

浅谈珠江出海口门软土地质特征*

吴国荣

(广东省水利电力勘测设计研究院, 广州 510170)

摘 要: 珠江出海口门的综合整治工作是一长期工作, 目前已逐步开始实施. 对口门处较厚的软土层的地质特征的研究有助于整治工程的正确、有效实施. 通过对口门区的勘探成果资料的分析研究, 对软土层的地质特征进行归纳总结, 并对在河口修建综合整治工程常用的基础形式进行介绍、分析.

关键词: 珠江出海口门; 软土; 地质特征; 基础形式

中图分类号: TV221 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) S2-0104-04

1 前 言

珠江水系由西江、北江、东江及珠江三角洲河网等所组成, 珠江出海口由八大口门组成, 分别为虎门、蕉门、洪奇沥门、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门、崖门. 珠江八大出海口门地处东莞、深圳、广州的番禺、中山、珠海、江门各市辖地域范围 (见图1).

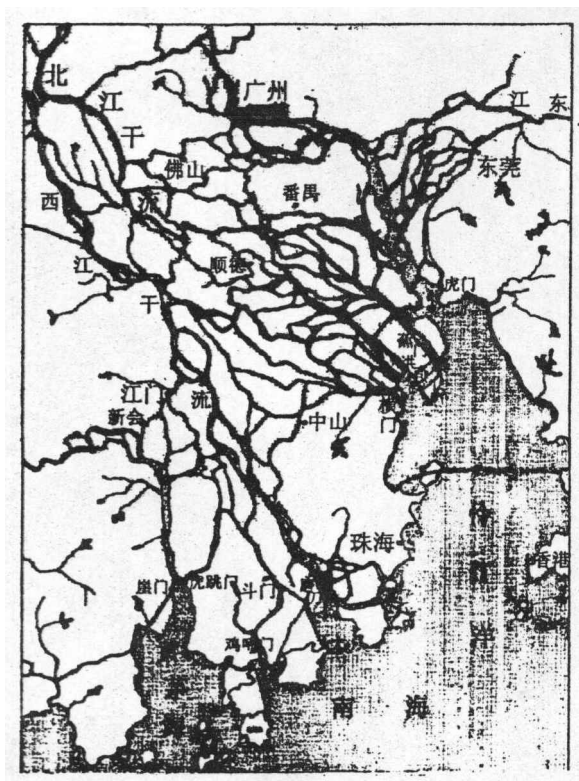


图1 珠江八大出海口门位置图

八大出海口门区上部土层普遍为软土层, 进行口门整治采取的工程措施主要为筑堤、建坝、修建水闸、已建堤围加固、疏浚等, 建筑物规模一般较小, 基础常常利用上部软土层, 因此对软土层的工程地质特征的认识研究有助于更合理、有效的实施整治工程.

《建筑岩土工程勘察基本术语标准》JGJ 84-92的定义, 软土是指天然含水量大、压缩性高、承载力低, 软塑到流塑状态的粘性土. 《岩土工程勘察规范》GB50021-94中规定, 天然孔隙比大于或等于1.0, 且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土, 包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等, 其压缩系数宜大于 0.50 MPa^{-1} ; 不排水抗剪强度宜小于 30 kPa .

勘探取样范围位于其中的蕉门、洪奇沥门、横门、磨刀门, 钻孔位于水中或靠近水边的堤围上. 软土原状样品采用薄壁取土器, 运送采用特制样品箱, 箱底垫上泡膜垫层, 尽量避免样品受震动破坏.

2 软土的地质特征

2.1 形成条件

与全球海平面的变化相同, 珠江三角洲在晚更新世时期为玉木亚间冰期, 海平面处于低期, 比现今海平面低 $10 \sim 20 \text{ m}$, 在现今出海口门一带沉积了一套河流相的灰黄~灰白色砂层及棕红带灰白色花斑状粘土层, 呈为下层. 全新世以来气候变暖, 海平面急剧上升, 三角洲处于海侵阶段, 海水由南往北入侵, 现今的出海口附近一带形成河口湾, 处于潮水进退影响区, 内陆河流水

* 收稿日期: 2001-07-30; 作者简介: 吴国荣 (1967-), 男, 工程师.

