

## § 2.4 实践者的评述

### 2.4.1 作者介绍

本题优秀论文评述的作者 Dave Dobson 在 Berkeley 加州大学获化学学士和物理学博士学位。在美国 Lawrence Livermore 实验室研究核武器扩散四年之后于 1968 年到 Beloit 大学任教，在 70 年代早期他对一般的能源，特别是对太阳能产生兴趣。1983 年他设计了一幢房子，利用了太阳能和超级绝热技术，并于 1984 年在他的妻子和几个朋友的帮助下开始建房。自 1987 年起这幢房子就成了他的住所和实验室。

### 2.4.2 评述文章的主要内容

Dobson 的评述文章包括以下内容：

#### 引言

作为要对之进行建模的物理系统，混凝土地板问题是一个好的且有适当挑战性的问题。但是建议把该系统作为房屋设计的一种可信的方法，在我看来是完全不切实际和不能令人信服的。所以我要把我的评述分为三类：

- 对 North Carolina School of Science and Mathematics(北卡科学与数学学校)队论文的解法的简短的批评；
- 给出所讨论问题的理想化问题的一个解；
- 对任何房屋设计的与这种模型相关的问题的评述。

#### 批评

北卡队论文的作者所用的“杆模型”的主要问题是绕一点把混凝土地板分割成的馅饼形状的楔子不是均匀的等截面杆。

另一个问题是作者在(2)中用到的  $dQ$  是通过一点的热量而不是(3)中用到的储存在一点的热量  $dQ$ ——它们不是相同的概

念!

尽管有这些批评,但考虑到他们在该问题上工作的严格的时间限制,对于该队的很好的尝试还是值得祝贺的.

### 理想化的问题

厚度和成分都是均匀的混凝土地板的顶部和底部都绝热,而且其周边的温度总是和被规定为时间的函数的外界温度一样.一般说,这是一个二维的热的流动问题.

(作者推导出一维、二维的热传导方程,见[2]pp. 220~221. 我们略去这部分内容,读者可参看任何一本偏微分方程的教材,也可参看[3].) 一维、二维的热传导方程分别为

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\rho c}{\kappa} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\rho c}{\kappa} \cdot \frac{\partial T}{\partial t},$$

其中  $T = T(x, t)$  或  $T = T(x, y, t)$ .

### 求理想化的问题的解

挑战在于要求得到在混凝土地板周边上满足规定的周围环境温度的边界条件的热传导方程的解.

我们再次来考察一维的情形(我们把它称为长条形房子!) 对此,我们有

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad \lambda = \frac{\kappa}{\rho c}.$$

考察试探解

$$T(x, t) = T_0 + T_1 \cos(\omega_0 t - \beta[L - x]) e^{-\gamma(L-x)},$$

$$(0 \leq x \leq L),$$

其中  $\beta$  和  $\gamma$  是代入方程后再来确定的量. 在一维的混凝土地板的面( $x=L$ )上满足

$$T(L, t) = T_0 + T_1 \cos \omega_0 t,$$

这正是问题所要求的!

对试探解求微商, 得到

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -T_1 \omega_0 \sin(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)},$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial x} = & -T_1 \beta \sin(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)} \\ & + T_1 \gamma \cos(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = & -T_1 \beta^2 \cos(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)} \\ & - 2T_1 \beta \gamma \sin(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)} \\ & + T_1 \gamma^2 \cos(\omega_0 t - \beta[L-x])e^{-\gamma(L-x)}. \end{aligned}$$

仅当代入热传导方程后得到的正弦和余弦项前面的系数分别等于零时,  $T(x, t)$  才能满足方程, 即, 若  $\beta = \gamma = \sqrt{\frac{\omega_0}{2\lambda}} = \sqrt{\frac{\omega_0 \rho c}{2\kappa}}$ , 则  $T(x, t)$  既满足方程又在  $x=L$  处满足边界条件.

因此, 一维长条形房子的混凝土地板的温度可以表示为

$$T(x, t) = T_0 + T_1 \cos\left(\omega_0 t - \left[\frac{L - |x|}{L_c}\right]\right)e^{-\frac{L - |x|}{L_c}},$$

其中

$T_0$  是周围(板的周边)环境温度的平均;

$T_1$  是周围环境温度变化的振幅;

$\omega_0$  是周围环境温度变化的角频率;

$L$  是长条形房子(它从  $x=-L$  延伸到  $x=L$ )的半宽;

$L_c$  是表征温度变化随离开板边时的减弱以及温度变化随离开板边时的相移的特征距离;

$$L_c = \sqrt{\frac{2\kappa}{\omega_0 \rho c}}.$$

对于全天(24 小时)中的周围环境温度的变化以及混凝土的典型特征而言,  $L \approx 7\text{m}$ .

