

# 看不到的奇迹: 采暖、降温和融雪

Viega 公司使用仿真 App 与客户分享有限元仿真结果, 在设计住宅和商业项目的辐射采暖和降温系统时, 为客户提供宝贵的工程支持。

作者 **NICOLAS HUC**

紧急救援人员每天都要与时间展开竞争: 救援过程必须争分夺秒, 他们在驾驶救护车或紧急救援直升机时, 可能会出现惊慌、紧张的情绪, 导致肾上腺素激增, 行动仓促。想象一下应急救援人员可能遇到的一种情形: 他们在严冬时节到达救援现场, 却发现直升机着陆区被冰雪覆盖。时间如此紧迫, 能否将这个区域的冰雪迅速铲除? 应急车辆在冰上打滑怎么办? 在这类极寒条件下开展救援工作, 风险会非常高, 冒险展开救援是否值得?

幸运的是有一种技术可以避免此类问题的发生, 而且其应用正变得越来越广泛, 这就是液体循环加热融雪系统。地面(通常是混凝土)中埋有管道, 温水可以通过管道在整个需要融雪的区域中循环。考虑到紧急救援情况, 工程师可以通过适当的设计, 使融雪系统起到防止冰雪堆积、减少人工清理的作用。

根据具体的应用场景, 这种辐射地板系统有不同的作用, 可以用于采暖或者降温等不同用途。系统采用的管道设计都是类似的: 地板下方铺设管道, 调节管道中水的流量和温度, 就可以控制空间的温度和舒适度(图 2)。

Viega 公司是一家设计和制造辐射采暖系统的公司, 擅长帮助客户解决那些需要特殊温度控制的情况。



图 1. 装有 Viega 公司融雪系统的停机坪上的紧急救援直升机机库。

## ⇒ 辐射地板系统

早在罗马帝国时代, 辐射系统就已经出现, 并且具有多种存在形式。如今研究人员发现, 辐射系统也可以在现代社会的商业建筑和住宅中大显身手。辐射加热不仅可以用于加热地板, 还可以控制房间的温度。地板保持温暖的温度时, 会向房间内释放热辐射。这种辐射只会被不透明的表面吸收, 换句话说, 它会被我们的身体(而不是空气)吸收, 从而让我们感觉到温暖。

Viega 公司的工程师们设计了一种特定的管道铺设结构, 然后将管道按照设计铺设到地板下面。热水(如果用来冷却, 则为冷水)穿过管道并对周围的材料进行加热, 热量最终通过地板表面热辐射到房间的其他位置。这就像我们从树荫下走到阳光下, 虽然空气温度相同, 但由于身体在阳光下能够吸收热辐射, 因此会感觉更温暖。管道由交联高密度聚核乙烯(通常称为

PEX) 制成。交联聚乙烯具有两种优势: 不仅能够承受更高的温度和压力, 而且不易因形变而破裂。这些管道都经过了严苛的检验, 在符合温度和压力等级的标准下, 设计人员可以将弯曲半径和管壁厚度尽量降到最小。

在建筑设计的最前沿领域, 环境意识和能源效率近年来颇受关注, 这极大地促进了辐射采暖的应用。辐射采暖系统可以与现代化高效锅炉配合使用。由于辐射系统不使用空气循环, 而且使用比普通采暖系统更低的水温(-45 °C vs. -82 °C), 因此具有更高的能量利用率。仅仅需要开关阀门, 就可以轻松控制管道中的水温, 甚至可以在整个房间内产生更恒定的温度。

