

## 耐热、高温和超高温电线电缆简述

### 一 前言

一般的电线电缆是以塑料和橡胶为绝缘护套，这些材料都是常规工程材料，具有丰富的来源，能够满足大规模生产，而且成本相对较低。但对于一些特殊行业如石油化工、钢铁、航空航天、造船、军工、制药、食品、塑料机械、锅炉等与热与高温有关的行业，都需要能够耐一定较高温度的电线电缆，普通的电线电缆显然不能使用，需能耐高温的电线电缆才能保证其电力和信号的安全运行。

随着我国经济快速发展，特种行业对高温电缆的需求已显高速增长阶段，耐热和高温电缆每年以 20% 的速度增长，高温电缆作为特种电缆的重要组成部分，具有极强的生命力，供不应求，我国每年从国外进口约二十亿元用于国内建设。下面我们了解一下什么样的工作温度称为耐热与高温电缆。国际电工委员会

(IEC) 对绝缘的耐热的等级一般按表 1 规定分为：

表 1 耐热的等级的规定

耐热等级	Y	A	E	B	F	H	C
最高允许工作温度/°C	90	105	120	130	155	180	≥180

我们普通用的电线电缆绝缘和护套为普通工程橡胶和塑料为基本树脂，但要求是绝缘级的。常见电缆用橡胶材料有：丁本橡胶、乙丙橡胶、天然橡胶和氯磺化聚乙烯等，工作温度为 (60~75) °C；常见电缆用塑料材料有聚氯乙烯、聚乙烯（包括交联聚乙烯）和聚丙烯等，工作温度为 (70~90) °C。由此可见，这些电缆不是严格意义上的耐热或高温电缆。

耐热电缆一般指 (90~155) °C 及以下的电缆，而高温电缆则是 180°C 及以上的电缆。而要解决普通电缆不耐高温的状况，则是要对材料进行改进，或使用能够耐高温的绝缘级材料。

### 二 耐热和高温电线电缆的主要特点

耐热和高温电线电缆一般是由两种需求决定的。第一种是电线电缆环境温度较高，电缆在长期在高温下能够正常传输信号或电能；另一种是电力传输电缆，主要是增加截流能力为主要目的。

高温环境下工作的电缆。普通电缆在高温时易产生绝缘老化和焦烧现象，使用电缆失去性能，受破坏而不能使用。高温电缆在额定高温下能够正常稳定地工作，信号或电能传输性能不受影响，还能保证电缆具有较长的使用寿命。这类功能电缆是高温电缆最常见最多的一种，使用特性也最易于理解的。

增载型高温电缆，主要是为了保证载流的前题下减小电缆外径和重量，向轻量化发展的。一般来说，电缆的工作温度越高，同样截面的电缆通过的载流量越大。象飞机和汽车等场合，减轻重量的意义相当大，利用高温电缆大大减少了截面。工作温度从 90°C 升到 155°C，则载流能力上升 50%，同样载流量下，电缆重量要减轻一半，成本也有所降低。当然高截流的同时，大多数绝缘材料的电能损耗也会有所增加。

### 三、耐热型电线电缆

耐热型电线电缆分：耐热材料和普通材料的耐热改性两种。

#### (一) 耐热材料的电线电缆

耐热材料的电线电缆是绝缘和护套材料本体树脂具有耐热性能，主要品种有：聚氨脂（可达 155℃级）、聚脂（可达 135℃）、聚偏氟乙烯（150℃）和尼龙（可达 115℃）的绝缘或护套材料。常用于通信、汽车、电机、建筑等行业。

#### (二) 普通电缆材料通过各种方式的改性而达到耐热性：

##### 1、橡胶材料的耐热改性

橡胶材料因其耐热性差，因而提高工作温度的余度较小，普通橡胶填加较多热稳定剂和经交联处理才能达到 90℃，因而不能称为耐热电缆，如丁苯橡胶、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯等。主要应用于橡胶绝缘移动用软电线、橡胶绝缘软电力电缆和控制电缆等。

