

玄武岩纤维管材在石油领域的应用现状及前景分析

杨明清¹, 秦黎明², 付丽霞³

1. 中石化石油工程技术服务有限公司测录井事业部, 北京 100101
2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101
3. 华北油田公司采油工程研究院, 河北任丘 062552

摘要 玄武岩纤维是一种新型材料, 具有成本低廉、绿色环保、应用广泛等优点, 因此在国防、工业、民用等各个领域得到广泛应用。近年来, 俄罗斯等将玄武岩纤维制成管材, 成功应用到石油领域, 包括油气井套管、油管及地面输油管道。本文系统阐述了玄武岩纤维套管、油管及地面输油管道的主要类型及性能指标, 并分析了玄武岩纤维管材应用于石油领域的优势及其实际应用效果, 证明在石油领域应用玄武岩纤维管材从技术上是可行的。同时, 从原材料、技术指标、需求、技术难点等方面探讨了玄武岩纤维管材在中国石油领域的应用前景。

关键词 玄武岩纤维; 管材; 输油管道; 套管; 油管

中图分类号 TB321

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.07.012

Application Status and Prospects Analysis for Continuous Basalt Fibre Pipe in Oil Industry

YANG Mingqing¹, QIN Liming², FU Lixia³

1. Sinopec Oilfield Service Corporation, Beijing 100101, China
2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China
3. Oil Production Engineering Research Institute, Huabei Oil Field Co., Renqiu 062552, Hebei Province, China

Abstract Continuous Basalt Fibre (CBF) is a new type of materials which has been applied to many fields, including national defense, industry, and civil usage. In recent years, Russia and other countries have made pipes from CBF and used them to oil industry successfully, including oil casing, tubing, and ground oil pipelines. The main types and properties of CBF casing, tubing, and ground oil pipelines are introduced, and the application effects and advantages, that prove CBF pipes could be technically used in oil fields, are analyzed. Meanwhile, the applications and prospects for CBF pipe in China have been discussed from following aspects, such as raw materials, technology index, and demands, as well as technical difficulties.

Keywords Continuous Basalt Fibre; pipe; oil pipeline; casing; tubing

0 引言

玄武岩纤维(Continuous Basalt Fibre, CBF)是由玄武岩制成的纤维。早在 1953—1954 年, 前苏联就研发出了玄武岩纤维, 是世界上最早研究玄武岩纤维的国家之一^[1], 并将其应用到国防军工领域, 引起了美国、日本、德国等经济发达国家的

关注和技术的再创新^[2-4]。目前, 世界上只有俄罗斯、乌克兰、美国、加拿大、中国等为数不多的国家掌握了制造玄武岩纤维的技术^[5]。科学家预测, 玄武岩纤维将成为 21 世纪体现国防科技战略布局的新型绿色工业材料^[6]。当前多个国家对玄武岩纤维技术的研究还在持续, 并将其广泛应用到工业、民

收稿日期: 2012-11-14; 修回日期: 2013-01-15

基金项目: 中国石化科技开发部项目(P12096)

作者简介: 杨明清, 高级工程师, 研究方向为石油钻井工艺及俄罗斯石油技术追踪, 电子邮箱: yangmq.os@sinopec.com

用等各个领域^[7,8]。其中,在石油领域取得了一定进展,主要是将其制成管材,代替现有的套管、油管及地面输油管道^[9]。玄武岩纤维管材与钢质管材相比具有成本低廉、绿色环保、重量轻、刚性好、耐腐蚀性强等诸多优势^[10,11]。中国的玄武岩纤维技术尚处于民用及工业、国防试验阶段^[12],未在石油领域应用。因此,玄武岩纤维管材在石油领域的应用研究具有重要意义。

