交通运输行业标准《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》

编制说明

（征求意见稿）

《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》编写组

2016 年 11 月

目录

1 工作简况 1

2 标准编制的原则和确定标准主要内容 2

3 预期的经济效果、社会效果及环境效果分析.....20

4 标准的先进程度.....21

5 与有关的现行法律、法规和强制执行标准的关系.....21

6 重大分歧意见的处理经过和依据.....21

7 其他应予说明的事项.....22

《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》

编制说明

1　工作简况

1.1 任务来源

根据交通运输部科技司标准函〔2015〕88 号文《关于 2015 年交通运输标准化计划项目》所提出的 2015 年交通运输行业标准制修订项目而制定，计划号为：JT2015-80。标准技术归口单位是全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会标准化工作组，主要起草单位是交通运输部公路科学研究院、北京新桥技术发展有限公司、北京交通大学等。

1.2 工作过程

2015 年 11 月~2015 年 12 月，项目承担单位交通运输部公路科学研究所成立了标准编制组，编制组进行了相关资料的查阅和收集工作，收集了目前已发布的芳纶纤维复合材料标准和相关标准的实施情况。

2016 年 1 月~2016 年 6 月，形成并提交《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》（初稿）。

2016 年 7 月~2016 年 8 月，标准修订小组对初稿进行反复修改，形成了《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》（征求意见稿）。

2016 年 10 月 14 日，由全国交通工程设施（公路）标准化技术委员会组织召开《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》征求意见会并形成了专家意见。

2016 年 10 月~2016 年 11 月，根据意见汇总和处理情况对征求意见稿进行了修改，并形成最终的《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》（征求意见稿）。

1.3 标准主要起草人及其工作

（1）标准的主要负责人：

（2）标准的主要起草单位的工作分工：

交通运输部公路科学研究院，主要负责标准申报、编制、组织评审及依托工程数据采集等工作。

北京新桥技术发展有限公司，主要负责本标准的修改完善工作，及芳纶纤维复合材料工程应用的技术分析。

北京交通大学 提供依托工程数据及标准的修改工作。

2 标准编制的原则和标准主要内容

2.1 标准编制的原则

本标准修订的技术参数，参考借鉴了国内外该领域最先进和最通用的技术标准，并部分吸收了芳纶纤维材料行业中有关的产品参数指标，对国内此前应用的技术和方法将起到促进规范管理、提高技术水平的作用。同时，本标准的修订充分考虑国内应用的现状、使用人员专业素质等实际情况，确保相应条款在国内的适用性和可操作性。

2.1.1 芳纶纤维布、板的应用

大批已有桥梁结构由于种种原因，诸如自然灾害作用、环境侵蚀、荷载增加、结构用途改变、更新设计标准和提高结构可靠度等，存在承载力和耐久性不足或使用功能不满足要求等问题。为了改善这些结构的使用功能，提高承载力，延长使用年限，同时考虑环境保护和经济效益等综合因素，在许多情况下进行加固修复比重建更合理，特别是在使用快速、高效、简便的加固工艺的情况下，更具有优越性；因此工程技术人员把目光更多地投向采用新型复合材料维修加固上来。与传统的加固修补技术相比，纤维材料加固修补技术具有明显的技术优势。

2.1.1.1 抗弯补强

当桥梁结构构件不能提供足够的抗弯强度和使用性能时，必须进行加固，此

时可选用外粘芳纶纤维布进行补强加固。在梁、柱、板的受拉面粘贴芳纶纤维布，同时使芳纶纤维丝方向与主拉应力方向平行，可明显提高梁、柱、板的受弯承载力，并且同时使梁、柱、板裂缝开展受到约束，从而提高构件的抗弯刚度，降低挠度。

对芳纶纤维布补强加固混凝土构件进行分析设计的中心环节是确定构件的失效（破坏）模式。芳纶纤维布抗弯补强混凝土结构存在下述几种失效模式：

（1）纵筋(钢筋)屈服芳纶纤维断裂；

（2）纵筋(钢筋)屈服混凝土压碎；

（3）混凝土压碎；

（4）由于混凝土的剪切失效，芳纶纤维片材端部剥离；

（5）由于混凝土的剪切斜裂缝造成芳纶纤维片材的剥离（远离片材端部）；

（6）由于粘结界面的拉应力很高，发生的芳纶纤维片材端部或弯曲裂缝处剥离；

（7）由于混凝土表面不平和粘结不当造成的芳纶纤维片材从混凝土粘结面剥离。

上述破坏模式（2）是令人最为满意的破坏模式，模式（4）和（5）可通过抗剪补强加以防止，模式（6）可通过限制芳纶纤维布的拉应变加以抑制，模式（7）可通过施工质量控制加以解决。设计中不考虑芳纶纤维布与混凝土之间的相对滑移。

2.1.1.2 抗剪补强.

