

· 工程勘察管理 ·



港珠澳大桥岛隧工程精细化勘察组织与实施

林 鸣

(中国交通建设股份有限公司, 北京 100088)

摘要: 港珠澳大桥岛隧工程, 勘察过程中建立组织机构使设计与勘察紧密结合, 国内设计单位会同国外有经验设计咨询公司对勘察进行管理, 确保勘察工作满足设计需求; 勘察过程全面执行国际标准, 采用具有国际先进水平大型勘察设备(如海上液压升降钻探平台、具有波浪补偿功能的钻探设备及海床式CPTU设备), 按国际标准进行勘察作业及试验, 尽量减少对原状样的扰动; 结合设计所需参数按照国际标准开展有针对性试验, 对勘察结果采用三维地质模型进行数据处理; 勘察成果优于常规勘察并已在岛隧工程实施中得到检验。总结本次勘察的组织与实施经验, 希望为今后国内大型项目的地质勘察提供参考, 有助于推动我国精细化地质勘察的推广。

关键词: 港珠澳大桥; 岛隧; 组织与实施; 国际标准; 精细化勘察; 液压升降钻探平台; 分离式液压驱动钻机; 海床式CPTU

中国分类号: TU 413

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)07-0001-08

Organization and implementation of refined soil investigation in island-tunnel project of HZMB

LIN Ming

(China Communication Construction Company Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The organization program of soil investigation which is different from domestic conventional project of marine bridge and tunnel have been adopted in island-tunnel project of HZMB. The geotechnical investigation organization was set up to connect design during investigation. Domestic and foreign design and consulting companies supervised and directed the soil investigation together to make sure that the investigation results were satisfied by designer. International standards were followed, large-scale geotechnical equipments of advanced level were used (such as offshore hydraulic driven jackup, separate hydraulic driven drilling rig, seabed CPTU rig), undisturbed samples have been minimized the disturbance, targeted laboratory tests combining the designing requirements were carried out under international levels, the three-dimensional geological model have been adopted to process geotechnical data. Based on the above fact, the geotechnical results of island-tunnel soil investigation are better than the conventional soil investigation and approved during construction. After the summary of the organization and implementation of refined soil investigation and comparison with conventional investigation, it is recommended that our experiences of refined soil investigation can be used in domestic large-scale project in the future, also it is useful to promote the refined soil investigation to wildly develop in our country.

Key words: Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge; island-tunnel; organization and implementation; international standard; refined soil investigation; jack-up; separate hydraulic driven drilling rig; seabed CPTU rig

港珠澳大桥是我国继三峡工程、青藏铁路、南水北调、西气东输、京沪高铁之后又一重大基础设施项目, 东连香港, 西接珠海、澳门, 是集桥、岛、隧为一体的超大型跨海通道。海中岛隧

收稿日期: 2013-05-21

作者简介: 林鸣(1957—), 男, 高级工程师, 中交集团总工, 从事水工及路桥施工管理。

工程是整个大桥的控制性工程，由沉管隧道、东西人工岛3大部分组成，其中沉管隧道是目前世界上综合难度最大的沉管隧道之一。中国交通建设股份有限公司为岛隧工程的总承包牵头单位。

岛隧工程之前开展了初步勘察和详细勘察，中交总承包进场后，仔细研究了前期勘察成果，重点分析了沉管隧道设计及施工特点。由于沉管隧道埋置深度大，管底土层工程性质差异较大，施工过程中基础土体会经历一个开挖卸载、管节沉放、回填再加载过程；人工岛填筑形成的附加应力大，而且需要进行基坑降水。因此，在前期按照《公路工程地质勘察规范》完成了岛隧初勘及详勘已获得地质参数分析的基础上，结合工程施工工序及拟定的设计基本方案，对沉管隧道结构、基础、基槽、回填、岛隧结合部、岛内软基处理以及基坑设计中所进行沉降分析、承载力、地基刚度及渗透系数评价需求应安排更有针对性的补充勘察工作，重点补充及验证相关的岩土参数。

为了保证项目质量，项目总经理部提出实施精细化地质勘察要求，高精度并真实反映实际状态下的各种岩土参数。因此，从补充地质勘察的操作标准、组织机构、设备、勘察程序等方面，均制定了专门而严谨的组织实施方案。本次精细化地质勘察^[1]已成功实施，成果已在岛隧设计施工中得到应用及验证。

