

# 先进高尔夫球杆头材料的分析与比较

16  
74-98

吴俊义 柴东华

(西南交通大学新材料科技开发部 成都 610031)

刘世楷

(西南交通大学材料工程系 成都 610031)

TG146.23  
TSPJ2.39

**摘要** 从材料学角度分析了高尔夫球杆头对材料的基本要求。其中材料的弹性模量、内耗、密度最为重要;一定的强韧性和硬度也是必需的。以此为基础对研制出的和正在采用的几种新型材料球杆头作了分析与评价。

**关键词** 高尔夫球杆头, 新型金属材料, 钛合金 比较

**中图法分类号** TG146.23

先进材料具有许多特殊性能。这些特殊性能扩展了它的应用领域,并促使生产者考虑选用这类材料制造体育器材,特别是高尔夫球杆。目前国际高尔夫球联合会已允许运动员使用打击面上镶有各种材料制成的球杆头。于是,传统的不锈钢、铝合金和锌合金球杆头将面临先进材料制成的球杆头以及击球面上镶有先进材料球杆头的竞争。高尔夫球杆头对材料有一定要求,但与宇航和运输工业相比较则宽松得多。所以,先进材料可以用于制造高尔夫球杆头而无须严格的性能规范。现仅从材料学的角度来分析比较先进材料球杆头的主要特性。

## 1 高尔夫球对材料性能的要求

### 1.1 弹性模量和内耗

高尔夫球杆头和球均非刚体,用杆击球时二者均会产生一定的变形,而对击球时球杆头内的应力应变分析则是十分复杂的。由于球杆头材料并不是完全的弹性材料,所以必须考虑滞弹性的影响。滞弹性是产生内耗和材料吸震能力的原因。试件循环加载时,应力应变图闭环面积大小,表征着材料在一次循环能量耗散率的大小(图1)。闭环是由于应变循环落后于应力循环的结果。故而才有吸震能力由一次循环能耗

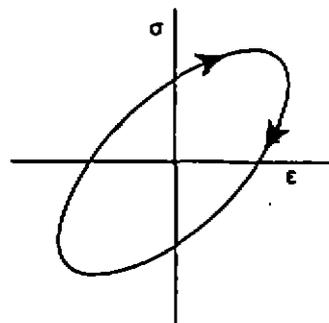


图1 应力-应变滞后环简图

收稿日期:1996-11-01

吴俊义,男,1937年生,高级工程师

$\Delta W$  对作用能  $W$  的比值来确定,且等于  $\tan\gamma$ 。 $\gamma$  是应变滞后的相位角。因此,滞后相位角愈大,能耗便愈大<sup>[1]</sup>,即

$$Q^{-1} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{E''}{E'} = \tan\gamma \quad (1)$$

式中

$Q^{-1}$ —材料相对能耗量;

$E'$ ,  $E''$ —分别为弹性模量的真实与虚分量。

于是有

$$\Delta W \cong \frac{\pi\sigma^2 \tan\gamma}{E'} \quad (2)$$

$\sigma$  为在挠曲板中产生的应力。一般说来,高的弹性模量可保证球杆头变形小,低的内耗则保证球杆头自身滞弹性吸收的能量小。因此,用高的弹性模量和低的内耗的材料制成的球杆头击球,在相同条件下,可使球速大且飞行距离远。由(2)式我们可以看出,能耗与相位角的正切成正比,而与材料的弹性模量成反比。因此,如果我们考虑击球条件、球杆特性、球杆头形状、大小和质量均为常数,则为使球速大和飞行距离远,球杆头材料应具有高的弹性模量和低的内耗。基于这样的分析并考虑材料的密度,我们就能比较和评价各种球杆头的质量。例如,锌基合金压铸球杆头是一种初学者用的大众化品种。锌合金的内耗是普通碳钢的10倍。因此,尽管压铸锌合金有较高的强度,且制造成本低,但高的  $Q^{-1}$  值使之不能充分满足高尔夫球手的要求,不能成为职业球手选用的球杆头。

### 1.2 强度、韧性和硬度

用于高尔夫球杆头的材料应具有一定的强度与韧性,以免击球时断裂。大的制造公司用击球机或机器人来检验球头强度。为了避免球杆头与球接触或与地面相碰时发生塑性变形,杆头具有足够的强度和硬度也是需要的。

