

ICS 59.100.99
CCS Q 23

TMAC

团体标准

T/TMAC XXX—2022

玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材 长期性能及节点连接性能试验方法

Long-term performance and joint connection performance test method of basalt
fiber reinforced composite pultruded profiles

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国技术市场协会

发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。

TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。

TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本标准著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本标准。

第三方机构依据本标准开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类、代号及标记	1
4.1 分类	1
4.2 代号	3
4.3 标记	3
5 拉伸强度试验	4
5.1 拉伸强度试验试样要求	4
5.2 拉伸强度试验步骤	4
5.3 拉伸强度试验结果分析	4
6 疲劳性能试验	5
6.1 疲劳性能试验试样要求	5
6.2 疲劳性能试验步骤	5
6.3 疲劳性能试验结果	6
7 耐酸雨性能试验	6
7.1 耐酸雨试验试样要求	6
7.2 耐酸雨试验步骤	6
7.3 耐酸雨试验结果	6
8 耐紫外线性能试验	7
8.1 耐紫外线试验试样要求	7
8.2 耐紫外线试验步骤	7
8.3 耐紫外线试验结果	7
9 耐盐雾腐蚀性能试验	8
9.1 耐盐雾腐蚀试验试样要求	8
9.2 耐盐雾腐蚀试验步骤	8
9.3 耐盐雾腐蚀试验结果	8
10 连接点性能试验	8
10.1 连接点性能试验试样要求	8
10.2 连接点性能试验步骤	9
10.3 连接点性能试验结果	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件中的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京玄泽新材料科技有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

玄武岩纤维增强复合材料作为一种新型的结构材料，在建筑结构应用中的关键问题，是其耐久性能和节点连接对结构长期力学性能的影响。在耐久性能方面，国内外诸多学者都进行了大量的分析研究，但是研究对象都集中在筋材、纤维布或者片材方面，而对于在应用更为普遍的拉挤型材的耐久性能研究则较少，这方面的标准更是空白。拉挤型材从材料的制备、纤维排布与含量、应用环境方面都与上述材料有所区别，因此其耐久性能也急需有相应的标准来规范。节点连接方面，目前连接效率最高的是预紧力齿连接技术，但这种连接形式较为复杂，且更适用于圆管，不适用于实际结构中所用到的方管、工字型或L型构件。对于工程应用中大多采用的螺栓或胶栓连接方式，施工更加便捷，但由于采用的是钢螺栓、钢盖板，节点重量较大，电化学腐蚀也是很大的问题。

因此，有必要对玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材的长期性能及节点连性能相关的试验方法进行普及，对方法、应用的要求做出规范，所以迫切需要新标准的支撑，对过程中的术语、数据要求、技术要求等进行约定。

本文件规定了玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材的命名、疲劳性能试验、耐酸雨性能试验、耐紫外线性能试验、耐盐雾腐蚀性能试验、型材结点连接试验的试验方法。本文件将为玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材长期性能及节点连性能的试验方法提供技术支撑和规范指导，实现玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材试验的规范化。同时，本文件的制定将有助于促进和规范玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材的推广应用，提高生产质量，降低实际生产成本，真正成为企业生产效率的倍增器，进而促进整个新材料行业的水平提升和技术发展。

玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材长期性能及节点连接性能试验方法

1 范围

本文件规定了玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材的分类、代号及标记，拉伸强度试验、疲劳性能试验、耐酸雨性能试验、耐紫外线性能试验、耐盐雾腐蚀性能试验、连接点性能试验的方法。

本文件适用于玄武岩纤维增强复合材料拉挤型材的相关试验及验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款，其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38111—2019 玄武岩纤维分类分级及代号

T/TMAC 037—2021 短切玄武岩纤维混凝土预制构件技术要求

3 术语和定义

GB/T 38111—2019、T/TMAC 037—2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

玄武岩纤维 basalt fiber

以一种或多种火山岩为主要原料，高温熔融后经漏板拉丝制备而成的连续纤维。

[来源：GB/T 38111—2019，3.1]

