

青海龙羊峡地区区域地震构造稳定性的数学模拟研究

王 士 天

(成都地质学院)

魏 伦 武

(成都水文工程地质中心)

黄 润 秋

(成都地质学院)

前 言

青海龙羊峡地区位于青藏断块的北部边缘地带。由于区内黄河龙羊峡水电站的兴建,该区的地震~构造稳定性问题已受到人们的普遍关注。本文重点从数学模拟研究的角度讨论了该区现今地壳应力~形变场特征,进而对该区的地震~构造稳定性问题进行了初步的分析评价。

一、区域地球动力学环境的基本模式

在收集和分析已有资料、对卫片进行目视解译的基础上,用物探方法(甚低频电磁法等)、地震地质方法、开挖探槽以及热发光温度测定、石英颗粒表面结构扫描电镜观察等多种现代方法,重点查明了区内断裂的新活动性及古地震现象^[1]。最后将研究区的区域地球动力学环境条件和复杂的断裂体系进行归纳性简化,建立了如图1所示的基本模式。

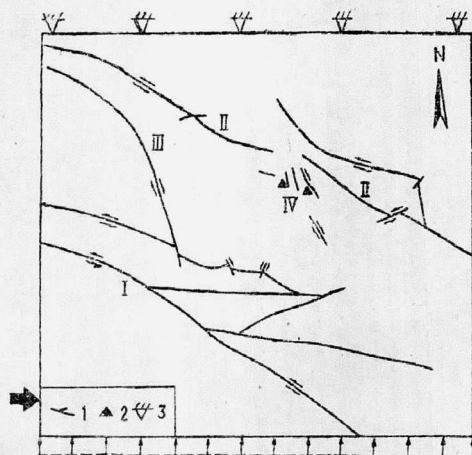


图1 龙羊峡区域地球动力学模式

1. 断层 2. 地应力实测点 3. x, y方向约束

该模式具有如下特点:

(1) 研究区域内发育有两组呈菱形网络分布的深大断裂, NWW向的规模最大, 包括南部的布青山~阿尼玛卿山断裂带(I)和北部的青海南山~拉脊山断裂带(II), 其新活动性表现为反扭; NNW向的规模较小, 包括西部的鄂拉山断裂带(III)和东部的瓦里贡山断裂带(IV), 其新活动性表现为顺扭。它们控制着地震带的展布^[1]。

龙羊峡电站库坝区位于第(Ⅳ)带内,活断裂的发育同样有NWW向、NNW向两组,但规模远小于前者。

(2) 两组活断层所夹钝角的等分线为区域主压应力方向,平均约为 $N45^{\circ}E$ 。这与文献[3]的计算结果一致。

(3) 上述应力~形变场追溯到 Q_2 末期。在此之前,区内NNW向活断层有过多次逆断活动。

二、区域地震~构造稳定性的数学模拟研究

首先,我们对区域构造应力场的量级进行了反演计算,得出研究区内拉西瓦地区现今区域构造应力为 $7.2MPa$,方向近SN向。

我们将图1所示的平面有限元计算模型中的非断裂部分视为各向同性的花岗岩弹性体,断裂部分视为理想弹塑性体的各向同性层状材料。

在模拟过程中,只考虑模型受水平构造力 p 、 q 的作用。在水平构造应力作用下,层状材料(断裂带)一旦发生破裂(剪破裂或张破裂),其破裂以后的变形方式按理想塑性体的应力~应变关系处理,不考虑时间因素的影响。破裂发生的判据是:(1)(剪破裂): $\tau \geq \tau_1 = f\sigma_n$; (2)张破裂:垂直于断裂走向出现拉应力。

在上述计算模型上划分单元网络,按图1所示方式输入边界构造力 p 、 q ,计算应力~形变场,比较应力实测点处三角单元的最大主应力及其方向的计算值与反演所得到的该处构造应力值 σ_1 ($7.2MPa$)及现场调查研究所确定的 σ_1 方向之接近程度。变动 p 、 q 大小,进行反复试算,直到两者最为接近为止。此时的应力~形变场即为研究区的现今应力~形变场。

