

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.01.010

真三轴试验下真实应变对塑性混凝土应力 - 应变特性的影响

梁凤凯¹, 梁奉可², 梁奉恩²

(1. 山东正元建设工程有限责任公司 临沂分公司, 山东 临沂 276000;

2. 山东正元建设工程有限责任公司 济南分公司, 山东 济南 250101)

摘要: 目前国内外学者对于塑性混凝土的研究工作大部分都是基于其小应变假定的基础上进行的, 为了分析塑性混凝土大极限应变对其应力-应变特性的影响, 设计了4组塑性混凝土配合比及12个围压环境进行真三轴试验。研究了塑性混凝土的峰值强度及峰值后曲线特征。结果表明: 小应变假定和真实应变下峰值强度与围压环境的相对变化关系一致, 当第三主应力相同时, 塑性混凝土的峰值强度随第二主应力的增大而增大, 但增幅越来越小; 当膨润土掺量为零时, 小应变假定和真实应变下应力-应变峰值后曲线特征一致, 呈现近似塑化或理想塑化特征; 当膨润土掺量不为零时, 真实应变下塑性混凝土应力-应变曲线峰值后面明显下降段, 出现明显峰值点。

关键词: 塑性混凝土; 强度; 真实应变; 峰值后变形

中图分类号: TV431+.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)01-0054-05

Effects of Stress - Strain Behavior of Plastic Concrete with Real Strain Under True Triaxial Experiment

LIANG Fengkai¹, LIANG Fengke², LIANG Fengen²

(1. Shandong Zhengyuan Construction Engineer Co., Ltd. Linyi Branch, Linyi, Shandong 276000, China;

2. Shandong Zhengyuan Construction Engineer Co., Ltd. Ji'nan Branch, Ji'nan, Shandong 250101, China)

Abstract: At present, most researches on plastic concrete all over the world are based on the assumption of small strain, and few consider the influence of the large ultimate strain of plastic concrete on its physical and mechanical properties. In order to analyze the effect of large limit strain of plastic concrete on its stress-strain characteristics, we designed four sets of plastic concrete mixture proportion and 12 confining pressure environment to carry out true triaxial experiment. The result shows that relationship between the peak strain of true strain and the confining pressure environment is consistent with the small strain assumption. And when σ_3 is constant, σ_1 increases with the increase of σ_2 , but the increase is getting smaller and smaller, and the post-peak of stress-strain curve is consistent with the assumption of small strain and real strain, and ideally plastic or approximately plastic when the bentonite content is zero. When the bentonite content is not zero, the post-peak of stress-strain curve of plastic concrete under real strain is evidently descending and the obvious peak point.

Keywords: plastic concrete; strength; real strain; post peak deformation

塑性混凝土是用黏土和膨润土等胶凝材料取代普通混凝土中的部分水泥而形成的一种新型柔性工程材料。有时也加入粉煤灰、外加剂等来改善塑性混凝土的物理力学性能、工作性能以及节约水泥降

低成本。国内外大量研究学者与工程人员经过长期的研究试验发现塑性混凝土与普通混凝土相比具有如下许多优点^[1-3]:

(1) 塑性混凝土弹性模量低, 有较低的模强比

(即初始弹性模量与单轴抗压强度的比值,值越小越好),且可人为控制。塑性混凝土后期强度增长较快。

(2) 适应变形能力强。塑性混凝土极限应变高,在无侧限条件下一般超过 1.00%,普通混凝土峰值应变一般处于 0.08%~0.30%之间,尤其在侧限条件下极限应变超过 12%。

(3) 抗渗性能好^[4-6],有很好的和易性及良好的抗震性能,不用振捣就可以自密实,自流平,易于泵送;初凝和终凝时间都比普通混凝土时间长,易于操作。

(4) 塑性混凝土处于三向受力状态下,其峰值强度会比单轴抗压强度有很大的提高,这就意味着塑性混凝土地下连续墙随着周围岩土体对其压力的增加,墙体的安全性能反而能提高。

