

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02G 7/02 (2006.01)

G01L 5/04 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780048698.2

[43] 公开日 2009年11月4日

[11] 公开号 CN 101573845A

[22] 申请日 2007.11.28

[21] 申请号 200780048698.2

[30] 优先权

[32] 2006.12.28 [33] US [31] 11/617,461

[86] 国际申请 PCT/US2007/085699 2007.11.28

[87] 国际公布 WO2008/082820 英 2008.7.10

[85] 进入国家阶段日期 2009.6.29

[71] 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 赫维·E·德韦

道格拉斯·E·约翰逊

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 郇春艳 樊卫民

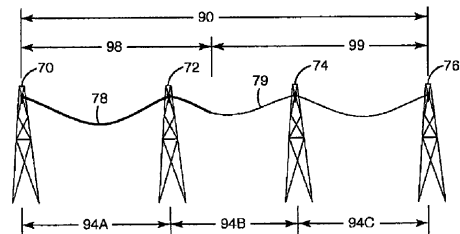
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 5 页

[54] 发明名称

架空输电线路

[57] 摘要

一种终端至终端架空输电线路，所述输电线路具有复合材料(例如铝基质复合材料)芯架空输电导线耐张子段和另一个不同芯架空输电导线耐张子段。



1. 一种终端至终端架空输电线路耐张段，包括：

第一和第二终端塔；和

架空输电导线耐张段，其具有附接到所述第一终端塔的第一末端和附接到所述第二终端塔的第二末端，并且由第一和第二连续架空输电导线耐张子段中的至少一个构成，其中至少所述第一连续架空输电导线耐张子段具有复合材料芯或殷钢芯中的至少一种，其中所述第一和第二架空输电导线耐张子段各自具有垂度值，其中所述第一架空输电导线耐张子段具有第一热膨胀系数和第一密度，其中所述第二架空输电导线耐张子段具有第二热膨胀系数和第二密度，其中所述第一和第二热膨胀系数或所述第一和第二密度中的至少一个在 20℃至 75℃的温度范围内是不同的，其中所述第一和第二架空输电导线耐张子段各自具有横截面积，并且其中所述横截面积相同，并且其中所述第一和第二架空输电导线耐张子段各自独立地具有在 20℃至 75℃温度范围内相同的计算张力。

2. 根据权利要求 1 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第一连续架空输电导线耐张子段包括所述复合材料芯。

3. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述复合材料芯包括铝或铝合金基质复合材料中的至少一种。

4. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述复合材料芯包括聚合物型基质复合材料。

5. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第一和第二热膨胀系数在 0 至 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

6. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中

所述第一和第二密度在 1.4g/cm^3 至 20g/cm^3 的范围内。

7. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第一和第二热膨胀系数在 0 至 $25 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 的范围内，并且其中所述第一和第二密度在 1.4g/cm^3 至 20g/cm^3 的范围内。

8. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第一和第二密度在 2.7g/cm^3 至 3.6g/cm^3 的范围内。

9. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第一和第二密度在 2.2g/cm^3 至 4.5g/cm^3 的范围内。

10. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第二连续架空输电导线段具有钢芯。

11. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第二连续架空输电导线耐张子段具有有横截面积的芯，其中所述芯的所述横截面积的至少 50% 为铝基质复合材料线材。

12. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述第二连续架空输电导线耐张子段具有铝基质复合材料芯。

13. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，还包括至少一个附加的具有复合材料芯的架空输电导线耐张子段，其中，在 20°C 至 75°C 范围内的温度下，所述第一架空输电导线耐张子段、所述第二架空输电导线耐张子段以及所述附加的架空输电导线耐张子段在 20°C 至 75°C 范围内各自独立地具有相同的计算张力。

14. 根据权利要求 13 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，还包括布置在所述第一和第二终端塔之间的至少三个直线塔。

15. 根据权利要求 2 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，还包括至少一个附加的具有铝基质复合材料芯的架空输电导线耐张子段，其中，在 20℃至 75℃范围内的温度下，所述第一架空输电导线耐张子段、所述第二架空输电导线耐张子段以及所述附加的架空输电导线耐张子段在 20℃至 75℃范围内各自独立地具有相同的计算张力。

16. 根据权利要求 15 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，还包括设置在所述第一和第二终端塔之间的至少三个直线塔。

17. 根据权利要求 15 所述的终端至终端架空输电线路耐张段，其中所述附加的架空输电导线耐张子段具有铝基质复合材料芯。

架空输电线路

背景技术

本领域已知多种架空输电导线的用途，包括那些芯周围绞合线材（例如铝线材、铜线材、铝合金线材和铜合金线材）的导线，其中芯包括（例如）钢线材或铝基质复合线材（例如铝或铝合金（例如最多达 2 重量%的铜）中的 α 氧化铝纤维）。

通常，终端塔之间的单个耐张段使用相同的架空输电导线构造，但在耐张段检修时也会遇到多种构造的组合。

由于作为传统钢芯架空输电导线的替代形式，许多架空输电导线的造价相对较高，因此希望能够在终端塔之间的耐张段的选定区域使用造价较高的架空输电导线。在另一方面，希望能够使构造具有灵活性，以便在终端塔之间的耐张段中使用至少两种不同的架空输电导线。

发明内容

在一个方面，本发明提供终端至终端的架空输电线路耐张段，该耐张段包括：

第一和第二终端塔；以及

架空输电导线耐张段，其具有附接到第一终端塔的第一末端和附接到第二终端塔的第二末端，并且由至少一个第一和第二连续的架空输电导线耐张子段构成，其中至少第一连续的架空输电导线耐张子段具有复合材料（例如铝（包括铝合金）和聚合物基质复合材料）芯或殷钢（即含有铁、镍和诸如铬、钛和碳之类其他可选元素的铁合金，其中，该铁合金的热膨胀系数小于其组分热膨胀系数的线性组合）芯中的至少一种，其中，第一和第二架空输电导线耐张子段具有各自的垂度，其中第一架空输电导线耐张子段具有第一热膨胀系数和第一密

