

抵御核废料 储存设施的 腐蚀

作者: GARY DAGASTINE

多物理场仿真帮助 Sogin S.p.A. 设计出一种简单、节能的除湿系统来防止放射性废料钢筒中发生腐蚀。

腐蚀是金属最无情的天敌，尤其是核废料容器中的腐蚀绝不能发生。

这正是意大利面临的情况，其国内核电生产已经停止，但需要长期安全地储存作为发电、研究、医疗和工业活动副产品产生的低放射性废料。

Sogin S.p.A. 是一家意大利国有的公司，负责意大利核设施的退役和放射性废料的管理。

核废料储存 需要精确的湿度控制

Sogin 的一个项目是对位于意大利中部的一座原核电站的建筑进行改造。其目标是达到意大利和国际上对于临时储存低放射性废料的要求，直到废料可以送到国家永久储存库。

这个临时设施是一个大约 30 米 × 15 米的单层矩形空间，划分成两个房间。废料储存在钢筒中，由于放射性原因，这些钢筒封存在混凝土内。钢筒的外径为 0.8 米，而外包装的直径为 1 米。为了防止腐蚀，必须保持 65% 或

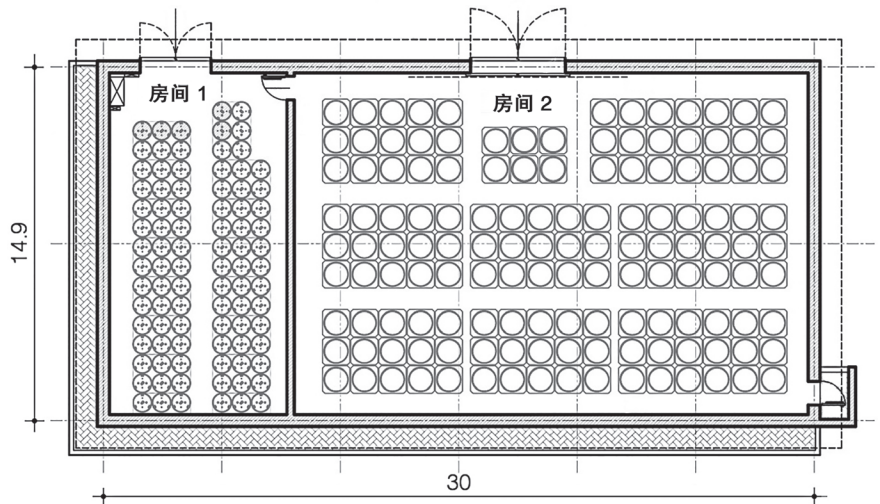


图 1: 划分为两个房间、用作低放射性废料临时储存设施的空间平面图。在房间中，废料储存在具有混凝土外包装的非不锈钢钢筒中。

更低的相对湿度。

Gianluca Barbella 是 Sogin 的一名结构工程师，也是该项目的团队领导。“需要控制空气湿度的原因是因为使用了非不锈钢钢筒。混凝土外包装意味着只有先取出钢筒才能对它们进行检测，这使得难以持续地监测腐蚀过程。

