

# ZHIMI YANSHI YOUQICANG 致密岩石油气藏

中国石化股份公司西南分公司 编  
中国石化集团公司西南石油局

3

四川出版集团·四川科学技术出版社

# 致密岩石油气藏

3

中国石化股份公司西南分公司  
中国石化集团公司西南石油局 编

四川出版集团  
四川科学技术出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

致密岩石油气藏. 3/中国石化股份公司西南分公司,中国石化集团公司西南石油局编. - 成都:四川科学技术出版社,2008. 10

ISBN 978 - 7 - 5364 - 6585 - 5

I. 致… II. ①中…②中… III. 油气勘探 - 文集 IV. P618.130.8 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 159690 号

## 致密岩石油气藏

3

---

|                                |                                              |
|--------------------------------|----------------------------------------------|
| 编 者                            | 中国石化股份公司西南分公司<br>中国石化集团公司西南石油局               |
| 责任编辑                           | 杨晓黎                                          |
| 封面设计                           | 韩建勇                                          |
| 版面设计                           | 康永光                                          |
| 责任出版                           | 邓一羽                                          |
| 出版发行                           | 四川出版集团·四川科学技术出版社<br>成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031 |
| 成品尺寸                           | 210mm × 297mm<br>印张 13 字数 380 千              |
| 印 刷                            | 成都蜀通印务有限责任公司                                 |
| 版 次                            | 2008 年 10 月成都第一版                             |
| 印 次                            | 2008 年 10 月成都第一次印刷                           |
| 定 价                            | 50.00 元                                      |
| ISBN 978 - 7 - 5364 - 6585 - 5 |                                              |

---

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。

地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734035

邮政编码/610031 网址:www.sckjs.com

## 《致密岩石油气藏》编辑委员会

顾 问:刘光鼎 刘宝珺 罗平亚

主 任:徐向荣

副主任:杨克明 李建良 徐 进

委 员:黄 跃 李 勇 张晓鹏 朱澄清 唐 宇

陈昭国 唐建明 李书兵 张 箭 王世泽

谭明文 罗德明 张 筠 张 虹

主 编:骆传才

## 编者的话

四川盆地蕴藏着丰富的天然气资源,是我国重要的能源工业基地。四川盆地天然气藏具有时间跨度大、分布广泛、致密-超致密、超压、浅-超埋深、气藏类型多样等鲜明的特色,致使其隐蔽性强,勘探开发难度大。油气勘探工作者经过半个世纪的不懈努力,取得了丰硕的油气成果,获得了数十个大中型气田,油气探明储量超万亿方,油气年产量超100亿方。随着近年勘探技术的不断提高、方法的不断改进,已探明的油气储量已呈现了良好的增长势头,并显示出极好的上升空间。与此同时,伴随着长期的勘探开发实践,形成了一套适合四川盆地实际的地质理论和认识;形成了一系列行之有效的、针对性极强的勘探开发技术和方法。本次编辑的《致密岩石油气藏》,以系列丛书的形式记录和展现在这一过程中取得的部分成果。出版此书的目的有三:一是记录和展示成果;二是构建交流平台;三是促进科研和生产实践水平的提升。由于时间紧,加之编者水平有限,书内一定存在不少的问题和错误,欢迎批评指正。

## 目 录

## 油气地质

|                                             |                  |
|---------------------------------------------|------------------|
| 龙门山中段前山带的构造特征及演化 .....                      | 邓康龄 王 信(2)       |
| 再议川西坳陷天然气是深盆气吗? .....                       | 叶 军(15)          |
| 龙门山冲断推覆构造带构造演化特征及有利勘探区带评价 .....             | 吕志洲 王胜 李书兵(23)   |
| 川西海相天然气勘探潜力与问题分析及对策 .....                   | 叶 军 许国明(32)      |
| 川西坳陷须家河组二段气藏有利远景区预测 .....                   | 刘 殊(42)          |
| 优质烃源岩——洛带遂宁组气藏形成的主控因素 .....                 | 叶 军 胡华伟(54)      |
| 川西坳陷海相碳酸盐岩领域有利勘探区带选择及勘探前景 .....             | 吕志洲(61)          |
| 礁滩型气藏与燕山、喜马拉雅期构造体系的关系 .....                 | 熊 亮 罗 潇 何 鲤等(71) |
| 川西地区二叠系以下烃源岩特征 .....                        | 卢齐军(81)          |
| 须家河组二段风暴岩的发现及地质意义 .....                     | 罗 潇 何 鲤 曾小英(88)  |
| 陆相断陷盆地剥蚀厚度恢复的新方法——构造沉积综合法——以惠州凹陷为例<br>..... | 贾霍甫 梅廉夫(93)      |

## 勘探与开发

|                                                                  |                   |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 地震分频解释技术在预测川西陆相砂岩储层中的应用 .....                                    | 叶泰然 刘兴艳 苏锦义(100)  |
| 浅水三角洲分支河道型储层单砂体划分——以吉林扶余油田扶余油层为例 .....                           | 何 莹 张庆国(109)      |
| 洛带—新都遂宁组气藏流体地球化学特征 .....                                         | 黎华继 安凤山(117)      |
| 川东地区飞仙关组鲕滩控制因素研究 .....                                           | 康保平 张 箭 张志勇等(125) |
| 川西坳陷深层须家河组多尺度含气性检测 .....                                         | 徐天吉(131)          |
| 地质建模技术在洛带遂宁组气藏的应用 .....                                          | 王勇飞(139)          |
| Compaq Visual Fortran 与 Matlab 混合编程实现川西坳陷深层须家河组多尺度含气性检测<br>..... | 徐天吉(143)          |

