

基于四连杆结构的兼容型气囊式夹具

徐国宝, 徐志刚, 杨红亮, 石卓栋
(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: **目的** 解决夹具在抓取圆柱桶时产生的桶体变形、桶外观破坏及夹具不能兼容不同桶型的问题。**方法** 设计一种气囊式夹具, 通过四连杆结构保证爪体始终垂直, 通过气缸调整爪体间距。**结果** 四连杆结构节省了夹具的空间, 调整气缸保证了夹具工作时对不同圆柱桶的兼容性, 气囊避免了圆柱桶的的外形受到破坏, 双行程抓取气缸降低了设计和制造成本, 同时能够使夹具适应具有锥度和翻边的圆柱桶。**结论** 该夹具经实际应用, 工作可靠, 运转良好, 具有推广价值。

关键词: 四连杆结构; 气囊式夹具; 圆柱桶

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0141-05

Compatible Airbag-type Fixture Based on 4-linkage Structure

XU Guo-bao, XU Zhi-gang, YANG Hong-liang, SHI Zhuo-dong
(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of barrel deformation and damage when fixture was working, and the problem that fixture was not compatible with multiple types of barrels. An airbag-type fixture was designed in which the 4-linkage structure was used to ensure that the gripping device remained vertical and the distance of gripping device was adjusted by air cylinder. In this fixture, the fixture space was saved by 4-linkage structure. The adjusted air cylinder ensured that the fixture could be compatible with multiple types of barrels. Furthermore, damage of barrel was avoided with the airbag. The costs of fixture design and manufacture were reduced because of the double-stroke grasping cylinder, which could make the fixture suitable for barrel with taper and flanging. The practical application shows that the fixture operates reliably and has promotional value.

KEY WORDS: 4-linkage structure; airbag-type fixture; barrel

工业生产的许多液体产品, 如润滑油、油漆、涂料等都圆柱桶来包装。一般情况下, 为便于运输, 需要将圆柱桶按照一定顺序码放在托盘上。码放过程中, 对圆柱桶的抓取尤为关键。现有的抓取装置一般通过托抓桶底或者钩抓桶沿 2 种方式来实现抓取。采用托抓桶底的码垛方式^[1], 当托爪深入桶底时, 容易出现托爪与托盘干涉而无法放桶的情况, 因此需对托盘做特殊处理。托抓桶底方式在纸箱码垛中应用较广^[2-3], 而在圆柱桶的码垛中应用极少。采用钩抓桶沿的方式^[4-5], 圆柱桶容易在移动过程中晃动, 容易出现脱钩、掉桶等事故; 并且, 爪体夹持位置大都与圆柱桶刚性接触, 即使在接触部分设计有尼龙、橡胶等柔性过渡件, 但由于爪体与圆柱桶接触面较小, 接触点压强很大, 极易造成桶变形、

桶壁漆面脱落等破坏圆柱桶外观的问题^[6]。除此之外, 目前大多数抓取装置在工作时爪体需张开一定角度, 爪体动作幅度较大^[7-8]。这种方式使得爪体占用空间很大, 在同时抓取多桶, 尤其是并排抓取的情况下, 容易造成爪体之间干涉问题。文中介绍一种基于四连杆结构的兼容型气囊式夹具, 该夹具具有结构紧凑、工作平稳、夹持牢固、兼容性好等优点, 并且能够保护圆柱桶外观不受破坏^[9-11]。

1 结构组成

该夹具一次可抓取 6 个圆柱桶, 其结构见图 1, 主要包括夹具安装架、纵向移动组、支撑横梁、横向

收稿日期: 2016-05-04

作者简介: 徐国宝 (1987—), 男, 硕士, 北京强度环境研究所工程师, 主要研究方向为智能化包装设备、机器人码垛应用。

移动组、抓取装置等5个部分。纵向移动组共2套，每套包含1根滑轨和2个可沿滑轨移动的滑块，其中滑轨平行固定在夹具安装架两侧，其上滑块分别连接2个支撑横梁。纵向移动组保证2个支撑横梁之间可以沿纵向移动。支撑横梁共2件，沿纵向平行布置。在每个支撑横梁上端的两侧，分别固定一套纵向移动组的其中一个滑块；在每个支撑横梁下端共3套抓取装置，其中两侧的抓取装置通过横向移动组与支撑横梁连接，中间的抓取装置直接固定在支撑横梁上。横向移动组与纵向移动组结构一样，保证两端抓取装置与中间抓取装置可以沿横向移动。抓取装置共6套，分别连接在2个支撑横梁上。抓取装置之间通过调整气缸实现其横向、纵向间距的调整，见图2。抓取装置的结构见图3。

