

公路钢筋混凝土及预应力混凝土 桥梁加固技术规程

2025 - 04 - 11 发布

2025 - 07 - 10 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
5 材料	3
6 增大截面加固法	4
7 粘贴钢板加固法	5
8 粘贴纤维复合材料加固法	7
9 简支改变为连续体系加固法	10
10 预应力加固法	10
11 桥面补强层加固法	13
12 桥梁基础及下部结构加固	13

前 言

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

本文件代替 DB14/T 680-2012，与 DB14/T 680-2012 比较，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更新了“规范性引用文件”（见第2章，2012版第2章）；
- 第四章“总则”增加了加固前桥梁技术状况检测的内容（见第4章，总则4.7）；
- 简化了“材料”相关表格（见第5章，2012版第5章）；
- 删除了多跨简支梁改造为桥面连续简支梁体系加固法、增设辅助墩法、梁拱组合加固法、斜拉加固法（见2012版第10章、11章、12章、13章）；
- 将原第14章“预应力加固法”调整为第10章；原第15章“桥面补强层加固法”调整为第11章（见第10章、11章，2012版第14章、15章）；
- 增加了桥梁基础及下部结构加固（见第12章）。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）、山西交通科学研究院集团有限公司、山西省交通新技术发展有限公司。

本文件主要起草人：宋茂林、孙龙华、田立、吕船、王晋壁、李向男、魏鑫、刘建勋、赵辉、唐国彪、王浩。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2012年11月26日首次发布；
- 本次为第一次修订。

公路钢筋混凝土及预应力混凝土 桥梁加固技术规程

1 范围

本文件确立了公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁加固技术的术语和定义、总则、材料、增大截面法、粘贴钢板法、粘贴纤维复合材料加固法、简支改变为连续体系加固法、预应力加固法、桥面补强层加固法和桥梁基础及下部结构加固等内容。

本文件适用于山西省境内公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程。城市及铁路同类型桥梁一般加固可参照执行。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 700 碳素结构钢
- GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第一部分：热轧光圆钢筋
- GB 1499.28 钢筋混凝土用钢 第二部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 1591 低合金高强结构钢
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 13553 胶粘剂分类
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准
- GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范
- GB 50608 纤维增强复合材料建设工程应用技术规范
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- JTG 5120 公路桥涵养护规范
- JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
- JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JGJ 387 缓粘结预应力混凝土结构技术规程
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ 85 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程

JGJ 92 无粘结预应力混凝土结构技术规程

JG/T 289 混凝土结构加固用聚合物砂浆

JC 474 砂浆、混凝土防水剂

JC/T 907 混凝土界面处理剂

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 增大截面加固法

增大原构件截面面积并增配钢筋，以提高其承载能力和刚度的加固法。

3.2 粘贴钢板加固法

通过采用粘结剂及锚栓将钢板粘贴锚固在混凝土结构的受拉缘或薄弱部位，限制裂缝发展，提高其刚度和承载力的加固方法。

3.3 粘贴纤维复合材料加固法

通过采用环氧树脂胶（或其它建筑结构胶）将纤维布（或板）直接粘贴在被加固混凝土结构薄弱部位，以限制裂缝的发展，提高结构承载力的加固方法。

3.4 预应力加固法

通过施加预应力，使原结构的受力得到改善或调整的加固法。

3.5 桥面补强层加固法

通过在桥面板加铺钢筋混凝土层，增大截面和结构整体刚度的加固法。

3.6 改变结构受力体系加固法

通过改变结构受力体系，使原结构的受力特征得到改善的加固方法。

4 总则

4.1 公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程的施工及验收，除应符合本标准外，还应符合国家及行业有关标准的规定。

4.2 公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程应严格按照相关设计、施工规范组织施工。

4.3 公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程施工应做好施工前的准备工作和施工中技术交底、施工组织、施工管理工作，应严格执行本标准及有关规范、技术操作规程的规定。

4.4 在公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程施工中应积极推广使用成熟的新技术、新工艺、新材料、新设备。

4.5 公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固施工应本着节约的原则，并按照国家有关规定采取相关措施降低或减少环境污染，保护环境；工程施工竣工后，应对临时工程、临时辅助设施、临时用地等及时进行清理，做到工完场清。

4.6 公路钢筋混凝土及预应力混凝土梁板结构桥梁加固工程应制定安全施工方案，严格遵守安全操作规程，加强安全生产教育，建立和健全安全生产管理制度。

4.7 桥梁加固设计前，首先应借助先进的检测手段，荷载试验，承载力计算分析，掌握桥梁技术状况和病害程度，根据实际情况和养护目标科学制定养护方案，使加固后桥梁具有合理的使用寿命。

5 材料

5.1 水泥

5.1.1 混凝土结构加固用的水泥，应采用强度等级不低于 42.5 强度等级的含碱量低的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。当混凝土结构有耐腐蚀、耐高温要求时，应采用相应的特种水泥。

5.1.2 水泥的性能和质量应符合 GB175 的规定。

5.1.3 桥梁加固施工使用的主要材料，应具有国家相关管理部门认定的产品性能检测报告和产品合格证，其物理力学性能指标应满足设计要求；加固用材料的检验，应依据国家及行业现行有关标准执行。

