

煤矿巷道锚索锚固力井下试验研究

张 剑^{1 2 3}

(1. 煤炭科学研究总院 开采研究分院, 北京 100013; 2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013;
3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013)

[摘 要] 为研究树脂锚索锚固力大小的影响因素, 以塔然高勒煤矿回风大巷复合顶板地质条件为工程背景, 在井下巷道进行长度不同、锚固长度相同锚索锚固力现场试验。结果表明锚索长度加长, 锚索搅拌树脂锚固剂效能减弱, 导致锚索锚固力降低; 锚索锚固力大小受岩层强度影响明显, 砾岩层锚固力最大, 泥岩层锚固力次之, 煤层锚固力最小; 满足三径匹配前提下, 为保证锚索达到足够锚固力, 应将锚索锚固段锚固到稳定岩层, 据此确定出大巷顶板的锚索长度, 为类似地质条件矿井巷道锚索锚固力设计提供参考依据。

[关键词] 锚索长度; 锚固力; 岩层强度; 三径匹配

[中图分类号] TD353.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 06-0052-03

Underground Experimental Study of Roadway Cable Anchoring Force in Coal Mine

ZHANG Jian^{1 2 3}

(1. Mining Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

3. State Key Laboratory of Coal Resource High Effective Mining & Clean Utilization, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to study influence factors of resin cable anchoring force, it taking compound roof of air return roadway of Taran-gaole coal mine as background, cable anchoring force field testing under different anchorage length and the same length were test-ed. The results showed that cable anchoring force decreased with length increased as resin stirring efficiency decreased, stratum strength obviously influenced anchoring force, the largest was boulder bed, next was mudstone, the smallest was coal seam, in order to ensure enough anchoring force as meet three diameters matching, anchorage point should located at stability stratum, so cable length was confirmed, and it reference for similar situation.

Key words: anchorage length; anchoring force; stratum strength; three diameters matching

预应力树脂锚索加固技术已广泛应用到治理矿山等复杂地质工程中, 成为必不可少的关键核心技术^[1]。因我国矿山工程地质条件差异性悬殊, 影响锚索加固围岩效果的因素众多且复杂, 但锚索在围岩内的锚固效果直接影响其加固效果。有关预应力树脂锚索锚固效果的影响因素方面的研究, 国内学者已开展了大量工作, 并取得了丰硕的研究成果。康红普等^[2]实测顶板含水状态下锚索的拉拔力, 试验表明当围岩含水量增加锚索拉拔力不断降低; 薛亚东和黄宏伟^[3]分析研究了锚索锚固长度、孔径、树脂药卷包装膜和水等对锚固力的影响规律; 王清标等^[4]对坚硬岩体、软弱岩体、破碎岩体以及土体所造成的预应力锚索锚固力损失规律进行了研究; 唐孟雄^[5]开展了基坑工程预应力锚索锚固力试验研究。本文选择塔然高勒煤矿井下巷道

复合顶板岩层条件, 开展了不同岩层层位锚索锚固力现场试验, 分析了影响树脂锚索锚固力大小的因素, 为类似工程地质条件锚索锚固力确定提供参考依据。

1 试验设计

1.1 试验巷道围岩分布特征

试验地点选择在塔然高勒煤矿回风大巷探放水钻场, 巷道沿 3-1 煤层顶板掘进, 采用钻孔窥视的方法^[6], 探明了顶板岩层分布特征, 岩层岩性分布见图 1, 煤层直接顶由 2.0m 厚灰色砂质泥岩组成, 中间夹炭质泥岩和煤线, 胶结较为疏松; 之上约厚 1.5m 的 2-2 煤层, 其完整性较好; 2-2 煤层之上分布约 0.5m 厚的泥岩, 呈灰黑色或黑色, 胶结疏松; 再往上由厚超过 40m 的砾岩构成, 层

[收稿日期] 2018-06-08

[基金项目] 国家重点研发计划资助项目 (2017YFC0603000)

[作者简介] 张 剑 (1974-), 男, 内蒙古武川人, 博士研究生, 副研究员, 从事煤矿巷道矿压理论与锚杆支护技术等研究工作。

[引用格式] 张 剑. 煤矿巷道锚索锚固力井下试验研究 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (6): 52-54, 23.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.06.013

