

# ACOME 电缆的老化分析

王柏东<sup>1</sup>, 黄卫刚<sup>2</sup>, 戴忠华<sup>2</sup>, 卢文跃<sup>2</sup>, 陈世均<sup>2</sup>, 刘鹏<sup>2</sup>, 张健<sup>3</sup>

(1. 湖南工学院, 湖南 衡阳 421008; 2. 大亚湾核电运营管理有限责任公司技术部, 广东 深圳 518124;  
3. 大亚湾核电运营管理有限责任公司生产部, 广东 深圳 518124)

**摘要:** ACOME 电缆主要用于大亚湾核电站保安系统中, 由于电缆外护套出现了严重的增塑剂、稳定剂等助剂的析出现象, 需要评估电缆的老化程度, 对电缆进行了性能测试。测试结果表明: 该电缆目前的性能符合一般工业用测控电缆标准, 可作为一般工业用控制电缆使用, 设计寿命超过 30 a。

**关键词:** 核电站; 电缆; 老化

**中图分类号:** TM247      **文献标识码:** B      **文章编号:** 0258-0918(2005)03-0216-05

## ACOME cable aging analysis

WANG Bo-dong<sup>1</sup>, HUANG Wei-gang<sup>2</sup>, DAI Zhong-hua<sup>2</sup>, LU Wen-yue<sup>2</sup>,  
CHEN Shi-jun<sup>2</sup>, LIU Peng<sup>2</sup>, ZHANG Jian<sup>3</sup>

(1. Hunan Institute of Technology, Hengyang of Huan Prov. 421008, China;

2. Technical Department, Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd.,  
Shenzhen of Guangdong Prov. 518124, China;

3. Operations Department, Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd.,  
Shenzhen of Guangdong Prov. 518124, China)

**Abstract:** ACOME cable of Daya Bay Nuclear Power Station is used of security system in the electricity generating plant, It has been used for ten years. The cable sheath appears serious phenomenon that plasticizer and stabilizer and lubricants additive and so on are separated out, give a test for analyzing properties and appraising aging degree of cable. The item group cut out three sections of cable sample, give a performance test, adopt different test standard for analyzing on the contrast. The test is in progress by the way of our country and decides as IEC international standard, China standard, France standard. The result make clear that the present properties of cable is up to the standard of general industry. It can be used safely.

**Key words:** nuclear power station; cable; aging

收稿日期: 2005-03-30; 修回日期: 2005-06-06

作者简介: 王柏东(1969—), 男, 湖南省衡阳人, 副教授, 学士, 毕业于湖南中南工学院, 主要从事于电缆新产品开发与老化分析

大亚湾核电站 ACOME 电缆主要用于电站保安系统,自运行开始已使用近 10 a 之久,电缆外护套出现了严重的增塑剂、稳定剂等助剂析出现象。为了分析这些电缆的性能状态,并评估电缆的老化程度,需要对电缆进行性能测试。根据我国有关的电缆测试方法,电站项目组首先截取了三段电缆样品进行了性能测试。为了进行对比分析,对电缆采用了不同的测试标准,并依照相应的 IEC 国际标准、国家标准、法国标准来进行性能评定。

