

综采工作面上下隅角悬顶治理技术研究与应用

王绪强 闫蹬杭 陈 博

黄陵矿业有限公司一号煤矿生产技术部 陕西 延安 727307

摘 要: 采煤工作面上下隅角大面积悬顶容易造成工作面两端头应力集中, 矿压显现剧烈; 同时在悬顶空间内易引起瓦斯积聚, 在大面积悬顶冒落过程中会引起高浓度瓦斯涌出和瓦斯超限, 严重威胁工作面作业人员安全。本文以黄陵一号煤矿 807 综采工作面为研究对象, 分析上下隅角大面积悬顶形成机理, 并在理论分析的基础上提出了“退锚+密集强制放顶孔+预裂切缝爆破”的综合治理方案。现场应用结果表明, 该方案能够实现采煤工作面上下隅角顶板及时垮落, 消除了大面积悬顶的安全隐患, 对矿井实现安全高效开采具有重要意义。

关键词: 上下隅角; 大面积悬顶; 密集强制放顶孔; 深孔预裂爆破

1 引言

黄陵一号煤矿原设计生产能力 420 万 t/年, 2010 年核定矿井生产能力为 600 万 t/年。2 号煤层为矿井唯一可采煤层, 煤层倾角 $1 \sim 5^\circ$, 厚度 0.9m ~ 4.62m, 煤层结构简单。井田开拓方式为平硐开拓, 主要大巷沿煤层布置, 采用综合机械化长壁后退式采煤法, 全部垮落法管理采空区顶板, 相邻工作面之间留 30m 保护煤柱。矿井为高瓦斯矿井, 采用中央并列与中央分列混合抽出式通风, 水文地质类型为复杂型。采煤工作面上、下隅角区域受多种支撑压力的耦合作用, 煤岩体受力情况较为复杂, 许多井工煤矿都面临上下隅角大面积悬顶的安全隐患。上下隅角大面积悬顶容易造成工作面两端头应力集中, 矿压显现剧烈; 同时在悬顶空间内易引起瓦斯积聚, 在大面积悬顶冒落过程中会引起高浓度瓦斯涌出和瓦斯超限, 严重威胁工作面作业人员安全。黄陵一号煤矿在 807 工作面回采过程中, 通过不断实践探索和优化改进, 探索总结出了一套适合矿井生产条件的上下隅角悬顶综合治理技术, 取得了显著的应用效果。

2 工程概况

2.1 工作面概况

一号煤矿 807 综采工作面走向长 2156m, 工作面宽

度 235m。工作面回采 2 号煤层, 煤层厚度 1.8 ~ 4.2m, 平均厚度 2.75m, 煤层倾角 $1 \sim 5^\circ$, 煤层结构简单, 属于稳定煤层; 煤层底板标高 +823~+857m, 地面标高 +1058~+1320m, 地表为低山林区, 沟壑纵横; 工作面范围内地质构造简单, 无断层、陷落柱、火成岩等因素存在。2# 煤老顶为粉砂岩, 细粒砂岩, 平均厚度 3.5 ~ 10m, 平均厚度 6.3m; 直接顶为砂质泥岩、泥岩, 平均厚度 8.8 ~ 16.3m, 平均厚度 11.3m。煤层及顶底板特性详见表 1。

2.2 采煤工艺及支护方式

807 综采工作面采用综合机械化长壁后退式采煤法, 全部垮落法处理采空区顶板。采煤机双向自动化记忆割煤, 采用端部自动斜切进刀方式, 一次采全高, 不留顶底煤, 循环进度 0.8m; 刮板输送机、转载机、可伸缩胶带输送机联合运煤, 液压支架支护顶板, 具体工艺流程为: 割煤——装煤——移架支护——推移刮板输送机。807 工作面布置有 807 进风顺槽、807 回风顺槽两个安全出口, 两顺槽顶板采用锚杆+锚索梁+塑钢网联合支护, 帮部采用锚杆+塑钢网联合支护。807 工作面及两端头采用 ZY6400/17/35 型掩护式液压支架支护顶板; 在端头支架与顺槽副帮之间的区域采用切顶单体维护顶板, 单体支柱要求打三排, 两排切顶

