

# 金沙江溪洛渡地区叠加褶皱及工程地质意义

吴德超

(成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**金沙江溪洛渡地区古-中生代沉积地层中发育复杂的褶皱构造,它们是喜马拉雅运动期间经 3 期褶皱叠加而成,其叠加方式主要有跨褶、移褶、限褶、重褶等。大比例尺填图及构造解析表明,区内第 3 期褶皱——箐口复式背斜形成地下分水岭,构成了金沙江溪洛渡水电站库首至下游可能渗漏路径上的挡水墙,岩溶管道式渗漏不会发生。区内第 3 期褶皱的首次厘定及研究,对溪洛渡巨型水电站库首渗漏研究具有极为重要的意义。

**关键词:**褶皱构造;叠加褶皱;金沙江;溪洛渡水电站;水库渗漏

**中图分类号:** P542.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3657(2003)04-0352-05

拟建的溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县接壤的金沙江峡谷地段,设计坝高 295 m,装机容量 1440 万 kW,建成后将是仅次于三峡水电站的大型水电工程。

研究区位于扬子地台西南缘,出露地层主要为除泥盆系、石炭系外的古-中生界,上元古界发育震旦系灯影组中下段,新生界不发育。除峨眉山玄武岩外,其余均为沉积地层。灯影组为白云岩、硅质灰岩及磷块岩,厚度较大(>1000 m),但分布局限,不具区域透水性;寒武系以碎屑岩为主,夹碳酸盐岩,奥陶系以碳酸盐岩与碎屑岩互层为特征,也不具区域透水性;志留系厚达 600 余米,主要为泥质岩,构成区域性隔水层;下二叠统除梁山组外,栖霞组、茅口组厚度大(460~660 m),分布广,岩溶发育,为区域性透水性,且位于水库蓄水位附近,对水电站水库渗漏具一定影响;上二叠统峨眉山玄武岩,厚度大(400~500 m),强度高,金沙江溪洛渡水电站坝址便位于其上;中生界虽有大量透水性岩石,但它们主要分布于水库蓄水位以上,对工程影响不大。

溪洛渡地区东、西分别由翼子坝断裂( $F_2$ )和马颈子断裂( $F_1$ ),南、北分别由黄泥坡背斜及城墙岩背斜构成一菱形块体,除边界断裂具一定活动性外,块体内部稳定,以褶皱为主,断层不发育,总体变形微弱,对水电站而言,具有“安全岛”作用。

大比例尺地质填图及构造解析表明,研究区喜马拉雅运动期间该区发生过 3 幕构造变形,相应地形成 3 期褶皱,经褶皱叠加,形成了本区复杂的构造格局(图 1),笔者深入研

究了区内各期褶皱构造特征、叠加模式及工程意义。

## 1 各期褶皱几何特征

测区第 1 期褶皱呈 NE—NEE 向平行排列,可分两类,一组呈线状展布,延伸长度较大,如城墙岩背斜(4)、雷波—永善向斜(10)、黄泥坡背斜(11)等,长度均达 40 km 以上。背斜较紧闭,向斜相对平缓开阔。另一组为短轴褶皱,枢纽向 NE 倾伏,如锦屏山向斜(5)、那里沟背斜(6)、马鞍山向斜(7)、石板滩背斜(9)等,它们呈裙边状排列。第 1 期褶皱多不对称,北西翼较缓,南东翼较陡。

第 2 期褶皱主要为 3 个南北向的复式褶皱,即西部的山棱岗—上田坝南北向复式背斜,其中由(12)~(19)号褶皱组成一系列紧闭背、向斜,紧邻马颈子断裂( $F_1$ )的褶皱被前者破坏。测区东部发育南北向的长坪—芭蕉滩背斜(21),其轴线蜿蜒曲折,芭蕉滩及黄龙滩地区发育梅花状穹隆,长坪一带发育鼻状背斜,显然它们是后期褶皱叠加改造所致,褶皱东翼被翼子坝断裂( $F_2$ )破坏。测区中部发育的南北向宽缓向斜,但因后期褶皱叠加而不显,仅马湖向斜(20)保存较好。第 2 期褶皱总体上呈向斜开阔、背斜紧闭的隔档式褶皱。

