

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: X2006182010

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

客车车身弧杆件成形工艺及关键技术研究

Research on Forming Process and Key Technologies of Arc  
Rods of Bus Body

周梅

指导教师姓名: 郭隐彪 教授

专业名称: 机械 工程

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩时间: 2010 年 6 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日



## 摘 要

客车对发展国民经济和促进人民生活水平提高发挥着重要作用。客车是现代社会中的主要交通工具之一。客车车身是其它部件的载体，承载着车身的负荷，即要保证足够的强度，还起到密封、造型、装饰等作用。因此，客车车身的质量对客车总体质量起到关键作用。车身骨架是保证客车车身强度和刚度而构成的空间框架结构，骨架由许多不同空间弧度的杆件合装而成。弧杆件作为客车车身骨架的主要零件，对客车车身制造质量非常重要。在装配过程弧杆件质量直接影响其骨架装配质量，因此弧杆件制造质量就成为重中之重的任务。同时弧杆件在成形过程质量难以控制，主要原因杆类零件在成形过程受到回弹因素、模具、材料和塑性变形等因素的影响。因此，在国际市场竞争的新形势下，如何提高弧杆件成形生产效率和加工质量是一项重要的研究课题。

本文针对弧杆件成形工艺过程进行了深入的分析研究，研究了弧杆件弯曲加工的工艺特点，分析了弧杆件弯曲成形的受力与变形，总结了常用的弧杆件弯曲方法及小曲率半径、大曲率半径弧杆件弯曲加工工艺。分析了弧杆件弯曲过程中容易产生的缺陷并提出了相应的解决措施，通过设计的弯管夹具和检具使机器的弯管质量、弯曲工艺精度、加工效率等性能都得到了显著提高，满足了生产要求。通过 Dynaform 成形软件对弧杆件弯曲进行有限元模拟，揭示了其成形时应力应变分布规律和变形机理，分析了对成形质量影响的主要因素。

加工实践表明，该成形工艺方案对同类产品的加工及工艺设计具有一定的参考价值。

**关键词：**弧杆件；成形工艺；成形夹具；有限元分析

## Abstract

Bus plays an important role in the development of national economy and the improvement of living standards. Bus already made one of vehicle in the modern society. Bus body is the carrier of the other parts. It load the whole body weight, that is, to ensure sufficient strength, also play a role of seal, shape and decoration. Therefore, the quality of the bus body plays a key role in overall quality. Body frame is a space frame structure which ensure the strength and stiffness of bus body, the frame was made of a number of different spatial arc rod. Arc rod as the main part of bus body frame is very important for manufacturing quality. The quality of arc rods directly affects the quality of assembly quality in the products assembly process. that's why manufacturing quality of arc rod becomes the top priority task. Meanwhile, pole arc rod is difficult to control the quality in forming process, mainly because rod part is affected by the resilience factors, mold, plastic deformation and other factors in forming process. Therefore, under the new situation of the international market competition, how to improve the arc rod forming production efficiency and quality is an important research topic.

This paper carried out in depth analysis and research in arc rods forming process to study the arc rod bending characteristic of technology, analyze tube bending and deformation of the force, and summarize the commonly used arc rod bending method, the small radius arc rod bending technique and a large radius arc rod bending technique. Analyse the common defects of the arc rod bending process and find out the corresponding measures . Through the design of the pipe fixture and check fixture to promote the quality of the machine, bending process accuracy and processing performance efficiency to meet the production requirements. Forming software by Dynaform arc rod bending finite element simulation, reveals its forming stress and strain distribution and deformation mechanism of the effect on the forming quality of the main factors.

Processing practice shows that the forming process program on the processing of similar products and process design has a certain reference value.

**Key word:** Arc rods; Forming technology; Forming fixture ;The finite element analysis

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 引言</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 客车车身弧杆件成形国内外研究现状</b> .....	<b>3</b>
1.2.1 客车弧杆件成形质量 .....	4
1.2.2 客车弧杆件的市场前景 .....	5
1.2.3 弧杆件成形加工国内外研究现状 .....	7
<b>1.3 弧杆件成形工艺的关键技术</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4 选题来源及意义</b> .....	<b>10</b>
1.4.1 课题来源 .....	10
1.4.2 研究意义 .....	10
<b>1.5 本文的主要研究内容</b> .....	<b>10</b>
<b>第二章 弧杆件弯曲成形概述</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 塑性弯曲成形理论</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 管材弯曲应力应变分析 .....	12
2.1.2 管材的最小弯曲半径 .....	14
2.1.3 管材成形理论 .....	14
<b>2.2 弧杆件弯曲的力学分析</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 弯曲时受力分析 .....	17
2.2.2 矩形管弯曲成形应力应变状态分析 .....	18
2.2.3 弯曲力矩的计算及弯曲力的估算 .....	19
<b>2.3 弧杆件成形方法</b> .....	<b>20</b>
2.3.1 绕弯 .....	21
2.3.2 推弯 .....	25
2.3.3 压弯 .....	26
2.3.4 滚弯 .....	26
<b>2.4 本章小结</b> .....	<b>27</b>
<b>第三章 客车车身弧杆件加工工艺分析</b> .....	<b>28</b>

