

摘 要

家电下乡及家电以旧换新的政府“补贴令”使我国迎来电子产品报废的高峰期。废旧电器的回收处理以及破拆分离技术是现阶段生产商与回收企业密切关注和亟待解决的问题之一。本论文针对废旧空调换热器的破拆回收处理进行了研究,对铜铝分离提出了冷热拉拔破拆法和多刀片辊刀切割破拆法。

铜管与铝翅片是通过胀管工艺紧密结合,而铜铝的线膨胀率不同,采用逆向思维方法,提出了冷热拉拔破拆法的设想。对其进行热膨胀、热应力等理论分析和 ANSYS 仿真分析得出该方法的适用性,但是实验验证中多次出现了局部铜管断裂的现象使分离不能一次完成,因此我们放弃该方案。

否定原方案后,主要介绍了多刀片辊刀切割破拆法,该方法采用切割铝翅片不切割铜管的方式,并采用辊轧装置进一步减小胀管应力,使用拉拔铜管的方式进行铜铝分离,效率高,分离彻底。最后进行空调换热器破拆装置的设计,主要包括多刀片切割装置、辊轧装置、固定装置、拉拔分离装置及相应的控制系统。

关键词: 空调换热器 铜铝分离 装置设计
冷热拉拔 机械物理破拆

Abstract

Government "subsidies order" of appliance countryside and "home appliance with old change new" make our country into a peak period of scrap electronic products. Recycling and handling mechanism of waste electrical appliances have become a social issue of universal concern, while each manufacturer and enterprise pay close attention to disassembling and separation technology research. This study mainly introduce the disassemble rescue research of air-conditioning heat exchangers, which introduces the hot and cold drawing method and multi-blade knife cut split roller drawing operated rescue method.

According to the production process of air conditioning heat exchanger, copper and aluminum closely integrated by expander, while expansion rate of copper and aluminum is different, we propose the hot and cold drawing method by reverse way of thinking. By thermal expansion, thermal stress analysis and ANSYS simulation, we obtained the applicability of this method. But during the experiment, we can not separate completely once, because some copper tube appeared in some local fault several times, so we give up this propose.

Denied the original proposal, we use mechanical and physical method, which is mainly the multi-blade knife cut split roller drawing method. The idea is to cut into the aluminum fins along the copper tube axial direction until the connect location with copper pipe one by one, and then roll sub-block to a certain arc with the roller device for increasing cracks. So after reducing the tube expanding stress, we can use drawing method to separate copper tube from aluminum fin. this method have high efficiency and high separation purity. We select multi-blade cutting knife roll method to design the air-conditioning heat exchangers recovery device, which includes multi-blade cutting device, rolling equipment, fixtures, drawing separation devices and the corresponding control system.

Keywords: air conditioning heat exchanger; copper aluminum separation device design mechanical; heat and cold drawing; mechanical

and physical broken down

1 绪论

1.1 概述

我国作为电子产品生产和消费大国,随着经济技术的快速发展和人民生活水平的提高,在20世纪90年代经历了一次销售高峰期,并以飞快的速度逐年递增。目前各种家电的社会保有量超过10亿台,包括空调、电冰箱、电视机等家用电器经过十多年的使用已经接近或超过了设计使用寿命,使我国逐渐进入家电产品更新换代的高峰期,每年约有3000多万台电子产品进入报废期,而且呈现逐年递增的趋势^[1]。据有关部门统计,从2003年开始,我国家电以每年1500万台以上的速度淘汰,空调器每年淘汰约100到200万套,特别是2009年提出的家电下乡政策,进一步加速了废旧家电的淘汰速度^[2]。废旧家电产品与一般的城市垃圾不同,属于固体废弃物,其中不仅含有大量的金属资源可以回收再利用,还含有大量对环境造成污染的有害物质,若不经有效的方式处理不仅会造成资源的浪费,并对环境造成严重污染。因此由于废旧家电的特殊性,如何妥善处理就显得非常重要。

发达国家在废旧物资的回收利用方面非常重视,不仅建立了一套完整有效的废旧物资回收利用体系,而且对废旧电子电器的回收处理均制定了严格的政策和技术要求,在很大程度上控制了废旧电子电器回收利用过程中可能造成的环境污染与资源浪费,实现资源的可持续利用,有力的保护了生态环境^[3]。我国在家电下乡以及家电以旧换新的举措下,电器普及率高,废弃量也非常大,对报废的产品不能随便搁置或处理,必须通过有效的拆解处理回收方式,发挥资源可循环再利用的价值。目前很多小作坊采用露天或简易冲天炉焚烧、简易酸浸等落后淘汰技术回收金属,这些都是我国环保总局明令禁止的,必须研究开发处理回收废旧电器的方式方法,只有采用先进的机械处理方法,使废旧家电使用材料得到合理地处理和利用,走产业化和循环利用之路才是我国可持续发展前景^[4]。

家用空调器中铜、铝等金属占空调总质量的30%左右,其中换热器集中了空调器中的大部分铝材和铜材^[5]。换热器的基本构造是用半圆铜管连接多个长U铜管,与铝翅片通过胀管技术紧密结合,形成曲折的回路。对废旧家用空调器的铜铝金属进行有效的分离和处置能够获得良好的社会和经济效益,由于空调换热器特殊的结构和生产工艺,在结合我国国情的同时,借鉴国外先进技术对换热器破拆进行研究,同时破拆与分离技术的研究是现阶段

各个生产商与回收空调的企业密切关注和亟待解决的问题之一。

1.2 国内外废旧家电回收利用相关研究现状

1.2.1 国外废旧家电回收利用研究状况

发达国家经济发展快,家用电器普及率高、废弃量大,各国在立法上明确规定了生产商与消费者的职责与义务。2002年4月10日欧洲议会通过并于2005年8月13日后正式生效了电子和电气设备废物法令(简称WEEE法令),该法令中规定了电子垃圾的定义,依靠电流或电磁场工作的设备以及用于制造、传输和测量的电子设备废弃物(WEEE)的零散元器件以及在生产制造过程中的残次品和消费使用后的报废品,并要求各成员国应在正式生效日前完成立法或根据指令的规定修改本国法律^[6]。该指令在废电子电气产品的回收、处理、再利用方面作出了明确的规定^[6]:

(1)明确了生产者的责任,不仅生产商必须在法律意义上承担起自己生产的废旧产品的回收利用的责任并负担相关费用,而且必须负责探究有效处理废旧家电和设备的方式。

(2)处理废弃设备的技术以及装备必须获得主管机关的许可才可以投入使用。

(3)提出了大型家用电器的回收与目标及回收与循环目标的计算公式。大型家用电器的回收和再利用必须达到80%和75%。比如:收集1000吨废旧电器,则必须回收再利用750吨的有用物质,还有五十吨可再回收利用。

2006年7月1日起欧美国家开始执行ROHS指令,明确规定新的电子电气设备中不能含有福、六价铬、铅、汞、聚溴二苯醚(PBDE)以及聚溴联苯(PBB)等成分^[7]。目前废旧电器每年增加百分之十六到百分之二十八,增长速度比总废物量快好几倍,电子垃圾已经成为了新的需要重点解决的危险废物污染源。废旧电器回收和再利用的最终目标是把废旧电器变为可利用的资源,发挥其原有的价值,目前各国在研究回收利用技术、建立回收处理厂与验证实验等方面做了大量措施来缓解这一问题^[4]。

德国法律法规规定,在材料方面上,各类电子产品应尽量使用可再生资源;在设计方面,应向容易维修、容易拆卸的方向发展;在回收方面,应建立合格的回收系统,回收方式的研究是必不可少的,对于不可再生的元器件应使用适当的废物处理设施;电子产品生产者和供应商有回收和再利用的废旧电子产品的义务^[8]。

荷兰法中规定，电子产品必须延长产品使用周期进而减少材料的使用以及预防废旧产品的产生，具体规定了各种家电的回收再利用率，其中再利用率达到95%的有高档电器的金属材料，达到90%的有电冰箱、热水器、洗衣机、洗碗机等，必须达到70%的有咖啡壶、录像机、电视机、吸尘器等各种小家电，达到30%的有聚合物材料，但是废弃物处理方法却优先考虑处理成本低、易造成污染的焚烧法^[9]。荷兰的这种方法在我国也是很常见，把回收的产品继续卖到生产力水平低的偏远山区，尽可能的延长其使用寿命。

美国大部分大家电回收再利用的途径是经过加工、破碎和出售这三个步骤。首先对收集来的废旧电器在被处理或再利用之前必须进行CFCs和HCFCs回收，然后进行拆卸并归类，分选出可直接利用的原件，将不能直接回收利用的部件送到金属破碎车间，通过机械方法破碎成小碎片，再通过磁力分选机或重力分选机等分选方式分离出铁、钢和其它金属材料，而小家电几乎全部被填埋而不予处理^[8]。

日本在家电回收处理方面遵循3R循环体系，即减少废弃物排放量（Reduce）、重新使用（Reuse）和废品再生利用（Recycle）。该体系不仅规定了零售商、生产厂家和消费者等相关人员的责任和义务，并且形成了自主回收和再资源化的结构路线，如图1-1所示，取得了良好的社会效益，并得到迅速发展^[10]。2001年4月1日已正式实施了家电资源回收法，规定了电冰箱中的铁、铜、铝等的再利用化率必须达到50%以上，空调器必须达到60%以上。日本很多大公司如东芝开利、美尔可、日立、大金、松下、三洋等都已建立了合资的再利用工厂，并已开始实施控制废旧产品的浪费。例如三菱电机则研发出一种高效的再循环技术，制定了再循环工厂的安全环境标准，并且进行了相关的安全监测，采用这种模式三菱公司每年可以达到再循环家用电器60万件和办公设备40万件的任务^[11]。

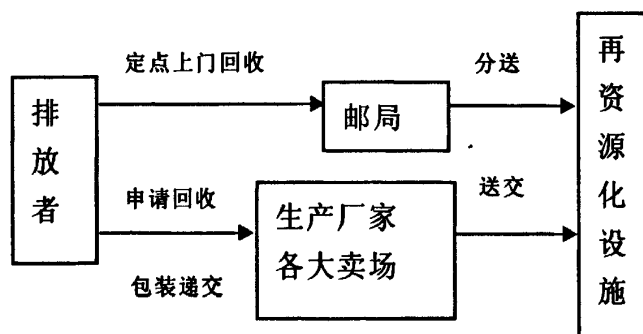


图1-1 日本回收和再资源化的结构路线^[10]

Fig.1-1 Japan's recovery and recycling of the structural line

在国外报废电器的机械处理方法已被广泛应用，其基本工艺流程都很相似：首先将电子废弃物中的制冷剂、显像管、荧光屏等危险物质取出，再将各个主要部件分别拆解，对于无法分离的破碎后通过物理分离方法回收其中的金属和非金属。一般物理分离法包括磁力场分离、电力场分离和重力场分离等，经过拆解分别回收的工艺流程可以达到95%的回收率^[12]。

在拆解的具体过程中，必须首先去除有害成分，考虑重要部件的重复使用，例如电动机；对于难拆解的或者重要的部件都需要分别研究处理，充分利用风能、磁能和机械物理法等绿色能源代替焚化和冲洗等污染环境的处理方法，对于电缆、工程塑料和电路板等可进行综合处理。

在开发研究废家电再利用技术方面，日本主要研究开发改善操作环境方面的技术与社会系统等。废家电产品连续处理再利用系统主要分为以下几个方面：回收站搬运自动化系统，废旧家电分解处理系统，原材料平衡统一管理系统等人工智能系统技术^[8]。分解工序主要是将混杂放在一起的废旧家电破拆解体，然后分送到各个的处理点并记录相关数据。在研究过程中努力做到对环境负荷性评价、有价值物质评价、处理费用的优化计算以及收集系统的优化，这些基本涵盖了整个回收处理过程的研究方向，基本达到了自动化、机械化、效率化、经济化的“四化”水平^[6]。日本在废旧家电很多回收工序方面的研究值得我国借鉴与研究，特别是研发可在循环材料方面。比如日本的松下公司和三菱电机公司，他们废旧电器的回收再利用方面的就做的非常好，研究成果非常突出，其中松下公司已经开发出了一种新型的切割技术，在废旧金属部件的回收过程中广泛采用，特别是在回收分解压缩机中可以实现高精度的分离。

废旧家电在回收之后，必须采取适当的措施进行处理，若得不到真正意义上的再利用，仍然起不到减少环境污染、节约能源的作用，达不到回收的电子废弃物物尽其用的目的，因此对废旧家电的处理是一项非常庞杂而艰难的任务。现在我国主要的分离法有火法、湿法和物理回收法，这三种处理方法各有优缺点。但总的发展趋势是物理分离回收为主，火法回收和湿法回收为辅，表1-1是三种处理方法的优缺点及应用比较。

表1-1 三种回收方法的优缺点及应用情况比较

Tab. 1-1 Three recovery methods comparative of advantages and disadvantages and application

火法	湿法	物理回收法
优点: 能处理所有的电子废弃物费用低直接简单 不足: 有毒物质的排放 处理过程金属的挥发 *陶瓷、玻璃在渣中, 金属回收困难、不能回收Al、Zn、孰料、玻璃、不能充分利用热能 应用: 发达国家应用广泛、回收处理过程需要解决有毒有害物质的排放问题, 减少和消除二氧化类和呋喃类物质的排放	优点: 环境污染小 化学试剂循环利用 回收效果好 不足: 反应复杂强烈 金属必须裸露 预处理过程复杂、不适合处理复杂的电子垃圾 应用: 主要应用于在实验室和小规模处理 技术不成熟	优点: 无有毒有害物质的排放、各种材料完全回收利用、能处理所有的电子垃圾、费用低 不足: 稀有金属分布在各个粒级的碎片当中、回收的产品通常需要进行进一步提纯处理 应用: 主要用于金属与非金属的分离 金属与金属、非金属与非金属的分离还处在研究阶段

1.2.2 国内废旧家电回收现状

在 2003 年我国电视机、洗衣机、电冰箱、房间空调器、电脑产量已经达到 1.82 亿台, 社会保有量约 9 亿台, 报废量约 2800 万台, 根据国家发改委有关数据显示, 2009 年这五类家电拥有近 9000 万台的报废量, 其中空调器已经在 220 万台以上^[13]。随着我国家用电器进入淘汰、报废的高峰期, 处理各类废旧家电的问题显得日益紧迫。公开数据显示, 目前我国每年报废产生的电子垃圾高达 820 多万吨, 其中电视机、冰箱、洗衣机、电脑、手机的报废量都在 500 万台以上。国务院 2009 年 6 月 1 日批准了有关部门对汽车等五类家电产品“以旧换新”的实施方案并予以补贴。按权威部门估算, 2010 年我国城镇电子产品报废总量已达到 13 亿台。

我国目前对于废弃电器电子产品的管理尚处于回收再资源化处于无序化, 需要亟待规范的“灰色地带”, 长期以来, 我国废旧家电运行的主渠道基本依循的模式如图 1-2 所示^[14]。

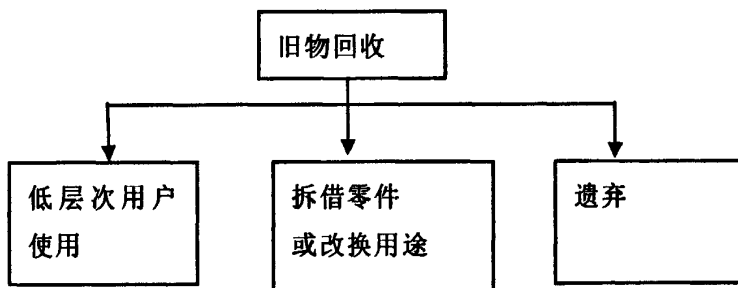


图 1-2 我国废旧家电运行模式

Fig. 1-2 operating mode of wasted electronic

目前我国废旧电器电子产品的回收流向主要通过以下两个方面：一方面消费者把废旧的家电卖给小商贩或者通过生产厂家与销售商提供的“以旧换新”等方式销售出去。小收货站回收后将其存放入旧货市场，将还能使用的废旧家电通过销售或捐赠等方式，转移给低端消费者，例如西部山区。另一方面生产商或一些废旧家电处理中心将这些废旧家电进行拆解、处理，提取贵金属等原材料进行再利用，其余的则不予处理^[16]。由于处理方式主要是采用整体溶解或化学法进行回收，产生大量的废渣、废液、废气，严重破坏环境，危害人体健康。甚至有些个体户或小的处理加工厂在利益驱动下低价收购废旧电子电器产品后除了一部分有用的装置用简单工具拆解后再转手倒卖，剩余的不易回收的塑料、废旧电路板等便随意丢弃，成为现在日趋严重的白色污染，造成资源浪费、环境日趋下降^[16]。

我国在《能源节约与资源综合利用“十五”规划》和《环保产业发展十五”规划》中提到了关于废旧物资的回收，指出目前要重点研究并发展的是废旧家电、汽车等的回收处理方式，特别是通过机械物理法研究集中拆解和处理设备，同时各个领域建设相应的回收处理生产线、回收利用体系以及拆解、处理产业化基地^[16]。

2009年初国务院公布了《废弃电器电子产品回收处理管理条例》，并于2011年1月1日起开始执行，该条例主要内容是国家为各个企业、废旧处理厂处理废旧家电研究提供补贴。在回收量大的区域或城市建设报废电器机械化集中拆解、回收处理生产线以及处理产业化基地。电器电子产品的生产者、进口产品的收货人以及各代理商都必须缴纳废弃电子类产品的回收处理基金。家电下乡以及家电以旧换新的带来的一纸“补贴令”使我国迎来电子产品报废的高峰期，而废旧电器由谁回收、如何处理也成为社会普遍关注的问

题。对于如此多的报废产品不能随便处理，要通过有效地拆解处理以便回收再利用。废旧家电回收处理的起点和关键点是对废旧产品的拆卸，要达到有效回收的目的就必须做到合理的拆解，对各种有用的金属进行分离。

总之，我国废旧家电的回收处理方式以及技术都较为落后，造成了资源浪费，环境严重污染的局势。根据家电产品结构和性能的特点进行分选拆卸是首要，废旧家电回收过程中的破碎与分选技术是回收工艺的一个关键组成部分。虽然我国目前通过家电以旧换新的方式对生产商提出了回收废旧家电的要求，但是仍然有很多废旧家电仍然无法正常回收。当务之急，我国首先要建立专业化、一体化的集中回收处理体系，加强废旧产品再资源化的技术创新。集中研究各种废旧家电的回收工艺，并且要求生产商在生产产品的过程要注重绿色制造，因此开展废旧家电回收系统和回收工艺流程研究有着极其重要的作用。

1.3 本课题的主要研究内容和研究意义

废旧家电产品属于固体废弃物，在处理阶段需要谨慎研究方法，若处置方法落后，不但会造成资源的浪费也会对环境造成严重污染。其中包含有许多有价值的资源，如铜、铝、铬、铁及各种稀有金属、玻璃和可循环利用的塑料等，特别是有色金属的回收再利用对促进我国经济社会的可持续发展起着重要作用。

我国再生有色金属产业近几年来取得了较大发展，再生铝产量占铝消费量的60%~80%以上，再生铜产量占铜消费量的50%~70%以上，而2008年再生铜、再生铝占铜铝消费量的比例分别仅为24.1%和17.3%，这是我国废弃量增长过快造成的，面对如此多的废旧资源，必须注意回收实现其原有的价值^[17]。目前虽然我国在该方面进行了各方面的举措，但是再回收率增长甚微，从发达国家经验来看，我国再生有色金属产业有很大的发展潜力和空间。

