(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106298054 A
(43)申请公布日 2017.01.04

(21)申请号 201610979127.1

(22)申请日 2016.11.08

(71)申请人 四川明星电缆股份有限公司
地址 614001 四川省乐山市高新区迎宾大道18号

(72)发明人 任虹光 盛业武 罗琨云 易国华 宋强

(74)专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理有限公司 51214
代理人 钱成岑

(51)Int.Cl.
H01B 11/06(2006.01)
H01B 7/22(2006.01)
H01B 7/18(2006.01)
H01B 7/295(2006.01)
H01B 1/02(2006.01)
H01B 13/00(2006.01)
H01B 13/012(2006.01)
H01B 13/02(2006.01)
H01B 13/06(2006.01)
H01B 13/22(2006.01)

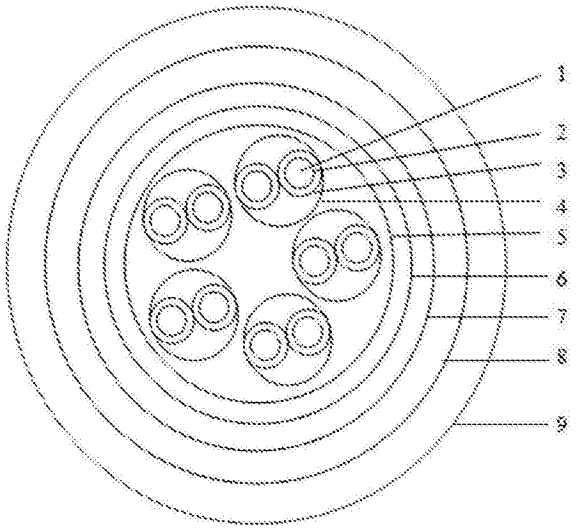
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种第三代核电站用通信电缆和设计制造方法

(57)摘要

本发明公开了第三代核电站用通信电缆，包括缆芯、绕包在缆芯外的成缆绕包层、成缆绕包层外设置有金属屏蔽层以及外护套，缆芯包括若干组由绝缘线芯组成的线对，绝缘线芯包括铜导体和绝缘层组成；缆芯最多包括200对绝缘线对，线对数仅仅包括1、2、3、4、5、10、20、25、50、100以及200这11组数；1对通信电缆直接构成缆芯；2-20对通信电缆缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；而对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，先绞合25对基本单元，后由基本单元成缆或将基本单元绞合成缆。本发明具有电气传输性能好、抗电磁干扰、低烟无卤阻燃、使用寿命长、安全可靠性高，提高核电站通信传输的安全可靠性。



CN 106298054 A

1.一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：它包括缆芯、绕包在缆芯外的成缆绕包层、成缆绕包层外设置有金属屏蔽层以及挤包在最外层的外护套，所述缆芯包括若干组由绝缘线芯组成的线对，绝缘线芯包括铜导体和设置在铜导体外的绝缘层组成；

所述缆芯最多包括200对绝缘线对，所述的线对数仅仅包括1、2、3、4、5、10、20、25、50、100以及200这11组数；

对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；

对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的通信电缆，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；

对于25对、50对、100对以及200对之一的通信电缆，先绞合25对基本单元，后由基本单元成缆或将基本单元绞合成缆。

2.根据权利要求1所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的金属屏蔽层到外护套之间依次设置有内护套和钢带铠装层。

3.根据权利要求1或2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的铜导体的规格为0.6mm或1.18mm 。

4.根据权利要求1或2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的成缆绕包层由双层聚酯带重叠绕包而成，以防绝缘线芯粘结或变形、损伤。

5.根据权利要求1或2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的金属屏蔽层由多根标称直径为0.15～0.25mm镀锡圆铜线编织构成，编织密度不小于80%。

6.根据权利要求2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的内护层是由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

7.根据权利要求2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的铠装层由两层镀锌钢带螺旋绕包而成，钢带标称厚度不小于0.2mm，包带间隙不大于金属带宽度的50%。

8.根据权利要求1或2所述的一种第三代核电站用通信电缆，其特征在于：所述的外护套由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

9.一种第三代核电站用通信电缆设计制造方法，其特征在于：它包括如下步骤(对于1-20对通信电缆， 无S5)：

S1：拉丝退火：将购买的无氧铜杆经过大拉丝机、中拉丝机和小拉丝机等多道工序拉丝退火，制成直径为0.6mm或1.18mm(对应截面约为1mm^2)的单根软圆铜导体，检查导体的电阻率和断裂伸长率；

S2：挤包绝缘：按照全色谱标识，选用自定芯模具，分别挤包不同颜色的高密度聚乙烯绝缘材料，绝缘颜色最多包括：白、红、黑、黄、紫、蓝、橙、绿、棕以及灰10种颜色，检查绝缘的平均厚度和最薄点厚度，火花机检测电压为2kV，确保绝缘无缺陷点；

S3：复绕配线：对绝缘线芯进行复绕分段，将每种颜色绝缘线芯均分为若干段，便于后续的配线对绞，复绕时火花机检测电压为2kV，再次确保绝缘无缺陷点；

S4：线对对绞：将绝缘线芯两两对绞形成线对，最多25对，检查对绞节距；

S5：对于25对、50对、100对以及200对的子单元绞合：按照3+8+14的方式，将25对线对绞合成一个子单元，对子单元进行计米：(L)，对于25对通信电缆，全部长度绕包白蓝双色带；对于50对通信电缆，每0.5L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙等2种双色带；对于100对通信