间充填大量卵石, 卵石间为钙质胶结。再采用钻孔触探法^[7]测量出对应岩层的强度, 砂质泥岩强度为 22.77MPa, 2-2 煤层强度为 14.85MPa, 2 号煤层顶板泥岩强度为 27.24MPa, 砾岩层强度超过 100MPa。钻孔窥视结果表明, 试验巷道围岩由砂质泥岩、煤层、泥岩及砾岩组成的复合岩层, 而围岩强度测量表明砾岩强度最大, 其次泥岩和砂质泥岩, 最小为煤层。

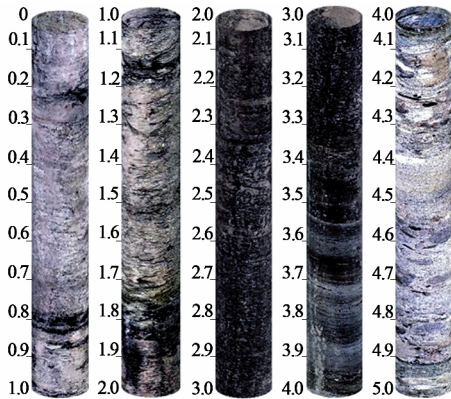


图 1 顶板岩层分布

1.2 试验方案

试验选用 1860MPa 强度等级钢绞线, 捻制方式为 1×19 股, 直径 22mm 的高强度锚索, 其理论极限破断载荷约为 580kN^[8]。采用 Z2360 型中速树脂锚固剂, 开展 3 组锚索长度不同, 锚固长度相同井下现场锚固力试验, 方案详见表 1, 各组锚索编号及布置形式见图 2。

表 1 试验方案

组号	锚索型号	锚索数量/根	锚固剂型号	锚固剂数/支
1	φ22-1×19-5500	3	Z2360	3
2	φ22-1×19-7000	3	Z2360	3
3	φ22-1×19-4300	3	Z2360	3

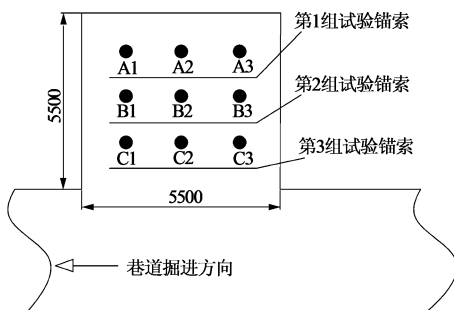


图 2 锚索布置

1.3 试验结果

采用普通锚索钻机钻孔, 距 3-1 煤层顶板约 4.0m 进入到砾岩层, 钻进速度极速减慢, 钻孔进度非常缓慢, 2.0m 砾岩层钻孔耗时约 60min, 窥

视显示砾岩层卵石胶结致密, 岩层坚硬, 耗损 4 个金刚石钻头, 见图 3。考虑到砾岩层打孔费时费力, 第 2 组长度 7.0m 编号 B2 锚索钻孔实际孔深为 6.1m, 编号 B1 和 B3 两根长度 7.0m 锚索钻孔实际深度均为 5.2m。

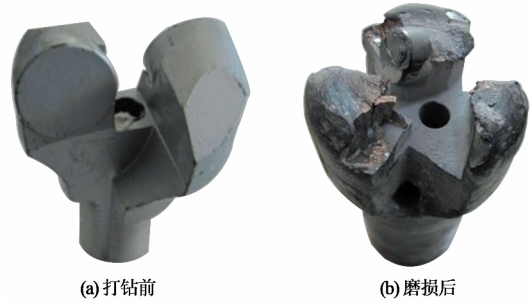


图 3 金刚石钻头

原本开展 3 组 9 根锚索锚固力井下试验, 但因第 1 组编号 A1 长度 5.5m 锚索和第 2 组编号 B1 和 B3 两根长度 7.0m 锚索因安装过程树脂锚固剂搅拌失效, 张拉设备表头压力仅 30kN 时即被拉出, 导致试验失败; 而第 3 组编号 C1 和 C3 两根长度 4.3m 锚索因钻孔超深, 锚索外露长度过短, 造成张拉千斤顶无法夹住锚索索体, 导致试验无法进行。锚索锚固力试验数据详见表 2。锚索锚固层位见图 4。

