

文章编号: 1673-3363-(2014)04-0575-05

渗水泥化巷道锚杆支护围岩稳定性控制研究

王成¹, 韩亚峰¹, 张念超², 钱德雨³

(1. 河南理工大学能源科学与工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116; 3. 九州大学工学部, 日本 福岡 819-0395)

摘要 渗水泥化巷道锚杆支护可靠性差, 导致此类巷道冒顶事故频发。通过典型岩样崩解和风化实验、渗水泥质巷道变形规律及锚杆锚固性能实测开展研究。结果表明: 煤系地层含有黏土类矿物, 使得巷道围岩遇水崩解, 发生泥化现象, 且风化脆裂, 导致自身承载力急剧降低; 渗水泥质巷道围岩变形破坏具有明显阶段性, 演绎“减速变形-弱泥化-加速变形-强泥化-失稳”全过程, 有效控制泥化进程是该类巷道稳定性控制的关键; 提出了渗水泥化巷道围岩的控制技术, 即新型“三高”锚杆强化控制技术和滞后注浆加固技术, 给出巷道掘进后 10~30 d 最佳注浆时机, 开展了典型的工程实践, 取得了良好控制效果。

关键词 渗流; 泥化围岩; 锚杆支护; “三高”锚杆; 滞后注浆; 强化控制
中图分类号 TD 353 **文献标志码** A

Surrounding rock stability control with bolt support in seepage argillaceous roadway

WANG Cheng¹, HAN Yafeng¹, ZHANG Nianchao², QIAN Deyu³

(1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China;
2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 3. Faculty of Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan)

Abstract Because of the poor reliability of bolt support in seepage argillaceous roadway, roof fall accidents occur frequently. In this paper, typical rock disintegration and weathering experiments, field tests of roadway deformation rules and bolt anchorage performance in water seepage roadways were studied. The results indicate that once the clay mineral in roadway surrounding rock meet water, the rock will become sliming and weathering embrittlement, which will cause a sharply decrease in the load bearing capability. In addition, the deformation of seepage argillaceous roadway has obvious stage characteristics, which shows whole process of “decelerated deformation-weak argillization-accelerated deformation-strong argillization-instability”. Thus, the key point of stability control in such roadway is to control the argillaceous process effectively. Meanwhile, the surrounding rock control technology in seepage argillaceous roadway was proposed, which is composed of “there-high” bolt enhancement technology and lag grouting strengthening technology. Moreover, the best grouting time which is 10 to 30 days after the roadway driveage was given, engineering practice was then conducted, and good results were obtained.

收稿日期: 2013-02-13

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51304065), 河南理工大学博士基金项目(B2012-064)

作者简介: 王成(1984—), 男, 安徽省含山县人, 副教授, 博士, 从事巷道矿压理论及其控制技术、深井煤与瓦斯共采方面的研究。

E-mail: wangchengcumt@163.com

Tel: 15838905979

Key words seepage; argillaceous surrounding rock; bolt support; “there-high” bolt support; lag grouting; strengthen control

锚杆支护具有明显的优越性,美国、澳大利亚等国家对锚杆支护技术进行了比较全面的研究,取得良好的支护效果,锚杆支护率超过 90%^[1]。我国工程地质条件复杂,经过“八五”和“九五”科技攻关,加上近十年大力发展,锚杆支护取得长足的进步,解决了大量巷道支护难题,国有重点煤矿锚杆支护率达到 60%,有些矿区甚至达到了 100%^[2]。

但煤矿顶板事故仍然多发,平均死亡人数一直居高不下,占煤矿总事故死亡人数比例超过 30%^[3],巷道支护问题并未完全解决,尤其是复杂困难条件下煤巷围岩的稳定性控制问题^[4-5]。根据近年对淮南、淮北和徐州等矿区多起煤巷冒顶事故的调查分析发现,顶板裂隙水渗流诱发冒顶事故约占 50%,成为煤矿安全生产中亟待解决的难题之一^[6]。

