

# Application of Seismic Structural Research in Site Selection and Construction of Xiamen New Airport

Wei Chen, Fanglv Shen

Fujian Earthquake Agency, Fuzhou Fujian  
Email: 13599097454@163.com

Received: Oct. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Starting from the geological tectonic background and the evolution history of new and old structures, the regional seismotectonic environment is studied, and the occurrence conditions of regional strong earthquakes are evaluated. Through further investigation of surface fault activity in near-region area, shallow seismic exploration and geological radar detection of concealed faults in the site area and its vicinity, comprehensive evaluation of fault activity in near-region area and evaluation of suitability construction of Xiamen new airport are carried out.

## Keywords

Fault, Structure, Shallow Seismic Exploration, Geological Radar

---

# 地震构造研究在厦门新机场选址建设中的应用

陈 伟, 沈方铝

福建省地震局, 福建 福州  
Email: 13599097454@163.com

收稿日期: 2019年10月7日; 录用日期: 2019年10月21日; 发布日期: 2019年10月28日

---

## 摘 要

从地质构造背景、新老构造演化史入手, 研究区域地震构造环境, 评价区域强震发生条件。通过进一步对近场区开展地表断裂活动性调查, 对场址区及附近的隐伏断裂开展浅层地震勘探和地质雷达探测, 综

合鉴定近场区断裂活动性, 评价厦门新机场的适宜性建设问题。

## 关键词

断裂, 构造, 浅层地震勘探, 地质雷达

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

2011年, 国务院正式批复了国家发改委上报的《海峡西岸经济区发展规划》, 该规划是贯彻落实《国务院关于支持福建省加快建设海峡西岸经济区的若干意见》的具体举措。建设海峡西岸经济区, 是中央战略决策的重要组成部分, 是福建省服务全国发展大局和祖国统一大业的历史责任, 是站在新的历史起点上加快福建发展的战略选择, 具有十分重要的意义。作为福建省对外开放的重要窗口, 厦门市的发展建设, 包括航空业的发展, 新机场的建设, 均与区域的发展息息相关。随着厦门地区航空业务的发展, 厦门原高崎国际机场趋近于饱和, 一条跑道将无法满足不同机场今后的发展需要, 目前机场周边被城市及海洋所包围, 如原址扩建势必对城市整体发展造成影响, 且机场今后也无再发展的空间。鉴于新机场建设对于厦门市乃至区域发展的重要意义, 国家“十二五”规划纲要以及民航“十二五”规划均明确提出“研究建设厦门新机场”。

厦门新机场选址于福建省厦门市翔安区境内, 在厦门本岛以东海域、翔安区东南方向, 北与泉州南安市相望, 南与台湾省金门岛一衣带水, 西与厦门本岛远眺, 东与角屿岛相近。机场范围包括小嶝岛、大小嶝岛之间的浅滩区以及大嶝岛周边的部分海域, 同时涉及大嶝岛东部部分用地。对于机场的选址建设, 地质资料、构造展布情况十分重要, 作为重要构筑物与生命线工程, 根据规范, 需要针对性地开展构造研究与工程场地地震安全性评价, 开展区域地震构造环境分析与近场区断裂活动性鉴定[1], 但是目前, 机场所在的大小嶝岛和南面的金门岛由于政治因素而缺乏这方面资料, 因此需要在场址初步可行性研究阶段开展地震地质和断裂构造的调查, 未场址的选址建设和抗震设防提供依据。

目前国内对许多工程场地地震安全性评价项目中, 多采用地质调查的方法来研究断裂活动性, 但厦门新机场建于滨海人口稀少地区, 地表主要被第四纪地层所覆盖, 常规地质调查方法难以发现这些隐伏断裂的踪迹, 需要开展地球物理勘探手段对隐伏断裂进行探测。

## 2. 地质构造背景

### 2.1. 大地构造

厦门新机场大地构造单元位于东南沿海中生代岩浆带内的平潭 - 东山剪切构造带[2], 长乐 - 诏安断裂带纵贯全区, 东临台湾海峡。该构造单元以强烈的动力变质及韧性剪切作用为特点。