1 玄武岩纤维及玄武岩纤维管材

1.1 玄武岩纤维

玄武岩纤维是以天然玄武岩为原料,首先将其粉碎、在

1450℃~1500℃环境下熔融,然后用铂铑合金喷丝板拉成纤维^[13],其外型结构类似于玻璃纤维,被誉为是“点石成金”的技术^[14]。能够生产纤维的玄武岩,对其成分有一定的要求(表1)。与玻璃纤维、碳纤维等相比,玄武岩纤维绿色环保、硬度高、耐磨损、耐高低温、耐酸耐碱、抗紫外线性强、吸湿性低、绝缘性能好、高温过滤性佳、热振稳定性好^[15,16]。玄武岩纤维开发初期,主要用于国防建设领域,包括导弹、火箭、隐身战斗机、核潜艇、军舰、坦克、防弹装甲车、雷达站等^[17-19],俄罗斯已将玄武岩纤维应用到国民经济的各个领域。在中国,玄武岩纤维主要应用于土木建筑、交通运输、电子工业、医疗卫生、体育用品等领域^[20,21]。

表 1 可生产玄武岩纤维的玄武岩成分数据表

Table 1 Data list of basalt components for producing basalt fibre

化学组份	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ , FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O, K ₂ O	其他杂质
最低质量分数/%	45	12	5	6	3	0.9	2.5	2
最高质量分数/%	60	19	15	12	7	2	6	3.5

1.2 玄武岩纤维管材

将玄武岩纤维连续缠绕在一定直径的模具上,同时加入聚合黏接剂,当玄武岩管材成型后,将其从模具卸下,即制成了玄武岩纤维管材。将管材切割成所需的长度,再进行强度及密封性试验^[22]。在俄罗斯,玄武岩纤维管材一部分用于民用领域,如腐蚀性液体输送、热力网管、奶制品输送、饮用水输送等^[23];一部分用于石油领域,包括油气井油管、套管及地面油气输送管道等,取得了较好的效果。在俄罗斯,应用在石油领域的玄武岩纤维管材约占全部玄武岩纤维管材的50%^[24]。该技术在俄罗斯已经申请了多项专利^[25]。

2 玄武岩纤维管材在石油领域应用的优势分析

2.1 成本低廉

玄武岩纤维管材的原材料为普通的玄武岩,其矿藏在世界各地广泛分布,很多是以山岭的形式存在于地球表面。和钢铁等金属相比,可以说是“取之不尽,用之不竭”。生产玄武岩纤维的工艺成熟后,玄武岩纤维管材成本也将远远低于钢铁等金属管材成本。中国部分油气田富含H₂S、CO₂等气体,套管腐蚀严重,现有的解决办法是采用专门的防腐套管,价格昂贵^[26]。玄武岩纤维套管有望彻底解决这一问题。

2.2 绿色环保

在生产玄武岩纤维过程中,没有硼和其他碱金属排出,也不向大气排放有害气体,不污染环境。在特殊环境下,玄武岩纤维还可以降解成土壤母质,不会对环境造成后续污染,绿色环保^[27]。

2.3 密度小

玄武岩纤维管材的密度只有金属管材的约1/4^[28],可手工装卸和安装,节省大量人力物力。在俄罗斯,通常铺设直径为

297mm的油气输送管道。现场实践证明,铺设施工由两个工人手工完成,无需采用笨重的焊接设备,铺设管线300m/d,管道铺设期限缩短1/2。

2.4 有一定可挠性

玄武岩纤维具有较好的弹性模量、拉伸强度和断裂伸长率^[29]。玄武岩纤维套管及油管能顺利通过小曲率半径的定向井。玄武岩纤维地面输油管道能轻易绕过障碍物,无须增加转向接头。管线之间的连接采用螺纹连接,可节省成本及施工费用。玄武岩纤维管材与金属、塑料、塑胶有较好兼容性。

2.5 耐腐蚀性强

玄武岩纤维的成分主要为SiO₂、Al₂O₃等,因此,有很好的化学稳定性和热稳定性。用玄武岩纤维制成的管材,无须涂刷防腐层以及阴极保护等防腐处理。玄武岩纤维套管及油管对井内的CO₂、H₂S等腐蚀性气体有很好的防护作用,使用寿命长^[30]。资料表明,玄武岩纤维地面输油管道在20℃时,可使用50年,腐蚀程度不超过5%。

