

下向进路采矿法在垮落区的应用

张敬强

中煤第七十一工程处有限责任公司 安徽 宿州 234000

【摘要】：垮落区矿石开采，采场顶板稳固性难以保证，通过构筑人工假顶，采用向下进路采矿方法进行开采。依据顶板坍塌自性堵塞估算法和普氏松散介质破裂拱理论进行分析，选择合适的首采分层，将未受影响区域与冒落区采矿工程综合考虑，布置合理的开拓工程。尾砂颗粒较细，尾泥含量较大，充填体作为假顶难以满足顶板稳定性的要求，浇筑钢筋混凝土关键层与胶结充填体联合作为采场的顶板，保证顶板的稳固性和开采的安全。

【关键词】：下向进路；假顶；混凝土；充填体；稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.054

由于岩石破碎、采空区充填不及时等原因，-390m中段五盘区向上分层小阶段进路采矿时507#~515#进路之间出现垮落，影响区域的最大长度和最大宽度分别为34.5m和28.5m，塌陷面积约为600m²。为解决垮落区采矿的问题，进行了采矿方法的研究，依据垮落区顶板成拱理论分析^[1]，确定垮落高度约10m，采用现有小分段空场采矿法无法正常回采作业。因此结合现有开拓工程及矿岩条件提出了适合该区域的下向进路充填采矿法，上部和其他矿体依然采用向上分层进路采矿法。由于尾砂较细，含泥量大，充填体质量达不到作采场顶板抗压强度的要求，采用增加钢筋混凝土层，由钢筋混凝土关键层和胶结充填体作为假顶进行垮落区的回采，下一层布置采用垂直上一层进路的方式，让钢筋混凝土层和胶结充填体作为采场顶板，确保采场顶板的稳固性^[2]。

1 工程地质

矿区节理、裂隙比较发育，基底岩层成矿前节理主要发育20°~50°和290°~345°两组，为铁质、砂质、碳酸盐等充填，成矿后主要发育285°一组。在正长细晶岩脉中，裂隙主要以280°一组较发育，多剪性节理，少数为张性节理。此处，伴随背斜的形成由于各岩层岩性差异而导致发育层间裂隙或层间破碎带，尤以近背斜鞍部黄马青组下段岩层中更为发育，多为闪长岩或晚期正长细晶岩或辉绿岩充填。岩、金云母角岩、辉绿岩和微晶高岭石岩有软化性质，是构成主矿体局部崩解的重要因素。含矿层裂隙发育，以闭合型为主，呈细脉状出现的高岭土、金云母和绿泥石构成主矿体软弱结构面。主矿体基本稳定，但矿体夹石层和矿体顶底板围岩局部具有软化岩石特征，位于上下盘20m范围内存在一个不稳定带，是影响矿山开采的主要工程地质问题。含矿层裂隙发育，以闭合型为主，呈细脉状

出现的高岭土、金云母和绿泥石构成主矿体软弱结构面。顶板围岩在不同程度上存在一个不稳定带，主矿体直接底板围岩依次为闪长岩、角页岩和脉岩，闪长岩强度变化很大，主要为高岭土化和绿泥石化、金云母化，软化系数最小0.38，干抗压强度最小13MPa。岩心局部有崩解现象，不同程度上具有软化岩石特征。

2 充填

2.1 尾砂粒级组成及充填

充填系统运行可靠，整体充填质量相对稳定，尾矿粒径组成不理想，粒度偏细，-200目以下颗粒占比高达90%以上，-400目以下占比也达到约70%，属超细全尾砂。通过尾砂实验分析得到该尾砂的粒级分布以及主要的化学组成，尾砂粒级分布与主要化学成分分别见表1与表2所列。由于尾矿含泥量大，因此充填使用的尾砂属于超细尾泥。通过试验研究、理论分析手段，优化充填料组成、提高充填质量，降低充填成本提高矿山经济效益和可持续发展水平。

表1 尾砂粒级分布

粒级/mm	个别产率/%	负累计产率/%
+0.15	7.04	100
-0.15~+0.1	5.20	92.96
-0.1~+0.075	5.68	87.76
-0.075~+0.048	8.48	82.08
-0.048~+0.038	4.48	73.60
-0.038	69.12	69.12

