

城市过江隧道加固施工技术研究

陈 宁¹ 李雅杰²

1. 长沙市城投基础设施建设项目管理有限公司 湖南长沙 410000

2. 中国建筑第五工程局有限公司 湖南长沙 410000

【摘 要】加固技术是防控隧道病害问题的有效手段。以湘雅路过江隧道工程为例，对其加固技术进行阐述。研究表明：施工过程的重点应放在注浆、抛石等方面，通过高效的管理措施，确保了工程质量与施工安全，取得了良好的效益，从而验证了该技术在工程实践中具有一定的可行性与适用性。

【关键词】过江隧道；隧道病害；隧道加固；施工技术

1 工程概况

湘雅路过江隧道工程是长沙市区“十八横十六纵”34条主干路之一，是湖南省首条双向六车道过江隧道，也是湖南省目前在建的最大盾构施工项目。线路全长约为4.18km，穿越湘江，分别在河东、河西设置一对进出匝道。隧道江中段为双向六车道，通过泥水平衡盾构进行施工，盾构隧道采用管片拼装式单层衬砌的方法。

隧道洞身主要穿越圆砾、卵石、中风化板岩、微风化板岩、碎裂岩等岩土带，其中以微风化板岩为主，局部为中风化，强度较高。盾构段穿越两条规模较大的断裂带，局部零星分布有少量的石英脉及变质砂岩层，且存在一定程度的软硬不均现象，围岩以硬塑土柱状或碎裂结构碎裂岩为主。工程内地下水有人工填土层中的上层滞水、第四系砂砾石层中的孔隙潜水、基岩裂隙水及构造裂隙水，拟建场地地下水的环境类型为Ⅱ类。

2 施工工艺

为保证施工安全与施工质量，结合工程实际，决定采用的加固方案如下：首先对该区域进行注浆加固，待盾构机通过后，最后进行江中抛石处理。

2.1 江中注浆

2.1.1 工艺原理

江中注浆工艺的主要原理是：通过注浆来填充碎裂岩土体中的裂隙，以隔绝盾构机的浆液与气体的渗漏通道，保障盾构开挖仓的气密性。最终达到提高掘进与进仓的安全系数、有效降低侧压力系数、增强土体稳定性的目的。

2.1.2 材料选择

隧道加固材料通常分为有机材料和无机材料两大类。在工程中，加固材料的品种规格和性能指标应符合国家、行业现行相关标准的规定，满足抗压强度高、抗渗性好、反

应时间可调控、反应温度较低、不产生毒害物质、安全性能较好等要求。

本工程中的注浆共使用两种注浆浆液，周边三排采用改性膏浆，每方改性膏浆施工配合比为：水750kg、水泥375kg、膨润土375kg、偏铝酸钠7.5kg、木质素磺酸盐0.75kg。内部注浆使用的水泥浆水灰比为1.2:1，每方浆液使用652kg的C42.5的水泥。

改性膏是一种由C42.5水浆泥、膨润土、偏铝酸钠、木质素磺酸盐通过一定的比例配置而成的浆液。该浆液具有抗水流侵蚀性、初终凝时间可调、扩散控制性好、动水抗分散、早期强度高、环保无毒等优点，可以用于节理裂隙开度较大的岩体或堆石体的灌浆填充处理。其他材料包括水泥和膨胀土。其中水泥采用湖南南方牌P.042.5普通硅酸盐水泥，膨润土的细度须通过80 μm方孔筛，且其筛余量不宜大于5%；有机物含量则不宜超过3%。

2.1.3 操作流程及要点

(1) 平台定位。江上注浆钻机采用GPS定位仪进行定位。即先利用GPS进行注浆孔定位，并在平板船注浆平台上做好标记，钻机就位后再用GPS进行定位复核，平板船注浆平台如图1所示。

(2) 钻孔。钻孔施工采用跟管钻机进行施工。钻机就位后，利用垂球结合水平尺检查钻机水平度及钻杆垂直度。同时在钻进过程中对钻孔的垂直度进行核验，要求钻机就位与设计位置偏差低于5cm，垂直偏差度不超过1%。当钻进过程中因岩层破碎造成卡钻时，应立即停止钻进，通过注浆扫孔后再行钻进。钻孔应采取“先外围、后内部”的顺序，在外围进行“围、堵、截”，内部进行“填、压”，同一排钻孔采取间隔施工的形式。根据孔顶和设计加固底端标高对钻孔深度严密控制，钻到设计深度时即刻

结束钻孔。在淤泥和粉质粘土及砂层段钻孔过程中应及时跟进套管，钻入中、微风化地层后则可不跟进套管。需要指出的是，钻孔过程中务必做好记录，必要时做好地质描述，以供注浆作业参考。

