

中铁五局集团三级工法申报表

(2003 年度)

申报单位：中铁五局一公司一处

申报时间： 2003、 7、 6

工法名称	高原冻土隧道防水和衬砌隔热保温层施工工法		
开发单位	中铁五局集团一公司一处		
完成日期	2003、5		
主要完成者	姓 名	单 位	职 务
	刘德志	一处青藏经理部	总工
	盘明山	一处青藏经理部	工程部长
	杨晓春	一处青藏经理部	技术主管
	陈海浩	一处青藏经理部	技术员
	王才高	一处技开部	工程师
关键技术鉴定时间及组织鉴定单位			
本工法获科技成果奖情况			

工法内容简介：

高原冻土隧道处于高海拔地区，气候严寒、日温差大，防寒保温、防冻融和冻胀要求严格，其也是修建高原冻土隧道时必须解决的主要技术问题。本工法形成复合防水板和衬砌隔热保温复合结构，防水板和保温板采用了无钉粘胶焊接工艺，隧道内全部防水板和保温板无一孔眼、焊缝密实，开创了高原冻土隧道防水和衬砌隔热保温层施工技术的新记录。

主要工艺流程：

- 1、施工准备。
- 2、找平、清理一次模筑混凝土表面。
- 3、安装纵、环向透水管与三通管。
- 4、涂抹胶水，粘贴第一层复合防水板。
- 5、焊接第一层复合防水板，按标准严格检查其施作的质量，合格后方可进行下一步操作。
- 6、涂抹胶水，粘贴保温板。
- 7、涂抹胶水，粘贴第二层复合防水板。
- 8、焊接第二层复合防水板，按标准严格检查其施作的质量，合格则工艺结束。

关键技术及保密点：

无密级。

关键技术：无钉粘胶焊接技术。

技术水平和技术难度：

铁道部曾在青藏线昆仑山隧道施工立项对此课题进行科研，该工法技术水平与难度为国内先进。配套技术成熟，容易掌握。

工法应用情况及应用前景：

本工法在青藏线昆仑山隧道施工中得到较好的应用，由于采用此工法施工，昆仑山隧道二次衬砌的施工速度得到了明显的加快，从而确保了昆仑山隧道的施工工期，证明了本工法施工十分成功，并收到了良好的社会效益和经济效益。

应用前景：本工法的施工原则、施工方法、施工工艺、施工设备和施工材料的选型配套已形成了防排水及隔热保温层的立体网络式结构，它技术先进、安全可靠、经济合理、可操作性强，只需工人 8 人，所消耗劳力和工时都较少。因而是有较广阔应用前景。

经济效益和社会效益：

本工法可操作性强，只需工人 8 人，所消耗劳力和工时较少，所采用的防水板较其它防水材料节省投资 40% 以上。

申报单位意见	<div>同意申报。</div> <div>签章 2003 年 7 月 8 日</div>
专业组初审意见	<div></div> <div>签章 年 月 日</div>
集团公司工法审定委员会审定意见	<div></div> <div>签章 年 月 日</div>
集团公司审批意见	<div></div> <div>签章 年 月 日</div>

高原冻土隧道防水和衬砌隔热保温层施工工法

中铁五局（集团）有限公司

1 前言

高原冻土隧道处于高海拔地区，气候严寒、日温差大，对隧道结构物防寒保温、防冻融、防冻胀要求严格，其也是修建高原冻土隧道时必须解决的主要技术问题。嫩（江）林（海）线西罗奇2号隧道、牙（克石）林（海）线岭顶隧道由于防排水衬砌隔热保温技术处理不尽完善，造成隧道漏水、严寒季节衬砌混凝土冻胀开裂、酥松、剥落、挂冰及线路多水、积水、结冰等病害，严重威胁行车安全。本工法为青藏铁路昆仑山隧道施工中研制开发，旨在解决这一技术难题。

昆仑山隧道是目前世界第一长高原冻土隧道，是青藏铁路头号控制工期工程。隧道围岩有丰富裂隙水发育，全隧设计为复合式防排水及衬砌隔热保温结构，由于采用此工法施工，昆仑山隧道二次衬砌的施工速度得到了明显的加快，于2003年2月10日完工，从而确保了昆仑山隧道的施工工期。

