

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180306905

加捻金属丝纱线的制备及其弯曲刚度

徐海燕^{1,2}, 陈南梁³, 蒋金华³, 邵光伟³

(1. 泉州师范学院 纺织与服装学院, 福建 泉州 362000; 2. 天津工业大学 纺织科学与工程学院, 天津 300387;
3. 东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘要 为降低高刚度、高模量、低延伸性金属丝纱线的弯曲刚度以便于针织物的编织, 分别采用传统的转杯纺纱机和管绞机对不同线密度的镀金钼丝单丝进行加捻, 借助三维视频显微镜和纯弯曲试验仪分析了2种加捻工艺及单丝线密度对加捻前后纱线外观形貌以及弯曲刚度的影响。结果表明: 与转杯纺得到的金属丝纱线相比, 采用管绞机加捻得到的纱线外观紧密均匀且平直光洁, 存在较少的残余扭矩, 管绞机更适合用于对刚性纱线进行加捻; 在纱线线密度相同的条件下, 单丝线密度与纱线的弯曲刚度成正比, 可通过降低纱线中单丝的线密度来降低纱线的弯曲刚度, 从而增加纱线的柔软性使其更易于编织。

关键词 金属丝纱线; 加捻; 管绞机; 镀金钼丝; 弯曲刚度

中图分类号: TS 181 文献标志码: A

Preparation and bending rigidity of twisted metal yarn

XU Haiyan^{1,2}, CHEN Nanliang³, JIANG Jinhua³, SHAO Guangwei³

(1. College of Textile and Apparel, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China;

2. School of Textile Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

3. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In order to decrease the bending rigidity of metal yarns with high strength, high modulus and low elongation for knitting, metal multifilaments with different fineness were twisted by rotor spinning machine and tubular strander. The morphologies of yarns by different twisting methods were observed, and the bending rigidity of monofilaments and multifilaments were measured. It was concluded that compared with rotor spun metal yarns, the yarns twisted by tubular strander has a better morphology. If a yarn fineness is given, the finer the monofilament is, and the smaller the bending rigidity is. Thus, the rigid yarns can be twisted by tubular strander, and bending rigidity of rigid yarns can be decreased by using finer monofilaments.

Keywords metal yarn; twisting; tubular strander; gold plated molybdenum wire; bending rigidity

高性能纱线具有高强、高模、低延伸率的特点, 目前被越来越多地运用到针织物中, 如可穿戴针织物^[1]、针织基布复合材料^[2-3]等。一般需要将高性能纱线弯曲成线圈形成针织物, 但是成圈针织结构中纱线在较小的半径和锋利的尖角处弯曲形成线圈结构, 会导致高性能纱线在此过程中受到一定的损伤^[4]。很多学者^[5-7]研究发现, 针织过程中会对高性能纱线产生较大的损伤, 甚至在针织物表面形成织物破洞、纱线断头、大量起毛, 从而影响针织物的

性能。目前通过优化纱线参数以及设置针织设备最佳运行状态, 可顺利实现很多高性能纤维编织^[8-10], 其中纱线的弯曲刚度对其是否能顺利编织成针织物具有很大影响^[11-13]。SASAKI等^[12]明确指出纱线的弯矩越大, 即弯曲刚度越大, 纱线的可编织性下降, 因此, 对用于针织的金属丝纱线的弯曲刚度进行研究具有重要意义。

镀金钼丝是航空天线中发射网面的主要材料, 该材料可根据不同的反射频率编织成不同网孔大小

收稿日期: 2018-03-29 修回日期: 2018-10-15

基金项目: 泉州市科技计划项目(2018C126R); 泉州市高等学校中青年学科(专业)带头人培养计划项目(泉教高(2018)1号)

第一作者: 徐海燕(1982—), 女, 副教授, 博士。主要研究方向为产业用纺织品及新型服装材料。E-mail: xuhaiyan@qztc.edu.cn。

的经编网状结构。本文以镀金钼丝为研究对象,对不同线密度的镀金钼丝单丝分别采用转杯纺和管绞机进行加捻,比较了 2 种加捻工艺对金属丝纱线外观形态的影响,并测试了单丝和加捻纱线的弯曲刚度,进而分析降低金属丝纱线刚度的方法,以期为金属网的顺利编织提供参考。

