中关村绿色矿山产业联盟团体标准

《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》

编　制　说　明

编制单位：

中国矿业大学　中国矿业大学（北京）

应急管理大学　河南理工大学

贵州大学　煤炭科学技术研究院有限公司

安徽理工大学　新疆工程学院

中关村绿色矿山产业联盟规划设计专业委员会

2026 年 6 月

目　录

目　录 1
一、工作简况 2
1.任务来源 2
2.起草单位、参编单位 2
3.主要起草人 2
二、制定（修订）标准的必要性和意义 3
三、主要起草过程 4
四、制定（修订）标准的原则和依据 6
1.标准编制原则 6
2.标准参考的主要依据 7
五、与现行有关法律、法规和标准的关系 7
六、标准主要内容说明 8
1.范围 8
2.规范性引用文件 8
3.术语和定义 9
4.注气驱替瓦斯抽采系统与设备要求 9
5.注气工艺参数与操作要求 9
6.效果考察与评价 10
7.工程质量验证 10
8.安全与环境要求 11
七、分歧意见的处理结果、依据和结果 11
八、采用国际标准或国外先进标准情况 11
九、贯彻标准的措施建议 11
1.组织措施 11
2.技术措施 12
十、其他应予说明的事项 12
附件 1：团体标准征求意见汇总处理表 13

《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》

团体标准编制说明

一、工作简况

1.任务来源

煤层注气驱替甲烷抽采技术规范，来源于江苏省杰出青年基金项目《煤体注二氧化碳驱替瓦斯机理及跨尺度强化瓦斯抽采》（项目编号 BK20240108）和国家自然科学基金面上项目《采动环境下煤体液氮致裂孔隙结构演变及跨尺度增透机理》（项目编号 52574207）。

为贯彻国家标准化管理委员会等十七部门联合印发的《关于促进团体标准规范优质发展》相关意见，落实需求导向、释放市场主体标准化活力、助推高质量发展的要求，结合《团体标准管理规定》《中关村绿色矿山产业联盟团体标准管理办法》，进一步完善绿色矿山标准体系、提升技术与工艺水平、推动矿业绿色低碳发展，2026 年中关村绿色矿山产业联盟（以下简称“中绿盟”）发布了《关于征集 2026 年度团体标准计划项目的通知》。项目组按照中绿盟要求提交了《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》立项申请材料，方案经中绿盟评审决定立项，并于 2025 年 12 月 3 日发布了《中绿盟 2025 年度第四批团体标准立项计划》，本项目批准号为 GRMP—2025—105。

2.起草单位、参编单位

《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》团体标准的起草单位是中国矿业大学，参编单位有中国矿业大学(北京)、应急管理大学、河南理工大学、贵州大学、煤炭科学技术研究院有限公司、安徽理工大学、新疆工程学院、中关村绿色矿山产业联盟规划设计专业委员会。起草单位、参编单位及分工如下表 1 所示。

表 1 起草单位、参编单位及分工

序号	单位名称	分工
1	中国矿业大学	负责标准全文主编与统稿
2	中国矿业大学（北京）	负责标准技术方向总体把控
3	应急管理大学	协助标准各章节编辑整理
4	河南理工大学	参与标准条文编辑与校核
5	贵州大学	参与标准内容辅助编辑
6	煤炭科学技术研究院有限公司	参与标准技术内容编辑
7	安徽理工大学	协助标准文稿编辑核对
8	新疆工程学院	参与标准编辑与修订完善
9	中关村绿色矿山产业联盟规划设计专业委员会	负责标准编辑评审与把关

3.主要起草人

《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》团体标准的主要起草人是张磊、杨涛、彭苏萍、王德洋、屠世浩、魏建平、李希建、舒龙勇、吴刚、田贺、张村、郝定溢、刘云山、屠洪盛、李菁华、郑江韬、唐芙蓉、苗凯军、田野、赵磊磊、荆刚、

