

鄂西清江中游半峡背斜变形结构 及其工程意义*

吴树仁^① 徐瑞春^② 梅应堂^② 简文星^③ 刘志忠^③

摘要 本文在概要介绍湖北西部清江中游大型水利枢纽水布垭、半峡两比选坝址场区地质背景的基础上,从几何要素、层间褶皱、轴面劈理和派生断层等方面解析半峡背斜的变形结构特征,进而探讨半峡背斜形成发展过程及其对两坝址工程地质条件的影响。为两坝址工程地质条件对比分析开拓新思路。

关键词 清江中游 半峡背斜 变形结构 工程意义

清江是湖北西部最大的长江支流,全长400多公里。半峡背斜是清江中游的主体构造形迹,控制清江中游大型水利枢纽工程——水布垭和半峡两比选坝址附近的基本构造格局,两比选坝址相距约10km,分别位于半峡背斜两翼(图1),故有半斜背斜一肩挑两坝址之说。因此,半峡背斜变形结构研究是两坝址场区构造解析的主要组成部分^④,具有十分重要的工程意义。

1 区域地质背景

清江中游位于湖北西部新华夏构造体系和EW向构造带的复合转换部位,受其联合控制,区域构造线以NNE向为主。主要褶皱轴多表现为弧形弯曲,即从EW向转变为NNE向,其中以长阳—半峡弧形复式背斜最为典型(图1)。该背斜长阳段为EW向,控制清江中下游的主要构造线方向;半峡段为NNE—NE向,控制清江中游及水布垭水利枢纽近场区构造线方向,是区域上新华夏联合弧形构造带的重要组成部分^[1]。半峡复背斜从西向东分别由白果园向斜、三友坪向斜、半峡背斜、渔峡口向斜、黑炭沟背斜等组成。以半峡背斜为主体,其它属次级褶皱。总体组合特征是背斜较紧闭,向斜较平缓开阔,构成隔档式褶皱组合。半峡背斜核部由中上寒武统灰岩组成,两翼分布有奥陶系灰岩和志留系页岩。次级背斜核部多为志留系页岩和泥盆系砂岩组成,次级向斜核部多由二叠系—三叠系灰岩组成。与半峡复式背斜相伴生的断层构成NNE向区域性断层组,其中渔峡口—黑炭河断层、龙王冲断层、杨柳池断层规模较大,深切基底,属于基底断层(图1)。

