

文章编号: 1000-0550(2004) 03-0465-09

宁夏中卫盆地的沉积特征及其所反映的新构造运动¹

张珂¹ 刘开瑜² 吴加敏³ 杨景春⁴ 蔡剑波¹

1(中山大学地球科学系 广州 510275) 2(阿拉巴马大学地球科学系 阿拉巴马州 35487 美国)

3(宁夏地质工程勘察院 银川 750021) 4(北京大学环境学院 北京 100871)

摘要 地表及钻孔资料分析表明:约在上新世,香山山地沿香山一天景山断裂带向东北强烈逆冲上升,山前挤压下陷形成南深北浅、剖面上呈楔形的中卫盆地。伴随挤压作用的进行,盆地南缘部分早期沉积沿一系列南倾叠瓦式断层从南向北逆冲抬升,后期沉积则伴随其南部逆冲而不断北迁,穿越盆地的古黄河也不断北移,使盆地沉积具穿时性。约在中更新世末期,中卫盆地因其北东侧烟筒山断裂强烈活动而抬升,黄河下切,盆地消亡。上述过程可能反映青藏高原东北缘强烈挤压变形的北进。

关键词 中卫盆地 沉积特征 新构造运动 黄河 青藏高原东北缘

第一作者简介 张珂 男 1957年出生 博士 副教授 新构造运动

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

中卫盆地位于青藏高原东北缘的宁夏中卫县北部、腾格里沙漠南缘,其内有黄河自西向东穿越。中卫盆地沉积特征的研究,对认识该区新构造运动规律、黄河及青藏高原形成演化等方面,无疑有着重要意义。

众多国内外学者对中卫县北部及邻区地表的地质、活动断裂、古地震、地震危险性、工程地质、黄河等多方面开展过研究^{[1~24],④},但是,对地下的研究尚显不足。本文将通过地表及钻孔资料,探讨中卫盆地的沉积特征及其时空变化规律,进而讨论与之相关的新构造运动及黄河的演化问题。

1 地质背景

青藏高原东北缘发育了一系列巨大的强烈活动的断层和褶皱,地貌上展示出山地与盆地相间排列的格局,平面上几列山地与断裂带大致呈弧形展布,组成了著名的青藏高原东北缘弧形构造地貌。几列弧形山地从南往北分别是:海原弧形山地、香山一天景山弧形山地、烟筒山弧形山地以及牛首山一大罗山弧形山地,这些山地的前缘(北缘或北东缘)都为强烈活动的断裂带(图1a)。中卫盆地就是夹持于弧形山地间最大的盆地,它位于香山一天景山弧形山地西段(即香山山地)以北(图1a, b),平面上近似椭圆,长轴

近北西西向,长约60 km,最宽处约20 km,面积800 km²左右。盆地向北可达腾格里沙漠,西界在中卫沙波头附近,而东界则为烟筒山山脉,南界是新生代强烈活动的香山一天景山断裂带(又名中卫一同心断裂带)的西段,由寒武纪变质岩为主构成的香山山地沿断裂带向东北强烈逆冲上升,盆地则因此而下沉,并留下了山地上升的相关沉积(图1b)。

2 沉积特征

根据地表及钻孔观察,与盆地发育演化有关的地质层如下文所述。

2.1 新近纪

2.1.1 红柳沟组(N₁)

为桔红色、桔黄色和土红色砂岩、砂质泥岩夹灰白色长石石英砂岩,水平层理和斜层理多见,属河流湖泊相沉积,厚90~100 m不等。根据古脊椎动物化石^[25]及磁性地层学研究^[26],红柳沟组的时代为中中新世。

2.1.2 干河沟组(N₂)

典型的干河沟组(位于宁夏中宁白马一带)以灰白—灰黄—锈黄色砂岩和砾岩为主,夹土红、淡桔红、桔黄色泥岩,泥质胶结,胶结物也多呈桔红、桔黄色。总厚100~800 m。干河沟组与红柳沟组为整合接触。