1978年我国房间空调器开始生产，经过十多年的发展1991~1993年进入了起步阶段，已经拥有了占世界产量一半以上的生产规模，成为世界第一生产大国；1994~1996年步入加速发展期，虽然95年城镇家庭的空调普及率仅为8.09%，远远低于发达国家以上的普及率80%；1997~2003年进入高速发展阶段，其中1997年在很多大城市例如北京、上海、广州、深圳等地的普及率已达42.8%；2004~2010年间我国平均每年销售量为2500万台左右，销售总量已达到17826万台以上。据不完全统计，截止到2010年，空调普及率已经达到

27%，其中城镇每百户居民空调器拥有量为125.8台/百户，按这个速度房间空调器的保有总量将达到2.33亿台。根据中国制冷空调工业协会提供的数据，十年来制冷空调工业产值平均年增长率达到了20%，随着居住环境的改善及国家对电力市场的进一步放开，空调器的需求将进一步增加。如下图1-3所示空调器1995年到2010年的历年产量^[18]，从图中可以看出我国空调器的年产量在2004年就有了很大的提升，虽然近几年的产量递增率相对较小，但仍然是在逐年递增。

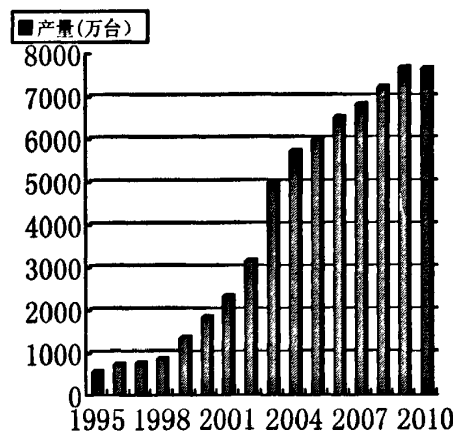


图1-3 空调器1995年—2010年历年产量

Fig. 1-3 Air conditioner production between 1995 and 2010

最近几十年，破拆废旧家电的过程设计的研究一直是比较活跃的研究领域，如何为拆解系统创造条件、降低拆解的难度是研究的重点和关键，如何设计破拆的过程是现阶段亟待解决的问题，拆解过程设计的目的是简化拆解过程减少污染与资源浪费^{[19][20][21][22]}。

空调器的材料主要包括钢材、铜材、铝材和塑料，其中铜材主要分布在压缩机和换热器之间的管路通道，即冷媒管路，铝材主要集中在换热器，即铝翅片^[23]。随着国家的各项促进消费的措施的实施，很多早期购买的空调器都应该回收，而且以后会越来越多，加大了空调器回收的压力。资料显示，分体壁挂式空调器中铜材的质量占空调器总质量的16~20%，铝材的质量占总质量的7.8~9.7%；分体立柜式空调铜材的质量占空调器总质量的64.3~70.1%，铝材质量占空调器总质量的11.3~15.1%，而换热器集中了空调器中的全部铝材和绝大部分铜材^[24]。2007年11月份的铜价约为60000元/吨，铝

价约为20000元/吨,而目前紫铜的价格在67000元/吨到69000元/吨之间。2010年12月18日来自国家统计局的消息显示,全国空调年产量为7632.95万台,同比下降6.4%,年需铝箔达到了90千吨。据空调制冷协会调研统计,每年空调制冷用铜管的消费量已达10万吨以上,占铜管总消费量的30%以上^[25]。随着国际资源的紧缺还有上升的趋势,空调换热器中铜和铝的分离回收再利用对推动我国有色金属产业发展有很大的作用。2003年到2009年国内管片式换热器产销量如下图1-4所示,可知管片式空调换热器在逐年递增,回收换热器中的废铜废铝再利用是我国重点发展项目。

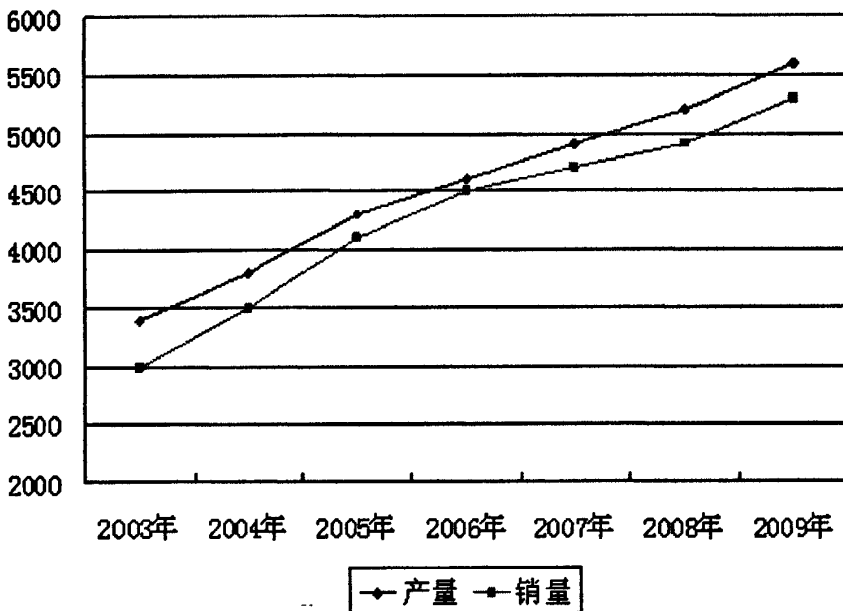


图 1-4 2003 年到 2009 年国内管片式换热器产销量

Fig.1-4 Domestic production of the heat exchanger from 2003 to 2009

目前分离空调换热器中的铜和铝各国都有研究,必须合理有效地回收铜和铝,让废铜和废铝得到重新利用,但是研究只处于初步阶段,而且尚未有一个比较好的方案。我国一些公司主要采用的是利用线切割的方式把铜管和铝箔沿轴向切割然后再分离例如海尔和长虹。但这种方法存在很多缺点,效率不高,切割金属会产生很大的噪音,造成噪音污染,不适合我国现在废气量大需要大批量回收的政策。

对空调换热器的回收,需要研究出一种低成本,效率高,而且无污染的铜铝分离回收方案。不仅推动了我国家电产业的发展,而且符合我国现在大

量回收废旧电器的要求。本论文从下面几个方面对空调换热器的回收进行论述：

首先通过大量阅读文献了解了国内外回收废旧家用电器的法律法规以及处理工艺，并提出了本论文的研究内容与研究意义。详细介绍了空调换热器的结构、生产流程、空调器的回收以及空调换热器的回收现状。在结合了现阶段我国已有的空调换热器铜铝分离的破拆装置提出了冷热拉拔法与多刀片辊刀切割破拆法。。

根据空调换热器的生产流程及胀管原理，逆向思维提出冷热拉拔破拆法并进行了可行性分析，通过ANSYS软件有限元仿真得出该方法可以实现，然后实验验证其实际的可行性，得出冷热拉拔法在实际使用中容易出现铜管断裂的现象使拉拔无法进行，对为拉拔成功的还需进行二次处理，如若采用液氮骤冷的方式该方法可以实行，但是成本相对太高，不符合我国的国情。否定原方案后，提出多刀片辊刀切割破拆法，该方法在预处理之后只需切割铝翅片，与我国现有的切割铜管以及铜铝破碎分选的方式相比，效率更高。再利用辊轧装置使其辊起有一定的弧度，进一步减小胀管应力，减小了分离过程中拉拔铜管的力，这样分离效果好，效率高，无需二次处理。

根据多刀片辊刀切割破拆法进行空调换热器破拆装置的设计，主要是根据废弃的龙门刨床进行改装，包括多刀片切割装置、辊轧装置、拉拔分离装置以及固定装置的设计。

1.4 本章小结

本章通过介绍国内外废旧家电回收利用的相关研究现状，对比国外的研究现状，我国废旧家电的研究还处于初级阶段，电子产品生产者和消费者商有回收废旧电子产品和再利用的义务。在产品的设计方面应向易维修、易拆卸的方向发展，在建立回收系统方面应寻找再利用的途径，不能再生的元件应使用适当的废物处理设施，尽最大可能的减少环境污染和能源浪费。我国近些年实施的家电下乡与家电以旧换新的措施促进了生产者在设计产品和回收系统建立的发展。我国空调器的普及使得空调器的回收面临着很大的压力，对于其中有色金属特别是铜铝的回收再利用意义重大，因此研究空调换热器铜铝分离再利用是目前我国亟待解决的问题之一。

2 空调换热器

2.1 空调换热器的结构

2.1.1 空调换热器的发展

民用空调换热器大多采用冷暖热泵型机组，可以实现冬天供热、夏天制冷，冷凝器和蒸发器是换热器中的两大关键部件，其两侧工质分别是空气和制冷剂，冬夏两季两器的功能互换。一般制冷系统由节流器、压缩机、冷凝器及蒸发器（换热器）组成，四个部件之间由铜管相连接，组成一个封闭系统。空调器要求的制冷制热量一般都小于10千瓦，换热器是以壁面为界面，通过制冷剂与空气或水之间的温差进行换热，由于空气的对流换热系数比制冷剂的小1至2个数量级，为了达到强化换热器的目的，因此我国房间空调器大多采用紧凑管翅式换热器，如板式、板翅式、螺旋板式、热管式、翅片管式换热器^[26]。

目前我国热交换器主要分为空冷式热交换器和水冷式热交换器，其种类如表2-1所示。

表2-1 空调热交换器的分类

Tab. 2-1 The classification of air heat exchanger

方式	空冷式	水冷式
种类	翅片管式	二重管式热交换器
	①平片管式热交换器	卷管式热交换器
	②波形片管式热交换器	
	③百叶窗管式热交换器	管壳式热交换器
	螺旋翅片管式热交换器	

现用于房间空调器的大部分是整体套片管式换热器，也称为管片式或管翅式，主要由钢、铜和铝等几种材料组成，其中翅片端板为钢板，翅片材质为铝合金，U形管为铜材，其套片方法是将厚度很薄的铝箔，固定在翅片端板上，按正三角形或等腰三角形的排列方式，在高速冲片机上冲出折边孔；然后将铜管穿入肋片孔中，将安装好的管片通过专门的胀管机上进行胀管，减小接触热阻，并且与外接铜管连通，U形管与翅片经胀管这一特殊工艺加工后，相互结合非常紧密，不易分离^[27]。

虽然在近几年我国对空调换热器进行不断地技术革新,概括起来主要有以下几点:改善结构、采用内螺纹铜管、优化翅片形状、减小铝箔厚度、减小片距、铝箔表面进行亲水性、耐腐蚀性,耐酸雨等处理^[28]。

2.1.2 空调换热器的结构

目前分体挂壁式空调器室内机热交换器常用的几种结构,分别是直片式、组合式、圆弧式、多折式。按成形方式翅片管一般可分为缠绕式翅片管、滚轧式翅片管和套片式翅片管,如图 2-2 所示为翅片管式换热器实物图。套片式翅片管是将用冲床加工出来的单个铝制翅片按照一定的过盈量套装在铜管上然后再进行胀接以保证所需的过盈量^[29]。下表 2-2 所示为套片式翅片管的技术规格,主要分为铜管直径 7mm 或 9.52mm,基本满足所设计的空调制冷及制暖性能要求。

表 2-2 套片式翅片管的技术规格

Tab.2-2 Set of chip finned tube technical specifications

规格 (mm)	孔距 (mm)	片型	技术能力
Φ7	21×12.7	波纹片、桥片、6 排 36 孔、胀管≤1800mm、	片距: 1.2-2.0
	等腰三角形排列	百叶窗片	
Φ9.52	25×21.65	平片、桥片、波 6 排 44 孔、胀管≤2500mm、	片距: 1.2-2.0
	正三角形排列	纹片	

换热器铜管使用的铜材是纯铜又名紫铜,呈紫红色,它的相对密度为 8.9,熔点为 1083℃,具有较好的耐腐蚀性能,延展性仅次于金和银。对翅片管式热交换器来说,铜管主要是光管和内螺纹管这两种。内螺纹管是在铜管内加工细小的螺纹沟槽,不仅可增加制冷剂侧的换热面积,提高制冷剂侧的热传导率,还增加气液界面的扰动程度,使管底部与管顶部的液体相互交换,达到改善换热效果的目的。梯形沟槽内螺纹管在蒸发与冷凝时其热传导率比光管高 2.5 倍,因此光管逐渐被内螺纹铜管所代替。

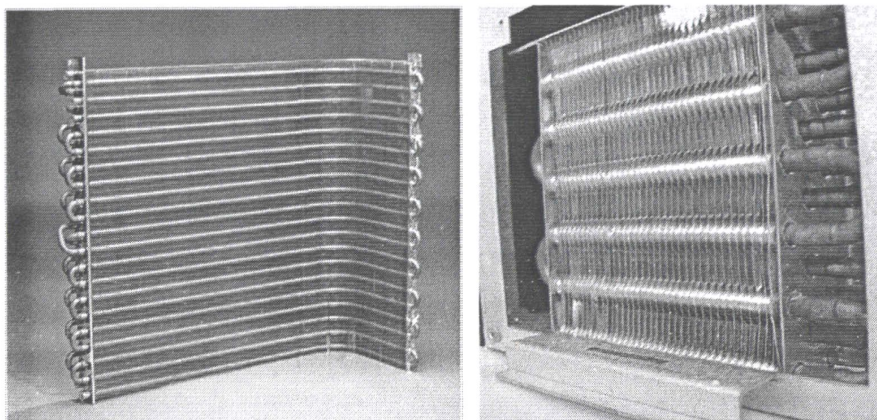


图2-1 换热器实物图

Fig.2-1 Heat exchanger real figure

翅片管式换热器的翅片的形式很多,如平直翅片、波纹翅片和开缝翅片、百叶窗翅片等。随着对热交器结构的不断优化,翅片形状在不断改善,片间距也越来越小,而铜管在向细管化、薄壁化、高性能化方面发展。

铝翅片主要采用的原材料是铝合金,可通过两种成形方法加工成散热片,分别是深冲成形法和减薄拉深成形法。在成分选择上,深冲成形法宜用塑性好且强度合适的高铁高硅的 8011 合金或 1000 系合金如 1200H22;变薄拉伸法宜选用强度高且塑性适宜的 1050 合金;变薄拉伸和深冲变薄拉伸兼用方式用翅片,欧美国家采用 8000 系合金,日本则采用在 1050 合金中加入 0.15 到 0.30%Mn,如日本的 MF03H26 铝材,1100 系铝合金的化学成分如表 2-3 所示。

表 2-3 1100 铝合金材料的化学成分^[7]

Tab.2-3 material chemical composition of 1100aluminium alloy											
Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Zr	Ti	Al	其他
0.05	~	0.95	0.05	—	—	—	0.10	—	—	99.00	0.05
0.2				—	—	—		—	—		

散热片的成形过程要求箔材具有良好的冲压性能,以达到良好的导热性能、机械性能及耐蚀性能的目的,一般采用两种空调箔生产工艺,如下图 2-2 所示^[30]。

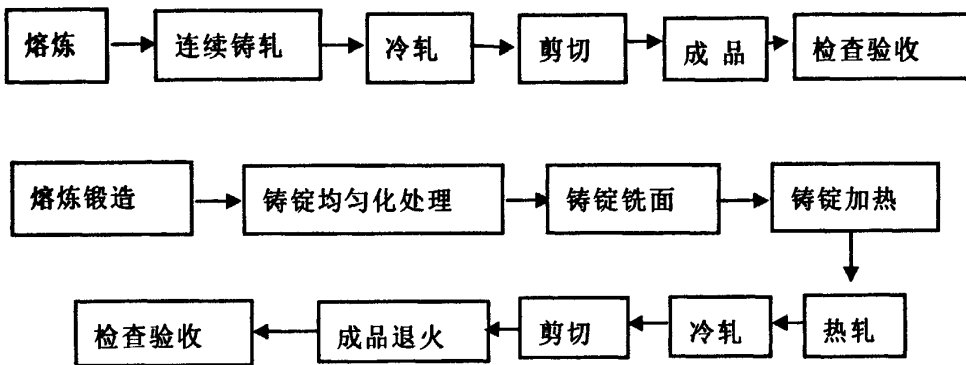


图 2-2 铝箔生产工艺流程图

Fig. 2-2 Aluminum foil production process flow diagram

铸块一般用加热炉加热，加热温度控制在 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 或者 $480^{\circ}\text{C}\sim 520^{\circ}\text{C}$ 范围之内，最后热轧温度控制在 350°C 以上，可提高铝的塑性。铸轧法生产的空调箔只要工艺措施控制得当，其质量也能满足使用要求，且成本低、竞争力强，在我国被广泛使用^[31]。

2.2 空调换热器的生产流程

2.2.1 空调换热器的生产流程

目前民用空调机组中热交换器大多采用空冷管片式热交换器，铜管的外径规格一般为 $\Phi 7\text{mm}$ 、 $\Phi 9.52\text{mm}$ ，大多采用光管或内螺纹管，壁厚大约为 $0.32\sim 0.36\text{mm}$ ，铝箔通常为光箔或亲水箔， $\delta = 0.15\sim 0.11\text{mm}$ ，片距在 $1.2\sim 3.0\text{mm}$ 之间，侧板一般为镀锌钢板，厚度为 $0.8\sim 2.0\text{mm}$ ^[32]。经过弯管、冲片、胀管、脱脂、焊接组装、检漏、脱水烘干、折弯、检验、包装等多道工序进行加工。这两种技术规格的换热器在我国被广泛采用，例如1-5HP家用空调、汽车空调、家用空调、冰柜等。本文主要研究上述规格的换热器的破拆。

空冷管片式换热器基本构造是用半圆管连接多个长U管，形成曲折的回路。一部分铜管经过弯长U管设备，与冲床冲过的铝箔组装在一起，为了提高热交换率，必须经过胀管机使得长U管的外壁同铝箔紧密接触；另一部分铜管经过弯半圆管设备成为半圆管，保证半圆管和长U型管之间有一定的间隙配合，工艺上通过控制半圆管中心距和喇叭口中心距来控制配合间隙，长U型管口被略微涨大形成喇叭口，经过清洗，熔点低于半圆管和长U管时候，在弯好

的半圆管上套上焊环, 然后将其按一定顺序插在胀管后的长U管的喇叭口, 送入自动焊接设备, 焊环融化后可以均匀地分布在半圆管外壁和长U管内壁的间隙中, 这样基本完成了换热器部件的生产^[33]。如图2-4所示为空调热交换器的生产流程。

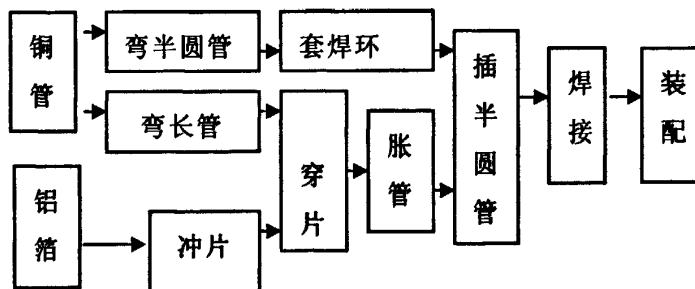


图2-3 空调换热器的生产流程^[33]

