# 粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中的应用技术

张光辉，石庆毅，周学勇
（盘江煤电（集团）有限责任公司 火烧铺矿，贵州 六盘水 553539）

**摘 要**：为了综合利用粉煤灰，降低软岩巷道锚注支护的成本，就粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中的应用技术进行了研究，采用水泥与粉煤灰体积比为1∶1的注浆材料代替纯水泥浆来改进锚注支护中的注浆材料。应用粉煤灰对火烧铺矿围岩进行了加固，并对经粉煤灰加固后的巷道围岩进行了实地开挖观察发现，巷道的收敛变形情况和巷道围岩凝结情况均达到了用纯水泥作注浆材料的加固支护效果，巷道维修周期与单纯的锚网和架棚相比可延长6倍以上，取得了较好的技术经济效果。

**关键词**：粉煤灰；软岩巷道；锚注支护
**中图分类号**：TD353 **文献标志码**：A **文章编号**：0253-2336（2008）03-0035-04

## Applied technology of fly ash to mine gateway support in soft rocks

ZHANG Guang-hui, SHI Qing-yi, ZHOU Xue-yong
(*Huoshaopu Mine, Panjiang Coal and Electric Power Group Corporation Ltd., Liupanshui 553539, China*)

**Abstract**: In order to comprehensively utilize the fly ash and to reduce the cost of the gateway bolt and grouting support in soft rocks, the paper studied the applied technology of fly ash to mine gateway support in soft rocks. A grouting material with 1∶1 mixing rate of cement and fly ash was replaced to the pure cement grout in order to reform the grouting material for the bolt and grouting support. Fly ash was applied to reinforce the surrounding rocks in Huoshaopu Mine. After the fly ash applied to the reinforcement, a site excavation and investigation was made to the reinforced surrounding rocks. It was found that the convergence deformation of the gateway and the surrounding rock cemented condition of the gateway ware all reached the reinforced support results as the pure cement grouting material. The gateway maintenance period can be extended over six times longer than the bolt and steel mesh support with the steel frame supports with a good economic and technical results.

**Key words**: fly ash; soft rock gateway; bolt and grouting support

## 1 概 述

煤炭在锅炉中燃烧后有2种固态残留物，一种为炉渣，另一种随烟气从锅炉尾部排除，主要经除尘器收集下来的固体颗粒为粉煤灰。粉煤灰主要有硅铝玻璃，微晶矿物颗粒和未燃尽的残炭微粒所组成，其化学成分以氧化硅和氧化铝为主，有些粉煤灰中还有较多的氧化铁和含量较少的氧化钙、氧化锰、氧化钠和氧化钾等碱性氧化物。

盘江煤电集团公司共有燃煤火力发电厂4座，每年产生大量粉煤灰。粉煤灰采用干排方式排放，近年来，应环保要求粉煤灰的收集设施得到了很大改善，收集的粉煤灰质量有了很大的提高，为粉煤灰的综合利用提供了优越的先决条件。现盘江所产的粉煤灰中含碳量低于5%，活性较高。

## 2 粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中应用的可行性

盘江煤电集团公司的煤炭生产为井工生产，每年全公司总进尺在70 km以上，每年需要扩巷维修的巷道在12 km左右。近年来，盘江煤电集团公司在掘进、维修巷道中大量采用锚注支护技术，巷道支护效果得到了显著改善，但也带来了巷道支护成本增加的负担，水泥在巷道支护中的使用量成倍增加。同时，火力发电产生的大量粉煤灰又很难找到堆放场地，其储存处理不便。

为此，盘江煤电集团公司下属的火烧铺矿对粉煤灰在软岩巷道中的应用进行了可行性论证，证明粉煤灰可以利用到软岩支护中，并进行了相应的工程施工实践，取得较好效果。



万方数据

### 2.1　火烧铺矿软岩巷道的工程地质条件

#### 2.1.1　巷道围岩特性

火烧铺矿及盘江矿区均为近距离煤层群集中开采，煤系地层工程地质条件差，煤系地层全部由碎屑岩组成，除 1 ~ 3 号煤的细砂岩为钙质胶结外，其余全部是泥质胶结，强度低。煤层顶板、底板大都是粉砂质泥岩或泥质粉砂岩，层理、节理都很发育，再加上层理面光滑，层与层之间脱离，煤层顶板极难控制。底板中的直接底为砂质泥岩或泥岩，其中 5 号、7 号等煤层直接底为砂质泥岩，遇水成泥状，极易底鼓，另外少数煤层层间距过小，致使上层煤的底板又是下层煤的顶板，使巷道极难维护。在煤系地层中的巷道，尤其是中煤组即 12 ~ 20 号煤之间的情况更是如此，如火烧铺矿的各条石门，在 12 ~ 20 号煤之间的地段，由于巷道围岩岩性差，巷道极难维护，在采用拱棚支护时，巷道维护周期仅为 4 ~ 6 个月。

