

软土中的蛋白质总量及其工程意义*

李生林 秦素娟 韩爱民**

(南京大学地球科学系, 210008)

文 摘 本文论述了软土中有机质与蛋白质总量的关系; 揭示了蛋白质总量与软土物质组成成分、物理力学性质指标的相关性; 在沪宁高速公路草塘滨段的工程地质应用中证明, 运用蛋白质总量评价软土的工程性质更能满足工程设计的需要。

关键词 软土, 有机质, 蛋白质总量。

1 引 言

现代土质学认为土中的生物相、特别是微生物对土的工程性质具有重要意义。土中的微生物主要为厌氧微生物。据报导, 每克风干土中含有微生物细胞的数量最多可达 $10^6 \sim 10^8$ 个^[1]。该值主要受土中微生物生存的客观自然条件控制, 与土的天然含水量、有机质含量、矿物成分、分散程度及介质的pH, eH值等有关。当土的天然含水量高、有机质含量丰富、分散性好, 且处于还原条件时, 则对微生物的生命活动最有利。在微生物作用下, 不仅土中的动植物残体逐渐分解, 而且还伴随有原有矿物的破坏和新矿物的生成。所有这些, 无疑都会影响土的工程性质。特别是对于含水量高、富含动植物残体的软土来说, 微生物的生命活动对其性质的影响尤为突出。因此, 从研究微生物入手不仅是探索软土工程性质形成的关键。

本文根据前苏联列宁格勒大学教授尼日拉泽(Т. Н. Нижарадзе)1990年来南大讲学时介绍的“土中蛋白质总量的生物地球化学测定法”^[1], 对沪宁高速公路草塘滨段软土进行了研究, 提出了蛋白质总量与工程性质的关系, 据此提出该软土段工程分类和分区的初步成果。

2 蛋白质总量与有机质含量的关系

土中的有机质是指土中各种动植物残体和微生物及由它们的生命活动所产生物质的总和(图1)。动植物残体包括构成其生物本体的木质素、脂腊、碳水化合物、脂肪、蛋白质等。其中木质素、脂腊为非腐殖质。而蛋白质、碳水化合物和部分脂肪则是微生物的食物来源, 在氧化-微生物作用下易于分解。它们经分解及合成作用后形成了低分子化合物、沥青及腐

*国家自然科学基金资助项目。

**现工作单位南京建筑工程学院。

到稿日期: 1993-08-04.

殖质。由于低分子化合物游动性大，沥青与土和水的反应活性弱，故它们对土性质形成的影响甚微。腐殖质进一步演化成为不溶性胡敏素、水溶性富里酸、碱溶性胡敏酸，后两者合在一起称腐殖酸。腐殖质的形成和特性在很大程度上反映了软土的形成环境和过程，是决定软土特殊工程性质的重要物质成分之一。腐殖酸在水溶液中呈分子分散状态或凝胶状态，有较强的活动能力，能被土中的矿物，特别是具高吸附能力的粘土矿物表面所吸附，形成有机-矿物复合体^[2,3]。这种复合体具有特殊的表面性质及其它物理化学性质。

