

火区分布特征对煤田治理策略影响的实证研究

蒲建周

新疆维吾尔自治区矿山安全服务保障中心 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：煤田火区严重威胁煤炭资源可持续利用、生态环境与生命财产安全。本研究通过对多个煤田火区的实地调研与数据分析，探究火区分布特征（包括空间位置、规模大小、燃烧深度、火源类型等）对治理策略制定的影响。结果表明，不同分布特征的火区需适配差异化的治理策略，如浅表层小规模火区适合采用剥离挖除火源法，而深部大面积火区则需综合运用注浆灭火、阻化剂灭火等技术。研究为煤田火区精准治理提供了实证依据，有助于提升治理效率、降低治理成本，推动煤田火区治理技术的科学发展。

关键词：煤田火区；分布特征；治理策略；实证研究

1 引言

煤田火区作为煤炭行业长期面临的难题，在全球范围内广泛存在。我国作为煤炭生产与消费大国，煤田火区问题尤为突出，如新疆、内蒙古、宁夏等煤炭主产区，均遭受着煤田火区的困扰。煤田火区的持续燃烧，不仅造成大量煤炭资源的浪费，每年因火区燃烧损失的煤炭资源可达数千万吨，还释放出大量有害气体，如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等，严重污染大气环境，对周边居民健康构成威胁；同时，火区燃烧引发的地表塌陷、植被破坏等问题，极大地破坏了生态平衡。因此，科学治理煤田火区迫在眉睫。而治理策略的制定需充分考量火区分布特征，不同的分布特征意味着火区的燃烧机理、火势发展态势等存在差异，只有精准匹配治理策略，才能实现高效灭火，减少火区危害。

2 煤田火区分布特征概述

2.1 空间位置分布

煤田火区在空间位置上呈现出多样化分布。部分火区位于煤田浅表层，靠近地表，这类火区受自然因素（如雨水冲刷、地表径流）和人为活动（如露天开采、工程建设）影响较大，火源易暴露，火势相对容易控制。例如，尼勒克其林托海72团煤矿开采区域周边，因开采过程中遗煤氧化自燃，形成的火区多处于浅表层且位置相对集中。而另一部分火区处于煤田深部，深度可达数十米甚至上百米，由于埋藏深，探测难度大，灭火作业难以触及，治理成本高昂。像一些历史悠久的老煤田，因早期开采技术落后，采空区封闭不严等原因，在深部形成了多处火区，分布较为分散。

2.2 规模大小差异

火区规模大小不一，小型火区面积可能仅为几百平方米，火势相对较弱，燃烧范围局限，对周边环境和资

源的影响相对较小。在一些煤炭露头区域，因局部煤层氧化引发的小型火区较为常见。大型火区面积可达数平方公里甚至更大，火势凶猛，燃烧范围广，会迅速吞噬大量煤炭资源，对生态环境造成大面积破坏。例如，新疆三塘湖煤田火区因地质条件复杂，火区相互连通，形成了大面积的连片火区，治理难度极大。

2.3 燃烧深度不同

燃烧深度是火区的重要特征之一。浅部燃烧火区，一般燃烧深度在数米以内，主要涉及煤层浅部的煤体燃烧，灭火工作相对容易开展，可采用较为直接的灭火手段，如挖掘火源、注水灭火等。深部燃烧火区，燃烧深度超过10米甚至更深，由于深部氧气供应相对不足，燃烧过程较为复杂，且高温会导致煤体物理化学性质发生改变，增加了灭火难度，常需采用特殊的灭火技术，如向深部火区注入惰性气体、凝胶等。

