

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.11.020

胶层厚度影响碳纤维布增强聚丙烯力学性能研究

黄彩飞, 陈国平, 王禹

(西南科技大学, 四川绵阳 621000)

摘要: 为了研究胶层厚度对碳纤维布增强聚丙烯力学性能的影响, 通过利用不同厚度的模具, 在粗糙度相近的试件上, 涂刷出 0.5, 1, 1.5, 2 mm 厚度的胶层, 并粘贴上相同数量、相同几何尺寸的碳纤维布, 进行了 A, B, C 三组拉伸试验。试验结果表明: 不同的胶层厚度对碳纤维布增强聚丙烯抗拉性能有着一定的影响, 三组试验结果表明在加载前期时, 荷载-位移曲线斜率随胶层厚度的增加呈现先增后减的趋势, 数值由空白试件的 2.369 涨到 3.356 再减小到 2.665。其中胶层厚度为 0.5 mm 与 1 mm 的复合试件比空白试件的荷载-位移曲线的斜率分别最少提高了 23% 与 34.8%, 而胶层为 1.5 mm 与 2 mm 的复合试件比空白试件的荷载-位移曲线的斜率分别最多提高了 20.8% 与 16.7%, 则表明 0.5 mm 与 1 mm 试件的抗拉效果明显优于 1.5 mm 与 2 mm 试件。

关键词: 胶层厚度; 碳纤维布; 聚丙烯; 力学性能; 影响

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)11-0102-04

Study on The Influence of Thickness of Adhesive Layer on Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced with Carbon Fiber Cloth

Huang Caifei, Chen Guoping, Wang Yu

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

Abstract : To study the effect of the thickness of adhesive layer on the mechanical properties of CFRP reinforced polypropylene. In this paper, A, B and C tensile tests were carried out by using molds of different thicknesses to paint adhesive layers of 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm and 2 mm thick on specimens with similar roughness and sticking carbon fiber cloth of the same quantity and geometry size. The test results show that different thickness of adhesive layer has a certain influence on the tensile properties of CFRP reinforced by CFRP. The three groups of test results show that in the early stage of loading, the slope of load-displacement curve first increases and then decreases with the increase of adhesive layer thickness, and the value increases from 2.369 of blank specimen to 3.356 and then decreases to 2.665. The slope of load-displacement curve of the specimens of 0.5 mm and 1 mm than that of blank specimen at least increased by 23% and 34.8% respectively. The slope of load-displacement curve of the specimens of 1.5 mm and 2 mm than that of blank specimen is increased by 20.8% and 16.7% respectively, so tensile effect of 0.5 mm and 1 mm specimen is better than 1.5 mm and 2 mm specimen.

Keywords : adhesive layer thickness ; carbon fiber cloth ; polypropylene ; mechanical property ; effect

碳纤维布具有强度高、密度小、厚度薄,且在加固构件时基本不增加结构构件的自重及截面尺寸等特点。被广泛应用在工程加固中,以达到增强基底材料的力学性能的目的。将碳纤维布应用于塑料板材中,意在制备出一种轻质高效的新型板材。目前笔者所在课题组已经完成了粗糙度对碳纤维布增强

聚丙烯力学性能的影响的相关的试验,并得出了一些有价值的结论。现在对胶层厚度这一影响因素进行试验研究,了解胶层厚度对碳纤维布效能发挥的影响,为板材制作提供指导。同时结合粗糙度的研究结果,合理的优化二者的物性关系从而进一步提高碳纤维布增强聚丙烯的力学性能。目前,研究表

通信作者: 王禹,副教授,主要从事建筑材料研究 E-mail: 8073812@qq.com

收稿日期: 2020-09-07

引用格式: 黄彩飞,陈国平,王禹. 胶层厚度影响碳纤维布增强聚丙烯力学性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11):102-105, 116.

Huang Caifei, Chen Guoping, Wang Yu. Study on the influence of thickness of adhesive layer on mechanical properties of polypropylene reinforced with carbon fiber Cloth[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):102-105, 116.

