桂林红土的工程地质性质及其主要工程地质问题

韦复才
(中国地质科学院 岩溶地质研究所,广西 桂林 541004)

摘要:在收集已有资料的基础上,通过野外调查和土工样品采集测试分析,结果表明:桂林红土主要由石英砂粒及高岭石、伊利石、绿泥石等次生粘土矿物组成,其体积分数为40%~75%;铁铝氧化物高度富集,一般$w(Al_2O_3)$为15.3%~25.9%,$w(Fe_2O_3)$为6.4%~11.2%。土中粘粒体积分数大都在50%以上;土的天然含水量、液限含水量、孔隙比及饱和度通常比较高,分别达26%~40%、42%~70%、0.8~1.1和90%~100%;抗剪强度较大,内聚力为40~85 kPa,内摩擦角为15°~30°;压缩系数和渗透系数一般较小,多小于0.3 MPa^{-1}和1.5×10^{-6}~5.0×10^{-8}cm/s。桂林红土的主要工程地质问题是在基岩面附近,尤其是溶沟溶槽中多有软土分布,并常常导致土洞和地面塌陷的发生。桂林红土的这些工程地质特征主要由其特殊的成土环境条件所决定。

关键词:桂林红土;物质组成;物理力学性质;工程地质问题
中图分类号:P642.132 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-5888(2005)06-0775-07

Engineering Geological Properties and Problems of Guilin Laterite

WEI Fu-cai
(*Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geology Sciences, Guilin* 541004, *China*)

Abstract: Depending on the field investigation, the tested results of soil samples and the previous data, the engineering geological characteristics of Guilin laterite were studied systematically. The minerals of the laterite mainly include Quartz sand and clay minerals (with a content of 40%~75%) such as kaolinite, illite and chlorite, and a few montmorillonite and vermiculite, etc. In the laterite, iron and aluminum oxides are rich with the content of Al_2O_3=15.3%~25.9% and Fe_2O_3= 6.4%~11.2%, and the content of clay grain is usually more than 50%; the water content, the liquid limit, the void ratio and the saturability are high, i.e., w=26%~40%, w_L=42%~70%, e=0.8~1.1, S_r=90%~100%; the shearing strength is large(c=40~85 kPa, Φ=15°~30°); the compressibility and the permeability coefficients are small with the value of 0.3 MPa^{-1} and 1.5×10^{-6}~5.0×10^{-8} cm/s respectively. There are many engineering geological problems of Guilin laterite, such as a great quantity of earth caves in the laterite, a lot of soft soil developed in lapie of carbonate rock surface and that the thickness of soil layer varied within a little range. The collapse of land surface were often taken place by the earth caves and the soft soil. All engineering characteristics of Guilin laterite were completely depended on the forming environment of the laterite.

Key words: Guilin laterite; material compositions; engineering geological properties; engineering ge-

收稿日期:2005-06-06
基金项目:国土资源部百名优秀青年科技人才计划项目(国土资源国科[2002]70号)
作者简介:韦复才(1954-),男,壮族,广西上林人,高级工程师,主要从事岩溶工程地质研究工作,Tel:0773-5812949,E-mail:carso@163.com。

万方数据

ological problems

0 引 言

红土主要分布在北纬30°与南纬30°之间的热带、亚热带地区[1~3]。第四纪特别是中晚更新世以来桂林雨量丰富,气候湿润炎热[4,5],因此红土十分发育。广泛分布于峰林和孤峰平原之上的红土,无论是现在或将来,都是桂林城市建筑赖以发展的主要场所。对于桂林红土,前人研究多偏重于成因和时代及岩溶塌陷方面[6~9],从土的物质组成上综合研究不同成因红土的工程地质性质及其工程地质问题较少。本文在收集已有资料的基础上,通过野外调查并采集相应的土样进行矿物化学成分、微观结构分析鉴定和土工常规测试,以探讨桂林红土的工程地质性质及其主要工程地质问题。

1 红土的粒度组成及矿物化学成分

与其它红土成因[2]一样,桂林红土主要由形成于更新世并经后期湿热化作用改造过的残积、坡残积和冲洪积、坡洪积组成,岩性以棕红色、桔红、褐黄色粘土、亚粘土为主,含铁锰质结核,厚度一般为1~25 m。冲洪积红土厚度较大,一般大于10 m,下部含较多的卵砾石,但在剖面上层次很不稳定,卵砾石也大多严重风化;残积、坡残积厚度较小,为1~12 m,含少量角砾,局部地段残积层还见有石炭系硅质、泥质岩残余构造;坡洪积除含少量角砾外,还含少量磨圆度较差的卵砾石。综观不同成因的桂林红土,都具有自上而下颜色由深变浅、土质由硬变软、裂隙和铁锰结核由多变少的特点。

