

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.2-3.001

祁连山东北缘武威盆地新近系甘肃群地层划分

施炜, 赵子贤, 杨勇, 王天宇, 杨谦

SHI Wei, ZHAO Zixian, YANG Yong, WANG Tianyu, YANG Qian

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室, 北京 100081

1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Key Laboratory of Paleomagnetism and Tectonic Reconstruction, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China

摘要:祁连山东北缘武威盆地发育一套灰白色-砖红色砂质细砾岩、含砾粗砂岩、泥质粉砂岩。已有的区域地质调查通过区域地层对比,将其确定为新近系甘肃群。在 1:5 万区域地质调查中,通过详细的钻孔地层剖面 and 地表地层剖面测量,结合钻孔古地磁年代学分析,依据甘肃群岩性特征与沉积环境分析,将甘肃群划分为上、下 2 个组,分别命名为果园组和丰乐组。丰乐组为桔黄色-砖红色砂质细砾岩、泥质粉砂岩、泥岩夹灰白色长石石英砂岩,为早—中中新世扇三角洲—滨浅湖相沉积(11.18~8.25 Ma)。果园组为土黄色粉砂质泥岩,砖红色中—粗粒砾岩,为河流相沉积,与下伏丰乐组呈平行不整合接触,向上与下更新统玉门砾岩呈角度不整合接触,沉积时代为晚中新世—上新世(8.25~2.58 Ma)。武威盆地甘肃群丰乐组和果园组 2 个正式岩石地层单位,在区域上可与邻区新近纪地层对比,统一了青藏高原东北缘的新近纪地层系统,为青藏高原东北缘新生代地质研究提供了地层学依据。

关键词:祁连山东北缘;青藏高原东北缘;武威盆地;新近系;甘肃群;果园组;丰乐组;地质调查工程

中图分类号:P534.61.1;P534 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2022)02/03-0197-13

Shi W, Zhao Z X, Yang Y, Wang T Y, Yang Q. Stratigraphic division of Neogene Gansu Group in Wuwei Basin, northeastern margin of Qilian Mountains. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(2/3): 197-209

Abstract: A set of grayish-white, brick-red sandy fine-grained conglomerate, conglomerate-bearing coarse-grained sandstone is developed in Wuwei Basin, northeastern margin of Qilian Mountains, which was confirmed as Neogene Gansu Group by regional geological survey and stratigraphic correlation. The Gansu Group was divided into upper and lower formations here, named Guoyuan Formation and Fengle Formation, respectively, based on the borehole and surface stratigraphic sections, borehole paleomagnetic chronology, lithologic characteristics and sedimentary environment analysis of Gansu Group. The Fengle Formation is characterized by Early-Middle Miocene fan delta-lacustrine sediments consisting of orange-yellow sandy fine-grained conglomerate, muddy siltstone, mudstone intercalated with grayish-white feldspathic quartz sandstone, with the paleomagnetic age of ca. 11.18~8.25 Ma. The Guoyuan Formation represents fluvial sediments, composed of yellowish silty mudstone and brick red medium-coarse-grained conglomerate. Its lower boundary is in parallel unconformity contact with the Fengle Formation, and the top boundary is in angle unconformity contact with the Lower Pleistocene Yumen conglomerate. Its sedimentary age is Late Miocene to Pliocene (8.25~2.58 Ma) as paleomagnetic dating. Therefore, the Fengle Formation and Guoyuan Formation of Gansu Group in Wuwei Basin are two formal lithostratigraphic units, which can be regionally correlated with the Neogene stratigraphy in the adjacent areas, and unify the Neogene stratigraphy system in the northeastern margin of the Tibetan Plateau, providing the stratigraphy basis for the Cenozoic geology in the northeastern margin of the Tibetan Plateau.