但三元乙丙橡胶可经改性，使耐温等级提高到 135℃，加上具有较好的绝缘性能，因而在橡胶方面具有较好的发展前景。

##### 2、聚氯乙烯电缆的改性

普通聚氯乙烯电缆的工作温度为 70℃，聚氯乙烯电缆料的高可混性，使其改性成为可能，多量的热稳定剂的使用，可使 PVC 的耐热从 70℃上升到 90℃或 105℃，因而大大扩大了 PVC 这种老式材料的适用性，也许这就是 PVC 电缆长盛不衰的原因之一吧？90℃PVC 电缆料常用于交联聚乙烯电缆护套，主要用于电力、控制和电气装备线缆，由于 PVC 的改性，使本可淘汰的 PVC 电缆料在护套的使用上将会延续相当长的时间。聚氯乙烯丁腈复合物的主要成分是 PVC，因而与聚氯乙烯丁腈复合物电缆与 PVC 绝缘电缆具有相同的改性性能。

##### 3、聚乙烯电缆的改性

聚乙烯材料的塑性较好，但可填充性较差，因而不能填加热稳定剂方法提高耐热温度。聚乙烯电缆可通过 DCP 干法化学交联和硅烷温水交联将工作温度提高到 90℃，前者用于中高压电力电缆，后者用于低压电缆。但另一种交联方式——辐照交联改性，则可将聚烯烃（主要是聚乙烯）的工作温度大幅度提高，经辐照的绝缘料可按条件不同，耐温可达到 105℃、125℃、135℃、150℃，国外则有能提高到 180℃。主要是通过高能电子转化成稳定的键能，使其分子结构对热稳定性加强，同时配以适当的热稳定剂，根据能级大小和热稳定剂的效能，分为不同耐热等级。

辐照交联工业常用加工设备为电子加速器，是将电子束高压增加能量，达到交联聚烯烃材料的目的，电费加工常用加速器能级为 1.0 ~ 3MeV。辐照交联还可对橡胶、PVC 和氟塑料等材料进行交联。辐照交联聚烯烃电线电缆主要用于耐热建筑线、汽车线、航空导线、机车线电线和电机电器引接线等。

耐热电缆是中等温度的电缆，具有一定耐热性，能适应一定温度环境。而应用最多的是，在电力传输电缆中，在能够保证绝缘性能的同时，增加电缆载流能力，减少电缆重量和截面，意义重大。

### 四、高温和超高温电线电缆

高温电缆分：有机高分子材料高温电缆和无机材料超高温电缆。

#### (一) 有机高分子材料高温电缆主要是氟塑料和硅橡胶电缆。

##### 1、氟塑料绝缘电线电缆

氟塑料是塑料的一个重要品类，通常人们认识氟塑料是从接触塑料王——聚四氟乙烯（PTFE）开始的。其实聚四氟乙烯只是产量和用量最大的氟塑料品种，电线电缆常用的氟塑料是：聚全氟乙丙烯（FEP，俗称 F46）、聚四氟乙烯（PTFE）、乙烯-四氟乙烯共聚物（ETFE，俗称 F40）、聚偏氟乙烯（PVDF）等。

表 2、各种氟塑料性能

性能	树脂	PTFE	FEP	ETFE	PVDF
耐热性（℃）		260	200	150	150
电性能		优	优	优	好
阻燃性（VOI%）		95L	95L	30	43
机械性能		可用	可用	好	好
低摩擦性		优	优	可用	可用
耐药品性	酸	优	优	优	好
	碱	优	优	优	好
	溶剂	优	优	优	可用
不粘性		优	优	好	好
耐候性		优	优	优	优
比重		2.17	2.15	1.73	1.76

氟塑料电缆主要有：高温通讯电缆、耐高温引按线和安装线、高温补偿导线和工业用耐高温电力和控制信号电缆，原子反应堆用耐辐射电缆和机车车辆用电缆等。

(2) 硅橡胶绝缘电线电缆

硅橡胶主要是以硅元素代替碳元素形成的高分子材料，硅橡胶具有较好的耐热性能。电线电缆常用硅橡胶为甲基乙烯硅橡胶，工作温度范围是-60℃~180℃。硅橡胶具有较好的弯曲性能和低温性能，不易损坏和开裂，这些性能是一般高温电缆不具有的，因而硅橡胶电缆具有较宽的应用范围，已是高温电缆的一个亮点。