1 精细化勘察组织与实施标准

本次勘察工作在遵照国内相关规范基础上，就高执行以下国际标准^[2-6]：

- 1) BS5930:1999; 2) BS1377:1990 Part 1 to 9; 3) 香港的GEOGUIDE 2 和 GEOGUIDE 3; 4) 国际土力学与岩土工程协会ISSMGE试验程序(1999)。

以上国际标准的应用，填补了国内标准在以下方面的不足：

- 1) 土体分类方面。BS及香港标准不仅和国内标准一样注重土体的主要组分分析，而且还重点描述了次要组分。为精细化分层提供了标准。

- 2) 原位测试方面。国际标准补充了国内标准没有测量孔隙水压力的静力触探试验内容，为静力触探试验消除孔隙水压力的影响提供更原位的有效数据。同时，国际标准修正了国内标准对标贯入试验仅进行杆长校正的不足，增加了符合标贯原理的锤击能量校正，为标贯试验的原位性数据获得提供了可靠的保证。

- 3) 室内试验方面。采用了国内标准不常用的异向固结三轴剪切试验法，模拟原位应力状态进行不排水剪切试验，获得原位不排水剪切强度。同时设计根据实际开挖回填方案制定了固结加荷步骤，获得施工及使用期的固结指标。

2 组织机构特点

勘察项目部根据现场工作进行分工设置，机构设置见图1。

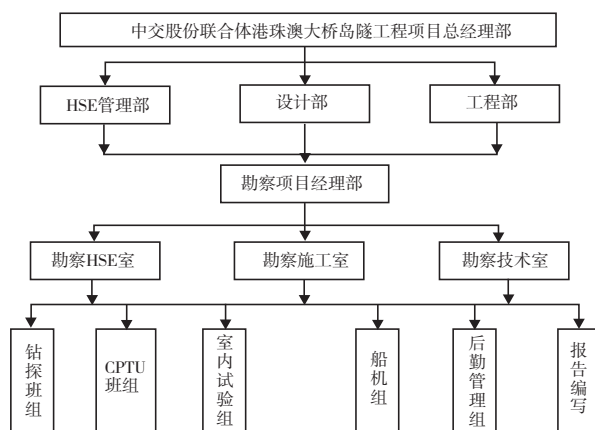


图1 组织机构

借鉴国际先进勘察管理理念，勘察项目部在中交项目总经理部的管理和协调下开展工作。设计方（中方设计单位及国际合作单位丹麦COWI）驻场监督勘察外业工作和试验室试验工作，掌握第一手资料，并根据设计需求对勘察工作进行适时的指导和调整。

3 国际化勘察设备

岛隧工程对地层划分及地质参数的精细化要求高，补充勘察采用国际先进的设备、方法，实施精细化勘察，以获取原位少扰动资料成果为目标。本次采用的船机设备、取土设备、原位测试

设备和室内试验设备符合国际标准，与国内常规海上勘察存在诸多不同。

3.1 钻探载体及钻机

钻探采用符合国际标准的海上液压升降钻探平台（图2）和分离式液压驱动钻机（图3），排除了作业中受海上波浪冲击会产生的晃动影响。



图2 海上液压升降钻探平台



图3 分离式液压驱动钻机

海上液压升降钻探平台是国外常用的钻探平台，通过大功率的液压驱动将平台的桩腿自由升降以适合不同水深，同时采用不同的管靴配合不同海床地质条件，可承受较大风浪，维持液压钻

探平台在海上的稳定，使得海上勘察作业变成“陆域”勘察，能有效防止波浪对钻进产生扰动。

分离式液压驱动钻机虽然采用方驳或货船作为勘察载体，但核心技术是将成套钻进系统分成控制台、液压驱动动力头、钻塔、波浪补偿系统。通过波浪补偿系统能减少波浪起伏对钻进的影响，显著提高勘察质量。

3.2 取土设备

3.2.1 采取不扰动样

本次勘察为了提高取土质量，除了提高钻进质量外，还从取土设备及储存保管运输等方面进行改良。对于 $N \leq 8$ 击的软塑-可塑的黏性土，采用长度为1 000 mm，直径为100或76 mm，面积比 $< 10\%$ 的固定活塞式取土器（图4）。固定活塞式取土器是国际上应用最广泛的软土取土器，但在国内水运行业运用极少。对比国内常规的取土器，取样率要更高，取样质量要更好，不易掉样，不易取到残渣。对于 $N > 8$ 击的可塑状以上黏性土采用敞口薄壁shelby取土器。取出的原状样竖立保管于专门土样箱里，在土样箱底部放置防振泡沫，土样之间充填木屑，采用专门储存箱保管确保土样固定以及在运输过程减少扰动。