电缆，每0.25L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿和白棕等4种双色带；对于200对通信电缆，每0.125L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰、红蓝、红橙和红绿等8种双色带；检查绞合节距和线对排列顺序；对于1-20对通信电缆无这一步；

S6：成缆绕包：对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的线对，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，按照双色带的颜色，将子单元均分为1-8段，将1-8段子单元绞合形成缆芯；缆芯外重叠绕包双层聚酯包带，检查成缆节距和圆整度；

S7：屏蔽：在缆芯外，采用多根镀锡铜丝编织屏蔽，编织密度不低于80%，检查编织密度；

S8：挤包外护：采用老化寿命不低于60年的核电专用褐色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包外护套，护套表面喷印相关标识，检查护套厚度和标识；

S9：成品检验：对成品电缆进行例行试验；

S10：包装入库：将检验合格的成品电缆进行封头、盘具印字、信息录入，放入成品库。

10.根据权利要求9所述的一种第三代核电站用通信电缆和设计制造方法，其特征在于：在所述的步骤S7和步骤S8之间还具有如下两个步骤：

S111：挤包内护：采用老化寿命不低于60年的核电专用黑色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包内护套；

S112：铠装：采用双层镀锌钢带间隙重叠绕包，搭盖率不低于40%。

一种第三代核电站用通信电缆和设计制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核级电缆设计制造技术领域，特别涉及一种第三代核电站用通信电缆和设计制造方法。

背景技术

[0002] 目前，我国核电站建设已经进入快速发展时期，预计到2020年底，我国运行和在建的核电机组将达到100套左右。较传统能源而言，核电是一种经济的、清洁的能源，但核电站半个多世纪的发展历史中出现的核电事故时刻提醒人们，核电站的安全问题至关重要。世界各国对核电站采取的严密的安全措施，通信电缆作为核电站的“神经”，对其要求也越来越严格。

[0003] 目前我国已投产的核电站基本上是第二代核电站，对通信电缆无明确性能要求和设计寿命要求；未来将积极推动第三代核电站的大规模推广和出口，典型代表有ACP1000和华龙一号，对核电通信电缆的设计寿命要求为60年。

[0004] 根据相关标准和技术规格书，要求核电通信电缆电缆必须具备良好的电气传输特性、防电磁干扰特性、机械特性、优良的耐老化特性(热氧老化)、低烟无卤阻燃特性等，第三代核电站用通信电缆便应运而生。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的不足，提供一种第三代核电站用通信电缆和设计制造方法，具有电气传输性能好、抗电磁干扰、低烟无卤阻燃、设计使用寿命长(大于60年)、安全可靠性高等特点，大大提高核电站通信传输的安全可靠性。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的：一种第三代核电站用通信电缆，它包括缆芯、绕包在缆芯外的成缆绕包层、成缆绕包层外设置有金属屏蔽层以及挤包在最外层的外护套，所述缆芯包括若干组由绝缘线芯组成的线对，绝缘线芯包括铜导体和设置在铜导体外的绝缘层组成；

[0007] 所述缆芯最多包括200对绝缘线对，所述的线对数仅仅包括1、2、3、4、5、10、20、25、50、100以及200这11组数；

[0008] 对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；

[0009] 对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的通信电缆，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；

[0010] 对于25对、50对、100对以及200对之一的通信电缆，先绞合25对基本单元，后由基本单元成缆或将基本单元绞合成缆。

[0011] 作为优选方式，所述的金属屏蔽层到外护套之间依次设置有内护套和钢带铠装层。

[0012] 作为优选方式，所述的铜导体的规格为0.6mm或1.18mm(对应截面约为1mm^2)。

[0013] 作为优选方式，所述的成缆绕包层由双层聚酯带重叠绕包而成，以防绝缘线芯粘

结或变形、损伤。

[0014] 作为优选方式，所述的金属屏蔽层由多根标称直径为0.15～0.25mm镀锡圆铜线编织构成，编织密度不小于80％。

[0015] 作为优选方式，所述的内护层是由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

[0016] 作为优选方式，所述的铠装层由两层镀锌钢带螺旋绕包而成，钢带标称厚度不小于0.2mm，包带间隙不大于金属带宽度的50％。

[0017] 作为优选方式，所述的外护套由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

[0018] 一种第三代核电站用通信电缆设计制造方法，它包括如下步骤(对于1-20对通信电缆，无S5)：

[0019] S1：拉丝退火：将购买的无氧铜杆经过大拉丝机、中拉丝机和小拉丝机等多道工序拉丝退火，制成直径为0.6mm或1.18mm(对应截面约为1mm^2)的单根软圆铜导体，检查导体的电阻率和断裂伸长率；

[0020] S2：挤包绝缘：按照全色谱标识，选用自定芯模具，分别挤包不同颜色的高密度聚乙烯绝缘材料，绝缘颜色最多包括：白、红、黑、黄、紫、蓝、橙、绿、棕以及灰10种颜色(绝缘颜色由表3决定)，检查绝缘的平均厚度和最薄点厚度，火花机检测电压为2kV，确保绝缘无缺陷点；

