

热保护型熔断电阻器在手机充电器等开关电源中的应用

Application of Thermal-link & Fusing Resistor in Switched-mode Power Supply such as Travel Adapter

林绿波 许由生

(厦门赛尔特电子有限公司 技术中心 厦门 361101)

摘要: 本文介绍了电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV、线绕熔断电阻器四种电路保护方案在手机充电器中做主电路过流过压保护的优缺点。介绍了热保护型熔断电阻器 (Thermal-link & Fusing Resistor, 简称 TRXF) 的结构与性能特点, 并试验验证其手机充电器中的半短路故障中的优异保护性能。最后简要介绍了热保护型熔断电阻器的应用前景和标准化需求。

关键词: TRXF; 手机充电器; 开关电源; 电路保护

Abstract: This paper introduces the advantage and disadvantage of four circuit protection solutions :current fuse, current fuse with NTC, current fuse with NTC and MOV, fusing resistor applied in travel adapter for over current protection and over voltage protection. It also introduces the structure and performance feature of Thermal-link & Fusing Resistor, verifying the benefit of Thermal-link & Fusing Resistor in protecting against small fault current in travel adapter by experiment. At last it introduces the application prospect and standardization requirement for Thermal-link & Fusing Resistor.

Key words: Thermal-link & Fusing Resistor; travel adapter; switched-mode power supply; circuit protection

前言

与线性电源相比, 开关电源的容量更大、体积更小、重量更轻 (体积和重量只有线性电源的 20 %~30 %)、效率更高 (> 75 % , 而线性电源仅为 20 %~30 %)、自身抗干扰性强、输出电压范围宽、模块化。目前, 手机充电器的电源基本为开关电源。好的开关电源主要由输入电网滤波器、输入整流滤波器、逆变器、输出整流滤波器、控制电路和保护电路组成。其中保护电路一般有空载、过流和过压等保护, 缺少这些保护可能导致开关电源或负载损坏、烧毁。早期, 针对手机充电器等小功率开关电源的过流保护一般采用在其输入的最前端安置过流保护元件。然而, 随着对手机充电器安全性能要求不断提高, 除了要求有过流保护外, 还要求手机充

电器具有一定的抗雷击浪涌能力、开机浪涌和较好的半短路保护能力, 来确保手机充电器的使用寿命和使用安全。

对于手机充电器输入端的过流过压保护, 目前业内一般采用电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV 或线绕熔断电阻器之类的电路保护方案。

以上几种过流过压保护方案在手机充电器等小功率开关电源中有着广泛的应用, 但各自在电性能、安装空间和成本上也存在着各自的优缺点。

1 过流过压保护方案的性能比较

1.1 抗雷击浪涌能力比较

手机充电器的雷击浪涌评估多数采用 IEC 61000-4-5 的组合波（8/20 μ s，1.2/50 μ s，内阻 2 Ω ）进行评估，一般要求对 0°，90°，180°，270° 四个相位角，每个相位角进行正反各 5 次的雷击浪涌冲击，每次冲击间隔时间 1 min，共冲击 40 次而不发生失效。

对于手机充电器的抗浪涌能力，各个国家和地区有着不同的要求，欧美市场的整机抗浪涌要求一般为 1.0 kV，但近年来也在不断提升抗雷击标准，巴西、韩国、日本和中国市场要求一般为 2.0 kV。即手机充电器整机雷击 2.0 kV 的要求已逐步成为设计的最低标准。

目前业内应用于手机充电器等小功率开关电源的前端主电路的保护方案一般有电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV、线绕熔断电阻

器等，以上保护方案的抗雷击浪涌的效果对比如表 1 所示。

1.2 开机浪涌抑制比较

对于开关电源而言，滤波电路必不可少，在充电器连入电网瞬间，滤波电容处于短路状态，从而形成很大冲击电流，即所谓的开机浪涌。

电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV、线绕熔断电阻器等电路保护方案对开机浪涌的抑制效果也存在明显的差异，具体如表 2 所示。