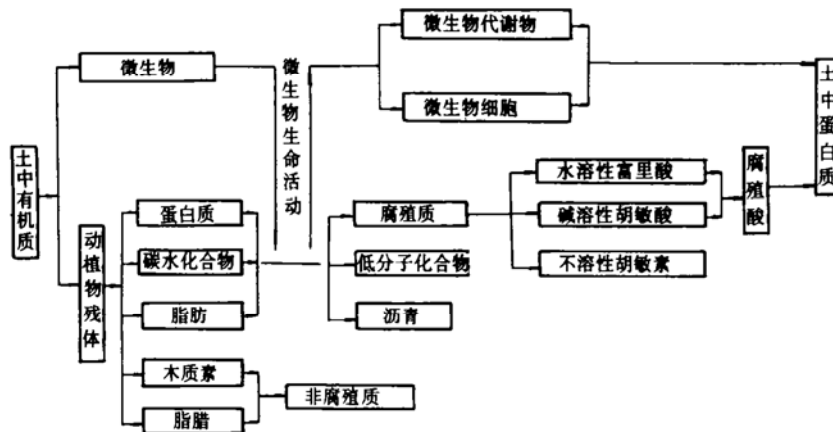


图1 土中有机质与蛋白质的关系

除动植物残体外，土中微生物是土中有机质的另一重要组成部分。微生物的生命活动是促使动植物残体分解、演化成腐殖酸的必要条件之一。实际上，土的有机质中真正能严重影响土的工程性质的仅是其中的一部分，是腐殖酸、微生物及其代谢产物。就这些物质的本质来说，可将其统称为土中的蛋白质。换句话说，土中的蛋白质总量实际上是指土中腐殖酸的数量、微生物的数量、及其新陈代谢物数量之总和(图1)。

为证实软土中的蛋白质总量与其有机质含量的相关性，我们进行了对比试验。取15个具代表性的软土试样，在测定其蛋白质总量的同时，用容量法测定了其中的有机质含量，二者之间的相关关系如图2所示，其相关系数 $\gamma=0.84$ 。

值得指出的是，用容量法测定的有机质含量不能全面反映有机质的分解程度，亦即不能反映真正控制土性形成的腐殖酸的含量。而更为重要的是它根本不能反映土中微生物的情况。在这方面，蛋白质总量的生物地球化学测定法却可弥补这一不足。再者，如图2所示，当土中蛋白质总量已达220mg/g时，其中有机质含量还不超过4%。按有机质含量所测软土的性质似应属于一类。但实际情况远非如此，如表2所列，它们的物理力学性质相差十分悬殊。而蛋白质总量的差异却能较好地反映土在性质上相差悬殊的这一事实。此外，与测定有机质

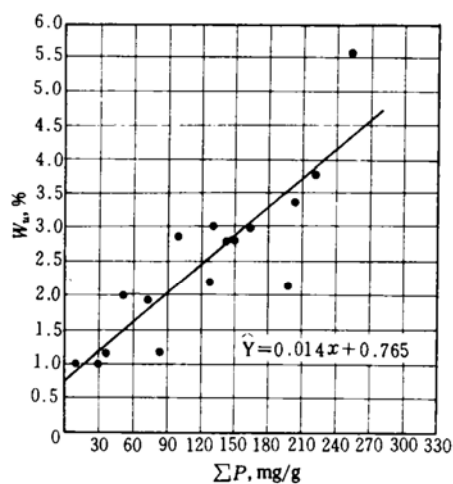


图2 有机质含量 W_u 与蛋白质总量 ΣP 关系图

含量的容量法相比,测定蛋白质总量的生物地球化学法更具简便、快速、准确的优点。我们认为,无论从理论上分析,还是从试验操作与试验结果检验来看,运用蛋白质总量代替有机质含量去评价软土的工程性质,更能满足工程设计的需要。

3 蛋白质总量与粒度、矿物成分的关系

试验研究结果证实,软土中的蛋白质总量与其粒度、矿物成分有一定的联系。图3所示系所测得蛋白质总量与土中小于 $5\mu\text{m}$ 颗粒百分含量的关系。从图中可以看出,土中的蛋白质总量随着小于 $5\mu\text{m}$ 颗粒含量的增加而增加。可见,土中蛋白质总量愈高,土中的细颗粒含量愈多、分散性愈大。

我们又进一步探讨了蛋白质总量与粘粒矿物成分的关系。为此,从蛋白质总量小于 100mg/g ($\Sigma P=82\text{mg/g}$)和大于 100mg/g ($\Sigma P=149\text{mg/g}$)的两个代表性土样中提取了粘粒,运用X射线衍射法半定量地鉴定了它们的矿物成分(表1)。对比测定结果发现,随蛋白质总量的增高,土中亲水性强,活动性高的蒙脱石矿物的含量有所增多。

