

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.02.008

膨润土种类及掺量对塑性混凝土性能的影响

丁国庆 蒋林华 储洪强 朱 乔

(河海大学力学与材料学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 通过塑性混凝土和易性、抗压强度、弹性模量和相对渗透系数试验 ,对比分析钠基膨润土和钙基膨润土对塑性混凝土和易性、抗压强度、弹性模量和相对渗透系数的影响。结果表明 :塑性混凝土和易性满足要求 ,同一龄期下随着膨润土掺量的增加 ,塑性混凝土的抗压强度和弹性模量都降低 ,但掺钠基膨润土的塑性混凝土抗压强度和弹性模量比掺钙基膨润土的塑性混凝土抗压强度和弹性模量高约 1.5 倍 ,前者的相对渗透系数小于后者 ,塑性混凝土中膨润土的掺量不宜超过 60% ,宜控制在 20% ~ 40% 之间 ;宜用 90 d 龄期作为塑性混凝土力学性能试验的标准养护龄期。
关键词 塑性混凝土 钠基膨润土 钙基膨润土 和易性 抗压强度 弹性模量 相对渗透系数
中图分类号 :TV431.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2011)02-0034-04

Influences of types and dosage of bentonite on properties of plastic concrete//DING Guo-qing ,JIANG Lin-hua ,CHU Hong-qiang ,ZHU Qiao(College of Mechanics and Materials , Hohai University , Nanjing 210098 , China)
Abstract :Based on the tests on plastic concrete , the respective influences of calcium-based bentonite and sodium-based bentonite on its workability , compressive strength , elastic modulus and relative permeability coefficient were comparatively studied. The test results show that the workability of plastic concrete satisfies the requirements. Under the same age , the compressive strength and the elastic modulus of plastic concrete both decrease with the increase of dosage of bentonite. However , the compressive strength and the elastic modulus of plastic concrete mixed with the sodium-based bentonite are about 1.5 times those with the calcium-based bentonite. The relative permeability coefficient of the former is smaller than that of the latter. Meanwhile , the dosage of the bentonite in the plastic concrete should be controlled between 20% and 40% and not exceed than 60% . The age of 90 days should be chosen as the standard curing age for the plastic concrete in mechanical property tests.
Key words : plastic concrete ; sodium-based bentonite ; calcium-based bentonite ; workability ; compressive strength ; elastic modulus ; relative permeability coefficient

塑性混凝土是用膨润土或(和)黏土取代普通混凝土中部分水泥而形成的一种混凝土 ,一般要求出机口坍落度在 20 ~ 24 cm 之间 ,出机口扩散度在 34 ~ 40 cm 之间 ,28 d 龄期的抗压强度小于或等于 5 MPa ,28 d 龄期的弹性模量小于或等于 1 000 MPa ,相对渗透系数 $K \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}^{[1]}$ 。塑性混凝土与普通混凝土相比 ,弹性模量低 ,极限变形大 ,能适应较大变形 ,有利于改善墙体的应力状态 ,同时还具有良好的抗渗性能。因此 ,塑性混凝土在坝体、坝基防渗、水库除险加固等方面得到了广泛的应用。

我国膨润土资源丰富 ,产区分布广泛 ,主要有钠基膨润土和钙基膨润土 2 种类型。天然的膨润土主要是钙基膨润土 ,占膨润土储量的 90% 以上 ,由于钙基膨润土储量丰富、价格便宜、性能较差 ,大量的

低品位钙基膨润土在开采过程中被闲置 ,不仅对生态环境造成了破坏 ,同时对膨润土的资源消耗更是一种浪费 ,限制了其在水利工程中的应用。目前 ,有一些塑性混凝土性能研究的报道^[2-3] ,但膨润土的种类及掺量对塑性混凝土性能的影响研究还很少见。因此 ,为了使膨润土资源在水利工程中得到合理的应用 ,有必要分析膨润土种类及掺量对塑性混凝土和易性、抗压强度、弹性模量和相对渗透系数的影响。本文采用同一基准配合比 ,分别用钠基膨润土和钙基膨润土等量取代水泥 ,膨润土掺量为 20% ,40% ,60% 和 80% ,对比分析膨润土种类及掺量对塑性混凝土和易性、抗压强度、弹性模量和相对渗透系数的影响。研究结果对塑性混凝土在水利工程中的应用具有一定的指导意义。

