

# 基于解剖特征的数字化嵌体设计及程序的初步实现

宋 杨, 孙玉春, 王 勇<sup>△</sup>, 韩景芸, 吕培军

(北京大学口腔医学院·口腔医院修复科 北京 100081)

**[摘 要]** **目的:**应用逆向工程软件,探索一条开发嵌体 CAD 软件的技术路线,验证其加工可行性,并尝试应用二次开发软件平台进行具有较高自动化设计能力的嵌体 CAD 软件程序的研发。**方法:**首先在标准冠点云数据上创建坐标系、标志点/线以及特征曲线,建立参数化标准冠数据集,然后使用线激光扫描仪进行嵌体预备体、邻牙及咬合记录的数据采集并进行三维数据建模,再应用 Surfacar 11.0 软件,基于建立的参数化标准冠数据集,通过提取洞型边缘线、构建嵌体组织面、构建嵌体外表面和调骀几个主要步骤,完成 MOD 型嵌体的几何构建,并进行加工及模型试戴。基于 Surfacar 11.0 开发平台,进行嵌体 CAD 自动化软件程序的开发。**结果:**建立了一条嵌体 CAD 技术路线,完成了设计结果的加工,初步开发了 MOD 型嵌体 CAD 专用软件程序。**结论:**基于逆向工程软件 Surface 11.0 软件的嵌体 CAD 技术路线及其加工具有可行性,并且基于此设计路线可开发具有较高自动化设计能力的嵌体 CAD 软件程序。

**[关键词]** 牙修复体;计算机辅助设计;软件设计

**[中图分类号]** R781.05 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2011)01-0140-05

**doi:**10.3969/j.issn.1671-167X.2011.01.030

## Digital inlaid design based on anatomical characteristics and preliminary implementation of its program

SONG Yang, SUN Yu-chun, WANG Yong<sup>△</sup>, HAN Jing-yun, LV Pei-jun

(Department of Prosthodontics, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT Objective:** To explore the technical guideline of inlays computer aided design (CAD) for further development, to test the feasibility of processing for the design results of the technical guideline, and to assist co-operation with automatic inlay CAD software development. **Methods:** On the basis of point cloud data of right mandibular first molar of standard crown, we established the coordinate system, the landmarks and lines and the characteristic curves. A dental cast of right mandibular first molar MOD-inlay of an individual normal occlusion was scanned. The following objects were digitized: prepared tooth, neighbor teeth and intercuspal bite record. On the basis of parametric standard crown established in the research, using Surfacar 11.0, we achieved the reconstruction of MOD-inlay by extracting margin line, constructing tissue surface, constructing outer surface and occlusal grinding, then the design result was processed and try-in on the cast. We also developed automatic inlay CAD software based on the guideline of inlay CAD. **Results:** The guideline of inlay CAD was established, the design results were processed and an automatic inlay CAD software was developed on basis of Surfacar 11.0. **Conclusion:** It is a feasible method to establish technical guideline of inlay based on reverse engineering technology and process its design result, and a automatic inlay CAD software could be developed based on the technical guideline.

**KEY WORDS** Dental prosthesis; Computer-aided design; Software design

20 世纪 70 年代初,法国 Francois Duret 教授开创性的将计算机辅助设计/计算辅助制造 (computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM) 技术引入口腔界<sup>[1]</sup>, 现在 CAD/CAM 技术已在口腔领域广泛应用<sup>[2-5]</sup>。作为一种临床常用的牙体缺损修复类型, 嵌体 CAD/CAM 功能是 CAD/CAM 系统的重要组成部分<sup>[6]</sup>, 虽然国外已有多种商

品化的口腔固定修复 CAD/CAM 系统,但是关于 CAD 的具体技术路线却鲜有报道,而国内对此技术的研究起步较晚,目前对于嵌体 CAD 的报道主要集中在 CAD 技术路线的探索研究方面,但是这些路线都较为繁琐,并且操作流程基本为全手动交互式,对操作者的计算机三维图形学相关知识要求很高,临床应用性不强<sup>[7-9]</sup>。