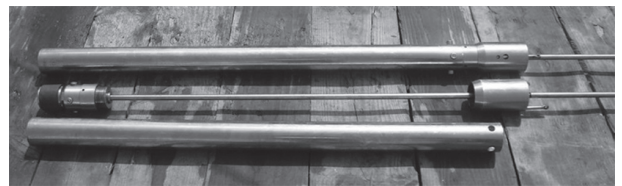


图4 固定活塞式取土器

3.2.2 采取扰动样

主要是标准贯入试验（SPT）的扰动样，在标准贯入试验的贯入器增加镀锌衬管（图5），所采取的扰动样达到III级，可进行一般物理性试验。通过采集标准贯入试验样品，能直观鉴别土质。

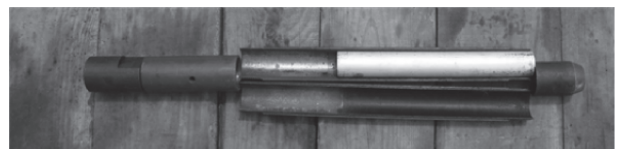


图5 SPT样品

与国内常规标贯试验相比较，完善了国内标贯采取不到较好III级样品的不足。

3.3 原位测试

3.3.1 海床静力触探试验(CPTU)

静力触探试验(CPTU)是一种具有速度快、数据精度高、数据连续、再现性好、效率高、功能多、操作省力等优点的原位测试方法^[7]。针对隧道下卧层多为软土的特点，补充勘察以CPTU为主，通过CPTU数据与室内试验及其它原位测试结果建立可靠客观的关联公式。

采用的国际标准海床式CPTU试验设备，由驱动主机和采集设备组成(图6)，可同时测量端阻、侧摩阻以及由于触探引起的孔压和探头倾斜。试验以20 mm/s的速度进行，每10 mm采集数据一次，采集数据的频率符合国际标准的要求，可获得大量精细的地层原位数据。



图6 海床CPTU设备及15 cm²的三桥电测探头

3.3.2 标准贯入试验

采用符合国际标准的标准贯入试验设备(图7)，该设备与国内的标准贯入试验设备有明显的差异：1) 垫锤，质量为15~20 kg，国内的垫锤约为3 kg；2) 贯入器内加镀锌内衬管。



图7 标准贯入试验设备

设计在采用标准贯入试验数据时，国际上^[8]一般采用经校正后的数据如 N_{60} 或 $(N_1)_{60}$ ，一般需要对上覆自重压力、锤击能量传递比^[9]、贯入器内有无衬管、钻杆长度及钻孔直径的影响均进行校正。国外利用 N_{60} 或 $(N_1)_{60}$ 数据建立了标贯击数与

物理力学指标的相关经验公式。

本次勘察为了获得准确的锤击能量传递比 E_r ，引进了标贯分析仪(SPT Analyzer)，见图8。



图8 标贯分析仪(SPT Analyzer)

本次勘察进行大量锤击能量传递比测试，经过统计分析所采用的标准贯入试验设备的锤击能量传递比 E_r 为75%。

3.3.3 十字板试验

采用了国内常用的电测式十字板剪切试验设备，但在操作工艺上进行了改进。试验钻杆外采用了更小的套管，减少深度增加造成的探杆倾斜度；每压入3 m就清孔，下套管再重新压3 m，减少上部土层对下部土层的影响。

3.3.4 波速测试

采用适用于海上测试的悬挂式波速测试设备。试验均为孔内激发与接收信号，改进了仅适用于陆地上的孔外激发、孔内接收的方法。利用固定的激发间距，形成了稳定的测试结果。

3.4 室内试验

除了采用常规的试验设备外，对于隧道设计需要的应力路径试验采用英国GDS公司的STDITS三轴仪(图9)进行。通过应力路径试验，能够获得真实应力状态下的强度指标，建立与CPTU数据可靠的相关性。



