

高尔夫球材料参数的确定

鲜春桥, 陈敬超, 李玉华, 吴春萍

(昆明理工大学新材料制备与加工重点实验室, 云南 昆明 650093)

摘要:采用高尔夫球的压溃试验与有限元分析计算相结合的方法, 在从文献获得的高尔夫球材料参数的基础上, 经计算修正后确定了本试验用球的材料参数, 计算结果与试验值基本相符, 可用于后续的模拟碰撞分析。

关键词:高尔夫球; 有限元分析; 计算机模拟

中图分类号: TG115.5 **文献标识码:** A

近年来随着高尔夫球运动的发展, 高尔夫球头生产面临激烈的竞争, 其目的是如何在最短的时间内生产出能满足不同水平球手需求的球头。由于球具产业的高利润^[1], 在球头的研发方面也变得异常活跃。为了缩短研发周期提前进入市场, 各种先进技术手段纷纷被采用。CAD 和 CAE 技术具有精度高、周期短、费用低的优势, 并且能够在生产之前对产品的各项性能指标进行综合性模拟分析, 因而得到了广泛的关注和应用。

Takuzo Iwatsubo 等人用有限元法模拟击球过程, 研究了球头形状和击球点位置对击球后球的飞行轨迹、后旋等的影响, 认为球的飞行性主要受球头的惯性距及球头重心位置等影响^[2]。Kenji Nakai 等人以击球后球的飞行速度为目标函数, 用矢量法对球头打击面的厚度做过优化设计分析, 认为该方法对球头形状的优化设计非常有效^[3]。A. Raymond Penner 用简单的平板撞击实体球的模型对杆面角的优化设计进行了初步的探讨, 认为理想的投掷角度 45° 只适合于低速, 对于高尔夫球并不适合, 因为风的阻力是影响球飞行距离的主要因素之一, 并确定了杆面角为 $7^\circ \sim 15^\circ$ 较合适, 应根据不同的击球速度选用不同的杆面角(球杆杆面与垂直线间的角度)^[4]。我国台湾省在球头的生产、设计、研究方面起

步较早, 吴学监等人用计算机模拟碰撞过程, 对球头的形状、震动特性、声音品质以及击球效果等做过一系列的研究分析, 取得了满意的效果^[5~7]。

纵观以上工作, 均涉及到球与球头的碰撞分析, 然而碰撞过程是一个复杂的动力学过程, 与碰撞体的材料性质、碰撞速度、角度都有关系。以往对速度、角度以及球头材料研究较多, 但对另一关键因素——球的材料研究较少, 生产厂家也只是提供球的弹性、耐久性、抗撞击性和飞行性等方面的性能, 对分析中所需要的材料性能参数很少说明, 并且不同的球在材料性能方面也略有差异, 给高尔夫球头碰撞过程数值分析的准确性带来负面影响, 为消除这个负面影响必须确定具体用球的材料参数。本文采用试验与计算相结合的方法, 以文献中的高尔夫球材料参数为基础, 初步探讨模拟碰撞分析中实际所用高尔夫球材料参数的确定, 同时该方法也可用于其他非标准试样材料参数的确定。

1 试验方法

试验用球是由深圳市某高尔夫球用品有限公司生产的。球为双层结构, 风洞数 392 个, 表层为 SURLYN, 厚度为 2 mm; 球的芯部为高强度橡胶,

直径为 40 mm,总质量为 44 g,这与文献[9,10]的数据基本一致。

在美国产 MTS810 材料试验系统中进行简单的压溃试验^[8]。试验数据由电脑自动采集,载荷精度 0.001 kN,位移精度为 0.0001 mm。由于球为非标准试样,并且在球的表面有风洞,在接触区域为点接触,应力分布较复杂,难以直接测定应力与应变的关系,仅能测量压力和变形的关系,压溃试验一直进行到球破碎为止。压溃试验示意图如图 1 所示。

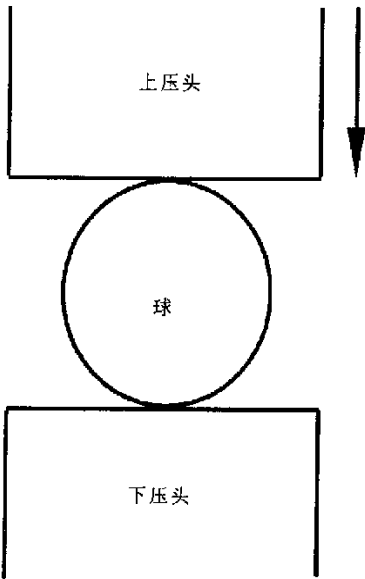


图 1 压溃试验示意图
Fig. 1 Scheme of pressing test

根据文献[2,3]提供的材料参数(表 1),用有限元法对这一压溃过程进行模拟计算分析,将计算值和试验值进行比较,在表 1 材料的基础上调整试验用球的材料参数。

表 1 材料参数

Table 1 Material parameters

材料	尺寸 /mm	弹性模量 /MPa	泊松比 μ	密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	质量 /g
球 A	球芯 直径 40	39.2	0.45	1050	34.6
	球壳 厚度 2	294	0.40	900	9.816
球 B	球芯 直径 40	46.75	0.376	1140	—
	球壳 厚度 2	203.3	0.319	960	—

