

阅读提示

碳纤维筋,顾名思义,就是由“新材料之王”碳纤维,经过特殊拉挤工艺,与树脂结合制成的新型结构材料。这种碳纤维复合材料密度只有钢材的1/7至1/5,自身强度却达钢筋的10至15倍以上。这种形似钢筋、性能又胜过钢筋的碳纤维筋,凭借其质量轻、耐腐蚀、抗疲劳等优势,广泛应用于土木工程、海洋工程、桥梁工程等领域。它可以用来加固城墙,适用于高原地区,也适用于海洋环境……碳纤维筋是如何拥有如此“超能力”的?本版专题为您揭秘。

本版文字、图片、图表由 王佳麟 陈丛磊 黄胜德 提供



中国石化新产品新材料推介④

可铺路、可建桥,能固城、能筑堤,上得了高原、下得了海洋

揭秘碳纤维筋的超能力

中建八局风河桥项目国产大丝束碳纤维吊杆成功应用

客户反馈

“过去数年,我们与上海石化在碳纤维复合材料的土木工程应用研究领域深入合作、协同攻关,为我们拓展国产碳纤维复合材料在土木工程领域的应用提供了强有力的支撑和保障。合作的工程打造了中建八局在土木工程行业创新应用碳纤维复合材料的亮丽名片。我们由衷感谢上海石化的支持和帮助,希望在今后的合作中一起抓住机遇,共同拓展国产碳纤维复合材料在土木工程领域的应用,继续谱写行业发展新篇章。”

——中建八局工程研究院

工艺流程

从碳纤维到碳纤维筋

碳纤维筋一般由拉挤工艺成型。拉挤成型是指生产具有恒定横截面连续长度的纤维增强聚合物制造工艺,其工序为将碳纤维从纱架中引出,由导纱板按模口形状将纤维收集成束,并将其引导到胶槽树脂浴中。碳纤维有规律地通过胶槽,胶槽中的树脂充分浸润增强纤维,并通过胶槽内部件将纤维表面浸润的树脂挤压均匀,而后进入成型区,即模具。

模具前一般配有预成型模,在预成型模处多余的树脂被挤出,之后进入加热的成型模具。在加热的模具中,树脂逐步升温固化,并按模具形状形成直径一致的圆形棒材。模具后一般配有加热的后固化箱,可提高碳纤维筋的固化度和综合性能。

固化后的碳纤维筋由牵引装置引出并切割成所需的长度或卷绕成盘。



碳纤维筋的分类

碳纤维筋按表面状态划分,主要有光筋(光面筋)、螺纹筋(带肋筋)两种。根据实际应用场景,还有其他种类。

·光筋(光面筋)

表面光滑,通常制成碳纤维复材拉索替代钢拉索,用于斜拉桥、悬索桥、大跨结构。

·螺纹筋(带肋筋)

表面有凹槽,可以增加与混凝土的结合性能,通常作为预应力筋替代钢筋。

产品名片

碳纤维如何制成碳纤维筋?

碳纤维筋是以连续碳纤维作为增强材料,与树脂基体采用适当的成型工艺所形成的棒状纤维增强复合材料。其中,碳纤维是主要承载部分,碳纤维的拉伸强度及拉伸模量对碳纤维筋的强度、挠度有决定性影响。而树脂基体的作用是将碳纤维复丝粘接成束共同受力,对筋的纵向拉伸及压缩性能起一定作用,并决定了产品的耐湿热性能。

碳纤维筋具有什么特性?

碳纤维筋具有高强度、轻量化、耐腐蚀、抗疲劳等优点,抗拉强度最高达3000兆帕,相对密度仅为钢筋的1/5,耐疲劳性能显著优于钢筋;在酸、碱、盐和潮湿等恶劣环境中耐化学腐蚀性优异;纤维振动衰减特性优于钢材,吸能减震效果更好。

碳纤维筋主要应用在哪里?