在梁、柱的剪压区段内横向包裹芳纶纤维布可抑制斜裂缝出现或开展，明显提高构件的抗剪强度，提高梁、柱的刚度、延性和抗震耗能能力。芳纶纤维布加固后的试件最大承载力均发生在芳纶纤维布剥离后、拉断前，在此过程中，芳纶纤维布承担的剪力不断增大，使总剪力仍然保持在较高的水平，改善了构件变形能力。芳纶纤维布加固量越大，试件延性越好。采用芳纶纤维布加固混凝土柱，可防止斜裂缝出现或限制斜裂缝开展，显著提高柱的受剪承载力，实现强剪弱弯的抗震要求，同时芳纶纤维布对提高高轴压比试件延性的作用更加明显。包裹方式分为间隔包裹、连续包裹；封闭包裹、非封闭包裹；采用夹具锚固包裹和非夹

具锚固包裹等。

芳纶纤维布对抗剪强度的贡献取决于破坏模式。当发生芳纶纤维布剥离破坏时，其有效应变远低于极限拉应变；即使发生芳纶纤维布断裂破坏，其有效应变也低于极限拉应变。因为不论何种破坏模式，均有局部发生剥离破坏，因此精确地计算芳纶纤维布对抗剪强度的贡献非常困难，故确定芳纶纤维布的有效应变是进行抗剪强度计算的关键环节。对于芳纶纤维布补强矩形截面混凝土构件，其有效应变随混凝土抗拉强度的减小和纤维布轴向刚度（芳纶纤维布的配筋率与其弹性模量的乘积）的增大而减小；当芳纶纤维布的纤维丝方向垂直于钢筋混凝土构件的轴线方向时，由于斜裂缝扩展导致骨料间咬合力降低，从而使混凝土对构件抗剪强度的贡献随之减小，因此芳纶纤维布的有效应变应限制在0.004～ 0.005的水平。对于芳纶纤维布抗剪补强圆形截面混凝土柱，其有效应变可近似取0.004。

2.1.1.3 约束混凝土和约束高强混凝土

混凝土是目前土木工程中应用最广的建筑材料之一，它主要的特点是抗压强度高，脆性大，而且混凝土强度越高，其脆性越大，但在三向受压的复杂应力作用下其强度、变形性能均有很大的提高。混凝土在轴向荷载作用下，历经微裂缝形成、发展、扩大，横向变形加大，进而形成较大的宏观裂缝，宏观裂缝继续发展以至于混凝土破坏全过程。在整个过程中，混凝土泊松比最大为50%。因而，通过约束限制混凝土横向变形的发展是增强混凝土强度与延性的一种有效途径，这完全可以通过在混凝土构件外包裹芳纶纤维布来实现。当混凝土构件轴心受力时，其横向应变发展受到外包芳纶纤维布的限制。正是由于核心混凝土与外包约束层在受力过程中的这种相互作用，使混凝土材料本身性质发生了变化，即强度得以提高，塑性和韧性性能得以改善。

芳纶纤维布约束混凝土作用要好于芳纶纤维布约束混凝土。芳纶纤维一个显著优于芳纶纤维的特点是其破坏为非脆性，破坏前出现颈缩，征兆明显；同时高弹性和中等延伸率使芳纶纤维具有高韧性，从而在纵向断裂时能有效工作，这些性能使芳纶纤维在遭受强烈冲击时能有效吸收轴向应变能和纵向动能。因此在地震荷载或冲击荷载作用下，芳纶纤维布约束混凝土特别是约束高强混凝土的延性及韧性要明显高于使用芳纶纤维布约束的情况。

因此，在对构件韧性和延性要求高的抗震结构以及抗冲击和耐疲劳方面要求高的工程结构的应用方面，芳纶纤维复合材料比芳纶纤维复合材料有较大的优越性。

2.1.2 芳纶纤维筋的应用

从上世纪60年代起，预应力和非预应力芳纶纤维筋增强混凝土技术分别在美国、欧洲和日本获得了发展，然而其总体研究、应用和商业化水平自80年代起显著增强。

在预应力混凝土中，可将芳纶纤维筋取代钢筋置于混凝土中，用于增强混凝土结构。芳纶纤维比芳纶纤维和玻璃纤维更易编织加工，纤维加工时可根据强度要求，编结相应的截面。芳纶纤维虽然抗拉强度不如芳纶纤维高，但芳纶纤维摩擦系数很小，作为预应力筋锚固后会有一定的滑移，这将导致预应力损失。而芳纶纤维筋就可以很好的解决这个问题，且施工方便，因而更适用于制作预应力筋。

目前，人们根据纤维增强塑料的材料种类选择应用方式。成本较低强度较小的玻璃纤维通常作为非预力筋，而强度较高的芳纶纤维和芳纶纤维由于在设计基准期内能承受较高的应力而作预应力筋使用。由于热固树脂，如乙烯基树脂和环氧树脂优良的抗环境侵蚀性能，人们逐渐用热固树脂代替热塑性树脂（偏于现场加热和应用等）作为芳纶纤维筋用的主要聚合物。应用于工程实践的芳纶纤维筋通常被制作成多种一维筋或多维栅格形式。目前，商业化的多维芳纶纤维筋以二维芳纶纤维筋栅格为主，同时还为某些特定结构制造了不同布置的三维芳纶纤维筋网格。

与普通钢筋相同，多维芳纶纤维筋栅格可在现场手工绑扎而成。一维芳纶纤维筋可通过张拉编织而成，即将纤维浸渍在树脂中，通过成型硬模，压缩、硬化纤维材料，然后按照规定的长度剪断卷成盘。

