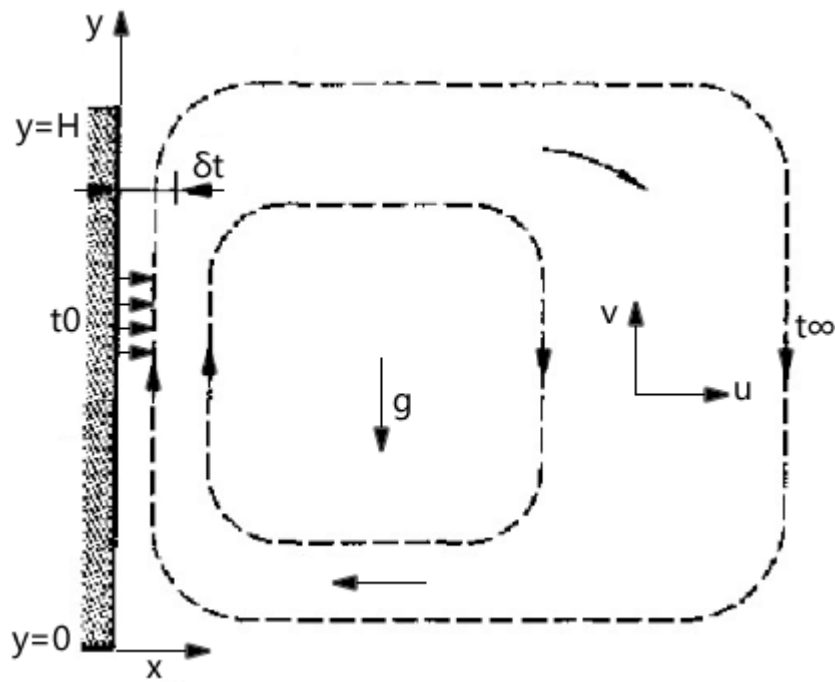


室内供暖的“机械定时器”与“烟囱效应”



目 录

1. 前言	1
2. 机械定时器与室温控制器	2
3. 导流罩与烟囱效应	5
3.1 什么是烟囱效应	5
3.2 热模拟仿真	6
3.3 小结	12
4. 参考资料	13
5. 后记	13

1. 前言

“青山遮不住，毕竟东流去”，春秋时光总是在不经意间流逝了，又迎来新一年的供暖季。恰好想起之前拿到的一份报纸，里面有一篇关于普通家庭供暖生活的小采访，见图1。这位老先生所在的小区没有配备“集中供暖”设施，自家采用了壁挂炉燃气炉来实现所谓的“自采暖”。壁挂炉燃气炉在中国的北方城市是常见的生活电器，一机多用堪称神器，见图2。回想当年有段时期的租房，洗澡和洗碗用的热水正是通过壁挂炉燃气炉供给的，但小区里有集中供暖，没有将其作为供暖设备。



图1 一篇关于冬季自采暖节能的报道

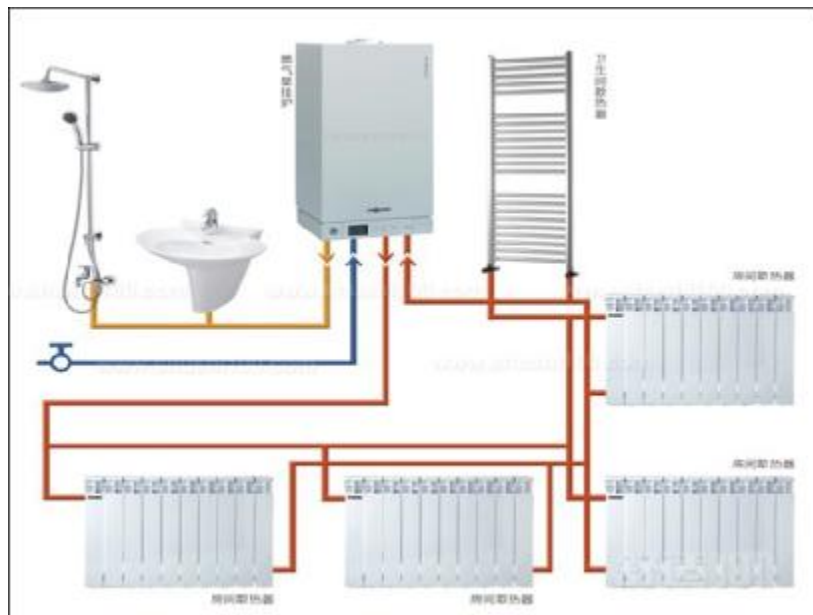


图2 家用壁挂炉燃气炉工作原理图

在中国，由于亲身经历过苦难生活和通货紧缩的岁月，老年人普遍注重日常水电气的节能省钱，但受制于自身的理工学科知识储备和操作技能训练，在较高层次上实现节能的创意和实现并不多，不知道这位老先生是否自身就是水暖相关专业的理工男，抑或背后另有高人指点。总之，从报道来看，为了实现壁挂燃气炉自采暖的节能，他介绍了 2 个办法：

- 1) 加装机械定时器，见图 3；
- 2) 给暖气片加装自制的“导流罩”，见图 1。

这篇报道来源于人们日常生活，也使用浅显易懂的生活化表达方式。可是这 2 个创意改进的科学原理是什么，是否真的都有效有利，下文尝试进行较为深入的分析。



图 3 一款典型的机械定时器（产品图片来自网络）

2. 机械定时器与室温控制器

机械定时器的功能是根据人为预设以机械方式自动接通或断开电源，以此实现对用电设备通电时间段的控制。虽然是机械式的，但定时精度和使用效果可以满足人们对生活电器的一般使用需求，已逐渐成为一些人用来改善生活质量的好帮手，比如配合养生杯、电饭煲用来煮茶、烹饪等。在这篇报道中，机械定时器则被用来定时控制壁挂燃气炉的燃烧供暖，这毫无疑问是切实可行的。

