

文章编号:1674-2869(2014)04-0065-05

# 锚固剂玻璃钢锚杆支护工程力学特性与应用

朱汉明<sup>1</sup>,梅群力<sup>2</sup>,陈清运<sup>3</sup>,朱万成<sup>4</sup>

(1. 武钢集团矿业有限责任公司金山店铁矿,湖北 大冶 435100;

2. 中国黄金集团新疆金滩矿业有限公司,新疆 鄯善 838200;

3. 武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074;

4. 东北大学资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110006)

**摘要:**针对金山店铁矿锚固剂玻璃钢锚杆支护优化设计中的技术参数和施工质量检测标准的问题,采用室内、现场试验等研究方法对该支护体系的工程力学特性进行了系统研究.结合金属矿山巷道变形特点,将MT219—2002规范中的“锚固力”技术指标修订为“单位锚固长度锚固力”,并增加了“延伸率”技术指标.锚固剂的抗压强度和膨胀性室内力学试验结果表明,抗压强度比规范略小,长期膨胀性为0.52%,达到规范的技术要求.在-270 m~-340 m中段的石英闪长岩和粉状磁铁矿中,采用现有施工技术进行了锚固剂玻璃钢锚杆支护工程力学特性试验,得到各项强度和变形指标.在此基础上,按强度折减系数0.8进行了折减,提出了锚固剂玻璃钢锚杆支护的技术要求和施工质量检测标准.应用该结果进行-312m水平采准巷道支护优化设计和质量检测,在试验地段取得明显的效果.

**关键词:**锚固剂;玻璃钢锚杆;支护质量检测标准;支护优化

**中图分类号:**TU432

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2014.04.014

## 0 引言

锚固剂玻璃钢锚杆支护是以锚固剂为粘结剂,将玻璃钢锚杆固定在被加固岩体中、共同承担地压的一种主动支护形式.其主要特点是施工简单、支护及时,因此在煤矿中得到广泛应用.玻璃钢锚杆是一种用玻璃钢纤维等复合材料研制而成的新型锚杆,其主要结构由锚头、杆体、锚尾三部分组成.玻璃钢锚杆与普通螺纹钢锚杆相似,其表面玻璃纤维筋呈左旋螺纹状分布,属螺纹型锚杆.在支护安装过程中,通过拧紧玻璃钢锚尾螺母而挤压托盘提供预应力.

早在20世纪初,国外学者就开始研究玻璃钢纤维材料,试图通过改变锚杆材料来解决钢质材料易腐蚀等问题<sup>[1]</sup>.研制之初,遇到玻璃纤维与混凝土粘结困难、筋材锚固不牢和表面保护膜容易损坏等技术难题.到20世纪50年代,美国、前苏联、英国等相继开展了大量的研究活动,关键技术被攻克,玻璃钢纤维材料得到了迅猛的发展,并开始应用于岩土工程和地下矿山工程的支护中.我国对玻璃钢锚杆应用研究始于煤矿.在煤矿,由于

瓦斯含量高,采用普通钢质材料锚杆进行巷道支护时,割煤机易与钢质锚杆发生摩擦,产生火花,引起瓦斯爆炸等安全事故,因此,开展了用玻璃钢锚杆替代普通钢质锚杆的科技攻关,试验获得了成功,相关产品已经定型批量生产.但是,玻璃钢锚杆在我国非煤矿山的推广应用只是近几年的事,特别是在金属矿山的应用还处于探索阶段,有关设计技术要求和施工质量检验标准也还处于空白状态,需要开展系统、全面的试验研究.