度，其中第二架空输电导线耐张子段具有第二热膨胀系数和第二密度，其中，当温度在 20℃ 至 75℃ 的范围内（在一些实施例中，温度在下列范围内：25℃ 至 75℃、20℃ 至 100℃、25℃ 至 100℃、20℃ 至 125℃、25℃ 至 125℃、20℃ 至 150℃、25℃ 至 150℃、20℃ 至 175℃、25℃ 至 175℃、20℃ 至 200℃、25℃ 至 200℃、20℃ 至 225℃、25℃ 至 225℃、20℃ 至 240℃、25℃ 至 240℃、0℃ 至 75℃、0℃ 至 100℃、0℃ 至 200℃、0℃ 至 300℃、-40℃ 至 100℃、-40℃ 至 200℃，或甚至 -40℃ 至 300℃）时，第一和第二热膨胀系数或第一和第二密度中的至少一者是不同的（即，第一和第二热膨胀系数和/或第一和第二密度在指定温度范围内有较大不同，足以形成至少 2%（在一些实施例中，为至少 3、4、5、6、7、8、9、10、15、20、25 或甚至至少 30%）的垂度差（即，当各自用于计算给定张力下架空输电导线耐张段的主要跨度时，每个架空输电导线耐张子段的垂度是不同的），其中第一和第二架空输电导线耐张子段具有各自的横截面积，并且其中各自的横截面积相同（即，偏差在各自面积的 ±2% 内），并且其中第一和第二架空输电导线耐张子段在 20℃ 至 75℃ 的范围内各自具有相同的（即偏差在 ±5% 以内（在一些实施例中，偏差在 ±4、±3，或甚至 ±2 以内））计算张力（即在计算架空输电导线耐张段的主要跨度时使用的每个架空输电导线耐张子段的计算张力）。在一些实施例中，第一和第二连续的架空输电导线耐张子段具有相同的长度，而在其他实施例中具有不同长度。

架空输电线路耐张段的“主要跨度”由以下公式限定：

$$\text{主要跨度} = \sqrt{\frac{\sum_{\text{跨段编号}} \text{跨段}^3}{\sum_{\text{跨段编号}} \text{跨段}}}$$

架空输电线路可以包括多个终端塔、多个直线（悬垂）塔和导线电缆。架空输电线路耐张段是指从一个终端塔延伸至另一个终端塔的输电线路的一部分。图 1 示出了示例性架空输电线路耐张段 90，其具有终端塔 70 和 76、直线（悬垂）塔 72 和 74、以及架空输电导线 78

和 79。架空输电导线耐张段是指导线的一个区段，其一端附接到架空输电线路耐张段的第一终端塔，另一端附接到第二终端塔。架空输电线路耐张段 90 具有跨段 94A、94B 和 94C、以及架空输电导线耐张子段 98 和 99。

在一些实施例中，第一连续架空输电导线耐张子段的复合材料芯包括至少一根（在一些实施例中，为至少 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49 根、或甚至至少 50 根）连续的细长复合材料（例如线材）或殷钢（例如线材）。在一些实施例中，第一连续架空输电导线耐张子段的复合材料芯具有横截面积，其中芯横截面积的至少 5%（在一些实施例中，为 10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、或甚至 100%）为复合材料（例如线材）或殷钢（例如线材）。在一些实施例中，第一连续架空输电导线耐张子段的芯还包括钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。

在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段包括复合材料芯，该复合材料芯包括至少一根（在一些实施例中，为至少 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49 根、或甚至至少 50 根）连续的细长复合材料（例如线材）或殷钢（例如线材）。在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段包括复合材料芯，该复合材料芯具有横截面积，其中芯横截面积的至少 5%（在一些实施例中，为 10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、或甚至 100%）为至少一种复合材料（例如线材）或殷钢

（例如线材）。在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段的芯还包括钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。

在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段不含复合材料并且具有芯，该芯包括钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段的芯包括至少一根（在一些实施例中，为至少 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49 根、或甚至至少 50 根）钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。在一些实施例中，第二连续架空输电导线耐张子段的芯具有横截面积，其中芯横截面积的至少 5%（在一些实施例中，为 10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、或甚至 100%）为钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。

在一些实施例中，根据本发明的终端至终端架空输电导线还包括至少一个（在一些实施例中，为至少 2、3、4、5、6、7、8、9、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 或甚至更多个）另外的架空输电导线耐张子段。在一些实施例中，另外的架空输电导线耐张子段可以独立地为复合材料芯，该复合材料芯包括至少一根（在一些实施例中，为至少 2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、

33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49根、或甚至至少50根)细长复合材料(例如线材)。在一些实施例中,另外的架空输电导线耐张子段可以独立地为复合材料芯,该复合材料芯横截面积的至少5%(在一些实施例中,为10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、或甚至100%)为复合材料(例如线材);或为不含复合材料并且包括下列材料的芯:钢线材、殷钢(例如线材)、聚合物(例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑)纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合;其中,当温度在20°C至75°C的范围内(在一些实施例中,温度在下列范围内:25°C至75°C、20°C至100°C、25°C至100°C、20°C至125°C、25°C至125°C、20°C至150°C、25°C至150°C、20°C至175°C、25°C至175°C、20°C至200°C、25°C至200°C、20°C至225°C、25°C至225°C、20°C至240°C、25°C至240°C、0°C至75°C、0°C至100°C、0°C至200°C、0°C至300°C、-40°C至100°C、-40°C至200°C、或甚至-40°C至300°C)时,每个架空输电导线耐张子段均显示具有计算张力,并且其中每个计算张力均大致相同。在一些实施例中,另外的架空输电导线耐张子段的芯(芯中包括复合材料)还包括钢线材、聚合物型(例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑)纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。在一些实施例中,另外的架空输电导线耐张子段的芯不含复合材料,并且包括至少一根(在一些实施例中,为至少2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、25、26、27、28、29、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39、40、41、42、43、44、45、46、47、48、49根、或甚至至少50根)钢线材、聚合物材料(例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑)纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。在一些实施例中,另外的耐张子段的芯横截面积的至少5%(在一些实施例中,为10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、或甚至100%)为钢

线材、聚合物（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）纤维、陶瓷纤维、硼纤维、石墨纤维、碳纤维、钛线材、钨线材、形状记忆合金线材、以及它们的组合。

由（例如）铝基质复合材料芯构成的架空输电导线通常希望用于架空输电线路中，因为其相比由（例如）钢芯导线构成的架空输电导线可以提供更大的安培容量，并且比给定横截面积相同的钢芯导线具有更小的垂度。因此，由铝基质复合材料芯构成的架空输电导线可用于增加架空输电线路下方的净空，和/或在较高温度下工作，从而承载更多电流。然而，由于由铝基质复合材料芯构成的架空输电导线通常比由钢芯构成的架空输电导线更贵，可能有利的是，只在架空输电线路耐张段的一部分（该部分需要较小垂度以保持最小净空）使用由铝基质复合材料芯构成的架空输电导线。