2 工法特点

2.1 防水板和保温板采用了无钉粘胶焊接工艺，隧道内全部防水板及保温板无一个孔眼，焊缝密实，不渗水漏水。

2.2 本工法工艺简单，设备轻巧，易于操作，所需劳动力少，工效高，成本低。

3 适用范围

本工法适用于高原冻土隧道防水和衬砌隔热保温层施工。

4 工艺原理

高原多年冻土隧道防排水宜遵循“防、排、截、堵多道防线综合治理”的原则，又考虑环保要求，以防、堵为主，排、截为辅。

高原多年冻土地区隧道，如果衬砌背后的围岩融化圈内存在着比较丰富的裂隙水或裂隙冰，若不能及时排出将对隧道的运营安全产生很大的负面影响。寒季时，围岩中的裂隙水因冻结而产生冻胀，暖季时又逐渐收缩，有残余变形，导致衬砌混凝土开裂、酥松，所以若能将衬砌背后围岩中的裂隙水隔离并有效地排除，是减轻或消除冻害的有效措施。

为有效地将围岩中的裂隙水隔离在衬砌外，减轻对衬砌混凝土的影响，施工时在二衬的背后、一次模筑支护的表面设置了第一层复合防水板，同时为了有效地将衬砌背后的地下水排除，在第一层复合防水板外设置 $\Phi 100\text{mm}$ PVC纵向盲沟和 $\Phi 50\text{mm}$ 环向盲沟，通过“三通管”及 $\Phi 50\text{mm}$ 泄水管将衬砌背后的水及时排入保温水沟，保温水沟通过检查井与洞外保温暗沟连接引排。

由于隧道修建后，外界气温变化的影响，以及运营中机车散热的影响，使衬砌背后的多年冻土形成一个融冻交替的融化圈，对隧道衬砌产生破坏作用。因此在第一层复合防水板内侧设置一层隔热保温板，减少洞内空气热量对冻土的影响，即减少或杜绝洞内空气热量通过衬砌传递到围岩中对融化圈产生影响，让衬砌背后的冻土处于相对稳定的状态；为了防止因施工二衬混凝土时浸湿保温板而使其失去保温效果，在保温板与二衬之间又设置了一层复合防水板，这层防水板同时又对第一层防水板的防水效果起着补充与加

强的作用。

因高原多年冻土地区气候温差较大（特别是洞口），衬砌不可避免的产生大的变形，但衬砌与围岩之间又有强大的粘结力，故衬砌不能自由伸缩，为了防止衬砌受温度变化的影响而拉裂，在洞口 300m 范围内结合施工缝，每隔 20~25m 设置一道伸缩缝。衬砌中的地下水若穿过防水保温层，聚积在衬砌背后，而施工缝及伸缩缝又为最薄弱环节，水容易经施工缝和伸缩缝渗入洞内，形成挂冰而影响运营。为了杜绝此现象发生，在施工缝及伸缩缝中进行防水处理，施工缝设置遇水膨胀止水条并用 WJ 水泥基界面剂处理。在设置伸缩缝的隧道断面处，模筑钢筋混凝土衬砌中间铺设橡胶止水带，在靠近支护一侧衬砌外缘布置 100mm 遇水膨胀橡胶止水条，其余用渣油麻筋或浸油木板充填。

