

长江三峡坝区地壳稳定性研究

李 珩¹, 李愿军²

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 武汉大学土木建筑工程学院, 武汉 430072)

[摘要] 长江三峡大坝座落于黄陵断块南端由闪长花岗岩组成的完整岩体上。黄陵断块作为中国内陆的次级板块具有典型的双层结构(结晶基底和沉积盖层), 自印支运动形成以来一直呈持续、缓慢的整体抬升, 断块除向东南轻微倾斜外, 内部构造变形不明显。断块为多条活动构造所围限, 其中近南北向的远安和仙女山两条深大断裂为主要强震发生带。远安断裂带为豫西、鄂西、湘西山地和南阳、江汉、洞庭盆地的一条区域性分界线, 全长约1000 km, 该断裂带历史上曾发生过两次6.5级地震(常德、南阳), 两次地震震中相距约500 km; 仙女山断裂带沿香溪河向北延伸终止于青峰断裂, 向南越过渔洋关后, 形迹不明, 全长达220 km, 该断裂带具有发生6.0级地震的构造条件。大坝可能遭遇到的地震危险主要来自这两条强震发生带, 对大坝的影响烈度预计为 $6^{\circ}\sim 7^{\circ}$, 水平峰值加速度 $0.1\sim 0.15 g$ 。

[关键词] 长江三峡大坝; 黄陵断块; 强震发生带; 地壳稳定性

[中图分类号] P65 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)06-0026-09

长江三峡水利枢纽于2003年蓄水发电, 其设计坝顶高程185 m, 总装机容量 $1\ 820\times 10^4$ kW, 总库容 393×10^8 m³, 在我国经济建设上是一件大事, 一座丰碑^[1]。是以大坝的地壳稳定性常为人们所关注。我们作为这项工作的具体勘察论证者, 现将主要认识作如下概括性介绍。

1 大坝座落于古老的黄陵断块上

在三斗坪坝址区出露的基岩主要为前震旦纪闪长斜长花岗岩, 长期的地质演化过程中使之含有局部闪长岩包裹体和片岩捕虏体, 并有后期的酸性至基性岩脉穿插^[2]。

黄陵断块主要是由区域低压热动力变质岩系所组成, 原岩为钙碱性玄武岩、英安岩、流纹岩以及含炭粘土岩和碳酸盐岩。在黄陵庙以西, 即坝区附近分布着本区最古老的变质岩系, 原岩为海相砂质岩、泥质岩和石灰岩, 沉积时代大约有 25×10^8 年, 被称为崆岭群变质岩^[3]。后期大量的岩浆侵入, 在三斗坪、黄陵庙一带分布的花岗岩, 经同位

素年龄测定, 其形成时代为 8.9×10^8 年^[4, 5]。在三峡地区以崆岭群为代表的结晶基底形成之后, $8\sim 9\times 10^8$ 间有一次大规模的岩浆侵入活动。三斗坪大坝正位于黄陵花岗岩岩体之上。

2 太古—元古代地壳的振荡运动

从区域地层分布看, 黄陵花岗岩被震旦系地层不整合覆盖。震旦纪以来到早古生代, 本区是一个比较稳定的地区, 以下沉为主, 同时以平稳的振荡运动活动着。这个时期地层发育完全, 沉积了一套由陆相碎屑沉积逐渐过渡到浅海、滨海相的灰岩和页岩互层, 不同时代的岩层多是整合接触。

晚古生代基本上继承了早古生代的特点。在早古生代末期缓慢隆起的基础上, 海水一度退去, 致使区内缺失下泥盆统。到中泥盆海水再度入侵, 沉积了一套由砂、页岩到灰岩的浅海、滨海相的沉积建造, 与早期沉积层为假整合接触关系。三叠纪中期以后, 区内结束了海侵的历史, 海相沉积被陆相沉积所代替^[6, 7]。总之, 在漫长的地质时期, 仅有

[收稿日期] 2003-08-15

[作者简介] 李珩(1924-), 男, 湖北大悟县人, 中国工程院院士, 中国地震局地质研究所研究员

几次不整合^[8]，这反映峡区地壳运动的升降或振荡特点。所以，从大峡口到远安，地层从老到新、自西向东展现出一幅极为宏伟的地质历史画卷。

3 中生代板块运动的启动

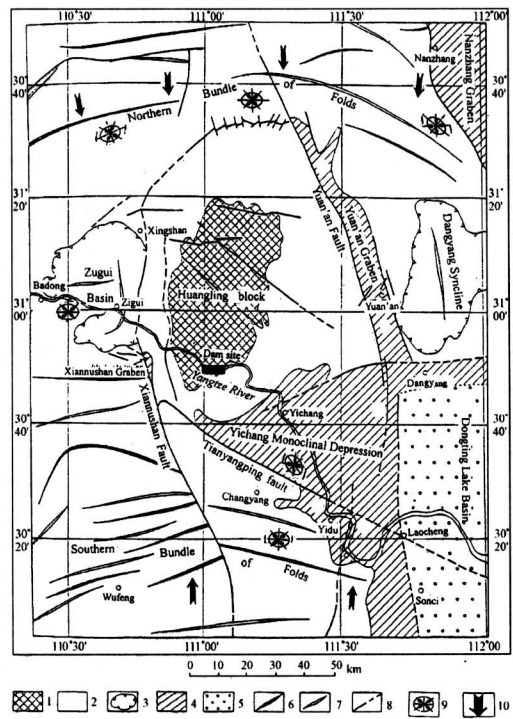
中生代以来，全球性的板块运动在中国有明显的反应，在本区也有明显的体现。侏罗系地层由三迭系的以海相为主变为陆相沉积，地壳运动特点由振荡运动变为断块的差异升降运动。所以，巨厚的侏罗系地层（最厚可达 7 000 m）都堆积在沉陷的断块上，而隆起的黄陵断块却没有同时期的沉积物。其后，强烈的南北向水平挤压导致北北西向的断裂带发生水平右旋扭动，古老的地层发生明显的水平拖曳，如仙女山断裂带、远安断裂带。而在黄陵断块上发生强烈的北端由北向南、南端由南向北的逆掩和逆冲，如天阳坪断层、板庙断层。

