

益阳玄武岩出露区红粘土的工程地质特征

成谷雨

(湖南化工设计院勘察室, 长沙)

一、概 述

益阳位于北纬 $28^{\circ}31'$, 东经 $112^{\circ}30'$ 。残积红粘土是新城建筑物地基土的主要持力层, 该层分布范围广, 在湖南与前古生代地层中海底火山喷发所形成的玄武岩类地层相一致, 益阳玄武岩出露区红粘土具有代表性(图1—4), 是细碧玄武岩(M_2^1)长期处于湿热气

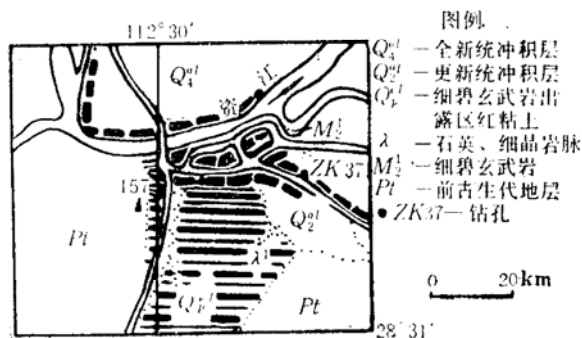


图1 益阳市附近地质图

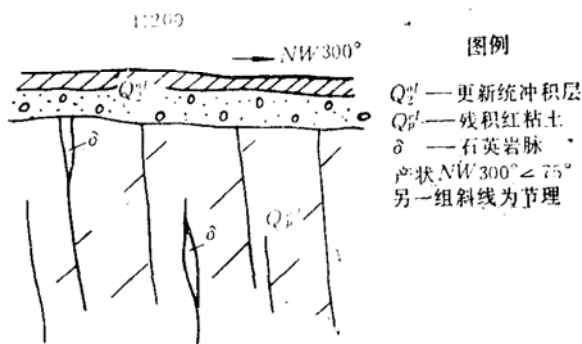


图2 益麻露头素描

候条件下的风化产物, 最厚达50 m。从上至下, 颜色由棕红、紫红至灰绿, 有时顶部有网纹状结构, 特点是含水量高、孔隙比大, 几乎与淤泥、淤泥质土类同, 吸水性强, 透水性差, 膨胀量小, 压缩性中等偏低, 而强度却比较高, 是一种特殊性土。红粘土纵向和横向在成分、结构、构造及均质性方面都有较大和有规律性变化, 按纵向分层如下(图5):

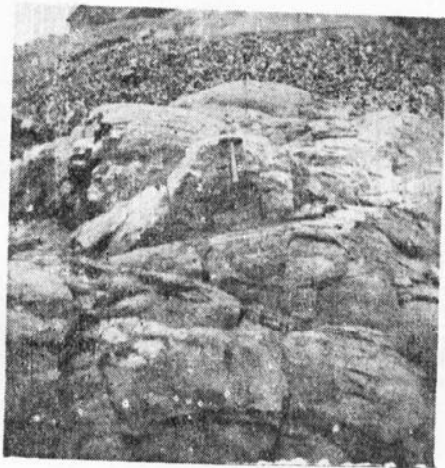


图 3 细碧玄武岩枕状构造



图 4 细碧玄武岩枕状构造

A层——棕红色粘土层，硬塑至可塑状态，有纹网结构，有时缺失或为腐植质土，厚0.3—2.0m。
B层——紫红色粘土层，可塑至硬塑，均质，在断面上见有极细的针状、点状红色氧化物，厚10—50m。
C层——灰绿色粘土层，硬塑至坚硬，保留原岩结构，在人工断面上常可见球状风化孤石，厚7—20m。
D层——细碧玄武岩，厚层，致密块状，坚硬、黑绿色，有条带状，气孔状及枕状构造(图3—4)。
A, B, C, D各层虽有不同特点，线，呈逐渐过渡关系，在同一地区由于无明显分界但结构、构造和侵蚀不同，各层发育程度不同。