## 1 电缆结构分析

首先对截取到的三段样品进行测绘,分别得出三段样品的结构示意图,如图 1~3 所示。

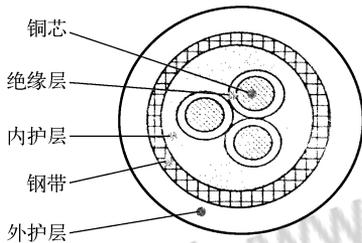


图 1 3 × 2.5 mm<sup>2</sup> 电缆结构示意图

Fig. 1 3 × 2.5 mm<sup>2</sup> cable configuration

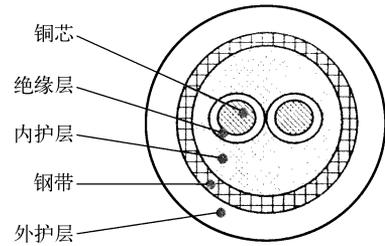


图 2 2 × 1.5 mm<sup>2</sup> 电缆结构示意图

Fig. 2 2 × 1.5 mm<sup>2</sup> cable configuration

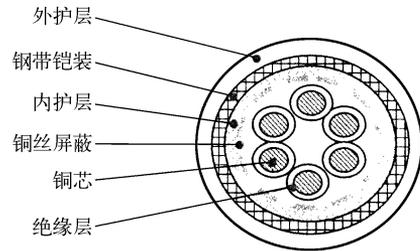


图 3 3P × 0.6 mm<sup>2</sup> 电缆结构示意图

Fig. 3 3P × 0.6 mm<sup>2</sup> cable configuration

缘线芯外均有内外护层,内外护层之间均用钢带铠装,以保护绝缘线芯免受外界机械损伤。3P × 0.6 mm<sup>2</sup> 电缆还采用了镀锡铜丝进行屏蔽。

绘制好电缆结构示意图后,对电缆进行了老化前的一些测试,如铜线结构、钢带尺寸、绝缘及护套厚度的测量等,测试数据见表 1<sup>[1]</sup>。

从上述三个结构示意图可以看到,电缆绝

表 1 电缆结构测试数据  
Table 1 Test data of cable configuration

序号	试验项目	标准要求	电 缆 规 格		
			3 × 2.5 mm <sup>2</sup>	2 × 1.5 mm <sup>2</sup>	3P × 0.60 mm <sup>2</sup>
1	导体材料	镀锡/ 不镀锡铜	不镀锡铜	不镀锡铜	不镀锡铜
2	导体线芯(芯 × 根/直径)	/	3 × 7/0.67~0.68 mm	2 × 7/0.52~0.53 mm	6 × 19/0.19~0.195 mm
3	钢带尺寸(层 × 宽 × 厚)	/	2 × 15 mm × 0.23~0.25 mm	2 × 15 mm × 0.23~0.25 mm	2 × 20 mm × 0.23~0.24 mm
4	单根屏蔽镀锡圆铜线(直径)	/	-	-	0.2 mm
5	缆芯相标(受检绝缘芯线)	颜色或 数字	红 黄 绿	灰 1/ 灰 2	红 1/ 白 2/ 白 3
6	绝缘平均厚度/ mm	/	0.83/0.84/0.84	0.82/0.81	0.62/0.63/0.64
7	绝缘最薄处厚度/ mm	/	0.75/0.82/0.82	0.80/0.80	0.58/0.60/0.62
8	内护层厚度/ mm	/	1.40	1.46	1.97
9	护套平均厚度/ mm	/	2.07	2.06	2.11
10	护套最薄处厚度/ mm	/	1.98	2.00	2.04
11	平均外径/ mm	/	15.5	13.9	15.57

## 2 电缆老化测试

制备老化样品时,依照样品特点,绝缘直接从铜芯上剥离,取管状试样;护套由于外径较大,进行切片,制成哑铃片试样,然后再将试样分别放入不同温度的老化箱,进行热老化。考虑到这些电缆是由同一个厂生产的同种类型的电缆,在生产时所用的绝缘料、护套料配方也会一样,故选取有代表性的试样,依照标准规定的时间、温度,对样品进行加速热老化试验。样品电缆中,2 ×1.5 mm<sup>2</sup> 电缆护套析出最为严重,样品的长度也较长,所以选取 2 ×1.5 mm<sup>2</sup> 电缆做热老化试验,按照老化温度相应的 IEC 国际标准(等同中国国标《KVV-铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆标准》<sup>[21]</sup>)进行测试,结果见表 2。

表 2 2 ×1.5 mm<sup>2</sup> 电缆的热老化测试结果  
(老化条件:100 ,168 h)

Table 2 Thermal aging test data of 2 ×1.5 mm<sup>2</sup> cable  
(aging condition:100 ,168 h)

试验项目	标准要求	实测值
绝缘老化前抗张强度/(N·mm <sup>-2</sup> )	12.5	25.5~28.9
绝缘老化前断裂伸长率/%	150	320~330
绝缘老化后抗张强度变化率/%	不超出 ±25	+1~+2
绝缘老化后断裂伸长率变化率/%	不超出 ±25	-2~0
护套老化前抗张强度/(N·mm <sup>-2</sup> )	12.5	18.4
护套老化前断裂伸长率/%	150	300
护套老化后抗张强度变化率/%	不超出 ±25	+2
护套老化后断裂伸长率变化率/%	不超出 ±25	-3

从表 2 可以看到:绝缘、护套在老化前的机械性能良好,均高于标准要求;空气老化后,抗张强度变化率、断裂伸长率变化均在规定的范围内。热老化测试结果显示,电缆目前的机械性能状况完全满足一般工业用控制电缆的性能要求。

从测试的具体情况及测试结果可以知道:该类电缆绝缘及护套材料均为含卤的聚氯乙烯材料,即 PVC 热塑性材料,符合一般工业用控制电缆的标准要求<sup>[3]</sup>。

