

矿井破碎带软弱夹层的支护技术探究

赵越 (晋能控股集团晋华宫矿准备区, 山西 大同 037000)

摘要: 本文研究的要点为针对复杂地质条件下矿井支护方案的选择方法进行分析, 这里以破碎带软弱夹层区域的矿井支护作业为例, 分别研究中深孔注浆支护技术、小导管注浆支护技术以及小管棚超前支护技术的应用特点, 并对比分析三种技术的应用优势, 希望能够为今后的矿井支护施工提供一定的参考, 为井下作业安全提供保障。

关键词: 矿井; 破碎带; 支护技术; 软弱土夹层

0 引言

对于处于破碎带软弱夹层的矿井来说, 受到地质条件的影响, 矿井开采过程中极易发生矿层结构变形问题。当矿层结构变形幅度较大时, 便可能引发塌方等严重的安全事故, 这将对煤矿开采的安全性造成极大威胁。因此, 需要采取有效的矿井支护方案防治开采过程中出现的矿层变形问题。实践证明, 对于破碎带软弱夹层这种较为复杂的地质条件来说, 矿井开采的危险系数极高, 只有保障支护方案的可靠性才能保障开采作业安全, 保障矿产资源的高效采出。因此, 研究可靠的矿井支护技术具有极为现实的意义。

1 破碎带软弱夹层矿体的力学特征分析

由于破碎带软弱夹层区域的土质较为松散, 在此区域分布的矿体会表现出崩解性、流变性以及膨胀性等力学特征。其中矿体的膨胀性可以被细分为内、外部膨胀和应力膨胀三种形式。在矿井开采过程中, 通常表现为复合膨胀形式, 且多分布在裂缝破碎的地带; 其崩解性主要表现在井下作业过程中, 对矿层进行开采时所产生的矿体崩解问题, 通常分布于裂缝发育不良的区域, 主要是由于局部张力过于集中所产生的崩裂问题; 其流变性特征主要表现为, 在不断开采过程中, 由于矿层受力发生变化而引发的矿层变形问题。通常会随着时间的流逝出现结构面扩容和滑移变形等现象 (见图 1), 最主要的表现为矿层结构强度降低。因此, 在针对破碎带软弱夹层分布的矿井进行开采作业时, 需要结合矿井区域的地质条件, 采取合理的支护方案, 从根本上控制矿层变形问题对开采作业安全的影响。



图 1 结构滑移变形图

2 几种矿井支护技术

2.1 中深孔注浆支护技术

2.1.1 中深孔注浆支护技术的原理

主要是采取气压和液压的方式, 将具有凝胶性能的矿浆通过管道注入矿层孔隙中, 利用矿浆将矿层孔隙中的水分和空气排出, 且在矿浆凝固硬化后, 可起到固化岩层结构的作用。这不仅能够改善岩层的抗渗能力, 还可以在在一定程度上提高岩层结构的强度以及承载性能, 是通过加固岩层结构来达成支护目标的一种支护作业手段。

2.1.2 参数设计

在中深孔注浆作业中, 采用的管道尺寸在 89mm-999mm 之间, 根据注浆作业需求的不同可对管道尺寸进行科学选择, 常用的注浆管道尺寸为 89mm-199mm 的小直径注浆管道, 其长度通常为 6m 左右。此外, 所选用的注浆管道通常采取热轧工艺形成的无缝金属管。在实际施工中, 需要根据注浆作业需求的不同, 对管道进行分段安装, 一般采取“V”型对焊手段和丝扣连接手段达成管道连接目的, 并且需要在钢管表面钻出口径在 10mm 左右的注浆孔, 孔距大约控制在 20cm 左右, 且在金属管的尾部需要预留不注浆的止浆段 (见图 2)。在实际支护作业中, 需要采取拱形架搭建的方式, 对于破碎带软弱土这种地质条件较差的区域, 可以采用格栅金属架搭建方式。在软弱矿层区域的金属架间隔应在 0.75m-1.0m 之间, 对于特殊的地带可适当加密设置^[1]。



