



北京航空航天大学
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

“冯如杯” 创意大赛论文

自感温调试恒温杯

自感温调试恒温杯

摘要

形状记忆合金是一种能够记忆原有形状的智能材料。当合金在低于相变态温度下，受到一定限度的塑性变形后，可由加热的方式使其恢复到变形前的原始形状，即在相变温度上下，合金将呈现不同的形态。拟将利用这一特点，将记忆合金作为恒温杯的开关，水温较高时合金伸长使开关闭合，水留在散热区，水温较低时合金缩短使开关打开，水流入保温区，从而实现水在适宜温度下的持久保温，方便饮用。

关键词： 恒温杯 自调试 适口水温 记忆合金

Abstract

The shape memory alloy is a kind of smart materials which is able to remember the original shape of smart material. When the alloy is below the phase transformation temperature, if it has had a limited degree of plastic deformation, it can be restored to the original shape before the deformation by way of heating t . That is to say the alloy will have different morphology in the upper and lower phase transition temperature. Intending to use this feature, we use the shape memory alloy as a thermostat Cup switch. The switch is closed when the water is in a high temperature, and then the water will be left in the cooling area. While the water temperature dropped down, the alloy will shorten, and then the switch is turned on, so the water flows into the soaking zone as to achieve keeping the water at a suitable temperature lastingly. It is more suitable and easy for people to drink.

Keywords: Thermostat Cup, Self-adjustment, Palatable water temperature, Memory alloy

目录

摘要	I
Abstract.....	II
一、引言.....	1
1.1 创意背景.....	1
1.2 创意提出.....	1
二、创意方案.....	2
2.1 实验原理.....	2
2.1.1 变形弹簧材料的选择.....	2
2.1.2 形状记忆合金原理.....	2
2.1.3 保温材料.....	2
2.2 创意设计.....	3
2.2.1 方案一.....	3
创意概述.....	3
恒温杯分解图.....	3
恒温杯功能演示.....	4
2.2.2 方案二.....	5
创意概述.....	5
恒温杯分解图.....	5
恒温杯功能演示.....	6
2.3 可行性分析.....	8
2.3.1 水温控制.....	8
2.3.2 记忆合金的超弹性分析.....	8
2.3.3 “调控系统”材料的选择.....	9
三、应用前景.....	9
3.1 创新性分析.....	9
3.2 优缺点分析.....	9
3.2.1 优点.....	9
3.2.2 缺点.....	10
3.3 应用延拓.....	11
四、参考文献.....	12
五、鸣谢.....	12

一、引言

1.1 创意背景

水杯是人们日常生活中必不可少的用品，市场上琳琅满目、多种多样的水杯在家家户户种发挥着它们至关重要的作用。保温杯这一类水杯更是在寒冷的冬季为人们提供温暖的滋润，成为冬季必须品。

然而，当人们打开保温杯盖，喝到的总是热气腾腾的“开水”，水温并不是人们最想要的。虽然不同人的“最适饮用水温”不尽相同，但是人体能直接喝下的饮用水温度绝对不是在 70-90 摄氏度的“热区”。一般而言，最适宜的饮用水水温大概在 37-45 摄氏度左右，而目前市场销售的质量可靠的保温杯的保温范围在“热区”，并不能满足人们对温水的需求。而人们普遍的做法是将开水倒出后冷却到适宜温度后再饮用，而待水温降到适宜温度之后不能维持，而会继续下降，从而也不能满足人们对于水温的需求。由此我们想到设计一种可以自动调节和维持水温的保温杯，这种水杯能够保证开水降到适宜温度之后，在一段时间内，水温能够维持在最适宜的水温范围之内，这样就不用担心喝到过热或者过冷的水。这种恒温杯比一般的水杯或者保温杯更能满足人们对水温的需要，也更方便人们的日常饮水。

1.2 创意提出

人们对于饮用水温的需求引发了我们对于保温杯的改造的想法。改造后恒温杯关键在于水温自动控制系统的设计。在可实现思路中，我们很自然想到了有良好感温性能的形状记忆合金。形状记忆合金的形状被改变之后，一旦加热或者冷却到一定的变态温度时，它又可以魔术般地变回到原来的形状。利用记忆合金的这种性能，我们可以在杯子内部设计一道散热区与恒温区之间的阀门，使得外层的开水冷却到一定温度之后，形状记忆合金制成的阀门受到温度刺激之后感应收缩，阀门得以打开，外层的温水流入内层的恒温区，恒温区连接出水口，使得一定时间内倒出的水都能在适宜温度范围之内。

