

Research on Coupling Yieldable Support Technology in Large-Section Reuse Gate Roadway

Dongyin Chen

Jennmar (Jining) Mine Roof Support Products Co. Ltd., Jining Shandong
Email: dongyangin0904@163.com

Received: Jun 28th, 2018; accepted: Jul. 10th, 2018; published: Jul. 17th, 2018

Abstract

In view of acute distortion of slant road surrounding rock during large-section reuse gate roadway and poor stability of overhauled tunnel in Changping Coal Limited Liability Company, an experiment with yieldable bolt and cable bolt support system was carried out in tunnel 43142. In the experiment, high strength yieldable bolts and coupling yieldable anchor cables were deployed, the prestress of anchor bolts and anchor cables was designed to be 40 kN and 120 kN respectively. The monitoring data showed that the maximal close displacement of the two sides was 495 mm and the maximal of the floor heave was 600 mm. The results showed that a successful support in tunnel 43142 was achieved by enhancing high strength prestress of the support system.

Keywords

Reuse Roadway, Yieldable Bolt with Stress Indication, Coupling Yieldable Anchor Cables, Large-Section

大断面复用顺槽耦合让压支护技术研究

陈东印

捷马(济宁)矿山支护设备制造有限公司, 山东 济宁
Email: dongyangin0904@163.com

收稿日期: 2018年6月28日; 录用日期: 2018年7月10日; 发布日期: 2018年7月17日

摘要

文章针对长平煤业有限责任公司大断面复用顺槽出现的围岩变形大, 且返修后仍不能有效控制巷道稳定

文章引用: 陈东印. 大断面复用顺槽耦合让压支护技术研究[J]. 矿山工程, 2018, 6(3): 147-155.
DOI: 10.12677/me.2018.63020

的支护难题，采用耦合让均压锚杆与锚索支护系统在43142巷进行了支护试验。试验巷道选用高强让均压应力显示锚杆和耦合让压锚索，设计安装载荷分别为40 kN和120 kN。工业性实验后知：试验巷道顶板下沉量最大值180 mm，两帮移近量最大值495 mm，最大底鼓量600 mm。通过安装高强度、高预紧力耦合让均压锚杆和耦合让压锚索支护系统能适应大断面复用顺槽的支护要求，实现了43142巷的一次支护成功。

关键词

复用顺槽，让压应力显示锚杆，耦合让压锚索，大断面

Copyright © 2018 by author 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

1. 引言

随着中国煤矿开采深度与开采强度的加大，巷道支护的难度越来越大。科技工作者根据巷道支护面临的新课题，在巷道支护技术研究、支护产品研发及巷道施工工艺上都进行了深入的研究，取得了很大的进展。对不同类型的支护产品的支护机理、巷道支护的设计方法、巷道施工的检测技术等方面进行了深入实践，得到了多方面的成功经验[1]。目前，锚杆支护系统在大断面复用顺槽支护中的应用与研究还不完善，因此，对耦合让压锚杆、锚索支护系统在大断面复用顺槽支护技术试验研究很有意义[2]。

长平煤业有限责任公司在大断面复用顺槽支护上面临严重的问题。根据原大断面复用顺槽支护的施工实践可知，顺槽受到相邻采煤工作面开采的动压影响后，矿压显现非常剧烈，顶底板和两帮破坏严重，即使进行了补强支护或简单返修后也不能完全控制巷道围岩变形，严重影响了矿井的安全生产。复用顺槽受到本工作面回采时超前支承压力影响期间巷道的变形更加剧烈，经常出现边扩帮边推进工作面的局面，给矿井的安全、高效生产带来了很大困难。根据长平煤业复用顺槽支护的实践经验，本文研究设计出适合长平煤业大断面复用顺槽支护特点的支护系统，具有重要的现实意义。

2. 采矿与地质条件简述

长平煤业4314工作面开采3#煤层，开采深度480~520 m，煤层厚度平均6 m，煤层倾角平均6°，煤质疏松，整体性不好。3#煤层直接顶为1.54 m的砂质泥岩，老顶为7.1 m的中粒砂岩，直接底板为0.7 m的泥岩，老底是2.9 m的粉砂岩。