土的粒度和矿物成分与蛋白质总量的这种关系是土中微生物生命活动的必然结果。微生物在新陈代谢过程中所产生的无机酸和有机酸对矿物,特别是对某些粘土矿物能进行强烈的分解与破坏,并从中取得其生命活动所必需的物质。在微生物所必需的物质中,首先需要的是碱金属,其次是碱土族金属中的铝、铁。在微生物作用下,富含钾离子的云母、伊利石等矿物最易遭受分解破坏,而转化为与其在结构上很近似的蒙脱石和蛭石等矿物。由此看来,随蛋白质总量的增多,蒙脱石含量相应增加则是完全可以理解的。微生物对矿物的分解破坏无疑将促使颗粒进一步变小,粘粒含量增加、土的分散性提高。

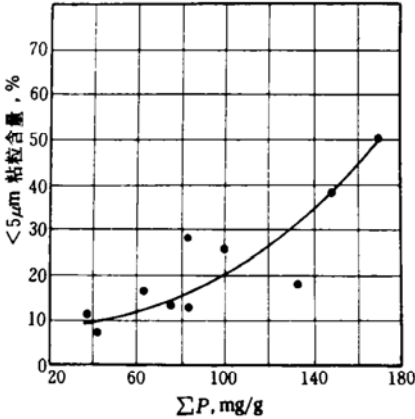


图3 蛋白质总量 ΣP 与 $<5\mu\text{m}$ 颗粒百分含量的关系曲线

表1 粘土矿物含量与蛋白质总量的关系

蛋白质总量 ΣP	主要粘土矿物成分与百分含量
82 (mg/g)	伊利石61%, 绿泥石31%, 蒙脱石3%
149 (mg/g)	伊利石55%, 绿泥石30%, 蒙脱石11%, 另有少量蛭石

综上所述,蛋白质总量不仅能反映软土中有机质的量与质而且在一定程度上还能反映土的粒度与矿物成分。因此,可将蛋白质总量看作是能较全面反映软土物质组成与物质成分的一项综合性指标。

4 蛋白质总量与软土物理力学性质的关系

现代土质学认为,土的物理力学性质是由土的物质组成成分与结构决定的。由于蛋白质

总量是反映软土物质成分和粒度的一个综合指标，可以设想它必然与软土的工程性质有良好的相关关系。表2系沪宁高速公路草塘滨段三个技术钻孔软土试样的物理力学性质指标值。为了论证蛋白质总量与物理力学性质的相关性，我们在原有三个钻孔的旁边，运用浅钻按原来取样的深度，重新取了扰动土样，补作了蛋白质总量列于表2的最后一栏。

表2 草塘滨软土物理力学指标及蛋白质总量值

土样编号	天然	容重	孔隙	液限	塑限	塑性	颗粒组成(%)				快剪指标		压缩	蛋白质
	含水量		比	含水量	含水量	指数							指数	总量
	w (%)	γ (g/cm ³)	e	w_L (%)	w_p (%)	I_p	0.25~ 0.1mm	0.1~ 0.05mm	50~ 5 μ m	<5 μ m	凝聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (度)	C_c	ΣP (mg/g)
1-1	—	—	—	—	—	—	—	11.9	59.9	28.2	—	—	—	82
1-2	25.3	2.00	0.697	34.4	20.3	14.1	—	—	—	—	35.4	21.6	—	31
1-3	38.4	1.84	1.038	35.0	20.6	14.4	—	8.1	77.2	14.7	15.7	7.1	—	65
1-4	37.3	1.86	1.000	35.2	20.6	14.6	—	11.4	80.9	7.7	4.4	26.2	—	41
1-6	36.4	1.88	0.966	30.8	19.3	11.5	13.4	58.8	17.4	10.4	19.8	18.2	—	38
2-2	89.6	1.76	1.951	58.8	27.4	31.4	—	13.6	48.7	37.7	16.2	3.4	0.478	149
2-3	38.4	1.80	1.106	41.1	22.3	18.8	—	9.6	77.2	13.2	22.4	0.4	0.331	72
2-4	52.8	1.70	1.462	41.6	23.2	18.4	—	8.4	78.9	12.7	13.0	0.8	0.385	83
2-5	54.8	1.70	1.495	45.2	23.5	21.7	—	10.9	64.1	25.0	16.5	2.1	0.398	101
3-2	48.6	1.70	1.395	62.4	28.4	33.8	0.6	9.8	36.5	49.5	15.7	3.3	—	170
3-3	39.8	1.80	1.105	37.6	20.9	16.7	—	5.8	79.6	14.6	—	—	—	138
3-5	45.7	1.69	1.362	42.1	22.6	19.5	—	—	—	—	—	—	—	147

