

# Research and Practice on the Technology of Anchor Net Support in Coal Roadway

Deshun Kong, Jing Zhu, Jian Tang

Shandong Province Yanzhou Coal Mining Co. in Baodian Coal Mine, Zoucheng Shandong  
Email: [ggkkds@126.com](mailto:ggkkds@126.com)

Received: Jul. 9<sup>th</sup>, 2015; accepted Jul. 27<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 30<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Coal tunnels are mainly supported in shed stent, anchor net, anchor cable, anchor injection, etc. Under complex geological conditions of support, the safety or not is often difficult to get to pre-judge. Combined with the actual situation of Baodian Mine, from the construction of modern information technology requirements, a need to study the stability of surrounding rock of the early warning system is determined to achieve pre-determination of the steady state of roadway surrounding rock. Using anti-analysis theory to anti-inverse mechanics characteristic parameter of the roadway rock mass, combined with theoretical calculations and numerical analysis software to obtain specific indicators and parameters to determine the roadway of surrounding rock stability, and combined with the displacement of the roadway to be pre-judged, stress and roof separation monitoring data, it is possible to use the actual production status roadway surrounding rock which is determined in advance, enabling coal roadway safety support.

## Keywords

Coal Roadway, Mechanical Properties, Safety Early Warning

---

# 煤巷锚网支护工艺技术研究与实践

孔德顺, 朱 敬, 唐 建

山东省兖州煤业股份有限公司鲍店煤矿, 山东 邹城  
Email: [ggkkds@126.com](mailto:ggkkds@126.com)

收稿日期: 2015年7月9日; 录用日期: 2015年7月27日; 发布日期: 2015年7月30日

## 摘要

煤巷支护中主要采用棚式支架、锚网、锚索、锚注等支护方式，在复杂地质状况下支护的安全与否往往很难能够预先得到判定，结合鲍店煤矿实际情况，从现代化信息化施工的要求出发，需要研究一个围岩稳定性判定的预警系统，实现巷道围岩稳定状态的预先判定。运用反分析理论来反演巷道岩体的力学特性参数，再结合数值分析软件和理论计算来获得巷道围岩稳定性判断的具体指标和参数，结合待判定巷道的前期位移、应力及顶板离层的监测资料，能够在实际生产使用中提前判定巷道围岩所处的状态，从而实现煤巷的安全支护。

## 关键词

煤巷支护，力学特性，安全预警

## 1. 绪论

### 1.1. 研究的背景和意义

目前国内外在煤巷支护中主要采用棚式支架、锚网、锚索、锚注等支护方式，在复杂地质状况下支护的安全与否往往很难能够预先得到判定，巷道围岩的稳定性评价一直是巷道信息化施工的一个重点研究方向，它符合现代化的施工要求，而如何实现信息化施工存在很多困难，往往在巷道支护领域，当巷道失稳破坏时我们才会被动采取措施来补救，这就带来了大量的人力和财力浪费。因此实现围岩稳定评价，将会促进巷道支护技术水平的提高，改善矿井生产和安全条件，为矿井生产和安全服务。

### 1.2. 研究的主要内容

从鲍店矿区的具体状况看，依据巷道围岩的实际监测资料，运用反分析理论来反演巷道岩体的力学特性参数，再结合数值分析软件和理论计算来获得巷道围岩稳定性判断的具体指标和参数，结合待判定巷道的前期位移、应力及顶板离层的监测资料，能够在实际生产使用中提前判定巷道围岩所处的状态，达到了信息化施工的要求。

合理的支护结构与参数的应用可节约大量的支护成本，且大量减少巷道不必要的维修量，降低维护成本，同时对兖州矿区其他各矿具有十分显著的示范作用。

### 1.3. 鲍店煤矿地应力现状

鲍店煤矿井田位于兖州煤田向斜的中部，井田构造类型为简单型。主要含煤地层为下二叠统山西组 and 上石炭统太原组，煤系和煤层沉积稳定，为华北型含煤岩系。井田内无岩浆侵入，煤质较稳定。

根据鲍店煤矿生产要求和井下地质条件，选择四个地应力测点，应用应力解除法对十采南部泄水巷、三采轨道上山、三轨与总回联络巷和北翼辅助皮带巷道，进行地应力检测。

## 2. 系统分析

### 2.1. 测点分布

依据鲍店煤矿矿井地质条件及采掘情况，布置的四个原岩应力测点，其位置分别在十采区、三采区、五采区和一采区，通过对四个地应力测点的测量结果为：最大主应力 $\sigma_1$ 大小为 15.42~24.15 MPa，其方位