按上述方法,在 $p = 3 \times 10^8 T$, $q = 1.4 \times 10^8 T$ 时,其合力方向与EW向成 25° 夹角的情况下实现了拟合。根据实现拟合时的各单元应力值及形变应变能密度值绘制出区域最大主应力方向图(图2),最大剪应力等值线图(图3)和应变能密度等值线图(图4)。这些资料表明:

(1) 区内现今最大主应力方向总体呈NE—SW向展布,但在断裂带内及其附近往往

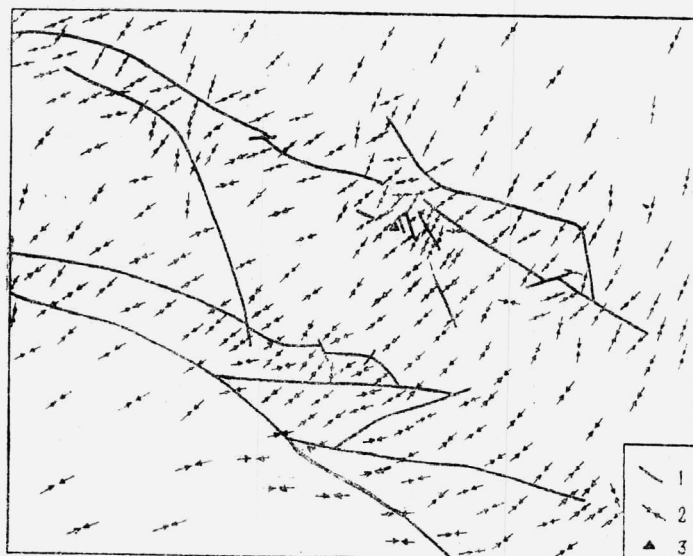


图2 区域最大主应力方向图

1. 断层 2. 主应力作用方向 3. 龙羊峡电站

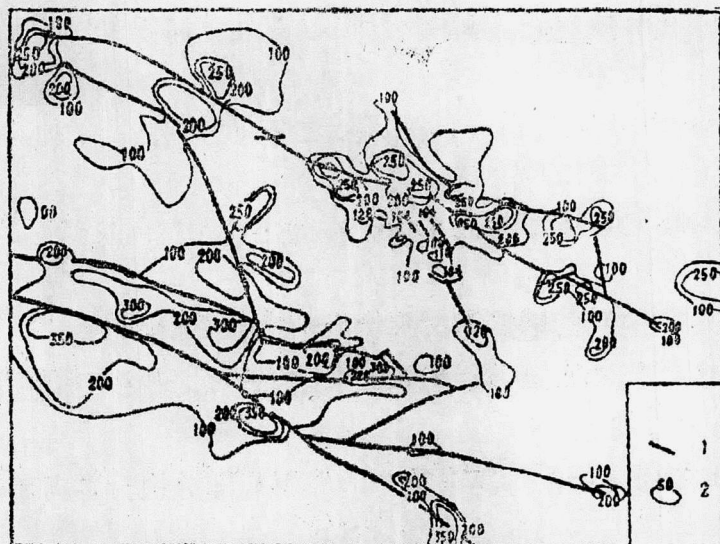


图3 最大剪应力等值线图

1. 断层 2. 等值线(巴)