1.3 短路故障保护比较

开关电源中的整流桥、滤波电容和 MOS 管在使用过程中，均有可能因元件老化、元件自身缺陷或过大的电流、电压冲击等原因而出现直接击穿短路的现象。

表 1 四种电路保护方案的抗雷击浪涌保护对比

方案	元件参数	对雷击浪涌的抑制效果
A 电 流 保 险 丝	一般使用慢断型、额定电流在 1.6 A~3.15 A 的超小型电流保险丝（矩形保险丝，管状保险丝）	虽可承受 2.0 kV 的雷击浪涌冲击，但由于自身阻抗小，对雷击浪涌无抑制作用，单独使用时，保险丝后端的元件，如整流桥、滤波电容、MOS 管易在雷击浪涌冲击的作用下提前失效。故现有手机充电器很少单独使用电流保险丝做前端的电路保护。
B 电 流 保 险 丝 +NTC	在 A 方案的基础上增加 Φ 5 mm 或 Φ 7 mm，5 Ω ~10 Ω 的 NTC	在冷机状态下，电流保险丝 +NTC 的方案可较好地减弱雷击浪涌对后端元件的冲击，但由于 NTC 的负温度系数特性，当整机处于热机状态下，NTC 阻值下降明显，削弱了雷击浪涌的抑制能力，从而降低了雷击保护效果。
C 电 流 保 险 丝 +NTC +MOV	在 B 方案的基础上增加 Φ 7 mm 和 Φ 10 mm 的 MOV	此方案可有效的抑制雷击浪涌对手机充电器的冲击，可明显提升手机充电器的耐雷击浪涌冲击寿命。雷击浪涌要求越高，MOV 越是必不可少，但也增加了成本，增大了电路板布局需求，同时 MOV 存在因雷击冲击后热击穿和短路失效的情况，新增了着火隐患。
D 线 绕 熔 断 电 阻 器	2 Ω ~15 Ω 的 1 W~2 W 的线绕熔断电阻器	此方案可承受较高雷击浪涌冲击，同时对雷击浪涌有良好的抑制作用，削弱了雷击浪涌对保险电阻后端元件器的冲击，对后端元件具有较好的保护作用。但当雷击浪涌要求远大于 2.0 kV 时（如 $\geq$ 5 kV 时），小功率的线绕熔断电阻器一般难以满足要求。

表 2 各种保护方案的开机浪涌抑制效果对比

方案	元件参数	对开机浪涌的抑制效果
A 电 流 保 险 丝	一般使用慢断型、额定电流在 1.6 A~3.15 A 的超小型电流保险丝（矩形保险丝，管状保险丝）	虽有很好的抗开机浪涌的冲击能力，但由于自身阻抗小对浪涌无抑制作用，单独使用时，保险丝后端的元件，如整流桥、滤波电容、MOS 管易受开机浪涌的冲击而提前失效。故一般很少单独使用电流保险丝做前端的电路保护。
B 电 流 保 险 丝 +NTC	在 A 方案的基础上增加 Φ 5 mm 或 Φ 7 mm，5 Ω ~10 Ω 的 NTC	在冷机状态下，此方案可在很大程度上减弱了开机浪涌对保险丝后端元件的冲击，但由于 NTC 的负温度系数特性，当手机充电器热机状态下再次插拔时，由于此时 NTC 阻值下降明显，其对开机浪涌的抑制能力会大大降低。
C 电 流 保 险 丝 +NTC +MOV	在 B 方案的基础上增加 Φ 7 mm 和 Φ 10 mm 的 MOV	一般而言 MOV 的阈值电压高于开机浪涌电压，MOV 对开机浪涌无抑制作用，此方案的开机浪涌抑制效果与 B 方案相同。不仅增加了成本，增大了电路板布局需求，同时 MOV 存在因雷击冲击后热击穿和短路失效的情况，新增了着火隐患。
D 线 绕 熔 断 电 阻 器	2 Ω ~15 Ω 的 1 W~2 W 的线绕熔断电阻器	由于其阻抗特性，对开机浪涌具有很好的抑制作用，对后端元件具有较好的保护作用。正常使用过程中其阻抗保持不变或略有增加，不会因正常使用过程中的多次插拔而削弱了其开机浪涌的抑制能力。

为避免用户在正常使用过程中因短路故障，导致空开跳闸，开关电源前端的过流保护元件在短路断开过程必须能够及时且安全的断开而不产生附加的损害，不允许出现元件炸开、出现明显的爆破音等，以避免惊吓到使用者。

电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV、线绕熔断电阻器等保护方案短路保护效果也存在明显的差异，具体如表 3 所示。

