



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116994792 B

(45) 授权公告日 2024.05.14

(21) 申请号 202310964583.9

H01B 13/00 (2006.01)

(22) 申请日 2023.08.02

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107017036 A, 2017.08.04

申请公布号 CN 116994792 A

CN 113223751 A, 2021.08.06

(43) 申请公布日 2023.11.03

CN 108806821 A, 2018.11.13

(73) 专利权人 彭丽楠

CN 107619594 A, 2018.01.23

地址 213000 江苏省常州市钟楼区怀德中
路137号香江华庭花园1幢甲单元201
室

CN 107230508 A, 2017.10.03

(72) 发明人 崔晓明 彭丽楠

CN 106448798 A, 2017.02.22

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
专利代理人 赵晓琳

WO 2021027607 A1, 2021.02.18

(51) Int.Cl.

CN 204991259 U, 2016.01.20

H01B 1/02 (2006.01)

WO 2017173504 A1, 2017.10.12

H01B 7/17 (2006.01)

CN 206921565 U, 2018.01.23

H01B 7/02 (2006.01)

CN 115011847 A, 2022.09.06

CN 106636776 A, 2017.05.10

CN 108538452 A, 2018.09.14

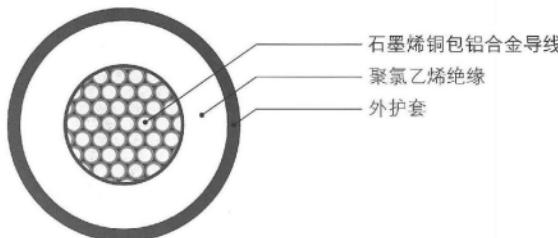
CN 109749311 A, 2019.05.14

审查员 张盈利

权利要求书2页 说明书22页 附图4页

(54) 发明名称

一种石墨烯铜包铝合金导线及其制备方法
以及电线电缆



(57) 摘要

本发明涉及电线电缆技术领域，提供了一种石墨烯铜包铝合金导线及其制备方法以及电线电缆。本发明提供的石墨烯铜包铝合金导线包括石墨烯铝合金芯线和包覆在所述石墨烯铝合金芯线表面的铜层；石墨烯铝合金芯线包括铝98.3~99.1%，石墨烯导电粉0.5~0.9%，稀土添加剂0.4~0.8%。本发明将铜包覆在石墨烯铝合金芯线表面，能够大幅降低铜的消耗，降低成本，并且所得石墨烯铜包铝合金导线重量轻，电阻小，各方面性能优异。采用本发明提供的石墨烯铜包铝合金电线电缆替代铜芯导线电线电缆，不仅通电运行安全可靠，便于运输和施工，并且能够实现节铜、节电、节能减排、降本增效等效果。

B

CN 116994792

1. 一种石墨烯铜包铝合金导线，其特征在于，包括石墨烯铝合金芯线和包覆在所述石墨烯铝合金芯线表面的铜层；所述石墨烯铝合金芯线包括以下质量分数的组分：铝98.3~99.1%，石墨烯导电粉0.5~0.9%，稀土添加剂0.4~0.8%；所述石墨烯铝合金芯线和铜层接触部位的Al和Cu形成冶金结合；

所述石墨烯铜包铝合金导线的比重为3.2~4.05g/cm³；

所述稀土添加剂为镧铈系混合稀土；所述镧铈系混合稀土中氧化镧的质量分数为15~25%，氧化铈的质量分数为60~70%；所述石墨烯铜包铝合金导线的直径为0.50~3.15mm；

所述石墨烯铜包铝合金导线的制备方法包括以下步骤：

将铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和助燃剂混合进行熔炼，将所得熔体抽丝成型，得到石墨烯铝合金毛坯线；

将所述石墨烯铝合金毛坯线依次进行第一拉拔和第一退火，得到石墨烯铝合金原始芯线；所述第一退火的温度为230~260℃，时间为2~3h；

将铜带包覆焊接在所述石墨烯铝合金原始芯线表面，得到石墨烯铜包铝合金坯线；

将所述石墨烯铜包铝合金坯线依次进行第二拉拔、第二退火和第三拉拔，得到所述石墨烯铜包铝合金导线；所述第二退火的温度为230~260℃，时间为2~3h。

2. 根据权利要求1所述的石墨烯铜包铝合金导线，其特征在于，所述石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数为8~22%。

3. 权利要求1或2所述石墨烯铜包铝合金导线的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：将铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和助燃剂混合进行熔炼，将所得熔体抽丝成型，得到石墨烯铝合金毛坯线；

将所述石墨烯铝合金毛坯线依次进行第一拉拔和第一退火，得到石墨烯铝合金原始芯线；所述第一退火的温度为230~260℃，时间为2~3h；

将铜带包覆焊接在所述石墨烯铝合金原始芯线表面，得到石墨烯铜包铝合金坯线；

将所述石墨烯铜包铝合金坯线依次进行第二拉拔、第二退火和第三拉拔，得到所述石墨烯铜包铝合金导线；所述第二退火的温度为230~260℃，时间为2~3h。

4. 根据权利要求3所述的制备方法，其特征在于，所述石墨烯铝合金毛坯线的直径为10±0.05mm、12.5±0.05mm或15±0.05mm；所述石墨烯铝合金原始芯线的直径为9.5±0.05mm、12±0.05mm或14±0.05mm。

5. 根据权利要求3所述的制备方法，其特征在于，所述第二拉拔的道次数为20道次，每道次的拉拔变形量为10~13%；所述第二拉拔后所得线坯的直径为6mm；所述第三拉拔的道次数为3道次，每道次的拉拔变形量为13~17%。

6. 根据权利要求3所述的制备方法，其特征在于，所述第三拉拔后还包括第三退火，第三退火的温度为230~260℃，时间为2~3h。

7. 一种石墨烯铜包铝合金电线电缆，其特征在于，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的导体为权利要求1或2所述的石墨烯铜包铝合金导线或权利要求3~6任意一项所述制备方法制备的石墨烯铜包铝合金导线。

8. 根据权利要求7所述的石墨烯铜包铝合金电线电缆，其特征在于，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括绝缘层；所述绝缘层为聚氯乙烯或交联聚乙烯；

所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括护套；所述护套包括内护套和/或外护套；所述护

套中含有石墨烯,所述护套中石墨烯的质量分数为3~4%。

9.根据权利要求8所述的石墨烯铜包铝合金电线电缆,其特征在于,以质量分数计,所述护套的成分包括:二辛脂20~30%,稳定剂1~3%,润滑剂0.5~1%,树脂粉40~50%,钙粉20~25%,色浆1~3%,石墨烯导电粉3~4%。

10.根据权利要求7所述的石墨烯铜包铝合金电线电缆,其特征在于,所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括填充层,所述填充层中含有石墨烯;所述填充层中石墨烯的质量分数为0.5~0.9%。

一种石墨烯铜包铝合金导线及其制备方法以及电线电缆

技术领域

[0001] 本发明涉及电线电缆技术领域,尤其涉及一种石墨烯铜包铝合金导线及其制备方法以及电线电缆。

背景技术

[0002] 电线电缆是输送电能、传递信息和制造各种电机电器、仪表所不可缺少的基础器材,是未来电气化、信息化社会中必要的基础产品,被喻为国民经济的“血管与神经”。未来新基建、5G建设、电力、铁路、轨道交通、能源、建筑、船舶、汽车等产业依然保持较大的投资规模,将给线缆行业提供难得发展机遇。

[0003] 目前,电线电缆中导体线芯通常为纯铜,减少铜资源的消耗,寻找铜的替代品,改变对铜材的严重依赖,已成为保证电力行业可持续发展的关键。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提供了一种石墨烯铜包铝合金导线及其制备方法以及电线电缆。本发明提供的石墨烯铜包铝合金导线铜资源消耗少,成本低,利用其制备的电线电缆,具有降本节电、节能减排的优点,并且所得电线电缆具有和铜芯电缆相似甚至更加优越的导电电气性能。

[0005] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0006] 一种石墨烯铜包铝合金导线,包括石墨烯铝合金芯线和包覆在所述石墨烯铝合金芯线表面的铜层;所述石墨烯铝合金芯线包括以下质量分数的组分:铝98.3~99.1%,石墨烯导电粉0.5~0.9%,稀土添加剂0.4~0.8%;所述石墨烯铝合金芯线和铜层接触部位的Al和Cu形成冶金结合。

[0007] 所述石墨烯铜包铝合金导线的比重为3.2~4.05g/cm³。

[0008] 优选的,所述石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数为8~22%;所述石墨烯铜包铝合金导线的直径为0.50~3.15mm;所述稀土添加剂为镧铈系混合稀土。

[0009] 本发明还提供了上述方案所述石墨烯铜包铝合金导线的制备方法,包括以下步骤:

[0010] 将铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和助燃剂混合进行熔炼,将所得熔体抽丝成型,得到石墨烯铝合金毛坯线;

[0011] 将所述石墨烯铝合金毛坯线依次进行第一拉拔和第一退火,得到石墨烯铝合金原始芯线;

[0012] 将铜带包覆焊接在所述石墨烯铝合金原始芯线表面,得到石墨烯铜包铝合金坯线;

[0013] 将所述石墨烯铜包铝合金坯线依次进行第二拉拔、第二退火和第三拉拔,得到所述石墨烯铜包铝合金导线。

[0014] 优选的,所述石墨烯铝合金毛坯线的直径为10±0.05mm、12.5±0.05mm或15±

0.05mm；所述石墨烯铝合金原始芯线的直径为 $9.5\pm0.05\text{mm}$ 、 $12\pm0.05\text{mm}$ 或 $14\pm0.05\text{mm}$ ；

[0015] 所述第一退火的温度为 $230\sim260^\circ\text{C}$ ，时间为 $2\sim3\text{h}$ 。

[0016] 优选的，所述第二拉拔的道次数为20道次，每道次的拉拔变形量为 $10\sim13\%$ ；所述第二拉拔后所得线坯的直径为6mm；所述第二退火的温度为 $230\sim260^\circ\text{C}$ ，时间为 $2\sim3\text{h}$ ；所述第三拉拔的道次数为3道次，每道次的拉拔变形量为 $13\sim17\%$ 。

[0017] 优选的，所述第三拉拔后还包括第三退火，第三退火的温度为 $230\sim260^\circ\text{C}$ ，时间为 $2\sim3\text{h}$ 。

