

编号：0139

内部

科学技术成果报告

示温涂料

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

示温涂料

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆。 印张：1.5 字数：35千字

1979年11月北京第一版第一次印刷

科技新书目：144—14 统一书号：15176·461

定价：0.25元 印数：1—4,100册

1979年11月出版

目 录

绪论	(1)
一、示温涂料概述	(2)
1. 示温涂料的定义及测温原理	(2)
2. 示温涂料的分类	(2)
3. 示温涂料的特点及用途	(2)
4. 示温涂料的组成	(3)
二、示温涂料产品配方及性能	(6)
1. 200、250、310℃单变色不可逆示温涂料	(6)
2. 60—300℃单变色不可逆示温涂料	(6)
3. 300—900℃单变色不可逆示温涂料	(6)
4. 400—600℃多变色不可逆示温涂料	(11)
5. 550—900℃, 600—800℃多变色不可逆示温涂料	(11)
6. 600—750℃, 790—960℃多变色不可逆示温涂料	(11)
三、示温涂料检验设备	(12)
四、示温涂料变色机理	(14)
1. 可逆型示温涂料变色机理	(14)
2. 不可逆型示温涂料变色机理	(15)
五、外界因素对示温涂料变色温度的影响	(17)
1. 升温速度对变色温度的影响	(17)
2. 恒温时间对变色温度的影响	(18)
3. 周围气氛的影响	(18)
4. 压力的影响	(18)
5. 漆膜厚度的影响	(19)
六、示温涂料的制备及施工工艺	(19)
1. 制备	(19)
2. 施工	(20)
七、示温涂料的正确使用	(20)
八、结论	(21)
参考文献	(21)

示 温 涂 料

化工部涂料工业研究所示温组

绪 论

随着现代工业和科学技术迅速发展,对测温技术提出了新的要求——简单、快速、方便、准确等。示温涂料就是一种新型的具有特殊用途的测温工具。它是以前颜色或外观现象变化来指示物体表面温度及温度分布的一种涂料。因为它能有效地在温度计、毫伏计不能测温的场合下使用,因而受到各国科技界的重视,并进行了大量的研究工作。

早在二次大战时期,一些国家就对示温涂料开始了试制和生产。目前西德、英国、美国、日本、苏联等国家都进行研制。在四十多年中示温涂料的研究和应用有了很大的发展。西德研制工作开始最早,二次大战前I. G. Farben公司首先研制使用示温涂料。战后Badisch Anilin and Soda Farb公司相继开始,现有产品单变色温度范围40—1350°C,多变色温度范围55—1600°C共几十个品种。主要用在飞机、炮弹等温度测量方面。英国示温涂料发展比较快,水平也比较高。Synthetic and Industrial Finishes公司和Rolls-Royce公司分别研制多变色示温涂料,温度在80—1100°C,其中有的产品出现八变色,主要在飞机发动机上使用。如测量冷却式涡轮叶片,发动机火焰筒,喷气管,导向叶片等温度。Thermo-Graphic-Measurements公司,G. V. planer有限公司及William Walh公司重点对单变色示温涂料作了一系列研究,温度在37—593°C和60—1200°C,广泛用于电子元件,高压电路,各种工艺设备,轴承套,机器危险部件及高温灭菌方面。美国研制示温涂料比英国德国要晚一些,主要有Curtis-Wright公司和Tempil公司从事这方面的工作。有38—1650°C温度范围的单变色和多变色品种。在气动加热温度测量,超温报警及无损探伤方面起了重要作用。近几年来美国Liquid Crystal Industries公司采用液晶作成示温涂料,用于材料的无损探伤。在苏联主要有门捷列夫化工学院,里加油漆厂等从事示温涂料研究,重点是45—880°C范围单变色不可逆示温涂料,在化工、机械、建筑、电子工业方面得到应用。日本重点以低温(500°C以下)可逆型示温涂料研制为主,在防止过热装置、反应塔、轴承上使用,对影响变色的外界因素作了比较系统的研究。

综合以上几个国家研究情况,示温涂料在国民经济各个领域都广泛被应用,并列为特种涂料的一项配套产品。

为了适应经济发展的需要,1960年以后我国开始研制,已取得相当的成果。近几年来发展较快,推广应用领域也不断扩大,品种比较多。单变色温度范围从60—900°C,多变色温度范围从400—950°C,现已被广泛使用到炼油工业,航空工业,汽轮机工业中去。在研制和推广应用的同时,也作了一些理论探讨,对实际工作起了一定指导意义。但总的说来理论研究还处于初期阶段。今后还需要作大量深入的研究工作。