表 2 试验结果

编号	锚索长度/mm	外露长度/mm	锚固长度/mm	极限拉力/MPa	锚固力/kN
A2	5.5	800	700	30	176.92
A3	5.5	500	700	32	188.48
B2	7.0	900	700	28	164.94
C2	4.3	300	700	22	129.58

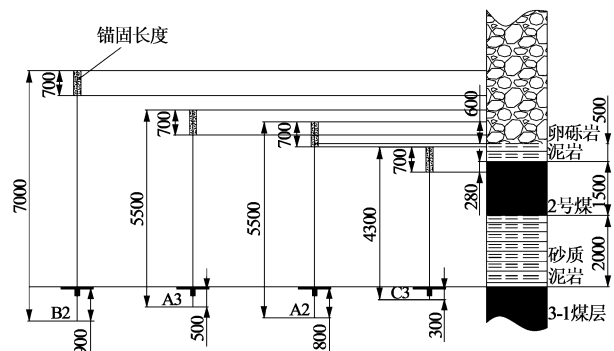


图 4 锚索锚固层位

2 结果分析

2.1 初步结论

参照文献 [9], 锚索直径 22mm, 锚固剂长度 600mm, 则理论锚固长度 700mm, 试验用张拉千斤顶油缸承载面积为 $5.89 \times 10^{-4} \text{m}^2$, 根据锚索锚固力井下试验结果, 对照表 2 和图 4, 得到以下结

论:

(1) 第 1 组 5.5m 长锚索, 其中编号 A2 锚索钻孔外露长度 0.8m, 伸入钻孔岩层长度 4.7m, 0.7m 锚固长度有 0.6m 位于砾岩层, 剩余 0.1m 位于泥岩层, 张拉油泵压力达到 30MPa 时, 锚固段松动发生 20mm 位移, 表明锚索锚固体损坏, 锚固段既位于砾岩层又位于泥岩层 A2 锚索锚固力为 176.92kN。编号 A3 锚索钻孔外长度 0.5m, 安装于岩层中长度为 5.0m, 0.7m 长锚固段全部伸入砾岩层, 张拉油泵压力达 32MPa 时, 锚索锚固段发生松动出现 10mm 移动, 则显示锚固体被拉坏, 锚固段全部位于砾岩层 A3 锚索锚固力为 188.48kN。

(2) 第 2 组编号 B2 长 7m 锚索外露长度 0.9m, 实际伸入顶板岩层长度为 6.1m, 0.7m 长锚固段都位于砾岩层, 张拉油泵压力达到 28MPa 时, 锚固段出现松动且发生 32mm 的显著位移, 说明锚索锚固体被破坏, 锚固段全部位于砾岩层 B2 锚索锚固力为 164.92kN。

(3) 第 3 组编号 C2 长 4.3m 锚索钻孔外露长度为 0.3m, 锚索伸入钻孔深度为 4.0m, 0.7m 长锚固段有 0.42m 位于泥岩层, 剩余有 0.28m 位于 2-2 煤层, 张拉千斤顶压力上升到 22MPa 时, 锚索锚固段即出现松动破坏, 锚索迅速被拉出 50mm, 说明锚索锚固体被拉坏, 锚固段既锚固在泥岩又锚固在煤层 C2 锚索锚固力仅为 129.58kN。

2.2 综合分析

钻孔孔径、树脂锚固剂质量及顶板岩层含水量等都对锚索锚固力有很大影响^[3]。本次试验锚索直径 22mm, 锚固剂直径 23mm, 钻孔钻头直径 30mm, 对照文献 [9] 其三径匹配合理。而树脂锚固剂的抽检表明其为合格产品, 且试验巷道顶板钻孔无淋水。一般井下安装要求锚索外露长度不超过 300mm, 按此规定试验锚索实际有效长度分别为 4.3m, 5.0m, 5.3m, 6.4m, 对应锚固力见图 5。

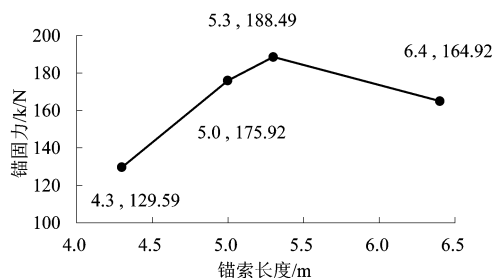


图 5 锚索锚固力

(1) 5.3m 和 6.4m 长度锚索锚固段都位于砾岩层, 较短 5.3m 锚索锚固力为 188.48kN, 较长

6.4m 锚索锚固力为 164.94kN, 在岩性相同岩层后者相比前者的锚固力降低 23.54kN, 降幅约 12.5%。主要由于锚索长度增加, 锚索钻机搅拌树脂锚固剂效果差, 造成锚索锚固力下降。何饼银等^[10]进行锚索锚固试验研究也发现, 锚索锚固力低的主要原因是由于锚索安装过程中树脂锚固剂搅拌不充分导致其两种化学成分无法充分混合均匀造成的, 试验结果与其研究相吻合。

