

中华人民共和国行业标准

玻璃纤维增强水泥 (GRC) 建筑应用
技 术 标 准

JGJ/T 423 - 2018

条文说明

编制说明

《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》JGJ/T 423-2018，经住房和城乡建设部2018年2月14日以第1842号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设中玻璃纤维增强水泥（GRC）应用技术的实践经验，同时也调查和参考了国外相关技术、标准等，并通过调查和测试取得了相关重要技术参数。

为便于广大建设、设计、施工、咨询、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《玻璃纤维增强水泥（GRC）建筑应用技术标准》编制组按照章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	89
3	材料	91
3.2	金属材料	91
3.4	其他材料	91
4	建筑设计	92
4.1	一般规定	92
4.2	性能与检测要求	92
4.3	建筑构造设计	94
4.4	GRC 构件的构造与连接设计	95
4.5	防火与防雷设计	102
5	结构设计基本规定	104
5.1	一般规定	104
5.2	材料力学性能	105
5.3	荷载与作用	107
5.4	作用效应组合	110
5.5	连接设计	112
5.6	承载力极限状态设计	115
5.7	抗裂验算	120
5.8	锚固承载力设计	120
6	GRC 平板结构设计	124
6.1	GRC 平板	124
6.2	横梁	125
6.3	立柱	126
7	GRC 带肋板结构设计	129
7.1	面板	129

7.2	加强肋	129
7.3	极限状态设计	129
8	GRC 背附钢架板结构设计	132
8.1	GRC 面板	132
8.2	背附钢架设计	135
9	制作加工	137
9.1	一般规定	137
9.2	GRC 构件制作	137
9.4	检验	137
10	安装施工	139
10.1	一般规定	139
10.3	施工准备	139
10.4	安装施工	139
10.5	安装质量要求	140
11	验收	141
11.2	进场验收	141
11.4	竣工验收	141
12	维修与保养	142
12.1	一般规定	142
12.3	清洗和保养	142

1 总 则

1.0.1 玻璃纤维增强水泥（GRC）外墙板及装饰制品（统称为 GRC 构件）是一种轻质、高强、可造型的新型材料，广泛应用于各类建筑的非承重外墙工程中。就材料本身的特性而言，它最适用的领域是建筑物的外墙。近二十年来该材料在国内外都得到了较大的发展，目前我国生产的 GRC 构件产量和工程应用量居世界之首，每年有数百万平方米的 GRC 构件应用到各类建筑工程上。

《玻璃纤维增强水泥外墙板》JC/T 1057 和《玻璃纤维增强水泥（GRC）装饰制品》JC/T 940 仅对相关产品的生产加工质量控制起到了很好的规范作用，但构件在设计、施工及质量验收等方面无标准可依，导致 GRC 构件坠落、开裂、翘曲等现象发生，严重影响该产品在建筑工程的推广应用。为适应 GRC 构件应用技术的发展及规范该产品的应用，特制定本标准。

1.0.2 本条文规定了本标准的适用范围。

在 GRC 外墙板或装饰制品的生产过程中，由于所用胶凝材料为水泥，其碱性对玻璃纤维有侵蚀作用，因此生产 GRC 外墙板或装饰制品要求使用有较强抗碱能力的耐碱玻璃纤维为主要增强材料；所用水泥主要有硫铝酸盐水泥和硅酸盐水泥。硫铝酸盐水泥碱度较低，对玻璃纤维的侵蚀作用较小，通常把采用硫铝酸盐水泥为胶凝材料，耐碱玻璃纤维为主要增强材料制作 GRC 构件的技术路线称作“双保险”技术路线；采用硅酸盐水泥作为胶凝材料时，因其碱度高对玻璃纤维的侵蚀作用大，除要求增强材料为高铝耐碱玻璃纤维外，还应掺入能与硅酸盐水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应的硅质材料如硅灰、粉煤灰、磨细矿渣或偏高岭土等，以降低其碱度，确保 GRC 的耐久性。

GRC 外墙板或装饰制品虽然不负担主体建筑物的荷载，但其自身要承受风荷载、地震作用和温湿度变化等，设计时要考虑风荷载、地震作用、温度和湿度变化对它产生的影响。

为使 GRC 外墙板或装饰制品在建筑工程中应用具有足够的安全性，应对其材料选用、建筑与结构设计、制作加工、安装施工、验收，以及维修与保养进行规定。

1.0.3 凡国家现行标准中已有明确规定的，本标准原则上不再重复。在材料选用、设计、制作、安装施工及质量验收中除应符合本标准的要求外，尚应满足国家现行有关标准的规定。在采用国内外相关的配套专用技术时，应符合标准化管理的有关规定。

3 材 料

3.2 金 属 材 料

3.2.4 GRC 构件常用的预埋件包括预埋套筒、螺栓或扁钢，钢筋代替预埋件存在较严重的后期安全隐患。

3.4 其 他 材 料

3.4.1 防水性及耐污染性能指标及测试方法参考标准《建筑装饰用天然石材防护剂》JC/T 973-2005 附录 A 和附录 B。

4 建筑设计

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.3 GRC 外墙建筑设计是由建筑设计单位和 GRC 生产施工单位共同完成的。设计单位主要完成 GRC 外墙的立面设计和建筑构造设计；GRC 生产施工单位主要完成 GRC 外墙的具体深化设计工作。

GRC 外墙的空间形状、表面造型、质感、色彩、分格尺寸、建筑构造及接缝等是 GRC 外墙建筑设计的主要内容。上述各要素的设计确定不仅要考虑满足建筑物的使用功能，与周围环境相协调，以及经济适用等基本要求，还应与当前的制造工艺水平相适应；为确保该设计方案实施的安全性和可靠性，其建筑设计还应满足本标准的相应技术要求。

4.1.5 GRC 外墙在长期使用过程中会出现表面被污染及各种因素造成的破坏等，因此设计时应考虑到使用过程中的维护、清洁和必要时进行更换等。

4.2 性能与检测要求

4.2.1 GRC 外墙的性能要求与建筑物的类别、高度及体形有关。如建筑物的性质及重要性不同，对 GRC 外墙的性能要求也不同；还有建筑物高度及体形的不同，对 GRC 外墙的抗风压变形性能要求也会不同。另一方面，GRC 外墙性能要求还与建筑物所在地的地理、气候、环境等条件相关。如沿海或台风多发地区，GRC 外墙的抗风压变形性能和抗雨水渗漏性能要求会比较 高；又如寒冷地区和炎热地区则要求 GRC 外墙的保温隔热性能会更高一些。

4.2.2 GRC 外墙的抗风压性能是指在其风荷载作用下，保持正

常使用功能、不发生任何损坏的能力。GRC 外墙的抗风压性能应根据现行国家标准《建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法》GB/T 15227 所规定的方法确定。

4.2.3 GRC 外墙及其围护结构的气密性能是根据现行国家标准《建筑幕墙空气渗透性能检测方法》GB/T 15226 的规定确定的。GRC 外墙及其围护结构的气密性能是指在风压作用下，阻止空气透过 GRC 外墙及其围护结构的性能。对于由 GRC 构件、空气层、防水隔汽层、保温层及剪力墙（或填充墙）等组成的 GRC 外墙及其围护结构，其 GRC 外墙的气密性不作要求。

4.2.4 GRC 外墙的水密性能应符合设计要求；对于具有水密性能设计要求的 GRC 外墙，其接缝构造、密封材料及施工工艺等应满足相应水密性能指标的设计要求。开放式 GRC 外墙的水密性能不作规定。

4.2.5 GRC 外墙平面内变形，是由于建筑物受风荷载或地震作用后，建筑物各层间发生相对位移时产生的随动变形。这种平面内变形对 GRC 外墙造成的损害不容忽视。GRC 外墙平面内变形性能，应根据是否需要进行抗震设计提出不同要求。地震作用时，近似取主体结构在多遇地震作用下弹性层间位移角限值的 3 倍为控制指标。

根据国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，在风荷载或多遇地震作用下，主体结构楼层最大弹性层间位移角限值如表 1。层间位移角即楼层层间位移与层高的比值。

表 1 楼层弹性层间位移角限值

结构类型	弹性层间位移角限值
钢筋混凝土框架	1/500
钢筋混凝土框架-剪力墙、框架-核心筒、板柱-剪力墙	1/800
钢筋混凝土筒中筒、剪力墙	1/1000
钢筋混凝土框支层	1/1000
多、高层钢结构	1/300

4.2.9 GRC 外墙及其围护结构的隔声性能应根据建筑物的使用功能和环境条件进行设计。不同功能的建筑所允许的噪声等级可根据现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的规定确定。外墙的隔声性能应为室外噪声级和室内允许噪声级之差。

4.2.10 由于抗风压性能是所有 GRC 外墙应具备的基本性能(不含开放式 GRC 外墙),因此是必要检测项目。有抗震要求时,可增加平面内变形性能检测。有保温、隔声等要求时,可增加相应的检测项目。

4.2.12 GRC 外墙性能检测中,由于安装施工的缺陷,使某项性能未达到规定要求的情况时有发生,这种缺陷有可能弥补,故允许对安装施工工艺进行改进,修补缺陷后重新检测,以节省人力、物力,但要求检测报告中说明改进的内容,并在实际工程中,按改进后的安装施工工艺进行施工。由于材料或设计缺陷造成 GRC 外墙性能未达到规定值域时,修改设计或更换材料后重新制作试件,另行检测。

4.3 建筑构造设计

4.3.1 GRC 外墙在安全、实用、绿色、美观的前提下,便于制作安装、维修保养和局部更换是其建筑构造设计的基本要求。

4.3.2 保温材料受潮后,其保温性能会显著下降,所以保温材料应具有防潮性能或采取有效的防潮措施。保温材料的保温性能和防火性能是保温材料的基本性能指标,应按国家现行相关标准的规定设计选用。

4.3.3 接缝宜采用材料防水或材料防水加构造防水的形式,开放式外墙应在保温层外做好防水处理。檐口等凸出部位推荐加装集中排水装置,防止屋面雨水渗入保温层。

4.3.4 在连接部位的摩擦面设置柔性垫片是为了避免 GRC 构件在连接处产生摩擦噪声;对于销槽连接形式,亦可在销槽内采用弹性胶灌注处理。

4.3.5 不同金属相互接触处,易产生双金属腐蚀,所以要求设

置绝缘垫片或采取其他防腐蚀措施。在通常情况下，不锈钢材料不易产生双金属腐蚀，一般不要求设置绝缘垫片。

4.3.6 GRC 外墙的立面分格缝优先考虑设置在建筑阴角、装饰造型阴角和滴水线及便于安装并不影响美观的部位。对于较小的窗洞尺寸，一般采用整板内预留窗洞的方法解决。对于较大尺寸的窗洞，往往按结构位移最小原则分缝。

4.3.7 GRC 构件的接缝应有一定宽度，以满足 GRC 构件的正常变形和位移要求。通常情况下，GRC 构件的接缝宽度可参照下列公式计算：

对于拼接胶缝：

$$W_{\text{b}} = \frac{A}{\delta} + B + C \quad (1)$$

对于开放式接缝：

$$W_{\text{b}} = B + C \quad (2)$$

式中： W_{b} ——接缝宽度（mm）；

A ——GRC 构件在一年内因温湿度变化可能产生的位移量（mm）；

δ ——密封胶的位移能力（%）；

B ——GRC 构件的制造误差，可取 3mm；

C ——考虑地震作用等其他因素影响的预留量（mm），取不小于 2mm。

4.4 GRC 构件的构造与连接设计

4.4.1 为了确保 GRC 平板结构及锚固的安全可靠，同时还考虑到 GRC 平板没有加强肋，易产生变形。为此，本标准参考石材的厚度要求，对 GRC 平板的最小厚度作出了规定。