角为  $97^{\circ}\sim 130^{\circ}$ ；中间主应力  $\sigma_2$  大小为  $6.57\sim 11.85$  MPa，方位为  $210^{\circ}\sim 254^{\circ}$ ；最小主应力  $\sigma_3$  大小为  $5.29\sim 9.45$  MPa，其方位分布较分散。

四个测点的第一主应力均为最大水平主应力，最大水平主应力的值为  $15.42\sim 24.15$  MPa，十采区最大水平主应力值为最大，一采区最大水平主应力的值为最小；四个测点的最大水平主应力方位角在  $97^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 。各测点的最大水平主应力大小及方向详见表 1。

实测的最小水平主应力值大小为  $15.42\sim 24.15$  MPa，最大水平主应力一般为最小水平主应力的  $2.55\sim 2.88$  倍，即  $\sigma_{h\max} = 2.55 \sim 2.88\sigma_{h\min}$ 。水平应力对巷道掘进的影响具有明显的方向性。鲍店煤矿井下原岩应力的实际状态和分布特点，最大主应力为水平应力，水平应力的平均方位为  $88.9^{\circ}$ ，水平应力大于垂直应力。

## 2.2. 地应力分布特点及规律

(1) 鲍店煤矿原岩应力的特点如下：

原岩应力场的第一主应力为水平应力。七采区最大水平主应力为  $17.60$  MPa，方位  $NE79.6^{\circ}$ ；十采区最大水平主应力为  $23.04$  MPa，方位  $NE98.1^{\circ}$ 。实测得到的最小主应力也为水平应力。七采区最小水平主应力为  $6.56$  MPa，方位  $NE2.3^{\circ}$ ，十采区最小水平主应力为  $8.85$  MPa，方位  $NE6.9^{\circ}$ 。同一测点上的最大水平应力与最小水平应力在方位上基本垂直。垂直应力随深度线性增加，其值与按上覆岩层容重和埋深计算的垂直应力基本相符。最大水平应力普遍大于垂直应力，最大水平主应力为垂直应力的  $1.33\sim 2.11$  倍。实测的最大水平主应力为最小水平主应力的  $2.60\sim 2.68$  倍，即  $\sigma_{h\max} = 2.60 \sim 2.68\sigma_{h\min}$ 。

(2) 通过实测表明，影响鲍店煤矿井下巷道的稳定性主要为水平应力。方向呈正交关系的最大水平主应力分量  $\sigma_{h\max}$  和最小水平主应力分量  $\sigma_{h\min}$  在量值上通常相差非常大 ( $\sigma_{h\max} = 2.60 \sim 2.68\sigma_{h\min}$ )，这使得水平应力对巷道顶、底板影响具有明显的方向性。当巷道轴向与最大水平主应力平行时，受水平应力影响最小，对顶底板的稳定最有利。

## 2.3. 反演分析

(1) 地应力在支护中应用十分广泛。煤巷锚杆支护设计常用方法分为三类：第一类是工程类比法，第二类是理论计算法，第三类是计算机数值模拟和相似材料模拟分析法。

(2) 地应力资料是确定岩体原岩应力的重要保证，根据矿区地应力特点可知，地应力垂直方向的大小基本等于巷道上覆岩层的重量，而水平应力受地质构造等因素的影响呈现出了强烈的方向性，因而在建立数值计算模型的时候，就需要根据巷道的方向和地应力最大方向之间的关系来模拟巷道所处地应力的影响，因而确定地应力的大小具有重要的意义。

## 2.4. 分析结论

根据鲍店煤矿历年来的地应力测试资料，并进行了分析，地应力的分析能够在建立数值计算模型的时候确定模型中各个单元所处的原岩应力状态，从而模拟巷道在支护状态下所受的真实应力影响，这样计算得到的结果与实际监测结果才具有可比性，能够保证计算的精度。根据巷道的布置方位和地应力测