Fig. 2-3 Air conditioning heat exchanger production process

2.2.2 胀管原理

在管片式换热器中铜管与铝翅片的是通过胀管技术而紧密结合在一起的, 在生产过程中连接方法主要有胀接、焊接和胀焊并用等几种方法, 胀接方法主要有机械胀接^[34]、液压胀接^[36]、橡胶胀接^[15]和爆炸胀接^[36]等几种”, 其中比较常用的有机械式胀管和液压式胀管两类。液压胀接方法主要是用圆形圈式膨胀头或者袋囊式膨胀头插入铜管中, 在增压器的直接作用下液体通过膨胀轴上的小圆孔进入密封空间, 这时里面的压力会达到胀管所需的压力值, 铜管的直径就会膨胀^[37]。

胀管率有不同表示方法, 这里采用两种管壁减薄率公式^[38]:

$$W_i = (d_2 - d_1 - c) / 2t_1; \quad B_i = (t_1 - t_2) / t_1$$

式中 W_i 是管壁减薄率, 可通过实测求得, 在实际生产中常被采用;

d_1 , d_2 分别表示胀管前后的管子内径; t_1 , t_2 表示胀管前后的实际管壁厚度; c 表示胀管前管外径与孔内径间的间隙; B_i 是真实管壁减薄率, 难以实测, 但可以通过有限元分析求得。

胀管过程一般可分为三个阶段: 第一阶段是管子内壁加载至管子外壁与管孔内壁接触, 由于存在间隙, 胀管时管子在尚未接触管板之前就已产生大量塑性应变, 当达一定胀管率后, 管板在靠近孔边缘处也开始产生塑性应变, 并随胀管率的增加而增加; 第二阶段是继续加载直至最大胀管量为止, 这时

铜管产生了严重的塑性变形，而管板铝翅片发生的是弹性变形；第三个阶段是卸载，直至胀管压力完全消除，换热管端部直径扩张，产生塑性变形，而管板仍处于弹性变形范围，载荷去除后，铜管与管板孔实际处于过盈配合的状态，依靠两者之间的残余应力来达到固紧和密封的连接作用，同时由于卸载时圆弹管板孔将管子压紧而形成胀管接头^[39]。如图2-5所示为胀管过程中，加载和卸载过程的应力变化与铜管径向位移的关系，加载过程中接触压力持续上升，卸载时接触压力迅速下降，最后只剩下残余接触压力和管壁弹性变形后的回弹量^[40]。

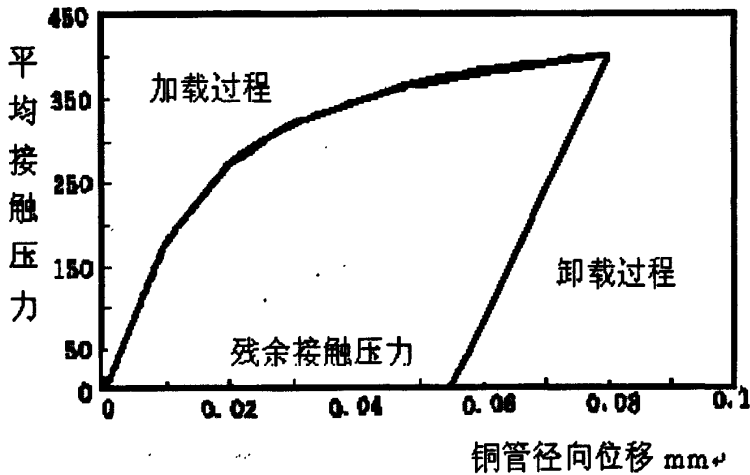


图2-4 胀管过程中应力变化

Fig. 2-4 stress changes in tube expanding process

由于铜管外径比铝箔孔直径略小一些，开始时，管子胀大还是比较容易的。当胀管使铜管外径胀大与铝箔管孔壁相接触后，其变形就受到了铝箔的约束，受到较大的接触应力。在胀管过程中，两者受到同样的压力时，于管壁较薄，刚性较小，容易变形铜管产生了塑性变形，而翅片孔刚性较大，较不易变形，只产生了弹性变形。当胀管完成后，由铜管中取出胀管器，翅片孔回复原始状态，但铜管已产生塑性变形已不能恢复，这样翅片孔就和铜管便紧密结合在一起了^[37]。

2.3 空调换热器的回收现状

2.3.1 空调器的回收现状

在我国各个处理厂对一般废旧家电的处理方式都是首先进行手动式拆解，分离出主要部件，同时需要特别注意各种有害物质的回收，然后对剩余部分预处理后进行整体破碎等各种方法进行分选材料。

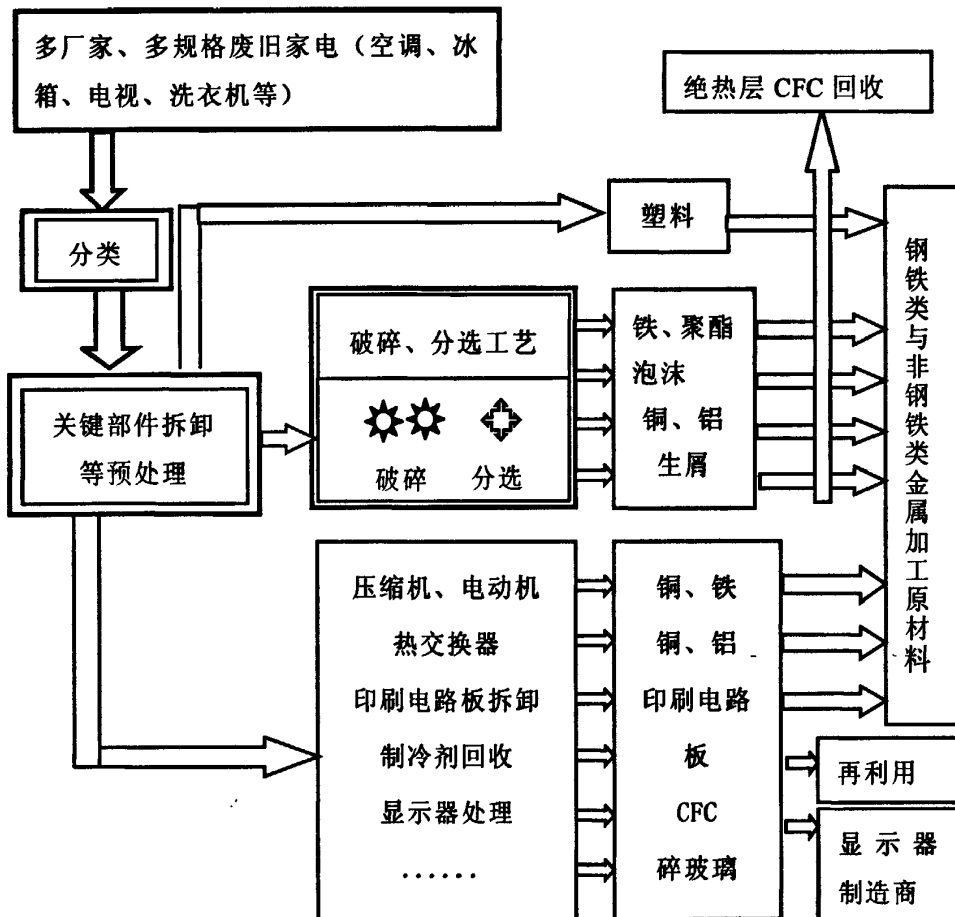


图2-5 我国废旧家电一般的处置方案

Fig. 2-5 General disposal scheme in China

其中对各种废旧家电进行的拆卸等预处理，主要是为了将各种容易造成环境破坏以及价值较高、使用率较多的元器件进行分类并处理回收，还有将那些难于破碎的零部件采用其他适合的方式进行处理最后达到重复利用、再制造的目的^[41]。我国废旧家电一般的处置方案如图 2-5 所示。

拆卸过程：在拆卸前需要对其进行预处理，重点是用专用设备回收压缩机的制冷剂、润滑油和机油，以防造成环境污染。用纯手工拆卸其关键部件进一步拆卸则以半自动拆卸为主。以防电源线缠绕在一起，通常在拆卸前需将其切断，然后根据材料分类进一步处理。对于一般的分体式空调器的拆卸，室内机与室外机分别进行拆卸，然后再将其他部件集中处理，对压缩机、电动机、热交换器（冷凝器和蒸发器）等主要部件采用专用工具拆卸^[42]。如下图 2-6 所示为分体式空调的拆卸步骤，其他类型的空调拆卸步骤与此类似。

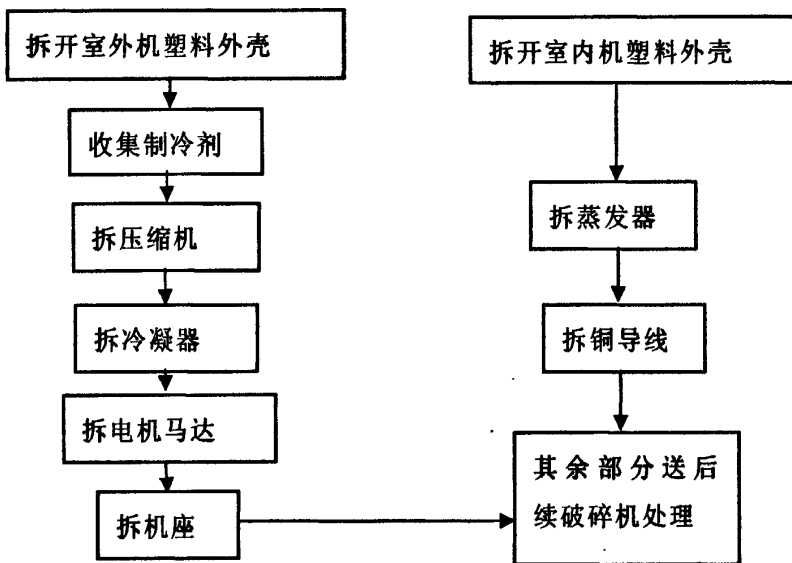


图2-6 分体式空调的拆卸步骤

Fig.2-6 split-type air-conditioner disassemble steps

分类：首先将拆卸下来的各个部件按其用途分类，根据各种材料的特性进行回收处理如下表2-4所示为空调部件材料分布。价格较高的部件有电动机、压缩机和热交换器；可以循环使用的部件有压缩机等；不易破碎回收的部件有压缩机、电动机；影响后续处理的而且必须首先回收的物质有润滑油、机油导线和橡胶等；处理不当对环境有破坏作用的有印刷电路板、制冷剂等。

表2-4 空调部件材料分布

Tab. 2-4 air-conditioning unit material distribution

材料	空调部件
铁及其铁合金	壳体、压缩机、铁支架、电机
铜及铜合金	制冷管路、电机、换热器
铝及铝合金	换热器
塑料及复合材料	壳体、风扇、线路板

破碎处理方式：常见的金属件破碎方法有低温破碎与常温破碎，低温破碎是根据某些金属材料的低温脆性的物理特性，利用液氮制冷的方式将其破碎，例如将压缩机等金属部件在 -130°C 左右的超低温下冷却，根据铁的低温脆性这种物理特性，从而将铁和非铁金属高效剥离破碎；常温破碎是针对金属碎片和塑料的分选，例如破碎电视机、空调等壳体后再利用分选装置中分选；在日本房间空调器换热器破拆是进行压延破碎，然后剥离铜管和铝翅片，分离后回收。

分选方式：为了使破碎分选后得到的各种材料纯度更高，回收过程往往比较复杂。破碎后先通过磁力分选机将铁分离出来，将剩余材料进行筛选，主要利用分级设备按尺寸大小筛选，最后根据不能的部件所有的材料性质利用比重分选机、涡流分选机等设备分选出不同材料。虽然这种方法分离纯度不是很高，但是成本低、效率高^[43]。为了减少环境污染及资源浪费，现阶段要尽可能的采用机械物理回收法。

2.3.2 空调换热器的回收处理现状

随着我国家电下乡与家电以旧换新的举措，废旧电器回收量越来越大，特别是《产品可再生利用率指标限定值和目标值房间空气调节器家用电冰箱》已通过国家标准审查，并已送国家标准化管理委员会，将作为强制性国家标准发布实施，空调回收利用率需达 87%。对于空调热交换器的拆解和回收迫切需要一种机械化、自动化、可大批量回收并且回收比较彻底的方法。

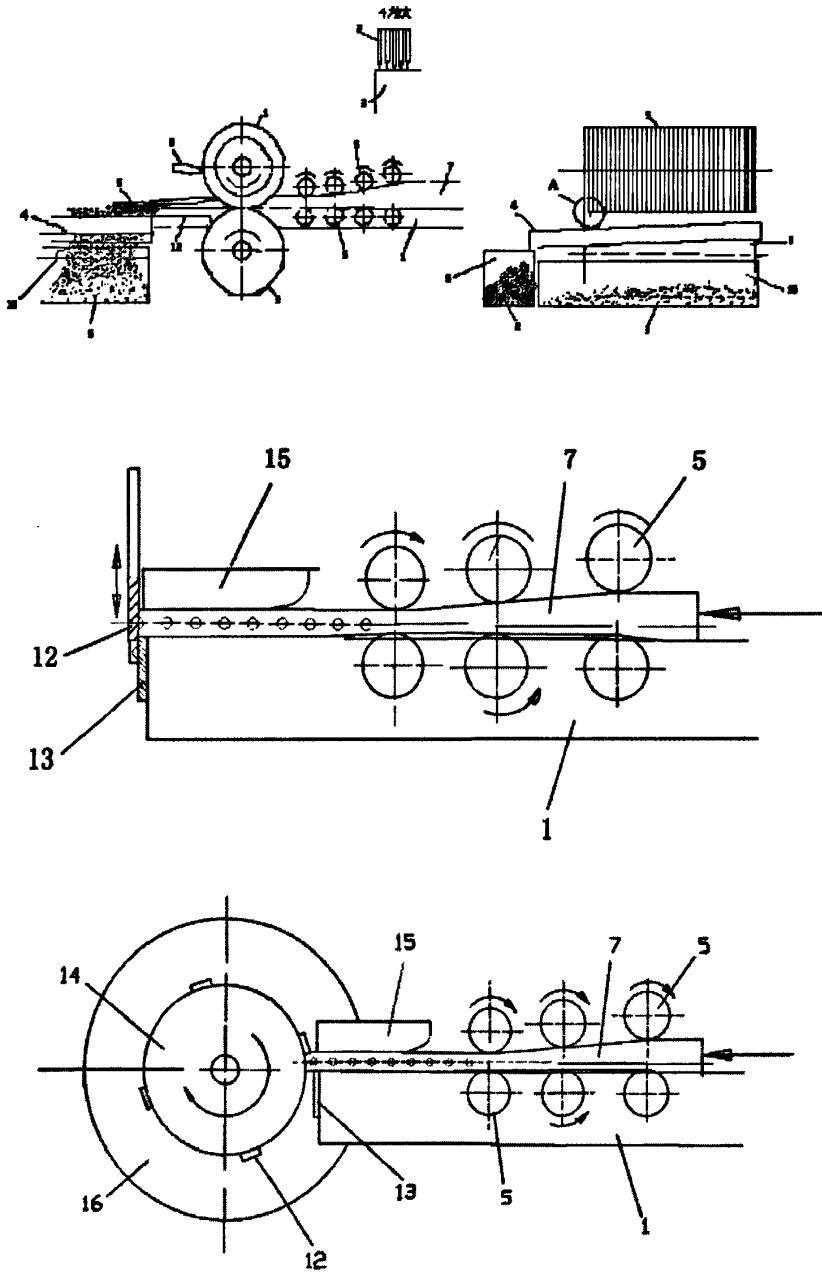
日本空调热交换器中的铜和铝的分离工序主要是使用压延机将整体进行压延，铜管在压延过程中已经被轧扁，轧扁的铜管具有较高的抗拉和抗剪强度，在破碎过程中不会被钩形锤杆剪破、打碎。换热器经挤压和辊轧后，铜、铝之间的结合力显著下降，然后再采用破碎机对辊轧后的小块换热器进行撕

扯式的破碎操作，压延破坏了铜管和铝翅片的结构，同时也使铜管和铝翅片容易分离，还要人工剥离才可分离大部分的铜和铝。

在压延的过程中会产生很多铝箔和铜的碎片并混杂在一起，对于这些碎片必须通过其他化学方法处理，这样势必会污染环境；如若不处理这些碎屑，又使得回收不彻底，造成资源浪费。其次剥离是人工操作，工作量大，速度慢，不适合大批量的机械化回收。

2005 年唐连荣申请专利[ZL200520005021]^[44]，一种换热器铜铝分离装置，装置如下图 2-7 所示，主要包括：工作台、轧辊进料装置、切断机构、振动分选筛。工作台是该换热器铜铝分离装置的基础部件，轧辊进料装置对要切割的换热器预先轧并推动其连续进入切断机构；切断机构沿换热器内铜管轴向高速切断换热器，切割间距应不大于铜管的直径，保证所有铝翅片的穿片孔均被切断，不能附着与铜管上，完全散落开来；由于被切割后的铜管尺寸大于铝片的尺寸，铜管是长条型的半管，铝片则是小的矩形片，最后将被切断散落的铝翅片和铜管用振动分选筛振动分选，这样被切断的铝翅片碎片从筛孔落下，而沿轴向被切开的但长度尺寸不改变的铜管不能从筛孔落下，从而实现铜铝分离。该破碎工序并不要求把小块换热器粉碎成颗粒状，其目的在于：一是将铜管从铝翅片中彻底解离出来；二是将铝翅片剪切、撕扯成不会缠绕在一起的铝碎片。这样做的目的是为后面的风选工序做准备。破碎机的刀具做成钩形，对薄而多孔的铝翅片施加剪切力与撕扯力，使铝翅片得到破碎。

该装置虽然在原理上很行得通，但是在实际应用过程中遇到很多问题。首先，虽然铜管采用切割装置切割成了长条半管形状，并且尺寸大于铝片，但是在震动筛选的过程中，大的铜管还可能导致筛孔堵塞，或者也可能有部分铜管顺着筛孔漏出到铝片收集箱中，导致铜铝分离纯度不高，后续工作量加大。其次，由于该装置对换热器进行了轧辊的预处理，即将换热器轧平，这样就很可能导致铝翅片与铜管包裹在一起，即使切割后仍然无法分离。批量回收时，面对的是各种废弃空调，换热器铜管间距不可能恒定。而该装置所用的成组刀具是等间距排列的，且间距是恒定的，因而无法应对不同形式的换热器。换热器上的铝翅片是通过胀管技术紧密嵌在铜管上的，轧平后的换热器被切割后，柔软的铝片仍然比较紧密地包裹在铜管上，即使将其放在振动筛上进行强力振动，也不可能将碎铝片完全振落。



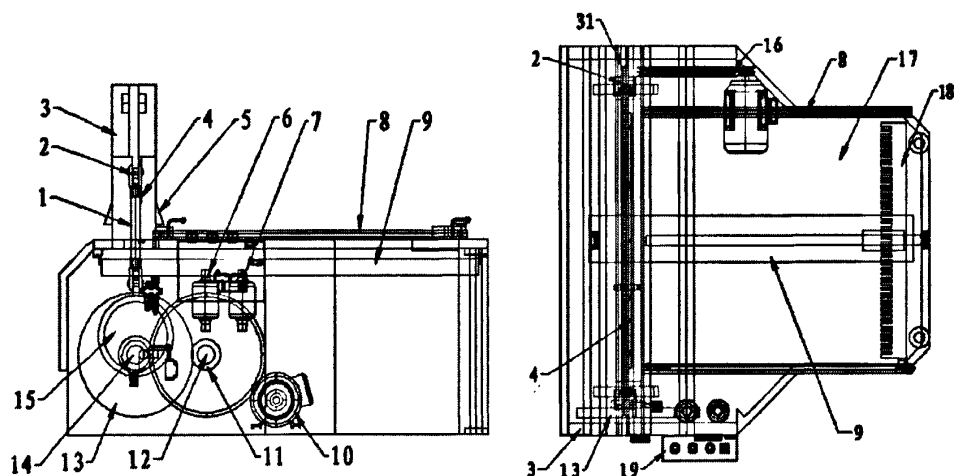
1 工作台、2 圆盘刀片组、3 砧轮、4 振动分选筛、5 轧辊进料装置、6 刀齿梳、7 换热器、8 铜管、9 碎片、10 铝碎片收集箱、11 铜管收集箱、12 动刀片、13 定刀片、14 滚筒、15 压板、16 飞轮、17 护板、18 导向平台