¹ 国家自然科学基金(批准号:49771013)及高等院校博士点基金(2001024411706)资助。

^④宁夏回族自治区第一区域地质测量队,区域地质调查报告,中卫幅(1/20万),1976。

收稿日期:2003-07-02;收修改稿日期:2003-09-03

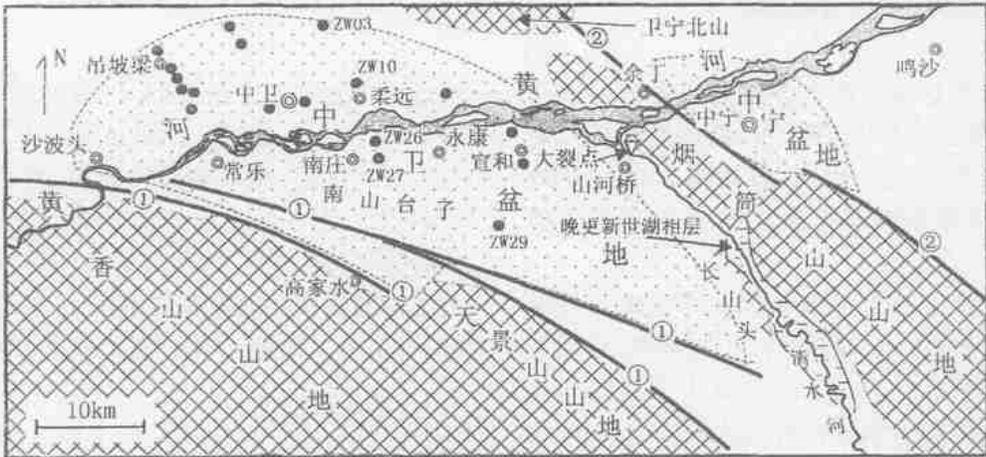
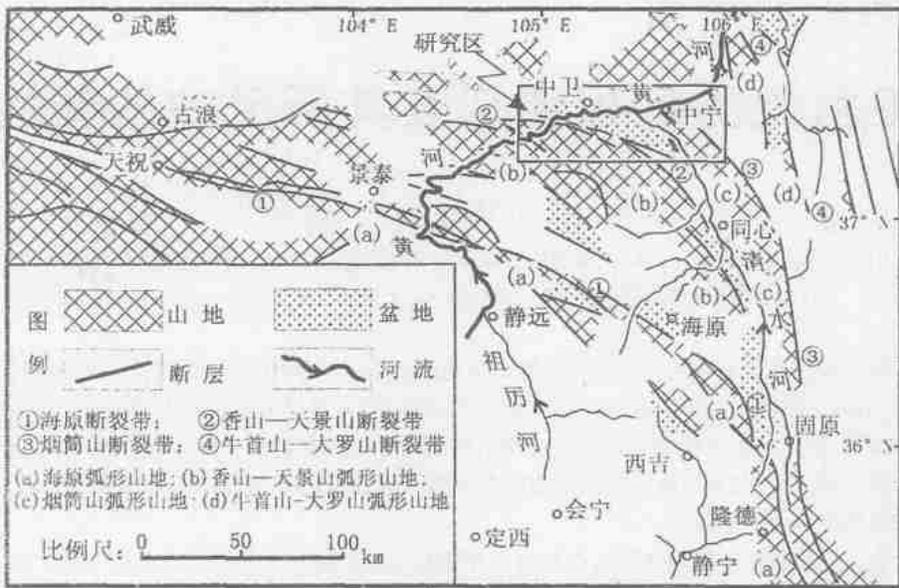


图1 a. 青藏高原东北缘弧形山地构造地貌格局

b. 中卫盆地构造地貌格局(所在位置参见图1a)

Fig. 1a. Sketch map of arc-form tectonic landform along the northeast margin of Tibetan plateau.

b. Tectonic landform of the Zhongwei basin (For location see Fig. 1a)¹

在香山山地北缘及南坡, 红柳沟组顶部广泛发育厚度几十米—大于百米的单层或数层角砾岩层, 角砾粗大, 分选性差、磨圆度不好, 以泥质胶结为主, 胶结物常呈桔红色, 角砾岩层中也常夹桔红色泥质条带。由于角砾岩层的抗蚀力大于其下的泥岩和砂岩, 常表现出“桌状”地貌。过去没把角砾岩层作为一个地层

单位划分出来, 而仅笼统地归入红柳沟组^[9]。然而, 我们在中卫、中宁等地的野外追索发现, 该角砾岩层与典型的干河沟组有相变的关系。磁性地层学的研究^[26]也支持这一认识。因此, 有必要将其另行划分出来, 归入干河沟组或暂称为“红柳沟组顶部角砾岩”。

¹ 宁夏回族自治区第一区域地质测量队, 区域地质调查报告, 中卫幅(1/20万), 1976.