### 1.3 密度

高尔夫球杆头有重量限制。例如,1号大头为200g;1号铁头为200g;3号铁头为210g等。所以,由低密度材料可制成大尺寸球杆头。超大尺寸周边加重的球杆头会给予球手在击球时有更大信心。而且使用轻型材料后,球杆头击球面的厚度也可以增加,从而增加刚性。从提高球杆头刚性来看,材料密度像弹性模量一样重要。

## 2 高尔夫球头用先进材料

除不锈钢、铝合金和锌合金之外,制造商已用钛合金和石墨纤维以及芳纶纤维增强树脂或其他高分子材料来制造球杆头。据报道<sup>[2]</sup>称已用压铸法生产 SiC 颗粒增强的铝合金球杆头。

为了比较各种材料球杆头的性能,有必要考察一下某些传统和先进材料的机械性能,特别是弹性(如表1)、硬度以及吸震能力<sup>[3]</sup>(内耗,如图2)。

### 2.1 石墨和芳纶纤维增强的高分子材料

由于纤维增强高分子基复合材料(FRP)密度小,所以这种球杆头尺寸较大,甚至比传统

表 1 高尔夫球杆头常用材料和先进材料的性能<sup>[1]</sup>

材 料	弹性模量 (GPa)	抗拉强度 (MPa)	硬 度 (HB)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )
不锈钢(空冷)	217	430-600	170-195	7.75
Ti-6Al-4V	110	900	330	4.47
7075铝合金(铸态)	72	330	130	2.8
29%SiC/7075铝合金	116	446	200	2.88
2024铝合金(铸态)	75	250	160	2.8
20%SiC/2024铝合金	117	460	270	2.88
Kevlar/Epoxy*	86	1 517	—	1.38
石墨/Epoxy**	138	1 517	—	1.58
石墨/Epoxy***	200	1 207	—	1.60

注: \*纤维含量 65%、\*\*高强度纤维,纤维含量 65%、  
\*\*\*高弹性纤维,纤维含量 65%,SiC:碳化硅晶须。

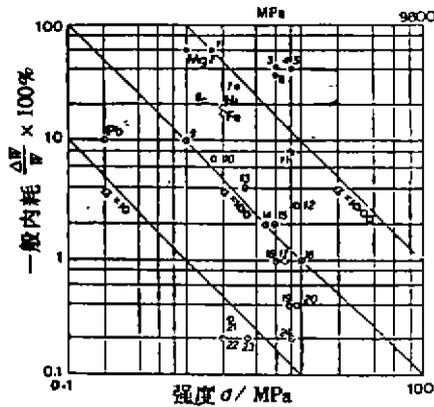


图 2 金属材料的强度与内耗

注: 1—Mg-Zr 合金; 2—Mg-MgNi;  
3—Mn-Cu 合金; 4—Cu-Al-Ni 合金;  
5—Cu-Zn-Al 合金; 6—TiNi; 7—Al-Zn 合金; 8—高碳灰口铸铁(奥氏体);  
9—球墨铸铁; 10—Mg 合金; 11—12 铬钢; 12—铁素体不锈钢; 13—低碳钢;  
14—可锻铸铁(珠光体); 15—球墨铸铁(珠光体); 16—18-8 不锈钢; 17—45 钢;  
18—95 碳钢; 19—65 碳钢; 20—80 碳钢;  
21—Al 合金(铸态); 22—青铜; 23—黄铜;  
24—Ti 合金。

的大头要大 30%。高尔夫球手往往称它们为超大球杆头或宽体球杆头。采用纤维织物增强主要是用来提高击球面板的弹性。由表 1 可看出, 石墨纤维增强的树脂、芳纶 49 增强的树脂以及石墨/芳纶 49 混杂增强的树脂均具有高于基体的弹性模量。虽然 FRP 的弹性模量低于钢, 但是他们的密度仅为钢的 1/5。所以, 不仅球杆头尺寸可以加大, 击球面板的厚度也可以加大而不致超过规定重量。这就意味着 FRP 球杆头的刚度可以增加或维持不锈钢球杆头的水平。表 2 比较了 FRP 与其他材料的吸震能力。由于石墨纤维的弹性模量高于芳纶纤维, 而芳纶 49/树脂复合材料和石墨/树脂复合材料的衰减因

表 2 纤维增强高分子材料与其他金属材料的内耗对比<sup>[2]</sup>

材 料	衰减系数 × 10 <sup>-4</sup>
1020 钢	< 20
铸铁	30
石墨/Epoxy	30
纤维玻璃/Epoxy	47
Kevlar/Epoxy	160
聚合树脂	400