4 黄陵断块

黄陵断块（图 1）南北长 120 km，东西宽 36 km^[9]。结晶基底由闪长花岗岩组成，沉积盖层为典型的浅海、滨海相地层组成，从震旦系至三迭系，厚约 15~20 km。

黄陵断块东边为远安断裂带，西边为仙女山断裂带和新华断裂带所限，南端有天阳坪断裂带，北边有板庙—马良坪断裂带作为边界。从区内的沉积岩相看，自中三迭世开始，海水逐渐退去，黄陵断块开始隆起。故中三迭世以后的沉积地层在黄陵断块上缺失。但是在东西两侧堆积了相应的地层。其后，差异活动继续，在秭归盆地堆积了 4~7 km 厚的侏罗纪碎屑沉积^[10]，堆积物中有黄陵断块结晶基底的大量长石碎屑物质，说明结晶基底被揭露应该是侏罗纪时期的事件。

侏罗纪末，发生强烈的南北向水平挤压，导致仙女山断裂带和远安断裂带发生右旋扭动。而在黄陵断块南北两端的天阳坪和板庙断裂带发生向断块中央的逆掩和逆冲（由于黄陵断块的结晶基底面是向南倾伏的，南边是缓坡，北边是陡坡），秭归盆地中的侏罗系地层受到此强烈挤压发生极为特殊的 T 型变形。到白垩纪，以仙女山断裂带为界，西部区域性强烈抬升；东部沉陷，此时黄陵断块开始向东南倾伏。在其东南角向江汉平原方向堆积了巨厚的红色粗碎屑沉积，该沉积物是从白垩纪到古近纪连续沉积的，地层向东南作 30°~40° 的倾斜，颗粒



1—结晶岩基地；2—沉积盖层（震旦系至三迭系）；3—三迭系至侏罗纪构造沉积盆地；4—白垩纪至第三纪断裂区；5—第四纪沉积；6—背斜构造轴；7—向斜构造轴；8—实际及推测断层；9—应变椭圆

图 1 黄陵断块区域构造

Fig.1 Regional structures around the Huangling block area 由粗变细。到新近纪，沉积物趋近水平，反映出黄陵断块的向东倾斜是白垩纪—古近纪的事件。新近纪末到第四纪初，黄陵断块转变为平稳抬升，反映在三期夷平面上^[11~16]（图 2，表 1）和河流阶地位相（图 3）^[17]的平整展布上。