一、示温涂料概述

1. 示温涂料的定义及测温原理

顾名思义,凡是能指示温度的涂料就叫做示温涂料。这是由于涂层被加热到一定温度时能发生颜色变化,借此现象来指示温度。通常也称为变色涂料或热敏涂料。

测温原理:有一些化合物,能够伴随着外界温度的改变而迅速引起它固有的颜色变化。示温涂料就是利用这种原理达到测温目的。这样,我们可以将此类化合物配制成涂料,涂在欲测温表面上,当涂层在一定条件下(时间、压力、温度)加热到某一温度时,即出现颜色的变化(我们确定出现颜色变化的温度为涂料的变色温度)。反过来,在同样条件下用它来测温,只要发现涂层出现同样的颜色变化,证明涂层已达到原来确定的变色温度。因而起到测温作用。

2. 示温涂料的分类

示温涂料有可逆型和不可逆型两大类,在这两大类中又有单变色和多变色之分。

根据示温涂料变色后出现颜色的稳定性,可以分成可逆和不可逆示温涂料两种类型。当受热到一定温度,涂层颜色发生变化,显出一种新的颜色,而再冷却到常温时,重新又恢复到原来的颜色,这种涂料称为可逆型示温涂料。例如:以 Cu_2HgI_4 为变色颜料制成的示温涂料。原色为洋红色,当加热到 70°C 左右时,涂层迅速由洋红色变为红棕色。再冷却到常温时,又恢复到洋红色。又如: Ag_2HgI_4 在 50°C 左右时,涂层迅速由黄色变为橙色,再冷却到常温时又恢复到黄色。

涂层受热到一定温度时,颜色发生变化,显示出一种新的颜色,随后再冷却到常温时,涂层颜色不能再恢复到原来的颜色,这种涂料称为不可逆型示温涂料。例如:以碱性橙为变色颜料制成的示温涂料,涂层原色为红色。当受热到 130°C 时迅速由红色变为紫红色。随后冷却到常温时,仍旧保留其紫红色,不能恢复到原来的红色。从上述简单的例子可以看出可逆型示温涂料可以反复使用进行测温,而不可逆型示温涂料只能使用一次,但是可以记录下被测物体的温度。因而它们的应用比较广泛。

示温涂料又可根据涂层随温度变化所出现颜色变化的多少有单变色和多变色示温涂料之分。随着温度的上升,涂层在某一温度范围只出现一种新的颜色,我们称之为单变色示温涂料。例如:以草酸钴为变色颜料制成的示温涂料,当受热到 290°C 时,涂层迅速由粉色转变为黑色。温度再继续上升时,颜色不再改变。这种类型涂料就属于单变色示温涂料。如果随着温度上升,涂层在不同的温度阶段能出现两种以上新的颜色,我们称之为多变色示温涂料。例如:SW—多—1($400\text{—}600^\circ\text{C}$)示温涂料,随温度上升能出现五种新的颜色,即:墨绿色

(原始颜色) $\xrightarrow{400^\circ\text{C}}$ 墨绿红 $\xrightarrow{450^\circ\text{C}}$ 砖红色 $\xrightarrow{500^\circ\text{C}}$ 酱紫色 $\xrightarrow{550^\circ\text{C}}$ 淡灰绿色 $\xrightarrow{600^\circ\text{C}}$ 芽绿色。

这一品种就属于多变色示温涂料。

3. 示温涂料的特点及用途

(1) 示温涂料使用方便操作简单,不需要附带任何特殊的测量仪器。操作人员也不需要专门的训练即可以掌握使用方法。只要将示温涂料涂在欲测温物体表面上,测试后持标准色板对照颜色,即能直观地判读温度范围。

(2) 示温涂料有较宽广的测温范围。根据资料报导,国外已有负几十度到正一千多度

的产品用来测温。

(3) 对于非金属物体(陶瓷、玻璃、纤维等)的温度测量,使用一般仪器还没有很好地解决,而使用示温涂料测温则是切实可行的。例如:高速飞行器内一些陶瓷部件在高温高速气流中热分布状态,使用热电偶是无法进行焊点测量的,长期以来一直难于解决,如果采用示温涂料测温就很简单。将涂料涂在陶瓷件表面,试验后根据颜色的变化可以判读温度分布。

(4) 示温涂料特别适宜在连续运转机件和复杂结构机件表面进行测温,而这些部位往往是温度计、毫伏计难以测温或不可能测温的。举例来说,密闭机组内元件,转动轴承及高速运转的发动机叶片,不可能使用温度计或牵引热电偶测温,而用示温涂料则是简单可行的。

