

# 吕家坨矿 7 煤层深部巷道支护技术研究

毛宾彦

开滦能源化工股份有限公司吕家坨矿业分公司 河北 唐山 063107

**摘要:** 吕家坨矿开采深度增大,导致地压也随之增大,地质条件恶化,以往浅部的支护形式已无法满足矿井深部围岩的支护要求。特别是对于深部个别采区高应力软岩复合顶板煤巷,支护效果差、维护极为困难等问题日益暴露,已严重地影响矿井正常生产。因此,急需对吕家坨矿深部高应力软岩复合顶板煤巷的破坏机理和支护方式进行研究,保证矿井安全高效生产。

**关键词:** 吕家坨矿; 7 煤层; 深部巷道; 支护; 技术研究

## 引言

煤矿锚杆支护技术起始于 1912 年德国,1940~1960 年代得到初步应用和发展,随着开采深度的不断增加,巷道支护越来越困难,原来主要使用金属支架的国家也越来越重视锚杆支护技术的发展与应用,到 20 世纪 80 年代已成为岩石工程中主要的支护方法。现如今,世界范围内已开发出各种类型锚杆达 600 余种,每年的使用量达 2.5 亿根之多。美国、澳大利亚等国家在煤矿巷道的支护比重几乎达到了 100%。

## 1 国内外技术发展现状

我国最早的锚杆支护技术是 1956 年用于煤矿巷道支护,20 世纪 70 年代以后,我国科技攻关将锚杆支护技术作为主攻方向,锚杆支护技术又有了很大的发展。这一时期锚杆的特点是在尾部增加了托板及其他附属设施来控制围岩。20 世纪 90 年代以来,为配合我国煤矿综合机械化开采,保证综采工作面快速推进,在借鉴美国和澳大利亚煤巷锚杆支护技术的基础上,创新了深井复杂地质条件下煤巷树脂锚杆成套支护技术,大大提高了复杂多样地质条件下锚杆支护的适应性。在这一过程中,锚杆支护经历了低强度、高强度、高预应力、强力支护的漫长发展过程;同时中国学者针对中国的煤层特殊地质条件,在吸收国外先进支护理念的同时不断创新了一批以高性能锚杆支护为基础的支护理论和支护手段,锚杆的支护产品也在这一过程中不断的得到升级换代,极大地推动了中国煤矿安全高效开采,使得中国煤矿锚杆支护技术达到了国际先进水平。

据统计中国煤矿年巷道(岩巷、煤巷、半煤岩巷)掘进量已经超过 25000 km,其中煤层巷道所占比例为 75% 以上,并有逐年递增的趋势。与架棚支架支护相比,锚杆(索)支护技术对工程地质条件适应性强、掘进速度快、劳动强度低、支护强度高、支护效果好、支护成本低等诸多优点在我国煤矿获得了广泛的推广和发展,已成为我

国地下煤矿开采中普遍采用的一种主动控制巷道围岩稳定的支护技术,代表了将来煤矿巷道支护技术的主要发展方向。

锚杆支护技术出现以来,国内外众多学者基于不同角度、假设和理论深入研究了锚杆的支护机理,提出了各种支护理论,一定程度上揭示了锚杆的锚固加固机理,促使了锚杆支护材料、配件及施工机具的不断更新和改进,使得锚杆支护技术在矿山开采、水利水电、交通运输、国防工程等领域大面积快速推广和使用,并不断扩展到新的领域。但由于锚杆支护加固对象的复杂性,对于锚杆支护原理、锚杆的锚固机理、与围岩相互作用关系、应力分布规律及杆体的承载特性等问题需要更深入的研究。特别是目前我国煤矿开采逐渐进入深部将面临高地压巷道围岩治理难题,进一步研究和揭示锚杆锚固机理、锚杆应力分布演化规律、锚杆与围岩的相互作用关系等问题,对解决我国煤矿深部巷道支护问题和确保我国煤炭安全高效开采有重要意义。

随着煤炭开采逐渐进入深部,巷道围岩发生更大范围的破坏,顶板离层垮冒的倾向性更大,构造应力场异常和采动应力场叠加的高应力区是顶板(动力)灾害的多发区。受成矿地质条件的影响,我国许多矿区煤层为层状复合顶板,其裂隙发育、层间黏结力小,巷道开挖后更容易离层破坏;软弱破碎复合顶板岩层强度更低、整体稳定性更差,且松软岩层累计的厚度越大,越易产生顶板大面积垮落。该类回采巷道采用传统支护方式如工字钢支架、U 型钢可缩支架支护时不仅在掘进影响期间围岩变形剧烈,而且在掘后较长时间内难以趋于稳定、变形量大,在服务期间需多次返修,巷道维护极为困难。因此,深部软弱破碎复合顶板煤巷支护技术是国内外亟待解决的技术难题之一。

