

沙粒粒径分布对高尔夫球在沙坑中球位的影响

甄桐¹, 胡延凯²

(1. 西北师范大学附属中学高二一班, 甘肃 兰州 730070; 2. 成都牧笛高尔夫球场管理有限公司, 四川 成都 610041)

摘要:【目的】探索沙坑沙粒粒径特征对沙坑中高尔夫球位的影响。【方法】选取兰州市高尔夫球场常用的3种沙坑沙进行粒径分布分析, 确定粒径大小、级配指数、不均匀系数、曲率系数、静止角和沙面硬度; 采用模拟高尔夫球坠入沙坑的方法, 以不同沙与粒径组分组合为处理, 研究沙坑中球坑的大小和深度, 推导不同沙粒组成对高尔夫球球位的影响以及可获得较为理想球位的沙坑沙应具备的粒径特征。【结果】选取的3种沙坑沙中, 河沙质地较粗、粒径分布连续广泛且均匀、级配好、硬度大、稳定性强。从1 m高度模拟坠球, 河沙球坑内径和深度显著小于土沙和山沙($P < 0.05$), 不易产生“荷包蛋”球位。另外, 通过对中粗粒径(0.25~20) mm组分和不同单一粒径组分进行1 m高度模拟坠球发现, 0.25~2 mm粒径的河沙不容易产生埋嵌的“荷包蛋”球位。【结论】质地较粗、粒径分布广且均匀、级配好、细小沙粒少且粒径最佳在0.25~2 mm范围的沙能更好地形成较为理想的球位; 粒径分布窄、级配差、中位粒径 < 0.5 mm的沙极容易形成“荷包蛋”球位。

关键词: 沙坑沙; 球位; 粒径分布

中图分类号: S588.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)03-0209-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2024.03.025



沙坑是高尔夫球场最耀眼、最难忘、最具挑战的特征, 也是最能体现球场设计风格和理念的因素, 它是高尔夫运动策略性、挑战性和美观性的完美结合, 是球场组成的要素之一。沙坑在高尔夫球场发展初期, 仅仅是牛羊为躲避风寒而聚集一起并导致草地退化而形成的一种自然景观景象, 但在现代高尔夫中, 它逐渐成为一种挑战球手的障碍^[1]。如今, 沙坑已经成为高尔夫球场的灵魂所在。沙坑不仅直接影响球洞甚至整个球场的美观, 同时也影响球员的击球难度, 使得击球更加具有挑战性和趣味性。与此同时, 沙坑也是球场维护中需要付出很大人力物力的一项工作。沙坑沙的更新、平整、清理、硬度、破除板结等都需要精心地维护, 尽最大可能减少对球员的影响。通常情况下, 沙子越细, 沙粒越圆, 越容易出现嵌埋的

球位和松软的击球站位, 击球难度越大, 掌握杆头触球也更加困难^[2], 从而挫伤球员兴趣, 进而影响球场的流畅性和经济效益。因此, 沙坑沙的选择尤为重要。

美国高尔夫球协会(USGA)推荐沙坑沙中78%的颗粒直径应该在0.1~1 mm之间, 1~2 mm的极粗沙粒少于15%, > 2 mm的砾石应少于2%, 0.05~0.1 mm极细沙少于5%, < 0.05 mm的粉粒和黏粒少于3%^[3]。该沙坑沙的范围比果岭建造推荐方法中对根系层混合物的推荐范围宽, 这是因为如果沙粒范围较窄, 可能会把可接受的沙坑沙排除在外, 导致沙坑沙中只有1~2种粒径组分的颗粒过多, 这可能导致沙坑沙面较软而出现“荷包蛋”球位。另外, 在沙坑沙选择中, 尽量选择有棱角半球形的沙粒形状, 不均匀系数在2~5之间, 渗透率达到500 mm/hm²等, 但重点不是强调沙的保水性能而是强调沙坑沙的排水性能以及克服沙坑沙易板结问题^[4]。

果岭是每一个球洞的精髓和焦点, 特别是果岭草坪被视为质量的“标志”——果岭沙坑, 沙坑沙的特点

收稿日期: 2023-03-08; 修回日期: 2023-05-31

基金资助: 四川国际高尔夫球场保育项目

作者简介: 甄桐(2006-), 男, 陕西西安人。

E-mail: TongZHEN6925@outlook.com

又是形成其视觉冲击的第一印象^[5]。为了追求这样的奇特效果,粉碎的白色石英沙就成为许多球场的首选。但是,石英白沙价格昂贵,维护成本高,极易受到周围环境的影响而污染,给果岭的维护带来挑战。沙坑是高尔夫球运动中一个重要的打球战略因素^[6],在球场的设计、建造和维护过程中,在球场当地找到符合高尔夫运动要求的沙,既可以保证长期稳定的沙源供给,又可大幅降低球场运营成本^[7]。本研究通过测定兰州市3种类型沙的粒径分布及其他特性,结合高尔夫运动竞技中的要求和期望,研究沙坑沙粒径分布与球位之间的关系,为选择本土高尔夫沙坑沙提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

