

# 黔东某机场红粘土工程地质特性及评价

谢春庆<sup>1</sup>, 吴勇<sup>2</sup>, 陈其辉<sup>3</sup>

(1. 成都理工学院, 四川 成都 610059; 2 四川大学水利水电工程学院, 四川 成都 610064

3 铜仁地区公路勘察设计所, 贵州 铜仁 554300)

摘要: 以黔东某机场为例, 探讨了红粘土的基本物理力学性质及工程地质特性, 并重点探讨了其承载力, 胀缩特性、结构特性及评价方法。研究表明, 场区红粘土具有高含水量、高塑性、低膨胀、强收缩、中高压缩性、较高承载力的特性, 总体上是一种良好的天然地基土。但往往受网状裂隙、厚度分布变化剧烈等影响, 沉降变形大, 是一种不均匀的地基。

关键词: 红粘土; 物理力学性质; 工程地质特性; 评价方法

中图分类号: P 642

文献标识码: A

黔东某机场位于武陵山腹部, 机场跑道长2 400 m, 为现代化的4 C级机场。场区地貌类型为构造溶蚀洼地。主要地层是碳酸盐岩和红粘土及红粘土填土。红粘土及填土的物理力学性质、厚度、分布特征等是机场建设、投资的控制因素之一, 对场区红粘土独特的工程地质特性进行正确的评价, 具有重要的意义。

## 1 场区红粘土的基本特征

红粘土及填土分布于整个场区, 呈褐黄、棕红等色, 混有少量岩屑、碎石。有机质含量 $< 1.65\%$ , 易溶盐含量 $< 0.0372\%$ , 其矿物成份主要是伊利石、蒙脱石、高脱石、高岭石、绿泥石、石英、长石等, 含量如表1。

表1 场区红粘土的组成成份  
Table 1 Constitution of red clay in field

不同粒级(mm 级)含量(%)				化学成份含量(%)				
2~0.074	0.074~0.005	$< 0.005$	$< 0.002$	伊利石蒙脱石泥层矿物	伊利石	绿泥石	石英	长石
7.7~15.7	11.1~15.7	36.5~44.5	33.5~52.7	3~35	16~37	9~25	4.3~11	4~土

红粘土粒度成份, 以细粒为主,  $< 0.074\text{ mm}$  颗粒含量 $> 78\%$ ,  $< 0.002\text{ mm}$  颗粒含量 $> 27.0\%$ , 见表1。

红粘土厚度 $0.3\text{ m} \sim 10.7\text{ m}$ , 埋深 $0\text{ m} \sim 16.9\text{ m}$ , 出露顶板高程 $682.11\text{ m} \sim 710.73\text{ m}$ 。在水平方向厚度变化剧烈, 如在 ZK42 处红粘土厚 $6.4\text{ m}$ , 在不到 $3.0\text{ m}$  的距离内即有基岩出露(见图1)。红粘土与下伏基岩呈不整合接触。岩性呈现突变关系。

## 2 场区红粘土的物理力学特性

场区红粘土具有高塑性、大孔隙比的物理力学

特性, 如表2。

场区红粘土呈软塑~坚硬状态, 以硬塑坚硬为主。在天然的竖向剖面上, 地面呈坚硬状态, 向下逐渐变软。土的含水量、孔隙比呈现随深度增加而增大的规律。 $> 90\%$  样品饱和度 $> 90\%$ 。

红粘土的力学特性与所处的状态和环境密切相关。处于表层的红粘土, 若无植被等保护, 则网状裂隙往往十分发育, 深可达 $8\text{ m}$ 。土块和土体的强度差别很大。场区红粘土承载力标准值建议值 $60\text{ KPa} \sim 295\text{ KPa}$ , 一般 $> 180\text{ KPa}$ ; 内摩擦角

收稿日期: 1999-11-12; 改回日期: 2000-02-16.