## 工程技术

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 异常高压油气藏岩石应力敏感性对开发的影响 ..... | 胡常忠 赵 勇(150)      |
| 基于 BP 神经网络的压裂施工参数优化 .....  | 彭红利 姚广聚 李 莉(155)  |
| 天然气层录井识别技术及录井评价模式 .....    | 刘光辉(160)          |
| 川西深井钻井液对钻速的影响因素评价 .....    | 兰 林 李尚贵 周建平等(170) |
| 高温胶凝酸体系室内评价研究与应用 .....     | 谭 佳 李尚贵 杨 兵等(175) |
| 马井气田蓬莱镇组气藏产能建设效果评价 .....   | 尹朝云 颜 麟 罗长川等(181) |
| 泡沫压裂液研究进展跟踪与总结 .....       | 何兴贵 张绍彬 李 晖等(187) |
| 川西地区修井技术面临的难题及发展方向 .....   | 蒋才军(193)          |

# CONTENTS

## OIL AND GAS GEOLOGY

|                                                                                                                                                                       |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Structural Features of the Frontland of the Middle Part of Longmenshan and its Evolve .....                                                                           | Deng Kangling Wang Xin(2)            |
| Reconsideration of Whether Natural Gas of Western Sichuan Depression is Deep Basin Gas .....                                                                          | Ye Jun(15)                           |
| Structural Evolution Characters of Thrust Nappe Belt in Longmenshan and Evaluation of its Favorable Prospect .....                                                    | Lü Zhizhou Wang Sheng Li Shubing(23) |
| Exploration Potential and Problems of Marine Natural Gas in Western Sichuan and its Countermeasures .....                                                             | Ye Jun Xu Guoming (32)               |
| The Prediction of Favorable Area of the Second Member of Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression .....                                                        | Liu Shu(42)                          |
| High Quality Source Rock——the Main Control Factor of Suining Formation Gas Pool Forming in Luodai .....                                                               | Ye Jun Hu Huawei(54)                 |
| Selection of Favorable Prospect for Marine Carbonate in Western Sichuan Depression and its Exploration Potential .....                                                | Lü Zhizhou(61)                       |
| The Relationship of Reef Flat Reservoir and Yanshan – Himalayan Tectonic System .....                                                                                 | Xiong Liang Luo Xiao He Li et al(71) |
| The Characteristics of Source Rock below Permian in Western Sichuan .....                                                                                             | Lu Qijun(81)                         |
| Discovery of Storm Rocks of the Second Member of Xujiahe Formation and its Geologic Significance .....                                                                | Luo Xiao He Li Zeng Xiaoying(88)     |
| Structural – sedimentary Synthetic Method; a New Method for Restoring Denudation Thickness in Continental Rifted Basin——Taking Huizhou Depression as an example ..... | Jia Huofu Mei Lianfu(93)             |

## EXPLORATION AND DEVELOPMENT

|                                                                                                                                                                   |                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Applications of Seismic Interpretation of Spectral Decomposition in Reservoir Prediction for Continental Sandstone Reservoirs in Western Sichuan .....            | Ye Tairan Liu Xingyan Su Jinyi(100)              |
| Single Sandbody Division of Distributary Channel Reservoir of Shallow Water Delta System——Taking Fuyu Oil – bearing Reservoir in Fuyu Oil Field as an Example ... | He Ying Zhang Qingguo(109)                       |
| Geochemistry Characteristics of Fluid for Suining Gas Pool in Luodai – Xindu .....                                                                                | Li Huaji An Fengshan(117)                        |
| Research on the Controlling Factors of Oolitic Beach of Feixianguan Formation in Eastern Sichuan .....                                                            | Kang Baoping Zhang Jian Zhang Zhiyong et al(125) |
| Multi – scale Gas – bearing Detection of Deep Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression .....                                                               | Xu Tianji(131)                                   |
| Application of Geologic Modeling Technique in Suining Gas Pool in Luodai .....                                                                                    | Wang Yongfei(139)                                |

---

|                                                                                                                                                                    |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Multi - scale Gas - bearing Detection in Deep Xujiache Formation in Western Sichuan Depression by<br>Mixed Programming with Compaq Visual Fortran and Matlab ..... | Xu Tianji(143) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|

## ENGINEERING TECHNOLOGY

|                                                                                                                       |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Influence of Rock Stress Sensitivity of Abnormally High Pressure Oil & Gas Reservoirs on Development<br>.....         | Hu Changzhong Zhao Yong(150)                 |
| Optimizing Fracturing Parameter by BP Neural Network .....                                                            | Peng Hongli Yao Guangju Li Li(155)           |
| Logging Recognition Technology of Natural Gas and its Evaluation Model .....                                          | Liu Guanghui(160)                            |
| The Appraisal of Influence Factors about Drilling Fluid to Drilling Rate for Deep Wells in Western Si-<br>chuan ..... | Lan Lin Li Shanggui Zhou Jianping et al(170) |
| Lab Evaluation and Application of the High Temperature Gelling Acid System<br>.....                                   | Tan jia Li Shanggui Yang Bing et al(175)     |
| Evaluation of Producibility Construction Effect for Penglaizhen Gas Pool in Majing Gas Field<br>.....                 | Yin Chaoyun Qi Lin Luo Changchuan et al(181) |
| Research Development of Foam Fracturing Fluid and its Summary<br>.....                                                | He Xinggui Zhang Shaobin Li Hui et al(187)   |
| Difficulties and Developing Trend of Workover Techniques in Western Sichuan .....                                     | Jiang Caijun(193)                            |

# 油 气 地 质

---

# 龙门山中段前山带的构造特征及演化

邓康龄 王 信

(中国石化西南分公司勘探开发研究院,四川成都 610081)

**摘 要:** 龙门山中段前山带位于上扬子地台西北缘的龙门山前带,构造上具有三层结构:上部滑覆构造层,中部褶皱-冲断推覆构造层,下部原地系统冲断-低平褶曲构造层。印支期-燕山期,受中国西部特提斯构造域递进挤压,形成前展式台阶式褶皱推覆,喜马拉雅期再次卷入变形,形成褶皱-冲断推覆。中新世后,后龙门山-前龙门山的差异隆升,中段的碳酸盐岩推覆体受重力作用形成滑覆构造。第四纪以来的风化侵蚀,残存的滑覆体成为飞来峰。受后龙门山的长期挤压作用,原地系统发育了逆冲、反冲断裂和较平缓的褶曲。因此,龙门山前山带是在多期次构造变形中形成的复合构造。

