

4 城市公园绿化栽植工程的栽培养护技术

4.1 水分管理

在公园绿化栽植工程中,植物栽植结束后,要采取恰当的养护措施,便于提高成活率。针对植被花卉等根系比较浅植物,浇水时要监测表面的湿度情况,浇水的频率应当大于灌木和乔木。与此同时,还需要根据天气土壤墒情以及树种习性及时补水,保持土壤湿润,浇水要浇透,避免只浇表层水。若是雨季还需要注意排水防涝。若是乔木可每3~5天浇一次水,灌木每2~3天,浇一次水必备植物每天浇一次水。成活以后则根据土壤的湿度调整浇水的频率,夏季高温时可以向枝叶喷水增加空气的湿度,而在冬季时则需要减少浇水。植物的种类不同,浇水的方式不同,针对灌木和地被植物可以采用滴灌或者喷灌的方式,而针对乔木采用树盘漫灌的方式。浇水后检查树木是否出现倾斜和支撑松动情况,要及时扶正和加固。

4.2 合理施肥

合理施肥可以保证植物健康生长,首先施工人员要根据植物的种类和生长需求了解其所需要的养分比例。调查土壤情况,确定土壤的养分含量和pH值,然后将结果对比分析,确定最终的肥料种类和施肥方式^[1]。有机肥含有有机物质,改善土壤结构,保持土壤湿度;无机肥还有丰富的氮、磷、钾元素,迅速提供给植物所需的养分;复合肥是有机肥和无机肥的混合物。施工人员可以根据植物的种类所需营养以及生长阶段等的不同,合理施肥,为植物提供所需营养,促进它们的健康生长。施肥方法有基肥和追肥。施工前可在种植区域施用基肥,便于促进植物生长。追肥是在植物生长的过程中根据植物的生长状态补充肥料。采用恰当方法控制施肥的总量,避免过度施肥,影响土壤和导致病虫害的发生。

4.3 病虫害防治

病虫害防治工作中要坚持以预防为主、综合防治为辅的原则,施工人员根据不同种类的生长特点,掌握病虫害的

发展规律,开展预测和防治工作,定期检查植物的生长情况,查看是否有缺水和病虫害的问题,采取适当的措施,要定期清除落叶和杂草,切断病虫害的来源。可采用物理生物防治结合的方法,例如投放天敌,增加诱捕灯,直接捕杀害虫。也可以采用化学方法,针对病害可以喷施多菌灵,针对虫害可以使用吡虫啉喷雾。通过综合应用,可以有效防治病虫害的影响,确保植物的健康生长,提高园林绿化的质量。

4.4 修剪植物

采用恰当的修剪技术,确保植被景观的美观性。乔木定植以后,要去除病弱枝、重叠枝。灌木种植以后,采取恰当的修剪措施,定期修剪确保高度一致,形状美观。针对地被花卉,要及时摘除残花去除过密枝叶,促进通风透光。可以将绿色植物修剪成扇形、球形等不同的形态,满足人们多元化的观赏需求。不同植物的修剪特性也存在一定的差异,例如灌木修剪时要从内到外、从上到下来完成。通过定期修剪保持美观,也能促进植物的健康生长。

5 结语

综上所述,城市公园绿化栽植工程中采用恰当的技术,可以提高植物的成活率和景观的美观度,为促进城市发展建设提供支持。因此在具体的工程项目中,施工人员要优化方案设计,根据公园特点,选择合适的植物,加强土地整理。而针对乔木灌木和花卉等不同类型的植物,采用恰当的栽植技术和养护技术,便于提高植物的成活率,优化景观布置,实现预期目标。

参考文献

- [1] 欧阳毅. 森林公园升级改造中绿化栽植工程施工技术[J]. 花卉,2024(4):43-45.
- [2] 翟朝阳,李顺兵,张铭. 探究园林绿化工程中园林植物的栽植施工技术[J]. 工程建设与技术,2024,2(12).
- [3] 吴敏翔. 古美公园绿化工程施工技术与后期养护管理思考[J]. 工程建设,2024,56(2):73-78.

Research on the Optimization of Symmetrical Non-Magnetic Heating for Alkali Metal Gas Chambers

Xinyu Cao¹ Yueyang Zhai² Xuejing Liu^{3*}

1. School of Optoelectronic Information and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China

2. School of Instrumentation Science and Opto-electronics Engineering, Beihang University, Beijing, 100191, China

3. Qinhuangdao Hongyan Optoelectronic Technology Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066001, China

Abstract

Atomic magnetometers are highly valued in the field of quantum precision measurement technology due to their high sensitivity and accuracy. The alkali metal atomic vapor cell, as a core component, plays a decisive role in measurement precision, and precise temperature control is a key factor in achieving high-precision measurements. This study designed a 150mm cubic heating system for the alkali metal vapor cell used in atomic magnetometers. By employing finite element methods to study the impact of different heating patterns on temperature distribution, it was found that a two-sided symmetric heating approach can improve temperature uniformity, with an atomic density uniformity of 1.46%. Additionally, experiments have confirmed the feasibility of this heating mode.

