

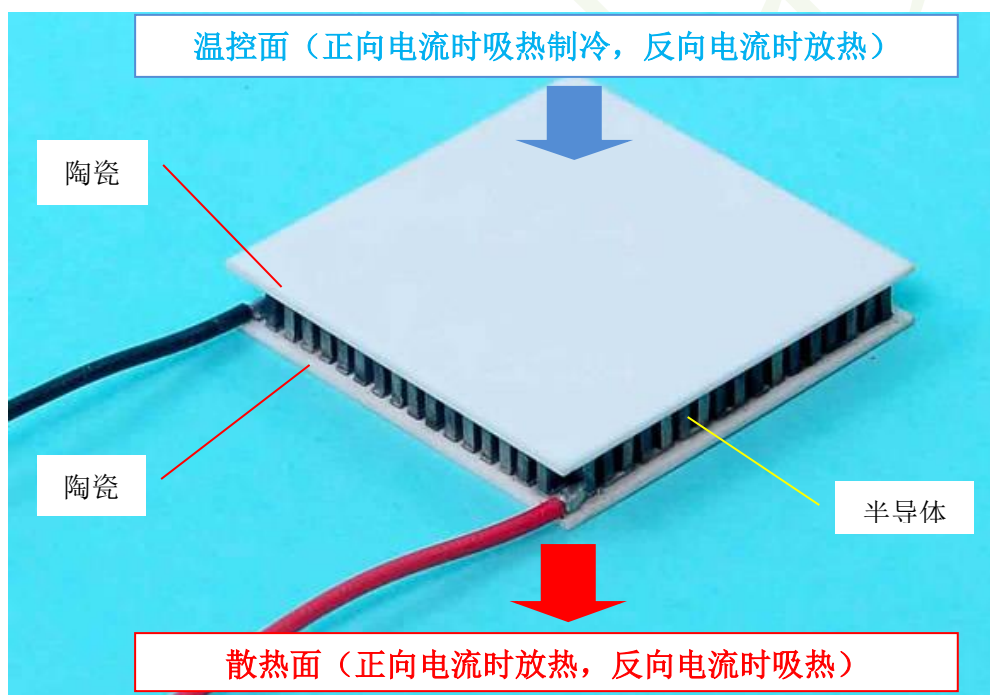
## 温控系统介绍

本文避免过多的理论，而以形象、实例的方式介绍半导体制冷片以及使用它的小型温控系统。

### 半导体制冷片的基本特性

#### 外观组成

半导体制冷片，上下两个面是陶瓷面，中间是半导体元件，可以通过两根引线对它供电。它的英文名称简写是 TEC。



图：半导体制冷片的示意、实物

#### 工作机理

当直流电压被加载到 TEC 模块两个引线上，其中一个表面的热将被吸收，然后热量被运送到相对的另外一面释放。整个过程中，TEC 模块相当于一个“热泵”。

热量的转移会导致温度的变化，因此半导体制冷片可以用来控温。

#### 冷面和热面，温控面和散热面

常规的冷面、热面的说法，用户容易混淆，因此我们这里改成**温控面**、**散热面**。

电压方向为正向时（红线正、黑线负），温控面制冷，散热面释放热量。

电压方向为负向时（红线负、黑线正），温控面加热，散热面吸收热量。

可见，电压方向（即电流方向）是可以交换的；当电压方向改变后，热量转移的方向也随之发生变化，因此半导体制冷片可以用来降温，也可以用来升温。

一般情况下，引线焊接的那一面是散热面。

## 制冷量

被运送的热量，叫做制冷量；半导体制冷片的电功率，相当于运送制冷量的运费。一般情况下，半导体制冷片的电功率和制冷量，不一定相等。制冷量和电功率的比值叫做制冷效率（能效比）。该效率和制冷片两面的温差等工作条件相关。比如，温差越大，制冷效率越低。

TEC 的制冷效率远低于使用压缩机的空调，它的优点是静音，小巧，无机械振动部件。因此它主要用在小型的温控系统中（粗略的讲，被温控物体尺寸小于 10cm x 10cm x 10cm），如果你的被温控物体的体积很大，那么它不适用。因此，后文我们所提到的温控系统，主要都是指这种小型温控系统。