1 实验部分

1.1 材料

镀金钼丝单丝: 1[#] 镀金钼丝的单丝直径为 17 μm, 线密度为 2.6 tex, 断裂伸长率为 2.89%; 2[#] 镀金钼丝的单丝直径为 27 μm, 线密度为 5.6 tex, 断裂伸长率为 3.76%。2 种镀金钼丝均为西北有色金属研究院生产的未退火长丝, 表面镀金。

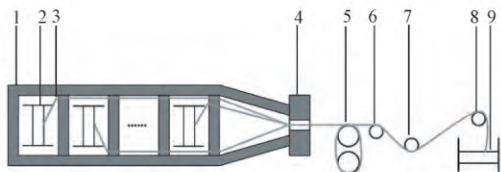
1.2 加捻金属丝纱线的制备

1.2.1 环锭纺加捻工艺

利用传统的环锭纺方法对多根金属单丝进行加捻获得金属丝复丝, 加捻设备采用东华大学研制的 X-01 型环锭纺细纱实验机。纺制 2 种规格的金属纱线, 编号为 3[#]、4[#]: 其中 3[#] 金属丝纱线由 4 根 1[#] 金属丝单丝加捻而成, 4[#] 金属丝纱线由 3 根 2[#] 金属丝单丝加捻而成。纺纱机转速为 3 500 r/min, 钢丝圈质量为 0.027 5 g, 单纱捻度设置为 40 捻/(10 cm)。

1.2.2 管绞机加捻工艺

对镀金钼丝采用管绞机进行加捻并线, 如图 1 所示。本文实验采用 HTU-25-4 型新型超细金属丝管绞机(常州市苏云电气有限公司)进行钼丝的并线实验。绞线速度为 4 r/min, 放线盘张力为 0.1 N, 纱线的绞合节距均为 2.5 mm, 单纱捻度设置为 40 捻/(10 cm), 纺制 2 种规格的金属纱线, 编号为 5[#]、6[#], 其中: 5[#] 金属丝纱线由 4 根 1[#] 金属丝单丝并线而成, 其线密度为 10.5 tex, 捻系数为 129.6; 6[#] 金属丝纱线由 3 根 2[#] 金属丝单丝并线而成, 其线密度为 16.7 tex, 捻系数为 163.5。



1—管状筒体; 2—放线盘; 3—单丝; 4—模具;
5—牵引装置; 6—导轮; 7—摆杆; 8—滑轮; 9—收线盘。

图 1 管绞机并线示意图

Fig.1 Sketch map of twisting processing in tubular strander

在管绞机并线的过程中, 管状筒体 1 按照一定

速度转动, 单丝放线盘 2 垂直放置在摇篮架上, 摇篮架固定在筒体的中心线位置, 在筒体旋转的过程中, 放线盘始终保持垂直位置。在管绞机的内部最多可放置 7 个放线盘, 即最多可进行 7 根单丝的并线。单丝由放线盘引出后经筒体中心引向筒体壁, 沿管壁前进后经固定的模具 4(加捻区域), 由筒体的转动将各根单丝在加捻区域加捻并线, 然后经牵引装置 5、导轮 6、摆杆 7 和滑轮 8 将并线后的纱线绕到收线盘 9 上。

1.3 纱线的弯曲刚度测试

采用 KES-FB2 型纯弯曲试验仪(日本加多技术有限公司)测试纱线的弯曲性能, 在纸板内裁剪出尺寸为 11 mm×60 mm 的长方形, 将纱线均匀平行地排列在纸板中镂空的长方形中, 共排列 60 根。将长方形上下两端的纸板去除后夹在夹头内进行纱线的纯弯曲实验, 如图 2 所示^[14]。本文分别测试了 2 种单丝(1[#]、2[#])和并线后 2 种复丝(5[#]、6[#])的弯曲刚度。

