

## 引气剂对水泥砼路用性能的影响研究

吴德清

(海南公路工程有限公司, 海口 570206)

**摘要:** 以干缩率、渗水高度和抗弯拉强度为评价指标,通过干缩试验、渗水试验和抗弯拉强度试验,对比分析 AE2、BT-4006 和 ZY-99 型引气剂不同掺量对水泥砼路用性能的影响。结果表明,BT-4006 型引气剂添加剂量为 0.24‰时,其干缩性能达到较优水平;AE2 型引气剂添加剂量为 0.24‰时,其抗渗性能达到较优水平。建议多雨地区采用 AE2 型引气剂,添加剂量为 0.24‰。

**关键词:** 公路;引气剂;水泥砼;路用性能

**中图分类号:** U416.216

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)02-0065-03

水泥砼路面具有较好的结构强度,且其材料多为廉价的砂和石子,在中国道路建设中运用十分广泛。但随着交通量和交通荷载的逐渐增加,普通水泥砼路面常由于疲劳而产生破坏。引气剂是一种水泥砼改性剂,加入水泥砼中能引入较多微小气泡,得到泡沫水泥砼。与普通水泥砼相比,泡沫水泥砼具有质量轻、收缩小等优点。国内学者对引气剂对水泥砼的改性机理和性能影响作了较深入研究,但只是针对某种引气剂在一定剂量下对试件性能的作用效果,对引气剂不同添加剂量下的作用机理及效果研究很少。该文研究国内常用的 AE2、BT-4006

和 ZY-99 型引气剂在不同添加剂量条件下对普通水泥砼的改性效果,为引气剂在道路建设中的运用提供指导。

## 1 试验方案及原材料

以 AE2、BT-4006 和 ZY-99 型引气剂为研究对象,在掺量分别为 0、0.06‰、0.12‰、0.18‰、0.24‰和 0.30‰(引气剂掺量为引气剂与水泥质量之比)的条件下进行干缩试验、渗水试验和抗弯拉强度试验,研究其对普通水泥砼的改性效果。试验所用引气剂的技术指标见表 1。

表 1 引气剂的技术指标

引气剂类型	比重	泡径范围/mm	溶解性	特征	产地
AE2	1.1	0.01~0.2	易溶于水	黄褐色粉末	北京
BT-4006	1.4	0.04~0.2	易溶于水	黄褐色粉末	长沙
ZY-99	1.2	0.02~0.3	易溶于水	浅黄色粉末	杭州

为使引气剂在拌和时产生的微小气泡能均匀分散在水泥砼中,在加入引气剂前,先将砂、水泥和碎石放在一起干拌 30 s,再将引气剂放入水中,使引气剂充分溶于水,最后将引气剂与水的混合物加入集料中进行机械拌和。根据工程应用经验,确定配合比为水泥:砂:水:碎石=1:1.60:0.52:5.13。砂和碎石的级配见表 2~3,水泥和砂的技术指标见表 4~5。

表 2 砂的级配

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
0.160	4.2	2.5	45.7
0.315	8.1	5.0	86.1
0.630	22.4	10.0	98.7
1.250	34.8		

表 3 碎石的级配

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
2.5	6.0	20	23.5
5.0	15.0	30	5.0
10.0	50.5		

## 2 试验结果及分析

### 2.1 干缩试验结果与分析

按照规范要求,采用干缩试验分析 3 种引气剂不同掺量对水泥试件收缩性能的影响。试件养护温度为 20 ℃,相对湿度为 55%。模具尺寸为(100×100×400) mm。试件养护 28 d 后测试试件收缩长度占原长度的比例(干缩率)。试验结果见图 1。

表4 水泥的技术指标

试验项目	试验结果	
烧失量/%	1.4	
抗折强度/MPa	3 d	5.1
	28 d	8.2
凝结时间/h	初凝	3.5
	终凝	4.1
抗压强度/MPa	3 d	30.6
	28 d	48.5
比表面积/( $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	330	
细度/%	2.4	

表5 砂的技术指标

试验项目	试验结果
松散密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	1 450
表观密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	2 750
含泥量/%	0.6
细度模数	2.2
含水量/%	1.1