(2) 5.0m 长锚索锚固段 86% 位于砾岩, 14% 位于泥岩, 其锚固力大小为 176.92kN, 而锚固段全部在砾岩层 5.3m 长锚索其锚固力大小为 188.48kN, 锚索锚固段位于同一岩性岩层相比位于两种不同岩性岩层其锚固力增大 11.56kN, 增幅达到 6.5%。王清标等^[4]的研究表明岩土体性质不同, 引起的预应力锚索锚固力损失也不相同; 岩土体质量越好, 在相同初始锚固力条件下其锚固力损失就越小。而现场围岩强度测量结果也表明, 砾岩强度显著高于泥岩强度, 表明砾岩层锚索锚固质量明显优于泥岩层。

(3) 4.3m 长锚索锚固段有 280mm 位于煤层, 有 420mm 位于泥岩层, 其锚固力仅仅 129.58kN, 相比锚固段都位于砾岩层长度为 5.3m 和 6.4m 的其他两根锚索, 其锚固力分别减少 58.90kN 和 47.34kN, 降幅分别达到 31.3% 和 26.8%, 张发明等^[11]研究认为锚索锚固力损失与岩体的强度及结构特性有关, 更加证实煤岩体强度质量对其锚固性能有显著影响。

塔然高勒煤矿 3-1 煤层顶板属于复合岩层, 至坚硬砾岩层间距约 4.0m 左右, 砾岩硬度大钻孔钻进速度缓慢, 耗费时间过长, 严重制约锚索施工速度, 故锚索长度不宜太长; 另外结合王金华等^[12]的研究, 锚索适宜长度应选择 4.0~6.0m。为保证锚索达到足够锚固力, 应适当把锚索锚固到稳定的砾岩层, 又尽可能避开软弱的泥岩和煤层, 同时考虑锚索施工速度等因素, 综合确定回风大巷顶板锚索长度 5.3m。

3 结 论

(1) 锚索锚固段位于岩性相同岩层, 且锚索锚固长度相同, 则短锚索锚固效果优于长锚索锚固效果。

(2) 锚索锚固段位于岩性不同岩层, 且锚索锚固长度相同, 若煤岩体强度越大, 则锚索锚固力就越高, 故砾岩层锚固力 > 泥岩层锚固力 > 煤层锚

(下转 23 页)

探测分析 寺家庄煤矿 15110 工作面进风巷随掘超前探测迎头位置为 1174m，迎头前方瓦斯包预测异常区域为 1202~1209m。于 6 月 4 日 8 点班，经现场孔测量 K_1 值及钻屑量，显示瓦斯超标。 K_1 值为 $0.73\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})$ 、钻屑值为 $3.2\text{kg}/\text{m}$ ，与随

掘超前探测结果吻合。

(3) 钻孔瓦斯预测预报 寺家庄煤矿 15110 工作面进风巷掘进过程中，地质物探和超前钻探未出现构造，实际掘进过程中也未揭露构造， K_1 值实测显示存在瓦斯异常，详见表 1。

表 1 寺家庄煤矿 15110 工作面进风巷 K_1 值实测

巷道已掘进距离/m	测试时间	循环数	孔号	K_1 值/ (mL · (g · min ^{1/2}) ⁻¹)	钻屑量/ (kg · m ⁻¹)	煤层情况	
1163.6	5 月 29 日 4 点班	第 156 循环	6 单元第 9 循环	1	0.5 (6m 处)	3.8 (9m)	工作面顶板下有 0.1m 软分层，左中 0.3m 疏煤，下部煤硬
1192.4	6 月 4 日 8 点班	第 160 循环	6 单元第 13 循环	3	0.73 (10m 处)	3.2 (9m)	工作面顶板下有 0.05 ~ 0.1m 软分层，0.4m 疏煤，下部煤硬