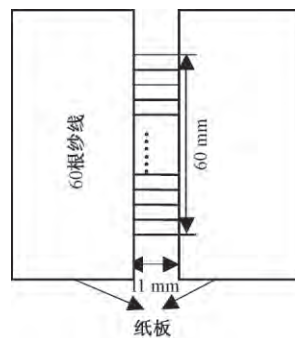


图 2 纱线弯曲实验试样

Fig.2 Sample of yarn for bending stiffness test

1.4 纱线外观形态观察

利用 kh-1000 型三维视频显微镜(美国科视达公司)观察并线前后纱线的外观形态。

2 结果与讨论

2.1 加捻金属丝纱线的外观形态

2.1.1 环锭纺法

图 3 示出利用环锭纺加捻后金属丝纱线的外观形态。对多根镀金钼单丝进行环锭纺时发现, 镀金钼丝经过加捻并线后, 在自然松弛状态下呈现出类似螺旋线的外观形态(见图 3(a)), 此时具有这种外观形态的多根镀金钼丝复丝在相互接近的情况下很容易扭结在一起(见图 3(b)), 使得纱线的条干及外观恶化。镀金钼丝纱线发生扭结的主要原因是纱线存在较大的残余扭矩^[15-16]。在采用环锭纺工艺纺纱时: 一方面在单丝退绕过程中给单丝加上了

一定的捻度,另一方面单丝在加捻过程中由于退绕时处于自由状态,而没有始终处于伸直状态。这两方面原因导致金属丝难以用传统的纺纱工艺进行加工,容易产生较大的残余扭矩。金属丝纱线在加捻过程中会产生较大的内应力,且无法通过轴向空间位置的变化来释放,使得纱线具有较大的残余扭矩。同时由于金属丝高刚度、高模量、低延伸率等特点使得残余扭矩对纱线外观的影响较为显著,也影响着后续编织工艺的顺利进行,用该法纺得纱线无法进行针织加工,未进行下一步弯曲刚度的分析。

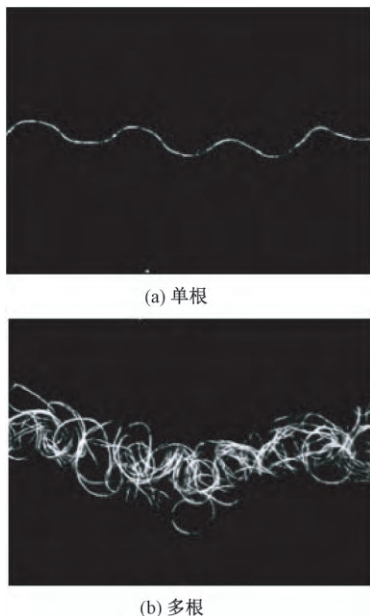


图 3 镀金铂丝股线的扭结现象
Fig.3 Kinking of metal plied yarn.
(a) Monofilament (b) Multifilaments

2.1.2 管绞机并线法

采用管绞机进行加捻并线的镀金铂丝纱线外观如图 4 所示。可知:其结构紧密均匀,外观平直光洁,没有明显的残余扭矩,相邻纱线间不易发生相互缠结,纱线本身自向扭结的现象较少,大大提高了镀金铂丝纱线的可编织性。

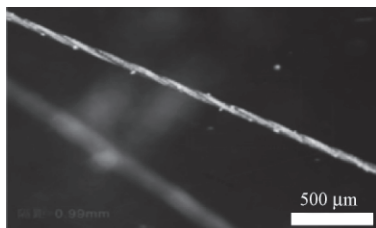


图 4 管绞机并线获得的镀金铂丝外观
Fig.4 Metallic plied yarn twisted by tubular strander

由图 1 可知,当筒体 1 旋转时,放线盘 2 固定在摇篮架上始终保持垂直位置,起单丝退扭作用,因此在并线时,单丝只受挠曲作用,而不发生扭转,即单丝不绕自身的轴线转动,在绞合过程中没有出现

自扭变形,没有扭转内应力,纱线并线结构可保持稳定。同时单丝在达到加捻区域前,一直处于伸直状态,该工艺可尽可能地降低各单丝在加捻过程中产生的内应力。

由于单丝在加捻前始终处于伸直状态且未受到扭力作用,仅在加捻区域与其他单丝加捻并线,纱线中的残余扭矩较少。图 5 示出金属单丝在管绞机加捻区域之间的走向。若放线盘随着筒体旋转(见图 5(a)),当筒体旋转过一定的角度,在单丝进入加捻区域前,由于筒体的转动而给单丝加上一定的旋转,使得单丝受到力的作用而发生扭转,筒体旋转 1 周即给单丝增加 1 个捻回。而在管绞机上,放线盘固定在摇篮架上,摇篮架保证处于筒体中心的放线盘始终处于垂直位置,并未沿着筒体旋转(见图 5(b)):因此,在加捻区域前单丝并未受到扭力的作用,也未给自身增加捻回数,因此可获得残余扭矩较少的加捻纱线。

