

饱和冻结黏土在常应变率下的单轴抗压强度

Uniaxial compressive strength of saturated frozen clay at constant strain rate

李海鹏¹, 林传年², 张俊兵², 朱元林¹

(1. 中国科学院兰州寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 冻土作为一种复杂的多相介质, 其强度受多方面因素的影响。通过三种不同干密度饱和冻结黏土在常应变率下的单轴抗压强度试验, 得出了饱和冻结黏土的单轴抗压强度受温度、应变率、破坏时间及干密度等因素的影响规律, 并分别建立了以温度、应变率(或破坏时间)及干密度为变量的强度预报方程。

关键词: 饱和冻结黏土; 单轴抗压强度; 常应变率

中图分类号: TU 445

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)01-0105-05

作者简介: 李海鹏(1975-), 男, 满族, 辽宁桓仁人, 1998年毕业于兰州大学, 现为中科院寒区旱区环境与工程研究所博士生, 主要从事冻土力学与冻土工程研究。

LI Hai-peng¹, LIN Chuang-nian², ZHANG Jun-bing², ZHU Yuan-lin¹

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China; 2. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Uniaxial compressive strength tests were conducted on saturated frozen clay with different dry density at constant strain rate. Test results show that the compressive strength of frozen clay increases exponentially with decreasing temperature, increasing strain rate (or decreasing time to failure). The compressive strength of frozen clay also increases with increasing dry density in a certain range of dry density. The models for estimating the uniaxial compressive strength of frozen clay based on strain rate (or time to failure), temperature and dry density were presented.

Key words: saturated frozen soil; uniaxial compressive strength; constant strain rate

0 前言^①

抗压强度是冻土力学性能的重要指标, 至今在国内外可见到很多关于这方面的研究。早在1930年俄罗斯冻土学的开创者崔托维奇^[1]就在不同加载速率及不同温度条件下对冻结砂土进行了单轴压缩试验, 得出了冻结砂土的强度随着加载速率的增加和温度的降低而增加的规律。之后国外冻土学方面的许多著名学者也进行了这方面的研究, 如 Vialov^[2]、Ladanyi^[3]等。国内最早是吴紫汪^[4,5]等人进行过冻结砂土单轴抗压强度的试验研究, 发现冻结砂土的强度与土温、含水率和加荷速度有关。后来朱元林^[6-9]、李海鹏等^[10]对冻结砂土及粉土的单轴抗压强度进行了详细的研究, 认为抗压强度与应变率(或破坏时间)及温度等因素关系密切, 并给出了它们之间的定量关系。李洪升等^[11]进行了冻结轻粉质壤土抗压强度对应变速率敏感性的试验研究, 认为应变率、温度是抗压强度的主要影响因素, 抗压强度对应变速率变化的敏感程度可分三个区段, 并且得出了以应变率、温度为变量的强度模型。

对冻结砂土和粉土抗压强度的研究虽比较详尽, 但对不同干密度饱和冻结黏土抗压性能的研究却鲜见报导。鉴于此, 笔者对不同干密度饱和冻结黏土在各种温度及应变率条件下进行了单轴抗压强度试验, 并讨论了抗压强度与应变率、破坏时间、温度及干密度等影响因素的关系。

1 试样制备及试验方法

1.1 试样的制备

试验所用土样为重塑黏土, 试样的干密度分别为1.38, 1.58, 1.88 g/cm³, 相应的饱和含水率分别为34.00%, 25.40%, 16.00%。试样的制备方法如下: 首先向风干土样中加入蒸馏水使初始含水率达到12%, 待水分均匀分布于土中后将土样装入直径为61.8 mm的圆筒状制样模中, 并击实到所要求的干容重, 接着在真空饱和系统对土样进行饱和。待饱和后将土样放入冷冻箱中快速单向冻结, 然后拆模, 在低温车间加工成高度为150 mm的圆柱状标准试件。