图 2 注浆钢管

2.1.3 设置挡浆墙

在注浆过程中，为了避免出现裂缝水或者注浆浆液倒流的现象。在注浆作业之前，需要先对注浆工作面进行封闭处理。常规的处理方法为在注浆工作面设置挡浆墙，通常可以利用挡浆岩墙和现浇混凝土挡浆墙形成防倒渗能力较强的挡浆墙，有效避免在高压作用下产生的裂缝水倒流或者浆液倒流的现象。

2.1.4 中深孔注浆支护的具体施工过程

①进行超前钻探。主要钻探方法是在巷道工作面前方的30m左右位置，通过注水和钻孔探测的方式对前方岩层结构的特点进行提前探测；②钻设注浆孔。注浆作业前，需要在矿物分布区域设置钻孔。钻孔过程中还需要使用清水对钻孔进行清理，同时注意控制好钻孔质量，尤其是在更换钻杆时，需要优先检查钻杆有无弯曲现象，确定钻孔是否存在偏离中心的问题。如有则需要对钻孔进行重现校正；③注浆作业。在注浆作业之前，先检查注浆管道的外观质量，确定除预制的注浆孔之外无其他漏点现象，之后对调制好的水泥浆进行过筛处理，连接注浆系统，将注浆阀门打开，遵循先稀后稠的注浆原则，对注浆液的浓度进行合理控制。同时，还需合理控制注浆压力，使其符合预期设计要求，当注浆量满足要求后可停止注浆；④对注浆效果进行检验。注浆结束后，可以通过观察矿井钻进口的渗水量来确定注浆效果。对于渗水量超过0.2L/min的注浆点需要重新增加钻进口，进行补浆作业，直至注浆效果符合预期要求。

2.2 小导管注浆支护技术

2.2.1 小导管注浆支护技术的加固原理

该种注浆支护技术与中深孔注浆支护技术的加固原理相似，均是通过注浆的方式来加固破碎岩层，提高岩层结构稳固性和岩层结构强度。其区别在于，小导管注浆支护过程中，不采取高压注浆方式，而是直接通过注浆管将注浆液输送到指定位置，使注浆液自行渗入矿层孔隙的一种加固措施。该种注浆支护方式同样能够提升岩层结构的整体刚度和承力性能，能够起到稳固岩层结构，提高开采作业安全性的重要作用。

2.2.2 参数设计

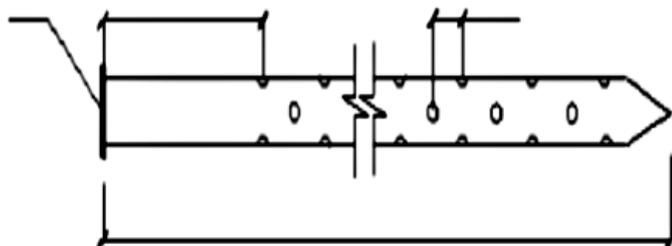


图3 小导管外形结构示意图

根据破碎带软弱土矿体的现场施工要求，需将小导管的直径控制在32mm-50mm之间。这主要是由于直径过大会对钻进工具提出更高的要求，而直径过小则无法达到支撑管道和提高注浆效率的作用。管道长度的确定

与矿体的稳定性相关以及矿井开挖长度相关。一般而言，导管长度在4.5m左右，且在管壁上每间隔15cm便需钻设一个注浆孔，孔眼直径一般在6mm左右，并且将小导管的顶端设置为锥形，确保导管能够成功打入矿层内部。如图3所示。

2.2.3 确定小导管外插角度

通常情况下，小导管注浆半径在0.5m左右，为了提高注浆效率，可以采取双层注浆管道的设置方式。同时，要求双层注浆管道的开口需要设置在开挖轮廓线上，且孔间距离控制在300mm左右。相邻设置的小导管其外插角度应为30度，被作为上层注浆管，之后在下方另设一个外插角度控制在10度左右的小导管，作为下层注浆管（见图4）。注浆结束后的4-8h内便可进行开挖作业。同时，需要注意的是，开挖作业过程中应保留1.5m左右的混凝土封闭迎头^[2]。

