

新能源应用安全风险防控战略框架研究

孙旭东^{1,2}, 徐小宇¹, 罗魁³, 张博^{4*}, 杨毅⁵, 刘梓壮⁶, 彭苏萍²

(1. 中国矿业大学(北京)管理学院, 北京 100083; 2. 煤炭精细勘探与智能开发全国重点实验室, 北京 100083;
3. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 4. 厦门大学管理学院, 福建厦门 361005; 5. 北京低碳
清洁能源研究院, 北京 102211; 6. 国华能源投资有限公司, 北京 100007)

摘要: 新能源大规模应用是实现“双碳”战略目标的主要途径, 开展新能源应用安全风险防控战略研究有助于新能源应用安全监管、风险防控与保障体系建设, 推动新能源相关产业高质量发展。当前我国新能源应用涉及的新兴基础设施类型多样, 面临着安全事故成因复杂、安全风险认知仍不充分、安全防控技术体系不完备、安全监管制度建设滞后等现实问题。本文从我国新能源应用发展现状与安全形势分析出发, 剖析了充/换电站、储能站、加氢站、综合能源站等新能源应用基础设施面临的安全风险防控问题, 总结了国外相关安全风险防控的现状与经验启示; 围绕建立新能源应用安全事故前、中、后立体防控与保障体系, 加强各利益相关方的安全风险管理与监管能力两大防控目标, 构建了新能源应用安全风险防控战略框架, 明确了管理与技术两个维度的重点任务以及中长期工程科技支撑项目。进一步提出了顶层设计、治理标准、监管平台、技术研发、人才培养、共建生态等发展建议, 以增强新能源应用安全的研究与应用水平。

关键词: 新能源应用; 风险防控; 战略框架; 充/换电站; 储能站; 加氢站; 综合能源站

中图分类号: U469.7; F426 **文献标识码:** A

Strategic Framework for Safety Risk Prevention and Control for New Energy Application

Sun Xudong^{1,2}, Xu Xiaoyu¹, Luo Kui³, Zhang Bo^{4*}, Yang Yi⁵, Liu Zizhuang⁶, Peng Suping²

(1. School of Management, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Beijing 100083, China; 3. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
4. School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; 5. National Institute of Clean and Low Carbon Energy, Beijing 102211, China; 6. Guohua Energy Investment Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Large-scale application of new energies is a major approach to achieving carbon peaking and carbon neutralization. Conducting research on the safety risk prevention and control strategy of new energy application helps in the establishment of a monitoring, risk prevention, and guarantee system for new energy application and promotes the high-quality development of related industries. Currently, new energy application in China involves various types of emerging infrastructures and faces challenges such as complex causes of safety accidents, incomplete understanding of safety risks, inadequate safety prevention and control technology systems, and lagging construction of a safety regulatory system. This study analyzes the current status and safety situation of new energy application in China and delves into the safety risk prevention and control issues faced by new energy application infrastructures

收稿日期: 2023-04-14; **修回日期:** 2023-06-21

通讯作者: *张博, 厦门大学管理学院教授, 研究方向为能源经济与战略管理; E-mail: zhangbo@xmu.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“国家新能源应用安全监管与保障体系战略研究”(2021-JZ-03), “未来20年煤炭减量的可能风险量化与防范对策研究”(2022-XZ-30), “氢(泛氢)能源关键技术路径、多能融合及产业保障战略研究”(2023-XZ-26)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

such as charging/swapping stations, energy storage stations, hydrogen fuelling stations, and integrated energy stations. It also summarizes the current situation and experiences abroad regarding safety risk prevention and control. To establish a comprehensive system for preventing and controlling safety accidents before, during, and after they occur, and to enhance the safety risk management and regulatory capabilities of all stakeholders, this study constructs a strategic framework for safety risk prevention and control for new energy application. It clarifies the key tasks in terms of management and technology development and proposes medium- to long-term engineering and technological support projects. Furthermore, we propose development suggestions in terms of top-level design, governance standards, regulatory platforms, technological research and development, talent cultivation, and ecological co-construction, thus to promote the safety research and application of new energies.

Keywords: new energy application; risk prevention and control; strategic framework; charging/swapping station; energy storage station; hydrogen fuelling station; integrated energy station

一、前言

新能源大规模应用是实现“双碳”战略目标的主要途径、促进绿色低碳转型的重要支撑。我国风电、光伏发电的累计装机容量位居世界首位^[1]，新能源汽车产业呈现持续性增长。随着新能源发电设施、新能源汽车产品等新能源应用前端商业链条的贯通，充/换电站、储能站、加氢站、综合能源站等新兴基础设施的市场需求不断提升，已经步入了爆发式增长期。在新能源基础设施快速发展的同时，相应安全问题引起了普遍性关注^[2-5]。当前，新能源应用安全事故频发、新兴基础设施全流程复杂且动态监管难度大，不可避免地加大了新能源应用安全监管体系构建的难度。鉴于基础设施安全事故成因复杂、安全风险认知不充分、安全防控技术体系不完备、安全监管制度建设滞后的实际情况，亟待基于产业宏观视角研究新能源应用安全风险防控战略框架，支持新能源应用的安全监管与保障体系建设，从而助力能源转型的稳健、安全、有序进行。

得益于“双碳”战略目标的驱动，新能源应用方向战略发展的研究热度进一步提高。在产业发展方面，汽车产业强国^[6]、新能源汽车发展路线^[7]、燃料电池商用车产业发展^[8]、氢能基础设施产业发展^[9]等研究均提出加强新能源基础设施建设。在技术层面，较多关注充电装备、储能设施、加氢站等产品或装备的安全规范标准^[10-12]，但相关安全风险防控技术的研究有所不足^[13]。整体上，已有研究为新能源应用发展提供了发展思路、前瞻判断、技术支撑，但在安全风险防控的目标、任务、路径上不够充分和系统；特别是相较于新能源发电设施，充/换电站、储能站、加氢站、综合能源站等新兴基础设施的应用安全研究缺失问题尤为突出。