火烧铺矿主要软岩巷道围岩的物理力学性质试验结果见表 1。

**表 1　火烧铺矿主要软岩巷道围岩的物理力学性质试验结果**

| 项　目 | | 密度/ g·cm$^{-3}$ | 膨胀性/% | 抗拉强度/MPa | 抗压强度/MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 粉砂岩 | 最大 | 2.84 | 0.06 | 7.57 | 62.13 |
| | 最少 | 2.76 | 0 | 0.63 | 1.18 |
| | 平均 | 2.80 | 0.03 | 3.70 | 32.14 |
| 泥质粉砂岩 | 最大 | 3.01 | 0.4 | 7.19 | 86.83 |
| | 最少 | 2.77 | — | 0.39 | 5.49 |
| | 平均 | 2.87 | 0.2 | 3.07 | 33.12 |
| 粉砂质泥岩 | 最大 | 3.31 | 0.03 | 6.00 | 114.17 |
| | 最少 | 2.81 | 0 | 2.21 | 10.09 |
| | 平均 | 2.93 | 0.013 | 3.75 | 44.39 |
| 粉砂岩夹细砂岩 | 最大 | — | — | 9.8 | — |
| | 最少 | — | — | 2.74 | — |
| | 平均 | — | — | 5.67 | — |
| 泥岩 | 最大 | 3.26 | — | 5.26 | 15.68 |
| | 最少 | 2.65 | — | 0.68 | 6.57 |
| | 平均 | 2.95 | 0.1 | 2.45 | 11.17 |

#### 2.1.2　巷道埋深

火烧铺矿地面标高 +1 672.34 ~ 2 246.75 m，开采水平分为 +1 820 m 水平，+1 660 m 水平及 +1 400 m 水平，矿井还将延伸至 +1 200 m 水平，现开采深度在 700 m 左右，巷道埋深为 400 ~ 700 m。

### 2.2　在软岩巷道中的支护方案

根据火烧铺矿近年来的施工实践，在以上工程条件下主要选择以下支护方案。

1）可缩性 U 型棚支护：在沿煤层或穿层掘进的巷道中，尤其在 12 号煤层及 17 号煤层掘进时采用，棚距为 400 ~ 600 mm，巷道净断面控制在 12.5 ~ 16 m$^2$，全断面铺金属网。

2）锚网钢筋梯锚索联合支护：在沿煤层或穿层掘进的巷道中均有运用，锚杆间排距为 700 mm × 700 mm 或 800 mm × 600 mm。锚索间排距 1 400 ~ 1 600 mm，可适应不同断面，在扩巷时被广泛采用。

3）U 型棚浇筑混凝土联合支护：在石门揭穿 17 号突出煤层中采用，U 型支架棚距 400 mm，浇筑厚度 500 mm，并且配双层钢筋网。

4）U 型棚锚注联合支护：在石门揭 17 号突出煤层或 17 号煤沿煤层掘进过集中应力区时采用。

5）锚网梯索锚注联合支护：在老巷扩巷套修，新掘石门或其他服务年限较长的开拓准备巷道中被广泛采用。

在以上的各类支护方案中，锚注联合支护技术经济效果最好，巷道的维护周期大幅延长，节省了大量的人力资源，但是，在施工实践过程中，也曾创下单孔注水泥 634 包的纪录，巷道的支护成本较高，寻找纯水泥的替代品刻不容缓。

### 2.3　粉煤灰替代水泥的强度试验

粉煤灰活性较好，与水泥混合能有效改善水泥浆特性，且粉煤灰资源有保障，火烧铺矿紧临本公司的矸石电厂，粉煤灰成本低廉，被作为首选的水泥替代品。进行了粉煤灰水泥混合试块强度试验。根据火烧铺矿软岩巷道的围岩状况，设计混合试块抗压强度等级为 C10，试验试块中水泥与粉煤灰的体积比分别为 3∶7，4∶6，1∶1 及纯水泥块 4 种，试验采取自然养护条件，分别达到龄期为 22，31，32，18 d。试件的尺寸均为 150 mm × 150 mm × 150 mm。试验结果见表 2。