表2 尾砂主要化学组成

成分	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
含量/%	38.34	20.21	12.65	10.47	8.34	3.39	2.54	2.05

选厂尾砂通过地表管路送入立式砂仓顶部，固化剂通过罐车运输至充填站后，通过压气送入固化剂仓内。充填站尾砂仓造浆用水、搅拌槽添加水以及冲洗用水等，均由砂仓溢流水提供。立式砂仓直径为 ϕ 8.8m，有效容积约1200m³，砂仓顶部设料位计，底部设造浆系统和放砂管路，放砂浓度约在52%左右，放砂流量设仪表检测。在搅拌槽将充填用料搅拌均匀后由尾部放砂管放至充填钻孔，采用自流充填。灰胶比为1:4、1:6的充填体28天强度分别为2.6~3.2 MPa、2.0~2.4 MPa。

2.2 假顶充填体强度

充填体具有一定的强度，才能保证假顶的稳定性，因此选择合理的充填材料和灰胶比，恰当确定承载厚度，才能保证充填体质量^[3]。在实践中采用充填体设计强度：

$$\sigma = 2.8 \gamma L2(1+K)/9800h$$

式中： γ -充填体密度，kg/m³； l -进路宽度，m； K -承载层的载荷系数，一般 $K=1\sim1.5$ ； h -承载层厚度，m。根据该矿充填体条件， $\gamma=1760\text{kg/m}^3$ ， $K=1.5$ 时，计算结果如表3。经计算，充填体强度4~5MPa。目前该矿充填体强度仅能达到2MPa左右，且质量难以保证，无法满足人工假顶质量要求。因此，在现阶段，假顶拟采用钢筋混凝土关键层+普通胶结充填的假顶构筑方式^[2]。

表3 充填体强度关系表

h(m)	3.5	4	4.5	5
L(m)	4	4	4	4
σ (MPa)	5.75	5.03	4.47	4.02

3 下向进路采矿法工艺

3.1 下向进路首采分层确定

-390m中段五盘区向上进路采矿方法，采场宽为5m，高为7m，长度为32m，由于矿岩破碎、采场充填不及时等原因，造成采场506#、509#、511#、514#垮塌，垮塌后对垮塌矿用稀胶结浆液进行胶结充填。顶板矿石坍塌后，塌落体积增大，当塌落一定高度时，硐体空间会自性充满。根据硐体顶板坍塌自性堵塞估算对垮落高度H进行计算：

$$H = \frac{H_0}{K-1}$$

$$=7/(1.5-1)=14(\text{m})$$

H₀—垮落前硐体最大高度（m）；K—岩石松散系数，K值取1.5。计算垮落高度H为14m。当顶板岩体被密集裂隙切割成块状或碎块状时，可以认为顶板将成拱状塌落，而其上载荷由岩体拱自身承担，依据普氏松散介质破裂拱理论，此时破裂拱高H为：

$$H = \frac{0.5b + H_1 \tan(90^\circ - \varphi)}{f}$$

B—硐体跨度（m）；H₀—硐体高度（m）； φ —岩体内摩擦角（°）；f—岩石坚固系数，对松散介质， $f=\tan \varphi$ 。 $b=5\text{m}$ ， $h_0=7\text{m}$ ， θ 取值为38°，代入得， $H=13.97$ （m）。经两种方法计算，得出垮塌高度基本相同，这样确定下向分层采矿方法顶板为-370m^[1]。