选取兰州市高尔夫球场和练习场沙坑中的河沙、土沙和山沙。河沙呈浅黄褐色、质地较粗,沙粒半棱角状;土沙呈现暗灰色、质地偏细,沙粒接近半棱角半球形;山沙呈暗红色、质地较细,沙粒中半球形较多。

首先对3种沙进行风干和预处理,用孔径2 mm的筛子对沙样进行过筛处理,去除>2 mm的砾石颗粒^[8]。过筛后的原沙样留存并取样进行粒径筛析分析和模拟坠球试验。

1.2 方法

1.2.1 筛析 从河沙、土沙和山沙中分别取样,根据USGA规范^[9]用筛孔孔径1、0.5、0.25、0.15 mm及0.05 mm叠加进行沙维诺夫干筛法分析^[10],每种沙样重复3次。根据筛析结果计算粒径指数 D_x (x 表示小于此粒径的沙的重量百分比)^[11]、曲率系数 $C_c=(D_{30} \times D_{60})/(D_{10} \times D_{90})$ 、不均匀系数 $C_u=D_{60}/D_{10}$ 、级配指数 $GI=D_{90}/D_{10}$ 和粒径跨度 $DW=(D_{90}-D_{10})/D_{50}$ 。

1.2.2 静止角 将沙样倒入口径10 mm、体积350 cm³的漏斗,在不受任何限制和外力作用下,使沙样在距离桌面70 mm^[12]高度自然下落到桌面坐标纸上,达到相当数量和高度之后会自动形成一个圆锥形沙堆。测量沙堆的底部直径、高度,每种沙样重复6次。分析不同沙样在自然状态下的散落性。

1.2.3 沙面硬度 将河沙、土沙和山沙的沙样分别装入长宽高为150、150和80 mm的托盘中,沙厚度70 mm。使用便携式硬度仪(禾仕仪器GY-3),用均匀稳

定的力将标准高尔夫球,其重量45.93 g(1.620 oz.),直径42.67 mm(1.68 in.)压入沙中直到高尔夫球直径的一半,记录表值并重新复位,重复6次,在每次测量后,沙样表面重新平整和压实。

1.2.4 模拟坠球 模拟坠球选用标准高尔夫球,将3种沙样分别装入托盘中,沙样厚度70 mm,模拟高尔夫球坠入沙坑。

(1) 在托盘的正上方1 m和2 m处分别将球自由垂直坠落,分别记录河沙、土沙和山沙的托盘中球坑的内径、外径和深度,重复5次。

(2) 粒径组分沙样制备:分别选取经过预处理的3种沙样,分别用1 mm筛的筛余获取1~2 mm粒径组分试样;用1 mm筛的过筛和0.5 mm筛的筛余获取0.5~1 mm粒径组分试样;用0.5 mm筛的过筛和0.25 mm筛的筛余获取0.25~0.5 mm粒径组分试样;用0.25 mm筛的筛余获取0.25~2 mm的试样。

(3) 选取3种沙样中粒径在0.25~2 mm的沙样装入托盘,在1 m高处模拟坠球,测量球在托盘中球坑的内径、外径和深度,重复5次。

(4) 分别选取3种沙样中粒径1~2、0.5~1、0.25~0.5 mm组分的沙样进行1 m高处模拟坠球,测量球坠落后托盘中球坑的内径、外径和深度,重复5次。

1.3 数据处理

试验采用单因素完全随机设计,用Excel整理数据,用SPSS19.0统计分析和LSD法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 筛析

河沙中细沙占13.8%,中沙占16.9%,<0.25 mm的沙粒占19.3%,其中极细沙的比例达到了26%;而>0.5 mm粗沙达到36.5%,极粗沙达27.3%,仅后2项就占据了总重的近2/3,说明河沙中既有最大组分的粗沙,也有较多的中沙和极粗沙,质地粗(表1)。

在土沙中,中沙占1/5,粗沙和极粗沙超过50%,细沙和极细沙占比接近1/4,表明在土沙中,中粒径以上的沙粒占据75%,粗沙也是沙中最大组分。由于土沙中24.1%的沙粒的粒径主要分布在0.05~

0.25mm,土沙质地总体比河沙更细。

山沙中极细沙约占12.4%外,细沙约占1/3、中沙和粗沙的比例分别达到25.3%和21.4%,极粗沙组分仅占不到10%,表明山沙中的中粒、粗粒与细粒、极细粒各占约45%,最大组分是细沙占31.7%,质地细(表1)。