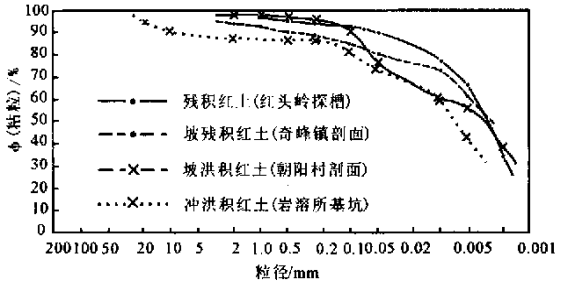

图1 桂林红土颗粒级配曲线

Fig. 1 Grain-size distribution of Guilin laterites

据近230组颗粒测试分析资料统计,残积、坡残积和洪坡积红土的粘粒体积分数均较高,平均一般为52.9%~61.5%,最高者可达85%,而冲洪积红土则相对较低(图1)。剖面上,上部坚硬、硬塑状红土其粘粒体积分数较下部可塑、软塑状红土的要高,这种特征尤其是在坡残积和冲洪积红土中更为明显。

通过对不同成因、不同层位土层系统采样并进行差热、X衍射和扫描电镜鉴定,桂林红土除含较多的原生石英颗粒外,还含约40%~75%的片状、鳞片状、板条状高岭石、伊利石、绿泥石、针铁矿、滑石、蒙脱石、蛭石及混层粘土矿物(表1)。其中奇峰镇等地坡残积红土高岭石、伊利石体积分数分别可达44%~62%和27%~55%,蒙脱石约10%,蛭石则主要见于坡残积和冲洪积红土中。粘土矿物颗粒细小,大多在1 μm以下,粒间常有氧化铁淀积,致使偏光镜下粘土矿物表面光性减弱,颜色变暗。电子显微镜下发现由于它们的胶结作用,土粒集合体结构多呈现团粒状、蜂窝状。其中的蒙脱石、混层矿物与现代海洋沉积物中的伊蒙混层矿物类似[10],多为片状、絮状。

表1 桂林红土粘土矿物成分鉴定成果表

Table 1 Clay minerals of Guilin laterites

成因类型	矿物成分	矿物形态
冲洪积	高岭石、伊利石、蛭石、针铁矿(水针铁矿)、蒙脱石	高岭石为棱角或圆片状;蛭石为片状或板条状
残积	高岭石、伊利石、绿泥石、蒙脱石、混层矿物、针铁矿、滑石、方解石等	高岭石为自形或他形,0.5 μm左右;伊利石为薄片状或板状,厚0.1~1.5 μm
坡残积	高岭石、伊利石、蛭石、绿泥石、滑石、蒙脱石、混层矿物	高岭石为自形或他形,0.5~0.8 μm,伊利石为片状、板条状;绿泥石为薄片状
坡洪积	高岭石、伊利石、绿泥石、滑石、石英、长石、方解石、白云石	高岭石为自形或他形,0.5~0.8 μm;伊利石为片状、板条状;绿泥石为薄片状

桂林红土的化学组成如表2所示。其化学组成具有如下的特点:一是倍半氧化物(R_2O_3)质量分数较高,一般可达25%~35%,碱土金属则很低,通常小于5%;二是可溶盐含量普遍低,土中一价阴离子

万方数据

含量一般小于 1%；三是随着土层埋深加大，二氧化硅质量分数增高，三氧化铁、三氧化铝减少（图 2），反映出湿热化作用强度具有随深度而减弱的趋势。

表 2　桂林红土化学成分表

Table 2　Chemical compositions of Guilin laterites

w_B/%

成　因	残积	坡残积	冲洪积	坡洪积
SiO_2	79.8～63.2	43.1～38.4	58.6～65.8	51.5～65.7
Al_2O_3	7.4～15.3	25.9～29.0	15.5～19.5	15.6～23.3
Fe_2O_3	4.7～6.4	11.2～15.7	6.10～9.60	8.30～10.1
FeO	0.05～0.82	0.05～0.38	0.05～0.27	0.08～0.64
CaO	0.10～1.18	0.03～0.79	0.10～0.38	0.11～0.48
成　因	残积	坡残积	冲洪积	坡洪积
MgO	0.42～1.82	0.27～1.24	0.12～0.42	0.58～0.74
K_2O	0.57～3.31	1.55～2.57	1.20～1.71	1.93～2.19
Na_2O	0.05～0.10	0.11～0.15	0.09～0.12	0.12～0.14
TiO_2	0.38～0.68	1.33～1.50	1.12～1.39	0.91～1.35
MnO	0.006～0.25	0.02～0.48	0.008～0.02	0.028～0.41