采用双巷同时掘进留煤柱沿空留巷的方式。43142巷掘进断面5600×6200 mm(巷道分两次掘进，一次掘进高度为3600 mm，然后起底到设计高度)。顺槽沿3#煤层顶板掘进。43142巷与4314工作面之间留设70 m煤柱，其首先作为4314工作面的辅运巷，然后作为4312工作面的回风巷。43142巷经受4314和4312两个工作面回采时的动压影响。43142巷平面位置关系示意图如图1所示，根据类似条件下的顺槽支护经验，在工作面回采过程中巷道破坏严重，巷道维护相当困难。

现在3#煤层顺槽主要采用高强锚杆与锚索支护，锚索密度大，顺槽支护成本高、掘进效率低，同时巷道变形严重，需要对巷道进行多次巷修，才能满足需要。通过对原支护顺槽的现场考察发现，尽管顺槽变形严重，但并未发现锚杆出现破断现象，这说明支护设计和施工中存在严重缺陷，锚杆受力很小，没有真正起到应有的支护效果。

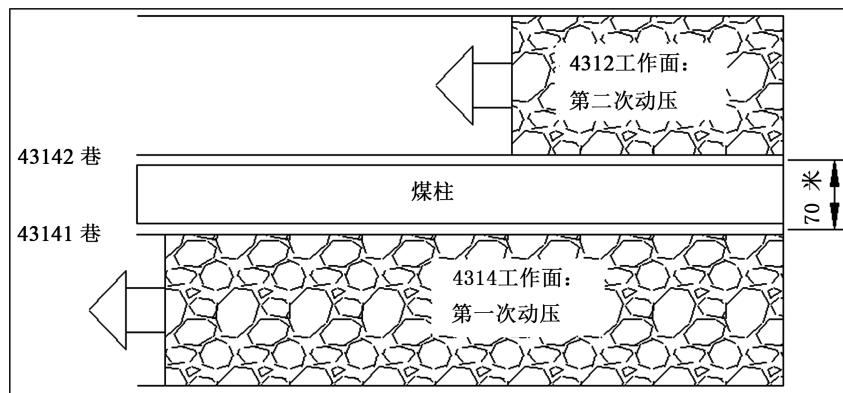


Figure 1. Diagram position relational diagram for reuse gate roadway
图 1. 复用顺槽平面位置关系示意图

经分析，大断面复用顺槽支护主要存在如下三个方面的问题：

- 1) 由于锚杆系统设计和施工不合理，导致锚杆的预紧力偏低，难以控制围岩的早期位移，导致顺槽在经受一次动压影响期间发生剧烈位移而出现较大的松散破碎圈，此时由于锚杆的内着力点受到破坏，锚杆支护系统几乎没有受力，随围岩一起被动外移。
- 2) 巷道表面控制效果差。由于巷道成形不好，部分锚杆托盘出现悬空现象，金属网贴壁不密实；且由于表面支护强度低，很多锚杆托盘被“拉入”煤壁，锚杆外着力点失效[3]。
- 3) 支护系统不完善：现有的支护系统无法适应留煤柱沿空留设巷道所经受的动压和变形，支护系统尽管有强大的支护强度，但由于设计理念不适合矿压特点造成巷道支护和维护的一系列问题。

3. 大断面复用顺槽支护系统设计重点

井下观察发现，大断面复用顺槽支护巷道的破坏形式为典型的动压巷道破坏显现。对此类巷道，支护参数设计应重点把握三个因素：

- 1) 提高锚杆预紧力：锚杆预紧力是锚杆实现主动支护的源泉，是控制围岩早期位移的重要参数，合理的预紧力可以防止围岩发生过大的早期位移，有效控制松散破碎圈增大，防止顶板离层，实现最佳组合梁的支护效果。
- 2) 合理的锚杆支护强度和表面支护强度：在大断面复用巷道的条件下，必须提高支护系统强度，使其与强动压大变形的环境相适应；合理有效的表面控制可以减轻围岩的碎胀位移程度，保证支护系统外部着力点的稳定性和可靠性，提高巷道的支护效果。
- 3) 支护系统的耦合让压性能：对于大断面复用顺槽，顺槽的部分变形是不可控制的，顺槽的部分压力是无法经济控制的。为了保证锚杆、锚索支护系统有效支护，防止因承受过度载荷而破断，同时考虑锚杆、锚索、围岩之间的位移特性，锚杆、锚索支护系统必须具有控制位移让压和均压性能。

