

宁夏红寺堡盆地地表沙漠化现状及其地质主控因素

黄婷^{1,2}, 李振宏², 刘锋², 崔加伟², 董晓朋², 赵杨²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 以 landsat-TM 遥感影像资料提取为基础, 详细解译了宁夏红寺堡盆地近 30 年来地表沙漠化的进程。进一步结合 1:50000 区域地质填图成果, 系统建立了红寺堡盆地晚更新世区域地层对比格架, 恢复了重要演化阶段的岩相古地理格局, 地质与地球化学分析相结合, 确立了区域沙漠化的物质来源。研究结果认为: 1999 年国家实施的西部生态移民战略使红寺堡盆地生态环境恶化得到了有效修复, 区域沙漠化整体呈现出了稳中有降的变化趋势, 但并未得到彻底的有效根治; 地表沙丘沙脊的主体走向呈北西—南东向, 与大罗山—牛首山构造带、烟筒山构造的主体走向基本一致, 具有带状分布的格局; 沙漠化物质来源主要受控于上更新统萨拉乌苏组三段湖退序列的疏松湖相砂, 具有原地沙漠化的特征; 地表风成沙与萨拉乌苏三段湖相砂在主要元素、微量元素和稀土元素特征上具有比较一致性的变化趋势, 进一步说明了二者在成因上具有一定的亲源性。该研究成果对区域土地沙漠化的综合防治具有重要的现实指导意义。

关键词: 上更新统; 萨拉乌苏组; 湖相砂; 原地沙漠化; 红寺堡盆地

中图分类号: X141

文献标识码: A

THE CURRENT SITUATION OF DESERTIFICATION IN THE HONGSIBU BASIN, NINGXIA, AND ITS MAIN GEOLOGICAL CONTROLLING FACTORS

HUANG Ting^{1,2}, LI Zhenhong², LIU Feng², CUI Jiawei², DONG Xiaopeng², ZHAO Yang²

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the landsat-TM remote sensing images, the desertification evolution history of the Hongsibu Basin in the last 30 years is rebuilt. Combining with the 1:50000 geological mapping, the Late Pleistocene sedimentary frame is systematically built and the lithofacies paleogeography for several important evolutionary phases of the Hongsibu Basin is reconstructed. Moreover, the provenance of the eolian sand by detailed geological field and sedimentary geochemical works is traced. According to the primary research, several cognitions can be suggested that Although the desertification had not been eliminated, the ecological migration strategy implemented in 1999 effectively curbed the deterioration of the ecological environment and the range of desertification decreased; The sand ridges at the surface with zonal distribution characteristics mainly extend in NW-SE direction which parallels with the strike of the

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20160060)

作者简介: 黄婷 (1992-), 男, 在读硕士, 主要从事构造地质、区域地质方面的研究工作。E-mail: 1003721514@qq.com

通讯作者: 李振宏 (1973-), 男, 副研究员, 主要从事沉积盆地分析、石油地质综合研究、区域地质调查等方面的研究工作。E-mail: lizhenhong@126.com

收稿日期: 2018-02-07; 修回日期: 2018-05-01

范二平编辑

Dalu Mountain-Niushou Mountain tectonic belts, and Yantong Mountain tectonic belts; The eolian sand piled during the desertification mainly derived from the loosened lacustrine sand deposits, the third part of the Upper Pleistocene Salawusu formation sedimented during the regression, and this process is characterized with in-situ desertification; The similarities of the eolian sand at the surface and the lacustrine sand from the third part of the Salawusu formation in major elements, trace elements, and REE aspects revealed the affinity between these two sets of sands. What's more, this study contributes a lot to the comprehensive control for the regional desertification in the Hongsibu Basin, Ningxia.

Key words: Upper Pleistocene; the Salawusu formation; lacustrine sand; in-situ desertification; the Hongsibu Basin

沙漠化主要是指在干旱、半干旱以及部分湿润地区,由于自然因素和人类活动的影响,而引起原有生态系统破坏,使原来非沙漠地区出现了类似沙漠景观的环境退化过程^[1-3]。沙漠化是一个渐进的过程,但其危害程度及产生的灾害却是长久和永恒的^[4-6]。它严重地影响和困扰着全人类的生存及社会的可持续性发展,已成为影响全球经济发展和社会稳定性的障碍因素^[7-9]。目前,在沙漠化的概念中主要强调自然因素和人类活动的影响,并没有涉及到地质作用过程对土地沙漠化的控制作用^[10-11]。但众所周知,第四系松散堆积物是土地沙漠化发生的物质基础,沙漠化的区域分布与近地表的岩性存在紧密的联系^[12-14]。物质条件、气候背景及人类活动是土地沙漠化过程中并存的三个重要因素,物质条件和地质背景之间的关系密不可分。近年来,遥感解译和地理信息系统技术的迅速发展和广泛应用,已经成为研究土地沙漠化现状和生态环境时空演化过程的有效手段^[15-16]。为了系统研究宁夏红寺堡盆地沙漠化的现状、发展趋势及地质控制因素,文章首先收集了盆地 1989、1999、2006、2010、2016 年五年的 landsat-TM 遥感数据进行融合、提取,为分析该区近 30 年来沙漠化发展趋势提供了基础资料;进而开展了详细的 1:50000 区域地质调查工作,填绘第四系地表地质图,搞清第四系地层格架、岩性分布及构造演化,探讨区域沙漠化形成的物质基础、地质历史演化过程的主控因素及成因,指出地球表层系统各圈层之间的相互耦合关系,对土地沙漠化防治具有现实的指导意义。

