

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20210119002

# 舟山地区主要断裂对新建宁波至舟山铁路工程安全影响研究\*

张鹏<sup>1</sup>, 汪勇<sup>1</sup>, 马志江<sup>2</sup>, 刘嘉彬<sup>1</sup>

(1. 南京工业大学交通运输工程学院, 江苏 南京 210009; 2. 浙江省地震局, 浙江 杭州 310013)

**摘要:** 舟山地区断裂发育情况十分复杂, 是否存在可能产生地表断错的活动断裂, 对新建宁波至舟山铁路工程的抗震设防以及工程抗断参数的选取, 具有十分重要的意义。通过对舟山地区的野外地震地质调查, 以及水域的浅层地震勘探工作, 对舟山地区主要断裂的第四纪活动性进行了研究, 获得了以下初步认识: 柴桥—伍佰岙断裂为前第四纪断裂; 沙岙—戴家断裂主体为早第四纪断裂, 局部段落最新活动时代为晚更新世早期; 花厅里—紫薇断裂和昌化—普陀断裂最新活动时代为中更新世; 马岙—定海断裂和大丰—长白断裂的最新活动时代为早更新世。沙岙—戴家断裂与工程线路相交段为晚更新世活动断裂, 出于工程安全考虑需采取抗断措施, 其它断裂可不考虑抗断问题。在沙岙—戴家断裂及其影响范围内避免修建不易抗震和不易修复的工程, 并且避免修建站房等建筑结构工程, 在避让时应考虑上盘效应。建议线路穿越沙岙—戴家断裂范围采用有砟轨道; 建议采用易修复的柔性路基工程通过, 路堤内加强抗震性稳定性措施和长期变形观测。根据地震地质背景分析, 东西向昌化—普陀断裂与北东向沙岙—戴家断裂、镇海—宁海断裂的交汇部位, 为破坏性地震可能的发生部位; 场址区及邻区存在发生6级左右地震的孕震环境。

**关键词:** 舟山地区; 断裂活动性; 野外调查; 宁波至舟山铁路

**中图分类号:** TU443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2025)01-0240-07

## Research on the Impact of Major Faults in Zhoushan Area on the Safety of the New Ningbo-Zhoushan Railway Project

ZHANG Peng<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, MA Zhijiang<sup>2</sup>, LIU Jiabin<sup>1</sup>

(1. College of Transportation Engineering of Nanjing TECH, Nanjing 210009, China;

2. Zhejiang Earthquake Agency, Hangzhou 310013, China)

**Abstract:** The fault distribution and characteristics in the Zhoushan area are highly complex. The presence of active faults that could cause surface faulting is crucial for the seismic design and the selection of anti-fault parameters for the new Ningbo-Zhoushan railway project. This study, based on field seismic geological surveys and shallow seismic exploration in the waters, investigates the Quaternary activity of major faults in the Zhoushan area, leading to the following preliminary findings: The Chaqiao-Wubai'ao fault was identified as a pre-Quaternary fault; the Sha'ao-Daijia fault was primarily an early Quaternary fault, with recent activity in some local sections dating back to the early Late Pleistocene;

\* 收稿日期: 2021-01-19; 修回日期: 2021-12-13

基金项目: 新建宁波至舟山铁路及新建沿江铁路主要断层活动性评价项目(202040840)资助

作者简介: 张鹏(1981—), 男, 副教授, 硕导, 博士。主要从事活动构造研究。E-mail: zhpnju@163.com

通信作者: 汪勇(1996—), 男, 助理工程师, 硕士。主要从事工程地质、防灾减灾工程方面研究。E-mail: 847036758@qq.com

the Huatingli-Ziwei fault and the Changhua-Putuo fault were most recently active in the Middle Pleistocene; and the Ma'ao-Dinghai fault and the Dafeng-Changbai fault had their latest activity in the Early Pleistocene. The section of the Sha'ao-Daijia fault intersecting the project route was an active fault from the Late Pleistocene. For engineering safety, anti-fault measures should be taken, while other faults did not require such considerations. Construction of earthquake-vulnerable and difficult-to-repair structures should be avoided within the influence range of the Sha'ao-Daijia fault, and station buildings or other structures should not be constructed in this area. When rerouting, the hanging wall effect should be considered. The use of ballast track across the Sha'ao-Daijia fault zone was suggested, along with flexible subgrade engineering design that is easy to repair. Additionally, seismic stability measures and long-term deformation monitoring were recommended for embankments. Based on the seismic geological background analysis, the intersection of east-west Changhua-Putuo fault, northeast Sha'ao-Daijia fault, and Zhenhai-Ninghai fault was a potential site for destructive earthquakes. The site and its surrounding areas were found to have seismogenic potential of earthquakes of around magnitude 6.