**最大制冷量：**当温差为 0 时，TEC 满功率运转时能够搬运的最大热量。当然，当温差从 0 开始增大时，制冷能力逐渐降低。

**最大温差：**当需要 TEC 运送的制冷量接近 0（此时 TEC 的工作量最小）时，TEC 的两面能够达到的温差最大值。当然，当运送的制冷量增加时，能够达到的最大温差减小。因此，如果希望达到的温差大于单个 TEC 的极限时，通常采用多层 TEC，通过降低效率的方式得到大温差。

## 散热要求

在半导体制冷片温控系统中，制冷量并没有消失，只是被转移，那么发热的那一面总热量=TEC 电功率+制冷量。因此，绝大多数应用中，无论是加热应用还是制冷应用，半导体制

冷片的其中一面必须要有散热的装置(比如散热片, 风扇, 或水冷板等), 提供一个温度相对平稳的基准。

制冷时, 散热器和风扇负责把热量(TEC 吸收来的热量 + TEC 本身发热)散发到空气中, 确保 TEC 的热面不至于高于环境温度太多。

加热时, 散热器和风扇负责从环境中吸取热量, 供 TEC 传递给物体, 防止 TEC 的热面低于环境温度太多, 导致温差过大, 甚至结露结霜。

如果散热能力不够, 则温差会越来越大, 效率越来越低, 最后效果变成了物体、TEC、散热器整体被加热, 温控温度很有可能无法稳定。**如果 TEC 两面都没有散热, 只有 TEC 被干烧, 极有可能导致 TEC 被烧坏。**

## TEC 的承受能力

最大工作电压、最大工作电流: 这两个指标是相关的, 超过这两个值易损坏。

因此, 温控器的输出电压绝对不能超过 TEC 的最大工作电压; 实际应用时, 建议不要超过半导体制冷片的最大工作值的 80%。

加在 TEC 上的电压决定了 TEC 的电功率, 电功率又影响了制冷量。因此可根据制冷量的需求来确定加在 TEC 上的电压, TEC 不是必须工作在最大工作电压值。

最高工作温度: 常规 TEC 的长期最高工作温度为 125 度, 即 TEC 的任何部分都不要超过该温度。具体值请参阅所使用的 TEC 的数据表。

# 人工温控系统

## 应用环境

我们来考虑一种常见的情况，环境温度约 28 度，但是物体自身被供电发热（约 5W），导致物体温度高于 28 度，我们希望把物体的温度控制在 25 度。

物体目标温度（25 度）始终低于它无温控时的温度，因此只需要制冷即可。

## 无温控模块的平台

在没有温控模块的时候，我们仍然可以用制冷片搭建 1 个粗糙的控温平台。

1 个制冷片（最大 15V，6A），冷面紧贴物体，热面装上大散热器和风扇。用 1 个可调稳压电源给制冷片供电（电源正极接制冷片的红线，负极接制冷片的黑线），用 1 个温度计（成品温度计，或是传感器+万用表）测量物体的温度。

## 调节

当物体温度高于 25 度时，我们从零开始，逐渐增大稳压电源的输出电压，增大制冷量，当物体温度低于 25 度时，我们手动缓慢降低稳压电源的输出电压减小制冷量；经过多次反复调节后，我们可以找到 1 个电压，保持物体的温度大致在 25 度附近变化非常缓慢。

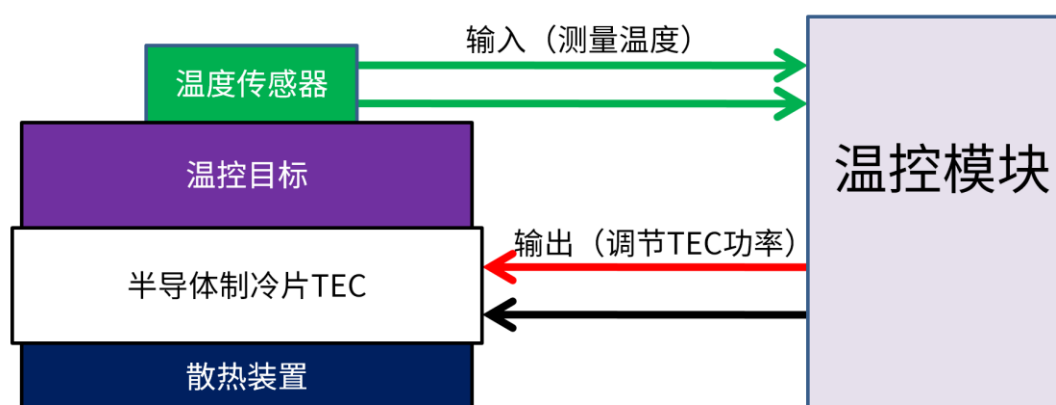
## 缺点

当环境温度、或物体本身发热有改变、或一段时间误差变大后，必须再次进行手动调节，无法离开；稳定性指标较差。

## 自动温控系统

### 温控模块的作用

如果用 1 个温控模块替代前述人工温控系统中的人完成温度测量和输出电压调节的工作，就变成了自动温控系统。人只需要设置初始参数和目标温度即可，无需时刻参与到温控流程中。



