厚煤层综放开采沿空留巷技术应用与研究

李航
贵州盘江精煤股份有限公司金佳矿　贵州省六盘水市盘州市　553537

【摘　要】针对厚煤层综放开采条件下沿空留巷围岩控制难题，以西南地区某煤矿某工作面（平均煤厚6.44m，倾斜宽210m，走向长1318.4m）为工程背景，采用理论分析与现场实测相结合的方法，设计了巷内充填留巷方案。通过建立围岩结构模型，计算得到不同充填体宽度下的支护阻力，确定2m宽充填体强度需达8～10 MPa，选用1.2～1.5:1水灰比的高水速凝充填材料。现场监测表明：留巷后顶板总位移量300～400 mm，其中2～3 m层位离层占总量的40%；充填体在工作面采动影响下应力稳定在4～5MPa，两刚性柱最大移近量55mm；顶板变形呈现“无明显变形—剧烈变形—稳定变形”三阶段特征，但锚固结构未出现失稳。研究表明，高水充填材料（初凝20min，24h强度8～10MPa）配合巷内充填方式，能够有效适应沿空留巷的大变形要求，保证巷道稳定，为厚煤层综放开采沿空留巷提供了可靠的技术支撑。

【关键词】厚煤层；沿空留巷；充填体

Application and research of goaf retention technology in thick coal seam fully mechanized mining

Li Hang
Guizhou Panjiang Fine Coal Co., Ltd. Jinjia Mine, Panzhou City, Liupanshui City, Guizhou Province　553537

【Abstract】In response to the difficulty of controlling the surrounding rock of goaf retaining under the conditions of thick coal seam fully mechanized mining, a filling retaining scheme for the roadway was designed using a combination of theoretical analysis and on-site measurement, with a working face (average coal thickness of 6.44m, inclined width of 210m, and strike length of 1318.4m) in a coal mine in the southwest region as the engineering background. By establishing a surrounding rock structure model and calculating the support resistance under different filling body widths, it is determined that the strength of a 2m wide filling body needs to reach 8-10 MPa. High water cement ratio filling materials with a water cement ratio of 1.2-1.5:1 are selected. On site monitoring shows that the total displacement of the roof after leaving the roadway is 300-400 mm, of which the 2-3m layer separation accounts for 40% of the total; Under the influence of mining on the working face, the stress of the filling body remains stable at 4-5MPa, and the maximum displacement of the two rigid columns is 55mm. The deformation of the roof presents a three-stage characteristic of "no obvious deformation - severe deformation - stable deformation", but the anchoring structure has not experienced instability. Research has shown that high water filling materials (initial setting 20 minutes, 24-hour strength 8-10 MPa) combined with roadway filling methods can effectively adapt to the large deformation requirements of goaf retention, ensure roadway stability, and provide reliable technical support for goaf retention in thick coal seam fully mechanized mining.

【Key words】thick coal seam；Leaving alleys along the empty space；Backfill

1.引言

沿空留巷是煤矿无煤柱开采的重要技术途径，能够大幅提高煤炭资源回收率、缓解采掘接续紧张，在厚煤层综放开采中具有广阔的应用前景。然而，厚煤层综放开采一次采出厚度大，上覆岩层运动剧烈，沿空留巷巷道需经受本工作面回采引起的超前动压以及相邻工作面二次采动的叠加影响，围岩变形量大、应力环境复杂，巷旁充填体不仅要承受顶板垮落产生的冲击荷载，还需适应长期缓慢流变变形，对充填材料的力学性能和施工工艺提出了极高要求。

某工作面主采 3#煤，平均厚度 6.44m，采用综放采煤方法，布置某 1、某 2、某 3 三条巷道，采用两进一回通风方式。其中某 3 巷沿顶板掘进，断面 5×3.2m，拟将其保留作为下一工作面服务。该矿直接顶为 2.45m 泥岩，基本顶为 10.10m 砂质泥岩，直接底为 11.45m 砂质泥岩，地质条件较为稳定，但采高大、动压明显，沿空留巷成功的关键在于合理选择留巷方式、确定充填体支护阻力及优选充填材料。目前常见的留巷方式有巷旁充填与巷内充填两种，前者保留原断面但充填体暴露于采空区，后者利用原巷内支护保护充填体，虽需后期扩帮但施工安全性高。本文结合该矿实际，选取巷内充填方式，并基于围岩结构简化模型，考虑基本顶周期来压、直接顶冒落高度及煤体极限平衡区宽度等因素，理论计算所需充填体支护阻力，进而确定充填体宽度和强度指标。在材料选择上，采用联邦高水速凝充填材料，其具有速凝早强、可远距离输送、固化体具一定压缩率等优势，能够适应沿空留巷大变形特征。文中通过现场布设多点位移计和压力传感器，系统监测顶板离层、充填体受力及变形随工作面推进的变化规律，旨在验证该技术体系的可行性，为厚煤层综放开采条件下沿空留巷的设计与施工提供工程参考。