4. 大断面复用顺槽支护方案设计

4.1. 支护系统

大断面复用顺槽 43142 巷支护设计采用耦合让压锚杆、锚索支护系统。耦合让均压系统主要就是利用围岩、锚杆、锚索三者之间的变形和受力的关系，实现三者的变形协调和受力协调。均压的实现是靠让压环来实现，保证某个锚杆或锚索受力过大时先发生变形，把力传递到其相邻的锚杆或锚索上，避免因某个锚杆或锚索受力过大而先发生破断，实现锚杆和锚索均匀受力的目标。

4.2. 支护参数设计

4.2.1. 锚杆与锚索

1) 锚杆与锚索强度与长度设计

根据弹塑性理论，围岩变形和应力关系如下[3]:

$$p_a = -c \cot \varphi + (1 - \sin \varphi)(c \cot \varphi + \sigma_z) \left(\frac{(1 + \mu) \sin \varphi}{E} (c \cot \varphi + \sigma_z) \frac{r_0}{u_{r_0}^P} \right)^{\frac{\sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$$

式中 p_a : 围岩应力(支护阻力),

U_{r_0} : 围岩表面位移,

r_0 : 巷道等效区半径,

c : 岩石内聚力,

φ : 岩石内摩擦角。

根据矿井煤层物理力学特征和采矿条件，并结合多个矿井的支护经验，利用上述公式分别做出支护阻力和松散区的关系曲线及支护阻力和围岩表面位移的关系曲线，在此基础上，把两条曲线合并做到一个图表就得到围岩表面位移和支护阻力特性曲线如图 2 所示。

从图 2 知，锚杆支护系统设计必须包括：锚杆(索)长度，支护强度和支护系统的变形耦合让压距离。这三个参数是相互影响和相互制约的，三者必须达到耦合。单独提高和降低一个因素而忽略其他因素都达不到支护效果，这三个因素就是耦合支护工况点。其确定方法是根据上述分析从图中取值。