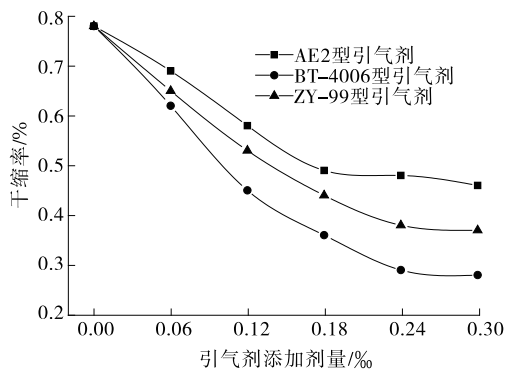


图1 干缩率与引气剂添加剂量的关系

由图1可以看出:3组试件的干缩率均不同程度减小,说明采用3种引气剂能有效提高水泥砼试件的干缩性能。添加AE2型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为0.18%时,试件干缩率为0.49%,比未添加引气剂的试件降低37.2%;当引气剂添加剂量达到0.24%时,其干缩率相比掺量为0.18%的试件仅减少2.0%,说明添加AE2型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为0.18%时其干缩性能达到较优水平。添加BT-4006型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为0.24%时,试件干缩率为0.29%,比未添加引气剂的试件降低62.8%;当引气剂添加剂量达到0.30%时,其干缩率比掺量为0.24%的试件仅减少

3.4%,说明添加BT-4006型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为0.24%时其干缩性能达到较优水平。添加ZY-99型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为0.24%时,试件干缩率为0.38%,比未添加引气剂的试件降低51.3%;当引气剂添加剂量达到0.30%时,其干缩率比掺量为0.24%的试件仅减少2.6%,说明添加ZY-99型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为0.24%时其干缩性能达到较优水平。

添加引气剂后,3组试件的干缩性能均有所提升。这是因为当环境中的湿度小于试件内部的湿度时,试件内部空隙中的水分散发,空隙压力增大,试件收缩。当引气剂在试件内部产生大量微小气泡后,这些封闭的气泡阻碍了水分散发的通道,并减少了自由水的散发,试件收缩变小,试件的干缩性能有所提升。但当引气剂掺量达到一定值时,试件内部的微小气泡达到饱和状态,其对试件收缩性能的影响降低,试件收缩速率变缓。

## 2.2 渗水试验结果与分析

采用渗水试验分析3种引气剂不同掺量对试件渗水性能的影响,以渗水高度评价水泥砼的抗渗水能力。试件直径和高度均为150 mm。试件养护28 d后,在其侧面涂上密封胶,装在渗水仪上进行渗水试验,渗水仪水压为0.8 MPa。24 h后取出试件,并用压力机沿试件纵断面切开,测量试件顶面至渗水水迹处的高度。测量10个点,取其平均值作为渗水高度代表值。试验结果见图2。

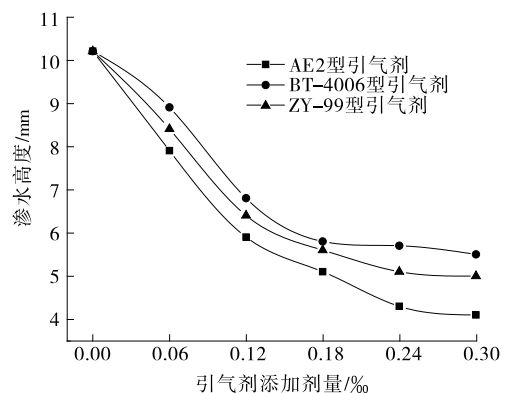


图2 渗水高度与引气剂添加剂量的关系

由图2可知:3组试件的渗水高度均不同程度减小,说明3种引气剂能有效提高试件的抗渗性能。添加AE2型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为0.24%时,试件渗水高度为4.3 mm,比未添加引气剂的试件降低57.8%;引气剂添加剂量达到0.30%时,与掺量为0.24%的试件相比,其渗水高度仅减少

4.7%,说明添加 AE2 型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为 0.24‰时其抗渗性能达到较优水平。添加 BT-4006 型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为 0.18‰时,试件渗水高度为 5.8 mm,比未添加引气剂的试件降低 43.1%;当引气剂添加剂量达到 0.24‰时,其渗水高度相比掺量为 0.18‰的试件仅减少 1.7%,说明添加 BT-4006 型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为 0.18‰时其抗渗性能达到较优水平。添加 ZY-99 型引气剂的水泥砼试件,添加剂量为 0.24‰时,试件渗水高度为 5.1 mm,比未添加引气剂的试件降低 50.0%;引气剂添加剂量达到 0.30‰时,其渗水高度比掺量为 0.24‰的试件仅减少 2.0%,说明添加 ZY-99 型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为 0.24‰时其抗渗性能达到较优水平。