5 结 论

(1) 突出煤层巷道随掘超前探测技术施工方便，可长时间持续监测，不受巷道掘进机组、胶带支架和巷道积水等影响，能与巷道掘进施工并存，监测系统随着突出煤层巷道掘进而前移。

(2) 煤层赋存高瓦斯，地震波在传播的过程中，会出现非常大的地震波阻抗变化，基于此变化率进行巷道迎头前方瓦斯富集区探测。

(3) 将综掘机切割煤体所产生的地震回波信号作为巷道随掘超前探测的震源激发信号，基于多源地震理论及相关干涉理论，利用巷道随掘超前探测三维成像技术进行时域、频域分析、相关干涉及随掘地震成像，探测瓦斯异常带。

[参考文献]

[1] 吕绍林，何继善，李周波. 非接触式瓦斯突出预测方法 [J].

物探与化探，2000，24 (1)：23-27.

[2] 文光才，赵旭生，康建宁. 区域预测新技术在采面突出危险预测中的应用 [J]. 煤炭科学技术，2002，30 (3)：15-17.

[3] 张许良，彭苏萍，杨瑞召，等. 瓦斯突出危险带的三维地震探测技术 [J]. 煤炭科学技术，2003，31 (12)：12-15.

[4] 汤友谊，孙四清，田高岭. 测井曲线计算机识别构造软煤的研究 [J]. 煤炭学报，2005，30 (3)：293-296.

[5] 彭苏萍，高云峰，杨瑞召，等. AVO 探测煤层瓦斯富集的理论探讨和初步实践：以淮南煤田为例 [J]. 地球物理学报，2005，48 (6)：1475-1486.

[6] 姚军朋，司马立强，张玉贵. 构造煤地球物理测井定量判识研究 [J]. 煤炭学报，2011，36 (S1)：94-98.

[7] Domenico S N. Effect of Water Saturation on Seismic Reflectivity of Sand Reservoirs Encased in Shale [J]. Geophysics，1974，39 (6)：759-769.

[8] 刘雯林. 煤层气地球物理响应特征分析 [J]. 岩性油气藏，2009，21 (2)：113-115.

[责任编辑：施红霞]

(上接 54 页)

固力。

(3) 塔然高勒煤矿回风大巷复合顶板，砾岩层钻孔耗时耗力，保证锚索锚固段既位于稳定岩层又具备足够锚固力，确定锚索长度 5.3m。

[参考文献]

[1] 康红普，林健，张冰川. 小孔径预应力锚索加固困难巷道的研究与实践 [J]. 岩石力学与工程学报，2003，22 (3)：387-390.

[2] 康红普，崔千里，胡滨，等. 树脂锚杆锚固性能及影响因素分析 [J]. 煤炭学报，2014，39 (1)：1-10.

[3] 薛亚东，黄宏伟. 锚索锚固力影响因素的试验分析研究 [J]. 岩土工程学报，2006，27 (9)：1523-1526.

[4] 王清标，王以功，孙彦庆，等. 不同岩性条件下预应力锚索锚固力损失规律研究 [J]. 工程地质学报，2012，20 (5)：849-854.

[5] 唐孟雄. 基坑工程预应力锚索锚固力试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报，2007，26 (6)：1158-1163.

[6] 康红普，司林坡，苏波. 煤岩体钻孔结构观测方法及应用 [J]. 煤炭学报，2010，35 (12)：1949-1956.

[7] 康红普，司林坡. 深部矿区煤岩体强度测试与分析 [J]. 岩石力学与工程学报，2009，28 (7)：1312-1320.

[8] 康红普，林健，司林坡. 全断面高预应力强力锚索支护技术及其在动压巷道中的应用 [J]. 煤炭学报，2009，34 (9)：1153-1159.

[9] 康红普，王金华，等. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2007.

[10] 何饼银. 锚索搅拌性能与锚固力关系分析 [J]. 煤矿安全，2014，45 (7)：198-200.

[11] 张发明，刘宁，陈祖煜，等. 影响大吨位预应力长锚索锚固力损失的因素分析 [J]. 岩土力学，2003，24 (2)：195-197.

[12] 王金华，康红普，高富强. 锚索支护传力机制与应力分布的数值模拟 [J]. 煤炭学报，2008，33 (1)：1-6.

[责任编辑：王兴库]