针对长平煤业大断面复用顺槽 43142 巷的地质与采矿条件，得到相邻工作面开采时与本工作面开采时的锚杆耦合让压支护工况点设计曲线如图 3 和图 4 所示。

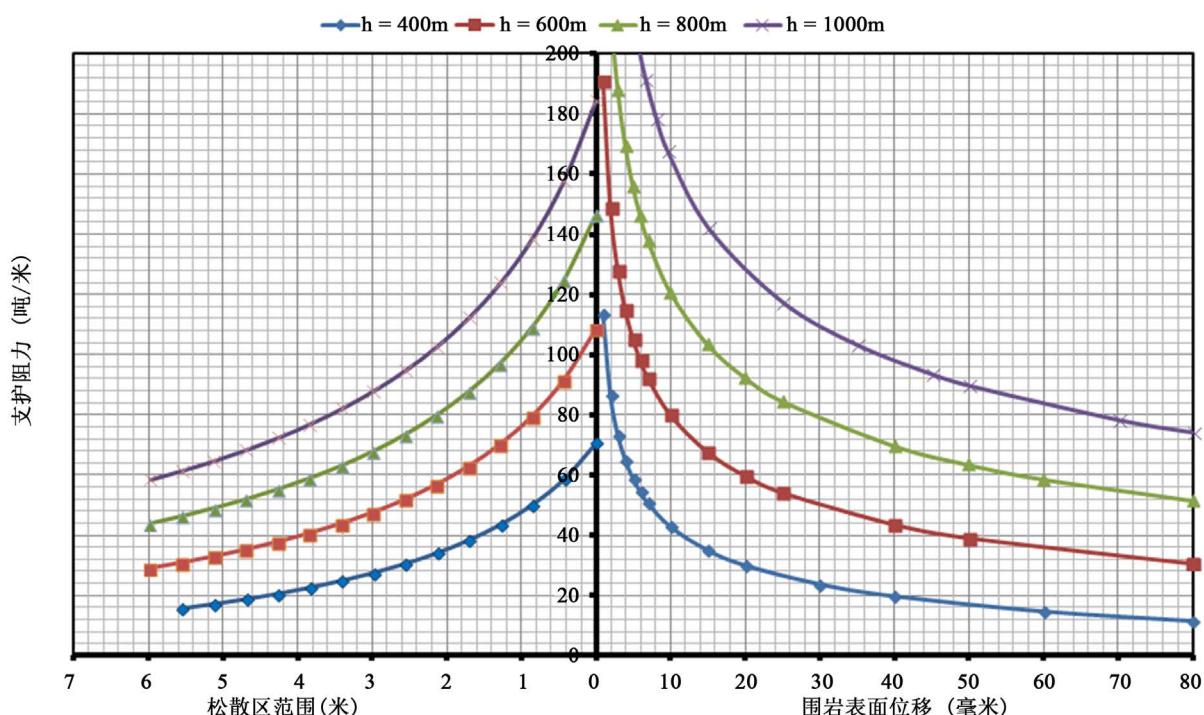


Figure 2. Graph for the surrounding rock and support resistance characteristics

图 2. 围岩表面围岩与支护阻力特性曲线图

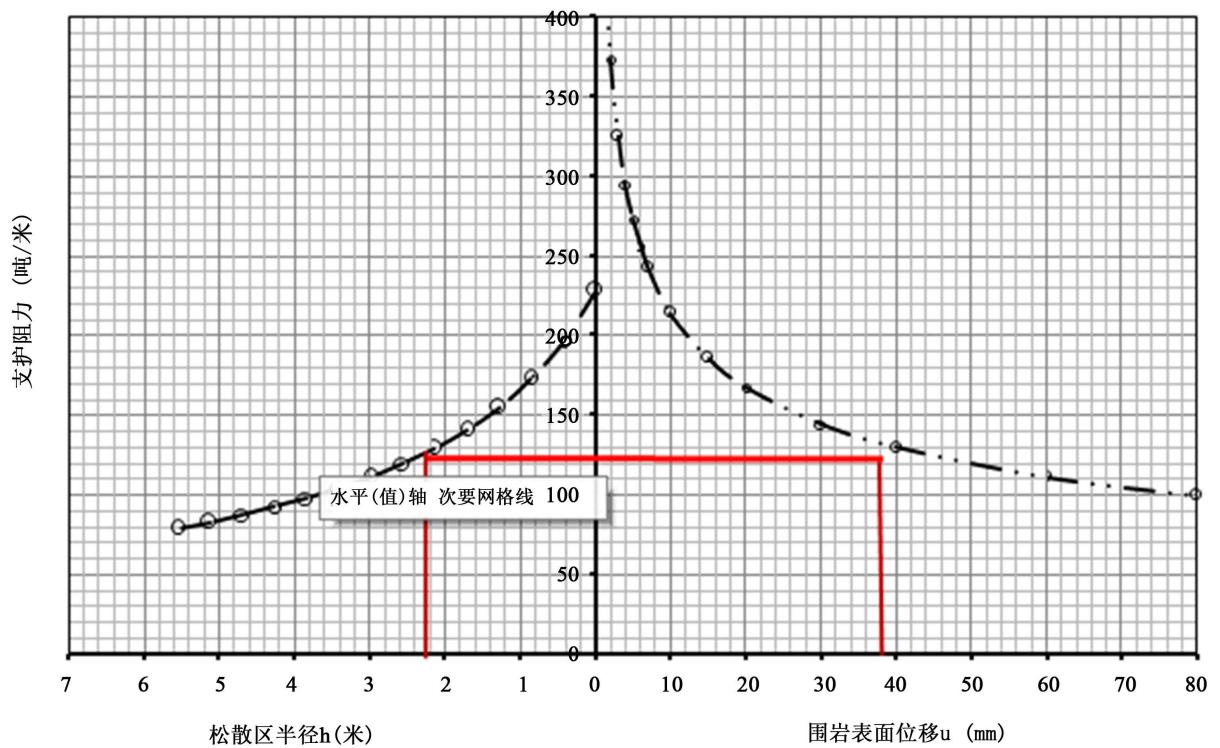


Figure 3. Design graph for bolt coupling and yieldable working point during one time dynamic pressure effect
图 3. 一次动压影响期间锚杆耦合让压工况点设计曲线图