3.2

玄武岩纤维增强复合材料 basalt fiber reinforced polymer (BFRP)

以玄武岩纤维为增强材料，与树脂基体（乙烯基树脂、环氧树脂、不饱和聚酯等）、固化剂等基材结合而成的新型高性能复合材料。

3.3

弹性模量 elastic modulus

描述物质弹性的一个物理量，是衡量物体抵抗弹性变形能力大小的尺度。

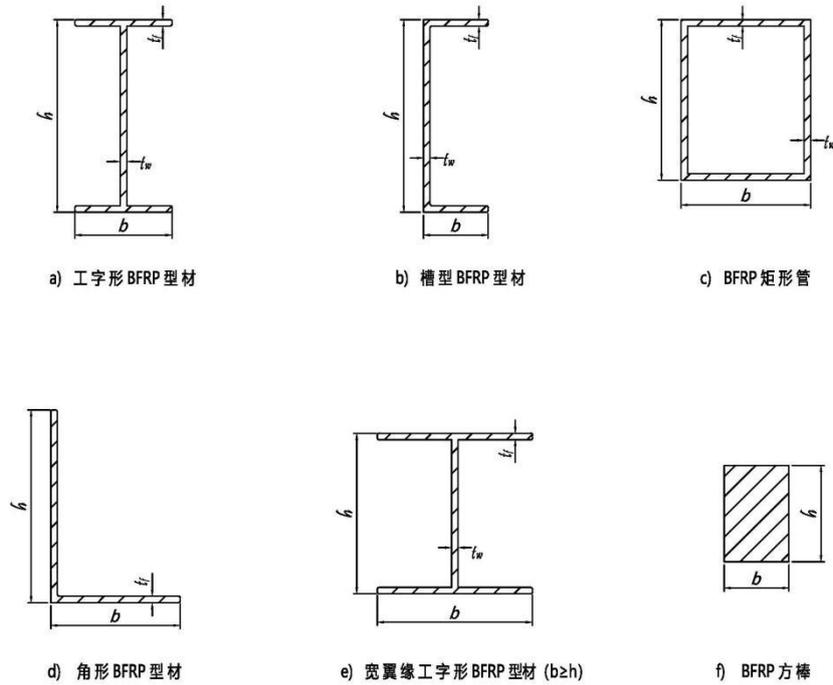
[来源：T/TMAC 037—2021，3.5]

4 分类、代号及标记

4.1 分类

4.1.1 BFRP 型材按截面形状，可分为直边型、圆型和异型三种类型。

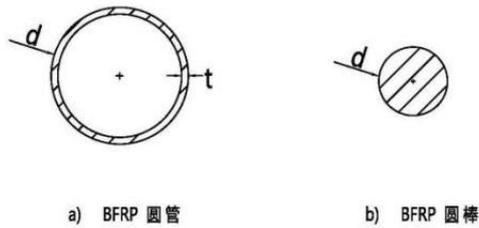
a) 直边型包括：工字形、槽形、矩形管、角形、宽翼缘工字形和方棒，其截面形状及尺寸符号如图 1 所示。



说明：
 h ——截面高度；
 b ——截面宽度/翼缘宽度；
 t_w ——腹板厚度；
 t_f ——翼缘厚度。

图 1 直边型 BFRP 型材截面形状及尺寸符号

b) 圆型包括：圆管和圆棒，其截面形状及尺寸符号如图 2 所示。



说明：
 d ——外径；
 t ——壁厚。

图 2 圆型 BFRP 型材截面形状及尺寸符号

4.1.2 BFRP 型材按照力学性能要求分为 M40、M30 和 M20 三个等级。

4.1.3 BFRP 型材按照通过的耐久性能检验项目，分为耐水、耐碱、耐紫外线、耐冻融循环和组合。

4.2 代号

4.2.1 BFRP 型材截面形状代号如下：

- L——角型；
- C——槽型；
- I——工字形；
- W——宽翼缘工字型；
- B——矩形管；
- Bs——方棒；
- O——圆管；
- Os——圆棒；
- Y——异型。