在本带与海水相遇，流速变慢，水流所带来的细小颗粒，多为粉粒、粘粒、胶粒，在本区沉积下来，形成细粒土层。由于气候暖湿，生物易于繁衍，其尸体沉积下来，使土层富含有机质。

2.2 岩性及分布规律

珠江出海口门区软土层主要为淤泥、淤泥质土层，呈浅灰黑—灰黑色，部分含少量贝壳，含砂量变化较大，0~50%不等，多在5%~40%间，含砂粒径多小于0.25 mm，很少含大于2 mm的砾粒。部分质较纯，含砂很少，粘性好，具有滑腻感，部分含砂较多，为粉砂质淤泥、粉砂质淤泥质土，呈软塑~流塑状。部分地段含砂量增多而成为淤泥质粉细砂层，夹于淤泥、淤泥质土层中或以淤泥质粉细砂为主，夹淤泥层，含淤泥质较多，松散状。

出海口门软土层中淤泥、淤泥质土和淤泥质砂层所占比例分量具有如下特点：

(1) 蕉门 31 个钻孔中统计结果钻孔累计揭露淤泥、淤泥质土、淤泥质砂层总厚度 584.85 m，其中淤泥质砂层累计厚度 160.45 m，约占 27%，淤泥、淤泥质土累计厚度 424.4 m，约占 73%。

(2) 洪奇沥门 42 个钻孔中统计结果累计揭露淤泥、淤泥质土、淤泥质砂层总厚度 627.55 m，其中淤泥质砂层累计厚度 141.3 m，约占 23%，淤泥、淤泥质土累计厚度 486.25 m，约占

77%。

(3) 横门 22 个钻孔中统计结果累计揭露淤泥、淤泥质土、淤泥质砂层总厚度 356.55 m，其中淤泥质砂层累计厚度 32.2 m，约占 9%，淤泥、淤泥质土累计厚度 324.35 m，约占 91%。

(4) 磨刀门 18 个钻孔中统计结果累计揭露淤泥、淤泥质土、淤泥质砂层总厚度 162.7 m，其中淤泥质砂层累计厚度 22.85 m，约占 14%，淤泥、淤泥质土累计厚度 139.85 m，约占 86%。

统计结果显示，口门区的软土层中淤泥、淤泥质土层约占 73%~91%，占了绝大部分，淤泥质砂占了 9%~27%，所占分量较少。呈现东面的蕉门、洪奇沥门含砂量较多，西面的横门、磨刀门含砂量较少的规律，这与其所属流域应存在关系，蕉门及洪奇沥门属于北江干流出口，磨刀门属于西江干流，横门属于西江支流，北江河流较短，来水相对较急，所带砂粒较多，西江河流较长，流水相对较缓，所带颗粒相对较细，含砂量较少，而横门的含砂量比磨刀门少，正是干流与支流的区别。出海口门附近软土层厚度多在 10~20 m 间，部分地段较厚可达 30~50 m，如斗门的灯笼沙厚度大于 50 m，番禺横沥揭示到最大厚度达 41.2 m。