### 2.2. 新构造

新构造分区位于武夷 - 戴云隆升区内的闽东沿海断块差异隆起区[3], 主要为北东向长乐 - 诏安断裂带展布区, 受北西向永安 - 晋江断裂带、九龙江断裂带切割, 以断块差异升降运动和继承性断裂活动为基本特征, 总体表现为缓慢的抬升状态。由于长乐 - 诏安断裂带在第四纪早期的断块差异运动, 形成了

本区自西向东有序排列的低山、丘陵、台地、平原和沿海岛链带地貌景观。在不同方向断裂交汇部位, 往往发育有断陷的第四纪盆地, 如漳州盆地等。盆地内发育晚更新世 - 全新世海陆交互堆积。盆地之外的沿海地区为红土台地平原, 台地海拔一般在 50 m 以下。第四纪晚更新世以来除一些北西向的断陷小盆地具间歇性下降外, 大部分地区仍处于缓慢间歇性抬升状态, 普遍发育三级河流阶地。区内历史上发生过多次中强地震, 最大地震为 1185 年漳州  $6\frac{1}{2}$  级。

### 2.3. 区域地震构造环境

研究机场地震构造环境, 须对机场外延不小于 150 km 的区域范围开展研究[4]。近年来, 为适应国家社会经济发展、防震减灾能力提升, 福建省地震局根据多年积累的地震构造研究成果, 编制出版了新版《福建省地震构造图》[5], 图中重点绘制了第四纪以来有活动迹象、与地震发生孕育有关的构造, 并吸纳福建省地震局多年来的地壳深部构造探测结果, 阐明福建地震构造的深部孕震背景, 为福建省重大工程建设提供区域地震构造环境的背景资料。结合新版地震构造图得知, 区域内断裂构造发育, 主要有: 北东向的滨海断裂带(F<sub>1</sub>)、长乐 - 诏安断裂带(F<sub>2</sub>)、政和 - 海丰断裂带(F<sub>3</sub>); 北西向的沙县 - 南日岛断裂带(F<sub>4</sub>)、永安 - 晋江断裂带(F<sub>5</sub>)、九龙江断裂带(F<sub>6</sub>)、上杭 - 云霄断裂带(F<sub>7</sub>)、黄冈河断裂(F<sub>8</sub>) (见图 1)。这些断裂带形成本区域的构造格局[5]。其中, 北东向构造规模较大, 纵贯全区, 尤以台湾海峡地区的北东向滨海断裂带在晚第四纪晚期活动强烈, 沿断裂发生过 3 次 7 级以上大地震, 是本区的强震发震构造。