图：自动温控系统

可见，温控模块最重要的两个功能就是测量温度、调节 TEC 功率。

## 单向温控

前述的人工温控系统应用只需要制冷（或者只需要加热），因此用来替换人的温控模块只需要能调节电压的大小即可，这样的温控模块叫做单向温控模块。

## 双向温控

然而，现实中我们常常不仅需要制冷，还需要加热。比如如下的应用：

白天，环境温度 30 度，1 个不发热的物体放在环境中，目标温度 25 度，那么我们应该对它制冷。

晚上，环境温度 20 度，仍然是该物体，目标温度仍然是 25 度，那么我们应该对它加热。

由于环境温度的不同，造成了白天需要制冷，夜晚需要加热，半导体制冷片恰好完成这两种工作（通过改变电流方向，进而改变热量流动方向）。因此，在这种情况下，用来驱动 TEC 的温控模块不仅需要能够调节电压大小，还需要能改变电压方向。双向的温控模块可以自动完成这种功能（通过改变 TEC 两根引线上电压的相对高低，因此温控器上的 TEC+ 和 TEC- 接头之间的相对电压值可能为正，也可能为负），无需用户在环境温度改变时更换接线方向。

	标准版温控模块	简化版温控模块	小型版温控模块
单向温控		TCM1030	
双向温控	TCM-X107, TCM-M115, TCM-M207	TCM1031	TCM1040

## 纯加热的单向温控

无论加热还是制冷，半导体制冷片 TEC 的其中一面必须要有散热装置（比如散热片，甚至风扇），这是它的 1 个缺点。

在某些应用中，目标温度始终高于环境温度，只需要加热。此时，可不使用 TEC，而选择纯电阻发热方式的器件，从而省去给 TEC 散热的风扇和散热器。用户可以在网络上搜索了解如下一些关键词：PTC 加热片（棒），陶瓷加热片（棒），薄膜加热片。