时代	地层柱	层号	深度	标高	厚度
Q ₄ ^{cl}			6.00	36.25	6.00
Q ₃ ^{cl}		A	3.00	34.25	2.00
		B	25.00	15.25	17.00
		C	33.00	7.25	8.00
M ₂		D	88.00	47.75	55.00

图 5 ZK37/42.25地层柱状图
注：A₁, A₂, A₃, 取样点；42.25——钻孔标高；
图中数字单位为m

二、矿物、化学成分与红粘土的成因

通过钻探、取样、岩矿鉴定、差热分析、化学分析等工作，现将有关结果综述如下：

(一)矿物成分

根据岩土样鉴定、分析结果，各层主要矿物，矿物化学组成、主要离子及离子化合价和pH值，见表1。

表1

各层矿物成分及化学成分

层 次	A, B层(图6, A ₃) (红粘土层)	C层(图6, A ₂) (绿色粘土层)	D层(图6, A ₁) (母岩——细碧玄武岩)
深度(m)	6—33	33—50	50m以上
矿物及化学组成	高岭土: $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ 氧化铁: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	绿泥石: $(\text{MgFe})_5(\text{Al} \cdot \text{Fe}''')_2 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ 高岭土: $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ 菱铁矿: FeCO_3	透闪石: $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ 黝帘石: $\text{Ca}_2\text{AlAl}_2(\text{SiO}_4) \cdot (\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ 绿泥石: $(\text{MgFe})_5(\text{Al} \cdot \text{Fe}''')_2 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
主要离子及化合价	$\text{Fe}^{+3}, \text{Al}^{+3}, \text{Si}^{+4}$	$\text{Fe}^{+2}, \text{Al}^{+3}, \text{Mg}^{+2}, \text{Si}^{+4}$	$\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}^{+2}, \text{Ca}^{+2}, \text{Al}^{+3}, \text{Si}^{+4}$
pH值	5.4	6.24	7.24

(二)化学成分

根据对各层样分析结果, 列表如表2。

表2

A, B, D层化学分析成果对比

层号	烧失量	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	FeO	资料来源
D层		50.09	12.21	1.92	8.65	11.08	1.27	0.30	0.52	7.91	省地质局十样平均
D层	3.67	52.64	13.18	9.75	6.61	10.14					省交通科研所
A, B层	11.41	49.02	22.50	15.57	0.29	0.72					省交通科研所

