

组合式金刚石圆锯片创新及优化设计^{*}

王 志 张进生 王学礼

(山东大学机械工程学院 济南市经十路 73号 250061)

(山东省石材工程技术研究中心 济南市经十路 73号 250061)

摘要 传统金刚石圆锯片的有效切割宽度只有其直径的 30~35%。为在普通规格的金钢石圆盘锯上低成本、高效率的加工大幅面石材制品,本文基于创新设计原理和圆锯片、锯机结构与功能的分析,将圆锯片分解为切割功能模块、支撑功能模块和驱动功能模块,提出新型组合式金刚石圆锯片基体的设计方案,使圆锯片的切割幅面达到其直径的 2/3。应用有限元分析软件 ANSYS 在结构分析、模态分析的基础上对组合式金刚石圆锯片基体径厚比、切割功能模块尺寸进行优化设计。结果表明:结构优化后的 $\Phi 1800\text{mm}$ 组合式金刚石圆锯片基体质量减轻 3.048kg,一阶固有频率提高 3.235Hz,圆锯片直径和厚度均有所降低,动态性能更加稳定,结构更加合理。

关键词 金刚石圆锯片;组合式;优化设计;创新

中图分类号 TQ164 **文献标识码** A

Innovation and optimum design of combined diamond saw blade

Wang Zhi Zhang Jinsheng Wang Xueli

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

(Stone Engineering Center of Shandong Province, Jinan 250061, China)

Abstract Conventional diamond saw blade has an obvious shortcoming—its effective cutting width is only 30~35% of the saw blade diameter. In order to meet the demand of large breadth stone cutting at low cost and high efficiency, the concept of a combined diamond saw blade is put forward in this paper. The new saw blade is composed by 3 function modules, namely cutting function module, supporting function module and driving function module. The diameter/thickness ratio of the saw core as well as the size of the cutting function module were optimized by means of ANSYS. The results indicated that for a $\Phi 1800\text{mm}$ combined diamond saw blade, the core mass was reduced by 3.04kg, the first inherent frequency was increased by 3.235 Hz. Both the diameter and thickness were decreased. The cutting width of the new saw can reach 2/3 of its diameter.

Keywords diamond saw blade; combined; optimum design and innovation

1 创新设计

建筑装饰和制造业对大幅面石材、木材制品需求量的增大,尤其是石材,使得幅面宽度在 900mm~1200mm 的制品在加工中所占的比重越来越大。但是普通金刚石圆锯片存在一个明显的缺陷:有效切割宽度只能达到圆锯片直径的 30~35%。要扩大切割幅面,只有增加圆锯片直径,但大直径尤其是超大直径锯片、锯机的昂贵成本致使其高效、低成本的优势荡然无

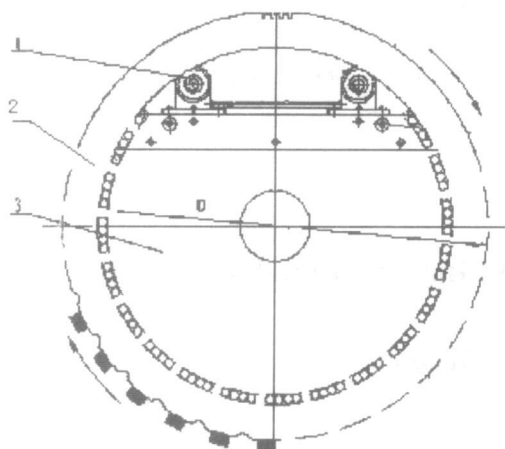
存。因此,如何在普通规格的金钢石圆盘锯上低成本、高效率的加工大幅面石材制品成为整个石材业研究与生产单位渴望解决的难题。