表1 3种沙的粒径组分

Table 1 Particle size fractions of 3 types of sand %

粒径组分/mm	河沙	土沙	山沙	
(1,2]	极粗沙	27.3	20.9	8.2
(0.5,1]	粗沙	36.5	33.9	21.4
(0.25,0.5]	中沙	16.9	20.4	25.3
(0.15,0.25]	细沙	13.8	16.8	31.7
(0.05,0.15]	极细沙	5.0	7.3	12.4
(0,0.05]	粉黏粒	0.5	0.7	1.0

在沙粒分布累计曲线上,河沙的曲线始终在3条曲线的下方和右侧,在0.15 mm之前,河沙中的细沙和极细沙均少于土沙,其上升斜率较为平缓且与土沙相似,但在通过0.15 mm后河沙快速上升,说明其中的中沙、粗沙和极粗沙含量相对较高,仍有较多的粗沙和极粗沙,表明河沙的质地比土沙更粗,尤其是粗沙和极粗沙的占比更是超过50%,其质地是3个沙样中最粗的。土沙的粒径分布曲线与河沙相似,仅仅是粒径均比河沙更细,曲线在河沙的左侧上方,表明土沙中的各个粒径组分累计过筛都较河沙大。山沙在0.15 mm之前与其他2种沙样相似,也是有极少量的<0.05 mm颗粒,曲线平缓,在通过0.15 mm之后,粒径分布曲线在0.15~0.25 mm间迅速仰头上升,累计过筛量迅速上升到90%,然后趋于平缓,超过90%的沙粒在前段,其中细沙占到1/3(图1)。

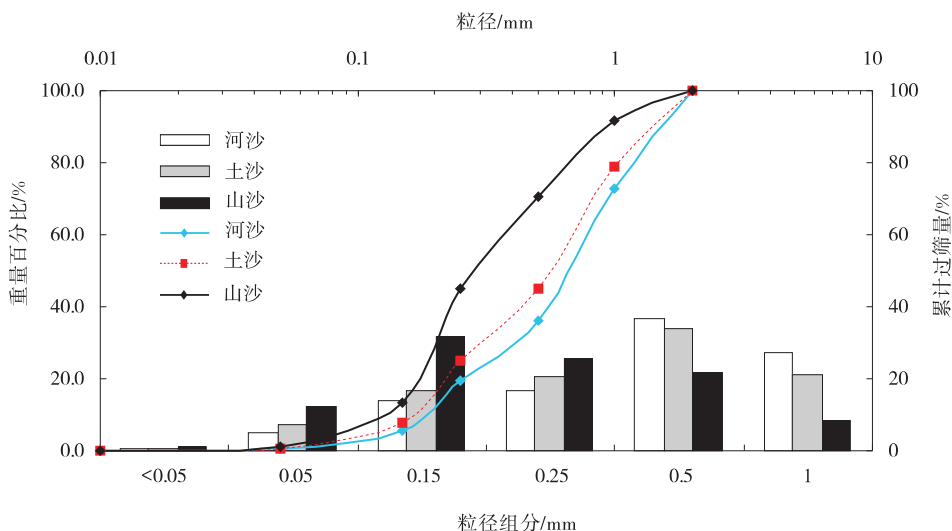


图1 沙子粒径组分重量柱状图和粒径分布累积曲线

Fig. 1 Histogram and cumulative curve of distribution of sand particle size fraction

根据粒径分析累计曲线的结果可以获得粒径指数。曲率系数是描述级配曲线平滑程度的指标,与不均匀系数结合可评价颗粒级配; $C_c > 3$ 或 $C_c < 1$ 表明沙中缺少中间粒组,粒径分布不连续,级配差,搭桥效应降低。3种沙样中仅河沙的粒径是连续的,级配好,土沙和山沙的曲率系数太小,粒径分布是非连续的,级配差;从不均匀系数来看,河沙基本处在可接受的范围,其粒径分布广且均匀,土沙不均匀系数刚好处在分界点上,基本可接受,级配较好;山沙的不均匀系数过低,粒径趋于均匀,粒径分布不均匀且中粒和细粒较为集中,级配差,级配指数和跨度数据更进一步

证明,这样的圆形沙粒更容易形成较为柔软的沙面而导致“荷包蛋”球位。级配指数河沙为8.95,最高,山沙8.82,次之,土沙为7.08,最低,同样说明河沙的粒径分布广且级配好。在粒径跨度中,河沙的粒径分布跨度最小而山沙的最大(表2)。

