

厦门员当海湾工程地质环境

陈 追 田

(中机工程勘察设计研究院 成都 610066)

摘要:在收集前人在员当海湾工作资料的基础上,结合在该区域工程经验,对员当海湾工程地质环境进行初步总结,并对工程建设中关注的岩土工程问题提出了一点认识。

关键词:员当港—钟宅断裂、断陷带、场地稳定性、软土、风化残积物、孤石、地下水。

【作者简介】 陈追田(1965-)男,高级工程师,注册土木工程师(岩土),国际工程地质与环境协会会员,工程地质专业。

0、引言

厦门是我国开放最早沿海城市之一,经二十年来的经济建设和发展,已成为美丽的国际型旅游港口城市。现在看到的员当湖是上世纪七十年代修筑西堤海堤后,员当海湾两岸填海造地使员当海湾逐渐缩小水域面积而形成的。海湾位于厦门岛中部,宽约2~3公里,呈南西~北东向展布,由于其优越的地理位置和特殊的地貌、地质条件,该区域是厦门市工程建设的重要区段,厦门岛大部分高层、超高层建筑选址在这里,它还是一个风景名胜区。员当海湾工程地质环境复杂,在2003年4月中国环境科学出版社为厦门地基基础工程实践专门出版的论文集中,有近一半的作者论及到该区域的地质条件、岩土工程问题。笔者在学习前人资料基础上,结合近几年的工程实践,对员当海湾工程地质环境进行初步总结,并对相关岩土

工程问题提出一点认识。

1、地质构造背景

厦门位于长乐—诏安断裂带中段的同安—厦门断块区,断裂构造是该地区地质构造主要型式,厦门岛是一个由北东向和北西向两组断裂切割而成的菱形断块。该地区主要发育北东向、东西向、北西向三组活动断裂,这种基本格架形成于中生代燕山期,区内广泛分布燕山期岩浆岩和侏罗纪火山岩。北东向断裂构造自东向西分别是金门岛海外断裂(F1)、厦门东侧水道断裂(F2)、员当港~钟宅断裂(F3)、厦门西港断裂(F4)。金门岛海外断裂(F1)也称滨海断裂,距厦门岛60多公里,大致沿滨海40~50m等水深线分布,是沿海地区隆起带与台湾海峡沉降带交界的断裂,是福建沿海最重要的地震构造。厦门东侧水道断裂(F2),位于厦门与金门之间,厦门岛东南缘典型的断层海岸就是它的

杰作。员当港~钟宅断裂（F2）是厦门岛最醒目的北东向断裂带。厦门西港断裂（F4），呈北北东向沿厦门岛西缘展布，它是控制厦门西港海槽形成及厦门岛与大陆断块差异活动的断裂带。北西向断裂由一组走向 300° ~ 320° 断层组成，呈等间距展布在厦门岛及周边海域，规模较大的有浔江断层、高崎一石胄头断层、濠头一塔头断层。东西向断裂主要分布在厦门岛马銮湾、鳌冠、湖里及厦门南侧的九龙江下游槽地。

自燕山期以来，构造运动经过多期性和继承性活动。晚第三纪至第四纪早期，本区以断块差异升降运动为特征，并以区域性北东一北北东断裂为主要活动断裂。第四纪中、晚更新世本区的断块以上升为主。全新世以来，厦门断块区处于微弱差异上升，岛内断裂处于相对稳定状态。

2、员当海湾断陷带特征

员当海湾是断陷式海湾，这个断陷带就是由贯穿整个岛屿的员当港一钟宅断裂（F3）形成的。员当港一钟宅断裂（F3）是由两条平行的北东向断层：官浔一乌石铺断层、文灶一龙山断层组成。前者分布在北西侧，后者分布在南东侧。官浔一乌石铺断层走向东