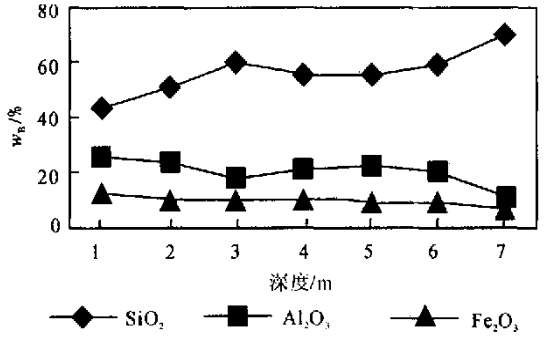

图 2　SiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3 质量分数随深度变化图

Fig. 2　Variation of SiO_2, Fe_2O_3 and Al_2O_3 with depth in Guilin laterite

2　红土的工程地质性质

2.1　物理力学性质

经近千组土工试验资料统计分析，桂林红土的物理力学性质具有以下几个基本特征：

(1)孔隙比大、压缩性小、强度高。其中七里店、岩溶地质研究所、无线电一厂等地冲洪积红土和机械厂、齿轮厂等地坡残积红土孔隙比通常大于 1.0；压缩系数一般在 0.3 MPa^{-1} 以下，最小可至 0.03 MPa^{-1}；内聚力和内摩擦角最高可分别达 110～130 kPa 和 37°～40°。

(2)高液限、高塑性。据统计，有 50%红土的液限含水量大于 60%，棉纺厂坡残积红土液限含水量最高可达 87%；有 70%的红土其塑性指数大于 20。塑性图上桂林红土的位置一般比较靠上偏右（图 3）。

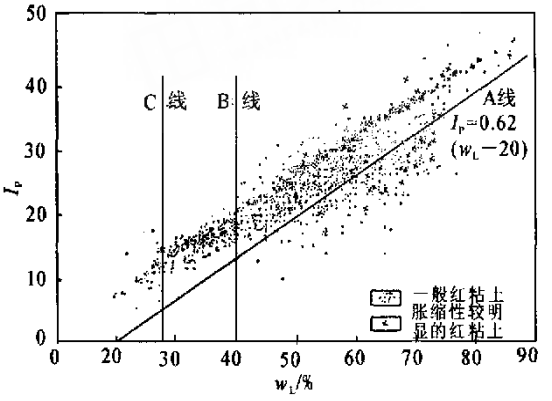

图 3　桂林红土塑性图

Fig. 3　Plastic chart of Guilin laterite

(3)饱和度高、容重大。容重一般为 18.2～19.6 kN/m^3；饱和度(S_r)在 90%以上。

(4)透水性和崩解性较小。渗透系数通常为 1.5×10^{-6}～5.0×10^{-8} cm/s；崩解量每小时小于 1%，有的甚至等于零，如朝阳砖厂的坡残积红土及三砖厂的冲洪积红土等。

(5)剖面上土具有明显的物理力学分带性。随着深度的增加，含水量、压缩系数增大，力学强度减小。自坚硬层到可塑层，含水量递增 3%～6%；压缩系数可塑层约为坚硬、硬塑层的 1.5～2.0 倍；坚硬、硬塑层的标贯值一般为 10～20 击，允许承载力为 220～260 kPa；而软塑层的标贯值则多在 3 击以下，允许承载力通常低于 80 kPa。

2.2　物理化学性质

通过对不同成因红土采样测试，结果表明桂林红土的 pH 值多为 5.5～6.5，绝大部分均低于倍半氧化物的等电 pH 值；土的交换容量也较低，一般小于 0.012×10^{-2} mol/g，交换离子主要以 H^+ 为主，其次为 Ca^{2+}；而土的总比表面一般均较大，通常每克干土比表面达 110～200 m^2，最高者可达 281 m^2。与云南鲁布格红土去铁处理后比表面减少[11]不同，