至于壁挂燃气炉的供暖工作时间段，老先生聪明的借鉴了集中供暖时间段：4:30~10:00、16:30~23:00:

- 1) 从上午 10:00 到下午 16:30 这个时间段被剔除，是因为这个时间段建筑物和地表的光照条件最好，是全天室外温度最高的时候。在北方长时间居

住过的人都有过这样的经历，就是“暖气太足”，穿春秋装都感觉到闷热，有的人还会开窗降降温。显然，在这种情况下，持续的供给热能容易将室内温度抬升到超过人体舒适的室温水平（如超过 22℃ 以上），造成了能量浪费。反之，在这个时间段降低室内热量供给甚至停止供暖也往往可以满足冬季保温需要；

- 2) 从晚上 23:00 到凌晨 4:30 这个时间段被剔除，是因为这个时间段人们几乎都处于睡眠状态，有温暖的被褥可以给我们提供更好的体温维持，对于室温的需求可以放宽。从美国电影《南极大冒险》的对白中，我们可以得知美国的南极科考站在科考队员夜晚开始休息时到起床前这段时间也会停止供暖。

也许有人会担心停止供暖期间室温下降过快，这个担心是有道理的，不过由于长时间的室内供暖加热了木板、砖头、混凝土、家具等，这些建筑物围护结构有较大的热容会抵抗温度变化的速度，而且现在建筑物的外墙保温层越做越好，停止供暖后室温不会迅速降低。这方面可以参考相关资料，如图 4[1]和图 5[2]。不过如果你住在影片中的美国南极站可要小心了，据说夜间室内温度会降至冰点以下，在夜间去卫生间会是一个麻烦，不知道他们怎么解决的，影片对白里好像提到“杯子。。。。。”，杯子？。现在的南极站是不是还是这样，去的时候得了解一下。

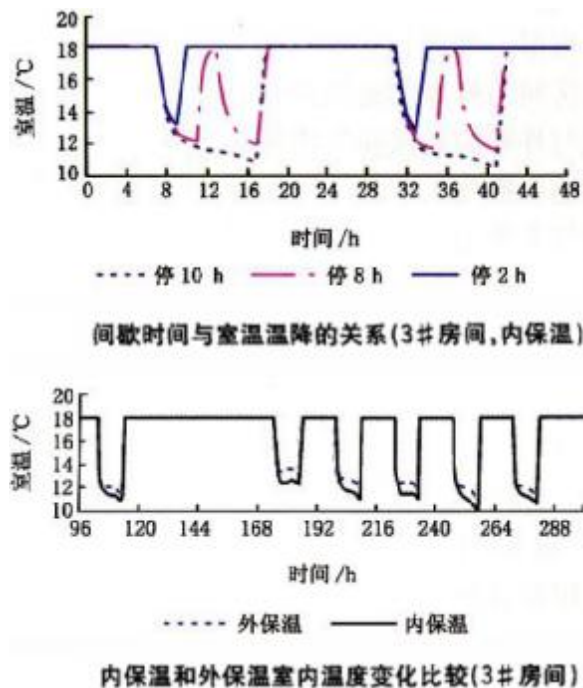


图 4 间歇供暖时间与室温温降关系的模拟仿真曲线

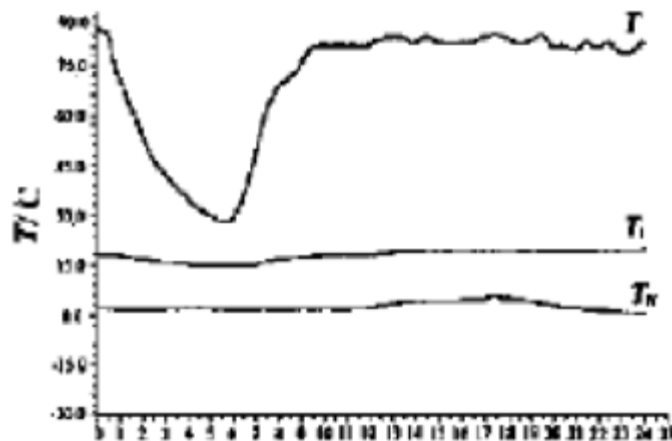


图5 西安市某小区停止供暖期间的实测温度曲线

2000年1月23日22:30~24日3:50

散热器温度（上）、室内空气温度（中）、室外空气温度（下）

毫无疑问，这是利用机械定时器这种自动化产品人为的缩短燃气壁挂炉的工作时间，也就是通过减少全天燃气消耗量的方式实现节能。目前机械定时器只需要二十几元，可能是初投资最低的改造方式。刚好找到一篇文章[3]，号称可以“节约15%~20%左右的燃气费”，说不定文章作者和这位老先生是认识的呢。上面讨论的是基于时间的节能，接下来探讨基于温度的节能。

无论燃气型还是电热型的水热水器一般都在本体集成有温控器，用户可以通过操作面板设定目标水温值或档位（冬季洗浴用水，大家常用40℃~45℃），温控器通过热水器中内置的测温传感器得到水箱中的水温，并通过控制电加热部分电源通断的方式将水箱内水温加热到用户设定的温度。使用机械式控制器只能控制壁挂炉式燃气炉在每天的工作时间，毫无疑问不能适应外部天气变化，从人体舒适性角度来说仍不是最佳方式，而且使用供回水的温度作为控制温度也不如使用室内空气温度直接有效。所幸的是，目前市场上绝大部分的壁挂炉都预留有室温温控器的安装接口，室温温控器主要实现了温度传感器与热水器的硬件分离，可以独立移动用来测量室内任意位置的空气温度（比如安装在客厅、书房或卧室），为便于用户使用，通常兼容了温控器的温度显示和温度设置功能。断开热水器本体温控器，接入室温温控器，壁挂炉式燃气炉的工作状态就与室内空气温度形成了有效的联动。相对于“名符其实”的机械式定时器方式，室温温控器方式的主要优势在于提升了人体舒适度、增加了供暖控制的灵活性。用户可以选择安装有线款室温温控器，也可以选择安装无线款室温温控器，见图6和图7。室温温控器方式的初

