

Z427/1033(2009)-(25)



NUAA2010055223

Z427
1033 (2009) - (25)

机电学院

051~052



2010055223

(25)

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
1	王莉 陈炳发	硕士生 教 授	051	儿童产品世界的设计因素研究	人类工效学	2009. 15 (4)
2	孙存亮 陈炳发	硕士生 讲 师	051	一种空间曲面上散乱数据的快速三角剖分新算法	机电一体化	2009. 15 (6)
3	卢敏	讲 师	051	锥形复合材料构件的铺丝路径规划与丝数求解	宇航材料工艺	2009. 39 (6)
4	周瑾 徐龙祥	副教授 教 授	051	热镀锌带钢磁悬浮防抖动系统的研究	机械科学与技术	2009. 28 (11)
5	谢振宇	副教授	051	磁悬浮轴承金属橡胶环组合支承转子系统的动态性能	航空动力学报	2009.24(3)
6	谢振宇 张景亭 高 华 黄佩珍	副教授 硕士生 硕士生 教 授	051	带阻尼磁悬浮轴承转子系统的不平衡响应	中国机械工程	2009.20(3)
7	牟伟兴 谢振宇	硕士生 副教授	051	悬浮轴承柔性转子系统变参数控制	第三届中国磁悬浮轴承学术会议	2009
8	窦忠才 谢振宇	硕士生 副教授	051	带阻尼器磁悬浮轴承柔性转子系统动态性能的研究	第三届中国磁悬浮轴承学术会议	2009
9	高 华 谢振宇	硕士生 副教授	051	带阻尼器磁悬浮轴承转子系统的不平衡响应	机械制造与自动化	2009. 38(4)
10	薛红艳 罗 晔	博士生 硕士生	051	民俗文化在南京城市旅游建设中的创新应用初探	文学与艺术	2009.12
11	薛红艳 李 洋	博士生 硕士生	051	Preliminary Study to Ideas and Metheods of Modern Lamp from Design	E-Business, Creative Design, Manufacturing - CAID&CD' 2009	2009
12	薛红艳 罗 晔	博士生 硕士生	051	现代设计的民族精神之“呈现”——中国古代灯具再创造的思维与方法	2009年国际工业设计研讨会论文集	2009
13	薛红艳	博士生	051	中国古代枝状灯的文化内涵	装饰	2009.3
14	薛红艳	博士生	051	文化古城南京的当代艺术生态	今日美术	2009.1
15	薛红艳	博士生	051	融合转化的中国式画语——赵净油画评论	库艺术	2009.5(6)
16	倪进峰	讲 师	051	Pro/E在工程图学教学中的应用	机械管理开发	2009.24(5)
17	倪进峰	讲 师	051	ADAMS的陀螺仪建模及特性仿真分析	机械与电子	2009.1
18	王晓雷 刘伟 周飞 朱荻	教 授 硕士生 教 授 教 授	051	Preliminary investigation on the effect of dimple size on friction in line contacts	Tribology International	2009.42
19	沈聪 黄巍 马国亮 王晓雷	硕士生 博士生 硕士生 教授	051	A novel surface texture for magnetic fluid lubrication	Surface&Coatings Technology	2009.204
20	黄巍 王晓雷 马国亮 沈聪	博士后 教 授 硕士生 硕士生	051	Study on the Synthesis and Tribological Property of Fe304 Based Magnetic Fluids	Tribology Letters	2009.33
21	黄巍 沈聪 王晓雷	博士后 硕士生 教 授	051	Study on Static Supporting Capacity and Tibological Preformance of Ferrofluids	Tribology transactions	2009.52
22	袁明超 钱双庆 刘一静 王晓雷	博士后 博士生 硕士生 教授	051	利用表面组织提高活塞环/缸套摩擦性能的实验研究	机械科学与技术	2009. 28 (12)

23	刘一静 袁明超 王晓雷	硕士生 硕士生 教 授	051	表面组织对发动机活塞/缸套摩擦性能的影响	中国矿业大学学报	2009.38 (6)
24	李劲峰 王晓雷	硕士生 教 授	051	Surface Texture Effect for The Soft Material	Proceedings of the 2th European Conference on Tribology	2009
25	黄巍 沈聪 王晓雷	博士后 硕士生 教 授	051	磁性液体润滑特性研究	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
26	沈聪 黄巍 王晓雷	硕士生 博士后 教授	051	磁场作用下Fe304磁流体的润滑特性研究	2009年全国青年摩擦学学术会议论文	2009
27	徐扬 王晓雷	硕士生 教授	051	水润滑陶瓷材料研究现状及其展望	2009年全国青年摩擦学学术会议论文	2009
28	袁明超 刘一静 王晓雷	硕士生 硕士生 教 授	051	表面组织对活塞/缸套摩擦副摩擦学性能的影响	2009年全国青年摩擦学学术会议论文	2009
29	张博 王晓雷 马国亮 姜亮	硕士生 教 授 硕士生 硕士生	051	利用表面织构改善高分子量聚乙烯(UHMWPE)摩擦性能的研究	2009年全国青年摩擦学学术会议论文	2009
30	田海燕	硕士生	051	电泳-电沉积制备纳米Al2O3增强镍基复合镀层中纳米颗粒的分布状态	机械工程材料	2009.33(6)
31	田海燕	硕士生	051	电泳-电沉积制备纳米Al2O4颗粒增强镍基复合镀层的耐磨性	机械工程材料	2009.33(3)
32	陈旭玲	讲 师	051	Function Driven Redesign Method for Conceptual Design	Advances in Materials manufacturing Science and Technology	2009
33	陈旭玲	讲 师	051	基于专利分析的技术预测与创新研究	机械科学与技术	2009.28(5)
34	陈旭玲	讲 师	051	概念设计中功能驱动的消化吸收再创新研究	计算机集成制造系统	2009.15(10)
35	陈旭玲	讲 师	051	改进层次聚类算法在文献分析中的应用	数值计算与计算机应用	2009.30(4)
36	柳小勤 岳林 朱如鹏	博士生 教 授 教 授	051	一种实用的多电极神经信号胞外记录虚拟测试系统	生理学报	2009.6 (3)
37	陆俊华 朱如鹏 靳广虎	副教授 教 授 讲 师	051	行星传动动态均载特性分析	机械工程学报	2009.45 (5)
38	周海海 陈黎	讲 师 讲 师	051	Research of product indentity design based on from style and features	Proceedings of the 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design&Conceptual Design(CAID&CD2009)	2009
39	陈黎 朱如鹏 周海海	讲 师 教 授 讲 师	051	Application of Fuzzy ISODATA Clustering Method in Product Identity Planning	2009 IEEE 10th International Conference on CAID&CD2010	2009
40	赵威	副教授	051	Effect Mechanism of Nitorgen Gas on Chip Formation in High Speed Cutting of Ti6Al4V Alloy Based on FEM Simulation	Materials Science Forum	2009.626-627
41	陈卓 朱如鹏	硕士生 教 授	051	附件传动系统滚动轴承的疲劳定寿研究及其软件开发	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009