(5) 示温涂料适宜测量物体大面积表面的温度分布,又可以同时测量许多元件部位的温度。通常温度计毫伏计只能测量物体表面上某一点的温度,而示温涂料可以涂在整个物体的表面,如果表面温度分布不均匀,各部位涂层将会显现出不同的颜色,借此可以了解物体表面温度分布状态。举例来说,我们用SW—多—2示温涂料测量飞机涡轮叶片的温度分布。由于叶片各部位冷却效果不同,使得温度分布不均匀,涂层根据温度的高低出现一幅彩色图样,可以直接地指示出叶片温度分布状态。这对于设计改进叶片结构,提高叶片使用寿命有着很重要的意义。

(6) 示温涂料也是一种很好的报警材料,常常用它来指示设备局部在发生破坏而处于危险状态,以警告人们注意采取措施避免事故发生。例如在炼油工业中铂重整反应器内部衬绝热层,器内反应在500℃左右高压下进行。如果内衬施工质量不好或运转时间过长,某些部位可能出现裂缝,造成器壁局部过热。为了加强对反应器壁温的监视,在反应器外表面涂一层示温涂料,当器壁局部超过规定温度时,涂层发生明显的颜色变化,操作人员观察到这一现象,可以立即采取措施,防止爆炸事故发生。所以示温涂料能简单而有效地起到超温报警的作用。

由于示温涂料具有许多优点,因而它在国防和民用,科研和生产当中都有相当的使用价值。

4. 示温涂料的组成

示温涂料有和一般涂料相似的组成,包括变色颜料、漆基、溶剂和其他填料。

变色颜料—感温物质:

变色颜料是涂料中的基本组份,示温涂料受热所以能出现各种颜色的变化,主要是由变色颜料所决定的。它们在热作用前后外观颜色有截然不同的不同,以此作为判读温度的依据。

受热能够发生颜色变化的物质是举不胜举的,在自然界中大量存在,人工合成的那就更多了。但是作为示温涂料用的变色颜料则必须具备如下条件:

- (1) 对热作用很敏感,也就是变色区间要窄。
- (2) 变色迅速。
- (3) 有明显的变色界线,也就是变色前后色差要大。
- (4) 受使用环境的影响要小。

所以说能满足上述条件的物质不是轻而易举的。

一般最常用的有有机物质和无机物质两大类。这两者性能有所不同。有机物质耐温性低,根据要求一般选用作300℃以下变色颜料用,而无机物质,则有较高的耐温性,它们多选用作

表 一

变 色 颜 料	变色温度 (°C)	颜 色 变 化
$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	35	粉红→天兰
$\text{CoBr}_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	40	粉红→天兰
$\text{CoI}_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	50	粉红→绿
$\text{NiBr}_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	60	绿→兰
$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	69	绿→黄
$\text{CoSO}_4 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	60	粉红→紫色
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	75	粉红→绛红
Ag_2HgI_4	50	黄→橙
Cu_2HgI_4	70	洋红→红棕
HgI_2	126	红→兰

表 二

变 色 颜 料	变色温度 (°C)	颜 色 变 化
$\text{NiNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	120	亮绿色→灰兰
$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	140	粉红色→天兰
NH_4VO_3	150	白色→棕
$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$	160	黄色→黑
$\text{Cd}(\text{OH})_2$	200	白色→黄
$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	250	兰色→棕
$\text{FeO} \cdot \text{OH}$	280	黄色→红棕
PbCO_3	290	白色→黄
CoC_2O_4	300	粉色→黑色
$\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{N}_8\text{Cu}$	310	兰色→升华
CuCO_3	400	亮绿色→暗棕
$\text{C}_{32}\text{HCl}_{15}\text{N}_8\text{Cu}$	460	绿色→升华
Pb_3O_4	600	橙色→黄色
CdSO_4	700	白色→棕
PbCrO_4	800	黄色→绿
$\text{CoO} + \text{Al}_2\text{O}_3$	900	灰色→兰

300°C以上的变色颜料用。

按变色类型可以选用下列物质作变色颜料：

可逆型变色颜料主要是用Ag、Cu、Hg的碘化物、络合物或复盐和钴盐、镍盐与六亚甲基四胺所形成的化合物等。举例如表一。

不可逆变色颜料无机化合物包括的种类很多，经常使用的有铅、铬、镍、钴、铁、镉、锶、锌、锰、铜、钡、镁的硫酸盐、碳酸盐、硝酸盐、磷酸盐、铬酸盐、硫化物、氧化物、氢氧化物或上述两种以上物质组成的混合物。无机颜料包括有镉红、镉黄、锶黄、铬黄、天

兰、钴兰、草青等。有机化合物包括有偶氮颜料、酞菁颜料、芳基甲烷染料等。举例如表二。

漆基:

漆基,是构成示温涂料很重要的组份,依靠它来粘合颜料、均匀展色并使涂层牢固地附着于材料表面。所以一般对漆基的要求是一定要耐温好、附着力强与颜料组份不起化学反应。

漆基的品种和用量对示温涂料的变色性能和生产工艺都有决定性的影响,千万不能忽视。例如:8-羟基喹啉酮在50°C可以失去结晶水,由苹果绿色变为草黄色。当与漆基(环氧改性有机硅树脂)配漆后在80°C失水,出现同样的颜色变化。说明漆基的加入,妨碍8-羟基喹啉酮内结晶水的释放,若需要发生同样的颜色变化必须提高温度才能达到变色目的。

漆基的含量对变色温度也有影响,漆基用量大变色温度高(见表三)和上述道理一样,漆基用量大,漆基密实性高,不利于变色颜料发生化学反应,一般都使变色温度提高。

通常可以选用合成树脂和天然树脂作为漆基。例如:虫胶清漆、醇酸树脂、脲醛树脂、氨基树脂、乙烯类树脂等作低温涂料漆基。选用丙烯酸树脂、环氧树脂、有机硅树脂、酚醛树脂等作高温涂料漆基。

溶剂:

溶剂也是配制涂料的一个基本组份。配方中加入适宜的溶剂,调节漆浆成适当的粘度,以利于涂刷施工与干燥成膜。选择溶剂需要考虑它的挥发速度和与漆基的溶解性。如果溶剂挥发太快,不易施工,漆膜出现刷痕,影响显色;如果挥发太慢,漆膜干燥时间延长,漆膜内各颜料组份将会分层,同样影响变色。

填料:

填料作为示温涂料一种辅助材料,它起助色作用。一些涂料中,由于加入填料,可能改变原来色调的浓度,使颜色变化更加明显。因此选用的填料必须是利于显色、耐温、增强涂

表三 漆基含量对镉黄(与天兰配合)变色性能的影响

颜料/漆基(重量)	变 色 情 况
1:1	640°C 绿色 → 680°C 天兰色
1:0.6	640°C 绿色 → 670°C 天兰色
1:0.4	640°C 绿色 → 660°C 天兰色

表四 不同填料对橙黄变色性能的影响

原 料	涂 料 原 色	变 色 情 况
橙黄, 氟化钡	橙色	橙色 $\xrightarrow{600^{\circ}\text{C}}$ 绿色
橙黄, 二氧化钛	橙色	橙色 $\xrightarrow{770^{\circ}\text{C}}$ 草黄
橙黄, 氧化锌	橙色	橙色 $\xrightarrow{870^{\circ}\text{C}}$ 棕黑
橙黄, 氧化镁	橙色	橙色 $\xrightarrow{890^{\circ}\text{C}}$ 奶黄

表五 硫酸钡不同含量对橙黄变色性能的影响

颜、填料比例	涂 料 原 色	变 色 情 况
橙黄:硫酸钡 1 0.2	橙色	800℃ 红色→850℃ 黑红
1 0.4	橙色	840℃ 深橙→860℃ 灰色
1 0.6	橙色	850℃ 橙色→870℃ 白色

层对底材的附着力。

填料对示温涂料变色性能影响很大，往往由于采用了不同种类或同一种类而用量不同的填料，得到不同变色温度（参看表四、表五）。

可以看出填料对颜料变色性能的影响，取决于填料的种类和用量。所以在设计配方时，应全面考虑，选择适宜的填料，合理的用量，以获得优良的性能。常用的填料有：氧化锌、氧化铝、氧化钙、氧化锑、氧化钛、氧化硅、氧化锆、氧化镁、碳酸钡、碳酸镁、碳酸钙、硫酸钡、偏硼酸钡、高岭土、滑石粉等。

二、示温涂料产品配方及性能

1. 200、250、310℃单变色不可逆示温涂料

这类示温涂料用作炼油厂裂解反应釜外壁测温的超温报警材料。

A. 技术指标：

- (1) 变色温度：200、250、310±10℃（三个品种），
- (2) 变色时间：60分钟以内，
- (3) 变色明显，
- (4) 干燥温度：100℃以内，尽可能常温干燥。

B. 配方及性能（表六）

2. 60—300℃单变色不可逆示温涂料

这类涂料用于测量飞机仪表、蒙皮各部温度分布。

A. 技术指标：

- (1) 温度范围：60—300℃，
- (2) 温度间隔：10℃，
- (3) 升温时间：3分钟，
- (4) 恒温时间：到欲测温度即变色，
- (5) 误差：±5℃，
- (6) 工作环境：相对湿度98%（工作前耐2小时），大气温度30—50℃（工作前在-50℃下耐1.5小时）对变色无影响。