第 3 期褶皱呈 NNW 向延伸,主要分布在测区东、西部,由于形成较晚,多横跨东北向早期褶皱,或多被早期褶皱限制,核桃坪向斜(28)及箐口背斜(29)规模较大外,其余规模均较小。第 3 期褶皱多呈箕状、鼻状或短轴状,褶皱大多开阔对称。

收稿日期:2002-03-20;改回日期:2003-06-23

作者简介:吴德超,男,1955 年生,副教授,主要从事区域地质调查及构造研究;E-mail:wdc736@163.com。

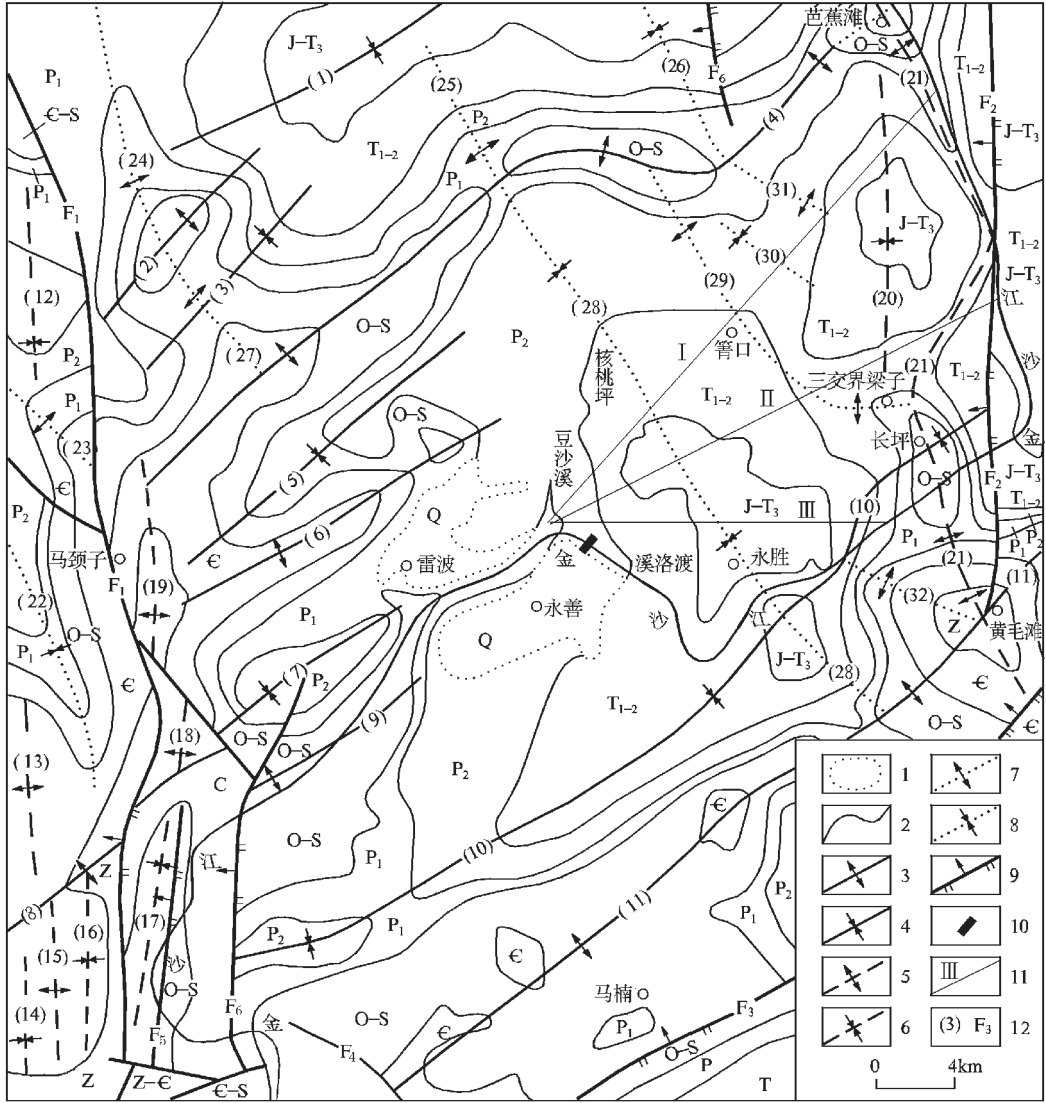


图 1 金沙江溪洛渡地区构造纲要图

1—第四系界线;2—地质界线;3~4—喜马拉雅一期背、向斜;5~6—喜马拉雅二期背、向斜;7~8—喜马拉雅三期背、向斜;  
 9—断层;10—水电站坝址区;11—水库渗漏路径;12—褶皱及断层;I—豆沙溪—下河坝;II—豆沙溪—撒水坝;  
 III—豆沙溪—新滩;Q—第四系;J—T<sub>3</sub>—侏罗系—上三叠统;T<sub>1-2</sub>—中—下三叠统;P<sub>2</sub>—上二叠统;P<sub>1</sub>—下二叠统;  
 O—S—奥陶—志留系;ε—寒武系;Z—震旦系

Fig. 1 Structural outline map of the Xiluodu area along the Jinsha River

1—Quaternary boundary;2—Geological boundary;3~4—First-phase anticlines and synclines of the Himalayan period and their numbers;5~6—Second-phase anticlines and synclines of the Himalayan period and their numbers;  
 7~8—Third-phase anticlines and synclines of the Himalayan period and their numbers;9—Fault and its number;  