投资稍高，目前有线款室温温控仪已经降至百元以上，无线款室温温控仪则需要数百元，但考虑到长期的生活质量回报无疑是值得拥有的。



图 6 有线款室温温控仪的连接示意（产品图片来自网络）



图 7 无线款室温温控仪的连接示意（产品图片来自网络）

3. 导流罩与烟囱效应

3.1 什么是烟囱效应

根据百度百科可知“烟囱效应”是指：在垂直方向具有通畅流通空间的建筑或构筑物中，空气或烟气仅靠密度差（即自然对流方式）的作用，沿着通道（通常为从下往上）迅速扩散或排出现象。曾有实验表明：一座 30 层高，约 100 米的建筑，在无阻挡的情况下，一楼发生火灾导致的烟气从一楼到顶楼，只需 30 秒！高层建筑内部有大量的管道、竖井、楼梯间、排气道等各种横、竖向管井、通道，从地面一直通到最高层。一旦发生火灾，这些部位就成了一座拔风的“烟囱”，形成“烟囱效应”。不但使扑救变得更困难，更会危及前往天台逃生的人员的生命安全。另外，“烟囱”不仅仅是楼内有，楼外也可能有。高楼墙外保温层与玻璃幕墙

之间的缝隙，都会帮助烟火高速蔓延。

在农村烧土锅做饭，总是有些人不会烧火，容易倒烟和浪费柴草。倒烟往往是刚开始烧柴草的时候，因为这时候从灶膛到烟道尚未形成有序的流场，如果没有疏通好灶膛内的柴灰或者柴草拥塞过多，烟气从灶膛后方烟道口跑掉的通路受阻，就会从灶口返流造成倒烟现象。当灶膛内热烟气通过烟囱往外排散的流场正确建立后，根据流体的连续性原理和伯努利方程可知，会对灶膛的烟气和灶口的空气产生冲向烟道口的负压抽吸作用，此时观察灶膛里面的火苗会发现不是刚开始的静静的正直往上，而是斜向上往里闪跑的，这就是烟囱效应了。很多人对柴草位置控制不好，多是把柴草的燃烧位置过于靠里面了，可以想想锅底正下方燃烧的柴草，其火苗热量并没有有效作用在正上方的锅底，而是相当部分热量贡献给烟道了，这将导致同样的一顿饭菜耗费更多的柴草。

至此，搞明白了，老先生给暖气片加装“导流罩”，是希望利用“暖气片上升气流形成的负压卷吸作用”加快室内空气流动，提升室内温度均匀性。

3.2 热模拟仿真

这里通过热仿真方式模拟分析“导流罩”对气流组织和温度场分布的作用。

1) 首先考虑没有导流罩的情况：构建一个尺寸为 $3.6\text{m} \times 6.4\text{m} \times 2.7\text{m}$ 的房间和一个尺寸为 $600\text{mm} \times 100\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 的暖气片，见图 8。暖气片表面设为 50°C 的定温边界条件，暖气片所在的墙壁设为 15°C 的定温边界条件，其它 5 个墙壁设为 18°C 的定温边界条件。划分网格，见图 9，进行稳态热仿真，结果见图 10~图 14。

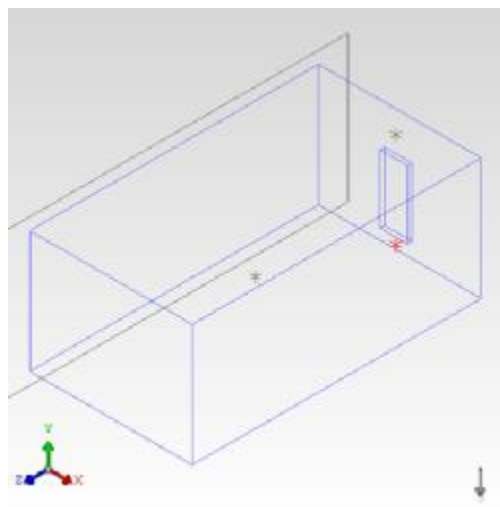


图 8 房间与暖气片结构布局示意 (Flotherm)

