

第一节 公路桥梁表层缺陷的维修对策

一、混凝土桥梁表层缺陷及维修对策

1、桥梁常见的缺损

公路桥梁常见缺损的名称、性状、成因及发生部位见表 5-1~表 5-3。

混凝土桥梁常见缺损的名称与性状

表 5-1

名称	性状
麻面	混凝土表面局部缺浆、粗糙，或有许多小凹坑，但无钢筋外露
蜂窝	混凝土局部酥松，砂多砂浆少，石子间出现空隙，形成蜂窝状孔洞
空洞	混凝土内部有空隙，局部没有混凝土，或蜂窝特别大
层隙	混凝土中的不良施工缝、温度缝、收缩缝或因外来杂物造成偶然性夹层
裂缝	在中间存留缝隙或不存留缝隙的两处以上不完全分离的现象
剥落	混凝土表面的砂，水泥浆脱落，粗骨料外露（严重时形成骨料及包着骨料的砂浆一起脱落，或混凝土表面灰浆成片状的脱落）
露筋	钢筋混凝土内的主筋、箍筋等未被混凝土包裹住而外露
游离石灰	有附着物由内部渗出并附在结构表面（通常为呈白色的石灰类附着物）
坑穴	因内部压力导致混凝土表面发生破碎而产生浅凹陷
磨损	在外界的作用下，骨料和砂浆磨损、脱落
老化	在混凝土表面或整体上出现机械、物理、化学性质损坏的变化

混凝土桥梁表层缺损的可能成因

表 5-2

名称	可能成因
麻面	施工模板表面不光滑，湿润不够，致使构件表面混凝土内水份被吸去
蜂窝	①施工不当——混凝土灌筑中缺乏应有的振捣；分层灌筑时违反操作规程；运输时混凝土产生离析；模板缝隙不严，水泥砂浆流失等 ②设计不当——配筋太密；混凝土粗骨料粒径太大，坍落度过小
空洞	①钢筋布置过密，施工时混凝土被卡住且未充分振捣就继续灌筑了上层混凝土②严重漏浆也可能产生空洞
露筋	施工不当——灌筑时钢筋保护层垫块移位，钢筋紧贴模板；保护层处混凝土漏振或振捣不实
磨损	①混凝土强度不足，表层细骨料太多； ②桥面受到车轮磨耗 ③墩、桩受到高速水流冲刷，水流中又有大量砂石或冰棱等

锈 蚀 老 化 剥 落	①保护层太薄 ②因结构裂缝导致雨水浸入 ③钢筋锈蚀膨胀引起剥落 ④严寒地区冰冻及干湿交替循环作用 ⑤有侵蚀性水的化学侵蚀作用
-------------------	--

混凝土桥梁常见表层缺损的发生部位

表 5-3

名 称	常 见 发 生 部 位
空 洞	钢筋密集处或预留孔洞和预埋件处
剥 落	桥面、栏杆、墩桩、主梁面
磨 损	受到车轮磨耗的桥面部分或受到水流冲刷的墩、桩
其 它	桥梁结构各部位均可能发生

2、表层缺陷维修的前期工作

不管采用何种材料、何种方法对缺陷进行修补，都必须做好前期工作。必须除掉已损坏的混凝土，直到露出完好混凝土并扩展到钢筋除锈所需范围。清除方法有：

1) 人工凿除法。对于浅层或小面积的损坏，可用榔头、凿子等手工工具直接凿除。

2) 气动凿除法。对于损坏面积较大且有一定深度的缺陷(如内部蜂窝、空洞缺陷)，可采用风镐等气动工具凿除。对个别仍不能满足要求的部位可辅以人工凿除法。

3) 高速射水法。对于浅层且大面积的缺陷，可用高速水流除去混凝土损坏部分，也可使用高压泵冲水清除混凝土破损处和钢筋上的铁锈。在经过清除的钢筋上很快会形成一层极薄的氧化铁薄膜（有助于保护钢筋）。该法可以全部或几乎全部地冲去有缺陷的混凝土与钢筋上的锈蚀及表面上微量的侵蚀性化学物。与人工凿除法、气动凿除法相比，高速射水法无振动、噪声和灰尘，清除工作完成后，混凝土表面干净湿润。故该方法能使混凝土或砂浆修补时获得良好粘结效果。

3、混凝土桥梁表层缺陷维修时的常用材料

为使混凝土桥梁结构在修补后能够坚固耐久，应该慎重选择修补材料。这常用的材料有混凝土材料、水泥砂浆材料、混凝土粘结剂和环氧树脂高分子粘结材料。混凝土材料、水泥砂浆材料与原结构相同，故应用最多；混凝土粘结剂和环氧树脂高分子材料因其粘结性能良好也已广泛应用。

混凝土结构修补时，可采用与原级配相同的混凝土，也可采用比原标号混凝土高一级的细石混凝土。修补用混凝土的技术指标不得低于原混凝土，水泥标号不得低于原混凝土的水泥，水灰比应选用小值。必要时可加入适量减水剂以提高修补混凝土的和易性。

采用水泥砂浆材料修补时，可用与原混凝土同品种的新鲜水泥拌制的水泥砂浆。其配合比需通过试验求得。当修补部位较深时，可在其中掺入适量砾料，以增强砂浆强度，减少砂浆干缩。

当采用混凝土粘结剂修补时，可根据不同的要求拌制成净浆、砂浆及混凝土等形式，修补效果显著。

采用环氧树脂材料时，可以是环氧胶液、环氧砂浆、环氧混凝土等。因其价格昂贵、施工工艺复杂（根据需要有时还需加入硬化剂、增塑剂、稀释剂等外加剂），故一般只用于修补质量要求较高或其它材料无法满足要求的部位。

4、混凝土桥梁表层修补的常用方法

混凝土修补法主要应用于混凝土桥梁结构中出现的蜂窝、空洞及较大范围破损等缺陷，一般可采用级配良好的新鲜混凝土进行修补。修补前，应将构件中的蜂窝或空洞缺陷部分尽可能凿除，还应对混凝土修补部位进行凿毛处理，并使老混凝土表面保持湿润、清洁、不沾尘土。其后最好在钢筋和其周围的混凝土上涂抹一层水泥浆液或其他胶结剂（浆液应仔细地刷进混凝土内并均匀地刷到钢筋上），这样可在钢筋周围造成强碱性环境，增强新、老混凝土间的粘结。最后在浆液涂抹后尚未凝固时，可立即浇筑上新的混凝土。

混凝土的修补法主要有直接浇筑法、喷射法和压浆法等（对于面积较大的修补工作，在浇筑混凝土前还应立上模板，以保证修补的外观质量）。混凝土浇筑后应尽可能地捣实。修补完成后，应在尽可能晚的时候封闭新老工程间的周边接缝。在新、老混凝土接缝表面各 15cm 宽的范围内，必须用钢丝刷除去所有软弱的浮浆，再刷净尘土，涂抹两层封闭浆液（如环氧树脂浆液），第二层的涂抹方向应与第一层相垂直。最后不要忘记对修补部分的养护，养护方法与通常混凝土养护相同。

水泥砂浆修补法包括水泥砂浆人工涂抹法和喷浆修补法。

水泥砂浆人工涂抹法主要应用于小面积的缺陷，特别是损坏深度较浅时的修补。该法修补工艺简单，修补前，应将构件中的缺陷部分尽可能凿除，还应对混凝土修补部位进行凿毛处理，并使老混凝土表面保持湿润、清洁、不沾尘土。其后最好在钢筋和其周围的混凝土上涂抹一层水泥浆液或其他胶结剂（浆液应仔细地刷进混凝土内并均匀地刷到钢筋上），最后在浆液涂抹后尚未凝固时，将拌和好的砂浆用铁抹抹到修补部位，反复加强压实（必须用抹子施加较大的压力，才能使砂浆经过养护硬化和干燥后不致出现凹陷），最后按普通温暖土要求进行养护。