收稿日期:2020-11-10;修订日期:2020-12-16

资助项目:中国地质调查局项目《武威-固原地貌边界带基础地质调查》(编号:DD20190018)和国家自然科学基金项目《鄂尔多斯地块周缘新生代断陷盆地形成机理》(批准号:41672203)

作者简介:施炜(1971-),男,博士,研究员,构造地质学专业。E-mail:shiweinmg@163.com

泥岩互层的地层,划定为上新统临夏组,而第一、二岩段沿用西柳沟组、野狐城组和咸水河组。之后,邱占祥等^[11]依据东乡县椒子沟剖面的哺乳类化石,将原临夏组第一、二岩段命名为椒子沟组,时代为中新世。谢骏义^[12]则将临夏组局限于第四岩段,而第三岩段暂称为东乡层。甘肃省地质矿产局^[13]废除咸水河组、临夏组,仍统称为甘肃群。将这套地层重新定义为“由一套以黄、红、灰等颜色为主的泥岩、砂质泥岩、砂砾岩夹泥灰岩组成,富含哺乳类化石,整合于野狐城组(局部为平行不整合)之上,以石膏层的消失为界,其上被五泉山组不整合所覆”,同时进一步划分为上、下 2 个亚群。其后,1:25 万临夏、定西幅联测工作^④将临夏盆地与西宁盆地对比,又将新近系划分为中新统毛沟组、上新统何王家组、积石组。其中在毛沟组、何王家组采到大量的孢粉化石,积石组获得古地磁年龄数据^[14]。1:25 万兰州市幅区域地质调查^⑤将甘肃群细分为一、二组。1:25 万武威幅、景泰幅区域地质调查工作^{⑥⑧},因缺乏地层古生物化石和确切地层时代,又

将武威盆地南缘出露的新近系划分为甘肃群^⑥。最新《甘肃省区域地质志》^[10]根据区域地层对比,沿用“甘肃群”一名,并进一步划分为上、下 2 组(表 1)。总之,甘肃群划分较乱。目前,由于缺乏可靠的古生物化石和确切的年代学资料,很笼统地将其划分为上、下 2 组。

武威盆地甘肃群的地层划分及其沉积时代一直是该地区新生代地质构造研究的瓶颈。本次开展了 1:5 万丰乐幅和武威幅区域地质调查工作,通过地表地层剖面实测与钻孔地层结构揭露,获得了完整的甘肃群地层系统。通过详细的沉积序列分析和高精度磁性地层学研究,将甘肃群分为上、下 2 个岩石地层单位,分别命名为果园组和丰乐组,为祁连山东北缘基础地质研究提供了地层学依据。

1 钻孔地层剖面

本次区域地质调查在武威盆地中部洪祥镇果园村实施了新生界钻探 WW-01,钻孔孔位坐标为北纬 38°08'52.57"、东经 102°32'52.17",海拔为 1504 m,

表 1 甘肃群划分沿革表

Table 1 Evolution of Gansu Group division

杨钟健等 ^[8]		1:20 万武威幅地质图及区域地质矿产报告 ^①		1:20 万河西堡幅区域地质调查 ^②		西北区域地层表甘肃省分册 ^[9]		甘肃的第三系 ^③		1:25 万定西、临夏幅区域地质调查 ^④		1:25 万兰州市幅区域地质调查 ^⑤		1:25 万武威、景泰幅区域地质调查 ^⑥		甘肃省区域地质志 ^[10]	
新近系甘肃建造	长子川系	新近系甘肃群	四段	临夏组	新近系甘肃群	上亚群	第三组	积石组	何王家组	二组	新近系甘肃群	新近系	甘肃群	新近系甘肃群	上组	新近系甘肃群	下组
	三段																
二段																	
一段																	
咸水河系	咸水河组	第三段	中新统	新近系甘肃群	下亚群	第四组	毛沟组	一组	新近系甘肃群	甘肃群	新近系甘肃群	下组					
第二段																	
第一段																	