目前，人们采用多种制造工艺将浸渍树脂的纤维束拧紧编制成规定的二维或三维芳纶纤维筋栅格。二维芳纶纤维筋栅格在板中经常作为弯筋；在梁中，三维芳纶筋栅格（笼）既可作为纵筋又可作为箍筋。各种截面形式的芳纶纤维筋可通过连接设备连接形成多维芳纶筋栅格。芳纶纤维筋栅格连接节点决定了与混凝土之间的粘结刚度和粘结强度。

对于芳纶纤维筋增强混凝土结构的抗弯和抗剪强度分析，采用了许多和普通钢筋混凝土结构相同的假定，但由于芳纶纤维筋和钢筋的材料性能和力学特性明显不同，因此两者的设计原理必定存在差异。芳纶材料线弹性本构关系意味着芳纶纤维筋增强混凝土结构的设计方法必须解决延性差（与普通钢筋混凝土结构比较）的缺点。目前在国外，芳纶纤维筋增强混凝土结构采用极限状态法进行设计以确保结构具有足够的强度（典型地以某种形式的荷载和承载力因子设计为基础），确定主要的失效（破坏）模式，保证粘结强度；然后对正常使用极限状态，诸如：变形和裂缝宽度，疲劳荷载或长期持续荷载作用下的应力水平及松弛损失（预应力混凝土结构）等进行验算。尽管正常使用极限状态在承载力极限状态之后考虑，但由于芳纶纤维筋较低的弹性模量决定了正常使用极限状态对芳纶纤维筋增强混凝土结构设计起控制作用。

利用芳纶纤维浸透特定的树脂编制而成的芳纶纤维筋或芳纶纤维筋栅格，适用于作为桥梁主缆索和横向连接的预应力张紧构件，在腐蚀环境中加固地基用于栈桥、浮桥、隧道等。

2.2 标准修订的必要性分析

2.2.1 本行业执行的标准名称及编号

目前我国芳纶纤维复合材料交通行业标准为《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》（以下简称“原规范”），芳纶纤维复合材料国家标准为《结构加固修复用芳纶纤维布》（简称“国标”）和《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》（简称“GB50728”）。表 3-1 列出了目前与芳纶纤维复合材料相关的标准汇总。

表 2-1 与芳纶纤维复合材料相关的标准汇总

序号	标准项目	标准编号	实施日期
1	桥梁结构用芳纶纤维复合材料	JT/T531-2004	2004-12-01
2	结构加固修复用芳纶纤维布	GB/T21491-2008	2008-09-01
3	工程结构加固材料安全性鉴定技术规范	GB50728	2012-05-01
4	混凝土结构加固设计规范	GB50367-2013	2014-06-01
5	公路桥梁加固设计规范	JTG/T J22-2008	2008-10-01

2.2.2 现行标准存在的问题

芳纶纤维是已工业化的高性能增强纤维中唯一的有机纤维，也是高性能复合材料中用量仅次于芳纶纤维的另一种使用最多的增强纤维。

近些年已经被用于桥梁工程实践中。交通运输部颁布的《桥梁结构用芳纶纤维复合材料 JT/T 531-2004》自2004年发布实施以来，对芳纶纤维复合材料在桥梁结构的应用起到了积极的规范和指导作用，有力促进了近十年来的公路交通建设大发展。但随着我国公路建设的快速发展，对材料和技术的发展与应用提出了更高的要求，原规范在材料特性、力学性能指标（如极限抗拉强度和弹性模量）等方面的规定已不能适应新形势的要求，因此，需尽快修订芳纶纤维复合材料的行业标准，以便正确引导建设单位、设计单位选择优质的产品。

实施统一标准进行芳纶纤维复合材料的生产、检验和使用后，生产厂家将依据相关技术标准提高芳纶纤维片材的质量和技术水平，生产和检验的技术水平将进一步提升，市场管理得到进一步规范，也为建设方选择优质的芳纶纤维片材提供了良好的市场环境。

2.3 主要国家及地区相关标准研究

2.3.1 主要国家相关标准介绍

从上世纪 80 年代起，一些发达国家开始制定土木工程用芳纶复合材料的规范与标准。下面简要地介绍一下日本、美国、欧洲和中国有关芳纶复合材料的规范和标准。这些规范和标准既适用于芳纶复合材料（布）对旧有结构进行加固修复，又适用于新建结构。

1. 日本

从上世纪 80 年代起，日本投入大量的人力、物力和财力，加紧制定外贴芳纶纤维布补强混凝土结构设计与施工指南。1995 年 Hyogoken-Nanbu 地震后，对于钢筋混凝土桥墩和钢筋混凝土柱越来越多地采用外粘碳纤维布进行抗震补强加固，同时采用芳纶纤维布进行补强加固技术也获得了发展。日本混凝土协会发展了纤维片材的标准试验方法，该标准试验方法包括纤维片材的抗拉性能实验测定以及粘结强度实验测定。

2. 美国

美国对于纤维增强混凝土结构进行了长期连续的研究，从上世纪 80 年代开始，由于美国国家科学基金和联邦公路管理委员会的资助，加速了对该领域的研究与开发。1991 年美国混凝土协会创建了 440 委员会，即纤维增强塑料加固委员会，该委员会（ACI440 委员会）于 1996 年出版了纤维增强塑料补强混凝土结构发展水平报告。此后，ACI 440 委员会推出了新标准，2001 年获得了技术活动委员会批准，该标准包括：（1）外粘纤维增强塑料系统补强混凝土结构设计与施工指南；（2）混凝土结构的纤维增强塑料耐久性。上述规范与标准中的纤维增强塑料通常包括：碳纤维、芳纶纤维和玻璃纤维增强塑料。