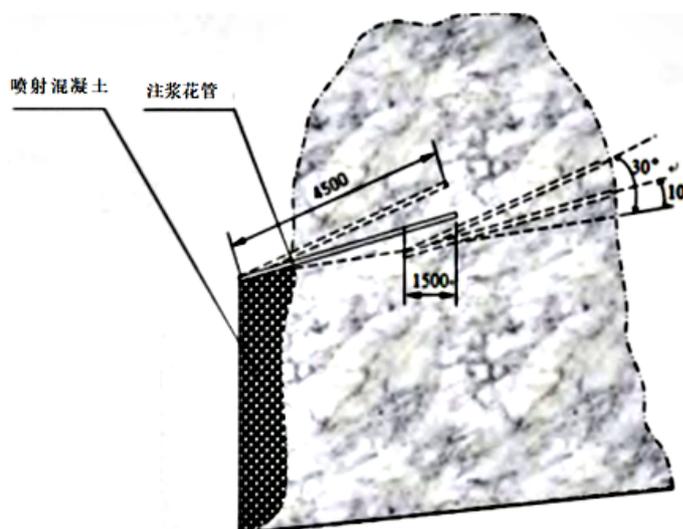


图4 小导管外插角度示意图

2.3 小管棚超前支护技术

2.3.1 小管棚超前支护技术的支护原理

小管棚支护措施属于一种超前直接支护手段，主要被用于矿井巷道工程的支护作业中。主要是指，通过对矿层条件的分析，在破碎带的软弱土夹层中分别打入金属管来起到全局支撑作用，这可为矿井巷道掘进作业提供良好的保护。

2.3.2 参数设计

通过前期的施工实践总结出，小管棚超前支护作业中所选用的钢管直径应为32mm-76mm之间。实践证明，管径过大或者过小均会对管棚支护作业产生不利影响。当其管径过大的情况下，会增加钻孔作业的难度和管径安装难度，而当其管径过小的情况下，则难以发挥应有的支撑作用，其长度一般为3m-6m。钢管过短情况下，难以起到良好的支撑作用，而钢管过长则会产生一定的资源浪费。对于矿层条件相对稳定的工程中，可优先选择小长度的钢管。另外，金属管环向间距的确定与矿层条件相关，对于处于软弱夹层区域且埋深较浅的矿井可

以采取密排管道的措施，一般间距控制在 0.15m-0.3m 之间为宜，金属管间距设置的大小会直接影响矿井开挖作业后矿体破坏的成拱表现。

2.3.3 确定外插角度

考虑到破碎带软弱夹层区域的矿床条件较差，随着矿井掘进作业的开展，很可能受到地质条件影响出现管棚下沉的现象，致使对巷道空间结构构成一定影响。基于这一因素，在针对小管棚进行超前支护时，需要适当提高管棚高度，即增大外插角度。从某一层面来讲，管棚下沉变形的情况下，可能会对管棚支撑效果造成影响，当下沉力度较大时，会使管棚的支撑作用力降低。管棚下沉力度较小时，也会引发管棚弯曲等问题，对巷道作业质量构成威胁。因此，需要设置科学的外插角度。一般而言，将管棚外插角度控制到 5-10 度为宜。

2.3.4 小管棚施工要求

小管棚支护作业中，常用的施工手段为采用钻孔法进行管棚搭建。主要是利用凿矿机进行成孔作业，并且利用凿矿机将金属管顶入孔内，形成管棚支护结构。在具体施工中，需要做好如下施工作业：首先，需要借助全站仪设备对管棚位置进行放样测量，并且使用油漆在特定的工作面上明确标记开孔位置。开孔作业中，需要保障钻孔直径大于管径，通常将孔径控制在 50mm 左右，孔深大约为 10cm；其次，在凿孔作业中，采用矿用凿矿机进行成孔作业，根据外插角度的设计需求，将凿孔角度控制在 3-5 度。需要特别注意的是，为使小管棚支护结构能够，起到良好的支护作用，在巷道掘进施工中，应对巷道掘进尺寸进行科学控制；最后，成孔作业结束后，对锚杆位置、孔深及其外插角度等进行综合检验，并利用高压风机将钻孔内部的杂物清除干净后再安装金属管，避免出现塌孔问题。

