

引文: 夏良玉, 王雪, 吴瑶. 美国页岩气开发环境监管制度解析及其对中国页岩气的启示[J]. 天然气工业, 2023, 43(5): 108-114.

XIA Liangyu, WANG Xue, WU Yao. Environmental regulatory system for shale gas development in the United States and its implications for China's shale gas development[J]. Natural Gas Industry, 2023, 43(5): 108-114.

美国页岩气开发环境监管制度解析 及其对中国页岩气的启示

夏良玉¹ 王雪² 吴瑶¹

1. 中国石油大学(北京)经济管理学院 2. 中智(北京)经济技术合作有限公司

摘要: 关于美国页岩气开发环境监管体系的有效性长期以来存在争议,其焦点是“哈里伯顿漏洞”是否削弱了监管的能力和效果。为此,梳理了美国页岩气开发环境监管体系和相关法案,以得克萨斯州、宾夕法尼亚州和俄亥俄州等页岩气主产州作为重点对象,研究了页岩气开发作业阶段的州级环境监管特征,最后结合中国页岩气的特点和现状对页岩气环境监管提出了建议。研究结果表明:①美国对页岩气开发实行联邦政府和州政府双重环境监管,且以州政府为监管主体;②联邦政府通过法案提供最低监管标准或者指导性条款,各州政府在监管过程中既可以遵照联邦政府法案,也可以独立制订更高标准的法案;③州级监管具有自主决策、因地制宜的基本特征,因而各州采用的监管工具与强度各不相同;④在现有的监管实践中,州级监管覆盖了页岩气开发全过程,监管标准显著高于联邦政府要求,并不存在明显的漏洞。结论认为,借鉴美国页岩气管理经验,结合中国页岩气特征,提出了中国页岩气开发环境监管应制订专有的法律和规章,明确监管执法标准;加强专业化监管队伍建设,提高监管人员专业能力;鼓励地方政府根据本地区的特点实施差异化监管等建议。

关键词: 哈里伯顿漏洞;页岩气;开发;环境;监管体系;启示

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2023.05.012

Environmental regulatory system for shale gas development in the United States and its implications for China's shale gas development

XIA Liangyu¹, WANG Xue², WU Yao¹

(1. School of Economics and Management, China University of Petroleum <Beijing>, Beijing 102249, China; 2. CIIC <Beijing> Economic & Technical Cooperation Co., Ltd., Beijing 100100, China)

Natural Gas Industry, Vol.43, No.5, p.108-114, 5/25/2023. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The effectiveness of the environmental regulatory system for shale gas development in the United States has long been a subject of controversy, with the focus on whether the "Halliburton loophole" weakens regulatory capacity and outcomes. To address this issue, this study examines the environmental regulatory system and relevant laws governing shale gas development in the United States, specifically investigating the characteristics of state-level environmental regulation during the operational stage of shale gas development in key production states such as Texas, Pennsylvania, and Ohio. Finally, based on China's shale gas characteristics and current status, suggestions for enhancing shale gas environmental regulation provides are provided. The following research results are obtained. First, shale gas development in the United States is subject to dual supervision by the federal and state governments, with the primary regulatory role lying with the states. Second, the federal government establishes minimum regulatory standards and guidelines through legislation, while the states have the discretion to comply with federal laws or independently enact more stringent regulations during the regulatory process. Third, state-level regulation exhibits characteristics of independent decision-making and adaptation to local conditions, resulting in variations in regulatory tools and intensities across different states. Fourth, existing supervisory practices encompass the entire shale gas development process, with state-level standards significantly surpassing federal requirements and demonstrating no apparent loopholes. In conclusion, several suggestions are made based on the experience of shale gas management in the United States, combined with China's shale gas characteristics: China should establish specialized laws and regulations for shale gas development, clearly defining enforcement standards; Furthermore, efforts should be focused on strengthening the capacity of professional supervision teams and enhancing the expertise of supervisory personnel; Finally, encouraging local governments to implement region-specific regulatory approaches is also recommended.

Keywords: Halliburton loophole; Shale gas; Development; Environment; Regulatory system; Implication

基金项目: 国家社科基金重大项目“面向碳中和的能源革命推进路径与策略研究”(编号:21ZDA030), 中国石油大学(北京)科研基金“新形势下中国能源市场化改革研究”(编号:ZX20200109)、“‘双碳’目标下的企业管理关键问题研究”(编号:2462022YXZZ004)。

作者简介: 夏良玉, 1978年生, 副教授;主要从事能源技术经济与管理、能源产业与环境政策等方面的研究工作。地址:(102249)北京市昌平区府学路18号。ORCID: 0000-0002-6099-4946。E-mail: xialiangyu_paper@sina.com