 10—Dam site of hydropower station;11—Leakage path of reservoir and number;12—Fold and fault number;  
 I—Doushaxi—Xiaheba;II—Doushaxi—Sashuiba;III—Doshaxi—Xingtang;Q—Quaternary;J—T<sub>3</sub>—Jurassic—Upper Triassic;  
 T<sub>1-2</sub>—Middle—Lower Triassic;P<sub>2</sub>—Upper Permian;P<sub>1</sub>—Lower Permian;O—S—Ordovician—Silurian;ε—Cambrian;Z—Sinian

## 2 溪洛渡地区叠加褶皱基本类型

### 2.1 沉积岩区叠加褶皱基本类型

叠加褶皱不仅是变质岩区, 而且也是沉积岩区常见的

构造现象。变质岩区通常发育多期面理及线理, 叠加褶皱易于发现, 且普遍受到了人们的重视<sup>[1-4]</sup>。而在沉积岩区一般缺乏面理和线理, 地层产状相对较缓, 叠加褶皱常被忽视, 很多叠加褶皱被描述为简单弯曲, 实际上沉积岩地区叠加褶皱是

十分普遍的<sup>[5,6]</sup>。溪洛渡地区叠加褶皱可为典型实例。

变质岩区和沉积岩区发育的叠加褶皱既有共性但又有一定的差异。前者由于变动时间长,构造层次深,构造、岩浆及变质作用影响较大,无论是前期褶皱,还是后期褶皱,倒转、同斜、平卧等几何样式常见,其干扰型式常见穹—盆型、蘑菇型及新月型翻卷褶皱等。沉积岩区由于构造层次较浅,有较大的失稳空间,即使是经过2、3期褶皱叠加也不易形成平卧、翻卷等形态,而多以正常褶皱为主,其干扰型式也相对简单,如穹—盆型、梅花型、蛇型、W(U)型等,其叠加方式主要有跨褶、移褶、重褶及限制等<sup>[7]</sup>(图2)。

