

Cem-FIL[®]GRC 的技术数据

Cem-FIL[®]

SAINT-GOBAIN
VETROTEX

接受条件:

版权, 由 Cem-FIL GEC 技术资料出版, 其中包含属于 Vetrotex Cem-FIL S.L.*的专有信息。

- 1 、 出版和那里包含的信息必须只能和用 Cem-FIL 氩纤维制得的 GRC 产品同时使用。
- 2 、 没有 Vetrotex Cem-FIL S.L.的明确许可, 该刊物将不会被全部或部分复制。
- 3 、 出版中所包含的信息, 是鉴于诚意, 但不承担任何责任, 是被 Vetrotex Cem-FIL S.L 或者其控股公司或任何附属公司及其控股公司接受的无论其性质和是否有相应的原因的任何伤害, 损失或损坏, 否则, 相应的由受赠人或任何第三方去使用包含有任何意见或供应方面条文的信息。
- 4 、 无论 Vetrotex Cem-FIL S.L.或是其控股公司或任何附属公司及其控股公司保证使用这些资料不侵犯第三方的权利。

Vetrotex Cem-FIL S.L.是 Saint-Gobain Vetrotex España SA 的一个全资附属公司, 并且两家公司是圣戈班集团的一部分。

- 1.介绍
- 2.原材料
 - 2.1 Cem-FIL 氩玻璃纤维
 - 2.2 水泥
 - 2.3 填料
 - 2.4 水
 - 2.5 外加剂
 - 2.6 颜料
 - 2.7 健康方面的原料
- 3.制造方法
 - 3.1GRC 的喷涂
 - 3.2GRC 的混合
 - 3.3 杂项进程
 - 3.4GRC 产品的固化
- 4.玻璃纤维加固的化学原理
 - 4.1 玻璃纤维在砂浆结合料强度上的影响
 - 4.2GRC 的拉伸应力-应变曲线
 - 4.3GRC 的压缩应力应变曲线
 - 4.4GRC 的弯曲应力-应变曲线
 - 4.5GRC 从应变到破坏
 - 4.6 玻璃纤维朝向的影响
 - 4.7GRC 的抗剪强度
 - 4.8GRC 的耐冲击
 - 4.9GRC 的模量和泊松比
 - 4.10 老化对 GRC 的影响
 - 4.11 参考
- 5.GRC 的机械性能
 - 5.1 典型的初始属性值
 - 5.2 初步价值不同阶段的影响
 - 5.3GRC 在制造和组成上变化的影响
 - 5.4GRC 的蠕变和应力-断裂行为
 - 5.5 疲劳性能
 - 5.6 参考
 - 5.7 Cem-FIL Star GRC 附录
- 6.GRC 的物理和化学状态
 - 6.1 收缩
 - 6.2 热膨胀
 - 6.3 耐化学性
 - 6.4 冻结冻融行为
 - 6.5 热导率
 - 6.6 声响
 - 6.7 渗透
 - 6.8 耐磨性
 - 6.9 密度

- 6.10 吸水率和表观气孔率
- 6.11 饮用水标准
- 6.12 紫外光
- 6.13 核辐射
- 6.14 参考
- 7.设计原则
 - 7.1 机械设计
 - 7.1.1 GRC 机械设计的方法
 - 7.1.2 设计应力水平的选择
 - 7.1.3 设计应力
 - 7.1.4 设计计算
 - 7.2 物理设计
 - 7.2.1 热运动
 - 7.2.2 水分子运动
 - 7.2.3 由于水分子和热运动引起的应力和挠度
 - 7.2.4 热绝缘
 - 7.2.5 间隙凝结
 - 7.2.6 防火性能
 - 7.2.7 声响的减少
 - 7.3 安装前需要考虑的
 - 7.3.1 操纵系统
 - 7.3.2 连接和密封
 - 7.3.3 移交
 - 7.4 参考

1、 导言

玻璃强化水泥（GRC）是一种由液压砂浆水泥和细骨料钢筋水泥，过滤耐碱玻璃纤维材料复合构成的。GRC 可能包含其他填充材料，火山灰材料 and 外加剂。视产品的生产及应用的使用方法，按重量计算，纤维的成分通常是 3 %到 5 %。GRC 产品取决于广泛的可变物（非标准物）行业。其中包括制造方法，配方组合，光纤产品类型，长度和方向，外加剂的使用等。一件 GRC 产品，因此可满足特定需求的具体应用。在这本刊物中提供的资料主要是指 GRC 的材料有一个总结：高达 1:1 比例的水泥，和 Cem-FIL 氩玻璃纤维和由喷雾和可加工的预混料制成。这些 GRC 材料已被广泛的应用了许多年并且他们的性质和特点在广泛的研究中。

GRC 是由高压强度性能的水泥砂浆与长期由纤维给予的弯曲和拉伸强度增加的影响相结合的复合材料的一个大集体。

GRC 产品安全可靠，具有良好的不会腐烂或腐蚀的耐化学性质。GRC 是无机材料，并不会燃烧。在某些情况下，含有高分子材料的 GRC，可能略有一些防火性能的影响。

GRC 通常是比较薄的截面，使用低重量的组成成分，在移交、储存、运输、安装上，与传统的混凝土制品相比更低廉。

主要有两种制造 GRC 的方法：

喷涂 由人工或机械手段把纤维和水泥浆同时喷涂到一个模具里。

典型产品经过包括建筑面板，渠道，容器，正面的要素，管道和永久性模板的喷雾的过程而生产。

预拌 预拌纤维和水泥浆，然后混合加工振动铸造，挤压，以产品的形式注塑成型等。

使用预混料进程制造的典型产品包括遮光剂，槽，电器变压器外壳，石板瓦和瓷砖，接线盒及排水设施等部分组成。

2 、 原料

2.1 Cem-FIL 氩玻璃纤维

Cem-FIL 氩玻璃纤维是在水泥中有耐碱玻璃纤维与高耐久性的一个持续不断的长丝。纤维组源于内部一个关键地方的 Na_2OCaO ZrO_2SiO_2 系统。

一些典型的 Cem-FIL 氩性能纤维性能分别如下：

单丝抗拉强度	3.5GN/m ²	3.5GN/m ²
钢绞线拉伸强度	1.7GN/m ²	1.7GN/m ²
杨氏弹性模量		72GN/m ²
比重		2.68
应变临界点（钢绞线）		2.4 %
纤维直径		14 或 20 μ m

有两种增强水泥产品的形式。他们是用于预混料 GRC 中的破碎标准，并作为在抹灰浆，混凝土，和粗砂中，使用喷雾生产持续增强的 GRC 中加强。

由持续的丝束组成的分裂的丝束被切成统一的长度，同时保持完整的原始丝束。他们可在 3 毫米到 35 毫米的长度。切得的丝束通常由长度，由单束（束丝）的塑性涂料（质量在克每公里长度）和参考其涂层的大小而设计。关于丝束产品涂层的大小的设计，是为了在加工和设计中防止机械的破坏，从而让丝分散成个单丝去接触水分。

丝束的供应可以是包装盒装或袋装，或散装运输。

粗砂是单独平行的丝的伤口的一个分组，捆绑成为一个圆柱型包装，通常载有 20 公斤的纤维。它可能是：

- 1) 切碎成一个'枪'，同时用水泥基材料喷涂的复合材料提供可能复杂轮廓。
- 2) 在现场切碎以减少运输费用，并允许直接加入到预混料进程。

无捻粗纱均由整个粗砂塑性涂料指定，由丝的塑性涂料和他们包含的丝的数量和由所涉及的外包装的大小指定。

粗砂通常是指压缩包裹在塑料薄膜和包装的纸板箱里。

2.2 水泥

在 GRC 制造中使用最广泛的水泥是符合有关国家或国际标准的普通硅酸盐水泥（ OPC 技术）和快硬硅酸盐水泥（RHPC）。RHPC 和 OPC 相比，化学性质非常相似，但正因为他在早期的强度发展更为迅速所以是更为理想的地面材料。由于这个原因他往往是首选 GRC。应该指出的是，这个词‘快速硬化’对于词‘速凝’有一种不同的意义。用快速硬化水泥制成的 GRC 和 OPC 相比，硬化和初步硬化率相似；但初步硬化后强度的增长更快。他应该和 OPC 一样用相同的方式储存和使用。RHPC 较 OPC 略昂贵。

白色硅酸盐水泥是从含有紧含极少量铁的原料之中制得的。他在 GRC 如白色或浅色的完成中是必需的。因为这和事实，即白水泥的成本较 OPC 更多，在移交水泥时加倍小心，以避免污染，并在配料，搅拌，运输时确保所有设备经常保持清洁。同样重要的是要确保完成的 GRC 受保护，防止变色。设置和强度发展的特性和那些灰色 OPC 类似，除了要格外小心是必要的，在使用和储存的方法上没有什么不同。

当固化白色 GRC 时要小心，因为在它使用寿命的早期阶段很容易变脏，而且以后清洁起来非常困难。

其他类型的水泥，如应符合有关国家标准的高铝酸水泥，硫酸和耐速凝水泥，可用于某些应用。选择水泥应注意是适当的并符合法定规例。

正确的储水泥存非常重要。水泥必须保持干燥，潮湿的空气作为直接的水分可作为有害的。令人满意的储存在一个筒仓的散装水泥将最多 3 个月左右。水泥在正常三层纸袋下储存，良好情况下 4-6 周后重量将减少 20%。因此，袋装水泥应交付后不久就使用。

2.3 填料

2.3.1 砂

在世界上大多数国家里，现有的二氧化硅砂有以下的规格。

1) 所有砂应洗净，最好是干燥的。届时含有可溶性少的物资和细颗粒，也更容易控制水：水泥的比例。

2) 颗粒形状和表面纹理

颗粒形状——首选圆的或不规则的。（应避免片状/或细长的），表面纹理光滑的首选。（应避免蜂窝）

3) 化学成分（ % ）

在如下组成的砂已被用于英国，并已发现是令人满意的。

二氧化硅	> 96
水分	< 2
可溶盐（ i.e.alkalis ）	< 1
烧失量	< 0.5
有机质	必须不会影响水泥的设置
硫酸根离子	不超过 0.4 （ 4000 ppm）。
氯离子	不超过 0.06 （ 600 ppm）。

只要他们被认为是适合优质混凝土的其他砂都是令人满意的。

砂的二氧化硅含量不必高达 96 % 。低得多的二氧化硅含量是适合做 GRC 产品的好质量的砂。

高达 3 % 烧失量的数值是可以接受的，提供不可压碎的，不起反应的和类似以下描述的形状和分级材料很困难。

4、等级

喷涂 GRC

a) 颗粒的大小

最大 1.2 毫米。（ie100 %通过第 BS 14 分子筛，美国 ASTM 16 筛）喷涂 GRC 最大为 2.4 毫米。（ie.100%通过 BBS 7 筛）预混料 GRC。

b) 精细分级

最多有 10 %通过 150 毫米（ BBS100 ， 美国 ASTM 100 筛） 。

预混料 GRC

最大颗粒大小不是关键，但因为对水的需求，水：水泥的比例的影响，应限制准确的数量。

2.3.2 碎石骨料

用于混凝土的各种品种的聚合物可能被压到一个合适的级别，以供在 GRC 中使用。例如聚合物是大理石，石灰石和花岗岩。

2.3.3 火山灰

1：粉煤灰是一种火山灰材料，是从锅炉发射灰中提取的烟气中的煤粉。混凝土中使用的粉煤灰，应该符合有关的标准。在许多国家，可利用适用于混凝土的混合粉煤灰水泥。通常它们包含 25-35 %的粉煤灰。

2：硅粉（或微硅）是一个很好的材料，是工业的副产物。它往往是以一水基泥浆的形式供应。通常只用在专业结构，设计和工艺上。

3：Cem-Star 是一个特别的水质偏高岭土，其具有很高的反应与水化水泥。它给 GRC 提供很长时间的保留强度（见附录 A 的第 5 章）。

2.4 水

水应该是干净的，没有有害物资，并用应符合有关标准的水制造混凝土。

2.5 外加剂

标准混凝土外加剂或那些专为生产的 GRC 可作为适当的特殊进程，并获得所需的性能的 GRC。添加外加剂一般都产生下列影响。

在制造 GRC

增加操作性不增加水/水泥的比例

提高凝聚力

减少隔离

减少收缩（溢水）

延缓设置（刚）进程

加速设置（刚）的过程。

对硬化 GRC 的性能

早期强度发展的增加率

增加强度

降低渗透

改善耐火性

一般都不会接受基于氯化钙的加速。

2.6 颜料

色素可用于彩色 GRC。对于实现统一的色彩特别的养护是需要的无显着变化的强烈颜色通常不会实现。低质量的颜料可能会随着时间而失去或改变其颜色。

2.7 健康方面的原料

2.7.1 纤维

14 μ 到 20 μ 直径的 Cem-FIL 纤维充分在可呼吸的粒径范围上。迄今为止的证据表明，这些

纤维，没有长远的构成健康威胁，虽然有一些可经历的临时性的皮肤红肿。

参考：“连续长丝玻璃纤维与人体健康”。 APFE Brussels。

2.7.2 其他部件材料

应当遵循有关实务守则和制造商们关于使用这些材料的建议。

3. 制造方法

3.1 喷涂 GRC

在由喷雾进程制 GRC 的制造中，喷雾剂水泥/砂浆水泥浆和切碎的 Cem-FIL 氩玻璃纤维同时存放于喷雾头或到一个合适的模具里。喷雾头，可手持或安装在一台机器上。砂浆泥浆是美联储向喷枪从计量泵的单位，并由压缩的空气划分为飞沫。Cem-FIL 氩纤维粗纱是美联储一玻璃纤维菜刀/送纸器，装在喷雾头，其中印章纤维，用预定的长度，通常是 25-40 毫米，并把丝纤注入了喷浆里以便纤维和砂浆都统一沉积在模具里的感觉。该泥浆有典型一个的砂：水泥的比例高达 1:1 和水：水泥的比例为 0.33。水：水泥的比例应尽可能保持在一低的满意的喷雾和合并的特点，当增加水：水泥的比例，导致在产品强度的减少。外加剂可能被用来获得所需的操作性。调整泥浆中纤维的比例，使所产生的复合材料包含质量分数为 5% 的玻璃纤维。全面的详细情况载于 Cem-FIL 出版的“喷雾制造指南”。

3.1.1 喷射方法指南

经营者认为，在他手上的喷雾头并把它往来于模具上，指挥材料垂直流于模具表面，直至所需的厚度，这样 GRC 建立起来。碾压压实确保模具表面和有纤维浸润的泥浆之间的空气被清除以发展足够的密度，推压表面也许最终铲得光滑。使用针压力表能达到厚度的控制。一个典型的单一的股的输出是每分钟 10-12 公斤的 GRC。这一进程源于产品一面有一个前模具完成和另一面的碾压或抹光已完成。产品用聚乙烯板盖住后喷涂，并且通常翌日脱模，然后成型。

工作的进程很紧凑，但能够产生复杂的形状，又极其灵活。过程是用于范围广泛的包括包层面板，农业的组成部分，外观元素，模板和管道的制造。

3.1.2 机动喷雾法

如上所述的基本喷雾法是很容易机械化的。对于由充分平坦和浅薄的剖面组成的产品，模型沿着一个滚筒或经过一个横向有喷雾头摆动的小部件下的平坦的传送带而推进。产量高达 25-30 公斤/分钟。通过复合，前进和横向的速度是均衡的和满足喷雾准确，以确保统一沉积和准确的纤维分布。成品一方面有一个前模具完成和另外用泥铲涂或碾压完成。

这类型的设备被广泛应用在商业的生产单行板、夹心板和外观元素，模板和下水道衬砌里。折叠模具，可用于制造成型的部件，如管道和渠道。

3.1.3 喷雾降水过程

这个过程中利用上文所述的机械喷涂设备的原则，脱水后固化它并且提供在平坦的情形下准许形成一个可操作面的材料以形成一个连续的 GRC 制品：或者，它可能形成的同时，仍是在‘绿色’国家生产瓦楞纸或异型床单，箱型截面，管道，等与脱水技术是有可能的利用更多雨及更容易可喷射的组合，高达 0.5 水：水泥的比例。GRC 被认为是随后脱水至约 0.28 的水：水泥的比例较非脱水材料可以提供材料的高密度和较高的初始强度。一方面成品有一个马特质地。另一方面如有需要可能获得一泥铲完成。形成复杂形状靠手，但标准起皱或外型形成可以机械化。

3.2 预混 GRC

所有预混料过程中涉及的融合在一起的水泥，沙子，水，外加剂和切碎的 Cem-FIL 纤维组成部分在搅拌机前形成。

生产适当质量的预混料有必要组合的两个阶段。第一阶段是设计，生产高品质的水泥浆，以达到可行工作的必要，以便统一纳入纤维。第二阶段是混合光纤到泥浆之中以减速。

用同一块设备，这是更方便进行的两个阶段，但单独的调音台可用于每一个阶段。

实际混合明确的使用，取决于生产的产品的类型，但一个典型的组合有一个比例为 2:3 的砂：水泥的比例和水：水泥的比例最好小于 0.35。这是必须保持的尽可能低水：水泥的比例，和可行的结构保持一致，这样便于外加剂使用。

按重量计算高达 4 %切片可以被纳入组合，但典型的纤维含量是 3 %。该纤维长度通常是 12 毫米，因为超过这个长度的组合，工作起来很困难。纤维长度 25 毫米，是普遍被发现认为最高的可用长度。

虽然玻璃纤维束设计成足以承受混合的行为，是正常的，如上文所示，在混合周期末添加纤维，以减少纤维损伤。全面的详细情况载于 Cem-FIL 所出版的“预混料制造指南”。

3.2.1 摆动铸造

这个过程与振动铸造预制混凝土非常相似。它涉及到把湿 GRC 预混料浇成为一个开放或双薄壁模具，振动，使泥浆流动并把被里面的空气排出来。或者该预混料可能泵拌，通过软管使用蠕动泵到模具里。对于标准产品定时卸载可用于产品不断的增加重量。

广泛用于制造防晒油或大屏幕墙体面板的过程中使用有足够的灵活性的聚苯乙烯或橡胶模具，在设置时吸纳小的收缩。

其他产品所产生的这一过程，包括垃圾箱，电气变压器外壳，槽，接线盒及装饰件。

3.2.2 喷涂预混料

这是一个变化的预混料的方法，即组合（包括玻璃纤维束）是混合在一个混频器里，由此产生的物质，然后把一个合适的泵交给一个特别喷雾头，这是用手动把物质存放在一个开放的模具里。在这个方法中材料的厚度通常是交付在一层里和无振动铸造或者别的压束也使用了，模具可能不太硬，因为他们不会受到振动，也是开放着，没有核心。

按重量计算，一玻璃纤维含量最多不超过 4 %，可以被纳入，但含量的 3 %，形式上通常是典型的 12 毫米切片束。成品材料的性能和那些振动投预混料的等效玻璃纤维的含量类似。

该方法适合于生产小建筑组件和装饰功能的物件，如檐口，牛腿，柱，窗台和小覆盖面板。

3.2.3 挤压

相对简单小元件的快速生产，例如长廊的瓷砖，锅盖等用挤压的技术是有可能的。该设备根据输出需要可能会有复杂性的变动，与全自动系统一起尽可能为高产量生产，但基本的受压运作是一个负责湿预混料 GRC 与脱水的发生。

3.2.4 混合喷雾

这是一个预混料和喷雾方法的组合，使用正常的喷涂设备一起振动铸造。

喷雾单位提供玻璃纤维及浆料到一个挡板板以上的插槽在双薄壁模具对振动表且振动，使湿 GRC 从板到模具滑动。这无需混合玻璃纤维和泥浆混合在一起在混频器之前，模具填充，并把纤维损伤降低到最低限度。碎粗砂的正常使用，而非切碎的状态，用于预混料的过程。

3.3 杂项进程

在这一节较传统的水泥和混凝土的提法更多的应用 Cem-FIL 光纤，但应该指出的是，在这些应用中获得的东西没有那些 GRC 先前所描述的的类型，而不是其后的讨论。

3.3.1 粉刷，地板刮板和混凝土

配方按重量计算含有 0.5 %到 2.5 %的 Cem-FIL 氩纤维已开发了用于绘制，适用于由喷涂或泥铲成厚度 4-10 毫米。成品提供具有优异的抗冲击性能和收缩裂缝是透水性较弱的水而非正常砂水泥提供。纤维增强粉刷也可以用于干燥的砌块墙建设和外保温系统。

其他的提法，含有类似数量的光纤已开发了楼层刮板。优越的影响和抗裂纤维增强刮板，使他们能够订定比常规更薄的刮板。他们还提供了一个良好的表面，为最终楼层完成修改。

3.3.2 喷射混凝土，压力喷浆和枪喷混凝土

由组合总重量 1 %左右的 Cem-FIL 氩光纤可以被添加到正常喷射混凝土混合料中，使抗裂和耐冲击衬砌与正常喷射混凝土相比变成一个相对薄的封面。无论干喷和湿喷射混凝土过程中可以利用 Cem-FIL 纤维加固的优势，与钢纤维相比减少反弹。

3.4 固化 GRC 产品

水化水泥是一个比较缓慢的过程，在环境温度和基于这个原因，具体的产品铸造后通常需要水化或‘固化’，几个星期后，强度得到充分的发展。

GRC 产品通常是相对薄的构件，较最传统的用较低的水：水泥比例制造的混凝土，更易快速干燥。如果水化完成之前出现这种情况，水泥将不可能达到其充分的强度 GRC 产品也会受影响。因此，更多地注意固化条件是必要的。

3.4.1 潮湿固化 GRC 产品

为确保完成水化这是十分重要的，产品在制造后和在固化期立即保持湿润。目前正被使用中的几种实现这一目标的方法，主要是：储存在一个湿度分庭或雾室，密封在聚乙烯袋，或全部浸泡在水中。