## ⇒ 系统设计

Brett Austin 是 Viega 公司加热和制冷设计部主管, 他使用

COMSOL Multiphysics® 多物理场仿真软件来设计系统, 以满足客户的需求。“COMSOL 多物理场仿真软件让我们能够开展加热和制冷的设计, 并选择管道的排布方式。” Austin 说, “我们根据地板平面结构绘制管道排布方案, 然后导入 COMSOL 多物理场仿真软件中, 并实现与客户的共享。仿真工作能够提供工程数据来支持我们的设计。”当研发团队拿到一个项目时, 机械工程师会到现场明确各方面的要求, 包括加热和制冷输出结果、建筑结构、地板材料以及可接受的水温等。随后团队使用仿真来确定管道的铺设位置、间距, 以及地板的温度分布情况(图 3), 以确保满足客户的需求。Austin 补充说: “对于具有多向输出或结构复杂的非标准应用设计, COMSOL 多物理场仿真软件尤其有用。”

多物理场仿真技术使 Viega 公司受益颇多。研究人员使用仿真 App 和 COMSOL Server™ 产品, 可以与客户共享仿真结果。当团队人员与客户会面时, 他们可以快速调整参数, 如水温或管道直径, 并在现场显示加热或冷却系统的使用效果。Austin 解释道: “客户经常会针对最初提出的问题多次修改方案, 仿真 App 使我们能够跨越这些问题, 直接为客户提供宝贵的可视化服务。它是一个很棒的工具, 我们可以将结果共享给世界任何地方的客户。”

### ⇒ 阿纳海姆地区交通联运中心

在南加州这样的环境中, 温度低一点会让人感觉更舒适。这就是阿纳海姆地区交通联运中心(ARTIC, 图 4)的工作人员来到 Viega 公司, 并希望安装辐射地板(降温)系统的原因。由于建筑物规模庞



图 2. 环境面板中的辐射管(左); 混凝土中的辐射管(右)。

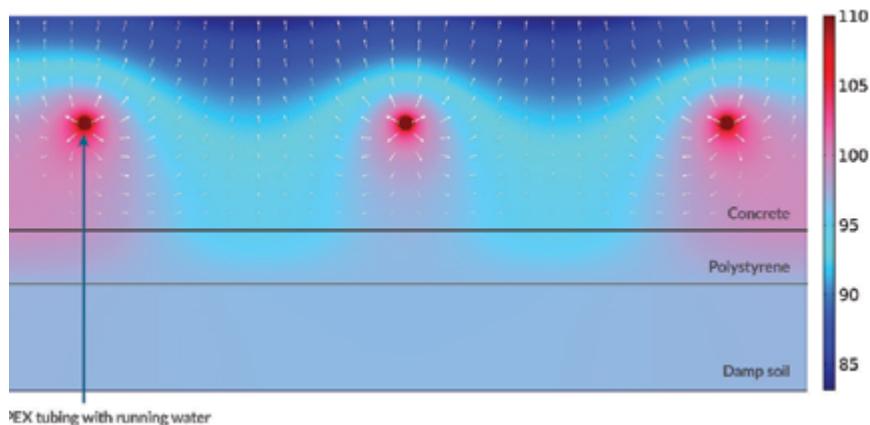


图 3. 辐射加热系统的横截面温度分布。箭头指示了热通量的传导方向, 表示传递到地板上表面以及地板上的空气中的热量比率。温度单位为 °F。图注: Concrete - 混凝土; Polystyrene - 聚苯乙烯; Damp soil - 潮湿土壤; PEX tubing with running water - 用于水循环的 PEX 管道

大, 使用空气循环冷却系统几乎不可能实现期望的效果, 而且维持系统运行需要的高昂费用更是令人望而却步。Austin 的团队承担了这项任务。他们先对一块较小的地板区域进行建模, 然后再将结果推广到整个建筑。然而, Austin 认为这种仿真方式会增加一些额外的困难, 建筑物吸收的热量与制冷输出必须达到非常好的平衡。由于建筑物的圆顶装有大量的窗户(图 5), 有利于吸收太阳能, 为建筑物增加了大量的热能, 因此冷却能力必须非常高才能抵消这些热量。ARTIC 的工程师还遇到另一项挑战, 管道中的水温必须低于通常的冷却系统中的水温 (-10°C vs. -14°C)。但是, 由于某些区域的管道间距很小, 使得该区域的温度接近地板表面的露点温度, 可能会造成地板表面水汽凝结, 从而给客户造