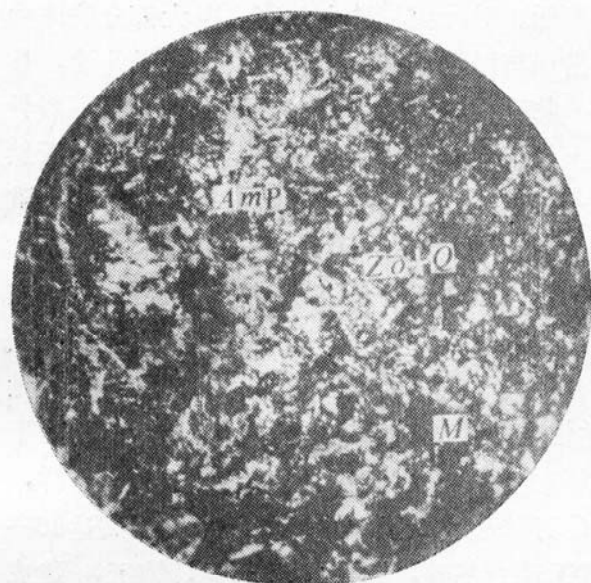
(三)红粘土的成因

从矿物、化学成分及各层离子化合价、pH值看出: ① SiO_2 随着风化侵蚀而减少, 但变化小, 说明二氧化硅相对稳定; ② Al_2O_3 , $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 随着岩石风化侵蚀而增加; CaO , MgO 则随着岩石风化淋滤而急剧减少; ③D层中 $\text{FeO}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ 为5, pH值测定为7.24, 而A, B层红粘土中铁都以 Fe^{+3} 的形式存在, pH值为5.4, 说明原岩处于碱性还原环境, 而红粘土则处于酸性氧化环境; ④从矿物化学成分的变化, 颜色由深而浅, 深黑变浅绿到紫红、棕红, 这与镁、钙、铁的存在形式密切相关, 说明A, B层红粘土在潮湿气候条件下, 细碧玄武岩遭受漫长的地质历史时期的风化侵蚀作用, 使K, Na, Ca, Mg淋失, Si, Al, Fe则残留聚集, 由造岩矿物变为粘土矿物高岭石, 铁以胶体状态为主要特征充填胶结高岭石而成红粘土。

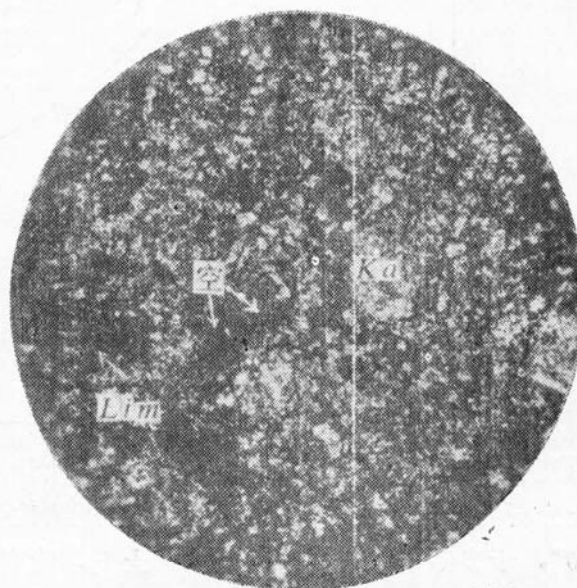
三、玄武岩出露区红粘土的工程地质特征

(一)物理力学性质的室内测定结果

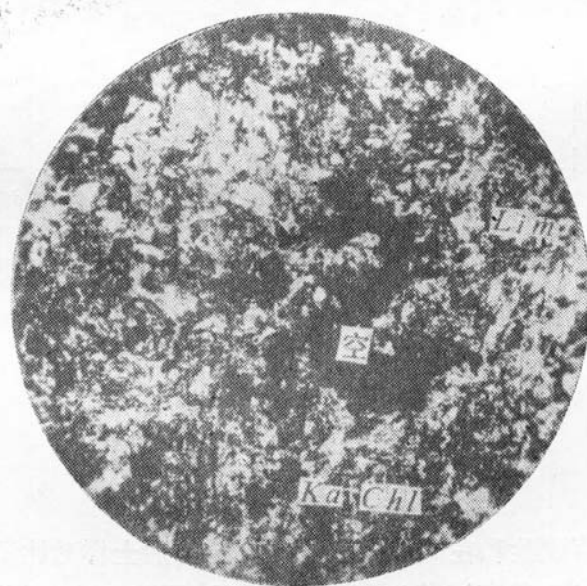
根据土工分析结果, 残积红粘土的物理力学性质如表3。表中说明红粘土的含水量高, 容重偏低, 孔隙比大, 过饱和, 液限、塑限都偏高, 液限一般大于60, 因此按塑性图分类属高塑粉质土(MH), 在塑性图上(图7)的分布区域在A线下, 自由膨胀率小于30, 压缩性中



Amp: 透闪石; ZQ: 黝帘石; O: 石英, 少量绿泥石

(A₁)

Ka: 高岭石; chl: 绿泥石; Lim: 氧化铁; 空: 空洞

(A₂)

Ka: 高岭石; Lim: 氧化铁; 空: 空洞

(A₃)

图6 显微镜下(正交偏光×28)