2.3 物理力学性质特征

口门区软土具有含水量大、压缩性高、强度低、透水性弱、富含有机质等特征，见表 1。

表 1 珠江出海口门软土主要指标特征

项 目		w %	e	w_L %	I_L	固结试验		剪切试验		K_{20} $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	w_u %
						a_v	E_s	C	ϕ		
蕉 门	最大值	82.9	2.321	64.2	2.54	2.95	3.89	16.3	30.1	$8.81E-04$	5.07
	最小值	37.1	1.008	28.8	0.94	0.55	1.13	1.0	4.5	$6.76E-08$	2.83
	平均值	56.9	1.566	46.0	1.59	1.21	2.41	5.4	11.5	$4.35E-05$	4.38
洪奇沥门	最大值	86.7	2.353	68.5	3.53	3.17	4.81	34.9	30.7	$3.81E-04$	5.37
	最小值	37.7	1.036	26.0	1.02	0.52	1.02	1.1	2.0	$1.02E-07$	1.05
	平均值	54.8	1.541	43.4	1.67	1.27	2.40	8.8	12.6	$2.89E-05$	3.80
横 门	最大值	103.2	2.838	65.7	3.18	3.34	3.03	22.3	27.9	$7.23E-04$	5.46
	最小值	49.7	1.357	33.4	1.09	0.82	0.87	1.0	4.1	$1.31E-08$	2.54
	平均值	69.0	1.889	51.2	1.86	1.88	1.78	6.5	10.3	$4.86E-05$	4.57
磨刀门	最大值	75.4	2.061	63.5	4.01	2.43	3.69	16.8	19.5	$1.60E-03$	5.16
	最小值	40.3	1.116	26.5	1.38	0.57	1.21	1.4	2.0	$1.51E-07$	1.63
	平均值	60.6	1.695	42.8	2.17	1.54	1.94	4.4	10.5	$7.23E-05$	3.84
四口门汇总	最大值	103.2	2.838	68.5	4.01	3.34	4.81	34.9	30.7	$1.60E-03$	5.46
	最小值	37.1	1.008	26.0	0.94	0.52	0.87	1.0	2.0	$1.31E-08$	1.05
	平均值	58.8	1.634	45.4	1.76	1.41	2.22	6.9	11.6	$4.22E-05$	3.98

(1) 含水量: 口门区软土含水量较大, 天然含水量一般在 $W = 37.1\% \sim 103.2\%$, 平均值为 58.8% , 其中以横门的软土含水量最大, 平均值为 $W = 69.0\%$, 洪奇沥门最小, 平均值为 $W = 54.8\%$.

(2) 压缩性: 口门区软土为高压缩性土, 其压缩系数 $a_{v100-200} = 0.52 \sim 3.34 \text{ MPa}^{-1}$, 平均值为 1.41 MPa^{-1} , 压缩模量 $E_{s100-200} = 0.87 \sim 4.81 \text{ MPa}$, 平均值为 2.22 MPa . 其中以横门的软土压缩系数最大, 平均值为 $a_{v100-200} = 1.88 \text{ MPa}^{-1}$, 蕉门最小, 平均值为 $a_{v100-200} = 1.21 \text{ MPa}^{-1}$.

(3) 抗剪强度: 饱和快剪强度低, 统计结果 $C = 1.0 \sim 34.9 \text{ kPa}$, 平均值为 6.9 kPa , $\Phi = 2.0 \sim 30.7^\circ$, 平均值为 $\Phi = 11.6^\circ$, 其中以洪奇沥门的软土饱和快剪强度最大, 平均值为 $C = 8.8 \text{ kPa}$, $\Phi = 12.6^\circ$, 磨刀门最小, 平均值为 $C = 4.4 \text{ kPa}$, $\Phi = 10.5^\circ$.

(4) 渗透系数: 渗透系数较小, 统计结果渗透系数 $k = 1.60 \times 10^{-3} \sim 1.31 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$, 平均值为 $4.22 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, 多属于弱透水—极微透水, 局部因含砂多而成中等透水性.

(5) 有机质含量: 富含有机质, 统计结果有机质含量 $W_u = 1.05\% \sim 5.46\%$, 平均值为 3.98% , 其中以横门的软土有机质含量最大, 平均值为 $W_u = 4.57\%$, 洪奇沥门最小, 平均值为 $W_u = 3.80\%$.

(6) 不均匀性: 由于软土含砂量变化较大, $0 \sim 50\%$ 不等, 部分地段为淤泥质粉细砂层. 这是海陆混合相沉积的结果. 含砂量的增大, 会使土层的压缩性变小. 这种不均匀性在工程上易造成不均匀沉降发生.

造成珠江出海口门软土上述特征的原因主要是: 出海口门区软土层为全新统沉积层, 形成地质时代新, 固结时间短, 并且分布在表层, 未经压实, 为欠固结土层; 地形低, 地面高程一般小于 $2 \sim 3 \text{ m}$, 地下水高, 土层长期处于饱水状态; 软土的颗粒较细, 砂层常为透镜体, 透水性弱, 不利于排水固结; 生物尸体的腐化、微生物的作用对土层的结构造成影响, 使其变松软, 以上是导致软土含水量大、压缩性高、强度低、透水性弱的原因. 沉积速率快, 颗粒细小, 封闭性能好, 有机质分解受到限制, 且分解时间短, 导致含有有机质较多.

