

丹江口库区初始地应力场的反演

谢向东¹, 徐礼华², 李彦强³

(1. 湖北文理学院建筑工程学院, 湖北 襄樊 441053; 2. 武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072;
3. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要:根据丹江口库区的地质构造, 考虑断裂破碎带和岩石力学参数随埋深变化, 建立计算模型, 反演分析了库区的初始地应力场, 结果表明: 1) 库区地应力的临界深度在 1 km 埋深附近; 2) 水平方向两个主应力, 在埋深 750 m 范围内 X 轴方向为主压应力, 随埋深由 13 MPa 增至 23 MPa, Y 轴方向为主拉应力, 随埋深由 12 MPa 减至 0, 埋深 750 m 以下两个坐标轴方向均为主压应力且随埋深增加; 3) 两个水平主应力差在埋深 10 km 范围内随埋深基本呈线性增加, 大约 10 km 深处急剧减小, 20 km 以外基本消失, 岩体处于静水压力状态。

关键词:初始地应力场; 地质构造; 水平主应力差; 地层埋深

中图分类号: TU 375.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)02-0217-07

岩层和岩体作为地球表面的物质, 在漫长的地质年代里, 由于地球的各种动力运动过程使地壳始终处于运动和变化之中, 由此而常使岩层和岩体产生褶皱、断裂和错动, 这些现象的出现都是岩层和岩体受力的结果。这表明地壳岩体中存在一个天然的不随时间变化的应力场, 称之为地应力场, 在工程上通常称作初始地应力场。初始地应力是岩体中实际蕴藏的内力, 在地面工程活动以后, 改变了岩体的初始地应力状态, 使岩体应力重新分布, 可能使得岩体与工程相关的那些部位形成应力集中, 从而引起岩体的变形或破坏。由此可见, 地面和地下工程的稳定状态与岩体的初始地应力状态紧密相关。因此所采用初始地应力场的可靠性是各种地面和地下工程模拟结果能否反映工程实际情况的决定因素之一。

丹江口水库是南水北调工程中线的源头, 自从一期蓄水后库区地震活动有所加强, 并于 1973 年 11 月 29 日在宋湾瓦房沟诱发了蓄水以来的最大震级(4.7 级), 此后一直处于地震平静期^[1]。水库续建工程计划提高水位至 170 m, 水位的提高是不是会引起新一轮的地震活动一直是地震工程界关注的问题。为了对丹江口水库二期蓄水后的应力场进行模拟, 本文首先对丹江口水库蓄水前的初始地应力场进行反演。

1 丹江口库区地质构造

丹江口水库位于鄂豫两省交界地带, 在构造上处于秦淮弧内侧的武当隆起边缘, 青峰断裂为隆起南界, 东临南襄盆地。库区地层分区以青峰为界, 北为秦岭区, 南为扬子区(见图 1)。秦岭区的基底主要由元古界的耀岭河群、郧西群及武当山群的变质中酸性火山岩组成, 深度大约为 5~0 km。秦岭区盖层以丹江破碎带为界, 分为东西两部分。东部为南襄盆地, 属于震旦系构造层, 以碳酸盐岩为主, 厚 1 300~1 600 m。南部与下伏神农架群呈不整合接触, 北部与耀岭河群有不十分明显的沉积间断; 西部均郧断裂以北地区属于上古生界构造层, 以砂岩为主, 由泥盆系、石炭系及二迭系组成, 与下部的构造层呈不整合接触, 构造层总厚约 4 700 m; 均郧断裂和公路断裂之间地区属于中、新生界构造层, 以微风化辉绿岩为主, 由白垩系红层和第三系组成, 与下覆构造层呈不整合接触, 该构造层总厚约 3 300 m; 公路断裂

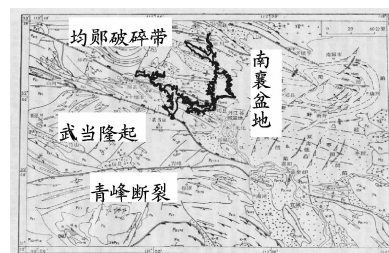


图 1 丹江口水库区地理位置

Fig. 1 Geographical situation of
Danjiangkou Reservoir

收稿日期: 2011-07-06 修改稿日期: 2012-03-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50778138)

作者简介: 谢向东(1975-), 男, 河南南阳人, 讲师, 博士, 主要研究方向为工程结构抗震。

以南地区属于下古生界构造层,以辉绿岩为主,由寒武系、奥陶系及志留系组成,与下伏构造层呈不整合接触,构造层总厚约 7 900 m^[1-2].