附图说明

图 1 为根据本发明的示例性架空输电线路耐张段。

图 2 和 3 为根据本发明的示例性终端至终端架空输电线路耐张段的示意图。

图 4 和 5 为架空输电线路的两个示例性实施例的示意性横截面，该架空输电线路具有包含复合芯的导线。

图 6 为绞合导线的示例性实施例的端视图，该绞合导线在有多根股线周围具有保持装置。

图 7 为两种不同架空输电导线（架空输电耐张子段）（即 ACCR 和 ACSR）的垂度和张力数据随温度变化的曲线图，该图使用实例中描述的建模软件获得。

具体实施方式

出人意外的是，已经发现，利用用于制造具有复合材料（例如，铝基质复合材料和聚合物复合材料）芯、钢芯等的架空输电线路耐张段的本领域已知技术，可以设计和制造不同的架空输电耐张子段，使

得安装在架空输电线路耐张段内的不同架空输电耐张子段的计算张力在至少从 20°C 至 75°C 的温度范围内基本相同。

在一个示例性实施例中，本发明实施中使用的每一个架空输电耐张子段的长度为至少约 1250 英尺（约 400 米），但也可以设想出其他长度。在一些实施例中，每一个架空输电耐张子段的长度为至少约 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、600、900、1000、1200、1500、1800、2100、2400、2700、3,000、5,000、10,000、15,000、20,000、或甚至至少约 25,000 米。

用于架空输电导线耐张子段的示例性架空输电导线包括：具有芯的架空输电导线，该芯包括复合材料（例如铝基质复合材料和聚合物型复合材料）或殷钢线材中的至少一种；具有芯的架空输电耐张子段，该芯包括钢线材、聚合物型（例如芳族聚酰胺类和聚对亚苯基苯并二噁唑）材料（例如聚合物型线材）、陶瓷、硼、石墨、碳、钛（例如线材）、钨（例如线材）、和/或形状记忆合金（例如线材）、以及它们的组合。通常，铝线材、铜线材、铝合金线材、和/或铜合金线材绞合在芯周围。具有铝基质复合材料芯的导线有时称为复合芯加强铝导线(“ACCR”)。

用于架空输电导线耐张子段的其他示例性架空输电导线包括：钢芯加强铝导线(ACSR)、钢芯加强耐热铝合金导线(TACSR)、钢芯加强超耐热铝合金导线(ZTACSR)、殷钢芯加强超耐热铝合金导线(ZTACIR)、耐热铝合金(ZTAL)、钢芯加强超耐热铝合金导线(ZTACSR)、钢芯加强特耐热铝合金导线(XTACSR)、殷钢芯加强特耐热铝合金导线(XTACIR)、间隙型钢芯加强超耐热铝合金(GZTACSR)、钢芯加强高强度耐热铝合金导线(KTACSR)、全铝导线(AAC)、全铝合金导线(AAAC)、复合芯铝导线(ACCC)、和钢芯支撑铝导线(ACSS)。

本发明实施中所采用的绞合在芯周围从而形成导线的线材在本领

域中是已知的。铝线材可（例如）以商品名“1350-H19 ALUMINUM”和“1350-H0 ALUMINUM”从 Nexans (Weyburn, Canada)或 Southwire 公司(Carrollton, GA)商购获得。通常，铝线材在至少约 20°C 至约 500°C 温度范围内的热膨胀系数在约 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至约 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 范围内。在一些实施例中，铝线材（例如“1350-H19 ALUMINUM”）的拉断强度为至少 138MPa (20ksi)、158MPa (23ksi)、172MPa (25ksi)、至少 186MPa (27ksi)、或甚至至少 200MPa (29ksi)。在一些实施例中，铝线材（例如“1350-H0 ALUMINUM”）的拉断强度为大于 41MPa (6ksi) 至不大于 97MPa (14ksi)，或甚至不大于 83MPa (12ksi)。铝合金线材可（例如）以商品名“ZTAL”从 Sumitomo Electric Industries (Osaka, Japan) 商购获得，或以商品名“6201”从 Southwire 公司(Carrollton, GA)商购获得。在一些实施例中，铝合金线材在至少约 20°C 至约 500°C 温度范围内的热膨胀系数在约 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至约 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内。铜线材可从（例如）Southwire 公司(Carrollton, GA)商购获得。通常，铜线材在至少约 20°C 至约 800°C 温度范围内的热膨胀系数在约 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至约 $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内。铜合金（例如紫青铜，例如 Cu-Si-X、Cu-Al-X、Cu-Sn-X、Cu-Cd；其中 X = Fe、Mn、Zn、Sn、和/或 Si；可从（例如）Southwire 公司(Carrollton, GA)商购获得；氧化物弥散强化铜，可（例如）以商品名“GLIDCOP”得自 OMG Americas 公司(Research Triangle Park, NC)) 线材。在一些实施例中，铜合金线材在至少约 20°C 至约 800°C 温度范围内的热膨胀系数在约 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至约 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内。线材可为多种形状中的任何一种形状（例如圆形、椭圆形和梯形）。

用于架空输电导线耐张子段（具有包含铝基质复合线材的芯）的合适的架空输电导线可以采用本领域已知的技术制备。用于 ACCR 架空输电导线芯的合适的连续（即与平均纤维直径相比具有相对无限大的长度）陶瓷纤维的例子包括玻璃、碳化硅纤维、和陶瓷氧化物纤维。通常，陶瓷纤维为晶体陶瓷（即具有可识别的 X 射线粉末衍射图案）和/或晶体陶瓷与玻璃的混合物（即纤维可以同时包含晶体陶瓷和玻璃相），但其也可以都为玻璃。在一些实施例中，纤维为至少 50（在一

些实施例中，为至少 55、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、或甚至 100) 重量%的晶体。适用的晶体陶瓷氧化物纤维的例子包括耐火纤维，诸如氧化铝纤维、硅铝酸盐纤维、硼铝酸盐纤维、铝硼硅酸盐纤维、氧化锆-二氧化硅纤维、以及它们的组合。

在 ACCR 架空输电导线芯的一些实施例中，期望纤维包含至少 40 (在一些实施例中，为至少 50、60、65、70、75、80、85、90、95、96、97、98、99、或甚至 100) 体积%的 Al_2O_3 (基于纤维的总体积)。在一些实施例中，期望纤维包含 40 至 70 (在一些实施例中，在 55 至 70，或甚至 55 至 65 范围内) 体积%的 Al_2O_3 (基于纤维的总体积)。

此外，示例性的玻璃纤维可得自 (例如) Corning Glass (Corning, NY)。通常，连续玻璃纤维的平均纤维直径在约 3 微米至约 19 微米的范围内。在一些实施例中，玻璃纤维的平均抗拉强度为至少 3GPa、4GPa、或甚至至少 5GPa。在一些实施例中，玻璃纤维的弹性模量在约 60GPa 至 95GPa 的范围内，或在约 60GPa 至约 90GPa 的范围内。