综上，本文研究对象不包含新能源发电设施，而是聚焦当前新能源应用的基础设施安全关注点，重点讨论充/换电站、储能站、加氢站、综合能源站等新兴基础设施；以相应发展现状为切入点，分析我国新能源应用安全形势，总结国外安全风险防控经验，提出我国新能源应用安全风险防控战略框架、具体目标、重点任务、发展建议，以为深化新能源应用安全研究提供启发和参考。

二、我国新能源应用概况与安全形势

（一）我国新能源应用概况

新能源应用的核心支撑在于基础设施。在我国，随着新能源应用技术的不断成熟、新能源配套政策环境的持续优化，充换电基础设施建设全面提速，氢能基础设施建设有序开展，储能与综合能源设施应用范围不断扩展，新能源应用逐步转向市场规模与发展质量的共同提升^[14]。

1. 充/换电站

我国新能源汽车市场的壮大，推动着充/换电基础设施的爆发式增长。中国电动汽车充电基础设施促进联盟的统计数据表明，2022年我国充电基础设施增加了 2.6×10^6 台，同比增长近100%；换电站保有量为1973座，同比增长约52%。目前，我国建成世界上最大规模的充电设施网络，公共充电设施的全球占比达到60%。未来，国内的车桩比将持续下降，规模化充电市场逐步形成；根据各地发布的充/换电基础设施发展规划，预计2025年的车桩比下降至2.17:1。换电是未来的重要补电模式，我国正在引领此领域的国际市场发展，预计到2025年主要企业规划建设换电站超过 3×10^4 座。整体来看，我国充/换电基础设施建设潜力突出，到“十四五”末期仍需满足超过 1×10^7 辆新增新能源汽车的充电

需求；在中小城市相关建设缺口更为明显。此外，市场集中度不断提升，技术壁垒逐渐形成，2022年我国运营公共充电桩超过 1×10^4 台的充电运营企业仅有13家，但合计市场份额接近93%。

2. 储能站

基于化学电池的储能技术已是新能源建设的“标配”方案，发电侧、电网侧、用电侧的多应用场景储能基础设施逐步市场化，新型储能产业发展进入“快车道”。我国正在加快开展储能项目建设，2022年有超过20个百兆瓦级项目并网运行，400余个百兆瓦级项目处于规划建设阶段；布局新型储能示范项目216个，总规模为22.2 GW^[15]。在我国风电、光伏发电等新能源产业快速发展的背景下，储能商业模式的盈利性、安全防控技术逐步提升，未来将形成大规模的储能建设市场。预计到2026年，新型储能累计规模为48.5 GW，复合年均增长率为53.3%；“十五五”时期将进入规模化发展阶段。

3. 加氢站

我国加氢站网络正在逐渐形成，在多个省份已开展交通领域氢能应用的商业化示范运营，京津冀地区、上海市、广东省、河南省、山东省的示范推广效果显著。中国氢能联盟研究院的统计数据表明，截至2022年年末建成加氢站358座，在营加氢站245座。制氢产业规模、储氢技术与关键材料研发能力、核心设备国产化率的逐步提高，燃料电池汽车及其补贴政策的持续推广，有力推动了加氢网络体系建设，也促成加氢站内“制-储-加”一体的新模式探索。从25个省份已发布的300余项氢能及燃料电池产业专项政策^[16]来看，2025年将实现“十万辆车、千座站”。

4. 综合能源站

自2021年起，我国综合能源站进入试点和示范建设阶段，衍生出“油改氢”“气改氢”“电-氢共建”“电-储-氢混建”等形态的综合能源站类型，同步探索多种能源综合的集约化补给模式与应用场景。2022年，中国石油天然气集团有限公司、奥动新能源汽车科技有限公司合作建设了可极速补能的“加油站-换电站”综合能源站；张家口市建成了“油-氢-电”综合能源站，用于北京冬奥会服务保障。综合能源站是“新基建”的重要内容之一，多个省份的“十四五”规划都提出加快建设综合能源站，如重庆市加快“油-气-电-氢”综合能源站

建设，四川省鼓励利用现有加油站、加气站改扩建为综合能源站，河南省示范推广加油、加气、充（换）电、加氢的综合能源站。综合能源站又是数字化的基础设施，可发挥储电与备用能源协同转化的作用；也可连接能源电力、信息通信、互联网、智慧城市等，支持实现能源基础设施与数字基础设施的互联互通和智能管理，从而探索“能源-数字互联网”场景下综合能源协同的数字化应用市场空间。

（二）我国新能源应用安全形势

1. 新能源应用安全事故频发

近年来，新能源基础设施安全事故时有发生，如储能设施着火、氢气充装母站爆燃、加氢站爆炸、新能源汽车充电过程自燃等典型事故引起了全社会的广泛关注，安全形势不容乐观。例如，北京市2021年4月16日发生的“光储充”项目安全事故造成人员伤亡而产生了重大的社会影响。尽管相关事故呈现零星、散发、多源的特点，但偶发的安全问题暴露了极大的安全隐患，潜在影响恶劣，风险防控形势严峻。

2. 新能源基础设施全流程复杂

氢能、储能、智能电网与综合能源服务关联产业链条较长，充/换电、氢能应用的基础设施建设涉及环节较多，加氢站、充电桩/换电站、综合能源服务站、储能、动力电池回收站等新能源基础设施类型多样。仅加氢站即存在气氢站、液氢站、油氢合建站、油氢电气综合能源站、制氢加氢一体站、固态储氢加氢站等多种形式。未来，新能源汽车、清洁能源融合程度不断加深，充电桩与电网将进行深度的能量交互，对电网安全运行构成影响。随着新能源汽车、新能源电力朝着跨领域融合方向发展，“油-气-氢-电”综合供给服务集成特征凸显，相关基础设施系统趋于复杂化，实现全流程、全产业链安全发展的需求迫切。

3. 基础设施动态监管难度大

新能源基础设施在用能终端具有多种形态，利益主体多元，如新能源电力与非电应用、公用充电站与私人充电桩、用户侧储能与电网侧储能并存；加之新能源汽车种类繁多、关键技术演进迅速，针对相关基础设施进行全流程、多形态的动态监管更为复杂。例如，氢能产业中从“制储运”到加氢站