3 玄武岩纤维管材在石油领域的应用现状

3.1 石油套管及油管

在俄罗斯,玄武岩纤维管材的应用已经逐步向石油勘探开发领域渗透,并进行了相关现场试验。例如,俄罗斯石油天然气联盟-新技术股份有限公司能够生产直径在20~600mm、抗压强度达20MPa的玄武岩纤维油管及套管(表2、图1、图2),该公司是石油天然气联盟公司的子公司,生产基地位于彼尔姆市。

该玄武岩纤维油管及套管在卢克-彼尔姆石油公司乌尼维油田进行了4口井试验。用玄武岩纤维管材代替某井段的套管,顺利下套管并固井,固井时泵压10MPa,候凝后进行套

表 2 玄武岩纤维油管及套管性能数据

Table 2 Data of characteristic parameters for basalt fibre oil tube and casing

管具类型	内径/mm	壁厚/mm	最大承压/MPa	线重/(kg·m ⁻¹)
油管	50	3.5	10	1.07
油管	50	5.5	15	1.74
油管	50	7.0	20	2.27
油管	62	4.0	10	1.50
油管	62	5.5	15	2.12
油管	62	8.0	20	3.19
油管	80	5.0	10	2.42
油管	80	7.5	15	3.74
套管	100	10.5	18	6.88
套管	122	13.0	18	10.00
套管	150	15.5	18	14.58



图 1 俄罗斯玄武岩纤维石油套管

Fig. 1 Basalt fibre casing made in Russia



图 2 俄罗斯玄武岩纤维石油油管

Fig. 2 Basalt fibre oil tube made in Russia

管试压试验,泵压达 15MPa。经测井证实(表 3),井下玄武岩

表 3 玄武岩纤维套管现场试验数据

Table 3 Experimental in site data for basalt fibre oil tube

井号	外径/mm	壁厚/mm	井段/m	生产时间/a
359	122	13	1835~1955	5.5
646	122	13	2015~2080	5.6
362	122	13	2211~2291	4.3
597	122	13	2207~2280	4.2

纤维套管性能良好,并顺利投产;生产时间已达 4~5a,并继续生产。

3.2 地面输油管道

在俄罗斯,玄武岩纤维被制成管材,很大一部分用于石油天然气的地面输送。玄武岩纤维油气输送管道的内表面能防止盐类和石蜡的堆积,内壁光滑,摩擦阻力小,液体通过能力强,一般比相同直径的钢质管材大 20%。俄罗斯玄武岩纤维地面油气管道主要性能指标见表 4。现场应用表明,内径为 100mm 的玄武岩管材,其液体通过能力相当于内径为 120mm 的钢质管材。因此,被广泛应用于俄罗斯各大油田。

表 4 俄罗斯玄武岩纤维地面油气管道主要性能指标

Table 4 Main characteristic parameters of basalt fibre surface oil pipeline made in Russia

内径/mm	壁厚/mm	线重/(kg·m ⁻¹)	承压/MPa	管材强度/级
21	2.0	0.27	1.0	>4
25	2.0	0.31	1.0	>4
28	2.0	0.35	1.0	>4
32	2.0	0.39	1.0	>4
50	2.5	0.76	1.0	>4
50	3.0	0.91	4.0	>4
65	2.5	0.97	1.0	>4
65	3.5	1.38	4.0	>4
80	2.5	1.19	1.0	>4
80	4.0	1.93	4.0	>4
80	11.0	5.66	20.0	>2
100	3.0	1.80	1.0	>4
100	4.5	2.70	4.0	>4
100	14.0	9.02	20.0	>2
122	3.0	2.50	1.0	>4
122	4.5	3.30	4.0	>4
150	3.5	3.10	1.0	>4
150	7.0	6.30	4.0	>4
150	17.0	16.05	18.0	>2
175	3.5	3.60	1.0	>4
175	7.0	7.30	4.0	>4
200	4.0	4.70	1.0	>3
200	8.0	9.50	4.0	>3
300	5.0	8.80	1.0	>3
300	11.0	19.50	4.0	>2
500	8.0	23.20	1.0	>2
500	17.0	50.00	4.0	>2

