

# 飞云江珊溪水库地震

钟羽云 朱新运 张震峰 张 帆 编著



非  
外  
借

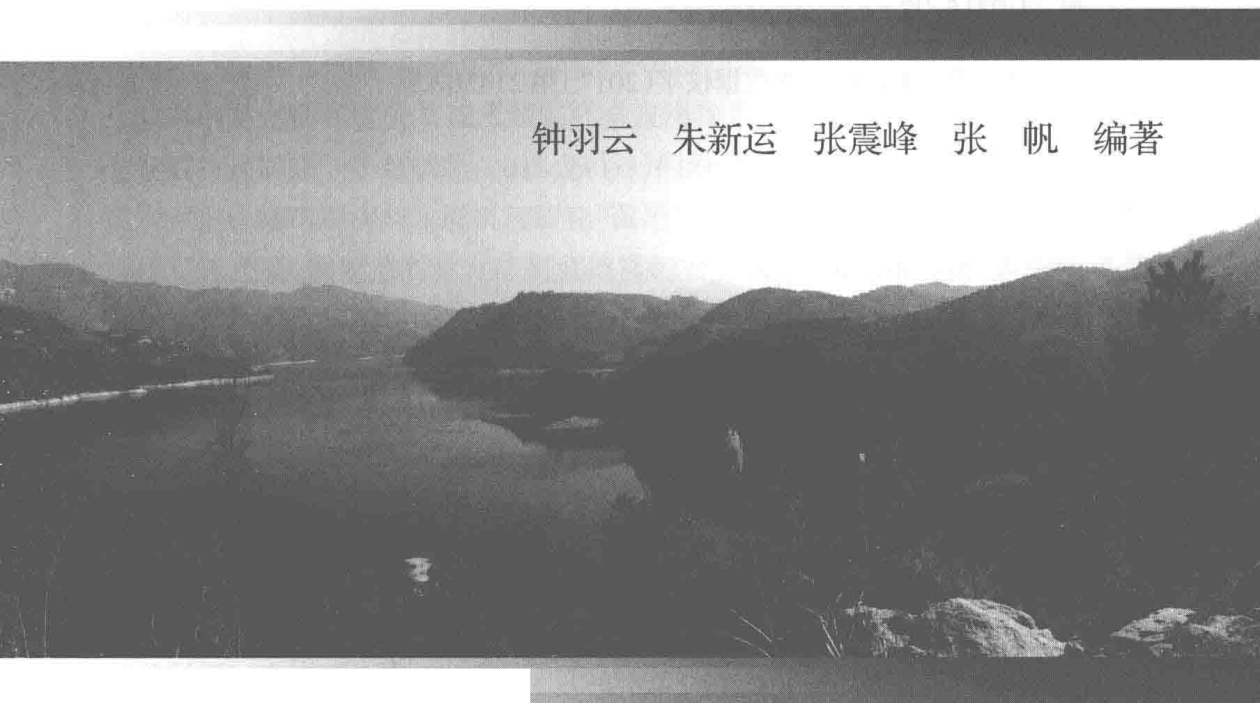


ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

# 飞云江珊溪水库地震

钟羽云 朱新运 张震峰 张 帆 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

飞云江珊溪水库地震 / 钟羽云等编著. -- 杭州 : 浙江大学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-308-17348-3

I. ①飞… II. ①钟… III. ①水库地震—研究—温州  
IV. ①P315.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第214303号

## 飞云江珊溪水库地震

钟羽云 朱新运 张震峰 张 帆 编著

---

责任编辑 伍秀芳 (wxftw@zju.edu.cn)

责任校对 陈静毅 舒莎珊

封面设计 周 灵

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 杭州日报报业集团盛元印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 14.25

字 数 248千

版 印 次 2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-17348-3

定 价 58.00元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部电话 (0571) 88925591; <http://zjdxbs.tmall.com>

# 前 言

本书是在浙江省公益技术研究社会发展项目“温州珊溪水库速度结构反演与发震机理研究”(项目编号:2012c23035)的研究成果基础上编写而成。“温州珊溪水库速度结构反演与发震机理研究”课题的主要目标是,分析珊溪水库地震与水位变化关系,使用地震学方法研究地震的发震构造、应力场特征、震中区地壳速度结构和介质衰减特征,开展野外地质调查并建立诱发地震的地质构造模型,引入 Gassmann-Biot 理论估算震中区岩层孔隙度和饱和度,分析珊溪水库地震的发震机制,探索水库诱发地震预测方法。

经过两年多的努力,课题组在全面完成各项预定研究任务的同时,在水库地震研究方面取得了一些具有创新性的成果。本书除编写了课题研究方法和成果外,还补充了前人在珊溪水库工作中获得的相关资料 and 主要结果,收集了国内外水库地震研究概况和水库地震震例基本信息等资料,以丰富读者对珊溪水库地震的了解。本书共7章。

第1章主要收集已有的资料,简要介绍珊溪水库的大地构造背景、区域断裂构造和盆地构造。在大地构造上,珊溪水库位于华南褶皱系浙东南褶皱带的温州—临海拗陷,区内断裂构造以北北东向和北东向最为发育,但是断裂活动性较弱,是地质构造相对稳定的地区。