* 本文为国家自然科学基金资助项目和长江水利委员会资助项目的部分成果。

① 中国地质科学院地质力学研究所,北京;②长江水利委员会三峡勘测研究院,宜昌;③中国地质大学,武汉。

④ 吴树仁、简文星等,清江中游水布垭/半峡水利枢纽两坝址构造研究,科研报告。中国地质大学(武汉),1994。

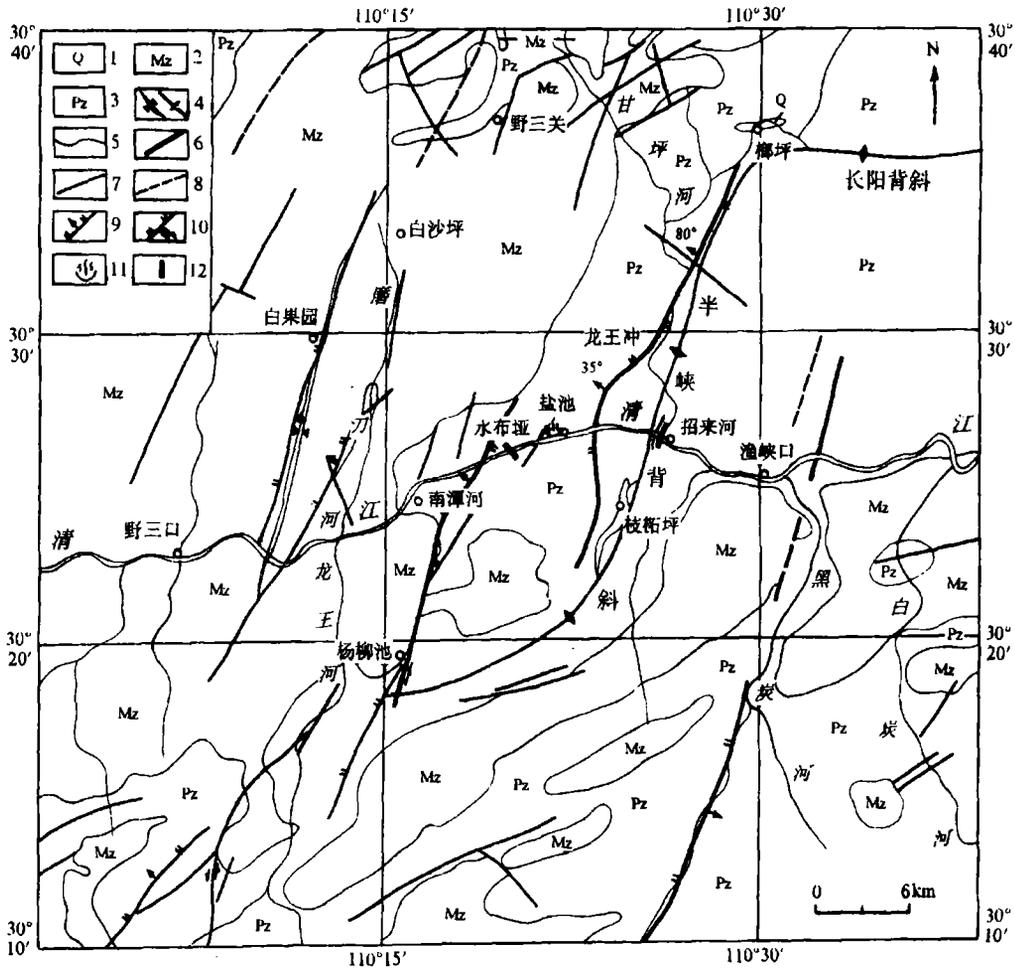


图1 清江中游区域构造简图(据湖北地震局资料改编)

Fig.1 Sketch map of regional structures in the middle reach of Qingjiang river

1. 第四系; 2. 中生界; 3. 古生界; 4. 主要背斜和向斜; 5. 地质界线; 6. 基底断层;
7. 一般断层; 8. 推测断层; 9. 正断层; 10. 逆断层; 11. 温泉; 12. 比选坝址

2 半峡背斜变形结构

变形结构有空间、平面和剖面结构之分^[2],这里重点解析半峡背斜的剖面变形结构。根据不同区段构造剖面分析(图2),半峡背斜具有下列变形特征:

2.1 产状要素

半峡背斜轴向 NNE20°左右,局部变化为 40°,枢纽产状 20°∠10°,轴面产状 295°∠60°。两翼地层不对称,西翼地层产状平缓,倾角 10°—35°,东翼产状变化较大,近核部地层直立、倒转,倾角 60°—90°,远离核部地层产状恢复正常,倾角逐渐平缓。