图9 STDITS应力路径三轴仪和等应变固结仪

4 勘察实施

4.1 勘察方法

为了更精细地划分地质单元层，真实再现土

层的物理力学性质, 模拟构筑物施工及运营状态下的土层强度变形特征, 结合考虑岛隧一带软土层深厚特点, 勘察主要采用以CPTU和钻探取样及试验为主, 现场标准贯入试验、十字板剪切试验、波速测试为辅的方法。在对前期资料分析基础上, 并结合设计方案, 综合本次勘察及前期成果, 建立三维地质模型, 全面掌握地层的三维分布规律。

国际上及香港地区大量经验表明^[10], CPTU可有利于揭示原位地质信息, 同时能够快速、可靠、连续地揭示地层, 获取设计所需的岩土参数信息。本设计联合体具有准确分析CPTU数据的能力及经验, 因此本次探孔以CPTU为主。另外布设一定数量的取样孔和原位试验钻孔, 通过高质量的取样及室内、室外试验以验证、修正CPTU孔的分析结果, 确保CPTU试验结果分析的可靠性及准确性。取样孔和原位试验钻孔须成对布置在邻近的CPTU孔附近, 其布置原则为确保每一个管节范围内至少有一对钻孔。

4.2 现场勘察准备

制定勘察工作大纲、质量计划、HSE计划, 并提交中交项目总经理部中国设计方、丹麦COWI、监理、业主代表等相关部门审批, 在获得审批同意后, 方开始进行施工。

在外业实施前, 勘察部门、设计部门就勘察方法的可行性及实施的必要性进行讨论、研究, 最终达成一致意见。同时, 各方安全部门、质量保部门进行了勘察人员、设备的资质、HSE方面的检查与验收。在上述内容均符合要求的情况下, 才可进行现场施工。

4.3 现场勘察工作

项目部内部严格按照质量控制计划实施。钻孔定位要经过复测、水深图检验、室内计算检查等多道工序; 钻探过程严格按操作程序进行, 控制钻探回次, 保证采取率, 不同地层采用不同钻进及取样方法, 采取岩芯按顺序放置在岩芯箱内, 对采上岩芯进行照相留底, 取上不扰动样品进行密封, 钻探工序记录在班报表上, 地质信息记录在编录表上, 各种记录单均有相关人员签

名, 室内试验严格按造规范执行。同时, 由COWI国际咨询公司按照国际标准实施勘察过程监督及管理。COWI与勘察项目组形成了每周会议制度, 对于不符合国际标准的勘察工作, COWI现场代表及时与勘察项目部沟通研究, 积极协助, 确保改善勘察手段, 达到国内国际最高水平。

外部严格按照监理制度执行, 每一项目勘察程序均获得监理和业主代表的认可, 与监理实行每周会议制度, 针对现场的勘察工作、HSE情况进行分析及讨论, 确保勘察质量。

4.4 室内试验工作

严格按BSB77:1990 或Geospec 3相关部分进行试验室试验, 不追求速度, 注重质量, 试验要求在有资质且做过相关岩土试验的实验室进行。本次试验除了国内试验的一些常规做法外, 针对工程的特殊性, 主要进行了以下的专门试验:

1) 样品在实验室的保管始终保持垂直状态, 以保持原状样天然状态。采用恒温槽进行颗粒分析, 保持试验过程中温度一致性, 以免试验过程产生误差。

2) 对于常规的黏性土的抗剪强度试验, 包括不固结不排水试验、固结不排水试验、无侧限抗压强度试验和固结试验等采用国内最先进的三轴剪切试验设备和全自动固结仪进行试验; 对于隧道设计需要的应力路径试验及等应变固结试验, 在试验前, 由设计根据拟建构筑物变形特性及CPTU试验结果制定样品的专项试验方案, 如应力路径试验(CAU)、等应变固结试验、固结试验回弹与再加荷次数和荷重及固结不排水剪试验、不固结不排水剪试验等专项方案, 并在试验过程全程监督。

本次隧道区室内试验的特点并不是每个样品都安排试验项目, 而是要求进行的试验项目必须“真、精、准”。①根据CPTU试验结果确定试验样品个数; ②先进行固结试验确定前期固结压力后, 结合样品自重及隧道基础再制定抗剪强度试验围压荷重; ③模拟隧道区地基的卸荷及加荷条件对地基土变形的影响, 进行等应变固结试验以及多次卸荷及加荷的固结试验; ④根据软基处理次固结沉降要求进行人工岛黏性土次固结试验,