此外，该设施还暴露在相对湿度较高的环境下。因此，湿度控制至关重要，”他解释道。

但是，在该设施 25 年的预期寿命中通过加热、通风和空调 (HVAC) 系统来保持最佳条件的费用非常昂贵。此外，由于不能扩大该设施，

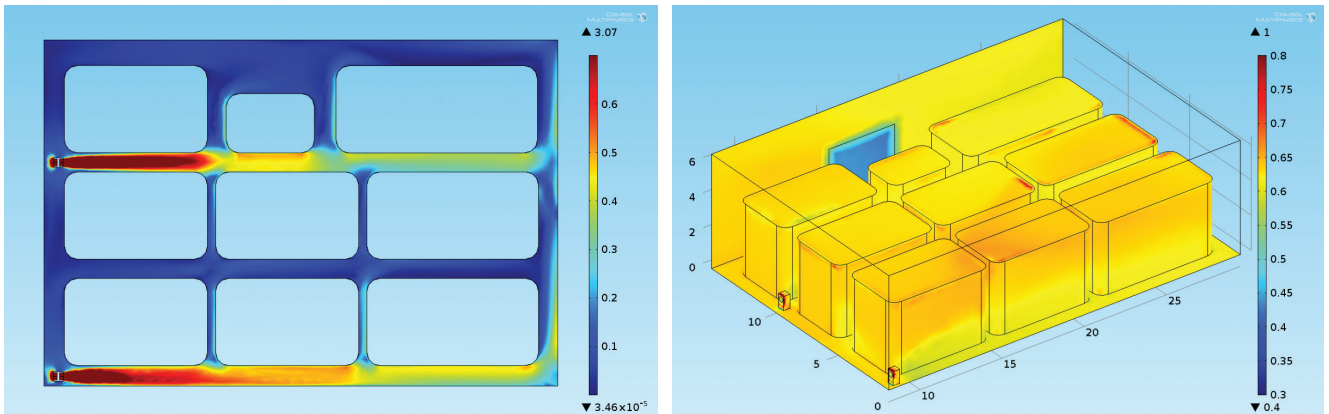


图 2：对于设计寿命为 25 年的放射性废料储存房间，意大利的 Sogin S.p.A. 通过 COMSOL 仿真来研究在空间内不同除湿机类型和摆放位置的情况下，房间内的空气流动速度（左）和整个房间内的表面相对湿度（右）。仿真结果帮助工程师们设计出了可最大程度减少滞留空气、支持最高工作效率并优化相对湿度的除湿系统。

HVAC 系统的空间要求将导致废料储存的空间更小。并且，由于设备故障和定期维护，HVAC 系统停机是不可避免的。

潜在的替代方法是改为使用工业等温除湿机，它的优点是相对较小、可移动，需要的维护较少，并且可以显著减少工作成本。该设备基于逆向卡诺热循环：风扇将空气吸入该设备，然后空气通过蒸发器并被冷却。空气中的多余水分会凝结成水滴，落入一个水槽中。然后，空气通过冷凝器，其温度在其中升高几度。之后，干燥的暖空气再次循环到环境中。

Sogin 项目依靠数值仿真来研究两种不同的工业等温除湿机的各种尺寸和配置的影响。机械设计部的 Piergianni Geraldini 负责执行这些分析。目标是确定设备要求，以及确定设备在房间中的最佳布置（见图 1）。

仿真帮助确定最佳布局

该团队首先利用单相不可压缩

k- ϵ 湍流模型来进行稳态流体流动仿真，研究了房间内的空气湍流流动。其目的是在假定采用除湿机的情况下，模拟储存区域中的空气速度场。

然后，他们将这些研究的结果用于全耦合的瞬态仿真中，研究房间空气中的热量和水分传递（见图 2）。整体的结果用于优化安排除湿机的最佳布局。

“COMSOL Multiphysics 使用户可以方便地耦合不同的物理场，具有直观的界面，使在同一界面内管理整个建模过程成为了可能。”

COMSOL Multiphysics® 及其传热模块被用于构建及完成所有的仿真模拟。“如果没有这种完善的仿真工具，我们将不得不使用简化的近似方法加上设备制造商提供的除湿机性能曲线来建模除湿过程。但是，仿真结果向我们表

明，COMSOL 具有强大的功能，可以求解三维热量和水分传递问题，” Piergianni 说：“COMSOL Multiphysics 使用户可以方便地耦合不同的物理场，具有直观的界面，使在同一界面内管理整个建模过程成为了可能。”

“仿真帮助我们设计了只需要两个除湿机的布局，而其他布局需要四个除

湿机才能达到相同的效果，” Barbella 总结道。“我们设计的系统可以限制滞留气穴，使设备可以在峰值效率下工作，在该设施完成并投入服役后可以帮助降低钢筒发生腐蚀的风险。” ■