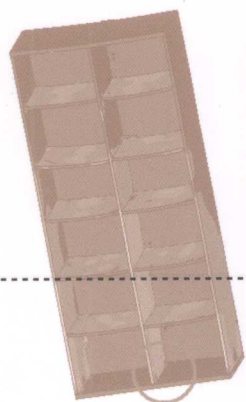
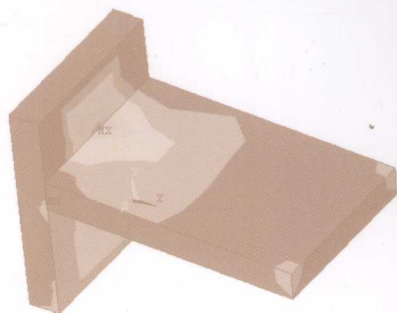
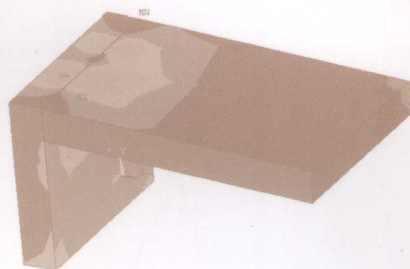


B ANSHI JIAJU
QIANGDU SHEJI

板式家具

强度设计

何风梅 编著

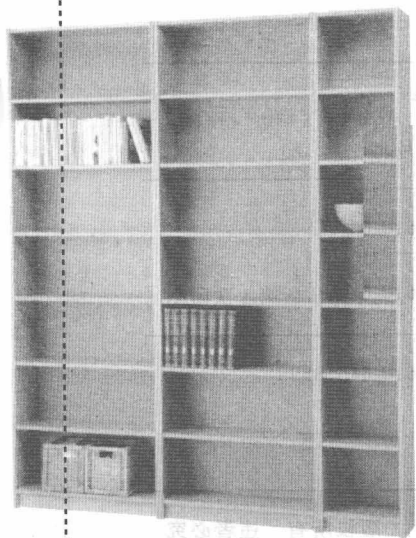
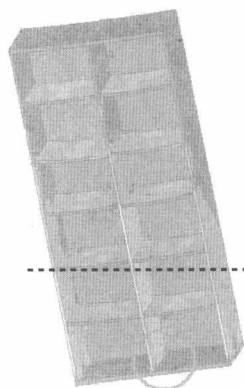
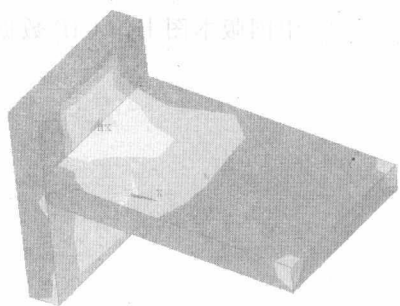
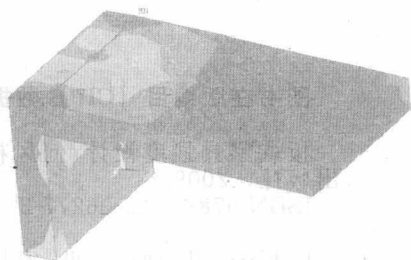


化学工业出版社

B ANSHI JIAJU
QIANGDU SHEJI

板式家具

强度设计



化学工业出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

板式家具强度设计/何风梅编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 9
ISBN 978-7-122-06277-2

I. 板… II. 何… III. 家具-强度-设计 IV. TS664.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 118442 号

责任编辑: 丁尚林 王晓云

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 周梦华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 13 1/4 字数 243 千字 2009 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

板式家具具有结构简单,易拆装、易运输,生产方式便于实现机械化、自动化、协作化等特点,能够大幅度降低成本,有效地减少木材消耗,有利于森林资源保护,因此板式家具逐渐成为家具市场上的主流产品。但是目前板式家具结构设计中一直采用经验设计和类比设计的方法,缺少深入分析和精确计算,结果一方面造成家具设计的安全性,即家具制品的强度和刚度满足不了设计要求,导致变形,甚至破坏,达不到设计年限,缩短了使用寿命;另一方面安全系数过大,没有最大限度地节省原料,造成资源浪费,所设计的制品粗大笨重,降低了艺术魅力。

