

# 红水河中游地区地质构造稳定性的遥感图像分析\*

林 恒 章

(中国科学院遥感应用研究所)

1988 年 12 月 16 日收稿

## 摘 要

红水河中游地区是以北西向和北东向断裂相交叉为基本构造格局。在新构造运动时期,这两组老构造分段复活,将该区分割成一个相对独立的活动块体。

遥感信息与岩相古地理及汞矿化带相结合的分析结果表明:发震的埡都—紫云深大断裂,在新构造运动时期并未进入断块。遥感信息与历史震中的时空分布和断块结合分析表明:中强震震中绝大多数分布在断块以外,并以右江断裂带以南的频率为最大,由于这里已远在百公里之外,今后若再发生中强震,经过长途衰减,波及坝址的影响有限。

断块内距坝址 15—20 公里的巴鱼地区,近期发生过 4.6 级地震。这是一个处在乐业环状构造长轴转折端前沿,也是逆西活动断裂等多组断裂交叉处,小型环状构造也很发育,构造应力容易在此集中,历史震中与小型环状构造同断裂的交叉点关系密切。影像显示该区是相对孤立的局部地段,小震频繁,应力分阶段释放,不具备孕育强震的条件。

龙滩和岩滩电站坝址周围 8 公里内无大型或活动断裂通过,亦无两组以上断裂交叉点出现,构造稳定性良好,但应注意水库诱发地震的研究。

**关键词** 断块 环状构造 反“S”形

红水河流经黔桂两省(区),水力资源蕴藏量大,中游以上属新构造上升区,河谷深切,相对切割深度达 600—800 米。谷岸多由三叠系砂、页岩构成,许多砂岩出露地段成为峡谷、急滩,谷坡完整、坚硬,适于修建具有多年调节功能的高坝大库,初选有龙滩和岩滩两个坝址。据历史记载,中游及邻近地区曾发生过大于 4 级的地震,为此在东经 105°00′—108°35′和北纬 23°—26°区域内开展了遥感图像分析,并收集区域地质测绘资料、震中分布资料及部分物探资料,进行复合分析与论证。

遥感图像记录了直观而详细的地面景观,清晰的线性形迹,有利于地质构造的判读与分析,断裂构造尤其如此。判读主要是在经过精纠正的陆地卫星 MSS 图像上进行的,图像经计算机和光学仪器的再处理,对线性和密度进行增强,提高了判读效果。重点地段还进行了 1:3.4 万彩色红外航空像片的判读。

## 一、区域概况

红水河中游地区大地构造单元属于巨型的华夏一级隆起带——“江南台背斜”的西南边缘,滇桂台向斜中段北侧,这是一个多旋回的构造区。地台开始于加里东褶皱运动末

\* 参加此项工作的还有魏成阶、陈正宜、张会来等同志。图像处理由朱重光、关威等同志完成,插图由刘维维、刘慧敏同志清绘,谨此致谢。

期, 前泥盆纪地层褶皱隆起成为地台的基底。泥盆纪以后显示出类似于地槽型的沉积特征, 印支运动使泥盆纪至中三叠世地层发生褶皱, 并从此结束了海相沉积。自晚三叠世起转为内陆山间盆地堆积。燕山运动时期, 本区经历强烈的褶皱运动, 伴有强烈的断裂活动。河流两侧地层主要为中三叠系砂、页岩, 灰岩占少数。砂、页岩褶皱紧密、山体巍峨, 水系发育; 灰岩以箱形褶皱为主, 发育有一组形迹鲜明的交叉断裂, 群峰耸立, 无明显河沟系统, 两者特征迥异, 界线分明。

本区主要断裂为一组继承性活动的交叉断裂, 将本区分割为相对独立的断块, 断块内外的构造发育与发展有明显差异。从河流的多级裂点、多级阶地和多层水平溶洞, 山地的多级夷平面的出现, 以及各支流多呈跌水形式注入, 河流阶地很不发育等现象来看, 本区新构造运动以大面积间歇性抬升为主, 上升的速率相当快。