锚固剂玻璃钢锚杆支护属隐蔽性工程,支护质量的好坏表面不易察觉,只有通过系统的抽样检验才能判断支护质量的优劣.2002年煤炭部颁布了《中华人民共和国煤炭行业标准(MT219-2002),水泥锚杆卷式锚固剂》(2002.9.1实施)<sup>[2]</sup>,规范中分别规定了锚固剂抗压强度、锚固力、膨胀性等几项工程技术指标.其中,卷式锚固剂与锚杆配套安装0.5h后,所测定的锚固力应不小于50kN,24h的锚固力应不小于70kN;卷式锚固剂的抗压强度不小于表1中的值;卷式锚固剂的膨胀性应在0.5h内最大膨胀率不小于0.1%,28d膨胀率测定应大于0.

收稿日期:2014-03-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51374049)

作者简介:朱汉明(1975-),男,湖北浠水人,工程师,硕士.研究方向:岩石力学与巷道围岩控制.

表 1 卷式锚固剂抗压强度<sup>[2]</sup>

Table 1 Compressive strength of rolled anchoring agent

锚固 方式	抗压强度/MPa			试验环境、相关条件
	0.5 h	1 h	24 h	
端锚	12	18	25	养护温度: $20 \pm 2$ °C; 相对湿度: 80%~90%; 水灰比: 0.3; 拌和水温: $20 \pm 1$ °C.
全锚	9	15	25	

锚固剂玻璃钢锚杆支护系统的工程力学特性,与锚固剂、锚杆材质、被加固岩体工程力学性状等因素息息相关. 支护系统各组成部分,只有各自发挥到能力的极限,并保持变形协调,才能表现出整体较好的工程力学性状. 因此,在标准的质量检测体系中,还需要根据被支护地段巷道围岩变形特点,增加检测支护系统抗变形能力技术指标;另外,锚杆拉拔力随锚固长度呈线性变化,不能用一个固定的锚固力作为各种长度锚杆是否合格的评价标准,需用单位锚固长度锚固力修正原技术指标;标准中也没有明确锚杆材质不同对支护质量的影响,笼统用一个标准,在实际生产中指导性不强. 基于以上原因,在金山店铁矿井下—270 m~—340 m 段,开展锚固剂玻璃钢锚杆支护系统的工程力学特性试验研究,针对该矿工程地质和技术特点制定锚固剂玻璃钢锚杆支护的技术要求,为该中段采准巷道支护设计和支护质量检测提供切合实际的依据和标准.

## 2 工程地质特性

武钢金山店铁矿属矽卡岩矿床类型. 矿石类型有块矿、浸染状矿和粉矿三种. 块矿中金属矿物紧密相生,平均干抗压强度为 127 MPa;浸染状矿石在区内较常见,在矿床东部最发育,金属矿物在矽卡岩或大理岩中作较均匀的星散状分布,单轴抗压强度 27 MPa;粉矿中金属矿物与脉石矿物呈细粒集合体,结构松散,一接触即成散砂状,单轴抗压强度仅为 5 MPa.

围岩有角页岩、大理岩、岩浆岩、矽卡岩等,与采准巷道关系较大的围岩有大理岩和矽卡岩. 大理岩:遭受各种蚀变作用较强烈,单轴抗压强度普遍较低,平均值为 68 MPa. 矽卡岩为接触交代变

质岩,分布于碳酸盐类岩石与矿体的接触部位,在接触带附近的断层两侧也有分布. 多呈条带状、似脉状和透镜状,厚度一般 5~20 m. 矽卡岩中因多含软质矿物,结构比较松散,受构造作用较强烈,所以强度普遍较低.

矿区围岩的近矿强蚀变与远离矿体的弱蚀变普遍存在且具有多样性. 围岩蚀变多在成矿前或成矿过程中发生,如矽卡岩化、透辉石化、蛇纹石化、绿泥石化等,唯有碳酸盐蚀变是晚期的热液蚀变. 围岩蚀变一般对岩体力学性质有弱化作用,如矽卡岩化、金云母化、绿泥石化、碳酸盐化,本区围岩弱化蚀变有矽卡岩化和碳酸盐化. 强烈的矽卡岩化产生于矿岩接触带及其附近,而碳酸盐化普遍存在于区内各种岩石之中,多呈细脉及网脉状充填于节理裂隙中,当其呈网脉状发育时常导致岩石呈碎裂状.