王欢、李松召、阳元中、夏微、王珂、黄守业、车鸿鑫、蔡祎括。主要起草人及工作内容如下表 2 所示。

表 2 起草单位、参编单位及分工

序号	姓名	职务职称	所在单位	工作内容
1	张磊	教授	中国矿业大学	标准主编，全面负责
2	杨涛	教授	应急管理大学	参与标准章节编写
3	彭苏萍	院士/教授	中国矿业大学（北京）	总体技术方向指导
4	王德洋	博士后	中国矿业大学	参与标准章节编写
5	屠世浩	教授	中国矿业大学	参与标准章节编写
6	魏建平	教授	河南理工大学	参与标准章节编写
7	李希建	教授	贵州大学	参与标准章节编写
8	舒龙勇	高工	煤炭科学技术研究院有限公司	参与标准章节编写
9	吴刚	教授	中国矿业大学	参与标准章节编写
10	田贺	博士后	中国矿业大学	参与资料收集整理
11	张村	教授	中国矿业大学（北京）	参与标准章节编写
12	郝定溢	副教授	安徽理工大学	参与条文校核修订
13	刘云山	硕士研究生	中国矿业大学	参与资料收集整理
14	屠洪盛	副教授	中国矿业大学	参与标准章节编写
15	李菁华	博士后	中国矿业大学	参与条文校核修订
16	郑江韬	副教授	中国矿业大学（北京）	参与标准章节编写
17	唐芙蓉	副教授	中国矿业大学	参与标准章节编写
18	苗凯军	博士后	中国矿业大学	参与实验与数据支持
19	田野	博士研究生	中国矿业大学	参与实验与数据支持
20	赵磊磊	讲师	新疆工程学院	参与辅助编辑排版
21	荆刚	讲师	新疆工程学院	参与辅助编辑排版
22	王欢	硕士研究生	中国矿业大学	参与资料收集整理
23	李松召	博士研究生	中国矿业大学	参与资料收集整理
24	阳元中	博士研究生	中国矿业大学	参与资料收集整理
25	夏微	硕士研究生	中国矿业大学	参与辅助编辑排版
26	王珂	硕士研究生	中国矿业大学	参与辅助编辑排版
27	黄守业	硕士研究生	中国矿业大学	参与辅助编辑排版
28	车鸿鑫	硕士研究生	中国矿业大学	参与辅助编辑排版
29	蔡祎括	-	中国矿业大学	参与辅助编辑排版

二、制定（修订）标准的必要性和意义

我国作为全球最大的煤炭生产与消费国，以煤为主的能源结构在保障国民经济持续发展的同时，也带来了显著的温室气体排放压力。甲烷的增温潜势在百年尺度上约为二氧化碳的 28 倍，煤炭开采过程中的瓦斯排放已成为我国人为甲烷排放的重要来源之一。在此背景下，强化煤矿瓦斯抽采与利用管理，已成为实现“双碳”目标的关键路径。2023 年 11 月，生态环境部等 11 部门联合印发《甲烷排放控制行动方案》，首次将甲烷资源化利用提升至国家战略高度；2024 年 12 月修订发布的《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准》（GB 21522—2024）将禁止直接排

放的瓦斯浓度限值由30%大幅收严至8%，意味着大量中低浓度瓦斯必须通过可行技术进行抽采与利用。同期，CCER方法学为低浓度瓦斯利用项目参与自愿减排交易提供了制度通道，财政部设立的非常规天然气专项奖补机制（财建〔2025〕35号）进一步给予“多增多补”的财政激励。上述政策体系共同构成了对煤层气高效抽采技术的强烈制度需求。

在“双碳”战略驱动下，向深部不可采或未充分抽采煤层注入CO_2、N_2等气体，可同步实现提高煤层气采收率与碳封存的双重目标。其中，CO_2驱替煤层气（CO_2-ECBM）技术因兼具甲烷增产与CO_2地质封存的双重效益，已成为国际前沿热点，实验研究表明CO_2注入可使CH_4采收率提升约212%。近年来，我国在该领域已取得重要工程突破。2025年3月，淮南矿区启动了国内外首个水平井组CO_2驱煤层气封存工程化技术探索项目（国家重点研发计划“煤炭清洁高效利用技术”重点专项），由中国矿业大学牵头，旨在建成国内首个万吨级水平井超临界CO_2驱煤层气地质封存示范工程。2025年10月发布的《石油天然气基础设施规划建设与运营管理办法》（国家发展改革委令第35号）也为煤层气输配系统建设提供了法规依据。在煤矿瓦斯治理方面，国家矿山安全监察局指导督促高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井建成完备的瓦斯抽采系统，严格落实瓦斯治理“一矿一策”“一面一策”管理制度，健全瓦斯中长期治理方案和年度实施计划，从瓦斯参数精准测定、防突方案精准制定、现场措施精准落实、风险预警精准处置全链条发力，形成了系统化的瓦斯治理政策体系。

