

- 安徽高校省级自然科学研究重点项目 (KJ2010A100) 资助
- 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室 资助
- 安徽理工大学博士基金项目 (2007yb63) 资助

玻璃钢锚杆尾部 新结构及工程应用

● 李英明 马念杰 著

煤炭工业出版社

安徽高校省级自然科学研究重点项目 (KJ2010A100)
煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室 资助
安徽理工大学博士基金项目 (2007yb63)

玻璃钢锚杆尾部新结构 及 工 程 应 用

李英明 马念杰 著

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

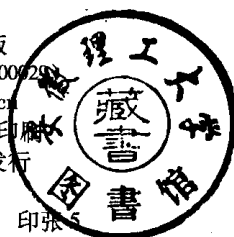
玻璃钢锚杆尾部新结构及工程应用/李英明, 马念杰
著. --北京: 煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3725 - 3

I. ①玻… II. ①李…②马… III. ①玻璃钢-锚杆-
巷道支护-研究 IV. ①TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 185332 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行



*
开本 850mm × 1168mm^{1/32} 印张 5
字数 106 千字 印数 1—700
2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 6535 定价 15.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书基于煤帮支护的特点，分析了玻璃钢锚杆在支护煤帮过程中的失效机理，提出了一种新型玻璃钢锚杆尾部结构——金属套管压痕式锚尾结构，深入阐述了新型玻璃钢锚杆尾部承载性能、延伸性能、抗偏心载荷作用性能，以及性能影响因素、结构参数、生产工艺等。

本书可作为从事玻璃钢锚杆生产、使用的工程技术人员、科研工作者及高等院校师生的参考书。

前 言

煤层巷道最显著的特点是两帮煤体强度低、松散破碎、裂隙发育。因此，开掘巷道后，在二次应力作用下，虽然巷道变形破坏形式多种多样，但一般塑性变形破坏首先从两帮煤体开始。两帮的稳定对整个巷道的稳定有显著影响，如果两帮位移变形过大，造成塑性区向深部发展，会导致顶板失稳和底板位移加大。因此，加强煤层巷道两帮的支护对于整个巷道的围岩控制具有重要意义，也是采准巷道支护的重要技术难题之一。

在煤层巷道的各种支护形式中，锚杆支护以其优越的技术性能、简便的安装操作和较低的成本而被大量采用。对于巷帮支护，锚杆使用量也占有相当大的比例。在巷帮支护中，如果采用金属锚杆，采煤机采煤过程中经常发生锚杆卷入采煤机滚筒中损坏滚筒截齿的情况，由此产生的火花，在高瓦斯矿井中易引起瓦斯、煤尘爆炸，影响采煤工作面的正常生产甚至对作业人员的安全造成威胁。木锚杆、竹锚杆虽具有可切割性，但因锚固力过低已被淘汰。玻璃钢锚杆以其杆体拉伸强度高、可切割等特性，成为煤帮支护的理想材料。

目前在玻璃钢锚杆支护过程中经常发生支护失效的现象，其主要原因是尾部结构不合理。实验研究发现，杆体的尾部连接部位及螺纹承载力性能指标是制约整个杆体轴向受力性能的关键。尾部承载力最低达杆体最大拉拔力的 40%，多数在 70% 以下，影响了杆体的整体性能，限制了玻璃钢锚杆支护在我国煤矿企业的推广应用，因此，玻璃钢锚杆尾部结构研究意

义重大。

深入细致地研究玻璃钢锚杆尾部失效机理,是研究玻璃钢锚杆尾部合理结构的重要基础。国内外学者主要通过理论分析、数值模拟、实验室试验等方法对玻璃钢锚杆尾部结构、尾部失效机理进行了大量研究。

笔者在近几年的研究工作中,通过对玻璃钢支护失效的广泛调查研究,指出目前玻璃钢锚杆尾部存在三种失效形式:承载力过载失效、变形量过载失效和偏心载荷作用失效;提出了玻璃钢锚杆尾部的失效机理。

