

Application of Seismic Structure Research in Seismic Safety Evaluation of Zhangzhou Nuclear Power Plant

Wei Chen, Zonglin Huang

Fujian Earthquake Agency, Fuzhou Fujian

Email: 13599097454@163.com

Received: Sep. 5th, 2019; accepted: Sep. 19th, 2019; published: Sep. 26th, 2019

Abstract

Based on the Enlightenment of Japan's nuclear leak event, starting from the aspects of geological tectonic background, evolution history of new and old tectonics, stratigraphic lithology and geological structure, through detailed investigation and research, the near-regional fault activity of Zhangzhou Nuclear Power Station is identified, and the capable fault around sites of nuclear power plants is identified, and evaluated comprehensively the suitability construction of Cizaiwei alternative site in Zhangzhou Nuclear Power Station.

Keywords

Fault, Structure, Capable Fault

地震构造研究在漳州核电站地震安全性评价中的运用

陈 伟, 黄宗林

福建省地震局, 福建 福州

Email: 13599097454@163.com

收稿日期: 2019年9月5日; 录用日期: 2019年9月19日; 发布日期: 2019年9月26日

摘 要

结合日本核泄漏事件启示, 从地质构造背景、新老构造演化史、地层岩性、地质构造各方面入手研究,

通过详细调查研究, 对漳州核电站的近区域范围开展断裂活动性鉴定, 对其备选厂址附近范围开展能动断层鉴定, 综合评价漳州核电站刺仔尾备选厂址的适宜性建设问题。

关键词

断裂, 构造, 能动断层

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. 引言

2007年7月, 日本新潟发生6.8级地震, 震中距离柏崎·刈羽核电站仅9 km, 此次地震引起的地震动超过了柏崎·刈羽核电站的设计基准, 这是历史上发生的对正在运行的核设施影响较大的一次地震。2011年3月, 日本东北部海域发生了里氏9.0级地震, 福岛第一核电站损毁极为严重, 大量放射性物质泄漏到外部, 结果迫使福岛周边民众被迫撤离。这两次地震的发震构造均为活动断层, 其中, 柏崎·刈羽核电站附近发生6.8级强震, 与附近发震构造调查不充分, 并低估了发震构造的规模有关[1]。核泄漏事件表明, 在核电厂地震安全性评价中, 应进一步重视和加强对地震构造的鉴定。

现阶段国内针对一般场地的构造与地震安全性评价, 主要开展区域地震构造背景分析和近区域主要断裂活动性鉴定工作[2], 考虑到本项目的工作等级和重要性, 除对厂址周围不小于25 km的近区域范围开展断裂活动性鉴定工作外, 还对厂址周围不小于5 km的厂址附近范围内是否存在能动断层作出确切评价。国电福建漳州核电站备选厂址位于云霄县列屿镇刺仔尾, 处于福建漳州市东南部沿海, 根据中国地震动参数区划图, 厂址位于九龙江7级大震潜在震源区内[3], 区内存在九龙江活动断裂带, 查清活动断层是否延伸到近区域内, 以及厂址附近范围是否存在能够引起地表或近地表错动的能动断层, 对厂址的选址适宜性和抗震设防参数的确定起到至关重要的作用。

2. 近区域主要断裂活动性鉴定

2.1. 地质构造背景

近区域位于武夷-戴云隆褶带的闽东火山断拗带南段。燕山运动期间, 在华力西-印支拗褶基础上, 闽东火山断拗带发生大规模断陷、拗陷和火山喷发活动[4], 形成巨厚的中生代堆积, 伴随强烈、大规模的岩浆侵入活动, 并沿长乐-诏安等巨型构造带发生强烈的动力变质作用。新近纪以来的新构造运动, 主要以断裂或断裂控制的断块差异升降活动为特征, 间歇性的缓慢上升为总的趋势。