当前，GRC 平板的安装施工通常是在已完成的结构墙（或填充墙）外侧采用插装的工艺进行 GRC 平板的安装。在这种工况和工艺条件下，GRC 平板采用四点支承并限制板面积为 1m^2 范围是合理的；对于其他安装工况，安装工艺或 GRC 平板的变

形很小的情况下，GRC 平板的支承点数及板面面积可不受上述限制。

4.4.2 实践证明，厚度低于 8mm 的 GRC 板容易产生表面龟裂现象，因此，本标准确定 GRC 构件的板面最小厚度为 10mm。

板的四周宜优先考虑作为加强肋的设置部位，如加强肋不在该位置，则四周应做不小于 30mm 高的反沿，反沿厚度不小于板厚。预埋连接件或安装开槽位置应优先考虑加强肋部位。

4.4.3 在通常情况下，GRC 带肋板的板面尺寸越大，其加强肋的截面尺寸也会越大，其温湿度效应也越大。根据我国 GRC 带肋板大量工程使用的经验并参考相关国际规范的规定，认为 GRC 带肋板板面尺寸不大于 4500mm 时，其板面开裂的风险很小。

GRC 构件存在一个合理的跨高比。当跨高比小于 16 时，GRC 构件可能因层间剪切强度不够而发生破坏；但当跨高比过大时，GRC 构件可能会出现加强肋截面宽度过大而不经济的情形。

4.4.4 为了保证 GRC 构件边缘具有足够抵抗变形的能力，GRC 构件边缘应制作加强肋，加强肋截面尺寸推荐按图 1 设计制作。

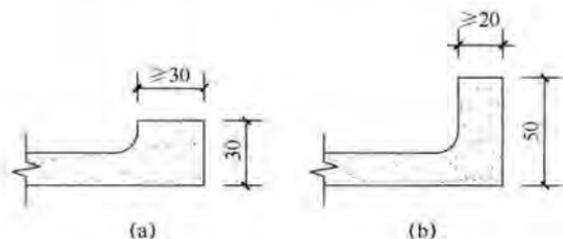


图 1 面板边缘加强肋截面尺寸示意

GRC 材料相对于混凝土而言，具有较显著的湿度效应。因此 GRC 面板与背附钢架间的连接避免采用刚性连接形式，而应采用柔性连接形式。柔性连接推荐按如下构造要求设计：

1 L形柔性锚杆采用热镀锌钢筋或不锈钢材料制作，直径一般为6mm或8mm；

2 柔性锚杆相互平行且水平排列，脚趾方向指向面板几何中线，锚杆脚部上端紧贴钢架竖龙骨靠近面板中线一侧连接(图2)；



图2 柔性锚杆排列方向

3 L形锚杆与面板采用预埋方式锚固。制作时，覆盖在L形锚杆脚部的粘结盘与GRC面板均处于初凝前的塑性状态，工艺上保证两者紧密结合；成型后，L形锚杆根部外露(脚部长度80mm~90mm)，并保证自由旋转；粘结盘尺寸 $a \times b = (160 \sim 180) \text{mm} \times (90 \sim 100) \text{mm}$ ，有效面积一般不小于 160cm^2 ；粘结盘厚度不小于 $1.5h$ (h 为面板厚度)；L形锚杆有效长度 L 不小于100mm；粘结盘表面与背附钢架下表面最小间距不小于13mm(图3)；

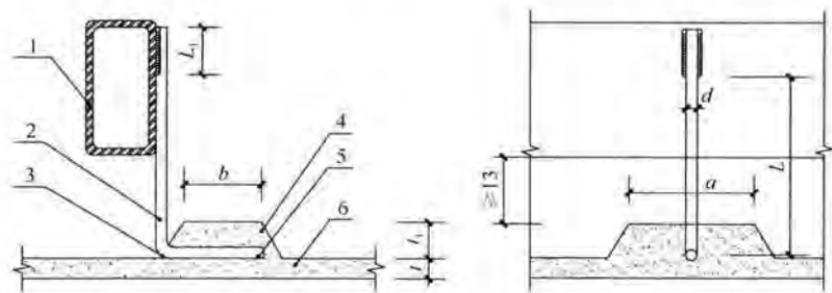


图3 GRC面板与背附钢架间的柔性锚固构造示意

1 钢架；2—L形锚杆；3—脚跟；4—粘结盘；5—脚趾；6—GRC面板

4 L形锚杆与钢架竖龙骨的连接一般采用焊接；但对于有特殊防腐要求或板幅高度很大的面板，亦可采用铰接形式。当采用焊接时，其焊缝长度不小于25mm或按焊缝强度计算确定；

当采用铰接时，铰接中心位于L形锚杆腿部轴线上（图4）。

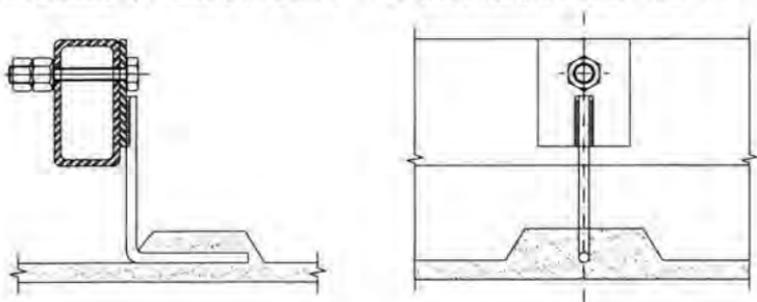
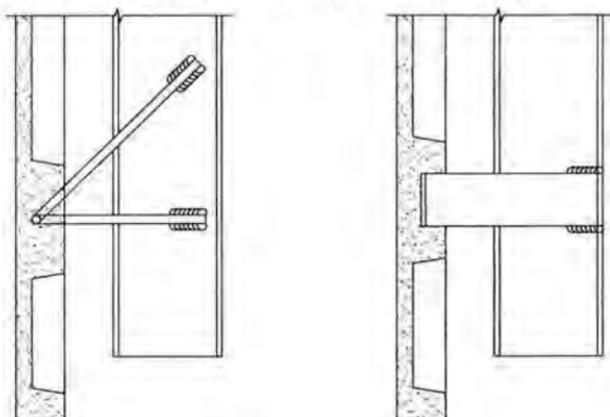


图4 L形锚杆与钢架的铰接构造示意

GRC面板的重力通过重力锚固件传递到钢架上。重力锚固由一对与钢架呈三角形排列的锚杆组成，其结构形式如图5（a）所示；两锚杆的脚部预埋在面板内，其构造要求与柔性锚杆一致；两锚杆的腿上部与钢架连接，其构造要求亦与柔性锚杆与钢架的连接相同。当锚杆重力锚固件受结构尺寸限制时，其重力锚固构造形式也可采用预埋柔性钢板的构造形式，如图5（b）。重力锚固件的数量由结构计算确定，但不少于柔性锚杆的列数；重力锚固件设置于面板底部，且位于同一水平位置。



(a) 预埋成对柔性锚杆组成的重力锚固构造

(b) 预埋柔性扁钢的重力锚固构造

图5 GRC面板重力锚固构造形式示意

4.4.5 抗震锚固构造一般采用呈等腰三角形布置的锚杆结构或采用水平设置的柔性钢板结构形式（图6）。

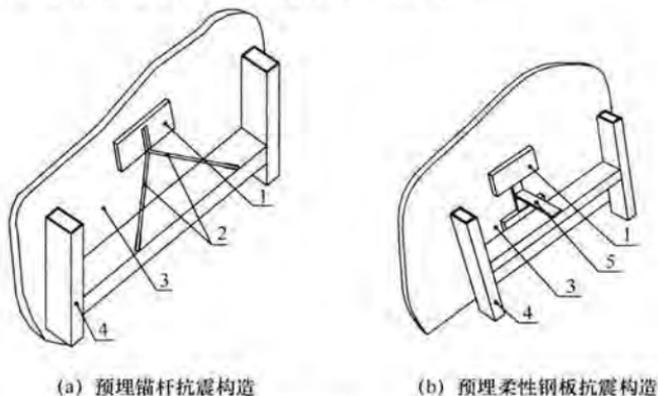


图6 抗震锚固的构造形式示意

1—GRC 粘结盘；2—抗震锚杆；3—GRC 面板；4—背附钢架；5—抗震柔性钢板

4.4.6 柔性连接一方面保证 GRC 构件能将其受到的各种荷载可靠地传递到主体结构上，同时还能使 GRC 构件自身相对于主体结构具有足够相对位移能力，以避免因主体结构变形而承受过大的变形或因 GRC 构件自身变形而产生过大的应力。为满足上述基本要求，GRC 构件与主体结构（或支承结构）可参考采用如图7~图12所示的连接构造形式。