近年来,随着计算机技术和数据处理技术的发展以及有限无理论和优化设计技术的广泛应用,研究者有了更多的家具结构设计的思路和方法。利用优化设计技术,借助计算机,应用精确度较高的力学分析中的数值计算方法,可以从众多可行的设计方案中寻找出最佳设计方案,这是一种有效而又具有实际意义的板式家具结构设计方法。

本书以板式家具结构强度研究为切入点,从板式家具材料、制品结构型式、零部件连接方法和连接位置等方面进行强度分析,对板式家具结构进行优化设计研究。通过深入分析和精确计算,以科学手段改变传统板式家具结构设计方法,避免类比或简化计算带来的设计误差,从而提高板式家具结构设计的科学性,提高制品使用性能,降低材料消耗,促进板式家具设计与生产更好、更快地向前发展。

近几年来,笔者开展了板式家具强度设计的系统研究,包括连接件的类型、连接件的长度、连接件的位置及榫直径大小对连接强度的影响。书柜的整体强度问题等。现将这些研究成果整理总结,编写成本书,旨在为科学合理的设计板式家具提供理论依据,改善板式家具结构设计手段,克服以往靠经验和模仿的设计状态,达到减少材料消耗,降低生产成本,使各零部件寿命匹配,提高经济效益的目的。希望可以进一步提高我国板式家具制造的总体水平与国际市场竞争力。

本书可供从事木材科学、家具设计制造和家具质量检验等专业的学生及本领域的科研人员、工程技术人员使用与参考。

书中如有疏漏不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 板式家具结构强度国内外研究进展	2
1.2 本书的主要目的、内容和创新点	6
第 2 章 板式家具结构强度设计	9
2.1 概述	10
2.1.1 板式家具设计流程	10
2.1.2 板式家具结构设计中的 32mm 系统	12
2.2 板式家具设计常用基材	16
2.2.1 刨花板	16
2.2.2 纤维板	18
2.2.3 胶合板	19
2.3 人造板的黏弹性	20
2.3.1 刨花板的黏弹性	20
2.3.2 定向刨花板的蠕变性能	22
2.3.3 纤维板的蠕变和回复	23
2.3.4 木质层合板的动力蠕变	25
2.4 人造板的抗拉和抗压强度	27
2.4.1 刨花板抗拉和抗压强度	27
2.4.2 纤维板的抗拉和抗压强度	31
2.4.3 胶合板抗拉和抗压性能	33
2.5 人造板的抗剪强度	35
2.5.1 刨花板抗剪强度	35
2.5.2 纤维板抗剪强度	36
2.5.3 胶合板抗剪强度	36
2.6 人造板弯曲	38
2.6.1 刨花板弯曲	38
2.6.2 纤维板弯曲	40

2.6.3	胶合板弯曲	42
2.7	空芯板力学性能	43
2.7.1	空芯板刚度	43
2.7.2	表板和芯层应力	44
2.7.3	平板受力	45
2.7.4	栅状空芯结构	50
2.8	传统板式家具结构强度设计方法	51
2.8.1	柜体变形分析	51
2.8.2	搁板变形计算	52
2.8.3	横撑变形计算	54
2.8.4	排架结构受力分析	54
2.9	本章小结	60

第3章 有限元理论在板式家具结构强度分析中的应用 63

3.1	有限元理论及其应用	64
3.1.1	有限元法的基本思想及典型分析步骤	64
3.1.2	有限元法的分类	67
3.1.3	结构分析中的有限单元法	68
3.1.4	有限元法的特点及应用	69
3.1.5	有限元计算模型的建立	69
3.1.6	缩小解题规模的常用措施	74
3.1.7	计算结果的后置处理	77
3.1.8	有限元离散模型的有效性确认	78
3.1.9	有限元法和算法软件的发展	80
3.2	ANSYS 软件在板式家具结构强度分析中的应用	81
3.2.1	ANSYS 软件简介	81
3.2.2	ANSYS 的组成	82
3.2.3	ANSYS 的特点	82
3.2.4	ANSYS 的典型分析过程	83
3.2.5	ANSYS 建模方法	85
3.2.6	划分网格	86
3.2.7	加载和求解	87
3.2.8	结果分析	87
3.2.9	利用 ANSYS 建立板式家具有限元模型	88
3.2.10	关于考虑板式家具制造材料蠕变情况的应力与变形计算问题	90