[0021] S3：复绕配线：对绝缘线芯进行复绕分段，将每种颜色绝缘线芯均分为若干段，便于后续的配线对绞，复绕时火花机检测电压为2kV，再次确保绝缘无缺陷点；

[0022] S4：线对对绞：将绝缘线芯两两对绞形成线对，最多25对，检查对绞节距；

[0023] S5：对于25对、50对、100对以及200对的子单元绞合：按照3+8+14的方式，将25对线对绞合成一个子单元，对子单元进行计米：(L)，对于25对通信电缆，全部长度绕包白蓝双色带；对于50对通信电缆，每0.5L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙等2种双色带；对于100对通信电缆，每0.25L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿和白棕等4种双色带；对于200对通信电缆，每0.125L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰、红蓝、红橙和红绿等8种双色带；检查绞合节距和线对排列顺序；对于1-20对通信电缆无这一步；

[0024] S6：成缆绕包：对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的线对，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，按照双色带的颜色，将子单元均分为1-8段，将1-8段子单元绞合形成缆芯；缆芯外重叠绕包双层聚酯包带，检查成缆节距和圆整度；

[0025] S7：屏蔽：在缆芯外，采用多根镀锡铜丝编织屏蔽，编织密度不低于80％，检查编织密度；

[0026] S8：挤包外护：采用老化寿命不低于60年的核电专用褐色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包外护套，护套表面喷印相关标识，检查护套厚度和标识；

[0027] S9：成品检验：对成品电缆进行例行试验；

[0028] S10：包装入库：将检验合格的成品电缆进行封头、盘具印字、信息录入，放入成品库。

[0029] 作为优选方式，在所述的步骤S7和步骤S8之间还具有如下两个步骤：

[0030] S111：挤包内护：采用老化寿命不低于60年的核电专用黑色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包内护套；

[0031] S112：铠装：采用双层镀锌钢带间隙重叠绕包，搭盖率不低于40％。

[0032] 本发明的有益效果是：

[0033] 1、绝缘层由高密度聚乙烯挤包而成，根据核电站电缆要求，对绝缘厚度进行了设计计算：对于导体规格为0.6mm的通信电缆，其标称厚度为0.20mm，最薄点厚度为0.18mm；对于导体规格为1mm^{2}的通信电缆，其标称厚度为0.33mm，最薄点厚度为0.30mm；

[0034] 2、为防止串音，在25对基本单元内，对线对的对绞节距进行了优化设计：1)任意一个线对的对绞节距不大于120mm；2)任意两对线对的对绞节距不同；3)任意两对相邻线对的对绞节距之差不小于10mm；

[0035] 3、为抗电磁干扰，在缆芯外编织金属屏蔽层，编织密度不小于80％；

[0036] 4、内护套是由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成，具有老化寿命长、耐热氧老化、耐辐照老化、低烟、无卤、阻燃等一系列突出优点；

[0037] 5、外护套由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成，具有：老化寿命长、耐热氧老化、耐辐照老化、机械性能优良、防水、耐磨等特点。

附图说明

[0038] 图1为本发明核电铠装通信电缆的结构示意图；

[0039] 图2为本发明子单元内线对排列结构图；

[0040] 图3为本发明核电非铠装通信电缆制造工艺流程示意图；

[0041] 图4为本发明核电铠装通信电缆制造工艺流程示意图；

[0042] 1、铜导体，2、绝缘层，3、绝缘线芯，4、线对，5、成缆绕包层，6、金属屏蔽层，7、内护套，8、钢带铠装层，9、外护套。

具体实施方式

[0043] 下面结合附图进一步详细描述本发明的技术方案，但本发明的保护范围不局限于以下所述。

[0044] 如图1～图4所示，一种第三代核电站用通信电缆，它包括缆芯、绕包在缆芯外的成缆绕包层、成缆绕包层外设置有金属屏蔽层以及挤包在最外层的外护套，所述缆芯包括若干组由绝缘线芯组成的线对，绝缘线芯包括铜导体和设置在铜导体外的绝缘层组成；

[0045] 所述缆芯最多包括200对绝缘线对，所述的线对数仅仅包括1、2、3、4、5、10、20、25、50、100以及200这11组数；

[0046] 对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；

[0047] 对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的通信电缆，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；

[0048] 对于25对、50对、100对以及200对之一的通信电缆，先绞合25对基本单元，后由基本单元成缆或将基本单元绞合成缆。

[0049] 优选地，所述的金属屏蔽层到外护套之间依次设置有内护套和钢带铠装层。

[0050] 优选地，所述的铜导体的规格为0.6mm或1.18mm(对应截面约为1mm^2)。

[0051] 优选地，所述的成缆绕包层由双层聚酯带重叠绕包而成，以防绝缘线芯粘结或变形、损伤。

[0052] 优选地，所述的金属屏蔽层由多根标称直径为0.15～0.25mm镀锡圆铜线编织构成，编织密度不小于80％。

[0053] 优选地，所述的内护层是由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

[0054] 优选地，所述的铠装层由两层镀锌钢带螺旋绕包而成，钢带标称厚度不小于0.2mm，包带间隙不大于金属带宽度的50％。

[0055] 优选地，所述的外护套由满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料挤包而成。

[0056] 一种第三代核电站用通信电缆设计制造方法，它包括如下步骤(对于1-20对通信电缆，无S5)：

[0057] S1：拉丝退火：将购买的无氧铜杆经过大拉丝机、中拉丝机和小拉丝机等多道工序拉丝退火，制成直径为0.6mm或1.18mm(对应截面约为1mm^2)的单根软圆铜导体，检查导体的电阻率和断裂伸长率；