综上所述,在病险水库的除险加固工程上,塑性混凝土具有比刚性混凝土更好的经济优势和应用价值^[7-9]。

但对于塑性混凝土的性能研究,国内外学者主要集中在基于小应变假定的基础上分析单轴或三轴试验下塑性混凝土的力学性能。如李清富等^[8-10]研究了塑性混凝土弹性模量测定过程中采用不同的测定标距对其值准确度的影响。高丹盈等^[11-12]以及王四巍等^[13-14]对塑性混凝土进行了一系列试验研究,发现单轴循环加卸载试验时卸载曲线总是滞后于加载曲线,加载曲线和卸载曲线形成了封闭的塑性滞回环;试块在真三轴应力下,出现体积扩容现象。

塑性混凝土极限应变较大,一般超过 1.00%,压缩后试样横截面积变化非常大,因此在后期的试验数据处理过程中必须考虑试样横截面积变化对强度的影响,所以小应变假定已经不再适用,这里借用王冠等^[15]处理大变形盐岩的实验数据方法,即使用应变的真实定义—科学应变来处理塑性混凝土的真三轴试验数据。

1 试验设计与试验方法

1.1 原材料和配合比

试验原材料主要有水泥、砂、石、膨润土。水泥为强度等级为 42.5 的袋装普通硅酸盐水泥;中砂,细度模数 2.9,级配区为 II 区,石颗粒级配符合 5 mm~20 mm 标准要求,其他检测项都符合 JBJ 52—2006 规范^[16]要求;河南省信阳市生产的钙基膨润土。塑性混凝土配合比见表 1。

表 1 4 组塑性混凝土配合比

单位:kg/m³

编号	水泥量	水量	砂量	石量	膨润土量
PC00	150	80	860	860	0
PC10	150	133	810	810	15
PC20	150	167	780	780	30
PC30	150	180	770	770	45

1.2 试验方案

试验采用 150 mm×150 mm×150 mm 的立方体试件,围压(MPa)环境设置为 12 种不同状态,分别是(0.4,0.4)、(0.4,0.6)、(0.4,0.8)、(0.4,1.0)、(0.4,1.2);(0.6,0.6)、(0.6,0.8)、(0.6,1.0)、(0.6,1.2);(0.8,0.8)、(0.8,1.0)、(0.8,1.2),采用分级加载,每级加载 0.2 MPa。结合 4 种不同膨润土掺量的配合比,共完成 144 个试件的试验。

试验采用 LY-C 型拉压真三轴仪。将塑性混凝土试样放入三轴仪指定位置后,在除了承压端的其它 5 个加压端柱头上各安装 1 个平行加载方向的 YHD-50 型位移计,量测试件的变形,应力由安装在油缸和加载柱头之间的荷载传感器测量,并都连接到 DH3816 静态应变测试系统计算机上同步采集数据。

2 试验结果分析

2.1 采用真实应变进行数据处理

$$\epsilon_{\ln} = \left| \int_0^l \frac{dl}{l} \right| \times 100\% = \left| \ln \frac{l}{l_0} \right| \times 100\% = |\ln(1 - \epsilon_t)| \times 100\% \quad (1)$$

$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l} \times 100\% \quad (2)$$

$$\sigma_{\ln} = \frac{F_1}{A'} \quad (3)$$

$$A' = \frac{A_0}{1 - \epsilon_{\ln}} \quad (4)$$

式中: l_0 为未受压的试验样品初始长度; Δl 为测量的试验样品的轴向平均变形值; ϵ_{\ln} 为对数应变值; l 为已受压的试验样品的当前长度 $l = l_0 - \Delta l$ 。 σ_{\ln} 为对数更正的轴压; F_1 为轴向力; A_0 为未承压样品的横截面积;由于变形(Δl)改变了岩样的横截面积 A' ; ϵ_t 为工程应变值。

