

考古勘测的重大进展：泰伦霍芬古罗马堡垒遗址的无人机磁力测量

2024年12月16日

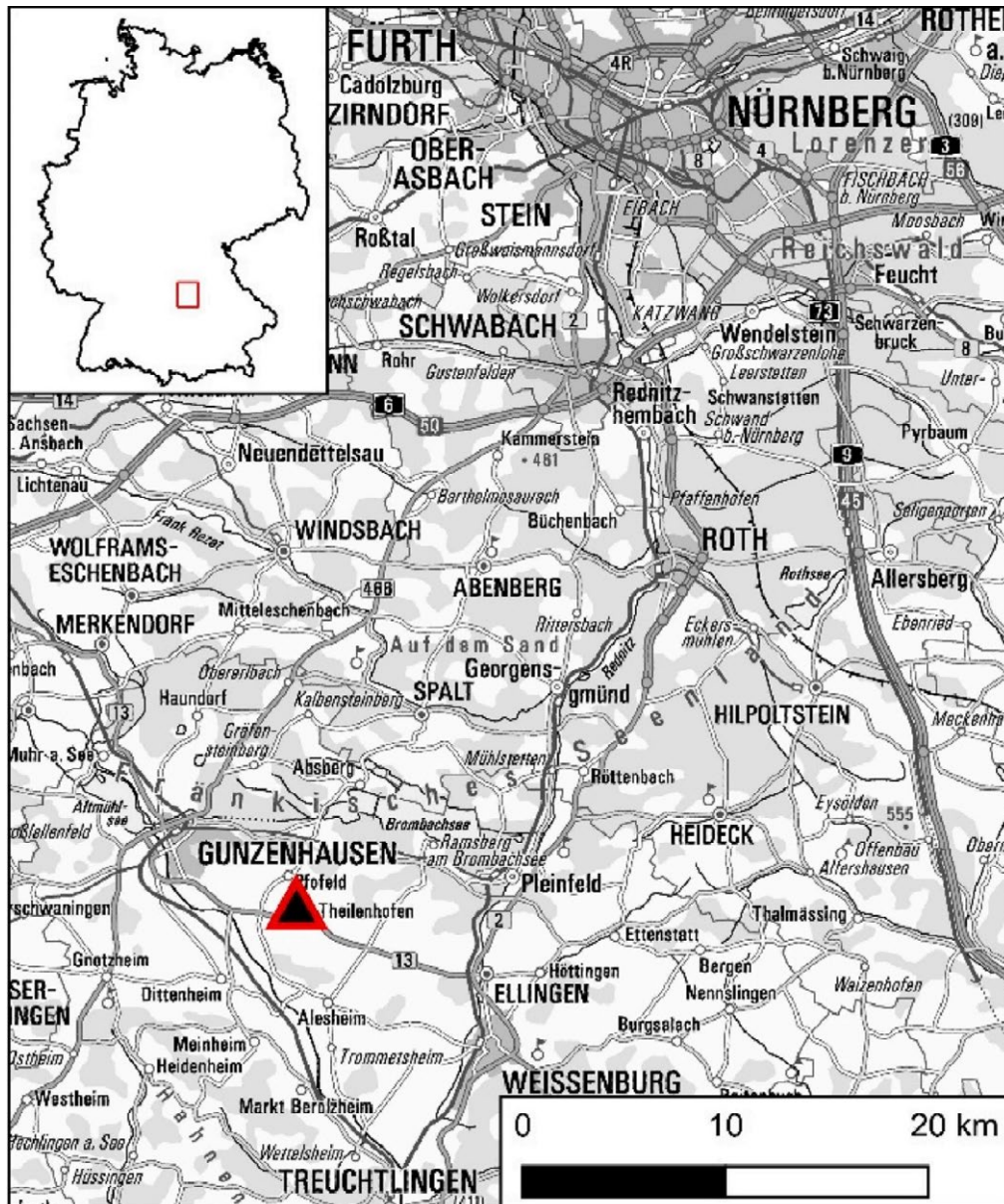


2023年，慕尼黑大学（Ludwig-Maximilians University）的研究人员利用基于无人机的磁力仪，对德国泰伦霍芬（Theilenhofen）的古罗马堡垒遗址进行了一次考古勘测。本研究旨在评估无人机磁力测量在考古勘探中的实际能力，并将其效率与精度同传统的地面方法进行了深度对比。

背景

磁力测量是考古勘探中最可靠、应用最广泛的技术之一，它能够根据地球磁场的变化来识别地下特征。一直以来，地面勘测为考古学家提供了高度详细且极其精确的地下结构分布图。

近年来，无人机技术的飞速发展为克服地面磁力测量的某些局限性创造了契机。特别是 **SPH Engineering 集成 SENSYS MagDrone R4 磁力仪的系统**，在无人机考古勘探领域展现出了巨大的潜力。通过将高分辨率的磁力数据采集与无人机的机动性和灵活性相融合，研究团队决定在泰伦霍芬遗址对该方法的有效性进行深入探索。



