



乳状晶体析出现象。

故针对上述影响结构耐久性病害,分别采取如下综合加固技术措施:①对结构主要受力构件及锈蚀部位涂刷渗透型阻锈剂;②用环氧砂浆或环氧混凝土进行缺陷修复;③对墩顶相邻箱室裂缝进行粘贴玻璃纤维布封闭加固;④对桥梁结构混凝土表面进行涂装防护。

## 2 涂刷渗透型阻锈剂

随着桥梁结构使用时间的增加,混凝土在大气中的碳化会降低混凝土碱度,从而破坏钢筋表面的钝化膜,使混凝土失去对钢筋的保护作用,还会加剧混凝土的收缩,导致混凝土的开裂和结构的破坏。另外,混凝土碱集料反应的产物硅胶体会遇水膨胀,产生很大的膨胀压力,从而引起混凝土开裂。这种裂缝出现后,会加速混凝土的其他破坏,如空气、水、二氧化碳等的侵入,使混凝土碳化和钢筋锈蚀速度加快,钢筋锈蚀产生铁锈的体积远大于钢筋原体积,又会使裂缝扩大。因此,混凝土碳化与混凝土结构的耐久性密切相关<sup>[1]</sup>。一般认为,当混凝土碳化到钢筋表面时,锈蚀开始。

通过涂刷渗透型阻锈剂,利用其与钢筋之间良好的亲和力使之在钢筋表面形成保护膜,可以阻止或延缓钢筋锈蚀。本工程选用湖南腾达牌渗透型混凝土阻锈剂,主要施工流程及注意事项如下:

(1) 去除混凝土表面的风化物、污染物和旧有涂层,包括含有脱模油的混凝土表皮及抹灰层(使用高压水、喷砂、磨刷等方法进行处理),以打开混凝土孔隙使其利于渗透。

(2) 利用人工或机械的方法将原结构表面破损部位及周边的松散混凝土清除,并利用高压水枪对结构表面进行彻底清洁。

(3) 待结构表面完全干燥后,配制阻锈剂,在桥梁结构混凝土表面涂刷4层钢筋阻锈剂(抗渗剂),必要时可增加用量。涂刷次数取决于混凝土的可渗透性。

每层操作之间均应保证上一层涂刷已干燥(通常为2-6小时)。

(4) 将用具用清水洗净。

(5) 注意事项:

作业时现场温度应高于+5℃;每遍涂刷后,干燥前应避免雨淋,温度亦应高于+5℃,以免浪费;如果结构物表面有防护涂层或结构物对水和气体不具备可渗透性,则阻锈剂亦无法渗入;当钢筋表面氯离子含量高于水泥重量的2%时,应先对该部位作脱氯处理或作剔凿及修复后再涂刷阻锈剂,必要时可加大阻锈剂的用量。

除此之外,由于阻锈剂呈现碱性,使用时应避免其与眼睛、皮肤接触;操作现场应保持良好通风。工作人员在作业时应佩带防护眼镜、手套并穿着防护工作服,必要时应佩带防护面具。

## 3 利用环氧砂浆或环氧混凝土修复缺陷

由于自然和人为因素,使氯离子侵入混凝土内部,破坏钢筋表面的钝化膜从而使钢筋锈蚀。钢筋锈蚀达到一定程度时,由于锈蚀产物体积膨胀而造成混凝土保护层开裂。腐蚀量越大,裂缝宽度也越大,当锈蚀发展到较严重时,混凝土保护层表面将出现数条裂缝,主裂缝与锈蚀量呈现共同增长趋势。钢筋的锈蚀不但使其截面积有所损失,材料的性能也会发生衰退,从而影响混凝土构件的承载能力,因此钢筋锈蚀是钢筋混凝土结构耐久性降低的最主要因素<sup>[1]</sup>。

通过环氧砂浆或环氧混凝土对蜂窝、空洞、露筋等混凝土缺陷修补,置换缺陷部位的松散层混凝土,恢复结构在缺陷处的强度,并恢复对该部位钢筋的保护<sup>[2]</sup>。主要施工工艺要点如下:

(1) 表面处理:利用人工凿除的方法对缺陷周围的松散混凝土予以清除,以便露出新鲜混凝土,并将混凝土表面清理干净,做到无水湿、污渍及灰尘。

(2) 蜂窝、空洞、露筋等缺陷修复:

1) 为了使新增部分的混凝土(或砂浆)能与老混凝土良好地结合,在修补之前应首先在待修补混凝土缺陷表面涂一层环氧基液,其涂刷厚度以不超过1mm为宜,涂刷时可采用人工涂刷或

喷枪喷射,力求做到涂刷均匀。为了便于涂匀,可在基液中加入少量的丙酮(一般为3%~5%)。对于已涂刷基液的表面应注意防护,严禁杂物、灰尘落入其内。

2) 基液涂刷完成后,须间隔一定时间,待基液中的气泡消除后方可涂抹环氧砂浆或浇筑环氧混凝土,时间间隔一般为30~60分钟。

3) 当破损面积较小时应采用环氧砂浆进行修补,为避免修补过程中砂浆流淌或脱落,涂抹时宜分层进行,每层的厚度以0.5~1.5cm为宜。

4) 当破损面积很大时应采用环氧混凝土进行修补,其施工工艺与普通混凝土基本相同。

5) 对暴露在缺陷处的钢筋,凿除作业时禁止敲打除锈,宜用钢刷或高压水枪清除表面锈迹。对于锈蚀截面损失超过30%的钢筋,增加一根相同截面的钢筋。填筑时每层混合料厚度不宜超过2cm,否则容易滑落或发泡,逐层填筑至与原混凝土表面齐平,每层填筑均应在上一层固化后进行。

#### (3) 环氧材料的养护;

1) 环氧材料养护期间最重要的是控制好温度,一般养护温度以15~25度为宜,养护温差不得超过5度。

2) 夏季和冬季的养护期分别为2天和7天,应注意在养护期的前3天,环氧材料不应遭受水的浸泡或其它冲击。

#### (4) 施工注意事项:

1) 环氧材料的配置应尽量做到随用随配。

2) 环氧材料配置时宜采用易于散热的器皿,并不断搅拌,环氧材料配置好后不得集中堆放,以免提前固化。

3) 在温差变化较大的季节涂抹、浇筑和养护环氧材料时,必须进行严格的温度控制,以免温度变化对环氧材料的施工质量产生不良影响。

4) 环氧材料易于挥发,且存在有害气体,因此施工现场必须注意通风,同时要注意防火和劳动保护。

## 4 粘贴玻璃纤维布

对于墩顶相邻箱室顶板处出现的密集“蛛网状”裂缝,在工程中采取如下处理措施:①对渗水部位进行堵漏处理:对于宽度小于0.15mm裂缝采取封闭处理;当裂缝宽度大于或等于0.15mm时,对其进行灌注处理。②在顶板底部粘贴玻璃纤维布(如图2所示),以增强顶板处的结构抗裂性。玻璃纤维及粘结材料分别采用了国标E级玻璃纤维(如表1)和国标A级配套树脂。

粘贴玻璃纤维的混凝土基面处理和玻璃纤维充分浸渍是粘贴玻璃纤维施工的难点。因此施工时应加强措施,确保按质按量完成。主要施工工艺要点如下:

#### (1) 混凝土表面处理

1) 在设计粘贴的部位按设计图纸放样定位。

2) 钢筋露出部分部位必须做防锈处理,如损伤程度严重,应采取补救措施。用角磨机除去油污等杂质,直至完全露出混凝土结构新面,并要求磨去混凝土的碳化层。

3) 如有裂缝,需对裂缝进行灌浆封闭处理。

4) 如混凝土构件出现阴阳角,应采用角磨机修整 $R \geq 20\text{mm}$ 的圆弧,并对混凝土表面凹凸不平部位进行打磨修平处理。

5) 混凝土表面如有较大的剥落、蜂窝、腐蚀等缺陷时,应进行凿除,并用结构胶找平处理方法找平,找平处理情况如下:

①缺陷或孔洞修补:原结构施工中或后期运行中使结构产生缺角、孔洞、蜂窝麻面,须用结构胶修补。

②高差调整:由于模板错位产生的混凝土表面高低差,须在粘贴玻璃纤维前修复,大面积用高强度聚合物砂浆,局部用结构胶修复。

6) 采用高压风去混凝土表面粉尘、砂粒,并采用丙酮拭擦混凝土结构表面。

7) 涂刷底层树脂前,处理过的混凝土表面必须干燥干净。

8) 最后用1m的直边靠尺检查处理过后表面的平整度,任何方向上1m范围内的最大允许

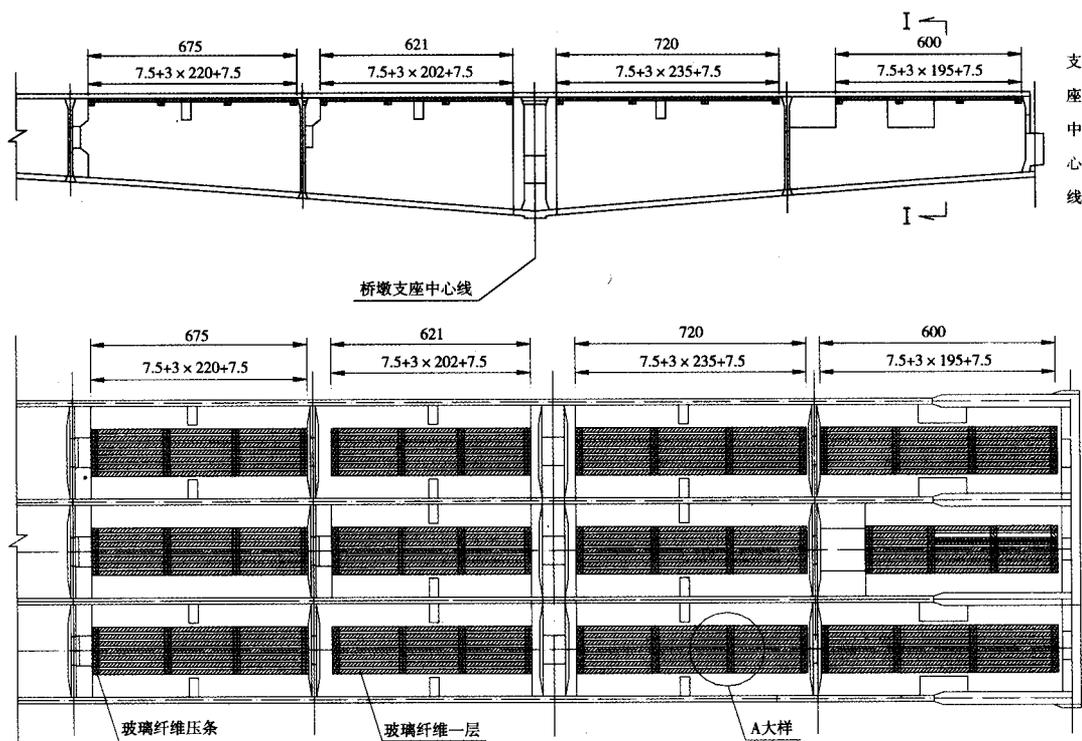


图2 粘贴玻璃纤维布立面和平面 (单位: cm)

表1 玻璃纤维布的主要力学指标

项目类别	抗拉强度 标准值 $f_{f,k}$ (MPa)	受拉弹性 模量 $E_f$ (MPa)	伸长率 (%)	弯曲 强度 (MPa)	层间剪 切强度 (MPa)	仰贴条件下纤维复合材料 与混凝土正拉粘结强度 (MPa)	设计 厚度 (mm)	单位面 积质量 (g/m <sup>2</sup> )
E级	$\geq 1500$	$\geq 7.2 \times 10^4$	$\geq 2.0$	$\geq 500$	$\geq 35$	$\geq 2.5$ , 且为混凝土内聚破坏	0.167	600

差异为  $\pm 5\text{mm}$ 。

### (2) 局部表面找平处理

1) 配制找平树脂, 按供应商提供的配比及工艺要求配制搅拌。

2) 对混凝土表面凹陷部位采用刮刀整平胶泥, 且不应有棱角, 修复面与混凝土表面落差不超过1mm。

3) 转角处采用找平树脂修复为光滑的圆弧, 半径不小于20mm。

4) 固结后在找平材料表面指触干燥后尽快进行下一步工序施工。

### (3) 涂刷底层树脂

1) 采用配套底层树脂按一定比例将主剂与固化剂放入容器内, 并搅拌均匀, 配制底层树脂。

2) 采用滚筒刷将底层树脂均匀涂于混凝土表面, 厚度不超过0.4mm, 并不得漏涂或流

淌, 不能产生气泡。

3) 应在底层树脂指触干燥后立即粘贴玻璃纤维布。

### 4) 注意事项:

①当施工环境的温度低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 或湿度为85%RH以上时, 不可涂刷底层树脂。