明,胶层厚度是影响碳纤维布发挥其效能的一个重要因素^[1-4],且不同厚度的胶层对不同的基底材料有着不同的影响^[5-11],为了更好了解胶层厚度对碳纤维布增强聚丙烯力学性能的影响^[12-14],笔者分别制作了0.5,1,1.5,2 mm四种不同厚度的模具,用于涂刷出不同厚度的胶层,同时对试件进行相同方式的打磨并采用粗糙度仪进行检测,制备出粗糙度相接近的试件,并在试件上粘贴相同大小、相同数量的碳纤维布,进行拉伸试验。

1 试验材料

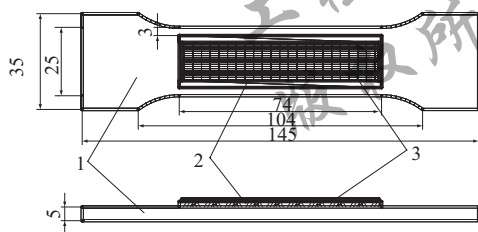
试验采用由日本辰日株式会社提供的碳纤维布和配套树脂和上海昇辉橡胶制品公司提供的聚丙烯板材进行试件的制作,材料性能见表1。

表1 材料性能

材料类型	拉伸强度 /MPa	拉伸弹性模量 /MPa	伸长率 /%
碳纤维布	3 880	2.66×10^5	1.87
配套树脂	52	2 730	1.83
聚丙烯	27.3	1 330	126

2 试件制作

拉伸试件的尺寸参照 GB/T 1447-2005《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》进行制作,具体尺寸如图1所示。



1—聚丙烯片材;2—树脂;3—碳纤维布粘贴位置

图1 试件示意图

试件制作过程主要分为以下三个步骤:步骤一利用打磨机分别对试件进行30 s的打磨,分A、B、C三组,每组四个不同胶层厚度,共打磨12个试件。并且利用粗糙度仪进行取点检测,其检测结果见表2,以平均值视为试件表明粗糙度的参考值。

表2 试件粗糙度检测

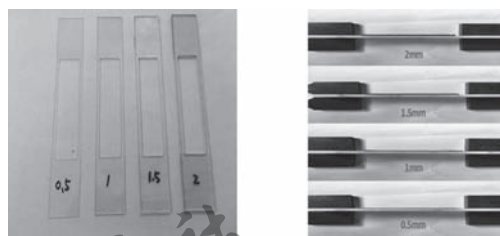
项目	0.5A	0.5B	0.5C	1A	1B	1C	1.5A	1.5B	1.5C	2A	2B	2C
测点数	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
平均值	2.93	3.12	3.04	2.73	2.65	2.72	2.69	2.70	2.83	2.98	2.72	2.67

步骤二按照主剂与硬化剂2:1的比例拌合好的树脂且静置2 h后待树脂的流动性较弱时,用于胶层的填涂。步骤三利用制作的模具对试件进行胶层的填涂,且在相同位置上粘贴相同尺寸、相同数量的碳纤维布,静置10 h后将其模具脱离。具体操作

步骤见图2。将粘贴好的试件静止16 h(由于气温的原因)以上待树脂完全硬化,得到4种不同胶层厚度的试件。图3为不同厚度的模具、不同胶层厚度的试件,图4为粗糙度仪。



图2 试件的制作与胶层控制过程



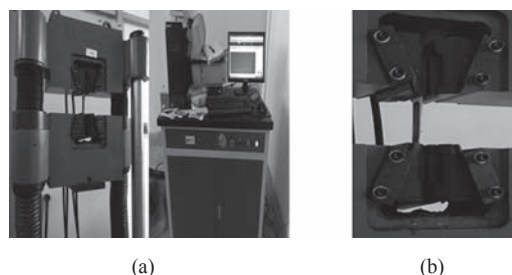
a—不同厚度的模具;b—不同胶层厚度的试件
图3 不同厚度的模具及不同胶层厚度的试件



