

文章编号: 0451-0712(2001)03-0037-03

中图分类号: U454.03

文献标识码: B

# PFJ 混凝土防水技术研究

金宗宝

(中铁第十六工程局计量测试中心 北京市 100018)

**摘要:** 围绕隧道混凝土渗透漏水问题,探讨了木钙、粉煤灰以及膨胀剂对混凝土抗渗性及其他物理性能的影响。在隧道混凝土中科学、合理地运用掺加木钙、粉煤灰及膨胀剂技术,可以配制出优质的防水混凝土,从而取得显著的技术经济效益。

**关键词:** 混凝土; 防水; 外加剂

渗漏水一直是隧道严重的病害之一,而常用的柔性防水技术又不能很好地解决隧道防水问题,要从根本上解决防水问题,必须把柔性和刚性防水技术结合起来。

本文围绕隧道工程的混凝土本体防水问题,研究了混凝土在掺加了减水剂、膨胀剂和粉煤灰后(简称为PFJ混凝土)对混凝土防水性能和其它物理力学性能的作用和影响。

PFJ混凝土抗压强度高,既防水又承重,且耐久性好,施工工艺简单,可操作性强

## 1 原材料

### 1.1 原材料

水泥: 425号普通硅酸盐水泥,启新水泥厂;

砂子: 河砂,容重  $16.00 \text{ kN/m}^3$ ,比重 2.58,细度模数 2.2,空隙率 0.38;

石子: 碎石,容重  $14.35 \text{ kN/m}^3$ ,比重 2.84,空隙率 0.495,针片状含量为 7.4%,最大粒径 30 mm;

粉煤灰: 二级粉煤灰,取自北京石景山电厂,化学组成见表 1;

收稿日期: 2000-12-26

(1) I级以上粉煤灰采用超掺法,超掺系数 1.5,在一定的掺量范围内,对混凝土强度和耐磨性无不利的影响。

(2) 砂、石含泥量对混凝土抗折强度和耐磨性有显著的影响。

(3) 只要控制好混凝土拌和物的工作性,水泥计量精度误差和外加剂的调整不会对混凝土的强度、

表 1 粉煤灰及膨胀剂的化学组成 %

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	烧失量
粉煤灰	51.92	33.5	6.55	1.12	0.28	1.12	2.50
膨胀剂	31.39	10.19	1.05	1.14	16.80	31.92	2.85

膨胀剂: 石家庄特种水泥厂产 UEA,化学组成见表 1;

减水剂: 木质素磺酸钙,吉林省开山屯化学纤维浆厂生产。

### 1.2 掺和料和外加剂的用量与用法

(1) 木质素磺酸钙,掺量为 0.25%;

(2) 膨胀剂采用内掺,因隧道混凝土为无筋混凝土,混凝土膨胀条件为一种相对较弱的约束,当 UEA 膨胀剂掺量大于 8%时,自由状态的混凝土的强度将有明显降低<sup>[1]</sup>,故确定掺量为 3%、5%、7%;

(3) 粉煤灰按《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146-90)规定,采用外加法,其掺加量占水泥重量 6%。在混凝土中掺加粉煤灰的目的,首先是作为掺和料及外加剂的载体,其次是作为潜在活性掺和料,改善混凝土的物理性和耐久性。

耐磨性产生明显的影响。

(4) 抗滑构造施工工艺和养护方式对成型表面的耐磨性有显著的影响。

以上研究结论直接用于指导湖北省黄小高速公路的滑模施工且已取得了明显成效。在路面外观及耐磨性方面上了一个新台阶。

拌和混凝土时,将水泥、掺和料、外加剂加入搅拌机并拌和均匀,然后再加入其它组份。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 PFJ 砂浆的力学性能

砂浆是没有粗骨料的混凝土,其抗压强度及抗折强度试验结果能在一定程度上反映 PFJ 混凝土的性能,试验结果见表 2。

### 2.2 PFJ 混凝土的抗压强度

掺加 PFJ 复合外加剂后,混凝土在自由条件下

表 2 膨胀砂浆抗压强度及抗折强度试验结果

序号	流动度/mm	膨胀剂/%	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
			3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
1	133.8	0	5.12	6.42	7.93	25.94	36.70	47.50
2	140.0	3	5.44	6.66	7.92	27.25	34.50	46.00
3	135.4	5	5.04	5.81	8.25	25.50	31.03	46.80
4	137.0	7	4.38	6.00	7.71	25.41	33.63	45.20