Keywords

atomic magnetometer; alkali metal gas chamber; gas chamber temperature control; finite element method; temperature uniformity

碱金属气室对称无磁加热优化研究

曹新雨¹ 翟跃阳² 刘学静^{3*}

1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 中国·上海 200093

2. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 中国·北京 100191

3. 秦皇岛红燕光电科技有限公司, 中国·河北 秦皇岛 066001

摘要

原子磁强计在量子精密测量技术领域因其高灵敏度和精确度而备受重视。碱金属原子气室作为其核心部件,对测量精度具有决定性影响,而精确的温度控制是实现高精度测量的关键因素。本研究设计了一种用于原子磁强计碱金属气室的150mm立方体加热系统。通过有限元的方法研究了不同加热模式对温度分布的影响,结果表明两面对称加热方式可提高温度均匀性且原子密度不均匀性为1.46%,同时实验也验证了该加热模式的可行性。

关键词

原子磁强计; 碱金属气室; 气室温控; 有限元法; 温度均匀性

1 引言

原子磁强计作为基于量子精密测量原理的高灵敏度磁场传感器,凭借其无需低温环境、宽频带响应等优势,在脑磁图、地磁勘探和生物医学检测等领域展现出重要应用价值^[1-2]。碱金属气室作为原子测量仪器的核心部件,其内部常充有一种或多种碱金属元素(如钾、铷),以及一种或多种辅助气体(氦气、氮气)^[3],其中碱金属气密度对输出信号具有重要影响,检测灵敏度与气室内原子数密度紧密相关,而原子数密度又与气室的温度呈指数关系。这表明气室温度的精确控制对于提高原子磁强计的灵敏度至关重要。因此碱金属气室的加热方法和加热结构的优化、气室温度稳定性和均匀性的提升成为原子测量仪器灵敏度进一步提升的关键技术之一。

目前气室加热主要有热对流加热,激光加热,电加热三种方法:热对流加热虽无磁噪声,但系统复杂不利于小型化、集成化,而且温度稳定性不高、气流扰动较大、加热均匀性不好;Li^[4]等构建一种基于激光加热技术的蒸汽池加热结构,并通过石墨薄膜优化了温度的空间分布使蒸汽池的内部温度CVT降低了67%。该方法非常依赖激光器光源的稳定性,而且出于安全考虑,只能采用低功率的激光,难以用于加热功率大的场合。电加热方法在材料创新和结构设计方面取得突破,北航^[5]提出的双采双控系统显著提高了控温精度,但仍存在因材料导热不均导致的温度分布问题。

基于上述研究背景,本文针对电加热系统中材料导热不均导致的温度分布问题,提出了一种解决方案即使用高热复合材料 and 对称无磁加热结构来消除局部热点,提高热均

匀性。通过构建有限元模型分析，发现材料导热系数不均会导致温度分布不均。为解决这一问题，我们设计了对称无磁加热结构，以优化温度分布和加热效率。这种结构旨在实现更高效、均匀的温度控制，为碱金属气室提供稳定均匀的工作环境。

2 结构设计与理论分析

2.1 烤箱结构设计

本研究针对碱金属原子气室在正常工作状态下对高温和均匀受热环境的需求，设计了一款正方体烤箱作为其载体。该烤箱的设计旨在通过在内壁安装加热片来均匀地将热量传递给气室，以确保气室的温度分布均匀，从而提高原子磁强计的测量精度和稳定性。在 150mm 立体烤箱四个面上各设计直径为 10mm 的通光孔。其中两个用于探头激光器和泵浦激光器的光学通道，便于原子的光学探测和操控；另外两个用于连接烤箱内部加热片与外部温度传感器，实现对碱金属原子气室温度的实时监测。

热场分析基于热传导、热对流和热辐射等基本原。在本文设计的碱金属原子气室烤箱中，热传导是主要的热传递机制，而热对流和热辐射的影响相对较小，可以忽略。热传导是物体各部份之间不发生相对位移时产生的热能传递，可以用傅里叶热传导定律表示为