库区的断裂很多,与库区地震密切相关的主要是均郎断裂、公路断裂、丹江断裂和瓦房厂一周山断裂.均郎断裂带是一条北西西向深断裂带,长达 200 余公里,宽 20~30 km 不等,由一系列大断层和破碎带组成.公路断裂距坝址 27 km,是库区规模较大的一条断裂.丹江断裂带是本区北北西向构造带中的深断裂带之一,在区内延伸长度达 300 km 以上,宽 50~70 km 不等,由一系列大断层和破碎带组成.这 3 条大断裂在深度上延展很深,天然地震转换波分析表明,它们的下切深度可达上地幔.瓦房厂一周山断裂带是秦岭纬向构造带中一条活动断裂带,北西西走向^[3].

2 丹江口库区计算范围的确定和模型的建立

丹江口水库包括丹库、汉库和浙库,库区大致位于东经 110°45′~111°40′,北纬 32°34′~33°10′之间.根据圣维南原理,考虑到边界效应,将计算区域取为库区范围的 3 倍,模型位置介于东经 109°30′~112°20′,北纬 32°~33°30′之间.根据文献[2,3],库区的主应力方向约为北 70°西,所以将模型沿垂直于主应力方向切割,形成长 231.5 km,宽 208.4 km 的矩形区域,计算几何区域见图 2 中虚线所示.根据丹江口库区的地质资料^[3]:均郎断裂、公路断裂和丹江断裂均为深大断裂带,下切深度可达上地幔;瓦房厂一周山断裂,从其规模、性质和影响的地层判断,它可能是在海西期或海西期以前形成的,切穿地层深度不详.由于水库地震的深度一般不超过 20 km,所以本文把模型厚度和断裂破碎带的计算深度统一取为 20 km.由于库区周围的山川盆地相对于计算模型的 20 km 厚度来说是可以忽略不计的,所以本文不考虑其影响,把模型表面取为平面.由于库区不同区域的盖层厚度不同、岩性也不同,为了使模型能更准确的描述实际情况,把库区模型沿深度划分为十层^[4],层厚分别为:0.5 km、0.5 km、1 km、1 km、2 km、3 km、3 km、3 km、3 km、3 km.丹江破碎带以东地区盖层以碳酸盐岩为主,厚度近似取为 2 km;丹江破碎带以西地区,依据均郎破碎带和公路破碎带又划分为三个区域,均郎破碎带以北地区以砂岩为主,盖层厚度近似取为 5 km,公路破碎带以南地区以辉绿岩为主,盖层厚度近似取为 8 km,均郎破碎带和公路破碎带之间区域以微风化辉绿岩为主,盖层厚度近似取为 3 km.盖层以下均为中基性火山岩,深度直至计算模型的底部.计算中所用到的岩石密度、弹性模量、泊松比、内摩擦角取值参见文献[3].

计算模型采用复合实体单元,岩石采用 Drucker-Prager 屈服准则^[5,6].根据丹江口库区地质资料知:断裂带和破碎带其实都不是完全的断裂,为了有效地模拟断裂带的活动性质,本文依据地质资料^[2,3]把丹江断裂带中间沿线 500 m 宽取为丹江破碎带,其两边各 30 km 范围为丹江断裂带;均郎断裂带中间沿线 200 m 宽取为均郎破碎带,其两边各 15 km 范围为均郎断裂带;公路断裂带中间沿线 200 m 宽取为公路破碎带,其两边各 15 km 范围为公路断裂带;瓦房厂一周山破碎带取为 200 m 宽,由于该破碎带较小两边没有断裂带.具体三维地质构造新模型见图 3.

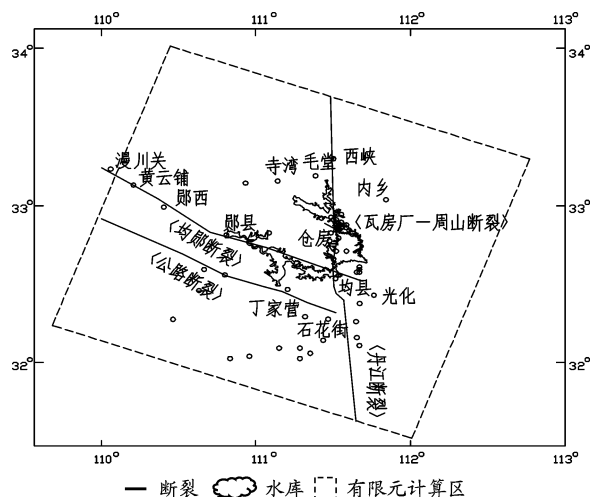


图2 有限元模型范围及断裂和水库分布

Fig. 2 The range of calculation model and the distribution of faults and reservoir