作者简介: 谢春庆, (1969-), 男(汉族), 四川大邑县人, 工程师, 在职博士生, 主要从事机场岩土工程工作。Tel: 5065966(家), 手机: 13709072981

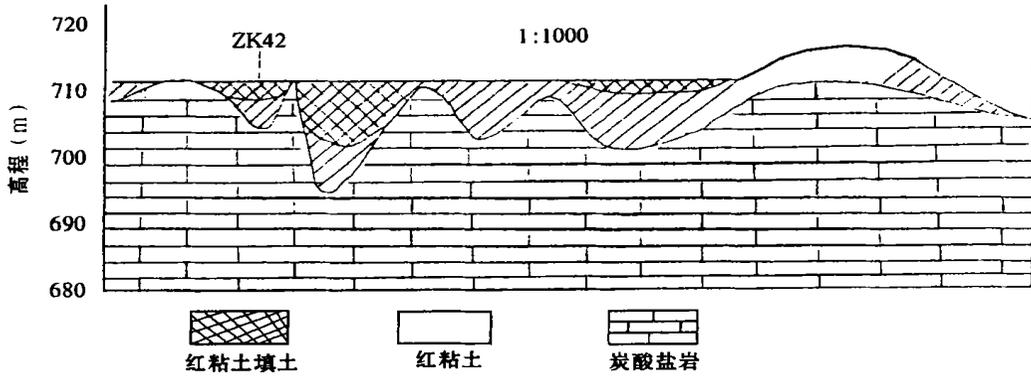


图1 场区典型地段工程地质剖面图

Fig. 1 Geological section of typical field in airport

表2 红粘土的物理力学性质简表

Table 2 physical mechanics properties of red clay

	天然密度 ( $g/cm^3$ )	初始孔隙比	天然饱和度 (%)	天然含水 率(%)	液限 (%)	塑限 (%)	含水比	液塑比	状态
区间值	1.55~1.94	0.780~1.618	79.6~108	26.8~59.0	49.3~103.0	24.6~60.5	0.52~0.86	1.42~2.45	软塑~坚硬
均值	1.77	1.240	42.6	70.9	43				

$5^\circ \sim 53^\circ$ , 均值  $15^\circ$ ; 凝聚力  $8 \text{ KPa} \sim 98 \text{ KPa}$ , 均值  $56.6 \text{ KPa}$ ; 压缩模量  $1.600 \text{ MPa} \sim 9.479 \text{ MPa}$ , 均值  $6.79 \text{ MPa}$ ; 压缩系数  $0.12 \sim 1.59$ , 中高压缩性。可见场区红粘土受状态和裂隙的影响, 力学参数变化大。

场区红粘土具有低膨胀, 强收缩的特性。自由膨胀率  $28.3\% \sim 66.3\%$ , 收缩系数  $0.22 \sim 0.77$ 。在  $P = 50 \text{ KPa}$  下, 膨胀率  $< 0$ , 胀胀力  $= 0$ 。

### 3 红粘土工程地质性质评价

#### 3.1 红粘土结构特征评价

红粘土由碳酸盐经红土化作用而形成, 覆于碳酸岩之上, 无层理。表3列出了红粘土无侧限抗压

强度及灵敏度, 表中可知  $S_r < 1.2$  为致密状。但调查发现, 上部坚硬, 硬塑状态红粘土未有植被覆盖时, 广泛发育网状裂, 某些裸露边坡表层已切成  $3 \text{ cm} \sim 4 \text{ cm}$  的碎块状, 裂隙深可达  $4 \text{ m}$ , 长数十米。垂直方向上, 裂隙呈现“V”字形的开口状, 往深处逐渐减弱。裂隙面可见光滑镜面和铁锰质浸染。裂隙面附近的含水量小于距裂隙较远处含水量。网状裂隙发育, 使红粘土结构支离破碎, 尤其是抗剪性能差别很大。直接剪切试验获取的内摩擦角  $5^\circ \sim 53^\circ$ , 凝聚力  $8 \text{ KPa} \sim 98 \text{ KPa}$ , 差别在 10 倍以上, 裂隙的发育使土块的力学强度远大于土体的强度。

