



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112331402 A

(43) 申请公布日 2021.02.05

(21) 申请号 202011090271.2

(22) 申请日 2020.10.13

(71) 申请人 深圳供电局有限公司

地址 518000 广东省深圳市罗湖区深南东路4020号电力调度通信大楼

(72) 发明人 汪伟 王琦

(74) 专利代理机构 深圳汇智容达专利商标事务所(普通合伙) 44238

代理人 徐文城

(51) Int.Cl.

H01B 12/02 (2006.01)

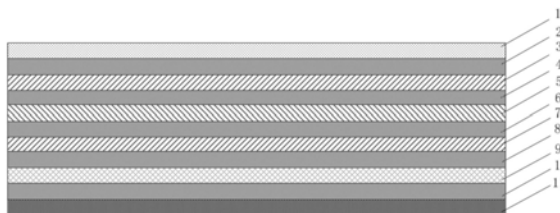
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种高温超导电缆通电导体

(57) 摘要

本发明提供一种高温超导电缆通电导体,包括:柔性骨架;第一绝缘层,螺旋绕制在所述柔性骨架上;A相超导层,通过使用超导带材在所述第一绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;第二绝缘层,螺旋绕制在所述A相超导层上;B相超导层,通过使用超导带材在所述第二绝缘层上以第二方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;第三绝缘层,螺旋绕制在所述B相超导层上;C相超导层,通过使用超导带材在所述第三绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;第四绝缘层,螺旋绕制在在所述C相超导层上;铜屏蔽层,螺旋绕制在所述第四绝缘层上;第五绝缘层,螺旋绕制在所述铜屏蔽层上;以及保护层,螺旋绕制在所述第五绝缘层上;其中,所述第一方向与第二方向关于所述电缆的中轴线对称。本实施例的高温超导电缆通电导体,能够减少周向磁场,均化磁场,适用短距离输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。



CN 112331402 A

1. 一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,包括:
柔性骨架;
第一绝缘层,螺旋绕制在所述柔性骨架上;
A相超导层,通过使用超导带材在所述第一绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
第二绝缘层,螺旋绕制在所述A相超导层上;
B相超导层,通过使用超导带材在所述第二绝缘层上以第二方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
第三绝缘层,螺旋绕制在所述B相超导层上;
C相超导层,通过使用超导带材在所述第三绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
第四绝缘层,螺旋绕制在在所述C相超导层上;
铜屏蔽层,螺旋绕制在所述第四绝缘层上;
第五绝缘层,螺旋绕制在所述铜屏蔽层上;以及
保护层,螺旋绕制在所述第五绝缘层上;
其中,所述第一方向与第二方向关于所述电缆的中轴线对称。
2. 根据权利要求1所述的高温超导电缆通电导体,其特征在于,所述B相超导层的超导带材的中线与所述A相超导层的超导带材的间隙;所述C相超导层的超导带材的中线与所述B相超导层的超导带材的间隙。
3. 根据权利要求2所述的高温超导电缆通电导体,其特征在于,
在所述第一绝缘层与所述A相超导层之间、在所述A相超导层与所述第二绝缘层之间、在所述第二绝缘层与所述B相超导层之间、在所述B相超导层与所述第三绝缘层之间、在所述第三绝缘层与所述C相超导层之间、在所述C相超导层与所述第四绝缘层之间分别螺旋绕制有半导电层。
4. 根据权利要求3所述的一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,所述第五绝缘层的厚度小于所述第一、第二、第三、第四绝缘层。
5. 根据权利要求4所述的一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,所述A相超导层、B相超导层、C相超导层选用YBCO高温超导带材。
6. 根据权利要求5所述的一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,A、B、C相超导层均由多根超导带材焊接形成;其中相邻两根超导带材的端部进行搭接,并进行低温焊锡钎焊连接。
7. 根据权利要求6所述的一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,相邻两根超导带材搭接的部分的长度为60mm,并且焊锡厚度小于0.1mm。