## 2.2 溪洛渡地区叠加褶皱类型

**跨褶:**跨褶是由晚期轴面直立,枢纽水平的褶皱跨越叠加在早期褶皱之上而形成的,类似于Ramsay分类方案中的I型,根据早晚两期褶皱轴向之夹角可分为直跨和斜跨。跨褶常形成穹隆(或梅花状构造)、坳陷(构造盆地)及鞍状构造相间排列的干扰型式。

溪洛渡地区的跨褶,尤其是斜跨较发育,喜山运动第1期产生了北东向褶皱,喜山运动第2期在本区产生一系列南北向褶皱,它们斜向跨越在早期北东向褶皱之上,叠加部位主要在北东向褶皱的宽缓段,典型的干扰表现在东部,城墙岩背斜(4)与长坪—芭蕉滩背斜(21)叠加形成芭蕉滩穹隆,黄泥坡背斜(11)与长坪—芭蕉滩背斜叠加形成黄毛坝穹隆,其间形成马湖向斜(盆地)。

**移褶:**移褶又称迁移型叠加褶皱<sup>①</sup>,此类叠加褶皱发生在早期褶皱为中等强度情况下。两期褶皱叠加后,早期褶皱呈弯曲或反复弯曲状,晚期褶皱在早期褶皱两侧呈反对称分布,即一侧背斜对另一侧向斜,一侧向斜对另一侧背斜,两者枢纽在扬起端相连,造成异性褶皱沿走向相接的特殊现象(图2)。

本区城墙岩背斜(4)及两侧的褶皱正是移褶形成的。城墙岩背斜南东翼的核桃坪向斜(28)与其北西翼的铜厂沟背斜(25)对应(相连),尤家山背斜(31)与双河口向斜(26)相连(对应)。

**重褶:**重褶是倒转或同斜褶皱再褶皱时,其枢纽、轴面、两翼岩层均一致地发生弯曲,与移褶不同的是,晚期褶皱在早期褶皱两侧为正性对应关系,即背斜对背形、向斜对向形。

**限褶:**当早期褶皱较宽缓,而晚期褶皱又不很强的情况下,往往在早期褶皱宽缓发育叠加褶皱,但不跨过其轴部,此类情况常叫限制性叠加褶皱(图2)。根据早晚两期褶皱轴的角度可分为直交、斜交限制等多种干扰图像。

区内限褶较发育,典型者如乐都背斜(24)被南木坪背斜(2)限制。箐口背斜具有复杂情况,北西段具移褶性质,南东段(三交界梁子)具有限褶成分。

据以上多种叠加关系分析可知,溪洛渡地区首先形成北东向褶皱,第2期褶皱主要表现为对北东向褶皱的斜跨,限褶

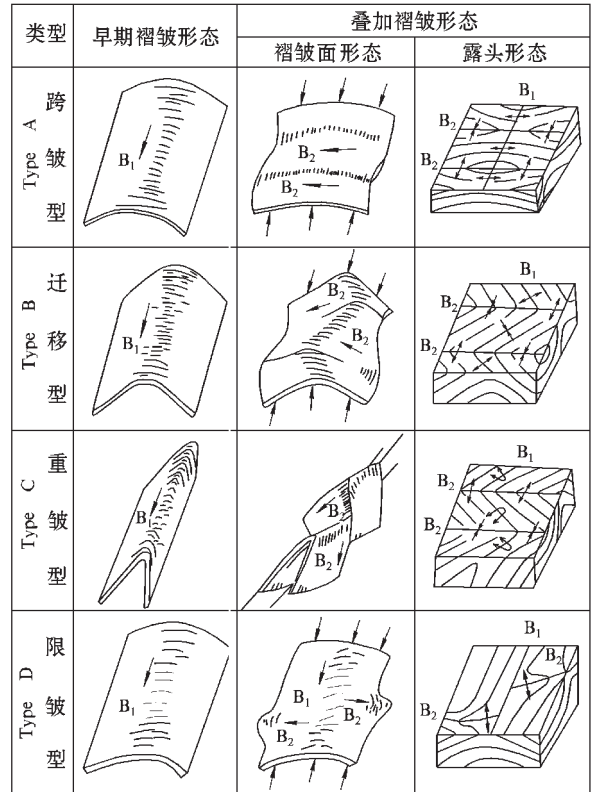


图2 沉积岩区叠加褶皱主要类型(据杜思清<sup>②</sup>补充,1996)

