

地下储能电站建筑防火分区设计规范

潘 晨

内蒙古能源规划设计研究院有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要：新能源快速发展使地下储能电站因节约土地资源而广泛应用，但地下空间密闭、储能设备热失控风险高，火灾防控形势严峻。现有防火规范多针对地面建筑或常规电站，难以满足地下储能电站特殊需求。本文聚焦其建筑防火分区设计规范，深入剖析火灾风险特殊性，明确热失控隔离、烟气控制等核心需求，遵循预防为主、模块化等设计原则，梳理分区布局、防火分隔等关键技术规范，并提出项目实施路径、标准合规管理等实施策略，为地下储能电站防火设计提供科学依据。

关键词：地下储能电站；防火分区；设计规范；热失控防控

引言：在新能源产业迅猛发展的当下，储能电站作为能源调节的核心枢纽，发挥着不可替代的作用。为节约土地资源，地下储能电站逐渐兴起。然而，地下空间密闭、通风不畅，储能设备又存在热失控隐患，一旦发生火灾，烟气积聚蔓延快，疏散救援难度大，次生灾害风险高。当前，针对地面建筑和常规电站的防火规范，难以有效应对地下储能电站的特殊火灾风险，缺乏针对性的设计指导，导致火灾隐患突出。因此，研究地下储能电站建筑防火分区设计规范迫在眉睫，具有重要的现实意义。

1 地下储能电站火灾风险特殊性与防火分区需求

1.1 火灾风险特殊性

地下储能电站火灾风险具有显著特殊性，核心源于地下空间特性与储能设备自身风险的叠加。地下空间密闭性强、通风不畅，火灾发生后烟气无法快速扩散，易形成有毒有害烟气积聚，加剧人员中毒窒息风险，同时热量难以散发，会加速火势蔓延与设备热失控。储能设备自身存在热失控隐患，电池过充、过放、短路或冷却系统故障，均会引发热失控，释放大热量与有毒气体，且热失控具有传染性，易扩散至相邻设备形成连锁反应。另外，地下储能电站管线密集、设备布局紧凑，火灾易沿管线蔓延，且地下疏散通道有限、逃生路线复杂，救援车辆与设备难以快速抵达现场，导致救援难度大幅提升，火灾造成的损失远高于地面储能电站，这些特殊性决定了其防火分区设计需区别于常规建筑。

1.2 防火分区核心需求

结合地下储能电站火灾风险特殊性，防火分区设计需满足四大核心需求，兼顾火灾防控与工程实用性。一是热失控隔离需求，通过科学划分防火分区，设置有效防火分隔设施，阻断热失控传播路径，防止火势跨分

区蔓延，将火灾控制在最小范围，降低连锁灾害风险。二是烟气控制需求，防火分区需与排烟通风系统协同设计，实现火灾烟气分区收集、定向排放，减少烟气扩散，为人员疏散与救援争取时间^[1]。三是疏散安全需求，防火分区划分需匹配疏散通道布局，明确每个分区的安全出口数量、疏散距离与宽度，确保火灾时人员能快速撤离至安全区域。四是合规适配需求，防火分区设计需符合国家及行业相关规范，兼顾热失控防控专项要求，适配不同类型储能设备的风险等级，同时为后期运维、设备更新及扩容预留空间，实现安全与实用的双重目标。

2 地下储能电站防火分区设计原则

2.1 预防为主，防消结合

“预防为主，防消结合”是地下储能电站防火分区设计的首要原则，核心是兼顾火灾预防与应急处置，实现全流程防火管控。预防层面，防火分区设计需优先考虑热失控防控，通过科学划分分区、优化设备布局，减少火灾诱因，例如将储能设备区与辅助区域严格分隔，避免无关火源进入核心区域，同时预留防火间距，防范热失控扩散。防消结合层面，分区设计需与灭火系统、应急救援系统协同，每个防火分区需配备足额灭火设备，设置专用消防通道与救援入口，确保火灾发生后能快速开展灭火救援作业。此外，分区设计需兼顾火灾预防的前瞻性与应急处置的可操作性，充分考虑储能设备热失控特点，提前规划防控措施，实现“早预防、早发现、早控制”，最大限度降低火灾发生概率与危害程度。

2.2 模块化与独立性

模块化与独立性原则旨在通过标准化、模块化设计，提升防火分区的安全性与可扩展性，同时保障每个分区的独立防控能力。模块化设计要求将地下储能电站按功能划分为若干标准化防火模块，包括储能设备模