2.工程概况

开采煤层 3#煤位于西南地区组下部，煤层厚度平均 6.44m，硬度为 2~4，为全区稳定的主要可采煤层，也是矿井目前的开采煤层。煤层直接顶为泥岩，厚度 2.45m，岩性黑色，水产层理发育，植物化石丰富；基本顶为砂质泥岩，厚度 10.10m，岩性呈黑色，化石丰富，局部含少量砂质，水平层理发育；直接底为砂质泥岩，厚度 11.45m，岩性呈黑色，中厚层状，水平层理发育，局部砂质含量较高，夹薄层细砂岩。

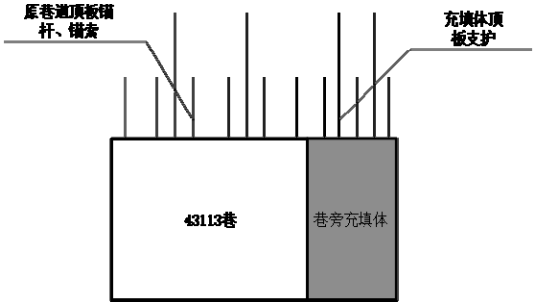
某工作面采用综放采煤方法，工作面倾斜宽 210m，走向长 1318.4，可采储量 2453278.06t，回采期限 9 个月。工作面布置 3 条巷道，某 1 巷、某 2 巷和某 3 巷，采用两进一回通风方式，即某 1 和某 3 巷为进风巷，某 2 巷为回风巷。某 3 巷沿煤层顶板掘进，巷道断面为 5×3.2m，采用锚网索支护。

3.沿空留巷巷旁支护设计

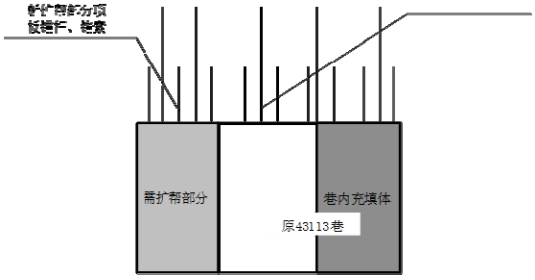
3.1.留巷方式的选取

就筑墙位置而言沿空留巷有巷内充填和巷旁充填两种方式，巷旁充填是指充填体布置在巷道采空区侧，该方式保留了原巷道断面，留巷后不需要对巷道进行扩帮维修。另一种方式为巷内充填，即将充填体布置在巷道内，这种方式不但使充填体受原巷内支护保护，巷道顶板更稳定，且施工操作方便，但是需要对留巷后的巷道进行扩帮，如图 1 所示。

巷内充填虽可以使充填体受原巷内支护保护，巷道顶板更稳定，且施工操作方便，因此采用巷内充填留巷方式。



（a）巷旁充填墙体布置



（b）巷内充填墙体布置

图 1　留巷方式

3.2.充填体支护阻力计算

沿空留巷充填体支护阻力要考虑切顶高度，岩层垮落状态，岩层结构，煤柱支撑力，巷内锚杆锚索支护阻力，计算较为繁杂，可以进行简化。如果不考虑煤帮的支撑作用及垮落岩层破断角 α 的影响，可以得到简化的计算沿空留巷巷旁支护阻力的围岩结构模型如图 2 所示。