基于典型岩样崩解和风化实验、渗水泥质巷道变形规律及锚杆锚固性能实测,研究渗水泥化条件下锚杆支护巷道围岩稳定性,建立有效的控制技术,能丰富和完善渗水泥化条件下巷道围岩的弱化机理及其控制技术,提高树脂锚杆支护安全可靠,降低煤矿冒顶事故^[7-9],为煤矿安全高效绿色开采提供强有力的技术支撑^[10]。

1 典型岩样崩解和风化实验分析

现场取出典型煤系地层的新鲜岩块 10 块,进行密封处理,其中 6 块进行编号在实验室分别浸水 20 d,观察其崩解与泥化情况,部分实验结果见图 1。其他 4 块岩样未编号的岩块进行风化实验,如图 2 所示。

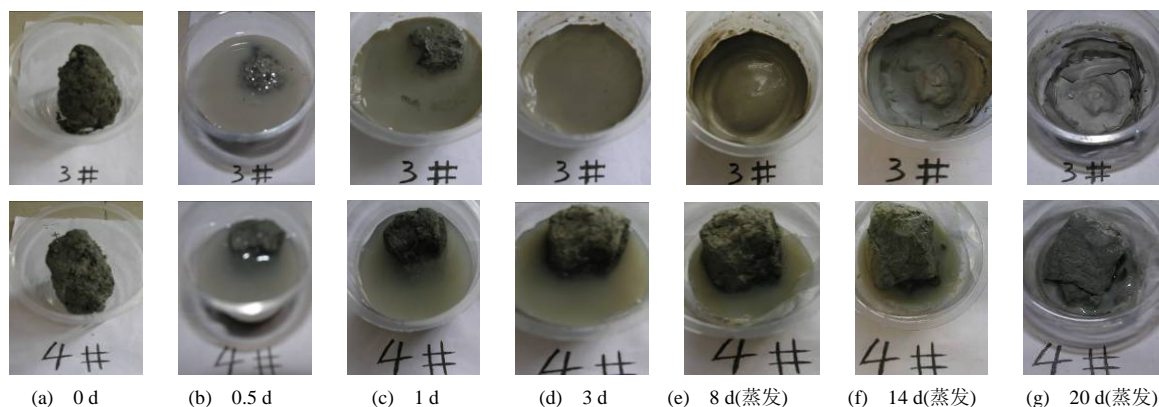


图 1 岩样崩解实验

Fig.1 Disintegration experiment of rock samples



图 2 岩样风化实验

Fig.2 Weathering experiment of rock samples

3#岩样遇水后即发生崩解,0.5 d 后水即成浑浊状,浸水 1 d 后加速泥化,试样由混浊泥化成糊状,3 d 完全泥化;4#岩样遇水后发生轻微崩解。岩样崩解差异性和亲水性强弱,取决于岩石黏土矿物的含量^[11],含量越高,遇水崩解越快,泥化作用越强;

20 d 后将岩样取出风干,岩样风化脆裂,发生严重碎裂,岩石强度变得极弱(见图 2)。

煤系地层巷道围岩由含有黏土类矿物的岩石组成,岩样中含有黏土矿物起决定性作用,遇水崩解泥化,为泥化作用提供了物质条件,且易风化脆裂,强度急剧降低,对巷道围岩控制极其不利。因而,在巷道开挖后要及时采取喷浆措施封闭围岩,减少水和外界空气对围岩的影响,必要时采用注浆堵水,以减小水对围岩的影响。

2 渗水泥化巷道变形规律及锚杆锚固性能实测研究

2.1 渗水泥化巷道变形规律

以淮北矿业集团祁南煤矿 721 风巷为例,顶底

板有淋水或渗水现象，含水层为煤层顶板厚度 5 m 的细砂岩，围岩以易泥化的泥岩为主。巷道断面为直墙斜顶矩形，下净宽×中高=4.5 m×2.6 m。初期 200 m 采用高强度、大密度预应力锚网索梁(桁架)预留大变形空间控制围岩，巷道掘进后很快稳定；但随时间推移，裂隙水渗入巷道直接顶板和两帮，致使围岩变形严重，巷道难以维护。