所有产品的固化期可分为三部分：

(i) 前脱模修整给予足够的力量，保证产品的脱模。这是很重要的，所进行的：包括组成紧密合作，聚乙烯，以尽量减少空气流过 GRC 表面，从而使组件尽可能保留多的水。

(ii) 主要的修整如上文所述。

(iii) 后固化期间，该产品是归到环境条件之前，贮存或使用，特别是在极端的高温或低温的条件。

在上述每个时期水化率会有所不同，但在反应固化周期末 GRC 应已达到了最后强度的要求。特别是固化本身，将取决于产品，制造工艺和配合比设计，必须是那些需要实现性能的水平。在养护龄期，该 GRC 产品的强度将从最初低水平建立起来，养护是必要的脱模，移交和特别是在主要的加工，以确保产品不会超过应力，同时在一个相对弱的状态，因为他们可能永久性受到的损害或者遭到可能不可见的损毁。

作为混凝土，无论是由使用化学加速器或是由一个较高的温度制作，是有可能的使用加速固化的时间表。这可能是具有商业吸引力的，但是必须小心的控制状况以达到一贯的和可以接受的实力水平。

从主要的制造情况看，控制后固化本身是很重要的条件，如在贮存或使用情况将大大不同，无论是温度还是湿度。特别是，结合直接光照和低湿度可能导致微分干缩的问题，即使 GRC 的强度达到了他生命里的高强度。

作为实际固化体制的指导，Cem-FIL GRC 产品将达到其极限强度稳定的比例，在一个相对湿度大于 95 %的相对湿度的 RH，以及最低气温 15 °C，主要的反应为其 7 天。一个合适的普罗斯特固化体制将允许其余的强度得以实现。

3.4.2 空气固化

另一种制作 GRC 的可选的方法，是把高分子材料与 GRC 相组合。高分子所使用的措辞必须能够形成一个影像围绕混合粒子，从而使水分在该 GRC 予以保留和水化继续进行。聚合物材料通常是补充在剂量率 2 %到 10 %之间的固体聚合物水泥的重量。脱模后，该 GRC 的产品可以改变周围空气的状况，但必须注意，以确保空气温度是高于最低成膜温度的聚合物。

GRC 以这种方式固化的性能类似于那些相同的基本配方（即砂：水泥的比例，水：水泥比例和玻璃的含量）制作的聚合物的增补和潮湿的治愈第 3.4.1 有描述。

不过，加入了高分子材料的 GRC 可能会影响其防火性能。

4、玻璃纤维加固的原则

4.1 砂浆结合料对玻璃纤维强度的影响

纤维原料的使用已有数千年，对于稳定的材料来说根本不可靠。泥土砖中的斯特劳和毛膏是两个老例子。在水泥加石棉纤维是一个更现代的例子。纤维材料的作用，包括高强度材料的小区域，其中控制裂缝从结合料的空隙中繁殖，因此，提供一个可靠拉伸强度给一个易碎的有不可靠拉伸强度的物资和可怜的影响特点。

Cem-FIL 耐碱玻璃纤维在水泥基材料上发挥着这一作用，如灰浆和混凝土，这是内在的脆性和不可靠的拉伸强度。充分强度的材料因此可以开发的，因为在目前的玻璃纤维，它可以显示（ refs.1 和 2）表明，存在足够的玻璃纤维会增加砂浆强度高于预期水平。

GRC 的拉伸应力-应变曲线

当 GRC 测试其张力，负荷延伸曲线制作产生两种形式中的一种，这是在这里显示的图表。曲线 A 型是代表新鲜喷涂的 GRC 或展品持久行为的 Cem-FIL Star GRC，和曲线 B 型是代表预混料 GRC 或标准喷涂成型的 GRC。

图 4.2 (a)

曲线 A 型：

代表 GRC 的拉伸载荷延长图。

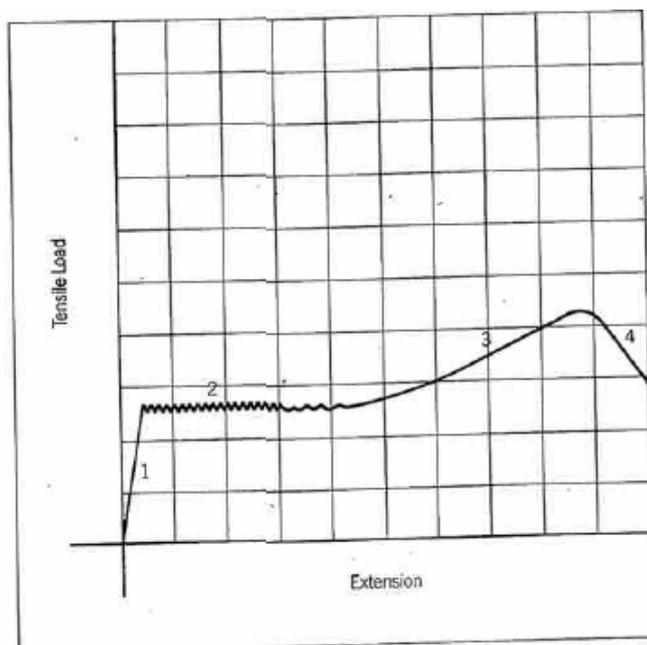
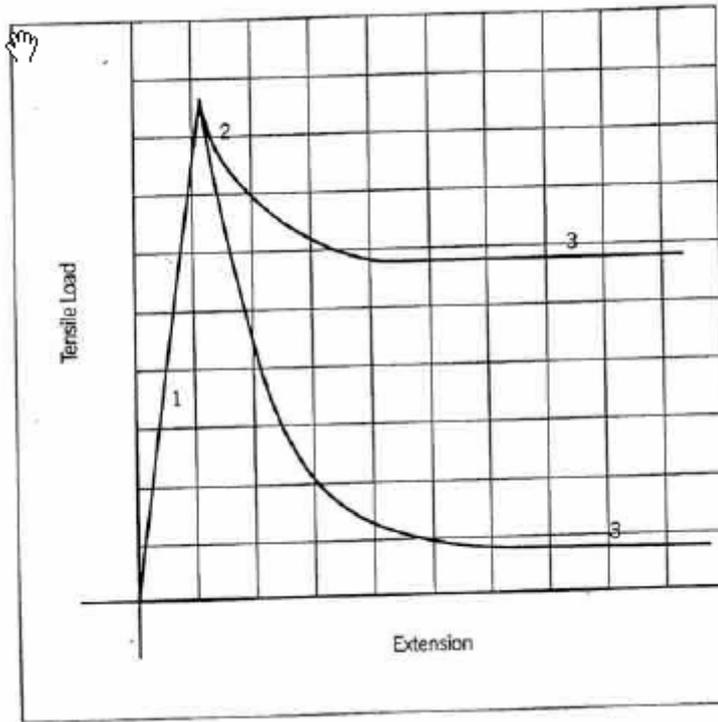


图 4.2 (b)

曲线 B 型:

代表 GRC 的拉伸载荷延长图。



在这两个图表中，初步线性部分曲线，地区一，确定由纤维和基质共同行动，作为一个弹性复合材料，刚度，并强调给予适当版本的'低的混合物。因此，例如：

$$\begin{aligned} \text{Equation 1} \quad E_c &= k_1 k_2 k_3 E_f V_f + E_m V_m \\ \text{and} \\ \text{Equation 2} \quad \sigma_c &= E_c \Sigma_c = (k_1 k_2 k_3 E_f V_f + E_m V_m) \Sigma_c \\ \text{i.e.} \\ \text{Equation 3} \quad \sigma_c &= k_1 k_2 k_3 \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \end{aligned}$$

where

- E = Young's Modulus
- V = Volume fraction
- Σ = Strain
- σ = Stress
- k = Efficiency factor

(如需更详细的理论分析见第 5 章的档号.12)

下标 c, f 和 m 分别是指复合材料，纤维和基质。光纤财产的条款，在这些方程，修正的‘效率的因素’ K1, K2, K3, 这可能不是完全相同的两个方程，但通常是在价值上是类似的。他们顾及使用无限长度纤维的影响 (K1) ，成束或串 (K2) 和不同方向的导向 (K3) 。大约在灰浆破坏应力处，裂缝在玻璃纤维周围传播及随后的行为，取决于是否有足够的纤维进行负载 (A 型) 或没有 (B 型) 。这个过渡点的曲线是指定弯曲超过点 (国际收支平衡) 。

在 GRC 指定的 A 型，玻璃纤维作为加固剂。远离裂纹面，负荷从光纤转移回到结合料，直到应力和应变在基体中又增加了要失败的水平和一个新的裂缝形成。当这种情况持续下去，

直到材料是走过一个数组的极微细的裂纹——往往很难看到——在一个间距由基体强度，粘结强度和纤维浓度（地区 2） 。关于进一步载入纤维的滑移和相当的扩展（地区 3），以这些方式有相当延伸的区域以及高能量的吸收被介绍。

抗拉强度（UTS）出现时，弥合纤维横跨时，一细微的裂缝要么损坏要么退出结合料，但是这变化是渐进而非突变（地区 4） 。

标准纤维断裂或退出结合料取决于纤维嵌入式结合料的长度和结合物的强度。有一个临界长度钢绞线以上，其中钢绞线将永远打破，如果破裂的平面是在中间点的钢绞线，但如果钢绞线短，超过一半的临界长度，这对任何一方的破裂面，钢绞线会永远退出。该临界长度是成正比的强度，纤维和成反比的物理剪切粘结之间的纤维和基质。它也取决于钢绞线几何特性。在 GRC 指定的 B 型，UTS 发生轻微的市级以上的 BOP 后，负荷下降（地区 2） 其中纤维可以维持的（第 3 区）水平，纤维随后被损坏或退出结合料。在第 3 区的负载值将取决于数量，方向，长度和纤维的强度。

实际测试（ ref.10 和第 11 条）展示精选的类型 A 和 B 至最高负荷，虽然 A 型的第 2 和第 3 之间的过渡地区，往往难以察觉。但是 A 型 GRC 的特点是有多个开裂的样品及开裂的样本，而 B 型材料，往往只有一个可见的裂纹。

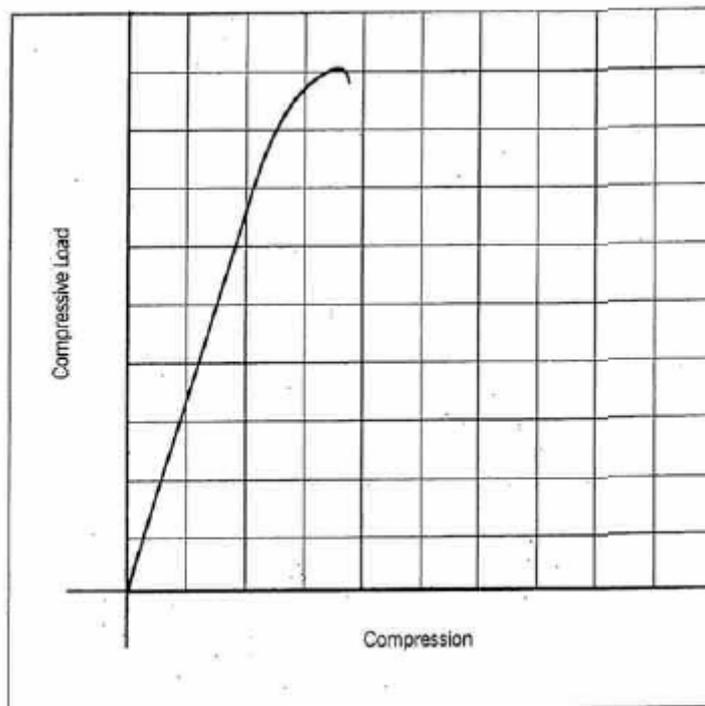
通过 UTS 大多数试验机是无法检测到该地区的，但这些可以证明（ ref.3 ）使用特殊的测试设备。

4.3 GRC 的压缩应力应变曲线

GRC 应力应变曲线测试时，在压缩时的线性高应力和获得的没有任何纤维测试结合料曲线相类似。

图 4.3

代表 GRC 负载压缩图。



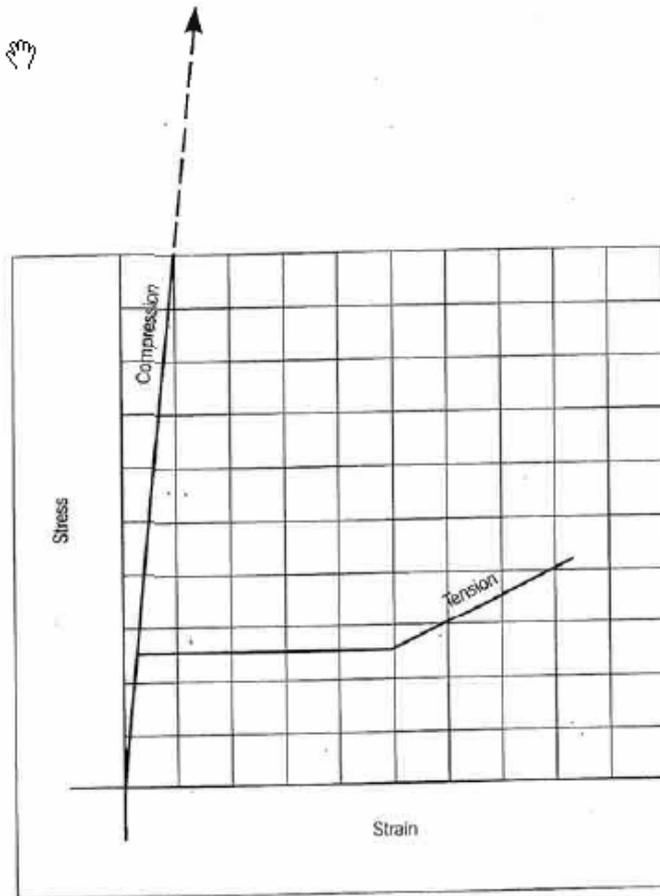
纤维的影响，取决于纤维相对方向的压应力的方向；纤维运行方向平行压缩破裂面可以减少约 70 % 的数值的压缩强度，通过测试横跨平面纤维获得的（ ref.4 ） 。GRC 的压缩强度是数倍的拉伸强度。

4.4 GRC 的弯曲应力-应变曲线

考虑一个矩形 GRC 梁受弯曲，并假设当简单的弯曲时，通过梁应变线性分布使梁快要破坏，上表面的横梁将在压缩和下表面在张拉。对于给定的应变，强调该 GRC 必须按照拉伸和压缩应力应变曲线。

图 4.4 (a)

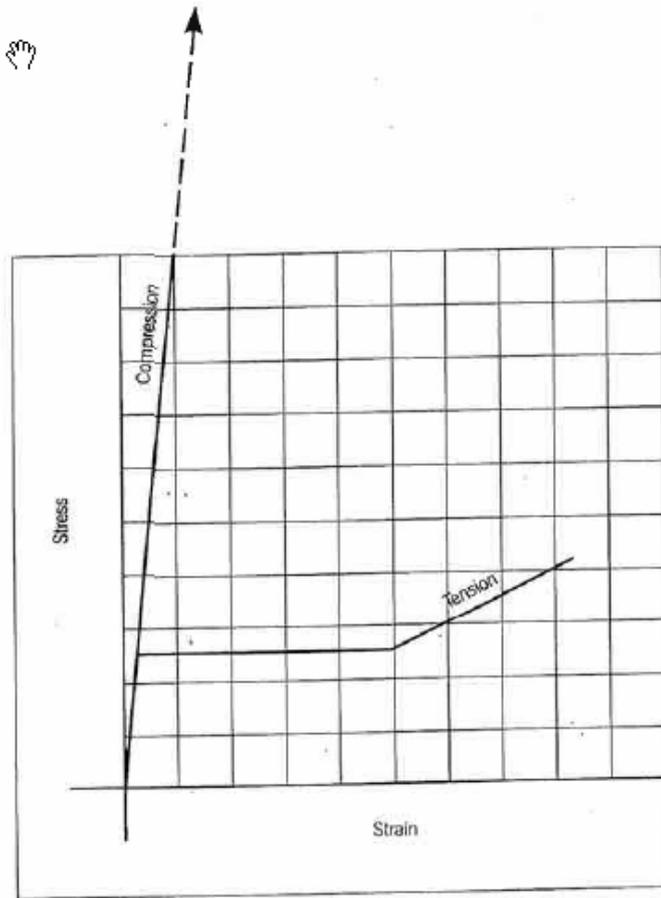
GRC 的应力应变曲线示意图



BOP 最多的拉伸应变所产生的应力分布仍是线性的。上述 BOP 的应变应力分布对拉伸侧的中性轴的变化，以满足力的平衡法则（总拉伸力=总压缩载荷）中性轴偏向压缩这面，将会再次引起通过的厚度再分配。

如果明显的应力和应变，从简单的弯曲理论计算，由此产生的弯曲应力-应变曲线在压缩和拉伸曲线之间。它包含有趣的两点，弹性极限，普遍被称为限制相称（LOP）和最高计算应力，称为断裂模数（MOP）。

图 4.4 (b)
GRC 的应力应变曲线示意图



如果任何特定的标本 GRC 的拉伸和压缩应力应变曲线知道，弯曲曲线是可估计的（ ref.3 和 5 ）。（反向运作，也可以表现，但有更多的困难。）这种估计的弯曲曲线显示，LOP 和 BOP 是类似的，但实际测试结果表明 LOP，是约 1.7 倍的 BOP。然而，脆性材料往往显示，在弯曲时比在张拉的强度更高（ ref.6 ），所以这并不奇怪。根据发现，GRC 组成的大部分变化中 MOR 是 UTS 的 2.5 倍，而且这在理论上一直是合理的（ ref.5 ）。

GRC 的应变到破坏

通常这项措施是与 GRC 的拉伸或弯曲试验相关联的，且是 UTS 或 MOR 所能达到的应变。

4.6 玻璃纤维方向的影响

在纤维的方向上，光纤是唯一能够提供强度和刚度的。不符合方向纤维的压力比那些有方向的而言，以一个效率较低的方式表现。因此，复合材料与纤维在一个方向的所有排列差异，将在这个方向提供最大阻力而阻止前进。除了一些专业的进程，以确保这个方向特性达到其最大的效果是不切实际的。

在薄切片产品里，主要的压力通常在断面板上，优势可以靠使用在一个随机 2 二维数组在平面材料规定了光纤的喷涂 GRC 而获得。用这样的方式，比纤维是随机在 3 - 尺寸取的和 GRC 几乎是各向同性的预混料 GRC，效率因子 K3（第 4.2 节）约高一倍。在预混料 GRC 中使用切小的垫子，只要有足够的玻璃纤维，这些喷涂 GRC，性能便近似。

进一步方向的影响在于可纳入结合料纤维的数量。玻璃纤维标准的包装密度是较高的，如果有某种程度的路线和这表明，在制造 GRC，其中 5 % 的重量（ 4.1 % ，以数量计）是喷

涂 CGR 常用的，但按重量计算只有 3.5 %，(2.9 % 体积) 是用在预混料的 GRC。方向的影响也需要考虑到这方面的负面意义。如果纤维被假定为随机的取向(无论是 2 尺寸或 3 尺寸)，然后纤维无意的路线，可能会引起板变弱。在制造预混料 GRC，如果组合错误放置，这是可以出现的。机械喷涂 GRC，偶尔手喷涂 GRC，可以受到纤维优先的路线和在两个方向上衡量的可取性 (ref.7) 。

最明显的效果取向出现在不同的剪切性能喷涂 GRC。

4.7 GRC 的抗剪强度

如果剪应力只限于 GRC 的平面，这项措施在平面抗剪强度与 UTS 是类似。这根据逻辑，如

$$\frac{UTS}{(1+\gamma)}$$

果材料是假定正交异性或各向同性的，因为剪应力应等于 $\frac{UTS}{(1+\gamma)}$ ，其中 γ 是泊松比例。

不过，如果有一个剪应力在喷涂 GRC 板外，将会有有一个互补的层间剪切应力，他从纤维上不抵制任何的贡献。可以假设认为，喷射 GRC 的层间剪切强度将类似于结合料的抗剪强度，

$$\frac{BOP}{(1+\gamma)}$$

或从实效性支持它 (ref.4)。

4.8 GRC 的耐冲击性

冲击载荷对 GRC 通常会造成超过局部地区的损害。GRC 里纤维的出现限制受压材料裂缝区外的裂缝的繁殖。这种损害往往可以修复并没有损害到 GRC 的产品。

GRC 的冲击强度通常是用改进的冲击试验机对 25-50 毫米宽，6-12 毫米厚的样本测量的。观用这样的测试得到的数值是没有多大用处，除了比较样本 GRC 和其他材料也受到同样的考验的目的。这种比较表明，冲击强度 GRC，以高于许多类似的材料。

许多长纤维不能被退出了结合料的时候，冲击强度 GRC 是高的，同纤维断裂相比，这个过程中吸收了更多更大的能量。不过，这意味着比较低的值对于在方程 1 和第 2 款 K1 和 K2 因素 (第 4.2 节)，表明该纤维在 GRC 强度的 GRC 里是有较少效率被用的。

GRC 的冲击强度是较低的当少数纤维退出了该 GRC。如果纤维有一个很短的临界长度 (见第 4.2)，GRC 在冲击载荷作用下可能会有脆的特点。

4.9 GRC 的弹性模量和泊松比

GRC 的弹性模量，通常引用的是梯度初始线性部分的拉伸应力-应变曲线。同时，应该有可能从弯曲试验获得数据值，大多数商业试验机如果不使用一些校正因子会太软而不能给一个准确的价值。

虽然“混合物的规则”在 (第 4.2 节) 适用的情况下，能够证明在方程 1 所插入的任何合理的数据值，该复合模量和模量结合料无显著差异。实际测量值与此不是存在分歧。

