

要素协同层,实现空间与资源的统筹配置。按“城镇提品质、乡村补短板”思路优化三生空间——城镇集中布局高端产业与公共服务,乡村保留生态功能与特色农业,通过“城镇15分钟生活圈+乡村30分钟服务圈”衔接城乡功能,例如县城医院与乡镇卫生院建立远程诊疗合作,实现资源共享;土地方面,推进“点状供地”“弹性出让”模式,保障乡村产业用地;产业方面,培育“城市总部+乡村基地”的融合业态(如县城食品加工园对接乡村种植基地);公共服务方面,建立县域教育、医疗资源均衡配置机制,通过教师轮岗、设备共享缩小城乡差距。

3.3 技术支撑体系

建设县域国土空间规划“一张图”平台,整合自然资源、人口、经济等多部门数据,实现“数据一次采集、多方共享”,例如通过平台实时监测城镇扩张与耕地保护动态,避免规划冲突;

推广智慧化治理工具,在村庄规划中应用无人机航拍、大数据分析识别村民出行热点,优化公交线路;在生态保护中,通过物联网监测河流、林地等生态要素,联动环保、水利部门快速处置污染问题,让技术工具成为城乡协同治理的“神经中枢”^[2]。

4 优化策略与保障措施

4.1 优化策略

强化主体协同:需构建多元主体“共商共建”渠道,在县域规划编制阶段设立“规划协商会”,邀请企业代表、村民理事会成员、社会组织参与,对产业布局、公共服务选址等议题进行投票表决;推广“乡村规划师”制度,选派专业人员驻村指导,帮助村民将诉求转化为规划语言,改变“被动接受”现状。同时,建立主体信用评价机制,对积极参与的企业给予用地、税收优惠,对村民参与率低的村庄适当缩减项目支持,倒逼多元主体主动协同。

完善机制协同:以“多规合一”为核心,将国土、住建、环保等部门的规划数据、审批权限整合至统一平台,实现“一个项目、一套流程、一枚印章”审批;建立跨区域协调机制,如相邻县域联合编制交界地带生态保护规划,避免“各自为政”;在规划实施中引入第三方评估机构,每季度对部门协同效率、项目落地进度进行考核,结果纳入干部政绩评价,破解“重编制、轻实施”难题。

深化要素协同:土地制度上,推行“宅基地有偿退出+城镇建设用地指标奖励”政策,将退出的宅基地复垦为耕地,腾退指标优先用于乡村产业;产业政策上,设立县域融合发展基金,扶持“城市企业+乡村合作社”模式,如对农产品深加工企业给予50%的厂房建设补贴,要求其与村庄签

订原料采购协议;公共服务方面,实施“县域资源共享计划”,推动县城学校、医院与乡镇机构组建联盟,通过远程教学、专家轮岗缩小城乡差距。

4.2 保障措施

加快修订《县域国土空间规划编制规程》,明确城乡融合规划的强制性内容(如公共服务设施覆盖率、生态保护红线比例);出台《多元主体参与规划条例》,将村民、企业的参与流程、权利救济途径写入法规;建立“规划留白”制度,预留10%~15%的弹性空间,应对城乡发展中的新需求。

投资建设县域规划大数据中心,强制要求各部门按标准共享数据,对数据不互通的部门进行问责;开展“数字规划员”培训,每年培养50名掌握GIS、大数据分析的基层技术人员;在乡镇配备移动规划终端,实现村庄用地调查、规划调整的“现场即办”,提升治理效率。

构建“财政+市场+社会”的多元投融资体系,县财政每年拿出土地出让金的30%投入城乡融合项目;设立“城乡融合债券”,允许社会资本通过PPP模式参与污水治理、冷链物流等项目,给予3%的贴息补贴;鼓励村集体以土地经营权入股企业,分享产业增值收益,反哺规划实施^[3]。

5 结论与展望

研究表明,城乡融合视角下的县域国土空间规划协同治理需构建“三层协同”模式:主体层面形成“政府主导—市场参与—社会协同—村民自治”的网络体系,机制层面贯穿编制、实施、监督的全流程闭环协同,要素层面实现空间布局与资源配置的城乡统筹。这一模式的核心在于打破行政壁垒与二元结构,通过多元主体权责适配、要素双向流动机制及数字化技术支撑,破解县域规划中部门分割、城乡脱节等问题,为城乡融合发展提供空间治理保障。

