

# 地铁暗挖工程全封闭防水施工技术

许省会

(中铁十六局集团第一工程有限公司,北京 101300)

**摘 要:**以东单地铁为依托,从防水混凝土、柔性防水层、特殊部位处理几方面阐述了在初期支护与二次衬砌之间设全封闭柔性防水层施工方法。

**关键词:**地铁暗挖;全封闭防水;施工

一般铁路隧道防水设计的原则是“防、截、排、堵相结合,因地制宜,综合治理”,地铁工程一般采用暗挖法施工。采用暗挖施工的地铁工程其防水设计等级较高,车站为一级,区间为二级。地下车站中的乘客流量大,金属设备繁多,要求达到绝对不渗不漏,其防水是以“防”和“堵”为主,与其他措施相结合的指导原则。“防”是以加强二次衬砌的自身防水性能和在与初期支护间设置柔性防水层,以阻止车站与地下水的联系;“堵”是在隧道施工过程中有渗漏时在地层中和衬砌中注浆填充,阻止地下水的流径而起防水作用。

北京地铁东单车站设计衬砌为复合式衬砌,在初期支护与二次衬砌之间设全封闭柔性防水层,初期支护为  $C_{20}$  早强喷射混凝土,二次衬砌为  $C_{30}$  防水混凝土,抗渗等级为  $S_8$ 。柔性防水层采用两种防水板,车站主体采用 1.2mm 厚的 ECB 防水板,出入口、风道工程采用 0.8mm 厚的 EVA 防水板,缓冲垫层均为 4mm 厚的聚乙烯(PE)泡沫塑料板。

## 1 防水混凝土

复合衬砌结构包括初期支护和二次衬砌,初期支护一般采用喷射混凝土,二次衬砌一般采用模注混凝土。喷射混凝土的防水性能较低,在渗水量不大的地段一般不考虑其防水性能,把防水的重点放在二次衬砌上。二次衬砌一般设计为抗渗混凝土,是结构自防水的重要部分,应从材料的检验、配合比设计、运输与灌注、拆模及养护等各方面严格控制把关,才能确保混凝土的防水性能。

### 1.1 材料要求

- (1) 水泥为 425 号的普通硅酸盐水泥,含碱量 ( $Na_2O$ ) 0.6 %;
- (2) 砂宜采用中砂,含泥量 3 %;
- (3) 石子最大粒径 40mm,并满足泵送和钢筋净间距要求,含泥量 1 %,吸水率 1.5 %;
- (4) 外加剂为 UEA 膨胀剂,掺量由限制膨胀  $\mu = 0.5$  %来确定;
- (5) 水为无侵蚀性洁净水。

### 1.2 配合比设计

- (1) 防水混凝土配合比必须经试验确定,其抗渗等级应比设计要求提高 0.2MPa;
- (2) 每立方米混凝土的水泥用量 320kg(包括 UEA 膨胀剂);

水灰比宜为 0.55;

- (3) 砂率为 35 % ~ 40 %,灰砂比为 (1 2) ~ (1 2.5);

- (4) 坍落度为 180 ~ 210mm;

- (5) 为提高混凝土的和易性,减少水灰比,适当掺入高效减水剂,掺量控制在水泥用量的 0.8 %;为了降低混凝土水化热可适当掺入粉煤灰。

### 1.3 运输

地铁隧道结构混凝土采用商品混凝土,混凝土运输车运输,泵送灌注。由于受到交通管制的影响,地铁混凝土浇注施工一般在夜间进行,而且一次性浇注方量较大,泵管通过竖井垂直运输,弯头较多,运输距离一般较远,因此混凝土输送泵管应采用高压管,其接头应严密不漏气。在泵送前应打一盘与灌注混凝土灰砂比相同的砂浆,一者湿润管路,二者检验管接头是否漏气。

搅拌站至工地一般距离较远,运输时间较长,混凝土的和易性将发生很大变化,从罐车向泵的料仓卸料前,应将罐车反转 3 ~ 5min,使罐内混凝土再次搅拌均匀。如果和易性仍不能满足泵送要求,可以适量掺入同品种的高效减水剂溶液,但应严禁加水。

### 1.4 灌注

当边墙混凝土灌注高度 > 2m 时,应采用串筒、溜槽,采用插入式振捣器,振捣时间为 10 ~ 20s,并以混凝土开始泛浆或不冒气泡为准。每层浇注厚度 300mm,振捣器插入下层混凝土 50mm,移距不大于作用半径 1 倍。