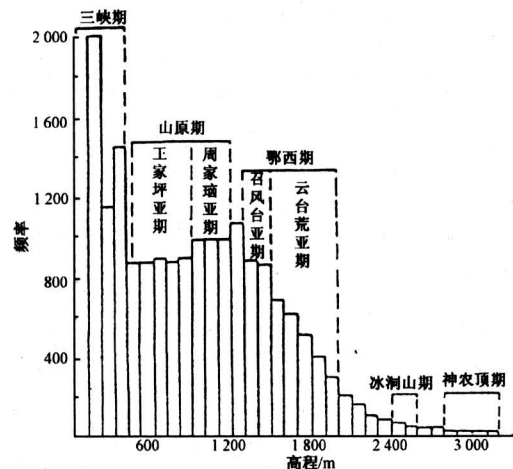


图 2 三峡夷平面统计高程分布

Fig.2 Statistic distribution of planation surface in the Three Gorges area

表 1 鄂西地区夷平面的划分及其时代

Table 1 Division and times of planation surface in the western part of Hubei

	鄂西期			山原期			三峡期		
	标高/m	形成时期	地貌特征	标高/m	形成时代	地貌特征	标高/m	形成时代	地貌特征
叶良辅 谢家荣 (1925年)	1700 ~ 2000	渐新统后 期或中新 统前期	五峰、鹤峰一带山顶之天 际线,一望如平湖	500~1000	上新统~ 中新统	鹤峰、施南、来凤一带山 地间微受倾斜的具有红层 的盆地	500以下	第四纪	峡谷
谢家荣 刘季辰 (1927年)	1700 ~ 2000	下白垩纪 以后第三 纪初	施南、利川、建始一带遥 望诸山宛如一水平线	太平镇 山原亚 期约 1000	更后于下 白垩纪、 第三纪之 初	山岭如平地,谷广坡平, 河流迂缓,显为中年之地 形			为切割山原期地 形,形成峡谷深 沟,山岭崇峙之幼 年地形
巴尔博 (1936年)				施来山 原亚期 500		面积辽阔地势平坦上为红 色砂页岩所充填			
地质部三 峡队 (1958年)					上新世	在宜昌高于东湖系基底, 低于东湖系顶层和宜昌最 高级阶地(杨子铺阶地) 红土砾石层相当			
				周家瑞 亚期 1000		喀期特特地残丘交替的地 面			
				王家坪 亚期 700 ~800		割切如上述地面之下,但 高悬于三峡期峡谷之上的 宽谷地面,有砾石分布			
中国科学 院地理研 究所等 (1959年)	1500 ~ 2000	下白垩纪 以后到东 湖系堆积 结束	近似平坦的山脊顶部,削 平各时代岩层有砾石分布	1000	形成开始 于中新世 完成于下 更新世或 上新世	丘陵起伏,中间分布有宽 平的槽形喀期特干谷,磨 圆度极高的砾石	500		在巫山、奉节黄陵 背斜轴部及其东南 翼夷平面都有表 现,在多数情况 下,只是长江及其 大支流河谷上部的 一级阶地
				800	同上	夷平面在黄陵背斜南部和 东部高度迅速降为 700 m, 600 m, 500 m 至 200 m, 略高于杨子铺阶地,由东 湖系最高山顶面所代表			
任夷涛 (1959年)				周家瑞 期南津 关以东 130~ 150,南 津关 200 左右, 黑石沟 400,周 家脑 700,天 柱山以 北 700 以上	中新世以 后至更新 世初	起伏不大的剥蚀平坦面溶 蚀洼地、堰口	陈家湾 亚期 600 ~630王 家坪亚 期 450		
杨怀仁 (1960年)	1800 ~ 2000	燕山运动 后南岭运 动前(中 新世)	顶峰线齐一,平缓的古地 面切过不同的地层和构造 古喀斯特洼地、漏斗	鄂西 1500~ 1000,长 阳资丘 1000,长 阳南 400 ~450, 长阳东 200~ 300,黄 陵背斜 到东翼 1000~ 200	第三纪末 第四纪初	溶蚀洼地,平坦的溶洞有 第四纪初期砾石层和第四 纪中期红土		开始于更 新世中期	
笔者	1500 ~ 2000	新近纪末 到第四纪 初		800	下更新世 未到中更 新世初		150~250	晚更新世	云梦期 古湖盆底面向中心 倾斜,有湖成阶 地,巨厚砾石层沿 古湖滨分布,上有 网纹红土发育

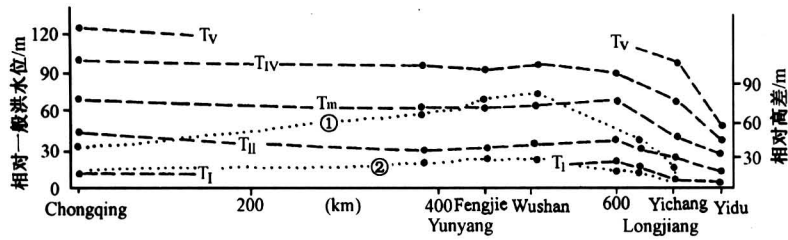


图 3 长江三峡阶地相图 (杨达源等, 1989 年)

Fig.3 Distribution of phase of terraces on the Three Gorges section of Yangtze River (after Yang Dayuan, et al, 1989)