硅橡胶电缆在高温移动电缆、软电力电缆、电机引接线、低温环境高温运行场所。

(二) 无机材料超高温电缆

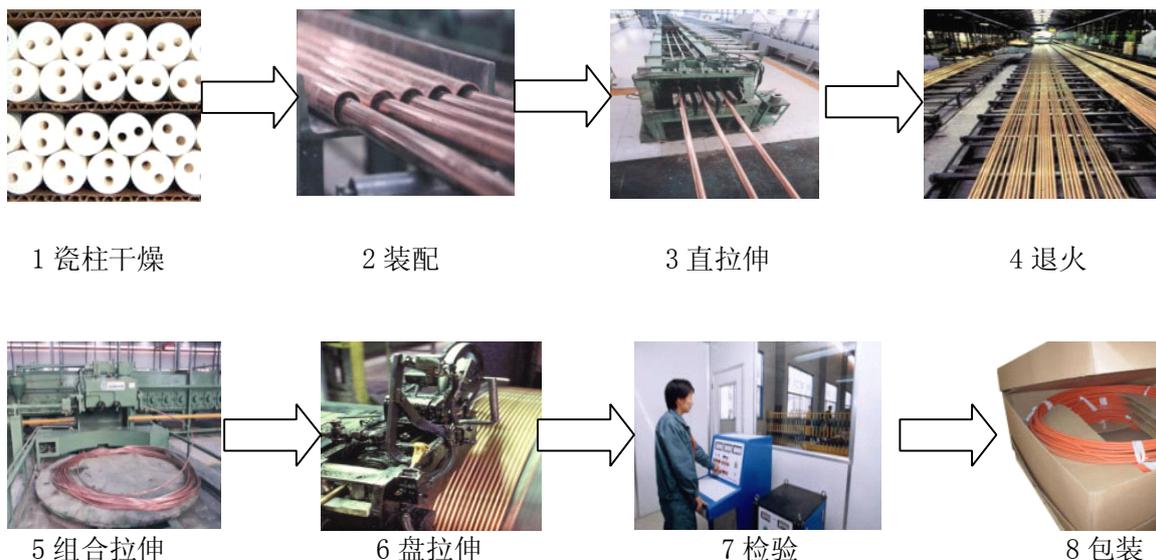
无机材料因不具有可挤塑等优良加工性能，因而加工形成电缆绝缘较为困难，附着性和均匀性较差，而且绝缘性能比高分子材料要低，但优异的高温性能，能够满足特种高温行业的需求。

1、矿物绝缘防火电缆

产品结构为铜芯铜护套氧化镁绝缘电缆，主要是电力电缆、控制电缆、加热电缆和布电线。常规工作温度是 250℃，但实际工作温度可更高，因为氧化镁的熔点是 2852℃，远高于铜的熔点（1083℃），电缆经火灾后仍可重复安全使用。

本电缆生产是氧化镁定型瓷柱穿于铜导体外，铜导体与外套铜管同时拉拔退火而形成，氧化镁瓷柱经压碎均匀形成电缆绝缘，矿物绝缘防火电缆生产长度受到一定限制，大规格则更短。

矿物绝缘防火电缆的生产过程如下：



1 瓷柱干燥

2 装配

3 直拉伸

4 退火

5 组合拉伸

6 盘拉伸

7 检验

8 包装

矿物绝缘防火电缆具有耐高温、防火、防爆、防水、耐辐射、耐腐蚀性强、机械强度高、具有良好的接地性能、体积小、寿命长、载流量大、过载能力强等特点。

矿物绝缘电缆的绝缘使用氧化镁,优点是熔点高(2852℃),但缺点是介电常数大(9.8),易吸潮,而且在高温时的电阻比二氧化硅低1-2个数量级,所以不适合作为信号电缆的绝缘介质。而且该生产方法不能实现电性能指标的精确控制,所以在要求高的信号传输场合中,特别是微波传输,二氧化硅电缆是唯一可用的无机绝缘电缆。而氧化镁绝缘电缆一般用在传输电能的场合中。

二氧化硅超高温电缆因为使用了耐高温的不锈钢护套,而且内导体使用27%的镍包铜合金,甚至使用纯镍线为导体(熔点为1455℃),特殊高温二氧化硅(熔点为1723℃),所以使用温度可以达到1000℃,甚至到1300℃,短时间的耐温可以更高。