1.2 试验方法

试验采用应变控制法, 变形率分别为0.0096, 0.08, 0.9, 6 mm/min, 试验温度为-2, -5, -10, -15℃。具体试验过程如下: 先将试样放入试验箱中, 在试验温度下恒温12 h以上, 然后将其置于电子万能材料试验机上在恒变形速率下进行单轴无侧限抗压强度试验, 试验过程中保持温度不变。由数采仪自动记录荷载和位移信息, 最后由计算机计算出相应的应力和应变, 并绘出应力—应变曲线。

① 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40171021); 中科院寒区旱区知识创新工程资助项目(CACX210053)

收稿日期: 2003-03-04

表 1 冻结黏土单轴抗压强度试验结果

Table 1 Test results of uniaxial compressive strength for frozen clay

干密度及 含水率	试样 编号	温度 / °C	应变速率 /s ⁻¹	极限强度 /MPa	破坏时间 /min	试样 编号	温度 / °C	应变速率 /s ⁻¹	极限强度 /MPa	破坏时间 /min
$\rho_d = 1.38\text{g/cm}^3$ $w = 34.00\%$	286	- 2	6.67E- 04	0.93	2.50	277	- 5	6.67E- 04	2.33	2.50
	291	- 2	6.67E- 04	1.05	2.50	282	- 5	6.67E- 04	2.30	2.50
	285	- 2	1.04E- 04	0.66	16.00	276	- 5	1.04E- 04	1.56	16.00
	290	- 2	1.04E- 04	0.65	16.00	280	- 5	1.04E- 04	1.55	16.00
	287	- 2	9.10E- 06	0.33	183.00	278	- 5	9.10E- 06	0.96	183.00
	292	- 2	9.10E- 06	0.39	183.00	281	- 5	9.10E- 06	0.99	183.00
	288	- 2	1.10E- 06	0.28	1520.00	279	- 5	1.10E- 06	0.76	1520.00
	289	- 2	1.10E- 06	0.29	1520.00	283	- 5	1.10E- 06	0.76	1520.00
	241	- 10	6.05E- 04	4.33	0.81	214	- 15	5.58E- 04	5.84	0.80
	244	- 10	6.10E- 04	4.08	0.80	220	- 15	5.37E- 04	5.82	0.75
	243	- 10	9.27E- 05	2.92	5.00	212	- 15	1.26E- 04	4.37	3.64
	246	- 10	9.37E- 05	2.99	5.00	217	- 15	8.94E- 05	4.18	4.23
	242	- 10	8.40E- 06	2.00	54.00	215	- 15	8.30E- 06	3.09	51.00
	245	- 10	8.00E- 06	2.00	64.00	216	- 15	8.33E- 06	3.05	48.00
	247	- 10	1.00E- 06	1.56	420.00	219	- 15	1.01E- 06	2.29	310.00
	248	- 10	1.02E- 06	1.53	420.00	218	- 15	1.02E- 06	2.26	335.00
$\rho_d = 1.58\text{g/cm}^3$ $w = 25.40\%$	294	- 2	6.67E- 04	1.05	2.50	268	- 5	6.67E- 04	2.50	2.50
	299	- 2	6.67E- 04	1.03	2.50	271	- 5	6.67E- 04	2.41	2.50
	293	- 2	1.04E- 04	0.72	16.00	267	- 5	1.04E- 04	1.64	16.00
	296	- 2	1.04E- 04	0.67	16.00	270	- 5	1.04E- 04	1.84	16.00
	295	- 2	9.10E- 06	0.37	183.00	269	- 5	9.10E- 06	1.10	183.00
	298	- 2	9.10E- 06	0.43	183.00	275	- 5	9.10E- 06	1.14	183.00
	300	- 2	1.10E- 06	0.33	1520.00	273	- 5	1.10E- 06	0.91	1520.00
	301	- 2	1.10E- 06	0.32	1520.00	274	- 5	1.10E- 06	0.86	1520.00
	232	- 10	6.67E- 04	4.49	2.30	223	- 15	6.73E- 04	6.17	1.85
	234	- 10	6.60E- 04	4.23	2.81	225	- 15	6.62E- 04	6.17	1.90
	231	- 10	1.40E- 04	3.39	11.90	222	- 15	9.94E- 05	4.90	12.80
	235	- 10	1.38E- 04	3.51	15.56	226	- 15	1.01E- 04	4.78	12.53
	233	- 10	9.11E- 06	2.44	183.00	224	- 15	8.74E- 06	3.43	140.00
	236	- 10	8.91E- 06	2.32	187.00	227	- 15	8.61E- 06	3.64	128.00
	237	- 10	1.10E- 06	1.87	1520.00	221	- 15	1.07E- 06	2.89	970.00
	238	- 10	1.10E- 06	1.91	1520.00	211	- 15	1.10E- 06	2.81	924.00
$\rho_d = 1.88\text{g/cm}^3$ $w = 16.00\%$	302	- 2	6.94E- 04	1.24	4.90	258	- 5	6.74E- 04	3.40	3.78
	304	- 2	7.03E- 04	1.22	4.85	261	- 5	6.76E- 04	3.91	3.65
	303	- 2	1.04E- 04	1.12	23.08	259	- 5	1.07E- 04	3.30	24.83
	319	- 2	1.09E- 04	1.10	22.78	262	- 5	1.20E- 04	2.95	19.40
	305	- 2	9.05E- 06	0.90	201.00	260	- 5	9.05E- 06	2.73	207.00
	307	- 2	9.17E- 06	0.85	216.00	263	- 5	9.04E- 06	2.68	203.00
	308	- 2	1.09E- 06	0.67	1360.00	264	- 5	1.09E- 06	2.52	1410.00
	310	- 2	1.08E- 06	0.80	1310.00	266	- 5	1.08E- 06	2.34	1370.00
	249	- 10	6.43E- 04	6.13	2.58	203	- 15	6.33E- 04	8.57	2.73
	254	- 10	6.72E- 04	6.07	2.73	206	- 15	6.57E- 04	8.32	2.78
	255	- 10	1.03E- 04	4.76	19.61	201	- 15	1.05E- 04	6.91	19.50
	251	- 10	1.02E- 04	4.75	20.21	205	- 15	1.07E- 04	6.90	19.60
	250	- 10	8.94E- 06	4.46	265.00	202	- 15	9.20E- 06	6.06	258.00
	252	- 10	8.88E- 06	4.59	261.00	210	- 15	8.87E- 06	5.90	238.00
	256	- 10	1.10E- 06	4.13	1920.00	204	- 15	1.13E- 06	5.39	2070.00
	257	- 10	1.10E- 06	4.08	1970.00	209	- 15	1.13E- 06	5.51	2060.00