然而，与技术和工程的快速发展形成鲜明对比的是，国内目前尚缺乏针对煤层注气驱替甲烷抽采系统设计、施工、验收及效果评价的专项技术标准。现行相关规范主要面向常规瓦斯抽采场景，对于注气介质选型、注入参数优化、多场耦合过程控制、安全监测预警及环保要求等关键环节，尚未形成系统化的技术规定。标准化工作的滞后已成为制约该技术规范化推广与产业化进程的重要瓶颈。与此同时，煤层注气驱替涉及高压气体注入、煤岩吸附-解吸动力学、多相渗流及应力-损伤耦合等复杂过程，技术风险显著高于常规抽采，对安全管控提出了更为严苛的要求。

制定本标准，将针对我国低渗透及中低渗透煤层瓦斯抽采效率低、常规技术难以有效动用的突出问题，建立一套覆盖注气驱替系统设计、工艺参数优化、安全监测与效果评价的全链条技术规范。标准将有效提升煤层注气驱替作业的规范性与安全性，提高甲烷采收率与抽采纯量，为煤矿瓦斯资源化利用、CO_2地质封存协同增效以及甲烷减排目标落地提供坚实的技术支撑，助力我国煤炭行业绿色低碳转型与“双碳”战略实施。

本标准系统规定了相关术语和定义、注气驱替瓦斯抽采系统与设备要求、注气（包括N_2、CO_2等）工艺参数与操作要求、效果考察与评价指标、工程质量验证方法以及安全与环境管理要求。除煤矿井工开采领域外，其他涉及低渗储层注气增产与碳封存的非常规天然气开发项目亦可结合实际参照本标准，为不同地质条件、不同注气介质下的驱替工程提供技术依据与规范化指引。

三、主要起草过程

本项目于2025年11月由中国矿业大学向中关村绿色矿山产业联盟提交团体标准制定申请，并于2025年12月获批立项（批准号：GRMP—2025—105）。中国矿业大学牵头组建标准编制工作组，明确起草成员及任务分工，负责标准文本的初稿编写、意见汇总与统稿修改，中国矿业大学（北京）负责技术方向总体

把控，其他参编单位共同参与标准的调研、论证与内容完善。

标准编制过程遵循“科学规范、安全可行”的原则，聚焦煤层注气驱替甲烷抽采技术的关键环节，根据各阶段任务的工作要求，组织开展文献调研、现场考察、实验验证与多轮专题研讨，参与研讨的人员来自高校、科研院所等。通过对文件内容的反复修改和完善，形成了目前的文件文本。主要编制过程包括以下六个阶段：

（一）资料收集与调研阶段

2025 年 11 月，组织开展标准立项前的项目调研工作；

2025 年 12 月-2026 年 2 月，开展标准编制可行性研讨，并协调开展标准立项工作；系统梳理国内外煤层注气驱替的相关文献和研究成果，重点关注 CO_2-ECBM、N_2 驱替及烟气驱替等理论成果与工程案例；调研现行瓦斯抽采标准体系，对比分析术语定义、工艺参数、安全要求等方面的异同；结合淮南、沁水等典型矿区注气试验现场，开展注采系统布置、气体监测及效果评价等案例梳理，为标准关键技术指标的确定提供实践依据。

（二）标准草案起草阶段

2026 年 2 月-4 月，在充分调研的基础上，根据《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1—2020）的编制要求，结合我国煤矿地质条件与注气驱替工程实际，于 2026 年 3 月中旬完成《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》团体标准初稿。标准初稿明确了标准的适用范围、规范性引用文件、术语和定义、注气系统设计与设备要求、工艺参数与操作要求、效果考察与评价、工程质量验证及安全与环境管理等核心技术内容。初稿形成后，先后组织多轮内部讨论与修改，重点针对技术指标的可操作性、各章节之间的协调性以及术语定义的准确性进行反复修改与完善。

（三）试验验证与专家咨询阶段

2026 年 4 月-6 月，为验证标准中关键技术指标和参数的合理性，编制组依托中国矿业大学、应急管理大学、河南理工大学等单位实验室的煤岩流固耦合实验平台，开展注气压力（0.5~2.0 MPa）、注气速率（10~80 m^3/min）、驱替半径（3~16 m）及注采孔间距等关键技术参数进行了比选与优化。实验系统考虑了不同注气介质（CO_2、N_2、烟气等）及不同埋深条件，验证了注气驱替工艺的可行性与效果评价指标的合理性。同时，就标准内容征求了多位煤炭行业资深专家意见，针对技术框架、关键技术参数和安全原则进行了反复论证，并对标准初稿进行了内容补充和完善。试验与咨询结果进一步验证了标准技术路径的可行性，为标准内容的修订提供了基础支撑。