3 地基处理及基础形式初探

口门区软土层的上述特征决定, 在口门区修建建筑物一般不宜直接利用软土层为持力层, 必须进行地基处理或采用其他基础形式. 在出海口门的综合整治中, 较常用的地基处理及基础形式主要有以下几种.

(1) 抛石垫层基础: 是一种在软土层上抛块石作为垫层, 然后在其上修建建筑物, 此种基础形式在以往的口门围垦筑堤中广泛使用. 施工时可用船运抛填, 具有施工方便、投资少的特点, 但基础沉降量较大、沉降过程较长的缺点.

(2) 浮运法沉箱基础: 是一种采用砼预制浮运空箱式底板的基础形式, 地基处理仅直接在原状的淤泥或淤泥质粉细砂层上平整, 也有采用换砂层垫层处理, 然后浮运预制空箱安装. 如中山的东口水闸、斗门县的白藤水闸等几十座水闸均采用浮运法施工. 采用此方法在三角洲的软土地基上修建水闸、船闸, 实践证明是行之有效的形式.

(3) 深层水泥浆搅拌法: 深层搅拌法最适宜加固各种成因的饱和软粘土, 国内目前采用该法加固场所还仅限于陆上, 最大加固深度达 15 m . 其原理是将水泥浆与加固土层搅拌, 产生物理化学反应, 包括水泥的水解和水化反应, 粘土矿物与水泥水化物的反应, 硬凝反应和碳酸化作用使软土固化. 珠江出海口门处软土的有机质含量基本上都高于 1% , 水泥的水化反应会受到一定的抑制, 克服方法可根据不同土性加入木质素硫酸钙、石膏、三乙醇胺、氯化钠、氯化钙、硫酸钙等外参剂, 也可结合工业废料的处理, 参入粉煤灰, 提高加固处理效果. 参入水泥量一般为加固土重的 $7\% \sim 20\%$. 加固后水泥土的无侧限抗压强度可达 $q_u = 300 \sim 4000 \text{ kPa}$, 比天然土大几十倍甚至数百倍. 抗剪强度凝聚力 $C = 100 \sim 1100 \text{ kPa}$, 一般约为 q_u 的 $20\% \sim 30\%$, 内摩擦角 $\Phi = 20^\circ \sim 30^\circ$. 该法具有施工速度快、投资省、适应性广、承载力高、防渗性能好、施工时对周围建筑物的影响小等优点.

(4) 水泥粉喷搅拌桩: 本方法与水泥浆搅拌法有异曲同工之处, 但参合材料是水泥干粉剂, 利用水泥、石灰作为固化剂, 与软土强行拌和, 产生一系列物理化学反应, 在软土中形成防渗墙、堤防工程加固补强. 同样适用于所夹的粉细

砂层，起防渗、防液化的效果。此种方法在中山的一些堤段加固采用了此方法，效果不错。

以上四中方法是较常用、较经济有效的软基处理加固软方法。根据工程的特点及需要，还有采用预制桩、砂桩、碎石桩等基础或进行堆载预压、强夯等处理形式。

4 结 论

勘探及试验分析统计结果反映，珠江出海河口区软土分布范围广，厚度较大，具有含水量大、空隙比大、高压缩性、承载力低、透水性弱、易震陷的特性，工程地质性状差。

在口门区修建建筑物，需要因地制宜，根据

建筑物的特点、要求，采用适当的地基处理或基础形式，方可节约投资，达到目的。

通过本文的介绍，希望对珠江出海口门地区软土的特征的认识有所帮助，对整治工程的设计、施工有指导意义。

参考文献：

- [1] 地质矿产部第二海洋地质调查大队，地质矿产部海洋地质研究所. 珠江三角洲沉积特征及沉积模式. 1987.
- [2] 珠江三角洲的形成发育和演变. 中山大学, 1977.
- [3] 珠江三角洲的形成发育演变. 广州地理研究所, 1982.