**西安科技大学**

**2021年陕西省科学技术奖申报公示**

**一、项目名称**

煤层气可采性测井综合评价关键技术及应用

**二、提名者**

陕西省煤炭学会

**三、提名意见**

该项目依托“十三五”国家科技重大专项、中国石油股份公司科技重大专项、陕西省自然科学基金及陕西省教育厅专项等科技专项支持，产学研紧密结合，围绕“煤层气富集、高产评价”的目标持续攻关，组织陕西省多家科研单位开展技术攻关，形成了一套煤层气可采性的综合评价关键技术。

该项目选题内容紧密结合渭北地区韩城区块煤层气生产实际，技术路线正确，研究方法得当，成果先进。针对韩城区块煤层气生产中面临的问题和现场的需求，广泛调研国内外相关文献，充分掌握技术发展现状，在现有技术成果的基础上，针对该区块面临的关键技术问题，建立中高煤阶煤层测井综合评价方法体系，从原始资料校正模型、煤层现今含气量计算、煤体结构精细评价、煤系地层可压裂性评价、煤储层完井品质等级评价、排采出水量预测等方面开展专项研究，解决了生产现场问题，促进了鄂东缘煤层气资源规模化开发格局的稳步推进。在成果的研发和推广应用过程中为企业创造了显著的经济效益，为当地的能源结构优化升级、减少或避免煤矿瓦斯事故的发生、提高节能减排做出了重大贡献。

**四、项目简介**

随着世界范围常规油气资源开采难度增加，瓦斯相关事故隐患长期存在以及节能减排的环保压力等因素，使煤层气的勘探开发日益受到国内外的重视。煤层气作为国家大力支持的新能源，后期能源发展的方向标，必须创新地质评价技术，开发煤层气勘探开发技术，为实现煤层气低成本、长期、稳定、高产保驾护航。鄂尔多斯盆地东部韩城矿区是我国煤层气勘探开发的重点地区之一，经过多年勘探开发积累了丰富的地质资料、钻井资料、测井资料及开发动态资料，煤层气测井评价工作取得了一定的成效，但煤层气测井评价技术还远远不能满足勘探开发的需要。因此，如何充分挖掘测井资料中所蕴含的煤层气储层地质信息，在煤储层环境影响校正的基础上，对煤储层参数、煤体结构和可压裂性进行评价，并对煤层气开采过程中出水量进行预测，以期指导煤层气勘探开发工作，成为亟需研究的重要课题。此外，鄂尔多斯盆地韩城矿区的煤田地质条件比国外复杂的多，无法照搬国外煤层气测井评价的方法和技术，必须建立符合研究区具体地质特征的煤层气测井评价方法，以指导和服务于鄂尔多斯盆地东缘上古生界煤层气生产实践。

韩城区块前期开发效果较差，低效井多，经过难题分析，科技项目立项，历经方法探索、模型构建、生产验证到批量生产规模化应用，结合实践中形成了一套完整的中高煤阶煤层气测井评价思路及方法，主要包括煤层气测井环境影响反演校正方法、煤层现今含气量及煤体结构评价方法、煤系地层可压性评价方法、煤储层完井品质等级评价及煤层气排采出水量测井预测技术等。依托测井综合评价结果，划分地质有利区，开展区块综合治理，持续提高了韩城区块煤层气单井产量及经济效益。主要创新点包括：

1）煤岩测井环境影响反演校正方法。韩城区块主力煤层非原生结构煤发育，煤岩扩径率基本在50%以上，在分析评价煤储层CAL测井响应特征基础上，构建密度、声波时差环境影响校正模型。

2）煤层现今含气量及煤体结构定量评价方法。鉴于韩城区块煤层不同含气量的测井响应不明显，首次结合构造及水动力，建立了韩城区块主力煤层现今含气量测井计算模型；在对探井煤岩归位基础上，优选部分测井参数，分区带建立煤体结构识别图版，发明了基于煤岩力学参数的煤体结构评价方法。