同样的道理适用于泊松比的数据值，这也是类似的，即灰泥结合料。

4.10 老龄化对 GRC 的影响

普遍的，与许多材料的性质一样，GRC 也会随着时间而改变。在何种程度上的属性可以改变取决于 GRC 本身和其工作环境。

大多数 GRC 是由水泥/砂结合料钢筋与由 100-200 长丝组成的玻璃纤维混合加强制成。新鲜的 GRC 展示处高度的弯曲韧性 (冲击强度)。一部分是由于这一事实，即水泥浆体是周边而非穿透钢绞线。裂纹的能量是完全消退在钢绞线-基体界面里，也在钢绞线束本身里。当水泥继续水化超过很长一段时间，个别长丝之间的孔洞，在钢绞线里被水合物的产品逐渐充满，这些产品是自由石灰和成为吸收裂纹能量较差组成的混合物。从反应产物的建设表面上的纤维本身也有一种效应产生。这些创造应力上升到纤维的表面上，其中会导致纤维强度的减少，即使是没有显著减少纤维直径。

在第 4.1 节中所述的微裂缝控制机制是相对不受影响以来，光纤始终是比较结合料强许多倍。标准喷涂 GRC 老龄化的净影响是在弯曲和冲击强度共同下的一些减少，靠在该地区增加弹性直至极限对称，当纤维和基质之间的结合增加和水泥继续水化时。这些变化是温度和湿度依赖和使用的，这是确定长期的行为所取得的加速效果（ ref.9 ）。实时性老化测试，在不同的环境表明，长远来说，即使根据最不利的条件，力学性能水平性能稳定。

水化产物的形成依赖于结合料的制定。修改配合比设计，包括火山灰材料，如 Cem-Star，其中反应用自由的石灰有这样的影响：靠限制水化产物和纤维之间结合的发展来减少力学性能的改变。程度的改善，取决于数量和反应性的火山灰的使用。

结合料占主导地位的属性随时间的条件而显著变化，但是养护方面的情况可以影响属性，如在干燥的条件下弹性模量和 LOP 比在潮湿的条件低。大多数 GRC 配合比设计配方的特点是更高的水泥含量和较低的水/水泥的比例而非常见的灰泥和混凝土。这些都是是众所周知的改善水泥产品耐久性的因素。

，老龄化对标准 GRC 应力应变的行为一般的影响可以用图表 4.10 （ a ）及 4.10 （ b ）说明。GRC 最初如下一 A 型曲线（喷涂 GRC，高纤维含量）将展出在 UTS 上逐步减少和应变到破坏，直到它呈现 B 型曲线。GRC 最初如下一 B 型行为（预混料 GRC，降低纤维含量）将只展出尾巴部分的曲线应力的数值的改变。

图形 4.10 （ a ）

A 型曲线

代表拉伸载荷延长图

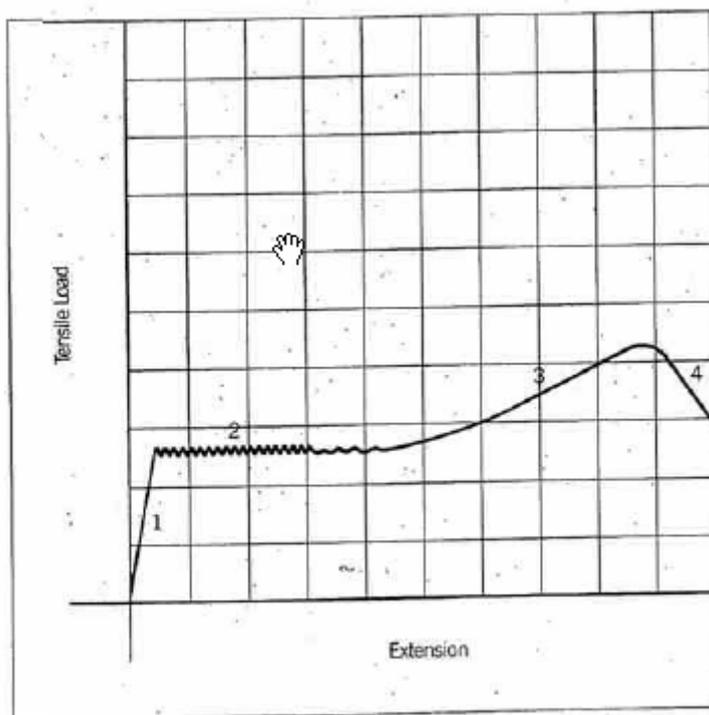
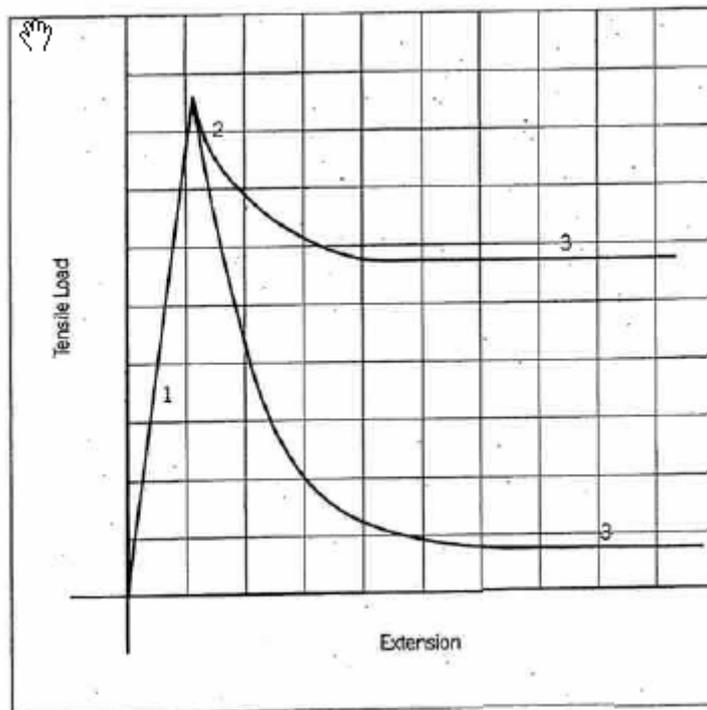


图 4.10 (b)

B 型曲线

代表 GRC 拉伸载荷延长图



下表总结了老化对各种性能的复合材料 GRC 的一般的影响。进一步显示了效应的规模和
在第 5 章考虑到的具体提法的变动率迹象。

表 4.10

在湿的条件下 GRC 老龄化的性能和下面的一个初步的应力应变曲线在张力方面：

	A 型	B 型
BOP		Little Change
UTS*		Decreases to stable level
Change		Little Change
Compressive Strength		Little Change
LOP		Little Change
MOR*		Decreases to stable level
Change Strain-to-failure*		Decreases substantially
In-Plane Shear Strength		Little Change
Interlaminar Shear Strength*		Decreases to stable level
Impact Strength*		Decreases substantially
Modulus		Little Change
Poisson's Ratio		Little Change

对于改良结合料，如杰 Cem-Star GRC 这些变化将会更小，花费更长老发生。

参考

1. Aveston J., Cooper G.A., and Kelly A., "Single and Multiple Fracture" The Properties of Fibre Composites, IPC Science and Technology Press, 1971, pp 15-26.
2. Nair N.G., RILEM Symposium, "Mechanics of Glass Fibre Reinforced Cement", Fibre Reinforced Cement & Concrete, The Construction Press Ltd., 1975, pp 81-93.
3. Laws V. and Walton, P. L., RILEM Symposium, "The Tensile-Bending Relationship for Fibre Reinforced Brittle Matrices" Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites, The Construction Press LW.,1978, pp 429-438.
4. Oakley D.R., 2nd International Symposium, "The Mechanical Properties of Glass Reinforced Cement Composites", Weitgespannte Flachentragwerke, SFB 64, 1979, pp 160 -167.
5. Laws V., "The Relationship Between Tensile & Bending Properties of Non-Linear Composite Materials" Journal of Materials Science, 1982, Vol.17, pp 2919-2924.
6. Roark R.J., "Formulas for Stress & Strain" 5th Edition, McGraw-Hill Inc., 1975 pp 198-199.
7. BS6432:1984, British Standard Methods for Determining properties of glass fibre reinforced cement material.
8. Litherland K.L., Oakley D.R. and Proctor B.A., "The Use of Accelerated Ageing Procedures to Predict the Long Term Strength of GRC Composites" Cement & Concrete

注：在过去的关于两年期人大的玻璃纤维增强水泥协会的进程是一个有更多信息来源的资源。

5.GRC 的力学性能

（也可见第 5 章附录 A 关于改善 “Cem-FIL Star GRC” 的耐久性）

GRC 的力学性能取决于组合的制订和加工方法使用。这一章给出了初步的少数常用的提法的特性规律，显示关于这些特性的龄化的影响，并给出变化在制定后，初期和年龄属性影响的迹象。

5.1 典型的初始属性值

各种力学性能的范围的摘要列于表 5.1，GRC 的提法受到了令人满意的固化制度，并测试 28 天。这是很重要的认识到 GRC 是一个 w/c 比相对较低的物质，因为它的断面薄，如果不是保存在一个潮湿的环境下它可以，并会，过早干。

对一 GRC 的组成部分一个理想的固化规则，用聚乙烯板，直到脱模制造的模具后立即盖住产品，然后将它储存在潮湿，最好 > 95 % 相对湿度的环境之中，在 15-20 °C 养护 14 天。

另外，空气固化聚合物的使用，这将在结构和密封的水分上形成薄膜，这样会产生类似的结

果。所有成品，应定期检查他们的产品为机械产品。

表格 5.1

Cem-FIL GRC 典型的初步特性值

Property	Units	Hand Spray [standard or Cem-FIL Star]	Vibration Cast Premix
Dry bulk density	(t/cu. metre)	1.9-2.1	1.9-2.0
Compressive strength	MPa	50-80	40-60
Elastic Modulus	G.Pa	10-20	10-20
Impact Strength	kJ/m ²	10-25	10-15
Poisson's Ratio		0.24	0.24
LOP	MPa	7-11	5-8
MOR	MPa	20-30	10-14
Direct Tension:			
BOP	MPa	5-7	4-6
UTS	MPa	8-11	4-7
Strain to Failure	%	0.6-1.2	0.2-0.6
Shear:			
In-plane	MPa	8-11	4-7
Interlaminar	MPa	3-5	N.A.

数值表明，那些成型的完成，并只为指导。他们涵盖了在质量上的变化，并在案件机的喷涂 GRC，各向异性（即择优在一个方向取向的纤维）可能发生的。

实现这些性能，在实践中，在制造期间，需要足够的养护，质量控制和固化。

对测试信息所用的方法，以取得这些特性数值，其中包括了一些测试的价值的讨论，数值也可以从 ref.1to5 和 ref.15 发现。（亦见章 11.2）

5.2 不同龄期的初步特性数值

在表 5.1 给予的特性名单可分为那些与高质量的结合料有很强联系，以及那些与玻璃纤维的含量有很强联系。

5.2.1 结合料依赖性能

这些属性是更加依赖结合料压缩强度，弹性模量，泊松比，LOP，MOR 和层间剪切强度。

这些属性与龄化的 GRC 有很少的不同，但在作为水泥在基体中继续水化潮湿环境，可能有轻微的增加。

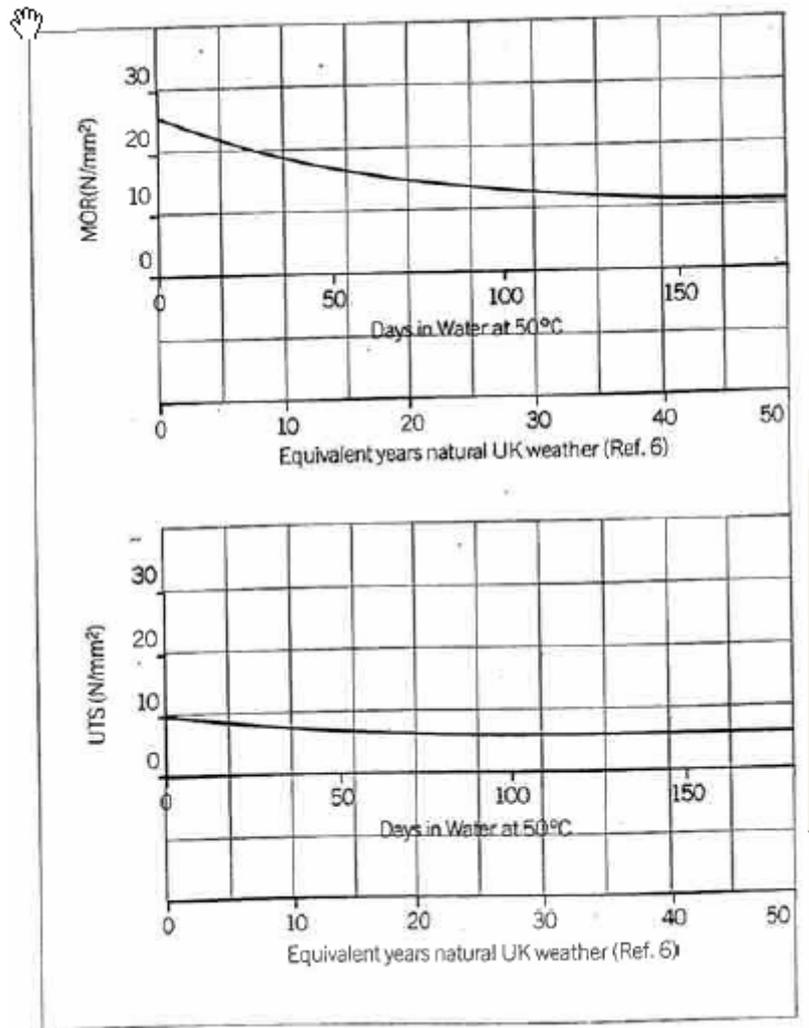
有一个比较明显的差异，这些性能依赖于水分含量的 GRC，干 GRC 较湿 GRC 显示较低的特性数值。

5.2.2 玻璃纤维依赖性能

这些属性是更取决于玻璃纤维所有类型的 GRC，MOR 和 UTS 的冲击强度，喷涂 GRC 从应变到破坏和平面的抗剪强度。

图 5.2.2

典型的随时间的变化强度的标准，5 %的 Cem-FIL，另一方面喷雾 GRC 在水：水泥的比例为 0.33-0.36 。



在这里显示的两条曲线，描绘的热水老化的影响（ ref.6 ）。这些曲线显示为手喷雾 GRC（表 5.1）和按比例根据热水所花的时间及相当于在英国的天气的龄期（ ref.6 ）。加速 GRC 老龄化的方法，已经制定了一个长达二十五年时期的研究。它已被评定，继续与从 GRC 配备了实时数据相关并，这些数据是暴露出来的长达 20 年期限的世界各地的许多气候。

“在热水里的天气”和自然风化之间的关系，取决于曝光条件的年平均温度。温暖，潮湿环境会在性能上产生更迅速地减少，从而导致相同的长期稳定的数值。

曲线，描绘了按 MOR 与 UTS 这个标准的制定 GRC 与 Cem-FIL 光纤典型的变化。

对于标准 GRC，这些曲线显示特性所描述的随时间减少到一个长期稳定的受限值，它显然在 GRC 的设计和信心期间是重要的，长期性能是众所周知的，这已经经过了多番的调查和讨论（ ref.6 ， 7 ， 8 和 9 ）。冲击强度，从应变到破坏和在平面抗剪强度里也显示，在类似的时间内减少特性的水平，在水温 50 °C 约 150 天后实现稳定的数值。关于 GRC 的提法的长期稳定的特性数值的评估，列于表 5.1 以及表 5.2 。

表 5.2
标准的 Cem-FIL GRC 的长期稳定的特性数值的评估

Property	Units	Sprayed - Classic	Sprayed Cem-FIL Star	Premix Cast
Compressive strength	MPa	75	90	60
Modulus	G.Pa	25	20	20
Impact Strength	kJ/m ²	4	>20	3
Poisson's Ratio		0.24	0.24	0.24
LOP	MPa	10	12	8
MOR	MPa	13	30	10
BOP	MPa	5.5	12	4.5
UTS	MPa	5.5	12	4.5
Strain to Failure	%	0.04	0.8	0.03
Shear strength				
In-plane	MPa	5.5	5	4.5
Interlaminar	MPa	4	5	N.A.

在干燥环境下性能的减少是相当大（少于约 50 % RH）的。（ref.7），并通过使用一个 Cem-FIL Star 结合料。

同时热水加速老化的程序是良好的建立起来，相对简单，并能预报长期稳定的综合强度的最低值，使用一个循环风化测试作为一个可选的有越来越多的支持。这涉及到根据预定的周期重复的应用润湿，干燥，加热和冷却。这个程序体现在目前的欧洲标准（CEN）文件作为 ENV 1170-8。

5.3 在 GRC 的制造和组成变化的影响

性能列于表 5.1,在第 5.2 节老龄化影响的讨论将改为由不同的混合配方和变异的制造技术的使用。本节讨论一些这样的变化。（亦见 ref.16）。

5.3.1 固化

特性水平鉴于在表 5.1 假设结合料被良好的固化，即相当于在第 5.1 节给予固化规律。如果结合料没有很好的固化，这将直接减少高度依赖结合料的所有这些性能，例如：LOP, BOP, 弹性模量和压缩强度。影响后，这些属性是更取决于不同的玻璃纤维。由于玻璃纤维少有效地陷入结合料 MOR 与 UTS 被减少，但冲击强度可能会增加，因为更多的和较长的纤维可以退出。MOR 也可能减少结合料对压缩表面的破坏，而非纤维对拉伸的表面的破坏。固化后，老龄化特点的影响，取决于 GRC 的龄期。如果固化只不过是足够的时间的条件，这将弥补其本身在一个潮湿的环境，固化将继续进行下去。但如果 GRC 是允许介于一非固化或者部分固化的状态，如果 GRC 的产品制造后不立即盖起来这样的情况就可能发生，反复湿润并不能达到潜在的强度，而且在 GRC 产品的使用寿命里会导致永久性的低强度。由此可以看出，认为应注意固化的 GRC。

5.3.2 压实

压实的影响是要保持干容重的 GRC 在一个相当高的水平，以获得所需的性能。如果压实被忽视或只是部分有效，密度的减小将减少所有直接取决于结合料，MOR 和 UTS 的性能。整个产品使用寿命之中这种作用将是永久性的。

5.3.3 水：水泥比例

GRC 通常应以一个水：水泥的比例约为 0.33 制造而成。如果这个比例太高，干容重的 GRC 将减少在性能方面相应的影响，在 5.3.2 节讨论过了的。

5.3.4 砂：水泥比例

在低砂：水泥比率的 GRC（0.33:1 或更少）的其中取决于结合料，如 LOP，BOP 和模量属性，可能会增加到各级列于表 5.2 的水平以上。在砂：水泥比例高于 0.5:1，性能相对不受砂：水泥的比例变化；只要可行由此产生的组合可以维持没有显著增加水：水泥的比例的制造的目的（例如，通过使用外加剂）。如果可能遭受压实的可行性很小（见第 5.3.2 节），并且如果用一高水：水泥的比例来获取可行，它会影响性能的不利（见 5.3.3 节）。因此强烈建议在低于 w/C 比为 1:1 的混合里，使用超级塑料，以便提高操作性。

虽然它可能会无论从性能上出现有利的，使用低砂：水泥比例，应紧记，这将增加收缩，水分运动和材料的蠕变。

5.3.5 填料

其他填料的影响，类似于砂，倘若水：水泥的比例，密度和玻璃的组成得以维持。

5.3.6 玻璃含量（ref.16）

虽然这是常见的做法，在条款上让玻璃的组成按重量百分比计算，但是它是由体积百分比（或体积分数，V_f）决定加固效果。低密度的 GRC，质量分数为 5% 而体积分数却低于 2%。密度为 2t/m³ 的 GRC，质量分数为 5%，体积分数大约 4%。

$$V_f = \frac{\rho_{GRC} W_f}{\rho_{GLASS}}$$

V_f = Volume fraction

W_f = Weight fraction

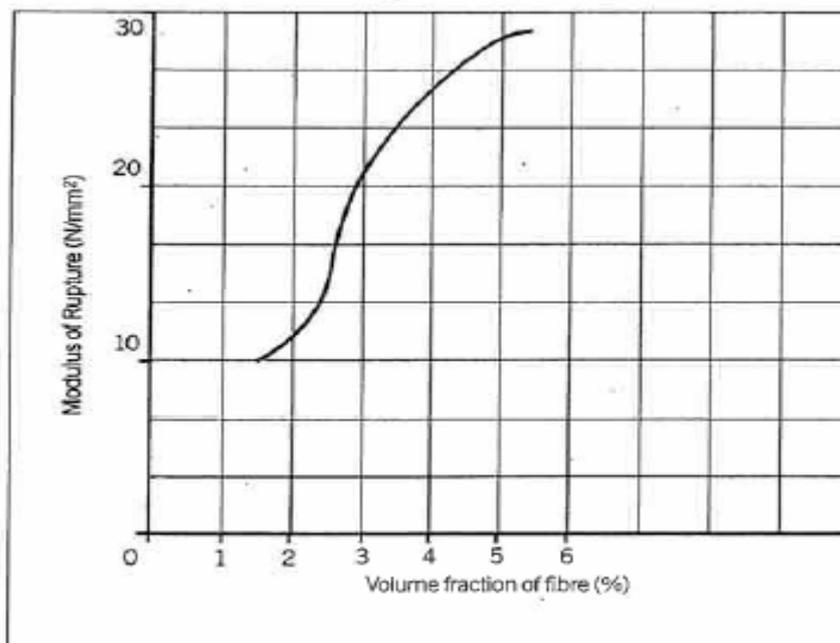
ρ_{GRC} = Density of GRC

ρ_{GLASS} = Density of Glass Fibre

喷涂 GRC

图 5.3.6

含有 37 毫米长纤维的手喷涂 Cem-FIL GRC 的纤维体积分数 MOR 的典型变异。



在喷涂 GRC 增加纤维的体积分数可以增加冲击强度，MOR 与 UTS 的水平，大致比例的和

纤维含量增加而增加。类似的效果发现，降低纤维含量，但低于约 2 % 的体积分数，就没有足够的纤维提供一个有效的加强作用。如果纤维含量减少，他们有很少或没有纤维有更大的可能性获得 GRC 复合的领域。更要注意在制造时纤维的分布，以避免这种可能性。这些主要是取决于结合料显示，小的变化与纤维含量的属性，虽然 LOP 和 BOP 可能会显然增加 5 % 的体积分数的水平。体积增加到大约 6 % 处理起来有些困难，会导致压实效果差和特性的普遍减少（第 5.3.2 ）。

