

矿压显现在实际生产中的应用与研究

石刚刚 (晋能控股煤业集团白洞矿, 山西 大同 037000)

摘要: 大同矿区石炭系 3~5# 煤层在白洞煤矿为独立两层煤, 井田范围内 3# 煤层的厚度约为 4m, 5# 煤层的厚度约为 11m。白洞煤业公司 3# 煤层 301 盘区早已开采完毕 (2002~2004 年), 现在主要开采 5# 煤层。3# 煤层与 5# 煤层的层间距为 3~6m, 为极近距离煤层。3~5# 煤层本身属于石炭系, 受火成岩侵入、烘烤等因素的影响, 煤体比较破碎, 节理发育, 煤岩体承载能力差。加之上部 3# 煤层回采对 5# 煤层顶板的影响, 5# 煤层围岩整体承载能力较低, 支护难度较高。上部 3# 煤层工作面中部位置存在一个走向与下部 5# 煤层工作面顺槽走向垂直, 宽度 200m 左右的大型煤柱。因此, 5# 煤层工作面回采需要先后进出上部煤层大巷保护煤柱、200m 宽煤柱。为减小工作面有害变形和避免失稳压架灾害, 现对白洞煤矿采空区下近距离煤层开采工作面应用与研究。

关键词: 近距离煤层; 上覆煤层; 采空区; 煤柱应力; 水力致裂

上覆 3# 煤层已经开采完毕, 且工作面长度要比目前的 5# 煤层工作面短, 这就使 5# 煤层工作面回采时会出现实体煤下、出实体煤进采空区以及采空区下三种工况。特别是第二种工况, 其上覆实体煤到原工作面切眼之间的距离越来越小, 本质上是下部工作面回采形成的动态次生煤柱结构。越靠近上覆煤层开切眼, 下部工作面压力显现越明显。

3# 煤层 8107 工作面采出后, 左侧遗留煤柱产生应力集中并向下部煤层传递, 导致煤层间岩层内部裂隙的增多, 从而加剧了下煤层顶板的破碎度; 当下部工作面推进至煤柱集中应力影响区时, 就会有煤壁片帮严重、端面冒顶等现象的发生。

长壁工作面回采工艺决定了采场覆岩周期垮落过程, 根据关键层理论, 煤层上覆岩层中的关键层是决定工作面压力显现的关键因素。关键层既是有效的承载结构, 可以降低下部岩层压力, 同时又是矿山有害灾害的来源。关键层破断前会在其悬臂 (板) 夹持端形成应力升高区, 如工作面超前压力区。工作面煤体往往在高压之下自然压酥破碎, 而关键层的突然破断往往造成突然来压, 甚至是冲击地压灾害。关键层砌体承载结构的形成、回转以及失稳行为是造成采场变形、片帮、冒顶以及压架等灾害的根源。

极近距离煤层工作面实体煤下、出实体煤进采空区以及采空区下三种工况交替出现, 特别是在第二种情况下, 其上覆实体煤到原工作面切眼之间的距离越来越小, 本质上是下部工作面回采形成的动态次生煤柱结构。越靠近上覆煤层开切眼, 下部工作面压力显现越明显。若上覆关键层正常回转、触研, 则工作面在临近上部煤层开切眼位置时仅仅承受动态次生煤柱结构传导的集中应力, 而当上覆关键层没有发生正常回转、触研, 而是发生了滑移切落失稳, 那么工作面在承受动态次生煤柱结构传导的集中应力的基础上还要承受冲击载荷的作用, 这会导致工作面突然来压, 诱发压架事故。

煤柱边界上方关键层破断块体 (即关键块) 的运动与工作面出煤柱时的压架密切相关。受下煤层切眼距上

覆煤柱边界的距离 (含切眼宽度) 的影响, 工作面出煤柱时, 煤柱上方关键层的破断运动将存在两种情况:

①切眼距离煤柱边界较近而未达到该关键层的初次破断距, 出煤柱前关键层将无法发生初次破断, 而在出煤柱时以悬臂型式破断;

②切眼距离煤柱边界较远而超出了该关键层的初次破断距, 出煤柱前关键层即已发生初次破断, 而在出煤柱时以周期破断型式运动。

对于第②种情况, 由于关键层已进入周期破断状态, 出煤柱时依然可形成关键块体的三铰式铰接结构, 这将与工作面出两侧采空煤柱的开采情形类似, 而在此过程中出现的工作面的压架机理也将与其相同。