图 2-7 一种换热器铜铝分离装置(唐连荣)

Fig. 2-7 a heat exchanger copper aluminum separation device (Tang LianRong)

定的，因此实际中无法回收大批量的各类型号空调换热器。其次该方案只能针对单层铜管的换热器的回收，无法处理多层铜管。最后换热器上的铝翅片是通过胀管技术紧密和铜管结合在一起的，实验证实要将铝翅片从铜管上完全剥离下来是不可能的，在轧辊的过程中容易将总会出现薄而柔软的铝翅片附在铜管上面，出现一些未分离的铜铝片，仍需进行二次处理。

四川长虹电器股份有限公司在 2009 年在专利 CN101695771A 中公开了一种无需手动拆解、分离更彻底的废旧空调换热器铜铝分离设备^[47]。如图 2-10 所示该装置主要包括：工作台、剖切机构、送料机构、龙门式机架、步进控制器。其中剖切机构由动力装置、与动力装置连接的刀床和设置在刀床上的剖切刀组成；刀床与机架滑动连接；送料机构由工作台的台面和设置在台面上的送料器组成，在该装置中送料器与步进控制器连接并沿台面直线运动，送料器的移动方向垂直于剖切刀的切削面；一般步进控制器可采用步进长度可调的机电液联合控制系统或 PLC 控制装置，并配装有一对行程开关，两端分别设置在送料器的形成两个行程开关^[47]。



1 连杆、2 刀床、3 机架、4 剖切刀、5 保护罩、6 左油气罐、7 右油气罐、8 限位挡板、9 无杆油缸、10 电机、11 减速齿轮、12 减速传动轴、13 减速齿轮、14 偏心轴轮、15 偏心轮、16 主减速传动齿轮、17 主工作台、18 送料器、19 控制按钮

图 2-9 长虹换热器铜铝分离装置

Fig. 2-9 copper aluminum separation device for heat exchanger in Changhong

此装置实现铜铝分离的工作过程是：

第一步,经预处理的空调换热器平放于工作台上面,使其铜管平行于剖切刀的切削面,操作送料器移动按钮使换热器第一根铜管的轴心线处于剖切刀得切削面内,根据相邻两根铜管之间的间距,调节步进控制器,设置送料器步进量。

第二步,使用操作按钮使电机运转带动齿轮减速装置、偏心装置和连杆运动,连杆带动刀床在导轨滑槽中运动,同时剖切刀向下剖切第一根铜管,然后偏心轮继续转动使剖切刀正好处于换热器上表面,同时步进控制器获取信号使送料器向前移动直到剖切刀再次向下运动剖切第二根铜管,以此类推重复动作直到所有铜管剖切,然后步进控制器控制送料器回到初始的进料位置,这样一台换热器的剖切过程结束。

第三步,人工分离经过剖切的的铜铝分散的混和物。

该铜铝分离装置虽然分离效果比较好,设备结构简单,送料机构与剖切机构配合比较密切,而且通过步进控制器的控制使剖切更加精确,但是该装置是采用一根一根铜管的分步切割,在切割之后并没有分选装置,分选过程仍然需要人工操作,工作量大。

2.4 本章小结

本章介绍了空调换热器的结构与生产流程,空调器的回收,以及现阶段我国空调换热器回收方面已做出的成绩,具体介绍了唐连荣在 2005 年发明的一种换热器铜铝分离装置以及海尔和长虹公司分别在 2007 年和 2009 年发明的换热器铜铝分离设备的研究,总结了这几种回收换热器装置的优点与不足,为进一步改善和提高换热器铜铝分离的效率。为避免上述现有技术所存在的不足之处,提供一种换热器铜铝分离方法及装置,以期在大批量回收空调换热器时对换热器中的铜材和铝材进行高效率、高纯度的分离。

3 空调换热器铜铝分离方法方案论证

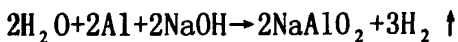
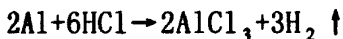
3.1 热熔法

理论上根据铜铝的熔点这一物理特性的不同,铝的熔点是 660°C ,铜的熔点是 1083°C ,二者相差 423°C ,我们可以根据这一温度差考虑采用热熔法。在热熔之前必须先对换热器进行预处理,用钳子、切割器等手工方式将去除铜铝以外的材质,但保持铜管的完整性;将预处理过的换热器挂在铁钩上,由传送带送至铝炉,并在长方形的铝炉内停滞一段时间,进行熔铝操作;熔铝后的铜管由传送带送出铝炉;铝炉在起始时间内应该有一定量的铝液;铝炉采用坩埚式电阻炉,加热换热器的温度控制在 $660\text{--}670^{\circ}\text{C}$ 之间,这时铝溶化,紫铜在在温度范围内不会溶化,从而可以将铜和铝较好的分离,由于铁的熔点是 1535°C ,因此换热器可以通过铁钩在传送带上进行传送^[49]。

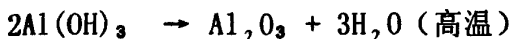
但是这种分离方法效果并不是很好,首先因为铝液与铜会发生共晶反应,生成低熔点共晶体,从而使铜的回收率下降;其次由于换热器中的油在高温环境下容易挥发,需要进行废气处理;最后由于加热温度高,温度控制比较困难。

3.2 化学法

利用 Al 的两性金属特性化学方法分离换热器中的铝和铜。根据下述化学方式:



Al 可以与酸、碱反应,而铜不能,通过酸碱反应后再利用电解方式将铝从溶液中电离出来加足量的稀盐酸,铝和盐酸反应,铜不反应。过滤可以得到铜然后向滤液中加入氨水,通过方程式 $\text{AlCl}_3+3\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}=\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow+3\text{NH}_4\text{Cl}$;使之生成沉淀 $\text{Al}(\text{OH})_3$,过滤可以得到氢氧化铝沉淀,然后高温灼烧 $\text{Al}(\text{OH})_3$,生成 Al_2O_3



电解时为使氧化铝熔融温度降低,在 Al_2O_3 中添加冰晶石($3\text{NaF}\cdot\text{AlF}_3$)或电解: $2\text{Al}_2\text{O}_3\rightarrow 4\text{Al}+3\text{O}_2\uparrow$ (通电)即可得到铝。不电解熔融液 AlCl_3 炼 Al 的原因: AlCl_3 是共价化合物,其熔融态不导电^[49]。

这种利用酸碱液的化学处理方法虽可得到纯度相对较高的铝，也可分离出铜，但是该方法需要使用较多的酸碱，再补充酸碱液后，比例不易控制，同时该方法处理成本高，对废液的处理难度大，特别是造成了对环境的二次污染，因此我们不考虑该方法。

3.3 冷热拉拔破拆法

3.3.1 冷热拉拔铜铝分离技术的理论研究

结合我国的实际国情和技术应用水平，并且参照我国废旧空调和废旧空调换热器的处理方法，总结出对换热器的处置大多采用人工拆卸和机械分离、筛选相结合的总体技术路线，图3-1所示为大多数破拆换热器步骤^[48]。

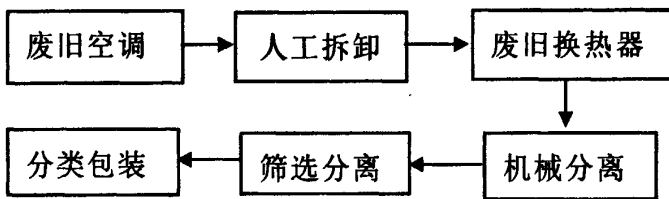


图3-1 换热器破拆步骤

Fig. 3-1 heat exchanger disassemble steps

上一章介绍的我国现阶段所研究的铜铝分离装置都可以达到分离铝、铜的目的，但是都是采用破碎换热器后对铜铝碎片的分离，因此下面主要研究一种不用切割铜管、效率更高的方法，提出两种方案进行研究分析，一种是冷热拉拔破拆法，一种是多刀片滚刀切割破拆法。

套片式翅片管是将用冲床加工出来的单个钢(铝)制翅片按照一定的过盈量套装在钢管(铜管)上。当采用铜管和铝翅片时，一般是先套装后再进行胀接以保证所需的过盈量。由于铜管的强度不大，可承受的力小，在常温下拉拔所需力很大，很容易断裂而无法将其从铝箔中拉拔出来。通过了解空调换热器的生产流程，我们知道铜管与铝箔之间是通过胀管紧密结合的而且还有过盈配合，如表3-1所示，铜和铝的热膨胀系数不同。当弹性体的温度变化时，它的各部分由于温度变化而膨胀或收缩，而铝在加热的时候发生的是弹性变形。当对其加热时，由于翅片和铜管的膨胀差，接触压力会减弱，使接触不充分，也就是说减小了胀管形成的应力，只要再加一定的的拉拔力就可以把

铜管通过拉拔的方式从铝箔中拔出来，实现铜铝分离的目的。

表 3-1 铜与铝合金的参数^[6]

Tab. 3-1 copper and aluminum alloy parameters

名称	温度℃	密度 kg/ m ³	比热容 J/(kg· ℃)	导热系 数 W/m· ℃	线膨胀 系 数 10 ⁻⁶ /℃	熔点 ℃	弹性模 量 GPa	泊松比
铝	20	2710	0.213	152	23.6	650	68	0.32
铜	20	8900	0.100	320	17.7	1083	98	0.3

通常我们采用准谐振近似理论来定义热膨胀，热膨胀系数为表征在单位温度单位长度下零件形体特征的参数值变化量，常以百分率或百万分之几(10⁻⁶)表示。微观上原子在空间按一定的位置排列形成晶体，继而形成固体。原子平衡时，原子间的位能和动能之和会随着温度的升高而增大，原子的动能增大，促使原子间位移变大，位能升高。此现象在宏观上表现为物体受到均匀的向外膨胀力，通常在研究热膨胀时以物体周边对其受力替代。线性热膨胀是与温度变化相应的试样单位长度变化，基准温度一般以20℃为准。平均线膨胀系数是在温度t1和t2区间与温度变化1℃相应的试样长度相对变化的均值，平均线膨胀系数以 α_k 表示： $\alpha_k = \frac{\Delta l_k}{l_{k0} \cdot \Delta t}$ ，式中k为形状特征， l_k 为形状参数， Δt 为温差^[54]。

在受热和受力情况下材料的热变形量是由热应力引起的变形量、所施加的外力引起的变形量以及孔型材料本身受热自然膨胀引起的变形量的总和，式3-1为热应力与位移的关系^[55]。

$$\begin{aligned} \sigma_r &= E/(1+\nu)[(1-\nu)/(1-2\nu) \cdot (\partial u_r / \partial r) + \nu/(1-2\nu) \times (u_r / r + \partial u_z / \partial z)] \\ &\quad - (\alpha E t) / (1-2\nu) \\ \sigma_\theta &= E/(1+\nu)[(1-\nu)/(1-2\nu) \cdot u_r / r + \nu/(1-2\nu) \times (\partial u_r / \partial r + \partial u_z / \partial z)] \\ &\quad - (\alpha E t) / (1-2\nu) \end{aligned}$$

$$\sigma_{\theta} = E/(1+u)[(1-u)/(1-2u) \cdot (\partial u_z / \partial z) + u/(1-2u) \times (\partial u_r / \partial r + u_r / r)] - (\alpha E t)/(1-2u) \quad (3-1)$$

其中: E为孔型材料的弹性模量, μ 为该材料的泊松比, α 为材料的线膨胀系数, t 是孔型材料内部的温度函数, σ_r 、 σ_{θ} 、 σ_z 分别为径向、环向、轴向的应力分量; μ_r 、 μ_z 分别为孔型材料在径向和轴向的位移分量; a 、 b 分别为孔型材料的内径和外径, 当温度变化时, 由热应力与外力因素引起的径向变形量为:

$$u_r = \frac{1+u}{1-u} \cdot \frac{\alpha}{r} \int_a^b t r dr + \frac{(1+u)(1-2u)}{1-u} \cdot \frac{\alpha \cdot r}{b^2 - a^2} \int_a^b t r dr + \frac{1+u}{1-u} \cdot \frac{a^2 \alpha}{(b^2 - a^2) \cdot r} \int_a^b t r dr + \frac{(1+u)(1-2u)(q_b b^2 - q_a a^2) \cdot r}{E} - \frac{(1+u)(q_a - q_b) a^2 b^2}{E \cdot r (b^2 - a^2)} \quad (3-2)$$

忽略孔型零件轴向的传热, 温度仅沿径向发生变化。温度分布函数为:

$$t = t_a + (t_b - t_a) \left[\ln\left(\frac{r}{a}\right) \right] \left[\ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] \quad (3-3), \text{ 因此孔型零件径向位移与孔径的函数关系为:}$$

$$u_r = \frac{1+u}{1-u} \cdot \alpha \left\{ \frac{t_a r^2 - t_a a^2}{2r} + \frac{t_b b^2 - t_a a^2}{2(b^2 - a^2)} \cdot \left[(1-2u)r + \frac{a^2}{r} \right] + \frac{t_b - t_a}{2 \ln(b/a)} r \cdot \left[\ln\left(\frac{r}{a}\right) + u - 1 \right] \right\} + \frac{1+u}{E(b^2 - a^2)} \left[(1-2u)(q_b b^2 - q_a a^2)r - \frac{(q_a - q_b)a^2 b^2}{r} \right] \quad (3-4)$$

由于材料的弹性模量弹性模量 E 随温度变化, 其关系式为 $E = E_0(1 + \alpha_E \Delta t)$, 当温度变化后, 由热应力与外力因素引起的孔型零件的径向变形量为:

$$\Delta u_r = \frac{1+u}{1-u} \cdot \alpha \left\{ \frac{t_a r^2 - t_a a^2}{2r} + \frac{t_b b^2 - t_a a^2}{2(b^2 - a^2)} \cdot \left[(1-2u)r + \frac{a^2}{r} \right] + \frac{t_b - t_a}{2 \ln(b/a)} r \cdot \left[\ln\left(\frac{r}{a}\right) + u - 1 \right] \right\} - \frac{(1+u)\alpha_E \Delta t}{E_0(1 + \alpha_E \Delta t)(b^2 - a^2)} \left[(1-2u)(q_b b^2 - q_a a^2)r - \frac{(q_a - q_b)a^2 b^2}{r} \right] \quad (3-5)$$

由于孔型材料内部的温度分布不均, 温度只在径向发生变化, 而孔型材料几何尺寸的变化与半径和温度有关, 则可以得到孔型材料受热后几何尺寸变化与半径的几何关系。材料任何部分的热膨胀量: $\Delta_r = \int_0^{\Delta t} \alpha \Delta t dr \quad (3-6)$

$$\text{如果孔型材料初始温度为 } t_0, \text{ 则 } \Delta t = t_a - t_0 + (t_b - t_a) \left[\ln\left(\frac{r}{a}\right) \right] \left[\ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] \quad (3-7)$$

那么将式3-7的函数式代入式热膨胀量中,则可以得到由于热膨胀引起的

$$\text{变形量: } \Delta_r = \alpha r [t_a - t_0 + \frac{t_b - t_a}{\ln(b/a)} (\ln \frac{r}{a} - 1)] \quad (3-8)$$

当温度发生变化时,孔型零件内部任一点的变形量为热膨胀引起的变形量和热应力引起的变形量之和, $\Delta u = \Delta u_r + \Delta r$ (3-9), 即

$$\begin{aligned} \Delta u = & \frac{1+u}{1-u} \cdot \alpha \left\{ \frac{t_a r^2 - t_a a^2}{2r} + \frac{t_a b^2 - t_a a^2}{2(b^2 - a^2)} \cdot [(1-2u)r + \frac{a^2}{r}] + \frac{t_b - t_a}{2\ln(b/a)} r \cdot \right. \\ & \left. [\ln \frac{r}{a} + u - 1] \right\} - \{ a_E (1+u) [t_a - t_0 + \frac{t_b - t_a}{\ln(b/a)} (\ln \frac{r}{a})] \} / [E_0 (1 + a_E [t_a - t_0 + \\ & \frac{t_b - t_a}{\ln(b/a)} (\ln \frac{r}{a})]) \times [(1-2u)(q_b b^2 - q_a a^2)r - \frac{(q_a - q_b)a^2 b^2}{r}] + \alpha r [t_a - t_0 \\ & + \frac{t_b - t_a}{\ln(b/a)} (\ln \frac{r}{a} - 1)] \end{aligned} \quad (3-10)$$

铜管和铝箔都属于孔型材料,可以按照上述公式计算,由于其线膨胀系数不同,半径不同,因此变形量也不同。虽然这里的变形量是微米级的,加热形成的膨胀差足以减小胀管形成的应力,为下一步拉拔提供了有利条件。

3.3.2 基于 ANSYS 仿真及数据分析

热分析是用来计算一个系统或一个部件的温度分布及其他热物理参数,如热量的获取或损失、热梯度、热流密度等,通常在热分析后进行结构应力分析,计算由于热膨胀或收缩引起的热应力。对于一般的有限元问题,处理步骤如下表 3-2 所示。

本论文涉及的是稳态温度与结构两个物理环境,属于耦合问题。本论文采用间接求解法,对进行热分析处理,先在温度场中计算出各节点的温度,主要得出加热的时间和温度。然后再进行单元转换,切换到结构环境进行结构分析,以温度计算的结果为约束,计算出各节点的位移^[56]。

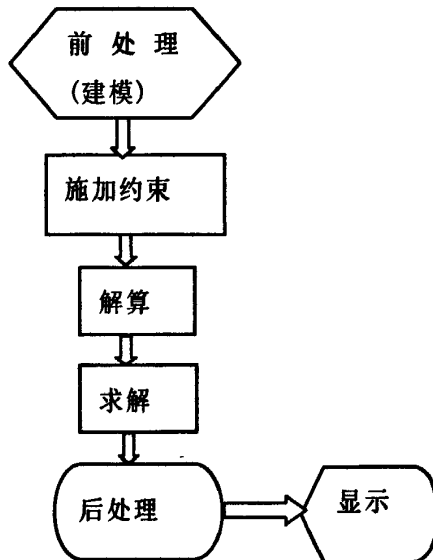


图 3-2 一般有限元处理过程

Fig. 3-2 General finite element process

下面用ANSYS分析冷凝器在不受外力约束的条件下，同时忽略其自身重力的前提下，主要分析其在稳态非均匀温度场中的热变形。首先进行建模，冷凝器的厚度为23mm，双排铜管以等腰三角形排列；紫铜管的规格：直径为7mm，厚度为0.35mm，管距为21mm，有效单管长为65mm；铝箔翅片的厚度为0.15mm，片距为1.5mm^[67]。