表2 3种沙的粒径指数

Table 2 Particle size in dices of 3 types of sand

沙样	曲率系数	不均匀系数	级配指数	粒径跨度
河沙	1.12	4.16	8.95	2.25
土沙	0.78	4.00	8.82	2.38
山沙	0.81	2.92	7.08	2.82

2.2 静止角

河沙所形成的圆锥形沙堆的静止角最大,且与土沙、山沙相比有显著差异($P<0.05$)。河沙由于其沙粒组分分布宽,级配好,具有一定的稳定性,其静止角最大。土沙和山沙的沙粒粒径分布相似,但土沙分布更广,静止角低于河沙;山沙的沙粒组分较窄,级配差,主要粒径组分集中,静止角小,与河沙的差异显著($P<0.05$),因此,土沙和山沙的离散流动性相对较大(表3)。

表3 3种沙样的静止角

Table 3 Angles of repose of 3 types of sand

沙样	河沙	土沙	山沙
静止角/ $^{\circ}$	32.37 a	31.04 b	30.65 b

注:不同小字母表示不同沙样间差异显著($P<0.05$)。

2.3 沙面硬度

沙面硬度是沙坑沙重要的特性之一,其表现为高尔夫球贯穿沙坑沙时受到的阻力或不易产生嵌埋高尔夫球的潜在可能性。3种沙样的沙面硬度分别为8.9、7.3和5.1 kg/cm²且差异显著($P<0.05$)。山沙的沙面硬度最低,最容易产生“荷包蛋”球位;河沙的沙面硬度值最高,其造成埋嵌球位的可能性最小。土沙介于两者之间,有一定程度的埋嵌球位(图2)。

2.4 模拟坠球

2.4.1 原沙组分模拟坠球 从1 m高度模拟坠球,河沙球坑内径最小,土沙最大,山沙居中,河沙与土沙、

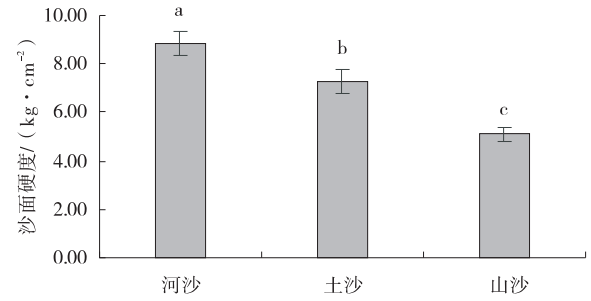


图2 不同沙面硬度

Fig. 2 Sand surface firmness of different type of sand

注:不同小字母表示不同沙样间差异显著($P<0.05$)。

山沙差异显著($P<0.05$)。同样土沙上面形成的球坑外径最大,河沙次之并且与山沙之间显著差异($P<0.05$);坠球在沙上形成的球坑深度,土沙和山沙较深,而河沙较浅,且河沙球坑的深度与土沙、山沙深度差异显著($P<0.05$)。在山沙沙样中,由于细小沙粒所占比例多,沙粒形状接近圆形,这种沙子更容易形成“荷包蛋”的球位,使得球手的击球更加有难度。3种沙样中,土沙和山沙更容易产生“荷包蛋”效果。山沙不同粒径组分分布较为集中,并且颗粒较小的部分所占为12.4%,沙粒不密实,所形成的球坑也较深,级配差而形成嵌埋球位。河沙沙粒组分均匀,级配好,沙粒间搭桥紧实,因此河沙的球坑最浅。在2 m高度模拟坠球中,3种沙样的球坑内外径和球坑深度均高于1 m坠球时的内外径和球坑深度。河沙2 m坠球的球坑最浅,土沙在2 m坠球过程中的内外径最小,但球坑最深(表4)。

表4 球坑大小和深度

Table 4 Sizes and depths of Ball pits

原沙组分(0~2 mm)	球坑内径/mm		球坑外径/mm		球坑深度/mm	
	1 m	2 m	1 m	2 m	1 m	2 m
河沙	33.6 ^b	43.6 ^a	83.4 ^b	103.6 ^a	14.0 ^b	17.4 ^b
土沙	40.4 ^a	38.6 ^b	89.4 ^a	87.0 ^c	18.6 ^a	21.2 ^a
山沙	38.8 ^a	43.4 ^a	75.0 ^c	93.6 ^b	17.6 ^a	20.0 ^a

注:同列不同小字母表示不同沙样间差异显著($P<0.05$),下同。

2.4.2 中粗粒径组分模拟坠球 选取中粗粒径组分(0.25~2) mm的沙样进行1 m高度模拟坠球,土沙上形成的球坑的内外径和深度都是3种沙样中最大。山沙球坑的内外径最小,但外径之间没有显著差异。从3种沙样的球坑深度来看,河沙最浅,与土沙、山沙差异显著($P<0.05$)。中粗粒径(0.25~2) mm组分的