[0058] S2：挤包绝缘：按照全色谱标识，选用自定芯模具，分别挤包不同颜色的高密度聚乙烯绝缘材料，绝缘颜色最多包括：白、红、黑、黄、紫、蓝、橙、绿、棕以及灰10种颜色(绝缘颜色由表3决定)，检查绝缘的平均厚度和最薄点厚度，火花机检测电压为2kV，确保绝缘无缺陷点；

[0059] S3：复绕配线：对绝缘线芯进行复绕分段，将每种颜色绝缘线芯均分为若干段，便于后续的配线对绞，复绕时火花机检测电压为2kV，再次确保绝缘无缺陷点；

[0060] S4：线对对绞：将绝缘线芯两两对绞形成线对，最多25对，检查对绞节距；

[0061] S5：对于25对、50对、100对以及200对的子单元绞合：按照3+8+14的方式，将25对线对绞合成一个子单元，对子单元进行计米：(L)，对于25对通信电缆，全部长度绕包白蓝双色带；对于50对通信电缆，每0.5L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙等2种双色带；对于100对通信电缆，每0.25L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿和白棕等4种双色带；对于200对通信电缆，每0.125L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰、红蓝、红橙和红绿等8种双色带；检查绞合节距和线对排列顺序；对于1-20对通信电缆无这一步；

[0062] S6：成缆绕包：对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的线对，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，按照双色带的颜色，将子单元均分为1-8段，将1-8段子单元绞合形成缆芯；缆芯外重叠绕包双层聚酯包带，检查成缆节距和圆整度；

[0063] S7：屏蔽：在缆芯外，采用多根镀锡铜丝编织屏蔽，编织密度不低于80％，检查编织密度；

[0064] S8：挤包外护：采用老化寿命不低于60年的核电专用褐色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包外护套，护套表面喷印相关标识，检查护套厚度和标识；

[0065] S9：成品检验：对成品电缆进行例行试验；

[0066] S10：包装入库：将检验合格的成品电缆进行封头、盘具印字、信息录入，放入成品库。

[0067] 优选地，在所述的步骤S7和步骤S8之间还具有如下两个步骤：

[0068] S111：挤包内护：采用老化寿命不低于60年的核电专用黑色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包内护套；

[0069] S112：铠装：采用双层镀锌钢带间隙重叠绕包，搭盖率不低于40％。

[0070] 本发明绝缘、护套材料选择：绝缘采用符合YD/T 760-1995规定的高密度聚乙烯料(HDPE)，其性能符合表1规定。内护套和外护套采用满足60年寿命要求的K3类核电专用低烟无卤阻燃聚烯烃护套料，其性能符合表2规定。

[0071] 表1绝缘材料性能要求

[0072]

序号	项目名称	单位	性能参数
1	颜色	—	本色
2	熔体流动速率	g/10min	≤1.0
3	密度	g/cm^3	0.941-0.959
4	拉伸强度	MPa	≥12
5	断裂伸长率	%	≥400
6	相对介电常数 1MHz-100kHz	—	≤2.4
7	介质损耗角正切 1MHz-100kHz	—	$\leq 5\times10^{-4}$
8	体积电阻率（20℃）	Ω·m	$\geq 1.0\times10^{13}$
9	氧化诱导期（Cu 杯）	min	≥30
10	低温脆性（-76℃）	失效数	≤2/10
11	耐热应力开裂性（96h）	失效数	0/9
12	耐热应力开裂性（96h）	失效数	≤2/10

[0073] 表2内护和外护套材料性能要求

[0074]

序号	项目	单位	性能参数
1	老化前：		
1.1	抗张强度	MPa	≥10
1.2	断裂伸长率	%	≥180
2	空气热老化		
2.1	试验条件：		
	----热老化温度	℃	100±2
	----持续时间	h	168
2.2	抗张强度	MPa	≥10
	老化后拉伸强度变化率	%	≤±20
2.3	断裂伸长率	%	≥150
	老化后断裂伸长率变化率	%	≤±20
3	体积电阻率（20℃）	Ω·m	$\geq 5.0\times10^{10}$
4	介电强度	MV/m	≥18
5	烟密度：		
5.1	无焰情况		≤150
5.2	有焰情况		≤100
6	氧指数	%	≥30

[0075] 本发明绝缘厚度设计：根据相关资料，核电通信电缆的绝缘厚度取决于其工作电容，核电通信电缆的工作电容C可通过下式1计算：

[0076] $$C=\frac{\lambda\varepsilon_D\times10^{-6}}{36\ln\left(\frac{2a}{d_0}\psi\right)}\quad(F/km)\qquad(式1)$$

[0077] $$\varepsilon_D=\frac{\varepsilon_0 S_0+\varepsilon_G S_G}{S_0+S_G}\qquad(式2)$$

[0078] $$S_0=\frac{\pi d_1^2}{4}-\frac{\pi d_0^2}{2}=\frac{\pi\left(d_C+2\delta\right)^2}{2}\qquad(式3)$$

[0079] $$S_G=\frac{\pi d_0^2}{2}-\frac{\pi d_c^2}{2}=2\pi\left(d_c+\delta\right)\delta\qquad(式4)$$

[0080] $a=d_c+1.9\delta$ (式5)

[0081] $d_0=d_c+2\delta$ (式6)

