

文章编号: 0451-0712(2006)03-0158-05

中图分类号: U445.469

文献标识码: B

# 复合式隧道锚防水施工工艺

马水英, 王崇旭, 王宗仁

(路桥华南工程有限公司 中山市 528403)

**摘 要:** 锚碇是悬索桥的心脏部位, 防水施工是隧道锚施工中的关键工序, 防水工作的好坏直接影响到桥梁的使用寿命和结构安全。文中介绍了复合式隧道锚防水施工工艺, 经实践检验, 证明此工艺可满足隧道锚的防水要求。

**关键词:** 复合式; 隧道锚; 防水; 施工工艺

## 1 工程概况

### 1.1 工程结构

万州长江二桥主桥为跨径 580 m 单跨悬索桥, 加劲梁采用钢桁架结构形式, 引桥跨径为 40 m 预应

力混凝土 T 形简支梁, 桥跨布置形式为  $7 \times 40 \text{ m} + 580 \text{ m} + 7 \times 40 \text{ m}$ , 全长为 1 141.46 m。桥梁总体布置如图 1 所示。

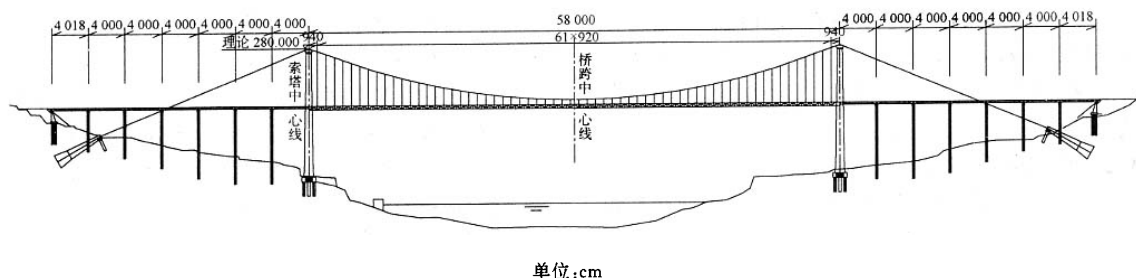


图1 万州长江二桥总体布置

万州长江二桥锚碇采用复合式隧道锚碇。锚洞洞室整体为一喇叭形状, 断面从洞口到洞底由小变大, 尺寸各不相同, 洞室最大断面高为 15.3 m, 宽为 14.2 m, 锚洞的前锚面上、下游里程桩号均为 DK0+078.00 m, 标高均为 163.49 m; 锚洞洞轴线与水平面夹角为  $30^\circ$ , 上游锚洞斜长为 64.4 m, 下游锚洞斜长为 67.92 m, 开挖总方量 11 060  $\text{m}^3$ 。单个锚碇锚塞体长 19 m, 混凝土 2 734.0  $\text{m}^3$ , 为 C30 防渗、微膨胀混凝土, 抗渗等级 S12; 岩锚采用 HVM、YM15-12 拉压分散型锚索, 单个锚洞 28 束岩锚每个岩锚孔径为 16 cm, 孔深 20 m, 每个岩锚的锚固张拉力为 1 700 kN; 锚塞预应力索采用  $\phi 15.24 \text{ mm}$  预应力钢绞线、HVM15-12P 锚, 单个锚洞有 91 束。复合式隧道锚碇结构示意如图 2 所示。

### 1.2 地质、水文

万州长江二桥北岸锚碇位于枇杷坪小区, 地形为缓倾的河谷斜坡, 自然坡度  $15^\circ \sim 25^\circ$ 。依据地表地质测绘和钻孔揭示, 桥位区中风化和微新岩体内裂隙不发育, 多为风化裂隙, 长江边厚层砂岩岩体较完整, 卸荷裂隙相对不发育, 风化厚度小。北岸锚洞洞室围岩主要有粉质粘土夹碎石, 孤石表土覆盖层为粘土岩、砂质粘土岩、泥质粉砂岩, 在施工中也可遇到少量的长石砂岩, 锚洞围岩属于软岩类(Ⅲ类围岩)。

长江一般 6 月~10 月为洪水期, 7、8 两月水量最大, 洪峰出现的机会也最多。属山区河流稳定地段, 河道较为顺直, 河床两岸基岩裸露, 为砂卵石河床。多年平均流量为 1 373  $\text{m}^3/\text{s}$ , 年平均径流量为 4 335 亿  $\text{m}^3$ 。三峡水库第二期蓄水水位为 150.1 m, 第三期水库蓄水水位为 175.0 m, 也就是说, 此时复合式隧道锚碇有 3/4 浸泡在水面之下。