结构面特征主要表现在:近矿围岩节理裂隙发育、短小不规则,其密度 5~15 条/m,局部地段可达 30 条/m,其延展性和连续性均较差,多为不规则杂乱节理,成组性不强,且岩体结构以镶嵌结构及碎裂结构为主;远离矿体围岩完整性提高,节理密度在 5 条/m 左右,节理裂隙成组性增强,岩体结构逐渐转为块状结构和镶嵌结构并存. 两种情况下的围岩都存在陡倾节理较缓倾节理更为发育的工程地质特征,节理大多呈闭合或微张(隙宽一般大于 3 mm)状态,隙壁平滑或粗糙,无充填或少量碳酸盐质充填,部分地段具较厚的碳酸盐质充填,在围岩蚀变较强的地段,多为矽卡岩、绿泥石等充填.

矿区水平构造应力较大,是垂直自重应力的 1.7 倍;矿区在—410 m 有疏干系统,围岩中含水率不高.

## 3 锚固剂玻璃钢锚杆支护工程力学特性试验

### 3.1 锚固剂力学性能试验

3.1.1 抗压强度 按 MT219-2002 规范要求,对金山店铁矿使用的锚固剂进行抗压强度试验,结果如表 2 所示.

表 2 锚固剂抗压强度试验

Table 2 Compressive strength test of anchoring agent

养护时间	0.5 h			1 h			24 h		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
抗压强度/MPa	8.9	8.2	7.7	16.1	14.2	15.8	28.2	28.4	29.1
平均抗压强度/MPa	8.3			15.4			28.6		

由表2可见,锚固剂的抗压强度基本符合规范技术要求,略有偏小。

3.1.2 膨胀性试验 按 MT219-2002 规范要求,制作了  $100 \times 100 \times 100$  mm 标准试块 9 块,测定不同养护龄期锚固剂的膨胀率,结果如表3所示。

表3 锚固剂膨胀性试验

Table 3 Expansion test of anchoring agent

试块	侧面平均间距/mm		膨胀率/%	
	0.5 h	28 d	0.5 h	28 d
1	100.12	100.53	0.12	0.53
2	100.20	100.75	0.20	0.75
3	100.13	100.41	0.13	0.41
4	100.21	100.64	0.21	0.64
5	100.13	100.49	0.13	0.49
6	100.10	100.53	0.10	0.53
7	100.15	100.37	0.15	0.37
8	100.11	100.33	0.11	0.33
9	100.24	100.62	0.24	0.62
平均			0.15	0.52

由表3可知,现场试验用的锚固剂的膨胀率,在0.5 h的膨胀率为0.15%,28 d的膨胀率为0.52%,均达到标准规定的技术要求。

表4  $\phi 18$  mm 玻璃钢锚杆的力学性能指标

Table 4 mechanical parameters of  $\phi 18$  mm GFRP bolting

试件直径 $D/\text{mm}$	抗拉		弹性模量 $E/\text{GPa}$	抗剪		延伸率 $\delta/\%$
	极限抗拉荷载 $P_u/\text{kN}$	极限抗拉强度 $f_{ptk}/\text{MPa}$		极限抗剪荷载 $c/\text{kN}$	极限抗剪强度 $\tau_{\max}/\text{MPa}$	
18	121.58	475	46.58	77.15	140	1.44