如图 3 所示，渗水泥质巷道围岩变形破坏具有明显的阶段性^[12]。巷道开挖初期，围岩应力对围岩变形起主导作用，巷道变形较小，及时支护后巷道能很快趋于稳定(I 阶段)；但随着时间的推移，巷道变形累积到一定程度即 I-3 阶段，围岩内部的微裂隙扩展、相互贯通，并产生新裂隙，为裂隙水提供了良好的水流通通道。此时，水动态渗入巷道围岩承载结构，流体渗透对围岩破坏将起主导作用，诱使泥化围岩力学性质逐渐劣化，围岩不断发生泥化、弱化，强度迅速衰减，巷道变形速度远高于前一阶段，支护-围岩形成的整体承载结构的承载能力急剧下降，围岩持续变形，并促进围岩泥化和弱化，最终在流体渗透和围岩应力共同作用下迅速失稳破坏(II 阶段)，即演绎“减速变形-弱泥化-加速变形-强泥化-失稳”全过程。该类巷道的顶板事故屡见不鲜^[13-14]。

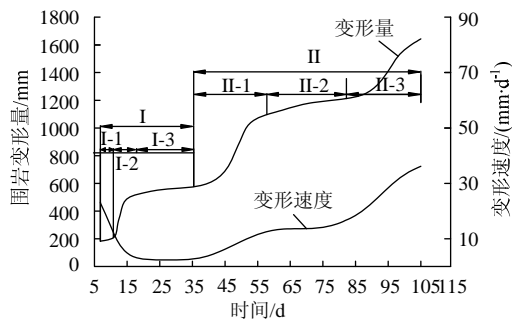


图 3 渗水泥质巷道围岩变形特征
Fig.3 Deformation behavior of roadway in seepage condition

根据渗水泥质巷道从初期的减速变形到最终失稳演绎的全过程，可知有效控制泥化进程是该类巷道稳定性控制的关键；而控制泥化进程的关键途径是阻水和加固围岩，可以使变形速率逐渐衰减、最后稳定，避免围岩的破坏或失稳。

2.2 渗水泥化巷道锚杆锚固性能演化

为了研究锚固巷道在渗水泥化条件下锚杆的树脂锚固性能，在现场渗水地段开展了锚杆拉拔实验，实验地段的锚杆支护参数均相同，结果见表 1。表中以渗水地段小变形的拉拔力载荷为基准值，锚

杆拉拔差值(基准值与其他拉拔载荷之差)与之相比即得弱化系数。

表 1 锚杆拉拔实验
Table 1 Bolts pullout

变形情况	拉拔力/10 kN	弱化系数
小变形(0.2~0.4 m)	12.5	0
中等变(0.5~0.8 m)	7.25	0.42
大变形(0.9~1.6 m)	2	0.84

水对锚杆锚固性能的弱化作用十分明显，导致锚杆锚固效果急剧下降，具体表现为：锚杆的弱化系数由 0 逐步上升到 0.84，围岩变形也随之急剧增大；随着裂隙水的持续渗入，锚杆的锚固性能甚至完全丧失，发生冒顶事故。

3 渗水泥化巷道强化控制技术

渗水泥质巷道开挖后，随巷道变形裂隙水渐进渗透至泥质围岩，巷道围岩发生泥化弱化作用，同时降低锚杆支护的锚固性能，进而引起围岩持续大变形，严重时可导致围岩承载结构失稳垮冒。因此，在合理的支护技术的基础上必须采取有效的措施封堵围岩的裂隙，以达到加固围岩、防治渗流泥化以及保护树脂锚杆的锚固性能的三重效果。

1) 新型“三高”锚杆强化控制技术，实现初期高强度控制。

渗水泥质巷道对初始支护强度要求甚高，新型“三高”(高预拉力、高强度、高刚度)锚杆强化控制技术^[15]可以满足这一要求。巷道开挖后，及时对巷道顶帮甚至底板施工锚杆索，并施加高的预紧力，从而实现及时、高初锚力、高增荷特性、高可靠性，进而达到高工作荷载工作状态，使巷道支护-围岩形成一个整体，可控制渗水巷道在掘进初期变形(即图 3 中的 I 阶段)，阻止围岩破坏向纵深发展，有效地限制裂隙扩展、相互贯通以及新裂隙的产生，同时为后续注浆堵水加固的组织施工争取充裕的时间，从而可减小各工序间的相互干扰，保证施工的质量。实现初期高强度控制的关键技术手段主要有：高性能超高强锚杆及其附件、高预应力桁架、高预应力锚索梁，以及配备大托盘的单体锚索^[16]。通过高预拉力、高强度、高刚度锚杆强化控制技术，实现渗水泥化巷道锚杆支护的高可靠性。