[0018] 本发明还提供了一种石墨烯铜包铝合金电线电缆，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线或上述方案所述制备方法制备的石墨烯铜包铝合金导线。

[0019] 优选的，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括绝缘层；所述绝缘层为聚氯乙烯或交联聚乙烯；

[0020] 所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括护套；所述护套包括内护套和/或外护套；所述护套中含有石墨烯，所述护套中石墨烯的质量分数为 $3\sim4\%$ 。

[0021] 优选的，以质量分数计，所述护套的成分包括：二辛脂 $20\sim30\%$ ，稳定剂 $1\sim3\%$ ，润滑剂 $0.5\sim1\%$ ，树脂粉 $40\sim50\%$ ，钙粉 $20\sim25\%$ ，色浆 $1\sim3\%$ ，石墨烯导电粉 $3\sim4\%$ 。

[0022] 优选的，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆包括填充层，所述填充层中含有石墨烯；所述填充层中石墨烯的质量分数为 $0.5\sim0.9\%$ 。

[0023] 本发明提供了一种石墨烯铜包铝合金导线，包括石墨烯铝合金芯线和包覆在所述石墨烯铝合金芯线表面的铜层；所述石墨烯铝合金芯线包括以下质量分数的组分：铝 $98.3\sim99.1\%$ ，石墨烯导电粉 $0.5\sim0.9\%$ ，稀土添加剂 $0.4\sim0.8\%$ ；所述石墨烯铜包铝合金导线的比重为 $3.2\sim4.05\text{g/cm}^3$ ；所述石墨烯铝合金芯线和铜层接触部位的Al和Cu形成冶金结合。本发明将铜包覆在石墨烯铝合金线芯表面，和纯铜导线相比，能够大幅降低铜的消耗，降低成本，实现节能减排，并且所得石墨烯铜包铝合金导线比重小、重量轻，电阻小；同时，本发明在线芯中添加石墨烯导电粉和稀土添加剂，能够使铝合金线芯与铜层实现冶金结合，提高所得石墨烯铜包铝合金导线通电运行的可靠性，并且能够提高力学性能、抗蠕变性能和耐腐蚀性能。

[0024] 本发明还提供了上述方案所述石墨烯铜包铝合金导线的制备方法，本发明提供的制备方法不涉及酸洗磷化、电镀、喷漆、喷塑等表面处理工艺，制备步骤简单，容易操作，绿色环保。

[0025] 本发明还提供了一种石墨烯铜包铝合金电线电缆，所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线。采用本发明提供的石墨烯铜包铝合金电线电缆替代铜芯导线电线电缆，具有以下有益效果：

[0026] (1) 质量轻、价格低，成本低

[0027] 与相同技术指标的铜芯导线电线电缆相比，石墨烯铜包铝合金电线电缆可节约成本 $30\sim50\%$ 之间，因其电线电缆芯线导线比重不同，铜导线的比重为 8.89g/cm^3 ，而本发明的石墨烯铜包铝合金导线比重为 $3.2\sim4.5\text{g/cm}^3$ ，在电线电缆芯线导线线径、重量相等的情况下，以石墨烯铜包铝合金导线为芯线制造成的电线电缆比为铜芯电线电缆的 $2\sim2.7$ 倍，价格优势明显，可节约成本 $30\%\sim50\%$ 。

[0028] (2) 交流电阻、载流量好,线损低,节约电损5~10%

[0029] 采用石墨烯铜包铝合金导线为芯线制成的电线电缆会起到降低高次谐波产生的交流阻抗(电阻)的作用。石墨烯铜包铝合金导线的电阻率比纯铜导线大,约为纯铜导线的1.2~1.5倍,纯铜导线20℃时的电阻率为 $0.01756 \sim 0.0185 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;铝的电阻率为 $0.028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;石墨烯铜包铝合金导线的电阻率为 $0.0219 \sim 0.02636 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;在电阻值相同时,石墨烯铜包铝合金导线的重量约为纯铜导线的二分之一。根据集肤效应计算,在5赫兹以上频率时,可以通过采取提高石墨烯铜包铝合金导线中铜的体积的工艺措施,满足导线直流电阻要求,使其与铜芯电缆的电阻率相等。在50赫兹以上频率电线电缆的使用中,纯铜导线的集肤效应和邻近效应在 144mm^2 以上电缆就会逐渐显得突出,产生高次谐波电流的能源就会注入到供电系统中,在线缆的阻抗上产生出相应频率的高次谐波电压,致使电压的波形发生畸变,使导线发热电阻增大增加供电系统的损耗,此外,电缆使高次谐波放大,在接头处产生过电压而损坏电缆接头。而采用石墨烯铜包铝合金导线为芯线制成的电线电缆就会起到降低高次谐波产生的交流阻抗(电阻)的作用。交流电阻是电流载流量的主要依据,根据集肤效应的原理,单根导线的表面,其单位面积通过的电流比导线的圆心单位面积通过的电流要大,也就是说,大截面积导线的圆心在相同导线组成的圆面积内,圆心比圆周通过的电流要小,所以把圆心导线与圆周导线用不同的金属组成是最合理最经济的。

[0030] 影响交流电阻的指标除直流电阻、集肤效应外,还有邻近效应,与相同直流电阻的纯铜导线相比,采用石墨烯铜包铝合金导线后,在单根导线内,铝合金在圆心,铜在外圆外围,在绞合导线内,内层是石墨烯铜包铝合金导线,外层是纯铜,同时把石墨烯铜包铝合金导线总截面积增大一个型号规格,因此增加了电线电缆芯线导线的表面积,改善了电线电缆的散热条件,增加了散热面积,从而降低了因导线变热导致的电线电缆芯线导线电阻增大而产生的电损耗。

[0031] 纯铜导线的密度大,分子结构密实,导线散热慢;而石墨烯铜包铝合金导线的密度小,分子结构疏松,易于散热。电线电缆通电会使其芯线导线变热,散热慢电阻就会增大,进而导致电线电缆电损耗增大。反之,若芯线导线散热快,其电阻不会增大,电损耗也就不会增大。

[0032] (3) 节铜68%,节电57%,节煤68%,减排68%

[0033] 在电线电缆等长度条件下,1吨石墨烯铜包铝合金导线电线电缆可节省铜1.26~1.69吨。使用100吨石墨烯铜包铝合金电线电缆,则可为国家节省铜资源126~169吨,如果按照市价6.7万元/吨铜来计算,直接节省人民币万1132.30万元或844.20万元。

[0034] 1吨石墨烯铜包铝合金电线电缆耗电能150度,1吨铜芯电线电缆耗电能350度,使用石墨烯铜包铝合金电线电缆,1吨可节约电能200度,100吨可节约电能20000度。工业用电平均按0.70元/度来计算,直接节省14000元。

[0035] 1吨电解铜能耗值为0.95吨标准煤,节约100吨铜就能节约95吨标准煤。1吨标准煤按1500元/吨来计算,节约95吨煤就是节约142500元。工业锅炉每燃烧1吨标准煤,就产生二氧化碳2620kg,二氧化硫8.5kg,氮氧化物7.4kg。即,节约了95吨标准煤将直接减少向大气排放248.9吨二氧化碳,807.5kg二氧化硫,703kg氮氧化物。此外,在电解铜的生产过程中,每产生一吨铜,就会产生44.8kg二氧化硫,每节约100吨铜,将直接减少向大气排放4.48吨二氧化硫。

- [0036] (4) 比纯铜线缆轻1/3,降低电缆桥架承重量1/3
- [0037] 石墨烯铜包铝合金电线电缆在生产过程中零排放,且比铜芯电缆轻,在运输过程中,燃油的消耗量能够降低30% ~ 40%,出色的弯曲性能及较轻的重量,能够节约线缆桥架钢材30%。
- [0038] (5) 柔韧性复合性强,链接容易,便于运输和施工
- [0039] 石墨烯铜包铝合金电线电缆同时具备铜的良好导电性能和铝的密度小、重量轻的复合特性,且具有比纯铜电线电缆更易链接、方便电线电缆敷设施工的特性。
- [0040] (6) 通电运行同样安全可靠
- [0041] 石墨烯铜包铝合金电线电缆的导体芯线中添加了石墨烯导电粉和稀土添加剂,通过包覆焊接、拉拔、退火等工艺,铜与石墨烯铝合金之间能够形成牢不可破的分子间的冶金结合,通电运行与铜芯线缆同样安全可靠。
- [0042] (7) 抗拉强度大、抗蠕变性能好、耐腐蚀性能好
- [0043] 由于石墨烯铜包铝合金导线中铜和铝实现了分子间的冶金结合,利用其制备的电线电缆的抗拉强度大,抗蠕变性能和耐腐蚀性能比铝和铝合金电线电缆好。
- [0044] (8) 防盗性能好
- [0045] 石墨烯铜包铝合金电线电缆其芯线导线特性是铜含量少,铝合金含量多,对于电线电缆偷盗者来说很难处理,在源头上堵住了偷盗电线电缆的行为,具有“防盗性”的社会效益。

附图说明

- [0046] 图1为产品1的结构示意图;
- [0047] 图2为产品2的结构示意图;
- [0048] 图3为产品3的结构示意图;
- [0049] 图4为产品4的结构示意图;
- [0050] 图5为产品5的结构示意图;
- [0051] 图6为产品6的结构示意图;
- [0052] 图7为产品7的结构示意图;
- [0053] 图8为产品8的结构示意图;
- [0054] 图9为产品9的结构示意图;
- [0055] 图10为产品10的结构示意图;
- [0056] 图11为产品11的结构示意图;
- [0057] 图12为产品12的结构示意图。

具体实施方式

- [0058] 本发明提供了一种石墨烯铜包铝合金导线,包括石墨烯铝合金芯线和包覆在所述石墨烯铝合金芯线表面的铜层;所述石墨烯铝合金芯线包括以下质量分数的组分:铝98.3 ~ 99.1%,石墨烯导电粉0.5 ~ 0.9%,稀土添加剂0.4 ~ 0.8%;
- [0059] 所述石墨烯铜包铝合金导线的比重为3.2 ~ 4.05g/cm³;
- [0060] 所述石墨烯铝合金芯线和铜层接触部位的Al和Cu形成冶金结合。