表3 无侧限抗压强度、灵敏试验结果

Table 3 Test result of unconfined compressive strength and sensitivity of red clay

岩性	取样深度 (m)	无侧限抗压强度		灵敏度 $S_r$	
		天然原状	饱和原状	天然原状	饱和原状
原生红粘土	9.8~10.1	116.8	93.40	1.20	1.2
	610~630	112.46		2.94	
	5.7~5.9	48.90		1.34	
	6.9~7.1	144.39		2.29	
	10.8~11	110.07		1.88	
红粘土填土	1.7~2.0	308.30	58.4	1.0	1.5
	1.7~1.9	93.56		3.52	
	2.6~2.8	174.54		3.06	
	3.1~3.3	123.10		2.16	
	0.7~0.9	110.99		1.66	

### 3.2 胀缩性评价

表1列出了红粘土膨胀矿物含量。膨胀矿物含量较高, 活动性较强。失水收缩, 遇水膨胀。

表4列出了红粘土自由膨胀率  $\delta_f$  28.3% ~

66.3%, 均值 47.5%。由表可知  $40\% \leq \delta_p \leq 66.3\%$  的样品数约占80%, 说明该类土具有弱膨胀潜势。

表4 膨胀性试验成果表

Table 4 Result of expansibility of red clay

岩土名称	天然含水率 (%)	自由膨胀率 $\delta_f$ (%)	$P=50$ kPa 膨胀率 $\delta_p$ (%)	膨胀含水率 (%)	膨胀力 $P_e$ (KPa)	缩限 $W_s$ (%)	线缩率 $\delta_s$ (%)	体缩率 $\delta_v$ (%)	体缩系数 $\lambda_s$ (%)
红粘土 填土	40.9	48.4	-2.80	42.3	0	21.567	22.8	0.34	
	26.3	51.1	-8.48	40.7	0	18.4	2.0	4.4	0.29
	35.5	40.2	-3.16	37.1	0	18.1	4.4	16.2	0.22
	26.7	28.3	-1.44	27.4	0	17.8	3.1	11.4	0.30
红粘土	48.1	51.1	-1.09	49.4	0	27.8	8.2	22.3	0.37
	53.3	57.6	-0.85	55.1	0	29.5	7.8	23.5	0.32
	47.3	66.3	-2.28	48.3	0	27.0	9.1	24.3	0.42
	26.7	32.6	-3.14	28.7	0	22.6	4.4	13.5	0.77

从表4及上述中, 可见红粘土高孔隙比, 高含水量, 接近于饱水状态, 并且缩限和收缩系数很高, 分别为 17.8% ~ 29.5% 和 0.22 ~ 0.77, 表现出红粘土胀缩性以收缩为主, 在天然状态下膨胀量很小, 收缩率很高的特征。P=50 KPa 下, 膨胀率 < 0, 膨胀力=0, 属收缩后再浸水膨胀量不能恢复到原位的 II 类红粘土。

### 3.3 承载力评价

#### 1. 载荷试验

在对本工程道面基层承载力研究中首先采用了载荷实验对红粘土及填土的承载力进行了原位实测。该试验用汽车作反力系统, 手动油压千斤顶提

供荷载, 承压板直径 30 cm, 在红粘土中设置 3 个试验点, 在红粘土填土中设置了 3 个试验点, 2# 和 4# 试验点的载荷沉降量曲线如图 2。图 2(a) 中反映出坚硬状态的红粘土临塑荷载较高, 该点比例界限在 360 KPa 左右。图 2(b) 反映了红粘土填土破坏极限也较高。2# 及 4# 试验点及其它几点试验均未达到明确的极限破坏荷载, 这与汽车反力不足有关。试验点 P-S 曲线均呈抛物线型。因此, 根据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89) 取比例界限对应的荷载作为承载力基本值, 得到红粘土承载力基本值 360 KPa ~ 175 KPa, 红粘土填土基本值 100 KPa ~ 210 KPa, 见表 5。