图片说明：巴伐利亚州地形图，显示了测试地点泰伦霍芬的位置（靠近贡岑豪森的红边黑三角）。左上角的德国地图中，红色矩形标示了放大地形图的具体方位。

挑战

团队开展这项基于无人机方法的研究，旨在验证无人机是否能为大型考古遗址的勘测提供一种比传统地面磁力测量更快、更灵活的替代方案。地面方法虽然精度极高，但需要耗费大量的时间与人力，且往往局限于容易进入的平坦区域。相比之下，无人机能够迅速覆盖广阔的区域，并能轻松进入复杂或有障碍物阻挡的地形，使其成为大规模初步勘测的理想选择。

尽管**基于无人机的磁力测量**潜力巨大，但首要挑战之一是无人机自身产生的干扰。无人机电机和电子设备产生的磁噪声与机械噪声会降低传感器采集到的磁力数据质量。在执行超低空飞行（这对于获取详细且准确的磁力读数必不可少）的同时，如何最大限度地减少这些干扰，构成了**重大的技术跨越障碍**。

此外，该无人机搭载了**真实仿地飞行（TTF）**技术，使其能够在极低的高度（低至 40 厘米起）贴地飞行，并自动调整姿态以避免与地形发生碰撞。这确保了无人机在崎岖不平的地面上始终保持一致的超低相对高度，而这正是实现精确磁力测量的核心关键。风力和温度波动等飞行条件在维持勘测所需的稳定性与精度方面也扮演着至关重要的角色。

最后是数据处理方面的挑战。必须通过滤波技术剔除无人机引入的噪声，这需要使用多种方法（包括低通滤波器）来从背景噪声中精准剥离出微弱的考古信号。

解决方案

在项目初期，团队首先使用铯磁力仪（以其探测精细考古细节的能力而闻名）进行了地面测量，以建立一个高分辨率的参考数据集。随后，SENSYS MagDrone R4 分别在**地面模式**和**无人机模式**下进行了测试。在地面设置中，R4 被安装在距地面 0.3 米的支架上，并由 RTK GNSS 提供精确的定位。

为了应对噪声干扰的挑战，团队将 **SENSYS MagDrone R4 磁力仪系统** 搭载在大疆 M300 RTK 无人机上，该无人机同样配备了基于 RTK GNSS 的定位系统以实现精确导航。磁力仪阵列被直接固定在无人机的起落架上，并在低空运行，同时利用雷达高度计实时监控无人机的飞行高度。这种配置使团队能够保持 **45 到 75 厘米** 的必要飞行高度，这是获取高质量磁力数据的关键因素。

为了减轻无人机引起的磁干扰，研究人员在后处理阶段应用了先进的数据滤波技术。团队使用 SENSYS MagDrone DataTool 软件来消除噪声信号，并利用专门设计的滤波器来靶向清除由无人机电机和电气系统引起的特定频段噪声。



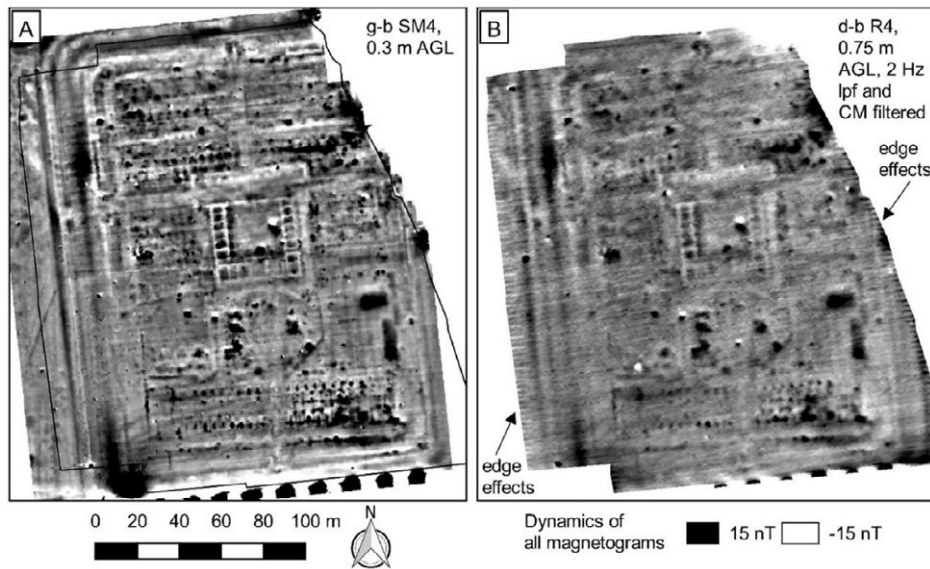
图片说明：A) 地面网格模式下的 Smartmag SM4G 磁力仪。B) 地面 GNSS 模式下的 Sensys R4。
C) 无人机 GNSS 模式下的 Sensys R4。