远离山地的干河沟组沉积粒度较细, 与红柳沟组连续过渡, 常不易分开, 本文统称为新近纪红层。

根据脊椎动物化石^[8]及磁性地层学研究^[26], 干河沟组的时代为上新世, 但其下部已进入了中新世。

2.2 第四纪

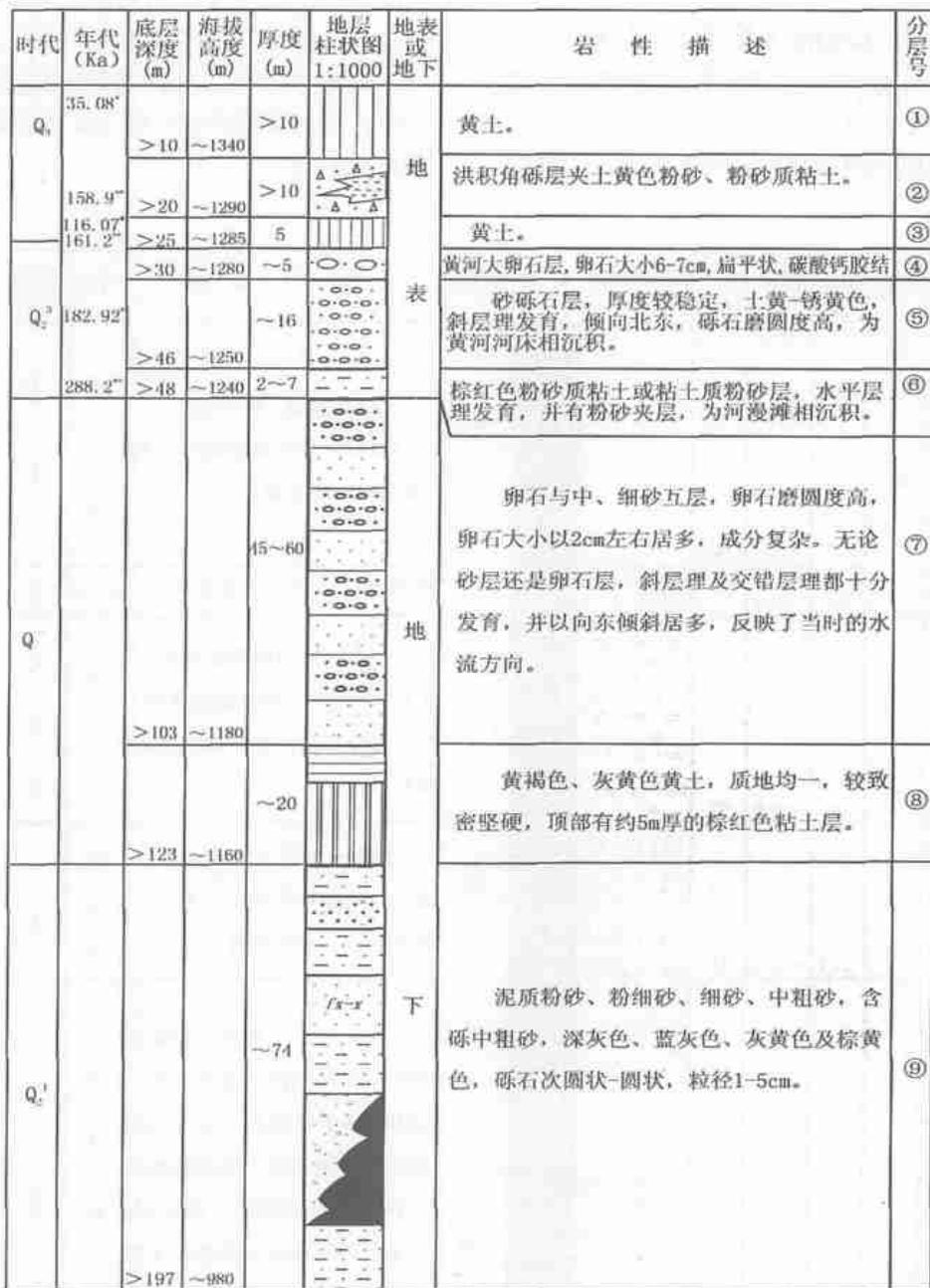
因黄河的下切和摆动, 中卫盆地南部部分地层已抬升出地表, 形成巨大的台地—南山台子。台地前缘

剖面清楚, 测年数据较多, 结合钻孔资料, 南山台子北缘一带的沉积从上到下可划分为如下 9 层(参见图 2), 编号为 ①~⑨, 总厚大于 200 m。

① 黄土。厚度 > 10 m, TL 年龄为 35.08 ± 5.20 ka^[21] 158.9 ± 9.8 ka^[11];

④ 洪积角砾夹黄土状粉砂, 厚 3~ 10 m 以上;

⑧ 黄土, 厚 5m 左右, 厚度较稳定, TL 年龄为



*-据文献[24] **-据文献[12]

图 2 南山台子北缘第四系综合剖面图

Fig. 2 Quaternary synthetic section along the northern edge of Nanshantaizi

116.07 ± 20.89 ka^[21] ~ 161.2 ± 20 ka^[11];

¼ 黄河大卵石层, 厚 4~5 m, 厚度稳定, 卵石大小 6~7 cm 较多, 扁平卵石为主, 分选和磨圆度好, 碳酸钙胶结, 为河床相沉积。

½ 黄河小卵石及粗砂层, 厚 16 m 左右, 厚度稳定, 土黄色—铁锈色, 卵石大小以 1~2 cm 较多, 分选和磨圆度好, 成分复杂, 斜层理发育, 多倾向北东东, 为河床相沉积, 反映自西向东的古黄河流向, TL 年龄为 182.92 ± 36.58 ka^[11]。

¾ 棕红色粉砂质粘土或粘土质粉砂层, 厚 2~7 m, 水平层理发育, 并见有粉砂夹层, 推测为河漫滩相沉积, TL 年龄为 288.2 ± 21.3 ka^[11]。

⑧ 该层及其以下层位处于地表以下, 以钻孔揭露

为主, 但局部因取石挖沙而显露出来。总体上为卵石与中、细砂互层, 卵石大小以 2 cm 左右居多, 磨圆度高, 分选性好, 成分复杂。无论砂层还是卵石层, 斜层理及交错层理都十分发育, 并以向东倾斜占优势, 反映了自西向东的古黄河流向。总厚 60 m 左右。

