

研究方案

冰蓄冷制冷系统是一个在西方国家已经长期使用的成熟技术。它利用制冰机在夜间利用廉价的谷电制冰并储存,在有制冷需求的时段融化储存的冰为建筑降温,本质上是一个以水为载体的储能系统。冰蓄冷系统的大规模应用有助于填平峰谷电差从而降低基础设施建设、维护压力。

在美国芝加哥就建有一个可供全市三分之二空调高峰负荷需求;而韩国,大于 3000 平方米的建筑物必须将其配置成冰蓄冷系统或吸收式制冷。

冰蓄冷系统本身优点有转移峰谷电,减少基础设施建设成本;谷电环保;充分利用夜间气温变化,提高机组产冷量;电费减少;减少建筑内管路占用空间;减少制冷主机的装机功率 30%~50%等。

而城市级冰蓄冷供冷系统旨在通过建设大型制冰站和大量运输用基础设施为城市建筑统一供冷。与普通冰蓄冷供冷系统将热量在小范围内转移不同的,城市级冰蓄冷供冷系统可以在大尺度下将热量转移到特定热受体,从而将建筑制冷系统这一从“产热装置”转化为热转移装置从而可在一定程度上改善城市热岛效应,并且通过一定的设施规划可以在人流密集区域大规模制冷,起到普通制冷系统不能起到的作用。

除此之外,城市级冰蓄冷系统的应用可以增加建筑内可使用面积。与北方供热系统一样,在用户端只需要有简单的控制装置和相应的管路即可,大大节省了建筑内宝贵的空间。同时这种系统在建设过程中的规模效应可以有效降低制冷系统的制造、安装、维护成本和环境污染,尽管管道的铺设将会消耗大量资源。另外杭州具有水系丰富的特点:钱塘江流量十分巨大,可以有效接受城市排放的热从而发挥该系统将热在大范围内转移的优点。

假定近钱塘江制冷站为 300 平方千米建筑区域制冷，每平方千米峰值电网空调负荷 $3 \times 10^6 \text{W}$ ，全天耗电以 8 小时峰值耗电计，各类损耗以 25% 计，能效以 3 计，钱塘江流量以 1 亿立方米/天计，则根据计算，则如果热量完全分散，钱塘江流经制冷站后温度整体增加 0.23 度左右。

0.2 摄氏度左右的温度变化在正常天气变化范围内，不会造成明显后果。另考虑到钱塘江上游正在建设的龙游核电站总功率远大于 100 万千瓦，该制冷站的排热问题是可以妥善解决的。

首先通过多个途径评估计算杭州电网峰值空调耗电负荷进而得到总制冷功率，然后通过城市热岛模型计算其对特定高度气温的影响。

以电网负荷直接计算：根据新闻报道（1300kW 杭州峰值用电）和学术（35%-38%）空调耗电负荷比率，行业调查报告（平均能耗比约 3.1）得到峰值制冷密度 1kW 每平方千米，若考虑到空调系统本身产热，则使用冰蓄冷系统后制冷密度差值为 1.32kW 每平方千米。

Myrup 提出的简化模型在城市水平面方向均匀、由城市地表粗糙度决定的近地高度与一远高于冠层高度的确定高度之间恒温等八个假设推出，能够简单定量分析城市热岛效应，与本课题目标与热模拟器设计、制作能力相符，故在 Myrup 简化模型所做假设的基础上进

- 显然 1、2 式不变，另若忽略管路送热过程中的热损耗，则式 6、7 不变，

$$\Delta H = \frac{1.32 \times 10^7 \text{J}}{1 \text{s} \cdot 10^6 \text{m}^2} = 13.2 \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \text{m}^2$$
，取 $Z_2 = 500 \text{m}$, $Z_0 = 30 \text{m}$ ，气温绝热直减率每百米零点四摄氏度， T_2 温度不变，von Karman 常数取 0.4，取切应力 2kPa，则 ΔT_0 约 0.2 度。
- 注： ΔT_0 为城市粗糙表面的温度变化，近地表温度变化将大于 ΔT_0 。

$$R_N = (1 - \alpha) T_r R_0 (\sin \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \cos \gamma) - IR_N$$

