

虎门地区的断裂构造特征 及近期活动性

薛佳谋 魏柏林 李富光 陈庞龙*

(广东省地震局)

摘 要

本文以现场调查、岩芯切片分析、土壤汞气测量、 ^{14}C 年代测定及地震台网观测资料为基础,参考前人的工作结果,对虎门区段的断裂发育特征、晚近地质时期的活动性作了分析和论证。发现虎门河道及其两岸发育有北北西、北东东、北西和北东四组断层,其中顺珠江河道发育的北北西组断层活动年代较新,但断续、成组出现,未见贯通性的深、大断裂。所有断裂主要活动于晚更新世晚期以前,晚更新世以来全区缓慢上升,平均上升速度为 $0.1\sim 0.5$ 毫米/年,某些北北西向断裂存在 $0.05\sim 0.1$ 毫米/年的逆时针方向的水平错动,历史上未发生破坏性地震,布台观测期间未记录到当地地震,认为虎门大桥区段的地质地质环境比较稳定,发生破坏性地震可能性很小。

引 言

广(州)—深(圳)—珠(海)高速公路联结广州、深圳、珠海、江门等珠江三角洲经济开放区的主要城市,其中段将通过待建的虎门大桥跨越珠江主河道。虎门地处珠江三角洲东缘,位于珠江新生代凹陷与粤东隆起的交接带上。以往地质界曾有人认为沿珠江主河道存在北北西向的“珠江大断裂”,但对断裂的结构、性状,规模、位置及近期活动性等均未提供确切的依据。查明虎门珠江河道及其两岸断裂的发育特点和晚近地质时期的活动性不仅对于评价高速公路虎门区段的地质环境稳定性有重要现实意义,而且对于研究珠江三角洲的形成与发展及该区的孕震构造环境也有考参意义。

根据工程建设的需要,本文作者等对高速公路中段的断裂发展情况作过专门调查,编写了调查报告¹⁾。本文根据现场调查、岩芯切片显微研究、土壤汞气测量、 ^{14}C 年代测定资料并参考前人工作结果,重点论述虎门主河道及其两岸断裂发育的特征,分析断裂晚近地质时期的活动性,对其孕育破坏性地震的可能性作了估价。

*参加考察工作的还有张虎男、陈伟光、张福来、黄河生、张瑞禾、陈华云、刘昌谋、罗振暖、廖元盛、吕凯、张国荣、黄国顺、王正尚等。图件由何永鉴清绘,广东省区域地质调查大队协助岩石薄片鉴定,广州地理所协助 ^{14}C 样品测定。

1)广东省地震局,虎门大桥桥址断层活动性及其对工程影响的调查报告,1986年

一、虎门外围断裂发育概况

以虎门为中心，半径40~50公里范围内，主要发育三组断裂：（图1）

1. 北西向——北北西向断裂

（1）西江断裂：位于图1西部，沿西江走向作北西向延伸，倾向北东，倾角70°。断裂在西江的三水——南海段主要反映为断裂两侧地层不连续和发育构造角砾岩、硅质岩。断裂晚近活动表现在：控制了西江河谷的发育；西江三角洲第四系沉积的西界受其围限；断裂两盘显示出差异运动，导致北东盘阶地发育，南西盘阶地不发育；第四系等厚线沿西江呈北西向长条带状延伸，显然受断裂控制。

（2）白坭——沙湾断裂：自花县白坭穿过广花平原延至番禺沙湾。因受第四系松散层覆盖，所以地表露头极少，仅在沙湾附近的台地、残丘上有部分出露，测汞剖面上有反映，形成宽约10~20米不等的硅化带，寒武纪地层强烈变质，具片理化、硅化。走向北40°西，倾向南西，倾角80°，压性为主。该断裂控制了三水盆地的东界，第四纪以来对西江、北江三角洲东侧的沉积发育也起一定的控制作用，致使第四系等厚线沿断裂呈北北西向长条带状展布。

（3）化龙——珠江口断裂：主要是根据卫片判读和重力异常推测的断裂。在番禺莲花山一带，它控制着第三纪红层的沉积，断裂西侧主要为寒武纪变质岩，东侧为晚第三纪砂砾岩和第四系松散沉积物。在虎门西岸白沙湾附近的虎门石矿场，见其切过燕山期花岗岩，发育了规模较大的构造岩带，走向北40°西，倾向北东，倾角75°，断面清楚，有水平擦痕，具片理化、绿泥石化、角砾化，推测是该断裂在南段的反映。但其走向由北北西变为北西向。断裂自第三纪以来控制了东莞盆地的西界。由红层组成的莲花山等地的抬升（莲花山现今最高海拔105米）也是该断裂活动的一种反映。

（4）罗岗——太平镇断裂：断裂主要亦是据卫片判读和重力异常推断。自广州罗岗穿过东江三角洲前缘，延伸至太平一带。它在太平至虎门威远岛一带均有反映；寒武纪变质岩与早侏罗纪砂岩成断层接触；寒武纪地层强烈变质，形成数十米宽的构造岩带，原岩硅化，受强烈挤压，并有石英脉穿插、充填，后再受挤压、扭动，显示其多次正反方向活动。在沙角等地，构造岩产状为走向北40°西，倾向南西，倾角70°—80°。珠江下游河谷的形成与该断裂的活动有关。

（5）威远——珠江口断裂：

该断裂自黄埔新港区沿珠江东岸经虎门BH₂₃钻孔出珠江口。断裂大致沿北30°西方向延伸，倾角较陡。据地质局在黄埔一带调查和钻探表明，该断裂切过瘦狗岭断裂。在虎门水道东侧，法国地基建筑公司在BH₂₃孔的位置，于水下21米处打出断层角砾岩。角砾大小混杂，尖棱角状，其成份主要为碎屑岩和石英斑岩。该断裂控制了狮子洋至虎门这段珠江水系，使河流呈南南东流向，且侵蚀东岸，离东岸约50~70米处形成了河流深切的沟槽。在卫片上见珠江口有粗大、平直的线形影象。