0 引言

“十三五”期间我国页岩气产量快速增长。与此同时，在尚未针对页岩气特点制订专门环境监管法律、法规的情况下，页岩气开发的环境风险会随着产业规模的扩大而增加^[1-2]。为此，中国生态环境部明确提出，将加快制订页岩气环境影响评价管理政策，出台相关技术标准，推动建立全过程监管体系。

美国的页岩气开发为中国页岩气产业的起步和发展提供了重要的借鉴，在页岩气开发环境监管方面也可以为中国提供一定的参考。长期以来，围绕美国页岩气产业监管体系的有效性存在着广泛的争议，而“哈利伯顿漏洞”是否属于监管漏洞则是其中的焦点。相关的争议体现在学术和美国立法层面：在学术层面，支持者认为美国的环境监管体系完备、精细，能够对页岩气开发实施有效监管，但这部分研究或是回避了“哈利伯顿漏洞”问题^[3-5]，或是反驳了“哈利伯顿漏洞”，但却因论证不够全面和深入，使得观点的说服力不足^[6-7]；反对者认为以“哈利伯顿漏洞”为代表的监管漏洞削弱了监管的有效性^[8-9]，增加了环境污染风险。在立法层面，一项2009年首次发起的旨在关闭“哈利伯顿漏洞”的提案在经历了两次发起并审议失败后，于2021年又一次被发起，但尚未通过美国众议院审议^[10]。

鉴于不同的评价结论会产生不同导向的政策建议，有必要分析产生争议的深层原因。为此，对“哈利伯顿漏洞”的产生及争议进行梳理，随后透过“哈利伯顿漏洞”分析美国页岩气环境监管体系特征，并对其进行评价，并在此基础上探讨美国的页岩气开发环境监管体系对中国的启示。

1 “哈利伯顿漏洞”的产生与争议

“哈利伯顿漏洞”起源于1989年，美国亚拉巴马州居民报告水井被煤层气压裂作业污染。到了1997年，美国联邦政府下令要求美国国家环境保护局（Environmental Protection Agency, EPA）根据《安全饮用水法》（Safe Drinking Water Act）规范水力压裂活动。为了响应此法令，EPA于2000年启动了一项煤层气生产对水资源威胁的研究，得出结论为“水力压裂对饮用水几乎没有威胁”。2005年美国国会通过了《能源政策法案》（Energy Policy Act of 2005），其目标之一是促进国内油气开发。法案中的SEC.322对《安全饮用水法》第1421（d）条的第（1）款做

出修正，使得未经检验化学添加成分的水力压裂液可以直接注入地下而免受EPA监管^[11]。修正条款由压裂作业服务商哈里伯顿公司的前首席执行官、时任副总统迪克·切尼发起，这引发了该修正条款可能存在利益输送并造成监管漏洞的质疑，修正条款由此得名“哈利伯顿漏洞”。

“哈利伯顿漏洞”起源于煤层气压裂，但因为美国页岩气开发而广受关注。2009年，一起水井盖爆炸事件被指由页岩气水力压裂作业导致的甲烷泄漏引起，美国环保部门对此进行了调查。虽然官方没有得出确切结论，但该事件被作为页岩气开发环境污染的典型事例宣传^[2]。随着页岩气开发的环境问题受到广泛关注，“哈利伯顿漏洞”也作为监管缺陷被公众知晓。其中一些人认为“哈利伯顿漏洞”是一项令人震惊的联邦政府监管豁免，加剧了水力压裂带来的灾难性影响^[12]。反驳者认为水力压裂豁免条款作用范围有限^[9]，并且各州政府已经根据自身情况制订了更为具体的监管规章。例如宾夕法尼亚州环境保护局秘书Michael Krancer在国会作证时指出，“联邦政府的监督没有必要，因为各州政府有能力制订和执行自己的规章，而EPA能否比各州政府更有效地监管环境还未得到证实”^[10]。

2 美国页岩气开发环境监管体系

围绕“哈利伯顿漏洞”的争议表明，其问题的核心是联邦政府和州政府的监管权分配以及监管的有效性。对此问题，分别从联邦政府和州级层面进行分析。

2.1 联邦政府监管

美国联邦政府通过《国家环境政策法案》（National Environmental Policy Act）、《清洁水法案》（Clean Water Act）、《安全饮用水法》和《综合环境响应、赔偿和责任法》（Comprehensive Environmental Responsibility, Compensation, and Liability Act）等与油气开发相关的法案^[13]来监管页岩气开发中产生的潜在环境污染问题，监管内容包括页岩气钻探、环境影响评价、废水处理标准等（表1）。

根据以上法案，EPA和安全与卫生署（The Occupational Safety and Health Administration, OSHA）共同监管页岩气勘探、开发和生产的各个阶段。EPA通过制订环境政策和实施细则来应对全国环境问题，这也包括了页岩气开发带来的潜在水污染问题。但由于《安全饮用水法》豁免了页岩气开发水力压裂的监管，