2.2. 构造演化史

近区域内时代确定的地史记录始于晚三叠世。在印支运动以后, 晚三叠世发生拉伸断陷, 形成的断陷盆地中沉积了河流-湖泊相的粗碎屑为主的晚三叠世文宾山组、梨山组。

中侏罗世末期, 由于受到古太平洋板块的俯冲作用, 发生燕山运动第I幕, 区内文宾山组、梨山组等发生宽缓褶皱, 使其后的晚侏罗世火山地层不整合覆盖在早侏罗世的地层之上, 并在沿海地区形成了一条北东向的左行逆冲韧性剪切带。燕山运动I幕之后, 进入了一个大规模的中酸、酸性岩浆活

动时期, 挤压的背景环境使晚侏罗世早期侵入岩形成了强烈的片麻状构造, 随后构造带再次发生强烈剪切作用, 形成一系列北东向的脆性断裂, 并沿断裂带附近发生强烈的片理化作用。此后, 随板块俯冲的深入, 挤压应力也开始变小, 构造带内又有大量的岩浆侵入。晚侏罗世晚期, 断裂拗陷闭合、地壳隆升。

进入早白垩世, 随着太平洋板块向北运动, 区内地壳拉张、断陷, 导致了较大规模的岩浆喷发和侵入活动, 构造变形以脆性断裂、断块活动为特征, 北东向断裂持续活动, 同时伴随着北东向强烈的左旋挤压剪切活动, 形成一系列北西向的横张断裂。早白垩世晚期, 发生燕山运动 IV 幕, 断陷洼地闭合、地壳隆升, 区内缺少晚白垩世地层。此后白垩纪末的燕山运动 V 幕, 处于抬升剥蚀阶段。晚白垩世以后, 地壳处于相对稳定的时期, 构造格局基本形成。

第三纪以来, 由于太平洋板块向西运动, 使亚洲大陆再次受到强烈挤压, 地壳持续地隆升剥蚀, 造成古近纪地层缺失, 区内断裂表现为继承性活动。新近纪以来的新构造运动, 主要以断裂或断裂控制的断块差异升降活动为特征, 间歇性的缓慢上升为总的趋势。区内于山间盆地、断陷盆地、河口、海湾等沉积了自下更新统天宝组 - 全新统长乐组冲洪积、海积、风积层, 发育 I 至 III 级阶地, 区内继承性活动断裂发育[5]。

2.3. 新构造运动

近区域新构造属武夷 - 戴云隆起区, 受北东向和北西向断裂切割, 以断块差异升降运动和继承性断裂活动为基本特征, 断裂与断块差异活动控制着山体、平原及海湾的发育。近区域属于闽东沿海断裂差异活动区二级新构造分区。该区主要为北东向长乐 - 诏安断裂带展布区, 地貌以中山至低山、丘陵、台地、平原及沿海岛链带为特征。该区在新构造运动时期总体呈缓慢的抬升状态。由于长乐 - 诏安断裂带在第四纪早期断块差异性活动, 导致该区不同断块在缓慢上升过程中具有一定的差异性活动, 因而, 形成了本区的地貌景观具有条带状的展布特征, 即在区内从西北向东南, 存在中山至低山、丘陵、台地、平原及沿海岛链带有序排列的特点, 其中尤以广泛发育红土台地为特色。但该区在第四纪中更新世时期之后断块差异活动现象已明显减弱, 形成沿海地区广泛土壤化的红土台地和平原, 表明该区地壳趋于稳定[6]。

2.4. 地层及岩浆岩

近区域地表分布的前第四纪地层主要为前泥盆纪亲营山组、晚三叠世文宾山组、早侏罗世梨山组、晚侏罗世南园组, 并大面积出露燕山期花岗岩, 在海湾平原和山间洼地发育有第四系, 第四系为海陆交互相和陆相沉积, 不整合于前第四纪地层或燕山期花岗岩之上。

2.5. 近区域断裂活动性评价

近区域发育的断裂主要有北东向的长乐 - 诏安断裂带南段和北西向上杭 - 云霄断裂带南段。长乐 - 诏安断裂带是一条规模较大、多期活动且深切地壳的断裂带。本项目在充分收集地层岩性和地质构造资料的基础上[7], 在近区域范围内梳理出 9 条断裂构造, 其中, 近区域北东向主要断裂有: 董塘断裂(F₁)、下崎断裂(F₂)、埔头断裂(F₃)、寨里断裂(F₄)、将军山断裂(F₅)、新埔断裂(F₆); 北西向主要断裂有: 御史岭 - 下径断裂(F₇)、龙眼斜 - 沙西断裂(F₈)、大山断裂(F₉)等。它们共同构成了工作区的断裂构造格架(见图 1)。