的各个环节都存在一定的安全风险，不同建站形式、不同技术路线的“储运”氢方式，衍生出的风险类型差异明显，加大了氢能应用基础设施安全管理的难度。随着可再生能源消纳、储能、氢能“储运”、新能源终端利用等技术的进一步发展，未来新能源应用形态可能出现重大变化，也将加大基础设施建设和全流程管理的难度。

三、我国新能源应用安全风险防控问题剖析

（一）现有安全事故成因复杂

新能源全流程基础设施涉及事故致因多元。分析全球300余起新能源汽车安全事故发现，在充电状态下发生的安全事故占比为20%，如过充和电击造成的人身伤害。储能电站的事故原因涉及主要部件和设备的质量把控不严、防护措施不足、人员操作不当、安全监管缺失等。分析国内外90例车用氢能产业链事故发现，加氢站与合建站环节的事故有48例，其中密封失效是主要原因（占比为45%），设计欠妥、设备失效、人员操作失误等是次要原因。充/换电站、储能站、加氢站所涉及的新业态、新技术、新产品带来的安全事故成因更为复杂，致因的潜在安全风险要素也更显多场景、多维度、全流程（见图1）。

（二）安全风险认知不显充分

我国新能源基础设施加速发展，但潜在的安全风险尚未充分暴露，加之相应外延不断扩大、内涵不断丰富，导致对风险类型与事故种类的认识仍有不足。储能、氢能、充电桩、“油气氢”综合能源等各类基础设施的故障演化机理尚未明确，事故成因与诱因仍不清晰。在常规安全、人身安全、设备安全风险以外，存在系统安全、运行安全、环境安全、网络与信息安全等风险。因对未来可预见的安全风险、未预见的潜在安全风险缺乏清晰认知，新能源基础设施的发展形态与路径研究有待深化，新材料、新产品、新业态伴生的安全风险也需加强研判，安全监管持续面临着新增挑战与更高要求。

（三）安全防控技术体系不够完备

我国新能源基础设施安全风险防控技术尚未发展成熟，失效模型、风险评估、影响分析、控制手

段等尚不完善。在设备级、电站级、系统级层面都缺乏行之有效的风险评估与安全风险防控手段，诸多技术难点、痛点甚至盲点有待攻克。例如，储能电站预警功能仍有盲区，不适应未来大规模部署的安防要求；储能电站发生火灾后的消防技术储备不足，容易造成人员伤亡等次生灾害；在加氢站多级加注技术方面过度追求低能耗、高速度，必然增加不同等级压力互串、泄漏点增多等事故隐患。多层次的安全风险防控技术体系理应涵盖事故前的风险预测、事故中的安全防护、事故后的应急管理，但相关能力尚未形成，多层级安全监管平台也未建立。

（四）安全监管制度建设滞后

制氢站、加氢站、充电站、综合能源站、储能站等基础设施安全监管涉及的安全风险类型较多，而相关体系建设不足、政策及标准缺失情况明显。加氢站、充/换电站的审批流程存在差异，主管部门不统一、执行尺度不统一。在我国已建成的加氢站中，手续不全甚至没有任何手续的违规建站不在少数。制氢站和加氢站的建站、相关设备的检测认证评价、建站后的验收以及后期站点运维等，涉及的标准研究及制定工作仍处于起步阶段。例如，按照现有的压力管道管理技术规范，直径50 mm以下管道不纳入压力管道范畴管理，这就导致对加氢站内高压涉氢小直径管道（一般为25 mm左右）存在监管真空；对于充/换电站在社区内的管理及运维，缺乏成体系的管理办法。此外，各地的地方性政策不统一，监检队伍力量薄弱，发布的应对措施多以临时性应急为目的，缺失系统性的监管能力。

四、新能源应用安全风险防控的国外现状与经验启示

（一）发达国家的新能源应用安全风险防控情况

1. 充电站

发达国家重视新能源汽车充电相关的安全问题，制定了充电设施及设备的安全标准体系，开展安全技术研发以提升充电安全能力。从安全标准角度看，发达国家针对充电桩制定的安全标准覆盖了全产业链，如汽车制造商、电池制造商、汽车零部件制造商、新能源汽车充电站供应商、电池开关站