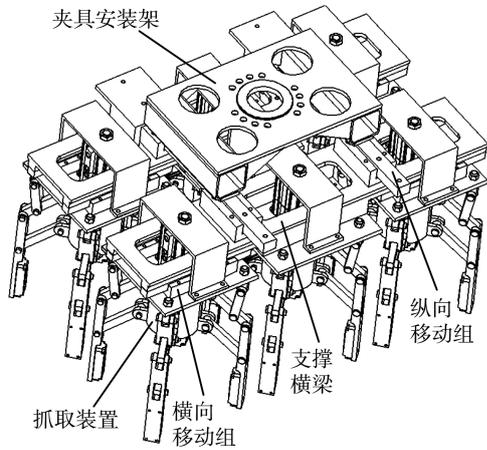


图1 夹具结构
Fig.1 Structure diagram of the fixture

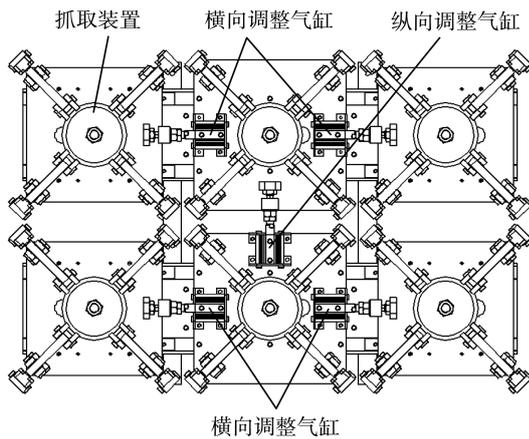


图2 夹具仰视图
Fig.2 Upward view of the fixture

如图3所示，抓取气缸为背靠背式双行程气缸，其上下气缸杆分别与C形架和套筒架连接。固定平板与支撑横梁(图3未显示)相连，其上4个角分别固定螺纹柱。每个螺纹柱依次连接小短杆、三孔连杆、爪体、套筒架、两孔连杆，其中三孔连杆、爪体、套筒架、两孔连杆四者之间的连接处组成了一个平行四

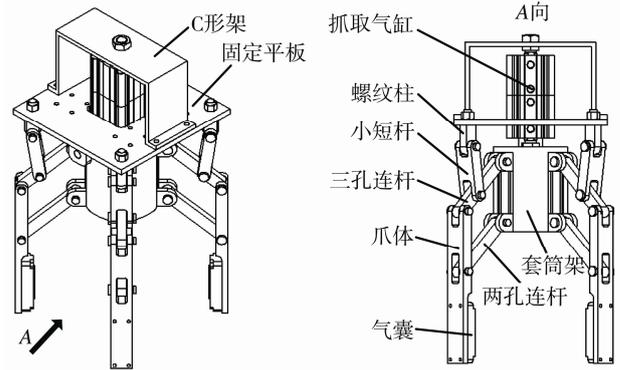


图3 抓取装置结构
Fig.3 Structure diagram of the grab device

边形^[12-15]。爪体下端内侧安装有气囊，抓取气缸伸缩时，套筒架带动四连杆结构动作，从而完成4个气囊的分开和靠拢。整套夹具通过夹具安装架固定在工业机器人或三维移动平台等设备上，以完成整个码垛工序。