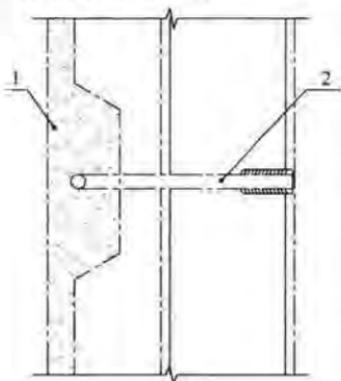


图7 柔性锚杆连接构造形式示意

1—GRC 构件；2—柔性锚杆

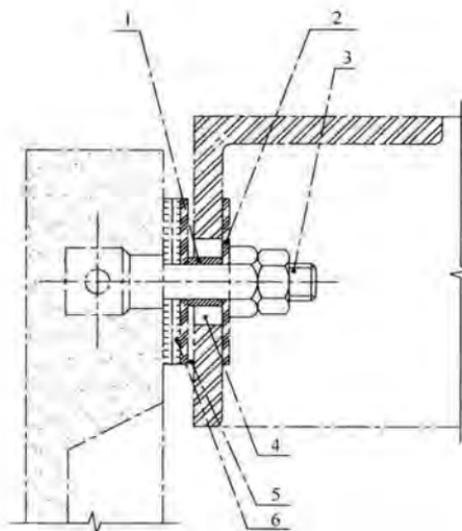


图8 控制间隙的摩擦连接构造形式示意
1—衬管；2—大垫片；3—连接螺杆；4—过大孔
(预留位移)；5—间隙；6—马蹄形垫片

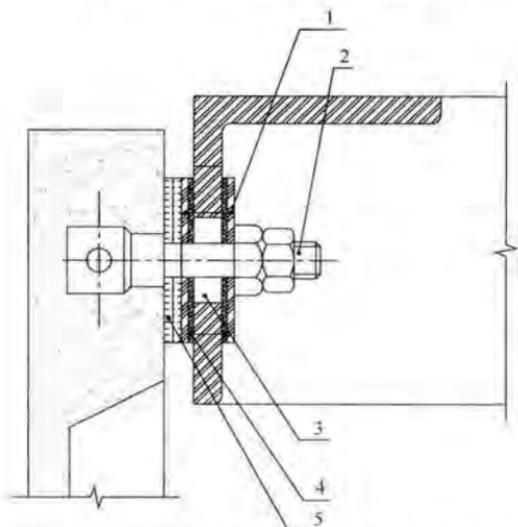


图9 降低摩擦系数的摩擦连接构造形式示意
1—大垫片；2—连接螺杆；3—过大孔(预留位移)；
4—滑移片；5—马蹄形垫片

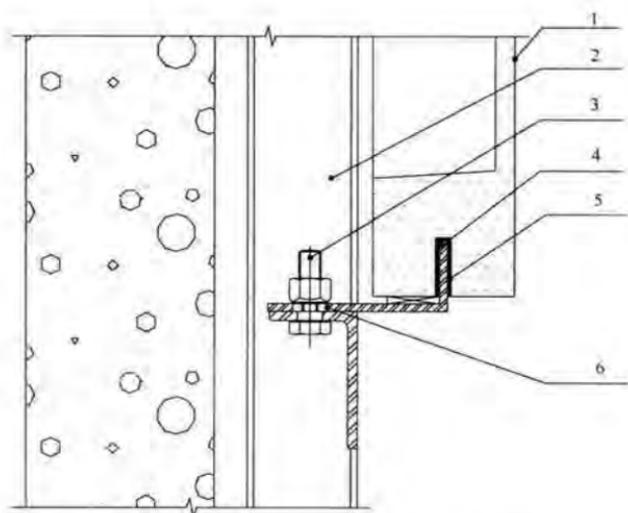


图 10 短槽挂件支承连接构造形式示意

1—GRC 构件；2—立柱；3—螺杆、垫片；4—托件；5—胶粘剂；
6—过大孔（预留位移）

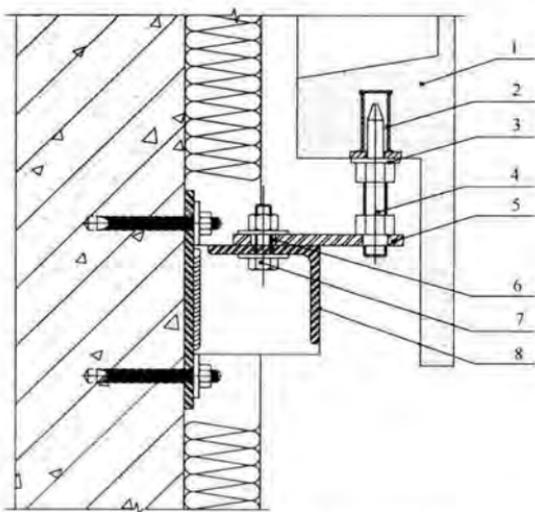


图 11 预埋短槽升降销支承连接构造形式示意

1—GRC 构件；2—短槽预埋件；3—大垫圈；4—升降销；5—托板；
6—长孔（预留位移）；7—热镀锌螺母、螺杆、大垫圈；8—牛腿

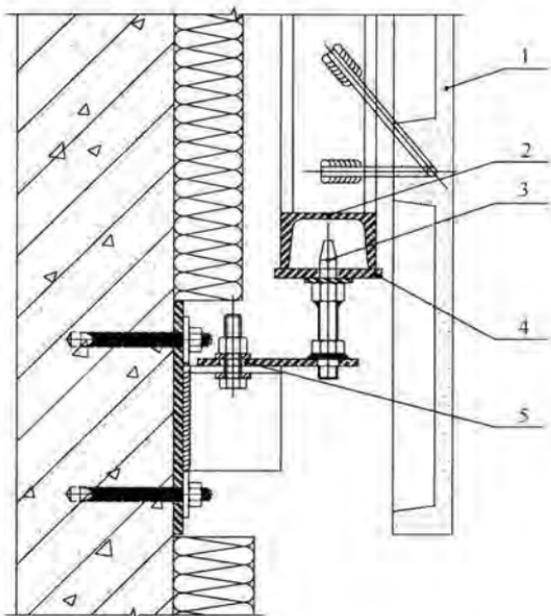


图 12 钢制槽孔升降销支承连接构造形式示意

1—GRC 背附钢架板；2—背附钢架；3—升降销；
4—短槽连接板；5—长孔（预留位移）

4.5 防火与防雷设计

4.5.2 防火封堵是目前建筑设计中应用比较广泛的防火隔烟方法。通过对上述各部位的缝隙填塞不燃材料或由此形成的系统，可达到防止火焰和高温烟气在建筑内部扩散的目的。防火封堵材料或封堵系统应经过国家认可的专业机构进行测试，合格后方可使用。

4.5.3 耐久性、变形能力、稳定性是防火封堵材料或系统的基本要求，应根据缝隙的宽度、缝隙的性质（如是否发生伸缩变形等）、相邻构件材质、周边其他环境因素以及设计要求综合考虑，合理选用。一般而言，缝隙大、伸缩率大、防火等级高，则对防火封堵材料或系统的要求越高。

4.5.4 GRC 外墙工程的防火封堵构造系统有许多有效的做法，但无论何种方法，构成系统的材料都应具备设计规定的耐火性能。

4.5.6 为了避免两个防火分区因 GRC 构件破裂而相通，造成火势迅速蔓延，规定同一 GRC 构件不宜跨越两个防火分区。

5 结构设计基本规定

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 GRC 外墙是建筑物的围护结构，只承受自身重力荷载和作用其上的风荷载、地震作用以及温湿度作用等，不分担主体结构承受的荷载和地震作用。为此，GRC 构件与主体结构间应具有一定的相对位移能力，以免当主体结构因外荷载作用产生变形时，使 GRC 构件产生不能承受的内力和变形。GRC 构件面板厚度通常为 10mm ~ 20mm，一旦出现开裂，极易产生贯穿性裂缝而影响结构的安全度和装饰效果，因此，GRC 构件在正常使用条件下还应有优良的抗裂性。对于抗震设计的 GRC 外墙，在多遇地震作用下，GRC 外墙不允许破坏，应保持完好；在设防烈度地震作用下，GRC 外墙不应有严重破坏，一般允许局部破碎，经修理后可继续使用；在罕遇地震作用下，GRC 外墙必然破坏严重，面板破碎，但骨架不应脱落，倒塌。

5.1.3 在通常情况下，GRC 构件在弹性范围内工作，因此，其内力与变形应按弹性方法分析计算。但对于短期使用的 GRC 构件，当进行承载力设计时，其应力可能在比例极限强度以上的塑性区段，此种情况下，GRC 构件的内力和变形根据具体受力情况，按其他非线性方法分析计算。

GRC 外墙结构设计应区分是否有抗震要求。对于非抗震设防地区，只需考虑风荷载、重力荷载以及温湿度作用；对于抗震设防地区，除考虑上述荷载和作用外，还应考虑地震作用。

5.1.4 GRC 构件在生产和施工阶段如出现过载或产生过大变形，则无法通过安装验收和交付正常使用。因此，对 GRC 构件在生产和施工阶段可能产生的荷载和作用进行分析计算是必要的。一般情况下，在生产阶段应分析计算 GRC 构件的自重荷载

和脱模吸附力作用；在施工阶段，应分析计算 GRC 构件的自重荷载和吊装惯性力作用（或其他施工荷载）。

5.1.6、5.1.7 GRC 外墙应根据实际受力情况分别计算自重荷载、风荷载、地震作用以及温湿度作用。承载力极限状态设计时，应考虑作用效应的基本组合。正常使用极限状态设计时，应考虑作用效应的标准组合，GRC 构件除与其他结构构件一样需进行挠度验算外，还应进行抗裂承载力验算。本标准公式 (5.1.6-1)、公式 (5.1.6-2) 和公式 (5.1.7-1) 分别为承载力设计表达式和抗裂设计表达式的通用形式，作用效应设计值 S 、 S_E 和 S_L 可以是内力，也可以是应力；抗力设计值 R 和 R_L 可以是承载力设计值，也可以是材料强度设计值。

5.1.8、5.1.9 GRC 构件的预埋锚固连接或后锚固连接的安全等级及本标准公式 (5.1.9-1)、公式 (5.1.9-3) 的规定依照国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的有关规定确定。

5.1.10 本标准第 6 章～第 8 章对常用的三种 GRC 外墙板结构设计及验算进行了规定。随着 GRC 外墙的发展，GRC 构件的板形和构造形式会越来越复杂，结构设计的计算工作量也会越来越大，采用有限元法进行计算也是一种选择。

5.2 材料力学性能

5.2.1 钢材主要用于连接件、预埋件和支承钢结构，其计算和设计要求应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行；锚栓材料性能等级及机械性能指标，应根据现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 确定。

5.2.2 不锈钢材料（管材、棒材、型材）主要用于 GRC 外墙的连接件和支承结构，其强度设计值比照钢结构的安全度略有增大，总安全系数约为 1.6。

5.2.3 铝合金型材的强度设计值根据《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003 的规定按下式计算：

$$f_d = \frac{f_{ak}}{K_2} = \frac{f_{ak}}{1.286} \quad (3)$$

铝型材的强度标准值 f_{ak} ，一般取为 $\sigma_{10}, 2.0$ 或 $\sigma_{10}, 2$ 指铝材有 0.2% 残余变形时所对应的应力值，即铝型材的条件屈服强度。 $\sigma_{10}, 2$ 可按现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237 的规定取用。

5.2.6 GRC 材料与其他传统材料一样，其强度具有变异性，一般采用标准值来表示，其值的大小按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定，采用概率分布的 0.05 分位值确定（图 13）。当前，国际上也广泛采用该分位值来确定 GRC 材料的强度标准值。另一方面，在正常生产管理条件下，GRC 材料强度标准值的大小又受生产工艺和材料配比控制。针对 GRC 强度的上述变化特点，也为了科学合理地解决 GRC 材料强度标准值的确定方法，当前国际上一般采用实验方法或通过制定 GRC 材料强度等级的方法来确定 GRC 材料强度标准值。

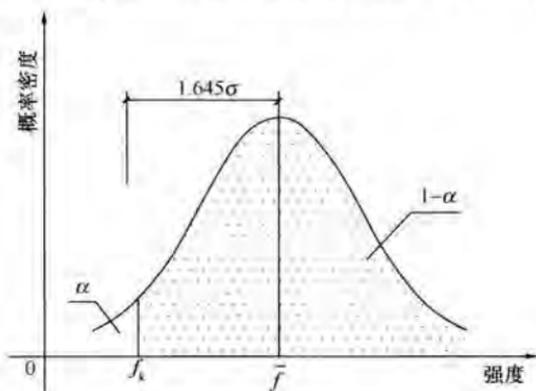


图 13 可靠性分析

如美国预制/预应力混凝土（PCI）协会编制的《GFRC 推荐性规范》规定采用实验方法即通过 20 组 GRC 试件经试验实测得到的强度数据，按数理统计方法计算确定 GRC 材料的强度标准值。

又如国际 GRCA 协会 (GRCA) 编制的《GRC 实用设计指南》规定将 GRC 材料的强度标准值的变化范围按三个强度等级划分, 其各项性能指标 (标准值) 如表 2 所示; 在 GRC 构件的设计过程中, 设计师只需根据经验按表 2 选定的强度等级对应的强度指标 (标准值) 作为设计计算依据即可。

表 2 GRC 板的强度等级

等级	5	10 或 10P	18 或 18P
LOP 特征值 (N/mm ²)	5	6	7
MOR 特征值 (N/mm ²)	5	10	18
“上部 MOR/底部 MOR” 比值	0.8~1.25		
最小重力密度 (kg/m ³)			
干	1800	1800	1800
湿	2000	2000	2000

显然, 国际 GRCA 编制的《GRC 实用设计指南》规定的采用强度等级的方法对于设计计算来说更为快捷方便。

为此, 本标准确定采用强度等级的方法来划分 GRC 材料的强度值变化范围。本标准表 5.2.6 中的强度等级及性能指标, 系根据我国本行业的具体情况 & GRC 的应用技术水平并经实验验证后确定的。