3. 欧洲

欧洲从 20 世纪 60 年代开始进行关于纤维增强塑料应用的研究。1993 年建立了欧洲合作研究计划，该计划于 1997 年结束，旨在研究纤维增强塑料增强混凝土结构，参与者包括英国、瑞士、法国、挪威和荷兰。国际混凝土结构联盟 93 工作组，即纤维增强塑料增强混凝土结构工作组于 1993 年成立。93 工作组又分成如下几个小组：材料测试小组，纤维筋混凝土小组，预应力纤维筋混凝土小组，外粘纤维增强塑料小组，市场营销和应用小组。该工作组由从事纤维增强塑料补强混凝土结构研究的大学、研究院和公司构成，目前已完成了纤维增强塑料增强钢筋混凝土结构设计指南发展公告。在英国，结构工程师协会出版了关于纤维增强塑料补强钢筋混凝土结构临时设计指南，该指南没有介绍纤维增强塑料预应力混凝土结构和外包纤维增强塑料增强混凝土结构，同时该指南以英国相应的设计规范为基础，采用的设计方法与日本、美国的标准类似。

4. 中国

从上世纪 90 年代中期起，我国开始着手进行 FRP 补强加固技术的研究。国内许多实力较强的科研院所和大学纷纷开展碳纤维布补强加固混凝土结构、砌体结构的研究，并取得了多项研究成果。在短短的几年时间里，制定并颁布了外贴碳纤维布补强加固混凝土结构的技术标准。然而对芳纶纤维复合材料补强加固技术的研究，目前尚处于起步阶段，积累的实验数据、工程经验较少，因此编制芳纶复合材料增强结构构件规范与标准的条件还不完备，所以我国应加紧制定符合国情的有关芳纶复合材料加固补强技术的设计和施工规范与标准。

2.3.2 标准中关于材料特性的比较

美国外贴加固钢筋混凝土技术标准（简称 ACI440）基于全世界范围内新的补强混凝土技术的理论、试验研究及现场应用，具有很强的适用性。该标准共有五个部分，16 个章节。从材料、施工方法、设备、评估验收、维护修复、设计、设计实例等方面对加固混凝土技术进行了全面地介绍。并在附录中分别介绍了碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维的材料属性，标准测试方法小结和未来的研究领域。

日本外贴加固钢筋混凝土技术标准（简称 JSCE）全文共分九章。分别从材料特性、荷载和环境因素作用、对加固前结构的检测、加固后结构性能的认定、加固施工、维修等部分对加固混凝土技术做了详细介绍。

国内外目前使用的纤维类型主要是碳纤维、芳纶纤维和玻璃纤维三种。其中以碳纤维增强复合材料综合性能最好，同时应用也最为广泛。玻璃纤维的综合性能不如碳纤维，但其价格低廉，适用于经济条件较差的结构工程。芳纶纤维有着碳纤维没有的抗冲击、耐高温等特性，更适用于结构抗震，但一直制约其发展的是芳纶纤维的价格较高。

从纤维类型考虑，美国的 ACI440 最为全面，日本的 JSCE 其次。ACI440 不仅全面考虑了芳纶纤维工程经常采用的材料，而且继续将其细分为不同的类型，让工程师可以根据实际需要合理选择，这反映了美国在生产和商业领域的成熟。日本由于地处地震多发区，而芳纶纤维增强复合材料对提高结构抗震有效，故对芳纶纤维增强复合材料研究比较多。

纤维是材料主要的承载者，纤维类型、纤维走向以及纤维数量决定材料的张拉性质。因此，对各国标准中推荐的纤维力学特性做比较分析。表 2-2 是标准对单向布材纤维极限抗拉强度的推荐数值。

表 2-2 纤维极限抗拉强度（MPa）

标准	芳纶纤维
ACI440	普通 3440-4140 高性能 3440-4140
JSCE41	1 号 2060 2 号 2350
JT/T 531- 2004	≥2060

三国对极限抗拉强度和弹性模量的表示方法不同。ACI440 采用一段范围（如 2050-3790MPa）来界定其纤维力学特性，JSCE 给出了确切的数值，而我国则制

定了一个比较模糊的使用条件，即纤维力学性能指标满足大于某一值。说明国内有关生产和商业应用领域还不成熟，只是从技术上满足了需要的数据。

表 2-3 为三国标准对单项芳纶布连续纤维弹性模量的规定。芳纶纤维具有超高弹性模量的特性，高出钢材的弹性模量。

表 2-3 纤维弹性模量（MPa）

标准	芳纶纤维
ACI440	普通 0.69-0.83 高性能 1.1-1.24
JSCE41	1 号 1.18 2 号 0.78
JT/T 531- 2004	≥ 1.1

通过调研分析发现：我国相关标准规范在材料类型上，只考虑应用最广泛的碳纤维增强复合材料，对于芳纶纤维增强复合材料和玻璃纤维增强复合材料考虑较少；在材料形式上，各国规范均只考虑了布材或板材，没有考虑筋或丝；在树脂类型上，只考虑环氧树脂，没有考虑其他树脂类型；只考虑单向纤维布（板），没有考虑双向纤维布（板）；对 环境因素对材料的影响考虑较少。