[0061] 在本发明中,所述石墨烯铝合金芯线优选包括以下质量分数的组分:铝98.7%,石墨烯导电粉0.9%,稀土添加剂0.4%。

[0062] 本发明对所述石墨烯导电粉没有特殊要求,采用本领域技术人员熟知的即可,石墨烯导电粉具有非同寻常的电学性能,超细石墨烯导电粉是一种极其优良的导电添加剂,其电子流动性极强,达到了光速的1/300,远远超过了电子在一般导体中的迁移速度,赋予了石墨烯超好的导电性,其电阻率比铜或银更低,为世界上电阻率最小的材料;同时石墨烯具有优异的力学性能,也是世界上最薄最硬的纳米材料;本发明在石墨烯铝合金芯线中加入石墨烯导电粉,能够有效的细化晶粒,提高铝合金导线的机械强度,同时还能够降低铝合金导线的电阻率,提高铝合金导线的导电性能。在本发明的具体实施例中,所述石墨烯导电粉的纯度优选为8000目~12000目。

[0063] 在本发明中,所述稀土添加剂优选为镧铈系混合稀土;所述镧铈系混合稀土中氧化镧的质量分数优选为15~25%,氧化铈的质量分数优选为60~70%,余量为杂质或其他残留稀土。稀土添加剂是铝、铜等有色金属良好的净化剂、细化剂和合金剂,具有“工业味精”之称,只需少量加入,就能够起到消除有害杂质的影响,细化晶粒并产生合金化的作用,从而提高材料的加工和使用性能。

[0064] 在本发明中,所述石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数优选为8~22%,优选为8~12%、13~17%或18~22%;在本发明中,按照铜层的体积比,所述石墨烯铜包铝合金导线的规格分为10A、10H、15A、15H和20A、20H,其中A表示软态导线,H表示硬态导线,10A和10H的石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数为8~12%,比重为 $3.31 \pm 0.11 \text{ g/cm}^3$,15A和15H的石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数为13~17%,比重为 $3.52 \pm 0.11 \text{ g/cm}^3$;20A和20H的石墨烯铜包铝合金导线中铜层的体积分数为18~22%,比重为 $3.93 \pm 0.11 \text{ g/cm}^3$ 。

[0065] 在本发明中,所述石墨烯铜包铝合金导线的直径优选为0.5~3.15mm。

[0066] 本发明还提供了上述方案所述石墨烯铜包铝合金导线的制备方法,包括以下步骤:

[0067] 将铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和助燃剂混合进行熔炼,将所得熔体抽丝成型,得到石墨烯铝合金毛坯线;

[0068] 将所述石墨烯铝合金毛坯线依次进行第一拉拔和第一退火,得到石墨烯铝合金原始芯线;

[0069] 将铜带包覆焊接在所述石墨烯铝合金原始芯线表面,得到石墨烯铜包铝合金坯线;

[0070] 将所述石墨烯铜包铝合金坯线依次进行第二拉拔、第二退火和第三拉拔,得到所述石墨烯铜包铝合金导线。

[0071] 本发明将铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和助燃剂混合进行熔炼,将所得熔体抽丝成型,得到石墨烯铝合金毛坯线。在本发明中,所述助燃剂优选为冰晶石,所述助燃剂的用量优选为所述铝锭质量的0.7~1%;所述铝锭的纯度优选为99.7%以上;熔炼得到熔体后,本发明优选进行除气和清渣,然后再进行抽丝成型;所述石墨烯铝合金毛坯线的直径优选为 $10 \pm 0.05 \text{ mm}$ 、 $12 \pm 0.05 \text{ mm}$ 或 $15 \pm 0.05 \text{ mm}$;

[0072] 得到石墨烯铝合金毛坯线后,本发明将所述石墨烯铝合金毛坯线依次进行第一拉

拔和第一退火,得到石墨烯铝合金原始芯线。在本发明中,所述石墨烯铝合金原始芯线的直径优选为 $9.5 \pm 0.05\text{mm}$ 和 $12 \pm 0.05\text{mm}$ 及 $14 \pm 0.05\text{mm}$;本发明对所述第一拉拔没有特殊要求,能够得到相应直径的原始线芯即可;所述第一退火的温度优选为 $230 \sim 260^\circ\text{C}$,时间优选为 $2 \sim 3\text{h}$ 。

[0073] 得到石墨烯铝合金原始芯线后,本发明将铜带包覆焊接在所述石墨烯铝合金原始芯线表面,得到石墨烯铜包铝合金坯线。在本发明中,所述铜带优选为紫铜T2铜带,所述铜带的宽度优选为 $31.4 \pm 0.15\text{mm}$ 、 $37.68 \pm 0.15\text{mm}$ 或 $43.96 \pm 0.15\text{mm}$,厚度优选为 $0.38 \pm 0.03\text{mm}$;所述包覆焊接采用的方式优选为氩弧焊;所述石墨烯铜包铝合金坯线的直径优选为 $9 \sim 10\text{mm}$ 、 $11 \sim 12\text{mm}$ 或 $14 \sim 15\text{mm}$,更优选为 10mm 、 12mm 或 14mm ,或更优选为 9.5mm 、 11.5mm 或 13.5mm 得到石墨烯铜包铝合金坯线后,优选通过落地式工字轮收线机收线。

[0074] 得到石墨烯铜包铝合金坯线后,本发明将所述石墨烯铜包铝合金坯线依次进行第二拉拔、第二退火和第三拉拔,得到所述石墨烯铜包铝合金导线。在本发明中,所述第二拉拔的道次数优选为20道次,每道次的拉拔变形量优选为 $10 \sim 13\%$;所述第二拉拔后所得线坯的直径优选为 5.15mm ;所述第二退火的温度优选为 $230 \sim 260^\circ\text{C}$,时间优选为 $2 \sim 3\text{h}$;所述第二退火优选在惰性气体进行,所述惰性气体优选为氩气,本发明在氩气保护下进行第二退火,能够防止导线表面氧化,循环对流传导,使石墨烯铜包铝合金芯线受热均匀,以利于导线降低硬度,提高塑性,改善导线加工拉制性能,降低残余应力,减少变形与裂纹,细化晶粒,调整组织,消除组织缺陷。在本发明的具体实施例中,石墨烯铜包铝合金坯线经过拉拔机二十道次拉拔,缩径至线径 5.15mm ,将所得线坯盘绕在收线筐上,每筐线重 500kg 左右,然后放入井式真空退火炉中进行退火;第二退火完成后,优选进行自然冷却后,然后取出线筐。

[0075] 在本发明中,所述第三拉拔的道次数优选为3道次,每道次的拉拔变形量优选为 $13 \sim 17\%$;通过三道次拉拔使石墨烯铜包铝合金导线的线径拉拔至 3.15mm ,使铜与铝形成冶金结合。

[0076] 在本发明中,所述第三拉拔后还包括第三退火,所述第三退火的温度优选为 $250 \sim 260^\circ\text{C}$,时间优选为 $2 \sim 3\text{h}$;在本发明的具体实施例中,第三拉拔后不进行第三退火,所得导线为硬态导线(H),第三拉拔后进行第三退火,所得导线为软态导线(A)。

[0077] 本发明还提供了一种石墨烯铜包铝合金电线电缆,所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线或上述方案所述制备方法制备的石墨烯铜包铝合金导线。

[0078] 在本发明中,所述电线电缆包括绝缘层,所述绝缘层优选为聚氯乙烯绝缘层或交联聚乙烯绝缘层。

[0079] 在本发明中,所述电线电缆优选包括护套;所述护套包括内护套和/或外护套;所述护套中含有石墨烯,所述护套中石墨烯的质量分数为 $3 \sim 4\%$ 。

[0080] 在本发明中,以质量分数计,所述护套的成分优选包括:二辛酯 $20 \sim 30\%$,优选为 24% ,稳定剂 $1 \sim 3\%$,优选为 2% ,润滑剂 $0.5 \sim 1\%$,优选为 0.6% ,树脂粉 $40 \sim 50\%$,优选为 46% ,钙粉 $20 \sim 25\%$,优选为 22% ,色浆 $1 \sim 3\%$,优选为 2% ,石墨烯导电粉 $3 \sim 4\%$,优选为 3.4% 。在本发明中,所述二辛酯具体为邻苯二甲酸二辛酯,所述稳定剂优选为有机锡稳定剂和铅盐稳定剂中的一种或多种,所述润滑剂优选为油性润滑剂和硅树脂润滑剂中的一种。

或多种；所述树脂粉优选为聚乙烯(PE)粉和聚丙烯(PP)粉中的一种或多种；本发明对所述色浆没有特殊要求，采用本领域技术人员熟知的即可。

[0081] 在本发明中，所述电线电缆优选包括填充层；所述填充层中含有石墨烯；所述填充层中石墨烯的质量分数为0.5~0.9%；本发明对所述填充层中的其他成分没有要求，直接在常用的填充层材料中加入石墨烯即可。

[0082] 石墨烯优异的热传导性，本发明在内护套、外护套、填充层中添加石墨烯，能够有效快速散热，并减少电线电缆运行中产生的局部放电。

[0083] 本发明对所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的具体结构没有特殊要求，根据不同的性能要求，采用本领域技术人员熟知的电线电缆结构即可。

[0084] 下面对本发明所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的结构、规格和使用特性进行详细说明：

[0085] 1、石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘电力电缆

[0086] 适用于额定电压0.6/1KV及以下的线路中，供输配电能之用(阻燃电缆用于要求阻燃特性的线路)。

[0087] 使用特性：电缆额定电压 U_0/U 为0.6/1KV；电缆长期允许工作温度为70℃；短路时(最长时间不超过5S)电缆最高温度不超过160℃；电缆敷设温度不低于0℃；电缆最小弯曲半径，单芯电缆为20(D+d)mm；多芯电缆为15(D+d)mm；注：D,d分别为电缆外径与主导体的标称直径，单位为mm。

[0088] 所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘电力电缆的型号记为VVSCCA，当绝缘层采用的是阻燃聚烯烃时，所得电缆为阻燃电缆，型号记为ZR(C)-VVSCCA。

[0089] 产品规格：按照电缆结构，石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘电力电缆分为4种产品，分为记为产品1~产品4，下面分别进行说明：

[0090] 所述产品1包括绝缘线芯和包覆在所述绝缘线芯表面的外护套，所述绝缘线芯包括导体和包覆在所述导体表面的绝缘层，所述绝缘层为聚氯乙烯或低烟无卤阻燃聚烯烃；所述导体为所述石墨烯铜包铝合金导线；所述绝缘线芯的数量优选为1(即单芯电缆)。所述产品1的结构示意图如图1所示。