5.2 混凝土

5.2.1 结构加固用的混凝土，其强度等级宜较原结构提高一个等级，特殊情况下应不低于原结构的强度等级。

5.2.2 配置结构加固用的混凝土，原材料质量应符合下列要求：

- a) 粗骨料应选用坚硬、耐久性好、低碱性的碎石，其质量应符合 JTG 3432 的规定。
- b) 细骨料应选用中、粗砂，其质量应符合 JTG 3432 的规定。
- c) 混凝土拌合用水应采用饮用水或水质符合 JGJ 63 规定的水质。
- d) 超高性能混凝土（UHPC）应满足相关规范要求。

5.3 钢材

5.3.1 混凝土结构加固用的钢筋，其品种、质量和性能应符合下列要求：

- a) 宜采用 HRB400 级热轧带肋钢筋或 HPB300 级的热轧钢筋。
- b) 钢筋的质量应符合 GB1499.2 及 GB1499.1 的规定。
- c) 不应使用无出厂合格证、无标志或未经进场检验的钢筋。

5.3.2 混凝土结构加固用钢板，其品种、质量和性能符合下列要求：

- a) 加固用钢板宜采用 Q235、Q345、Q390 和 Q420 级钢材。
- b) 加固用钢板质量应符合 GB/T700 及 GB/T1591 的规定。
- c) 不应使用无出厂合格证、无标志或未经进场检验的钢板。

5.3.3 当混凝土结构锚固件为植筋时，应选用热轧带肋钢筋，不应使用光圆钢筋。植筋用的钢筋，其质量应符合 5.3.1 的规定。

5.4 预应力筋

5.4.1 所用预应力筋的质量及力学性能应符合国家及行业标准的规定。

5.4.2 预应力筋可选用钢绞线、精轧螺纹钢、预应力钢棒，体外预应力索可选用防腐性能可靠的环氧树脂钢绞线或普通无粘结预应力钢绞线。

5.5 锚具、夹具和连接器

预应力锚具、夹具和连接器应符合 JGJ 85 、GB/T 14370 及 JT/T329 的规定及设计要求。

5.6 外包材料及粘结材料

5.6.1 无粘结预应力筋外包层材料其性能应符合 JGJ 92 的要求。

5.6.2 有粘结预应力加固所用的粘结材料，其性能应符合 JGJ 387 的要求。

5.7 纤维复合材料

纤维复合材料用的纤维应为连续纤维，通常采用碳纤维、玻璃纤维及芳纶纤维，其品种和性能应满足 GB50608 的要求。

5.8 加固用胶粘剂

5.8.1 浸渍、粘结碳纤维及粘贴钢板的胶粘剂必须采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂，其性能指标应符合 GB/T13553 的规定。

5.8.2 粘贴碳纤维复合材料用的底胶与修补胶应与浸渍、粘结胶粘剂相适配。

5.9 聚合物砂浆

聚合物砂浆的质量检验和合格验收应符合 JG/T289 的相关规定。

5.10 外加剂及界面剂

5.10.1 混凝土外加剂的基本性能应符合 GB8076 的相关规定。

5.10.2 混凝土界面剂的质量检验和合格验收应符合 JC/T 907 的相关规定。

5.11 进场检验和验收

进场的材料均应按照国家以及行业的相关标准进行检验和验收。

6 增大截面加固法

6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件、钢筋混凝土受压构件的加固。

6.1.2 本方法是增大构件结构尺寸，增加受力钢筋，使其与原结构形成整体，从而增大受弯构件的有效高度或受压构件的受力面积，加大了受力钢筋面积，以提高受弯构件的抗弯承载力、抗剪承载力和刚度；提高受压构件的正截面承载力和刚度。

6.2 加固要点

6.2.1 应考虑加大构件截面使得恒载增加而对原结构及地基的影响。

6.2.2 采用喷射混凝土法增大主梁混凝土截面和增加配筋后，需按二次受力的叠合梁进行承载力极限状态和正常使用极限状态的验算，主梁成为二次受力的叠合构件，原主梁的混凝土和钢筋除了已有的应力外，还需要承受后期恒载和活载产生的应力。

6.2.3 采用浇筑混凝土的方法增大主梁混凝土截面和增加配筋后，按照叠合梁体系共同承担外力，加固计算中，应符合 JTG D62 和 JTG/T J22 的相关规定。

6.2.4 增大截面法宜采用早强混凝土、防收缩混凝土。

6.2.5 增大的截面部分应设置箍筋，间距应满足 JTG D62 的相关规定。当用单侧或双侧加固时，应设置 U 型箍筋。U 型箍筋应焊接在原有箍筋上，单面焊缝长度为 10d，双面焊缝长度为 5d（d 为 U 型箍筋直径）。U 型箍筋还可焊在增设的锚钉上，或直接伸入锚孔内锚固，锚钉直径 d 不应小于 10mm，锚钉距构件边缘不小于 3d，且不小于 40mm，锚钉锚固深度不小于 10d，并且用环氧砂浆或高标号水泥砂浆将锚钉锚固于原构件内，钻孔直径应大于锚钉直径 4mm。

6.3 施工工序

6.3.1 原构件表面处理

6.3.1.1 为了加强新、旧混凝土的结合，应清理原构件混凝土的缺陷至密实部位，并将构件表面凿毛，要求打成麻坑或沟槽，沟槽深度不宜小于 6mm，间距不宜大于箍筋的间距或 200mm。