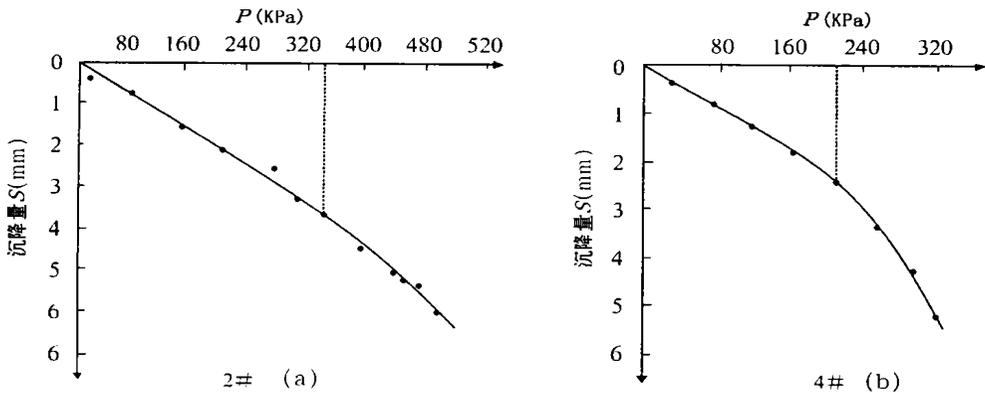


图2 载荷试验 P-S 曲线

Fig. 2 P-S Curve of loading test

表 5 载荷试验成果表  
Table 5 Result of loading test

编号	岩性	承载力基本值 (kPa)	变形模量 (MPa)	备注
1 #	红粘土	175	9.1	
2 #	红粘土	360	20.0	
3 #	红粘土	250	14.6	挖去表土
4 #	红粘土填土	210	10.8	15 cm ~ 50 cm
5 #	红粘土填土	180	11.5	
6 #	红粘土黄土	100	4.8	

根据下式计算变形模量

$$E_0 = 10(1 - V^2) \frac{P}{Sd}$$

式中  $E_0$  为土的变形模量 MPa,  $V$  是土的泊松比, 取 0.42,  $P$  为承压板上总荷载 (kN),  $S$  是与荷载  $P$  相应的沉降量 (cm),  $d$  为承压板直径 (cm)。

计算得到红粘土变形模量 20 MPa ~ 4.2 MPa, 红粘土填土变形模量 4.8 MPa ~ 10.8 MPa。

表 7 标贯试验成果表

Table 7 Result of SPT of red clay

样品	状态	统计计算值			
		平均锤击数 (击)	标准差 $\sigma$	按公式修正锤击数 $N = U - 1.65\sigma$	承载力 标准值 KPa
红粘土	坚硬	15.6	1.49	13.1	325
	硬塑	8.2	0.52	7.3	195
	可塑				180
红粘土填土	硬塑	7.2	1.42	4.76	145

#### 4. 地区经验值

黔东南某地质队获取的当地经验值如表 8。

表 8 当地承载力标准值经验值 (KPa)

Table 8 Experiment bearing capacity standard value of red clay

坚硬	硬塑	可塑	软塑
280 ~ 360	180 ~ 300	120 ~ 240	60 ~ 120

#### 5. 综合分析取值

载荷试验地反映了道基的综合性状, 但是反映深度仅限于承压板二倍直径范围内地基土的特性。本工程反映地基性状深度 < 1.0 m 而该机场飞机荷载有效作用深度为 3 m ~ 5 m, 所以载荷试验不能全部反映整个道基的性状。红粘土土样可以在钻探深度的任意部位采取, 能反映土垂直和平面上的物理力学性能变化情况, 但是室内试验受采样、运输、试验的影响, 总存在一定的误差, 同时土样仅是整个土