(3) 插入袖阀管。钻孔成功后拔出内钻杆，将袖阀管插入孔内（袖阀管的直径为48mm），其末端用锥形堵头封好，防止被管内的流砂堵塞。插入袖阀管时，应将袖阀管置于钻孔的中心，以便灌注套壳料时将袖阀管包裹均匀。插入袖阀管时，将长度相等的六分塑料管一齐插入孔内，作为注套壳料的管路。袖阀管插入到位后将孔口用保护帽套好，下插的袖阀管需伸出江面。袖阀管的注浆孔间距、压力、注浆速度应满足下列要求：

1注浆孔间距为1.1m，采用梅花型满堂形式布置，扩散半径不小于0.6m，应填充围岩裂隙；

2注浆时的初压应在0.3-1.0 MPa，稳压应在1.0-2.0MPa范围内；

3注浆速度设置在10L-100L/min；注浆水灰比W:C=0.8:1-1.2:1；袖筏管分段长度为100cm。

(4) 注入套壳料及封口。操作时须“钻一孔则注一孔”，防止发生塌孔和埋管。将先前配好的套壳料用PW-120泥浆泵压入PVC塑料管，此时套壳料会从底向外返浆，从而达到了置换孔内泥浆、填满套壳料的目的。待套壳料注入超过注浆范围外1m时，立即停止注入套壳料，并将塑料管拔出，置于套壳料上部进行封口。套壳料采用膨润土和水泥配置，配合比采用水泥:膨润土:水=1:1.5:1.88（重量比），浆液比重约为1.5，膨润土中不能含有沙砾等杂物。

(5) 注浆。注浆时先进行成孔下管，然后进行集中注浆，同排孔采用跳孔注浆的方式进行。袖阀管注浆主要进行改性膏浆、水泥浆等材料的注浆施工，以防止浆液泄露。注浆过程示意图如图2所示，进行注浆操作时需按照以下要点进行操作：

1注浆的施工工序如下：测量放线→成孔→下袖阀管→注套壳料→管线连接（在袖阀管内放入芯管，将注浆管与袖阀管内的芯管连接）→制浆（按设计规定的标准配置浆液）→开环→注浆。

2注浆加固范围：隧道顶部以上5m，隧道两侧5m，纵向长82-86m，横向宽51-54m，四周注浆深度至隧道底板标高，内部注浆深度至隧道拱腰。

3浆体应按照试验确定配合比，并经计量后用搅拌机搅拌均匀。水泥浆必须按比例拌合，并在注浆过程中缓慢搅

拌。浆液内加入适量的速凝剂（掺量现场调配），浆液采用UJW150搅拌机船上搅拌。

4将注浆器下至需要注浆的孔段时，即启动注浆泵，压送清水。在此过程中压力会逐渐提高，直至冲开橡胶袖阀及所对应位置的套壳，此时开环压力为0.35MPa左右，具体参数根据现场实验进行调整。

5注浆通过档位和球阀控制流量时，应注意控制注浆压力，待注浆压力逐渐稳定后，再向上提管继续注浆。每排孔采用“间隔注浆、逐渐加密”的方式，跳孔的间隔时间一般为48小时，当出现“串浆”现象时，适当加大孔位的间隔数量（如隔两孔注一孔）。当各孔注浆压力达到设计终压并稳定10分钟左右，且进浆速度小于初始进浆速度的1/4，并达到理论注浆量时，可认为注浆步骤结束。

(6) 注浆效果检测。注浆完成后，需要对注浆区域抽芯检测。取芯数量应为总桩数的1%，加固体抽芯检验需在盾构机穿越前1个月前左右、注浆结束后28d后进行，其无侧限抗压强度应不小于1.0MPa，渗透系数应低于10-5cm/s。

(7) 注浆位置及深度控制措施。应根据图纸所示里程及坐标，将船舶驶入大概位置，然后采用CPS放样的方法确认注浆点位具体位置。同时采用长度一致的袖阀管，根据袖阀管节数确定注浆深度是否到位。