1 区域地质概况

红寺堡盆地位于宁夏回族自治区中南部,在

区域构造位置上位于青藏高原东北缘烟筒山构造带和大罗山—牛首山构造带之间,为一晚更新世发育的山间盆地(见图 1)。大罗山构造带位于红寺堡盆地以东,山前主要被第四系马兰黄土所覆盖;烟筒山构造带位于红寺堡盆地以西,主要出露古近系至新近系碎屑岩沉积,局部含有与逆冲构造带相关的石炭系含煤地层(见图 2)。古近系寺口子组自下而上划分为三段,寺口子组一段为一套厚层砾岩,寺口子组二段为一套厚层砾岩夹薄层砂岩,寺口子组三段为一套厚层砂岩,局部夹砾岩透镜体。古近系清水营组自下而上可以划分为四段,清水营组一段为一套紫红色泥岩,清水营组二段为一套深灰色层状石膏层,清水营组三段为一套紫红色网状石膏层,清水营组四段与二段相似,为一套深灰色层状石膏层。新近系红柳沟组为一套桔红色厚层块状泥质粉砂岩。自古近系寺口子组至新近系红柳沟组湖盆经历了完整的湖进至湖退的沉积过程,古近系寺口子组代表了湖盆充填的初期,清水营组代表了湖盆充填的高峰期,新近系红柳沟组代表了湖盆萎缩的初期,各套地层之间以整合接触,不存在沉积间断。

宁夏红寺堡盆地主要叠加在晚更新世沉积前的古地貌背景上,缺失了早中更新世的沉积,上更新统萨拉乌苏组与下伏的新近系红柳沟组之间存在明显的角度不整合接触,该期构造运动在区域上可能对应于广泛存在的共和运动,为青藏高原中更新世与晚更新世之交的一次重要的隆升事件在研究区内的响应。红寺堡盆地在中心区域自下而上主要发育萨拉乌苏组和水洞沟组,在盆地边缘邻近大罗山构造带和烟筒山构造带的前缘,主要发育马兰黄土,二者在区域上呈现明显的相变关系(见图 2)。萨拉乌苏组自下而上可以划分