孔深 706.37 m。钻孔地层稳定,未变形,较完整地揭示了武威盆地新生代地层序列,钻孔底部钻遇地层为下伏寒武系大黄山组变砂岩(图 2)。

1.1 钻孔地层层序

钻孔地层剖面自上而下描述如下。

上覆地层:第四系	孔深
1.土黄色厚层状黄土	1.31 m
2.土黄色中—薄层状粉砂质粘土	1.84 m
3.土黄色厚层状含砾细砂—细砾石层	19.45 m
4.土黄色薄层状粘土	27.36 m
5.土黄色中—厚层状中—粗砾石层	77.80 m
6.土黄色薄层状粘土	81.53 m
7.土黄色中—厚层状中—粗砾石层	103.81 m
8.土黄色薄层状粘土	102.96 m
9.土黄色中—薄层状中—粗砾石层	128.28 m
10.土黄色薄层状含砾粗砂层	128.83 m
11.土黄色中—厚层状中—粗砾石层、含砾砂石层	166.47 m
~~~~~角度不整合~~~~~	
甘肃群上部果园组(N _{1-2g} )	
12.土黄色薄层状泥岩	175.20 m
13.土黄色中—薄层状泥岩,局部含钙质结核	179.42 m
14.土黄色薄层状粉砂质泥岩,局部含钙质结核	192.84 m
15.土黄色中—薄层状粉砂质泥岩,含钙质结核	193.60 m
16.土黄色薄层状粉砂岩,含钙质结核	196.39 m
17.土黄色中—薄层状粉砂质泥岩,含大量钙质结核,夹薄层细砾岩	270.30 m
18.土黄色薄层状泥质细砂岩	272.55 m
19.土黄色薄层粉砂质泥岩,含大量钙质结核	279.97 m
20.土黄色薄层状泥质粉砂岩	281.67 m
21.浅棕红色薄层状泥质粉砂岩,局部夹有细砂岩,发育水平层理	297.48 m
22.褐黄色薄层状粉砂质泥岩、细砂岩,含钙质结核	311.14 m
23.浅棕红色中—薄层状粉砂质泥岩,含钙质结核	316.12 m
24.褐黄色粉中—薄层状砂质泥岩,含钙质结核,夹薄层细砾岩	329.56 m
25.浅棕红色中—薄层状泥质粉砂岩、细砂岩,含钙质结核	395.98 m
26.砖红色—浅棕红色薄层状泥岩、粉砂质泥岩,含钙质结核、石膏	455.41 m
27.砖红色厚层状中—粗粒砾砂岩,砾石砾径 2~8 cm,分选差,次圆—次棱角状,砾石成分为花岗岩、紫红色砂岩、石英砾石、灰绿色变质石英砂岩	474.11 m
----- 不整合 -----	
甘肃群下部丰乐组(N _{1f} )	
28.砖红色薄层状粉砂质泥岩,含石膏	483.88 m
29.灰白色薄层状砂质泥灰岩	484.43 m

30.灰白色薄层状砂质泥灰岩,含较多方解石细脉	485.31 m