沙样模拟坠球的球坑深度均比原沙样的球坑深度浅。沙样粒径越粗,形成的球坑越浅,球嵌埋在沙中的几率越小。河沙、土沙和山沙均有这种趋势(表5)。

沙样粒径为0.25~2 mm时,河沙和土沙所形成的球坑内径与山沙差异显著($P<0.05$),在去除细沙粒的情况下,河沙的内径变大,而山沙产生的球坑内

表5 中粗粒径组分球坑大小和深度

Table 5 Sizes and depths of Ball pits for medium-coarse sand particle size fraction

中粗粒径组分 (0.25~2) mm	球坑内径/ mm	球坑外径/ mm	球坑深度/ mm
河沙	38.0 ^a	90.4 ^a	14.0 ^b
土沙	40.2 ^a	92.2 ^a	17.2 ^a
山沙	33.8 ^b	89.2 ^a	16.4 ^a

注:坠球高度为1 m。

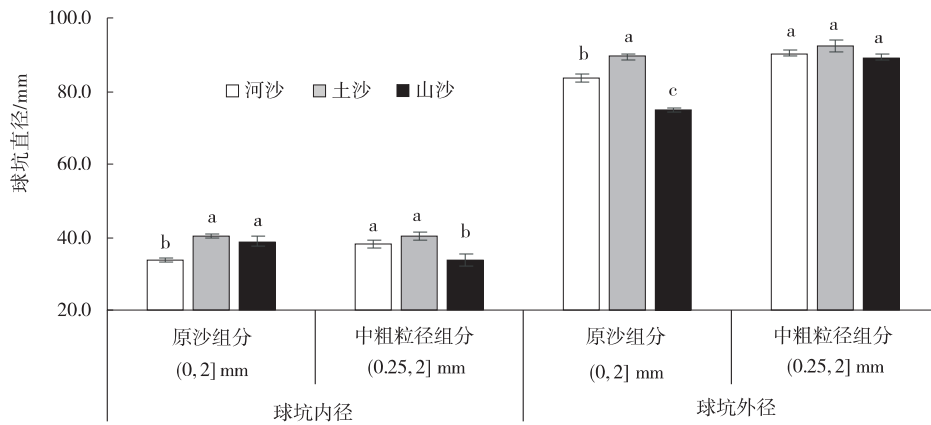


图3 不同粒径组分沙样球坑内外径

Fig. 3 Inner and outer diameters of ball pits with different sand particle size fractions

注:相同粒径组分不同小字母表示不同沙样间差异显著($P < 0.05$)。

2.4.3 不同单一粒径组分1m模拟坠球 河沙和山沙极粗沙组分的球坑内径显著大于土沙($P < 0.05$),而在粗沙组分中,土沙球坑内径显著大于河沙和山沙($P < 0.05$);在中沙组分中,3种沙内径之间差异显著($P < 0.05$),山沙最大,土沙最小。河沙的极粗沙组分球坑外径显著小于土沙和山沙($P < 0.05$),在粗沙和中沙组分3种沙的外径没有显著差异;河沙的中粗沙组分和中沙组分的球坑外径较大,而极粗沙的外径较小,土沙的中沙组分的球坑外径显著小于中沙、粗沙和极粗沙($P < 0.05$);山沙的球坑外径与内径相似,以极粗沙的球坑外径最小。河沙的极粗沙组分球坑深度介于山沙与土沙之间,山沙最深;在粗沙组分中,3种沙球坑深度没有差异;中沙组分中3种沙的球坑深度之间差异显著($P < 0.05$),土沙最浅、山沙最深。

通过3种单一粒径组分1~2、0.5~1和0.25~0.5 mm与中粗沙组分(0.25~2) mm及原沙对比发现,河沙的极粗沙组分和中粗沙组分的球坑内径显著大于粗沙、中沙和原沙($P < 0.05$);土沙中沙组分的球坑内径最小,中粗沙、粗沙和原沙最大;山沙球坑内径

径变小,土沙基本没变。在0.25~2 mm组分中,由于中粗沙粒较多,缺乏细粒,沙粒之间相互不能完全级配,易发生位移,当高尔夫球落地时,易向外移动,而产生更大的外径,但3种沙样所产生的球坑外径差异不显著(图3)。