（四）征求意见与修改完善阶段

预计在 2026 年 6 月-8 月，标准草案征求意见稿形成后，由中绿盟拟向煤炭生产企业技术部门、科研院所及高等院校等多家相关单位发送关于《煤层注气驱替甲烷抽采技术规范》征求意见函，征求意见范围将覆盖东部、中部、西部等主要产煤区域，以确保具有充分的行业代表性。预计届时将收到大量反馈意见，编制组计划对每一条意见进行逐条讨论、分析与处理，拟采纳其中多数建设性意见，并对未采纳的意见逐一作出书面说明。在此基础上，编制组将对标准草案进行系统性修改完善，最终形成标准送审稿。

（五）专家技术审查阶段

预计在 2026 年 9 月，标准送审稿将按计划提交中关村绿色矿山产业联盟组织专家进行技术审查，审查通过后进入报批程序。

（六）批准发布阶段

计划 2026 年 9 月-10 月，标准通过专家审查后，将按照中绿盟团体标准发布程序进行报批和公示，计划于 2026 年 10 月正式发布实施。

四、制定（修订）标准的原则和依据

1.标准编制原则

（一）科学性原则

本标准依托江苏省杰出青年基金项目《煤体注二氧化碳驱替瓦斯机理及跨尺度强化瓦斯抽采》（项目编号 BK20240108）和国家自然科学基金面上项目《采动环境下煤体液氮致裂孔隙结构演变及跨尺度增透机理》（项目编号 52574207），确保技术内容的前沿性与科学性。标准深入贯彻注气驱替甲烷的多尺度增透机理，涵盖 CO_2驱替与液氮致裂等不同技术路径，系统集成注气介质优选、注采参数优化、多场耦合过程控制及效果评价等关键环节。通过建立适用于低渗透及中低渗透煤层的注气驱替甲烷抽采技术规范，弥补现有标准在该领域的空白，确保各项技术指标的科学研究依据与工程适用性。

（二）安全性原则

本标准严格遵循《煤矿安全规程》《防治煤与瓦斯突出细则》及 GB 3836 系列防爆标准，系统规定了注气与抽采系统的防爆、防漏、防回火、防静电及超压保护功能；明确注气期间风流氧含量不低于 19%，作业区甲烷浓度不超过 1%；要求配置甲烷、氧气及二氧化碳传感器，实现实时监测、超限报警与断电联锁，并建立人员培训、应急处置预案及气体泄漏自动切断机制。通过上述安全设计准则与监测指标，有效防范气体超压、煤体失稳、管路泄漏及瓦斯异常涌出等事故，确保注气驱替作业安全可控。

（三）适用性原则

本标准在充分收集国内外煤层注气驱替技术文献与工程案例的基础上，系统分析了 CO_2-ECBM、N_2驱替、烟气驱替等技术的理论成果与实践经验，坚持与现行有关国家标准、行业标准及煤矿安全规程协调一致。结合中国矿业大学、中国矿业大学（北京）、河南理工大学、煤炭科学技术研究院有限公司等起草单位在煤层气增采、瓦斯治理及多场耦合数值模拟领域的多年研究积累与现场试验成果开展标准起草工作。标准内容符合煤矿瓦斯治理与煤层气开发的技术发展趋势和现场应用需求，标准条款切实可行，具有较强的实用性和可操作性。

（四）协调性原则

本标准编写过程中注重与现行法律法规、强制性标准及行业推荐性标准的衔接与协调。在技术内容上，充分衔接《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准》（GB 21522—2024）、《煤矿安全规程》、《防治煤与瓦斯突出细则》、《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》等现行有效文件，确保本标准不与其发生冲突或重复。同时，标准在术语定义、技术流程、安全要求等方面与相关国家标准保持一致，形成协调互补的标准体系。

（五）规范性原则

本标准严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。标准中涉及的专业术语、注气系统设备要求、工艺参数与操作要求、效果考察与评价指标、工程质量验证方法及安全与环境管理等内容表述准确，引用数据来源真实可靠。技术参数（如注气压力 0.5~2.0 MPa、