**关键词:** 滑覆构造;推覆构造;原地系统;复合构造

## Structural Features of the Frontland of the Middle Part of Longmenshan and its Evolve

Deng Kangling Wang Xin

(Exploration & Production Institute of Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan)

**Abstract:** The frontland of the middle part of Longmenshan is located in the foreland of Longmenshan along the western edge of upper Yangzi platform. It has three structures: gliding nappe structure in the upper part, fold-overthrust nappe structure in the middle part and parautochthon overthrust-low relief fold structure in the lower part. During Indosinian-Yanshan epoch, it formed stepped fold overthrust due to the Tethys tectonic tract progressive compression in Western China. It deformed again in Himalayan and formed fold-overthrust nappe. After Miocene, carbonate nappe in the middle part formed gliding nappe structure by gravitation due to the differential uplift of back Longmenshan-front Longmenshan. Gliding nappe outlier became klippe by the aeolian erosion since Quaternary. Parautochthon developed overthrust, recoil faulting and low-relief fold by the long compression of back Longmenshan. Thus, the frontland of Longmenshan is a composite structure formed in multiple tectonic deformations.

**Key words:** Gliding nappe structure; Nappe structure; Parautochthon; Composite structure

位于甘孜-阿坝特提斯造山带东和四川盆地西北的龙门山造山带(有的称为冲断造山带),全长约400 km,绵竹市汉旺-什邡金河以北称为龙门山北段,都江堰市沙坪以南称为龙门山南段,它们之间称为龙门山中段。本文涉及的范围北自安县、南抵大邑县,横跨上述龙门山北段和南段各一小部分区域。龙门山的西北界通常以茂汶断裂为界,南东界止于江油香水-汉旺-关口-都江堰-双石断裂,这两条断裂之间的北川-映秀断裂将龙门山分为两个构造带,断裂的西北侧称为龙门山后山带,断裂的南东一侧称为龙门山前山带。文中论述的区域即位于龙门山中段的前山带。

## 1 推覆构造特征

### 1.1 褶皱-冲断推覆构造带

北川-映秀-盐井断裂是龙门山区一条中央断裂带,也是本工区的西界断层。这是一条倾向北西倾角 $70^{\circ}$ 左右的逆冲断层。经分析,断裂带中的构造岩相当于低绿片岩相,推测形成温度为 $300^{\circ}\text{C}$ 左右,形成深度5~10 km,是一条脆性为主兼韧性断裂<sup>[1]</sup>。位于映秀断裂与茂汶断裂之间的彭灌杂岩(图1),磁法延拓资料证实此岩体是无根的,说明映秀断裂是一条倾向北西向深部变缓的铲式逆冲断裂,彭灌杂岩是一属深层次的褶皱-冲断推覆体<sup>[2]</sup>。

位于映秀断裂与关口断裂之间的龙门山前山带,被卷入褶皱、冲断的岩层为其基底上的盖层——震旦系-三叠系。由这些盖层组成的推覆构造,属于浅层次的薄皮褶皱-冲断推覆体。

### 1.2 构造分带和构造样式

龙门山中段前山带地表出露的地层,北部地区和中、南部地区差异较大,以马槽滩断裂为界的北部地区(图1),地表出露震旦系-三叠系,未见滑覆构造形成的飞来峰。据地层展布和构造变形特点,以茶园包断裂为界可将本区分为两个推覆构造带,即高川推覆体和大坪山推覆体(图2)。

#### 1.2.1 高川推覆体

位于北川断裂与茶园包断裂之间的高川推覆体,由中泥盆统观雾山组一下三叠统飞仙关组所组成,是由一些走向北东-南西、倾向北西的倒转

背、向斜和逆冲断裂所组成的推覆体,可称为褶皱-冲断推覆体。在剖面上可见两个由泥盆系和二叠系组成的倒转背斜,以及由飞仙关组组成的倒转向斜所组成。这些背斜和向斜均属于紧闭褶皱,构造样式上属于滑脱褶皱。

据断层面产状和断层两盘岩层的层位与产状分析(图2),推覆构造上的逆冲断层大体可分为两种类型:岩层在构造变形初期的地应力作用下产生剪切破裂,首先形成断展褶皱,而后在上覆岩层的滑脱层中,继续受力形成断弯褶皱(由台阶状断层形成的断层转折褶皱 Fault bend Fold),图中所示茶园包之西断层即为一例,上泥盆统逆冲在上泥盆统之上形成台阶状断层的中断坪,由于后期构造运动将岩层掀斜,上盘断坡已遭侵蚀;另一类型的断裂发生时间在变形过程中或变形之后的再次构造运动,使正在构造变形中或变形后的岩层发生了剪切破裂,背斜和向斜的轴部或褶皱的翼部形成了逆冲断裂,如图2所示,岩层出现了缺失,有的甚至形成了新地层逆冲在老地层之上。上述逆冲断层在剖面上组成了间距不等的叠瓦状分布。高川推覆体中的滑脱层主要是寒武系和泥盆系下部泥质岩与泥灰岩层,次要滑脱层是飞仙关组与下二叠统泥质岩与泥灰岩层。

#### 1.2.2 大坪山推覆体

茶园包断层以东至香水-关口断层之间的大坪山推覆体,是由中、下三叠统和少量上三叠统组成的褶皱-冲断推覆体(图2)。剖面上可见三个向斜一个背斜,大坪山向斜和其西的背斜位于褶皱转折端,褶皱不强烈外,其余二向斜均属紧闭褶皱的倒转构造。发育四条叠瓦状逆冲断层,从断层上、下盘地层和地层产状分析,这些逆冲断层是在构造变形过程中或变形之后,由岩层剪切破裂而形成的逆冲构造,造成了岩层的缺失或新地层逆冲在老地层之上,断层面的倾角为 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,上述褶皱和逆冲断层走向呈北东-南西方向,与龙门山脉平行。从褶皱轴部和断层组合分析,大坪山推覆构造中的主滑脱层为中、下三叠统中的泥质岩和泥灰岩层,次要滑脱层为上三叠统中的泥质岩层。