2. 北东向断裂（图1）

（6）广州—从化断裂：由从化伸入区内北部至广州，推测继续向南延伸，隐状在第四系下。总的走向为北东，倾向北西，倾角40°—50°，以压性为主。在从化的神岗，构造岩发

育、硅化糜棱岩、硅化角砾岩现象普遍，宽达10多米。断裂使神岗一带的第三系地层产状不连续。该断裂的活动表现主要有：流经断裂两盘的河流（自田岗河、神岗河、白土河等）阶地变形；断裂切过下第三系地层，使断裂上盘的断崖高出下盘约15米（神岗）；断裂的南段伸入珠江三角洲，使断裂两侧的第三系的沉积厚度相差悬殊。

（7）博罗—珠江口断裂：自博罗延伸入区内东部，在横沥、东莞寮步、太平威远岛以及虎门西岸的南北台、南沙北侧等地，均见其踪迹。该断裂是区内规模较大的北东向断裂。断裂北段和中段主要切过寒武纪和侏罗纪地层，形成宽达数十米的多条构造岩带，可见到强烈的硅化、片理化、角砾岩化，具水平擦痕和垂直方向的滑动面。总的产状是：走向北 35° — 45° 东，倾向南东，倾角 70° — 80° 。断裂的南段则切过燕山期花岗岩、寒武纪变质岩，产状为走向北 45° — 60° 东，倾向东南，倾角 55° — 70° ，其走向似有由东北段的北东转为西南段的北东东的趋势。

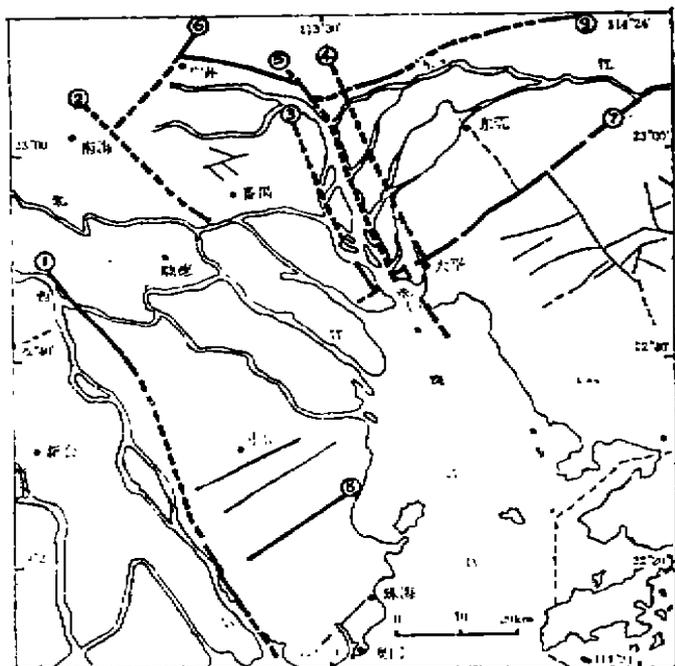


图1 虎门地区外围主要断裂

Fig. 1 Seismogeological map of the periphery of Humen region

①西江断裂；②白泥—沙湾断裂；③化龙—珠江口断裂；④罗岗—太平镇断裂；⑤威远—珠江口断裂；⑥广州—从化断裂；⑦博罗—珠江口断裂；⑧五桂山南麓断裂；⑨广州—博罗断裂。

该断裂部分地段控制了河源盆地、东莞盆地红层沉积的南界。新构造运动时期的活动，使第三纪砂砾岩被抬升，在大虎山、小虎山等地，现今红层最高海拔150—170米，其底砾层已被抬升至海平面以上。但在断裂北段的东莞寮步一带，第四纪以来形成的两级阶地已准平原化，目前已多被开垦成梯田，风化壳深厚，风化粘土层达数米，反映了近期地壳运动比较平静。

(8) 五桂山南麓断裂：位于区内五桂山地区，走向北 50° — 60° 东，倾向南东，倾角 40° — 70° 。它在地貌上控制了五桂山南麓的线状延伸。沿断裂见规模较大的断层崖和硅化带。部分地区还控制了燕山期花岗岩与寒武纪变质岩的分界。该断裂有过多期次活动，晚近活动主要反映为：控制了三乡盆地的发育；断裂的上升盘一侧发育了二级洪积台地；沿断裂有多级跌水和温泉分布。

3. 近东西向断裂(图1)

(9) 广州—博罗断裂。

自博罗罗浮山南侧长宁经白石、新塘至广州瘦狗岭。产状近东西走向，向南倾，倾角较陡。断裂通过瘦狗岭一带有50米宽的构造岩，影响带涉及下盘的花岗岩和上盘的第三系。活动方式兼有压扭和张扭，以正断层为主，并控制了东莞盆地上第三系的分布。活动还延续至第四纪，使横穿该断层的广州郊区沙河、车陂河的阶地位相下游反而高于上游地区。

在上述诸断裂中，北北西向的罗岗—珠江口断裂、化龙—珠江口断裂、威远—珠江口断裂走向平行，均与珠江主河道延伸方向一致。它们沿河道或河道两侧发育，组成北北西向断裂加强带并在虎门地区与北东走向的博罗—珠江口断裂交汇。显然虎门区段处于特殊的、复杂的构造环境之中。

二、虎门珠江河道及其两岸断裂发育特点

1. 断裂展布及存在依据

(1) 北东、北东东组断裂(图2)