第2章在野外地质调查基础上,结合以往的珊溪水库工作,分析了水库区的断裂主要特征和岩层裂隙分布特征等,研究了水库蓄水后震中区断层和岩石的渗透性,认为珊溪水库诱发地震地质结构模型是阻水岩体构造与局部导水断层的组合。

第3章对珊溪水库地震序列特征和水库水位的关系进行了研究。地震序列具有成丛、成组分布的特点,根据震级差 $\Delta M$ 判据或能量判据判定,每丛地震均属于震群,珊溪水库地震序列是由多个震群构成的地震活动。引入模糊数学方法,定义水位变化从属函数,对地震活动与水库水位关系进行分析,结果表明水位对地震活动的影响可能与蓄水时间有关,蓄水前期的影响可能比后期要大,越



到后期,影响越小。

第4章通过计算应力降等震源参数,发现珊溪水库地震应力降与震源半径之间相关性很低,数据结果支持常应力降模型。地震波衰减参数结果表明,珊溪水库区为低衰减区域,并存在深部高衰减层。使用P波初动符号方法计算单个地震震源机制解和小震综合断层面解,两者结果一致,即节面Ⅰ走向为北东向,节面Ⅱ走向为北西向,主压应力P轴方位为北北西向,最大主张应力T轴方位为北东东向,P轴仰角大多数小于 $10^{\circ}$ 。

第5章采用震源位置和速度结构联合反演方法对珊溪水库震群的震源位置进行重新定位,并得到震中区及周边地区P波速度结构。结果表明,绝大部分地震沿着穿过水库淹没区的北西向双溪—焦溪垵断裂分布;假设发震断层面为一个平面,则通过最小二乘法对震源位置进行拟合得到的断层面参数与双溪—焦溪垵断裂的几何参数大体一致;结合震源机制解结果和烈度等震线椭圆长轴方向判定,双溪—焦溪垵断裂为发震断裂。然而,地震沿发震断层分布还具有分段性和迁移性。2002—2003年,地震主要发生在P波速度低值异常区,而2006年以后地震则主要发生在P波速度低值向高值过渡的区域,波速结构的这种差异可能反映了各个阶段震中区岩石物理性质乃至发震机理等存在差异。结合地震活动与水位、区域地震活动等的相关性,可将珊溪水库地震划分为三个阶段,即与水位变化密切相关的诱发阶段、与水位变化关系不明显的调整阶段以及与区域地震活动有关的窗口阶段。三个阶段中的地震活动特征和主要影响因素各不相同。

第6章主要通过 Gassmann-Biot 理论对震中区岩石孔隙度和饱和度进行了计算,了解到震中区岩石孔隙度的差异性,并对地震过程中岩石饱和度、孔隙度的变化范围进行了估算。水库蓄水后将导致库水向下渗透,改变库基岩体的应力状态和介质性质,诱发地震活动。由于水的作用,介质将出现微破裂、扩容、塑性硬化及相变等一系列变化,因此,地震波通过地壳介质时,地震波速、波速比等与震源区介质有关的参数均将发生变化。局部流体流动被认为是影响非均匀岩石地震波传播规律的重要机制。Gassmann-Biot 理论作为描述孔隙含流体的多孔介质的应力波理论,为研究含流体的多孔介质中的弹性与波传播特征提供了一个基础平台,已得到广泛应用。水库建设工程地质勘查中,通过实验获得了珊溪水库震中区  $J_3$  地层中新火角砾岩、层凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩和凝灰质砂岩等四种岩石的弹性模量、密度、泊松比、孔隙度和纵波速度等参数。从该实验数据出发,联合 Gassmann-Biot 方程和岩石骨架模型得到了珊溪水库震中区

岩石基质模量、固结系数等参数。结合水库区波速比和P波速度,通过计算得到震中区岩石的孔隙度和饱和度。结果表明,双溪—焦溪垵断裂中段的岩石孔隙度最大,位于水库南岸一段次之,位于水库北岸一段最小,这与地质调查得到的断裂破碎带胶结程度、垂直裂隙分布情况基本一致。因此,地震的发生机制为:水库于2000年下闸蓄水后,在张性裂隙发育的塘垄码头附近和具有正断层性质的双溪—焦溪垵断裂 $f_{11-2}$ 分支断层上,库水首先沿着断层及其两侧集中分布的张性裂隙向深处渗透,引起岩体中原来固有的孔隙达到水饱和状态,增加了断层面的孔隙压力,降低了断层面的摩擦而诱发地震活动。一次地震就是一次岩体破裂或一次原有断裂的重新活动,小震的发生又进一步形成了新的渗水通道,导致库水渗入较深部位或者周边其他地方,特别是向破碎带胶结程度较差、孔隙度较大的双溪—焦溪垵断裂 $f_{11-3}$ 分支断层东南段渗透;加上断裂两侧岩石透水性差,库水的渗透被局限在顺着 $f_{11-3}$ 分支断层走向的方向上。在水的渗透和地震活动的相互作用下,该分支断层的地震活动进一步增强,并于2014年在断层的西北段发生了4.4级震群活动。