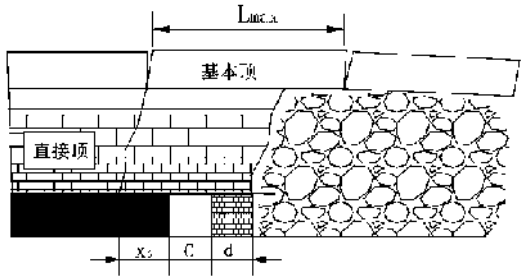


图 2　沿空留巷围岩结构模型

3.3.充填材料

采用联邦高水速凝充填材料，该材料由 A、B 两种材料组成，按 1:1 配合使用，A 和 B 两种组份分别加水搅拌后，在混合前 24h 内不凝固，但两种浆体混合后 20min 内即可初凝，随着水灰比的变化，充填体强度可调范围较大，但在高水灰比条件下依然不发生大量秘水，结石率仍然在 98%以上。

高水充填留巷的主要技术优势如下：①高水充填材料用量少、成本低，辅助运输工作量小；②远距离输送，输送距离>2000m；③快速凝固、增阻速度快，能快速支撑顶板；④固化体有一定压缩率，适应沿空留巷大变形；⑤充填系统费用较低，充填工艺简单。

根据上文充填体强度估算情况，建议采用 1.2~1.5:1 的水灰比，充填浆料 A 料和 B 料通过液压柱塞泵，分别通过管路远距离输送至充填区域，在待充区域附近通过三通混合器混合，两种浆料通过混合管注入充填袋后，20min 即可固化，2h 强度可以达到 3~4MPa，8h 可以达到 4~5MPa，24h 可以达到 8~10MPa，7d 基本即可达到最终强度，约 13~15MPa，能够满足充填留巷需要。

4.工程应用

4.1.施工工艺

(1)在工作面后方待充填区域，进行清理浮煤(矸)，吊挂充填袋等工作，将适宜的充填袋放入钢筋网内，联接好钢筋网，穿上对拉钢筋，打牢单体液压支柱，背实钢筋网，准备充填；

(2)检查充填泵工作状况，管路通畅情况，一切正常后，开动充填泵，搅拌输送，进料要等量均匀连续，严格控制好料浆配比。充填点人员观察出料口流出均匀甲、乙混合料浆后，将混合管插入充填袋内进行正式充填。

(3)充填过程中，应巡回检查充填袋周边情况，发现问题及时处理。需要指出的是，当充填体快要接顶时，应密切观察情况，尽可能地使充填袋接顶密实，不留缝隙。一旦接顶成功，应立即将注浆管从充填袋内拿出(并立即给信号停止注浆)，并用绳将充填口捆扎结实，防止浆液外溢；

(4)充填结束后，用水清洗充填管路及充填泵，清洗污水

进入采空区，避免污染工作面和巷道。4.2.应用效果分析

为了对厚煤层综放开采沿空留巷技术在该矿的应用效果进行综合评价，在试验巷道布置了 5 个测点，测点间隔 10 米。观测内容主要包括：顶板离层情况、充填体受力和变形。在实测数据的基础上，采用经典矿压理论进行分析，从而对巷旁支护的应用效果进行科学评价。(1)顶板离层分析

由顶板多基点位移监测结果(图 3 所示)，顶板围岩总的位移量基本在 300~400mm，其中，2~3m 层位岩层的位移量最大，占总位移量的 40%左右；3~5m 层位岩层的位移量占总位移量的将近 29%；0~2m 和 5~6m 层位岩层的位移量相对较小，总共占位移量的 30%左右。从变化趋势上来看，自上工作面采动影响结束到二次采动影响之前，巷道变形不明显，随着工作面距测点越来越近，巷道受下工作面动压影响越来越强烈，其变化趋势可以大致分为以下三个阶段：无明显变形阶段、剧烈变形阶段、稳定变形阶段。可知留巷后，在基本顶活动影响下，顶板出现急剧下沉。但由于直接顶锚固体被悬吊在稳定岩层上，顶板剧烈下沉过程中并没有出现失稳。