我司的**单/双向**温控器都支持该项功能，在软件设置中，把输出模式改成“单向加热”，即可驱动直流型纯电阻加热器件。

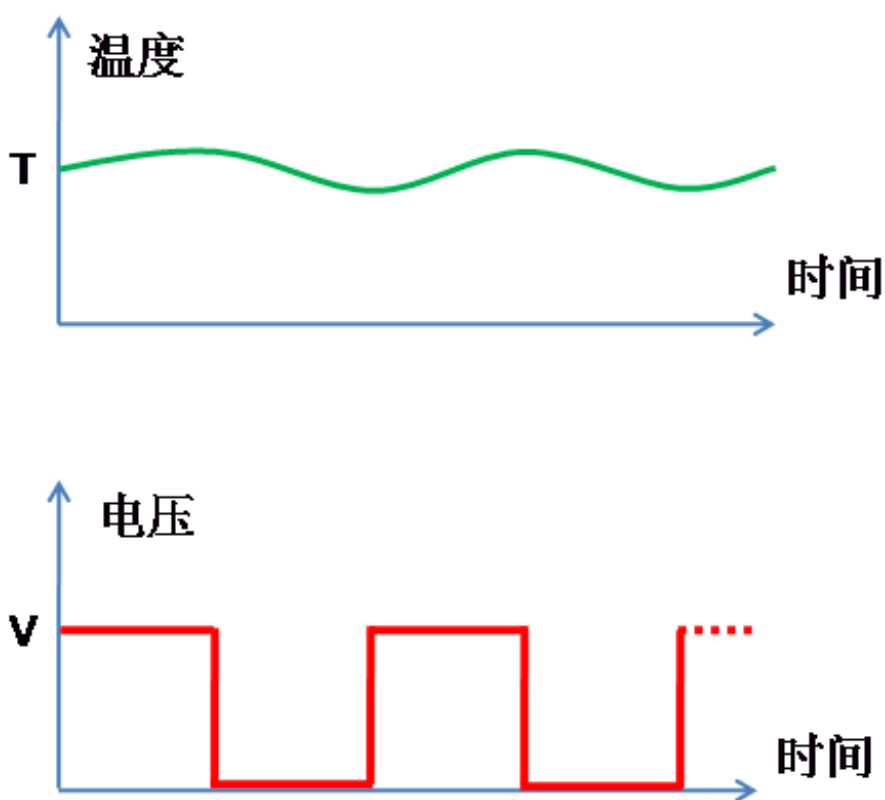
## 温控输出方案

### 低频脉冲波输出

控制部分采集温度，计算输出值，然后输出 1 个低频的脉冲控制信号到继电器（或其他电源通断控制设备），继电器控制电源（根据负载的需要来选择，比如直流 12V，或交流 220V）是否给负载（加热片，或半导体制冷片 TEC）供电。

负载上的电压波形为方形脉冲，每个方波的时长一般在数十毫秒到几秒之间。

如下图假设，加热棒电阻为  $R$ ，电源电压为  $V$ ；温控器计算出来发现稳定在  $T$  温度点需要的功率为  $0.5 \cdot V^2 / R$ ；温控器则会控制继电器 50% 的时间通断；有电压时，温度略高于  $T$ ，无电压时，温度会略低于  $T$ ，因此稳定性不高。



优点：功率可以很大，结构简单。

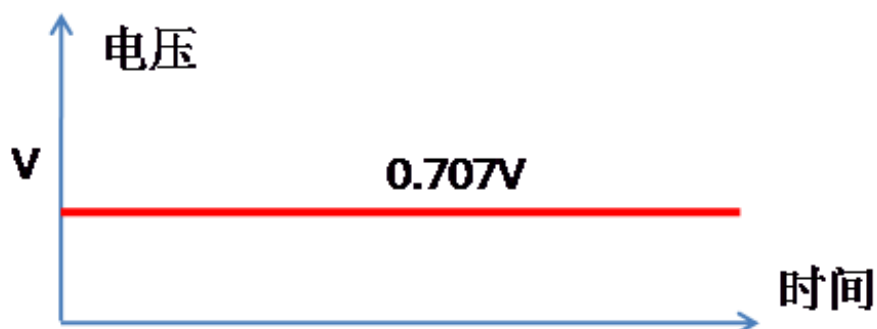
缺点：电源电压直接加在负载上，某些低电压的负载可能无法适用；由于温控功率有突变，导致温度稳定性不高；由于电压突变，会降低 TEC 的寿命。

### 直流输出

高性能精密温控的方案。

控制部分采集温度，计算一个输出电压，然后由 1 个电压转换装置把电源电压转换成需要的输出电压。

如下图假设，加热棒电阻为  $R$ ，电源电压为  $V$ ；温控器计算出来发现稳定在  $T$  温度点需要的功率为  $0.5 \cdot V^2 / R$ ；温控器则会把电源电压  $V$  转换成  $0.707V$  再输出到加热棒上；这样，加热棒上的总功率仍然为  $0.5 \cdot V^2 / R$ ，但是却没有波动，因此温度稳定性较好。