碳纤维筋除了应用于传统的建筑物加固,因其质量轻、耐腐蚀、抗疲劳性能好,有望成为恶劣环境下传统制体预应力筋的替代品。在高层建筑、大跨度桥梁和港口码头及海底隧道等基础设施中,传统的普通钢筋混凝土结构在耐久性、腐蚀性及自身强度方面的劣势明显,碳纤维筋替代传统钢筋,可使混凝土在特殊结构或恶劣环境下仍能发挥作用。

将数十根甚至数百根较细的碳纤维筋集束成拉索,可应用于大跨度桥梁。这得益于碳纤维筋较高的比强度和比模量,将其作为悬索桥主缆,可提高桥梁的承载效率和跨径,以及桥梁的抗风雨振动性能,并从根本上解决钢丝缆索的腐蚀和疲劳问题,实现具有轻量化、长寿命特征的高性能桥梁结构。

企业实践

上海石化:推动碳纤维筋在土木工程中的应用

碳纤维筋(索)因具有轻量化、高强度、耐腐蚀等优势,作为新型先进土木工程材料,在土木工程中的研究和应用已有多年的历史。相比发达国家,我国对碳纤维复合材料的研究起步较晚。国内研究人员于上世纪末开始碳纤维复合材料在土木工程领域的应用研究,取得一大批创新性的研究成果,已完成FRP(主要是碳纤维片材)加固工程千余项,创造了巨大的经济和社会效益。

在新型土木结构中应用碳纤维复合材料,不仅对其性能有更高的要求,而且需要进一步降低成本。大丝束碳纤维性价比高,是降低碳纤维复合材料成本的主要方向。针对使用单位对高性能碳纤维筋低成本的要求,上海石化于2022年10月建成投产国内首套48K大丝束碳纤维全国产化生产线,一举改变我国大丝束碳纤维全部依赖进口、长期供不应求的局面,有力推动了国产碳纤维产业跻身世界前列。上海石化不断提升48K大丝束碳纤维力学性能,目前所生产的48K大丝束碳纤维拉伸强度已稳定在4200兆帕以上,拉伸模量亦有一定幅度提高,为高性能碳纤维的生产提供了稳定、低成本的原料。



上海石化碳纤维筋生产现场。

专家观点

碳纤维筋市场前景广阔

嘉宾:上海石化先进材料创新研究院研发专家 黄胜德

碳纤维不仅具有较高的力学性能,以其制成的复合材料筋也有优异的耐腐蚀性能。利用碳纤维替代钢筋增强混凝土,不仅可以增强材料整体的力学性能,而且可以有效延长其使用寿命,实现桥梁结构的全生命周期设计。碳纤维筋用作桥梁的预应力筋、体外筋在国外已经得到广泛应用。国内外应用实例表明,碳纤维筋具有的多项优良性能,是钢结构预应力筋的潜在替代选项,在建筑桥梁上具有广阔的应用前景。其作为一种新型的复合材料,与现有的钢筋相比,具有轻量化、高强度、耐腐蚀等特性,在桥梁设计、施工,尤其是后期的维修加固中具有钢筋所不可比拟的优势。随着国家对桥梁耐久性和全生命周期经济性要求日益提高,碳纤维筋材料在桥梁工程中的应用日益广泛。同时,随着国内碳纤维产能高速增长,碳纤维筋成本大幅下降,性价比逐步提升,将越来越被社会认可,发展前景更加广阔。

下一步,我们将基于现有技术,开发热塑性碳纤维筋材料,解决传统热固性碳纤维筋材料无法在现场二次加工的难题,形成新一代全碳纤维筋材料施工技术。在后续的市场推进过程中,我们将重点针对临水、临海应用,发挥碳纤维筋的优势,以筋索材及结构件的形式替代传统钢筋建材,解决海水侵蚀、远海运输成本高的问题。

应用场景

山东青岛海口路跨风河大桥

2022年12月,中建八局采用上海石化48K大丝束碳纤维筋研发的碳纤维吊杆,成功应用于青岛海口路跨风河大桥,是我国首个应用大丝束碳纤维索锚体系的桥梁工程。

据了解,该桥总长377米,主桥为独塔斜拉-连续梁协作体系,大桥副拱12根吊杆均为碳纤维吊杆,全部采用上海石化48K大丝束碳纤维筋。碳纤维筋具有轻量化、高强度、耐腐蚀、抗疲劳等优势,应用于桥梁工程可有效解决传统钢索自重、耐久性能差、使用寿命短于桥梁的问题,从而降低桥梁全生命周期维护成本。此外,碳纤维筋还具有超强长期持荷性能,可显著提高桥梁跨越能力。

此前,上海石化与中建八局紧密合作,采用碳纤维筋、碳纤维索替代原设计中的钢筋、钢索,广泛用于潮湿、水下、海洋、化工等腐蚀性强的环境,先后在京台高速公路、重庆两江四岸朝天门片区治理提升、某西南高原铁路等工程项目中进行示范应用,应用量在3万米以上。