<b>3.1 客车车身弧杆件结构分析</b> .....	<b>28</b>
3.1.1 客车车身弧杆件结构特点 .....	28
3.1.2 客车车身弧杆件技术要求 .....	30
<b>3.2 客车车身弧杆件加工工艺</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 下料.....	31
3.2.2 小曲率半径客车车身弧杆件加工工艺.....	31
3.2.3 大曲率半径客车车身弧杆件加工工艺.....	32
3.2.4 整形.....	34
<b>3.3 本章小结</b> .....	<b>34</b>
<b>第四章 客车车身弧杆件成形工艺的关键技术</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 弯管机成形模具设计</b> .....	<b>35</b>
4.1.1 弯曲模胎 .....	36
4.1.2 模具设计 .....	37
<b>4.2 滚弯机成形模具设计</b> .....	<b>39</b>
4.2.1 夹紧装置 .....	39
4.2.2 夹具体设计 .....	41
<b>4.3 成形设备的设计</b> .....	<b>42</b>
4.3.1 电动弯管机设计.....	42
4.3.2 滚弯机设计 .....	45
<b>4.4 成形芯棒的设计</b> .....	<b>46</b>
<b>4.5 成形检具设计与加工</b> .....	<b>50</b>
4.5.1 检验样板设计.....	50
4.5.2 样板曲线宏程序.....	55
4.5.3 样板加工 .....	57
<b>4.6 弧杆件材料的选择</b> .....	<b>57</b>
<b>4.7 本章小结</b> .....	<b>57</b>
<b>第五章 弧杆件成形质量分析</b> .....	<b>58</b>
<b>5.1 成形极限</b> .....	<b>58</b>
<b>5.2 弧杆件成形有限元分析</b> .....	<b>58</b>

5.2.1 弧杆件成形极限图分析 .....	59
5.2.2 弧杆件截面变形 .....	60
5.2.3 弧杆件起皱 .....	62
5.2.4 弧杆件断裂 .....	63
5.2.5 弧杆件回弹 .....	64
<b>5.3 弧杆件成形实验 .....</b>	<b>65</b>
5.3.1 模具压弯实验 .....	65
5.3.2 弯管机绕弯实验 .....	66
<b>5.4 本章小结 .....</b>	<b>67</b>
<b>第六章 总结与展望 .....</b>	<b>68</b>
6.1 总结 .....	68
6.2 展望 .....	68
<b>参考文献 .....</b>	<b>70</b>
<b>攻读硕士学位期间发表的论文 .....</b>	<b>73</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>74</b>



厦门大学博硕士学位论文摘要库

# CONTENTS

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Foreword</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Forming Status of Arc Rods of Bus Body Home and Abroad</b> .....	<b>3</b>
1.2.1 Forming Quality of Arc Rods of Bus .....	4
1.2.2 Market Prospects of Arc Rods of Bus.....	5
1.2.3 Forming Status of Arc Rods Home and Abroad.....	7
<b>1.3 Key Technology of Forming Process</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4 Source of topic and Research meaning</b> .....	<b>10</b>
1.4.1 Source of topic .....	10
1.4.2 Research meaning.....	10
<b>1.5 Main Content of Paper</b> .....	<b>10</b>
<b>Chapter 2 Overview of Blending Forming of Arc Rods</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Mechanical Foundation of Plastic Deformat</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Stress-Strain Analysis of Bending of tube .....	12
2.1.2 The Minimum Bending Radius of tube .....	14
2.1.3 Forming Theory of tube .....	14
<b>2.2 Mechanical Characteristics of Bending of Arc Rods</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Stress-Strain Analysis of Bending of Arc Rods.....	17
2.2.2 Stress-Strain Analysis of Bending Forming of Rectangular tube .....	18
2.2.3 Calculation of Bending Moment and Estimated of Bending Strength.	19
<b>2.3 Forming Method of Arc Rods</b> .....	<b>20</b>
2.3.1 Rotary Draw Bending.....	21
2.3.2 Thrust bending.....	25
2.3.3 Press bending .....	26
2.3.4 Roll bending .....	27
<b>2.4 Summary</b> .....	<b>27</b>
<b>Chapter 3 Analysis of process Technology of Arc Rods of Bus</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 Structure Aalysis of Arc Rods of Bus</b> .....	<b>28</b>
3.1.1 Structure feartures of Arc Rods of Bus.....	28
3.1.2 technical requirement Arc Rods of Bus .....	30
<b>3.2 Processing Technology of Arc Rods of Bus</b> .....	<b>30</b>