表 1 美国联邦政府层面与页岩气开发水环境相关的法案及其主要内容表

相关法案	内容
《国家环境政策法案》	强调在勘探、生产过程中要进行全面环境影响评价，以减少油气开发产生的环境污染
《清洁水法案》	防止页岩气开发对地表水产生污染。规定了页岩气钻探和生产活动相关的地表水排放标准，要求外排废水中污染物含量不得高于标准
《安全饮用水法》	防止页岩气开发对饮用水造成污染。对开发过程中产生废液的地下注入进行监管，同时要求油气公司承担检查、监测、和申报等义务，防止污染物注入地下污染饮用水源
《综合环境响应、赔偿和责任法》	规定有害废物处理和作业商的清除责任。要求油气生产操作员必须报告危险化学品的临界释放量，并负责清理受污染场地。创建一个通过对油气等行业征税筹款的信托基金，用于清理受污染的场地

所以 EPA 只对水力压裂注入以外的页岩气开发过程进行监督、指导和协调，同时为各州政府制订法规提供数据和指导^[14]。在 EPA 监管同时，OSHA 通过制订和执行安全标准、提供培训、宣传、教育和法律援助的方式，确保在开发过程中作业人员可以在健康的环境下工作。OSHA 还通过构建监管框架，对建井和水力压裂过程中的工人安全、操作规范以及信息披露等环节进行监管。

尽管相关法案规定了联邦政府的监管责任，但其并没有资源和能力在全国范围内实施监管。同时，由于制订全国统一标准可能也不是保护水环境最有效的手段，因此目前联邦政府只通过制订法案提供指导性条目和最低标准，并没有针对页岩气开发作业环节制订具体规章。

2.2 州级监管

相较于美国联邦政府，各州政府对页岩气的开发有一定的监管优先权，拥有广泛权力来管理、许可和监督页岩气开发活动。各州政府在制订详细规章时可以使用联邦政府法案或独立立法，在州级法案指导下监管页岩气开发的各个作业环节，但州级立法必须达到或超过所取代的联邦政府法案标准。从监管实践来看，随着页岩气产业的不断发展，各州监管制度日益完善，与页岩气开发相关联的污染事件数量也呈现显著下降趋势^[15]。鉴于美国页岩气生产州数量众多，基于 2016—2021 年美国页岩气产量数据，选取 3 个主要页岩气生产州，即得克萨斯州、宾夕法尼亚州和俄亥俄州作为对象，对州级监管进行研究。

表 2 2016—2021 年美国及其 3 个主要页岩气生产州页岩气产量表

地区	页岩气年产量 /10 ⁸ m ³						6 年总产量 /10 ⁸ m ³	占美国总产量比例
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年		
美国全国	4 823	5 264	6 245	7 237	7 402	7 924	38 895	
得克萨斯州	1 424	1 464	1 810	2 107	2 221	2 340	11 366	29.20%
宾夕法尼亚州	1 430	1 519	1 721	1 920	1 994	2 137	10 721	27.60%
俄亥俄州	392	495	662	724	657	625	3 555	9.10%

注：数据来源于美国能源信息署（Energy Information Administration）。

3 个研究对象州都设有专门的监管机构，按照本州规章监管包括水力压裂在内的页岩气开发全过程（表 3）。宾夕法尼亚州和俄亥俄州通过州立法来颁布法案，再依据法案制订规章；得克萨斯州则在联邦政府法案下制订规章^[16]。宾夕法尼亚州依据《石油与天然气法案》（Oil and Gas Act）等制订了与油气开发相关的规章，即《宾夕法尼亚法典》（Pennsylvania Code）第 78 章。俄亥俄州通过了参议院第 315 号

法案（Senate Bill 315）来更好地解决压裂作业过程中的监管问题，并将其编纂在《俄亥俄州修正法典》（Ohio Revised Code）和《俄亥俄州行政法规》（Ohio Administrative Code）中。得克萨斯州直接依据《清洁水法案》《安全饮用水法》《资源保护与恢复法》（Resource Conservation and Recovery Act）等联邦政府法案制订规章，汇编在《得克萨斯州行政法规》（Texas Administrative Code）第 16 章中。

表 3 研究对象州页岩气相关法律及其监管机构表

页岩气生产州	规 章	监管机构
得克萨斯州	《得克萨斯州行政法规》第 16 章	得克萨斯州铁路委员会 (Railroad Commission of Texas)
宾夕法尼亚州	《宾夕法尼亚法典》第 78 章	宾夕法尼亚环境保护部 (Pennsylvania Department of Environmental Protection)
俄亥俄州	《俄亥俄州行政法规》第 1 501 章 《俄亥俄州修正法典》第 1 509 章	俄亥俄州自然资源部 (Ohio Department of Natural Resources)

