ICS 73.100.01

D04

中国煤炭学会团体标准

|  |
| --- |
|  |

煤-油气交叉开采油气生产井

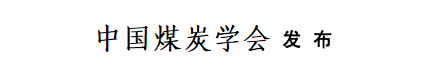
保护煤柱留设规范

Standards for designing protective coal pillars of oil/gas production wells in areas coal and deep oil/gas co-exist

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
|  |

    -XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施



目次

[前言 2](#_Toc147876919)

[引言 3](#_Toc147876920)

[1 范围 4](#_Toc147876922)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc147876923)

[3 术语与定义 5](#_Toc147876924)

[4 总体要求 8](#_Toc147876925)

[5 油气生产井保护煤柱留设方法 9](#_Toc147876926)

[附录A 18](#_Toc147876927)

[附录B 22](#_Toc147876928)

[附录C 23](#_Toc147876929)

[附录D 25](#_Toc147876930)

[附录E 28](#_Toc147876931)

[本规范用词说明 29](#_Toc147876932)

[参考文献 30](#_Toc147876933)

前  言

本文件按照GB/T1.1-2020《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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由陕西小保当矿业有限公司、中国矿业大学提出。

本文件由中国煤炭学会归口。

本文件起草单位：陕西小保当矿业有限公司、中国矿业大学、陕西煤业化工集团、中国石油化工股份有限公司华北油气分公司。

本文件主要起草人：

引  言

本规范提供了一套煤炭与深部石油、天然气矿权重叠区内煤-油气交叉开采环境下油气生产井保护煤柱尺寸的设计方法及流程，旨在保障煤-油气叠置区油气生产井井身结构的完整性，促进实现煤炭与石油、天然气叠置资源的安全、高效、绿色、协同开发。

煤-油气交叉开采油气生产井保护煤柱留设规范

1. 范围

本规范规定了煤炭与深部石油、天然气矿权重叠区内煤-油气交叉开采环境下油气生产井保护煤柱尺寸的设计方法、流程。

本规范适用于井工开采的煤炭矿权与深部石油、天然气矿权重叠区的煤-油气交叉开采。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《中华人民共和国安全生产法》（2021.06）

《中华人民共和国矿山安全法》

《煤矿安全规程》（中华人民共和国应急管理部令（第8号）（2022年1月6日颁布，2022年4月1日施行）

《煤炭工业矿井设计规范》（GB 50215）

《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》（安监总煤装〔2017〕66号）

《煤矿采空区岩土工程勘察规范》（GB 51044）

《地面沉降调查与监测规范》（DZ/T 0283）

《煤矿防治水细则》（2018.05）

《防治煤与瓦斯突出细则》

《陕西省煤矿防治水管理规定（试行）》（2021.04）

《陕西省煤矿瓦斯防治规定（试行）》（2021.04）

《下套管及注水泥施工安全操作规程》（Q/SYHB0069-2001）

《石油天然气井工程安全技术规范》（Q/SHS0003.1-2004）

《石油天然气工业油气井套管或油管用钢管》（GBT19830-2017）

《固井作业规程第1部分：常规固井》（SY/T 5374.1-2006）

《常规修井作业规程第14部分：注塞、钻塞》（SY/T 5587.14-2013）

《井身结构设计方法》（SY/T 5431）

《井下作业安全规程》（SY/T 5727-2020）

《套管柱结构与强度设计》（SY/T 5724）

《套管柱试压规范》（SY/T 5467-2007）

《石油天然气工业健康、安全与环境管理体系》（SY\_T 6276-2014）

《硫化氢环境人身防护规范》（SY/T 6277-2017）

《硫化氢环境井下作业场所作业安全规范》（SY/T 6610-2017）

《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GB Z2.1-2019）

《石油天然气钻井井控技术规范》（GB/T 31033）

《石油天然气工程设计防火规范》（GB 50183）

《套管和油管规范》（API Spec 5CT-2018，第10版）

《煤矿安全监控系统通用技术要求》(AQ6201-2019)

《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》(AQ1029-2019)

1. 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。



矿权重叠区 **mining rights overlapped areas**

煤炭和油气开发企业依法取得的煤炭矿业权与油气矿业权在空间上垂向重叠的区域。



交叉开采 **co-mining of coal and oil/gas resources**

在矿权重叠区内，煤炭掘采和油气资源钻采等作业活动在时间或空间上相互影响的情形。



巷道 **roadway**

在煤层或岩层中开掘的不直通地表的水平或倾斜通道的总称。



长壁工作面 **longwall working face**

进行综合机械化采煤作业的工作地点。

采空区 **goaf/gob**

采煤工作面回采后，顶板以自然垮落法处理后所废弃的空间。



油气生产井 **oil and gas production wells**

为开采石油或天然气从地面钻进到油气层的井，且油气日产量达到工业油气流最低标准。

抗剪强度 **shear strength**

油气井套管或水泥环受剪切发生破断时的极限强度。反映套管或水泥环材料抵抗剪切滑动的能力，在数值上等于剪切面上的切向应力值，即剪切面上形成的剪切力与破坏面积之比。

剪切位移 **shear displacement**

沿油气井套管或水泥环径向，在岩层间剪切力作用下形成的位移。

屈服强度 **yield strength**

在岩层间离层拉伸作用下，当应力超过油气井套管弹性极限后，进入屈服阶段，变形增加较快，屈服阶段油气井套管屈服点对应的应力，又称为屈服极限。



地表沉陷盆地 **surface subsidence basin**

由采矿引起的采空区上方地表移动的整体形态和范围，也称地表移动盆地或地表塌陷盆地。

地表移动盆地边界 **boundary of subsidence basin**

地表受开采影响的边界，一般按边界角或者下沉10 mm点划定其范围。

移动盆地主断面 **principal cross-section of subsidence basin**

通过移动盆地最大下沉点沿煤层倾向或走向的竖直断面。

地表下沉值 **surface subsidence value**

地表点移动向量的竖直分量。

地表水平移动值 **surface horizontal displacement value**

地表点移动向量的水平分量。

地表倾斜 **surface tilt**

地表两相邻点下沉值之差与其变形前的水平距离之比。

地表曲率 **surface curvature**

地表两相邻线段倾斜差与其变形前的水平距离平均值之比。

地表水平变形 **surface deformation**

地表相邻点的水平移动值之差与其变形前的水平距离之比。

下沉速度 **subsidence velocity**

地表点两次观测的下沉差与其观测的时间间隔之比。

地表移动延续时间 **duration of surface movement**

一定区域开采条件下，从地表移动开始（下沉达到10 mm）到结束（连续6个月累计下沉小于30 mm）的整个时间。

最大下沉点移动时间 **duration of the max subsidence point movement**

充分采动条件下，最大下沉点开始下沉（下沉10 mm）到结束（连续6个月累计下沉小于30 mm）的整个时间。

岩层移动 **strata movement**

因采矿引起的采场围岩直至地表的移动变形和破坏的现象和过程。

地表移动参数 **surface movement parameters**

反映地表移动与变形在空间和时间上的特性与大小的量，包括移动角、边界角、最大下沉角、下沉系数、水平移动系数、主要影响角正切、拐点偏移距和时间系数等。

地表临界变形值 **critical surface deformation value**

受保护的建（构）筑物仍能正常使用所允许的地表最大变形值。

边界角 **boundary angle**

在充分或接近充分采动条件下，地表移动盆地主断面上的边界点和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。

移动角 **angle of critical deformation**

在充分或接近充分采动条件下，移动盆地主断面上地表最外边的临界变形点和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。

裂缝角 **angle of outmost crack**

在充分或接近充分采动条件下，移动盆地主断面上地表最外侧的裂缝和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。

最大下沉角 **angle of maximum subsidence**

在移动盆地倾斜主断面上，由采空区中点和地表移动盆地最大下沉点（在地表水平上的投影点）的连线与水平线在煤层下山方向一侧的夹角，称为最大下沉角。

下沉系数 **subsidence factor**

水平或近水平煤层充分采动条件下，地表最大下沉值与采厚之比。

水平移动系数 **horizontal movement coefficient**

水平或近水平煤层充分采动条件下，地表最大水平移动值与地表最大下沉值之比。

充分采动角 **angle of full subsidence**

在充分采动条件下，地表移动盆地主断面的最大下沉点（或盆地平底边缘点）在地表面上投影点和同侧采空区边界点的连线与煤层底板方向线在采空区一侧的夹角。

油气设施 **oil and gas facilities**

石油/天然气井、管道以及站场、阀室、保护设施等附属设施的总称。

保护煤柱 **protective coal pillar**

为了保护煤层上方的岩层内部和地表的保护对象（铁路、建筑、油气设施等）免受开采的影响，而在煤矿井下留设的不予开采的部分煤体。



含硫化氢天然气 **nature gas with hydrogen sulfide**

天然气的总压等于或大于0.4 MPa，而且该气体中硫化氢分压等于或大于0.0003 MPa；或地层天然气中硫化氢含量等于或大于75 mg/m3 (50 ppm，体积含量0.005%)。

低产井 **stripper wells**

产量较低、没有经济效益或效益低下的油气生产井。

废弃井 **abandoned wells**

也称报废井，包括：①对油气田开发不起作用、无综合利用价值的井；②对油气田开发造成不良影响的井；③无法修复的套损井；④其他情况需要报废的井(如井下落物无法捞出，不能恢复生产的井)。废弃井根据报废条件一般分为“地质报废井”和“工程报废井”。