## 3 测控电缆的寿命及其影响因素分析

电缆行业的 PVC 电缆料,其基本材质为 PVC 热塑性树脂。由于 PVC 在加工和使用过程中,会不同程度地发生氧化分解,故制备电缆料时,需按一定比例加入各种助剂,如稳定剂、增塑剂、填充补强剂、润滑剂、阻燃剂等,让 PVC 具有可加工性、良好的使用性能等,以阻止或延缓 PVC 老化分解的速度,使其具有较长的使用寿命。不同的产品其性能要求不同,各种原料配比均不一样。用 PVC 作绝缘和护套的电缆,其允许工作温度为 60~105 。

根据电缆行业对 PVC 电缆的多年运行经验来对 PVC 电缆的寿命进行评估:对于一般工业控制用电缆来说,它的长期允许工作温度为 70 ,正常情况下的使用寿命为 30 a 左右。也就是说,只要电缆的性能符合标准要求,工作条件在允许的范围内(主要指温度),一般就能达到预期的使用寿命。当然,如果实际工作温度更低一些(低温时 PVC 分解更慢),则实际使用寿命会比设定的更长。

### 3.1 温度对电缆寿命的影响

由以上叙述可知:对于 PVC 电缆料来说,如配方设计得当,电缆的工作温度可以达到 105 。假定在设计时设定电缆的正常工作温度为 90 ,寿命为 30 a,如果实际电缆正常工作温度只有 60~70 ,低于设计值,那么电缆的实际寿命会超过 30 a。温度是老化过程中一个最重要的因素:温度升高,PVC 的老化分解速度加快;反之,其老化速度则减慢。在性能相同的情况下,长期工作温度高的电缆的使用寿命无疑会低于工作温度较低的电缆;如果电缆的实际工作温度长期高于正常设定的值太多的话,电缆会不安全。

对某一种电缆来说,按照某一标准规定进行测试,它是合格的;如果按照更严格的标准对它进行测试,就不一定合格了。由于截取的电缆已通过了 KVV 标准的测试,现在提高测试指标来检验是不是符合更高的标准。如果能通过,说明它的实际设计性能高于 KVV 标准,也就是说,电缆在 KVV 所规定的工作温度 70

下工作,它的实际寿命会超过规定的 30 a,换言之,电缆在实际工作温度下工作,会有更高的安全裕度。

KVV 标准规定电缆的老化条件为 100 ℃, 168 h,提高老化温度及增加老化时间,按照 110 ℃,240 h 的条件对护套进行老化测试(此老化条件相当于电缆的长期工作温度为 80 ~ 90 ℃),测试结果如表 3 所示。

结果显示:在高于 KVV 标准的测试中,护

套电缆料目前的性能仍较好。这说明护套料是按照高于一般工业用控缆的标准设计的。尽管电缆已使用了 10 a,外护套出现了“出汗”现象,仍旧保持了良好的性能。

接下来继续采用更高标准对电缆进行测试,采用的是核级 1E 级 K3 类标准。此标准与 KVV 标准相比,老化时温度更高,时间更长(135 ℃,240 h)。由于电缆长度太短,只对绝缘线芯进行了测试,结果如表 4 所示。

表 3 电缆护套的老化测试结果(老化条件:110 ℃,240 h)

Table 3 Aging test data of cable jacket (aging condition:110 ℃,240 h)

试验项目	标准要求	电缆规格		
		3P ×0.6,1#	3 ×2.5,2#	2 ×1.5,3#
护套老化前抗张强度/(N·mm <sup>-2</sup> )	9	20.2	20.7	18.4
护套老化前断裂伸长率/%	120	320	210	300
护套老化后抗张强度变化率/%	不超出 ±25	-4	+0.5	+7
护套老化后断裂伸长率变化率/%	不超出 ±25	-16	0	-13

表 4 电缆绝缘线芯的老化测试结果(老化条件:135 ℃,240 h)

Table 4 Aging test data of cable insulation core (aging condition:135 ℃,240 h)

试验项目	标准要求	电缆规格		
		3P ×0.6,1#	3 ×2.5,2#	2 ×1.5,3#
绝缘老化前抗张强度/(N·mm <sup>-2</sup> )	12.5	22.3~24.3	26.1~26.3	25.5~28.9
绝缘老化前断裂伸长率/%	200	270~280	300~340	320~330
绝缘老化后抗张强度变化率/%	不超出 ±25	+38~+48	-9~-10	-7~+3
绝缘老化后断裂伸长率变化率/%	不超出 ±25	-85~-86	-50~-68	-38~-67