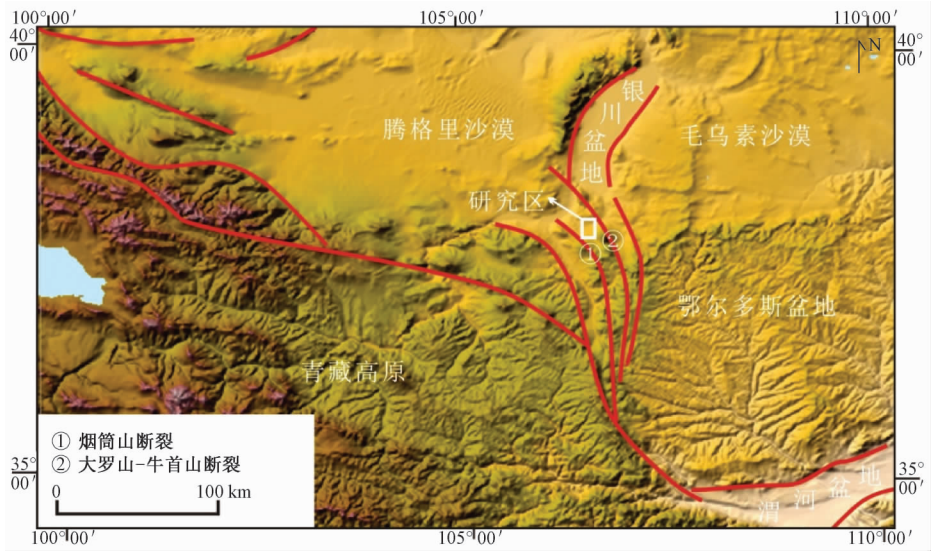


图1 研究区区域构造位置图

Fig. 1 The regional tectonic location map of the study area

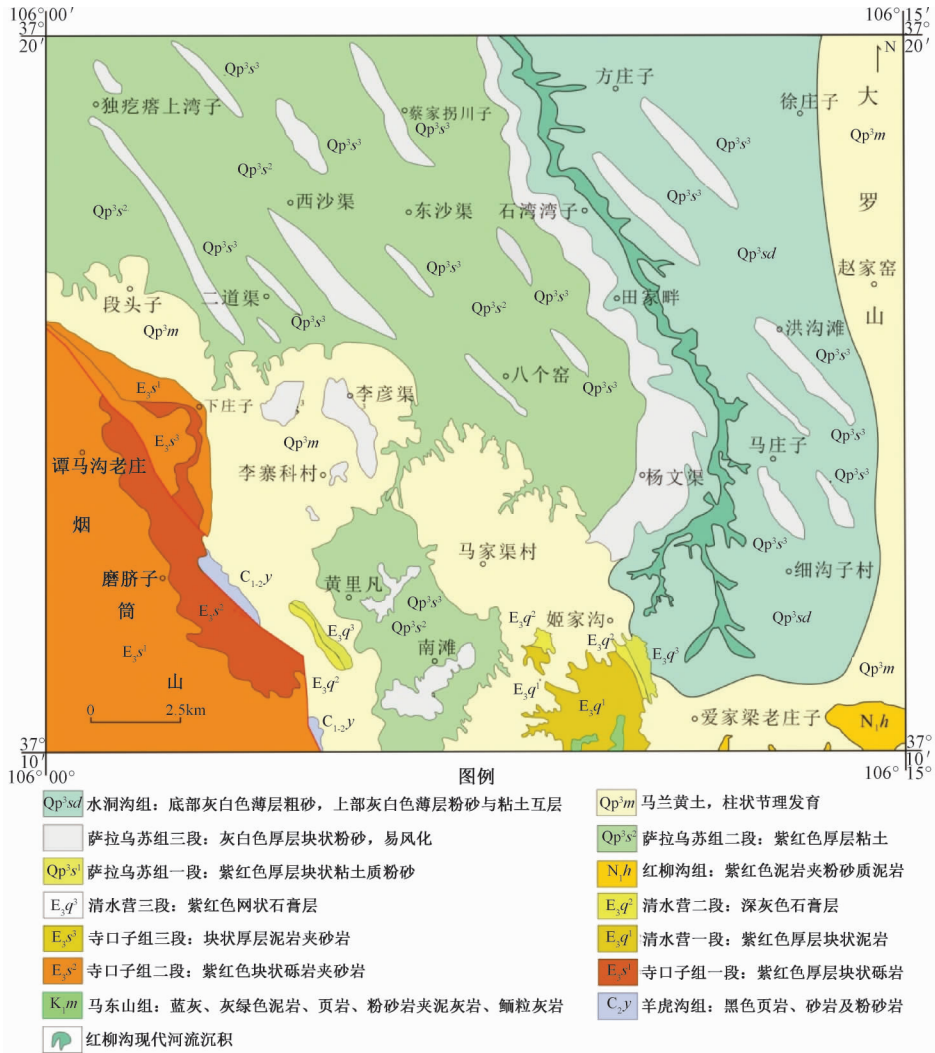


图2 宁夏红寺堡盆地新庄集区域地质简图

Fig. 2 The geological sketch of Xinzhuangji area

三段：萨拉乌苏组一段为一套紫红色厚层块状含砾粉砂，胶结程度好；萨拉乌苏组二段为一套紫红色厚层块状粘土层，局部夹薄层粉砂和砾岩透镜体，为水下分流河道沉积；萨拉乌苏组三段为一套灰白色厚层块状粉砂，砂质疏松，易风化。萨拉乌苏组三个岩性段在纵向上构成了一个完整的湖进至湖退的旋回，萨拉乌苏组一段代表了湖盆充填的初期，萨拉乌苏组二段代表了湖盆充填的高峰期，萨拉乌苏组三段代表了湖盆衰退期。水洞沟组底部为一套含有斜层理的含砾粗砂，向上逐渐过渡为灰白色薄层粉砂与粘土互层，总体上表现为一套湖进体系域的沉积。萨拉乌苏组三段与水洞沟组之间存在明显的沉积间断，二者之间为不整合接触，水洞沟组沉积是在萨拉乌苏组沉积之后构造抬升剥蚀形成的古地貌基础上的填平补齐过程。

2 样品采集及测试

为分析地表沙漠化砂与萨拉乌苏组三段地层砂之间是否具有一定的亲源关系，研究在区域地层对比、1:50000 区域地质填图的基础上，分别采取了洪沟滩村红柳沟沿岸地表风成沙和萨拉乌苏组三段 5 个粉砂样品，进行元素地球化学测试，进而分析二者之间在地球化学特征上是否存在差异。

样品元素全分析在河北省区域地质矿产调查研究所完成，具体测试流程如下：①选取无蚀变及脉体穿插的新鲜样品用纯化水冲洗干净，烘干并粉碎至 200 目以备测试使用；②主量元素测试首先将粉末样品称量后加 Li₂B₄O₇ (1:8) 助熔剂混合，并使用融样机加热至 1150 °C，使其在金铂坩埚中熔融成均一玻璃片体，后使用 XRF (Zetium, PANalytical) 测试，测试结果保证数据误差小于 1%；③微量元素测试将 200 目粉末样品称量后，放入聚四氟乙烯溶样罐中，同时加入 HF + HNO₃，在高压消解溶样罐中保持 190 °C 恒温持续 72 小时后，取出经过赶酸处理后将溶液定容为稀溶液上机测试。测试使用 ICP-MS (M90, analytikjena) 完成，所测数据根据监控标样 GSR-2 显示误差小于 5%，部分挥发性元素及极低含量元素的分析误差小于 10%。

3 测试结果

样品测试结果见表 1。主量元素以 SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量为主，其次为 CaO、Fe₂O₃、MgO 等。其中采自地表沙丘砂的 5 个样品 SiO₂ 含量介于 56.08% ~ 69.04% 之间，平均 64.55%；Al₂O₃ 含量介于 10.06% ~ 11.01% 之间，平均 10.55%；ΣREE 总量介于 110.14 × 10⁻⁶ ~ 152.12 × 10⁻⁶ 之间，平均 132.03 × 10⁻⁶；LREE/HREE 比值介于 7.34 ~ 8.3 之间，平均 7.74；La_N/Yb_N 比值介于 6.41 ~ 8.42 之间，平均 7.36；δEu 介于 0.51 ~ 0.55 之间，平均 0.53。采自与沙丘砂相邻的萨拉乌苏组地层中 5 个粉砂样品 SiO₂ 含量介于 53.11% ~ 68.92% 之间，平均 62.10%；Al₂O₃ 含量介于 10.20% ~ 12.3% 之间，平均 11.18%；ΣREE 总量介于 117.3 × 10⁻⁶ ~ 156.55 × 10⁻⁶ 之间，平均 145.2 × 10⁻⁶；LREE/HREE 比值介于 7.47 ~ 8.18 之间，平均 7.77；La_N/Yb_N 比值介于 6.43 ~ 8.54 之间，平均 7.6；δEu 介于 0.50 ~ 0.54 之间，平均 0.52。