42	汪智慧 朱如鹏	硕士生 教授	051	航空滚动轴承载荷分布分析与研究	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
43	蔡黎明 朱如鹏	硕士生 教授	051	基于MATAB的滑动轴承油膜压力分析	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
44	侯寅 朱如鹏	硕士生 教授	051	基于赫兹接触应力分布的面齿轮弯曲应力分析	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
45	吴文光 朱如鹏	硕士生 教授	051	啮合斜齿轮固有特性分析	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
46	李磊 朱如鹏	硕士生 教授	051	压电陶瓷驱动型切向微动磨损试验机的设计	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
47	李政民卿 朱如鹏	讲 师 教 授	051	正交面齿轮齿形误差的测量和计算方法	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
48	吕少炯 朱如鹏	硕士生 教授	051	直齿轮轮齿变形的计算与比较	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
49	艾平贵 朱如鹏	硕士生 教授	051	直升机尾传动系统的扭转振动分析	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
50	王红香 朱如鹏	硕士生 教授	051	非正交面齿轮齿面方程及仿真	中国航空学会第十四届机械动力传输学术会议论文	2009
51	靳广虎 朱如鹏	讲 师 教 授	051	面齿轮传动齿面瞬时接触温度的分析	机械科学与技术	2009.28(3)
52	李政民卿 朱如鹏	讲 师 教 授	051	装配偏置误差对正交面齿轮传动接触特性的影响	航空学报	2009.30(7)
53	胡俊平 朱如鹏	硕士生 教授	051	<机床的选用与保养>课程教学资源库建设	无锡职业技术学院学报	2009.3(3)
54	王红香 朱如鹏	硕士生 教授	051	非正交面齿轮传动的固有特性分析	机械制造与自动化	2009.38(1)
55	周立峰 朱如鹏	硕士生 教授	051	基于ANSYS的直齿圆柱行星齿轮系统的模态分析	机械工程师	2009.28(1)
56	陈卓 朱如鹏	硕士生 教授	051	航空发动机渐开线花键强度分析	机械制造与自动化	2009.8(4)
57	侯寅 朱如鹏	硕士生 教授	051	面齿轮的齿面接触特性分析	机械制造与自动化	2009.38(3)
58	李政民卿 朱如鹏	讲 师 教 授	051	面齿轮三维几何建模的教学探讨	中国科技信息	2009.28(1)
59	蔡建军 朱如鹏	硕士生 教授	051	一种基于ZLG7289A的人机接口设计	无锡职业技术学院学报	2009.8(6)
60	鲍和云 朱如鹏 靳广虎	副教授 讲 师	051	间隙对两级星型齿轮传动动态特性的影响研究	机械科学与技术	2009.28(1)
61	李政民卿 朱如鹏	讲 师 教 授	051	面齿轮滚磨刀具基蜗杆研究	机械科学与技术	2009.28(1)
62	朱自冰 朱如鹏	博士生 教授	051	刚度对直升机尾传动系统弯曲振动固有频率影响的分析	航空动力学报	2009.24(1)
63	靳广虎 朱如鹏	讲 师 教 授	051	正交面齿轮传动系统的耦合振动分析	机械科学与技术	2009.28(1)
64	高 辉 徐龙祥	博士生 教授	051	基于LMS算法的磁悬浮轴承系统振动补偿	振动工程学报	2009.22(6)
65	崔东辉 徐龙祥	博士生 教授	051	基于自适应滤波的主动磁悬浮轴承位移传感器故障识别	南京航空航天大学学报	2009.41(3)
66	崔东辉 徐龙祥	博士生 教授	051	机械加工误差对主动磁悬浮轴承性能的影响	机械工程学报	2009.45(6)
67	金超武 徐龙祥	博士生 教授	051	磁悬浮轴承用位移传感器测量误差	南京航空航天大学学报	2009.41(5)
68	金超武 徐龙祥	博士生 教授	051	差动变压器式位移传感器及其在磁悬浮轴承中的应用	机械工程学报	2009.45(11)
69	王 军 徐龙祥	博士生 教授	051	软开关技术在磁悬浮轴承功率放大器中的应用	电工技术学报	2009.24(6)
70	王 军 徐龙祥	博士生 教授	051	磁悬浮轴承并联谐振直流环节开环功率放大器	中国电机工程学报	2009.29(12)
71	王 军 徐龙祥	博士生 教授	051	Analysis and Modeling of a Switching Power Amplifier for Magnetic Bearing	IEEE工业电子与应用国际会议	2009

72	王 军 徐龙祥	博士生 教 授	051	System Model of Three-level Switching Power Amplifier for Magnetic Bearing	检测技术与机电一体化国 际会议	2009
73	纪 历 徐龙祥	博士生 教 授	051	带钢磁悬浮防抖系统的研究	测控技术与仪器仪表	2009.(2)

文章编号:1006-8309(2009)04-0058-04

儿童产品界面的设计因素研究

王莉,陈炳发

(南京航空航天大学 机电学院,南京 210016)

摘要:本文以人机工程学、儿童心理学研究为基础,分析了儿童的生理和心理特点。结合具体实例,提出了儿童产品界面设计的功能、约束、形式和人机四方面因素以及六项设计原则。以指导儿童产品界面的合理设计,使界面更加舒适、趣味和友好,达到引导儿童正确操作使用产品和影响其身心健康发展的目的。

关键词:儿童产品;产品界面设计;设计因素

中图分类号:TB 18;TB 472

文献标识码:A

随着当代科学技术的迅猛发展,人类对其自身尤其是儿童的关怀日益倍增。据专家预测:随着接触信息的增加,儿童未来将要处理的信息是现在的 4 倍。微电子产品、信息产品的大量出现,儿童接触的产品类型越来越多,需要依靠脑力思维进行理解的操作也越来越多。

所谓界面,是指人与产品沟通交流的媒介,是人与产品之间互动方式的物化形象^[1]。产品界面的主要形式包括:传统的硬件界面,如儿童玩具、日用品的界面;数字产品(如手机、mp3 播放器)的使用操作界面;电脑软件界面,如操作系

统的界面;及网络网页界面。儿童使用产品的过程与成人有明显的差别,因此儿童产品的界面设计与成人的相比也有许多独特之处。儿童产品界面的设计须以儿童的生理和心理特点为基础,才能更贴近儿童的需求。

1 儿童的特点

1.1 生理特点

从生理方面来看,儿童时期是人一生中发展的最重要时期,身体处在不断生长和发展的过程之中。儿童生理特征变化涵盖面很广,常见的生理机能变化及设计策略如表 1 所示。

表 1 儿童生理机能变化及产品界面设计策略

生理部位	生理机能变化表现	设计策略
大脑	神经系统不完善,对外界刺激反应性强,适应能力差,抵抗力弱。兴奋和抑制转换较快但不稳定,注意力不易集中且不持久,容易受外界因素影响。	吸引其注意力并考虑维持时间的长短,避免使儿童过分兴奋和过分抑制。
身高	生长发育不断,总趋势:开始时生长很快,后来生长很慢,其中出现两次生长"高峰"。身体生长趋势:头部优先,上身居次,下肢靠后。	对不同成长阶段的儿童注意产品界面设计的适用性和针对性。
骨骼	骨骼成份中胶质较多,钙质较少,富有弹性,坚固性较成人较差,容易弯曲变形、脱臼。肌肉的支撑力相对弱些,容易出现脊柱变形等现象。	考虑儿童使用的姿势和体位,避免单调动作操作和长时间处于单一姿势。
肌肉	大肌肉的力量不断增强,小肌肉也有了发展。总体上儿童肌肉十分柔软娇嫩,含水分多,肌肉细长且柔嫩,极易受损伤,同时缺乏耐力,易于疲劳。	结合儿童大、小肌肉所能活动的力度和范围;避免产生疲劳。

儿童对触觉刺激、不同气味的嗅觉刺激和味觉的感受相当发达,但感觉器官较脆弱。儿童认知事物的方式主要包括视觉、触觉、听觉、嗅觉、

味觉等几种手段,其中视觉起了相当大的作用,也是儿童感知事物最直接的方式^[2]。儿童的感知特征及设计策略如表 2 所示。

作者简介:王 莉(1984 -),女,江苏泰州人,硕士研究生,研究方向:设计艺术学,(电子信箱)wlyvonne@163.