长停井 **inactive well**

指生产、注水或修井作业已经结束，但没有采取永久废弃处置的井。

注水井 **injection well**

为了提高采收率及开发速度，而对油田进行注水以补充和合理利用地层能量所钻的井。

1. 总体要求
   1. 煤炭开采企业和油气开采企业应按国家、地方的有关要求签订矿权重叠区交叉开采安全生产和权益保护协议。
   2. 双方企业应共同在现场设置测量标志点，并核查重叠区域测量起算点成果，应至少保证3个均匀分布的D级测量控制点作为起算数据。双方使用的坐标系统、高程系统不一致时，应共同确定坐标转换参数，点位平面中误差应不大于0.2 m，高程中误差应不大于0.4 m。

注：D级测量控制点为GPS测量精度等级要求，主要用于中、小城市、城镇及测图、地籍、土地信息、房产、物探、勘测、建筑施工等的控制测量。

* 1. 煤炭开采企业和油气开采企业应协商制定矿权重叠区交叉开采方案。方案应包括但不限于以下内容：

1. 依据双方取得的勘查许可证或采矿许可证确定矿权重叠区范围，给出重叠区范围坐标；
2. 制定矿权重叠区内煤炭和油气交叉开采安全避让方案，划分煤炭与油气开采范围和开采顺序；
3. 制定煤炭开采范围内既有油气设施的保护和弃置方案，包括油气生产井、油气管道、油气站场等设施保护煤柱留设方案，低产井、废弃井的弃置方案；
4. 制定油气开采范围内既有煤炭设施的保护和弃置方案；
5. 若因特殊情况导致任何一方的开采规划变更时，应调整矿权重叠区交叉开采方案，双方达成一致、并报地方行管部门备案后方可实施。
   1. 在矿权重叠区组织实施煤炭建设项目和油气建设项目前，煤炭和油气开采企业应开展矿权重叠区交叉开采安全风险评估，评价结论经对方认可后，纳入建设项目安全预评价报告和矿权重叠区交叉开采方案。
   2. 煤炭企业和油气企业应根据对方需要提供保证安全生产的有关资料，并签订保密协议。
   3. 煤炭开采企业和油气开采企业应建立矿权重叠区交叉开采生产安全风险联合管控机制，包括但不限于以下内容：
6. 明确矿权重叠区交叉开采业务管理部门和联系人，有变动时，应及时通知对方；
7. 交叉开采业务联系人应具有中级及以上专业技术职称，掌握本专业领域安全知识，了解对方专业领域的安全知识；
8. 每年度对员工进行矿权重叠区交叉开采安全培训，培训和考核记录应存档保存；
9. 每年度开展矿权重叠区安全风险辨识和评估，制定风险管控措施，排查治理存在的生产安全隐患，编制风险评价和隐患排查治理报告，并通报对方企业；
10. 每季度组织生产计划对接，应形成会议纪要并由双方与会人员签字确认；
11. 采用公文或双方约定的联系渠道及时通报重要事项。
    1. 煤炭开采企业和油气开采企业应建立联合应急机制，包括但不限于以下内容：
12. 联合编制交叉开采专项应急预案，通过煤炭开采企业和油气开采企业联合审查；
13. 定期组织联合应急演练，形成演练记录并由双方企业存档；
14. 建立应急联动机制，确定应急联络方式和联系人，共享应急资源。
    1. 在煤层采后覆岩沉陷已经稳定的沉陷区内部署油气井时，工作面要求回采结束至少达1年以上，同时应做好油气井井壁围岩再造注浆设计。如通过注浆充填采空区空隙，形成强度满足布井要求的围岩条件。
    2. 井眼轨迹设计应满足：造斜点和造斜段不应选择在煤层开采段，宜选择在最深一层可采煤层底板破坏带以下，如选择在最深一层可采煤层底板至少50m以下。
    3. 矿井盘区（采区、带区）工作面规划接续时，应对受保护的油气井、主要管道、站场等油气设施留设安全保护煤柱，其中油气井保护煤柱应确保采动引起的岩层移动变形及地表沉陷作用于油气井最内层套管的剪切应力小于其许用剪切强度。
    4. 在矿权重叠区优先考虑采用控制覆岩沉陷的开采技术，如井下矸石充填开采、地面离层注浆充填开采、采空区注浆或高水、膏体等材料充填开采以及条带式开采、限厚开采等部分开采法。采用充填或部分开采法开采煤层时，油气生产井保护煤柱尺寸需利用本规范第5部分所述方法采用等价采高进行设计。
    5. 在矿井中应当使用能检测油气成分的仪器检查油气生产井保护煤柱附近各个地点的油气浓度，并定期采样化验油气成分和浓度。对油气浓度的规定可按《煤矿安全规程》有关瓦斯的各项规定执行。

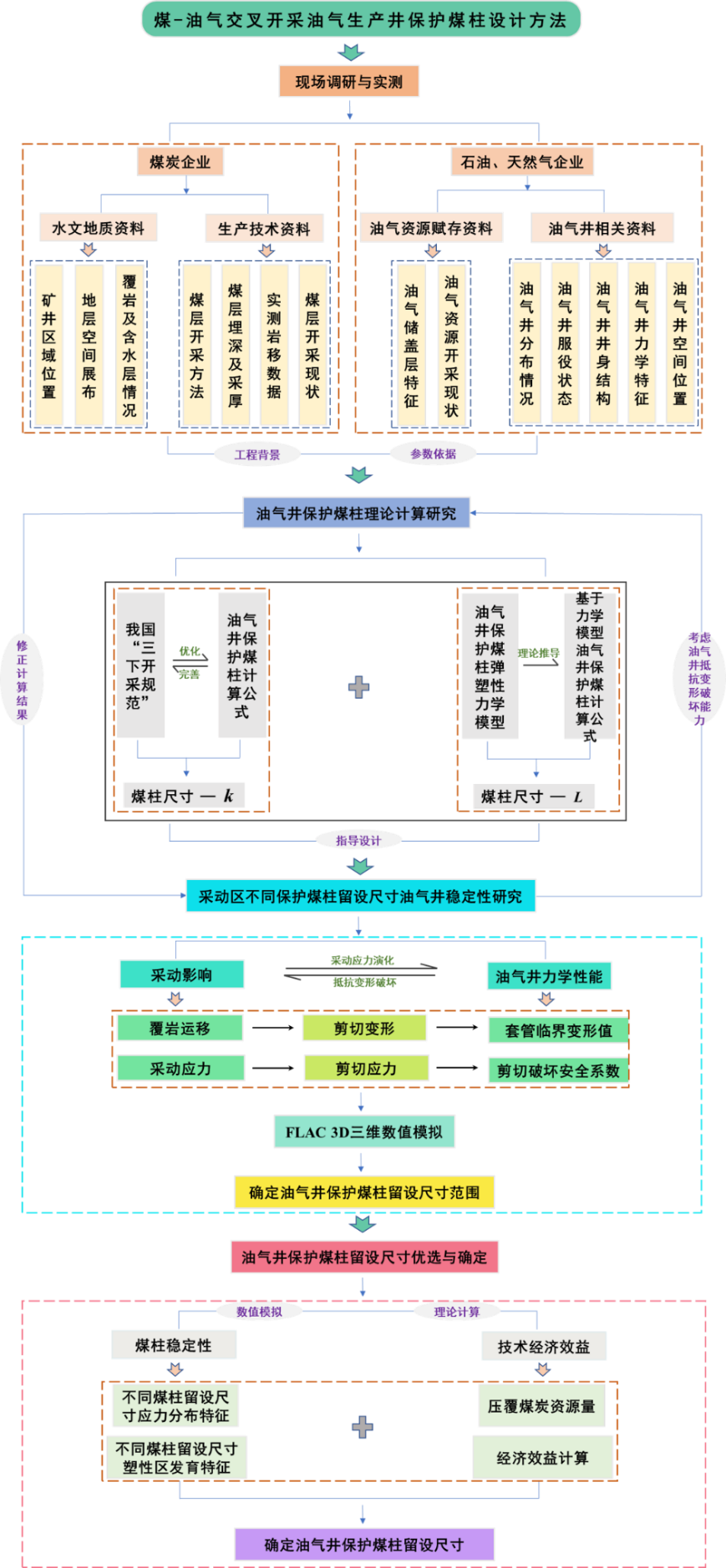
特别地，油气生产井保护煤柱附近的采掘工作面、硐室、使用中的机电设备设置点、有人员作业地点均应设置甲烷、一氧化碳、硫化氢等有毒有害气体监测传感器，并建立配套的气体检查制度，检查内容及次数需符合规定。当上述有毒有害气体超限时，班组长、瓦斯检查工、矿调度员等有权责令现场作业人员停止作业，立即停电撤人。