(七) 黄褐色、灰黄色黄土, 质地均一, 较致密坚硬, 顶部有约 5 m 厚的棕红色粘土层, 总厚约 20 m。

(八) 泥质粉砂、粉细砂、细砂、中粗砂及含砾中粗砂, 深灰色、蓝灰色、灰黄色, 砾石次圆状—圆状, 大小 1~5 cm, 厚度大于 74 m, 未见底。

据地表所见, 上述各层的空间分布较稳定, 据中卫县宣和一常乐长达 30 km 的东西向剖面所见, 各层均完整有序。

时代	底层深度 (m)	海拔高度 (m)	厚度 (m)	地层柱状图 1:1000	极性	极性期	岩性描述	分层	相当层位
Q ₁		~1320			极容	布	风成细砂, 灰白色, 下部约 7m 厚的风成细砂, 具斜层理, 颜色褐红。	第一层	①
Q ₂	45	~1280	45				灰黄色土, 含白云母碎片。	第二层	②
	53	~1270	7						③
Q ₃	90	~1230	38		极正	正	砂砾石层与卵石层互层, 共有 5 个韵律, 卵石磨圆度甚好, 成分复杂, 为典型的黄河卵石。	第三层	④ ⑤ ⑥
	114	~1210	24				褐色、褐红色、淡红色黄土, 夹棕红色粘土。黄土质地均一, 虫孔发育。	第四层	⑦
Q ₄	173	~1150	59		极性	期	灰白色、土黄色、褐黄色细砂、砂砾石层, 夹灰白色、浅褐色和棕红色粘土层。上段砾石磨圆度不好, 为次棱角状, 砾石大小 1cm 左右, 最大 4cm 左右, 砾石成分较复杂; 下段砾石磨圆度稍好, 为次圆状。	第五层	⑧

图 3 中卫吊坡梁钻孔剖面图

Fig. 3 Borehole section of Diaopoliang, Zhongwei area

我们对中卫西北吊坡梁钻孔(位于腾格里沙漠南缘)(图 1b)的岩芯进行了层位划分和古地磁分析。古地磁极全为正极性。从上到下可分出 5 层,总厚大于 173 m(图 3)。

第一层: 风成沙, 厚约 38 m, 褐红色—灰白色, 斜层理发育。

第二层: 马兰黄土, 厚约 7 m。

第三层: 砂卵石层, 厚约 45 m, 砂层与卵石层各 5 层, 卵石磨圆好, 扁平状, 成分复杂, 分选良好, 为典型的黄河河床相沉积。

第四层: 离石黄土, 厚 24 m, 褐黄色, 发育虫孔。

第五层: 砂砾石层, 厚度 > 59 m, 为砂砾石与灰白色—棕色粘土互层, 砾石次棱角状—次圆状, 磨圆度不好。

通过与中卫盆地其他钻孔的对比, 结合各层位的高程(盆地上部水平面近似代表等时面)(图 2, 3)南山台子与吊坡梁各层位的关系如图 3 所示。即: 第一层相当于¹层, 第二层相当于(四)层, 第三层相当于 $\frac{1}{4}$ 层, 第四层相当于③层, 第五层相当于(七)层。综合两处的同位素年龄及古地磁极性, 不难确定各层的地质时代。其中¹) » 层大致为晚更新世, $\frac{1}{4}$) $\frac{3}{4}$

层大致为中更新世中晚期, ⑧—(七)层可能为中更新世中期, 而(七)层可能为中更新世早期(图 2)。

3 盆地结构、沉积物的时空变化规律及所反映的新构造运动

中卫盆地以北, 卫宁北山¹以南, 新近纪红层不整合地覆盖在石炭纪地层之上, 红层总体倾向南; 中卫盆地内, 钻孔揭露到的第四系厚度由北往南增大, 红层深度增加, 反映中卫盆地实际上是南深北浅、在南北剖面上呈楔形的压陷盆地(图 4)。

卵石层的时空分布特征反映了盆地的发展演化及黄河位置的变迁。上述 $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{4}$ 卵石层南界在南山台子台地边缘附近, 向南追索很快相变为洪积角砾层, 而北界可抵中卫西北的吊坡梁(吊坡梁钻孔第三层)。然而, 据钻孔揭示, ③层卵石仅见于南山台子—中卫县城以南, 中卫县城北面渐变为磨圆度不高、分选性不好的砾石层; 埋藏更深的(七)层, 据钻孔揭露, 卵石层更向南偏移, 仅南山台子之上的钻孔(ZW29)于 200 m 深处(海拔约 1 120~ 1 140 m)钻遇卵石, 而往北的所有钻孔均显示该层已相变为洪积砾石(图 2, 3)。由此可见, 由早到晚, 黄河有从南向北