用 PC 版进行有限元分析,采用轴对称模型对其进行分析计算^[11],单元总数 736,节点总数 781,模型如图 2 所示。

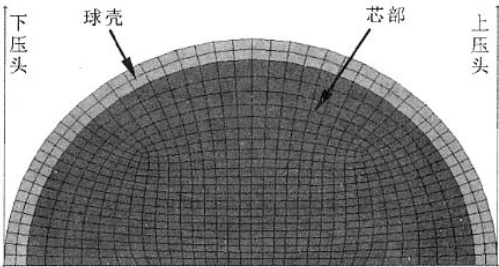


图 2 有限元模型网格图
Fig.2 Network diagram of finite element model

2 结果分析

图 3 为压溃试验中得到的两个球的变形压力曲线和求得两条曲线的平均值。从图 3 可以看出,两球均随着变形量的增大,压力也要相应增大。球的变形大致分为三个阶段,从开始到变形 17 mm 左右为第一阶段,球变形较快;之后一直到压溃为第二阶段,变形较缓慢;压溃之后为第三阶段,曲线末端压力突然下降。第一、二阶段变形由快到慢的原因,是因为在开始阶段接触面积小,变形容易,随着压头不断压下接触面积增大,产生相同变形需要更大压力。

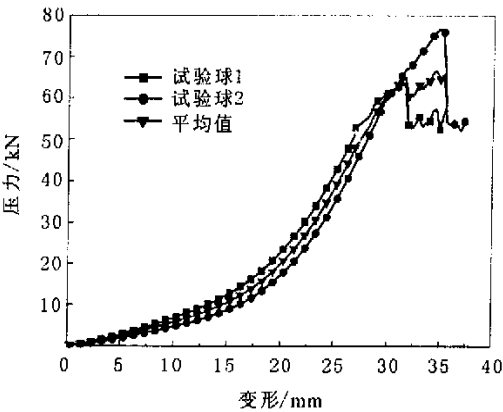


图 3 变形与压力的关系曲线
Fig.3 Dependence curve of deformation and pressure

图 4 为采用有限元法计算得到的变形后的模型图,考虑到软件实现破碎过程的困难和实际击球时球变形量的范围,我们仅计算变形小于 20 mm 的情

况。这样,可以在尽可能模拟真实的情况下减少计算时间,节省计算费用。将球 A、B 两种材料计算得到的变形—压力曲线与试验平均值进行比较,见图 5。从图 5 可以看出,在球 A、B 两种材料性质相差较大的情况下,两种材料的压力计算值却很接近,这说明球芯、球壳的弹性模量和泊松比对压力均有影响,采用不同的组合可以得到相同的结果。在变形 10 mm 以前,计算值比试验值稍稍偏小,变形 10 mm 之后,计算值偏大且偏大趋势越来越明显,在变形为 20 mm 处正偏差约为 20%。其原因一方面是由材料强度、硬度偏高引起的;另一方面是在有限元分析中,橡胶材料不可能用类似于金属材料的弹性模量和泊松比完全定义,只能是近似^[12]。

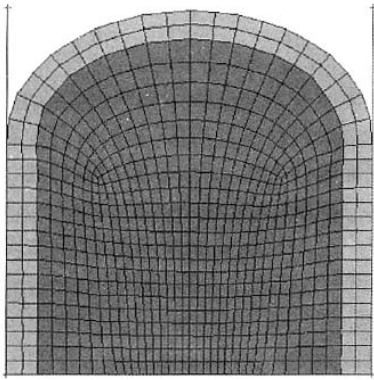


图 4 计算终了时的变形图

Fig. 4 Deformation diagram for finished computation

在第二阶段,变形量相同时,压力的计算值偏大。根据虎克定理 $\sigma = E\epsilon$,在应变相同同时,应力随弹性模量 E 的增大而增大,从而可通过减小 E 来减小应力,在球 A 和 B 材料参数的基础上,适当降低弹性模量,可使应力降低,计算值会更接近试验值;泊松比为横向应变和纵向应变之比,在此试验中难于测量,应尽量控制在球 A、B 材料的范围之内。通过多次计算得到了与试验较为符合的结果,在开始阶段计算值仍然偏低但整体效果较修正前好,在变形为 5 mm 处负偏差为 12%,在 20 mm 处仅为 5%,如图 6 所示。最终得到试验用球的材料参数为:球芯弹性模量为 35 MPa、泊松比为 0.4;球壳弹性模量为 270 MPa、泊松比为 0.38。