* 1. 严禁在油气生产井保护煤柱内进行采掘活动，矿井确需穿设计的油气生产井保护煤柱掘进巷道时，应当首先开展油气生产井保护煤柱内掘巷安全评估及方案设计。在评估掘巷可行的基础上，进一步确定掘进巷道的位置及范围、巷道断面、掘进工艺及支护形式；并经有关专家论证，煤炭企业主要技术负责人审批后，方可进行掘进。
     1. 矿井穿设计的油气生产井保护煤柱掘进巷道时，掘进过程中应当严格按照批准的设计要求，控制巷道位置、掘进工艺及速度，必须进行油气浓度监测，必须进行探放水，并补充开展水文地质勘探工作。
     2. 矿井穿设计的油气生产井保护煤柱掘进巷道时，掘进工作面物探应进行专门设计，超前探测至少选用一种物探方法（瞬变电磁、直流电法等），探测环境应达到物探施工要求，现场施工期间应有具备专业经验的技术人员跟班。
  2. 煤矿制定的水害、火灾、爆炸、人员窒息、中毒等事故应急专项预案、现场处置方案、重大隐患停产撤人制度以及应急处置制度等，应包含由油气生产井引起的各类事故的应急处置内容。
  3. 对矿井影响范围内的油气井应开展调查，对生产油气井应留设保护煤（岩）柱，对废弃油气井应采取措施封闭；报废的水文孔应及时封闭；开采影响范围内使用中的钻孔和封闭不良钻孔，采前应采取措施进行封闭或留设安全煤（岩）柱。

1. 油气生产井保护煤柱留设方法

我国之前没有专门针对穿煤层长壁工作面的油气生产井保护煤柱留设的指导性规范或强制性标准。主要参考《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》（2017）（以下简称“三下开采规范”）将油气井类比地表输油（气）管道干线的重要性，按照 I 级保护构筑物（围护带宽度取20 m）采用垂直剖面法对油气井保护煤柱尺寸进行设计（设计流程及方法见**附录A**）。该方法是从煤层开采引起的岩层移动（下沉盆地）波及范围角度出发，但未考虑油气井多级套管-水泥环组合体材料的抗变形能力、承载极限以及许用变形量。并且，从岩层移动角的定义及计算过程可知，移动角与煤层采高及厚煤层分层开采、多层煤重复采动有很大关系，多数矿井在设计煤柱尺寸时，移动角的选取并没有考虑上述因素。因此，利用该规范设计的油气生产井保护煤柱缺乏足够的科学性与合理性。

本规范从油气生产井多级套管-水泥环组合结构、井身材料的抗变形能力、许用变形量以及煤层采动影响、煤柱承载特性等方面考虑，综合利用理论分析与计算、数值模拟的方法对油气生产井保护煤柱合理尺寸进行设计。**主要思路为：**根据煤-油气叠置区矿井的工程地质条件、煤油气资源赋存特征，采用理论计算指导煤柱留设尺寸的初步设计；以理论计算结果作为第一区间，选取油气井相应规格套管材料抵抗变形、破坏极限值为判据，采用数值模拟与理论分析等方法，得到同时考虑煤层采动影响与油气井力学性能的油气井保护煤柱合理尺寸范围（第二区间）；基于研究结果，进一步采用方案对比法，从考虑煤柱与油气井长期稳定性及经济收益等角度出发，综合优选出最佳的油气生产井保护煤柱尺寸。油气生产井保护煤柱具体设计流程如下图所示。



**图1 煤-油气交叉开采油气生产井保护煤柱设计流程**

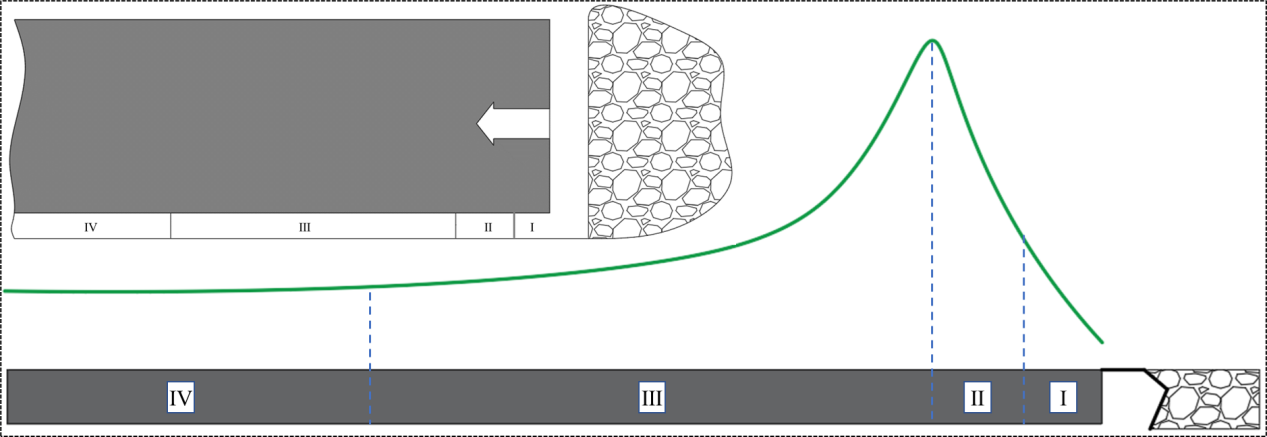
* 1. 现场调研与实测
     1. 煤炭企业所需水文地质、生产技术资料。应包括但不限于以下内容：

1. 井田边界范围坐标。
2. 地层空间展布、矿区典型钻孔柱状、煤层覆岩含水层情况。
3. 采掘现状及采掘接续计划。
4. 巷道掘进工艺及方法、支护方式及参数。
5. 工作面回采工艺、埋深、采高、推进速度、顶板管理方法。
6. 地表实测岩移数据及角参数，包括覆岩及地表随工作面推进的动态沉陷规律、松散层移动角、基岩移动角。
   * 1. 油气开采企业所需地质、生产技术资料。应包括但不限于以下内容：
7. 油气田边界范围坐标。
8. 地层空间展布、油气田典型钻孔柱状。
9. 油气储盖层特征。
10. 油气资源开采现状及新井布设计划。
11. 已有油气井分布情况、井口坐标、测斜数据、井身结构及深度、套管水泥环强度参数、服役状态、井内流体压力、气体成分及含量。
    * 1. 绘制煤矿各煤层采掘情况与油气井分布空间对照图（统一坐标系）。
    1. 基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算

油气生产井保护煤柱内的应力分布情况将直接影响到油气井的受力状态，为充分保证油气井完整性，理想的情况为：尽量使油气生产井处于所留设保护煤柱的原岩应力区。因此，可以从煤柱应力分布特征的角度对油气生产井保护煤柱宽度进行设计。

* + 1. 保护煤柱内应力分布特征

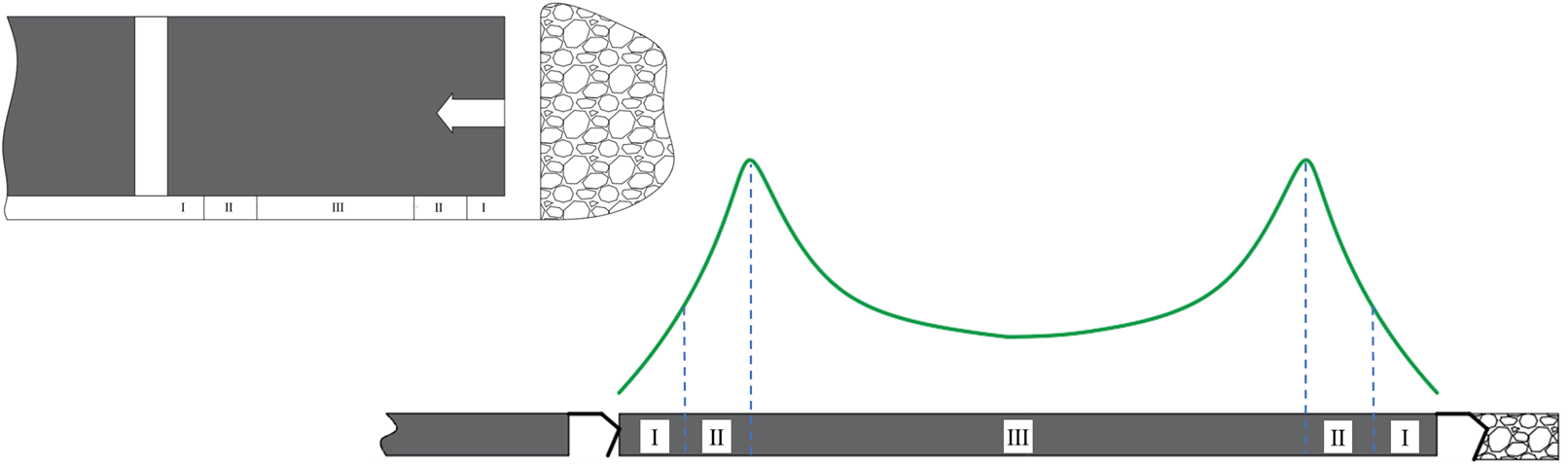
随着采煤工作面不断推进，位于开采工作面前方不同距离的超前煤体内应力场分布特征不同。受超前支承压力影响，从煤柱边缘至煤体深部，将依次出现破裂区、塑性区、弹性区及原岩应力区，煤柱内呈现“四区”不同的应力分布特征。具体地，煤柱所受垂直应力*σz*的分布情况如图2所示。