B. 配方及性能（表七）

3. 300—900℃单变色不可逆示温涂料

发动机外壁测温可用这类示温涂料。

A. 技术指标：

表 六

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-1	快靛 4 钛白 7 有机硅树脂(SP 50%)(W-30-1) 57.2 乙基纤维二甲苯丁醇溶液*(SP 14%) 31.4	深兰色 $\xrightarrow[60\text{分钟}]{200\pm 10^\circ\text{C}}$ 白色
SW-单-2	普鲁士兰 4 钛白 2 有机硅树脂(SP 50%)(W-30-1) 56.2 乙基纤维二甲苯丁醇溶液*(SP 14%) 13.4	兰色 $\xrightarrow[60\text{分钟}]{250\pm 10^\circ\text{C}}$ 浅棕色
SW-单-3	酞菁兰 7 钛白 7 有机硅树脂(SP 50%)(W-30-1) 112 乙基纤维二甲苯丁醇溶液*(SP 14%) 50	兰色 $\xrightarrow[60\text{分钟}]{310\pm 10^\circ\text{C}}$ 白色

*: 二甲苯丁醇用量为6:4 (重量比)。

表 七

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-6	8-羟基喹啉铜 (I) 20 钛白 1 虫胶树脂 31	浅苹果绿色 \rightarrow 草黄 50℃ 60℃
SW-单-7	8-羟基喹啉铜 (I) 20 钛白 1 有机硅树脂 (W-30-1) 12	苹果绿色 \rightarrow 草黄 60℃ 70℃
SW-单-8	8-羟基喹啉铜 (II) 100 环氧改性有机硅树脂 28	苹果绿色 \rightarrow 暗苹果绿 70℃ 80℃
SW-单-9	碱性品红 1 钛白 1000 虫胶树脂 781	青莲紫色 \rightarrow 浅兰色 80℃ 90℃
SW-单-10	碱性品红 1 钛白 250 虫胶树脂 130	浅青莲紫色 \rightarrow 兰紫色 90℃ 100℃
SW-单-11	碱性品红 1 钛白 100 虫胶树脂 71	浅青莲紫 \rightarrow 兰紫色 100℃ 110℃

续表七

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-12	碱性橙 1 钛白 125 虫胶树脂 88	浅肉红→灰肉色 110℃ 120℃
SW-单-13	碱性橙 1 硫酸钡 500 虫胶树脂 291	红色→紫红色 120℃ 130℃
SW-单-14	碱性橙 1 碳酸钡 500 虫胶树脂 291	红色→紫红色 130℃ 140℃
SW-单-15	碱式碳酸铅 2.7 乙烯硫脲 1 环氧改性有机硅树脂 3.7	土白色→灰白色 140℃ 150℃
SW-单-16	碱式碳酸铅 2 乙烯硫脲 1 虫胶树脂 1.32	浅豆沙色→深豆沙色 150℃ 160℃
SW-单-17	碳酸铅 2.7 乙烯硫脲 1 环氧改性有机硅树脂 3.7	浅豆沙色→深豆沙色 160℃ 170℃
SW-单-18	碳酸铅 1000 乙烯硫脲 375 虫胶树脂 51	(过渡色) 深豆沙色→黑色 170℃ 180℃
SW-单-19	碱性品绿 1 碱式碳酸铅 625 虫胶树脂 282	(过渡色) 暗湖绿色→豆灰色 180℃ 190℃
SW-单-20	碱性艳绿 1 碱式碳酸铅 1000 虫胶树脂 460	(过渡色) 浅绿色→灰绿色 190℃ 200℃
SW-单-21	碱性品绿 1 碱式碳酸铅 250 虫胶树脂 88	(过渡色) 浅绿色→灰白色 200℃ 210℃
SW-单-22	碱性品绿 1 碱式碳酸铅 125 虫胶树脂 44	(过渡色) 浅绿色→灰绿色 210℃ 220℃
SW-单-23	碱性品绿 1 碳酸铅 125 虫胶树脂 44	(过渡色) 浅绿色→浅灰色 220℃ 230℃

续表七

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-24	碱性品绿 1 奶黄 100 虫胶树脂 20	(过渡色) 黄绿色—→茶色 230℃ 240℃
SW-单-25	碱性艳兰BO 1 碱式碳酸铅 1000 虫胶树脂 460	灰兰色—→暗白色 240℃ 250℃
SW-单-26	碱性品绿 1 浅铬黄 ^{2*} 1000 虫胶树脂 581	(过渡色) 黄绿色—→草黄色 250℃ 260℃
SW-单-27	碱性艳兰BO 1 碱式碳酸铅 125 虫胶树脂 28	(过渡色) 浅灰兰色—→灰白色 260℃ 270℃
SW-单-28	碱性艳兰R 1 奶黄 1000 虫胶树脂 390	(过渡色) 兰灰棕色—→浅棕色 270℃ 280℃
SW-单-29	碱性艳兰BO 1 奶黄 125 虫胶树脂 29	(过渡色) 棕绿色—→浅棕色 280℃ 290℃
SW-单-30	碱性艳兰BO 1 中铬黄 125 虫胶树脂 88	(过渡色) 暗黄绿色—→暗棕黄 290℃ 300℃

