

广东核电站选址地区 区域地质地貌特征及其稳定性分析

易明初

广东核电站是广东省同香港合资拟建的一座核电站，装机容量180万千瓦。国家和广东省政府对此电站的筹建非常重视，自1980年以来，先后组织有关部门开展了区域地质、第四纪地质、地貌、新构造、航空地质、地震地质及工程地质等多学科的综合调查研究工作。1982年又开展了活断层、微震、转换波和遥感地质研究。由地质矿产部地质力学所、562综合大队和广东省电力勘测设计院所组成的广东省核电站地区区域稳定综合分析组（简称综合组），于1981年开始工作，进行了区域稳定性分析，为核电站找到了相对稳定和安全可靠的建设基地。

一、区域地质地貌概述

本地区东至海丰，西至深圳，面积约3万平方公里。构造部位属新华夏系第二隆起带的莲花山活动断裂带的西南段。该带走向北东，由强大的断裂束及其间的动力变质带所组成。强烈的断裂束可清楚地分为两支：北支为五华—深圳断裂带；南支为海丰—平海断裂带。

莲花山活动断裂带属东南沿海地震区的政和一海丰地震带，带内发生过 $4^{3/4}$ ~ $5^{1/4}$ 级地震5次， $5^{1/2}$ ~ $5^{3/4}$ 级地震2次，其余均为小震和微震，且大多发生在大亚湾断裂以东，特别是汕头坑断裂（通过吉隆的北北西向断裂）以东更为集中。

卷入莲花山隆起带的岩石地层，除寒武系、中泥盆系及下石炭系的轻变质碎屑岩外，主要有燕山期花岗岩，晚侏罗世火山岩和晚三叠世—早侏罗世砂页岩。

该区活动断裂共有四十余条（图1），大致分为北东、北北东、北西和近东西等四组。一般是北东向活动断裂形成早、规模大、活动强；北西向活动断裂形成晚、规模小。结合该区的工作程度，从活动时间出发，将该区活动断裂划分为晚近活动断裂和现今活动断裂两大类型，特别是查明现今活动断裂的存在与否，对核电站的建设有着极为密切的关系。

对该区影响较大的现今活动断裂主要有两条。第一条是五华—深圳断裂带，规模大，延伸长，其主要活动特征表现为：断层两侧地形差异很大；断层崖、断层谷十分发育；沿断层两侧的第四纪沉积物组合有明显变化；断层控制新生代红盆，同时又改造新生代红盆；有重、磁异常出现，转换波测定有反映；有温泉分布；有大量地震发生。第二条是海丰—梅陇断裂，其规模和长度不如前者，而只是海丰—平海断裂的东段，其活动特征主要表现为：断裂两侧地形差异很大；断层崖、活冲沟、阶

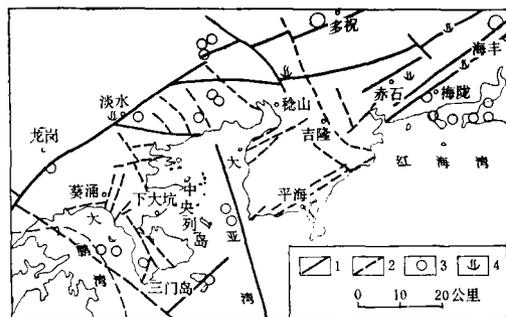


图1 广东核电站地区活动断裂略图

1—现今活动断裂；2—晚近活动断裂；
3—地震点；4—温泉

状陡坎、跌水发育；断裂两侧同级阶地高度有差异；断裂两侧第四纪沉积物组合特征不同；温泉出露；地震多而集中。由于存在上述两条现今活动断裂，对该区影响较大，特别是涧头坑断裂以东，是莲花山隆起带的强烈活动地段，为核电站选址的不利地区，采取迴避办法是必要的。

地形地貌特征大多受构造控制。莲花山隆起区正夹持在五华—深圳断裂和海丰—平海断裂之间，区内山势雄伟，山脉走向北东，海拔高度1000米左右，形成中低山、丘陵和台地为主的地貌类型。多数河流发源于此，其规模不大，但切割较深（个别深达600~800米）。在山麓及谷地地带，洪积扇、倒石锥、滑坡等地貌类型也十分发育，尤其具有层状地貌特征的夷平面，已成为该区的主要地貌类型。

五华—深圳断裂以西地区，以台地、丘陵为主，冲积平原次之。总的地势低平，台面宽广，切割较浅。该区最大的新生代淡水盆地和多祝盆地，严格受到五华—深圳断裂的控制，并展布于断裂的西侧。盆地内部阶地发育，特别在淡水附近，阶地级数可达三级。