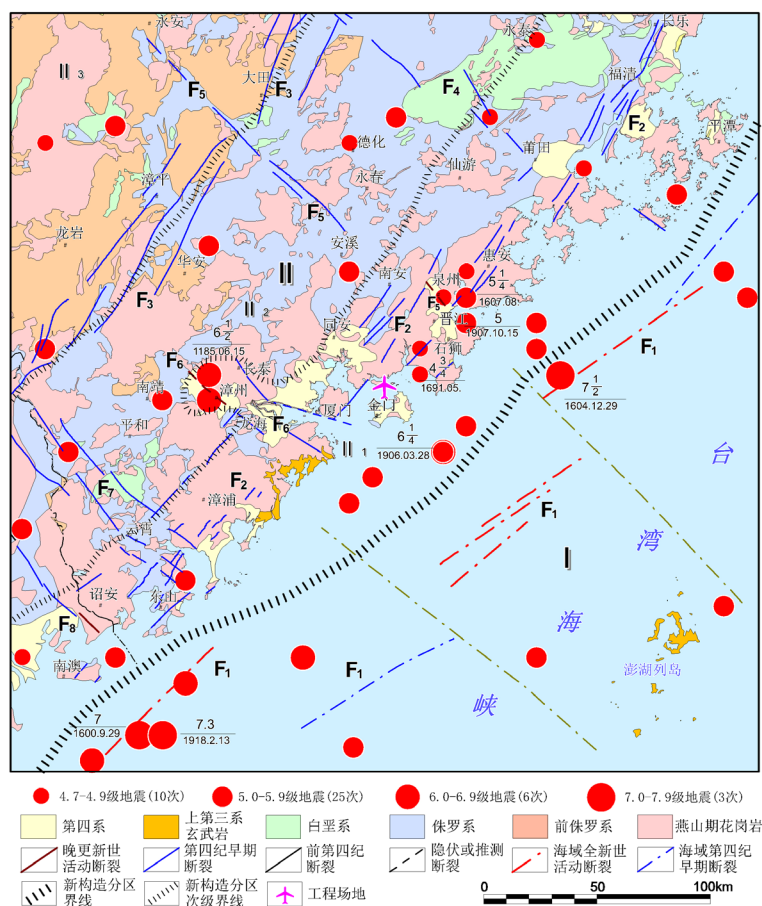


Figure 1. Regional seismotectonic map  
图 1. 区域地震构造图

区域内晚第四纪以来有活动过的活动断裂主要有 4 条, 其中, 全新世活动断裂为滨海断裂带, 晚更新世活动断裂主要有永安 - 晋江断裂带、九龙江断裂带[6]和黄岗河断裂带[7]。工程场地位于离滨海断裂带最近的长乐 - 诏安断裂带的中段, 该段断裂北与永安 - 晋江活动断裂带相交, 南与九龙江活动断裂带相交, 地震活动水平较强, 是值得重点关注的地区。

## 2.4. 区域强震发生条件

通过对区域地震构造环境的分析, 总结区域范围内地震发生的条件。机场位于华南沿海地震带北段内, 区内滨海断裂带是本区地震活动性最强、也是发生强震的全新世活动断裂; 北西向永安 - 晋江断裂带东南段、九龙江断裂带东南段、黄岗河断裂带东南段为晚更新世活动断裂; 其它断裂的最新活动时代发生在第四纪早期或前第四纪。根据对区域地震与地质构造关系的研究, 本区域各级地震发生条件为:

### 1) 7.5 级地震发生条件

- ① 北北东 - 北东东向走滑断裂带;
- ② 晚更新世以来活动断裂带或发生过 7 级以上地震的断裂带, 小震密集活动的断裂带;
- ③ 具有斜列状结构的走滑断裂带、断裂交汇部位。

### 2) 7 级地震发生条件

- ① 北东向或北西向或东西向走滑断裂带;
- ② 晚更新世以来活动断裂或发生过  $6 \leq M < 7$  级地震的断裂(如隐伏断裂带等)或小震密集带;
- ③ 具有斜列状结构的走滑断裂带;
- ④ 在长 100 公里以上的断裂带上, 断层分段长度 30~50 公里。

### 3) 6 级地震发生条件

- ① 北东向或北西向走滑断裂或正断层等;
- ② 中更新世以来活动性不明, 发生过  $5.5 \leq M < 6$  级地震的断裂;
- ③ 由规模较小的断层集合而成的断裂;
- ④ 断层分段长度 20 公里以上。

### 4) 5.5 级地震发生条件

- ① 各种方向的断裂, 断层性质不限;
- ② 中更新世以前活动的第四纪断裂, 发生过  $5 \leq M < 5.5$  级地震的断裂;
- ③ 由规模较小的断层集合而成的断裂;
- ④ 断层分段长度一般小于 20 公里。

根据区域强震发生条件判定, 场址存在 5.5 级地震发生条件。

## 3. 近场区主要断裂活动性鉴定

近场区主要断裂活动性鉴定, 对于核电站、机场候机大厅、航站楼等重要性强、移动人口庞大、灾后影响巨大的重要构筑物或生命线工程, 在选址和建设阶段都具有决定性影响[8]。通过鉴定断裂的最新活动时代, 探明近场区与场址区是否存在活动断层, 就可以在建设前期通过活断层避让以及提高抗震设防能力的方法来达到有效预防的措施。

在了解区域地震构造环境的基础上, 须更进一步对机场外延不小于 25 km 的近场区范围开展调查, 评价近场区主要断裂的活动性, 才能对后续场址区地震危险性分析起主要作用。