注: 衰减系数 =  $\frac{A_0 \text{ 波幅值}}{A_{0+1} \text{ 波幅值}}$ ;  
A<sub>0+1</sub> 波是紧接着 A<sub>0</sub> 波的振动波。

子分别是钢的8倍和1.5倍,所以最好是用石墨/芳纶49纤维混杂增强树脂或者石墨纤维增强树脂来制造高品质球杆头。

## 2.2 钛合金

钛合金大头亦被认为是高品质球杆头。由于钛合金密度小、弹性模量较高(120 GPa),所以钛球杆头尺寸宽大。由表1和图2中可以看出,不锈钢作为一种制作球杆头的传统材料,它的内耗值略高。这对减少打击能量损耗稍有不和。不过,它的高弹性模量(200 GPa)保证了击球时变形量小,所以,不锈钢至今仍是传统球杆头用得最多的一种材料。虽然钛合金的弹性模量低于不锈钢,但它内耗和密度都小,所以用它来制造超尺寸的大头并相应增加击球面厚度却相当有效。根据美国 Echelon 公司的测定结果,如表3所示,用钛合金在头球,与在相同条件下的铝合金和不锈钢相比,其飞行距离可分别提高24%和20%,击球时比一般杆头在感觉上要舒服得多,且球的飞行轨迹相对较平直。钛合金价格高,制造钛合金大头的成本亦相当高,故钛合金大头售价昂贵,达300~400美金。为了既保持全钛合金球杆头的性能,又可降低成本与售价,四川先拓体育用品有限公司在1992年开始研制了在不锈钢体镶钛合金击球面板的球杆头(Ti-face铁头)。这一新品种球杆头率先打入了美国,受到高尔夫市场的欢迎,目前已开始批量生产。

表3 不同材料球杆头击球飞行距离

球杆头材料	飞行距离(m)
铝合金	169-178
不锈钢	178-187
钛合金	224-233

## 2.3 金属基复合材料

虽然铝合金的内耗较低,但它的弹性模量不高(75 GPa),硬度也不高(HB 110-130),这类球杆头限制了职业球手的选用。SiC晶须和 $Al_2O_3$ 短纤维增强的铝合金不仅强度和硬度较高,弹性模量亦有较大提高。因此,用这类金属基复合材料制作球杆头,或用它们作击球面板镶在球杆头的击球面位置上,也可取得比不锈钢球杆头有更好的击球效果。在我们的试验中,飞行距离可提高25%左右。这类球杆头的价格比全钛合金球杆头低得多。

## 3 结束语

高尔夫球的发展对材料的实际应用提出了各种条件和要求,如材料的弹性模量、内耗、密度、强韧性等,这些要求又加速了各种先进材料在高尔夫球杆头中的应用步伐。石墨和纤维增强高分子材料以及钛合金材料都是在高尔夫球杆头中的最新应用,但其又各有利弊,其中钛合金制造的高尔夫球杆头因其既能保证理想的击球性能又能多品种开发,因而存在着巨大的市场前景。

## 参 考 文 献

- 1 Cottrell A H. The Mechanical Properties of Metal, New York: John Wiley & Sons, 1964: 178
- 2 Priver D. Test Techniques for Metal Matrix Composites. In: Goddard N D R ed., IOP Short Meeting Series No 2S, Institute of Physics, 1991: 1
- 3 Grisaffe D A, Grisaffe S J. Life Prediction of Turbine Components, NASA TMX2664, 1973

97, 1P(3) - 98

# Analyses and Comparisons among Advanced Materials for Golf Clubheads

*Wu Junyi     Chai Donghua*

(H. and D. Dept. of High Tech. Materials, Southwest Jiaotong University Chengdu, 610031)

*Liu Shikai*

(Dept. of Materials Engineering, Southwest Jiaotong University Chengdu, 610031)

**Abstracts** This paper analyses the specific material property requirements of a golf clubhead from a metallurgist's point of view. The most important is modulus of elasticity, damping capacity and density. On the basis of these requirements, the paper analyses and evaluates the clubheads made of advanced materials

**Key Words** golf clubhead, advanced materials, Ti - alloy

(编辑:刘家凯)



科研成果

重庆建筑大学

TU2-X

(5)

## 静电喷塑空腹钢门窗

### 内容简介及技术水平:

建筑门窗是工业与民用建筑中不可缺少的材料。但钢门窗的防锈问题未能得到很好解决。近年来,粉末静电喷塑新技术的发展,为解决钢门窗的防锈及提高产品装饰性开辟了一条有效途径。