2.2 层间褶皱

半峡核部次级“M”型小褶皱较发育,这些小褶皱东翼倒转(图2b),表现为同斜紧闭压扁

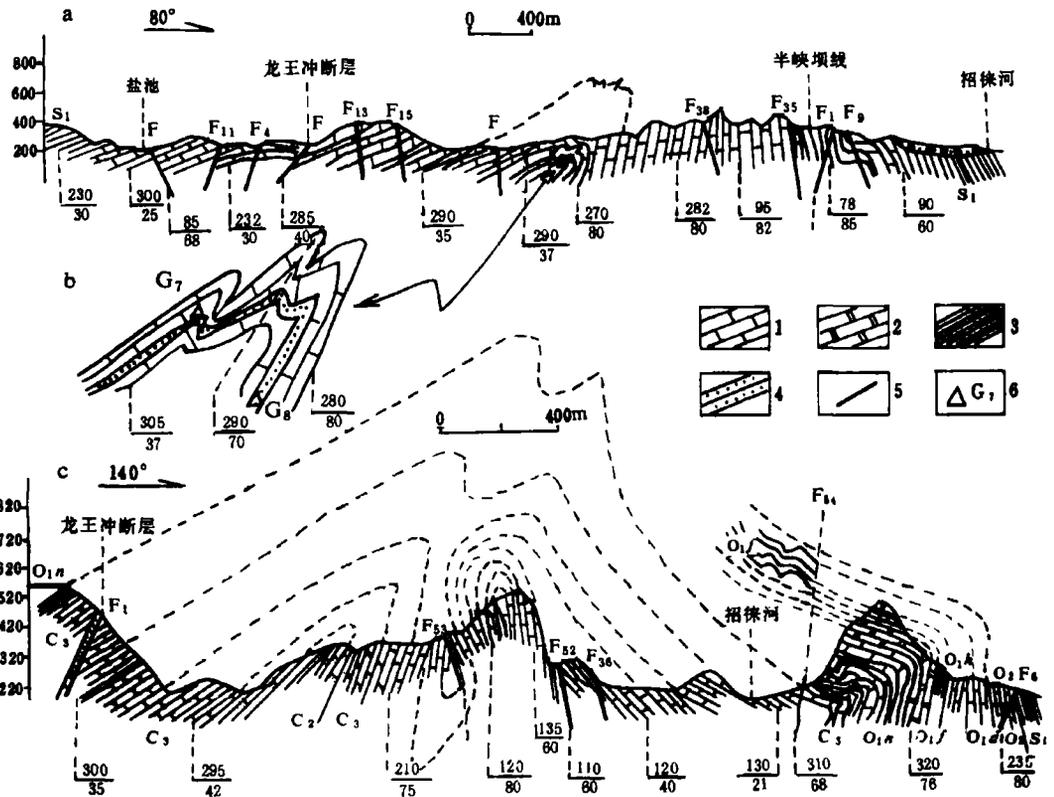


图2 半峡背斜联合剖面图

Fig. 2 Sections of the Banxia anticline

a. 清江半峡河段剖面; b. 半峡背斜核部“M”型褶皱素描图; c. 招徕河剖面

1. 灰岩; 2. 白云岩; 3. 页岩; 4. 砂岩; 5. 断层; 6. 样品编号

褶皱,其枢纽和轴面产状代表半峡背斜的产状,由其计算,半峡背斜核部缩短应变为 52—60%。半峡背斜两翼发育次级层间褶皱。根据层间褶皱的几何形态特征,可分为两类:其一是发育在页岩和薄层泥灰岩等相对较软弱岩层中的层间褶皱。这种褶皱形态紧闭,缩短应变达 50—60%,但没发育轴面劈理,表明其塑性流变特性。轴面与层面夹角很小,指示上层面上滑(图 3a),局部层间揉褶轴面近于平行层间。这种层间褶皱在半峡背斜产状陡的倒转翼(即东翼)明显比产状平缓的西翼更发育,尤其是在半峡坝区附近更常见。这说明,紧闭层间揉褶的形成,既与层间相对剪切滑动相关,也与褶皱压扁程度相关;其二是发育在中厚层灰岩中的层间褶皱。这种褶皱形态较开阔,缩短应变约为 20%左右,轴面与层面锐夹角较大(图 3b)。如果相对硬质灰岩层底部有页岩滑动面,则其次级褶皱可涉及多层岩层。例如三友坪(即水布垭)向斜就是借助于志留系页岩滑动面所形成的宽缓开阔向斜。

2.3 轴面劈理

半峡背斜在压扁和层间剪切滑动过程中,在褶皱的不同部位形成大量的轴面劈理和层间劈理。在背斜核部,轴面劈理与层面近于垂直,劈理产状近似平行轴面;而在翼部劈理与层面锐交角指示上层面上滑。在岩性软弱的页岩中,层间劈理与层面交角较小,且劈理密度大,间隔小,最大密度达 1 条/1.2cm(图 4a);而在岩性相对较坚硬的岩层中,劈理与层面锐交角相对较大,劈理间隔也较大;密度较稀。于是在弱硬相间岩层中形成所谓劈理折射现象(图 4b),由不