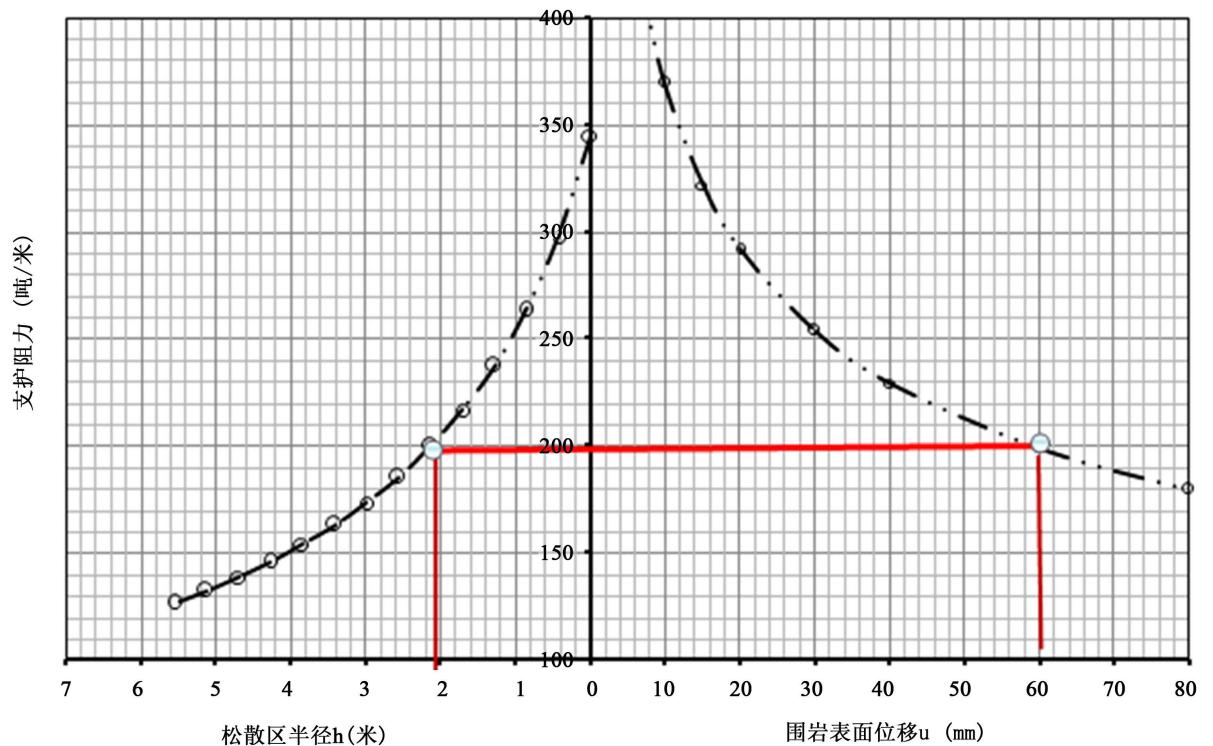


Figure 4. Design graph for bolt coupling and yieldable working point during roadway reuse
图 4. 巷道复用期间锚杆耦合让压工况点设计曲线图