Ⅰ—破裂区 Ⅱ—塑性区 Ⅲ—弹性区 Ⅳ—原岩应力区

**图****2 煤柱内垂直应力分布图**

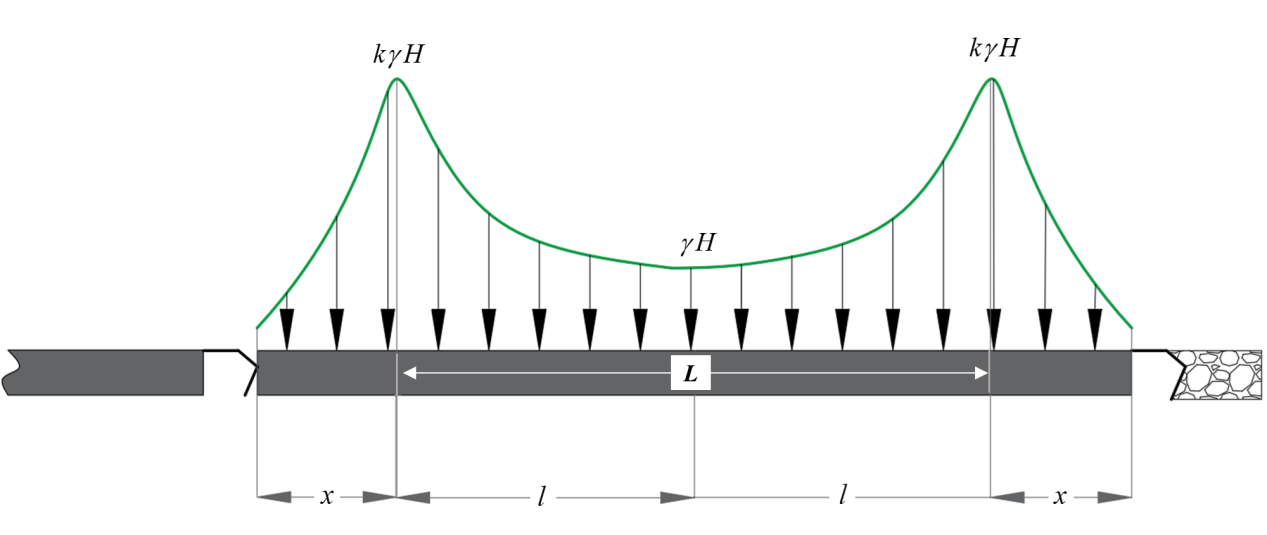
穿过煤层工作面的油气生产井在工作面回采时需留设一定尺寸的保护煤柱，因此，在煤层长壁开采时，油气生产井保护煤柱另一侧也会受到采动影响，也即二次采动造成煤柱内垂直应力出现叠加。此时，分布于保护煤柱煤体内的垂直应力将以“马鞍形”双峰的形式分布（图3）。



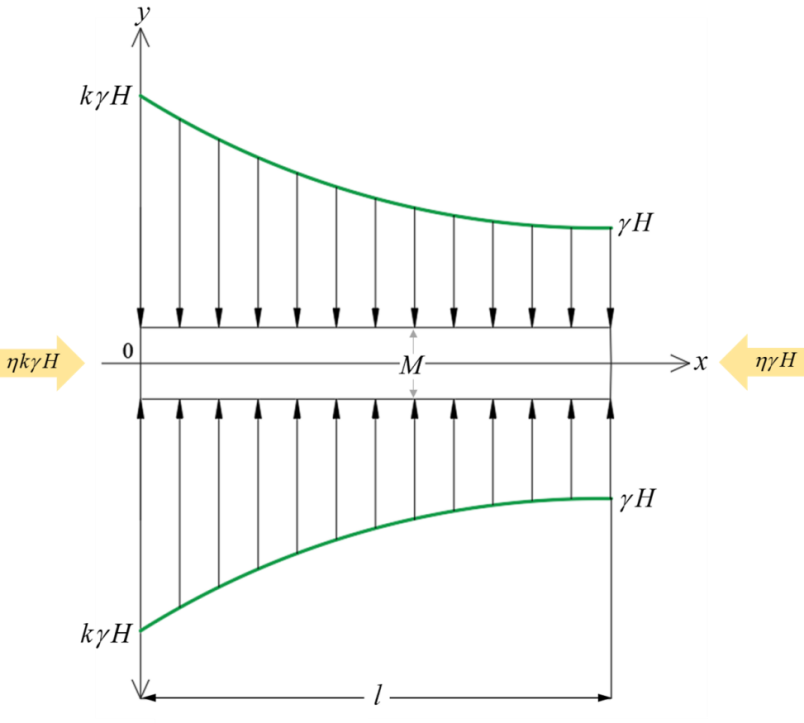
Ⅰ—破裂区 Ⅱ—塑性区 Ⅲ—弹性区

**图****3 双侧采空条件下油气井保护煤柱内垂直应力分布示意**

为定量确定保护煤柱沿工作面推进方向的合理宽度，建立如下油气生产井保护煤柱留设力学模型：由于从提高煤炭采出率角度考虑，油气井保护煤柱内弹性区宽度*L*要尽量小，因此认为煤柱内原岩应力区宽度极限小，将油气井布置在弹性区和原岩应力区的交界点，也即弹性区的边缘，故将应力分布曲线近似按“抛物线”型曲线进行分析，选取弹性区临界宽度的一半*l*作为研究对象，以左侧支承压力最高点为原点，力学模型示意如图4、图5所示。



**图****4 双侧采空条件下油气井保护煤柱内支承压力分布**



**图****5 油气生产井保护煤柱弹性区支承压力分布**

工作面超前支承压力分布规律表达式：

 （1）

式中：

——应力集中系数；

——上覆岩层的重力密度；

——煤柱弹性区临界宽度的一半；

——煤层埋深。

根据弹性力学中应力函数以及双调和函数，求得、。

 （2）

 （3）

式中：

——侧压系数。

在，时，

根据材料力学，由下式可求得

 （4）

进而求得煤柱内最大、最小应力最大值分别为：

 （5）

由于平面问题在轴上的应变为0，因此，

 （6）

式中：

——煤层厚度；

——泊松比。

由于Mohr-Coulomb屈服准则没有考虑中间主应力的影响，因此，采用既计入了中间主应力，又考虑了静水压力作用的Drucker-Prager准则：

 （7）

式中：

——应力第一不变量；

——应力偏量第二不变量；

——与煤层内摩擦角和粘结力有关的实验常数；

——与煤层内摩擦角和粘结力有关的实验常数。

Drucker-Prager准则中各变量表达式如下：

 （8）

将式5、式6代入表达式可得：

 （9）

煤岩体泊松比超过弹性范围后，将随应力的增大而增大，直到为止，因此煤体屈服泊松比取0.5。

将式9、代入式7可得：

 （10）

故煤柱中央弹性区的临界宽度为：

 （11）

* + 1. 基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱尺寸理论计算

根据前述分析，穿煤层长壁工作面的油气生产井需位于保护煤柱原岩应力区内，则沿工作面推进方向煤柱内原岩应力区宽度需不小于油气生产井最外层套管直径，为更大程度地保障油气井稳定与完整性，将套管直径赋予一定的安全系数。则：

 （12）

式中：

——保护煤柱内沿工作面推进方向上原岩应力区宽度；

——油气井套管安全系数，考虑到油气井直径较小（表层套管直径一般为0.2 m）故，安全系数取值为10；

——油气井最外层套管直径。

综上分析可得，受采动影响油气井至工作面的安全避让距离表达式为：

 （13）

式中：

——支承压力峰值与保护煤柱边缘的距离，具体地，



式中：为应力增高系数；为支架对煤帮的阻力；为煤层开采厚度；为煤体的粘聚力；煤体的内摩擦角；为煤层与顶底板接触面的摩擦系数；为三轴应力系数，。

考虑到油气井位于回采工作面的位置不同，留设的“保护煤柱”可能是一侧采空，也可能是双侧采空，因此，根据油气井受采动影响情况对保护煤柱留设宽度进行计算：

1. 受一侧采动影响时，油气井至工作面的安全避让距离为：

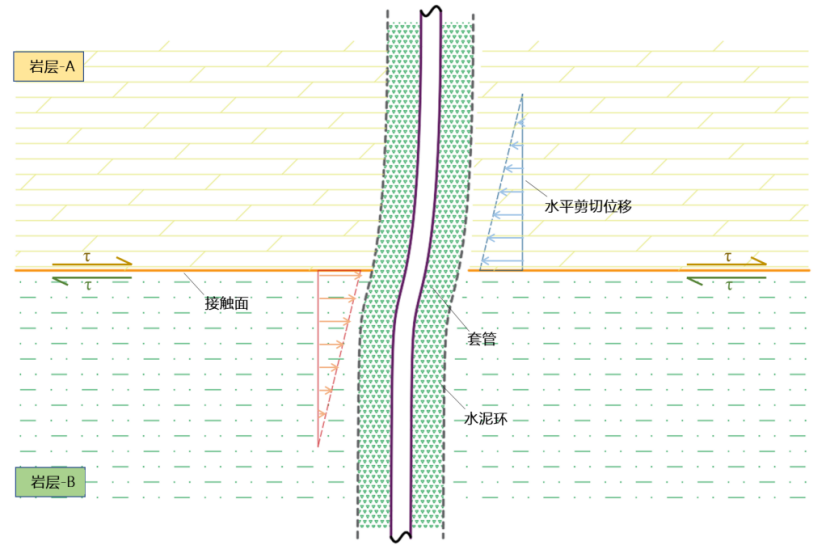
 （14）

1. 受双侧采动影响时，油气生产井保护煤柱留设宽度：

 （15）

* 1. 基于油气生产井采动剪切受力及变形的保护煤柱尺寸设计

该方法从考虑煤层采动环境下油气生产井的承载抗变形能力角度出发，分析采动影响下油气井临界剪切变形判定条件，构建井身剪切破坏数值计算模型，进而对油气生产井保护煤柱尺寸进行设计，同时也和前述煤柱尺寸理论设计方法及结果的可靠性、科学性进行对比验证。由于采动影响下油气生产井失稳以剪切破坏模式最为常见（图6），本方法中仅讨论油气井的剪切载荷及剪切变形量。