1.4 半短路故障保护比较

开关电源中的整流桥、滤波电容和 MOS 管在使用过程中,均有可能因元件老化、元件自身缺陷或过大的电流、电压冲击等原因而出现软击穿而导致漏电流增大的现象，即所谓的半短路故障。

电流保险丝、电流保险丝配套 NTC、电流保险丝配套 NTC 和 MOV、线绕熔断电阻器等保护方案半短路保护效果对比如表 4 所示。

2 热保护型熔断电阻器的结构与性能

为解决电流保险丝配套 NTC 使用时，热机开机浪涌抑制效果差和雷击浪涌保护不足、半短路保护效果一般的问题，为降低 MOV 因漏电流增加而出现的着火风险和解决线绕熔断电阻器半短路保护效果差的问题，厦门赛尔特率先开发出了一款温度保险丝内置于绕线电阻内部的，具有良好的开机浪涌抑制能力、良好的雷击浪涌保护能力、良好的短路抗爆性和优异的半短路保护能力的新型功率电阻器，即热保护型熔断电阻

表 3 四种保护方案的短路保护效果对比

方案	元件参数	短路保护效果
A 电流保险丝	一般使用慢断型、额定电流在 1.6 A~3.15 A 的超小型电流保险丝（矩形保险丝，管状保险丝）	短路阻抗小，通常直接击穿的短路电流会大于其分断能力，易出现外壳炸开，产生明显爆破音。
B 电流保险丝 +NTC	在 A 方案的基础上增加 Φ5 mm 或 Φ7 mm，5 Ω~10 Ω 的 NTC	NTC 的阻抗作用，使得具有较好分断能力的电流保险丝能够及时且安全的断开。
C 电流保险丝 +NTC+MOV	在 B 方案的基础上增加 Φ7 mm 和 Φ10 mm 的 MOV	同方案 B。
D 线绕熔断电阻器	2 Ω~15 Ω 的 1 W~2 W 的线绕熔断电阻器	通过合理的电阻丝设计，通常具有较好的短路抗爆性。部分亦可通过在本体增设套管、外壳等模式进一步提升其短路抗爆性。

表 4 四种保护方案的半短路保护效果对比

方案	元件参数	半短路保护效果
A 电流保险丝	一般使用慢断型、额定电流在 1.6 A~3.15 A 的超小型电流保险丝（矩形保险丝，管状保险丝）	为保证具有足够的雷击浪涌和开机浪涌承受能力，电流保险丝的额定电流通常为其正常工作电流的（5~10）倍，其熔断电流更是其正常工作电流的（10~20）倍。满足 IEC 60127 标准的电流保险丝自身在断开前 30 s 其表面温升不超过 150 K ^[1-2] ，自身无着火隐患，但对整机而言，工作电流与断开电流差异大，半短路产生的故障电流很可能达不到断开电流，有可能出现后端元件烧毁而保险丝未断开现象，故其半短路保护效果相对一般。
B 电流保险丝 +NTC	在 A 方案的基础上增加 Φ5 mm 或 Φ7 mm，5 Ω~10 Ω 的 NTC	同方案 A。
C 电流保险丝 +NTC+MOV	在 B 方案的基础上增加 Φ7 mm 和 Φ10 mm 的 MOV	同方案 A。
D 线绕熔断电阻器	2 Ω~15 Ω 的 1 W~2 W 的线绕熔断电阻器	只有流经线绕熔断电阻器的故障电流达到电阻标称功率十几倍以上时方能在较短时间内断开，当半短路导致的发热功率仅达到电阻功率的数倍时，其表面可能出现数百度的高温，如图 1、2 所示。当出现半短路状态时，易出现手机外壳熔壳（图 3），甚至有着火隐患。半短路保护效果差。

器。在赛尔特带动下，国内外多家小型熔断器厂商也跟进开发出了结构相似和功能相近的电阻器。由于热保护型熔断电阻器的结构、尺寸和性能优势，此类产品近两三年已在手机充电器等小功率开关电源中得到了广泛的应用。

热保护型熔断电阻器是一类在电路上将温度保险丝与线绕熔断电阻器形成串联连接，并在结构上结合在一起的具有过温过流保护功能的新型电阻器。

市面上的热保护型熔断电阻器从结构上可分为两类：外靠式和内置式，外靠式是指温度保险丝本体与线绕熔断电阻的本体靠在一起的模式，内置式是指温度保险丝内置于线绕电阻器内部的模式。