4 讨论

4.1 沙漠化现状及发展趋势

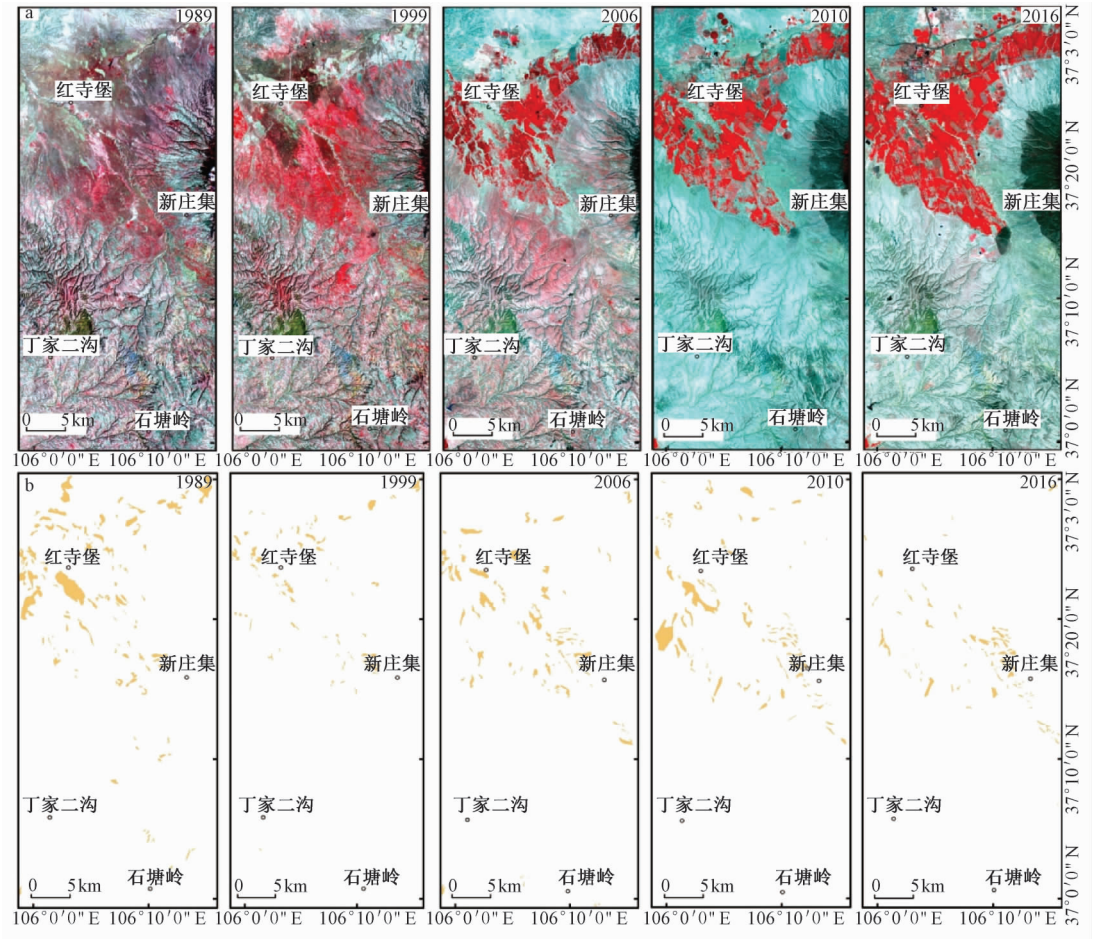
为了动态监测宁夏红寺堡盆地近 30 年来沙漠化的过程及发展趋势，研究收集了北至红寺堡、南至窑山，南北 60 km，东西 20 km，面积 1200 km² 范围内的 landsat-TM 遥感数据，影像数据的分辨率为 30 m。选取 Landsat 影像的 4 波段、3 波段和 2 波段进行假彩色合成，合成后的影像地物图像丰富、鲜明、层次好，可以用于显示植被分类及水体识别（见图 3a）。在遥感影像图中，植被显示红色，荒漠化现象严重影响地表植被的生长，因植被覆盖程度的差异，荒漠化地区与非荒漠化地区在遥感影像上极易被识别（见图 3a）。1989 年的 Landsat 影像图上，大面积分布的红色地物为植被覆盖区，风成沙分布区在遥感影像上颜色呈亮青色，空间分布上表现为条状、块状，并且边界呈现不规则状。1999 年和 2006 年的遥感影像图上荒漠化地区也显示了类似的颜色和形状特征。2010 年遥感影像上也可从颜色上识别出荒漠化的地区，图中近乎白色，亮度非常高的地物为黄土覆盖区，

表 1 红寺堡盆地沙丘砂和萨拉乌苏三段岩石主量元素含量 (%) 和微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)
Table 1 Bulk rock major (wt%) and trace element ($\mu\text{g/g}$) compositions of the sands from the dune and Salawusu formation in Hongsibao Basin

地球化学 元素含量	沙丘砂					萨拉乌苏组三段砂				
	HSB-1	HSB-2	HSB-3	HSB-4	HSB-5	HSB-6	HSB-7	HSB-8	HSB-9	HSB-10
SiO ₂	66.182	62	56.08	69.458	69.042	68.92	53.114	66.09	59.311	63.511
TiO ₂	0.556	0.568	0.61	0.497	0.479	0.486	0.614	0.617	0.623	0.594
Al ₂ O ₃	10.444	11.012	12.622	10.073	10.062	10.22	12.381	10.422	12.02	10.889
Fe ₂ O ₃	3.695	4.101	4.973	3.448	3.294	3.44	5.232	3.872	4.752	4.05
MnO	0.065	0.073	0.098	0.056	0.054	0.053	0.103	0.07	0.085	0.073
MgO	2.256	2.405	3.03	2.003	2.035	2.008	3.274	2.319	3.238	2.538
CaO	5.99	7.193	8.64	4.606	4.998	5.037	10.551	5.876	7.252	6.745
Na ₂ O	1.915	2.812	1.655	1.9	1.925	1.91	1.513	1.886	1.752	1.875
K ₂ O	2.236	2.475	2.568	2.234	2.275	2.252	2.625	2.202	2.523	2.299
P ₂ O ₅	0.12	0.136	0.154	0.105	0.108	0.113	0.153	0.137	0.156	0.145
LOI	6.93	7.689	10.415	5.053	5.26	5.369	9.74	6.651	8.25	7.715
Total	100.389	100.464	100.845	99.433	99.532	99.808	99.3	100.142	99.962	100.434
La	30.94	32.85	34.54	24.36	23.06	24.44	34.26	33.94	34.98	33.12
Ce	54.72	57.05	61.57	47.36	44.48	47.39	61.60	60.89	63.46	59.47
Pr	6.11	6.34	6.68	5.51	5.34	5.69	6.61	6.80	6.80	6.44
Nd	24.30	25.35	26.87	20.91	19.73	21.15	26.94	27.87	27.63	26.07
Sm	4.85	4.97	5.23	4.02	3.74	4.08	5.22	5.18	5.32	5.03
Eu	0.79	0.83	0.88	0.72	0.68	0.70	0.90	0.85	0.87	0.84
Gd	4.44	4.63	4.79	3.86	3.74	3.89	4.85	4.97	5.01	4.71
Tb	0.78	0.80	0.81	0.62	0.60	0.65	0.83	0.84	0.86	0.83
Dy	4.35	4.26	4.28	3.55	3.46	3.68	4.43	4.73	4.71	4.67
Ho	0.89	0.83	0.86	0.68	0.66	0.71	0.87	0.93	0.92	0.92
Er	2.63	2.41	2.48	1.99	1.92	2.05	2.50	2.69	2.68	2.71
Tm	0.42	0.37	0.38	0.31	0.31	0.33	0.38	0.42	0.41	0.43
Yb	2.63	2.30	2.38	2.07	2.09	2.21	2.33	2.61	2.51	2.61
Lu	0.43	0.37	0.38	0.32	0.32	0.33	0.38	0.44	0.40	0.41
Rb	84.44	93.68	108.26	82.33	84.32	83.10	108.86	86.84	103.85	90.25
Ba	491.26	573.81	574.63	552.93	530.75	534.81	568.52	479.59	551.24	500.85
Th	17.36	17.63	20.62	16.15	14.51	14.96	20.34	18.31	20.58	17.44
U	2.71	2.79	3.06	2.33	2.29	2.25	2.97	2.85	2.81	2.71
Pb	18.96	21.21	24.54	18.14	18.45	18.97	24.44	19.68	22.43	20.11
Sr	221.20	248.40	277.91	201.52	210.72	213.14	312.74	219.97	248.97	231.04
Zr	197.01	158.30	128.67	183.75	170.75	155.55	123.26	280.61	155.04	217.14
Y	22.92	20.83	21.62	16.97	16.46	17.81	21.90	25.67	24.56	25.35
ΣREE	138.29	143.37	152.12	116.29	110.14	117.3	152.074	153.17	156.55	148.269
LREE/HREE	7.34	7.98	8.3	7.67	7.41	7.47	8.18	7.69	7.95	7.58
LaN/YbN	6.83	8.3	8.42	6.84	6.41	6.43	8.54	7.56	8.1	7.38
δEu	0.51	0.52	0.53	0.55	0.55	0.53	0.54	0.5	0.51	0.52