本组断裂总体走向北 50° — 60° 东，以 F_1 、 F_2 、 F_3 断层为代表，相同走向的岩石节理和小位错的滑动面也较发育(图3)。

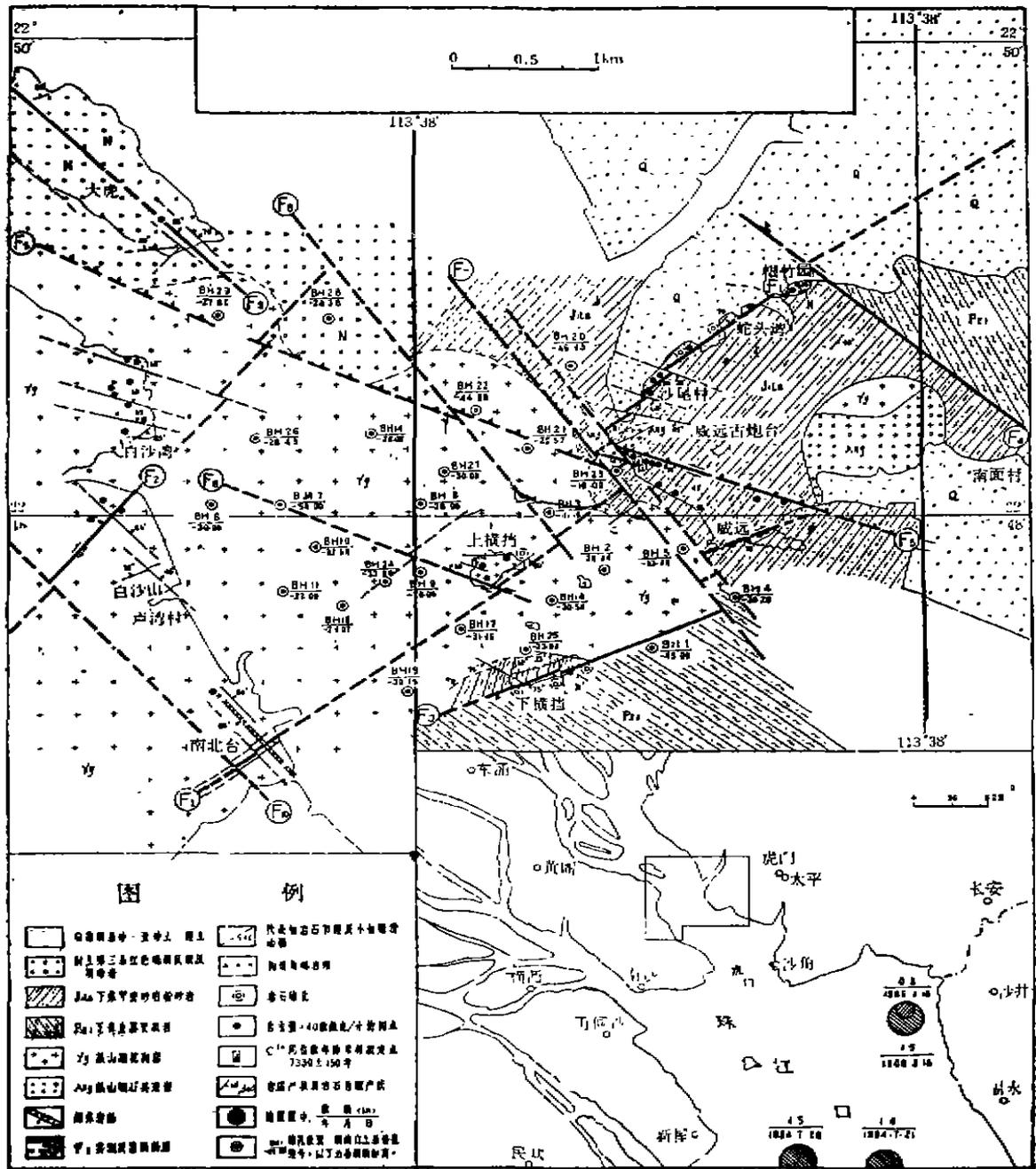
F_1 断层(相当于图1中的(7)号断裂)：出露于珠江河道东侧的蛇头湾、沙尾至码头一带，总体走向北 50° 东，倾向NW或SE，倾角 60° — 75° 不等。主要断层标志是：蛇头湾至沙尾一带断层控制着丘陵与冲积平原的分界线。断层三角面保存较好，断层沿线下侏罗统砂岩受断层影响产状凌乱，岩石发生不同程度的硅化和热液蚀变。在沙尾码头附近本断裂与北西组交汇部位有燕山期石英斑岩贯入。采样切片镜下鉴定表明，石英斑岩因受过构造作用影响变成碎裂蚀变石英斑岩。岩石具斑状结构、基质具变余霏细结构。岩石和斑晶中裂纹、裂隙发育，被粘土矿物、绢云母和石英质充填，还有石英细脉穿插其间。长石斑晶因蚀变被绢云母集合体取代。说明它是在动、热力作用较强的环境下形成，属 F_1 断层活动的产物。图2还表明沿 F_1 断层含汞量较该区背景值略高，说明该带构造裂隙比较发育并与地壳深层有联系。

该断层在根竹园、沙尾码头等地被北西组断层错断。在沙尾码头被北西组断层(F_3 、 F_7)左旋错移后，经上横挡南侧继续向南西方向伸延直达河道西岸的南北台。主要依据：①上横挡东侧水域，合和高捷达公司(Hopewell costain limited)提供的基岩面等深度图²⁾³⁾上有走向北东的形态规则的基岩隆起；②上横挡东南端北东走向的小断层、小滑动面较发育，