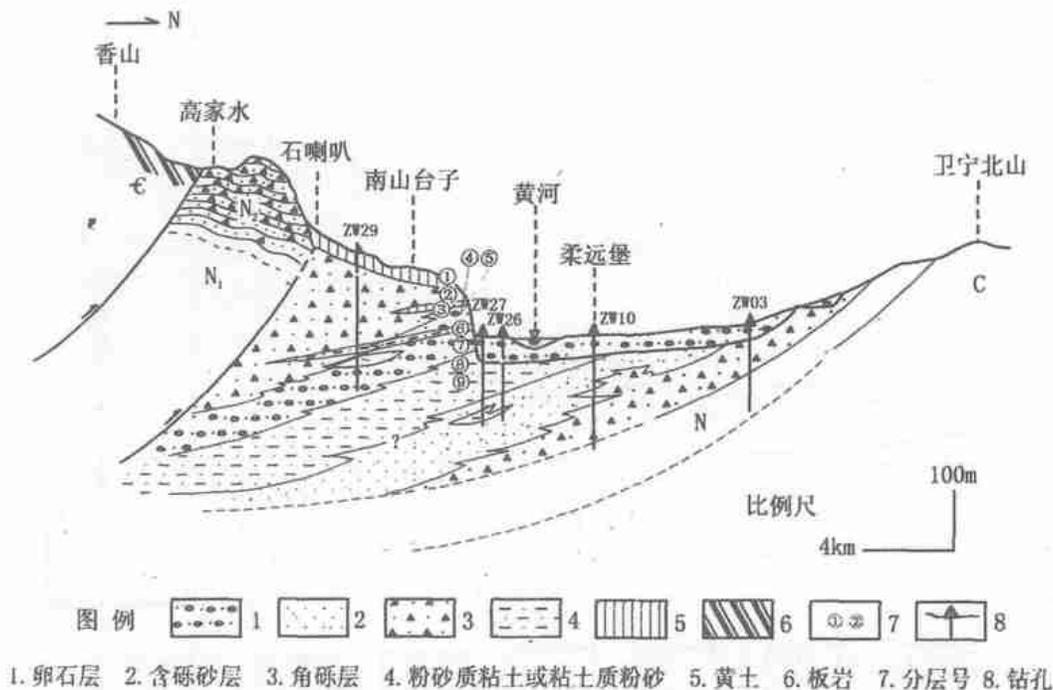


图 4 中卫盆地南北向剖面图¹

Fig. 4 North-south section of the Zhongwei Basin

¹ 中卫、中宁以北的山地, 位于腾格里沙漠南部, 海拔高度 1 500 m 左右。

迁移的规律,沉积层具有穿时性的特点(图4)。

上述现象表明:中更新世晚期,古黄河在中卫县南部的永康—南庄—常乐一线到中卫县北部的吊坡梁之间摆动,摆动带的宽度大约12 km,在永康—南庄—常乐以南的南山台子之下,1/4—1/2层迅速相变成山麓堆积。中更新世中期,黄河砂卵石层的北界不超过中卫县城,与中更新世晚期相比,古黄河偏南约4~6 km,中卫县城以北相变成山麓洪积相,物源可能来自中卫北山。中更新世早期古黄河可能更向南偏移,当时的黄河可能奔流于现今的南山台子之下。至于更早的黄河沉积物究竟在何处,由于受钻孔数量、钻孔分布以及钻孔揭露深度等限制,尚不得而知,但如果按照上述趋势推断,早更新世黄河卵石层有可能已逆掩于香山—天景山山地之下了。

如今,在中宁县城以南约8 km的烟筒山余脉上可见大片拔河高度约70 m的黄河卵石分布;而在现代黄河北岸的余丁一带,黄河阶地不仅分布狭窄,而且高度不大(最高仅拔河40 m),均佐证了早期黄河更偏南的猜想。

南山台子以南为红柳沟组顶部角砾岩层(N₂)所组成的更高台地(高家水台地)(图4)。角砾岩无分

选、无磨圆,厚100 m以上,是香山山地前的类磨拉石堆积,可能代表了中卫盆地的最早期沉积。组成香山山地的香山群变质岩沿高家水台地南缘断层逆冲于该台地之上,而该台地又沿其北缘断层逆冲于南山台子第四纪沉积之上。由此可见,可能从上新世开始,中卫盆地南侧一系列南倾的叠瓦式断层发生向北的逆冲作用,逆冲作用不但使香山山地隆起北进,而且也使盆地不断北移下沉。野外考察发现,组成高家水台地的红柳沟组顶部角砾岩层又可进一步划分为上、下两部分。其中下部角砾较小,粒度一般2~4 cm,最大7 cm左右,小者仅0.5 cm左右,红岩碎屑可占三分之一;上部角砾粗大,粒度4~10 cm占优,大者甚至可达0.5 m,小的也在1 cm以上,而且几乎全为寒武纪香山群的变质岩。反映香山山地之上原来可能有红层覆盖,后随山地的强烈隆起而逐渐剥蚀殆尽,而且香山山地的隆起也有逐渐加强的趋势。

据钻孔揭露及野外考察,黄河晚更新世一全新世卵石层已经内叠于中卫盆地较早的沉积层之中(图5),而1/4—1/2两层黄河河床相沉积则抬升于现代黄河水面之上,其中1/4层卵石层顶面在中卫南庄—常乐一带上升到48~49 m的拔河高度而成为黄河的堆积阶

