

红土的工程勘察评价^①

3.2.1 成因和分类

3.2.1.1 红土的形成条件

红土是热带、亚热带湿热特定气候条件下,岩石经历了不同程度的红土化作用而形成的一种含较多黏粒,富含铁铝氧化物胶结的红色黏性土、粉土。红土具有较特殊的工程特性,虽然孔隙比较大,含水较多,但却常有偏低的压缩性和较高的强度,是一种区域性特殊土。

岩石在其红土化过程中,钙、镁、钾、钠等盐基成分的迁移量很大,达 90 % 以上或甚至淋失殆尽,硅也有一定的迁移,铁和铝则大量富集,红土化实质是脱硅富铁铝过程。

红土化发展阶段一般是:

a. 碎屑化和黏土化阶段:岩石被破碎,矿物大量分解,盐基成分淋失,硅、铝显著分离,出现大量硅铝酸体氧化物,形成一些黏土矿物,铁铝有所积累,含一定量易溶解的二价铁,风化产物为残积黏性土,呈灰、黄、白色而不是红色。这阶段是红土化作用的准备阶段;

b. 红土化阶段:除石英外,几乎所有矿物都遭彻底分解,盐基成分基本淋失,形成大量高岭石为主的黏土矿物,铁、铝大量富集,形成大量红色三价氧化铁和部分三水铝石。风化产物以红色黏性土为主,部分为红、白、黄相间成网纹状;

c. 铝土矿化阶段:红土化后期黏土矿物继续分解,部分含水氧化物脱水,形成以铝质矿

^① 本章编写人:王 清(吉林大学 教授)

物、铁质矿物和少量高岭石黏土的铝土矿。

中国红土从上而下的完整剖面包括:

a. 均质红土和网纹红土:黏土矿物以高岭石为主,含针铁矿、赤铁矿和三水铝石,表面红土化程度最高,红色为主,称均质红土;下段为红、白、黄相间的网纹状红土。此层即一般典型红土,俗称“红层”;

b. 杂色黏性土:黏土矿物以高岭石和伊利石为主,两者含量接近,含部分针铁矿,一般不含三水铝石,色浅,以黄色为主夹部分红色土,红土化程度很低,俗称“黄层”;

c. 一般残积土:黏土矿物以伊利石、蒙脱石为主,黏粒含量较少的黏性土或砂砾质土。

中国红土主要分布在北纬 32° 以南,即长江流域以南地区。红土一般发育在高原夷平面、台地、丘陵、低山斜坡及洼地,厚度多在 $5\sim 15\text{m}$,有的达到 $20\sim 30\text{m}$ 。

3.2.1.2 红土的基本特征

经强烈化学作用的红土,其物质成分和结构特征与原始岩土体差别很大。由于母岩复杂多样及红土化程度不同,红土的成分复杂且变化范围大,一般是有机质、可溶盐含量较少, ($<1\%$),含较多游离氧化物(多数 $>10\%$),阳离子交换容量较大。红土的粒度成分与母岩关系密切,砂岩、砾岩、花岗岩残积红土的粒度粗,砂砾含量多,黏粒含量较少($20\%\sim 40\%$);碳酸盐类岩、玄武岩残积红土粒度细,黏粒含量多($40\%\sim 80\%$)。

红土的基本特性一般如下:

a. 液限较大,含水较多,饱和度常大于 80% ,土常处于硬塑至可塑状态;

b. 孔隙率变化范围大,一般较大,尤其残积红土孔隙比常超过 0.9 ,甚至达 2.0 。先期固结压力和超固结比很大,除少数软塑状态红土外,均为超固结土,这与游离氧化物胶结有关。一般常具中等偏低的压缩性;

c. 强度变化范围大,一般较高,黏聚力一般 $10\sim 60\text{kPa}$,内摩擦角 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 或更大;

d. 膨胀性极弱,但某些土具有一定收缩性,这与粒度、矿物、胶结物情况有关,某些红土化程度较低的“黄层”收缩性较强,应划入膨胀土范畴;

e. 浸水后强度一般降低。部分含粗粒较多的红土,湿化崩解明显。

综上所述,红土是一种处于饱和状态、孔隙比较大、硬塑和可塑状态为主、中等压缩性、较高强度的黏性土,具有一定收缩性。

3.2.1.3 红土的工程分类

按物质来源不同,有两类红土:一是各种岩石残积物(局部坡积物),经红土化作用而形成的残积红土。另一是非残积成因的堆积物(冲积、洪积、冰积)经红土化作用而形成的网纹红土。残积红土的特性与母岩关系密切,是各类岩石长期风化残积的产物,其中有一类粒度较细,石英含量较少,塑性较强,有一定胀缩性,如碳酸盐岩类、玄武岩类、泥质岩类形成的红黏土,以及经再搬运形成次生红黏土;另一类粒度较粗,石英含量多,塑性较弱,有弱胀缩性,如碎屑沉积岩、花岗岩类形成的含砂砾红土。网纹红土因具有明显的网纹状结构而命名,由于形成年代不同,其工程特性差别较大,中更新世及其以前形成的网纹红土,胶结好,强度高,是最常见的典型网纹红土;晚更新世及其以后形成的网纹红土,胶结弱,红土化程度微弱,其特性与一般土接近,不应属于特殊土。