表3

残积红粘土物理力学分析结果

数值	含水量	密度	孔隙比	饱和度	塑限	液限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	抗剪强度		自由膨胀率	粘粒量
说明	w(%)	γ (g/cm ³)	e	S _r (%)	w _p (%)	w _L (%)	I _p	I _L	α_{1-2} (MPa ⁻¹)	E _s (kPa)	c (KPa)	ϕ	(%)	<0.005
范围	39.3—65.0	1.57—1.81	1.163—1.958	92—105	29.9—43.0	58—70.4	19—37	0.05—1.37	0.11—1.05	4112—5393	41—89	8°54'—31°	17—30	21—52
平均	50.89	1.75	1.45	98.09			>17	0.037	0.36				<30	38

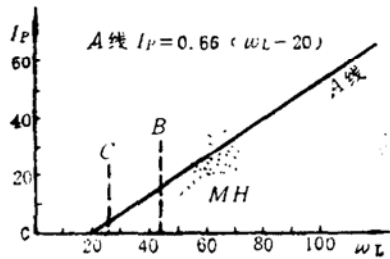


图7 塑性图

等偏低。对此类特殊土,有人以大部分物理力学指标与淤泥、淤泥质土类同而相提并论,按部分物理力学指标去套《地基规范》,作一般性粘土处理,作出属于软弱地基土不宜作为天然地基的结论。这一结论给益阳市基建带来严重的浪费,为解决这一问题,又进行了静力触探、载荷试验、岩土分析、镜下鉴定、微观结构研究等工作。发现细碧玄武岩残积红粘土还有一系

列表现强度高的特征:①分布在潮湿部位少数样分析结果,平均孔隙比为1.886,平均含水量超过液限64%,平均液性指数达1.046,按一般粘性土应为流动状态,而这几个土样则处于可塑状态特征下的高压缩性土,能成功地野外取样和室内刻取环刀;②几组人工刻槽取样,土分析结果如表4,说明为偏低的中压缩性土;③野外观察人工和自然剖面,坡度高达60—70°,十多年未见崩塌;④该地基土上,建有一气锤动力基础,原按180kPa设计施工,建成十多年无异常,表明是具有独特物理力学性质的地基土。

表4

红粘土人工刻槽取样土工分析表

数值说明	含水量 $w(\%)$	饱和度 $S_r(\%)$	孔隙比 e	液限 $w_L(\%)$	塑限 $w_P(\%)$	液性指数 I_L	塑性指数 I_P	压缩系数 $\alpha_{1-2}(\text{MPa}^{-1})$
范 围	45—55	100—105	1.19— 1.502	61—67.9	36—39	0.31—0.57	20.2—28	0.15—0.20
平 均	49.03	102	1.36	64.75	37.5	0.413	>17	0.162

(二)原位测试结果

现场静力触探、载荷试验和在试坑内取承压试验前后土样对比试验,结果如表5,6,静力触探 p_s 曲线(图8,9)和载荷试验(p - S)关系曲线(图10,11),从测试结果说明:①静力触探贯入阻力 p_s 曲线峰值频繁出现,而且很高,这是由于石英脉所致,在贯入阻力 p_s 值的统计中已被排除,对红粘土在结构上起了加强作用,有利于增加红粘土强度;②贯入阻力 p_s 、比例界限值 p_0 及压缩系数 α_{1-2} 值都较理想和稳定,说明土的强度较高和均匀性较好;③贯入阻力 p_s 值最低为150kPa, $[R]$ 值为180kPa;载荷试验比例界限值(p_0)最低为450kPa,极限荷载 p_u 为550—700kPa,平均极限荷载 p_u 为612kPa,安全系数用2.5, $[R]$ 值达244.8kPa;④从3#载荷试验坑取承压试验前后土样分析对比,承压板下红粘土承受极限荷载550kPa后,压板下0.5m处样的压缩系数 α_{1-2} 仅增加0.1 MPa^{-1} ,在深度1.0m处土的压缩系数 α_{1-2} 无变异,说明土仍处于临塑荷载特性,表明红粘土具有更大的潜在强度;⑤贯入阻力 p_s 值普遍低于载荷试验数据,这与红粘土为鳞片变晶结构有关,使探头的侧壁摩擦阻力小,土的含水量高也是原因之一,因此静探结果偏低,不应影响对红粘土强度的评定。