隧道防排水、隔热保温层结构见图 1 所示：

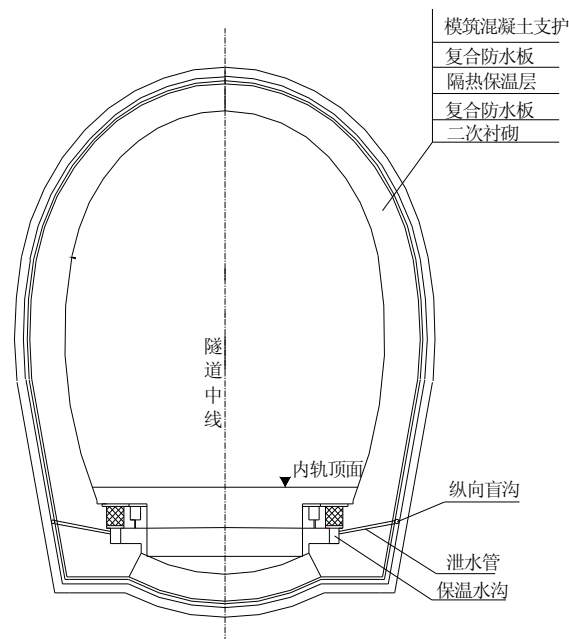


图 1 隧道防排水、隔热保温层结构示意图

5 工艺方法

5.1 施工流程（见图 2）

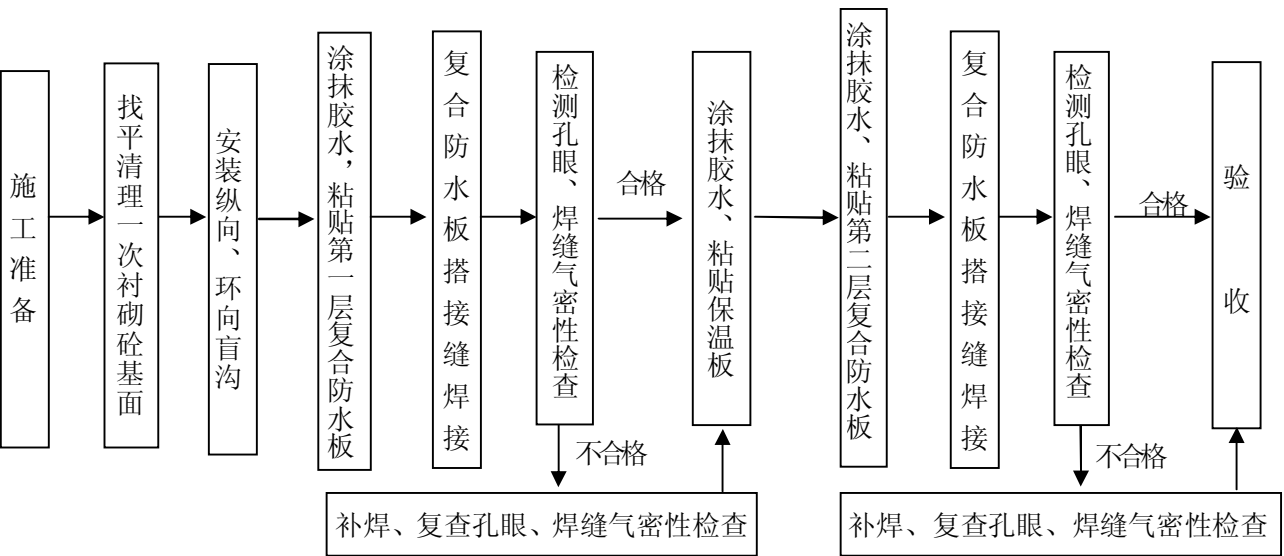


图 2 施工流程图

5.2 工艺程序

为了确保隧道二次衬砌混凝土处于一个坚固的环状结构中和防水系统的密封闭合性，施工时采用先施工仰拱，然后施工一侧边墙、拱部、另一侧边墙的顺序进行。为了减少接缝，拱墙复合防水板采用一整环，从隧道一侧向另一侧粘贴，在墙脚与仰拱复合防水板连接，仰拱、边墙、拱部施工防水保温层的工艺与程序如下。

5.2.1 施工准备：准备复合式防水板、保温板及配件材料，并检测其性能；搭设活动作业平台；准备安装、焊接防水板的机具。

5.2.2 找平及清理一次模筑混凝土表面：凡其表面凸处的须用钢钎或砂轮等小机具将表面找平，凹处可用高标号水泥砂浆填补，再用钢丝刷、毛巾等擦拭干净。

5.2.3 安装纵向、环向透水管与三通管。其作用是把第一防水板背后的水通过“三通管”引入隧道保温排水沟中。

5.2.4 涂胶粘贴第一层复合防水板：在一次模筑混凝土表面均匀涂刷 OP 型树脂胶，待胶水风干至不沾手时（约 3~4min），拉直第一层防水板，用小滚筒缓慢推压防水板，使之与砼表面粘结牢固、平整，粘贴时注意保证防水板平整。