地球物理方面的工作同样反映了极为明显的断块结构特征^[18] (图 4)。

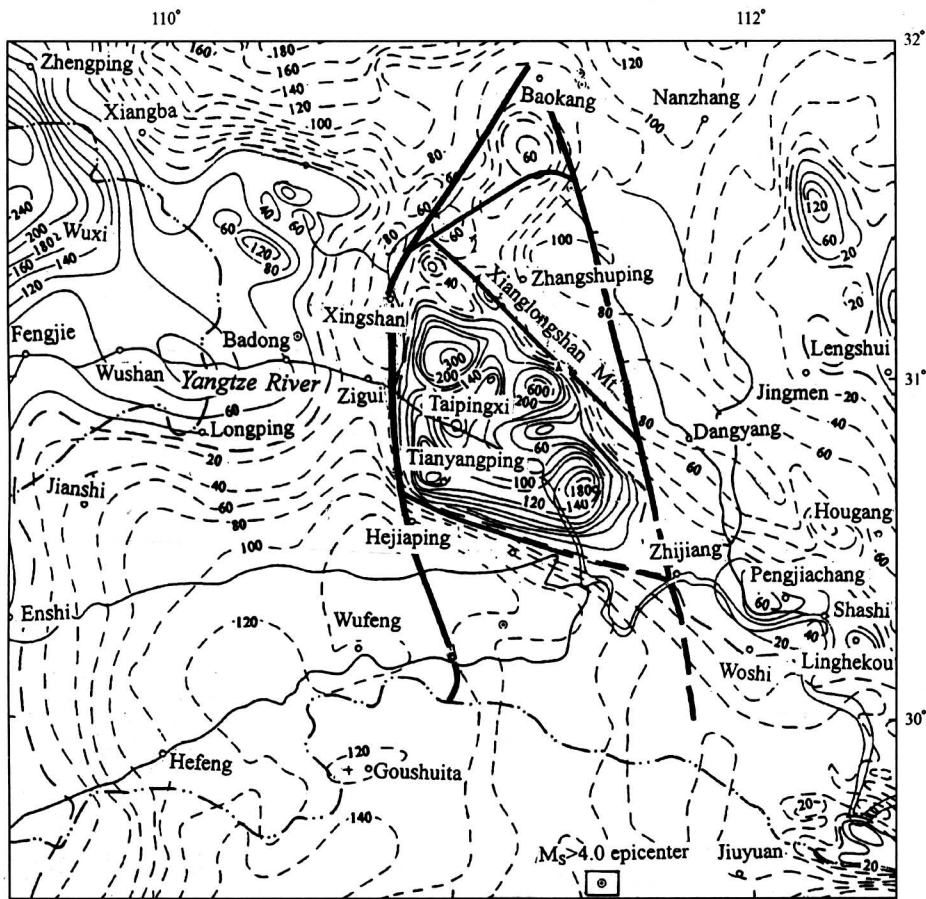


图 4 三峡工程坝区航磁 ΔT_a 化极平面图 (陈学波等, 1994 年)

Fig.4 Polar plane of aeromagnetic ΔT_a (after Chen Xuebo, et al, 1994)

5 围绕黄陵断块的活动大断裂带

黄陵断块由四条主要的区域性活动断裂带所围限^[19], 另有雾渡河断裂带斜向切过断块, 它们的形成时代、展布规模、切割深度、活动特点各有不同, 断裂带之间的构造联系, 交切关系和协调性, 则是构造应力积累和释放的关键, 为了探讨未来强震发生的地点及对坝区的影响, 现将这些断裂带分

述如下:

5.1 仙女山断裂带

图 5 为仙女山断裂带。从仙女山向北延伸终止于青峰大断裂带上, 向南越过渔洋关, 全长超过 220 公里。断裂带沿走向呈舒缓波状延伸, 在兴山以北, 走向由北北西转为北北东, 倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 不等, 破碎带宽达数米到数十米。断裂带表现出多期活动: 侏罗纪末期的构造运动使古生代地层受到大

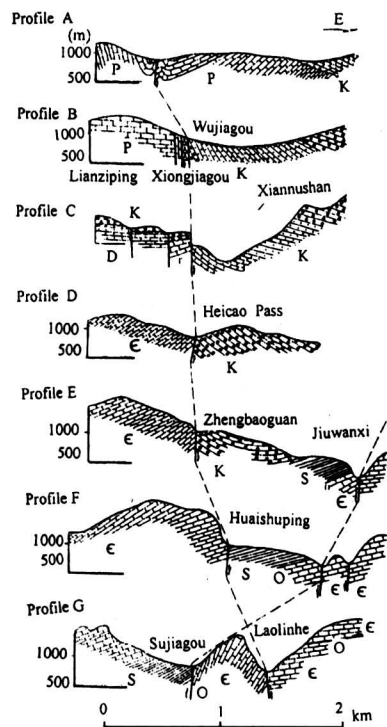
规模拖曳和水平错断；白垩纪和古近纪的红层堆积后，沿断裂带形成规模宏伟的地堑地垒系，从仙女山断续延伸到渔洋关；第四纪以来地堑的两侧形成疏松的断层角砾岩带和断层残山带，在地貌上形成深切的九湾溪大狭谷。