[0082] $d_1=2d_0$ (式7)

[0083] 上述式中：

[0084] λ——电缆的总绞入系数，一般取1.055；

[0085] Ψ——屏蔽系数，一般取0.7；

[0086] ε_D——线对间空气/绝缘构成的组合介质的等效介电常数；

[0087] ε_0——干燥空气相对介电常数，一般取1.0；

[0088] ε_G——高密度聚乙烯绝缘的相对介电常数，一般取2.34；

[0089] S_0——线对中干燥空气所占截面积(mm^2)，不考虑对绞后绝缘挤压变形；

[0090] S_G——线对中绝缘介质所占截面积(mm^2)，不考虑到对绞后绝缘挤压变形；

[0091] a——线对中两根导体中心间距离(mm)，要考虑对绞后绝缘挤压变形；

[0092] d_C——单根绝缘线芯中导体直径(mm)；

[0093] δ——单根绝缘线芯中绝缘厚度(mm)；

[0094] d_0——单根绝缘线芯直径(mm)；

[0095] d_1——线对对绞后外径(mm)，不考虑对绞后绝缘发生挤压变形；

[0096] 将式2——式7代入式1，即得到工作电容C与绝缘厚度δ的函数关系，由于该函数关系为超越方程，当给定工作电容C时，无法通过求解反函数的方法直接求解绝缘厚度δ，可通过数值逼近法求解。首先给定一个初始值δ_0，便可通过式1得到C_0，通过比较C_0与目标值C的误差，进一步不断修正δ_i的赋值(i从1到n)；当$C_n-C\leq\pm0.01nF/km$时，可认为此时的δ_n即为目标值。

[0097] 按照工作电容为52nF/km的标准进行设计，通过上述方法计算得到：对于导体规格为0.6mm的核电通信电缆，其绝缘标称厚度为0.20mm；对于导体规格为1.0mm^2的核电通信电缆，其绝缘标称厚度为0.33mm。

[0098] 本发明对绞节距设计：为防止串音，在25对基本单元内，对线对的对绞节距进行了优化设计：1)任意一个线对的对绞节距不大于120mm；2)任意两对线对的对绞节距不同；3)任意两对相邻线对的对绞节距之差不小于10mm。以25对基本单元为例，线对的排列顺序如

下图2所示，线对的绝缘颜色和对绞节距如表3所示。

[0099] 表3 1-25对线对绝缘颜色及对绞节距表

[0100]

线对序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
绝缘颜色	a线	白	白	白	白	白	红	红	红	红	红
	b线	蓝	橙	绿	棕	灰	蓝	橙	绿	棕	灰
节距（mm）		21	45	35	90	52	62	73	55	65	80
线对序号		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
绝缘颜色	a线	黑	黑	黑	黑	黑	黄	黄	黄	黄	黄
	b线	蓝	橙	绿	棕	灰	蓝	橙	绿	棕	灰
节距（mm）		70	30	59	18	38	24	100	26	42	25
线对序号		21	22	23	24	25					
绝缘颜色	a线	黄	黄	黄	黄	黄					
	b线	蓝	橙	绿	棕	灰					
节距（mm）		76	33	49	22	54					

[0101] 注：不同线对数的通信电缆，其绝缘颜色和对绞节距严格按上表执行；例如对于4对通信电缆，其线对颜色依次为白蓝（节距21mm）、白橙（节距45mm）、白绿（节距35mm）、白棕（节距90mm）。

[0102] （四）制造工艺

[0103] 核电非铠装通信电缆的制造工艺流程如图3所示：

[0104] 如图3所示，核电非铠装通信电缆的制造流程可简要概括为：1）拉丝退火：将购买的无氧铜杆（一般规格为8mm）经过大拉丝机、中拉丝机和小拉丝机等多道工序拉丝退火，制成0.6mm或1mm^{2}的单根软圆铜导体，检查导体的电阻率和断裂伸长率；2）挤包绝缘：按照全色谱标识，选用自定芯模具，分别挤包不同颜色的高密度聚乙烯绝缘材料，绝缘颜色最多包括：白、红、黑、黄、紫、蓝、橙、绿、棕以及灰10种颜色（绝缘颜色由表3决定），检查绝缘的平均厚度和最薄点厚度，火花机检测电压为2kV，确保绝缘无缺陷点；3）复绕配线：对绝缘线芯进行复绕分段，将每种颜色绝缘线芯均分为若干段，便于后续的配线对绞，复绕时火花机检测电压为2kV，再次确保绝缘无缺陷点；4）线对对绞：按照表3的要求的色对和节距，将绝缘线芯两两对绞形成线对，最多25对，检查对绞节距；5）子单元绞合：如图2所示，按照3+8+14的方式，将25对线对绞合成一个子单元，对子单元进行计米（L），对于25对通信电缆，全部长度绕包白蓝双色带；对于50对通信电缆，每0.5L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙等2种双色带；对于100对通信电缆，每0.25L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿和白棕等4种双色带；对于200对通信电缆，每0.125L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰、红蓝、红橙和红绿等8种双色带；检查绞合节距和线对排列顺序；6）成缆绕包：对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的线对，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，按照双色带的颜色，将子单元均分为1-8段，将1-8段子单元绞合形成缆芯，缆芯外重叠绕包双层聚酯包带，检查成缆节距和圆整度；7）屏蔽：在缆芯外，采用多根镀锡铜丝编织屏蔽，编织密度