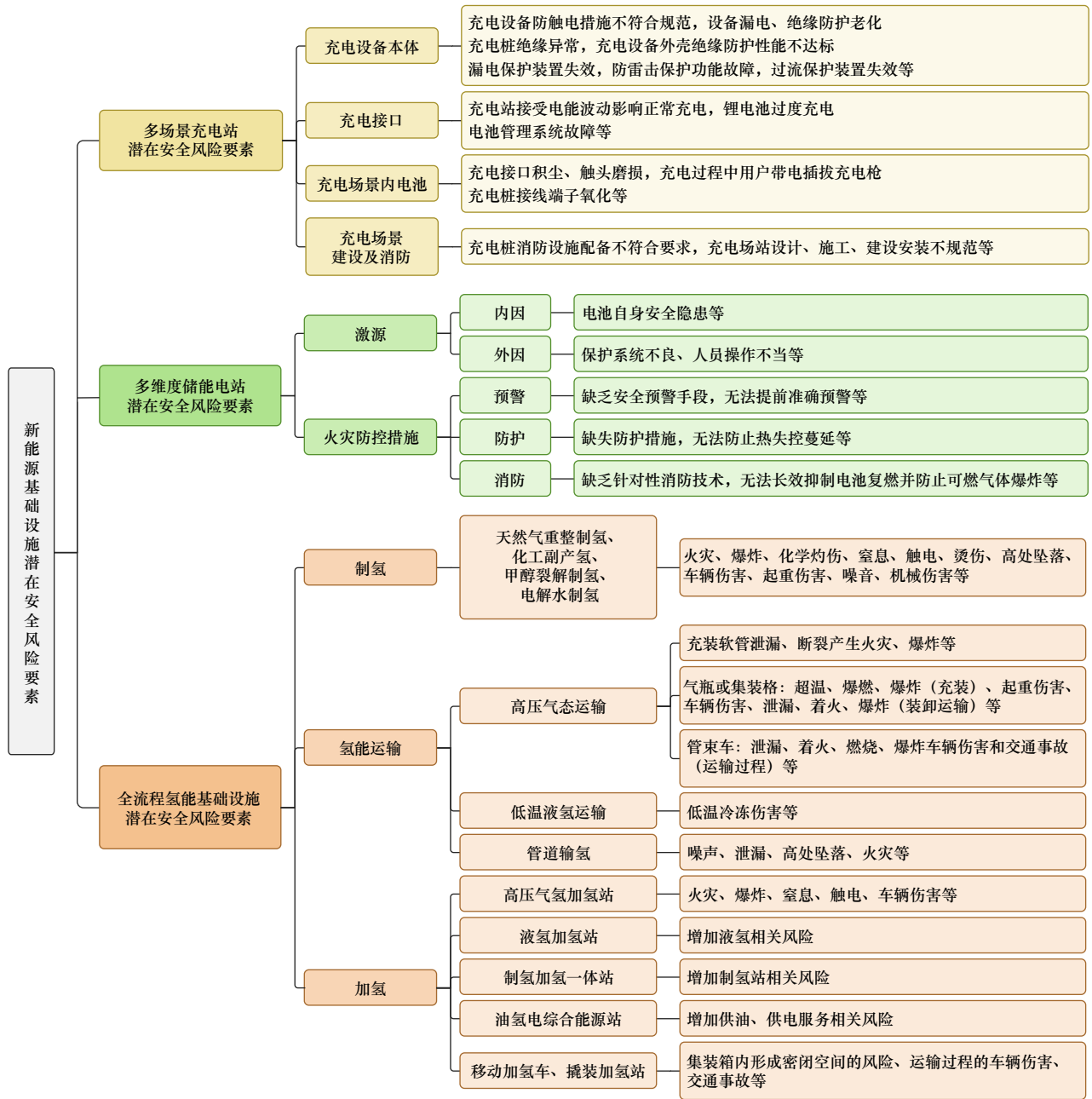


图1 新能源基础设施潜在安全风险要素

操作员、保险公司等，主流的充电桩安全标准如表1所示。此外，面向大功率与超快充电的安全管理成为趋势，如美国、欧洲建立了350 kW功率充电的标准体系，支持解决大功率充电带来的充电安全、温升控制、通信协议等关键问题。

新能源汽车充电安全技术主要涉及电池充电安全、充电设备安全、与电网融合安全等，发达国家的相关企业在此方面开展了较多研制工作。德国本德尔公司设计了新能源汽车绝缘能力检测系统，用

于异常情况下预警并保护用户的人身及财产安全；美国的通用汽车公司开发了电池管理系统，航空环境公司推出智能保护系统用于监测在役电池的健康状态；韩国三星SDI株式会社开发了可对电池中多个单体进行温度、电流、电压监测的系统，以增强电池的保护功能。

2. 储能电站

2019年之前没有统一的储能电站安全标准，2020年发布的IEC 62933-5-2国际标准首次给出了

表1 主流的充电桩安全标准

制定机构	涉及内容
美国国家标准协会	交流充电桩标准 SAEJ 1772 直流充电桩标准 SAEJ 1772 Combo 无线充电桩标准 SAEJ 2954
欧洲标准化委员会	交流充电桩标准 EN 61851-1
欧洲电气工程师协会	直流充电桩标准 EN 61851-23
日本工业标准化委员会	交流充电桩标准 JISC 9711 直流充电桩标准 JISC 9712

储能系统安全评估实施细则。在国家或地区层面，德国已有相关安全标准，主要关注小型电池系统；澳大利亚建立了《储能系统安装安全规范》(AS 5139)；韩国颁布了《储能电站安全强化对策》，涉及“产品-安装-运行”各环节的安全强化、安全监控、强制维修、消防应对等管理制度；美国在储能系统安装规范、安全评估标准建设方面进展最快，发布了《储能系统安装规范》(NFPA 855)、《储能系统与设备安全标准》(UL 9540)、《用于评价储能系统热失控扩散危险性及消防措施有效性的大规模火烧测试标准》(UL 9540A)等。

从储能安全事故治理的国际经验来看，构建责任主体明确的电力储能安全管理体系是储能安全风险防控的重要内容。韩国根据以往火灾事故处理经验来完善储能系统安全管理体系，以强化认证标准和管理制度、细化现有储能电站安全管理为主要方向，优化储能系统的防火安全标准和管理制度；由消防部门牵头发布储能相关的防火标准，密切政府和企业合作，提高现有储能电站的安全管理水平。美国能源部成立了储能安全工作组（包含标准工作组、安全宣传与事故响应组、安全验证与风险评估组），从多个层面着手，确保储能系统的安全性能，提高行业和公众对储能安全的认识。

3. 氢能基础设施

发达国家和地区关注并重视氢能基础设施安全管理方面的法规及标准（见表2）。①美国通过法律、法规、标准来保障氢能安全管理，采用了三层结构：顶层由国家法律、建筑与消防法规组成；中间层是在法律法规中引用的强制性标准，使相关标准也具有法律效力；基础层是中间层文件进行引用的标准内容。②欧洲的氢能监管层次结构与美国类似，具有金字塔式的结构特征，从上到下依次为法

律法规、标准、指导性技术文件。③日本设立了经济产业省节能与新能源部新能源系统课氢与燃料电池战略室，以此为氢能主管部门；采取“只要氢气不泄漏，就不会发生着火爆炸事故”的监管理念，严格执行《高压气体保安法》，在氢能使用过程中根据实际情况采取必要的安全技术措施。

（二）对我国新能源应用安全监管与应急管理体系建设的启示

1. 需要政策与技术的双重驱动

从发达国家的先发历程看，立足现有的安全技术水平，研究适用的安全管理模式，发布与之协调的安全管理标准和法规，注重根据技术进步来动态调整监管内容。安全监管政策与安全技术需有机结合，才能发挥政策的引领作用，明确安全技术发展方向，提高依据技术规范实施安全管理的水平。增强新能源应用安全监管技术研发并与国际标准接轨是重要途径。加强新能源应用装备及关键安全技术的自主研发力度，切实提高安全风险防控技术水平；积极参与国际新能源基础设施的技术标准制定，推动关联行业的前沿技术研发与升级。