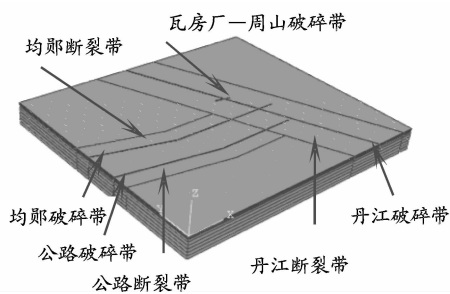


图3 库区三维地质构造计算模型

Fig. 3 3D calculation model of the reservoir area

3 丹江口库区初始地应力场反演

3.1 计算步骤

本文根据需要分两个步骤进行计算:(1) 底部约束竖直方向的位移,水平向自由,4 个侧面约束法向位移,切向自由,施加重力荷载并实现地应力平衡;(2) 底部约束竖直方向的位移, y 轴负向侧面和 x 轴正向侧面分别约束法向位移; x 轴负向侧面施加压缩位移, y 轴正向侧面施加拉伸位移,并对这两个侧面的位移不断调整,使库区地应力满足统计意义下地应力场的变化规律,并使内乡测点下 550 m 埋深处的水平主压应力大约为 17 MPa(实测数据)^[3,7-8]。

3.2 计算结果及分析

不断调整边界位移最终得到当 x 轴负向侧面施加 200 m 挤压位移, y 轴正向侧面施加 80 m 拉伸位移后所得到的地应力场是最合理的. 为了清楚的描述库区初始地应力场的情况, 本文在库区不同区域选取一些点, 并对这些点的地应力 (x , y , z 方向主应力 S_{11} , S_{22} , S_{33} , 以及 xy , xz , yz 三个面上的剪应力 S_{12} , S_{13} , S_{23}) 进行分析. 这些点的分布如图 4 中“+”所标示. 下面以内乡、赵川和 F 测点为例研究其地应力与埋深的关系, 以 750 m、1.5 km 和 9.5 km 埋深为例研究 AH 连线上各点地应力在同一水平面上的变化规律.

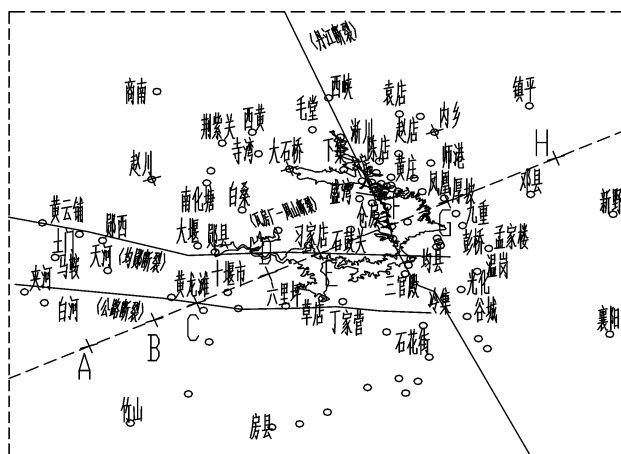


图 4 初始地应力分析选取应力点分布示意图

Fig. 4 Schematic diagram of typical points of initial crustal stress

表 1 内乡测点下不同埋深处地应力计算结果

Tab.1 The computing results of crustal stress in different depth below Neixiang area

埋深/km	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
0.25	-1.64E+07	4.67E+06	-6.40E+06	-2.11E+07	-3.55E+05	-1.62E+04	-6.57E+03
0.75	-2.27E+07	3.46E+05	-1.92E+07	-2.31E+07	-3.89E+05	-4.41E+04	-1.45E+04
1.5	-3.11E+07	-5.91E+06	-3.84E+07	-2.52E+07	-4.25E+05	-9.15E+04	-3.16E+04
2.5	-6.63E+07	-1.20E+07	-6.51E+07	-5.43E+07	-9.22E+05	-1.76E+05	-6.04E+04
4.0	-8.43E+07	-2.52E+07	-1.07E+08	-5.92E+07	-1.02E+06	-3.19E+05	-1.10E+05
6.5	-1.07E+08	-4.23E+07	-1.77E+08	-6.47E+07	-1.16E+06	-4.47E+05	-1.53E+05
9.5	-1.27E+08	-5.66E+07	-2.61E+08	-7.06E+07	-1.34E+06	-4.16E+05	-1.37E+05
12.5	-2.45E+08	-2.23E+08	-3.45E+08	-2.22E+07	-4.66E+05	-2.76E+05	-8.57E+04
15.5	-3.62E+08	-3.47E+08	-4.30E+08	-1.46E+07	-1.61E+03	-8.54E+02	1.96E+02
18.5	-4.79E+08	-4.72E+08	-5.13E+08	-7.11E+06	-1.91E+05	-2.95E+04	-7.30E+03

