



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

电力储能系统 并网储能系统安全通用规范

Electrical energy storage systems: Safety considerations for grid-integrated electrical energy storage systems - General specification

(征求意见稿)

“在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。”

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 安全风险识别	2
5 安全风险评估	4
6 风险防控措施	7
7 系统安全试验	12
8 用户手册	14
附 录 A（资料性）不同类型电力储能系统的主要安全风险	16
参 考 文 献	18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件修改采用 IEC 62933-5-1: 2017《电力储能系统 第 5-1 部分：并网储能系统安全通用规范》。

本文件与 IEC 62933-5-1: 2017 的技术差异及其原因如下：

——删除了部分术语和定义，该标准中不需要规定这些术语和定义。删除原版第四章安全管理指南内容，该章节和后续章节内容重复。

——增加了部分规范性引用文件。

本文件做了下列编辑性改动：

——根据我国标准的编制要求，更改了第 1 章范围的描述；

——修改了标准化文件名称，将名称改为《电力储能系统 并网储能系统安全通用规范》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电力储能标准化技术委员会（SAC/TC 550）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

电力储能系统 并网储能系统安全通用规范

1 范围

本文件规定了电力储能系统接入电网的安全风险识别、安全风险评估和降低风险措施等通用安全技术要求。

本文件适用于各类型电力储能系统接入电网的通用安全管理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DL/T 2528 电力储能基本术语

IEC 62933-1 电力储能系统-第 1 部分:术语 (Electrical energy storage (EES) systems- Part 1: Terminology)

IEC TS 62933-5-1 电力储能系统-并网储能系统安全通用规范 (Electrical energy storage (EES) systems—Part 5-1: Safety considerations for grid-integrated EES systems - General specification)

IEC TS 62933-5-2 电力储能系统-并网储能系统安全规范-电化学储能系统 (Electrical energy storage (EES) systems—Part 5-2: Safety considerations for grid-integrated EES systems - Electrochemical-based systems)

ISO 13850 机械安全-紧急停止功能-设计原理(Safety of machinery- Emergency stop function- Principles for design)

3 术语和定义

DL/T 2528界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

储能子系统 accumulation subsystem

电力储能系统的子系统，至少包括一个能量以某种形式存储的电能存储装置。

3.2

电力储能系统模块 EES system module

电力储能系统的一部分，其本身是一个完整的储能系统。

3.3

失效模式 failure mode

3.4

失效模式与影响分析 failure modes and effects analysis; FMEA

研究子系统潜在的失效模式及失效对系统的影响。

3.5

失效模式、影响和危险度分析 failure modes, effects and criticality analysis; FMECA

研究失效模式发生概率和影响程度的定量或定性分析方法。

3.6

故障树分析 fault tree analysis; FTA

利用故障树由上往下进行演绎分析。

3.7

危险和操作性分析 hazard and operability studies

用于识别系统中潜在的危险和操作性问题。

3.8

个人防护设备 personal protective equipment; PEE

工作人员进行作业时为防止安全危害应佩戴的防护设备。

3.9

风险评估 risk assessment

包括风险分析和风险评价的整个过程。

3.10

风险分析 risk analysis

利用现有信息系统地识别和估计风险。

3.11

风险评价 risk evaluation

根据风险分析结果确定风险是否在容许范围内。

4 安全风险识别

4.1 电气危险

4.1.1 当人体与设备导电部分之间或人体、大地与设备导电部分之间构成闭合电路时，电流将在人体中传输，当人体流经电流较大时，可能导致电击伤害。

4.1.2 电流对人体的影响程度根据电流大小、波形、持续时间和频率不同从无察觉到明显疼痛，严重可导致烧伤或心室颤动。

4.1.3 电力系统因短路故障而产生的电弧会造成人员伤害或引发火灾。高能量的电弧会损坏设备，导致金属碎片向四周抛射，低能量的电弧会引爆易燃气体或可燃粉尘。

4.1.4 应确定弧闪界限并为运维工作人员配备合适的个人防护设备，防止电弧引起衣物着火导致热灼伤。

4.1.5 在含橡胶皮带驱动的工作场所不应存放易燃或可燃物品，以防静电放电引起爆炸。

4.2 机械危险

4.2.1 机械危险是由于人体与设备部件之间发生碰撞而引起，主要来源于：

- a) 人体相对于尖锐物体移动；
- b) 部件松动或设备爆炸而引起部件运动；
- c) 操作失误导致设备运动；
- d) 电池爆炸而导致设备运动；

- e) 支架不稳定而导致设备运动;
- f) 机械振动造成设备运动;
- g) 自然灾害导致设备运动。

4.2.2 机械危险导致的伤害包括摩擦、压力、擦伤、撕裂和挫伤等。

4.3 爆炸危险

4.3.1 爆炸是指物体体积急剧膨大而使周围气压强烈变化的现象。

4.3.2 根据系统能量转化性质的不同,爆炸可分为物理性爆炸和化学性爆炸,物理性爆炸包括沸腾液体膨胀引起的蒸气爆炸,化学性爆炸是由于失控的放热反应或不稳定物质分解而引起。

4.3.3 根据爆炸反应的相的不同,爆炸可分为气相爆炸、液相爆炸和固相爆炸,单位体积液相和固相反应物释放能量要比气相高得多。

4.3.4 罐体中液体温度不应过高,以防止液体剧烈汽化导致罐体破裂而引起物理性爆炸。应防止着火源接触易燃气体和可燃粉尘而引起化学性爆炸。

4.3.5 爆炸中失控的火焰、气压、有毒产物、抛射物和缺氧等危险因素会危及现场工作人员生命安全,应做好防护措施。

4.4 电磁场危险

应采取防护措施,防止射频辐射产生的高电磁能电流或电压对电气设备造成干扰或产生的电弧引燃爆炸性环境。

4.5 火灾危险

4.5.1 可燃物、助燃物和着火源是发生火灾的三要素,火灾强度取决于可燃物的性质、几何形状、数量以及燃烧条件等。

4.5.2 某些性质不稳定材料、具有氧化特性材料、易燃材料和氧气浓度(如富氧)会影响火灾危险程度。

4.5.3 火灾危险分析中应确定可燃物的大小、形状、储存、燃烧难易程度以及特性随时间变化情况,应考虑材料分解释放出可燃气体或有毒气体的可能性。

4.5.4 在评估火灾危险时,应确定可燃物和空气、硝酸钾(KNO₃)、高锰酸钾(KMnO₄)、高氯酸(HClO₄)、过氧化氢(H₂O₂)及氧化亚氮(N₂O)等助燃物的分布情况。应充分考虑以热能、电能、机械能或化学能等形式存在的潜在着火源的分布情况。