一种高温超导电缆通电导体

技术领域

[0001] 本发明涉及超导电缆技术领域,具体涉及一种高温超导电缆通电导体。

背景技术

[0002] 高温超导电缆系统是采用无阻的、能传输高电流密度的超导材料作为导体并能传输大电流的一种电力设施,具有体积小、重量轻、损耗低和传输容量大的优点,可以实现低损耗、高效率、大容量输电。高温超导电缆系统将首先应用于短距离传输电力的场合(如发电机到变压器、变电中心到变电站、地下变电站到城市电网端口)及电镀厂、发电厂和变电站等短距离传输大电流的场合,以及大型或超大型城市电力传输的场合。其中,通电导体是高温超导电缆的载流部分,是超导电缆系统最核心的部件,目前超导电缆系统所使用的通电导体常常会因超导带材布置方式不合理,相邻超导层之间产生周向磁场,而且不同位置所受磁场强度不均,从而影响超导电缆的电力传输。

发明内容

[0003] 本发明旨在提出一种高温超导电缆通电导体,利用该方法制造的超导电缆通电导体,能够减少周向磁场,均化磁场,适用短距离传输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。

[0004] 为此,本发明实施例提出一种高温超导电缆通电导体,其特征在于,包括:

[0005] 柔性骨架;

[0006] 第一绝缘层,螺旋绕制在所述柔性骨架上;

[0007] A相超导层,通过使用超导带材在所述第一绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;

[0008] 第二绝缘层,螺旋绕制在所述A相超导层上;

[0009] B相超导层,通过使用超导带材在所述第二绝缘层上以第二方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;

[0010] 第三绝缘层,螺旋绕制在所述B相超导层上;

[0011] C相超导层,通过使用超导带材在所述第三绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;

[0012] 第四绝缘层,螺旋绕制在在所述C相超导层上;

[0013] 铜屏蔽层,螺旋绕制在所述第四绝缘层上;

[0014] 第五绝缘层,螺旋绕制在所述铜屏蔽层上;以及

[0015] 保护层,螺旋绕制在所述第五绝缘层上;

[0016] 其中,所述第一方向与第二方向关于所述电缆的中轴线对称。

[0017] 可选地,所述B相超导层的超导带材的中线与所述A相超导层的超导带材的间隙;所述C相超导层的超导带材的中线与所述B相超导层的超导带材的间隙。

[0018] 可选地,在所述第一绝缘层与所述A相超导层之间、在所述A相超导层与所述第二

绝缘层之间、在所述第二绝缘层与所述B相超导层之间、在所述B相超导层与所述第三绝缘层之间、在所述第三绝缘层与所述C相超导层之间、在所述C相超导层与所述第四绝缘层之间分别螺旋绕制有半导电层。

[0019] 可选地,所述第五绝缘层的厚度小于所述第一、第二、第三、第四绝缘层。

[0020] 可选地,所述A相超导层、B相超导层、C相超导层选用YBCO高温超导带材。

[0021] 可选地,A、B、C相超导层均由多根超导带材焊接形成;其中相邻两根超导带材的端部进行搭接,并进行低温焊锡钎焊连接。

[0022] 可选地,相邻两根超导带材搭接的部分的长度为60mm,并且焊锡厚度小于0.1mm。

[0023] 本发明实施例提出一种高温超导电缆通电导体,A相超导层与B相超导层的超导带材的卷绕方向关于所述电缆的中轴线对称,B相超导层与C相超导层的超导带材的卷绕方向关于所述电缆的中轴线对称,即A相超导层与C相超导层的超导带材的卷绕方向相同,有助于减少周向磁场,适用短距离传输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。本发明实施例超导电缆通电导体能够同时实现高效低损耗和大容量电能输送,有助于升级配网可靠性,将有力地支撑并满足持续快速增长的负荷需求和土地高效利用要求,符合工业发展规划、电网安全运行要求和高新技术发展方向。

[0024] 本发明的其它特征和优点将在随后的具体实施方式中阐述。

附图说明

[0025] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0026] 图1为本发明实施例的高温超导电缆通电导体剖视图。