5.2.5 焊接第一层复合防水板：复合防水板的接缝是防水层最薄弱的部位，必须保证接缝有足够的、强度可靠的防水性。施工中采用土工膜焊接机焊接。首先把焊接部位膜铺放平整，面朝前进方向，左边膜在下，右边膜在上，膜的搭接宽度不小于 10cm；其次接上电源，打开温度开关，当焊接机达到焊接温度后（一般为 150~180℃），将待焊接的膜左侧在下、右侧在上分别插入焊接机上下胶轮之间并拉齐，打开速度开关，焊接机即开始边焊接边自动向前行进，直至焊接完毕，取出焊接机。最后用气密性检查方法检查每环防水板是否有漏缝、虚缝及孔眼，如有则可采用焊枪对焊缝补焊，对孔眼加设圆形 $\Phi 70\text{mm}$ 以上防水板补丁进行覆盖焊补。

5.2.6 涂胶粘贴隔热保温层：在已粘贴好的第一层防水板上涂刷 OP 型树脂胶，待胶水风干至不沾手时，将 PV 聚氨脂保温板（规格为 $2.0\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.05\text{m}$ ）平整粘贴在第一层防水板上，轻压保温板使粘贴牢固，在粘贴下一块保温板时，对已粘贴的保温板的侧边和待粘保温板侧边涂抹 TN-1 型聚氨脂粘结剂 1~2mm 厚，待风干至不沾手时粘贴轻压。

5.2.7 涂胶粘贴第二层复合防水板：在保温板上均匀涂刷 OP 型树脂胶，待胶水风干至不沾手后拉直第二层防水板，用小滚筒缓慢推压第二层防水板，使之与保温层粘结牢固、平整，接缝处理同第一层防水板。

5.2.8 焊接第二层复合防水板：方法同第一层防水板。

5.2.9 环向施工缝止水条施工方法与施工工艺

环向施工缝在浇筑新混凝土前刷涂 2mm 厚的 WJ 界面粘接剂。在衬砌截面中间布置遇水膨胀止水条。（见图 3）

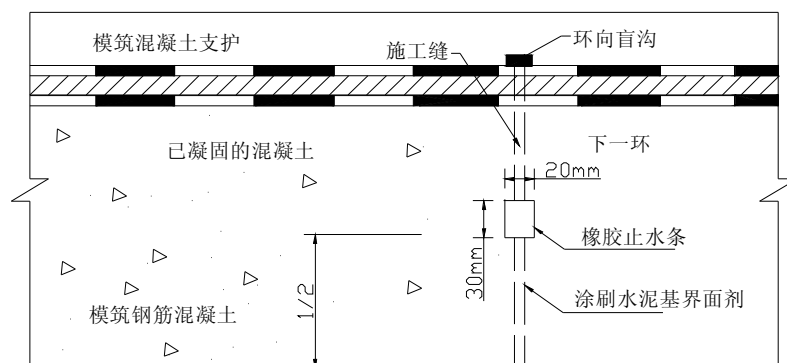


图 3 施工缝防水示意图

5.2.9.1 止水条施工方法

- (1)设置止水条预留槽:在上一环衬砌端头板里侧需安置止水条的部位埋设表面涂有脱膜剂的硬木条或塑料条以形成预留浅槽,预留槽应平顺、规则,槽应比止水条宽 1~2mm,深为止水条厚度的 1/2,即 10mm。
- (2)基层处理:用钢丝刷及除锈工具将基层混凝土表面的突出部分、浆皮及松软部分清除掉,再清除基层混凝土表面的污物、油迹及粘附的脱模剂。在涂刷界面剂前应均匀洒水湿润。
- (3)安装止水条:在预留槽中涂树脂胶,4~5min 后,把止水条安装到预留槽中,并轻压粘贴牢固,止水条采用 45° 斜面对接,用树脂胶粘接牢固。
- (4)WJ 界面粘接剂的配制:在容器中把水泥及水泥重量 30%的 WJ 界面粘接剂均匀拌合,然后加入水灰比为 0.3 的水量拌合均匀。
- (5)对旧混凝土基层表面采用刷涂 WJ 界面粘接剂,刷涂厚度约为 2~3mm。

5.2.9.2 施工工艺 (见图 4)