31.灰白色—浅棕红色薄层状粉砂质泥岩,含大量钙质结核	486.36 m
32.浅灰绿色薄层状砂质泥灰岩	486.66 m
33.浅棕红色—砖红色中—厚层状粉砂质泥岩,含大量钙质结核	492.60 m
34.浅棕红色—砖红色中—厚层状细砾岩、含砾中—细砂岩,偶夹砖红色薄层泥岩	543.19 m
35.砖红色厚层状泥质粉砂岩,含石膏,发育斜层理	548.15 m
36.砖红色中—薄层岩屑砂岩,夹青灰色薄层泥质细—中砂岩,含石膏,发育斜层理	550.80 m
37.浅砖红色中—厚层状砂质细砾岩、细中砂岩,偶夹砖红色薄层泥岩,其中砖红色泥岩中含大量石膏,部分砖红色泥岩中含少量长石石英	599.35 m
38.紫红色中—厚层状砂质细砾岩、细中砂岩,夹有砖红色—紫红色薄层泥质粉砂岩,其中泥质粉砂岩含大量长石石英岩屑,整体色调以紫红色为主,发育斜层理	662.00 m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层:寒武系大黄山组(ϵ_{1-2d})

| | |
|--|----------|
| 39.灰绿色变质石英砂岩,岩石强烈破碎,裂隙中充填大量石英脉体,部分层位被加里东期花岗岩侵入 | 706.37 m |
|--|----------|

上述钻孔剖面显示,新生代地层不整合于寒武系大黄山组变砂岩之上,从沉积特征分析,剖面可以划分为 6 个地层层序。

层序 I (0~166.47 m):顶部为黄土,中部为土黄色厚层状含砾细砂—细砾石层、中—粗砾石层,底部为土黄色中—厚层状中—粗粒砾石层与含砂砾石层,为冲洪积沉积。

层序 II (166.47~282.91 m):土黄色中—薄层状粉砂质泥岩,含大量钙质结核,发育水平层理,为浅湖相沉积。

层序 III (282.91~452.45 m):浅棕红色中—薄层细砂岩、泥质粉砂岩、泥岩与褐黄色粉砂质泥岩,细砂岩,含钙质结核;从上到下,粒度变粗,显示为正粒序,为湖相沉积。

层序 IV (452.45~474.11 m):砖红色厚层状中—粗粒砾岩,为河流相沉积。

层序 V (474.11~490.58 m):砖红色薄层状粉砂质泥岩夹灰白色砂质泥灰岩,为浅滨湖沉积。

层序 VI (490.58~662.00 m):浅棕红色—砖红色中—厚层状细砾岩、含砾中—细砂岩,砖红色泥质粉砂岩,含石膏,发育斜层理,为冲积扇相沉积。

与区域地层系统对比分析表明,层序 I 厚度为

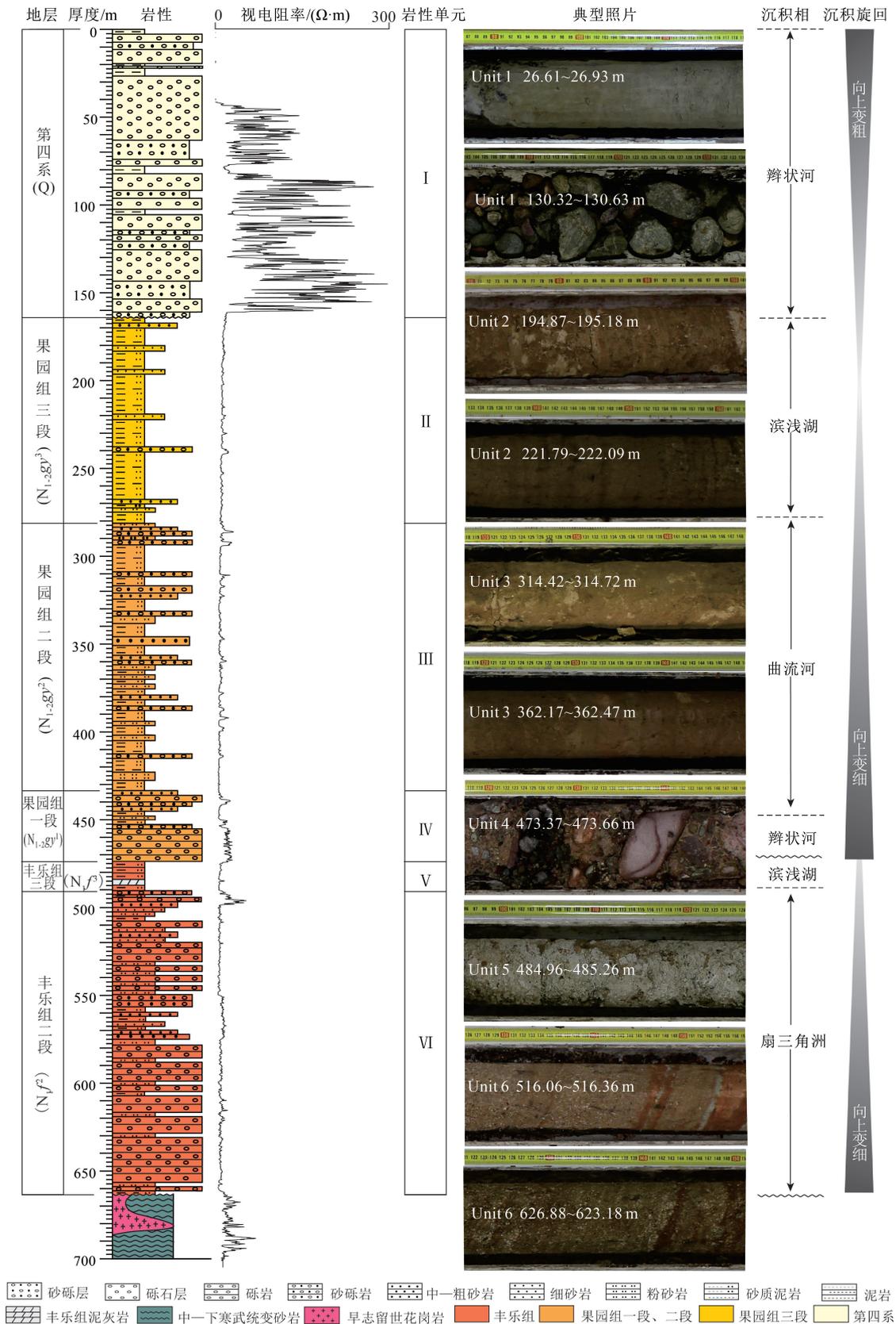


图 2 武威盆地 WW-01 钻孔岩心地层序列(706.37 m)