43142 巷在掘进期间是实体煤掘进，矿压显现强度低，重点是相邻工作面开采时的动压影响、复用巷道动压影响期间锚杆、锚索极限耦合让压工况点设计。

在实体煤掘进期间，巷道矿压显现很小，支护的耦合工况点往往变化不大，光靠锚杆支护就可以，锚索可以滞后打设，这样可以工序平行穿插，提高效率。

一次动压影响期间支承压力的考虑方式是把垂直应力增加 1.1 倍。根据这个原则，在巷道宽度 5600 mm 情况下，一次动压影响期间锚杆耦合让压工况点设计曲线图如图 3 所示。从图 3 可以看出，一次动压影响期间“三维支护工况点”为：支护强度(锚杆)：1200 kN/m；围岩表面位移(耦合距离)：38 mm；松散范围：2200 mm。

巷道复用期间，支承压力系数取 2.5，根据这个原则，在巷道宽度 5600 mm 情况下，巷道复用期间锚杆耦合让压工况点设计曲线图如图 4 所示。从图 4 可以看出，复用期间“三维支护工况点”为：支护强度(锚杆+锚索)：2000 kN/m；围岩表面位移：60 mm；松散范围：2200 mm。

43142 巷顶板每排布置 6 根直径 22 mm 的 Q500 MPa 的高强锚杆，锚杆长度 2800 mm，锚杆排距为 1000 mm；顶板每排布置三根直径 21.8 mm 的锚索，锚索长度为 6300 mm，锚索的排距为 1000 mm。一次动压影响期间顶板锚杆的弹性支护强度为 1140 kN，锚索的支护强度为 1680 kN。二次动压影响期间，顶板锚杆的支护强度为 1440 kN，锚索的支护强度为 1680 kN。满足支护强度和围岩位移需要。

2) 锚杆与锚索安装载荷设计

锚杆与锚索的安装载荷是控制围岩早期变形的重要参数，是锚杆和锚索实现主动和早期支护的源泉。安装载荷过小会使围岩发生过大的早期变形，松散破碎圈增大，引起顶板破碎，锚杆和锚索受力增加。锚杆与锚索的安装载荷是发挥锚杆与锚索支护效能的关键，是保证巷支护效果的关键因素。经有限元优化计算，确定锚杆的安装载荷为 40 kN，锚索的安装载荷为 120 kN [4]。

3) 让压环设计

在合理的锚杆与锚索长度和安装载荷条件下，锚杆与锚索支护系统将发挥其应有的作用并承受围岩的位移载荷。然而，部分围岩位移是不可控制的，所以锚杆与锚索支护系统必须有控制让压能力。根据所选用的锚杆与锚索强度结合支护工况点设计曲线，锚杆让压管的控制让压压力为 150~170 kN，长度 40 mm，让压距离 26 mm；锚索让压压力为 260~300 kN，让压距离 38 mm [5]。

4) 帮部锚杆与锚索特殊设计

为方便现场施工和保证锚杆与锚索的锚固力，帮部采用了蛇形锚杆和鸟窝锚索。

帮部蛇形锚杆选用直径为 20 mm，杆体强度为 600 MPa；帮部鸟窝锚索长度 4.5 m，锚索直径 18.9 mm，锚索配置 $300 \times 300 \times 12$ mm 的高强球型托盘。帮部锚杆与锚索均采用耦合让压机构[6]。