在修补工作完成后一个月左右，常会发现在新补砂浆四周产生细丝状的收缩裂缝。需视具体情况采取封闭措施：可在新补区域周围再涂上两层如前所述的环氧树脂胶液等胶粘剂。

喷浆修补法主要应用于混凝土表面大面积缺损的修补及重要混凝土结构物的修补。该方法将水泥、砂和水的混合料，经高压通过喷嘴喷射到修补部位。该方法的主要特点有：用较小的水灰比，较多的水泥，获得了较高的强度和密实度；喷射的砂浆层与受喷面之间，具有较高的粘结强度和耐久性；工艺简单，工效较高；材料消耗较大，当喷浆层较薄或不均匀时，干缩率大，易发生裂缝。

修补前，应将构件中的缺陷部分尽可能凿除，还应对混凝土修补部位进行凿毛处理（凿毛表面应有一定深度，但凹凸不宜过大，以免表面各处受喷浆时因受力不均匀影响到与老混凝土的粘结）；修补前使老混凝土表面保持湿润（但不能有水珠）、清洁、不沾尘土。其后最好在钢筋和其周围的混凝土上涂抹一层水泥

浆液或其他胶结剂（浆液应仔细地刷进混凝土内并均匀地刷到钢筋上）；当修补要求挂网时，在施工前还应进行钢筋网的制作、安装、固定。

喷浆工艺一般采用干喷法，其工艺流程见图 5-2。

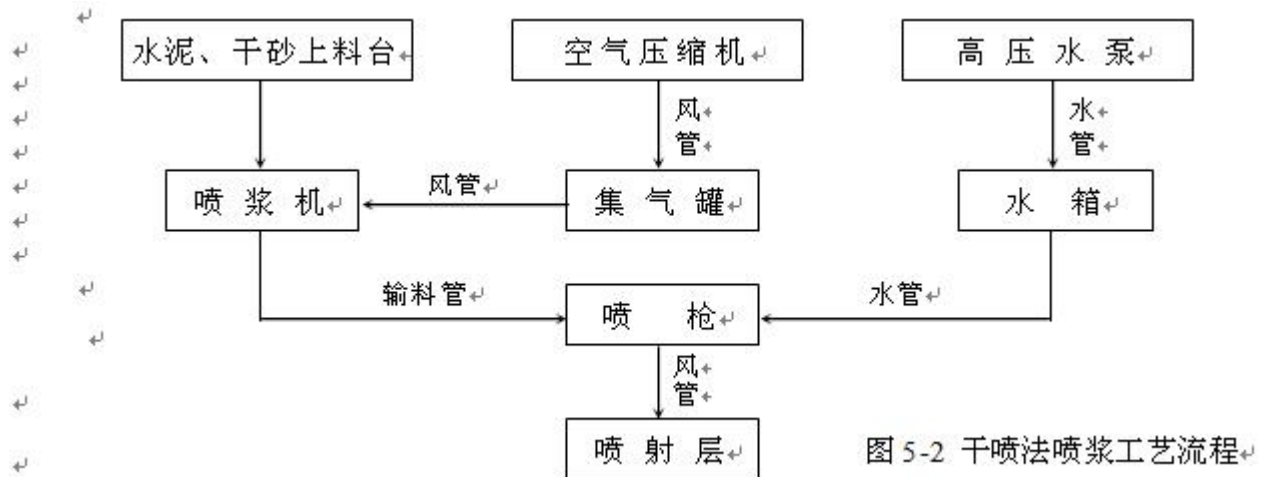


图 5-2 干喷法喷浆工艺流程

喷浆修补时，应特别注意以下几点：

1) 喷浆前应准备好足够的砂子与水泥。将其均匀拌和后，保存在不受风吹日晒之处。为避免砂中的水分和水泥因水化作用而结成硬块，应及时使用。

2) 输料管应采用软管，管长不宜短于 15m（一般为 25~70m），升高不宜超过 10m。

3) 喷浆工作压力应在 0.25~0.40Mpa 的范围内，随管长，升高调整。

4) 喷枪头与受喷面间应保持一定距离（一般为 80~120cm）喷射方向以垂直为宜。

5) 喷射层厚度有着严格的控制，当喷射层较厚时，需分层喷射，每层控制厚度如下：仰喷 20~30mm；侧喷 30~40mm；俯喷 50~60mm；

6) 下一层的喷射应在在前一层尚未完全凝固时开始（两层间隔时间一般为 2~3 小时），并应在前一层洒水润湿。当前一层已凝固时，应保证在砂浆表面不被破坏的前提下，用钢丝刷轻轻将层间松砂刷除，以使层间结合良好。

7) 喷射后一般需养护 1~2 周。养护期中，为了避免产生收缩裂缝，一定要使砂浆喷射层处于通风干燥的条件下。养护期内注意使喷射层避免阳光直射、雨打浪击、强烈振动等破坏。

混凝土粘结剂修补法包括：人工表面封涂修补法和浇筑涂层修补法。

人工表面封涂修补法主要用于混凝土桥梁结构表面的风化、剥落、露筋等小面积的破损。该方法利用混凝土胶粘剂表面封涂修补。封涂时，应按由低向高，由外向内的方向进行，应使封涂缺陷的周围有 2cm 的粘附面。封涂层厚度应大于 2.5cm。人工表面封涂修补法工序见图 5-3。