表 2 儿童的感知特点及产品界面设计策略

感知方面	特征表现	设计策略
视觉	形态 偏爱具有鲜艳明亮颜色和色彩鲜艳丰富的自然生物形态。	运用夸张、拟人风格的形态,增加感性色彩。
	色彩 喜爱艳丽明快的颜色,尤其是对比明显的颜色,如红、黄、绿色,较少喜欢黑、灰、棕色。	更多地使用明度高与纯度高的色彩。对不同性别、年龄的儿童色彩对比应有所调整。
触觉	儿童的皮肤较细嫩,表皮易脱,抵抗力差,皮肤易受感染。	采用柔软舒适的材质,安全、强度足够。
形状知觉	对周围环境中鲜明、活动、新颖的东西非常有兴趣,而忽略了主要的东西。具有图形知觉和直接感知空间关系的深度知觉和方位知觉。感知事物的水平处于较笼统模糊的阶段。	突出产品界面的重要部位,利用儿童能够辨别的图形和图画深浅、上下、前后、左右等简单关系归纳出产品界面的系统和顺序。

1.2 心理特点

儿童心理的发展变化,是一个由量变到质变的过程,他们具有一定的认知能力、意识倾向、兴趣爱好等心理品质。儿童的认知心理包括:思维、想象、注意力、学习、记忆等^[3]。

(1)思维特点:依靠自己的观察和经验来获知,通过别人的说明、举例等方式吸取不经亲身接触的新知识,开始懂得以抽象的观念推演逻辑,能从复杂的信息中分析其来龙去脉。但难于了解信仰、灵魂等很抽象的观念。设计建议:设计观念要具像,逻辑因果关系较简单。

(2)想象特点:内心世界丰富精彩,具备超乎常规的想象力。想象富有模仿性和再现性,主要以形象为特征。设计建议:表象要丰富,有引导想象的作用。

(3)注意力特点:注意力容易分散,稳定性较差。容易集中和稳定注意于一些具体的、活动的、鲜明的事物及操作性的工作,而对于抽象的造型、复杂的含义及单调刻板的对象,注意就容易分散。儿童注意的范围较成年人小,不善于分配和转移自己的注意。设计建议:避免让儿童同时知觉较多的对象,营造良好的集中分配氛围。

(4)学习特点:富于游戏性质的生活,渐转为入学后工作性质的生活,各种心理过程的有意和抽象概括性随之发展。设计建议:寓学于乐,体现一定的学习氛围。

2 儿童产品界面的设计因素

产品的界面设计须向儿童传递两种信息,一种是知识即理性的信息,如产品的功能、材料、结

构等;另一种是感性信息,如产品的造型、色彩、使用方式等。由于儿童的认知能力有限,感性更多于理性,在设计儿童产品的界面时,须从功能、约束、形式和人机因素方面着手,通过感性信息的优良传递指引儿童,帮助他们更好地使用产品和理解产品的理性信息。

2.1 功能因素

功能是产品的实质,界面的功能设计的目的是要让使用者明白功能操作,使得每一操作对人来说应是符合思维逻辑的;而对机械、电子来说则应是准确的、确定无疑的,这种双方的信息传递是功能界面的核心内涵。

儿童产品界面的功能设计应简洁、易用,并巧妙的对产品符号进行视觉化。因为简洁、单纯的东西让人一目了然、一看就懂,使用起来也方便。而视觉化的产品符号比较直观,方便操作,同时也可以引起儿童的联想,提高儿童的想象力和创造力。图 1 是最近 CES 大展中某公司推出的“儿童专用最原创和最时髦的移动电话 M01”,不仅造型可爱,用户界面设计更是精致:一共只有 6 个彩色按键和中央圆形的菜单开启按钮,功能齐全,简洁明了,形象化的视觉符号方便了儿童的认知和记忆。通过预先设置好的联系人进行呼叫,也可以直接一键快速呼叫父母双亲,是儿童产品界面设计方面的典范。

2.2 约束因素

对于儿童这样的受众群体,界面的操作结构设计需要通过一些约束,用儿童能够理解的方式和语言指导操作,并使界面的操作过程符合儿童

的行动特点,以减少或避免误操作^[4]。

表 3 与产品界面设计相关的约束

约束名称	相关概念	实例说明
物理结构约束	将可能的操作方法限定在一定的范围内。	软盘设计:将软盘(方形)插入电脑软驱有 8 种方法,但只有一种正确,通过对其物理结构添加约束条件,比如:软盘的长宽不等,确保用户不能从长的那方插入,软盘上小的突起、凹限和斜切口,限制了其他操作方法。
语义约束	利用某种情况的含义来限制可能的操作方法。	每一种产品、每一个按键、旋钮通过其结构、形状、颜色、材料、位置来象征自己的含义,组合起来表示自己的操作目的和准确的操作方法。例如一条缝隙表示"打开",圆形表示"转动",红色表示"危险"。
逻辑约束	应用了自然匹配原理的约束。	两个按钮控制两个指示灯,那么左边的按钮就应该控制左边的灯,右边的按钮控制右边的灯,如果灯的排列方式与按钮的排列方式不一样,自然匹配关系就被打乱了。

2.3 形式因素

儿童产品界面设计中的造型是人们关注最多的一方面,设计的本质和特性须通过一定的造型而得以明确化、具体化、实体化。儿童产品界面的造型设计通常较可爱,多为卡通、仿生造型。不采用尖锐的几何造型,少用直线,多用富有韵律的曲线造型。图 2 为儿童嘴用注射器的设计,淡蓝色的小鸭子是一个外形包裹,造型圆滑友好,颇具情趣的卡通外形消除了儿童的恐惧心理,给家长和孩子带来了信任感。

儿童产品界面的色彩设计,色相方面:年龄越小,越喜欢色彩光谱上接近红色一端的色彩;随着年龄的增大,则相对喜爱接近紫色一端的色彩。明度方面,儿童喜爱高明度的明亮色调。纯度方面,则相对偏爱高纯度的色调。由于儿童的感知和思维都比较具体,在使用产品时容易联想到具体事物,因此,个性化的色彩如果与个性化的造型结合在一起可以给孩子们带来更多的趣味,如图 3 所示的容声“爱宝贝”儿童冰箱。