2) Hopewell Holdings LTD, Boca tigris bridge, Guandong province Peoples Republic of China investigation hydrographic, marine geophysical and Oceanographic Surveys, Volume I;

3) Hopewell costain LTD, Boca tigris bridge crossing marine Site investigation, Volume II;

而且岩石发生硅化，局部发生热液蚀变；③BH₁₇号钻孔的花岗岩岩芯比较破碎；④南北台采石场见有至少三条小断层组成的走向北东的破碎带。上述构造形迹均出现在F₁断层向南



注：钻孔资料来源于Hopewell Ccstain LTD

图2 虎门地区的断裂构造

Fig. 2 Faulted structure of Humen region

西方的延伸线上。据此我们认为 F_1 断层向南西方向断续穿越了珠江河道，但强度有所减弱。

本断层自根竹园往北东延伸潜伏于第四系沉积层之下，可能经虎门寨北侧继续向北东方向延伸并与区域性的紫金—博罗大断裂连接，在虎门寨北侧已见 5—8 米宽的硅质构造岩露头。

F_2 断层：出露在河道西岸黄山路林场东约 1 公里的采石场。断层走向北 40° — 50° 东，倾向北西，倾角 75° ，断面清晰，呈舒缓波状。断层带内岩石遭受强烈挤压研磨，变成绢云母绿泥石千糜岩，镜下观察到显微鳞片变晶结构，千枚状构造。断层构造岩带宽约 1 米。此外还有次流纹斑岩沿断裂层裂隙贯入，形成宽达 5 米的岩脉。从构造岩的特点及其切割燕山期花岗岩体等情况看，本断层活动年代应与 F_1 断层相同。

F_3 断层：出露在下横档岛南缘海岸，断层总体走向 60° — 65° 东，倾向南东，倾角 75° 。断层构造岩带可见宽度达 35 米，明显分出硅质岩石英脉亚带和构造角砾岩亚带。带内岩石成份复杂，包括蚀变花岗质压碎岩、压碎蚀变岩、构造角砾岩、碎裂硅化岩等。野外常见到岩石被压碎、胶结后又被切开等现象，显然系断层多期活动的结果，由于断层错动造成断层两侧岩石产状不同，南侧地层走向北西、北侧片理走向北东。

该断层向东北方向延伸正对 BH_4 及 BH_1 号孔。 BH_4 钻孔揭示该处主要为片岩夹少量花岗岩，底部为花岗岩，而 BH_1 号钻孔在 -45.32 米才出现基岩，而且主要为片岩及花岗岩糜棱岩（合和高捷达公司的报告中定名为片岩，我们从钻孔岩芯中取样切片，经广东省地矿局区队镜下鉴定为花岗糜棱岩）。镜下观察岩石具糜棱结构，定向构造。原岩中的长英矿物 85% 以上被压碎、研磨而成细小棱角状、粉末状（粒径为 $0.3\sim 0.01\text{mm}$ ），绢云母等次生矿物呈细条纹状定向分布，显示典型的糜棱结构特点，原岩特征已很难恢复，显然它是断层活动的产物。据此推测 F_3 断层向北东方向延至 BH_1 和 BH_4 孔位附近。在威远南侧岸边见一组走向北 65° 东，倾向南东，倾角 70° 的滑动面，滑面擦痕、擦阶清晰，面壁形成硅质薄膜，可能是 F_3 断层被北北西组断层错移后的痕迹。

本断层主要发育在下古生界地层中，但它切割了下侏罗统砂岩，并对河道中花岗岩体的南缘边界起控制作用。据此推测本断层可能始于中生代燕山运动之前，至燕山运动期又有新的活动。

北东、北东东组断裂除上述三条主要断层之外，还有一些规模较小的断层，例如上横档岛北面还可能存在一条延长约 1 公里的北东走向的小断层，在合和高捷达公司编制的《新老冲积层界面变化轮廓图》中表现为一组由 5 条等值线组成的密集梯度带。位于此梯度带西南延线上的 BH_{14} 号钻孔，岩石受热动力变质，合和高捷达公司报告中定为片岩，我们从岩芯中取样切片鉴定为云英岩化细粒花岗岩。岩石具变余花岗结构，原岩结构遭受破坏，石英略显波状消光，钾长石被白云母、绢云母交代，黑云母被白云母和绿泥石交代，显然原岩经受过与断层活动有关的热、动力变质作用的影响。此外，在沙尾码头的石英斑岩中也见到一些同方向的压扭性结构面和滑动面，可能是平行于 F_1 断层的次级小断层。

（2）北西西组断裂

此组断裂总体走向北 60° — 70° 西，多数倾向北东，倾角 $60^\circ\sim 80^\circ$ 不等。代表性断层有 F_4 、 F_5 、 F_6 等，此组断裂多数情况下错断了北东组断裂。

F_4 断裂：发育在桥址区东部的根竹园东部虎庙一线，1:20 万广州幅地质图上有表示。

断层东北盘出露下古生界变质岩，由它构成的山体呈北西方向延展，片理走向也为北西向，与山体延展方向一致。断层西南盘为下侏罗统砂岩，所成的山体呈北东向，岩层走向也为北东向。在根竹园本断层与F₁断层交接处有上第三系红色砾岩分布，表明本断层与F₁断层共同控制了该处上第三系的沉积。

F₂断层：出露于威远岛青山头西麓，从沙尾码头经威远古炮台西侧向南东东方向延伸。从沙尾码头向北西方向可能穿过珠江河道延至大、小虎岛的西南侧。断层总体走向北65°—70°西，倾向南西，倾角75°，沿线发育宽达20—30米的构造角砾岩带。在沙尾码头所见角砾，大小不等，大者达5—10厘米或更大，小者仅几毫米。砾石成份以原地的蚀变石英斑岩碎块为主，另有下侏罗统砂岩碎块。胶结物成份与砾石成份相同。砾石呈棱角状，分选性极差。角砾被胶结后又被错裂磨碎，并有石英脉沿裂隙贯入充填，而石英脉又被后期裂面错断。显然本断层有过多期活动。