通过本项目的野外调查、结合前人的有关资料, 对厂址近区域 9 条断裂的活动性进行了鉴定。结果表明: 埔头断裂(F₃)、寨里断裂(F₄)、御史岭 - 下径断裂(F₇)、龙眼斜 - 沙西断裂(F₈)、大山断裂(F₉)为早第四纪断裂; 北东向董塘断裂(F₁)、下崎断裂(F₂)、将军山断裂(F₅)、新埔断裂(F₆)为前第四纪断裂。代表性断裂剖面见图 2, 断裂参数详见表 1。

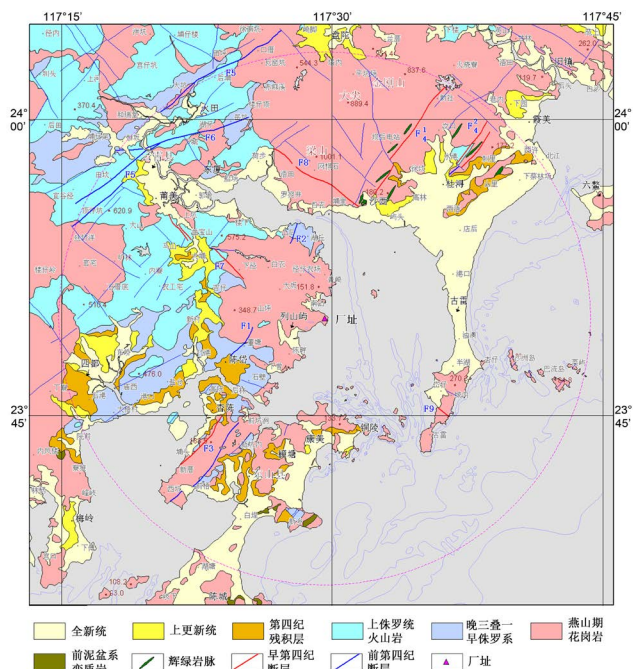


Figure 1. Geotectonic map of near-region of the plantsite
图 1. 厂址近区域地质构造图

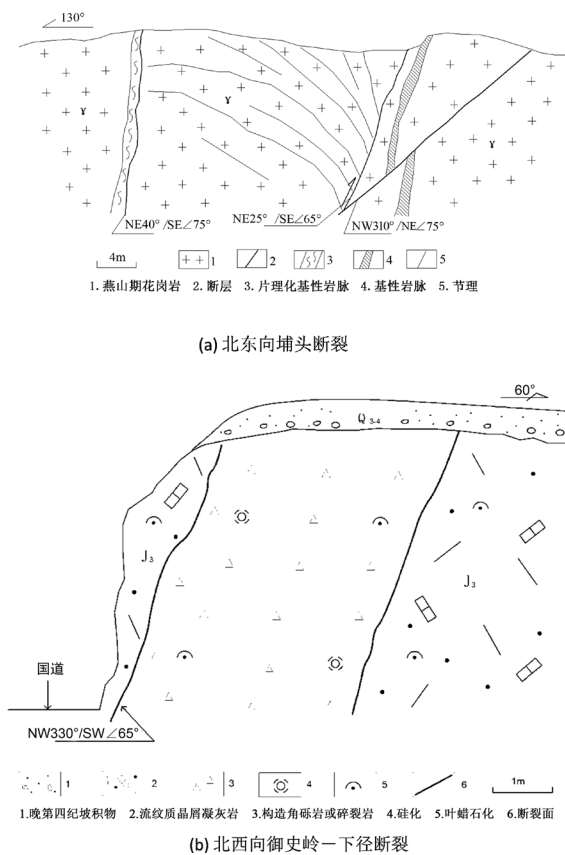


Figure 2. Representational near-regional fault profile
图 2. 近区域代表性断裂剖面图

Table 1. List of major faults in the near-region
表 1. 近区域主要断裂一览表

断裂编号	断裂名称	断层产状	断层长度(km)	断层性质	离厂址最近距离(km)	断裂特征	活动年代
F ₁	董塘断裂	NE20°/SE∠75°	3.2	张扭性	6.7	节理带	前第四纪
F ₂	下崎断裂	NE30°/SE∠70°	2	压扭性	8	节理密集带、片理化带。	前第四纪
F ₃	埔头断裂	NE25~40°/SE∠65~75°	6	压扭性	13	破碎带、片理化带，断面硅化蚀变。	早第四纪
F ₄	寨里断裂	NE35~40°/SE∠60~70°	12	张扭性	13	构造透镜体、辉绿岩脉，断层物质绿帘石化、固结。	早第四纪
F ₅	将军山断裂	NE50°/⊥	25	压扭性	23	韧性剪切带、节理带。	前第四纪
F ₆	新埔断裂	NE70~75°/NW∠70~75°	13	压性	20	节理、断层滑动面，断面硅化。	前第四纪
F ₇	御史岭 - 下径断裂	NW330~340°/SW∠50~65°	15	张扭性	5	岩石破碎、角砾岩、碎裂岩，固结较坚硬，断面硅化。	早第四纪
F ₈	龙眼斜 - 沙西断裂	NW310~330°/NE∠45°	10	压扭性	11	节理裂隙、小断面。	早第四纪