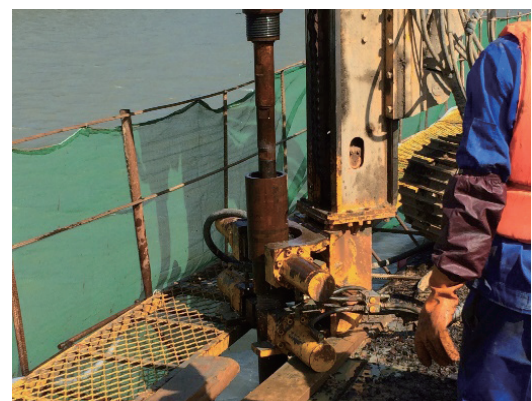


图1 平板船注浆平台

Fig.1 Flat boat grouting platform

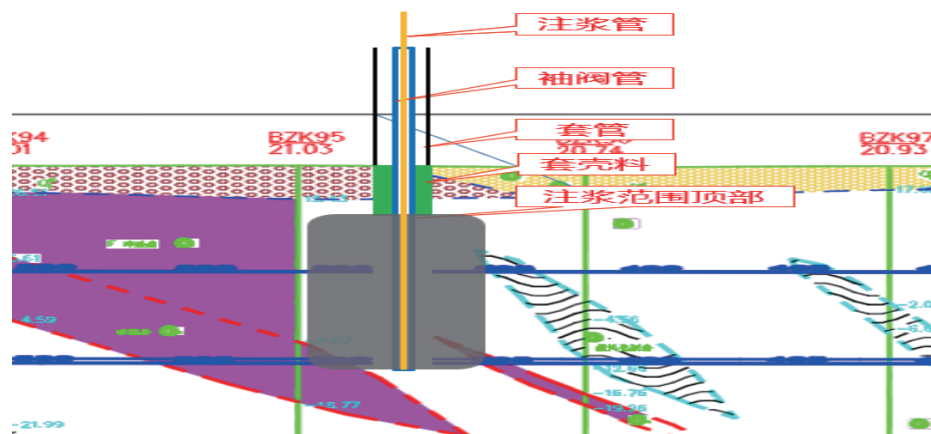


图2 注浆过程示意图

Fig.2 sketch map of grouting

2.2 江中抛石

在盾构机通过后,对该段区域进行抛石回填处理,抛石的施工参数按照设计图纸进行施工。江中抛石工艺包括砂肋排铺设和抛石夯实两道工序。

2.2.1 砂肋排铺设

具体做法是：首先在江底铺设一层砂肋软体排，排体选用面布300g/m²的编织布与底布150g/m²短纤涤纶针刺无纺布土工布进行复合。砂肋充填料的粒径大于0.075m，颗粒含量应大于5%，粘粒的粒径小于0.005m，颗粒含量不超过10%。相邻排体在垂直于大堤轴线方向上必须保持连续，不可分开，软体排搭接长度不小于3m。软体排铺设方向逆流铺设。砂肋加工成圆筒状，需一次加工成型。其直径为30cm，每根材料的长度为单块软体排的宽度，并分别在砂肋的两头设置充砂口、出水口。软体排上部采用宽度为5cm的加筋带，沿排体铺设方向进行缝制。间距的要求如下：中心线两侧各3m、边侧3m范围内应为0.5m/根，其它部位为1m/根。单块排体两侧的加筋带为双层正面缝制，砂肋间距为0.75m。

2.2.2 抛石夯实

抛石回填必须在盾构隧道掘进前施工完毕，并选择在枯水期内完成施工，并应遵循“先上游后下游，先深泓后近岸”的原则依次均匀投抛。临水侧抛石应采用分层分段法进行夯实，每层厚度大致相等（建议控制在0.5m），夯实后抛石的厚度和分段搭接长度不超过2m。夯锤底面压强应在40~60kpa，落距应在2~3m，每夯冲击能量为150~200kJ/m（不计浮力、阻力），且夯锤应具有竖向泄水通道。夯实采用纵横向相邻接压半夯，每点一锤，并分初、复夯各一遍，一遍夯次不低于四次。

抛石回填加固要求临水抛石重量不小于50kg, 直径不小于20cm, 加固层厚度为2.0m, 并依照级配进行填筑。平面

加固范围沿盾构隧道布置, 横向范围为隧道结构线外10m, 整体加固长度为75m, 加固宽度为65m。

3 结语

加固技术在隧道病害防治、减少资源浪费、促进交通运输业的可持续发展等方面发挥着重要作用，亦是保障道路交通安全运行的重要环节。在施工阶段，应综合考虑现实的施工环境，切实做好施工方案的设计，确保材料质量合格，严格把控施工工序，重视施工质量与施工安全，采取先进的施工控制方法，才能满足过江隧道交通运行标准。应根据施工完成的实际情况对隧道进行一段时间的监测，这不仅能使隧道养护技术人员掌握加固工程的效果，还可为后续的养护工作积累技术资料。总体上看，本技术在实际工程中得到了成功实践，并在技术运用、成本控制、安全适用等方面上实现了显著的效益提升，具有较高的科学性和推广价值，并希望可为类似的工程建设提供一定的参考价值与借鉴意义。

参考文献:

- [1]姚震.公路隧道的养护与病害防治措施分析[J].建筑技术开发,2018,45(22):116-117.
- [2]刘甫.引水隧洞近接铁路隧道施工加固措施研究[D].成都:西南交通大学,2021.
- [3]王常青,秦洲,刘燕鹏.《公路隧道加固技术规范》关键问题解析:中国公路学会养护与管理分会第十一届学术年会[C].中国江苏南京,2021.
- [4]陈志成.破碎风化花岗岩下暗挖斜井敏感性分析及注浆材料研究[D].青岛:山东科技大学,2019.

作者简介:

陈宁 (1980.8.6-), 男, 汉, 湖南邵阳人, 本科, 工程师, 研究方向: 市政道路。