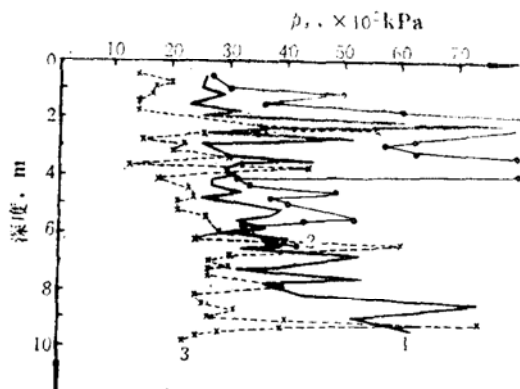
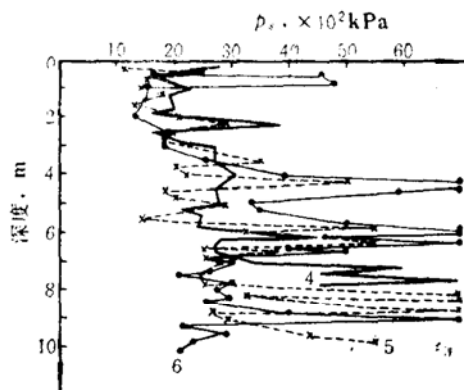
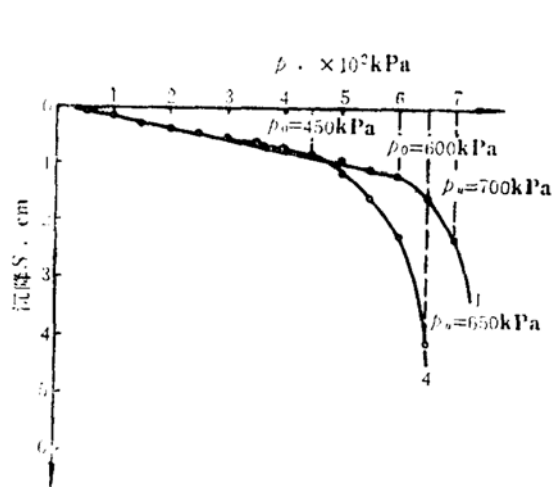
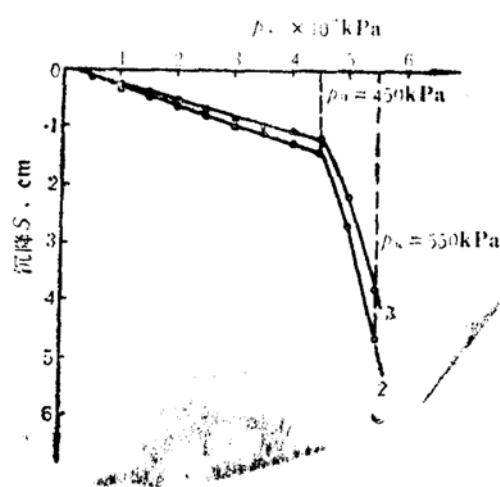
图8 1*, 2*, 3*静力触探 p_s 曲线图9 4*, 5*, 6*静力触探 p_s 曲线图10 1*, 4*载荷试验 $p-S$ 曲线图11 2*, 3*载荷试验 $p-S$ 曲线