氧化铝纤维在 (例如) 美国专利 No. 4,954,462 (Wood 等人) 和 5,185,299 (Wood 等人) 中有所描述。在一些实施例中，氧化铝纤维为多晶 α -氧化铝纤维，并且包含 (基于理论氧化物) 大于 99 重量%的 Al_2O_3 和 0.2-0.5 重量%的 SiO_2 (基于氧化铝纤维的总重量)。在另一方面，一些期望的多晶 α -氧化铝纤维包含平均粒度小于 1 微米 (或甚至在一些实施例中小于 0.5 微米) 的 α -氧化铝。在另一方面，在一些实施例中，多晶 α -氧化铝纤维的平均拉伸强度为至少 1.6GPa (在一些实施例中，为至少 2.1GPa，或甚至为至少 2.8GPa)，如根据美国专利 No. 6,460,597 (McCullough 等人) 中所述拉伸强度测试所测得的。示例性 α -氧化铝纤维由 3M 公司 (St. Paul, MN) 以商品名“NEXTEL 610”销售。

硅铝酸盐纤维在 (例如) 美国专利 No. 4,047,965 (Karst 等人) 中有所描述。示例性硅铝酸盐纤维由 3M 公司以商品名“NEXTEL 440”、

“NEXTEL 550”和“NEXTEL 720”销售。

硼铝酸盐纤维和铝硼硅酸盐纤维在(例如)美国专利 No. 3,795,524 (Sowman)中有所描述。示例性铝硼硅酸盐纤维由 3M 公司以商品名“NEXTEL 312”销售。

氧化锆-二氧化硅纤维在(例如)美国专利 No. 3,709,706 (Sowman)中有所描述。

通常,连续陶瓷纤维的平均纤维直径为至少约 5 微米,更常见的是,在约 5 微米至约 20 微米的范围内;并且在一些实施例中,在约 5 微米至约 15 微米的范围内。

通常,陶瓷纤维是成束的。纤维束在纤维领域中是已知的,并且通常包括多根(单根)大体上非扭曲的纤维(通常至少 100 根纤维,更常见的是至少 400 根纤维)。在一些实施例中,纤维束包括每束至少 780 根单纤维,并且在一些情况下,每束至少 2600 根单纤维,或每束至少 5200 根单纤维。各种陶瓷纤维束有多种长度可供选择,包括 300 米、500 米、750 米、1000 米、1500 米以及更长。纤维的横截面形状可以是圆形、椭圆形或狗骨形。

示例性硼纤维可从(例如)Textron Specialty Fibers, Inc. (Lowell, MA)商购获得。通常,此类纤维的长度为大约至少 50 米,并且可能甚至为大约上千米或更长。通常,连续硼纤维的平均纤维直径在约 80 微米至约 200 微米的范围内。更常见的是,平均纤维直径不大于 150 微米,最常见的是在 95 微米至 145 微米的范围内。在一些实施例中,硼纤维的平均抗拉强度为至少 3GPa,或甚至至少 3.5GPa。在一些实施例中,硼纤维的弹性模量在约 350GPa 至约 450GPa 的范围内,或甚至在约 350GPa 至约 400GPa 的范围内。

此外，示例性碳化硅纤维由（例如）COI Ceramics (San Diego, CA) 以商品名为“NICALON”的每束有 500 根纤维的纤维束销售，由 Ube Industries (Japan) 以商品名“TYRANNO”销售，以及由 Dow Corning (Midland, MI) 以商品名“SYLRAMIC”销售。

示例性碳化硅单丝纤维由（例如）Specialty Materials, Inc. (Lowell, MA) 以商品名“SCS-9”、“SCS-6”和“Ultra-SCS”销售。

用于基质的示例性铝金属为高纯度（如大于 99.95%）元素性铝或纯铝与其他元素（例如铜）的合金。通常，铝基质材料的选择应使基质材料不与纤维发生明显的化学反应（即相对于纤维材料具有相对的化学惰性），例如，消除在纤维外部提供保护性涂层的必要性。

在一些实施例中，铝基质包含至少 98 重量%的铝、至少 99 重量%的铝、大于 99.9 重量%的铝、或甚至大于 99.95 重量%的铝。铝和铜的示例性铝合金包含至少 98 重量%的铝和最多 2 重量%的铜。在一些实施例中，可用的铝合金为 1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000 和/或 8000 系列铝合金（铝业协会(Aluminum Association)标号）。虽然铝的纯度越高，越适合制备抗拉强度更高的线材，但也可以使用纯度较低金属。

合适的铝可以商品名 99.99% 纯度超纯铝 (SUPER PURE ALUMINUM; 99.99% Al) 得自（例如）Alcoa (Pittsburgh, PA)。铝合金（例如 Al-2 重量%Cu(0.03 重量%杂质)）可得自（例如）Belmont Metals (New York, NY)。

复合材料芯和线材通常包含至少 15 体积%（在一些实施例中，为至少 20、25、30、35、40、45、或甚至 50 体积%）的纤维（基于纤维和铝基质材料的总组合体积）。更常见的是，复合材料芯和线材包含 40 至 75（在一些实施例中，为 45 至 70）体积%范围内的纤维（基于

纤维和铝基质材料的总组合体积)。

通常，芯的平均直径在约 3mm 至约 40mm 的范围内。在一些实施例中，期望芯的平均直径为至少 10mm、至少 15mm、20mm、或甚至多达约 25mm（例如 10mm 至 30mm）。通常，复合线材的平均直径在约 1mm 至 12mm、1mm 至 10mm、1mm 至 8mm、或甚至在 1mm 至 4mm 的范围内。在一些实施例中，期望复合线材的平均直径为至少 1mm、至少 1.5mm、2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、10mm、11mm、或甚至至少 12mm。

制造铝复合线材的技术在本领域中是已知的。例如，连续金属基质复合线材可采用连续金属基质浸渗方法制备。一种适用的方法在（例如）美国专利 No. 6,485,796（Carpenter 等人）中有所描述。连续纤维增强金属基质复合材料的其他加工方法在（例如）ASM Handbook Vol. 21, Composites, pp. 584-588(ASM International, Metals Park, OH), published in 2001（2001 年出版的《美国金属学会手册》第 21 卷第 584-588 页“复合材料”（俄亥俄州金属园区美国材料信息学会））中有所论述。

具有包含钢线材的芯的架空输电导线可从（例如）Southwire (Carrollton, GA)商购获得。通常，芯的钢线材为标称抗拉强度在 1172MPa (170ksi)至 1931MPa (280ksi)范围内的中等强度到高强度的钢，并且通常经过涂覆而具有良好的耐腐蚀性。常见的涂层材料包括锌（也称为镀锌）或具有 5%铝基混合稀土的锌合金。其他类型的涂层为铝或铝镀层，例如铝镀层钢（例如可得自 Alumoweld, Duncan, SC 的“ALUMOWELD”），例如，线材 AWG #4（标称直径为 0.2043 英寸 (5.18mm)；极限抗拉强度为 115ksi (109kg/mm²)；重量为 93.63 磅/1000 英尺(139.3kg/km)；68°F 下的电阻为 1.222 Ω /1000 英尺(20°C 下的电阻为 4.009 Ω /km)）和线材 AWG #8（标称直径为 0.1285 英寸(3.264mm)；极限抗拉强度 195ksi (137kg/mm²)；重量为 37.03 磅/1000 英尺