当上层遗留煤柱较完整, 下煤层工作面位于煤柱下方时, 受煤柱应力集中及采动影响, 下煤层工作面顶板沿煤柱边缘直接切落, 载荷集中造成支架压死。单一关键层破断结构上的载荷过大而发生滑落失稳, 最终导致工作面压架冒顶事故的发生。由于煤柱上覆关键层三铰式结构的失稳, 将造成上覆直至地表的岩层载荷均传递至煤层间岩层和工作面支架上, 因此, 单依靠提高支架工作阻力难以有效防治此类压架冒顶灾害的发生。所以, 对此类压架冒顶的防治应从上方关键块体结构运动失稳机制的角度进行。

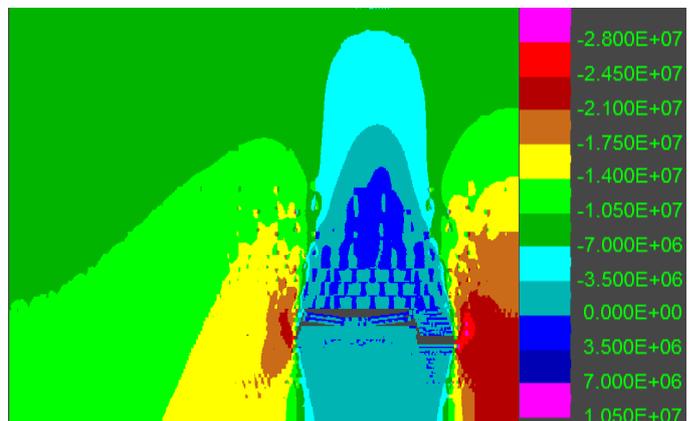


图 1 3# 煤层开挖后垂直应力分布云图

3#煤层开采结束后,工作面垂直应力分布云图如图1所示。

在3#煤层顶板位置布置一条监测线,利用fish函数,提取应力的具体数值,得到3#煤层工作面开采后,顶板位置的垂直应力与距工作面距离之间的变化曲线,如下图所示。

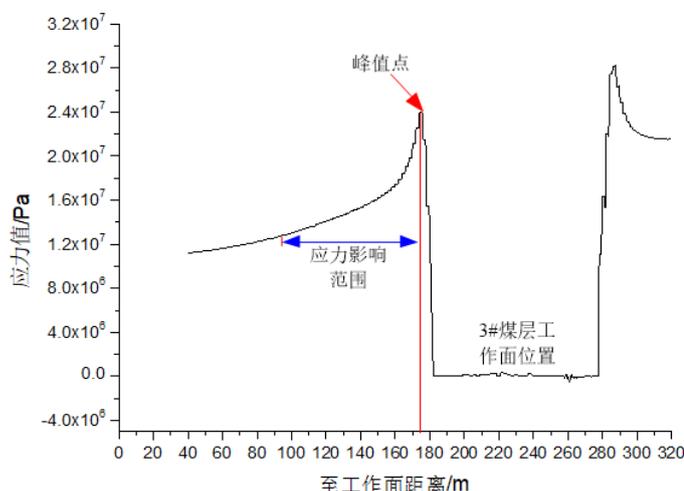


图2 3#煤层开挖后垂直应力变化曲线

从上两图可以看出,3#煤层开采完毕后,左侧遗留煤柱产生应力集中并向下部煤层中传递,在下部5#煤层中产生的应力影响范围约80m左右,最大集中应力位于煤柱内6m左右,最大值达到23.9MPa,应力集中系数约为2.2(原岩应力约为10.8MPa)。同时可以看出,3#煤层开挖后,采空区下方5#煤层的应力得到很大程度的释放,应力值下降到2.5MPa以下,5#煤层工作面开采至采空区下方时,工作面支架承受压力较小,一般不会发生压架事故。

5#8107工作面端头距上方遗留煤柱边缘80m时,工作面端头开始进入上方煤柱集中应力影响范围,受本工作面开采超前支承压力和上方煤柱集中应力叠加影响,煤壁前方最大垂直应力约19MPa,应力集中系数约1.8;距煤柱边缘60m时,工作面端头垂直应力继续增大,垂直应力增大23MPa,应力集中系数2.1;距离煤柱边缘40m时,工作面端头受上方遗留煤柱应力影响进一步加大,煤壁前方最大垂直应力约为31MPa,应力集中系数2.9;当开采至距离煤柱边缘20m时,煤壁前方最大垂直应力约为31MPa,应力集中系数2.9;当开采至距离煤柱边缘10m时,煤壁前方最大垂直应力较之前减小,约为26MPa,应力集中系数2.4,说明此时工作面之间的煤柱已被压坏,应力得到一定的释放,在工作面推进期间有发生压架的可能;当开采至距离煤柱边缘5m时,煤壁前方最大垂直应力进一步减小,约为18MPa,说明此时工作面之间的煤柱进一步被压坏,应力得到进一步的释放,在工作面推进期间有发生压架的可能。