6.3.1.2 当采用三面或四面外包方法加固旧桥构件时，应将构件的棱角敲掉，同时应除去浮渣、尘土。

6.3.1.3 原有混凝土表面应冲洗干净，浇筑混凝土前，原混凝土表面应涂刷界面剂进行处理，以加强新、旧混凝土的结合。

6.3.1.4 原有和新设的受力钢筋均应进行除锈处理；有条件时，在受力钢筋施焊前采取卸荷或支顶措施，并逐根分区分段分层进行焊接，以减少焊接变形和残余应力，保证原结构的承载力不受较大影响。

6.3.2 喷射混凝土施工工艺

6.3.2.1 在喷射混凝土作业前必须先用高压水将受喷构件表面的粉尘、浮渣冲洗干净，保证新老混凝土的粘结和增加其整体强度。

6.3.2.2 喷射作业应分片、分段进行，且应按先侧面后顶面的喷射顺序自下而上施工。

6.3.2.3 为使构件表面规则平整，在喷射混凝土施工过程中，应边喷射边将构件表面抹平压光，其抹平压光时间宜在混凝土达到初凝后进行，过早会损害喷射混凝土与钢筋、喷射混凝土与底层之间的粘结强度，使混凝土内部产生裂缝，影响构件质量；过晚则会因混凝土硬化给抹平压光造成困难。

6.3.2.4 喷射混凝土属硬性混凝土，水灰比小而单位水泥用量较高，为防止混凝土早期脱水收缩开裂，在喷射混凝土终凝 2h 后即可喷水养护。养护期不少于 14d，养护期内应使混凝土表面经常保持湿润状态。

6.3.3 增大截面法施工

增大截面法施工处应满足上述规定外，还应满足 JTG/T 3650 的相关要求。

6.4 验收

6.4.1 新浇混凝土表面应平整、颜色一致，无明显施工接缝。

6.4.2 新浇混凝土表面不得出现蜂窝、麻面等现象。

6.4.3 新浇混凝土表面不得出现受力裂缝。

6.4.4 新加钢筋直径、位置、新浇混凝土强度、断面尺寸满足设计及相关规范要求。

6.4.5 按照 JTG 3420 和 GB 50086 的规定进行新浇混凝土强度检验。

6.4.6 新旧混凝土粘结质量可采用钻芯法进行抽检。

7 粘贴钢板加固法

7.1 一般规定

7.1.1 本方法适用于钢筋混凝土及预应力混凝土主梁出现严重病害的受弯、受拉和受剪构件的加固。

7.1.2 粘贴钢板外表面应进行防护处理。表面防护材料对钢板及胶粘剂应无害。

7.1.3 粘贴钢板加固法适用的环境温度在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内,相对湿度不大于70%及无化学腐蚀地区。被加固构件若处于特殊环境(如高温、高湿、介质侵蚀等)时,应采用耐环境因素作用的胶粘剂,并按专门的工艺要求施工。

7.2 加固要点

7.2.1 采用粘贴钢板加固的受弯构件,外贴钢板与混凝土之间应具有较好的粘贴,保证钢板与被加固构件协同受力。

7.2.2 采用粘贴钢板进行加固,应根据病害与缺陷所在部位,确定钢板的规格和位置,充分发挥其作用。

7.2.3 增加结构的抗剪强度时,宜将钢板粘贴在结构的侧面,并垂直于剪切裂缝的方向斜向粘贴,以承受主拉应力。

7.2.4 加固用的钢板可按实际需要采用不同的形状,实际加固钢板厚度不应小于计算厚度。用于抗弯能力补强的钢板尺寸应尽可能薄而宽、厚度一般为 $4\text{mm}\sim 6\text{mm}$,较薄的钢板可有足够的弹性来适应构件表面形状。用于抗剪能力提高的钢板厚度可依设计而定,一般采用 $6\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 。

7.2.5 应将钢板的两端延伸到低应力区,以减少钢板锚固端的粘结应力集中,防止粘结部位构件出现裂缝或粘贴钢板被拉脱。

7.2.6 粘贴的钢板应具有足够的锚固长度,粘结剂应具有足够的粘结强度和耐久性。为避免在自由端脱胶拉开,端部可用夹紧螺栓固定,或设置U型箍板、水平锚固板等,并在钢板上按一定的距离用螺栓固定,确保钢板与混凝土之间的粘结力满足抗拉或抗剪强度的要求。

7.2.7 粘贴钢板加固的基层混凝土强度等级不应低于C20。

7.3 施工工序

7.3.1 被加固构件粘合面处理

7.3.1.1 混凝土表层质量很差的构件的粘合面,应先用硬毛刷沾高效洗涤剂,刷除表面油垢污物后用冷水冲洗,再对粘合面进行打磨、除去 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 厚表层,直至完全露出新鲜面,并用压缩空气除去粉尘。处理后,若表面严重凹凸不平,可用环氧树脂砂浆修补。

7.3.1.2 混凝土表层质量正常的构件,可直接对表面进行打磨,去掉 $1\text{mm}\sim 2\text{mm}$ 厚表层,用压缩空气除去粉尘,粘贴钢板前应用棉花沾丙酮擦试表面,彻底清除浮沉。