万方数据

去铁处理后的桂林红土其比表面明显增加(图4),特别是内表面其增加的幅度约是去铁处理前的3～8倍。不同层位的土样测试资料还表明,桂林红土阳离子交换容量也具有随着土层深度的增加而增大的变化规律,如市区西部孤峰平原石炭系基岩面附

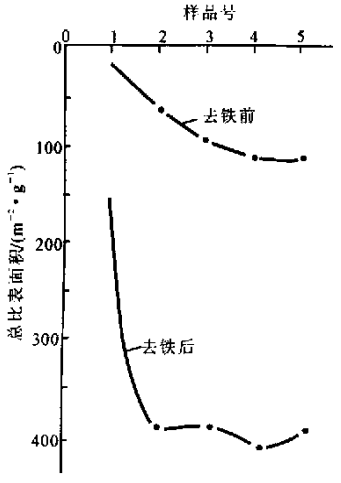

图4 去铁处理前后土比表面变化对比图

Fig. 4 Specific surface area values o f soil before and after deironing in Guilin laterite

近残积红土其交换容量是地表附近的2.5倍,从底部至地表盐基饱和度由80%减少到11%,反映出红土底部淋溶不彻底,土具有较大的活动性。

3 主要工程地质问题

3.1 软土

软土是桂林红土地基中十分常见的一种不良工程地质现象,广泛分布于峰林、孤峰平原区及漓江河谷两岸的溶沟溶槽中,是一种在接近完全封闭还原环境条件下,由原来的红土经地下水长期溶滤浸泡而形成的次生红粘土。陈之禄把分布于溶沟溶槽中的这种软土称作为"后生软土",并通过室内渗水浸泡试验对其成因条件进行了验证[12]。溶沟溶槽中的桂林软土天然状态下其含水量大于液限含水量,呈现软流塑状;压缩系数大多高于0.05 MPa^{-1};力学强度很低,小者内摩擦角不足1°,内聚力仅有0.002 MPa。软土厚度在漓江河谷两岸一般为3.6～9.0 m,在孤峰平原、峰林平原区,通常为1～4 m,前者埋深较大,多数在20 m以上;而后者埋深则较小,一般为2～10 m,其中不少为位于一般建筑物的持力层范围内,对建筑物的稳定性影响很大。

3.2 土洞

桂林红土地基中的土洞异常发育,据统计,钻孔土洞遇见率一般为3%～14%,土洞发育密度高达(0.06～0.25)×10^{-2}个/m^2(表3),洞高一般为0.5～4.0 m,其中1～3 m的土洞最常见。土洞不仅改变了地基土的应力状态,而且还改变了地基土的介质结构,为地基土的变形破坏乃至引发地面塌陷提供空间场所。

表3 土洞发育统计表

Table 3 Statistical table of earth caves in Guilin laterite

工程名称	土洞/个	统计面积/m^2	密度/(10^{-2}个·m^{-2})
广西滑石矿	4	2 500	0.16
广西第一地质队	6	2 400	0.25
长海机械厂	11	7 500	0.15
4406工地	18	30 700	0.06
凉水井仓库	5	2 250	0.22
相人山水泥厂	10	16 500	0.06
瓦窑造纸厂	5	3 000	0.16

3.3 地面塌陷

地面塌陷是指在自然或人为条件下,地表下土洞的顶板突然发生失稳陷落的现象。据史料记载,桂林红土分布区早在1498年就发生过地面塌陷[13]。仅在近40多年来桂林市300 km^2范围内发生的地面塌陷就多达654个[8],单个塌陷直径一般为1～5 m,最大者可达25 m[14]。调查统计表明,1981年桂林市第二造纸厂某生产车间、1996年初市中心体育场、1997年市郊柘木村等地的地面塌陷破坏最为严重,直接经济损失均超过百万元。综观桂林的地面塌陷,其发育有3个明显的特征:一是多发育在厚度小于5 m的土层中[9];二是主要集中分布于孤峰、峰林平原区和漓江两岸阶地,峰林峰丛谷洼地区也有,但数量少;三是以人为抽水塌陷为主,占塌陷总数比例高达77%以上[8],而且随着时间的推移塌陷还具有不断加剧的趋势(图5)。