机械创新设计理论的发展和生产工程对切割工具要求的提高,为圆锯片的创新结构研究提供了发展空间。课题经过大量调研,充分分析、研究普通金刚石圆锯片、圆盘锯机的工作原理,认为要使圆锯片的切割幅面超过其半径,只有将整体式圆锯片拆分为组合式圆锯片。本文突破传统圆锯片安装、驱动方式上的局限,

^{*} 山东省自然科学基金资助项目(Y2003F11)

应用创新设计思想方法和功能分析原理,将圆锯片分解为切割功能模块、驱动功能模块和支撑功能模块,如图 1 所示^[1]。通过对支撑功能模块、驱动功能模块进行剖析、创新、变形、重构,综合考虑机械整体性能和经济性因素,优选出分别实现驱动功能和支撑功能的结构模块,最终提出新型组合结构圆锯片设计方案。

这样,通过改变现有的整体式圆锯片的驱动、支撑方式,实现了 $\Phi 1800\text{mm}$ 圆锯片的创新设计,使圆锯片的切割幅面达到其直径的 $2/3$ 满足市场对幅面宽度在 $900\text{mm} \sim 1200\text{mm}$ 的石材制品加工需求。



1—驱动功能模块 2—切割功能模块 3—支撑功能模块

图 1 新型组合式圆锯片概念设计示意图

2 优化设计数学模型的建立

在设计过程中,常常要根据产品的设计要求,合理确定各种参数,以期达到最佳的设计目标^[2]。文章已对组合式金刚石圆锯片进行了结构静力分析、模态分析。从分析数据看,新型组合式金刚石圆锯片在工作性能和动态性能上和同直径大小的普通圆锯片存在一定的差距,说明组合式金刚石圆锯片基体尺寸参数的初始设计存在一定的缺陷,为了提高锯片工作的稳定性及其动态性能,本文拟在结构静力分析、模态分析的基础上对组合式金刚石圆锯片基体进行优化设计,根据组合式金刚石圆锯片的设计要求,探索切割外环的最佳径厚比以及内外径的最佳尺寸。通过新型组合式金刚石圆锯片基体的优化设计,不仅可以减轻质量,降低材料消耗和制造成本,更为重要的是可以提高组合式金刚石圆锯片工作的稳定性^[3,4]。

对组合式金刚石圆锯片基体进行优化设计,首先要建立其数学模型^[5,6]。数学模型的建立是优化设计的开始,包括设计变量、状态变量以及目标函数的选择。

2.1 设计变量的选择

设计变量一般是优化目标的结构参数,对于组合式金刚石圆锯片基体,构成切割功能模块的切割外环的内外圈半径及基体的厚度就是设计变量。优化设计中,选取市场需求量最大的直径 $\Phi 1800\text{mm}$ 圆锯片为例,对基体的尺寸方面进行优化设计,而对于锯片的水槽及锯片基体内圈结构的优化暂时忽略。三个设计变量及表达如下:

基体切割外环外圈半径 $R1 (0.85 \leq R1 \leq 1)$, 初值取 0.9m ;

基体切割外环内圈半径 $R2 (0.6 \leq R2 \leq 0.75)$, 初值取 0.75m ;

基体厚度 $TH (0.006 \leq TH \leq 0.008)$, 初值取 0.008m 。

其中,考虑到切缝的大小,基体的厚度限制在 0.008m 以内。

2.2 状态变量的选择

在 ANSYS 中,状态变量一般是后处理器中的计算结果,优化对象的最大应力、最大挠度、最大变形量以及模态分析中的一阶固有频率都可以作为优化设计中的状态变量。因此将基体结构静力分析中 X 方向的最大变形量、基体的最大平均等效应力及模态分析中的第一阶固有频率作为基体优化设计的状态变量。可以将普通金刚石圆锯片的有限元分析数据作为组合式金刚石圆锯片优化设计中状态变量的上下限参考,以期使组合式金刚石圆锯片的动态性能和使用性能达到或接近普通金刚石圆锯片。表达如下:

组合式金刚石圆锯片基体最大等效应力: $\text{von_mises} (\text{von_mises} \leq 0.7 \times 10^7)$;