2.4 火源类型多样

火源类型主要包括自然火源和人为火源。自然火源是煤田火区形成的主要原因，煤炭在长期堆积过程中，与空气中的氧气发生氧化反应，产生热量，当热量积聚到一定程度，达到煤炭的燃点，便引发自燃。例如，在一些通风不畅的采空区，遗煤极易自燃形成火区。人为火源则多由煤炭开采、运输、储存过程中的违规操作引起，如井下爆破作业不当、电气设备短路引发火灾，或是在煤场随意丢弃烟头引燃煤炭等。不同火源类型引发的火区，在燃烧特性和发展趋势上有所不同，治理时需区别对待。

3 火区分布特征对煤田治理策略的影响

3.1 基于空间位置的治理策略选择

浅表层火区：对于浅表层火区，由于其靠近地表，可采用直接灭火法。如剥离挖除火源法，将燃烧的煤体挖出并运离现场，阻断火源继续燃烧；或是采用覆土灭

火，用大量的黏土、砂石等覆盖在火区表面，隔绝空气，使火熄灭。在一些小型露天火区，通过人工挖掘结合洒水降温的方式，能快速扑灭火灾。同时，可利用浅表层火区易于监测的特点，建立实时监测系统，安装温度传感器、气体监测仪等设备，及时掌握火区温度、有害气体浓度等参数变化，一旦发现复燃迹象，可迅速采取措施。

深部火区：深部火区因位置深，直接灭火难度大，常采用间接灭火法。注浆灭火是常用手段，通过钻孔向深部火区注入泥浆、粉煤灰等材料，填充火区空隙，隔绝氧气，同时降低火区温度。如在新疆乌苏四棵树深部煤田火区治理中，采用地面钻孔注浆技术，经过长时间持续注浆，有效控制了火势。此外，还可采用注惰性气体灭火，如注入氮气、二氧化碳等，降低火区氧气浓度，抑制燃烧反应。对于深部火区，还需结合三维地震勘探、瞬变电磁法等地球物理探测技术，精确确定火区位置和范围，为治理提供准确依据。

3.2 依据规模大小制定治理策略

小型火区：小型火区规模小，火势相对可控，可采用针对性强的灭火方法。对于面积较小、火势较弱的火区，可使用剥离挖除火源体直接灭火直接灭火。在一些小型煤堆自燃形成的火区，及时发现后，用消防水带就能迅速扑灭。若火区周边有水源，可采用注水灭火法，利用水泵将水注入火区，降低火区温度，使煤炭温度降至燃点以下，实现灭火。同时，小型火区治理成本相对较低，可快速恢复火区周边环境，如对火区进行简单修复，种植植被，防止水土流失。

大型火区：大型火区治理是一项复杂的系统工程，需要综合运用多种技术手段。首先，要进行全面的火区勘察，利用无人机航拍、卫星遥感等技术，获取火区整体影像资料，精确测量火区面积、边界等参数。然后，制定综合灭火方案，如结合注浆灭火、阻化剂灭火和剥离灭火等技术。在库车鑫发煤田火区煤田火区治理中，先通过大面积注浆降低火区温度，再对部分严重燃烧区域进行剥离，清除燃烧煤体，最后对煤层露头喷洒阻化剂，抑制煤炭氧化，覆盖土工布阻止与空气接触，彻底消除火区。此外，大型火区治理周期长，需建立长期的治理规划和资金保障机制，确保治理工作持续推进。

3.3 针对燃烧深度的治理策略调整

浅部燃烧火区：浅部燃烧火区因燃烧深度浅，可采用较为简单直接的灭火技术。除挖掘火源、覆土灭火外，还可采用水封灭火法，在火区周边修筑围堰，注入大量水，形成水封层，隔绝空气，熄灭火灾。在一些浅部煤层露头火区，采用水封灭火结合喷洒阻化剂的方