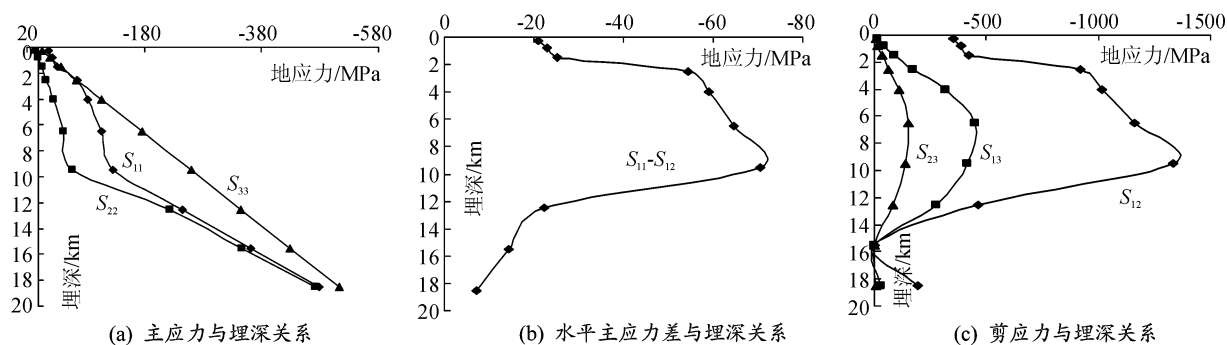


图 5 内乡测点下地应力与埋深关系图

Fig. 5 Relation diagram of the crustal stresses below Neixiang and the depth

表 2 赵川测点下不同埋深处地应力计算结果

Tab. 2 The computing results of crustal stress in different depth below Zhaochuan area

埋深/km	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
0.25	-2.06E+07	6.41E+06	-6.45E+06	-2.70E+07	-2.75E+05	-2.10E+04	-4.14E+04
0.75	-2.82E+07	1.16E+06	-1.94E+07	-2.94E+07	-3.41E+05	-4.08E+04	-1.15E+05
1.5	-3.83E+07	-6.50E+06	-3.88E+07	-3.18E+07	-4.31E+05	-7.62E+04	-2.28E+05
2.5	-4.92E+07	-1.48E+07	-6.48E+07	-3.44E+07	-5.50E+05	-1.12E+05	-3.64E+05
4.0	-6.31E+07	-2.61E+07	-1.04E+08	-3.69E+07	-7.15E+05	-1.69E+05	-5.46E+05
6.5	-1.11E+08	-4.28E+07	-1.72E+08	-6.83E+07	-1.73E+06	-2.90E+05	-9.13E+05
9.5	-1.33E+08	-6.07E+07	-2.56E+08	-7.20E+07	-2.41E+06	-4.18E+05	-1.34E+06
12.5	-2.46E+08	-2.24E+08	-3.41E+08	-2.18E+07	-8.98E+05	-3.99E+05	-1.34E+06
15.5	-3.61E+08	-3.47E+08	-4.25E+08	-1.37E+07	-6.48E+05	-2.87E+05	-9.68E+05
18.5	-4.77E+08	-4.70E+08	-5.09E+08	-6.58E+06	-3.46E+05	-1.09E+05	-3.68E+05