预混料 GRC

在预混料 GRC 随机的方向，纤维和使用短纤维和具有相同的纤维含量的喷涂 GRC 相比相当多的降低了加固效率。纤维体积含量大于 3.5 % 会导致严重的加工困难，一系列的光纤体积分数通常只限于 2 % 和 3.5 % 之间。在较低玻璃含量之中 GRC 的特性一般不具吸引力，除一些应用，例粉刷和刮板的地方，其主要好处是限制裂纹和增加韧性。

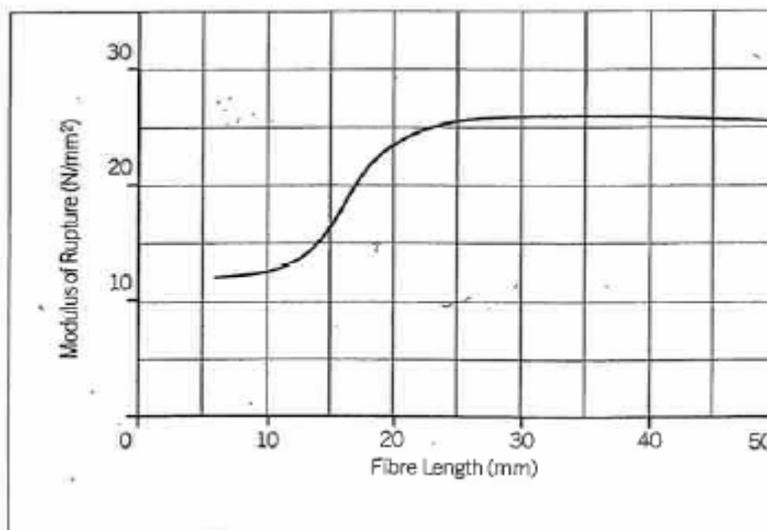
这个范围内的玻璃的含量，显然不同的唯一的特性，是冲击强度，当增加与提高玻璃的含量时。

5.3.7 每段长度

玻璃纤维较长的组成部分的使用增加他们作为加强代表的成效。效果图不是直线。

图 5.3.7

MOR 与玻璃纤维质量分数为 5 % 的 Hand-Sprayed Cem-FIL GRC 的纤维的长度的典型的变化。



对于体积分数为 4.1 %（质量分数为 5 %）的手喷 GRC，钢绞线在 25mm 到 50mm 之间的长度的改变的作用，是除冲击强度的任何边际水平的特性随纤维长度的增加而增加。

在 25mm 以下的纤维的长度，加强工作效率明显下降，12mm 或更短的纤维和预混料的 GRC 的特性并无不同，上述纳入 50mm 长度的纤维变在制造中会遇到得困难和压实问题（第 5.3.2 节）。

在预混料的 GRC，程序的性质使吸纳 25mm 及以上的纤维，并随机分布的效率下降。

纤维长度的变化只有对特性水平的边际效应而非其他冲击强度，纤维长度的增加。然而，在薄的断面较长的纤维可能会导致纤维取向在某些情况下可给予改善性能。

5.3.8 水泥类

，用水泥而非其他 RHPC 或 OPC 和水泥更换的影响，（如火山灰）都可以被认为有两种方法。明显的效果是改变结合料的特点，因此那些特性水平在很大程度上取决于结合料。不同类型的水泥和水泥替代的性能，在许多文本中讨论了（参考 10 ， 11 ）。

然而，水泥的类型能有一个显著的效果就这些特性在很大程度上取决于玻璃纤维。虽然最初的特性影响不大，一些含低碱和石灰的水泥与 OPC 和 RHPC 相比，保质期的性能会更高。（参考 12，13,19）。

5.4 蠕变和 GRC 的应力-断裂行为

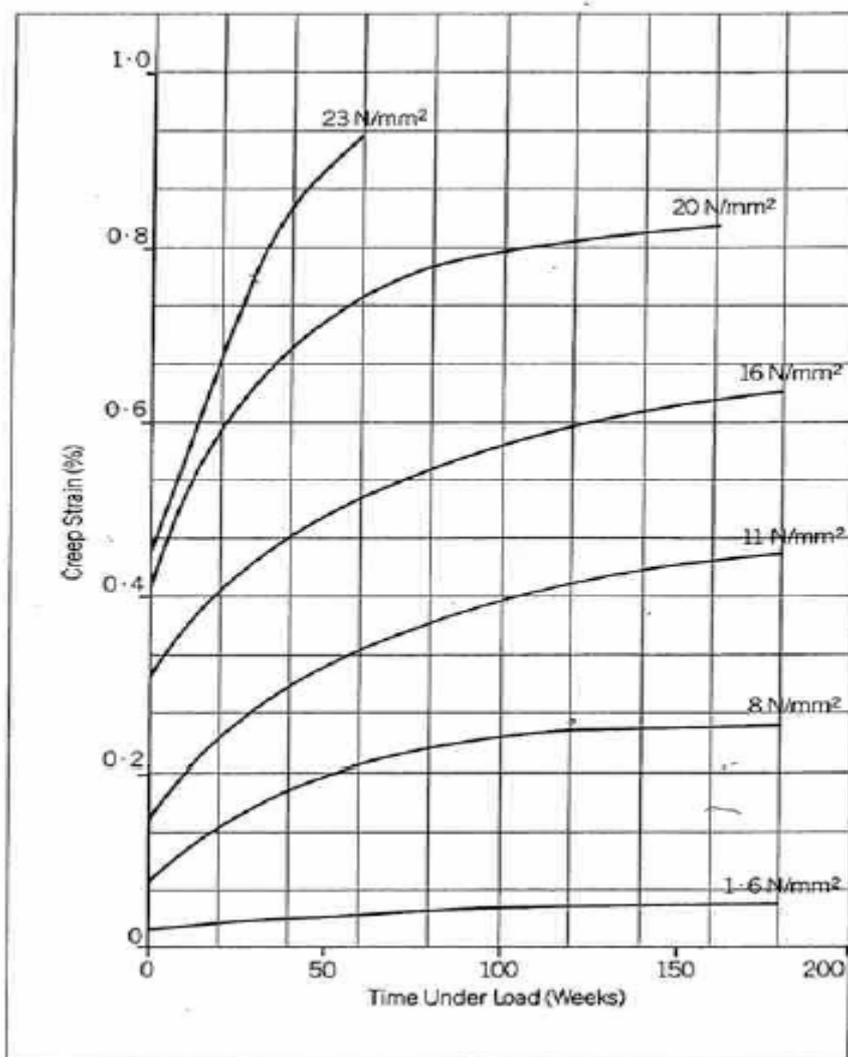
GRC 有承受过长时间负荷的相当能力。与其他水泥或水泥材料相同，最初的（弹性）变形其次是进一步缓慢的蠕变变形时的负荷是维持不变。

GRC 的蠕变行为与一般的形式的水泥浆体和砂/水泥砂浆是类似的。由于湿度的变化，在直接拉伸蠕变变形小于扩张-收缩形变；在弯曲的蠕变率随时间而减少。

在 LOP 以下的弯曲（正常工作范围内的物质），GRC 的蠕变行为是与该基质材料的表示相同。初始应变下蠕变应变是成正比的，长期负荷会由一个 2 到 4 之间的因素增加初始应变。这意味着，例如，一块水平安装的板在自重下其挠度随着时间的推移会变成初始时候的三倍。已观察到了两次正常的推荐工作应力水平下，没有应力破裂破坏，在实验中，样品一直维持在干燥空气中，水温为 18°C 到 20 °C 的水里，或在英国为期八年的平均自然条件下承受不断的弯曲载荷。

图 5.4

测试的结果来衡量干燥储物的抗弯蠕变，含质量分数为 5 % 的 Cem-FIL 光纤和水：水泥比是 0: 33 的 GRC 样品。



5.5 疲劳性能

喷涂 GRC 样品已进行反复弯曲和拉伸加载疲劳试验。获得了 一个共同的 S-N 弯曲形式（应力曲线周期性破坏）。弯曲试验了疲劳寿命在 LOP 应力水平大于 10⁵ 周期以及在正常的弯曲工作应力水平大于 10⁷ 周期。直接拉伸试验结果表明，在 BOP 下超过 10⁴ 周期和在正常拉伸工作应力水平下超过 10⁷ 周期。

图 5.5 (a)

含 Cem-FIL 光纤质量分数为 5 % 且水：水泥比为 0：33 的比例的手喷雾 GRC 的弯曲疲劳。

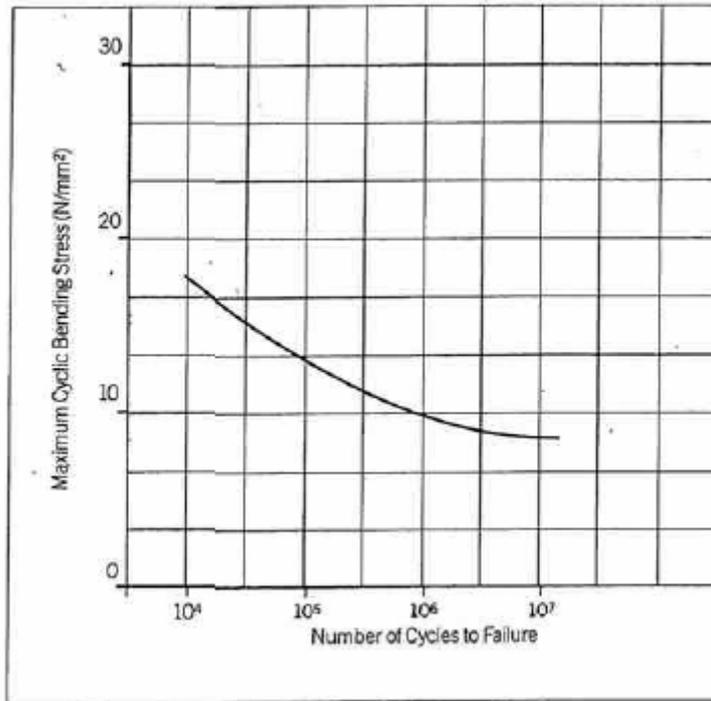
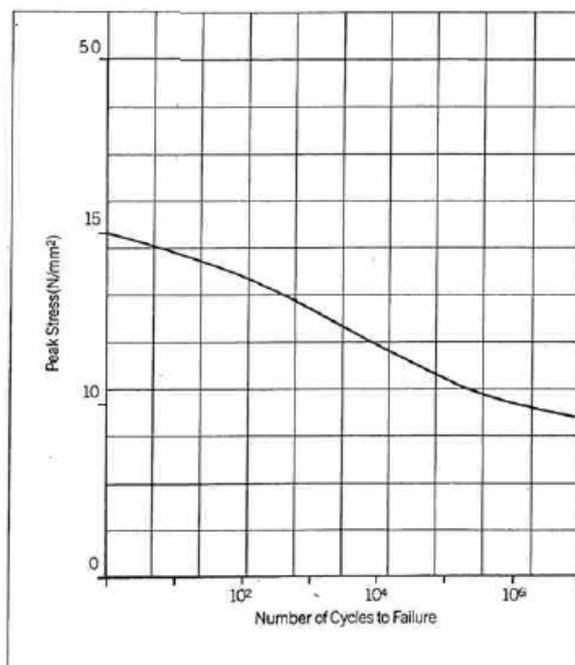


图 5.5 (b)

含 Cem-FIL 光纤质量分数为 5 % 且水：水泥比为 0：33 的比例的手喷雾 GRC 的拉伸疲劳。



第五章 附录 A: -Cem-FIL Star GRC

我们知道,标准的 GRC 会失去一些初始强度,而且,随着时间的推移,塑性会逐渐降低,这一过程会持续很长时间.虽然设计过程中,这种性质发生变化的问题得到了解决,我们仍然需要认识到这种缺陷.

现在有充分的证据说明,如果 GRC 中使用了 Alkali Resistant 纤维,应变能力的丢失不是取决于水泥对纤维的碱性腐蚀,而是取决于石灰结晶和玻璃纤维束内外的 CSH 的发展.熟石灰,氢氧化钙, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是水泥初凝和水化作用的副产品,它最初存以水溶液的形式存在,溶液通过毛细现象被吸引到纤维束中,并形成结晶,填充在毛细管中,阻止玻璃纤维进入水泥中,从而阻止了初期的 GRC 存在的蠕变.正是这种能量的吸收,纤维的蠕变使 GRC 有显著的韧性.

GRC 中气硬性材料的使用会产生氢氧化钙结晶,同时也会减弱其碱性,所以必须减小这种现象所带来的影响,针对这方面的研究,大多数被证明是成功的.为了制造一种能够满足稳定性要求,并且在较长一段时间内能够预测其性质,在 GRC 中使用的火山灰物质,人们广泛的做过各种详尽的试验.

多年 GRC 的研究经验意味着在具有代表性的 GRC 制作过程中,由硅酸盐水泥产生的化合物里,石灰的数量,石灰的释放比例已经为人们所熟悉.在 Cem-FIL Star GRC 里,所产生的石灰的比例取决于 Cem-Star 中与石灰发生反应的高岭土的比例.石灰的消耗和产生相等意味着:在 GRC 中,只有极少的游离态氢氧化钙可以得到利用,与之相对应,也只有极少数的石灰结晶形成,从而可以避免产生前面所说的应变能力丢失问题.

Cem-Star 高岭土外加剂使得最终安全系数大大的增加,因此,在进行各种龄期测试时,GRC 的长期表现极其卓越.

浸在 50°C 水中加速硬化[见表 5.2]

湿/干循环硬化[修改 NFB 51-263]

冷冻/解冻[ASTM C666].没有不良影响

化学保护

炭保护.没有不良影响

新型“Cem-FIL Star GRC”是建立在一种成熟的水泥技术上的,这种技术专为满足 GRC 的特殊要求而开发,其中,硅酸盐水泥水化过程的基本化学反应不变.因此,我们有充分的理由假设目前使用的速凝方法依然适用,虽然如此,在不同环境条件下进行长期的气候测试仍在进行.另外,这些方法已经在真实的条件下经过了广泛的测试,包括在欧洲的建筑上的嵌板的测试.

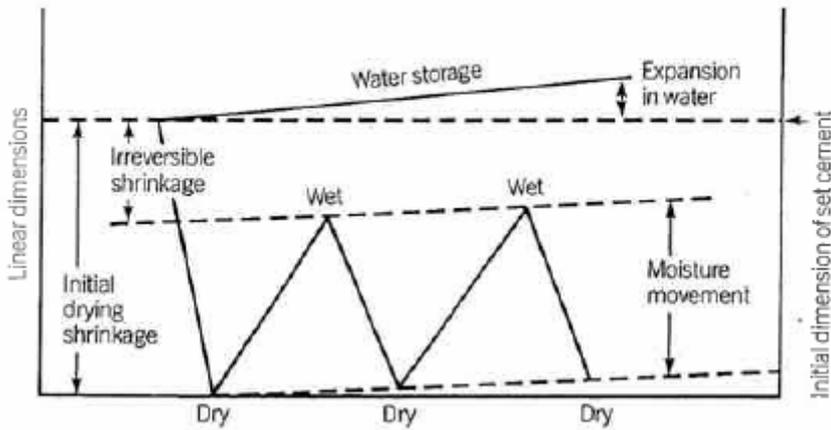
6 GRC 的物理性质和化学性质

6.1 收缩率

所有以水泥为基础的材料都很容易受到干湿变化而产生的尺寸变化的影响(参考 1 和 2).在制作和保存好后,干燥会导致材料发生收缩.再湿润会导致膨胀,但是不能恢复到原始尺寸.因此,材料会有不可逆的收缩

对于 GRC,不可逆的收缩率占总收缩率的三分之一到四分之一,对于砂,水泥的比例按 1:1 混合的 GRC,有 0.03%的不可逆收缩率,最终总收缩率约 0.12%.收缩率和湿度的关系见图 6.1(a)的图表所示.

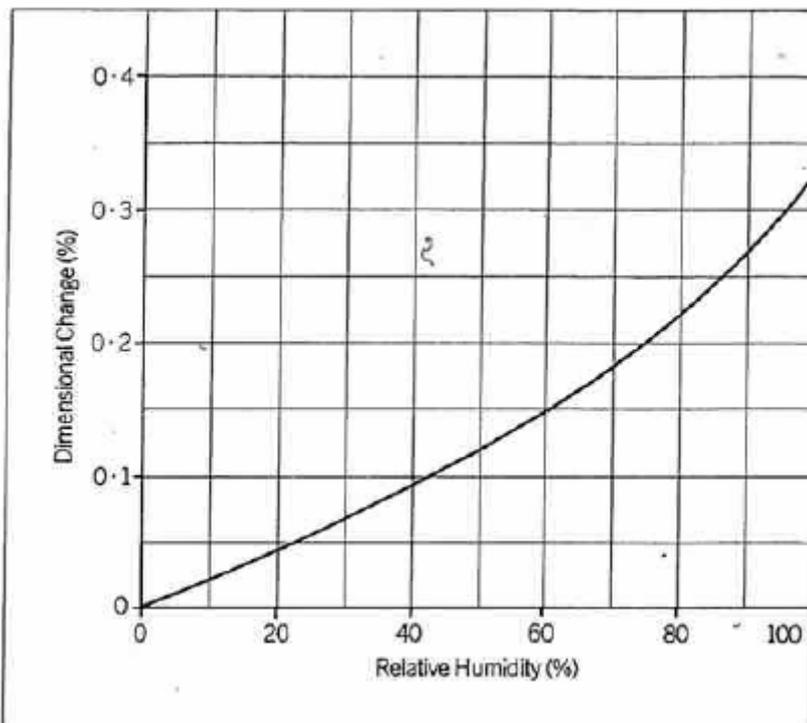
图 6.1(a)
湿度位移变形图



需要注意的是，上图所示的可逆湿度位移变形曲线的振幅在完全干燥和完全湿润状态之间，如同在实验室中实验条件一样。实际上，虽然曲线是在绕一个平均值循环运动，极端的情况在一般天气条件下不会出现，而平均值则是与初始尺寸相比，产品有效收缩的大小。

材料的含水量与外界环境的湿度相关，所以可以很方便的根据相关的湿度表达出尺寸的变化。图 6.1(b)表示了实验所得的可逆收缩率，前提条件是纯粹的水泥 GRC 在各种湿度的平衡条件下完全干燥（基于 reference 3 的数据）。

图 6.1(b)
纯粹的水泥 GRC 在各种湿度的平衡条件下完全干燥的收缩率



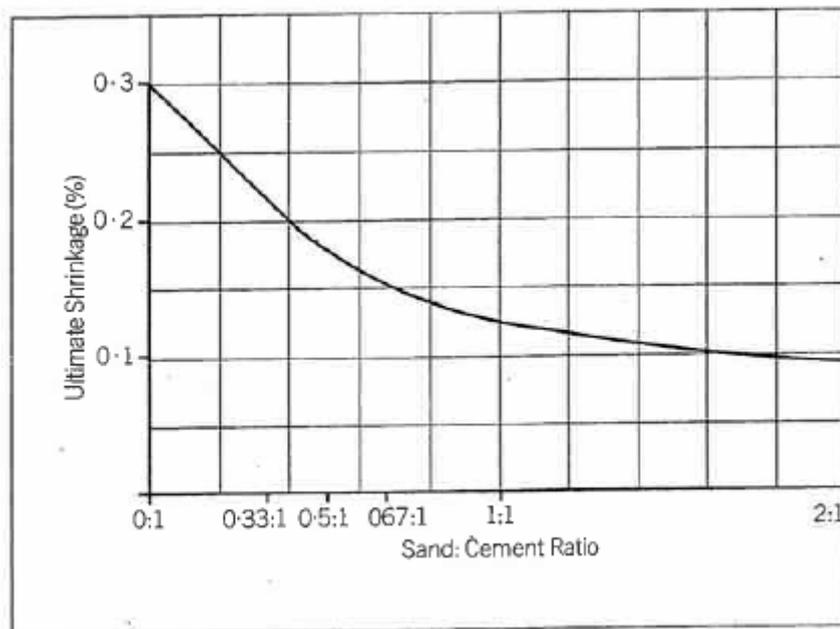
当母材是建立在纯水泥基础上时，母材的最终收缩率是最高的。通过细骨料稀释水泥，

使的母材不易受湿度的影响,用这种方法可以减小材料的收缩率.对于灰浆,混凝土和 well-documented,这是标准的减小收缩率的方法(reference 1).早期 GRC 使用纯粹的水泥,如今通常添加一定比例的高质量细骨料(典型的细骨料如石英砂),以减小收缩率.图 6.1(c)显示了石英砂的添加量对 GRC 收缩率的影响,效果与在灰浆或混凝土中增加细骨料的比非常类似.

在混合物中加入适当的聚丙烯(比如按 5/5 的比例混合),对于缓和可逆的收缩具有良好的效果,特别是按 80%的比例加入标准的非聚合体,效果更佳.更多的重大改进可以通过添加如 Cem-Star 高岭土之类的母材改善剂而达到.传统砂浆达到 60%的可逆收缩率说明了上述的方法是可行的.

图 6.1(c)

添加一定比例细骨料的 GRC,其最终收缩率的典型变化图.