## 2、无机包制绝缘超高温电缆

无机绝缘包制绝缘电缆一般采用无机包带和丝,采用电缆采用工艺加工而成。耐火包带作为耐高温材料,在800℃时仍能正常保持绝缘性能,因而是耐高温电缆的主要材料之一;无碱玻璃丝为无机硅材料,具有一定绝缘性,熔化温度为600℃以上,采用编织工艺加工,也作为加强件;以上两种材料不能形成密封性和紧密的绝缘,因而通过涂无机固化漆、硅微粉和硼砂等,才能形成绝缘体。在无机材料中,耐高温的材料较多,但可加工性和成形性较差,按以上方法形成电缆绝缘也易于损坏,根据选取材料不同可制成工作温度500℃、800℃,甚至于1000℃的电缆,除此之外导体应选用镀镍铜导体或相匹配的耐高温合金导体。

对于信号电缆来说,使用上面的缠绕方法是一种不可靠的绝缘层,特别是有各种添加剂时,所以目前没有这种生产方式的无机绝缘信号电缆。

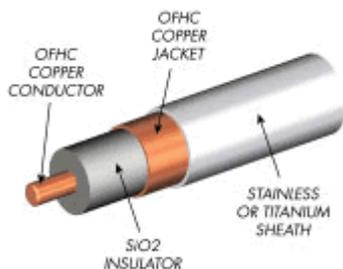
超高温电缆常应用于航空航天、军工、加热炉、化学反应釜、核电站核岛内和钢铁等行业。

## 五、结 论

在特种电缆品种中，高温电缆和超高温电缆已是一个重要趋势，虽然高温电缆电能损耗稍大，在一些较高温度的场合，用普通电缆则极易损坏，高温电缆能够安全运行，是现代工业和军工中不可缺少的品种。

目前我国高温电缆的研制技术水平远远不能满足新市场需求，我国在这方面的技术远落后于国外先进国家，近一半的高温电缆需从国外进口，而国内有些生产厂多集中于一些小厂，技术研制和生产能力较弱，特别是生产加工仍局限于电缆现有设备和工装，材料的开发也没能突破现有电缆料的圈子。希望国内有能力开发高温特种电缆的厂家能够审时度势，针对我国资源情况，开发推广高温系列电缆，提高我国在这一技术领域的水平，满足我国高温行业的需求。

## 二氧化硅电缆的特点和在国外的应用简介



### (一) 二氧化硅电缆的结构：

典型二氧化硅同轴 RF 电缆结构：

- 内导体：高纯无氧铜或其他导体材料
- 绝缘：高发泡低损耗二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>)
- 外导体：高纯无缝无氧铜管
- 护套：不锈钢或钛金属

### (二) 二氧化硅电缆的特点：

- 很宽的温度工作范围：-273℃至+1000℃，特高温结构甚至可以达到+1300℃，短时间内，温度可以承受更高！
- 耐辐射性能优秀，适合于核反应堆的核岛内和外太空的强辐射环境。
- 重量轻，比通常的有机塑料电缆节省 30%至 85%的重量。
- 体积更小及容易弯曲：同等性能指标下直径更小，而且弯曲半径也更小(1.5D)，更容易装在狭小的空间。
- 低介质损耗：介电常数只有 1.56！可以减低信号的衰减和损耗，同时也降低了电容。
- 高抗拉强度：根据不同的直径，可以承受从 45 至 225 公斤的拉力。
- 高抗震性，能承受的加速度为：45g(地面) 或 110 g(太空)

- 高抗磨性能，不锈钢的外护套能承受更高的摩擦力。
- 抗化学腐蚀性，不锈钢护套电缆对于盐雾，液压油，航空煤油，环氧清除剂等有很好的抵抗性。
- 恶劣环境中的寿命：40年！
- 极高的承受功率：是同尺寸普通P T F E电缆的10—20倍。
- 很高的屏蔽性能：屏蔽衰减可以达到120dB以上，抗干扰性能非常优异。
- 很高的衰减稳定性。
- 很高的相位稳定性。