2) 滞后注浆，加固围岩和封堵裂隙，阻止渗水泥化巷道围岩的泥化进程。

注浆在各种岩土工程中，已成为常用的处理方

法^[17]。注浆是利用浆液充实充填压密裂隙,重新胶结破碎围岩使其成为一个整体,从而改造破碎围岩的岩性,起到加固围岩和提高围岩自身的承载能力的作用;而围岩裂隙被充实和压密,使渗水围岩失去水流通道,阻止渗水泥化巷道围岩的泥化进程,消除或降低水对围岩力学性质的影响,保障这类巷道安全稳定。

但渗水泥化巷道的注浆存在一个最佳时机(即滞后巷道支护):图 3 中 I-2 阶段、I-3 阶段分别对应围岩变形速度趋缓和已经稳定的围岩变形速度呈现增加趋势,对应的时间为巷道掘进后 10~30 d,在此期间新生裂隙发育,伴随张开度增大,围岩的可注性提高,且遇水后泥化和弱化程度相对较小,注浆比较合理。

4 工程实例

以淮北矿区桃园煤矿 7₂44 机巷为例:埋深约 450 m, 7₂ 煤厚 0.7~2.0 m, 均厚 1.6 m, 含 0.2~0.5 m 夹矸, 煤层赋存倾角 25°。根据岩层倾角, 设计断面为直墙斜梯形, 净宽×中高=3.4 m×2.2 m。巷道沿 7₂ 煤层顶板掘进, 顶板组分复杂, 由泥岩、煤线、砂岩组成, 易风化脆裂; 裂隙水发育时, 泥化速度快, 泥化程度深, 顶板随即失去连续性和完整性, 受水侵蚀后顶板稳定性显著降低。底板和顶板赋存相近。局部地段水源充分, 导致顶板和帮部围岩泥化严重, 掘进期间即表现出强烈的围岩变形, 支护失效(见图 4), 巷道维护困难。



图 4 支护失效

Fig.4 Support failure

在综合考虑巷道顶板安全状况后采取了锚、顶板双锚索、高帮双锚索或桁架、加强喷、帮顶注等组合加强支护的方案。

1) 初期高强度支护

顶帮均采用高强度高性能预拉力锚杆支护, 配备 M 型钢带和菱形金属网紧贴岩面护顶、护帮; 同时在顶板和高帮关键区域采用高预拉力锚索或桁架强化支护, 从而实现巷道初期高强度控制。

2) 滞后围岩强化加固

在初期高强度支护基础上, 及时在围岩表面喷射 30~50 mm 浆液, 以防煤岩进一步风化和潮解; 滞后迎头一定距离(巷道掘进后 10~30 d), 对顶帮进行注浆, 封堵裂隙水通道, 阻止围岩的泥化进程, 固化煤岩体, 同时保证锚杆索锚固效果。

通过采用锚杆、锚索(梁)并充分结合注浆进行联合支护和强化控制技术, 取得了良好的支护效果(见图 5)。



图 5 渗水条件下巷道支护状况

Fig.5 Support effect of roadway in seepage condition

5 结 论

1) 煤系地层含有黏土类矿物, 使得巷道围岩遇水崩解, 发生泥化现象, 且风化脆裂, 导致自身承载力急剧降低。

2) 渗水泥质巷道围岩变形破坏具有明显阶段性, 在围岩应力场和渗流场共同作用下, 演绎“减速变形-弱泥化-加速变形-强泥化-失稳”全过程, 有效控制泥化进程是该类巷道稳定性控制的关键。