3.4 红土地基的胀缩性破坏

测试发现,桂林红土普遍具有弱一中等膨胀性,自由膨胀率一般在30%～40%,在50 kPa荷载作用下,膨胀率有相当部分显示出负值。但比较而言,体缩率则较大,约有63%的土样体缩率大于10%,最大者可达28%。剖面上,红土胀缩具有下层较上层大的特点。调查表明,在桂林由红土地基胀缩引

万方数据

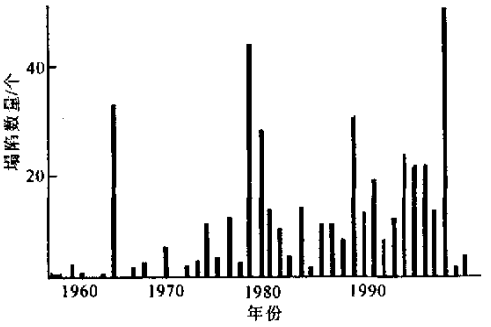

图 5　不同时段桂林市岩溶塌陷统计图[7]

Fig. 5　Statistical chart of karst collapses development in Guilin laterite from 1960's to 1990's

起房屋破坏为数较少,程度也不是很强烈。在上世纪 80 年代,因地基胀缩导致楼房破坏的仅见于市区南部奇峰镇及广西第二建筑安装公司桂林工区两地的坡残积红土中,受破坏的房屋前者约 20 栋,后者 5 栋。其破坏特征主要表现为地坪开裂,山墙、门窗、墙角产生倒八字型或 X 型裂缝,缝宽最大为 5 cm,且随大气干湿变化而张开闭合。地质地貌上,被破坏的房屋大多属于地基土较薄、且位于排水条件较好的山丘顶部、坡腰或邻近沟谷地段。

4　讨　论

前已述及,桂林红土具有次生粘土矿物,铁铝氧化物含量多,土分散性、孔隙性及含水量高而力学强度大,压缩性、透水性、崩解性、胀缩性及交换容量小的工程地质特征,这些特征的形成无一不取决于桂林特殊的成土环境条件。

桂林在晚古生代时期碳酸盐岩建造厚达 4 km 左右[15],古生代末地壳抬升为陆,这些碳酸盐岩在多期次构造作用下受到强烈挤压形成褶皱、断裂而暴露出地表接受侵蚀、剥蚀、溶蚀,为桂林第四系的形成提供了物质来源。进入第四纪以来,桂林气候炎热,雨量充沛,植被茂盛[4,5],中、晚更新世及其以前的残积、残坡积、冲洪积及坡洪积物受湿热化影响改造作用极为显著,土层中碳酸盐组分被大量淋溶迁移。随着碳酸盐淋滤作用的完成,土中硅酸盐矿物开始水解析出。强烈、持续的湿热化作用,使得土中的氧化硅不断消散,伊利石、绿泥石、蛭石、蒙脱石等次生粘土矿物大幅度累积,与此同时,还形成了许多的铁锰质结核和淀积附着于粘粒表面上的游离氧化铁胶膜,使得桂林红土显现出富含次生粘土矿物和铁铝氧化物的特点。由于桂林红土的粘土矿物含量较高且多呈片、鳞片及板条状,大小一般都在 1.5 μm 以下,因此导致土具有很高的分散性,比表面很大,在天然状态下可吸附大量的水分子,从而使土表现出较高的含水量和饱和度;由于红土中含有大量游离氧化铁,而游离氧化铁具有二重的结构连结功能[16],在弱酸性的介质条件下它带正电荷[17]而被表面带有负电荷的粘土矿物颗粒强烈吸附,并在一定的范围内代换出了电价较低的 Ca^{2-}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}、H^{+}等阳离子,使土粒表面双电层厚度减小,形成粒间连结力很强的团粒状、蜂窝状结构,也即所谓的"畴"[18],从而使得桂林红土尽管在天然含水量较高、孔隙比较大的情况下,仍然还具有较高的抗剪强度、较低的压缩性及较小的崩解性。