沿断裂带有热液侵入，联系到与之平行的远安断裂带上有古近纪的玄武岩侵入，所以认为本断裂带是一条穿透地壳的深大断裂带。

近数10年来三角水准测量亦反映出断层有新活动^[20,21]。

5.2 远安断裂带

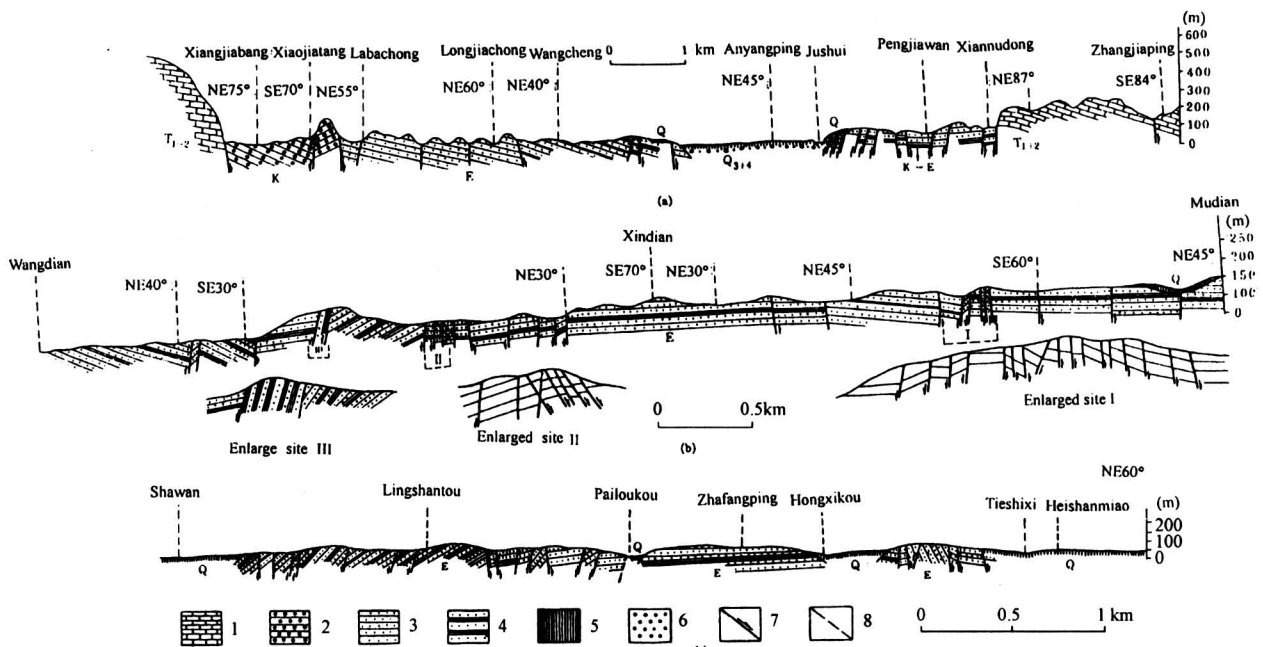
图6所示为远安断裂带。它是黄陵断块的东部边界，亦是鄂西山地和江汉平原的大地构造分界线，从区域构造分析，以北北西断裂为代表的构造带成为豫西、鄂西、湘西山地与南阳、江汉、洞庭盆地的分野。北部南阳盆地在公元46年10月21日发生过6.5级大地震，南部洞庭盆地1631年8月14日也发生过6.5级大地震，这两个地震震中相距460 km，而构造带南北均向外延伸，所以构造带的长度超过1 000 km。狭义的远安断裂带由东西两条断裂组成，其间形成地堑并充填有白垩纪的红层。远安西断裂走向北西15°，北延与阳日一九道梁断裂带（东西走向）相交，向南隐伏于江



剖面A—凉风垭大冶灰岩中的仙女山断层；剖面B—五家沟栖霞灰岩与白垩纪红色砂砾岩呈断层接触；剖面C—仙女山断层切断白垩系，并发生上下拖曳；剖面D—黑槽堰口寒武系与红层呈断层接触；剖面E—镇宝观白垩系夹于仙女山断层和九湾溪断层中，形成地堑；剖面F—地堑南延到槐树坪；剖面G—两断层在老林河交会后形成地垒

图5 仙女山断裂带剖面图

Fig.5 Profiles across the Xiannushan fault zone



(a) 一远安向家垭—张家坪剖面；(b) 一当阳王店—木店剖面；(c) 一松滋沙湾—黑山庙剖面

1—大冶灰岩；2—砾岩；3—砂岩；4—砂岩夹泥岩；5—冲积类黄土；6—砾石层；7—断层及运动方向；8—推测断层

图6 远安地堑南延的三个剖面

Fig.6 Three profiles across the southern extension of Yuan'an graben

汉盆地之下，地表可见长度 110 km。断面东倾，倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，断层角砾岩带宽数米至数十米，沿断裂带在当阳见有新生代玄武岩侵入并在地表形成的低丘，以及断裂带反复水平运动形成数十层薄膜镜面、擦线和玻璃质拉丝体。后期的挤压和剪切作用，使断裂带中夹有三迭系灰岩和白垩系砂岩组成的糜棱岩、片状构造岩和构造透镜体，显示断裂经历了压扭—张性—压扭的力学转换过程，其构造运动过程和时间与仙女山断裂带相同。根据地震记录资料，1969 年在断裂北端的马良坪曾发生过 4.8 级地震，1971 年在瓦仓发生过三次 3 级以上地震，1981 年和 1983 年在当阳峡口分别发生过 3.8 级和 3 级地震。这些都表明，远安断裂带是一条活动的、能孕育强震的深大断裂带^[22]。

5.3 天阳坪断裂带

天阳坪断裂带 (图 7) 走向北西 320° ，倾向南西，倾角在高家堰附近为 30° ，在断裂西段可达 70° 。断裂带西延与仙女山断裂带相接，向东隐伏于江汉平原之下，出露长度约 60 km。断裂带主要由两条相距很近的平行断裂以及一系列小的断层组成，断裂带的宽度达数十米，剖面上可见一组倾向南西的叠瓦状冲断组合。该断裂带作为黄陵断块南界，在中生代晚期，断裂北盘快速下降并堆积了白垩系近 5 000 m 陆相碎屑沉积物。白垩纪之后，黄陵断块的抬升和南北向的挤压，使白垩系地层向南东平缓掀斜，以及寒武系灰岩向白垩系地层之上逆掩。第四纪以来，断裂活动减弱，微震分布与断