Table 1. The maximum horizontal principal stress magnitude and direction

表 1. 最大水平主应力大小及方向

地点	十采南部泄水巷	三采轨道上山	三轨与总回联络巷	北翼辅助皮带巷
最大水平主应力(MPa)	24.15	23.01	16.42	15.62
方位角	$114^{\circ}$	$97^{\circ}$	$108.8^{\circ}$	$130.6^{\circ}$

试的结果，可以模拟出巷道围岩所处的应力状态。

### 3. 巷道围岩力学参数的反分析

采用反分析的方法对巷道围岩力学参数进行分析[1]，反分析是一种以监测数据来反求力学参数的方法，能较为准确的获得所需结果。

#### 3.1. 运用正交试验来确定反演参数

反分析参数的选取时应注意不能选取过多的参数，如果参数反演过多会造成反分析不准确的现象，这就需要根据现场的地质情况来建立数值计算模型，设计正交试验，找出影响沿空煤巷应力或位移的主要力学参数，以减少反演参数个数，提高反演的精确度。

根据需要反分析的参数数目选择合理的监测数据：根据上面步骤选出来的反演参数来选择合理的监测数据，在选择监测数据的数目的时候应该遵循的原则是所选的监测数据的个数应该大于等于要反演的力学参数个数，保证反演的顺利进行。

正交实验的再应用：重新设计正交设计或均匀正交设计，并选择合理的待反演力学参数的范围，这样能使反演结果能加精确。

#### 3.2. 运用 Matlab 神经网络进行反演

根据设计的正交试验或均匀正交设计计算结果，以现场监测的数据资料为输入参数，以计算得到围岩力学参数为输出参数建立神经网络进行反演，得到稳定的神经网络。

反演力学参数：将现场监测的应力或位移等数据代入到神经网络中去，可以得到真实的现场围岩力学参数。

将得到的力学参数代入到建立的数值模型中去，将计算值如实际监测值进行比较，从而评价反演参数的正确性，如果参数不合理，则重复以上步骤，知道参数达到足够的精度为止。

#### 3.3. 运用正交试验选取反演参数

由于进行反分析时，要求现场检测的数据数目和待反演的力学参数的数目相差不能太大。如果选取的监测数据过多则会造成反分析过程的紊乱，所以在反分析的过程中，要对监测数据的数目进行压缩、取舍。选择那些影响巷道变形的力学参数，进行反分析试验。通过对地质柱状图的分析，将岩层主要岩性划分为中砂岩和粉砂岩。

本文采用正交试验来进行待反演参数的选取。正交试验的基本概念是利用正交表来安排与分析多因素试验的一种方法。它是通过在试验因素的全部水平组合中，挑选出部分有较强代表性的水平组合进行试验。它的基本特点是：用部分试验来代替全面试验，通过对部分试验的分析、了解来模拟全面试验。能够通过部分实验获得最优水平的组合。

#### 3.4. 运用人工神经网络进行反分析

根据上面正交试验结果，将前八组试验的位移值作为人工神经网络的输入层，同时将前八组所对应的中砂岩、粉砂岩及煤层的弹性模量作为目标输出层。第九组试验成果作为检验神经网络训练的精度。整个网络一共有三层，输入层有三个输入点，分别是顶板位移和一帮位移和的标准化处理、两帮变形的标准化处理以及顶板与两帮位移之比的标准化处理。输出层也有三个输出点，分别为中砂岩、粉砂岩及煤层的弹性模量。为了消除量纲对实验结果的影响以及许多传递函数，如  $\text{logsigmoid}()$  函数其输出值介于 0 和 1 之间，所以首先需要对数据进行标准化处理，然后进行分析[2]。

锚杆在巷道周围形成了一个高应力的支护圈，形成的梁拱作用很好的保证了巷道的使用稳定性，这与锚杆的支护机理相符，也说明了用数值软件分析现场工程实际问题的可行性，对计算结果进行分析并整理，以便应用 MATLAB 软件的神经网络工具箱对参数进行反演。

### 3.5. 确定围岩参数

三个岩(煤)层计算所得的各个参数差别较小，其中粉砂岩弹性模量计算数值差别稍大，根据正交试验得到的结果可知：粉砂岩的弹性模量对计算最终变形量的影响较小，所以满足工程使用要求，对两种计算方法得到的各个围岩参数进行平均，可得到十采区各岩(煤)层的各项物理力学指标参数，具体结果见表 2，变形警戒值计算可依据此表中各项参数进行。