3.2 采场布置

在-383m、-376.5m分段采用向上分层开采未受到影响的矿体，采场高度为6.5m，宽度为5.0m，采用五分之一三心拱，巷道掘进高为4.0m，向下拉底2.5m，按照隔三采一的方式开采，采用锚网、锚索喷射混凝土联合支护方式，喷浆混凝土厚度为100mm，强度等级C25^[4]。沿巷道轮廓线铺设金属网，网片与锚杆同步安装，钢筋网为直径 $\phi=6.5\text{mm}$ 冷拔二级螺纹钢焊接而成，规格为长 $\times$ 宽=2000 $\times$ 1050mm，网格150 $\times$ 100mm，网片搭接处必须打锚杆固定，网片搭接长度为100mm，搭接处每隔200mm采用双股16#铁丝双排扣绑扎牢固。树脂锚杆直径 $\phi=18\text{mm}$ ，长度 $L=1800\text{mm}$ ，端头采用滚压直螺纹，锚盘采用碟形锚盘，规格为150 $\times$ 150 $\times$ 10mm，锚固剂选用K2850树脂锚固剂，锚杆使用2卷锚固剂。锚索采用直径 $\phi=17.8\text{mm}$ ，长度 $L=5200\text{mm}$ 钢绞线，锚盘采用蝶形锚盘，规格为300 $\times$ 300 $\times$ 10mm；锚固剂选用K2850树脂锚固剂，锚杆使用3卷锚固剂^[5]。

-370m分段下部未受到垮塌影响的矿体采完后，在-370m分段进行矿体开采，采场高度为5.0m，宽度为5.0m，采用五分之一三心拱，按照隔三采一的方式开采，采用锚网、锚索喷射混凝土联合支护方式，喷浆混凝土厚度为100mm，强度等级C25。未受到垮塌影响的矿体一步骤回采空区采用1:6的灰胶比进行充填，由于尾砂较细，尾泥含量较大，二步骤回采空区采用1:20的灰胶比进行充填。下部受到垮塌影响的矿体在-370m分段进行开采，采场高度为5.0m，宽度为5.0m，采用五分之一三心拱，按照隔三采一的方式开采，采用锚网、锚索喷射混凝土联合支护方式，喷浆混凝土厚度为100mm，强度等级C25。采空区充填前先做强度C25的钢筋混凝土层，厚度为300mm，然后进行1:6的灰胶比进行充填。

向下分层进路采矿分为-374.3m、-376.6m、-383m，先采-374.3m分层，采完充填后以上一层人工假顶作为采场顶板进行回采-376.6m分层，-376.6m分层进路与上一分层进路垂直布

置, -383m 分层进路与上一层进路垂直布置, 这样在钢筋混凝土层和胶结充填体下作业能够确保顶板的安全。采场高度为 4.3m, 宽度为 4.0m, 采用五分之一三心拱, 按照隔三采一的方式开采, 采空区充填前先做强度 C25 的钢筋混凝土层, 厚度为 300mm, 然后进行 1:6 的灰胶比进行胶结充填^[6]。

4 假顶构筑

根据开采技术条件, 五盘区垮塌区采用下向进路充填法开采。人工混凝土顶板构筑是下向进路充填法的关键环节, 直接关系到下分层各进路的回采作业安全, 也是影响采矿成本的重要因素。配置钢筋时应应对假顶的传力特点进行受力分析, 掌握其受力特点, 以达到钢筋铺设实用、经济的目的。下向进路式采矿法中, 由于进路顶板的暴露形状一般为长方形, 并且长边往往大于短边, 因此, 在铺设进路钢筋时, 主受力筋也应当有明显的方向性, 即沿主传力方向的短边布置主受力筋, 而沿长边方向布置短筋。采用钢筋混凝土关键层+普通胶结充填的人工假顶构筑方式。人工假顶关键层厚度 0.3m, 采用 C25 钢筋混凝土构筑; 第一层上部 4.7m 采用全尾砂胶结充填, 充填体强度约 2.2MPa。人工假顶构筑前应进行底板找平, 保证底板平整、两底角平直、无积水, 无大于 50mm 的块矿; 用马凳钢筋将钢筋网垫高, 使之距底板 8cm, 以形成钢筋保护层; 混凝土充分凝固后可进行充填, 充填尽量提高接顶率^[7-8]。