5.2.7 本标准公式 (5.2.7-1) 和公式 (5.2.7-2) 系根据国际 GRCA 编制的《GRC 实用设计指南》规定的经验公式确定。

5.3 荷载与作用

5.3.2 GRC 构件用于建筑物的围护结构, 作用其上的风荷载按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 关于围护结构风荷载计算公式的规定进行计算。

基本风压 w_0 是根据全国各气象台站历年的最大风速记录, 将不同风速仪高度和时次时距的年最大风速统一换算为离地 10m 高, 10min 平均年最大风速数据, 根据该风速数据统计分析确定

重现期为 50 年的最大风速，作为当地的基本风速，再按以下贝努利公式计算得到：

$$w_0 = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad (4)$$

风荷载高度的变化由风压高度变化系数描述，其值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定。

局部风压体形系数是考虑建筑物表面风压分布不均匀而导致局部部位的风压超过全表面平均风压的实际情况作出的调整，局部风压体形系数按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定。

计算围护结构风荷载时的阵风系数应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定。

5.3.3 GRC 外墙多用于造型独特，立面多变的个性化建筑，风荷载在这些复杂多变的墙面上的分布与一般墙面相比有较大差异，这种墙面的风荷载体形系数不能统一给定。因此，当主体结构通过风洞试验决定体形系数时，GRC 外墙风荷载计算通常采用该体形系数。

对于高度大于 200m 的 GRC 外墙工程，当没有可靠参照依据时，宜采用风洞试验确定其风荷载取值。

5.3.4、5.3.5 常遇地震（大约 50 年一遇）作用下，GRC 外墙的地震作用采用简化的等效静力方法计算，地震影响系数最大值按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定。考虑到 GRC 构件的长期使用性能，为使设防烈度下不产生破坏伤人，考虑动力放大系数 β_E 。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关非结构构件的地震作用计算规定，GRC 外墙结构的地震作用动力放大系数可表示为：

$$\beta_E = \gamma \xi_1 \xi_2 \quad (5)$$

式中： γ ——非结构构件功能系数，可取 1.4；

ξ_1 ——非结构构件类别系数，可取 0.9；

ξ_2 ——体系或构件的状态系数，可取 2.0；

ξ_2 ——位置系数，可取 2.0。

按照公式 (5) 计算，GRC 外墙结构地震作用动力放大系数 β_E 约为 5.0。

5.3.6 GRC 外墙的支承结构，如横梁、立柱、桁架等，其自身重力荷载产生的地震作用标准值，参照本标准第 5.3.4 条和第 5.3.5 条的原则进行计算。

5.3.7、5.3.8 GRC 构件与石材相比，尽管两者的线膨胀系数相近，但由于 GRC 构件的干湿变形明显大于石材，且其幅面尺寸可能是石材的几倍甚至十几倍；再加上 GRC 构件自身的构造也远较石材复杂，因而，仅仅像石材那样采用构造措施解决 GRC 构件的温湿度效应是不够的。为此，本标准采用了国外相应设计方法，即将 GRC 构件可能产生的温湿度效应进行估算，并纳入基本组合或标准组合。

由于 GRC 构件的实际使用工况复杂，目前国际上尚未建立关于 GRC 构件温湿度效应的经验计算公式。本标准表 5.3.7 和表 5.3.8 系根据国际 GRCA 编制的《GRC 实用设计指南》的相关规定采用。其中，表 5.3.7 和表 5.3.8 分别表示 GRC 构件随环境变化产生的温度应力变化范围和干湿应力变化范围。

表 5.3.7 中温度梯度系指 GRC 板与主体结构或支承结构间的温度梯度， σ_{te} 系指表示一定温度梯度条件下 GRC 构件内产生的温度应力范围。当板的几何尺寸小，且连接节点位移阻力小时，一般取较小值；当板的几何尺寸大，且连接节点位移阻力大时，一般取较大值。

表 5.3.8 中，当设计使用年限为短期时，GRC 构件的干湿应力较大，其干湿应力宜取该表第二列中的相应数值范围；而在长期使用条件下，GRC 板经长期干湿交替作用后，其干湿应力已大幅度降低，因而，其干湿应力宜取该表第三列相应数值范围。对于干湿应力的取值，当板的几何尺寸小，连接节点位移阻力小时，取较小值；当板的几何尺寸大，连接节点位移阻力大时，取较大值。

5.4 作用效应组合

5.4.1~5.4.5 在对 GRC 构件进行承载力极限状态设计计算时,作用在 GRC 构件上的自重荷载、风荷载、地震作用以及温湿度作用的组合值计算,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定进行计算。

GRC 构件广泛用于个性化的建筑,其安装倾角(即 GRC 构件外表面与水平面间的夹角)可能是任意角度。为了满足不同安装倾角 GRC 构件的作用效应计算,本标准公式(5.4.1-1)和公式(5.4.1-2)中的重力荷载和地震作用可分别采用垂直于 GRC 构件板面方向的相应分量来代替。则公式(5.4.1-1)和公式(5.4.1-2)可合并为如下公式:

$$S = \gamma_G S_{Gk} \cos\theta + \psi_W \gamma_W S_{Wk} + \psi_E \gamma_E S_{Ek} \sin\theta + \psi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMk} \quad (6)$$

式中: θ ——GRC 构件安装倾角。

对于竖直安装的 GRC 构件, $\theta = 90^\circ$,公式(6)可简化为:

$$S = \psi_W \gamma_W S_{Wk} + \psi_E \gamma_E S_{Ek} + \psi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMk} \quad (7)$$

对于水平倒挂的 GRC 构件, $\theta = 0^\circ$,公式(6)可简化为:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} + \psi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMk} \quad (8)$$

对于水平安装的 GRC 构件, $\theta = 180^\circ$,公式(6)可简化为:

$$S = -\gamma_G S_{Gk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} + \psi_{TM} \gamma_{TM} S_{TMk} \quad (9)$$

公式(9)仅仅是作用效应组合值计算的一般内力表达式,式中第一项中的负号仅表示重力荷载的方向与风荷载作用方向相反,此种情形下,自重荷载对结构是有利的。为安全起见,现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定,其自重荷载分项系数取 1.0,不考虑负号的影响。

作用于 GRC 构件上的风荷载、地震作用、温湿度作用,同时到达最大值的可能性极小。因此,在进行作用效应组合时,第一项可变作用效应按 100%考虑(组合值系数取 1.0),第二项和第三项可变作用效应应适当折减。为此,本标准根据我国现行行业标准《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133 的规定,对本

标准公式(5.4.1-1)和公式(5.4.1-2)中的第一、第二、第三可变荷载组合值系数分别规定为1.0、0.6和0.2。

GRC构件的自重是经常作用的永久荷载,所有的基本组合情况中都包括此项。但在计算永久荷载作用效应时,其参与组合的可变荷载仅限于竖向荷载;GRC构件的自重一般小于 $1.0\text{kN}/\text{m}^2$,明显低于风荷载,因此通常情况下是风荷载作用效应起控制作用。在此种情况下,《建筑结构荷载规范》GB 50009规定:永久荷载分项系数 γ_G ,当对结构有利时取1.0(该情形适用于水平安装的情况);当对结构不利时取1.2(该情形适用于水平倒挂的情况)。极少出现永久荷载效应起控制作用的情形。当然,当此情形出现时,永久荷载分项系数 γ_G 取1.35。

对于水平安装的GRC构件,通常情况下,GRC构件自重荷载与风荷载的效应组合值应大于GRC构件自重荷载与雪荷载效应的组合值,因此,本节没有考虑雪荷载(或施工荷载)参与组合的情况。但在极个别地区和特定条件下出现上述相反的情形时,则应考虑雪荷载效应参加基本组合。

5.4.6 GRC构件按正常使用极限状态进行抗裂验算。在正常使用情况下,GRC构件主要承受重力荷载、风荷载和温湿度作用。根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009的规定,上述荷载与作用效应组合值应按标准组合计算。

对于GRC竖直外墙,由于风荷载与重力荷载相互垂直,因此,在验算GRC构件的抗裂性时,仅需按风荷载和温湿度作用考虑对其抗裂性的影响。

对于倾斜安装的GRC外墙,当风荷载方向向上时,因GRC构件重力荷载沿垂直于板面方向分量的方向向下对结构是有利的;另一方面,我国现行建筑幕墙规范规定风荷载设计值不低于 $1.0\text{kN}/\text{m}^2$,而GRC构件的自重一般均小于 $1.0\text{kN}/\text{m}^2$,因此,在此种情形下,为计算偏于安全起见,在计算GRC构件的抗裂性时,不考虑重力荷载对结构的有利影响,其荷载设计值采用风荷载与温湿度作用的标准组合。反之,当风荷载方向向下时,则

风荷载与 GRC 构件重力荷载沿垂直于板面方向分量的方向相同，此种情形下，在计算 GRC 构件的抗裂性时，其荷载设计值应采用自重荷载、风荷载以及温湿度作用的标准组合。

5.4.7 考虑到 GRC 构件的温湿度作用效应对其挠度无明显影响，故对于 GRC 构件及其支承结构的挠度计算，仅需考虑自重荷载和风荷载的影响即可。自重荷载与风荷载的作用效应按标准组合，其组合值计算与抗裂荷载组合值计算相同（但不考虑温湿度作用效应参与组合）。

5.5 连接设计

5.5.1 GRC 外墙的连接及与主体结构的锚固可靠，其承载力通过计算或实物试验予以确认，并要留有余地，防止偶然因素产生突然破坏。连接件与主体结构的锚固承载力大于连接件本身的承载力，任何情况不允许发生锚固破坏。但对于 GRC 构件与预埋件的锚固而言，由于 GRC 构件的截面尺寸小，其锚固承载力远小于主体结构的锚固承载力，因此，不要求其锚固承载力也大于预埋件或连接件自身的承载力。

安装 GRC 构件的主体结构要具备承受 GRC 外墙传递的各种作用的能力，主体结构设计时充分加以考虑。

主体结构为混凝土结构时，其混凝土强度等级直接关系到锚固件工作的可靠性，除加强混凝土施工的工程质量管理外，对混凝土的最低强度等级要有相应的要求。为了保证与主体结构的连接可靠性，连接部位主体结构混凝土强度等级通常不低于 C20。

5.5.2 GRC 外墙横梁与立柱的连接，立柱与锚固件或主体结构钢梁、钢材的连接，通常通过螺栓、焊缝或铆钉实现，现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 对上述连接均作了规定。同时受拉、受剪的螺栓进行螺栓的抗拉、抗剪设计；螺纹连接的公差配合及构造符合有关标准的规定。

为防止偶然因素的影响而使连接破坏，每个连接部位的受力螺栓、铆钉等，至少需要布置 2 个。

5.5.3 GRC 材料的抗压强度高，而抗拉强度较低，特别是 GRC 材料老化后，其极限抗拉强度仅为抗压强度的 1/10 左右，因此，将 GRC 构件支承于其下部连接节点上可充分利用 GRC 构件抗压强度高的特点，对确保 GRC 的安全度是有利的。从这一点来讲，GRC 构件与钢筋混凝土预制构件的安装要求是一致的。当然，如果 GRC 构件受安装条件的限制，其自重需支承于 GRC 构件的上部连接节点上时，为确保 GRC 构件的安全度，对 GRC 构件进行受拉承载力验算和抗裂验算是必要的。