而亮度相对暗的, 不规则的分布在植被区 (红色地物) 外围和内部的为荒漠化地区。2016 年遥感影像图上荒漠化地区的地物颜色和形状与 2010 年近于相似。对收集到的数据进行了预处理和沙漠化影像数据提取, 得到了红寺堡盆地沙漠化从 1989 年至 2016 年五年的时空分布变化信息 (见图 3b)。从图中可以看出红寺堡盆地区域沙漠化的变化趋势: ①1989 年区域荒漠化比较严重, 整体具有面状分布的特征; ②1999 年与 1989 年相比, 沙漠化的面积及范围突然减小, 区域沙漠化得到了

明显的改善; ③2006、2010、2016 年三年荒漠化的面积及范围基本稳定, 但却展现出了沿着沟谷呈现带状展布的趋势。从以上遥感图像的分析可以看出自 1989 年至 2016 年期间, 红寺堡盆地沙漠化变化的趋势在 1999 年前后得到了有效的遏制, 区域生态环境得到了有效的改善, 但同时并非一成不变, 由原来的面状发展逐步过渡为沿着大型沟谷边缘呈现带状展布的趋势 (见图 4)。近 30 年来红寺堡盆地区域沙漠化变化的趋势与人类活动之间存在紧密的关系, 1999 年国家实施了西部生



a—landsat-TM 遥感数据；b—沙漠化影像数据提取结果

图3 宁夏红寺堡盆地沙漠化演化过程遥感解译图

Fig. 3 The remote sensing interpretation map for desertification evolutionary history in Hongsibu Basin, Ningxia

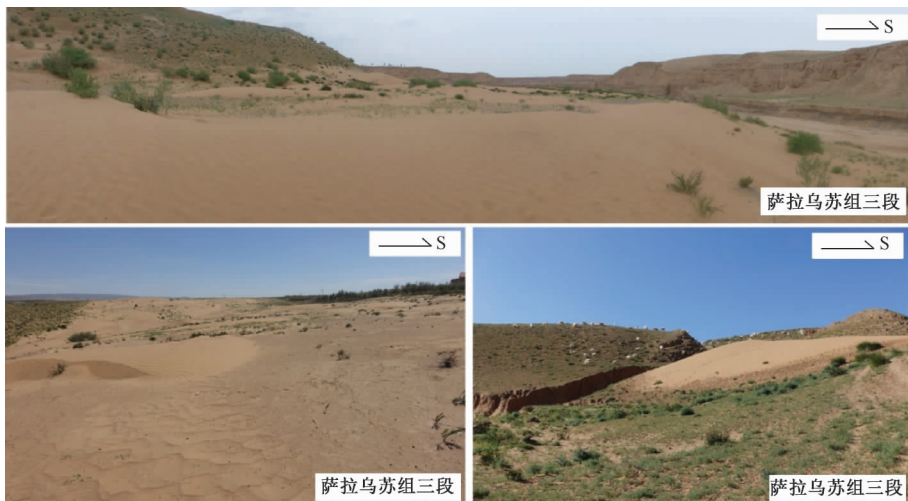


图4 红寺堡盆地地表沙漠化典型照片

Fig. 4 The typical photos for desertification at the surface in Hongsibu Basin, Ningxia

态移民战略,红寺堡开发区成立,有步骤的实施退耕还林还草、禁牧封育等生态工程建设,生态恶化现象得到了有效的遏制,生态移民政策对区域生态环境的改善起到了积极的推进作用,但区域沙漠化并未得到有效的根治^[16-17]。

4.2 沙漠化地质主控因素

红寺堡盆地主体沉积区第四系地层序列自下而上包括:上更新统萨拉乌苏组一段(Qp^3s^1)、萨拉乌苏组二段(Qp^3s^2)、萨拉乌苏组三段(Qp^3s^3)以及水洞沟组(Qp^3sd)。盆地边缘大罗山构造带西缘以及烟筒山构造带东缘主要沉积一套上更新

统马兰黄土(Qp^3m)。在上述五套地层中,抗风化能力最弱的是萨拉乌苏组三段(Qp^3s^3)灰白色厚层块状疏松粉砂。这套疏松粉砂主要是一套湖相砂,分选较好,沉积后并未成岩,容易风化。关于这套湖相砂的形成,主要与红寺堡盆地晚更新世的湖盆充填过程密切相关。在大约距今14~7万年,相当于萨拉乌苏湖发育时期,红寺堡盆地广泛发育湖相粘土沉积,湖盆总体走向北西-南东,呈现向北西开口,向南东收缩的趋势,湖盆沉积中心位于烟筒山东缘一线(见图5a)。在大约距今7~5万年,由于古构造与古气候双重作用,萨拉