儿童产品界面的材料选择要安全,轻便舒

适,适合其触觉的发展。材料的质感肌理要给儿童以良好的视觉美感和心理体验,还应有足够的强度满足儿童好奇心强、活泼好动的特点。

2.4 人机因素

儿童产品界面的人机因素有:产品界面的视觉传递信息,如屏幕、信号图表、符号标记等;听觉传递信息,如反馈声音、提示音等;以及操作控制方式。图 4 是一款专门为儿童设计的键盘,特点是大号的按键,合理必要的按键设置,以及四种鲜艳背景颜色的运用巧妙地划分了按键布局。这种对比强烈的色调适合儿童的视觉心理,不会造成儿童思维的混乱,达到了易识别易记忆的效果,展现了良好的产品界面的人性化交流和沟通。

此外,对于同年龄段的儿童,在设计类似产品的界面时,可考虑重用性的使用,包括形态语义、功能、图标符号等方面的重用。“重用”是一种拿来使用,指借用别的产品的相关相似部分,让人产生类似的联想和想象,方便儿童的学习、认知理解和操作使用。



图 1 儿童电话



图 2 儿童嘴用注射器

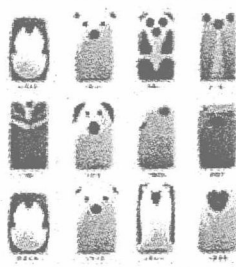


图 3 儿童冰箱



图 4 儿童电脑键盘

3 儿童产品界面设计的基本原则

儿童产品的界面设计是以儿童为设计对象并确定设计尺度的。其设计原则的概括分别从

儿童的生理和心理需求角度考虑,突出儿童产品应具备的基本特性,具体归纳如表 4。

表 4 儿童产品界面设计基本原则

基本原则	设计特点	产品界面设计实例及说明
生理角度	安全性 无伤害、无毒,允许误操作但尽量避免。	 儿童餐具——所有尖角部位都做了圆滑的处理。橄榄状手柄尾部弯翘成弓形,卡住手部,不易滑落。手柄部的材料是具有形状记忆功能的塑料,可以以最佳形态适合不同幼儿的手型。
	人机性 简洁、易用,符合人的操作方式和使用习惯。	 幼儿马桶——两侧备有储物空间,可轻松拆卸的槽盒方便清理。也可以是供父母照看孩子的小凳子,供孩子登爬的台子。
心理角度	情感与个性化 通过各种感官传递信息并建立情感联系;通过界面传达情感语言以达到情感诉求的目的。	 儿童收音机——界面设计可爱、甜美,圆形花朵状按钮给人以温馨的感觉。显示屏、文字以及整体图案中同一色相不同明度的对比应用,突出了色彩语言。
	文化趣味性 有亲和力,充满生命力,人机沟通良好且又不乏文化内涵。	 青蛙公司设计的一款儿童鼠标器,看上去就好像一只真老鼠,诙谐有趣,逗人喜爱,让小孩有一种亲切感。
	体验性 参与、互动,给人身心以最大程度的满足感。	 玩具车模型——外观是迷你玩具车型,内部装有便携式音乐播放器。听着从滚动着的玩具车上播放出的音乐,消费者有了更互动、更直接的体验。
	益智性 开发智力、创造力等潜能,有利于心智成长并有教育意义。	 "日子的轨迹"——每个月的新日历是一张黑纸,每天用白色铅笔画到下一个圈,最后的样子是一个让人期待的答案。这个游戏使小孩对时间有一种新的体验。

4 讨论

儿童产品界面的设计特征表现为人性化,其设计因素的研究是一个有待深入探讨的课题,关系到儿童与产品的交流是否顺利,身心发展是否健康,这对于培养儿童心智健康成长、开发儿童潜能和创造力将产生重要的影响。优秀的界面设计具有引导功能,有助于儿童使用和操作产品,增强动手能力,增添兴趣,满足心理体验,提高产品的情趣和使用效率;而糟糕的界面设计不仅不美观,缺乏文化性、情趣和美感,而且人机性极差,对儿童身体的安全和心理认知等的健康成长都将会带来负面影响。因此界面的深入研究将关系到儿童产品设计的进一步发展,需要进一步的深化研究。针对我国儿童产品发展的现状,笔者认为可以对界面的交互式设计进行探讨,由于儿童在不同的年龄段具有不同的生理尺寸和认知能力。成年的设计师难以直观地了解各种年龄儿童的情绪及喜好,并以此去指导设计。因此,更加贴和儿童生理心理特点的产品最好能够让儿童亲身参与到设计中来,设计师和目标儿童在设计过程中进行互动,通过试验和观察来发现

设计的缺陷和改进的依据。通过互动试验得到的经验及资料,将成为日后针对各个年龄段儿童进行区分设计的参考库,并可以逐渐形成统一的设计标准或参照。

5 结束语

儿童产品界面的设计特征表现为人性化,其设计因素的研究是一个有待深入探讨的课题:关系到儿童与产品的交流是否顺利,身心发展是否健康,这对于培养儿童心智健康成长、开发儿童潜能和创造力将产生重要的影响。本文提出了儿童产品界面的四方面设计因素和六项设计原则,设计因素主要从界面的功能、约束、形式(包括造型、色彩、材料)和人机角度考虑,当界面具有简洁、易用的功能,恰当的约束,良好的人机操作与控制以及曲线造型、个性化色彩、柔软材质时,这种界面设计就更符合儿童的生理和心理需要;而设计原则体现在安全性、人机性、情感与个性化、文化趣味性、体验性和益智性方面,通过产品界面的各个细节设计将对儿童生理上的关怀转化为心理上的感动。优秀的界面设计具有引

(下转封三)

(上接第 53 页)

- [3] Ajzen I. Theory of Planned Behavior [J]. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1991, 50(2): 179 - 211.
- [4] Krueger NF, Dickson P. How Believing in Ourselves Increases Risk Taking: Self - efficacy and Perceptions of Opportunity and Threat [J]. Decision Sciences 1994, 25(3): 385 - 400.
- [5] Krueger NF, Relly MD, Carsrud AL. Competing Models of Entrepreneurial Intentions [J]. Journal of Business Venturing, 2000, 15(5 - 6): 411 - 432.
- [6] Krueger NF. The Impact of Entrepreneurship Exposure on Perceptions of New Venture Feasibility and Desirability [J]. Entrepreneurship Theory and Practice, 1993, 18(1): 5 - 21.
- [7] Brockner J, Higgins ET, Low MB. Regulatory Focus Theory and the Entrepreneurial Process [J]. Journal of Business Venturing, 2004, 19(3): 203 - 220.
- [8] Baron RA, Markman GD. Person Entrepreneurship fit: the Role of Individual Difference Factors in New Venture Formation [J]. Journal of Business Venturing, 2003, 18(1): 41 - 60.

[收稿日期]2008 - 09 - 12

[修回日期]2008 - 10 - 17

(上接第 61 页)

导功能,有助于儿童使用和操作产品,增强动手能力,增添兴趣,满足心理体验,提高产品的情趣和使用效率,对其深入研究将推动儿童产品设计的进一步发展。

参考文献

- [1] 张凌浩,刘钢. 产品形象的视觉设计[M]. 南京:东南大学出版社,2005.
- [2] 陈伟鸿. 儿童用品的仿生造型设计方法研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [3] 朱智贤. 儿童心理学[M]. 北京:人民教育出版社,2003.
- [4] 姚屏,杨永. 约束法则下易用性设计的实现[J]. 包装工程,2004,25(6):124 - 125.
- [5] 凯瑟琳 费希尔. 儿童产品设计攻略[M]. 王冬玲,王慧敏,译. 上海:上海人民美术出版社,2003.