图4 粗糙度仪

3 试验方法

将制作好的试件依据 GB/T3354-2014,在微机控制电液伺服万能试验机上分别进行拉伸试验,如图5所示,拉伸速率为1 mm/min,直到树脂与板材间完全脱胶后停止试验并记录实验力-位移数据。同时为了考虑材料自身的差异对试验的影响,在试验前对未粘贴碳纤维布的试件进行了拉伸试验,3个空白试件的试验力-位移曲线拟合性较高。



a—万能试验与控制系统;b—拉伸试件

图5 济南联工万能试验与控制系统与试件

4 结果分析

试验共拉伸15个试件,同时设置了对照组和实

验组,得出了三组试验结果。图6~图8分别为A组、B组、C组的荷载-位移图。其中A组中的1A试件由于试验机夹具问题,导致的试验数据出现较大偏差,在结果分析时不予讨论,最终得到14个有效试验数据。其中K1, K2, K3为试验的空白对照试件,其上未粘贴碳纤维布。其他的试件粘贴了碳纤维布称为复合试件。根据复合试件在试验过程中的变化,人为将复合试件的拉伸试验共分为三个时期,分别是初期、中期和后期。加载初期:碳纤维布、胶层、聚丙烯试件共同受力,当荷载增加接近胶层剥离荷载时,碳纤维布从聚丙烯试件的端部开始剥离。加载中期:碳纤维布与胶层开始在试件的两端部出现上翘的现象,之后破坏继续向中间扩展。加载后期:碳纤维布大部分从试件上剥离直到全部脱落。

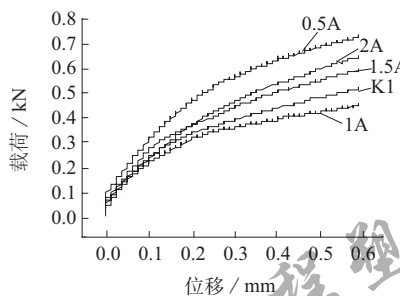


图6 A组荷载-位移

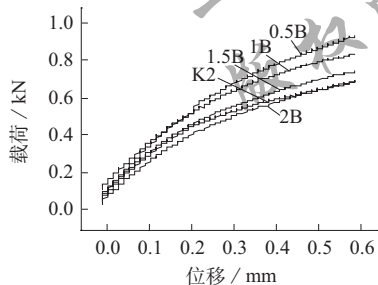


图7 B组荷载-位移

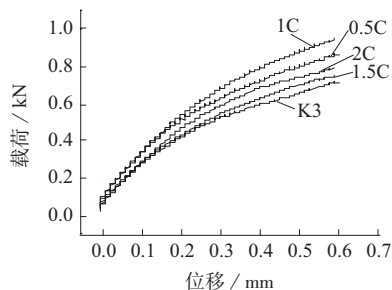


图8 C组荷载-位移

当复合试件在进行拉伸试验时,其荷载-位移曲线不会出现像碳纤维布增强钢材那种突然的转折点,其线型为较为平滑的曲线,其拉伸曲线的最大特点就是曲线斜率的变化,但其变化的范围不大,这表

明环氧树脂对聚丙烯的粘接强度远小于对钢材的粘接强度。同时根据加载曲线的斜率变化可知,当复合试件开始受力加载时,碳纤维布、胶层、聚丙烯共同抵抗外荷载,随着荷载的不断增大,胶层与聚丙烯的粘接处逐渐出现剥离,直到碳纤维布与胶层全部脱落,其整体过程时间较短但可以观察到其斜率出现先增大后减小的变化,同时过程中也未出现胶层与聚丙烯剥离的撕裂声,这导致试验中的胶层与聚丙烯剥离的时间点难以判断。则前期试验曲线斜率的变化是论证碳纤维布增强效果的重要依据。图9~图11分别为A组、B组、C组的初期斜率。