2. 注重对产业全链条上企业的安全引导以增强防范意识

发达国家的产业发展经验表明，新能源应用安全是一项系统性的保障工程，产业链上涉及车辆制造、汽车零部件与电池制造、基础设施相关设备设计与制造、场地规划、安装与运营、第三方保险、安全咨询等企业。车企需发展立体式，覆盖灾前、灾中、灾后的防控体系，重点开展基础设施侧数据、车辆侧数据的风险预警体系建设。基础设施相关企业需建立适用不同层级（设备级、系统级、场站级）的防控技术与管理机制。第三方机构需在详尽的事故调查后提出纠正及预防措施建议。通过对全链条上企业的安全引导，配合法律、法规与标准，应急响应制度等，建设安全共建的管理生态和防控体系。

3. 持续开展事故致因总结与案例剖析

发达国家经验表明，细致处置每次事故，有助于改进安全技术、完善安全监管政策、提高应急响应速度，从而规避次生灾害和人员伤亡。从国外安全事故与案例分析看，韩国的储能火灾事故最多（概率为1%~2%），储能热失控是火灾发生的主要原因之一，也是安全防控的重点方向。针对我国已

表2 部分发达国家和地区的氢能基础设施安全法规及标准

国家 / 地区	类型	涉及内容
美国	联邦法律	在工作场所安全储存、使用和处理氢，氢在商业应用中安全运输
	国家规范	不同使用类型建筑的一般施工要求，氢气站、易燃气体、低温液体储存技术要求，室内场所使用氢的通风要求，易燃气体管道要求
	氢能防火规范标准 氢技术组件、性能和安装标准	氢技术综合规范，综合气体安全规范，包含氢燃料电池在内的商用燃料电池安装规范 氢管道设计和安装规范（含管道材料选择要求），合金钢和复合材料压力容器设计要求，氢通风系统要求，容器安全泄放要求，氢能部件与系统要求，氢传感器、燃料电池标准，燃料电池汽车的加注协议与设备标准，氢质量要求
欧洲	指令与法规	危险物质重大事故，爆炸性气体环境分区，爆炸性气体环境设备与保护系统要求，压力容器相关规程（适用于氢燃料相关的容器、阀门、软管以及其他附件），可移动压力容器设备，危险货物内陆运输规程，机械设备与安全元件规则，电气设备规则，电磁兼容规则，替代燃料基础设施要求
日本	法规（法律、省令）	《高压气体保安法》《消防法》《建筑标准法》《劳动安全卫生法》《石油联合企业等灾害防止法》《道路运输车辆法》《港则法》
	技术标准和要求的	《加氢站安全检查标准》《压缩氢气充填技术标准》《防爆——加油机周围的防爆标准》《压缩氢运输车辆容器技术标准》《压缩氢运输车辆配件技术标准》《压缩氢站安全技术标准》《关于压缩氢站和移动式压缩氢站距离调节的替代措施》《压缩加氢站安全技术准则》《氢气拖车安全技术指南》《关于安全使用加氢站的低合金钢制储氢瓶》
	自主指南	氢气品质管理，氢气计量管理，氢气充装性能确认，充装装置检查，燃料电池产业车辆用充装装置

建储能电站安全预警能力不足的现状，需建设和应用主动性预警系统，细化章程以规范人员操作；制定全面的安全监管与事故应急方案，提高安全防控体系的技术成熟度、实际适应性，更好保障新能源应用的平稳运行。

五、我国新能源应用安全风险防控战略框架

（一）总体架构

构建新能源应用安全风险防控战略框架（见图2），旨在适应未来新能源发电、新能源汽车等产业发展需求，优化新能源应用发展环境，增强新能源基础设施的安全健康发展水平。以“事故全过程、治理全方位”为主线，突破充/换电站、储能站、加氢站、综合能源站等新能源基础设施的安全风险防控核心技术，提升基础设施应用的公共安全风险防控能力；形成国家、行业、企业等多维度的新兴基础设施安全防控治理生态，健全新能源应用安全监管与应急保障体系。

（二）能力目标

借鉴相关研究成果和国家发展规划目标^[17-19]，

本文提出建立新能源应用安全事故前、中、后立体防控与保障体系，加强各利益相关方的安全风险管理与监管能力两大防控目标，合理降低安全问题对新能源基础设施健康发展的影响和束缚，促进新能源应用的安全有序发展。

1. 充/换电站

到2025年，建立主动安全防护体系，发布数据交互标准，研制安全芯片及软件，使充电预警诊断准确率超过95%，初步形成标准统一、“车企-用户-监管部门”互联互通的车桩充电监控平台。

到2030年，全面应用充电安全在线诊断技术，使充电预警诊断准确率超过98%，建设和应用智能化、充/换电“车-桩-站”一体化的安全风险防控与大数据诊断平台。

2. 储能站

到2025年，建立储能全产业链技术标准体系、新型储能的全流程检测与认证体系，形成面向储能商业化市场需求的储能预警、防护、消防解决方案，初步构建储能设备运行安全监测与安全生产责任管理体系，将储能系统在线监控率提高至95%。