工作面围岩以及液压支架等支护结构面临不同采场

覆岩空间结构会出现不同的力学响应,区域应力场的演化与岩层空间结构相互作用决定了回采工作面的稳定性。通过改变回采工艺参数(如推采速度、工作面采高、支架工作阻力、工作面与上覆煤层切眼的夹角、水压致裂上覆煤层等)、改变近距离开采承载岩层空间结构优化和改善采煤技术,避免工作面压架、漏顶事故。

现回采工作面过上覆煤柱应力集中区根据理论分析,3#煤层工作面超前支承压力峰值的应力集中系数为2.5-3,一般位于煤壁前方4-8m,支承压力影响范围为40-50m。5#煤层8107工作面由上覆3#煤实体煤向3#煤层采空区推进,3#煤层集中载荷力学模型由单侧采空向两侧采空过渡,根据压力分布监测得知5#煤层8107工作面围岩承受的上覆煤柱应力集中系数缓慢由1-1.5-2.5-3-2.4,说明工作面之间的煤柱已被压坏,应力得到一定释放,由此导致工作面的严重片帮和压架可能。

具体施工安全技术措施:

- ①加快推进速度,调整垮落步距,快速进入采空区;
- ②利用水压致裂工程浸润上覆煤层,弱化载荷传导能力,降低应力集中水平,减低来压强度;
- ③工作面调斜,移架采用带压擦顶移架;
- ④实体煤压力区不放顶煤;
- ⑤进入采空区前20m检修一遍所有机械设备;
- ⑥进入采空区前20m检修一遍所有电气设备;
- ⑦采高由3.2m调整到3.4m,给支架活柱压缩留充足行程。

调整周期来压步距:推进速度由原来1.6m/d提高到3.5m/d,加快速度快速进入采空区;垮落步距调整到采空区前10-20m,通过加快推进速度将垮落步距调整在610m-620m之间。根据2017年9、10、11月份不放顶煤的来压情况,来压采位分别是62m、91m、123m、152m、192m、230m,分析得出平均周期来压步距为30m,本次来压采位557m,预计下次来压采位587m,再下次来压采位617m,符合预期要求。

表1 钻孔参数

钻孔名称	钻头直径/mm	钻孔深度/m	仰角/°	与顺槽走向夹角/°	开槽位置(距离孔口)/m
1#	42	40	50	60(向采空区方向)	38m、30m
2#	42	40	50	60(向采空区方向)	38m、30m
3#	42	33	30	60(向大巷方向)	32m、27m
4#	42	33	30	60(向大巷方向)	32m、27m

水力压裂:在3#煤层工作面切眼下方的8107工作面两顺槽中布置4个钻孔具体参数如表所示,其中1#及2#钻孔用于切断3#煤层上方砾岩老顶,3#及4#钻孔用于弱化3#煤层。1#及2#钻孔内,在距离孔口38m

及 30m 位置开槽预制裂隙, 3# 及 4# 钻孔内, 在距离孔口 32m 及位置 27m 位置开槽预制裂隙。

调斜工作面: 由于上覆工作面与现工作面平行布置, 下层煤工作面进入上覆集中煤柱时, 将工作面调斜, 根据工作面与上覆煤柱走向的夹角, 可通过加刀将工作面机头最大程度超前机尾, 尽量减少工作面上覆岩层同时来压的范围以及工作面同时进入上覆集中煤柱的范围, 最大程度地避免动载矿压压死支架的事故。本次 8107 工作面调斜角度为 2.5° , 即机头须超进机尾 5m。

过应力区不放顶煤: 在进入煤柱应力集中区时开始不放顶煤, 加快推进速度使周期来压步距调整到 30m。过采空区 10 后再开始放顶煤。

进入采空区前 20m 检修一遍所有机械设备, 包括采煤机机械及管路、支架立柱、推移千斤、拉后溜千斤等、刮板输送机刮板禁固情况、链条磨损情况、溜槽连结情况、机头机尾完好情况、转载机、破碎机、自移尾装置等。立柱和各类千斤顶有窜漏液时及时更换, 操作阀、液管、密封有损坏时及时更换, 每个支架初撑力必须达标, 保证过应力区畅通。

进入采空区前 20m 检修一遍所有机电设备, 包括两部刮板输送机减速机电机及连结对轮情况、采煤机各电机、液压系统、电气系统、转载机破碎机电机完好情况、电气列车设备情况, 保证所有电气设备完好, 不发生电气事故。

调整采高: 进入煤柱应力区时采高由 3.2m 调整到 3.4m, 给支架活柱压缩留充足行程, 进入采空区 10m 后将采高恢复到 3.2m。

工作面调斜是指将工作面倾斜方向与联络巷走向、断层走向、向斜轴向、相变走向之间成一定的夹角, 该夹角 α 为调斜角。工作面与上覆煤层切眼斜交形成的三角区空间自稳结构稳定性大于二者平行的平面结构稳定性。工作面调斜可减少同时通过危险区的支架数量, 人为造成分段来压, 改变支架受力方式, 能有效降低工作面异常来压危险。