块、控制模块、辅助模块等，每个模块作为独立防火单元，采用统一的设计标准与防火分隔要求，便于工程施工、设备安装与后期维护。独立性原则要求每个防火分区具备独立的防火分隔、排烟通风、消防供电系统，确保发生火灾时，不会影响其他分区的正常运行，同时能快速切断火灾分区与其他区域的联系，阻断火势与烟气蔓延。此外，模块化设计需适配储能设备的布置特点，便于根据电站规模、设备类型灵活调整分区数量与尺寸，兼顾规范性与灵活性^[2]。

2.3 安全性与经济性平衡

安全性与经济性平衡原则要求防火分区设计在保障核心安全的前提下，优化设计方案，实现成本合理控制。安全性是首要前提，防火分区的划分尺寸、分隔材料、配套系统，必须满足热失控防控与火灾蔓延控制要求，严禁为控制成本降低安全标准，例如防火分隔材料需达到规定耐火极限，确保能有效阻断热失控与火势传播。经济性方面，需优化分区布局与设计方案，减少不必要的防火分隔设施，采用性价比高的防火材料与技术，避免过度设计造成的成本浪费。同时，分区设计需兼顾后期运维成本，优化通道布局与设备布置，降低运维工作量与成本。通过科学优化设计，实现安全性与经济性的有机平衡，既保障防火安全，又提升工程整体效益。

3 地下储能电站防火分区设计关键技术规范

3.1 分区布局与模块化设计

分区布局与模块化设计是地下储能电站防火分区设计的核心技术，需结合电站规模、设备类型与热失控防控要求，制定明确规范。分区布局需遵循“功能分区、风险隔离”原则，将储能设备区、控制区、检修区、辅助区严格划分，其中储能设备区作为高风险区域，需划分独立防火分区，且与其他区域保持足够防火间距。模块化设计需采用标准化分区单元，每个储能模块对应独立防火分区，分区尺寸根据设备数量、热失控风险等级确定，确保单个模块发生热失控时，不会扩散至其他模块。此外，分区布局需优化疏散通道与消防通道设计，每个防火分区至少设置两个独立安全出口，疏散距离与宽度符合规范要求，同时预留设备运输与检修通道，兼顾安全性与实用性。

3.2 防火分隔材料与构造

防火分隔材料与构造是阻断火势与热失控传播的关键，需符合专项规范要求，兼顾耐火性能与适配性。防火分隔材料需选用耐火极限不低于规定标准的材料，防火墙优先采用不燃性材料砌筑，厚度满足耐火要求，严禁采用可燃或难燃材料。防火卷帘、防火门需适配地下

潮湿环境，选用防水、耐腐蚀且耐火性能达标的产品，防火卷帘需配备自动降落与手动控制装置，防火门需采用常闭型，确保关闭严密。管线穿越防火分区处，需采用防火封堵材料进行严密封堵，防止火势与烟气沿管线蔓延。针对储能设备热失控特点，防火分隔构造需增加隔热层，减少热量传导，同时设置泄压装置，缓解热失控引发的压力积聚，降低爆炸风险。

3.3 排烟与通风系统

排烟与通风系统设计需与防火分区协同，满足烟气控制与设备散热需求，是防火分区设计的重要配套技术。每个防火分区需设置独立的排烟系统，排烟量根据分区面积、设备数量与热失控烟气释放量确定，确保火灾发生后能快速排出有毒有害烟气，降低烟气浓度。排烟口需布置在分区顶部或烟气积聚区域，采用可开启式排烟窗或机械排烟装置，同时设置烟气导流设施，引导烟气定向排放^[3]。通风系统需分为正常通风与应急通风，正常通风用于设备散热，应急通风用于火灾时补充新鲜空气、稀释烟气。通风管道穿越防火分区处，需设置防火阀，火灾时自动关闭，防止火势跨分区蔓延，确保排烟与通风系统既能满足日常运维需求，又能适配火灾应急处置。

3.4 智能监测与动态控制

智能监测与动态控制技术是提升防火分区防控效能的关键，需纳入防火分区设计规范，实现热失控与火灾的早发现、早控制。每个防火分区需安装智能监测系统，配备温度、烟气、可燃气体传感器，实时监测储能设备运行状态与分区环境参数，重点监测热失控初期的温度异常与气体泄漏，数据实时传输至控制中心。当监测到异常参数时，系统自动发出报警信号，联动启动应急通风、灭火系统，同时关闭防火分隔设施，阻断火势与热失控传播。动态控制系统需实现防火分区状态的实时监控，根据设备运行负荷、环境变化，动态调整通风量、排烟量与监测灵敏度，同时预留与智慧消防系统的接口，实现远程监控与应急联动，提升防火分区的智能化防控水平。

4 地下储能电站防火分区设计实施策略

4.1 项目实施路径

地下储能电站防火分区设计实施需遵循分阶段、规范化的路径，确保设计、施工、验收全流程可控，贴合工程实际需求。第一阶段为设计准备阶段，开展地下空间勘察、储能设备参数调研及火灾风险评估，结合现行规范与项目实际，明确防火分区设计方案、技术标准及热失控防控重点，完成方案论证与审批。第二阶段为详