### 2.4　采用粉煤灰配合水泥作为注浆材料的可行性

根据试验情况看，粉煤灰与水泥混合试块的抗



万方数据

压强度随粉煤灰所占比例的增加而降低，而火烧铺矿所遇到的几种工程软岩，抗压强度在 1.18 ~ 114.17 MPa，且全部是泥质胶结，围岩岩层的实际抗压强度很低，包括煤层在内，巷道围岩的普氏系数在 1.2 ~ 3.0，巷道围岩易破碎，主要是因围岩节理、层理很发育，层理面光滑，泥质胶结又极其脆弱，是围岩破碎、抗压强度低、自承能力减小的关键所在，锚注的主要作用就是对围岩进行加固，用注浆的方式对围岩的节理、层理、裂隙进行加固，使其重新凝结，达到以注浆胶凝代替泥质胶结的目的，使围岩的承载能力得到一定程度的恢复。根据试验结果，水泥在混合物中的比例在 40% 以上，其强度既可满足巷道围岩加固的要求，可达到 C10 以上，为便于现场操作，又能满足强度要求，选用 1:1 的体积比作为现场施工配比，其抗压强度达到 14.3 MPa，是围岩弱面强度的 10 倍以上，可达到加固围岩的目的。

表 2　混凝土抗压强度试验

| 水泥与粉煤灰体积比 | 设计等级 | 龄期/d | 试验实测 | | 强度代表值/MPa |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 荷载/kN | 强度/MPa | |
| 1:1 | C10 | 32 | 302 | 13.4 | 14.3 |
| | | | 326 | 14.5 | |
| | | | 340 | 15.1 | |
| 4:6 | C10 | 31 | 254 | 11.3 | 11.3 |
| | | | 202 | 9.0 | |
| | | | 272 | 12.1 | |
| 3:7 | C10 | 22 | 130 | 5.8 | 5.3 |
| | | | 112 | 5.0 | |
| | | | 118 | 5.2 | |
| 纯水泥块 | C30 | 18 | 636 | 28.3 | 31.9 |
| | | | 790 | 35.1 | |
| | | | 724 | 32.2 | |

## 3　粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中的应用

### 3.1　粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中的应用载体

根据火烧铺矿的施工经验，在矿井的主要开拓、准备巷道中，对围岩松软破碎地段，主要采用了锚注支护技术，并取得了较好的支护效果。根据粉煤灰的特性，在锚注的注浆材料中加入粉煤灰是可能的，所以，粉煤灰在煤矿软岩巷道支护中的应用首先选择了锚注支护作为载体，利用粉煤灰对锚注支护中的注浆材料进行了改进，即采用水泥与粉煤灰体积比为 1:1 的注浆材料代替纯水泥浆。

### 3.2　锚注施工工艺及设备

#### 3.2.1　施工工艺

在新掘或套修的巷道中，无论是架棚锚注还是锚网梯锚索联合支护，基本的的施工工艺是初次支护（架棚或锚网支护）→埋设注浆锚杆（注浆管）→喷浆封闭注浆巷道→注入浆体加固巷道围岩完成永久支护。在巷道围岩特别破碎的地段施工时，采取先注浆加固围岩，接着进行刷掘支护，最后再进行锚注加固的施工工艺。

#### 3.2.2　进行锚注的施工设备

1）打设注浆孔的设备。根据围岩情况，注浆孔深度可选择煤电钻、液压锚杆钻机或风锤打设注浆锚杆。

2）安装注浆锚杆的设备。因注浆锚杆的作用和目的不同，可选用不同的埋设设备及方式。当需要使埋设的注浆锚杆起到锚固作用时，因需要装锚固剂，可选择风锤或锚杆机配合专用连接套安设注浆锚杆；若仅作为注浆管使用，则可直接用大锤将注浆管打入。注浆锚杆入孔后，用水泥砂浆配合封孔泵或直接用马丽散进行封孔；待封孔结束，将注浆锚杆外露端用编织袋或黄泥保护好，再用喷浆机对已安设好注浆锚杆或注浆管的巷道进行喷浆封闭，待喷浆体凝固后，用注浆泵对注浆孔逐个进行注浆。进行锚注需要配备的主要设备见表 3。

表 3　锚注配备的主要设备

| 设备名称 | 设备型号 | 设备基本技术参数 |
|---|---|---|
| 注浆泵 | KBY-50/70 | 流量 50 L/min，公称压力 0.5 ~ 7 MPa，电机功率 11 kW |
| 搅拌机 | LJ-300 | 电机功率 1.5 kW |
| 封孔泵 | KFB | 封孔压力 1.2 MPa，电压 660 ~ 380 V，电机功率 2.2 kW |
| 喷浆机 | HPC 系列 | — |
| 锚杆钻机 | MYT 系列 | 钻孔深度在 3 m 以上 |

