

大连地区红粘土特征研究

林世文¹ 蔡秋景¹ 林 珺²

(1. 辽宁有色勘察研究院二分院, 辽宁铁岭 112001; 2. 铁岭市发展和改革委员会信息中心, 辽宁铁岭 112001)

【摘要】 大连地区存在发育的红粘土。该土与石灰岩及粘土在化学成分上进行了对比, 分析了某些元素流失与聚集的原因, 并对其特有的物理特征进行了原始状态、风干状态的水浸试验与土体的收缩试验。从而对该地区红粘土风干后, 遇水崩解不可恢复的特殊性, 以及土体卸荷在保持原有天然含水量的情况下, 呈现稳定状态的合理解释。

【关键词】 红粘土; 风干; 崩解性; 不可恢复性; 收缩; 稳定状态

【中图分类号】 TU 446

Research on the Feature of Red Clay in Dalian

Lin Shiwen¹ Cai Qiujing¹ Lin Jun²

(1 No.2 Institute of Liaoning nonferrous Institute of Geotechnical Investigation, Tieling Liaoning 112001 China

2 Tieling Municipal Development and Reform Commission, Tieling Liaoning 112001 China)

【Abstract】 The developed red clay exists in Dalian district. Through being compared with limestone and clay in chemical composition, the reasons why some elements of the red clay run off or collect are analyzed. In order to reveal its peculiar physical characteristics, the water invade test and the soil body shrink test on the red clay are respectively carried out in aboriginal and air-dried state. Through the test results, some phenomena of the red clay are explained, such as the irrecoverability of this red clay disintegrated by water, and the stability of earth body excavated at natural moisture condition.

【Key Words】 red clay; air-dry; disintegrate; irrecoverability; shrink; stable state.

0 引言

多年来, 笔者对大连地区陆地上和浅海中石灰岩上所形成的红粘土分析判定, 特别是对其形成状态规律、矿物组合、化学成分、物理力学特征指标及三种常见的物理状态进行了研究论证, 从而证明在大连地区的石灰岩地层上部确实存在大量的红粘土和次生红粘土, 并且存在危害性较强的物理特征。

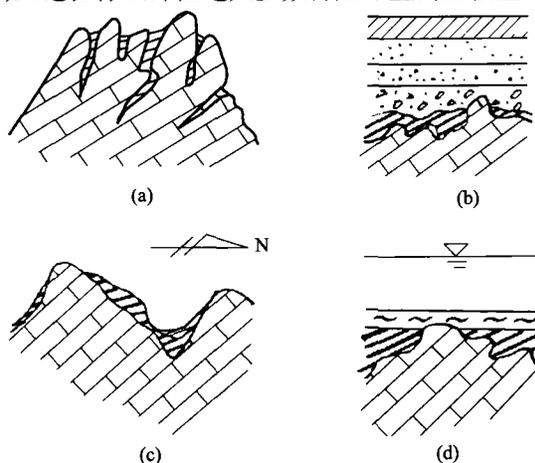
大连市在规划上将建成国内乃至世界上经济发达城市之一。有必要对该地区的红粘土进行确认与利用^[1], 并针对其危害性提出相应的防治措施。

1 大连地区红粘土形成环境

1.1 红粘土的分布特征

大连地区的石灰岩分布较广, 无论是出露的灰岩还是隐伏的灰岩地带, 都有红粘土生成(见图1)。裸露的石灰岩地带, 红粘土主要形成于裂隙、溶槽、溶洞内。有第四系覆盖层的灰岩地带, 其上部均有一层厚度不均的红粘土, 一般规律是随着原始岩面起伏, 凹地厚, 凸地薄^[2], 岩面陡坡处与顶端多数无红粘土; 残丘地带红粘土存在状态是北坡厚, 南坡

薄, 坡间厚, 坡上薄, 坡下多为次生红粘土。丘谷中层次序为: 表层为粘性土, 其下为粗粒土或混次生红粘土, 再下伏层多为红粘土。大连地区沿岸浅海下面的石灰岩上多处覆盖一层发育的红粘土, 因处在封闭状态, 无论在什么部位绝大多数都是原生的红粘土。



(a) 裸露石灰岩裂隙溶沟中的红粘土 (b) 有第四系盖层隐伏的红粘土
(c) 残丘南北坡堆积不同厚度的红粘土 (d) 浅海封闭状态下的红粘土

图1 大连地区红粘土存在状态示意图

作者简介: 林世文, 1954年生, 男, 满族, 吉林省吉林市人, 毕业于成都地质学院水文—工程地质系。高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、地质灾害防治、浅基处理等的研究工作。

由于大连地区浅层岩溶比较发育,随海拔高度发育着不同类型的溶洞(见图2)。从图2可以看出,在水平和垂直方向上将存在红粘土的溶洞分为3个带,即:半岛内陆带、海岸带、海湾带。

