

通过多物理场仿真来预防建筑损坏

极端气候条件下的湿度和温度变化可能会损坏建筑地基。Vahanen Group 利用多物理场仿真为施工队提供评估支持，帮助防止冻害并保持建筑物结构安全。

作者：LEXI CARVER

虽然不太引人注目，但地下保温和供暖系统可以防止混凝土建筑地基发生临界损坏，保证居住者的安全，保持室内温暖。由于混凝土具有多孔结构，水和污染物可以进入地基。当地基或下方的土壤冻结时，会导致诸如开裂之类的结构损坏。一些老旧的建筑通过保温措施来进行保护，而其他一些建筑则通过铺设在锅炉和室内供暖装置之间的供暖管道进行保护。

持续的损坏会有严重的风险，如建筑发生屈曲或倒塌。芬兰埃斯波的 Vahanen Group 是一家专业从事质量评估和施工建议等建筑服务的公司，为了解决寒冷和潮湿的问题，该公司分析了正需进行改造建筑的潜在冻害。在已存在损坏并需要进行改造时（例如，需要更换供暖系统和管道），他们的工作是非常重要的。

什么是最佳的建筑保温方式？

Pauli Sekki 是 Vahanen 的一名建筑专家，他使用 COMSOL Multiphysics® 的仿真功能来进行风险评估——目标是确定地基或供暖系统的某些改造是否需要增加外部防冻保温措施。如果增加了不必要的措施，将会浪费宝贵的资金、时间和工作量。

其中一个项目，Sekki 的 COMSOL

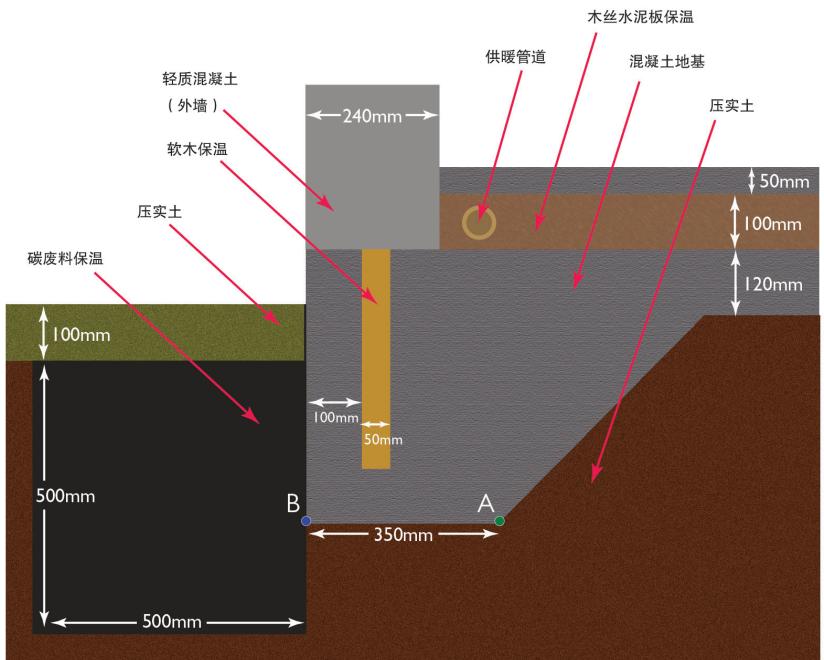


图 1: 建筑的几何模型示意图。供暖管道从锅炉铺设到室内供暖装置, 使地基保持温暖。

模型（见图 1）包括地基、松土层和压实土层、几种类型的保温层、轻质混凝土墙，以及从供暖系统铺设到建筑墙体和地基附近下方的管道。

Sekki 首先基于芬兰首都赫尔辛基的本地气候数据对温度变化进行仿真。政府发布的霜冻表数据提供了年度总冻结度小时 (FDH)，该数据表示日平均温度低于 0°C 的摄氏度量（例如，如果某一天的平均温度为 -5°C，则 FDH 为 5

度 x 24 小时 = 120）。对于赫尔辛基，一年中每天的 FDH 年度总和（年度冻结指数）通常约为 14,000 FDH。

根据现有的数据，Sekki 获得了一个“临界冻结”量来表示平均每五十年出现的异常冷冬（约 40,000 FDH）。鉴于建筑强度和寿命的重要性，任何改造将不仅需要承受通常的冬季气候，还要能够承受这些罕见的、更恶劣的条件。“设计和施工队求助于 Vahanen 来验证

其改造计划是否安全、可持久，并且做到材料和资源的最大化利用，” Sekki 解释道：“我们则求助于 COMSOL 来获取这些信息。”