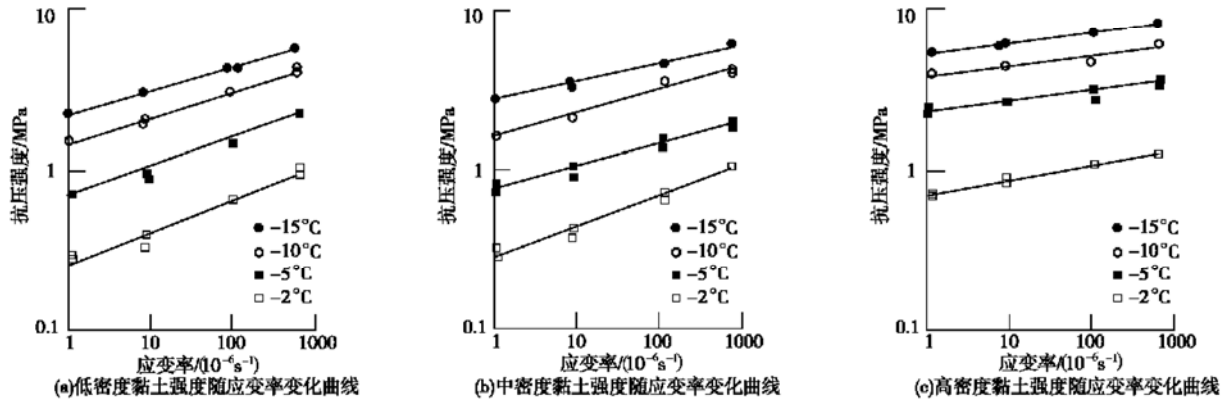


图 1 不同干密度冻结黏土强度随应变率变化曲线

Fig. 1 The compressive strength of frozen clay with different dry density vs strain rate