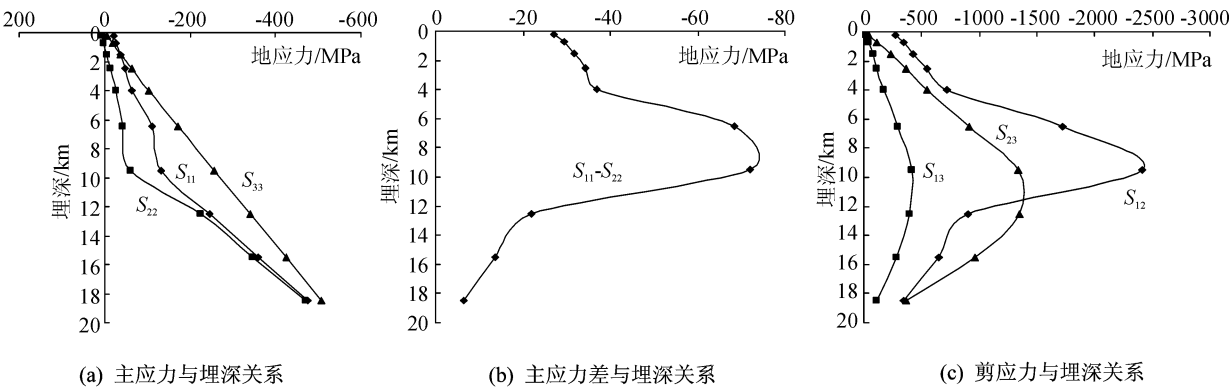


图 6 赵川测点下地应力与埋深关系

Fig. 6 Relation diagram of the crustal stresses below Zhaochuan and the depth

表 3 F 点下不同埋深处地应力计算结果

Tab. 3 the computing results of crustal stress in different depth below F

埋深/km	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
0.25	-1.60E+07	4.17E+06	-6.76E+06	-2.01E+07	4.03E+05	1.12E+06	3.20E+05
0.75	-2.36E+07	1.73E+06	-1.93E+07	-2.53E+07	2.63E+04	2.43E+06	6.31E+05
1.5	-3.26E+07	-6.14E+06	-4.13E+07	-2.65E+07	-3.74E+05	8.69E+06	1.59E+06
2.5	-5.73E+07	-1.53E+07	-8.41E+07	-4.20E+07	-3.36E+05	1.43E+07	2.96E+06
4.0	-7.54E+07	-3.04E+07	-1.32E+08	-4.49E+07	-3.28E+05	-3.05E+05	2.31E+06
6.5	-1.08E+08	-4.35E+07	-1.86E+08	-6.41E+07	-9.67E+05	-5.12E+06	3.67E+04
9.5	-1.28E+08	-5.70E+07	-2.64E+08	-7.07E+07	-1.69E+06	1.63E+05	-2.75E+05
12.5	-2.48E+08	-2.27E+08	-3.50E+08	-2.14E+07	-4.32E+05	-8.64E+05	-4.80E+05
15.5	-3.65E+08	-3.51E+08	-4.34E+08	-1.37E+07	-3.34E+05	-5.15E+05	-4.85E+05
18.5	-4.83E+08	-4.76E+08	-5.18E+08	-6.51E+06	-1.56E+05	-3.18E+05	-1.47E+05

根据各点地应力随埋深的变化规律可以得出如下结论:(1)各点地应力临界深度(竖向主应力赶上最大水平主应力的深度,即 S_{33} 等于 S_{11} 的深度)在 1 km 埋深附近;(2)各点地表 750 m 埋深以内在近南北方向基本都受拉,拉应力在 0~12 MPa 之间,近东西向都受压,压应力在 13~23 MPa 之间;(3)各点水平主应力差值沿埋深都是 0~10 km 埋深范围内逐渐增加,10~20 km 埋深范围内迅速减小并逐渐消失,只是在岩性突变的不整合接触面上和 10 km 埋深附近主应力差值会发生突变。

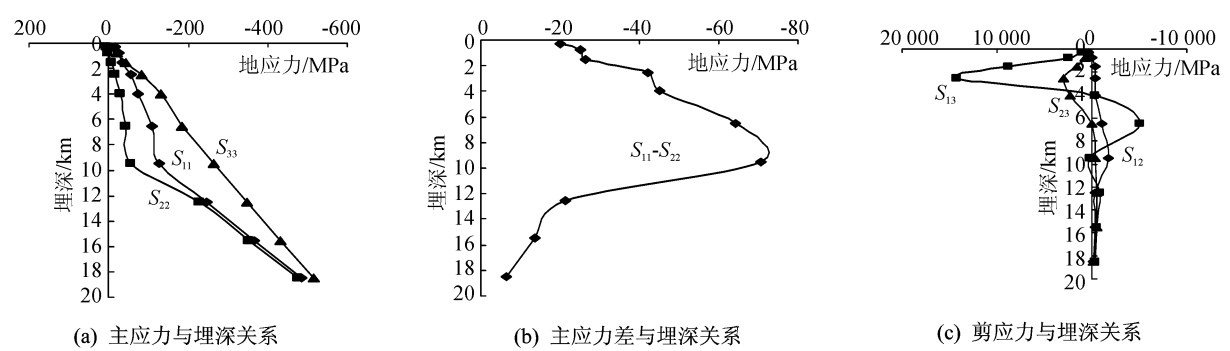


图 7 F 点下地应力与埋深关系

Fig. 7 Relation diagram of crustal stress below Point F and the depth

表 4 750 m 深处 AH 连线上各点地应力计算结果

Tab. 4 The computing results of crustal stress of each point on the line of AH in the depth of 750 m