**Keywords:** Zhoushan area; fault activity; field investigation; Ningbo-Zhoushan railway

## 0 引言

舟山地区主要岛屿有舟山岛、岱山岛、朱家尖岛、金塘岛、六横岛等,总体为低山丘陵地貌类型。潮流携带的泥沙堆积形成了岛上的堆积平原。对搜集到的地质资料进行整理分析,本区主要断裂有北东—北北东走向的大丰—长白断裂、花厅里—紫薇断裂、柴桥—伍佰岙断裂、沙岙—戴家断裂,南北走向的马岙—定海断裂,东西走向的昌化—普陀断裂,北西走向的北禅—展茅断裂等(图1)。研究区出露的地层简单,主要为侏罗系上统和第四系。侏罗系上统遍布于舟山地区的低山丘陵,孤丘残山,为一套灰绿、浅灰绿、浅灰紫色凝灰岩、凝灰角砾岩、流纹岩等,其厚度估计大于2 000 m。第四系松散沉积层主要分布于海岛低山丘陵区前缘的平原区,时代属于中更新世、晚更新世和全新世,其成因类型较复杂,有残坡积、洪积、冲积、洪—冲积、冲—海积、海积等。

新建宁波至舟山铁路位于浙江省东部沿海地区,西起宁波东,经宁波市鄞州区、北仑区,至舟山市金塘岛、册子岛及本岛定海区,终于舟山白泉,线路长度约77 km,其中跨海桥梁9.7 km。

新建铁路宁波至舟山铁路工程整体近北东走向,与线路相交的主要断裂有北东走向的奉化—丽水断裂、北北东走向的镇海—宁海断裂、岱山—黄岩断裂、近东西走向的昌化—普陀断裂。还有一些规

模较小的次级断裂如大丰—长白断裂、定海—城北水库断裂。工程场地周边历史上发生过多地震,最大地震为1523年镇海海滨5½级地震,震中烈度为Ⅶ度。1970年华东地震台网建立以来记录到多次小地震,最大为1984年7月6日宁波鄞州2.8级地震。

对于陆域的奉化—丽水断裂、镇海—宁海断裂,前人进行了系统的研究,表明奉化—丽水断裂为早第四纪断裂<sup>[1-3]</sup>;镇海—宁海断裂的局部段落为晚更新世活动断裂,其余段落为早第四纪断裂<sup>[4]</sup>。但对展布于舟山地区的大量断层,相关研究较为有限。舟山地区断裂发育情况十分复杂,是否存在可能产生地表断错的活动断裂,对新建宁波至舟山铁路工程的抗震设防以及工程抗断参数的选取,具有重要的意义。本文通过对舟山地区的野外地震地质调查,以及水域的浅层地震勘探工作,对舟山地区主要断裂的第四纪活动性进行了研究,以查明是否存在活动断裂与拟建铁路相交,为新建宁波至舟山铁路及舟山地区抗震设防工作提供重要依据。

## 1 舟山地区主要断裂的地震地质调查

### 1.1 岱山—黄岩断裂

岱山—黄岩断裂北起自岱山岛北端,横贯岱山岛、舟山本岛后,基本沿浙江沿海经象山、三门湾在乐清湖雾伸入乐清湾,全长大于100 km,总体走向20°~30°。该断裂带在研究区内有柴桥—伍佰岙断

