

新能源制氢-储能-发电一体化项目的安全环保标准体系构建

张兆佳

华电（海西）新能源有限公司 青海 德令哈 817099

摘要：在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，新能源制氢-储能-发电一体化项目作为实现可再生能源高效利用的重要路径，其安全环保管理的系统性与规范性亟待提升。本研究聚焦该类项目全生命周期（涵盖制氢、储能、发电及系统集成环节），通过梳理国内外氢能、储能及电力行业安全环保标准现状，分析一体化项目在氢气泄漏风险、储能系统热失控、污染物排放协同控制等方面的特殊性挑战，构建包含基础通用标准、技术规范、操作指南及应急管理的多层级标准体系框架。研究结合电解水制氢、压缩空气储能、氢燃机发电等典型技术场景，明确设备安全阈值、环境影响评价指标、资源循环利用要求及风险防控流程，为一体化项目的规划设计、建设运营及监管提供科学依据，推动氢能产业安全可持续发展。

关键词：新能源制氢；储能发电一体化；安全标准；环保标准；体系构建

引言：随着全球对低碳能源的需求激增，氢能作为零碳能源载体，在能源系统脱碳进程中扮演关键角色。新能源制氢-储能-发电一体化项目通过耦合可再生能源发电、电解水制氢、氢储能及氢能发电环节，形成“电-氢-电”的能量闭环，可有效解决可再生能源间歇性问题，提升能源利用效率。然而，该类项目涉及氢气生产、储存、运输、利用及储能系统集成等多环节，存在氢气易燃易爆、储能电池热失控、废水/废气排放等安全环保风险，且当前国内外相关标准多针对单一领域（如制氢、储能或发电），缺乏覆盖全链条的系统性规范，导致项目建设与运营中面临标准不统一、风险防控漏洞等问题。构建科学完善的安全环保标准体系，是保障一体化项目安全运行、降低环境影响、推动氢能产业规模化发展的迫切需求。

1 安全环保标准体系构建的理论基础

1.1 安全标准体系相关理论

（1）安全管理理论。安全管理理论是构建安全标准体系的核心基石。事故致因理论（如海因里希因果连锁理论、轨迹交叉理论）揭示了事故发生的直接与间接原因，强调通过消除人的不安全行为、物的不安全状态及管理缺陷来预防事故，为标准中风险识别与管控条款提供逻辑依据。安全系统工程理论则从系统整体性出发，运用风险评估、安全分析（如HAZOP、FMEA）等方法，将一体化项目中的制氢、储能、发电环节视为有机整体，统筹规划安全技术与管理措施，确保各子系统风险可控。这些理论的应用，使安全标准体系能够科学识别潜

在风险，制定针对性预防与应急策略，实现从被动应对到主动防控的转变。

（2）安全标准体系框架。安全标准体系由基础标准、管理标准、技术标准构成完整框架。基础标准作为顶层设计，规定术语定义、符号标识及通用安全原则，确保标准体系的规范性与统一性；管理标准侧重于组织架构、责任划分、人员培训及安全检查流程，明确项目全生命周期的管理职责；技术标准则聚焦设备设计、安装、运行的安全技术参数（如氢气管道耐压等级、储能电池热管理阈值），提供具体操作规范。三者相辅相成，基础标准为管理技术标准提供依据，管理标准保障技术标准有效实施，技术标准落实管理要求，共同筑牢一体化项目的安全防线。

1.2 环保标准体系相关理论

（1）环境保理论。环境保理论为环保标准体系构建提供核心理念支撑。可持续发展理论强调经济、社会与环境的协调统一，要求一体化项目在追求能源效益的同时，确保资源利用效率最大化与环境影响最小化；生态学理论则基于生态系统平衡原理，指导项目规划中对生物多样性保护、生态承载力评估及污染物生态风险防控的考量。这些理论促使环保标准体系遵循“预防为主、综合治理”原则，通过设定严格的污染物排放限值、推动清洁生产技术应用及建立生态修复机制，保障项目与自然环境的和谐共生。

（2）环保标准体系框架。环保标准体系以环境质量标准、污染物排放标准、环境监测标准为核心构建框

架。环境质量标准明确项目所在区域的大气、水、土壤等环境要素的质量目标，为项目选址与规划提供约束条件；污染物排放标准规定制氢废水、储能电池废弃物、发电尾气等污染物的排放限值与处置要求，从源头控制污染；环境监测标准则规范监测点位布设、监测方法及数据管理流程，确保环境影响可量化、可追溯。三者协同作用，环境质量标准为排放标准提供目标导向，监测标准保障排放标准的有效执行，共同推动一体化项目实施绿色低碳发展。