以及实施荷重条件下的多级加荷固结试验。

4.5 室内资料分析

本次室内资料整理无论从形式上, 还是内容上均与国际接轨, 主要体现在:

1) 提供所有勘察结果的ASC II格式数据, 满足AGS(数据应符合岩土及环境岩土专家协会)发布的地质勘察中岩土及环境岩土的电子数据传送3.1版(2004)的要求。对于所有地质勘察及监测资料, 包括钻孔、现场试验及室内试验数据, 均以CD-ROM形式提交。

2) 钻孔柱状图以及地质剖面图采用英国gINT8.0版地质处理软件进行处理, 钻孔柱状图及剖面应包括取样位置和性质信息、标准贯入试验信息、十字板试验信息、钻探采取率以及地层描述等信息, 以DWG格式提供。其它文字表达和表格分别采用WORD和EXCEL格式提供。

3) 引进国际复杂地质项目及大型项目中地质数据处理经验, 建立三维地质模型(图10)进行地质勘察数据处理, 地质数据库中可以随时获取多方面地质信息。

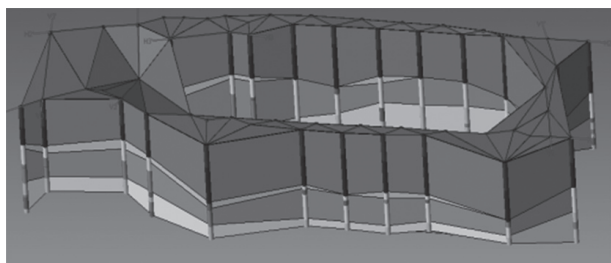


图10 地质三维模型

5 结果的比较

5.1 原状样等级评价

Lunne^[11]提出通过初始孔隙比与有效自重应力对应的孔隙比之间的关系来评价原状样的质量等级。该方法主要依据 $\Delta e/e_0$ 评价土样扰动程度, 其中 Δe 等于初始孔隙比(e_0)与有效自重应力对应的孔隙比之差。选择东人工岛区域采用不同勘察工艺获得原状样进行固结试验的 $e-\lg P$ 曲线进行对比分析, 采用精细化勘察工艺的56个样品和常规勘察工艺的18个样品, 分析结果见表1。

表1显示本次勘察采集的原状样64%为很好~非常好的I级原状样, 28%为一般~好的II级原状

表1 原状样扰动程度评估计算结果

$\Delta e/e_0$	原状等级	原状性评价	精细化勘察/%	常规勘察/%
<0.04	I	很好~非常好	36 (64)	2 (11)
0.04~0.07	II	一般~好	16 (28)	6 (33)
0.07~0.14	III	差	4 (8)	8 (45)
>0.14	IV	很差		2 (11)

样, 4%为差的III级原状样, 质量远高于国内常规勘察工艺的结果。

5.2 土的强度指标的比较

选用西人工岛室内试验的直接剪切试验和不固结不排水试验的统计数据与前期常规勘察工艺获得试验数据进行比较(表2), 结果表明精细化勘察采取原状样获得的不同土层的抗剪强度较常规勘察方法有不同程度的提高, 不固结不排水试验的凝聚力提高20%~109%; 直接剪切试验的凝聚力提高24%~95%。

表2 不同勘察工艺获得的抗剪强度对比

试验	土层编号	精细化勘察		常规勘察	
		C/kPa	$\phi/(\circ)$	C/kPa	$\phi/(\circ)$
直接 剪切 试验	① ₁ 淤泥			5.5	0.1
	① ₂ 淤泥	12.5	4.0	8.2	0.5
	① ₃ 淤泥质土	25.7	2.2	13.7	2.3
	② ₁ 黏土	41.4	10.1	24.5	7.4
	③ ₂ 黏土夹砂	31.1	18.0	25.0	16.2
	③ ₃ 粉质黏土	27.7	19.9	20.2	10.8
	③ ₄ 黏土	48.8	14.3	25.0	8.4
	① ₁ 淤泥			6.9	0.1
不固结 不排水 试验(UU)	① ₂ 淤泥	11.8	2.5	9.8	0.1
	① ₃ 淤泥质土	24.4	1.2	15.9	1.0
	② ₁ 黏土	26.8	4.6	23.0	2.9
	③ ₂ 黏土夹砂	50.0	1.1	29.3	5.9
	③ ₃ 粉质黏土	35.5	2.6	26.4	4.3
	③ ₄ 黏土	64.5	5.2	30.8	2.5