一般为避免工作面调斜带来的繁琐工序, 设计阶段就要避免下层煤工作面与上覆煤层煤柱平行。对于二者平行布置的工作面, 下层煤工作面进入上覆集中煤柱时, 将工作面调斜, 根据工作面与上覆煤柱走向的夹角, 可通过加刀或甩刀将工作面机头最大程度超前或滞后机尾, 尽量减少工作面上覆岩层同时来压的范围以及工作面同时进入上覆集中煤柱的范围, 最大程度地避免动载矿压压死支架的事故。

其他措施:

①上覆煤层孤岛关键区域毗邻采空区注浆技术。a 注浆材料: 采空区注浆充填材料要求压缩系数小, 本方案本着“就地取材、经济便宜”的原则, 最终决定采空区充填料浆采用水泥与粉煤灰混合料浆, 其中电厂粉煤灰作为浆液的主要材料, 充填水泥为 32.5 普通硅酸盐水泥。水泥与粉煤灰的比例为 4:6, 水固比的使用应由稀

到浓为 1.2:1, 1:1, 0.8:1。为防止浆液扩散过远, 节省材料消耗, 向浆液中添加骨料, 水泥粉煤灰浆比重不应低于 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 。封孔料浆采用水灰比为 1:2 的纯水泥浆; b 注浆位置即顺序: 注浆孔设置 4 个, 对称布置在 2107 即 5107 顺槽实体煤帮侧, 倾角 45° 。5107 顺槽布置 1# 及 3# 注浆孔, 2107 顺槽布置 2# 及 4# 注浆孔。1# 及 2# 钻孔开口位置对应 3# 煤层实体煤边缘向采空区 4m 处, 3# 及 4# 钻孔开口位置对应 3# 煤层实体煤边缘处。为防止跑浆, 采取间隔时间注浆法, 即先注 1# 及 2# 孔, 后注 3# 及 4# 孔。在初期注浆施工中, 采取定量(控制每次注入量)、定时(每次注浆后要间歇一段时间)注浆, 并加大速凝剂的用量, 提高注浆效果, 防止浆液外跑, 节约注浆材料。待初始浆液凝固后, 加大注入量, 少加或不加速凝剂, 并采取短时间间歇注浆方法; c 注浆压力: 注浆压力是提供浆液在空隙中流动、渗透等作用的动力, 注浆压力越大, 浆液扩散半径越大, 结石体强度越高, 但压力太大浆液扩散太远, 易造成浆液的浪费, 一般根据注浆层位的静水压力来计算注浆压力, 本次 1# 及 2# 注浆孔初始注浆压力为 1MPa, 终止注浆压力为 2MPa。3# 及 4# 钻孔初始注浆压力为 2MPa, 终止注浆压力为 2.5MPa;

②关键位置不放顶煤推采。支架载荷与采高正相关, 即采高越大, 支架需控岩层厚度越大, 因此, 不放顶煤有利于降低支架载荷, 从而降低异常来压发生的可能性。另外, 不放顶煤可以增加承载结构的承载能力, 有效分担支架压力。本次 8107 工作面回采至上覆 3# 煤层实体煤边缘超前 30m 即停止放顶煤;

③加快推进速度。工作面过联络巷期间易发生压架事故。因此, 应适当加快推进速度, 将顶板载荷“甩到”支架后方。工作面过上覆集中煤柱前, 要对整个工作面设备进行一次彻底大检修, 同时要对液压支架及乳化液泵站的液压系统管路、连接销子及安全阀进行彻底检修, 保证工作面设备在过上覆集中煤柱期间处于正常状态, 快速通过危险区域;

④确保支架合理初撑力和工作姿态。根据以往对多起过煤柱工作面压架事故的调研分析, 工作面发生大面积来压或压架事故的主要原因之一是初撑力偏低。另外, 液压支架姿态是影响支架支撑能力的重要因素之一。姿态不良, 将降低支架的支撑能力, 甚至损坏支架结构。因此, 确保支架合理初撑力和工作姿态是避免压架的有效措施;

⑤周期来压调整。在距离进出集中煤柱前后 25 范围内提前对工作面进行调压, 通过控制推进速度, 提前调整周期来压位置, 使工作面在进出集中煤柱期间避开周期来压;

⑥加强工作面设备检修, 在工作面进出煤柱前提前对工作面设备进行全面排查, 准备支架易损件, 生产班每班安排 1 名支架检修工, 保证一旦支架出现故障, 能够及时处理, 严禁在煤柱边缘停留过长时间。