7.3.1.3 新混凝土表层质量较好的构件,先用角磨机将粘合面磨平,再用钢丝刷将表面松散浮渣刷去,用棉花沾丙酮擦试表面。

7.3.1.4 对湿度较大的混凝土构件,粘贴钢板前应进行人工干燥处理。

7.3.2 钢板粘合面处理

7.3.2.1 钢板轻微锈蚀时,可用喷砂、砂布或平砂轮打磨,直至出现金属光泽。打磨粗糙,打磨纹路尽量与钢板受力方向垂直。然后用脱脂棉花沾丙酮擦试干净。

7.3.2.2 钢板锈蚀严重时,应先用适度盐酸浸泡20min,使锈层脱落,再用石灰水冲洗,中和酸离子,最后用平砂轮打磨出纹道,再用丙酮擦试干净。

7.3.2.3 钢板表面的油污应先用汽油(或丙酮)清洗,然后在钢板表面涂一层环氧树脂薄浆进行保护,粘贴前再用丙酮清洗,彻底清除油污和浮尘。

7.3.2.4 粘结剂配制好后,用抹刀同时涂抹在已处理好的混凝土表面和钢板上,厚度1mm~3mm,中间厚边缘薄。然后将钢板贴于预定位置,若是立面粘贴,为防止流淌,可加一层脱蜡玻璃丝布。粘好钢板后,用手锤沿粘贴面轻轻敲击钢板,如无空洞声,表示已粘贴密实,否则应剥下钢板补胶,重新粘贴。

7.3.2.5 钢板粘贴到混凝土表面后,必须对钢板加压,使钢板与混凝土表面紧密粘贴。加压的方法可采用螺栓加压,即在混凝土粘贴面上按照设计间隔距离埋设一个 $\Phi 8\sim\Phi 12$ 的膨胀螺栓,在钢板上设置相应的孔,钢板粘贴到混凝土表面后立即旋紧螺帽进行加压,使多余的胶液沿板边挤出,达到紧密粘贴。

7.3.2.6 环氧类粘结剂在常温下固化,保持在 20°C 以上,24h即可拆除夹具或支撑。固化期间不得对钢板有扰动。

7.3.3 加固钢板构造要求

7.3.3.1 对于受压区粘钢加固,当采用梁侧粘钢时,钢板宽度不宜大于梁高的 $1/3$ 。

7.3.3.2 粘贴钢板在加固点外的锚固长度,除满足计算值外,尚应保证一定的构造要求:对于受拉区不得小于 $200t$ (t 为钢板厚度),亦不得小于 600mm ;对于受压区,不得小于 $160t$,亦不得小于 480mm ;对于大跨度结构或可能经受反复荷载的结构,锚固区尚宜增设U型箍板或螺栓等附加锚固措施。

7.3.3.3 为防止钢板锈蚀,延缓粘结剂的老化,钢板及其邻接的混凝土表面,应进行密封防水防腐处理。如采用M15水泥砂浆抹面,其厚度对于梁不应小于 20mm ,对于板不应小于 15mm 。

7.3.4 施工要求与安全措施

7.3.4.1 粘贴前在混凝土上钻孔并安装锚固螺栓(兼作固定件和压紧件),要求埋设牢固,具有可靠的抗拔力,以保持粘贴钢板时有效地加压,同时还可帮助钢板克服剪切,有利于粘贴的耐久作用。

7.3.4.2 胶粘材料,配胶要精确。施工时开始固化的胶不得再用。

7.3.4.3 配置粘结剂用的原料应密封贮存,远离火源,避免阳光直接照射。

7.3.4.4 配置和使用场所,应保持通风良好。

7.3.4.5 操作人员应穿工作服,戴防护口罩和手套。

7.3.4.6 工作场所应配备各种必要的灭火器以备救护。

7.4 验收

7.4.1 粘贴钢板加固所用材料类别、规格及质量应符合有关规范及设计要求。

7.4.2 粘贴钢板加固施工的加压及固化时间应符合设计要求。

7.4.3 锚固螺栓数量、规格、钢板的搭接长度应满足设计要求,钻孔深度偏差不应大于 5mm 。

7.4.4 所有钢板、螺栓表面应无锈蚀,目测钢板边缘的溢胶,色泽应均匀,胶体应固化。

7.4.5 钢板的有效粘结面积应不小于 95% ,可用以下三种方法检查:

- a) 敲击检测法;
- b) 超声波检测法;
- c) 红外线检测法。

7.4.6 钢板的防腐处理应满足设计及相关规范的要求。

8 粘贴纤维复合材料加固法

8.1 一般规定

本方法适用于钢筋混凝土受压柱,以提高延性、耐久性的加固;亦可用于梁、板的各个构件加固。

8.2 加固要点

- 8.2.1 纤维复合材料宜粘贴成条带状，非围束时板材不宜超过两层，布材不宜超过 3 层。
- 8.2.2 对钢筋混凝土柱进行粘贴纤维复合材料加固时，应采用环向围束法，即将条带粘贴成环形箍，且纤维方向应与柱的纵轴线垂直。
- 8.2.3 纤维复合材料沿纤维方向的搭接长度不应小于 150mm；当采用多条或多层纤维复合材料加固时，其搭接位置应相互错开。
- 8.2.4 粘贴多层纤维复合材进行加固时，宜将纤维复合材逐层截断，并在每层截断处最外侧加压条，其粘贴采用内短外长式。
- 8.2.5 采用纤维复合材料的环向围束对钢筋混凝土柱进行延性加固时，环向围束的纤维复合材料的层数对圆形截面不应小于 2 层，对矩形截面不应小于 3 层。环向围束上下层之间的搭接宽度不应小于 50mm，纤维织物环向截断点的延伸长度不应小于 200mm，且各条带搭接位置应相互错开。
- 8.2.6 加固大偏心受压构件，可将纤维复合材料粘贴于构件受拉区边缘表面，纤维方向应与柱的轴线方向一致。加固受拉 构件，纤维方向应与构件受拉方向一致。梁的受拉区两侧粘贴纤维复合材料进行抗弯加固时，粘贴高度不宜小于 1/4 梁高。采用封闭式粘贴或 U 型粘贴对梁、柱构件进行斜截面加固，纤维方向宜与构件轴向垂直或与其主拉应力方向平行。