F ₉	大山断裂	NW320°/⊥	1.3	张扭性	13	岩石破碎，胶结构造角砾岩、小断面。	早第四纪

近区域地质调查结果表明，近区域第四纪以来构造活动不断减弱，断裂构造规模均不大；地震活动以小震活动为主，距离厂址 10 km 左右发生过一次 5½ 历史地震，厂址附近范围内没有记录到地震，地震活动不强[5]。发震构造鉴定结果表明，近区域不存在发震构造。

3. 厂址附近范围能动断层鉴定

能动断层，在核安全导则中定义为：“接近地表处有可能引起明显错动的断层”[8]。核电厂地震安全性评价中的断裂调查与评价的根本目的有两个：一是鉴定其是否为发震断层，二是鉴定其是否为能动断层。发震构造的评价范围包括区域和近区域，而对能动断层的评价仅限于厂址附近范围；发震构造包含了能动断层；发震构造有可能也同时鉴定为能动断层，但能动断层不等于发震断层[9]。对能动断层的评价，不应脱离区域构造和地震活动的背景，不应脱离所鉴定的发震构造，那种将发震构造和能动断层分开评价的作法是不恰当的[10]。

云霄刺仔尾厂址附近范围能动断层鉴定工作应满足“核电厂工程建设项目可行性研究地震工作内容与深度规定”的有关要求，重点查明长度大于 300 m 的断层，特别是走向指向厂址或距厂址较近、倾向朝向厂址的断层。

调查前应充分收集和分析应用已有的区调资料、物探资料、遥感资料和初可研阶段的工作成果，并进行遥感解译。调查过程中，应对线性影像进行核实，每条断裂应提供不少于 2 个的地质控制点，应有足够的测年数据或判定断层时代资料。

3.1. 地质构造概况

厂址附近范围处于区域性的北东向长乐 - 诏安断裂带和北西向上杭 - 云霄断裂带交汇区的东南部，地质构造较为简单，广泛分布有燕山晚期侵入的肉红色钾长花岗岩、浅灰色二长花岗岩，西南部出露有

燕山早期的花岗岩类侵入岩和早侏罗世沉积地层, 各类岩脉和第四纪地层较发育。厂址附近范围发育多组走向的节理构造, 在燕山早期侵入岩和早侏罗纪地层岩石中发育北东向韧性剪切变形的片理构造, 仅在西北部分布有 2 条北西向断裂构造。

3.2. 地形地貌

厂址附近范围处于闽东南沿海丘陵地貌区内, 主要有丘陵、残丘、岛屿、台地, 以及冲洪积的阶地或冲海积的海湾平原等地貌类型, 以丘陵地形为主, 地势总体上由西而东递降。厂址附近范围海岸十分曲折, 海、风蚀地貌景观亦较发育。