### 3.1. 地质构造概况

近场区内广泛出露侏罗纪的酸性、中酸性火山岩和少量沉积碎屑岩, 燕山期酸性、中酸性侵入花岗

岩和动力变质岩及零星岩脉, 和第三纪中基性岩脉产出; 漳浦前亭一带有由新第三纪玄武岩组成的台地、低丘陵。区内发育多组走向断裂, 具多期次和不同性质的活动特点, 主要分属北北东-北东向长乐-诏安断裂带、北西向九龙江下游断裂带。第四系分布较广泛, 主要为陆相冲洪积和海陆交互相沉积。

加里东期至燕山期的构造运动奠定了近场区构造基础, 形成以北东向构造为骨架, 同时发育北西向和东西向构造。其中燕山期是近场区地壳活动最强烈、最频繁的时期, 以强烈的断裂褶皱作用及大规模的酸性、中酸性岩浆强烈、频繁的喷发与侵入为其主要表现形式。同时, 由于强烈的断裂活动伴随有热液活动的影响, 本区长乐-诏安断裂构造带内的晚侏罗世及其之前的地层岩石和侵入岩产生强烈的片理化及糜棱岩化等不同程度的动力变形及变质作用, 形成了动力变质带。

近场区新构造运动时期以区域性断块差异升降运动和继承性断裂活动为基本特征。第三纪表现为整体隆升、遭受剥蚀、夷平的状态, 仅东南部沿海地带出现小规模玄武岩喷溢。第四纪早期构造运动出现重新活跃的态势, 主要由北北东-北东向和北西向断裂控制的断块差异升降作用有所加强, 形成侵蚀低山、丘陵、残丘、红土台地、堆积平原与盆地的地貌景观; 晚更新世以来, 继承性断裂活动逐渐减弱。

### 3.2. 地形地貌

近场区地处福建省东南沿海, 属于闽东南丘陵地形区, 主要由低山、丘陵、台地和海湾平原构成, 总体地势西北高、东南低。

近场区西北部主要为低山、丘陵地貌, 地形起伏较大, 局部山坡陡峻, 为中等切割侵蚀区。

近场区中北部、东北部、西南部地段为沿海丘陵、残坡积红土台地、近海冲积小平原地貌, 如晋江平原是晋江下游河-海沉积平原地区。

近场区南部、中南部的大部分为海域或海湾, 海岸曲折, 港湾、海滩广布, 以泥质滩涂海岸为主。

### 3.3. 地层岩性

近场区内第四纪地层比较发育, 主要分布于沿海平原和丘陵地区, 第四系的成因类型多样, 有海积、冲积、冲洪积、残坡积等, 区内第四系分为全新统和更新统[9]。

1) 中更新统同安组( $Q_{2t}$ )主要为冲积地层。

2) 上更新统东山组和龙海组( $Q_{3d}$ ,  $Q_{3l}$ )多以冲积、洪积、冲洪积, 部分海积沉积物为主。

3) 冲洪积层( $Q_4^{cd}$ )主要分布厦门灌口、东孚、同安新圩一带丘陵山地的山坡前的冲洪积扇。冲积层主要分布在马巷附近的河流两岸, 该地层分布广泛, 但出露面积狭小。海积层主要分布在沿海、海岛, 出露在红土台地间的坳谷里。

4) 更新统残(坡)积层( $Q^{cd}$ )由花岗岩或火山岩风化而成, 可见厚度 3~5 m, 组成波状起伏的红土台地。

5) 全新统长乐组( $Q_{4ch}$ ): 长乐组下部( $Q_{4ch}^1$ )冲积层为一级阶地, 在内陆山区的河流两岸零星出露, 面积狭小, 在漳州盆地, 常分布在红土台地之间的坳谷上游, 海相地层零星分布在漳州盆地东部红土台地之间的坳谷上游。长乐组上部( $Q_{4ch}^2$ )广泛分布于沿海海湾平原区和漳州盆地内, 冲积地层组成冲积平原、河流心滩、边滩, 海相地层构成冲海积平原。