4.5.5 电气火灾是电能经电阻或电弧转化为热能,进而点燃可燃物而引起。

4.5.6 火灾危险的着火源可来源于传导、对流或热辐射等形式释放的能量。

4.5.7 应通过可燃物的存放位置来判断火灾在发展阶段的燃烧路径。

4.6 温度危险

4.6.1 人体与热传导设备之间的热能转移会导致人体疼痛或烧伤,热传导设备对人体伤害程度取决于温差、接触时间和热能转移速度等。

4.6.2 应防止吸入热烟而导致烧伤、昏厥、呼吸道堵塞、面部或鼻毛烧焦,以及肺部损伤等。

4.6.3 明火和爆炸导致的热辐射会导致人体皮肤组织灼伤,暴露在极寒温度下会对人体造成伤害,应采取相应防护措施。

4.6.4 电力储能系统正常操作或误操作产生的热量是潜在的温度危险源。

4.7 化学危险

4.7.1 危险化学品对人体伤害程度取决于接触面积、接触时间和化学品对人体皮肤的敏感度等因素。

4.7.2 强酸、强碱及其他腐蚀性物质会侵蚀或烧伤人体皮肤组织，应采取保护措施防止工作人员的皮肤和眼睛直接暴露于危险化学品前。

4.7.3 应采取保护措施防止火灾或化学品加热分解释放出的有毒气体对附近居民造成危害或引起腐蚀问题。

4.8 工作环境危险

4.8.1 电力储能系统的存放环境应设计成便于进出，应充分考虑工作位置、姿势、操作频率及持续时间可能对人体肌肉或骨骼造成伤害。

4.8.2 应采取防护措施防止寒冷环境对工作人员造成伤害。

4.8.3 应采取防护措施防止持续或过量噪音损伤工作人员的听力，工作人员不宜长期暴露在频率为3kHz-300GHz 的高强度无线电波环境中。

5 安全风险评估

5.1 特征

5.1.1 一般特征

进行安全风险评估时应充分了解电力储能系统的一般特征，包括：

- a) 储能类型，运行参数，功率，容量，预期使用寿命；
- b) 应用场景；
- c) 所含危险材料；
- d) 自检功能、远程控制及是否有人值守；
- e) 系统包含的辅助设备；
- f) 系统的安全性和可靠性；
- g) 降低风险的安全措施；
- h) 使用说明。

5.1.2 具体特征

根据储能类型的不同，电力储能系统可分为机械储能、电化学储能、热储能和化学储能等，具体包括：

- a) 机械储能
 - 1) 抽水电站；
 - 2) 飞轮；
 - 3) 压缩空气。
- b) 电化学储能
 - 1) 二次电池；
 - 2) 流动电池。
- c) 热储能
- d) 化学储能
 - 1) 氢气；

2) 天然气。

附录 A 对不同类型电力储能系统的主要安全风险进行简要说明。

5.2 运行条件

5.2.1 接入电网类型

电力储能系统接入电网类型包括：

- a) 输电网；
- b) 配电网；
- c) 商业电网；
- d) 工业电网；
- e) 居民电网；
- f) 孤岛电网。

5.2.2 应用场景

电力储能系统的典型应用场景包括：

- a) 削峰填谷；
- b) 负荷平移；
- c) 频率调节；
- d) 平抑可再生能源；
- e) 备用电源。

5.2.3 安装地点

电力储能系统的选址包括：

- a) 可再生能源基地；
- b) 住宅区；
- c) 商业建筑和公共建筑；
- d) 工业园区。

存放地点：

- a) 室外封闭或不封闭区域；
- b) 室内封闭或非封闭区域；
- c) 地下室。

5.2.4 外部因素

应确定极端天气、山体滑坡、霜冻、大雪、台风、地震、洪水、雷电和海拔等外部因素对电力储能系统的影响情况。

5.2.5 无人值守运行

当无人值守电力储能系统在运行过程中发生外部侵害或内部故障，远程监控系统应向操作员发送告警或故障信息，操作员应采取必要措施对电力储能系统进行远程控制。设计远程监控系统应考虑通信故障和人为误操作造成的风险。

5.2.6 非计划性孤岛

一般来说，电力储能系统接入的配电网在停电期间断开电力储能系统或本地电源，使配电线路处于无电压状态（见图 1）。在非计划性孤岛中，由于并网储能系统未与电网分离，导致配电线路通电，应采取防护措施防止作业人员在事故调查或维修工作中发生触电事故。当出现非计划性孤岛时，应通过继电保护或自动控制装置迅速将电力储能系统和电网分离。

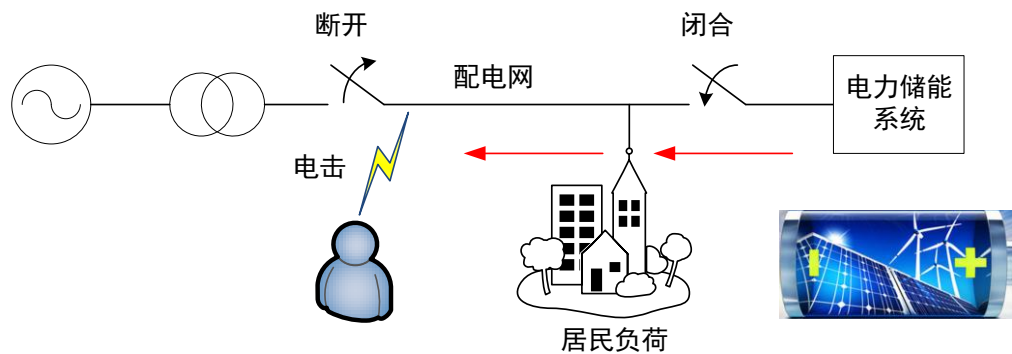


图 1 电力储能系统的非计划性孤岛

5.3 安全风险评估

5.3.1 一般情况

5.3.1.1 在风险分析和风险评价中，应考虑安全风险因素对电力储能系统生命周期的各阶段的影响，包括：规划、设计、运输、安装、调试、运行、维护、检修以及使用寿命终止。