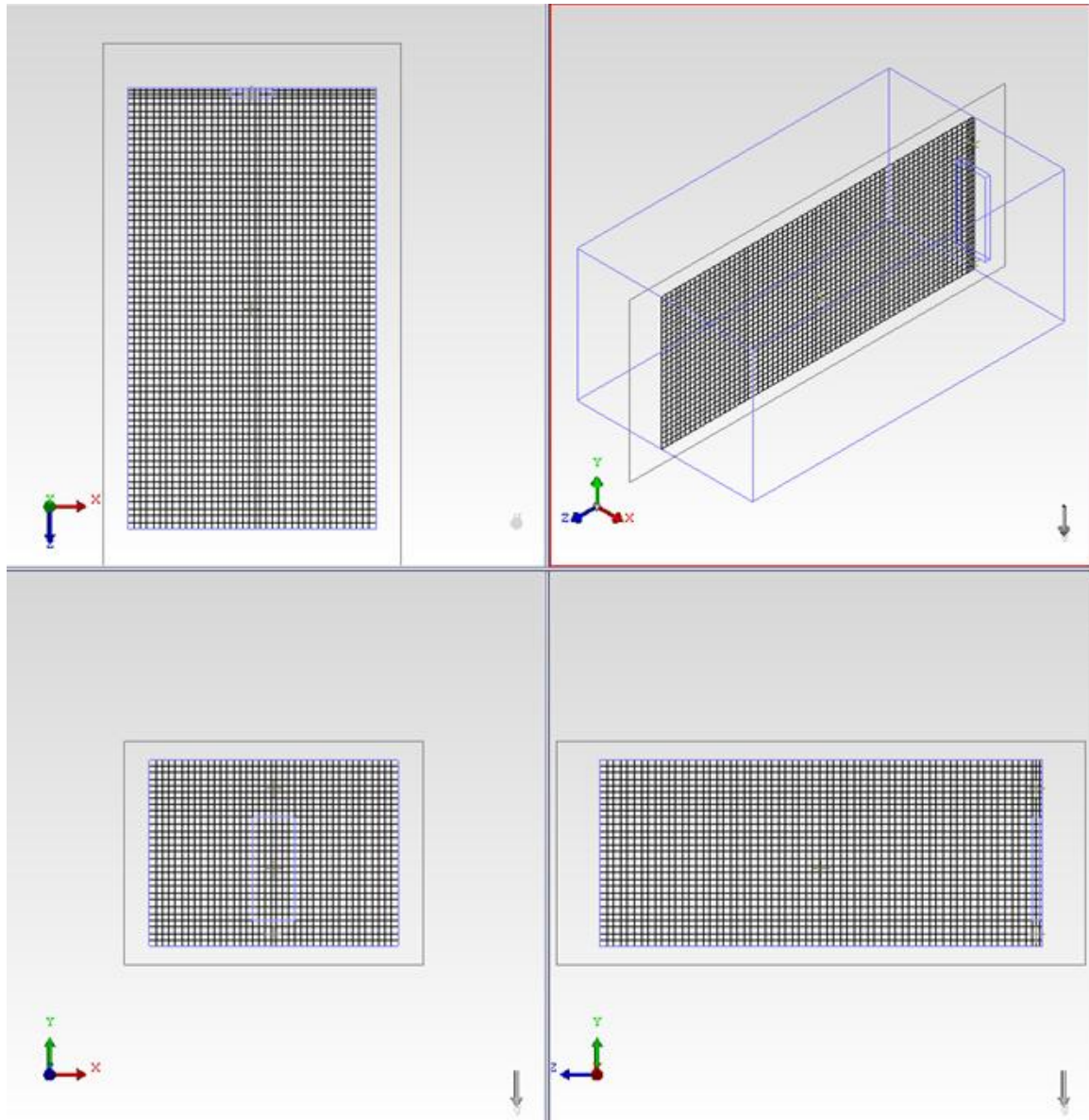


图9 房间空气网格划分示意 (Flotherm 版)

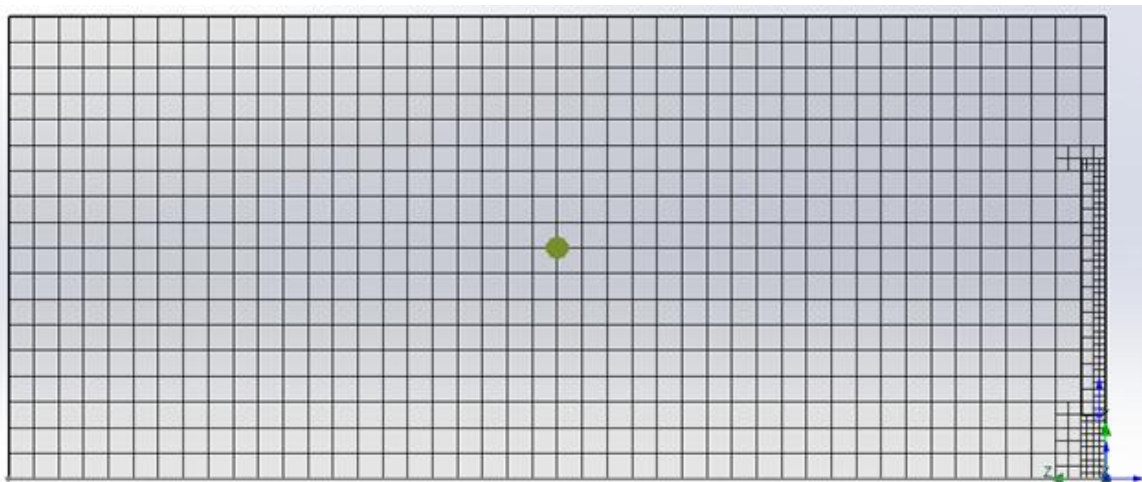


图9 房间空气网格划分示意 (FloEFD 版)