浇筑涂层修补法主要用于混凝土结构较大且较深的缺损。该方法是利用混凝土胶粘剂浇筑涂层对缺损进行修补，工序见图 5-4。浇筑涂层修补时，应特别注意以下几点：

1) 施工时，应避免荷载或重力震动等干扰，必要时可半开放交通。主梁等重要部位的修补，必须待修补部位强度达到原结构强度的 100%时，方可承受荷载、震动；

2) 该方法在早期、中期都应避免高温 (60℃ 以上) 影响，注意防火，防雨。

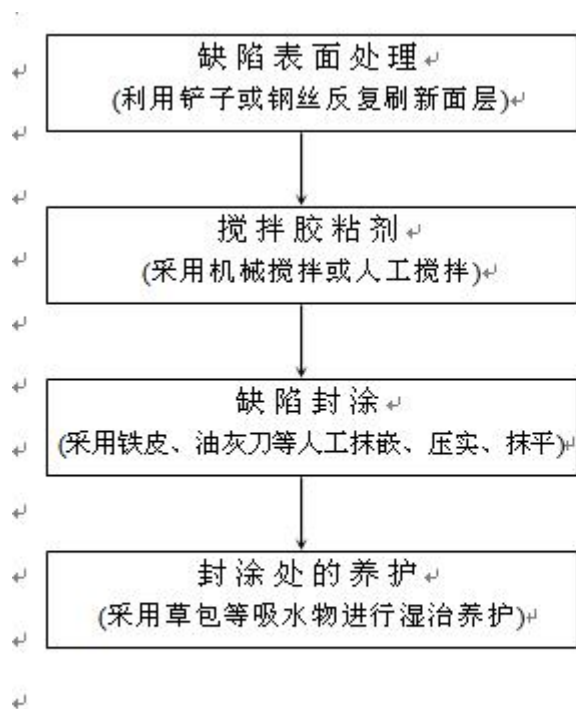


图 5-3 混凝土粘结剂表面封涂法工艺流程

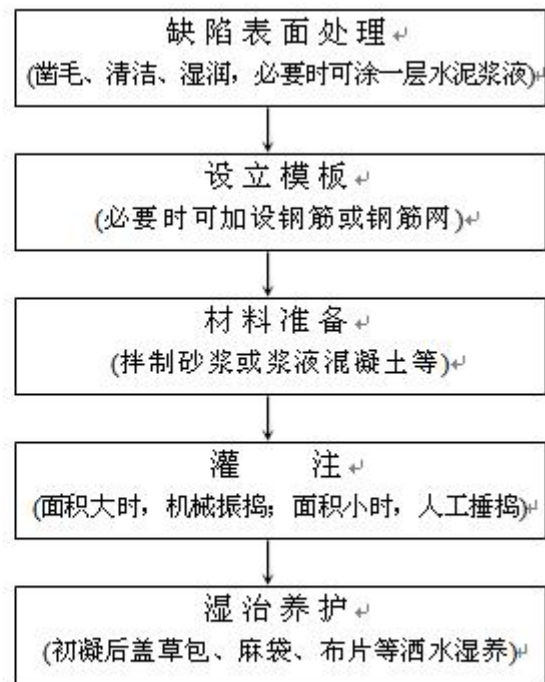


图 5-4 混凝土粘结剂浇筑涂层法工艺流程

由于环氧树脂材料具有较高的强度和抗蚀、抗渗能力，可与混凝土等材料牢固地粘结，是一种较好的修补材料。但由于耗资巨大且工艺复杂，故一般只在特别情况和特别部位使用。

环氧树脂材料修补时，要求混凝土表面无水湿、无油渍、无灰尘、无污物，无软弱带；要求混凝土凿毛面平整、干燥、坚固、密实。混凝土表面先人工凿毛，再用高压水或压缩空气吹净，或用风砂枪喷砂除净。

环氧树脂材料修补施工的工艺要求如下：

1) 涂抹环氧树脂基液：在涂抹环氧砂浆或浇灌环氧混凝土时，应先在表面涂一层环氧基液，以使老混凝土表面能被环氧树脂浆液充分湿润，保持良好的粘结力；涂刷时，可用人工涂刷或喷枪喷射，应力求薄而均匀，在钢筋与凹凸不平的部位，应反复多刷几次但厚度不能超过 1mm；已涂刷基液的表面，应注意保护，以防杂物、灰尘落上；涂刷基液后，须等待 30~60 分钟，待基液中的气泡清除后，再进行下一步的操作。

2) 涂抹环氧砂浆：平面涂抹时应摊铺均匀（每层厚度不宜超过 1.0~1.5cm，底层厚度应在 0.5~1.0cm），用铁抹子反复压抹，使表面翻出浆液，刺破气泡并压紧；斜、立面涂抹时，应用铁抹子不断的压抹流淌的砂浆，并适当增加砂浆内的填料，增大其稠度。环氧砂浆厚度以 0.5~1.0cm 为宜，若过厚应分层涂抹，若超过 4cm 应立模浇筑；顶面涂抹时因砂浆极易脱落，故应涂刷粘度较大的底层基液，并力求均匀。环氧砂浆厚度以 0.5cm 为宜，若过厚（大于 0.5cm）应分层涂抹，每层厚度控制在 0.3~0.5cm。

3) 浇筑混凝土：与普通混凝土的浇筑基本相同；施工时应避免扰动已涂刷的环氧基液；注意充分插捣，可辅以铁抹压抹；侧、顶面浇筑时应立模。

4) 养护：夏季一般需养护 2 天，冬季一般需养护 7 天以上；温度控制是养护工作的重点，养护温度以 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 为宜，夏季可设凉棚避免阳光直射，冬季可加温保暖；养护期间应注意防水。

5) 安全事宜：施工现场注意通风，以防技术人员呼吸中毒；施工人员应佩戴口罩、橡胶手套；身体接触到环氧树脂材料时不可用有机溶剂清洗，应用工业酒精和肥皂水清洗；施工器械可用丙酮、甲苯等溶剂或热水清洗；施工现场严禁明火；注意器械与残液的回收，以防污染环境。

二、圯工桥梁表层缺陷及维修对策

砖石桥梁结构表层缺陷主要有抹灰层、砌缝脱落，砌体表面麻面、起皮、起鼓、粉化、剥落等，材料变质、风化和裂缝等。

根据使用、美观以及耐久性的要求需对圯工结构表层缺陷进行修补，修补方法很多，可根据实际需要进行选择。

将已松散、破坏的砌缝用手凿或风动凿子凿去，深度 3~5cm，用压力水将其彻底冲洗干净。用 10 号水泥砂浆重新勾缝。勾缝前用抹子把砂浆填入缝内，然后

再用勾缝器压紧，切去飞边使其密实。勾缝一般可做成凹形槽（耐久性好，不易风化）。片石砌筑物可做成平缝。

为了防止雨水浸入，可在桥台、护坡接触处的离缝填嵌浸过沥青的麻筋。

在砌体表面风化、剥落、蜂窝、麻面处抹喷一层 10 号砂浆防护。抹喷方法同前，有手工抹浆法和压力喷浆法两种。手工抹浆时，首先应将风化、剥落表层彻底凿除，并凿毛表面，用水冲洗干净并保持湿润，然后分层抹浆。一般每层厚度 10~15mm，总厚度 20~30mm。下层砂浆应为毛面，以便连接紧密；压力喷浆一般用于面积较大的抹面工程。

当砌体表面局部损伤且脱落不很严重时，可将破损部分消除，凿毛洗净，并用 10 号水泥砂浆分层填补至需要厚度，并将表面抹平；当损坏程度较深时，可在新旧结构结合处设置牵钉，必要时可挂钢筋网并立模浇筑混凝土。

当镶面石仅松动而未破碎时，将其周围灰缝凿去，并取下镶面石，将内部失效灰浆全部铲除，用水冲洗干净，再用 10 号砂浆填实，安上镶面石，并在其周围捣垫半干硬性砂浆；当镶面石破损时，更换破损的镶面石或用预制混凝土块代替。

三、钢桥表层缺陷及维修对策

1、常见缺损的名称及性状

钢桥常见缺损的名称及性状见表 5-4 所示。

钢桥表层常见缺损及性状

表 5-4

名称	性状
涂层变色	涂层原来的颜色变化
涂层退色	有光泽色颜料变淡，失去本来颜色的状态
白堊化	涂层表面的粘剂风化并失去粘力，表面出现白粉状化合物
膨胀	涂层中的水分膨胀，涂层粘结力和凝聚力等大时，涂层就会鼓起来

开裂	随着涂层的脆化，应变和冲击产生裂缝所引起的状态
剥离	涂层的粘结性能降低，从底面或层间剥离的状态
恶化	由于桥面板混凝土裂缝漏水，其附近涂层局部剥离或生锈的状态
收缩	涂层很厚时，内部溶剂还未蒸发，表面就因干燥而产生接线状收缩的现象
裂缝	钢桥表面因温度、荷载、变形等原因产生的开裂现象
钢材变质	钢材因物理、化学性质变化而产生质的缺陷
锈蚀腐蚀	表层构件因化学性质变化而产生缺陷

2、钢桥表层缺陷的维修技术

钢桥表层最普遍的病害就是钢构件与钢板的锈蚀，故应当将钢桥的表面除锈重视起来。钢桥除锈主要有化学方法物理和方法。化学方法是在浓度为 10%的无机酸中加入 0.2%~0.4%的面粉、树胶或煤焦油等缓蚀剂，将锈蚀清洗干净。物理方法是采用喷砂除锈等。钢桥钢构件除锈的质量要求如表 5—5 所示。