综合红土的成因、年代、母岩特征等因素,红土的工程分类及其工程特征如表 3.2-1 所示。

红土的工程分类及其工程特性^{[3][4]}

表 3.2-1

类 型	亚 类	成 因	工 程 特 性								主 要 特 征	
			黏 粒 含 量 (%)	液 限 (%)	含 水 量 (%)	孔 隙 比	压 缩 系 数 (MPa ⁻¹)	黏 聚 力 (kPa)	内 摩 擦 角 (°)	胀 缩 性		强 度
I 型 残 积 红 黏 土 类	I _A 红 黏土	碳酸盐岩 形成的典 型红黏土	40~ 80	50~ 110	20~ 75	1.1 ~ 1.7	0.1~ 0.4	40~ 90	8~ 20	弱 ~ 中	低 ~ 中	高液限(ω_L 大于 50), 高 孔隙比(e 大于 1), 中等压缩 性(α_{1-2} 小于 0.3MPa ⁻¹), 具以收缩为主的胀缩性。低 到中等强度(地基承载力特 征值 f_{sk} 为 100~380kPa)
	I _B 玄武 岩残积 红黏土	玄武岩残 积风化红 土化形成	30~ 70	40~ 70	20~ 60	0.9 ~ 1.7	0.3~ 0.6	10~ 70	10~ 25	弱 ~ 中	低 ~ 中	高液限(ω_L 大于 50), 高 孔隙比(e 大于 1), 中等压缩 性(α_{1-2} 平均在 0.4MPa ⁻¹ 左右), 低到中等强度(f_{sk} 为 100~350kPa), 在饱水浸泡 下有显著软化现象。上部 1~2.5m土质松软
	I _C 泥质 岩残积 红黏土	泥质岩风 化残积红 土化形成	30~ 50	35~ 55	20~ 45	0.7 ~ 1.3	0.3~ 0.6	20~ 35	15~ 20	弱 ~ 中	低 ~ 中	高液限(ω_L 大于 50), 中 到高孔隙比(e 小于 0.8 至 大于 1), 中等压缩性(α_{1-2} = 0.2~0.3MPa ⁻¹), 低到中 等强度(f_{sk} = 100~250kPa)
	I _D 次生 红黏土	原生红黏 土再搬运 沉 积	35~ 70	45~ 110	20~ 60	0.8 ~ 1.6	(0.3)	(46)	(18)	弱 ~ 中	低	均具有上述特征, 但程度 稍差(ω_L 大于 45, e 大于 1, α_{1-2} = 0.2~0.3MPa ⁻¹), 颜 色较浅, 且含有少量砂砾, 低 到中等强度(f_{sk} = 100~ 250kPa)
II 型 残 积 含 砂 砾 红 土 类	II _A 花岗 岩残积 含砂 砾红土	花岗岩风 化残积红 土化形成	10~ 50	30~ 60	15~ 40	0.6 ~ 1.1	0.2 ~ 0.5	10~ 40	20~ 35	极 弱 ~ 弱	中	含一定数量的砂砾, 孔隙 比相对较小($e \leq 1$), 黏土成 分、状态、密度是控制土体强 度的决定性因素, 中等压缩 性(α_{1-2} 小于 0.5MPa ⁻¹), 结 构强度较高, 低到中高强度 (f_{sk} = 120~450kPa), 土质不 均匀
	II _B 碎屑 岩残积 含砂 砾红土	碎屑岩风 化残积红 土形成	15~ 35	30~ 45	20~ 35	0.7 ~ 1.0	0.3 ~ 0.5	10~ 50	15~ 30	极 弱 ~ 弱	中	含一定数量的砂砾, 孔 隙比相对较小, ($e < 0.8$, 黏土成分、状态、密度是控制 土体强度的决定性因素, 中 等压缩性(α_{1-2} = 0.2~ 0.4MPa ⁻¹), 低到中等强度 (f_{sk} = 80~300kPa), 结构强 度较低, 土质不均匀, 有的地 区表部 1~2m 的土具湿陷性

续表

类 型	亚 类	成 因	工 程 特 性									主 要 特 征
			黏 粒 含 量 (%)	液 限 (%)	含 水 量 (%)	孔 隙 比	压 缩 系 数 (MPa^{-1})	黏 聚 力 (kPa)	内 摩 擦 角 ($^{\circ}$)	胀 缩 性	强 度	
III 型非残积红土类	III _A 网纹红土	中更新世及以前冲洪积物红土化	20~60	30~55	17~30	0.6~0.9	0.1~0.4	30~70	17~36	极弱~弱	高	中孔隙比($e=0.65\sim0.8$),中等压缩性(α_{1-2} 小于 0.3MPa^{-1}),土质较均匀,结构强度较高,高到中高强度(f_{ak} 为 $150\sim500\text{kPa}$)
	III _B 轻红土化黏性土	晚更新世及以后冲洪积物轻红土化	与原冲洪积物相似									中到高孔隙比($e=0.8$ 至大于 1),中等压缩性($\alpha_{1-2}=0.2\sim0.4\text{MPa}^{-1}$),低到中等强度($f_{ak}=120\sim350\text{kPa}$)

3.2.2 各类红土的工程特性

3.2.2.1 碳酸盐类出露区红黏土

这类红黏土是指覆盖于碳酸盐岩类基岩上经红土化作用形成的棕红、褐黄等色的高塑性黏土,其液限一般大于50%。经再搬运后仍保留红黏土基本特征,液限大于45%的土称为次生红黏土。

红黏土主要分布在中国西南、中南和华东地区,其分布范围可达 108万 km^2 。云贵高原的 $2/3$ 以上地区分布着红黏土。

红黏土的厚度变化与原始地形和下伏基岩面的起伏密切相关。分布在台地和山坡厚度较薄,在山麓厚度较厚;当下伏基岩的溶沟、石芽等较发育时,上覆红黏土的厚度变化相差较大,咫尺之间相差达数米甚至十多米。红黏土的厚度一般在 $5\sim15\text{m}$,最厚达 30m 。

红黏土中裂隙较发育,这是在湿热交替的气候条件下干缩而成的。在地表,裂隙多呈竖向开口龟裂状,往下逐渐闭合成网状,裂隙面光滑。收缩性强的红黏土,在地形突起、向阳、植被少的地段,裂隙密度大,延伸深,一般达 $3\sim4\text{m}$,深者达 6m ,个别地区达 $12\sim14\text{m}$ 。裂隙使土体完整性破坏,降低了土体强度,增大了土体透水性,形成土体的软弱结构面,构成土体稳定不利因素。可根据红黏土裂隙特征进行土体结构分类(表3.2-2)^[1]

红黏土土体结构分类^[1]