第四系的下伏基岩主要有晚侏罗世火山岩、燕山期花岗岩, 以及零星产出的燕山期动力变质岩、各类岩脉和喜山期基性岩脉。

### 3.4. 场址区地震地质概况

厦门新机场选址于福建省厦门市东南面的大、小嶝岛以及之间的浅滩区和周边的部分海域, 地貌单

元包括了滨海地貌单元及剥蚀残丘地貌, 其中岛屿沿岸阶地滩涂、大小嶝岛之间海域均属滨海地貌; 岛屿陆域部分属剥蚀残丘地貌。

根据现场调查及勘察资料, 岛上地层主要有人工填土层、冲洪积层粉质粘土、坡积层粉质粘土、残积层残积砂质粘性土及燕山早期侵入花岗岩地层组成; 填海区主要地层主要有人工填土层、第四系全新统海相沉积层、海陆交互相沉积层、陆相冲积层、残坡积层、燕山早期侵入花岗岩地层、局部见有后期侵入的辉绿岩岩脉。

综合场地内地貌分区和地层结构, 将场址区划分为二个工程地质分区: 残坡积区(I)、冲淤积海积区(II)(见图 2)。

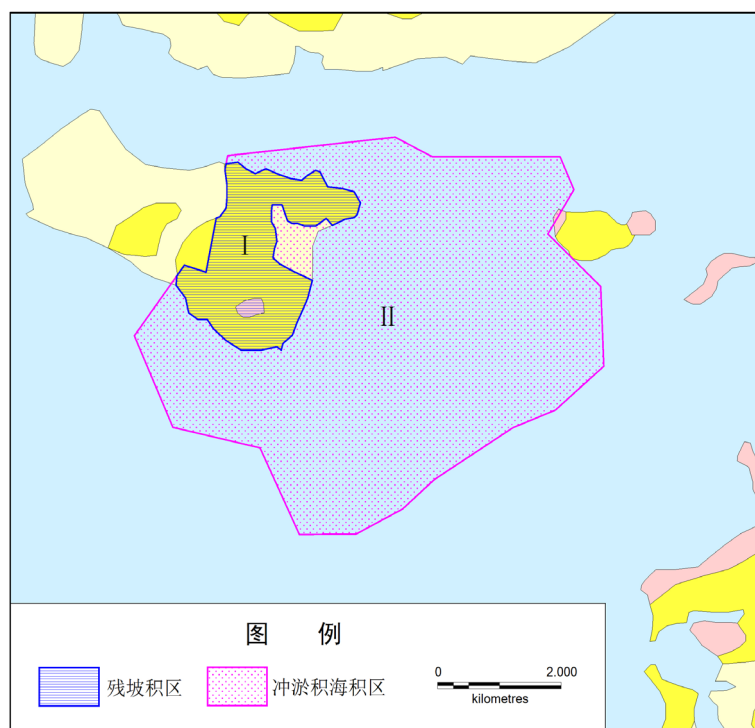


Figure 2. Engineering geological zoning map of Xiamen new airport site area  
图 2. 厦门新机场场址区工程地质分区图