至于桂林红土中普遍发育软土、土洞并引起地面塌陷等工程地质问题,则主要是由桂林特殊的地质条件所决定。首先是红土之下泥盆统融县组和桂林组灰岩中岩溶十分发育,钻孔见洞率高达 64%～65.67%,基岩面埋深较小,一般为 2～10 m,而且高低不平,溶沟溶槽广布。其次是桂林为一南北向的向斜构造盆地,市区主要为岩溶孤峰、峰林平原,地下水位埋藏较浅,溶沟溶槽中的红土多被浸泡在地下水位以下,处于还原环境中。因此,溶沟溶槽中的土不仅缺乏像上层土体中具有氧化铁累积、老化和胶结作用,相反,因位于地下水位以下,土中较细的矿物颗粒能充分吸附水分子形成厚大的水化膜,大大降低土粒间的结构连结力,从而形成含水量大、抗压抗剪强度低的软土。

土洞、塌陷则是在软土的基础之上,借助于发育于灰岩面附近的岩溶洞穴、裂隙管道,通过地下水的冲刷、侵蚀作用将土颗粒带走形成土洞,土洞进一步向上发展而形成塌陷。桂林红土中土洞、塌陷的发育除软土自身结构软弱,易被侵蚀破坏外,红土之下岩溶洞隙管道发育、水位动态变化较大和人为过度抽汲地下水形成较大的降落漏斗也是其中一个很主要的原因。据观测调查,市区中山北路的冻厂一带岩溶地下水位年变幅最大可达 8.8 m,机械厂、三里店一五里店、国家山等地人为抽水形成局部降落漏斗,地下水位降低大者可达 2～5 m,低于同时段河水位 1～2 m。降落漏斗的形成,使得潜水面上的水质点流速加快,大大地增强了地下水的侵蚀能力,对土洞和塌陷的形成十分有利。峰林、孤峰平原及漓江一级阶地地区土洞、塌陷之所以最为发育,是因为

万方数据

这些地带都是人为活动的密集区域,生产生活需水量大,常形成多个水位下降漏斗。与此同时,峰林平原、孤峰平原土层较薄,从土洞发展到地面塌陷需要的时间历程较短。

桂林红土之所以普遍具中—弱胀缩性,则是因为土中普遍含少量蒙脱石、蛭石及混层粘土矿物。由于蒙脱石、蛭石为2∶1型3层结构的亲水铝硅酸盐矿物,结构单位层由两片Si(Al)--O四面体和夹持于它们中间的Al(Mg,Fe)—O(OH)八面体片组成[19],因此晶格极不稳定,吸水产生膨胀,失水引起收缩。但是由于它们的含量较少,因此所引起的胀缩性不是那么强烈。此外,由于天然条件下桂林红土含水量本身已比较高、饱和度较大,即使在雨季入渗水比较充分的条件下也不可能吸收太多的水分,因此也应是桂林红土膨胀量不大的一个原因。相反,在干旱蒸发条件下,因为红土天然含水量较高,能析出的水分较多,从而能导致红土产生较明显的收缩。随着土层埋深的加大,含水量就越高,收缩也就越明显,故而使桂林红土表现出以缩为主,下层胀缩大于上层。

5 结 论

(1)桂林红土主要是一种由更新世残积、坡残积、冲洪积及洪坡积组成并经后期湿热化作用改造的富含铁铝氧化物的红色、近红色的粘性土,矿物成分以原生石英颗粒及高岭石、伊利石、绿泥石粘土矿物为主,含少量蒙脱石、蛭石及混层次生粘土矿物,土质细腻,分散度高,粘粒体积分数一般均在50%以上。

(2)桂林红土工程地质性质的最大特点是天然含水量、孔隙比、液限及抗剪强度较高,容重、饱和度、比表面较大,压缩性、交换容量较低,透水性、崩解性较小及中—弱胀缩性(四高三大两低两小—中—弱)。

(3)桂林红土地基的主要工程地质问题是基岩面的溶沟溶槽中常有软土和土洞发育。软土的存在,不仅降低红土地基的承载力,而且在水流的潜蚀、冲刷下还很容易形成土洞并导致地面塌陷发生。

(4)上述桂林红土的工程地质性质及其主要工程地质问题的形成无不与其特有的成土环境有关。分布广泛、厚度巨大的碳酸盐岩及湿热的气候,为红土的形成提供物源基础及优越的水热条件;而岩溶作用,在塑造高低不平的基岩表面的同时,还形成了众多的洞穴空隙,为软土、土洞、塌陷等一系列不良工程地质问题的产生和形成提供了前提条件。

(5)桂林红土经受湿热化改造随着深度的增加而减弱,反映在土的物质组成及土的力学强度方面也具有明显的垂向分带性。因此,在工程设计中要充分考虑这一特点,尽可能地利用红土力学强度较高的硬、硬—可塑层作为工程建筑地基。

参考文献(References):

[1] 姜洪涛.红粘土的成因及其对工程性质的影响[J].水文地质工程地质,2000,**27**(3):33-37.
JIANG Hong-tao. Laterite genesis and its engineering affection[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2000,**27**(3):33-37.

