

辐射交联自控温电热带的研制

许久福 邵文海 周世良

(吉林市辐射化学研究所, 吉林市)

摘要 自控温电热带是国外近年来的新产品, 其特点是节电、安全, 广泛应用于对管道、阀门、储罐等的保温。本文报道了稳态温度 55℃(FJ-A型)、85℃(FJ-B型)两种型号的辐射交联自控温电热带的研制结果, 并简述了其结构、性能、制作及讨论了工作原理。

关键词 自控温电热带, 辐射交联, “记忆效应”

引 言

随着工业的发达, 许多部门的液体原料的运输逐渐实现了管道化, 但输送管道大部分都在户外, 而输送的液体很多需要保温, 否则粘度变高甚至凝固, 因此必须对管道进行保温和防冻, 这在北方寒冷地区尤为必要。

早期, 多用耗能很大的蒸气管道伴热及电炉丝加热。从60年代开始, 美国 Raychem 公司研制采用一种半导体塑料, 其电阻能随温度作非线性变化, 且具有正温度系数, 从而自动调整热输出功率, 达到保温和控温的目的。这种材料制成的电热带有两大特点: (1) 可在任何长度上截断而不影响使用, 所以敷设安装方便; (2) 可在任何一点进行自动温度调节。这种自控温电热带的优点是: (1) 节约能源; (2) 使用简便; (3) 控温保温效果好; (4) 使用寿命长; (5) 抗腐蚀、维护方便。到70年代, 该产品已由 Raychem 公司发展成 Chemelex Auto-Trace 系列产品^[1]。从1980年起, 市场每年增长约在30%以上。为了适应国内工业发展的需要, 我们在吉林市电线厂的协作下研制成功55、85℃两种温度的辐射交联自控温电热带, 经长期通电运行考验后目前正在一些部门试用。

实 验

1. 原料

- (1) 导电半导体 高聚物: 聚乙烯等; 导电材料: 导电炭黑等; 助剂: 抗氧剂等。
- (2) 绝缘料 聚乙烯电缆护套料或阻燃型辐射交联聚乙烯料。
- (3) 导线: 镀锡铜线。

2. 导电半导体复合物的混料

- (1) 设备: SK-160 B型双辊筒炼塑机; (2) JL-200 A型切粒机。
- (2) 混料: 较准确的称取一定量高聚物, 在已加热至所需温度的双辊筒炼塑机上辊压塑化, 并将抗氧剂等助剂按量加入, 然后将导电炭黑逐渐加入, 加料完毕后, 控制厚度及时间, 混均匀后及时拉成片状出料, 冷却后在切粒机上切粒。

3. 电热带成型

- (1) 芯带的成型 用混好的半导体料及镀锡铜绞线在电线挤出机上配以专用的模具, 成型为

一定宽度和厚度的类似于电视机天线馈线的平行线。

(2) 护套成型 将成型好的芯带再在电线挤出机上用专用的护套模具用聚乙烯阻燃料或其它护套料进行护套成型，使其各部厚度均匀，起到绝缘保护作用。

4. 电热带的辐射交联

(1) 设备 地那米电子加速器，美国辐射动力公司 (RDI) (DYNAMITRON INDUSTRIAL ELECTRON BEAM ACCELERATOR SYSTEM MODEL 3000/40/915 IN-LINE)生产。

(2) 辐照：将成型好的电热带缠绕在大的滚筒上匀速转动，使其均匀接受高能电子束的照射，待达到所需剂量即成为辐射交联的自控温电热带。根据不同的需要，在这种电热带外层还可加金属丝编织的屏蔽层或在屏蔽层外再加一层外护套。典型的自控温电热带的结构见图 1。

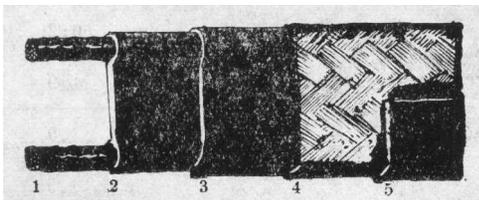


Fig 1. Typical construction of SCT heater

1. Tinned copper wire;
2. Semi-conductive core;
3. Insulating jacket;
4. Tinned copper braid shield;
5. Outer jacket

实 验 结 果

经研究，目前已制得两种型号即 FJ-A 型及 FJ-B 型辐射交联自控温电热带，其性能测试结果及结构常数见表 1—3，电性能及温度等关系如图 2、3 所示。

所制得的自控温电热带通电试验测得，在无负载时，通电立即升温，瞬间电流快速减小，当温度达恒温时电流变得很小(达 mA 级)，且对外界温度的变化反应十分灵敏。当环境温度较低时它输出较多的热量，反之则输出较少

Tab 1. Stretch and aging properties of semiconductive core of SCT heater (Radiation dose $1.2 \times 10^5 \text{Gy}$)