3）煤系地层可压性评价方法。依托煤层气开发的煤系地层降压理念，结合改造理念及射孔工艺要求，针对煤层和顶板分别建立评价方法，重点完成间接顶板脆性指数的评价。

4）煤储层完井品质等级评价

在对煤层含气量、煤体结构及脆性指数评价的基础上，构建用于煤层气储层测井综合评价的模糊评判集，建立煤层气储层完井品质等级划分表，划分煤层气地质开发有利区。

5）煤系地层射孔优化研究

在对煤层顶板岩性及可压性评价基础上，系统总结煤系地层射孔模式，建立不同地质条件下的煤系地层射孔模式，并现场开展试验。

6）煤层气排采出水量测井预测技术。在国内率先建立了煤层排采出水量的预测模型，分析了排采出水量主控因素，提高了排采出水量的预测精度。

该研究形成的煤层气可采性测井评价关键技术具有完全自主知识产权。授权发明专利件7项、授权实用新型专利2项，发表论文篇25篇（SCI收录4篇，EI收录5篇），出版专著1部。

**五、客观评价**

1、验收意见

以徐凤银副总经理组成的专家组对中国石油股份公司科技重大专项“鄂东气田煤层气储层综合评价研究”进行了验收。验收评价认为，本课题的创新点在于采用目前国内外先进的实验方法和手段，针对鄂东气田建立了一套煤层气可采性测井评价技术体系，对于韩城气田实现经济有效开发、煤系地层降压的射孔优化政策的制定、促进煤层气资源规模化开发具有重要的指导意义。

2、科技成果鉴定情况

以国家安全生产专家组成员、中国矿业大学（北京）周心权教授为组长，组成的科学技术鉴定专家组对煤层气可采性与可压裂性测井评价关键技术进行了鉴定，一致认为，该项目从中国煤层气储层特点的环境影响校正、可压裂性评价及排采出水量预测等方面，解决了该区块煤层气勘探开发面临的关键生产技术难题，该整套技术达到国际先进水平。

3、获奖情况

“煤层气可采性与可压裂性测井评价技术”获2020年中国煤炭工业协会科学技术奖三等奖，“煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用”获2020年陕西高度学校科学技术奖二等奖。

4、现场应用效果

研究成果在韩城气田规模推广应用，取得了显著的经济和社会效益，新增利润超过3.6亿元。

5、科技查新

教育部查新工作站（Z08）查新结果表明，在国内外公开发表的中外文文献中，与本项目查新点完全相同的未见报道。

**六、应用情况**

煤层气可采性测井评价关键技术体系的研究成果属于国内首创，其推广应用有效指导和推进了国内煤层气商业化开发进程，并对国际煤层气资源市场以及勘探开发技术的发展产生重要影响。

韩城矿区渭北区块煤层气井开发全面应用定量化可采性测井评价技术。自研究以来，开始初步试验并完善形成环境影响反演校正、煤系地层可压裂性评价及排采出水量预测等，通过精细管理，完善制度，针对不同的排采阶段及不同的开发单元制定相应的技术对策，应用于渭北区块指导排采管控，并逐步应用区其他煤层气区块，取得良好的效果。

主要应用单位情况表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 单位名称 | 应用的技术 | 应用对象及规模 | 应用起止时间 | 单位联系人/电话 |
| 1 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 环境影响校正技术  射孔段优化技术  可压裂性评技术  排采出水量预测技术 | 测井资料预处理、压裂射孔选层方案：处理200余口井，选层300余层 | 2018-2020 | 季亮  15706073141 |

以煤层气可采性评价技术为重点的煤储层改造技术增产效果明显，产生了巨大的经济效益。该技术成果自2017年底进入规模化推广应用。依托煤储层测井综合评价结果，在有利区内持续开展韩城区块煤层气综合治理，措施有效率达到80%以上，单井平均日产气均在800m3/d以上，取得了巨大的经济效益。

韩城分公司在有利区内分年度逐步优选低产井分批次进行改造试验，其中部署完善井网井15口，低产井改造89井次。截止到2020年12月31日，这些措施井累产气约1.5亿方，累积新创造产值3.6亿。

韩城区块不同年度综合治理措施井累产气（单位：万方）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年度 | 2018 | 2019 | 2020 | 合计 |
| 完善井网井 | 3010.1 | 3134.0 | 3401.0 | 9545.1 |
| 低产措施井 | 1489.4 | 1859.3 | 2066.5 | 5415.2 |