通过查询应力云图可以发现以下几个特点：

(1) 开采造成的应力等值线表明留设 3 m 的保护煤柱较为合理，此处沿空煤巷处于应力降低区，给支护带来较大的好处，且能够取得很好的经济技术效果，验证了保护煤柱留设距离的合理性。

(2) 通过对未受开采影响的巷道应力云图和受开采影响的巷道开采云图对比发现：开采对沿空巷道造成的应力集中系数为 3.479，可见开采造成的次生应力较大，此应力是造成巷道失稳的主要原因。

(3) 通过查询支护锚杆和锚索的应力可以发现：巷道右帮(远离采空区的一帮)帮部锚杆的应力较大，这是因为开采造成沿空巷道保护煤柱产生应力卸载，而右帮所处应力区较高，因而在实际支护中要考虑以上因素。

为了验证计算结果的正确与否，在 103 上 05 运输顺槽建立监测断面，监测巷道的顶板下沉量和两帮的收敛变形，监测结果见图 1。

从图 1 中可以得到，巷道的两帮收敛变形为 659 mm，顶板下沉量为 334 mm，在数值计算模型中建立测线对巷道的两帮收敛变形和顶板下沉量进行监测，对比实际监测结果和模型计算结果之间的误差。

## 4. 巷道围岩稳定评价指标警戒值的确定

根据鲍店煤矿十采区工作面及顺槽的矿压观测，3 上层煤伪顶不发育，直接顶为中等稳定的 2 类顶板，老顶为强烈来压的 III 级老顶，巷道在掘进时，受掘进影响范围为 50 m，成巷影响距离短，在影响范围内顶底移近速度平均 10 mm/d，最大 12 mm/d，两帮移近速度平均 8.1 mm/d，最大为 42 mm/d，累计顶底移近量为 124 mm，两帮移近量 195 mm，掘出 50 m 后巷道趋于稳定，稳定期内围岩变形小于 1 mm/d。矿压显现不明显，整体性较好。主要应力表现为大地静力场型。

根据反演的力学参数和现场的工程实际情况，建立正算数值计算模型，根据巷道允许收敛位移量及支护结构的正常工作情况来确定锚网支护系统是否安全工作，对于现场的复杂地质状况如断层等采用将围岩弱化的方式来实现，以锚网支护系统对应的受力情况来判断实际支护的工作状态，从而建立起巷道收敛位移的警戒值，这对于安全评价系统的建立具有非常重要的意义。

Table 2. The mechanical parameters of rock  
表 2. 围岩力学参数

岩层	E (GPa)	$\mu$	C (MPa)	$\Phi$ (°)
砂岩	3.213	0.2	6.8	32
粉砂岩	1.758	0.22	1.6	27
煤	0.553	0.29	1.4	25

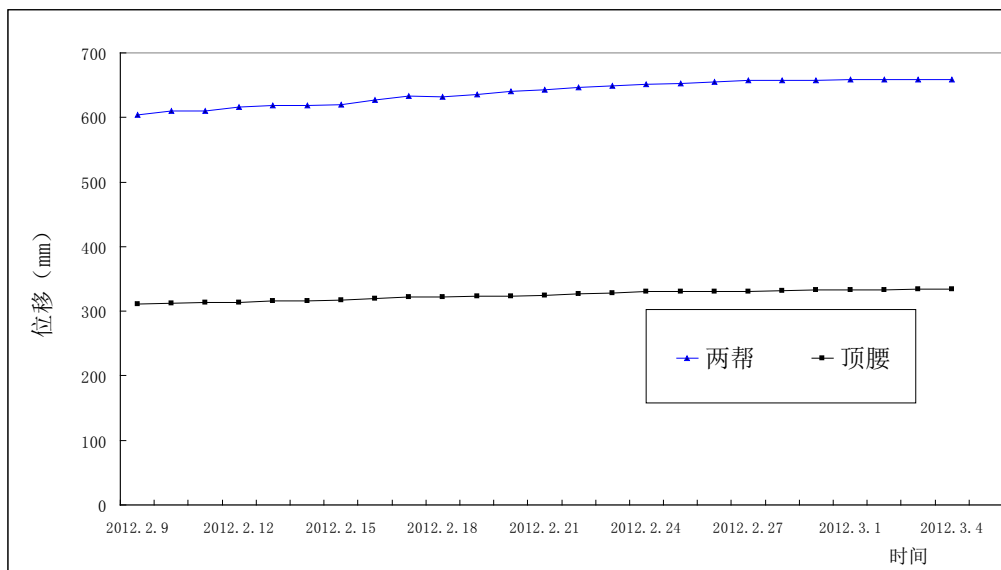


Figure 1.103 05 transport along the groove section convergence displacement map  
图 1.103 05 运输顺槽断面收敛位移图