表 3.2-2

土 体 结 构	裂隙发育特征	土 体 结 构	裂隙发育特征
致密状结构	偶见裂隙(<1 条/ m)	碎块状结构	富含裂隙(>5 条/ m)
巨块状结构	较多裂隙($1\sim5$ 条/ m)		

原生红黏土在垂直剖面上一般可分为两带:上带以红色为主,间红黄白相间的网纹状红土;下带以黄褐色为主,常夹风化残留物质。

红黏土的透水性较弱,但有大量裂隙存在时,渗透系数达 $i\times10^{-5}\text{cm/s}$ 至 $i\times10^{-1}\text{cm/s}$,在

地势低洼地的上部可见土中水,但水量不大,不具统一水位,多属上层滞水性质,补给来源为大气降水、地表水和岩溶裂隙水。红黏土地区常发育着土洞,应加以注意。

红黏土的物理力学性质见表 3.2-3~3.2-6。

红黏土的物理力学性质指标统计^[21]

表 3.2-3

指 标	统计值	云 南	贵 州	广 西	四 川	湖 北	湖 南	广 东	安 徽
液限(%)	范围值	50~80	40~110	39~92	35~85	38~82	40~80	25~90	40~65
	中 值	63	73	68	58	63	65	55	54
塑限(%)	范围值	28~50	20~50	25~42	20~40	20~45	20~50	17~50	18~30
	中 值	37	35	33	32	30	29	29	24
含水量(%)	范围值	20~55	28~75	30~45	25~60	20~45	27~46	20~50	25~45
	中 值	38	47	39	40	41	35	32	33
孔 隙 比	范围值	0.80~ 1.80	0.80~ 2.00	0.80~ 1.70	0.70~ 1.80	0.70~ 1.80	0.85~ 1.30	0.60~ 1.61	0.70~ 1.70
	中 值	1.30	1.60	1.10	1.10	1.20	1.12	1.00	0.86
饱和度(%)	范围值	50~100	85~100	80~100	80~100	80~100	60~100	94~100	94~100
	中 值	85	95	92	96	94	92	92	98
压缩系数 (MPa ⁻¹)	范围值	0.05~ 1.10	0.10~ 0.60	0.08~ 0.60	0.10~ 0.55	0.10~ 0.30	0.05~ 0.45	0.05~ 0.50	0.10~ 0.40
	中 值	0.24	0.23	0.23	0.22	0.15	0.15	0.22	0.20

次生红黏土与一般红黏土指标对比^[21]

表 3.2-4

土 类	指 标 统计值	液 限 (%)	塑 限 (%)	含 水 量 (%)	孔 隙 比	压缩模量 (MPa)	比例界限 荷载(kPa)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
红 黏 土	范围值	40~110	20~60	20~75	0.70~2.10	7.5~20.0	100~400		
	中 值	63	37	37	1.09	10.0	230	60	16
次生红黏土	范围值	30~110	20~60	20~60	0.60~1.80	5.0~15.0	100~300		
	中 值	52	28	33	0.99	7.5	180	46	18
一般黏性土	范围值	32~54	17~31	19~35	0.65~1.05	4.0~10.0	75~400		
	中 值	41	21	30	0.87	5.0	150		

广西红黏土某些特性及胀缩性指标统计(一般值/平均值)^{[6],[7]}

表 3.2-5

土 层	黏 土 矿 物 含 量	阳离子 交换量 (me/100g)	含 水 量 (%)	孔 隙 比	塑性指数	自由膨胀 率(%)	膨胀压力 (kPa)	50kPa 压力 下的膨胀 率(%)	线 缩 率 (%)
红 色 黏 土 层	伊利石与高 岭石接近		27~42	0.81~1.24	29~45	23~50	7~66	<0.4	0.60~2.80
		14.28	34	1.03	37	34	33	0.12	1.47
黄 色 黏 土 层	伊利石多 于高岭石		33~50	0.97~1.40	29~48	39~82	11~86	<0.5	2.70~9.70
		27.24	41	1.18	37.4	58	44	0.19	6.25

典型膨胀土与红黏土某些指标比较^[21]

表 3.2-6

土 类		<2 μ m 含量(%)	液 限 (%)	塑 性 指 数	含水量 (%)	液 性 指 数	孔隙比	自由膨 胀率(%)	无荷载膨 胀率(%)	膨胀压力 (kPa)	线缩率 (%)
典型膨胀土		25~49	44~72	22~35	18~36	<0	0.56~1.09	53~85	2.5~6.5	40~100	2.1~7.5
红 黏 土	整 体	45~60	59~81	26~37	32~48	<0.55	0.98~1.49	25~69	0.1~0.9	14~31	1.8~8.0
	广 西	50	66	33	32	<0	0.99	32	0.9	31	2.5
	贵 州	52	81	37	48	0.14	1.45	36	0.5	14	8.0
	云 南	60	72	26	43	<0	1.45	25	0.7	20	6.0

红黏土的自由膨胀率 25%~69%,且多小于 40%,其膨胀势较低,无荷载膨胀率均小于 20%,50kPa 压力下膨胀率均小于 0.5%,膨胀压力 10~90kPa,一般小于 30kPa。故红黏土的膨胀性极弱。红黏土液限时的扰动体缩率较大,可达 20%~40%,说明具有中到强收缩势,原状土的线缩率 1%~10%,其中 3%~7%最多,体缩率 5%~28%,其中 7%~15%最多,收缩系数 0.1~0.8,其中 0.2~0.5 最多,可见红黏土具有弱到中收缩性,部分可能具有强收缩性。但在缩后复水,不同的红黏土有明显的不同表现,根据统计分析提出了经验方程 $I_r' \approx 1.4 + 0.0066w_L$ 和 $I_r = w_L/w_p$ 的关系,以此对红黏土进行复水特性划分。 $I_r \geq I_r'$ 划属 I 类者,复水后随着含水量增大而解体,胀缩循环呈现胀势。缩后土样高大于原始高,胀量逐次积累以崩解告终;风干复水,土的分散性、塑性恢复,表现出凝聚与胶溶的可逆性。 $I_r < I_r'$ 划属 II 类者,复水土的含水量增量微,外形完好,胀缩循环呈现缩势,缩量逐次积累,缩后土样高小于原始高;风干复水,干缩后形成的团粒不完全分离,土的分散性、塑性及 I_r 值降低,表现出胶体的不可逆性。这两类红黏土表现出不同的水稳性和工程性能。