注气速率 10~80 m^3/min、驱替半径 3~16 m、驱替效率≥60%、瓦斯抽采率≥50%等）均经过实验验证与专家论证，保证标准的技术质量与规范性。

2.标准参考的主要依据

本文件制定过程主要收集了国内外有关煤层注气驱替甲烷、瓦斯抽采、煤岩渗流力学等方面的文献资料，并参考了以下相应标准：

GB 3836.1—2021　爆炸性环境 第 1 部分：设备 通用要求
GB 3836.4—2021　爆炸性环境 第 4 部分：由本质安全型“i”保护的设备
GB 41022—2021　煤矿瓦斯抽采基本指标
GB 50471—2018　煤矿瓦斯抽采工程设计标准
GB 50935—2013　煤矿瓦斯抽采工程设计文件编制标准
GB 21522—2024　煤层气（煤矿瓦斯）排放标准
GB/T 3864—2008　工业氮
GB 40881—2021　煤矿低浓度瓦斯管道输送安全保障系统设计规范
GB 40880—2021　煤矿瓦斯等级鉴定规范
NB/T 11168—2023　煤矿井下瓦斯抽采钻孔成孔、护孔技术规范
NB/T 11637—2024　煤矿瓦斯抽采系统管理规范
AQ 1029—2019　煤矿安全监测系统及检测仪器使用管理规范
MT/T 757—2011　煤的瓦斯含量测定方法
MT/T 774—2011　煤矿用移动式膜分离制氮装置通用技术条件
《防治煤与瓦斯突出细则》　国家煤矿安全监察局编制
《煤矿安全规程》　国家安全生产监督管理总局编制
《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》　国家安全生产监督管理总局、国家发展和改革委员会、国家能源局、国家煤矿安全监察局编制

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本文件符合现行的《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国环境保护法》等法律、法规及强制性标准的相关规定，不存在冲突关系。在“双碳”战略与甲烷排放控制背景下，本文件是落实《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准》（GB 21522—2024）和《清洁能源发展专项资金管理办法》等政策文件的技术支撑，为低渗透及中低渗透煤层注气驱替甲烷抽采提供系统化、规范化的技术依据。

本文件与现行国家标准、行业标准在技术和应用领域上互为补充。在瓦斯抽采与煤矿安全方面，国家层面已制定了《煤矿瓦斯抽采工程设计标准》（GB 50471—2018）、《煤矿瓦斯抽采基本指标》（GB 41022—2021）、《煤层气（煤矿瓦斯）排放标准》（GB 21522—2024）等标准，规定了瓦斯抽采系统设计、抽采达标评判及排放限值的基本要求；行业标准如《煤矿瓦斯抽采系统管理规范》（NB/T 11637—2024）、《煤矿井下瓦斯抽采钻孔成孔、护孔技术规范》（NB/T 11168—2023）等进一步细化了抽采作业的管理与施工要求。在设备防爆方面，GB 3836 系列标准对爆炸性环境下的电气设备作出了通用规定。在氮气制备与应用方面，《工业氮》（GB/T 3864—2008）及《煤矿用移动式膜分离制氮装置通用技术条件》（MT/T 774—2011）提供了气源与设备的技术依据。行业标准如《煤矿井下瓦斯抽采孔水力压裂技术方案设计规范》（NB/T 11125—2023）作为我国煤矿井下水力压裂瓦斯强化抽采领域的首项行业标准，规定了水力压裂方案设计的资料准备、设计内容及要求、安全技术要求等。以上标准在常规瓦斯抽采领域发挥了重要作用，

但主要面向传统的负压抽采工艺，对注气驱替这一新兴技术领域（涉及注气介质优选、注入参数和工艺优化、安全监测预警及瓦斯抽采效果评估等）尚未形成系统化的专项规定。

本标准与有关标准相比，突出特点主要体现在：

（1）聚焦注气驱替强化抽采技术。区别于常规负压抽采，本标准针对低渗透及中低渗透煤层，系统规定了注气驱替（N_2、CO_2、烟道气等）的工艺参数、设备要求及操作流程，填补了注气式强化抽采领域的标准空白。

（2）基于多介质适配的工艺体系。标准涵盖了纯 N_2、纯 CO_2、CO_2/N_2混合气及烟道气等多种驱替介质，针对不同介质特性提出了差异化的注气压力（0.5~2.0 MPa）、注气速率（10~80 m^3/min）及注采孔间距（3~16 m）等技术要求，具有较强的灵活性与适用性。

（3）全链条安全与环境管控。本标准整合了防爆、防漏、防回火、防静电及超压保护等安全设计，规定了风流氧含量（≥19%）、甲烷浓度（≤1%）等关键监测指标，并提出了排放气体净化处理与废弃物分类处置等环保要求，实现了安全与环保的协同管控。

（4）系统化的效果评价指标体系。本标准提出了驱替效率（≥60%）、瓦斯抽采率（≥50%）、瓦斯含量降低率（≥40%）及残余瓦斯参数等量化考核指标，为注气驱替作业的效果评估提供了科学依据。