(55.11kg/km); 68°F下的电阻为 3.089 Ω/1000 英尺 (20°C下的电阻为 10.13 Ω/km))。

聚合物型芯 (例如, 复合玻璃纤维/碳纤维芯) 导线可 (例如) 以商品名 “ACCC/TW DRAKE” 得自 Composite Technology 公司(Irvine, CA)。碳纤维强化的聚合物型复合材料可得自 (例如) Tokyo Rope (Japan)。碳化硅纤维强化的铝线材可得自(例如)Nippon Carbon (Japan)。石墨纤维强化的铝线材可得自 (例如) Yazaki Corp. (Japan)。

在一些实施例中, 架空输电导线耐张子段的热膨胀系数在 0 至 $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内 (在一些实施例中, 在 $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 或甚至 $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 至 $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围内)。在一些实施例中, 输电导线耐张子段的密度在 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $20\text{g}/\text{cm}^3$ 的范围内 (在一些实施例中, 在 $16\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $19\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $3.6\text{g}/\text{cm}^3$ 、或 $2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的范围内)。

本发明所采用的导线通常为绞合导线。绞合导线通常包括中心线材和螺旋绞合在中心线材周围的第一层线材。导线绞合是这样一种方法, 其中线材的各个股线以螺旋结构组合在一起, 从而形成最终的导线 (参见例如美国专利 No. 5,171,942 (Powers)和 5,554,826 (Gentry))。所得螺旋形绞合线材的柔韧性远远高于可得自横截面积相等的固体棒的柔韧性。螺旋结构的优点还在于, 当绞合导线在抓握、安装和使用过程中弯曲时, 可以保持总体的圆形横截面形状。螺旋绞合导线可以包括少至 7 根单股线, 更常见的构造包括 50 根或更多根股线。

图 4 示出了本发明可用的一种示例性架空输电导线, 其中架空输电导线 130 可以为由 30 根单金属线材 (例如铝或铝合金线材) 138 组成的环 136 围绕在由 19 根单线材 (例如复合材料 (例如金属基质复合材料) 线材) 134 组成的芯 132 周围所形成的导线。同样, 如图 5 所示, 作为多种替代形式之一, 架空输电导线 140 可以为由 21 根单金属 (例

如铝或铝合金)线材 148 组成的护套 146 围绕在由 37 根单线材(例如复合材料(例如金属基质复合材料)线材) 144 组成的芯 142 周围所形成的导线。

图 6 示出绞合导线 80 的又一个示例性实施例。在该实施例中,绞合导线包括中心线材(例如复合材料(例如金属基质复合材料)线材) 81A 和螺旋绞合在芯的中心复合材料线材(例如金属基质复合材料) 81A 周围的复合材料线材(例如金属基质复合材料)的第一层 82A。该实施例还包括螺旋绞合在第一层 82A 周围的复合材料(例如金属基质复合材料)线材 81 的第二层 82B。任何层内都可以包括任何合适数量的复合材料(例如金属基质复合材料)线材 81。此外,如果需要,绞合导线 80 内可包括两层以上。

有关制备铝基质复合材料线材和导线的其他细节包括(例如)下列文献中所论述的那些细节:美国专利 No. 5,501,906 (Deve)、6,180,232 (McCullough 等人)、6,245,425 (McCullough 等人)、6,336,495 (McCullough 等人)、6,544,645 (McCullough 等人)、6,447,927 (McCullough 等人)、6,460,597 (McCullough 等人)、6,329,056 (Deve 等人)、6,344,270 (McCullough 等人)、6,485,796 (Carpenter 等人)、6,559,385 (Johnson 等人)、6,796,365 (McCullough 等人)、6,723,451 (McCullough 等人)、6,692,842 (McCullough 等人)、6,913,838 (McCullough 等人)、7,093,416 (Johnson 等人)和 7,131,308 (McCullough 等人);以及美国专利申请 No. 2004/0190733 (Nayar 等人)、2005/0181228 (McCullough 等人)、2006/0102377 (Johnson 等人)、2006/0102378 (Johnson 等人)和 2007/0209203 (McCullough 等人);以及提交于 2005 年 1 月 30 日的序列号为 60/755,690 的美国专利申请,这些专利在制造和使用金属基质复合材料线材和导线方面的教导内容是相同的。包含铝基质复合材料的导线也可(例如)以商品名“795 kcmil ACCR”得自 3M 公司。

本领域已知多种附件，用于方便连接导线段和将导线附接到塔上。例如，接线端（也称为“终端”）和接头（也称为“中跨接续条”或全张力接续条/接头）可从（例如）Alcoa Conductor Accessories (ACA), Spartanburg, SC 和 Preformed Line Products (PLP), Cleveland, OH 商购获得。虽然导线的具体构造取决于整个架空输电线路耐张段的所需特性，但通常使用终端附件将导线连接到塔上。

参见图 2，根据本发明的示例性终端至终端架空输电导线 101 包括终端塔 102 和 104，以及固定在终端塔 102 和 104 之间的架空输电导线 103，由直线（悬垂）塔 111、112、113、114 和 115 提供额外支承。架空输电导线 103 将具有钢芯 116 和 118 的架空输电导线耐张子段与具有铝基质复合材料芯 117 的架空输电导线耐张子段固定在一起。

参见图 3，根据本发明的另一个示例性终端至终端架空输电线路耐张段 201 包括终端塔 202 和 204，以及固定在终端塔 202 和 204 之间的架空输电导线 203，由直线（悬垂）塔 211、212、213、214 和 215 提供额外支承。架空输电导线 203 将具有铝基质复合材料芯 216 和 218 的架空输电导线耐张子段与具有钢芯 217 的架空输电导线耐张子段固定在一起。

终端塔（结构）通常不允许导线纵向移动。终端结构之间的悬垂结构为导线提供垂直支撑力。导线通过绝缘子串（通常与陶瓷绝缘片串在一起）连接到悬垂塔上。绝缘子串一端附接到悬垂塔，而其另一端附接到导线。后一种附接的位置称为导线附连点。随着导线内张力的变化，围绕悬垂塔连接位点枢转的绝缘子串将拉动导线，并且纵向移动导线附连点来平衡由此产生的力。这种移动称为绝缘子摆动。悬垂塔跨段之间的导线张力变化通常通过绝缘子摆动来平衡。绝缘子从低张力跨段向高张力跨段摆动，以平衡跨段之间的张力。这会使高张力跨段的张力降低，并增加该跨段的垂度。