[收稿日期]2008 - 06 - 11

[修回日期]2008 - 09 - 05

(上接第 13 页)

- [13] 陈雪峰,黄旭,时勘. 任职期限对员工合作行为和工作倦怠的影响[J]. 人类工效学,2006,12(4):14 - 17.
- [14] Mobley W H. Supervisor and Employee Race and Sex Effects on Performance Appraisals: A Field Study of Adverse Impact and Generalizability [J]. Academy of Management Journal, 1982, 25(3): 598 - 606.
- [15] Sias P M, Smith G, Avdeyeva T. Sex and Sex - composition Differences and Similarities in Peer Workplace Friendship Development [J]. Communication Studies. 2003, 54(3): 322 - 340.
- [16] Bauer T N, Green S G. Development of Leader - member Exchange: A Longitudinal Test [J]. Academy of Management Journal, 1996, 39(6): 1538 - 1567.
- [17] Phillips A S, Bedeian A G. Leader - follower Exchange Quality: The Role of Personal and Interpersonal Attributes [J]. Academy of Management Journal, 1994, 37(4): 990 - 1001.

[收稿日期]2008 - 09 - 11

[修回日期]2008 - 10 - 30

一种空间曲面上散乱数据的快速三角剖分新算法*

A New Quickly Triangulation Algorithm of A Unorganized Point on the Surface Space

孙存亮 陈炳发

(南京航空航天大学, 南京 210016)

摘要: 在现有三角剖分方法研究的基础上,提出了一种空间曲面上点云数据的快速三角剖分新算法。以区域生长法为主导,通过表面法向量向外原则提出了一种种子三角形选取与构造的新方法,改进生长算法,采用逆时针方式搜寻最优扩展点来生成三角形网格。该算法的总体时间复杂度为 $O(KN)$,能够快速高质量的生成三角网格模型。

关键词: 空间曲面 点云数据 三角剖分

doi:10.3969/j.issn.1007-080X.2009.06.006

Abstract: This paper is based on the analysis of current triangulation method, based on surface space a new triangulation method is proposed. In this paper an improved direct space partition strategy is put forwards, based on the surface of vector must be field, a method of seed triangulation is proposed, by improving the grown triangulation, Searching for the optimal point expansion use of anti-clockwise way. Algorithm to the overall time complexity is $o(KN)$, could quickly generate a high-quality triangular grid model.

Key words: surface space point cloud triangle triangulation

0 引言

逆向工程技术被广泛用于汽车、航空、模具等制造领域,其重要环节之一是散乱数据点集的三角剖分,这也是后续加工曲面重构的基础。一般来说,三角剖分可以分为在三维空间直接剖分和对三维散乱数据投影域的剖分两种类型。本文针对海量点云数据的散乱无序性提出了一种空间直接剖分的新方法:从构造种子三角形出发,依据 Delaunay 三角形构成原则,采用合适的三角形生长方法,避免三角面片交叉错乱、退化、法向量不一致的缺陷。该算法具有较强的适应能力且效率高。

1 散乱点云数据的空间划分算法

原始点云数据其测量点数从几万到几百万不等,这样大规模散乱数据处理的关键问题之一就是数据处理的效率;如果操作是在整个点集上进行,效率将会十分低下;如果把对数据的操作限制在一定的局部区域内,则将会加快三角剖分的速度。

PIEGL 以及周儒荣等都是利用空间分块策略进行 K 邻域搜索的。本文以空间分块策略为空间划分算法,将散乱点包含在一个最小长方体空间内进行操作,其方法如下:

(1) 计算小立方体栅格边长 首先计算点集的 X, Y, Z 坐标的边界值 $\min_x, \max_x, \min_y, \max_y, \min_z, \max_z$; 求出最小包围盒的坐标边长 L_x, L_y, L_z , 继而求出小立方体栅格边长 $Medege$ 。

$$Medege = \sqrt[3]{k \frac{L_x L_y L_z}{N}}$$

其中: k 取值根据实际情况一般为 10~15; N 为点云数据中的总点数。

(2) 求出小立方体栅格数 根据小立方体栅格边长可以把大包围盒划分为 $m \times n \times l$ 个小立方体栅格, 其中

$$m = \text{ceil}(L_x / edge); n = \text{ceil}(L_y / edge); l = \text{ceil}(L_z / edge)。$$

* 基金项目: 南京航空航天大学“十一五”研究生人才培养计划资助项目(KCJS0819)。

作者简介: 孙存亮 硕士研究生。研究方向为计算机辅助工业设计。

(3)将数据点归入子立方体空间 用哈希函数的方法求任一数据点 $p(x_i, y_i, z_i)$ 所在立方体栅格号

$$\text{cell_index} = (z_{pi} - \min_z)(y_{pi} - \min_y) + (y_{pi} - \min_y + 1)。$$

通过这种方法可以大大加快搜索速度,并且点云数据量越大,这种方法的优势就越为明显,可以为后续的三角剖分提供良好的准备工作。

2 空间三角剖分

2.1 三角剖分的基本思路

采用循环扩展思路:首先缔造种子三角形,从种子三角形按逆时针依次顺序沿边界环进行扩展,直到所有数据点都被搜索并剖分完毕。

2.2 种子三角形的缔造

需要网格中的每一个三角形面片的法向量都必须指向物体的外表面,这就要求第一个种子三角形必须满足这一条件。本文采用右手螺旋法则,使种子三角形中一个顶点包含点云数据的最大坐标之一,即 $\max_x, \max_y, \max_z$; 因为根据右手螺旋法则包含最大点的三角面片的法向量其坐标轴分量必定为非负值,确定了种子三角形的法向量向外,通过传递算法,便保证所有生成的三角面片的法向量都指向物体外表面。种子三角形必须满足:①三角形内部不包含其他三角片内点;②种子三角形要尽量保证为最优三角形(正三角形);③种子三角形法向量指向物体外表面。

2.3 三角形网格的生长

见图1,以种子三角形为根,逆时针依次选取种子三角形的3条边作为扩展边进行最优扩展点搜索。根据 delaunay 三角形构成法则,对 $\triangle ABC$ 依次以 AB, BC, CA 为扩展边,依次构成 $\triangle ACD, \triangle BAE, \triangle CBF$, 这样,第一次扩展结束。下一轮扩展以第一次扩展的边界边为扩展边,即以 CD, DA, AE, EB, BF, FC 为扩展边,重复第一轮步骤,直到所有点搜索完毕,算法结束。