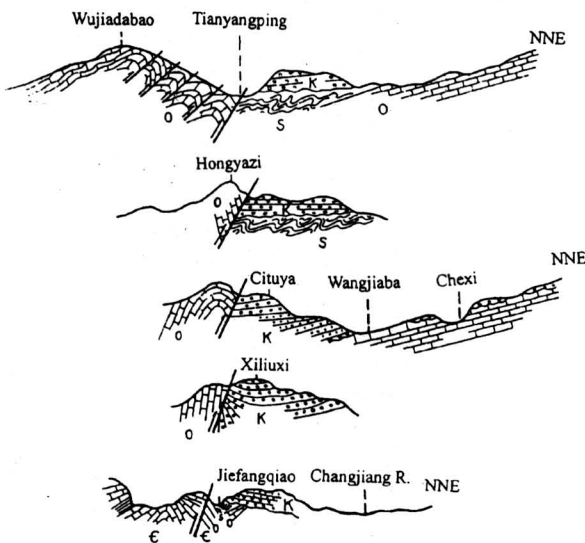


图 7 天阳坪断裂带剖面 (伍家大包—解放桥)
Fig.7 Profiles across Tianyangping fault zone
(from Wujiadabao to Jiefangqiao)

裂带关系不甚明确。

5.4 板庙—马良坪断裂带

板庙—马良坪断裂带 (图 8) 属于黄陵断块北界的控制性构造，其展布呈向北突出的弧形，东与远安西断裂相接，西与新华断裂相交，断裂带倾向北，倾角较陡，断裂长度约 60 km。实际上在黄陵断块的北部由于受到新华断裂带和远安西断裂带的夹持，在这个梯形区域内断裂极为发育，形成一组向北突出的弧形断裂束，弧形断裂束将古生代地层切割成叠瓦状，在南北向挤压作用下向南作高角度逆冲。外围断裂倾角 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，愈接近断块其断裂的倾角愈陡，内弧断裂的倾角达 85° 。令人值得关注的是，断裂带东交汇处马良坪 1969 年 1 月 2 日曾发生 4.8 级地震，西交汇点兴山 1988 年 12 月 16 日曾发生 3.3 级地震，这表明板庙—马良坪断裂带现代仍具有较强的地震孕育能力，应当予以充分地注意。但是考虑到这些弧形断裂束均属盖层断裂，叠瓦状冲断作用在深部并无根部构造支持，所以活动强度与孕震能力仍然有限。

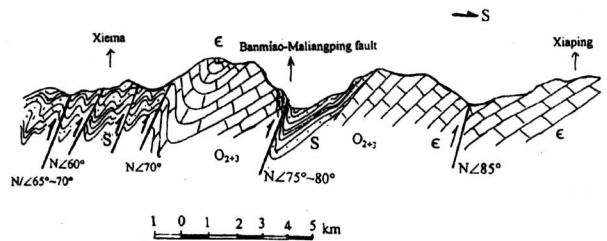


图 8 板庙—马良坪断裂带叠瓦状逆冲示意图
Fig.8 Schematic profile showing imbricate overthrusts along the Banmiao—Maliangping fault zone

5.5 雾渡河断裂带

该断裂带走向北西 320° ，西起兴山附近，向东交于远安西断裂带上，倾向北东，倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 不等，地表出露长度 80 km。断裂带切割了古老的结晶基底岩系，产生了宽达 20~30 m 的构造破碎带。在更新世时期，除地貌和水系上有控制作用外，还在雾渡河发现更新统黄土被错断的现象，但由于断裂带上没有发现明显的地震活动和其它证据，所以雾渡河断裂带属于一条活动性很弱，不具备独立发生中强地震的构造条件。

6 地震活动背景

三峡及其周围地区地震活动强度属于中强水

平,地震震中分布如图9。区域内黄陵断块附近的几条强震发生带控制了强震的发生条件,在其特殊的部位,如拐点、交点和端点即是未来地震发生的危险点^[23~25]。

在北纬29°~33°,东经108°~113°范围内,地震的历史记载和现代仪器记录已有2000余年,纪录是比较完整的。地震活动的主要特点表现在:强震都发生在强震带上,如南阳6.5级地震和常德6.5级地震,咸丰6.25级地震;黄陵断块的西界,仙女山断裂带因长度有限,孕震能力较小,故发生的震级强度要低一些,如渔洋关附近发生的5.2级地震,秭归盆地发生的5.1级地震^[26];黄陵断块南北两条边界断裂因为都属于盖层断裂,且断裂长度较短,所以记录到的地震活动强度更弱一些,如板庙—马良坪断裂带西端发生的3.2级地震,天阳坪断裂带西端发生的3.0级地震;黄陵断块中部雾渡河断裂带至今仅记录到极少数1.0级左右的地震。

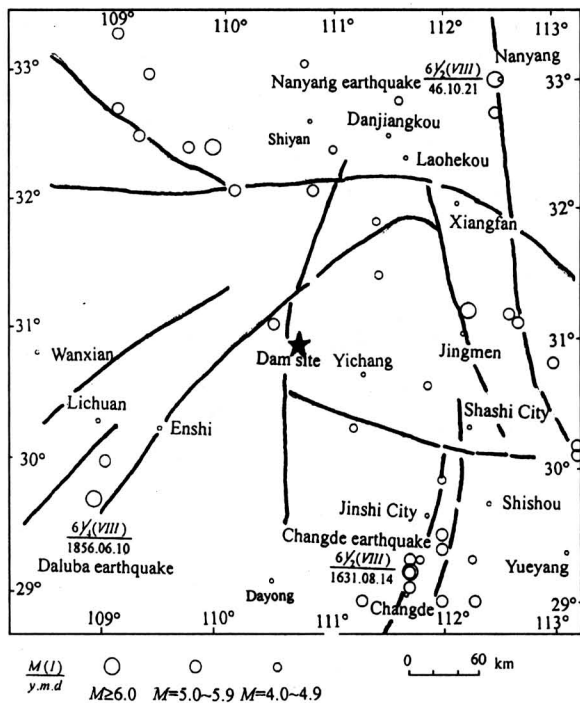


图9 长江三峡地区地震分布图

Fig.9 Distribution of earthquake epicenters in the Three-Gorges area on the Yangtze River