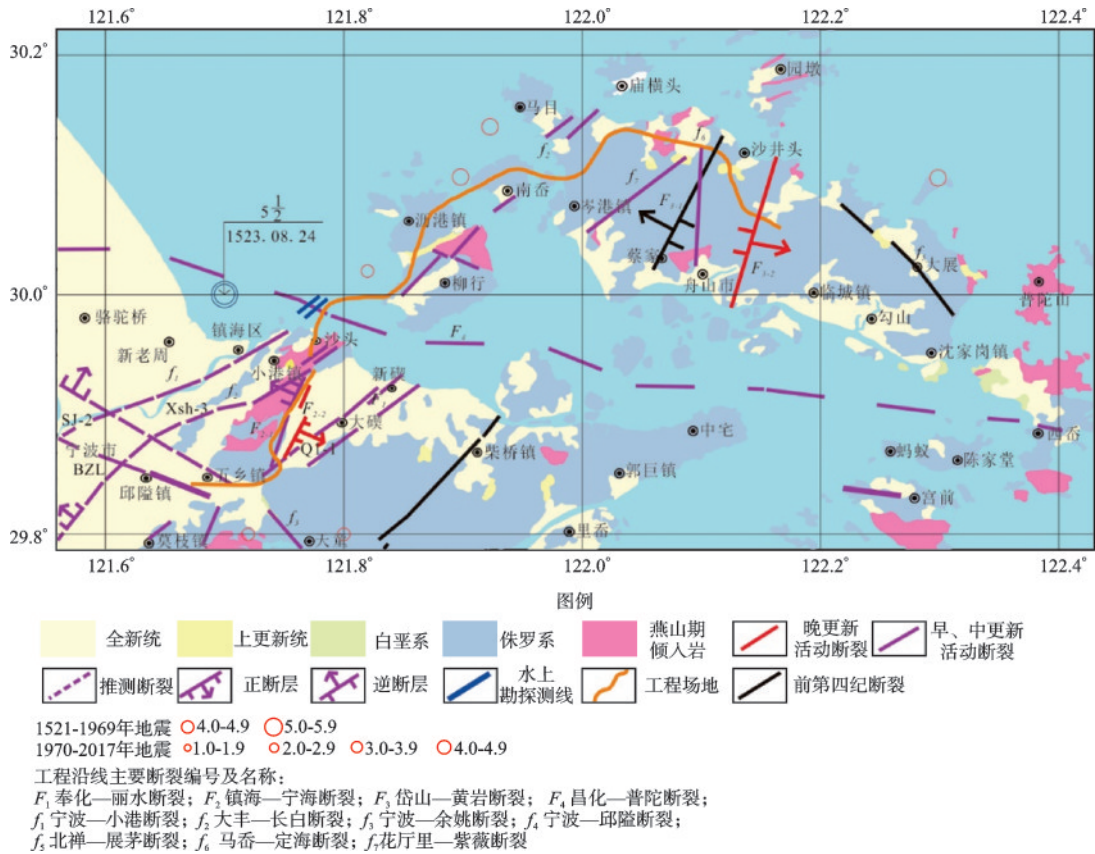


图1 新建宁波至舟山铁路沿线主要断裂分布

Fig.1 Distribution of major faults along the new Ningbo-Zhoushan railway

裂、沙岙—戴家断裂2条分支断裂出露。

### 1.1.1 柴桥—伍佰岙断裂

该断裂南起象山湾北岸，向北经大嵩、慈东延至柴桥以北，进入舟山岛境内，终止于岱山岛，走向 $40^\circ$ ，倾向北西，倾角 $50^\circ\sim 80^\circ$ 。断裂在舟山岛内长约12 km，又称为王家—李家断裂，分布于酸性火山碎屑岩内。据浙江省工程地震研究所资料，断裂在毛竹园出露较清楚，由构造角砾岩、碎裂岩组成，产状 $360^\circ/E\angle 80^\circ$ 。上覆晚更新世坡积层未见断错。根据断裂带内构造岩较为坚硬的特点，判断晚更新世以来无活动。

本次野外地质调查中，在采石岭隧道旁水库东岸见断裂出露，断裂发育在黄褐色凝灰岩内(图2)，断裂产状为 $110^\circ\angle 70^\circ$ ，断裂带宽约30 cm，高度破碎，无断裂泥发育。

根据野外地质调查以及前人资料判断，柴桥—伍佰岙断裂的最新活动时代为前第四纪，活动性质以挤压逆冲为主，兼具走滑性质。

### 1.1.2 沙岙—戴家断裂

沙岙—戴家断裂北起舟山本岛北部，经舟山十

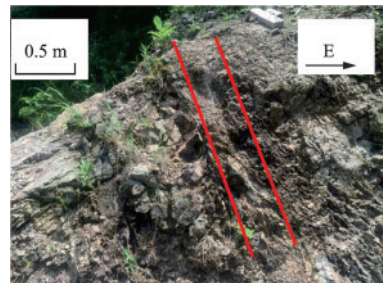


图2 采石岭隧道旁柴桥—伍佰岙断裂露头(YZ01)

Fig.2 Outcrop of Chaiqiao-Wubai'ao fault near Caishiling Tunnel (YZ01)