细设计阶段,细化分区布局、防火分隔、排烟通风、智能监测等技术细节,绘制设计图纸,明确材料选型、构造要求及设备配置参数,同步完成设计交底,确保施工单位准确把握设计意图。第三阶段为施工实施阶段,严格按照设计图纸施工,重点把控防火分隔材料质量、构造施工精度及消防设施安装规范性,加强施工过程质量管控,对关键工序进行专项验收,及时整改施工隐患。第四阶段为验收与移交阶段,组织专项消防验收,重点检查防火分区划分、防火分隔有效性、消防设施联动性能等,验收合格后完成项目移交,同步移交设计图纸、施工资料及运维手册,确保项目投用后防火分区功能完好。

4.2 标准合规性管理

标准合规性管理是防火分区设计实施的核心保障,需建立全流程合规管控体系,确保设计、施工、验收各环节符合规范要求。设计阶段,严格遵循国家及行业相关防火规范,结合地下储能电站专项要求,重点落实热失控防控、疏散安全等相关条款,避免设计与规范脱节。施工阶段,建立合规检查机制,定期开展施工合规性排查,重点检查防火材料、施工工序是否符合规范,及时整改违规问题,确保施工过程合规。验收阶段,对照设计规范与验收标准,逐项核查防火分区各项指标,明确验收不合格的整改要求与时限,实行闭环管理^[4]。另外,建立合规性动态更新机制,及时跟踪相关规范修订情况,同步优化设计与实施方案,确保防火分区设计始终符合最新规范要求。

4.3 成本效益优化

成本效益优化需在保障消防安全与合规性的前提下,通过科学设计与精细化管理,降低工程投资与运维成本,实现性价比最大化。设计阶段优化分区布局与方案,合理控制分区数量与规模,避免过度设计,优化防火分隔材料与消防设备选型,在满足耐火极限与功能要求的前提下,选择性价比高的产品,减少投资成本。例如,非高风险区域可选用符合标准的经济型防火板材,降低材料成本。施工阶段优化施工方案,采用模块化施工方式,提升施工效率,减少施工耗材与人工成本,加强施工过程质量管控,避免返工浪费。运维阶段优化运维方案,采用智能监测技术,实现防火分区与消防设施的精准运维,减少人工巡检成本,定期开展设备维护保

养,延长设备使用寿命,降低更换成本。通过科学的成本分摊与管控,平衡消防安全投入与经济效益,确保项目长期稳定运行的同时,实现成本合理控制。

4.4 运维与应急体系

运维与应急体系建设是保障防火分区长期有效运行的重要支撑,需构建常态化运维与高效应急处置相结合的体系,强化热失控防控与火灾应急能力。运维体系方面,建立防火分区专项运维制度,定期对防火分隔材料、防火门、排烟系统、智能监测设备等进行检查、维护与校准,及时更换老化、损坏的设施设备,排查火灾隐患并限期整改。建立专职或志愿消防队,明确运维岗位职责,开展常态化运维培训,提升运维人员的风险识别与处置能力。应急体系方面,制定针对性的应急救援预案,涵盖不同分区、不同类型火灾的处置流程,明确应急组织机构、职责分工及处置措施,定期组织实战化应急演练,提升应急处置能力。配备充足的应急救援设备与物资,建立应急联动机制,加强与当地消防救援机构的协同,确保火灾发生时能快速响应、高效处置,最大限度降低火灾危害。

结束语

地下储能电站建筑防火分区设计是保障其安全稳定运行的关键所在。本文通过对火灾风险特征的精准把握,明确防火分区设计的需求、原则,详细阐述了关键技术规范,并提出切实可行的实施策略。这些研究成果为地下储能电站的防火设计提供全面、科学的指导,有助于提高其火灾防控能力,降低火灾发生概率和损失。未来,随着技术不断进步和行业持续发展,需持续优化防火分区设计方案,适应新变化、新需求,为能源存储行业的安全发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]李萌,李少博.地铁车站建筑设计防火安全问题初探[J].绿色建造与智能建筑,2023(01):68-70.
- [2]冯方镭.建筑防火通用规范实施后民用建筑防火设计部分的变化[J].住宅与房地产,2024,(14):89-91.
- [3]孙冠华,朱开源,纪文栋,等.压缩空气储能电站地下硐库的基本概念、设计理念与方法[J].隧道与地下工程灾害防治,2024,6(1):14-23.
- [4]杨雪雯.压气储能电站地下人工洞室上覆岩体抗抬稳定影响因素分析[J].内蒙古电力技术,2024,42(6):8-13.