马槽滩断裂以南的龙门山前山带中、南部地区,地表出露上三叠统碎屑岩地层和形成飞来峰的上古生界与中、下三叠统碳酸盐岩为主的地层,除靠近映秀断裂存在少量上古生界和中、下三叠

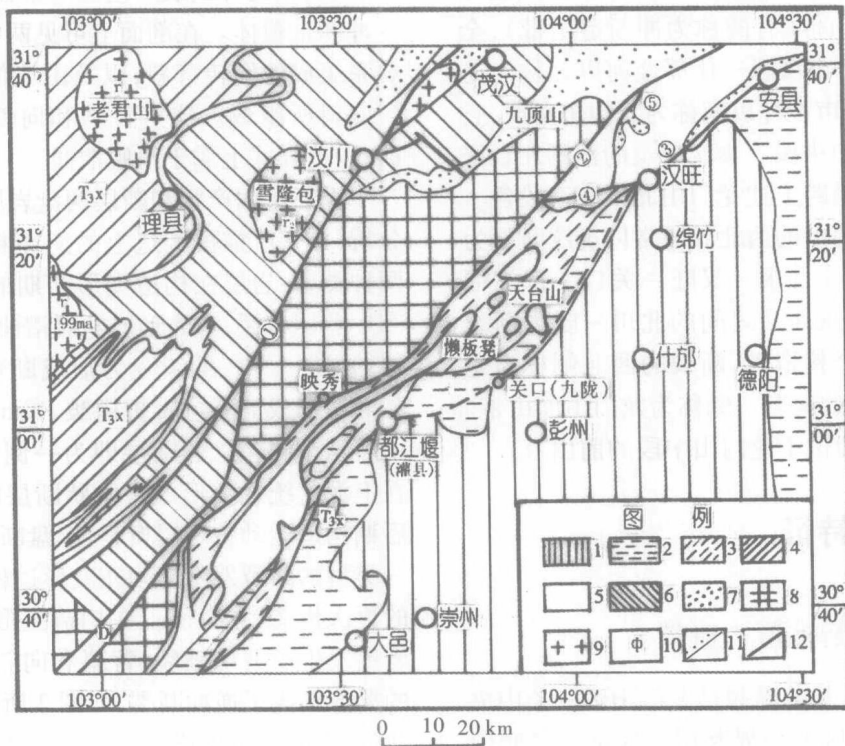


图1 龙门山中段及邻区地质略图

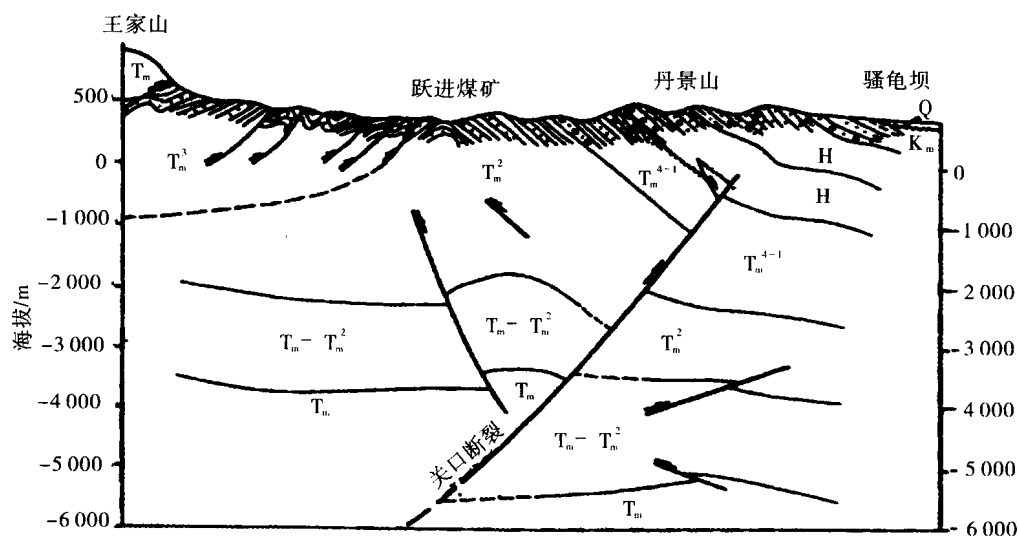
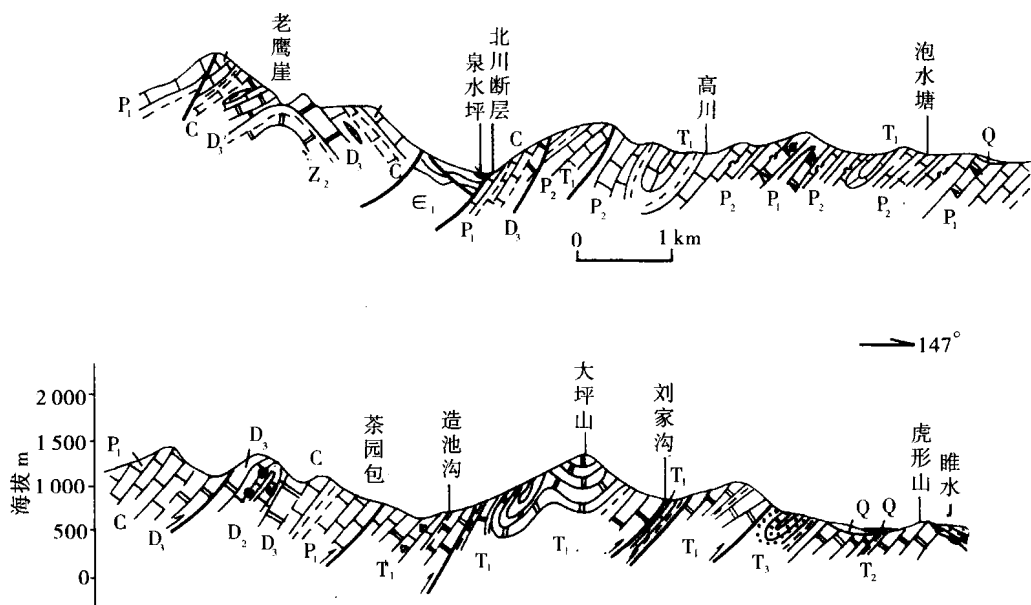
1. 第四系 2. 侏罗系至白垩系 3. 上三叠统 4. 西康群 5. 泥盆系至中三叠统 6. 志留系茂县群至二叠纪海相层 7. 震旦系至奥陶系 8. 彭灌杂岩 9. 印支期至燕山期花岗岩 10. 晋宁期花岗岩 11. 不整合界面 12. 断层及断层编号 ①茂汶断裂 ②映秀断裂 ③关口-汉旺断裂 ④马槽滩断裂 ⑤大竹坪-白云山断裂