字路向南，推测入海域后，在六横岛的沙岙附近通过，而后向南再次进入海域，之后在象山登陆，最终终止于象山戴家附近。走向 $30^\circ$ 左右，倾向南东或北西，倾角约 $80^\circ$ 。

沙岙—戴家断裂在地貌上比较明显，在舟山十字路口段成为负地形，以断层谷或槽地形式出现。在舟山十字路口北有很好出露，由多条次级断裂组成，其中[1]号断裂断错了中更新世砾石层及其上部晚更新世黄土层(图3)，判断该断裂最新活动时代为晚更新世早期。

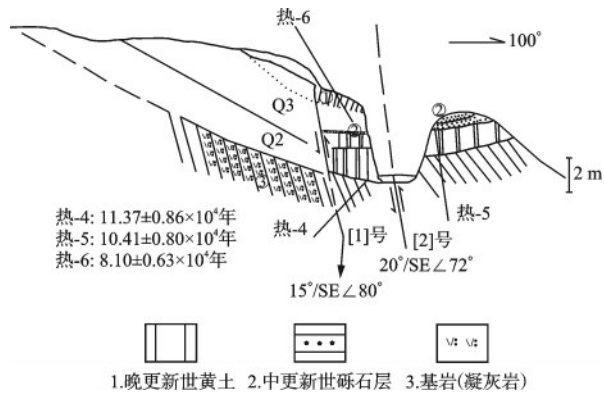


图3 舟山十字路沙岙—戴家断裂地质剖面(YZ02)

Fig.3 Geological profile of Sha'ao-Daijia fault in Crossroad, Zhoushan Island (YZ02)

在宁波市活动断层探测与地震危险性评价项目中曾对该剖面进行核实,一些专家认为以该剖面来判断岱山—黄岩断裂的沙岙—戴家分支断裂的晚更新活动证据不足,存在争议<sup>[5]</sup>。基于工程安全考虑,仍然采用对该断裂的早期研究成果,认为其为晚更新世活动断裂。

在舟山岛北部龙王礁南侧路边见到沙岙—戴家断裂露头,该处断层位于熔结凝灰岩内部,岩层表面风化成黄褐色,新鲜面为灰白色。该处断裂走向北东25°,产状直立,断裂带宽1 m左右,带内岩石强烈破碎,断裂带东侧发育3 cm宽灰白色条带状泥质胶结物(图4)。

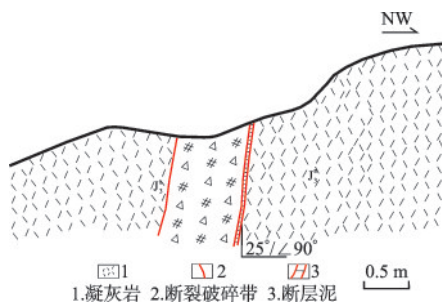


图4 龙王礁南侧断层剖面(YZ03)

Fig.4 Fault profile on the south side of Longwang Reef (YZ03)

前人根据十字路剖面判断其为晚更新世活动断裂。从本剖面看,该断裂在第四纪中晚期可能有微弱活动,并在本剖面上形成了薄层黄色断层泥。

在六横岛沙浦村东南方水库东侧,见到该断裂发育于酸性火山碎屑岩内部,断层产状115°∠40°,发育宽5~20 cm灰白色泥质条带(图5),表明该断裂第四纪以来有过活动,但活动规模有限。

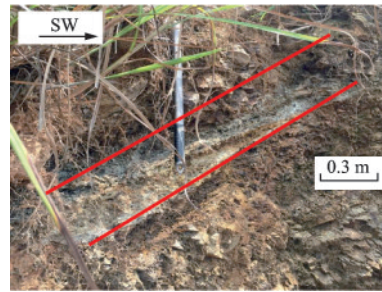


图5 六横岛沙浦村断层露头

Fig.5 Fault outcrop at Shapu village, Liuheng Island

综上所述,沙岙—戴家断裂的在舟山本岛十字路附近段落最新活动时代为晚更新世早期,其余段落为第四纪早、中更新世。总体活动性质以挤压逆冲兼具走滑为主。

## 1.2 花厅里—紫薇断裂

花厅里—紫薇断裂展布于舟山岛西部,长8 km(图1),断裂在地貌上显示不连续分布的线性负地形。其中代表性露头分布于紫薇、猴门水库等地。前人曾在紫薇南山采石场见断裂出露,断裂产状为40°/SE∠80°,沿断裂发育构造碎裂岩、角砾岩和呈条带状分布的断裂泥,具挤压性质。