[0091] 所述产品1的性能参数如表1所示：

[0092] 表1产品1性能参数

[0093]	VVSCCA		ZR(C)-VVSCCA (单芯)				电缆参考重量 kg/km	
	标称截面 mm ²	电缆参考外径 mm ²	允许载流量 (A)					
			空气中敷设		埋地敷设			
	2.5	6.5	31	34	32	36	73	
	4	7.5	41	46	42	48	97	
	6	8.1	51	58	52	59	120	

[0094]	10	9.7	68	80	71	85	165
	16	10.8	89	102	92	104	192
	25	12.2	115	133	118	131	220
	35	14.2	136	155	146	162	395
	50	15.6	166	188	177	201	528
	70	17.6	205	232	225	255	647
	95	19.2	243	290	275	310	840
	120	21.2	278	319	319	362	1012
	150	22.8	311	353	367	417	1232
	185	25.4	345	401	422	478	1500
	240	28.0	410	485	500	568	1870
	300	34.1	470	555	515	595	2167
	400	41.0	550	630	585	700	2800
工作温度 °C		70					
环境温度 °C		40		25			

[0095] 表1中:  表示品字型敷设电缆,  表示并排敷设电缆。

[0096] 所述产品2包括为二芯电缆,包括两个半圆形绝缘线芯,填充在两个扇形绝缘线芯之间、并将两个扇形绝缘线芯包覆的填充层,包覆在填充层表面的内护套,包覆在内护套表面的钢带以及包覆在所述钢带表面的外护套(钢带可省略);所述扇形绝缘线芯包括导体和包覆在所述导体表面的的绝缘层,所述绝缘层为聚氯乙烯或低烟无卤阻燃聚烯烃;所述导体为所述石墨烯铜包铝合金导线;所述产品2的结构示意图如图2所示。

[0097] 所述产品2的性能参数如表2所示,(VVSCCA表示不带钢带铠装的电缆,VV₂₂SCCA表示带有钢带铠装的电缆,其中:VV₂₂表示:聚氯乙烯绝缘护套钢带铠装;SCCA表示:石墨烯铜包铝合金导体.VV表示:聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆,后续不再赘述):

[0098] 表2产品2性能参数

[0099]	VVSCCA ZR(C)-VVSCCA (二芯)				VV ₂₂ SCCA ZR(C)-VV ₂₂ SCCA (二芯)					
	标称截面 mm ²	电缆参考外径 mm	允许载流量 (A)		电缆参考重量 kg/km	标称截面 mm ²	电缆参考外径 mm	允许载流量 (A)		
			空气 中敷 设	埋地 敷设				空气 中敷 设	埋地 数设	
	2×2.5	11.7	27	35	147	2×2.5	14.9	-	-	205

[0100]	2×4	13.6	38	46	197	2×4	16.2	40	46	364
	2×6	14.8	46	58	242	2×6	17.4	47	58	424
	2×10	17.9	63	79	334	2×10	20.5	64	79	555
	2×16	20.2	85	104	387	2×16	22.8	87	104	686
	2×25	23.0	108	130	444	2×25	25.6	110	130	904
	2×35	27.0	132	161	792	2×35	29.6	135	161	1128
	2×50	29.8	161	192	1057	2×50	32.6	164	192	1443
	2×70	33.8	198	239	1294	2×70	36.8	202	239	1766
	2×95	36.8	252	286	1681	2×95	40.0	257	286	2195
	2×120	41.0	293	322	2038	2×120	45.4	300	322	3066
	2×150	44.0	335	364	2465	2×150	48.4	341	364	3577
	2×185	49.0	383	411	3001	2×185	53.4	390	411	4236
	工作温度°C					70				
	环境温度°C			40				25		

[0101] 产品3为三芯电缆,结构和产品2相似,区别仅在于将两个半圆形绝缘线芯替换为三个扇形绝缘线芯,每个扇形绝缘线芯的角度优选为120°,其他和产品2相同;所述产品3的结构示意图如图3所示。

[0102] 所述产品3的性能参数如表3所示(表3中的标称截面中“1×”后的数字表示安全保护线或中性线的标称截面,后续的表中均为此含义,后续不再赘述):

[0103] 表3产品3性能参数

VVSCCA			ZR(C)-VVSCCA (三芯)			VV ₂₂ SCCA			ZR(C)-VV ₂₂ SCCA (三芯)		
标称截面 mm ²	电缆 参考 外径 mm	允许载流 量 (A)		电缆 参考 重量 kg/km	标称截面 mm ²	电缆 参考 外径 mm	允许载流量 (A)		电缆 参考 重量 kg/km		
		空 气 中 敷 设	埋 地 敷 设				空 气 中 敷 设	埋 地 敷 设			
3×4+1×2.5	14.5	30	40	243	3×4+1×2.5	16.9	32	40	433		
3×6+1×4	16.7	38	49	333	3×6+1×4	19.3	40	49	539		
3×10+1×6	20.3	55	68	468	3×10+1×6	22.9	56	68	720		
3×16+1×10	23.0	72	87	643	3×16+1×10	25.6	73	87	930		
3×25+1×16	26.0	93	114	915	3×25+1×16	28.9	95	114	1242		

[0105]	3×35+1×16	31.0	113	135	1167	3×35+1×16	33.8	115	135	1555
	3×50+1×25	34.0	137	161	1584	3×50+1×25	36.3	140	161	2003
	3×70+1×35	39.8	174	203	1910	3×70+1×35	42.4	177	203	2400
	3×95+1×50	43.5	222	239	2485	3×95+1×50	47.1	226	239	3504
	3×120+1×70	48.4	252	270	3220	3×120+1×70	52.2	256	270	3933
	3×150+1×70	52.0	293	312	3830	3×150+1×70	55.7	298	312	5049
	3×185+1×95	58.0	335	348	4754	3×185+1×95	61.7	340	348	6112
	3×240+1×120	64.0	400	406	5991	3×240+1×120	67.7	408	416	7488
	3×300+1×150	74.0	410	480	7720	3×300+1×150	77.5	463	475	9510
	3×400+1×185	83.5	485	550	9953	3×400+1×185	87.7	480	540	11995
工作温度℃		70								
环境温度℃		40			25					

[0106] 产品4为四芯电缆,结构和产品2相似,区别仅在于将两个半圆的绝缘线芯替换为三个扇形绝缘线芯和一个圆形绝缘线芯,三个扇形绝缘线芯的角度为90°,其他条件和产品2相同。所述产品4的结构示意图如图4所示。

[0107] 所述产品4的性能参数如表4所示。

[0108] 表4产品4性能参数

VVSCCA ZR(C)-VVSCCA 四芯			VV ₂₂ SCCA ZR(C)-VV ₂₂ SCCA 四芯							
标称截面 mm ²	电缆 参考 外径 mm	允许载流量 (A)		电缆 参考 重量 kg/km	允许载流 量(A)	电缆 参考 重量 kg/km				
		空气 中敷设	埋地 敷设							
[0109]	4×4+1×2.5	15.6	32	41	311	4×4+1×2.5	18.2	33	41	502
	4×6+1×4	18.2	41	50	413	4×6+1×4	20.8	41	50	638
	4×10+1×6	22.5	56	69	545	4×10+1×6	24.9	57	69	868
	4×16+1×10	25.3	73	89	824	4×16+1×10	27.9	74	89	1140
	4×25+1×16	29.0	95	116	1189	4×25+1×16	31.8	95	116	1565
	4×35+1×16	34.7	116	138	1689	4×35+1×16	37.3	116	138	2120
	4×50+1×25	37.5	138	164	2190	4×50+1×25	40.1	142	164	2656
	4×70+1×35	44.3	175	207	2906	4×70+1×35	48.3	180	207	3578
	4×95+1×50	48.2	226	244	3668	4×95+1×50	52.2	230	244	4829

[0110]	4×120+1×70	54.1	257	276	4110	4×120+1×70	57.9	260	276	5378
	4×150+1×70	57.9	300	318	4913	4×150+1×70	61.7	302	318	6272
	4×185+1×95	64.1	341	355	6088	4×185+1×95	68.7	343	355	7633
	4×240+1×120	71.4	409	414	7617	4×240+1×120	75.4	406	414	9321
	4×300+1×150	82.2	410	480	9854	4×300+1×150	86.2	463	475	11795
	4×400+1×185	93.7	485	550	12711	4×400+1×185	99.9	480	540	15066
	工作温度 °C					70				
	环境温度 °C			40					25	

[0111] 2、石墨烯铜包铝合金芯线交联聚乙烯绝缘电力电缆

[0112] 所述石墨烯铜包铝合金芯线交联聚乙烯绝缘电力电缆型号记为YJVSCCA,阻燃电缆记为ZR(C)-YJVSCCA。

[0113] 所述石墨烯铜包铝合金芯线交联聚乙烯绝缘电力电缆分类两类,分别用于不同的额定电压条件下,记为第一类和第二类,下面分别进行说明:

[0114] (1) 第一类应用于额定电压0.6/1KV及以下的线路中,供输配电能之用(阻燃电缆用于要求阻燃特性的线路),使用特性和石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘电力电缆相同。

[0115] 产品规格:按照电缆结构分为2种产品,分为记为产品5~产品6,下面分别进行说明:

[0116] 产品5为单芯电缆,结构和产品1相同,仅将聚氯乙烯绝缘层替换为交联聚乙烯绝缘层结构示意图如图5所示。产品5的性能参数见表5。

[0117] 表5产品5性能参数

[0118]	YJVSCCA		ZR(C)-YJVSCCA (单芯)				电缆参考重量 kg/km	
	标称截面 mm ²	电缆参考外径 mm ²	允许载流量 (A)					
			空气中敷设		埋地敷设			
	2.5	6.3	35	44	45	48	42	
	4	6.9	46	58	58	61	52	
	6	7.5	58	73	72	77	63	
	10	9.1	80	101	96	103	83	
	16	10.2	104	130	124	133	111	
	25	11.6	135	172	160	171	165	

[0119]	35	13.6	166	208	192	205	211
	50	14.8	203	255	225	241	282
	70	17.0	255	317	280	296	374
	95	18.2	312	387	333	356	490
	120	20.4	360	452	378	405	599
	150	22.0	416	520	426	450	748
	185	24.4	484	603	484	515	907
	240	26.8	572	710	562	600	1154
	工作温度 °C				90		
环境温度 °C		40		25			

[0120] 产品6为三芯或四芯电缆,结构和产品3或产品4相同,仅将聚氯乙烯绝缘层替换为交联聚乙烯绝缘层,产品6(三芯)的结构示意图如图6所示。产品6的性能参数见表6。