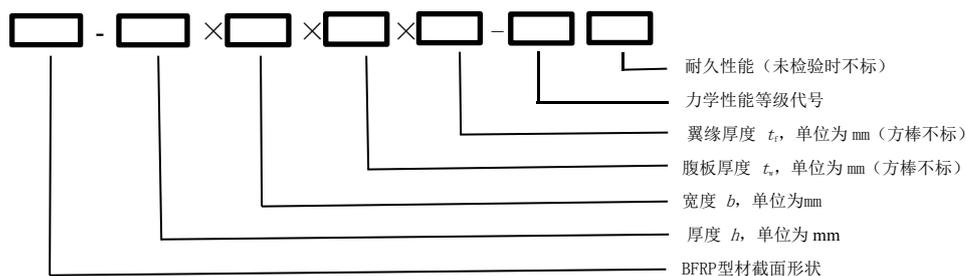
4.2.2 BFRP 型材耐久性能代号如下：

- S——耐水；
- J——耐碱；
- Z——耐紫外线；
- D——耐冻融循环。

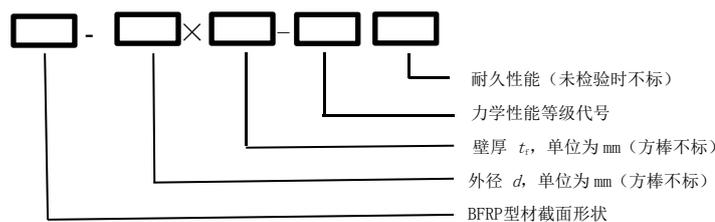
当通过两项或两项以上耐久性能检验时，采用组合代号。如：通过耐水、耐碱和耐冻融循环性能检验，其代号为 SJD。

4.3 标记

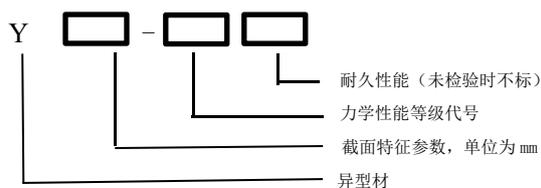
直边型 BFRP 型材的标记方法如下：



圆型 BFRP 型材的标记方法如下：



异型 BFRP 型材的标记方法如下：



示例 1: 高 300mm、宽 200mm、腹板和翼缘厚度均为 20mm, 力学性能等级为 M35, 执行本标准的工字形 BFRP 型材, 标记为:

I-300×200×20×20-M35 T/TMAC XXX-2022。

示例 2: 截面高 200mm、宽 50mm、腹板厚度 5mm、翼缘厚度 7mm, 力学性能等级为 M23, 分别通过耐碱和耐紫外线性能检验, 执行本标准的槽形 BFRP 型材, 标记为:

C-200×50×5×7-M 23 JZ T/TMAC XXX-2022。

5 拉伸强度试验

5.1 拉伸强度试验试样要求

- a) 试样型号: BFRP 角形型材。
- b) 主要成分: 玄武岩纤维、乙烯基树脂。
- c) 成型工艺: 拉挤成型。
- d) 试样尺寸: 翼板宽度均为 50mm, 厚度为 5mm。
- e) 取样方法: 从不同的构件成品上取样, 取样部位随机。

f) 其他情况: 当取样尺寸不能满足要求时, 应选用相同原材料的平板进行取样, 即树脂配方相同、工艺条件相同、层合结构相同。

5.2 拉伸强度试验步骤

- a) 试验前, 先将锚固用铝片的前端磨成尖角, 以减小前端的剪应力。
- b) 用喷砂机清理试样表层脱模剂及锚固用铝片的表面。
- c) 用酒精将试样和铝片表面擦拭干净。
- d) 用三悠树脂锚固试样。
- e) 将试样放在试验机的上下夹头之间, 使试样的中心线与上下两个夹头的中心线对齐, 夹紧试样。
- f) 采用位移加载模式, 加载速率为 2mm/min, 加载至极限荷载。
- e) 用 TDS 记录应变数据, 保证至少有 5 个有效数据。