## 2. 室内土工试验

将土样作物理力学试验, 并按文献<sup>[1-3]</sup>, 作数据统计分析, 计算承载力标准值, 结果如表 6。

表 6 室内土工试验成果表

Table 6 Result of geotechnical test

样品	状态	承载力基本值 kPa	安全系数	承载力标准值 kPa
红粘土	坚硬	315	0.94	295
	硬塑	250	0.85	210
	可塑	175	0.85	150
红粘土填土	坚硬	260	0.75	195
	硬塑	190	0.75	142
	可塑	140	0.75	75

## 3. 标贯试验

本工程对标贯作了尝试性应用, 并按文献[3]校正击数和查取承载力值, 结果列于表 7。

层的代表, 且实验应力条件是较理想和单一化的, 获取物理力学指标仅仅是土层复杂状态一定程度的反映。红粘土受网状裂隙影响, 土块与土体力学性能差别很大, 在一定程度上减弱上室内试验对土层反映的程度。标贯实验获取参数量与其它方式结果相近, 也反映了土层在垂直和平面上的性状变化, 但仅是作尝试试验, 同时标贯本身也是粗略的低精度的, 所获取锤击数有很大离散性, 难于据此得出承载力合适数据。地区经验值是对整个地区地层性状的概括反映, 不能机械地套用。总之, 上述承载力取值方式各有利弊, 所以综合确定承载力标准值如表 9。

表 9 红粘土承载力标准值建议值表 (kPa)

Table 9 Recommended bearing capacity standard value of red clay (Kpa)

样品	坚硬	硬塑	可塑	软塑
红粘土	320	210	150	110
红粘土填土	150 ~ 230	100 ~ 170	90 ~ 120	60 ~ 100

## 4 结语

1. 场区红粘土, 具有高含水量、高塑性、大孔隙比, 低渗透性, 中高压缩性, 抗剪性能差别大, 较高承载力, 低膨胀量, 高收缩性的工程特性。总体上是一种良好的天然地基土。但应注意土性差别大, 网状裂隙发育, 收缩性大, 对工程产生不良影响。

2. 场区红粘土厚度不大( $< 11\text{ m}$ ), 但在水平方向变化大, 地基沉降变形均匀性差。

3. 红粘土土块与土体间力学性能差别大, 综合利用荷载试、室内试验、地区经验值等成果是评价机

场这一平面工程地基承载力较好和实用的方法。标贯试验在该工程中尝试性运用, 获得了较好的结果, 能否推广应用, 还需作进一步的工作。

### 参考文献:

- [1] 《岩土工程手册》编写委员会. 岩土工程手册[Z]. 北京: 中国建筑出版社, 1994.
- [2] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册[Z]. 北京: 中国建筑出版社, 1992.
- [3] 建筑地基基础设计规范[Z]. GBJ7-89.
- [4] 陈稀哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [5] 俞周梅等译. 岩土工程[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1986.

## Approach of Ceologic Characteristics and its Evaluation of Red Clay in X Airport in East Guizhou

XIE Chun-qing<sup>1</sup>, WU Yong<sup>2</sup> and CHEN Qi-hui<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 China;

2. Sichuan University, College of water Conservancy and Hy dropower, Chengdu 610065 China;

3. Prospect and design Institute of Tongren, Guizhou Tongren, 554300 China)

**Abstract:** Red clay is distributed extensive in South China, it is important to our Construct. The basic physical mechanics properties and geological charater of clay are Studied. Bearing capacity swell contraction properties, structure and evaluation methods of red day are approached. Red class possesses high water capacity, plastic limit and liquid limit, strive contract med, high condense and higher bearing capacity. It's good nature foundation soil, but it affects by network of cracks and changes of thinkness of soil. It's high subsiding defor mationand heteropical foundation.

**Key words:** red clay; physical mechanics properties; geological characteristics; evaluation method