
丙烯酸产品罐区	4.37	轻工业建筑物的覆层破裂; 自成构架的钢面板建筑破坏; 油储罐破裂。
罐区装卸站	11.4	建筑物可能全部遭到破坏; 重型机械工具 (3 178kg) 移位并严重损坏, 非常重的机械工具 (5 448kg) 幸免; 钢结构建筑变形, 并离开基础; 油储罐破裂。
PM 装卸站	11.3	建筑物可能全部遭到破坏; 重型机械工具 (3 178kg) 移位并严重损坏, 非常重的机械工具 (5 448kg) 幸免; 钢结构建筑变形, 并离开基础; 油储罐破裂。
球罐区东西向主管廊	11.3	建筑物可能全部遭到破坏; 重型机械工具 (3 178kg) 移位并严重损坏, 非常重的机械工具 (5 448kg) 幸免; 钢结构建筑变形, 并离开基础;
球罐区南北向主管廊	9.29	钢结构建筑变形, 并离开基础
保安楼	9.14	装载货物的火车车厢完全破坏、房屋几乎完全破坏、钢结构建筑变形, 并离开基础。
医疗中心	4.24	轻工业建筑物的覆层破裂; 自成构架的钢面板建筑破坏; 房屋的墙和屋顶局部坍塌以及钢结构建筑物的轻微变形。
采购楼	4.64	轻工业建筑物的覆层破裂; 自成构架的钢面板建筑破坏; 房屋的墙和屋顶局部坍塌以及钢结构建筑物的轻微变形。

建筑物/结构	基于后果的超压 (psi)	说明
汽车衡	11.3	建筑物可能全部遭到破坏；重型机械工具（3 178kg）移位并严重损坏，非常重的机械工具（5 448kg）幸免；钢结构建筑变形，并离开基础。
铁路值班室	4.28	轻工业建筑物的覆层破裂；自成构架的钢面板建筑破坏；房屋的墙和屋顶局部坍塌以及钢结构建筑物的轻微变形。 建议根据超压等高线图确定铁路值班室的位置和抗爆强度。
运输路	10.6	建筑物可能全部遭到破坏；重型机械工具（3 178kg）移位并严重损坏，非常重的机械工具（5 448kg）幸免；钢结构建筑变形，并离开基础。

附录 B: 爆炸分析爆炸线结果 (基于风险)