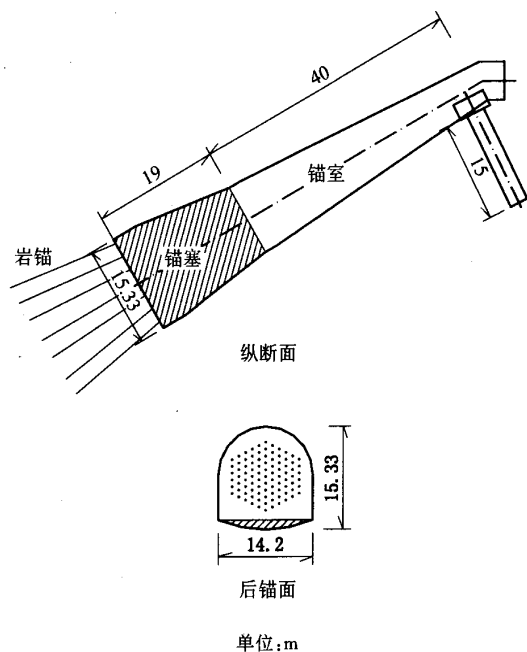


图2 复合式隧道锚碇结构示意图

## 2 复合式隧道锚碇防水的必要性和防水措施

### 2.1 防水的必要性

锚碇是悬索桥的重要部位,是全桥整体安全的关键所在,而防水工作的好坏将直接影响到桥梁的使用寿命和结构安全。防水工作的必要性主要体现在以下几个方面。

(1)锚碇有3/4将在水中浸泡:锚碇洞室的大部分和锚体全部均位于三峡工程正常水位+175 m以下,其中锚体最低点高程为+147.09 m,洞室最低点高程为+158.75 m,洞口地面(实际)高程约为+181.1 m。

(2)锚碇围岩主要由粘土岩组成:粘土岩具有遇水变软的特性,防水施工可有效保证锚体周边围岩不被软化,使锚体混凝土与围岩紧密结合是施工工艺控制的关键环节。

(3)锚碇实际开挖后,上下游的强中风化岩层岩体破碎,裂缝发育,上、下游都存在一定的渗水,尤其下游锚洞渗水严重。

(4)减少洞内积水和洞内空气湿度,保障索股及锚具在桥梁养护周期内不发生锈蚀。

### 2.2 防水措施

针对上述防水的必要性,复合式隧道式锚碇的防水主要设计了三层防护层:一是围岩压浆;二是EVA防水板;三是二次衬砌的抗渗混凝土(由内至

外)。防水结构见图3所示。

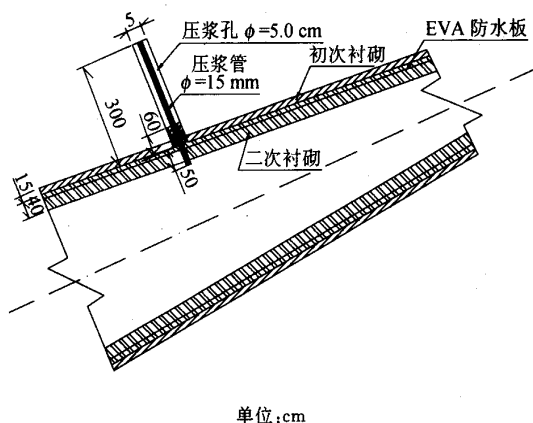


图3 复合式隧道锚碇防水结构示意图

### 2.2.1 围岩压浆施工技术

压浆孔深度:3.0 m;

压浆孔间距:2.0 m,呈梅花形布置;

压浆设备:BW-150型高压注浆泵;

压浆压力:2.0~3.0 MPa;

压浆材料:42.5(R)普通硅酸盐水泥;

压浆水灰比:0.45~0.5;

质量标准:以浆体压力及进浆量作为标准。

### 2.2.2 EVA防水板施工控制技术

(1)布置在二衬与初次支护之间,并保证其平整度,对于喷射混凝土基面,其平整度按规范要求: $D/L \leq 1/6 \sim 1/10$ ;

(2)采用“无钉铺设EVA复合式防水层”,并实施全封闭的EVA防水板的防水系统;