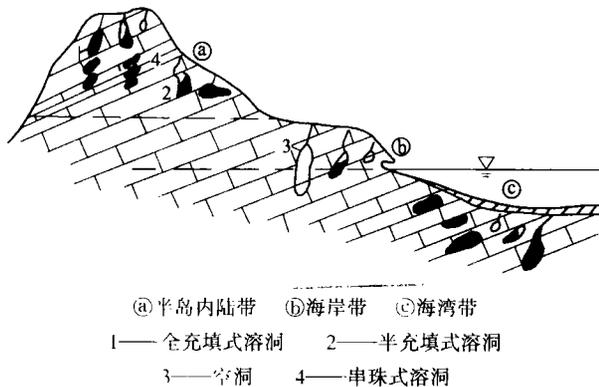


图2 辽东半岛溶洞及红粘土展布示意图

1) 半岛内陆带以厚层状石灰岩中裂隙发育形成的溶洞为主,以层间形成的溶洞为次。在薄层至中厚层石灰岩中形成的溶洞,垂直方向上多呈较小的串珠状分布,水平方向可达数米乃至十几米的龟背式弧形溶洞。洞中的红粘土以全充填为主,次为半充填,少见空洞;薄层石灰岩以溶穴^[3]为主,多为空洞;沟谷覆盖层以下的灰岩中溶洞内红粘土以全充填为主,近地表的溶洞内顶部为粘性土,下部为红粘土,仅个别洞中全充填粘性土。

2) 海岸带裸露的石灰岩中小溶洞发育,而隐伏的溶洞较大,大多是沿裂隙发育的空洞或者是半充填式红粘土的溶洞。其形成较大空洞是因为常年活动的地下水造成红粘土不利于形成。

3) 海湾带石灰岩中的溶洞大部分顺层发育,裂隙扩展的溶洞次之。洞中红粘土多为全充填式,少数为半充填式,偶见空洞。

1.2 红粘土形成环境

大连是东北沿海唯一的不冻港城市,该地区属大陆季风兼海洋特征气候,日照充足,夏季较长,温度适宜,符合石灰岩化学风化,物理风化的条件,形成了具有独特地区特征的红粘土。仅以第四系覆盖层与地下水温的角度分析,红粘土形成的温度,一般在20~28℃之间为宜,形成的埋深条件不超过25m。目前在陆地丘坡揭露红粘土最大厚度达15.1m,正处于坡间带;现场从土颗粒形状、颜色,光滑程度证明,坡间厚度大的红粘土,70%具有短距离的搬运特征;原位形成的红粘土厚度一般不大于3.6m,从丘顶和沿海岸带揭露的原位红粘土厚度

不大于2.7m,上覆层都为厚薄不均的坡积物,其最大特征都位于地下水动幅界线之上。由此证明,石灰岩上伏土层包气带中的氧化环境促进了红粘土的形成,其风化介质为天然降水和空气中的水分。陆地上既有松散盖层又有地下水的红粘土层,一般都比较连续稳定,一般厚度1.5~5.8m之间,平均厚度3.3m左右。浅海揭露的红粘土同样具有第四系松散盖层的情况下,红粘土层厚度明显小于陆地上红粘土厚度,一般在0.5~4.0m之间,凹地可达8.0m,平均厚度1.8m。这一现象说明,海水中某些元素减缓了红粘土发展速度。水作为封闭空气介质的情况下,红粘土处于氧化还原环境的风化作用不如氧化环境好。

1.3 红粘土矿物结构

大连地区红粘土富含的主要矿物是硅、铝、铁,次之为镁、钙、钾,大部分原生红粘土含铁高,呈深红色。红粘土中的粘土矿物以伊利石为主,其次为蒙脱石^[4]。由于原生红粘土自身裂隙发育,多数土的断面呈贝壳状,有丝绢光泽,光滑,粘滞感较强,颗粒极为细腻,并呈鳞瓣状结构及鳞片状结构。

大连地区红粘土不仅产于石灰岩之上,泥灰岩风化也产生红粘土。由于含铁量少且不均匀,颜色有明显差异,多数呈砖红色及粉红色。矿物成分仍以伊利石为主,土颗粒多为鳞片状结构。泥灰岩多产于板岩之中,呈互层关系,风化所形成的红粘土呈带状分布,成为大连地区红粘土特征之一。