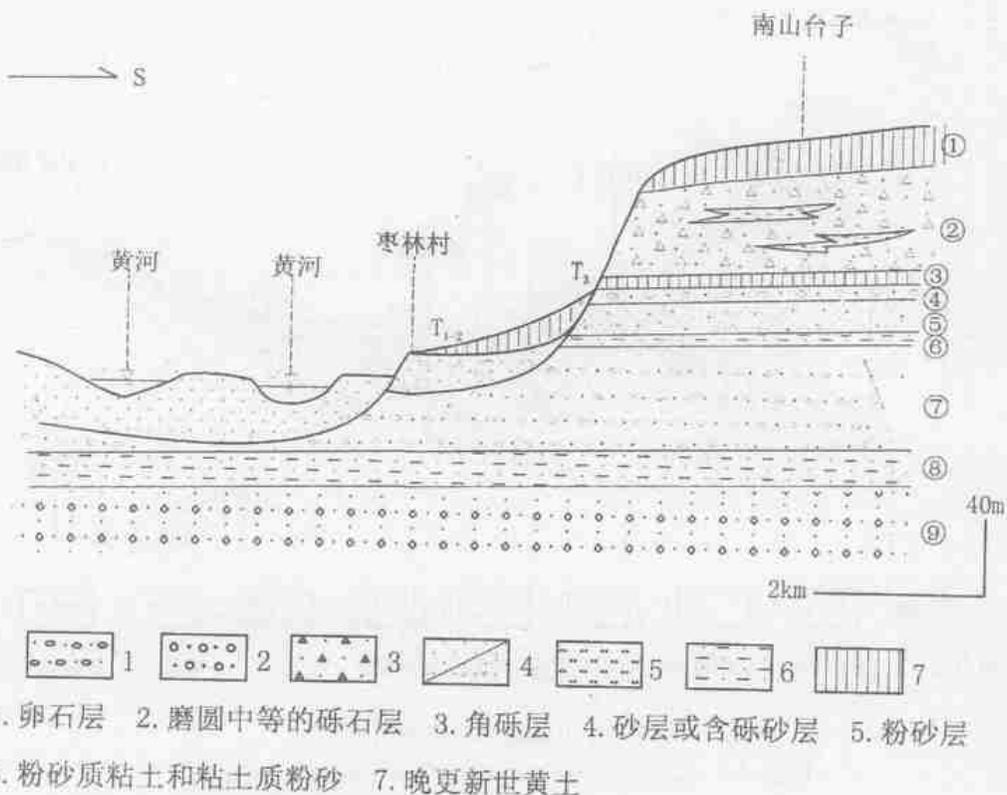


图5 中卫盆地晚期上叠阶地与早期盆地沉积关系

Fig. 5 The relationship between later superimposed terraces and the early basin sediments

地。该高度相当于黑山峡附近的第三级阶地, 而 T_1 、 T_2 两级阶地则以上叠阶地的形式, 叠置在 $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ 沉积层之中(图5), 这种情况表明, 中卫盆地大约在中更新世末期开始折返, 黄河下切, 从此结束了盆地的发展历程。

中卫盆地的折返抬升, 可能主要与烟筒山断裂开始强烈活动有关。约在中更新世末, 烟筒山断裂南西盘强烈逆冲抬升, 而北东盘则强烈下降为中宁盆地。中宁盆地沉积厚度不大(60~90 m) 而沉积粒度粗大(几乎全为卵石层), 反映盆地的形成时代很新。另外, 黄河在余丁一带急剧收窄, 以及清水河与黄河的钝角相交和清水河近河口地带出现高度近8m 的巨大裂点等现象, 均可能是烟筒山断裂近期强烈活动的旁证^[27]。

中卫盆地沉积历程的结束, 可能还与香山一天景山断裂带大幅度左旋走滑而使盆地向西上扬抬升有关。关于香山一天景山断裂带的左旋走滑, 将另文讨论。

中卫盆地沉积历程的结束, 可能并不反映香山一天景山断裂活动的停止, 而只反映烟筒山断裂活动的加强, 南山台子东南部香山一天景山山前仍发育现代大型洪积扇就是断裂带仍在活动的旁证。两条断裂带的先后强烈活动可能反映青藏高原东北缘强烈的挤压变形是由西南往东北逐渐迁移的。

4 结论

中卫盆地是青藏高原东北缘弧形山地间最大的一个压陷盆地, 长轴近东西方向, 面积约 800 km²。上新世香山山地沿着香山一天景山断裂带向东北强烈逆冲上升, 导致山前挤压下陷而形成中卫盆地。强烈的挤压作用不但使山地隆升、盆地下降, 而且随着挤压作用的不断进行, 盆地南缘部分早期沉积也沿一系列南倾的叠瓦式断层从南向北逆冲抬升, 后期沉积作用则伴随其南部的逆冲而不断北迁, 从西到东穿越盆地的古黄河也因上述作用而不断北移, 使盆地内的沉积具穿时性。约在中更新世末期, 中卫盆地北东侧的烟筒山断裂带开始强烈活动, 包括中卫盆地在内的烟筒山断裂西南盘抬升, 黄河下切, 结束了中卫盆地的沉积历程。中卫盆地沉积历程的结束, 可能并不反映香山一天景山断裂活动的停止, 而只反映烟筒山断裂活动的加强。两条断裂带的先后强烈活动可能反映青藏高原东北缘强烈挤压变形是由南西向东北逐渐迁移的。

参考文献(References)

