

高尔夫球场沙坑沙的物理分析

如今实验室测试是沙坑沙实地表现的良好预测指标吗？

作者：吉姆·斯科鲁斯基

随着沙坑可玩性和一致性受到更多重视，沙坑沙可能是一个令人懊恼的话题。沙坑相关的许多问题追其原因，都是沙子选择不当所致。越来越多的高尔夫球场开始认识到选择土壤物理测试经验证实实验室的价值，以帮助分析潜在沙子并预测其实地作用效果。普渡大学的农艺学助理教授凯尔·比格洛博士和美国农业部农业研究局（USDA-ARS）国家土壤侵蚀研究实验室（West Lafayette, Ind.）副教授道格拉斯·史密斯博士最近完成了一项研究，评估了 20 余种市售沙坑沙的物理特性，以确定目前的权威土壤测试实验室是否有单一的物理测试可作为沙坑沙实地紧实度的良好预测指标。最近我有幸与比格洛博士一起探讨了该项目，下文基于我们的采访而创作。

1. 该研究项目适时考虑了日益严格的沙坑维护和可玩性审查。具体是什么问题导致您启动了此项目？

草坪总监对始终紧实且光滑的沙坑表面的需求与日俱增。我们认为，尝试了解品类繁多的市售沙坑沙之间的共性和差异是至关重要的。此外，我很有兴趣尝试去确定



正确选沙对于如今高尔夫球手追求的近乎完美的球场条件和一致性至关重要。

是否存在一种表面紧实度的简单测量方法。

2. 实验室目前使用哪些测试来分析沙坑沙的物理特性并预测其作用效果？

一般情况下，实验室选择根系层沙子常用的测量方法来评估沙坑沙，这些方法包括颗粒尺寸分布分析、颗粒形状/棱角和碳酸钙测试。目前唯一广泛应用的沙子紧实度测试是经改良的袖珍贯入仪测试。这种改良的贯入仪测试法由德克萨斯农工大学的詹姆斯·托马斯和柯克·布朗开发和引进。在所有可用的紧实度测量方法中，这是最优秀的一种，但它并没有考虑现场条件下影响土壤紧实度的某些因素。该测试在静态侧壁木箱中进行，箱内装有相对少量的烘干沙。一般需手动将贯入仪推入沙子表面，这可能会导致压力不均和测量值变化。大多数实验室该过程至少重复 5 次，再取平均值。我曾听说，有些实验室将贯入仪安装到一台类似钻床的部件上，以最大限度地减少压力变化。无论如何，该流程并不理想，但这是目前可用的最好的流程好的。

3. 那么，基于这个项目，您认为贯入仪测试仍是预测实地沙坑沙紧实度的最佳方法吗？

作为一种相对性的实验室测量，没错，这是测量表面紧实度的最佳方法。但我发现一种错误的情况，即假如有人试图在现场条件下



在普渡大学进行的这项实验室研究，评估了 20 余个沙坑沙料的物理属性和视觉特性。没有任何单一沙子物理属性或多个属性的结合能准确预测沙子的紧实度或抗高尔夫球穿透的能力。

复制实验室数据，那么他可能会观察到较低的贯入仪数值。这涉及几个因素。首先，真正的沙坑中有大量沙子，因而对静态侧壁的压力会减小。即使您在邻近沙坑边缘处测量，周围的土壤也有可能产生一定程度的“施力”。此外，水分含量的自然变化起到润滑剂作用，能促进颗粒滑移。当然，这点因单个沙粒尺寸分布和沙子深度的不同而有所变化。

编者注：目前正在进行的一项广泛尝试是以更可靠、更少受用户引起的变量影响的设备来取代贯入仪。草坪诊断和设计部（堪萨斯州林伍德）山姆·费罗正在开发一项测试流程，该流程使用美国高尔夫球协会（USGA）的 TruFirm™ 装置，以测量沙坑沙的渗透深度和回弹系数。该实验室测试流程正在由经验实验室进行审查，并将于不久后提交给美国试验材料学会（ASTM）作为标准化测试。