### 3.4 锚固剂玻璃钢锚杆的工程力学特性试验

试验地点选择在金山店铁矿东采区—298 m 水平 610XK 以东的采准巷道中进行,测点布置如图1所示。主要试验卷式锚固剂玻璃钢锚杆的工程力学特性。

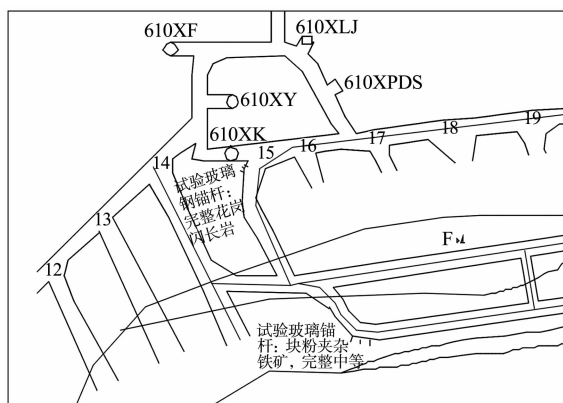


图1 玻璃钢锚杆力学特性试验测点布置图

Fig.1 Observation point arrangement of mechanical test on GFRP bolting

### 3.2 玻璃钢锚杆力学性能试验

金山店铁矿使用的玻璃钢锚杆杆体规格为  $\phi 18 \times 2\,000$  mm,杆体表面经过喷砂处理,并且缠绕纤维,其托盘和螺母均为工程塑料。锚杆采用拉挤一次成型技术,玻璃纤维质量分数为 77.5%,树脂质量分数为 22.5%。按规范要求进行试验,同时引用了其他研究成果<sup>[1,3-5]</sup>,经综合分析,结果如表4所示。

### 3.3 玻璃钢锚杆支护的巷道变形监测

文献[6-7]介绍了金山店铁矿余华寺采区—242 m分段回采进路进行玻璃钢锚杆支护试验结果。试验巷道采用掘支一体化施工工艺,即在掘进后马上进行喷锚网支护。16#进路采用玻璃钢锚杆喷锚网支护,加有预应力,采用玻璃钢锚杆配塑料螺母和托盘挂网。锚杆采用锚固剂全长锚固,锚固长度 1 900 mm。喷射混凝土强度 C20、喷层厚度 80~100 mm。试验巷道中的金属网采用 6 mm 钢筋编制的  $200 \times 200$  mm 菱形金属网。巷道收敛监测变形结果表明,巷道变形为 0.25 mm/d,属欠稳定巷道,这围岩条件在金山店铁矿带有普遍性。按 90 d 计,锚杆锚固长度 1.9 m,则玻璃钢锚杆延伸率  $\delta$  为 1.18/%,小于 1.44%,说明锚固剂玻璃钢锚杆是可以满足巷道变形要求的。

分别在 15#进路下盘花岗闪长岩地段及粉矿地段布置了 3 组测点(见图1),每组测点在垂直方向上分别钻 3 个水平孔,为方便进行锚杆抗扒拉试验,玻璃钢锚杆要求外露 350 mm,锚杆长度 2 000 mm,严格按照操作规程进行安装,安装好后挂牌做好标记,养护 0.5 h、24 h、28 d 后进行试验。

每次只选一组上的一根进行破坏性拉拔试验,3 根数据进行平均,即为不同支护龄期的抗拉强度与变形强度。

试验结果如表5所示,锚杆抗拉拔力与变形曲线如图2所示。

由表5可知,两种岩石试验结果在单位长度锚固力指标上差别不大,在延伸率指标上粉矿地段测试结果较花岗闪长岩地段的结果大,但没有达到 1.44 的指标。

表 5 锚固剂玻璃钢锚杆试验结果  
Table 5 Test results of GFRP bolting with anchoring agent

岩性	序号	抗拉拔力/kN	位移/mm	锚固长度/m	延伸率 $\delta/\%$	单位长度锚固力/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	龄期
石英 闪长岩	1	26.2	7.5	1.660	0.45	15.78	0.5 h
	2	42.0	9.5	1.660	0.57	25.30	24 h
	3	69.4	11.5	1.660	0.69	41.81	28 d
粉矿	1	25.3	5.8	1.595	0.36	15.86	0.5 h
	2	43.5	10.5	1.396	0.75	31.16	24 h
	3	68.3	13.8	1.463	0.94	46.68	28 d