取值地点	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
A	-2.89E+07	4.45E+06	-2.19E+07	-3.33E+07	-1.16E+05	-1.10E+04	-6.36E+04
B	-3.00E+07	7.42E+05	-2.20E+07	-3.08E+07	-7.59E+05	-5.40E+04	-2.94E+05
C	-3.02E+07	-1.13E+06	-2.14E+07	-2.91E+07	-8.65E+05	6.38E+05	2.79E+06
D	-2.67E+07	3.47E+06	-2.16E+07	-3.02E+07	-1.81E+05	2.60E+04	-5.31E+05
E	-2.61E+07	1.45E+06	-2.23E+07	-2.75E+07	-6.42E+05	1.49E+05	-1.86E+06
F	-2.36E+07	1.73E+06	-1.93E+07	-2.53E+07	2.63E+04	2.43E+06	6.31E+05
G	-2.24E+07	6.20E+05	-1.92E+07	-2.30E+07	-5.09E+05	-8.14E+04	-3.41E+04
H	-2.30E+07	7.61E+05	-1.92E+07	-2.38E+07	-1.67E+05	2.09E+03	8.47E+02

表 5 1.5 km 深处 AH 连线上各点地应力计算结果

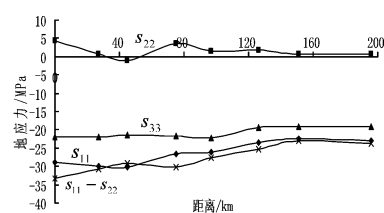
Tab. 5 The computing results of crustal stress of each point on the line of AH in the depth of 1.5 km

取值地点	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
A	-3.87E+07	-2.31E+06	-4.38E+07	-3.64E+07	-1.26E+05	-2.73E+04	-1.40E+05
B	-3.97E+07	-5.88E+06	-4.39E+07	-3.39E+07	-7.77E+05	-1.05E+05	-5.55E+05
C	-3.96E+07	-7.95E+06	-4.19E+07	-3.17E+07	-1.05E+06	1.21E+06	5.01E+06
D	-3.75E+07	-4.76E+06	-4.31E+07	-3.27E+07	-2.20E+05	1.04E+04	-2.76E+05
E	-3.69E+07	-6.65E+06	-4.41E+07	-3.02E+07	-7.36E+05	1.92E+05	-2.65E+06
F	-3.26E+07	-6.14E+06	-4.13E+07	-2.65E+07	-3.74E+05	8.69E+06	1.59E+06
G	-3.08E+07	-5.63E+06	-3.84E+07	-2.52E+07	-5.66E+05	-1.57E+05	-6.61E+04
H	-3.15E+07	-5.46E+06	-3.84E+07	-2.60E+07	-1.83E+05	4.09E+03	1.83E+03

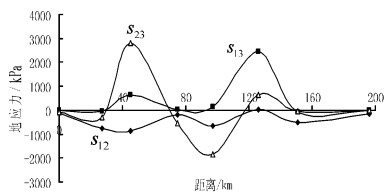
表 6 9.5 km 深处 AH 连线上各点地应力计算结果

Tab. 6 The computing results of crustal stress of each point on the line of AH in the depth of 9.5 km

取值地点	地应力/Pa						
	S_{11}	S_{22}	S_{33}	$S_{11}-S_{22}$	S_{12}	S_{13}	S_{23}
A	-1.33E+08	-5.34E+07	-2.76E+08	-8.00E+07	-1.07E+05	-8.27E+04	-3.97E+05
B	-1.33E+08	-5.21E+07	-2.76E+08	-8.07E+07	-4.11E+05	-1.70E+05	-7.68E+05
C	-1.31E+08	-5.56E+07	-2.65E+08	-7.52E+07	-1.45E+06	-1.17E+06	-2.65E+06
D	-1.31E+08	-5.55E+07	-2.69E+08	-7.53E+07	-8.48E+05	3.90E+04	-2.13E+06
E	-1.30E+08	-5.29E+07	-2.67E+08	-7.68E+07	-2.67E+06	1.13E+06	-1.08E+06
F	-1.28E+08	-5.70E+07	-2.64E+08	-7.07E+07	-1.69E+06	1.63E+05	-2.75E+05
G	-1.28E+08	-5.33E+07	-2.66E+08	-7.49E+07	-1.96E+06	-5.94E+04	6.01E+05
H	-1.28E+08	-5.54E+07	-2.61E+08	-7.24E+07	-5.14E+05	1.45E+04	8.99E+03