结合上述比较,不论是原沙样还是0.25~2 mm组分的沙样情况下,沙子越细,级配越差,坠球所形成的球坑越深,较细的沙子更容易形成“荷包蛋”球位。

以中粗沙组分最小、极粗沙最大($P < 0.05$)。河沙球坑外径,粗沙组分、中沙组分和中粗沙组分显著大于极粗沙和原沙;土沙的球坑外径则以中粗沙、粗沙和原沙较大;山沙的原沙组分球坑外径最小,中沙组分最大。河沙中粗沙组分和原沙组分的球坑深度均小于极粗沙、粗沙和中沙($P < 0.05$);土沙的中沙组分球坑深度最小,原沙组分最大;山沙的极粗沙组分球坑深度最大,中粗沙组分最小($P < 0.05$)。沙粒粒径在0.25~2 mm组分的河沙球坑深度最浅且显著小于土沙和山沙($P < 0.05$);在不同粒径组分中,河沙的球坑深度也是最小($P < 0.05$),表明这个粒级的河沙不容易产生埋嵌的“荷包蛋”球位(表6)。

3 讨论

研究发现沙的物理性状中,沙粒粒径的组成和分布等对沙坑沙面的稳定性^[13]和高尔夫球在沙坑中的球位有明显的影响^[13-15]。

从粒径累计曲线得知河沙、土沙和山沙的中位粒径分别是0.67、0.56和0.28 mm,从这个角度来看,河

表6 不同沙样不同粒径组分球坑大小和深度

Table 6 Sizes and depths of ball pits of different type of sand with different particle size fraction

粒径组分/mm	球坑内径/mm			球坑外径/mm			球坑深度/mm		
	河沙	土沙	山沙	河沙	土沙	山沙	河沙	土沙	山沙
极粗沙(1~2)	40.0 ^{aA}	36.0 ^{bB}	39.2 ^{aA}	81.2 ^{bB}	83.4 ^{aAB}	89.8 ^{aB}	18.0 ^{abA}	16.4 ^{bBC}	19.0 ^{aA}
粗沙(0.5~)	35.2 ^{bB}	38.8 ^{aA}	35.6 ^{bBC}	89.6 ^{aA}	92.6 ^{aA}	90.2 ^{aAB}	17.2 ^{aA}	17.0 ^{aB}	17.6 ^{aAB}
中沙(0.25~0.5)	34.2 ^{bB}	31.6 ^{cC}	38.6 ^{aAB}	87.8 ^{aA}	69.6 ^{aB}	92.0 ^{aA}	16.4 ^{bA}	15.0 ^{cC}	18.4 ^{aA}
中粗沙(0.25~2)	38.0 ^{aA}	40.2 ^{aA}	33.8 ^{bC}	90.4 ^{aA}	92.2 ^{aA}	89.2 ^{aB}	14.0 ^{bB}	17.2 ^{aAB}	16.4 ^{aB}
原沙(0~2)	33.6 ^{bB}	40.4 ^{aA}	38.8 ^{aAB}	83.4 ^{bB}	89.4 ^{aA}	75.0 ^{cC}	14.0 ^{bB}	18.6 ^{aA}	17.6 ^{aAB}

注:坠球高度1 m;同行不同小字母表示不同沙样间差异显著($P < 0.05$);同列不同大写字母表示相同沙样不同粒径组分间差异显著($P < 0.05$)。

沙和土沙比山沙粗;因此,河沙和土沙质地较粗,山沙较细。河沙中细粒、中粒和粗粒级配更好,曲率系数符合推荐标准,不均匀系数适中,具有较强的稳定性;土沙中细粒较少、中粒较多,级配好,粒径连续性差,具有稳定性;山沙质地较细,细粒多粗粒少,组分级配较差,不均匀系数较低,缺少较大的沙粒构成沙样的稳定结构,且细粒较为集中,缺乏更小的沙粒填充而稳定性较差,静止角较大,具有较高的散落性。

结果表明在1 m高度坠球,河沙形成的球坑比土沙和山沙的浅,且球坑内径也比土沙和山沙小,高尔夫球陷入沙子的部分较少,仅是高尔夫球直径的33%,超过2/3的球体裸露在沙子上面,便于球员击球。在土沙球坑中,大约1/2(球直径的45%)的高尔夫球陷入沙中,经典的“荷包蛋”球位。这大大提高了击球的难度,减缓打球的速度,打击球员打球的热情,同时也把许多土沙带到了果岭草坪表面,影响剪草或引起结皮而导致沙质果岭排水下降等^[14],不仅影响运动员的发挥,也会造成土壤通气能力下降,影响草坪的正常生长^[15],也给球场特别是果岭的维护带来更多的工作和使成本上升^[16]。在土沙中产生“荷包蛋”球位的主要原因是在其沙粒组成中,0.15~0.25 mm的细粒占16.8%,粗粒占20.9%也较少,沙粒之间空隙较多,沙粒之间没有出现合理的搭桥,沙粒静止角小,沙粒在受到坠球冲击后出现向下和向四周的位移。山沙的球坑深度比土沙的浅,但明显地比河沙深,究其原因主要是级配差、缺少细粒和粗粒,沙样稳定性差,同样在受到冲击后沙粒也容易发生位移而容易形成“荷包蛋”球位。在2 m高度坠球,随着坠球高度的提高,高尔夫球到达沙面时的动能也相应提高,冲击