恒温杯的主体材料我们决定沿用目前市场上使用的保温材料。目前市面上所销售的保温杯大多用双层优质不锈钢抽真空内胆制成。我们所设计的恒温杯由散热区和保温区构成，散热区位于杯体外上层，恒温区位于杯体内下层，内层材料则选用双层不锈钢真空内胆，外层材料则可选择单层不锈钢外壳，最外层可以加上绝热的塑料外壳。保温杯改造的关键之处在于如何设计两区之间的交换阀门。经过我们思考讨论之后，认为阀门的主要控制部件材料可选用特定感应温度的形状记忆合金。在两区之间开一道适宜大小的闸门，阀门与一形状记忆合金制成的特殊弹簧连接。压力板下部通过另一普通弹簧与杯底部相连。当从散热区顶部接入高温热水之后，散热区底部弹簧受压，压力板下降带动阀门朝下移动，但是不足以打开闸门。当散热区水冷却到一定温度之后，形状记忆合金弹簧接受温度刺激而发生形变收缩，将闸门打开，散热区的温水则通过阀门流入保温区。待外

层水基本流进内层之后，底部弹簧因失去压力而恢复形变伸长，将阀门关闭，起到隔离恒温去与散热区的作用。恒温杯的基本结构原理就是上文所述。设计出来的恒温杯理论上可以在一定时间内保证提供适宜人体饮用的水。

二、创意方案

2.1 实验原理

2.1.1 变形弹簧材料的选择

为了完成在不同温度下对水阀的开关，我们需要弹簧在不同温度下有不同的长度。而能满足这一要求的，非记忆合金莫属了。由于这是一款水杯，直接接触我们的饮用水，因此要对人体无害这就使我们想到了使用医用的钛镍合金，它有良好的生物相容性，无毒无害，而且又有优秀的记忆功能。

2.1.2 形状记忆合金原理

19 世纪 70 年代，世界材料科学中出现了一种具有“记忆”形状功能的合金。记忆合金是一种颇为特别的金属条，它极易被弯曲，我们把它放进盛着热水的玻璃缸内，金属条向前冲去；将它放入冷水里，金属条则恢复了原状。在盛着凉水的玻璃缸里，拉长一个弹簧，把弹簧放入热水中时，弹簧又自动的收拢了。凉水中弹簧恢复了它的原状，而在热水中，则会收缩，弹簧可以无限次数的被拉伸和收缩，收缩再拉开。这些都由一种有记忆力的智能金属做成的。而所谓的记忆过程就是合金在不同温度下发生相变的过程。记忆合金分为单程记忆合金、双程记忆合金和全程记忆合金。下面主要以我们此次用的双程记忆合金作一些介绍。

我们选用的材料为 TiNi 医用记忆合金。高温时，TiNi 合金有 B2 结构，当温度下降时，它转变为具有菱面体结构的 R 相，随后转变成 M 相与 R 相混合，而加热时发生逆相变的过程。在由 B2 结构变为马氏体 M 相时，合金的形状也随之改变，形成形状记忆的效果。

同时，钛镍合金具有高弹性，因此在加工成弹簧可起到优秀而持久的支撑作用。

2.1.3 保温材料

内胆多采用玻璃镀铝（银，铜）。其中玻璃为热的不良导体，银色的杯胆能反射热水的辐射，同时在真空构成，三层加保。

真空内胆的两层玻璃间夹层需为气压低于 10-1pa 的真空，使气体传热可忽略不计；内壁镀有低辐射膜，使辐射传热尽可能小。

其中玻璃镀金属的原理利用了银镜反应，即银粒离子与葡萄糖反应，葡萄糖中的醛基有还原性，将银离子还原成银单质，以一薄层附着在瓶胆上，形成了光

亮的银镜。

由于银的造价高，因此目前制镜技术正朝着真空镀铝(铝镜)或离子真空镀膜(钨镜或钛镜)方向发展。但后者要求设备复杂、技术难度大且厂家一次性投资大，而且目前镀层的面积有限(如受离子真空镀膜机容积所局限)，因此目前仍广泛采用镀银技术。

而不锈钢内胆需要原料焊接性能好，耐腐蚀性能好，厚度公差一般要求较高，为-3%~5%，延伸率高(≥53%)硬度较低($\leq 170\%$)，内部晶粒等级在7.0~8.0之间，深冲性能极佳，产品一般都需经过几道次的拉伸才能完成，如果原料延伸方面达不到的话，在加工深拉制品时产品极易产生裂纹、拉穿的现象，影响成品合格率，当然也就加大了厂家的成本。