3.2.2.2 玄武岩出露区红黏土

玄武岩出露区红黏土分布在广东雷州半岛和海南岛北部(简称琼雷地区)的第四纪中一晚更新世期间多期大面积喷发的橄榄玄武岩区,在热带湿热气候条件下,经强烈的风化作用而形成厚薄不等的风化壳,其表层是经红土化作用的红色黏性土,就是一般所说的玄武岩风化残积红黏土,其分布面积近 5000km²。云南东部、中部分布着二叠纪玄武岩,南方其他地方也零星分布着玄武岩,其表层也形成风化残积红黏土。风化残积红黏土经再搬运后仍保留红土基本特征的红色黏性土,称为次生红黏土。琼雷地区的分布厚度为 2~20m。云南玄武岩分布区风化壳可达 20 余米,但红土层下为红土化较低的棕黄色黏性土。湖南益阳玄武岩风化壳可达 50m,棕红、紫红色残积红黏土层厚 10~30m。

玄武岩残积红黏土的现场特征一般如下:

a. 红土层:棕红、褐红等色,粒细,黏土为主,垂直节理发育,有明显的气孔状构造遗迹或植物根残留大孔隙或蚂蚁孔洞(主要在地表 1~2m 内),厚度 1~16m。由于成分或风化程度较浅等原因,有的地区可见灰黄、灰褐或灰绿等色的粉质黏土层,含少量砂砾和岩石碎块,土质不均,手感粗糙,不应属于风化残积红土范畴,属一般残积土,一般厚度小于 10m。

b. 铁铝结核层:由褐、黑褐色的豆状或肾状褐铁矿结核等构成,成夹层状或透镜体夹在红土层中间,厚度常小于 1m。

c. 风化岩层:灰黄至褐红色,上部为碎屑和岩块夹红色土,向下为球状风化岩体,逐渐向灰褐色玄武岩过渡。厚度 0.5~10m 不等。

玄武岩出露区的残积红黏土粒度很细,黏粒含量较多,一般 30%~70%,多于砂砾粒含量。但团聚结构明显,团粒很多,具有明显的“假粉性”,外观似粉质土。矿物成分以高岭石类和针铁矿、三水铝石为主,其次为石英和赤铁矿,有少量伊利石。硅的含量较少,有部分淋失。铁、铝含量较多,大量富集。

玄武岩残积红黏土的物理力学性质指标统计见表 3.2-7、表 3.2-8。

玄武岩区红黏土的物理力学性质指标统计^{[11]、[12]、[13]、[18]}

表 3.2-7

地 区	统计值	液 限 (%)	塑性指数	含水量 (%)	液性指数	孔 隙 比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
雷州半岛	一般值	37~72	14~30	16~53		0.84~2.00	0.25~0.65	14~68	16~42
	平均值	55	20	34	0	1.36	0.34	39	34
海南北部	一般值	33~64	13~26	20~58		0.70~1.60	0.30~0.60	10~47	9~29
	平均值	57	19	31	<0	1.24	0.43	31	19
湖南益阳	一般值	58~70	19~37	39~65	0.21~1.00	1.16~1.96	0.11~1.00	41~89	9~31
	平均值			51		1.45	0.36		
云 原生	一般值	55~80	8~22	37~53	<0.63	1.44~2.10	0.21~0.40	57~65	16~22
南 次生	一般值	55~87	9~25	37~53	<0.33	1.24~1.70	0.21~0.47	35~80	24~27

雷州半岛玄武岩出露区残积土土性指标平均值

表 3.2-8

地 点	统计数	土 类	液 限 (%)	塑 性 指 数	含水量 (%)	液 性 指 数	孔 隙 比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)	黏 聚 力 (kPa)	内摩擦角 (°)
调 丰	46	红色土	76.5	35.7	46.3	0.15	1.45	0.51	5.8	46	16.7
		灰色土	66.0	27.7	55.0	0.63	1.68	0.53	5.3	44	18.6

注:根据詹松总结的资料

玄武岩出露区红黏土透水性弱,不具湿陷性,具有弱到中等收缩性,但抗水性差,水浸泡后力学强度急剧降低。无膨胀性。但孔隙比很大,收缩指数平均达 30%。

3.2.2.3 花岗岩出露区红土

花岗岩广泛分布于中国南方各地,约占赣、湘、桂、浙、闽、粤、琼诸省面积的 1/6,滇、皖也有少量分布。南方花岗岩以燕山期中一粗粒黑云母花岗岩为主,也有部分中一细二长花岗岩和花岗闪长岩,在热带、亚热带湿热气候条件下,遭受了长期而强烈的风化作用,形成巨厚的红色风化壳表层,称为花岗岩残积红土,主要形成于上更新世至晚更新世期间,尤以中更新世的作用最为强烈,全新世以来直至目前仍继续进行着红土化作用。残积红土主要分布于丘陵和台地区,一般厚 2~20m,尤以广东沿海厚度最大。

花岗岩区红土的现场特征一般为砖红、棕红、紫红等色的均质红土和网纹状红土。红土中含有较多粗粒,当砾粒含量大于 20% 时称砾质黏性土,当砾粒含量小于 20% 时称砂质黏性土,不含砾粒时称黏性土。

残积红土的宏观结构以团块状和斑状结构为主,裂隙较少,无分选性,层理不清,微观结构以凝块状和团粒状结构为主;黏土矿物以高岭石为主,亲水矿物较少。

花岗岩残积红土工程性质见表 3.2-9、表 3.2-10。

花岗岩残积红土颗粒组成(一般值)
平均值

表 3.2-9

地 区	统 计 数	>2mm(%)	2~0.5mm(%)	0.05~0.005mm (%)	<0.005mm(%)
云 南	55	1~3	30~40	10~30	25~35
江 西	7	<5	40~49	28~36	12~48
			44	30	26
福 建	151	2~25	25~67	12~38	10~45
		8	41	28	23
广 东	227	14~25	14~54	7~33	8~26
		23	35	23	19
海 南	666	6~48	35~50	10~30	12~38
		30	30	17	23