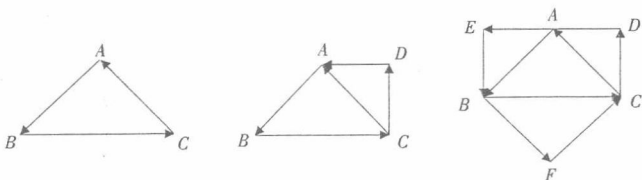


图1 三角形网格的扩展

种子三角形构建的步骤流程见图2。

2.4 数据结构与链表更新

在数据结构方面,本文使用了3个集合:数据点云集合、已生成三角形集合、边界边集合。其中边界边集合采用双向链表存储,可以方便地进行前后的删除和插入操作。

2.4.1 更新数据点表 PointList

在最优点的搜索过程中,应该动态更新数据点表

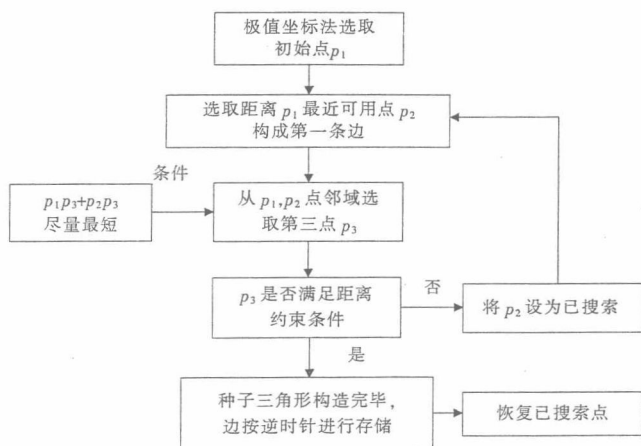


图2 种子三角形构造流程图

PointList。任何一个数据点都可以重复使用 N 次,这源于三角形的边缘吻合性;只有当这个数据点 P 与其周围关联数据点都建立了连接关系,即它被包含于凸包内,才能停止对它的使用。当与 P 点相连的所有的点 Q 构成的边 PQ 都使用过两次,即在该点的边表 $E(P)$ 中表示为 $nUsedNum=2$,称这样的点为封闭点。在扩展三角形时,应动态地将成为封闭点的点排除出考虑的范围;同时设置点计数器,初始值设为-1,当值为0时,即为封闭点(见图3)。

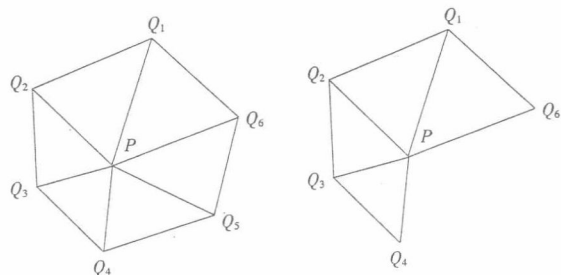


图3 P 为封闭点

2.4.2 边链表的更新 EdgeList

若对 $\triangle ABC$ 的边 AC 进行扩展,待扩展点为 D ,扩展后应该分别更新 A, C, D 的边链。对 C 边链的更新方法见图4。

2.4.3 三角网格的法向量向外的约束

由于边界边所组成的三角面片的法向遵守右手螺旋法则,为了保持法向的一致性,相邻的两个三角面片的公共边必须方向相反;因此将最优点 P 与边界边连接成为新三角面片时,简单地将边界边反向,即可使新三角形与旧三角形保持法向一致,并由此确定新的两条边界边的方向。如此循环,即可保证三角片的法向量一致对外。

3 本文三角剖分总体步骤

(1) 读入数据点云,对数据进行预处理。

(2) 选取构造种子三角形,形成临时三角形边界边链表、

(下转第52页)

因此,采用滑模变结构控制有效地提高了运动控制器的鲁棒性。

4 结束语

运动控制器是开放数控系统的重要组成部分,本文研究开发的基于 PCI 总线接口运动控制器,可以有效地提高运动控制系统的性能,减轻系统数控系统计算机通信的负担,提升系统整体性能。运动控制器中采用滑模变结构控制算法。实验研究表明,将滑模变结构这种非线性控制方法应用于伺服系统,可以有效地克服系统结构参数变化和外部干扰对系统的动态相应的影响,能够降低稳态误差和超调量,缩短调整时间,明显提高系统的响应速度,使系统具有了更好的动态性;而且滑模变结构方法结构简单,易于实现,提高了系统的可靠性和可维护性。将本设计中的运动控制器用于数控平台的运动控制中也取

得了满意的效果。

参考文献

- [1] 王丰尧. 滑模变结构控制[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 李贵山,戚德虎. PCI 局部总线开发者指南[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1997.
- [3] 刘笃仁,杨万海. 在系统可编程技术及其器件原理与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [4] 李 萍,张林让. 精密跟踪雷达天线伺服系统的设计与仿真[J]. 电子科技,2004,(4):52-55.
- [5] UTKIN V I. Sliding Mode Control Design Principles and Applications to Electric Drives [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics(S0278-0046),1993,40(1):23-36.

(上接第 47 页)

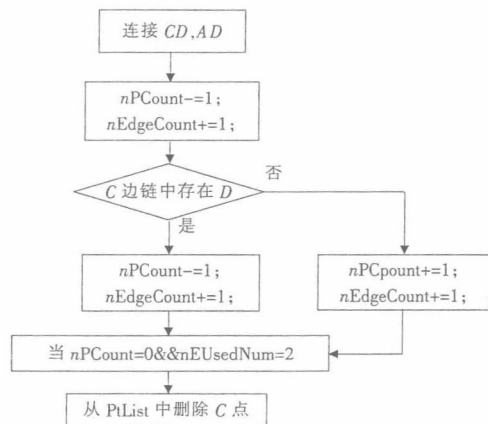


图 4 边链更新流程图

三角形链表。其中边界边链表类存储该边的两个顶点,该边的对顶点与该边的使用次数;而三角形链表用来存储每个三角形 3 个顶点的排列次序、法向量等相关信息。

(3) 逆时针遍历种子三角形各条边,同时进行最优点的搜索;完成三条边的遍历后结束“一次”循环,然后重复,直到所有点搜索完毕,算法结束。

4 应用实例

算法用 C++ 高级编程语言在 VC++6.0 平台下编程实现,并调用 OpenGL API 函数显示输出。硬件为 P4 2.60G 处理器,512M DDR 内存。图 5 是测量螺帽表面后得到的数据点及其剖分结果。

5 结束语

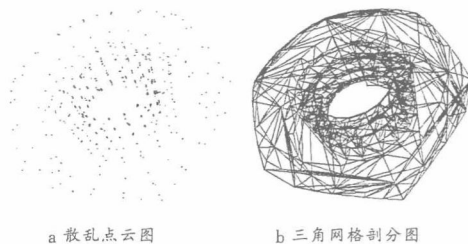


图 5 测量螺帽表面后得到的数据点及其剖分结果

本文提出的出发于种子三角形的三角剖分算法具有计算稳定、适应性强等优点,能够得到高质量的三角网格。

参考文献

- [1] CIGNON P, MONTANI C, SCOPIGNOR. Dwall: a fast divide and conquer Delaunay triangulation algorithm in E [J]. Computer-Aided Design, 1998, 30(5): 333-341.
- [2] CHOIBK, SHIN H Y, YOON Y I, et al. Triangulation of scattered data in 3D space [J]. Computer-Aided Design, 1988, 20(5): 239-248.
- [3] PIEGIL A, TILLER W. Algorithm for finding all k nearest neighbors [J]. Computer-Aided Design, 2002, 34(2): 167-172.
- [4] 于 青, 王融清, 鲍虎军, 等. 散乱数据点的增量快速曲面重建算法 [J]. 软件学报, 2000, 11(5): 58-63.
- [5] 熊歆斌, 宁 涛, 唐荣锡. 逆向工程中散乱数据点三角剖分的波前算法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(4): 325-328.
- [6] 高 亮, 李伟波. 基于 OpenGL 实现三维散乱点集的 Delaunay 三角剖分 [J]. 软件导刊, 2006, 27(3): 24-26.