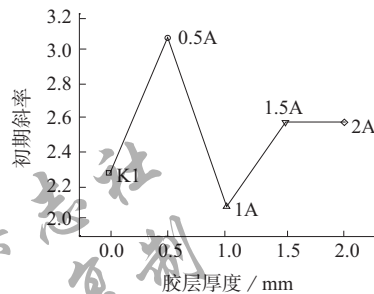


图9 A组初期斜率

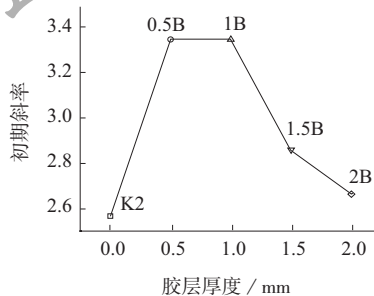


图10 B组初期斜率

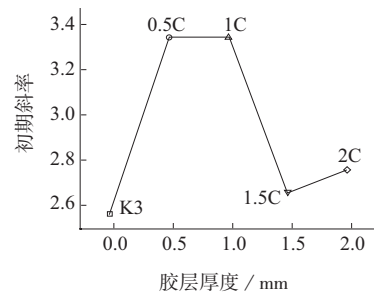


图11 C组初期斜率

根据图6~图8三组试验的荷载-位移曲线可知,当荷载在0~0.4 kN的范围内时,在相同的试验力下随着胶层厚度的增加,其试件的变形量呈现逐渐增加的趋势,且增长幅度逐渐减小,表明复合试件的抗拉刚度随胶层厚度的增加,出现先增大然后减小的趋势。三组试验曲线中的0.5 mm与1 mm的曲线线形均高于1.5 mm与2 mm的曲线线形,则

表明 0.5 mm 与 1 mm 的厚度的增强效果明显优于 1.5 mm 与 2 mm 厚度的试件。

根据图 9、图 10、图 11 试验前期的斜率-胶层厚度的折线图可知,空白试件与不同的胶层厚度的复合试件在试验的前期,其曲线斜率有着明显的差异,随着胶层厚度的增加,曲线斜率呈现先增后减的趋势,其中 0.5 mm 与 1 mm 的斜率最大,1.5 mm 与 2 mm 的斜率较小但大于空白试件,表明 0.5 mm 与 1 mm 的厚度试件的增强效果要远高于 1.5 mm 与 2 mm 的试件,胶层为 0.5 mm 与 1 mm 的试件比空白试件在荷载-位移的斜率上分别最少提高了 23% 与 34.8%,而胶层为 1.5 mm 与 2 mm 的试件比空白试件在荷载-位移的斜率上分别最多提高了 20.8% 与 16.7%。当复合试件拉伸试验结束后发现三组试验中的 0.5 mm 试件的胶层均有断裂现象的产生,而三组试验中的 1,1.5,2 mm 试件的胶层均无断裂的现象。这表明 0.5 mm 的胶层在碳纤维布增强聚丙烯拉伸试验的过程中强度不够。综上所述,胶层厚度对碳纤维布效能发挥着一定的影响,其中 0.5 mm 与 1 mm 厚度的增强效果明显优于 1.5 mm 与 2 mm。

通过上述分析与试验的对比,为了有效提高碳纤维布的利用率、提升碳纤维布增强聚丙烯的力学性能,在实际胶层涂刷的过程中胶层厚度的控制应当大于 0.5 mm。图 12 为试件的破坏形态。

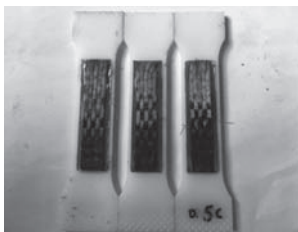


图 12 试件的破坏形态

5 结论

通过对复合试件与空白试件的拉伸试验,分析得到以下结论:

(1) 根据相关实验数据及 0.5 mm 试件的破坏现象可知,使用碳纤维布增强聚丙烯时涂刷胶层的厚度“T”的范围应当控制在 $0.5 \text{ mm} \leq T \leq 1 \text{ mm}$ 。