## 二、区域断裂构造特征

遥感影像显示本区有多组断裂构造, 具有线状或带状影纹特征, 它们对现代地貌、水系的区域分异起控制作用, 形迹清晰的线性构造, 多具新构造活动背景。根据展布方向, 可以将主要断裂构造归纳为三组, 即北西向和北东向、北北西向和北北东向, 近东西向和南北向等。其中以北西向和北东向这一组最为发育, 规模也最大, 构成本区的基本格架。各组断裂虽然在整个地区多显有踪迹, 但有明显的区域分异。1. 北西向和北北西向, 均以舒缓的波状为主, 其中北西向分布在望谟-罗甸以西和望谟-都安一线以南地区; 北北西向则主要分布在罗甸-田东以东地区。2. 北东向和北北东向, 北东向以舒缓的波状为主, 北北东向则主要呈直线形, 它们主要分布于百色-南丹以西和南丹-金城江以北地区。3. 近东西向和南北向均不大发育, 近东西向在望谟-南丹以南地区可见到其形迹; 南北向则仅在册亨和天峨之间偶见其形迹, 并显示出北强南弱的趋势。

本区的环状构造, 在图像上以圆形、半圆形和半椭圆形的形态为揭露标志, 色调无明显异常。它们所对应的地表地质体极少是侵入体, 可见其大多数应是地质构造运动的产物。规模最大的是乐业-潞城为长轴的半椭圆形构造, 马蹄形线性形迹十分清晰, 其外侧的古生代灰岩的出露和断褶带的展布均呈为弧形; 北西向的巴马断裂西段向北偏转为北北西向, 呈为弧形, 就连红水河中游河道流势也顺应了这一构造背景(图版 I 图 1a)。

上述三组断裂以及环状构造在光学和电子计算机处理的 MSS 卫星图像上, 均有线性形迹可辨, 经判读编制出《遥感线性构造图》, 从中可直观地显示出红水河中游地区的构造格架。其中最为突出的是被北西向、北北西向和北东向线性束所分割、围限的菱形块体的存在, 其四角约为隆林、罗甸、金钗与平果。这些线性束密集成带, 影像清晰, 严格控制了山脊走向、盆地分布和水系发育, 与历史震中相匹配, 显示 4 级以上中强震震中的绝大多数落在菱形块体的外侧(图 2)。与重力布格异常复合, 发现块体内外的重力梯度明显不同(图 3)。这一切表明: 以凤山县城为中心的长轴方向为北西-南东向的菱形块体, 是新构造运动时期有明显活动的相对独立的块体(以下称凤山断块), 龙滩和岩滩两坝址都选在该断块内。该断块的新构造活动特点是间歇性的不均衡抬升。就断裂而言, 北西向和北东向这一组最具有活动性。