- 柴帜章, 张维岐, 焦德成. 天景山断裂带前锋区第四纪构造变形及成因分析. 中国地震, 1998, 14(2): 150~156 [Chai Zhizhang, Zhang Weiqi, Jiao Decheng. Quaternary structure feature in forward area of Tianjingshan fault. Earthquake Research in China, 1998, 14(2): 150~156]
- 丁国瑜. 宁夏中卫沙坡头黄河位错现象. 第四纪研究, 1993, (4): 370~378 [Ding Guoyu. Offset of Yellow River, Shabotou, Zhongwei County, China. Quaternary Research, 1993, (4): 370~378]
- 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1988. 1~328 [The research group on "Active fault system around Ordos Massif, State Seismological Bureau". Active fault system around Ordos massif. Beijing: Seismological Press, 1988. 1~328]
- 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂. 北京: 地震出版社, 1990. 1~279 [Institute of Geology, State Seismology Bureau of China, Provincial Seismology Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. The Heiyuan Active Fault Zone. Beijing: Seismological Press, 1988. 1~279]
- 韩文峰, 等. 黄河黑山峡大柳树松动物体工程地质研究. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 77~89 [Han Wenfeng, et al. Geoenvironmental research on loose rocks in the Dalishu area along the Heishanxia Gorge of the Yellow River. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1993. 77~89]
- 阎伟, 邓起东. 香山一天景山断裂带的变形特征及走滑断裂端部挤压构造的形成机制. 见:《活动断裂研究》编委会. 活动断裂研究(1). 北京: 地震出版社, 1991. 71~81 [Ming Wei, Deng Qidong. The deformational characteristics of Xiangshan-Tianjingshan Fault and mechanism of compressional structures at the end of strike-slip fault. In: Committee on "Active Fault", Research on Active fault (1). Beijing: Seismological Press, 1991. 71~81]
- 聂政, 林伟凡. 中卫一同心断裂带中段: 香山一天景山断裂带 1709 年 7.5 级地震形变带特征. 地震, 1993, 13(1): 41~44 [Nie Zheng, Lin Weifan. Middle segment of Zhongwei-Tongxin Fault Zone: Seismic deformation band of 1709 earthquake with $M = 7.5$ along Xiangshan-Tianjingshan Fault Zone. Earthquake, 1993, 13(1): 41~44]
- 宁夏回族自治区地质矿产局. 宁夏回族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1990. 1~468 [Geology and Mineral Resources of Ningxia Hui Autonomous Region. Regional geology of Ningxia Hui Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 1~468]
- 宁夏区测队中卫幅报告编写组. 青铜峡—中卫一带新近纪地层. 宁夏地质, 1977, (6): 48~50 [Writing group of Zhongwei geological map illustration, Ningxia Regional Geological Surveying Team. The late Tertiary stratigraphy in the area along Qingtongxia to Zhongwei. Ningxia Geology, 1977, (6): 48~50]
- 任利生, 林伟凡. 中卫一同心断裂带西段晚第四纪以来的活动性. 地震, 1993, 13(1): 64~67 [Ren Lisheng, Lin Weifan. Activity of the western segment of the Zhongwei-Tongxin Fault Zone since late Quaternary period. Earthquake, 1993, 13(1): 64~67]