[0121] 表6产品6性能参数

VJVSCCA		ZR(C)-YJVSCCA		三芯	四芯	VJV ₂₂ SCCA		ZR(C)-YJV ₂₂ SCCA		三芯	四芯
标称截面 mm ²	电缆 参考 外径 mm	允许载流 量 (A)		电缆 参考 重量 kg/km	标称截面 mm ²	电缆 参考 外径 mm	允许载流 量 (A)		电缆 参考 重量 kg/km	电缆 参考 重量 kg/km	
		空 气 中 敷 设	埋 地 敷 设				空 气 中 敷 设	埋 地 敷 设			
3×4+1×2.5	13.8	36	55	218	3×4+1×2.5	16.5	36	55	389		
3×6+1×4	15.3	47	69	277	3×6+1×4	17.9	47	69	465		
3×10+1×6	18.9	66	94	402	3×10+1×6	21.5	66	94	636		
3×16+1×10	21.6	87	122	554	3×16+1×10	24.2	87	122	823		
3×25+1×16	24.9	118	156	790	3×25+1×16	27.5	118	157	1100		
3×35+1×16	29.6	145	188	1018	3×35+1×16	32.4	145	188	1402		
3×50+1×25	32.6	167	218	1395	3×50+1×25	35.4	167	218	1817		
3×70+1×35	38.2	210	267	1720	3×70+1×35	40.8	212	267	2194		
3×95+1×50	40.7	260	320	2222	3×95+1×50	44.7	262	322	3207		
3×120+1×70	43.8	303	365	2925	3×120+1×70	50.1	303	365	4038		
3×150+1×70	49.6	347	408	3501	3×150+1×70	54.0	346	409	4720		
3×185+1×95	55.6	400	462	4355	3×185+1×95	59.8	400	463	5719		
3×240+1×120	61.2	470	537	5571	3×240+1×120	65.4	475	537	7067		
3×300+1×150	70.5	555	565	7060	3×300+1×150	74.5	535	565	8748		
3×400+1×185	80.7	610	640	9155	3×400+1×185	84.7	620	650	11077		
4×4+1×2.5	15.0	36	55	262	4×4+1×2.5	17.6	36	55	447		
4×6+1×4	16.6	47	69	345	4×6+1×4	19.2	47	69	520		
4×10+1×6	20.7	66	94	506	4×10+1×6	23.3	66	94	770		

[0123]	4×16+1×10	23.7	87	122	724	4×16+1×10	26.3	87	122	1020
	4×25+1×16	27.4	118	157	1064	4×25+1×16	30.0	118	157	1406
	4×35+1×16	32.9	145	188	1526	4×35+1×16	35.7	145	188	1952
	4×50+1×25	36.3	167	218	1980	4×50+1×25	39.1	167	218	2450
	4×70+1×35	42.5	212	267	2617	4×70+1×35	46.5	212	267	3645
	4×95+1×50	45.3	262	322	3338	4×95+1×50	49.3	262	322	4154
	4×120+1×70	51.5	303	365	3740	4×120+1×70	55.5	303	365	4983
	4×150+1×70	55.4	346	409	4501	4×150+1×70	59.4	346	409	5832
	4×185+1×95	62.2	400	463	5590	4×185+1×95	66.4	400	463	7111
	4×240+1×120	68.6	475	537	7125	4×240+1×120	72.6	475	537	8764
	4×300+1×150	78.6	555	565	8977	4×300+1×150	82.6	535	565	10855
	4×400+1×185	90.2	610	640	11699	4×400+1×185	94.2	620	650	13848
	工作温度 °C					90				
	环境温度 °C				40				25	

[0124] (2) 第二类适用于交流额定电压8.7KV/10KV、8.7KV/15KV固定敷设线路中,供输配电能之用。

[0125] 使用特性:电缆额定电压U₀/U为8.7KV/10KV、8.7KV/15KV;电缆长期允许工作温度为90°C;短路时(最长时间不超过5S)电缆最高温度不超过250°C;电缆敷设温度不低于0°C;电缆最小弯曲半径,单芯电缆为20(D+d),mm;三芯电缆15(D+d),mm;注:D,d分别为电缆外径与主导体的标称直径,单位为mm。

[0126] 产品规格:按照电缆结构分为2种产品,分为记为产品7~产品8,下面分别进行说明:

[0127] 产品7为单芯电缆,包括绝缘线芯、包覆在所述绝缘线芯表面的内护套、包覆在所述内护套表面的外护套;所述外护套优选为PVC护套,所述内护套优选为挤出的PVC护套或绕包垫层;所述绝缘线芯包括导体、包覆在所述导体表面的导体屏蔽层、包覆在所述导体屏蔽层表面的交联聚乙烯绝缘层、包覆在所述交联聚乙烯绝缘层表面的绝缘屏蔽层、包覆在所述绝缘屏蔽层表面的金属屏蔽层;所述导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线。所述金属屏蔽层优选为钢带(金属屏蔽层为铠装,可省略,带有金属屏蔽层的电缆对应表7中的“有铠”,不带金属屏蔽层的电缆对应表7中的“无铠”);所述导体屏蔽层优选为半导电层,通过挤出形成层;所述绝缘屏蔽层优选为半导电层,通过挤出形成,产品7的结构示意图如图7所示。

[0128] 所述产品7的主要性能参数见表7。

[0129] 表7产品7性能参数

[0130]	YJVSCCA (单芯)			
	标称	电缆参考外径 mm	允许载流量 (A) (无铠)	电缆参考重量 kg/km

截面 mm ²	有铠	无铠					有铠	无铠
			空气中敷设		埋地敷设			
1×25	28.2	23.8	141	170	160	190	1082	676
1×35	29.5	25.1	175	205	196	225	1186	771
1×50	31.3	26.7	205	245	231	270	1370	903
1×70	33.2	28.4	260	310	282	335	1575	1063
1×95	35.1	30.3	315	380	336	405	1792	1249
1×120	39.1	32.1	365	435	387	460	2445	1455
1×150	40.1	34.1	415	495	430	520	2695	1680
1×185	42.1	35.9	475	570	486	585	3017	1932
1×240	44.7	38.7	565	680	567	690	3467	2325
1×300	47.3	41.3	645	780	643	775	3953	2740
1×400	52.4	46.4	750	910	733	890	4870	3515
工作温度 °C			90					
环境温度 °C			40		25			

[0132] 产品8为三芯电缆,和产品7的结构相似,区别仅在于由三个圆形绝缘线芯,并且绝缘线芯和内护套之间填充有填充层,所述填充层优选为聚丙烯撕裂膜填充材料,产品8的结构示意图如图8所示。所述产品8的主要性能参数见表8。

[0133] 表8产品8性能参数

标称 截面 mm ²	电缆参考外径 mm		允许载流量 (A) (无铠)				电缆参考重量 kg/km	
	有铠	无铠					有铠	无铠
			空气中敷设		埋地敷设			
3×25	54.5	48.0	-	120	135	135	3441	2013
3×35	57.3	51.5	145	145	165	165	3835	2323
3×50	60.9	55.0	170	175	190	190	4358	2745

[0135]	3×70	64.6	58.5	210	220	240	240	4973	3257
	3×95	69.3	63.0	265	265	285	285	5796	3921
	3×120	72.9	66.5	300	305	320	320	6440	4463
	3×150	77.2	70.8	340	350	365	365	7262	5165
	3×185	82.3	75.0	390	395	410	410	8384	5962
	3×240	89.5	81.0	455	470	480	480	10777	7180
	3×300	94.8	86.0	520	535	540	540	12190	8419
	3×400	106.4	97.5	600	610	610	610	15184	10892
	工作温度 °C					90			
	环境温度 °C			40			25		

[0136] 3、石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘无护套电缆

[0137] 在本发明中,所述石墨烯铜包铝合金芯线聚乙烯绝缘无护套电缆适用于工频额定电压450/750及以下动力、照明系统配线和开关柜、控制柜内部连线,低烟无卤阻燃电缆用于要求低烟无卤阻燃特性线路。

[0138] 使用特性:所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘无护套电缆的额定电压U₀/U为450V/750V,电缆长期允许工作温度为70°C,电缆敷设温度不低于0°C,电缆外径(D)小于25mm,电缆允许弯曲半径应不小4D,电缆外径(D)大等于25mm以上,电缆允许弯曲半径应不小6D(D为电缆外径的标称直径,单位为mm)。

[0139] 所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘无护套电缆的型号记为BVSCCA,当绝缘层采用的是阻燃聚烯烃时,所得电缆为阻燃电缆,型号记为WDZBVSCCA。

[0140] 在本发明中,所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘无护套电缆记为产品9,所述产品9包括导体和包覆在所述导体表面的绝缘层;所述绝缘层为聚氯乙烯或低烟无卤阻燃聚烯烃;所述导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线,所述导体具体可以为实心导体或绞合导体,所述实心导体即由1根单线组成,绞合导体由若干根单线绞合而成;所述产品9的结构示意图如图9所示,主要参数如表9所示:

[0141] 表9产品9性能参数

[0142]	BVSCCA	WDZBVSCCA
--------	--------	-----------

导体标称截面 mm ²	实心导体或 绞合导体中 单线最少根数	绝缘厚度规 定值 mm	平均外径上 限 mm	20℃时导体 电阻最大值 Ω/km	70℃时绝缘 电阻最小值 MΩ·km
0.5	1	0.6	2.4	36.0	0.015
0.75	1	0.6	2.6	24.5	0.012
1.0	1	0.6	2.8	18.1	0.011
1.5	1	0.7	3.3	12.1	0.011
1.5	7	0.7	3.5	12.1	0.010
2.5	1	0.8	4.0	7.41	0.010
2.5	7	0.8	4.3	7.41	0.009
4	1	0.8	4.6	4.61	0.009
4	7	0.8	4.9	4.61	0.0085
6	1	0.8	5.2	3.08	0.0077
6	7	0.8	5.6	3.08	0.0070
10	7	1.0	7.1	1.83	0.0065
16	7	1.0	8.5	1.15	0.0050
25	7	1.2	10.0	0.727	0.0050
35	7	1.2	11.8	0.524	0.0043
50	19	1.4	14.0	0.387	0.0043
70	19	1.4	16.1	0.268	0.0035
95	19	1.4	18.5	0.193	0.0035
120	37	1.6	20.2	0.153	0.0032

