

# 高应力地区成型管片破坏后的修补技术

陈 维, 陈 鑫

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

**摘 要:**结合西藏某公路隧洞工程中成型管片破坏后采用的修补技术,对高应力地区成型管片破坏后修补时的施工方法、应用范围、工艺流程、修补关键技术、预防措施、效益分析及工程实例进行了阐述,旨在为我国高应力地区成型管片破坏后的修补技术提供借鉴。

**关键词:**高应力;成型管片;修补

**中图分类号:**TV554;TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2020)04-0042-03

## Repairing Technology of Damaged Formed Segment in High Stress Area

CHEN Wei, CHEN Xin

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract:** Combined with the repairing technology adopted after the damage of formed segment in a highway tunnel project in Tibet, the construction method characteristics, application scope, process flow, key repairing technology, preventive measures, benefit analysis and engineering examples of the repair after the damage of formed segment in high stress area are expounded, so as to provide reference for improving the repairing technology after the damage of formed segment in high stress area in China.

**Key words:** high stress; formed segment; repairing

### 1 概 述

西藏某公路隧道全长 4.799 km,施工主要采用双护盾 TBM 掘进,开挖洞径为 9.13 m,开挖后衬砌采用“6+1”型四边形预制混凝土管片,管片厚 35 cm,衬砌后隧洞直径为 8.1 m,硬岩掘进机最大日进尺为 26.9 m,平均月进尺为 480 m,最大月进尺为 560 m,隧道最大埋深 820 m,隧道围岩岩性以混合片麻岩为主,岩石较新鲜、强度高,岩体相对较完整,地下水水压力和涌水量较大,地应力高,围岩级别以Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类为主,受高地应力影响围岩挤压现象更为普遍,管片发生了不同程度的变形或破坏,对工程质量和使用性能造成了影响,因此,对其进行修复与加固施工十分必要。

### 2 管片破损原因分析

结合现场实际的地质、施工情况进行分析后得知管片破损的原因有以下几点:(1)双护盾 TBM 管片结构破损区域主要发生在管片结构推出护盾后阶段,管片结构径向错台是引起管片结

构破损的主要原因。(2)管片破损形式有管片裂缝、管片错台、管片渗水、管片连接螺栓失效四种形式,其中管片开裂、错台为主要的破损类型。(3)地质条件改变,围岩为碎粉岩,呈碎块状加粉末,岩石强度低,拱部围岩垮塌、围岩收敛变形导致管片产生破损。

### 3 修复方案的确定

高分子改性快凝堵水材料、弹性环氧砂浆、高分子改性预收缩砂浆、自洁清水混凝土涂料等高科技材料与普通材料工艺性能相比,新型材料在遇水以及对管片的外观质量都起到了很好的作用,能够使管片混凝土较好地结合,修复后原破损部位具有较好的塑性和柔性,能适应隧道的沉陷变形,对再次产生的裂缝有一定的自愈能力;而普通材料在渗滴水、管片破损的情况下很难达到封堵严密稳定的状态,对管片裂缝也无治愈能力,外观质量亦不满足要求。采用高新材料对隧道破损段进行修补后,破损段的密实度和抗渗性均优于普通砂浆<sup>[1]</sup>。

此外,高应力区破损成型管片修补技术在对

收稿日期:2020-06-09

隧道衬砌管片进行修补加固的同时,在隧道衬砌管片内侧设置了钢框架支撑以抵消内应力的影响,能够保证隧道的长期稳定运行,该结构简单,易于实现。

高应力地区成型管片破坏后的修补技术主要有以下几点:(1)对有渗滴水的管片、灌浆孔、螺栓孔,采用聚合物改性快速堵水材料对路缘石以上管片纵向接缝和拱部 $180^\circ$ 范围环向缝进行勾缝封闭或堵孔处理;(2)对管片下沉洞段采用内侧“ $I16$ 工字钢架+锚杆”进行加固;(3)对管片下沉洞段管片破损及裂缝部位采用弹性环氧砂浆进行补强加固;(4)采用聚合物改性预缩砂浆进行管片内侧表面的处理,并涂刷自清洁清水混凝土涂料进行管片内侧的表面防护<sup>[2]</sup>。

## 4 施工方案

### 4.1 工艺流程

成型管片损坏修补技术措施的施工工艺:测量放线→制作钢拱架→安装钢拱架→自进注浆锚杆测孔位→焊接连接钢拱架→清理基面→涂环氧界面剂→填充弹性环氧砂浆→段内表面涂聚合物改性预收缩砂浆→自洁清水混凝土涂料养护→聚合物改性快速堵水材料。