[2] 王毓华.中国红粘土特征及建筑地基工程处理方法[J].西部探矿工程,1996,**8**(4):6-7.
WANG Yu-hua. The characteristics and engineering measures of foundation treatment of Chinese laterite [J]. West-China Exploration Engineering, 1996, **8**(4):6-7.

[3] 左权,王清,唐大雄.华南湘赣粤地区红层残积红土工程地质研究[J].长春地质学院学报,1994,**24**(1):70-76.
ZUO Quan, WANG Qing, TANG Da-xiong. Engineering geology of residual red soil from red beds in Hunan Jiangxi and Guangdong Province[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences,1994,**24**(1): 70-76.

[4] 陈菊伟.桂林附近第四纪堆积物特征[J].中国岩溶,1990,**9**(1):52-59.
CHEN Ju-wei. Characteristics of the Quaternary accumulations around Guilin[J]. Carsologica Sinica, 1990,**9**(1):52-59.

[5] 刘金荣.广西热带岩溶研究[M].桂林:广西师范大学出版社,2004:38-51.
LIU Jin-rong. Study on the tropical karst of Guangxi Province [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press,2004:38-51.

[6] 袁道先,胡蒙玉,布尔 P A,等.桂林附近第四系粘土砾石层的扫描电镜分析[J].中国岩溶,1985,**4**(3):272-277.
YUAN Dao-xian, HU Meng-yu, Bull P A, et al. Aspects of the Quaternary deposits around Guilin, Guangxi, South China[J]. Carsologica Sinica, 1985, **4**(3): 272-277.

[7] 王克钧,龙少廷,全顺兴.桂林第四纪冰川地质[M].重

万方数据

庆：重庆出版社，1988：74－89.
WANG Ke-jun, LONG Shao-ting, QUAN Shun-xing. Quaternary glaciation in Guilin area[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988: 74－89.

[8] 冯佐海，梁金城，李晓峰，等. 桂林市岩溶塌陷成因类型与时空分布特征[J]. 自然灾害学报，2001，**10**(3)：92－97.
FENG Zuo-hai, LIANG Jin-cheng, LI Xiao-feng, et al. Genetic types and distributive characters of karst collapses in Guilin urban and suburban area, Guangxi Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, **10**(3): 92－97.

[9] 万志清，秦四清，祁生文，等. 桂林市岩溶塌陷及防治[J]. 工程地质学报，2001，**9**(2)：199－203.
WAN Zhi-qing, QIN Si-qing, QI Sheng-wen, et al. The karstic collapse and its protection in Guilin City [J]. Journal of Engineering Geology, 2001, **9**(2): 199－203.

[10] 张培萍，迟效国，石学法，等. 东太平洋粘土沉积物组成和结构分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2005，**35**(1)：17－20.
ZHANG Pei-ping, CHI Xiao-guo, SHI Xue-fa, et al. Analyses of composition and structure of clay sediments from East Pacific[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2005, **35**(1): 17－20.

[11] 谭罗荣. 红土特性的微观基础[A]. 见：全国第三次工程地质大会论文选集[C]. 成都：成都科技大学出版社，1988：52－58.
TAN Luo-rong. The micro-characteristics of Chinese laterite[A]. In: Proceedings of 3th Engineering Geology Conference of China[C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988: 52－58.

[12] 陈之禄. 粘土地基中"后生软土"产生的条件和分布规律[A]. 见：全国第三次工程地质大会论文集[C]. 成都：成都科技大学出版社，1988：158－162.
CHEN Zhi-lu. Formation conditions and contribution of deuterogenic soft clay in foundation soil[A]. In: Proceedings of 3th Engineering Geology Conference of China[C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988: 158－162.

[13] 广西地震局历史地震小组. 广西地震志[M]. 桂林：广西人民出版社，1981：22－31.
Earthquake Bureau of Guangxi Province. Earthquake annals of Guangxi Province[M]. Guilin: Guangxi People's Publishing House, 1981: 22－31.