第7章在简要回顾国内外水库地震研究历史基础上,归纳了水库地震研究的主要方面和取得的进展。我们收集整理了业已公开发表的水库地震震例基本信息,对水库地震震级与水库的坝高、库容进行了统计,并对水库蓄水至初震的时间间隔、水库蓄水至最大地震的时间间隔进行了统计,得到蓄水后1年内发生首次地震、6年内发生最大地震的水库占比最高,并且震级与坝高、库容之间的相关性很小。最后,我们还收集了浙江省水库地震震例,以期作为基础资料供有关人员参考。

书中引用了《浙江飞云江珊溪水电站初步设计——工程地质勘察报告》中的部分野外测量数据和室内实验测试数据,引用了《浙江省飞云江珊溪水库工程水库诱发地震预测研究》报告中的部分资料,以及珊溪水库地震烈度现场考察资料。书稿完成过程中,浙江省工程地震研究所马志江高级工程师提出了许多宝贵的意见和建议,并绘制了部分图件。在此一并表示感谢。

尽管我们付出了巨大的努力,但由于水平所限,书中不同研究方法得到的结果之间,或与其他研究结果之间仍然存在一些不协调的地方,不同认识和观点的统一有赖于研究的深入。由于时间仓促,书中错误和不妥之处难免,敬请读者批评指正。

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第1章 区域地质构造背景        | 1  |
| 1.1 大地构造背景          | 1  |
| 1.2 深部构造概况          | 3  |
| 1.3 区域断裂构造          | 5  |
| 1.4 区域盆地构造          | 7  |
| 第2章 水库区地震地质环境       | 9  |
| 2.1 新构造运动特征         | 9  |
| 2.2 断裂构造            | 11 |
| 2.3 地层岩性与裂隙         | 23 |
| 2.3.1 地层岩性          | 23 |
| 2.3.2 裂隙分布特征        | 23 |
| 2.4 水库诱发地震地质结构模型    | 26 |
| 2.4.1 断裂带主要特征和导水性   | 27 |
| 2.4.2 地层的阻水性        | 27 |
| 第3章 地震活动            | 31 |
| 3.1 历史地震活动          | 32 |
| 3.2 地震活动统计特征        | 34 |
| 3.2.1 地震活动概况        | 34 |
| 3.2.2 地震序列时间演化      | 36 |
| 3.3 地震活动与水库水位变化     | 54 |
| 3.3.1 水位对地震活动的影响    | 54 |
| 3.3.2 地震活动与水库水位的相关性 | 58 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第4章 震源参数与地震波衰减特征 .....     | 61  |
| 4.1 震源参数 .....             | 62  |
| 4.1.1 基本理论 .....           | 62  |
| 4.1.2 数据处理 .....           | 63  |
| 4.1.3 数据结果 .....           | 65  |
| 4.2 地震波衰减特征 .....          | 69  |
| 4.2.1 理论与方法 .....          | 70  |
| 4.2.2 资料及数据处理 .....        | 71  |
| 4.2.3 数据结果 .....           | 73  |
| 4.2.4 尾波衰减系数与地震活动 .....    | 77  |
| 4.3 震源机制解 .....            | 78  |
| 4.3.1 单次地震震源机制解 .....      | 78  |
| 4.3.2 小震综合断层面解 .....       | 98  |
| 第5章 地震重新定位及地壳速度结构反演 .....  | 101 |
| 5.1 震源参数与速度结构联合反演 .....    | 102 |
| 5.1.1 地震监测概况 .....         | 102 |
| 5.1.2 反演方法 .....           | 104 |
| 5.1.3 初始速度模型 .....         | 107 |
| 5.1.4 反演结果 .....           | 109 |
| 5.2 地壳速度结构 .....           | 113 |
| 5.3 地震时空分布特征 .....         | 118 |
| 5.4 发震构造 .....             | 121 |
| 5.4.1 烈度等震线分布 .....        | 121 |
| 5.4.2 利用地震分布确定发震断层面 .....  | 125 |
| 5.4.3 发震构造 .....           | 127 |
| 5.5 地震活动阶段性特征与主要影响因素 ..... | 127 |
| 第6章 发震机制 .....             | 131 |
| 6.1 地震P波速度和波速比 .....       | 132 |
| 6.1.1 资料与数据处理 .....        | 132 |