#### 3.2.3　施工主要技术参数

1）粉煤灰与水泥混合作为注浆材料，混合体积比为 1:1，水泥标号不低于 425 号。

2）注浆液水灰比为 2:1。



万方数据

3）封孔：采用水泥细砂配比为 1∶2.5 的水泥砂浆或用马丽散进行封孔，封孔长度根据围岩的松散情况，长度在 300 mm 以上。

4）注浆压力：起始注浆压力为 0.8 ~ 1.0 MPa，终止注浆压力不超过 2 MPa。

3.2.4　施工操作要注意把握的关键环节

1）注浆锚杆加工环节。起锚固作用的注浆锚杆，在锚杆杆身打眼时需要将各排孔错开一定的错距，使杆体强度均匀。

2）埋设注浆锚杆封孔环节。封孔长度依据围岩的松散程度而定，封孔效果的好坏决定了注浆压力作用能否深入到围岩深部。

3）喷浆封闭巷道施工环节。喷浆厚度要均匀，务必封闭严密，以防浆体从薄弱点漏出，降低注浆压力，削弱注浆效果。

4）制浆环节。下料前对水泥、粉煤灰要先经过细筛将杂质及硬块去除，并按体积比配合好全部装入搅拌机后方可开动搅拌机。

5）注浆压力的控制。注浆按从小到大的方式控制压力，到终止压力后应等待一段时间，压力稳定后再关截止阀。

6）在拱型棚支护地段锚注时，应将拱形棚腿背面凹槽与巷道底板交接处先封断，以防止注浆液顺凹槽渗入巷道底板，削弱注浆效果。

## 4　采用粉煤灰的支护效果及技术经济分析

### 4.1　支护效果

火烧铺矿在 21 采区的 212 运输石门、23 采区的 1 号中间石门、1660 北大巷等巷道的套修支护中应用粉煤灰对围岩进行了加固，并对经粉煤灰加固后的巷道围岩进行了实地开挖观察，巷道的收敛变形情况和巷道围岩凝结情况均达到了用纯水泥作注浆材料的加固支护效果，巷道维修周期与单纯的锚网和架棚相比可延长 6 倍以上。根据实际观测巷道收敛变形如图 1 所示。

由于本次采用粉煤灰混合注浆材料注浆时未对巷道底板进行锚注，故而巷道底鼓比较严重，致使顶底板移近量及变形速度均较大，但巷道顶板的变形量并不大。

### 4.2　技术经济分析

采用粉煤灰作为水泥替代品用于煤矿软岩支护后，可节约一半的水泥消耗量，同时缓解了发电厂

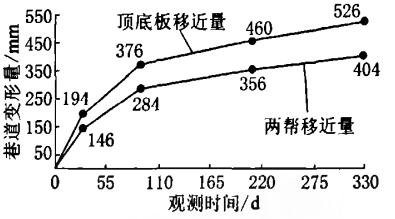



图 1　采用粉煤灰注浆后巷道围岩收敛变形曲线

粉煤灰处理的压力，减少了征用堆放场地的征地费用，也减轻了环保压力。根据实际情况统计，使用纯水泥作为注浆材料时，每米巷道需要注入 2.5 t 水泥，采用粉煤灰替代后，每米巷道可节约 1.25 t 水泥，按现市场价，水泥为 300 元/t，而火烧铺矿粉煤灰是免费使用的，则利用粉煤灰加固软岩巷道每米可节约支护成本 375 元。盘江煤电集团公司按每年维修 12 000 m 巷道计算，在软岩巷道中使用粉煤灰加固技术后，取得的技术经济效果见表 4。

表 4　技术经济效果

| 项　目 | 支护成本节支/元 | 消耗粉煤灰/t |
|---|---|---|
| 每米成本 | 375 | 0.75 |
| 单项总额 | 4 500 000 | 9 000 |

## 5　结　　语

粉煤灰的综合利用是煤电循环经济的重要环节，锚注支护技术是解决煤矿软岩巷道支护的发展趋势。粉煤灰以锚注支护技术为载体，在煤矿软岩巷道支护中的应用，为粉煤灰的综合利用开辟了道路，降低了软岩巷道锚注支护的成本，缓解了环保压力，取得了较好的技术经济效果，是煤电企业提高经营效果的有效措施。

**参考文献：**

[1]　俞珠峰，杜铭华，吕文斌．洁净煤技术发展及应用［M］．北京：化学工业出版社，2004.

作者简介：张光辉（1975 -），男，贵州遵义人，现在盘江煤电集团公司火烧铺矿任副总工程师，从事煤矿生产及技术管理工作。Tel：0858 -3711307，E - mail：pjhpzgh@126.com

收稿日期：2007 -10 -28；责任编辑：王晓珍



万方数据