到2030年，形成成熟的储能预警、防护、消防解决方案并实现规模化应用，优化新型储能的全流

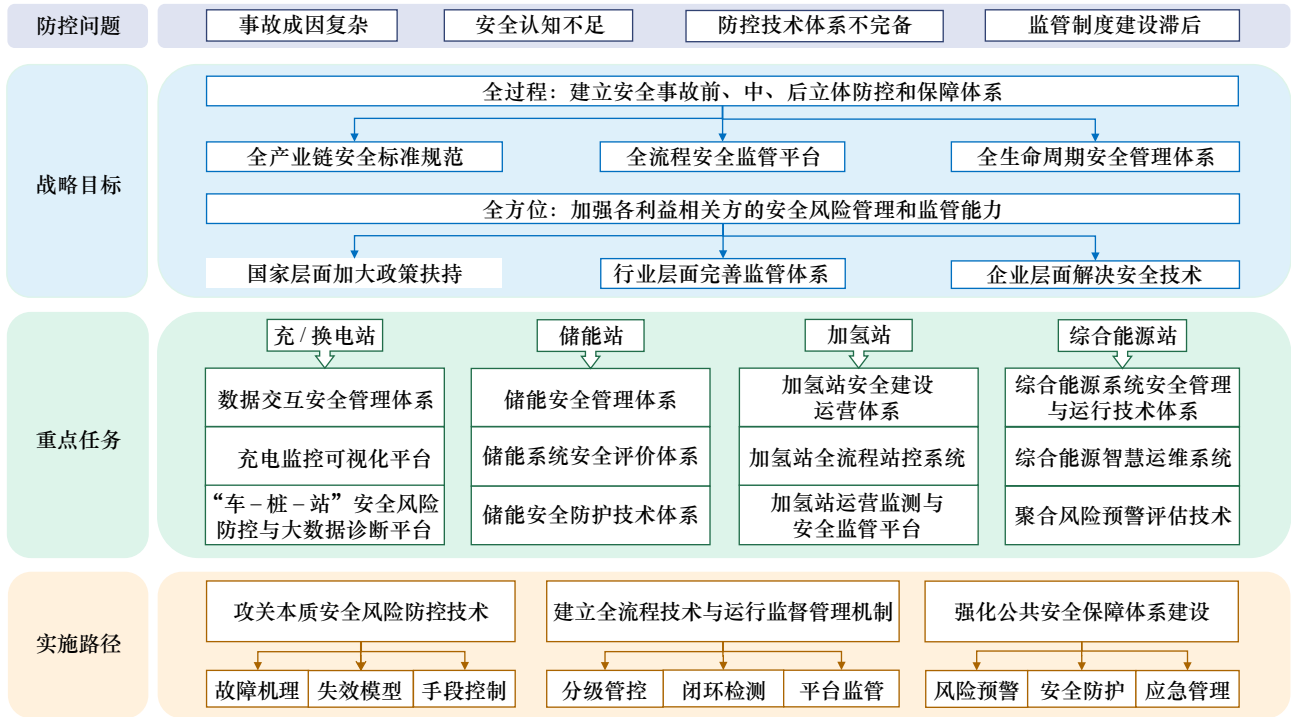


图2 新能源应用安全风险防控战略框架

程检测和认证体系，建成覆盖储能设备制造、建设安装、运行监测的全生命周期安全管理体系，构建储能全产业链的安全生产责任制度，实现储能系统全面在线监控。

3. 加氢站

到2025年，建立“制-存-运-加”全流程氢能应用安全风险监管体系和安全标准规范，提高氢气泄漏检测报警、特种设备检验及检测等的技术水平，增强“制-存-运-加”全流程氢能应用风险辨识与运行监控能力，使氢能应用系统全流程在线监控率超过95%。

到2030年，建立加氢站安全监控与风险预警体系，明确氢能突发事件处置预案、处置技术、作业规程，使氢能应用系统全流程在线监控率超过98%、有效预警率超过95%。

4. 综合能源站

到2025年，实现综合能源站设备制造、安全设计、运维作业流程的标准化与数字化，构建综合能源站的安全防控与保障体系。

到2030年，突破和应用综合能源站的安全风险大数据挖掘技术，增强智能预警治理能力，提高多种能源系统、多风险源耦合的整体安全性。

(三) 重点任务

新能源基础设施安全风险防控重在面向各利益相关方的安全风险管理和监管能力需求，从管理、技术两大维度开展任务部署。

1. 充/换电站

在管理方面，强化组织保障，明确新能源汽车安全管理责任部门，统筹推进安全体系建设；制定产品安全性设计指导文件，规范产品安全性设计，根据已售车辆安全问题进行反馈、修订、完善；强化供应商质量管理，制定关键零部件的质量评价体系与制度；合理布局售后服务网点、动力电池回收服务网点，配置新能源汽车专用检测工具，提升服务人员的安全意识与应急处理能力。

在技术方面，与动力电池供应商开展协同设计，提高动力电池本质安全水平，优化整车与动力电池的安全性匹配与热管理策略，明确动力电池使用安全边界，提高动力电池在异常状态下的安全防护能力；加强数据安全保护，建立全流程的数据安全管理制度，全面履行数据安全保护义务。

2. 储能站

在管理方面，建立储能安全管理体系，规范不同接入环节和运维主体的安全管理，明确安全管理责任划分；完善储能标准体系，制定储能安全系列

标准,推动储能产品、储能电站的强制安全认证;构建储能系统安全评价体系,发展储能系统安全测试与评价技术,建设大容量、全尺寸的电池储能系统安全性与火灾实验平台。

在技术方面,构建电网故障隔离、安全预警、高效散热、安全防护、消防一体化的多级主动安全防控体系,开展安全防护技术的体系化应用;提升储能系统安全检测与试验能力,聚集检测和评价资源,可参照风电、光伏发电行业的检测管理机制来优化储能全产业链的检测服务。

3. 加氢站

在管理方面,建立适应国情的加氢站安全建设、运营监测体系,具备加氢站实时监测及分析预警能力;开展加氢站的站控系统与本站内工艺流程全面管控,规范加氢站的站内操作流程,确保储氢和用氢安全。

在技术方面,建设统一的运营管理与安全监管平台,实时监控加氢站技术状态与运营数据,实现加氢站安全运行的动态监管;围绕关键部件及装备国产化开展技术攻关,形成加氢站高安全性、高稳定性关键设备的自主生产能力,提高建站及运营的市场竞争力。

4. 综合能源站

在管理方面,跨行业协调开展综合能源站标准制定与验证,依据相关安全标准实施行业监管;联合电力、建筑、暖通等行业,构建综合能源系统安全管理与运行技术体系;加强综合能源站建设运行方案、设备质量审核管理,研制和应用智慧运维系统等信息化支撑条件。

在技术方面,围绕综合能源站的故障诊断与状态评价,发展针对多风险源、多能源系统、多时间尺度的聚合风险以及多种能源介质传递风险的预警评估技术,全面加强智能运维、状态评价、故障诊断等综合能源站安全发展亟需能力。

(四) 中长期工程科技支撑项目

面向新能源应用安全风险防控的现实基础与中长期需求,依据行业专家学者的综合研判,论证提出了中长期新能源应用安全风险防控工程科技项目(见表3)。实施系列工程科技项目,旨在深化新能源基础设施安全研究,攻关安全检测预警、防护、消防等方向的瓶颈技术,构建新能源应用安全风险