锥形复合材料构件的铺丝路径规划与丝数求解

卢敏 周来水 王小平 王志国

南京航空航天大学机电学院, 南京, 210016

摘要: 获取构件表面信息是准确规划铺丝路径的前提。针对锥形构件, 首先借助表面上的等参线求解曲率、弧长等信息, 进一步分析了曲率对丝宽的约束关系, 在此基础上提出了用弧长均分算法规划铺丝路径的方法。规划后的路径满足: (1) 有统一的相对固定的铺丝角度; (2) 铺丝完成时, 丝束“包裹”整个曲面, 无堆叠和分离现象。通过飞机前机身形状的建模仿真, 验证了该方法的正确实用。

关键词: 铺丝路径; 复合材料; 曲率; 等参线

中图法分类号: TP391

Fibre Placement Path Planning and Number Determination for Conic-Shaped Composite Structures

Lu Min Zhou Laishui Wang Xiaoping Wang Zhiguo

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract: It is important to obtain the surface geometric features before path planning. For conic-shape composite parts, first calculate the curvature and arc-length etc data, then analyse the constraint to tow from curvature. Based on these geometric features, the arc-length equalization algorithm is proposed. After planning, the paths satisfy that: (1) All the path angles are subequal; (2) When the fibre placement is finished, the tows cover the surface all over, no stacking and detaching. The algorithm is verified to be feasible through an application on the front fuselage.

Key words: fibre placement path; composite; curvature; isoparametric line

0 引言

复合材料具有高比强度、高比模量、质量轻以及可设计性等优点, 在当代航空航天以及其他一些军事工业上的应用率越来越广泛, 在国外, 直升机和无人机上的复合材料占 50%-90%, 大型飞机上占 25%-50%。其中 Airbus A380 和 Boeing 787 的后机身、垂尾, 水平尾翼等位置都有复合材料。国内限于装备技术的复杂性和高成本, 自动铺丝及相关技术的研究正在起步探索阶段。

复合材料构件通过铺放机器人按预定路径在芯模上自动铺放纤维丝成型。因此, 预定路径的设计是实现纤维自动铺放的关键技术之一。现有的文献对开曲面研究较多^[1-5], 如 Bijan Shirinzadeh 运用平行等距算法^[1]研究了开曲面上的铺丝路径规划, 王小平等^[5]借助微分几何, 采用弧长参数在开曲面上构建铺丝路径及等距线, 能较好的控制误差, 安鲁陵等^[6]在对飞机进气道等规划铺丝路径时, 建立了纤维丝数与路径间的对应关系, 但没有考虑曲面几何特征对丝宽的约束关系。邵冠军^[7]等在对自由

曲面构件作路径规划时, 考虑到了局部曲率对成型精度的影响, 但未给出具体的解决方法。

上述文献在路径规划之前较少地分析曲面几何信息对铺丝的影响。本文针对弯曲程度较大的锥形闭曲面如飞机前机身等, 首先借助密化的等参线获取曲面信息, 并引入曲率约束, 提出了适合此类构件特点的自动铺丝算法。在保证常用铺放角度的前提下, 沿路径自动铺放纤维覆盖整个曲面。本文算法着重从几何和工艺两个方面考虑, 通过建模和仿真, 验证了该方法的实用性与正确性。

1 锥形曲面建模及初始路径设计

曲面方程由设计方给出。以 B 样条方程为例, 给定 $(m+1)(n+1)$ 个控制顶点

$P_{ij} (i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, n)$, 则方程

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) P_{ij} \quad u, v \in [0, 1] \quad (1)$$

定义 $k \times l$ 次 B 样条曲面, 式中 $N_{i,k}(u)$ 和 $N_{j,l}(v)$ 分别是 k 次和 l 次的 B 样条基函数^[8]。要定义周期 k 次闭曲面, 首末端点 C^{k-r} 连续, 则有 $P_{m-k+r+j} = P_j, j = 0, 1, \dots, k-r$ 。

在铺放纤维丝束时, 理论上铺放角度可以在 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 之间^[6], 但实际大多选择 $0^\circ, \pm 45^\circ$ 和 90° 这 4 种铺放角度。其中 0° 用于承受轴向应力, $\pm 45^\circ$ 用于承受剪应力, 90° 用于保证径向的张力和抗压力。按 4 种角度多向铺放可以承受复杂的应力。

这里定义芯模的轴线为铺放参考线, 将压辊沿着轴线前进的方向定义为 0° 铺放角。同理, 将压辊垂直轴线前进的方向定义为 90° 铺放角。以上角度可根据实际情况作微小的调整。

以曲面与平面的交线为初始路径。对于结构对称或大致对称的构件来说, 初始路径应选择在该形体的对称平面上, 这样可以使其余路径的规划获得良好的参照。所以 0° 铺放时, 在曲面对称位置上沿轴线方向取起点 P_0 和终点 P_1 , 并由曲面偏导数 S_u 和 S_v 求得 P_0 处法矢设为 $\vec{N}$ 。通过 P_0 和 P_1 点作平

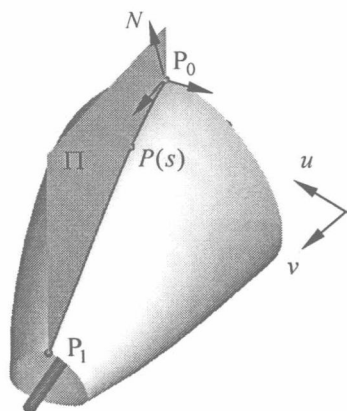


图 1 锥形曲面及初始路径设计

行于 $\vec{N}$ 的平面 Π , 与曲面相交的交线作为铺丝初始路径。交线设为 $P(s)$, 以弧长作为参数^[5], 如图 1 所示。

取交线上任意点 P , P 点处的曲面法矢设为 $\vec{N}(s)$, 则有

$$\vec{P}'(s) \cdot \vec{N}(s) = 0 \quad (2)$$

令 $\vec{N}' = \overrightarrow{P_0 P_1} \times \vec{N}$, 有

$$\vec{P}'(s) \cdot \vec{N}' = 0 \quad (3)$$

另外, 以 s 弧长作为参数, 有

$$(\vec{P}'(s))^2 = 1 \quad (4)$$

对于曲面, 有

$$\vec{P}(s) = S_u \frac{du}{ds} + S_v \frac{dv}{ds} \quad (5)$$

由(2), (3), (4)和(5)式, 可得到

$$\begin{cases} \frac{du}{ds} = \frac{\pm S_v \cdot \vec{N}'}{\sqrt{(\vec{N}' \times \vec{N}(s))^2 \cdot \|S_u \times S_v\|}} \\ \frac{dv}{ds} = \frac{\mp S_u \cdot \vec{N}'}{\sqrt{(\vec{N}' \times \vec{N}(s))^2 \cdot \|S_u \times S_v\|}} \end{cases} \quad (6)$$