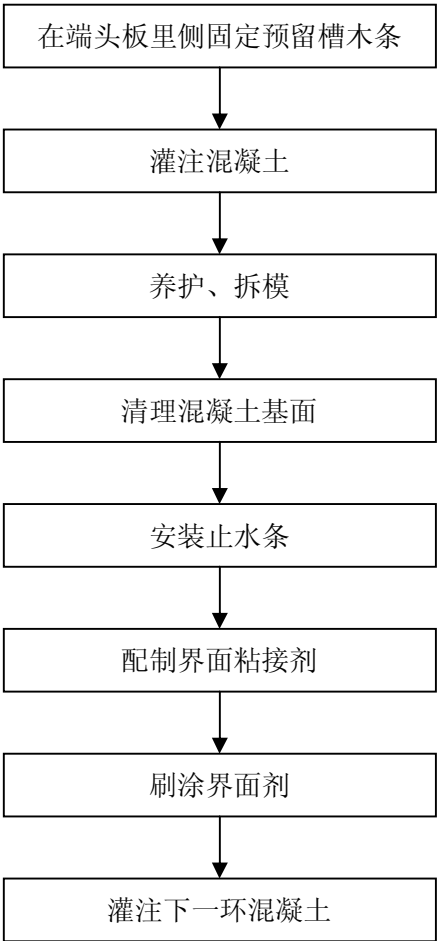


图 4 环向施工缝工艺流程图

5.2.10 伸缩缝止水带施工方法与施工工艺

伸缩缝在洞口段 300m 范围内结合施工缝设置,间距 20~30m。在设置衬砌伸缩缝的隧道断面处,模筑钢筋混凝土衬砌中间铺设橡胶止水带,在靠近支护一侧衬砌外缘布置 100mm 遇水膨胀橡胶止水条;其余缝隙用渣油麻筋或浸油木板充填。见图 5、图 6:

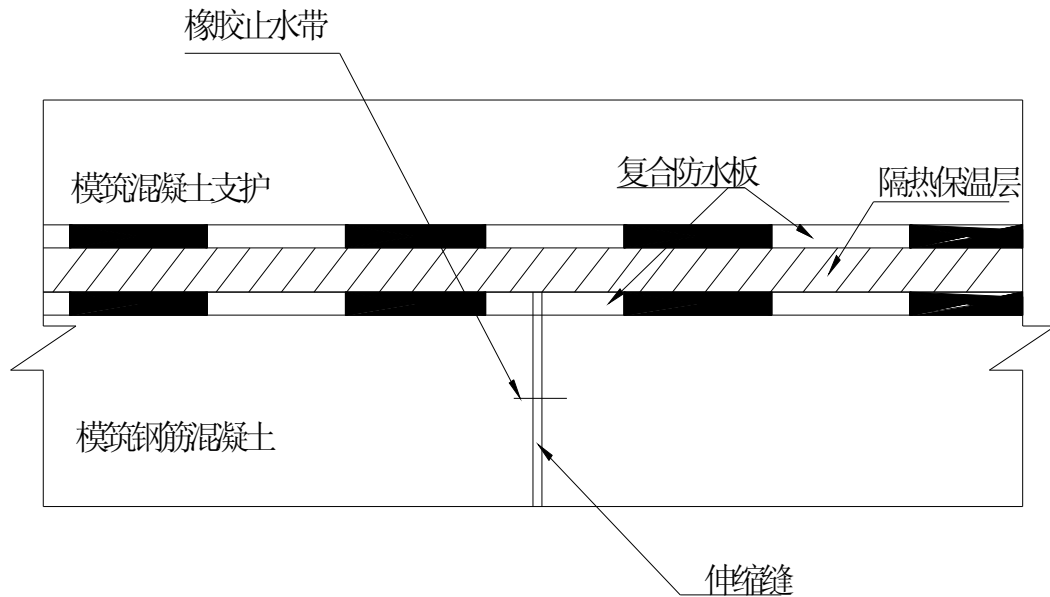


图 5 伸缩缝防水示意图

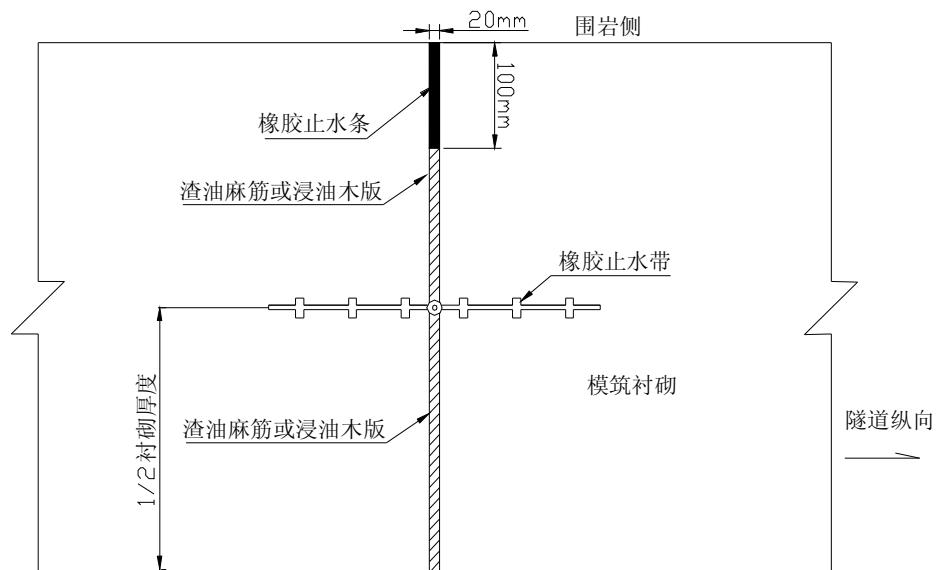


图 6 伸缩缝防水构造详图

5.2.10 止水带施工方法

(1) 安装橡胶止水带：在上一环钢筋混凝土衬砌立模时，通过铁丝或钢筋将橡胶止水带一半固定在正确的位置，并保证止水带平展，再将衬砌端头板安装牢固，防止漏浆，灌注混凝土，下一环衬砌混凝土灌注前，也用同样方法将剩余的一半止水带固定牢固，位置准确。每一环伸缩缝止水带分两次安置，仰拱和拱墙各一次，先施工仰拱，所以仰拱衬砌的止水带应留有一定长度，以便与拱墙衬砌的止水带连接，连接搭拉长度不小于 20cm，连接时止水带的凸出部位应适当错开，采用树脂胶粘接，并从两侧用钢片夹紧，以保证粘接牢固、密贴、粘接完后拆掉钢片。

(2) 安装遇水膨胀止水条：上一环混凝土衬砌拆模后，清理混凝土基面，在隧道二次模筑衬砌断面最里侧

(靠围岩侧) 安置遇水膨胀止水条, 并用树脂胶粘贴固定, 然后浇筑下一环混凝土, 止水条的接头采用对接法粘接, 粘合面切成 45° 斜面。

(3) 铺设浸油木板: 将浸油木板铺设在止水带两侧的伸缩缝空隙中, 填充满整个伸缩缝, 伸缩缝宽度 20mm, 并固定牢固, 再灌注新一环混凝土。

6 材料

6.1 防水、隔热保温层材料

材料名称	规格与性能	用 途
PU 聚氨酯板	厚 5cm: 导热系数 $\leq 0.03\text{W/m}\cdot\text{k}$; 抗压强度 $\geq 3\text{kg/cm}^2$; 体积吸水率 $\leq 3\%$	隔热保温
复合防水板	2.0m 宽, 无纺布/PVC; 纵向拉伸强度 $\geq 15\text{Mpa}$; 断裂伸长率 $\geq 200\%$; 抗渗性;	无纺布是引水, PVC 板是防水
树 脂 胶	OP 型, 粘结强度 0.5Mpa	模筑支护与防水板和保温板之间的粘贴
聚氨酯粘接剂	TN-1 型密度 1200kg/m^3 , 粘结强度 0.2Mpa	保温板接缝粘接

6.2 施工缝材料

材 料 名 称	规 格	用 途
遇水膨胀止水条	BW-II 型: 20×30 (mm)	二衬环与环之间
WJ 界面粘接剂	密度 $2.98/\text{cm}^3$	混凝土粘接剂

6.3 伸缩缝材料

材 料 名 称	规 格	用 途
橡胶止水带	651 型: $300 \times \phi 15 \times \phi 30 \times 8$ (mm)	不同围岩类别环与环衬砌混凝土内侧之间堵水
遇水膨胀止水条	20×100 (mm)	
渣油麻筋或浸油木板		不同围岩类别环与环衬砌混凝土外侧之间堵水

7 机具设备

序号	机具名称	数量	用途
1	作业平台	1	方便铺设拱墙防水板、保温板
2	铁锤、钢钎、砂轮		找平、打磨模筑支护不平整处

3	TH-5 型土工模自动焊接机	1	复合防水板接缝的焊接
4	DSH-2 型热风塑料焊枪	1	复合防水板的补焊、找平
5	钢丝刷、排刷、毛巾、小桶		清理砼表面、盛撞、涂抹胶水等粘贴材料
6	带把的小滚棍		粘贴时推压防水板、使粘贴紧密
7	小铁架		支起成卷防水板
8	打气泵	1	防水板焊缝气密性检查