六、标准主要内容说明

本文件的主要章节内容包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、注气驱替系统与设备要求、注气工艺参数与操作要求、效果考察与评价、工程质量验证、安全与环境要求。标准主要内容说明如下：

1.范围

本文件规定了煤层注气驱替甲烷抽采技术的适用范围、系统组成及设备要求、工艺参数、作业程序、监测评价、安全与环境要求及工程质量验证。

在适用范围方面，本文件适用于煤层气开发与煤矿瓦斯抽采领域中的低渗透及中低渗透煤层，通过地面或井下注气驱替瓦斯抽采工艺强化甲烷解吸与运移，实现煤层瓦斯压力与含量的有效降低。本文件适用于采用 N_2、CO_2、惰性气体及工业混合气等作为驱替介质的注气驱替作业，适用于不同注气方式、注采耦合模式及多气体组合的驱替工程。本文件不适用于高渗透煤层、露天煤层、空气或富氧气体注入等具有氧化风险的方式，以及非煤系储层或含油气层的驱替工程。

2.规范性引用文件

本文件引用的规范性文件均为现行有效的国家标准、行业标准及煤矿安全法规，覆盖了防爆电气设备（GB 3836 系列）、瓦斯抽采工程设计（GB 50471—2018、GB 50935—2013）、瓦斯抽采基本指标（GB 41022—2021）、煤层气排放标准（GB 21522—2024）、工业氮气标准（GB/T 3864—2008）、低浓度瓦斯管道输送安全（GB 40881—2021）、钻孔成孔护孔（NB/T 11168—2023）、抽采系统管理（NB/T 11637—2024）、安全监测系统（AQ 1029—2019）、瓦斯含量测定（GB/T 23250—2009）、瓦斯抽采孔水力压裂技术方案设计（NB/T 11125—2023）以及《防治煤与瓦斯突出细则》《煤矿安全规程》《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》等。上述文件通过规范性引用成为本文件必不可少的条款，为注气驱替系统设计、设备选型、施工验收

及安全管理提供了基础依据。

3.术语和定义

标准编制工作组在查阅总结相关标准、著作、论文、科技期刊等文献资料的基础上，对煤层注气驱替甲烷抽采技术所涉及的核心概念进行了统一定义，提出了 6 个术语。

“注气驱替”定义了向煤层注入驱替气体（N_2、CO_2和烟道气等），利用分压差与渗流场相互作用促使吸附态甲烷解吸并迁移至抽采孔的技术内涵；“边注边抽”定义了注入与抽采同步进行的工艺方式，强调气体置换与压力梯度作用的协同效应；“驱替半径”定义了驱替气在煤层中有效浓度与压力影响范围的空间半径，以驱替气浓度降低至 20%处为界定标准，该参数直接影响注采钻孔的布置间距；“驱替效率”表征单位体积注气所引起的甲烷解吸效果；“瓦斯含量降低率”用以评估驱替前后煤层瓦斯含量的下降幅度；“抽采纯量”定义了扣除注气稀释影响后的净抽采量。上述术语为后续技术条款奠定了概念基础。

4.注气驱替瓦斯抽采系统与设备要求

本文件规定了注气驱替瓦斯抽采系统的组成、地面制气系统、输气管线系统、注采钻孔布置及监测与控制系统等技术要求。

在系统组成方面，规定注气驱替系统应由地面制气单元、输气管线系统、井下注气装置、瓦斯抽采系统、监测与控制系统及安全防护系统组成，系统应具备气体制备、输送、注入、控制、监测及安全泄放的完整功能，总体结构应满足煤矿井下防爆、防腐、防渗及防静电要求。

在地面制气系统方面，参照《工业氮》（GB/T 3864—2008）及《煤矿用移动式膜分离制氮装置通用技术条件》（MT/T 774—2011）的要求，规定制气设备可采用膜分离或变压吸附工艺，产气纯度应大于 97%，输出压力宜为 0.5~2.0 MPa，制气站应布置在安全区并与矿井通风口保持不小于 30 m 的距离。

在输气管线系统方面，规定管线应采用防腐钢管或高压耐磨复合管，设有分段截止阀、泄压阀及防回火装置，井口及钻孔接口处应设置压力监测与泄压保护装置。

在注采钻孔布置方面，规定注气钻孔与抽采钻孔间距应依据煤层渗透率及驱替半径确定，一般宜为 3~16 m；钻孔深度宜穿透煤层全厚并进入底板 0.3~0.5 m；封孔长度应不小于煤层厚度的 1/3；抽采系统应配备在线监测装置，当甲烷浓度超过安全限值时自动调节注气量或关闭阀组。