附表 1 807 工作面煤层及顶底板情况表

顶底板	岩石名称	厚度 (m)	岩性特征
老顶	粉砂岩、细粒砂岩	3.5 ~ 10 6.3	粉砂岩: 黑灰色, 中厚层状, 夹多层灰黑色泥岩。含植物化石碎片, 具水平层理, 底部有透镜状、波状层理。细粒砂岩: 深灰色, 细密, 以石英为主, 较硬, 具透镜状, 波状层理。
直接顶	砂质泥岩、泥岩	8.8 ~ 16.3 11.3	泥岩: 灰黑色, 含黄铁矿。砂质泥岩: 灰黑色, 夹薄层状粉砂岩, 透镜状层理, 含植物化石碎片, 薄层状。
煤层	2 号煤	1.8 ~ 4.2 2.75	黑色亮煤, 块状, 垂节理发育, 底部有少量劣质煤。
底板	泥岩、粉砂岩	0.85 ~ 2.52 1.6	泥岩: 黑色, 见水易膨胀, 块状。粉砂岩: 黑灰色, 下部含铝质, 有滑面, 上部为黑色, 含植物化石夹煤。

柱，一排钎柱，柱间距 500mm，排距 400mm；两超前采用 ZQL2×3200/18/35 迈步式超前支架支护顶板，进顺支护长度 50m，回顺支护长度 40m。

2.3 上下隅角大面积悬顶机理分析

根据以往矿压观测分析，黄陵一号煤矿采煤工作面老顶破断呈典型的竖“O-X”形式，老顶初次破断后，一般情况下随工作面的不断回采直接顶应随采随落，直接顶冒落后老顶发生周期性的断裂。但在实际生产过程中，井下采煤工作面上下隅角经常出现大面积悬顶现象，在 807 工作面前期回采过程中尤为严重，有时悬顶面积达到 40m² 以上（长度大于 8m、宽度大于 5m）。综合分析 807 工作面的具体情况，导致工作面上下隅角出现大面积悬顶的原因主要有两个方面：

一是 807 工作面直接顶相对较厚，层位相对稳定、整体性强，基岩强度大，同时在巷道内锚杆、锚索的悬吊作用下进一步增加了顶板整体强度，导致上下隅角顶板不会随采随落；二是随着采空区侧冒落矸石碎胀后进入端头区域，在保护煤柱、端头支架和采空区冒落矸石三者的共同支撑下，上下隅角区域的顶板形成了类似于两邻边固支（煤柱侧、支架侧）、另一弧形斜边简支（采空区侧）的弧形三角悬板结构，该结构使直接顶和老顶成为一个统一的整体，整体结构稳定，导致该区域顶板不易冒落，逐渐造成了大面积悬顶的安全隐患。采煤工作面上下隅角悬顶结构如图 1 所示。

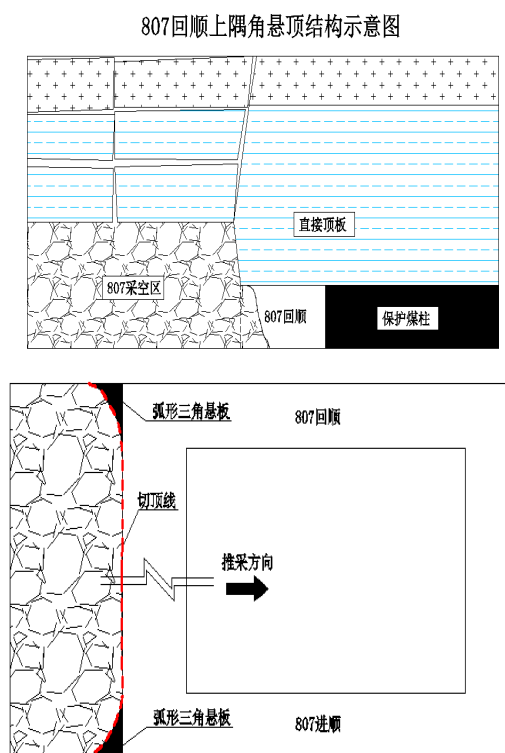


图 1 807 上下隅角悬顶结构平、断面示意图

采煤工作面上下隅角大面积悬顶的危害是显而易见的，

《煤矿安全规程》第一百零五条规定：“采煤工作面采用垮落法管理顶板时，必须及时放顶。顶板不垮落、悬顶距离超过作业规程规定的，必须停止采煤，采取人工强制放顶或者其他措施进行处理”。由悬顶机理分析可知，上下隅角悬顶控制需要做好两个方面工作：一是减少外力对端头区域顶板的加强作用，如及时退除巷道原支护锚杆（索）、破坏原支护的钢带等；二是施加外力，降低顶板自身的强度，如：高压水软化压裂、爆破强制放顶、施工强制放顶孔等。