海丰—平海断裂以东地区，出露很小，主要包括平海和梅陇以东的海河混合堆积平原和冲积平原。在基岩露头地区，海蚀崖和断层崖也较发育。

总之，该区突出了层状地貌特征，据初步统计，其累计级数可达11级。尤其通过夷平面和阶地高度的测量结果表明，本区构成了以莲花山—梧桐山为中心的北东向隆起轴，隆起高度为东高西低（或向西倾斜），轴的两侧各向西北和南东逐渐降低。

综上所述，海丰至深圳地区处于莲花山活动断裂带的西南段，该段断裂带的特征，主要表现为：第一，地势东高西低，夷平面自东向西倾斜，东部上升幅度大于西部。第二，地震活动和水热活动主要出现在涧头坑断裂以东的东部地区，特别是5级以上的地震全部集中于此。第三，涧头坑断裂以东为莲花山紧密断裂束，且仍处于活动之中，成为现今活动断裂集聚的地带，而西部多为挽近活动断裂展布的地区。第四，从平面展布形态上看，莲花山活动断裂带有自东向西撒开的现象，形成一个东部收敛、向西撒开的喇叭形构造，东部应力最易集中，潜伏着断裂强烈活动的因素及其对建筑物的影响。由此可见，涧头坑断裂以东的海丰—梅陇地区是一个相对不稳定地区，又因离所有比选厂址（即平海半岛西岸、大鹏半岛东岸和西岸地区）太远，在进行块体稳定性分析对比时首先加以筛除，将余下地区进行块体稳定程度的比较具有更为实际的意义。

二、块体构造及区域稳定性分析

（一）块体构造及区域稳定性含义

“块体构造”一词，作者于1981年提出，1982年正式发表^[1]，随后又有全面系统的专论。简而言之，“块体构造”是参考了国内外大地构造和新构造学者所提出的各种不同类型的所谓“块”或类似“块”的概念，以李四光教授倡导的地质力学中的“地(岩)块”和“构造形体”^[2]为基础而建立起来的。概括起来，“块体构造”可以理解为新生代以来，受构造体系的线状或带状构造形迹所夹持或围限的、新构造表现各异的、活动程度不同的、构造形态特征有别的一种新构造类型的块体形体。块体构造是从地质力学的观点出发，研究分割块体的线状或带状构造；块体周边的面状特征；块体分割面的延深；块体本身的地形地貌特征；周边及块内的岩浆活动、水热活动和地震活动；块体的完整程度；块体的岩石类型和性质；以及块体所处的构造部位和地质发育历史等。

“区域稳定性”的基本概念，在1979年由胡海涛、易明初正式提出^[3]，随后由胡海涛教授继续加以完善。它可以概括为：区域稳定性是指工程建设地区，在内、外动力（以内动力为主）的作用下，现今地壳及表层的稳定程度，以及这种稳定程度与工程建筑物之间的相互作用和影响。

（二）区域稳定性分析

广东核电站地区的区域稳定性研究，在综合组的分析评价报告和有关文章中都有较细的论述。现从块体构造角度出发，在前述地区构造活动特征分析基础上，将范围缩小到涧头坑断裂以西与选址有密切关系的地区，从而进一步划分出三大块体，对三大块体进行分析和对比之后，即可达到找出相对稳定块体的目的。

· 涧头坑断裂以西的块体划分主要取决于边界条件，即线状构造形迹，特别是断裂构造形迹在块体的分割中起着主导作用。这种断裂一般具有一定规模、发育较深、有控制作用、为某种或多种表现特征的分界线。为此，以五华—深圳断裂带、海丰—平海断裂带、下涌断裂、赤沙断裂、涧头坑断裂、大亚湾断裂和大鹏湾断裂作为块体的分界线，将该区划分为稔山块体、平海块体和大鹏块体（图2）。

（1）稔山块体：为五华—深圳断裂带、涧头坑断裂、下涌断裂和赤沙断裂所围限而成的不规则三角形复合块体。北面断裂较深，其余断裂较浅，块体周边断面即有同斜、又有外倾和内倾，扭面特征明显，极不对称。受现今北西西—南东东主压应力作用后，块体一般呈现出对工程极为不利的不均匀的斜翘运动。特别是块体所处的构造部位正是北东向五华—深圳活动断裂带与东西向的河田弧形活动断裂的交汇复合地带，有新生代沉积物的带缘块状，断裂现今仍有活动，且活动较强烈，多祝附近的5级地震正位于块体的北东缘（据美国D.B.斯利蒙斯的计算方法^[4]，断裂活动速率为2.9毫米/年，属高速率活动断裂）。正因如此，同时也造成了块体较为