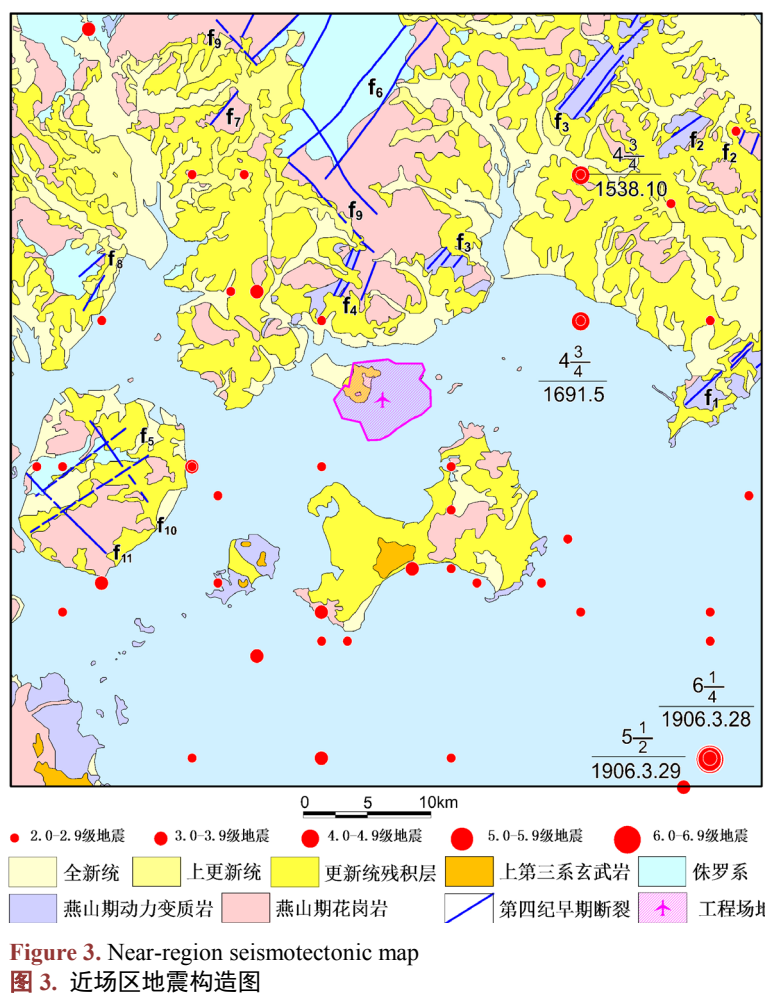
构造方面, 场址及周边现有地质构造资料缺乏, 且场址区第四纪地层发育, 断裂多呈现隐伏形态, 无法直接看到。需结合近场区断裂调查结果, 采用地球物理勘探手段对可能通过场址的隐伏断裂进行探测。

### 3.5. 近场区地表断裂及其活动性

近场区断裂构造发育, 但场址所在的大嶝岛、小嶝岛以及南部金门地区的地质构造资料仍为空白。本项目在充分收集已有地层岩性和地质构造资料的基础上[10], 在近场区内梳理出 11 条断裂, 其中, 北东向断裂主要有: 深沪 - 金井断裂( $f_1$ )、灵秀山断裂( $f_2$ )、晋江 - 石井断裂( $f_3$ )、黄厝 - 沙美断裂带( $f_4$ )、厦门 - 浮宫断裂带( $f_5$ )、大帽山断裂( $f_6$ )、南安 - 新圩断裂( $f_7$ )、天马山断裂带( $f_8$ ); 北西向断裂主要有: 小盈岭断裂( $f_9$ )、石龟头 - 高崎断裂( $f_{10}$ )、濠头 - 塔头断裂( $f_{11}$ )等(见图 3)。

通过对近场区断裂的地表出露痕迹开展野外地质调查, 采用沿断裂走向追踪和垂直走向观测的方法, 分别对近场区 11 条断裂的活动性进行了鉴定, 结果表明: 近场区断裂的最新活动时代均为第四纪早期,

不存在活动断裂。



### 3.6. 近场区及场址区隐伏断裂探测

通过近场区断裂调查, 北东向晋江 - 石井断裂( $f_3$ )、黄厝 - 沙美断裂带( $f_4$ )、厦门 - 浮宫断裂带( $f_5$ )指向场地北侧附近, 但场地内多为第四系, 难以通过地表调查发现断裂行迹, 因此辅以地球物理勘探手段是查明场地及其周围主要断裂的活动、空间展布, 是否存在隐伏断裂及其活动性等。本项目采用浅层人工地震和地质雷达勘探两种手段, 在场地内及附近布设了 5 条浅层地震勘探测线和 4 条地质雷达测线, 浅勘测线长 5167 m, 雷达测线长 2600 m [11]。其中浅勘 SSN1 测线主要探测厦门 - 浮宫断裂带活动性, 浅勘 SSN2 测线和雷达 RD4 测线主要控制黄厝 - 沙美断裂带, 浅勘 SSN3 测线和雷达 RD3 测线主要控制晋江 - 石井断裂, 浅勘测线 SSN4 和地质雷达 RD1 测线主要探测场地内是否存在北东向隐伏断裂, 浅勘 SSN5 测线和雷达 RD2 测线主要探测场地内是否存在北西向隐伏断裂, 各测线位置见图 4。