3 基于页岩气开发作业阶段的州级环境监管特征

在以州政府为监管主体的模式下，监管效果最终取决于州级监管机构在作业阶段制订的监管规则质量。以得克萨斯州、宾夕法尼亚州和俄亥俄州的监管实践为依据，以作业阶段为主线，对具体规章进行梳理和分析。结合页岩气建设与生产周期，可以从环境监管角度划分为 4 个作业阶段：钻前准备、钻井、水力压裂、返排液 / 采出水处理^[17]。各阶段除共性问题外，还具有独立的风险点，这些风险点决定了各阶段的主要监管事项（图 1）。

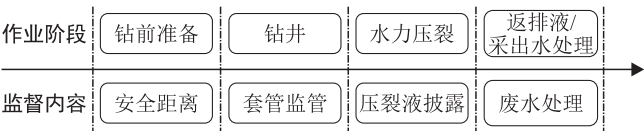


图 1 页岩气生产作业阶段划分及主要监管内容图

3.1 钻前准备阶段的监管

对钻前准备阶段的监管，主要集中在为了防止钻采施工对周边生活环境或水资源造成污染，设置相关设施与周边建筑物或水体之间的安全距离。关于美国各州页岩气监管的研究显示^[18]：①在被调查的 31 个州中，12 个州有水体安全距离要求，占比约 39%；各州规定的安全距离介于 15 ~ 610 m，平均为 102 m。② 20 个州有建筑物安全距离要求，占比约 65%；各州规定的安全距离介于 30 ~ 305 m，平均为 94 m。③ 11 个州完全没有设定安全距离。

研究所涉及的 3 个州均根据本州实际情况设定了最低安全距离。得克萨斯州规定不得在该市人口稠密地区或私人住宅区 61 m 以内钻探井^[19]。实际上，州内大多数市镇采用了大于 61 m 的更为严格的标准，例如得克萨斯州的丹顿县，县内的 12 个城市在页岩气发展过程中不同程度地增加了安全距离，安全距离的要求介于 91 ~ 457 m。宾夕法尼亚州规定水平井的井眼到现有建筑物的安全距离为 152 m，如果不

能满足要求，则距离住宅区的距离不得小于 91 m。相比于前两者，俄亥俄州对于安全距离的要求较低，其法案要求，在城市化地区相关设备住宅与住宅距离不得低于 46 m；在非城市化地区，相关设备与私人住宅或公共建筑距离不得低于 30 m。

3.2 钻井阶段的监管

对钻井阶段的监管，主要是通过监管套管深度来防止水层污染。尤其是表层套管，其主要作用是封隔地下水层，必须将其下放到一定深度并确保胶结到位，才能隔离井筒并保护地下含水层^[20]。美国大多数州都有套管延伸和胶结深度的规定。统计表明，至少 21 个州有明确的套管要求，其中 15 个州规定了套管的最低深度，要求其底部深度超过水层 9 ~ 378 m，平均为 20 m。其余州虽然没有规定具体的技术标准，但普遍作出了结果导向的监管要求，例如要求套管设置和胶结必须达到足够强的标准以保护淡水层。在研究的 3 个州中，得克萨斯州要求套管必须在所有生产区、潜在流动区和充满腐蚀性地层的区域之上进行胶结；宾夕法尼亚州和俄亥俄州则对套管深度要求为套管底部深度超过地下含水层至少 15 m^[21]。

3.3 水力压裂阶段的监管

典型的水力压裂液中含有酸、抗菌剂、阻垢剂和表面活性剂等化学添加剂^[22]。尽管添加剂占比很低，仅 0.5% ~ 2%，但由于压裂液总量巨大，如果在压裂作业中泄漏压裂液，就会对地表水或地下水造成污染，这引起了公众的普遍担忧^[21,23]。为了缓解公众对压裂液泄漏的担忧，美国在 2011 年成立了 Frac Focus 网站，号召作业商注册登记，披露水力压裂液的化学添加剂情况^[24]，让公众对压裂液信息享有知情权。压裂液信息的披露对公共卫生专业人员、科研人员以及政府官员也很重要，披露的信息能够帮助公共卫生人员更好地应对紧急情况；帮助科研人员跟踪钻探地点附近的水和空气质量，进而研究对健康的影响；帮助政府官员就许可页岩气井钻进和开发的地点和方式做出正确决策^[25]。

虽然美国联邦政府未对压裂液信息披露设立统

一标准,但研究所涉及的 3 个州均制订了监管法规。得克萨斯州制订了第一个水力压裂液披露法规,要求作业商披露压裂液中的所有化学成分^[26]。宾夕法尼亚州和俄亥俄州要求作业商披露压裂液体类型、使用量等信息,并说明每种化学添加剂的使用情况^[27]。此外,3 个州均强制要求作业商在 Frac Focus 网站上提交水力压裂过程中使用的化学品清单^[24]。