图 B 爆炸超压等高线

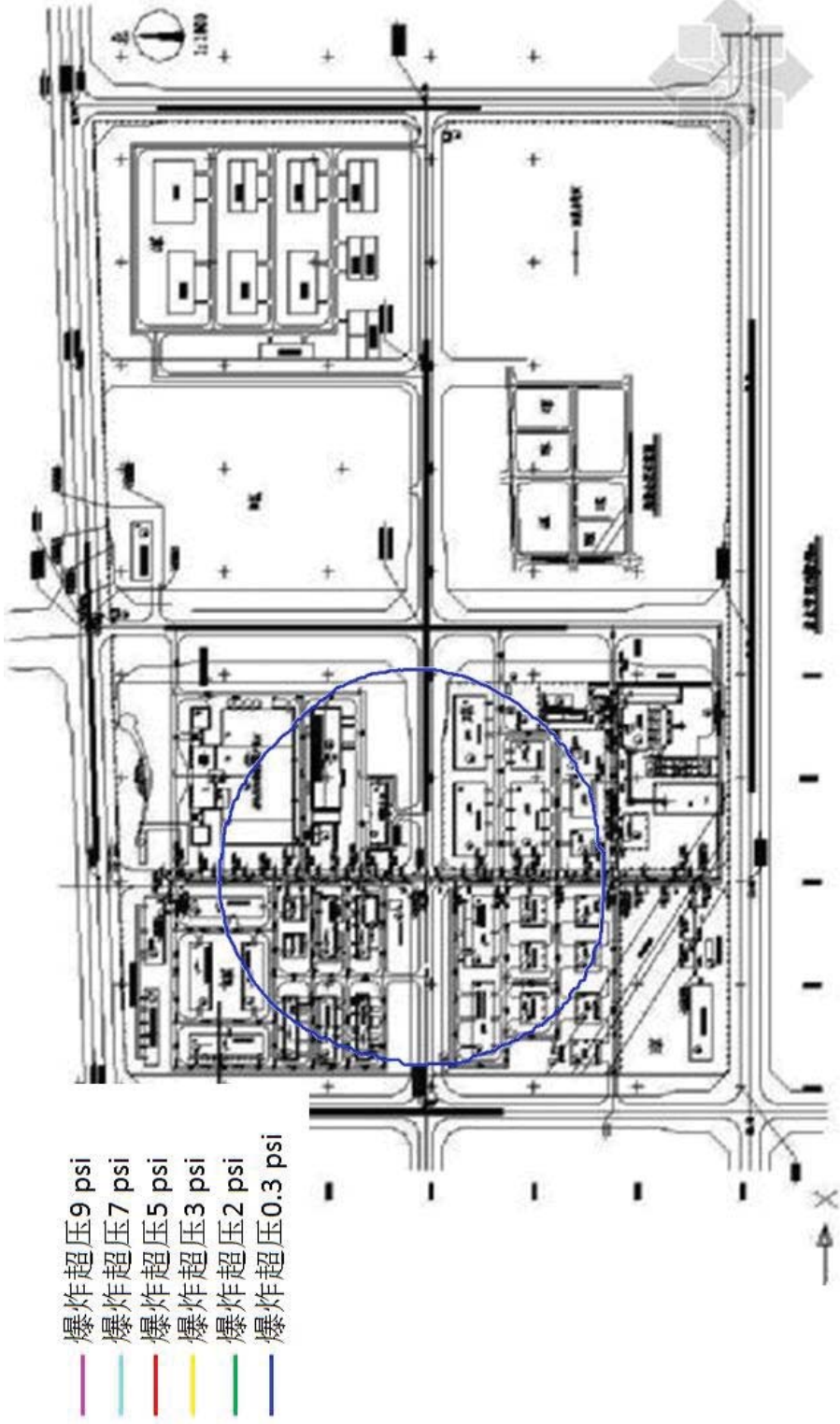


表 B 基于风险的球罐区周围主要建筑物/结构的超压

建筑物/结构	基于风险的超压 (psi)	说明
内浮顶罐	0.68	大窗户和小窗户通常破碎；窗户框架偶尔遭到破坏；有限的较小结构破坏。
丁醇罐	0.29	满足“安全距离”（低于该值，不造成严重损坏的概率为 0.95）；抛射限值；屋顶出现某些破坏；10%的窗户玻璃被打碎。
丙烯酸产品罐区	0.24	满足“安全距离”（低于该值，不造成严重损坏的概率为 0.95）；抛射限值；屋顶出现某些破坏；10%的窗户玻璃被打碎。
罐区装卸站	0.50	大窗户和小窗户通常破碎；窗户框架偶尔遭到破坏；有限的较小结构破坏。
PM 装卸站	0.18	满足“安全距离”，小部分玻璃破裂。
球罐区东西向主管廊	1.06	石棉板粉碎；钢板或铝板起皱，紧固失效；木板固定失效、吹落。
球罐区南北向主管廊	0.92	大窗户和小窗户通常破碎；窗户框架偶尔遭到破坏；有限的较小结构破坏。
保安楼	0.54	大窗户和小窗户通常破碎；窗户框架偶尔遭到破坏。
医疗中心	0.15	玻璃破裂的典型压力
采购楼	0.16	玻璃破裂的典型压力
汽车衡	1.33	钢结构的建筑物轻微变形；房屋部分破坏，不能居住。
铁路值班室	0.63	大窗户和小窗户通常破碎；窗户框架偶尔遭到破坏。
运输路	0.32	“安全距离”（低于该值，不造成严重损坏的概率为 0.95）；抛射限值；屋顶出现某些破坏；10%的窗户玻璃被打碎。

康安保化工安全咨询有限公司是专业从事工艺安全及风险管理的公司，主要致力于危险与可操作性分析（HAZOP）、安全完整性等级（SIL）评估、定量风险评估（QRA）、运行阶段工艺安全分析（OPS）、工艺安全审核和HSE量化审核等工艺风险管理和QHSE咨询服务。目前，康安保公司分别在北京、上海、青岛和成都设有办公室。



如您需要任何信息，欢迎您与康安保公司联系：

李奇
技术总监

康安保化工安全咨询有限公司
手机：18611947316
Q Q:121438347
Blog: blog.sina.com.cn/hsse
E-mail: Service@qdhse.com
www.qdhse.com