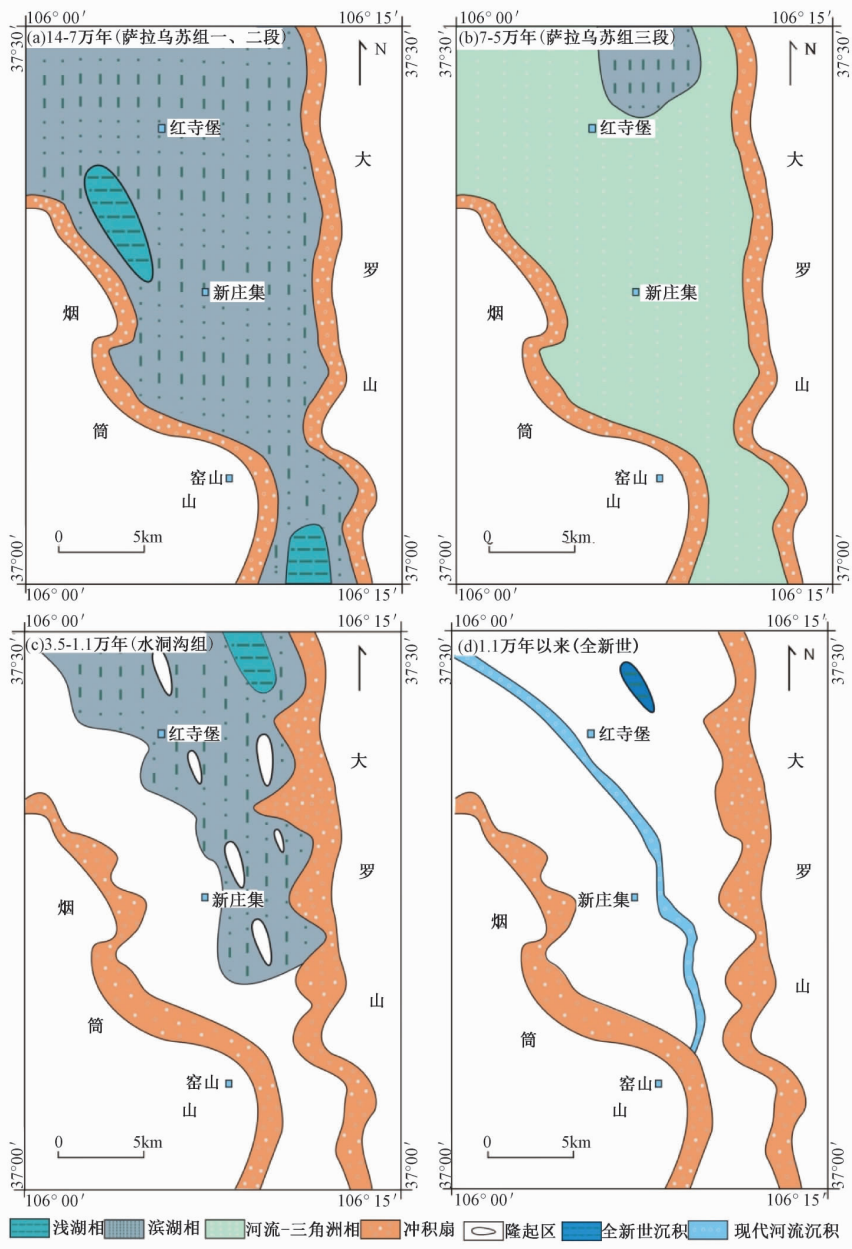


图5 红寺堡盆地晚更新世岩相古地理演化图

Fig. 5 The Late Pleistocene lithofacies paleogeographic map of the Hongsibu Basin, Ningxia

乌苏湖整体向北西方向退出了红寺堡盆地, 萨拉乌苏组三段湖相砂形成 (见图 5b)^[18-20]。该阶段在古气候上相当于深海氧同位素曲线的 MIS4 段, 属于极冷冰期, 气候寒冷。同时, 萨拉乌苏组三段与水洞沟组之间呈现明显的沉积间断, 水洞沟组沉积主要叠加在萨拉乌苏组三段沉积后由于古地貌抬升形成的古地貌背景上^[21-23]。萨拉乌苏组三段的顶部年龄约 5.0 万年, 而水洞沟组的底部年龄约 3.5 万年, 区域上正好缺失了该阶段的沉积地层。萨拉乌苏组三段湖退序列的底部和顶部年龄分别为 7 万年和 5 万年左右, 也就是说大约 7 万年左右可能孕育着该期构造运动的起始时限, 大约 5 万年左右该期构造运动达到了高峰期, 红寺堡盆地现今古地貌格局基本形成。大约 3.5~1.1 万年, 区域上相当于末次冰期的一次间冰期, 在深海大洋氧同位素曲线上相当于 MIS3 段, 气候温暖湿润, 与区域古气候背景相适应, 红寺堡盆地发生了新一期湖侵事件, 区域水洞沟湖形成, 该期古大湖的发育规模远远小于早期的萨拉乌苏湖, 湖侵方向自北西向南东, 湖侵前缘刚刚越过现今的红柳沟, 沉积中心位于盆地北部。由于该期的湖

侵规模较小, 在广泛的红寺堡盆地 5 万年左右形成的与烟筒山、大罗山—牛首山构造带平行的古隆起并没有接受沉积, 萨拉乌苏组三段湖相砂直接裸露于地表 (见图 5c)。在大约 1.1 万年, 由于区域整体抬升, 横贯红寺堡盆地的大型沟谷体系红柳沟形成, 全新世的沉积仅仅在盆地局部发育 (见图 5d)。

红寺堡盆地现今的古构造格局总体走向与烟筒山、大罗山—牛首山构造带基本一致, 受青藏高原向东扩展的影响, 在盆地内发育一系列北西—南东向的古隆起, 这些古隆起主要由萨拉乌苏三段组成, 岩性为一套灰白色疏松湖相砂 (见图 2)。现今的地表沙漠化主要围绕这些萨拉乌苏三段微隆起展开, 沙脊的主体走向与微隆起的走向以及大罗山—牛首山、烟筒山的走向基本一致, 沙丘移动方向呈现北西和北东方向, 这与现今的风向基本一致 (见图 6)。萨拉乌苏组三段地层砂与地表沙漠化沙在主要元素、稀土元素和微量元素的特征曲线上, 基本一致, 显示了二者具有亲源性的特点 (见图 7)。沙丘砂主要元素中的 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 含量略低于地层砂, 造成这种