<sup>△</sup> Corresponding author's e-mail, kqcadc@bjmu.edu.cn

本研究以美国 EDS 公司 Surfacar 11.0 软件为平台,基于参数化标准冠三维图形数据,以 MOD 型嵌体为例,建立一条适合于二次开发的嵌体 CAD 技术路线,并尝试开发具有较高自动化设计能力的嵌体 CAD 软件程序。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 标准牙三维数据库 标准牙三维数据库由北京大学口腔医学院口腔医学计算机应用中心开发<sup>[10-12]</sup>。

1.1.2 软件 使用美国 EDS 公司的 Surfacar 11.0 逆向工程软件和美国 Raindrop Geomagic 公司 Geomagic Studio 9.0 逆向工程软件。

1.1.3 三维扫描设备及扫描软件 使用丹麦 3Shape A/S 公司 D700 线激光(扫描仪扫描精度为 0.02 mm)和丹麦 3Shape A/S 公司 3Shape Dental Manager 应用软件。

1.1.4 加工设备及材料 使用德国 Icoredental 公司 coritec 340i 四轴数控加工机床及配套树脂块(加工精度 <10 μm)和德国 Envision 公司 Mini DDP 快速成型机及配套树脂粉(层精度 16 μm,水平精度 25~50 μm)。

1.2 方法

1.2.1 嵌体 CAD 参数化标准冠的建立 在 Surfacar 11.0 软件中调入由北京大学口腔医学院口腔医学计算机应用中心开发的标准冠数据库中的右下第一磨牙点云数据<sup>[10-12]</sup>,截除外形高点线以下轴面数据,而后调整标准冠点云与坐标系的相对位置,使得牙冠长轴方向与 Z 轴平行,龈-骀方向为正方向,Z 轴垂直平面为 XY 平面。在点云数据上建立如下标志点、线:在牙冠点云数据表面近中和远中边缘嵴处,选取骀面-轴面交界线和中央沟线向边缘嵴方向的延长线的交点,分别创建近中边缘嵴点和远中边缘嵴点(图 1A);以标准冠近、远中边缘嵴点为端点创建标准冠中央线,选取标准冠中央线的线段中点,创建标准冠中央点(图 1B)。在点云数据上建立如下特征曲线:选取标准冠三维数据骀面-轴面交界线处的点云数据,创建一条封闭的 B 样条曲线,建立骀缘曲线,并将其截为近中段和远中段(图 2A);沿标准冠骀面牙尖嵴走行,创建 5 条颊舌向的 B 样条曲线,作为标准冠三维数据的颊舌向曲线(图 2B)分别为:(1)近中颊尖近中斜面-近中点隙-近中舌尖近中斜面区域,(2)近中颊尖嵴顶-近中沟-近中舌尖嵴顶区域,(3)近中颊沟-中央点隙-舌沟区域,(4)远

中颊尖嵴顶-远中沟-远中舌尖嵴顶区域,(5)远中颊沟-远中沟-远中舌尖远中斜面区域;沿标准冠中央沟走行创建 B 样条曲线,作为中央沟线(图 2C),最后将标准冠三维点云数据和以上创建的定位标志点、线以及表面特征曲线建立为整体数据集。

1.2.2 嵌体预备体模型的建立 选取右下第一磨牙正中咬合关系和邻接关系正常的石膏模型一副,制备右下第一磨牙 MOD 型嵌体洞型,洞型满足嵌体预备体要求,取硅橡胶正中咬合记录,模型常规进行可卸代型的制作。使用丹麦 3Shape A/S 公司 3Shape D700 线激光扫描仪(扫描精度 0.02 mm),对石膏模型 MOD 型嵌体预备体、邻牙及硅橡胶咬合记录进行数据采集,进行去噪、剪裁等预处理,调整嵌体预备体牙冠长轴方向与坐标轴 Z 轴平行,龈-骀方向为正方向;Z 轴垂直平面为 XY 平面,最终获得包含嵌体预备体、近远中邻牙和硅橡胶骀记录这三部分点云数据的预备体三维数据组模型。