架空输电线路耐张段也设计用于随时保持期望的或所需的净空。为了确保在任何气候条件和电力负荷下均有足够的净空，导线的垂度特性被纳入了线路设计。利用垂度张力计算可以预测导线在各种条件下的垂度特性。这类垂度张力计算通常利用线路的不同荷载条件和特性以数学方法完成。一种重要的荷载条件为导线在不同工作温度下的垂度和张力。当通过导线的电流增加时，导线温度由于电阻损耗“ I^2R ”而升高，进而导线因材料的热膨胀而延长。当导线延长时，跨段内的张力减小，导线垂度增加。

在常规设计中，悬垂塔两侧的等长跨段内安装有相同的导线，两根导线的张力变化相同，因此导线附连点不会移动。如果一个跨段比另一个跨段长，则较短跨段的张力减小较快。这样导线附连点将向较长的跨段移动。

当耐张子段长度相同，而导线的热延长特性不同时，导线将以不同的速率延长，从而导线张力也将以不同的速率变化。通常，热延长较大的导线内的张力变化较快。因此，导线附连点将向膨胀最小的导线（即张力较大的架空输电导线耐张子段）移动。如果在一个跨段上安装膨胀较小的导线，而在相邻跨段安装膨胀较大的导线，本领域的技术人员将会预料到，绝缘子串的移动会使膨胀较小的导线过度下垂，从而使其超出净空。此外，本领域的技术人员通常还会预料到，在同一架空输电线路耐张段上安装不同导线时，不可能不超出净空。由此可认识到本发明令人惊奇之处。

有关选择导线类型、导线所用材料类型、耐张子段制造方法、耐张子段连接方法、架空输电线路类型和其他相关实例的其他详情，可见于 2006 年 12 月 28 日提交的美国专利申请 No. 11/617,480 和 11/617,494。

实例

实例使用可预测结果的软件进行。第一导线为复合芯加强铝导线（“ACCR”，可以商品名“ACCR 795-T16”得自 3M 公司(St. Paul, MN)）。第二导线为钢芯加强铝导线（“ACSR”，可以商品名“795 DRAKE ACSR”得自 Southwire (Carrollton, GA)）。在该实例中，两个耐张子段长度相同，均等于跨度。

用于预测导线垂度和张力与温度特性关系的软件（及模型）可以商品名“SAG10”（版本 3.0,更新 3.9.7)购自 ACA Conductor Accessories (Spartanburg, SC)。应力参数为标记为“built-in aluminum stress”（铝内应力）的软件中的配合参数，当使用铝以外的其他材料（例如铝合金）时，可以改变该参数来匹配其他参数，该参数可以调节预测图上拐点的位置，以及拐点后的高温状态下的垂度值。以下文件提供了应力参数理论的描述：Alcoa Sag10 Users Manual (Version 2.0): Theory of Compressive Stress in Aluminum of ACSR（“Alcoa Sag10 用户手册”（2.0 版）：ACSR 中铝的压应力理论）。

需将下列导线参数输入软件(“SAG10”)：面积、直径、单位长度重量和额定拉断强度(RBS)。需将下列线路荷载条件输入软件：安装温度下的跨段长度和初始张力。要运行压应力计算，需要将下列参数输入软件：线材内应力、线材面积（与总面积的比率）、导线内的线材层数、导线内的线材股数、芯股数和每线材层的绞合节径比。需将表（参见下表 4 和 8）中的应力应变系数输入软件。另外还要指定参数 TREF，该参数为系数的基准温度。利用该软件生成垂度和张力与温度的关系曲线。将表 1-8（下表）所示的导线参数输入软件(“SAG10”)。

表 1

第一导线 ACCR 的导线参数

面积	467mm ² (0.724 英寸 ²)
直径	2.81cm (1.11 英寸)
重量	1.33kg/m (0.896 磅/英尺)

RBS: 14,106kg (31,100 磅)

表 2

ACCR 导线的线路荷载条件

跨段长度 381m (1,250 英尺)
 初始张力 (60°F (16°C)下) 2390kg (5,207 磅)

表 3

ACCR 导线的压应力计算选项

内部铝应力值 2500
 铝面积 (与总面积的比率) 0.8522
 铝层数: 2
 铝股数 26
 芯股数 19
 绞合节径比
 外层 11
 内层 13

表 4

ACCR 导线的应力应变参数; TREF = 71°F (22°C)

初始铝					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
-73	53260	-56747	35117	-17439	74602
最终铝 (10 年蠕变)					
B0	B1	B2	B3	B4	(A1)
0	19446	12378	-8047	6929	0.0128
初始芯					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-0.03	49769	-9492.5	-14.95	14.79	48119
最终芯 (10 年蠕变)					
D0	D1	D2	D3	D4	(芯)
-0.03	49769	-9492.5	-14.95	14.79	0.000353

表 5

第二导线 ACSR 的导线参数

面积	468.6mm ² (0.7264 英寸 ²)
直径	2.81cm (1.11 英寸)
重量	1.628kg/m (1.094 磅/英尺)
RBS:	14,288kg (31,500 磅)

表 6

ACSR 导线的线路荷载条件

跨段长度	381m (1,250 英尺)
初始张力 (60°F (16°C)下)	2390kg (5,207 磅)

表 7

ACSR 导线的压应力计算选项

内部铝应力值	2500
铝面积 (与总面积的比率)	0.85999
铝层数:	2
铝股数	26
芯股数	7
绞合节径比	
外层	11
内层	13

表 8

ACSR 导线的应力应变参数；TREF = 70°F (21°C)

初始铝					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
-1213	44308.1	-14004.4	-37618	30676	64000
最终铝（10年蠕变）					
B0	B1	B2	B3	B4	(A1)
-544.8	21426.8	-18842.2	5495	0	0.00128
初始芯					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-69.3	38629	3998.1	-45713	27892	37000
最终芯（10年蠕变）					
D0	D1	D2	D3	D4	(芯)
47.1	36211.3	12201.4	-72392	46338	0.00064

图 7 示出利用软件(“SAG10”)生成的数据，其中 ACCR 和 ACSR 导线的垂度和张力被绘成随导线温度而变化。线条 60 示出 ACCR 复合导线的张力，而线条 64 示出 ACCR 导线的垂度。线条 62 示出 ACSR 导线的张力，而线条 66 示出 ACSR 导线的垂度。图 7 示出，ACCR 张力与 ACSR 张力在-30°C 至 240°C 的整个温度范围内几乎完全一致。尽管两个导线跨段内的张力相等，但在整个相同的温度范围内，ACCR 跨段的垂度更低。该实例针对悬垂塔两侧耐张子段长度相同、高度一致的情形。该实例的压应力参数值为 17.2MPa (2500psi)。