3) 提出了渗水泥化巷道围岩的控制技术, 即新型“三高”锚杆强化控制技术和滞后注浆加固技术, 并给出掘进后 10~30 d 最佳注浆时机, 现场应用取得了良好控制效果。

参考文献:

- [1] 陆士良, 汤雷, 杨新安锚杆锚固力与锚固技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998: 32-45.
- [2] 姚强岭. 富水巷道顶板强度弱化机理及其控制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [3] 李桂臣. 软弱夹层顶板巷道围岩稳定与安全控制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008.
- [4] 张农, 李桂臣, 许兴亮. 泥质巷道围岩控制理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011: 11-18
- [5] 王志清, 万世文. 顶板裂隙水对锚索支护巷道稳定性的影响研究[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2005, 20(4): 26-29.

WANG Zhiqing, WAN Shiwen. Study on the affection of roof crevice water to the stability of mining roadways

- supported by cable bolts[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2005, 20(4): 26-29.
- [6] ZHANG Nong, WANG Cheng, XU Xingliang, et al. Argillization of surrounding rock of due to water seepage and anchorage performance protection[J]. Materials Research Innovations, 2011, 15(Sup 1): 582-585.
- [7] 薛亚东, 黄宏伟. 水对树脂锚索锚固性能影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(增刊 1): 31-34.
XUE Yadong, HUANG Hongwei. Experimental study on effect of water on anchoring performance of resin cable bolts[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(Sup 1): 31-34.
- [8] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰, 等. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999: 22-40.
- [9] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007: 18-36.
- [10] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 5-29.
- [11] 何满潮, 景海河, 孙晓明. 软岩工程力学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 41-58.
- [12] 许兴亮, 张农. 富水条件下软岩巷道变形特征与过程控制研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(3): 298-302.
XU Xingliang, ZHANG Nong. Study of control process deformation behavior and of soft rock drift under rich water condition[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(3): 298-302.
- [13] 李桂臣, 张农, 许兴亮, 等. 水致动压巷道失稳过程与安全评价方法研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(3): 410-415, 420.
LI Guichen, ZHANG Nong, XU Xingliang, et al. Study on water-caused instability process of dynamic pressure roadway and safety assessment[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(3): 410-415, 420.
- [14] 曾佑富, 伍永平, 来兴平, 等. 复杂条件下大断面巷道顶板冒落失稳分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 423-427.
ZENG Youfu, WU Yongping, LAI Xingping, et al. Analysis of roof caving instability mechanism of large-section roadway under complex conditions[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(4): 423-427.
- [15] 王成, 杜泽生, 张念超, 等. 上行开采顶板煤巷围岩稳定性控制技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 220-225.
WANG Cheng, DU Zesheng, ZHANG Nianchao, et al. Study on surrounding rock control for mining roadway of the overlying protected seam in ascending destressed mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 220-225.
- [16] 阚甲广. 典型顶板条件沿空留巷围岩结构分析及控制技术[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
- [17] 张农. 巷道滞后注浆围岩控制理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004: 55-63.

(上接第 574 页)

- [5] 杜晓丽, 宋宏伟, 陈杰. 煤矿采矿围岩压力拱的演化特征数值模拟研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(6): 863-867.
DU Xiaoli, SONG Hongwei, CHEN Jie. Numerical simulation of the evolution of the pressure arch during coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(6): 863-867.
- [6] 勾旭一, 陈荣华. 采场覆岩中三铰拱结构的稳定性[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2011, 30(增刊 1): 70-73.
GOU Xuyi, CHEN Ronghua. Three-hinged arch structure stability of mining overlying strata[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2011, 30(Sup 1): 70-73.
- [7] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 22-38.
- [8] 卢国志, 汤建泉, 宋振骐. 传递岩梁周期裂断步距与周期来压步距差异分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(4): 538-541.
LU Guozhi, TANG Jianquan, SONG Zhenqi. Difference between cyclic fracturing and cyclic weighting interval of transferring rock beams[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(4): 538-541.
- [9] 谭云亮, 宁建国, 顾士坦, 等. 矿山压力与岩层控制: 修订本[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011: 10-19.
- [10] 黄庆享. 浅埋煤层长壁开采顶板结构与岩层控制研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000: 55-58.