## 5. 经济与社会效益分析

通过研究，明确了煤巷围岩类别的影响因素，从而为煤巷围岩的合理分析提供了合理的技术指导；针对煤巷围岩力学特性参数获取较难的情况，基于煤巷变形监测资料对煤巷围岩的力学特性参数进行了反分析，得出了能够反应实际的煤巷围岩的力学特性参数；运用数值分析软件计算出巷道变形警戒值，对巷道围岩失稳的判定提供了很好的参考作用；最后运用数学方法对新掘巷道的变形预测更实现了提前知晓巷道后期变形。能够帮助工程技术人员提前做好事故的预防方案，并且面对突发事故能够迅速处理，从而大大降低了安全事故发生的概率，减小了巷道失稳后再修复带来的巨大经济损失。

### 5.1. 经济效益

(1) 位移监测经济效益：以一条 1000 米的巷道为例，需设置 20 个测点，则需要一个人持测枪工作一天，测枪单价为 500 元/个，人工费每天 200 元，假如使用本评价系统，则可以节省十六个测点，则每天节省人工费 160 元；

(2) 锚杆锚索经济效益：以一条 1000 米的巷道为例，如设置十个锚杆监测断面和十个锚索监测断面，每个锚杆监测断面设置 5 个锚杆测力计，每个锚索监测断面设置 3 个锚索测力计，则共需要锚杆测力计 50 个，锚索测力计 30 个，共需费用 4 万元，假如使用本系统，则需锚杆测力计和锚索测力计各一个，可节省 3.9 万元，每天节省人工开支 195 元。

(3) 顶板离层经济效益：以一条 1000 米的巷道为例，需设置 20 个测点，每个测点需顶板离层仪一个，共需 20 个仪器，共花费 4000 元，使用本系统后，设置一个测点即可，可节省 0.38 万元，每天节约人工开支 190 元。

(4) 断层破碎带经济效益：以每米计算，根据统计断层破碎带比不过断层破碎带多花费 8 元钱，假如使用本系统后，则可以根据位移监测资料来有针对性的采取支护措施，假如监测资料表明不采取加强措施可以满足要求，则可以节约人工费 and 支护费用。

采用本安全评价系统后，每个月可以节省人工开支 1.66 万元，可以节省购买仪器费用 4.28 万元，断层破碎带可节约 8 元/(米·天)。

## 5.2. 社会效益分析

结合鲍店煤矿3<sub>上</sub>煤巷锚网支护的具体情况,从围岩分类、失稳警戒值、分级预警、变形预测等方面入手对煤巷锚网支护进行了深入的分析,通过编程实现了自动化判断,说明了煤巷锚网支护安全评价系统的开发技术可行、安全可靠、经济合理。为鲍店煤矿锚网支护信息化施工提供了一条行之有效、多快好省的技术途径。煤巷锚网支护系统具有成本低、效果好、能提前预警等优点,为矿井的高产高效及减小被动补救代价起到了积极的推进作用,该系统将大量的计算工作交由计算机处理,节省了大量的人力和物力资源,改善了煤巷锚网支护失稳后再采取补救措施的被动局面,为本矿区及国内类似条件下煤巷锚网支护信息化施工问题提供了一条很好的技术途径,因此具有很好的社会效益。

煤巷锚网支护安全评价系统的开发能够对煤巷锚网支护提供很好的指导作用,针对鲍店煤矿3<sub>上</sub>煤巷具体的锚网支护参数,通过收集巷道的前期变形监测数据,对巷道的稳定性给出了提前判断,具有显著的经济效益和社会效益。

## 参考文献 (References)

- [1] 魏云杰,陶连金 (2009) 煤矿巷道围岩稳定性快速评价方法研究. *地下空间与工程学报*, 4, 691.
- [2] 世志,张茂林,靖洪文,陈坤福 (2004) 巷道围岩稳定性分类方法评述. *建井技术*, 5, 24.