[0143] [0144] 4、石墨烯铜包铝合金芯线聚乙烯绝缘无护套软电缆

[0145] 所述石墨烯铜包铝合金芯线聚乙烯绝缘无护套软电缆的结构、使用场景以及使用特性和上述方案所述的型号为BVSCCA的电缆一致，所述石墨烯铜包铝合金芯线聚乙烯绝缘无护套软电缆的型号为BVRCCA，结构如图10所示，记为产品10，主要参数如表10所示：

[0146] 表10产品10性能参数

[0147]	BVRSCCA					
	导体标称 截面 mm ²	绞合导体 中 单线最少 根数	绝缘厚度规 定值 mm	平均外径 上限 mm	20℃时导体电阻 最大值 Ω/km	70℃时绝缘电阻 最小值 MΩ·km

[0148]	0.5	16	0.6	2.5	39.0	0.013
	0.75	24	0.6	2.7	26.0	0.012
	1.0	30	0.6	2.9	19.5	0.011
	1.5	30	0.7	3.5	13.3	0.011
	2.5	19	0.8	4.1	7.41	0.011
	4	19	0.8	4.8	4.61	0.009
	6	19	0.8	5.5	3.08	0.0084
	10	49	1.0	7.2	1.83	0.0072
	16	49	1.0	8.4	1.15	0.0062
	25	98	1.2	10.5	0.727	0.0058
	35	133	1.2	12.5	0.524	0.0052
	50	189	1.4	16.5	0.387	0.0051
	70	220	1.4	20.0	0.268	0.0045
	95	245	1.6	23.0	0.206	0.0035

[0149] 5、石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆

[0150] 所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆适用于交流额定电压 U_0/U 为450V/750V及以下的控制、监测系统及自动控制系统,作为各种电器、仪表和自动装置之间的连接线之用。

[0151] 使用特性:电缆额定电压 U_0/U 为450V/750V;电缆长期允许工作温度为70℃;电缆敷设温度不低于0℃;电缆弯曲半径,无铠装层的电缆应不小于电缆外径的6倍,有铠装层或铜带屏蔽结构的电缆应不小于电缆外径的12倍;有屏蔽层结构的软电缆应不小于电缆外径的6倍。

[0152] 在本发明中,所述石墨烯铜包铝合金芯线聚氯乙烯绝缘电力电缆记为产品11,所述产品11包括绝缘线芯、填充在绝缘线芯间隙中并包覆所述绝缘线芯的填充层,包覆在所述填充层表面的绕包带,包覆在所述绕包带表面的金属屏蔽层,包覆在所述金属屏蔽层表面的聚氯乙烯护套;所述金属屏蔽层为钢带或钢丝屏蔽层(金属屏蔽层可省略);所述绝缘线芯的数量为2~61个,所述绝缘线芯包括导体和包覆在所述导体表面的聚氯乙烯绝缘层,所述导体为上述方案所述的石墨烯铜包铝合金导线;图11为所述产品11的结构示意图(7个绝缘线芯)。

[0153] 所述产品11的型号记为KVVP₂SCCA(带有金属屏蔽层)或KVVPSCCA(不带金属屏蔽层),主要性能参数见表11。

[0154] 表11产品11性能参数

KVVP ₂ SCCA						KVVPSCCA						
芯数× 标称 截面 mm ²	绝 缘 厚 度 规 定 值 mm	护 套 厚 度 规 定 值 mm	电 缆 外 径 上 限 mm	20℃ 时导 体电 阻最 大值 Ω/km	70℃ 时绝 缘电 阻最 小值 MΩ. km	芯数× 标称 截面 mm ²	绝 缘 厚 度 规 定 值 mm	护 套 厚 度 规 定 值 mm	电 缆 外 径 上 限 mm	20℃ 时导 体电 阻最 大值 Ω/km	70℃ 时绝 缘电 阻最 小值 MΩ. km	
[0155]	4×2.5	0.8	1.5	14.5	7.41	0.010	2×1.5	0.7	1.2	11.0	12.1	0.010
	5×2.5	0.8	1.5	16.0	7.41	0.010	3×1.5	0.7	1.2	11.5	12.1	0.010
	7×2.5	0.8	1.5	17.0	7.41	0.010	4×1.5	0.7	1.2	12.0	12.1	0.010
	8×2.5	0.8	1.5	18.5	7.41	0.010	5×1.5	0.7	1.2	13.0	12.1	0.010
	10×2.5	0.8	1.7	22.0	7.41	0.010	7×1.5	0.7	1.5	15.0	12.1	0.010
	12×2.5	0.8	1.7	22.5	7.41	0.010	8×1.5	0.7	1.5	16.0	12.1	0.010
	14×2.5	0.8	1.7	23.5	7.41	0.010	10×1.5	0.7	1.5	18.5	12.1	0.010
	16×2.5	0.8	1.7	25.0	7.41	0.010	12×1.5	0.7	1.5	19.0	12.1	0.010
	19×2.5	0.8	1.7	26.0	7.41	0.010	14×1.5	0.7	1.5	20.0	12.1	0.010
	24×2.5	0.8	1.7	30.5	7.41	0.010	16×1.5	0.7	1.5	21.5	12.1	0.010
	27×2.5	0.8	1.7	31.5	7.41	0.010	19×1.5	0.7	1.7	22.5	12.1	0.010
	30×2.5	0.8	2.0	32.5	7.41	0.010	24×1.5	0.7	1.7	26.0	12.1	0.010
	37×2.5	0.8	2.0	35.8	7.41	0.010	27×1.5	0.7	1.7	27.0	12.1	0.010
	44×2.5	0.8	2.2	37.0	7.41	0.010	30×1.5	0.7	1.7	28.0	12.1	0.010
	48×2.5	0.8	2.2	40.0	7.41	0.010	37×1.5	0.7	1.7	30.0	12.1	0.010
	52×2.5	0.8	2.2	42.5	7.41	0.010	44×1.5	0.7	2.0	33.0	12.1	0.010
	61×2.5	0.8	2.2	44.0	7.41	0.010	48×1.5	0.7	2.0	34.0	12.1	0.010

[0156] 6、石墨烯铜包铝合金芯线交联聚乙烯绝缘路灯照明专用电缆

[0157] 应用于0.6/1KV的路灯照明电路中,结构包括绝缘线芯、包覆在所述绝缘线芯表面的绕包带以及包覆在所述绕包带表面的外护套;所述绝缘线芯包括导体和包覆在所述导体表面的交联聚乙烯绝缘层;除上述结构外,还可以包括钢带铠装。

[0158] 石墨烯铜包铝合金芯线交联聚乙烯绝缘路灯照明专用电缆记为产品12,结构示意图如图12所示,型号为LDYJVSCCA(没有钢带铠装)或LDYJV₂₂SCCA(具有钢带铠装),主要性能参数见表12。

[0159] 表12产品12性能参数

		LDYJVSCCA		LDYJYSCCA (单芯)		LDYJV ₂₂ SCCA		LDYJY ₂₂ SCCA (单芯)		
标称 截面 mm ²	电缆 参考外 径 mm	允许载流量 (A)		电缆参 考重量 kg/km	标称 截面 mm ²	电缆 参考外 径 mm	允许载流量 (A)		电缆参 考重量 kg/km	
		空气 中敷 设	埋地 敷设				空气 中敷 设	埋地 敷设		
[0160]	1×2.5	6.9	44	52.0	1×2.5	8.5	44	48	99.0	
	1×4	7.5	58	65.0	1×4	9.0	58	61	117	
	1×6	8.0	73	80.0	1×6	9.5	73	77	137	
	1×10	9.5	101	113	1×10	11.5	101	103	179	
	1×16	11.0	130	155	1×16	12.5	130	133	230	
	1×25	12.5	171	220	1×25	14.5	171	172	307	
	1×35	14.3	205	283	1×35	16.0	205	208	381	
	1×50	16.0	241	382	1×50	16.5	241	255	493	
	1×70	19.0	296	525	1×70	20.5	296	317	653	
工作 温 度 °C						90				
环境 温 度 °C			40					25		

[0161] 采用本发明的上述电线电缆替换铜芯电线电缆,具有成本低、重量轻、交流电阻、载流量好,线损低,安全性好的优点。

[0162] 本发明对所述石墨烯铜包铝合金电线电缆的制备方法没有特殊要求,采用本领域技术人员熟知的制备方法即可,在本发明的具体实施例中,具体是按照电缆结构,在导体表面进行层层包覆,最终加工得到目标产品。

[0163] 在本发明的一个具体实施例中,所述导体的制备方法优选为:将所述石墨烯铜包铝合金导线拉丝后进行退火,得到单丝,然后将多根单丝进行绞合,得到导体;所述拉丝优选为将所述石墨烯铜包铝合金导线的直径拉至0.5~3.15mm;所述退火的温度优选为250~260°C,时间优选为2.5~3h,所述退火优选在氩气保护下进行,所述退火优选在井式或柜式真空退火炉中进行;本发明通过退火来提高单丝的韧性、降低单丝的强度,以符合电线电缆对导电线芯的要求;所述绞合可以为规则绞合或非规则绞合,非规则绞合又分为束绞、同心复绞等,为了减少导线的占用面积、缩小电缆的几何尺寸,在绞合导体的同时采用紧压形式,使普通圆形变异为半圆、扇形、瓦形和紧压的圆形。

[0164] 在本发明的一个具体实施例中,绝缘层优选通过挤出形成,将绝缘塑料在导体表面挤出,形成绝缘线芯;在本发明中,电线电缆主要采用挤包实心型绝缘层,挤出的主要技术要求包括:偏心度:挤出的绝缘厚度的偏差值是体现挤出工艺水平的重要标志,大多数的产品结构尺寸及其偏差值在标准中均有明确的规定。光滑度:挤出的绝缘层表面要求光滑,

不得出现表面粗糙、烧焦、杂质的不良质量问题。致密度：挤出绝缘层的横断面要致密结实、不准有肉眼可见的针孔，杜绝有气泡的存在。

[0165] 在本发明的一个具体实施例中，对于多芯电缆，为了保证成型度、减小电缆的外形，需要将其绞合为圆形，称为成缆步骤，由于绞制节径较大，通常采用无退扭方式。成缆的技术要求：一是杜绝异型绝缘线芯翻身而导致电缆的扭弯；二是防止绝缘层被划伤；另外，电缆在成缆的同时伴随填充和绑扎工序的完成，填充能够保证成缆后电缆的圆整和稳定；绑扎能够保证缆芯不松散。