该断层自南东东向北西西延至沙尾码头后被走向北北西的F₇断层（相当于图1中的（5）号断层）左旋错移约100米。（图1）BH₂₃号钻孔岩芯中发现的构造角砾岩完全可以同F₂对比。从钻孔岩芯采样切片在显微镜下观察，发现有陆地上所见的石英斑岩成份。在岸上也见到石英斑岩岩体被北北西向小断层左旋错移。据此我们认为BH₂₃号孔的角砾岩主要是F₂断层的产物，它之所以出现在BH₂₃号钻孔，是由于F₂断层被F₇断层左旋错移的结果。

图2中把F₂断层向北西方向延伸至大虎岛南侧，主要是以下列事实为根据的：①宽达25至30米的F₂断层角砾岩带自南东向北西延至沙尾码头未见变窄和尖灭迹象，入河道后不可能突然中断；②据1：20万广州幅地质图，大虎岛和小虎岛的上第三系砾岩地层的走向均为北60°—65°东，然而地层走向线与该套地层分布的南缘边界线成60°相交，表明大小虎一带的上第三系砾岩与其南面白沙湾一带的燕山期花岗岩不可能是不整合接触，应是断层接触关系；③沿此线再往北西方向延伸至市桥以北见有北西走向的断层出露；④BH₂₂号钻孔的岩芯比较破碎，BH₂₀号钻孔的岩芯也比较破碎，而且还有热液蚀变现象，应是断层影响带的产物。以上事实表明沿沙尾码头至大虎岛南侧一线存在一条规模较大的北西西向断裂带，F₂断层可能是该断裂带的组成部分。

F₃断层：出露在上横档岛的西南端，向北西西方向可能延至BH₇号钻孔。在上横档测得断层走向北65°西，倾向北东，倾角80°。该断层存在的主要依据是：①上横档西南角有断层露头，它由一组密集的北西西向滑动面和石英脉组成，局部见断层角砾岩。岩石薄片鉴定为压碎花岗岩和蚀变黑云母花岗岩，具变余花岗结构。岩石和矿物中的裂纹、裂隙均很发育，云母的解理纹弯曲，局部破碎，石英具波状消光，并有萤石脉和石英脉穿插，表明原岩曾经受过构造动力及热力作用。②断层线上的BH₇号钻孔的岩芯很破碎，第四系松散沉积层与周围钻孔比较，明显增厚，到—54米深处才见到基岩。基岩的岩芯也很破碎，只有—62.03米—65.95米的岩芯比较完整，但—65.95米以下又打到破碎层。岩芯采取率很低。这种情况与该孔周围的BH₆、BH₂₀及BH₁₀号钻孔的岩芯完整的情况有很大不同。BH₇号钻孔的上述异常现象用断层作用解释较合理。

此外，在河道西岸的白沙湾以及河道东岸的沙尾一带北西西组小层也比较发育，应是与F₄、F₅、F₆断层同组的构造。

（3）北北西组断裂

本组断裂是桥址区内活动年代最晚的一组断裂，总体走向为北30°—35°西，大致与虎门

段珠江水道平行，对河道的发育起主要作用。本组断裂以 F_7 、 F_8 、 F_9 和 F_{10} 断层为代表。此外在河道两岸还有一些走向与上述断层大致平行的小断层。

F_7 断层（相当于图1中的（5）号断层）：发育于虎门河道的东岸，合和高捷达公司根据声呐及地震测深资料曾在虎门河道东岸划出一条北北西走向的断层，其位置及延伸方向大致与 F_7 断层相当。 F_7 断层是由两条较大的断层及一些与之平行的小断层组成的断层组。断层存在的主要依据是：①在沙尾码头的岸坡可见走向北 30° — 35° 西，倾向北东，倾角 81° 的断层出露，它明显地错断了 F_8 断层角砾岩带，也错断了燕山期蚀变石英斑岩和下侏罗统的原生砾岩条带，并发生逆时针方向错动。②位于 F_7 断层西南，距断层约150米的BH₂₂号钻孔的岩芯中发现岩性、结构及构造角砾岩均与陆地上所见的 F_7 断层的构造角砾岩的性质相同。这种现象只有承认该处存在北北西向断层，并逆时针方向错移了 F_7 断层才能解释。③水深测量资料证实离沙尾码头沿岸约50~70米存在一条北北西向延伸的水下陡坡带，该带形态规则，几乎呈直线状。在依据声呐和地震测深资料编制的基岩埋藏深度图上也有反映，同样表现为等值线密集带，其形态及位置均与水下地形陡坡带吻合；其延伸方向与我们在岸坡上所观察到的北北西组断层平行。④航空照片上均能看到沿珠江下游河道的东岸存在一明显的线性影象，在此线性影象的北段（广州黄埔新港附近）经广东省地矿局钻探证实存在北北西组断层，该组断层还错断了近东西走向的广州瘦狗岭断裂。前述虎门河道东岸水下地形和基岩陡坡带正与线性影象的中段重合，把它解释为断层是合理的。

根据上述4点，我们认为 F_7 断层确实存在。但并不是单条连续断层，而是由多条平行或斜列式排列的小断层组成的断层组。该断层组既错断了北东组断层，也错断了北西西组断层。因此它是桥址区内活动年代较晚的断层。