钢桥、钢构件表面除锈的质量要求

表 5-5

方法	喷射或抛射除锈			手工和动力工具除锈	
	SA2	SA2.5	SA3	ST2	ST3
等级	SA2	SA2.5	SA3	ST2	ST3
适用范围	除 SA2.5 SA3 两类条件以外的其他地区	年平均相对湿度在 50%以上及有一般大气污染的工业地区	①大气含盐雾的沿海地区； ②大气中 SO ₂ 含量大于 250mg/m ³ 的工业地区； ③杆件浸水部分； ④防腐要求高的钢梁及构件	除 SA2.5 SA3 两类条件以外的其他地区	除 SA2.5 SA3 两类条件以外的其他地区
质量标准	一般喷射、抛射除锈，钢材表面的油脂和污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等附着物已基本清除，其残留物应是牢固附着的	较彻底的喷射、抛射除锈，钢材表面应无可见的油脂和污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑	彻底的喷射、抛射除锈，钢材表面应无可见的油脂和污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等附着物，表面应呈现均匀的金属光泽	一般的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮、锈和油漆涂层等附着物	彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮。锈和油漆涂层等附着物，除锈彻底，底材显露部分的表面应具有金属光泽

为防止桥梁杆件和钢板表面锈蚀，应定期进行油漆。为使新涂油漆与钢构件表面粘结牢固、持久，涂漆前，应对铁锈、旧漆、污垢、尘土、油水等仔细清除（对所有易锈蚀的节点杆件，如凹处、缝隙、纵横梁及主桁架的弦杆等，尤应仔细清理）。除锈质量好坏严重影响到油漆质量，应充分认识到除锈的重要性，做到点锈不留、除锈彻底、打磨匀亮、揩擦干净。

油漆时一般应漆底、面漆各两层。对于易遭受损坏或工作条件困难的部位应多涂一层面漆。在第一层底漆干燥后，应将裂缝、不平整处和局部凹痕等部位用油性腻子腻塞，并对腻封质量进行检查，发现缺点，当场解决。

钢桥油漆工作应在天气干燥和温暖季节（不低于 5℃）进行。刷油漆时的气温应与被漆钢构件表面温度相近。雾天、雨天、风沙大的天气不应进行油漆作业。

钢桥的防腐可采用金属涂层，金属涂层又可分为阳极防腐蚀涂层和阴极防腐蚀涂层两种。阳极防腐蚀涂层包括锌、铝等，其防腐效果较好；阴极防腐蚀涂层包括镀锡层等，其应防止因孔隙病害在涂层与钢材间形成电池作用，产生新的腐蚀。

钢结构涂层缺陷的处理详见表 5-6

钢结构涂层常见缺陷的处理

表 5-6

缺陷	现象	原因	处理与防范
流痕	垂直面之部分面积流下，结成厚膜	①一次涂刷量太多，太厚 ②油漆粘度太低 ③光滑涂面上涂刷 ④稀释剂挥发太慢	①调整涂刷量 ②调整粘度 ③用砂纸磨粗 ④换挥发快的稀释剂 ⑤泻流部分磨平后重新涂刷
桔子皮	产生桔皮状凹凸皱皮	①油漆粘度太高，稀释剂溶解力不好，或挥发太快 ②温度太高或暴晒 ③刷漆太厚，油漆质量不好	①适当调低粘度，使用良好的稀释剂 ②避免高温与暴晒，创造良好的施工环境 ③调整漆厚，用优良油漆 ④砂纸磨平后重新涂刷
刷纹	随刷漆运行方向留下凹凸刷纹	①使用粗短硬毛刷施工 ②油漆本身流展性不良 ③被涂刷物粗糙，吸漆性强	①改用优良漆刷 ②选用流展性好的油漆 ③用砂纸磨平重涂
气泡	涂料混入空气留在漆膜中变成小泡	①强劲搅拌油漆，未待空气逸出即予涂刷 ②稀释剂挥发太快或被涂刷物温度太高 ③油漆粘度太高	①避免激烈搅拌，搅拌后待气泡消除后再涂刷 ②使用较慢挥发剂，控制施工 ③适当调稀油漆 ④用砂纸研磨或除去漆膜重涂
针孔	涂面有针状小孔	①被涂面附着灰尘、水、油份 ②油漆中有油、水分存在 ③稀释剂挥发太快 ④底层漆未干透	①处理干净表面 ②防止油、水混入油漆中 ③换用挥发慢的稀释剂 ④待底层完全干透后，再做上层涂层 ⑤用砂纸磨后重新涂刷
白化	涂层发白混浊现象	①空气湿度太高，空气中的水分凝结于涂面而发白混浊 ②夜间气温下降，水分凝结于涂面而发白 ③被涂物温度低于气温	①避免雨天或湿度高下施工，用慢挥发性稀释剂 ②因油性或环氧类油漆干燥慢，应避免傍晚施工 ③被涂物温度升高后再施工 ④待湿度下降时，喷徐防水即可消除

发 粘	漆磨发粘现象	①基层面上有油、酸、碱等未清除干净 ②第一道未干、就刷第二道 ③水汽冷凝于漆表面	①清除杂质，处理好基层 ②控制操作时间，待第一道干后再刷第二道 ③已刷漆面应避免水气作用 ④若长时间后仍然发粘，应除去漆膜重新涂刷
-----	--------	--	--

第二节 公路桥梁内部缺陷的维修对策

混凝土、钢筋混凝土桥梁的常见内部缺陷有：结构钢筋锈蚀，混凝土强度不足，混凝土保护层厚度不足，混凝土内部的空洞、蜂窝等。

产生这些缺陷的原因是多方面的。设计不合理（如钢筋过密，骨料过粗等）、计算错误、图纸错误等，常常造成构件强度不足，稳定性不好，刚度不足；施工质量显不好、施工材料的规格与性能不符合要求、操作违反规程（如混凝土浇筑未充分振捣）等；交通量的巨增，汽车荷载的增加甚至超载加速了桥梁的老化；意外因素——地震、洪水、泥石流等。

结构内部缺陷危害很大，因为它往往是由外向内发展，发展到一定程度时，轻则危及到结构的安全使用，重则会造成结构的直接破坏，而这种过程在日常的检查中往往会被忽视。因此，对于这类缺陷，在日常的桥梁检查中，一定要提高警惕，做到防养并重。

1、钢筋锈蚀的危害

桥梁的内部缺陷中，钢筋锈蚀较普遍、危害较大的。1991年，MEHTA教授在第二届混凝土耐久性国际学术会议上的一次报告中指出：“当今世界，混凝土破坏原因，按重要性递降顺序排列是：钢筋锈蚀、寒冷气候下的冻害、侵蚀环境的物理化学作用……。”

以美国为例：1975年的调查表明，美国全年各种腐蚀损失为700亿美元，其中混凝土中钢筋锈蚀损失占40%(280亿美元)。1989年一份关于美国公路与桥梁状况的报告中指出：“现在积压着有待修补的混凝土桥梁的维修费是1550亿美元”。1992年，仅在美国，因拆除冰盐引起钢筋锈蚀破坏而限载通车的公路桥就占1/4，其中已不能通车的占1%，仅这些桥的维修费，即高达900亿美元。如果再加上车库、公路、房屋等因钢筋锈蚀而需要的修补费，则估计高达2580亿美元，几乎占美国债务的6%，钢筋锈蚀危害之巨可见一斑。

