

文章编号: 1009-3850(2006)04-0095-06

大庆油田葡萄花油层组储层非均质性主控因素分析

单敬福, 纪友亮

(同济大学 海洋学院, 上海 200092)

摘要: 本文对萨尔图油田中部葡萄花油层组的非均质性进行定量半定量研究, 认为葡萄花油层组PI 2小层层内非均质性最严重, 与沉积微相密切相关; 单砂层垂向上渗透率的变化以正韵律和复合式韵律为主, 局部发育反韵律模式; 层内非均质性强弱依次为PI 2a、PI 3、PI 2b、PI 1、PI 4; 层间非均质性在PI 3和PI 4间表现得最强, 其它相对要弱; 各小层平面非均质性相差无几, 整体表现为较强的非均质性。

关键词: 大庆油田; 储层; 非均质性; 主控因素; 黑龙江

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

1 概述

本文重点从宏观上的层内非均质性、层间非均质性及平面非均质性^[1]来研究储层的非均质性。

研究区位于萨尔图油田中区北一、二排段西部(图1), 钻井225口井, 研究层段主要是姚一段时期沉积葡I油层组的PI 1—PI 4砂岩组储层进行研究, 其中PI 2层为厚油层, 又可分PI 2a和PI 2b两个小层。北一区北一、二排西部总面积8.9km², 地质储量8407×10⁴t。截止到2000年, 全区累积产油3902.2×10⁴t, 年产油111.1×10⁴t, 综合含水86.6%, 采出程度37.95%。

2 层内非均质性评价指标的确定

2.1 渗透率的求取

鉴于渗透率的影响因素众多, 不确定性、非结构化的特点非常严重, 因此利用常规的统计、专家系统等方法解释的渗透率精度一直较低。人工神经网络算法^[2,3]是近几年来迅速发展的人工智能新技术, 在处理不确定性和非结构化的信息方面具有独特的优势。笔者就是利用BP网络对渗透率进行预测。

渗透率可以视为孔隙度(ϕ)、泥质含量(V_{sh})、粒

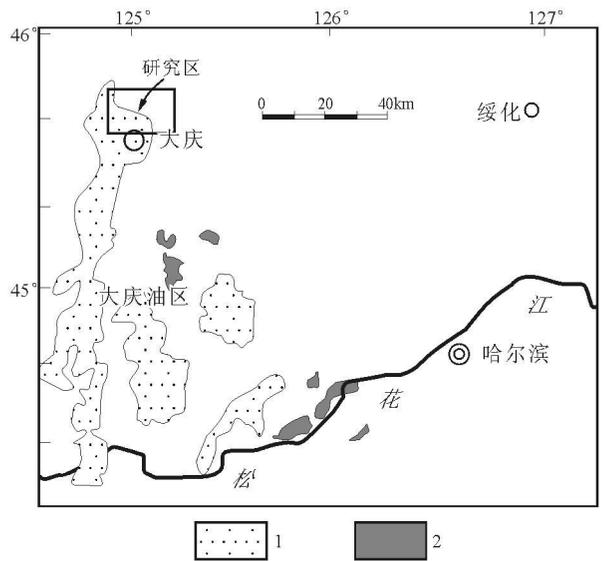


图1 研究区地理位置简图

1. 油田含油构造; 2. 油田含气构造

Fig. 1 Geographic location of the Putaohua oil reservoirs

1= oil-bearing structure; 2= gas-bearing structure

度中值(M_d)、束缚水饱和度(S_{wi})的函数, 即 $K = f(\phi, V_{sh}, M_d, S_{wi})$ 。由于 K 值变化较大, 取其对数形式, 即 $\lg K = f(\phi, V_{sh}, M_d, S_{wi})$ 。

将取芯井测试值的孔隙度、泥质含量、粒度中值、束缚水饱和度作为4组输入参数,渗透率取对数后作为一组输出参数引入神经网络系统中。在回归之前,对学习样本进行了严格筛选,先用线性回归分析,剔除一部分特别异常的样本,然后用聚类方法从剩余样本中选出有代表性的作为学习样本,其分布范围与总样本分布基本一致。最后选用符合率较高,通用性较强的简单线性模型,相对误差为0.2804,公式如下:

$$K = 10^{(2.75 \times \phi - 0.0674 \times S_{wi} + 0.0115 \times V_{sh} + 1.1294 \times M_d + 3.5366)} \quad (1)$$