当浇注拱部混凝土时,应在两侧模板上预留浇注窗口,两侧水平均匀灌注。采用表面振动器,每次浇注厚度为 200mm,移距应与已浇注混凝土搭接 100mm。

### 1.5 拆模和养护

防水混凝土应严格控制拆模时间,不仅应保证混凝土的强度,而且拆时混凝土的表面温度与周围气温的温差应  $\leq 20$ 。这一点非常重要,经常由于抢工期往往忽视这一点,过早拆模使混凝土过早暴露在大氣中,由于与周边温差过大而产生内部应力使混凝土开裂。拆模后应及时洒水养护,并保持表面湿润,养护期 14 天。

## 2 柔性防水层

柔性防水层分两层,缓冲垫层铺底与初期支护表面接触,对防水板与初期支护接触的一侧形成保护,其表面再铺挂防水板。

柔性防水层不仅起到防水的作用,由于防水板光滑将初期支护与二次衬砌隔开,它们之间基本不传递剪力,只传递压力,使二衬均匀受压受弯,减少由于局部应力使二衬出现裂纹。所以防水层对基面的要求很高,不能有突出物和明水,在施工防水层之前先对基面进行处理。

## 2.1 基面处理

初期支护完成后对基面进行处理,割除钢筋头、锚杆头,在割除部位、断面变化处或转弯处的阴角应抹成  $R=10\text{mm}$  的圆弧。明显凹凸不平的应分层喷射找平。基面如有明水,应采取措施注浆封堵或引排,方便防水层施工。

## 2.2 铺挂缓冲垫层

用  $\phi 75$  热塑性塑料圆垫片和射钉将聚乙烯 (PE) 固定在初期支护上,钉距拱部  $50\text{cm}$ ,边墙  $100\text{cm}$ ,呈梅花形布置,位于变化断面和转角部位的钉距应适当加密。从拱顶向两侧依次铺贴平顺,长短边搭接长度  $50\text{mm}$ ,做到平顺、无隆起、焊缝牢固。

## 2.3 铺设防水板

将 ECB、EVA 板由拱顶开始向两侧环向铺设,边铺边与圆垫片热熔焊接。防水板铺设时不得拉得太紧,应留出适当搭接余量。防水板与圆垫片之间用电压焊器或热风塑料焊枪焊接。防水板之间用双焊缝自爬式热合焊机焊接,长、短边搭接宽度  $10\text{cm}$ ,焊缝宽度  $10\text{mm}$ ,且均匀连续,不得有假焊、漏焊、焊焦焊穿等现象。

## 2.4 质量检验

用  $5^\#$  注射针与压力表相接,用打气筒在双焊缝间充气。当压力达到  $0.1 \sim 0.15\text{MPa}$ ,保持时间  $1\text{min}$ ,说明焊缝合格。如压力下降,证明有未焊好之处,应实施补焊。ECB 防水板质量检查见表 1。

表 1 ECB 防水板质量检查表

序号	检测项目	单位	质量标准
1	密度	$\text{g/cm}^3$	0.91
2	拉伸强度	$\text{MPa}$	纵向 19.0
3	断裂伸长率	%	50
4	直角撕裂强度	$\text{N/mm}$	纵向 81
5	软化强度		$>70$
6	脆化温度		60
7	冲气压力 (MPa)	$0.1 \sim 0.15$	耐压时间 $>1\text{min}$

## 3 特殊部位防水

特殊部位包括施工缝、变形缝、伸缩缝及穿墙管等处是结构防水的薄弱环节,在施工中应严格按施工工艺操作。如果操作不当往往引起渗漏水,整治起来非常麻烦。

### 3.1 施工缝

在两次浇筑混凝土之间设施工缝,灌注前应对施工缝进行处理,首先清除表面的水泥浆薄膜、松动石子或软弱混凝土,然后在二衬中部设置遇水膨胀橡胶条。施工缝的基面必须进行凿毛,使两次混凝土浇注接触良好,减小可能出现的裂缝。见图 1 所示。