要求二维的混凝土地板的精确解就更困难了, 但是对于任何形状的板都可以近似求解. 特别是, 如果比之于特征距离  $L_c$  要

大的板来说是可以近似求解的。靠近板的周边的地方(例如说,在20米内)可以利用一维问题的解。远离周边的地方,温度变化会相当小,也可能可以忽略。

(注:这里有误。因为  $T(x,t)$  在  $x=0$  处不是二次连续可微的,因而不满足方程。正确的解可参看[3].)

### 房屋设计

没有一个精神正常的人会用这种方法来设计房屋!就能效设计而言混凝土板是很好的,但如果周围环境温度超出了舒适温度范围,那么总是要把板的周边绝热!(周长 $\times$ 板的厚度)面积不大,绝热是不太费钱的。当周边没有绝热时,靠近板的外周边的地方的温度总是接近于周围环境温度;从计算中我们看到在离周边几米远的地方仍保持这种状况。

建筑物下的地温接近于全年的年平均周围环境温度,所以,如果这个温度在舒适温度范围内的话,那么,除在靠近周边的地方外,板的底部不应该绝热,这样,你们就能从土地作为热源或热流的有限效应中获得最大的好处。

北卡科学与数学学校队指出对混凝土地板的顶部绝热并不合理。这是正确的。我相信命题人心中想的是房屋的墙壁、屋顶的绝热能使混凝土地板与周围情况隔热。地板向住宅房间以及房间表面向地板的热辐射,将把房间内部以及混凝土地板本身一起导致靠近热平衡的状态。当然,板中的温度变化将使这种情形的分析复杂化,但是我想这可能就是命题人要建议求“板表面平均”温度的原因吧。但是,对于实际建筑物来说,这种平均并不蕴涵着外墙附近处于舒适温度的条件。

### 屋内空气的热容量被完全忽略了

在一幢绝热很好的房子里,对流也是不重要的。存在着某种分层(屋顶附近热一点,地板附近凉点),但是,如果房屋是绝热良好,对空气渗漏来说是密闭良好的,而且有高效(隔热玻璃或更好的材料做成的)窗户的话,辐射热的传输效应不大。

在确定房屋内部的热容量时，应把石膏灰胶纸夹板、内墙、房屋的固定装置、家具等的热容量加进混凝土地板的热容量。作为估算，可假定所有这些东西都有和混凝土一样的热容量，于是，所有这些就是包含在房屋内要绝热的所有东西总质量。

在问题陈述中描述的非常温和的气候条件下，可能无需加热或致冷就很容易保持在舒适温度范围内。但是，把湿度控制在舒适范围内仍是一个挑战。为防止内部产生毒气、臭气、人呼出和洗澡产生的湿气等，每天要有新鲜空气进入室内是很重要的。通常在温和气候的条件下在最佳时间（白天或夜晚，有赖于季节）开开窗就够了。但是，如果外边的空气极其潮湿、冷凝、发霉的话，即使温度是合适的，也会使人感到不舒服。这时，就可能需要空调或太阳能干燥器。

每种气候都对注重能效的建筑提出了自己独特的挑战。考虑周到并创造性地应用可利用的一切手段，包括混凝土地板、绝热技术、窗户位置、建筑物朝向、吊顶等等会给出实际而且优美的解决。

### 让我们来建造城镇住房

一个传统的“美国梦”就是有一幢（在郊区某处的）供单个家庭住的房子。城市规划的分区制常常是从地产边缘后撤 10 英尺，还要保证住宅间 20 英尺的“浪费掉的（不能作它用的）空间”。

排屋（比较时髦的话叫做城镇住房）的建造把浪费掉的空间减少为零，致使土地的利用效率增加 30%~50%，通过公共墙壁没有热损失，从而对于这种墙壁（除隔音外）无需特别的绝热。现代的防火材料大大提高了防火安全性，而这正是所有木头房屋的主要缺点。

东西方向的排屋没有东、西朝向的窗户（使房屋过分加热的主要热源）。排屋总是要东西向，窗户则朝北或朝南，永远不是其他方向。南窗的吊顶（在热带地区南北窗户都要吊顶）把不想要的低角度的太阳光线挡在外。