注:1. 4 组试件粉煤灰掺量均为 6%; 2. 木钙减水剂掺量 0.25%; 3. 砂浆配合比 C:S=1:2.5; 4. 水灰比 0.44。水化、膨胀、硬化,PFJ 复合外加剂对混凝土抗压强度的作用与砂浆情况相似,见表 3。

表 3 膨胀混凝土物理力学性能试验结果

分组	配合比	水灰比 W/C	膨胀剂 %	粉煤灰 %	坍落度 cm	容重 kN/m <sup>3</sup>	抗压强度/MPa		
							3 d	7 d	28 d
1	1:2.4:3.9	0.6	0	0	4.0	25.40	17.5	22.7	35.0
2	1:2.4:4.1	0.6	0	6	4.5	25.06	17.8	24.0	35.7
3	1:2.4:3.9	0.53	0	6	4.5	24.30	18.2	25.4	35.5
4	1:2.3:3.9	0.53	3	6	4.5	24.46	17.9	23.4	32.4
5	1:2.3:3.9	0.53	5	6	5.0	24.40	18.5	25.4	33.5
6	1:2.3:3.9	0.53	7	6	4.5	24.37	18.1	23.8	33.5

注:膨胀剂为内掺,等量取代水泥。

在考察 PFJ 复合外加剂作用的同时,本文对膨胀剂在模具限制条件下的作用情况进行了比较,结果见表 4。表 4 给出了限制条件下混凝土 3 d 和 14 d 的抗压强度。可以看出,在有模具的条件下,4 组混凝土试件的 3 d 抗压强度均有所提高,28 d 的抗压强度无降低,这与无模具限制时强度降低的情况不同。

表 4 膨胀剂对限制条件下混凝土抗压强度影响的对比试验

序号	养护条件	膨胀剂掺量/%	抗压强度/MPa	
			3 d	14 d
1	无限制	0	19.0	32.3
2	模具限制	0	19.0	32.2
3	模具限制	0	20.0	32.4
4	模具限制	0	20.6	33.8
5	模具限制	0	21.0	32.2

注:本试验考察限制条件下试件的强度,考察时间 2 周,第一周水中养护膨胀,第二周空气中养护收缩。

### 2.3 无配筋条件下混凝土的膨胀试验

混凝土在无筋条件下的膨胀近似无限制膨胀,其膨胀值随膨胀剂掺加量增加而增加,试验结果见图 1。图中共给出 5 条曲线,表征 5 个试件在相同条件下的膨胀过程。前 7 d 试件在水中养护,逐渐膨胀;第 7 d 开始,试件在干燥条件下养护,不断收缩。

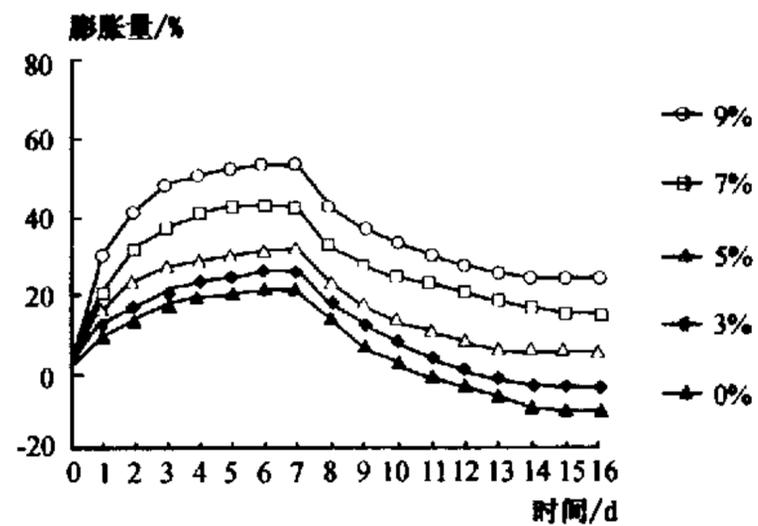


图 1 无限制条件下混凝土的膨胀试验

由图 1 可见,水中养护时,试件的膨胀以早期较快,前 3 d 就完成了总膨胀的 78%~93%。收缩也是早期为快,第 7 d,最迟第 10 d 就基本稳定了。

从图 1 看出,膨胀剂掺加量 0% 时,干燥 4 d 后膨胀值为 0,即恢复到浸水前的长度,继续干燥则开始收缩。膨胀剂掺量为 3% 时,混凝土 5 d 后膨胀值恢复到 0,膨胀剂掺量为 5% 时混凝土在干燥过程中逐渐收缩,至第 7 d 基本稳定,但此时由浸泡发生的膨胀已经不能完全恢复,并产生了永久性的残余膨胀。