基于玻璃钢锚杆尾部失效机理,提出了新型玻璃钢锚杆尾部结构——金属套管压痕式尾部结构,其结构特点是套管与玻璃钢杆体的连接采用一段或几段带有锥度环向凹槽将金属套管压入到玻璃钢杆体中,形成两者的相互嵌接。为了验证压痕式锚杆结构的合理性,主要对其尾部连接强度、延伸性能、防偏心载荷性能进行了研究。

压痕式锚杆尾部连接强度取决于发生何种形式的破坏,实验研究表明,这种结构的锚杆一般发生两种形式的破坏,第一,金属套管压痕抬起而使连接失效;第二,由于杆体本身经压痕处理后,由于其纤维弯曲及树脂被挤出,而使压痕处杆体拉伸强度明显降低。因此,压痕式锚杆尾部连接强度取决于金属套管拉脱失效强度和杆体拉伸强度的最小值。

利用金属塑性力学理论,建立套管拉脱过程的力学模型,对金属套管拉脱失效时的连接强度各影响因素进行分析,得出套管拉脱失效强度与压痕锥度、压痕深度、金属套管厚度、金属套管材料屈服强度等参数的关系式,为锚杆尾部结构设计提供了理论依据。

利用理论分析和模拟试验方法对压痕式锚杆尾部延伸性能

进行研究,研究表明拉脱失效时,延伸率较低,而当发生杆体断裂时,试验过程表现为先是结合面在一定荷载作用下发生相对滑动,然后随着荷载的增长,杆体与套管的相对位移不断增加,达到一定程度后,杆体发生突然破坏。通过调节压痕深度,可以获得不同的相对滑动位移,可有效提高玻璃钢锚杆整体延伸率,弥补玻璃钢锚杆延伸率低的不足。

利用理论分析方法对压痕式玻璃钢锚杆防偏心破断性能进行了理论研究,指出这种锚尾结构能及时产生一定的塑性变形来逐步消除过大的弯曲应力。

在压痕式锚杆尾部连接强度理论分析的基础上,结合实验室试验,确定了金属套管压痕式玻璃钢锚杆尾部结构参数取值范围。采用多指标正交试验的方法,进行玻璃钢锚杆尾部结构的优化试验设计,确定了新型玻璃钢锚杆优化结构,设计了适合压痕式锚杆尾部结构的间歇式拉挤成型工艺,并进行了相应加工设备的研制。最后进行新型玻璃钢锚杆尾部结构的性能试验研究,得到锚杆抗拉拔强度为 85 kN,延伸率为 2.5%,偏心载荷作用下锚杆尾部连接强度仍可达 64 kN,可满足煤帮支护要求,验证了锚杆尾部结构合理性。

以神东矿区康家滩煤矿 88301 工作面回采巷道煤帮支护为工程背景,基于 88301 工作面的地质技术条件,进行了玻璃钢锚杆煤帮支护的数值模拟研究,确定了合理的支护参数,并对煤帮变形量进行了预测;在玻璃钢锚杆支护期间,对巷道变形量、拉拔力、尾部破断情况进行观测。观测表明,新型玻璃钢锚杆支护效果良好,适用于煤帮支护。

本书是在博士论文工作的基础上,在博士生导师马念杰教授的悉心指导下完成的,第 1 章由李英明、马念杰撰写,第 2 章、第 3 章、第 4 章由李英明撰写,第 5 章由李英明、马念杰

撰写。

在本书第5章的编写过程中，得到了神东煤炭分公司康家滩煤矿孙小平总工以及矿技术科相关人员的帮助，在此深表谢意。

本书研究成果得到了安徽高校省级自然科学研究重点项目(KJ2010A100)、煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室、安徽理工大学博士基金项目(2007yb63)的资助，特此感谢。