4.1 钢筋混凝土层假顶

采场按设计底板标高要求施工, 人工假顶构筑前应进行底板找平, 保证底板平整、两底角平直、无积水, 无大于 50mm 的块矿。主筋采用 $\Phi 16$ 的螺纹钢, 副筋采用 $\Phi 12$ 螺纹钢, 其网度为 300mm*300mm, 钢筋相互搭接长度 100~150mm。副筋比采场宽度长 1.0m, 两端各 500mm, 搭接处采用所有搭接处都用 22#铁丝捆扎牢固, 分层巷道内主筋连接成一体。布置好钢筋网后, 进行混凝土浇筑, 厚度 300mm, 强度为 C25。浇筑混凝土时, 一个巷道尽量一次浇筑完成, 不留接茬。二步骤回采时底板清理平整, 两侧充填体清理干净, 将一步骤回采的副筋与

二步骤的副筋搭接在一起, 这样在整个采区内形成一个大组合加强筋网, 形成一个完整的人工混凝土假顶。浇筑时按照混凝土配合比进行配料, 用振动棒加强振动, 混凝土浇筑完成后按照规范要求养护不少于 7 天, 确保施工质量^[9]。

4.2 胶结充填

钢筋混凝土养护完成后, 在巷道口帮部打 $\Phi 18$ 固定锚杆, 长度为 2000mm, 正顶一根, 两帮各一根, 外漏 800mm。在锚杆上绑扎两张网片, 网片规格 1000mm*2000mm。浇筑混凝土挡墙厚度 600mm, 在网片内外两侧支木模板, 留出 600mm 空隙。支模所用材料为: 10mm 厚木模版, 浇筑墙体混凝土, 其强度等级 C25。浇筑时按照混凝土配合比进行配料, 用振动棒加强振动, 确保挡墙质量。混凝土挡墙浇筑完成养护 7 天后进行胶结充填, 将充填管固定顶板上, 采用灰胶比为 1:6 的胶固粉和全尾砂充填, 充填浆浓度不小于 52%, 充填体强度约 2.2MPa。为保证充填挡墙安全, 分二次进行充填, 每次充填高度不大于 3.0m, 后一次充填尽量提高接顶率。

5 结论

在生产实践中善于思考, 不断地进行创新, 经过钢筋浇筑混凝土关键层和胶结充填体联合作为采场顶板, 开采垮塌的矿石, 生产作业安全达到预期的效果。

(1) 尾矿颗粒较细, 含泥量大, 影响充填体强度, 充填体难以作为采场顶板。

(2) 经过理论分析选择合适的首采分层, 较好地将未垮塌区与未受影响区域开拓工程结合起来, 形成一个整体进行开采, 减少工程量和相互影响。

(3) 通过浇筑钢筋筑混凝土关键层和胶结充填体联合作为下向进路采场顶板, 保证采场的稳定性。

(4) 下一层向下进路采场与上一层进路采场垂直布置, 利用上分层钢筋混凝土层和胶结充填体联合作为下一层采场顶板, 确保作业安全。

参考文献:

- [1] 兰定筠.注册岩土工程专业应试指南[M].中国建筑工业出版社.2014:966-969.
- [2] 钱鸣高,缪协兴,徐家林,等.岩层控制的理论[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [3] 高建科.大规模下向胶结充填采矿法在金川镍矿的应用[J].金属矿山,2005(9):36-39.
- [4] 江文武,徐国元,中国生.下向分层进路式胶结充填体顶板稳定性分析[J].江西有色金属,2007(12):1315.
- [5] 何书.下向进路侧帮稳定性及进路布置方式优化设计研究[D]:[博士学位论文].西安:西北大学 2009.
- [6] 张雯.金川软岩岩石力学性质及巷道锚固参数优化[D]:[硕士学位论文].长沙:中南大学 2009.
- [7] 范文录,李夕兵,周子龙.基于可靠理论的钢筋混凝土强度的确定与钢筋设计研究[J].矿冶工程,2013 (8) :30-34.
- [8] 罗昭文,李庶林.混凝土假顶的强度的破坏形式及布筋方法[J].矿业研究与开发,2014(3):19-21.
- [9] 戴兴国,陈增剑,黄毅.下向进路回采钢筋混凝土稳定性分析[J].中国安全生产技术,2014(6):85-87.