2 工作原理

2.1 工作过程阐述

假定该夹具工作前，各个抓取装置之间的间距均按照所需抓取的圆柱桶调整完毕，6个圆柱桶按照“3×2”形式输送至码垛位置并通过整理机构固定，等待抓取。该夹具工作过程为：夹具在工业机器人或三维移动平台等设备的驱动下，到达圆柱桶正上方。首先，抓取气缸伸出，通过驱动四连杆结构动作，使每个抓取装置的气囊随着爪体分开，此时夹具向下移动，使爪体插入各个圆柱桶之间的缝隙中。然后，抓取气缸缩回，通过驱动四连杆结构动作，使抓取装置的气囊随着爪体靠拢，并贴近圆柱桶壁，此时气囊充气鼓起，将圆柱桶夹紧，等待移动。最后，夹具将圆柱桶移动至垛拍，此时气囊放气，同时抓取气缸伸出，气囊分开，夹具向上移动，等待下一个码垛节拍。

2.2 圆柱桶变形分析

夹具工作时，气囊鼓起以夹紧圆柱桶，通过气囊与圆柱桶之间的摩擦力从而实现夹具对圆柱桶的抓取任务。为保证圆柱桶能被顺利抓取，气囊与圆柱桶之间的摩擦力应大于圆柱桶本身的重量。下面以20L标准铁桶为例，分析夹具工作过程中圆柱桶的变形情况。根据摩擦理论，可得到如下关系式：

$$\begin{cases} f = \mu N \\ f = n \frac{G}{4} \\ G = mg \end{cases} \quad (1)$$

式中： f 为圆柱桶受到的动摩擦力； μ 为圆柱桶与气囊之间的动摩擦因数，取0.36； N 为每个气囊的

夹持力; n 为安全系数, 取 3; G 为圆柱桶的重力; m 为圆柱桶装满物料后的质量, 取 25 kg; g 为重力加速度, 取 9.8 N/kg。由关系式(1), 可得到每个气囊的夹持力计算公式为:

$$N = \frac{nmg}{4\mu} \quad (2)$$

带入数值, 得到气囊夹持力为 510.4 N。相对于夹具的夹持力, 物料对圆柱桶的桶壁压力很小, 在此忽略, 因此, 圆柱桶单位面积受到的夹持力 p 可通过压强公式近似计算:

$$p = \frac{N}{A} \quad (3)$$

式中: A 为气囊鼓起时与圆柱桶接触面积, 根据某厂家的相应气囊资料, 在此取 4 cm²。带入数值, 得到圆柱桶受到的压强约为 1.3 MPa。

对于薄壁圆筒, 在一定外压作用下, 容易产生变形, 即弹性失稳。由于圆柱桶夹持位置在 2 个小加强圈之间, 因此, 按照 Bryant 公式^[16], 带有小加强圈的薄壁圆筒失稳临界压力计算公式为:

$$p_{cr} = \frac{(E\delta/R)\lambda^4}{R(n^2-1+\lambda^2/2)(n^2+\lambda^2)^2} + \frac{(n^2-1)EI_c}{R^3L_r} \quad (4)$$

式中: E 为圆筒材料弹性模量; δ 为圆筒壁厚; R 为圆筒半径; n 为圆筒失稳时的环向波数; I_c 为小加强圈和圆筒组合截面惯性矩; L_r 为小加强圈环筋间距; λ 为比例系数, $\lambda = \pi R/L_r$ 。对于常用的 20 L 圆柱铁桶, 其失稳临界压力可用如下关系式近似表达:

$$p_{cr} = \frac{2.59E\delta^2}{L_r D \sqrt{\frac{D}{\delta}}} \quad (5)$$

带入数值 $E=200$ GPa, $\delta=1$ mm, $L_r=8$ cm, $D=0.3$ m, 得到圆柱桶变形的临界压力为 10 MPa。很显然, 圆柱桶不会因为气囊的挤压而失稳。对于塑桶, 可采用同样方法进行分析, 在此不再赘述。需要说明的是, 上述分析基于圆柱桶外壁整洁、干净这一前提。如果桶壁外附着有油、涂料等物料, 会对夹具的抓取产生影响。事实上, 物料在灌装后, 若桶壁外附着物料, 厂家为保证产品质量及产品形象, 会在码垛前对物料桶进行处理, 因此, 文中不再讨论桶壁外有附着物的情况。