说明：物理力学性质指标由江苏省交通规划设计院提供。

如前所述，高含水量是土中微生物生存的有利条件之一。所以它对土中的蛋白质总量必将具有一定的影响。如表2所示，如单从一个钻孔的试验资料来看，亦即当其它条件相同时，土的天然含水量高，蛋白质总量亦高。但将三个钻孔的试验资料合在一起讨论，其相关性就不那么理想了。其中钻孔3的资料较为特殊，与其它二个钻孔相比，蛋白质含量最高，但含水量却相对较低。后来，通过对地质条件的深入研究发现，钻孔3恰位于一条小河的古河床淤积区，那里的条件对微生物的发育较为有利。钻孔3的资料再一次证实，土的天然含水量不是微生物发育的唯一条件。所以，土的天然含水量与蛋白质总量的关系不可能是简单的相关关系，具体情况要具体分析。

蛋白质总量与软土的塑性指标的相关性相当好。如图4所示，随着蛋白质总量的增加，土的液限、塑性指数都增大，其中尤以液限的相关性表现最为明显。由图5可以看出，压缩指数随蛋白质总量的增加而增大。这表明，随着蛋白质总量的增高，土的压缩性将明显增强。蛋白质总量与软土抗剪强度两指标(c , φ)之间的关系曲线如图6所示。由图6可以看出，软土的抗剪强度指标值均随其蛋白质总量的增高而迅速下降。

通过以上对软土蛋白质总量与其物理力学性质相关关系的讨论，我们得到了以下二点认识。第一、软土中的蛋白质总量可以作为预测其工程性质的一个指标；第二、蛋白质总量可以作为划分软土类别的分类指标。

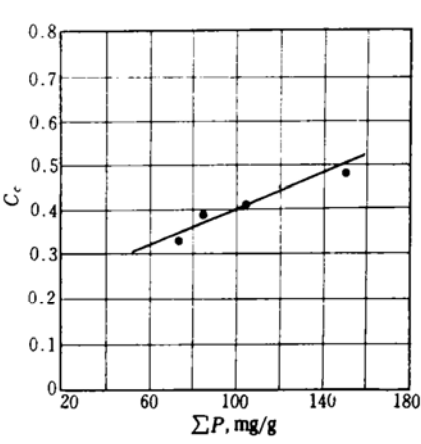
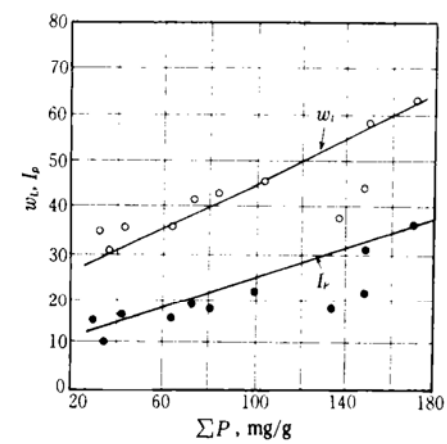