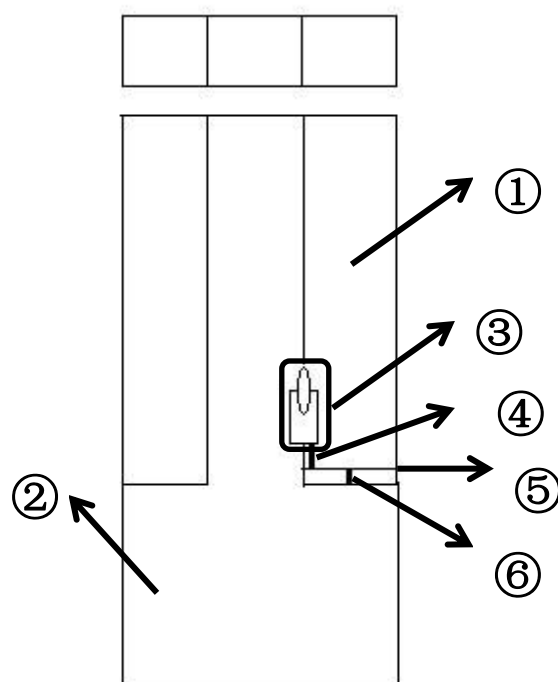
2.2 创意设计

2.2.1 方案一

创意概述

本创意将采用两种散热系数不同的材料对恒温杯进行分区，即分为散热区和保温区。在两区之间设置由形状记忆合金控制的开关，实现水温较高时，水留在散热区进行快速散热，当水温降至适口水温时，水流入保温区进行长时间保温。这样，当打开杯盖的时候，我们便可以喝到适宜水温的水了。

恒温杯分解图



①、②：**散热区、保温区**。自感温调温杯内部有两个分区，即杯身上部外圈是由散热系数较大的材料做成的散热区，起到快速散热的作用，杯身上部内圈及下部是由散热系数较小（保温性较好）的材料做成的保温区。

散热区的外部材料可以选用市场上常用的 PP 材料。而保温区的材料则选用的是内部抽真空处理后的双层优质不锈钢，起到与普通保温杯同等的保温效果。

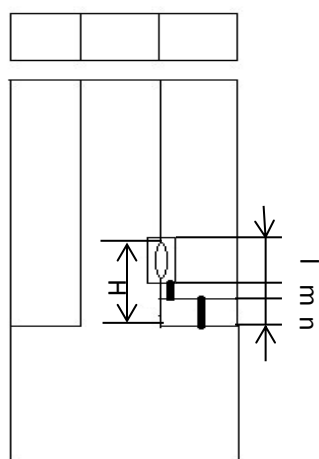
③：**温控开关**。该开关由记忆合金做成，为恒温杯的最核心部件。开关的形状带有凹槽，凹槽的设计可实现开关“含着”不锈钢内胆上下滑动，将不锈钢上的小口堵上或是将其露出，从而起到开和关的作用。该设计可直接将记忆合金的形变转变成开关的上下移动，同时又尽可能地减小了开关滑动过程中的阻力。

④：**形状记忆合金**。记忆合金在开关的底部，与开关紧密相连，但不与下面的压力板相连接。因此，记忆合金的形变可导致开关整体的上下自由移动，可实现与压力板的脱离或接触。

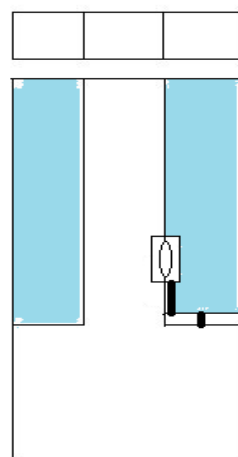
⑤：**压力板**。其下部与保温区外壁之间连有弹簧，均为固定连接，这样使得压力板可在弹簧的弹力作用下实现上升和下降。

⑥：**弹簧**。弹簧与压力板和保温区外壁均为固定连接。当散热区内的水的质量发生改变时，作用在弹簧的弹力也会发生变化，弹簧便会发生弹性形变，弹簧的伸缩可控制其上部的压力板的升降，从而也会带动开关的运动。