在建立冷凝器的稳态分布参数模型过程中，做以下简化处理如3-3所示，选取冷凝器的最小单元，铜管的长度为翅片的间距，翅片的长宽为铜管的间距。网格划分如图3-4所示，温度场分布云图如图3-5所示，应力分析如图3-6所示。

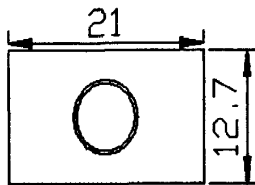


图 3-3 冷凝器的简化参数模型

Fig. 3-3 Condenser simplification parameter model

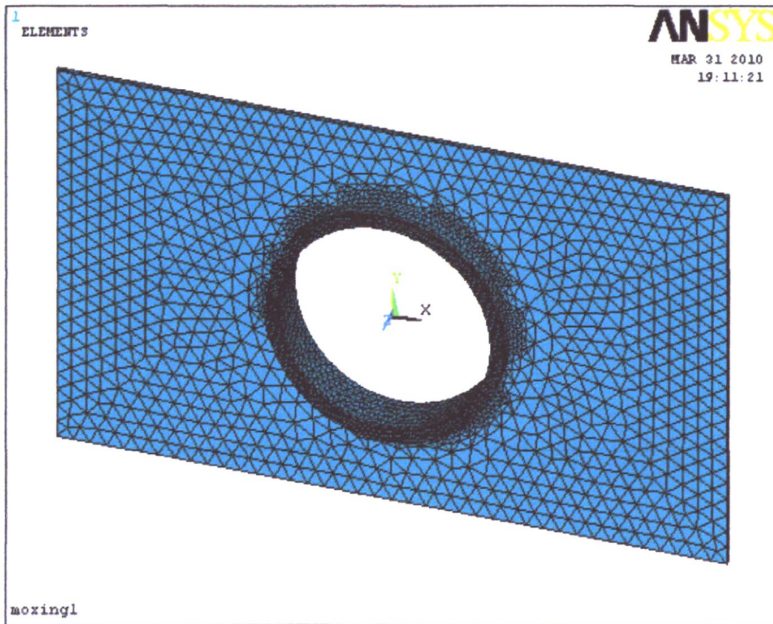


图3-4 网格划分

Fig. 3-4 Grids

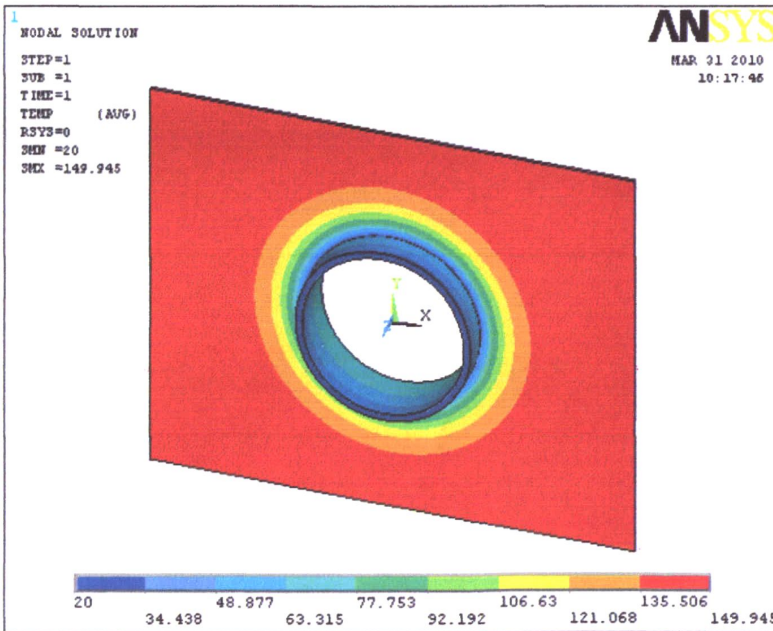


图3-5 温度场分布云图

Fig. 3-5 Temperature field distribution image

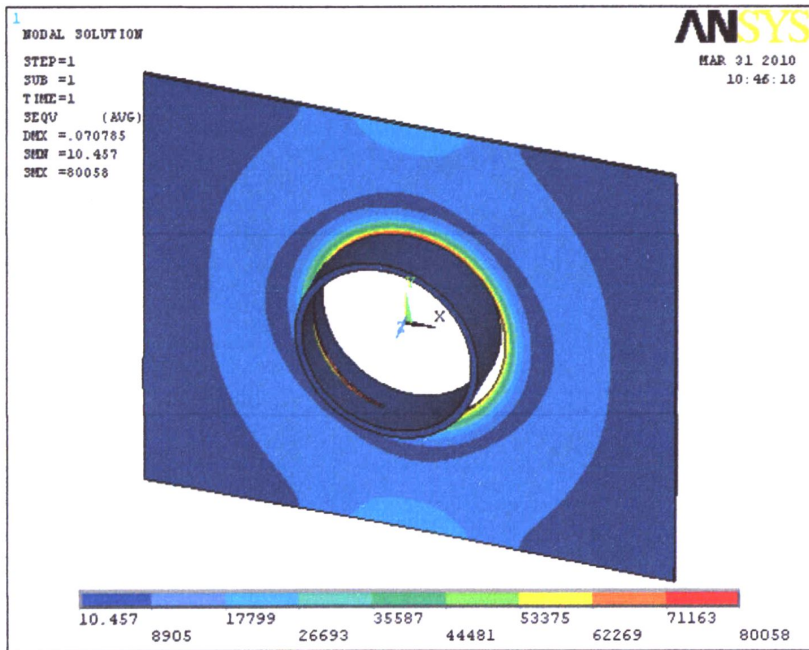


图3-6 应力分布图

Fig. 3-6 Stress distribution

根据有限元温度场分析结果可知，再给换热器子块加热之后，图中所示为将铝翅片加热到 150°C ，而铜管中温度为 20°C ，这样在短时间内，铜管与铝翅片由于传热系数不同，其温度分布不均匀，与上述理论中所述理论一致。铜管与铝翅片之间的温度分布不均匀，铜管温度只在径向发生变化，由于孔型材料几何尺寸的变化与半径和温度有关，所以孔型材料受热后会有一定的热膨胀量，在图3-6的应力分布图中可以看出换热器中铜管与铝翅片之间是过盈配合，有一定的热应力与热变形。在热应力图中还可明显看出铜管与铝翅片之间有一定间隙，这与我们理论分析相接近，与预想的结果也相符合。

3.3.3 实验论证

空调换热器的冷热拉拔破拆流程如下图3-7所示，空调换热器在制冷剂回收之后，需要进行预处理，沿铜管的横向方向将其分割为两块，变成两块一端都带有弯半圆管的子块。然后分别将其加热或者铜管里面采用液氮制冷。最后通过拉拔的方式分离，固定铝箔的两端，拉拔钩固定于铜管的弯半圆管，

在一定力的范围内，将铜管和铝箔分离。这里还可以通过固定铜管，铝箔沿平面向外拉拔，这种方法虽然固定铜管比较方便，但是拉拔铝箔比较困难。

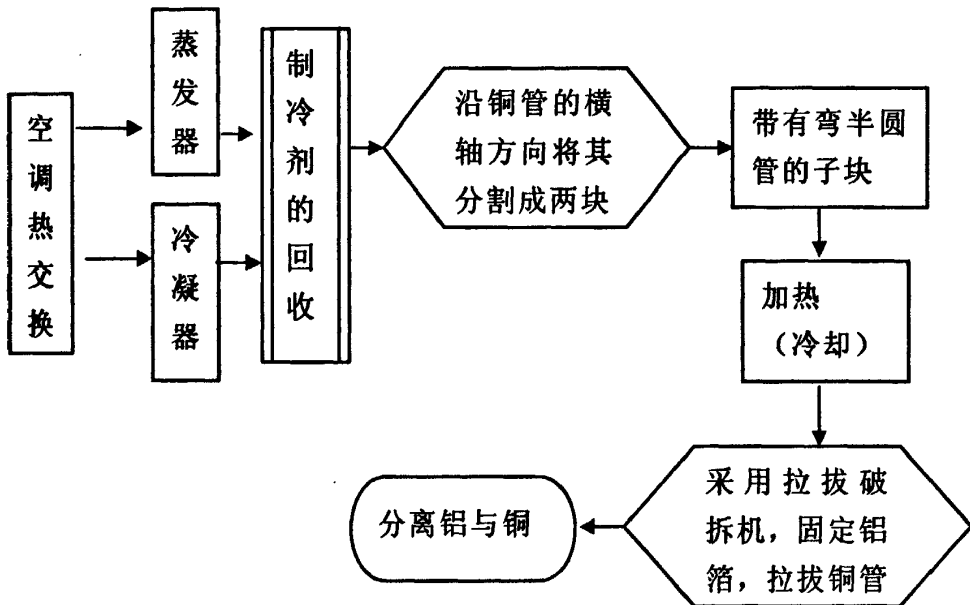


图 3-7 空调换热器的冷热拉拔破拆流程

Fig. 3-7 Air conditioning heat exchanger disassemble process

以下我们做实验验证该方式的可行性。

实验装置与材料：

实验需要加热装置、固定装置、拉拔装置，为了节约成本，我们搭建了简易的实验装置，利用实验室闲置的 C620 车床进行改造，主要针对废旧的冷凝器进行拉拔。

实验步骤及结果分析：

下面是采用冷热拉拔的方式来分离铜管和铝箔的破拆流程用这种破拆思想：

1、预处理：冷凝器是由弧形的，先进行压平，然后将整个冷凝器沿铜管的横向方向将其分割为两块，变成两块一端都带有弯半圆管的子块；

2、在常温下进行拉拔，换热器子块外表（散热翅片）夹紧或有倒钩的夹具夹持，通过液力装置对 U 形铜管进行抽拔子块；在拉拔的初期还可以使铜管相对翅片产生一定位移，但随后由于翅片集中在一段，这二者再也无法产生相

对位移,反而两者结合更加紧密。如果拉拔力继续加大,即出现 U 形管断裂的现象。

3、在电锅炉中加热,加热到 100℃、200℃、300℃后立即进行拉拔,在拉拔的初期铜管与铝翅片可以产生一定的位移,虽然和常温下的拉拔比较,温度越高用的力相对较小,位移相对大了 1cm,但是仍达不到预期的效果。

4、在电锅炉中加热到 200℃后迅速放入冷水中冷却,这里我们未做液氮冷却实验,用冷水代替,冷却时间为 30 秒,然后进行拉拔,每次拉拔一组铜管,拉拔结果如下表 3-2 所示。

表 3-2 拉拔结果

Tab. 3-2 The drawing result

	常温	100℃	200℃	300℃
拉拔次数	5	5	5	20
拉拔效果	U 型管全部断裂	铜管位移 2cm 左右,之后 U 型管都断裂	铜管位移 5~15cm,只有一次拉拔成功,其他 U 型管断裂	铜管位移 5~15cm,五次拉拔成功,其他 U 型管断裂
结果	失败	失败	失败	失败

理论上,加热冷却只要使铜管与铝翅片之间形成一定的温度差,就会因为热膨胀系数的不同使铜与铝发生热膨胀,会形成一定的变形,虽然变形量不大,但是足以减小胀管应力,仿真结果与理论一致。由于铜铝的散热性,虽然仿真结果是在 150℃的时候应力减小并且出现了间隙,为了减小了实验设备带来的误差,我们选择了 100℃, 200℃, 300℃加热温度进行实验。从实验结果可知,有的铜管可以拔出来,但是大多却在拉拔的过程中 U 型管出现断裂而无法实现拉拔。不管温度控制在什么范围,由于铝翅片在拉拔过程中会变形,集中到一起使本来的胀管应力加大,因此实验以失败告终。

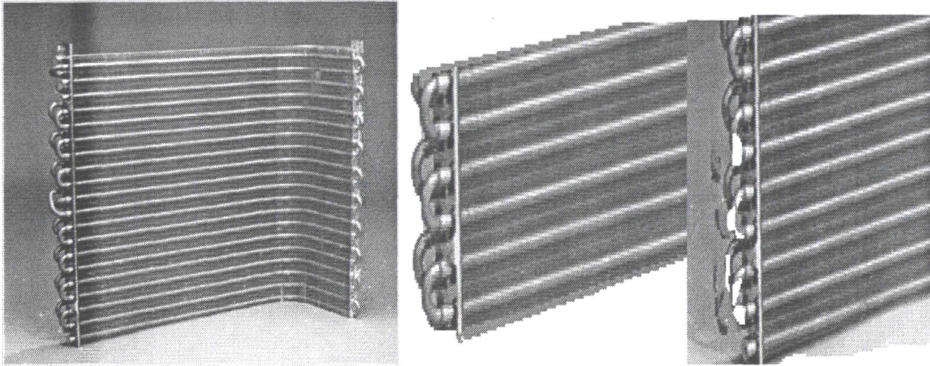


图 3-8 换热器冷热拉拔后的状态

Fig. 3-7 Air conditioning heat exchanger disassemble status

可行性分析:

从测试结果来看,虽然冷热拉拔的效果比在常温下拉拔的效果要好,但是由于铜管在拉拔的过程中容易断裂而无法分离铜铝。这种方案失败的原因主要是以下三个方面,一方面从换热器的生产流程中可知,铜管与铝翅片装配过程中为了提高热交换效率,采用胀管工艺使两者紧密结合,并且产生了不可忽视的预紧力。而这种胀管技术比我们预想的结合更加紧密,而且是不可逆的;另一方面是铜管的厚度小,无法承受很大的拉拔力,所以无法完成机械拉拔过程。如果是在加热后骤冷,会更好的减小胀管应力使拉拔力减小,在拉拔的过程中出现铜管断裂的现象会很少,但是骤冷的时间、温度方面控制比较复杂,而且采用液氮骤冷需要的成本很高,最后注意翅片的加热温度不能过高,以防翅片出现过热和氧化现象;加热温度也不能过低,加热温度过低时,使得翅片的力学性能降低,形不成膨胀差。因此我们目前不考虑这种方法。

3.4 多刀片辊刀切割破拆法

3.4.1 多刀片辊刀切割破拆法

根据空调换热器的生产流程可知,铜管与铝翅片是因为胀管而紧密结合的,多刀片辊刀切割破拆法,如图3-9所示,将换热器沿每个铜管的轴向方向逐个切割上下面的铝翅片,然后再拉拔铜管,实现铜管和铝翅片的分离。即我们把铝翅片沿铜管轴线切割开,直到和铜管连接的位置,然后再用一定的

装置把换热器从下面辊起成一定弧度，这样切割后的裂缝加大，从而破坏了胀管应力，再使用拉拔铜管的方式把铜管从铝翅片中分离出来。

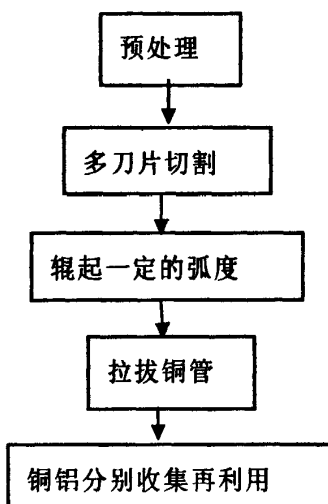


图3-9 铜铝分离步骤

Fig. 3-9 Copper aluminum separation steps

在总结了我国现有技术的基础上, 获得了比较完善的换热器铜铝分离回收的工艺:

预处理: 将废旧空调拆解分类, 蒸发器和冷凝器作为重点拆卸部件单独破拆, 主要分离其中的铜和铝。换热器的形状有U形、L形和平板形, 预处理之后的工序都是针对平板形进行的, 对于弯曲类换热器首先需进行平整工序, 获得适合后续破拆工艺需要的平面结构。因此需要将U形或L形的换热器进行形状的改变, 例如结构为L形的需要利用压力机将其轧成平板结构, U形结构的则需要首先采用切割机从中间切开, 使其变成两个L形结构再利用压力机轧平; 沿铜管的横向方面把整个换热器分成两块分别一端带有弯半圆管的子块, 这里无需对钢板进行处理, 待剩下的铜、铝部分进行分离后再处理。如下图3-10所示切割线进行切割。

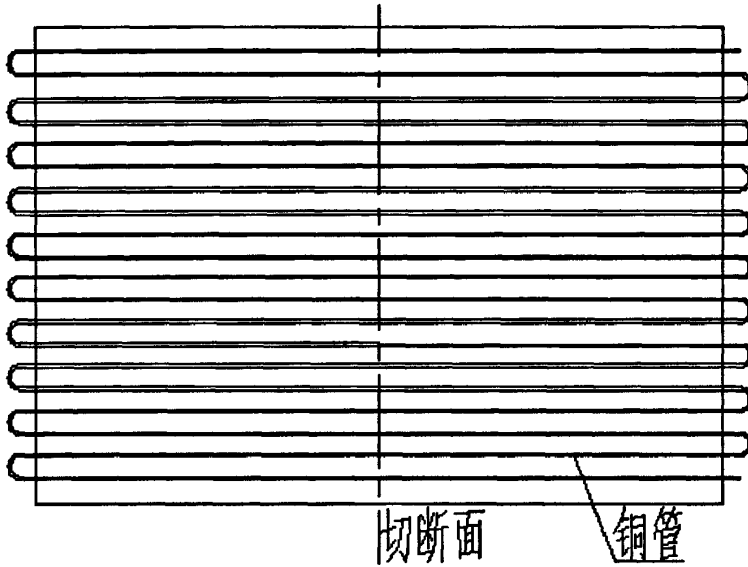


图3-10 换热器预处理切割面

Fig. 3-10 Heat exchanger pretreatment cut face

多刀片切割工序：先将一端带有U型管的子块固定好后，用多刀片沿着铜管的轴向方向切割开换热器铜管表面的铝翅片。如图所示，沿着图中虚线切割铝翅片，直到和铜管接触的位置，每次可以切割四组铜管。

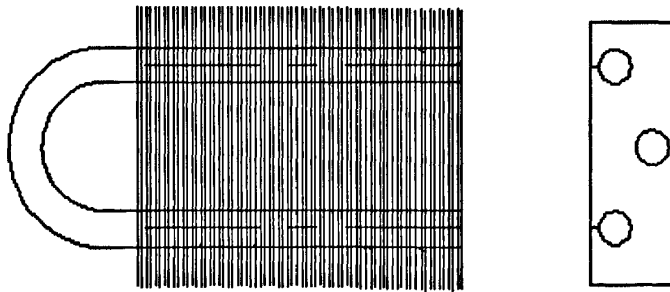


图 3-11 铝翅片切割

Fig. 3-11 aluminium plates cutting

辊轧工序：在换热器的下面安装辊刀装置，换热器固定并用多刀片切割铝

翅片后，使用辊轧辊起换热器的中间部位，使换热器呈一定的弧度，弧度大小由辊轧装置的滚珠丝杠运动来控制。对于一般的换热器，辊轧弧度只要 150° 到 170° 范围内，即滚珠丝杠控制的辊轧机构从接触换热器开始移动5-8厘米即可。辊轧弧度在这个范围内，从而使切割裂缝加大，进而减小了胀管应力，这样拉拔铜管所需的力既可以减小，在一定的范围内拉拔铜管不会使铜管断裂，为拉拔铜管创造了有利条件。