相比小丝束碳纤维,大丝束碳纤维具有成本低、制备效率高等优势,但也存在树脂浸润难度大的难题。上海石化通过攻关形成了大丝束拉挤技术,有效解决浸润难题,制备出包括大丝束碳纤维筋在内的不同直径、不同形状的大丝束碳纤维型材系列产品。

江苏连云港至淮安段气膜结构砂石料场

2023年9月,由上海石化生产的48K大丝束碳纤维制成的筋索,成功应用于中建八局长春-深圳高速公路项目连云港至淮安段气膜结构砂石料场。这是碳纤维复合材料在我国气承膜结构索网系统中的首次应用,也是我国土木工程领域迄今应用的最长碳纤维筋索。

该气膜结构长105米、宽72米、高27米。据分析,原气膜结构在风荷载下的位移较大。为进一步提高台风期间气膜结构的可靠性,该工程沿气膜长度方向增设两道碳纤维预应力索,用于增强气膜结构的抗侧刚度。碳纤维索设置于原气膜结构索网外侧,在气膜内部气压作用下主要承受拉力。

上海石化生产的48K大丝束碳纤维因拉挤成型工艺优势,可满足厂后后期不同产品的制作应用要求。此次工程项目的单根索体总长度为92米,重约65千克,较普通钢索减重约80%,安装时可显著降低施工难度,有效减少大型施工吊装机械,实现高效安装。

碳纤维复合材料在气承膜结构索网系统中的成功应用,展现了碳纤维筋索的独特优势,拓展了碳纤维复合材料在建筑领域应用的新场景,为超大结构工程降低能源消耗、延长使用寿命奠定了应用基础。

上海海岸线防汛短板消除项目

2022年8月17日,为消除上海市海岸线防汛短板,上海石化海堤安全隐患治理项目中交。该项目完工后,上海石化海堤全线将达到两百年一遇的高潮位(6.83米)、12级风(32.7米/秒)防御标准。

值得一提的是,在该项目6次围堤加装的栅栏板结构中,首次采用了由上海石化自主研发生产的碳纤维筋。该材料轻量化、高强度、耐腐蚀,尤其适用于工业腐蚀环境、海洋工程,为新型材料在建筑工艺上的应用做出了创新性的尝试,并提供了较为可靠的先行数据。

某西南高原铁路边坡加固工程

2022年6月,用上海石化碳纤维筋做成的新型碳纤维索落地某西南高原铁路项目,成功应用于高原边坡加固工程。该工程线路全长61.2千米,采用127根轻量化、高强度、耐腐蚀的碳纤维筋锚杆加固边坡。新型碳纤维索的落地实现了国产碳纤维应用于边坡工程零的突破,是国产大丝束碳纤维预应力锚索首次应用在高海拔地区,具有里程碑意义。

新型碳纤维索所使用的碳纤维筋耐腐蚀、抗疲劳。从全生命周期的维度预估,应用新型碳纤维索加固边坡可延长工程结构的使用寿命、降低运维成本,显著降低工程结构全生命周期的能耗和碳排放。

重庆两江四岸核心区治理提升项目

2021年底,重庆两江四岸核心区治理提升项目开工建设。该项目位于重庆朝天门核心区域,采用近两万平方米上海石化碳纤维螺旋筋,用于加固临江仿古城墙,拓展了国产碳纤维复合材料的应用场景。使用的碳纤维螺旋筋在城墙墙体施工方面体现了能耗低、施工方便及劳动强度低等优点。此外,碳纤维筋具有较强的耐腐蚀能力,有效避免了城墙反复被水浸润引发的连接钢筋锈蚀的问题,从而延长仿古城墙的使用寿命、提升施工质量。

京台高速公路改扩建工程项目

2021年,上海石化预应力碳纤维筋增强混凝土梁在京台高速公路山东泰安至山东枣庄(鲁苏界)段改扩建工程第二标段进行了示范应用。相比预应力钢绞线混凝土梁,预应力碳纤维筋增强混凝土梁具有强度高、重量轻的优势,使预应力混凝土构件截面尺寸减小,能够减轻混凝土结构的自重,继而提高结构抵抗使用荷载的有效性,增加结构的跨越能力。同时,可有效避免由于混凝土劣化、开裂等原因导致内部预应力筋腐蚀、结构承载力降低等问题,有效延长桥梁结构在车辆荷载作用下的使用寿命。