2 红粘土化学特征与物理性能

2.1 化学特征

在石灰岩风化形成较厚的红粘土地带,按层位由下至上分别采取石灰岩、红粘土及粘土进行化学分析(见表1)。从表1比较容易地看出,大连地区富含硅、铝、镁、铁矿物的石灰岩,由于受大连地区特殊环境气候影响,化学风化比较显著,石灰岩遭受到分解、溶滤迁移使大量的CaO及CO₂流失,造成SiO₂相对在红粘土中聚集,增加了81.78%。低价氧化铁(FeO)经进一步氧化为高价氧化铁(Fe₂O₃),猛增了83.18倍,即产生了明显的氧化作用,大多数元素变化较小。

表1化学分析数据证明大连地区红粘土主要化学成分SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃的质量分数较高,碱金属和碱土金属氧化物质量分数低,可作特征的成分有SiO₂、Al₂O₃、MgO、K₂O。在化学成分与矿物组成关系上Al₂O₃与K₂O的质量分数反映红粘土中粘土矿物成分^[5],K₂O、MgO质量分数主要反映伊利石和蒙

脱石的质量分数;而粘土中 SiO_2 明显聚集, Al_2O_3 略有流失, Fe_2O_3 质量分数是石灰岩的 24.11 倍, 相当于

红粘土的 28.99%, 而 Na_2O 质量分数增加了 314%。由此证明, 粘土矿物以高岭石为主。

表 1 大连地区红粘土与石灰岩及粘土化学分析表

岩土名称	化 学 元 素 含 量 分 析						
	$w(\text{SiO}_2)/\%$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$w(\text{CaO})/\%$	$w(\text{MgO})/\%$	$w(\text{K}_2\text{O})/\%$	$w(\text{Na}_2\text{O})/\%$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$
石灰岩	26.90	15.40	28.40	1.46	1.14	0.28	0.17
红粘土	48.90	18.49	1.34	2.65	1.78	0.22	14.14
粘 土	67.70	13.25	0.78	1.21	1.70	0.88	4.10

续表

岩土名称	化 学 元 素 含 量 分 析						
	$w(\text{FeO})/\%$	$w(\text{H}_2\text{O})/\%$	$w(\text{TiO}_2)/\%$	$w(\text{M}_2\text{O})/\%$	$w(\text{P}_2\text{O}_5)/\%$	$w(\text{SO}_3)/\%$	$w(\text{CO}_2)/\%$
石灰岩	9.40	4.20	1.32	0.73	0.07	0.12	13.40
红粘土	0.32	10.20	1.40	0.11	0.11	0.11	1.90
粘 土	1.67	7.20	1.30	0.08	0.03	0.14	0.37

2.2 物理力学性能

依据红粘土分析结果(见表 2), 其天然含水量、

孔隙比、液限的测试数据均满足国家标准对红粘土的判别指标。

表 2 大连红粘土物理力学指标统计表

物 理 性 指 标										力 学 性 指 标			
天然含水量 $w/\%$	天然密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	干密度 $\rho_d/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	相对体积分质量 G	天然孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$	液 限 $w_l/\%$	塑 限 $w_p/\%$	塑 性 指 数 I_p	液 性 指 数 I_L	压缩系数 a_{1-2}/MPa	压缩模量 E_s/MPa	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$
32.79	1.85	1.39	2.77	1.21	92.5	58.11	27.06	24.05	0.29	0.23	89	70	30°32'

注:表内为大连地区不同地带采集原状红粘土样 137 件测试的平均值

从表 2 可以看出, 大连地区红粘土在天然状态下, 具有较大的孔隙比, 强度较高的特点。

3 大连地区红粘土物理试验

3.1 原状红粘土无固体侧限的水解试验

在距地表 3.5 m 处采集规格为 200 mm × 170 mm × 115 mm 原状红粘土试样(天然含水量达 31.23%), 立即浸入静水中观察: 35" 时土立方体四角开始崩解, 1'30" 时土的左上角崩解块较大, 3'35" 土的立方体四个立面崩解完毕, 17'50" 时土的立方体顶面崩解呈椭圆形, 19'50" 时试块由初始高度

115 mm 崩解为 52 mm, 30' 时仍见试样顶部颗粒移动。33' 时将容器中水轻轻振荡, 试块呈饼状, 44' 时试块全部解体。

3.2 风干状态的红粘土无固体侧限的水解试验

采集同上述规格的试块, 经 72 h 自然风干, 其规格为 186.4 mm × 158.4 mm × 113.0 mm, 试块表面形成不规则的纵横裂隙达 14 条。测试天然含水量仅为 7.8%, 浸入静水中进行水解(试验过程见图 3)。试验结果说明, 红粘土一旦风干, 土颗粒吸水性极强, 迅速崩解。