5.3 拉伸强度试验结果分析

5.3.1 拉伸弹性模量计算公式

拉伸弹性模量计算见公式 (1):

$$E = \frac{\Delta\sigma_t}{\Delta\varepsilon_{ave}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E ——拉伸弹性模量 (GPa)；

$\Delta\sigma_t$ ——拉伸强度变化值 (MPa)，取强度的 20%–50%数据差值；

$\Delta\varepsilon_{ave}$ ——拉伸应变变化均值，取强度变化值对应数据差值。

5.3.2 拉伸强度计算公式

拉伸强度计算见公式 (2)：

$$\sigma_c = \frac{F}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

σ_c ——拉伸强度 (MPa)；

F ——最大破坏载荷 (kN)；

b ——试样宽度 (mm)；

d ——试样厚度 (mm)。

5.3.3 拉伸强度试验结果分析

a) 破坏荷载在 60%以下时，试样表面应无肉眼可见变化。

b) 试样外包纤维布应能提供一定的横向强度。

c) 纤维布受拉后，应先于内部纵向纤维被破坏，产生均匀断裂。

d) 试样的强度由内部纵向纤维控制，达到极限荷载时，内部纵向纤维发生断裂、炸开，试样呈现出向外膨胀的样貌。

6 疲劳性能试验

6.1 疲劳性能试验试样要求

a) 试样取材：桁架桥梁体。

b) 主要成分：BFRP。

c) 试样尺寸：跨径为 36m，宽度为 3.6m，桁架全高为 4.0m。

d) 试样参数：密度为 1800kg/m³，取人群荷载为 5kN/m²。

e) 试验工况：恒荷载及恒荷载+活荷载两种。

f) 应力幅值：5%。

6.2 疲劳性能试验步骤

a) 初步确定试样的疲劳极限。

b) 用伺服液压疲劳试验机对试样进行加载。

- c) 从 55%的应力水平开始加载, 若达到 2 万次, 试样仍未破坏, 则逐步提高应力水平。
- d) 加载速率为 0.25kN/s, 频率为 5Hz。
- e) 从试样发生破坏的应力水平开始逐步降低应力水平, 记录应力水平降至 65%、60%、55%、50%时, 各应力水平下的疲劳极限。
- f) 保证每个应力水平下至少有 3 个有效数据。

6.3 疲劳性能试验结果

- a) 在疲劳荷载作用下, 纤维与基体的界面会首先出现细微劈裂。
- b) 增加疲劳次数, 劈裂长度会不断增加, 导致试样松散, 整体性变差。
- c) 纤维断裂, 导致试样破坏。
- d) 型材首先发生破坏的位置在材料的内部, 与筋材不同。

7 耐酸雨性能试验

7.1 耐酸雨试验试样要求

- a) 试样取材: 条板。
- b) 主要成分: BFRP。
- c) 试样尺寸: 宽度为 50mm, 厚度分别为 2mm 和 5mm。
- d) 腐蚀环境: $c(\text{SO}_4^{2-}):c(\text{NO}_3^-)=9:1$; pH 值: 基准值为 4, 加速对比值为 2。
- e) 溶液配置: 473mL1mol/L 的 H_2SO_4 ; 105mL0.5mol/L 的 HNO_3 ; 蒸馏水 999.5L。
- f) 试验温度: 25℃、40℃、55℃, 误差±1℃。
- g) 试验龄期: 1 周、2 周、3 周、5 周、7 周、9 周。

7.2 耐酸雨试验步骤

- a) 设置恒温浸泡箱温度, 待温度达到要求后, 用温度计测量恒温浸泡箱温度, 所得结果应与恒温浸泡箱显示的数值一致。
- b) 配制试剂, 将配置好的试剂倒入恒温浸泡箱并分 3 次取样测量试剂的 pH 值。
- c) 将试件放入恒温浸泡箱, 达到腐蚀龄期后, 将试样取出。
- d) 用蒸馏水冲洗试件表面, 并用酒精和纱布将试件擦拭干净。
- e) 对试件进行物理观测、SEM 微观观测和力学性能测试。