添加引气剂后,3 组试件的抗渗性能均有所提升。这是因为引气剂在试件内部产生的大量微小封闭气泡阻碍了水流通道,降低了试件的透水性,试件的抗渗性能得到提升。但当引气剂掺量达到一定值时,试件内部的微小气泡达到饱和状态,对试件渗水性能的影响降低,试件渗水高度的减小速率变缓。

### 2.3 抗弯拉强度试验结果与分析

采用三分点处双点加载试验分析 3 种引气剂不同掺量对水泥砼抗弯拉性能的影响。试件尺寸为 (150×150×450) mm。试件养护 28 d 后,以 0.06 MPa/s 的加载频率进行加载。试验结果见图 3。

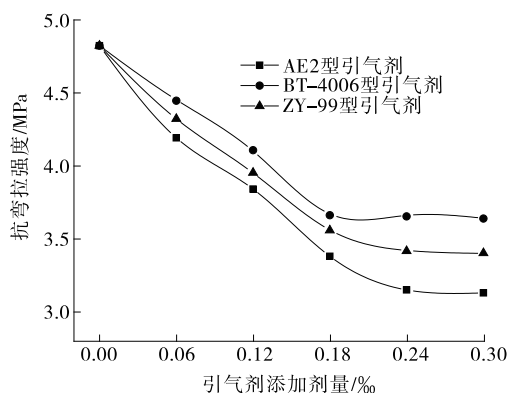


图3 抗弯拉强度与引气剂添加剂量的关系

由图 3 可知:3 组试件的抗弯拉强度均不同程度降低,说明 3 种引气剂会降低试件的抗弯拉性能。添加 AE2 型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为 0.24‰时,试件抗弯拉强度为 3.15 MPa,比未添加引气剂的试件降低 34.6%;当引气剂添加剂量达到 0.30‰时,其抗弯拉强度相比掺量为 0.24‰的试件仅减少 0.6%,说明添加 AE2 型引气剂的水泥砼试

件在添加剂量为 0.24‰时其抗弯拉强度降低到较稳定水平。添加 BT-4006 型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为 0.24‰时,试件抗弯拉强度为 3.42 MPa,比未添加引气剂的试件降低 29.0%;当引气剂添加剂量达到 0.30‰时,其抗弯拉强度相比掺量为 0.24‰的试件仅减少 0.6%,说明添加 BT-4006 型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为 0.24‰时其抗弯拉强度降低到较稳定水平。添加 ZY-99 型引气剂的水泥砼试件,在添加剂量为 0.18‰时,试件抗弯拉强度为 3.67 MPa,比未添加引气剂的试件降低 23.9%;引气剂添加剂量达到 0.24‰时,其抗弯拉强度比掺量为 0.18‰的试件仅减少 0.3%,说明添加 ZY-99 型引气剂的水泥砼试件在添加剂量为 0.18‰时其抗弯拉强度降低到较稳定水平。

添加引气剂后,3 组试件的抗弯拉性能均有所降低。这是因为引气剂在试件内部产生大量微小气泡,试件的有效受力面积减小,试件抗弯拉性能降低。当引气剂掺量达到一定值时,试件抗弯拉强度减小速率变缓,其原因与掺入过多引气剂试件的收缩性能变化规律一致。

### 3 结论

(1) AE2、BT-4006 和 ZY-99 型引气剂能提高水泥砼的干缩性能和抗渗性能,但会降低其抗弯拉性能。

(2) BT-4006 型引气剂添加剂量为 0.24‰时,水泥砼干缩率为 0.29%,干缩性能达到较优水平。

(3) AE2 型引气剂添加剂量为 0.24‰时,水泥砼渗水高度为 4.3 mm,抗渗性能达到较优水平。

(4) ZY-99 型引气剂添加剂量为 0.18‰时,水泥砼的抗弯拉强度为 3.67 MPa,其抗弯拉强度降低到较稳定水平。

### 参考文献:

- [1] 王稷良,廖华涛,吴方政,等.引气剂对硬化混凝土力学性能与气泡特征参数的影响[J].公路交通科技,2015,32(1).
- [2] 张凯,王起才,王庆石,等.引气剂对混凝土性能的研究[J].公路工程,2015,40(6).
- [3] 孙立新.引气剂对混凝土性能的影响分析[J].公路交通科技:应用技术版,2008(5).
- [4] 陈雷.引气水泥混凝土路用性能试验研究[D].长沙:长沙理工大学,2010.