3 大面积悬顶综合治理方案研究与实践应用

综合考虑 807 工作面地质条件、设备布置及施工便利等因素，结合一号煤矿多年的现场实践经验，在理论分析的基础上提出了“退锚+密集强制放顶孔+预裂切缝爆破”的大面积悬顶综合治理方案。并在实践应用过程中，不断优化工艺参数，取得了显著的应用效果。

3.1 退锚

退除巷道顶板原支护的锚杆（索）的紧固段，使顶板失去悬吊支护作用。锚杆紧固段的螺帽一般采用扳手进行拆卸，锚索紧固段的锁具采用 SDB-63 型手动油泵配合 MS18-300/40-R 型退锚器进行退锚。退锚作业严格遵循“安全第一，能退全退”原则，在工作面端头位置由里向外逐次进行依次进行退锚，根据顶板完好情况灵活掌握推进度，原则上一次性退锚作业长度不超过当班推进进尺。当端头区域顶板破碎、压力大时，根据现场情况可少退或者不退。

3.2 密集强制放顶孔

在退锚措施严格执行的前提下，如上下隅角悬顶面积仍超过规程规定，采取施工密集强制放顶孔的措施进行处理。放顶孔的施工深度以顶板冒落碎胀后充实采空区为宜，其临界设计公式如下：

$$H_{孔} = (H_{巷} - \Delta H_1 - \Delta H_2) / (K - 1)$$

式中： $H_{巷}$ —隅角部位实际巷道，m，取 2.8m；

ΔH_1 —顶板下沉量，m，取 0.1m；

ΔH_2 —底鼓量，m，取 0.1m；

K —碎胀系数，1.3-1.5，取 1.4。

经计算， $H_{孔} = 6.5m$ 。综合分析，密集强制放顶孔设计深度 6.5m，孔径 $\phi 48mm$ ；沿顺槽副帮施工一排，距副帮 1000mm，孔间距 400mm，孔径方向与铅垂线夹角为 10° ；顺槽内每隔 10m 沿工作面方向施工一排，孔间距 400mm，孔径方向与顶板垂直施工；密集强制放顶孔采用专用钻机施工，放顶孔须保证施工在一条直线上。由于施工了密集强制放顶孔，破坏了上下隅角顶板的两邻边固支（煤柱侧、支架侧）作用，导致直接顶形成人工制造的相对弱面，可以利用采动矿压促使上下隅角顶板及时冒落。钻孔具体布置参数详见图 2。

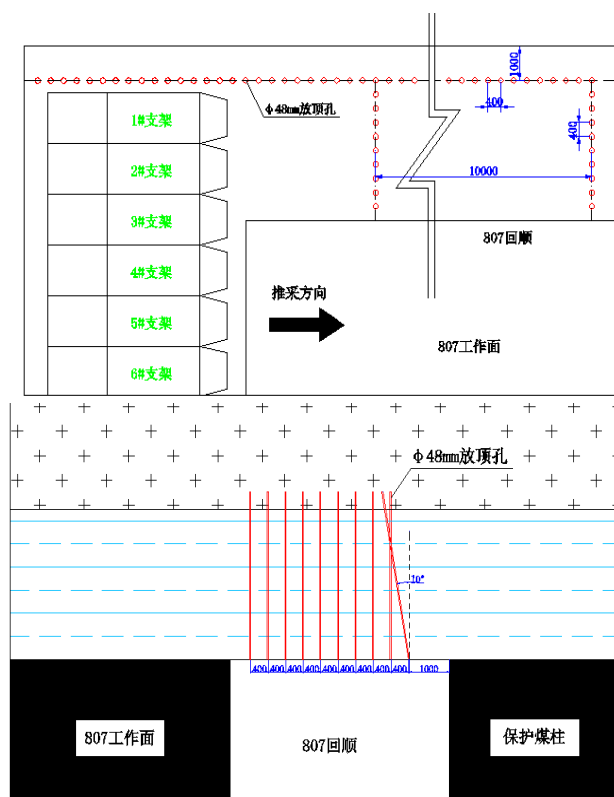


图2 807回顺预裂爆破切顶孔布置平、断面示意图

3.3 预裂切缝爆破

采用退锚、施工密集强制放顶孔治理措施后，如上下隅角悬顶仍超过规程规定（长5m，宽5m），则采取定向预裂切缝爆破措施进行处理。在原施工的密集强制放顶孔内，安装特制双向聚能管后进行装药爆破处理，特制聚能管外径42mm，内径36.5mm，管长1500mm；采用煤矿许用三级乳化炸药，炸药规格：直径 $\phi 32\text{mm} \times 200\text{mm}$ /卷；雷管选用毫秒延期电雷管，MFB-100型发爆器；每个孔装药量7卷，装药采用（3+2+1）结构；采用炮泥封孔，封孔长度2m；间隔1个孔装药，每次爆破3个装药孔。装药结构及切缝效果详见图3、图4。