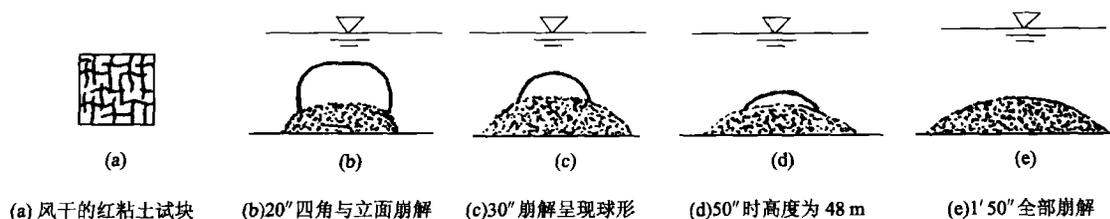


图 3 风干的红粘土浸水崩解过程示意图

经上述两种不同状态的红粘土水解试验表明,风干状态下的红粘土比天然状态的红粘土崩解速度快近 31 倍。同时也证明,风干水解的红粘土颗粒呈分散的小颗粒存在,这种特征解释了大连次生红粘土多呈团粒状结构,极少有鳞瓣状或鳞片状结构的原因。

3.3 红粘土无固体侧限的收缩试验

在同地点取原状红粘土试样三件,同等体积为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$,天然含水量平均 29.89%。经 72 h 自然风干,天然含水量平均为 6.8%。测量试块水平方向与垂直方向上的收缩率,三件平均数值为:水平方向上收缩率达 6.8%,垂直土层的收缩率为 1.7%,水平方向比垂直方向的收缩率高 4 倍,说明大连地区红粘土失水后纵向裂隙极为发育。

4 大连地区红粘土的危害性与可利用性

4.1 红粘土收缩后崩解的危害性

大连地区红粘土风干后遇水崩解造成多起工程质量事故。如大连市金南路六小区,修路途经红粘土发育区,揭露后路面及边坡一定深度内自然风干,遇一场中雨,红粘土边坡和路基崩解流失,造成大面积的边坡塌方毁坏路基;某安居小区山坡上一住宅楼基槽开挖后未能及时砌筑,其南侧边坡高数米的红粘土,多日裸露风干,仅一场小到中雨造成边坡红粘土崩解灌满基槽;某大型合资水泥有限公司一深基建筑,由于基坑超深,回填料中混有大量的红粘土。投产后突遇一日大雨,使回填料的红粘土遇地下水迅速崩解,大量的地下水涌入回填空间,导致浮力过大,拱破钢筋混凝土底板淹没了该建筑,排水后发现底板上的红粘土颗粒呈悬浮状态的红泥浆厚达 1 m 多。由此可见,当大连地区红粘土失水后再遇水时,流变性^[6]明显,对工程具有极大的危害性。

4.2 红粘土在保持天然状态下的可利用性

大连地区红粘土在天然状态下土体稳定性较好,平均粘聚力达 70 kPa,平均内摩擦角为 $30^\circ 32'$,高于上覆层粘性土的抗剪强度,即使基槽边坡为 89° ,深达 6 m 时也无塌方迹象。由于原状红粘土

天然含水量较高,吸水性及崩解性相对较弱,其物理力学性质在垂向上呈减弱的趋势,即上部硬塑,中部硬可塑,下部可塑状态。但土体的稳定性仍然完好。

利用红粘土做为持力层时^[7],一是避开雨天施工;二是及时砌筑基础,避免风干;三是当不能及时砌筑时,在地基土上面铺 0.1 m 厚的细砂防止红粘土水分蒸发;四是对边坡采用湿度相等干地基土天然含水量的草袋覆盖,从而保持红粘土的天然状态。

5 结论

在大连地区的陆地上和浅海中石灰岩的低洼处,都存在红粘土与次生红粘土,无论存在的方式如何,其发育程度不亚于南方。对红粘土的矿物结构,物理力学性质进行了检验,并且将石灰岩、红粘土、粘土进行了化学成分的对比如分析,从而对矿物的流失与聚集有了理性和定性的认识;通过对大连红粘土三种不同状态的试验,充分证明大连红粘土在无侧限的条件下,都具有不可恢复的崩解性。进一步确定了风干或半风干状态的红粘土,在遇水迅速崩解这一独有的特征;在预防不利因素的同时,对原始状态的红粘土仍需充分利用。

参 考 文 献

- 1 林宗元. 岩土工程勘察设计手册. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996. 1434~1435
- 2 常士骝. 工程地质手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 468
- 3 国家技术监督局. GB 12329—90 岩溶地质术语
- 4 庞春勇. 桂林市红粘土的化学活动性与工程环境效应. 矿产与地质, 2002(60): 357~359
- 5 南京大学水文地质工程地质教研室. 工程地质学. 北京: 地质出版社, 1982. 10~12
- 6 孔德志, 等. 流变土体地基的水平基床系数. 岩土工程技术, 2004, 18(1): 28
- 7 建设部综合勘察研究设计院. GB 50021—2001 岩土工程勘察规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002

收稿日期: 2005-03-04