试件在水中养护 7 d 的最大膨胀值和干燥条件下养护时试件收缩基本稳定后的残余膨胀值见表 5。由表 5 可见,在自由膨胀条件下,膨胀剂掺量为

3%时,膨胀剂不足以补偿由于干燥而产生的收缩,收缩将导致裂缝,裂缝将导致渗漏水。为防止无约束条件下混凝土渗漏水,混凝土中膨胀剂掺量应大于3%,其适宜掺量可取5%。

表5 混凝土试件的最大膨胀值和残余膨胀值

序号	膨胀剂的掺量/%	最大膨胀值 $\times 10^{-6}$	残余膨胀值 $\times 10^{-4}$
1	0	71.9	-34.4
2	3	87.5	-15.6
3	5	109.4	15.6
4	7	146.9	50.0
5	9	181.3	81.3

注:1. 其他条件同前; 2. 残余膨胀的负值为收缩。

表6 混凝土的抗渗标号和相对抗渗系数

分 组	配合比	水灰比	膨胀剂 %	木钙掺量 %	坍落度 %	容重 kN/m <sup>3</sup>	平均渗水高度 cm	渗水高度比 %	渗透系数 10 <sup>-7</sup>
1	1:2.4:4.1	0.6	0	0	4.5	25.06	6.70	100	23.4
2	1:2.3:3.9	0.53	3	0.25	4.5	24.36	2.96	44	4.51
3	1:2.3:3.9	0.53	5	0.25	4.5	24.30	2.73	41	3.83
4	1:2.3:3.9	0.53	7	0.25	5.0	24.45	3.51	52	6.34

注:混凝土中粉煤灰掺量为6%。

生和存在会导致混凝土渗漏水。

PFJ混凝土是一种具有优良防水性能的混凝土,它可以有效地防止混凝土在压力水作用下通过裂缝和毛细管发生渗漏水现象。

PFJ混凝土具有3种功能:

(1)改善拌和物的工作性,提高混凝土的密实度,降低毛细管含量;

(2)潜在火山灰活性吸收氢氧化钙,填充毛细管,提高耐久性;

(3)补偿收缩和微收缩抵消因各种原因引起和产生的裂缝。

补偿收缩和微收缩是PFJ混凝土的重要技术内容。膨胀剂是用于产生补偿收缩的外加剂组分。

由表6可见,空白试件的渗透系数为 $23.4 \times 10^{-7}$ ,远远高于PFJ混凝土;第3组试件膨胀剂掺量为5%,其渗透系数为 $3.83 \times 10^{-7}$ ,为空白试件的16%,其渗水高度比为41%,也达到了3组PFJ混凝土试件最好水平。

应用膨胀剂的对象应是配筋混凝土或者是在其它限制条件下水化、硬化的混凝土。限制条件下水化硬化的混凝土,膨胀对结构造成的破坏被抑制,因此其各项物理力学性能指标都应好于普通混凝土;而

## 2.4 抗渗试验

通过机械搅拌、机械振捣和标准养护,制做抗渗试件4组,每组6块,养护至28d进行抗渗试验。混凝土的抗渗性按抗渗等级和相对抗渗和相对抗渗系数表征,试验结果见表6。

## 2.5 分析和讨论

从微观结构的角度看,混凝土是一种包含有大量毛细管的复合材料,这些毛细管的尺寸和形状千差万别,并且有相当一部分是与大气相通的,这些毛细管会严重地降低混凝土的抗渗性。混凝土也会在水化、硬化过程中因干缩、化学减缩等原因引起和产生大量各种形式和尺寸的裂缝,裂缝和毛细管的产

在没有适当限制的条件下水化、硬化的膨胀混凝土,其各种强度均低于普通混凝土<sup>[2]</sup>。隧道混凝土水化硬化时所处的条件基本上属于无限制的条件。因此,必须认真考虑膨胀对混凝土结构可能会造成的破坏作用,适当地确定膨胀剂的合适掺量。