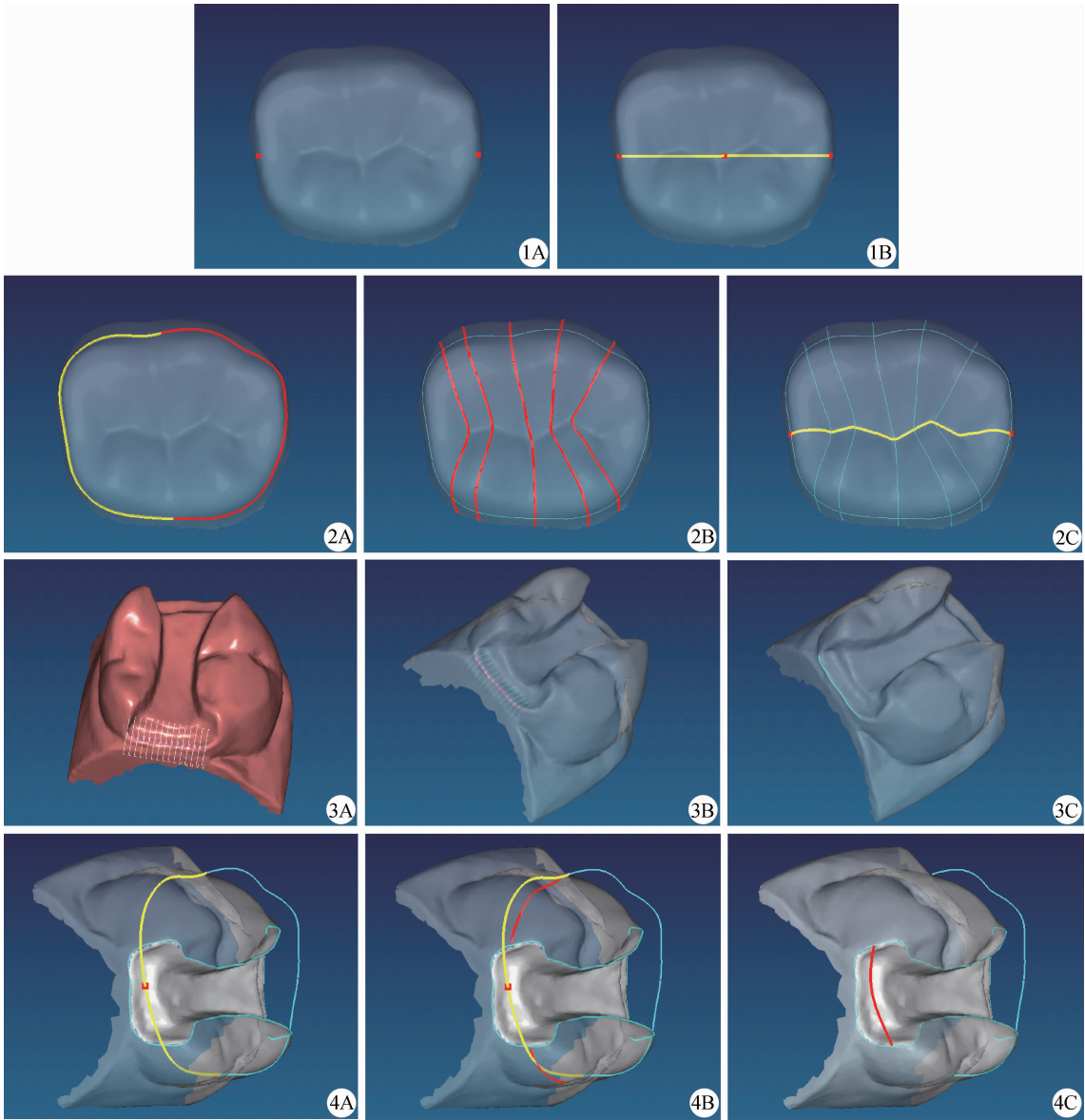
1.2.3 嵌体 CAD 路线的建立 嵌体 CAD 路线以 MOD 型嵌体为例,基于 Surfacar 11.0 软件平台,过程如下。(1)洞型边缘线的提取:首先在预备体洞缘区域创建与洞缘线走行大致相似的曲线或线段,然后创建该曲线或线段的法平面组,从而获得法平面与预备体点云数据在洞缘区域的相交线;通过选取这些相交线上的曲率变化最大点,获得一组洞缘线点,将其拟合成为洞型边缘线(图 3)。(2)组织面的构建:直接提取洞型边缘线内部点云数据,完成嵌体组织面的构建。(3)标准冠的调入、定位和配准:首先选取预备体邻牙的边缘嵴点,而后调入标准冠,通过邻牙上和标准冠上边缘嵴点的配准进行标准冠定位,并根据邻牙间的间隙大小进行标准冠的整体缩放。(4)嵌体外表面构建线的建立:①直接提取标准冠中央沟曲线作为预备体缺损区的中央沟线;②利用标准冠骀缘曲线在预备体剩余牙体组织表面的投影线,以及相对应的标准冠边缘嵴点,拟合完成预备体缺损区骀缘线(图 4);③利用标准冠颊舌向曲线在预备体剩余牙体组织表面的投影线,以及相对应的中央沟线上的点,拟合完成预备体缺损区骀面构建线;④为保证轴面突度,在轴面的骀 1/3 和中 1/3 交界处建立一条颊舌向的直线,利用该直线在预备体剩余牙体组织上的投影线以及所对应的邻牙轴面信息,拟合完成轴面构建线。(5)嵌体外表面的生成:外表面构建线创建完成后,以嵌体预备体颊侧段洞缘线、舌侧段洞缘线和缺损区中央沟线为横向曲线即 U 曲线,以嵌体预备体近远中段洞缘