花岗岩残积红土的物理力学性质(一般值)
平均值

表 3.2-10

地 区	统计数	液 限 (%)	塑 性 指 数	含水量 (%)	含水比	孔隙比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	黏 聚 力 (MPa)	内摩擦角 (°)
云 南	72	35~60	20~35	—	—	0.60~1.10	0.12~0.49	10~40	17~30
江 西	20	33~61	13~32	19~50	—	0.61~1.15	0.10~0.55	10~70	15~37
		45	18	28	0.63	0.83	0.29	36	24
福 建	259	36~60	12~25	20~40	—	0.67~1.09	0.27~0.57	10~50	19~34
		46	16	30	0.65	0.93	0.37	27	27
广 东	368	34~55	8~24	17~40	—	0.60~1.10	0.20~0.50	10~40	25~37
		43	15	28	0.63	0.83	0.39	25	32
海 南	2022	29~50	9~24	15~29	—	0.51~1.08	0.12~0.68	10~50	20~35
		36	13	26	0.72	0.76	0.24	24	26

注:表 3.2-9、表 3.2-10 为吉林大学王清等人总结的资料。

花岗岩残积红土粗粒含量较多,黏粒较少,含较多胶结物,亲水性弱。是一种含水较少,孔隙较多,中等压缩性,较高强度,不具膨胀性,弱收缩性的红土。

3.2.2.4 红层出露区红土

在中国南方浙、赣、闽、粤、桂等地,零星分布着白垩纪到下第三纪中生代红层,受构造体系控制,形成一系列沿北东方向为主的串珠状断陷盆地,沉积物是以湖相、河流相、滨海相为主的陆相红色碎屑岩建造,产状平缓,倾角 10°~25°,岩相受局部沉积环境影响,变化很大,岩性有砾岩和砂砾岩,砂岩,粉砂岩和黏土岩等,胶结物包括硅质、钙质、泥质等,混杂着游离的红色氧化铁。红层形成以后,尤其是第四纪更新世期间,遭受了强烈的化学风化作用(包括红土化作用),形成厚度变化大,粒度各异,性质多样的残积红土。江西红土厚度 1~10m,广州红土一般厚 1~15m,个别可达 20m。

红层出露区红土的颗粒组成变化幅度很大,随母岩不同差别明显,表 3.2-11 是广州红

层残积红土(不同类型母岩形成)的颗粒组成统计。

广州红层残积红土的颗粒组成统计(平均值)^[15]

表 3.2-11

母 岩	统计数	砾粒(>2mm) (%)	砂粒(2~0.05mm) (%)	粉粒(0.05~0.005mm) (%)	黏粒(<0.005mm) (%)
泥岩、粉砂岩	37	3.6	18.4	38.0	40.0
砂 岩	48	4.2	46.8	27.8	21.2
砾岩、砂砾岩	35	7.7	36.9	22.4	23.0

除石英颗粒及部分岩屑外,红层大部分物质已完全风化成红土,表层裂隙较密集,破坏土体的完整性,地下水位以上红土以硬塑和可塑状态为主,地下水位以下的部分红土或残积土可能有 1~2m 处于软塑状态。

红层区红土的物理力学性质指标见表 3.2-12 所示。

红层区红土的物理力学性质指标(平均值)^{[15][17]}

表 3.2-12

地 区	母 岩	稠 度 状 态	液 限 (%)	塑 性 指 数	液 性 指 数	含水量 (%)	孔隙比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
广 州	泥岩、 粉砂岩	硬 塑	36.3	14.4	0.14	21.3	0.69	0.22	44	18.2
		可 塑	36.3	14.4	0.50	25.6	0.83	0.35	36	14.8
	砂 岩	硬 塑	28.3	10.4	0.21	20.1	0.48	0.26	48	26.4
		可 塑	28.3	10.4	0.48	22.7	0.65	0.29	28	23.0
	砂砾岩	硬 塑	34.8	13.0	0	23.9	0.69	0.36	34	23.3
		可 塑	34.8	13.0	0.29	28.9	0.77	0.56	24	20.5
湖 南	泥岩、 页 岩	坚 硬	50.1	16.8	<0	31.6	0.95	0.21	—	—
		硬 塑	50.7	17.0	0.15	36.3	1.11	0.33	27	20.4
		可 塑	54.8	19.3	0.53	45.8	1.36	0.34	28	17.0
		软 塑	51.7	17.3	1.14	54.1	1.55	0.48	23	15.8
江 西	泥岩、 页 岩	硬塑~ 可 塑	44.0	18.0	0.39	24.8	0.78	0.21	59	21.1

砂岩、砾岩形成的红土颗粒粗,塑性低,孔隙比小,内摩擦角较大、无胀缩性,但可能有湿化性。泥岩、粉砂岩形成的红土颗粒细,黏粒多,塑性高,内摩擦角小,强度低,压缩性较高,有些可能具弱到中等胀缩性。

3.2.2.5 中更新世网纹红土

网纹红土是第四纪沉积物在高温、湿润气候条件下,受特殊的地球化学改造作用(红土化作用)而形成的,具有红、白、黄色相间的网纹状结构的红色黏性土。

网纹红土主要分布于湘、赣、鄂南、皖南长江流域中游地区,主要形成于中更新世,其地层在湖南相当于白沙井组,在江西为进贤组,浙、闽、粤等地局部河流沿岸也有零星分布。河冲积相网纹红土与其下伏砂砾石层组成双层构造,一般沿河流高阶地分布,厚度 6~15m,常形成红土缓丘或比高数米的小波状平原,在洞庭湖区局部因新构造运动下降而处于埋藏状