代入初值 $u = u_0, v = v_0$, 迭代运算求解初始路径上的系列离散点。

2 曲面曲率对丝宽的影响

锥形构件的顶部具有弯曲程度较大, 面积较小的特点, 当铺放纤维时有必要考虑曲率的影响。假设压辊铺丝宽度为 D , 曲面局部曲率半径近似为 R , 之间有间隙设为 ε , 如图 2 所示。三者存在数量关系 $\varepsilon = R - \sqrt{R^2 - (D/2)^2}$ 。

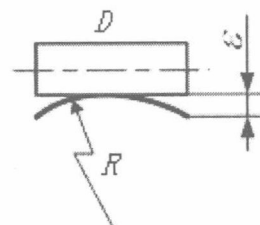


图 2 D, ε 与 R 的关系

整理后得 $R = \varepsilon/2 + D^2/8\varepsilon$, 即曲率 $K = 8\varepsilon/(4\varepsilon^2 + D^2)$ 。假设单根纤维丝宽为 d , 丝束数目为 n , 显然 $D = n \times d$ 。工艺上为保证压辊与芯模表面之间的正压力, 须给定最大允许间隙, 设为常量 ε_0 。上式转化为

$$K = \frac{8\varepsilon}{4\varepsilon_0^2 + n^2 d^2} \quad (7)$$

假设丝束总数为 N , 代入(7)式, 求得的曲率设为 K_0 。此时, K_0 为压辊满丝铺放纤维时曲面的最小曲率。若曲面存在局部曲率 $k > K_0$, 压辊不能满丝铺放, 此曲面定义为大曲率曲面。另外, 当减去一根纤维丝时, 实际丝数 $n = N - 1$, 带入(7)式, 得到 K_1 , 此时 $K_1 > K_0$ 。连续递减纤维丝, 可以得到 K_2, K_3 等。这样就建立起曲率和纤维丝数之间的一一对应关系, 如表 1。

它的意义为: 在铺放方向上压辊满丝铺放时, 检测到局部曲率 k 变大且 $K_0 < k \leq K_1$ 时, 压辊与曲面之间间隙 $\varepsilon > \varepsilon_0$, 必须切断一根纤维丝使间隙 $\varepsilon \leq \varepsilon_0$ 以保证铺设正压力; 当检测到曲率 $K_1 < k \leq K_2$ 时, 再次切断纤维丝, 如此进行下去。

表 1 曲率与丝宽的对应关系

曲率(k)	$\leq K_0$	$K_0 < k \leq K_1$	$K_1 < k \leq K_2$	...
丝宽(nd)	Nd	$(N-1)d$	$(N-2)d$	...

3 曲率约束下的等参线弧长均分算法

3.1 曲面上等参线的数学表达

路径方向上的曲面曲率可通过求解等参线曲率间接获得。由第 1 节结果,可在初始路径上沿 v 向取系列等间距点阵 $Q_0, Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_H$, 其 v 值为常数设为 $v_Q = v_0, v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_H$, 代入 (1) 式, 将方程转化为等参线方程如下:

$$T(u) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,k}(u) N_{j,l}(v) P_{ij} = \sum_{i=0}^m N_{i,k}(u) \left(\sum_{j=0}^n N_{j,l}(v_Q) P_{ij} \right) = \sum_{i=0}^m N_{i,k}(u) \bar{P}_i \quad (8)$$

其中 $\bar{P}_i = \sum_{j=0}^n N_{j,l}(v_Q) P_{ij}, (i=0,1,\dots,n)$, 为

B-Spline 曲面上等参线的控制顶点。绘制密化的等参线如图 3 所示。

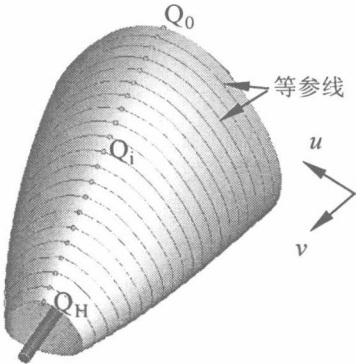


图 3 曲面上系列等参线

3.2 等参线曲率及其约束下的丝宽求解

等参线曲率 $K(u) = \left| \dot{T}(u) \times \ddot{T}(u) \right| / \left| \dot{T}(u) \right|^3$, 对 u 求导并令 $\dot{K}(u) = 0$, 求等参线的曲率极值, 但求解过程困难。实际操作时, 可求解离散点的曲率近似获得, 对于任意一条等参线, 取 S 个均匀离散点, 各点曲率记为 $K_i^0, K_i^1, K_i^2, \dots, K_i^S$ 。令 $K_i = \text{MAX}(K_i^0, K_i^1, K_i^2, \dots, K_i^S)$, 取最大值, 对照表一, 得到丝数 n_i , 则丝宽 $D_i = n_i \times d$ 。

由(8)式可知, 曲面上等参线仍然可表示为一条 B-spline 曲线, 可以积分求曲线弧长, 对于第 i 条曲线, 求得弧长设为 G_i , 令 $X_i = \text{INT}(G_i / D_i)$, 将等参线均匀分割成 X_i 等分, 每段弧长 $L_i = G_i / X_i \approx D_i$, 如图 4 所示。在铺设纤维时, 此时的压辊丝宽 D_i 与曲面间隙 $\varepsilon \leq \varepsilon_0$, 满足工艺要求。

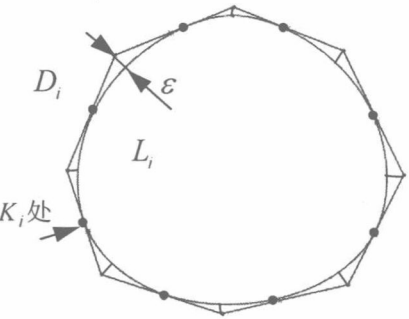


图 4 等参线均匀分割示意图

重复上述步骤, 对所有的等参线求曲率最大值及约束下的丝宽, 结合弧长将等参线均匀分割后, 得到系列 X 值, 记为 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_H$, 分别满足曲面不同位置处等参线的曲率要求。令 $X = \text{MAX}(X_0, X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_H)$, 作为所有等参线共同的分割数目, 则曲面任一等参线位置的丝宽 $D_i = G_i / X$, 可以满足铺丝时整个曲面任意位置的间隙 $\varepsilon \leq \varepsilon_0$ 的工艺要求。同时, 由丝数 $n_i = D_i / d$, 求得所有等参线上每条丝宽的丝数记为 $n_0, n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_H$ 。等参线均匀分割后如图 5 所示。

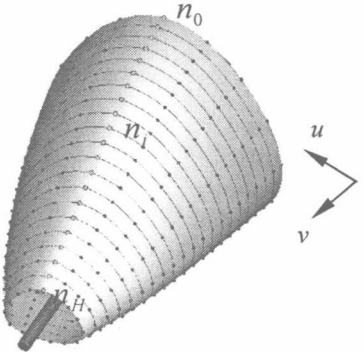


图 5 等参线均匀分割