未来可从两方面深化研究:一是关注县域治理的动态性,结合不同发展阶段(如工业化初期、城镇化中后期)构建差异化协同模式,探索治理弹性的量化评估方法;二是聚焦数字化转型,研究人工智能、区块链等技术在规划协商、利益分配中的应用,如通过智能合约保障村民土地权益,或利用数字孪生技术模拟城乡要素流动场景,提升治理精准度。此外,还可拓展跨县域协同治理研究,为区域城乡融合提供更宏观的理论支撑。

参考文献

- [1] 崔冰露.国土空间规划背景下历史文化空间保护利用的方向探讨[J].住宅与房地产,2023(24).
- [2] 杨洪星.国土空间规划背景下乡村风貌规划建设存在的问题及对策[J].乡村科技,2021(02).
- [3] 戴世杰;周苗苗.国土空间规划背景下低效用地再开发的思考与建议——以温州市为例[J].浙江国土资源,2025(03).

Optimization of combustible gas leakage monitoring system during hydrogen blending combustion

Haihai Jia Qiang Yan Kai Tan

Changqing Engineering Design Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710018, China

Abstract

The new energy industry chain centered on “photovoltaic (wind power) generation-water electrolysis for hydrogen production-hydrogen-blended combustion power generation” continues to innovate and develop in the oil and gas field market. Hydrogen-blended combustion power generation involves blending hydrogen into natural gas at a specific ratio as fuel, which is then processed by gas generators. This method not only enables “local blending and local power generation” to reduce fuel transportation and processing costs, but also meets the emission reduction requirements of oil fields under the “dual carbon” goals. Focusing on key challenges in hydrogen-blended combustion processes, this paper synthesizes domestic and international standards through literature review and comparative analysis of flammable gas monitoring requirements during hydrogen blending. It specifically explores optimization strategies for flammable gas leakage detection systems in hydrogen-blended combustion processes, providing practical references for engineering applications.

Keywords

hydrogen-blended combustion; flammable gas; leakage detection; system optimization

掺氢燃烧过程中可燃气体泄漏监测系统的优化

贾海海 演强 谭凯

长庆工程设计有限公司, 中国·陕西 西安 710018

摘要

以“光伏（风能）发电—电解水制氢—掺氢燃烧发电”为主导的新能源产业链在油气田市场持续创新发展。其中，掺氢燃烧发电是将氢气按一定比例掺入天然气作为燃料，再经燃气发电机进行发电，该过程不仅可以实现“就近掺混、就近发电”降低燃料运输与处理成本，还可满足“双碳”目标下油田的减排要求。本文围绕掺氢燃烧过程中的关键问题，通过文献调研与标准对比，总结分析国内外掺氢燃烧过程中的可燃气体监测基本要求，重点探讨掺氢燃烧过程中可燃气体泄漏监测系统的优化策略，为相关工程应用提供参考。

关键词

掺氢燃烧；可燃气体；泄漏监测；系统优化

1 引言

受介质腐蚀、环境破坏及设备老化等影响，掺氢燃烧发电过程中存在一定燃气泄漏风险。氢气的爆炸极限范围宽、逸散性远大于甲烷，导致氢气泄漏后的爆炸风险显著提升。因此，氢气及混氢天然气的泄漏扩散与爆炸问题，成为当前混氢天然气输送领域的研究热点。

目前，相关机构和学者开展了掺氢对管道和设备泄漏相关影响研究。美国工艺研究院（Gas Technology Institute, GTI）、欧盟等通过定量风险评估方法，研究了不同因素对天然气混氢输送系统风险的影响。GTI的研究表明：混氢天然气的气体积累行为与天然气类似，但由于氢气泄漏后扩散

速度更快，达到爆炸极限的氢气云团主要集中在泄漏口，这既增大了泄漏口附近的危险程度，也缩短了混氢天然气泄漏后的扩散距离 [1]。欧洲 NATURALHY 天然气管网掺氢输送示范项目研究表明，掺氢天然气在建筑内的泄漏特性与天然气类似，气体浓度和积聚体积随着氢气含量上升而增加，室内爆炸危害程度会随着氢气含量增加而加重 [2]。基于此，针对掺氢燃烧场景下的可燃气体泄漏监测系统进行优化，具有重要的现实意义。