3.4 返排液 / 采出水处理阶段的监管

水力压裂和采气过程中会产生返排液和采出水,返排液是压裂储层后通过气井返回地面的压裂液,采出水是随压裂液返排或者采气过程中采出的含盐地层水^[28]。除了返排液中的人工化学添加剂外,返排废水中还含有盐、有机碳氢化合物以及天然放射性物质等有害物质。如果处理不当,会危害当地和区域水源或土壤。在西弗吉尼亚州曾进行过一项实验,在混合硬木森林中释放超过 1 000 m³ 的返排废水,观察其对植被的影响,其结果显示地表植被很快遭到了破坏,树木大约在 10 天内开始凋落,而且在此后的两年里,树木死亡率显著升高^[13]。

美国的返排废水处理方式主要有回注地下、循环再利用、储存在储水坑或储罐、土地应用、处理后排放至地表等 5 种。对于废水处理方式,各州政府较少做出硬性规定,通常会允许油气公司自主选择技术方案,而油公司会在权衡技术条件、处理成本、监管要求的基础上做出选择。在得克萨斯州和俄亥俄州,少部分返排废水经处理后再用于压裂作业,或者以其他方式再利用。例如俄亥俄州将废水处理后用于防尘或防冰,而大部分则通过回注地下的方式进行处理,其主要原因是回注成本较低^[29]。宾夕法尼亚州于 2016 年颁布新法规,禁止使用储水坑储存钻屑和废液,并要求作业商最大化废水回收利用比例,而在此前,处理后排放至地表也是该州的主要处理方式。

4 美国页岩气开发环境监管的特征总结

基于以上分析,可以总结出美国页岩气开发环境监管的几点特征:①实行联邦政府和州政府双重监管,且以州政府为监管主体。②联邦政府通过法案提供最低监管标准或者指导性条款(对个别条款的豁免,并不是对基本体系规则的否定),各州政府负责在指导性条款的基础上制订具体的规章,在制订规章时既可以依据联邦政府法案,也可以依据本州经立法程序产生的法案。③各州政府根据法案制订规章时有权自主决定各个作业环节的监管工具和强度,其优势在于能够因地制宜,条款可操作性强,

能为执法提供直接依据。④在现有的监管实践中,作为监管主体的州级监管覆盖了页岩气开发全过程,且监管标准显著高于联邦政府要求,并不存在明显的漏洞。研究认为,作业缺陷、管理疏忽和特殊地质条件才是各类页岩气开发中污染事件产生的主要原因,监管缺陷并不处于主导地位。

5 对中国页岩气开发环境监管的启示

虽然中国的立法体系与美国不同,但是仍然可以从美国页岩气开发环境监管体系和特征中得到几点启示。

1) 应针对页岩气开发的技术特点制订专门的法律和规章。在国家层面,中国的相关法律法规包括《环境保护法》《水法》《水污染防治法》等,这些法律法规是通用的指导性条款,没有考虑页岩气开发的特殊性。尽管有个别地方政府颁布了针对性的法规,但是其在内容上仍是以指导性条款为主。例如《四川省页岩气开采业污染防治技术政策》,其在功能上与美国州一级的法律法规类似,但在规定钻井安全距离时,只提及开采区域和单体建设项目选址布局应避开人群聚集区,而缺乏精确的执行标准,这种模糊的表述容易导致执法的不确定性。因此,建议相关部门加快建设与页岩气开发技术特点相匹配的监管制度体系,包括制订更具体和可操作的规章和技术规范,以确保页岩气环境监管具有明确的执法标准。

2) 应加强专业化监管队伍建设。油气开发的技术与工艺复杂,对环境监管人员的专业能力有较高要求。美国各油气生产州能够制订详细的技术层面的监管规章并有效实施,这得益于其拥有数量众多的专业监管队伍。例如宾夕法尼亚州设有专门的油气管理办公室,拥有 227 名专职人员^[30]。相比之下,中国监管机构的人员配备较少,而且没有专门的油气监管部门。与常规油气开发相比,页岩气开发的复杂程度更高,其环境监管难度更大。为了实施有效监管,除了完善法律法规和规章之外,加强专业监管队伍的建设也同样需要引起重视。

3) 可根据不同地区的特点实施差异化监管。美国民众对于“哈里伯顿漏洞”的担忧,其本质源自人们对州政府监管的不信任,希望 EPA 能够制订统一标准来约束各州政府。尽管这种担忧有合理之处,但从监管立场来看,依赖于 EPA 来制订统一标准同样存在隐患。由于监管标准受地质、地形、技术工艺等因素的影响显著,而各州之间在这些方面存在着明显的区域差异,如果 EPA 希望其规章能够适用于各州,那么可能会选择按照最低标准制订。同时,