式中: ϕ (%), V_{sh} (%), M_d (mm), S_{wi} (%) 是利用取芯井数据,优选相关性最好的测井曲线拟合得到,建立研究区的数学模型(2)、(3)、(4)和(5)。

$$\phi = 1 - \left(\frac{182}{AC - (405.72 - 182) \times V_{sh}} \right)^{0.6459} \quad (2)$$

$$V_{sh} = 18.281 \text{Exp}(-1.302S_{rr}) \quad (3)$$

$$S_{wi} = 21.742 - 2.7526S_{rr} \quad (4)$$

$$M_d = 0.1682 - 0.0035S_{rr} \quad (5)$$

式中:AC—声波时差, S_{rr} —微电极幅度差。

2.2 渗透率的层内非均质性评价指标的确定

以往渗透率的垂向差异性主要用变异系数(V_k)、突进系数(S_k)、级差(N_k)3个指标分别来衡量^[4~5],每个指标都有各自的评价标准。在实际应用中各指标既不能较全面反映渗透率的垂向差异,又经常出现各指标的评价结果相互矛盾的情况。笔者尝试用综合系数(Z_k)作为判断储层非均质性的指标来评价渗透率的垂向差异性。 $Z_k = V_k \times S_k \times N_k$,综合系数越大,非均质性越强。实际应用表明,综合系数作为评价储层垂向差异性的综合指标,既克服了单个指标(V_k, S_k, N_k)非均质参数确定权重的主观因素,也避免了只重局部、忽视全局的不足,定量的描述了萨尔图油田中区北一、二排段西部葡

萄花油层组储层内部的非均质性。

2.3 评价标准的确定

求取每个小层各井的非均质参数变异系数、突进系数、级差及综合系数,进行储层垂向非均质性评价。将研究区储层非均质性强弱分为3个等级(表1)。综合考虑传统指标的评价标准,最后确立用综合系数评价储层非均质性更直观合理。

表1 研究区储层非均质性评价标准

Table 1 The criteria for the evaluation of the reservoir heterogeneity of the Putaohua oil reservoirs

非均质性标准	变异系数	突进系数	级差	综合系数
弱	< 0.5	< 2	< 20	< 20
中	0.5 ~ 0.9	2 ~ 3	20 ~ 30	20 ~ 30
强	> 0.9	> 3	> 30	> 30

3 层内非均质性

层内非均质性是直接控制和影响一个单砂层内垂向上注入剂波及体积的关键地质因素。

3.1 小层内的沉积构造特征

葡萄花油层组PI 1—PI 4各小层储集砂体内主要发育的层理类型有:平行层理、小型至大型斜层理、交错层理、槽状交错层理、块状层理。平行层理和斜层理的存在,一方面有利于注入剂均衡的进入油层内进行驱动,提高了驱油效率;另一方面也降低了储层的渗透率,这是因为层理面上富集碳屑和碳质薄层对垂向渗透率影响更大^[6~8]。

3.2 小层内韵律性特征

储层中渗透率在三维空间上分布的韵律性有简单韵律、复杂韵律、均质韵律、反韵律、复合式韵律(图2)。

由于层内渗透率在空间上分布差异性的影响,

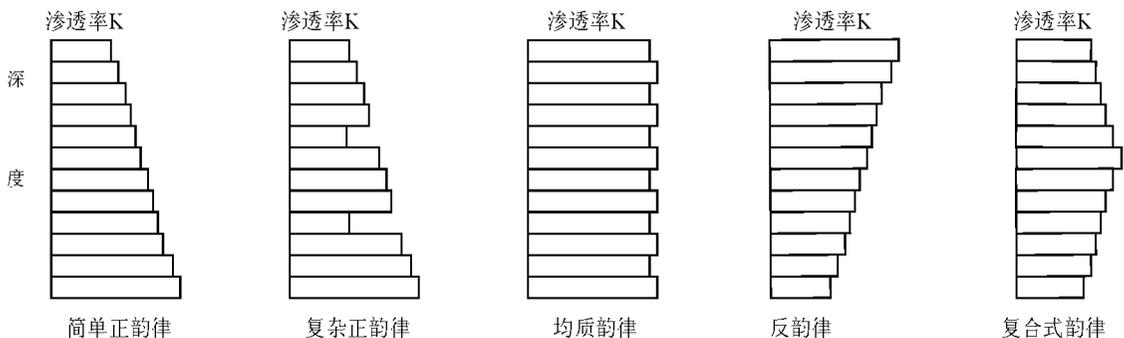


图2 层内渗透率纵向分布韵律模式图

Fig. 2 Models showing the vertical rhythmic distribution of the intrastatal permeability