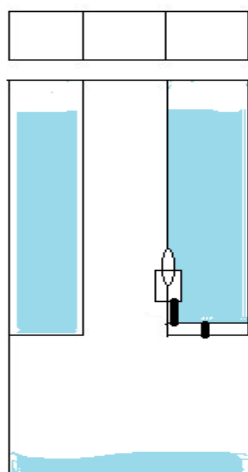
恒温杯功能演示



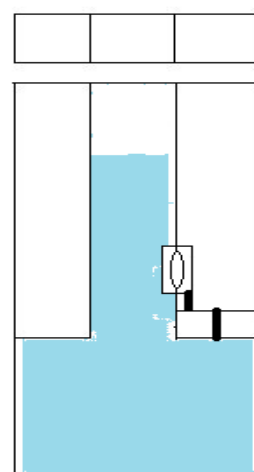
A 倒水前



B 倒水进散热区后



C 水温低于一定值后



D 水完全进入保温区后

已知 TiNi 记忆合金的变态温度为 40°C ，记为 T 。小口顶端的高度为 H ，开关长度为 l ，记忆合金长度为 m ，弹簧长度为 n 。

A：倒水前，散热区内的温度低于 T ，且杯内无水。此时，压力板不受水的重力，弹簧具有一定的长度。记忆合金也没有达到变态温度，呈缩短状态。所以压力板处于一定的高度， $l+m+n>H$ ，压力板顶着开关堵住小口。

A—B：将热水缓慢注入散热区后，一方面，压力板由于水的重力受压，使得下面的弹簧受压缩短，另一方面，记忆合金达到了变态温度，开始伸长，两者叠加的效果，使得压力板往下走，而此时记忆合金伸长量大于弹簧缩短量，因而 $l+m+n>H$ 仍成立，开关依然处于堵住小口状态。在之后的一段时间内，只要水温高于 T ，记忆合金处于伸长状态，这个稳定状态就会维持不变。

B—C：经过一段时间后，水温降至 T 以下，即降至了记忆合金的变态温度之下。记忆合金开始缩短，缩短至 $l+m+n<H$ 后，开关低于小口，小口露出，水开始经由小口流入保温区。

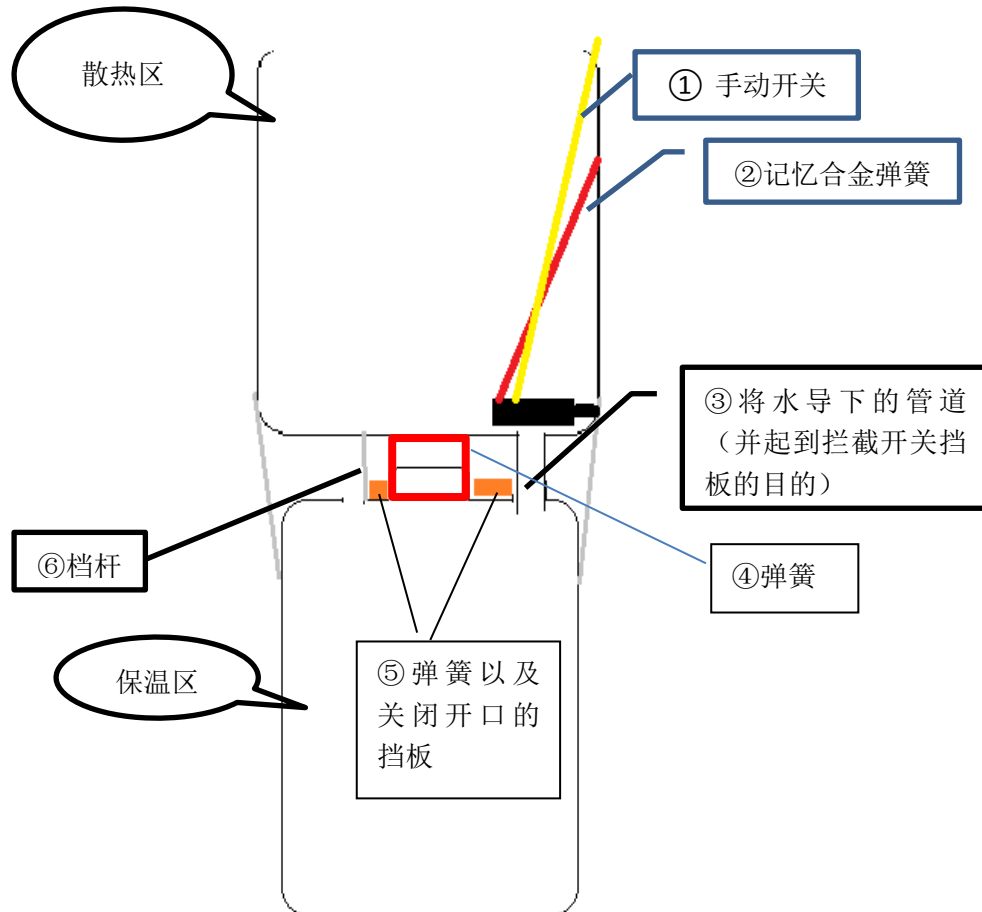
C—D：开关打开后，水的重力的减小又使得弹簧缩短量开始减小，压力板开始往上走。当记忆合金缩至最短，而此时压力板仍在往上走，再经过一段时间，压力板必然会“顶”着开关往上走， $l+m+n>H$ ，于是又回到与 A 类似的状态，只是这时，保温区内已存有适宜温度的开水了。这时，若打开杯盖，饮用保温区内的水，便是适口的。