由EPA制订统一标准可能会削弱各州政府研究并制订符合本州特点的监管规章的动力。中国可以借鉴美国的做法,鼓励地方监管部门因地制宜,针对本地区页岩气开发的特点,在各个作业阶段的关键风险点上实施差异化监管。此外,各地区在确定监管工具及其强度时,可以从美国各州政府的监管实践中找到参考,以提升制订法律法规的效率和效果。

参 考 文 献

- [1] 江丽,刘春艳,王红娟,等.国内外页岩气开发环境管理现状及对比[J].天然气工业,2021,41(12): 146-155.
JIANG Li, LIU Chunyan, WANG Hongjuan, et al. Domestic and foreign environmental management of shale gas development: Status and comparison[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(12): 146-155.
- [2] 夏良玉.美国页岩气开发的水污染风险成因、争议及对中国的启示[J].中国人口·资源与环境,2019,29(6): 31-39.
XIA Liangyu. Causes of water contamination risks from shale gas development and debate on it in the United States and implications for China[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(6): 31-39.
- [3] 彭民,陈君曦,杨洪波,等.页岩气开发环境监管框架的美国经验借鉴[J].中国石油大学学报(社会科学版),2018,34(1): 1-7.
PENG Min, CHEN Junxi, YANG Hongbo, et al. Reference from American experience on environment regulatory framework of shale gas development[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Social Science), 2018, 34(1): 1-7.
- [4] 杨德敏,喻元秀,梁睿,等.我国页岩气开发环境影响评价现状、问题及建议[J].天然气工业,2018,38(8): 119-125.
YANG Demin, YU Yuanxiu, LIANG Rui, et al. Environment impact appraisal (EIA) for shale gas development in China: Present status, existing issues and proposals[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(8): 119-125.
- [5] 杜群,万丽丽.美国页岩气能源开发的环境法律管制及对中国的启示[J].中国政法大学学报,2015(6): 146-158.
DU Qun, WAN Lili. Environmental legal regulation of shale gas energy development in the United States and its enlightenment to China[J]. Journal of CUPL, 2015(6): 146-158.
- [6] SORAGHANM. The fracking 'loophole' that just keeps growing[EB/OL]. (2015-08-18)[2022-07-04]. <https://www.cenews.net/articles/the-fracking-loophole-that-just-keeps-growing/>.
- [7] PHILLIPS S. Burning question: What would life be like without the Halliburton loophole[EB/OL]. (2011-12-05)[2022-07-04]. <https://stateimpact.npr.org/pennsylvania/2011/12/05/burning-question-what-would-life-be-like-without-the-halliburton-loophole/>.
- [8] 谢海燕,马忠玉,杨晶.美国页岩气开发的环境监管经验及对我国的启示[J].中国经贸导刊,2017(21): 59-61.
XIE Haiyan, MA Zhongyu, YANG Jing. The environmental supervision experience of shale gas development in USA and its enlightenment to our country[J]. China Economic & Trade Herald, 2017(21): 59-61.
- [9] 冯连勇,邢彦姣,王建良,等.美国页岩气开发中的环境与监管问题及其启示[J].天然气工业,2012,32(9): 102-105.
FENG Lianyong, XING Yanjiao, WANG Jianliang, et al. Experience and lessons from the U.S. shale gas development in terms of environmental and regulatory issues[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(9): 102-105.
- [10] U.S. Congress. H.R.2766—fracturing responsibility and awareness of chemicals act of 2009[EB/OL]. (2009-06-10)[2022-07-04]. <https://www.congress.gov/bill/111th-congress/house-bill/2766/text>.
- [11] U.S. Department of Energy. Energy policy act of 2005: Section 322—hydraulic fracturing[EB/OL]. (2005-08-08)[2022-07-04]. <https://www.energy.gov/articles/energy-policy-act-2005>.
- [12] HAUTER W. Ten years later, the "Halliburton loophole" and America's dirty fracking boom[EB/OL]. (2015-08-10)[2022-07-04]. <https://www.commondreams.org/views/2015/08/10/ten-years-later-halliburton-loophole-and-americas-dirty-fracking-boom>.
- [13] GROATC G, GRIMSHAW T W. Fact-based regulation for environmental protection in shale gas development[R]. Austin: The Energy Institute at the University of Texas at Austin, 2012.
- [14] United States Environmental Protection Agency. Unconventional oil and natural gas development[EB/OL]. [2022-07-04]. <https://www.epa.gov/uog>.
- [15] Environmental Protection Agency. Hydraulic fracturing for oil and gas: Impacts from the hydraulic fracturing water cycle on drinking water resources in the United States: EPA/600/R/16/236F[R/OL]. (2016-12-27)[2022-07-04]. <https://www.federalregister.gov/documents/2016/12/27/2016-31034/hydraulic-fracturing-for-oil-and-gas-impacts-from-the-hydraulic-fracturing-water-cycle-on-drinking>.
- [16] BOXERMAN S B, VISSER J F. Hydraulic fracturing regulation in the US[EB/OL]. (2012-10-01)[2022-07-04]. [https://content.next.westlaw.com/practical-law/document/I8417d5c41cb11e38578f7ccc38dcbce/Hydraulic-fracturing-regulation-in-the-US?viewType=FullText&contextData=\(sc.Default\)&transitionType=Default&firstPage=true](https://content.next.westlaw.com/practical-law/document/I8417d5c41cb11e38578f7ccc38dcbce/Hydraulic-fracturing-regulation-in-the-US?viewType=FullText&contextData=(sc.Default)&transitionType=Default&firstPage=true).
- [17] STARK M, ALLINGHAM R, CALDER J, et al. Water and shale gas development: Leveraging the US experience in new shale developments for high performance[R]. Bengaluru: Accenture, 2012.
- [18] RICHARDSON N, GOTTLIEB M, KRUPNICK A, et al. The state of shale gas regulation[R]. Washington DC: Resources for the Future, 2013.
- [19] FRY M. Urban gas drilling and distance ordinances in the Texas Barnett Shale[J]. Energy Policy, 2013, 62: 79-89.
- [20] DEANE-SHINBROT S J, RUGGLES K C, WERTHS P, et al. Marcellus shale: Cementing and well casing violations[R]. Worcester: Worcester Polytechnic Institute, 2012.
- [21] HARPER J A. The Marcellus shale—an old "new" gas reservoir in Pennsylvania[J]. Pennsylvania Geology, 2008, 38(1): 2-13.
- [22] 王玲,熊永生.水平井压裂技术下的页岩气开发环境影响研究[J].生态经济,2013(12): 118-120.
WANG Ling, XIONG Yongsheng. Study on the environmental impact of the development of shale gas in horizontal well fracturing technology[J]. Ecological Economy, 2013(12): 118-120.
- [23] 谢海燕,马忠玉,温志超.我国页岩气开发利用的环境政策分析[J].环境保护,2018,46(1): 58-60.
XIE Haiyan, MA Zhongyu, WEN Zhichao. Research on environmental policies for shale gas development in China[J]. Environmental Protection, 2018, 46(1): 58-60.
- [24] Chemical & Engineering News. Tracking fracking[EB/OL]. (2016-02-11)[2022-07-04]. <https://cen.acs.org/static/tracking-fracking.html>.
- [25] SONG L. Secrecy loophole could still weaken BLM's tougher fracking regs[EB/OL]. (2012-02-15)[2022-07-04]. <https://insideclimatenews.org/news/15022012/blm-fracking-chemicals-disclosure-hydraulic-fracturing-proprietary-natural-gas-drilling/>.
- [26] Railroad Commission of Texas. Hydraulic fracturing[EB/OL].