钢筋锈蚀其对桥梁结构的危害主要表现在以下三个方面：

- 1) 钢筋锈蚀引起的体积膨胀很大，使混凝土产生剥离、开裂，破坏了混凝土的受力性能，从而降低了材料的耐久性能。
- 2) 削弱钢筋受力面积，对受力的危害很大
- 3) 铁锈层及混凝土沿钢筋纵向的裂缝，削弱了钢筋与混凝土共同作用的能力。

2、钢筋锈蚀的成因

钢筋锈蚀的成因比较负责，主要时以下的原因：

1) 保护层厚度不足是导致结构钢筋锈蚀的重要原因——当保护层太薄时，混凝土碳化达到钢筋深度范围，使钢筋周围失去碱性，钝化膜被破坏，导致了钢筋的锈蚀。

2) 混凝土不密实也是导致结构钢筋锈蚀的主要原因。当混凝土密实性不足，混凝土孔隙率越高，组织不均匀时，空气中的二氧化碳容易渗入混凝土内而引起中性化(亦称碳化)，使混凝土碱性降低，减弱钢筋的保护作用，导致了钢筋的锈蚀。

3) 其它表层缺陷也可能导致结构钢筋锈蚀——随着蜂窝、掉角、剥落、露筋、裂缝等病害的发展，往往使结构钢筋直接暴露在外界条件下而发生锈蚀。

4) 在大气中含酸性气体较多的地域（如重工业区）及潮湿的环境，结构钢筋更易锈蚀。介质对结构的主要作用形式见表 5-7。

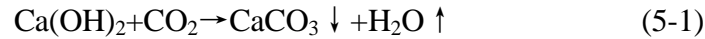
介质对钢筋混凝土结构作用的基本情况

表 5-7

介质	作用条件	在混凝土中的主要反应	混凝土中局部作用的特征	结构破坏特征 (主要过程)	结构的保护方法
酸性溶液	恒定有缓冲层	溶解及中和置换反应	在腐蚀产物层中扩散	混凝土腐蚀产物分层形成，作用停止	对结构表面加或不加保护视腐蚀速度而定
	恒定无缓冲层	溶解及中和置换反应	扩散—移动	混凝土腐蚀产物脱落，作用不停止	对结构表面加或不加保护视腐蚀速度而定
盐溶液	恒定	新生成物结晶的置换反应	在混凝土结构中扩散	混凝土开裂	使用低铝酸盐水泥，提高混凝土密实度，浸渍密实，隔绝结构表面
	周期吸水蒸发	新生成物结晶的置换反应	在混凝土结构中扩散—对流	混凝土开裂加速	使用低铝酸盐水泥，提高混凝土密实度，浸渍密实，隔绝结构表面
金属氯化物	恒定	盐浓度平衡的扩散迁移	在混凝土结构中扩散	去钝化和强烈阴极控制的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度，用淡水饱和，浸渍密实，隔绝结构表面，钢筋保护层
	周期吸水蒸发	盐聚积的扩散—对流迁移	在混凝土结构中扩散—对流	去钝化，与混凝土密实度和湿度有关而以阴极和阳极控制为主的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度，用淡水饱和和浸渍密实，隔绝结构表面，钢筋保护层
湿空气	恒定	被酸性气体中和	在中和混凝土层中扩散	去钝化，与混凝土密实度和湿度有关而以阳极或欧姆电阻控制为主的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度，浸渍密实，隔绝结构表面

3、混凝土碳化对钢筋锈蚀的影响

空气中的二氧化碳气体不断地透过混凝土中未完全充水粗毛细孔道，气相扩散到混凝土中部分充水的毛细孔中，与其中的孔隙酸钙和水，碳酸钙溶解底低，沉积于毛细孔中，化学反应可表是为



当混凝土表面层碳化后，大气中的 CO_2 继续沿混凝土中未完全充水的毛细孔道向混凝土深处气相扩散，更深入地进行碳化反应。由于钢的钝化膜在 PH 值小于 11.5 时就不稳定了，因此当混凝土碳化深度达到钢筋表面时，钢筋钝化膜即遭到破坏。ALLEN 曾按混凝土等级与所处环境给出不同龄期混凝土的碳化深度值如表 5-8。

混凝土预期碳化深度(mm) 表 5-8

混凝土的强度等级	暴露条件	(2-3)式中的 K 值	暴露时间/年				
			1	2	5	10	25
低	潮湿室外	6	6	9	13	19	30
	室内	10	10	14	22	32	50
中	潮湿室外	2	2	3	4	6	10
	室内	5	5	7	11	16	25
高	潮湿室外	1	1	1.5	2	3	5
	室内	2	2	3	4	6	10

BECKETT 给出了普通硅酸盐水泥、砂、卵石配制的不同保护层厚度的混凝土碳化所需时间的估算值，如表 5-9 所示。

混凝土碳化到钢筋处的时间(年) 表 5-9

水灰比	混凝土保护层厚度/mm					
	5	10	15	20	25	30
0.45	19	75	> 100	> 100	> 100	> 100
0.50	6	20	50	99	> 100	> 100
0.55	3	12	27	49	76	> 100
0.60	1.8	7	16	29	45	65
0.65	1.5	6	13	23	36	62
0.70	1.2	5	11	19	30	43

4、钢筋锈蚀的发展及分级

混凝土桥梁结构中钢筋锈蚀的过程可分为两个阶段。前期阶段：从浇筑混凝土时到混凝土碳化层深达钢筋，或氯化物侵入混凝土已使钢筋去钝化，即钢筋开始锈蚀时止（这段时间以 t_0 表示）。发展阶段：从钢筋开始锈蚀发展到严重锈蚀，以致结构破坏到不能再安全使用时止。在发展阶段，锈蚀是不断加剧的。该阶段又可分为下列三个时期：

1) 中期阶段：从钢筋开始锈蚀发展到混凝土表面因钢筋锈蚀膨胀而显示破坏现象，如顺筋胀裂、层或剥落等（这段时间以 t_1 表示）。

2) 后期阶段：从混凝土表面因钢筋锈蚀膨胀开始破坏发展到混凝土普遍显示严重胀裂、剥落破坏，即已达不可容许程度，必须全面大修时止（这段时间以 t_2 表示）。

3) 晚期阶段：钢筋锈蚀已扩大到使结构区域性破坏，致使结构不能安全使用（这段时间以 t_3 表示）。

对于预应力混凝土桥梁结构，一般设计使用寿命 t 取 t_0+t_1 。最好在 t_0 期间加强检查一旦发现预应力高，较脆，特别是高强钢丝，断面小，即使锈蚀轻微，断面损失率已较大，且对应力腐蚀疲劳敏感，所以尽管预应力混凝土的 t_0 一般比普通钢筋混凝土(在同一环境条件下)的 t_0 大，但是如果发生锈蚀，则锈蚀破坏危险将更高，即 $t_0 \geq t_1 \geq t_2 \geq t_3$ 。

对于普通钢筋混凝土桥梁结构，一般设计使用寿命 t 取 $t_0+t_1+t_2$ 。最好在 t_0 期间，最晚也应在 t_1 期间内尽早有效修补，方可防患于未然。

目前钢筋锈蚀较常用的外观评定分级法见表 5-10

钢筋锈蚀程度按表面状况分级

表 5-10

钢筋锈蚀程度级别	钢筋锈蚀后的表面状况
I	黑皮，无锈
II	小面积浮锈斑
III	薄浮锈扩大到钢筋周围与全条，混凝土上也有锈附着，但钢筋尚未见损失
IV	有膨胀性锈层，钢筋也有锈蚀缺损，但较少
V	膨胀性锈层显著，钢筋断面锈蚀缺损