图4 蛋白质总量 ΣP 与液限 w_L 及塑性指数 I_p 的关系

图5 蛋白质总量 ΣP 与压缩指数 C_c 的关系

5 蛋白质总量在软基工程地质勘察中的应用

查明软土的工程地质类型和空间分布规律是软基工程勘察的主要任务。目前，此项任务主要是通过各种钻探工程、提取试样、室内试验来完成的。这一过程周期长、工作量大，且

表3 草埔滨软土蛋白质总量一览表

土样编号	蛋白质总量 (mg/g)	土样编号	蛋白质总量 (mg/g)	土样编号	蛋白质总量 (mg/g)
1-1	82	6-1	12	13-1	221
1-2	31	6-2	21	13-2	516
1-3	65	6-3	53	13-3	298
1-4	41	7-1	48	14-1	204
1-5	33	7-2	13	14-2	173
1-6	38	7-3	35	14-3	84
2-1	200	8-1	7	15-1	199
2-2	149	8-2	130	15-2	101
2-3	72	8-3	90	15-3	27
2-4	83	9-1	52	16-1	64
2-5	100	9-2	127	16-2	147
3-1	98	9-3	61	16-3	143
3-2	170	10-1	144	17-1	—
3-3	138	10-2	41	17-2	400
3-4	136	11-1	18	17-3	131
3-5	147	11-2	92	18-1	82
5-1	74	12-1	170	18-2	65
5-2	119	12-2	223	19-1	117
5-3	12	12-3	284	19-2	72

具有一定盲目性,因而可能造成浪费。我们以沪宁高速公路草塘滨段为例,运用蛋白质总量查明软土的类型和空间分布特征,取得了良好效果。

草塘滨路段在地貌上属长江中下游冲积平原。区内地形平坦、水系发育,沟渠纵横,河塘密布。土层除表层为厚度不大的可塑-硬塑状态的低液限粘土(CL)外,其下便是灰黑色的、软塑-流塑状态的软土,它也就是本次勘察研究的重点对象。为了搞清路段内软土的类型和分布规律,我们在原来初勘的基础上,又按一定密度(孔位见图7),用浅钻从不同深度,重新采取了57个扰动土样,专门测定了它们的蛋白质总量(表3)。

依据蛋白质总量值,可将段内软土区分为三种类型:蛋白质总量 $\Sigma P < 100\text{mg/g}$; $\Sigma P = 100 \sim 200\text{mg/g}$ 和 $\Sigma P > 200\text{mg/g}$ 。三种类型软土在地下0.5m, 1.5m和2.5m深度的平面分布如图7所示。而这种分布规律在运用计算机绘制的立体展示图上(图8)体现得尤为直观。