层内水淹及驱油效率差异性很大,因此剩余油多分布在渗透率较低的部位,尤其是正韵律中上部的低渗区。由于水驱运动方向是由下往上有利,所以均质韵律和反韵律水驱效果比较好,对层内的非均质性贡献小,简单正韵律、复杂正韵律以及复合式韵律对层内非均质性贡献大。通过岩心观察和测井资料的分析,研究区的小层内的韵律性比较明显以正韵律为主,其次为复合式韵律^[9-12](图3)。从韵律上看,小层内的纵向上波及厚度及注水开发效果不是很理想。

3.3 层内夹层的分布特征

夹层是指在砂岩层内所分布的相对非渗透层。一般分为3类: I类夹层系指砂岩之间的泥质夹层,厚度一般不小于0.4m,包括粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及致密钙质层等,也包括大段泥岩在内,主要体现的是5级界面——河道复合体之间的界面,即小层界面; II类夹层指砂岩内部有效厚度段之间的夹层,厚度一般不小于0.4m,以泥质粉砂岩、致密泥砾层或砂质砾岩层、致密粉砂岩等为主,也见有少量的薄泥岩、粉砂质泥岩,主要指的是四级界面,也可能包括3级界面。I、II类夹层大多数都是河流沉积的单元间夹层,在注水开发中具有较好的并且可以在

井间追溯对比; III类夹层是有效厚度解释段内部的夹层,厚度一般不大于0.4m,以泥质分砂岩、致密粉砂岩和细砂岩、泥砾层或砂质砾岩层主,也见有少量极薄的泥岩、粉砂质泥岩层,多是次旋回层内部(或单元内)的夹层,也有少部分处于单元间位置上,可能是被侵蚀变薄的单元间夹层。因此 II类夹层可能是3、4、5级界面。

夹层在注采井范围内的分布状况,对油水运动起着很大的影响。一般来说,只要在注采井组内分布比较稳定的夹层,对油水就能起到屏蔽的作用。不稳定夹层越多,其间非均质性越强,油水运动与分布也就越复杂。

由上述分析可知,层内非均质性主要取决于II、II类夹层的发育状况,夹层发育的多少与砂体发育时期有关(表2),由PI 3至PI 1,基准面旋回逐渐上升,沉积时间单元以河道粗粒沉积为主向河间细粒沉积物为主转化,夹层频数、泥地比逐渐增加;同理,PI 3—PI 4随着基准面旋回逐渐下降,夹层频数、泥地比逐渐增加。

3.4 层内非均质性特征

由225口测井曲线解释结果,计算出各层非均质参数(表3)。可以看出,PI 4小层层内非均质性

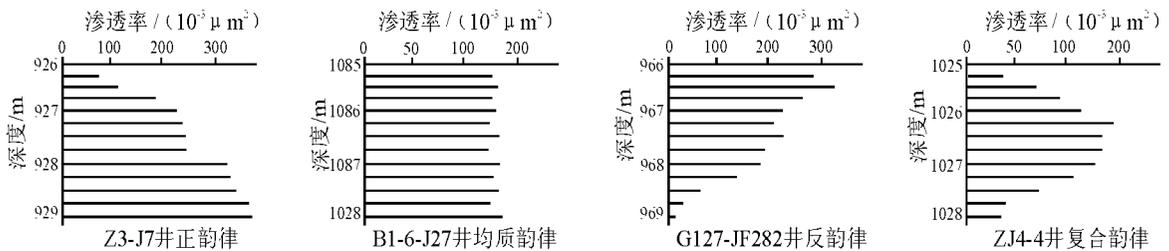


图3 小层内垂向上的非均质模式图

Fig. 3 Models showing the vertical rhythmic distribution of the permeability in individual beds

表2 萨尔图油田北一、二排区西部PI 1—PI 4小层夹层频数表

Table 2 Frequency distribution of the barriers from PI1 to PI4 beds in the Sartu Oil Field