$$R_N = LE + H + S$$

$$LE = \left\{ \frac{-\rho L k^2 U_2}{\left[\ln \left(\frac{Z_2}{Z_0} \right) \right]^2} \right\} (q_2 - q_0)$$

$$q_0 = \frac{RH}{L} [3.74 + 2.64 (T_0/10)^2] \times 10^{-3}$$

$$H = \left\{ \frac{-\rho C_p k^2 U_2}{\left[\ln \left(\frac{Z_2}{Z_0} \right) \right]^2} \right\} (T_2 + \Gamma_d Z_2 - T_0)$$

$$S = \frac{-k_z}{d} (T_2 - T_0)$$

$$T_s = \frac{k_z}{\rho_z c_d^2} \int_0^z (T_b - 2T_2 + T_0) dt$$

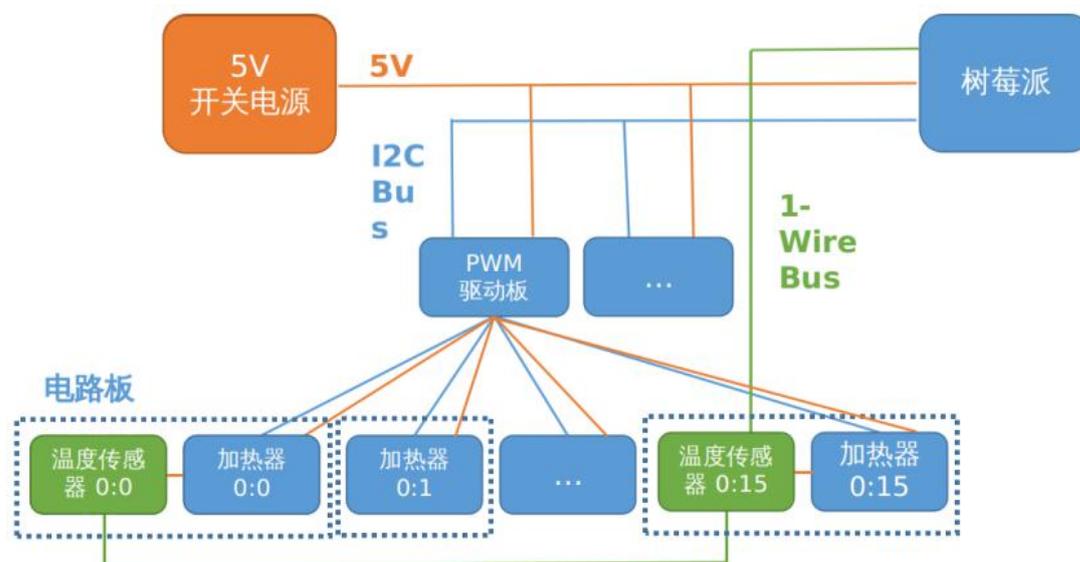
行该估算与后续热模拟器的建设。

其建模思路为分别考察城市作为一个对象的三个散热途径：土壤散热、蒸腾散热和空气散热（红外辐射计入太阳总辐射），然后建立通过城市基本信息和气候条件描述界面热状况的方程。

研究过程

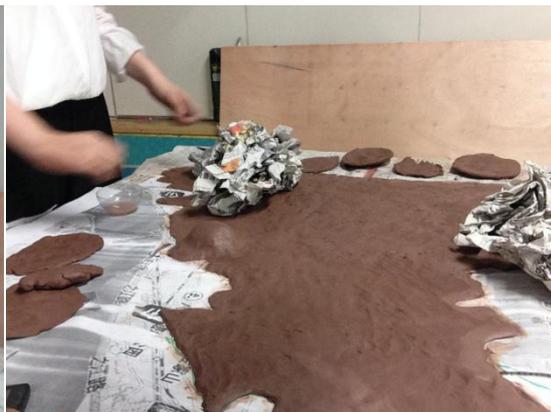
我们建立了基于简单热模拟器对于杭州城市级冰蓄冷系统的模型，选取范围南至钱塘江北至留石快速路、东至秋石快速路西至丰潭路，近似以模型中的一幢楼代表一个小区的楼房，以温度传感器和加热原件来模拟在杭州全面布置冰蓄冷系统后杭州夏天的温度情况，分析城市冰蓄冷技术在杭州城市范围的可行性。