(3)控制好EVA防水板的焊接及焊接速度,焊接的温度需控制在280~300℃,焊接速度控制在15~20 cm/min;

(4)做好保护工作。

### 2.2.3 二次衬砌抗渗混凝土的施工要点

主要在于混凝土配合比的设计及浇注,混凝土浇注的施工控制要点主要为在各个施工缝处一定要设置止水带。

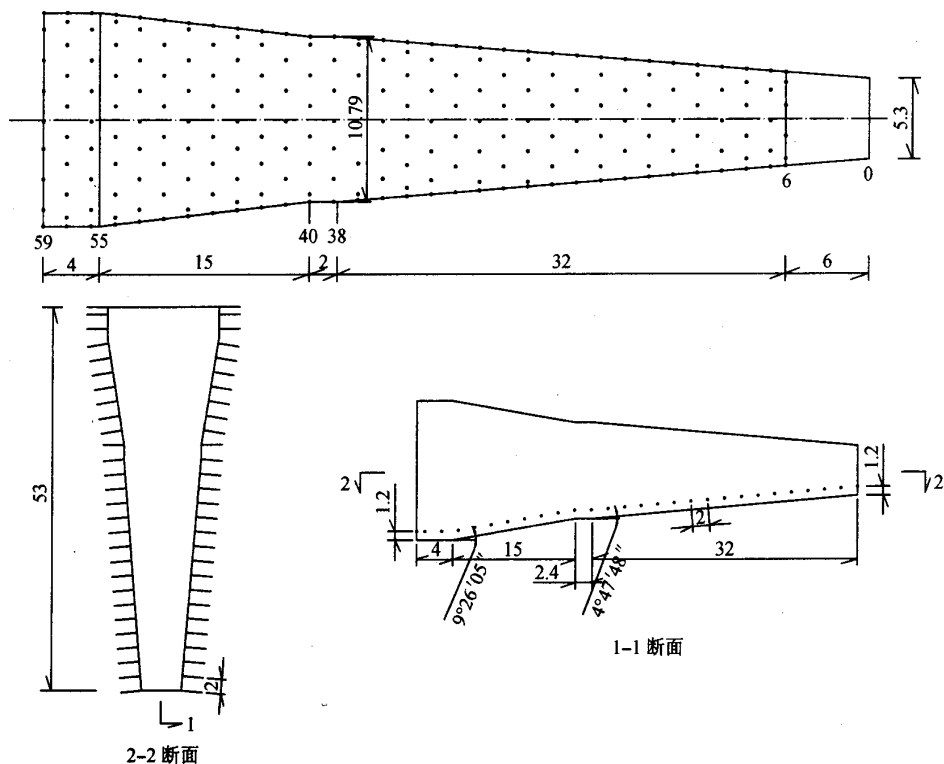
## 3 复合式隧道锚碇防水施工

### 3.1 围岩压浆施工

上、下游锚洞洞室地质条件较好,洞室只对仰拱及侧墙以上1 m范围进行围岩压浆,下游锚塞体渗水及冒顶严重,对整个锚塞体实行围岩压浆。布孔方式一般间距为2 m×2 m,呈梅花状布置,孔深3 m,