**七、主要知识产权和标准规范等目录**

授权专利一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 类型 | 专利号 | 专利权人 | 发明人 |
| 1 | 重复压裂方法及系统 | 发明专利 | ZL201610842724.X | 中石油煤层气有限责任公司 | 边利恒等 |
| 2 | 一种基于煤岩工业组分的脆性指数确定方法 | 发明专利 | ZL201410461329.8 | 西安石油大学 | 刘之的等 |
| 3 | 一种煤层气储层可压裂性的测井定量评价方法 | 发明专利 | ZL201410564091.1 | 西安科技大学 | 汤小燕 |
| 4 | 一种煤层气储层密度测井扩径影响的校正方法 | 发明专利 | ZL201410036211.0 | 西安石油大学 | 刘之的等 |
| 5 | 一种基于煤岩力学参数的煤体结构测井定量识别方法 | 发明专利 | ZL201410566684.1 | 西安科技大学 | 汤小燕 |
| 6 | 一种基于煤岩工业组分的声波时差扩径影响校正方法 | 发明专利 | ZL201410566682.2 | 西安科技大学 | 汤小燕 |
| 7 | 基于煤岩工业组分物理体积模型的横波时差曲线构建方法 | 发明专利 | ZL201310198846.6 | 西安石油大学 | 刘之的等 |
| 8 | 煤层气水平井围岩对电阻率测井影响的模拟实验装置 | 实用新型 | ZL201420691905.3 | 西安科技大学 | 汤小燕 |
| 9 | 一种煤层气水平井扩径对密度测井影响的模拟实验装置 | 实用新型 | ZL201420679019.9 | 西安科技大学 | 汤小燕 |

发表论文一览表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 题目或著作名称 | 发表、出版的时间 | 在何刊物发表或  出版社出版 | 作者 |
| 1 | Evaluating the CBM reservoirs using NMR logging data | 2018/10/1 | Open Geoscience(SCI收录，000448762800001) | 刘之的等 |
| 2 | Quantitatively Evaluating the CBM Reservoir using Logging Data | 2016/2/1 | Journal of Geophysics and Engineering(SCI收录，000372200000006) | 刘之的等 |
| 3 | Discussing the Internal Structural Characteristics of Coal Seams using Electrical Microresistivity Image Logging Data | 2016/6/1 | International Journal of Oil Gas and Coal Technology(SCI收录，000376377000004) | 刘之的等 |
| 4 | Quantitative evaluation of CBM reservoir fracturing quality using logging data | 2017/1/20 | Journal of Geophysics and Engineering(SCI收录，000394537300002) | 汤小燕 |
| 5 | 韩城区块煤体结构分布规律及射孔优化方法 | 2017/07/15 | 煤炭学报（EI收录，20173704153969） | 边利恒等 |
| 6 | 煤层气井排采水源分析及出水量预测——以鄂尔多斯盆地东缘韩城矿区为例 | 2014/8/25 | 天然气工业（EI收录，20143900069318） | 刘之的等 |
| 7 | 利用测井资料定量评价煤层顶底板的封闭性 | 2015/3/26 | 中南大学学报(EI收录， 20152000840973) | 刘之的等 |
| 8 | 煤层气储层“三品质”测井定量评价方法研究 | 2015/5/10 | 天然气地球科学(EI收录， 20153201107445) | 刘之的等 |
| 9 | Correcting Hole Enlargement Impacts on Density Logs for Coalbed Methane Reservoirs | 2015/1/12 | Engineering Journal(EI收录，20152200881884) | 刘之的等 |
| 10 | 韩城矿区煤岩显微组分测井预测 | 2020/08/18 | 科学技术与工程 | 杨珺茹等 |
| 11 | 煤及煤层气储层导电特性研究综述与展望 | 2019/12/27 | 地球物理学进展(核心) | 刘之的等 |
| 12 | 煤层气井压裂波及邻井原因分析及防治措施研究 | 2018/12/15 | 煤炭科学技术(核心) | 王成旺等 |
| 13 | 鄂尔多斯盆地韩城区块煤层气老井挖潜技术及应用 | 2018/10/25 | 煤田地质与勘探(核心) | 王成旺，冯延青，杨海星等 |
| 14 | 韩城煤层气田11号煤层水化学场特征及其对煤层气的控制作用 | 2018/05/28 | 中国石油勘探(核心) | 李剑等 |
| 15 | 渭北区块煤体结构测井评价及其在射孔段优化中的应用 | 2017/12/28 | 煤田地质与勘探(核心) | 李剑等 |
| 16 | 韩城区块煤储层间接压裂地质主控因素研究 | 2017/06/15 | 煤炭科学技术(核心) | 熊先钺等 |
| 17 | 密度测井扩径影响校正方法在煤层气储层中的适用性分析 | 2014/10/15 | 地球物理学进展(核心) | 刘之的等 |
| 18 | 鄂东气田煤层含气量测井预测 | 2014/1/25 | 地质科技情报(核心) | 刘之的等 |
| 19 | 鄂东气田煤层气储层测井综合评价方法研究 | 2013/6/20 | 测井技术(核心) | 刘之的等 |
| 20 | 基于灰色关联分析和BP神经网络的煤层含气量预测研究 | 2014/5/25 | 西安石油大学学报(核心) | 刘之的等 |
| 21 | 煤层顶板出水量测井预测方法研究 | 2016/12/10 | 煤炭技术（核心） | 汤小燕等 |
| 22 | 声波时差测井扩径影响校正方法在煤层气储层中的适用性分析 | 2016/10/15 | 地球物理学进展（核心） | 汤小燕等 |
| 23 | 油藏电缆地层测试压力信号的小波分析 | 2015/03/31 | 西安科技大学学报 | 汤小燕等 |
| 24 | 基于灰关联的煤层气含量影响因素分析 | 2014/8/11 | 2014油气藏监测与管理国际会议论文集 | 汤小燕等 |
| 25 | 鄂东气田煤层气富集主控因素探讨 | 2013/11/5 | 2013油气藏监测与管理国际会议暨展会论文集 | 刘之的等 |