图 10 房间空气热仿真温度云图（纵向中截面）（Flotherm 版）

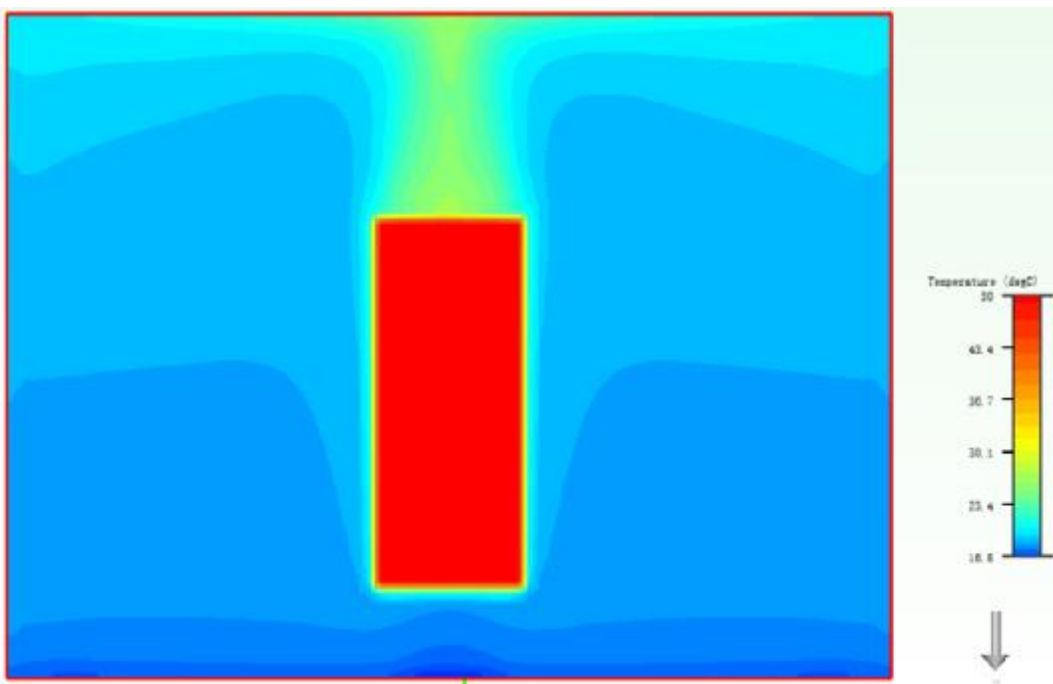


图 11 房间空气热仿真温度云图（纵向暖气片截面）（Flotherm 版）

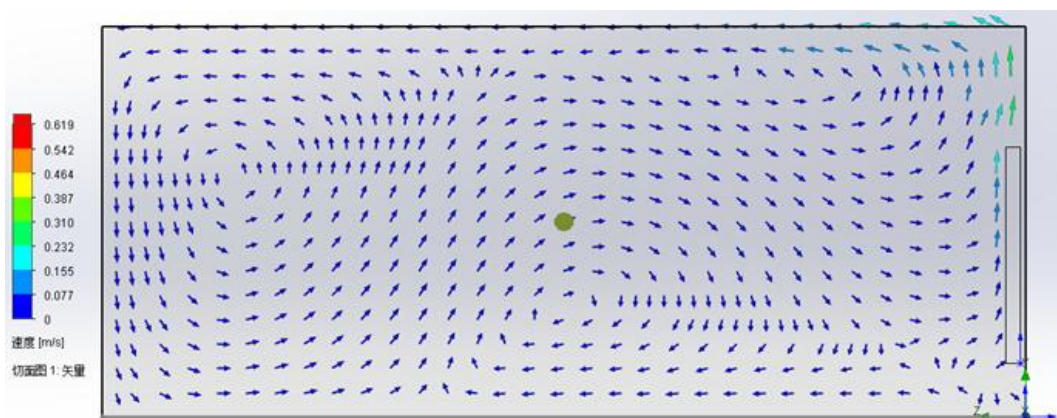


图 12 房间空气热仿真速度云图（纵向中截面）（FloEFD 版）

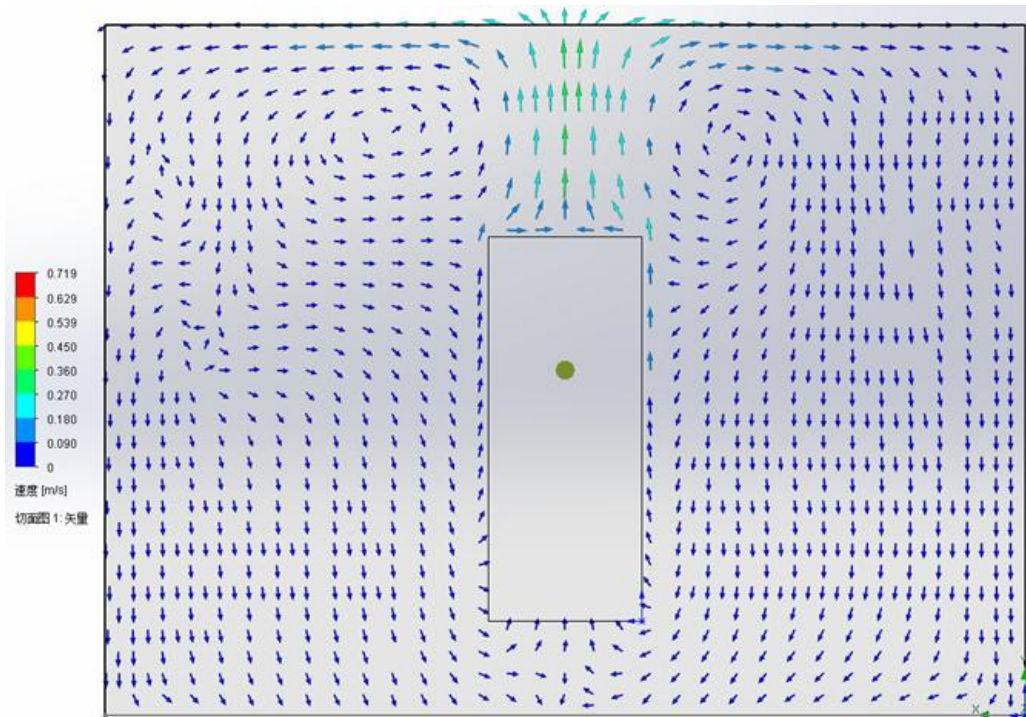


图 13 房间空气热仿真速度云图（纵向暖气片截面）（FloEFD 版）

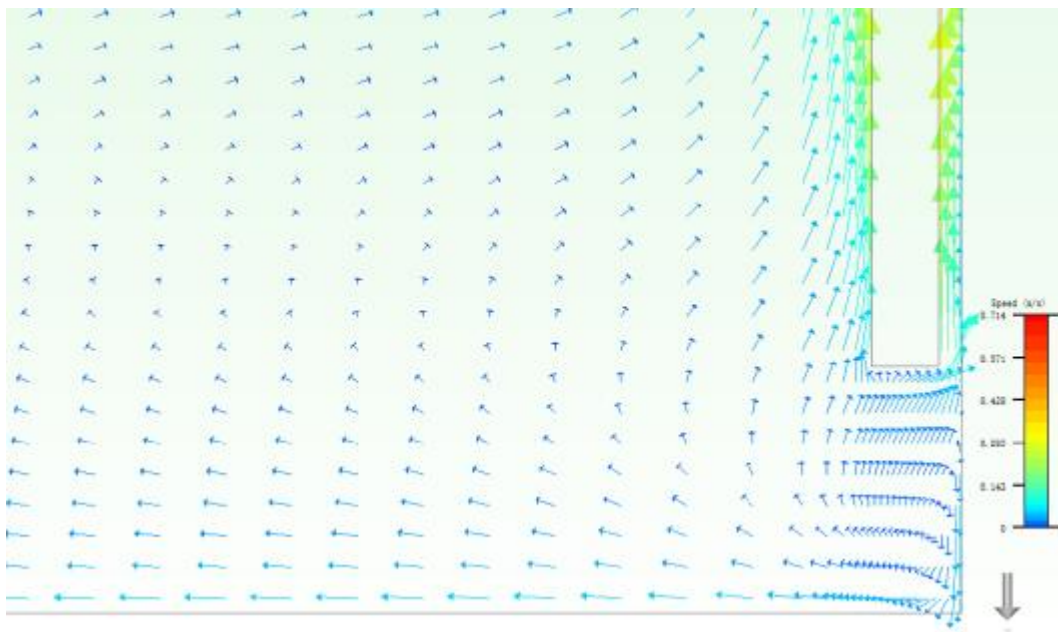


图 14 房间空气热仿真速度云图（纵向中截面，局部放大图）（Flotherm 版）