水泥材料的收缩机制比较复杂,许多因素都会影响总收缩量的大小,不可逆的干缩率和可逆的湿胀率的大小.影响总收缩率的因素有:细骨料的比例和种类,水灰比.一些可供选择的养护系统的效果对于混凝土不明显,但对 GRC 是明显的,一些实际经验证据表明:对于没有经过足够湿润养护的 GRC,初始可逆干缩率可增大 0.10%,总收缩率可增大 0.25%.

因为 GRC 是一种相对抗渗透的材料,外部湿度的变化须用相当长的时间才能影响 GRC 的含水率.10mm 厚的喷射 GRC 需要约 20 天才能达到与外界湿度平衡的状态,更厚截面的 GRC 所需的时间更长,对用于夹层板,特别是那些轻质混凝土核的夹层板的 GRC,反应速率会更慢,若制作后完全干透,在温和的天气条件下,这种平衡很可能几个月也难以达到.很明显这涉及到 GRC 的设计与安装,在 GRC 的设计与安装中,收缩是允许的,以免产生不必要的应力.

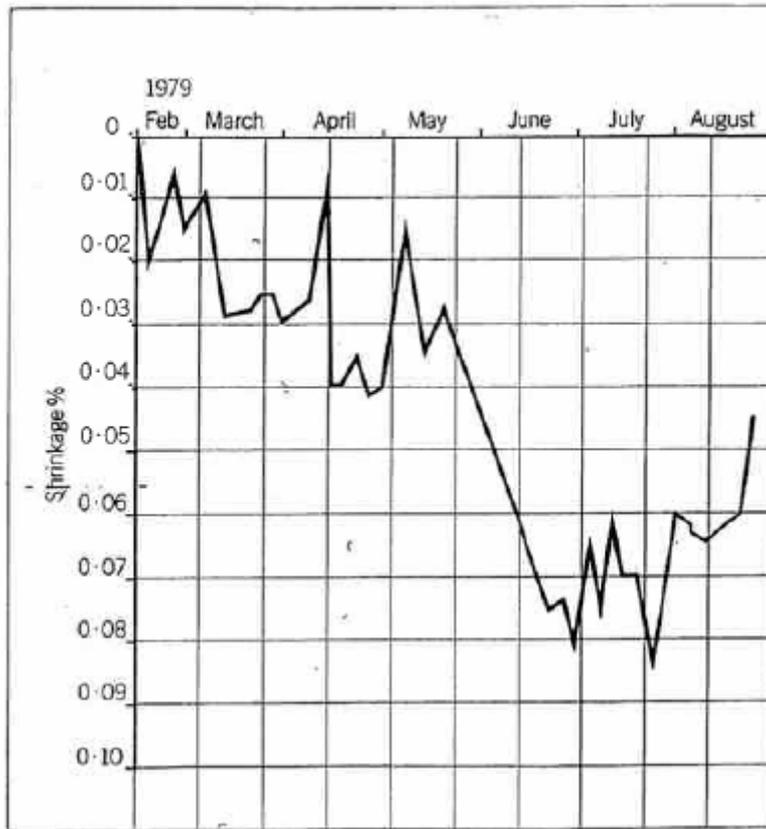
GRC 的主要特征是:GRC 不易受短暂湿度变化的影响,但在自然条件下的湿度位移随季节而变化.这种现象的描述见图 6.1(d),图线适用于英国,其它地方也有类似信息(Reference 3).在下面所示的湿度位移条件已经存在基础上,热位移现象更明显.

图 6.1(d)

10mm 厚, 纤维含量为 5%, 直接喷射的 GRC 在英国的气候条件下测得的收缩率结果.

沙与水泥的比例: 0.5:1

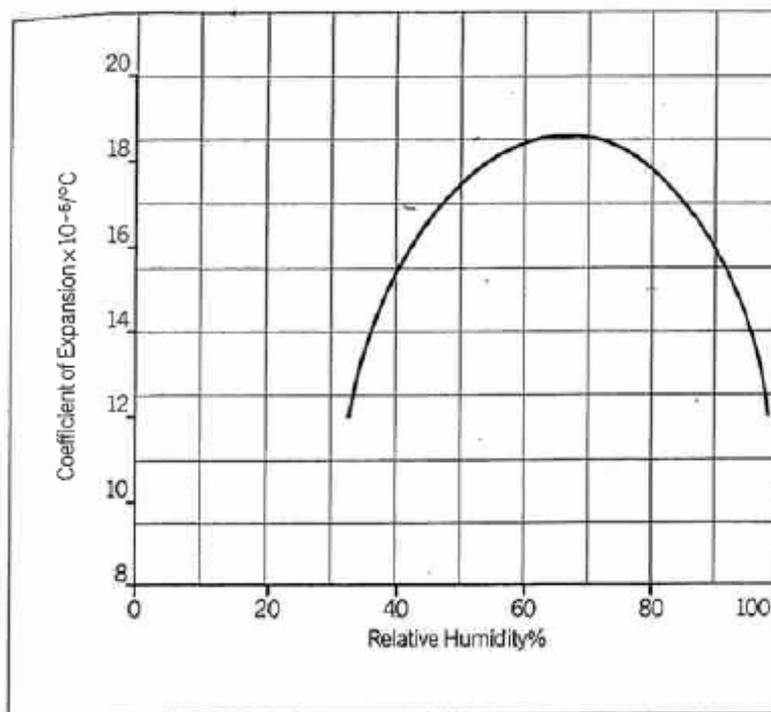
水灰比: 0.33



6.2 热膨胀

GRC 的热膨胀系数为 $10-20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 这在其它的水泥材料的热膨胀系数之内. GRC 和水泥浆、砂浆和混凝土一样, 不甚明显的显示了热膨胀系数随着材料的含水率而变化这种反常特征. 当材料完全干燥或完全湿透, 系数在变化的末端有一个值. 在中间的水平上, 含水量(50%~80%)由上面的值提供. GRC 具有这种特征的原因是: 热膨胀系数是由两个因素决定: 标准的动态热力系数和膨胀应力, 由系统内的水分传递产生的复杂影响(reference 1). 纯水泥浆的特征见图 6.2.A. 在混凝土中, 添加细骨料会影响热力系数的绝对大小, 热力系数取决于细骨料的比例和种类.

图 6.2
养护水泥浆的线性热膨胀系数环境相对湿度的关系.



6.3 抗腐蚀

水泥材料的化学腐蚀速率在很大程度上取决于水泥中的反应物质多大程度的曝露在强氧化剂中,这是一个渗透性函数.GRC 的渗透率比普通混凝土低,因此,GRC 表现出良好的抗腐蚀性.Cem-FIL 纤维本身能够抵抗酸性和碱性腐蚀.

大体上,由于低水灰比和减小了孔隙率,脱水的 GRC 比未脱水的 GRC 抗腐蚀性稍好.水泥含量的高低是决定混凝土抗腐蚀性能的另一个因素,GRC 也能通过增大水泥含量而增强抗腐蚀性.要使 GRC 在抗腐蚀性能上有更好的表现,也许应寄希望与使用特殊水泥,例如,富氧化铝水泥,富硫酸盐水泥.关于 GRC 抗腐蚀性更深入的讨论可以参考 reference 4.

6.3.1 抗硫酸盐腐蚀

虽然 GRC 与大多数混凝土相比,性质更不活泼,但在潮湿和硫酸盐存在的情况下,使水泥降解的反应仍会发生.

使用抗硫酸盐水泥可以增强抗硫酸盐腐蚀的能力,实际上,通常都使用这种类型的水泥制造可能接触到硫酸盐溶液的 GRC.典型的应用有:青贮料容器,排水构件,下水道内层和接线盒这些可能接触硫酸盐污染的地方.

6.3.2 酸和碱

硅酸盐水泥在水和作用过程中释放氢氧化钙,碱性很强(pH 值 12.5).因此,碱性溶液对 GRC 没有特别的危害.虽然 OPC 长期暴露在酸中可能降解,但 Cem-FIL 玻璃相对来说不会受酸性环境的影响.由于发酵的青贮料的作用,在一些情况如下水道中,细菌作用产生硫酸,以及在一些土壤中,OPC 长期暴露在酸中的情况可能出现,但可以通过使用富硫酸盐水泥或富氧化铝水泥来抵消酸性物质对 OPC 的影响.

6.3.3 海洋环境

海水,海中的飞沫会改变暴露在其中的 GRC 的力学性质,与暴露在淡水中相比,和相同温度的自然天气中相似.表面会发生一定的碳酸化作用,这种碳酸化作用可能损坏 GRC 的

表面效果，但对 GRC 的力学性质不起决定性作用，而对于钢筋混凝土，盐和碳酸化作用均可导致配筋被更强的腐蚀。

6.4 冻融特征

在某些地带，GRC 可能长期遭受零度以下温度的考验和冻融考验。基于 BS4260(1970)-《石棉和石棉建筑》和 DIN274(1936)-《石棉水泥片》，在脱水和未脱水的机制喷射 GRC 的基础上——GRC 含 5%的纤维和不同的砂——石棉水泥板研制成功。经测试，样板表面没有发生明显变形，力学性质如破裂模量，比例极限，弹性模量和抗压强度均未改变。因此，可见 GRC 的综合冻融特征良好。

基于 ASTM C666-73 步骤 A——《混凝土抗急速冻融性质》，对 GRC 进行了更严格的测试，作为对照，也对完全承压石棉水泥片进行了测试。测试包含了 GRC 在水中的冻融，这个过程在实际使用的情况下，不大可能遇到。在 -20°C 和 $+20^{\circ}\text{C}$ 的温度下经过 300 次循环，GRC 的力学性能几乎没有改变，在破裂模量，杨氏模量和抗压强度增加 20%的同时，比例极限也增加 20%。而石棉水泥的力学性质所受的影响就大得多。表层剥落和表面分层是 GRC 被腐蚀的标志。

谨记实验室中的冻融测试不能并不能复制 GRC 暴露在自然中的情况。实验室测试的主要作用是试图估计材料的相对耐久性。因此，在描述实验结果时，设定的前提条件必须加以说明，特别是对于那些具有人为设定的苛刻条件的测试。

在多伦多（平均每年 65 次冻融循环），许多 GRC 组合件在在自然冻融环境中已经 20 多年而没有损坏的迹象。

在经历过零度以下温度和频繁的发生冻融循环的地带，年平均气温也可能很低。这对减缓徐变强度的变化速率产生有利影响（参考第 4 章和第 5 章）。例如，在多伦多暴露 10 年，GRC 的破裂模量比在英国暴露 10 年所得的破裂模量大 20%。

含有 Cem-Star 高岭土的 GRC 与标准 GRC 的表现不相上下，不比标准 GRC 更好。

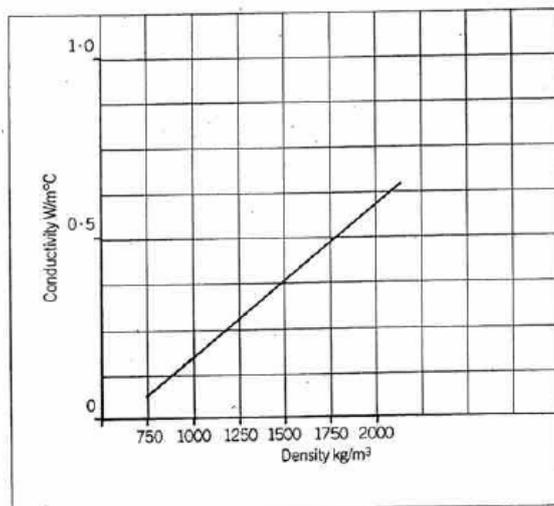
6.5 导热率

GRC 的导热率取决与材料的密度和含水率。

对于干燥材料，例如，室内环境使用的材料。图 6.5 显示了导热率随密度而变化的曲线。这个曲线适用于大部分低密度的 GRC 产品，因为低密度 GRC 产品在室内应用普遍，但对于密度在 $1900\sim 2100\text{kg/m}^3$ ，在室外应用更为普遍的标准密度 GRC，这个曲线对导热率估计不足。对于普通密度 GRC，导热率取决与含水率，导热率在 0.5 和 $1.0\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ 之间。

图 6.5

Cem-FIL GRC 的导热率



6.6 噪音

均质材料的隔音效果 取决于以下三个物理要素.

- 表面质量 (单位面积的质量)
- 刚度 (取决与板的形状)
- 阻尼

在这些要素当中,对低音的隔音效果,表面质量是决定性因素.此处有一份关于表面密度和减小噪音的曲线图,此曲线图对于大多数均质材料是合理的,正确的.此“质量规律图”见图 6.6(a).下图所示的减噪图基于平均为 100Hz 到 3150Hz 的声音频率.表面质量每增加一倍,就会减少噪音约 5 分贝.因此,对于表面质量为 20kg/m^2 ,典型的 10mm 厚 GRC,平均减小噪音约 30 分贝.若把厚度增加大 20mm,就会增大减小噪音 35 分贝.要更大的减小噪音,需要更大的总表面质量,这对单面 GRC 来说不经济.

对 9mm 厚板 (18kg/m^2),噪音减小指数与频率的关系如图 6.6(b)所示.

图 6.6(a)

隔音效果与质量的关系

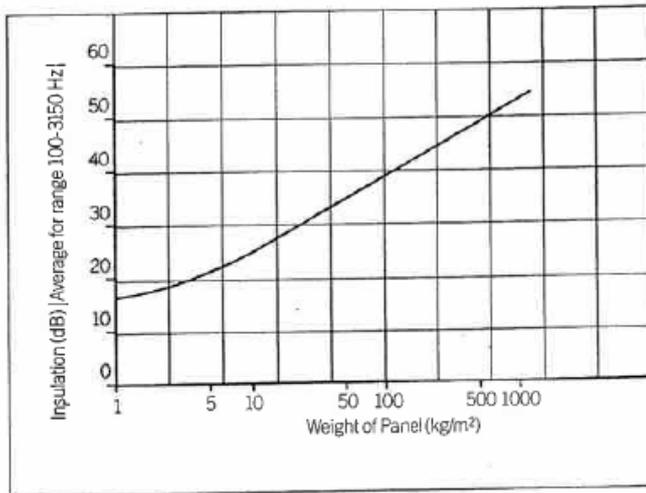
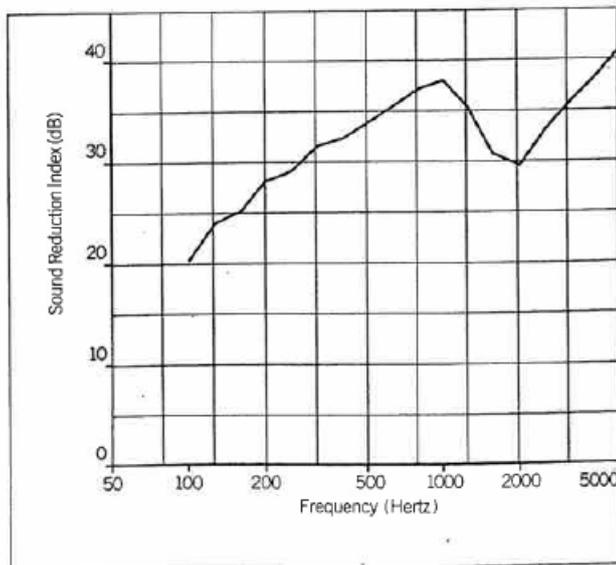


图 6.6(b)

对 9mm 厚板 (18kg/m^2),噪音减小指数与频率的关系图



6.7 渗透性

6.7.1 水蒸气透过率

水蒸气透过率的测量值取决于 GRC 的水灰比, 密实度, 测试时样板的龄期和测试的精确度. 测量是按照 BS3177-热带条件 (38° C, 90%RH) 进行的.

已经有一系列测量结果发表了. 这些结果中, 最小的测量结果是通过测试低水灰比 (水灰比为 0.25) 的喷射脱水材料而得到, 较大值通过水灰比为 0.35 的直接喷射材料而得到. 根据水蒸气透过率, 对于 10mm 厚的 GRC 材料, 初始测量值最小从小于 1 到最大大于 7 泊姆, 甚至在渗透率有很高初始值的情况下, 长期的渗透率也会恒在 3 泊姆以下.

渗透率的典型值可能为 0.001g.m/s.MN, 相应的, 对于 10mm 厚 GRC, 渗透率为 0.1g./s.MN 或约 1.2 泊姆.

6.7.2 渗透率

根据 BS473.550, 对刚制作的 8mm 厚 GRC 的测量表明渗透率在 0.02-0.40ml/m²min 之间.

如同水蒸气透过率一样, GRC 在自然寝室约 1 到两年后, 会趋于减小至值域内的小值 (0.1ml/m²min.) .

6.7.3 透气率

10mm 厚 GRC 的透气率约 2 泊姆.

6.8 抗磨性

水泥产品的抗磨性或抗侵蚀性能通过各种方法评定. 在比较材料的表现时, 对材料加以养护是必要的, 因为从分类比较上来讲, 根据一个测试和另一个测试的比较, 其中一种材料表现的更好是显而易见的. 对混凝土的测试方法包括循环圆盘测试, 铁球磨损测试, 修整轮测试和 short-blast 测试 (看参考 1) . 由于 GRC 抗风沙能力的重要性, 根据 ASTM C418-68 的修改形式测试了 GRC, 测试包括了在样本上直接喷射扬沙. 在这种测试下, 与混凝土和石棉水泥相比, GRC 表现良好. 这项工作的结果在表 6.8 中给出, 用体积丢失量来表达.

表 6.8

材料	总体积丢失量(cm ³)
纯水泥(喷射脱水的)	0.14
GRC(喷射脱水的)	0.27
GRC(直接喷射的)	0.30
混凝土铺的板层	0.32
半压实 a/c	0.37
全压实 a/c	0.52
砖	0.88

大体上, 文献(例如, 参考 1) 指出, 抗磨性趋向于跟随抗压强度而变化, 在低水灰比的基础上改良, on this basis GRC appears well placed. 虽然如此, 必须认识到, 在特殊的测试条件下, 高比例的较大的, 坚硬的细骨料的表现出了从特殊的测试条件下获得益处, 在这些情况下, 有这些条件的混凝土可能抗磨性等级更高.

6.9 密度

标准的 Cem-FIL GRC 材料的密度通常是 2.0ton/m³ 左右, 比传统的密实混凝土的密度稍低. 它产生了表达 GRC 重量的习惯方法, 即, 10mm 厚的 GRC 重 20kg/m². 虽然材料具有低密度的形式是可能的, 但 GRC 主要还是由于截面很薄, 而非轻质材料的原因而达到很轻的质量.

无论如何, 密度的意义远非重量的简单概念. 密度是材料质量的良好表达方式, 高密度不仅仅意味着纤维占总体积的比例偏大, 更意味着密实度高, 材料在正确的水灰比下制作精良. 更有用的参数是干容积密度, 高质量材料的干容积密度通常为:

	喷射 脱水 GRC	手工喷射 GRC	振动浇筑 预混 GRC
干容积			
密度 (t/m ³)	2.0~2.5	1.9~2.1	1.9~2.0

6.10 吸水率和表面孔隙率

GRC 的吸水率和表面孔隙率取决于一部分湿容积密度和干容积密度的常规质量控制测量.对于砂水泥的比例为 0.5:1 的手工喷射 GRC,吸水率和表面孔隙率的典型值为:

吸水率: 12%

表面孔隙率: 24%

需要注意的是,这些参数比典型的混凝土的对应的参数要高,典型的混凝土表现出来的吸水率通常小于 10%.这是具有较高水泥含量的 GRC 和有粗骨料的混凝土的直接结果.虽然如此,之前讨论的 GRC 的渗透率远低于混凝土的渗透率.

6.11 饮用水的批准使用

GRC 样本已经由 National Water Council 测试,并在“通过水质影响完全测试条款”(参考 5)的标题下分类.这说明饮用水也许能通过检验,或者在 GRC 内贮存没有有害影响,但证实的批准只能用公式表达的形式给出.

6.12 紫外线

GRC 不易由于暴露在紫外线中而降解.

6.13 核辐射

GRC 样本在伽马射线中,以 1.2 百万拉德每 24 小时的剂量照射 7 天以上,其力学性质没有受到影响.

6.14 参考书目

1. Neville A.M. "Properties of concrete" 3rd Ed.Pitman,1981
2. Lea F.M., "The Chemistry of Cement and Concrete" 3rd Ed.,Edward Arnold,1976
3. Langley A.A., "The Dimensional Stability of Glass Fibre Reinforced Cement", Magazine of Concrete Research, Vol.33, No.117, pp 221-226, 1981
4. Warrior D.A. and Rothwell K.P., "Chemical Resistance of GRC" proceedings of International Congress on Glass Fibre Reinforced Cement, Paris, 1981, pp 100-112, Glass Reinforced Cement Association.
5. National Water Council, London, "Water Fittings", Nov.1980 and "Water Fittings" Supplement 6, Dec.1982

7. 设计原理

与任何材料一样,有的应用适合 Cem-FIL GRC,有的不适合,必须在特殊的环境中,基于材料的特性作出判断.大体上说,在应力估计为现实安全水平时,GRC 就可以使用,这样组合件就是经济的,即使失效,其结果也能控制在一定的范围之内.

虽然 GRC 是一种纤维增强复合材料,但是,高性能玻璃钢所要求的复杂复合材料分析方法对于 GRC 来说,是不必要的.GRC 可以看作一种各向同性的材料,倘若应力没有超过材料的弹性极限,分析 GRC 应力、应变和挠度的方法与分析均质材料如金属的方法相同.

设计一件产品的过程可以分为以下几个基本步骤.

- (a). 抵抗外加荷载.力学设计是设计过程中最常见的部分,但其他因素也要考虑.
- (b). 抵抗环境影响.物理设计常被忽略,但建筑物要求进行隔音、隔热和防火设计,对于 GRC 产品,湿度位移和热位移可能会比外加荷载对最终解决方案产生更大的影响.
- (c). 组合件的安装.GRC 组合件经常要求与其他结构或组合件接触,这在设计步骤中必须

考虑到.