北 50° — 55° ，倾向南东，倾角 70° — 75° ，沿断层侏罗纪流纹质凝灰熔岩等和燕山晚期花岗岩普遍性发生动力变质作用，产生压扭性断层、片理化带、破碎带、裂隙密集带，并有辉绿岩脉发育，破碎带形迹一般宽 $10\sim 20\text{m}$ ，最大宽度达 $40\sim 50\text{m}$ 。文灶一龙山断层走向北东 55° ，倾向北西，倾角 70° ，主要发育在燕山晚期花岗岩中，由断层崖、破劈理裂隙密集带组成。

大约在第四纪早、中期，两断层上盘逐渐下降，形成了员当港一钟宅地堑式断陷带，员当海湾逐渐形成。从断陷带内第四纪堆积物厚度分析，构造运动有所差异，自南西至北东方向，断陷带内第四纪沉积物厚度由大变，最厚近 30m ，在莲花、江头一带第四纪沉积物仅数米，往北东方向甚至出现风化残积物直接出露地表。员当海湾范围也就是从西堤海堤至莲花、江头区域。

断陷带两侧是呈南西一北东方向发育的连绵丘陵山地，如北西侧的狐尾山、仙岳山、薛岭等，南东侧的虎头山、龙山等，如今这些丘陵山地已开发成旅游景点和城市公园，构成厦门城市花园的一部分。

3、场地稳定性

3.1 断裂活动性

从等时地貌的变位、第四纪沉积物变动或错位、风化残积层的错位或变形、地形和水系错移等方面分析，以及断裂内物质特征分析，员当港—钟宅断裂自第四纪晚更新世以来已处于相对稳定状态。

通过热释光法或电子自旋共振法年代鉴定：长乐—诏安断裂带主断裂形迹最新明显活动的年代为 62.2 万年，断层压碎岩年代为 35.72~26.69 万年，断层泥年代 11.5 万年~14.7 万年，说明北东—北北东向长乐—诏安断裂带在第四纪中更新世时期有活动。在 1997 年员当港—钟宅断裂采集断层泥用热释光法年代鉴定：断层活动年代大致在 $17.17 \pm 4.01 \sim 30.1 \pm 2.56$ 万年，与区域断裂最近一次活动年代一致，表明最新一次断层活动主要在第四纪中更新世。

可以认为：员当港—钟宅断裂自第四纪晚更新纪以来，已处于相对稳定状态，全新世以来未见活动迹象。

3.2 地震

本区地震活动主要沿海岸呈北东向分布，与区域地质断裂构造展布方向基本一致。强震主要集中在南澳岛海外，泉州海外等沿

海海域和漳州盆地、潮汕盆地，七级以上地震均发生在滨海地带。厦门岛受到以上区域几次大地震影响烈度平均在 VI 度与 VII 度之间。周围地区每年约有百余次中、小地震，厦门的影响烈度均未超过 V 度。从地震活动时间序到分析，目前本区属于第二活动周期（1642 年至今）的应变剩余释放阶段。设防烈度划定 VII 度是适宜的。

地震断层效应是地震时使已有断层重新错动，直通地表，它会引起地基基础位错变形导致建（构）筑物破坏。员当港—钟宅断裂带全新纪以来未见有活动迹象，历史上没有破坏性地震发生，现今也没有微震现象，所以员当港—钟宅断裂本身不会产生地震断层效应。

距断陷带比较近的活动断裂有两条：西港断裂和九龙江下游断裂。西港断裂在第四纪晚更新纪以来无明显活动，不可能产生地震效应。九龙江下游有现代微震活动，它与滨海断裂交汇构造部位在 1906 年发生过 6.2 级地震，这次地震震中距员当港—钟宅断陷带，最近处 50 多公里，对厦门产生过 VI 度影响，当此断裂发破坏性地震时，可能对场带来中等烈度影响，但不会对员当港—钟宅

断裂产生地震断层效应。

国内外地震破坏现象调查结果，在小于Ⅷ度的地震区，一般不会产生断裂错动。员当海湾区域工程建设可不考虑地震时断裂错动问题。

3.3 砂土液化与软土震陷

员当海湾晚更新纪以来，经历了海陆交互、海相沉积环境，形成于全新世的淤泥、淤泥质土、砂构成其沉积物主体。海湾水动力条件和沉积物来源条件决定了砂中混有淤泥、细粒土，淤泥中含有砂颗粒，颗粒分布不均匀，分选不好，层位空间分布多交互状或夹透镜体。