[0027] 图2为本发明实施例的高温超导电缆通电导体的A、B、C三相的超导带材绕制方向示意图。

[0028] 图3为本实施例中超导带材的磁场下性能示意图。

[0029] 图4为本实施例中超导带材绕制主要参数关系示意图。

[0030] 图5为本实施例中螺旋绕制的螺距与绕向角之间的关系示意图。

[0031] 图6为本发明实施例中焊接电阻与焊锡厚度以及搭接长度的关系示意图。

[0032] 图中标记:1-柔性骨架,2-第一绝缘层,3-A相超导层,4-第二绝缘层,5-B相超导层,6-第三绝缘层,7-C相超导层,8-第四绝缘层,9-铜屏蔽层,10-第五绝缘层,11-保护层。

具体实施方式

[0033] 以下将参考附图详细说明本公开的各种示例性实施例、特征和方面。附图中相同的附图标记表示功能相同或相似的元件。尽管在附图中示出了实施例的各种方面,但是除非特别指出,不必按比例绘制附图。

[0034] 另外,为了更好的说明本发明,在下文的具体实施例中给出了众多的具体细节。本领域技术人员应当理解,没有某些具体细节,本发明同样可以实施。在一些实例中,对于本领域技术人员熟知的手段未作详细描述,以便于凸显本发明的主旨。

- [0035] 参阅图1~2,本发明实施例提出一种高温超导电缆通电导体,包括:
- [0036] 柔性骨架;
- [0037] 第一绝缘层,螺旋绕制在所述柔性骨架上;
- [0038] A相超导层,通过使用超导带材在所述第一绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
- [0039] 第二绝缘层,螺旋绕制在所述A相超导层上;
- [0040] B相超导层,通过使用超导带材在所述第二绝缘层上以第二方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
- [0041] 第三绝缘层,螺旋绕制在所述B相超导层上;
- [0042] C相超导层,通过使用超导带材在所述第三绝缘层上以第一方向以及预设绕角 θ 螺旋绕制而成;
- [0043] 第四绝缘层,螺旋绕制在在所述C相超导层上;
- [0044] 铜屏蔽层,螺旋绕制在所述第四绝缘层上;
- [0045] 第五绝缘层,螺旋绕制在所述铜屏蔽层上;以及
- [0046] 保护层,螺旋绕制在所述第五绝缘层上;
- [0047] 其中,所述第一方向与第二方向关于所述电缆的中轴线对称。
- [0048] 具体而言,本实施例中A相超导层与B相超导层的超导带材的卷绕方向关于所述电缆的中轴线对称,B相超导层与C相超导层的超导带材的卷绕方向关于所述电缆的中轴线对称,即A相超导层与C相超导层的超导带材的卷绕方向相同,有助于减少周向磁场,适用短距离传输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。
- [0049] 可选地,所述B相超导层的超导带材的中线与所述A相超导层的超导带材的间隙;所述C相超导层的超导带材的中线与所述B相超导层的超导带材的间隙。
- [0050] 具体而言,本实施例中层间超导带的相对位置是“插空”方式,即下一层的超导带对准上一层两根超导带之间的间隙。这种排列方法,相邻超导带的磁场垂直分量被部分抵消,有助于均化磁场,消除垂直场的影响。
- [0051] 可选地,所述第一绝缘层与所述A相超导层之间、所述A相超导层与所述第二绝缘层之间、所述第二绝缘层与所述B相超导层之间、所述B相超导层与所述第三绝缘层之间、所述第三绝缘层与所述C相超导层之间、所述C相超导层与所述第四绝缘层之间分别螺旋绕制有半导电层。
- [0052] 需说明的是,本实施例方法通过在第一绝缘层2和A相导体层之间、A相导体层与第二绝缘层之间、第二绝缘层和B相导体层之间、B相导体层和第三绝缘层之间、第三绝缘层和C相导体层之间、C相导体层和第四绝缘层之间分别螺旋绕制半导电层,来避免导体性质不规则产生的局部电场畸变,利用本实施例方法制造得到的超导电缆通电导体的局部结构如图1所示,利用本实施例方法制造得到的超导电缆通电导体适用短距离传输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。
- [0053] 可选地,所述第五绝缘层的厚度小于所述第一、第二、第三、第四绝缘层。其中,通电导体外围设置低温杜瓦管。具体而言,铜屏蔽层外表面螺旋绕制第四绝缘层以及保护层,以隔离所述铜屏蔽层与低温杜瓦管之间的点位,并保护通电导体穿入低温杜瓦管的时候不受到机械损伤。