Property	FJ-A			FJ-B		
	Before aging	After aging	K	Before aging	After aging	K
Tensile strength(MPA)	13.7	14.8	1.08	13.9	13.7	0.99
Elongation at break(%)	338.7	322	0.95	307	267	0.87

Tab 2. Properties of SCT heater

Property	FJ-A	FJ-B
Voltage (V)	220 ± 15	220 ± 15
Moment start current(A/m)	0.5	0.8
Start time (s)	<0.5	<0.5
Stable (unload) Current(A/m)	0.07	0.13
Stable (unload) Output (W/m)	15	30
Stable temperature(°C)	55 ± 2	85 ± 2

Tab 3. Construction parameter of crosslinked SCT heater

Class	Item	Size
Outersize	Width(mm)	9.0 ± 0.2
	Thickness(mm)	3.6 ± 0.2
	Width of semiconductor core(mm)	8.0 ± 0.3
	Thickness of semiconductor core(mm)	2.1 ± 0.2
	Thickness of insulating jacket(mm)	0.5
Wire dimension	Gauge of single wire(SWG)	33 [#]
	Single wire(mm)	0.26
	Number of spliced wire(根)	19
	Conductor section area(mm ²)	1.0
	Outer diameter(mm)	1.55
	Spliced wire quantity(kg/km)	9.0
	Permission current density(A/mm ²)	5

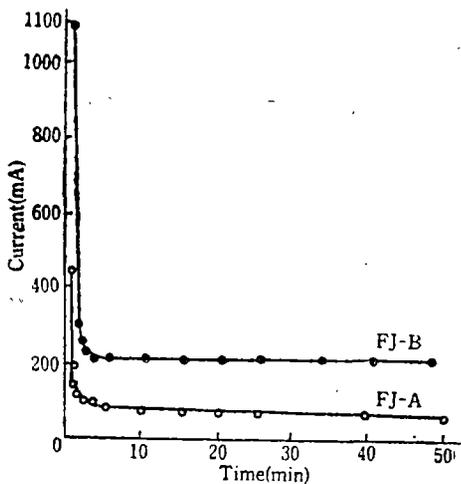


Fig 2. Relation of current with conductive time (FJ-A 3 meters long, FJ-B 2 meters long)

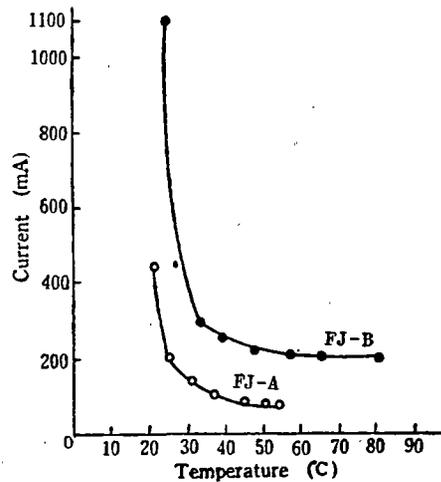


Fig 3. Relation of current with temperature (FJ-A 3 meters long, FJ-B 2 meters long)

的热量。当环境温度处于某种状态下,系统达到热稳定输出。

电热带的结构是无限级并联带状物,所以在其长度内的任何局部,都单独形成适应环境温度变化的自动(温度-功率输出)调节效能,因而也就具备了任意切断或加长的可能,这对现场施工安装极为方便。电热带的外层根据需要可用阻燃聚乙烯复合材料,防止火灾事故。由于已经辐射交联,因此耐温较高,其它各种性能,如耐化学性、耐老化性,耐应力开裂及物理机械性能均较好,使用寿命亦长。

讨 论

(1) 自控温原理: 导电微粒(如导电炭黑)与具有一定结晶度的高聚物共混, 均匀地分散于高聚物中, 当达一定密度时, 导电微粒彼此接触, 通电时这种复合物就成为半导体加热“元件”。

这种复合物经一定剂量高能射线辐照后则产生交联, 并使其具有“记忆效应”^[2], 由于交联使高聚物形成网状结构, 外观稳定性提高。当通电时半导体的微观状态的变化起到了自控温作用。

当处于冷态时, 处在微观“收缩”状态, 此时导电炭黑构成了许多电的通路, 当通电时立即发热, 就使其很快进入微观“膨胀”状态, 拉大了炭-炭粒间的距离, 使部分原来接触不甚紧密的能够离开, 造成部分电的通路中断, 反映在这一区域的电阻增加, 电流减少, 当温度再高时, 进入微观“剧烈膨胀”状态, 使很大数量的相邻炭黑微粒脱离接触, 几乎所有电的通路都中断, 反映出在这一区域有较高的电阻, 电流很小, 发热功耗甚微。