组合式金刚石圆锯片基体最大变形量: $\text{defo_m} (\text{defo_m} \leq 0.5 \times 10^{-4})$;

组合式金刚石圆锯片基体第一阶固有频率: $\text{freq} (4 \leq \text{freq} \leq 12)$ 。

2.3 目标函数的选择

可以作为目标函数的主要是产品的性能参数、使用性能参数以及获得最大经济利益的数据。例如:优化对象的表面积、体积、质量、变形量、挠度等等。一般来说,优化目标一般是物体的质量,这也是关系到经济效益、制造成本最直接的因素。在本次优化设计中,选质量作为组合式金刚石圆锯片的目标函数。目标函数数学符号为 WT , 数学式表达为:

$$f(WT) = f(R1, R2, TH) \quad (1)$$

2.4 数学模型的建立

有了设计变量、状态变量和目标函数,便可对组合

式金刚石圆锯片基体建立数学模型。通常情况下, 目标函数的最优值一般是最小值。基体优化设计数学模型表达如式 2 所示。

$$\begin{aligned} \min WT &= \min (R_1, R_2, TH) \\ 0.85 &\leq R_1 \leq 1 \\ 0.6 &\leq R_2 \leq 0.75 \\ 0.006 &\leq TH \leq 0.008 \\ \text{von_mises} &\leq 0.7E+7 \\ 0 &\leq \text{defm} \leq 1.0E-4 \\ 5 &\leq \text{freq} \leq 12 \end{aligned} \tag{2}$$

3 优化结果分析

为了深入研究组合式金刚石圆锯片基体结构变化对其工作性能和动态性能的影响, 分三次在选取不同的状态变量情况下对组合式金刚石圆锯片进行优化设计。第一次优化设计状态变量只选取组合式金刚石圆锯片基体的最大变形量; 第二次优化设计状态变量选取组合式金刚石圆锯片基体的最大变形量和最大等效应力; 第三次优化设计的状态变量是基体的最大变形

量、最大等效应力和模态分析中第一阶固有模态, 主要考虑到锯片的动态性能。三次优化设计中的状态变量的上限都选取同直径大小的普通金刚石圆锯片的有限元分析数据, 优化设计分析流程图如图 2 所示。

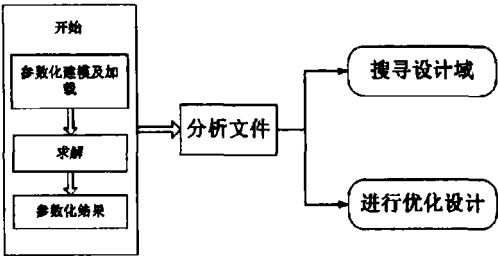


图 2 优化设计流程图

3.1 最大等效平均应力约束下基体优化设计结果分析

在状态变量为最大等效应力的情况下, 选最大迭代次数为 10 经优化求解后产生了十一组优化组合序列。在此, 只选取有代表性的组合序列汇成表 1(其中最优序列前有标有 *), 基体质量优化曲线如图 3 所示。

表 1 组合式金刚石圆锯片基体优化组合序列结果 1 (Pa m, kg)

序列	SET 1	SET 2	SET5	SET6	* SET8 *	SET9
VON MIZES	0.66874E+7	0.67955E+7	0.67816E+7	0.68407E+7	0.69741E+7	0.72658E+7
R1	0.9	0.89729	0.91709	0.92247	0.90393	0.89784
R2	0.75	0.75276	0.73617	0.74548	0.76890	0.77344
TH	0.8E-02	0.8E-02	0.8E-02	0.8E-02	0.79846E-2	0.79775E-2
WT	48.497	46.728	58.612	57.845	44.176	40.625