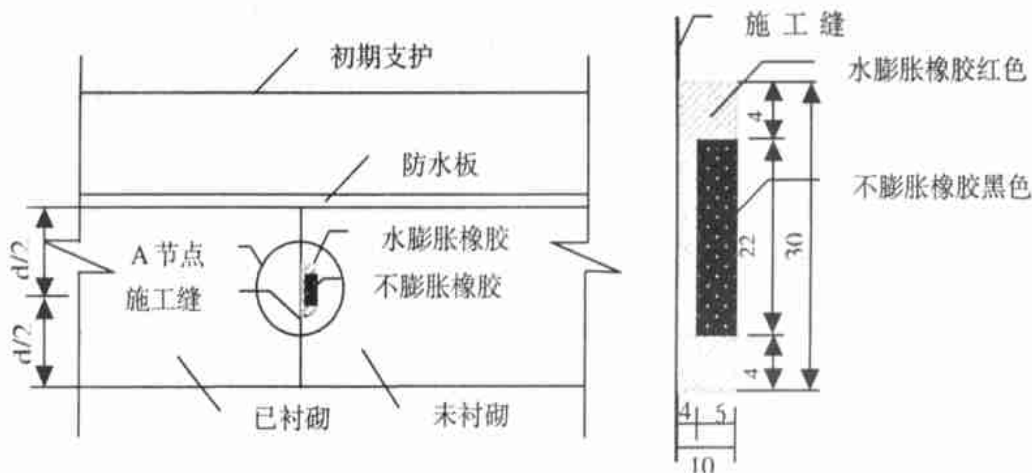


图 1 施工缝防水图

### 3.2 变形缝

在车站结构主体全长范围不设变形缝,只在车站与区间、出入口、风道相接处等主体与附属结构相接处和明暗挖相接处设置。在变形缝的衬砌中部设置橡胶止水带,缝间填塞聚苯板,口部用双组分聚硫橡胶和防水砂浆封堵(见图 2)。

止水带采用桥式橡胶止水带,厚  $10\text{mm}$ ,埋置于距二衬内缘  $200\text{mm}$  的衬砌中部。止水带采用搭接式,压茬方向顺水流方向,即上段止水带靠近初期支护,下段止水带靠近衬砌内缘。止水带的搭接接头表面必须清刷和用锉刀打毛,搭接接头长度  $10\text{cm}$  并用粘结剂满粘。

### 3.3 伸缩缝

地铁运营时基本恒温,受温度变化影响较小,只在洞口和易受冻害地段设置伸缩缝。

### 3.4 穿墙管

在穿墙管的表面涂刷 R1 料,外涂聚胺脂涂料,通过 SBS 卷材与 ECB 防水板粘接,或者在穿墙管上焊接止水钢板环,表面做防腐处理,采用穿墙套管时在两管间嵌入防水填料,内侧用法兰压紧,外侧铺贴防水层。详见图 3、图 4。

