

·石油与钻掘工程·

覆岩离层注浆钻孔的改进与优化

巩建雨*

(河北省煤田地质局水文地质队,河北 邯郸 056000)

摘要:覆岩离层注浆钻孔的孔型及目标关键层的选择、孔身结构、预防采后覆岩运移导致钻孔变形破坏等是覆岩离层注浆工程的核心技术之一。对以往的注浆钻孔进行了梳理、分析、比较和总结,对工程中显示出的不足并在后续施工中得到了持续的改进与优化。实践验证直孔与定向孔相结合的孔型布置及单孔单离层、邻(排)孔异离层的多目标关键层位复合注浆是项目成功的关键。孔身结构宜采用三开设计;孔身直径应与日最大注浆量及注浆系统相匹配;一开套管超深下入基岩和采用“一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法”设计的首、末排定向孔是预防停采线侧与切眼侧注浆钻孔破坏的有效措施;检查孔可与注浆孔同孔布置,一孔双用,实现资源利用的最大化。

关键词:孔身结构;单孔多离层注浆;单孔单离层注浆;邻(排)孔异离层复合注浆;定向孔;整体匹配

中图分类号:TD82 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2024)08-0044-06

覆岩离层注浆防治采煤沉陷技术已被列入《矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录(2022年版)》中^[1]。该技术正在山西、陕西、内蒙古等煤矿区大力推广普及。注浆钻孔是注浆期间地表通向注浆层位的唯一过浆通道,自注浆开始至结束应始终保持完好、畅通,其孔身结构、钻孔直径、孔型、防破坏等系列技术参数应满足注浆要求。

1 注浆钻孔的研究现状

国内专家学者对覆岩离层注浆钻孔的布置原则,开展了大量的研究,并取得了丰硕的成果。许家林对注浆钻孔在注浆层位的选择、沿工作面走向、倾向的位置及相邻钻孔间距进行了论述^[2]。程玉印对切眼侧末组注浆钻孔的合理位置进行了研究^[3]。任有奎采用FLAC3D数值模拟软件得出离层注浆钻孔终孔时间为工作面推进到150m时,最优孔位位于开切眼前方150m处,工作面倾向中间^[4]。程晋国对停采线侧的注浆钻孔布置进行了研究,并提出了钻孔的四种破坏形式^[5],但未有对注浆钻孔孔身结构等参数进行研究的文献。为更好服务于矿井绿色开采,梳理、分析、比较和总结了以往覆岩离层注浆工程中注浆钻孔的孔身结构等参数,对显现出的不足,并在后续工作中得到了持续的改进与优化,提出了基于整体工程的优化配置方案,

为同类工程注浆钻孔设计提供了参考依据。

2 单孔多离层同时复合注浆的直孔孔身结构

2.1 工程概况

唐山矿3696综放面采厚10m,平均采深789m,走向长380m,斜长90m,煤层倾角5°~15°;3694综放面采厚10m,平均采深770m,走向长360m,斜长100m,煤层倾角10°,注浆层位为离层I-IV,单孔多离层同时复合注浆,全工作面注浆,注浆孔4口,钻孔类型为直孔^[6],钻孔布置见图1。

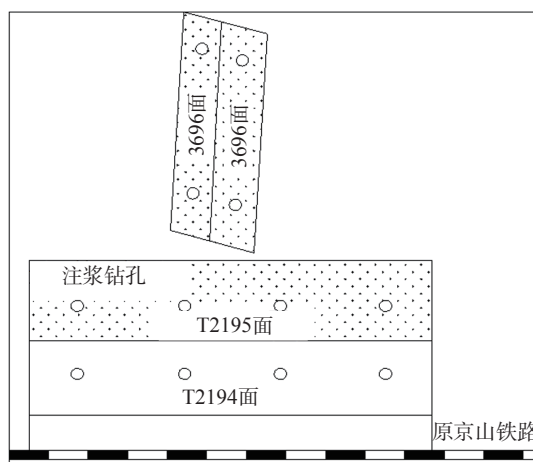


图1 钻孔布置

* 收稿日期:2023-03-02 修回日期:2023-03-08

作者简介:巩建雨(1973-),男(汉族),河北大名,高级工程师,现从事水文水井、地热井、盐井、大口径井等一线钻井技术、区域治理和离层注浆技术等管理工作。

2.2 孔身结构

采用三开结构,分为四段:松散层固井段、基岩

固井段、花管护壁注浆段和裸孔注浆段^[7],孔身结构见表1。

表1 孔身结构一览表

孔身结构(mm)		深度(m)	套管结构(mm×mm)	深度(m)	固井	备注
一开	∅311	0~220	∅244×10	0~220	固井	入完整基岩2m
二开	∅216	220~430	∅178×10	200~306	固井	目标关键层亚Ⅳ顶
				306~430		花管亚Ⅰ-亚Ⅳ
三开	∅152	430~434		430~434		裸孔