北西向断裂走向为  $310^{\circ}$  左右, 以构成凤山断块西南界的右江断裂带为代表。该断裂

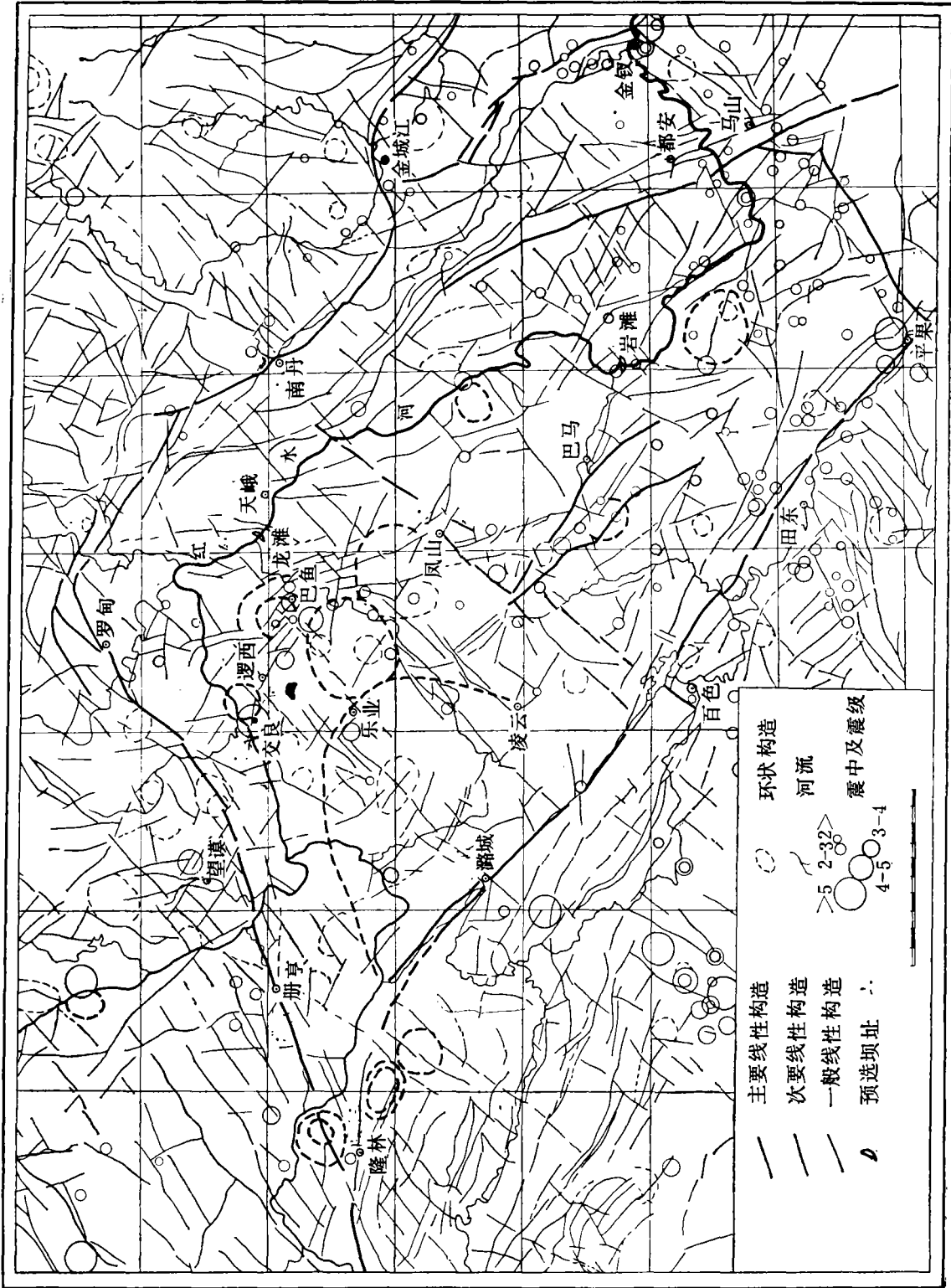


图 2 红水河中游地区遥感线性构造图  
 Fig. 2 R. S. image lineament structure interpretation map of Hong Shui river middle valley

带规模大,特征明显,形似波状的粗刻痕。新构造活动性显示为西弱东强,西段表现为宽谷;东段则发育有一系列断陷构造盆地,两岸阶地明显不对称。从次级断裂与右江断裂的斜交关系看,显示出顺扭特征,但从穿过断层的河流的同向弯曲看,则显示为反扭特征,并从弯曲程度推知该断裂带第四纪以来左旋平移量达 800—1000 米,从不对称阶地的高程差和瀑布落差推测东北盘相对抬升了 80—100 米\*。

以隆林-罗甸断裂带(凤山断块西北界)为代表的北东向断裂,亦控制了现代地貌格局,山脊走向和断裂方向一致,并伴有断陷盆地。从次级断裂走向和山脊错位方向来看,显示出反扭性质;但从通过断裂带的河流同向弯曲状况看,则以顺扭为特征。

由上可见,这一组区域主干断裂都有在不同地质构造运动时期呈现出方向不同的平移运动,揭示出区域构造应力场有明显的转变,而新构造运动时期的主压应力为近东西向(SEE-NWW)。在凤山断块内部和外围,都有被分割成岛状分布的晚古生代和早中生代灰岩分布,其上均可见到一组清晰的交叉线性形迹,经与区域测绘资料对照,证明其中的大部分是断裂构造。这些断裂受到从其附近通过的大型断裂的影响,具有明显的派生性质。如近右江断裂处北西向形迹很发育;而近都安-马山断裂处北北西向形迹增多等等。从这一组密集的交叉派生断裂的锐角指向大多为近东西向的情况看,它们与新构造运动的关系密切。