防控技术及管理体系,实现相应安全风险防控水平达到国际领先。

六、我国新能源应用安全风险防控发展建议

(一) 注重顶层设计,形成规范的安全监管制度

建设新能源应用安全风险监管与保障制度体系,优化安全监管流程,创新管理体制机制。制定中长期新能源应用安全风险防控战略,明确发展目标、重点任务、实施方案,覆盖安全管理、设计施工监督、基于大数据的维护保养、监管平台效能、监督机制等,建立应急体系管理规范。借鉴国外相关风险防控的发展经验,立足国情实际增强风险防范与应急处置能力,从被动防控向主动防控转变,降低安全事故概率,控制事故范围扩展,减少次生灾害。建立覆盖各管理层级,具有早发现、早预警、早防范特征的监管机制,以行政监管、行业监督、企业自律等方式共同推进应急管理能力建设。

(二) 实施标准化治理,构建国家级统一监管平台

建设新能源应用安全风险防控的标准化管理体系,从运营、产品质量、设备本质安全出发,加强风险评估、安全管理方面的标准和认证体系质量;以“氢能领跑者”行动计划等为依托,切实提高标准化治理效能。建议发展改革、应急管理等部门牵头,建设国家级新能源基础设施大数据中心、安全监控与运行保障平台、大数据分析决策能力支撑体系,支持形成全方位、综合性的管控体系。完善新能源项目建设与验收相关标准并与补贴政策、金融支持挂钩,建立装备质量追溯体系、企业质量安全评价体系、责任延伸制度,落实强制性退出机制。

(三) 加强科技攻关,培养安全风险防控专业人才

制定国家新能源应用安全监管与保障技术发展路线图,设立以氢气微泄漏检测及智能管控系统为代表的新能源安全风险防控攻关项目,支持安全防控技术装备创新发展。研究新能源基础设施大规模接入对电网安全、环境安全、城市安全的风险效应及影响程度,发展计及压力管理、氢气泄漏、氢脆等因素的安全风险定量评估与智能管控技术。针对各类新能源基础设施开展风险防控

表3 中长期新能源应用安全风险防控工程科技项目

项目	核心内容
适用于电力系统特殊应用需求的新型电力储能材料及本体技术研究	固态电解质 / 无机隔膜复合材料等高安全储能电池改性技术 高比能量电极材料、水系储能等电池关键材料 阻燃型储能电池电解液及低温电源电池 适用于电力系统不同场景需求的多类型储能电源设备
大容量储能系统接入高压电网下的系统绝缘与安全防控研究	支持安全技术提升和消防方案开发的多层级（单体、模组、系统）安全防护策略 高效热设计及管理策略，百兆瓦级以上功率规模的系统安全可靠技术
提升电网安全的规模化储能集成及示范应用技术研究	储能系统精准状态估计与动态成组技术 大容量、电压源化储能机组集成与高压并网技术 超大规模储能电站可靠集成、分布式储能高效汇聚技术
储能电站主动安全防控体系构建及验证能力建设	电网故障 / 扰动、变流器故障在电池系统直流侧的传导与耦合机制 储能电站电网可靠接入与故障隔离方法 基于智能传感的电池故障预警技术 涵盖电池单体、电池模组、电池簇、储能单元、储能电站以及电网，融合电网故障隔离、安全预警、高效散热、安全防护、消防一体化的主动安全防控体系 储能产品性能检测与等级认证评价技术 储能核心部件性能与系统运行性能全耦合的评测及认证技术 储能全链条一体化、互联可视的试验平台 大容量、全尺寸电池系统的火灾试验平台，储能系统检测实证平台
储能电站应急处臵能力建设	储能电站设备的智能化、数字化运维体系 储能数据集中管控云平台，现场协同的应急处理预案和流程 应急维抢修风险计算模型与评估方法 风险量化计算与评价指标体系，高效率的事故缓解方法和应急安全响应机制
加氢站氢系统综合风险评价及安全防控技术研究	加氢站的量化风险分析模型 加氢站安全防护措施（电气元件为防爆器件，可靠的防静电措施，具有排风排气装置，具有安全连锁、过压保护功能的加注模块） 现场应急处臵关键参数（氢气泄漏扩散浓度的分布、人员疏散范围、疏散路径），应急预案和人员疏散方案
综合能源站安全风险评估关键技术研究	基于多数据融合、数据挖掘、知识图谱生成的能源大数据技术 高精度数字孪生模型，考虑可靠性的规划及运行优化 多能流状态估计、能源站设备状态评价等态势感知技术 故障定位与诊断、故障预警、预测性维护等故障诊断预警技术 多能源系统聚合风险评估技术
充电站安全防控关键技术研究	充电过程中新能源汽车安全状态在线评价技术 充电站内新能源汽车动力电池热失控及防护措施 大功率本质安全充电技术 区域性新能源汽车充电安全监管体系，新能源汽车和充电设施保险制度

基础研究，提高故障风险预警预测、安全防护及应急消防、安全事故处臵机器人的发展水平。加强设备级、场站级、系统级的技术研发，构建安全风险防控技术保障体系。鼓励校企联动，优化学科建设布局，批量培养新能源应用安全风险防控方向的专业人才。

（四）开展社会宣传，构建立体式的新能源应用安全生态

开展相关宣传与科普教育，面向生产厂商、服务业企业、消费者普及新能源应用安全规范，为新能源基础设施建设与产业发展创造优良环境。强化行业人员培训、公众安全意识，配套建设事故保

险、次生灾害理赔等机制。根据区域经济发展水平、能源资源条件、车辆发展现状及未来趋势,有序推进新能源基础设施建设,优化新能源基础设施布局,加强综合智慧能源服务。推动交通和能源基础设施一体化建设,促进新能源汽车产业安全、与大能源系统高效融合。完善产业生态,创新商业模式,按照市场化导向,鼓励用户合理选择,在更大范围内降低新能源应用安全风险。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 14, 2023; **Revised date:** June 21, 2023

Corresponding author: Zhang Bo is a professor from the School of Management, Xiamen University. His major research field is energy economics and strategic management. E-mail: zhangbo@xmu.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on National New Energy Application Safety Regulatory and Guarantee System” (2021-JZ-03), “Research on Quantification of Potential Risks and Countermeasures for Coal Reduction in the Next 20 Years” (2022-XZ-30), “Strategic Research on Key Technology Pathways, Multi-Energy Integration, and Industrial Security for Hydrogen (Hydrogen moiety) Energy” (2023-XZ-26)