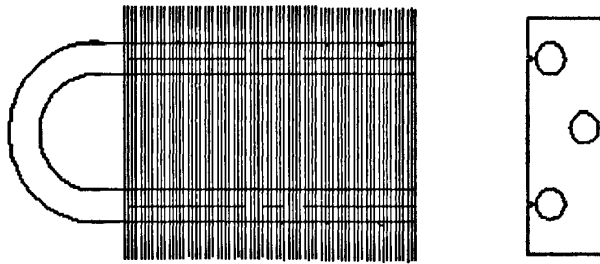


图3-12 辊轧后换热器状态

Fig. 3-12 heat exchanger state after roll

分选工序:在切割与辊轧之后，胀管应力大大的减小，使用拉拔装置即可将铜管拉拔出来，而且拉拔力不会使U型管断裂。铜管分离出来后，翅片端板即可以使用任何简单的切割与铝翅片分离。

3.4.2 可行性分析:

实验材料:切割机, 夹紧装置、C620车床, 钢丝, 冷凝器

实验过程: 首先采用切割机把冷凝器沿铜管的横向方向切开, 冷凝器变成两块一端分别带有U型半圆管的子块。将其子块采用夹紧装置固定, 利用机床上的切割刀具切割铝翅片, 如上述切割工序中的切割面进行切割。切割后, 子块仍然固定, 利用钢丝拉着弯半圆管, 借助车床的后座以及传动装置拉拔铜管。

实验结果: 铜管未出现断裂的现象, 可顺利拔出, 达到铜铝分离的目的。

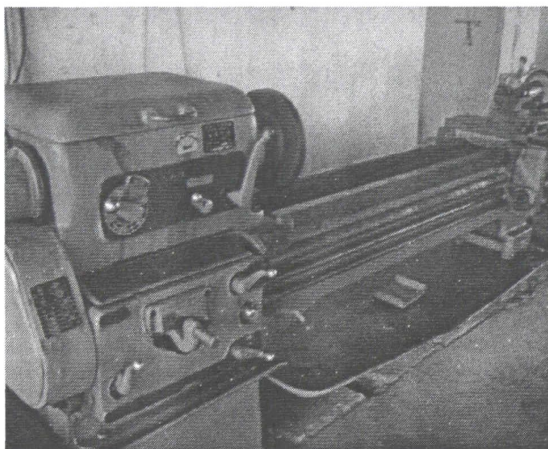


图3-13 实验装置图

Fig. 3-13 Experimental device figure

可行性分析：该方法只需切割铝箔，采用多刀片切割一次，可以同时切割四组铜管，铝箔相对于铜管比较容易切割，提高了效率。在拉拔之前必须进行辊轧一定的弧度，这样才能使拉拔力减小，铜管可以顺利拉拔出来，无需二次处理，分离效果最好。多刀片的间距可以调节，适合多类空调换热器的回收。

3.5 本章小结

本章主要介绍了空调换热器铜铝分离的冷热拉拔破拆法和多刀片辊刀切割破拆法，前者通过 ANSYS 仿真分析，实验验证与数据分析得出该方法还存在很多不足，在实际破拆过程中铜管容易出现破裂而使破拆分离无法进行，如若采用骤冷的方法，成本太高，因此我们放弃该方案的装置设计；后者采用只切割铝翅片然后再通过辊轧拉拔的方法，这种方法比同时切割铜管的方法效率高而且分离纯度高，因此本论文下一章将主要介绍多刀片辊刀切割破拆装置。

4 空调换热器破拆装置的设计

4.1 空调换热器破拆装置的设计方案

4.1.1 空调换热器破拆装置的总体结构

换热器主体是翅片端板、铝翅片、U 型铜管，其中翅片端板是钢板。本装置先分离出铜管和翅片，然后再从翅片上拆除翅片端板。

此装置主要包括：工作台、多刀片切割装置、固定装置、拉拔装置、辊轮装置。多刀片切割装置安装在工作台的侧面位置，并可以沿着丝杠横向来回运动；固定装置和拉拔装置分别在工作台的两端；辊刀装置在固定装置的下方，其中多刀片切割装置包括切割刀具排、刀架、丝杠等，主要由 PLC 控制刀架的起刀、落刀及往复切割运动；固定装置把换热器子块固定好后，先用多刀片切割装置切割，然后再用辊轮装置从换热器的底面进行辊轧；拉拔装置是由夹具，丝杠，控制装置等组成。在本论文中主要采用废弃的龙门刨床进行改装，在原有机床的基础上，利用其工作台分别加装固定装置、辊轧装置、拉拔装置。其中刀架运动控制优先考虑原有刀架的控制。

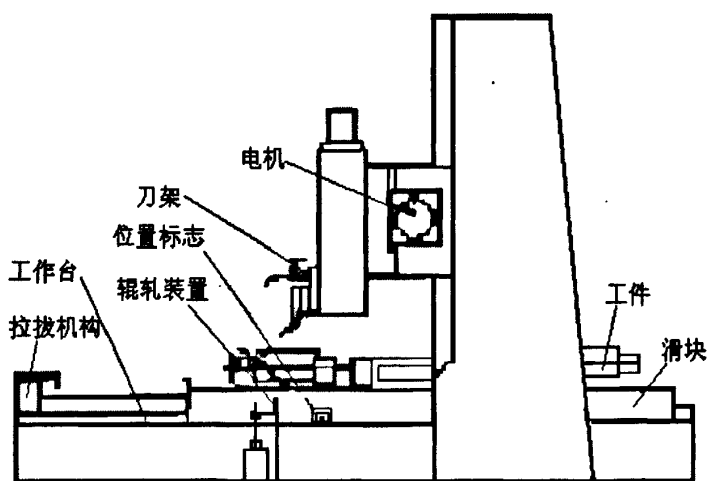


图 4-1 破拆机简易分布图

Fig. 4-1 Dismantle machine simple distribution

4.1.2 龙门结构破拆装置简介

龙门结构拥有门式框架和卧式长床身，工作台由直流电机拖动，可进行无级调速，运动平稳。其中油泵、冷却风机、电动机放大机的原动机、直流发电机的原动机，分别由单独的三相交流异步电动机 RB、FB、B、A 拖动。

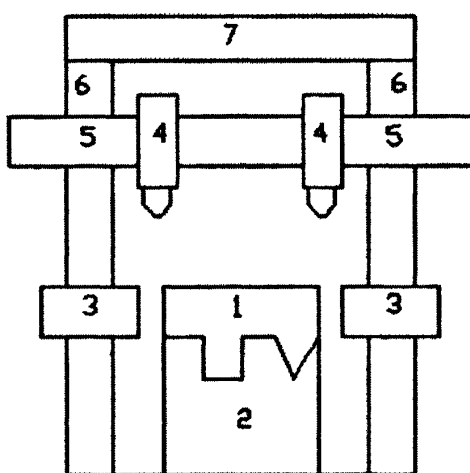


图 4-2 龙门床结构示意图

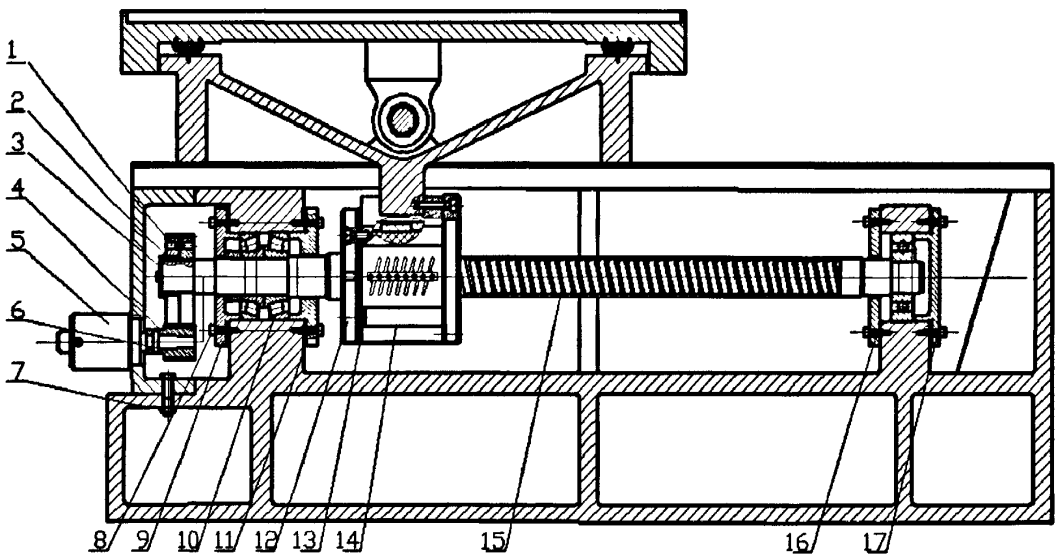
Figure 4-2 longmen planer structure schematic drawing

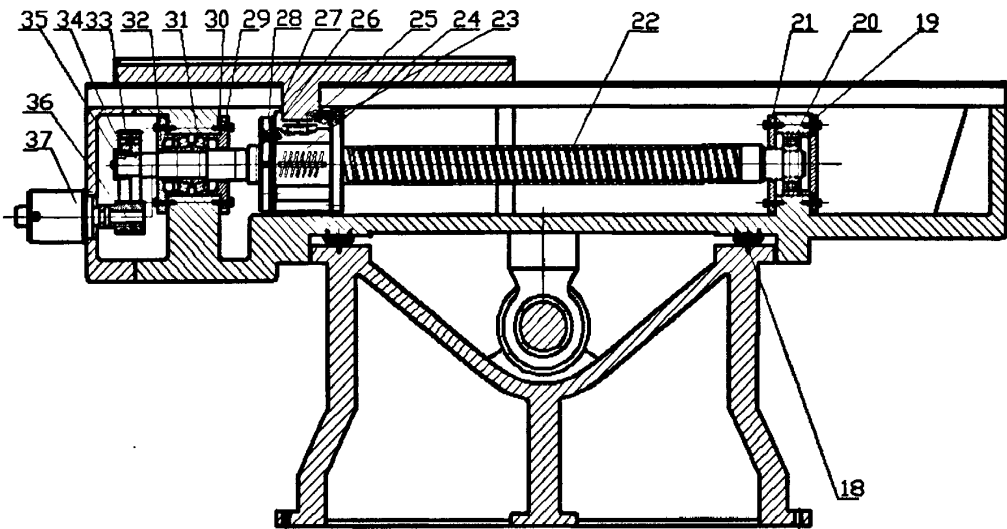
一般的龙门结构主要有三种运动机构，分为主运动、进给运动与辅助运动。龙门结构示意图如图 4-3 所示。工作台 1 置于床身 2 上，由直流电动机拖动实现在床身上的往复运动，这是主运动。工件由工作台带动运动，刨刀安装在垂直刀架 4 或侧刀架 3 上，刨刀 8 通过旋转运动，实现对工件的刨削加工；刀架的进给是机床的进给运动，侧刀架分为左侧刀架和右侧刀架，可上下移动并横向进给；垂直刀架分为左垂直刀架与右垂直刀架，分别安装在横梁 5 上，可作横向移动和垂直进给；辅助运动主要是为了调整刀具的运动方式（如刀架的快速移动与抬刀、横梁的上升与下降、夹紧与放松等）横梁可沿着立柱 6 作上下移动；7 为龙门顶，在工件加工中不起作用。为了节约成本，我们采用龙门结构设计破拆装置。在装置中我们只需一个刀架，只留一个垂直刀架 4，其余刀架都不用，可以拆除。在工作台上需要搭建一个由直线电机驱动的拉拔装置与辊轧装置。

4.2 多刀片切割系统

4.2.1 多刀片切割装置结构

图 4-3 为多刀片切割装置结构中 X、Z 方向的进给运动机构。将手动调节刀架变成由步进电动机驱动的数控刀架，Z 步进电动机控制刀架在垂直方向的移动，X 步进电动机控制刀架在水平方向的移动。在图中分别把机床 X 轴方向和 Z 方向的进给运动机构分别表示，其中刀具切割直接由 X 方向步进电机控制。经过负载（摩擦力、转动惯量等）计算，驱动刀架上下移动（Z 坐标轴）和左右移动（X 坐标轴）的步进电动机分别选用 110BF003 型和 130BF003 型，这两个坐标移动的脉冲当量均为 0.01mm。在滑台底座靠近滑块的部位安装三个接近开关，在滑块上固定一个与三个接近开关平行又在运动过程中与三个开关都能接近的滑块位置标志块（铁块），两者共同用于滑块运动方向和位置的检测。另外，在滑台上安装一个简易的对刀装置。





1 齿轮、2 平键、3 端盖、4 齿轮、5 电机、6 导向平键、7 六角螺母、8 螺栓、9 轴承端盖、10 轴承、11 垫圈、12 螺母端盖、13 垫圈、14 滚珠丝杠螺母副、15 滚珠丝杠、16 轴承端盖、18 滚动轴承、19 轴承端盖、20 轴承、37 电动机

图 4-3 X、Z 方向进给机构

Fig. 4-3 X and Z direction lathe

4.2.2 刀具的选择

采用何种方式将换热器切开是这种破拆工艺方案的关键。铜和铝都是塑性很好的金属材料，特别是铝箔的厚度很小，虽然剪切强度不高，但是要求较小的剪切间隙，同时由于散热翅片很薄，刚性不好，在分切过程中也容易产生失稳现象，导致剪切翅片过程无法顺利完成。

切割力的计算：拉削时的切削力决定于很多因素，例如被加工材料的切削厚度、宽度和材质，刀刃的磨损程度和冷却润滑液的性质等^[58]。

$$\text{拉削力计算 } p_{\max} = p \cdot \sum B \cdot Z_i \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (\text{N})$$

式中P——在选定的齿升量 S_z 时单位刀刃上的切削力 (N/m)；

$\sum B$ ——总切削刃宽度 (m)； Z_i ——同时工作齿数；

k_1, k_2, k_3 ——分别代表前角、冷却液及刀具磨损对切削力影响的修正系数。

本装置用来切割铝翅片，切削速度大约为 10mm/s，因此切割铝片的刀具

材料采用德国钢锯板，钢锯板专用于有色非铁金属材料的切削，尤其适用于铝质散热片剖沟，切割翅片的加工是粗加工，可多片组合使用，经特殊设计和处理过的刀头，可降低断齿发生概率，提高切削质量，延长锯片的使用寿命。

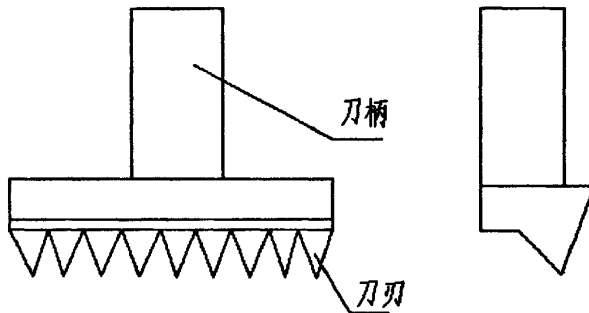


图 4-4 刀具简图

Fig. 4-4 knives diagram

图 4-4 是多刀片的设计，刀刃间距是铜管的间距，可以根据不同的换热器规格进行调整。利用刀具的往复运动切割已固定在机床工作平台上的换热器。刀具系统（模块式工具系统）由刀具、工作头、连接杆、主柄、主轴所组成。

在本实验装置中我们采用刨床自带的刀具进行切割，因为切割铝翅片要求精度不高，而且由于铝翅片的物理特性，容易切割。

4.2.3 刀架控制机构

刀具安装在刀架上，在切割换热器的过程中，刀具随着刀架沿着Z方向的导轨做往复运动，同时在切割的时候还要先向下运动以保证切割铝翅片的厚度，切割完成后，刀架向上运动，等待下一个工件的切割。从运动特点分析，该运动需要间歇运动机构或由继电器控制的液压传动装置来完成，在完成一次切割铝片的操作中刀架上下运动1次，沿Z轴往复运动一次。

为了节省成本，本文介绍使用报废的刨床改造设计装置，为了使整个加工过程方便，保留了原机床的纵、横向操作手柄。整个数控刀架由刀架与步

进电机两部分组成，步进电机通过传动丝杆，带动刀架运动。龙门刨床有三个刀架，我们这里只需采用其中一个刀架。

根据切割破拆装置总体运动的设计要求，其主控系统采用 PLC 可编程控制器，实现其全部工作过程自动控制，主要控制刀架的运动，刀具的进给运动，抬刀落刀、工作台自动往复运动等。抬刀落刀由横梁升降控制，采用原有的电动机和电磁铁控制。在本实验装置中我采用原有控制系统，在正式装置设计的时候必须对总体进行控制。

如果由电动机直接带动丝杠，刀架在自动进刀时的进刀量通常都为几个毫米，电机转速相应很低，而低速状态下电机转速的变化率高，符合我们切割精度不高的要求，因此没有必要再外加减速器。

4.3 固定装置的设计

在设计破拆机装备的时候需要设计一套夹具固定换热器，而且夹具可以自动控制。本文主要是设计一套根据废旧的刨床改装的破拆装置，因此对换热器的固定主要采用手动装置，在刨床的刀架下方的工作台上，采用螺栓在工作台的沟槽上面固定换热器的边缘。本文采用 6 个六角头螺栓把换热器固定在工作台上。如图 4-5 所示，根据刨床的凹槽大小，我们采用 M12 的螺栓，然后用螺母卡住换热器的边缘。

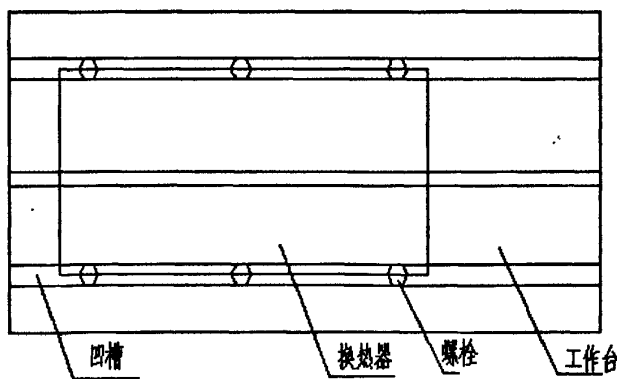


图 4-5 固定装置平台

Fig. 4-5 fixtures platform

在该装置中需采用规格为 $d=M12$ 、公称长度 $l=120$ 的螺纹才能达到卡紧换热器的功能。

4.4 辊轮装置

4.4.1 辊轮装置的总体机构

为了使换热器在切割后铝翅片与铜管的接触应力变得更小，我们采用辊轮装置使被切割后的铝翅片呈一定的弧度，在呈现弧度的过程中，铝翅片在铜管的径向方向发生了一定的变形，对切割面的垂直方向有了拉伸力，切割裂缝加大，这样铝翅片与铜管之间的应力变小，甚至与铜管之间有了一定的间隙，只要再用一定的力即可将铜管拉拔出来。

辊轮机构主要由电机、联轴器、丝杠、螺母、螺母座、辊柱等组成，螺母座连接滚珠螺母和辊柱，螺母随着丝杠的旋转运动而做垂直上下的运动，同时控制螺母座上的辊柱运动。本装置采用丝杠转动、螺母移动的方式，所以需要导向装置来限制螺母的转动。这种方式的特点是结构紧凑、丝杠刚性较好，工作行程大，在机电一体化系统中应用较广泛。