[14] 刘宝臣，宋庆生，陈学军，等. 桂林市西城区岩溶塌陷特征分析[J]. 地质灾害与环境保护，2000，**11**(3)：200－203.
LIU Bao-chen, SONG Qing-sheng, CHEN Xue-jun, et al. Analysis on the features of the karst collapse in western region of Guilin City[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000, **11**(3): 200－203.

[15] 邓自强，林玉石，张美良，等. 桂林岩溶与地质构造[M]. 重庆：重庆出版社，1988：9－19.
DENG Zi-qiang, LIN Yu-shi, ZHANG Mei-liang, et al. Karst and geology structure in Guilin[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1988: 9－19.

[16] 廖义玲. 粘性土三相间相互作用及对相关指标的影响[J]. 工程勘察，2001，(3)：4－6.
LIAO Yi-ling. The interaction among three phases of cohesive soil and influence on certain physical indices [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2001, (3): 4－6.

[17] 熊毅，陈家坊. 土壤胶体：第三册[M]. 北京：科学出版社，1990：19－47.
XIONG Yi, CHEN Jia-fang. Soil colloforms: Volume Ⅲ[M]. Beijing: Science Press, 1990: 19－47.

[18] 薛守义，卞富宗. 红土的结构与工程特性[J]. 岩土工程学报，1987，**9**(3)：92－104.
XUE Shou-yi, BIAN Fu-zong. Texture and engineering properties of laterite[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1987, **9**(3): 92－104.

[19] 张天乐，王宗良. 中国粘土矿物的电子显微镜研究[M]. 北京：地质出版社，1978：25－47.
ZHANG Tian-le, WANG Zong-liang. Study on Chinese clay minerals by electron microscope[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978: 25－47.

万方数据

桂林红土的工程地质性质及其主要工程地质问题

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 韦复才， WEI Fu-cai
作者单位： 中国地质科学院,岩溶地质研究所,广西,桂林,541004
刊名： 吉林大学学报（地球科学版） ISTIC PKU
英文刊名： JOURNAL OF JILIN UNIVERSITY(EARTH SCIENCE EDITION)
年，卷(期)： 2005，35(6)
引用次数： 2次

参考文献(19条)

1. 姜洪涛 红粘土的成因及其对工程性质的影响[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2000(3)

2. 王毓华 中国红粘土特征及建筑地基工程处理方法 1996(4)

3. 左权. 王清. 唐大雄 华南湘赣粤地区红层残积红土工程地质研究 1994(1)

4. 陈菊伟 桂林附近第四纪堆积物特征 1990(1)

5. 刘金荣 广西热带岩溶研究 2004

6. 袁道先. 胡蒙玉. 布尔P A 桂林附近第四系粘土砾石层的扫描电镜分析 1985(3)

7. 王克钧. 龙少廷. 全顺兴 桂林第四纪冰川地质 1988

8. 冯佐海. 梁金城. 李晓峰. 王春增 桂林市岩溶塌陷成因类型与时空分布特征[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2001(3)

9. 万志清. 秦四清. 祁生文 桂林市岩溶塌陷及防治[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2001(2)

10. 张培萍. 迟效国. 石学法. 马丽艳. 田春艳. 吕华华 东太平洋粘土沉积物组成和结构分析[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2005(1)

11. 谭罗荣 红土特性的微观基础 1988

12. 陈之禄 粘土地基中"后生软土"产生的条件和分布规律 1988

13. 广西地震局历史地震小组 广西地震志 1981

14. 刘宝臣. 宋庆生. 陈学军. 包惠明 桂林市西城区岩溶塌陷特征分析[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2000(3)

15. 邓自强. 林玉石. 张美良 桂林岩溶与地质构造 1988

16. 廖义玲 粘性土三相间相互作用及对相关指标的影响[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 2001(3)

17. 熊毅. 陈家坊 土壤胶体(三) 1990

18. 薛守义. 卞富宗 红土的结构与工程特性[期刊论文]-吉林大学学报（地球科学版） 1987(3)

19. 张天乐. 王宗良 中国粘土矿物的电子显微镜研究 1978

引证文献(2条)

1. 韦复才 岩溶地下水径流带红土地基的勘察评价——以桂林某综合教学大楼为例[期刊论文]-水文地质工程地质 2006(05)

2. 韦复才 桂林红色粘土砾石层的野外渗水试验[期刊论文]-桂林工学院学报 2006(03)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_cckjdxxb200506017.aspx

下载时间：2009年9月10日