此外，可以采用小管棚组合加固的支护措施。常见的组合方式为在管棚的金属管道内设置金属支撑物。主要作业手段为，先在钢管内注入部分水泥砂浆，再向其中加入螺纹支撑物，要求其长度与金属管长度相等即可；另一种组合加固措施为，在完成管棚支护之后，在其表面点焊一层金属网，之后在金属网上喷射混凝土砂浆，其厚度控制在 150mm 左右，分两次喷射完成，带混凝土固化后，可进一步提升巷道支护结构的稳定性。

3 对比分析几种支护技术复杂矿体支护作业中的应用优势

目前来看，上文中所研究的中深孔注浆支护技术、小导管注浆支护技术以及小管棚超前支护技术均可满足破碎带软弱夹层矿体的支护作业要求。但实际上，几种支护手段的支护原理并不相同，所达成的支护效果也存在一定的差异。现对几种支护技术的加固能力进行对比和评价，确保在今后的矿井支护作业中能够选取适合的支护技术手段，有效提升矿井作业安全性。

3.1 中深孔注浆支护技术的应用优势

中深孔注浆支护技术属于管棚超前支护中的长管支

护技术，其与小导管注浆支护技术相比，存在超前距离长、刚度大的特性，可以有效稳定掘进工作面的结构性能，同时可以与金属拱架形成组合式的支护系统。其对于矿体形变现象也能起到较好的控制作用，且很少出现渗水现象，具备较强的防渗能力。但该类技术的施工工艺较为繁杂，技术要求较高，作业过程中需要应用多种大型设备，施工成本偏高。因此，在现阶段不常用。

3.2 小导管注浆支护技术的应用优势

小导管注浆支护技术属于管棚超前支护的一种特殊形式，其作业特点为施工效率高，可在较短的时间内稳定矿层结构，为矿井掘进作业提供可靠的技术保障。尤其是对于缺水矿层的支护作用较为明显。此外，小导管注浆支护结构也可与框架开挖过程中的金属拱架共同作用，形成一个较为稳定的支护系统。但其也存在一定的弊端，即在矿层变形的情况下，难以发挥良好的控制作用。其优势在于成本投入较低，技术要求不高，适用性较强。

3.3 小管棚超前支护技术的应用优势

小管棚超前支护技术本身就具备较强的支撑性能，尤其是可以根据矿体结构以及矿井支护需求的不同，对管棚结构进行科学设置。在复杂矿体的掘进作业中起到了较好的应用效果，特别是在矿井巷道掘进的过程中，发挥了良好的支护作用，可以起到稳固巷道顶板结构的重要作用，为井下作业安全提供了强有力的保障。除此之外，该种支护技术还可以与其他加固手段相结合，对于破碎带软弱土夹层这种复杂的矿体环境，可以通过在管棚金属管内增加金属支撑物的方式来提高管棚结构的承力性能，通过在其表面点焊金属网和喷射混凝土的方式来加固支护结构，这可在一定程度上控制塌方问题对井下作业安全的影响。

4 结语

上文中针对几种适合复杂矿体条件的矿井支护技术展开研究，从支护原理、参数设计和施工作业要点几个层面分别阐述了矿井支护技术的应用表现。最后，通过对比分析的方式研究几种支护技术在破碎带软弱夹层矿体支护中的作用效果。希望通过本文的研究，在今后的矿井支护作业中可以根据矿井地质条件的不同，合理选择矿井支护技术，充分发挥各类支护技术的支撑作用，为井下作业安全提供合理的保障。

参考文献：

- [1] 杜艳春. 含软弱夹层巷道支护技术应用研究 [J]. 当代化工研究, 2018(11):121-122.
- [2] 王辉. 中厚多软弱夹层复合顶板巷道围岩破坏机理及支护研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2017.

作者简介：

赵越 (1992-), 山西大同人, 男, 2017 年 7 月毕业于辽宁工程技术大学, 本科, 助理工程师, 研究方向: 采矿工程。