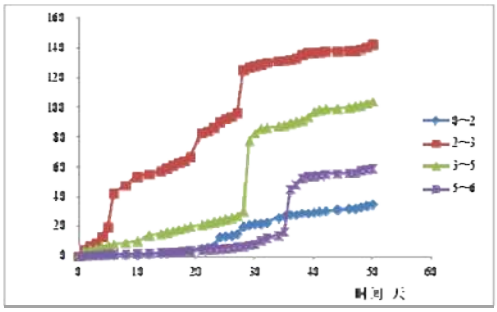


图 3　第3 测站顶板多基点位移监测曲线

(2)充填体受力及变形分析

图 4 是第二次采动影响期间充填体受力变化曲线，在距工作面 80m 以前，充填体应力为 5MPa 距工作面 75m 时，受到工作面采动影响，应力开始减小，20m 范围内应力基本稳定在 4MPa。图 5 是工作面推进过程中两刚性柱之间位移变化曲线，81m 处两刚性柱位移开始变化，变形速度不大，在距工作面 40m 范围内，刚性柱位移变化速度几乎为 0，两刚性柱之间最大移近量为 55mm。留巷后，在老顶来压影响下巷旁充填体会出现剧烈变形，但由于充填体有一定可收缩性，而并没有被破坏。

综上所述，该技术条件下的沿空留巷巷道维护效果良好，能较好地满足煤矿安全生产要求。

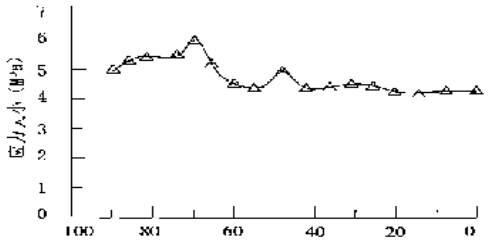


图 4　第 3 测站巷旁充填体受力变化曲线

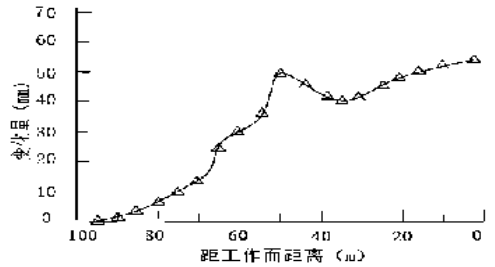


图 4　第 3 测站巷旁充填体变形变化曲线

5.结论

本文针对厚煤层综放开采沿空留巷技术难题，通过理论计算与现场试验，形成了以巷内充填、高水速凝材料充填体为核心的留巷技术体系。主要结论如下：基于围岩结构模型计算，确定 2m 宽充填体所需强度为 8 ~ 10MPa，采用 1.2 ~ 1.5:1 水灰比的高水材料，其 24h 强度可达 8 ~ 10MPa，7d 最终强度 13 ~ 15MPa，满足支护阻力要求。现场监测表明，留巷后顶板总位移 300 ~ 400mm，其中 2 ~ 3m 层位离层占比最大（约 40%），但锚固系统未失效；充填体在二次采动影响下应力稳定在 4 ~ 5MPa，变形量仅 55mm，说明充填体具有良好的让压与承载协同性能。顶板变形阶段性特征（无明显变形→剧烈变形→稳定变形）揭示了沿空留巷围岩活动规律，为支护时机和参数调整提供了依据。本研究成功实现了厚煤层综放工作面无煤柱开采，资源回收率显著提高，巷道维护效果良好，可为类似条件下沿空留巷的设计与施工提供借鉴。今后可进一步优化充填体宽度与材料配比，探索智能化充填监测系统，以提升沿空留巷的适应性和经济性。

参考文献

[1]郭裕辉.采空区下极近距离煤层综放开采沿空留巷关键技术研究及应用[J].能源与节能,2026,(3):269-271+275.
[2]陈广喜,钟玉民,杨桂彬.研究缓倾斜厚煤层坚硬顶板开采条件下沿空留巷技术的应用[J].新疆钢铁,2025,(4):170-171.
[3]弓超.厚煤层综放工作面沿空留巷围岩控制技术的应用[J].能源与节能,2025,(1):284-286+291.
[4]曹立坤.特厚煤层综放开采沿空掘巷合理煤柱宽度研究[J].当代化工研究,2024,(20):137-139.
[5]夏刘云.高地应力厚煤层综放面切顶留巷关键技术应用研究[J].山东煤炭科技,2024,42(7):6-11.
[6]王凯,杨宝贵,王鹏宇,等.软弱厚煤层沿空留巷变形破坏特征及控制研究[J].岩土力学,2022,43(7):1913-1924+1960.
[7]崔浩东.综放开采沿空留巷围岩控制技术研究[J].山东煤炭科技,2021,39(2):52-54.
[8]籍志强.高瓦斯厚煤层综放开采沿空留巷技术[J].煤,2018,27(1):35-37.