7.1 力学设计

任何产品的设计都不得不满足许多要求.具有抵抗指定荷载的足够强度是显而易见的要求,因此,进行力学设计通常要保证令人满意.脱模荷载和搬运荷载不能忽略.

这部分包括力学设计方面,为了使 GRC 的长期强度和短期强度都表现良好.

7.1.1 GRC 力学设计方法

像其它材料一样,正常的设计是在低于弹性极限的应力下进行的.GRC 的抗压弹性极限、抗弯弹性极限(比例极限)、抗拉弹性极限(BOP)和抗剪弹性极限在大部分环境中不会发生重大改变,所以初始性能参数可以参考使用.

设计应力也是考虑到长期强度值而选择的.在极限强度强度减小的情况下,加速老化测试(参考 1)表明了强度稳定不变.允许合适的安全系数,设计应力建立在稳定值的基础上.

按照高质量的手喷 GRC 的抗弯强度(精确表达和参数见第五章表 5.1),典型的设计应力为 6MPa,这个值涵盖了这两方面的要求.

图 7.1.1(a)

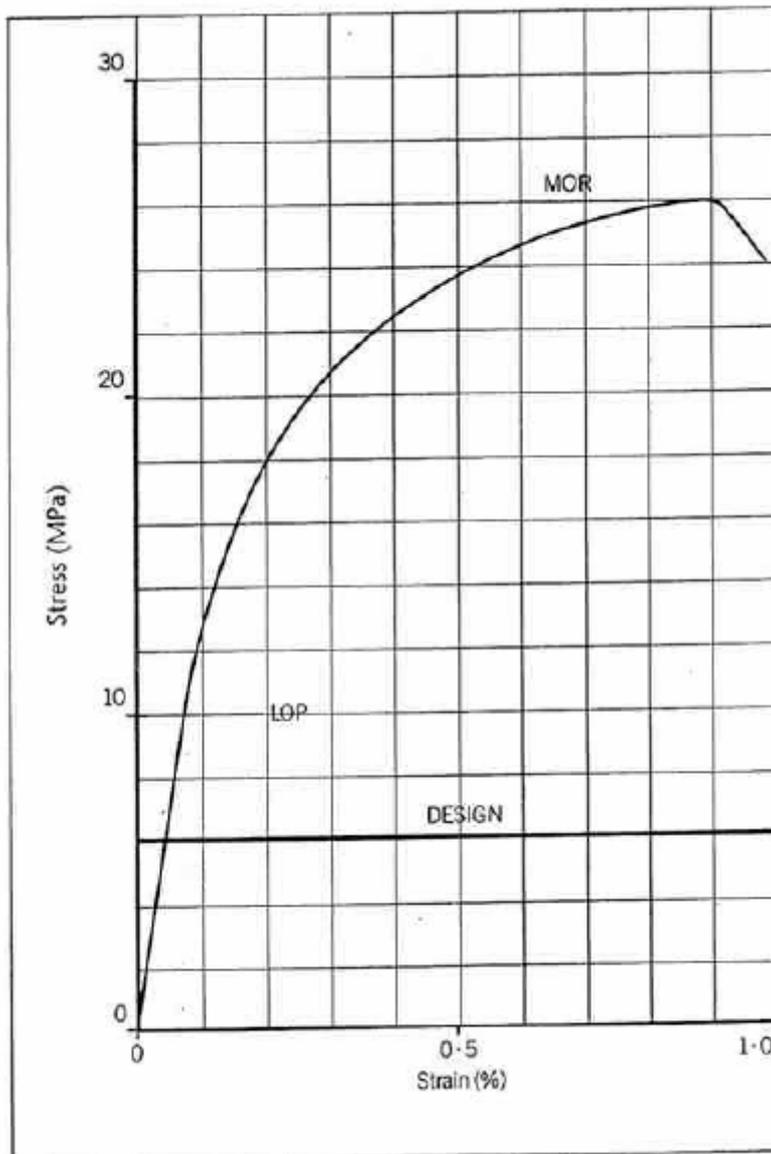
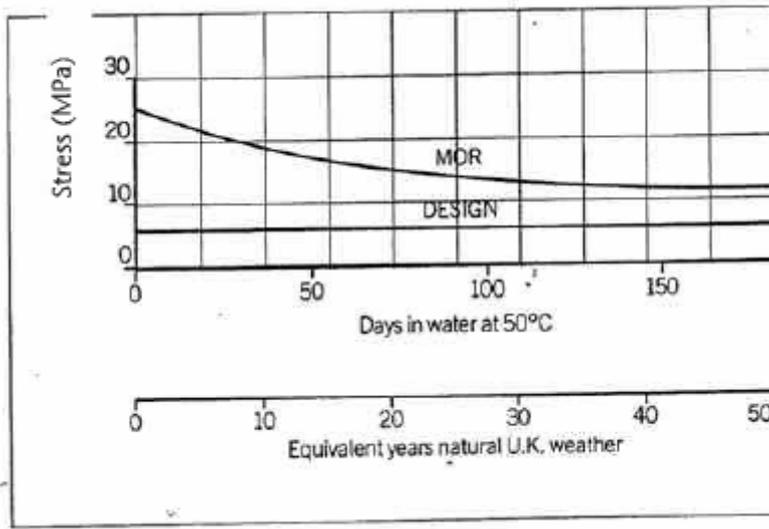


图 7.1.1(b)



材料的初始参数的极限值是产品在早期获得的,对于如模板之类的结构,允许使用更高的设计应力,这类结构只是在产品的早期要求有高强度.

7.1.2 设计应力水平的选择

由于 GRC 不是单一的物质,而是紧密相关材料的集合,使用的设计应力取决于表达公式和制作过程.而且,每一种单独的物质也会有几种设计应力水平,因为材料性质产生不同的强度,这些强度值取决于荷载和荷载所作用的截面的类型.

设计应力的选择也应该与 GRC 制作的质量有关,因为制作不仅仅是用材料制作 GRC 组合件,而且是用基本材料创造一种新材料.

7.1.3 设计应力

通过 GRC 生产获得的标准测试数据涉及到小块 GRC 的抗弯测试.测试结果可通过统计分析得到初始比例极限和断裂模量的标准值.GRC 的其它力学性质可以划分到以下几个方面:与母材的依存度很大的力学性质(如抗压强度和夹层的抗剪强度),涉及到比例极限的力学性质,,与玻璃纤维含量依存度很大的力学性质(UTS 和内层板的剪力),涉及到断裂模量的力学性质.

例子:

抗压强度	6-10×比例极限
夹层的抗剪强度	0.4-0.5×比例极限
UTS	0.4×断裂模量
内层板的抗剪强度	0.4×断裂模量

因此如果比例极限和断裂模量已知,这些性质的标准值可以估计出来.

表 7.1.3 给出了表 5.1(第 5 章)所描述的 GRC 的典型设计应力,前提是其标准值不小于:

	断裂模量 k	比例极限 k^*
≠ 喷射 GRC	18MPa	6.5MPa
预混 GRC	8MPa	5MPa

写在下方的 k 表示标准值,也就是不大于 5%的测试结果 fall.

*该值通过利用 Testmetic, J.J.Lloyd Instrument Ltd.测试设备,或相似的设备测得.

≠ GRC 制作规范-GRCA S0110/October 1995(GRC 协会)

表 7.1.3

应力类型	荷载类型	设计应力 MPa
------	------	----------

5%喷射 Cem-FILGRC 3 1/2 预混 Cem-FILGRC

压应力	压力	12	12
弯曲应力	实心梁或板的弯曲	6	4
拉应力	空心圆柱的应力	3	2
拉应力	夹层板弯曲	3	2
腹板切应力	箱形截面内腹板	2	1
承压切应力	剪切处的剪力	1	1

这些设计应力是在 GRC 的长期弹性强（例如：比例极限，BOP）度上乘以约 1.8 的系数得来。GRC 经常应用在既非纯粹受弯，又非纯粹受拉的结构中。箱形截面（经常使用强化 GRC 产品）的弯曲就是一个例子。这种情况下，设计应力在弯曲应力和拉应力之间。以表 7.1.3 为例，喷射 GRC 的设计应力为 4MPa，预混 GRC 的设计应力为 2.5MPa 都是可能的。然而为了以防万一，建议用拉应力设计值的较小值，或进行荷载实验来检查产品的性质。

若荷载持续时间有限，并且发生在早期（例如：永久模板），设计应力可能会减小。考虑到在加工循环早期——此时，材料的比例极限可能很小——脱模时产生的应力，减小值（例如：三分之一的正常值）是合理的。

如果为了考虑徐变的影响而在 GRC 上施加永久荷载，可以考虑减小设计应力。

7.1.4 设计计算

设计计算根据线弹性各向同性材料的常规方法进行。计算允许厚度由表 7.1.3 给出值的极限应力决定。或者检验已给出厚度的材料的实际应力。

7.1.4.1 最小厚度

对于 GRC 的常规应用，以下最小设计厚度对搬运和加工是令人满意的。

预混(振动浇筑或喷射混合)	10mm
机器喷射	6mm
手工喷射	8mm
面浆	3mm

7.1.4.2 荷载

应用到 GRC 的荷载可能会依照当地的做法调整负荷的因素。例如，英国的 BS cp8110（参考第 2 章）显示如下：

- (i) 恒载和所施加的负荷：1.4×恒载+1.6×活荷载。
- (ii) 恒载和风荷载：1.4×恒载+1.4 风荷载。
- (iii) 恒载，所施加的负荷和风荷载：1.2×恒载+1.2×施加负荷+1.2×风荷载。

恒载定义为 GRC 的构件和装置的重力，风荷载是本质定义，施加的负荷是任何其他的应用荷载。

7.1.4.3 分析

GRC 产品通常可以分为相互作用的部分，每个部分能作为一个梁或板单元单独检测和使用规范公式进行分析（例如第 8 章）。

梁的应力和挠度可以使用以下公式计算。

$$\text{应力 } f = \frac{wL}{kZ}$$

其中 w 是梁上的总的荷载（单位：N）。

L 是梁的长度（单位：毫米）。

E 是材料的模量（单位：N/mm²）。

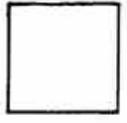
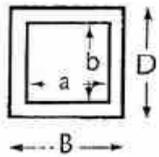
K₁ 和 K₂ 取决于梁的支承和荷载类型。

Z (单位: mm^3) 和 I (单位: mm^4) 取决于梁的形状。
 对于一些较常见的荷载类型和支承的条件, 下表给出了 k_1 和 k_2 取值
 表 7.1.4.3 (a)

荷载类型	支承条件	图	k_1	k_2
集中荷载	悬臂		1	3
均布荷载	悬臂		2	8
线性荷载	悬臂		3	15
集中荷载	末端支承		4	48
均布荷载	末端支承		8	77
线性荷载	末端支承		7.8	77

在 GRC 结构中, 最常用的两种形状梁的 Z 和 I 值可以使用下列公式计算出来。其他形状的截面性质可以通过正常程序计算出来。

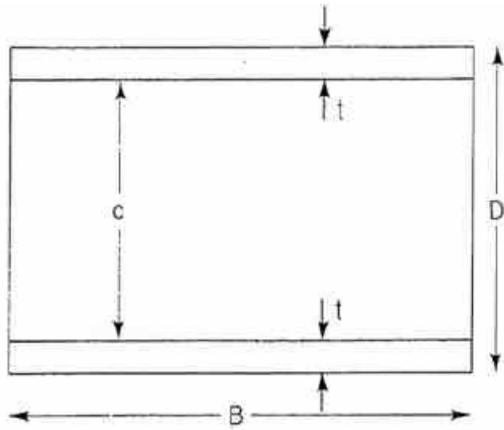
表 7.1.4.3 (b)

梁形状	截面模量 Z	截面惯性矩 I
	$\frac{BD^2}{6}$	$\frac{BD^3}{12}$
箱型截面 	$\frac{BD^3 - bd^3}{6D}$	$\frac{BD^3 - bd^3}{12}$

挠度公式给出一个短期挠度的估计。为承受持续荷载或重量, GRC 的蠕变应加以考虑。一个获取长期挠度的简单方法是承受持续荷载的挠度乘以系数 3。

多层组合梁

分析多层组合梁比正常的横梁稍微复杂, 由于使用厚度相对较低的模芯材料允许一个额外的挠度。(第 9 章)



应力 $f = \frac{WL}{k_1 Z}$ 其中 $z = Bct$

挠度 $y = \frac{WL^3}{k_2 EI} + \frac{WL_c}{k_1 BD^2 G}$

其中 $I = \frac{BctD}{2}$ 和 G 是核心的剪切模量。

上述方程中的 k_1 和 k_2 值在表 7.1.4.3 (a) 中可查出。

这个挠度公式没有考虑到 GRC 组合结构中常使用的一侧为墙壁的类型。因此，计算的挠度是一个高估的值。另一种计算的方法，假设一个宽度为 B 和长度为 L 的梁，但只有部分的宽度 B 是有效作用的（第 8 章，7.1.2 节）。作为一个近似，有效宽度 B_e 是通过下式计算

$$\frac{B_e}{B} = 1 - 0.6 \frac{B}{L} \quad (\text{假设 } L \geq B)$$

组合梁可以看成依照一个箱型截面有效宽度 B_e 和计算的挠度来设计。

组合结构也应检查传递给核心材料的剪切荷载。剪切力 V 通常等于最大的承受荷载（单位：牛顿）和剪应力为

$$f_s = \frac{V}{B_c}$$

其中 f_s 应小于 40% 的核心抗剪强度。下表给出了 PBAC 的剪切模量和抗剪强度（Styropor 混凝土）和高密度的泡沫。

表 7.1.4.3 (c)

核心材料	剪切模量	抗剪强度
Polystyrene Bead Aggregate Concrete (Styropor) 400 kg/m ³	230MPa	0.34MPa
高密度聚苯乙烯 25 kg/m ³	11MPa	0.26MPa
聚氨酯泡沫 40 kg/m	2.3MPa	0.32MPa

PBAC 的数值取决于质量。

选择塑料泡沫为核心的材料，决定于操作条件和泡沫的稳定温度。核心材料为聚苯乙烯泡沫塑料的组合板有令人满意的使用效果，使用的表面温度可高达约 80℃，和聚氨酯泡沫具有优越的抗高温。

组合结构设计的假设条件是，各层的结合物的剪强度都大于剪应力。如果不是这种情况，结构不再作为一个组合，并可能承受过高压力。剪切配属可以采取其他形式，包括使用 GRC 网连接两个外壳，和应设计成使 GRC 网的剪应力小于 GRC 网的设计应力。

经验表明，建议限制组合结构的面积，最大的面积为 6.5 平方米（约 3.6 米×1.8 米）。虽然从机械强度分析是没有理由的，在生产，移交，安装和使用的经验发现，大约 6.5 平方米的组合结构明显地出现更多的问题，除非制造过程和安装程序，专门发展，以克服这些问题。

7.2 物理设计

7.2.1 热运动

GRC 的热方面的变化可以通过如下公式计算：

$$\Delta L = \alpha \Delta T L$$

其中 α 是热膨胀系数。

T 是温度的变化。

L 是尺寸变化后的长度。

ΔL 是变化的长度。

因此，一个 2 米长的 GRC 温度升高 30℃

$$\Delta L = 20 \times 10^{-6} \times 30 \times 2000 = 1.2 \text{ mm}$$

假设热膨胀系数为 $20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。在英国的一年期间，建筑物的复合板表面温度的变化可能经历从 -10℃ 至 60℃（浅色）或 80℃（深色），因此，大幅度膨胀或收缩发生，可高达 1.8mm 每米。

7.2.2 水分运动

GRC 的水分运动包括两种方式，分别为不可逆的收缩和可逆的收缩。这两种方式任何时候都存在，但每种相对量取决于条件不同。不可逆转的收缩，在各种条件下的出现，但比较慢，如果 GRC 具有较高的水分含量。可逆性收缩，仅依赖于水分含量变化。

根据服务条件，Cem-FIL GRC 的产品是不可能受到全方位的可逆收缩。在大多数的天气，GRC 的外部环境，有一段部分时间为充分湿润，但不大可能完全干涸。

用非常干旱条件以完全干燥 GRC。这些条件提供有限的机会重新湿润 GRC，即使如此，全范围可逆的收缩也是不大可能发生。

砂：水泥比为 0.5:1 湿固化 GRC，经验表明，不可逆转的收缩产生 0.05% 的尺寸变化和可逆的水分运动产生高达 0.15% 的尺寸变化，随后的砂：水泥比为 1:1 的 GRC 将出现 0.1-0.12% 的可逆运动。

自发生较快速度的收缩后，应立即进行处理，处理后，要求 GRC 产品在一段时间内适当干燥和远离接触到太阳和风。通过这种处理，变形（可能是永久的）可尽量避免和大部份的不可逆转的收缩发生在安装部件之前。

在 GRC 服务期间，收缩可能高达 0.15% 或水分运动的可能达到 1.5 毫米/米。一系列的运动要求设计时考虑许多方面，如在支座处允许构件移动和选择结合宽度（见 7.3）。

不过，制约这些运动也是需要考虑的，无论这些运动是有意还是无意，这些在第 7.2.3 节上被讨论。

7.2.3 由于水分和热运动产生的应力和挠度

GRC 产品内的水分和温度梯度会诱发应力和挠度。由于 GRC 通常由相对薄的部件组成，经由材料厚度是小可能部件有显著性温度的差异，但水分不同能发生和产品往往会趋向材料面退出。举例来说，如果潮湿的 GRC 薄片是放置在平坦的表面。GRC 的上表面将开始干燥，蒸发，而较低的表面不会。由此产生的弓形通常是一个临时的状态，效果通常是可逆的。如果产品的不同区域受到不同条件的温度和湿度，产品往往会改变形状，以调节引起的运动，但在某些情况下，产品可能会受限制，无论是由被固定到另一个结构或其本身的形状，抵抗形状改变。当制止产生的压

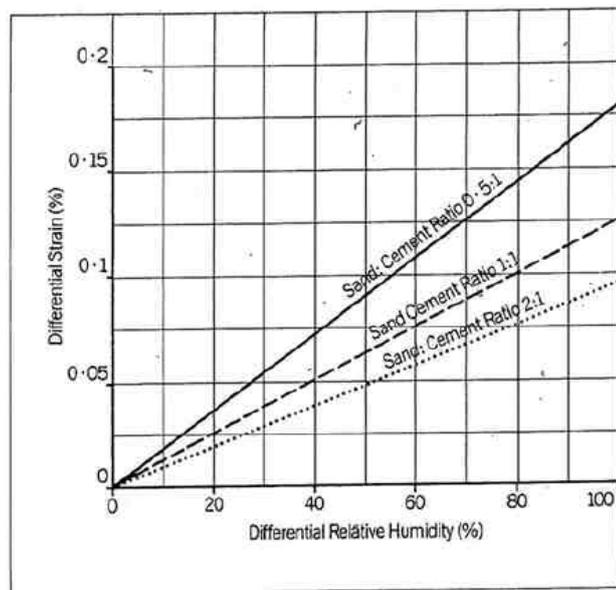
力被诱发，这些压力超过 GRC 的破坏应力，所导致的裂缝被称为“收缩”裂缝。在大多数情况下，计算这种应力和挠度是复杂的，也是不准确的，由于水分和温度的条件仅能估计。但是，如果所有的 GRC 运动是完全限制，压力将可能发展到高得令人无法接受的水平。例如制止 0.15% 收缩，可诱发应力 $f=0.0015 \times 20000=30\text{MPa}$ ，假设弹性模量为 20000mpa。这是大大高于 GRC 明确表达的抗拉强度。

GRC 产品的良好的设计包括：一个最少数量的连接构件，保证 GRC 表面运动，也要限制一部分的截面变化，确保必要的尽可能顺利。

然而 GRC 往往设有内置式泡沫塑料加劲肋，或在组合结构形成。在这两种情况下有机会为 GRC 相对的两边核心材料经历不同条件下的温度或水分含量。这些不同的条件，创造一个弓形产品的趋势，在有限的程度上，带肋的 GRC，但在组合结构更为突出。

图 7.2.3 (a) 提供了组合结构在不同相对湿度下产生的微分应力指南。微分应变，可通过温差所产生的温差 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 产生，温差 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 可以从 $\epsilon = \alpha \Delta T$ 计算出来，其中 α 是热膨胀系数（见第 5.2 节）。两个表面之间的温差通过已知道方位条件获取的太阳能计算出来。深色的产品获得较高太阳能（约 45 $^{\circ}\text{C}$ 以上的环境，作为相反 25 $^{\circ}\text{C}$ ，浅浅色），所以有明显的优势，在 GRC 上利用浅色。

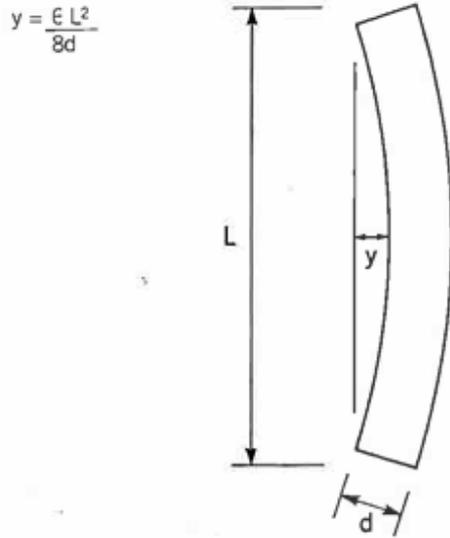
图 7.2.3 (a)
相对湿度和各种砂：水泥比率的微分应变之间的关系。



虽然它可以明智采用温度变化的极值设计，GRC 水分的蒸发运动缓慢反应，合理地提供一个较长的时期的相对湿度平均值设计组合板。水分和温度使微分应变发展可能会采取合理的行动，这可以加以考虑。