2) 接着考虑增加导流罩的情况：参考报道中的描述和图片信息，给暖气片拦腰增加高度为暖气片高度 70% 的 3 个方向挡板，挡板距离暖气片 3cm，挡板为厚度 1mm 的 FR4 薄板，见图 15。稳态热仿真结果见图 16~图 21。

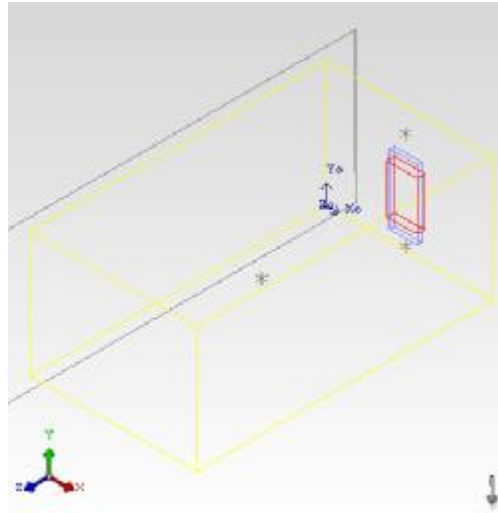


图 15 房间与暖气片及挡板结构布局示意 (Flotherm 版)



图 16 房间空气热仿真温度云图 (纵向中截面) (Flotherm 版)

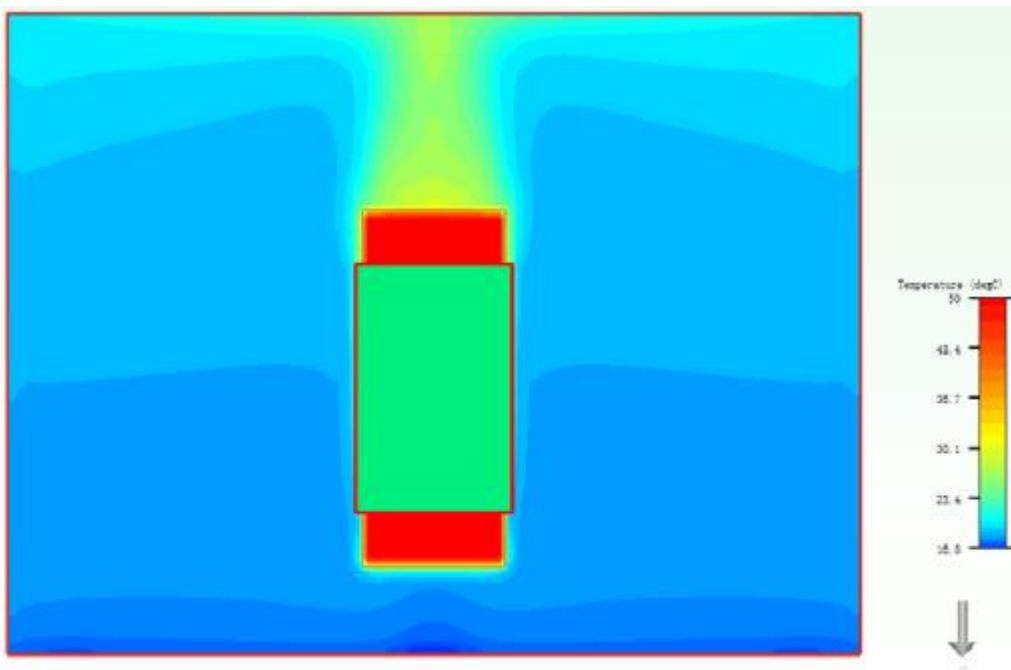


图 17 房间空气热仿真温度云图 (纵向暖气片中截面) (Flotherm 版)