2.2.2 方案二

创意概述

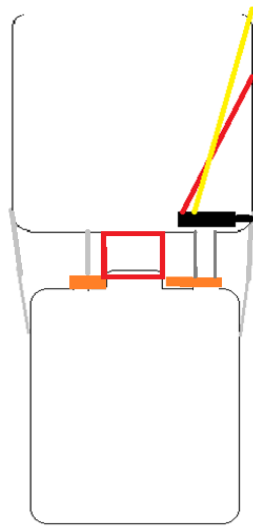
为了进一步解决前述的散热区剩水问题，将恒温杯设计成上下结构，即散热区在上部，保温区在下部，这样水可充分利用其自身重力，全部流入保温区内。喝水时，只需将上面的散热区拿掉，便可喝到适口水温的水了。

恒温杯分解图

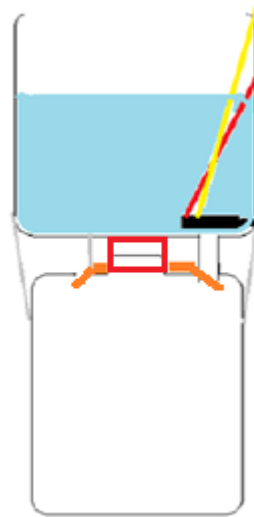


在该设计中，散热区和保温区呈上下结构，散热区在上，保温区在下。在散热区，手动开关和记忆合金弹簧均能控制出水口（③）。若手动开关打开，记忆合金将决定出水口的开闭；若手动开关关上，记忆合金的开闭作用将失效。连接上下两区的是一个弹簧（④），它可以根据上面水量的多少，从而将散热区不同程度地抬高。保温区内开有注水口和出气口（注水时将保温区内的空气排出，以便水顺利注入），口子的旁边是弹簧—挡板结构（⑤），实现在注水时打开，在保温时关闭。

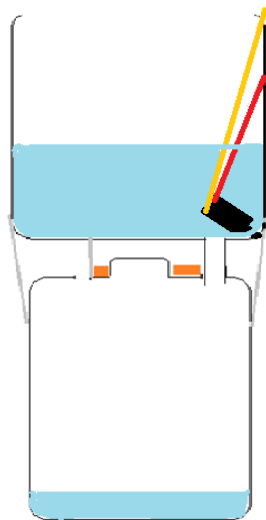
恒温杯功能演示



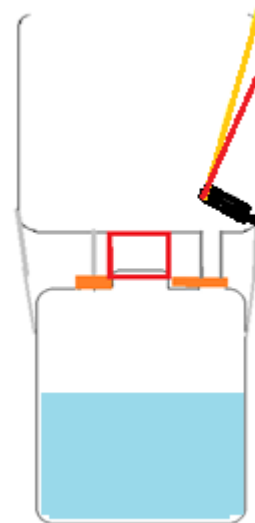
A 倒水前



B 倒水进散热区



C 水温低于一定值



D 水完全进入保温区

该保温杯的工作原理如下：（已知 TiNi 记忆合金的变态温度为 40°C ，记为 T ）

A：倒水前，散热区内的温度低于 T ，且杯内无水。此时，散热区下面的弹簧所受压力较小，弹簧具有一定的长度。记忆合金也没有达到变态温度，呈缩短状态。此时需利用手动开关将散热区出水口关上。**A—B：**将热水缓慢倒入散热区，倒完后，将先前关上的手动开关打开，这时记忆合金开关将起作用。（手动开关的设置目的还有方便使用者选择所需水温。若在加水后保持开关锁闭，则水会在散热区一直冷却下去，若是加满水后打开开关，则水会在冷却到适当温度后进入保温。）由于散热区加满水后，杯体下沉。此时水温高于 T ，记忆合金温度在变态温度之上，呈伸长状态，将出水口开关关闭，出水口堵住。热水便可在散热区进行散热。

B—C：水温低于 T 后，这时记忆合金温度低于变态温度，长度缩短，开关打开，散热区内的水开始流入保温区。与此同时，左边的出气口也呈打开状态，这样能保证水的顺利流下。

C—D: 待水完全进入保温区后, 散热区整体上升, 左边的挡板和右边的出水管也随之上升, 两个口子上方的挡板由于不受力, 斜面开始上抬, 于是挡板又重新堵住小口, 之后温水便可以在保温区长时间保温。