卫片解译表明, 北东向、北西向两组节理相互交切, 受侵蚀切割成沟谷, 一般沟谷笔直, 形成的小河流、小冲沟的流向为北东向、北西向, 沿小河流、小冲沟未发现折线流向及同步拐弯现象, 冲沟切割在沟口处切割较深, 在沟顶切割较浅。

3.3. 第四纪地层

厂址附近范围内第四纪地层较发育, 分布面积约 15 Km², 占陆域总面积的 29.9%, 其成因类型较为复杂, 有风化残积、冲洪积、海积及风积等。一般松散堆积物分布在滨海平原及山前地带, 沉积厚度受到地形地貌、水动力条件、新构造运动的影响。风化残积物分布在山前地带及山间洼地, 厚度受地形地貌所影响。

厂址附近范围内出露有全新统的风积相、海积相、海陆过渡相、冲洪积相, 以及第四系未分的残坡积相、残积相等, 以全新统分布广泛。全新统的风积相、海积相、海陆过渡相、冲洪积相主要分布于梅山、列屿等地, 面积约 9.91 Km², 沉积物主要为淤泥、淤泥质粘土、炭质粘土、泥质细砂、中细砂、含砾粗砂、含砾粉质粘土、含砾砂质粘土夹砾卵石等。第四系未分的残坡积相、残积相等分布面积约 5.04 Km², 残坡积层主要分布于斜坡和坡脚地带, 残积层主要分布于大坂、双岭、后江头等地, 沉积物主要为粘土、砂质粘土、粉质粘土等。

3.4. 构造

厂址附近范围地质构造相对简单, 主要构造形迹为 2 条小规模分布的北西向断裂和一系列北西向展布的大型密集节理带, 以及北东向的韧性剪切带(片理化带)和节理构造等。其中以北东向和北西向的二组节理最为发育, 而且北西向节理往往控制了沟谷的展布。

1) 断裂

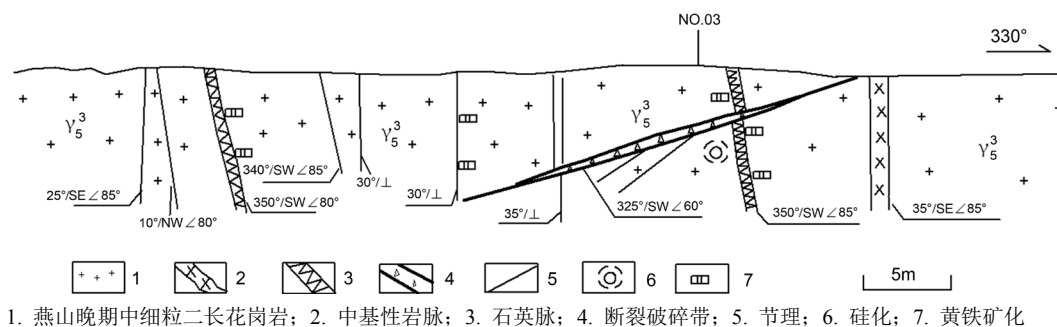
在厂址附近范围的西北边部出露有 2 条北西向断裂, 断裂规模较小, 分布于燕山晚期花岗岩中。这 2 条北西向断裂分别为径仔断裂(F1)、大平山断裂(F2), 其中:

径仔断裂展布在厂址附近范围内北边部, 长约 1.2 km, 断裂产状为走向北西 310~320°, 倾向南西, 倾角 65~80°, 断裂破碎带宽 0.4~1 m, 断裂力学性质以右旋扭性为主, 兼具张扭性特征, 断裂最新活动时代为前第四纪。

大平山断裂展布在厂址附近范围内西边部, 长约 1.8 km, 断裂产状为走向北西 325~330°, 总体走向为北西 330°, 倾向南西, 倾角 60~85°, 断裂破碎带宽 0.1~0.3 m, 断裂力学性质以右旋扭性为主, 兼具张扭性的特征, 断裂的最新活动时代为前第四纪(见图 3)。

