

Discussion on the Full-Length Anchorage Mechanism of Hollow Grouting Anchor Cable and Construction Method

Yunqiang Bai¹ Xue Yang²

1. Guqiao Mine of Huaihe Energy Holding Group, Huainan, Anhui, 232000, China
2. Anhui Jingrui Machinery Maintenance Co., Ltd., Huainan, Anhui, 232000, China

Abstract

Full-length anchorage and grouting anchor cable technology is gradually being used in coal mine rock tunnel support. In order to study the anchoring mechanism of grouting anchor cable, comparative analysis of several grouting anchor cable application forms used in site construction, numerical simulation methods are used to study the interaction mechanism between anchor cable and rock under three anchoring conditions: pre-stressed resin end anchor, full-length cement grout anchor, and pre-stressed resin anchorages combined with full-length cement grout anchor, the deformation of rock mass, stress state of anchorage layer and axial force distribution of anchor cable under different construction conditions of grouting anchor cable are obtained. The results show that, compared with the three construction schemes, the prestressed resin anchorages combined with cement slurry full-length anchorage can better coordinate the deformation of anchor cable and rock, and make the bearing body reach the optimal stress state.

Keywords

grouting anchor cable; full-length anchorage; anchorages; numerical simulation

中空注浆锚索全长锚固机理及施作形式探讨

白运强¹ 杨雪²

1. 淮河能源控股集团顾桥矿, 中国·安徽 淮南 232000
2. 安徽精锐机械维修有限公司, 中国·安徽 淮南 232000

摘要

全长锚固注浆锚索技术在煤矿岩巷支护中逐渐得以运用。为研究注浆锚索全长锚固机理, 对比分析现场施工采用的几种注浆锚索施作形式, 采用数值仿真方法研究了预应力树脂端锚、水泥浆全长锚固、预应力树脂端锚配合水泥浆全长锚固三种锚固条件下锚索与岩石的相互作用机制, 得出了注浆锚索不同施作条件下岩体变形量、锚固层受力状态以及锚索轴力分布状况。研究结果表明, 三种施作方案相比, 预应力树脂端锚配合水泥浆全长锚固施作方式可更好的协调锚索与岩石的变形, 使承载体达到最优受力状态。

关键词

注浆锚索; 全长锚固; 端锚; 数值模拟

1 引言

目前, 中国煤矿岩巷支护主要采用型钢支架、锚网喷、锚索、注浆等措施。锚注支护技术在控制围岩稳定方面的关键作用早已得到广泛认可。注浆在隧道、煤矿等工程岩体加固中已有数十年的历史。注浆可改善围岩力学性质, 显著提高岩体强度, 从而提升围岩自承能力。锚杆和锚索也是工程岩体支护中普遍应用的技术, 可提高围岩自身承载能力。

论文讨论了全长锚固注浆锚索的特点, 并通过数值分析研究注浆锚索全长锚固作用机理, 模拟分析预应力树脂端锚、

全长注浆锚固、预应力端锚 + 全长注浆锚固三种注浆锚索施作形式的作用机制, 研究不同施作条件下岩体变形控制、锚固层受力状态、锚索轴向应力等分布状况, 讨论了更为合理的注浆锚索施作方式, 从而对注浆锚索现场施工产生实际指导价值。