表5 静力触探与载荷试验成果对比表

编 号	数值说明	贯入阻力 p_s (kPa)	压缩模量 E_s (kPa)	容许承载力 [R](kPa)	比例界限 p_0 (kPa)	极限荷载 p_x (kPa)	备 注
1	范 围	2500— 4000	10500— 16200	260— 420	600	700	①编号为静探顺序号。 ②1*载荷试验点位于1, 2静探 之间。 ③4*载试点位于3, 8静探点间。 ④3*载试点位于4, 5静探点间。 ⑤2*载试点位于5, 6静探点间。 ⑥3*载荷试验坑内取承压前后土 样室内土工试验得表 6。
	平 均	3029	12514	317			
2	范 围	3200— 6000	13200— 23500	330—620	450	650	
	平 均	4040	16300	422			
3, 8	范 围	1500— 2500	6800— 10500	180—260	450	550	
	平 均	2171	9328	237			
4, 5	范 围	1500— 4000	6800— 16000	180—420	450	550	
	平 均	2715	11350	292			
6	范 围	1500— 4000	6800— 16000	180—420	450	550	
	平 均	2542	9825	276			
总 平 均		2716	11215	282	487.5	612	安全系数用2.5, 容许承载力 [R]值为244.8kPa

表6

3*载荷试验坑内承压前后土样分析结果

试验说明	取样深度 (m)	含水量 $w(\%)$	密度 $\gamma(\text{g/cm}^3)$	孔隙比 e	饱和度 $S_r(\%)$	液性指数 I_L	液 限 $w_L(\%)$	塑 限 $w_P(\%)$	压缩系数 $\alpha_{1-2}(\text{MPa}^{-1})$
试验前	0.50	47.80	1.725	1.439	94.7	0.24	42.6	21.9	0.2
	1.00	54.20	1.707	1.502	99.9	0.49	42.8	22.9	0.2
平 均		51.00	1.716	1.471	97.3	0.37	42.7	22.4	0.2
试验后	0.50	48.90	1.696	1.406	95.3	0.21	44.6	20.2	0.3
	1.00	48.40	1.752	1.354	99.4	0.29	40.06	27.3	0.2
平 均		48.70	1.724	1.358	97.35	0.25	42.60	23.75	0.25

(三)水理性质

土分析结果表明, ①自由膨胀率为17—30%, 而无膨胀性; ②透水性差; ③在排水条件好时, 由于不透水, 土的水稳性好, 但排水条件差时, 水体直接与红粘土断面相接, 则红粘土在重力作用下迅速自行崩解成软泥, 因此红粘土在水的浸泡下, 力学强度急剧降低, 抗水性差; ④红粘土有气孔遗迹, 现场观察和建筑经验表明, 不具湿陷性。

(四)氧化铁对红粘土强度的影响

在放大400倍内的偏光显微镜下对红粘土的颗粒成分、颗粒的形状、颗粒之间的联系形式和氧化物的存在状态作了观察对比(图6(A₃), 图12—17), 说明红粘土主要由高岭土(图13)和氧化铁组成, 高岭石组成鳞片变晶结构, 颗粒之间的联系形式, 主要由晶体生长时的结晶键, 使高岭石组成鳞片状集合体, 各种高岭石集合体则由氧化铁以胶体的形式, 使高岭石集合体联接起来, 氧化铁起胶结、固结和骨架作用(图14, 15), 并以胶体形式和星点状向外扩展(图16), 以氧化铁为主的视域内(图17), 高岭石集合体则被氧化铁穿插、包围, 以残留的状态

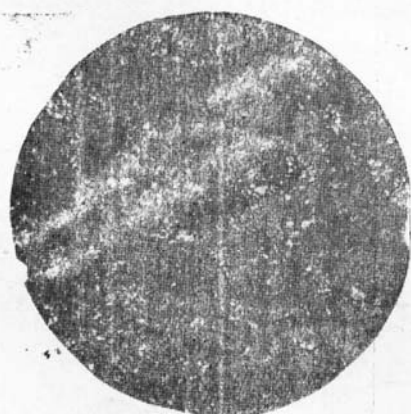


图12 显微镜下(正交偏光×80)