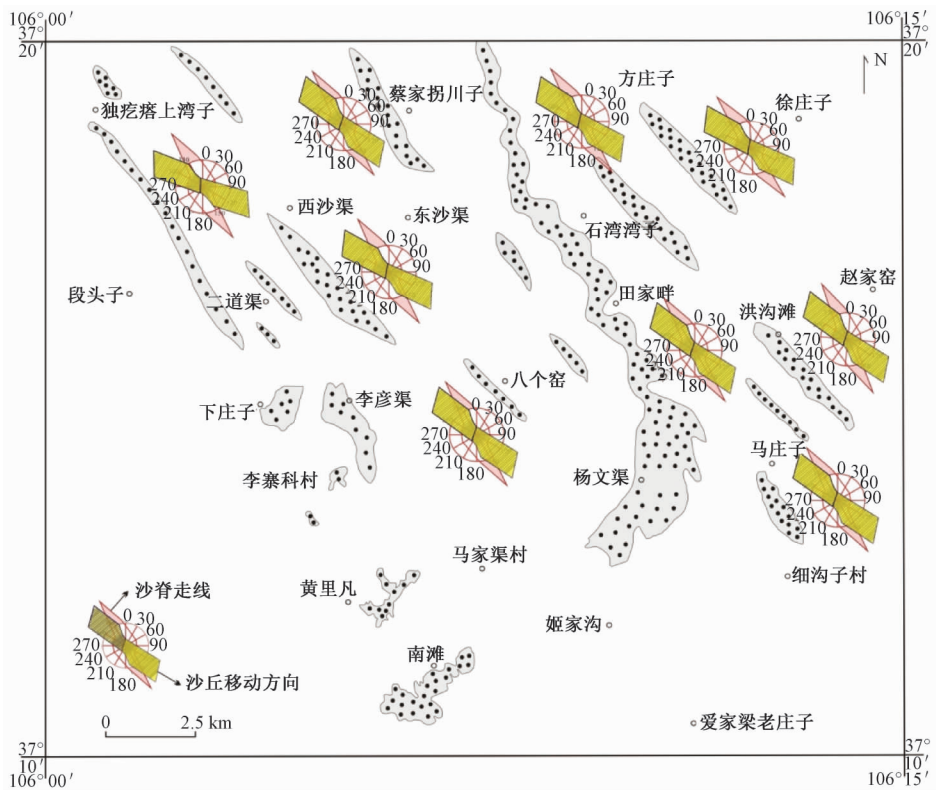


图 6 红寺堡盆地新庄集地表沙漠化分布图

Fig. 6 The distribution of desertification at the surface in Hongsibu Basin, Ningxia

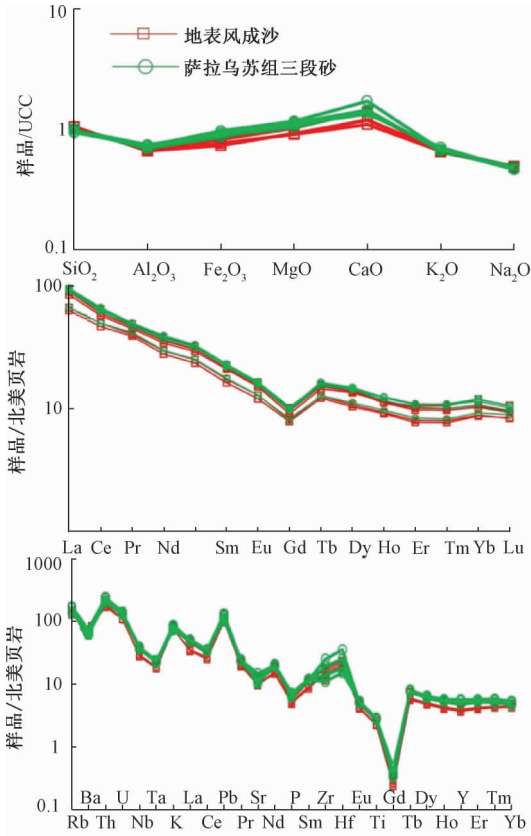


图 7 红寺堡盆地地表沙丘与萨拉乌苏组三段砂地球化学特征曲线

Fig. 7 The sedimentary geochemical curves of the eolian sands and lacustrine sands from the third part of Salawusu formation in Hongsibu Basin, Ningxia

原因的可能是沙丘沙在风化过程中遭受长期淋滤的结果。因此,红寺堡盆地沙漠化的物质来源主要为萨拉乌苏组三段湖相砂,受古隆起的控制,呈现条带状展布,具有近源堆积、原地沙漠化的特点。针对红寺堡盆地沙漠化形成的原因,制定相应的防治措施,对当地的土地保护具有重要的指导意义。

5 结论

通过遥感影像数据的动态监测,分析认为红寺堡盆地近 30 年以来区域沙漠化发展趋势已经得到了有效遏制,但并未得到彻底根治。沙漠化的物质来源主要为萨拉乌苏组三段疏松湖相砂,主要受控于一系列北西—北东向展布的微隆起。地表沙漠化主要围绕这些微隆起向四周展开,地表沙丘与萨拉乌苏组三段地层砂在地球化学特征上具有很好的一致性,总体上具有近源堆积、原地

沙漠化的特点。

参考文献/References

[1] Dregne H. Desertification-present and future [J]. International Journal for Development Technology, 1984, (2): 255 ~ 259.

[2] CCICCD. China country paper to combat desertification [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996, 18 ~ 31.

[3] Lamb H F, Gasse F, Benkaddour A, et al. Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones [J]. Nature, 1995, 373 (6510): 134 ~ 137.

[4] Geist H J, Lambin E F. Dynamic causal patterns of desertification [J]. BioScience, 2004, 54 (9): 817 ~ 829.

[5] He Z, Zhou J, Yang L H, et al. Holocene dune mobility and forcing mechanisms at the northern margin of the East Asian Monsoon [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87 (4): 1168 ~ 1178.

[6] Si Y J, Li B S, Zhang D D, et al. Climate fluctuation on a kiloyear scale during the late last glacial in Mu Us Desert, China: Evidence from Rb and Sr contents and ratios [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72 (11): 4521 ~ 4530.

[7] Cao S X, Chen L, Xu C G, et al. Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 83 (2 ~ 3): 208 ~ 217.