## 4 填充压浆

采用泵送混凝土灌注隧道拱部,往往混凝土灌注不满,与初

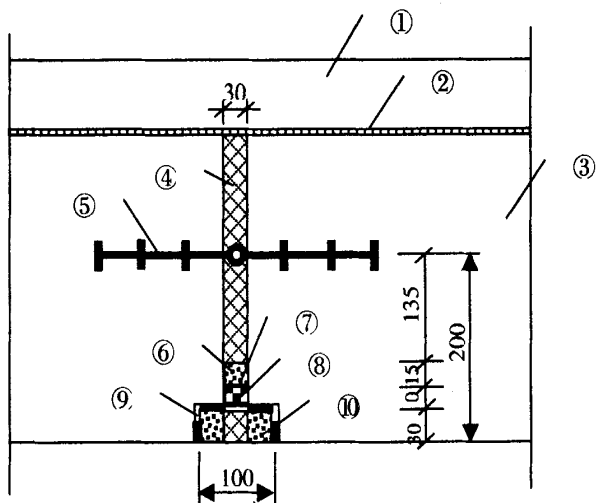


图2 变形缝防水图

初期支护; 防水板; 二次衬砌; 聚苯板;  
桥式橡胶止水带; 砂浆层; 牛皮纸;  
双组分聚硫橡胶; 881 涂料; R1 砂浆填料

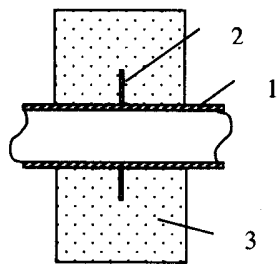


图3 穿墙管图

1、钢管; 2、止水环; 3、主体结构

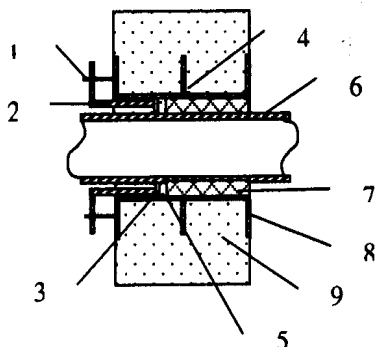


图4 套管式穿墙管构造图

1、螺栓; 2、压紧法兰; 3、胶圈; 4、止水环;  
5、挡圈; 6、主管; 7、嵌填料; 8、翼环; 9、主体结构

期支护之间会形成较大的空隙。如果防水板有漏洞,地下水会渗入二次衬砌内,混凝土本身不密实,水会渗至二衬表面。通过在隧道背后进行填充压浆不仅可以填充由于混凝土浇筑不饱满形成的剩余空间,使初期支护和二次衬砌密贴而共同受力,而且可以填塞由于混凝土不密实或开裂而形成的缝隙,封堵地下水的

流径而起到防水的作用。在隧道背后填充压浆可以避免在混凝土内表面处理时形成的外观缺陷。

压浆管在拱部混凝土浇筑之前预埋在拱顶处。压浆管采用 $\varnothing 42$ 无缝钢管,上端距初期支护下的防水板2cm,下端穿过模板10cm。钢管为直线形,不需在管上钻孔,在每衬砌循环的隧道拱部中间设置和可能出现渗水处设置。当混凝土强度达70%后并形成完全封闭圈后即可进行。

压浆的浆液可以为水泥砂浆、水泥浆,必要时可掺入一定比例的防水剂和粉煤灰。一般应先压注水泥砂浆,稠度先稠后稀,配合比和水灰比根据注浆速度进行调整,控制其扩散在一定范围。如果浆液扩散速度很快,可以增加浆液的稠度,或在压注一段时间后停止8~12h后再进行。如果空隙比较小,可以直接压注水泥浆,但水泥浆的结石率比水泥砂浆低,注浆量很大但效果不明显。如只在衬砌的表面有裂隙,在隧道背后压浆仍不能解决渗漏时,可直接在渗水处的衬砌表面钻孔压注化学浆液。但化学浆液的时效性不如水泥浆,不建议在衬砌中大量使用。

压浆顺序应由下向上,先无水、少水地段向有水或多水处,从下坡方向上坡方向,从两端向中间压浆。每段压浆长度一般20m。

填充压浆在防水板和二次衬砌有缺陷时可以起到补救作用,在东单地铁车站大面积使用,收到了很好的效果,是全封闭防水施工不可缺少的一个步骤。

## 5 地铁工程防渗漏技术要点

(1) 基面是保证防水板质量的基础和关键,不能有明水、突出物。

(2) 施工缝中平接橡胶止水带在实际操作中很难与混凝土密贴,在浇注和振捣时容易形成空隙。建议在浇注前的端头模板上安装比止水带稍宽的普通不膨胀橡胶条,拆模后将橡胶带从混凝土中扯出,在形成凹槽内安装膨胀型止水条。

(3) 缓冲垫层应加强其抗拉强度和伸长率,宜选用无纺或复合土工布,不仅具有反滤、隔离、排水、耐酸碱等功能,还可以形成对防水板的有效保护。

(4) 防水板除了满足强度指标外,应重点检验其耐酸碱性和耐紫外线性,并加强对成品的保护,特别是防止电焊焊渣对防水板的破坏。喷射混凝土由于受到地下水的侵蚀以及在其中掺入了呈碱性的速凝剂,在其表面经常有碱性水渗出形成结晶体,对人体皮肤具有很强的腐蚀性,防水板施工时经常预留接头,有一部分暴露在地下潮湿的空气中,结晶水对其形成腐蚀,过一段时间再焊接,其可焊性大大降低。另外暴露在空气中的防水板应避免阳光照射,在未封闭前应覆盖遮光。

(5) 混凝土灌注应尽量饱满密实,填充压浆是不可缺少的堵水补救措施,不能省略和忽视。

(6) 防水混凝土应严格执行拆模的前提条件,应考虑温度因素对混凝土裂纹的影响。

## 6 结束语

在东单地铁工程中由二次衬砌、柔性防水板、特殊部位和填充压浆形成综合防水系统,对地下水重点采取“防”、“堵”相结合的治理办法取得了满意的效果,在由建设单位组织的多次检查和验收中均未发现有渗漏现象。地铁暗挖工程防水施工技术对其他地下暗挖工程的全封闭防水施工有一定的参考价值。