2.3 夹具关键部位受力分析

由于气囊第 1 次用于该夹具, 因此对气囊及其安装部位进行受力分析。以上述 20 L 标准铁桶为例, 气囊在工作过程中分别受到约为 510.4 N 的正压力和 61.3 N(1/4 桶重), 查阅某厂家的相关气囊资料, 满足使用要求。气囊与爪体之间采用 4 个 M5 螺钉连接, 现对螺纹连接强度进行校核。

螺钉需要的预紧力 F_0 可用以下关系式计算:

$$F_0 \geq \frac{K_s G}{4\zeta z} \quad (6)$$

式中: K_s 为防滑系数, 在此取 1.3; ζ 为结合面的摩擦系数, 在此取 0.2; z 为螺钉数目, 在此取 4。将数值带入, 得到预紧力为 24.9 N。

螺钉危险界面最小直径 d_1 可按照公式(7)计算:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi[\sigma]}} \quad (7)$$

式中: $[\sigma]$ 为螺钉的屈服极限, 取 235 MPa。带入数值, 得到 d_1 为 4×10^{-3} m, 显然满足要求。

2.4 夹具兼容性分析

该夹具驱动件共 3 种, 分别是调整气缸(包括横向调整气缸和纵向调整气缸)、抓取气缸和气囊。其中, 调整气缸用于调整各抓取装置的间距, 以便兼容不同直径的圆柱桶; 抓取气缸用于控制 4 个爪体的间距, 以便使爪体顺利插入各个圆柱桶之间的缝隙中, 为抓取做准备; 气囊通过充放气完成圆柱桶的夹紧与释放。圆柱桶等待抓取时的位置见图 4。

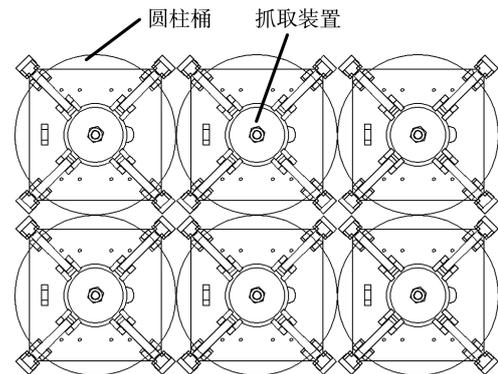


图 4 圆柱桶位置

Fig.4 Location map of the cylindrical barrel

爪体在插入各圆柱桶之间的缝隙中时, 需保证气囊不碰桶壁, 并且气囊间的爪体不干涉。即爪体顺利插入各圆柱桶之间的缝隙中(不考虑气囊及爪体宽度), 需至少满足以下关系式:

$$\begin{cases} k > d \\ k + 2(m+n) + q < \sqrt{2}d \end{cases} \quad (8)$$

式中: d 为圆柱桶外径; k 为单个抓取装置的对角 2 个气囊间距; m 为气囊未充气时的厚度; n 为爪体的厚度; q 为爪体(气囊与之同宽)的宽度。沿着图 4 中任意 2 个对角的圆柱桶剖开, 得到抓取装置动作的示意图, 见图 5。

显然, 当抓取气缸的气缸杆完全伸出时, 三孔连杆(两孔连杆)与爪体垂直, 此时抓取装置的对角 2 个气囊间距最大。即单个抓取装置的对角 2 个气囊间距满足以下关系式:

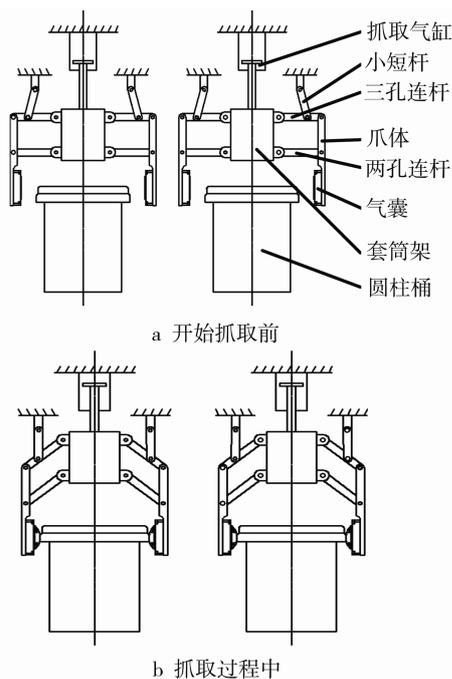


图5 抓取装置动作

Fig.5 Action sketch map of the grab device

$$k + 2m = d_2 + 2s + 2l \quad (9)$$

式中： d_2 为套筒架外径； s 为套筒架外壁到其耳环中心的距离； l 为三孔连杆(两孔连杆)长度。

当抓取气缸缩回时，气囊充气鼓起，将桶夹紧。此时，抓取装置满足以下关系式：

$$\begin{cases} \cos \alpha \approx \frac{h}{l_2} \\ d_2 + 2s + 2l \sin \alpha - 2m > d \\ d_2 + 2s + 2l \sin \alpha - 2m - 2\varepsilon < d \end{cases} \quad (10)$$

式中： α 为三孔连杆(两孔连杆)与爪体的夹角； h 为抓取气缸的行程； l_2 为三孔连杆与套筒架耳环连接处和三孔连杆与小短杆连接处的间距； ε 为气囊充气时鼓起的有效距离。针对该夹具，结合以上分析，得出如下结论。

调整气缸可兼容2种外径的圆柱桶。假设调整气缸缩回时各个抓取装置间距为 d ，调整气缸行程为 j ，则该夹具可抓取外径为 d 及外径为 $(d+j)$ 2种圆柱桶。

在满足基本要求的前提下(气囊不碰桶壁，并且气囊间的爪体不干涉)，套筒架、三孔连杆、两孔连杆等零件的结构尺寸并非唯一，有多种方案可供选择。

由于气体可压缩的特性，只要在气囊充气时鼓起的有效距离内能将圆柱桶夹紧，气囊均能够可靠工作^[17]。气囊的使用可在一定程度上抵消圆柱桶的误差，保证每个圆柱桶都能夹紧。

需要说明的是，实际包装过程中所用的圆柱桶并非标准的圆柱体，大都具有一定锥度或者翻边，这就很难保证理论计算数据的精确性，从而给夹具的设计

带来了困难。为解决这种问题，该夹具的抓取气缸设计为双行程结构。假设抓取气缸的2个行程分别为 h_1, h_2 ，则抓取气缸缩回时，套筒架向上移动的距离可以为 h_1, h_2 以及 (h_1+h_2) 3种尺寸，这样能够在很大程度上抵消理论计算与实际圆柱桶之间产生的误差，进一步扩大夹具的兼容范围，降低了由于过于追求设计和制造精度而带来的成本。

3 结语

基于四连杆结构的兼容型气囊式夹具有以下几个特点：抓取装置采用平行四连杆结构，使爪体始终垂直，最大限度地节省了空间；夹具设计有横向和纵向调整机构，可通过调整机构来兼容不同的圆柱桶；夹具通过气囊进行抓取，不但能在一定程度上抵消圆柱桶的制造误差，而且具有弹性的气囊可以很好地保护圆柱桶外壁免受破坏；抓取气缸采用背靠背双行程气缸，这样抓取装置在抓取时有多种行程可供选择，从而在很大程度上避免了由于理论计算与实际圆柱桶之间误差较大而带来的抓取问题，同时能够适应具有锥度和翻边的圆柱桶。目前该夹具已应用在国内某大型涂料厂的高速码垛线上。经实践检验，该夹具运转良好，获得客户一致认可，具有较大的推广价值。