[8] Bennett D E, Gosnell H, Lurie S, et al. Utility engagement with payments for watershed services in the United States [J]. Ecosystem Services, 2014, 8: 56 ~ 64.

[9] Bartczak A, Metelska-Szaniawska K. Should we pay, and to whom, for biodiversity enhancement in private forests? An empirical study of attitudes towards payments for forest ecosystem services in Poland [J]. Land Use Policy, 2015, 48: 261 ~ 269.

[10] Li D J, Xu D Y, Wang Z Y, et al. Ecological compensation for desertification control: a review [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28 (3): 367 ~ 384.

[11] 刘丹丹, 马俊海. 土地利用现状更新调查中荒漠化地区绿地信息提取的方法研究 [J]. 测绘工程, 2007, 16 (2): 33 ~ 35, 42.

LIU Dandan, MA Junmei. Research in the method of extracting vegetation information from the desertification area in land use renewal surveying [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2007, 16 (2): 33 ~ 35, 42. (in Chinese with English abstract)

[12] 徐驰, 姜琦刚, 李远华, 等. 呼伦贝尔地区土地荒漠化动态变化 [J]. 世界地质, 2010, 29 (1): 160 ~ 167.

XU Chi, JIANG Qigang, LI Yuanhua, et al. Dynamic change of desertification in Hulunbeier [J]. Global Geology, 2010, 29 (1): 160 ~ 167. (in Chinese with English abstract)

[13] 崔瀚文, 姜琦刚, 邢宇, 等. 32 a 来气候扰动下中国沙质荒漠化动态变化 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2013,

- 43 (2): 582 ~ 591.
- CUI Hanwen, JIANG Qigang, XING Yu, et al. Dynamics of sandy desertification under climate disturbance in China from 1975 to 2007 [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2013, 43 (2): 582 ~ 591. (in Chinese with English abstract)
- [14] 林年丰, 汤洁. 第四纪环境演变与中国北方的荒漠化 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 2003, 33 (2): 183 ~ 191.
- LIN Nianfeng, TANG Jie. Quaternary environmental evolution and desertification in North China [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2003, 33 (2): 183 ~ 191. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张龙生, 马立鹏. 黄河上游玛曲县土地沙漠化研究 [J]. *中国沙漠*, 2001, 21 (1): 8 ~ 87.
- ZHANG Longsheng, MA Lipeng. Study on desertification in Maqu County, upstream of Huanghe River [J]. *Journal of Desert Research*, 2001, 21 (1): 84 ~ 87. (in Chinese with English abstract)
- [16] 黄桂华, 黄立峰. 生态移民地区跨越式发展的思考——以宁夏吴忠市红寺堡区为例 [J]. *贵州民族研究*, 2010, 31 (2): 101 ~ 105.
- HUANG Guihua, HUANG Lifeng. Ecology immigration area leap frog development ponder——take the Ningxia Wuzhong Hongsibao area as the example [J]. *Guizhou Ethnic Studies*, 2010, 31 (2): 101 ~ 105. (in Chinese with English abstract)
- [17] 郭慧秀, 贾科利. 基于 GIS 的生态脆弱移民区土地资源承载力评价——以红寺堡区为例 [J]. *宁夏工程技术*, 2015, 14 (4): 375 ~ 379.
- GUO Huixiu, JIA Keli. Bearing capacity of land resources evaluation on GIS in the ecological fragile area: Take Hongsibu as an example [J]. *Ningxia Engineering Technology*, 2015, 14 (4): 375 ~ 379. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李保生, 靳鹤龄, 祝一志, 等. 萨拉乌苏河流域第四系岩石地层及其时间界限 [J]. *沉积学报*, 2004, 22 (4): 676 ~ 682.
- LI Baosheng, JIN Heling, ZHU Yizhi, et al. The quaternary Lithostrata in Salawusu river valley and their geochronology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (4): 676 ~ 682. (in Chinese with English abstract)
- [19] 靳鹤龄, 李明启, 苏志珠, 等. 220 ka 以来萨拉乌苏河流域地层磁化率与气候变化 [J]. *中国沙漠*, 2006, 26 (5): 680 ~ 686.
- JIN Heling, LI Mingqi, SU Zhizhu, et al. Climatic change reflected by stratigraphical magnetic susceptibility in Salawusu river basin, north China since 220 ka BP [J]. *Journal of Desert Research*, 2006, 26 (5): 680 ~ 686. (in Chinese with English abstract)
- [20] 靳鹤龄, 李明启, 苏志珠, 等. 萨拉乌苏河流域地层沉积时代及其反映的气候变化 [J]. *地质学报*, 2007, 81 (3): 307 ~ 315.
- JIN Heling, LI Mingqi, SU Zhizhu, et al. Sedimentary age of strata in the Salawusu river basin and climatic changing [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81 (3): 307 ~ 315. (in Chinese with English abstract)
- [21] 姚檀栋, THOMPSON L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1997, 27 (5): 447 ~ 452.
- YAO Tandong, THOMPSON L G, SHI Yafeng, et al. Climate variation since the last interglaciation recorded in the Guliya ice core [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 1997, 40 (6): 662 ~ 668.
- [22] 周青硕, 张绪教, 叶培盛, 等. 河套地区全新世黄河古河道的分布及期次划分 [J]. *地质力学学报*, 2017, 23 (3): 339 ~ 347.
- ZHOU Qingshuo, ZHANG Xujiao, YE Peisheng, et al. The Distribution and period division of Holocene Palaeo channels of the Yellow River in Hetao area [J]. *Journal of Geomechanics*, 2017, 23 (3): 339 ~ 347. (in Chinese with English abstract)
- [23] 陈兴强, 施炜, 胡健民, 等. 华北临汾盆地中部柴庄上新世—更新世剖面沉积学特征及其构造意义 [J]. *地质力学学报*, 2016, 22 (4): 984 ~ 993.
- CHEN Xingqiang, SHI Wei, HU Jianmin, et al. Sedimentation of the Pliocene-Pleistocene Chaizhuang section in the central of Linfen Basin, North China and its tectonic significance [J]. *Journal of Geomechanics*, 2016, 22 (4): 984 ~ 993. (in Chinese with English abstract)