5、钢筋锈蚀的几种状态

混凝土结构常见的钢筋锈蚀状态主要以下几种，见表 5-11

桥梁混凝土内钢筋的四种锈蚀状态

表 5-11

	混凝土内钢筋锈蚀状态描述
钝化状态	<p>钝态是钢筋在 PH 值高，供氧充分的砼内被保护的正常状态。在这种状态下，钢筋锈蚀率通常很低(0.1 毫米/年)。在没有氯盐的情况下，钝化电位幅度很宽，当 PH 值 13 时为+200 毫伏至-700 毫伏(饱和甘汞电极)。在加气砼内，钢筋的正常显示(钝化)电位变幅为+100 至-200 毫伏(饱和甘汞电极)。</p> <p>砼的“质量”包括像水灰比，火山灰质外加物、渗透性及电阻等参数，决定砼在钝化钢筋基本上尚未锈蚀情况下抵抗各种脱钝作用(以后讨论)和影响特性电位的能力。</p>
点锈蚀	<p>点蚀是氯离子存在或侵入引起的典型局部锈蚀状态。点蚀的显著特征是在以大面积钝化钢筋为阴极，与以氯盐高度集中，PH 值下降的局部小面积为阳极之间的动电(直流)电流活动。</p> <p>钝化钢筋和局部阳极间的典型平均电位是-200 至-500 毫伏。电化学电位图显示出靠近阳极区的电位梯度很高</p>
全面锈蚀	<p>全面锈蚀是由于砼碳化或砼内有大量氯盐，导致钢筋普遍失去钝化的结果。其电化学电位与钢筋在其他环境中锈蚀电位相似。典型的电位是-450 至 600 毫伏(饱和甘汞电极)，电位梯度不很大。</p>
结化低电位锈蚀	<p>在氧进入砼内大受限制，以致钢筋钝化膜难以维持的环境中，甚至高碱性砼中的钢筋也可能变为活化。铁在 PH 值 13 的溶液中，平衡电位大约是-1000 毫伏，并溶介为 FeO_2 离子络合物。但是，锈蚀率却很低——等于甚至低于钝化状态下的锈蚀率。而且，若环境条件变化，以致供氧充沛时，钢筋还易于重新钝化。</p> <p>在这种情况下，不可能发生点蚀，因为电位比点蚀的阳极电位低。在砼裂缝底部，若钢筋的一小部份暴露于外部环境，这一部分钢筋即将承受阴极保护作用。</p>

5、桥梁结构钢筋锈蚀的维修

钢筋锈蚀的维修按以下步骤进行：

- 1) 凿除松脱、剥离等已损坏部分的混凝土，使钢筋全部露出；
- 2) 用喷砂枪或钢丝刷等对钢筋作除锈处理，并在除锈后及时清除钢筋及混凝土表面上的铁锈与灰尘，必要时在除锈后还应对钢筋进行防锈处理；

3) 在清除好的混凝土与钢筋表面涂上环氧胶液等粘结剂, 以提高新、老混凝土的粘结力;

4) 用新的混凝土或砂浆填补, 可采用普通混凝土立模浇筑法、干(湿)式喷浆法等; 有时也可用环氧砂浆、环氧混凝土或其他防腐蚀材料来修补;

5) 对新喷涂(浇筑)混凝土进行表面处理, 以防混凝土表面重新碳化。

第三节 公路桥梁结构裂缝的维修对策

圯工桥梁、混凝土及钢筋混凝土桥梁均可能存在不同程度的裂缝。为了恢复桥梁结构的整体性, 保持其强度、刚度、耐久性, 使其更加美观, 应对这些裂缝进行仔细的检查、评价, 并进行针对性的维修。常用维修方法如图 5-5。

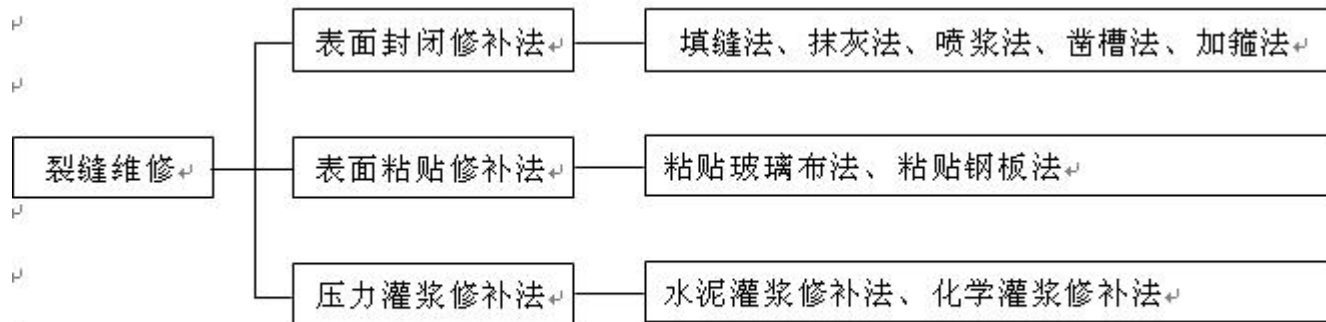


图 5-5 裂缝修补方法的分类

一、裂缝的表面封闭修补法

桥梁结构裂缝的表面封闭修补常用方法有填缝法、表面抹灰法、表面喷浆法、凿槽嵌补法和加箍封闭法等。

填缝法常用于砖石砌体轻微裂缝的简单修理。首先将缝隙清理干净, 根据裂缝宽度选择相应的勾缝刀、抹子、刮刀等。填缝所用水泥砂浆(1:2.5 或 1:3)强度不得低于原灰浆。表面抹灰法的操作步骤为: 将水泥浆、水泥砂浆、环氧基液、环氧砂浆等材料涂抹在裂缝部位的砖石砌体或混凝土表面上。

水泥砂浆涂抹法的操作步骤为: 先将裂缝附近的混凝土表面凿毛(糙面应平整), 洗刷干净后, 洒水使之保持湿润(但不可有水珠)。然后将水泥砂浆(1:1~1:2)涂抹其上。涂抹时应先用纯水泥浆涂刷一层底浆(厚度约 0.5~1.0mm), 在将水泥砂浆一次或分次抹完(厚度越厚, 所需次数越多)。涂抹的总厚度一般为 10~20mm。最后用铁抹压实、抹光; 配制砂浆时, 砂子不宜太粗, 以中细砂为宜, 水泥可用普通水泥(标号不宜低于 32.5 号); 夏季施工时, 应防止阳光直射, 在涂抹 3~4 小时后应洒水养护。冬季应注意保温, 避免因受冻而降低强度。

环氧砂浆涂抹法的操作步骤为: 先在裂缝上口凿一宽约 1~2cm, 深约 0.5cm 的 V 形槽, 槽面应尽量平整; 再用钢丝刷或竹刷刷净缝口, 凿去浮渣, 用手持式皮风箱吹清缝内灰砂并烘干混凝土表面; 在裂缝外用蘸有丙酮或二甲苯的纱头洗擦一边, 保持槽内混凝土面无灰尘、油污等; 在裂缝周围涂一层环氧浆液, 若裂缝较深, 在垂直方向可静力灌注(环氧浆液可灌入 0.5mm 的细缝中); 最后嵌入环氧砂浆, 用刮刀将其平面与原混凝土面齐平; 待环氧树脂硬化后(常温 20~25℃ 时, 约需 6~7 天), 即可应用; (注: 该方法中施工人员应做好防火、防毒工作)