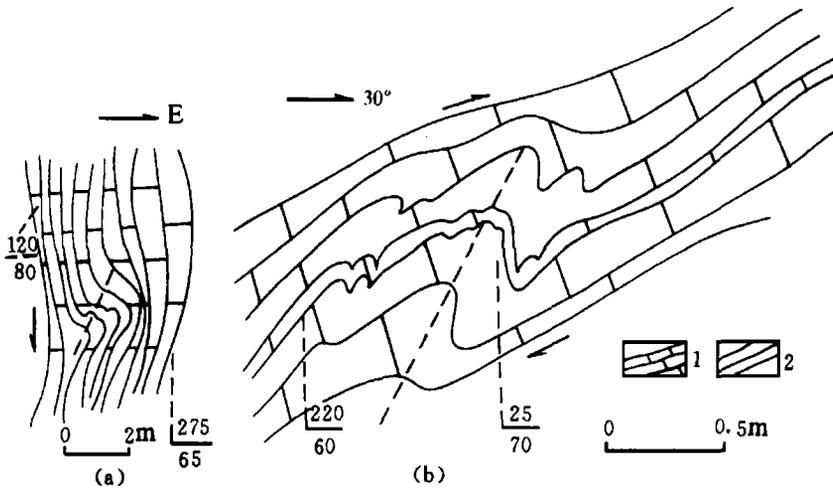


图3 半峡背斜层间褶皱素描图

Fig. 3 Sketch map of the interformational folds in the Banxia anticline

a. 招徕河子坝左岸大湾组泥页岩夹层中的小褶皱; b. 招徕河左岸400m线南津关组灰岩中的层间褶皱
1. 灰岩; 2. 页岩

同部位劈理折射现象组合构成褶皱的正扇形和反扇形劈理。半峡背斜东翼产状陡,岩层倒转,层间劈理极其发育,尤其是在奥陶系页岩和泥灰岩中劈理几乎置换层理(图4a)。这种劈理的置换作用是褶皱强烈压扁、剪切滑动作用的结果。相反在半峡背斜的西翼,岩层产状平缓,层间劈理仅在软弱夹层的局部地段发育,其密度低。这说明半峡背斜两翼变形不均匀,变形能的释放途径有差异。东翼主要是在压扁、挠曲、倒转过程中通过层间强烈剪切滑动形成层间褶皱和劈理;西翼则主要是通过伴生断裂作用,形成龙王冲、杨柳池断层来释放能量。劈理的微观构造研究揭示,宏观上的劈理域,在微观上则由几个微劈域带夹微劈石组成,微劈域多为难溶的沥青质、粘土质残留物,呈间断状弧形曲线分布,局部宽窄变化不一。其微劈石则主要由出溶的方解石颗粒组成,在微观尺度上,微劈域也具有较好的等距性(图4c),可见,劈理域不是一条简单的剪切破裂面(破劈理),而是由多条不同尺度的,有规律分布的压溶或剪溶域所组成。这表明劈理的形成与压溶和剪溶作用密切相关^[2]。

2.4 派生断裂和挠曲

半峡背斜在形成发展过程中,其核部派生有许多纵张断裂和节理,这些断裂规模不大,多延伸一段后便顺层消失。在背斜东翼倒转和正常岩层之间形成挠曲背斜和向斜(图2a、c)。这种挠曲褶皱的转折部位地层平缓弯曲,断层少且规模小,岩体完整性好,是侏罗山式顺基底滑脱褶皱的重要特征之一^[1]。在半峡背斜的持续变形过程中,诱发盖层物质顺基底面从东向西滑脱^[3],进而加剧了半峡背斜的压扁作用。背斜深层内核强烈压扁的同时,外层核部相应向两翼扩展。为了调整这种内、外核变形差异作用,在东翼形成挠曲褶皱,西翼则形成龙王冲断层(图5)。

2.5 半峡背斜剖面变形结构及其应变分析

综合上述各种变形特征,便可建立半峡背斜剖面变形结构图解(图5)。其总体特征是背斜两翼不对称,内核的压扁“M”型褶皱与外核的纵张断裂并存,西翼的龙王冲断层与东翼的挠曲褶皱并存。背斜不同部位变形样式存在明显差异,但根据应变测量结果分析,这些部位的应变椭圆是相互协调的,与纵弯褶皱作用的应变模式基本相似。在背斜内核,由“M”型小褶皱计算