本次在舟山岛紫薇村北、紫竹陵园东侧岩壁,见到该断裂露头剖面(图6)。该处地层岩性为酸性火山碎屑岩,多条断层发育于火山碎屑岩内,断层走向北东40°,宽度30~50 cm,东倾,断层带内胶结物呈灰白色。其中f<sub>3</sub>断层内发育5 cm厚灰白色泥质胶结物,松软、粘性大。断层内胶结物被雨水冲刷剥蚀,使断层在岩壁上形成沟壑状。

本处断裂带内发育的灰白色黏土状胶结物表

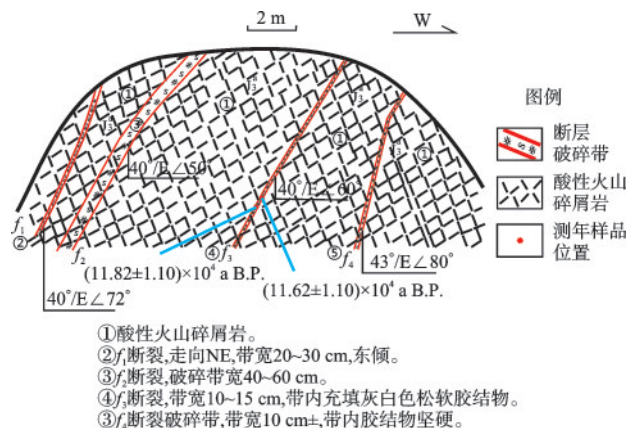


图6 舟山岛紫薇村北岩壁断层地质剖面(YZ04)

Fig.6 Geological profile of fault at the north cliff of Ziwei Village, Zhoushan Island (YZ04)

明该处花厅里—紫薇断裂第四纪以来有过活动,但断裂带内未见新鲜断裂泥发育。在断裂带内灰白色黏土中采集的两个ESR测年样结果为 $(11.82 \pm 1.10) \times 10^4$  a B.P.和 $(11.62 \pm 1.10) \times 10^4$  a B.P.。由于该处断层胶结物在流水作用下风化成黏土矿物,其测年结果不确定性较大。根据断裂发育特征,判断本处断裂最新时代为中更新世。

### 1.3 昌化—普陀断裂

该断裂走向为近东西向,在浙江境内经临安、杭州,至上虞一带被第四系覆盖,在余姚—宁波一线的北部又复出露。该断裂是由多条平行排列的断裂组合成的宽约20 km的断裂带,这些平行排列的断裂,断面以北倾为主,倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。断裂控制柯桥、姚江谷地等东西向白垩纪盆地的形成。燕山早期,沿断裂带发育了泮浦混合花岗岩及变质岩。

根据在陆域对断裂活动性的研究,结合历史、现今地震资料,判断昌化—普陀断裂在陆域部分最新活动时代为中更新世<sup>[6-7]</sup>。该断裂自镇海向东延伸,根据浙江省区域地质资料中对该断裂的描述,断裂可能进入水域,为推测断裂。

在本工程开展的ZF1-2017水上勘探线解译成果剖面上(图7),地震反射层位明显,波组相位连续、能量均衡,表现为明显的海相沉积特征。从地震反射剖面来看,CK25+731~CK28+355段基岩面反射波组普遍存在绕射现象,反应基岩面不平整,深度变化大,同时海底沉积物层厚较小,局部沉积物缺失,其中CK28+355~CK31+504段整体水深40~80 m,海底沉积物层厚较大。其中CK28+355两侧沉积物有明显区别,同时反射波组有错断现象,推断为昌化—普陀断裂的反映。

在本工程开展的ZF1水上勘探线解译成果剖面上(图8),各地层反射波组清晰、相位连续、能量均衡;CK26+490~CK31+012段基岩埋深变化较大,整体在2.0~83 m,基岩面反射波组普遍存在绕射现象且连续性较差;CK28+312~CK31+012段沉积层位相对较单一,上部无明显强振幅反射波组,推测为以细颗粒沉积物为主的粉砂、粉土互层,近基岩面40 m范围内沉积层反射波组频率较低,推断以中砂、粉质黏土为主,基岩埋深83~140 m左右,近岛屿端基岩面变浅,水底沉积层缺失。CK28+300两侧沉积物有明显区别,局部反射波组有错断现象,推断局