**图6** **煤层采动影响下油气井井身组合体剪切变形示意图**

* + 1. 数值计算模型的建立

采用在岩土、采矿工程领域广泛应用的显式有限差分程序FLAC3D建立长壁开采影响下油气生产井稳定性研究大尺度三维地质模型。该程序在研究煤岩体、各种地下结构在外部采动影响下的连续受力、变形演化方面具有特定优势，可以直观的分析各类介质变形和应力演化的具体过程。数值模型的建立步骤如下：

第一步，建立包含“井周围岩-固井水泥-表层套管-固井水泥-内层套管”的典型油气井井身组合体及周围地层的精细化三维模型。

第二步，本构模型选取及力学参数确定；运行模型达到初始平衡；模拟现场工作面推进，获取地表沉陷数据并与实测沉陷数据进行对比，当数值模拟与实测结果吻合度较高时（如偏差在±10%以内），即认为所建立的三位数值模型能够很好地代表现场实际地质及生产条件；如两者偏差过大，则对模型中的地层参数适当进行调整，直至模拟所得沉陷规律与实测数据较为接近为止。

* + 1. 模拟方案设计及结果分析

第一步，不同保护煤柱尺寸方案设计。根据基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算，以及基于“三下开采规范”的煤柱宽度计算结果（具体实施过程参见附录A），适当扩大煤柱尺寸上下限，设计不同的保护煤柱尺寸留设方案。

第二步，工作面推进过程中不同尺寸煤柱条件下油气生产井受力及变形动态演化的数值模拟及分析。采动影响下剪切破坏是导致油气井失稳的主要形式，数值模拟中通过监测不同尺寸煤柱条件下油气井井身组合体的最大剪切应力与剪切变形值来衡量所留设油气井保护煤柱的合理性、安全性，从保障油气井稳定性的角度出发给出油气井保护煤柱留设尺寸范围，为最终确定油气井保护煤柱留设尺寸提供依据。

* 1. 煤-油气交叉开采油气生产井保护煤柱留设结果优选

综合前述基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算、基于油气井采动剪切受力及变形的保护煤柱尺寸数值模拟，以及基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱理论计算结果，得到同时考虑长壁工作面采动影响与油气井力学性能的保护煤柱尺寸合理区间。进一步通过数值模拟多方案对比，从考虑煤柱与油气井长期稳定性及煤炭采出率等角度出发优选出最佳的保护煤柱尺寸，

前文所述的“基于‘三下开采规范’的油气生产井保护煤柱理论计算”、“基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算”以及“煤-油气交叉开采油气生产井保护煤柱留设结果优选”，其具体实施过程以实施例的形式进行介绍，具体见附录A、B、C。

附录A

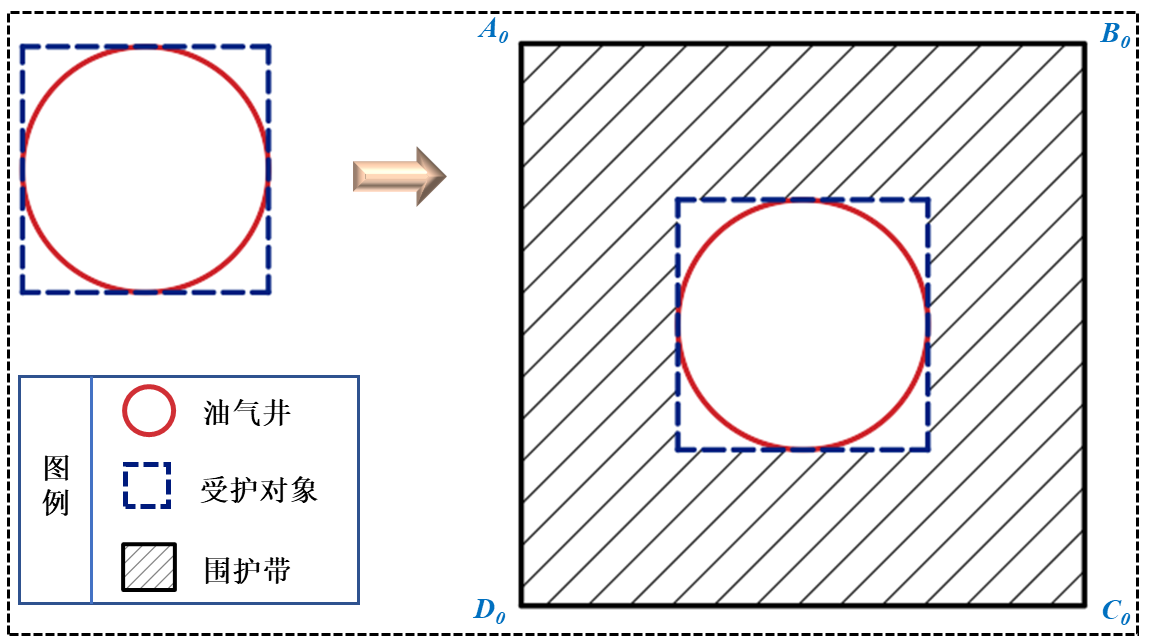
(资料性)

基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱理论计算

依据该理论设计油气生产井保护煤柱尺寸的计算过程以实施例的形式介绍如下：

* 1. 油气生产井保护煤柱留设原理

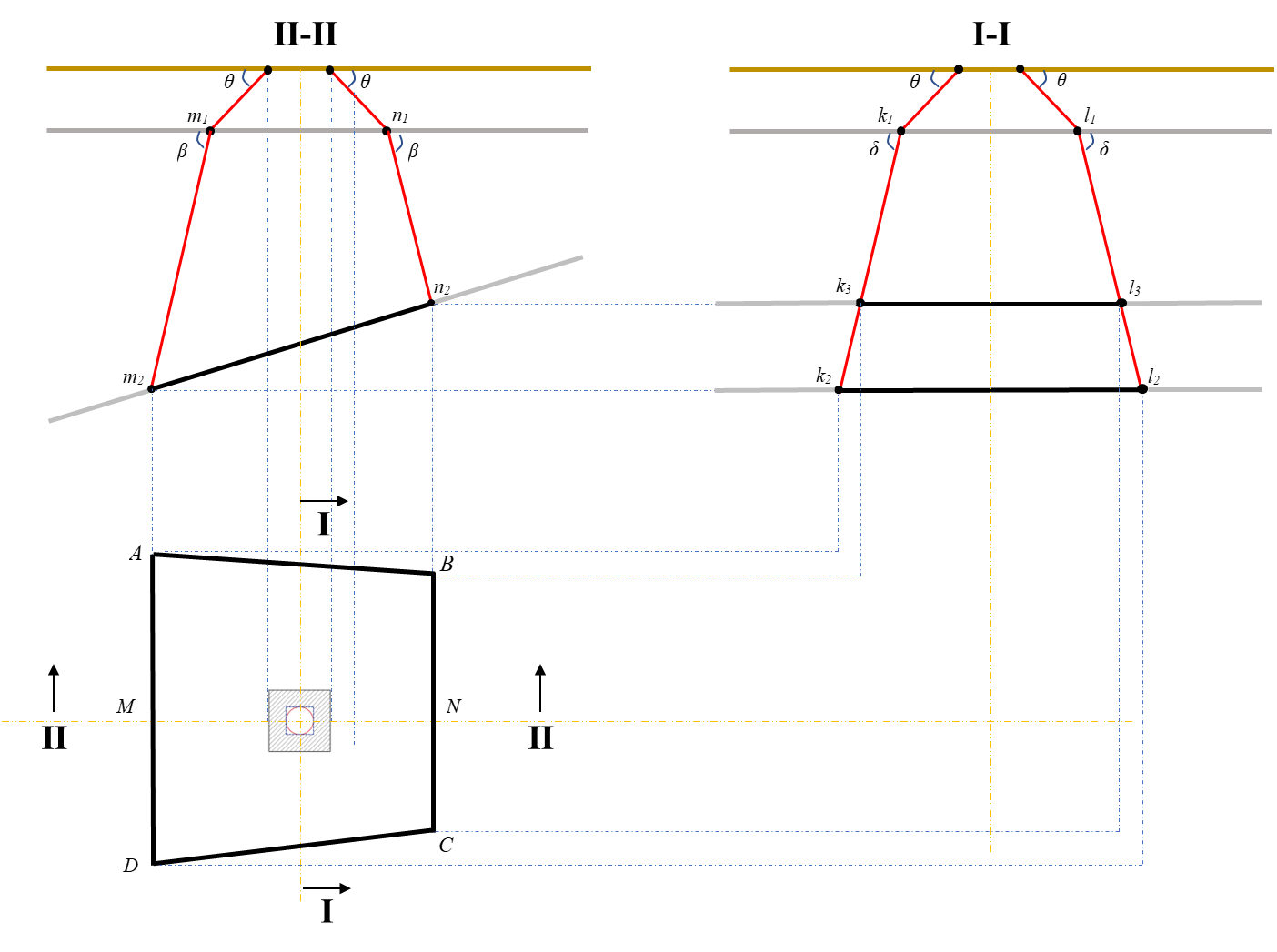
（1）某煤矿井田内有一口垂直油气生产井，按照“三下开采规范”其受护范围应当包括受护对象及其围护带，则所圈定油气生产井受护范围应为标准圆形，结合现场生产实际，规则的矩形或正方形煤柱更易于留设，因此，取油气井横截圆面的外接四边形作为受护对象，使四边形分别平行于煤层倾斜与走向方向，在四边形四周做围护带，最终围成受护区域*A0*-*B0*-*C0*-*D0*（图A-1）。