基金项目 国家自然科学基金(50978085) ;江苏省六大人才高峰项目 2009 年 A 类(苏人社(R)通[2009]182 号) ;河海大学自然科学基金(2008427811)

1 原材料

a. 水泥 :水泥为中国水泥厂有限公司生产的 P·Ⅱ 42.5R 硅酸盐水泥 ,其性能指标见表 1 ,该水泥所检项目符合 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》标准要求。

表 1 水泥性能指标检验结果

项目	抗压强度/ MPa		抗折强度/ MPa		凝结时间/ min		标准稠度 用水量/ %	安定性
	3 d	28 d	3 d	28 d	初凝	终凝		
标准值	≥22.0	≥42.5	≥4.0	≥6.5	≥45	≤390		合格
检测值	29.1	47.2	4.5	7.6	175	305	25.8	合格

b. 膨润土 膨润土为南京汤山膨润土有限公司生产的钠基膨润土 A 和钙基膨润土 B。膨润土是以蒙脱石类矿物为主要成分的黏土 ,它的物理化学性质主要由其中的蒙脱石所决定 ,其物理、化学性能指标见表 2 和表 3。

表 2 膨润土物理性能指标

种 类	200 目 通过率/ %	胶质价/ (mL·g ⁻¹)	膨胀容/ (mL·g ⁻¹)	蒙脱石 质量分数/ %	吸水 率/ %
钠基膨润土 A	95	1500	64	90	200
钙基膨润土 B	92	700	10	65	50

表 3 膨润土主要化学成分 %

种 类	u(SiO ₂)	u(Al ₂ O ₃)	u(CaO)	u(MgO)	u(Fe ₂ O ₃)
钠基膨润土 A	72.25	21.12	0.61	2.23	1.90
钙基膨润土 B	70.49	16.14	1.02	2.72	1.89
种 类	u(FeO)	u(TiO ₂)	u(MnO)	u(Na ₂ O)	u(P ₂ O ₃)
钠基膨润土 A				1.73	
钙基膨润土 B	0.23	0.11	0.05	1.14	0.03

c. 细骨料 细骨料为南京当地的天然河砂 ,表观密度为 2680 kg/m³ ,含泥量为 1.2% ,细度模数为 2.7 ,级配曲线位于Ⅱ区。

d. 粗骨料 :粗骨料为 5 ~ 31.5 mm 连续级配碎石 ,表观密度为 2610 kg/m³ ,松散堆积密度为 1520 kg/m³ ,紧密堆积密度为 1580 kg/m³ ,含泥量为 0.3% ,针片状质量分数为 1%。

e. 外加剂 :采用江苏博特新材料有限公司生产的 JM-10 高效减水剂。

2 配合比

由于目前还没有有关塑性混凝土应用的技术规范或规程 ,因此本文所采用的配合比是在大量工程实践的基础上 ,通过大量优化试验 ,最终选定 8 组配合比 ,其单位水泥用量为 300 kg/m³ ,砂率为 60% ,水胶比为 0.80 ,具体配合比如表 4 所示。

3 试验方法

塑性混凝土是近年来迅速发展起来的一种新型

表 4 塑性混凝土配合比

编号	膨润土 掺量/%	膨润土/ (kg·m ⁻³)	水泥/ (kg·m ⁻³)	细骨料/ (kg·m ⁻³)	粗骨料/ (kg·m ⁻³)	外加剂 掺量/%
A1	20	60	240	996	664	0
A2	40	120	180	996	664	1.1
A3	60	180	120	996	664	2.6
A4	80	240	60	996	664	3.8
B1	20	60	240	996	664	0
B2	40	120	180	996	664	0
B3	60	180	120	996	664	0.5
B4	80	240	60	996	664	0.9

注 :A1 ~ A4 为钠基膨润土 A ,B1 ~ B4 为钙基膨润土 B。

水工建筑材料 ,它的特点主要体现在具有一定的抗压强度 ,同时还具有较低的弹性模量和较高的抗渗性能。为了研究膨润土种类及掺量对塑性混凝土性能的影响 ,对塑性混凝土的和易性、抗压强度、弹性模量及相对渗透系数进行了对比试验。塑性混凝土拌合物和易性的测定采用坍落度与扩展度 2 种试验方法同时进行^[3] ,抗压强度、弹性模量和相对渗透系数试验分别采用 100 mm × 100 mm × 100 mm 试件、100 mm × 100 mm × 300 mm 试件和顶面直径为 175 mm、底面直径为 185 mm、高为 150 mm 的圆台试件 ,按 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》要求进行成型、标准养护。最后按 SL352—2006《水工混凝土试验规程》测试其 7 d ,28 d ,90 d 及 180 d 的抗压强度和 28 d ,90 d 及 180 d 弹性模量和 28 d 相对渗透系数。