不低于80％，检查编织密度；8）挤包外护：采用老化寿命不低于60年的核电专用褐色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包外护套，护套表面喷印相关标识，检查护套厚度和标识；9）成品检验：对成品电缆进行例行试验，试验项目见表4；10）包装入库：将检验合格的成品电缆进行封头、盘具印字、信息录入，放入成品库。

[0105] 核电铠装通信电缆的制造工艺流程如图4所示：

[0106] 如图4所示，核电铠装通信电缆的制造流程可简要概括为：1）拉丝退火：将购买的无氧铜杆（一般规格为8mm）经过大拉丝机、中拉丝机和小拉丝机等多道工序拉丝退火，制成0.6mm或1mm^{2}的单根软圆铜导体，检查导体的电阻率和断裂伸长率；2）挤包绝缘：按照全色谱标识，选用自定芯模具，分别挤包不同颜色的高密度聚乙烯绝缘材料，绝缘颜色最多包括：白、红、黑、黄、紫、蓝、橙、绿、棕以及灰10种颜色（绝缘颜色由表3决定），检查绝缘的平均厚度和最薄点厚度，火花机检测电压为2kV，确保绝缘无缺陷点；3）复绕配线：对绝缘线芯进行复绕分段，将每种颜色绝缘线芯均分为若干段，便于后续的配线对绞，复绕时火花机检测电压为2kV，再次确保绝缘无缺陷点；4）线对对绞：按照表3的要求的色对和节距，将绝缘线芯两两对绞形成线对，最多25对，检查对绞节距；5）子单元绞合（仅针对25-200对通信电缆）：如图2所示，按照3+8+14的方式，将25对线对绞合成一个子单元，对于25对通信电缆，全部长度绕包白蓝双色带；对于50对通信电缆，每0.5L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙等2种双色带；对于100对通信电缆，每0.25L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿和白棕等4种双色带；对于200对通信电缆，每0.125L长度子单元外依次绕包白蓝、白橙、白绿、白棕、白灰、红蓝、红橙和红绿等8种双色带；检查绞合节距和线对排列顺序；6）成缆绕包：对于1对通信电缆，缆芯由1对绝缘线对直接构成；对于2对、3对、4对、5对、10对以及20对之一的线对，缆芯采用束绞或同心绞的方式直接成缆；对于25对、50对、100对以及200对之一的线对，按照双色带的颜色，将子单元均分为1-8段，将1-8段子单元绞合形成缆芯，缆芯外重叠绕包双层聚酯包带，检查成缆节距和圆整度；7）屏蔽：在缆芯外，采用多根镀锡铜丝编织屏蔽，编织密度不低于80％，检查编织密度；8）挤包内护：采用老化寿命不低于60年的核电专用黑色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包内护套；9）铠装：采用双层镀锌钢带间隙重叠绕包，搭盖率不低于40％；10）挤包外护：采用老化寿命不低于60年的核电专用褐色低烟无卤聚烯烃护套料，在屏蔽层外挤包外护套，护套表面喷印相关标识，检查护套厚度和标识；11）成品检验：对成品电缆进行例行试验，试验项目见表4；12）包装入库：将检验合格的成品电缆进行封头、盘具印字、信息录入，放入成品库。

[0107] 产品性能检验：我公司对试制的第三代核电站用通信电缆进行了检验，性能指标如表4所示。根据检验结果，我公司设计制造的第三代核电站用通信电缆完全符合相关标准要求，可以满足客户需求。

[0108] 表4第三代核电站用通信电缆性能试验

[0109]

序号	项目名称	实验结果		试验标准
		标准值	实测保证值	
1	电气性能	—	—	—
1.1	工作电容（1kHz）	≤52±4nF/km	43nF/km	GB 5441
1.2	线对电容不平衡（1kHz）	≤225pF/km	200pF/km	GB 5441
1.3	绝缘电阻（20℃，DC500V）	≥10000MΩ·km	20000 MΩ·km	GB 3048
1.4	导体直流电阻（20℃）	≤65.8Ω/km	65.6Ω/km	GB 3048
1.5	绝缘耐压（1kV/1min）	不击穿	不击穿	GB 3048
2	绝缘物理机械性能	—	—	—
2.1	老化前性能	—	—	—
2.1.1	绝缘抗张强度	≥10.0MPa	23MPa	GB/T 2951
2.1.2	绝缘断裂伸长率	≥300%	700%	GB/T 2951
2.2	老化后的耐卷绕性能			
2.2.1	老化条件	115±2 ℃	115 ℃×	GB/T 2951
2.2.2	卷绕条件	70±2℃×24h	70℃×24h	GB/T 2951
2.2.3	绝缘开裂的试样数	0	0	GB/T 2951
3	外护套物理机械性能	—	—	—
3.1	老化前性能	—	—	—
3.1.1	护套抗张强度	≥10.0MPa	13.5MPa	GB/T 2951
3.1.2	护套断裂伸长率	≥150%	210%	GB/T 2951
3.2	老化后性能	—	—	—

[0110]