5.5.4 GRC 外墙立柱截面较小，处于受压工作状态时受力不利，因此通常将其设计成轴心受拉或偏心受拉构件。立柱通常采用圆孔铰接节点在上端悬挂，采用长圆孔或椭圆孔与下端连接，形成吊挂受力状态。

5.5.5 GRC 外墙构件与混凝土结构的连接，通常通过预埋件实现，预埋件的锚固钢筋是锚固作用的主要来源，混凝土对锚固钢筋的粘结力是决定性的。因此预埋件在混凝土浇筑前埋入，施工时混凝土振捣密实。

5.5.6 附录 C 对混凝土主体结构预埋件设计作了一般规定。对于预埋件的要求，主要依据有关研究成果和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010。

1 承受剪力的预埋件，其受剪承载力与混凝土强度等级、锚固面积、直径等有关。在保证锚固长度和锚筋到埋件边缘距离的前提下，根据试验提出了半理论、半经验的公式，并考虑锚筋排数、锚筋直径对受剪承载力的影响；

2 承受法向拉力的预埋件，钢板弯曲变形时，锚筋不仅单独承受拉力，还承受钢板弯曲变形引起的内剪力，使锚筋处于复合应力状态，在计算公式中引入锚板弯曲变形的折减系数；

3 承受弯矩的预埋件，试验表明其受压区合力点往往超过受压区边排筋以外，为方便和安全考虑，受弯力臂取外排锚筋中心线之间的距离，并在计算公式中引入锚筋排数对力臂的折减系数；

4 承受拉力和剪力或拉力和弯矩的预埋件，根据试验结果，其承载力均取线性相关关系；

5 承受剪力和弯矩的预埋件，根据试验结果，当 $V/V_{\text{ult}} > 0.7$ 时，取剪弯承载力线性相关；当 $V/V_{\text{ult}} \leq 0.7$ 时，取受剪承载力与受弯承载力不相关。这里， V_{ult} 为预埋件单独承受受剪力作用时的受剪承载力；

6 当轴力 $N < 0.5f_c A$ 时，近似取 $M - 0.4NZ = 0$ 作为受压剪承载力与受压弯剪承载力计算的界限条件。本标准公式 (C.0.1-3) 中系数 0.3 是与压力有关的系数，与试验结果比较，其取值是偏于安全的。

承受法向拉力和弯矩的预埋件，其锚筋截面面积计算公式中拉力项的抗力均乘以系数 0.8，是考虑到预埋件的重要性、受力复杂性而采取提高其安全储备的折减系数。

直锚筋和弯折锚筋同时作用时，取总剪力中扣除直锚筋所能承担的剪力，作为弯折锚筋所承受的剪力，据此计算其截面面积：

$$A_{\text{sh}} \geq 1.4 \frac{V}{f_y} - 1.25\alpha_y A_s \quad (10)$$

根据国外有关规范和国内对钢与混凝土组合结构中弯折锚筋的试验研究表明，弯折锚筋的弯折角度对受剪承载力影响不大。同时，考虑构造等原因，控制弯折角度在 $15^\circ \sim 45^\circ$ 之间。当不设置直锚筋或直锚筋仅按构造设置时，在计算中不予以考虑，取 $A_s = 0$ 。

这里规定的预埋件基本构造要求，是把满足常用的预埋件作为目标，计算公式也是根据这些基本构造要求建立的。

在进行锚筋面积 A_s 计算时，假定锚筋充分发挥了作用，应力达到其强度设计值 f_y 。要使锚筋应力达到 f_y 而不滑移、拔出，就要有足够的锚固长度，锚固长度 l_a 与钢筋形式、混凝土强度、钢材品种有关，按本标准公式 (C.0.5) 计算。有时由于 l_a 的数值过大，在预埋件中采用有困难，此时可采用低应力设计

方法，即增加锚筋面积、降低锚筋实际应力，从而减小锚固长度，但通常不小于 15 倍钢筋直径。

5.5.9 砌体结构平面外承载能力低，难以直接进行连接，所以考虑增设混凝土结构或钢结构连接构件。轻质隔墙承载力和变形能力低，避免作为外墙的支承结构。

5.6 承载力极限状态设计

5.6.1 根据现行国家标准《建筑结构设计可靠度设计统一标准》GB 50068 及本标准第 5.1.6 条的要求，GRC 构件承载力极限状态设计计算的应力表达式用下式描述：

$$\gamma_0 \sigma \leq \frac{f_{PMk}}{\gamma_m} \quad (11)$$

式中： σ ——GRC 构件应力设计值 (N/mm^2)；

f_{PMk} ——GRC 构件强度抗弯标准值 (N/mm^2)；

γ_m ——GRC 材料分项系数；

γ_0 ——结构重要性系数。

考虑到 GRC 材料的强度具有随时间变化而变化的特点，具体来说，GRC 材料的比例极限强度随时间变化略有增长，但抗弯强度随时间变化明显下降并逐渐接近比例极限强度（图 14）。

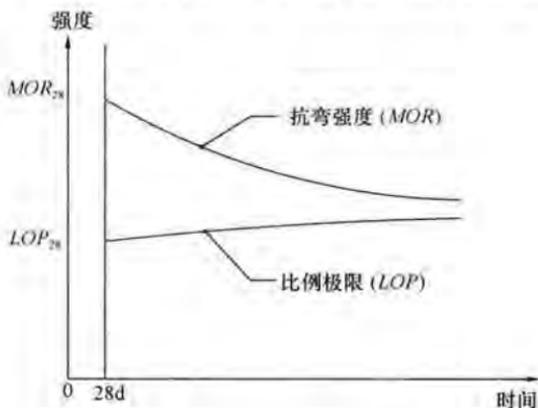


图 14 GRC 抗弯强度随时间的变化规律

根据图 14 的变化规律, 引入 GRC 强度衰减系数 K 的概念, 如本标准公式 (5.6.1-2), 则老化后的 GRC 构件与标准龄期 GRC 构件的抗弯强度的关系如下式:

$$f_{\text{PAMk}} = Kf_{\text{PMk}} \quad (12)$$

式中: f_{PAMk} ——老化后 GRC 构件抗弯强度标准值 (N/mm^2)。

另一方面, 老化后的 GRC 材料与混凝土一样具有随板厚增加而出现抗弯性能下降的特点。为此, 通常采用标准厚度 (10mm) 的矩形 GRC 板 (即 GRC 标准试件) 所测得的抗弯性能 (抗弯强度或比例极限强度) 标准值作为 GRC 构件的抗弯性能基本值, 再通过引入 GRC 标准试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b 进行调整, 则公式 (12) 变为:

$$f_{\text{PAMk}} = \frac{Kf_{\text{Mk}}}{\gamma_b} \quad (13)$$

将公式 (11) 中的 f_{PMk} 采用 f_{PAMk} 代替后, 将公式 (13) 代入, 不难得到老化后 GRC 构件承载力极限状态设计计算的应力表达式如本标准公式 (5.6.1-1) 所示。

由于 GRC 老化后的抗弯强度值大于其比例极限强度, 因此, 当缺乏老化试验数据时, 出于偏于安全的考虑, 本标准公式 (5.6.1-1) 可改写为公式 (5.6.1-3)。

关于本标准公式 (5.6.1-1) 的几点讨论:

1 将本标准公式 (5.6.1-1) 与国际上 GRC 承载力极限状态设计计算公式进行对比, 其应力表达式的内容与形式均基本一致。

如美国预制/预应力混凝土协会 (PCI) 编制的《GFRC 板推荐性规范》(以下简称美标) 关于 GRC 构件承载力极限状态设计计算公式为:

$$\sigma \leq \phi S f_k \quad (14)$$

式中： σ ——荷载与作用效应产生的截面应力设计值（N/mm²）；
 ϕ ——材料折减系数，取 0.75；
 S ——GRC 构件截面形状系数，对于矩形实心截面取 1.0；
 对于凸缘、工字形、箱形截面取 0.5；
 f_k ——GRC 标准试件经老化后测得的具有 99% 强度保留率的抗弯强度特征值。

将式 (14) 进行适当变换，令 $\phi = \frac{1}{\gamma_m}$ ， $S = \frac{1}{\gamma_b}$ ，则得到与公式 (5.6.1-1) 类似的应力表达式，如下式：

$$\sigma \leq \frac{f_k}{\gamma_m \gamma_b} \quad (15)$$

式中： γ_m ——材料安全系数，当 $\phi = 0.75$ 时， $\gamma_m = 1.333$ ；
 γ_b ——GRC 试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数，对于矩形实心截面：当 $S = 1$ 时， $\gamma_b = 1$ ；对于凸缘、工字形、箱形截面：当 $S = 0.5$ 时， $\gamma_b = 2$ 。

又如国际 GRCA 编制的《GRC 实用设计指南》（因该规范主要采用欧洲标准，故以下简称欧标）规定 GRC 构件的承载力设计计算公式也与公式 (5.6.1-1) 的形式一致，如下式：

$$\gamma_0 \sigma \leq \frac{f_{Mk}}{\gamma'_m \gamma_b \gamma_{iv}} \quad (16)$$

式中： σ ——荷载与作用产生的截面应力设计值；
 f_{Mk} ——GRC 标准试件抗弯强度标准值；
 γ'_m ——材料安全系数（含材料老化后强度衰减的影响），按表 3 确定；
 γ_b ——GRC 标准试件与 GRC 构件的抗弯性能差异系数，可根据板厚 h 按表 4 确定；
 γ_0 ——结构重要性系数，通常取 1.0；对于某些特殊工程，取 1.0~1.5；
 γ_{iv} ——GRC 构件板厚变化系数，取 1.0~1.2。

表3 材料安全系数

混合料	长期暴露		28d~90d (短期)
	室外自然条件	室内	
标准 GRC (砂灰比 1:1)	3~3.5	2.5~3	1.7~2.2

表4 GRC 标准试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b

构造	单层					夹芯结构		
	板厚 h	6~10	12~16	20	40	60	100	200
γ_b	1.0	1.05	1.08	1.15	1.2	1.25	1.37	1.5

2 GRC 标准试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b 的取值:

由于美标公式 (14) 中的形状系数 s 或公式 (15) 中抗弯性能差异系数 γ_b 的取值没有考虑 GRC 老化后对其矩形截面取值的影响, 未能真实地反映不同截面厚度的 GRC 老化后的强度变化规律, 因此, 本标准不予采用。

欧标公式 (16) 考虑了 GRC 标准试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b 受材料老化的影响, 真实反映了 γ_b 随板厚变化而变化的规律。故本标准规定 GRC 标准试件与 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b 采用欧标的数值 (见表 4)。

3 GRC 材料分项系数 γ_m 取值, 主要按如下几方面考虑确定:

- 1) 根据美标公式 (15) 的规定, γ_m 取 1.33, 但考虑到该公式中的 GRC 标准试件的抗弯强度标准值的强度保留率为 99%, 当其将强度保留率折算至我国规范规定的 95% 强度保留率时, γ_m 的值应有所增加;
- 2) 欧标公式 (16) 规定在室外自然条件下, GRC 材料分项系数 γ'_m , 当考虑 GRC 标准试件老化后强度衰减的影响后, 其值为 3~3.5。另一方面, 欧标还规定, 18 级

GRC 构件的比例极限强度标准值不应小于 $7\text{N}/\text{mm}^2$ ，据此，可以推算出 GRC 构件的强度衰减系数 K 的最小值应为：

$$K = \frac{\text{MOR}_A}{\text{MOR}_E} \approx \frac{\text{LOP}_{28}}{\text{MOR}_{28}} = \frac{7}{18} = 0.3889 \quad (17)$$

另外，欧标公式 (16) 还考虑了 GRC 构件厚度系数 γ_w （其平均值为 1.1）的影响。综合上述因素，GRC 材料分项系数 γ_m 取值应为：

$$\begin{aligned} \gamma_m &= \gamma'_m \cdot K \cdot \gamma_w \\ &= (3 \sim 3.5) \times 0.3889 \times 1.1 \\ &= 1.28 \sim 1.49 \end{aligned} \quad (18)$$