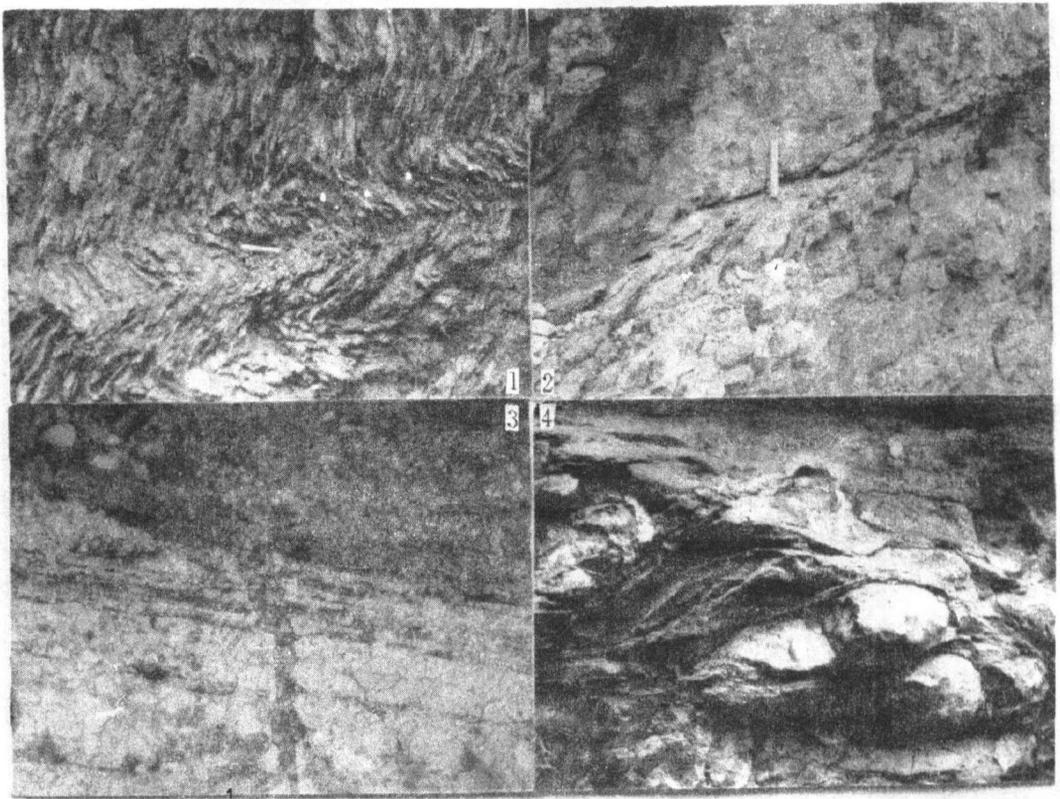


图 4 半峡背斜微构造组合图

Fig. 4 The microstructures of the Banxia anticline

- a. 半峡背斜东翼泥灰岩中的劈理, 箭头指示层面; b. 半峡背斜东翼泥灰岩中的劈理折射, 镜头向南;
 c. 劈理的微观特征, 单偏光, 长边=2.7mm; d. 水布垭坝址软弱夹层剪切变形及其透镜化, 镜头向西