2.3.3 芳纶纤维材料性能

（1）密度

表 2-4 是三国标准对芳纶纤维密度的规定。从表中可以看出，ACI440 推荐的密度较低。另外，芳纶纤维的密度与钢材相比较轻，是钢密度的 1/4 到 1/6。密度的降低意味着运输费用的减少，并且减少增加在结构上的静荷载，还能减轻装配时的劳动。这也是芳纶纤维的一大优势所在。

表 2-4 纤维密度的比较（g/cm^3）

标准	芳纶纤维
ACI440	1.2-1.5
JSCE41	1 号 1.45±0.05 2 号 1.39±0.05
JT/T 531- 2004	标准中关于密度的单位错误

（2）高温下的性能

对于在高温环境下的性能，ACI440 介绍比较详细，不仅给出了各种纤维的玻璃态临界温度，而且给出了在高温下的承载力损失。对于在高温环境下承载力降低的原因，三国的研究是一致的，即都认为是由于纤维中树脂的玻璃态临界温

度比较低，由于高温引起树脂粘结性能的降低从而使得与混凝土之间的有效传力降低。JSCE 指出“对于评估纤维在抗热性方面的实验方法还没有标准化”。当采用高温固化树脂类粘结材料时可不受此限制。但是并无针对火灾等突发事故的专项条文。

（3）影响力学性能的因素

影响力学性能的因素很多，包括纤维含量、纤维布编制方法和工艺、树脂类型、粘结方式、混凝土表面状况、原结构受损坏程度、环境因素等，我国无相应条文。

（4）压缩行为

三国标准都认为芳纶纤维不应用作直接压缩补强，都认为其抗压强度较低。ACI440 不推荐利用系统抵抗压缩承载力。并根据已有的研究全面给出了各种系统在抗压情况下其抗压强度和弹性模量。并指出了纤维系统在受压时的破坏形式（横拉破坏、纤维微裂、剪切破坏）和原因（纤维的种类、粗细、树脂类型等）。JSCE 中规定“纤维布的抗压强度和抗剪强度不作考虑”。我国规范规定纤维片材不能设计为承受压力，但在反复作用下纤维片材在承受一定压力作用后，仍可承受拉力。

2.4 标准修订的主要内容

2.4.1 标准适用范围

本标准规定了桥梁结构维修、加固用芳纶纤维复合材料的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则和包装、标志、运输、储存。

本标准适用于桥梁结构用芳纶纤维复合材料。

2.4.2 标准结构框架

标准的结构及主要内容分为前言和正文（共八章）。标准规定了芳纶布、芳纶板和芳纶筋的技术要求，规定了芳纶布、纤维板和芳纶筋的分类、规格和标记方法，规定了芳纶布、芳纶板和芳纶筋各种型号的力学性能指标，给出了力学性能指标、耐候性能和耐化学介质性能试验方法。

2.4.3 规范性引用文件

2.4.3.1 删除的规范性引用文件如下：

1）GB/T 3857 玻璃纤维增强热固性塑料耐化学药品性能实验方法；

2）JT/T 532-2004 桥梁结构用芳纶纤维片材 ；

2.4.3.2 更新的规范性引用文件如下：

1）GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法；

2）GB/T 3365 芳纶纤维增强塑料孔隙含量和纤维体积含量试验方法；

3）GB/T 14522 机械工业产品用塑料、涂料、橡胶材料人工气候老化试验方法荧光紫外灯；

2.4.3.3 新增的规范性引用文件如下：

1）GB/T 2572 纤维增强塑料线膨胀系数试验方法

2）GB/T 3356 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法；

2）GB/T 9914.3 增强制品试验方法 第 3 部分：单位面积质量的测定；

3）GB50728　工程结构加固材料安全性鉴定技术规范；

2.4.4 术语和定义

修改了芳纶纤维复合材料的定义：芳纶纤维增强复合材料由连续芳纶纤维和树脂基体复合而成。常用树脂有环氧树脂、聚酯树脂和乙烯酯树脂。本标准按照材料的成型工艺将其定义为“经树脂浸渍的、连续芳纶纤维按一定方向规则排列所形成的平面或棒状复合材料。”

修改了芳纶纤维布的定义：本标准中的芳纶纤维布指的是“一个方向（通常是经向）具有大量的纺织纱或无捻粗纱，而另一个方向只有少量细纱的织物。其强度几乎全部集中在前一方向上”的单向织物（该定义取自GBT 3961-1993纤维增强塑料术语）。故将其定义修改为“未经树脂浸渍的、连续芳纶纤维经向单向排列，纬向为少量芳纶或其他纤维等材料的机织物”。

修改了芳纶纤维板的定义：芳纶纤维板应为经树脂浸渍固化的，故将其定义中增加了“固化”两字。

其余术语和定义沿用了 JT/T 531-2004《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》的相关内容。

2.4.5 分类、规格和标记

2.4.5.1 分类

增加了芳纶纤维布、板按力学性能的分类。

芳纶纤维布按力学性能分为Ⅰ级、Ⅱ级。

芳纶纤维板按力学性能分为Ⅰ级、Ⅱ级。

芳纶纤维的性能和质量，是可以通过对原材料的选择以及对制作工艺的改良与控制进行设计的。因而在大量生产时，不同设计的产品，其性能、质量和价格不仅有了显著差别，而且这种差别，对大量生产的产品而言，还是很稳定的。这就为制定检验、鉴定标准提供了基本依据。根据《GB 50728 工程结构加固材料应用安全性鉴定规范》的要求，“芳纶纤维复合材按其性能分为Ⅰ级和Ⅱ级。安全性鉴定时，应按其产品等级进行检验。”