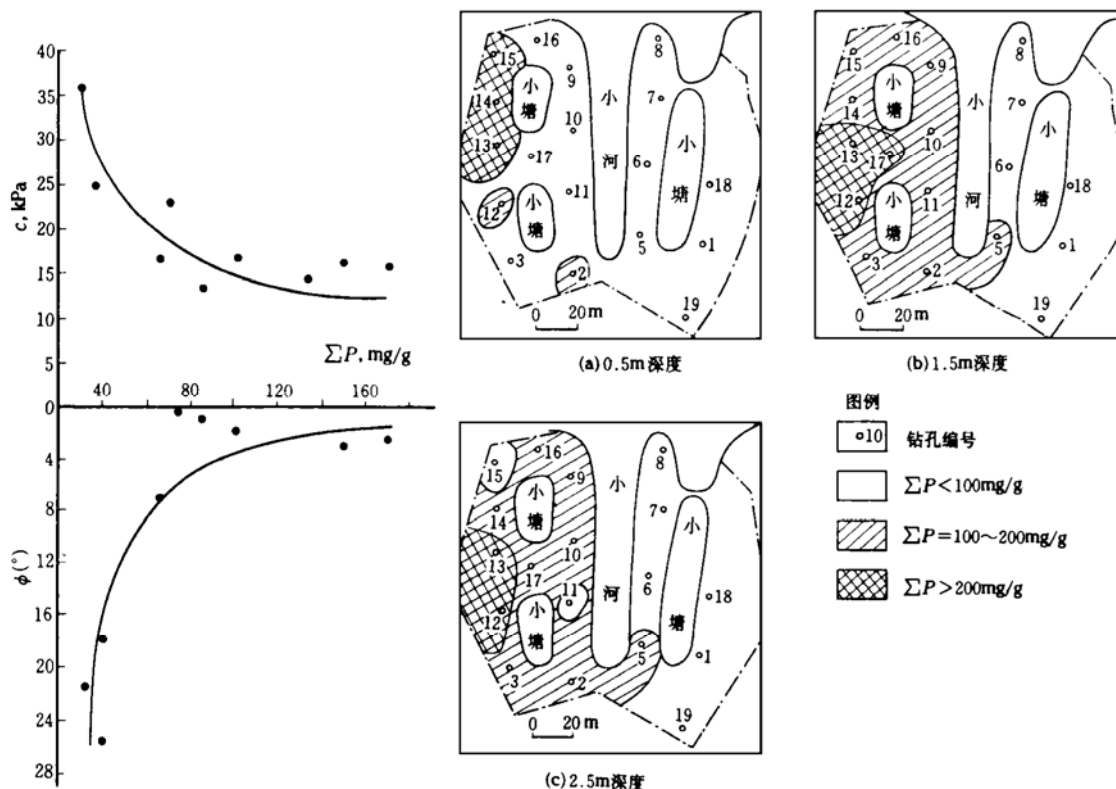


图6 蛋白质总量 ΣP 与抗剪强度
 c , ϕ 值的关系曲线

图7 蛋白质总量 ΣP 的平面分布

从蛋白质总量的平面分布图上可以明显地看出,草塘滨路段的软土按蛋白质总量可分为两大区。东区(小河的右岸),蛋白质总量低,基本上都小于 100mg/g ,且在2.5m深度以上均是如此。这说明东区软土在测试范围内比较均一,且性质相对较好。西区(小河的左岸)则是另一种情况,一般都大于 100mg/g ,个别地段甚至达 400mg/g 。西区的另一特点是,蛋白质总量在地表下各不同深度上的分布很不均匀,在低值的背景上出现小片的高值区。西区软土的这种分布特征,说明该区软土不仅性质差,甚至很差,且分布不均匀,需要重点研究与防范。草塘滨路段东、西区软土类型的差异,在蛋白质总量变化的立体展示图上体现得尤为

明显(图8)。路段不同类型软土的这种分布规律,如若在初勘阶段就已被掌握的话,那么我们就可以运用这一规律去指导详勘,使详勘工作更具针对性,从而缩减不必要的工作量。

蛋白质总量还可在分析软土地质成因与形成条件方面,提供有价值的信息。蛋白质总量的分布特点指明,东西区的软土应属于不同时代和不同的成因类型。这是符合该区地质历史情况的。东区为长江下游冲积平原的冲积物,微生物生存繁殖的条件差,蛋白质总量低,土的工程性质相对较好。而西区则为现代小河逐渐东移所遗弃的古河道的淤积物。其时代新,含水量高、动植物残体多,有利于微生物的生命活动,因而其蛋白质总量高,工程性质差。至于西区零星分布的蛋白质总量高值区,则是古今封闭池塘的淤积物所在地,它们更富含动植物残体,为微生物新陈代谢提供了丰富的食物来源,蛋白质总量高也就理所当然了。

