人工牙功率超声抛光仪的研制*

童世玮　兰从庆　许克克　熊　伟
(中国科学院武汉物理与数学研究所　武汉 · 430071)

本文介绍了功率超声抛光的主要物理机理和以 D 类功率放大器实现超声抛光的电路工作原理; 给出了功率超声抛光仪的电路图和实验结果。为功率超声加工的广泛应用增加了新内容。

关键词:　功率超声抛光,　D 类功率放大器,　振动位移幅度,　光洁度

The development of an ultrasonic polishing instrument for artifical teeth

TONG Shiwei　LAN Congqing　XU Keke　XIONG Wei
(Wuhan Institute of Physics & Mathematics, Academia Sinica, Wuhan · 430071)

Key words:　ultrasonic polishing,　class D power amplifer,　displacement amplitude of vibration,　fineness

1　引　言

目前,功率抛光器械在日本、俄罗斯、德国、美国等国家已得到较为广泛的应用,尤其在日本,相当多县级以上的医院都配有此类设备。该类器械具有安全、简单、高效的优点,易于加工表面形状复杂及非金属硬脆材料,并且不受材料导电性能的限制,因此深受用户欢迎。

功率超声抛光仪把超声振动附加在研磨抛光工具夹头或工具上,以一定的振动位移幅度作振动,从而改善研磨抛光效果。它是提高抛光工件的光洁度一种新的抛光仪器。

在牙科医疗中,硬质合金(人工牙材料)的研磨和抛光以前一直用砂轮研磨抛光为主。这种抛光方式会产生大量的粉尘和热量,使得作业环境恶化,工作人员劳动强度大;同时,研磨部位不同,抛光效果也不同。特别是研磨金属冠的咬合面沟及附着体的内表面、金属冠和桥体连接部位的狭窄处会十分困难。超声波具有多种特殊的作用效果。用超波抛光仪处理这些细微的部位是非常有效的。它还具有效率高、光洁度和精度高等一些突出的优点。因此它受到了牙科医生重视,成为人工牙抛光,提高光洁度质量的关键器械。

2　功率超声研磨抛光的物理机理

功率超声研磨抛光是将超声波作为能量来加以应用,其物理机理与超声洁牙相同。牙结石的去除是超声波的振动通过金属变幅杆末端传递到齿石,使牙结石被振动而从齿质上将牙结石剥离,在这方面曾有人通过实验测试出:在频率为 20kHz,功率为 $2W/cm^2$ 的超声波在清洁液中传播时,它将引起质点的振动位移幅度为 1.32μm,速度为 0.16m/s,加速度为 $2.04\times10^4 m/s^2$(2000g,g 为重力加速度),声压为 2.45×10^5Pa(2.45atm),由此表明,工件表面物层每秒将遭受到清洗液 2

*　第一作者:童世玮,男,1947 年 2月生,高级实验师
收稿日期:97-11-24;修回日期:98-2-23

万次从正 2.45 大气压到负 2.45 大气压激烈的冲击。这是对行波场计算的结果。

事实上, 在清洗槽中, 声场更接近于混响场, 这一过程就更为激烈。因此, 这种冲击力是很强的, 这种强烈的冲击力也可通过变幅杆传递到夹具头。当夹具头作纵向振动时, 就冲击磨料抛光的钼粉混合流体(即磨料钼粉、胶剂、水份等), 它们又直接冲击工件表面进行抛光(人工牙)。所以, 抛光主要是利用钼粉颗粒的连续冲击作用, 与此同时, 抛光钼粉在混合流体(胶剂、水份等) 中的微气泡(空化核) 在声场的作用下也振动起来。当声压达到一定值时, 气泡将迅速增长, 直至爆炸。然后突然闭合, 在气泡闭合的瞬间将产生强大的冲击波, 于是在抛光物体表面形成上千个大气压的压力(也可说是场)。这个压力又与直接冲击抛光体的钼粉混合流体一起会合成一股强大的摩擦力, 轰击抛光工件表面(人工牙) 进行抛光, 从而提高了研磨抛光效率和被抛光工件的光洁度。从使用结果知道, 这种方法在粗加工后特别有效。