3) 现行国家标准《混凝土结构设计规范》规定混凝土材料的分项系数 γ_m 取 1.4。

根据上述几方面分析考虑，确定本标准 GRC 材料分项系数 γ_m 取 1.4。

5.6.2 根据本标准的规定，GRC 标准试件与 GRC 矩形截面构件抗弯性能差异系数 γ_b 的取值按国际 GRC 协会编制的《GRC 实用设计指南》确定，如本标准表 5.6.2-1。对于 GRC 标准试件与倒 L 形，箱形带翼缘等异形截面 GRC 构件抗弯性能差异系数 γ_b ，考虑到 GRC 标准试件与 GRC 矩形截面构件抗弯性能差异系数 γ_b 随板厚 h 的变化规律实质上是随板截面中性轴到受拉区边缘距离 e 的变化而变化，且 $h=2e$ ，据此，其取值为本标准表 5.6.2-1 板厚 h 一栏中的数值除以 2 后得到，如本标准表 5.6.2-2。

5.6.3 由于 GRC 受温湿度作用产生的应力属于轴力，因此，GRC 构件的强度设计值采用抗拉强度 f_{Auk} 作为 GRC 材料强度的代表值。考虑到 GRC 材料老化后，其抗拉强度下降并接近抗拉初裂强度 f_{Ik} ，当缺乏老化试验数据时，出于偏于安全的考虑，采用 f_{Ik} 代替 f_{Auk} 。

5.7 抗裂验算

5.7.1 GRC 构件的抗裂验算是正常使用极限状态设计的基本内容，重要性远大于挠度验算。其主要原因是 GRC 构件的抗拉初裂强度较低，而另一方面，GRC 构件大多限制在弹性范围工作，其变形较小，一般不会超过本标准规定的挠度限值。

根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，对于正常使用极限状态设计，GRC 构件受重力荷载，风荷载和温湿度作用按标准组合计算其应力设计值。

GRC 材料抗裂分项系数 γ_g ，系根据国际 GRCA 协会编制的《GRC 实用设计指南》的规定取 1.8。

5.7.2 由于温湿度作用控制的标准组合以轴力为主，GRC 构件的强度代表值采用抗拉初裂强度 f_{tk} 。

5.8 锚固承载力设计

5.8.1~5.8.5 GRC 构件承受的各种荷载通过自身与预埋件间的锚固连接传递到主体结构上，可见，GRC 构件与预埋件间的锚固承载力对 GRC 结构的安全性来说是非常重要的。因此，GRC 构件的锚固承载力设计是 GRC 结构设计的重要组成部分。

通常，GRC 构件在锚固处的主要内力形式为：锚固受拉、锚固受剪和锚固拉剪复合受力等几种形式。锚固承载力的设计计算也主要是围绕这几种内力形式进行。

GRC 构件的锚固破坏形式也是多种多样的，且锚固破坏形式的改变，可显著改变 GRC 构件的锚固承载力。在通常情况下，一般通过一定的制作工艺、技术手段和构造设计来避免出现锚固承载力较低或不易计算、不易控制的锚固破坏形式出现。而对于可控的或锚固承载力较大的破坏形式，则是设计希望出现的锚固破坏形式。为了说明这个问题，以下仅以 L 形柔性锚杆的锚固受拉和预埋螺母受拉、受剪出现的破坏形式加以说明。

1 L 形柔性锚杆的破坏形式（图 15）

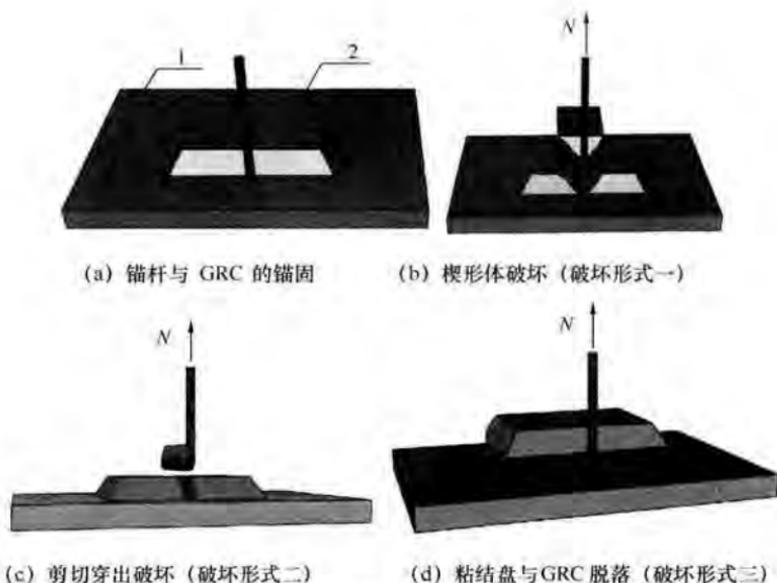


图 15 L 形柔性锚杆锚固破坏形式示意

1—GRC 板；2—粘结盘

L 形柔性锚杆的锚固受拉破坏形式主要表现为楔形体破坏 (图 15b)，剪切穿出破坏 (图 15c) 和粘结盘脱落破坏 (图 15d) 等三种形式。在这三种破坏形式中，剪切穿出破坏与粘结盘脱落破坏的锚固受拉承载力很低，因此，锚固设计时要避免出现上述两种破坏形式发生。对于剪切穿出破坏，通过控制粘结盘的厚度等构造措施来消除剪切穿出破坏形式的发生；对于粘结盘脱落破坏，没有相应的构造措施，只能对制造工艺提出必要的工艺要求来解决。对于楔形体破坏，锚固承载力较高，是希望的破坏形式。

2 预埋螺母 (或后锚锚栓) 的锚固破坏形式

预埋螺母 (或后锚锚栓) 受拉时主要出现锥体受拉破坏 (图 16a) 和劈裂破坏 (图 16b) 两种形式。其中，锥体受拉破坏承载力高，是希望的破坏形式；而劈裂破坏一般发生在后锚固锚栓预紧力较大或预埋螺母 (或后锚锚栓) 离构件边缘距离过小所致，其受拉承载力较低，在设计时应通过构造设计或结构计算避

免发生这种破坏。

预埋螺母（或后锚锚栓）锚固受剪时会发生边缘楔形体受剪破坏（图 16c）和剪撬破坏（图 16d）。其中，边缘楔形体受剪破坏，承载力大，是正常的受剪破坏形式；而剪撬破坏一般发生在粗短锚栓埋设深度较浅的情形，其承载力较低，锚固受剪设计应避免这种破坏形式发生。通常，剪撬破坏形式可通过结构计算避免发生。

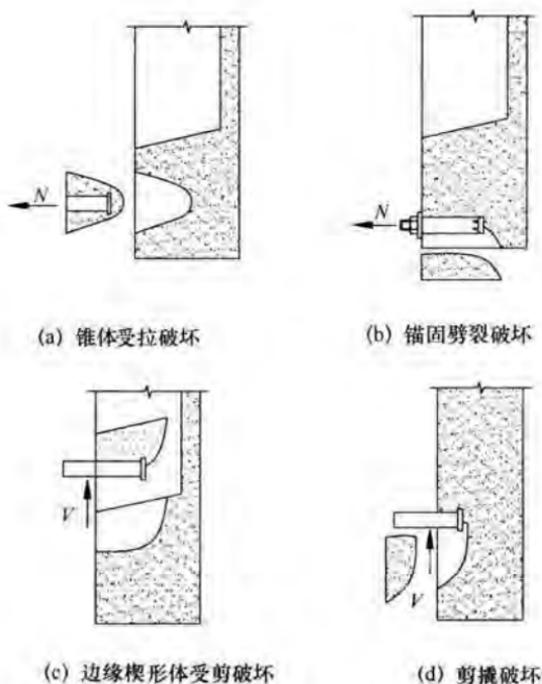


图 16 预埋螺母（或后锚锚栓）破坏形式示意

GRC 构件锚固承载力设计计算公式及锚固承载力分项系数，系根据 GRC 构件可能发生的锚固破坏形式及构件的类型、所使用的条件等按现行标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定确定。

5.8.7 GRC 背附钢架板的面板与柔性锚杆、及 GRC 平板与预

埋件（或后锚锚件）的锚固承载力推荐通过实验方法确定，其锚固承载力标准值根据样品试验实测得到的承载力数据，按美国 PCI 编制的《GFRC 板推荐性规范》规定的数理统计方法计算确定，但其概率分布的分位值为 0.05。 $t_{\alpha}(n-1)$ 为根据置信度 $1-\alpha$ 和样本容量 n 按学生氏函数确定的统计值。

5.8.8 GRC 带肋板的锚固承载力采用实验实测方法确定比较困难，通常采用现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 规定的相关公式计算确定。

6 GRC 平板结构设计

6.1 GRC 平板

6.1.1 GRC 构件在弹性范围工作, 其挠度值一般小于板厚, 因此本标准公式 (6.1.1) 完全满足四点支承 GRC 矩形平板的应力计算。

6.1.2 GRC 平板的板幅尺寸一般较小, 通过采用柔性连接的构造设计后, 产生的温湿度应力较小, 其值参照本标准表 5.3.7 和表 5.3.8 取较小值。

6.1.3、6.1.4 为了保证 GRC 平板的结构安全及其正常使用, 须对其进行承载力验算、抗裂验算和挠度验算。由于 GRC 平板的安装倾角可能会大于或小于 90° 。因此, 在进行荷载组合时, 重力荷载标准值采用其沿垂直于板面方向的分量代替。

为了便于设计操作, GRC 平板的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行:

1 承载力验算:

- 1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本标准第 5.4.1 条~第 5.4.5 条的规定进行组合, 并计算其应力设计值;
- 2) 对于风荷载控制的基本组合, 其应力设计值按本标准第 5.6.1 条验算;
- 3) 对于温湿度效应控制的基本组合, 其应力设计值按本标准第 5.6.3 条验算。

2 抗裂验算:

- 1) 对各种荷载和作用计算的截面应力标准值按本标准第 5.4.6 条的规定进行组合, 并计算其应力设计值;
- 2) 对于风荷载控制的标准组合, 其应力设计值按本标准

第 5.7.1 条验算；

3) 对于温湿度效应控制的标准组合，其应力设计值按本标准第 5.7.2 条验算。

6.1.5 GRC 平板的幅面尺寸较小，重量较轻，一般只需对锚固受拉承载力进行验算即可。GRC 平板的锚固形式主要有：预埋螺母、后锚锚栓及后置挂件等几种。对于上述几种锚固形式的锚固受拉承载力标准值通常采用实验方法确定；当缺乏锚固承载力实验数据时，参照本标准第 5.8.8 条的规定进行计算。

6.2 横 梁

6.2.1 受弯薄壁金属梁的截面存在局部稳定问题，为防止产生压应力区的局部屈服，通常可用下列方法之一加以控制：1) 规定最小壁厚 t_{\min} 和规定最大宽厚比；2) 对抗压强度设计值或允许应力予以降低。

本标准中，GRC 外墙横梁与立柱设计，采用前一种控制方法。

1 最小壁厚

我国现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 规定薄壁型钢受力构件壁厚不宜小于 2mm。现行国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237 规定用于幕墙的铝型材最小壁厚为 3mm。

通常横梁跨度较小，相应的应力也较小，因此本条规定小跨度（跨度不大于 1.2m）的铝型材横梁截面最小厚度为 2.0mm，其余情况下截面受力部分厚度不小于 2.5mm。