Fig. 2 Stratigraphic sequence of the WW-01 drilling core in Wuwei Basin

166.47 m,为第四纪地层;层序Ⅱ~Ⅳ与甘肃群上岩组对应,厚度为307.64 m,为本次研究确定的果园组;层序Ⅴ和层序Ⅵ对应部分甘肃群下岩组,厚度为187.89 m,为本次提出的丰乐组上部地层。

1.2 钻孔地层磁性地层年龄

本次对 WW-01 钻孔晚新生代地层(埋深 0~662 m)开展系统的磁性地层学采样和测试。结果表明,层序Ⅴ和层序Ⅵ相当于甘肃群丰乐组,其年龄为 11.18~8.25 Ma。也就是说,新生代地层底界(埋深为 662 m)年龄约为 11.18 Ma,说明武威盆地至少在约 11.18 Ma 开始接受沉积。层序Ⅱ~Ⅳ对应甘肃群果园组,其年龄为 8.25~2.58 Ma<sup>[15]</sup>,即甘肃群果园组与丰乐组的年龄界限为 8.25 Ma。结合野外甘肃群果园组与丰乐组沉积相、沉积序列及两者之间的不整合接触关系,推测青藏高原东北向扩展在约 8.25 Ma 到达祁连山东北缘<sup>[1]</sup>。古地磁测试分析也表明,武威盆地第四系砾石层底界(埋深约为 164.5 m)年龄约为 2.58 Ma,对应第四系底界年龄,即松山负极性时的底界(图 3)。区域上,该砾石层底界年龄可能与研究区玉门砾石的底界年龄一致,代表青藏高原东北缘地区最近一期强烈造山事件的结束<sup>[7]</sup>。

2 丰乐实测地层剖面

钻孔地层揭露了完整的中新世晚期—上新世果园组,但由于钻孔区域沉积不完整,钻孔下部只有部分中新世早期丰乐组。本次区域地质调查对武威盆地南缘丰乐堡地区出露的甘肃群进行地层剖面实测,获得了完整的丰乐组(图 4)。剖面显示,该组总体上为一套灰白色—土黄色砂质细砾岩、含砾粗砂岩、泥质砂岩、砖红色泥质粉砂岩组合,与下伏侏罗系享堂组紫红色中—细粒砂岩之间为角度不整合或断层接触(图 4)。通过对地层实测剖面恢复,消除褶皱和断层的影响,建立本区域丰乐组地层剖面。

2.1 剖面地层层序

通过对实测地层剖面进行恢复,厘定了丰乐堡地区这套地层层序(图 5)。其层序描述如下。

上覆地层:玉门组(Qp<sup>1</sup>γ)

灰色—褐灰厚层—块状钙质中—粗砾岩,夹土黄色粉砂质砂岩或透镜体,略具层理。砾石分选性差,粒径一般为 1~6 cm,最大为 20 cm,呈次棱角或棱角状,具杂基支撑结构,

填隙物为砂、泥质,钙质胶结。砾岩中砾石含量 30%~50%,组成变化较大,总体以紫红色细砂岩为主,少量为变质岩、花岗岩、石英等