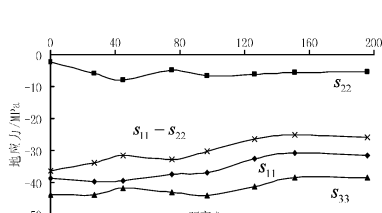
(a) 主应力沿 AH 连线的变化



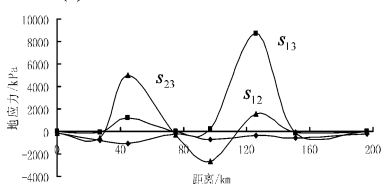
(b) 剪应力沿 AH 连线的变化

图8 AH 连线 750m 深处地应力图

Fig. 8 Crustal stresses diagram in the depth of 750m along the line of AH



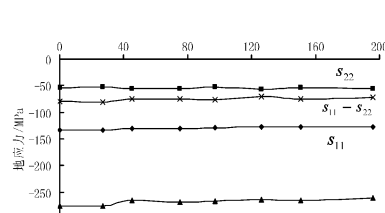
(a) 主应力沿 AH 连线的变化



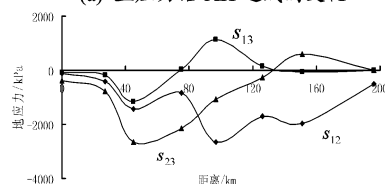
(b) 剪应力沿 AH 连线的变化

图9 AH 连线 1.5km 深处地应力图

Fig. 9 Crustal stresses diagram in the depth of 1.5km along the line of AH



(a) 主应力沿 AH 连线的变化



(b) 剪应力沿 AH 连线的变化

图10 AH 连线 9.5km 深处地应力图

Fig. 10 Crustal stresses diagram in the depth of 9.5km along the line of AH

根据 AH 连线上各点地应力的变化可以得出如下结论:(1) 沿 AH 连线 S_{11} 值随埋深增加而增大,0~8 km 深度 AH 连线上 S_{11} 变化比较大,随岩石弹性模量增减而增减,8 km 以下其值沿连线基本无变化;(2) AH 连线上 S_{22} 在埋深 750 m 以上是拉应力,而且在破碎带上拉应力值偏小,在完整岩石区拉应力值偏大,在埋深 750 m 以下基本都变为压应力且随埋深增加而增大,在同一埋深内 AH 连线上 S_{22} 值和 S_{11} 值有相同的变化规律;(3) 沿 AH 连线各点 S_{33} 随埋深增加基本是线性增大的,但在 0~8 km 埋深内沿 AH 连线其值波动比较大,随岩石密度的增减而增减,8 km 深度以下由于岩性均一,所以 S_{33} 沿连线基本为一水平直线,即其值基本保持不变;(4) 沿 AH 连线各点三个剪应力波动比较大,在完整岩石区其值比较小,在破碎断裂带其值比较大.近东西向破碎带上 S_{23} 值较大,4 km 深处最大值达 6 MPa,近南北向破碎带上 S_{13} 值较大,2.5 km 深处最大值达 14 MPa,在岩性变化的不整合接触面上 S_{12} 值较大,但最大值不超过 2 MPa.

4 结 论

根据对丹江口库区蓄水之前初始地应力场的反演和分析,得出库区 20 km 埋深范围内的初始地应力具有如下特征:

(1) 整个库区地应力临界深度均在 1 km 埋深左右,库区表层 750 m 埋深以内近南北向基本都受拉,主拉应力在 0~12 MPa 之间,近东西向都受压,主压应力在 13~23 MPa 之间,750 m 埋深以下三个主应力都为压应力且都随埋深增加而增加.在水平方向,两个水平主应力在 0~8 km 埋深内随岩石弹性模量增减而增减,8 km 埋深以下其值趋于均匀,竖向主应力在 0~8 km 埋深内随岩石密度的增减而增减,8 km 埋深以下趋于均匀.