表 八

编 号	配 方 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-31	草 酸 钴 1 钛 白 0.1 HW-28树 脂 0.66	浅 粉 色—→黑 色 280℃ 290℃
SW-单-32	草 酸 镉 1 HW-28树 脂 0.8	(过渡色) 棕黄色—→深棕 340℃ 350℃
SW-单-33	酞 菁 兰 B 1 氧 化 锌 3 HW-28树 脂 0.24	兰 色—→白 色 390℃ 400℃
SW-单-34	酞 菁 绿 1 钛 白 1.5 HW-28树 脂 1.5	浅绿色—→白 色 450℃ 460℃

续表八

编 号	配 方 (重量比)	变 色 性 能
SW-单-35	橙 黄 1 硼 酸 锌 0.4 偏 硼 酸 钡 0.6 HW-28树 脂 0.6	(过渡色) 浅棕绿色→绿色 490℃ 500℃
SW-单-36	橙 黄 1 偏 硼 酸 钡 3 HW-28树 脂 3.2	浅橙色→黄色 540℃ 550℃
SW-单-37	橙 黄 1 磷 酸 三 钙 2.5 HW-28树 脂 2.1	(过渡色) 稻 黄→鲜 黄 580℃ 590℃
SW-单-38	镉 黄 1 铬锡红(粗料) 1.6 HW-28树 脂 0.64	黄 色→棕 色 630℃ 640℃
SW-单-39	镉 黄 1 天 兰 0.6 HW-28树 脂 0.96	黄 色→兰 色 650℃ 660℃
SW-单-40	镉 黄 1 钛 白 0.2 HW-28树 脂 0.72	黄 色→白盖棕 670℃ 680℃
SW-单-41	镉 黄 0.6 搪 瓷 红 1 HW-28树 脂 1.28	黄 色→粉 色 700℃ 710℃
SW-单-42	镉 黄 1 玛 瑙 红 ^{594*} 0.6 HW-28树 脂 0.64	黄 色→粉 色 740℃ 750℃
SW-单-43	橙 黄 1 石 英 粉 0.3 HW-28树 脂 0.39	(过渡色) 暗红色→橙黑色 790℃ 800—810℃
SW-单-44	橙 黄 1 硫 酸 钡 0.4 HW-28树 脂 0.56	橙 色→黑灰色 840℃ 850℃
SW-单-45	橙 黄 1 氧 化 镁 0.6 锶 钙 黄 0.3 HW-28树 脂 0.75	浅橙色→奶黄色 880℃ 890℃

(1) 温度范围: 300—900℃,

(2) 误差: ±10℃,

(3) 升温时间: 3分钟,

(4) 恒温时间: 3分钟,

(5) 附着力强, 抗震性好。

B. 配方及性能 (表八)

4. 400—600°C多变色不可逆示温涂料

用这类示温涂料测量飞机发动机涡轮盘等温度。

A. 技术指标:

- (1) 温度范围: 400—600°C,
- (2) 变色明显、性能稳定,
- (3) 变色间隔: 400—600°C区间每间隔50°C有一变色点, 中间有过渡颜色变化,
- (4) 误差: $\pm 20^\circ\text{C}$,
- (5) 升温规律: 从室温升至最大工作状态温度约为 2—20分钟,
- (6) 恒温时间: 从室温升至最大工作状态每次恒温为 2—10分钟, 连续数次, 反复时间最多共 1—3 小时。

B. 配方及性能 (表九)

5. 550—900°C, 600—800°C多变色不可逆示温涂料

用这类示温涂料测量飞机发动机火焰筒温度分布。

A. 技术指标:

- (1) 温度范围: 550—900°C和600—800°C (两个品种),
- (2) 变色明显、性能稳定,
- (3) 变色间隔: 在该温区间不少于四个变色点,
- (4) 误差: $\pm 20^\circ\text{C}$,
- (5) 恒温时间: 5—10分钟,
- (6) 在小于0.9M、振动系数小于10g时附着良好,
- (7) 工作气氛: 煤油燃烧产物和大量空气混合物,
- (8) 耐煤油, 对零件表面无腐蚀作用。

B. 配方及性能 (表十)

6. 600—750°C, 790—960°C多变色不可逆示温涂料

用这类示温涂料测量飞机发动机发散叶片温度分布。

A. 技术指标:

- (1) 温度范围: 600—750°C和790—960°C,
- (2) 变色间隔: 600—750°C区间最少出现4—5个变色点, 790—960°C区间有5个变色点,