5.3.1.2 应根据相关标准对电力储能系统部件进行设计、制造和测试，以保证电力储能系统的性能安全可靠。电力储能系统部件由不同制造商生产时，应评估系统集成而产生的不相容性风险。

5.3.2 风险因素

5.3.2.1 保护拒动

应采取措施防止电力储能系统保护拒动可能导致的火灾或电气危险。

5.3.2.2 故障检测错误

应采取措施防止故障检测错误而引起的电气危险、机械危险、爆炸危险和火灾危险等。例如，采取绝缘措施防止电气设备漏电未被有效检测而带来的电击危险。

5.3.2.3 系统控制故障

应采取措施防止通信故障、控制信号错误和控制电源丢失等故障造成电气危险、机械危险、爆炸危险和火灾危险等。

5.3.2.4 辅助系统故障

应采取措施防止辅助系统故障而引起电气危险、机械危险、爆炸危险和火灾危险等。

5.3.2.5 人为因素

应制定相应的安全措施，减少人为误操作、误设计、误安装、维护不当以及培训不足而造成的危险。禁止工作人员未按正确作业流程进行作业或不熟练工作人员参与作业。

5.3.2.6 外部环境

应防止电力储能系统在设计、建设和运行中受自然灾害破坏。

5.3.2.7 严重风险

设计中应考虑电力储能系统出现重大故障而导致火灾、爆炸或有毒气体扩散等严重风险。应制定正确的灭火准则、疏散计划、路线和指示。

5.3.3 系统层面的风险分析

5.3.3.1 宜充分利用失效模式、影响和危险度分析等系统可靠性分析技术来保证电力储能系统安全。

5.3.3.2 宜采用失效模式、影响和危险度分析方法对低风险系统进行风险分析，当在失效模式、影响和危险度分析中遇到高风险因素时，宜采用概率风险分析方法。

5.3.3.3 可采用故障树分析方法和危险与可操作性分析方法对系统进行风险分析，应记录风险分析的结果并保存分析报告。

5.3.3.4 当失效模式与影响分析方法、故障树分析方法或危险与可操作性分析方法认为可能出现火灾、爆炸或有毒气体扩散时，应进行安全风险管控。

5.3.3.5 当电力储能系统使用公共通信资源时，应考虑通信网络安全。

6 风险防控措施

6.1 一般措施

6.1.1 电力储能系统进行安全风险评估后，应采取必要的措施防止故障发生或缩小故障影响范围。对故障概率较大或严重程度较高的情况，应根据图 2 所示流程提出降低风险措施。

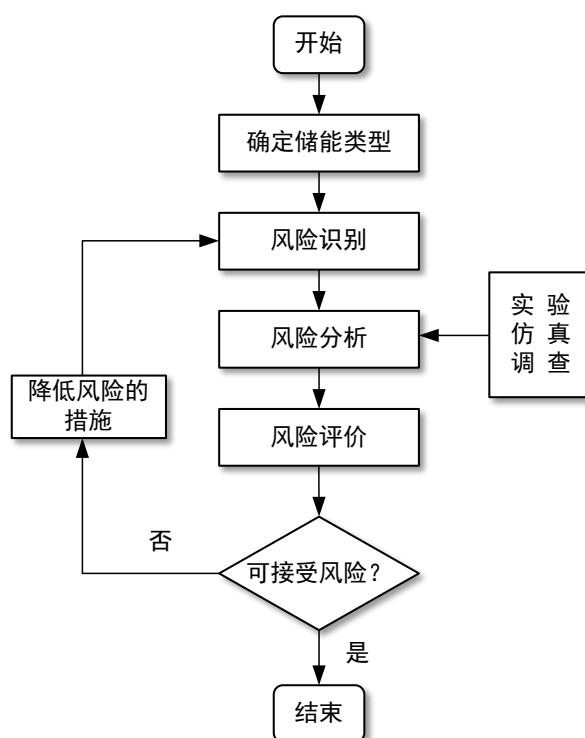


图 2 提出降低风险措施流程

6.1.2 安全风险分析应考虑地震、洪水和海啸等自然因素和人为破坏、社会动荡和恐怖主义等人为因素的影响。

6.1.3 应采取预防措施使外部因素对电力储能系统安全的影响最小。

6.1.4 当系统发生事故，应立即采取有效措施防止事故发展或扩大，当事故的破坏程度较大，应启动应急响应措施。

6.1.5 电力储能系统降低风险的一般措施如图 3 所示，应通过常规的监测和控制措施，防止外部影响、软件\硬件故障、系统故障及误操作等导致局部系统故障。应在预防措施和缓解措施层面防止事故的发展或扩大，并将系统风险控制在可接受风险范围内。应事先计划场站应急响应和区域应急响应措施以减小事故的影响。