统碳酸盐岩以及下震旦统火山岩、火山碎屑岩与碎屑岩组成的推覆岩片外,本区的推覆体由上三叠统中、下部陆源碎屑岩夹煤系所组成。这些上三叠统砂、泥岩层组成了若干个相互平行、走向北东-南西的褶曲和向南东逆冲的断层(图3)。据彭州市磁峰场-白鹿场地区地震勘探成果,这些褶曲与叠瓦状逆冲断层,以须三段泥质岩为滑脱层组成本区褶皱-冲断推覆体,地表褶曲和逆冲断层不与深部构造相连。深部虽有褶曲和断层,但其褶皱强度弱,深部断裂除边界断层——关口断裂外,也不与表层构造连通。

### 1.3 褶皱-冲断带的变形序列

龙门山冲断作用扩展顺序属于前展式(背驮式)<sup>[3]</sup>,晚三叠世四川盆地属龙门山前陆盆地,山、盆具有耦合关系。龙门山的强烈上升,使其毗邻的盆缘地区发育了大量冲积扇相砾岩层。地壳

运动具脉动性(幕式),强烈隆升之后的相对宁静期,盆缘沉积物随之变为相对较细的砂、泥互层,于是在剖面上形成了由粗碎屑-细碎屑的沉积旋回。旋回初期的粗碎屑物的组分,反映物源区强烈隆升形成的新生山岭的岩层。龙门山山前带-川西坳陷西缘,从晚三叠世晚期-新第三纪,发育有多个沉积旋回,旋回的下部主要为砾岩和含砾砂岩,这些砾岩中的砾石主要来自上古生界和中、下三叠统中的碳酸盐岩(表1)。多个旋回层下部出现相同组分的砾岩,反映了来自阿坝造山带幕式地应力作用下古龙门山地区前展式地产生了构造变形,由上古生界和中、下三叠统碳酸盐岩组成的山岭多次出现,成为多旋回下部砾岩的物源区。前述台阶状断层保留了中断坪及后期形成的同斜褶曲与逆冲断层,反映了古龙门山变形序列是:先断展褶曲-断弯褶曲(台阶状断层形成的转折褶曲),其后构造叠加,形成同斜滑脱褶曲和逆冲断



层,最后成为历经多期次构造形变的褶皱-冲断推覆构造带。

## 1.4 构造叠加

#### 1.4.1 同向构造叠加

上述图 2 和图 3 所示, 龙门山中段前山带非简单形式台阶式逆冲推覆构造。泉水坪-茶园包的一段剖面上, 沙窝子组 ( $D_3s$ ) 下部为主滑脱层组成的中断坪, 上叠了二叠系背斜、下三叠统向斜和 4 条倾向北西、向南东逆冲的逆断层, 且这些

背、向斜皆为轴面倾向北西的倒转褶曲,轴面和断层面倾角  $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,它们共同组成了同斜褶曲-逆冲构造带。这些局部构造,反映了断弯褶曲形成之后,持续受自北西-南东压应力,于其中断坪之上覆地层发生了变形,形成了滑脱褶曲和逆冲断层(也可能是在早期有形变雏形的基础上,受到加强演化而成),故形成了同向构造叠加。上述同斜褶曲-逆冲推覆构造带,其底为沙窝子组下部滑脱层组成的底板逆冲断层;同斜褶曲的向斜为飞仙关组所组成,反映了飞仙关组为滑脱层,

\* 张永才等. 安县幅 1:5 万地质图说明书. 四川省地质矿产局化探队, 1994

飞仙关组之上地层为另一个褶皱－冲断推覆构造带(此带已被侵蚀殆尽)。飞仙关组中的断层面,成为上述推覆构造带的顶板逆冲断层。此顶板和底板逆冲断层之间的同斜褶曲－逆冲推覆构造

带,成为双重逆冲构造的断夹块。这个断夹块有别于叠瓦式断层或叠瓦式断褶组成的断夹块,它是既有叠瓦式断层又有同斜褶曲组成的复式断夹块。

表 1 都江堰市—彭州市间上三叠统一第三系砾岩层砾石成分表

|      |                                         | 主 要 砾 石 成 分/%     |           |             |          |     |      |     |
|------|-----------------------------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|-----|------|-----|
| 地 名  | 层位                                      | 石灰岩<br>白云岩<br>泥灰岩 | 砂岩<br>粉砂岩 | 石英岩<br>变质砂岩 | 泥岩<br>页岩 | 燧石  | 脉石英  | 花岗岩 |
| 都江堰市 | 汤家沟 大邑组(N <sub>2</sub> d)               |                   | 50.0      | 31.4        |          |     | 15.2 | 3.4 |
|      | 汤家沟 名山组(E <sub>1</sub> m)               | 73.5              | 8.0       | 2.7         | 5.3      |     | 9.7  |     |
|      | 玉垒山 夹关组(K <sub>2</sub> j)               | 52.8              | 32.8      | 9.4         |          |     | 4.7  |     |
| 崇州市  | 九龙沟 天马山组(K <sub>1</sub> t)              | 50.8              | 35.3      | 8.2         | 4.1      | 0.8 |      |     |
|      | 九龙沟 莲花口组(J <sub>3</sub> l)              | 64.0              | 7.3       | 1.3         | 25.3     | 1.3 | 0.7  |     |
|      | 九龙沟 沙溪庙组(J <sub>2</sub> s)              | 5.6               | 53.6      | 24.0        | 5.6      | 2.4 | 8.8  |     |
|      | 九龙沟 须六段(T <sub>3</sub> x <sup>6</sup> ) | 6.0               | 4.3       | 87.1        |          | 0.9 | 1.7  |     |
| 彭州市  | 磁峰场 须四段(T <sub>3</sub> x <sup>4</sup> ) | 62.5              |           | 36.3        |          | 1.2 |      |     |