F_8 断层：发育于虎门珠江河道主流线的西侧，走向与 F_7 断层一致，主要是根据合和高捷达公司的声呐及地震测深资料推测的。在基岩面深度图上，表现为由三条等值线组成的梯级带，西南盘上升，东北盘下降，落差约15米。它和 F_7 断层一起控制深水河道的发育，夹于两断层之间的北北西向下沉条块成为虎门珠江河道的深水主流线。

F_9 断层：发育在桥址区西北角的大虎岛。断层从大虎岛中部通过，把大虎岛劈成两半，地貌上明显地表现为断层缝沟。在大虎岛的南端岸边上第三系红色砾岩被切开，形成宽达1.5~2米的断层沟。断层走向北 30° ~ 35° 西，倾向北东，倾角 65° 。主断层两侧还发育数条与它平行的次级小断层。从断层的地貌特点及岩层错移不显著等情况分析， F_9 断层似属以张性为主的断层。

F_{10} 断层（相当于图1中的第（3）号断层的南延部份）：发育在河道的西岸，主要是根据卫片、航片判读及当地的地貌形态分析的结果推定的。断层发育在燕山期花岗岩区，断层线两侧的山形走向明显不同，以西山体主要呈北东走向，以东则比较凌乱。两套走向不同而岩性相同的山系被一条北北西向线构造分开，解释为断层是合理的。位于该断层北西延伸方向上的番禺莲花山东缘可见北北西走向的断层露头。区域地质分析表明珠江下游河谷是个走向北北西的断陷，本断层可能是断陷西缘边界断裂的南延部份。在 F_{10} 断层东侧的白沙山、南北台一带，走向北 60° ~ 65° 西，倾向北东，倾角 55° ~ 65° 及走向北 30° ~ 35° 西，倾向北东，倾角 45° ~ 65° 的剪节理及小滑动面十分发育，把花岗岩切成厚板状，并在南北台采石场见到北北西走向的辉绿岩脉，脉宽1.5~2.5米。所有这些都可能与 F_{10} 断层属同组构造。

2. 断裂的主要特点

综观虎门区的断裂的发育特征，可以归纳为以下几点：

(1) 北东组断裂以压扭性为主，往往形成规模较大的构造岩带（例如 F_1 、 F_2 、 F_3 断层）并以硅化、糜棱岩化及较强烈的热液蚀变为其主要特征。局部地段还有石英斑岩或次流纹斑岩沿断层裂隙贯入，形成脉岩或小岩体。多数断层表现为平推逆断层。北西西组断裂则以张扭性为主，多数断层表现为平推正断层。它所成的构造岩以断层角砾岩为主（例如 F_4 断层），热液蚀变程度不及北东组断层普遍。北北西组断裂则张、剪性特征兼有，断面清晰、平直，但未形成较大规模的断层构造岩带。 F_7 断层沿线的直线形地形陡坡带和基岩面陡坡带很显著。 F_8 断层则以显著的断层沟缝为主要特色。

(2) 北西西组断层切割北东组断层，而北北西组断层又同时切割北东组和北西西组断层。其典型切割关系在沙尾码头附近最清楚（图2）。这种切割关系表明北东组开始活动年代最早。从其切割了下侏罗统地层及燕山3期花岗岩，又被燕山4期石英斑岩、流纹斑岩贯入、充填等事实分析，断层主要活动于侏罗纪末、早白垩世之前。其次为北西西组断层，从其错断了燕山4期石英斑岩和此期以前的地层及岩体，又限制了上第三系的分布等情况推测，其主要活动年代在侏罗纪之后、白垩纪末期以前。北北西组断层是桥址区内活动年代最晚的断层，从其切割上第三系砾岩、断层裂隙未见岩、矿脉充填，而且对河道的发育起较明显的控制作用等方面推断，其主要活动于第三纪末期或第四纪初期。

(3) 桥址区岩石节理测量统计结果，显示北东、北西西及北北西三组优势方向。这个结果与区内三组断层的优势走向基本吻合（图3）。对区内部份断层的擦痕、擦阶进行测量，并由此所作的断层应力图解，显示桥址区的构造应力场曾发生过转换。早期的主压构造应力轴的水平投影为南南东—北北西向。区内北东组断层的大量左行扭动形迹均在此种构造应力背景下形成。晚期的主压构造应力轴的水平投影为近东西向，区内的北东组断层从原来的左行扭动转变成右行错移。北西西及北北西组断层则表现为左行错动。

(4) 11条跨断层或沿断层测汞剖面（图3）的103组观测数据显示该区段断层的含汞量背景值较河源新丰江强震活动区的含汞量约低一个数量级。河源地区异常量一般为数百微微克/升，最高达数千微微克/升。而虎门地区一般为数十至百余微微克/升，仅个别测点（白沙湾北侧河岸）达647微微克/升。规模较大的断裂构造岩带，其汞含量相对较高，处于多组断裂相交的沙尾码头附近汞异常点最集中。这反映此类构造地段的构造裂隙较发育，切割较深，为地壳较深层汞蒸汽的运移提供了良好通道。但从跨断层剖面含汞量曲线形态看，本区未发现深、大断裂活动带上常常出现的那种连续的趋势性“双峰型”异常（河源—邵武断裂带的河源段曾观察到此类异常），而是断续式出现在某些特定的构造部位（断层交汇部、断层旁侧的次级小断层），并未形成大规模的高含量的汞气异常条带。此类异常反映本区段的断层均属发育于地壳浅层的一般性断层，而并非是切穿地壳的贯通性的深大断裂。此类断层一般不易孕育破坏性大地震。