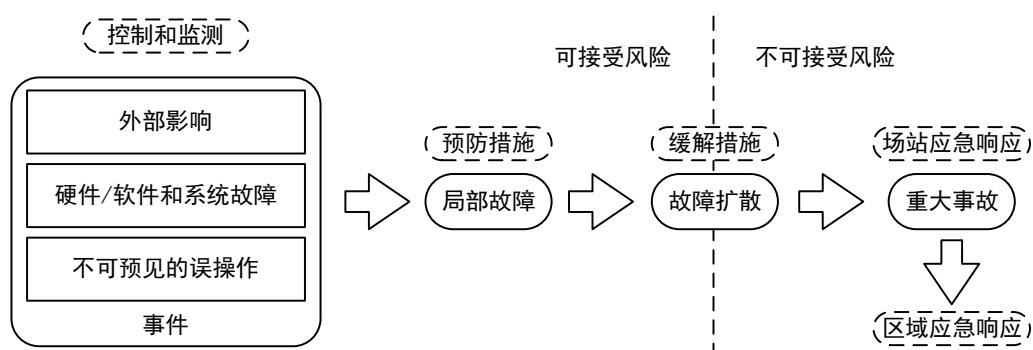


图 3 降低风险的具体措施

6.2 防止危害邻近居民的预防措施

6.2.1 应对可能影响邻近居民的爆炸、火灾、有毒气体扩散等突发性重大事故采取预防措施，防止对人身安全和周围环境产生严重危害。

6.2.2 电力储能系统运营商或用户应采取一切必要措施防止重大事故发生或减轻其后果，在事故发生后应采取相应恢复措施。

6.2.3 经评估电力储能系统发生火灾、爆炸或有毒气体扩散等事故的风险超出标准时，应配备安全防护装备或系统将风险降低到标准以下水平，安全系统应简单可靠且与电力储能系统的控制系统相独立。

6.3 防止危害工作人员的预防措施

6.3.1 防止电气危险

6.3.1.1 应尽量减少人体与电气设备接触，防止小动物进入电力储能系统运行区域。应采取绝缘措施或设置围栏防止工作人员误碰带电设备。应在电力储能系统周围设置安全警示标识。

6.3.1.2 工作人员须确保导体安全隔离并接地后，方可在导体上作业。在储能电池端子上工作，工作人员应配备有报警功能的个人防护设备。

6.3.1.3 应采取相应防护措施防止导体和电缆直接暴露于淡水、盐水或潮湿环境中而导致霉变或腐蚀。

6.3.1.4 电力储能系统应配置以下预防电气危险的措施：

- a) 接地故障检测；
- b) 过/欠电压检测；
- c) 过/欠电流检测；
- d) 高/低温度检测；
- e) 防雷措施；
- f) 静电释放措施；
- g) 熔断保护。

6.3.1.5 可采用无源检测法或有源检测法检测并储能系统网的非计划孤岛，以降低电气危险。

a) 无源检测法

通过检测电压、相位和频率等电气量的变化判断有无孤岛。

b) 有源检测法

通过人为向系统注入有源扰动信号进行孤岛检测。

6.3.2 防止机械危险

电力储能系统应配置以下防止机械危险的防护措施，包括：

- a) 安装防移部件；
- b) 配置移动部件的安全联锁装置；
- c) 部件停运措施；
- d) 设备稳定措施；
- e) 爆炸的缓冲装置。

6.3.3 防止其他危险

6.3.3.1 防爆

应通过降低可燃物浓度或降低氧气浓度来避免形成爆炸性环境，应防止爆炸性环境和有效着火源相结合。应通过隔离、通风和密封等措施防止发生爆炸或限制爆炸范围。在制定防爆措施时应考虑可能出现的技术故障和人为误操作，宜在专家指导下进行防爆措施的实际应用。

6.3.3.2 电磁场防护

电磁干扰可能会导致电力储能系统单个部件故障或部件间通信故障，应进行抗电磁干扰试验。在设计 and 测试电力储能系统的保护与控制装置时，应充分考虑所处环境可能发生的电磁干扰。

6.3.3.3 防火

火灾预防和保护措施包括：

- a) 在建设中使用不燃或阻燃性材料；
- b) 分析导致材料过热的原因，并采取措施消除材料过热风险；
- c) 当无法消除发生火灾可能性时，应尽可能消除或减少人员、财产和环境受损害；
- d) 可使用综合火灾探测和灭火系统降低发生火灾的风险；
- e) 使用程序跳闸或紧急停机措施；
- f) 通过消防系统隔离被保护区域；
- g) 向操作者提供全面且易于理解的使用说明书，以确保必要时采取正确的消防措施。

应根据具体情况配置电力储能系统的火灾探测和灭火系统。应对储能系统进行火灾风险评估，以确定所需配置的火灾探测和灭火系统的类型及数量。配备的灭火系统应有灭火材料说明、灭火系统安装使用说明以及应遵循的安全管理措施。

6.3.3.4 温度危险防护

应在含有发热部件的电力储能系统中配备防止温度危险的安全措施。应在设计阶段确定系统非正常运行可能出现温升部件的保护措施。应配置热传感器对电力储能系统部件温升进行监测，并根据对工作人员和设备的危害程度设置安全警报。

6.3.3.5 化学危险防护

应采取下列安全措施防止危险化学品对人体造成伤害：

- a) 采用防泄漏容器对危险化学品进行封闭处理，容器材料应具有耐腐蚀性；
- b) 配置安全防护外壳；
- c) 配置监测和警报系统。

安装在室内的电力储能系统应具有良好的通风条件。如果经风险评估存在有毒气体泄漏的可能性，应根据地形、建筑物结构和气体物理特性设计防止有毒气体聚集的安全措施。应实时监测有毒气体并为现场工作人员配置毒气防护设备。