表 九

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能	
SW-多-1	镉红	2	墨绿色 $\xrightarrow{400^\circ\text{C}}$ 墨绿红 $\xrightarrow{450^\circ\text{C}}$ 砖红色 $\xrightarrow{500^\circ\text{C}}$ 酱紫色 $\xrightarrow{550^\circ\text{C}}$ 淡灰绿色 $\xrightarrow{600^\circ\text{C}}$ 芽绿色
	中性碳酸铅	2	
	草青 ^{241*}	1	
	氧化钙	1	
	酞菁绿	0.4	
	HW-28树脂	3.84	

- (3) 误差: $\pm 10^{\circ}\text{C}$,
 (4) 恒温时间: 10—20分钟,
 (5) 耐气流冲刷, 耐煤油, 常温干燥, 使用后易清除。

B. 配方及性能 (表十一)

表 十

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-多-4	镉红 1 锆黄 ^{001*} 1.2 氧化铝 0.3 偏硼酸钡 0.3 碳酸钡 0.3 氧化钴 0.1 HW-28树脂 2.24	棕红色 $\xrightarrow{550^{\circ}\text{C}}$ 红黄色 $\xrightarrow{600^{\circ}\text{C}}$ 青黄色 $\xrightarrow{700^{\circ}\text{C}}$ 浅棕色 $\xrightarrow{800^{\circ}\text{C}}$ 浅绿色 $\xrightarrow{900^{\circ}\text{C}}$ 兰绿色
SW-多-5	镉红 1 中铬黄 1 氧化铝 0.3 偏硼酸钡 0.4 石英粉 0.1 三氧化二钴 0.1 HW-28树脂 1.74	棕黄色 $\xrightarrow{550^{\circ}\text{C}}$ 稍浅 $\xrightarrow{600^{\circ}\text{C}}$ 青黄色 $\xrightarrow{650^{\circ}\text{C}}$ 中黄色 $\xrightarrow{700^{\circ}\text{C}}$ 橙黄色 $\xrightarrow{750^{\circ}\text{C}}$ 果绿色 $\xrightarrow{800^{\circ}\text{C}}$ 绿色 $\xrightarrow{850^{\circ}\text{C}}$ 墨绿色 $\xrightarrow{900^{\circ}\text{C}}$ 兰绿色
SW-多-3	镉红 1 中铬黄 1.2 三氧化二钴 0.6 偏硼酸钡 0.8 石英粉 0.2 钴兰 0.5 深兰绿 0.3 氧化镉 0.5 HW-28树脂 3.1	棕红色 $\xrightarrow{570^{\circ}\text{C}}$ 土黄色 $\xrightarrow{610^{\circ}\text{C}}$ 橙色 $\xrightarrow{660^{\circ}\text{C}}$ 黄绿色 $\xrightarrow{720^{\circ}\text{C}}$ 兰绿色 $\xrightarrow{780^{\circ}\text{C}}$ 墨绿色

三、示温涂料检验设备

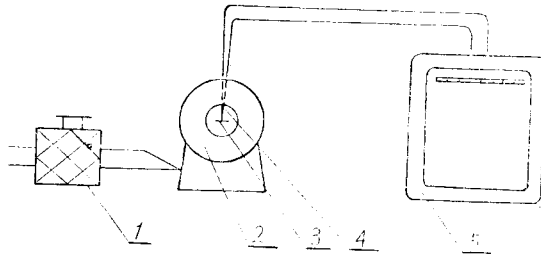
示温涂料是在一定条件下发生变色, 如果条件改变, 就得不到预定的结果 (在第五部分详述)。所以确定配方必须选择一个与实际使用环境相近似的检验设备 (即可以模拟使用环境), 进行检验, 以保证在实物上测温的可靠性。

列举简单的检验设备有:

1. 管式炉

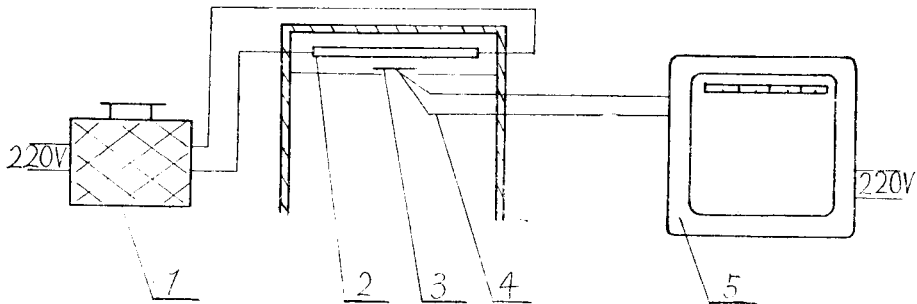
管式炉检验设备如图一。

管式炉通过电炉丝加热变压器控制温度, 可使炉内预先达到恒定温度, 再将试片推进炉膛内, 由自动电子电位差计记录温度。一般要求慢速升温, 有一定恒温时间, 要求空气环境中使用的示温涂料采用这种检验设备。