5.3 各种数据之间的比较

本次勘察进行了大量静力触探试验(CPTU), 同时也在附近钻孔中进行了现场十字板试验(VST)、标准贯入试验(SPT)、波速测试以及室内土工试验, 选择隧道区域的CPTU数据与室内土工试验结果、现场十字板和标准贯入试验进行对比分析(图11~14)。结果表明本次精细化勘察技术工艺所获得的土层物理力学参数与原位测试CPTU、VST和SPT等得到的参数具有较高的一致性, 并总结出很多基于CPTU数据的经验公式^[10, 12]。

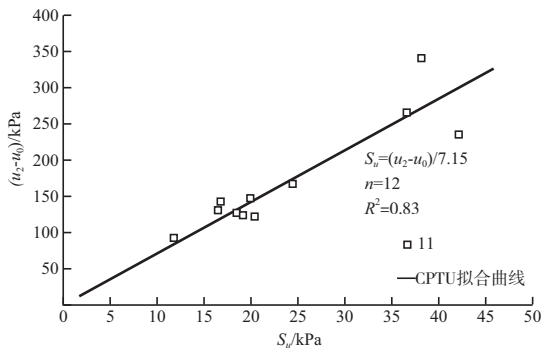


图11 CPTU数据与不排水抗剪强度相关关系

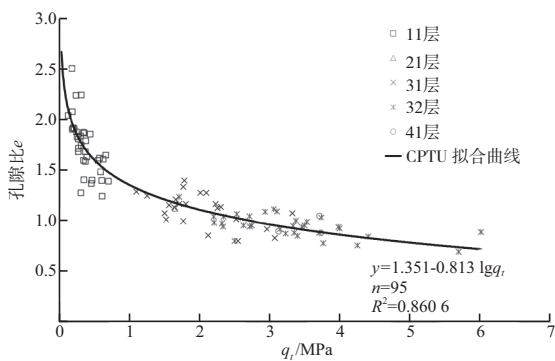


图12 CPTU数据与黏性土孔隙比相关关系

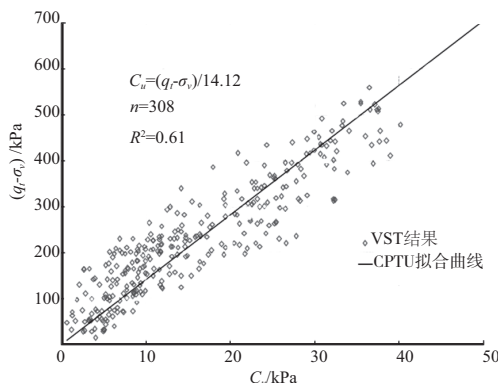


图13 CPTU与现场VST相关关系

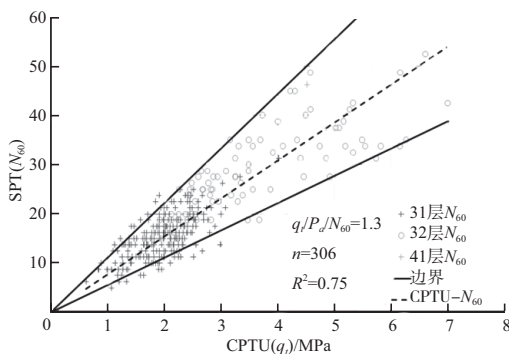


图14 CPTU数据与SPT相关关系

6 结论

6.1 精细化勘察组织与实施特点

一是“高”。采用的标准高，执行当今国际

上最先进的勘察标准，为确保实施过程达到国际标准，以具有丰富国际勘察经验的中交第四航务工程勘察设计院有限公司为具体勘察实施单位，联合香港辉固公司共同完成海上CPTU现场测试工作，以设计方的国际合作公司丹麦COWI公司驻场监督勘察外业工作和试验室试验工作。

二是“精”。采用的装备精，采用大型钻探设备如液压升降钻探平台、分离式液压驱动钻机能有效减少波浪对钻探的影响，从而为获得高质量的原状样、可靠原位测试数据奠定基础。

三是“多”。采取的勘察手段多，采用多种原位测试和室内试验方法，包括海床式CPTU、电测式VST、国际标准的标准贯入试验、悬挂式波速测试等原位测试设备以及室内试验，对岩土层进行全方位多手段的力学特性测试，从而获得各种原位测试数据进行对比分析，为设计提供各种可靠真实的岩土设计参数进行优化设计。