线、缺损区近远中殆缘线、轴面构建线以及殆面构建线为纵向曲线即 V 曲线,生成 UV 曲面,完成嵌体外表面的创建(图 5)。(6) 嵌体修复体的调殆:尝试模拟临床操作中的正中关系调殆过程,首先求出硅橡胶殆记录数据与嵌体殆面外表面数据的干涉区域,再用硅橡胶殆记录数据替换干涉区域内的修复体表面数据,最终完成正中关系的调殆(图 6)。

**1.2.4 设计结果的加工** 利用德国 Icoredental 公司 Eoritec 340i 四轴数控加工机床和德国 envision 公

司 Mini DDP 快速成型机分别对设计结果进行加工,并在石膏模型上试戴。

**1.2.5 嵌体 CAD 自动化软件程序的初步开发** 基于 Surfacar 11.0 软件平台,以研究中确定的 MOD 型嵌体 CAD 技术路线为依据,首先设计了软件程序的工作流程,并依据该流程要求定制了程序工具的菜单栏,最后通过编程将研究第二部分 CAD 路线中所调用的菜单函数模式化,使各个模块与软件菜单中的指令一一对应。

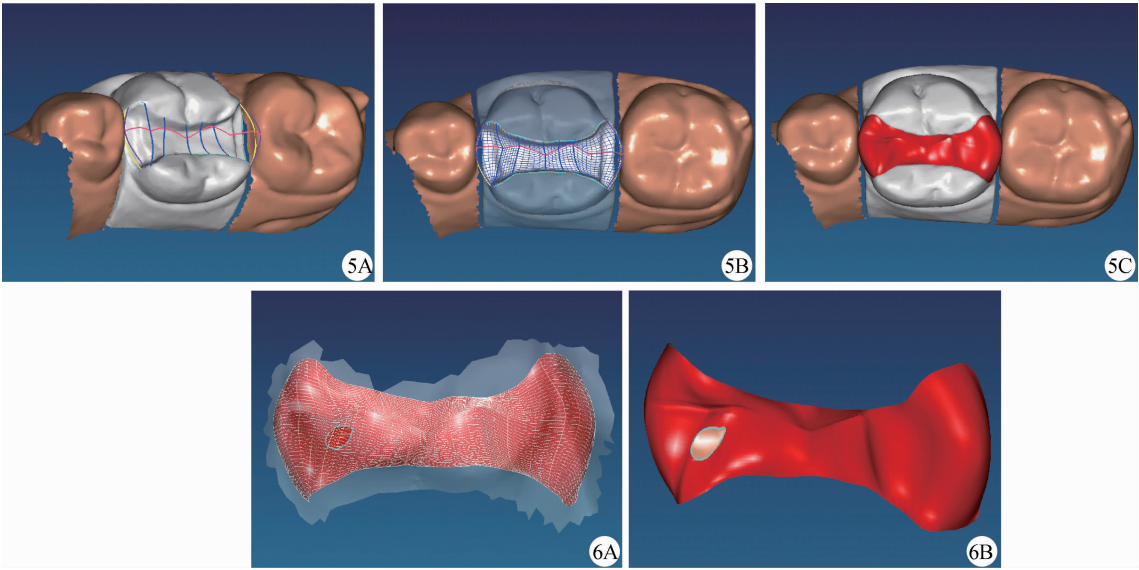


1A, the red points are shown mesial and distal crest point of standard crown; 1B, the yellow line is shown mid-line of standard crown, the mid-point of which is shown the central point of standard crown; 2A, the curves are shown mesial and distal occlusal marginal curves of standard crown; 2B, the red curves are shown buccal-lingual curves of standard; 2C, the yellow curve is shown central sulcus of standard crown; 3A, create curve or line which runs similar with margin line, and create a group of normal planes of them; 3B, generate intersecting lines of normal planes and cloud data of inlay preparation, choose the maximum curvature points of these intersecting lines; 3C, extract margin line segmented; 4A, the yellow curve is shown occlusal marginal curve of standard crown; 4B, the red curves is shown the reflections of occlusal marginal curve of standard crown on the surface of the inlay preparation; 4C, fit occlusal marginal curve using the reflections and the corresponding crest point.

图 1 创建标准冠标志点、线 图 2 创建标准冠特征曲线 图 3 洞缘线的提取 图 4 预备体缺损区殆缘线的创建

Figure 1 Landmarks of standard crown Figure 2 Characteristic curves of standard crown

Figure 3 Extraction of margin line Figure 4 Create occlusal marginal curves



5A, the construction lines of inlay preparation; 5B, generate UV surface with construction lines; 5C, completion of outer surface of inlay; 6A, find the interference region of occlusal record and the outer surface of inlay; 6B, the data of the outer surface of inlay is instead of using data of occlusal record in the interference region.

图 5 嵌体外表面的生成 图 6 嵌体修复体的调骀  
Figure 5 Create outer surface of inlay Figure 6 Occlusal grindings of inlay

2 结果

2.1 创建了可用于嵌体 CAD 设计的右下第一恒磨牙参数化的标准冠三维数据集

该数据集包括了标准冠 STL 点云数据、坐标系、用于标准冠定位的标志点和标志线以及用于嵌体外表面构建的特征曲线。

2.2 建立了一条嵌体 CAD 技术路线

嵌体 CAD 技术路线基本流程见图 7。

2.3 三维视图

本研究设计的嵌体形态上与剩余牙体组织延续协调,表面光滑,咬合与邻牙接触关系基本符合口腔生理学及殆学的要求。在石膏模型上试戴结果显示:修复体边缘较密合,正中咬合接触及邻面接触情况符合设计要求,修复体体外表面形态与剩余牙体组织表面基本相延续,符合美学要求(图 8)。