6.3.3.6 工作环境危险防护

- a) 遥控和自动控制

具有远程控制的电力储能系统应具备关闭远程控制的功能，以便进行系统检查或维护。远程控制系统的使用不应导致系统危害分析中不安全状况的发生。

b) 工作空间

应根据相关规定为需要带电检查或维护的电力储能系统提供足够的工作空间。

c) 安全出口

安装在室内或室外围栏内的电力储能系统应至少设置一个安全出入口，门应朝出口方向开启。电力储能系统出入口应设有警示标识，禁止无关人员进入。应设计防止人员误入或被误关在室内或围栏内的安全措施。

d) 工作照明

电力储能系统的全部工作空间应提供工作照明，照明插座的布置应确保维修作业人员无触电危险。应按照相关规定配置应急照明。

6.4 过电流保护措施

应通过计算确定过流保护设备的安装位置、容量和保护联动。

6.5 断开和停机措施

6.5.1 总则

6.5.1.1 电力储能系统应能够与电网部分或全部断开，应能够实现紧急停机。如图 4 所示，应视具体情况确定每种储能技术开关的开断顺序。

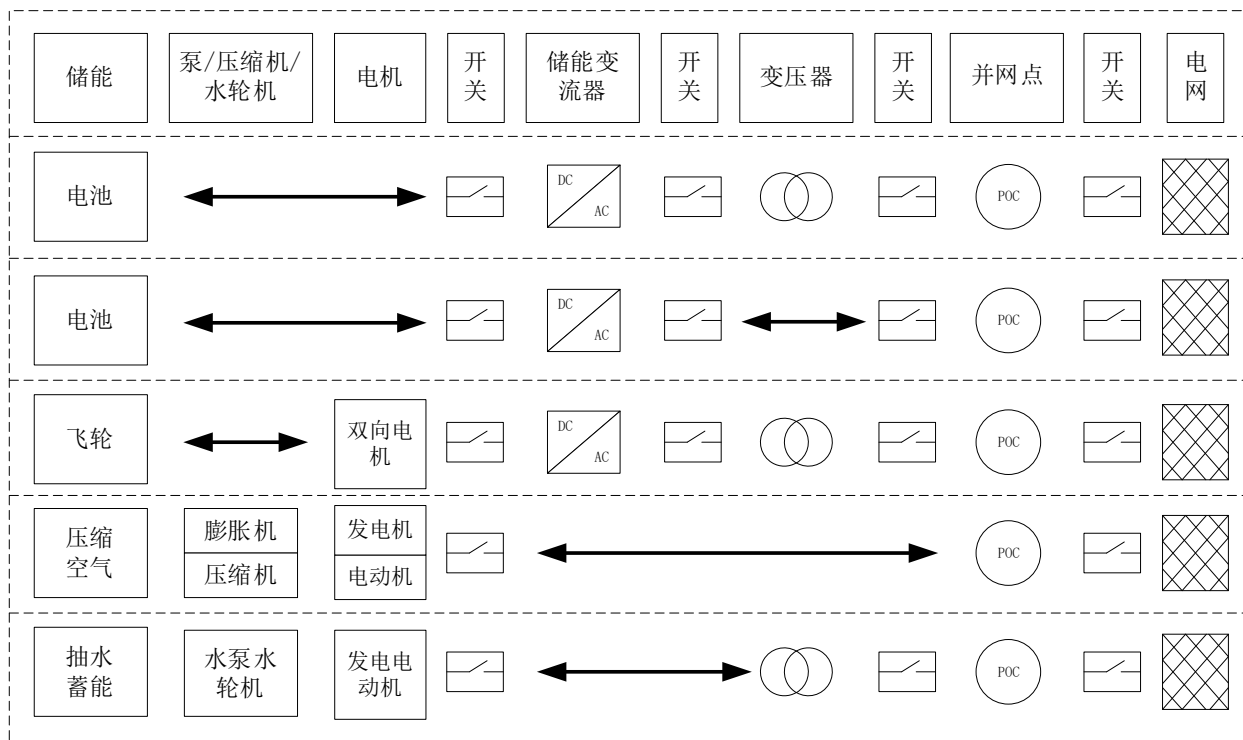


图 4 不同类型电力储能系统结构

6.5.1.2 在以下情况应断开电力储能系统：

- a) 定期维护；
- b) 子系统/组件故障；
- c) 系统升级；
- d) 使用年限超过预期使用寿命。

6.5.1.3 可控制以下电力储能系统部件实现系统部分或全部断开：

- a) 电力储能系统与电网的连接点；
- b) 变压器等交流设备；
- c) 开关装置；
- d) 储能变流器；
- e) 交流发电机；
- f) 储能子系统；
- g) 辅助系统。

6.5.2 离网状态

电力储能系统通过控制断开装置，将电力储能系统与电网断开，实现离网状态。应在使用说明书中提供最大短路电流、断开装置的类型和等级等参数。断开装置应在电力储能系统监控范围内。

6.5.3 停机状态

电力储能系统与电网断开且储能子系统和储能变流器断开，实现停机状态。在停机状态下，安全和监控相关的辅助系统应正常供电。

6.5.4 电力储能系统停机

停机指令用于将电力储能系统关闭至停机状态。当电力储能系统部件出现故障导致系统的电压、电流、温度、压力和转速等参量过大，继续运行可能导致事故发生，应启动停机指令，通过控制开关装置使系统部件协调停运。

6.5.5 子系统断开

电力储能系统的设计应允许只断开部分子系统，而保持其他子系统继续运行。

6.5.6 紧急停机

6.5.6.1 紧急停机应纳入电力储能系统的安全管理中，防止不可控危险情况的发生，紧急停机功能应满足以下要求：

- a) 停止系统危险状态；
- b) 允许启动保护措施；
- c) 防止复位重启，使用新的启动命令才能重启。

6.5.6.2 设计手动紧急停机措施应满足 ISO 13850 的技术要求。

6.5.6.3 当控制系统逻辑或硬件出现故障而发出紧急停机指令，电力储能系统停机程序不应中断。紧急停机时，保护装置应始终有效。

6.5.6.4 当保护或连锁装置断开电力储能系统时，应向控制系统发出信号。监控系统在危险情况下应能持续监测电力储能系统状态。

6.6 预防性维护措施

6.6.1 应对电力储能系统进行定期监控，宜采用远程监控。

6.6.2 电力储能系统参数报警的频率可作为子系统或组件故障的安全预警。

6.6.3 操作人员应利用远程监控技术监测电力储能系统是否安全运行，应通过参数变化评估电力储能系统健康状态和剩余寿命，并对可能故障进行预诊断。

6.6.4 应考虑测量系统故障和测量误差对电力储能系统远程监控可靠性的影响。

6.6.5 电力储能系统应能在无须操作人员交互的情况下自动保持或恢复安全状态。

6.7 培训措施

6.7.1 应对工作人员进行定期培训，使其充分了解工作场所的危害点及其防护措施。应指导工作人员正确识别危险场所警示标识，进行规范性作业，以及正确穿戴个人防护设备。