该装置是一种基础起重部件，可以单台或多台组合使用，可以手动或使用电动机、其他动力直接带动，按一定程序准确地调整控制提升或推进的高度。具有结构紧凑、重量轻、无噪音、安装方便、使用灵活、配套形式多、可靠性高等许多优点。电动机与丝杠分别支撑固定，丝杆一般采用一端固定支撑一端浮动支撑，有不同的结构形式和装配形式。丝杆最好在拉伸状态下工作，必须保证丝杠与电机之间连接的同轴度。由于滚珠丝杠没有自锁能力，在垂直安装时，须设置制动装置，可以在执行元件（如电机）上加装制动器，还可在轴上使用超越离合器或选择设计简易制动装置。采用推力轴承为主的轴承组合，可以提高轴向刚度，多用于轻载、低速的垂直安装丝杠传动系统。如图 4-6 所示为滚珠丝杠副、螺母、滚柱等成的辊轧装置。图 4-7 所示辊柱的结构图。

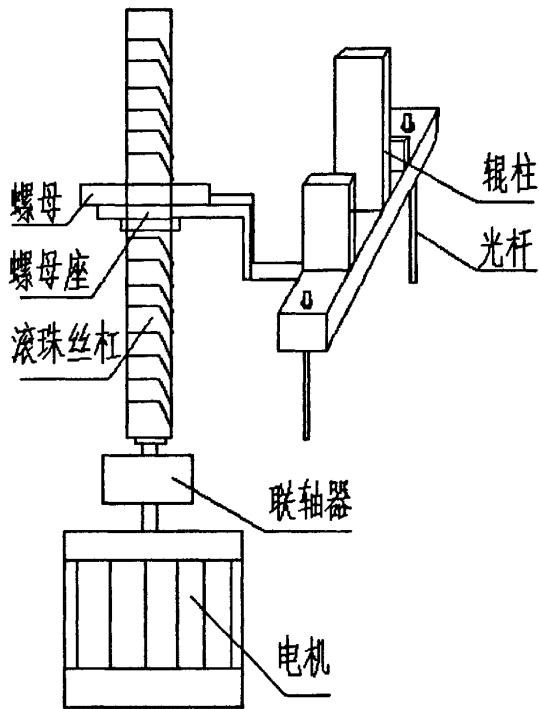


图 4-6 辊轧装置

Fig. 4-6 Roll device

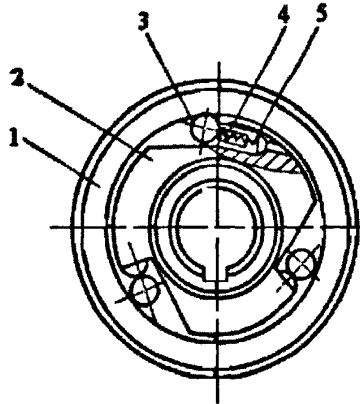
4.4.2 辊轮装置的设计

辊轮机构我们采用电机驱动丝杠的方式，升降机构为步进电机驱动，联轴器连接电机和滚珠丝杠。因为辊轧换热器呈现一定的弧度所需力不大，因此我们采用步进电机直接驱动丝杠运动，无需外加减速器。

4.4.2.1 滚珠丝杠副结构的选择

一般根据防尘防护条件以及对调隙及预紧的要求，选择丝杠的结构型式。具体为当允许有间隙存在时(如垂直运动)可选用具有单圆弧形螺纹滚道的单螺母滚珠丝杠副；当必须有预紧或在使用过程中因磨损而需要定期调整时，应采用双螺母螺纹预紧或齿差预紧式结构；当具备良好的防尘条件，且只需在装配时调整间隙及预紧力时，可采用结构简单的双螺母垫片调整预紧式结构。在该装置中，滚珠丝杠是垂直放置，而且要求精度不高，所以我们采用圆弧形螺纹滚道的单螺母滚珠丝杠副。因滚珠丝杠传动效率高，无自锁作用，故在垂直安装状态，必须设置防止因驱动力中断而发生逆传动的自锁、制动

或重力平衡装置。常用的制动装置有体积小、重量轻、易于安装的超越离合器。



1 外圈； 2 星轮； 3 滚柱； 4 活销； 5 弹簧

图 4-7 制动装置

Fig. 4-7 Brake

首先进行滚珠丝杠副尺寸的选择：主要是选择丝杠的公称直径 d_0 和基本导程。

公称直径 d_0 ：根据轴向最大载荷按滚珠丝杠副尺寸系列选择。

基本导程(或螺距 t)：根据承载能力、传动精度及传动速度按滚珠丝杠副尺寸系列选择。基本导程越大，承载能力越大，传动精度低，传动速度高，反之则反。

根据整个换热器的重量以及所需辊轧力的大小，以便确定丝杠所能承受的负载： $m_{\text{总}} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 = 5 + 1.5 + 2.5 + 3 = 12\text{kg}$

m_1 ：换热器的质量； m_2 ：安装板的质量； m_3 —电机安装板的质量； m_4 辊轮的质量；由设计任务得知丝杠的行程 $s=200\text{mm}$ ，最大工作载荷 $F_{\text{max}}=3000\text{N}$ 。初步选定丝杠型号为 5010-4。

丝杠上升的时间和下降的时间相等。即 $t_1=t_2=7.17\text{s}$

所以丝杠的速度 $v = s/t = 0.2\text{m}/7.17\text{s} = 0.027\text{m/s}$

$$\text{丝杠的转速 } n = \frac{60v}{p} = \frac{60 \times 27\text{mm/s}}{10\text{mm}} = 162\text{r/min} \quad (p \text{ 为丝杠的导程})$$

所以选择丝杠的尺寸为：轴径 $D_b = 32 \text{ mm}$ ；轴长 $L_b = 1000 \text{ mm}$ ；节距 $P = 8 \text{ mm}$

2、滚珠丝杠副的选择步骤：

首先要已知工作条件：最大的工作载荷 F_{\max} ，使用寿命 T ，丝杠的工作长度(或螺母的有效行程 l_s)，丝杠的转速 n (或平均转速 n_{cp})，滚道的硬度 HRC 及运转工况，滚珠丝杠副的选择方法，然后按下列步骤进行选择：

(1) 计算承载能力

$n > 10r/\text{min}$ 时，计算丝杠轴向最大动载荷 F_Q ，然后根据 F_Q 值选择丝杠副的型号。 $F_Q = \sqrt[3]{L} f_H f_w F_{\max}$

式中 F_Q 作用于丝杠轴向最大动载荷； L ：丝杠的寿命系数； F_{\max} ：最大工作载荷； f_w ：丝杠的承载系数，这里取 $f_w = 1.2$ ； f_H ：硬度系数，(HRC ≥ 58)，这里取 $f_H = 1$ ；

其中 $L = 60nT/10^6 = 60 \times 162r/\text{min} \times 15000h/10^6 = 145.8$

n 为丝杠的转速； T 为丝杠的寿命，在机电系统中 $T = 15000h$ ；

$$F_Q = \sqrt[3]{L} f_H f_w F_{\max} = \sqrt[3]{145.8} \times 1.2 \times 1 \times 3000 \approx 18.9 \text{ KN}$$

根据 $F_Q = \sqrt[3]{L} f_H f_w F_{\max} K \leq Ca$ (Ca —滚珠丝杠的额定动载荷)

对于低速 ($n > 10r/\text{min}$) 传动，只按额定静载荷， $c_{\infty} \geq (2 \sim 3)F_{\max}$ 然后根据计算值预选丝杠副，并进行校核。

(2) 压杆稳定性核算

丝杠压杆稳定性计算包括临界载荷核算、临界转速核算，二者分别对应压杆失稳和高速共振。

$$F_k = f_k \pi^2 EI / (Kl_s^2) \geq F_{\max}; \quad n_{cr} = 9910 f_c^2 d_1 l (ul_s^2) \geq n_{\max}$$

F_k 、 n_{cr} ：分别为临界载荷和临界转速； f_k ：压杆稳定的支撑系数，取 $f_k = 1$ ； E ：钢的弹性模量， $E = 2.1 \times 10^5 \text{ Mpa}$ ； I ：丝杠小径 d_2 抗弯截面惯性矩， $I = \frac{\pi d_2^4}{64}$ ； K ：压杆稳定安全系数，取 2.5 (垂直安装时取小值，2.5~4)；

l_s ：滚珠丝杠两轴承支点间的距离。

$$F_k = f_k \pi^2 EI / (kl^2) = 1 \times 3.14^2 \times 2.1 \times 10^5 \times 10^6 \times \frac{3.14 \times 43.5^4 \times 10^{-12}}{64} / 2.5 \times 0.64$$

$$= 2.27 \times 10^5 (N) \geq F_{\max} = 5000N$$

$$\text{计算预紧力: } F_p = \frac{1}{3} F_{\max} = \frac{1}{3} \times 5000N = 1666.7N$$

$$\text{行程补偿值 } C: C = 11.8 \Delta t l_u \times 10^{-3} = 11.8 \times 2.5 \times 400 \times 10^{-3} = 11.8 \mu m$$

Δt : 温度变化值 2~3 度; l_u : 丝杠的有效行程 (mm);

$l_u = \text{行程} + (8 \sim 14) p_h = 300 + 80 \sim 140$ 。取 $l_u = 400mm$

$$\text{丝杠的预拉伸力: } F_t = 1.95 \Delta t d_2^4 = 1.95 \times 2.5 \times 43.5^2 = 9.2KN$$

(3) 丝杠压杆稳定性 F_c 的验算

滚珠丝杠在轴向力 F 和扭矩 M 共同作用下, 所引起的每一导程的变形量

$$\text{为: } \Delta L = \pm \frac{Fl_s}{ES} \pm \frac{Ml_s^2}{2\pi E}$$

$$F_c = K_1 K_2 10^5 d_2^4 / L_{c1} = 0.5 \times 4 \times 10^5 \times 43.5^4 / 600^2 = 1989.2 (KN) > F_{a \max}$$

F_c : 临界压缩载荷;

K_1 : 安全系数, 丝杠垂直安装为 0.5;

K_2 : 支承系数, 两端固定时 $K_2 = 4$, $f = 21.9$;

$F_{a \max}$: 滚珠丝杠副所受最大的轴向压缩载荷 $F_{a \max} = 43.1KN$ 。

$$\text{丝杠的极限转速 } n_c = 10^7 f d_2 L_{c2}^2 = 10^7 \times 21.9 \times 43.5 / 555^2 = 30927.6r / \text{min}$$

$$\text{dn 值校验 (} r \cdot \text{mm} / \text{min} \text{): } d_o n_{\max} = 50 \times 1000 = 50000 \leq 70000$$

d_o : 滚珠丝杠的公称直径, n_{\max} : 滚珠丝杠的最大转速静载荷 C_{oa}

$$f_s F_{a \max} = 2 \times 5000 \leq C_{oa}$$

f_s : 静安全系数, $f_s = 2$; $F_{a \max} = 5000N$ 。

4.4.2.2 电机的选择

同一根导柱上两直线轴承中心的距离为 $s = 0.32m$ 。固定装置中心到轴导柱中心的距离 $L = 0.35m$ 。所以固定装置对轴导柱的弯矩

$$M_1 = FL = mgL = 300 \times 10 \times 0.35 = 1050N \cdot m$$

M_2 为轴导柱受到的弯矩, 由力矩平衡得知, $M_1 = M_2$;

$$F_1 = \frac{M_1}{0.12} = 35416.7N, \quad F_1 \text{ 为导柱受到的正压力;}$$

$$f = F_1\mu = 0.1 \times 35416.7 = 3541.67N, \quad f \text{ 为轴导柱的动摩擦力, } \mu = 0.1。$$

$$\text{因为装置有两根轴导柱所以 } F_{\text{合}} = 2f + F = 5000 + 7083.3 = 12083.3N$$

$$\text{因此所需的功率: } P_w = \frac{F_{\text{合}} \times v}{1000} = 0.505KW$$

这里取传动效率: $\eta = 0.9$

所以电机所需工作功率为:

$$P_d = \frac{P_w}{0.9} = 561(W)$$

所以选电机 $Y_2-100L2-8$, 功率为 1.1KW, 转速为 $n = 700r/min$ 。

4.4.2.3 联轴器的选择

联轴器是用来把两轴联接在一起以传递运动与转矩, 有时也可用作安全装置。选择联轴器类型的时应考虑:

1. 所需传递转矩的大小和性质, 对缓冲、振动性能的要求以及是否可能发生共振等;
2. 联轴器所联两轴轴线的相对位移。
3. 许用的外形尺寸和安装方法;
4. 联轴器的许用转速。

由于机器在启动和运转过程中可能出现动载荷及过载等现象, 轴上的最大转矩可按下述公式计算: $T_{ca} = K_A T$

其中 T —联轴器所需传递的名义转矩, $N \cdot m$;

T_{ca} —联轴器所需传递的计算转矩, $N \cdot m$;

K_A —工作情况系数;

根据计算转矩、轴直径和转速等, 由 $T_{ca} \leq [T]$, $n \leq n_{max}$ 在手册中选取联轴器的型号和结构尺寸, 其中 $[T]$ —所选联轴器型号的许用转矩, $N \cdot m$; n —被连接轴的转速, r/min ; n_{max} —所选联轴器允许的最高转速, r/min 。

本装置中联轴器用来联接电机与丝杠, 所需联轴器需要结构简单, 制造方便, 成本低, 占用径向尺寸小, 而套筒联轴器属于刚性联轴器, 它通过联轴套连接两轴, 所连接两轴的直径可以相同, 也可以不相同, 联轴套与轴之间可以通过销连接传递转矩, 也可以通过键连接或花键连接传递转矩。虽然装

配和拆卸都不是很方便，但是该套筒联轴器适用于低速、轻载、工作平稳的连接，而且结构简单，成本低符合该装置的要求。套筒联轴器如图所示。

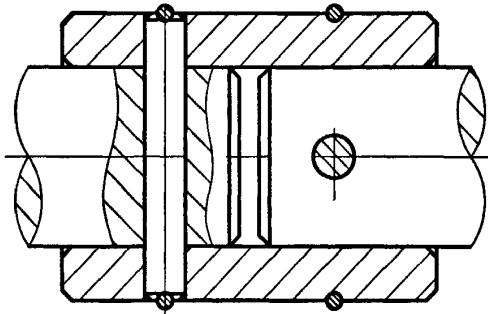


图 4-8 套筒联轴器

Fig. 4-8 Sleeve couplings

4.5 拉拔装置的设计

4.5.1 拉拔装置的总体结构

拉拔装置与固定装置分别安装在机床的一端，主要由电机，多头拉拔夹具设在带有驱动装置的拉拔滑动架上，该拉拔滑动架沿着工作台上的凹槽做往复滑动。拉拔时夹具夹紧U型管沿着拉拔凹槽做运动，在工作台上设有导轨，导轨位于夹具和拉拔机构连线的一侧，这样可以实现侧落料，避免碰伤。

因为热交换器中铜管有很多，我们采用一次拉拔四个铜管的夹具，每拉完一次，返回继续拉拔其他的铜管。因为拉拔力大约在3000N左右，因此我们采用硬度比较大的钢型材料制作的夹具。固定热交换器的装置也必须能够旋转，使每次夹具能准确拉拔铜管。拉拔夹具固定在滑座上面，滑座由直线电机驱动控制。这里应该注意的是，滑座在每次拉拔结束后，需要一定的时间把铜管放下，然后再返回继续拉拔。

一般拉拔装置分为两种，分别是滚筒式拉拔机和直线式拉拔机；直线式拉拔机一般是借助两个能相互反向来回运动的拉拔滑座来进行拉拔材料，并且按照所谓的手接手即逐段的作业方式；也可以采用两个相反旋转的拉拔链来进行拉拔，也就是履带式拉拔，其循环链不需要间断的加速质量就可以均匀的在一个方向上进行工作。直线式拉拔的机械驱动装置一般只允许较短的行程，而且因为其拉拔滑座的传动装置具有较高的惯性，在不连续工作状态

下生产率低下^[59]。

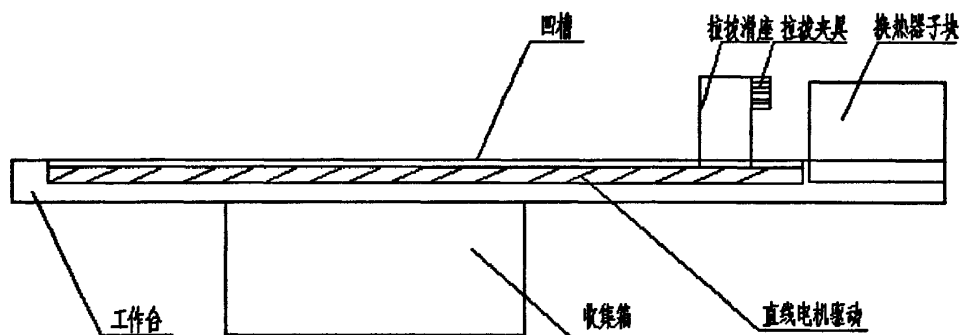


图4-9 拉拔装置简图

Fig. 4-9 Device Drawing diagram

本装置中所要求的拉拔装置，要求精度低，而且拉拔的行程也很短，因此我们采用直线式拉拔装置。利用龙门刨床的工作台，我们只需设置一个借助直线驱动装置来回运动的拉拔滑座，可以进行间歇的不连续的运动。该拉拔装置的工序是：

1. 在用拉拔夹具固定好铜管后，建立一种在待拉拔的铜管与拉拔滑座之间的传递拉拔力的连接；
2. 在直线驱动装置的驱动下，使拉拔滑座在拉出方向上可以从初始位置移动到终点位置；
3. 在拉拔出铜管后，需要松开将铜管与拉拔滑座之间的传递拉拔力；
4. 在拉拔出铜管后需要将拉拔滑座反方向退回到初始位置（U型管的拉拔位置）；
5. 重复进行上述拉拔工序；

用直线驱动装置驱动拉拔滑座可实现多拉拔操作，同时也可达到至少一米以上的行程，滑座的行程可以根据不同拉拔材料的最大长度改变。直线驱动装置还具有较高的动力特性，能够在短时间内达到最高拉拔速度。换热器铜管在拉拔出来后，拉拔滑座停止运动，然后夹具把铜管松开倒入下面的收集箱中。这种拉拔装置采用简单的机械结构，不仅提高了设备的可靠性、可用性，而且还容易维护。

4.5.2 直线驱动装置

电机的选择, 确定同步转速为 1000r/min, 通过实验得出最大拉力 $F=6000N$, 设工作速度 $v=0.1m/s$, 电机的有效功率

$p_w = Fv/1000 = 60000 \times 0.1/1000 = 6kw$, 电机所需功率为为传动装置的总效率, 查表可得 $\eta=0.97 \times 0.45 \times 0.99=0.432$, $p_d = p_w/\eta=13.88kw$ 。查表可得, 选用 Y160L-6 系列的电机。

4.6 装置控制

4.6.1 装置控制总体设计

4.6.1.1 机械设计

数控机床是由硬件电路和机械部分组成。硬件电路负责机床的驱动、各部分之间信息的传递以及系统的保护等。本装置主要是对换热器子块切割、辊轧、拉拔整个过程的控制。运动执行方式有两种:一种是采用伺服电机或者步进电机和滚珠丝杠作为运动执行部件, 刀架控制与辊轧结构采用此方式;第二种是通过直线电机直接带动工作台运动, 拉拔过程采用此方式。

为了实现较高的控制精度, 采用变频器、电机、光栅尺构成全闭环控制系统。同时为了提高生产率, 数控机床具有工件自动夹紧、机械手自动换刀、断刀检测、通信检测自动建立通信连接以及刀位检测等多种功能, 实现机床监控的自动化。