2 新能源制氢－储能－发电一体化项目安全环保标准体系框架设计

2.1 标准体系框架设计原则

（1）科学性原则。标准体系框架设计需以安全管理、环境保护等科学理论为根基，结合项目全生命周期实践经验，通过严谨的数据分析与技术论证，确保标准条款的合理性与有效性。例如，依据事故致因理论量化风险阈值，基于生态学原理制定污染物排放限值，使标准既符合客观规律，又能为项目安全环保管理提供可靠依据。

（2）系统性原则。该原则要求标准体系全面覆盖制氢、储能、发电及系统集成各环节，从设备设计、运行维护到应急管理，形成逻辑连贯、层次分明的有机整体。通过统一术语定义、规范接口标准，消除不同标准间的矛盾与重复，实现各子系统协同联动，提升项目全链条风险防控能力。

（3）适用性原则。标准体系需紧密贴合一体化项目技术特点、地域环境及管理需求，确保条款具备可操作性。例如，针对不同制氢工艺（碱性电解、PEM电解）制定差异化安全规范，结合项目所在地生态敏感区划定环境管控范围，使标准能够切实指导项目建设与运营。

（4）先进性原则。借鉴国际先进标准（如ISO氢能安全规范、欧盟储能技术指南）与前沿技术成果，将智能化监测、低碳清洁工艺等纳入标准体系，推动项目向高效、绿色方向升级。通过设定前瞻性技术指标，引导企业采用先进装备与管理模式，提升行业整体竞争力。

2.2 标准体系构成

（1）基础标准。基础标准是标准体系的基石，通过统一术语定义、规范符号代号、明确分类编码，消除不同标准间的理解歧义。例如，规范“氢气爆炸极限”“储能系统热失控”等关键术语，制定设备设施的统一编码规则，为管理标准、技术标准等的制定与执行提供统一语言和基础框架，确保标准体系的规范性和通用性。

（2）管理标准。管理标准聚焦项目全流程安全环保管理，涵盖制度建设、职责划分、人员管理及应急处置。通过制定安全环保责任制度，明确各部门及人员职责；建立人员培训考核体系，确保从业人员具备专业资质；完善应急预案与演练机制，规范突发事件应对流程，全面提升项目管理的系统性与规范性。

（3）技术标准。技术标准贯穿制氢、储能、发电全环节，对设备选型、安装调试、运行维护等提出具体技术要求。如规定电解槽的能效指标、储能电池的充放电安全参数、氢燃机的排放控制标准，从技术层面保障设备安全稳定运行，实现项目安全与环保性能的双重提升。

（4）评价标准。评价标准通过设定安全环保绩效指标与评估方法，对项目运行效果进行量化考核。构建涵盖风险隐患整改率、污染物减排量、应急响应效率等维度的评价体系，定期开展项目安全环保状况评估，为优化管理策略、改进技术方案提供数据支撑，推动项目持续迭代升级。

2.3 标准体系各层级关系与协调机制

（1）各层级关系。基础标准为管理、技术、评价标准提供统一规范；管理标准指导技术标准实施，保障技术操作符合安全环保要求；技术标准是管理标准落地的技术支撑，同时为评价标准提供数据依据；评价标准则反馈管理与技术标准执行效果，推动各层级标准优化完善，形成相互依存、层层递进的有机整体。

（2）协调机制。内部建立标准审查与修订联动机制，通过定期召开标准协调会议，对新制定或修订的标准进行交叉审核，避免条款冲突；外部与国家氢能、电力、环保等行业标准对接，动态跟踪政策法规变化，及时调整体系内容，确保一体化项目标准与外部环境协同一致，提升标准体系的权威性和适用性。

3 新能源制氢－储能－发电一体化项目安全环保标准内容制定

3.1 安全标准内容

（1）设备安全标准。围绕制氢、储能、发电及辅助设备，制定全生命周期安全技术规范。设计阶段明确材料耐压、防爆等级要求；制造与安装环节规范焊接工艺、密封性测试标准；运行维护阶段设定设备检修周期、性能衰退阈值，确保设备从设计到报废全程符合安全指标，降低机械故障与泄漏风险。

（2）作业安全标准。针对氢气储运、设备操作等高风险作业，制定标准化操作流程。如规定氢气储罐充装速率上限、电气作业断电验电步骤、高处作业防护装备佩戴要求，同时明确交叉作业协调机制，避免因操作不

当引发火灾、触电等事故，保障人员作业安全。

(3) 安全防护标准。构建多维度安全防护体系，依据危险特性配置设施。氢气区域设置防爆墙、可燃气体探测器；电气系统配备漏电保护装置；机械运转部位加装防护罩，同步制定防护设施定期检测标准，确保防火、防爆、防触电等措施持续有效。