参考文献：

- [1] 廖恩. 一种圆桶的可调夹具: 中国, 203835880U[P]. 2014-09-17.
LIAO En. An adjustable fixture for the Barrel: CN, 203835880U[P]. 2014-09-17.
- [2] 张敏. 啤酒灌装生产线机器人码垛吊具[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
ZHANG Min. The Robot Palletizing Sling of Beer Filling Production Line[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2015.
- [3] 李晓刚, 刘晋浩. 码垛机器人多功能末端执行器的设计[J]. 包装工程, 2011, 32(7): 80—84.
LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Design of Multifunctional End Effector of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7): 80—84.
- [4] 邬宏敏. 一种可靠性高的液体桶搬运装置: 中国, 104590343A[P]. 2015-05-06.
WU Hong-min. A Carrying Device with High Reliability for the Liquid Barrel: CN, 104590343A[P]. 2015-05-06.
- [5] 霍箭东, 腾云启, 蒋世财, 等. 一种全自动200L钢桶移栽式码垛系统及其移栽码垛方法: 中国, 103407790A[P]. 2013-11-27.
HUO Jian-dong, TENG Yun-qi, JIANG Shi-cai, et al. A Shifting Stacking System and Moving Stacking Method for the Automatic 200L Barrel: CN, 103407790A[P]. 2013-11-27.

- [6] 熊强, 章军, 王芳, 等. 抓取梯形包装盒的柔性机械手结构优化设计[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 80—83.
XIONG Qiang, ZHANG Jun, WANG Fang, et al. Structural Optimization of Flexible Manipulator for Grabbing Trapezoidal Packaging Boxes[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 80—83.
- [7] 张发年. 猕猴桃无损采摘末端执行器的设计与研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
ZHANG Fa-nian. Research and Design on the Nondestructive End-effector of Kiwifruit Harvesting Robot [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014.
- [8] 王建军. 搬运机械手仿真设计和制作[J]. 机械设计与制造, 2012(9): 146—148.
WANG Jian-jun. Simulation Design and Manufacture of Handling Manipulator[J]. Machinery Design and Manufacture, 2012(9): 146—148.
- [9] BOBLAN I, BANNASCH R, SCHWENK H, et al. A Human-like Robot Hand and Arm with Fluidic Muscles: Biologically Inspired Construction and Functionality[J]. Embodied Artificial Intelligence, 2004 (3139): 160—179.
- [10] YANG Qing-hua, ZHANG Li-bin, BAO Guan-jun, et al. Research in Novel Flexible Pneumatic Actuator FPA[C]// IEEE Conference and Meetings on Robotics, Automation and Mechatronics, 2004: 385—389.
- [11] KOICHI S, SATOSHI E, TAKEFUMI K. Optimal Design of Bending Pneumatic Rubber Actuator Based on Non-linear Finite Element Analysis[C]// 12th IFTOMM World Congress France, 2007.
- [12] 任国斌, 孟焯, 孙以泽, 等. 双平行四边形机构在方块地毯包装机取纸箱机构中的应用[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(2): 237—240.
REN Guo-bin, MENG Zhuo, SUN Yi-ze, et al. Application of the Double Parallelogram to the Fetching Carton Mechanism for the Square Carpets Packing Machine[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2016, 35(2): 237—240.
- [13] NI Z Y, ZHANG D W, WU Y J, et al. Analysis of Parasitic Motion in Parallelogram Compliant Mechanism[J]. Precision Engineering: 2010, 34(1): 133—138.
- [14] 苗志怀, 姚燕安, 田耀武. 4U 平行四边形机构的一类新用途—整体设计为两足步行机构[J]. 机器人, 2011, 33(4): 394—404.
MIAO Zhi-huai, YAO Yan-an, TIAN Yao-wu. A Type of Novel Usage of 4U Parallelogram Mechanisms- Designed as a Whole to Be Biped Walking Mechanism[J]. Robot, 2011, 33(4): 394—404.
- [15] TIAN Y B, WEI X Z, JONEJA A, et al. Sliding-crawling Parallelogram Mechanism[J]. Mechanism and Machine Theory, 2014, 78(16): 201—208.
- [16] 劳利建, 陈冰冰, 魏协宇, 等. 带小加强圈外压圆筒设计方法的比较与讨论[J]. 压力容器, 2016, 33(2): 35—41.
LAO Li-jian, CHEN Bing-bing, WEI Xie-yu, et al. Comparison and Discussion of Design Methods of Small-ring Stiffened Cylindrical Shells under External Pressure in Pressure Vessel Design Standards[J]. Pressure Vessel Technology, 2016, 33(2): 35—41.
- [17] 徐淼鑫. 气压驱动软体夹持装置研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
XU Miao-xin. Research on the Pneumatic Soft Robotic Hand[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2015.