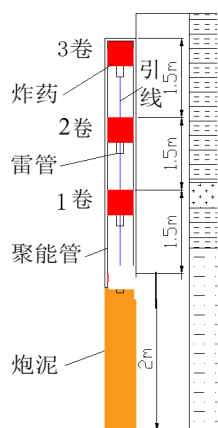


图3 定向预裂切缝爆破装药结构示意图



图4 顶板预裂切缝孔爆破窥视效果图

由于采用了定向预裂切缝爆破技术，能使爆破能量集中到预定方向形成切缝（钻孔切缝窥视效果详见图4），破坏了上下隅角顶板相对稳定的弧三角悬板结构，将原来连为一体的薄板结构划分为逐个互不联系的薄板单元，使得上下隅角顶板的两邻边固支（煤柱侧、支架侧）作用失效，从而促使隅角顶板及时冒落并充实采空区。巷道预裂切缝及冒落发展过程详见图5。



—顺槽超前段，施工预裂切缝孔； —顺槽超前段，预裂爆破形成切缝；

—进入端头切顶线，隅角顶板局部冒落； —进入采空区，隅角顶板冒落充实采空区

图5 采煤工作面上下隅角顶板冒落发展过程图

4 实践应用观测及结论

根据矿井安全生产管理实际需求，我们将上下隅角悬顶情况分为三种类型：一是及时冒落型顶板（Ⅰ类），是指悬顶面积不大于 10m^2 （长 $2\text{m} \times$ 宽 5m ）的情况；二是不及时冒落型顶板（Ⅱ类），是指悬顶面积大于 10m^2 且小于等于 25m^2 （长 $5\text{m} \times$ 宽 5m ）的情况；三是大面积悬顶型顶板（Ⅲ类），是指悬顶面积大于 25m^2 （长 $5\text{m} \times$ 宽 5m ）的情况。通过在807工作面六个月的探索实践和观测分析，可以得出如下结论：采取退锚处理措施后，Ⅰ类顶板占10%，Ⅱ类顶板占20%，Ⅲ类顶板占70%；采取“退锚+密集强制放顶孔”措施后，Ⅰ类顶板占50%，Ⅱ类顶板占30%，Ⅲ类顶板占20%；采取“退锚+密集强制放顶孔+预裂切缝爆破”综合治理措施后，Ⅰ类顶板占90%，Ⅱ类顶板占8%，Ⅲ类顶板占2%。

通过理论分析和工程实践表明,一号煤矿探索实施的“退锚+密集强制放顶孔+预裂切缝爆破”上下隅角大面积悬顶综合治理技术方案是行之有效的,能够实现采煤工作面上下隅角顶板及时垮落,基本消除了大面积悬顶的安全隐患,对矿井实现安全高效开采具有重要意义,在地质条件类似的情况下可供借鉴推广应用。

参考文献:

- [1] 姚海, 毕忠伟. 地表深孔爆破治理煤矿采空区悬顶实验 [J]. 陕西煤炭, 2013, 32(4).
- [2] 杨俊彩. 神东矿区综采面端头三角区悬顶治理实践 [J]. 陕西煤炭, 2014, 33(1):98-99.
- [3] 石维平, 翁海龙. 浅谈综采工作面上隅角悬顶治理的研究与应用 [J]. 陕西煤炭 .2017,36(01) .

作者介绍:

王绪强, 男、汉族、1987 年 1 月, 陕西商洛人。陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿, 现任生产技术部副部长职务, 中级工程师, 大学本科学历。主要从事煤矿生产技术研究 and 实践等工作。

闫蹬杭, 男、汉族、1987 年 1 月, 陕西大荔人。陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿, 现为生产技术部科员, 中级工程师, 大学本科学历。主要从事煤矿生产技术研究 and 实践等工作。

陈博, 男、汉族、1991 年 4 月, 陕西白水人。陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿, 现任生产技术部掘进主管职务, 中级工程师, 硕士研究生学历。主要从事煤矿生产技术研究 and 实践等工作。