4 玄武岩纤维管材在中国石油领域应用前景分析

4.1 玄武岩矿藏丰富

中国的玄武岩矿藏储量十分丰富。大致可分为两大区域,一是沿中国东部大陆边缘,数以百计的火山群和火山锥成为环太平洋火山链的一部分;二是位于青藏高原及周边地

区的火山群。实际调查表明,在四川、云南、湖南、黑龙江、辽宁、河北、山西、江苏、安徽、浙江、贵州、新疆、海南岛和台湾等省、自治区,都有适合生产玄武岩连续纤维的玄武岩矿藏,充足的原材料为大规模生产玄武岩纤维提供了保障。

4.2 需求潜力大

中国是油气生产大国,每年要钻探大量的油气井,使用大量的油管及套管,耗费大量的钢材。在中国东部老油区,如大庆油田、胜利油田、华北油田等,油气藏埋藏浅,地层压力低,为玄武岩纤维管材的应用创造了条件。中国西部蕴含着丰富的天然气资源,东部则人口稠密,如果将西部的天然气输送到东部城市,需要大量的地面油气输送管道。

4.3 具有一定的技术储备

中国的一些研究单位对玄武岩纤维展开研究,基本掌握了生产玄武岩纤维技术,取得了一系列成果。2002年,中国将连续玄武岩纤维及其复合材料列入国家 863 计划;2004年,又将其列入国家级火炬计划、国家科技型中小企业创新基金。目前,已有数家生产玄武岩纤维厂家,从事玄武岩纤维及其复合材料的研发、生产和销售,可提供多种规格的连续玄武岩纤维、超细玄武岩纤维、玄武岩纤维复合材料、玄武岩鳞片、玄武岩纤维制品、玄武岩纤维生产装备及技术等。

4.4 需要技术攻关

不同的玄武岩类型,所生产的玄武岩纤维性能差别很大。因此,对玄武岩原材料有一定的选择性,需要对玄武岩原材料适用性进行研究。玄武岩纤维的最高使用温度与拉丝成型温度非常接近,导致生产温度范围窄,容易产生断丝,玄武岩纤维的性能也受到影 响;某些玄武岩中具有高熔点的微晶物,融化与均化不充分,导致拉丝过程中容易出现析晶现象,影响纤维质量;玄武岩纤维制作过程工艺复杂,导致玄武岩纤维熔制效率低,产量及生产效率低下;中国尚未将玄武岩纤维制成管材,应加强玄武岩纤维管材的研发力度,提高其性能,尽早应用到石油领域。

5 结论

(1) 玄武岩纤维具有绿色环保、重量轻、刚性好、耐腐蚀性强等优点,在国防、民用等领域都有较广泛的应用,随着玄武岩纤维制作工艺的进一步完善,玄武岩纤维的应用领域将越来越广阔。

(2) 俄罗斯的实践证明,用玄武岩纤维制成的油管、套管及地面输油管道,能够满足一部分油气井的需要,玄武岩纤维管材很可能成为未来石油管材的发展方向之一。

(3) 用玄武岩纤维生产的油管及套管,具有很好的经济效益和社会效益,在中国具有广阔的应用前景,建议加大研发力度,尽早将玄武岩纤维管材应用于石油地面管道及勘探开发领域。

(4) 玄武岩纤维的制作工艺还很不成熟。在抗高压方面,玄武岩纤维生产的油管及套管具有很大的局限性。因此,在

研发玄武岩纤维管材的同时,应尽早确定玄武岩油管及套管的适用范围,包括井深、温度、压力等,并制定相关标准。

参考文献 (References)