### 4.2 测量放线

因地质条件差,管片下沉开裂导致管片内径与原设计内径相差较大。为保证钢拱架的制作和安装精度,在钢拱架加工前,安排测量人员对钢拱架加工拟搭设的各环节内径进行测量。

### 4.3 安装钢拱架

(1)为保证管片与钢拱架的配合,针对钢拱架两侧翼板与管片表面的结合处应采用 $10\text{ cm}$ 宽的环氧砂浆进行打磨和清理,使钢拱架的力学性能更好。为保证环氧砂浆能更好地与管片和钢架翼板粘结,应清除管片表面的浮土、渗水垢和固化的浮浆。清理管片表面时,用人工角磨机将管片打磨干净、清理后用清水冲洗,以保证管片表面的清洁度。管片内侧钢拱架加固情况见图1。

(2)钢拱架底部C单元和两侧B单元的安装应根据管片环数选择两侧相应的、已完工钢拱架C单元和B单元进行。钢拱架安装完毕,根据设计要求,用YT-28型风钻在两侧钻B单元锁紧螺栓( $\varphi 32$ ,自进式中空锚杆)。带锁脚锚杆施工完毕,人工回填开挖沟槽,用开挖料分层夯实<sup>[3]</sup>。

(3)钢拱架A单元的安装以钢拱架安装段的环号为基础,选择环号对应的A单元进行安装。将完成的A单元由 $1\text{ t}$ 手动葫芦吊至安装位置,A单元固定连接,手动安装。对于钢架与管片间隙较大的部位,采用事先预制的C25混凝土垫块楔入,使压力更好地传递到钢架上。钢拱架A单元施工完毕,采用YT-28型风钻钻孔,安装 $\varphi 32$ , $L=3.5\text{ m}$ 自走式空心注浆锚杆,每根钢拱架 $12$ 个,锁脚锚杆施工完毕,将锁脚锚杆与钢拱架焊接连接,形成一个完整的体系<sup>[4]</sup>。钢拱架布置情况见图2。

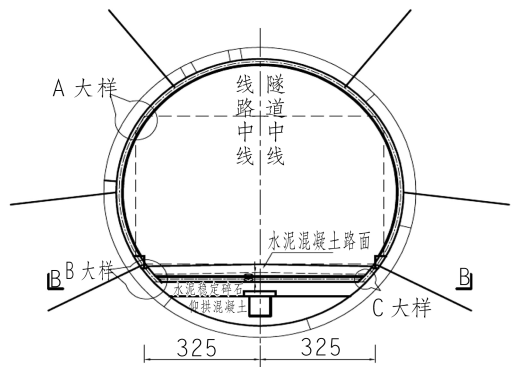


图1 管片内侧钢拱架加固示意图

单位:cm

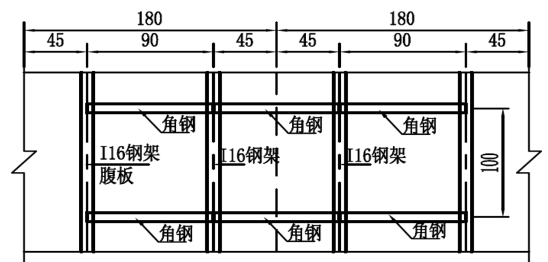


图2 钢拱架布置平面示意图

### 4.4 基面清理

检查管片混凝土基层表面是否损坏并认真清理表面浮浆、油漆等粘结附着物。用钢丝刷或高压水枪清理螺栓孔、灌浆孔、管片接头等需要堵塞的部位,清理后的基面不得留有松动材料。

使用钢丝刷和鼓风机打磨、清洁管片和钢制品的表面。有油渍时,可用酒精、丙酮等溶剂擦洗,环氧材料维修区域需要清洁和干燥。

### 4.5 涂刷环氧界面剂

在钢架法兰中心线两侧 $10\text{ cm}$ 范围内,先涂

一薄层环氧专用界面剂,涂刷厚度不得超过1 mm,应使用刷子清除材料较多的坑洞中多余的界面剂。

#### 4.6 弹性环氧砂浆填补及管片内侧表面防护

环氧专用界面剂层表面干燥(手摸时不拉丝)后,采用弹性环氧砂浆(高强度)加固。对于受损部位和破坏部位应先用弹性环氧砂浆修补,深基坑部分应填充弹性环氧砂浆。每层刮除厚度不大于2 cm,可刮成多层,直至表面平整为止,两层之间的施工间隔为5~6 h,然后在钢架法兰中心线两侧10 cm范围内填充弹性环氧砂浆,平均厚度约2 cm。