通过探测, 浅勘仅 SSN1 测线探测到断裂迹象(见图 5), 结合地表断裂调查结果, 应为厦门 - 浮宫断裂带, 根据探测剖面上出现的同相轴错动形态, 判断该断裂带为正断层性质, 根据上断点仅错断第四系覆盖层底部  $T_0$  界面, 表明该断裂活动时代应为第四纪早期, 而其他几条浅勘测线均未探测到断裂迹象。雷达测线剖面连续, 均未发现断层错动迹象(见图 6)。说明场址区内不存在隐伏断裂。

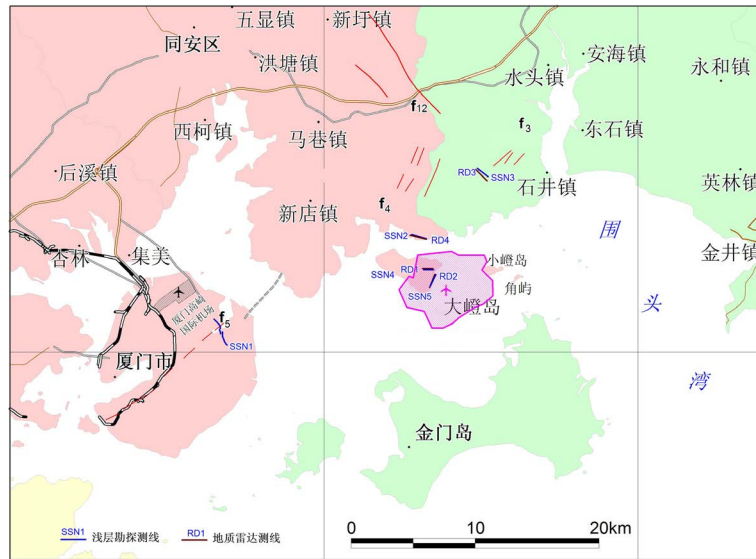


Figure 4. Plane position map of Shallow seismic exploration and Geological radar

图 4. 浅层地震勘探、地质雷达测线平面位置图

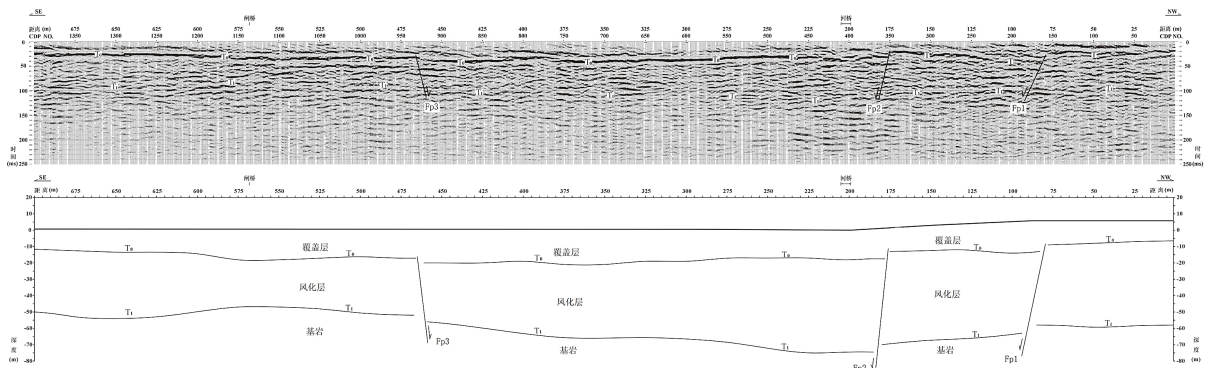


Figure 5. Interpretation map of seismic time and depth profiles of Shallow seismic exploration line SSN1