3.2.1 Cutting .....	31
3.2.2 Small Radius Processing Technology of Arc Rods of Bus .....	31
3.2.3 Big Radius Processing Technology of Arc Rods of Bus .....	32
3.2.4 Trimming .....	34
<b>3.3 Summary .....</b>	<b>34</b>
<b>Chapter 4 Key Technology on Forming of Arc Rods of Bus body.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Design of Forming Die of Bende .....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Bending Die .....	36
4.1.2 Die Design.....	37
<b>4.2 Design of Forming Die of Roll Banding Machine .....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Clamp Equipment.....	39
4.2.2 Design of Fixture Design .....	41
<b>4.3 Design of Forming Equipment.....</b>	<b>42</b>
4.3.1 Design of Electric Pipe Bender .....	42
4.3.2 Design of Roll Banding Machine .....	45
<b>4.4 Design of Forming Mandrel.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5 Design and processe of Forming Checking Tools .....</b>	<b>50</b>
4.5.1 Design of Checking Sample .....	50
4.5.2 Macroprogram of Checking curve.....	55
4.5.3 processing of Sample .....	57
<b>4.6 Chose Material of Arc Rods .....</b>	<b>57</b>
<b>4.7 Summary .....</b>	<b>57</b>
<b>Chapter 5 Forming Quality Analysis of Arc Rods.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Forming Limit .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 The Finite Element Analysis of Arc Rods Forming .....</b>	<b>58</b>
5.2.1 Forming Limit Analysis of Arc Rods .....	59
5.2.2 Section Deformation of Arc Rods .....	60
5.2.3 Puckers of Arc Rods .....	62
5.2.4 Fracture of Arc Rods.....	63
5.2.5 Springback of Arc Rods.....	64
<b>5.3 Experiment of Arc Rods Forming.....</b>	<b>65</b>
5.3.1 Press Bending Experiment of Press bending DIE .....	65
5.3.2 Mudalimbi Experiment of Pipe Bender .....	66

5.4 Summary .....	67
<b>Chapter 6 Conclusions and Future Direction.....</b>	<b>68</b>
6.1 Conclusions.....	68
6.2 Future Direction .....	68
<b>References.....</b>	<b>70</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>73</b>
<b>Publications .....</b>	<b>74</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

客车工业在我国还是一个年轻而充满朝气的产业，随着我国国民经济的蓬勃发展、人民生活水平的迅速提高和高速公路的连线成网，客车工业在我国必将有新的发展空间和机遇。在世界乘用车转变的大格局中，中国客车像一个正在蓬勃发展的生命体，追赶着世界领先水平。随着人们生活水平的提高，人们出行对舒适性和安全性的要求也越来越高。为适应这一要求，客车在造型和性能方面都有了很大变化。在客车结构上，采用了全等应力抗压刚体车身结构，大幅度提高车身强度，达到欧洲最严格的侧翻标准，通过应用全承载技术，调整车身内部结构，提高骨架刚度、强度，提高整车主动安全性；从产品设计和产品配置上保障车辆的安全性。同时，客车外观、款式变化之快虽不及乘用车市场风云莫测，但不断推陈出新的客车造型仍就时常给我们耳目一新的感受近年来客车企业对自主设计的重视，国内客车造型设计领域逐步形成了百花齐放、百家争鸣的良好氛围。不管是充分迎合中国人审美观念的方基调、小圆角造型，还是模拟地铁和高速动车组的子弹头造型，或是更加前卫、时尚的短前悬、流线型风格。因此，客车车身造型成为厂家竞争的焦点之一。