3 电路工作原理

功率超声抛光仪电路图如图 1、基本结构如图 2 所示。超声抛光仪主要由 LC 振荡器、跟随器、倒相放大器、互补激励级、D 类功放、推挽放大器、超声振动系统、抛光材料供给系统及电平显示和电源 10 大部分组成。

其工作原理为: 由BG1、R1、R2、R3、C1、C2、L1、C3、C4 构成超声频率振荡器(LC), 通过 C5 耦合电容把振荡信号传递到第 2 级 BG2 跟随器, 这是一个阻抗匹配器, 它能使前后级很好地连接起来, 并达到合理的阻抗匹配, 得到稳定的信号输出。此信号通过 C7 耦合输入到互补激励级 BG4 和 BG5, 这级有较大的负载能力, 能把信号放大到有足够幅度的激励信号, 以便适用于下级 BG6 和 BG7 的需要, 该级属于 D 类功放。从实际电路图可看出, BG6 和 BG7 组成了 “图腾柱线路 ” (它是 D 类放大器的主要组成部分), 从而对负载有较强的驱动能力(BG6 和 BG7 使用开关管效率会更好些)。

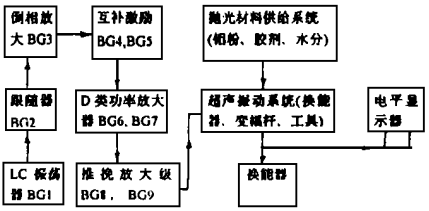

图 2 系统结构框图

D 类功放的主要特征是使用矩形脉冲 (BG6 和 BG7 工作于开关状态)。与其它放大器相比它有很多优点: 如电路简单, 相位或时间控制容易, 特别是效率高。过去用的 A 类功放导通角为 180°, 理想效率为 50%; B 类功放其导通角虽为 90°, 但理想效率只有 78.5%, D 类功放属开关功率放大器, 其激励信号、集电极电压、电流波形均为矩形脉冲, 其效率可达 90%。1975 年 Sokals 提出的 E 类功放, 虽然效率可达 95%, 但仅适于单频

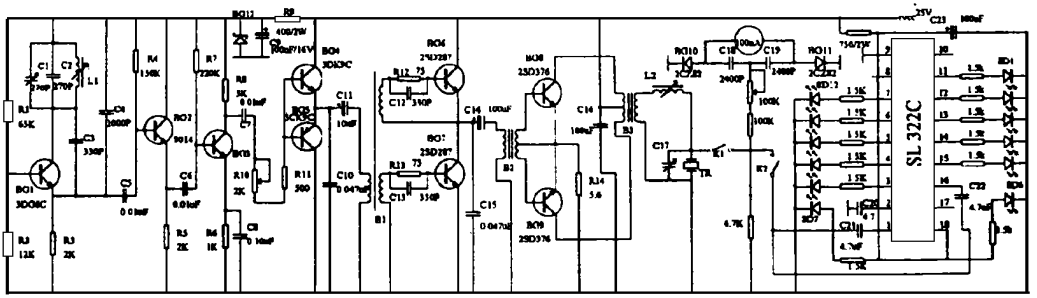

图 1 电路工作原理图

工作方式,不能宽带使用。所以我们采用了 D 类功放。BG8 和 BG9 等组成推挽式功放电路,前级通过调谐匹配或功率滤波,使负载获得基频信号即正弦波输出。该级功率输出大,并且不会引起直通。

SL322C 和 100μA 的电表电路为电平指示器,安装在仪器面板上。面板上有两个微型开关 K1 和 K2。若仪器在人体口腔作业时,K1 合上,K2 弹开,因为 100μA 表头可显示所需高频电流的具体数据,以便医生把握工作强度。若仪器在工作台上抛光人工牙时,可把开关 K2 合上,K1 弹开,因为此时的强度指示只要定性就可以了。这时可见仪器面板上红绿灯不断闪烁,指示仪器工作正常。