另外需要强调的是，该实例中，虽然 15°C 处两导线的张力相同，但 ACCR 导线的垂度比 ACSR 导线的垂度小（2 米（6.5 英尺））。这允许将 ACCR 导线安装在需要较小垂度的跨段上。

不脱离本发明的保护范围和精神的本发明的各种修改和更改对本领域内的技术人员将变得显而易见，并且应当理解本发明不应不当地限制于本文示出的示例性实施例。

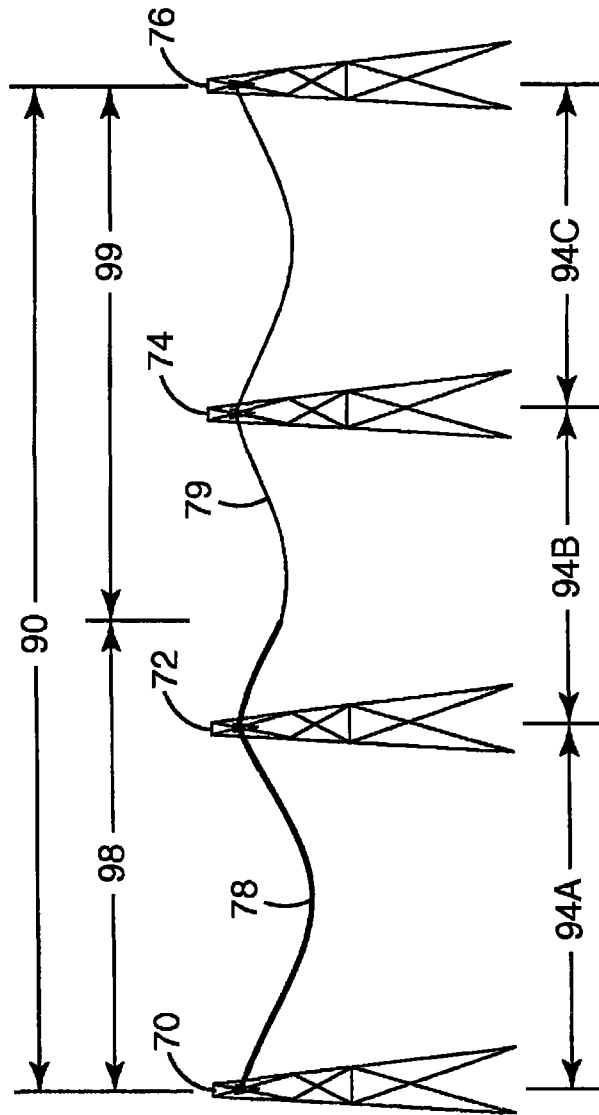


图1

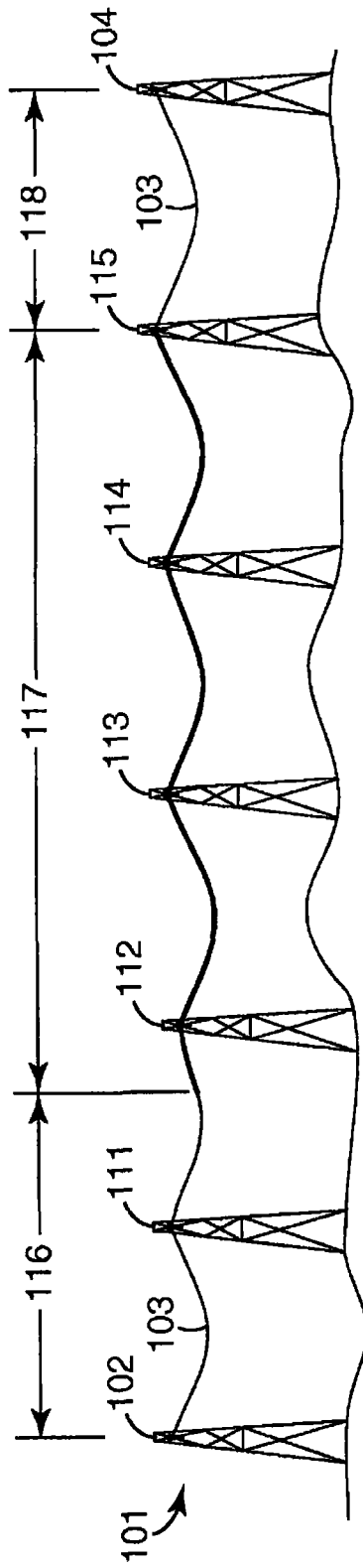