4 试验结果与分析

4.1 塑性混凝土拌合物和易性

塑性混凝土拌合物和易性试验结果如表 5 所示。从表 5 可以看出 :①不同种类的膨润土对塑性混凝土的和易性有不同的影响 ,掺钠基膨润土所拌出的塑性混凝土黏聚性好于掺钙基膨润土所拌出的塑性混凝土黏聚性 ;②同种膨润土随掺量的增加 ,塑性混凝土拌和物的坍落度和扩展度都有减小的趋势。产生这种现象的主要原因是由于膨润土是以蒙脱石类矿物为主要成分的黏土 ,蒙脱石的质量分数在 80% 以上 ,其次为石英 ,方解石较少。蒙脱石属

表 5 塑性混凝土拌合物和易性指标

编号	坍落度/ mm	扩展度/ mm	表观密度/ (kg·m ⁻³)
A1	200	340	2210
A2	210	380	2168
A3	190	300	2170
A4	180	270	2180
B1	210	330	2200
B2	190	300	2170
B3	180	290	2160
B4	180	280	2170

于二八面体层状结构,其单位晶胞由2层硅氧四面体夹1层铝氧八面体构成,这种结构决定了其层间阳离子具有一定的正电位,而相邻的四面体层则具有一定的负电位,这就形成了一个电场,由于水分子是极性分子,而极性分子在外电场作用下能产生定向排布,表现为水分子沿着Si—O—Si这种结构单元的表层定向排布^[4-5]。因此,当膨润土加入水中后,大量的自由水会转变为结构单元的束缚水,膨润土的掺量越高,其蒙脱石的质量分数越高,这种现象就越明显,宏观上表现为塑性混凝土的流动性越差。

4.2 塑性混凝土抗压强度

塑性混凝土抗压强度试验结果如图1和图2所示。从图1和图2中可以看出:①2种不同类型的膨润土均有助于降低塑性混凝土抗压强度;基于同一组配合比,掺钠基膨润土A的塑性混凝土的抗压强度均高于掺钙基膨润土B的塑性混凝土的抗压强度(约为1.5倍)。②当膨润土掺量由20%变为40%时,抗压强度(除7d外)都是先减小后趋于平稳;当膨润土掺量由40%变化到60%时抗压强度无明显的波动;当膨润土掺量超过60%时,塑性混凝土抗压强度急剧下降。产生上述现象的原因主要是①当膨润土这种吸水性很强的矿物质遇水后会产生“塑化作用”而导致混凝土强度降低^[6],由于钠基膨润土A的吸水率和膨胀容都高于钙基膨润土B的吸水率和膨胀容,而1m³塑性混凝土用水量不变,则钠基膨润土A相对于钙基膨润土B来说并没

有全部与水发生作用,其剩余部分相当于水泥中的非活性掺合料,故掺钠基膨润土A的塑性混凝土的抗压强度均高于掺钙基膨润土B的塑性混凝土的抗压强度。②当膨润土掺量由20%增加到40%时,水泥水化产物会与土料中少量的活性SiO₂和活性Al₂O₃产生化合作用,生成新的水化产物,如C—S—H凝胶等可以提高水泥—土体系的“固化”能力^[6],使塑性混凝土的强度得以提高和发展,但这种化合作用对混凝土强度的贡献远小于膨润土塑化作用对混凝土强度的贡献,对于7d早期强度,掺40%~60%膨润土的塑性混凝土抗压强度比掺20%的抗压强度高,可能是由于水泥没有得到充分的水化所致。由于水泥是水化产物Ca(OH)₂的唯一来源,膨润土则是活性SiO₂和活性Al₂O₃的载体^[7],当膨润土掺量超过40%时,能参与活化反应的膨润土数量很少,膨润土主要是起填充作用。当膨润土掺量超过60%时,水泥大幅度减少,水化产物中Ca(OH)₂数量不足以和活性SiO₂和活性Al₂O₃发生反应,水泥和膨润土的配合比例失调,因而使塑性混凝土的力学强度急剧下降。从试验结果看,膨润土掺量不宜超过60%,宜控制在20%~40%之间。