~~~~~角度不整合~~~~~

甘肃群果园组(N₁₋₂gy)

- 20.浅砖红色—棕红色中—厚层状中—粗砂岩,砂质成分以石英和长石为主。发育斜层理和交错层理,为曲流河沉积 17.2 m
- 19.浅砖红色厚层状砾岩,砾石分选性、磨圆度好,大于 80%的砾石砾径介于 5~10 cm 之间,叠瓦状排列,局部含砂岩透镜体,颗粒支撑,钙质胶结。砾石成分主要为紫红色砂岩、灰绿色变质砂岩、花岗岩,少量石英砾石,发育斜层理,为典型辫状河沉积 18.9 m

-----平行不整合-----

甘肃群丰乐组(N₁f)

- 18.砖红色中—厚层状砂质泥岩,含大量薄层(约 5 cm)石膏层 20.5 m
- 17.砖红色中—薄层状泥质粉砂岩,含钙质结核 30.7 m
- 16.砖红色中—薄层状含砾粗砂岩,发育斜层理 4.5 m
- 15.砖红色中层砾岩,偶见薄层(2~5 cm)石膏层 3.5 m
- 14.灰白色中—薄层状泥灰岩,钙质石英砂岩,发育方解石脉,钙质胶结 13.7 m
- 13.砖红色薄层砂质细砾岩,钙质胶结 3.0 m
- 12.褐红色厚层砂质泥岩,偶夹青灰色泥岩,含大量钙质结核,单个层系内部由下而上粒径由粗变细,整体表现为砂—泥—砂—泥的粒序 178.1 m
- 11.紫红色中—厚层状泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、灰绿色泥质粉砂岩 13.9 m
- 10.砖红色薄层状泥质粉砂岩 4.0 m
- 9.砖红色中—薄层状泥质粉砂岩。其上为胶结很好的玉门砾岩(Qp¹γ)与较松散酒泉砾岩(Qp²j) 11.2 m
- 8.砖红色中—薄层状,含少量细砾泥质砂岩、薄层状浅灰绿色细砾岩与含细砾粗砂岩/细砂岩,含砖红色泥砾,表面可见泥砾风化后的槽模,砖红色泥质砂岩内断续夹有浅灰绿色不规则团块 20.4 m
- 7.砖红色中—薄层状泥质砂岩,夹砂质泥岩,夹灰绿色泥质砂岩。含石膏 67.3 m
- 6.砖红色—棕红色中层状中—细砾岩,砾石分选性一般,磨圆度差,砂质含量大于 30%,单层厚 10~20 cm 179.4 m
- 5.杂色薄层状砂质泥岩 9.0 m
- 4.土黄色砂岩,发育交错层理夹砾石层、泥岩 68.6 m
- 3.土黄色中—厚层状中—粗粒砂岩 7.0 m
- 2.土黄色中—薄层状泥质砂岩、砾岩,夹厚层状砂砾岩,砾石分选性、磨圆度较好,80%砾石粒径介于 2~30 mm 之间,70%以上砾石为石英,颗粒支撑,砂泥质胶结。其余为土黄色砂岩。发育平行层理 15.15 m