由于时间仓促，作者水平有限，书中疏漏和错误在所难免，恳请专家、同行批评指正。

著 者

2010年10月

目 次

1 玻璃钢锚杆尾部结构研究概述	1
1.1 玻璃钢锚杆尾部结构研究现状	3
1.2 玻璃钢锚杆尾部结构研究中存在的 问题	9
1.3 本书的主要研究内容	10
2 玻璃钢锚杆尾部失效机理	12
2.1 玻璃钢锚杆尾部结构分类及其失效 形式	12
2.2 煤帮锚杆支护机理及过载失效形式 分析	14
2.3 玻璃钢锚杆延伸率低型破断	19
2.4 偏心载荷作用下玻璃钢锚杆尾部破断	34
2.5 小结	42
3 新型玻璃钢锚杆尾部结构及其力学性能基础研究	44
3.1 新型玻璃钢锚杆尾部结构失效破坏与承载 能力研究	45
3.2 新型玻璃钢锚杆延伸性能研究	80
3.3 新型玻璃钢锚杆防偏心破断能力	86
3.4 小结	90

4 新型玻璃钢锚杆尾部结构优化及其力学性能	
试验研究 ·····	93
4.1 新型玻璃钢锚杆尾部结构优化研究·····	93
4.2 新型玻璃钢锚杆结构成型工艺研究·····	103
4.3 新型玻璃钢锚杆性能试验·····	111
4.4 新型玻璃钢锚杆经济合理性·····	118
4.5 小结·····	120
5 新型玻璃钢锚杆工程应用 ·····	122
5.1 煤帮锚杆支护参数研究·····	122
5.2 玻璃钢锚杆支护应用及支护效果观测·····	135
5.3 小结·····	142
参考文献 ·····	143

1 玻璃钢锚杆尾部结构研究概述

巷道开挖后,在两帮产生了集中应力,巷帮煤体由原来的三向应力状态变为双向应力状态。在集中应力作用下,煤帮支承点向煤体深部发展^[1]。由于煤体本身比较松软,会出现不同程度的片帮。一方面,煤体的片帮加大了巷道支护跨度,而顶板岩梁内的最大拉应力与巷道跨度的平方成正比,因而会使顶板岩梁内的拉应力显著增大。当巷道跨度过大时,顶板便有可能沿巷道两侧整体垮落,造成冒顶事故^[2,3]。另一方面,对于大采高矿井,巷道煤帮片帮本身就会给安全生产带来隐患。因此,目前普遍采用锚杆支护加固煤帮。普遍使用的锚杆为金属锚杆,但在采煤机直接切割时金属锚杆易产生火花导致煤尘、瓦斯爆炸,同时混杂在原煤中的金属锚杆在运输中会对人员及输送带等设备造成危害^[4]。曾使用的可切割煤帮锚杆有倒楔式木锚杆、聚氨酯木锚杆、砂浆竹锚杆及树脂锚固式竹锚杆等,这几种护帮锚杆的主要缺点是锚固力小,一般不超过30 kN;不能提供初锚力;锚杆的防腐性差,在井下极易腐蚀损坏。

为了解决巷道煤帮合理支护问题,多年来人们一直探索在煤帮锚杆中采用其他新型材料。复合材料工业特别是树脂基复合材料工业的发展逐渐引起人们的重视^[5]。而玻璃钢是一种树脂基复合材料,它是以合成树脂为基体材料,以玻璃纤维及其制品为增强材料组成的复合材料。杆体采用玻璃钢材料制成的锚杆称为玻璃钢锚杆^[6~9]。通过研究人员的长期研究以及现