第4章 板式家具结构强度研究	93
4.1 板式家具角部连接强度设计	94
4.1.1 角部接合强度研究历程	94
4.1.2 板式家具角部连接方式	95
4.2 板式家具的角部接合型式及接合强度计算分析	97
4.2.1 板式家具角部接合形式	97
4.2.2 问题描述	97
4.2.3 有限元计算模型的构建	99
4.2.4 计算结果与分析	99
4.2.5 小结	104
4.2.6 实验对比	105
4.3 二合一及三合一连接件连接性能的计算与分析	105
4.3.1 模型参数	105
4.3.2 有限元计算模型的构建	107
4.3.3 计算结果与分析	107
4.3.4 小结	112
4.3.5 实验对比	112
4.4 圆榫直径对连接性能影响分析	112
4.4.1 圆榫连接简介	112
4.4.2 国内外研究现状	114
4.4.3 模型参数	116
4.4.4 有限元计算模型的构建	117
4.4.5 计算结果与分析	117
4.4.6 小结	123
4.5 本章小结	123
第5章 优化设计	125
5.1 概述	126
5.1.1 优化设计的发展	127
5.1.2 优化设计的目的	127
5.1.3 广义最优化方法的种类	128
5.2 优化设计的数学模型及解题步骤	128
5.2.1 优化设计的数学模型	128
5.2.2 最优化方法的解题步骤	130
5.3 直接搜索数值解法	131

5.3.1	进退法	132
5.3.2	黄金分割法	134
5.3.3	二次插值法	137
5.3.4	随机搜索法	139
5.4	利用 ANSYS 软件进行优化设计	141
5.4.1	ANSYS 优化设计过程	141
5.4.2	ANSYS 优化方法	143
5.4.3	ANSYS 优化工具	144
5.4.4	子问题近似方法	145
5.5	书柜搁板连接件位置优化设计	146
5.5.1	优化设计意义	146
5.5.2	问题描述	146
5.5.3	优化设计分析	146
5.5.4	计算结果及分析	147
5.6	连接件长度优化设计与分析	148
5.6.1	优化设计意义	148
5.6.2	问题描述	149
5.6.3	优化设计分析	149
5.6.4	计算结果及分析	149
5.7	本章小结	151
第 6 章	书柜强度分析	153
6.1	整体强度分析	154
6.1.1	问题描述	154
6.1.2	ANSYS 有限元模型的建立	154
6.1.3	计算结果及分析	156
6.2	搁板局部强度分析	170
6.3	搁板支撑件位置优化设计	174
6.4	本章小结	176
附录 1	搁板支撑件位置优化设计程序	179
附录 2	书柜尺寸图	181
附录 3	书柜整体强度分析程序	183
参考文献		207

第1章

绪 论

1.1 板式家具结构强度国内外研究进展

1.2 本书的主要目的、内容和创新点

木材供需矛盾一直是摆在我国广大木材科学工作者面前的重大问题。近年来,我国在木质复合材料研究和生产方面取得了很大进展,木质资源高效利用对缓解我国木材供需矛盾起到了重要作用,由此也推动了板式家具的兴起与发展,使之成为家具市场的主流产品^[1,2]。

板式家具是指以各种人造板(如细木工板、中密度纤维板、刨花板等)为基材,采用各种连接件接合的家具。板式家具具有结构简单,易拆装、易运输,生产方式便于实现机械化、自动化、协作化等特点,能够大幅度降低成本,有效地减少木材消耗,有利于森林资源保护。板式家具的兴起,给我国家具行业带来了一场巨大的变革,从根本上改变了家具制造业的设计和 production 模式,为家具设计师提供了更广阔的创造空间,同时也促进了家具标准化、工业化的发展,进一步满足了消费者对现代家具功能化、时尚化、多样化和个性化的需求^[3~7]。

理论上讲,板式家具的设计和生产,要求设计者准确掌握所用基材的物理、力学性能,了解零部件,特别是其连接处结构受力强度。然而,目前国内板式家具的设计和生产一直还沿用经验设计和类比设计的方法,家具结构设计缺少深入的受力分析和精确计算,结果往往造成两方面失误:一方面,家具使用的安全性,即家具制品的强度和刚度满足不了要求,制品经常产生变形、开裂,甚至破坏,达不到设计年限,缩短了使用寿命;另一方面,导致结构设计的安全系数过大,没有最大限度地节省原料,造成木材资源严重浪费,所设计制造的制品粗大笨重,反过来又降低了其艺术魅力^[8~11]。