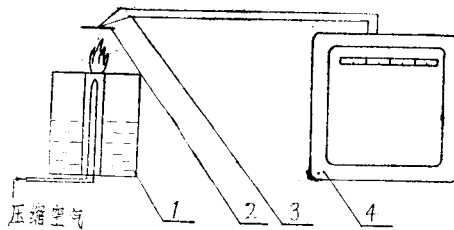
图一 管式炉

1 变压器 2 管式炉 3 试片 4 热电偶 5 自动电子电位差计



图二 碘钨灯

1 变压器 2 碘钨灯 3 试片 4 热电偶 5 电子电位差计



图三 喷灯

1 煤油喷灯 2 试片 3 热电偶 4 电子电位差计

2. 碘钨灯

碘钨灯检验设备如图 2 所示。

碘钨灯是由数十支（根据温度要求可适当增加或减少根数）220V，1000W 碘钨灯管排列组成一个平面或弧形面，试片放在灯组下面涂层朝下与热电偶相接，根据升温曲线用变压器控制加热。自动电子电位差计指示温度。一般要求快速升温，空气环境中使用的示温涂料例如 60—300°C 示温涂料采用此设备检验，测温效果与实际基本符合。

3. 喷灯

喷灯检验设备如图三。

喷灯容器内可根据使用要求加入柴油、煤油等，借助空气燃烧创造一个燃气气氛。试片涂层朝下，在火焰上面受热，自动电子电位差计记录温度。

一般在接触火焰或燃气环境中使用的示温涂料，采用这种检验设备测得结果与实际比较符合。

表十一

编 号	组 成 (重量比)	变 色 性 能
SW-多-2	镉红 2	砖红色 $\xrightarrow{600^{\circ}\text{C}}$ 砖黄色 $\xrightarrow{620^{\circ}\text{C}}$ 黄绿色 $\xrightarrow{650^{\circ}\text{C}}$ 棕色 $\xrightarrow{680^{\circ}\text{C}}$ 豆绿色 $\xrightarrow{720^{\circ}\text{C}}$ 翠青色 $\xrightarrow{>750^{\circ}\text{C}}$ 深翠 青色
	镉黄 ^{201*} 1.3	
	草青 ^{241*} 1	
	海碧 ^{120*} 0.8	
	镉黄 1	
	HW-28树脂 1	
SW-多-6	橙黄 9	黄色 $\xrightarrow{790^{\circ}\text{C}}$ 橙色 $\xrightarrow{840^{\circ}\text{C}}$ 洋红色 $\xrightarrow{890^{\circ}\text{C}}$ 白灰色 $\xrightarrow{915^{\circ}\text{C}}$ 棕色 $\xrightarrow{>950^{\circ}\text{C}}$ 绿色
	镉钙黄 2	
	浅铬黄 ^{2*} 5	
	硫酸钡 5	
	氧化镁 1	
	HW-28树脂 6.6	

注：表八、九、十、十一，中HW-28树脂即是环氧改性有机硅树脂。

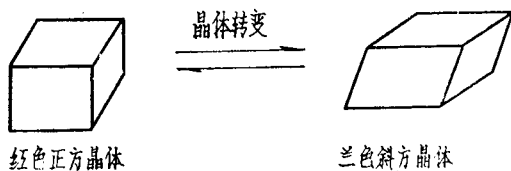
四、示温涂料变色机理

示温涂料受热引起颜色变化的原因是多种多样的。有物理变化也有化学变化，例如颜料受热时发生晶型转变，pH值变化，失去结晶水，升华，熔融，氧化，分解，固相反应等都能引起颜色变化。下面分别进行叙述。

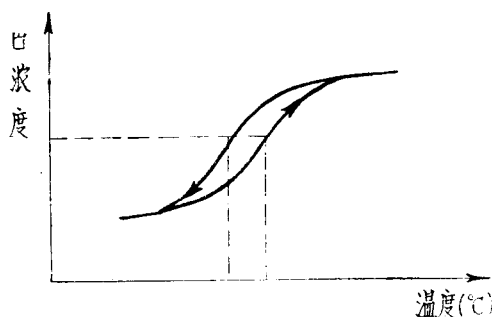
1. 可逆型示温涂料变色机理

晶型转变：

有一些物质，当加热到一定温度时，可以由一种晶型转变成另一种晶型，引起固有颜色的改变。当冷却后，重新回到室温时的稳定晶型，同时颜色也恢复到原来的颜色。例如：碘化汞 (HgI_2) 为红色正方晶体，在 126°C 变为兰色斜方晶体，见图四。



图四 晶型转变示意图



图五 晶型转变过程与恢复过程颜色色调与温度对应关系