为了保证直接受力螺纹连接的可靠性，防止自攻螺钉拉脱，受力连接时，在采用螺纹直接连接的局部，铝型材厚度不小于螺钉的公称直径。

钢材防腐蚀能力较低，横梁型钢的壁厚一般不小于 2.5mm，并且本标准明确必要时预留腐蚀厚度。

2 最大宽厚比

型材杆件相邻两纵边之间的平板部分称为板件。一纵边与其他板件相连接，另一纵边为自由的板件，称为截面的自由挑出部位；两纵边均与其他板件相连接的板件，称为截面的双侧加劲部位。板件的宽厚比通常不超过一定限值，以保证截面受压时保持局部稳定性。截面中不符合宽厚比限值的部分，在计算截面特性时不予考虑。

弹性薄板在均匀受压下的稳定临界应力由下式计算：

$$\sigma_{cr} = \beta \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b_0^2} \quad (19)$$

式中： E ——弹性模量；

t ——截面厚度；

ν ——泊松比；

b_0 ——截面宽度；

β ——弹性屈服系数，自由挑出部位（边界条件视为三边简支、一边自由）取 0.425，双侧加劲部位（边界条件视为四边简支）取 4.0。

由上式可得到型材截面的宽厚比要求，即：

$$\frac{b_0}{t} \leq \pi \sqrt{\frac{\beta E}{12(1-\nu^2)f}} \quad (20)$$

式中： f ——型材强度设计值。

本条表 6.2.1 即由公式 (20) 计算得出。

6.2.4 横梁为双向受弯构件，竖向弯矩由面板自重和横梁自重产生；水平方向弯矩由风荷载和地震作用产生。由于横梁跨度小、刚度较大，一般情况不再进行整体稳定验算。

6.2.5 本条公式为材料力学中梁的抗剪计算公式。

6.2.7 GRC 构件的安装倾角可能是任何角度，因此，本条所述的风荷载标准值和重力荷载标准值均是指沿垂直于板面方向或沿平行于板面方向的相应分量。

6.3 立 柱

6.3.1 立柱截面主要受力部分厚度的最小值，主要是参照现行

国家标准《铝合金建筑型材》GB/T 5237 中关于幕墙用型材最小厚度为 3mm 的规定。对于闭口箱形截面，由于有较好的抵抗局部失稳的性能，可以采用较小的壁厚，因此允许采用最小壁厚为 2.5mm 的型材。

钢型材的耐腐蚀性较弱，最小壁厚取为 3.0mm。

偏心受压的立柱很少，因其受力较为不利，立柱一般不设计成受压构件。当遇到立柱受压情况时，需要考虑局部稳定的要求，对截面的宽厚比加以控制，与本标准第 6.2.1 条的相应要求一致。

6.3.3 GRC 外墙在平面内应有一定的活动能力，以适应主体结构的侧移。立柱每层设活动接头后，就可以使立柱有上下活动的可能，从而使 GRC 外墙在自身平面内能有变形能力。此外，活动接头的间隙，还要满足立柱的温度变形、立柱安装施工的误差及主体结构承受竖向荷载后的轴向压缩变形等要求；

综合以上考虑，上柱与下柱接头空隙一般不小于 15mm。

6.3.4~6.3.6 立柱自下而上是全长贯通的，每层之间通过滑动接头连接。这一接头可以承受水平剪力，但只有当芯柱的惯性矩与外柱相同或较大且插入足够深度时，才能认为是连续的，否则按铰接考虑。

因此大多数实际工程，按铰接多跨梁来进行立柱的计算。现在已有专门的计算软件，通过考虑自下而上各层的层高、支承状况和水平荷载的不同数值，计算各截面的弯矩、剪力和挠度，作为选用铝型材的设计依据，比较准确。

对于某些 GRC 外墙承包商来说，目前设计还采用手算方式，按有关结构设计手册查出弯矩和挠度系数。

每层两个支承点时，通常按铰接多跨梁计算，求得较准确的内力和挠度。但按铰接多跨梁计算需要相应的计算机软件，所以，手算时通常近似按双跨梁考虑。

6.3.7 一般情况下，立柱不设计成偏心受压构件，按偏心受拉构件进行截面设计。因此，在连接设计时，通常将柱的上端挂在

主体结构上。

6.3.8 考虑到在某些情况下可能有偏心受压立柱，因此本条列出偏心受压柱的稳定验算公式。本公式引自现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017。

弯矩作用平面内的轴心受压稳定系数 φ ，钢型材按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定，铝型材按现行国家标准《铝合金结构设计规范》GB 50429 确定。

6.3.9 本条规定依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017。

7 GRC 带肋板结构设计

7.1 面 板

7.1.1~7.1.3 GRC 带肋板由面板和加强肋组成。结构计算时，为方便起见，一般将面板与加强肋拆分后分别进行计算。

对于 GRC 面板的设计计算，首先根据面板与加强肋间的约束关系确定计算简图。一般情况下，GRC 面板在边肋处可发生转动，因而面板在边肋处受到的约束可视为简支；而 GRC 面板在中肋处不能发生转动，故面板在中肋处受到的约束视为固定。

对于单向板设计，本标准公式 (7.1.2-1) 和 (7.1.2-2) 系根据上述约束情况，按弹性方法确定。但在实际设计计算中，有可能出现其他的计算简图，在此情形下，面板的应力计算需根据实际的计算简图按弹性方法确定。

对于双向板设计，本标准公式 (7.1.3) 系按弹性方法分析确定，其中，弯矩系数根据约束状态查附录 D 确定。

7.2 加 强 肋

7.2.2 在计算加强肋的截面应力时，考虑到面板与加强肋是共同受力的，因此，加强肋的计算截面为带翼缘的截面（见本标准图 7.2.2），其有效翼缘宽度 b_f 按美国 PCI 编制的《GFRC 推荐性规范》确定为 $24h$ (h 为板厚)。

7.3 极限状态设计

7.3.1 为保证 GRC 带肋板的结构安全，分别对 GRC 面板和加强肋进行承载力验算，即作用于 GRC 面板或加强肋上自重荷载、风荷载、地震作用及温湿度作用等按基本组合分别计算的截面应力设计值不大于 GRC 面板或 GRC 加强肋的抗弯强度设计

值或抗拉强度设计值。

GRC 带肋板是一种非对称的结构且板截面尺寸大，具有较大的温湿度作用效应；而过大的温湿度作用效应也必然降低 GRC 构件的承载能力。因此，对 GRC 带肋板的设计，需适当控制 GRC 带肋板的板幅尺寸，使之不产生过大的温湿度效应。根据实际经验，GRC 带肋板板面尺寸小于 4.5m 时，在正常柔性连接条件下，其温湿度作用效应值不会超过本标准表 5.3.7 和表 5.3.8 中的数值。

GRC 带肋板的温湿度效应较大，其板面容易产生裂缝现象。因而，其抗裂性验算非常重要。抗裂验算时，分别对 GRC 面板和加强肋所受到的各种荷载按标准组合计算其截面应力，并使其截面应力设计值不大于 GRC 面板和加强肋的比例极限强度设计值或抗拉初裂强度设计值。

为了便于设计操作，GRC 面板和加强肋的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行：

1 承载力验算：

- 1) 对各种荷载和作用产生的截面应力标准值按本标准第 5.4.1 条～第 5.4.5 条的规定进行组合，并分别计算面板和加强肋的应力设计值；
- 2) 对于风荷载控制的基本组合，面板和加强肋的应力设计值按本标准第 5.6.1 条验算；
- 3) 对于温湿度效应控制的基本组合，面板和加强肋的应力设计值按本标准第 5.6.3 条验算。

2 抗裂验算：

- 1) 对各种荷载和作用产生的截面应力标准值按本标准第 5.4.6 条的规定进行组合，并分别计算面板和加强肋的应力设计值；
- 2) 对于风荷载控制的标准组合，面板和加强肋的应力设计值按本标准第 5.7.1 条验算；
- 3) 对于温湿度效应控制的标准组合，面板和加强肋的应

力设计值按本标准第 5.7.2 条验算。

7.3.2 GRC 带肋板截面尺寸大，而工作应力较 GRC 平板和 GRC 背附钢架板更低，因此其挠度值很小。面板与加强肋分别按本标准第 5.4.7 条的规定验算挠度。

8 GRC 背附钢架板结构设计

8.1 GRC 面板

8.1.1~8.1.2 GRC 面板采用纵横相互平行排列的柔性锚杆的支承约束可简化为点支承形式。这种点支承 GRC 板的结构计算，目前国际上广泛采用美国 PCI 编制的《GFRC 推荐性规范》所推荐的直接设计法。其计算原理如下：

点支承 GRC 面板内任一板区格的计算简图如本标准图 8.1.1 所示，板区格内的总弯矩 M_0 按简支条件下长跨计算，如下式：

$$M_0 = \frac{q_k l_x l_y^2}{8} \quad (21)$$

板区格沿长跨方向假想为支承板带和跨中板带，支承板带和跨中板带各占板区格短跨长度的 1/2（图 17）。板区格的内力分布如图 18，其内力分配如下：

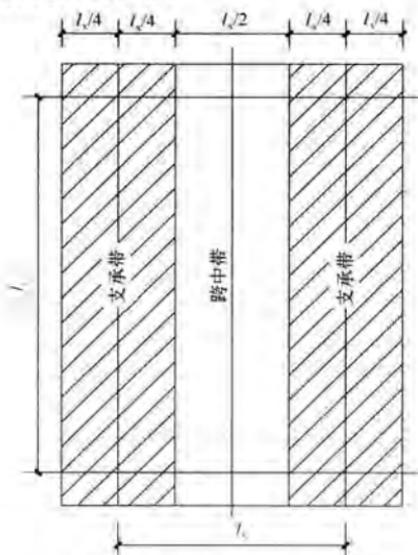


图 17 支承带与跨中带在板区格内的分布示意

负弯矩 $M_s = 0.65M_0$ ；正弯矩 $M_l = 0.35M_0$ ；

支承带负弯矩 $M_{As} = 0.75M_s = 0.4875M_0$ ；支承带正弯矩 $M_{Al} = 0.6M_l = 0.21M_0$ ；

跨中带负弯矩 $M_{ls} = 0.25M_s = 0.1625M_0$ ；跨中带正弯矩 $M_{ll} = 0.4M_l = 0.14M_0$

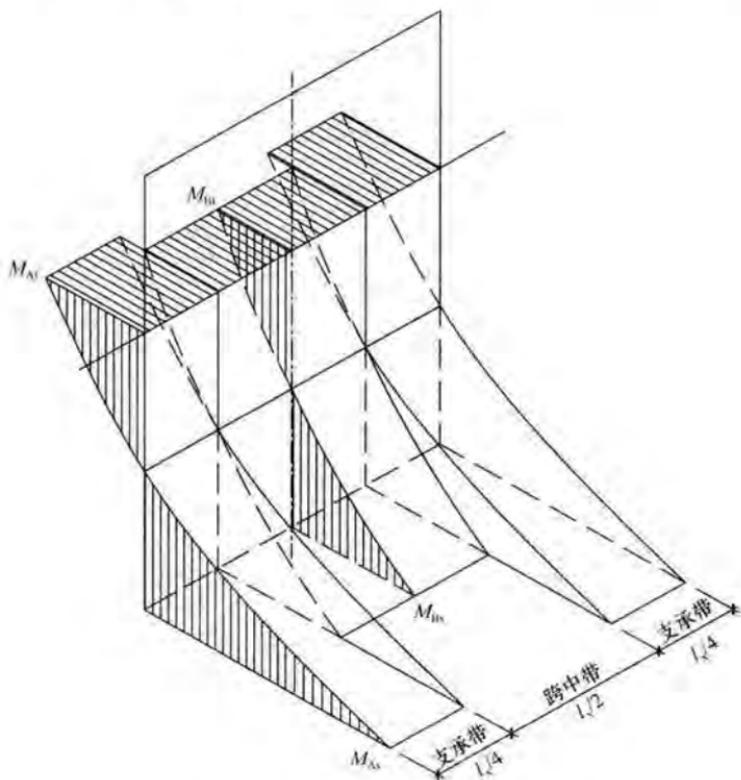


图 18 板区格内的内力分布示意

在垂直于板面方向的重力荷载或风荷载或地震作用下板区格截面产生的最大应力标准值按下式计算：

$$\sigma_s = \frac{M_{As}}{W} = \frac{0.4875M_0}{\frac{1}{6} \left(\frac{1}{2} l_x \right) h^2} = 0.7312 \frac{q_k l_0^2}{h^2} \quad (22)$$