B1 和 B2 匹配变压器最好采用 C 型变压器磁芯,因为它具有一些独特的优点:如效率高,涡流损耗小,与 E 型铁芯相比,在同样的功率条件下,其体积、重量可比 E 型小 30%以上。注意以下两个问题:(1)在设计时应留有一定余地,保证设计的变压器使用时温升不超过额定值。(2)要注意绕线的方向,初级要包在次级之内。

B3 变压器可以使用 E 型磁芯,但要注意两块 E 型磁芯适当厚度的纸片。初级线圈匝数 N_1 可按下式选取:

$$N_1 = \frac{\sqrt{2.0}V_{cc}}{(4.44 f_0 S 10^{-8} B_s)} \quad (1)$$

V_{cc} 为电源电压,f_0 为工作频率,S 为铁磁芯截面积(cm^2),B_s 为磁感应强度(高斯)。次级线圈的匝数 N_2 按下式选取:

$$N_1 / N_2 = \sqrt{R'_L / (\eta R_L)} \quad (2)$$

R'_L 为集电极单边等效负载(Ω)。R_L 为次级负载(如换能器等效电阻),$\eta = 0.8$。

研磨抛光头是采用功率超声聚焦型纵向复合棒换能器结构的理论设计的。材料为普通不锈钢材料,频率为 25kHz～40kHz,抛光头型有多种。但目前使用的为 2/3(对抛光头而言)纵向截体半椭圆锥体型,它具有一个平面、一个圆锥体面及锥尖任意弧度形表面。它小巧玲珑,操作方便,便于携带。可视为多功能抛光工具。

4 实验结果

实验结果(同湖北省口腔医院合作)如表 1 所示。表中给出了人工牙的加工精度、光洁度和钼粉精度的关系。在抛光人工牙时频率应选 40kHz 以下,位移幅度一般在 5μm～60μm 内为宜。在此条件下,超声抛光比砂轮机械抛光要快得多,工效提高十几倍,并能达到最高的光洁度。粗抛光宜用较大的位移幅度和较低的频率,精抛光则宜用较小的位移振幅和较高的频率。我们选用 5μm 左右的位移振幅,用竹质作抛光头,配有金刚石软膏,软膏牙齿的光洁度可达 10 级以上。

超声抛光的主要装置如图 3 所示。

表 1 人工牙加工精度、光洁度和钼粉精度的关系

钼粉精度(标号)	加工精度(μm)	平整度(R_a)(均方根值 μm)	光洁度
250～300 320～420	±50	0.55～0.68	0.80/▽
550～750	±15	0.3～0.4	0.40/▽
1000	±6～8	0.25～0.28	0.20/▽
2000	±3	0.048～0.089	0.100/▽

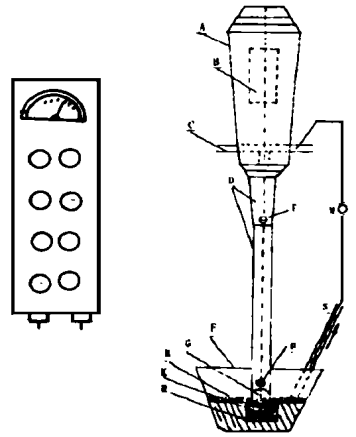

图 3 超声抛光仪主要装置示意图

A 不锈钢柄套、B 换能器、C 抛光材料入口、D 变幅杆、E、固紧螺丝、F 容器、G 抛光头、P 螺丝、H、钼粉混合体、K 工件、R 工件槽、S 回流导管、M 泵。

参考文献

1 程存弟主编. 超声技术—功率超声及其应用.