(4) 安全监测与预警标准。建立动态监测与分级预警机制，对氢气浓度、设备温压等核心参数实施实时监控。设定三级预警阈值（低、中、高风险），明确不同级别对应的响应流程，如浓度超标自动切断气源、设备超温启动紧急停机程序，实现风险早发现、早处置。

3.2 环保标准内容

(1) 污染物排放标准。严格限定废水、废气、废渣排放指标，针对电解水制氢废水的重金属含量、氢燃机尾气的氮氧化物浓度、电池退役产生的危废处置，制定具体限值与处理工艺要求，确保污染物达标排放，减少环境负荷。

(2) 资源利用标准。聚焦能源与水资源高效利用，制定能效提升与节水规范。如规定电解槽单位产氢能耗上限、储能系统充放电效率标准，推广废水循环利用技术，明确水资源重复利用率指标，降低项目资源消耗强度。

(3) 环境监测标准。规范项目周边环境质量监测体系，确定大气、水体、土壤的监测项目（如PM_{2.5}、COD、重金属含量），统一采样方法与监测频率，采用国家标准评价环境质量，及时发现潜在污染隐患并启动治理措施。

(4) 生态保护标准。提出全周期生态保护方案，建设阶段要求表土剥离与植被移栽，运营期实施水土保持工程，划定生物保护红线，限制施工与设备布局范围，推动项目与生态环境和谐共生。

3.3 标准内容制定的方法与流程

(1) 制定方法。综合运用风险评估法识别项目安全环保隐患，量化风险等级；借鉴ISO氢能安全标准、欧盟环保指令等国际先进经验，结合国内行业规范，确保标准先进性；通过专家咨询会、企业调研，吸纳一线技术与管理经验，增强标准实操性。

(2) 制定流程。遵循“立项-起草-征求意见-审查-发布”规范流程。立项阶段明确标准适用范围与核心内容；起草过程融合多方数据与案例；通过公开征求行业、企业意见完善条款；组织专家审查确保科学性；最终由主管部门批准发布，保障标准权威性与规范性。

4 安全环保标准体系的实施与保障措施

4.1 标准体系的实施策略

构建“宣传培训-试点示范-逐步推广”三位一体的实施路径。宣传与培训层面，通过线上线下结合的方式，开展标准解读讲座、安全环保知识竞赛，制作图文手册与动画教程，强化项目人员对标准的认知；试点示范环节，选取技术类型多元、地域代表性强的一体化项目，跟踪标准执行效果，梳理问题形成改进方案；在逐步推广阶段，依据试点经验优化标准细则，分区域、分阶段扩大覆盖范围，同步建立反馈机制，动态调整实施策略，保障标准体系全面落地。

4.2 保障措施

实施全维度保障机制，确保标准体系长效运行。组织保障上，成立跨部门专项工作组，明确企业管理层、技术部门、生产部门等职责，形成协同推进合力；制度保障方面，完善标准执行监督细则，将考核结果与绩效挂钩，设立奖惩制度激励企业落实标准；技术保障聚焦研发适配设备与工艺，构建智能监测预警平台，实时追踪安全环保数据；资金保障通过设立专项基金，支持标准修订、人员培训、设备升级等工作，为标准体系实施提供坚实物质基础，推动项目安全环保水平持续提升。

结语

新能源制氢-储能-发电一体化项目安全环保标准体系的构建与实施，是推动氢能产业可持续发展的关键。从理论框架搭建到具体标准制定，再到实施策略与保障措施，各环节环环相扣、缺一不可。本研究构建的标准体系，通过整合多领域理论与实践经验，实现了对项目全生命周期安全环保风险的系统性管控。随着氢能技术迭代与行业规模扩张，标准体系需持续动态优化，紧密跟踪国际前沿技术与法规动态，结合更多项目实践反馈完善细节。同时，需进一步强化产学研用协同，推动标准的有效落地与广泛应用，助力我国新能源制氢-储能-发电一体化项目在安全环保的轨道上迈向高质量发展，为全球能源转型贡献中国方案。

参考文献

- [1]王浩然.新能源制氢储能发电一体化项目安全环保协同标准体系研究[J].能源技术与管理,2024(1):78-85.
- [2]孙明阳.新能源制氢储能发电一体化项目安全环保标准国际比较与借鉴[J].标准科学,2024(2):56-63.
- [3]李思瑶.新能源制氢-储能-发电一体化项目环保要求与标准体系构建思路[J].环境保护科学,2023(4):45-51.
- [4]陈子涵.基于全生命周期的新能源制氢-储能-发电一体化项目安全环保标准体系构建[J].能源工程,2023(7):89-95.