将手动调节刀架变成由步进电动机驱动的数控刀架, Z 步进电动机控制刀架在垂直方向的移动, X 步进电动机控制刀架在水平方向的移动。在滑台底座靠近滑块的部位安装三个接近开关, 在滑块上固定一个与三个接近开关平行又在运动过程中与三个开关都能接近的滑块位置标志块(铁块), 两者共同用于滑块运动方向和位置的检测。另外, 在滑台上安装一个简易的对刀装置。

4.6.1.2 控制原理

该数控系统采用 PCI 总线、主频为 100MHz 的 ICPu 工业控制机作主机, 具有标准 16 位数据总线和扩展功能灵活的插板式结构, 可根据系统要求, 进行结构最优化配置, 如图 4-11 所示。该数控系统利用 IO/TIMER(并行输入输出/定时器)接口板上的 8255A 来控制两个步进电动机的运动, 接收滑台回程

和位置传感器信号、刀架限位开关信号、功能选择开关信号, 接口板上的 8253 定时器用于步进电动机中断运行服务程序, 时钟频率为 2MHz。

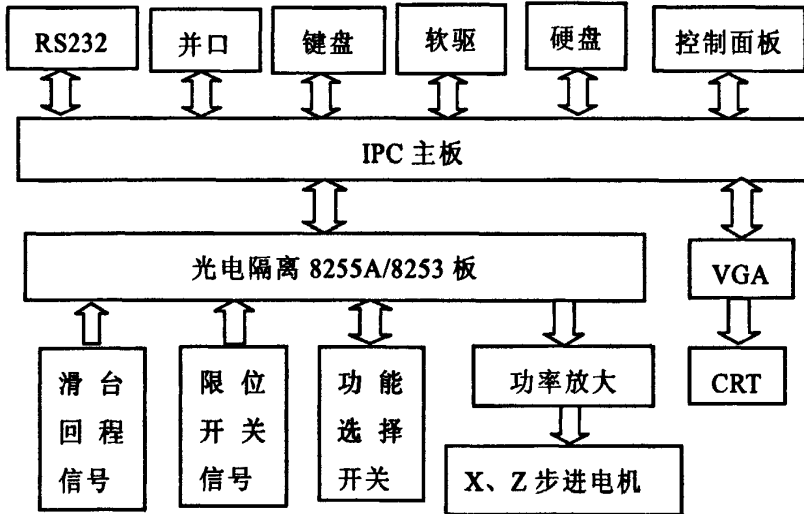


图 4-10 CNC 系统硬件结构

Fig. 4-10 CNC system hardware structure

4.6.2 运行控制

该 CNC 系统的运行主要包括以下方式: 自动运行、快速空运行、手动运行和点动运行。图 4-11 为控制的流程图。

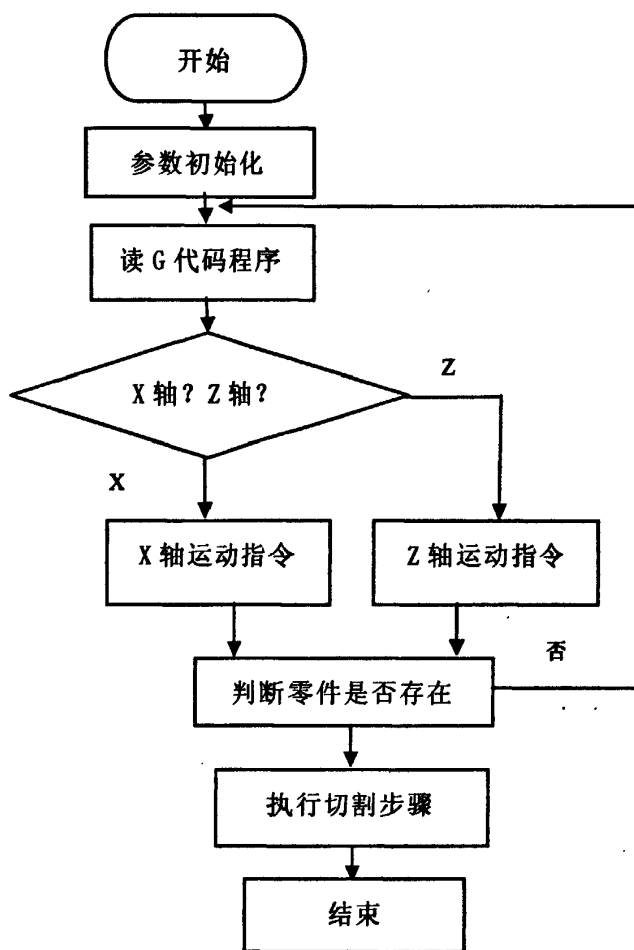


图 4-11 切割控制流程图

Fig.4-11 Control of Cutting flow

自动运行是 CNC 系统运行控制的核心部分，它按加工程序运行。如果正在执行的加工语句的最后一条指令是 M32，则刀具根据滑台的往复运动信号作间歇进给运动；如果是 M33，则作连续移动，滑台的往复运动信号对它不起作用，即作快速空运行。加工中如果滑台停止往复运动，则刀具的进给运动也停止，这一功能可以使工人沿用刨床的操作习惯，通过控制滑台往复运动的启停控制刀架进给运动的启停。

自动运行程序由前台和后台两部分组成，后台程序完成并行口 8255A 和定时器 8253 的初始化、指令译码、控制中断服务程序的执行频率(速度调节)、

暂停、单段和启动控制、加工轨迹动态跟踪显示和坐标翻转显示；前台程序是中断服务程序，它主要完成插补运算、步进电动机运转控制、升降速控制、接受滑台往返和位置传感器的信号。刀具的间歇进给运动是在滑台的返程过程中完成的。滑台一次往返刀具的进给量，可以通过功能键进行设定或修改，最小值为二个脉冲当量。自动运行程序的另外一个功能是在按下“连续”功能键时，刀具的间歇进给可以变成连续进给；该功能键抬起时，刀具又可恢复间歇进给。切割铝片属于粗加工，由于加工余量的不均匀，有的地方可能会作空进给，采用此功能可以快速跃过此处，大大提高加工效率。

快速空运行也是按照加工程序控制刀具运动的，但它是作连续运行。通过它可以检查刀具和工件毛坯的相对位置关系，从而确定初次加工的刀具高度位置。快速空运行程序也是由前、后台两部分组成，其结构和自动运行程序的结构类似，只是中断服务程序不受滑台往返运动的控制。

在选择开关处于自动运行状态下，点动功能只能在滑台的返程中起作用，刀具连续移动最大位移量可以设定。该功能为加工过程中的刀具位置调整带来了方便。如在吃刀太深时，可在不停止加工的情况下提刀。根据选择，手动运行也可受滑台往返运动的控制，作间歇运动。手动功能可以用于平面加工，而且不用编程，这种方式为平面加工带来了方便。

在本装置中安装固定与拆卸换热器子块均采用手动方式，因此控制方面多刀片切割控制以及辊轧装置控制采用自动控制，拉拔分离过程采用半自动控制。

4.7 本章小结

本章主要介绍了一种空调换热器铜铝分离的破拆装置，为了节约成本，我们使用龙门结构进行改装，主要针对固定卡紧装置、刀架运动控制，刀具的选择、辊轧装置、拉拔分离装置以及相应的控制系统进行了改装设计。

结 论

面对废弃量越来越大的废旧空调等家电市场，各个家电生产商、高校及政府部门都在研究其回收处理工艺。本文在研究了国内外废旧空调回收处理体系和工艺流程的基础上，分析了我国废旧空调回收处理的现状与空调换热器的种类及结构，提出了批量回收处理换热器的机械物理法，以及适合我国国情的装置设计。论文中主要介绍了以下两种方案进行讨论：

1) 冷热拉拔破拆法：通过热膨胀的理论分析和 ANSYS 的仿真结果可知该方法可行，但是在从实验测试结果来看，由于铜管的厚度小，无法承受很大的拉拔力，在拉拔的过程中容易断裂而无法分离铜铝。必须采用液氮骤冷的方式，但是这样成本太高，不符合我国现在的国情。2) 多刀片辊刀切割破拆法：将换热器沿每个铜管的轴向方向逐个切割上下面的铝翅片，直到和铜管连接的位置，然后再用一定的装置把换热器从下面辊起成一定弧度，这样切割后的裂缝加大，从而破坏了胀管应力，然后再拉拔铜管，实现铜管和铝翅片的分离。该方法包括预处理、切割、辊轧、拉拔分选等工序。

我国废旧家电的回收处理起步较晚，回收体系不健全，回收处理工艺技术水平不是很高，对废旧空调换热器的回收还未形成合理的模式。本文针对空调换热器的铜铝分离的回收处理工艺以及装置的研究，尚存在一些问题需要进一步研究，主要是对装置的优化设计。因为成本问题，本文中提出的装置设计主要是对废弃的机床进行改装，属于半自动化。当正式生产该装置的时候需要对整个流程进一步优化，使其自动化。

致 谢

回顾三年以来的硕士学习和科研工作，我在学业、科研和生活上得到了众多老师、同学和朋友们的热心帮助和有力支持。在此，我要向他们表示我诚挚的谢意！

本文从选题、修改、定稿无不倾注着导师马德毅老师辛勤的汗水和心血，研究工作更是在导师悉心指导和亲切关怀下完成。在三年的研究生学习生涯中，马老师以严谨的治学态度，精益求精的工作作风、乐观的生活态度深深地感染着我，他以独到的思维方式、精益求精的工作态度以及丰富的专业知识深深地影响着我、激励着我，使我受益匪浅。在此，谨向导师表示最衷心的感谢和最诚挚的敬意！

感谢我亲爱的父母，感谢他们在我求学路上对我的无私奉献，他们的支持、理解、包容使我得以顺利完成学业。父母的恩情千言万语难以表达，唯有今后努力工作给予回报。

最后，向关心和帮助过我的领导、同学和朋友表示由衷的谢意！衷心感谢在百忙之中评阅论文各位专家、教授！

参考文献

- [1] 黄远湘. 我国电子垃圾现状与对策[J]. 湖南学院学报, 2008, 29(5): 57~59
- [2] 刘志峰, 周后贵, 宋守许, 王淑旺. 废旧家用空调器的回收及关键技术研究[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(1): 12~15
- [3] GWMR. Waste electrical and electronic equipment (WEEE): Innovating novel recovery and recycling technologies in Japan[R]. G. W. M. Report, 2005: 36~56
- [4] 毛玉如. 电子废弃物现状与回收处理探讨[J]. 再生资源研究, 2004, (2): 11~14
- [5] Wen Xuefeng. An agenda to move forward E-waste recycling and challenges in China [J]. IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006, (5): 315~320
- [6] 有关电子电气设备排放废物的指导法. 2002/Ec, 欧洲理事会和议会采用该法令 [J]. L37. 13. 02. 2003. P
- [7] <http://.wwwsx.xihnunaet.eomq/yzx/2004-03/31/contentes1883501.htm>
- [8] 张友良, 田晖. 国外废家电回收利用现状及进展[J]. 废旧家电处置, 1999, 6(27): 27~28
- [9] 文姬. 欧美国家废旧电器回收立法现状及经验[J]. 电器制造商, 2002, (5): 24~25
- [10] 李辉. 废旧冰箱回收处理系统及回收经济性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007: 27~55
- [11] 赵先美. 家用电冰箱、空调器可回收技术及设计[J]. 制冷, 2003, 22(3): 31~35
- [12] 戚云峰. 报废电器的物理分离回收研究[D]. 中南大学, 2005: 35~37
- [13] 李丽, 刘玉强, 王琪. 全国废旧电子电器回收处理对策研究[J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 119~124
- [14] 聂永丰, 牛冬杰. 我国废旧家电器的回收利用现状及对策分析[J]. 家用电器科技, 1999(6): 23~25
- [15] 金庆太. 换热器管板和管子橡胶胀管技术及其应用[J]. 化工设备设计, 1990, 27(3): 44~50
- [16] 李永萍. 浅谈废旧电子产品的环境管理与回收利用[J]. 太原科技, 2004, (2): 18~23
- [17] 邱定蕃, 王成彦, 江培海. 中国再生有色金属工业的现状与发展趋势[J]. 有色金属, 2001, 53(2): 35~38

-
- [18] 武云亮. 我国废旧家用电器回收利用初探[J]. 中国资源综合利用, 2002(1):9~13
- [19] S. M. Gupta, C. R. M. clean, Disassembly of Products. Comput. Ind. Eng. 1996 (31)225~228
- [20] A. Gungor, S. M. Gupta, Issue in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, Comput. Ind. Eng, 1999 (36):811~853
- [21] K. Feldman. S. Trautner, O. Meedt, Innovative disassembly strategies based on flexible Partial destructive tools, Annu. Rev. Cont, 1999 (23)159~164
- [22] B. Kopacek. P. Kopacek. Intelligent disassembly of electronic equipment Annu. Rev. Cont, 1999 , (23):165~170
- [23] B. Scholz-Reiter, H. Scharke, A. Hucht. Flexible robot-based disassembly cell for obsolete TV- sets and monitors, Robot. Cim-Int. Manuf, 1999, 2(15): 47~55
- [24] 李兆坚, 江亿. 我国房间空调器材料资源消耗状况分析[J]. 暖通空调 HV&AC, 2007, 37(3):25~30
- [25] 杨洁. 家用空调铝箔产品及市场分析[J]. 电器供应商情, 2005, 1:6~7
- [26] 陈颖, 邓先和, 王杨君. 房间空调器中换热器的研究概况及进展[J]. 制冷学报 2002, (4):34~39
- [27] 周莉, 制冷空调用空冷换热器的研究现状[J]. 山西建筑, 2009, 35(10):185~186
- [28] 李海昌, 李廷桩, 杜建, 王泰宇. 家用空调热交换器的发展[J]. 技术专题, 2004, (6):11~18
- [29] 尾花英明. 热交换器设计手册[M]. 北京:石油工业出版社, 1982:123~165
- [30] 段松屏, 伍青山. 翅片管各种加工工艺的分析[J]. 水利电力机械, 1999, (6):30~33
- [31] 宋鸣, 李有堂. 套片式翅片管的热套工艺[J]. 化工机械, 2007, 34(3):159~161
- [32] 童民驹. 民用空调热交换器的加工工艺与性能改善[B]. 制冷空调与电力机械, 2001, (22):39~43
- [33] 王昕, 何桢. 持续质量改进在空调热交换器生产车间的应用[A]. 2007, 10(3):95~98
- [34] Jawad MH, C]at' kin EJ. Schuessler R. E. Evaluationfle of tube-to-tube sheet junctions. Trans of ASMEI [J]. Of Pressme Vessel Technology, 1987, 109(2): 19~26
- [35] Scott D A. Woigemuth CA. Aikin JA. Hydraulictly expanded tube to tube sheet
-

- joints, *Trans. Of ASME*[J]. *Of Pressure Vessel Technology*, 1984, 106(2): 104~109
- [36] 曲孟盛. 厚壁管与管板的爆炸胀接[J]. *石油化工设备*, 1987, 16(2): 43~47
- [37] 毕耀. 空调制冷换热器超大型胀管机[J]. *机械设计与制造*, 2000, (5): 71~72
- [38] 徐鸿. 包括热载荷在内的胀管接头加载的弹塑性分析[J]. *压力容器*, 1985, 2(1): 29~35
- [39] 徐鸿. 胀管接头弹塑性分析在换热器上的应用[J]. *压力容器*, 1986, 3(5): 39~45
- [40] 汪建华, 陆皓. 胀管接头的弹塑性有限元分析及其应用[J]. *压力容器*, 1994, 2(2): 32~36
- [41] 赵先美. 家用电冰箱、空调器可回收技术及设计 [J]. *制冷*, 2003, 22(3): 45~47
- [42] 赵先美, 张健雄, 赵士滨. 废旧家用电器回收再利用技术研究[J]. *环境科学与技术*, 2006, 29(8): 62~64
- [43] 刘志峰, 周后贵, 宋守许, 王淑旺. 废旧家用空调器的回收及关键技术研究[J]. *中国资源综合利用*, 2006, 24(1): 12~15
- [44] 唐连荣. 换热器铜铝分离装置: 中国, ZL 200520005021. 9[P], 20050802
- [45] 尹凤福. 王海龙等. 换热器铜铝分离装置[P]. 中国专利: CN201127946Y, 2008108
- [46] 尹凤福. 王海龙等. 换热器铜铝分离装置[P]. 中国专利: CN101450348A, 20090610
- [47] 潘小勇, 姚国红, 郅慧, 刘勇. 废旧空调换热器铜铝分离设备: 中国: CN101695771A[P]. 20100421
- [48] 潘晓勇, 郅慧, 薛松. 废旧空调换热器回收处理技术研究[J]. *工业安全与环保*, 2010, 36(9): 48~49
- [49] 黄娇红. 废旧空调关键部件回收技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010: 34~45
- [50] 阎利. 废旧电器再生利用技术管理研究[D]. 天津: 天津大学, 2006: 12~24
- [51] 李辉. 废旧冰箱回收处理系统及回收经济性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007: 45~56
- [52] 吴峰. 国外电子废弃物的环境管理技术初探[J]. *环境管理*, 2001(3): 24~26
- [53] 姜宾延. 吴彩斌. 电子垃圾的危害及其机械处理技术现状[J]. *再生资源研究*, 2005, 4(3): 23~26
- [54] 金属材料热膨胀特征参数的测定. 中华人民共和国国家标准(GB/T4339-1999), 国家质量技术监督局发布, 2000-08-01 实施
- [55] 罗哉, 费业泰. 基于受热和受力状态的孔型零件变形研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2006, 1(138): 1586~1589

-
- [56] 商跃进. 有限元原理与 ANSYS 应用指南[M]. 清华大学出版社, 2005:179~217.
- [57] 宋 鸣, 李有堂. 套片式翅片管的热套工艺[J]. 化工机械, 2007, 34(3):159~161
- [58] 孟少农. 机械加工工艺手册[M]. 北京机械工业出版社, 1991, (2):12~57
- [59] SMS 米尔股份有限公司. 拉拔装置及其运行方法[P]. CN1593802, 20050316
- [60] 周彬彬. 废旧家电回收处理体系及相关技术研究[D]. 北京:北京工业大学, 2007:34~43
- [61] M.S. Sodhi, B. Reimer. Models for recycling electronics end-of-life products [J]. OR Spektrum, 2001, (23):97~115
- [62] P. Gramatyka, R. Nowosielski, P. Sakiewicz et al. Recycling of waste electrical and electronic equipment[J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007, vol. 20: 535~538
- [63] E. Y. L. Sum. The review of electronics demanufacturing processes[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2006(47):195~208.
- [64] Shunli Zhang, Eric Forsberg. Mechanical recycling of electronics scrap the Current status and prospects[J]. Waste-Management & Research, 1998, 16(2):119~128
- [65] Scottish Environment Protect Agency. Guidance on the recovery and disposal of controlled substances contained in refrigerators and freezers, 2002, 4: 14~58
- [66] Jirang Cui, Eric Forssberg. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, (99):243~263
- [67] M. Botsh, R. Kohnlechner. Electrostatic separation and its industrial application for the processing of different mixtures of recycling materials[J]. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, vol. 5, Aachen, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 1997:297~306
-

攻读硕士学位期间发表的学术论文及研究成果

- [1] 朱志梅, 马德毅. 空调换热器铜铝分离技术的研究[J]. 资源再生, 2010, 10:40~42
 - [2] 朱志梅, 马德毅. 破拆回收空调换热器的研究及破拆机的设计[J]. 机械制造与自动化, 2011, 212(1):38~40
-