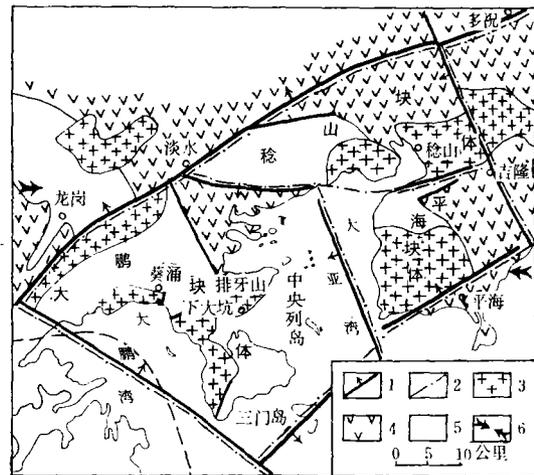


图2 广东核电站选址地区块体构造图

1—活动断裂及断面倾向；2—块体分界线；3—燕山期花岗岩；4—中生代火山岩及碎屑岩；5—古生代轻变质碎屑岩；6—现今主压应力方向

破碎，次级断裂密集，在白花和下涌附近形成多处微震群。块体组成物质以硬脆中生代火山岩及软硬相间的碎屑岩为主，古生代轻变质碎屑岩分布在西侧，花岗岩体仅出露于东南角，南部边缘的新生代地层产生形变。总之，多种因素说明，该块体的稳定程度较差。

（2）平海块体：由涧头坑断裂、大亚湾断裂、赤沙断裂和平海断裂围限而成的不规则四边形（或近长方形）带间块体。除大亚湾断裂为延深约15公里的现今活动断裂外，其余均为发育较浅的晚近活动断裂。该四边形的两对对边断面均为同斜断裂，在现今主压应力作用下，使块体具有压扭性特征，并产生斜翘运动。块体的组成物质主要为坚硬的燕山期花岗岩和硬脆的中生代火山岩、碎屑岩，块内断裂稀少，又无地震，完整性较好，特别是西海岸较为理想。但美中不足的是该块体东邻强烈活动的海丰—梅陇地区，北接稳定程度较差的稔

山块体,使块体的稳定程度受到一定影响。

(3) 大鹏块体:由现今活动的五华—深圳断裂带、三门岛断裂(平海断裂的西南延伸部分)、下涌断裂、大亚湾断裂和大鹏湾断裂所围限而成的多边形(或五边形)带间块体。根据航磁延拓资料证明,断裂延深不到15公里,块体周边断面倾向具有较好的对称性,如东、西两侧为内倾界面,南北两侧为外倾界面,各对的倾角几乎相近,在现今主压应力作用下,块体出现压扭性特征,产生对工程危害较小的均匀斜向整体升降运动。块体组成物质主要为软硬相间的古生代轻变质碎屑岩和坚硬的燕山期花岗岩,少量的中生代火山岩及碎屑岩仅分布在东北角。块内无震,仅有的部分微震只出现在块体的周边。特别是块体所处的构造部位已远离强烈活动地区,加之被大亚湾断裂所分割,使东部强烈活动的影响到此受阻减弱,是工程基地的好场所。因此,大鹏块体必然成为比平海块体更为优越的相对稳定块体。

上述三大块体经过对比分析(表一),将部分内容(七项)中的最优(△)和最差(×)者标出,稔山块体最差,不宜考虑。在平海块体和大鹏块体之中进行比选,大鹏块体成为最优者,特别是②③④三项内容起了决定性作用,必然成为广东核电站候选基地的相对稳定块体。

表 1 块体稳定程度对比分析表

对比内容	稔山块体	平海块体	大鹏块体
① 周边断裂活动强度	强 ×	微 △	弱
② 界面类型及运动性质	外倾、同斜斜向升降运动和斜翘运动 ×	同斜斜翘运动	外倾、内倾均匀斜向整体升降运动 △
③ 构造部位	强烈活动的五华—深圳断裂与河田活动断裂的复合部位	东邻强烈活动地区,北接稔山块体	莲花山活动断裂带的撒开部位,远离强烈活动地区 △
④ 地震活动	5级和微震群 ×	块内无震块边微震 △	块内无震块边微震 △
⑤ 组成物质	硬脆火山岩为主 ×	坚硬花岗岩和硬脆火山岩为主 △	坚硬花岗岩和软硬相间碎屑岩为主 △
⑥ 完整程度	断裂发育 ×	完整性好 △	完整性较好
⑦ 输电线路	远 ×	远 ×	近 △
相对稳定程度综合评价	$\Delta = 0$ (差)	$\Delta = \frac{4}{7} = 0.57$ (较好)	$\Delta = \frac{5}{7} = 0.71$ (好)