电子控制系统框图



制作

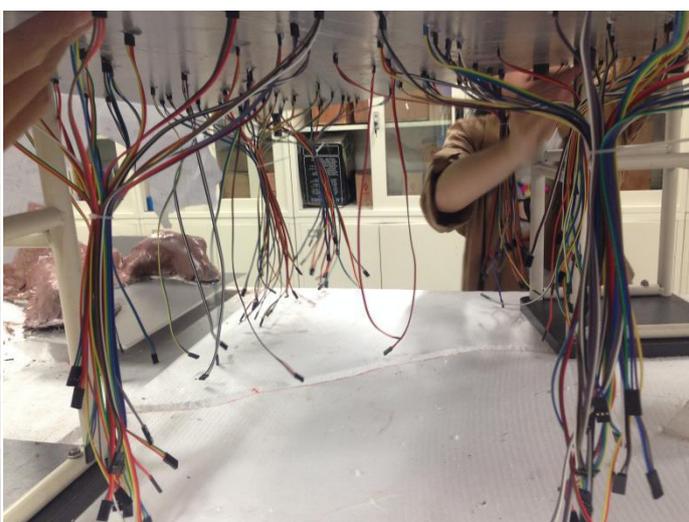
底图打印 & 基本山体搭建



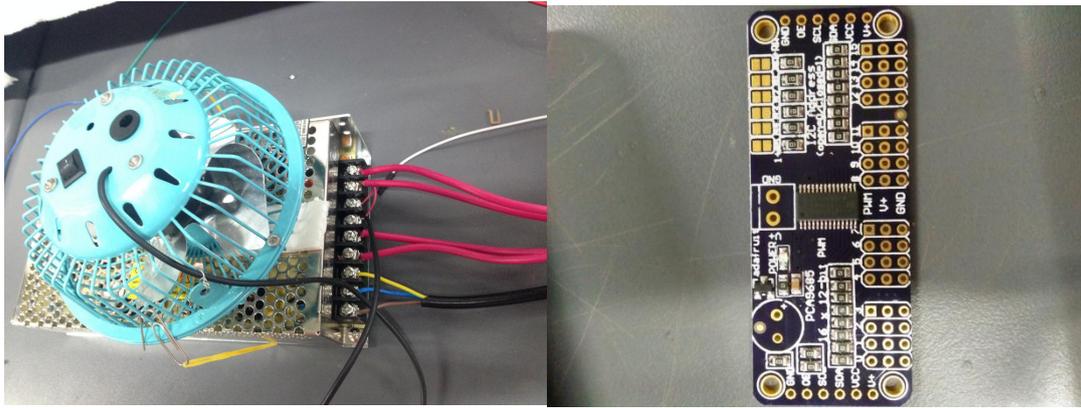
电路板（包括传感器和加热器）焊接



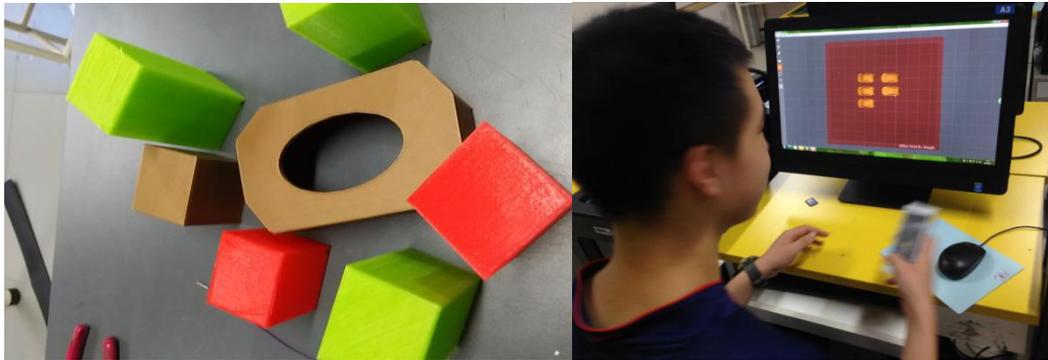
将电路板放置在底板上并连接线缆



连接开关电源等其他部件



3D 打印

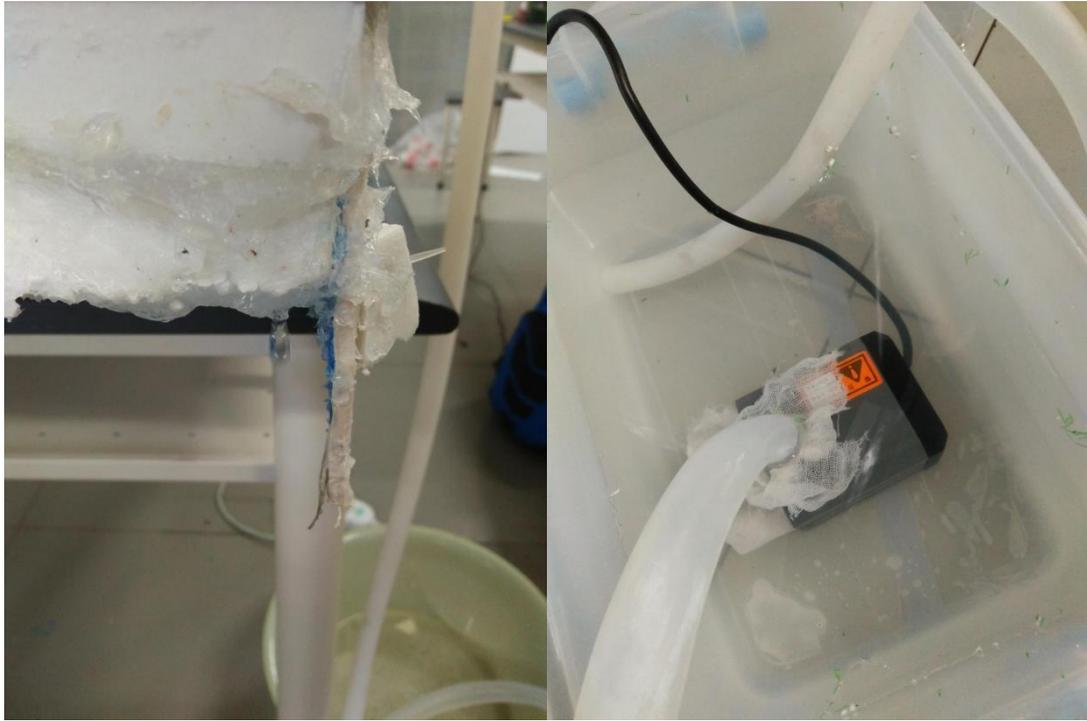


读取温度传感器序列号

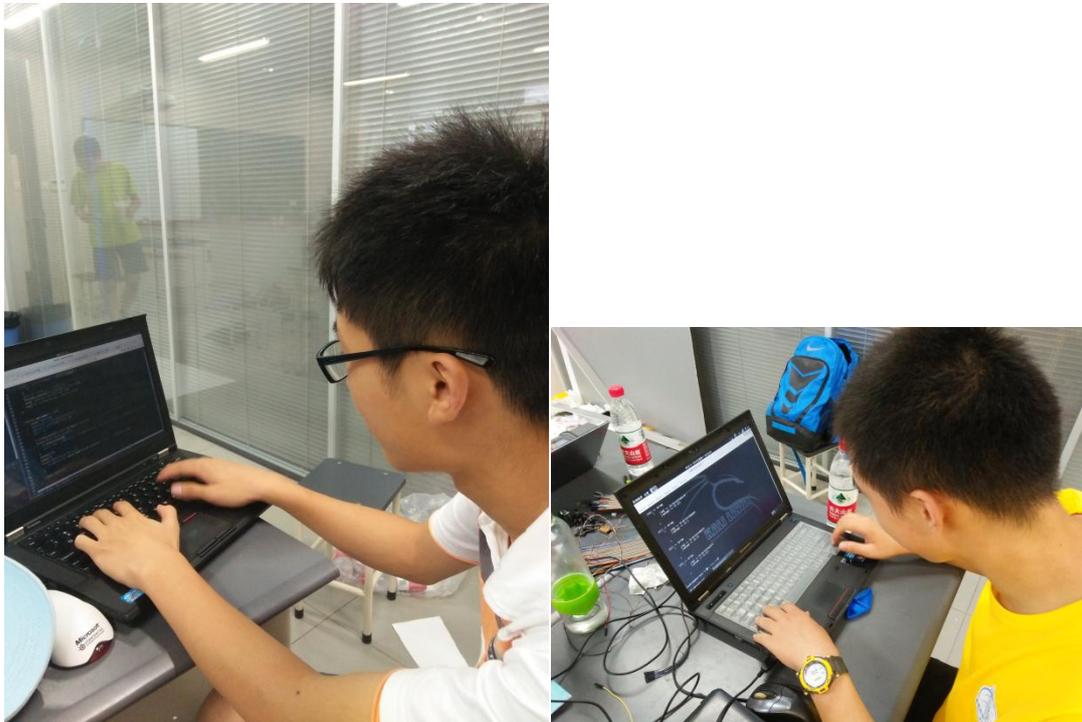


```
061 }
062 bit DS18B20_Readbit(void)
063 {
064     uint i;
065     bit dat;
066     DQ = 0;
067     i++;
068     DQ = 1;
069     i++;
070     i++;
071     dat = DQ;
072     i = 8;
073     while( i > 0 ) i--;
074     return( dat );
075 }
076 uchar DS18B20_ReadByte(void)
077 {
078     uchar i,j,dat;
079     dat = 0;
080     for( i = 1; i <= 8; i++ )
081     {
082         j = DS18B20_Readbit();
083         dat = ( j << 7 ) | ( dat >> 1 );
084     }
085     return(dat);
086 }
087
088 void DS18B20_WriteByte(uchar dat)
089 {
```