- [1] Artemenko C E. The advanced technology for the Poly composite material strengthening the basalt, polymer and glass fibre[J]. *Plastics*, 2003, 32(2): 5-6.
- [2] Czigány T, Vad J, Pölöskei K. Basalt fiber as a reinforcement of polymer composites[J]. *Periodica Polytechnica: Mechanical Engineering*, 2005, 49(1): 3-14.
- [3] Matkó S, Anna P, Marosi G, et al. Use of reactive surfactants in basalt fibre reinforced polypropylene composites[J]. *Macromolecular Symposia*, 2003, 202(1): 255-268.
- [4] Keszei S, Matkó S, Bertalan G, et al. Progress in interface modifications: From compatibilization to adaptive and smart interphases[J]. *European Polymer Journal*, 2005, 41(4): 697-705.
- [5] 赫立才,于伟东.玄武岩/玻璃纤维形态结构和热稳定性对比研究[J]. *西安工程大学学报*, 2009, 23(12): 327-332.
Hao Licai, Yu Weidong. Comparison of the morphological structure and thermal properties of basalt fibre and glass fiber[J]. *Journal of Xi'an Polytechnic University*, 2009, 23(2): 327-332.
- [6] Novitskii A G. High temperature heat-insulating materials based on fibres from basalt type rock materials [J]. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2004, 45(2): 52-57.
- [7] Rabinovich F N, Zueva V N, Makeeva L V. Stability of basalt fibres in a medium of hydrating in a medium of hydrating cement[J]. *Glass and Ceramics*, 2001, 58(11-12): 431-434.
- [8] Ronkay F, Czigány T. Development of composites with recycled PET matrix[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2006, 17(9-10): 830-834.
- [9] Wang G J, Liu Y W, Guo Y J, et al. Surface modification and characterizations of basalt fibres with non-thermal plasma[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201(15): 6565-6568.
- [10] Bikiaris D, Matzinos P, Larena A, et al. Use of silane agents and poly(propylene-g-maleic anhydride) copolymer as adhesion promoters in glass fibre/polypropylene composites [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, 81: 701-709.
- [11] Botev M, Betchev H, Bikiaris D, et al. Mechanical properties and viscoelastic behavior of basalt fibre-reinforced polypropylene[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, 74(3): 523-531.
- [12] 孙建磊,李龙,张胜靖.玄武岩纤维产品及其应用的研究进展[J]. *产业用纺织品*, 2011, 21(2): 1-4.
Sun Jianlei, Li Long, Zhang Shengjing. *Technical Textiles*, 2011, 21(2): 1-4.
- [13] Bashtannik P I, Ovcharenko V G, Boot Y A. Effect of combined extrusion parameters on mechanical properties of basaltfiber-reinforced plastics based on polypropylene[J]. *Mechanics of Composite Materials*, 1997, 33(6): 600-603.
- [14] Bikiaris D, Matzinos P, Larena A, et al. Use of silane agents and poly(propylene-g-maleic anhydride) copolymer as adhesion promoters in glass fibre/polypropylene composites [J]. *Journal of Applied Polymer*