力加大,球坑的深度均有不同程度地加深,河沙球坑的深度与土沙、山沙深度之间均存在差异显著($P < 0.05$),河沙最浅,而土沙和山沙之间差异不显著。

选取0.25~2 mm粒径的3种沙样,从1 m高度坠球,在多粒径组合中,由于缺少了细小粒径沙粒,土沙、河沙和山沙所形成的球坑深度均比原沙样的有所减小,河沙和山沙(0.25~2) mm组分在所有组合中的球坑深度最浅。随着沙子中细沙粒的减少,3种沙子所形成的球坑深度随之减少,球坑的内外径也随之减小。因此,在选用高尔夫球球场沙坑沙时,尽量选择粒径级配好且粒径较大的沙子,可获到较好的球位,激励球员打出更好的成绩^[17]。

研究3种沙样的中沙、粗沙和极粗沙单一粒径的沙样在坠球时所形成的球坑,发现粒径处于0.5~1 mm时,土沙球坑内外径最大,3种沙样球坑深度基本一样。粒径0.25~0.5 mm组分,球坑深度均为最小,但山沙有近45%球直径的部分陷入沙中而产生“荷包蛋”球位;河沙和土沙仅有23%的球直径部分陷入。当沙粒粒径增大到1~2 mm,受试沙样的球坑内外径及深度均有不同程度的上升。

在0.25~2 mm中粗沙组分中,3种沙样的球坑深度是所有组分最浅,充分说明粒径连续、组分分布均匀、级配好的沙样所形成的球坑深度最浅,球嵌埋到沙中的潜在可能性就很小。在其余单一中沙、粗沙和极粗沙粒径中,3种沙样的球坑深度没有出现显著差异,河沙的中沙、粗沙和极粗沙组分的球坑深度均比原沙和0.25~2 mm组分的深。土沙和山沙的中沙、粗沙和极粗沙组分的球坑深度与原沙、0.25~2 mm组分的球坑深度没有显著差异。尽管3种沙样的单一粒

径组分中的粒径有粗有细,但其造成的球坑都比较深,说明粒径单一、不连续、分布窄、缺乏级配,很容易形成较深的球坑,即“荷包蛋”球位。

在河沙的所有粒径组分中,0.25~2 mm的组分球坑深度最小,尽管该组分粒径的上限超过了0.25~1 mm常规范围,但河沙中细粒、中粒和粗粒级配好,粒径分布广且更加均匀,静止角大而具有较强的稳定性^[18],不易形成嵌埋球位;同时河沙也具备浅色、沙面硬度高、渗水性好、相对果岭沙更粗等沙坑沙应具备条件^[19]。因此,河沙应作为当地高尔夫球场沙坑沙的首选。土沙的沙粒尽管也比较粗,球坑深度均处在河沙和山之间,但其粒径出现不连续,级配较差,沙面硬度居中,有发生潜在“荷包蛋”球位的可能性,同时,其静止角较大,离散性高,不宜在沙坑中较高位置铺设;土沙中仍有很多比果岭草坪根系层中更细小的沙粒,一旦大量落在果岭草坪表面,可能会引起结皮或堆积,草坪需要精细维护才能保持果岭的良好状态和使沙坑沙处于较理想的击球状态;土沙中的球坑以0.25~0.5 mm组分最浅。山沙粒径不连续且级配差,细沙粒多粗沙粒少而稳定性差,静止角大,有较高的离散型,沙面硬度小而较软而易出现陷入球位,约1/2的球直径在沙中,且质地比USGA果岭沙更细,一旦被打到果岭上面就会引起结皮、排水不良等果岭草坪的维护问题。

4 结论

兰州市高尔夫球场沙坑沙的选择,以粒径粗(0.25~2 mm)、级配好,粒径跨度大、中沙和粗沙粒的组分可相互搭桥且中位粒径 >0.5 mm,静止角相对较大,沙面硬度高的沙样为主,这样的沙不容易产生“荷包蛋”球位,尤其是在沙坑边缘较高的位置配置,利于球场维护管理,形成较为理想的球位,保持高质量的球场打球条件,满足球员的愿望,最大限度地延长沙坑寿命。

参考文献:

[1] 苏德荣,卢军. 高尔夫球场设计学[M]. 北京:中国农业出版社,2011:132-133.
[2] 胡延凯,段舜山,刘自学. 高尔夫球场设计与建造[M]. 北京:科学出版社,2012:172-173.