由于在选定的剂量下, 辐射交联主要发生在高聚物的无定形区^[3,4], 晶区状态基本得以保持, 故当温度足够高时, 结晶熔融, 在一定配方情况下, 结晶熔融温度是固定的, 加之这种交联聚合物的“记忆效应”, 就使“剧烈膨胀”状态得以严控。反之, 温度逐渐降低时, 则由“微观膨胀”变为“微观收缩”, 电流通路增加, 发热增加, 达到温度自控。

(2) 高聚物的选择是制成不同温度等级的自控温电热带的主要条件。各种结晶高聚物的结晶熔融温度不同, 结晶的熔融又是影响微观“剧烈膨胀”状态的重要因素, 因此在制作不同温度等级自控温电热带时必须选用不同的高聚物。如用高压聚乙烯只能获中等温度, 如用含氟高聚物则可制得高温度的电热带。

(3) 导电炭黑用量的影响: 根据大量的配方试验结果看到, 炭黑用量过大在其微观“膨胀”乃至“剧烈膨胀”状态, 炭-炭微粒仍处于接触, 达不到中断电路控制, 这样尽管材料已经交联、性能很好, 但在较高的电压下也会被击穿, 达不到安全使用的目的。相反, 如果导电炭黑的用量过低, 则由于接触炭黑的量过少, 通电后电流量很小, 发热量过低, 当转入到微观“膨胀”时则基本上炭-炭完全脱离接触, 电流中断, 达不到高聚物结晶熔融的温度, 因此所制得的电热带虽然也能控温, 但达不到应有的自控温的最高温度, 甚至无使用价值。因此所加的导电炭黑的量必须严格控制。

(4) 混料条件的影响^[5]: 就炭黑而言, 一方面可以利用其导电性能, 另一方面也可以利用其电阻性能, 当电子能够在炭黑分散均匀的复合物中流动时, 产生导电性。如炭黑颗粒较细、结构高和表面挥发度低, 在适当浓度下分散得均匀时就出现这种情况。高结构炭黑具备粒子紧密堆积的网状链, 因而建立了电子流动的通道。如果混料条件掌握不好, 如混料时间过长, 在过分分散的情况下, 可能出现超剪切现象, 会导致链的断裂, 引起导电性的降低, 故一定要注意混炼时间及剪切力的控制, 避免炭的导电结构的破坏。混炼时间与电阻变化的实例见表 4。

Tab 4. The effect of milling time on volume resistance

Composite	Milling time (min)	Dispersion*	Resistance (Ohm-cm)		
			Room temperature	Heat to 120°C	Cool to room temperature
EVA included	2	5.9	58	252	243
30% carbon black	5	3.7	36	128	196
	10	3.9	176	416	523

* 用光学显微镜观察。

我们在原材料立足于国内并结合本单位的技术条件, 企图由简单到复杂的研究和开发成系列产品。经大量的试验, 虽然已制成两种产品, 但性能和美国的比较尚有一定的差距, 如瞬间启动电流略大于美国相近等级的产品, 尤其是功率大的型号有待于进一步改进提高。

参 考 文 献

- [1] 朱中注, 成永红, 电线电缆, 5, 21(1987)。
 [2] A. J. Swallow "Radiation Chemistry of Organic Compounds", Chapter 9, Pergamon Press Oxford London, New York, Paris, 1960, 269—270。
 [3] H. Jenkins and A. Keller. J. Macromol. Sci, Phys., B 11, 301(1975)。
 [4] G. N. Patel and A. Keller, J. Polym. Sci. Phys. Ed., 13, 305(1975)。
 [5] H. S. Katz and J. V. Milewski, Handbook of Fillers and Reinforcements for Plastics, Chapter 6, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1978。
 [类] H.S.卡茨, J.V.米路西凯编, 李佑邦, 张留城, 吴培熙, 葛世诚等译, 塑料用填料及增强手册, 化学工业出版社, 1985年4月, 北京, 第一版, 第258页。

(稿件收到日期: 1988年1月2日)

RESEARCH FOR PREPARATION SELF-CONTROLLING TEMPERATURE HEATER USING RADIATION CROSSLINKING

Xu Jiufu, Shao Wenhai and Zhou Shiliang
 (Jilin City Radiation Chemistry Research Institute, Jilin)

ABSTRACT Self-Controlling-Temperature Heater is a new product. Its characteristics are safety and saving power. It is extensively applied in keeping temperature of pipelines, valves, storage tanks and so on. With the help of JiLin City Wire Plant, We have successfully made two types self-controlling-temperature heaters, stable state temperature 55°C (FJ-A type) and 85°C (FJ-B type). In this paper, the work principle, the construction, properties and manufacture method of self-controlling-temperature heater are described.

KEY WORDS Self-controlling-temperature heater, Radiation crosslinking; Memory effect