表 2 回归分析结果汇总表

Table 2 The results of regression analysis

干密度及 含水率	b_0	b_1	b_2	θ 的 t 值 t_1	$\dot{\epsilon}$ 的 t 值 t_2	θ 标准回归系数 B_1	$\dot{\epsilon}$ 标准回归系数 B_2
$\rho_d = 1.38 \text{ g/cm}^3$, $w = 34.0\%$	0.422	0.986	0.170	38.761	21.101	0.881	0.480
$\rho_d = 1.58 \text{ g/cm}^3$, $w = 25.4\%$	0.292	1.004	0.150	35.856	17.067	0.899	0.428
$\rho_d = 1.88 \text{ g/cm}^3$, $w = 16.0\%$	0.096	0.946	0.067	24.703	5.598	0.966	0.218

2 试验结果

我们取应力—应变曲线的峰值应力或应变为 10% 时的应力(此时应力—应变曲线无峰值)作为单轴抗压强度(σ_m),相应的时间为破坏时间(t_f)。试验条件及试验结果列于表 1 中。

3 讨 论

3.1 抗压强度与温度、应变率的关系

图 1 为 3 种干密度冻结黏土抗压强度随应变率变化的双对数坐标图。由该图可见,冻结黏土的抗压强度随着应变率增加和温度降低而增加,并且图中曲线表明抗压强度与应变率存在幂函数关系。根据文献[9~10],饱和冻结黏土的抗压强度与温度及应变率的关系可表示为

$$\sigma_m = \sigma_0 (\theta/\theta_0)^i (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^m, \quad (1)$$

式中 $\theta_0 = -1^\circ\text{C}$, 为无量纲化参考温度, $\dot{\epsilon}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$ 为无量纲化参考应变率, σ_0 为 $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$ 及 $\theta = -1^\circ\text{C}$ 时之抗压强度,单位为 MPa, i 和 m 为参数。

将式(1)变换为如下形式:

$$\ln(\sigma_m) = b_0 + b_1 \ln(\theta/\theta_0) + b_2 \ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0), \quad (2)$$

式中 $b_0 = \ln(\sigma_0)$, $b_1 = i$, $b_2 = m$ 。对式(2)进行二元线性回归分析。

表 2 为二元线性回归分析结果。由表 2 可看出 b_0 和 b_2 与干密度有关,而 b_1 则与干密度基本无关。将参数值代入式(2),并转化为式(1)形式,可得:

对于干容重为 1.38 g/cm^3 的饱和冻结黏土,其强度方程为

$$\sigma_m = 1.525 (\theta/\theta_0)^{0.986} (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{0.170}; \quad (3)$$

干容重为 1.58 g/cm^3 的饱和冻结黏土的强度方程为

$$\sigma_m = 1.339 (\theta/\theta_0)^{1.004} (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{0.150}; \quad (4)$$

干容重为 1.88 g/cm^3 饱和冻结黏土的强度方程为

$$\sigma_m = 1.103 (\theta/\theta_0)^{0.946} (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{0.067}. \quad (5)$$

表 2 中 t_1 及 t_2 值大于 2,说明温度和应变率均对抗压强度有重要影响,且 $t_1 > t_2$, $|B_1| > |B_2|$,表明温度对抗压强度的影响要大于应变率对抗压强度的影响。