8.3 施工工序

8.3.1 施工准备

- 8.3.1.1 根据施工现场和被加固构件混凝土的实际状况，拟定施工方案和施工计划。
- 8.3.1.2 对所使用的纤维复合材料、配套树脂、机具等作好施工前的准备工作。

8.3.2 粘贴面表面处理

- 8.3.2.1 对被粘贴混凝土表面打磨平整，除去表层浮浆、油污等杂质，直至完全露出混凝土结构新面。
- 8.3.2.2 按设计要求对裂缝进行灌缝或封闭处理。
- 8.3.2.3 混凝土表面清理干净并保持干燥。

8.3.3 涂刷底层树脂

- 8.3.3.1 按产品供应商提供的工艺规定配制底层树脂。
- 8.3.3.2 用滚筒刷将底层树脂均匀涂抹于混凝土表面。胶层不宜太厚，自然风干硬化后，对表面有凸起部分，用磨光机或砂纸打平。应在树脂表面指触干燥后进行下一步工序施工。

8.3.4 找平处理

- 8.3.4.1 按产品供应商提供的工艺规定配制找平材料。
- 8.3.4.2 对混凝土表面凹陷部位用找平材料填补平整，且不应有棱角。
- 8.3.4.3 转角处应用找平材料修复为光滑的圆弧，半径应不小于 20mm。
- 8.3.4.4 应在找平材料表面指触干燥后进行下一步工序施工。

8.3.5 粘贴碳纤维复合材料

- 8.3.5.1 按设计要求的尺寸裁剪碳纤维复合材料。
- 8.3.5.2 按产品供应商提供的工艺规定配制浸渍树脂并均匀涂抹于所要粘贴的部位，铺放纤维布。
- 8.3.5.3 用专用的滚筒顺纤维方向多次滚压，挤出气泡，使浸渍树脂充分浸透碳纤维复合材料，同时用压板排除气泡。滚压时不应损伤碳纤维复合材料。

- 8.3.5.4 应及时检查粘贴是否密实，发现有隔离层间隙和气泡，应及时处理。
- 8.3.5.5 碳纤维复合材料一般不宜在主纤维方向搭接。若需要接长时，搭接长度不应小于 150mm。
- 8.3.5.6 多层粘贴重复上述步骤，应在纤维表面浸渍树脂指触干燥后进行下一层的粘贴。
- 8.3.5.7 在最后一层碳纤维复合材料的表面均匀涂抹浸渍树脂。
- 8.3.5.8 粘贴完纤维布后，应及时进行罩面防护处理，在表面再涂一层浸渍树脂，确保粘贴面充分风干密切结合后，在表面涂抹罩面胶，以提高粘贴层胶体的耐久性。

8.3.6 施工注意事项

- 8.3.6.1 施工宜在 5℃以上环境温度条件下进行，并应符合配套树脂的施工使用温度环境，温度低于 5℃时，应使用适用于低温环境的配套树脂或采用升温处理措施。
- 8.3.6.2 施工时应考虑环境湿度对树脂固化的不利影响。
- 8.3.6.3 树脂配制时应按产品使用说明中规定的配比称量置于容器中，用搅拌器均匀搅拌至色泽均匀。搅拌用容器内及搅拌器上不得有油污及杂质。应根据现场实际环境温度决定树脂的每次拌合量，并按使用要求严格控制使用时间。
- 8.3.6.4 纤维复合材料为导电材料，施工时应远离电气设备及电源，或采取可靠的防护措施。
- 8.3.6.5 施工过程中应避免碳纤维复合材料的死折。
- 8.3.6.6 纤维复合材料配套树脂的原料应密封储存，远离火源，避免阳光直接照射。
- 8.3.6.7 树脂的配制和使用场所，应保持通风良好。
- 8.3.6.8 粘贴纤维复合材料加固修复混凝土结构应由专业施工单位完成。
- 8.3.6.9 现场施工人员应采取相应的劳动保护措施。

8.4 验收

- 8.4.1 工序质量控制以目视检查和小锤轻击为主，重点检查缺陷修补、构件表面处理、涂刷底层树脂和粘贴碳纤维复合材料等工序。
- 8.4.2 所有进场材料，应符合质量标准，并具有出厂合格证，其各种性能指标及技术参数均应符合设计和相关规范的要求，适合现场温度、湿度条件。
- 8.4.3 严格按有关规范进行各工序隐蔽工程检验与验收，如施工质量不能满足相关条款要求时，应立即采取补救措施或返工。
- 8.4.4 纤维复合材料实际粘贴面积、搭接长度应满足设计要求，位置偏差应不大于 10mm。
- 8.4.5 对施工质量进行现场抽样检验，混凝土表面的黏结强度应符合 JTG/T J22 附录 D 的拉拔试验要求。
- 8.4.6 粘贴碳纤维复合材料检验及验收应符合表 1 的规定。