出版专著

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 出版时间 | 出版社 | 作者 |
| 1 | 煤层气储层测井综合评价方法 | 2014/8/1 | 陕西科学技术出版社 | 刘之的等 |

**八、主要完成人情况**（姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 排名 | 行政职务 | 技术  职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 王 伟 | 1 | 副经理 | 高级工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 负责结合韩城渭北区块煤层气田生产现状和技术需求，制定详细的课题研究成果生产实施方案，组织并参加现场试验的开展，完成项目现场应用的成果总结。 |
| 刘之的 | 2 | 副院长 | 教授 | 西安石油大学 | 西安石油大学 | 提出了煤岩工业组分测井体积模型理论。在国际上率先针对煤岩地层测井受扩径等环境影响，发明了基于视几何因子理论的补偿密度扩径校正方法，还原了煤岩真实的地球物理测井信息；首创了基于煤岩工业组分的脆性指数计算方法，定量刻画了煤岩工业组分与脆性指数间的关系。突破了煤岩是否具有脆性的认识禁区。 |
| 汤小燕 | 3 | 无 | 副教授 | 西安科技大学 | 西安科技大学 | 提出了煤层气储层可压裂性评价的理念。发明了基于煤岩工业组分的脆性指数计算方法、基于岩石力学参数的煤体结构测井定量评价方法，首次建立了利用煤岩脆性指数、煤体结构指数、煤储层与顶底板间的应力差及煤储层应力差异系数的煤层气储层可压裂性测井评价评价方法。突破煤储层压裂过程中煤粉堵塞裂缝难以评价的技术瓶颈。 |
| 季 亮 | 4 | 副主任 | 工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 合作完成排采过程中煤层、顶底板出水量预测模型构建，负责研究成果现场试验和应用。 |
| 谭成仟 | 5 | 院长 | 教授 | 西安石油大学 | 西安石油大学 | 开展了煤层气储层物性、含气性等测井解释研究，参与研究了煤层气富集高产储层评价技术。 |
| 王得志 | 6 | 副主任 | 工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 开展了煤层气排采过程中排采阶段划分，实施了煤层气井分阶段排采和出水量控制等现场应用。 |
| 杨海星 | 7 | 无 | 工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 针对韩城区块煤层压裂选层难度较大，开展了煤储层高效压裂选层方法调研和适应性分析、应用效果评价等工作。 |
| 边利恒 | 8 | 副科长 | 工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 解决了韩城矿区煤层气开发过程中排采水源分析，参与完成排采过程中煤层、顶底板出水量预测模型构建。 |
| 伊伟 | 9 | 无 | 工程师 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 | 开展了煤层煤体结构描述及分类研究，建立了不同煤体结构识别图版，并开展全区定量评价。 |