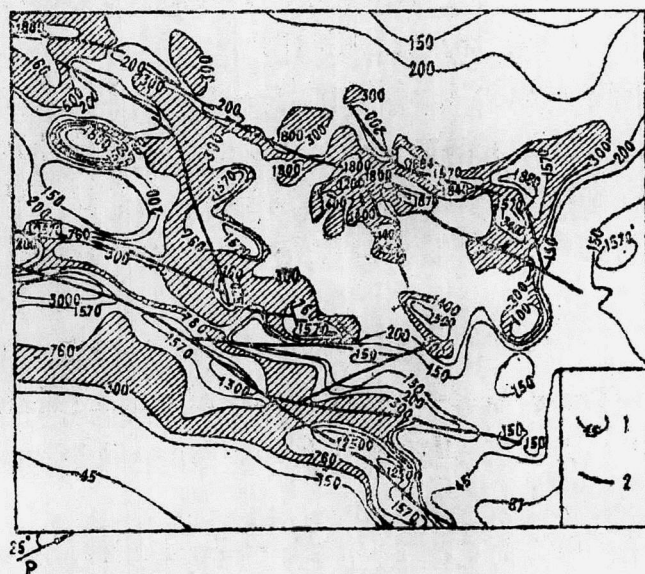


图4 应变能等值线图

1. 等值线尔格/cm³ 2. 断裂

发生不同程度的偏转,例如,在拉西瓦坝区附近的伊黑龙断层中部附近最大主应力的方向即转为近SN向。上述结果与实际情况基本吻合。

(2) 沿各断裂发生应力集中。布青山~阿尼玛卿山断裂带(I)、青海南山~拉脊山断裂带(II)、鄂拉山断裂带(III)和龙羊峡库区附近的断裂带(IV)的应力集中程度依次降低(图3),其最大剪应力值分别为35MPa、25MPa、20MPa和10.4MPa。

可见,龙羊峡工程区恰位于现今地应力水平相对较低的区段内。

(3) 形变应变能分布明显受断裂控制,远离断裂带能量逐渐减小。其中I带上出现了能量高度集中区(12500.0~30000.0尔格/cm³),1937年沿该断裂带发生的7.5级强震就分布在此能量集中区内;II带上能量集中程度较高,为1800.0~3400.0尔格/cm³;III带上能量集中程度较低,为1570.0尔格/cm³;龙羊峡库区附近的断裂(IV)带的能量集中程度最低,仅为1400.0尔格/cm³。这与各带的实际发震强度依次降低相吻合。

(4) 众所周知, 构造地震是由地应力活动所引起的。因此, 要探讨区内各断裂带的现有孕震能力, 以便预测未来可能发生地震的最大震级, 一条最根本的研究途径是寻找应力与孕震能力 (M_s) 间的定量关系式。

我们建立了应力、形变应变能、地震波能及孕震能力 (M_s) 间的定量关系式:

$$M_s = 0.667L_s \left[\frac{\pi \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot n} \sum_{i=1}^n (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\nu\sigma_1\sigma_2) \right] - 9.4654 \quad (1)$$

式中 E 为弹性模量, ν 为泊松比, i 为某一断裂带的第 i 个三角单元编号, n 为该断裂带的三角单元总个数, L 为地震断层长度。

根据应变能密度等值线图, 按 (1) 式可求得 I 带和 IV 带的孕震能力分别为 7.7 级和 4.33 级, 这与实际发震情况也较为吻合。

(5) 上述模拟研究结果表明: 在现今应力~形变场条件下, 边界构造力 p 、 q 的合力作用方向与 EW 向成 25° 夹角, 由此可以估算出现今托素湖~玛沁深断裂带的平均摩擦角 $\phi = 31^\circ$, 相应的摩擦系数等于 0.6, 这与拜尔利统计结果相吻合。

三、结论

综上所述, 对龙羊峡地区区域地震~构造稳定性可以得到如下认识:

1. 电站库坝区所处部位是一个相对的构造稳定区, 外围的深大断裂对该区起到了屏蔽及消能作用。
2. 根据历史地震资料及模拟研究结果可以断定, IV 带现代可孕育地震的最大震级不会超过 5.0 级。

参 考 文 献

- (1) 王士天等, 黄河龙羊峡电站区域地震~构造稳定性的研究途径和方法, 第五届国际工程地质大会论文集, Vol. 4, 1986.
- (2) 重庆建筑工程学院编, 岩体力学, 建筑工业出版社, 1979.
- (3) 李方全等, 我国现今地应力状态及有关问题, 地震学报, Vol. 8, No. 2, 1986.