止浆段长度为60 cm,具体根据地质情况确定孔深和间距,一般情况下采用水泥砂浆作为止浆段,渗水严重部位采用复合高效堵水锚固剂作止浆段。压浆孔

布置示意如图4所示。压浆顺序由低处向高处进行,出浆口同时作为进浆口,一次性完成压浆施工。



单位:cm

图4 压浆孔布置示意

### 3.1.1 施工准备

#### (1) 工作平台。

锚塞体部位的钻孔压浆必须搭设施工平台,利用锚体定位钢支架,在定位钢支架上用型钢焊接出水平骨架,上铺4 cm厚的木板作为施工平台。

#### (2) 测量定位。

测量后定出各压浆孔具体位置,并在特殊地质处做好标记。

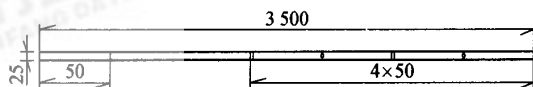
#### (3) 成孔。

利用液压潜孔钻成孔,钻杆方向尽量与岩面垂直,孔径为50 mm,在止浆段范围内人工开凿到100 mm的孔径,采用真空倒吸法,利用真空压浆机将粉尘吸出以清洁压浆孔。

#### (4) 埋设压浆花管。

成孔后,在每个孔内铺设一根压浆花管。压浆花管外露50 cm,并留有连接用的丝扣安装止浆阀门,出浆孔加工好后用防水胶布缠好,压浆管底口用防

水胶布堵死,防止底部碎石进入堵塞压浆管,影响压浆质量,压浆花管结构示意图如图5所示。



单位:mm

图5 压浆花管结构

#### (5) 止浆段。

压浆管安装好后制作止浆段,除渗水较大部位采用遇水膨胀和迅速凝固特性的复合高效堵水锚固剂作为止浆段外,其余均直接采用水泥砂浆作为止浆段。

### 3.1.2 压浆

具体压浆工序为:用丝扣将球形开关与压浆花管阀门连接,打开当前压浆管附近的所有压浆管的阀门以便在压浆过程中观测串浆情况,在串浆孔位

进行标记,并关闭串浆孔处压浆管的阀门。继续压浆,直到压力表读数达到要求的压力时,稳压2 min,在没有进浆可能的情况下,压浆机停止压浆,先关闭注浆管阀门,再关闭球形阀门,最后拧开连接丝扣,拆下压浆管,进行下一个孔道的压浆。在压浆过程中,必须注意:如果所压孔道处岩体完整性较好,浆液在岩体内扩散很少甚至不渗透,此时压力表读数上升很快,没有稳压时间,在来不及关闭压浆机的情况下,浆液会从球形阀门与注浆管连接丝扣处向外喷射,所以在压浆时,可以用麻袋将连接处裹住,防止喷射的浆液伤人及污染初衬面。

### 3.1.3 效果检验

压浆结束后,采用单点压水试验对压浆效果进行检查。在稳定的压力下,每4 min测读一次压入水流量,连续4次读数后,压水试验结束,在过程中记录各个参数,取最终值作为计算值,压水试验显示压浆效果良好。

## 3.2 复合型EVA防水板安装

复合型EVA“无钉铺设防水层”是洞室防水的第2道防线,是洞室防水工程的关键。

### 3.2.1 施工准备

#### (1)工作平台。

搭设满堂支架,支架平台支立在底板上,中间留出轨道通道,支架靠自身刚度稳定,不与侧墙和顶拱连接,留出足够空间以便防水层安装,待侧墙和顶拱混凝土浇注完成且支架拆除后,再进行底板防水层安装。

#### (2)对喷射混凝土基面进行检查。

喷射混凝土基面平整度超过规范值的,用人工找平和水泥砂浆作抹平相结合进行处理。

### 3.2.2 防水膜铺设方法

用全站仪在拱顶、拱腰、侧墙等相关位置标出纵向中心线,根据中心线分划出各固定点位置,在拱顶固定点间距按50 cm、侧墙间距100 cm、底拱间距150 cm布置。安装遵循从顶拱中轴线向两边下垂铺设的原则进行,环向接缝留在底板位置(离侧墙>30 cm)搭接宽度>10 cm,与锚塞体衔接的部位伸入锚塞体1.0 m。

### 3.2.3 防水板焊接施工

各幅防水膜之间搭接宽度不小于10 cm,搭接缝采用双焊缝,中间留出空腔用于充气检查,单条焊缝有效焊接宽度不小于10 mm。防水板焊接时控制焊接温度在280~300℃之间,焊接速度为15~

20 cm/min,并及时调整以取得最佳效果。每完成两条焊缝后,及时进行充气检查,达不到要求的焊缝要进行补焊。

### 3.2.4 防水层的施工保护措施

针对防水层极易损坏的特点,防水层施工后,采取以下措施进行保护:

(1)在进行钢筋绑扎、焊接、模板安装时,在施工部位及其附近采取措施防止损伤防水层,焊接钢筋时在周围用石棉水泥板进行遮挡,以免溅出火花烧坏防水层;

(2)在底板防水层铺设后及时进行底板二衬混凝土浇筑;

(3)进行二衬混凝土施工时,振捣棒不得直接接触防水层以免造成损坏;

(4)施工操作人员上岗前应培训并熟练掌握后方可参加施工,焊机等主要施工机械由专人负责维修、保养与保管,施工过程中加强对现场各种施工人员进行防水层保护意识教育,不得穿带钉子的鞋在防水层上走动。