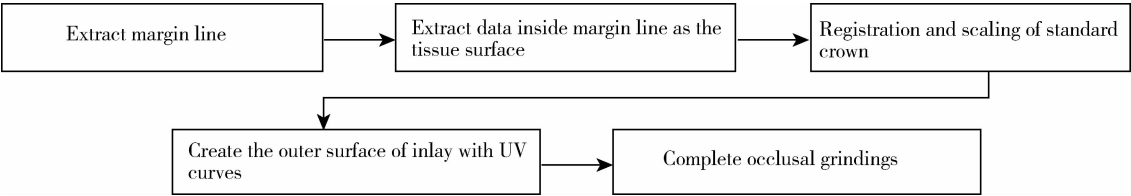
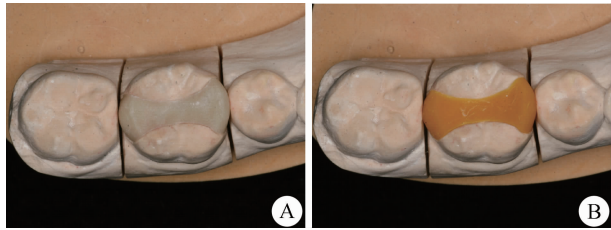


图 7 嵌体 CAD 路线流程图  
Figure 7 Process of inlay CAD guideline



A, the restoration is processed by numerical control machining; B, the restoration is processed by rapid prototyping.

图 8 嵌体修复体在模型上试戴  
Figure 8 Try-in on the cast

基于 Surfer 11.0 软件平台,初步完成了 MOD 型嵌体 CAD 专用软件程序的开发以及菜单栏的制作(图 9),利用该程序可方便、快捷并较为自动化的完成 MOD 型嵌体的 CAD,流程如下:(1)调入 STL 文件;(2)提取洞缘线和组织面(只需通过给定窗口交互性选取 10 个洞缘线点);(3)标准冠定位配准(只需通过给定窗口选取近、远中邻牙各一边缘嵴点);(4)自动完成外表面生成和调骀。



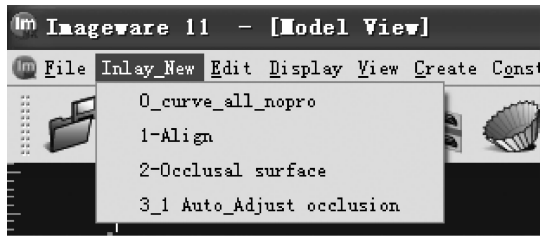


图9 嵌体 CAD 专用软件程序菜单,指令依次为:提取沟缘线和组织面、标准冠定位配准、外表面生成、正中关系调殆

**Figure 9** Menu of inlay CAD software. Menu commands are followed by: extraction of margin line and tissue surface, registration and scaling of standard crown, creation of outer surface and occlusal grindings

### 3 讨论

#### 3.1 参数化标准冠的建立

口腔 CAD 技术与工业 CAD 技术不同,其设计对象为个体化差异很大的口腔修复体,并且修复体的构成曲面均以复杂曲面为主;目前口腔修复 CAD/CAM 系统均采用逆向方法,以数据库中相应标准冠数据为模板,依据预备体、预备体邻牙和预备体对颌牙殆面形态等约束条件对标准冠三维数据进行整体或局部的空间几何变换,进行反求设计<sup>[7-8]</sup>。但是,标准冠和个体化的牙体预备体在形态上有较大的差异,对计算机系统而言,单纯从两者的点云数据出发进行标准冠的定位配准和形态变换较为困难,所以在本研究中,基于牙殆的生理解剖学知识<sup>[13-14]</sup>,在参数化标准冠数据中一方面建立了近远中边缘嵴点、中央沟和中央点作为标准冠的定位标志点和标志线,用于和邻牙相对标志点进行匹配,以完成之后研究中标准冠定位配准的需要;另一方面,建立有限的 B 样条曲线来表达标准冠的外形特征,由于 B 样条曲线具有良好的局部控制性以及连续性,曲线形状由控制点可任意操纵<sup>[15]</sup>,从而可以经过变换来形成预备体缺损区的形态构建线。