|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 6.1.2 波速比时空分布特征 .....                | 134        |
| 6.1.3 P波速度时空分布特征 .....               | 137        |
| 6.2 含流体孔隙岩石中地震波传播理论 .....            | 138        |
| 6.2.1 Gassmann-Biot方程 .....          | 139        |
| 6.2.2 等效介质理论与岩石基质模量 .....            | 141        |
| 6.2.3 岩石骨架模型 .....                   | 143        |
| 6.2.4 含流体孔隙岩石中地震波传播速度 .....          | 148        |
| 6.2.5 用地震资料估算岩层孔隙度和饱和度 .....         | 151        |
| 6.3 Gassmann-Biot方程在水库地震研究中的应用 ..... | 154        |
| 6.3.1 珊溪水库地层岩性及弹性模量 .....            | 155        |
| 6.3.2 地震P波速度、波速比与岩石孔隙度和饱和度的关系 .....  | 157        |
| 6.3.3 珊溪水库震中区孔隙度 .....               | 161        |
| 6.4 发震机制分析 .....                     | 170        |
| <b>第7章 国内外水库地震研究简介 .....</b>         | <b>173</b> |
| 7.1 水库地震研究概况 .....                   | 174        |
| 7.1.1 水库地震统计特点 .....                 | 175        |
| 7.1.2 水库地震物理机制 .....                 | 176        |
| 7.1.3 水库诱发地震的库区地质环境 .....            | 178        |
| 7.1.4 水库地震预测 .....                   | 180        |
| 7.2 国内外水库地震基本资料 .....                | 183        |
| 7.3 浙江省水库地震震例 .....                  | 197        |
| 7.3.1 宁波皎口水库 .....                   | 198        |
| 7.3.2 乌溪江水库地震 .....                  | 202        |
| <b>参考文献 .....</b>                    | <b>207</b> |

# 第1章 区域地质构造背景

在大地构造方面,珊溪水库位于华南褶皱系浙东南褶皱带的温州—临海拗陷。温州—临海拗陷区内,断裂构造以北北东向和北东向最为发育,并在深断裂带上发育一系列构造盆地。喜马拉雅期,本区断裂活动相对较弱,除部分早期断裂继续活动外,还形成了南北向断裂。区域内存在余姚—丽水深断裂、景宁—苍南断裂、温州—泰顺断裂这三条主要的深大断裂,其中温州—泰顺断裂距离水库区最近,约为7 km。

## 1.1 大地构造背景

珊溪水库及附近地区在大地构造上位于华南褶皱系浙东南褶皱带的温州—临海拗陷(浙江省地质矿产局,1989)。浙东南褶皱带是在加里东运动地槽回返后与西北侧的扬子准地块合并而成的统一块体,后加里东阶段其构造活动相对稳定,为缓慢的长期隆起剥蚀区,仅在局部低洼地区有堆积。印支运动以后,本区的构造格局有了根本的改变,块体活动性急剧增大,构造活动直接受欧亚板块和太平洋板块相互作用所控制,构造运动以断块造盆运动为主要特点,形成了独特的陆缘活动型沉积建造及岩浆岩系列。

浙东南褶皱带的基底陈蔡群(AnZch)和龙泉群(Z-Pz<sub>1</sub>ln),均分布于西部丽水—宁波隆起区内。陈蔡群主要出露在九龙山、牛头山、会稽山和大衢山等地,略呈北东向带状分布;岩性主要为角闪岩、相片岩、变粒岩、片麻岩及大理岩,部分地方有混合岩化;据原岩分析,以具复理式韵律的砂、泥质沉积为主,夹少量碳酸盐岩、硅质岩及中基性火山岩,属滨海—浅海相沉积,其中火山岩为碱性、亚碱

性混合系列;地层厚度大于8000 m。龙泉群主要分布在龙泉—丽水一带,岩石普遍遭受绿片岩相变质作用,有片岩、变粒岩、斜长角闪岩夹石英岩及大理岩,部分地区可见片麻岩及混合质岩石;根据原岩恢复,主要有粉砂岩、粉砂质泥岩、杂砂岩、硅质岩,夹有较多的基性或中基性火山岩及酸性火山岩,为浅海相沉积,形成基底的上部层位;地层厚度大于3000 m。

后加里东盖层鹤溪群( $Pz_{hx}$ )主要分布于温州—临海拗陷南部的温州、永嘉和鹤溪一带,露头零星分布,为一套浅变质的砂岩、泥岩夹碳酸盐建造;原岩主要为石英砂岩、粉砂岩、碳质泥岩、泥质岩及灰岩,属半封闭海湾相沉积;地层厚度大于700 m。

浙东南褶皱带的燕山构造层广泛发育,为含煤灰色复陆屑式建造,时代为晚三叠世及早、中侏罗世。部分地区中侏罗世已有微弱的火山活动。晚侏罗世以大规模的岩浆喷发和侵入活动为主要特点。下白垩统为杂色复陆屑式建造,并伴有较强的岩浆活动。上白垩统为红色复陆屑式建造,部分具磨拉石建造特征。喜马拉雅构造层主要为碱性玄武岩和复陆屑式建造,零星分布。

以丽水—仙居—象山港一线为界,浙东南褶皱带可以分为两个三级构造单元,即丽水—宁波隆起和温州—临海拗陷。温州—临海拗陷位于浙东南褶皱带东部,濒临东海,区内地势由北到南、由东到西逐渐增高,从丘陵发展到中、低山区。山体有括苍山、雁荡山和洞宫山等;沿海岛屿众多,海岸线蜿蜒曲折,多形成港湾;盆地有临海、仙居、泰顺等,但规模均较小,燕山断块运动使本区变为拗陷区。该区基底埋藏较深,燕山期岩浆活动时限较短,构造盆地以火山构造盆地发育为特征。