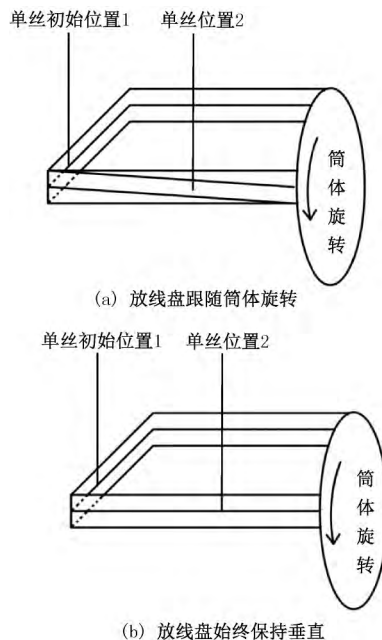


图 5 金属单丝在管绞机加捻区域之前的走向
Fig.5 Trends of monofilament in tubular strander before twisting. (a) Pay-off stand rotating with tubular cylinder; (b) Pay-off stand always keeping vertical in twisting processing

2.2 单丝线密度对纱线弯曲刚度的影响

金属丝单丝和纱线的弯曲刚度测试结果如表 1 所示。为进一步比较在相同线密度下纱线的弯曲刚度,分别将金属丝单丝,即纤维的弯曲刚度和金属丝纱线的弯曲刚度换算成相对弯曲刚度。纤维的弯曲刚度计算公式^[17]为

$$B_f = \frac{1}{4\pi} E \eta_f \frac{N_{if}^2}{\rho} \times 10^{-5} \quad (1)$$

式中: B_f 为纤维的弯曲刚度, $\text{cN} \cdot \text{cm}^2$; E 为纤维的弹

性模量 cN/tex ; η_f 为截面形状系数,其值小于 1; N_{if} 为纤维的线密度, tex ; ρ 为纤维的密度 g/cm^3 。

表 1 金属丝纱线的弯曲刚度

Tab.1 Bending rigidity of metal yarn

纱线 编号	$B_y /$ ($cN \cdot cm^2$)	$B_{fr} /$ ($cN \cdot cm^2 \cdot tex^{-2}$)	$B_{yr} /$ ($cN \cdot cm^2 \cdot tex^{-1}$)
1 [#]	0.001 0	$0.147\ 9 \times 10^{-3}$	—
2 [#]	0.004 9	$0.156\ 2 \times 10^{-3}$	—
5 [#]	0.003 9	—	$0.371\ 4 \times 10^{-3}$
6 [#]	0.015 2	—	$0.910\ 2 \times 10^{-3}$

纤维的相对弯曲刚度计算公式^[17]为

$$B_{fr} = \frac{1}{4\pi} \eta_f \frac{E}{\rho} \times 10^{-5} \quad (2)$$

式中: B_{fr} 为纤维的相对弯曲刚度 $cN \cdot cm^2 / tex^2$ 。

对于 1[#]和 2[#]单丝,将测得的纤维弯曲刚度转化为相对纤维弯曲刚度,如表 1 所示。可知,2 种单丝的相对弯曲刚度较接近,这是由于 2 种单丝的原材料是相同的,因此,也证明了本文方法测试纤维和纱线弯曲刚度的准确性。

纱线的弯曲刚度的计算公式^[17]为

$$B_y = B_{fr} \frac{N_{iy}}{N_{if}} \left[1 - \frac{1}{4} (1 + N) \tan^2 \alpha \right] \quad (3)$$

式中: B_y 为纱线的弯曲刚度 $cN \cdot cm^2$; N_{iy} 为纱线的线密度 tex ; α 为表层纤维的倾斜角 ($^\circ$); N 为纤维弯曲刚度和纤维扭转刚度的比值。