砂层多灰色、灰白色，松散~稍密状，按现行（GB50011—2001）规范方法，用标准贯入试验实测击数进行液化判定，一般有不同程度的液化，但液化等级很少有严重现象。砂中混有淤泥、细粒土，使得标准贯入试验时，贯入器受到的阻力减小，实测击数偏低，用该方法判定砂土液化有偏于安全的倾向。砂中细粒土的存在，增加了砂粒间的粘结强度，有降低液化发生的可能，福建省新修订的《建筑地基基础技术规范》砂土液化判定时，规定当粘粒百分含量大于3%时，应进行

等同于（GB50011—2001）中粉土液化判定的粘粒含量修正，说明福建省勘察设计人员已意识到此问题。粘粒含量对砂土液化的定量影响，值得探讨。当砂粒被淤泥包围，尽管砂粒质量百分含量超过50%，土类属于砂土，但从空间格架上，砂粒并未起到骨架作用，此时砂土的力学特征更多表现为软土性质，砂中淤泥在降低液化可能的同时，更多地是使砂土产生软土震陷特性。

员当海湾淤泥、淤泥质土承载力一般小于80kPa，按规定应该考虑震陷问题。分布于地层下部的淤泥质土，沉积年代相对早一些，一般认为已完成自重固结，力学性质相对淤泥要好一些，实测剪切波速多大于90m/s，对一般工程可不考虑其震陷影响。淤泥分布于浅部和表层，多为欠固结状态，承载力一般小于60kPa，实测剪切波速有小于90m/s的情况，应该考虑其震陷问题。但关于员当海湾软土震陷定量研究资料很少，原地质矿产部水文地质工程地质研究所等单位经研究认为，当烈度为Ⅶ度时，一般建筑物软土地基震陷量很小，不足1厘米，当烈度为Ⅷ度时，震陷量可达20厘米。员当海湾软土震陷问题值得深入探讨。

3.4 坡体稳定性

厦门岛建设用地越来越紧张，大量的建筑工程正在利用员当海湾两侧的丘陵坡地，山体开挖涉及地质环境变化、坡体稳定问题。受北东—北北东构造影响，岩体中北东—北北东走向的高角度节理、裂隙发育，其倾角也多与主断裂一致，即倾向员当海湾内，岩质边坡多顺向坡。而风化残积物残留了岩体的构造节理、裂隙，构成潜在破坏面，随风化加剧，风化残积物变得疏松、裂隙、孔隙发育，透水性较好，吸水性较强，很容易产生坡体滑塌失稳。由于花岗岩特有的岩石结构和矿物成分，其风化残积物孔隙度大，石英颗粒含量高、粘结力差，遇水易分散，抗蚀力和抗冲力很弱，坡面很容易受侵蚀、水土流失。此外，由于花岗岩体差异风化作用，在风化残积物中不同程度发育有孤石，在山体开挖时很容易产生滚石灾害。

4、工程建设中的几个岩土工程问题

以下叙述的几个岩土工程问题在员当海湾区域工程建设中常常遇到，具普遍性。

4.1 岩土的不均匀性

这种不均匀性表现为岩体完整性差、基岩面起伏大、风化残积物和第四纪沉积物厚

度差异大与孤石的分布。

断陷带内风化残积物和第四纪沉积物非常厚，其厚度甚至可达 70 多米;而断陷带以外，相对较薄，一般小于 20 米，部分地段基岩出露地表。对于多层、小高层建筑，断陷带外一般情况下具备采用天然地基浅基础条件，而高层建筑往往人工挖孔灌注桩比较适宜，无论从持力层鉴定、桩身质量、安全、工期等能均很好控制;而断陷带内由于软土分布，一般不能采用天然地基浅基础方案，而人工挖孔灌注桩也因持力层埋藏深而不适用。在断陷带区域，尤其两条主控断裂附近，基岩面起伏大，过大的层面坡度影响桩基础稳定，也使持力层鉴定困难;对于预制桩往往给桩长控制带来很大不便，接、截桩工程量较大。这一区域岩体完整性差，又有相对软弱的辉绿岩脉分布，故当以中、微风化岩作桩端持力层时要注意持力层检测。孤石是岩体差异风化的结果，它增加了风化残积物的不均匀性，给基础设计、施工带来很多问题。