青田芝溪头有小块陈蔡群变质岩露头,是浙东南褶皱带基底残块。后加里东盖层鹤溪群断续出露于景宁鹤溪和青田芝溪头等地。枫坪组( $J_1f$ )在永嘉桥头有零星露头,因受热动力变质作用,岩石均已混合岩化。毛弄组( $J_2ml$ )仅分布在西南部的青田陈村垵和云和陈源头。上侏罗统广泛分布,底部未见大爽组( $J_3d$ )出露,西山头组( $J_3x$ )火山碎屑岩大面积分布。白垩纪火山活动比新昌一定海隆起区强烈,并出现较多圆形火山构造。基底褶皱构造因被覆盖而无法查清。燕山构造旋回以断块升降运动为主,褶皱构造基本不发育,局部地区在挤压环境下有宽缓的短轴背、向斜构造。

温州—临海拗陷区内断裂构造以北北东向和北东向最为发育,其次为东西向和北西向断裂构造,还有南北向断裂。白垩纪盆地的形成与断裂关系密切,北北东向的温州—镇海深断裂带上有宁海盆地和临海盆地。区域内还有北东向和北西向断裂联合控制的天台盆地,以及北东向和东西向断裂联合控制的仙居盆地等。

## 1.2 深部构造概况

浙江省莫霍面埋深形态为北浅南深、东浅西深,表现出与地表形态的负相关特征(图 1.1)。浙东沿海地壳厚约 28 km,向南西方向莫霍面逐渐加深,地壳逐渐加厚,平均每 100 km 水平距离,地壳增厚约 1 km。省内地壳最厚之处在龙泉、庆元一带,壳厚在 32.5 km 以上。杭州湾是一个东西向展布区,中部地壳较薄,仅 28 km,形态完整。浙江北纬 30° 以南部分地壳厚度变化平缓,为 28~32 km,其空间分布表现为“一隆两拗”的构造形态。

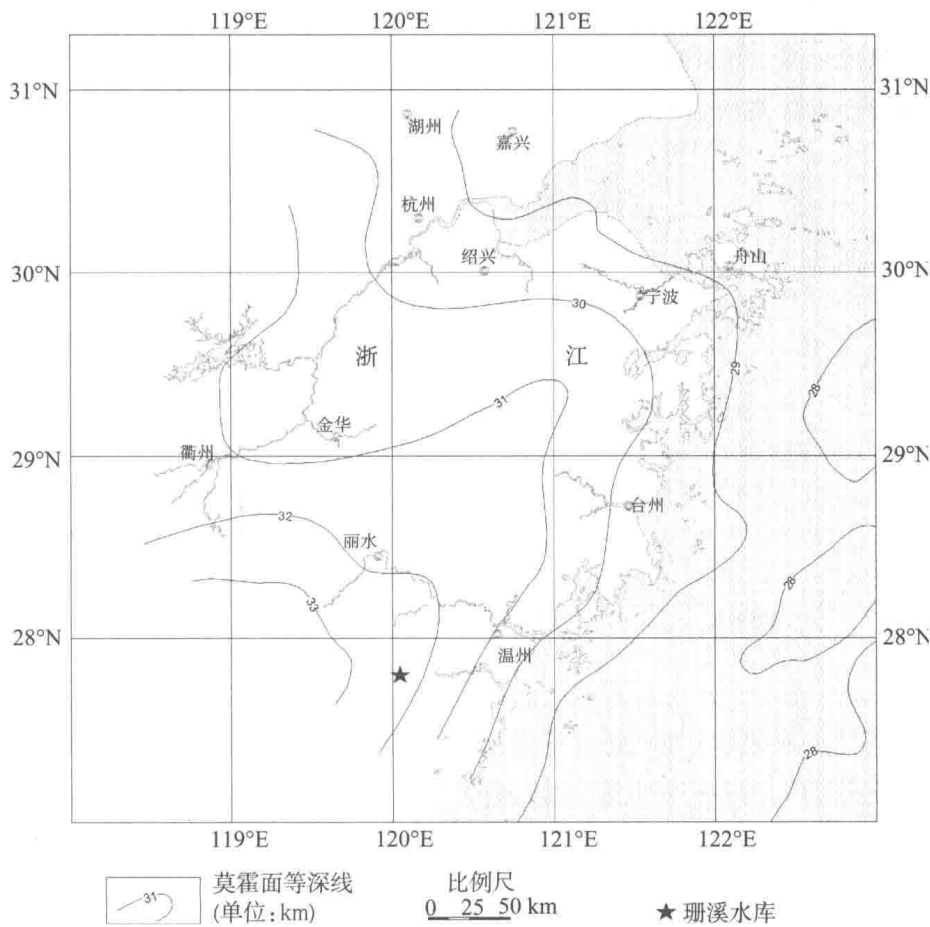


图 1.1 浙江省莫霍面等深线图(浙江省地质矿产局, 1989)

根据莫霍面等深线图及区域布格重力资料,浙江地区深部构造可分为两大区(浙江省地质矿产局, 1989),即东部沿海地幔隆起区和金华—温州地幔拗陷区,其中金华—温州地幔拗陷区又可进一步分为昌化—长兴幔凹、开化—桐庐幔