国际标准 ANSI/IEEE383《核电站用 1E 电缆、现场接头和连接件型式试验》和 RCC-E《核岛电气设备设计和建造规则》对 K3 类电缆规定如下:安装在安全壳外,在正常环境条件下,地震载荷以及对一些设备规定的事故条件下,能执行其规定功能的能力,并经 K3 质量鉴定程序鉴定的电缆称作“K3 类电缆”。

以上测试结果显示:经 K3 类标准热老化测试后,试样断裂伸长率最大变化率为 -85%,即实际伸长率只有 40%,已接近脆化。原因是在温度较高的情况下,PVC 热分解速度大大加快,同时增塑剂之类物质在高温下

挥发得更快,故伸长率下降得很厉害。这表明此类电缆不符合核级 1E 级 K3 类标准,不能作 K3 类电缆使用。换言之,此电缆如果在 K3 类电缆的条件下工作,安全裕度不够。

根据上述测试过程的具体情况 & 测试结果,并结合以往的经验可以推断:ACOME 电缆所用的 PVC 材料,耐温等级为 80 ℃左右(略高于我国一般工业用控制电缆 KVV 级别)。它可以满足一般工业用控制电缆的性能要求。

### 3.2 阳光对电缆寿命的影响

大气因素对电缆的使用寿命同样有着较大的影响。大气老化中最主要的因素是太阳光中

的紫外光,它对高分子材料破坏很强。由光子理论可知,各种紫外光的能量为 300 ~ 400 kJ/mol,而大部分聚合物的自动氧化反应活化能为 42 ~ 168 kJ/mol,各种化学键的离解能为 168 ~ 420 kJ/mol。因此,到达地面的太阳光所含的紫外线能量足以破坏聚合物的化学键,造成光老化降解。为了有效地消除或削弱紫外光对聚合物的破坏作用,通常人们在 PVC 配方中加入光稳定剂,提高材料的耐光性,延长电缆的使用寿命。对于同样性能的电缆,敷设在长期有阳光暴晒的地方与敷设在室内相比,它的使用寿命无疑会降低。

## 4 延长电缆寿命的措施

电缆样品经老化测试结果表明: ACOME 电缆的性能符合一般工业用测控电缆标准,作为一般工业用测控电缆,正常条件下的使用寿命可以超过 30 a。为预防电缆故障,延长电缆的使用寿命,应该从以下几个方面采取措施:

- 1) 电缆的排列不要过于拥挤,以利于电缆散热,改善电缆的运行条件;
- 2) 电缆要固定安装在支架上,远离振动剧

烈的地区,避免电缆内护套因受振而疲劳;

- 3) 电缆路径尽可能避免强腐蚀、易受潮地区,电缆金属护层因腐蚀或机械损伤导致穿孔时,会失去对绝缘的保护作用,引发电缆故障;

- 4) 接头处应密封良好,防止水分或潮气入侵,降低电气性能;

- 5) 电缆路径尽可能避开长期有阳光暴晒的地方,以减轻紫外光对外护层的破坏作用;

- 6) 暴露在室外的电缆需要采取防日照和雨水的措施,避免电缆的加速老化。

总之,预防电缆故障是一个系统工程,应从规划、设计、电缆技术性能、施工、防护、维护、测试、管理等多方面进行,才能确保电缆安全可靠地工作,使电缆的使用寿命更加延长。

### 参考文献:

- [1] 大亚湾核电站 KKK 系统手册. 广东核电合营有限公司,1991.
- [2] 王春江,等. 电线电缆手册. 第一册. 第 2 版[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [3] 电线电缆标准汇集. 东北电线电缆科技情报网,1992.

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 新型电缆穿管的探讨](#)
- [2. CuSO<sub>4</sub>电解液中XLPE电缆绝缘老化的试验研究](#)
- [3. 船用电缆红外检测及诊断研究](#)
- [4. 探测电缆老化的光纤直流漏电流法](#)
- [5. 改进电声脉冲法的交流空间电荷测量新方法](#)
- [6. 交联聚乙烯塑料电缆绝缘失效的实验研究](#)
- [7. 核级电缆老化机理分析](#)
- [8. 浅析核电站IE级电缆的老化机理及老化管理](#)
- [9. ACOME电缆的老化分析](#)
- [10. 电缆分布电容导致继电器误动的分析](#)