4.2 特殊性岩土

4.2.1 孤石

孤石是指由于花岗岩差异风化，残留在风化残积物中比风化残积物风化程度低的球

状、椭球状岩体。孤石在主断裂附近遇见率相对高一些，但孤石具体位置和大小难以预料,有的场地钻孔遇到孤石的几率在 90%以上，而最大孤石直径有的近 10 米。孤石因强度高于所在层位的岩土体，除相对提高强度外，给工程建设带来的更多的是负面作用。孤石使得残积土作基础持力层时，构成土岩组合地基，导致地基均匀性差，会引起不均匀沉降。当有孤石分布时，挤土桩不能达到预定持力层，并会使桩体偏位、失稳，对预制桩而言，在沉桩中可能造成断桩。孤石对排土桩的影响主要表现在持力层鉴定困难、降低施工安全、延长成桩时间，影响桩的质量。厦门排土桩一般采用冲、钻孔灌注桩与人工挖孔桩，持力层多选择中、微风化作持力层，如果没有丰富的工程经验，很容易将孤石判定为中、微风化岩体，尤其冲、钻孔灌注桩。人工挖孔桩施工遇到孤石要采用爆破方式，不但对施工人员与周围环境造成噪声、震动污染，还可能会造成护壁破坏、孔壁塌方。遇孤石必然增加成桩时间，冲、钻孔灌注桩孔壁土体长时间循环液浸泡，人工挖孔桩侧壁长时间卸荷状态，均会降低侧壁土体强度、未浇注混凝土前甚至会塌方。

4.2.2 花岗岩残积土

花岗岩残积土含有大量砂、砾粒级颗粒，颗粒多棱角状，该土体残留了原岩结构，有较好的力学强度，但该土体极易扰动，水理性质差，遇水易崩解软化，在基础施工时应注意这一特性。浅基础施工应做好预先降水，基槽开挖预留一定厚度原土，最后人工清除，尽量减小扰动，隐蔽验收后应该立刻封底。对人工挖孔桩，孔壁流泥、孔底涌土是这种土最常见现象，要做好场地降水工作，不要使桩孔内水位与孔外水位差过大，应尽可能避免单独采用桩孔内降水的方法。

4.2.3 软土与砂土

如前述，本区淤泥、淤泥质土中往往含砂量高，使得测定的土体的含水量小，在软土评价中，不能仅仅从土的物理指标如含水量等来估算它的承载力与强度等，这样会产生过高地估计。还有前述的混有淤泥的砂土，也不能简单地按颗粒分析来确定它就一定表现砂土性质，这些在深基坑支护设计中要引起注意。员当海湾内软土与砂土应以原位测试方法评价其性质为好。对于纯净砂，当砂层中承压水头较高时，往往勘察揭露到此层时，其浅部会有一定扰动，密实度降低，测

试成果如标贯击数偏低，在地基评价和设计使用时应注意这一问题。

在厚层软土分布地段，挤土桩施工会有挤土效应，应采取措施避免影响桩基质量和周围环境。人工挖孔桩施工要注意流泥、流砂现象，尽量减小每步开挖深度和每节护壁长度。桩基设计时，对欠固结流塑淤泥要考虑负摩阻力问题。

4.3 地下水及其它

该区域一般有三层地下水；填土中孔隙水、砂层中孔隙水、岩体—残积层中的裂隙—孔隙水。在断陷带内存在三层或二层地下水，断陷带外一般只有岩体—残积层中的裂隙—孔隙水。

断陷带内，尤其员当湖周围填土中的地下水，往往有统一水面，与海水水力联系密切，水量较大，不能按上层滞水看待，划为潜水为宜。砂层顶往往是隔水的淤泥或粘性土，砂层中地下水一般会有承压性，要注意深基坑基底隆起、突涌问题。