隆和龙泉—嵊州慢凹。珊溪水库位于龙泉—嵊州慢凹,该区域西部以江山—绍兴深部构造变异带为界,东部大致以重力布格异常零值线与宁海—温岭地幔斜坡隆起区分界,呈南宽北窄的条带状慢凹;区内各条莫霍面等埋深线呈向北东凸出的弧形,其曲率由南西向北东逐条增大,经永康后弧度又减小,形态为向南西倾伏的宽缓慢槽;地壳厚度自北东向南西递增,由 30 km 增加到 32.5 km 以上。珊溪水库位于莫霍面埋深 32 km 等深线上,等深线呈向东突出的弧形,北北东走向,埋深变化平缓(孙士宏,1994)。

从根据 1:200000 泰顺幅和平阳县幅相关地球物理场探测资料绘制的库区及附近范围布格重力异常平面图(图 1.2)和航磁异常平面图(图 1.3)来看,浙南地区的重、磁场分布以北东向异常为主,与珊溪水库库区及附近范围主要地质构造走向基本一致,但异常变化较平缓,没有异常值较大的异常梯度带,水库区及附近范围没有深部构造背景的地质构造通过。

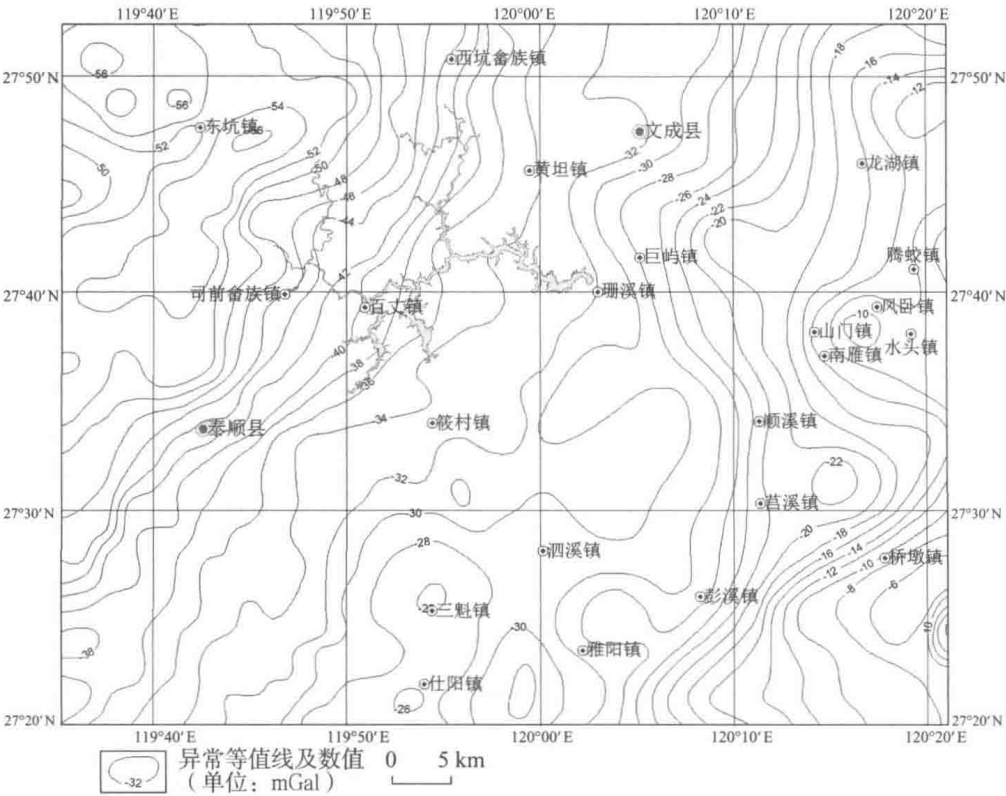


图 1.2 珊溪水库库区及附近范围布格重力异常平面图