(2) 根据对不同胶层厚度试验线形分析及曲线斜率变化的趋势可知,碳纤维布增强聚丙烯的抗拉性能随着胶层厚度的增加而减小。

(3) 由试验的斜率的变化幅度可知,胶层厚度的变化对提高碳纤维布效能的发挥有着一定的影响但

其影响程度不大。

(4) 试件的成功制作,胶层厚度均匀且相同胶层厚度的试验数据相近,表明利用模具的方式制作不同厚度的胶层是可行的。

(5) 根据对试验现象及试验曲线的分析可知,环氧树脂与聚丙烯的粘接强度低于与钢材的粘接强度。

参考文献

- [1] 郑小玲,孔凡荣,游敏,等.胶层厚度对拉伸试样应力分布影响的数值分析[J].粘接,2004(5):30-32.
Zheng Xiaoling, Kong Fanrong, You Min, et al. Numerical analysis of the influence of the thickness of adhesive layer on the stress distribution of tensile specimens[J]. Bonding, 2004(5):30-32.
- [2] 黎文婧.碳纤维布与钢的界面黏结性能试验研究[D].绵阳:西南科技大学,2019.
Li Wenjing. Experimental study on interfacial bonding properties of carbon fiber fabric and steel [D]. Mianyang: Southwest University of Science And Technology, 2019.
- [3] 赵慧建,郭庆勇,陈磊,等.胶层厚度对 CFRP-混凝土界面性能影响的数值分析[J].应用科技,2018,45(2):96-100.
Zhao Huijian, Guo Qingyong, Chen Lei, et al. Numerical analysis of the influence of rubber layer thickness on the interface performance of cfrp-concrete[J]. Applied science and technology, 2008,45(2):96-100.
- [4] 赵慧建.胶层厚度对 CFRP-混凝土界面性能的影响研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2018.
Zhao Huijian. Research on the influence of rubber layer thickness on the interface performance of CFRP-concrete[D]. Harbin: Harbin University of Engineering, 2018.
- [5] 马第江,吴亚玲,余进.胶层厚度对预应力碳纤维板加固砼梁界面剪应力影响试验研究[J].公路与汽运,2018(1):161-164.
Ma Dijiang, Wu Yaling, Yu Jin. Experimental study on the influence of the thickness of adhesive layer on the shear stress at the interface of prestressed carbon fiber reinforced concrete beams[J]. Highway and Automobile Transportation, 2018(1):161-164.
- [6] 鲍安红,黎桢君,黄唯.胶层厚度对梁底粘钢加固的剥离影响仿真研究[J].工程抗震与加固改造,2015,37(5):41-44.
Bao Anhong, Li Anjun, Huang Wei. Simulation study on the influence of the thickness of adhesive layer on the peeling of adhesive steel reinforcement of beam bottom[J]. Engineering Seismic And Reinforcement Reconstruction, 2015,37(5):41-44.
- [7] 郭诗惠,张建仁,高勇,等.胶层厚度对 CFRP 板材与混凝土界面黏结性能影响[J].公路交通科技,2015,32(9):87-91,97.
Guo shihui, Zhang Jianren, Gao Yong, et al. Effect of adhesive

(下转第 116 页)