2.1 外靠式热保护型熔断电阻器结构与性能

外靠式保护型熔断电阻器是将温度保险丝外靠于线绕熔断电阻器外部，两者间形成串联连接的一类组合型功率电阻器。其结构示意图如图 4 所示。

外靠式热保护型熔断电阻器由于制作工艺简单，成本相对较低，在市面上有一定的应用。此类产品由于结构原因在性能上存在一定的不足，由于线绕熔断电阻器外表面存在一定的不平整度，瓷管型温度保险丝与线绕熔断电阻器的本体处于点接触或线接触，且两者之间的连接线较长，整体的热传导效果较差，在手机充电器的应用中，曾出现半短路故障时，外部套管受热变形，电阻与温度保险丝本体间出现分离，热传导受阻，温度保

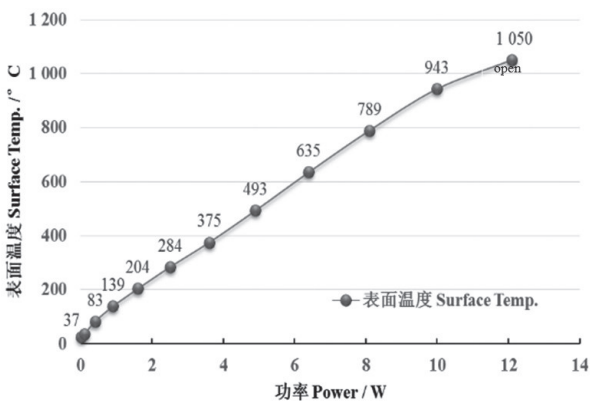


图 1 1 W 10 Ω 线绕熔断电阻功率与表面温度的关系曲线

险丝达不到其动作温度而未动作导致电路板烧毁，失去半短路保护作用。又由于线绕熔断电阻器的本体并未被套管或外壳完全包住，其短路抗爆性相对较差。此类外靠式热保护型熔断电阻器由于本体尺寸较大，半短路保护效果不足且短路抗爆性较差，近两年来在手机充电器等小功率开关电源中的应用度不高。

2.2 内置式热保护型熔断电阻器的结构与性能

内置式热保护型熔断电阻器是将温度保险丝内置于线绕熔断电阻器内部，两者形成串联连接的一类新型功率电阻器。以赛尔特的热保护型熔断电阻器为例，其结构如图 5 所示，它是一种将温度保险丝内置于线绕熔断电阻器内部，两者之间形成串联连接，最后用外壳封装的结构。其对应的电路原理图 6 所示。

此类电阻器继承了线绕熔断电阻器良好的开机浪涌抑制能力和耐雷击浪涌冲击能力。又由于整体采用外壳封装的模式，其短路抗爆性得到了明显的提升。温度保险丝内置于线绕熔断电阻器内部的结构，使得电阻与温

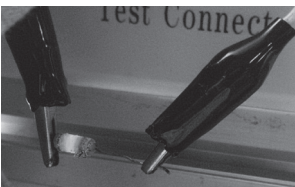


图 2 1 W 10 Ω 线绕熔断电阻在 10 倍功率时的表面状态

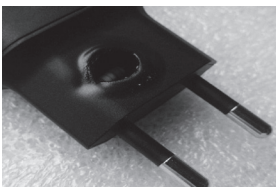
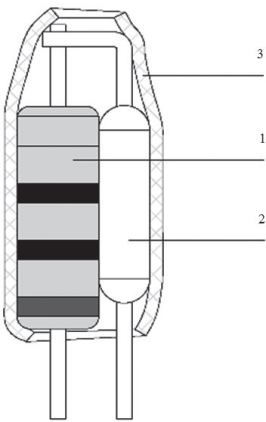