注:引自浙江省地球物理地球化学勘查院诸暨分院实测 1:200000 平阳县幅(1991 年)和泰顺幅(1993 年)布格重力异常平面图

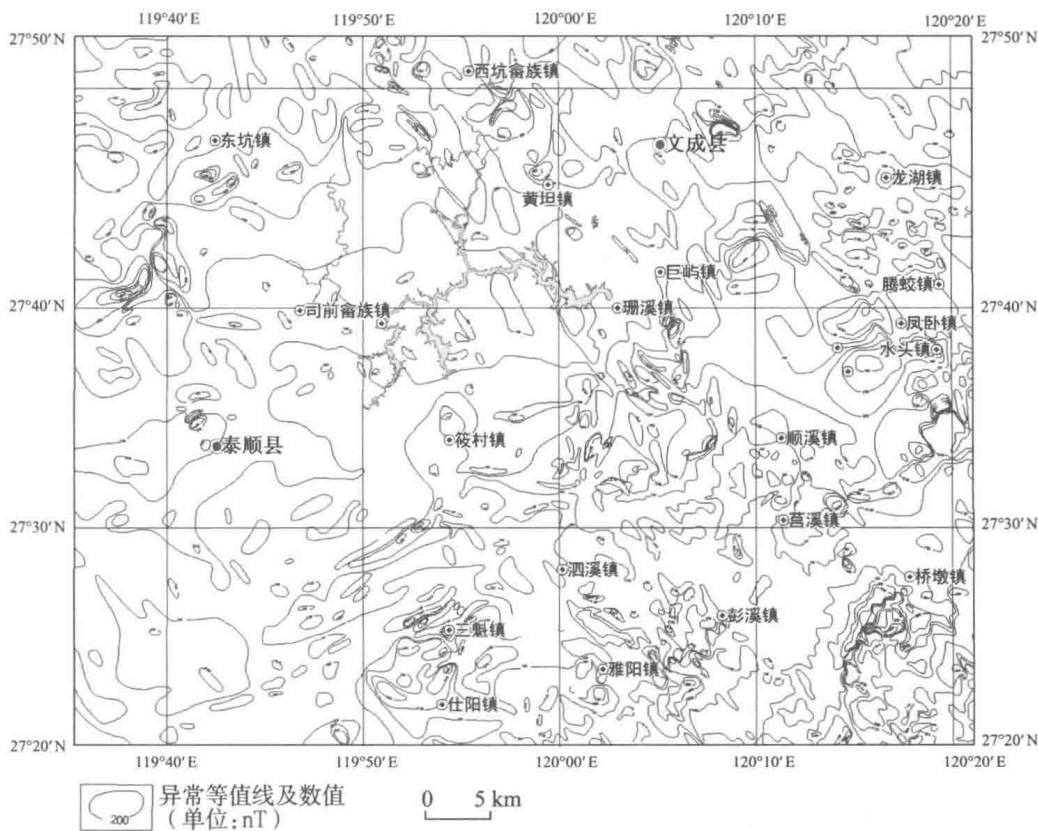


图 1.3 珊溪水库库区及附近范围航磁异常平面图

注:引自浙江省地球物理探矿大队1:200000平阳幅(1979年)和泰顺幅(1979年)航空磁力异常平面图

### 1.3 区域断裂构造

本区域基底鹤溪群的空间展布总体呈北东向,片理走向亦呈北东向;本区的晚侏罗世火山活动明显受北东向构造控制,这说明本区的基底构造是以北东向为主的构造格架。本区基底的固结程度高,从印支运动开始,直至喜马拉雅运动时期,构造均以断裂为主,且断裂活动十分发育。印支期及燕山早期,断裂承袭了基底构造方向,断裂走向多呈北东向,部分呈北西向。至燕山晚期,断裂走向偏转为北北东向,同时北西向及北东东—近东西向断裂也得到了发育。喜马拉雅期,本区断裂活动相对较弱,除部分早期断裂继续活动外,还形成了南北向断裂,区域内存在三条主要深大断裂(图 1.4)。