据上所述,远安断裂带、仙女山断裂带属于具备发生6.5级地震的强震发生带,天阳坪断裂带、雾渡河断裂带和板庙—马良坪断裂带属于弱震发生带。弱震发生带在与强震发生带的交接部位构成

应力集中区,这就是未来强震发生的主要危险区。诸如马良坪、新华、当阳、周坪和董市等构造交汇部位,其中马良坪距坝址的水平直线距离是60 km,新华为50 km,当阳50 km,周坪15 km,董市70 km。

根据6~6.5级地震的调查统计分析,其震中区的烈度为8°,8°区的长轴半径为6 km,短轴半径4 km,向外传播其影响烈度为7°时的长轴半径17 km,短轴半径11 km,考虑到烈度沿构造分布成椭圆形衰减的特点,马良坪、新华、当阳、董市这几个危险点距坝址均在50 km以外,故影响到坝址的烈度均不超过6°。唯有周坪危险点距坝址15 km,以此推算也只有6°~7°,相当于地面水平峰值加速度0.1~0.15 g。故大坝按7°度设防是合适的^[26]。

7 结语

1) 长江三峡大坝座落在黄陵断块南端的闪长花岗岩体上,基岩开挖揭露岩性新鲜完整,不具备发生强震的地质结构^[27]。

2) 黄陵断块形成于印支运动时期,燕山运动以后黄陵断块持续隆起抬升,其间虽经多次构造变动,但断块本身作为一个硬化的完整地块,内部的构造变形不明显。第四纪以来的整体缓慢平稳抬升,其地质变形量对大坝的安全不会产生不利的影响。

3) 黄陵断块为远安断裂带、仙女断裂带(包括新华断裂带)、板庙—马良坪断裂带、天阳坪断裂带所围限。研究证明,主要的地震危险来源于远安断裂带和仙女山断裂带,远安断裂带的上限震级可达6.5级,仙女山断裂带为6.0级,二者发生强震对坝址区的影响从高估计影响烈度为6°~7°,水平峰值加速度0.1~0.15 g。

参考文献

- [1] 中华人民共和国地质矿产部. 三峡工程地质工作四十年[M]. 北京:地质出版社,1997
- [2] 李鄂荣. 黄陵背斜震旦纪结晶岩、岩性、岩相及地质构造的研究[A]. 水文工程地质论文集(2)三峡专辑[C]. 北京:地质出版社,1959
- [3] 郑维钊,刘观亮,汪雄武. 黄陵背斜北部崆岭群的太古宙信息[A]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊(第16号)[C]. 北京:地质出版社,1991
- [4] 胡载阳. 试论圈椅趟花岗岩的成因[A]. 宜昌地质学会论文集[C]. 宜昌:宜昌地区地质学会出版,1984
- [5] 陈好寿,吕红. 鄂西地区某些矿石铅的同位素模式年龄及源区特征值[M]. 宜昌:地区地质学会出版社,1984

- [6] 高振中, 白光弟, 张或丹, 等. 三峡万古几沉浮——长江三峡地区沉积演化研究[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- [7] 李美美. 湖北省地壳运动和主要构造体系[A]. 中国分省构造体系研究论文集(II)[C]. 北京: 地质出版社, 1985
- [8] Li Ping, Li Yuanjun. A study of the crustal stability in the Yangtze Three Gorges Area[J]. *Engineering Sciences*, 1(1): 24~25
- [9] 李 珩, 刘行松, 张九海, 等. 三峡、丹江口地区地震地质研究[M]. 北京: 地震出版社, 1994
- [10] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990
- [11] 李 珩, 刘行松, 谢梅杨, 等. 长江三峡坝区区域构造背景及新构造运动的发展趋势[M]. 北京: 国家科委出版社, 1965
- [12] 叶良辅, 谢家荣. 扬子江流域巫山以下地质构造及地文史[J]. *地质汇报* 7号, 1925
- [13] 谢家荣, 刘秀辰. 湖北西南部地质矿产[J]. *地质汇报* 9号, 1927
- [14] 巴尔博. 扬子江流域地文发育史[J]. *地质专报甲种* 第14号, 1935
- [15] 李愿军. 长江三峡地区构造地貌研究[J]. *水电能源科学*, 1996, 14(1): 260~264
- [16] 李安然, 李愿军, 曾心传, 等. 峡东工程地震[M]. 北京: 地震出版社, 1996
- [17] 田陵君, 李平忠, 罗 雁. 长江三峡河谷发育史[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1986
- [18] 陈学波, 等. 长江三峡及邻区深部构造特征研究[M]. 北京: 地震出版社, 1997
- [19] Li Yuanjun. Research on the tectonic activity of the Three Gorge Region [A]. *Proceedings of RMEG* [C], Chongqing: Chongqing University Press, 1997
- [20] 李愿军. 长江三峡地区地壳形变特征及其构造意义[J]. *地震地质*, 1991, 13(3): 250~257
- [21] 李愿军. 反常系数法在三峡地区断裂活动性评价中的应用[J]. *水利学报*, 1997, (2): 39~44
- [22] 李 珩, 张世良, 刘行松, 等. 对长江三峡东段新构造的几点新认识[M]. 北京: 科学出版社, 1965
- [23] 李 珩, 李育慈, 黄祖智, 等. 川滇强震区地震地质调查汇编[M]. 北京: 地震出版社, 1979
- [24] Li Ping, Han Yuna, Chen Erlin, et al. Seismic intensity zonation for the marginal region of the Qinghai-Tibet Plateau—A case study of the Xichang prefecture [M]. Beijing: China Academic Publishers, 1985
- [25] 李 珩, 黄广思, 杨美娥. 中国强震发生带地震构造的几点思考[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3): 245~256
- [26] 李愿军. 关于高桥断裂及其活动性的讨论[J]. *华北地震科学*, 1995, 13(1): 1~8
- [27] 胡聿贤, 高孟潭, 徐宗和, 等. 中国地震动参数区划图. 中华人民共和国国家标准 GB18306—2001. 国家质量技术监督局, 2001
- [28] 许文年, 蔡德所. 地质缺陷对坝基及滑坡稳定性影响的研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000