则 纱线的相对弯曲刚度为

$$B_{yr} = \frac{B_{fr}}{N_{if}} \left[1 - \frac{1}{4} (1 + N) \tan^2 \alpha \right] \quad (4)$$

式中: B_{yr} 为纱线的相对弯曲刚度 $cN \cdot cm^2 / tex$ 。

由表 1 可知,根据式 (4) 计算得出 6[#]纱线的相对弯曲刚度比 5[#]纱线高,即纱线中单丝线密度越小,相同线密度下纱线的弯曲刚度越小。

为进一步分析单丝线密度对纱线弯曲刚度的影响,将式 (1) 代入式 (4),令 $s = \frac{1}{4\pi} \frac{E\eta_f}{\rho} \times 10^{-5}$,同时由于比较的是相同纤维材料在不同线密度时的弯曲刚度,因此 s 为常数,可得到:

$$B_{yr} = \frac{sN_{if}^2}{N_{if}} \left[1 - \frac{1}{4} (1 + N) \tan^2 \alpha \right] = N_{if}s \left[1 - \frac{1}{4} (1 + N) \tan^2 \alpha \right] \quad (5)$$

由于只考虑单丝线密度对纱线弯曲刚度的影响,纤维材料是相同的,因此 N 为常数。即纱线的相对弯曲刚度与纱线中单丝的线密度成正比,同时与 α 成反比关系。

6[#]纱线和 5[#]纱线的相对弯曲刚度之比为 2.45,

二者的单丝线密度之比为 2.15,即纱线的弯曲刚度与单丝线密度成正比关系;但二者之间的比值还存在一定误差,这是由于相同捻度下 6[#]纱线中的 α 角比 5[#]纱线中大,一定程度上削弱了单丝线密度对弯曲刚度的影响。

3 结 论

本文对不同线密度的镀金铝丝单丝进行加捻并线形成金属丝纱线,并研究了单丝的线密度对纱线弯曲刚度的影响,得出以下结论。

1) 利用传统加捻方法对高刚度、高模量、低延伸率的镀金铝丝进行加捻后,金属丝纱线具有大量残余扭矩,使得纱线外观形态出现扭结,妨碍纱线进一步加工形成针织物;利用管绞机进行加捻并线后,金属丝纱线具有良好的外观形态,残余扭矩较少。

2) 对金属丝单丝和利用管绞机加捻并线后的金属丝纱线进行弯曲刚度的测试,并将纱线的弯曲刚度测试结果换算为相对弯曲刚度,即纱线相同线密度下的弯曲刚度,结果表明纱线的相对弯曲刚度与纱线中纤维的线密度成正比关系。在纱线的线密度、纤维材料、捻度等条件不变的情况下,可通过降低纱线中纤维的线密度来降低刚性纱线的弯曲刚度,以利于后期织物的编织和生产。 FZXB

参考文献:

[1] HUANG Y , HU H , HUANG Y , et al. From industrially weavable and knittable highly conductive yarns to large wearable energy storage textiles [J]. ACS Nano , 2015 , 9(5) : 4766-4775.

[2] LIU X M , CHEN N L , FENG X W. Investigation on the knittability of glass yarn [J]. Journal of the Textile Institute , 2009 , 100(5) : 440-450.

[3] 邵光伟,蒋金华,陈南梁. 柔性经编金属网格材料的切口敏感性[J]. 纺织学报, 2014 , 35(3) : 46-51. SHAO Guangwei , JIANG Jinhua , CHEN Nanliang. Notching sensitivity of flexible warp knitting metal mesh [J]. Journal of Textile Research , 2014 , 35(3) : 46-51.

[4] LEONG K H , RAMAKRISHNA S , HUANG Z M , et al. The potential of knitting for engineering composites: a review [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing , 2000 , 31(3) : 197-220.

[5] SAVCI S , CURISKIS J I , PAILTHORPE M T. Knittability of glass fiber weft - knitted preforms for composites [J]. Textile Research Journal , 2001 , 71(1) : 15-21.