- 11 田勤俭, 申旭辉, 韦开波, 等. 中卫—同心断裂带构造演化阶段初步研究. 见: 卢演侑, 高维明, 陈国星, 等主编. 新构造与环境. 北京: 地震出版社, 2001. 339~406 [Tian Qinjian, Shen Xuhui, Wei Kaibo, *et al.* Preliminary research on tectonic evolution stages of Zhongwei-Tongxin fault zone. In: Lu Yanchou, Gao Weiming, Chen Guoxin, *et al.*, eds. Neotectonics and environment. Beijing: Seismological Press, 2001. 399~406]
- 12 汪一鹏, 宋方敏, 李志义, 等. 宁夏香山—天景山断裂带晚第四纪强震重复间隔的研究. 中国地震, 1990, 6(2): 15~24 [Wang Yipeng, Song Fangmin, Li Zhiyi, *et al.* Study on recurrence intervals of great earthquakes in the late Quaternary of Xiangshan-Tianjingshan Fault Zone in Ningxia. Earthquake Research in China, 1990, 6(2): 15~21]
- 13 阎满存, 董光荣, 李保生. 沙坡头地区黄河阶地发育与地貌演化. 中国沙漠, 1997, 17(4): 369~376 [Yan Mancun, Dong Guangrong, Li Baosheng. Terrace development of Yellow River and Geomorphic evolution in Shapotou area. Journal of Desert Research in China, 1997, 17(4): 369~376]
- 14 易明初. 新构造运动及渭延裂谷构造. 北京: 地震出版社, 1993. 84~85 [Yi M inychu. Neotectonic movement and the Weiyan Rift. Beijing: Seismological Press, 1993. 84~85]
- 15 张秉良, 蒋溥, 方仲景. 香山—天景山断裂活动方式的微观特征研究. 地质力学学报, 1996, 2(3): 85~86 [Zhang Binliang, Jiang Bo, Fang Zhongjing. Micro-feature research on active style of the Xiangshan-Tianjingshan fault. Journal of Geomechanics, 1996, 2(3): 85~86]
- 16 张加桂. 宁夏中卫—同心断裂带地震危险性评价. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(3): 40~44 [Zheng Jiagui. Evaluation on seismic risk of Zhongwei-Tongxin Fault Zone, Ningxia. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1996, 7(3): 40~44]
- 17 张维岐, 焦德成, 柴炽章. 宁夏香山—天景山弧形断裂带新活动特征及1709年中卫南7.5级地震形变带. 地震地质, 1988, 10(3): 12~20 [Zhang Weiqi, Jiao Decheng, Chai Zhizhang. Neotectonic features of the Xiangshan-Tianjingshan arc fracture zone and the seismic deformation zone of 1709 south of Zhongwei M=7.5 earthquake seismology and geology. Seismology and Geology, 1988, 10(3): 12~20]
- 18 周俊喜, 刘百箴. 中卫—同心活断层研究. 西北地震学报, 1987, 7(3): 71~77 [Zhou Junxi, Liu Beichi. Research on Zhongwei-Tongxin active fault. Northwestern Seismological Journal, 1987, 7(3): 71~77]
- 19 周特先, 曹明志, 王利. 宁夏新生代构造应力状态. 宁夏地质, 1985, (28): 27~48 [Zhou Texian, Cao Mingzhi, Wan Li. The Cenozoic tectonic stress field in Ningxia. Ningxia Geology, 1985 (28): 27~48]
- 20 周特先, 王利, 曹明志. 宁夏构造地貌格局及其形成与发展. 地理学报, 1985, 40(3): 215~224 [Zhou Texian, Wang Li, Cao Mingzhi. Morphotectonic patterns of Ningxia Hui Autonomous Region and the formation and evolution. Acta Geographica Sinica, 1985, 40(3): 215~224]
- 21 周特先, 姚茂文, 王利, 等. 宁夏构造地貌. 银川: 宁夏人民出版社, 1994. 1~113 [Zhou Texian, Yao Maowen, Wang Li, *et al.* Tectonic landform in Ningxia. Yinchuan: Ningxia People's Press, 1994. 1~113]
- 22 朱海之, 陈建英. 宁夏中卫古地震的若干特点. 见: 中国地震学会地震地质专业委员会. 中国活动断裂. 北京: 地震出版社, 1982. 282~290 [Zhou Haizhi, Chen Jianying. Some characteristics of paleo-earthquakes in Zhongning County, Ningxia Autonomous. In: Committee on Seismogeology, the seismological society of China. The active faults in China. Beijing: Seismological Press, 1982. 282~290]
- 23 Deng Q, Sung F, Zhu S, *et al.* Active Faulting and Tectonics of the Ningxia Hui Autonomous Region China. J. G. R., 1984, 89(B6): 4427~4445
- 24 Zhang P, Burchfiel B C, Molnar P, *et al.* Late Cenozoic tectonic evolution of the Ningxia-Hui Autonomous Region, China. Geological Society of America Bulletin, 1990, 102(11): 1484~1498
- 25 王伴月, 阎志强, 陆彦俊, 等. 宁夏海原两个第三纪中期哺乳动物群的发现. 古脊椎动物学报, 1994, 32(4): 285~296 [Wang Banyue, Yan Zhiqiang, Lu Yanjun, *et al.* Discovery of two mid-Tertiary mammalian faunas from Haiyuan, Ningxia, China. Vertebrata Palasiatica, 1994, 32(4): 285~296]
- 26 申旭辉, 田勤俭, 丁国瑜, 等. 宁夏贺家口子地区晚新生代地层序列及其构造意义. 中国地震, 2001, 17(2): 156~165 [Shen Xuhui, Tian Qinjian, Ding Guoyu, *et al.* The late Cenozoic stratigraphic sequence and its implication to tectonic evolution, Hejiakouzi area, Ningxia Hui Autonomous Region. Earthquake Research in China, 2001, 17(2): 156~165]
- 27 张珂, 刘开瑜, 杨景春. 宁夏清水河晚更新世冰卷泥的发现及其意义. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(5): 714~718 [Zhang Ke, Liu Kaiyu, Yang Jingchun. The discovery and its significance of Late Quaternary involution in the Area of Lower Reach of Qingshuihe River, Ningxia, China. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2000, 36(5): 714~718]

Depositional Features of the Zhongwei Basin, Ningxia, and Its Implications for Neotectonic Movements

ZHANG Ke¹ LIU Kai-yu² WU Jia-min³ YANG Jia-chun⁴ CAI Jian-bo¹

1(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

2(Department of Geological Sciences, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama, 35487, U. S. A.)

3(Institute of Geo-engineering Exploration, Yinchuan 750021)

4 (College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The Zhongwei Basin is the largest compressional basin situated between the are-form mountains along the northeast margin of Tibetan Plateau. Based upon our investigation in the field and in borehole data, depositional features and their variations in space and time are analyzed in this paper. In the Pliocene, the Xiangshan Mountain began to thrust northeast strongly along the Xiangshan-Tianjingshan fault zone, resulting in the depression in foreland and formation of the Zhongwei Basin. The strong compression also made some earlier sediments in the southern part of the basin thrust and uplift northward along some south-dip imbricate faults, producing wedge-like basin in the north-south profile with deep southward and shallow northward. Combing the thrusting, later sedimentation, including the one of the Yellow River, which flew through the basin from the west to east, had continuously moved northwards, occurring in diachronism of the sediments. Approximately in the end of the middle Pleistocene, the Zhongwei Basin was elevated responsible for strong activities of Yantongshan fault zone situated in the northeast of the basin, resulting in the down-cutting of the Yellow River, which ended the depositional process of the Zhongwei Basin. The end of depositional process of the Zhongwei Basin possibly means the starting of the strong activities of the Yantongshan fault zone rather than the end of the activities of the Xiangshan Tianjingshan fault zone. The process above probably implies the shifting processes of the strong compressional deformation from southwest to northeast along the northeast margin of Tibetan Plateau.

Key words the Zhongwei Basin, depositional features, neotectonics, the Yellow River, northeast margin along Tibetan Plateau