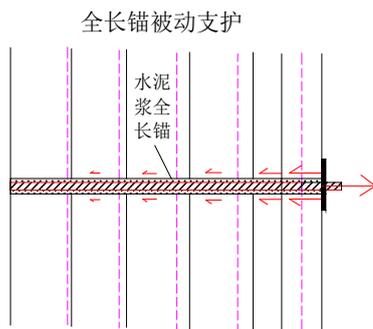
2 注浆锚索技术的发展

中空注浆锚索内部采用中空结构, 自带注浆芯管, 采用反向注浆方式, 降低了产生空洞的几率, 而且省去了安装排气管、在现场绑扎注浆管、排气管等工序。可采用喷浆封闭

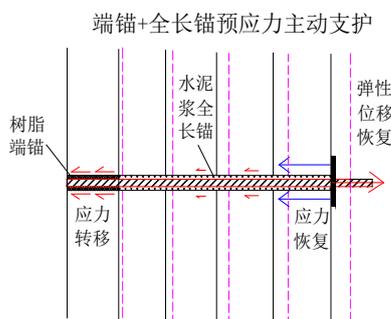
方式取代传统的棉纱和水泥封堵注浆孔的方法，简化施工工艺简化。通过注浆补强围岩的同时，可实现锚索全长锚固，改善索体与围岩的贴合效果和承载状态^[1]。

现场注浆锚索的施工主要包括无预紧力注浆全长锚固和端锚预紧之后注浆全长锚固两种施作方式，两种方案对比分析如下所示。

如图 1 (a) 所示，单纯全长注浆锚固不施加预紧力的情况下，随着围岩应力由浅表向深层逐渐释放，围岩位移由深部到浅表递增，因而索体与岩壁之间的锚固层所受剪应力由内而外递增，承载体主要集中在浅表松动区域，内层锚固层受力微弱，甚至不承载，此类施作方式本质上属于被动支护。而先端锚施加预紧力之后再注浆全长锚固如图 1 (b) 所示，可先将浅表应力转移至深部锚固端岩体，预紧力可快速起到巷道表面应力恢复的作用，阻止浅表围岩塑形破坏。注浆全长锚固后可实现锚索全长有效贴合承载。此类施作方式属于主动支护。



(a) 水泥浆全长锚固



(b) 预紧力树脂端锚 + 水泥浆全长锚固

图 1 全长锚固形式

论文将通过数值仿真模拟以上注浆锚索施作方式，通过对比分析来研究不同施作形式下岩体的承载状态，并对以上分析结论进行验证。

3 锚索全长锚固数值模拟

3.1 模型建立

针对现场注浆锚索的几种施作形式，分别建立数值模型，同时建立传统钢绞线锚索树脂端锚承载模型，分析各种锚固形式的承载特点。

建立岩石模型尺寸为 10m × 10m × 10m，锚索长 8m，直径 $\phi 20\text{mm}$ ，锚索孔直径 $\phi 40\text{mm}$ 。树脂端锚长度 1m，水泥浆锚固段长度 7m，外加边长 200mm 厚 15mm 的托盘。

为模拟巷道开挖卸荷效应，先在水平和垂直方向施加 10MPa 初始应力，达应力自平衡状态后，将初始位移归零，然后沿 y 轴方向单向卸压，近似模拟开挖卸荷效应。

注浆前后的岩体参数采用不同力学参数以体现注浆补强效果。锚索和托盘采用弹性介质模型，弹性模量取 $E=3.6 \times 10^3 \text{GPa}$ 。

表 1 模型主要材料参数

模型参数	重度 / $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	泊松比	内聚力 /Mpa	内摩擦角 /($^\circ$)
岩石注浆前	27.63	14.75	1.375	14	0.21	3.15	37.5
岩石注浆后	28.0	20.0	2.0	25	0.21	5.0	39
树脂锚固层	25.0	40.0	20.0	30	0.15	10.0	40
水泥浆锚固层	30.0	30.0	5.0	26	0.18	8.0	40

3.2 计算结果

方案 I: 不加锚索

先计算卸载不安装锚索的情况，计算中对模型卸压端面近中心处（钻孔上缘）一点 A 的水平位移进行了动态监测。测点位移随时步变化曲线如图 2 所示。可见，单向卸压时测点位移逐渐增加， 1.3×10^4 时步位移达 0.045m。