4. 在您有限测试中，您是否发现有任何单一沙子物理特性能有把握地用于预测沙坑沙的性能？

没有任何单一的测量可作为判断紧实度的良好指标。但是，以均匀度系数（ C_u ）和棱角表达的颗粒分布是重要的数值。例如，假如让我推荐一种精细、圆形、均匀的沙子，特别是针对陡坡区域上中到大雨天气易发生沙子流失的沙坑，我会非常犹豫不决。在较大的深度使用具备这些特征的沙子时，也很可能造成疲软的场地条件，并使球位被掩埋的可能性更高。贯入仪的数据是有帮助的，但正如我所提到的，实验室数据不可能与现场性能完全一致。然而，沙子之间会有一些相关性，这意味着实验室里紧实度更高的沙子有望带来更紧实的实地条件。我会告诫高尔夫球场主管或建筑项目经理不要尝试完全复制实验室的测量数据。现场条件中存在太多变量和影响因素。

5. 在您看来，单凭实验室测试，是否能成为沙坑沙实地表现的良好预测指标？

正如选择合适的果岭、发球台和球道草种一样，实验室研究数据仅仅是选择过程的起点。最终用户在选择之前需慎重考虑效用（作用特性的重要性）、长期维护、沙坑结构（尺寸、大斜坡等）及外观。实验室数据仅提供沙子的对比信息。测试提供的最有用的数据是沙子的颗粒分布情况以及均匀性、棱角等有关信息。大家别忘了开发测试沙坑的意义，这将使高尔夫球手有机会在做出最终决策之前先尝试和了解几种潜在的沙子选择。

6. 基于该有限研究，您有没有关键信息或建议要传递给那些对现有沙坑沙质量不满或正在寻求新沙子选择的草坪总监和官员？

这是诸多农艺学家多年一直在讨论的话题，从哲学层面，我同意这个观点。整体而言，该行业



上图所示的贯入仪装置目前是在实验室量化沙坑沙紧实度的最佳方式。不久后，该贯入仪和实验室测试将可能被一项能减少当前测量变量的新流程所取代。



另一种可能有助于实验室预测沙子紧实度的度量指标是安息角。这是一种是以度数表示的度量指标，源自对干沙堆基底和顶部高度平均直径的测量。质地更粗糙、棱角更多、颗粒尺寸分布更广的沙粒更有可能达到更高的堆叠高度，从而带来更窄的基底和更高的锥顶，最终产生更大的安息角。

在沙坑和沙坑维护上花费了太多时间和金钱。沙坑维护费用与果岭维护费用持平是不合理的。沙坑是障碍，高尔夫球手进入沙坑就要付出代价。尽管如此，很多高尔夫球手仍然期待最精良的、最原始的球场条件（如紧实、光滑、美观的沙坑和修剪整齐的草皮）。要持续实现该目标，选择恰当沙子是关键。在某些情况下，与其满足于会被冲洗掉或带来更松软的场地条件的当地廉价沙子，花费更高的价格运来质地更粗糙、更紧实的沙子是极具意义的。

在研究过程中，我们对石灰岩材料等粗制品或制成品印象深刻。凭直觉判断，石灰岩产品的矿物学特性比二氧化硅材料软，因而可能并不适用于球场建设。然而，我通过实地观察发现，这些产品的性能似乎非常令人满意，但仍然存在排水瓦罐堵塞等相关长期问题。粗制品的另一个问题是割草机会掀起大颗粒。我们仍在继续研究，并正在进入下一阶段——使用各种沙子所带来的侵蚀潜势，但该讨论将是另一篇文章的主题。

草坪草与环境研究在线
(TERO) <http://usgatero.msu.edu/v07/n03.pdf> 网站上有关于该研究项目的深入版本。

吉姆·斯科鲁斯基是美国高尔夫球协会 (USGA) 果岭部东北地区的高级农艺师。