

装配式结构楼板碳纤维加固施工技术应用与研究

张建普 王朝瑞

北京建工国际建设工程有限责任公司

摘要：中国驻某国使馆加固改造工程的现有结构建成于1998年，地处地中海沿岸，结构形式为预制装配式，楼板为预制预应力空心楼板。20余年的使用过程中，前业主多次对现有结构进行装修改造，因施工过程中反复对原始结构进行加载和卸载，导致部分现有预制构件有老化开裂的情况。再有90年代的加工技术和施工工艺较为落后，导致楼板表面存在大量的麻面、楼板拼接不严、楼板错台的情况。为满足驻外使领馆的安全需求，在加固改造施工过程中使用了大量的碳纤维布对预制预应力空心楼板进行加固处理。基于此，本文希望通过论述该项目处理预制预应力空心楼板碳纤维布基层的施工方法，能为使用碳纤维布加固老旧装配式楼板提供借鉴。

关键词：加固改造；预制拼装楼板；基层处理；碳纤维布

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.09.032

中国驻某国使馆加固改造工程的建筑面积为31499 m²，所有楼板均使用预制预应力空心板，预制预应力空心板上表面使用5cm的细石混凝土现浇叠合层将楼板连接成一个整体。本项目在加固施工过程中使用碳纤维布加固的楼板有约20000m²。现有预制预应力空心板楼板下部表面存在大量浮灰、油污、涂料等杂质，少部分楼板有损伤劣化的情况；由于20年前的加工技术和施工工艺较为落后，导致楼板表面存在大量的麻面、楼板拼接不严、楼板错台的情况（现有楼板如图一所示）。



图一：预应力楼板现状

为防止裂缝的继续扩张和防止海边盐雾环境通过裂缝对钢筋进行侵蚀，加固施工过程中需要将裂缝进行封堵和修复。为满足使用过程中的荷载需要，需要对预制预应力楼板进行加固处理，以增加楼板的承载能力。

一、楼板加固的设计理念

本项目原始结构在使用过程中经过多次装修改造，以往的施工过程中反复对原始结构进行加载和卸载，导致部分预制预应力空心板的混凝土已有破损和老化开裂等老化现象（尤其是设备房底部的楼板损伤严重），所以加固设计不仅不能向原始结构施加太大的荷载，还需考虑将破损和开裂的混凝土进行修补防止空气中的水分和盐雾等侵蚀钢筋。考虑到混凝土在使用过程中均是带裂缝工作的，且该楼板内部钢筋是预应力钢筋，预应力钢筋不仅有抗压的作用，还有收缩张拉的作用。所以设计时需考虑修补后楼板的承载问题和裂缝对钢筋腐蚀的问题。再有本项目为办公住宿一体的建筑，设计时需满足使领馆生活办公等对楼板荷载需求的原因，所以在设计时需考虑加大楼板的承载力。

现有结构的预制预应力空心板楼板上表面使用5cm的细石混凝土现浇叠合层将楼板连接成一个整体，所以加固过程中如每块单独的预制预应力板在加固后的强度能达到加固需求则能保证整个楼板的强度。现有结构部分楼板有拼接不严的情况，为保证项目的抗震需求，设计时需考虑将拼接不严的缝隙进行填实。综上，设计初需将每块单独的板和板缝进行单独的加固处理。

综上所述，在加固设计时需要考虑使用轻质高强、经济适用和方便施工的加固材料对现有结构进行加固。通常使用粘贴钢板或粘贴碳纤维布的两种方法进行加固，楼板能满足以上四点需求。但由于大面积粘贴钢板将对楼板施加大量的荷载，不能满足对本项目的加固需求，所以最终选用大面积粘贴碳纤维布的方案对现有结构进行加固处理。为满足裂缝修补和板缝之间的填充需求，所以设计时考虑使用混凝土裂缝修补胶对整楼的混凝土裂缝进行修补。原始建筑局部楼板已不满足使用功能，所以设计时考虑将其替换成普通的钢筋混凝土单向板。

二、施工过程中的重难点分析

（一）施工重点

现场粘贴碳纤维布时，基层的处理质量是保证碳纤维布粘贴质量的重要因素，所以碳纤维布的基层处理是

本项目的施工重点。

（二）施工难点

1. 常规的基层处理仅需祛除表面的“杂质”露出新鲜的混凝土保证基底无任何附着物即可，再用结构修补胶对加固的基面进行修补、找平；对于有棱角的截面需磨成圆弧半径不小于25mm的曲面。本项目加固区域的基层不仅需要打磨出新鲜的混凝土基层并使用混凝土修补胶找平；更需要使用灌缝胶将楼板接缝处的缝隙找齐。

2. 该项目为驻外使领馆项目，建设单位规定除地材以外的材料均需从国内进口到项目所在地。结构胶的保质期只有6个月，如何保证在6个月内完成采购、海运、清关和施工也是本项目的难点之一。

3. 装配式建筑和加固改造工程在我国均属于新兴的专业，加固装配式建筑在我国更是罕见，甚至相关的施工规范都没颁布。在这种无施工经验可借鉴的条件下，如何保证碳纤维布粘贴的粘贴质量是本工程的难点之一。