场实践发现,玻璃钢锚杆是解决巷道煤帮合理支护问题的较好途径。

玻璃钢锚杆以其可切割、轻质高强、优良的耐化学腐蚀性、优良的电性能及良好的表面性能,不仅能保持巷道围岩的稳定性,而且可降低支护成本,促进煤矿安全高效生产。

玻璃钢锚杆与金属锚杆结构基本相同,由杆体、托盘等附件组成。玻璃钢锚杆杆体作为一种承力结构物,其工作时主要承受轴向拉力。杆体增强材料采用连续玻璃纤维无捻粗纱,具有很强的纵向拉伸强度,同时由于不加捻,易于被树脂浸透,适合制造玻璃钢锚杆的杆体。制成的杆体具有良好的截割性能,适用于加固煤帮。至于玻璃钢锚杆尾部,若采用与金属锚杆相同的方法,直接在杆体车削螺纹来制作锚尾,由于玻璃钢材料抗剪切性能很弱,则制成锚杆的尾部承载力将不能满足支护要求。因此,玻璃钢锚杆需要将杆体与附件连接成一个完整的结构,以满足现场支护强度要求。而且玻璃钢锚杆锚尾的性能对锚杆整体性能的发挥有着重要的影响,特别是在采用端头锚固的情况下,锚尾的破坏会造成锚杆整体的锚固失效^[9]。

玻璃钢杆体本身延伸率低,只有设计合理的锚尾结构,使其在充分发挥杆体延伸能力的基础上,提供更大的延伸量,才能提高玻璃钢锚杆整体的延伸能力。因此,玻璃钢锚杆锚尾结构对锚杆整体的延伸性能起着决定性作用。

同时也应看到,随着矿井开采深度的增加,围岩压力加大,煤帮变形和破坏程度加大,对玻璃钢锚杆整体性能提出了更高的要求。

采用不同的锚尾结构,其玻璃钢锚杆制作成本差别很大,有的甚至相差数倍,成本过高将不能为煤矿企业所接受,使玻

玻璃钢锚杆不能在煤帮支护中推广应用,因此,设计出的锚尾结构还应具有经济合理性。

综上所述,进行玻璃钢锚杆尾部破断机理及尾部强度理论研究,研制合理的锚杆尾部结构,既使锚杆尾部连接性能满足煤帮支护要求,又使这种新型玻璃钢锚杆的成本能为目前矿山企业所接受,对于促进玻璃钢锚杆推广应用,保证巷道围岩的稳定性,保障矿井安全高效生产具有重要意义。

1.1 玻璃钢锚杆尾部结构研究现状

1.1.1 国外玻璃钢锚杆尾部结构研究现状

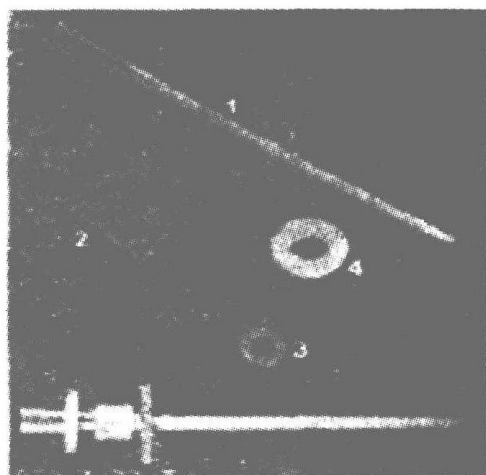
由于玻璃钢锚杆上述的诸多优点,此项技术在美国、俄罗斯^[10]、英国、澳大利亚^[11]及法国^[12]等国均得到了一定的研究与应用。国外采用的玻璃钢锚杆一般是纯玻璃钢锚杆,即锚杆尾部也由玻璃钢构成。

澳大利亚应用研究所开发了一种名为 AROA 的玻璃钢锚杆,在阿德莱德大学和澳大利亚应用研究所的实验室里进行试验之后,又在德国的伍伦贡北崖煤矿进行了现场试验,获得成功。

目前,最有代表性的玻璃钢锚杆是法国塞尔泰特(Celtite)公司研制并生产的玻璃钢锚杆,该锚杆玻璃钢杆体及其配合的玻璃钢压紧圈、托板等附件如图 1-1 所示。其标准规格如下:

杆体的长度一般为 1.6 ~ 3.0 m,玻璃钢密度为 1.9 g/cm³,
φ18 mm 杆体每米重 480 g、φ20 mm 杆体每米重 600 g、
φ22 mm 杆体每米重 695 g、φ26 mm 杆体每米重 960 g。