2.3 注浆效果

3696工作面注采比为26.9%,在非充分采动条件下,地表最大下沉值为187mm,阶段性减沉率为83.1%。3694工作面在非充分采动条件下,实测注浆后地表最大下沉值为429mm,阶段性减沉率为67.5%^[6],注浆减沉效果不理想。

2.4 不足分析

(1)为了控制上覆关键层的下沉,注浆压力必须大于覆岩自重。计算注浆结束的终压标准依据离层I或离层IV均为不妥。若依离层I,则注浆压力较大,存在上部基岩不能满足注浆压力,地面跑冒、浆的安全隐患;若依离层IV,则注浆压力较小,存在下部离层区注浆压力不足,充填浆体、安全隔离带、破裂垮落重组带均处在“欠压实”的状态,导致后期的沉降率相对较大,不能满足沉降规范要求。

(2)同径止水现场操作难度较大,存在操作不当封闭花管的安全隐患。

(3)技术套管未下“通天”管,“穿袖”部位是固井质量的薄弱区,不利于后期的长期带压注浆,更重要的是单层套管抵抗冲积层覆岩运移对套管破坏的能力较弱。

3 单孔单离层、工作面同离层注浆的直孔或直孔与定向孔相结合的孔身结构

3.1 门克庆煤矿覆岩离层注浆工程

3.1.1 工程概况

门克庆煤矿11-3101工作面覆岩离层注浆工程,长850m,宽260.4m,埋深693~721m,煤层倾1°~4°,煤层厚度3.85~5.45m,平均4.92m,为停采线侧注浆,设计14口直孔,注浆层位均为孔深482m的亚关键层III以下的离层^[8],钻孔布置见图2。

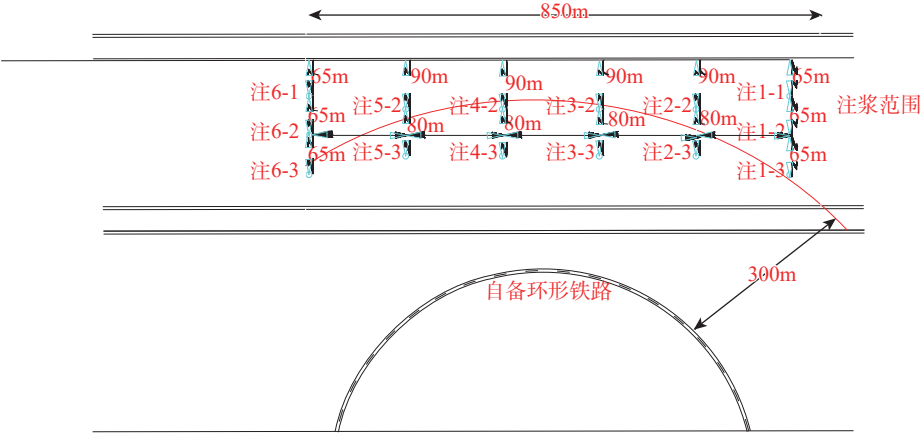


图2 钻孔布置

3.1.2 孔身结构

采用三开结构,分为四段:孔口管固孔段、松散层固孔段、基岩固孔段、花管护壁注浆段,孔身结构见表2。

3.1.3 注浆效果

采出原煤约146×10⁴t,消耗矸石原料约22×10⁴t。离层注浆充填开采铁路处地表减沉率为71.1%;走向

地表减沉率为69.5%,倾向地表减沉率为70.4%,把地表建筑物损坏程度控制在I级范围内,注浆充填减沉效果良好^[9]。

3.1.4 改进与优化

- (1)套管留置地面以上0.3m,便于安装孔口注浆装置;
- (2)技术套管通天设计,利于长时间带压注浆;