三、施工过程中的控制要点

本项目保证碳纤维布的粘贴质量主要从结构胶的选用、原材控制、基层处理混凝土裂缝修补施工和碳纤维布粘贴施工4个方面进行控制。

（一）控制要点：结构胶的选用

本工程需处理的基层有预制预应力楼板表面的蜂窝麻面、预制预应力楼板老化引起的裂缝和预制预应力楼板搭接不严等。综上所述，所需要的胶有混凝土修补胶、混凝土灌缝胶和混凝土找平胶。

1. 混凝土修补胶的选用：混凝土修补胶主要用于修补楼板底部表面的蜂窝麻面，修补底部蜂窝麻面需满足初粘力好，不流挂、施工性好，易刮涂、硬化后不收缩、粘接性能强和拉拔测试的结果需为混凝土内聚破坏等要求。经项目部相关人员对修补胶的性能（根据样品胶的拉拔实验结果确定性能）和价格对比后，最终选择了xx品牌的AB双组分混凝土修补胶。

2. 混凝土灌缝胶的选择：混凝土灌缝胶主要用于修补楼板底部表面的裂缝，修补底部裂缝需满足流动性好、固化后黏接力强和强度高要求。经项目部相关人员对修补胶的性能（根据样品胶修补样品后的抗压实验结果确定性能）和价格对比后，最终选择了xx品牌的AB双组分混凝土灌缝胶。

3. 混凝土找平胶的选择：混凝土找平胶和混凝土修补胶通常条件下为同一种胶水，经项目部相关人员对胶的性能和价格对比后，最终确定使用本文1.1所述的混凝土修补胶作为本工程所用的混凝土找平胶。

（二）控制要点：底胶和面胶（浸渍胶）的选用

浸渍胶的作用是浸渍纤维和浸渍黏结混凝土的作用，使纤维与基材牢牢地黏结在一起，从而共同工作。选用的浸渍胶必须要与碳纤维布有很好的适配性、渗透力要强、耐久性要好、抗拉强度高和便于施工等特点。本项目采购的碳纤维布供应商推荐了其配套使用的浸渍胶，经第三方实验室复试后发现其弹性模量、伸长率、抗剪切强度、耐老化、抗冲击剥离韧性和苯含量均在规范规定的范围内，且经过现场涂刷试验后发现其触变性、悬挂度、固化速度和垂直施工的流淌性均满足现场施工的要求。经项目部相关人员商议后，最终选择了碳纤维布供应商推荐使用的浸渍胶。

（三）控制要点：原材控制

由于本项目地处海外，且该项目为驻外使领馆项目，建设单位规定除地材以外的材料均需从国内进口到项目所在地。结构胶的保质期只有6个月，即在6个月内必须完成采购、复试、海运、清关和施工。从国内海运到项目所在地需要1.5月左右，清关运输需要半个月左右，即从国内发船运输到项目部则已花费2个月。为保证胶的有效期，所以在4个月内必须完成采购、复试和施工的工作。

本项目所在地政府不强制要求原材复试，所以项目所在国只有当地国家标准实验室承接相关的材料检测。由于当地有大量的厂家需要该实验室出具实验报告，所以有的试验检测均需要排队，为避免复试造成时间浪费，本项目的原材复试采用在国内复试。

原材分批量采购运输至我司仓库后由监理单位见证第三方实验室取样，取样后由监理工程师封闭仓库直至复试结果出具后方开启仓库运输至港口封箱，且运输过程中由监理工程全程陪同。

（四）控制要点：基层处理

1. 测量放线

根据施工图将粘贴区域的边界线在楼板上弹出。为避免处理基层时将线打磨掉，放线时需将粘贴区域的边界线适当外扩形成粘贴区域的控制线。

2. 楼板表面的处理

加固区域裂缝修和孔洞修补前应将楼板表面的杂质打磨去除，损伤劣化的混凝土也应祛除处理，祛除后应仔细观察处理区域是否有孔洞、裂纹或裂缝。如发现孔洞则使用球形打磨钻头将孔洞内壁的浮浆打磨干净，直至露出新鲜的混凝土面。如发现裂缝，则沿裂缝方向剔出八字型沟槽。楼板接缝之间的八字型沟槽表面同楼板表面，需打磨出新鲜的混凝土。由于碳纤维布抗拉不抗剪，楼板之间的错台需打磨成直径不小于25mm的弧形，且露出新鲜的混凝土。

混凝土面层打磨处理过后立即清除表面的浮灰。本工程楼板上的浮灰选用强力吹风机清理后再用高压水枪进行二次清洗，同时楼板的裂缝、接缝处也使用高压水枪进行冲洗，以保证基层的清洁。高压水枪不仅能冲洗基层浮灰，更能起到降尘的作用，保证基层不会二次污染。