B<sub>1</sub>—第一期褶皱轴迹;B<sub>2</sub>—第二期褶皱轴迹

Fig. 2 Major types of superposed folds in the sedimentary area (after Du Siqing, 1996 with some supplements)

B<sub>1</sub>—the first period fold axial trace; B<sub>2</sub>—the second period fold axial trace

及部分重褶,第3期褶皱主要为北北西向移褶及限褶等。

## 3 叠加褶皱在溪洛渡水电站可能渗径区的工程地质意义

### 3.1 工程区渗漏路径

溪洛渡水电站库首段豆沙溪沟口有阳新组灰岩出露,并在610m蓄水位高程以下岸坡内溶洞发育,而在金沙江下游下河坝、撒水坝及新滩也有阳新组灰岩及泉点出露。因此,从库首豆沙溪沟口至下河坝,撒水坝,新滩之间的阳新灰岩中就可能存在岩溶管道式渗漏路径(图1中的I、II、III),这是溪洛渡工程中必须查明的一个重大问题。虽然根据已有研究成果,阳新组灰岩中的岩溶现象并不是很发育,长距离、大规模的岩溶渗漏可能性不大,但对世界级巨型工程必须做到万无一失,因此,从构造角度来研究可能的渗漏问题具有十分重要的实际意义。从库首至新滩的渗漏因不存在断层和古岩溶而被否定<sup>②</sup>,本文重点研究库首至下河坝、撒水坝渗漏的可能性。