[0054] 可选地,所述A相超导层、B相超导层、C相超导层选用YBCO高温超导带材。

[0055] 具体而言,本实施例中在选用YBCO高温超导带材作为A相超导层、B相超导层、C相超导层的带材的基础上,进一步从超导带材的特性入手,开展通电导体的电磁设计;根据绝缘材料的特性,设计导体的绝缘;同时考虑通电导体的弯折和在低温下的收缩,进行结构设计和力的校核,设计各层的绞合或绕包工艺。最终给出各功能层的设计参数值,并整体校核和优化通电导体的设计。提出设计参数如下表所示:

[0056] 表1

序号	参数	指标	备注
1	临界电流 I_c /A	≥ 120	77K, 自场
2	带材宽度/mm	≤ 5	
[0057] 3	带材厚度/mm	≈ 0.3	封装厚度由短路故障电流耐受水平确定
4	抗拉强度/MPa	≥ 400	
5	全长允许接头数	≤ 4	单根无接头带材长度
			$\geq 60m$
[0058] 6	允许最小弯曲半径/mm	≤ 15	

[0059] 其中,YBCO高温超导带材在磁场中表现出各向异性,即临界电流不仅与磁场的大小有关,还与磁场施加的方向有关。实验结果表明,垂直场对临界电流的衰减程度远大于平行场。

[0060] YBCO带材各向异性磁场对临界电流的影响用以下公式进行表示:

$$[0061] \quad I_c(B) = I_{c0} \left(1 + \frac{\sqrt{\gamma^{-2} B_{\parallel}^2 + B_{\perp}^2}}{B_0} \right)^{-\alpha}$$

[0062] 其中, B_{\parallel} , B_{\perp} ——分别表示平行和垂直于YBCO带材表面的磁场分量; I_{c0} 为超导带在自场下的临界电流, $B_0 = 20mT$, $\alpha = 0.65$, $\gamma = 5$ 。

[0063] 此外,对于磁场比较高的范围,采用类金(Kim-like)模型,可以近似描述临界电流随磁场的变化关系:

$$[0064] \quad I_c(B) = I_{c0} \times \begin{cases} 1 - 3.13|B| - 433.8|B|^2 + 7007.8|B|^3 & |B| \leq 0.003T \\ \left(1 + \frac{|B|}{0.069} \right)^{-1} & |B| > 0.03T \end{cases}$$

[0065] 其中,临界电流一般是指的直流下的临界电流,通入交变电流的时候,超导带材的临界电流是随频率不同而不同的。自场下,对频率的依赖关系为:

$$[0066] \quad I_c(f) = I_{c0}(f_0) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{1/n}$$

[0067] 其中, $I_{c0}(f_0)$ 为自场下频率为 f 时的带材交流临界电流; f_0 为交流临界电流等于直流临界电流时的频率值; n 为超导带材根数。

[0068] 存在外施磁场时, 交流临界电流除了与频率有关还与外磁场有关系, 实验拟合关系如下:

$$[0069] \quad I_c(B, \theta, f) = \frac{I_{cv}(B)}{\sin^2 \theta + \lambda^{1/n} \frac{I_{cv}(B)}{I_{cp}(B)} \cos^2 \theta} \left(\frac{f}{f_{cv}}\right)^{1/n}$$

[0070] 式中, cp, cv 下标分别表示平行场条件和垂直场条件; λ 定义为 f_{cp}/f_{cv} , 即平行场中交流临界电流与垂直场中临界电流分别对应的频率之比。

[0071] 理论上来说, 只要确定了 λ , 任何磁场、任何频率下的交流临界电流就可以计算得到了。

[0072] 试验数据表明, 在工频 50Hz 条件下, 交流临界电流与直流临界电流相差并不大。考虑到交流临界电流的计算比较复杂, 可以使用直流临界电流作为设计基准, 但应该考虑到两者之间的差异, 并留有余量。

[0073] 图 3 给出的是满足表 1 要求的 YBCO 带材的磁场下的性能曲线, 该曲线簇给出了 YBCO 带材在平行、磁场以及中间角度下的磁场下的临界电流曲线, 本实施例中通电导体的设计中凡涉及磁场对电流的影响的, 均以其为参考。