D: 倒水时, 取下上部散热区, 从保温区出水口倒水, 即可饮用。饮用完后, 将散热区放回。再次注水后, 由于小口上方的挡板成斜面, 注水后, 散热区下沉时又将挡板推回, 不影响下次水进入保温区。

2.3 可行性分析

2.3.1 水温控制

资料显示, 人体最适宜的饮用水温是 37—45 摄氏度, 同时, TiNi 记忆合金的变态温度为 40℃, 处于上述温度区间内。从散热区流入保温区的水温大致在 40℃左右, 加之保温区的材料具有良好的保温性能, 保温材料上的口子因为面积较小, 且不破坏保温杯内部的真空结构, 开关与保温区壁紧密贴合, 因此对保温性能的影响不会很大, 这样便能实现喝到适口开水的目的。

2.3.2 记忆合金的超弹性分析

TiNi 形状记忆合金(SMA)除具有良好的记忆、阻尼、耐蚀及生物相容性和优异的力学性能外, 还具有良好的超弹性(SE), 即当处于母相状态的 TiNi SMA 在一定应变范围内受力变形时, 会发生应力诱发母相—马氏体相变, 外力取消后, SMA 将发生马氏体—母相转变, 并使应力诱发相变产生的应变消失。弹簧表现为以母相为其存在前提的 SE 行为, 弹簧应力诱发马氏体临界切应力 τ 高。亦即当 T_d 升↔降变化时, 弹簧的行为呈 SE↔SME 变化, τ 发生大↔小变化。利用这些效应, TiNi SMA 弹簧便可实现对环境温度的感知和对外的驱动做功。

退火温度 T_a 对 TiNi 弹簧的 SE 变形特性也有很大影响。弹簧的 SE 行为与其在 A_f 温度以上加载—卸载过程中发生的切应力诱发马氏体转变及逆转变有关。SE 的产生有两个条件, 一是母相的屈服强度高, 以推迟塑性变形; 二是变形温度在 A_f 以上, 以便应力诱发马氏体在卸载后立即发生逆转变。TiNi 合金富镍 TiNi 合金, 该类合金要获得良好的 SE 特性, 可进行固溶时效处理或在冷加工后进行中温退火处理。固溶时效处理后, 富 Ni 析出物阻碍位错运动, 可使 TiNi 合金的 SE 得到改善。冷加工态 TiNi 合金弹簧在较低温度退火时, 可使冷变形引入的位错在母相中保留, 母相得到强化, 应力诱发马氏体临界切应力提高, 从而可使 SE 特性得到改善。退火温度升高, 特别是接近再结晶温度时, 位错密度下降, 母相强化效应减弱, 诱发马氏体转变的应力下降, SE 性能变坏。因此, 要使 TiNi 弹簧具有较稳定的 SE, 退火温度应在 623~773 K 之间, 使用温度应在室温以上。

基于 TiNi 记忆合金良好的超弹性, 在其与弹簧组成的“二元控制系统”中, TiNi 记忆合金具有更好的灵敏度, 因而温度是控制开关的主导因素。

2.3.3 “调控系统”材料的选择

调控系统包括开关、记忆合金、弹簧、压力板。因为恒温杯盛装的是饮用水，所以各部件的材料均要求是食品级的，即没有毒副作用，不会对人体的健康产生危害。

开关即选用保温区壁的材料，即内部抽真空处理的双层优质不锈钢。质轻，能使开关具有良好的灵敏度；优良的保温性能，使得开关合上的时候保温区仍具有良好的保温效果。

记忆合金选用的是 TiNi 合金，因为其相变温度正好是 40 摄氏度，满足功能实现要求。

弹簧选用的是食品级弹簧，在保证劲度系数具有良好灵敏度的同时保证其对人体健康是无毒无害的。

压力板选用的是轻质的铝合金，铝合金密度一般在 2.5—2.88 之间，比同类的金属密度都小得多。这样使得压力板能及时感知水的重力变化，从而有效调控开关的升降。

三、应用前景

3.1 创新性分析

目前已有的一种恒温保温杯，包括杯体和杯底，至少杯体为夹层结构且夹层内填充有相变介质；杯体夹层内设有相变介质，当杯体内装入热水，热量使相变介质吸热熔化的，热水快速降温，当杯体中的液体进一步降温将低于变相材料的熔点时，变相材料放热固化，且传导热量给杯中饮用水，使杯中水温度保持在相变材料熔点值附近；能够在一定程度上快速降温并在可饮用的基础上较长时间保持恒温。