1.4.2 非同向构造叠加

由于地质条件的差异或受龙门山北东—南西向主体构造变形强度所湮没,非同向构造叠加(复合)分布较局限,仅以绵竹市金河—天池地区为例叙述如下(图4)。

印支期龙门山地区发生了强烈构造变形,形成了走向北东—南西褶曲和逆冲断层。其后受近南北或北北西—南南东向地应力作用,形成走向近东西向或北东东向的逆冲断层(马槽滩断层或称金河—汉旺逆冲断层)和背斜(马槽滩倒转背斜、歇马庙倒转背斜),马槽滩逆冲断层仰冲在走向北东的褶曲和逆冲断层之上,逆断层面倾向北,倾角58°~70°。图中可见断层线走向近南北的逆冲断层(清平—白云山逆冲断层、响水沟逆冲断层)和走向近南北的褶曲。清平—白云山逆冲断层,断面倾向西,断层倾角60°~80°,断裂破碎带宽5~15 m,并存在劈理,上盘为飞仙关组和嘉陵江组,下盘为灯影组、下寒武统与二叠系。这是大水闸推覆体向东推覆的前缘断层,故形成了新地层逆冲在老地层之上。清平—白云山逆冲断层往南延伸,止于马槽滩逆冲断层。该断层逆冲于歇马庙北东东向构造之上,由此分析,近南北向构

造形成时期应晚于近东西向构造。从区域地应力场分析,近东西向构造和近南北向构造分别在燕山期和喜马拉雅期地应力场作用下形成的,叠加在印支期构造带上,故形成了非同向构造叠加。

1.5 关口断裂

关口断裂又称江油香水—都江堰大断裂或龙门山前缘断裂,是龙门山与四川盆地的分界,断裂西侧是山峦起伏的山地,断裂东侧是平原或丘陵,地形地貌差异明显,断裂走向北东,断层面倾向北西,断面倾角60°~70°。该断层为一逆冲断层。该断层的北段,北西盘构造极为复杂,发育同斜褶曲、叠瓦逆冲断层和飞来峰等;断层中段,北西盘广泛发育褶皱逆冲推覆和滑覆构造(图1,3)。关口断裂南东盘的构造则明显不同,构造简单得多,发育少量与龙门山构造线平行的中、低幅度的背斜(中坝背斜、鸭子河背斜等)。据地震勘探成果,该断层面上陡下缓呈犁式,断距达200~1 800 m,浅层断距小,深部断距加大。磁峰、蒲阳一带,该断层已成为一隐伏断层(图3)。

江油香水—都江堰大断裂的形成可能始于中三叠世,从断层两盘的地层厚度与岩相差异上分

析来看,早期是一正断层,表2所示,断层北西盘地层厚度大、保留的层位全,沉积相也相对较深。

中三叠世末的印支运动,关口断裂两盘均上升成陆,遭受风化侵蚀,其断裂性质未变。晚三叠世早、中期,仍为正断层,在其岩性和地层厚度上有明显反映。断裂西北盘马鞍塘组下部普遍发育浅海相碳酸盐岩,石灰岩段地层厚度江油市黄连桥63.5 m;断裂南东盘则普遍缺失。须家河组三段地层厚度,断裂带北西盘,彭县磁峰场厚度大于1 751.7 m(下部地层未出露);南东盘彭县鸭子河川鸭92井钻厚1 058.5 m。说明关口断裂在中三叠世一晚三叠世中期为正断层。这与阿坝地区此时期为张性构造环境有关。

关口正断层在晚三叠世中、晚期,先后受秦岭特提斯海槽关闭和金沙江洋盆关闭的挤压作用,由北向南出现构造反转,始成为逆冲断层,须家河组中的大量砾岩可佐证。中坝地区北部须二段含砾岩层较普遍,砾岩的砾石成分主要是碳酸盐岩,说明毗邻江油地区龙门山北段,受秦岭挤压应力

作用,发生了褶皱和冲断、抬升,成为新的物源区。须家河组四段砾岩层广泛分布于四川盆地北缘和龙门山中段与北段,说明来自秦岭的挤压应力,自北而南传导至龙门山中段,安县秀水川34井须家河组四段砾岩层厚度达414 m。可见毗邻该区的龙门山受褶皱和冲断构造作用,前期沉积的上古生界与三叠系已形成了巍峨群山,须家河组四段砾岩中的碳酸盐岩砾石,主要来自这些层系。龙门山中段在晚三叠世须四时发生了反转。

关口断裂在晚三叠世构造运动中有较强烈的活动,断裂下盘鸭子河地区须五段厚度为630 m左右;断裂上盘同层位被剥蚀殆尽,或仅剩100~200 m,此时关口断裂反转成逆冲性质。由此可见这一断裂形成期早(至少始于中三叠世),其后在印支中晚期龙门山强烈构造变形过程中,大量地应力在此断裂面被释放,故形成了前面所述的关口断裂北西盘广泛分布强烈褶皱、叠瓦状构造、推覆构造与滑覆构造等,而在断裂下盘(南东盘)仅发育少量平缓褶曲和小断距的逆冲断层。

表2 江油香水断裂两盘中三叠统厚度与岩相表

| 地层                               | 项目   | 北西盘江油香水-黄连桥             | 南东盘中坝构造             |
|----------------------------------|------|-------------------------|---------------------|
| 天井山组 T <sub>2</sub> <sup>t</sup> | 厚度/m | 428                     | 0                   |
|                                  | 岩相   | 开阔台地相碳酸盐岩               |                     |
| 雷口坡组 T <sub>2</sub> <sup>l</sup> | 厚度/m | 708.1                   | 619                 |
|                                  | 岩相   | 潮坪相为主夹潮下浅滩,以白云岩为主夹少量石灰岩 | 潮坪相局限台地相、白云岩与硬石膏岩互层 |