部基岩破碎,判断存在断裂构造。

在钱塘水道开展的水域浅层地震勘探工作发现的断点表明,昌化—普陀断裂在该处水域走向为北西西,与工程线路相交。该断裂断错了基岩面,对第四纪沉积物有一定控制作用,其最新活动时代推测为中更新世,对拟建线路的稳定性影响不大。

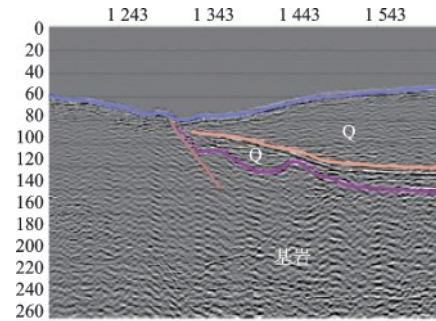


图7 ZF1-2017测线地震反射深度剖面图

Fig.7 Seismic reflection depth profile of ZF1-2017 survey line

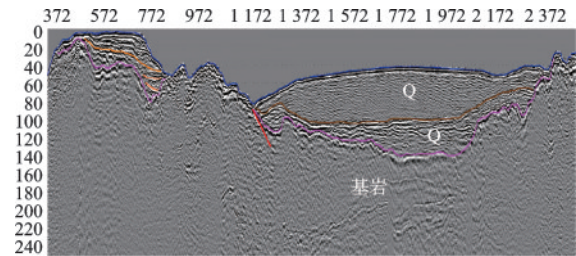


图8 ZF1测线地震反射深度剖面图

Fig.8 Seismic reflection depth profile of ZF1 survey line

### 1.4 马岙—定海断裂

马岙—定海断裂长约10 km,走向近南北,断面呈舒缓波状,有擦痕指示两盘左旋走滑运动。舟山市城区有该断裂遗留的构造残山。

前人在舟山马岙见该断裂出露剖面,断层发育于侏罗系火山凝灰岩中,产状为 $270^\circ \angle 35^\circ$ ,破碎带宽20~40 cm。

本次野外地质调查中,在舟山岛城北水库南,寿山塔院旁岩壁见断层出露剖面,断层发育于酸性火山碎屑岩中,酸性火山碎屑岩内部发育多条近南北走向断层,组成宽10 m左右的构造带(图9)。主断层产状为 $278^\circ \angle 46^\circ$ ,内部局部充填断层角砾及灰白色未固结胶结物。

根据断层角砾胶结程度和前人资料综合分析,马岙—定海断裂最新活动时代为早更新世,活动性质以挤压逆冲为主。

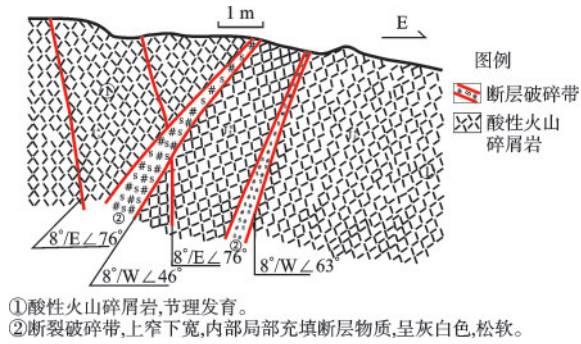


图9 舟山岛寿山塔院旁岩壁断层地质剖面(YZ05)  
Fig.9 Geological profile of fault at cliff near Shoushan Pagoda, Zhoushan Island (YZ05)

### 1.5 大丰—长白断裂

大丰—长白断裂由一组北东向断续发育的断裂组合而成,自金塘岛大丰镇往北东向延伸至长白乡附近(图1),该断裂在地貌上有一定反映,断裂沿线局部地段出现断裂谷及断裂垭口,全长25 km左右。

前人在金塘岛大象村卫平水库右岸见断裂出露剖面,发育于侏罗纪流纹斑岩中,断错产状 $40^{\circ}/NW/70^{\circ}$ ,发育宽3 m的挤压破碎带宽和厚3~5 cm白色断裂泥带,上覆次生红土未见断错现象。