#### 4.7 自清洁清水混凝土涂料的养护

检查聚合物改性预收缩砂浆层表面是否有灰尘和其他污渍,并确保干净的情况下在基础表面涂自清洁透明混凝土涂料。

根据物料配比的要求配制自清洁透明混凝土涂料并用辊进行辊涂作业。通常,将辊施加2至3次,要求厚度均匀且无泄漏并确保没有明显的线条。

涂布辊涂布完成后,可在24 h防水固化后投入使用。

维护完成后进行质量检查和验收。主要检查内容包括检查是否有空洞、脱落、开裂等缺陷。外观要求颜色与周围的混凝土相似且干净美观。

#### 4.8 聚合物改性快速堵水材料

(1)材料的配置:根据水与水的质量比10:4制备聚合物改性快速阻水材料。采用电动搅拌机混合均匀后使用,并可在制备后的5~8 min内使用。如果发现该材料在使用过程中固化,则应将其丢弃。所制备的1 m<sup>3</sup>阻水材料的质量约为200 kg,其中固体含量约为1 571 kg<sup>[5]</sup>。

(2)刻缝开槽:沿排水路径规划,在洞穴壁上划刻并雕刻混凝土,凹槽宽度约为5.5 cm,用切刀沿线切割,然后在中间用电镐切割混凝土至大约6 cm的深度,安装排水管。

(3)堵水材料的密封施工:按比例要求制备聚合物改性快速阻水材料后,用刮刀分批刮除,封闭螺栓孔、注浆孔、管接头等渗水部位,刮擦表面应平整。为了顺利过渡到周围的混凝土,其坡度应不大于1:20。管片拱顶灌浆孔、螺栓孔受重力影响应分层填筑,每层填料的厚度约为2 cm,待

材料凝固后再进行下一层填料。堵水作业结束后12 h观察其渗水情况,对仍有渗漏的部分挖出并重新实施封堵。

## 5 预防措施

高应力区的成型管片破坏是隧道工程中普遍存在的现象,其不仅对管片的外观质量造成了一定影响,同时也对管片的使用性能构成了潜在威胁。管片破坏主要由内部因素和外部因素相互作用产生,笔者针对导致高应力地区成型管片破坏、结构裂损的不同原因分别提出了以下几点预防措施:

(1)在进行混凝土浇筑时,需要严格控制管片结构的温度,确保管片的内部温度与表面温度差在25℃之内。例如,在夏季气温较高时进行浇筑,可采取掺入冰屑、遮阳等措施防止混凝土温度过高。

(2)加强对施工人员实际操作的培训。避免因施工人员操作不当引起施工质量问题,如混凝土捣振不均匀、养护不合理等。在预制混凝土管片时,高能量振捣容易导致混凝土离析、管片外弧表面出现浮浆及表面破坏,因此,在振捣施工中应尽量采用分次振捣的方式。混凝土在养护过程中对温度变化很敏感,因此,一定要控制好管片内部与外表面的稳定及管片蒸养温度与室温的温差。另外,在混凝土管片强度达到设计值后应将其吊入水中进行养护,时间为一个星期。

(3)根据现场实际情况,适当地添加减水剂或缓凝型减水剂。在混凝土中掺加减水剂,既可以满足混凝土的强度要求,又能减少10%左右的拌合水使用量。如果掺加缓凝型减水剂,既可以达到上述效果,又可以将初凝时间推迟1 h以上,以便于其充分散热,避免产生破坏。

(4)建立健全质量监管体系,改善施工工艺,提高施工技术水平。

## 6 效益分析

### 6.1 社会效益

高应力区成型管片损伤后修补技术的应用,提高了高应力区成型管片损伤后的修补质量,为隧道运营中受损管片的安全运营提供了保障,丰富了我国隧道施工中的管片修补技术。

### 6.2 经济及安全效益

采用高应力区成型管片破坏后的修补方法,大大降低了成型管片修补材料与混凝土基层表面

(下转第77页)

### 5 实际效果及经济效益分析

老挝南欧江五级水电站于2014年4月开始采用石灰岩粉做为碾压混凝土掺合料,自施工以来,通过对试验检测、芯样检测、坝体安全运行及经济效益等相关数据进行分析得知其结果达到预期效果。