杆体与锚固剂采用全长锚固方式。为有利于杆体进入孔眼与搅拌,其头部采用 45°斜面。为安装托板与压紧圈,其尾部



1—杆体；2—玻璃钢托板；3—玻璃钢压紧圈；4—玻璃钢挡板

图 1-1 玻璃钢杆体及附件

采用楔形大头结构。即在尾端杆体劈开后，用一个硬质木楔或玻璃钢楔子涂上树脂后胶固而成。楔形大头是一个死头，井下安装时，要预先套入压紧圈与托板，采用快凝树脂药卷。杆体进入孔中搅拌约 20 s 后，搅拌安装钻机顶紧杆体，1 min 后，树脂固化并将杆体及托板紧贴在围岩上。玻璃钢挡板（图 1-1 中的 4）主要适用于挂金属网的巷道。当玻璃钢树脂锚杆安装以后，把金属网套入杆体外露的楔形大头中，随后套入挡板，转动 90°，即可将金属网固定在锚杆上。玻璃钢锚杆的主要力学性能见表 1-1。

英国、前苏联、法国及澳大利亚等国研制成功的玻璃钢锚杆杆体一般为整体玻璃钢杆体，但价格昂贵，在我国并未大量应用。

表 1-1 玻璃钢锚杆的主要力学性能

试验内容	力学性能	$\phi 18$ mm 杆体	$\phi 20$ mm 杆体
拉伸	弹性模量/GPa	40	40
	破坏应力/MPa	607	593
	破坏荷载/kN	153.7	190.5
弯曲	破坏应力/MPa		760
	破坏荷载/kN		15.9
剪切	破坏应力/MPa	144	144
	破坏荷载/kN	73.6	92.5
冲击功/MPa			36.2

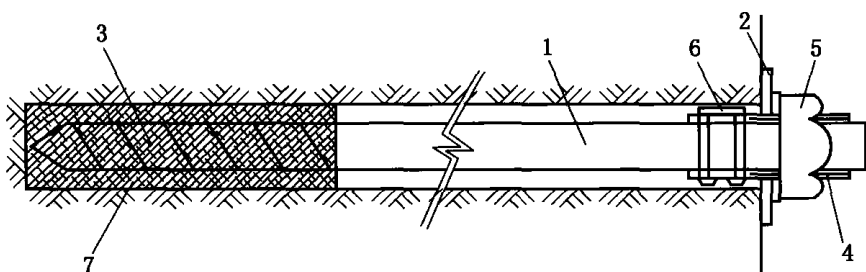
1.1.2 国内玻璃钢尾部结构研究现状

为降低玻璃钢锚杆的生产成本,国内学者在研究玻璃钢锚杆尾部结构时,一般采用玻璃钢杆体与金属配件相结合的结构。

从 20 世纪 70 年代开始,国内开始对玻璃钢锚杆进行研制,但当时的杆体一般采用手工糊制,性能及成本不能满足大量推广应用的要求。淮南矿务局合成材料厂曾参照 M-1 型树脂锚杆的钢杆体,试制了一批钡酚醛玻璃钢杆体。其杆体以中碱玻璃纱为骨料,杆体用低温低压拉挤成型,头部模压成反螺旋 180°麻花状,尾部采用加钢套保护的楔缝式结构。 $\phi 20$ mm 杆体的拉断力大于 80 kN。由于钡酚醛玻璃钢杆体抗折、抗扭强度较低,井下安装时多次发现折断或扭断现象。该厂将其改为不饱和聚酯树脂后,其性能大为改善。后来,江苏煤炭研究所及峰峰矿务局等单位也试制与试验过玻璃钢锚杆,但由于其成本与结构性能的问题,未能大量推广。