受断裂构造影响，该区域岩体裂隙水较发育。微风化～中风化岩裂隙以构造节理、裂隙为主，风化裂隙较少，随风化加剧，强风化岩中风化裂隙占主导地位，裂隙发育程

度比下伏基岩高，强风化岩中地下水相对较丰富；全风化岩属于风化岩体向残积土过渡，它残留了裂隙，但裂隙多被泥质充填，同时也产生了粒间孔隙；至残积土阶段，裂隙已越来越模糊，尽管大的构造节理、裂隙还隐约可见，主要以孔隙为主。所以新鲜岩体至残积土，空隙是从裂隙到孔隙的过渡，水的赋存状态从裂隙水到孔隙过渡，它是一个大的含水体系。从工程实践中也发现：自强风化岩至残积土，渗透性越来越小，富水性越来越差。裂隙—孔隙水层的补给来源主要是深部基岩裂隙水，它存在不同程度承压性。地下水自深部裂隙逐渐渗流至上部残积土层，渗流通道越来越小，水受的阻力越来越大，水头会有损失。目前，员当海湾内勘察时钻孔深度一般都揭示到了强～中风化岩体，反映的是基岩裂隙水水位，而多数需抗浮的地下室多座落于残积土中，用此水位抗浮设计偏于保守。抗浮设计时的设计水位要依据风化岩至残积土渗透系数从大至小的变化规律、强～中风化岩层面至地下室底板的距离等综合考虑水位折减。员当海湾场地抗浮水位定量研究对工程建设具有重要意义。

以上所述三层地下水与海水都有不同程

度的联系，尤其浅部地下水更是如此，往往对建筑材料的有不同程度腐蚀性。

西堤海堤的修筑，周围的填海造地，使得水域面积减少，海湾纳潮量大幅度减小，员当湖水质恶化。另外员当海湾已失去了承纳厦门西港淤泥的作用，加快了厦门西港部分地段的淤积。

5、结束语

厦门员当海湾是由断裂运动形成的，具有独特的工程地质环境和岩土工程问题。工程建设中要注意岩土体的不均匀性、花岗岩残积土易扰动与遇水崩解软化特性、孤石的分布、软土与地下水特点等。此文是对前人成果和自己工程实践的总结，以定性评述为主，目的是抛砖引玉。

参考文献：

- [1] 林树枝主编. 建筑地基基础工程实践. 北京: 中国环境科学出版社, 2003. 9~12; 22~30
- [2] 地质矿产部水文地质工程地质研究所等. 闽南三角地区环境地质研究(科研报告). 1990. 151~156
- [3] 福建地震地质工程勘察院. 厦门市邮电大厦工程场地地震安全性评价报告. 1997.

3~21

[4] 中国建筑科学研究院工程抗震研究所. 厦门远华国际中心大厦场地地震勘察及地震反应谱分析. 1997. 1~6

[5] 刘瑞华、华南地区崩岗侵蚀灾害及其防治. 水文地质工程地质. 2004. (4) 54~57

[6] 福建省建筑科学研究院等. 建筑地基基础技术规范(送审稿)(福建省标准)福州. 2004. 102

[7] GB50011-2001 建筑抗震设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 21; 215~216

Engineering Geological Environment in Xiamen Yuandang Gulf

Zhuitian Chen

(Zhongji Geotechnical Engineering Investigation & Design Institute Chengdu 610066)

Abstract: The author combined the data on engineering geological environment in Xiamen Yuandang Gulf collected by others with his own experience in the area. He summed up the engineering geological environment in Xiamen Yuandang Gulf mainly, and furthered to provide some opinions on geotechnical engineering problem during building.

Key Words: Yuandang Gulf – Zhong House fracture Site stability Soft clay Weathered residual Isolated stone Underground water