[3] USGA Green Section. Physical properties that impact bunker sand performance [J]. USGA Green Section Record, 2018.
[4] 郑万菊,白小明,刘钰,等. 不同根际层结构对西北半干旱地区足球场草坪质量的影响[J]. 草原与草坪,2022,42(3):11.
[5] Brown S, Fry D J. Golf course condition and playability beyond the greens [J]. International Turfgrass Society Research Journal, 2021.
[6] 张自和,柴琦. 草坪学通论[M]. 北京:科学出版社,2009:214-215.
[7] 余大炉,高洋,刘照辉. 浅谈高尔夫球场建造的成本控制[J]. 草业科学,2011,28(5):5.
[8] USGA. USGA Recommendations for a method of putting green construction [J]. USGA Green Section. 2018.
[9] Henry G, Bowling W J, Tucker K. Comparing conventional aeration practices to the core recycler [J]. itsrj, 2021.
[10] 海龙,姚拓,张文明,等. 黄土丘陵沟壑区不同种植年限紫花苜蓿草地土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 草原与草坪,2020,40(4):6.
[11] 张巨明, Baker S W. 沙对高尔夫果岭坪床物理特性的影响[J]. 草业学报,2007,16(2):99-104.
[12] 周向玲,麦麦提吐逊·阿布都热依木,俞胜清,等. 自然沙堆积的静止角研究[J]. 山东大学学报(理学版),2015,50(7):6.
[13] 汪呈,徐伟,常智慧. 运动场草坪坪床稳定性研究进展[J]. 草业科学,2019,36(3):12.
[14] 刘天增,曹荣祥,张巨明,等. 坪床结构对土壤养分淋溶的调控效应研究[J]. 草地学报,2016,24(3):707-710.
[15] 李辉,陈雨峰,廖庆民,等. 非洲科摩罗体育场草坪建植与养护条件分析[J]. 草原与草坪,2021,41(3):78-83.
[16] 钟远航,车伟光. 高尔夫球场沙坑要素的探究[J]. 云南农业大学学报,2013,7(3):5.
[17] Brown P J, Mccarty L B, Quisenberry V L, et al. Critique of USGA recommendations for a method of putting green construction [J]. Agricultural Research & Technology, 2020,24(2):63-68.
[18] 曹有存,焦羽鹏,崔涛,等. 坪床排水管进水孔与过滤层材料颗粒的搭桥作用初探[J]. 草业科学,2018,35(8):1862-1869.
[19] Moore J F. How to select the best sand for your bunkers [J]. Green Master,2007,42(3):10.

Impact of particle size distribution of sand on ball lies in golf course bunkers

ZHEN Tong¹, HU Yan-kai²

(1. Class 1, Grade 11, High School Affiliated to Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; 2. Chengdu Mudi Golf Course Management Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

Abstract: **【Objective】** Golf ball lie in a sand bunker is influenced by many factors. One of them is particularly sand particle sizes and their distributions. They can significantly affect the depth of the pit formed by the golf ball falling from the air into the bunker, resulting in a "fried egg" ball lie. The study was carried out to explore the influence of sand particle size characteristics on golf ball lie in the sand pit. **【Method】** To understand the effects of "fried egg" ball lies in the bunkers in relation to properties of sand particle sizes, this study was carried out with ball dropping simulation from heights of 1 m and 2 m under laboratory conditions. The experiment involved 3 different regional sands. Comparing sand particle distribution, particle gradation coefficient, uniformity coefficient, curvature coefficient, angle of repose, size and depth of golf ball pit in the sand pan with combination of different sand particle fractions, selection of the bunker sand were recommended and determined. **【Result】** The results show that among 3 selected bunker sands, river sand had coarser texture, continuous wide and uniform particle size distribution, good gradation, hardness and stability. The inner diameter and depth of river sand pit were significantly lower than those of soil sand and mountain sand ($P < 0.05$) when simulated from a height of 1 m, and it was not easy to produce the "fried egg" lies in the case of river sand. Moreover through the 1 m height ball drop simulation for the medium and coarse particle size (0.25~2) mm fraction and different single particle size fractions, it was found that the river sand with a particle size ranging 0.25~2 mm exhibited the low possibility for the formation of the "fried egg" ball lies. **【Conclusion】** Therefore, sand with a wide and uniform distribution of particle sizes, better gradation, and coarser particles ranging 0.25~2 mm can produce optimal ball lies in sand bunkers, while sand with narrow distribution of particle sizes, poor gradation, and with median particle size of < 0.5 mm is very easy to form the "fried egg" ball lies.

Key words: bunker sand; ball lie; particle size distribution

(责任编辑 刘建荣)