**图A-1** **油气井受护范围示意图（非等比例）**

（2）“三下开采规范”第八十一条指出：立井保护煤柱应当采用垂直剖面法设计。油气生产井保护煤柱设计方法参照该方法，通过油气井受护范围圈定边界中心，沿煤层倾向作剖面II—II（图A-2），将受护范围投影到剖面图上，由围护带边缘点作松散层移动角*θ*，与基岩面相交于*m1*、*n1*点。然后由*m1、n1*点作基岩移动角*β*分别交于煤层底板*m2*、*n2*点。再将*m2*、*n2*点投到平面图上，得*M*、*N*点、通过*M*、*N*分别作与煤层走向平行的直线，此即煤层倾向剖面上保护煤柱的上、下边界。

（3）通过油气井受护范围圈定边界中心，沿煤层走向作剖面I—I，将受护范围投影到剖面I—I上，由围护带边缘点作松散层移动角*θ*，与基岩面交于*k1*、*l1*点。再由*k1*、*l1*点以走向移动角作斜线，将II—II剖面上的*m2*、*n2*点分别水平投影到I—I剖面图上，与I—I剖面上从*k1*、*l1*点以角*δ*做出的斜线相交，得*k2*、*l2*和*k3*、*l3*。*k3*、*l3*为煤柱上边界线在I—I剖面上的投影，*k2*、*l2*为煤柱下边界线在I—I剖面上的投影。将*k2*、*l2*和*k3*、*l3*分别投影到平面图上，得*A*、*B*、*C*、*D*，依次连接各点，该四边形即为基于“三下开采规范”计算所得保护煤柱的平面图（图A-2）。



**图A-2** **基于“三下开采规范”的油气井保护煤柱设计原理示意图**

（4）维护带宽度选取。根据“三下开采规范”，按构筑物的重要性、用途以及受开采影响引起的不同后果，将矿区范围内的构筑物保护等级分为五级（表A-1）。构筑物围护带宽度根据保护等级确定，按表A-2规定数值选取。

**表A-1** **矿区构筑物保护等级划分**

|  |  |
| --- | --- |
| **保护等级** | **主要构筑物** |
| 特级 | 高速公路特大型桥梁、落差超过100m的水电站坝体、大型电厂主厂房、机场跑道、重要港口、国防工程重要设施、大型水库大坝等 |
| Ⅰ | 高速公路、特高压输电线塔、大型隧道、**输油（气）管道干线**、矿井主要通风机房等 |
| Ⅱ | 一级公路、220kV及以上高压线塔、架空索道塔架、输水管道干线、重要河（湖、海）堤、库（河）坝、船闸等 |
| Ⅲ | 二级公路、110kV高压输电杆（塔）、移动通信基站等 |
| Ⅳ | 三级及以下公路等 |

**表A-2** **构筑物各保护等级围护带宽度**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **保护等级** | 特 | І | Ⅱ | Ш | Ⅳ |
| **围护带宽度/m** | 50 | 20 | 15 | 10 | 5 |

矿区构筑物保护等级划分表中虽未明确给出油气井所属保护等级，但依据其重要性、用途类比，可将油气井与输油（气）管道干线划分为同一保护等级，即I级，对应围护带宽度取20 m。同时参考“规范”中针对煤矿立井维护带宽度选取规定，亦得油气井围护带宽度为20 m。

（5）角量参数确定

由“三下开采规范”留设油气井保护煤柱的原理可以看出，各类角量参数数值直接决定了保护煤柱留设尺寸的大小。对于拥有地表岩移监测资料的矿区，相关计算参数可以通过测站测得的地表移动变形值计算求得；对于缺乏观测资料的新矿区，可采用工程类比或借鉴周边相邻矿井的方式将地质及开采技术条件相似的矿井参数作为本矿井角量计算参数。

* 1. 基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱理论计算公式及流程

（1）确定油气生产井受护范围

由前述油气生产井保护煤柱设计原理可知，油气井受护范围长度：

（A-1）

式中：

——油气井受护范围长度，m；

——油气井最外层套管直径，m；

——油气井维护带宽度，m。

（2）确定油气生产井保护煤柱边界

 （A-2）

 （A-3）

 （A-4）

式中：

——松散层厚度，m；

——煤层埋深，m；

——松散层移动角，m；

——煤层倾角，m；

——II—II剖面上山、下山基岩移动角，m；

——I—I剖面走向基岩移动角，m；

——煤柱上、下边界线在II—II剖面上的投影长度，m。

——煤柱上边界线在I—I剖面上的投影长度，m；

——煤柱下边界线在I—I剖面上的投影长度，m；

——松散层保护边界，。

通过以上步骤及现场实际条件，即可获得基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱理论计算结果。

* 1. 油气生产井保护煤柱留设实例

将某矿某工作面实测得到的地表移动参数及油气井相关参数（表A-3）应用到基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱设计中，由公式A-1计算得油气井受护范围长度S为40.33 m，由式A-2～式A-4计算得油气井保护煤柱上、下边界线在II—II剖面上的投影长度为189.2 m，油气井保护煤柱上边界线在I—I剖面上的投影长度为210.8 m，下边界线在I—I剖面上的投影长度为210.8 m。

**表A-3** **基于“三下开采规范”的油气井保护煤柱设计相关参数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **地表沉陷角量参数** | | | | **煤岩层参数** | | | **油气井相关参数** | |
| 松散层移动角 | II—II剖面上山基岩移动角 | II—II剖面下山基岩移动角 | I—I剖面走向基岩移动角 | 松散层厚度h | 2-2煤层埋深 | 2-2煤层倾角 | 最外层固井水泥环直径 | 油气井维护带宽度 |
| 45° | 82.6° | 82.6° | 80.8° | 30.78 m | 367 m | 0° | 0.33 m | 20 m |

附录B

(资料性)

基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算（实例）

依据该理论设计油气生产井保护煤柱尺寸的原理及计算过程详见本规范的5.2部分，此处给出一个实施例以进行说明。

根据某煤矿实际地质及生产技术条件，将相关计算参数应用于油气井保护煤柱设计中，见表B-1。

**表B-1 油气井保护煤柱力学模型设计参数**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **2-2煤层厚度** | **上覆岩层重力密度** | **煤层埋深** | **煤层内摩擦角** | **煤层粘聚力** |
| 2.83 m | 25 KN/m3 | 367 m | 36° | 1.0 MPa |

① 由煤柱应力分析得出，受一次采动影响工作面至油气井预留煤柱宽度：



② 受二次采动影响油气井保护煤柱留设宽度：



综上，将以上两种不同油气井保护煤柱留设方案所确定的煤柱尺寸汇总下表B-2。

**表B-2** **不同方法设计油气井保护煤柱尺寸**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **基于“三下开采规范”设计的油气生产井**  **保护煤柱尺寸 /m** | | **基于应力分布特征的油气生产井**  **保护煤柱理论计算结果 /m** | |
| I—I剖面 | II—II剖面 | 一次采动 | 二次采动 |
| 210.8 | 189.2 | 81.9 | 163.8 |

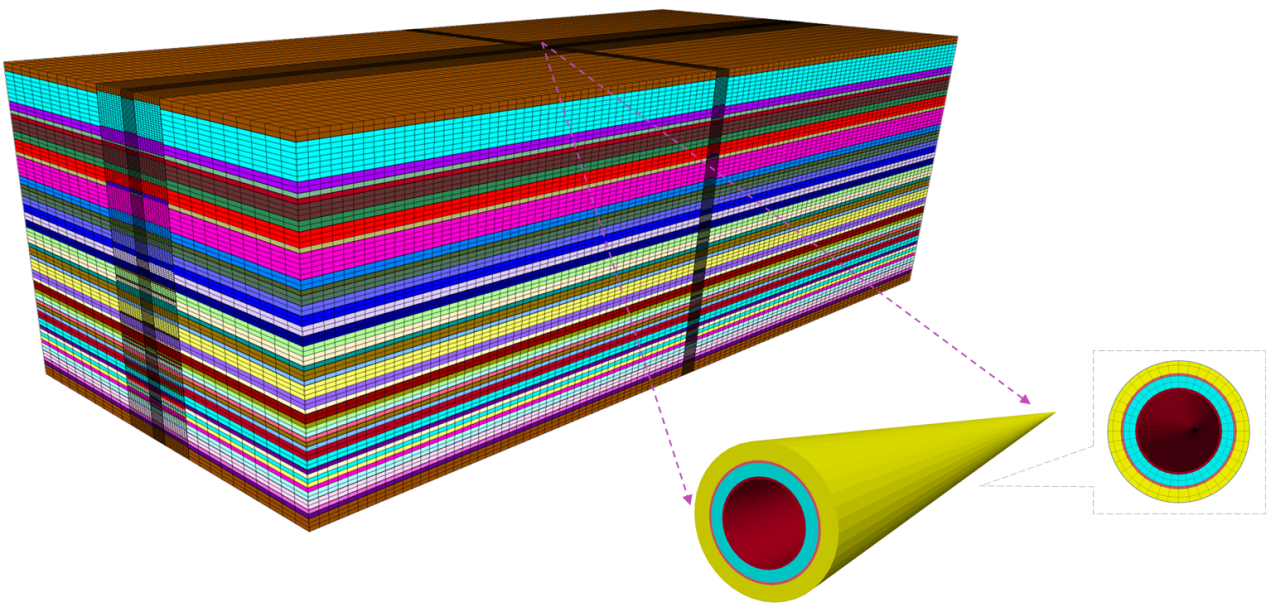
附录C

(资料性)