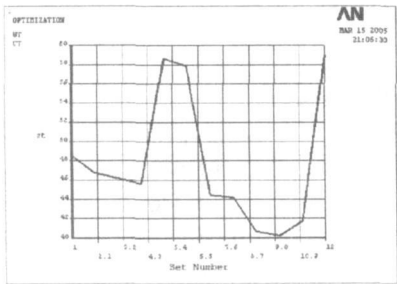


图 3 组合式金刚石圆锯片基体质量优化曲线

从表 1 分析数据可以看出, 在满足最大等效应力约束的情况下, 设计序列 8 被认为是最优化设计:

(1)设计序列 9 中最大等效应力超出了约束范围, 虽然质量最小, 但不是合理设计。在排除设计序列 9 的情况下, 设计序列 8 满足最大等效应力约束, 而质量最小, 是最优设计;

(2)从设计参数上可以看出, 最优化参数同初值相差不大。说明最初的设计有一定的合理性;

(3)同初始设计的新型组合式圆锯片相比, 在稍微改变结构参数的情况下, 结构参数优化后的圆锯片最大等效应力有所降低, 质量下降了 3.321kg

3.2 最大变形量、最大等效应力约束下基体优化设计结果分析

在考虑最大变形量的情况下对组合式金刚石圆锯片基体进行了第二次优化。在结构静力分析中可以看到组合式金刚石圆锯片基体在 X 方向有很大的变形量。在本次设计中, 将组合式金刚石圆锯片基体在 X 方向上的变形量限制在 1E-4m 的情况下得到了 13 组优化设计序列。同样选取有代表性的汇成表 2(带 * 的为最优化设计序列), 基体质量优化曲线如图 4 所示。

表 2 组合式金刚石圆锯片基体优化组合序列结果 2

序列	SET 1	SET 2	SET6	SET8	* SET10*	SET12
DEFORM	0 84771E - 4	0 5869E - 4	0 87725E - 4	0 89974E - 4	0 77281E - 4	0 45769
VON_MIZES	0 64425E+ 7	0 67712E+ 7	0 66614E+ 7	0 66858E+ 7	0 69066E+ 7	0 73402E+ 7
R1	0 9	0 90455	0 87908	0 87812	0 83049	0 83358
R2	0 75	0 72978	0 73411	0 73469	0 68351	0 65105
TH	0 8E - 2	0 79822E - 2	0 79489E - 2	0 79468E - 2	0 75669E - 2	0 76006E - 2
WT	48 497	55. 845	45. 531	45. 027	41. 242	50 450

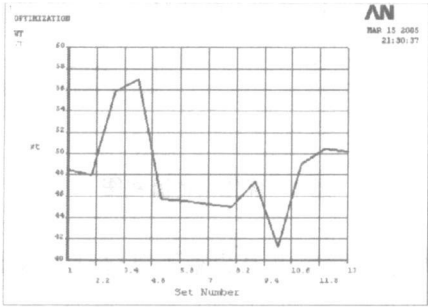


图 4 组合式金刚石圆锯片基体质量优化曲线 2

在考虑到最大变形量的约束下,表 2所给出的优化序列中都被认为是合理的设计,其中序列 10是最优化序列:

- (1)同表 1给出的最优化序列相比,新型组合式圆锯片基体的质量进一步下降,达到 41.242kg
- (2)从状态变量中可以看出,最大变形量、最大等效应力都比初始设计的新型组合式圆锯片基体小,说明优化后的新型组合式圆锯片工作性能更好;
- (3)从设计变量上看,设计变量参数值都有不同程度的下降。切割外环外圈直径的下降使得锯片锯切直径有所减小,但锯片基体厚度的降低则使得锯缝更小,这是设计所希望的;
- (4)整体上看,锯片的切割幅面宽度有所下降,锯切缝隙有所减小,工作性能更稳定。