层号	有效厚度(m)	I类夹层频数(个/m)	II类夹层频数(个/m)	III类夹层频数(个/m)	泥地比(%)	中期旋回
PI1	2.2	0.23	0.55	0.67	69.74	
PI2a	4.3	0.15	0.34	0.51	52.48	
PI2b	2.1	0.17	0.61	0.75	53.26	
PI3	4.9	0.16	0.35	0.53	39.10	
PI4	1.1	0.90	1.20	1.78	62.80	

表3 萨尔图油田北一、二排区西部PI 1—PI 4小层非均质性统计表

Table 3 Statistics of the heterogeneity parameters for PI1 to PI4 beds in the Sartu Oil Field

油层组	平均渗透率 $10^{-3}\mu\text{m}^2$	变异系数			突进系数			级差			综合系数
		最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
PI 1	480.0	15.8	0.001	0.5	6.92	1.15	2.11	350	1.3	25	26.4
PI 2a	725.7	351.3	0.001	2.9	29.82	1.34	2.61	3755	1.8	47	355.7
PI 2b	544.8	19.8	0.001	0.5	5.68	1.10	2.08	373	1.2	28	29.1
PI 3	770.2	14.2	0.001	0.7	8.64	1.14	2.40	653	1.2	24	40.3
PI 4	230.6	10.5	0.001	0.2	6.35	1.07	2.11	1142	1.2	23	9.7

较弱,综合系数小于10,变异系数最小,粒度变化比较均匀,主要为三角洲前缘亚相沉积;PI 1、PI 2b小层层内非均质性中等,综合系数20~30,变异系数小到中等,主要为分流河道沉积,以垂向加积为主;PI 3小层层内非均质性较强,主要心滩与河道相间分布,心滩发育的落淤泥成因的隔夹层,河道则主要以底部滞留沉积为主要隔夹层,二者交互出现,导致砂体连通情况比较复杂;PI 2a小层属典型的曲流河成因,随着河道向准衡趋势发展,侧积泥质夹层非常发育,导致粒度粗细混杂,砂体连通情况复杂,变异系数、突进系数、级差均大,故层内非均质性最强。

由上述分析可知,层内非均质性主要取决于II、II类夹层的发育状况,夹层发育的多少与砂体发育时期有关(表2),由PI 3至PI 1,基准面旋回逐渐上升,沉积时间单元以河道粗粒沉积为主向河间细粒沉积物为主转化,夹层频数、泥地比逐渐增加^[13,14];同理,PI 3—PI 4随着基准面旋回逐渐下降,夹层频数、泥地比逐渐增加。

4 层间非均质性

层间非均质性是指砂体之间在旋回性、砂体间渗透率分布梯度、隔夹层分布及构造裂缝等的差异性,层间非均质性主要受沉积相带展布规律控制,是对一套含油层系的总体研究,主要体现在层间隔夹层(一类夹层)分布情况,不同砂体纵向的连通情况以及渗透率在纵向上的差异情况等。

从图4中可知,隔层钻遇率与隔层厚度呈现一致的变化趋势。其中PI 3/PI 4及PI 4/PI 5之间的隔层都很发育,均处于下降半旋回,河流作用较弱的时期。而PI 2b与PI 3之间的隔层最少也最薄,表明PI 3顶部,开始以沉积作用为主,有细粒物质沉积下来但很少,至PI 2b顶部,As接近1,沉积作用与河容纳空间增长速率持平,泛滥平原沉积物相对最多,隔层较发育,随着河流向准衡发育,伸展范围扩大,隔层有所回缩。

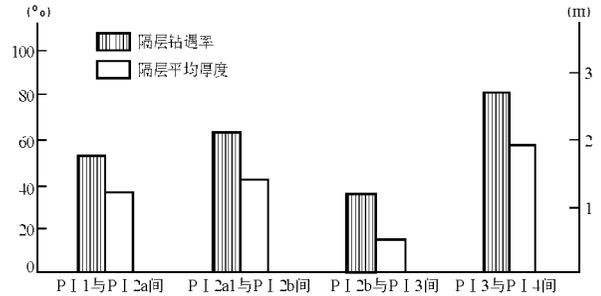


图4 PI 1—PI 4小层隔层分布图

Fig. 4 Histogram showing the distribution of the barriers from PI1 to PI4 beds in the Sartu Oil Field