四是“细”。表现为过程控制细，一方面是勘察工艺流程环环相扣，并严格按国际标准要求实施；其次是根据拟建构筑物变形特性及地质特点制定详细专项室内试验方案，并由设计全程监督；最后是依据CPTU测试结果详细分析每段每米厚，甚至每厘米厚的土层物理力学指标，通过各种测试结果互相验证。

6.2 精细化勘察前景展望

工程项目精细化组织与管理越来越将成为主流方向，精细化勘察是基础，是质量保证。因此精细化勘察将在国内国际大型及超大型工程中成为必然趋势，现今国内国外合作勘察工程、国外勘察工程均要求采用BS、ASTM或欧洲标准。

精细化勘察将是未来水运勘察市场的必备条件，也是我国企业提升国际竞争力的基础。

参考文献：

[1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 港珠澳大桥主体工程岛隧工程补充地质勘察隧道区工程地质勘察报告[R]. 广州:中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

[2] Association of Consulting Engineers. BS 5930: 1999+A2: 2010 Code of Practice for Site Investigations [S]. London: Board of BSI, 2010.

[3] Association of Consulting Engineers. BS1377: 1990 Methods of test for Soils for civil engineering purposes(part 1 to 9)[S]. London: Board of BSI, 1990.

[4] Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Civil Engineering Building. GEOGUIDE 2 GUIDE TO SITE INVESTIGATION[S]. Hongkong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2000.

[5] Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Civil Engineering Building. GEOGUIDE 3 GUIDE TO ROCK AND SOIL DESCRIPTIONS[S]. Hongkong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2000.

[6] AA Balkema. International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test (CPT) and the Cone Penetration Test[M]. USA: AA Balkema Publishers, 1999.

[7] 孟高头. 土体原位测试机理, 方法及其工程应用[M]. 北京: 地质出版社, 1997.

[8] Clayton C R I. The standard penetration test (SPT): Methods and Use[M]. London: Construction Industry Research Information Association, 1995.

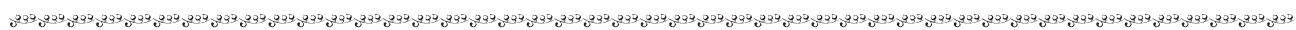
[9] The American Society for Testing and Materials. D4633-10, Revised 2010. Standard Test Method for Stress Wave Energy Measurement for Dynamic Penetrometer Testing Systems[S]. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM, Volume 04.08, 2010: 1-7.

[10] Lunne T, Robertson P K, Powell J J M. Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice[M]. UK: Blakie Academic & Professional, 1997.

[11] Lunne T, Berre T, Strandvik S. Sample disturbance effects in soft low plasticity Norwegian clay[R]. UK: Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, 1997:81-102.

[12] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 静力触探试验结果评估报告[R]. 广东: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

我国首创用板桩结构建10万吨级及以上码头技术

中交一航院开发的“遮帘式板桩码头新结构”技术，使京唐港码头泊位等级由2万吨级发展到10万吨级，打破了传统教科书中水工建设领域“板桩码头因其结构特性，只适合建中小码头”的论断，使得板桩码头建造10万吨级及以上大型深水码头的梦想成为现实。

遮帘式板桩码头的建设，不需要预制厂与土方的大换填，施工工序简单，速度快，质量易保证。同时，在适合建造板桩码头的地基条件下，工程造价比其他结构节省投资10%至30%。大吨级板桩码头的建成，实现了我国港口建设技术的重大突破，为板桩结构码头的应用开辟了广阔前景。

10万吨级泊位的建成，解决了制约京唐港跨越发展的“瓶颈”，为京唐港迈向亿吨大港奠定了坚实的基础。唐山港随后在京唐港区建设了几个大型泊位，同时，又将这种新结构推广到曹妃甸港区，为唐山港亿吨大港建设目标的早日实现添加了重重的砝码。

2006年，“半遮帘式板桩码头新结构”、“全遮帘式板桩码头新结构”两项技术获国家实用新型专利授权。“深水板桩码头新结构成套技术开发研究”成果经中国水运建设行业协会组织的成果鉴定，认为该成果总体上达到了国际领先水平，并于2011年获得中国水运建设行业协会科学技术奖特等奖。

摘编自《中国科技网》