2.2 对塑性混凝土的峰值强度影响

由表 2 可以看出,小应变假定下峰值强度比真实应变峰值强度普遍降低,峰值强度降低幅度在 5%与 10%之间,可以看出真实应变强度与围压环境的关系相似于小应变假定的强度关系。对于同一

配合比的塑性混凝土,当最小主应力相同时,塑性混凝土的真实应变峰值强度随中间主应力的增大而增大,但增幅越来越小。例如,在最小主应力为 0.4 MPa 时,随着中间主应力从 0.6 MPa 增至 0.8 MPa、1.0 MPa 和 1.2 MPa 时,修正峰值强度从 11.65 MPa 增至 13.16 MPa、13.69 MPa 和 14.05 MPa,增幅分别为 12.96%、4.03% 和 2.63%。当最小主应力为 0.6 MPa,中间主应力由 0.8 MPa 增至 1.0 MPa 和 1.2 MPa 时,真实应变峰值强度由 12.41 MPa 增至 13.3 MPa 和 13.52 MPa,增幅分别是 7.17% 和 1.65%。

分析其它 3 个配合比(PC10、PC20、PC30)的塑性混凝土峰值强度与围压环境的相对变化关系,可以得出同配合比 PC00 下塑性混凝土峰值强度的变化规律一致,即当最小主应力和中间主应力相同时,塑性混凝土小应变假定(真实应变)峰值强度随围压的增大而增大;当最小主应力相同时,塑性混凝土的小应变假定(真实应变)峰值强度随中间主应力的增大而增大,但增幅越来越小。

2.3 对塑性混凝土峰值后曲线特征的影响

由图 1 可以看出配合比 PC00 的塑性混凝土真三轴应力下峰值后曲线特征,即真实应变修正后对峰值后曲线特征几乎没有影响,修正前后的峰值后

曲线都呈现出近似塑化或理想塑化特征,即曲线没有明显的下降段,也没有明显的拐点,故不能看出明显的峰值点,同小应变假定下塑性混凝土的应力-应变峰值后曲线特征一致。

表 2 塑性混凝土(配合比 PC00)峰值强度对比结果

单位:MPa

围压状态	小应变假定峰值强度	真实应变峰值强度
0.4,0.4	10.95	10.06
0.4,0.6	12.59	11.65
0.4,0.8	13.92	13.16
0.4,1.0	14.82	13.69
0.4,1.2	15.07	14.05
0.6,0.6	11.29	10.93
0.6,0.8	13.46	12.41
0.6,1.0	14.13	13.30
0.6,1.2	14.75	13.52
0.8,0.8	14.04	13.19
0.8,1.0	14.45	13.73
0.8,1.2	14.83	14.21

由图 2~图 4 可以看出,在真三轴压缩试验条件下,小应变假定和真实应变条件下峰值前曲线都具有初始加载段、直线上升段、曲线上升段,但小应变假定塑性混凝土应力-应变曲线峰后特征同配合