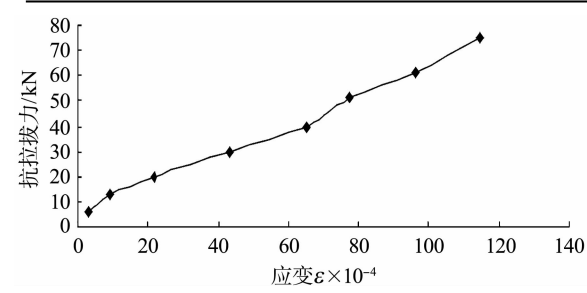


图 2 锚固剂玻璃钢锚杆抗拉拔力-应变试验曲线(28 d)  
Fig. 2 Pull force and strain curve of GFRP bolting with anchoring agent (28 d)

由图 2 可见,锚固剂玻璃钢锚杆抗拉拔力-应变近似线性变化。

3.5 金山店铁矿锚固剂玻璃钢锚杆支护的技术要求

基于现场和室内试验的研究结论,参考煤炭

表 6 玻璃钢锚杆检测结果  
Table 6 The detection results of GFRP bolting

地点	岩性	序号	抗拉拔力 /kN	位移 /mm	锚固长度 /m	延伸率 $\delta/\%$	单位长度锚固力 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$	合格情况	备注
18 进路 及中沿脉	粉矿	1	13	12.5	1.65	0.67	7.88	不合格	24 h
		2	35.6	13.4	1.65	0.81	21.57	合格	24 h
		3	30.6	9.0	1.43	0.63	21.46	合格	24 h
		4	32.4	12.5	1.65	0.75	19.64	合格	24 h
		5	52.5	12	1.65	0.64	31.82	合格	28 d
		6	92	6.5	1.65	0.35	55.76	合格	28 d
		7	50.8	3	1.65	0.16	30.79	合格	28 d

由表 6 可见,施工质量合格率较高,进行长期观察,巷道没有明显地压显现,处于稳定之中。需要补充说明的是,现场抽检主要是对锚杆尾部露出较长的锚杆,以利于安装拉拔计,没有抽到的锚杆施工质量更好一些。

5 结 语

a. 在金属矿中,锚固剂玻璃钢锚杆支护的工程力学特性与 MT219-2002 规范中的技术要求有较大的差异,提出了金山店铁矿锚固剂玻璃钢锚

杆支护的技术指标和要求。  
行业标准,同时考虑施工质量的差异,取强度折减系数 0.8,初步拟定锚固剂玻璃钢锚杆在金山店铁矿井下采准巷道支护的技术要求:锚杆系统配套安装后 0.5 h 所测定的单位长度锚固力应不小于  $11 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$  (22 kN, 2 000 mm 锚杆), 24 h 锚固力应不小于  $20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$  (40 kN, 2 000 mm 锚杆), 28 d 锚固力应不小于  $30 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$  (60 kN, 2 000 mm 锚杆),延伸率小于 1.44。

4 应 用

基于 3.5 节的技术要求,进行巷道支护优化设计,并对锚固剂玻璃钢锚杆支护质量进行了检验。试验在金山店铁矿东区-312 m 水平采准巷道中进行,抽检结果如表 6 所示。

b. 基于锚固剂玻璃钢锚杆在金山店铁矿现场试验的结果而制定的技术要求,作为-270 m~-340 m 中段采准巷道支护设计和施工质量检测的依据,具有较强的针对性和可操作性,试验表明效果明显。

致 谢

感谢国家自然科学基金项目(51374049)的资助!