2) 韧性剪切变形带

分布厂址附近范围的青径、刺仔尾、龟山、前江头的沿海一带, 呈北东-北东东走向展布, 宽约 2.5 km, 窄处仅 100 m, 该韧性变形带属于区域性平潭-东山韧性变形构造带的组成部分。



1. 燕山晚期中细粒二长花岗岩; 2. 中基性岩脉; 3. 石英脉; 4. 断裂破碎带; 5. 节理; 6. 硅化; 7. 黄铁矿化

Figure 3. NW-trending Dapingshan fault profile

图 3. 北西向大平山断裂剖面图

组成该变形带的主体岩性为糜棱岩, 卷入变形的原岩有燕山早期侵入的花岗岩类岩石, 以及早侏罗世梨山组沉积岩。韧性变形带出露不完整, 中部大部分地段被燕山晚期花岗岩侵入, 或被第四系覆盖。该带内部存在变形强弱分带, 总体上以强变形的糜棱岩为主, 局部夹狭长带状的较弱或弱变形的初糜棱岩带和糜棱岩化带。该变形带具左旋作用, 并具逆冲性质, 反映出近水平走滑的动力学特征。厂址附近范围内大面积分布的燕山晚期花岗岩类岩石未卷入韧性剪切变形, 说明该构造带主变形期在早白垩世早期(125 Ma 左右)。

3) 节理

厂址附近范围中构造节理发育, 常常成组成群分布于岩石中, 一般分布不均, 在一段距离中有密集分布区, 而往两侧则可能渐变稀疏。部分节理被后期的酸-基性岩脉充填。主要有三组, 走向分别为 NE20°、NE70°和 NW310°左右, 最主要的有走向 NE 20°~30°和 NW300°~320°两组, 节理带一般宽 2~10 m, 节理间距 5~50 cm, 局部更密集, 将岩石切割成碎块。在节理密集带地段可见三组节理平面上呈三角形, 节理面一般平整紧闭, 张开度约 0.2~5 cm, 其间充填泥质或铁质。有的节理常见后期岩脉充填, 岩脉主要有辉绿岩脉、石英脉和辉绿玢岩脉等, 脉宽 0.5~3 m 不等, 局部见石英脉沿裂隙呈网格状产出, 有的岩脉先后切割关系清楚, 显示多期活动迹象, 表现为张性节理或张剪性节理的特征。

3.5. 能动断层鉴定

厂址 5 km 范围内能动断层鉴定的标准为: 1) 晚更新世(或 10 万年)以来有过运动的证据, 以至于可合理地推论在地表或近地表处能够再次发生运动; 2) 已证明与一条已知能动断层有构造联系, 以至于一条断层的运动可能引起另一条断层在地表或接近地表处的运动; 3) 与发震构造有关的最大潜在地震的震级足够大和震源足够深, 以至于可合理地推断在地表或近地表处能够发生断层运动。

依据本次调查所获得的资料, 厂址附近范围的断层活动性鉴定表明, 厂址 5 km 范围内的陆域部分有 2 条断裂, 分别为北西向径仔断裂(F₁)和北西向大平山断裂(F₂)。

这 2 条断裂在晚更新世以来没有活动, 也不存在与已知能动断层的联系(近区域不存在能动断层), 厂址附近范围及近区域无发震构造, 潜在地震的最大震级为 6.5 级, 因此, 这 2 条断裂均不是能动断层。厂址 5km 范围内的陆域部分不存在能动断层(见图 4)。

4. 结论

1) 近区域主要断裂活动性鉴定结果, 近区域范围内主要断裂有 9 条, 分别是: 董塘断裂(F₁)、下崎断裂(F₂)、埔头断裂(F₃)、寨里断裂(F₄)、将军山断裂(F₅)、新埔断裂(F₆)、御史岭-下径断裂(F₇)、龙眼斜-沙西断裂(F₈)、大山断裂(F₉), 这 9 条断裂均为早第四纪或前第四纪断裂。近区域不存在在发