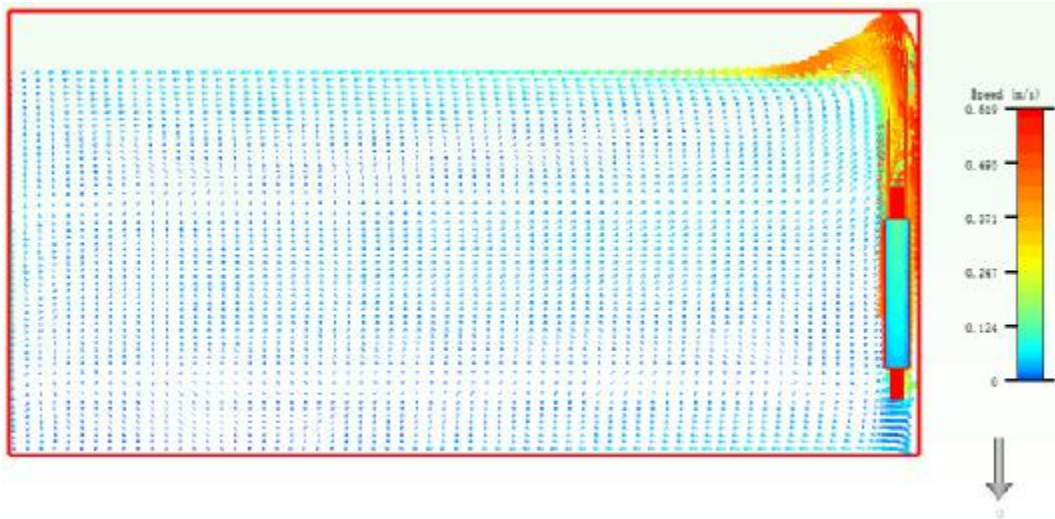


图 18 房间空气热仿真速度云图（纵向中截面）（Flotherm 版）

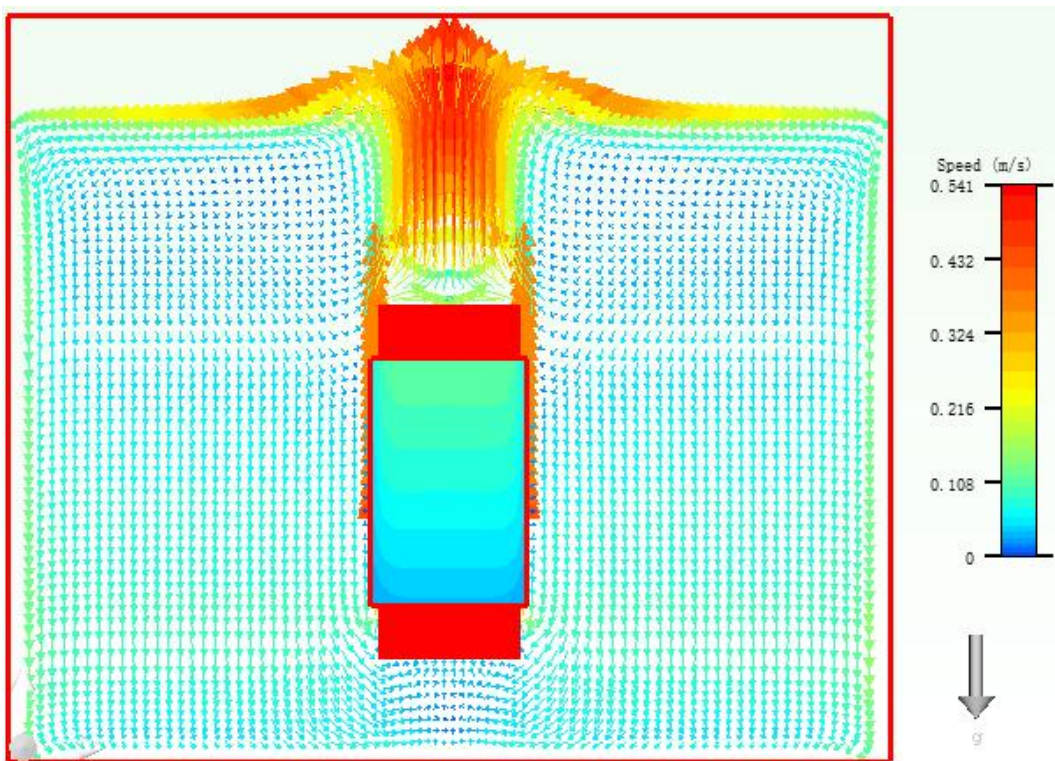


图 19 房间空气热仿真速度云图（纵向暖气片截面）（Flotherm 版）

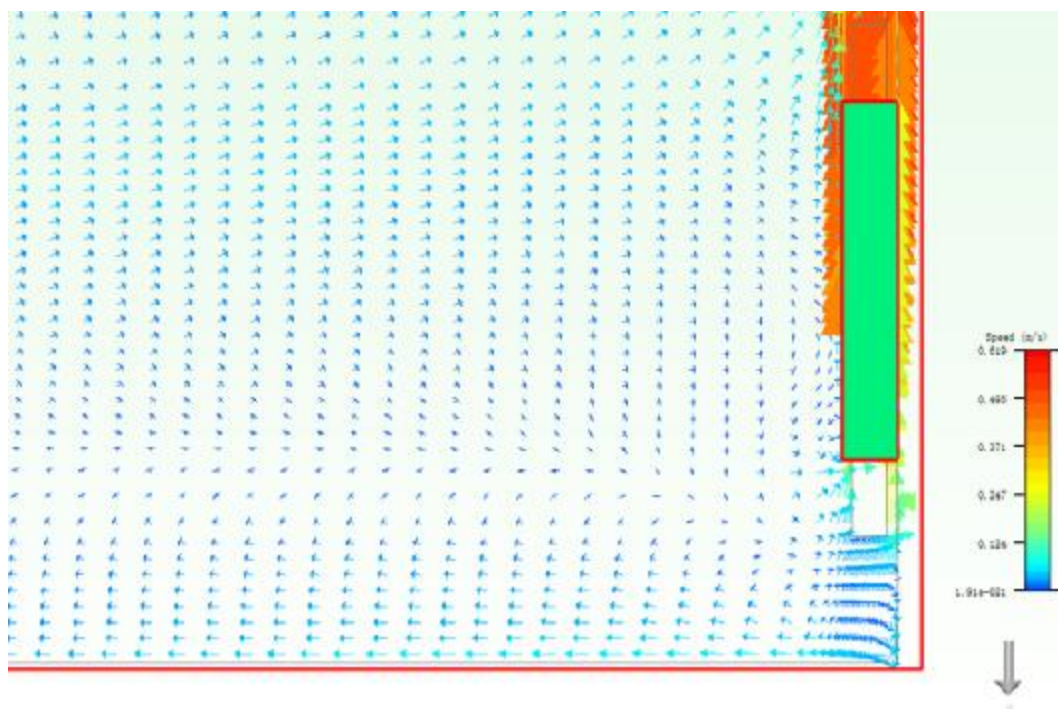


图 20 房间空气热仿真速度云图（纵向中截面，局部放大图）（Flotherm 版）

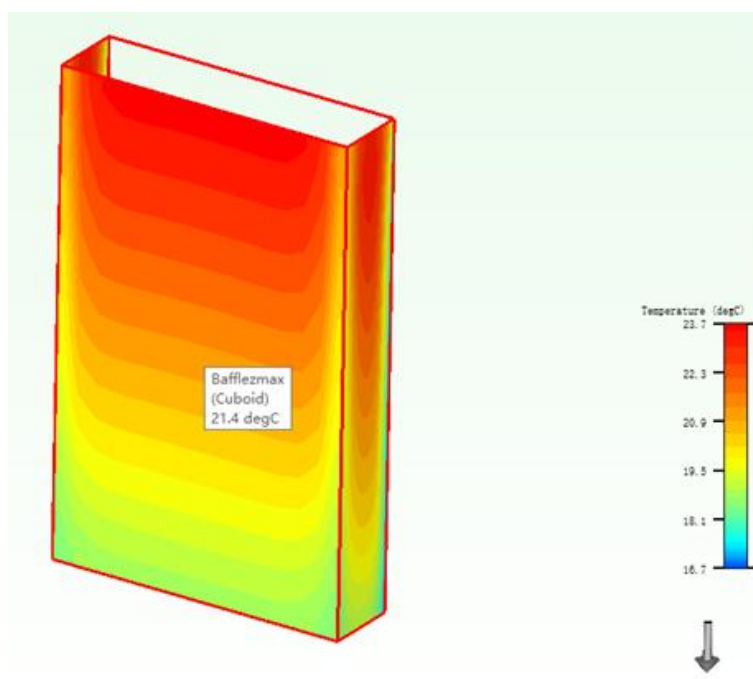


图 21 导流罩温度云图（Flotherm 版）

3.3 小结

我们分别使用了 Flotherm 和 FloEFD 两款软件进行了热模拟仿真，得到颇为一致的结果，根据流动热仿真结果，可以得出以下的结论：

- 1) 对比图 16 和图 10，在增加了导流罩之后，可以看出冷壁下方的蓝色区域

（也就是冷壁造成的低温下降气流）面积有所减小，同时暖气片对导流罩区域之外中间高度的室内空气的卷吸效应减弱；

- 2) 对比图 20 和图 14，在增加了导流罩之后，可以看出从暖气片下方进入导流罩内部分的气流越往上流速增加越快；
- 3) 从图 21 可以看出，导流罩的温度水平在暖气片和室温之间，但更加接近于室温。