## 3 结语

PFJ混凝土是一种性能优良的防水混凝土,它具有优良的物理和力学性能,可以有效地改善混凝土的防水性能。配制PFJ混凝土可采用5大品种水泥的任一种,但应优先采用火山灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或者粉煤灰硅酸盐水泥。外加剂的适宜掺量按水泥用量的百分数为:粉煤灰掺量为6%;膨胀剂掺量为5%;木质素磺酸钙掺量为0.25%。

## 参考文献:

- [1] 戚积纶. 对掺膨胀剂混凝土的几点看法. 建筑物裂隙控制新技术. 北京中国建材工业出版社,1994.
- [2] 吴中伟,张鸿直. 膨胀混凝土. 北京:中国铁道出版社,1990.
- [3] V. S. Ramachandran. Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications. 1984.

文章编号: 0451-0712(2001)03-0040-01

中图分类号: U445.55

文献标识码: B

# 桥台软基处理方法及效果比较

吴秋明

(珠海市地方道路管理处 珠海市 519000)

沿海地区河流纵横,水网发达,大部分土地都是由多年冲积或人工围垦而成,因此地质条件较差。在珠江三角洲地区的桥梁施工中,常碰到桥头软基处理的问题。如设计考虑不周会带来严重后果,施工中,若不尊重科学,同样会带来严重后果。这方面的教训比比皆是,轻则影响桥台桩基础,造成桥台桩基位移或开裂,重则桥毁人亡。下面针对珠海的情况,介绍不同的地质条件下选择桥台软基处理的方法及其效果比较。

## (1) 砂桩处理软塑状态下的淤泥软基

砂桩处理软基是一种使用较多且较为成熟的技术,很多桥梁和高速公路软基的处理都采用这种方法,但是砂桩处理有一定的条件限制。如果桥头软基处于软塑或流塑状态,以流塑为主且淤泥厚度较厚时,如果在设计上考虑用砂桩进行软基处理就显得极不恰当,施工时会碰到灌砂下不去的现象,高压充水也下不去,有时甚至出现淤泥大面积滑移现象。其主要原因是淤泥处于流塑状态,当钢管桩上提时淤泥会迅速封住桩头三片活页,造成活页分离不开,钢管内的砂无法灌下。这种事故曾在小林沙脊桥施工时碰到过,所以在选择砂桩处理桥头软基时,一定要看看地质条件再定处理方案。如果淤泥处于流塑状

态,最好不要选用这种方法。如果淤泥处于软塑状态,这种处理效果较好,珠海南屏大桥就是采用这种方法。当砂桩施工完毕后,桥头路基分层填土时,两侧排水沟有明显的排水现象。从排水量来看,砂桩处理效果明显。该桥自1986年建成通车以来没有出现因桥头沉降而引起跳车现象。

## (2) 喷粉桩处理软塑、流塑状态的软基

喷粉桩适宜处理的软基比较广泛,不受条件限制,既能处理软塑状态的软基又能处理流塑状态的软基,尤其是适应不能采用砂桩处理的软基,而且处理效果较好。但从一些科技杂志上知道,上海市政府明令禁止使用喷粉桩进行软基处理,理由是喷粉桩的质量比较难控制。但从我们在一些桥梁施工过程中采用喷粉桩处理软基的情况看,处理效果还是满意的。平沙东风桥和小林沙脊桥通过喷粉桩的处理,桥头跳车现象明显得到了改善,几年来未对桥头进行任何处理和维修,尤其是平沙东风桥桥址处淤泥呈流塑状态,深度达36m,经喷粉桩处理后,工后沉降几乎没有了。

无论是设计还是施工,都应根据地质、地形条件正确选择软基的处理方法,只有这样,才能做到既节省工程造价,又能较好地处理软基。

## Research on Waterproof Technique for PFJ Concrete

Jin Zongbao

(The 16th Engineering Bureau, China Railway, Beijing 100018, China)

**Abstract:** Around a problem of the permeability and leakage water on tunnel concrete, the paper mainly discusses the effect of wooden-calcium, fly ash and expansive agent on concrete permeability resistance and physical performance. The high quality waterproof concrete can be made up and good technical and economic benefit are obtained through scientifically and reasonably mixing tunnel concrete with wooden-calcium, fly ash and expansive agent.

**Key words:** Concrete; Waterproof; Concrete additives