优点：输出为直流，TEC 寿命长；输出电压一般情况下可以设置，因此不同的 TEC 有可能使用同一个电源电压；温控功率波动小，温度稳定性高。

缺点：结构复杂，功率有限。

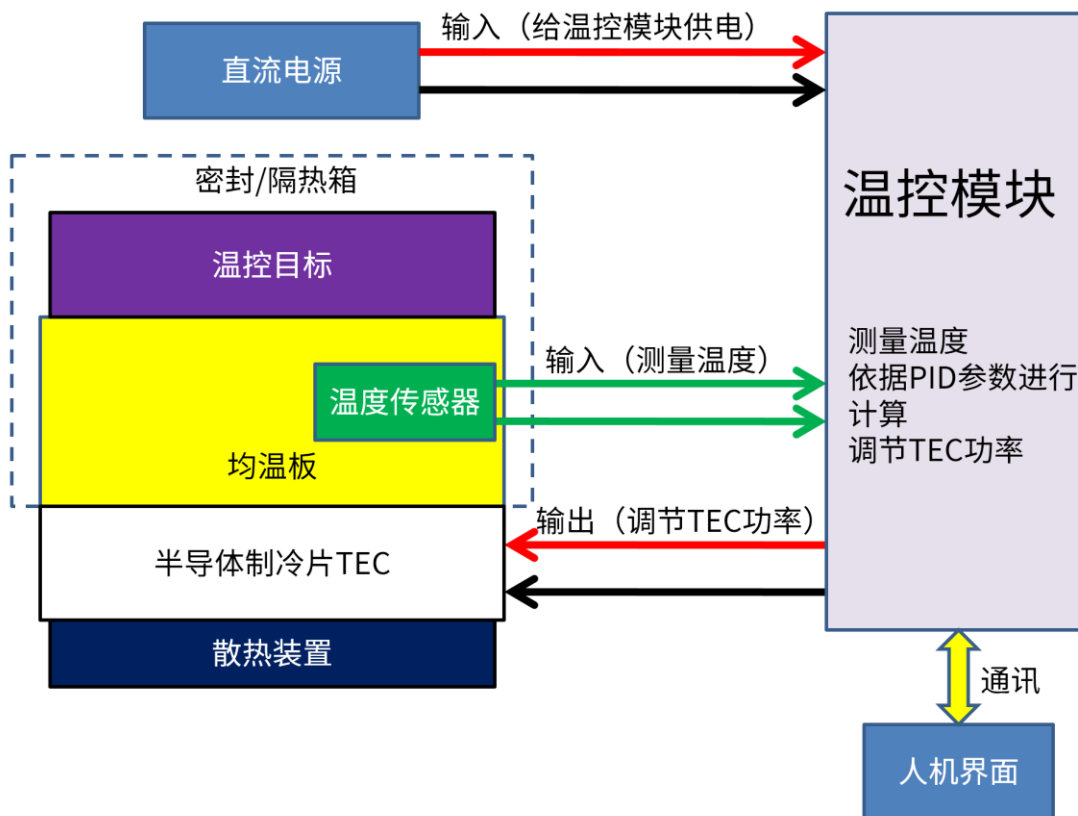
**我司的温控器都是采用的直流输出方案。**



## 具有实用性的温控系统

### 温控系统的组成

通过前面的介绍，我们已经知道温控系统的基本组成。下面我们介绍一个实用温控系统的详细组成。



图：温控系统的详细组成

执行系统（散热装置，TEC，均温板，温控目标，密封/隔热箱），这部分因为每个用户应用的不同，形状、体积、功率千差万别，所以通常是由用户自己搭建的，甚至有些时候要进行机械结构设计，做出特殊形状材质的散热装置、均温板、密封箱。

控制系统（温度传感器，温控模块，直流电源，人机界面）。我司提供温控模块，并附送1个热敏电阻温度传感器，可以用计算机或选购的显示模块作为人机界面。但是直流电源需要用户根据功率需求选择。

我司温控模块包装里默认含有温控模块、热敏电阻、连接线；TEC和显示模块需要选购。温控系统的其它部分需要用户自己准备或购买。

## 减小热阻

空气的导热能力很差。在不同的物体接触时，散热能力取决于两者的接触方式。通常情况下，由于表面粗糙度，会造成两个面热阻较大，通常会使用导热材料进行补救。

导热硅脂，不会固化，最常用在 CPU 和散热器之间的导热。

导热硅胶，会固化，固化后有一定强度，不易拆卸。

用户可根据自己需要选择。

## 散热装置

散热方案 1：散热器+风扇。大多数的情况都是选用这种方案，风扇是很重要的配件，因为散热器在有风和无风的情况下，散热能力差别很大。

散热方案 2：水冷板。

散热方案 3：如果制冷量和 TEC 电功率很小，则散热面可以只有散热器；甚至有些时候，可以用设备的金属机壳作为散热器。

散热（制冷时）或供热（加热时），散热装置也相当于提供给 TEC 散热面 1 个恒定的温度参考，因此该面温度不能突变（物体温度=散热面温度+温差；热面温度缓慢的变化会被温控器自动校正，突变则由于温控器的滞后导致有温度波动），否则会影响稳定性。

## 半导体制冷片 TEC

核心部件，可以制冷加热。用户选择时要考虑到尺寸，功率，温差、可靠性等多方面因素。更多信息见后文描述。

## 均温板

通常为金属板，不是必要的，但是在大多数应用中，它会带来方便。

1. TEC 的上下两个面是陶瓷，导热系数 20 至 30，又很薄。因此如果 TEC 的尺寸和被温控物体尺寸不一致时，会导致效率大幅度降低（或者温度均匀性不佳），铝或紫铜的导热系数为数百，可以保证整个热量在冷面和温控物体间高效传递。均温板的最佳厚度可以通过有限元软件进行计算，常规情况下小型温控系统 5-10mm 都是可以的。