3 3 最大变形量、最大等效应力、一阶固有频率约束下基体优化设计结果分析

上面在考虑最大变形量、最大等效应力的情况下对组合式金刚石圆锯片基体进行了优化设计,提高了锯片的使用性能。但是没有考虑锯片的动态性能。从模态分析中可以看出,组合式金刚石圆锯片基体同普通金刚石圆锯片相比,一阶固有频率较低,说明锯片极易被激振而产生振动。在考虑锯片动态性能的情况下对锯片进行第三次优化设计,主要目的在提高锯片动态性能的前提下,达到锯片的最优化设计。优化设计结果得到了六组优化设计序列,汇成表 3(带 * 序列为最优化设计序列),基体质量优化曲线如图 5所示。

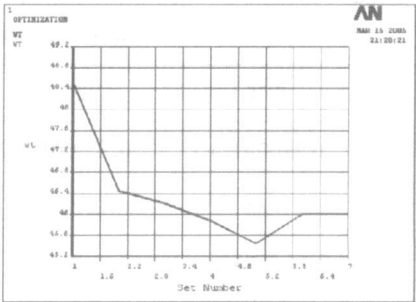


图 5 组合式金刚石圆锯片基体质量优化曲线 3

从表 3中可以看出,所给出的六组优化设计序列都是合理的设计:

表 3 组合式金刚石圆锯片基体优化组合序列结果 3

序列	SET 1	SET 2	SET3	SET4	* SET5 *	SET6
DEFORM	0 84694E - 4	0 93733E - 4	0 94580E - 4	0 96217E - 4	0 97504E - 4	0 94457E - 4
FREQ	5 04167	5 4256	5 4306	5 4327	5 446	5 4472
VON_MIZES	0 64446E+ 7	0 65501E+ 7	0 65708E+ 7	0 65855E+ 7	0 66165E+ 7	0 65866E+ 7
R1	0 9	0 89663	0 89585	089522	0 89337	0 89392
R2	0 75	0 75279	0 75259	0 75298	0 75207	0 75083
TH	0 8E - 2	0 79942E - 2	0 79909E - 2	0 79896E - 2	0 79809E - 2	0 79801E - 2
WT	48 497	46 457	46 220	45. 879	45. 449	46 001

- (1)最优化设计序列 5 质量为 45.446kg 同表 2给出的最优化设计相比,锯片基体的质量略有提高,这是考虑锯片基体一阶固有频率的结果;
- (2)从优化参数可以看出,在取得最优化结果的情况下,新型组合式圆锯片基体的一阶固有频率为 5

- 4466 比初始设计的圆锯片基体的一阶固有频率 2221略有提高,说明优化后的新型组合式圆锯片基体比初始设计的动态性能好;
- (3)从设计变量上看,新型组合式圆锯片基体切割外环外圈直径比初始设计要小, (下转第 49 页)

低、湿度过大时,一是容易产生凝结露,常常会造成电极腐蚀、绝缘体爬电等故障而导致设备停车;二是会影响基体的理化指标。因此,应综合考虑、选择适宜的静电植砂间空气温、湿度。空气流速除对驱进速度有影响外,对极板边缘处磨料颗粒能否正常荷电进而完成植砂工艺也有一定的影响。因此,合理选择静电植砂间的空气环境参数以保证工艺的正常进行。

5 实例介绍

某砂带公司静电植砂机采用可控硅调压供电装置,电压为 60kV,电流为 8 0mA,电极为平行电极板,布基含湿率为 10 33% (重量百分比),磨料分别为 P100 和 P180 棕刚玉,每小时植砂 300m²,植砂间长、宽、高分别为 5 0m、3 5m、2 2m。

针对该静电植砂间工艺要求,为达到最佳工况,结合生产工艺,运用空气调节和静电收尘的有关理论,通过大量实验,最终选择其静电植砂间的空气参数为:空气温度为 25℃±2℃;相对湿度为 50%±5%;空气流速分别为 1 2m/s 和 1 0m/s。