表1 粘贴碳纤维实测项目表

项次	检验项目		合格标准	检验方法	频数
1	碳纤维布材粘贴误差		中心线偏差≤10mm	钢尺测量	全部
2	碳纤维布材粘贴质量		≥设计数量	计算	全部
3	粘 贴 质 量	空鼓面积之和与总粘贴面积之比	小于 5%	小锤敲击法	全部或抽样
		胶黏剂厚度	板材	钢尺测量	每构件 3 处
			布材		
		硬度（布材）	>70°	测量	—

8.4.7 纤维复合材料与混凝土之间的粘结质量可用小锤轻轻敲击或手压纤维复合材料表面的方法来检查，总有效粘结面积不应低于 95%。当纤维复合材料的空鼓面积小于 10000mm² 时，可采用针管注胶方式进行处理，当空鼓面积大于 10000mm² 时，宜将空鼓处的碳纤维复合材料切除，重新搭接贴上等量的纤维复合材料，搭接长度应符合设计要求。

9 简支改变为连续体系加固法

9.1 一般规定

9.1.1 本方法适用于跨径较小的简支梁桥，将原两跨及两跨以上简支梁的梁端连接起来，使受力体系由原来的简支转换为连续，减小跨中正弯矩，提高结构的承载能力。

9.1.2 本方法适用于多跨简支梁（板）因配筋不足、截面尺寸偏小使桥跨中截面抗弯承载能力明显不足及下弯挠度过大的情况。

9.2 加固要点

9.2.1 应充分考虑原桥的地基条件，防止由于基础沉降等对新形成的连续体系上部结构产生不利影响。

9.2.2 连续跨数的设置要依据伸缩缝与支座的计算综合考虑。

9.2.3 设置连续构造的梁端截面应凿毛，以保证新浇筑混凝土与原结构结合紧密。

9.2.4 连续端采用设置普通钢筋形成连续构造时，纵向受力钢筋应为螺纹钢，直径不应小 12mm；布设长度应超出连续梁墩顶的负弯矩包络图范围并不应小于梁高的 2 倍，并应与原梁钢筋牢固连接；连接困难时，亦可采用植筋或锚栓等措施与原梁形成整体。连续端采用设置预应力钢束形成连续构造时，宜采用小吨位预应力扁锚分散错位锚固。

9.3 施工工序

9.3.1 凿除桥面铺装，拆除伸缩装置，梁顶凿毛。

9.3.2 凿开墩顶两侧梁端的梁肋及端横隔梁的混凝土表层，钢筋外露，以便于新旧钢筋的连接。

9.3.3 待梁端所有钢筋连成一体后（若要布设承受负弯矩的预应力筋，则将梁端凿槽布置好波纹管后），一次性浇筑混凝土。

9.3.4 浇筑桥面铺装后，安装伸缩装置。

9.4 验收

应符合 JTG/T 3650 的相关规定。

10 预应力加固法

10.1 一般规定

本方法适用于梁抗弯刚度不足导致的梁挠度或裂缝超过规范、梁正截面抗弯承载能力和斜截面抗剪承载能力不足的情况。

10.2 加固要点

10.2.1 无粘结预应力加固在预应力筋张拉结束后，仅通过锚固点和支撑点与原梁体相联结，预应力筋的应变与应力的增加远不及梁中原钢筋快。破坏时，预应力筋的应力在张拉控制应力和屈服强度之间。加固设计计算按照 JGT/T J22 的规定进行。

10.2.2 有粘结预应力加固是指当预应力筋张拉后，将其和梁体浇筑在一起，形成有粘结预应力加固形式，预应力筋可与梁体共同变形。随着作用在加固梁上的外荷载增加，预应力筋和梁中原钢筋以及受压区混凝土的应力都在原有的基础上增大。破坏时，两者都可达到屈服，因而其正截面强度计算方法与一般预应力混凝土梁相似。

10.2.3 预应力加固存在预应力损失，应考虑预留构造措施，以便在使用过程中及时调整加固件的工作应力数值。

10.2.4 预应力筋的张拉按照应力控制，张拉伸长量进行校核。

10.2.5 预应力筋锚固于梁顶时，应在桥面板和端横梁上开凿与预应力筋方向相同的孔，穿进预应力筋后，在孔周围按钢垫板尺寸将桥面板凿成凹槽，用环氧砂浆将钢垫板粘牢，预应力筋张拉后，通过锚具或螺母进行锚固，最后将锚头用桥面铺装混凝土封闭；预应力筋锚固腹板时，锚固端宜采用钢齿板，由钢板焊接而成，钢齿板与梁体的连接应采用结构胶，并通过高强螺栓与梁体紧固，并应设置定位装置，定位装置应严格按照计算的位置进行安装施工，钢管、钢板之间均采用焊接连接，先进行点焊，然后进行满焊，焊缝厚度不小于 10mm。

10.2.6 预应力筋弯起时，起弯半径不得小于 4m，并通过转向装置保证弯起的线性和位置。转向装置可采用钢板、钢筋以及钢套管。转向装置必须固定牢靠，位置准确，若使用钢板和钢套管时，钢管之间采用焊接连接，钢管与固定钢板之间也采用焊接的方式进行连接，钢管与预应力筋之间应加垫胶皮垫防止长期振动对预应力筋的破坏。若使用粗钢筋作为转向装置时，钢筋应植入主梁内，并进行防锈处理。