6.7.2 在开展电力储能系统作业前、使用新设备或新技术前应对工作人员进行培训。

6.7.3 应由专业人员定期对工作人员进行培训并检查培训效果，应以书面形式记录培训日期、内容及参与培训人员等。

6.8 安全设计措施

6.8.1 安全设计和修正应贯穿电力储能系统全生命周期过程，如图 5 所示。在预期使用寿命内应定期对电力储能系统进行安全检查。电力储能系统的正常运行受技术变化、环境变化、市场变化和新法规等多种因素的影响，在影响因素发生变化时，应重新对电力储能系统的操作经验、组件故障、软件故障和固有设计问题等进行安全风险评估。

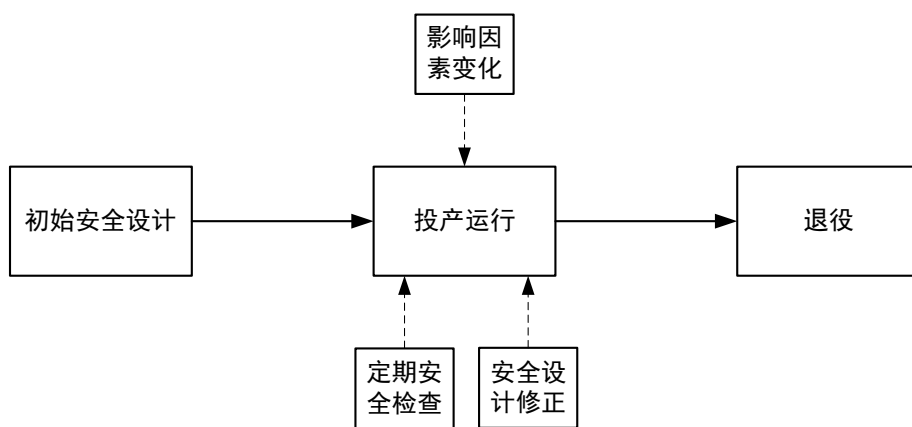


图 5 安全设计和修正过程

6.8.2 安全设计和修正

当系统发生微小变化时，可采用失效模式与影响分析方法对系统重新进行安全设计。当电力储能系统或周围环境发生较大变化时，在失效模式与影响分析时，还应对整个系统与周围环境进行安全设计和风险分析。

7 系统安全试验

7.1 一般要求

7.1.1 应对电力储能系统潜在故障响应进行评估，以保证电力储能系统安全机制的正确实施。典型电力储能系统结构如图 6 所示。

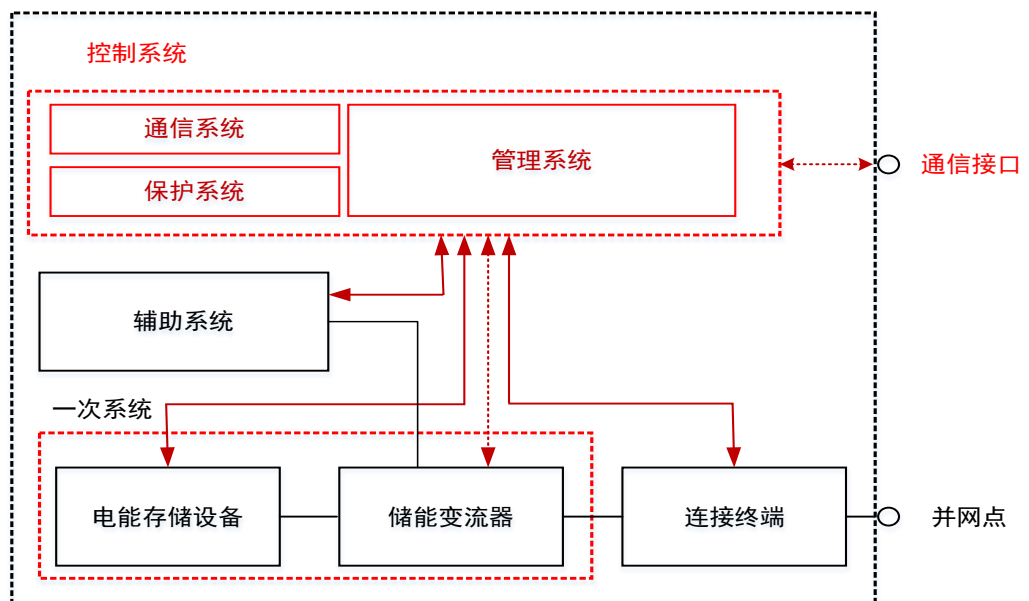
7.1.2 电力储能系统包括一次系统、辅助系统和控制系统等。子系统包含的不同组件通过内部通信线连接。