综上所述,北西向和北东向断裂以及凤山断块本身,在新构造运动时期都具有继承性活动,但不都是整体活动,有的是在分段活动的背景下,不同方向断裂的活动段联合构成“S”形或反“S”形活动断裂带,如逻西-巴鱼-凤山-巴马反“S”形断裂带等。

### 三、区域构造稳定性的分析与评价

区域地震资料表明: 岷都-紫云断裂带的西北段中强震频繁,表现出强烈的活动性; 历史记载 1875 年 6 月 8 日在黔桂边界发生过  $6\frac{3}{4}$  级地震; 百色以东的右江断裂带内也多次发生过 6 级左右的地震; 在凤山断块内部的巴鱼一带也发生过 4.6 级地震。根据遥感图像所揭示的区域地质构造特点和新构造运动的应力场特征,结合区域地质调查、历史震中及部分物探资料,对红水河中游地区的地质构造稳定性作如下的分析。

#### 1. 凤山断块是相当完整、相对稳定的块体

该断块的西北边界为隆林-罗甸断裂,其中册亨-望谟一段已经地面地质工作证

\* 游象照等: 从卫星影像看广西北西向断裂特征及其与地震的关系。

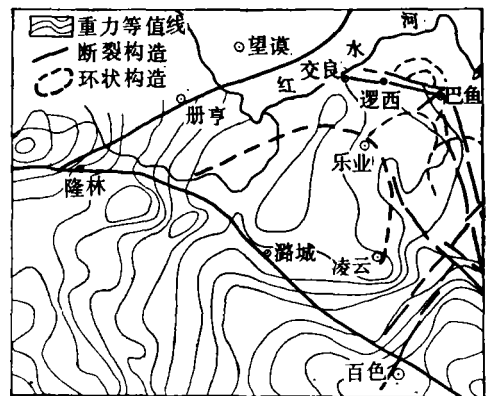


图 3 重力布格异常图(据蒙荃资料编绘)

Fig. 3 Bouguer gravity anomaly map

实\*,其余部分在图像上有清晰的线性形迹显示。对比其两盘,西北盘北东向断裂发育、连续性好,历史震中疏而强度大;东南盘北北西向及北西向断褶带很发育,历史震中密度大而强度小。具备了作为断块边界的条件。构成断块西南界的右江断裂带线性构造影像清晰,两盘线性构造展布方向、震中密度及强度均明显不同,重力梯度变化突然,界限鲜明。东北边界由北西向的罗甸-南丹和北北西向的南丹-金钗两断裂带连接而成,其西南盘北北西向和北西向断裂发育;东北盘以北北东向和北东向断裂占优势,震中疏而强度小,断裂带内侵入岩比较发育,历史震中沿带分布,表明作为边界可以无疑。至于平果-金钗断裂作为东南界的条件,可从其两盘的断裂和历史震中密度的悬殊差异中得到证实,其两端与右江断裂和南丹-百旺断裂的交汇处均发生过5级以上地震更进一步证明其作为断块边界的实在性。这一切都表明凤山断块四周被活动深断裂完全分割,成为独立的构造地质

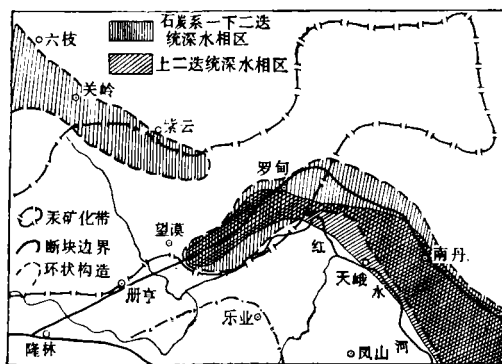


图 4 岩相带及汞矿化带分布图

Fig. 4 The map of lithofacies area and Hg-meltlogenic belt

体。尽管其内部有发达的次级断裂,有以百色-南丹为界,东西两部在断裂密度及震中的密度、强度上的差异,但都属局部或孤立性质,没有显示越出边界与外部深大活动断裂连接的迹象。断块构成一个相对稳定的区域地质构造环境,坝址处于一个大“安全岛”内(图 2)。