本次在金塘岛大象村西侧春泥坛水库南岸,见到大丰—长白断裂露头剖面(图10)。该处发育北东 $25^{\circ}$ 走向断裂带,由东西两条断裂组成,宽约20 m,断面直立,中间岩石破碎,并形成负地形。该处岩性为火山碎屑岩,风化面呈灰褐色,新鲜面呈灰黑色。本处未见新鲜断裂泥发育,断裂角砾胶结程度较高。根据前人资料以及野外调查结果综合判断,大丰—长白断裂的最新活动时代为早更新世,活动性质以挤压逆冲兼具走滑为主。

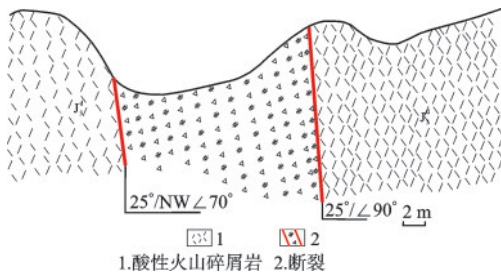


图10 金塘岛春泥坛水库南岸断层地质剖面(YZ06)  
Fig.10 Geological profile of fault at the south bank of Chunnitian reservoir, Jintang Island (YZ06)

## 2 主要断裂对工程线路影响评价

结合前人资料和野外地震地质调查成果综合分析:柴桥—伍佰岙断裂为前第四纪断裂;沙岙—戴家断裂主体为早第四纪断裂,局部段落的最初活动时代为晚更新世早期;花厅里—紫薇断裂和昌化—普陀断裂最新活动时代为中更新世;马岙—定海断裂和大丰—长白断裂的最新活动时代为早更新世。在舟山地区有6条断裂与新建宁波至舟山铁路相交,其中只有沙岙—戴家断裂与工程线路相交段为晚更新世活动断裂。

活断层同震错动产生的地震地表破裂带及其对地面建(构)筑物和生命线工程直接破坏是难以通过抗震设防措施预防和阻止的,采取避让活断层错动破坏带应为防震减灾的首选对策<sup>[8-9]</sup>,而错动带以外在采用较高抗震设计标准前提下,可大大降低地震动破坏的影响。工程建设“避让”活断层实际上需要避开的仅是直接能够产生地表破裂的未来同震错动面或滑动面。新建宁波至舟山铁路与沙岙—戴家断裂大角度相交,线路无法避免穿越沙岙—戴家断裂,因此,应对活动断裂带的主要措施是在沙岙—戴家断裂及其影响范围内避免修建不易抗震和不易修复的工程,并且避免修建站房等建筑结构工程。

建议工程线路穿越沙岙—戴家断裂段的工程抗断措施如下:

(1)结合《铁路工程抗震设计规范》(GB50111—2006,2009年版)<sup>[10]</sup>中“高烈度地震区的轨道设计宜采用有砟轨道”的要求,建议线路穿越沙岙—戴家断裂范围采用有砟轨道。

(2)建议线路穿越沙岙—戴家断裂范围采用易修复的柔性路基工程通过,路堤内加强抗震性稳定性措施和长期变形观测。

## 3 讨论

舟山地区的主要断裂有北东走向的岱山—黄岩断裂,近东西走向的昌化—普陀断裂,以及一些规模较小的次级断裂;其中北东走向岱山—黄岩断裂的舟山本岛十字路段落为晚更新世早期活动断裂,其它断裂均为不活动断裂。浙江地区总体地震活动性较弱,其中北东向断层活动时代多为第四纪早期,与破坏性地震的发生关系较为密切<sup>[11]</sup>。舟山地区是

浙江省地震相对活跃的地区之一。东西向昌化—普陀断裂与北东向沙岙—戴家断裂、镇海—宁海断裂的交汇部位,为破坏性地震可能发生部位,1523年镇海海滨5½级地震就发生在昌化—普陀断裂与多条北东向断裂交汇部位。此外,舟山东侧海域是新构造地形断阶带,1970年以来在工程场地东北的岱山海域发生过4次4级以上地震,最大地震为4.5级,现今小震也时有发生,地震比较活跃。根据历史地震最大震级加半级的方法,结合构造类比法,综合判断舟山地区存在发生6级左右地震的孕震环境。

## 4 结 论

(1)柴桥—伍佰岙断裂为前第四纪断裂;沙岙—戴家断裂主体为早第四纪断裂,局部段落的活动时代为晚更新世早期;花厅里—紫薇断裂和昌化—普陀断裂最新活动时代为中更新世;马岙—定海断裂和大小长白断裂的最新活动时代为早更新世。