从上面的特点可以看出，二氧化硅电缆好像天生就是为航空航天、核工业和军用飞机舰艇雷达等特殊领域而准备的！

### （三）研制背景和实际应用：

1947年3月12日，杜鲁门在国会两院联席会议上宣读了一篇咨文，攻击苏联是极权国家，要求国会批准向希腊和土耳其提供4亿美元的紧急援助，以抵制极权政体强加于它们的种种侵犯行动。从这一天开始，美苏的冷战正式开始，从1957年10月4号，苏联正式发射第一颗人造地球卫星“人造地球卫星1号”，到1958年1月31日，美国发射了第一颗人造地球卫星“探险者”一号，从此开始了一系列的导弹，卫星、飞船、飞机、核潜艇等飞速发展的疯狂时期。

1957年，美国的Whittaker Electronic Resources公司成功地研制出二氧化硅绝缘的信号电缆，因为该电缆有着上面所述的极其出色的性能，所以后面几乎所有的航空航天、核军事项目中都广泛应用，为这些项目的成功实施作出应有的贡献。

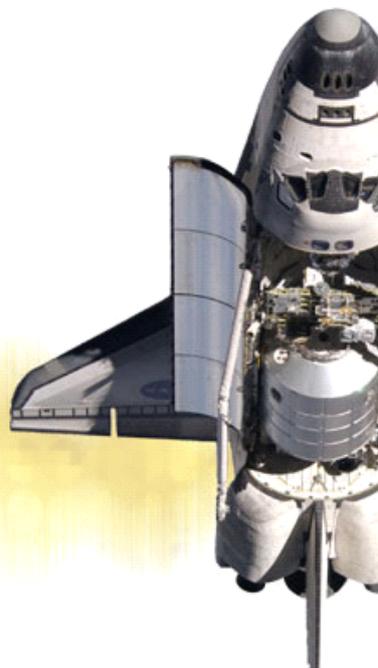
因为在下面的情况，信号是必须100%保证不能中断的：

- A. 在核岛开始融化时需要关闭核电站
- B. 发送一个信号到正在着火的石油钻井平台或发电厂
- C. 外太空探测飞船或卫星，要在极恶劣情况下长期确保通信的畅通。

等等情况下，而且是信号传输是绝对不容许中断的，这样SiO2电缆就是你的唯一选择！设计高品质的SiO2电缆是用于极端的环境中的：

下面列出 1957 年以后的部分项目名称：

- A. F-22, F-35 第四代战斗机
- B. F-14, F-15, F-16, F-18 第三代战斗机
- C. AH-64 战斗直升机
- D. B-1, B-2 轰炸机
- E. C-17, C-130 军用运输机
- F. GPS 全球卫星定位系统
- G. AV-8B 垂直起降战斗机
- H. SKYNET 卫星网
- I. SR-71 黑鸟高空高速侦察机
- J. 太空飞船
- K. 三叉戟和 MX 战略导弹
- L. U-2 高空侦察机
- M. F-5 第 2 代战斗机



等等的美国军事项目，从上可见，SiO<sub>2</sub> 电缆的高性能和高可靠性在军事应用中的不可替代性和唯一性。并且在民用航空上也大量使用，波音和空客客机上就大量使用多导体的 SiO<sub>2</sub> 电缆来分配和传输控制电信号。

（四）最新项目的介绍：“新地平线”冥王星宇宙探测飞船  
NASA 网址：<http://pluto.jhuapl.edu/>

“新地平线”宇宙探测飞船是第一个飞往银河系最远的行星：冥王星的飞船，因为实在太远了，所以该飞船从 2006 年 1 月 19 日发射后，以 75,200 公里/小时的速度，需要飞行约 10 年的时间，在 2015 年 7 月 14 号到达冥王星，因为能接收的太阳能实在太弱了，所以飞船上有一个核反应堆，携带了 11 公斤的钷作为燃料，以维持飞行及运行的所有能量，飞船到达冥王星后，也需要 4 小时 25 分钟才能把信号以光速发射回地球。



在飞船上有一个 7 英尺直径的高增益碟形天线，二氧化硅电缆组件是是用来作为主要的信号连接用途，所有的信号都通过二氧化硅电缆组件来发射和接收！当然卫星里面还有其他的二氧化硅电缆组件作为信号传输。

即使在冥王星的夏天白天的日子，温度也是只有 -230℃！在这种环境中，也真是只有二氧化硅电缆才能高可靠的传输和接收信号。

科学家希望通过这个雄心勃勃的项目，来收到更多的远银河系的照片和资料，以揭开更多的有关地球和其他行星起源的秘密！