②底层树脂是由树脂和硬化剂均匀混合而成, 应特别注意将混合容器表面与底部的混合物拌合均匀。

③如果底层树脂的使用时间已过期, 应立即对其进行处理。

④涂底层树脂的容量和环境温度决定修复的效果。(大的容量或高的温度会导致底层树脂的修复效果降低), 所以修复的结果会不一样。

⑤底层树脂混合后, 若修复时出现外界温度较高、树脂粘性大的情况, 则必须停止树脂

涂刷。

⑥涂底层树脂时为了防止底层树脂面的染污,工作人员应避免带纤维手套。

#### (4) 粘结树脂配制

1) 采用供应商提供的配比配制粘结树脂。

2) 配制粘浸剂时用秤控制各种材料的数量比例,偏差控制在 $\pm 5\%$ 范围内。

3) 调胶使用低速搅拌器搅拌,搅拌时间约2~3分钟搅拌均匀,确保无气泡产生,并防止灰尘杂质混入。

#### (5) 粘贴玻璃纤维

1) 必须调配适当的树脂,以避免超出可使用的时间之外,配制好粘贴树脂后,立即用滚筒刷均匀地涂刷,底层用量为 $500\sim 600\text{g}/\text{m}^2$ 。

2) 树脂涂刷完毕,应立即粘贴预先制做好的玻璃纤维,并用橡胶或塑料刮片轻刮数次。最后,用罗拉治玻璃纤维方向来回滚碾玻璃纤维数次,以便挤出气泡,使底层树脂完全浸透玻璃纤维。

3) 在步骤2)结束后的30分钟至3小时的范围内,不断用罗拉治纤维方向对其进行滚碾直至底层树脂浸透。随后按照上层涂量的要求( $300\sim 400\text{g}/\text{m}^2$ )涂刷树脂。

4) 多层粘贴时逐层重复上述步骤,但应在玻璃纤维物表面指触干燥后立即进行下一层的粘贴,如超过60分钟则应等12小时后再进行涂浸玻璃纤维粘贴下一层。

5) 最后的一层玻璃纤维物表面应均匀涂抹一道粘结剂。

6) 若在树脂固化前修复层出现浮起、膨胀现象,应立即用罗拉治纤维方向推展,将气泡赶出;若上述现象出现在固化后,则可采用开排气孔并对其进行灌胶填充的方法进行处理。

## 5 涂装防腐涂层

本桥采用的美国劳斯牌表面涂装涂层体系,具有良好的耐碱性、附着性和耐蚀性,底层涂料具有良好的渗透能力,性能指标<sup>[3]</sup>如表2,涂装后效果如图3。

表2 涂层性能指标

项目	试验条件	标准
涂层外观	涂层标准养护后	涂层均匀、无色差、无流挂、无斑点、不起泡、不龟裂、不剥落等
涂层耐老化性	涂层耐老化试验1000h	不粉化、不起泡、不龟裂、不剥落
涂层耐碱性	耐碱试验30d	不起泡、不龟裂、不剥落
涂层抗氯离子渗透性	活动涂层片抗氯离子的渗透性试验30d	氯离子穿过涂层片的渗透量在 $5.0 \times 10^{-3}\text{mg}/\text{cm}^2\text{d}$ 以下
涂层与混凝土表面的粘结强度	涂层标准养护后	不小于1.5MPa



图3 涂装后效果

通过涂装防腐涂层,在混凝土表面形成一层屏蔽阻隔层,有效的阻止了氯离子、二氧化碳等腐蚀介质浸入对混凝土造成的腐蚀;另外,对于已碳化、疏松和开裂的混凝土表面起增强防腐作用。

主要施工工艺控制要点如下:

(1) 涂装前的混凝土应进行表面处理,混凝土表面处理应符合下列规定。

1) 采用各种动力打磨工具等方法,彻底除去混凝土表面上的不牢灰浆、尖角、碎屑、苔藓、油污等污染物及其它松散附着物;必要时可用适当溶剂抹除油污。

2) 清理后的混凝土表面,应平整、无油污等影响涂层质量的物质,最后用清水冲洗干净。

(2) 使用机械式搅拌器搅拌涂料,搅拌应均匀,无气泡产生,并应防止灰尘等杂质进入。

(3) 按设计要求的涂装道数和涂膜厚度进行施工,随后用湿膜厚度规检查涂层湿膜厚度,以控制涂层的最终厚度及其均匀性。

(4) 涂装过程中应随时注意涂层湿膜的表面状况,当发现漏涂、流挂、变色、针孔、

裂纹等情况时,应及时进行处理。

(5) 每道涂装施工前应对上道涂层进行检查,上道涂层检查合格后才能进行下一道涂层施工。

(6) 涂装后应进行涂层外观目视检查。涂层表面应厚度和色泽均匀、无气泡、无针孔、裂缝等缺陷。

(7) 表湿区涂层应在无流水、水珠、水迹的状态下进行施工。及时清理、清洁受污染的混凝土表面。

(8) 涂装现场环境和相对湿度,必须满足涂料适应的范围条件下才能进行施工。并做好涂装环境条件的记录。

## 6 结语

邕江大桥作为已运营40余年的旧桥,其中所出现的几种主要病害具有一定的典型性,并

且对结桥的耐久性产生了不可小视的负面影响,因而具有很高的研究价值。从试验检测结果和现场监督的工程质量情况来看,该桥中所采取的各种加固技术可以满足设计和规范各项要求。由于在短期内无法看到该工程耐久性加固的效果,因此不对其效果进行评定。在后续的工作中对其进行定期检测,以期得出客观评价,从而为这类加固项目的设计与施工提供参考。

### 参考文献

- [1] 王钧利. 影响桥梁结构耐久性的主要因素及应对措施[J]. 中外公路, 2004, (6): 61-64.
- [2] 刘凤山. 长沙湾大桥立柱耐久性加固与综合防腐技术[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2009, (1): 24-28.
- [3] JTG/T B07-01-2006. 公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] 广西大学设计研究院. 邕江大桥加固工程施工监控竣工报告[R]. 广西: 2009.

(上接第22页)

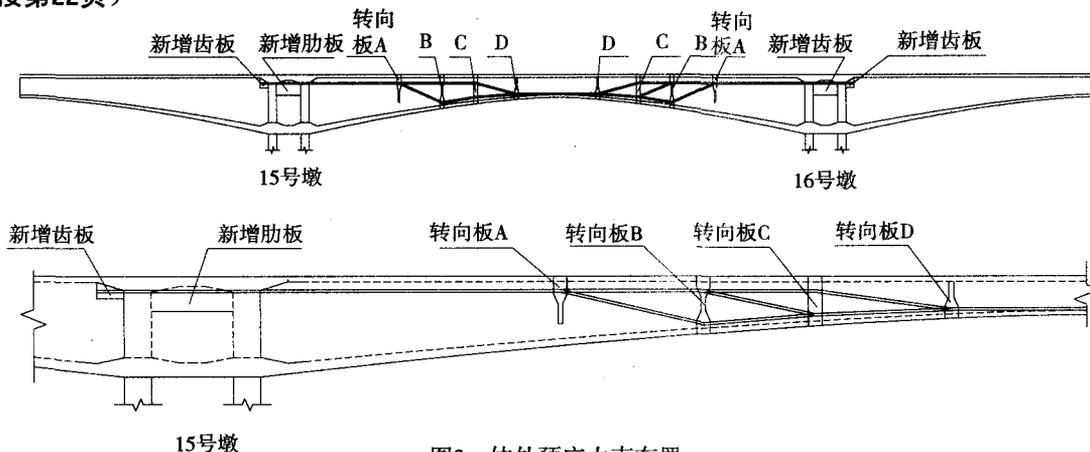


图3 体外预应力束布置

②体外预应力束张拉前后主梁底板、顶板混凝土压应力均有不同程度的增加,其中跨中底板混凝土应力最大增加了2.25MPa,顶板混凝土应力最大增加了0.66MPa;

③在体外预应力束张拉过程中,跨中底板横向裂缝有不同程度的闭合。

## 3 结语

体外预应力作为一种主动加固技术,因其具有施工方便、自重轻、便于检测、可维修更换的优点,因此在桥梁加固中得到广泛的应用。它不仅能够有效地抑制大跨径梁式桥跨中持续下挠,而且能够有效地改善结构关键截面的应力状

态,减小或闭合结构原有裂缝,大幅度提高桥梁结构的安全储备。我国需要加固的桥梁结构较多,应用体外预应力技术将会降低工程成本,加快施工周期,将会推动我国桥梁加固技术的快速发展,有着较大的社会、经济效益。

### 参考文献

- [1] 熊学玉. 体外预应力结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 体外预应力混凝土梁桥的延性和强度研究[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2008.2.
- [3] JTG/T J22-2008 公路桥梁加固设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [4] JTG/T J23-2008 公路桥梁加固施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.