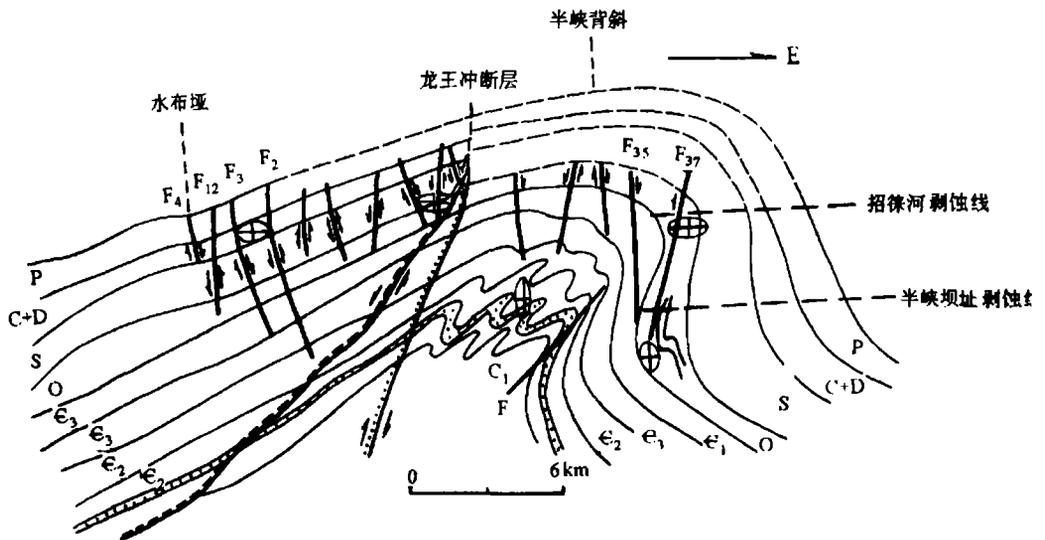


图 5 半峡背斜剖面结构图解

Fig. 5 Diagram of the sectional texture of the Banxia anticline

的垂直轴面方向的线应变 $\epsilon = -0.51 \sim -0.60$, 即褶皱压扁量大于 50%, 各褶皱层内不存在中和面, 因而形成轴面劈理和翼部地层产状变陡。在背斜东翼半峡坝址附近, 依据小褶皱测量近 EW 方向的线应变 $\epsilon = -0.20 \sim -0.30$, 而在招徕河剖面挠曲背斜的核部地段(图 2c), 由张性方解石脉所计算的 EW 向线应变 $\epsilon = 0.30 \sim 0.41$, 其应变图解见图 5 所示应变椭圆。在西翼由龙王冲断层带张性方解脉计算近 EW 向线应变 $\epsilon = 0.33 \sim 0.55$, 而在水布垭由地堑式小断层和方解石脉计算的线应变 $\epsilon = 0.25$ (图 5)。综上所述, 半峡背斜不同部位构造形迹的变形样式和规模存在差异, 但它们都属于褶皱过程中不同阶段的变形结果, 没有更复杂的构造背景。

3 半峡背斜的形成发展过程及其工程意义

3.1 形成发展过程概述

长阳一半峡复背斜是清江流域主要构造形迹之一, 影响范围广, 构造变形复杂, 伴生褶皱断层的规模也较大。结合区域构造变形和区域构造应力场分析, 半峡背斜定型于燕山主期^[3], 燕山运动早期, 受区域性 SN 向挤压作用, 长阳复背斜开始形成, 在燕山主期, 随着 SN 向挤压和盖层褶皱作用的发展, 诱发盖层物质顺基底构造斜坡面从东南向西北滑脱挤压^[1]。这种滑脱挤压与区域性 SN 向挤压相迭加, 形成长阳一半峡弧形复背斜和一系列近于平行的弧形褶皱带。盖层滑脱挤压作用的最直观结果是形成半峡背斜核部次级褶皱和东翼挠曲褶皱, 以及西翼的龙王冲逆冲断层(图 5)。随着滑脱挤压作用的持续发展, 半峡背斜压扁作用加强, 内核次级“M”型小褶皱被压扁倒转(图 2b), 外核派生纵张断裂。两翼则受压扁和层间剪切作用的双重控制, 形成规模不同的次级褶皱、层间劈理和断层。在燕山晚期, 区域构造应力以近 EW 向引张作用为主, 形成龙王冲断层的伸展滑脱构造和半峡背斜核部纵张断层的进一步扩展。自喜马拉雅主期以来, 半峡背斜的变形结构变化不大, 新构造时期差异性活动不明显。