3.2 抗压强度与温度及破坏时间的关系

图 2 为不同温度下饱和冻结黏土的抗压强度与破坏时间的双对数关系图。由图中曲线可见,在本试验条件下随着破坏时间的增加,饱和冻结黏土的抗压强度逐渐减小,两者呈幂函数关系。根据文献[9,10],可用如下公式表示抗压强度与温度及破坏时间的关系:

$$\sigma_m = \sigma'_0 (\theta/\theta_0)^j (t_f/t_{f0})^n, \quad (6)$$

式中 $t_{f0} = 1 \text{ min}$, 为无量纲化参考破坏时间, σ'_0 (单位为 MPa) 为 $t_f = 1 \text{ min}$, $\theta = -1^\circ\text{C}$ 时之抗压强度, j 、 n 为参数。

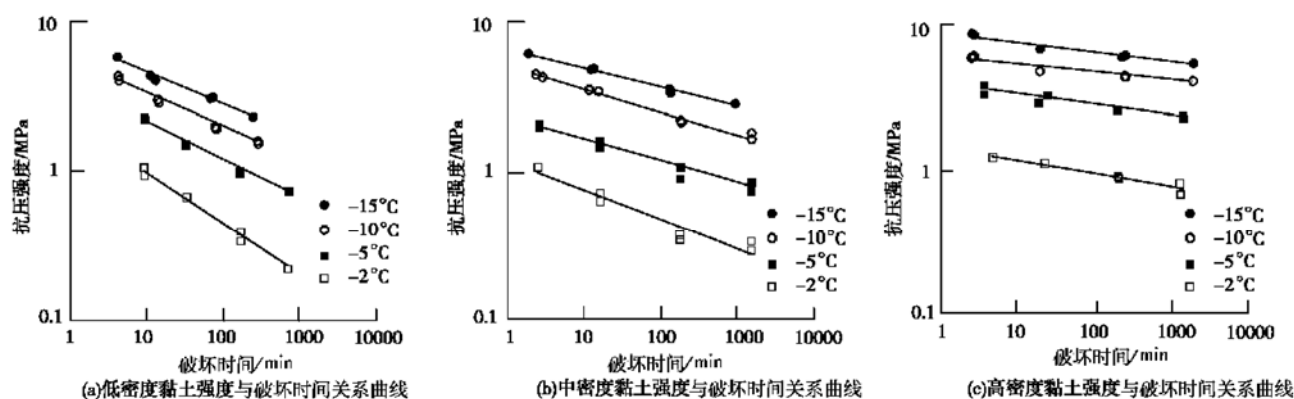


图2 不同干密度冻结黏土强度与破坏时间关系曲线

Fig. 2 The relationship between compressive strength of frozen clay with different dry density and time to failure

表3 回归分析结果汇总表

Table 3 The results of regression analysis

干密度及 含水率	b_0'	b_1'	b_2'	θ 的 t 值 t_1'	t_f 的 t 值 t_2'	θ 标准回 归系数 B_1'	t_f 标准回 归系数 B_2'
$\rho_d = 1.38 \text{ g/cm}^3$, $w = 34.0\%$	-0.874	0.977	-0.170	38.287	21.050	0.873	-0.480
$\rho_d = 1.58 \text{ g/cm}^3$, $w = 25.4\%$	-0.639	0.985	-0.151	34.428	16.698	0.882	-0.428
$\rho_d = 1.88 \text{ g/cm}^3$, $w = 16.0\%$	-0.304	0.944	-0.069	24.507	-5.523	0.965	-0.217

将式(6)变换为如下形式:

$$\ln(\sigma_m) = b_0' + b_1' \ln(\theta/\theta_0) + b_2' \ln(t_f/t_0), \quad (7)$$

式中 $b_0' = \ln(\sigma_0')$, $b_1' = j$, $b_2' = n$ 。对式(7)进行二元线性回归分析, 回归结果列于表3。

由表3可看出 b_0' 和 b_2' 与干密度有关, 并且发现 b_0' 与式(2)中 b_0 随干密度的变化规律相反, 即 b_0' 与干密度正相关, 而 b_0 与干密度负相关, 其原因是随着干密度增加, 破坏应变也相应增大。 b_1' 与干密度基本无关。将参数值代入式(7), 并转化为式(6)形式, 可得到如下强度预报方程:

对于干容重为 1.38 g/cm^3 的饱和冻结黏土,

$$\sigma_m = 0.417(\theta/\theta_0)^{0.977}(t_f/t_0)^{-0.170}; \quad (8)$$

对于干容重为 1.58 g/cm^3 的饱和冻结黏土,

$$\sigma_m = 0.528(\theta/\theta_0)^{0.985}(t_f/t_0)^{-0.151}; \quad (9)$$

对于干容重为 1.88 g/cm^3 的饱和冻结黏土,

$$\sigma_m = 0.739(\theta/\theta_0)^{0.944}(t_f/t_0)^{-0.069}。 \quad (10)$$

表3中 t_1' 及 t_2' 值远大于2, 说明温度和破坏时间均对抗压强度有重要影响, 且 $t_1' > t_2'$, $|B_1'| > |B_2'|$, 表明温度为主要影响因素, 破坏时间为次要影响因素。

3.3 抗压强度与干容重的关系

由试验结果可见, 在温度及应变率相同条件下, 饱和冻结黏土的抗压强度随着干密度的增大而增加。这

是由于随着干密度的增加, 冻土中矿物颗粒之间的黏聚力, 冰胶结力及摩擦力均增加, 从而使冻土的抗压强度增大。根据上述回归结果, 参数 σ_0 、 σ_0' 、 m 及 n 与干密度的关系可表示为 $\sigma_0(\sigma_0', m, n) = \beta + \lambda \rho_d$, 而参数 i 及 j 随干密度变化较小, 可取它们的平均值。于是可将式(1)及式(6)分别表示为如下形式:

$$\sigma_m = (\beta_1 + \lambda_1 \rho_d)(\theta/\theta_0)^i (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{(\beta_2 + \lambda_2 \rho_d)}, \quad (11)$$

$$\sigma_m = (\beta_3 + \lambda_3 \rho_d)(\theta/\theta_0)^j (t_f/t_0)^{(\beta_4 + \lambda_4 \rho_d)}。 \quad (12)$$

因此以温度、应变率、干密度为变量的强度预报方程可表示为

$$\sigma_m = (2.677 - 0.840 \rho_d)(\theta/\theta_0)^{0.979} (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{(0.470 - 0.212 \rho_d)}, \quad (13)$$

而以温度、破坏时间、干密度为变量的强度预报方程可表示为

$$\sigma_m = (0.649 \rho_d - 0.485)(\theta/\theta_0)^{0.968} (t_f/t_0)^{-(0.465 - 0.208 \rho_d)}。 \quad (14)$$

4 结 论

通过对饱和冻结黏土单轴抗压强度试验结果分析可得到如下结论:

(1) 温度降低, 应变率增加, 以及干密度增大均使饱和冻结黏土的抗压强度增加, 它们之间的关系可描述为 $\sigma_m = (\beta_1 + \lambda_1 \rho_d)(\theta/\theta_0)^i (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{(\beta_2 + \lambda_2 \rho_d)}$ 。在此方

程中温度对强度的影响要大于应变率对强度的影响。

(2) 饱和冻结黏土的抗压强度随着破坏时间的增加而减小, 以温度、破坏时间及干密度为变量建立的饱和冻结黏土的强度预报方程为 $\sigma_m = (\beta_3 + \lambda_3 \rho_d) (\theta/\theta_0)^j (t/t_0)^{(\beta_4 + \lambda_4 \rho_d)}$ 。此方程中温度对强度的影响要大于破坏时间对强度的影响。

参考文献:

- [1] 崔托维奇 H A. 冻土力学[M]. 张长庆, 朱元林, 译. 北京: 科学出版社, 1985. 160–170.
- [2] Vialov S S. Rheological properties and bearing capacity of frozen soils[J]. USA Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, 1959, **74**: 48–56.
- [3] Ladanyi B. Mechanical behavior of frozen soils[A]. Proc of Int Symp on the Mechanical Behavior of Structured Media[C]. Ottawa, 1981. 205–245.
- [4] 吴紫汪, 张家懿, 朱元林. 冻土的强度与破坏特征[A]. 中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1983. 275–280.
- [5] 吴紫汪, 马巍. 冻土强度与蠕变[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994. 54–64.
- [6] Zhu Yuanlin, Carbee D L. Uniaxial compressive strength of frozen silt under constant deformation rates[J]. Cold Regions Science and Technology, 1984, **9**(1): 3–15.
- [7] 朱元林. 冻结粉砂在常变形速度下的单轴抗压强度[J]. 冰川冻土, 1986, **8**(4): 365–380.
- [8] Zhu Yuanlin, Carbee D L. Creep and strength behavior of frozen silt in uniaxial compression[J]. USA CRREL Report, 1987, **87**(10): 43–46.
- [9] Zhu Yuanlin, Zhang Jiayi, Shen Zhongyan. Uniaxial compressive strength of frozen medium sand under constant deformation [A]. 5th Int Symp on Ground Freezing[C]. Nottingham, 1988. 225–232.
- [10] 李海鹏, 朱元林, 潘卫东. 饱和冻结粉土在常应变率下的单轴抗压强度[J]. 冰川冻土, 2002, **24**(5): 659–664.
- [11] 李洪升, 杨海天, 常成, 等. 冻土的抗压强度对应变速率敏感性分析[J]. 冰川冻土, 1995, **17**(1): 40–47.

《地下工程进展 2003》出版

本书系国内首家以“地下工程”命名的行业组织——浙江省建筑业行业协会地下工程分会首届年会暨学术研讨会的汇刊。

卷首有京沪浙台、产学研政九位著名专家学者和官员的题词。包括中国建协深基础分会理事长、建设部科技委顾问许溶烈教授; 中科院院士孙钧教授; 工程院院士钱七虎教授; 工程院院士刘建航教授; 台湾中央大学工学院院长李建中教授; 东南亚大地工程学会创办会长莫若楫博士; 台湾陈斗生博士、胡绍敏博士以及浙江省建设厅副厅长、地下工程分会名誉会长赵如龙先生。

本书共分 10 个部分。第一部分特稿, 收入了钱七虎院士、高大钊教授、何开胜博士等的新作共 4 篇。

第二部分综述, 包括史佩栋的“深基础的历史演进与技术发展现状”及卢慈荣和蒋建群的“地下隧道结构抗震分析综述”。

第三部分包括柳若龙赴德国和史佩栋赴日本考察隧道技术的报告各一篇。

第四部分报道了杭州市近年八项重点工程的设计施工概况。介绍了它们的技术难点与特点。

第五部分汇集了 25 篇专题论述, 其中包括桩基础 7 篇; 深基坑 4 篇; 环境土工与不良地质 8 篇; 检测分

析 1 篇; 地下防水 1 篇; 隧道施工 4 篇; 管理工程 3 篇。

本书第六部分是标准、规范动态, 报道了浙江省有关专家参与主编的一部国家行业标准和我国第一部露天采矿自然生态环境治理的工程技术要求和施工质量验收要求的编制情况。

第七部分收入了在省内外(含台湾省)产生较大影响的以“城市地铁建设与环境岩土工程”为主题的“地下工程高级技术论坛”的会议纪要。

第八部分是英特网上的“浙江地工”, 选登了浙江地工人物 20 余人的简介, 以及 3 则地工漫谈和 7 则图书信息。

第九部分刊登了地下工程分会 2002—2003 年的大事记。

第十部分刊登了浙江十余家企事业单位的简介。

由上可知, 本书溶学术性、纪实性、信息性于一体, 不同于一般的论文集。本书由史佩栋主编。全书 A4 开本 400 余页约 70 万字。可供省内外地下工程行业内外有关人士和政府主管部门参考。

需要者可向杭州市莫干山路 470 号二楼 浙江省建协地下工程分会联系, 邮编: 310011, 电话/传真: 0571–88847750。

(史佩栋 供稿)