(2) 库区三个剪应力波动比较大,在完整岩石区其值比较小,在破碎断裂带其值比较大.近东西向破碎带上 S_{23} 值较大,4 km 深处值最大,为 6 MPa,近南北向破碎带上 S_{13} 值较大,2.5 km 深处值最大,为 14 MPa,在岩性变化的不整合接触面上 S_{12} 值较大,但最大值不超过 2 MPa.

(3) 库区水平主应力差值沿埋深都是 0~10 km 埋深范围内逐渐增加,10~20 km 埋深范围内迅速减小并逐渐消失,只是在岩性突变的不整合接触面处和 10 km 埋深附近水平主应力差值会发生突变.在同一水平面内随岩石弹性模量的增减而增减.

参考文献 References

[1] 李 珏. 三峡、丹江口地区地震地质研究[M]. 北京:地震出版社,1994.

LI Ping. Seismic and geologic research in the district of Sanxia and Danjiangkou[M]. Beijing: Earthquake Press,

- 1994.
- [2] 李 珏,刘行松. 均质断裂带和丹江断裂带的研究并论丹江口地区几个地震地质问题[A]//丹江口水库诱发地震文集[C]. 北京:地震出版社,1980:22-24.
LI Ping, LIU Xing-song. Research of Junyun fracture zone and Danjing fracture zone and discussion of seismic and geologic questions in the area of Danjiangkou reservoir[A]// Anthology of Danjiangkou reservoir induced earthquake [C]. Beijing: Earthquake Press, 1980:22-24.
- [3] 谢向东. 基于流固耦合理论的丹江口水库诱发地震机理研究[D]. 武汉:武汉大学, 2010.
XIE Xiang-dong. Study on mechanism of reservoir-induced seismicity based on theory of fluid-solid coupling in the Danjiangkou Reservoir area[D]. Wuhan: Wuhan University, 2010.
- [4] 谢向东. 岩体弹性模量沿地层埋深变化规律研究[J]. 襄樊学院学报, 2010, 31(11): 9-12.
XIE Xiang-dong. Changing law of the Yong modulus of rock body along stratigraphic depth[J]. Journal of xiangfan university. 2010, 31(11): 9-12.
- [5] 刘素梅,徐礼华. 丹江口水库区构造应力场的数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 4017-4021
LIU Su-mei, XU Li-hua. Numerical simulation of tectonic stress field at Danjiangkou reservoir area[J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2004, 23(23): 4017-4021.
- [6] 刘素梅,徐礼华. 丹江口库区水压应力场的有限元模拟[J]. 水利学报, 2005, 36(7): 863-869
LIU Su-mei, XU Li-hua. Finite-element simulation of hydraulic-pressure stress field in Danjiangkou reservoir area [J]. Journal of hydraulic engineering, 2005, 36(7): 863-869.
- [7] 景 锋. 中国大陆浅层地壳地应力场分布规律及工程扰动特征研究[D]. 武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所, 2008.
JING Feng. Study on distribution rules of ground stress and characteristic of engineering disturb in the earth's up crust of Chinese mainland [D]. Wuhan: Wuhan Rock and Soil Mechanics Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [8] 陈彭年. 世界地应力实测资料汇编[M]. 北京:地震出版社,1990.
CHEN Peng-nian. Measured ground stress data all the world[M]. Beijing: Earthquake Press, 1990.

Derivation of the initial crustal stress field in the Danjiangkou Reservoir Area

XIE Xiang-dong¹, XU Li-hua², LI Yan-qing³

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Hubei University of Arts and Science, Xiangfan 441053, China;

2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. The Yangtze River Survey Planning and design institute Co., Ltd, Wuhan 430010, China)

Abstract: According to the geological background of the Danjiangkou reservoir, the computation model was firstly developed considering the changes in depth of fracture zones and the mechanical properties of the rock. The initial crustal stress field of the reservoir area was derived, which suggests that: 1) The critical stress depth of the reservoir area is roughly 1 km; 2) Above depth of 750m, the horizontal principal stresses in X axis direction are compressive and increases from 13 MPa to 23 MPa along the depth; and the principal tensile stress in Y axis direction reduces from 12 MPa to 0 along the depth. Below the depth of 750m, the three principal compressive stresses increase along the depth; 3) Above the depth of 10 km, the difference of the two horizontal principal stresses increases linearly along the depth. However, it reduces suddenly at the depth of about 10 km and disappears below the depth of 20 km, where the rock is under the hydrostatic stress state.

Key words: initial crustal stress field; geological structure; difference of horizontal principal stress; critical depth