由此可见,传统的板式家具结构设计方法与手段已经不能满足现代板式家具生产的要求,成为制约家具工业发展的瓶颈,迫切需要家具设计者开发研究出一种能够根据家具使用状况,对板式家具结构强度进行快速准确分析和精确计算的方法,帮助家具生产者科学地制定出包括零部件材料选用,零部件尺寸大小确定、零部件连接方式与连接位置确定等在内的一系列优化设计方案,使板式家具设计更加科学化^[12~14]。

1.1 板式家具结构强度国内外研究进展

(1) 国外研究进展

关于家具结构强度的研究国外进行得较早。20世纪50年代他们逐步开展了对刨花板及其制品接合性能方面的研究。

1975年 Bachmann 和 Hassler 进行实验后得出,当金属预埋件直径为 11.5mm,埋入刨花板 11mm 时,对于密度为 0.687g/cm^3 的刨花板,抗拔力

为 600N, 对另外一种密度为 0.689g/cm^3 的刨花板, 抗拔力为 1009N, 由此可以看出: 刨花板密度对抗拔力有重要影响。他们对直径为 12.5mm 的金属预埋件进行实验, 得出结论是: 直径对预埋件的抗拔力影响不大。但埋入深度从 11mm 增加到 13mm 时, 得到的抗拔力几乎增长 30%。因此, 他们得出这样的结论: 预埋件埋入深度对抗拔力的影响大于直径对抗拔力的影响。最后还指出: 涂胶后压入的塑料预埋件具有较高的抗拔力^[15]。

Eckelman 将长度为 12.7mm 的两种直径预埋件, 在中密度纤维板试件中, 进行平均抗拔力研究, 直径为 9.5mm 的预埋件的抗拔力是 1810N, 而直径为 12mm 的预埋件的抗拔力是 1864N, 两种规格预埋件抗拔力差别不大^[16]。

Murakoshi 技术资料指出, 直径为 12mm 的金属预埋件埋在刨花板中, 当埋入深度由 13mm 增加到 20mm 时, 抗拔力平均从 823N 增加到 1372N。探讨导孔直径对抗拔力的影响, 得到的结论是: 当导孔直径略大于预埋件根径时, 即可获得最大的抗拔力。实验发现, 预埋件在构件中的部位对抗拔力也有很大影响, 预埋件的位置靠近试件端部, “L”型接合比远离试件端部即 “T”型接合的抗拔力小 25%^[17~19]。

1987 年 Allim 等人对单板贴面和浸渍纸贴面的人造板在十三种不同接合方式下的接合强度作了研究, 对角接合性能用角位移变形与施加力矩之间的关系进行了说明^[18]。

20 世纪 50 年代后期, Kotas 对五面箱体的接合强度进行了研究, 后来他根据自己的研究成果撰写了一本家具手册^[20,21]。

美国 Purdue University 的 Eckelman 教授对板式部件的接合强度及家具的整体结构作了许多研究, 提出了板件的刚度与各种形式角接合变形的关系^[22~24]。Ganowicz 和 Rogozinski 把这种内部作用原理应用到柜类制品分析上, 而且 Ganowicz 还发展了这项研究, Hata 分析了背板和柜体深度对整体刚度的影响^[17]。经过深入研究, Eckelman 和 Resheidat 对柜体刚度进行了计算, 并提出柜体中各块板件, 每个角部作用力的计算公式, 所有这些有关柜体变形的研究都没涉及到带搁板和中搁板柜体的论述^[17]。后来 Eckelman 和 Rabiej 对带有横搁板和中搁板的柜体作了综合分析, 得出计算公式, 可用其计算三角固定一角自由条件下的柜体在受力时的变形^[18]。Albin 针对不同的角接合形式和载荷形式预测了家具横向承载部件的变形。Eckelman 等通过大量实验, 得出了描述柜类家具加载及变形的经验公式^[17,18]。

Smardzewski 等研究了背板对柜体家具稳定性的影响^[25]。

美国密西西比州立大学的 Jilei Zhang 对榫接合结构的胶合板和定向刨花板的侧向握钉强度作了研究。实验表明: 榫接合结构的胶合板和定向刨花板的

侧向剪切强度对像沙发等一样的几种框架式应用是足够的,在定向刨花板和南部杉木胶合板中榫接合的侧向平的剪切强度在 250~350 磅/榫之间变化,阔叶树材胶合板的强度略高于针叶树材胶合板的强度;同样,定向刨花板和南部杉木胶合板中榫接合的侧向边缘握钉强度在 300~500 磅/榫之间变化;而道格拉斯冷杉胶合板和阔叶树材胶合板的侧向边缘握钉强度在 500~700 磅/榫之间变化^[26~28]。