注:“×”表示最差、“△”表示最优

大鹏块体范围较大,厂址座落在那里,根据广东核电站的要求,厂址应选在沿海海岸地带。通过资料分析和野外实地考察,大鹏块体的西海岸沿岸或8公里范围内挽近活动断裂较多,并在附近有地震发生,花岗岩体也较破碎,古生代岩石不仅破碎,且软硬相间,完整性较差。而东海岸排除硬脆的中生代火山岩外,8公里之内又无挽近活动断裂,花岗岩体又完整,只有排牙山半岛的南岸燕山期黑云母细粒花岗岩体,其稳定程度最佳,主要特征如下:

(1) 岩体由燕山第三期粗、中粒斑状花岗岩及细粒黑云母花岗岩所组成,根基深,稳定性强,节理极不发育,呈整体结构。(2) 岩体距五华—深圳断裂带和海丰—平海断裂带均在20

公里左右,距大亚湾断裂和大鹏湾断裂均在10公里以上,岩体本身及其附近断裂稀少,规模也小,尚未发现近代活动迹象。(3)据转换波和航磁延拓资料证实,区内康氏及莫氏面平缓,无深大断裂。(4)块体本身无震,仅在20公里左右的边界线附近有微震发生。(5)无近代火山、温泉、滑坡、崩塌等不良物理地质现象。(6)完整花岗岩体为放射性废渣、废液的处理提供了有利条件。(7)工程地质条件较优良。(8)海岸水深,核电站用水方便。

综上所述,排牙山半岛南岸燕山期花岗岩体(包括大坑和凌角石)是安全可靠程度最佳的“安全岛”,可提供作为广东核电站工程的建厂场地。

本文得到胡海涛教授的热情支持,在此表示深切感谢。

(地质矿产部地质力学研究所)

参 考 文 献

- (1) 易明初 1982 四川大渡河(泸定—石棉地带)区域稳定性初步分析 长春地质学院科学研究论文集(3)
- (2) 李四光 1953 关于地质构造的三重基本概念 科学通报 11期
- (3) 胡海涛、易明初 1983 青藏铁路沿线(格尔木—那曲)区域稳定性的探讨 全国首届工程地质学术会议论文选集 科学出版社
- (4) D. B. Slemmons and R. Mckinney. 1977. Definition of "Active fault", Published by U. S. Army Engineering Waterways Experiment Station Soils and Pavements Laboratory P. O. Box 631, Vicksburg, Miss. 39108

(上接第26页)

分析工作量提供了一条捷径。

(五) 金盲矿体的预测—逐步判别分析

利用区内见矿和不见矿各14个工程上部岩石地球化学测量果结,采用逐步判别分析方法建立判别式,并以此对盲矿体进行预测。计算结果其判别函数为:

$$f_1(\text{有矿}) = -145.3443 + 17.9835\text{Cu} + 57.9335\text{Mn} - 42.2017\text{Ni} + 7.1324\text{Ti} + 5.4217\text{BeO} + 94.4654y$$

$$f_2(\text{无矿}) = -158.3906 + 22.2615\text{Cu} + 60.7211\text{Mn} - 54.5432\text{Ni} + 2.6085\text{Ti} + 3.5036\text{BeO} + 110.9922y$$

依所建立的判别函数进行回代结果,已知无矿的全部判对,已知有矿者判准率为64.29%。对含金石英脉品位、厚度累积与用判别函数回代后求得有矿概率进行相关分析结果,属高度显著者相关($\gamma=0.4907$),表明石英脉的含矿性与上部岩石中原生晕结构有着极密切的关系。根据所建立的方程对七个工程下部是否存在盲矿体进行判别表明,其中三个工程下部可能有盲矿体。所判见矿位置与地质推断十分吻合,为下步工作提供了靶区。

除此,利用金的分布型式,对储量计算中出现的“特高品位”进行处理亦取得较好效果。

将数理统计方法用于金矿普查中,能充分地利用原始资料,从中挖掘出许多新的地质信息,并从本质上揭示出金矿的地质规律,使普查工作更富成效。

(湖北省地质研究所)