挠度值，认为是一个平面组合成分自由的屈曲，如图 7.2.3 (b)。

图 7.2.3 (b)
屈服挠度和面板尺寸之间的关系。



其中

ϵ 是微分应变

L 是产品长度

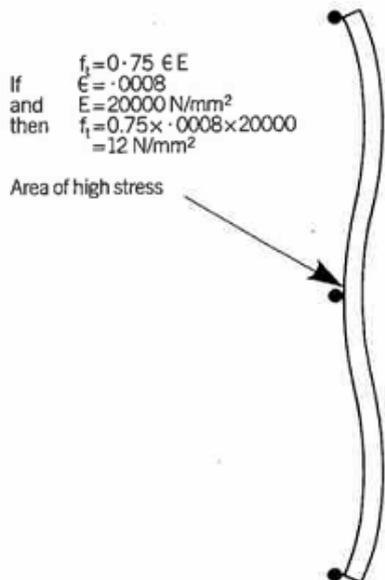
D 是产品总厚度

BS8110 (参考 2) 表明, 限制挠度 $L/350$ 是适合覆层面板设计的目的, 因此, $e=0.08\%$ 的 GRC 组合覆层面板中应用, 值从英国大量条款检验中获取, 结果规定 $d>0.035L$ 。这个厚度一般大于以正常负荷所需的抵抗厚度。

如果组合板是防止偏转, 可通过在中间或者连续设置组合板支座, 或通过特定方向上, 使固有的抵抗组合结构形心变形, 在 GRC 板面上, 抑制微分应变会产生压力。

图 7.2.3 (e)

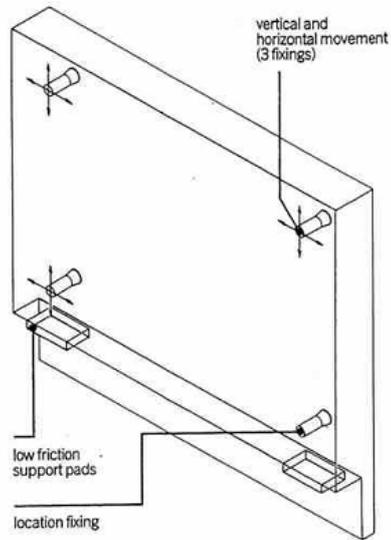
影响中间制止的屈服挠度。



在另一方面, 平面板的明显压力不会产生提供, 该板就允许自由移动和偏离 (图 7.2.3 (d))。这决定了避免中间设置安装构件, 并强烈建议使用允许屈服和收缩运动的。

图 7.2.3 (d)

安装构件应该允许自由运动。

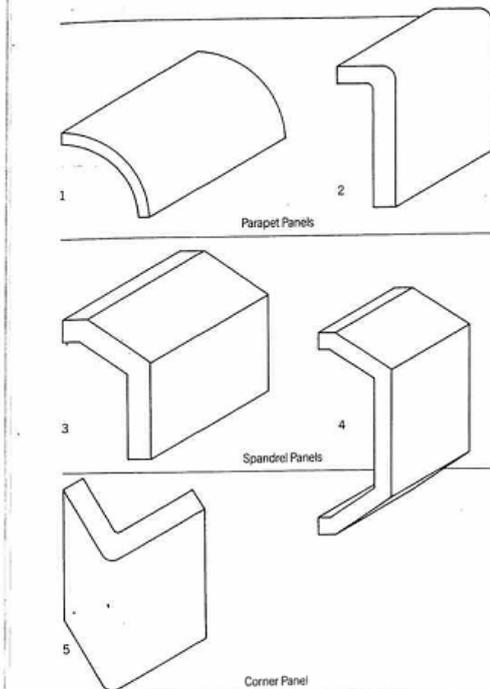


而明显的表面压力，通常不发生在允许自由移动的简单组合平板，详细地，一个刚性的核心材料出现特别厉害的应变梯度处会有更大规模的压力。应考虑到这方面，在没有详细计算方法的情况下，要适当的包含 $1\text{N}/\text{mm}^2$ 残余收缩应力。

不论支座怎样设置，角落形或弯曲形状的组合板（图 7.2.3 (e)）都可产生受拉应力。在天气多变的气候中，这有特别重要的意义，例如英国，在这些形状的组合板不应被使用。在这些情况下，板的形状应予以简化或结构允许的单一平面。凡一个形状组合板有足够的抗弯刚度，以产生高的抗压能力，它往往会有足够的强度设计成一个单一平面。因此，这可能是最可取的办法。

图 7.2.3 (e)

被提及到的允许使用的简单形状的面板的例子。

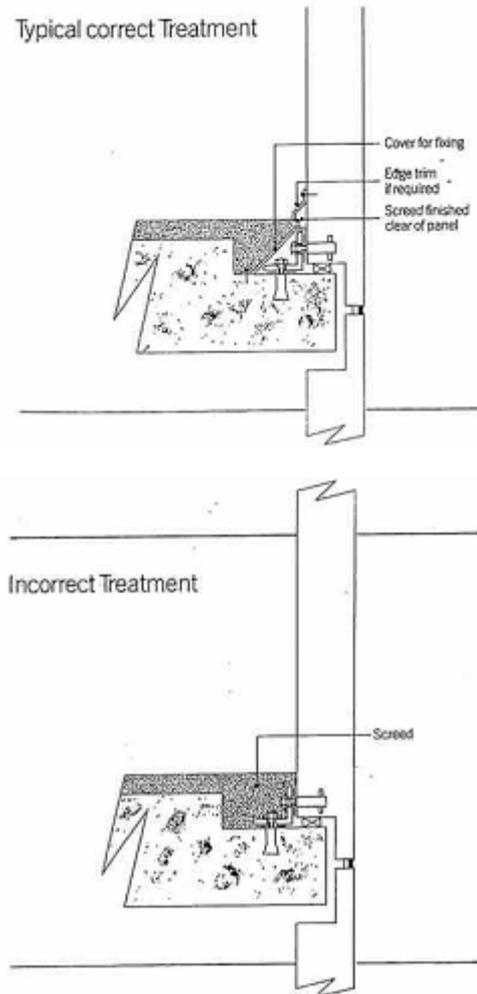


除了提供允许运动支座构件安装位置，详细说明该区域的周围结构，一个 GRC 的组成应确保 GRC 的运动没有限制。一个典型的例子是阻力通过从一楼直接到覆层板后刮板被所提供，它

不仅可能防止自然屈服，但也可能锁定固定构件是否设计成可以使 GRC 运动。

图 7.2.3 (f)

一个 GRC 面板刮板到后面。



在场的其他可阻止运动的部件也应被考虑，采取的步骤，以确保引起阻力。

7.2.4 热绝缘

一段的热量通过结构通常被定义为整体热传递或 U 值。这是在建筑方面最常用的术语，但也适用于任何其他使用被要求的热绝缘的的物件。

结构 U 值取决于厚度和结构材料的热导率。每一层的材料具有厚度 t 米和热导率千瓦/米 $^{\circ}C$ 。

每层材料的热阻值是由 $R = \frac{t}{k}$ m^2C/W 给出和结构的热阻值通过材料热阻值和表面热阻值相加找到。

	Material A $t_a(m)$ $K_a(W/m^{\circ}C)$	B $t_b(m)$ $K_b(W/m^{\circ}C)$	C $t_c(m)$ $K_c(W/m^{\circ}C)$	
Resistances:				
R^1 Surface Res:	$R^2 = \frac{t^a}{K^a}$	$R^3 = \frac{t^b}{K^b}$	$R^4 = \frac{t^c}{K^c}$	R^5 Surface Res:

例如：图所示的 $R_0=R_1+R_2+R_3+R_4+R_5$ 。

U 值是从 $U = \frac{1}{R_0}$ $m^2\text{°C}/W$ 获得。

表面热阻值 R_1 和 R_5 的是取决于许多变数，如粗糙度，温度和整个表面的热流量速度。然而，三个主要的影响值可以充分包括大多数情况。

- (i) 静止空气中 (内部表面) $R=0.123 m^2\text{°C}/W$
- (ii) 风 (外部表面) $R=0.055 m^2\text{°C}/W$
- (iii) 液体 (静止或移动) $R=0 m^2\text{°C}/W$

这个计算方法，U 值可以扩大到任何的物质层，和设计师应该调整的厚度和材料类型，以取得一个合适的 U 值。

表 able 7.2.4

材料	近似密度 Kg/m^3	热导率 $W/m\text{°C}$
GRC	1900/2100	0.5-1.0(视水分含量)
PBAC	400	0.14-0.18(视水分含量)
聚苯乙烯	20-30	0.0037
聚氨酯	40	0.023
酚醛泡沫塑料*	30	0.035
玻璃棉*	12-50	0.035-0.040

*酚醛泡沫塑料和玻璃棉不能被视为结构的填充材料。

不同的结构有不同的 U 值，平均 U 值可从下式获得：

$$\frac{U_1A_1 + U_2A_2 + U_3A_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

U_1, U_2, U_3, \dots 是某部分结构构件的 U 值与表面积 A_1, A_2, A_3, \dots 这是用来顾及这些组合结构中作为边壁或内部肋骨的东西和窗户范围的覆层面板。

7.2.5 裂缝凝结水

冷凝建筑物内部结构是有可能的，同时所用的材料是渗透。这也适用于包括 GRC 在内的建筑，虽然 GRC 的透水性的比其他胶凝材料较弱。裂缝凝结的可能性通过可以一个标准的计算，（参考.3）和材料蒸发率（主要由参考 3 选取）往往与 GRC 相关，被给出在下表格中。

表 7.2.5

材料蒸发量	
材料	蒸发 MNs/gm
天气运动	0
静止天气	5.5
矿棉	
发泡聚苯乙烯	100-600
聚氨酯泡沫塑料	30-1000
混凝土	100
石棉水泥	250-500
纸面石膏板	60
石膏	60
GRC	900-2000
PBAC(Styropor)	200

大部分结构，无论是由意外发生或设计，分散含有不同水蒸汽的压力环境，并因此通过自身

结构受到水蒸汽运动。这是非常重要的，低水蒸汽的压力的一边表面至少作为渗透作为表面上一边高蒸气压力的，以减少水分的风险，建立在建筑业。因此，应尽量避免使用相对少渗水的表面饰面。

7.2.6 防火性能

一种建筑材料的使用，很大程度上取决于它在一系列标准的防火测试的表现。这些标准的防火测试可以分为两类：

- 1、材料本身的测试。
- 2、特定结构防火效果测试。

准确的标准材料性质测试，依赖于国家的关注，但大部分的测试与在英国目前所采用的指定机构的消防标准测试大致相若。

消防测试

表 7.2.6 给出有关章节的第 BS476：“防火测试，建筑材料和结构”（ref.4）的 Cem-FIL GRC 的性能。材料测试，不会受到产品密度，纤维含量或基质组成的影响；在目前水平提供不高于 1 % 有机质的产品，应通过非燃烧测试。

表 7.2.6：

Cem-FIL GRC 的消防性质的例子。

	GRC 结构	非可燃性 BS476 第 4 部分	易燃-表面蔓延 火焰 bs476 第 7 部分	消防蔓延 BS476 part6	结构表面火势蔓延的速度 BS476 第 7 部分	耐火 BS476 第 8 部分			注意事项
						稳定性	完整性	绝缘性	
单一构件	GRC-标准单一-构件 10-15mm 厚	非可燃	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	-	-	-	通过范围广泛的有机表面涂层，可以获得 0 级的评级
	水泥/煤灰/空气新制的 8-15mm 厚 GRC	非可燃	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	2h	2h	-	一个专门制定的消防保护矩阵
	水泥/珍珠岩制作的 8-15mm 厚 GRC	非可燃	Non	P 0	Class 1 Zero Spread	Class 1	2h	2h	低密度产品设计为便于现场切割和钻孔
	单一构件的 GRC 和 and 消防保护	非可燃	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	1h	1h	-	实际程度的阻力，就看厚度和防火类型
组合结构	双层构件的 GRC 板附 上 50mm 的玻璃或矿棉 (最低密度 30 kg/m ³)	非可燃	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	1h Spread	1h	-	这类型的结构不会作组合结构
	GRC 10mm PBA Concrete ⁺ 50mm GRC 10mm	-	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	2h	2h	2h*	*决定结构的消防评级
	GRC 10mm PBA Concrete ⁺ 100mm GRC 10mm	-	p	Class 0	Class 1 Zero Spread	4h	4h	4h*	*+PBA 的混凝土-聚苯乙烯珠骨料混凝土。

测试已在联合王国间管理，根据 1972 出版的 BS476 的一部分，1972 年 8 月的测试，这决定了某一特定结构耐火程度。这次测试有三个标准：

稳定：

在测试中，结构不能崩溃。

完整性：

火焰不可穿透结构。

耐火：

温度在结构保护方面，绝不能上升到超过平均初始温度以上 140deg.c。

一个单一构件的 GRC，不符合耐火标准和水泥/沙子混合标准，将不能保持完整性。为保证单一构件的完整性是有必要使用水泥/煤灰/空气夹带的混合，低密度珍珠岩/水泥混合或类似的混合，去降低密度和增加孔隙度。

水泥/煤灰/空气夹带的混合目前仅用于内部的应用。一个单一 GRC 构件可以提供 1 小时满足所有三个的耐火标准，如果一个合适厚度的耐火绝缘材料，如蛭石/水泥或石膏应用到 GRC。

一个含有轻量级聚苯乙烯珠骨料混凝土（PBAC）核心的组合板表现良好的耐火测试：所有的三个标准很容易达到长达 4 小时。表 7.2.6 表明了结构可以用来实现不同的防火等级。它必须指出的是，根据测试结构第 BS476 的第八部分 1972 年提及到的测试适用于整个结构和因此，联合和固定点，也应该测试。

烟雾生产

因此，目前还没有英国标准或 ISO 测试建筑材料烟雾生产。

GRC 已受到 AMINCO 国家标准局烟密度商会测试（ASTM STP 422-67）。

测试结果	热曝光	
	燃烧	非燃烧
具体的密度平均最高的值 朦胧	4	4
时间 (分钟)	没有达到	没有达到

相比之下，木材产品通常有最高的值：具体光密度区为 150（燃烧）和 300（非燃烧）与朦胧的时间 2 至 8 分钟；聚酯树脂产品的最高的值：具体光密度区为 400 和朦胧的时间 1 至 5 分钟。因此，GRC 的烟雾生产的测试可忽略。

认证

根据 1976 年建筑物规例的第 E15 条（英国），GRC 被列为“一类 O”类。

GRC 在消防办事处委员会规章（1978 年）的附表 8 被列为认可的内层材料。

GRC 符合 ASTM 标准 E73 条“非燃烧材料的基础”所指定的非燃烧要求

7.2.7 噪音缩减量

GRC 吸音的量与表面质量成正比（重量/单位面积）。这将既适用于单一构件和组合结构。如果以增加表面质量和专门吸声系统来要求吸收多于 20-40dBA 的音量一般是不经济。

7.3 安装考虑事项

7.3.1 固定体系

许多类型的固定通常广泛地使用在混凝土，石料，石棉水泥，玻璃钢或钢与 GRC 的直接安装或 GRC 改装。

关于固定组成件的材料使用，GRC 同具体的或者选择的材料是没有什么分别，都可能受到当地法定规范的影响。奥氏体不锈钢和非铁插入是可取的。镀锌低碳钢可使用，但涂层的重量取决于耐久性的要求。无保护的低碳钢不得用于任何情况的安装固定上。不同种金属在任何的地方都可能发生电偶腐蚀。通过使用隔离材料如氯丁橡胶和合成树脂纤维可避免电偶腐蚀。

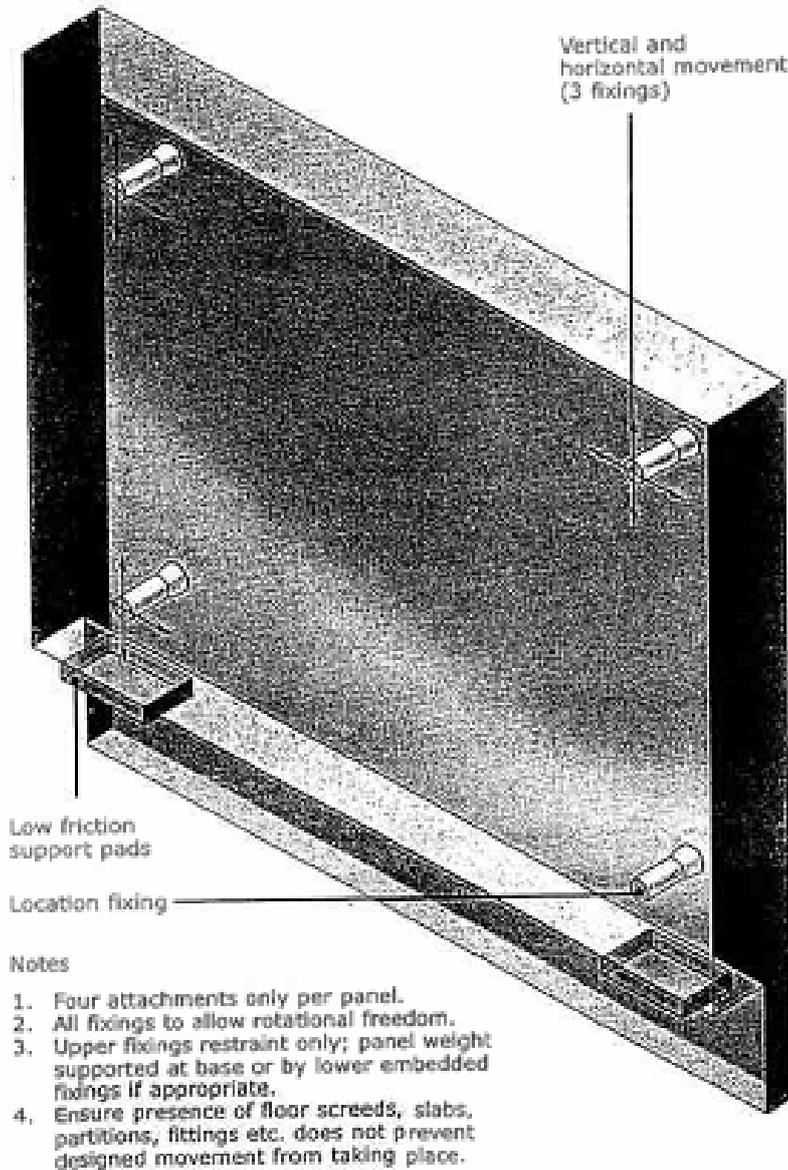
在任何情况下，固定体系可被设计成使力通过固定转移到一个足够大的 GRC 上。例如一块 GRC

使用锚固来封装，或特大型垫圈或板被用来传播的荷载。

固定体系应估及到场地和制造公差，GRC 的热和水分运动，以及结构运动。例如，一个固定可以用来产品定位，而所有其他固定允许让它相对运动。（图 7.3.1 (a) 条）。由于组合结构发生屈服，固定体系不应限制较小的旋转和不应放置在限制弯曲的产品。（第 7.2.3）。

图 7.3.1 (一)

带肋单一构件或组合板固定的一般的原则。



仅提供了一个槽型的洞不可能实现允许的运动，由于螺栓体系可以充分收紧，以消除滑动，在支架上。以下各节显示的各种固定类型允许运动的方法。固定的细节应该确保随后的场地工作，例如：样板是要求让它运动，不容许锁定。

如有可能，产品的重量应从下面予以支撑，因为产品重量会产生压应力，从而使产品留下足够的拉伸强度抵抗受到的负载。

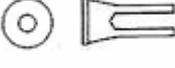
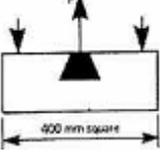
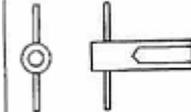
固定规定适用性应被考虑和一个要素从而适用。

一套完整的安装和使用锚固构件（包括螺栓力矩）的说明应在图纸上提供。

封装锚固

这种类型的锚固，包括在支架上的插座，和具体固定中其他主要铸件。

表 7.3.1 某些类型的支架插座的抗拔测试的结果。

类型	说明	典型的测试方法	测试类型	直径	栓	抗拔强度 (KN)		
						长度 mm	38	50
1. 圆锥型种类的套筒。铁和非铁。			“Harris & Edgar” HET 300 Series Aluminium Bronze”	M10 M12 M16		25 30 30	25 50 60	30
2. 带交叉脚锚杆的套筒。铁和非铁。		(同上)	“Harris & Edgar” HET 27 Series	M10 M12 M16	6×50 10×75 10×75	数据不足, 但预计将以类似圆锥型套筒确定		25 50 60
3. 装在塑料的套筒。		(同上)	Fischer BM12	M12				40

当使用固定构件传递较高荷载的时候，固定构件应安装在一个块质量好 GRC 上，固定和边缘的组成部分之间的 GRC 需要具有最低 100 毫米的宽度和最小 50 毫米尺寸。固定领域的细节应方便制造。良好的优质材料，必须使用固定构件的周围。浪费原料是不能接受的。安装在 GRC 上的固定构件的抗拔结果表明：在混凝土上使用的相同安装，会出现类似的结果。允许套筒自由移动的三点建议被表现在图 7.3.1 (b) 为 17.3. (d)，但以任何方式固定，能够允许在平面转换方向，板外的转动和足够的公差是有能力的。