表2 孔身结构一览表

孔身结构(mm)		深度(m)	套管结构(mm×mm)	深度(m)	材质	固井	备注
孔口管	Ø445	0~10	Ø377×6	0~10	Q235	水泥浆返至地表	风积砂
一开	Ø311	10~58	Ø244.5×7.92	0~58	J55		入完整基岩5m
二开	Ø216	58~472	Ø177.8×8.94	0.3~472	N80		目标关键层亚Ⅲ底
三开	Ø152	472~486	Ø127×6.43	462~486	J55		花管离层注浆段

(3)单离层注浆,可准确计算注浆结束的终压标准,浆液充填体等充分压实,满足支撑上部覆岩地层的自重,达到了减沉的目的;

(4)采用一开、二开双层套管设计,提高套管本质安全,能较好预防冲积层覆岩运移对注浆孔变形破坏。

3.1.5 不足分析

下入花管,由于受孔隙率12%的限制,影响浆液的扩散,导致了注浆期间多次堵孔。

3.2 夏店煤矿覆岩离层注浆工程

3.2.1 工程概况

夏店煤矿3117工作面覆岩离层注浆工程,走向长234m,倾向宽187m,煤厚平均5.93m,倾角12°,埋深约440m。单排对孔设计,停采线侧注浆。施工了5个定向孔,2个直孔,注浆层位均为主关键层252m以下的离层,钻孔布置见图3。

3.2.2 孔身结构

采用三开结构,分为三段:松散层固孔段、基岩固

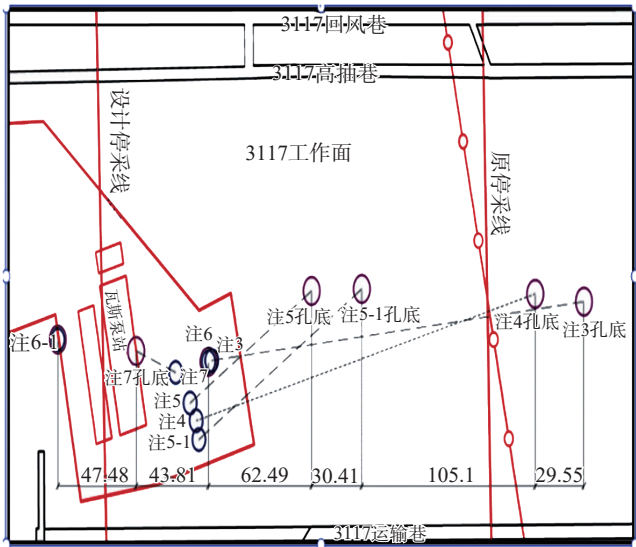


图3 钻孔布置

孔段、裸孔注浆段,孔身结构见表3。为了解决地面占地难的涉农问题,采用了定向孔与直孔相结合的钻孔设计。

表3 孔身结构一览表

孔身结构(mm)		深度(m)	套管结(mm×mm)	深度(m)	材质	固井	备注
一开	Ø311	0~20	Ø244.5×7.92	0~20	J55	水泥浆返至地表	入完整基岩5m
二开	Ø216	20~256(垂深) 20~360(斜深)	Ø177.8×8.94	0.3~256 0.3~360	N80		主关键层底
三开	Ø152	256~260(垂深) 360~364(斜深)					裸孔

3.2.3 注浆效果

累计注入粉煤灰 $26.11\times10^4\text{t}$,观测点累计最大沉降值86mm(下沉系数0.01),核心控制区瓦斯泵站最大沉降为10.90mm(下沉系数0.002)。沉降满足《建筑变形测量规范》(JGJ8-2016)规定的建筑物稳定状态的指标以及《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》(2017)中建筑物Ⅰ级保护标准等级的规定,即水平变形 $\varepsilon\leq2\text{mm/m}$,倾斜 $i\leq3\text{mm/m}$,曲率 $K\leq0.2\times10^{-3}/\text{m}^{[10-11]}$ 。

3.2.4 改进与优化

(1)注浆段裸孔设计,避免了因套管的孔隙率低影

响浆液向离层中扩散的堵孔问题;

(2)因客观原因被动地采用了定向技术,解决了因征地困难、地面地形无法到达孔位施工的客观难题。

3.2.5 不足分析

因裸孔段较短,注浆施工过程中,常出现孔底堵塞不能注浆的情况^[10]。

4 单孔单离层、排(邻)孔异离层注浆的直孔与定向孔相结合的孔身结构

4.1 霍尔辛赫煤矿覆岩离层注浆工程

4.1.1 工程概况

霍尔辛赫煤矿3501工作面覆岩离层注浆工程,走

向长 363m,倾向宽 246m,煤层平均厚度 5.4m,倾角为 1°~15°,平均 5°,埋深约 560m。双排对孔设计,停采线侧注浆。采用“一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法^[12]”设计首排定向孔 2 个,直孔 4 个;注浆层位均为亚关键层Ⅳ、Ⅴ的离层,复合层位注浆,钻孔布置见图 4。