(下转第 70 页)

部设置 1 排  $\phi 32$  锚杆以加强齿墙的抗滑锚固,齿墙背锚杆间距 1.0 m,锚杆深入齿墙 1.0 m,锚杆弯钩 0.48 m,嵌入地基深度不小于 3 m(见图 7)。 $\phi 32$  锚杆采用  $\phi 90$  mm 钻孔,M40 水泥砂浆注浆,注浆压力 0.2~0.4 MPa。墙后爆破炮眼及坑槽采用 C20 砼与墙体同时浇筑,填塞密实。

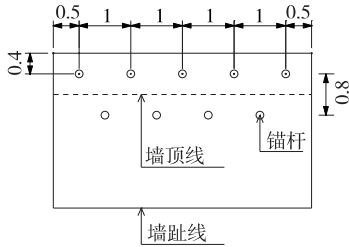


图 7 齿墙锚杆平面布置(单位:m)

3.4 碎石台阶施工

齿墙填碎石台阶处理时先在基岩斜坡上开挖齿墙基坑平台并浇筑齿墙,齿墙达到设计强度 75%后在齿墙与地表形成的三角区域压实填筑级配碎石,形成宽度不小于 3 m 的平台,以增加单面山上部填方的稳定性。

3.5 路基填筑

齿墙平台开挖自下而上进行,每施工一级齿墙及碎石台阶及时进行单面山路基分层填筑,填筑至碎石台阶高度后开挖上一级齿墙基坑平台,使下部填方能对硅质板岩形成有效支撑,防止硅质板岩滑塌,同时对齿墙进行有效保护,使原有基岩面结构不被破坏。

4 边坡施工监测

为进一步分析顺层单面山高边坡变形性质,掌握边坡在实施过程中受降雨、开挖、爆破等的影响程度,确定基底加固处理实施的合理时间与顺序,并验证基底加固处理效果,组织人工现场巡视检查,查看边坡周边地面变化情况,对局部地方出现的裂缝进行跟踪观察。对于边坡周边区域的裂缝,通过现场

观察分析其形成原因,通过设点量测比较,结合监测资料分析其发展情况,据此确定处理方法。边坡开挖中设置观测点和控制点,使用全站仪对施工各阶段边坡沉降及位移情况进行监测,防止单面山硅质板岩出现大面积滑动,保障施工安全。

5 结语

利用水压爆破技术进行齿墙基坑平台开挖,可保证单面山硅质板岩坡面的稳定,并显著提高施工效率。以砼齿墙作为单面山硅质板岩路基基底处理方案,在齿墙中增设锚杆,利用齿墙与基岩的固结作用,在不破坏基岩稳定结构的前提下形成多层抗滑台阶,增加土体与基岩在接触面的摩擦力,保证顺层单面山硅质板岩填筑体的稳定,确保施工安全,并在一定程度上加快施工进度。

参考文献:

[1] 刘德.浅谈齿墙在路基单面山填筑中的应用[J].建筑,2015(10).  
 [2] 梁元花.高边坡路堑控制爆破施工技术[J].东北水利水电,2008,26(4).  
 [3] 首人文.浅析高边坡路堑控制爆破施工技术[J].中国科技纵横,2011(13).  
 [4] 李坚,高战锋,周晓.梅河高速公路高边坡设计探讨[J].工程建设,2004,36(4).  
 [5] 邵岩,左丽,张强林.南水北调中线渠道混凝土衬砌板优化设计[J].人民黄河,2011,30(10).  
 [6] 李爱国.预裂爆破技术在公路边坡工程中的应用[J].爆破,2002,19(4).  
 [7] 顾维.怀通高速公路路堑高边坡防护处治设计[J].公路与汽运,2012(5).  
 [8] 张生勇.采用先进爆破工艺 确保石质边坡稳定:光面爆破在 G319 文明样板路改造工程中的应用[J].公路与汽运,2016(5).

收稿日期:2017-09-08

(上接第 67 页)

[5] 李兴翠.新型混凝土引气剂 POA-10 的合成与性能研究[D].长沙:中南大学,2008.  
 [6] JTG E30-2005.公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S].  
 [7] 吕强,胡建中.高性能路面水泥砼热学性能与孔结构特征分析[J].公路与汽运,2016(5).

[8] 李式雄.海港工程高性能砼配合比设计方法探讨[J].公路与汽运,2016(1).  
 [9] 李琴飞.盐类外加剂对引气混凝土气孔结构的影响[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

收稿日期:2017-06-20