2.4.5.2 规格

修改了芳纶纤维复合材料的产品规格，根据厂家调研数据对芳纶纤维布和芳纶纤维板的规格进行了更新。

在现场施工条件下，使用纤维织物（布）制作复合材时，其单位面积质量之所以必须严格限制，主要是因为织物太厚时，室温固化型结构胶将很难浸润和渗透，极易因纤维内部缺胶或胶液分布不均而严重影响纤维复合材的粘结性能，致使被加固结构的安全性得不到保证。为此，根据国外经验和现场验证性试验结果，制定了芳纶纤维织物单位面积质量的规格，以确保加固工程质量和安全。

根据调研结果，芳纶纤维布和芳纶纤维板规格信息更新如下：

芳纶布、板的宽度为 100,200,300,400,500mm。

芳纶布单位面积质量为 250,350, 450, 550, 650g/m^2。

芳纶板的厚度为 1,1.2,1.4,1.6,1.8mm。

原规范中的规格和标记调换了顺序。

2.4.5.3 标记

1）对芳纶纤维布和芳纶纤维板的型号表示方法进行了修改，芳纶纤维布抗拉强度更换为单位面积质量，增加了力学性能级别指标。

示例：宽度为 500mm，单位面积质量为 280g/m2，力学性能Ⅰ级芳纶布的型号：AFS-Ⅰ-280-500。

2）芳纶纤维板产品抗拉强度改为力学性能级别。

示例：宽度为 300mm，厚度为 1.6mm，力学性能Ⅰ级芳纶板的型号：AFP-Ⅰ-300-15。

2.4.6 技术要求

2.4.6.1 芳纶布单位面积、芳纶板单位体积纤维质量

随着芳纶纤维的生产水平和制造工艺的完善和发展，原标准制定的芳纶纤维布的产品规格与单位面积、芳纶纤维板的纤维体积含量等技术指标已不能完全涵盖市场中芳纶纤维复合材料产品的全部类型，且已不符合工程实际需求。

“单位面积纤维质量（芳纶纤维布）”和“纤维体积含量（芳纶纤维板）”指标能够反应纤维材料内部大分子分布的紧凑程度，对评定纤维的结构和品质有着重要意义。

结合业内相关厂家的产品的参数信息，认为 单层芳纶纤维布的单位面积纤维质量不宜低于 200g/m^2，同时借鉴国内已有行业和地方标准关于单位面积纤维质量的规定，本标准规定单层芳纶纤维布的单位面积纤维质量不应高于 450g/m^2。芳纶纤维板的纤维体积含量，对 I 级板，不应少于 60%；对于 II 级板，不应少于 50%。

2.4.6.2 芳纶纤维布的外观

在《结构加固修复用芳纶布 GB/T 21491-2008》中对于芳纶纤维布的外观进行了规定，故本次修订将其纳入标准。

（1）表面干净，不得夹杂杂物，不得有灰尘和其他污染，不得有破洞。

（2）缺纬、脱纬现象每 50m 不得多于 2 处。

（3）每 50m 芳纶布断经长度超过 10mm 的不得多于 1 处，断经长度不超过 10mm 的不得多于 2 处。

（4）纤维排列均匀，不得有歪斜、起皱现象。

（5）芳纶纤维布的尺寸误差：宽度不大于±3mm，长度不大于±50mm。

2.4.6.3 芳纶纤维布的力学性能

原标准中芳纶纤维力学性能中抗拉强度为材料本身的强度，而不是纤维布、纤维板的强度，具体的强度还需要考虑安全储备系数，原表 3 中所列抗拉强度值并不能代表材料能发挥的强度。

通过对比国内外相关标准规范发现：美国、日本、中国对抗拉强度和弹性模量的表示方法不同。ACI440 采用一段范围来界定其纤维力学特性，JSCE 给出了确切的数值，我国原标准中仅制定了一个比较模糊的使用条件。在《工程结构加固材料应用安全性鉴定规范 GB 50278-2011》及《混凝土结构加固设计规范 GB 50367-2013》中将芳纶纤维布、板的力学性能划分为 I 级和 II 级，对芳纶纤维复合材的抗拉强度、受拉弹性模量、伸长率进行了规定，故本次修订将其纳入标准。

芳纶纤维具有高强度、高模量、良好的耐冲击性、耐热性以及介电性等优良性能而被用来增强复合材料。但是芳纶纤维的表面呈现惰性，导致其与一般基体的界面粘结性能差、层间剪切强度低，影响了复合材料的整体性能，限制了芳纶纤维高性能的发挥。故此次修订中增加了“弯曲强度、层间剪切强度、与混凝土基材正拉粘结强度”三个指标。

芳纶纤维与混凝土之间的粘结强度直接影响抗弯拉效果。如果芳纶纤维与混凝土之间粘结力强，抗弯拉效果好，反之，抗弯拉效果则不明显。由于不同工程的混凝土表面情况可能相差很大，芳纶纤维与混凝土之间的粘结强度受到混凝土表面处理程度、底胶选择与施工，施工方法等因素的影响。从试验结果来看，芳纶纤维与混凝土之间的粘结强度关系无明显规律可循，但与混凝土基材正拉粘结强度应不低于 2.5 MPa。