2 掺氢燃烧机组燃料气泄漏风险区域分析

对掺氢燃烧机组的燃料气泄漏危险性进行分析，确定主要风险区域如下：

①燃机本体燃气管管和燃烧室区域：该区域直接涉及燃料气的燃烧环节，管道连接复杂，是泄漏风险较高的核心区域。

【作者简介】贾海海（1982-），男，中国甘肃宁县人，本科，高级工程师，从事过程装备与控制工程研究。

②燃气模块区域：作为燃料气处理与输送的关键模块，
各类阀门、接头密集，易因密封失效导致泄漏。

③前置模块区域：包含燃料气预处理相关设备，压力
波动可能引发连接处泄漏，需重点关注。

表 1 氢气与甲烷主要性质对照表

性质	氢气	甲烷
相对分子量	2.016	16.043
20℃、0.1MPa 密度（kg/m3）	0.0827	0.6594
空气中最小点火能量（MJ）	0.017	0.274
爆炸极限	4.0%~75.0%	5.3%~15.0%
空气中的扩散系数（cm²/s）	0.61	0.16
低热值（MJ/kg）	119.93	50.02
低热值（MJ/m³）	10.22	35.90
0 空气中的着火温度（℃）	585	540
空气中的火焰温度（℃）	2045	1875
空气中的燃烧速度（cm/s）	265~325	34~37
最小淬熄距离（cm）	0.064	0.203

注：本表为常压、常温条件下参考值。

3 掺氢对燃料气泄漏特性的影响及监测需求

天然气掺氢后，随着氢气占比的提高，燃料气的物理化学性质发生显著变化：气体比重降低、爆炸下限下降，而逸散性增强。这些变化使得原有基于纯天然气的泄漏监测系统难以满足安全需求，需从监测参数、设备配置等方面进行针对性优化。具体表现为：

①相同泄漏量下，掺氢燃料气中甲烷浓度降低，传统以甲烷为监测对象的探头灵敏度需重新校准。②氢气的高逸散性和宽爆炸极限，要求监测系统具备更快的响应速度和更精准的浓度检测能力。③泄漏后危险区域集中于泄漏口附近，需强化对潜在泄漏点的定向监测。

4 可燃气体泄漏监测系统的优化措施

针对掺氢燃料气的泄漏特性，结合实际工程场景，可从以下三方面对泄漏监测系统进行优化。

4.1 重新设计可燃气体泄漏监测探头的设定值

常规机组中，可燃气体泄漏监测探头的配置及设定值以甲烷为基准(甲烷爆炸下限 LEL 为 5%)，具体参数如表 2 所示。

天然气掺氢后，在保持甲烷探头配置不变的情况下，由于燃料气中甲烷体积分数下降（设氢气体积比为 α ），需按气体分压原理对报警值进行修正，优化后的设定值如表 3 所示。

4.2 增加专用的氢气监测探头

GB50177-2005《氢气站设计规范》条文说明指出，为保障有爆炸危险房间的生产安全，应设置氢气检漏报警装置 [3]。目前市场上的氢气探测器主要分为三类，其特性对比分析如下：

①燃烧式探测器：应用广泛，成本较低，使用寿命 1~3 年，但长期运行后报警设定值易波动，需频繁标定，且易受硫化物等杂质影响导致失效。②电化学探测器：短期精度较高（可达 1PPM），使用寿命 2~3 年，但长期运行稳定性差，不适用于电厂长期监测需求。③光学探测器：基于吸收光谱或散射光谱原理，测量精度、范围及稳定性均优于前两种，使用寿命可达 5 年以上，无标定频繁、易失效等弊端。

综合来看，光学探测器在测量性能和长期可靠性上优势显著，是实际工程中的最优选择。

表 2 常规机组可燃气体泄漏监测探头配置

监测区域	燃机本体区域	燃气模块区域	罩壳排风道	前置模块区域
监测介质	甲烷	甲烷	甲烷	甲烷
探头数量	4 个	2 个	2 个	≥2 个
低报警值	10%LEL	10%LEL	5%LEL	25%LEL
高报警值	20%LEL	20%LEL	10%LEL	50%LEL

表 3 掺氢后可燃气体泄漏监测探头配置优化

监测区域	燃机本体区域	燃气模块区域	罩壳排风道	前置模块区域
监测介质	甲烷	甲烷	甲烷	甲烷
探头数量	4 个	2 个	2 个	≥2 个
低报警值	10%(1- α)LEL	10%(1- α)LEL	5%(1- α)LEL	25%(1- α)LEL
高报警值	20%(1- α)LEL	20%(1- α)LEL	10%(1- α)LEL	50%(1- α)LEL