### 1.1 引言

客车车身是客车结构中 与发动机、底盘并列的三大组成部分之一。客车车身占客车自重和制造成本的 40%-60%。车身将直接影响客车的动力性、经济性、舒适性、安全性和操纵性能，人们对客车性能的至求，更多体现在车身上。车身结构必须有足够的强度以保证客车的疲劳寿命，足够的刚度保证其装配和使用的要求，合理的动态性能控制其振动与噪声。客车车身由骨架、蒙皮覆盖件及装饰件等构成。金属车身是其它部件的载体，承载着车身的负荷，即要保证足够的强度，还起到密封、造型、装饰等作用。因此，金属车身的质量对客车总体质量起到关键作用。

客车车身结构根据车型分类不同，其结构也有较大区别，7m 以下的客车其车身结构型式与轿车相似，一般采用承载式车身，车身构件为薄板冲压件，较少

采用骨架结构,如图 1.1 所示。而 7m 以上的大中型客车则多采用骨架蒙皮结构,骨架承载,蒙皮覆盖件只起装饰作用,如图 1.2 所示<sup>[1]</sup>。

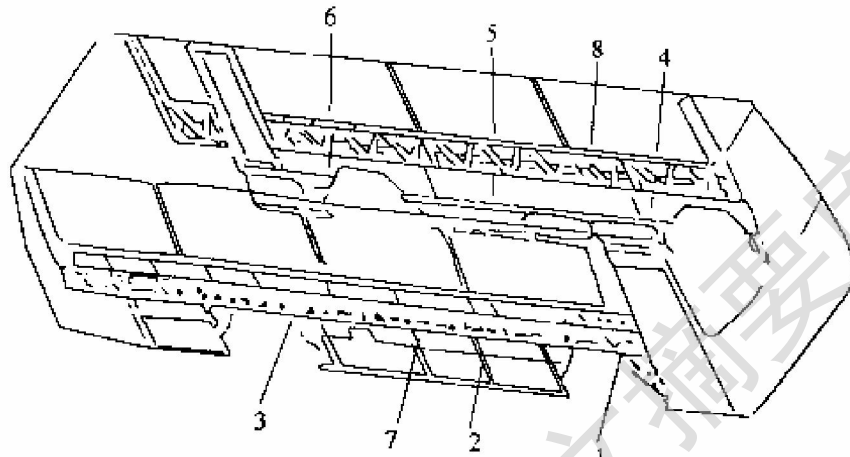


图 1.1 大客车整体承载式车身骨架

- 1 右侧前下部骨架 2 右侧中下部骨架 3 右侧后下部骨架 4 左侧前下部骨架  
5 左侧中下部骨架 6 左侧后下部骨架 7 右侧上部骨架 8 左侧上部骨架图

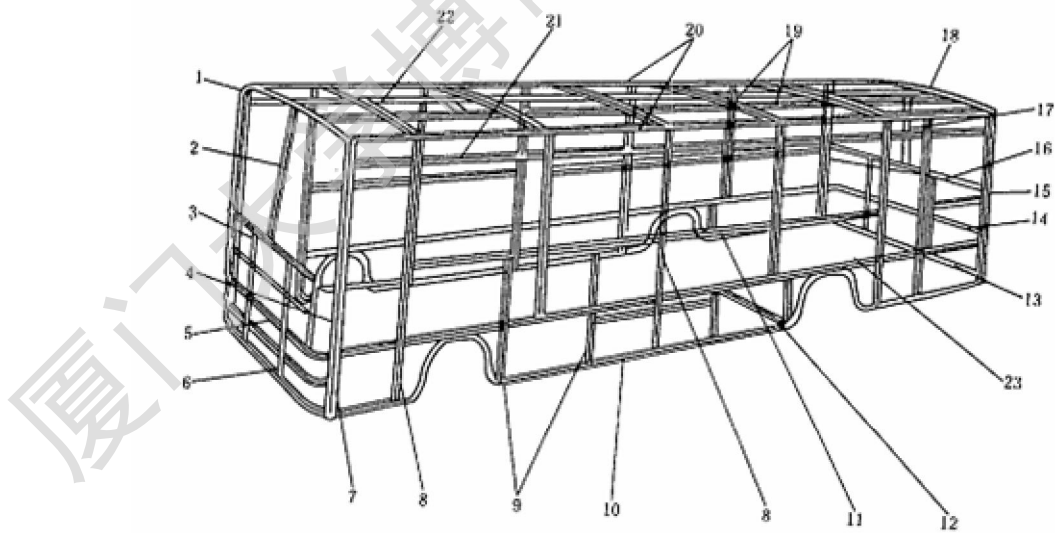


图 1.2 大客车车身骨架

- 1 风窗框上横梁 2 风窗立柱 3 风窗框下横梁 4 前围立柱 5 前围搁梁 6 前围下横梁  
7 门立柱 8 侧围立柱 9 裙立柱 10 侧围裙边梁 11 腰梁 12 斜撑 13 后围下横梁 14 后围  
搁梁 15 后围立柱 16 后窗框下横梁 17 后窗立柱 18 后窗框上横梁 19 顶盖纵梁  
20 上梁 21 侧窗上梁 22 顶盖横梁 23 侧围搁梁