Study on the Crustal Stability in Three-Gorges Area of the Yangtze River

Li Ping¹, Li Yuanjun²

(1. *Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China;*

2. College of Civil Construction Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

[Abstract] The Three-Gorges Dam on the Yangtze River is situated on the intact rock mass composed of diorite-granite at the southern termination of the Huangling block. The Huangling block as a sub-plate having double-layer structure (crystalline basement and sedimentary cover) in China continent keeps constant and slow uplifting as a whole since its formation in the Indosinian movement. Tectonic deformation within the block is not significant, with exception of a slight southeastward tilting. The block is confined by many active structures, of which the sub-longitudinal Yuan'an and Xiannushan deep fault zones are the main strongly seismogenic zones. The Yuan'an fault zone represents a regional boundary between West Henan, West Hubei and West Hunan mountainous regions as well as the Nanyang, Jiangnan and Dongting Lake basins, with a total length of more than 1000 km. Two times M 6.5 earthquakes (the Changde and the Nanyang earthquakes) had occurred in the fault zone in historic time and the distance between the two epicenters is about 500 km. The Xiannushan fault

zone extends along the Xiangxi River northward and ends at the Qingfeng fault. It runs southward across Yuyanguan Pass and then its trace is unknown. Total length of the fault zone is more than 220 km. The fault zone has tectonic condition for occurrence of M 6 earthquake. The possible seismic risk for the dam may come from these two strong seismogenic zones, thus the seismic intensity influencing the dam was estimated to be $6^{\circ} \sim 7^{\circ}$ and the horizontal peak acceleration to be $0.1 \sim 0.15 g$.

[Key words] Three-Gorges Dam on the Yangtze River; Huangling block; strong seismogenic zone; crustal stability

(上接第 25 页)

- [6] 钟本和,张允湘,应建康.料浆法磷铵工艺的发展与展望[J].四川大学学报,2003,35(2):1~5
- [7] 刘期崇,张允湘,王建华.料浆法磷铵生产中的外环流氨化反应器及工艺研究[J].磷肥与复肥,1995,10(2):50~56
- [8] 刘期崇,夏代宽,段天平,等.外环流氨化反应器数学模型及其放大[J].化工学报,2000,51(1):77~83
- [9] 雷明光,陈文梅,刘玉良.喷浆造粒内分级内返料技术在转鼓造粒工艺中的应用研究[J].四川大学学报(工程科学版)2000,32(4):37~40
- [10] 付育街,陈朝瑜,刘钟海,等.喷雾流化干燥在磷铵干燥中的应用[J].化肥工业,1987,24(2):32~35
- [11] 陈瑜,应建康,钟本和,等.引进 DAP 装置与国产 MAP 装置联产的工艺技术[J].化工进展,2002,21(12):937~949
- [12] 应建康,陈瑜,钟本和,等.200 kt/a 料浆法粉状 MAP 生产装置的技术创新[J].磷肥与复肥,2003,18(1):24~26

Development of ASCP for Ammonium Phosphate Technology and Five Projects of Phosphate Fertilizer in China

Zhong Benhe

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

[Abstract] The production of ammonium phosphate by "ammoniated slurry concentrating process" (ASCP) developed by Sichuan University etc. has solved the difficulty that China's low grade phosphorus ore is not suitable for the imported "phosphoric acid concentrating process" (PACP). 87 plants employing ASCP have been built with a total capacity of 2.79×10^6 t/a, which is 60% of the total ammonium phosphate production in China. Recently, a technique for ammonium phosphate production combining both ASCP and the imported PACP has been developed and put into operation in Wengfu of Guizhou Province. The new process with independent property right has been adopted in the five updating projects of phosphate fertilizer in China.

[Key words] phosphate fertilizer; ammonium phosphate; ammonium phosphate by ASCP