#### 3.2 嵌体外表面形态设计中的生理学考虑

嵌体预备体相对全冠而言,自身剩余牙体组织较多,嵌体本身形态特征受到剩余牙体组织形态影响较大。本研究主要借助定位缩放后的标准冠上特征曲线,来变换形成预备体缺损区域的形态构建线,使之即能与剩余牙体表面形态相连续,又能表达缺损区的主要形态特征。

#### 3.3 嵌体 CAD 路线的加工可行性

本研究中加工完成的修复体只在模型上进行了

试戴,并且对于试戴结果只进行了肉眼观察下的初步判断,尚未对其边缘密合性、组织面密合性、邻面接触以及咬合接触等进行定量评测。

#### 3.4 开发自动化嵌体 CAD 软件平台的可行性

本研究所用的软件平台 Surfer 11.0 软件提供了基于内嵌 Scoll 语言的二次开发功能<sup>[9]</sup>,用户可通过 Scoll 语言来开发各项任务的快捷方式、自定义菜单和热键等,并可使用更高级别的 Scoll 语言功能进行复杂程序脚本的编写,其中,Scoll 语言提供了菜单 Scoll 函数(menu scoll functions),即将函数所有功能放置于软件菜单上。本研究的空间配准以及点线生成等过程大部分采用软件的菜单函数予以完成,减少了设计路线中的手动交互式操作内容,为具有较高自动化设计能力的嵌体 CAD 软件程序的开发提供了较为适合的方法路线。

#### 参考文献

- [1] 吕培军. 数学与计算机技术在口腔医学中的应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001: 3-66.
- [2] Richard D. The history and clinical application of a chairside CAD/CAM dental restoration system[J]. 上海口腔医学杂志, 2006, 15(5): 449-455.
- [3] 刘洪臣,王燕一,江 南,等. 口腔修复技术进展[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2000, 1(2): 117-119.
- [4] Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, et al. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine[J]. Int J Computeriz Dentist, 2004, 7(1): 25-45.
- [5] 李晓萌,高 平. 牙科 CAD/CAM 系统的主要技术构成及研究现状[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2005, 6(4): 299-301.
- [6] 谭晓蕾,张少锋,郭 航. 椅旁牙科 CAD/CAM 系统及临床应用进展[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2008, 9(3): 227-229.
- [7] 林 映,王树杰,宋丽娜,等. 逆向工程的计算机辅助设计嵌体的研究[J]. 口腔材料器械杂志, 2004, 13(2): 75-82.
- [8] 刘明丽,吕培军,王 勇,等. 基于逆向工程技术的嵌体计算机辅助设计[J]. 中华口腔医学杂志, 2005, 40(1): 70-73.
- [9] 王树杰,林 映,宋丽娜,等. 基于 Surfer 二次开发的口腔固定修复 CAD 系统[J]. 计算机工程与应用, 2004, 28: 191-194.
- [10] 邹 波,吕培军,王 勇. 标准牙冠数据的获取[J]. 实用口腔医学杂志, 2002, 18(6): 550-552.
- [11] 邹 波,王 勇,吕培军,等. 标准牙冠三维模型的建立及其可操作平台的研究[J]. 现代口腔医学杂志, 2002, 16(1): 34-37.
- [12] 邹 波,吕培军,王 勇,等. 标准牙冠计算机三维图形的重建及其空间几何变换的研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2002, 18(6): 553-556.
- [13] 谢秋菲. 牙体解剖与口腔生理学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005: 89-103, 154-168.
- [14] 冯海兰,徐 军. 口腔修复学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005: 24-43.
- [15] 何援军. 计算机图形学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 125-133.

(2010-10-09 收稿)  
(本文编辑:王 蕾)