综上所述,我国煤巷锚杆支护技术已经有了深远的发展,但随着煤炭开采深度的逐渐增大,煤矿地质条件也愈来愈严重,不能通过单一的支护理论指导巷道支护设计;

同时,在加强顶板治理的情况下也要进一步重视帮部支护强度对整个支护系统的重要作用。因此,十分有必要针对吕家坨深部巷道复合顶板的复杂地质条件,对巷道的支护方式进行有益的探索研究,最终形成有效的支护理念和支护技术。

7煤层煤样的平均单轴抗压强度为6.9 MPa、弹性模量为3.4 GPa、泊松比为0.33、黏聚力为2.2 MPa;七煤层直接顶的平均抗压强度为21.5 MPa、抗拉强度为2.8 MPa、弹性模量为18.7 GPa、泊松比为0.29,基本顶的平均抗压强度为53.8 MPa、抗拉强度为2.1 MPa、弹性模量为61.1 GPa、泊松比为0.23。

(2)通过实验室锚杆拉伸和短拉拔实验,得出锚杆杆体强度符合设计要求,但锚固剂强度偏低;在模拟相同围岩情况下,右旋锚杆的锚固力低于左旋锚杆。

## 2 吕家坨支护方式设计

### 2.1 锚杆支护形式和参数选择原则

针对复杂困难巷道条件,为了充分发挥锚杆支护的作用,提出以下设计原则:

(1)一次支护原则。锚杆支护应尽量一次支护就能有效控制围岩变形,避免二次或多次支护。一方面,这是矿井实现高效、安全生产的要求,为采矿服务的巷道和硐室等工程,需要保持长期稳定,不能经常维修;另一方面,这是锚杆支护本身的作用原理决定的。巷道围岩一旦揭露立即进行锚杆支护效果最佳,而在已发生离层、破坏的围岩中安装锚杆,支护效果会受到显著影响。

(2)高预应力和预应力扩散原则。预应力是锚杆支护中的关键因素,是区别锚杆支护是被动支护还是主动支护的参数,只有高预应力的锚杆支护才是真正的主动支护,才能充分发挥锚杆支护的作用。一方面,要采取有效措施给锚杆施加较大的预应力;另一方面,通过托板、钢带等构件实现锚杆预应力的扩散,扩大预应力的作用范围,提高锚固体的整体刚度与完整性。

(3)“三高一低”原则。即高强度、高刚度、高可靠性与低支护密度原则。在提高锚杆强度(如加大锚杆直径或提高杆体材料的强度)、刚度(提高锚杆预应力、加长或全长锚固),保证支护系统可靠性的条件下,降低支护密度,减少单位面积上锚杆数量,提高掘进速度。

(4)临界支护强度与刚度原则。锚杆支护系统存在临界支护强度与刚度,如果支护强度与刚度低于临界值,巷道将长期处于不稳定状态,围岩变形与破坏得不到有效控制。因此,设计锚杆支护系统的强度与刚度应大于临界值。

(5)相互匹配原则。锚杆各构件,包括托板、螺母、

钢带等的参数与力学性能应相互匹配,锚杆与锚索的参数与力学性能应相互匹配,以最大限度地发挥锚杆支护的整体支护作用。

(6)可操作性原则。提供的锚杆支护设计应具有可操作性,有利于井下施工管理和掘进速度的提高。

(7)在保证巷道支护效果和安全程度,技术上可行、施工上可操作的条件下,做到经济合理,有利于降低巷道支护综合成本。

## 2.2 试验巷道工程背景

### 2.2.1 地质概况

试验巷道选取七煤层的6273轨道巷,本工作面位于-950二采北探巷西侧。本煤层倾斜上方5074工作面、5076工作面分别于1997年和1999年回采完毕,6271工作面正在掘进过程中;下伏8煤层5480Y皮带巷于2014年掘进完毕;其余下伏各煤层均无其它采动工程。

本工作面7-2煤层为稳定厚煤层,煤层结构简单,黑色,玻璃光泽,以暗煤为主,底板有亮煤,条带状或层状构造,硬度较大。煤层厚度在2.5~4.8 m之间变化,个别地点出现1层约0.2 m厚的夹石,平均煤厚3.9 m,煤厚由西向东逐渐增厚。7-2~8煤层平均间距为7.2 m,其间距由北向南逐渐变大,变化范围为5.4~9.2 m;8~9煤层平均间距为9.6 m,其间距由西向东逐渐增大,变化范围为8.1~11.0 m。综合地质柱状图如图5-11所示。

— — — —	9	粉砂岩	4.32
— — — —	10	煤线	0.28
— — — —	11	粉砂岩	2.60
— — — —	12	煤线	0.40
— — — —	13	粉砂岩	4.50
— — — —	14	7-1煤层	0.30
— — — —	15	粉砂岩	1.90
— — — —	16	7-2煤层	3.90
— — — —	17	粉砂岩	1.28
— — — —	18	中砂岩	3.13
— — — —	19	泥岩	2.79