10.2.7 预应力筋应外包 PE 套管，内部注入黄油，并沿桥纵向每隔 1.5m 将 PE 管与梁体进行稳固连接；外露部分应设置保护装置，并在内部注入黄油以防止锈蚀。

10.2.8 所有外露钢材均应采取防锈措施。

10.2.9 要计算锚下混凝土的局部承压，确定钢垫板的尺寸。

10.3 施工工序

10.3.1 放样定位

原梁体钢筋位置探测体外索加固施工时需对锚固点、钢垫板及预应力筋的位置进行准确的放样定位。由于梁的顶、底板和腹板中均有钢筋存在，特别是受力钢筋，一般要适当调整以避开这些钢筋。位置调整后应对体系重新进行检算。

10.3.2 加固材料及施工现场准备

10.3.2.1 锚固端为混凝土结构时，混凝土用料及拌合物质量应符合现行 JTG 3420 的规定；当锚固端为钢结构时，结构各部件及施工应符合现行标准、规范的相关规定。

10.3.2.2 预应力筋的下料长度应通过计算确定。

10.3.2.3 在合适的位置钻孔，对于设置膨胀螺栓的孔，应用空压机或手动气筒吹净孔内粉屑；对于设置化学植筋的孔，应先用空压机或手动气筒彻底吹净孔内碎渣和粉尘，再用丙酮擦拭孔道，并保持孔道干燥。

10.3.2.4 锚孔应避免受力主筋，对于废孔，应用化学锚固胶或高强度等级的树脂水泥砂浆填实。

10.3.2.5 按照设计图纸安装锚固构件，并在梁底放出钢绞线位置。

10.3.3 预应力筋的安装及张拉

10.3.3.1 将锚垫板喇叭管内的混凝土清理干净，消除预应力筋上的锈蚀、泥浆，套上工作锚板，根据气候干燥程度在锚板锥孔内抹上一层薄薄的黄油，套上相应的限位板，根据钢绞线直径大小确定限位尺寸。

- 10.3.3.2 安装张拉千斤顶，并且与油泵相连接，安装工具锚板、工具夹片。
- 10.3.3.3 向千斤顶张拉油缸慢慢送油，分级对称张拉直至达到设计值，测量预应力筋伸长量，做好张拉详细记录。
- 10.3.3.4 松开送油油路截止阀，张拉活塞在预应力筋回缩下回程若干毫米，用工作夹片锚固好预应力筋，关闭回油油路截止阀，向回程油缸送油，活塞慢慢回程到底，按顺序取下工具夹片、工具锚板、张拉千斤顶、限位板。
- 10.3.3.5 在距工作夹片 50mm 处，切除多余的预应力筋。采用有粘结预应力加固施工时，应用混凝土封住锚头，24 小时内往张拉孔道内压浆，用混凝土将端部封平。
- 10.3.3.6 预应力筋的张拉程序应按照 JTG/T 3650 的规定实施。

10.3.4 防腐处理

当采用无粘结体外预应力加固时，加固体系中的主要金属件如预应力筋、滑块（支承座）、垫板、锚固座等均应进行防腐处理。防腐工作应尽可能在施工准备阶段完成，条件不具备时也要在预应力张拉后尽早完成。

10.3.5 施工注意事项

- 10.3.5.1 在施工前应检查原裂缝处理情况，对处理质量怀疑的裂缝应重新进行处理。
- 10.3.5.2 夹片与锚环孔不应粘附泥浆或其它杂物，且不允许锈蚀（若有轻微浮锈，应彻底清除）。
- 10.3.5.3 对表面有锈的钢绞线，张拉前应彻底除锈，以减少磨擦损失。
- 10.3.5.4 锚具安装到位后，应及时张拉，以防止因锈蚀而产生滑丝、断丝。
- 10.3.5.5 工具锚夹片在使用前应对其表面和锥孔内表面涂退锚灵以便退锚灵活。
- 10.3.5.6 张拉系统使用前应进行标定。
- 10.3.5.7 切割多余钢绞线，应采用砂轮切割机。
- 10.3.5.8 张拉前应检查张拉系统安全可靠，张拉时应有安全措施，千斤顶后方严禁站人。
- 10.3.5.9 在预应力张拉过程中应对施加预应力主梁的跨中挠度，跨中断面、齿板固定断面和负弯矩断面的混凝土应力变化情况进行监控。

10.4 验收

- 10.4.1 混凝土质量检验应符合 6.4 有关规定。
- 10.4.2 混凝土表面应平整、密实，预应力部位不应有蜂窝、露筋现象。
- 10.4.3 预应力加固的张拉控制及尺寸偏差应满足表 2 的规定。

表2 预应力加固的张拉控制及尺寸偏差实测项目

项次	检查项目		规定值或容许偏差	检查方法与频率
1	钢索坐 标 (mm)	梁长方向	±30	尺量：抽查 50%；各转点
		梁高方向	±10	
2	张拉力值		符合设计要求	查油压表读数：全部
3	张拉伸长率		符合设计要求，设计未规定时，±6%	尺量：全部
4	断丝滑 丝数	钢束	每束一根，且每断面不超过钢丝总数的 1%	目测：每根（束）
		钢筋	不容许	