- Science, 2001, 81: 701-709.
- [15] Kogan F M, Nikitina O V. Solubility of chrysotile asbestos and basalt fibres in relation to their fibrogenic and carcinogenic action [J]. Environmental Health Perspectives, 1994, 102(5): 205-206.
- [16] Krácalík M, Pospíšil L, Šlouf M, et al. Recycled poly (ethyleneterephthalate) reinforced with basalt fibres: Rheology, structure, and utility properties[J]. Polymer Composites, 2008, 29(4): 437-442.
- [17] Özütrk S. The effect of fiber content on the mechanical properties of hemp and basalt fibre reinforced phenol formaldehyde composites[J]. Journal of Materials Science, 2005, 40(17): 4585-4592.
- [18] 李建军, 党新安. 玄武岩连续纤维成形工艺研究[J]. 材料科学与工艺, 2009, 17(2): 211-214.
Li Jianjun, Dang Xin'an. Materials Science and Technology, 2009, 17 (2): 211-214.
- [19] Zemtsov A H, Ogaryshev S I. The basalt cellucotton[J]. Status and History, 2003(3): 124.
- [20] 胡显奇. 我国连续玄武岩纤维的进展及发展建议[J]. 高科技纤维与应用, 2008, 33(6): 12-18.
Hu Xianqi. Hi-Tech Fibre & Application, 2008, 33(6): 12-18.
- [21] 石钱华. 国外连续玄武岩纤维的发展及其应用[J]. 玻璃纤维, 2003, 21(4): 27-31.
Shi Qianhua. Fibre Glass, 2003, 21(4): 27-31.
- [22] 罗益锋. 玄武岩纤维在高新技术纤维中的定位与研发方向[J]. 高科技纤维与应用, 2011, 36(2): 6-8.
Luo Yifeng. Hi-Tech Fibre and Application, 2011, 36(2): 6-8.
- [23] Leskov S P. Basalt fibre production in a small factory [J]. Material Structure, 2001, 26(4): 25.
- [24] Dzhigiris D D, Macha M F. The base material of basalt and its production[J]. Thermal Engineers, 2002, 25(2): 416.
- [25] Gorilovsky M I. The crystalline and thermal stability of tubings made of the polyethylenes[J]. Plastics, 2005, 35(4): 9-12.
- [26] 许浩, 汤达祯, 魏国齐, 等. 川西北地区三叠系硫化氢分布及运移特征研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 78-81.
Xu Hao, Tang Dazhen, Wei Guoqi, et al. Petroleum Geology and Experiment, 2007, 29(1): 78-81.
- [27] 尚宝月, 杨绍斌. 玄武岩纤维聚合物复合材料的研究进展[J]. 化工进展, 2011, 30(8): 1766-1770.
Shang Baoyue, Yang Shaowu. Chemical Industry and Engineering Progress, 2011, 30(8): 1766-1770.
- [28] 胡显奇, 申屠年. 连续玄武岩纤维在军工及民用领域的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(6): 7-13.
Hu Xianqi, Shen Tunian. Hi-Tech Fibre and Application, 2005, 30(6): 7-13.
- [29] 关苏军, 万春风, 汪丽娜, 等. 玄武岩纤维增强木塑复合材料的力学性能[J]. 复合材料学报, 2011, 28(5): 162-164.
Guan Sujun, Wan Chunfeng, Wang Lina, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2011, 28(5): 162-164.
- [30] 王明超, 张佐光, 孙志杰, 等. 连续玄武岩纤维及其复合材料耐腐蚀特性[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(10): 1255-1258.
Wang Mingchao, Zhang Zuoguang, Sun Zhijie, et al. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(10): 1255-1258.

(责任编辑 张玉肖, 岳臣)

· 学术动态 ·

“科普惠农兴村计划”实施方案 ——关于农村专业技术协会

推荐范围:经社团管理部门依法登记、在农村科普工作方面做出突出贡献的县级以上(含县级)农村专业技术协会。

推荐条件:

- (1) 组织机构健全、产权明晰、遵纪守法、管理规范。
- (2) 获得县级以上(含县级)农村科普工作奖励。
- (3) 会员农户在100户以上,拥有一项或多项适用技术,在科学普及、技术推广、协会管理方面具有较强的示范带动作用。
- (4) 成立3年以上,具有较强的持续发展能力,会员年均纯收入高于本县农民年均纯收入20%以上。
- (5) 致力于农村科普事业,普及科技知识、弘扬科学精神、传播科学思想、倡导科学方法;崇尚科学文明,反对愚昧迷信;在提高农民科学素质和专业技能,建设社会主义新农村方面成效显著,得到当地群众的广泛认可和好评。