4.1.2 孔身结构

采用三开结构,分为三段:松散层固孔段、基岩固孔段、裸孔注浆段,孔身结构见表 4。为预防停采线侧注浆钻孔上部因松散冲积层采后超前运移,导致首排注浆孔孔身变形破坏的安全隐患,采用“一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法^[12]”将首排孔设计为定向孔,其余钻孔为直孔。

4.1.3 注浆效果:

工作面增加回采长度 267m,采煤 47.5×10⁴t,注入粉煤灰 43×10⁴t。地表建筑物对应的水平、倾斜及曲率等变形指标均满足国家对建筑物Ⅰ级保护等级的规定要求^[13]。

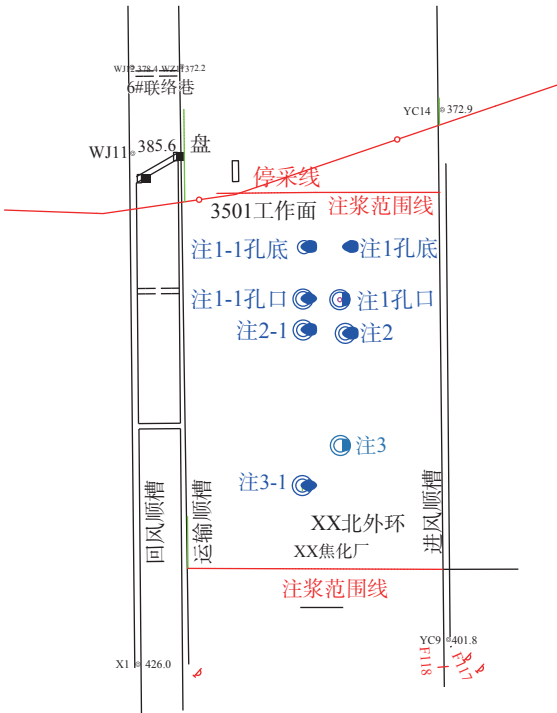


图 4 钻孔布置

表 4 孔身结构一览表

孔身结构(mm)	深度(m)	套管结构(mm×mm)	深度(m)	材质	固井	备注
一开	∅311	0~150	∅244.5×7.92	0~150	J55	水泥浆返至地表
二开	∅216	150~372(垂深)	∅177.8×8.94	0.3~372	N80	入完整基岩 10m
		150~384(斜深)		0.3~384		亚关键层Ⅳ、Ⅴ底
三开	∅152	372~382(垂深)				裸孔
		384~394(斜深)				

4.1.4 改进与优化

(1)采用了“一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法”设计首排孔为定向孔,预防了钻孔上部因松散冲积层采后超前运移的变形破坏,由被动的防范转为主动的预防;

(2)一开套管入完整基岩不低于 10m,大于规范的 2~5m,在起到护壁防塌作用的同时,类似于“抗滑桩”,能更好与技术套管共同抵抗采后冲积层与基岩交界面因滑移角差异产生的径向剪切破坏。

(3)注浆段裸孔设计长 10m,大于以往工程的 4m,避免了孔底堵塞的发生。该工程所有的注浆钻孔自注浆开始到结束,未发生堵孔情况,实践验证了该措施的正确性;

(4)钻孔采用了“精准控层、灵活机动、一孔一策、整体联动”的理念,据实确定每孔的离层位置、技术套管下深等。单孔单离层,邻、排孔之间异离层,各钻孔之间互为补充和备份,工作面整体联动复合层位注浆,

确保了工程减沉成功。多层位离层注浆理论与实践取得的成果在该工程中进一步得到了验证^[14-15]。

4.1.5 不足分析

所有钻孔孔径统一,孔径未与整体工程的采煤量、日注浆量、注浆泵排量等进行系统的匹配设计。

5 结合采煤量、日注浆量、注浆泵排量等整体工程匹配的单孔单离层、排(邻)孔异离层注浆的直孔与定向孔相结合的孔身结构

5.1 霍尔辛赫煤矿覆岩离层注浆二期工程概况

霍尔辛赫煤矿 3801 工作面覆岩离层注浆工程,走向长 1224m,倾向宽 250m,煤层平均厚度为 6.12m,煤层倾角 1°~9°,平均 5°,埋深约 530m。双排对孔设计,全工作面复合层位注浆,首期 6 口直孔,注浆层位为亚关键层Ⅳ、Ⅴ以下的离层,钻孔布置见图 5。