挖“钱塘江” & 水泵调试



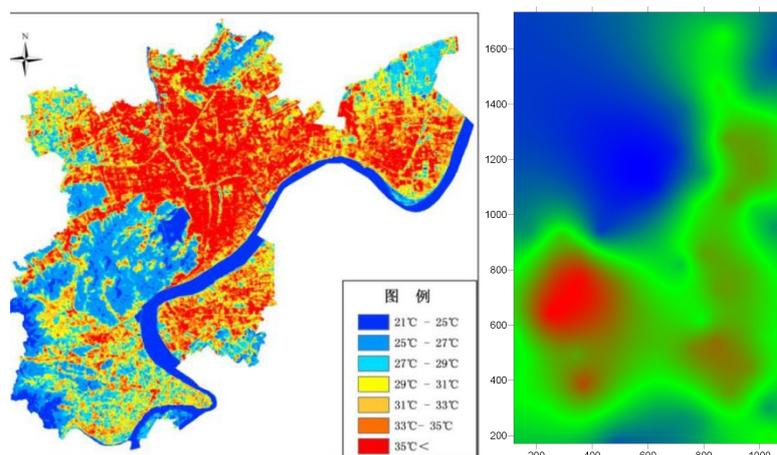
程序调试



布置房屋 & 覆盖保温膜 & 美化



打开加热器 & 读取传感器数据 & 生成热图



研究结论

在实验中按照比率减少 18.6W 加热功率——对应相应区域的总冷功率，平均温度从 39.1 度降低到 37.9 度。该温度变化幅度远大于先前估算温度，原因有很多：首先使用的模型计算得一定高度处的温度，收到制冷功率影响没有近地直接，另由于条件限制，本装置加热元件部署与传感器距离较近，加热元件功率变化对传感器影响大于理想情况。

综上所述，城市冰蓄冷系统不仅具有冰蓄冷系统本身的转移峰谷电等优点，还能够通过大范围转移热量较为显著的改善城市近地高温的问题，并且大规模的冰蓄冷制冷系统部署有助于降低成本，保护环境。然而这种方案在实际操作上存在很大困难——在已有城市进行大

规模改造十分苦难。但是在新城镇统一建设冰蓄冷制冷系统的好处是明显的。

就冰蓄冷制冷本身而言，其在我国的普及程度远远低于韩国、美国等发达国家。民众对这项成熟技术几乎不了解，而且由于建筑规划等原因，该系统的部署仍然存在困难，尽管采用冰蓄冷系统的建筑设施在政策上受到有待。

关于热模拟器的建设，在整个过程中我们走了很多弯路，最后达完成的成果也只是一个极度简化的粗糙模型，在将来还有很大的改进空间。

若要改进热模拟器，可以考虑考察土壤散热，分离传感器与加热元件，脱离基于沙盘模型建设的思路，着重考察热力问题，考察对流。