成一定的困扰。Viega 的研究团队希望能够避免出现这样的情况。

借助 COMSOL 多物理场仿真软件, 团队找到了防止出现冷凝的方案: 在管道周围安装一层薄薄的绝热层。“我们与现场工程师一起制定了一个解决方案, 在供应管顶部添加一层绝热材料, 缓解了系统产生的低温影响,” Austin 说, “这听起来似乎违反直觉。但在这一案例中, 由于施工限制, 某些区域的管道距离非常近, 这样做可以防止这些区域发生冷凝。”在此基础上, 他们还使用 COMSOL 多物理场仿真软件进行了瞬态仿真, 用来研发一种制冷控制方案: 用整晚的时间冷却地板上的板坯并使其保持低温。在夜间, 冷冻水在管道内流动, 冷却混凝土。到了早晨, 水流被关闭, 地板仍然能够在一天中保持凉爽。这种方案



图 4. 阿纳海姆地区交通联运中心 (ARTIC)。

有助于减少必要的制冷能耗。研究人员利用仿真来确认地板的低温状态能持续多长时间, 以及这种策略是否可行。

#### ⇒ 太阳谷滑雪度假村

作为保证紧急入口和直升机升降坪安全的关键因素, 融雪系统不仅可以在紧急救援方面大显身手, 还可以应用到另一个完全不同的领域: 奢侈生活享受。高端滑雪场极其重视客户的舒适度, 复杂且可靠的融雪系统对他们的体验至关重要。装有融雪系统的地面会保持温暖的温度, 不断地将冰雪融化。

当爱达荷州凯彻姆的太阳谷滑雪场的工作人员来到 Viega 公司时, Austin 才知道他们即将面临的任务是多么艰巨。客户希望在整个度假村安装一个辐射融雪系统, 覆盖超过 60,000 平方英尺 (约合 6600 平方米) 的步行区和车道。为了利用仿真来处理这样一个大型项目, Austin 和他的团队必须对系统的各个部分进行模拟。“幸运的是, 大部分仿真工作使用的面板模型都是相似的”他解释道, “我们使用内部程序将不同部分绘制成 CAD 格式, 然后选取其中一小片, 指定辐射面板材料属性



图 5. ARTIC 在铺设地板之前先安装了辐射冷却系统(上);ARTIC 内部地面的最终外观(下)。

和水温, 然后运行仿真计算。”团队人员利用仿真 App 直观地将结果展现给滑雪场的工作人员。仿真 App 在这项工作的完成过程中发挥了重要作用。

借助 Viega 公司的设计和安装, 太阳谷滑雪场获益匪浅。滑雪场内的所有道路和高人流量区域都安装了融雪系统(图 6)。铲除这些区域的雪有时并不可行, 因此需要另一种除雪方法。融雪系统可以最大限度地减少清理、降低维护, 并且由于融雪过程不需要加入盐或化学品, 因此有助于保



图 6. 爱达荷州太阳谷滑雪场铺设的管道。

持滑雪场的专业形象。最重要的是, 由于“无冰”区域的存在, 滑雪场变得更安全, 不利因素也得以减少。

#### ⇒ 使用 COMSOL Server™

COMSOL Server™ 为 Viega 公司提供了一个强大的解决方案, 使销售团队可以将公司的服务内容直观地展示给客户。“COMSOL 多物理场仿真软件为我们的工作提供了很多额外的价值, 销售团队也可以使用有限元模拟的结果。” Austin 说, “这种展示方式非常直观, 软件也很容易使用。我们计划在未来使用更多耦合物理场接口来增强建模能力。” ❖



Viega 公司的研究团队。从左到右: Liam Collins, 辐射设计助理工程师; Travis Simoneau, 辐射设计助理工程师; Josef Marcum, 辐射设计工程师; Brett Austin, 加热和制冷设计部主管