本创意首次提出将记忆合金应用于恒温杯内部，利用记忆合金的变态温度，达到温控的目的，从而实现恒温杯自调试的功用。

创意的原理非常简单、制作工艺也不复杂。创意的关键在于由 TiNi 形状记忆做成的温控开关。由于记忆合金具有上百万次以上的恢复功能，这就使得该恒温杯在较长时间的多次重复利用得以实现，且使用效果丝毫不会受到影响。

这一创意可进一步普及，满足人们对于喝水水温的要求。既不用因为水温降得太快而喝到的是凉水而苦恼，也不用因为普通保温杯内水太烫而烦心。用科技改变生活，用创意创造便利，营造健康快捷的生活方式。

3.2 优缺点分析

3.2.1 优点

1. 实用性：

对于喝水，不同的人有不同的习惯。有人喜欢冷的、有人喜欢常温的，也有人喜欢热的。这些属于个人喜好，本是无可厚非的，不过要喝出健康，那可就有讲究了，最适宜的饮用水温是 37—45 摄氏度。夏日饮低温水或冬季饮高温水，都不太合适。因为，我们肠胃的温度相对高于体表，而且会随着外界环境温度的改变而改变，为了消除酷暑感或是严寒感而饮用过冷或是过热的水，将对消化道有很明显的损伤。饮用 37—45 摄氏度之间的温水对消化道比较合适。

水在每个人的日常生活中都扮演着不可替代的作用，该恒温杯可逐步取代一般的普通水杯和普通保温杯，其设计理念能很好地满足人们对于饮水温度的要求，喝得方便，喝出健康。

2. 设计简易性：

该恒温杯的设计思路是简单的。总结起来，最为重要的是利用了一个由 TiNi 形状记忆合金做成的温控开关，辅助以弹簧—压力板的联动对于开关的辅助调控。运用到的知识是关于材料的本身属性特点和机械及力学知识。巧妙地运用以上原理，结合平时课内外所学，加以改进优化，便能实现自感温调试恒温杯内的精巧构造，实现其在适口温度持久保温的功用。

3. 低成本性：

基于其巧妙的设计、简易的原理，该恒温杯所需的成本也较低。与一般保温杯相比，在成本上主要需要考虑的是 TiNi 记忆合金所带来的附加成本。在本设计中，记忆合金的用量是非常少的，因而增加的成本也非常有限。这对于创意的进一步推广，走进大众生活是相当有利的。

4. 重复利用性：

由于 TiNi 记忆合金具有上百万次以上的形状恢复功能，所以开关的温控调试功能能够在相当长时间内保有优异的稳定性，并不会在使用几次之后就出现反应“迟钝”，进而影响功用实现。该创意具有良好的可重复性，当第二次需要注水时，只需将热水加入散热区，热水就会按照设计的思路进行冷却，并在水温达到适宜值时流入保温区，两次注水过程互不干扰，可重复性高。

3.2.2 缺点

1. 装水体积减小：

根据设计思路，热水需先在散热区进行冷却，进而流入保温区。同量的水，先后经过杯内的两块区域，必然导致实际盛装的水的体积减小。同样体积的杯身，普通水杯能全部用来盛水，而在该设计中，水的体积会有所减少。