态。某些坡积、洪积相网纹红土混杂砾石,分布于山麓地带。某些洼地可能有局部再搬运次生红土分布。

网纹状红土现场特征一般为网纹红土中的红色部分含铁较多,构成土的骨架,白色部分含铁少含硅多,呈蠕虫状或网格状分布于红色土体中,黄色部分是过渡物质,成分处于红、白之间。网纹的形成有种种说法,一般认为由于干湿交替,土层受局部氧化和还原交替影响。

网纹红土土质坚实致密,抗水能力强,浅层常有风化裂隙,数量多,方向乱,不连续,多为铁锰胶结,深层有时有平直密闭的裂隙,一般不影响强度。在垂直剖面上,自上而下红土化程度一般由强转弱,红色减少,黄、白色增多,大致可分为红层、红白层、黄白层、黄层。这种变化是逐渐过渡的,界限不清晰。颗粒组成反映河流沉积的特点,上部为黏土,黏粒含量30%~60%,塑性指数17~25,下部为粉质黏土,黏粒含量20%~30%,塑性指数10~17。近砂砾层处粒度变粗,塑性低。网纹红土的物理力学性质见表3.2-13^[17]

网纹红土一般物理力学性质指标统计(一般值/平均值)

表 3.2-13

地 区		统计 值	液 限 (%)	塑 性 指 数	含水量 (%)	含 水 比	液 性 指 数	孔 隙 比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
湖 南 各 地	坚硬层	223	33~57	11~27	18~28	0.43~0.63	—	0.6~0.9	0.02~0.32	22~129	17~42
			45	19	23	0.53	<0	0.75	0.17	76	30
	硬塑层	183	29~51	10~24	19~29	—	—	0.57~0.87	0.03~0.29	15~113	18~34
			40	18	24	0.60	0.12	0.72	0.16	64	26
	可塑层	156	24~42	6~21	21~32	—	—	0.60~0.90	0.10~0.42	18~60	20~32
			33	14	26	0.79	0.48	0.75	0.26	39	26
江西鄱阳湖		55	23~56	8~22	15~39	0.45~0.79	<0.59	0.54~0.97	0.07~0.46	12~150	16~35
			40	17	23	0.59	0.1	0.70	0.16	62	25
湖 北 蒲 圻			31~56	18~34	20~36	—	—	—	—	—	—
									0.11	34	25

注:王清等总结的资料。

3.2.3 红土的岩土工程勘察要点^[1]

由于母岩复杂多样及红土化程度不同,作为特殊性土的红土,一般具有软硬变化大,裂隙较发育,均匀性差别大的某些特点,对红土进行岩土工程勘察,除按一般黏性土的要求外,应特别注意掌握红土的成因类型、分布、厚度、状态、胀缩性及土体结构等方面在水平和垂直方向的变化规律,着重了解不同地貌单元和地形部位上土体特性的差异和基岩起伏特点,注意土洞和岩溶的发育特征。按其成因、湿度状态、土体结构特征、水理性质不同,划分不同的土质单元,每一土质单元采用各自的指标进行岩土工程评价,充分注意其不均匀性的特点。

对南方碳酸盐类出露区的红黏土的研究较详细,岩土工程勘察规范^[1]对其勘察要点作了较详细的规定,本节勘察要点只阐述红黏土地区的规定,其他红土地区可参考红黏土的规定,结合具体情况,按残积土或一般黏性土的规定确定。

3.2.3.1 工程地质测绘与调查

红黏土地区的工程地质测绘与调查的内容和要求可根据工程要求与勘察场地的需要,针对需要勘察的主要岩土工程问题,有目的地开展工作,一般应着重查明下列内容:

①不同地貌单元的红黏土和次生红黏土的分布、厚度、物质组成、土性、主体结构等特征及其差异;②下伏岩层的岩性、岩溶发育特征、及其与红黏土土性、厚度变化的关系;③查明地裂分布、发育特征及其成因,划分土体结构特征,调查土中裂隙的密度、深度、延伸方向及规律;④地表水体、地下水的分布、动态及其与红黏土状态垂直分带的关系;⑤现有建筑物的使用情况,地基处理情况,勘察、设计及施工经验。

3.2.3.2 勘探工作

勘察点的布置应取较密的间距,查明红黏土厚度和状态的变化。初步勘察勘探点间距应取 30~50m;详细勘察勘探点对全部由红黏土组成的均匀地基宜取 12~24m,对由红黏土和岩石组成的不均匀地基宜取 6~12m。厚度和状态变化大的地段,勘探点间距还可加密。

各阶段勘察孔的深度可按一般土的有关规定执行,初步勘察勘探孔深度宜大于 15m 或达基岩面;详细勘察勘探孔深度应满足变形验算的要求,对不均匀地基应达到基岩面。

不均匀地基,有土洞发育或采用岩面端承桩时,宜进行施工勘察,勘探点间距和勘探孔深度根据需要确定。

3.2.3.3 取试样和测试工作

为评价红黏土,应采取相应的原位测试和取试样,并做室内试验工作,原则上与一般土的规定相同。对裂隙较发育的红黏土应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验。为评价其收缩性及其影响,可进行收缩试验和复浸水试验。当需要评价边坡稳定性时,宜进行重复剪切试验。

3.2.3.4 施工检验与监测工作

a. 对于不均匀地基应进行基坑检验,对导致地基不均匀的各种情况进行检验鉴定。

b. 地基基础设计等级为甲级的建筑物,或不均匀地基上的设计等级为乙级为的建筑物应进行建筑物变形观测。

c. 对边坡工程,应进行土的湿度状态的季节变化和裂隙观测,以了解边坡稳定性的变化情况,预测其影响。

d. 当岩土工程评价需要详细了解地下水埋藏条件、运动规律和季节性变化时,应在测绘调查的基础上补充进行地下水的勘察、试验和观测工作。

3.2.4 红土的岩土工程评价

3.2.4.1 地基承载力及变形特征

对甲级岩土工程勘察,宜提供载荷试验资料,确定红土的强度和变形指标,根据当地经验,选用有关测试手段,综合确定地基承载力特征值,并需进行变形验算;其他等级岩土工程勘察可用其他原位测试、公式计算,并结合工程实践、经验等方法综合确定,注意岩土的不均匀性。