(5) 区内岩石介质的差异对断裂的发育特点产生一定程度影响，但未能改变断裂的延伸方向。虎门区段分布着三套形成时代不同、性质不同的岩石：①燕山期花岗岩，占研究区段面积的50%，强度高，具脆性；②由早侏罗世的砂岩、粉砂岩和晚第三纪的砂砾岩组成的碎屑岩，占全区段面积的30%，此类岩石质地不均匀，软硬变化较大；③早古生代中深变质岩，主要为片状石英岩、混合片岩和片麻岩，占全区段面积的20%。未经花岗岩物质贯入的

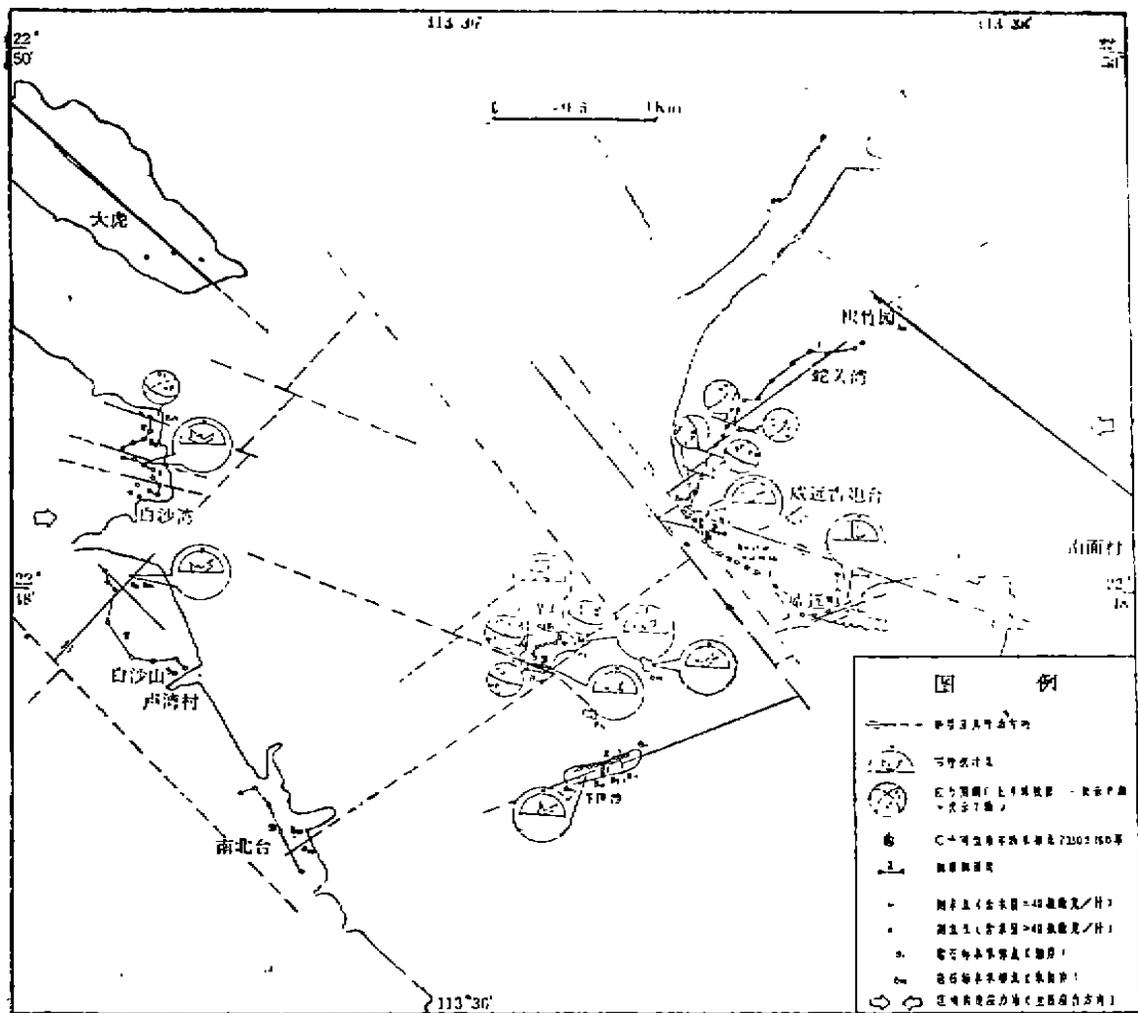


图3 虎门地区岩石节理统计及构造应力分析图解

Fig. 3 She diagram on Statistic about rock joint and analysis about Strucral stress in Humen region

片岩、片麻岩，质地较软，经花岗岩物质贯入混合化作用的则强度较高并具韧性。断层通过沉积碎屑岩、变质岩段时，主要表现为片理化、柔皱、破碎或硅化岩带，破碎带宽度较大；断层通过花岗岩段时，则断面清晰、常见较强的热液蚀和岩脉贯入，但断层影响带的宽度变小。尽管同一条断层，在其通过不同性质的岩石介质时，其表现形式有较大差异，但都未能改变断层总的延伸方向。这种现象表明前面所述的断层确系构造应力作用的产物，它们主要受区域构造应力场的制约。

三、断裂接近地质时期的活动性

虎门区段处在珠江下游新生代复式断陷中的相对隆起部位，基岩裸露，第四纪沉积仅沿

主河道两侧分布，缺少连续的可供对比的标志层。在这种情况下，要全面、准确地查清晚近地质时期区内断裂活动的历史，是困难的，甚至是不可能的。但根据区内某些地质象联系区域活动背景，仍可对区内断裂晚近地质时期的活动状况作出概略分析和估算。