### 3.2.5 防水层破损的检查与修补

对焊接的防水层进行充气检查,对破损处做出明显记号,并及时进行修补。对修补的补丁外缘离破损孔边缘不小于7 cm,补丁剪成圆角形式。补后用真空检查法检查修补处并符合要求后,方可进入下道工序的施工。

## 3.3 二次衬砌混凝土施工

二次衬砌考虑防水,混凝土按防渗进行设计。防渗等级为S12,防水标准按水工部门标准定为二级。

### 3.3.1 二次衬砌混凝土配合比设计

为降低二次衬砌混凝土的收缩应力,有效避免和减少二衬模筑防水混凝土开裂,提高锚碇结构的整体防水效果,进行二次衬砌混凝土配合比设计时,加入了杜拉纤维,起到了一定的补偿收缩作用。二次衬砌混凝土配合比见表1。

### 3.3.2 工作平台搭设

充分利用铺设EVA防水板的支架,对支架纵向、横向、竖向钢管间距进行加密,中间通道上设剪刀撑加固即可。

### 3.3.3 混凝土施工

二次衬砌模筑防水混凝土必须连续浇筑,减少纵向、横向施工接缝,以减少防水薄弱部位。对于二次衬砌的施工,考虑混凝土的流动性,结合斜式隧道锚衬砌的特点,侧墙与顶拱部分按水平分层进行浇

表1 二次衬砌混凝土配合比及特性

混凝土的材料组成/kg							
水泥	碎石	砂子	水	减水剂	粉煤灰	膨胀剂	杜拉纤维
306	1 090	786	155	3.67	78	37	1.2
混凝土的相关特性	混凝土的膨胀率			0.3‰~0.5‰			
	混凝土的强度			按C30设计,>38.2 MPa,(实测28 d强度为55.8 MPa)			
	混凝土的初凝时间/h			8			
	混凝土的终凝时间/h			10			
	混凝土的塌落度/cm			18			
	混凝土的抗渗参数			>S12(抗渗指标确定在试验过程中进行)			
减水剂				江韵TMS			
膨胀剂				VEA-H			

筑,共分6层,每层高度约为4.6 m,侧墙与顶拱结合部位的水平施工缝留在两者衔接部位20 cm左右、侧墙水平施工缝留在高出底板表面30 cm以上的墙体上。底板混凝土浇筑,待侧墙与顶拱施工完成并将支架拆除后再进行。

二次衬砌使用万能钢模板,用[20槽钢作龙骨,为避免损伤防水层,模板利用支架进行固定。支架与模板连接部位用调节顶托,将模板和支架连接成一个整体。

侧墙模板支立时,注意对伸出底板防水膜进行保护,支架、模板和型钢底端用垫板扩大,减少对EVA防水板的破坏。

为减少人工振捣时振动棒对防水层的影响,在模板外侧设有1.1 kW的附着振捣器。混凝土表面平坦、泛浆且不再有气泡产生时,附着振捣器再振捣混凝土的时间不能超过60 s。

混凝土终凝且强度达到2.5 MPa时,进行施工缝凿毛,并用高压水冲洗干净。混凝土浇筑前24 h开始对结合处进行洒水湿润,在施工缝上铺一层2~3 cm同标号水泥砂浆后再浇筑混凝土。

### 3.3.4 施工缝的防水处理

二次衬砌施工过程中,各混凝土施工缝与防水层的接头部位严格错开。施工接缝处理设遇水膨胀橡胶止水带。止水带中间空心圆环与施工缝的中心线重合,且只在侧墙中间位置设置一处接缝,用专用的扁钢固定牢固。

## 4 结语

由于采用了三层防水结构的施工,万州长江二桥复合式隧道锚碇达到了水工部门规定的二级防水标准。控制了隧道锚内的湿度,有效地防止了因湿度过大而引起的主缆锈蚀,同时也保证了锚碇周边围岩与锚塞体混凝土的咬合性。

# Waterproof Construction Technique of Composite Type Tunnel Anchorage

MA Shui-ying, WANG Chong-xu, WANG Zong-ren

(Road & Bridge Southern China Engineering Co., Ltd., Zhongshan 528403, China)

**Abstract:** Anchorage is the heart of a suspension bridge. Waterproof construction is the key procedure in tunnel anchorage building, and quality of waterproof directly influence the service life and structure safety of a bridge. The waterproof construction technology of composite type tunnel anchorage is introduced and can meet with the requirement proved by practice.

**Key words:** composite type; tunnel anchorage; waterproof; construction technology