## 参考文献:

- [1] 刘汉东,于新政,李国维. GFRP 锚杆拉伸力学性能试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(20): 3719-3723.  
LIU Han-dong, YU Xin-zheng, LI Guo-wei. Experimental study on tensile mechanical properties of glass fiber reinforced plastic rebar[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(20): 3719-3723. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国煤炭行业标准. MT219-2002 水泥锚杆卷式锚固剂[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.  
The Coal Industry Standard of the People's Republic of China. MT219-2002 Cement anchor pole roll-style fastness[S]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2001. (in Chinese)
- [3] 黄军,叶义成,王文杰,等. 基于应用的 GFRP 锚杆拉伸和剪切性能试验研究[J]. 中国矿业. 2010, 19(10): 94-96.  
HUANG Jun, YE Yi-cheng, WANG Wen-jie, et al. Study on tensile test and shear test of GFRP bolt on the bases of its application[J]. China Mining Magazine, 2010, 19(10): 94-96. (in Chinese)
- [4] 韩洪亮. 玻璃钢锚杆杆体主要性能的试验分析[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(4): 67-69.  
HAN Hong-liang. Test and analysis on main performances of bolt body for resin fiber-glass bolt[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(4): 67-69. (in Chinese)
- [5] 姜均文,陈清运,杨从兵,等. 锚固剂锚杆工程力学特性及应用研究[J]. 金属矿山, 2012(4): 23-26.  
JIANG Jun-wen, CHEN Qing-yun, YANG Cong-bing, et al. Study on the engineering mechanics characteristic of anchorage agent bolt and its application[J]. Metal Mine, 2012(4): 23-26. (in Chinese)
- [6] 张杰,叶义成,王文杰,等. 玻璃钢锚杆支护锚固力的试验分析[J]. 金属矿山, 2013(1): 46-49.  
ZHANG Jie, YE Yi-cheng, WANG Wen-jie, et al. Test analysis of FRP bolt supporting anchorage force[J]. Metal Mine, 2013(1): 46-49. (in Chinese)
- [7] 邹常富,叶义成,王文杰,等. 金山店铁矿玻璃钢锚杆支护巷道变形监测与分析[J]. 金属矿山, 2011(11): 41-44.  
ZOU Chang-fu, YE Yi-cheng, WANG Wen-jie, et al. Monitoring analysis on deformation of the roadway bolting by GFRP of jinshandian iron mine[J]. Metal Mine, 2011(11): 41-44. (in Chinese)

## Engineering mechanics properties and application of glass fiber reinforced polymer bolting with anchoring agent

ZHU Han-ming<sup>1</sup>, MEI Qun-li<sup>2</sup>, CHEN Qing-yun<sup>3</sup>, ZHU Wang-cheng<sup>4</sup>

(1. Jinshandian Iron Ore Mine, Mineral & Company, Ltd. WISCO, Daye 435000, China;

2. China nation gold group Xinjiang Jintan Mineral & Company, Ltd., Shanshan 838200, China;

3. School of Resources and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

4. College of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110006, China)

**Abstract:** Aimed at the technical design parameters and construction quality inspection standards of Jinshandian Iron Mine, the engineering mechanics properties of glass fiber reinforced polymer (GFRP) bolting with anchoring agent were studied. According to the tunnel deformation characteristics of metal mine, anchor force in the MT219-2002 standard was revised to the one in unit anchor length, and the indicators of resistance deformation increased. The laboratory test of compressive strength and expansibility of anchoring agent shows the compressive strength is smaller than that of the standard and the long term expansion is 0.52%, which meets the standard requirements. The engineering mechanics properties of GFRP bolting with anchoring agent were tested on the quartz diorite and powder magnetite mine in -270 m to -340 m section by means of current construction technology, and all strength and deformation parameters were obtained. Technical requirements and construction quality inspection standard of GFRP bolting support were presented on the basis of reducing the strength by 0.8 times. Finally, they were used to the tunnel optimal design and quality inspection in the -312 m experimental section, obtaining obvious effect.

**Key words:** anchoring agent; glass fiber reinforced polymer bolting; inspection standards of support quality; optimal support

本文编辑: 陈小平