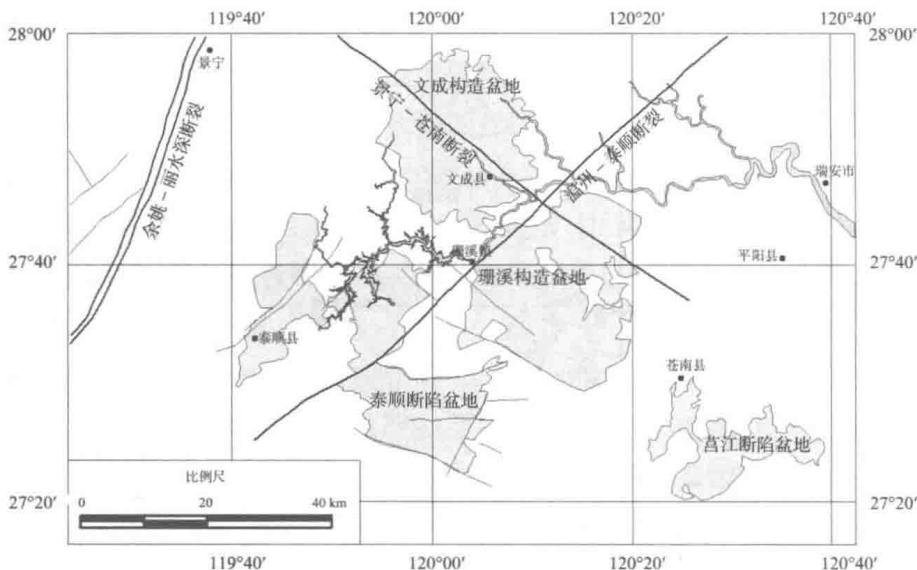


图 1.4 珊溪水库库区及附近区域构造

### (1) 余姚—丽水深断裂

余姚—丽水深断裂距离珊溪水库库尾约 25 km,它是浙东南最醒目的断裂构造,向南延伸至庆元,与福建省境内的政和—大浦断裂相接,北经嵊州过余姚,潜入杭州湾水域;断裂总体走向  $30^{\circ}\text{NE}$ ,多倾向 SE,倾角为  $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。该断裂地表表现为一系列与北东向和北北东向大致平行或斜列的逆断层,组成宽度达 15~40 km 的断裂带。这些断裂形迹清晰,均具有 30~40 m 宽度的挤压破碎带。该断裂在卫星影像上所显示的线性影像极为清晰,在航磁上反映为正负异常分界。该断裂带在早白垩世末期活动最强烈,它直接控制了该区早白垩世盆地的形成与发展;喜马拉雅期仍有明显活动,大量的晚第三纪玄武岩沿断裂带喷出,并有基性、超基性岩呈串珠状排列产出。该断裂的活动具有分段性:在余姚泗门附近浅层人工地震勘探显示,在中更新世末、晚更新世初有过活动;在东阳南马五常村出露的断层,断层泥经热释光测年结果为  $(240.28 \pm 20.42) \times 10^3$  年,表明该断裂此段为中更新世( $Q_2$ )晚期断裂;1866 年景宁  $4\frac{3}{4}$  级地震、1998 年嵊州 4.5 级地震以及新昌一带的微震活动等表明,现今该断裂在局部地区仍有活动。

### (2) 景宁—苍南断裂

景宁—苍南断裂距离珊溪水库区约 13 km,由文成玉壶向西北延伸至景宁,向东南经苍南延伸入东海海域。该断裂总体走向  $50^{\circ}\text{NW}$ ,倾角  $60^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ,断面倾向不定。该断裂由一系列相互平行或雁行排列的小断裂组成,断裂带宽度可

达20~25 km;在卫星影像上线性构造明显,地貌上表现为深切断层谷地;布格重力表现为密集的梯度带,是莫霍面南深北浅的转换地段。该断裂常错断北东、北北东向断裂,沿断裂常有萤石矿脉、石英脉及其他矿脉充填。该断裂形成于燕山中晚期,白垩纪后期活动较为强烈。在苍南县金乡一大鱼公路边人工开挖基岩剖面中采集断层泥,断层泥经热释光年代测定为 $(167.27 \pm 14.22) \times 10^3$ 年,表明其最后活动年代为中更新世( $Q_2$ )晚期。

### (3) 温州—泰顺断裂

温州—泰顺断裂距离珊溪水库区约7 km,断裂带呈 $40^\circ \sim 60^\circ \text{NE}$ 方向延伸,由泰顺县东南,向北东经珊溪水库坝址下游的岙口—高楼一带,延伸至温州、温岭、乐清。该断裂在地表表现为一系列相互平行排列、断续出露的逆冲断裂和斜冲断裂组成的宽度达10~25 km的断裂带,断面倾向为南东或北西,倾角多为 $60^\circ \sim 70^\circ$ ,局部可近直立,地貌上常形成北东向沟谷、断层崖、断层三角面等。其单个断裂一般延伸20~30 km,挤压破碎带的宽度多为10~30 m。断裂发育于上侏罗统和下白垩统,沿断裂带有一系列燕山晚期侵入岩体、潜火山岩体、火山构造等呈北东向展布。断裂控制了岩体的侵入活动,常见岩体又被断裂切割,说明该断裂具有多次活动的特征。该断裂带在航磁上反映为东侧以频繁跳动的强磁场为特征,西侧以平静的磁场为背景,两者分界明显。据研究,温州—泰顺断裂在瑞安附近区段最新活动年代为晚更新世( $Q_3$ )早期,其他区段为中更新世断裂。

## 1.4 区域盆地构造

印支运动之后,本区经历了多次剧烈的断块运动和大规模的岩浆活动,形成了各种类型的构造盆地,这些盆地的发育、展布与区域性断裂密切相关。侏罗纪盆地以断陷型为基本类型,盆地的展布受北东向构造控制。由于后期断裂的切割破坏和后期早白垩世盆地在其基础上继承、覆盖并叠置其上,侏罗纪盆地的面貌多被破坏而不甚清楚。早白垩世盆地主要受北北东向断裂和北西向断裂控制,主要有断陷构造型、火山洼地型和破火山口型构造盆地。本区主要有文成构造盆地、泰顺断陷盆地、珊溪构造盆地和莒江断陷盆地(图1.4)。



### (1) 文成构造盆地

该盆地属于早白垩世火山洼地型构造盆地,呈直径约20 km的近圆形,现今地貌上表现为正地形,其外围有环状水系发育。盆地内为呈环形分布的下白垩统喷发-沉积相以及分布于核部的爆发亚相,与上侏罗统呈不整合接触。

### (2) 泰顺断陷盆地

该盆地呈北北东向展布,南北长30 km,东西宽6 km,为早白垩世断陷盆地。盆地内发育下白垩统馆头组( $K_1g$ ),东部边界为馆头组不整合于上侏罗统火山岩之上,西部边界为断裂接触。

### (3) 珊溪构造盆地

该盆地是一个近似圆形的破火山口型构造盆地,直径为20~30 km。盆地内发育下白垩统馆头组和朝川组( $K_1c$ ),盆地东、西两面不整合在上侏罗统之上,南、北两面为断裂接触。

### (4) 莒江断陷盆地

该盆地为早白垩世断陷盆地。盆地北段呈北北东向展布,南段长30 km,宽约15 km,呈北西向展布;北段长25 km,宽约10 km。