5.2 孔身结构

采用三开结构,分为三段:松散层固孔段、基岩固孔段、裸孔注浆段,孔身结构见表 5、表 6。

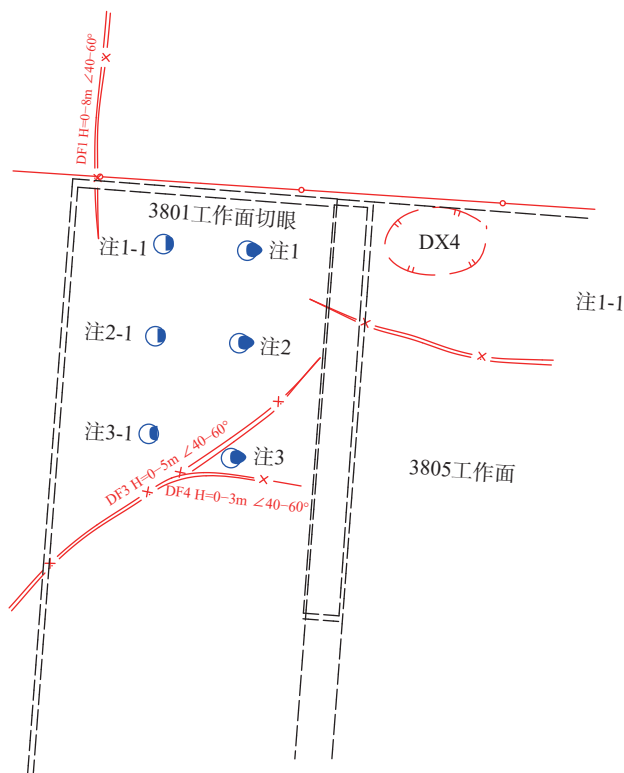


图5 钻孔布置

5.3 改进与优化

(1)探查孔与注浆孔同孔设计,前期作为探查孔,后期作为注浆孔,一孔两用,减少了经济投入,实现资源利用的最大化;

(2)孔身直径结合采煤量、日注浆量、注浆泵排量、注浆管汇、首排孔与后续孔注浆量的差异等进行整体优化匹配设计,首排孔与后续孔孔身直径进行差异化布置。

首排注浆孔初期注浆为负压注浆,应尽最大泵量及时充填早已形成的离层空间,实践中往往多泵同时向同一孔内注浆,初期注浆量大,采用了原孔身结构;后续孔稳压注浆阶段,泵量相对较小,孔身结构总体降低了一级,可与5G-450注浆泵排量等工程整体的设计完美结合,既减少了经济投入,又能满足工程的注浆要求。

6 结论

通过对以往覆岩离层注浆工程中注浆钻孔的梳理、分析、比较和总结,并持续改进与优化,认为注浆钻孔的设计已趋于成熟,可作为同类工程参考。

表5 首排孔身结构一览表

孔身结构(mm)		深度(m)	套管结构(mm×mm)	深度(m)	材质	固井	备注
一开	∅311	0 ~ 190	∅244.5×7.92	0~190	J55	水泥浆返至地表	入完整基岩 10m
二开	∅216	190 ~ 370	∅177.8×8.94	0.5~370	N80		亚关键层Ⅳ、Ⅴ底
三开	∅152	372 ~ 480					裸孔注浆段

表6 后续孔孔身结构一览表

孔身结构(mm)		深度(m)	套管结构(mm×mm)	深度(m)	材质	固井	备注
一开	∅216	0~190	∅194×7.64	0~190	J55	水泥浆返至地表	入完整基岩 10m
二开	∅165	190~370	∅139.7×6.2	0.5~370	N80		亚关键层Ⅳ、Ⅴ底
三开	∅113	372~480					裸孔注浆段

(1)孔身结构宜采用三开设计:冲积层套管应入完整基岩不小于10m,与二开技术套管一起,可有效抵抗冲积层与基岩交界面因滑移角差异产生的剪切破坏;二开技术套管应通天下入,目的层位为目标关键层底;三开裸孔段宜为大于4m,小于10m;