2. 如果被温控物体没有地方放置传感器，则可以在均温板上掏孔放置传感器。小孔直径略微比传感器的直径大，深度要大于传感器的头部长度，位置要尽量接近被温控物体。放置传感器时，小孔里要预先放置导热硅脂，使得传感器和均温板之间的热传递尽量好。如果

要固定热敏电阻，可以把导热硅脂换成导热硅胶。

3. 很多情况下，金属均温板可以固定死在 TEC 上，而被温控物体可以用螺钉固定在均温板上，方便拆卸，提高了灵活性。

4. 如果有多个 TEC，均温板可以减少每个 TEC 的不均匀性。

## 密封/隔热箱

**隔热：**当被温控物体温度很高或者很低时，环境和物体的热交换量变得很大，如果不做隔热措施，会导致需要的 TEC 功率很大（或者已有的 TEC 功率无法达到需要的高/低温），因此需要做个隔热箱把物体和环境隔离开。隔热材料的介绍见网络。空气的导热系数很低，但是它无法隔绝辐射传热。大多数隔热材料通过泡沫的方式既降低了导热系数，又隔绝了辐射传热。

**防结露：**如果物体的温度低于环境温度，可能会结露损坏物体，同时又会增大温控功率需求，所以需要做个密封箱隔离外界的潮湿空气。

## 温度传感器

测量物体的温度。我司的温控器支持的传感器：PT1000 和热敏电阻，发货时会默认配一个热敏电阻。

## 温控模块

我司有标准版、简化版两种等级的温控器，简化版有单向、双向的温控器，标准版都是双向温控器。见专门的文档：[多个档次温控模块的比较](#)。

## 直流电源

给温控模块供电，电源的挑选见文档：[温控模块的电源选择](#)。

## 人机界面

我们提供多种方式实现人与温控模块的交互：[参数显示、设置](#)。

**计算机：**计算机可以，我们提供上位机软件；

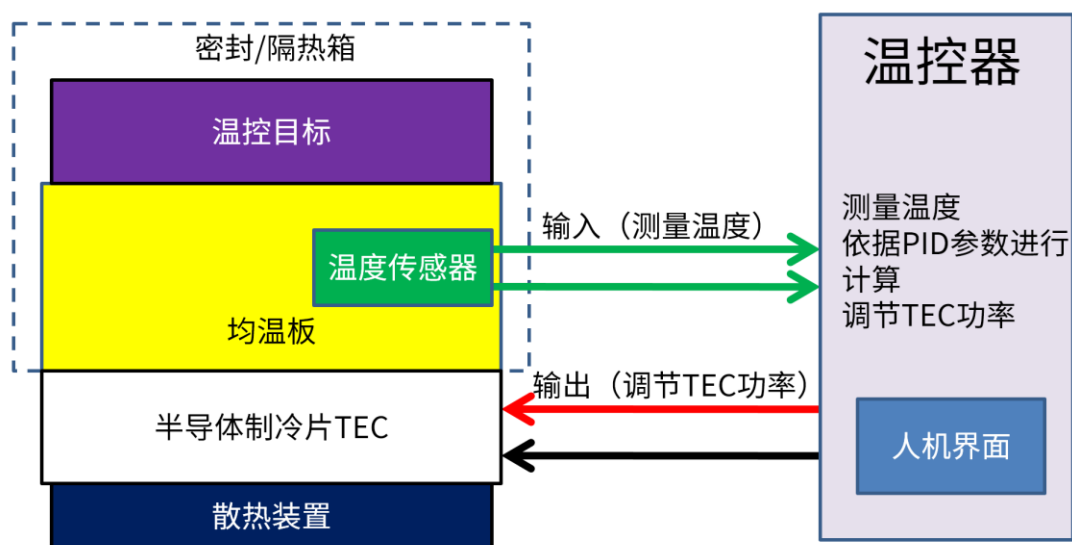
**显示模块：**如果不方便使用计算机，可选购显示模块 UIM（含显示屏、按键、指示灯等）；