[0074] 其中, 本实施例中多层超导带材螺旋状缠绕在中心柔性骨架上, 并根据设计要求承载额定电流和过载电流, 螺旋绕制的时候, 常见的控制变量包括带材螺距、绕向角、预应力、排列间距等。由于超导带是按照一定的绕向角成缆, 所用带材长度要大于电缆的实际长度, 两者之间的关系如图 4 所示。

[0075] 由于每层均由多根超导带材缠绕构成, 因此, 每个导体层承受两个分量的磁场, 包括沿电缆轴向的磁场以及沿电缆径向的磁场。

[0076] 其中, 轴向磁场分量 B_a 和径向磁场分量 B_r 分别按下式计算:

$$[0077] \quad B_a = \frac{\mu_0 \tan \theta}{2\pi R} I$$

$$[0078] \quad B_r = \frac{\mu_0}{2\pi R} I$$

[0079] 其中, I 是该层的总电流 (A), R 是该层的平均半径 (m), μ_0 为真空磁导率。

[0080] 具体地, 磁场分量可以通过每一层的电流进行计算, 多层磁场分量叠加后可以得到特定层的静磁场。

[0081] 单位长度导体存储的磁场能为:

$$[0082] \quad W = \frac{1}{2} \left[\mu_0 \frac{\pi r_i^2}{p_i^2} + \frac{\mu_0}{2\pi} \ln(D / r_i) \right] I^2$$

[0083] 其中, D 为磁场屏蔽层的半径, r_i 是第 i 相的半径; p_i 是第 i 相的螺距。

[0084] 根据磁场的能量关系, 有:

$$[0085] \quad L_i = \frac{2W}{I^2}$$

[0086] 本实施例中利用磁场能量关系求得相间互感。

[0087] 相k和相i之间的互感为：

$$[0088] \quad M_{k,i} = M_{i,k} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{1}{r_k} + \mu_0 \pi r_i^2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \left(\frac{1}{p_k} \right)$$

[0089] 相k的自感为：

$$[0090] \quad L_k = M_{k,k} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{1}{r_k} + \mu_0 \pi r_k^2 \left(\frac{1}{p_k} \right)^2$$

[0091] 其中， r_k 是第k相的半径， p_k 是第k相的螺距。

$$[0092] \quad p_a = f_1(r_a, r_b, r_c) = 2\pi r_a \frac{1}{2(r_b / r_a)(\ln(r_c / r_b))} \times \left[\ln \frac{r_b}{r_a} + \sqrt{\left(\ln \frac{r_b}{r_a} \right)^2 + 4 \left(\frac{r_b}{r_a} \ln \frac{r_c}{r_b} \right)^2} \right]^{1/2}$$

$$[0093] \quad p_b = f_2(r_a, r_b, r_c) = 2\pi r_b \frac{1}{2(r_b / r_a)(\ln(r_c / r_b))} \times \left[-\ln \frac{r_b}{r_a} + \sqrt{\left(\ln \frac{r_b}{r_a} \right)^2 + 4 \left(\frac{r_b}{r_a} \ln \frac{r_c}{r_b} \right)^2} \right]^{1/2}$$

$$[0094] \quad p_c = f_3(r_a, r_b, r_c) = 2\pi r_c \left[\ln \frac{r_c}{r_a r_b} + \sqrt{\left(\ln \frac{r_b}{r_a} \right)^2 + 4 \left(\frac{r_b}{r_a} \ln \frac{r_c}{r_b} \right)^2} \right]^{-1/2}$$

[0095] 其中，下标a,b,c分别表示A、B、C三相，根据确定的三相螺距，根据图4所示的参数关系可以得到如图5所示的螺距P与绕向角 q 之间的关系，即可以得到：

$$[0096] \quad \tan \theta = \frac{2\pi r_k}{p_k}$$

[0097] 进一步的，计算得到螺旋绕制条件下的单根超导带的实际所需用长度 L_{tape} 为：

$$[0098] \quad L_{tape} = \frac{L_{cable}}{p} \cdot \sqrt{p^2 + (2\pi r)^2}$$

[0099] 其中 L_{cable} 为单根超导带所对应的目标电缆长度，上述计算得到的绕向角主要是依据电磁优化条件得到的。各层由超导带螺旋绕制构成，每一根超导带材都有固定的绕向角。一方面，绕向角和螺距与电感关系密切，另一方面出于带材机械特性等考虑，超导电缆本体的绕角螺旋角存在一定的范围。所以，需要在电磁优化和机械稳定性两方面作出权衡。