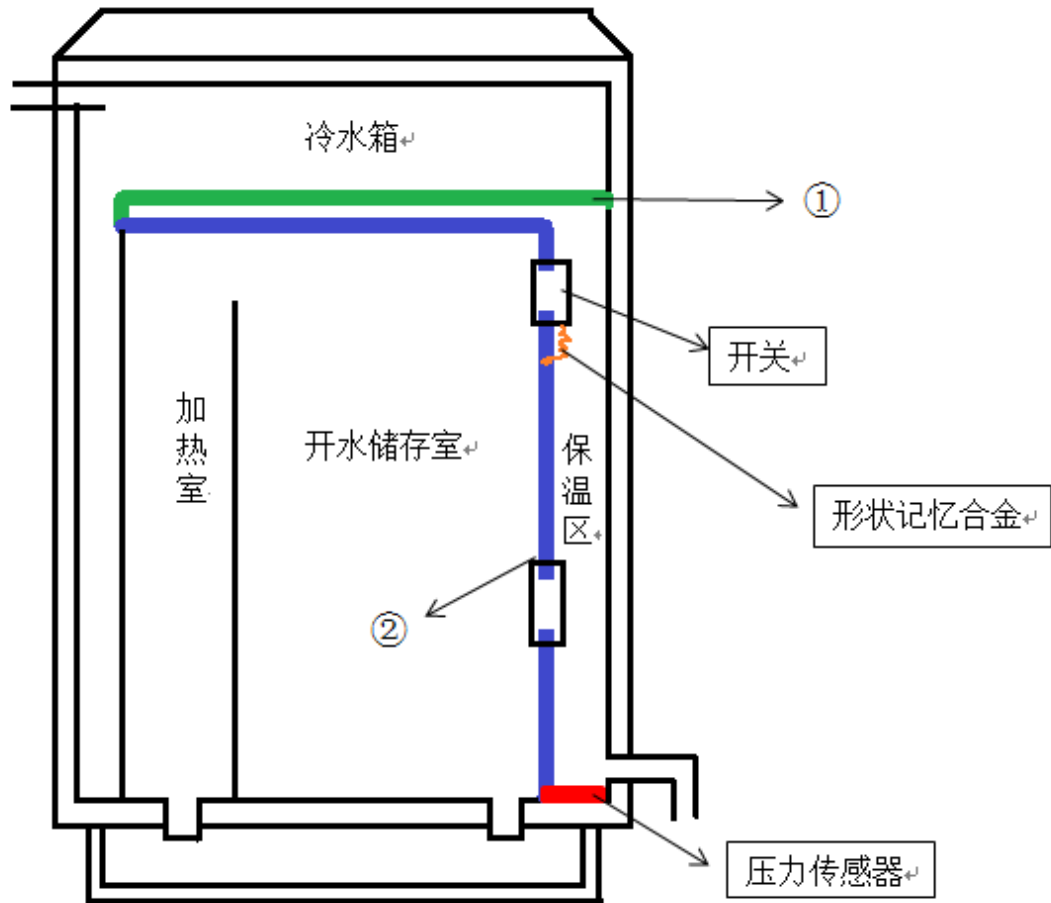
2. 调控系统稳定性不足：

由于温控环节的各元件具有良好的灵敏度，能及时感知周围环境变化，进而改变自身形态，达到有效调控的目的。与此同时，当我们在考虑环境等外来因素对其影响时，便会发觉该创意在稳定性方面还存在一定的缺陷。例如，当外力导致杯子有一个明显的震动的时候，杯内的各元件便会偏离平衡位置，或许就会对功能的实现造成一定的影响。因而，自感温调试恒温杯需要一个比较稳定的工作环境。

3.3 应用延拓

基于本创意的原理和思路，在生活中发现问题、解决问题。我们发现可以将我们的创意想法运用到学校现有的开水器上。目的也是为了解决接水时流出的是热水，不适于饮用的问题。

设计图如下：



在开水器中，温控开关的结构与方案一大致相似，其下的形状记忆合金起到温控的作用。①为散热系数较高的材料，②为保温性能较好的材料，其余部分均保留开水器原本的结构。当保温区内的水量不足时，压力传感器接受信号，启动下面的开关，将其打开，开水储藏室内的开水开始流入保温区。当保温区内的水量达到一定值时，压力传感器接受信号，将下面的开关关上。保温区上部的散热材料与冷水直接接触，可快速降温。当温度降至 40°C 以下时，记忆合金缩短，上面的开关打开，热水再次流入保温区。当保温区内的温度达到 40°C 时，记忆合金开始伸长，上面的开关重新关上。值得注意的是，开水箱中有 2 个开关，下面的开关由压力传感器控制，上面的开关由记忆合金控制，这样，就能保证保温区内一直有水且水温一直保持在 40°C 左右。接水时，喝到的便是适口水温的水了。

四、参考文献

[参考文献]

- [1] 杨丽萍, 牛锐. 养生: 如何正确喝水 水温与饮水时间有讲究[N]. 内蒙古日报, 2013-1-24(4).
- [2] 贺志荣, 张永宏, 王永善, 周敬恩. Ti49.4Ni50.6 超弹性弹簧的相变和形变特性[N]. 金属日报, 1998-1(1).
- [3] 王小祥, 毛志远, 曹征旺. TiNi 形状记忆合金腐蚀及细胞毒性的研究[N]. 中国生物医学工程学报, 1996-12(4).

五、鸣谢

从参加本届创意大赛开始到此篇论文完稿, 我们的创意小组经过了多次讨论, 也遇到了很多想法和技术上的难点疑点。但是, 在我们的共同努力以及各方的帮助下, 我们最终克服了这些困难, 顺利的完成了本篇创意论文。

在此, 特别感谢我们的队友们在这个过程中的坚持和付出, 因为团队的精诚团结, 才成就了这篇凝聚了我们每个人心血的文章。

此外, 还要感谢为我们的创意提出诸多中肯意见和建议的辅导员老师; 感谢所有帮助过我们的同学和师长师姐们; 感谢诸多为我们提供参考文献的学者科学家们。