## 2. 垭都-紫云发震构造带未延进凤山断块

位于凤山断块西北方向的垭都-紫云活动断裂,越过紫云到凤山断块外围地带,线性形迹变得短而不连续,历史震

中明显减少,表明在新构造活动时期,该断裂带没有显示切过隆林-罗甸断裂的迹象。这是由于自垭都附近开始就受到一系列北东向或北北东断裂的截切和错位,明显表现出向东南方向逐渐削弱的趋势。其地震活跃的西北段终止于距龙滩坝北 170 公里处,远没有与隆林-罗甸断裂带相交接。

已有地质资料也证明,在地质历史中,隆林-罗甸断裂阻扼垭都-紫云断裂向东南方向延伸的现象,不止一次发生过。贵州省第八普查勘探大队五分队区域测绘资料表明:黔南地区的石炭系至下二叠统的黑相区和上二叠统地层相变线及生物礁体的展布证实,晚古生代时期,册亨-罗甸一线已构成东南曲尺形的深海区的边界,与来自水城、紫云方向的另一个条形深海区(相当于如今的垭都-紫云断裂的位置)脱离开。到了古生代末期,水城-紫云深海区完全消失;而东南曲尺形深海区仍保留原貌(图 4)。这一景象生动表明它们处于升降幅度不同的两盘上,水城-紫云深海区随西北盘的相对上升而消失了。贵州汞矿及赋矿空间研究揭示:“汞与地幔关系密切”,“以汞蒸气态沿深断裂导上”,“横置于省界南沿的册亨-荔波断裂,控制了黔西南、黔南的汞矿床、矿点活动。北西向的垭都-紫云断裂看来与汞成矿活动关系不明显。”“汞矿化受构造层的控制,黔西地区(包括黔中)汞矿

\* 罗守成等的报告。

化控制在燕山构造层内”，“全省的震中、热泉及汞矿化，常明显地分布在深断裂的上盘。这一现象说明了压性断裂下盘向下俯冲时，一般导致了上盘岩层的破裂”<sup>\*</sup>。可以推想燕山期不赋矿的东南盘(今凤山断块)就是沉降盘。而今凤山断块的存在，是地质历史的继承性重现事件。从阶地发育程度、高程，以及水田分布所显示的河沟底部堆积作用的差异上看，凤山断块在新构造时期相反地呈上升状态。

由此可见，遥感图像地质构造形迹分析所表明的北东向和北北东向断裂对垭都-紫云断裂的阻截作用，是一种重复性发生的继承性地质现象。新构造运动时期这一断裂带从垭都开始向东南方向就受到一系列北东向和北北东向断裂的截切与错位(图 5)，到其东南端的紫云附近已大为削弱。对于凤山断块来说，它仅构成影响因素。这一现象提高了该断块的内部稳定性。今后在垭都-紫云断裂西北段地震带再发生 6 级左右地震，震波长途被众多的正交断层面消减，对龙滩和岩滩这两个预选电站坝址来说，其烈度应有显著的降低。

### 3. 巴鱼地震高发点是局部构造的产物

纵观凤山断块内部的历史地震震中分布，凤山西北方向上的巴鱼地区显得突出而例外，地震频率和震级都相对较高。其构造背景是处在乐业-潞城半环状构造长轴转折端的外侧。在巴鱼附近，一组北东向断裂阻截了北西向的逻西活动断裂带的东延，也阻挡了北北西向的巴鱼-凤山断褶带的北延，在这里形成一个节点。巴鱼-凤山断褶带的南端又与北西向的巴马断裂带相交，这三个断裂带围绕环状构造外侧构成一条反“S”形断裂带，凤山断块内的震中集中沿此带分布，证明该带有活动性，因而是断块内的不稳定地带。然而该带的两端的线性形迹均逐渐变得模糊不清，表明是断块内部的在区域构造应力和环状构造共同影响下产生的局部构造现象(图版 I 图 1a)。巴鱼地区处于拐弯点上，应力容易在此集中，因而地震频率和震级都较高。震中位置正位于小型环状构造同断裂的交切部位(图 2)。