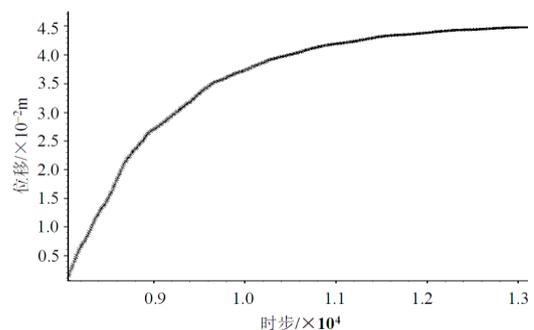


图 2 A 点位移—时步关系曲线

方案 II：无预应力全长注浆锚固

安装锚索，采用水泥浆全长锚固，不施加预应力。应力和边界条件与方案 I 相同，可见最大位移约 0.024m。锚索位置剖面 y 向位移云图如图 4 所示，与纯端锚相比，全长粘结锚固效应得以体现。锚固对变形的束缚作用明显。

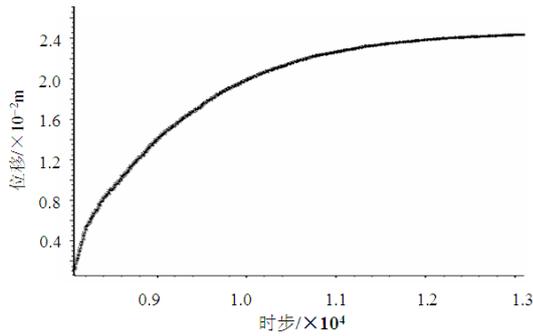


图 3 位移—时步关系曲线（方案 II）

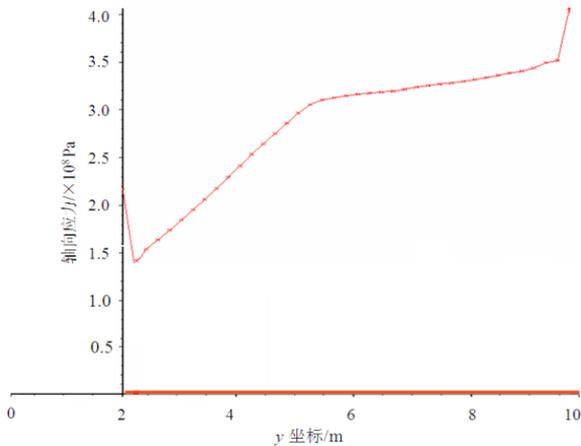


图 4 锚固层 σ_{yz} 分布曲线（方案 II）

锚索轴向应力分布曲线如图 4 所示，锚索轴向应力由孔口至深部逐渐增加。未施加预紧力，锚索轴力整体处于较低水平。

方案 III：预应力端锚 + 水泥浆全长锚固

现场施工采用此类方案时，注浆一般滞后端锚 1~3 天，且浆液凝固形成强度也需要约 1 天时间。因此本计算尝试先端锚计算一定时步，锚固段充分持力，再启动全长锚固程序。所得位移曲线如图 5 所示，可见大位移约 0.024m，与方案 II 相当。全长粘结锚固效应与方案 II 相比在内部端锚位置有细微差别，锚固对变形的束缚作用明显。

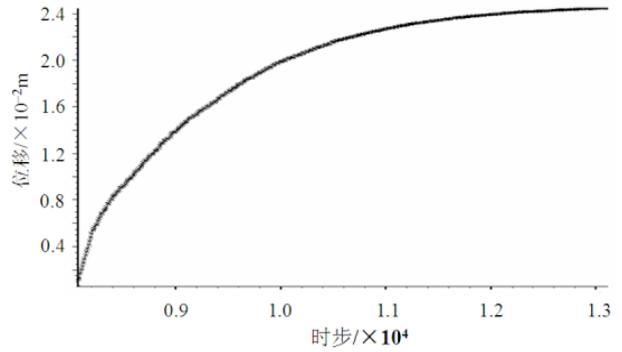


图 5 位移—时步关系曲线（方案 III）

对锚固段（树脂端锚段和水泥浆段）沿轴线方向单元采集剪应力 σ_{yz} ，绘制曲线如图 6 所示。可知，与方案 II 无预应力全长锚固相比，方案 III 树脂锚固段剪应力明显提高。预应力端锚将应力向深部转移的作用得以体现。