[0100] 因此，本实施例中，当所述柔性骨架半径 r 小于超导带材的临界弯曲半径 R 时，根据以下公式确定螺旋绕制的绕向角 θ ：

$$[0101] \quad \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{\epsilon_t - \epsilon_s - \epsilon_p}{\epsilon_r - \epsilon_p}} \right) \leq \theta \leq \sin^{-1}(\sqrt{r / R})$$

[0102] 当所述柔性骨架 r 大于超导带材的临界弯曲半径 R 时，根据以下公式确定螺旋绕制的绕向角 θ ：

$$[0103] \quad \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{\epsilon_t - \epsilon_s - \epsilon_p}{\epsilon_r - \epsilon_p}}\right) \leq \theta \leq 90^\circ$$

[0104] 其中, ϵ_t 为自由热收缩率, ϵ_s 为冷却过程应变, ϵ_p 螺距变化率, ϵ_r 为导体层径向收缩率。

[0105] 需说明的是, 当电磁优化条件和机械稳定性条件两者出现矛盾的时候, 应以机械稳定性为准, 并尽量选择与电磁优化条件相近的值, 满足次优条件。

[0106] 可选地, 本实施例方法还包括:

[0107] 将多根超导带材焊接形成满足预设超导电缆长度的超导带材; 其中相邻两根超导带材的端部进行搭接, 并进行低温焊锡钎焊连接。

[0108] 可选地, 相邻两根超导带材搭接的部分的长度为60mm, 并且焊锡厚度小于0.1mm。

[0109] 其中, 由于高温超导带材的电阻是磁场、温度和运行电流的函数, 其电阻计算非常复杂。在一定的假设简化下, 各层的电阻计算可以遵循如下步骤。

[0110] 通过临界电流的定义可以确定高温超导带材的电阻, 如下式给出:

$$[0111] \quad R_{HTS} = 10^{-6} \frac{V}{cm} \left(\frac{I_0}{I_c(\Theta, B)}\right)^B \frac{1}{I_0} \frac{2\pi R}{I_0 \sin \alpha}$$

[0112] 式中, I_c 为温度 Θ 和磁场 B 下的临界电流 (A); I_0 为实际运行电流 (A); N 为反应超导材料特性的指数, 越大说明超导体越接近理想超导体, 表示其 E - J 曲线的上升部分越陡; R 是超导层的平均半径 (m); α 为超导带材的绕向角 (rad)。

[0113] 从定义上看, 这一部分超导带材固有的电阻是极小的, 可以忽略不计。由于超导带的单带长度有限, 需要由多根超导带焊接形成电缆长度的超导带材。超导带之间的非超导焊接, 引入了所谓的接头电阻。接头电阻与焊接长度和焊锡厚度等要素有关系。图6给出了采用搭接低温焊锡钎焊的方法, 焊接电阻与搭接长度、焊锡厚度的关系。从图6中我们可以看出, 搭接长度在60mm之上, 焊接电阻的下降开始不再明显; 同时, 也看到焊接厚度则是以“较薄”为宜。但是焊锡太薄了, 可能会产生焊接不牢固或不均匀的问题。综合考虑搭接长度和焊锡厚度两方面因素, 本实施例方法控制搭接60mm并且焊锡厚度小于0.1mm, 可以保证焊接接头电阻在20n Ω 以下。

[0114] 可选地, 所述超导电缆导体通电横截面上的超导带材根数 N 满足以下条件:

$$[0115] \quad N \geq (1 + m) \frac{I_R}{I_{cav}}$$

[0116] 其中, I_R 为超导电缆的额定电流, 指的是峰值而不是有效值; I_{cav} 为所选用的超导带材在设计工作温度、自场下的的平均临界电流, m 为设计裕度, 设计裕度既需要考虑超导带材在加工、绕制、敷设等过程中的退化, 也要考虑超导电缆运行时的安全裕度, 还要考虑超导电缆电流分配不均衡造成的影响。