7.1.3 应采取电磁防护措施，防止储能变流器产生的电磁干扰导致储能控制系统故障或影响系统组件、内部通信设备和操作人员的安全。

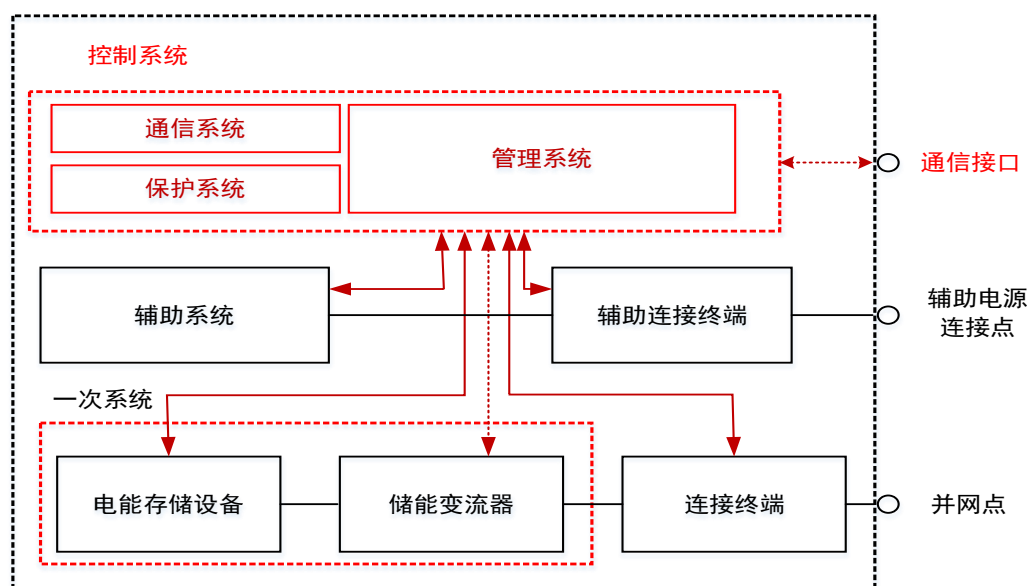
7.1.4 测试设备和现场测试条件应与测试目的、样本数量和样本性能等相符。

7.1.5 在测试过程中应为现场工作人员提供个人防护设备。

7.1.6 应按正确的程序对测试样品进行储存、处置和测试，用于测试的样品应具有代表性，以满足特定测试目的。



(a) 不含辅助电源连接点的电力储能系统结构



(b) 含辅助电源连接点的电力储能系统结构

图 6 两种典型电力储能系统结构

7.2 辅助系统试验

7.2.1 应测试以下辅助系统故障条件：

- 完全失去控制电源；
- 部分失去控制电源；
- 暂时失去控制电源；
- 控制电源电压高于允许水平；
- 控制电源电压低于允许水平；
- 冷却系统故障。

7.2.2 所有辅助系统测试故障不应影响系统安全功能，测试结果应与失效模式与影响分析的预期效果一致。

7.3 控制系统试验

7.3.1 控制系统向储能逆变器提供错误控制信息会导致电力储能系统故障或不安全运行，应测试控制系统中与安全相关的故障条件。

7.3.2 所有控制系统测试故障不应影响系统安全功能，测试结果应与失效模式与影响分析的预期效果一致。

7.4 内部通信试验

7.4.1 应测试以下内部通信故障条件：

- a) 内部通信线路开路；
- b) 内部通信线路短路；
- c) 内部通信信号受到干扰。

7.4.2 所有内部通信测试故障不应影响系统安全功能，测试结果应与失效模式与影响分析的预期效果一致。

7.5 外部通信试验

7.5.1 应测试以下外部通信故障条件：

- a) 外部通信线路开路；
- b) 外部通信线路短路；
- c) 外部通信信号受到干扰。

7.5.2 所有外部通信测试故障不应影响系统安全功能，测试结果应与失效模式与影响分析的预期效果一致。

8 用户手册

8.1 一般要求

用户手册应包含以下相关内容：

- a) 电力储能系统设备特征；
- b) 安全注意事项；
- c) 安装使用说明；
- d) 设备调试；
- e) 接口控制；
- f) 维护和故障检修；
- g) 退役和回收。

8.2 应急手册

8.2.1 应急手册应满足以下要求：

- a) 应制定可能导致重大事故危险因素的控制措施；
- b) 应制定危险因素发生时现场工作人员发收预警信号及应采取的安全措施；

- c) 应包含向负责外部应急响应单位提供的应急预案;
- d) 可培训工作人员应急处置能力以及与场外应急人员协调配合能力。

8.2.2 火灾应急预案中, 应规定火灾应对措施和灭火系统的操作步骤等。应建立火灾应急组织机构, 并明确各岗位职责。

8.3 个人防护设备使用

用户手册应规定执行各种任务工作人员的个人防护设备配置要求。应针对电力储能系统工作区域存在风险因素, 制定相应的安全保护措施, 同时配备警示标识, 以帮助工作人员辨识危险环境和采取必要的安全防预措施。

附录 A
(资料性)

不同类型电力储能系统的主要安全风险

A.1 抽水蓄能站

A.1.1 抽水蓄能站在用电低谷时段，将水抽到上游水库，将电能转化为水的势能，在用电高峰时段，将水释放到下游水库，将水的势能转化为电能。

A.1.2 抽水蓄能站的主要安全风险见表 A.1。

表 A.1 抽水蓄能站的主要安全风险

原因	主要事件	危害	影响
地震、山体滑坡、渗水损坏坝体或路堤	1.大坝结构破裂 2.输水系统、水泵水轮机和发电电动机故障等	1.形成洪水 2.下游水流量急剧增加	1.洪水淹没或冲刷下游区域 2.造成溺水事故 3.造成财产损失
雪崩或塌方导致水库水位突然上升			
水库的外部危害入侵（植被、动物、船只碰撞）			
水库坝体腐蚀			
上游大坝决堤导致多米诺效应			
超过设计等级的洪水			
上游水库进水量不满足下游水库水流量			
抽水导致上游水库溢出			
抽水蓄能系统的组件故障			

A.2 飞轮储能站

A.2.1 飞轮储能站通过增加飞轮转速将电能转化为飞轮机械能，通过降低飞轮转速将飞轮机械能转化为电能。

A.2.2 飞轮储能站的主要安全风险见表 A.2。

表 A.2 飞轮储能站的主要安全风险

原因	主要事件	危害	结果
变频器故障导致飞轮超速	1.应力过大导致飞轮储能系统组件磨损 2.转子受力不平衡 3.转子解体或脱离	1.组件故障 2.振动过度，轴承过热，组件严重磨损 3.复合材料起火 4.转子高速脱离或发生解体	1.储能系统缺陷、故障或损坏 2.破坏存放飞轮储能系统的建筑物 3.对电力系统造成扰动
传感器受到干扰			
控制指令受到干扰			
系统散热不良			
外部热流干扰			
真空泵或真空管故障			
外壳损坏（腐蚀、破损）			
轴承磁悬浮性能不良			