在这个案例中，他需要确定完全拆除受损供暖管道的改造是否会危及建筑物的安全。现有的保温措施是否已经足够？为了回答这个问题，他对管道、保温层和地基中的传热进行了模拟。“COMSOL Multiphysics 中的工具非常易于处理这种复杂模型，”他评论道：“几乎可以无限可能地设置边界条件，这是一种极大的优势。”

预测潜在的冻害

Sekki 使用他的仿真来预测混凝土

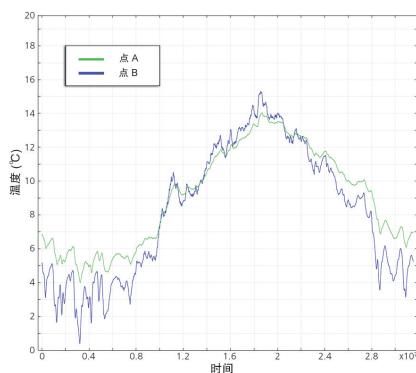


图 2：仿真结果显示了增加了 EPS 保温材料的改造建筑在典型年份 (14,000 FDH) 中温度随时间的变化。

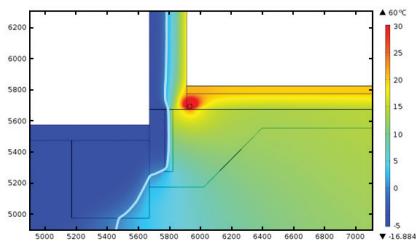


图 3：未改造建筑在每隔 50 年出现的极端冬季条件 (40,000 FDH) 下的温度分布。

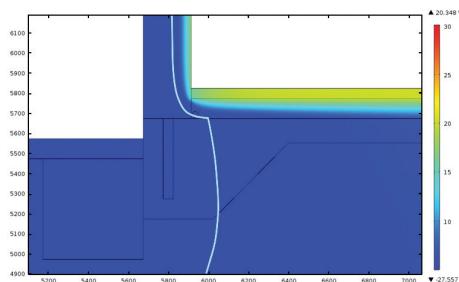
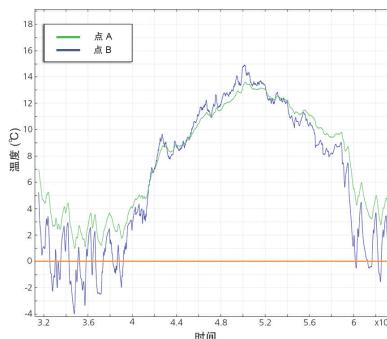


图 4：建筑在进行改造和增加 EPS 保温材料后的温度结果 (40,000 FDH 情况下)。橙色线 (线图) 和垂直等值线 (表面图) 表示 0°C。

地基中两个最低拐角处 (图 1 中的点 A 和 B) 的温度。他研究了三种情况：原有的结构、供暖系统改造后的结构 (不再从管道传热)，以及另外使用发泡聚苯乙烯 (EPS) 保温材料替换受损木丝水泥板 (WWCB) 的改造后的结构。

对于赫尔辛基的一般年份，地面可以保持足够的温度，足以防止在其原有状态和供暖系统改造后对于建筑产生的损坏。但是将 WWCB 保温材料替换为 EPS 后，接近地基的地面会降至 0.5°C (见图 2)，这种低温足以产生问题。“新的 EPS 保温结构存在产生冻害的风险，” Sekki 说：“值得庆幸的是，多物理场仿真帮助我们避免了这种风险。”

保持结构强度来应对最恶劣的冬季

在仿真较长冬季的环境之后，他发现只有原有结构的地基能够维持在冻结温度之上并保证安全 (见图 3)。

在仿真结果中，采用 WWCB 改造结构的地基周围的地面温度下降到了 -2°C。使用 EPS 保温材料替换的改造结构的地基温度降得更低，达到了 -4°C。这意味着拆除供暖管道会使建筑地基面临严重损坏的风险 (见图 4)，这表明需要安装额外的保温材料。

采纳合理的建议保持结构完整性

Sekki 利用他的研究结果，确保了类似赫尔辛基气候条件的地区的建筑改造安全。通过仿真，他能够评估复杂几何结构的供暖需求，可以测试不同的保温材料和厚度，确保他建议的技术是安全和充足的。为了进一步为施工队提供强有力的支持，Vahanen 还利用 COMSOL 对热量与水分的瞬态传递以及室内空气流动进行建模。“有了仿真，我们就能为客户提供良好的建议，” Sekki 评论道：“防止会导致结构破坏的变化。” ■



Pauli Sekki, Vahanen Group 的建筑物理专家。