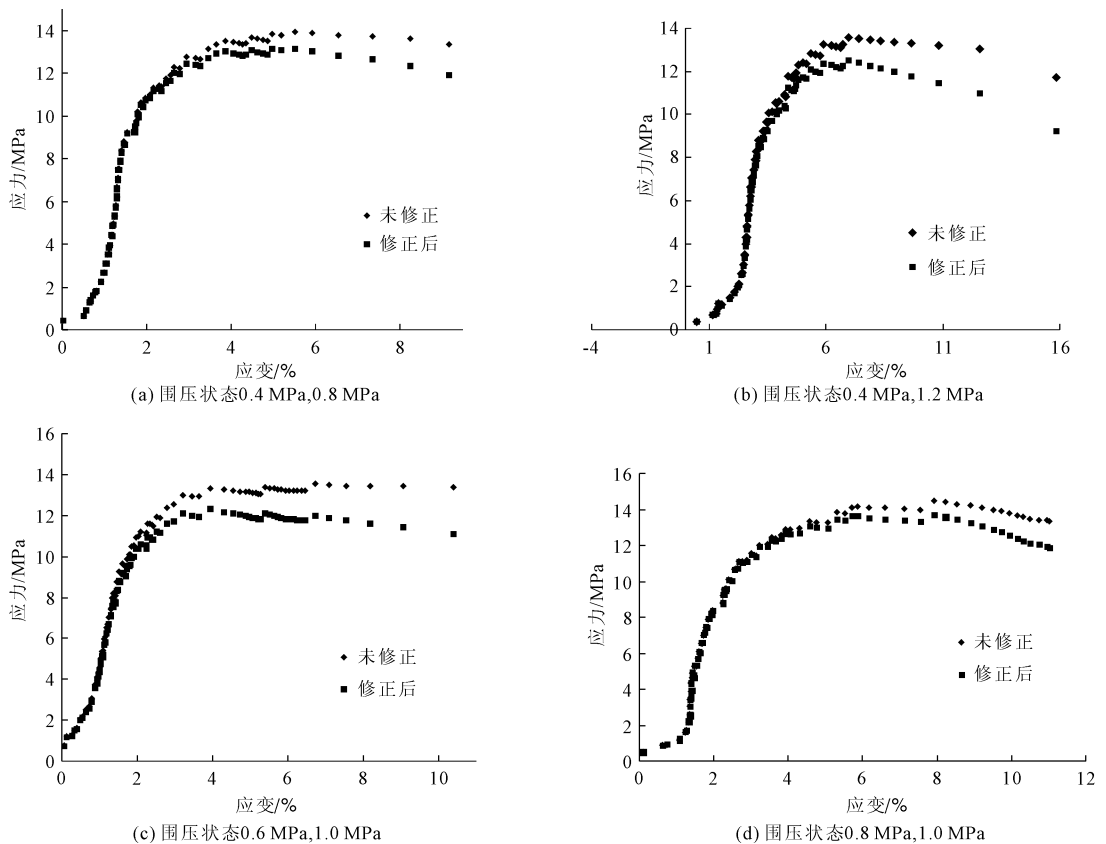


图 1 配合比 PC00 试件小应变假定和真实应变峰值后曲线特征对比

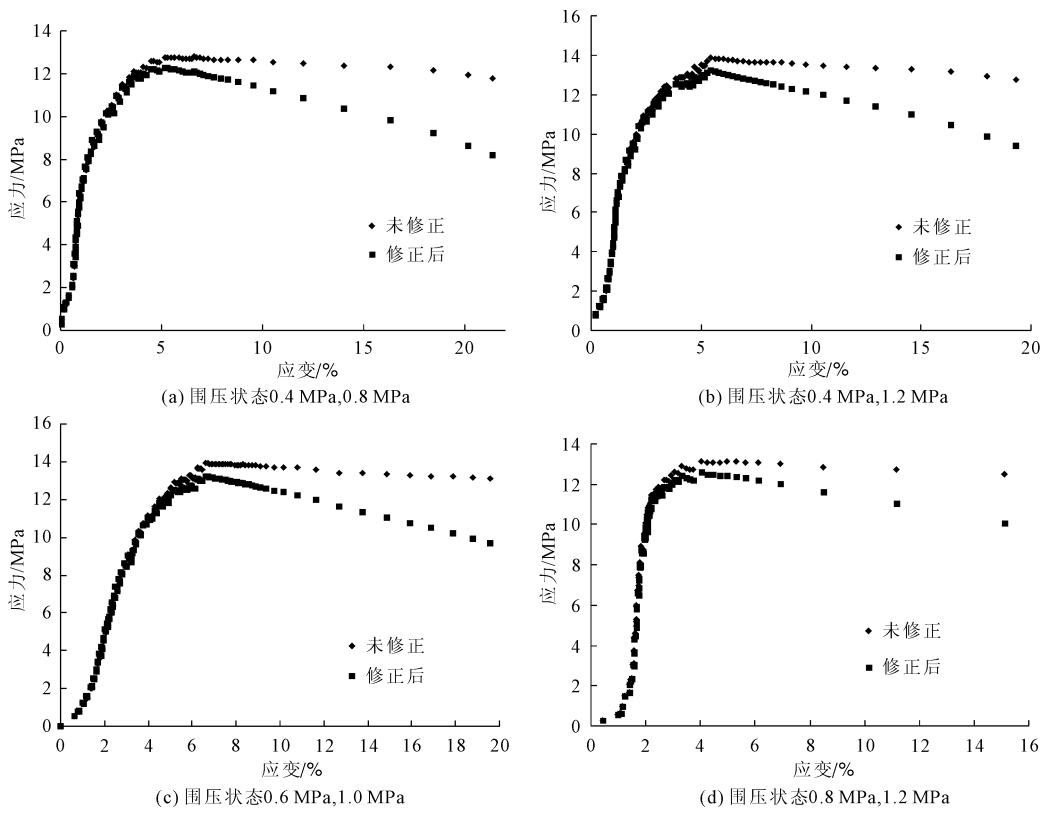


图 2 配合比 PC10 试件小应变假定和真实应变峰值后曲线特征对比

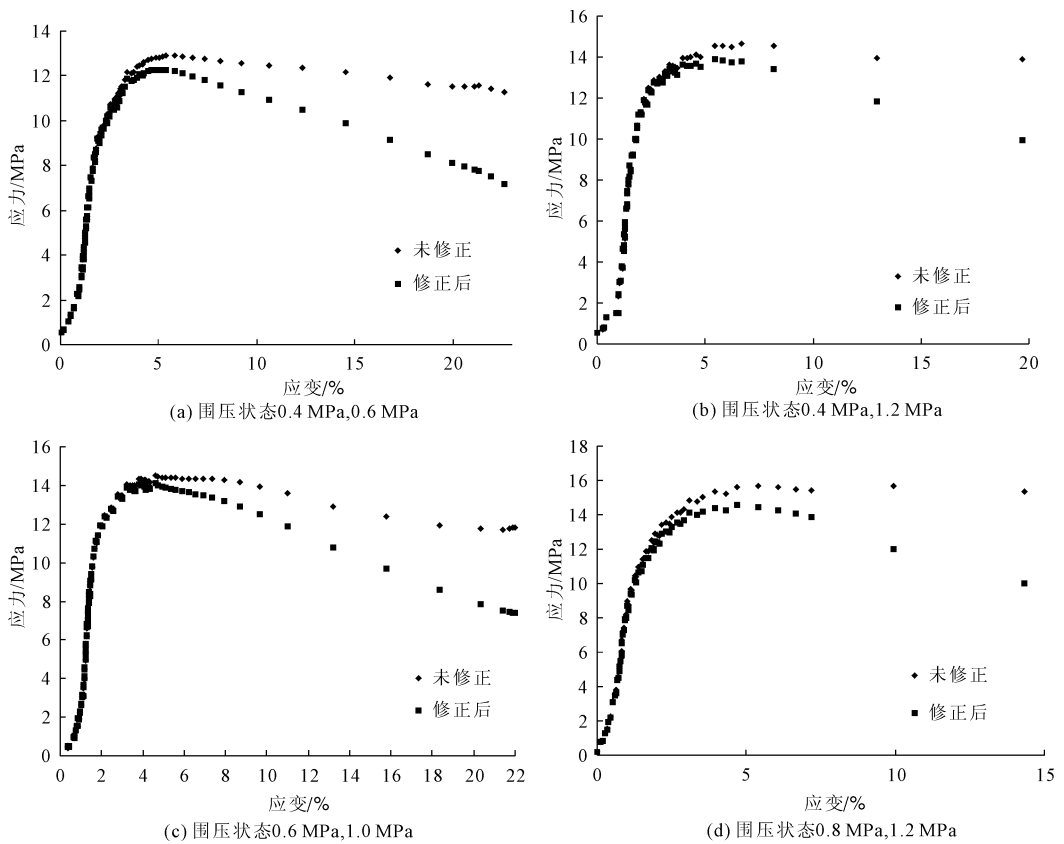