2 滑覆构造特征

龙门山前山带的飞来峰早已闻名遐迩,其中以彭州市小鱼洞-白鹿场地区尤为有名,塘坝子、白鹿顶、天台山、尖峰顶、懒板凳(北段)等一些著名飞来峰都分布在本区。经统计在430 km<sup>2</sup>,有大、小飞来峰26个(图5)。

2.1 滑覆体构造特征

懒板凳滑覆体是龙门山中段前山带规模最大的一个(图6),走向呈北东—南西向,主要由上古生界和下三叠统碳酸盐岩所组成,地貌上呈一山岭。

滑动面特征。以小鱼洞镇附近的霸王沟-刘家大坪剖面为例(图7),懒板凳滑覆体的滑动面

呈勺状,滑动面的后部为一倾向南东的正断层,断层面倾角20°~50°;中部隐伏于地腹,断层面平缓;滑动面的前缘表现为挤压性质的逆冲断层,断层面倾向北西,倾角20°~30°。

滑覆体内部构造。红水沟正断层以西为滑覆体的后部,由泥盆系沙窝子组和二叠系所组成,上二叠统中有次级褶曲,发育张性或张扭性节理。红水沟至大鱼洞间为滑覆体的中部,褶曲复杂,发育逆冲断层,也有正断层。在其之上部为另一滑覆构造,飞仙关组由北西向南东滑覆于二叠系和飞仙关组之上,并对下伏岩层构造产生牵引。此飞仙关组组成的滑覆体后缘被红水沟正断层切割<sup>[4,5]</sup>。霸王沟至大鱼洞为滑覆构造的前部,发育倒转褶曲和叠瓦状逆冲断层,断层面和褶曲轴面倾向北西。

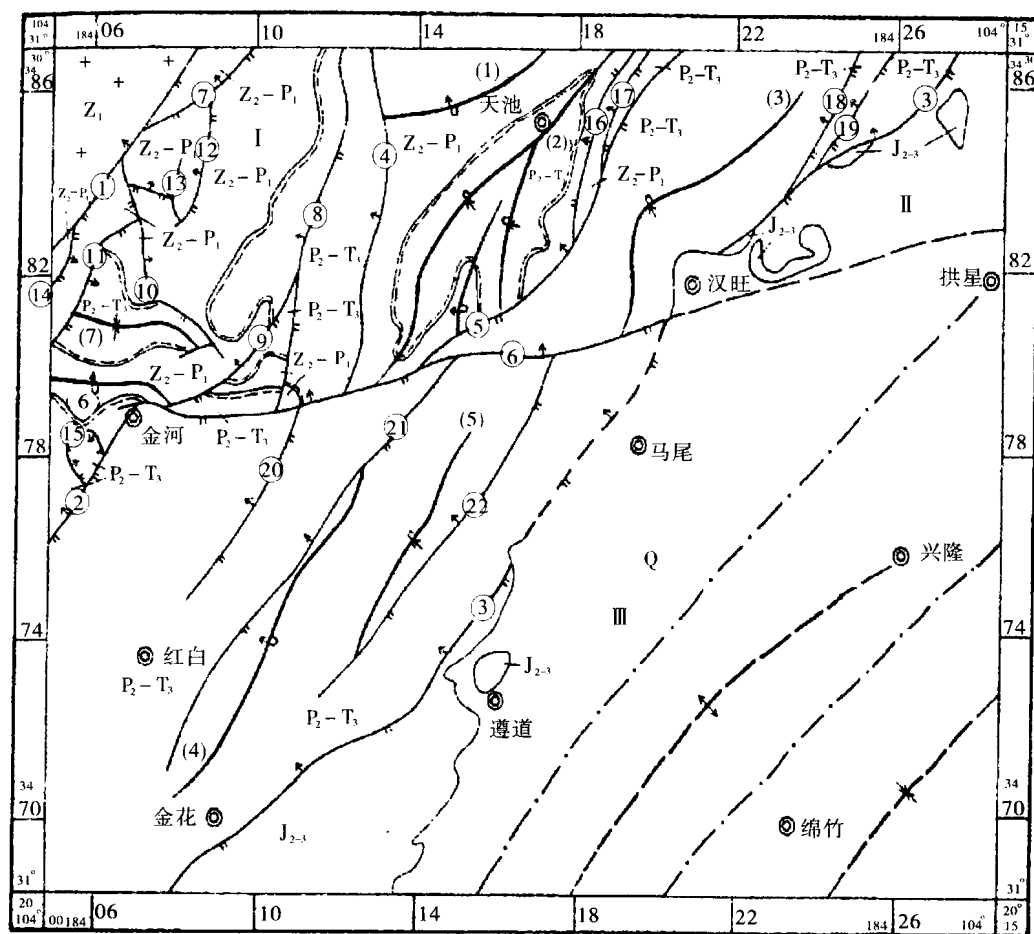


图4 绵竹市金河-天池地区构造纲要图\*

(1)歇马庙倒转背斜;(2)天池倒转向斜;(3)杨和岭倒转向斜;(4)雷家窑倒转背斜;(5)大岩方倒转向斜;(6)马槽滩倒转背斜;(7)杜家山倒转背斜;1. 茶园坪逆冲断层;2. 金河逆断层;3. 晓坝-金花逆断层;4. 清平-白云山逆断层;5. 卸军门逆断层;6. 马槽滩逆断层;7. 绿瓜架逆断层;8. 响水沟逆断层;9. 黑窑沟逆断层;10. 肖家山逆断层;11. 杜家山逆断层;12. 岳儿岩沟逆断层;13. 岳儿岩逆断层;14. 龙宝坪正断层;15. 木瓜坪滑覆断层;16. 高桥正断层;17. 何家山逆断层;18. 玉皇观逆断层;19. 牯牛背逆断层;20. 大石包逆断层;21. 红椿坪逆断层;22. 跑马岭逆断层