由于芳纶纤维复合材在我国工程结构工程上使用的时间较短，所积累的经验不多，对它的安全性鉴定，必须持积极慎重的态度。因而本条所给出的检验项目

和指标均是参照国外公司的企业标准，经验证性试验和调整后制定的。但评估认为：通过《GB 50728 工程结构加固材料应用安全性鉴定规范》鉴定的芳纶复合材可以在混凝土结构加固中安全使用。

1）抗拉强度标准值

原规范中芳纶纤维布抗拉强度标准值等仅有 1 个等级，国标中为 1 个等级、GB50728 和 GB50367 中芳纶纤维布均为 2 个等级，本次修订芳纶纤维布分为 2 个级别，分别为Ⅰ级、Ⅱ级。表 5-1 为相关规范芳纶纤维布抗拉强度汇总。

表 5-1 芳纶纤维布抗拉强度值汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥2100	≥2060	≥2000	≥1800	≥2100
Ⅱ级	≥1800			≥1500	≥1800

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维布强度标准值取自 GB50728 规范。

2）受拉弹性模量

芳纶纤维布受拉弹性模量与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-2 为相关规范芳纶纤维布受拉弹性模量汇总。

表 5-2 芳纶纤维布受拉弹性模量汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	$\geqslant 1.1\times10^5$	$\geqslant 1.1\times10^5$	$\geqslant 1.1\times10^5$	$\geqslant 1.1\times10^5$	$\geqslant 1.1\times10^5$
Ⅱ级	$\geqslant 0.8\times10^5$			$\geqslant 0.8\times10^5$	$\geqslant 0.8\times10^5$

本次修订Ⅱ级芳纶纤维布受拉弹性模量取自 GB50728 规范。

3）伸长率

芳纶纤维布受拉弹性膜与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-3 为相关规范芳纶纤维布伸长率汇总。

表 5-3 芳纶纤维布伸长率汇总（单位：%）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥2.4	≥2	≥2	≥2.4	-
Ⅱ级	≥2.0			≥2.0	-

本次修订Ⅱ级芳纶纤维布伸长率取自 GB50728。

4）弯曲强度

弯曲强度为新增力学指标。芳纶纤维布弯曲强度与抗拉强度标准值对应，均

为 3 个级别。表 5-4 为相关规范芳纶纤维布伸长率汇总。

表 5-4 芳纶纤维布受拉弹性模量汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥400	–	–	≥400	–
Ⅱ级	≥300		–	≥300	–

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维布弯曲强度取自 GB50728。

5）纤维复合材与基材正拉粘结强度

纤维复合材与基材正拉粘结强度为新增力学指标，芳纶纤维布 2 个级别共用 1 个指标。表 5-5 为相关规范纤维复合材与基材正拉粘结强度汇总。

表 5-5 纤维复合材与基材正拉粘结强度汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	对混凝土基材：≥2.5，且为混凝土内聚破坏；	–	–	对混凝土基材：≥2.5，且为混凝土内聚破坏；	–
Ⅱ级			–		–

本次修订Ⅰ级和Ⅱ级芳纶纤维布与基材正拉粘结强度取自 GB50728。

6）层间剪切强度

层间剪切强度为新增力学指标。芳纶纤维布层间剪切强度与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-6 为相关规范芳纶纤维布层间剪切强度汇总。

表 5-6 芳纶纤维布层间剪切强度汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	国标	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥40	–	–	≥40	–
Ⅱ级	≥30		–	≥30	–

本次修订Ⅰ级和Ⅱ级芳纶纤维布层间剪切强度取自 GB50728。

2.4.6.4 芳纶纤维板的力学性能

1）抗拉强度标准值

原规范中芳纶纤维板抗拉强度标准值等仅有 1 个等级，GB50728 和 GB50367

中芳纶纤维布均为 2 个等级。本次修订芳纶纤维板分为 2 个级别，分别为Ⅰ级、Ⅱ级。表 5-7 为相关规范芳纶纤维板抗拉强度汇总。

表 5-7 芳纶纤维板抗拉强度值汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥1200	≥1300	≥1200	≥1200
Ⅱ级	≥800		≥800	≥800

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维板强度标准值取自 GB50728 规范。

2）受拉弹性模量

芳纶纤维板受拉弹性膜与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-8 为相关规范芳纶纤维板受拉弹性模量汇总。

表 5-8 芳纶纤维板受拉弹性模量汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	GB50728	GB50367
Ⅰ级	$\geqslant 7.0\times10^4$	$\geqslant 7.0\times10^4$	$\geqslant 6.5\times10^4$	$\geqslant 8.0\times10^4$
Ⅱ级	$\geqslant 6.0\times10^4$		$\geqslant 6.0\times10^4$	$\geqslant 6.0\times10^4$

本次修订Ⅱ级芳纶纤维板受拉弹性模量取自 GB50728 规范。

3）伸长率

芳纶纤维板受拉弹性膜与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-9 为相关规范芳纶纤维板伸长率汇总。