图 3 配合比 PC20 试件小应变假定和真实应变峰值后曲线特征对比

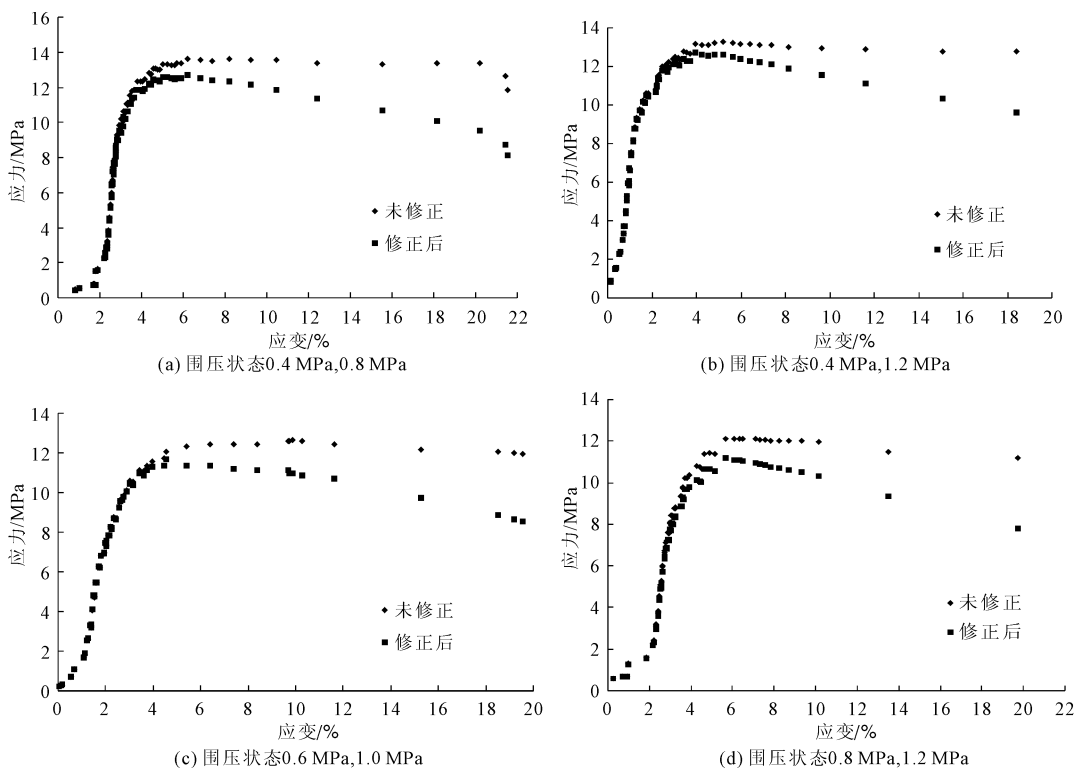


图 4 配合比 PC30 试件小应变假定和真实应变峰值后曲线特征对比

比 PC00 的曲线特征相同,都呈现出近似塑化或理想塑化特征,即曲线没有明显的下降段,也没有明显的拐点,故不能看出明显的峰值点。但真实应变对峰值后应力-应变曲线特征影响较大,第一点,塑性混凝土应力-应变曲线峰值点突出明显;第二点,峰值后曲线表现为应变继续快速增加的同时应力不再是缓慢降低,应力修正后增加了应力的降低速度,即峰值点后曲线出现明显下降段,不再是小应变假定下呈现出的近似塑化或理想塑化特征。

3 对上述现象进行定性分析

配合比 PC00 的塑性混凝土中膨润土含量为零,其性能更趋向于普通(刚性)混凝土性能。这一批次的混凝土试样极限应变较小,受压条件下横截面积变化极小,采用科学应变计算方法换算后横截面积数值变化不大,故真实应变修正对轴向应力的影响不大。