上述空气参数是靠一台 SH-50BII 型恒温恒湿机组和可调式多孔送风箱来保证的,运行两年多来,空气

环境稳定,各项工艺指标正常,确保了产品的产量和质量。

6 结束语

静电植砂作为涂附磨具生产中高效植砂方法,在业内已被大量采用。针对不同工艺要求,虽然可以通过调整输出电压、调整极板间距和给砂量来满足要求,同时也应随之变更空调系统的参数设置以最大限度地提高工艺生产的可靠性,进一步提高植砂效率。

参 考 文 献

- 1 黎在时. 静电除尘器[M]. 北京:冶金工业出版社,1993. 2
- 2 赵荣义等. 简明空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998. 12
- 3 向晓东. 现代除尘理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2002
- 4 邹文俊等. 涂附磨具制造技术[M]. 郑州:中国涂附磨具行业协会,1998.
- 5 崔巍,邹文俊. 涂附磨具静电植砂装置的研制[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2000(4).

作者简介:王冰,男,1962年生,中原工学院高级工程师,长期从事通风除尘及职业安全健康的研究。通讯地址:郑州市中原西路 41 号中原工学院 142 信箱 邮编:450007

E-mail wangbing1962@163.com

(收稿日期:2005-04-20)

(编辑:王琴)

(上接第 32 页)

但相差不大,锯片的厚度减小,同所希望的设计一致。

4 结论

提出一种创新结构组合式金刚石圆锯片基体的设计方案,使圆锯片的切割幅面达到其直径的 2/3。在结构静力分析、模态分析的基础上,对 Φ1800mm 新型组合式圆锯片进行了三次优化设计。通过在最大变形量、最大等效应力以及一阶固有频率约束下的优化分析,最终得到基体质量及结构尺寸的最优化参数,深入了解了设计变量、状态变量及目标函数的关系。

(1)通过三次优化设计,得到新型组合式圆锯片在不同状态参数下的最优化设计,深入了解了结构参数对于有限元分析结果的影响;结构参数的微小变动对新型组合式圆锯片 X 方向的位移有很大的影响(见表 3),而对一阶固有频率、最大等效平均应力影响相对较小,从而说明锯片结构的变化会对其动态性能产生很大的影响。

(2)在一阶固有频率约束下最终得到 Φ1800mm 圆锯片基体质量最优化结果 45 449kg 比初始设计减少 3 048kg 一阶固有频率提高 3 235Hz,最大变形量及最大等效应力均有所降低。同初始设计的组合式圆锯片相比,结构优化后的圆锯片结构更为合理,工作更加稳定,锯切精度提高,从而提高了锯片的使用性能和

动态性能。

(3)这种优化设计的方法对于基体其他部位的优化和锯片同锯机接口部位的优化有很好的参考作用。为最终设计出性能优越、切割幅面达到用户要求的新组合式圆锯片奠定了理论基础。

参 考 文 献

- 1 张进生,王志. 一种金刚石圆锯片[P]. 中国,发明专利, ZL02110005 5
- 2 陈立周. 机械优化设计方法[M]. 北京:冶金工业出版社,1995. 5
- 3 房廷利. 混凝土干式锯切加工与金刚石锯片结构优化设计研究[D]. 广东工业大学学位论文,2002. 5
- 4 A fonsa S M B Hinton E Free vibration analysis and shape optimization of variable thickness plates and shells - II. sensitivity analysis and shape optimization[J]. Computing systems in engineering 1995 6(1)
- 5 刘惟信. 机械最优化设计[M]. 北京:清华大学出版社,1994. 9
- 6 万耀青. 机械优化设计建模与优化方法评价[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995. 10

作者简介:王 志,男,1964年生,山东大学(济南,250061)机械工程学院副教授。主要从事制造过程自动化和石材工程技术方面的研究,取得成果 10 余项、专利 6 项,获省部级奖励 9 项。出版著作 4 部,发表论文 30 余篇。

(收稿日期:2005-04-10)

(编辑:王琴)