[0117] 采用上述公式可以完成设计基准的选择。以此基准, 进行磁场分析、均流分析等技术研究, 微调带材根数。一般来说, 加工等过程引起的退化不超过5%, 运行安全裕度不低于20%。超导电缆的外场, 即其他带材的产生的磁场以及周围其他来源的杂散磁场主要为平行场且强度不大。

[0118] 本发明实施例提出一种高温超导电缆通电导体,其通过在绝缘层和A、B、C相导体层之间螺旋绕制半导电层,来避免导体性质不规则产生的局部电场畸变,适用短距离传输电力的场合,实现低损耗、高效率、大容量输电。本发明实施例超导电缆通电导体能够同时实现高效低损耗和大容量电能输送,有助于升级配网可靠性,将有力地支撑并满足持续快速增长的负荷需求和土地高效利用要求,符合工业发展规划、电网安全运行要求和高新技术发展方向。

[0119] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进,或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。



图1

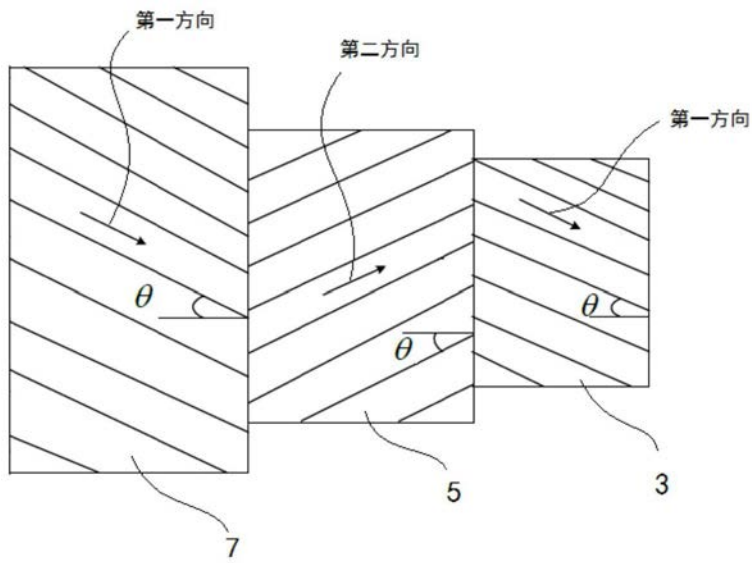


图2

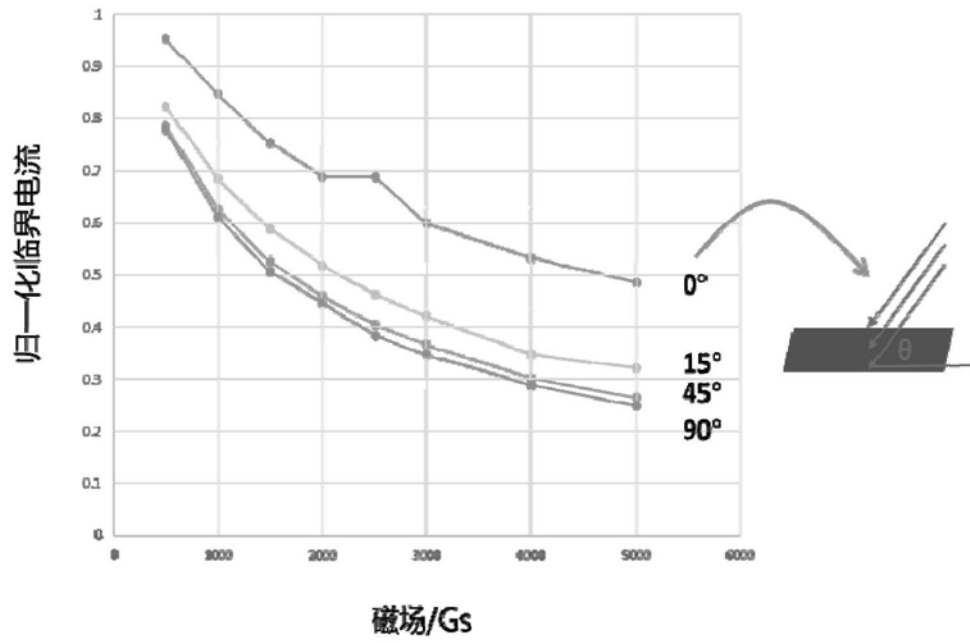


图3

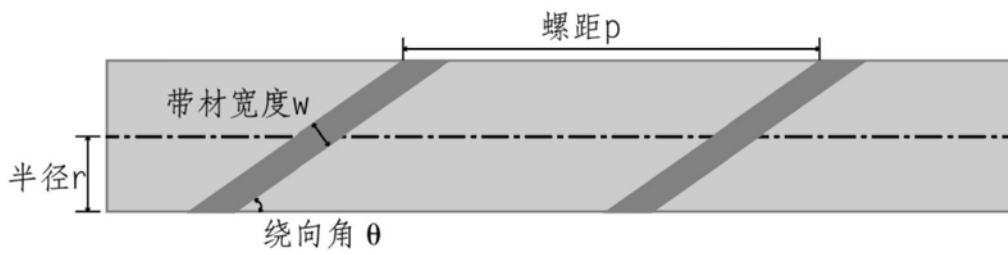


图4

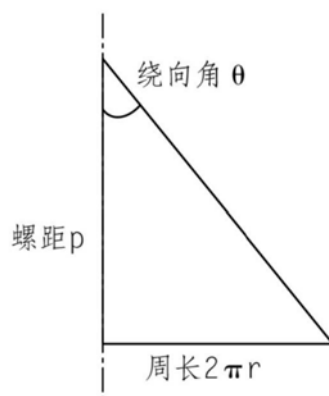


图5

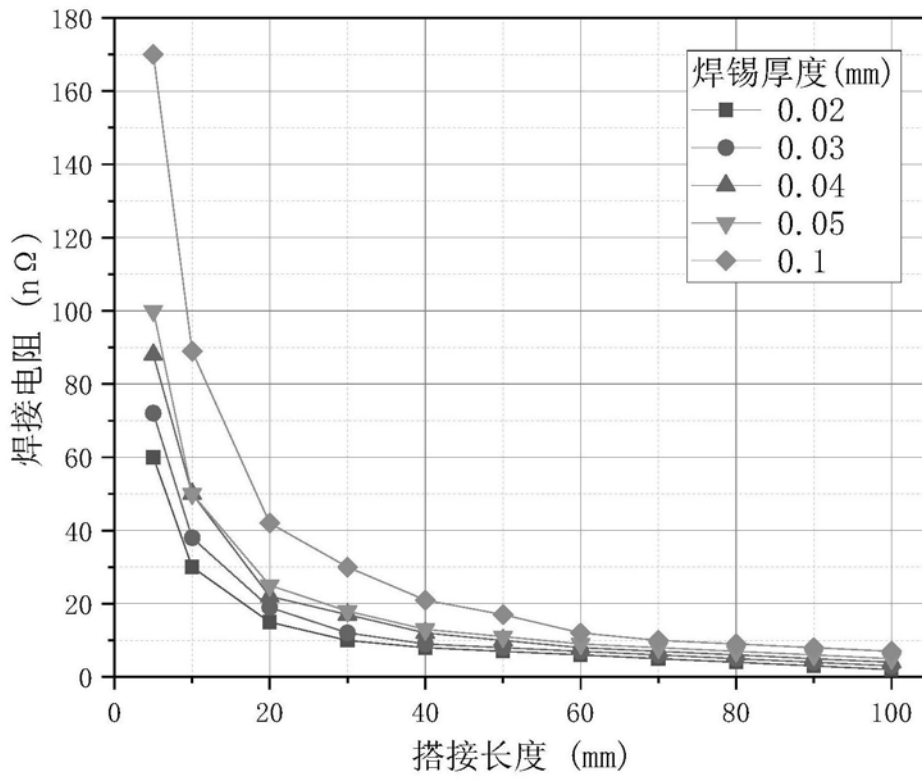


图6