白色星点: 集合体高岭石; 黑色斑点: 氧化铁

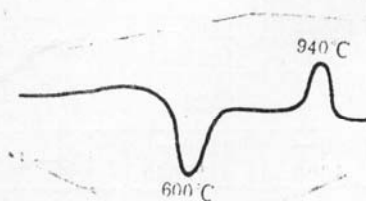
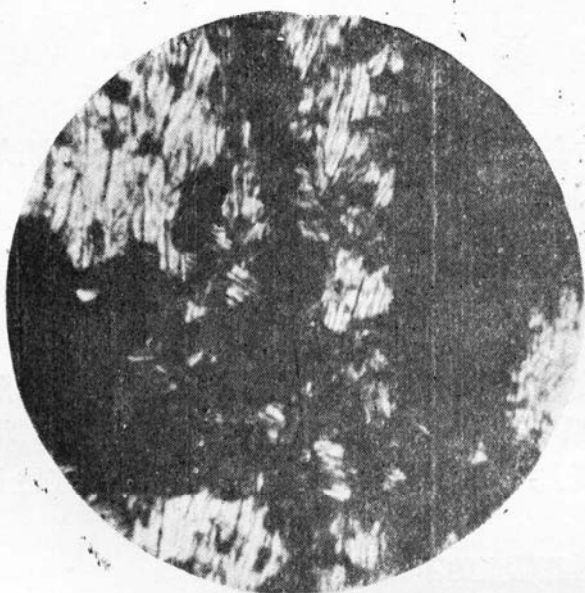
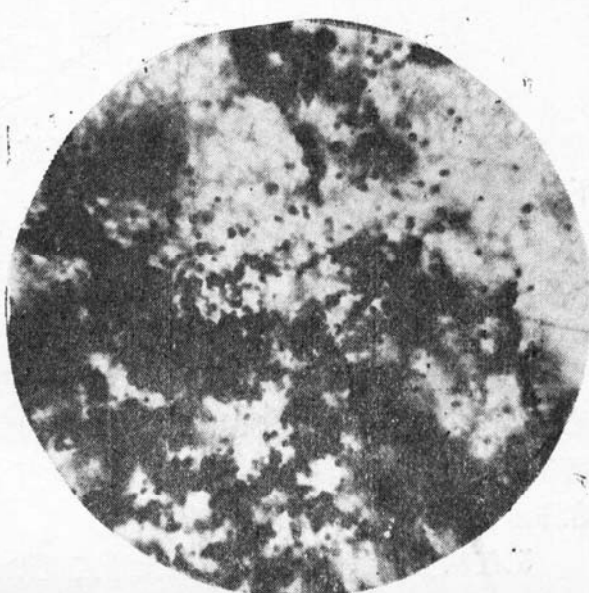


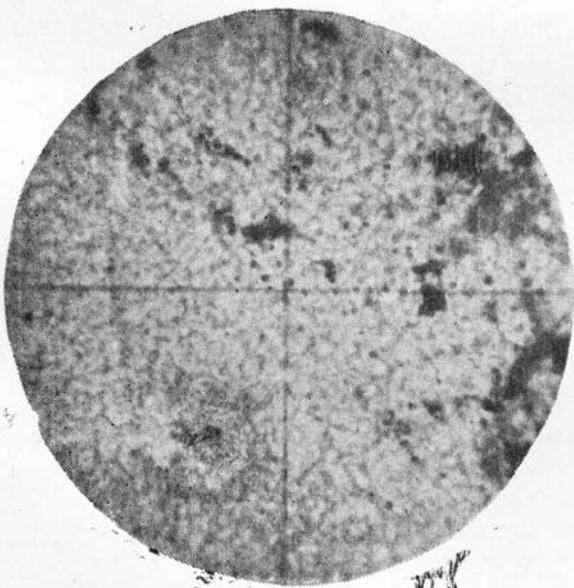
图13 高岭石的差热曲线

图14 显微镜下(正交偏光 $\times 400$)