图 3 手机充电器外壳熔壳在 10 倍功率时的表面状态

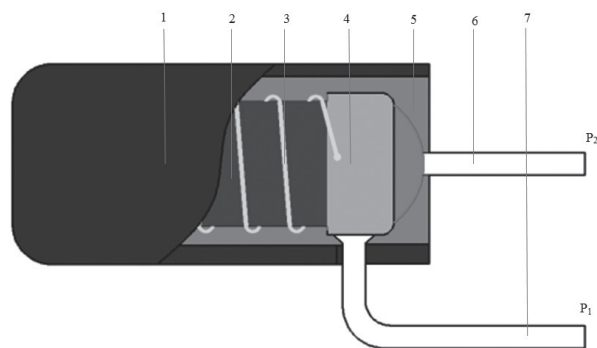


备注：
1—线绕熔断电阻器，
2—瓷管型温度保险丝，
3—套管（或外壳）

图 4 外靠式热保护型熔断电阻器的结构

度保险丝之间可以形成良好的热传导,确保线绕熔断电阻器过热时温度保险丝能够及时而安全的断开。其内置的温度保险丝还可通过使用不同额定动作温度的规格,来实现不同的温度保护等级,从而确保了手机充电器等小功率开关电源在出现半短路时不出现电路板烧毁,手机外壳熔壳着火的安全隐患。

以市面某一款使用赛尔特生产的型号为 TRXF1-10RJ30LC (功率 1W, 阻值 $10\ \Omega$, 阻值精度 5%, 内置温度保险丝的额定动作温度为 $221\ ^\circ\text{C}$) 的热保护型熔断电阻器的知名充电器为例,模拟其滤波电容因某种原因出现漏电流增大的半短路故障失效。即将滤波电容两引线与大功率可调变阻器相连接,调节变阻器的阻值使得流经热保护型熔断电阻器的电流分别等于 50 mA、100 mA、150 mA …… ,以 50 mA 的幅值增加,每个电流加载 20 min,直至电阻器发生断开。在无充电器外壳的情况下,用 Fluke Ti27 热成像仪监测热保护型熔断电阻器的表面温度和观察电阻断开后其外壳的外观变化情况。具体测试电路图如图 7 所示。不同测试电流下的电阻本体表面温度变化情况如图 8 和图 9 所示。由图 8、9 可见,当手机充电器出现半短路失效时,内置式热保护型熔断电阻器可安全断开而不出现如图 2、3 的高温隐患。在有充电器外壳的情况下,重复前面的半短路测试,当电阻器断开后,观察手机外壳的外观变化。半短路测试



备注: 1—外壳, 2—温度保险丝, 3—电阻丝 (线绕熔断电阻器), 4—电极帽 (线绕熔断电阻器), 5—包封料 (线绕熔断电阻器), 6—引线 (温度保险丝), 7—引线 (线绕熔断电阻器)

图 5 热保护型熔断电阻器结构图 (赛尔特)

后热保护型熔断电阻器表面状态和手机外壳的外观分别如图 10 (a) 和 10(b) 所示。由图可见,热保护型熔断电阻器具有优异的半短路保护效果,可确保充电器出现半短路故障时能够及时和安全的切断电路。提高了手机充电器的使用安全。

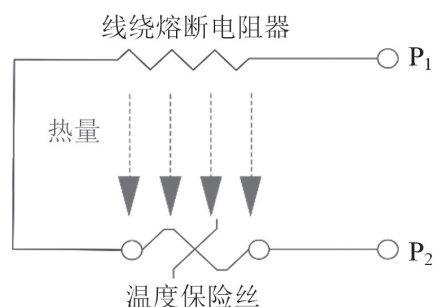


图 6 热保护型熔断电阻器电路原理图 (赛尔特)