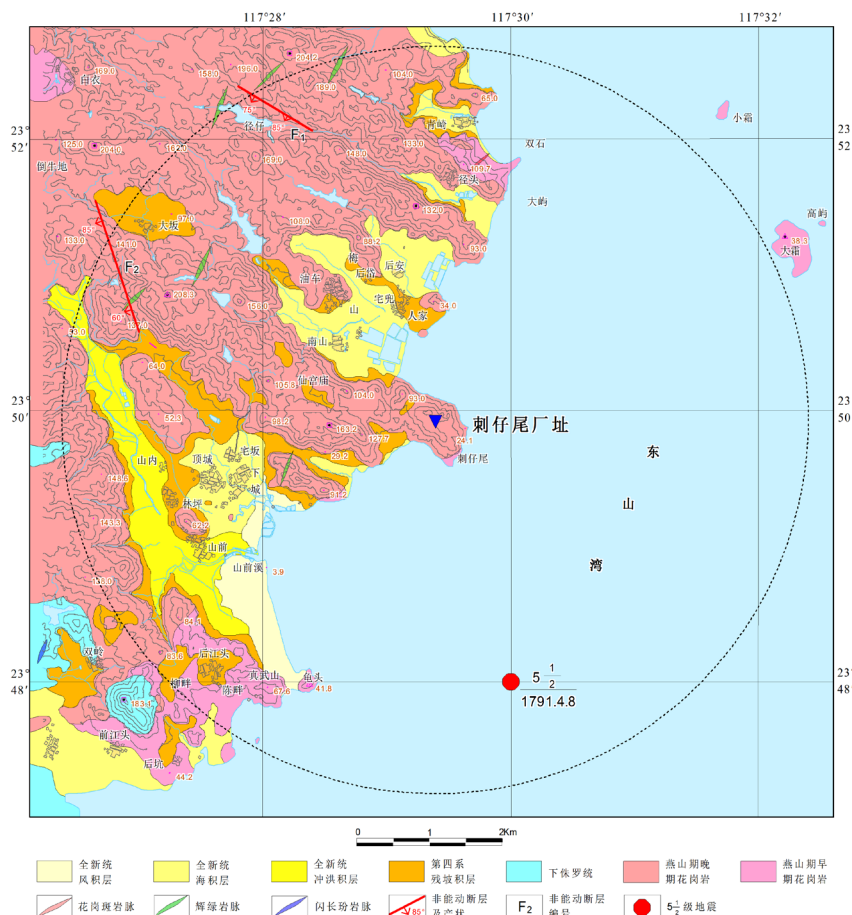


Figure 4. Map of identification results of capable faults around sites of Cizaiwei nuclear power plants
图 4. 刺仔尾厂址附近范围能动断层鉴定成果图

震构造。

2) 厂址附近范围能动断层鉴定结果表明：刺仔尾厂址附近范围发育两条断裂，分别为北西向径仔断裂(F₁)和北西向大平山断裂(F₂)，这两条断裂均不是能动断层。

3) 根据近区域主要断裂活动性和厂址附近范围能动断层鉴定结果，活动断层未穿过厂址近区域，厂址附近范围不存在能动断层，综上所述，漳州核电厂址在地震地质方面适宜建设。

参考文献

- [1] 王中平, 戴联筠. 我国核电厂选址中地震与地质工作现状分析[J]. 电力勘测设计, 2008, 8(4): 66-73.
- [2] 卢寿德, 编. 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.
- [3] 高孟潭, 编. GB18306-2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2015.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 中国地震局地球物理研究所, 福建地震地质工程勘察院. 国电漳州核电厂初步可行性研究阶段地震调查及评价报告[R]. 2007.
- [7] 福建省地质局. 中华人民共和国区域地质调查报告 1:20 万漳州幅[M]. 福建: 福建省地质局, 1974.

- [8] 国家核安全局, 国家地震局. 安全导则核电厂厂址选择中的地震问题(HAD101/01) [S]. 北京: 国家核安全局, 国家地震局, 1994.
- [9] 田胜清. 核电厂地震安全性评价中的断裂构造调查与评价[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(1): 25-30.
- [10] 常向东. 核电厂选址地震安全评价中的发震构造与能动断层[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(3): 199-205.