5 平面非均质性

平面非均质性是指储层的几何形态、规模、孔隙度、连通性和渗透率差异引起的非均质性,以及其对油田生产动态与剩余油分布的控制作用。

5.1 各小层储层砂体平面展布特征

PI 1小层砂岩厚度为0.2~7.2 m,平均2.72m;层内砂体成因类型有水上分流河道砂体、水上天然堤砂体、水上决口扇砂体和水上分流河道间薄层砂体;其单一河道砂体规模较窄,剖面为豆荚状,平面为弯曲条带状,厚约2~5m。总体来看砂体连续性好,方向性强烈,显示出以点坝侧向加积沉积为主,垂向充填沉积为辅的内部建筑结构和非均质特征。

PI 2a小层砂岩厚度为0.7~8.3m,平均4.8m;其河道砂体主要是高弯度曲流河道成因,典型侧向加积的产物。

PI 2b小层砂岩厚度为0.2~6.2m,平均2.5m;其河道砂体属低弯度曲流河成因的。

PI 3小层砂体厚度为0.3~10.4m,平均5.5m;其砂体成因类型以大型辫状河道沉积为主,河道规模大、砂体厚、连续性好,天然堤、决口扇及河道间沉积相对不发育。

PI 4小层砂体厚度为0.2~7.1m,平均1.6m;

砂体类型有水下分流河道砂体、水下天然堤砂体和水下决口扇砂体,其中以水下天然堤砂体最为发育;河道砂体主要为内前缘过渡状三角洲分流河道砂体,该砂体介于内前缘枝状和坨状三角洲砂体之间,在分流河道砂体间大面积分布着席状砂,泥质充填的面积变小,分流河道砂体的枝状或网状不典型。

5.2 砂体连续性及连通性

各种河流砂体和水道型砂体包括三角洲平原上的分流河道砂体,其侧向连续性往往是百米级或更小的数量级,预测这些砂体的沉积规模及连续性,是储层沉积相分析要解决的重要问题。PI 1—PI 3处于基准面上升半旋回,河道砂体连续性好,尤其PI 2a、PI 3更好(河道砂钻遇率 $>70\%$);而PI 4处于基准面下降半旋回,非河道砂体连续性较好(非河道砂钻遇率 $>50\%$)(表4)。对于砂体连通性而言,不同井点间厚油层存在3种连通关系:一类连通指各井点间存在的是同一沉积河道砂体,岩石内部结构和渗透率相似或者呈渐变关系;二类连通指各井点间存在不同河道砂体,砂体之间连接的紧密程度不确定;三类连通指河道砂体与非河道砂体之间的连通,各自的岩性和渗透率差别很大。经过系统分析各小层的连通性认为:PI 2与PI 3大面积连通,以一、二类连通为主;PI 1与PI 4的平面连通情况就要差很多了,主要以二类和三类连通为主;而三类连通

情况在PI 1和PI 2b小层出现的频率也较高。

由此可以看出,非均质参数平面分布受沉积相带分布、砂体连通性的影响。其中,分流河道微相总体综合系数分布较平均,数值较低,平均渗透率较高,说明均质性好;河道间微相综合系数变化较大,数值较高,平均渗透率较低,均质性较差。对于平面非均质性而言,认识了它就可以避免无效注水,这对于提高驱油效率有着指导性意义。

6 结论

萨尔图油田中部葡萄花油层组PI 2小层层内非均质性最严重,与沉积微相密切相关。单砂层垂向上渗透率的变化以正韵律和复合式韵律为主,局部发育反韵律模式,综合系数最大,非均质性也最强。在目的层段内各小层的非均质性由强到弱依次为PI 2a、PI 3、PI 2b、PI 1、PI 4;层间非均质性在PI 3和PI 4间表现得最强,其它相对要弱;各小层平面非均质性相差无几,整体表现为较强的非均质性。

在表征层内非均质性的时,渗透率的值在层内纵向上韵律分布的差异性,特别是目的层段大都以正韵律为主,从而导致了储层严重的非均质性,这在PI 2a小层表现得尤为明显。

表4 萨尔图油田北一、二排区西部PI 油层组内砂岩钻遇率、连通系数统计表

Table 4 Statistics of drilled sandstone rates (%) and connection coefficients (%) for the PI oil reservoirs in the Sartu Oil Field