图1 七煤层综合地质柱状图

### 2.2.2 地质构造

本工作面位于吕家坨背斜南翼断裂构造区,煤层大致走向为NW-SE向,在切眼附近走向逐渐转为NNW-SSE向,外轨道巷与南阳庄-岭上背斜轴迹线呈小角度斜交,可能会对煤层产状造成较大影响。

根据现有的工程、井下钻孔和三维地震资料分析,预计对掘进工作面有影响的断层有16条(见表5-5),以

张性断裂构造为主,预计在实际掘进中还可能出现隐伏伴生、派生小的断裂构造。根据周围实见工程分析, f021是顶板逆断层, f021'是底板逆断层, 两条断层之间形成了薄煤带, 可能会对掘进工程有所影响。

62f15、DF21、DF17 正断层预计在掘进皮带巷时实见, 巷道揭露 62f15 正断层后煤层下降, 巷道将破 4 m 7-2 煤层顶板; 揭露 DF21 正断层后煤层下降, 巷道将破 4 m 7-2 煤层顶板; 揭露 DF17 正断层后煤层下降, 巷道将破 2 m 7-2 煤层顶板。DF24、62f15、DF21、f52017、f033 正断层预计在掘进轨道巷时实见, 巷道揭露 DF24 正断层后煤层抬升, 巷道位于 7-2 煤层底板向下 1 m; 揭露 62f15 正断层后煤层下降, 巷道将破 4 m 7-2 煤层顶板; 揭露 DF21 正断层后煤层下降, 巷道将破 10 m 7-2 煤层顶板; 揭露 f52017 正断层后煤层抬升, 巷道将破 2 m 7-2 煤层底板; 揭露 f033 正断层后煤层下降, 巷道将破 1.9 m 7-2 煤层顶板。DF23、62f15 正断层预计在掘进 7 煤层回风巷时实见, 巷道揭露 DF23 正断层后煤层抬升, 巷道将破 1.3 m 7-2 煤层底板; 揭露 62f15 正断层后煤层抬升, 巷道将破 2.2 m 7-2 煤层底板。6273 切眼揭露 f033 正断层后煤层抬升, 巷道将破 3.5 m 7-2 煤层底板。8 煤层集中轨道巷揭露 DF24 正断层后煤层下降, 巷道将破 3 m 8 煤层顶板, 断层附近煤岩层破碎。

表 1 地质构造情况列表—断层

构造	走向 (°)	倾向 (°)	倾角 (°)	落差 (m)	预测位置 (m)	影响
D5F14	129	39	40	1.0	-950 二采北探巷延伸巷道开口前 52 m	一定影响
D5F14	129	39	40	0.5	八煤层集中轨道巷开口前 462 m	较小
DF24	93	183	60	5.0	外轨道巷开口前 2 m	较大
DF24	93	183	60	4.0	八煤层集中轨道巷开口前 301 m	较大
62f17	199	289	60	1.0	外轨道巷开口前 33 m	有一定影响
62f17	199	289	60	1.0	八煤层集中轨道巷延伸巷道前 270 m	一定影响

DF23	220	310	80	2.0	七煤层回风巷开口前 43 m	较大
62f15	250	340	59	4.0	七煤层回风巷开口前 333 m	较大
62f15	198	288	59	4.0	外轨道巷开口前 207 m	较大
62f15	198	288	59	4.0	外皮带巷开口前 306 m	较大
DF21	194	284	68	10.0	外轨道巷开口前 372 m	较大
DF21	183	273	68	10.0	外皮带巷开口前 475 m	较大
f6271-15	231	321	70	1.5	外轨道巷开口前 652 m	一定影响
f6271-33	206	296	60	1.5	外轨道巷开口前 954 m	一定影响
f52018	82	172	81	1.7	外轨道巷开口前 1260 m	有一定影响
f52018	82	172	81	0.5	里皮带巷开口前 37 m	较小

结语

本文通过对智慧工业园区建设多标段招标采购策划技巧的深入解析, 为相关领域的实践提供了有益的参考。我们详细探讨了智慧工业园区建设的核心内容与多标段招标采购模式的优势, 提出了一系列科学有效的策划技巧。同时, 我们还对实施流程进行了全面阐述, 并对可能遇到的风险进行了识别与应对策略的制定。在未来的研究中, 我们可以进一步探讨如何优化招标采购策划技巧, 提高智慧工业园区建设的效率和质量。同时, 我们也期待更多的学者和实践者能够关注这一领域, 共同推动智慧工业园区建设的招标采购工作不断向前发展。

参考文献

[1] 徐宇豪. 深部厚煤层回采巷道支护技术的优化设计研究[D]. 上海应用技术大学, 2022.  
 [2] 孙稳. 深部厚煤层采动巷道锚网索注梯级支护技术研究[D]. 中国矿业大学, 中国矿业大学(江苏), 2022.