在监测与控制系统方面，规定系统应实现注气压力、流量、纯度等参数的实时监控，配置甲烷、氧气及二氧化碳传感器实现气体浓度报警与断电联锁，支持远程监控与自动化联动。

5.注气工艺参数与操作要求

本文件规定了注气驱替作业的注气压力、注气流量与浓度、注气时间与阶段、注采孔布置及作业要求。

在注气压力方面，参考《煤矿瓦斯抽采工程设计标准》（GB 50471—2018）及《煤矿安全规程》对瓦斯抽采系统的压力要求，结合煤岩渗流力学原理，规定注气压力应低于煤层破裂压力，通常控制在 0.5~2.0 MPa 范围内，对低渗透煤层可采用分级升压方式，注气压力波动不应超过额定压力的±10%。本文件提供了

注气压力的计算公式，综合考虑了煤层原始瓦斯压力与煤层应力扰动附加压力。

在注气流量与浓度方面，规定驱替气流量宜控制在 10~80 m^3/min，根据煤层渗透性与抽采强度动态调整，注入驱替气纯度应≥97%、氧含量≤1%。本文件提供了注驱替气流量的理论计算公式，综合考虑了目标煤层体积、驱替气密度、压力梯度和气体黏度等因素。

在注气时间与阶段方面，规定驱替作业应分为初期渗透阶段（5~10 d）、稳态驱替阶段（15~30 d）和衰减阶段（持续至抽采浓度稳定），各阶段应根据瓦斯浓度变化与抽采纯量动态调整。

在注采孔布置方面，规定注气孔与抽采孔间距宜为 5~15 m，同一巷道内注采孔间距宜为 10~30 m，注气孔孔深应穿透煤层全厚度并进入稳定层底板 0.5~1.0 m。本文件提供了驱替半径的理论计算公式，综合考虑了煤层渗透率、气体黏度、注气压力与孔隙度等因素。

在作业要求方面，规定注气与抽采操作应同步进行，根据瓦斯解吸速率与浓度变化适时调整注采比（推荐值 1:2~1:4），注气结束后应保持抽采作业至少 30 d 以充分排出残余瓦斯与驱替气。本文件以表格形式汇总了注气压力、注气速率、注气时间及驱替半径等关键工艺参数的推荐值及说明。

6.效果考察与评价

本文件规定了注气驱替效果评价的一般规定、考察指标及测试与监测方法。

在考察指标方面，本文件提出了驱替效率、瓦斯抽采率、瓦斯抽采纯量、瓦斯含量降低率及残余瓦斯参数等五项量化评价指标。驱替效率（≥60%）表征单位体积注气所引起的甲烷解吸效果；瓦斯抽采率（≥50%）依据《煤矿瓦斯抽采基本指标》（GB 41022—2021）确定注气驱替对瓦斯抽采的增强效果的临界值；瓦斯含量降低率（≥40%）表征驱替后煤层瓦斯含量的下降幅度；残余瓦斯压力（<0.74 MPa）和残余瓦斯含量（<8 m^3/t，构造区<6 m^3/t）依据《防治煤与瓦斯突出细则》的抽采达标评判临界值确定。本文件提供了各项指标的计算公式及达标判定标准，并以表格形式汇总了注气驱替瓦斯抽采的效果评价体系。

在测试与监测方法方面，规定注气期间应定期采集抽采气体样品，按照《天然气的组成分析 气相色谱法》（GB/T 13610—2020）分析甲烷、驱替气、二氧化碳体积分数，采用钻孔瓦斯压力法或按《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》（GB/T 23250—2009）快速解吸法测试残余瓦斯参数，抽采浓度、流量及纯量应连续监测记录，驱替范围可按《煤矿井下煤层瓦斯抽采半径直接测定方法 抽采量法》（GB/T 42638—2023）规定的方法测试的气体组分梯度、煤体压力衰减范围或气体示踪法确定。

7.工程质量验证

本文件规定了注气驱替工程质量验证的总体要求，明确质量验证应贯穿系统调试、注采运行、数据监测和效果评估四个阶段。要求建立注气驱替数据监测体系，涵盖驱替气注入量、注入压力、瓦斯浓度、抽采纯量及煤层气体参数等关键指标，验证工作应以现场实测数据为主，结合气体平衡分析与抽采效果对比进行综合判定。注气系统建设完成后，应进行管线气密性、阀门灵敏性及防爆防回火装置性能测试，气密性试验压力宜为工作压力的 1.25 倍且不应低于 1.0 MPa。钻孔施工质量应按《煤矿井下瓦斯抽采钻孔成孔、护孔技术规范》（NB/T 11168—2023）的相关要求进行检测，注气设备、管线与监测装置的安装位置、编号与监