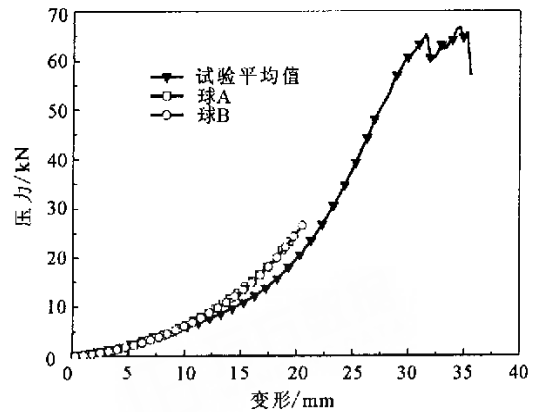


图 5 计算值与试验平均值的比较

Fig. 5 Comparison between calculated value and average value of test

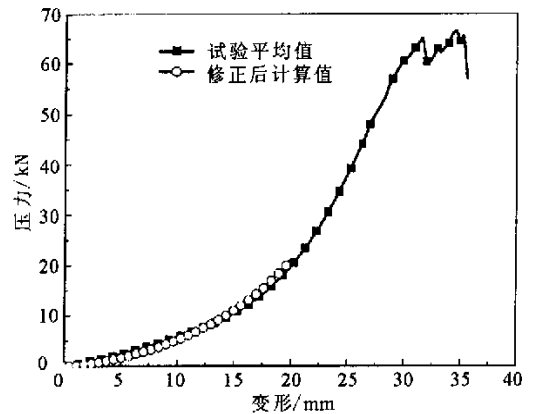


图 6 修正后的计算值与试验平均值的比较

Fig. 6 Comparison between modified calculated value and average value of test

3 结 论

采用简单的压溃试验与有限元计算相结合的方法,对高尔夫球的材料参数进行了验证,发现用文献中的高尔夫球材料参数所得的计算值比本试验用球的价值偏大,通过调整材料参数,得到了较为满意的结果。不足之处是在对材料参数做调整时没有综合考虑球的耐久性、抗撞击性以及击球感觉和声音品质等的影响^[9]。

参考文献:

- [1] 吴亚初. 高尔夫运动产业化社会发展的动因与趋势[J]. 上海体育学院学报, 2003, 27(3): 44—48.

- [2] Takuzo Iwatsubo, Shozo Kawamura, Kazuyoshi Miyamoto, *et al.* Numerical analysis of golf club head and ball at various impact points[J]. *Sports Engineering*, 2000, (3):195—204.
- [3] Nakai K, Wu Z Q, Sogabe Y, *et al.* A study of thickness optimization of golf club heads to maximize release velocity of balls[J]. *Communication in Numerical methods in Engineering*, 2004, 20:745—755.
- [4] Penner A Raymond. The physics of golf: The optimum loft of a driver[J]. *American Association of Physics*, 2001, 69(5):563—568.
- [5] 陈键智. 高尔夫球杆动态挥击系统分析[D]. 台湾: 台湾国立中山大学机械与机电工程研究所, 2002.
- [6] 陈朝堂. 高尔夫杆头形状变化之碰撞分析[D]. 台湾: 台湾国立中山大学机械与机电工程研究所, 2003.
- [7] 张庭彰. 高尔夫球杆头形状变化之碰撞结果分析[D]. 台湾: 台湾国立中山大学机械与机电工程研究所, 2004.
- [8] 张涛. 纤维增强高尔夫球拍击球过程的动力学分析及编程[J]. *复合材料学报*, 1994, 11(4):81—88.
- [9] 刘莉, 辛振祥. 双层高尔夫球[J]. *世界橡胶工业*, 2004, 31(3):22—24.
- [10] 曾泽新. 单层高尔夫球[J]. *世界橡胶工业*, 2001, 28(2):30—33.
- [11] MSC Analysis Research Corporation. MSC Marc User's Guide[M]. USA: MSC Software Corporation, 2003.
- [12] MSC Analysis Research Corporation. MARC Theory and User Information[M]. USA: MSC Software Corporation, 2003.

Determination of material parameter of golf ball

XIAN Chun-qiao, CHEN Jing-chao, LI Yu-hua, WU Chun-ping

(Key Lab of Preparation and Processing of New Material, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: By combining the golf ball pressing test with finite element analysis, the material parameters of golf ball for modeling the golf impacting process is confirmed. The materials parameters used in this paper are based on the current parameters of golf. The result after modifying is in accordance with the experimental result. The modified result can be used for impacting process analysis.

Key words: golf ball; finite element analysis; computer simulation