局部性构造活动引发地震的这一性质，决定巴鱼地区不具备发生大于 6 级地震的条件，其原因：①巴鱼一带小型环状构造、小型断裂很发育，岩体破碎，不利于应力的长期、大量积累，能量被分阶段释放，而表现为中小地震频率都较高。②逻西断裂与右江断裂带同属北西向活动断裂，二者相距不远，在规模上却不能相比。右江断裂带上地震震级超过 6 级的次数很有限，逻西断裂发生的机率应更低。③种种迹象表明：逻西断裂与垭都-紫云发震断裂带是分属于没有直接联系的两个地质构造单元。

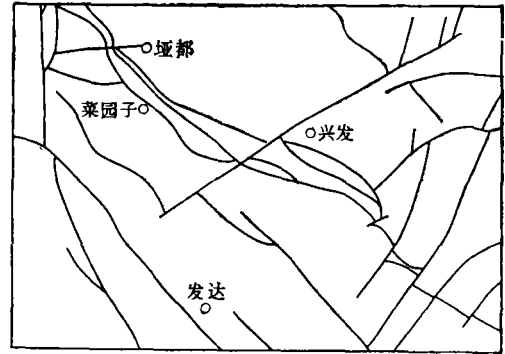


图 5 北东向和北北东向断裂对垭都-紫云断裂西北段的截切  
Fig. 5 Ya Du to Zi Yun fault was cut and offset by NE fault.

\* 向茂木：“论贵州汞矿成因——地幔裂隙喷气成矿”。

#### 4. 中强震震中在凤山断块以外迁移

将截至 1983 年,发生在红水河中游地区的 47 次强度超过 4 级的地震震中位置标在地形图上,按时间序列连出其迁移轨迹,从中看到:它们主要在断块的西南和西北两条边界之外的地区迁移。其中具有来回性质的行迹绝大部分分布在右江断裂带及其以南地区,这应是今后发生 4 级以上地震的机率最大的地区。距拟建高坝的龙滩电站站址有百公里之遥,已不会有明显影响;对于岩滩坝址,由于距离较近,可能有一定影响。

如果不算震中尚未落实的 1875 年  $6\frac{3}{4}$  级地震,凤山断块内仅发生过两次超过 4 级的地震,1983 年的二次地震震中先后发生在巴鱼地区,强度分别为 4.6 级和 4.3 级。今后在这一带再发生强度相当的地震,虽然距龙滩坝址不到 20 公里,但由于没有活动的或大型的断裂通向坝址附近,而且巴鱼与龙滩之间的岩石比较完整,北北西向的褶皱和断裂比较发育,有利于传向坝址区地震波的衰减。

#### 5. 河谷基岩裸露,地质与地形封闭良好

红水河中游河谷深而狭,河床基岩裸露,分水岭是山体宽厚的中低山,一般高出河谷 500 米以上,绝大多数由中三叠统碎屑岩构成,节理、裂隙宽度多不超过 1 厘米,且往往被充填,整个岩层属贫弱含水层\*。水库建成后,不会有大量库水向外渗漏的可能。有一小部分河岸由石炭-二叠系碳酸岩构成,普遍受到褶皱作用,渗透与否情况比较复杂。

龙滩水库库首段,红水河沿达良背斜轴部下切,左岸出露的石炭-二叠系碳酸岩层面外倾,并伴有压性断裂。高坝水库建成后,库水是否顺层渗漏外泄?影像特征显示,同为碳酸岩层褶皱,由于褶皱形式和紧密程度不同,则岩溶地貌类型和发育程度就不一样。箱状背斜(如天峨背斜)顶部平缓,有利于降水沿裂隙下渗,落水洞、溶洞和暗河都发育,没有明显的山脊和山谷系统,齐顶峰丛林立,溶蚀小洼地遍布,呈现为花生壳状影纹,表明地下水系发育,易导致跨流域的溶洞导流;而达良和鱼翁这两个顶部为脊状的背斜,降水易沿两翼陡峻的坡面向下排泄,受冲刷的坡面发育有主次分明的沟谷系统,岩溶地貌不典型,卫星图像上所显示的山形水势同中三叠统碎屑岩区相似,而与箱状背斜大不相同,完整而连续的树枝状水系,反衬出地下水系的不发育(图版 I 图 1b)。地下水以裂隙潜水形式埋藏于风化壳和残坡积层中,埋藏深度为几米到十几米,沿坡向下补给河沟\*。这些都说明两类背斜各具自身的水文地质条件,分属不同的地表、地下水的循环单元。鱼翁背斜的地下水注入穿洞河,尽管该河有一段呈暗河,但随后即重新流出地面,越过坡结向斜轴部,汇入未来的库区。因而当龙滩水库建成后,不会出现大量库水沿岩溶地下通道外泄的现象;岩滩坝址两岸的碳酸岩区呈现为花生壳状影纹,见不到明显的地表水系,可据此判定属于箱状背斜类型,会有较发达的岩溶地下水系存在,需要具体研究,探求防止地下渗漏的对策。