式中： σ_k ——面板在重力荷载或风荷载或地震作用下产生的截面应力标准值（ N/mm^2 ），即 σ_k 分别代表 σ_{Gk} 或 σ_{wk} 或 σ_{Ek} ；

q_k ——重力荷载或风荷载或地震作用标准值（ N/mm^2 ），即 q_k 分别代表 q_{Gk} 或 w_k 或 q_{Ek} ；

l_n ——板区格长边净跨（ mm ）；

h ——板区格面板厚度（ mm ）。

8.1.3 对于板幅尺寸不大于6m的GRC背附钢架板，当柔性锚杆的构造尺寸符合本标准推荐的构造尺寸条件下，其GRC面板的温湿度应力一般小于 $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ ，可忽略不计。但对于板幅尺寸大于6m的GRC背附钢架板，其GRC面板所产生的温湿度应力根据其面板所受柔性锚杆约束的实际工况或按本标准第5.3.7条和第5.3.8条的规定确定。

8.1.4 GRC面板通过柔性锚杆支承在背附钢架上，其挠度由背附钢架控制。因此，GRC面板仅需要进行承载力和抗裂验算。

对于板幅尺寸不大于6m且柔性锚杆构造尺寸基本合理的GRC背附钢架板，因温湿度效应可忽略不计，其荷载与作用仅需考虑重力荷载、风荷载和地震作用。

对于板幅尺寸大于6m的GRC背附钢架板除应考虑自重荷载、风荷载和地震作用外，还需按本标准第8.1.3条的规定合理估算GRC面板的温湿度作用效应。在一般情况下，上述荷载的基本组合或标准组合，均由风荷载控制。但当板幅尺寸过大时，可能会出现由温湿度作用控制的基本组合或标准组合。由于这种工况会明显降低GRC面板承受外荷载的能力，因此，尽量避免出现这种由温湿度作用控制的荷载组合工况。

为了便于设计操作，GRC面板的承载力验算和抗裂验算一般按下面内容进行：

1 承载力验算：

- 1) 对各种荷载和作用产生的截面应力标准值按本标准第5.4.1条～第5.4.5条的规定进行组合，并分别计算

GRC 面板的应力设计值；

- 2) 对于风荷载控制的基本组合，GRC 面板的应力设计值按本标准第 5.6.1 条验算；
- 3) 对于温湿度效应控制的基本组合，GRC 面板的应力设计值按本标准第 5.6.3 条验算。

2 抗裂验算：

- 1) 对各种荷载和作用产生的截面应力标准值按本标准第 5.4.6 条的规定进行组合，并计算 GRC 面板的应力设计值；
- 2) 对于风荷载控制的标准组合，GRC 面板的应力设计值按本标准第 5.7.1 条验算；
- 3) 对于温湿度效应控制的标准组合，GRC 面板的应力设计值按本标准第 5.7.2 条验算。

8.1.5 GRC 面板与 L 形锚杆的锚固连接进行承载力验算时，面板与柔性锚杆的锚固进行锚固受拉承载力验算，面板与重力锚杆的锚固进行锚固受剪承载力验算。

8.2 背附钢架设计

8.2.1 背附钢架一般由竖横两个方向的龙骨相互交叉焊接而成，除了承受弯矩和剪力外，横龙骨一般不承受轴力，竖龙骨视支承情况不同，还可能承受轴拉力或轴压力。龙骨截面主要受力部位的厚度要求与本标准第 6.2.1 条的要求一致。

8.2.5 一般情况下，GRC 面板通过柔性锚杆和重力锚杆与竖向龙骨连接，竖向龙骨主要承受垂直于 GRC 面板平面的风荷载，地震荷载以及平行于 GRC 面板平面内自重荷载和温湿度作用。其承载力计算要求与本标准第 6.3.7 条一致；对于采用下节点支承的背附钢架，应考虑按本标准第 6.3.8 条的规定，对竖向龙骨进行稳定性计算。

8.2.6 竖向龙骨承受的上述荷载再传递到与之相连的横向龙骨上，在这种情况下应对横向龙骨进行抗弯承载力和抗剪承载力计

算。对于上下横向龙骨间除两端外没有竖向龙骨连接且 GRC 面板直接偏置于横向龙骨上的情形出现时，可能对横向龙骨产生过大的扭矩。此种情形下，应对横龙骨进行抗扭承载力计算。

8.2.8 作用在背附钢架上的荷载与作用按本标准第 5.4.7 条的规定进行计算；背附钢架的挠度限值按美国 PCI 编制的《GFRC 推荐性规范》的规定取 $l/240$ 。

9 制作加工

9.1 一般规定

9.1.2 生产方案包括生产工艺、制模工艺、生产计划、技术质量控制计划、成品保护、堆放及运输方案等内容。

9.2 GRC 构件制作

9.2.3 模具可以是木模、玻璃钢模、钢模、硅胶模、水泥模、石膏模或复合模等，刚度和尺寸精度要求是为了确保 GRC 构件产品不出现变形和尺寸偏差。

9.2.5 在 GRC 浆料未固化前进行及时装配是为了背附钢架与 GRC 构件连接更为牢靠，装配时采用恰当的辅助承托和定位装置是为了避免背附钢架的重量通过连接锚固点直接施加到未凝结的 GRC 材料上，造成产品变形、局部裂纹及表面花斑等质量问题。

9.2.7 GRC 材料脱模强度一般为产品设计强度值的 50%，局部应力过于集中会导致 GRC 局部出现破损或开裂。

9.4 检 验

9.4.1 严重缺陷是指影响产品结构性能或安装使用功能的缺陷。

9.4.2 表面装饰效果层具有特殊肌理，如剔凿、重度喷砂或水洗、岩石起伏面效果等，外观尺寸根据装饰面起伏适当放宽。

9.4.5 色差无法用量化的标准进行控制，一般而言 GRC 产品的属性决定了色差很难避免，色差可以通过规范材料与工艺得到有效控制，轻微色差能反映出 GRC 材料的自然艺术表现力，但过大色差难以被建筑师或业主接受，这种带有主观性的评判标准

有时容易产生分歧，应本着协商的原则进行妥善处理。在工程实践中，色差过大不能被建筑师或业主接受时，通常在各方协商一致的前提下，通过必要的表面处理来改善色差。

10 安 装 施 工

10.1 一 般 规 定

10.1.4 低温天气构件、预埋件和连接件上有可能出现结露和霜雾，而且对于需要嵌缝的工程，温度越低，固化时间越长，胶的收缩性越大，容易出现胶与构件边缘出现裂纹。低温对嵌缝前构件接缝处的清理工作也会造成不便，综合上述考虑，施工温度不应低于 0°C 。

10.1.5 为避免出现天沟部位、与门窗的交接部位渗水，GRC施工需要与屋面防水施工方、门窗安装方积极协调。

10.3 施 工 准 备

10.3.1 检查的主要内容有：（1）外观检查；（2）构件尺寸误差、角度误差、平整度误差和端部垂直度等对构件安装质量有影响的尺寸；（3）龙骨和预埋件构造及其防锈蚀处理是否符合设计和规范要求；（4）安装辅件和材料包括连接件、螺栓、垫片、膨胀螺栓或化学锚栓、止水垫片、密封胶条、密封胶、表面防护剂等的质量；（5）主体结构上的锚固件的构造、安全性及防腐处理是否符合设计和规范要求。

10.3.2 重点对如下内容进行检查和测量：（1）对结构和墙体的尺寸、墙面平整度和标高等进行测量及尺寸复核；（2）检查结构与墙体是否存在蜂窝、孔洞、裂缝、夹层、凹凸、抹灰空鼓等问题；（3）检查门窗部位、保温层和防水构造等与构件安装有关部位的状况；（4）检查水电通信进户管线、落水管、空调预留孔洞、沉降缝、伸缩缝等情况。

10.4 安 装 施 工

10.4.2 后锚固打孔不能距离边缘太近，以免造成混凝土劈裂或

锚固力不足。在钢筋混凝土上打孔遇到钢筋时，需离开 5cm 以上距离重新打孔，如有必要允许调节连接板的尺寸。其他具体要求参照现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145。

支承结构与钢结构主体采用焊接连接方式时，将焊缝去渣、清理干净，熔瘤和毛刺做打磨处理，表面达到平滑/圆滑，再进行表面防锈处理，涂刷环氧富锌漆两道，厚度一般不小于 $60\mu\text{m}$ 。

如 GRC 构件内的预埋连接件与主体钢结构直接连接，考虑到连接处防锈处理与应力释放，推荐采用螺栓连接。

10.4.18 清洗应自上而下进行。清洗液体通常选择用清水、中性清洁剂。

10.5 安装质量要求

10.5.1 安装施工放线与主体结构的测量配合，及时调整误差，确保 GRC 外墙构件安装所需要的精度，以及连接所要求的极限调整空间。

10.5.2 构件或构件之间出现色差，通常以 6m 距离观察是否影响整体效果作为评判依据。

10.5.3 GRC 构件立面垂直度的偏差，指整个 GRC 构件立面高度范围内任取 3m 高度立面偏差不大于 5mm，任取 15m 高度立面偏差不大于 10mm，对于高层建筑任取 30m 高度立面偏差不大于 20mm。

11 验 收

11.2 进 场 验 收

11.2.1 当难以出具针对本项目的 GRC 构件型式检验报告的情况下，制造商应提供不针对任何项目的产品型式检验报告。

11.2.3 供应商提交的型式检验报告以及企业内部实验室进行的性能测试不能代替性能复试。

11.4 竣 工 验 收

11.4.2 涉及本条第 3 款和第 5 款检测要求时，检测样板由生产商按照与生产产品同样的工艺进行单独制备，施工单位组织实施。

12 维修与保养

12.1 一般规定

12.1.1 GRC 使用维护说明书系结合具体 GRC 工程及产品设计、使用特点编制的具有针对性的指导性文件。

12.1.2 GRC 外墙工程的保修期一般自 GRC 分项工程质量验收之日起计算。

12.3 清洗和保养

12.3.2 防护剂的防污、防水性能会逐年衰减，如实际防护效果不能满足使用需要，会影响到 GRC 材料的抗冻融性能和使用寿命。

12.3.3 酸性清洗材料会对外墙表面及地面造成侵蚀，同时清洗废水对周边土壤环境、绿化都会造成危害。

12.3.4 二次破坏主要指对使用中的 GRC 外墙进行如钻孔、切割、调整产品与结构连接方式、破坏接缝和负载等不当行为。



1 5 1 1 2 3 1 4 5 0



统一书号：15112·31450
定 价： 34.00 元