3. 蜂窝麻面的处理

经打磨后的蜂窝麻面已成形状大小不一的孔洞，在修补前再次使用高压水枪进行清理，保证孔洞的清洁度。清理过后使用某品牌的AB双组分混凝土修补胶慢刷修补，修补时保证孔洞饱满密实且不漏刷。

4. 裂纹和裂缝的处理

裂纹在处理前再次使用高压水枪进行清理，保证缝内的清洁度。清理过后使用水泥砂浆进行堵缝，每50cm预留注胶口。完成上述工序后，使用某品牌的AB双组分环氧树脂混凝土灌缝胶同时对同一裂缝上的每个注胶口注胶进行修补。修补时注意观察注胶筒的压力，保证注胶密实饱满。

5. 楼板接缝处的处理

接缝处的处理和本文3.4中的裂纹处理方法大同小异。由于楼板接缝处需使用混凝土修补胶进行修补，所以堵缝时使用混凝土修补胶进行接缝处的找平，如相邻的两块楼板有错台，则需保证混凝土修补胶是呈弧形过度楼板错台。

（五）控制要点：粘贴碳纤维布

本工程的碳纤维布粘贴工艺与常规的粘贴工艺一致，如下所示：

按照碳纤维布的设计图裁剪碳纤维布→铺贴基准线测量放线→确认基底树脂面状态→搅拌双组分底胶（浸渍胶）→基底混凝土涂刷底胶（浸渍胶）→铺贴碳纤维布→表面涂粘涂刷浸渍胶→铺贴碳纤维布→表面涂粘涂刷浸渍胶

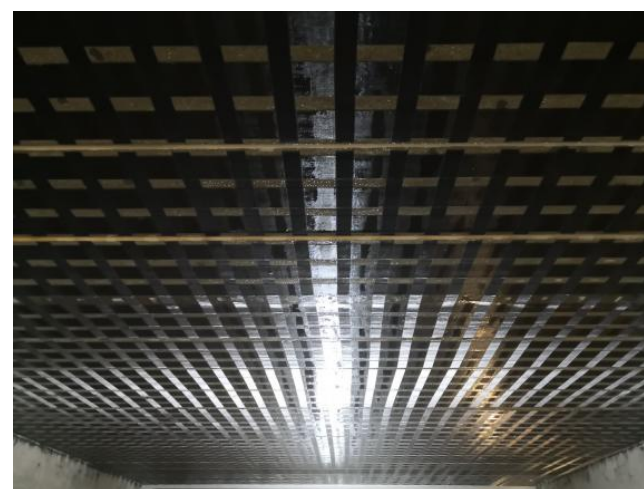
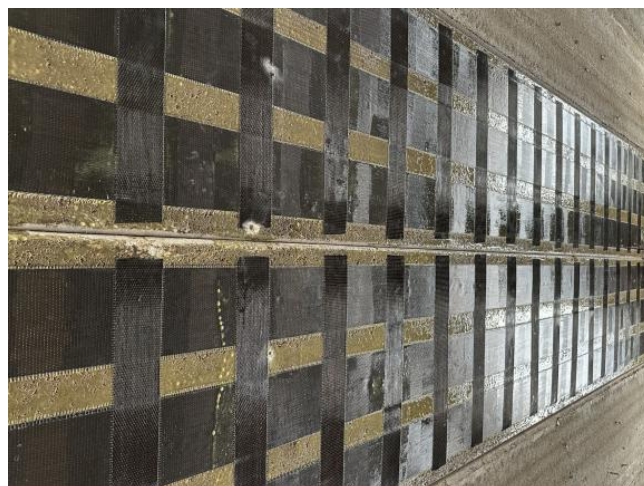
四、施工方法的优缺点分析

本工程所使用的基层修补方案，能保证每一处混凝土缺陷的修复，保证工程质量的优点。同时也有工序复杂，施工难度大，施工进度慢，施工成本高等缺点。

五、结束语

本项目的碳纤维布加固完成后，一次性通过了碳纤维布拉拔试验，满足《建筑结构加固工程施工质量验收规范GB50550》的验收要求。预制装配式结构是我国建筑工程未来的趋势，通过本加固改造工程的施工可知，预制构件的质量和装配工艺是影响预制装配式结构加固改造工程复杂程度的重点。希望通过本文的论述能提高

我国预制构件厂家和施工单位的质量意识，同时也希望能为今后类似的工程提供借鉴意义。



参考文献

[1] 欧阳利军, 余江滔, 张克纯. 玄武岩纤维加固震损混凝土框架节点承载力计算分析[J]. 工程抗震与加固改造. 2009, (6).

[2] 周运瑜, 陆洲导, 余江滔, 等. 混凝土空间框架节点的加固试验研究[J]. 低温建筑技术. 2009, (12).

[3] 常正非. 碳纤维布加固受损混凝土框架节点抗震性能研究[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2016.

作者简介: 张建普, 男, 1984年1月, 河北省邢台市人, 汉, 最高学历: 大学本科, 目前职称: 中级, 研究方向: 施工管理。

王朝瑞, 男, 1999年11月, 四川省泸州市人, 汉, 最高学历: 大学专科, 目前职称: 无; 研究方向: 施工管理。