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

式中， q 为热流密度； k 为导热系数。

2.2 加热元件设计

为了完善电加热所带磁场干扰的缺点，需要对加热膜的材料和走线进行设计来实现无磁加热。加热膜选取聚酰亚胺薄膜作为衬底，在薄膜的基础上进行加热丝加工。加热膜

分为两层结构，相邻加热丝之间流过的电流方向相反、大小相等，可以让空间中产生的磁场相互抵消，大大减小加热过程中产生的磁场干扰^[6]。

3 仿真分析与讨论

为了深入探究电加热对烤箱内部的温度分布均匀性及其对碱金属原子气室工作性能的具体影响，本研究采用 COMSOL 软件，运用有限元分析方法对烤箱内的热场进行仿真分析。在模型建立过程中定义了烤箱的三维几何结构并设置了包括恒压比热容、密度、导热系数在内的关键材料属性，以及相应的边界条件。通过这些设置模拟了烤箱在多样化加热条件下的温度分布状态。

设定加热面的温度为 650K，而其他面及原子气室的初始温度设定为 293.15 K，广义向内的热通量 q_0 为 $6W/m^2$ 。经过热传导达到热平衡稳态后得到图 1 温度分布图。一面加热：温度分布不均匀，中心区域温度较高，边缘区域温度较低。这种加热方式会导致碱金属原子密度分布不均。两面加热：温度分布较为对称，气室中心区域温度梯度较小。这种加热方式有助于碱金属原子均匀分布，提高光吸收效率和自旋极化率，从而改善磁强计的灵敏度和稳定性。两面非对称加热：温度分布不对称。在靠近加热膜的区域，由于更直接接触热源，会吸收更多的热量，从而使得这些区域的温度上升得更快，导致气室一侧温度高，另一侧低。三面加热：温度分布更均匀，气室中心区域温度梯度进一步减小。这种加热方式能够更好地维持碱金属原子的均匀性，适合高精度磁强计的应用，但需注意避免局部过热。四面加热：温度分布最均匀，整个气室处于稳定的热环境中。这种加热方式虽然能最大化碱金属原子的均匀性和稳定性，显著提升磁强计的信噪比和长期可靠性，但是设计和能耗成本较高。

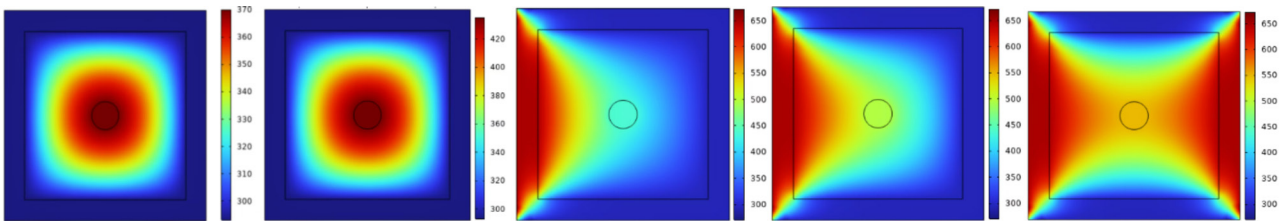


图 1 温度分布图

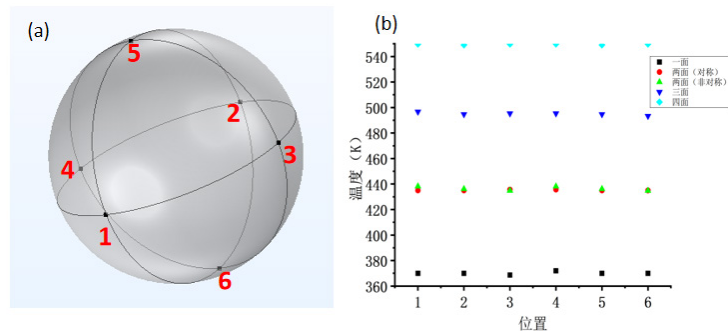


图 2 (a) 气室取点位置 (b) 点在不同加热下的温度

根据碱金属 Rb 原子数密度 n 与温度 T 的关系，在温度为 T 时，碱金属蒸气的饱和密度由以下方程给出：

$$n = \frac{1}{T} 10^{21.866+A-B/T} \quad (5)$$

式中 A 为 4.312, B 为 4040。图 3 展示了在不同加热条件下六个测量点的碱金属原子密度。结果表明，在一面加热、两面非对称加热和四面加热的情况下，原子密度梯度变化显著，分布不均匀。而在两面对称加热和四面加热的情况下，原子密度梯度变化较小，表明原子密度分布较为均匀。虽然两面对称加热方式时原子密度不均匀性为 1.46%，略高于四面加热时的 0.91%，但四面加热在实验实施上可能更为复杂且成本更高。相比之下，两面对称加热结构简单、易于实现，并且仍然能够有效降低原子密度的不均匀性。