式，取得了良好的灭火效果。同时，浅部燃烧火区治理后，可对周边区域进行土地复垦，恢复土地的农业或工业用途，提高土地利用率。

深部燃烧火区：深部燃烧火区治理技术要求高，需采用先进的灭火技术和设备。除注浆、注惰性气体灭火外，还可采用凝胶灭火技术。将凝胶材料（如高分子聚合物凝胶）通过钻孔注入火区，凝胶在火区高温作用下迅速膨胀，填充火区空隙，隔绝氧气，且具有良好的保水性，能持续降低火区温度。在新疆某深部煤田火区治理中，凝胶灭火技术与注浆灭火技术联合使用，有效控制了深部火势。此外，深部燃烧火区治理过程中，要密切关注火区周边地质结构变化，防止因灭火作业引发地表塌陷、山体滑坡等地质灾害。

3.4 根据火源类型确定治理策略

自然火源火区：对于自然火源引发的火区，治理重点在于阻断煤炭氧化过程。除上述注浆、注惰性气体等方法外，还可采用阻化剂防火技术。在火区周边未燃烧的煤炭区域喷洒阻化剂，如氯化钙、氯化镁等溶液，降低煤炭表面活性，抑制煤炭氧化反应，从源头上防止火区蔓延。同时，加强对火区周边通风系统的管理，合理调整通风量，避免因通风不畅导致煤炭氧化加剧。例如，在一些采空区自燃火区治理中，通过优化通风系统，降低采空区氧气浓度，有效减缓了煤炭自燃速度。

人为火源火区：人为火源引发的火区，首先要查明火源原因，针对不同原因采取相应措施。若是因电气设备故障引发火灾，在灭火的同时，要及时修复或更换电气设备，加强电气设备的日常维护管理。若是因爆破作业不当引发火区，需优化爆破工艺，严格遵守爆破安全规程。对于人为火源火区，在灭火后要加强安全教育，提高作业人员安全意识，防止类似火灾再次发生。例如，在某煤矿井下因违规使用电气设备引发的火区治理后，煤矿企业组织全体员工进行安全培训，制定严格的电气设备使用管理制度，有效减少了人为火源引发火灾的概率。

4 实证研究案例分析

4.1 案例一：阿尔玛勒火区表层小型火区治理

火区概况：该火区位于新疆某露天煤矿开采区域边缘，面积约500平方米，燃烧深度在2-3米，火源为露天开采过程中遗煤自燃。火区周边地形平坦，交通便利，且有充足的水源。

治理策略实施：采用挖掘火源结合洒水降温的治理策略。首先，组织专业人员和机械设备，对火区进行挖掘，将燃烧的煤体挖出并运至指定地点进行处理。在挖掘过程中，同步使用消防水枪对挖掘区域进行洒水降

温，防止火势蔓延。挖掘完成后，对火区周边区域进行清理，确保无残留火源。然后，在火区原址覆盖一层厚度约0.5米的黏土，进一步隔绝空气，防止复燃。同时，在火区周边安装了温度传感器和气体监测仪，建立实时监测系统，持续监测火区温度和有害气体浓度。

治理效果评估：经过治理，火区在一周内完全熄灭，未出现复燃现象。通过监测数据显示，火区温度恢复至正常水平，有害气体浓度显著降低。治理后，对火区周边环境进行了简单修复，种植了耐旱植被，经过一段时间观察，植被生长良好，生态环境得到初步恢复。此次治理成本相对较低，主要包括挖掘设备租赁费用、人工费用和洒水用水费用等，总治理成本约为10万元。

4.2 案例二：新疆乌苏四棵树深部大型火区治理

火区概况：该火区位于新疆田深部，面积约3平方公里，燃烧深度在15-30米，火源为早期开采采空区遗煤自燃，且火区内部存在多个燃烧中心，相互连通。火区周边地形复杂，多为山区，交通不便。