4.3 塑性混凝土弹性模量

塑性混凝土弹性模量试验结果如图3和图4所示。从图中可以看出:①掺钠基膨润土A的塑性混凝土的弹性模量均高于掺钙基膨润土B的塑性混凝土弹性模量(约1.5倍)。②随着膨润土掺量的增

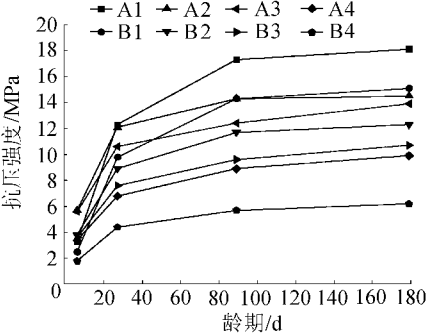


图1 塑性混凝土抗压强度随龄期的变化

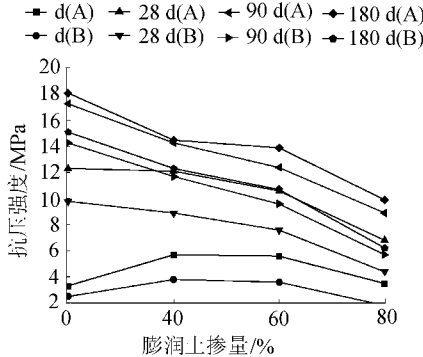


图2 塑性混凝土抗压强度随膨润土掺量的变化

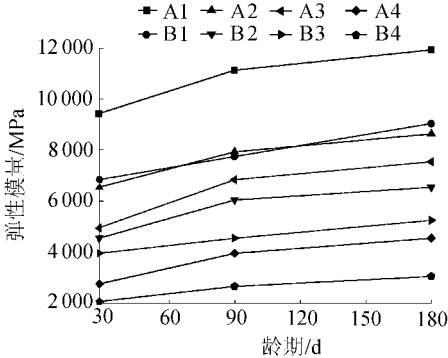


图3 塑性混凝土弹性模量随龄期的变化

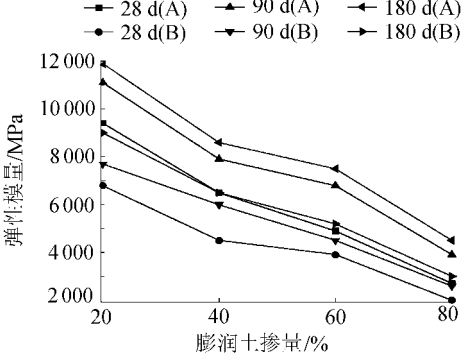


图4 塑性混凝土弹性模量随膨润土掺量的变化

加,塑性混凝土的弹性模量都有大幅度降低,当膨润土掺量由20%增加到40%时塑性混凝土的弹性模量有明显降低,当膨润土掺量在由40%变化到60%时塑性混凝土弹性模量并无显著变化,此时膨润土主要是起填充作用,可以认为是塑性混凝土中的非活性矿物外加剂起到调节塑性混凝土强度等级、节约水泥、提高塑性混凝土产量、降低混凝土水化热等作用,当膨润土当掺量超过60%时,弹性模量急剧下降,28~90 d 掺钠基膨润土 A 的塑性混凝土弹性模量平均增长约为30%、掺钙基膨润土 B 的塑性混凝土弹性模量平均增长了22%,90~180 d 掺钠基膨润土 A 和钙基膨润土 B 的塑性混凝土的弹性模量平均增长均为10%左右,而90 d~180 d 掺钠基膨润土 A 和钙基膨润土 B 的塑性混凝土的抗压强度平均增长了7.5%左右,由于目前还没有有关塑性混凝土试验方面的规范或规程,弹性模量测试参照SL352—2006《水工混凝土试验规程》操作,可能使加荷、卸荷循环次数增加而导致塑性混凝土的弹性模量与真值有偏差^[8,9],但90 d 后抗压强度与弹性模量增长均有限。因此对于塑性混凝土建议采用90 d 的龄期作为其力学性能试验的标准养护龄期。