3.2.1	老化条件	100±2 ℃	100 ℃×	GB/T 2951
3.2.2	抗张强度变化率	≤±25	4%	GB/T 2951
3.2.3	断裂伸长率变化率	≤±25	-21.4%	GB/T 2951
4	电缆无卤阻燃测试	—	—	—
4.1	成品电缆单根垂直燃烧试验	—	—	—
4.1.1	上夹头下缘与炭化部分起始点之间的距离	大于50mm	416mm	GB/T 18380.12
4.1.2	燃烧向下延燃至与上夹头下缘之间的距离	不大于540mm	507mm	GB/T 18380.12
4.2	成品电缆成束燃烧试验	—	—	—
4.2.1	成束燃烧试验类别	B级	B级	GB/T 18380.34
4.2.2	试样上炭化部分的最大长度	≤2.5m	1.5m	GB/T 18380.34
4.3	取自电缆的材料燃烧时释出气体的试验	—	—	—
4.3.1	绝缘的卤酸气体释出量	≤0.5%	≤0.5%	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.3.2	绝缘的pH值	≥4.3	5.8	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.3.3	绝缘的电导率	≤10μs/mm	0.33	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.3.4	护套的卤酸气体释出量	≤0.5%	≤0.5%	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.3.5	护套的pH值	≥4.3	5.5	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.3.6	护套的电导率	≤10μs/mm	0.53	GB/T 17650.2 IEC 60754-2
4.4	电缆燃烧烟密度试验—最小透光率	≥60	70	GB/T 17651.2 IEC 61034
4.5	毒性指数试验	—	—	—
4.5.1	绝缘试验结果	≤5	1.8	Def Stan 02-713-2006
4.5.2	护套试验结果	≤5	1.8	Def Stan 02-713-2006

[0111] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，应当指出的是，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