- [6] 益小苏,杜善义,张立同. 复合材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社,2009.
Yi Xiaosu, Du Shanyi, Zhang Litong. Composite materials manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2009.
- [7] 单忠德,刘丰. 复合材料预制体数字化三维织造成形[M]. 北京: 机械工业出版社,2019.
Shan Zhongde, Liu Feng. Composites preforms digital 3-Dimensional woven forming[M]. Beijing: China Machine Press, 2019.
- [8] Zhongde Shan, Feng Liu, Xiaoli Dong, et al. Three-dimensional weave-forming method for composites: US8600541[P].2013-12-03.
- [9] Kang Huairong, Shan Zhongde, Zang Yong, et al. Progressive damage analysis and strength properties of fiber-bar composites reinforced by three-dimensional weaving under uniaxial tension[J]. Composite Structures,2016,141(5):264-281.
- [10] 师有玲,单忠德,刘丰,等. 三维织造复合材料细观模型[J]. 中南大学学报: 自然科学版,2016(8):2 621-2 628.
Shi Youling, Shan Zhongde, Liu Feng, et al. 3D weaving composites microstructure model[J]. Journal of Central South University: Science and Technology,2016(8):2 621-2 628.
- [11] 刘云志,战丽,王争,等. 柔性导向三维织造复合材料预制体细观结构分析[J]. 中国材料进展,2020,39(6):458-463.
Liu Yunzhi, Zhan Li, Wang Zheng, et al. Mesostucture analysis of 3D flexible woven preform[J]. Materials China,2020, 39(6):458-463.
- [12] 应志平. 三维正交机织物成形过程建模及其增强复合材料压缩性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学,2018.
Ying Zhiping. Modelling of 3D orthogonal woven fabric weaving process and investigation of compression performance of its reinforced composite[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University,2018.
- [13] 于姣,王海楼,刘涛,等. 三维编织复合材料的冲击压缩和裂纹分布[J]. 东华大学学报: 自然科学版,2019,45(1):1-6.
Yu Jiao, Wang Hailou, Liu Tao, et al. Impulsive compression and distribution of cracks in 3D braided composites[J]. Journal of Donghua University: Natural Science,2019,45(1):1-6.
- [14] 黄雄,谭焕成,刘璐璐,等. 编织角和承载方向对三维四向编织复合材料动态压缩性能的影响[J]. 复合材料学报,2018, 35(4):823-833.
Huang Xiong, Tan Huancheng, Liu Lulu, et al. Influence of braid angle and bearing direction on dynamic compressive properties of 3D four directional braided composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2018, 35(4):823-833.
- [15] 刘军,刘奎,宁博,等. 三维角联锁机织复合材料低速冲击压缩性质研究[J]. 上海纺织科技,2019,47(12):4-7,21.
Liu Jun, Liu Kui, Ning Bo, et al. Low-speed impact compression properties of 3D angle-interlock woven composites[J]. Shanghai Textile Science & Technology,2019,47(12):4-7,21.
-
- (上接第 105 页)
- layer thickness on bonding performance of CFRP plate and concrete interface[J]. Highway Traffic Science and Technology,2015, 32(9):87-91,97.
- [8] 喻奕. 胶层厚度和初始应力对预应力 CFRP 片材加固梁界面温度应力的影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学,2015.
Yu Yi. Research on the influence of rubber layer thickness and initial stress on the interface temperature stress of prestressed CFRP strengthened beams [D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology,2015.
- [9] 李树霖,王博. 不同胶层厚度条件下 CFRP-混凝土粘结界面的疲劳性能[J]. 交通科学与工程,2014,30(2):51-54,71.
Li Shulin, Wang Bo. Fatigue performance of cfrp-concrete bonding interface with different thickness of adhesive layer[J]. Transportation Science and Engineering,2014,30(2):51-54,71.
- [10] 黄亚,陈耀庆,郑威,等. 胶层厚度对粘钢加固钢筋混凝土梁的影响[J]. 工业建筑,2010,40(S1):1 140-1 142,1 096.
Huang Ya, Chen Yaoqing, Zheng Wei, et al. Effect of adhesive layer thickness on reinforced concrete beams reinforced with bonded steel[J]. Industrial Architecture,2010, 40(S1):1 140-1 142,1 096.
- [11] 王博. 粘结长度及胶层厚度影响下的 CFRP-混凝土结构界面粘结疲劳性能研究[D]. 长沙: 长沙理工大学,2013.
Wang Bo. Study on interfacial bond fatigue performance of cfrp-concrete structures under the influence of bond length and adhesive thickness [D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology,2013.
- [12] 黄凌凯,章向明,王安稳. 复合材料单面加固修补钢板的界面应力分析[J]. 中国修船,2017,30(6):43-47.
Huang Lingkai, Zhang Xiangming, Wang anwen. Interfacial stress analysis of composite single-sided reinforced patching steel plate[J]. China Ship Repair,2017,30(6):43-47.
- [13] 彭晖,王博,张建仁,等. CFRP-混凝土界面粘结的疲劳性能试验研究[J]. 实验力学,2014,29(2):189-199.
Peng Hui, Wang Bo, Zhang Jianren, et al. Experimental study on the fatigue performance of cfrp-concrete interface bonding[J]. Experimental Mechanics,2014,29(2):189-199.
- [14] 秦敢,曹生荣,杨帆. 胶层对内贴 CFRP 加固圆形隧洞受力特性的影响[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版,2019, 52(1):62-70.
Qin Gan, Cao Shengrong, Yang Fan. Effect of adhesive layer on mechanical properties of circular tunnel strengthened with CFRP[J]. Journal of Tianjin University:natural Science and Engineering Technology,2019,52(1):62-70.