4.4 塑性混凝土相对渗透系数

塑性混凝土相对渗透系数试验结果如表6所示。从表6中可以看出:①掺钠基膨润土 A 的塑性混凝土的相对渗透系数明显低于掺钙基膨润土 B 的塑性混凝土的渗透系数,即掺钠基膨润土 A 的塑性混凝土的抗渗性能优于掺钙基膨润土 B 的塑性混凝土的抗渗性能;②掺同种膨润土的塑性混凝土随着膨润土掺量的变化,其相对渗透系数相差不大。产生上述现象的主要原因是由于钠基膨润土 A 的胶质价高于钙基膨润土 B 的胶质价,含钠离子的膨润土 A 的水化能力大于二价钙离子膨润土的水化能力^[1],从而钠基膨润土 A 的分散性和水化程度都高于钙基膨润土 B 的分散性和水化程度,膨润土与水泥水化产物便能够较充分地发生化合作用,充分填充混凝土内的毛细孔,从而使混凝土内的大孔得到细化,改善了混凝土内的孔结构,降低了混凝土的孔隙率,从而使钠基膨润土塑性混凝土的抗渗性能优于钙基膨润土塑性混凝土的抗渗性,同时膨润土

表6 塑性混凝土28 d 龄期相对渗透系数

编号	渗水高度/ mm	相对渗透系数/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	编号	渗水高度/ mm	相对渗透系数/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
A1	5.8	2.53×10^{-6}	B1	14.1	1.51×10^{-5}
A2	2.8	5.89×10^{-7}	B2	12.3	1.14×10^{-5}
A3	2.7	5.69×10^{-7}	B3	11.9	1.09×10^{-5}
A4	2.1	3.40×10^{-7}	B4	5.0	1.93×10^{-6}

中的蒙脱石和高岭石属层状结构,遇水膨胀,也使各组分相互挤压。这种化学和物理的双重作用,使塑性混凝土结构致密,抗渗性提高^[10]。掺同种膨润土的塑性混凝土相对渗透系数随膨润土掺量由低到高变化相差不大,这主要是由于在水泥用量较高的情况下,水泥石骨架比较密实,强度较高,提高膨润土掺量可以有效地使体系中的自由水变成结合水,从而使渗透系数减小,但是效果并不明显^[11-12]。

5 结 论

- a. 掺钠基膨润土的塑性混凝土的抗压强度和弹性模量均为掺钙基膨润土塑性混凝土抗压强度和弹性模量的1.5倍左右,且前者的抗渗性能优于后者。
- b. 塑性混凝土中膨润土掺量不宜超过60%,宜控制在20%~40%之间。对于塑性混凝土建议采用90 d 龄期作为其力学性能试验的标准养护龄期。
- c. 塑性混凝土的抗压强度和弹性模量都随膨润土掺量的增加而降低,但膨润土掺量与抗压强度和弹性模量之间是否存在线性关系有待于进一步研究。

参考文献:

[1]何润芝,何丽娟.防渗墙低弹塑性混凝土的试验研究与应用[J].混凝土,2006,3(9):7-10.

[2]高丹盈,严克兵,胡良明,等.膨润土类型对塑性混凝土性能的影响[J].水力发电学报,2009,28(3):113-115.

[3]李清富,张鹏,曹宏亮.塑性混凝土拌合物工作性影响因素的试验研究[J].施工技术,2005,34(4):40-41.

[4]张颖心,钟大勇,张天胜.低品味钙基膨润土矿粉的直接钠化研究[J].化工矿物与加工,2002,3(10):9-13.

[5]董振亮,蒋引珊.蒙脱石八面体层中($\text{Fe}^{3+}+\text{Mg}^{2+}$)含量和晶胞参数 b_0 对蒙脱石-水体系电导的影响[J].硅酸盐学报,1993,21(1):88-92.

[6]张鹏,黄承奎,李清富.塑性混凝土抗压强度试验研究[J].工业建筑,2007,37(1):73-76.

[7]朱冠美.三峡二期围堰防渗墙塑性混凝土性能试验研究[J].人民长江,1998,29(4):14-15.

[8]李清富,张鹏,张保雷.塑性混凝土弹性模量的试验研究[J].水力发电,2005,31(3):30-32.

[9]董武成,张鹏,安玉喜.塑性混凝土弹性模量影响因素的试验研究[J].建筑技术开发,2006,33(8):74-76.

[10]肖树斌.塑性混凝土防渗墙的抗渗性和耐久性[J].水力发电,1999,13(11):24-27.

[11]刘数华,方坤河,曾力.塑性混凝土的试验研究[J].中国建筑防水,2005,10(10):19-21.

[12]胡良明,朱海堂,苗宗伟,等.塑性混凝土渗透性能试验研究[J].人民黄河,2008,30(3):86-88.

(收稿日期:2010-06-03 编辑:方宇彤)