煤-油气交叉开采油气生产井保护煤柱留设结果优选

C.1　基于油气生产井采动剪切受力及变形的保护煤柱尺寸设计

根据本规范5.3部分所述方法，采用有限差分程序FLAC3D构建包含多级套管-水泥环油气井井身组合体的大尺度三维地质模型（图C-1）。通过现场实测以及实验室测试获取模型所需参数，基于利用“三下开采规范”以及煤柱内应力分布特征的保护煤柱尺寸理论计算结果，设计多个煤柱尺寸方案。记录各方案工作面推进过程中油气井井身组合体所承受剪切应力及剪切变形数据，对比分析后确定实施例中油气生产井保护煤柱尺寸范围为163.8m～210.8m。



**图C-1 煤-油气交叉开采油气井受力及变形数值模拟三维地质模型**

C.2　不同保护煤柱留设方法设计结果对比及优选

（1）基于“三下开采规范”的油气生产井保护煤柱尺寸结果分析

“三下开采规范”主要是从煤层开采引起的岩层移动（下沉盆地）波及范围角度出发，并未考虑保护煤柱的稳定性以及油气井多级套管-水泥环组合体的材料抗变形能力、承载极限以及许用变形量；并且，岩层移动角也受到煤层采高及厚煤层分层开采、多层煤重复采动等因素影响。根据现场的工程实践反馈，基于“三下开采规范”留设的保护煤柱尺寸结果偏保守，安全系数过高，会造成一部分煤炭资源浪费，不利于矿井的高效生产以及资源采出率的提升；但是该方法可以确定油气生产井保护煤柱尺寸的上界（实施例中为210.8 m）。

（2）基于应力分布特征的油气生产井保护煤柱理论计算结果分析

该方法主要从油气生产井保护煤柱内应力场分布特征出发，将煤柱内应力分布近似按“抛物线”型曲线进行分析，选取弹性区临界宽度的一半进行分析研究，力学模型存在一定简化，无法体现煤柱上方覆岩运移所产生的剪切滑移对油气井完整性的影响，该方法所得结论需进一步结合数值模拟进行验证。在附录A、B给出的实施例中，基于应力分布特征的油气井保护煤柱理论计算结果（163.8 m）相比基于“三下开采规范”的油气井保护煤柱尺寸（210.8 m）结果小22.3%。

（3）基于油气生产井采动剪切受力及变形的保护煤柱尺寸设计及优选

为进一步优选、确定出最终的保护煤柱宽度，数值模拟中以（163.8 m，210.8 m）为界进一步设计如表C-1所示4种方案，继续使用FLAC3D软件模拟研究油气井保护煤柱两侧工作面开采后煤柱内的应力分布及塑性区发育特征，根据模拟结果评估保护煤柱的稳定性，进而论证油气生产井的完整性。

**表C‑1** **油气井保护煤柱宽度留设方案**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **名称** | **方案1** | **方案2** | **方案3** | **方案4** |
| **煤柱宽度** | 164 m | 174 m | 184 m | 210 m |

通过数值模拟分析得到164 m～210 m油气井保护煤柱条件下煤柱内应力分布与破坏状态，结果表明：2-2煤层回采过程中留设210 m、184 m、174 m宽煤柱，煤柱稳定性均较好，可有效保障油气井完整性。当煤柱留尺寸为164 m时，煤柱内应力弹性区占比大幅减小，煤柱塑性区发育深度达到最大，该尺寸煤柱条件下煤柱破坏可能性最大，油气井存在较大失稳泄漏风险。

进一步地，对上述4种煤柱留设方案压覆煤炭资源量（式C-1）及缩小一定尺寸煤柱的经济收益（式C-2）进行计算与对比，具体结果汇总至表C-2。

（C-1）

式中：

——油气井保护煤柱压覆煤量，t；

——回采煤层密度，t/m3，取1.3；

——回采煤层厚度，m，取2.83；

——油气井保护煤柱面积，m2。

（C-2）

式中：

——增收经济效益，万元；

——煤柱尺寸缩小前压覆煤量，t；

——煤柱尺寸缩小后压覆煤量，t；

——吨煤利润，万元/t，取0.06；

**表C-2** **油气井不同尺寸保护煤柱压覆煤量及经济效益对比**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **煤柱尺寸 /m** | **压覆煤量 /t** | **相较最大尺寸煤柱增收经济效益 /万元** |
| 210 | 162243.90 | - |
| 184 | 124556.22 | 2261.26 |
| 174 | 111385.40 | 3051.51 |
| 164 | 98950.38 | 3797.61 |

由表C‑2可知，随煤柱尺寸减小油气井压覆煤量明显减小，与参考“三下开采规范”留设的油气井保护煤柱相比，当煤柱尺寸缩小至184 m～164 m时，可增收经济效益约2300～3800万元。综上所述，从将油气井布置在煤柱内弹性区、油气井抵抗剪切变形、保护煤柱稳定性、减少压煤提高经济效益以及成分保障油气井完整性角度出发，最终确定油气生产井保护煤柱的留设宽度为174 m。

附录D

(资料性)

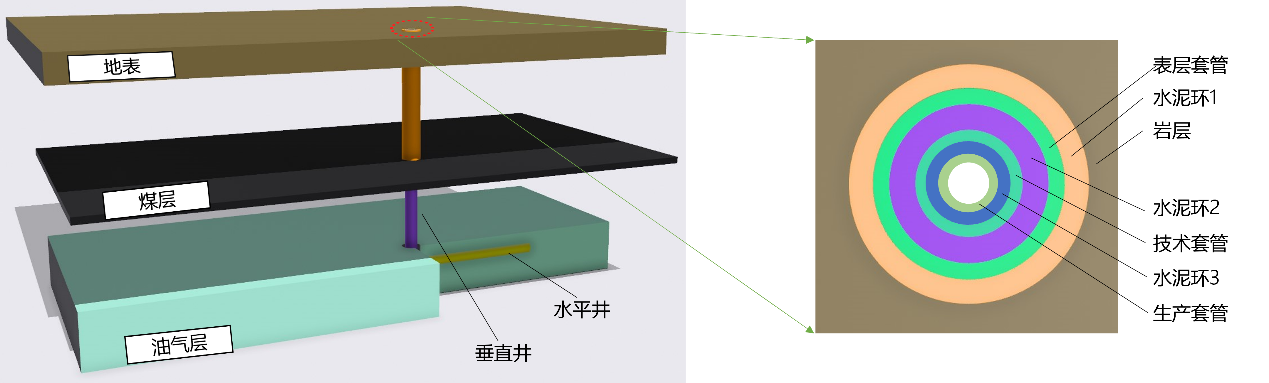
常见油气生产井井身结构及规格、性能参数

油气井井身是由各级套管和水泥环构成的组合系统。其中，不同油气井需根据其钻井深度与地质情况的差异来确定套管使用层数及类型。不同套管类型详细信息汇总见表D-1。

**表D-1 油气井不同套管类型信息**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **套管类型** | **使用场景** | **主要作用** | **主要规格** |
| **导管** | 用于海洋、沙漠中钻井 | 用以隔开海水和砂子，保证钻井顺利进行。 | ***Φ***762mm(30in)×25.4mm、  ***Φ***762mm(30in)×19.06mm |
| **表层套管** | 用于第一次开钻，钻开地表松软地层到基岩 | 封隔该地层不致坍塌，需用表层套管进行封固。 | ***Φ***508mm(20in)、  ***Φ***406.4mm(16in)、  ***Φ***339.73mm(13-3/8in)、  ***Φ***273.05mm(10-3/4in)、  ***Φ***244.48mm(9-5/8in)等 |
| **技术套管** | 遇坍塌层、煤层、油层、气层、水层、漏失层、盐膏层等复杂地层 | 封隔复杂地层防止井壁破裂、甲烷气体逸散等。 | ***Φ***339.73mm(13-3/8in)、  ***Φ***273.05mm(10-3/4in)、  ***Φ***244.48mm(9-5/8in)、  ***Φ***219.08mm(8-5/8in)、  ***Φ***193.68mm(7-5/8in)、  ***Φ***177.8.mm(7in)等 |
| **油层套管** | 钻井至目的层(含油、气的层位) | 将油气资源从地表下的储藏层里导出，用于保护钻井。 | ***Φ***177.8mm(7in)、  ***Φ***168.28mm(6-5/8in)、  ***Φ***139.7mm(5-1/2in)、  ***Φ***127mm(5in)、  ***Φ***114.3mm(4-1/2in)等 |