对于配合比 PC10、PC20 和 PC30 的三个批次塑性混凝土,膨润土掺量分别含有 10%、20% 和 30%。塑性混凝土试样在有侧限条件下极限应变可达 12%,压缩过程中横截面积大小改变程度比普通混凝土较大,考虑横截面积变化对强度的影响,采用科学应变计算方法求轴向应变及其对应的轴向应力,轴向荷载大小不变时,轴向应力随横截面积的增大

而减小。因此未修正的峰后曲线特征(峰值点不明显,没有明显下降段)属于假性特征,修正后的应力-应变曲线特征(有明显峰值点,有明显曲线下降段)更能真实准确的反映出塑性混凝土材料在围压应力环境下的变形性能。

4 结论

(1) 真实峰值强度普遍降低,峰值强度降低幅度在 5% 与 10% 之间,但峰值强度与围压环境的相对变化关系不变,即当最小主应力和中间主应力相同时,塑性混凝土峰值强度随围压的增大而增大;当最小主应力相同时,塑性混凝土的峰值强度随中间主应力的增大而增大,但增幅越来越小。

(2) 当膨润土掺量为零时,小应变假定和真实应变下塑性混凝土的应力-应变曲线特征一致,即曲线没有明显的下降段,也没有明显的拐点,故不能看出明显的峰值点。

(3) 当膨润土掺量不为零时,真实应变下塑性混凝土应力-应变曲线峰值点突出明显,峰值后曲线表现为应变继续快速增加的同时应力不再是缓慢降低,即峰值点后曲线出现明显下降段,不再是小应变假定下呈现出的近似塑化或理想塑化特征。

(上接第 58 页)

参考文献:

- [1] 李晓晖. 塑性混凝土防渗墙在张峰水库大坝基础防渗中的应用研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(2): 39-40, 44.
- [2] 向广银. 塑性混凝土防渗墙在北湖水库加固中应用[J]. 中国农村水利水电, 2015(8): 141-142, 146.
- [3] 李谈谈, 杨具瑞, 李续楠, 等. 红黏土及水泥掺量对塑性混凝土性能影响研究[J]. 水力发电学报, 2016, 35(8): 105-113.
- [4] 许尚杰, 程素珍, 王可良. 橡胶塑性混凝土性能试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(4): 118-120, 126.
- [5] 田建设, 张雷顺. 塑性混凝土渗透试验方法的探讨[J]. 混凝土, 2013(9): 1-4, 9.
- [6] 宋力, 刘璐璐, 高玉琴. 塑性混凝土相对弹性变形特性试验研究[J]. 长江科学院报, 2016, 33(3): 147-150.
- [7] 李家正, 王迪友, 杨华全. 塑性混凝土配合比设计及试验方法探讨[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(4): 58-61.
- [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] 王四巍, 于怀昌, 高丹盈, 等. 塑性混凝土弹性模量室内试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(3): 73-76.
- [10] 袁自立, 王立霞, 黑君森, 等. 塑性混凝土弹性模量试验方法研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(8): 84-87, 90.
- [11] 高丹盈, 王四巍, 宋帅奇, 等. 塑性混凝土单向受压应力-应变关系的试验研究[J]. 水利学报, 2009, 40(1): 82-87.
- [12] 高丹盈, 宋帅奇, 杨林. 真三轴应力下塑性混凝土性能及破坏准则[J]. 水利学报, 2014, 45(3): 360-367.
- [13] 王四巍. 单轴和三轴应力下塑性混凝土性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2010.
- [14] 王四巍, 潘旭威, 王忠福, 等. 多轴应力下塑性混凝土峰值后变形特征[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(4): 654-658.
- [15] 王冠, 谢凌志, 侯正猛, 等. 岩盐三轴压缩试验方法及数据处理方式的对比研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(2): 429-434.
- [16] 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准: JBJ 52—2006[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.