双向电机短路故障			
----------	--	--	--

A.3 电化学储能站

A.3.1 电化学储能技术包括铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池、锂金属电池、钠硫电池、钠氯化镍电池和液流电池等。

A.3.2 电化学储能站的主要安全风险见表 A.3（以锂离子电池为例）。

表 A.3 电化学储能站的主要安全风险

原因	主要事件	危害	影响
电池过充电、过放电、外部短路、内部短路、温度上升、压力升高和密封不良等内部故障	1.温度升高、压力升高和电池密封不良导致电池组件损坏 2.电池故障经级联传播到其他电池或其他电力储能系统模块	1.内部压力升高或温度升高导致电池外壳破裂或爆炸 2.有毒气体排放，高温、易燃、腐蚀性气体排放，以及有毒电解液排放 3.电化学储能系统起火	1.电化学储能系统爆炸 2.释放大热量 3.碎片抛射 4.有毒气体或液体扩散 5.设备绝缘破坏 6.电气短路
单电池故障使同组电池性能恶化并导致故障			
通风和散热不良			
外部机械破坏			
外部热流影响			

A.4 氢储能或天然气储能站

A.4.1 典型氢储能系统由电解槽、储氢罐和燃料电池组成。电解槽通过将水分解成氢气和氧气，将电能转化为化学能，燃料电池通过氢气和氧气反应生成水，将化学能转化为电能。

A.4.2 氢储能或天然气储能站的主要安全风险见表 A.4。

表 A.4 氢储能和天然气储能站的主要安全风险

原因	主要事件	危害	影响
机械冲击	1.存储容器压力过高 2.罐体破裂导致液态或气态氢泄漏 3.与空气或水发生反应 4.氢化物扩散	1.泄漏点附近或封闭区域内形成爆炸性气体环境，存在火灾或爆炸危险 2.火灾或爆炸导致缺氧 3.低温存储的氢气或天然气存在冻伤危险	2.火灾或爆炸 3.缺氧 4.低温冻伤
氢脆或氢蚀导致设备性能退化或故障			
反复热膨胀导致材料疲劳或损坏			
外部热流干扰			
容器材料性能退化			
控制仪表故障导致存储容器过压或过装			
材料低温降解或老化			
隔热性能下降			

参 考 文 献

- [1] IEC 60050-192:2015, International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability.
- [2] IEC 60050-448: 1995, International Electrotechnical Vocabulary – Part 448: Power system protection.
- [3] IEC 60050-617:2009, International Electrotechnical Vocabulary Part 617: Organization/Market of electricity.
- [4] IEC 60050-651 :2014: International Electrotechnical Vocabulary – Part 651: Live working.
- [5] IEC 60050-903:2013, International Electrotechnical Vocabulary – Part 903: Risk assessment.
- [6] IEC 60050-904:2014, International Electrotechnical Vocabulary – Part 904: Environmental standardization for electrical and electronic products and systems.
- [7] IEC 60364-4-41 :2005, Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety –Protection against electric shock.
- [8] IEC 60364-4-42:2010, Low-voltage electrical installations – Part 4-42: Protection for safety –Protection against thermal effects.
- [9] IEC 60812 :2006, Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
- [10] IEC 61 000 (all parts) , Electromagnetic compatibility (EMC).
- [11] IEC 61025:2006, Fault tree analysis (FTA).
- [12] IEC 61140, Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment.
- [13] IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
- [14] IEC 61508-1, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements.
- [15] IEC 61511-1 :2016, Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements.
- [16] IEC 61882:2001, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide.
- [17] IEC 62040-1 :2008, Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: General and safety requirements for UPS.
- [19] IEC 62351 :2016 (all parts) Power systems management and associated information exchange – Data and communications security.
- [20] IEC TS 62351 -2:2008, Power systems management and associated information exchange –Data and communications security – Part 2: Glossary of terms.
- [21] IEC 62368-1 :2014, Audio/ video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements.
- [22] IEC TS 62443-1-1 :2009, Industrial communication networks – Network and system security –Part 1-1: Terminology, concepts and models.
- [23] IEC 624 77-1 :2012, Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General.
- [24] IEC 62485-1 :2015, Safety requirements for secondary batteries and battery installations –Part 1: General safety information.
- [25] IEC 62531 :2012, Property Specification Language (PSL).

- [26] IEC 62116:2014, Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of is/anding prevention measures.
- [27] IEC 62619: Safety requirements for large format secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications.
- [28] IEC TS 62686-1 :2015, Process management for avionics - Electronic components for aerospace, defence and high performance (ADHP) applications - Part 1: General requirements for high reliability integrated circuits and discrete semiconductors.
- [29] IEC Guide 104, The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications.
- [30] IEC White paper:, Electrical Energy Storage.
- [31] ISO/ IEC Guide 51 , Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards.
- [32] ISO/IEC 14543-2-1 :2006, Information technology - Home electronic systems (HES) architecture - Part 2-1: Introduction and device modularity.
- [33] ISO 13732-1: 2006, Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces. Part 1: Hot surfaces.
- [34] ISO 13850:2015, Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design.
- [35] ISO 13857:2008 Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs.
- [36] ISO 13943:2008, Fire safety - Vocabulary.
- [37] IEEE 1584-2002, IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations.
- [38] NFPA 70E -2012 Standard for Electrical Safety in the Workplace.
- [39] NF EN 134 78+A 1: June 2008, Safety of Machinery, Fire Prevention and Protection.
- [40] UL 9540 :2016, Standard for Energy Storage Systems and Equipment.
- [41] J. C. Das, Arc-flash hazard calculations in L V and MV DC systems-Part 11: analysis, IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 50, pp. 1698-1705, May/June 2014.
- [42] F. M. Gatta, A. Geri, M. Maccioni, S. Lauria, F. Palone. Arc-flash in large battery energy storage systems - Hazard calculation and mitigation IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Rome, June, 7-10, 2016.