治理策略实施：采用综合治理策略。首先，利用三维地震勘探和瞬变电磁法对火区进行详细探测，精确确定火区位置、范围和燃烧中心分布。然后，制定了以注浆灭火为主，注惰性气体和凝胶灭火为辅的方案。在火区周边设置多个注浆钻孔，通过钻孔向火区注入由泥浆、粉煤灰和添加剂组成的混合浆液，填充火区空隙，隔绝氧气，降低火区温度。同时，向火区注入氮气，进一步降低火区氧气浓度。对于部分高温区域，采用凝胶灭火技术，注入高分子聚合物凝胶，增强灭火效果。治理过程中，建立了长期的监测系统，包括地面温度监测站、井下气体监测传感器等，实时掌握火区变化情况。此外，为解决交通不便问题，修建了临时运输道路，保障治理材料和设备的运输。

治理效果评估：经过两年多的持续治理，火区火势得到有效控制，大部分区域温度明显下降，有害气体排放大幅减少。监测数据显示，火区中心温度从治理前的800℃以上降至200℃以下，有害气体浓度符合环境排放标准。治理效果显著，但治理成本较高，总投入约为5000万元，包括勘探费用、钻孔施工费用、注浆材料费用、设备租赁费用以及道路修建费用等。不过，从长远来看，有效治理火区避免了大量煤炭资源的浪费，保护了周边生态环境，具有显著的经济和环境效益。

5 结论与展望

5.1 研究结论

本研究通过对煤田火区分布特征的分析以及结合实际案例的研究，明确了火区分布特征对治理策略具有显

著影响。不同空间位置、规模大小、燃烧深度和火源类型的火区，需要适配不同的治理策略，才能实现高效灭火和降低治理成本的目标。浅表层、小型、浅部燃烧以及自燃火源引发的火区，相对治理难度较小，可采用较为直接和简单的治理方法；而深部、大型、深部燃烧以及人为火源引发的火区，治理难度大，需综合运用多种先进的技术手段和科学的治理方案。同时，在治理过程中，建立有效的监测系统和长期的治理规划至关重要，能够及时掌握火区变化，保障治理工作顺利进行。

5.2 研究展望

未来，随着科技的不断进步，煤田火区治理技术有望取得更大突破。一方面，在火区探测技术方面，可进一步研发高精度、高分辨率的地球物理探测设备和方法，如利用人工智能技术对探测数据进行分析处理，更精准地确定火区位置、范围和燃烧特征，为治理提供更可靠的依据。另一方面，在灭火技术创新上，可探索开发新型灭火材料和技术，如研发高效、环保的新型阻化剂，或是利用纳米技术提高灭火材料的性能。此外，还需加强多学科交叉融合，综合运用地质学、化学、物理学、环境科学等多学科知识，构建更加完善的煤田火区治理理论体系。同时，建立全国性的煤田火区数据库，整合各地火区信息和治理经验，为火区治理提供信息共享和技术交流平台，推动我国煤田火区治理工作向更加科学化、智能化、高效化方向发展，更好地保护煤炭资源和生态环境。

参考文献

- [1]席少阳,郭旭东,马晓辉,等.基于最大熵模型和地理探测器的水母雪兔子潜在适生区分布特征及影响因素分析[J].中国中医药信息杂志,2025,32(08):1-6.DOI:10.19879/j.cnki.1005-5304.202408236.
- [2]张雅,刘力,罗华,等.沉湖湿地生态系统CO₂通量贡献区分布特征[J/OL].中国环境科学,1-11[2025-08-26].<https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20250729.001>.
- [3]杨东.四川盆地合川区块沙溪庙组天然气成藏特征及有利区分布[J/OL].大庆石油地质与开发,1-10[2025-08-26].<https://doi.org/10.19597/J.ISSN.1000-3754.202410008>.
- [4]唐扬,张锦瑞,汪洋,等.基于InSAR变形速率和热点区分布特征的燕山移民集镇斜坡稳定性分析[J].安全与环境工程,2025,32(03):210-215+229.DOI:10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.20240035.
- [5]曾强,王德明,蔡忠勇.煤田火区裂隙场及其透气率分布特征[J].煤炭学报,2010,35(10):1670-1673.DOI:10.13225/j.cnki.jccs.2010.10.028.