图 7.3.1 (b) 弯曲肋

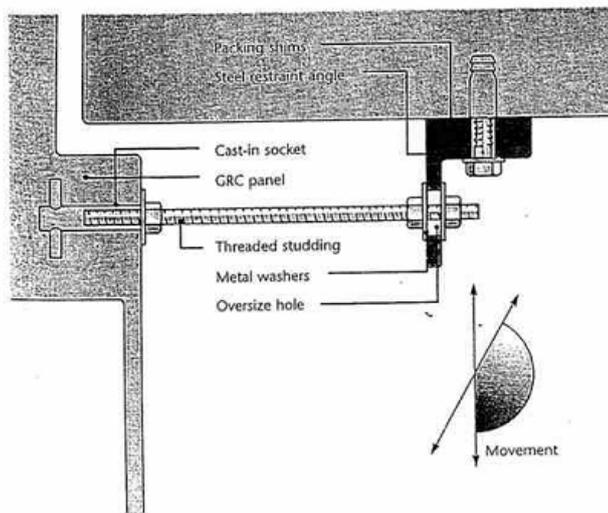


图 7.3.1 (c) 滑动支架

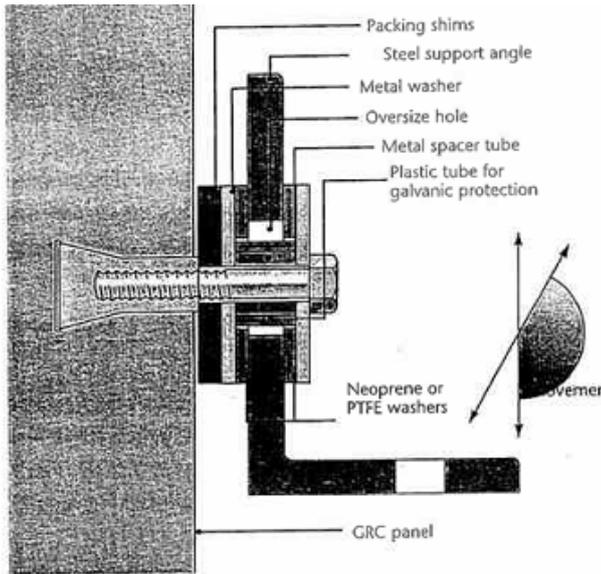


图 7.3.1 (d) 弹性衬套固定

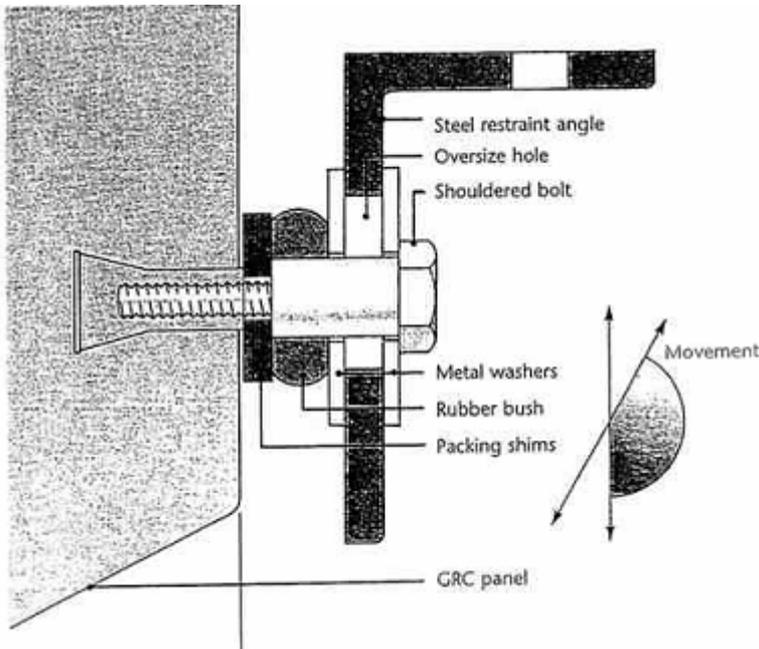


图 7.3.1 (b) 为 7.3.1 (d) 的原则还适用于套线或内部安装构件。

现浇路线固定

如果这些有很好的协调，混凝土面板的负载值可以使用，但 GRC 的组成部分的拉拔试验结果将是可取。

嵌入安装构件

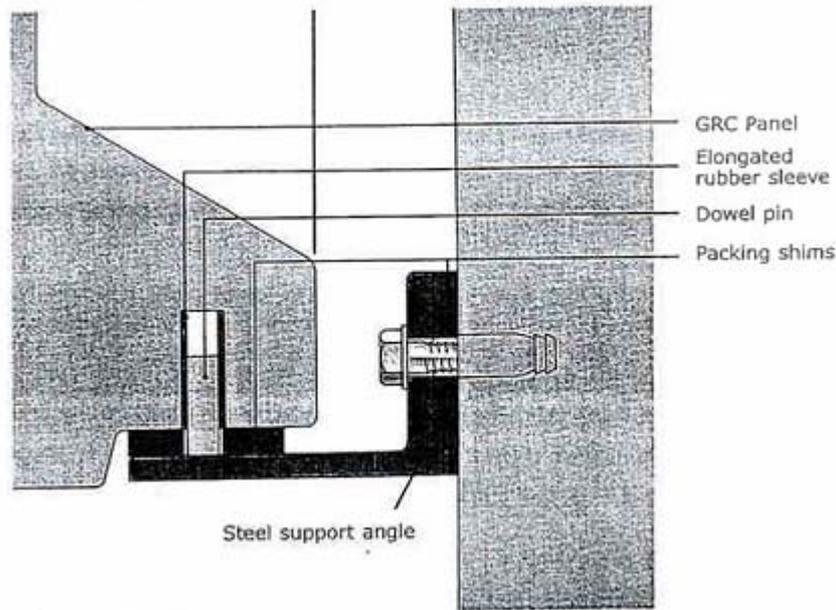
这种类型包括扩大螺栓和化学锚。这些都是不推荐用于 GRC 的重型安装构件，因为存在可变的测试结果。

柱脚或内部板（牛腿）安装

如果细节正确，这个体系能够允许任何的板间的移动和偏移，但在同一时间内给予纾缓侧向力的攻击。这种类型的固定设计成通过 GRC 的墙壁支架传递柱脚剪切力。

图 7.3.1 (e)

柱型固定



玻璃系统

满足玻璃安装的任何体系也要满足 GRC 平板相同的边缘厚度。

A/C 固定

所有石棉水泥安装，可用于固定单一 GRC 构件。应该检查向下的剪应力，。

大型垫圈

通过板的任何形式固定，使用一个通过 GRC 的大型洞和大型垫圈或轴承板去传递负荷，例如钉子，螺丝，螺栓，通俗的铆钉，暗装构件。

垫圈至少应为 5 倍机械固定件的直径，并有足够的厚度 ($>1/16$ 垫圈直径) 有效地传递负荷。测试显示，固定构件设计成通过周边垫圈承受剪应力。如果是用螺栓，收紧转矩应限制，以避免通过歪曲大型垫圈锁定安装。

现浇铁板

这种类型的固定类似现浇垫圈，但有一种螺栓焊接到它。同样的注释应用。

螺钉固定

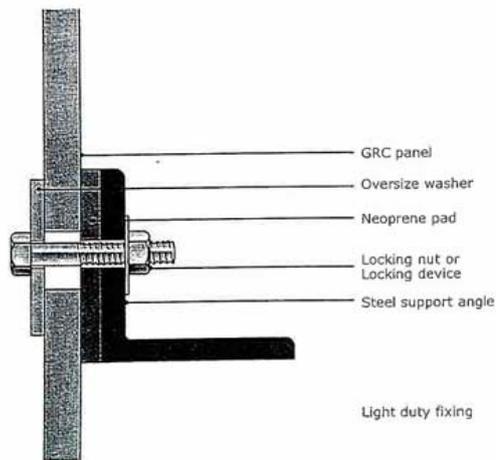
轻微的固定，直接在 GRC 拧紧可以是一个合适的方法抵抗压力，这是可以做到使用：

- (一) 自攻螺钉拧到试验洞。良好的配属关键取决于选择先导孔的直径。
- (二) 螺丝钉到砌体插栓。
- (三) 螺丝钉到现浇塑料插座。木材可以使用，但在铸造和固化的 GRC 间随水分膨胀，随后从 GRC 的周边萎缩。

粘合剂

胶粘剂适合水泥基材料，可用于与 GRC，并获得与其他水泥衬底相似的联结强度。

图 7.3.1 (f) 单一构件安装体系



现浇垫圈

大型垫圈应用注释。

图 7.3.1 (g)

现浇垫圈细节

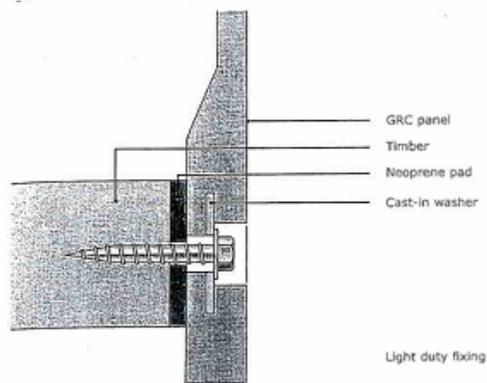
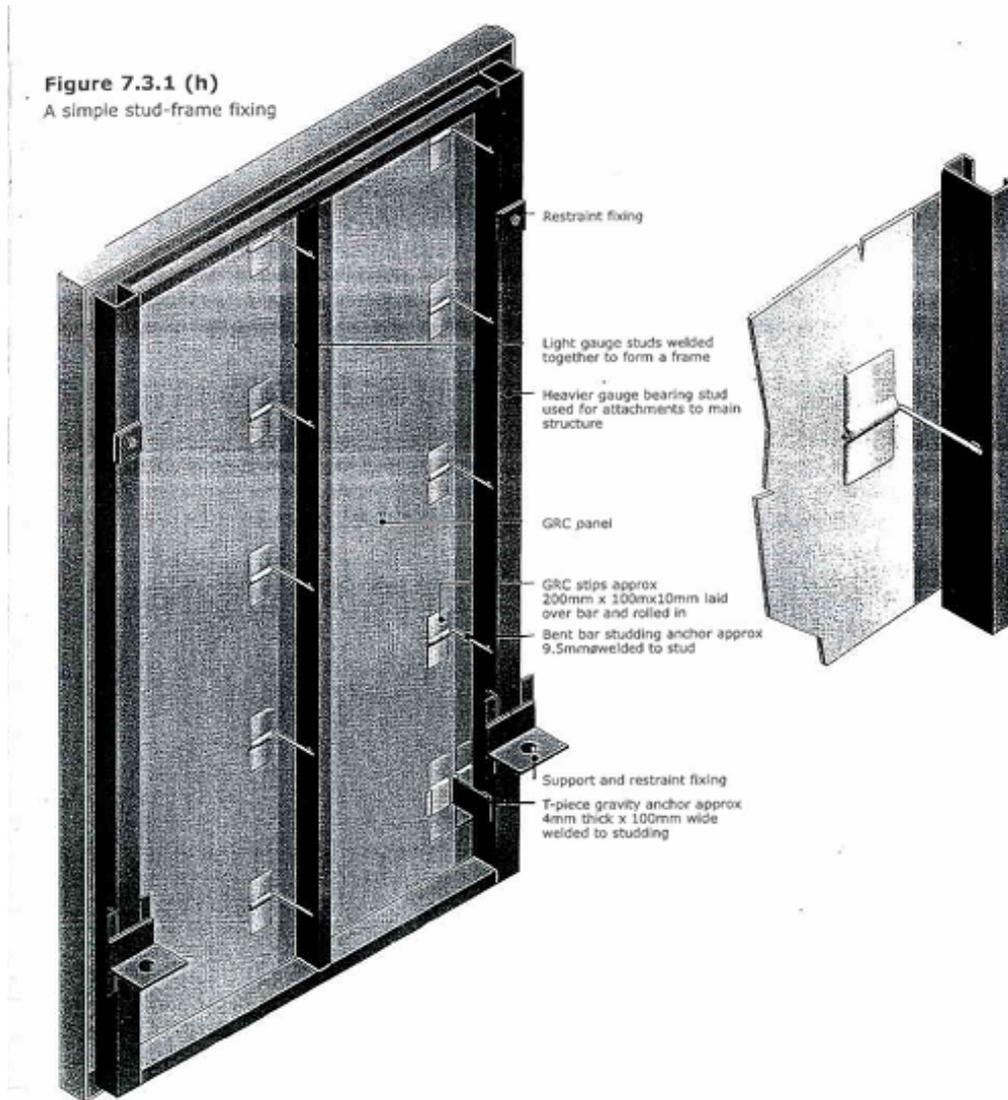


图 7.3.1 (h) 一个简单的内置固定



柱头螺栓框架

通过框架构件上的连接喷雾，单一 GRC 构件板适合附着到一个木材或金属散布的框架。虽然这个体系显然是抵触构件移动的要求，在系统中通常是有足够的灵活性。完整单位的 GRC 和框架通过常规手段连接。散布的锚应在中心位置 600 毫米处。

7.3.2 填料和密封

GRC 构件间的密封连接技术类型于使用在天然石材，混凝土预制件或石棉水泥间的技术。“密封”可以从简单的结合处改变（如波纹板），旨在防止雨水的渗透，挤压结合处，旨在防止大型液体静压压力。实施守则（ref.5）提供一般的指导。

7.3.2.1 密封接头

重叠接合

这种类型的结合应根据现行的石棉水泥或其他薄板材料标准设计。

封口带

两个相邻的 GRC 组件的防水板上翻部分边缘接缝覆盖着反向的另一种物质。基本上这是一种搭接连接，可被视为困难的密封。

7.3.2.2 密封接头

这些类型的连接用来阻止气流通过接缝。所有包括一些防止空气流通的密封连接的方法需要一些

材料，以便与组件两侧始终结合。连接主要通过压力或粘附，但在其他情况下，连接需要在组成部分的相对运动方面加以精心设计，以保持各种条件下的密封。

密封胶

充满密封剂的接缝不需要复杂的边缘细节构造，但表面必须清洁，干燥，根据该密封胶制造商的指示清除浮浆皮和已打的内涂料。密封剂必须灵活，使 GRC 运动和达到预期的连接设计，确保在所有三个方向上设计预期的活动在该密封胶的能力范围内 (ref.6)。例如一个 3 米长的构件，可能会遇到多达 6 毫米的水分运动或热运动。密封剂是现成的，允许有一个 25% 的应变能力，所以允许运动 6 毫米密封剂的宽度须最低 24 毫米。为了保持移动的需要，曾有人建议 (ref.7) 表示，接缝宽度设计为：最低允许移动距离+预计运动，在这种情况下，接缝宽度将是 $24+6=30$ 毫米。

这是非常重要，连接的设计应顾及组件的表面。总计饰面的混合，可多孔，允许水渗透到密封胶的背后，如果安装位置错误，和必须采取措施，确保任意装修面的密封区清除可能会导致粘附的问题 (参考 6)。密封胶应用得当并精心设计的接缝能抗拒静水压力。

图 7.3.2.2 (a)

密封胶连接

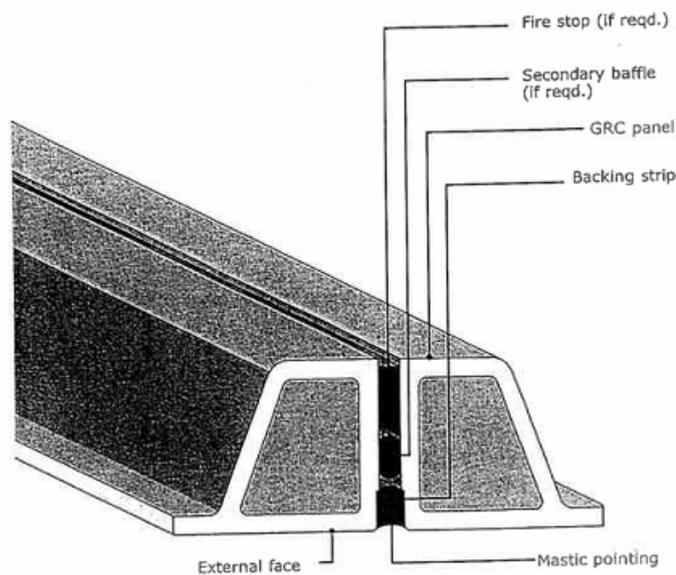
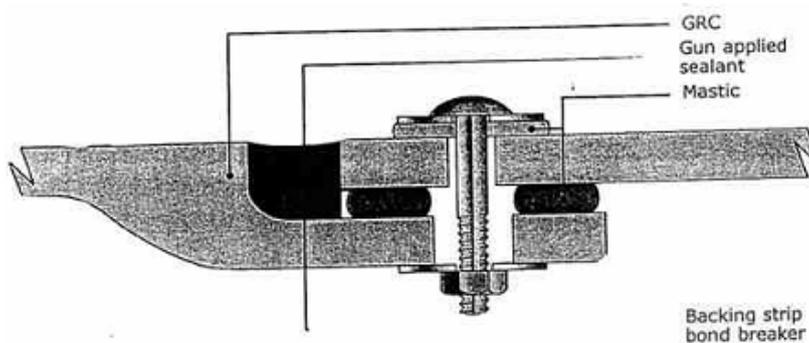


图 7.3.2.2 (b)

密封胶连接



垫圈

垫圈接头不需要复杂的边缘细节构造，但他们匹配的表面必须平坦，精确和缺陷的空间。垫圈依赖于持久的压力，以维持密封剂有效工作，所以设计一个有效的垫片连接必需要求严格的连接允

许量和密切注意 GRC 的热和水分运动。这样一个接缝才能够密封和抵御雨水的渗透。

图 7.3.2.2 (c)

垫片连接

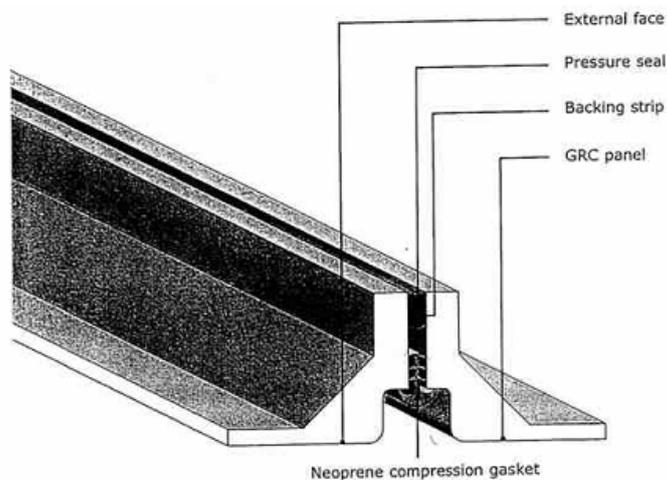
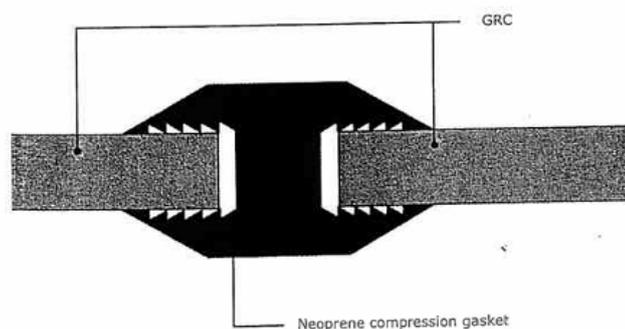


图 7.3.2.2 (d)

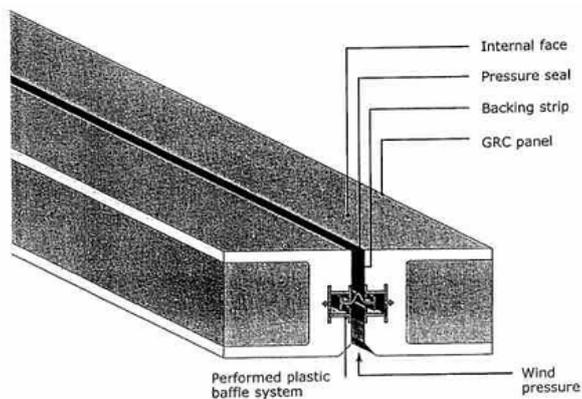
小面积 GRC 平板的垫片连接



明排沟覆盖连接

这种类型的连接是只适合有深边缘迂回墙的厚 GRC。它包括了覆盖的阻止直接风化的密封胶。虽然挡板可以接受相当大的接缝宽度和相对运动的变化，目前的该密封胶设计要求的接缝宽度同密封连接一样。

图 7.3.2.2 (e) 明排沟覆盖连接



压缩接头

这种类型的连接，GRC 的两个凸缘使用它们之间的一层挤压材料拧在一起，只能用在没有预设的连接调度和最低的连接允许值的地方。这种类型的连接能经受相当的静水压力，虽然螺栓周围连

接构造是至关重要的。

7.3.3 移交

解除，储存和运输的 GRC 需制定一些规定。这些规定应在设计阶段被考虑和 GRC 组件应设计成能抵抗移交时产生的力量。这一点在脱模时特别重要，那时 GRC 可以完全修复，并有一个相对较低的强度。在脱模阶段，适当的设计应力值是 1MPa，其中涵盖很多不可测事件。

吊装点，使用框架，无论是在移交和运输，及设计制造妥善储存的支架，可协助在减少过程中遇到的问题移交的选区，特别是大型组件。考虑这些在设计阶段将简化问题，否则可能会产生严重的困难。

7.4 参考

1. Litherland K. L., Oakley D.R. + Proctor B.A., “使用加速老化程序，以预测 GRC 构件的长期强度”。水泥和混凝土的研究，帕加马出版社，1981, Vol. 11, pp 455-466.。
2. BS CP8110, Part 1:1985, “结构混凝土的使用”
3. BS 5250:1975, “建筑设计的基本标准数据：控制内部凝结”。
4. BS 475 “建筑材料和结构的消防测试”。
5. BS 6093:1981, “建筑结构的接缝的设计标准”。
6. C.I.R.I.A./Sealant 制造商会议上, “密封剂的应用手册”，1976 年
7. 建筑研究制定摘要 223。
8. Roark R.J.和 Young W.C., “应力和应变的公式” 5th Edition, McGraw Hill, 1975
9. Allen H.G., “结构组合板的分析与设计”帕加马出版社，1969。