11 桥面补强层加固法

11.1 一般规定

11.1.1 本方法适用于主梁或桥面板刚度不足的加固。

11.1.2 本方法也适用于板的铰缝不能有效传力时的加固。

11.2 加固要点

11.2.1 构造要求

11.2.1.1 采用桥面补强进行加固，桥面板或主梁恒载将有所增加，应通过计算判断桥面增厚后是否可以提高桥梁的有效承载能力。若恒载的增加影响较大，则应考虑采用其他加固方法或与其他方法综合运用。同时，加铺补强层后，桥面高程也将受到影响，连接路面或桥面纵坡应予调整，并应对伸缩缝进行改造。

11.2.1.2 补强层混凝土的强度等级不低于主梁，厚度不宜小于 8cm。

11.2.1.3 结合面应设置结合钢筋，结合钢筋宜用螺纹钢，直钢筋末端弯成直钩，纵、横向设置间距应根据设计图纸和相关规范进行确定。结合钢筋植埋于桥面板（主梁）的深度符合胶粘材料的要求，伸入补强层的直线长度不宜小于 5d（d 为结合钢筋直径），且应大于 6cm。

11.2.1.4 补强层与原结构混凝土龄期一般相差较大，为减少和避免补强层出现收缩裂缝，补强层中须设钢筋网片，其网格间距应不大于 15cm，直径宜采用 12mm。

11.3 施工工序

11.3.1 施工工艺

11.3.1.1 对旧桥结合面进行处理。结合面应凿除原结构表面浮浆，使骨料外露，形成不小于 6mm 自然凹凸粗糙面或用机械刻槽形成粗糙面，并彻底清扫干净。要求施工时不能损坏原结构混凝土的强度，不应有局部光滑结合面。对存在缺陷的部位，应进行修补，凿除疏松部分混凝土后，用强度高一级的细石子混凝土填筑密实；出现钢筋锈蚀引起混凝土胀裂时，先剔除松动开裂的混凝土，再进行钢筋表面除锈和防护等。

11.3.1.2 为使新旧混凝土有更好的粘性，在凿毛后的混凝土面上可涂刷一层界面剂。加设新旧混凝土之间的结合钢筋。

11.3.1.3 宜采用低收缩混凝土浇筑补强层，减少新旧混凝土之间的收缩差，提高补强效果。

11.3.1.4 补强层混凝土浇筑后，应加强养护，避免补强层过早受力，影响加固效果。

11.4 验收

11.4.1 补强层加固所用材料的种类、型号、规格、数量和质量应符合设计要求。

11.4.2 按规定的程序施工，胶粘材料的配置、使用时间应严格按产品说明进行控制。

11.4.3 结合面处理不得破坏原结构的混凝土强度，钻孔应避免让混凝土中的预应力筋束和普通钢筋。处理完的结合面应干净、粗糙，粗糙度符合构造要求。

11.4.4 植埋结合钢筋的孔径、孔位、孔深应合适，钢筋与结合面垂直，外露端高度与埋入段长度符合设计要求。

11.4.5 按照设计要求对缺陷进行检查。

12 桥梁基础及下部结构加固

12.1 盖梁加固

- 12.1.1 盖梁加固应满足 6 增大截面法相关要求。
- 12.1.2 用钢筋混凝土接长或加宽盖梁应凿除连接部位的混凝土保护层，漏出钢筋，新接长的钢筋应与原主筋焊接。
- 12.1.3 新旧混凝土连接表面应粗糙，宜做剪力槽。
- 12.1.4 加宽盖梁应植筋。

12.2 墩、台身套箍加固

- 12.2.1 墩、台身套箍加固墩台身裂缝应压浆封闭处理，其缺陷部分应先凿除并清理干净。
- 12.2.2 采用注浆法外包钢加固时，构件表面应打磨粗糙、无油污。
- 12.2.3 注浆压力不应低于 0.1MPa。
- 12.2.4 灌浆后严谨对型钢进行锤击、焊接。采用干式外包型钢加固时，型钢与构件之间应用水泥砂浆填实。
- 12.2.5 钢板应进行防锈处理。

12.3 增大基础加固

- 12.3.1 增大基础加固应满足 6 增大截面法相关要求。
- 12.3.2 基坑应严格按照设计要求开挖，不得超深、超宽，避免基坑坍塌，必要时进行基坑施工监测。
- 12.3.3 基坑开挖至设计高程后，应检测基底承载力，如达不到设计要求，应对地基进行加固处理。
- 12.3.4 增大基础时，应将原基础窠仔的缺陷清理至密实部位，将结合面凿毛，按照设计要求植筋，并于新增的钢筋骨架连成整体，确保新旧混凝土结合牢固。

12.4 基础冲刷加固

- 12.4.1 抛石防护。一般用于深水墩台，施工前应测量水流速度、流向，以确定抛石的位置。石笼应用铅丝、型钢或钢筋相互连接。抛石结束后，应按设计要求进行理坡。
- 12.4.2 采用双层或者单层块石（片石）做平面防护时，河床面有淤泥杂物时，应清除淤泥回填砂砾，夯实厚在砌石。
- 12.4.3 板桩防护。板桩顶面高程不应高于河床。

12.5 桩基加固

- 12.5.1 增补桩基（灌注桩、静压桩）施工应考虑新增桩基施工过程中对原桩基的影响。
- 12.5.2 灌注桩施工应按照 JTG/T 3650 相关规定执行。
- 12.5.3 桩基加固应满足 JTG/T J23 的相关规定。

12.6 验收

应符合 JTG/T 3650 的相关规定。