参考文献

- [1] 中国工程科技发展战略研究院. 2023 中国战略性新兴产业发展报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2023.
Chinese Academy of Engineering Innovation Strategy. China's strategic emerging industries development report 2023 [M]. Beijing: Science Press, 2023.
- [2] 李励来, 鲁汇智. 我国氢能产业的发展现状及对策建议[J]. 江淮论坛, 2022 (3): 41–47.
Li X L, Lu H Z. The current development status and proposed measures for the hydrogen energy industry in China [J]. Jianghuai Tribune, 2022 (3): 41–47.
- [3] 苏美玲, 冯晓锋, 刘晨辉, 等. 新能源汽车交通事故特征分析——以长沙市为例 [J]. 交通信息与安全, 2022, 40(6): 165–172.
Su M L, Feng X F, Liu C H, et al. An analysis of accident characteristics of new energy vehicles: A case study in Changsha, China [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2022, 40(6): 165–172.
- [4] 王飞. 新能源汽车换电站消防安全技术探讨 [J]. 消防科学与技术, 2022, 41(5): 710–715.
Wang F. Discussion on fire safety technology of new energy vehicle battery swap station [J]. Fire Science and Technology, 2022, 41(5): 710–715.
- [5] 金阳, 薛志业, 姜欣, 等. 储能锂离子电池安全防护研究进展 [J]. 郑州大学学报 (理学版), 2023, 55(3): 1–13.
Jin Y, Xue Z Y, Jiang X, et al. Research progress of safety protection of lithium-ion energy storage power station [J]. Zhengzhou University (Natural Science Edition), 2023, 55(3): 1–13.
- [6] 董扬, 许艳华, 庞天舒, 等. 中国汽车产业强国发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(1): 37–44.
Dong Y, Xu Y H, Pang T S, et al. Research on development strategy for China's powerful automobile industry [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(1): 37–44.
- [7] 陈清泉, 高金燕, 何璇, 等. 新能源汽车发展意义及技术路线研究 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(1): 68–73.
Chen Q Q, Gao J Y, He X, et al. Research on the significance of developing new energy vehicles industry and its technical routes [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(1): 68–73.
- [8] 谭旭光, 余卓平. 燃料电池商用车产业发展现状与展望 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 152–158.
Tan X G, Yu Z P. Development status and prospects of fuel cell commercial vehicle industry [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(5): 152–158.
- [9] 凌文, 刘玮, 李育磊, 等. 中国氢能基础设施产业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2019, 21(3): 76–83.
Ling W, Liu W, Li Y L, et al. Development strategy of hydrogen infrastructure industry in China [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(3): 76–83.
- [10] 曹湘洪, 魏志强. 氢能利用安全技术研究与标准体系建设思考 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 144–151.
Cao X H, Wei Z Q. Technologies for the safe use of hydrogen and construction of the safety standards system [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(5): 144–151.
- [11] 唐亮, 尹小波, 吴候福, 等. 电化学储能产业发展对安全标准的需求 [J]. 储能科学与技术, 2022, 11(8): 2645–2652.
Tang L, Yin X B, Wu H F, et al. Demand for safety standards in the development of the electrochemical energy storage industry [J]. Energy Storage Science and Technology, 2022, 11(8): 2645–2652.
- [12] 蒲亮, 余海帅, 代明昊, 等. 氢的高压与液化储运研究及应用进展 [J]. 科学通报, 2022, 67(19): 2172–2191.
Pu L, Yu H S, Dai M H, et al. Research progress and application of high-pressure hydrogen and liquid hydrogen in storage and transportation [J]. Science Bulletin, 2022, 67(19): 2172–2191.
- [13] 汤广福, 周静, 庞辉, 等. 能源安全格局下新型电力系统发展战略框架 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(2): 79–88.
Tang G F, Zhou J, Pang H, et al. Strategic framework for new electric power system development under the energy security pattern [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(2): 79–88.
- [14] 张博, 孙旭东, 刘颖, 等. 能源新技术新兴产业发展动态与 2035 战略对策 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(2): 38–46.
Zhang B, Sun X D, Liu Y, et al. Development trends and strategic countermeasures of China's emerging energy technology industry toward 2035 [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(2): 38–46.
- [15] 李相俊, 官亦标, 胡娟, 等. 我国储能示范工程领域十年 (2012–2022) 回顾 [J]. 储能科学与技术, 2022, 11(9): 2702–2712.
Li X J, Guan Y B, Hu J, et al. Review of energy storage application in China from 2012 to 2022 [J]. Energy Storage Science and Technology, 2022, 11(9): 2702–2712.
- [16] 孙旭东, 赵玉莹, 李诗睿, 等. 我国地方性氢能发展政策的文本量化分析 [J]. 化工进展, 2023, 42(7): 3478–3488.
Sun X D, Zhao Y Y, Li S R, et al. Textual quantitative analysis on China's local hydrogen energy development policies [J]. Chemical

- Industry and Engineering Progress, 2023, 42(7): 3478–3488.
- [17] 国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”新型储能发展实施方案》的通知 [EB/OL]. (2022-01-29)[2023-05-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220321_1319773.html.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration on the issuance of *The 14th Five-Year Plan for the implementation of the development of new energy storage* [EB/OL]. (2022-01-29)[2023-05-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220321_1319773.html.
- [18] 国家发展和改革委员会 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见[EB/OL]. (2021-07-15)[2023-05-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202107/t20210723_1291321.html.
- National Development and Reform Commission, National Energy Administration on accelerating the 14th Five-Year Plan for the development of new energy storage [EB/OL]. (2021-07-15)[2023-05-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/202107/t20210723_1291321.html.
- [19] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 氢能产业发展中长期规划 (2021—2035 年) [EB/OL]. (2022-03-23)[2023-05-15]. <https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18747>.
National Development and Reform Commission. Medium and long term plan for the development of hydrogen energy industry (2021—2035) [EB/OL]. (2022-03-23)[2023-05-15]. <https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18747>.