图2

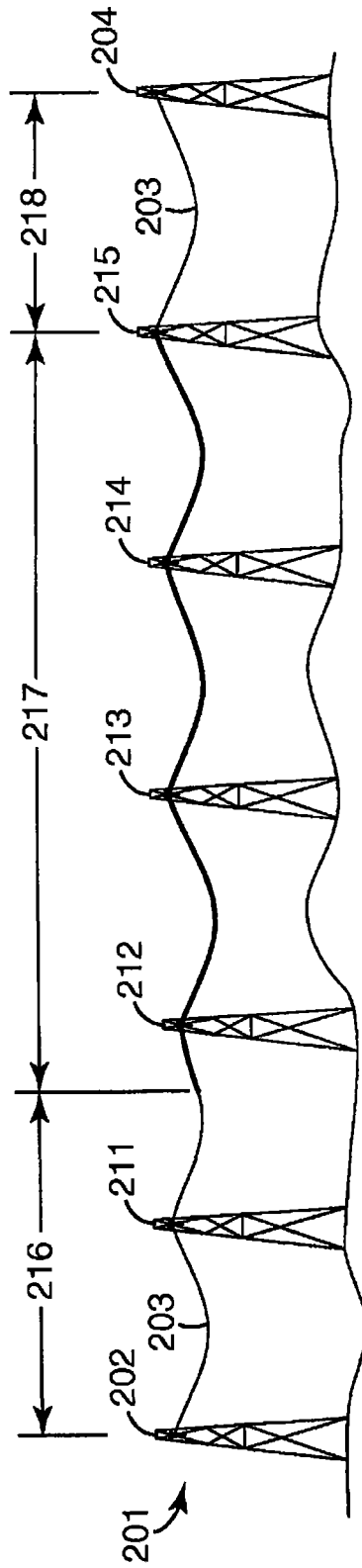


图3

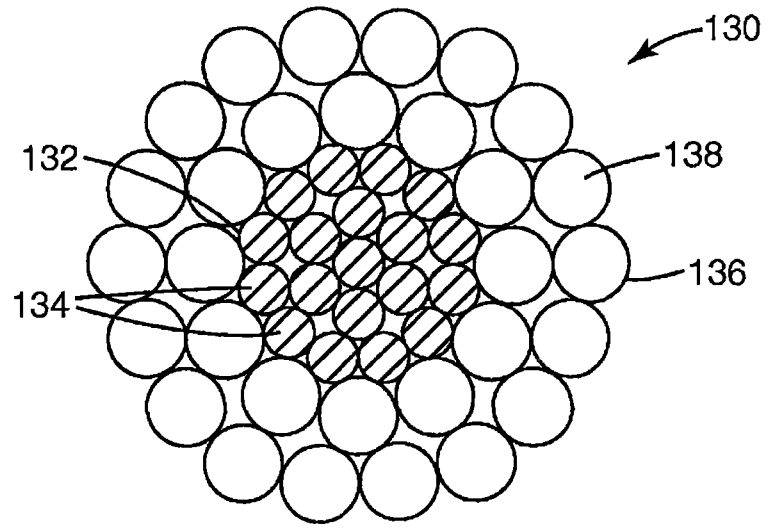


图4

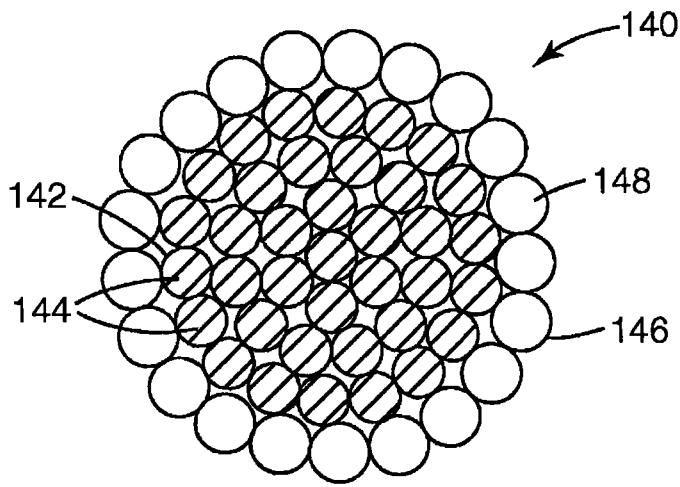


图5

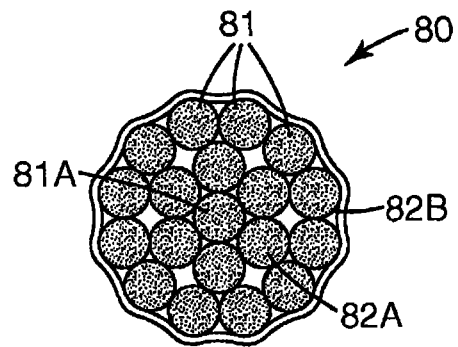


图6

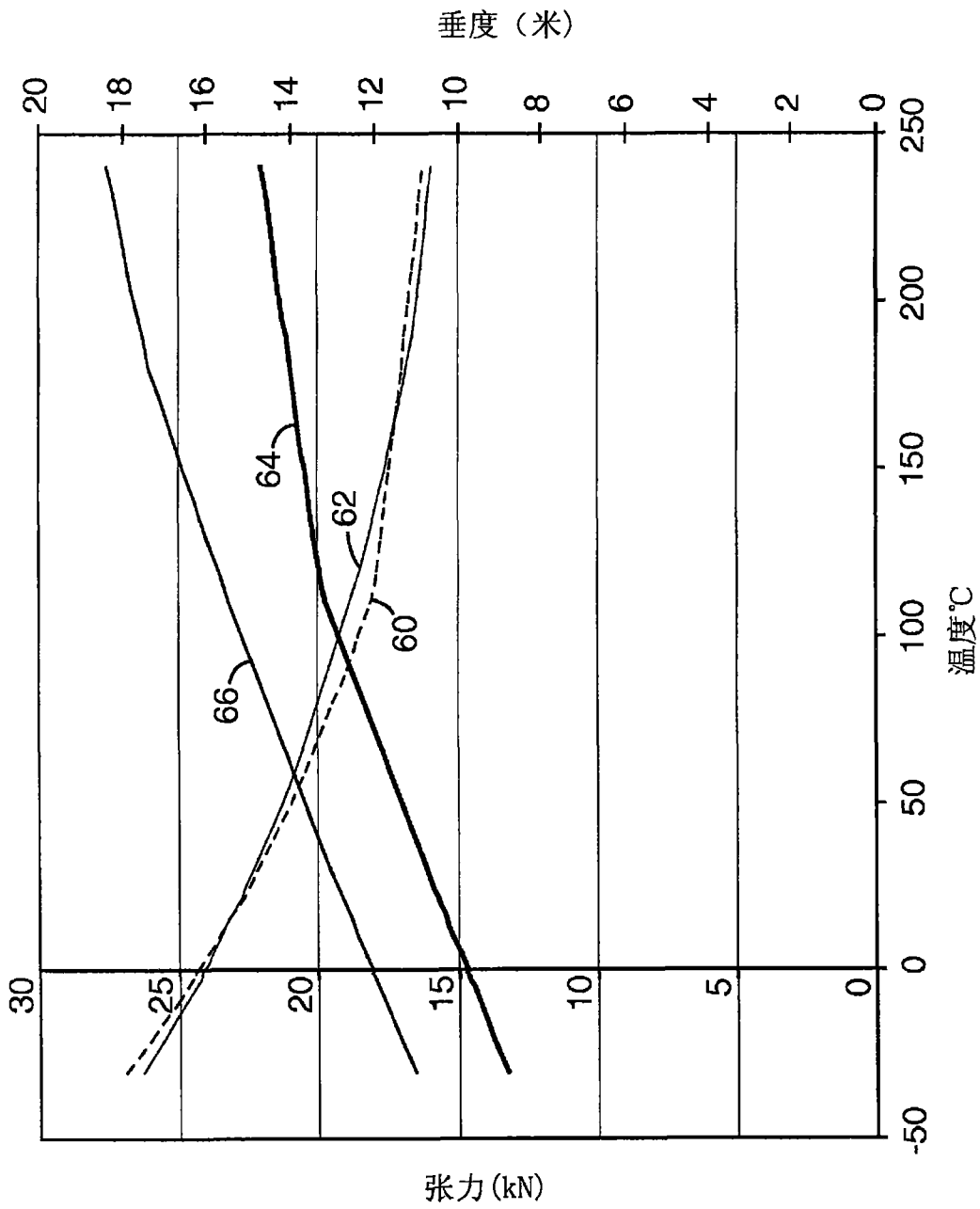


图7