

# 机柜间抗爆计算与结构优化设计在工业建筑物中的应用

庞学成

(山东济炼石化工程有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要** 工业建筑物在现代化生产中扮演着至关重要的角色。工业建筑物往往存在着各种潜在的安全隐患, 其中之一就是爆炸威胁。在某些特定行业领域, 如化工、石油、军工等, 爆炸风险更加突出, 因此急需开展相关研究以提高工业建筑物的安全性。在爆炸事件中, 机柜间往往成为爆炸波及范围内的薄弱环节, 容易受到严重破坏, 导致连锁性事故发生。因此, 如何提高机柜间的抗爆性能成为当前工业建筑物安全设计中亟待解决的重要问题。本文探讨了防爆计算背后的原理, 结构优化的重要性, 以及在工业环境中实施的实际策略, 通过整合各类结构优化的设计技术, 工业设施可以将爆炸风险降至最低, 并提高整体安全标准。

**关键词** 工业建筑物; 机柜间; 结构优化; 抗爆

**中图分类号:** TU27

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2097-3365(2024)06-0013-03

工业建筑防爆机柜间的研究背景包括了旨在优化安全和降低风险的各种方法和考虑因素, 防爆计算的应用可以识别潜在的着火源、进行风险评估和实施预防或控制爆炸的缓解策略, 对应的结构优化设计的重点是通过材料选择、防爆特性和空间布局优化来提高机柜间的稳健性和完整性。这些方法对于确保机柜室的结构弹性和最小化爆炸的后果至关重要。在工业建筑中, 防爆机柜间的设计和优化方面的进展对于提高安全标准和降低爆炸风险至关重要。通过应用防爆计算、结构优化设计和符合相关标准, 工程师可以开发出稳健的设计, 优先考虑生命安全、性能保护和操作连续性。通过不断改进方法和采用创新技术, 工业设施可以有效地降低爆炸风险, 并确保人员和资产在危险环境中的安全和福祉。

## 1 建筑物抗爆的基本目标

防爆的基本目标是保护生命、减少财产损失, 以及确保关键基础设施的持续功能。这些目标通常包括:

(1) 生命安全: 主要目标是保护居住者和附近的个人免受爆炸效应造成的伤害或死亡。这包括设计结构, 以承受爆炸产生的压力、冲击和碎片, 从而在建筑内提供一个安全的环境<sup>[1]</sup>。(2) 财产保护: 建筑防爆结构旨在尽量减少对设施内包含的财产、设备和资产的损害。通过使用适当的材料、加固策略和布局配置, 可以保持建筑的结构完整性, 减少维修成本和停机时间。(3) 运营的连续性: 确保关键基础设施和基本服

务的持续功能是另一个关键目标, 通过减轻爆炸的影响, 建筑物可以继续运行, 或在事故发生后迅速恢复运行, 从而最大限度地减少对商业活动、公共服务和工业过程的中断。(4) 二次危险的预防: 建筑防爆结构还应旨在防止或减轻爆炸可能引起的二次危险, 如火灾、化学物质释放或结构倒塌。通过在指定区域内控制爆炸影响, 并采取适当的安全措施, 可以将二次事故的风险降至最低<sup>[2]</sup>。(5) 弹性和适应性: 建筑设计应该对不同的爆炸场景表现出弹性和适应性, 包括不同的爆炸大小、位置和来源。设计上的灵活性使结构能够承受一系列的威胁, 并适应随时间变化的安全条件。

总的来说, 建筑防爆能力的基本目标是保护生命、保护财产、保持操作连续性、防止二次危险、促进弹性, 并确保符合监管要求。要实现这些目标, 就需要采取一种综合的方法, 针对建筑及其居住者的具体需求和脆弱性, 整合工程原则、风险评估和缓解战略。

## 2 抗爆机柜间建筑结构的总体布置规定

现代数据中心或工业场所常常存储大量敏感数据和设备, 一旦发生爆炸等意外事件, 可能导致严重的财产损失和设备损坏, 影响正常运营和业务连续性。机柜间抗爆设计可以有效减少爆炸或火灾蔓延的风险, 提高应急处理的效率和安全性, 保护人员和财产安全。此外, 抗爆设计还能够提高设备的稳定性和可靠性, 减少因爆炸等原因造成的停机时间和维修成本, 降低

业务风险。防爆机柜间应设计在工艺设备附近的特定区域，周围不得有其他设备或结构。这种隔离有助于控制潜在的爆炸，并将损害的传播最小化<sup>[3]</sup>。

其一，不同防爆类别（如A类、B类）的设备可布置在一起，实施适当的防爆设计，可以确保总体布局支持设施内所有设备的安全标准。其二，防爆区域的楼高不应低于相邻的设备布置区域，这一高度有助于防止危险气体或蒸汽在低洼地区的积累，减少爆炸的风险。其三，被指定为防爆建筑的建筑必须进行独立设计和布置。除非由于现场限制，绝对必要，否则不应与非防爆建筑结合。在这种情况下，应制定具体的计划，以防止风险和二次损害。其四，防爆建筑的位置应使其较窄的侧面对最大爆炸风险的方向，通常朝向潜在爆炸的来源，此外，这些建筑不应位于有可能发生气体泄漏的区域。其五，计算主导风向的下风区域是至关重要的，特别是在潜在的气体泄漏可能占主导地位的位置。如果防爆建筑位于下风区域，应采取隔离措施，以减少泄漏气体进入建筑物所带来的风险。上述要求对于为存放防爆机柜的工业设施创建一个安全和有效的布局是至关重要的。通过遵守这些准则，可以将爆炸的风险降至最低，确保工人的安全和周围环境的完整性。