**编程：**用户也可以自己编程用单片机或计算机控制温控模块，我们提供完整的通讯协议。

独立运行：如果参数设定完成后，不需要改变，温控模块可以独立运行（不连接人机界面）。

## 使用集成温控器的温控系统

如果不使用温控模块，而使用温控器，则系统示意图如下。



温控器内部集成了电源，因此可以只需要 220V 交流电供电即可。

温控器的面板上通常集成了人机界面（显示屏、按钮）。

## 如何构建 1 个温控系统

如果用户需要 1 个小型的温控系统，那么我们该如何开始 1 个温控系统的设计呢？

第一步，明确需求：整理清楚被温控物体（设计上请尽量排除不必要温控的部分），温度范围，温控指标等参数。

第二步，先选 TEC：即使是相同的温度点，温控地球和温控芝麻所需要的 TEC 和温控功率显然是不一样的，可见温控极限范围是由整个温控系统决定，不是单纯由温控器决定。所以请不要问厂家温控范围、温控体积的问题，厂家也回答不了。用户自己先根据温控环境、温控物体和温度范围选择 TEC（确保 TEC 功率能够在所有工作环境温度里把温控物体加热/制冷到需要的温度范围）。在极限范围内，温控器可以稳定在用户设置的任意温度点。

如果是纯加热，也要先根据自己的系统选择功率足够的加热器件，确保满功率工作时肯定能把自己的物体加热到需要的温度。

第三步，选温控器：根据所选 TEC 或加热棒的电压电流需求、温度测量范围、温控指标（稳定性、精度等）选择温控器。温度测量范围指温控器能够保持高性能测量指标的温度范围（选择不同的传感器可以移动高性能测温范围，具体见页面表格介绍）。

第四步，组装：根据总功耗、尺寸要求设计温控执行部分，选择散热器和风扇，搭建温控平台。

简而言之，就是用户先挑选能够实现所需温度范围足够功率的 TEC/加热片，再根据 TEC/加热片的电压电流需求挑选温控器。

## TEC 的选择

当知道温控物体后，我们就知道了物体的体积、发热量等情况，可以从理论上尽量选择合适的 TEC。具体文档见 TEC 的简易选择步骤。

然而实际上，计算出来的值并不精确，越简单的系统与计算值吻合越好，大多数情况下我们还需要实际验证。

### 用于验证的平台

1 个人工温控系统（具体见前面介绍），注意：必须要有散热装置。且散热能力越强越好。散热越好，温差越小，所需要的 TEC 功率越小，效率越高。

### TEC 功率对温控范围的影响

在极端环境下，TEC 要能把物体温控到需要的温度；即 TEC 功率要满足整个温控范围的需要。

举例：假设环境温度为 15 度至 35 度，目标物体需要的温控范围是 0~60 度，那么用户需要确认两个极端情况：

1. 环境温度 35 度时，物体温度是否能达到 0 度（制冷 35 度）；
2. 环境温度 15 度时，物体温度是否能够达到 60 度（加热 45 度）。

实际工作中，可能不方便模拟 35 度和 15 度的极端工作环境，用户可以把确认目标近似改成如下两个：

1. 当前环境温度下，能否制冷 35 度温差（ $0 - 35 = -35$ ）；
2. 当前环境温度下，能否加热 45 度温差（ $60 - 15 = 45$ ）。

### TEC 功率是否足够

用可调电压源或者开关电源直接驱动 TEC（确保电压小于 TEC 的最大工作电压，加热时接线反向），同时测量目标温度，如果能够达到目标温度，说明所选的 TEC 功率足够。如果超过目标温度太多，则说明 TEC 功率太多了，可以降低电压。最终可以确定一个需要的 TEC 功率。

## 简化方法

如果是初次接触温控，心里有疑虑，或实验条件实在有限，则可以根据理论计算值或者经验值尽量选择功率大一点的 TEC，多留一点余量，然后根据买了温控模块以后的实验结果再优化选择。我们的温控模块能够显示实际输出电压值，因此可以据此了解温控中实际用到的功率是多少。

## TEC 串并联

如果理论计算或实际验证后，发现单个 TEC 不足以满足功率需求时，该怎么办？一般情况下，可以通过 TEC 的串并联来增大功率。

### TEC 的电特性类似于电阻

TEC 的电特性可以近似为 1 个电阻来粗略估算。

比如 TEC1-12710 这个型号的 TEC，其参数为最大工作电压 15V，最大工作电流为 10A，那么可以假设其电阻为 1.5 欧姆（ $15V/10A$ ，这是假设的电阻，无法用万用表准确测量）；如果温控器加在这个 TEC 上的电压为 9V，那么流过 TEC 的电流约为  $9V/1.5\Omega=6A$ ，则 TEC 总电功率约  $9V*6A=54W$ 。