## 2.2 原地系统构造

上述滑覆构造之下为须家河组砂、泥岩组成的推覆构造(见前述)。这些滑覆体对须家河组中的构造产生了强烈影响。滑覆体之南须家河组虽发育走向北东-南西的若干褶曲,但褶曲轴面除受断层牵引者外,总体上是轴面直立,示未受滑覆构造的影响;在滑覆体之北的须家河组构造,普遍为同斜倒转褶曲,甚至倒转褶曲再次被卷曲,反

映了后者被上述滑覆体在滑移过程中牵引所致。滑覆体在重力作用下滑移改造了下伏岩层的构造形态,使其构造更为复杂。可以想象,它的影响深度是有限的、浅表性的,深部构造不会发生变形。

## 2.3 滑覆体的来源

北川、茂汶断裂之西,上古生界和三叠系不仅普遍变质,且岩性、岩相与上述龙门山前山带同期沉积大相径庭。毗邻什邡市金河、绵竹市清平地区,出露的泥盆系、石炭系、二叠系和下三叠统的

\* 肖遂强等. 绵竹幅 1:5 万地质图说明书. 四川省地质矿产局, 1995

岩性及岩相特点,完全可与小鱼洞、白鹿场地区滑覆体的岩层对比,属于同一构造环境和沉积环境产物。因此,组成滑覆体的岩层来自龙门山前山带自身。

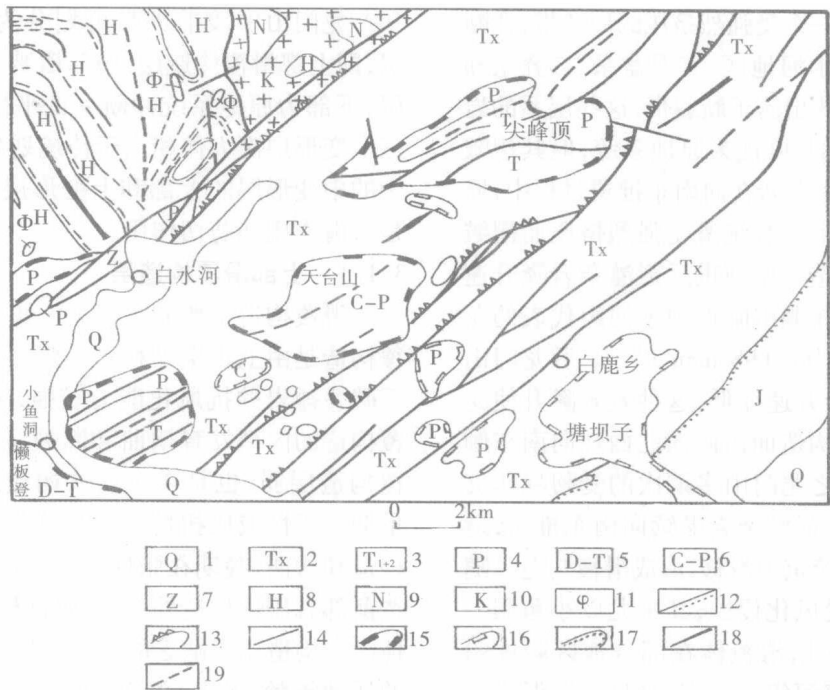


图5 彭州市小鱼洞—白鹿地区构造略图\*

1. 第四系; 2. 上三叠统须家河组; 3. 中、下三叠统; 4. 二叠系; 5. 泥盆系至三叠系; 6. 石炭系至二叠系; 7. 震旦系火山岩类; 8. 黄水河群变质岩; 9. 中滩堡超单元侵入岩; 10. 大红包超单元侵入岩; 11. 蛇纹岩; 12. 韧性断层及韧性剪切带; 13. 主干断裂; 14. 一般逆断层; 15. 滑覆体(飞来峰); 16. 次生滑覆体(滑塌体); 17. 角度不整合面; 18. 背斜轴; 19. 向斜轴

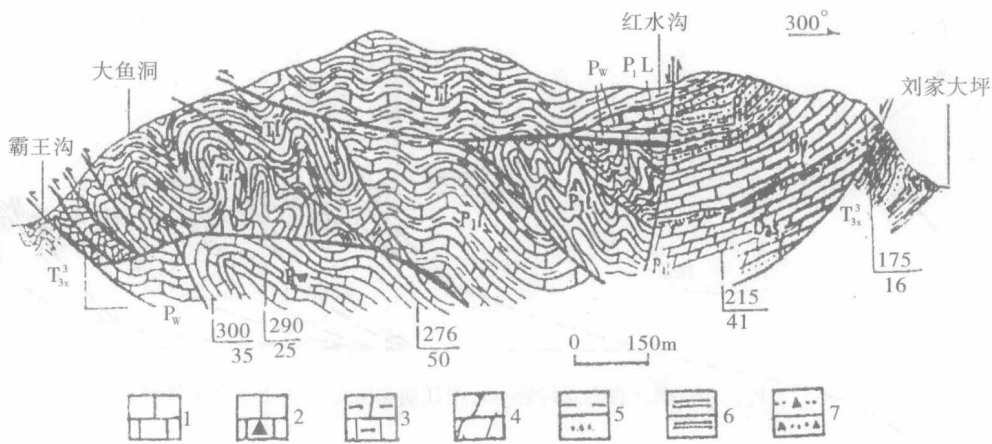


图6 彭州市懒板凳滑覆体构造霸王沟—刘家大坪剖面图\*\*

1. 灰岩; 2. 燧石灰岩; 3. 泥灰岩; 4. 白云岩; 5. 泥岩、粉砂岩; 6. 页岩; 7. 含铁角砾岩

\* 林茂炳等. 大宝山幅 1:5 万地质图说明书. 四川省地质矿产局, 1996  
\*\* 林茂炳, 苟宗海, 马永旺等. 海窝子幅 1:5 万地质图说明书. 四川省地质矿产局, 1996