① 电力部成都勘测设计研究院,金沙江溪洛渡水电站可行性研究报告,1996。

② 梁杏,韩庆之,曾克峰,等.金沙江溪洛渡水电站库首下二叠统灰岩向金沙江下游渗漏可能性研究报告,1997。

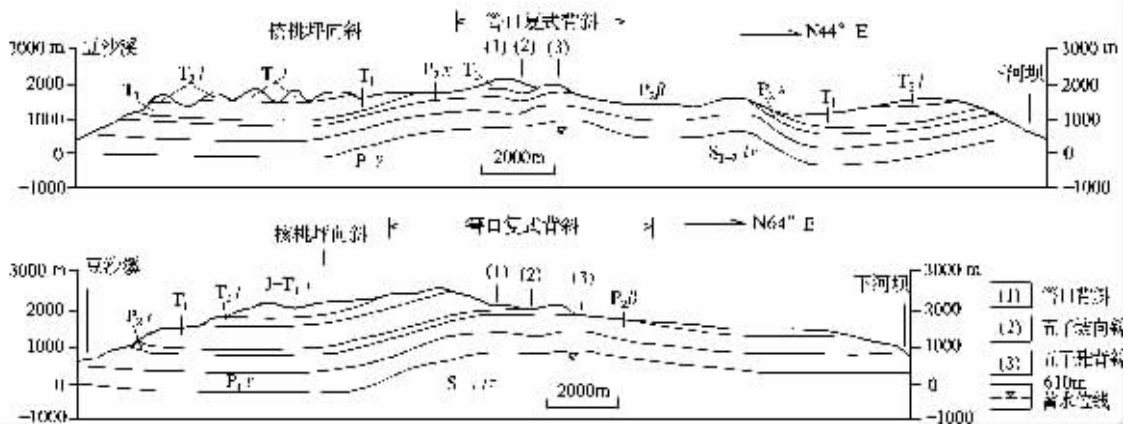


图 3 溪洛渡水电站豆沙溪-下河坝(上)及豆沙溪-撒水坝(下)构造剖面

J-T<sub>3x</sub>-侏罗系—上三叠统须家河组;T<sub>2</sub>l-中三叠统雷口坡组;T<sub>1</sub>-下三叠统;P<sub>2x</sub>-上二叠统宣威组;P<sub>2β</sub>-上二叠统峨眉山玄武岩;P<sub>1y</sub>-下二叠统阳新组;S<sub>2-2r</sub>-中一下志留统罗惹坪组;

Fig. 3 Structural sections of Doushaxi-Xiaheba (upper) and Doushaxi-Sasuiba (lower) in the Xiluodu hydropower station J-T<sub>3x</sub>-Jurassic-Upper Triassic Xujiahe Formation; T<sub>2</sub>l-Middle Triassic Leikoupo Formation; T<sub>1</sub>-Lower Triassic; P<sub>2x</sub>-Upper Permian Xuanwei Formation; P<sub>2β</sub>-Upper Permian Emishan basalt; P<sub>1y</sub>-Lower Permian Yangxin Formation; S<sub>2-2r</sub>-Middle to Lower Sinian Luoreping Formation

### 3.2 箐口复式背斜对水库渗漏的作用

在构造上,库首位于永盛-核桃坪向斜(28)西翼,撒水坝-下河坝位于马湖向斜东翼,它们分属两个相对封闭、独立的向斜盆地和水文地质单元。分隔这两个向斜盆地的是前述的箐口(复式)背斜,也是一个地下分水岭。它的重要意义在于:阳新组灰岩之下为志留系罗惹坪组泥页岩,后者为区域相对隔水层,只要它的顶面在这一复式背斜中高出 610 m 蓄水位,就完全可以阻断蓄水后库首至下河坝、撒水坝可能的管道式渗漏路径。

箐口复式背斜为区内的第 3 期褶皱,它以移褶及限褶等方式叠加在前期褶皱之上并横亘于核桃坪-永盛向斜与马湖向斜之间,实测地层、构造剖面、大比例尺地质填图、叠加褶皱、构造解析及阳新组灰岩顶、底面等高线图绘制等,均反映出箐口复式背斜阳新组灰岩底面高程均超过 610 m,即它们完全可以起到挡水墙的作用(图 3)。

箐口复式背斜(又称箐口鞍状隆起)北段自城墙岩背斜南东翼的钻天坡,向南南东方向倾伏,形态较宽缓,东翼稍陡,到达箐口附近时分为 3 支,自西向东分别由箐口背斜、五子坡向斜、五子雕背斜组成复背斜(图 3),走向略向东偏呈弧形。复背斜略呈起伏为鞍状,最低处在罗汉坪附近,出露地层为宣威组,而宣威组底板高程为 1 600 m,除去玄武岩的实测厚度 450 m 及阳新组灰岩的厚度 500 m,该处的阳新灰岩底面高程应为 650 m 以上,高于水库正常蓄水位 610 m,其他地段显然比 650 m 更高。

综上所述,库首区向下游不会发生岩溶管道式渗漏。

## 4 结论

(1)溪洛渡地区存在 3 期褶皱,它们以不同方式叠加后形成复杂的构造格局。(2)沉积岩地区常常发育叠加褶皱,地质工作者在进行国土资源调查及基础地质研究时,应与变质岩区构造研究一样予以高度重视。(3)沉积岩区叠加褶皱常见类型有跨褶(包括直跨与斜跨)、移褶、重褶及限褶等。溪洛渡地区以上几种方式均可见。(4)金沙江溪洛渡水电站为一巨型水电工程,库首渗漏问题长期困扰水电部门,经大比例尺地质填图及构造解析,箐口复式背斜(鞍状隆起)的首次厘定及研究后认为,该复背斜构成了地下分水岭;区域隔水层志留系罗惹坪组顶板高程高于水库蓄水位 610 m,构成了可能渗漏路径上的挡水墙,岩溶管道式渗漏不会发生。

参加野外工作的有陆彦、王运生、刘顺、徐林生等,写作过程中得到了杜思清、王道永副教授的热情帮助,一并表示感谢!