图 5. 浅勘 SSN1 测线地震时间剖面 and 深度剖面解释图

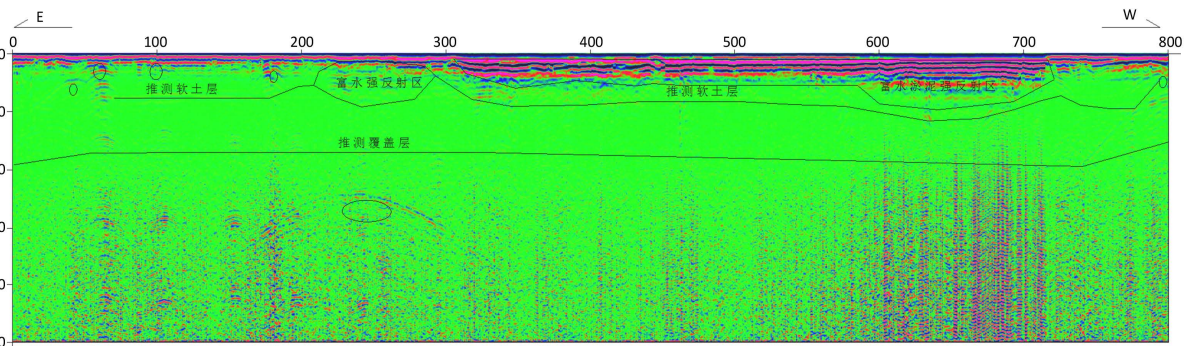


Figure 6. Interpretation map of Radarline RD4 profile

图 6. 雷达 RD4 测线剖面解释图

#### 4. 结论

1) 区域范围内活动断裂主要有：全新世滨海断裂带，晚更新世永安 - 晋江断裂带、九龙江断裂带和



黄岗河断裂带。工程场地位于离滨海断裂带最近的长乐 - 诏安断裂带的中段, 该段断裂北与永安 - 晋江活动断裂带相交, 南与九龙江活动断裂带相交, 地震活动水平较强。根据区域强震发生条件判定, 场址存在 5.5 级地震发生条件。

2) 近场区主要断裂活动性鉴定结果, 近场区主要断裂有 11 条: 深沪 - 金井断裂( $f_1$ )、灵秀山断裂( $f_2$ )、晋江 - 石井断裂( $f_3$ )、黄厝 - 沙美断裂带( $f_4$ )、厦门 - 浮宫断裂带( $f_5$ )、大帽山断裂( $f_6$ )、南安 - 新圩断裂( $f_7$ )、天马山断裂带( $f_8$ )、小盈岭断裂( $f_9$ )、石胄头 - 高崎断裂( $f_{10}$ )、濠头 - 塔头断裂( $f_{11}$ ), 最新活动时代均为第四纪早期, 不存在活动断裂。

3) 根据浅层地震勘探和地质雷达探测结果, 场址区及附近未发现隐伏断层。综上所述, 厦门新机场场址在地震地质方面适宜建设。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 工程场地地震安全性评价(GB17741-2005) [S]. 2005.
- [2] 福建省地质调查研究院. 中国区域地质志·福建志[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [3] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [4] 卢寿德. GB17741-2005“工程场地地震安全性评价”宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 福建省地震局. 福建省地震构造图(图号 FJDZ01-2014) [M]. 福州: 福建省制图院, 2016.
- [6] 朱金芳, 谢志招, 曲国胜, 等. 闽南地区城市活动构造与地震[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [7] 中国地震局地球物理研究所, 福建地震地质工程勘察院. 国电漳州核电厂可行性研究阶段地震安全性评价报告[R]. 2009.
- [8] 陈伟, 黄宗林. 地震构造研究在漳州核电站地震安全性评价中的运用[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(9): 790-798.
- [9] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 福建省厦门市翔安国际机场地基处理及填海工程岩土工程勘察报告[R]. 2011.
- [10] 福建省地质局. 中华人民共和国区域地质调查报告 1:20 万泉州幅, 厦门幅[R]. 1977.
- [11] 福建地震灾害预防中心. 厦门新机场工程场地地震安全性评价报告[R]. 2015.