3.2 工程地质意义

半峡背斜的不对称变形结构是确定半峡比选坝址的重要条件之一。如果背斜两翼对称, 即东翼岩层向东缓倾角倾向清江下游, 则不可能在东翼选择拟建高达 200 多米的重力坝。由于东翼近核部地层直立倒转倾向上游(图 5), 其变形以挠曲褶皱为主, 断层极少, 岩体为下奥陶系厚层白云质灰岩, 强度高, 是拟建重力坝的良好坝址。但是, 半峡背斜核部纵张断层较发育, 控制岩溶分布, 可能使库水通过河间地块流向招徕河而漏掉(图 1), 这是半峡比选坝址最重要的工程地质问题之一。由此可见, 半峡坝址的主要工程地质条件和问题均与半峡背斜的变形结构相关。水布垭坝址位于半峡背斜西翼, 岩层产状正常, 即缓倾角倾向清江上游, 主要分布二叠系中厚层灰岩夹中薄层泥灰岩。受半峡背斜持续递进变形控制, 多次层间剪切作用使泥灰岩中的软弱物质泥化、叶理化, 并发生揉褶; 而相对坚硬的结核和团块则发生旋转、圆化和压扁, 形成枕状、透镜状组合(图 4d)。褶皱过程中的多次层间剪切滑动, 使软弱夹层在成岩过程中所形成的各纹层之间的粘聚力逐渐丧失, 从而降低了岩体的抗压强度和抗剪强度, 严重影响岩体质量, 是水布垭比选坝址最严重的工程地质问题。由于这些软弱夹层产状缓、分布广, 不可能彻底根除, 从而决定了水布垭坝址不宜修建重力坝, 只能拟建堆石坝, 以降低软弱夹层的不良影响。

4 主要结论和认识

(1) 半峡背斜是清江中游的主干构造形迹, 是控制水布垭水利枢纽两比选坝址场区地质构造背景和工程地质条件的重要因素之一;

(2) 半峡背斜的不对称变形结构定型于燕山主期,经燕山晚期的变形改造而完善,这种不对称变形结构的形成是褶皱变形不均匀的重要表现;

(3) 半峡背斜不对称变形结构对水布垭水利枢纽两比选坝址的影响有利也有弊:对半峡坝址而言是利大于弊,对水布垭坝址而言是利弊相当,因此,根据构造变形分析,半峡坝址更适合于修建重力拱坝;

(4) 目前,水布垭和半峡两坝址已进入最后比选的决赛阶段,无论最终坝址选在何处,都应该深入分析半峡背斜不对称变形结构所产生的有利条件和不良影响,希望本文的讨论对此有所裨益。

参 考 文 献

- 1 吴树仁著,清江流域地壳稳定性工程地质研究。武汉:中国地质大学出版社,1995。
- 2 J E Holl and D J Anastasio, Cleavage development within a foreland fold and thrust, southern Pyreneess, Spain. J. Struct. Geol, 1995(3):357—369.
- 3 吴树仁、陈庆宜、梅应堂等,鄂西清江流域中新生代区域构造应力场研究。地球学报,1995(2):135—151。

THE DEFORMATIONAL TEXTURE OF THE BANXIA ANTICLINE AND ITS BEARING ON ENGINEERING GEOLOGY OF MIDDLE QINGJIANG RIVER IN WESTERN HUBEI

Wu Shuren

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Xu Ruichun Mei Yingtang

(*Survey Institute of Three Gorges, the Yangtze River Water Conservancy Commission, Yichang*)

Jian Wenxing Liu Zhizhong

(*China University of Geosciences, Wuhan*)

Abstract After a brief description of the geological settings of the two dam sites located respectively in Shuibuya and Banxia in the middle reaches of the Qingjiang river of western Hubei province, an analysis of the deformational textures of the Banxia anticline was made in terms of its characteristic geometry, intraformational fold, axial plane cleavage and secondary fault. The texture was formed and developed in the major phase of Yanshanian movement. The major engineering geological conditions of these two dam sites sitting on opposite limbs of the anticline are controlled by its deformational texture.

Key words The middle reaches of Qingjiang river, Banxia anticline, Deformational texture, Engineering significance

第 一 作 者 简 介

吴树仁,男,40岁,副教授,博士后。主要从事地质力学、区域工程地质学和构造地质学等方面的研究。通讯地址:北京海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081。