### 3 工业建筑物中机柜间抗爆计算与结构优化设计

#### 3.1 体型要求

工业建筑中防爆柜间的尺寸要求确保足够的空间和结构完整性，防爆柜间的首选形状为矩形，该设计促进了对空间的有效利用，并允许更容易地实现防爆特性<sup>[4]</sup>。通过采用矩形布局，可以优化房间的结构完整性，以承受爆炸压力和冲击。

在理想情况下，容纳防爆柜机房的建筑主体应为单层。但是，如果有实际需要，它可以延伸到两层。将建筑限制在一层或两层有助于简化结构设计，并减少了楼层之间爆炸传播的可能性。此外，防爆结构的形状应简单而规则。这种设计考虑提高了房间的结构稳定性和抗爆炸性能。不规则的形状可能会引入容易受到爆炸影响的弱点，影响整体安全性。与此同时，防爆柜间的外墙和屋顶不应包含可能产生飞碎片或阻碍通道的特征，首选光滑、坚固的建筑材料，以尽量减少在爆炸事件中发生破碎或弹丸危险的风险。防爆柜间的尺寸要求对于优化工业建筑内防爆机柜间的安全性和有效性至关重要。通过遵守这些指导方针，工程师和设计师可以确保房间提供足够的防爆保护，同时保持功能效率和结构的完整性。

#### 3.2 构造要求

工业建筑中防爆机柜间的结构要求对于确保在发生爆炸时外壳的完整性和安全至关重要。具体而言，防爆柜间必须符合门窗、阀门的相关防爆标准。这些标准规定了能够有效承受爆炸压力和冲击的必要规范和性能标准，防爆机柜间的设计文件必须明确说明结构设计所能承受的爆炸载荷值。这些信息对于确保房间能够承受潜在的爆炸力至关重要<sup>[5]</sup>。此外，逃生路线指定的门和防爆柜房内的观察窗必须配备防爆锁等专用功能。这些特点确保了房间的完整性，并在紧急情况下提供了安全的疏散和观察手段。防爆门应保持门框和门扇之间的紧密密封，以防止爆炸压力和碎屑进入房间。这种密封机构增强了门组件的结构完整性和抗爆性。隔离前室内的内外门应有联锁功能，可在不同时间独立激活，确保了在正常操作和紧急情况下的控制访问和安全性。

与此同时，变形接头应精心放置，以适应爆炸载荷引起的潜在结构运动和变形，相关的接头有助于防止对建筑物外壳的损坏，并在爆炸事件期间和之后保持结构的稳定性。在成形接头不可避免的情况下，必须设计相应的变形，以确保符合设计规范。此外，应采用能够承受爆炸载荷的防爆密封方案，以保持结构的完整性。

#### 3.3 隔离前室的设置以及抗爆防护措施

在存在爆炸危险的工业建筑中，设置隔离前室和机柜间的防爆措施是确保人员安全和降低爆炸风险的关键。为了应对潜在爆炸造成的威胁，必须在机柜间建立隔离的前室。这些房间作为一个屏障，以控制爆炸效应，并尽量减少爆炸的传播。然而，隔离前室的设计需要仔细考虑，以最大限度地提高其有效性，确保人员安全。

门在隔离的前房间的位置，由于对应房间的门直接相对，在爆炸中有被吹穿的危险，危及机柜间的人员。为了降低这种风险，门应该尽可能地交错打开。这种交错的安排有助于尽量减少爆炸力在房间之间的直接传播，减少工作人员受伤的可能性。此外，建议避免在容易发生爆炸危险的区域内设置人员安全出口。如果由于现场条件而需要这些出口，应优先实施防护措施，如爆炸墙，以保护这些出口免受爆炸影响。在没有防爆墙的情况下，可以使用两个单独的墙来隔离前房间，门在不同的方向打开。这种配置有助于进一步分散爆炸力，并加强隔离前室的结构完整性。

总的来说，在工业建筑中设置隔离前室和机柜间

的防爆措施对于保护人员和减少爆炸风险至关重要。工程师采用错开门布置, 避开危险区域的人员安全出口, 采取适当的防护措施, 可以提高工业设施在面对爆炸危险时的安全性和弹性。这些措施不仅保护了人员, 还有助于保护建筑物内的关键基础设施和资产。