## 四、结 语

1. 遥感图像判读结果表明,红水河中游地区位于一个边界完整的凤山断块内。在新

\* 广西壮族自治区地质局,乐业幅(1:20 万)区域地质调查报告。

构造运动时期,该断块具有相对稳定的地质构造背景。

2. 凤山断块规模大,龙滩和岩滩两个电站水库的水体均在同一断块内,对水库的安全有利。但水库满蓄后库容量大,断块上陡增成百亿吨压力,是否导致构成边界的活动断裂带的应力状况而诱发地震,是应该注意的。

3. 北西向的垭都-紫云断裂带自西北向东南被削弱,没有直接与隆林-罗甸断裂交接该断裂带的发震部分系关岭以西的西北段,距两个预选坝址很远,不能构成明显威胁。右江活动断裂带上的发震部位在百色以东的东南段,最大震级可达 6 级左右,震中距龙滩坝址已超过 100 公里,不具备破坏性影响。而对于岩滩坝址则距离较近,有一定影响。

4. 凤山断块内的逻西活动断裂带是处在环状构造转折端外侧的相对孤立的构造带。巴鱼地震区虽处于构造节点上,但由于规模小,地震频率又较高,应力可以分阶段释放,不具备应力积累酿成强震的条件。

5. 龙滩和岩滩两个预选坝址周围 8 公里范围内没有大型或活动断裂通过。龙滩坝址没有两组以上断裂在此交叉,也无发生地震的记载,稳定性良好;岩滩坝址附近有两组小型断裂交汇点,在历史上附近有弱震发生,地质构造稳定性要差些。

## Image Analysis of Stability of Geological Structure in Middle Valley of Hong Shui River

Lin Hengzhang

(Inst. of Remote Sensing Appli, Academia Sinica)

### Abstract

In middle reaches of Hong Shui River, the basic structural net is constituted by the junctions of NW and NE faults. In neotectonic movement period, the region around power station became a relatively independent active body due to segmental relieve of the NW, NE faults and Feng San fault block.

The results from analysis of R. S. information combining with lithofacies-paleo-geographic map and distribution of Hg mineralization show, that the Ya Du to Zi Yun deep-large fault (NW) was not included into the Feng San fault block in the neotectonic movement.

Ba Yu region is 15 to 20 km distance wide from long Tan power station in fault block inside. Luo Xi active fault runs throughout this region, and the lighter earthquake is 4.6 level in recent period. This is a special region in the fault block inside which was located at a turn forward position of structural major axis of Le Ye large ring structures, the structural stress possibility concentrated at this area.

Earthquake centers had closed relationship with the junctions of small ring faults. But this area is a relatively separate one, the small earthquake appears frequently, the structural stress can be easy released, so there is no possibility to make a strong earthquake. This area has a good structural stability. But it must be careful pay more attention to the earthquakes from reservoir stress.

**Key words** Fault block Large ring structures Reversal S-shaped



(a)经光学处理后再进行  
 彩色合成的MSS图像

(b)MSS4.5.7.  
 彩色合成负像的黑白显示



图1 MSS图像

1. 达良背斜 2. 鱼翁背斜 3. 天峨背斜 4. 龙滩坝址 5. 逻西断裂  
 6. 乐业环状构造 7. 罗甸弧形构造 8. 右江断裂 9. 巴马断裂