[6] LAU K W , DIAS T. Knittability of high - modulus

- yarns [J]. Journal of the Textile Institute, 1994, 85(2): 173-190.
- [7] HU H, ZHU M. A study of the degree of breakage of glass filament yarns during the weft knitting process [J]. Autex Research Journal, 2005, 5(3): 41-148.
- [8] WILLIAMS D. New knitting methods offer continuous structures [J]. Engineering(London), 1987, 227(6): 12-13.
- [9] 刘晓明, 蒋金华, 陈建祥, 等. 玻璃纤维网格织物的编织与性能分析 [J]. 东华大学学报(自然科学版), 2008(4): 391-395.
LIU Xiaoming, JIANG Jinhua, CHEN Jianxiang, et al. An investigation into the manufacture and mechanical property of glass net preform [J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2008(4): 391-395.
- [10] RAMAKRISHNA S, HULL D. Tensile behaviour of knitted carbon-fibre-fabric/epoxy laminates: part I: experimental [J]. Composites Science and Technology, 1994, 50(2): 237-247.
- [11] KNAPTON J J F. Knitting performance of wool yarns: instrumentation studies [J]. Textile Research Journal, 1967, 37(7): 539-551.
- [12] SASAKI T, KURODA K. Evaluation and measurement of knittability [J]. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, 1975, 21(1): 9-16.
- [13] PETERSON J, VEGBORN E, ANDERSSON C H. Knittability of fibers with high stiffness [C]//The 5th International Conference on Textile Composite. Riga: [s.n], 2000: 1-10.
- [14] COLLIER J R, TAO W Y, COLLIER B J. Bending of internally reinforced rayon fibers [J]. Journal of the Textile Institute, 1991, 82(1): 42-51.
- [15] LAU Y M, TAO X, DHINGRA R. Spirality in single-jersey fabrics [J]. Textile Asia, 1995(8): 95-102.
- [16] 杨昆, 陶肖明, 叶荫权, 等. 一种新型针织用环锭纱的研制及应用 [J]. 纺织学报, 2004, 25(6): 58-60.
YANG Kun, TAO Xiaoming, YE Yinquan, et al. Investigation and application of a novel ring knitting yarn [J]. Journal of Textile Research, 2004, 25(6): 58-60.
- [17] 于伟东, 储才元. 纺织物理 [M]. 上海: 东华大学出版社, 2002: 126-127, 341-342.
YU Weidong, CHU Caiyuan. Textile Physics [M]. Shanghai: Donghua University Press, 2002: 126-127, 341-342.

(上接第56页)

- [5] 焦李成. 神经网络系统理论 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1996: 47-55.
JIAO Licheng. Theory of Neural Network Systems [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1996: 47-55.
- [6] 张思源, 包燕平, 张超杰, 等. BP神经网络IF钢铝耗的预测模型 [J]. 工程科学学报, 2017(4): 6-8.
ZHANG Siyuan, BAO Yanping, ZHANG Chaojie, et al. Prediction model for aluminum consumption of IF steel in BP neural network [J]. Journal of Engineering Sciences, 2017(4): 6-8.
- [7] 马发民, 吴红乐, 张林, 等. 基于BP神经网络的疲劳判定 [J]. 计算机与数字工程, 2017(6): 24-30
MA Famin, WU Hongle, ZHANG Lin, et al. Fatigue determination based on BP neural network [J]. Computer and Digital Engineering, 2017(6): 24-30.
- [8] ABBASIA, VOSSOUGH I G R, AHMADIAN M T. Deformation prediction by a feed forward artificial neural network during mouse embryo micromanipulation [J]. Animal Cells and Systems, 2012(2): 114-123.
- [9] 李翔, 彭志勤, 金凤英, 等. 基于神经网络的精纺毛纱性能预测模型比较 [J]. 纺织学报, 2011, 32(3): 27-31.
LI Xiang, PENG Zhiqin, JIN Fengying, et al. Comparison of performance prediction models of worsted wool yarns based on neural network [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(3): 27-31.
- [10] 沈花玉, 王兆霞, 高成耀, 等. BP神经网络隐含层单元数的确定 [J]. 天津理工大学学报, 2008, 24(5): 13-15.
SHEN Huayu, WANG Zhaoxia, GAO Chengyao, et al. Determination of hidden layer units in BP neural network [J]. Tianjin University of Technology, 2008, 24(5): 13-15.