团队对泰伦**霍芬遗址 3.8 公顷的区域**进行了飞行勘测，测试了无人机在不同速度和高度下的表现，以寻找考古特征探测的最佳条件。随后，无人机勘测数据被直接与现有的高分辨率地面磁力仪数据进行比对，使团队能够客观评估无人机方法的实际效能。

[了解更多关于搭载于无人机的磁力仪技术]

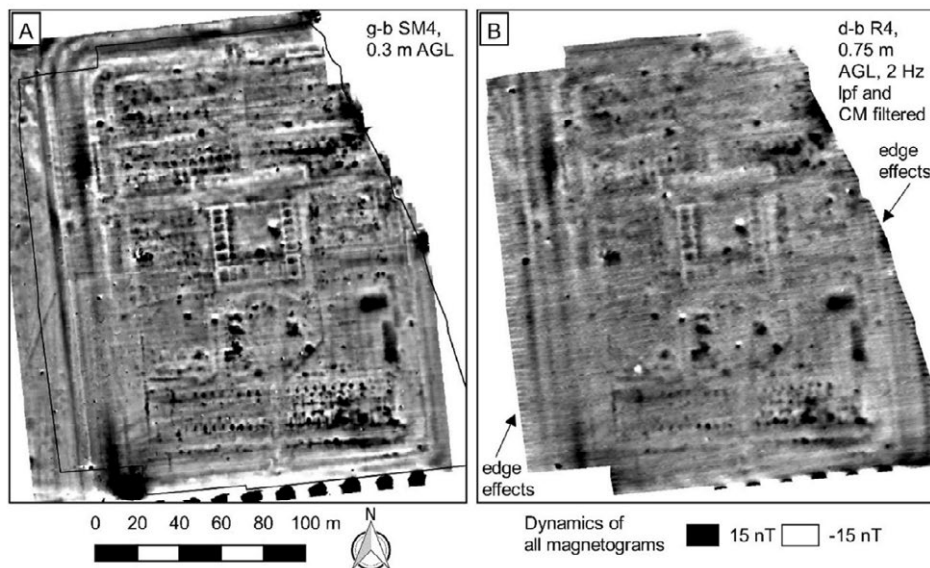
成果

基于无人机的磁力勘测得出了极其令人振奋的结果。磁力仪采集的数据成功探测到了重大的考古特征，包括沟渠、坑穴、火塘以及石基遗迹。这些恰好是古罗马考古勘探中至关重要的特征类型，它们为揭示古代建筑的布局与功能提供了深刻的洞见。



图片说明：地面 SM4 (A) 与无人机 MagDrone R4 (B) 的磁力图对比

虽然无人机数据的分辨率尚未达到地面磁力仪的最高精度，但它已足以识别主要的考古特征。该研究清楚地证明，无人机勘测能够快速覆盖大面积且难以进入的区域，提供初步的评估概况，从而为后续更详细的地面调查提供精准指引。



图片说明：由不同飞行高度和速度的数据生成的磁力图对比

超低空飞行、精确的 GNSS 定位以及极其有效的噪声滤波相结合，极大提升了磁力数据的质量。这使团队得以确立未来基于无人机进行考古勘测的最佳实践规范。

结语

慕尼黑大学开展的这项研究凸显了基于无人机的磁力测量在考古研究中日益增长的潜力。尽管地面方法仍然是获取高分辨率数据的黄金标准，但无人机提供了一种极具价值的互补方法，能够快速勘测大面积区域并识别关键的考古特征。能够覆盖难以进入或无法到达的遗址是一项重大优势，随着未来进一步的技术迭代（例如更出色的降噪技术和更先进的飞行控制系统），无人机磁力测量有望成为考古学家超低空飞行、精确的 GNSS 定位以及极其有效的噪声滤波相结合，极大提升了磁力数据的质量。这使团队得以确立未来基于无人机进行考古勘测的最佳实践规范。

结语

慕尼黑大学开展的这项研究凸显了基于无人机的磁力测量在考古研究中日益增长的潜力。尽管地面方法仍然是获取高分辨率数据的黄金标准，但无人机提供了一种极具价值的互补方法，能够快速勘测大面积区域并识别关键的考古特征。能够覆盖难以进入或无法到达的遗址是一项重大优势，随着未来进一步的技术迭代（例如更出色的降噪技术和更先进的飞行控制系统），无人机磁力测量有望成为考古学家不可或缺的核心工具。

在未来，无人机与地面方法的深度融合极有可能被视为考古勘探的标准作业流程。通过初步的无人机勘测快速锁定感兴趣的区域，随后再跟进详尽的地面调查，将成为最高效的研究模式。

阅读完整论文