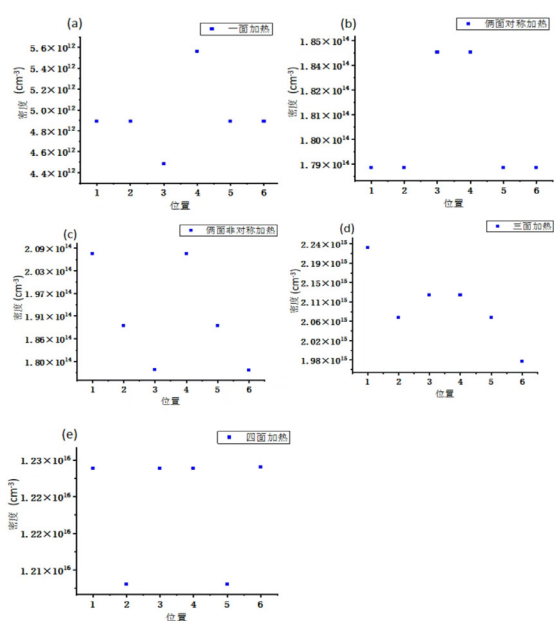


图 3 不同加热时原子密度

4 实验验证

为验证本文设计的烤箱加热保温结构的有效性，构建保温结构有效性验证实验系统。实验装置基于 SERF 原子磁强计原理，内部的碱金属气室是一个边长为 20mm 的正方体，碱金属原子为 Rb，还有惰性气体 N₂。探测光为 DFB 半导体激光器，提供 780nm 的光源，加热部分采用的是一对无磁加热片加热气室，产生的温度梯度与探测光传播方向垂直，使用热敏电阻和温度控制器对实验温度进行控制，热敏电阻作为测温探头置于烤箱外壁附近。

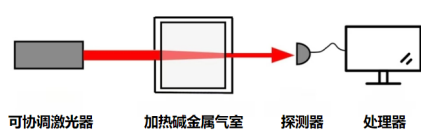


图 4 实验示意图

实验结果如图 5 所示，接近加热元件位置 A 温度最高；靠近空气位置 C 温度低于 A 层；B 层虽然通过金属架接触实现有效散热，使其温度低于 A 层，但由于气室内部热传导的特定分布特性，其最终温度仍高于 C 层。图 6 展示其位置分布下碱金属原子密度且不均匀性为 1.93%。尽管这一结果与仿真结果存在一定差异，但符合实验设计的要求。

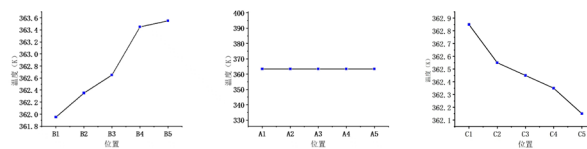


图 5 不同点位置处的温度

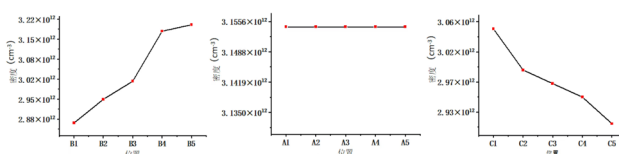


图 6 不同点位置处的 Rb 原子密度

5 结论

本研究针对原子磁强计中碱金属气室的温度控制问题，进行了深入的理论和实验研究。通过设计正方体烤箱作为碱金属原子气室的载体来探索其不同加热方式对气室温度分布均匀性的影响。利用有限元法进行仿真分析发现两面对称无磁加热时，碱金属气室温度分布更均匀且原子密度不均匀性 1.46%，并通过实验验证采用两面对称无磁加热时，烤箱温度分布更均匀且原子密度不均匀性为 1.93% 满足要求，这对原子磁强计的气室加热具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] Hill, R.M.; Boto, E.; Holmes, N.; Hartley, C.; Seedat, Z.A.; Leggett, J.; Roberts, G.; Shah, V.; Tierney, T.M.; Woolrich, M.W.; et al. A tool for functional brain imaging with lifespan compliance. *Nat. Commun.* 2019, 10, 4785.
- [2] Perry, A.R.; Bulatowicz, M.D.; Larsen, M.; Walker, T.G.; Wyllie, R. All-optical intrinsic atomic gradiometer with sub-20 fT/cm/root Hz sensitivity in a 22 μ T earth-scale magnetic field. *Opt. Express* 2020, 28, 36696–36705.
- [3] 于明智. “基于创新内侧壁成型工艺的具有多光通道的微制造原子蒸气池” *工程* 35, no.4 (2024): 46-55.
- [4] Li, Yang, et al. “Laser Heating Method for an Alkali Metal Atomic Cell with Heat Transfer Enhancement.” *Photonics* 10.6 (2023): 637.
- [5] A dual-sampling dual-control high-precision and low-noise non-magnetic electric heating system for alkali metal vapor cells, CN2024100000000, 2024年5月20日, 国家知识产权局.
- [6] 李德文等. “无磁加热薄膜仿真设计与实验验证.” *光学与光电技术* 21, no. 3 (2023): 87-91.