4.2.2. 表面控制

为了控制松散围岩脱落，采用金属网与 W 钢带作为表面控制方式。

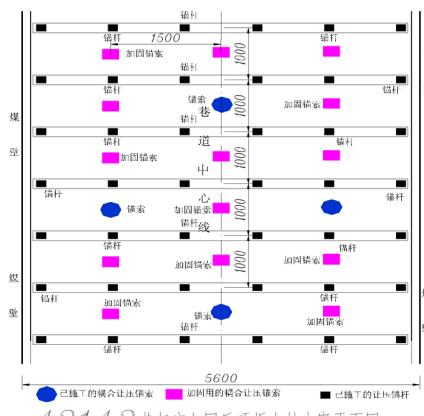
结合数值计算及工程经验确定的支护方案如图 5 所示。

5. 43142 巷矿压监测及结果分析

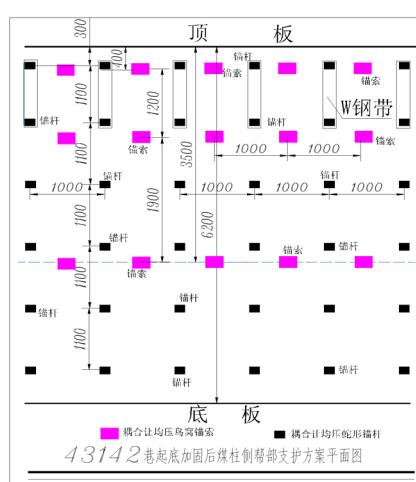
在 43142 巷试验段设置了 3 组观测站，主要监测内容包括：巷道表面位移监测、锚杆和锚索锚固力监测、锚杆预紧力监测、锚杆与锚索受力状态监测 4 个方面。

1) 锚杆安装载荷试验

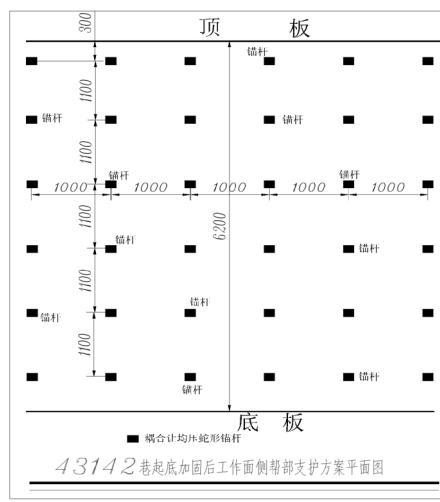
为确定锚杆的安装载荷与安装扭矩的对应关系，便于井下锚杆施工及安装质量检测，在井下进行了预紧力与安装扭矩关系试验。



(a)



(b)



(c)

Figure 5. Design ichnography of support scheme for 43142 large-section reuse roadway. (a) Roof support plan; (b) Plan of pillar side support; (c) Plan of the side support of the working face

图 5. 大断面复用巷道 43142 巷支护方案设计平面图。(a) 顶板支护平面图; (b) 煤柱侧帮部支护平面图; (c) 工作面侧帮部支护平面图

经井下试验(图 6),为满足设计的锚杆安装载荷大于 40 kN 的要求,锚杆的安装扭矩不小于 210 N·m。

2) 锚杆锚固力监测

在掘进及回采期间对 15 根锚杆进行了井下拉拔试验,锚固力达到 180 kN 时锚杆系统均未发生破坏,图 7 为一个顶板锚杆的拉拔试验曲线,锚杆的屈服强度 190 kN, 锚杆在拉拔过程中性能很稳定。

3) 巷道表面位移监测

根据对掘进期间、一次动压影响期间和巷道复用期间的顺槽表面位移观测知,顶板下沉量最大值 180 mm,两帮移近量最大值 495 mm,最大底鼓量 600 mm,巷道的整体表现比较稳定。实现了巷道一次支护成功[7]。

4) 锚杆、锚索受力状态监测

通过三组观测站锚杆、锚索托板压力表的监测数据表明,顶板锚杆的最大拉力 235 kN,两帮锚杆的最大拉力 230 kN,锚杆达到屈服状态。顶板锚索的最大拉力 360 kN,两帮锚索的最大拉力 290 kN。一次动压影响期间,大部分锚杆、锚索的让压装置出现了明显变形;巷道复用期间,大部分锚杆与锚索的让压环被压平,说明锚杆、锚索的耦合让压设计发挥了作用,起到了耦合支护的目标。