2005 年美国学者 Ali N. Tankut 对角部接合榫间距对连接强度的影响做了研究,对刨花板角部连接和中密度纤维板角部连接在压缩载荷和拉伸载荷作用下进行了实验,在《32mm 系统柜类结构角部接合榫间距的优化》一文中指出:当榫间距离至少达到 96mm 时,每个榫可以获得最大的承载力矩;当榫间距离为 32mm 或 64mm 时,由于相邻榫作用重叠的影响导致每个榫的最大承载能力下降;当榫间距离超过 96mm 时,刨花板和中密度纤维板中榫的承载能力都没有增强。同时实验数据统计分析表明:拉伸连接载荷和压缩连接载荷有很大的不同。实验还表明:榫的弯曲承载能力,随材质类型、载荷类型、榫的数量以及榫的间距不同有很大差别;在所有的拉伸和压缩应力实验中,中密度纤维板的角部连接强度要高于刨花板的角部连接强度^[29~31]。

2006 年美国学者 Nurgul Tankut 研究了不同的连接件连接的可拆装式柜类结构的角部接合强度,实验表明:刨花板和中密度纤维板的可拆装式连接强度有很大的差别,在拉伸和压缩实验中,中密度纤维板的角接合连接强度比刨花板的角接合连接强度平均要高出 22% (这与美国学者 Ali N. Tankut 的研究结果是一致的)^[32]。

2006 年 Tsair-Bor Yen 和 Hans R. Zuuring 对用单一木片连接的刨花板基材和松木板基材的抗弯力矩的比较进行分析研究,实验结果显示:两种连接基材中试件抵抗弯曲力矩的能力均与连接木片的表面积成正比。松木板中木片连接抵抗压缩应力的平均应力水平比抵抗拉伸应力的平均应力水平高出 21%,而在刨花板中木片连接抗压缩应力和拉伸应力的平均应力水平没有明显的差别。实验中,松木板基材连接组在抵抗弯曲应力方面较刨花板基材连接组表现出了很大的不同性能,在所有的实验木片连接中(松木板基材和刨花板基材),基材都是连接中最弱的部分,破坏都发生在基材上^[33]。

综上所述,世界各国科学家对板式家具零部件接合方法与接合强度影响因素进行了多方面研究与探讨,得出了许多重要结论,由此制定了家具力学性能指标,建立了测试规范^[34,35]。

(2) 国内研究进展

20 世纪 70 年代末期我国开始对板式家具进行研究。北京木材工业研究所

的马耀驭先生、文玉旺先生等先后于1979年和1982年对涨开式、倒刺式、偏心式、圆柱螺母等8种连接件的接合性能,通过四项衡量五金件的力学性能指标对比(连接件的拔出比重、拔出比阻、破坏弯矩和连接件刚性效率)研究后指出:圆柱螺母、塞孔螺母最好;偏心式、直角式居其次;其余各种较差,而且垂直板面的握钉力比板边高一倍左右,同时在导孔内施胶比无胶时的抗拔力也要高出一倍以上,金属材料制成的连接件的力学性能优于尼龙等高分子材料制成的连接件^[36]。

东北林业大学的王逢瑚教授、蔡力平教授通过对板式家具熔化喷射式角接合强度的研究表明:熔化喷射斜接的强度和刚度比熔化喷射端接高出许多,而熔化喷射式角接合的强度比常规的圆榫角部接合高更多,用熔化喷射斜接的柜体在载荷作用下的位移比常规的圆榫接合的柜体减少15%~40%,柜体横向部件的挠度能减少30%~40%^[37~39]。

东北林业大学的蔡力平教授、余松宝教授、吉林省露水河林业局的郭希强先生等在《板式家具结构强度分析》一文中指出:辅以施胶时,偏心连接件的角部接合强度大于圆榫的角部接合强度^[40]。

东北林业大学的王逢瑚教授等在板式家具熔化喷射式角部接合强度的研究的基础上,预测了柜体家具加载时的变形情况^[4,37]。

2002年司传领对板式家具的角部接合性能进行了研究,通过对各种常见的角部接合试件的挠度(位移)-载荷值进行实验测定,然后利用线形回归和材料力学等知识计算出各种角部接合的强度值和模拟抗弯刚度值(EI),并从各个方面分别对它们进行了比较、分析。结果表明:板式家具角部接合的接口形式(圆榫、胶接合、各种五金连接件等)、连接方式(T型、L型等)、基材(中密度纤维板、刨花板等)等各个因子都不同程度地影响着角部接合的整体性能^[41]。