胶材到货成本分别为:水泥 95 美元/t、石灰石粉 57 美元/t、粉煤灰 108 美元/t,工程各部位合计碾压混凝土量为 21 万 m<sup>3</sup>(碾压混凝土级配比例为二级配:三级配=25%:75%),在碾压混凝土中掺合料分别使用石灰岩粉和粉煤灰时的经济对比情况见表 5。

表 5 石灰岩粉与粉煤灰经济对比表

| 碾压混凝土级配 | 石灰岩粉碾压混凝土 |      |                        | 粉煤灰碾压混凝土 |     |                        | 石灰岩粉比粉煤灰每 m <sup>3</sup> 节约成本/美元 | 21 万 m <sup>3</sup> 碾压混凝土可节约成本 |          |
|---------|-----------|------|------------------------|----------|-----|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------|
|         | 水泥        | 石灰岩粉 | 每 m <sup>3</sup> 成本/美元 | 水泥       | 粉煤灰 | 每 m <sup>3</sup> 成本/美元 |                                  | 万 /m <sup>3</sup>              | 节约成本 /美元 |
| 二级配     | 112       | 92   | 15.884                 | 72       | 108 | 18.504                 | 2.620                            | 5.25                           | 137.55   |
| 三级配     | 82        | 82   | 12.464                 | 53       | 98  | 15.619                 | 3.155                            | 15.75                          | 496.912  |
| 合计      |           |      |                        |          |     |                        | 3.021                            | 21                             | 634.462  |

从表 5 得知:碾压混凝土中使用石灰岩粉做为掺合料比使用粉煤灰做为掺合料节约成本 634 462 美元。

### 6 结 语

在满足设计要求、保障构筑物质量和安全的同时,将石灰岩粉作为碾压混凝土掺合料的应用技术可行,对解决缺乏粉煤灰资源、降低工程造价及节能减排以及经济效益和绿色环保具有重要的意义,所取得的经验可在类似工程推广应用。

### 参考文献:

[1] 刘成林. 石灰岩粉作为掺合料全部代替粉煤灰在碾压混凝土

(上接第 44 页)

结合不紧密而引起的剥落返工率,节约了施工周期。同时,采用该方法对成型管片进行修补,对隧道内其他施工干扰较小,最大限度地减小了管片修补对工程工期的影响,具有良好的经济效益。

此外,采用该方法修复受损管片后,提高了成型管片环的整体稳定性,解决了成型管片的渗水、堵排问题,改善了成型管片的外观和形象,提高了汛期隧道行车的舒适性和安全性,确保了项目建成后的运营,取得了较好的安全效益。

### 7 结 语

高应力地区成型管片破坏后的修补技术应用范围广,不仅适用于公路隧道衬砌破坏后的修补施工,也适用于水利水电工程、铁路及城市地下铁路隧道中长输水隧洞(无压)等钢筋混凝土管片破坏后的修补,保证了修复后原破损部位具有较好的塑性和柔性,增强了破损管片对隧道沉陷变形的适应性,同时,破损修复位置的新材料对再次产生的裂缝具有一定的自愈能力,使修复后的管片

土中的成功运用[J]. 四川水力发电, 2016, 35(3): 83-85.  
 [2] 水工混凝土配合比设计规程, DL/T 5330-2005[S].  
 [3] 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范, L/T 5055-2007[S].  
 [4] 水工碾压混凝土试验规程, DL/T 5433-2009[S].  
 [5] 水工混凝土耐久性技术规范, DL/T 5241-2010[S].

### 作者简介:

李月华(1977-),男,重庆开县人,高级工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作;  
 周平(1979-),男,四川成都人,工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作;  
 郑强(1976-),男,重庆荣昌人,工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

具有更好的密实性和防渗性,以及更好的抵抗应力的能力,阻止了在高地应力作用下管片破坏的持续发生,提高了隧洞运行期间的行车安全。

### 参考文献:

[1] 李文秋. 高应力地区施工管片破损原因分析及防治[J]. 铁道勘测与设计, 2010, 53(5): 62-64.  
 [2] 赵运臣. 盾构隧道曲线段管片破损原因分析[J]. 西部探矿工程, 2002, 13(3): 75-76.  
 [3] 刘亚辉. 新建盾构隧道穿越铁路应用技术[J]. 铁道建筑技术, 2015, 32(12): 67-70.  
 [4] 邹家南. 高应力地区成型管片加固效果的数值试验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.  
 [5] 叶飞, 何川, 王士民. 隧道施工期成型管片受力特性及其影响分析[J]. 岩土力学, 2016, 33(6): 1801-1807, 1812.

### 作者简介:

陈维(1986-),男,湖北京山人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
 陈鑫(1991-),男,四川阆中人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)