表面喷浆法的操作步骤为：先对需要喷浆的结构表层仔细敲击，敲碎并除去剥离的部分；若为钢筋混凝土，还须清除露筋部分钢筋上的铁锈；接着将裂缝表面凿毛（V形槽），并用水冲洗结构物表面，在开始喷浆前将基层湿润一下；最后喷射一层密实、高强度的水泥砂浆保护层以封闭裂缝。根据裂缝的部位与性质及修理的要求与条件，该方法可分为无筋素喷法、挂网喷浆法等。

凿槽嵌补法的操作步骤为：先沿混凝土裂缝凿一条深槽，槽形根据裂缝位置和填补材料而定（多采用V形槽）；再将槽两边混凝土修理整平，将槽内清洗干净；最后在槽内嵌补粘结材料（当填补水泥砂浆时，应先保持槽内湿润且无积水；当填补沥青或环氧材料时，应先保持槽内干燥）。

加箍封闭法主要用于钢筋混凝土梁的主应力裂缝，加箍以封闭裂缝。选用的直箍或斜箍可由扁钢焊成或圆钢制成，设箍方向应与裂缝方向垂直；箍、梁上下面接触处可垫以角钢或钢板（图5-6）。

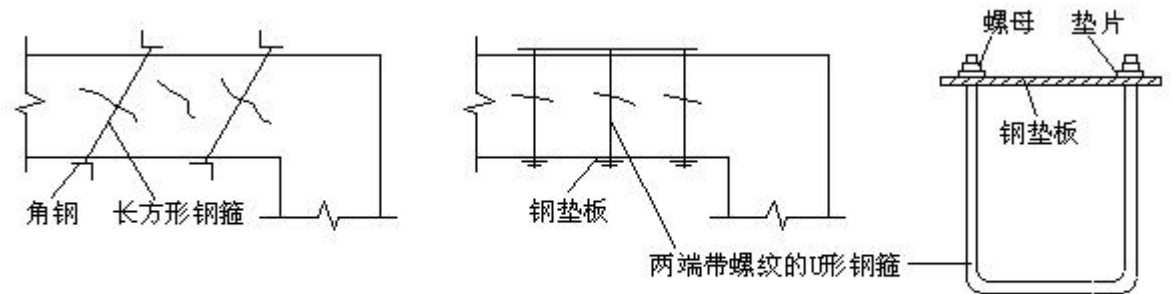


图 5-6 加箍封闭裂缝示意图

二、裂缝的表面粘贴修补法

表面粘帖法用胶粘剂将玻璃布或钢板等材料此粘贴在裂缝部位的混凝土面上，现将粘帖玻璃布法与粘帖钢板法分别加以介绍。

1、粘帖玻璃布法

粘帖玻璃布法所用的玻璃布由无碱玻璃纤维织成，耐水性好、强度高。它又可分为无捻粗纱布、平纹布、斜纹布、缎纹布、单向布等多种，其中无捻粗纱布因强度高，气泡易排除、施工方便，最为常用。

玻璃布在使用前必须除去油蜡（玻璃布在制作工程中加入了含油脂和蜡的浸润剂），以提高粘帖效果。玻璃布除油蜡的方法有两种，一是将其在碱水中30~60分钟，再用清水洗净，二是将其放在烘烤炉上加温到190~250℃，使油蜡燃烧（会产生很多灰尘），烘烤后将玻璃布在浓度为2~3%的碱水中煮沸30分钟，取出用清水洗净并晾干。其中后一种方法效果较好。

粘帖前先将混凝土面凿毛，并冲洗干净，使表面无油污灰尘，若表面不平整，可先用环氧砂浆抹平；粘帖时，先在粘帖面上均匀刷一层环氧基液（不能有气泡），接着展开、拉直玻璃布，放置并抹平使之紧贴在混凝土表面，用刷子或其他工具在玻璃布面上刷一遍，使环氧基液浸透玻璃布并溢出；在该玻璃布上刷环氧基液。按同样方法粘帖第二层玻璃布（为了压边，上层玻璃布应比下层的宽1~2cm）。

2、粘贴钢板法

首先按所需尺寸切好钢板，用打磨机研磨，使其表面露出钢的本色；修凿裂缝附近混凝土表面使其平整；用丙酮或二甲苯擦洗修补部位的混凝土表面及钢板面以去除粘结面的油脂和灰尘；在钢板和混凝土粘贴面上均匀地涂刷环氧基液粘结剂；用方木、角钢和固定螺栓等均匀地压贴钢板；待养生到所需时间，拆除方木、角钢等材料，并在钢板表面上再涂刷一层养护涂料（如防锈油漆）

三、裂缝的压力灌浆修补法

压力灌浆法一般用于裂缝多且深入结构内部或结构有空隙的部位。它通过施加一定的压力，将浆液灌入结构内部裂缝中，以封闭裂缝，恢复并提高结构强度、耐久性和抗渗性。该法依据灌入浆材的不同，可分为水泥灌浆法（灌浆材料有：纯水泥、水泥砂浆、水泥粘土、石灰、石灰粘土、石灰水泥），化学灌浆法（灌浆材料有：环氧树脂类浆液、丙烯酸酯类浆液、水玻璃类浆液、丙烯酰胺类浆液、丙烯酸盐类浆液、聚氨脂类浆液等），以及沥青灌浆法，沥青灌浆法不常用这里不介绍。

1、水泥灌浆修补法

水泥灌浆修补法的工艺流程见图 5-7。

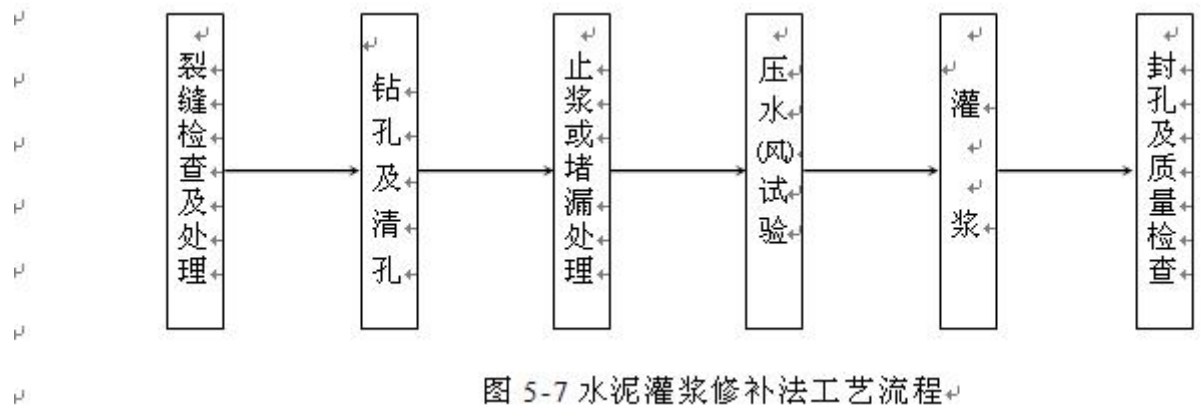


图 5-7 水泥灌浆修补法工艺流程

水泥灌浆修补法的施工要点如下：

1) 灌浆前应再仔细检查一遍裂缝，确定修补的数量、范围、钻孔的位置及浆液数量。

2) 钻孔时，一般不可顺着裂缝方向。钻孔轴线与裂缝面的交角以大于 30 度为宜。

3) 钻孔完毕后应清孔，可用水由上向下冲洗各孔。用水冲净后，再用压缩空气将各孔吹干。孔眼的冲洗、吹风是按由上向下、一横排接一横排的顺序进行的。

4) 灌浆前应先将结构中大的裂缝与孔隙堵塞起来，以防灌浆时浆液通过它们流到表面（即止浆、堵漏处理）。止浆、堵漏主要有三种方法：用水泥砂浆或环氧砂浆涂抹，用环氧胶泥粘贴，用棉絮、麻布条等嵌塞等。