**九、主要完成单位及创新推广贡献**

|  |  |
| --- | --- |
| 第一完成单位 | 中石油煤层气有限责任公司韩城分公司 |
| 对本项目贡献 | 1）通过煤层气可采性测井技术的综合评价，建立了基于煤层气可采性的地质有利区评价技术；  2）煤系地层射孔优化技术，针对不同类型的煤层地质条件，建立多种射孔模式，满足现场压裂需求。  3）优选有利区及目标措施井，现场实施应用，成功应用于韩城区块煤层气开发，提高单井产气量及。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 第二完成单位 | 西安石油大学 |
| 对本项目贡献 | 1）提出了煤岩工业组分测井体积模型理论。在国际上率先针对煤岩地层测井受扩径等环境影响，发明了补偿密度校正方法。  2）首次提出了煤岩脆性指数的概念。首创了基于煤岩工业组分的脆性指数计算方法，定量刻画了煤岩工业组分与脆性指数间的关系。  3）研发了煤层气排采过程中出水量测井预测技术。在国内率先建立了煤层排采出水量预测模型，突破了煤层气井出水量难以预测的技术瓶颈。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 第三完成单位 | 西安科技大学 |
| 对本项目贡献 | 1）提出了煤层气储层可压裂性评价理念。发明了基于煤岩工业组分的脆性指数计算方法、基于岩石力学参数的煤体结构测井定量评价方法，首次建立了利用煤岩脆性指数、煤体结构指数、煤储层与顶底板间的应力差及煤储层应力差异系数的煤储层可压裂性评价评价方法。  2）依托煤岩工业组分测井体积模型理论，发明了基于煤岩物理体积模型的声波时差扩径影响校正方法，还原了煤岩真实的地球物理测井信息。 |

**十、完成人合作关系说明**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果 |
| 1 | 共同立项 | 刘之的/2 | 2013.01 | 2017.12 | 论文：韩城矿区煤岩显微组分测井预测，科学技术与工程，2020，20(23)  获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用 |
| 2 | 共同立项 | 汤小燕/3 | 2015.01 | 2017.12 | 论文：油藏电缆地层测试压力信号的小波分析，西安科技大学学报，2015，35(2)  获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用 |
| 3 | 共同立项 | 季 亮/4 | 2015.01 | 2017.12 | 论文：煤层气井压裂波及邻井原因分析及防治措施研究，煤炭科学技术，2018,  46(12)  获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用 |
| 4 | 共同立项 | 谭成仟/5 | 2015.01 | 2017.12 | 获奖：煤层气可采性与可压裂性测井评价技术  项目：鄂东气田煤层气储层综合评价研究 |
| 5 | 共同立项 | 王得志/6 | 2014.01 | 2017.12 | 论文：煤及煤层气储层导电特性研究综述与展望，地球物理学进展，2020,35(4)  获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用 |
| 6 | 共同立项 | 杨海星/7 | 2015.01 | 2017.12 | 获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用  项目：鄂东气田煤层气储层综合评价研究 |
| 7 | 共同立项 | 边利恒/8 | 2013.01 | 2017.12 | 论文：韩城区块煤体结构分布规律及射孔优化方法，煤炭学报，2017，42(S1)  获奖：煤层气可采性测井评价关键技术与工业化应用 |
| 8 | 共同立项 | 伊 伟/9 | 2014.01 | 2017.12 | 项目：鄂东气田煤层气储层综合评价研究 |