7.3 耐酸雨试验结果

- a) 物理观测。2mm 厚度的试样, 在 40℃和 55℃环境下, 出现外表光泽度降低的现象。5mm 厚度的试样, 仅在 55℃环境下出现外观变化。

b) SEM 微观观测。将试样切片进行观察，当试验龄期达到 9 周时，试样表面变粗糙，且有大量纤维，但纤维本身不应发生腐蚀。

c) 力学性能测试。试样浸泡 5 周后，拉伸强度变化趋于平稳。在 25℃ 环境下，试样拉伸强度变化都较为平稳；在 40℃ 和 55℃ 环境下，试样拉伸强度明显下降。

d) 温度相同的情况下，酸浓度越高，腐蚀情况越明显。

e) pH 值相同的情况下，温度越高，腐蚀情况越明显。

8 耐紫外线性能试验

8.1 耐紫外线试验试样要求

a) 试样取材：同 7.1 中的 a) ~ c)。

b) 试验环境：模拟淋雨，喷淋时间为 12h，喷淋周期为 24h。

c) 试验温度：50℃。

d) 试验龄期：同 7.1 中的 g)。

e) 紫外灯波长：340nm。

8.2 耐紫外线试验步骤

a) 设置紫外线耐气候试验箱温度，待温度达到要求后，用温度计测量恒温浸泡箱温度，所得结果应与恒温浸泡箱显示的数值一致。

b) 测试紫外线强度。在紫外线耐气候试验箱的不同部位进行紫外线强度测试，至少应取 3 个部位进行测试。

c) 将试件放入紫外线耐气候试验箱并进行模拟淋雨喷淋，达到腐蚀龄期后，将试样取出。

d) 用蒸馏水冲洗试件表面，并用酒精和纱布将试件擦拭干净。

e) 对试件进行物理观测、SEM 微观观测和力学性能测试。

8.3 耐紫外线试验结果

a) 物理观测。经过 3 周后，试件表面开始出现轻微变色；5 周后试件表面变色严重。

b) SEM 微观观测。将试样切片进行观察，当试验龄期达到 3 周时，试样中的树脂遭到破坏，露出纤维。

c) 力学性能测试。试样浸泡至腐蚀龄期后，取样测试，确保每组至少有 5 个有效数据。

d) 腐蚀龄期达到 9 周时，2mm 试样的拉伸强度下降不应超过 6%，弹性模量下降不应超过 6%；5mm 试样的拉伸强度下降不应超过 5%，弹性模量不应有变化。

9 耐盐雾腐蚀性能试验

9.1 耐盐雾腐蚀试验试样要求

- a) 试样取材：同 7.1 中的 a) ~c)。
- d) 腐蚀环境：氯化钠浓度为 50g/L。
- e) 试验温度：35℃。
- f) 试验龄期：同 7.1 中的 g)。

9.2 耐盐雾腐蚀试验步骤

- a) 配制试剂，将配置好的试剂倒入盐雾腐蚀试验箱的溶液储备箱中，并分 3 次从不同部位取样，测量试剂的氯化钠浓度。
- b) 使溶液储备箱中的盐溶液完成气化，在试验箱内形成盐雾氛围。
- c) 将试件放入盐雾腐蚀试验箱，达到腐蚀龄期后，将试样取出。
- d) 用蒸馏水冲洗试件表面，并用酒精和纱布将试件擦拭干净。
- e) 对试件进行物理观测、SEM 微观观测和力学性能测试。

9.3 耐盐雾腐蚀试验结果

- a) 物理观测。当腐蚀龄期达到 7 周后，试样表面发生了较为明显的腐蚀，有纤维露出。
- b) SEM 微观观测。对试样切片进行观察，当试验龄期达到 1 周时，可看到试样表面受到严重侵蚀，树脂出现了坑洼，有纤维露出。腐蚀龄期越久，露出纤维越多，试样表面出现氯化钠颗粒。
- c) 力学性能测试。腐蚀龄期达到 9 周时，2mm 试样的拉伸强度保留率应达到 93%，弹性模量保留率应达到 95%；5mm 试样的拉伸强度保留率应达到 95%，弹性模量保留率应达到 95%。