5) 灌浆前应作压水或压风试验，以检查孔眼畅通情况及止浆效果。

6) 通过结构上人工钻成的孔眼将水泥浆液灌入。

7) 圯工结构灌浆时，水泥标号一般不低于 325 号，灌浆压力一般为 0.1~0.304MPa。

8) 混凝土、钢筋混凝土结构灌浆时所用的水泥标号一般不低于 425 号，灌浆压力一般为 0.405~0.608MPa。

9) 当工程量较大时，可采用灌浆机、灌(压)浆泵、风泵等加压设备
当工程量较小时，可采用打气筒状的注射器施工，注射器如图 5-8 所示。

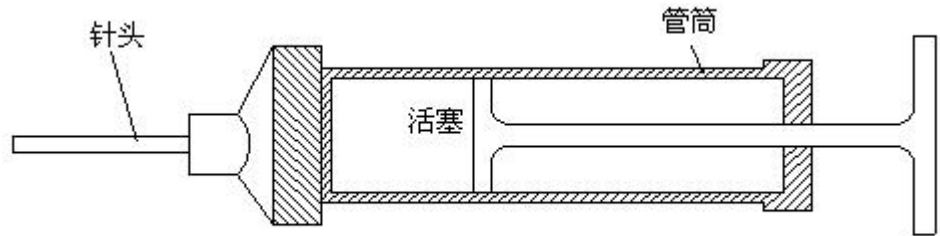


图4-4-4 打气筒状灌浆设备剖面图

2、化学灌浆修补法

化学灌浆修补法工艺流程见图 5-9。

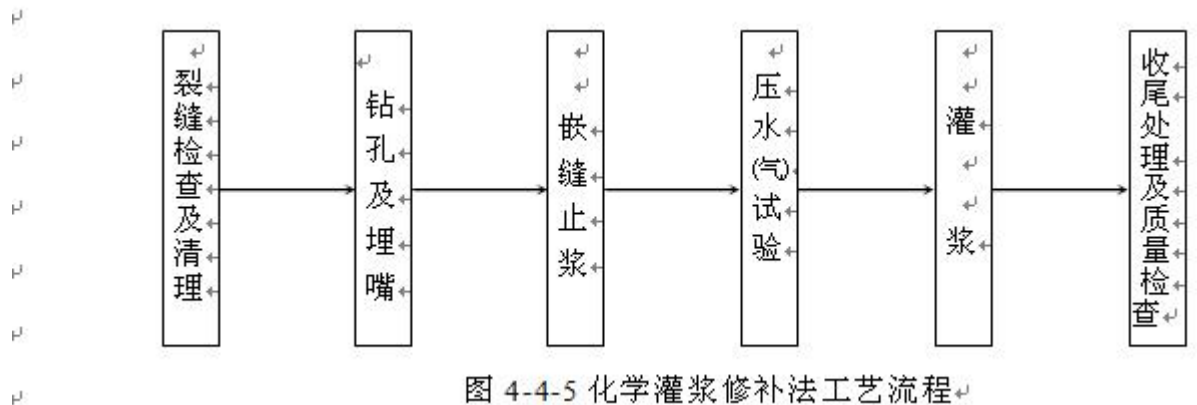


图 4-4-5 化学灌浆修补法工艺流程

化学灌浆修补法的施工要点如下：

1) 灌浆前应先对修补部位的裂缝情况进行详细的检查、记录。做好定量和定性的分析。据此计算和安排有关灌浆材料配量、埋嘴、灌浆注射等工作。

2) 在裂缝两侧画线之内用小锤、手铲、钢丝刷等工具将构件表面整平，凿除突出部分，再用丙酮擦洗，清除裂缝周围的油污（不要将裂缝堵塞）。

3) 应选择大小合适、自重尽可能轻的嘴子。嘴子的布置原则是：宽缝稀，窄缝密；断缝交错处单独设嘴；贯通缝的嘴子设在构件的两面交错处。

4) 埋嘴前，先把嘴子底盘用丙酮擦洗干净，然后用灰刀将环氧胶泥抹在底盘周围，骑缝埋贴到构件裂缝处。（不要将嘴子和裂缝灌浆通道堵塞）。

5) 埋嘴后，应封闭其余裂缝，进行嵌缝或堵漏处理，以保证浆液将裂缝填充密实、防止浆液流失。封闭方法为：对于裂缝较小的混凝土构件，先沿裂缝走向均匀地涂刷一层环氧浆液(宽约 7~8cm)，再在其上分段紧密贴上一层玻璃丝布(宽约 5~7cm)。在嘴子底盘周围 5~10mm 的范围内不贴玻璃丝布，可用灰刀沿其周围先抹上一层环氧胶泥(鱼脊状)，再刷上一层环氧浆液；对于裂缝较大的混凝土构件，先沿裂缝用风镐凿成 V 形槽(宽约 5~10cm，深约 3~5cm)，再清除槽内松动的碎屑、粉尘，最后向槽内填塞水泥砂浆。

6) 在前一步骤完成一天以后, 应进行压水或压气试验, 以检查裂缝封闭及孔眼畅通情况。

7) 化学灌浆可采用两种工具: 手压泵, 裂缝较大时采用; 灌浆注射器, 裂缝较细微、灌浆量不大时采用。两者灌浆时均应保证泵或注射器针头与嘴子的严密联接, 不能漏气。前者与灌嘴可用聚氯乙烯透明塑料管联接; 后者可将气门蕊套在针头上, 再将针头插入灌浆嘴内进行灌浆。

8) 灌浆时应注意压力的控制。当裂缝较宽, 进浆通畅时, 压力应小(手压泵泵压控制在 0.1~0.2MPa 左右); 当裂缝细微、进浆困难时, 压力应大(手压泵泵压控制在 0.4MPa 左右)。用灌浆注射器注射主要靠手的推力, 以灌得进浆液为准。

9) 灌注的次序应事先标定。原则是: 竖向裂缝先下后上; 水平裂缝由低端逐渐灌向高端; 贯通裂缝在两面一先一后交错进行。灌注过程中应随时注意排气。每灌完一个嘴子, 不要急于转移器械, 稳压几分钟待所修补裂缝吃浆饱满再灌下一个嘴子。在每个灌完的嘴子上绑扎一段透明塑料管, 以便其溢浆时可立即扎死管子。

10) 灌浆完毕待浆液聚合固化后, 拆除灌浆嘴, 并用环氧胶泥抹平。在每一道裂缝表面再刷一层环氧树脂水泥浆, 以确保封闭严实。

另外, 施工时应注意安全事宜: 施工现场注意通风, 以防技术人员呼吸中毒; 灌浆材料应密封储存; 施工人员应佩带口罩、橡胶手套、防护眼镜等; 身体接触到环氧树脂材料时不可用丙酮等溶剂清洗, 应先用锯木屑或去污粉擦除, 再用肥皂热水清洗; 施工器械可用丙酮、甲苯等溶剂或热水清洗; 施工现场严禁明火; 注意器械与残液的回收, 以防污染环境。