### 参考文献 (References):

[1] 吴德超,刘援朝,魏显贵,等.川北米盆山火地堑墙非共轴重褶皱构造研究[J].矿物岩石,1997,17(增刊):97~106.  
Wu Dechao, Liu Yuanchao, Wei Xiangui, et al. Study of noncoaxial refolds in the Huodiya group in Micangshan, north Sichuan [J]. Journal of Mineralogy and Petrology (suppl.), 1997, 12 (17): 97~106(in Chinese with English abstract).

[2] 吴德超,蔡学林,焦守敬.预西内乡文龙庙地区秦岭群卵形褶皱构

- 造解析[J].成都地质学院学报,1989,16(1):40~48.
- Wu Dechao, Cai Xuelin, Jiao Shoujing. Structural analysis of the oval folds in Qinling group in the Wenlongmiao area, Neixiang county, Henan Province [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1989, 16( 1): 40~48(in Chinese with English abstract).
- [3] 傅昭仁,蔡学林.变质岩构造地质学[M].北京:地质出版社,1996.145~158.
- Fu Zhaoren, Cai Xuelin. Structural Geology of Metamorphic Terrain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 145~158(in Chinese with English abstract).
- [4] 贾精一.叠加褶皱的构造格架的基本类型[J].中国区域地质,1983(4):31~37.
- Jia Jingyi. Essential types of the tectonic framework of superposed folds [J]. Regional Geology of China, 1983 (4): 31~37(in Chinese with English abstract).
- [5] 黄继钧.叠加褶皱类型及变形图像[J].成都地质学院学报,1988,15(4):40~47.
- Huang Jijun. Types and deformation patterns of superimposed folds [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1988, 15 (4): 40~47 (in Chinese with English abstract).
- [6] 乐光禹,杜思清,黄继钧,等.构造复合联合原理[M].成都:成都科技大学出版社,1996.15~42.
- Yue Guangyu, Du Siqing, Huang Jijun, et al. Principle of structural compounding and conjunction [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1996, 15~42 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杜思清.纵弯褶皱叠加作用与叠加类型,理工科技新进展[M].成都:四川科学技术出版社,1996.48~58.
- Du Siqing. superposition and superposed types of flexural folds. New Development of Science and Technology of Chengdu University of Technology [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1996. 48~58(in Chinese with English abstract).
- [8] 杜思清.纵弯褶皱叠加的褶皱现象及移褶叠加[J].地质评论,1986,32(4):359~366.
- Du Siqing. Fold shift phenomenon and shift folds produced by superposition of flexural folds [J]. Geological Review, 1986, 32 (4): 359~366(in Chinese with English abstract).

## Superposed folds in the Xiluodu area along the Jinsha River and its importance of engineering geology

WU De-chao

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract:** There are complicated folds in Paleozoic-Mesozoic sedimentary strata in the Xiluodu area along the Jinsha River. The structure resulted from superposition of three phases of folds during the Himalayan movement. The main modes of the superposition of the folds are ridden folding, shifted folding, non-sequent folding and refolding. Large-scale geological mapping and structural analysis indicate that the third-phase fold—Qingkou compound fold—constitutes a subsurface watershed, which is a barrier wall in the possible leakage path from the Xiluodu hydropower station reservoir head to the lower reaches of the Jinshan River, where karst pipe-type seepage is impossible to occur. The first determination and study of the third-phase fold in the area have great significance for the study of the leakage of the head of the huge Xiluodu hydropower station reservoir.

**Key words:** folds; superposed folds; Jinsha River; Xiluodu hydropower station; reservoir leakage