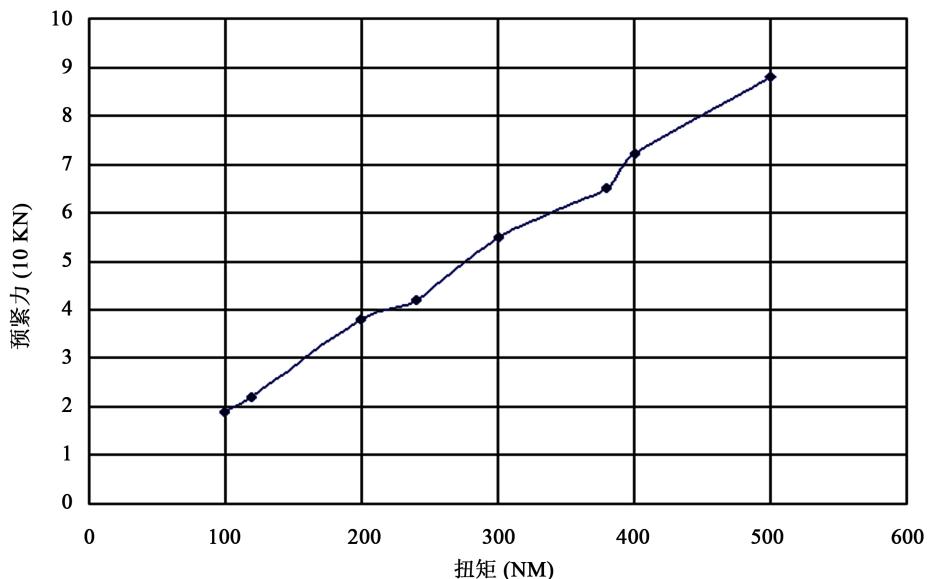


Figure 6. The relationship between installation load and installation torque

图 6. 安装载荷与安装扭矩关系

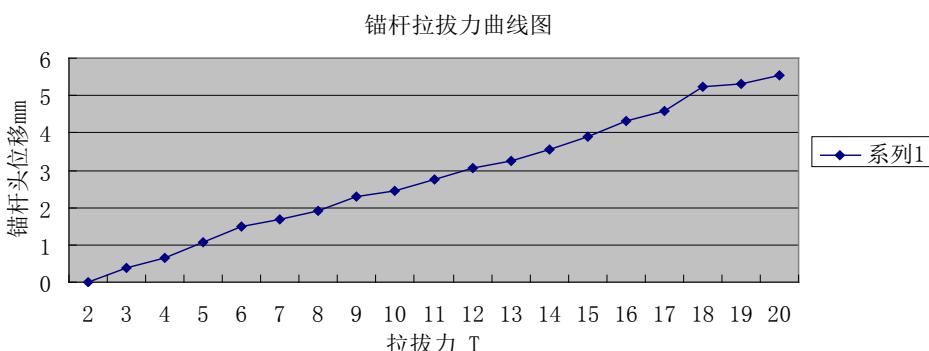


Figure 7. Load and displacement graph for bolt pull testing

图 7. 锚杆拉拔试验拉力位移曲线

6. 结论

- 1) 根据弹塑性理论, 利用围岩变形和应力关系得到的围岩表面位移和支护阻力特性曲线进行巷道支护方案设计是合理有效的。
- 2) 采用耦合让均压支护系统后, 在允许巷道围岩产生一定变形的情况下, 支护体整体受力状况良好, 解决了锚杆、锚索受力不均的问题, 有效控制了巷道围岩的变形。
- 3) 采用蛇形锚杆和鸟窝锚索后, 解决了松软煤层帮部锚杆与锚索锚固力不稳定的问题。
- 4) 采用的耦合让均压支护系统适应大断面复用顺槽的矿压显现特点, 可以实现大断面复用顺槽的一次支护成功。

参考文献

- [1] 于斌. 高强度锚杆支护系统及在大断面煤巷中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(8): 5-8 + 18.
- [2] 王金华. 全煤巷锚杆锚索联合支护机理与效果分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 1-7.
- [3] 王亚杰. 深井高地压、大位移围岩巷道支护技术及锚杆设计[J]. 煤矿支护, 2008(1): 8-18.
- [4] 连传杰, 韦立德, 王阁. 高预应力让压锚杆数值模拟方法研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(10): 1437-1443.
- [5] 黄宝田, 陈东印. 高应力巷道高强让压锚杆支护系统试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 49-52.
- [6] 霍丽萍. 端锚锚杆对巷道围岩的支护作用分析[J]. 矿山压力与顶板控制, 2002, 19(2): 62-63.
- [7] 于洋, 朱琪, 王襄禹. 大断面下山煤巷围岩稳定性控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(3): 1-2.

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: me@hanspub.org