(1) 碳酸盐岩类地区红黏土

a. 根据南方的地区经验,利用物性指标确定地基承载力特征值^[20](见表 3.2-14)。

红黏土的承载力特征值 f_{ak} (kPa)

表 3.2-14

第一指标含水比 $\alpha_w = w/w_L$			0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
土 的 名 称								
红 黏 土	第二指标液限比 $I_r = w_L/w_p$	≤ 1.7	380	270	210	180	150	140
		≥ 2.3	280	200	160	130	110	100
次 生 红 黏 土			250	190	150	130	110	100

b. 根据贵州地区的经验,利用静力触探比贯入阻力 p_s 确定地基承载力特征值和压缩模量如表 3.2-15^[21]。

c. 基础和埋深的承载力修正系数如表 3.2-16 所示。

比贯入阻力确定红黏土地基承载力、压缩模量关系

表 3.2-15

状 态	含 水 比 $\alpha_w = w/w_L$	比 贯 入 阻 力 p_s (kPa)	地 基 承 载 力 特 征 值 f_{ak} (kPa)	压 缩 模 量 E_s (MPa)
坚 硬	< 0.55	> 2300	> 300	> 20.0
硬 塑	$0.55 \sim 0.70$	$1300 \sim 2300$	$200 \sim 300$	$9.0 \sim 20.0$
可 塑	$0.70 \sim 0.85$	$700 \sim 1300$	$150 \sim 200$	$5.2 \sim 9.0$
软 塑	$0.85 \sim 1.00$	$200 \sim 700$	$110 \sim 150$	$2.1 \sim 5.2$
流 塑	> 1.00	< 200	< 110	< 2.1

红黏土的承载力修正系数

表 3.2-16

土 的 类 别	η_b	η_d
含水比 $\alpha_w > 0.8$	0	1.2
含水比 $\alpha_w \leq 0.8$	0.15	1.4

d. 红黏土一般上硬下软,裂隙较发育,在垂直方向含水状态和从水平方向厚度变化大,基岩面上土层特别软弱。从充分利用硬层的观点上看,基础宜尽量浅埋;从避免地面不利因素影响而言,又必须深于大气影响急剧层的深度。评价时应充分权衡利弊,提出适当的建议。要考虑地基不均匀沉降及下卧层承载力,不能满足要求时,应建议进行地基处理或采用桩基础。

(2) 玄武岩类地区红土

a. 根据云南资料统计^[12],红黏土地基承载力和压缩模量与静力触探比贯入阻力有密切的关系,据此编制出云南地区红黏土地基承载力和压缩模量关系表,可作参考。(表 3.2-17)。

b. 综合分析云南、湖南益阳、琼雷地区资料^{[10]、[11]、[12]、[18]},玄武岩区红土的地基承载力特征值如表 3.2-18。

云南玄武岩区红黏土地基承载力特征值和压缩模量

表 3.2-17

比贯入阻力 p_s (kPa)	1000	2000	3000	4000	5000
地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)	130	220	266	337	378
压缩模量 E_s (MPa)	3000	6000	9000	12000	15000

玄武岩区红黏土地基承载力特征值 f_{sk} (kPa) 表 3.2-18

地 区	载荷试验	旁压试验	标准贯入击数 N			
	比例界限(kPa)	比例界限(kPa)	5	10	15	20
云 南	120~250	140~190				
湖南益阳	450~600					
琼崖地区			120	160	200	240

c. 玄武岩区红土的强度和压缩模量较高,主要为岩相变化较大,风化层厚薄不均,易引起建筑物的不均匀沉降,应加以注意。

(3) 花岗岩类地区红土

a. 综合有关资料,根据各地区经验,闽、粤等地按红土的状态、标准贯入试验击数、静力触探比贯入阻力确定地基承载力特征值的经验数值如表 3.2-19、表 3.2-20、表 3.2-21。

闽粤地区花岗岩残积红土
地基承载力特征值 f_{sk} (kPa) 表 3.2-19

稠度状态	可 塑 ($I_L = 0.25 \sim 0.75$)	硬 塑 ($I_L < 0.25$)
密实状态		
密实 ($e < 0.8$)	250~300	300~400
一般 ($e = 0.8 \sim 1.0$)	200~250	250~300
疏松 ($e > 1.0$)	150~200	200~300

闽粤地区花岗岩残积红土
地基承载力特征值 f_{sk} (kPa) 表 3.2-20

标准贯入 击数 N	5~10	10~15	15~20	20~25
承载力特 征值 f_{sk}	120~200	200~250	250~300	300~350

注: 1. N 为校正后的值;

2. 对于砾质黏性土可提高 50kPa。

深圳地区花岗岩残积红土地基承载力特征值 表 3.2-21

比贯入阻力 p_s (MPa)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
承载力特征值 f_{sk}	160	200	260	300	330	350	370

注: 表 3.2-19~表 3.2-21 由王清等总结的资料。

b. 残积红土室内试验所得压缩模量 E_s 与载荷试验所得变形模量 E_0 的关系复杂, E_0/E_s 值可达 1.8~2.8 倍, 计算地基变形宜用变形模量。

(4) 红层类地区红土

广州地区红层残积红土的地基承载力特征值的经验值如表 3.2-22、3.2-23。

红层残积红土地基承载力特征值 f_{sk} (kPa) [18] 表 3.2-22

母 岩	可 塑 状 态		硬 塑 状 态	
	标准贯入数 N	承载力特征值	标准贯入数 N	承载力特征值
砂 砾 岩	10~15	200~250	15~30	250~350
砂 岩	10~20	200~300	20~35	300~400
泥岩、粉砂岩	8~16	180~260	16~33	260~330

(5) 中更新世网纹状红土

综合湖南、江西等地有关资料,中更新世网纹红土的地基承载力特征值的经验值如表 3.2-24、表 3.2-25、表 3.2-26。

红层残积红土地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

表 3.2-23

标准贯入数 N	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	标准贯入数 N	承载力特征值 f_{ak} (kPa)
10	250~300	25	650~750
15	300~500	30	750~800
20	500~650		