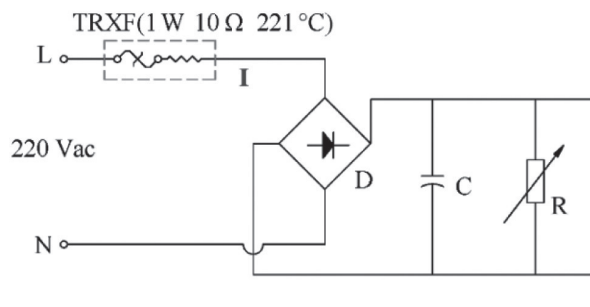


图 7 半短路测试电路图

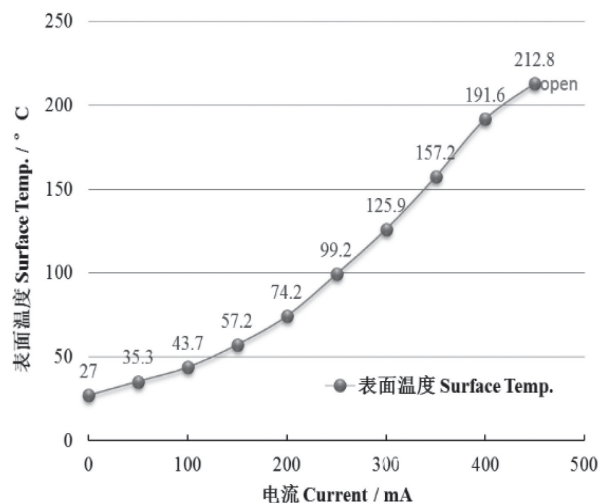


图 8 TRXF1-10RJ30LC 热保护型熔断电阻器表面温度与电流的关系图

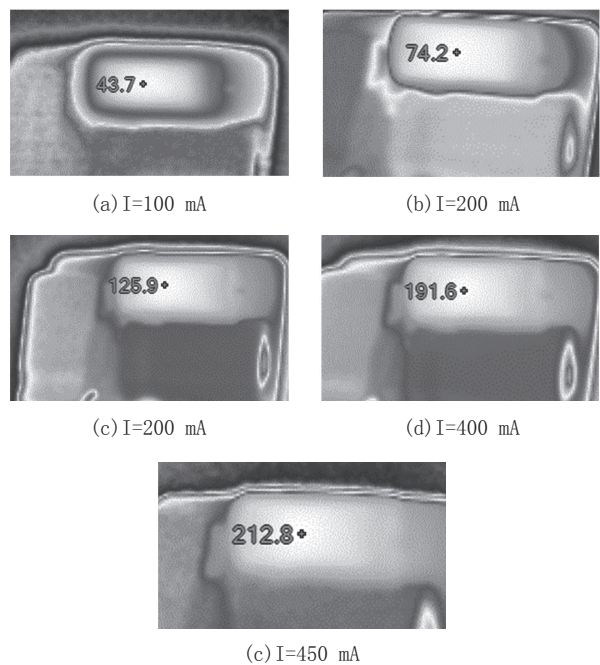


图9 TRXF1-10RJ30LC 热保护型熔断电阻器在不同测试电流下的表面温度

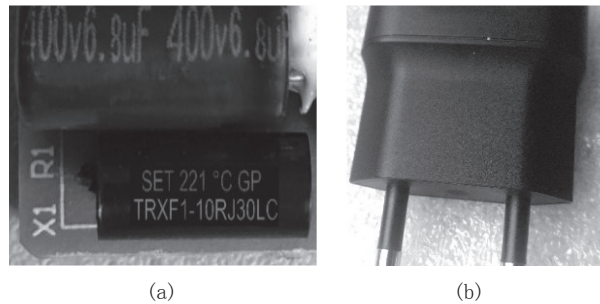


图10 经半短路测试后的热保护型熔断电阻器和手机外壳的表面状态

3 结束语

1) 由于热保护型熔断电阻器具有良好的雷击浪涌和开机浪涌抑制能力、良好的短路保护和半短路保护能力，近年来在手机充电器中的应用越来越多。随着消费者对产品使用安全要求的不断提升、网络资讯的快速发展，各大消费电子产品厂商对自身品牌形象的重视程度也不断提高，也在不断提升产品的安全等级，故而热保护型熔断电阻器不仅在手机充电器中得到大量的应用，在 LED 灯、小家电等小功率开关电源产品中的应用也越

来越多，呈快速发展趋势。大量的市场需求也将诱使更多的小型熔断器厂商去开发、生产此类的热保护型熔断电阻器，此领域的竞争也将越来越激烈。

2) 目前热保护型熔断电阻器尚无直接对应的国家标准和国际标准可执行，国内外的各厂商基本都是按电阻的标准进行认证，如 SJ 2865，UL 1412，IEC 60065 等，此类标准缺乏对温度保险丝的评估，评估并不全面，故而适用于热保护型熔断电阻器标准的制定将成为一个市场必然的需求。

参考文献：

[1] IEC 60127 Miniature fuses - Part 1: Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links[S]. International Electrotechnical Commission. 2015.

[2] IEC 60127 Miniature fuses - Part 3: Sub-miniature fuses-links [S]. International Electrotechnical Commission. 2015 .

作者简介：

林绿波（1985.10-），男，工程师，材料学硕士，主要从事熔断电阻器，热保护型熔断电阻器和电流保险丝的开发和标准化工作。