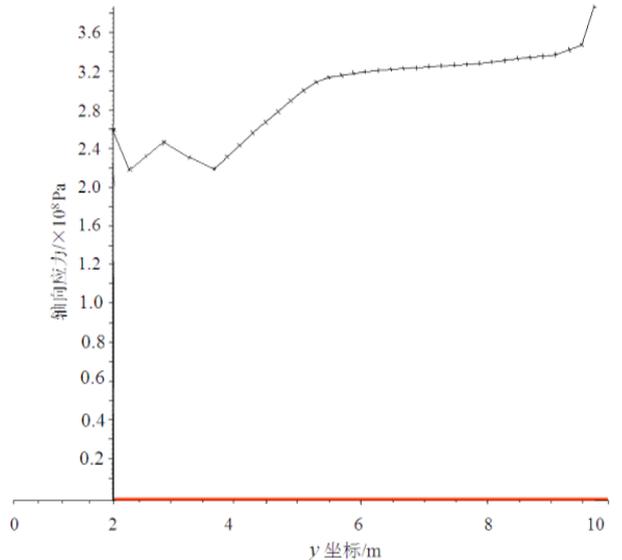


图 6 锚固层剪应力 σ_{yz} 分布曲线（方案 III）

锚索轴向应力沿长度方向的变化曲线如图 7 所示，锚索轴向应力由外向内呈先降后增，至端锚段有递减的趋势，端锚段和空口附近约 1.5m 范围内为主要承载段。

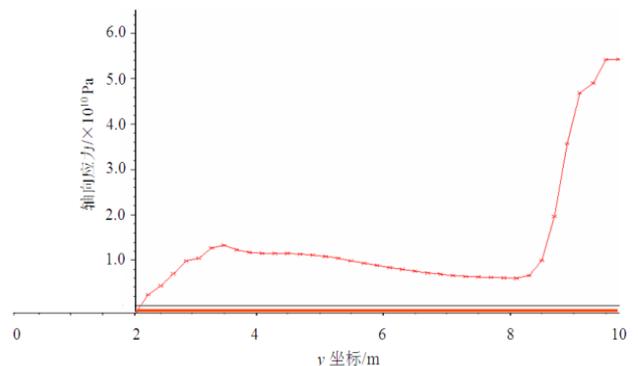


图 7 锚索轴向应力分布曲线（方案 III）

4 结语

论文分析的锚索支护形式都有各自的优点和适用范围,应综合考虑不同的围岩地质状况、施工条件、巷道功能及服务年限等因素,采用不同的锚索施作形式,根据数值模拟案例围岩条件,得出不同锚索施作形式下锚索和锚固层受力状态、位移分布及变形控制效果的结论。

综合以上分析结果,可认为:在相同围岩条件下,三种方案相比,预应力树脂端锚配合水泥浆全长锚固施作方式可最大限度的协调锚索与岩石的变形,并可实现应力转移,使承载体达到最优受力状态。在受现场施工条件限制的情况下可采用无预紧力水泥浆全长锚固的施作形式,在条件许可的情况下应尽量采用预应力树脂端锚配合注浆全长锚固方法。

此外,注浆锚索施作方式还应选择恰当的注浆时机。巷道开挖后,浅表围岩会经历一个开挖卸载应力释放的过程,松动圈会随之由围岩浅表向深层扩展。围岩应力释放和松动圈的扩展可使围岩裂隙逐渐发育,利于注浆浆液扩散。但是,如果松动圈扩展超出锚注加固范围时,不及时注浆会导致围岩承载体失稳破坏。

煤矿巷道锚索端锚初始预应力一般在10t~20t范围内,大量锚索轴力监测报告证明,因树脂药卷、索体与岩壁的贴合效应影响,锚索张拉初期预应力会明显降低,因而,注浆前应对锚索进行二次张拉,以最大限度发挥作用。

参考文献

- [1] 王录. 全长预应力中空注浆锚索在过断层巷道中的应用[J]. 同煤科技,2020(04):34-36.