(2012-02-01)[2022-07-04].<https://rrc.texas.gov/about-us/faqs/oil-gas-faqs/hydraulic-fracturing-faqs/>.

[27] MURRILLB J, VANN A. Hydraulic fracturing: Chemical disclosure requirements: R42461[R]. Washington D C: Congressional Research Service, 2012.

[28] HAMMER R, VANBRIESEN J. In fracking's wake: New rules are needed to protect our health and environment from contaminated wastewater: D:12-05-A[R]. New York: Natural Resources Defense Council, 2012.

[29] Railroad Commission of Texas. Injection and disposal wells[EB/OL]. [2022-07-04]. <https://rrc.texas.gov/about-us/faqs/oil-gas-faqs/injection-and-disposal-wells-faqs/>.

[30] JOHN Q. Oil and Gas Annual Report[R]. U.S.:Department of Environmental Protection, 2014.

(修改回稿日期 2023-04-13 编辑 陈 嵩)



本文互动

硫氯测定仪电解池池体清洗机的设计应用

1. 目的

硫氯测定仪是由库仑放大器、电解池和适宜的电解液组成的一种闭环负反馈系统,应用微库仑滴定原理,采用零平衡工作方式设计,具有性能可靠、操作简易、稳定性好、便于安装等特点,常用于天然气、石油中的微量硫、氯等元素的分析。电解池是硫氯测定仪的核心部件,由池盖、池体和电极等部分组成。电解池中的内部元件、池体内壁及进气管道的清洁程度会影响电解池的作用效果。为了保证测量数据的精准性,在日常维护中需要定期对电解池进行拆解清洗。由于池体内壁直径较小,常用的毛刷和注射针筒不能伸入池体内壁深处,无法有效去除池体内壁深处的颗粒物杂质,还容易造成电解池倾倒、跌落甚至损坏。因此,为提高电解池的清洗效率和清洗效果,避免电解池在清洗过程中的人为损坏,笔者设计了一款硫氯测定仪电解池池体清洗机,该清洗机可伸入池体内壁深处,实现池体内壁深处的有效清洗。