(2)采用“一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法”的设计工作面停采线测首排孔和切眼侧末排孔为定向孔,钻孔破坏由变被动的防范转为主动的预防,从根源上治理了采后覆岩运移导致的钻孔破坏;

(3)注浆钻孔宜单层位离层注浆,邻(排)孔宜异层位离层注浆,各钻孔之间互为补充、互为备份,整体联

动多层位复合注浆,必要时同孔异层位射孔补注浆,是注浆减沉成功的关键;

(4)孔型宜直孔与定向孔结合布置,首排孔、地面有障碍物不易布直孔的宜采用定向孔,其余宜采用直孔;

(5)孔身直径应与采煤量、日制浆量、注浆泵排量、注浆管汇等注浆系统整体相匹配,同时考虑首排孔与后续孔注浆量上的差异;首排孔与后续孔孔身直径差异化布置;

(6)检查孔可与注浆孔同孔布置,一孔双用,实现资源利用的最大化。

参考文献:

[1] 自然资源部办公厅关于开展矿产资源节约和综合利用先进技术目录更新工作的通知(自然资办函〔2021〕2451)[R].2021.

[2] 许家林.覆岩注浆减沉钻孔布置的试验研究[J].中国矿业大学学报,1998(9).

[3] 程玉印.切眼侧压煤覆岩离层注浆充填末组钻孔合理位置研究[D].中国矿业大学,2016.

[4] 任有奎.离层注浆钻孔成孔及注浆时机数值模拟研究[J].中国矿山工程,2022(2).

[5] 程晋国.停采线侧村庄压煤采动覆岩离层注浆充填钻孔布置的研究[D].中国矿业大学,2015.

[6] 高延法.覆岩离层注浆减沉技术研究的新进展[EB/OL].中国矿业大学(北京),www.doc88.com/p-7374233256946.htm

[7] 钟亚平,等.唐山矿覆岩注浆减沉的工程实践[J].矿山压力与顶板管理,2001(12).

[8] 龙陆军.门克庆煤矿关键层及离层空间演化规律研究[J].中国煤炭地质,2022(3).

[9] 赵辉.覆岩离层注浆充填开采方案及应用分析[J].煤炭技术,2021(3).

[10] 牟兆刚.覆岩离层注浆工程有关技术问题探讨——以夏店煤矿为例[J].中国煤炭地质,2021(12).

[11] 杜金龙,等.覆岩离层注浆浆液扩散半径计算研究——以夏店煤矿为例[J].中国煤炭地质,2020(10).

[12] 巩建雨,等.一种防止离层注浆首排钻孔破坏的设计方法[P/OI].中国:202210281062.9

[13] 吕灵芝,郭永祥.加速建设世界一流炼焦煤企业[C]//山煤国际霍尔辛赫煤业:离层注浆充填开采以废换“宝”,喜迎二十大合集,2022.

[14] 高延法,钟亚平,李建民,等.覆岩离层带多层位注浆减沉的理论与实践[J].煤矿开采,2002(2):42-45.

[15] 马荷雯.采动覆岩离层多层位注浆地表沉陷控制技术[J].煤田地质与勘探,2021,49(3):150-157.

Improvement and Optimization of Grouting Drilling in Overlying Rock Separation Layers

GONG Jian-yu

(Hydrogeological Team of Hebei Coalfield Geological Bureau, Handan Hebei 056000, China)

Abstract: One of the core technologies of overlying rock separation grouting engineering is the selection of hole type and target key layer, hole structure, and prevention of drilling deformation and damage caused by overlying rock migration after mining. We have sorted, analyzed, compared, and summarized the previous grouting boreholes, identified the shortcomings in the project, and continuously improved and optimized them in subsequent construction. Practice has proven that the combination of straight and directional hole layout, as well as the multi-objective key layer composite grouting of single hole and single separation layer, and adjacent (row) hole separation layer, are the key to the success of the project. The hole-structure should adopt a three-opening design, and the diameter of the hole should match the maximum daily grouting volume and grouting system. The first and last directional holes designed using a design method to prevent the failure of the first row of grouting holes in the separation layer and the ultra-deep penetration of the casing into the bedrock are effective measures to prevent the failure of grouting holes on the side of the stopping mining line and the cutting hole. The inspection hole can be arranged in the same hole as the grouting hole, with one hole for dual use, achieving maximum resource utilization.

Key words: hole structure; single hole multi-layer grouting; single hole and single separation layer grouting; composite grouting of adjacent (row) hole separation layer; directional hole; overall matching