当 TEC 本身的温度变化时，它的电阻值会略有变化，但是一般情况下变化幅度在  $\pm 20\%$  以内。TEC 服役后，随着工作时间增长，阻值会逐渐增大；加热制冷频繁切换也会缓慢增大电阻；优秀厂家的 TEC 性能老化速度慢。

### 并联效果

如果两个 TEC1-12710 并联，则并联后其最大工作电压为 15V，最大工作电流为 20A，如果温控器加在它们上的电压是 9V，那么需要的电流约为 12A，总功率增大到了 108W。

### 串联效果

如果两个 TEC1-12710 串联，则串联后其最大工作电压为 30V，最大工作电流为 10A，如果温控器加在它们上的电压是 20V，那么需要的电流约为 6.67A，总功率增大到了 133.4W。

### 同时串并联效果

如果每组两个 TEC1-12710 串联，串联后再两组并联，共 4 片 TEC。组合后其最大工作电压为 30V，最大工作电流为 20A，如果温控器加在它们上的电压是 20V，那么需要的电流约为 13.3A，总功率增大到了 267W。

如果有需要，TEC 可串并联混合使用。只要确保最后的实际工作电压电流不超过温控器的能力即可。



## 挑选温控模块

挑选步骤，确定输出方式，考察测温范围，确认温控功率

### 温控输出方式

常见的温控模块有两种输出形式：脉冲电压、直流电压（恒压源、或恒流源）。

脉冲电压的方式对 TEC 有长期的电冲击，并且对温控稳定性有影响，一般用在稳定性要求约 1 度的应用中。

恒压源和恒流源方式有利于高稳定性温控。

我们的温控模块是恒压源输出，能够保证很高的温度稳定性，同时最大输出电压可以软件设置，方便用户用来驱动不同型号的 TEC。

### 测温范围

确认温控模块能够以足够高的分辨率测量到用户所有需要的温度点，在需要的温度点能够达到需要的稳定性，我司的温控模块的分辨率及相关指标见各自的数据手册。

### 温控功率

根据需要的 TEC 功率挑选温控器，确保温控器的实际输出能力大于所需要的 TEC 功率。

我们的温控器是电压源输出，比如 TCM-M115，24V 供电时，极限输出为 20V、15A（即极限功率为 300W）。假设设置温控器的最大输出电压为 20V，当驱动等效阻值为 4 欧姆的 TEC 时，则实际最大电流为 5A（20V/4 欧姆），实际最大输出功率为 100W；如果换成 2 欧姆电阻的 TEC，则最大输出为 20V、10A（实际最大输出功率为 200W）。因此合适阻值的 TEC，或者合适的串并联方式，可以让温控器尽量输出更大功率。

### 温控范围

可见，温控范围由两个因素决定：测温范围、温控功率。

测温范围保证分辨率和稳定性，足够的温控功率保证 TEC 能够把物体温控到需要的极端温度。

### 我司温控模块特点

不同厂家生产的温控模块有不同的特点，我司生产的温控模块主要特点如下：

高性能：精心设计的测温和控制系统，实现高分辨率、高稳定性。

自动整定功能：简单操作即可针对用户的系统自动计算出优化的 PID 系数，简化 PID 系数设置难度，获得速度快、过冲小、振荡少的温控性能。

开放式平台：提供完整串口控制命令，用户可自己编程通过计算机或单片机控制温控模块；免费提供上位机软件，可实现参数观测、设置、数据记录和曲线显示等功能。

强大灵活性：各种参数都可以在用户软件中调节、设置、保存，方便用户在不同的温控系统中使用该温控模块。

1. 传感器参数可灵活设置，支持不同规格参数的热敏电阻和 PT1000 铂电阻探测器。
2. 输出模式、最大输出电压等输出参数可灵活设置，可适应不同型号 TEC 需求。
3. 各种保护的阈值可软件灵活设置。

用户可以根据自己的需要选择。

## 其它要求

升温速度= 温升/时间 = (输入功率 减 耗散功率) /热容量

因此，提高升温速度的方法如下：

1. 增大输入的 TEC 功率。可以增大电压，但是不能超过 TEC 的电压承受极限，否则会损坏 TEC。也可以使用多个 TEC，但是要求温控器能够驱动能力要足够。
2. 减小耗散功率，比如给被温控物体增加保温罩等措施
3. 减小被温控物体热容，比如减小被温控物体体积，更换合适的材质等。