西安师大出版社

2 冯若, 黄金兰. 超声清洗及其物理机制. 应用声学, 1994; (1): 42

3 林仲茂. 功率超声发展近况和展望. 94 年全国声学学术会议论文集: 47

4 胡长阳编. D 类和 E 类开关模式功率放大器. 高等教育出版社

国际声学动态

日本新建两大厅堂项目

1. 东京新建国家剧院, 占地 44000m^2, 于 1997 年 9 月开幕。内有 1800 座的歌剧院, 14500m^3, 满场混响时间 1.5s; 1038 座的小剧场, 7200m^3, 满场混响时间 1.1s; 1636 座的音乐厅, 15300m^3, 满场混响时间 1.95s。各厅尚有 EDT, BR, t, IACC, C80 和噪声等多项测量指标。该项工程于 1985 年开始建筑设计国际竞赛, 日本 TAK 设计事务所获奖。声学顾问由美国 Beranek 和 TAK 联合进行。设计中利用了计算机辅助设计、1∶10 模型试验、材料实物试验等手段, 前后化了 7 年时间。设计之初, 与建筑师成立联合调查研究小组, 一起参观世界著名剧场和音乐厅, 并作声学测量和意见采集, 从而提出本工程的音质设计指标, 并发表多篇声学论文。

2. 东京国际论坛是一座当今最花钱的城市多用演艺中心, 耗资达 16 亿美元之巨。1985 年开始筹建, 有 50 个国家的 395 个设计者参加竞赛, 1989 年 3 月由各方面专家 8 人评选出 Rafael Vinoly 的设计为最佳方案。1992 年 10 月开始施工, 1996 年土建完成, 1998 年 1 月正式开幕。声学设计由美国 Jaffe 声学事务所和日本雅马哈声学研究所承担。内有 4 个大厅: A 厅为 5000 座的多功能大会堂, 容积达 55000m^3。供各类轻音乐和会议之用, 空场混响时间 2.0s, 满场 1.8s, 会议时 1.4s。B 厅为展览和招待会之用, 面积 1400m^2, 可容 1200 人。开敞时空场混响时间 1.7s, 分隔时 1.3s。C 厅为 1500 座(20499m^3) 以自然声演出的古典音乐兼歌剧厅, 空间可以改变。空场中频混响时间 2.0s, 满场 1.9s, 会议时 1.4s。D 厅为戏剧、录音、电视演播等通用大厅, 容积 4576m^3, 平顶可动。中频混响时间为 0.9s～1.4s。B 厅和 D 厅均有可调音质的扩声系统。鉴于基地之下有多条繁忙的地下铁道通过, 并为防止地面噪声, 故在隔振和隔声方面均做了仔细考虑。本项目中还包括一个巨型玻璃中庭式大厅, 体积达 250000m^3, 其声学处理也是一个难题。 王季卿

会议报道

全国声学标准化会议

全国声学标准化技术委员会第 4 届第 2 次全体委员会会议于 1998 年 10 月 6 日～10 日在江苏省常熟市召开。会议在主任委员马大猷院士主持下, 由正、副秘书长章汝威和吕亚东分别汇报了一年来工作情况及 1999 年度工作打算。会议认真地审查了各分委员会送来的 9 项标准, 并投票通过, 整理后将上报国家技术监督局批准发布。这 9 项标准是: (1) 测听方法, 第 3 部分: 语言测听。(2) 校准测听设备的基准零级, 第 1 部分: 压耳式耳机纯音基准等效阈声压级。(3) 同(2), 第 4 部分, 窄带掩蔽噪声的基准级。(4) 同(2) 第 7 部分: 自由场和扩散场测听的基准听阈。(5) 机器设备发射的噪声: 工作位置和其它指定位置发射声压级的测量——一个反射面上方近似自由场的工程法。(6) 同(5) —— 现场简易法。(7) 同(5) ——环境修正法。(8) 风机辐射入管道的声功率测量 —— 管道法。(9) 声强法测定噪声源声功率级, 第 2 部分: 扫描测量。以上各项基本上为等效采用 ISO 已公布的相应标准。 王季卿