综上，增加导流罩的主要作用是：有利于屏蔽对室内温度水平较高的中层空气的卷吸效应，使其更加专注于对暖气片下方温度水平较低的底层空气的抽吸作用。由此可见，导流罩的确起到了烟囱效应，在一定程度上改善了冷壁处的局部“脚冷现象”，对室内中心和远端空气的热影响相对较小。不过，需要注意的是，这里是基于定温边界条件的流动热仿真。实际上，在增加导流罩之后，暖气片卷吸流体的当量有效截面积变小了，导致暖气片附近的空气流速大大增加，我们知道流速越大，对流换热系数越大，同时卷吸的是温度较低的气流，相当于提升了暖气片的换热量，从而提升了供暖效率，一定程度上实现了间接节能。

4. 参考资料

- [1] 《住宅间歇供暖模拟分析》，李兆坚，《暖通空调》2005 年第 35 卷第 8 期，
<http://www.doc88.com/p-4542199319524.html>；
- [2] 《西安某小区供热系统间歇运行供暖房间热环境分析》，官燕玲，西北建筑工程学院学报（自然科学版）第 18 卷第 4 期，2001 年 12 月，
<https://www.ixueshu.com/document/ed246c753a166e9b7ad892044c45772f318947a18e7f9386.html>；
- [3] <https://wenku.baidu.com/view/bd927526aaea998fcc220e57.html>。

5. 后记

王阳明留有“学以致用、知行合一”的教诲。人是主体，意动心用，要有所发现有所创新，首先要做个实实在在的有心人。裴度有诗“君若有心求逸足，我还留意在名姝”，欲有所得必有所舍，人间如此，科学工作亦如此。