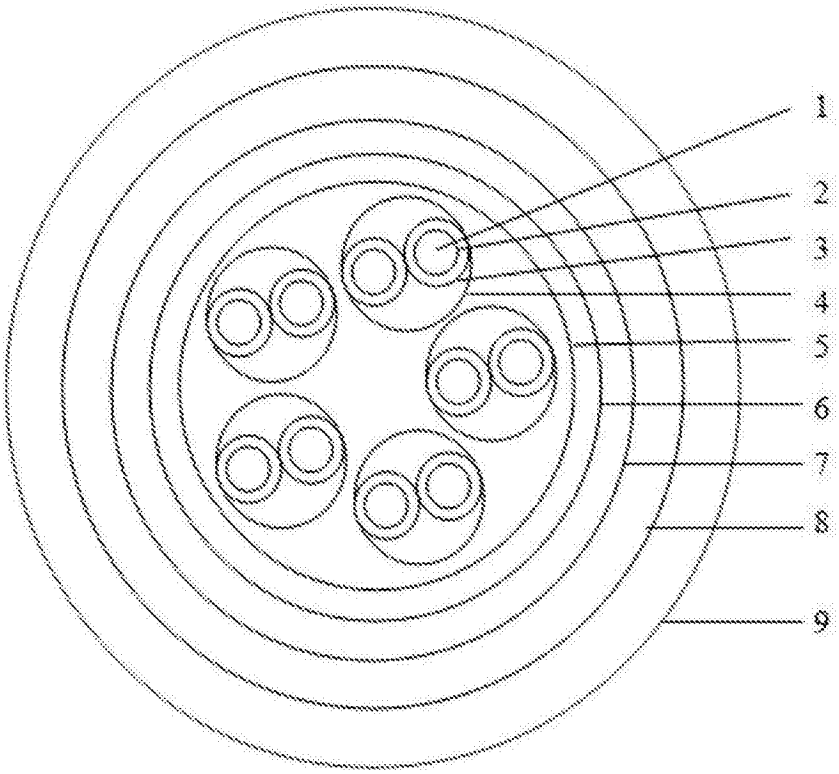

1
2
3
4
5
6
7
8
9

图1

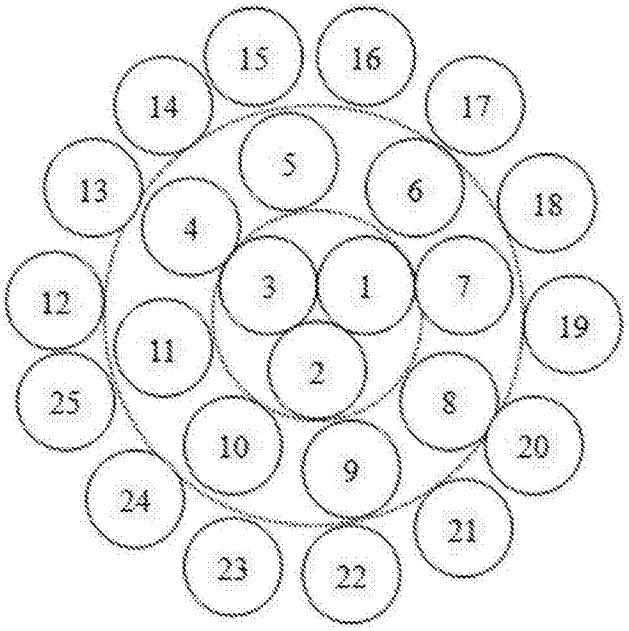

15
16
14
17
5
13
6
18
4
3
1
7
12
19
11
2
25
8
10
20
9
24
21
23
22

图2

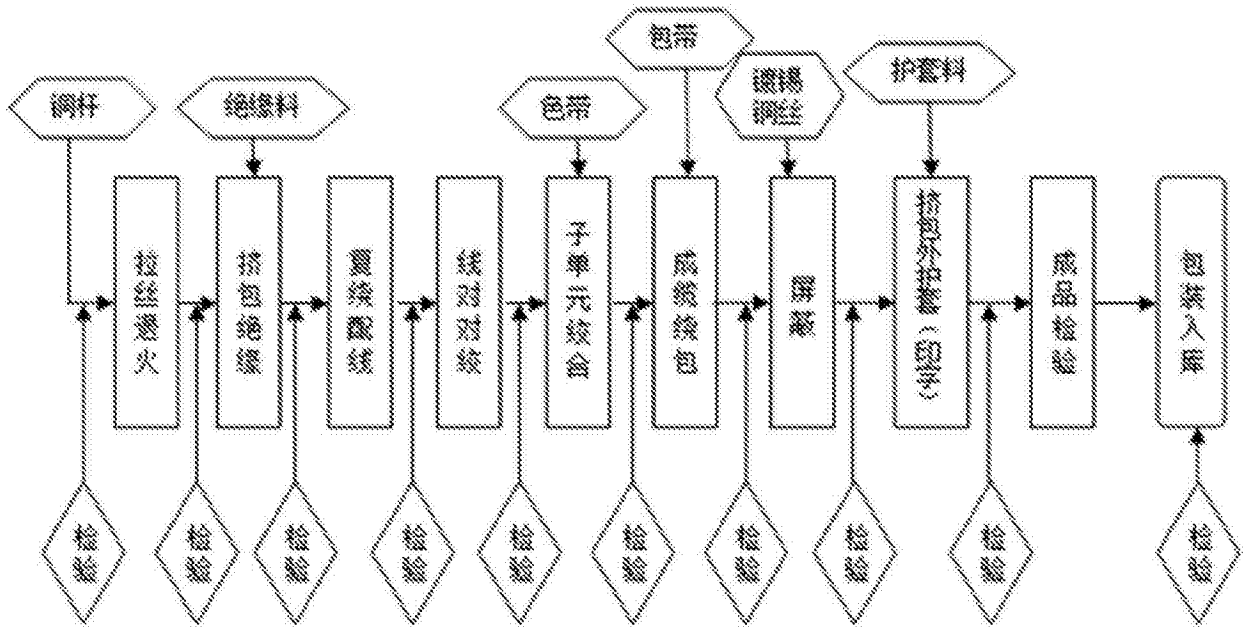

铜杆
绝缘料
色带
包带
镀锡铜丝
护套料
拉丝退火
挤包绝缘
复绕配线
线对对绞
子单元绞合
成缆绕包
屏蔽
挤包外护套（印字）
成品检验
包装入库
检验

图3

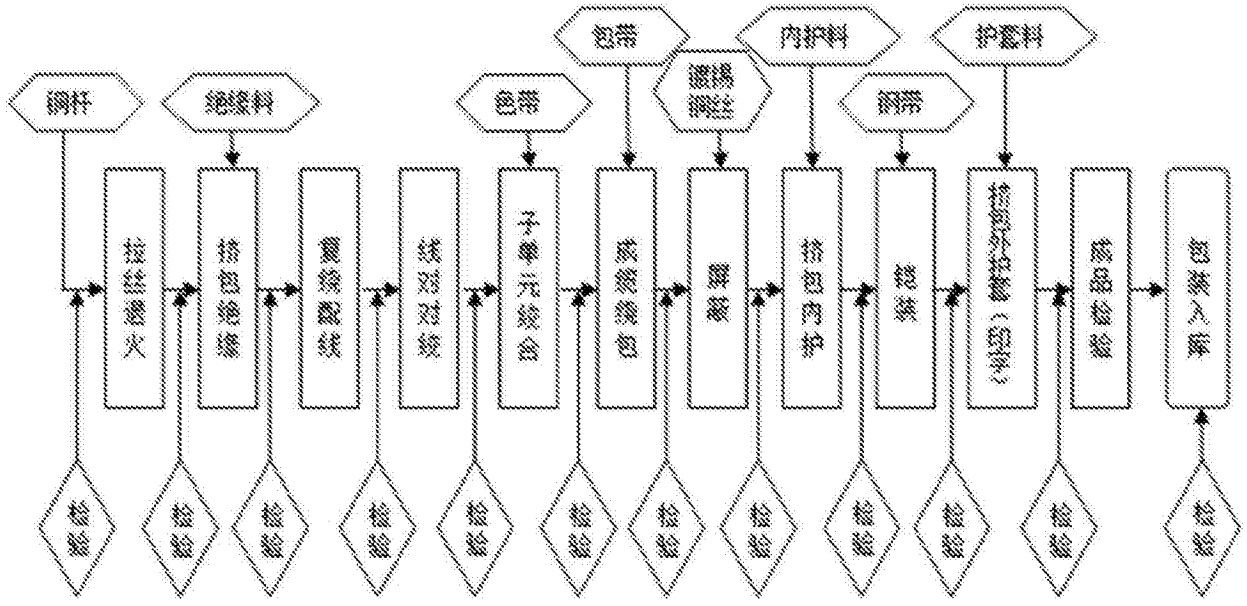

铜杆
绝缘料
色带
包带
镀锡铜丝
内护料
铜带
护套料
拉丝退火
挤包绝缘
复绕配线
线对对绞
子单元绞合
成缆绕包
屏蔽
挤包内护
铠装
挤包外护套（印字）
成品检验
包装入库
检验

图4