小层	钻遇率 (%)				连通系数 (%)	中期旋回
	砂岩	河道砂	非河道砂	河间泥		
PI1	70.90	43.04	27.86	29.10	45.57	
PI2a	94.62	80.69	13.93	5.38	53.63	
PI2b	84.49	68.35	16.14	15.51	51.58	
PI3	95.57	71.84	23.73	4.43	55.70	
PI4	95.25	36.08	59.17	4.75	43.99	

参考文献:

- [1] 刘克奇,杨喜峰,杨春梅.东濮凹陷卫城81断块沙四段第二砂层组储层非均质性研究[J].断块油气田,2004,11(4):55-57.
- [2] 杜启振,侯加根,陆吉孟.储层微相及砂体预测模型[J].石油学报,1999,20(2):45-52.
- [3] 薛培华.河流点坝相储层模式概论[M].北京:石油工业出版社,1991.77-79.

社,1991.77-79.

- [4] MACDONALD A C, HALLANDE K. Sedimentology and shale modeling of a sandstone-rich fluvial reservoir; Upper Statfjord Formation, Statfjord Field, Northern North Sea [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(6): 68-72.
- [5] 高兴军,宋子齐,谭成任.真12块垛一段六油组隔夹层划分及描述[J].西安石油学院学报,2000,15(5):10-14.
- [6] 吕晓光,马福士,田东辉.隔层岩性、物性及分布特征研究[J].石油勘探与开发,1994,21(5):80-88.

- [7] 李琦. 沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(增刊): 22-28.
- [8] 王科俊, 王克成. 神经网络建模、预报与控制[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 丛爽. 面向MATLAB工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998.
- [10] 徐阵绑, 娄元仁. 数学地质基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- [11] 武耀诚, 方长泉. 地质数据处理与微机应用[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [12] 张红薇, 赵翰卿, 等. 泛滥-分流平原相储层中河间砂体的精细描述[J]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17(6): 98-102.
- [13] 吕晓光, 赵翰卿, 付志国. 河流相储层平面连续性精细描述[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 66-71.

Controlling factors for the heterogeneity of the Putaohua oil reservoirs in the Daqing Oil Field

CHAN Jing-fu, JI You-liang

(Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The reservoir heterogeneity tends to exert an important effect on the oil and gas exploration. The quantitative and semi-quantitative analysis of the heterogeneity of the Putaohua oil reservoirs in the Daqing Oil Field indicates that the intrastratal heterogeneity is very poor in the PI2 bed in the Putaohua oil reservoirs, and closely related to sedimentary microfacies. Vertically, the distribution of the permeability displays the variations of positive and compound rhythmicity with local reversed rhythmicity. There are gradations in intrastratal heterogeneity degree from PI2a through PI3 to PI2b, PI1 and finally to PI4. The interstratal heterogeneity is strongest at the boundary between the PI3 and PI4 beds in the Putaohua oil reservoirs. Laterally, the heterogeneity is relatively stronger on the whole in the Putaohua oil reservoirs.

Key words: Daqing Oil Field; reservoir; heterogeneity; controlling factor; Heilongjiang

(紧接第 104 页)

- [2] 苏鹏程, 刘希林, 王全才等. 四川丹巴县邛山沟泥石流灾害特征及危险度评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(1): 9-12.
- [3] 陈宁生, 高延超, 李东风, 等. 丹巴县邛山沟特大灾害性泥石流汇流过程分析[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 104-108.
- [4] 段丽萍, 郑万模, 李明辉, 等. 川西高原主要地质灾害特征及其影响因素浅析[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(4): 95-98.
- [5] 郑万模, 周东, 王锦. 四川省甘孜州地质灾害特征与防灾减灾对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(2): 102-103, 111.
- [6] 鄢毅, 岳昌桐. 四川地质灾害特征及防治对策探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(增刊): 123-127.
- [7] 岳志升. 桂东南花岗岩地区地质灾害发育特征及影响因素浅析[J]. 南方国土资源, 2005, 7: 33-35.

Geological hazards and their prevention and control in Danba, Sichuan

DENG Guo-shi, ZHENG Wan-mo, YANG Gui-hua, LI Ming-hui, DUAN Li-ping, BA Ren-ji

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: Induced by geological, geomorphological and hydrogeological features and human activity, wide-spread geological hazards such as debris flows, landslides, land collapses and potential unstable slopes often occur in Danba, Sichuan. The present paper deals, in detail, with the controlling factors of the geological hazards and some suggestions on further prevention and control in the study area.

Key words: Danba; geological hazard; prevention and control; Sichuan