1989 年,煤炭科学研究总院杭州环境保护研究所研制了

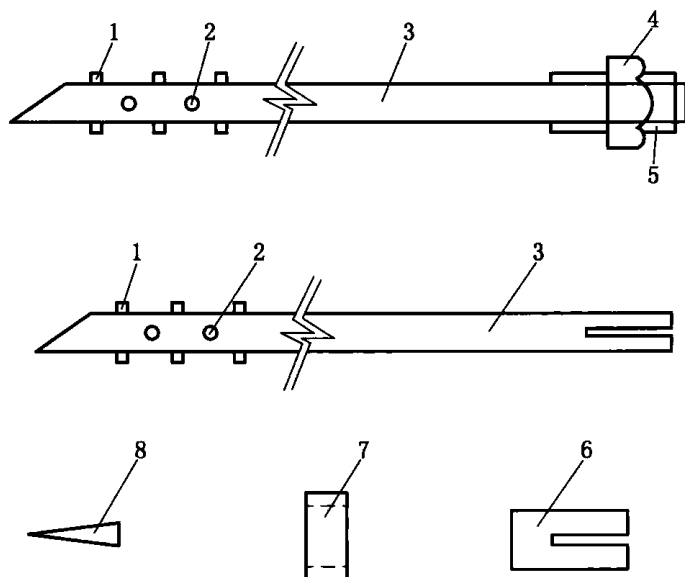
一种玻璃钢锚杆（图 1-2）并申请了专利。该锚杆杆体采用中碱无蜡无捻玻璃纤维制作，以 191 型不饱和聚酯树脂为黏结剂，锚头由无碱无蜡、无捻玻璃纤维制作，托板由多层交叉竹片胶压制成，锚头采用螺纹形齿，杆体等直，锚尾采用将加工有螺纹的钢套管用销钉固定在等直杆体上的结构，配以托板、螺母组成一套锚杆^[13]。



1—杆体；2—托板；3—锚头；4—钢套；5—螺母；6—固定销；7—水泥卷

图 1-2 煤炭科学研究总院杭州环境保护研究所研制的玻璃钢锚杆

1994 年，煤炭科学研究总院北京建井所研制成两种玻璃钢锚杆，如图 1-3 所示。它们的杆体均由玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂以拉挤工艺制成，因此杆体等直。为刺破及搅匀树脂卷，在锚头端将杆体削成斜尖，在锚头均布销钉，交叉成十字形装在杆体孔中，销钉数量不少于 3~4 个，锚头长度大于 200 mm。锚尾形式有两种：一种为螺纹钢套粘接在锚杆尾部，螺母拧在螺纹钢套上；另一种为在锚尾沿杆体轴向开有切缝，带切口的护套对准切缝装在锚杆尾部，外套套在护套上，扁楔打入切缝中。这两种锚杆杆体的玻璃纤维含量均达到 70%，在采用 $\phi 16$ mm 的杆体时抗拉力达到 66.0 kN 以上，抗扭力矩达 30 N·m，抗剪力达 26~40 kN^[14]。



1、2—销钉；3—杆体；4—螺母；5—螺纹钢套；6—护套；7—外套；8—扁楔

图 1-3 煤炭科学研究总院北京建井所研制的玻璃钢锚杆

1997 年，煤炭科学研究总院北京开采所研制出一种玻璃钢锚杆，如图 1-4 所示。锚杆的锚头采用左旋麻花结构，以利于均匀搅拌树脂，尾部是用高压将 M16 的圆钢螺栓压入玻璃钢杆体中，使圆钢与玻璃钢粘接牢固，主要技术特征见表 1-2。

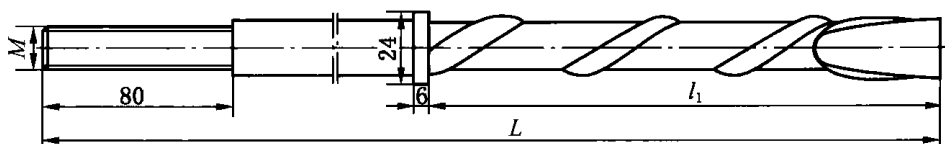


图 1-4 煤炭科学研究总院北京开采所
研制的玻璃钢锚杆（尺寸单位：mm）