10 连接点性能试验

10.1 连接点性能试验试样要求

- a) 母材：带毡 BFRP 型材，厚度 5mm，宽度 500mm，基体为乙烯基树脂。
- b) 盖板：钢盖板选用 304 不锈钢，厚度 5mm，宽度 50mm；BFRP 盖板选用与母材相同材料。
- c) 螺栓：以抗剪强度为 230MPa、直径 6mm 的 BFRP 筋材代替螺栓。筋材两端需用外径 14mm、内径 8mm 的中空丝进行锚固。BFRP 螺栓及其节点示意如图 3 所示。

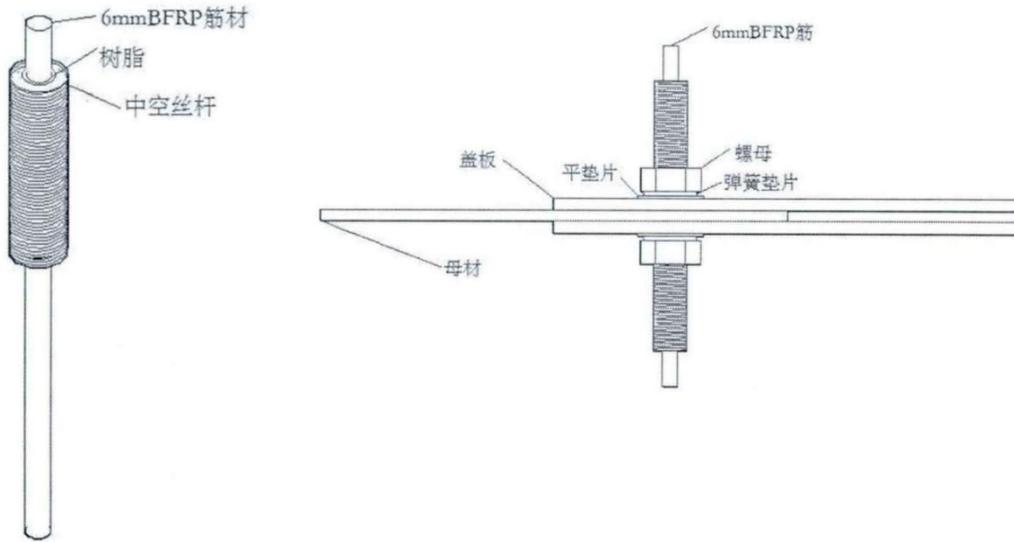


图3 BFRP 螺栓及其节点示意

10.2 连接点性能试验步骤

a) 切取适当长度的材料作为母材，根据螺栓个数和排布，切取规定长度的同等材料或不锈钢板作为盖板。

b) 用喷砂机打磨搭接面，并用酒精擦拭干净，去除 BFRP 材料表面的脱模剂，增强节点母材和盖板之间的摩擦。

c) 在盖板和母材上钻孔，孔径为 6.5mm。

d) 将筋材一端用中空螺杆锚固好，待树脂固化后，将 BFRP 筋材穿过螺栓孔，对另一端进行锚固及固化。完成后，再用螺栓拧紧。

e) 每组设置 3 个相同的试件，荷载取其平均值，加载方向均为拉挤成型方向。试件加载装置为伺服液压疲劳试验机，加载速度为 2mm/min。

10.3 连接点性能试验结果

a) 更换盖板和螺栓对节点承载力的影响不大。在节点破坏为母材控制的情况下，可采用轻质 BFRP 盖板和 BFRP 螺栓，以减轻节点质量，提高结构耐久性。

b) 2 列 6 个螺栓的连接效率比较低，实际工程应用中，应增加型材不同角度的纤维铺层，提高型材本身的性能。

c) 节点强度受母材剪切强度控制。在实际工程中，只要开发出更简易实用的 BFRP 螺栓，就能够替代钢螺栓。