2006年崔戊娟对板式家具偏心连接件的接合性能进行了研究,对预埋螺母抗拔强度力学特性、直接拧入式螺杆抗拔强度力学特性、T型与L型接合点力学特性以及偏心连接件的改进设计等方面进行了研究,指出直接拧入式螺杆的极限抗拔力比尼龙预埋螺母的极限抗拔力高,刨花板、中密度纤维板、竹集成材三种基材分别高出:21.3%、39.1%、36.3%;在偏心体安装孔距相同的条件下,二合一偏心连接件的破坏弯矩和刚性效率明显优于三合一偏心连接件,T型接合的破坏弯矩、刚性效率要比L型大^[42]。

(3) 研究中存在问题和发展趋势

尽管国内外学者对板式家具结构强度做了很多研究,但大都局限于对板式家具局部结构强度实验测算,对于连接件连接性能的研究也仅局限于对抗拔力

的实验测算。事实上,传统的家具结构设计方法只是被动地分析产品的性能,而不是主动设计产品的参数,没有真正体现出“设计”的含义。

近年来,随着计算机技术和数据处理技术的发展以及有限元理论和优化设计技术的广泛应用,使研究者有了更多的家具结构设计的思路和方法。利用优化设计技术,借助电子计算机,应用精确度较高的力学分析中的数值计算方法,可以从众多可行的设计方案中寻找出最佳设计方案,这是一种有效而又具有实际意义的板式家具结构设计方法。

1.2 本书的主要目的、内容和创新点

(1) 主要研究目的

① 研究板式家具的结构设计及应用,目的在于减少材料消耗,降低生产成本,提高经济效益。

② 研究板式家具的设计用材,在满足家具使用功能和美观时尚的前提下尽可能选出经济实用的人造板材料,提高经济效益。

③ 研究不同的连接结构、连接方法、不同的连接位置对板式家具强度的影响,提高家具的接合性能。

④ 延长家具的目标使用寿命,使各零部件寿命匹配。

⑤ 改善板式家具结构设计手段,克服以往靠经验和模仿的设计状态。

(2) 主要内容

① 板式家具材料优化设计:材料的合理选择与计算。

② 板式家具结构型式优化设计:确定合理的加工形状与尺寸。

③ 板式家具接合强度设计:对板式家具接合方法进行设计,分析典型连接件、接合形式对板式家具接合强度的影响。

④ 总结分析板式家具结构设计要点,为板式家具设计提供理论依据,确定好局部与整体构造的相互关系。

研究路线如图 1-1 所示。

(3) 创新点

① 将 ANSYS 有限元计算软件及优化设计技术引入到板式家具设计中来,对板式家具结构进行深入分析和精确计算,以提高板式家具结构设计手段,改善以往靠经验和模仿的设计状态,提高板式家具结构设计的合理性和科学性。

② 在满足家具使用功能和美观时尚的前提下,对板式家具制作材料进行优化设计,通过计算对比分析选出更实用、更经济的材料,合理减少材料消耗,为板式家具的设计选材提供理论依据。

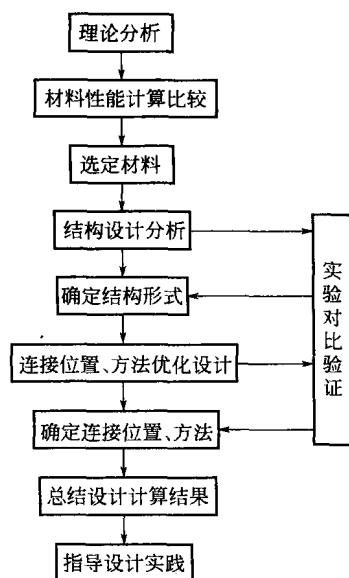


图 1-1 研究路线图

③ 对选定材料的不同连接结构、连接方法、连接位置进行优化设计，充分发挥材料性能，提高家具强度，保证家具质量，降低成本，提高经济效益。

④ 设计生产模式先进。可将家具设计制图和强度分析接合在一起，零部件结构一旦确定可以立刻分析出各部分应力情况，打破传统的设计生产模式，提高板式家具设计可靠性，有利于家具集成制造系统的开发使用。