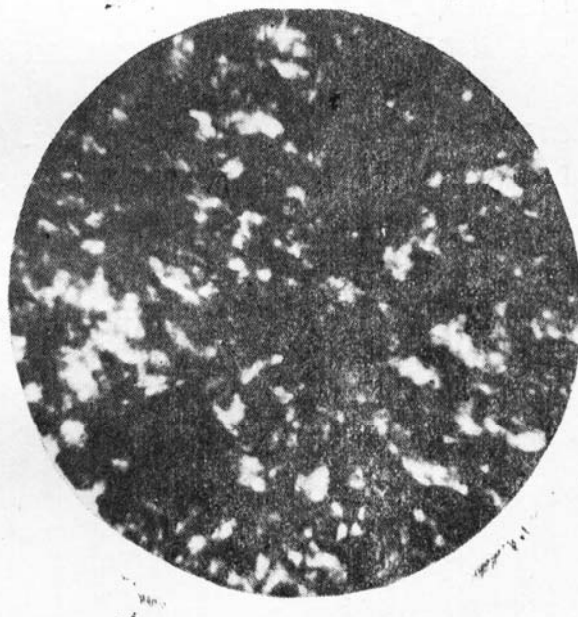
白色片状: 高岭土集合体; 黑色部分: 氧化铁, 起充填胶结作用

图15 显微镜下(平行偏光 $\times 400$)

氧化铁(黑色)充填在高岭石(白色)集合体之间, 并以点状向高岭石中扩散

图16 显微镜下(平行偏光 $\times 400$)

氧化铁(黑色)呈星点状向均质微粒高岭石集合体中扩散

图17 显微镜下(正交偏光 $\times 400$)

高岭石(白色)集合体以残留状态存在氧化铁(黑色)中

存在。说明氧化铁以胶体状态活动, 充填在高岭石集合体之间, 把高岭石集合体胶结起来。随着氧化铁的增加、发展至取代高岭石集合体, 使高岭石集合体以残留形式保留在氧化铁中, 这可能是产生网纹状结构初期阶段特征。因此红粘土凝聚力高, 结构力强, 压缩性中等偏低, 容许承载力比较高, 说明土的结构强度并不完全取决于颗粒的本身, 而更主要的取决于颗粒的连接强度, 氧化铁就是连结高岭石集合体使红粘土强度高的根本原因。

四、结 语

本文对益阳细碧玄武岩出露区残积红粘土结合工程实践作了较深入的探讨, 几点结论如下:

1. 益阳红粘土与典型的琼北、雷州半岛玄武岩红粘土以及碳酸盐岩出露区红粘土类同, 孔隙比大于1, 天然含水量和液限比较高, 一般处于硬塑至可塑状态, 压缩性中等, (也见有流塑状态的高压缩性土)是一种特殊性土。

2. 红粘土的容许承载力 $[R]$ 值, 根据土工分析数据, 显然不能用目前试行的《工业与民用建筑地基基础设计》规范(TJ7-74)和《工程地质勘察规范》(TJ21-77)中的有关条款定出, 根据各种实验数据的综合分析, 微观结构的观察研究, 荷载试验结果和建筑经验, 该层红粘土容许承载力 $[R]$ 值不低于245kPa。

3. 红粘土抗水性差, 施工和设计应预防水对红粘土的不良影响。

参 考 文 献

- [1] 南京大学水文地质工程地质教研室编, 工程地质学, 地质出版社, 1982年, pp.39—50。
- [2] 林宗元、孙兆福等, 玄武岩风化土的工程地质评价, 全国首届工程地质会议论文选集, 1979年, pp.84—90。
- [3] 陈 淦, “福建红土”工程地质特性的初步探讨, 工程勘察, 1984年3期, pp.62—65。
- [4] 谢俊文, 湖南网纹红土的工程地质特性, 工程勘察, 1982年, 2期, pp.5—7。
- [5] 高国瑞, 中国红土的微观结构和工程性质, 岩土工程学报, Vol.7, No.5, 1985, pp. 10—21。
- [6] 《工程地质手册》编写组, 工程地质手册(第二版), 中国建筑工业出版社, 1982年9月。
- [7] 王继庄, 游离氧化铁对红粘土工程特性的影响, 岩土工程学报, Vol.5, No.1, 1983, pp. 147—156。