[0166] 为了保护绝缘线芯不被铠装所损伤，需要对绝缘层进行适当的保护，内护套的制备方法优选为挤包（隔离套）和绕包（垫层）；绕包优选代替绑扎带与成缆工序同步进行。

[0167] 在本发明的一个具体实施例中，敷设在地下的电缆，工作中可能承受一定的正压力作用，需要加装内钢带铠装结构。电缆敷设在既有正压力作用又有拉力作用的场合（如水中、垂直竖井或落差较大的土壤中），应选用具有内钢丝铠装的结构；具体加装方法为本领域的常规方法，本发明不做具体限定。

[0168] 在本发明的一个具体实施例中，所述外护套优选采用挤塑机挤出形成，外护套是保护电线电缆的绝缘层防止环境因素侵蚀的结构部分，外护套的主要作用是提高电线电缆的机械强度、防化学腐蚀、防潮、防水浸入、阻止电缆燃烧等能力。

[0169] 下面将结合本发明中的实施例，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0170] 下列实施例中使用的稀土添加剂为混合镧铈系稀土，其中氧化镧的质量分数为20%，氧化铈的质量分数为60%。

[0171] 实施例1 10A、10H导线的制备

[0172] 将纯铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和冰晶石混合进行熔炼，将所得熔体抽丝成型，得到石墨烯铝合金毛坯线；其中，铝锭的质量分数为98.7%，石墨烯导电粉的质量分数为0.9%，混合镧铈系稀土的质量分数为0.4%，冰晶石的添加量为铝锭、石墨烯导电粉和稀土添加剂总质量的1%；石墨烯铝合金毛坯线的直径为15mm；

[0173] 将所述石墨烯铝合金毛坯线拉拔至直径为14mm，然后在氩气保护下，230℃退火2h，得到石墨烯铝合金原始芯线，直径为14mm；

[0174] 采选紫铜T2铜带，宽度 $43.96 \pm 0.015\text{mm}$ ，厚度 $0.38 \pm 0.03\text{mm}$ ，将铜带和石墨烯铝合金原始芯线通过15#型号包覆焊接机，氩弧焊焊接复合制成石墨烯铜包铝合金毛坯线，直径为15mm；

[0175] 将所述石墨烯铜包铝合金毛坯线经过拉拔机二十道次拉拔缩径至线径5.15mm，盘绕在收线筐上，每筐线重500kg左右，然后放入井式真空退火炉中，在氩气保护下，炉内升温电加热到230~240℃，保温2h，自然冷却后，取出线筐，再进行三道次拉拔使石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm，使其达到冶金结合，得到硬态石墨烯铜包铝合金导线（10H）。

[0176] 将石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm后在260℃下退火3h，得到软态石墨烯铜包铝合金导线（10A）。

[0177] 导线10A、10H的直径为3.15mm，铜层的体积分数为10%，比重为 $3.31 \pm 0.11\text{g/cm}^3$ 。

[0178] 实施例2 15A、15H导线的制备

[0179] 将纯铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和冰晶石混合进行熔炼,将所得熔体抽丝成型,得到石墨烯铝合金毛坯线;其中,铝锭的质量分数为98.7%,石墨烯导电粉的质量分数为0.9%,混合镧铈系稀土的质量分数为0.4%,冰晶石的添加量为为铝锭、石墨烯导电粉和稀土添加剂总质量的1%;石墨烯铝合金毛坯线的直径为 $12 \pm 0.03\text{mm}$;

[0180] 将所述石墨烯铝合金毛坯线拉拔至直径为 $11 \pm 0.03\text{mm}$,然后在氩气保护下, 230°C 退火2h,得到石墨烯铝合金原始芯线,直径为 $11 \pm 0.03\text{mm}$;

[0181] 采选紫铜T2铜带,宽度 $37.68 \pm 0.015\text{mm}$,厚度 $0.38 \pm 0.03\text{mm}$,将铜带和石墨烯铝合金原始芯线通过12#型号包覆焊接机,氩弧焊焊接复合制成石墨烯铜包铝合金毛坯线,直径为12mm;

[0182] 将所述石墨烯铜包铝合金毛坯线经过拉拔机二十道次拉拔缩径至线径5.15mm,盘绕在收线筐上,每筐线重500kg左右,然后放入井式真空退火炉中,在氩气保护下,炉内升温电加热到 $230 \sim 240^\circ\text{C}$,保温2h,自然冷却后,取出线筐,再进行三道次拉拔使石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm,使其达到冶金结合,得到所述石墨烯铜包铝合金导线(15H)。

[0183] 将石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm后在 260°C 下退火3h,得到软态石墨烯铜包铝合金导线(15A)。

[0184] 导线15A、15H的直径为3.15mm,铜层的体积分数为15%,比重为 $3.52 \pm 0.11\text{g/cm}^3$ 。

[0185] 实施例3 20A、20H导线的制备

[0186] 将纯铝锭、石墨烯导电粉、稀土添加剂和冰晶石混合进行熔炼,将所得熔体抽丝成型,得到石墨烯铝合金毛坯线;其中,铝锭的质量分数为98.7%,石墨烯导电粉的质量分数为0.9%,混合镧铈系稀土的质量分数为0.4%,冰晶石的添加量为为铝锭、石墨烯导电粉和稀土添加剂总质量的1%;石墨烯铝合金毛坯线的直径为 $10 \pm 0.03\text{mm}$;

[0187] 将所述石墨烯铝合金毛坯线拉拔至直径为 $9.2 \pm 0.03\text{mm}$,然后在氩气保护下, 230°C 退火2h,得到石墨烯铝合金原始芯线,直径为 $9.2 \pm 0.03\text{mm}$;

[0188] 采选紫铜T2铜带,宽度 $31.4 \pm 0.015\text{mm}$,厚度 $0.38 \pm 0.03\text{mm}$,将铜带和石墨烯铝合金原始芯线通过10#型号包覆焊接机,氩弧焊焊接复合制成石墨烯铜包铝合金毛坯线,直径为10mm;

[0189] 将所述石墨烯铜包铝合金毛坯线经过拉拔机二十道次拉拔缩径至线径5.15mm,盘绕在收线筐上,每筐线重500kg左右,然后放入井式真空退火炉中,在氩气保护下,炉内升温电加热到 $230 \sim 240^\circ\text{C}$,保温2h,自然冷却后,取出线筐,再进行三道次拉拔使石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm,使其达到冶金结合,得到所述石墨烯铜包铝合金导线(20H)。

[0190] 将石墨烯铜包铝合金导线拉拔至线径3.15mm后在 260°C 下退火3h,得到软态石墨烯铜包铝合金导线(20A)。

[0191] 导线20A、20H的直径为3.15mm,铜层的体积分数为20%,比重为 $3.93 \pm 0.11\text{g/cm}^3$ 。

[0192] 性能测试:

[0193] 对实施例1~3所得石墨烯铜包铝合金导线进行超声波涡流在线监测和金相分析仪测试,结果表明铜和铝之间实现了冶金结合。

[0194] 对实施例1~3所得石墨烯铜包铝合金导线的主要指标(抗拉强度、伸长率、电阻率及密度)进行测试,测试方法分别为拉力试验机、电桥测试仪、天平,测试结果如表13所示:

[0195] 表13石墨烯铜包铝合金导线的主要指标测试结果

导线类型	抗拉强度 (兆帕)	伸长率 (%)	20°C时最大电阻率 (Ω·mm ² /m)	标称密度 (g/cm ³)
[0196]	10A	138	1.5	0.02545
	10H	205	15	0.02545
	15A	138	5	0.02373
	15H	205	1.5	0.02373
[0197]	20A	138	15	0.02162
	20H	205	1.5	0.02162

[0198] 对比例1

[0199] 其他条件和实施例1相同,仅不添加混合镧铈系稀土。

[0200] 对所得石墨烯铜包铝合金导线进行电阻率测试,结果表明电阻率变大。

[0201] 对所得石墨烯铜包铝合金导线进行金相分析测试,结果表明金属成分结晶不良,铜和铝之间没有形成冶金结合。

[0202] 实施例4

[0203] 以实施例1制备的石墨烯铜包铝合金导线为导体,制备石墨烯铜包铝合金电线电缆,结构为上文产品1的结构;

[0204] 在石墨烯铜包铝合金导线表面进行绝缘注塑,形成聚氯乙烯绝缘层,再在绝缘层表面挤出外护套,得到电缆;其中,以质量分数计,内外护套层的成分为二辛脂24%,铅盐稳定剂2%,硅树脂润滑剂0.6%,聚乙烯树脂粉46%,钙粉22%,色浆2%,石墨烯导电粉3.4%。

[0205] 经测试,在内外护套中加入石墨烯导电粉,所得电缆的散热效率达到80%以上,而采用常规塑料为内外护套的电缆散热效率仅为50%左右。

[0206] 实施例5

[0207] 以实施例1制备的石墨烯铜包铝合金导线为导体,制备石墨烯铜包铝合金电线电缆,结构为上文产品2的结构;

[0208] 将石墨烯铜包铝合金导线绞合成半圆形,然后依次挤出聚氯乙烯绝缘层,然后设置填充层、挤装内护套、加装钢带、挤出外护套,得到电缆,其中内外护套的成分和实施例4一致,填充层中含有石墨烯导电粉,含量为0.5%。