油气井套管层数、套管与水泥环强度、套管型号等对煤矿区油气井的完整性、安全性发挥着至关重要的作用。自2016年以来，我国主要油气田逐渐采用成熟的三级井身结构（图D-1）布井，具体地（实施例）：一开采用Φ 311.2 mm钻头钻进，下表层套管Φ 244.5 mm×8.94 mm，钢级J55，固井水泥返至地表，封固松软地层、防止井壁坍塌；二开采用Φ 215.9 mm钻头钻进，下入Φ 177.8 mm×8.05 mm技术套管，钢级N80；三开采用Φ 152.4 mm钻头钻进，下入Φ177.8 mm×9.19 mm生产套管，钢级N80；深度大于2730 m时，下钢级P110套管。



**图D-1** **煤矿区油气井布置方式及各级套管、水泥环组成示意图**

评估煤-油气交叉开采条件下油气生产井的完整性时，油气井组合体各类构件的力学性能必须被考虑。根据API SPEC 5CT第10版《套管和油管规范》、API SPEC 10A《油井水泥》以及《钻井手册》得到以下关于油气井套管和固井水泥的标准和相关参数。

（1）套管力学性能

油气井套管是维持油气资源安全运输的生命线，布置于煤油气叠置区的油气井受煤层工作面采动影响井身组合体受力状态复杂，综合作用于管体的各类应力对套管的力学性能提出了较高要求。美国石油学会（API）制订的标准中套管钢级物理性能见表D-2。

**表D-2 API套管钢级物理性能**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **钢级** | **类型** | **加载下总延伸率**  **/％** | **屈服强度/MPa** | | **最小抗拉强度/MPa** |
| **最小** | **最大** |
| H40 | — | 0.5 | 276 | 552 | 414 |
| J-55 | — | 0.5 | 379 | 552 | 517 |
| K-55 | — | 0.5 | 379 | 552 | 655 |
| N-80  N-80 | 1  Q | 0.5 | 552 | 758 | 689 |
| R95 | — | 0.5 | 655 | 758 | 724 |
| L-80  L-80  L-80 | 1  9Cr  13Cr | 0.5 | 552 | 655 | 655 |
| C-90 | 1 | 0.5 | 621 | 724 | 689 |
| T-95 | 1 | 0.5 | 655 | 758 | 724 |
| C-110 | — | 0.7 | 758 | 828 | 793 |
| P-110 | — | 0.6 | 758 | 965 | 862 |
| Q-125 | 1 | 0.65 | 862 | 1034 | 931 |

（2）固井水泥力学性能

固井所使用的水泥级别分为A、B、C、D、E、F、G、H，经过现场试验和改进完善现在已经简化为：A、B、C、G、H五种。其中，A、B、C适用于井温76度以下；G、H适用于井温76度以上；G通过添加速凝剂和缓凝剂可以适用高、中、低温井，使用于全井段所有套管层次的固井作业，故G级水泥使用最为广泛。表D-3为API规范油井水泥级别定义。

**表D-3 API规范油井水泥级别定义**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分级** | **类型** | **适用井温范围** | **分级** | **类型** | **使用井温范围** |
| A | O | 低温井 | E | MSR  HSR |  |
| B | MSR  HSR | 低温井 | F | MSR  HSR |  |
| C | O  HSR  HSR | 中温井 | G | MSR  HSR | 中、高温井 |
| D | MSR  HSR |  | H | MSR  HSR | 中、高温井 |

固井水泥类型包括：O—普通型、MSR—中抗硫酸盐型、HSR—高抗硫酸盐型。

固井水泥的力学性能来源于清华大学施士昇教授（《混凝土的抗剪强度、剪切模量和弹性模量》）对混凝土抗剪强度的实验结果（表D-4）。

**表D-4 固井水泥力学性能**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **组别** | **第1组** | **第2组** | **第3组** | **第4组** | **平均值** |
| 抗剪强度（MPa） | 7.87 | 7.10 | 7.73 | 7.24 | 7.49 |
| 抗压强度（MPa） | 61.71 | 59.85 | 43.37 | 38.63 | 50.89 |
| 弹性模量（103MPa） | 44.35 | 44.60 | 31.59 | 32.71 | 38.31 |
| 泊松比 | 0.243 | 0.245 | 0.240 | 0.223 | 0.24 |
| 剪切模量（103MPa） | 20.11 | 18.49 | 16.13 | 15.49 | 17.56 |

附录E

(资料性)

油气井风险等级评价

依据国家标准和中国石油化工集团公司企业标准《废弃井封井处置规范》（Q/SH0653-2015）、《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GB Z2.1-2019）及查阅相关文献，煤-油气叠置区油气井风险等级分为三类，评价过程中，有任何一项指标达到较高等级，则全井按照较高等级确定风险等级。

**表E-1 煤-油气叠置区油气井风险等级评价**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风险等级  风险类别 | 一类 | 二类 | 三类 |
| 井口压力（MPa） | 0 | ＜5 | ≥7 |
| H2S浓度（ppm） | 0 | （约7.7mg/m3）5≤涌出量≤6.6（10mg/m3） | ≥10（14mg/m3） |
| 与含油气地层的距离h/m | h≥100 | 10≤h≤100 | h＜10 |
| 与强含水层的距离/m | 无强含水层 | 大于导水裂隙带高度或底板承压水水头高度 | 距离小于导水裂隙带高度或底板承压水水头高度 |
| 层间干扰情况 | 层间不沟通，不存在油气水窜 | 层间存在沟通，但油气水窜影响较小 | 层间存在沟通，存在严重油气水窜 |
| 套管破损情况 | 无破损，或破损点在含煤地层100m以下 | 有破损，但破损点在含煤地层以下100m范围内 | 破损点在含煤地层中 |

本规范用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件可以这样做的，采用“可”。

2. 本规范中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合...的规定”或“应按...执行”。

参 考 文 献

1. GB/T 8423.6 石油天然气工业术语 第6部分：安全环保节能
2. GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
3. GB 12950 地震勘探爆炸安全规程
4. GB/T 31033 石油天然气钻井井控技术规范
5. GB 50021 岩土工程勘察规范
6. AQ 2038 石油行业安全生产标准化地球物理勘探实施规范
7. DZ/T 0283 地面沉降调查与监测规范
8. GA 837 民用爆炸物品贮存库治安防范要求
9. GA/T 848 爆破作业单位民用爆炸物品贮存库安全评价导则
10. SY/T 0048 石油天然气工程总图设计规范
11. SY/T 5087 硫化氢环境钻井场所作业安全规范
12. SY/T 5412 井下套管作业规程
13. SY/T 5431 井身结构设计方法
14. SY/T 5466 钻前工程及井场布置技术要求
15. SY/T 5587.14 常规修井作业规程 第14部分：注塞、钻塞
16. SY/T 5724 套管柱结构与强度设计
17. SY/T 6280 石油物探地震队健康、安全与环境管理规范
18. SY/T 6592 固井质量评价方法
19. SY/T 6610 硫化氢环境井下作业场所作业安全规范
20. SY/T 6621 输气管道系统完整性管理规范
21. SY/T 6970 高含硫化氢气田地面集输系统在线腐蚀监测技术规范（附条文说明）
22. SY/T 7026 油气井管柱完整性管理
23. SY/T 10024 井下安全阀系统的设计、安装、修理和操作的推荐做法
24. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范，安监总煤装〔2017〕66号
25. 《煤矿安全规程》，应急管理部令第8号（2022年4月1日起施行）
26. 梁顺, 姚强岭, 李学华, 傅雪海. 长壁开采区内垂直页岩气井稳定性研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2019.
27. Liang Shun, Elsworth Derek, Li Xuehua\*, Fu Xuehai, Sun Boyang, Yao Qiangling. Key strata characteristics controlling the integrity of deep wells in longwall mining areas, International Journal of Coal Geology, 2017, 172: 31-42.
28. Liang Shun, Elsworth Derek, Fu Xuehai\*, Li Xuehua, Yao Qiangling. Influence of stratigraphic conditions on deformation characteristics of oil/gas wells piercing longwall pillars and mining optimization, Energies, 2017, 10(6): 1-20.
29. Liang Shun, Elsworth Derek, Li Xuehua\*, Fu Xuehai, Yang Dong, Yao Qiangling, Wang Yi. Dynamic impacts on the survivability of shale gas wells piercing longwall panels, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, 26: 1130-1147.
30. Liang Shun, Elsworth Derek, Li Xuehua\*, Yang Dong. Topographic influence on stability for gas wells penetrating longwall mining areas, International Journal of Coal Geology, 2014, 132: 23-36.
31. 卫斐. 采动区油气井套管-水泥环组合体破坏特征及参数优化[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.
32. 张金帝. 煤矿区油气井井身组合体采动损害特征[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
33. 施士昇. 混凝土的抗剪强度、剪切模量和弹性模量[J]. 土木工程学报, 1999, 32(2): 47-52.