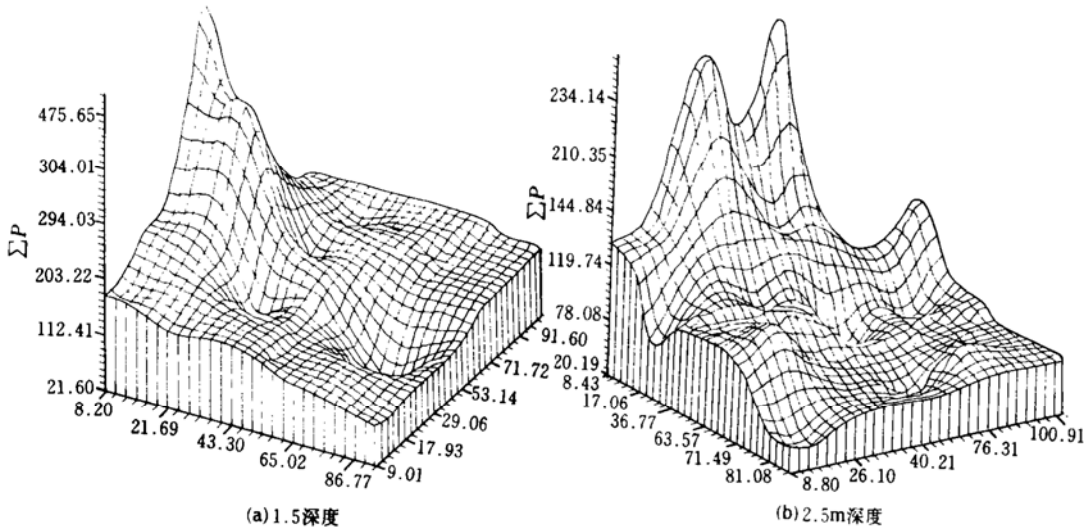


图8 蛋白质总量变化的立体展示图

6 结 论

(1)蛋白质总量与软土的颗粒组成和矿物成分之间有很好的内在联系,土中小于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒含量和蒙脱石组矿物的含量与蛋白质总量的变化趋势是一致的。把蛋白质总量当作是代表软土物质组成成分的一项综合性指标是合适的。

(2)蛋白质总量与软土的物理力学性质具有良好的相关关系,随着蛋白质总量的增高,土的塑性增强、压缩性增大、抗剪强度降低。

(3)蛋白质总量可用于对软土进行工程地质分类和分区,使软基的技术处理措施避免盲目性。蛋白质总量不仅能反映软土工程性质在平面与立面上的变化,而且还能进一步分析软土的地质成因和形成环境。

(4)蛋白质总量借扰动土样测定,具有操作简单、快速及高效等特点,可作为软土工程地质勘察中一项有力的手段。所测得的蛋白质总量是进一步研究软土成分、结构、物理力学性质,及制订有针对性技术措施的主要依据。

(5)研究结果证明, 软土中的蛋白质总量是决定其工程性质的重要因素之一, 用蛋白质总量代替有机质含量分析和评价软土的工程性质, 更能满足工程设计的需要。

参 考 文 献

- 1 Нижарадзе Т. Н. Инженерно-геологическое изучение оглиненных грунтов с принципиально новых позиций. Изд ЛГУ. 1991. 7~19; 121~150.
- 2 蒋剑敏, 熊毅. 土壤有机无机复合体, 土壤胶体, 第一册(土壤胶体的物质基础). 北京: 科学出版社, 1983. 326~426.
- 3 邵宗正. 土壤胶体的亲水性, 土壤胶体, 第三册(土壤胶体的性质). 北京: 科学出版社, 1990. 157~211.

Total Protein Content in Soft Soil and Its Application to Engineering Geology

Li Sheng-lin Qin Su-juan Han Ai-min

(Dept. of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract The paper discusses the relation between organic matter and the total protein content in soft soil and brings to light the interrelation of the total protein content with the components, physical and mechanical property of soft soil. It has been shown by the application to the Caotangbin section of the Shanghai-Nanjing Freeway that the evaluation of engineering properties of soft soil through the total protein content can further meet the needs of the engineering design.

Keywords soft soil, organic matter, protein.