[0209] 实施例4~5以石墨烯铜包铝合金导线为导体制备电缆,所得电缆节铜、节电、节能减排、节约电损,并且运行安全可靠,运输方便。

[0210] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

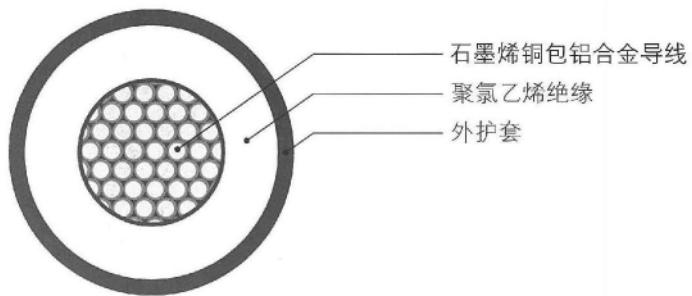


图1

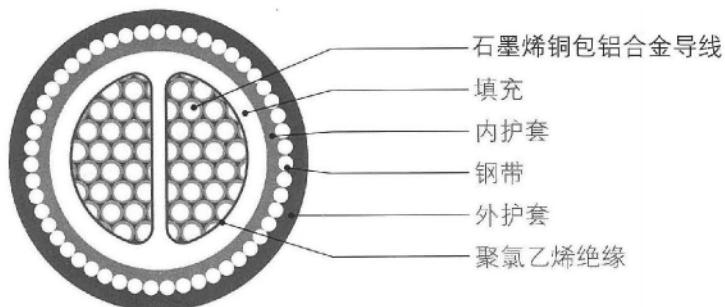


图2

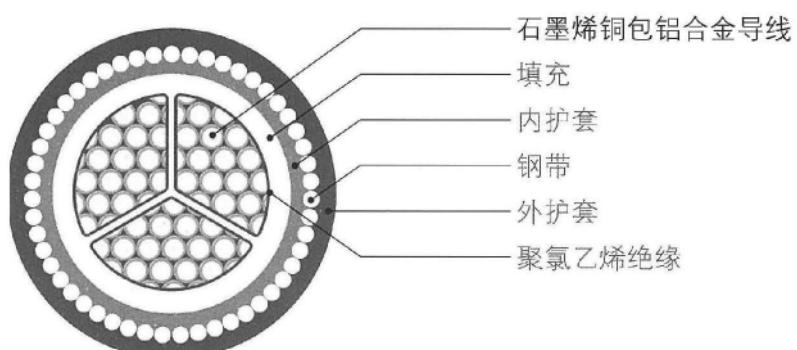


图3

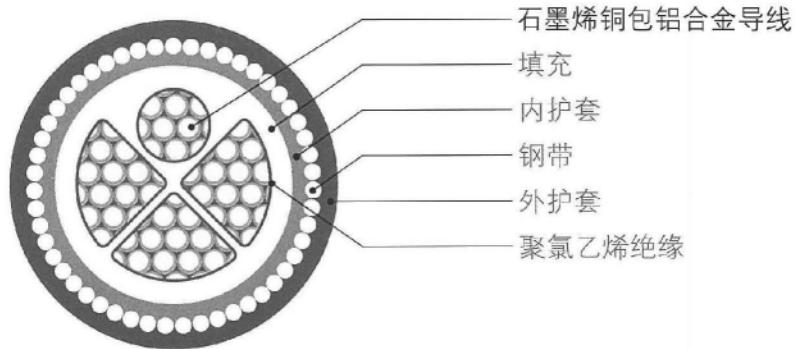


图4

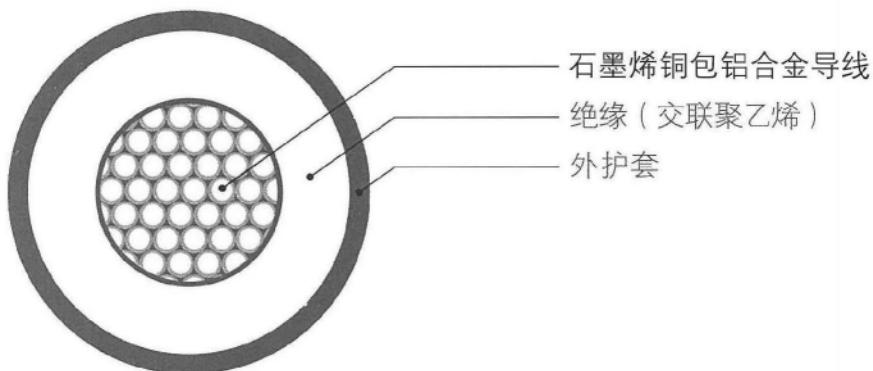


图5

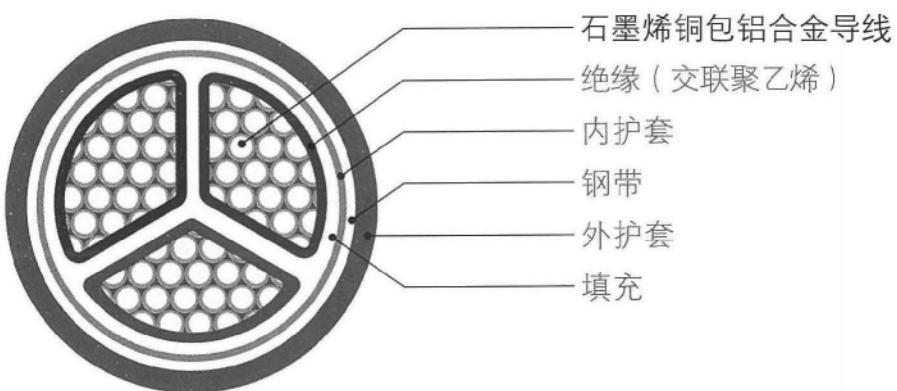


图6

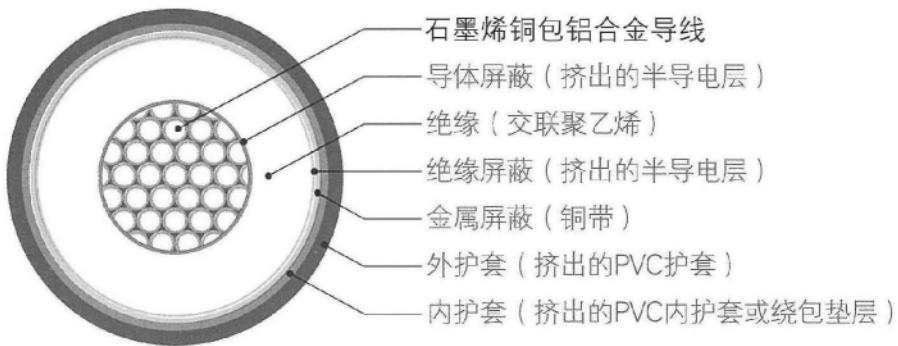


图7

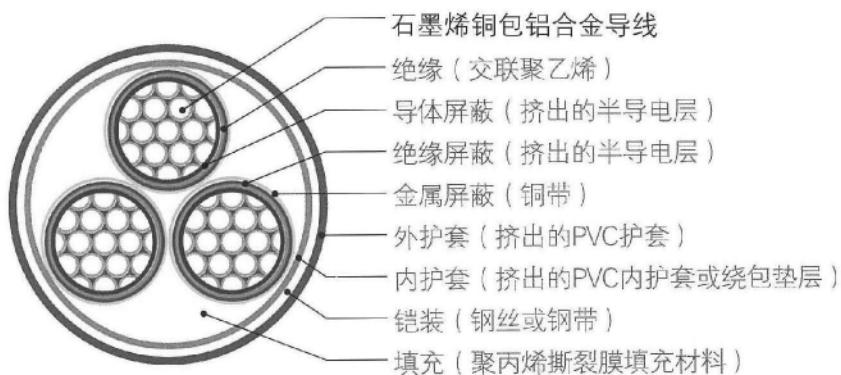


图8

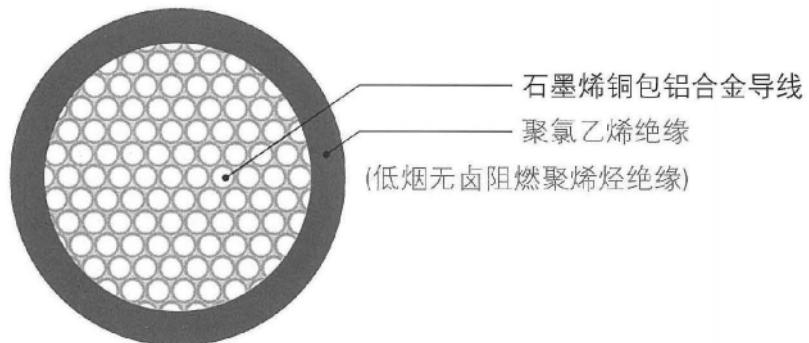


图9

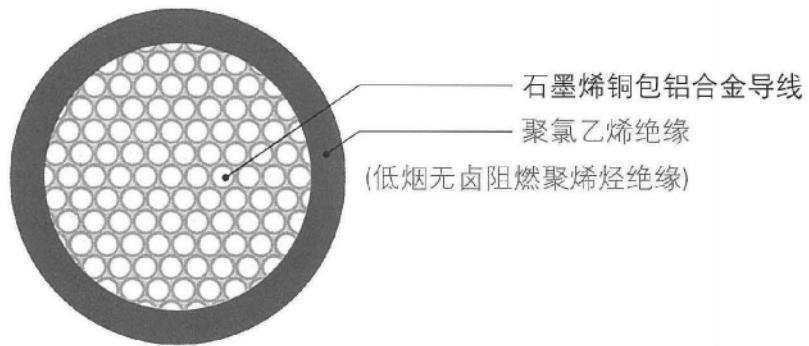


图10

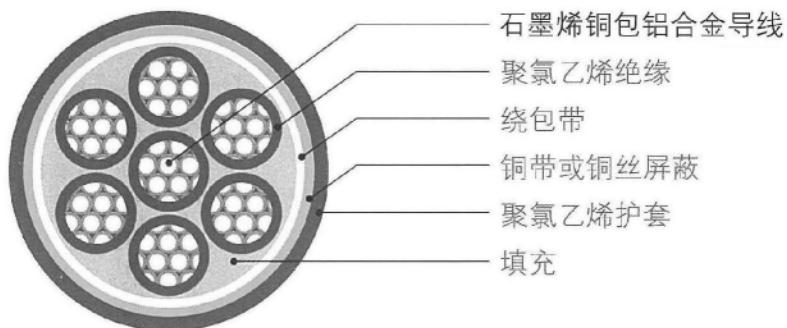


图11

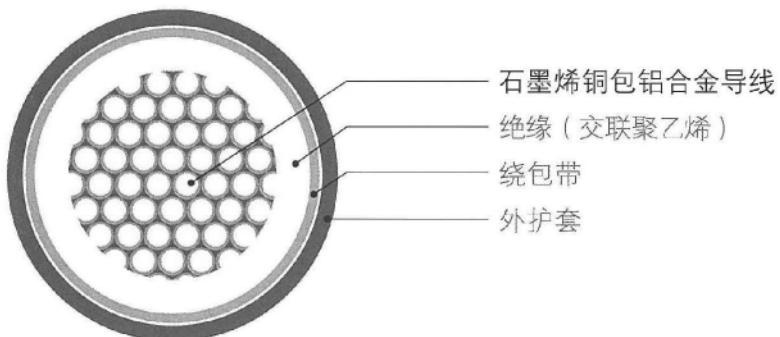


图12