珠江下游断陷自晚白垩纪开始伴随一系列断裂的活动而产生，接受了巨厚的红色岩系沉积及数十米厚的第四系松散沉积物。至第四纪晚期，全区转为大面积间歇性抬升，只有局部次一级断陷区仍表现为继续沉降。在虎门一带发育海拔20~30米、50~60米、80~90米三级侵蚀阶地，其中海拔20~30米阶地保存完整。在大虎山，小虎山一带于海拔10~15米处有海蚀洞穴，海拔3~5米处有开阔的由晚第三纪砾岩组成的海蚀平台。此外，在珠江主河道东岸的沙尾码头、蛇头村军营、威远码头和河道中心的下横档岛于标高3~5米处见冲积—洪积砾石层。所有这些都是近期间歇上升的标志。

虎门区内断层切割最新的地层是上第三系。直至目前为止我们未发现桥址区内有错断第四纪沉积层的断层的直接证据。在下横档岛、沙尾码头及部队营区一带分布的第四纪冲积砾石层，经与区域地层对比认为应属 $Q_3^3 \sim Q_4^1$ ，其分布高度都是高出当地河水面3~5米，表明桥址区自 Q_3^3 或 Q_4^1 以来有缓慢上升的趋势，但断层两侧差异性升降并不显著。我们在河道东岸的沙尾码头南侧泥炭层采腐木样测定 ^{14}C 同位素年龄为 7330 ± 150 年，而取样点的标高大致与河水面的标高相当。这也表明近年地壳抬升的速度较缓慢。依上述砾石层的年代及其目前的标高推算，本区自 Q_3^3 或 Q_4^1 以来平均抬升速度为0.1~0.5毫米/年。

至于断层活动的水平向的错移速度，因桥址区内缺少长期的足够的三角测量或跨断层测量资料，目前还无法给出确切的数值指标。但根据有限的地质调查结果仍可作些概略估算：图2中的 F_1 断层错断 F_2 断层，错距约100米。前面已根据与 F_1 断层同组的 F_2 断层明显错断了第三系，从而推定 F_1 断层在第三纪末期以来仍有过较强的活动。尽管目前还未发现桥址区内的第四系被断层错动的痕迹，但从大桥工程安全的角度考虑，姑且把上述100米的断层错距看成是 F_1 断层两盘自第四纪初以来长期错动的结果。按第四纪初期至今100~200万年算，则自第四纪初期以来 F_1 断层两盘水平错移速度为0.05毫米/年至0.1毫米/年。

本区段第四纪晚期断层活动平均速度与珠江三角洲断陷全新世以来平均活动速度（-0.89~+0.55毫米/年）相比在数值上属同一量级，但较闽南粤东（+1.99~2.24毫米/年）、粤西沿海（+1.75~2.41毫米/年）、雷琼地区（+0.96~+1.49毫米/年）低一个数量级。虎门地区历史上未发生过破坏性地震，考察期间（1986年2月25日至1986年3月25日）加密地震台网观测也未观测到本区的地震，说明虎门附近地震活动水平也很低。由地震资料得到的结果与由地质资料推断的结果比较一致。

四、初步结论

(1) 广、深、珠高速公路虎门区段发育北北西、北西、北东和北东东4组断裂，其中北北西组断裂顺珠江主河道方向发育。威远—珠江口断裂从主河道东侧通过虎门，第三纪末期有过显著活动，对河道发育起主要控制作用，第三纪末期以来平均逆时针向平均水平错动速度0.05~0.1毫米/年。但它由两条时断时续的断层及与之平行或斜列式的次级断层组成，未见连续贯穿性的深、大断裂。

(2) 11条跨断裂或沿断裂的测汞剖面资料表明，区段内未发现强震活动区内的深、大

断裂带内通常出现的那类连续的、“双峰型”的高汞含量异常条带，表明区段内的断裂均属地壳浅层的一般性断裂，而不是切穿地壳的深、大断裂。此类断裂一般不易酿成破坏性地震。

(3) 虎门区段内尽管缺乏断层错断第四系沉积层的直接证据，但从某些零星的第四系冲积砾石层与区域地层对比资料、 ^{14}C 地层测年资料及地形、地貌分析，仍能看出本区地壳在第四纪存在以0.1~0.5毫米/年的速度抬升，某些断层存在0.05~0.1毫米/年的水平错动量。土壤汞气含量偏低（一般为40~80微微克/升），地震活动水平低（历史上无破坏性地震，考察期间加密台网未观测到本区地震）均佐证了上述地质推断。

参 考 文 献

- (1) 黄镇国等，珠江三角洲形成发育演变，科学普及出版社广州分社，1982年。
- (2) 魏柏林等，从测定壤中的气汞量来研究活断层，地震地质10卷2期，1988。

THE CHARACTERISTICS OF FAULTED STRUCTURE AT HUMEN REGION OF LOWER REACHES IN PEARL RIVER AND ITS RECENT ACTIVITY

Xue Jiamou, Wei Bailin, Li Fuguan, Chen Panglong
(Seismological Bureau of Guangdong province)

Abstract

Basing on the in situ investigation, core cutting analysis, measurement of soil mercury gas, dating dection of ^{14}C and observating data of seismic network and consulting the results done by our predecessors, the characteristics about the rrtft development at Humen region and its geologic activity in the late and recent period are analysed and proved. The results shows that there are four faults, namely, NWN, EEN, WN and EN in the two sides of Humen channel, among them, the fault of NWN at the channel of pearl River has developeed in a new type. It appears disjointed and there is not transfix of deep and big fracture. All of the faults delopee befor the late period of Epipleistocent. Since the Epipleistocent, the region has risen slowly, about 0.1—0.5 mm/year. Some faults of NWN stagger against the clockwise, about 0.05—0.1 mm/year. AS there is not any destructive earthquakes in the histroy and no earthquakes in this region were recorded during the investigation, so we think that the environmene of seismogeogy in Humen region is stable and it is not possible that the destructive earthquake will occur in this region.