控信号应经现场验收确认并备案。

8.安全与环境要求

本文件规定了注气驱替作业的安全与环境管理要求，包括一般要求、设备与系统安全、作业区域安全、瓦斯与气体监测、人员与操作管理、环境防护及应急与防护措施。

在安全方面，严格遵循《煤矿安全规程》《防治煤与瓦斯突出细则》及 GB 3836 系列防爆标准，规定注气与抽采系统应具备防爆、防漏、防回火、防静电和超压保护功能，定期检验完好性；作业区应设置甲烷、氧气、二氧化碳浓度监测传感器，实现超限报警与断电联锁；注气驱替期间甲烷浓度不得超过 1%，风流氧含量不得低于 19%；注气设备应定期维护检测，注驱替气源及管线应符合防爆要求，地面制气站与井下注气管线应设有紧急切断阀及泄压装置。

在环境方面，规定氮气来源应符合《工业氮》（GB/T 3864—2008）要求，排放混合气体应经脱水、吸附、净化及稀释处理后排放，严禁直接排入大气，甲烷体积分数不得超过国家安全标准限值；作业过程中产生的废油、废液、吸附剂等应分类收集、妥善处置，防止对地表环境污染。同时规定了气体泄漏报警与自动切断装置、呼吸防护器具、灭火器及应急照明等应急防护设备的配置要求，并明确应定期组织安全演练。

七、分歧意见的处理结果、依据和结果

本团体标准撰写目标明确，拟定框架清晰，前期工作基础坚实，编写过程中未出现重大分歧意见。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

经过检索和对比分析，国际上已有部分国家对煤层气注气增产开展了长期研究，但尚未形成专门针对煤层注气驱替甲烷抽采的系统性技术标准。

美国在圣胡安盆地（San Juan Basin）开展了最早的 CO_2-ECBM 先导试验，并在 Alberta 盆地（加拿大）和 Upper Silesian Basin（波兰）等地相继实施了一些示范性工程。国际上已发表的 CO_2-ECBM 相关研究报告主要涉及注 CO_2提高煤层气采收率和 CO_2地质封存的可行性研究。然而，除中国和欧盟相关的能源研发项目外，目前全球范围内尚无统一的煤层注气驱替甲烷技术规范。我国在煤层注气驱替甲烷领域的研究起步较早，近年来在淮南、沁水、鄂尔多斯等主要产煤区已陆续开展了一些先导性工程。中国矿业大学承担的国家重点研发计划“CO_2驱煤层气与封存技术”项目，将淮南建成国内首个万吨级水平井超临界 CO_2驱煤层气封存技术体系。作为国内外首次对水平井（组）CO_2驱煤层气封存工程化技术进行探索的大工程，本项目推动了我国在该领域形成自主创新、国际领先的自主知识产权与工程实践经验。

本标准的技术水平总体上达到了国际先进水平，部分技术指标（如多场耦合综合评价方法、分层注气技术）处于国际领先地位。

九、贯彻标准的措施建议

1.组织措施

标准正式发布后，建议由中关村绿色矿山产业联盟牵头，以标准起草单位和

起草人员为主成立标准宣贯小组，面向主要产煤省区和煤炭企业开展标准宣贯培训工作；同时依托淮南、沁水、鄂尔多斯等典型矿区建立标准应用示范工程，通过工程实践总结经验并推动标准持续完善。

2.技术措施

建议编写与标准配套的应用技术指南或操作规程手册，为工程技术人员提供更具操作性的技术指导；建立标准定期审查与动态修订机制，适时吸收新技术、新成果；搭建煤层注气驱替工程数据共享平台，汇集全国各主要矿区的工程与监测数据，为标准持续改进提供数据支撑。

十、其他应予说明的事项

本标准为首次制定的团体标准，不涉及废止其他现行团体标准的事项。

本标准的版权归中关村绿色矿山产业联盟所有。任何单位或个人未经许可，不得擅自复制、转载或以其他形式传播本标准内容。本标准的解释权归中关村绿色矿山产业联盟。

附件 1：团体标准征求意见汇总处理表

附件 1：团体标准征求意见汇总处理表

序号	标准条款	修改意见内容	意见提出单位	意见处理结果
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
……				