## 4 工业建筑物中机柜间抗爆计算与结构优化的设计方法

### 4.1 单自由度相关结构等效静荷载技术方法

工业建筑机柜间防爆计算和结构优化的设计方法通常采用单自由度 (SDOF) 相关的结构等效静荷载技术方法, 采用这种设计方法, 工程师可以在优化结构性能、降低施工成本的同时, 有效地提高工业建筑的防爆性能。

首先, 确定建筑的主要内部结构, 包括墙壁、柱、梁和地板, 这些结构对在爆炸事件中提供结构支撑和完整性至关重要, 确定每个结构部件在剧烈爆炸期间所经历的等效静载。这种计算是基于结构静态的研究和计算方法, 这可能涉及分析建筑构件的质量、刚度和动态响应特性。其次, 使用 SDOF 方法进行替代动态分析。这涉及将建筑的复杂的动态响应简化到一个单一的自由度, 通常代表结构的横向或垂直运动。最后, 利用动态分析的结果来告知结构轻量级设计策略。这包括优化建筑构件的材料选择、横截面尺寸和布局配置, 以最小化重量, 同时保持足够的强度和刚度, 以承受爆炸荷载。除此之外, 还可以采用 SDOF 相关的结构等效静载法。它提供了一种简化而准确的方法来评估结构对爆炸荷载的动态响应, 促进了有效的结构优化和轻量级设计, 而不影响安全和性能。

### 4.2 单自由度相关结构动力模式方法

工业建筑中机柜的防爆计算和结构优化的设计方法往往是采用单自由度 (SDOF) 相关的结构动态模型方法, SDOF 方法集成了弹塑性行为原理和动态响应原理, 以确保钢筋混凝土构件的结构完整性, 特别是在受爆炸荷载影响的抗弯构件中。

一方面, 负责设计防爆机柜间的工程师和技术人员必须遵守控制弹塑性性能的相关技术条件。对于钢筋混凝土结构, 应制定计划, 以确保弯曲构件可以发生塑性变形而不失效。这包括设计结构, 使其至少能承受比弯曲荷载高出 125.185% 的剪切荷载, 以防止过早的偏转和开裂。此外, 需要深入了解爆炸过程中产生的冲击波参数是设计有效的防爆机柜的关键。峰值事故过压, 根据石化设备和安全评估等因素确定, 是

设计过程中的一个关键参数。工程师们利用这些信息来精确地模拟结构对爆炸荷载的动态响应。另一方面, 机柜间的安全参数根据综合安全评估确定。确定峰值事件超压值, 通常在 21 kPa 左右, 正压持续时间通常为 100 ms, 工程师应用这些参数来评估结构响应, 并确保机柜之间的充分保护, 在设计过程中产生的所有爆炸荷载必须符合相关规定和技术标准。这包括进行简化的验证和验证程序, 以确保防爆机柜满足安全要求, 并能够承受预期的爆炸力。通过采用 SDOF 相关的结构动态模型方法, 工程师可以开发工业建筑防爆柜的稳健设计。这种方法综合了弹塑性行为、冲击波参数、安全评估和符合法规的考虑, 以确保承受爆炸负载的机柜的结构完整性和安全性。

## 5 结束语

工业建筑防爆机柜间的设计和优化需要一种综合性方法。在机柜间应用防爆计算和结构优化设计, 对于提高安全标准和降低爆炸风险至关重要。结构布局要求强调了防爆区域的隔离, 偏好矩形形状, 并避免了容易产生爆炸效应的不规则特征。此外, 符合相关标准和法规, 确保了防爆门窗的正确设计, 具有明显的爆炸负荷值和连锁功能, 以加强安全性。结构要求要求采用密封的门框、变形缝和轻型设计策略, 以承受爆炸压力和最小化损坏。同时, 利用单自由度 (SDOF) 相关的结构动力学模型方法, 可以实现弹塑性设计标准, 准确地考虑冲击波参数, 并验证机柜之间的安全参数。通过这种方法, 工程师可以开发出稳健的设计, 优先考虑生命安全、财产保护、操作的连续性和遵守法规。通过遵循这些原则和方法, 工业设施可以有效地降低爆炸风险, 保护人员和资产, 并在面对潜在危险时保持操作的连续性。

## 参考文献:

- [1] 李世民, 曾宪明, 林大路. 新型复合锚固结构抗爆优化设计数值模拟分析 [J]. 岩土力学, 2009(S1):276-281.
- [2] 孙钧, 朱火江. 地下结构无梁顶盖抗爆动力分析与优化设计 [J]. 地下空间, 1990,10(01):42-52,64.
- [3] 孙钧, 朱火江. 地下结构无梁顶盖抗爆动力分析与优化设计 [C]// 中国土木工程学会防护工程学会学术交流会, 1990.
- [4] 柏丽. 抗爆机柜间的建筑设计 [J]. 科技创新与应用, 2022(08):12.
- [5] 周珂. 船舶舷侧结构的抗爆性能研究及优化设计 [D]. 上海: 上海交通大学, 2014.