8 劳动力组织

工种	工程技术人员	安质员	工班长	焊工	普工	合计
人数	1	1	1	1	4	8

9 质量控制

本工法除执行《铁路隧道施工技术规范》(TBJ204—86)和《青藏铁路高原冻土区隧道施工技术细则》等有关规定外,还应注意如下几点:

- 9.1 胶水不得过期使用,胶水必须均匀涂抹,以保证粘贴牢固平顺。
- 9.2 保温板不得破损、缺角、开裂,保温板与保温板之间必须使用 TN—1 聚氨脂粘结剂粘贴牢固。
- 9.3 检查防水板是否有破损和孔洞,如有破损和孔洞,安全质量检查员应在破损和孔洞处做出明显记号和记录,以加设圆形 $\Phi 70\text{mm}$ 以上的防水板补丁进行焊补。
- 9.4 严格焊缝检查,首先肉眼检查是否有虚焊和漏焊,其次是每条焊缝进行气密性检查:将带有气压表的打气泵的针头扎入两道焊缝之间,打气加压至 100Kpa,保持 3min,气压不下降即可认为质量合格。

10 安全生产

本工法执行《铁路施工安全技术规则》(TBJ404—87),特别是有关隧道施工安全生产规则,还应注意下列各点:

- 10.1 加强文明施工与现场管理,特别是电线、闸刀等严格按规定管理。
- 10.2 铺设防水板必须设专人负责,明确负责人,特别是负责胶水作业人员必须对易燃物品严格管理和使用,所有参加作业人员必须进行培训后方可上岗,并要定员定岗定责任。
- 10.3 加强通风,特别是铺设防水板时,必须不停通风,确保洞内空气畅通。
- 10.4 铺设防水板 20m 范围内禁止明火作业(其中包括电焊),并应设专人负责安全监督。
- 10.5 铺设防水板作业时,必须有防范措施,安装灭火器不少于 2 台,并设警示牌。
- 10.6 为确保复合防水板与一次模筑混凝土表面紧密粘贴,要求施工一次模筑混凝土时,表面要平顺、无较大的错台、没有裸露的钢筋头、木板等尖锐的物件。
- 10.7 为避免烧坏复合防水板加速其老化,在施作二次衬砌的钢筋焊接时,必须用三合板进行隔开,保护复合防水板;并且要求在第二层复合防水板焊接施工完八小时后,或距离施工复合防水板的涂胶位置达 30 米远,方能进行钢筋焊接施工,防止焊接时温度过高,点燃空气中挥发的 OP 树脂胶而引起火灾。

11 效益分析

11.1 本工法的施工原理、施工方法、施工工艺、施工设备和施工材料的选型配套已形成了防排水及隔热保温层的立体网络式结构，它技术先进、安全可靠、经济合理、可操作性强，只需工人 8 人，所耗劳力和工时都较少。工效显著，尤其在高原缺氧条件下效益明显。

11.2 本工法选择的 PVC 复合防水板，由一层 PVC 薄膜和无纺土工布复合而成，较之以前“土工布+ZDPE 板”性能优越，使用此种防水板较其他防水板材料节省投资 40% 以上。

12 工程实例

昆仑山隧道全长 1686m，是青藏线头号控制工期工程，隧道穿越多年冻土层，全隧设计为复合式防排水板衬砌隔热保温层结构，隧道设计中：复合式防水板 128764m²，隔热保温板 2846m³，及纵环向软式透水管、止水带、止水条等贴合结缝结构。

施工时，防水板和保温板成功采用了无钉粘胶焊接工艺，防水板平顺，无皱折，无隆起，保温板和防水板均完整无损，且采用 TH—5 土工布自动焊接机焊接接缝，焊缝质量优良、均匀、透明、不起皱、无虚焊、无漏焊、热融牢固及防水性能好。对焊缝进行充气检查，均合格。由于采用此工法施工，昆仑山隧道二次衬砌的施工速度得到了明显的加快，于 2003 年 2 月 10 日完工，从而确保了昆仑山隧道的施工工期，收到了良好的社会效益和经济效益。

执笔：盘明山 刘德志 杨晓春