(2)建议线路穿越沙岙—戴家断裂范围采用有砟轨道<sup>[11]</sup>;建议采用易修复的柔性路基工程通过,路堤内加强抗震性稳定性措施和长期变形观测。

(3)根据地震地质背景分析,东西向昌化—普陀断裂与北东向沙岙—戴家断裂、镇海—宁海断裂的交汇部位,为破坏性地震可能发生部位;场址区及邻区存在发生6级左右地震的孕震环境。

## 参考文献:

- [1] 马志江,叶建青,赵冬,等.奉化-丽水-庆元断裂第四系活动性研究[J].华南地震,2006,26(2):55-60.  
Ma Z J, Ye J Q, Zhao D, et al. Research on the Quaternary activity of Fenghua-Lishui-Qingyuan fault [J]. South China Journal of Seismology, 2006, 26(2): 55-60. (in Chinese)
- [2] 褚平利,陈荣,曾剑威,等.余姚—丽水断裂带嵊州地区燕山期主要构造特征[J].中国地质调查,2018,5(5):49-57.  
Chu P L, Chen R, Zeng J W, et al. Characteristics of main Yanshanian structures in Yuyao-Lishui fault zone of Shengzhou area [J]. Geological Survey of China, 2018, 5(5): 49-57. (in Chinese)
- [3] 马志江,杨福平,毛昌伟,等.余姚—丽水断裂庆元段第四纪活动特征[J].科技通报,2016,32(10):36-40.  
Ma Z J, Yang F P, Mao C W, et al. Characteristics of quaternary activities in Qingyuan Section of Yuyao-Lishui fault [J]. Bulletin of Science and Technology, 2016, 32(10): 36-40. (in Chinese)
- [4] 杨晓平,袁洪克,宋新初,等.浙江宁波育王山山前隐伏断层勘探和新活动时代[J].地球科学(中国地质大学学报),2011,36(6):967-976.  
Yang X P, Yuan H K, Song X C, et al. Exploration and new active age of buried fault in front of Yuwangshan mountain, Ningbo, Zhejiang Province [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2011, 36(6): 967-976. (in Chinese)
- [5] 宋新初,周本刚,杨晓平.城市活动断层探测方法与实践[M].北京:地震出版社,2014.  
Song X C, Zhou B G, Yang X P. Exploration method and practice of urban active fault [M]. Beijing: Seismological Press, 2014. (in Chinese)
- [6] 陈涛,宋方敏,陈献程,等.2017年临安4.2级地震震中附近断层活动性研究[J].华南地震,2019,39(1):115-128.  
Chen T, Song F M, Chen X C, et al. Research on fault activity near the epicenter of Lin'an M4.2 earthquake in 2017 [J]. South China Journal of Seismology, 2019, 39(1): 115-128. (in Chinese)
- [7] 马志江,韩用兵,赵冬,等.余姚及附近地区断裂构造的遥感解译[J].科技通报,2011,27(6):912-916.  
Ma Z J, Han Y B, Zhao D, et al. Remote sensing interpretation of faulted structures in Yuyao and nearby areas [J]. Bulletin of Science and Technology, 2011, 27(6): 912-916. (in Chinese)
- [8] 徐锡伟,郭婷婷,刘少卓,等.活动断层避让相关问题的讨论[J].地震地质,2016,38(3):477-502.  
Xu X W, Guo T T, Liu S Z, et al. Discussion on issues associated with setback distance from active fault [J]. Seismology and Geology, 2016, 38(3):477-502. (in Chinese)
- [9] 徐锡伟,于贵华,马文涛,等.活断层地震地表破裂“避让带”宽度确定的依据与方法[J].地震地质,2002,24(4):470-483.  
Xu X W, Yu G H, Ma W T, et al. Evidence and methods for determining the safety distance from the potential earthquake surface rupture on active fault [J]. Seismology and Geology, 2002, 24(4): 470-483. (in Chinese)
- [10] 铁路工程抗震设计规范(2009年版):GB 50111—2006 [S].北京:中国计划出版社,2009.
- [11] 张鹏,张媛媛,马志江,等.萧山-球川断裂富阳-建德段第四纪活动性研究[J].震灾防御技术,2018,13(4):959-967.  
Zhang P, Zhang Y Y, Ma Z J, et al. Research on Quaternary activity of Fuyang-Jiande Segment of Xiaoshan-Qiuchuan fault [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2018, 13(4): 959-967. (in Chinese)

(本文编辑:池营营)