车身骨架构成客车车身的主框架，它是车身的主体，除起到承载车身负荷作用外，还连接车身覆盖件及各种车身附件。因此车身骨架除有一定的强度外，必须保证一定的尺寸和形状精度要求。车身骨架是由前后围骨架、左右侧围骨架、顶盖骨架和底架六大片构成。

骨架零件从结构上可分两种形式：

1) 管材式 采用矩形钢管加工成形。这是骨架零件的主要形式。

2) 冲压组焊式 用钢板经过冲压、成型、组焊别成。一些特殊的车身或形状复杂的零件采用这种方式。

骨架零件从形状上分有：

(1) 直杆式：零件的形状是直杆件长杆件，还要保证直线度，弯曲度。对这些零件，其尺寸精度要保证长度尺寸。

(2) 弯曲型杆件：如车身侧立柱、顶围骨架横梁等，是弯曲成型的杆件，对这部分零件，要检测零件的弧线精度。

(3) 异型零件：一些非杆件部分，如轮罩、暖风道等，所占比重不大。

大客车骨架构件主要采用冷弯型钢薄壁矩形管制作。在材料截面积和壁厚不变的情况下，矩形冷弯型钢的制品其抗弯性能稍低于开口断面构件，但其抗扭性能要大大优于开口件，所以用矩形冷弯型钢构件组焊车身，有较好的性能和强度。该型材均由专业生产厂提供，故可使客车厂的构件加工日趋简单，因此冷弯型钢在客车上得到了越来越广泛的应用。

客车骨架由许多不同空间弧度的杆件合装而成。客车骨架的弧形杆件如顶横梁、立柱、前后风窗框以及轮罩等约占 50%，曲率半径在 100~6000mm 之间，这些不同空间弧度的杆件统称为客车车身弧杆件。广义上客车弧杆件包括后视镜支撑杆、护栏、扶手、排气管等，也可以延伸到家具业、飞机、建筑业等一些薄壁杆件。弧杆件制造的质量将直接影响着车身蒙皮和内饰的装配质量。

## 1.2 客车车身弧杆件成形国内外研究现状

就目前情况而言，弧杆件成形是塑性加工的重要组成部分。不管是平面弯曲件，还是空间弯曲件，在金属结构件中的应用十分广泛。因此杆件成形研究是备受关注并得到迅速发展的重要领域之一。客车车身弧杆件根据客车制造厂家的骨架图纸要求选择材质和截面形状，不同材质成形方法不同。

### 1.2.1 客车弧杆件成形质量

在当今的客车设计中,为追求车身造型的流线形,骨架的弧线设计日益增多。如在顶盖、前后围及左右侧围骨架总成中,有相当一部分零件局部或全部采用弧线结构,而这些设计必然紧跟制造。如图 1.3 所示。



图 1.3 客车骨架

在客车车身制造过程中,弧杆件整形工作量大,直接影响了整车骨架强度及覆盖件的装配质量,大大降低了生产效率,同时存在工人的劳动强度大及噪声超标等问题。因此,必须保证一定的尺寸和形状精度要求,以提高客车车身骨架装焊质量。提高车身骨架装焊质量的措施之一:提高车身骨架零部件制作精度,零部件的制造精度是车身焊装质量的基础。现在的车身骨架由弧杆件构成,选购的骨架材料应当符合标准要求,弧杆件的断面不能有超差现象。如果断面超差会影响定位精度,其超差部分会在定位的另一面显示出来,组焊后的骨架表面会产生凹凸不平的现象。同时,弧杆件不能扭曲,特别是对于长弧杆件尤为重要,对直线度超差的长弧杆件必须按直线度公差的要求进行校直处理。因此弧杆件作为客车车身骨架的主要零件,对客车车身制造质量非常重要。

汽车零部件技术的发展方向有五个特点,一是通用化,二是模块化,三是智能化,四是轻量化,五是环保化。这五个“化”,也是顺应了现时汽车的发展要求,符合成本低、设计周期短、可靠性高、自动化程度高、环保和经济的要求。但以直接影响现代汽车企业生产模式的程度看,还是通用化和模块化。目前本地



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库