网纹红土地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

表 3.2-24

地 区 \ 状 态	软 塑	可 塑	硬 塑
湖 南	300~400	500~600	800~1000
江 西	250~350	300~500	400~600

网纹红土地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)^[19]

表 3.2-25

松 密 状 态 \ 稠 度 状 态	软塑 ($I_L > 0.75$)	可塑 ($I_L > 0.25 \sim 0.75$)	硬塑 ($I_L < 0.25$)
密实 ($e < 0.8$)	150~200	200~250	250~350
一般 ($e = 0.8 \sim 1.0$)	100~150	150~200	200~250
疏松 ($e > 0.8$)	100~120	120~150	150~200

网纹红土地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

表 3.2-26

比贯入阻力 p_s (kPa)	2000	3000	4000	5000	6000	7000
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	250~300	300~450	450~600	600~750	750~850	850~1000

注：表 3.2-24~表 3.2-26 由王清等总结的资料。

3.2.4.2 红土的胀缩性和裂隙性

对红土,尤其是亲水性强的红土,人工边坡稳定性评价时,土的计算参数应考虑开挖坡面土体干缩导致裂隙发展及复浸水使土质产生变化的不良影响。对土工构筑物应考虑基底土不均匀收缩变形的影响。低层建筑物基础埋置深度应大于当地大气影响急剧层的深度。开挖明渠,应考虑土体干湿循环以及在有石芽出露的地段,由于土的收缩形成通道,导致地表水下渗冲蚀形成地面变形的可能性。

当地基土的膨胀收缩变形量超过容许值,或建筑物的挖方地段,应采取防护措施,及时维护。防止土的收缩,宜取保温保湿为主的处理准则,如适当加大基础埋深,于基底铺设保温材料,作好室外排水,适量加宽建筑物四周散水坡,清除距建筑物过近的吸水量大的阔叶树,种植草,铺设盖层等;

裂隙与水的共同作用,将导致边坡土体散落、崩塌、滑动、塑流等病害的发生,软化土层,降低强度,促进土洞的发生发展和地面塌陷。要避免建筑物跨越裂隙发育带;控制裂隙发生和发展应采取一定的防护措施,如种植草皮、浆砌片石护坡、设置支挡或分级放坡等;

3.2.4.3 红土用作填筑材料

红黏土经适当处理后,可用作填筑堤坝的材料。最优含水量一般的等于塑限,但红黏土天然含水量较大,气候湿热,压实土很难达到较大干密度,故当使用红黏土筑路(坝)或作为压实填土地基时,主料应先减水,其最优含水量和干密度按工程要求,由不同动能的击实试验确定。当气候条件难以控制含水量时,干密度可按式 $\rho_d = \frac{1}{0.37 + \omega}$ 预估,其中干密度用 t/m^3 , ω 填筑土料平均含水量(以小数计)。

当含水量 $\omega = 30\% \sim 40\%$ 时, $\rho_d = 1.3 \sim 1.5 t/m^3$, 土料强度可满足填土要求。施工填筑压实度不宜小于 0.97, 宜选择重型的碾压机具, 填筑土体应覆盖保护, 切忌表面失水龟裂。

花岗岩残积红土是良好的填筑材料, 最优含水量稍低于塑限, 土料本身常具有稳固的团聚状结构, 土料压实性能较差, 在施工中企图以增加压实功来增大干密度是极为困难的。所以, 施工中碾压一定遍数后, 达到一定的压实密度, 满足工程要求, 较为经济合理, 不必追求较高的密度。根据云南的经验^[9], 土料的塑限 19%~40%, 最优含水率 16%~35%, 干密度可达 $1.46 \sim 1.65 g/cm^3$, 其强度和渗透系数均达到中型水利工程的要求。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范 GB 50021—2001. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- 2 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 GBJ 50007—2002. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- 3 林宗元. 试论红土的工程分类. 岩土工程学报, 1989(1)
- 4 唐大雄. 我国南方红土的工程地质特性. 见: 第三届工程勘察会论文选集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 5 黎青宁. 红土问题—红土工程地质研究座谈会述评. 水文地质工程地质, 1986(6)
- 6 彭达天. 广西碳酸盐岩混合型红土的某些特征. 见: 第三届工程勘察会论文选集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 7 彭达天. 广西膨胀土和膨胀土地基. 见: 全国首届膨胀土研讨会论文集. 峨眉: 西南交通大学出版社, 1990
- 8 孙重初. 酸液对红黏土物理力学性质的影响. 岩土工程学报, 1989(4)
- 9 云南水利勘测设计院. 云南筑坝土料的特征. 昆明: 云南水利勘测设计院, 1974
- 10 劳国利. 海南岛土类分布概况及物理力学特性. 岩土力学, 1988(12)
- 11 成谷雨. 益阳玄武岩出露区红黏土的工程地质特征. 岩土工程学报, 1989(4)
- 12 王云鹏. 云南玄武岩风化红土地基承载力的探讨. 工程勘察, 1992(1)
- 13 林宗元等. 玄武岩风化土的工程地质评价. 见: 全国首届工程地质学会论文选集. 北京: 科学出版社, 1983
- 14 陈淦. 福建红土工程地质特征的初步探讨. 工程勘察, 1984(3)
- 15 杨培星. 试论广州市区红色岩系风化土的容许承载力. 广东地质科技, 1983(1)
- 16 向春尧. 网纹红土的工程地质特征和地基评价. 水文地质工程地质, 1985(3)
- 17 王清等. 鄱阳湖地区网纹红土的工程地质特征. 江西地质科技, 1991(4)
- 18 唐大雄等. 全国第二届红土研讨会论文集. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992
- 19 吕泽峰. 广州红层工程地质特性的初步探讨. 广东地质科技, 1983(1)
- 20 广东省标准. 建筑地基基础设计规程 (DB G15—3—91) 广州: 1991
- 21 贵州省建筑设计院. 贵州地区红黏土地基胀缩性调查报告. 贵州建筑, 1980(3)