2. 方法

硫氯测定仪电解池池体清洗机由左侧臂管清洗模块、右侧臂管清洗模块、反应室清洗模块和电解液贮存模块组成。左侧臂管清洗模块、右侧臂管清洗模块、反应室清洗模块的结构、工作原理基本相同。以左侧臂管清洗模块为例(图1),左侧臂管清洗模块由旋转清洗架、清洁海绵、硫电解液喷头、氯电解液喷头、旋转清洗电机、硫电解液输送管、氯电解液输送管、硫电解液过滤器、氯电解液过滤器、左侧臂管盖等部分组成。硫电解液输送管、氯电解液输送管和电解液贮存模块相连通。根据实验测样的不同,选择对应的电解液(测硫样品用硫电解液、测氯样品用氯电解液),贮存模块通过电机分别泵取硫电解液或氯电解液至硫电解液输送管或氯电解液输送管中。管道中输送的电解液分别经过硫电解液过滤器、氯电解液过滤器,过滤掉电解液中的杂质,并通过硫电解液喷头、氯电解液喷头进行喷出。电解液喷头表面有均匀环绕的喷淋孔,喷淋区域覆盖左侧臂管内壁各区域(包含内壁深处)。清洁海绵套装在旋转清洗架上,旋转清洗架与旋转清洗电机连接,伸入池体内壁深处,通过旋转清洗电机的转动,实现旋转清洗架

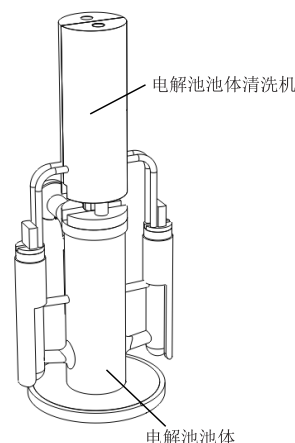


图2 清洗状态示意图

的转动,从而带动清洁海绵,实现了对左侧臂管内壁的擦洗,有效去除了池体内壁、尤其是池体内壁深处附着的颗粒物杂质。根据不同清洗模式的程序设定,喷淋过程和旋转擦洗过程交替或同时进行,相互配合,以达到较好的清洗效果。左侧臂管盖与左侧臂管开口上端面相互配合,扣合在左侧臂管上,起到了固定和密封作用,防止清洗过程中电解液的溢出与飞溅。

清洗机的左侧臂管清洗模块、右侧臂管清洗模块、反应室清洗模块和电解液贮存模块连接成一体。使用过程中,这些模块同时扣合在电解池池体对应的左侧臂管、右侧臂管和反应室上(图2)。实现了左侧臂管、右侧臂管和反应室内壁的并联清洗,提高了清洗效率。清洗完成后,倒出电解池中的清洗废液,清洗过程完成。同时,由于不同型号电解池的池体尺寸存在差异,通过更换旋转清洗架、清洁海绵实现了对不同型号电解池池体的配套清洗,具有较强的通用性。

3. 作用和效果

传统手工方法对轻度污染池体清洗的平均时间约为20 min,对重度污染池体清洗的平均时间约为40 min,而使用电解池池体清洗机对轻度污染池体清洗的平均时间约为5 min,对重度污染池体清洗的平均时间约为10 min,清洗效率提高了75%,且清洗洁净程度也显著提高,尤其是对池体内壁深处的清洗效果明显。该设计方案已经申请中国发明专利,专利号:202211564326.8。硫氯测定仪电解池池体清洗机实现了左侧臂管、右侧臂管、反应室内壁的自动并联清洗,还实现了池体内壁深处的有效清洗,提高了电解池的清洗效率和清洗效果,避免电解池在清洗过程中的人为损坏,具有较强的实用性。

(王琛、周微艺、张韵:南京林业大学家居与工业设计学院,第一作者 E-mail: 996869559@qq.com 编辑 董莎)

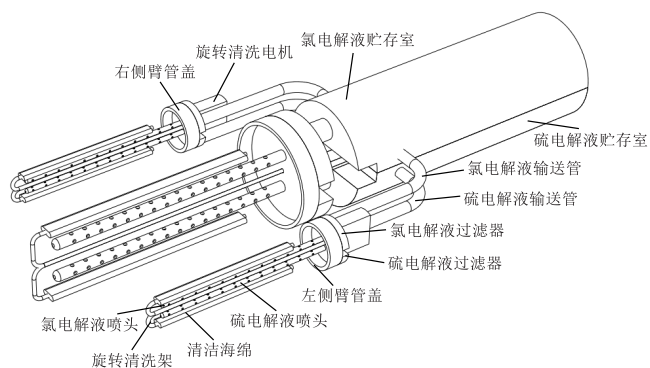


图1 电解池池体清洗机三维模型图