表 5-9 芳纶纤维板伸长率汇总（单位：%）

力学性能等级	修编规范	原规范	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥2.8	≥2	≥2.8	-
Ⅱ级	≥2.4		≥2.4	-

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维板伸长率取自 GB50728 规范。

4）纤维复合材与基材正拉粘结强度

纤维复合材与基材正拉粘结强度为新增力学指标，芳纶纤维板 2 个级别共用 1 个指标。表 5-10 为相关规范纤维复合材与基材正拉粘结强度汇总。

表 5-10 纤维复合材与基材正拉粘结强度汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	GB50728	GB50367

Ⅰ级	对混凝土基材：≥2.5，且为混凝土内聚破坏；	–	对混凝土基材：≥2.5，且为混凝土内聚破坏；	–
Ⅱ级				–

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维板与基材正拉粘结强度取自 GB50728。

5）层间剪切强度

层间剪切强度为新增力学指标。芳纶纤维布弯曲强度与抗拉强度标准值对应，均为 2 个级别。表 5-11 为相关规范芳纶纤维布层间剪切强度汇总。

表 5-11 芳纶纤维板层间剪切强度汇总（单位：MPa）

力学性能等级	修编规范	原规范	GB50728	GB50367
Ⅰ级	≥45	–	≥45	–
Ⅱ级	≥35		≥35	–

本次修订Ⅰ级、Ⅱ级芳纶纤维板层间剪切强度取自 GB50728。

2.4.6.5 芳纶筋、索的力学性能

增加了热膨胀系数的指标。

因温差作用有可能造成芳纶筋、索与混凝土间的粘结破坏或混凝土的胀裂，影响结构的耐久性。故本次修订增加了“纵向热胀系数、横向热胀系”指标。芳纶纤维具有良好的耐热性，耐火而不熔，可燃氧指数低，能长期在 180℃下使用。另外，在低温-60℃下不发生脆化，也不发生降解。芳纶纤维的热膨胀系数很小，具有各向异性的特点：芳纶纤维的热膨胀系数在 0～100℃时为$-2\times10^{-6}/℃$，在 100～200℃时为$-4\times10^{-6}/℃$；横向热膨胀系数为 $59\times10^{-6}/℃$。

2.4.7 试验方法

2.4.7.1 新增的试验方法

1）芳纶纤维布面积质量试验方法；

2）尺寸偏差检查方法；

3）弯曲强度试验方法；

4）纤维复合材料与基材正拉粘结强度试验方法；

5）层间剪切强度试验方法；

2.4.7.2 更新的试验方法

1）芳纶布、芳纶板和芳纶筋、索外观检查方法；

2）抗拉强度标准值试验方法；

3）耐候性能试验方法；

4）耐化学介质性能试验方法；

2.4.8 检验规则

1、新增芳纶布、芳纶板和芳纶筋、索出厂检验和型式检验表格。

2、修改了组批和抽样的要求。

2.4.9 标志、包装、运输、储存

修改了产品包装的要求。

2.4.10 附录

删除了原规范中的附录 A（规范性附录）-芳纶纤维复合材料配套树脂类粘结材料的性能要求和试验方法，新增附录 A（规范性附录）-芳纶纤维布的计算厚度计算方法。

3 预期的经济效果、社会效果及环境效果分析

目前国内芳纶纤维复合材料生产厂家执行的标准主要有国标和 GB50728，根据调研结果显示，执行 GB50728 的厂家占多数，原因有二，一是 GB50728 实施时间较晚，相关数据更新、更全面；二是 GB50728 为加固材料的综合规范，生产厂家更易于使用。

芳纶纤维复合材料，作为一种新型的混凝土结构增强材料，具有轻质高强、施工方便、抗冲击性能好、变形能力强、耐腐蚀、使用寿命长等特点，适用于桥

梁、隧道、建筑等混凝土结构的新建、加固与改造。同时芳纶纤维具有良好的韧性，可以制成芳纶纤维布、板、筋、索等，其具有广泛的应用领域。本标准的实施将为芳纶纤维复合材料产品的在桥梁结构的应用技术提供技术支撑，便于各生产厂家统一指标，进一步提升产品质量水平、规范市场管理，使材料的应用达到最佳效果，切实解决桥梁建设及养护中存在的问题。

4 标准的先进程度

芳纶纤维是已工业化的高性能增强纤维中唯一的有机纤维，也是高性能复合材料中用量仅次于芳纶纤维的另一种使用最多的增强纤维。

近些年已经被用于桥梁工程实践中。交通运输部颁布的《桥梁结构用芳纶纤维复合材料 JT/T 531-2004》自2004年发布实施以来，对芳纶纤维复合材料在桥梁结构的应用起到了积极的规范和指导作用，有力促进了近十年来的公路交通建设大发展。但随着我国公路建设的快速发展，对材料和技术的发展与应用提出了更高的要求，原规范在材料特性、力学性能指标（如极限抗拉强度和弹性模量）等方面的规定已不能适应新形势的要求，因此，需尽快修订芳纶纤维复合材料的行业标准，以便正确引导建设单位、设计单位选择优质的产品。

本标准在国内交通行业标准中属于先进性标准。

5 与有关的现行法律、法规和强制执行标准的关系

本标准完全执行我国现行的法律、法规和强制执行标准，全部符合国标的基本要求。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准无重大分歧意见。

7 其他应予说明的事项

7.1 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性行业标准应用。