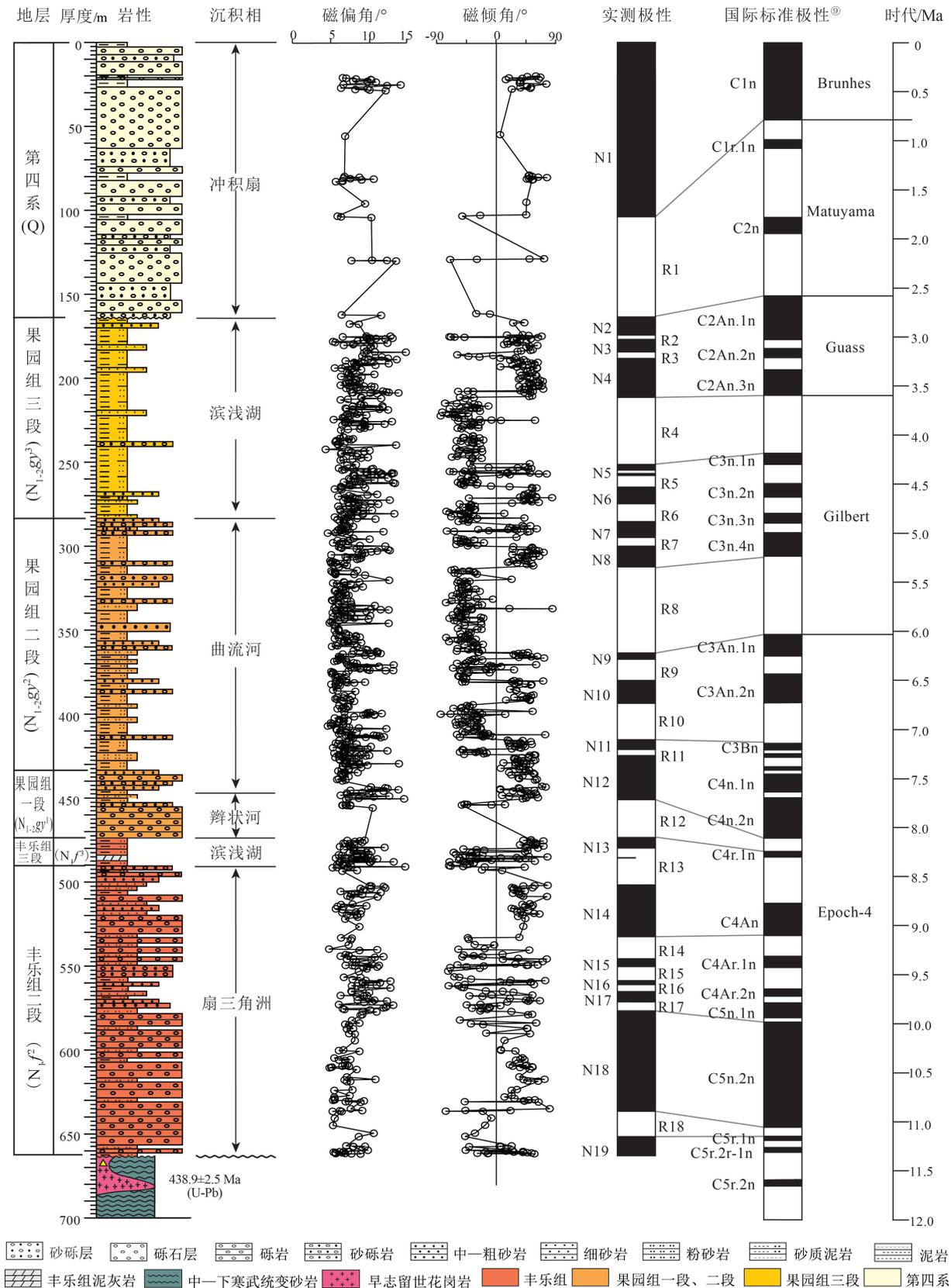


Fig. 3 Stratigraphic sequence and magnetostratigraphy of the WW-01 drilling core in Wuwei Basin

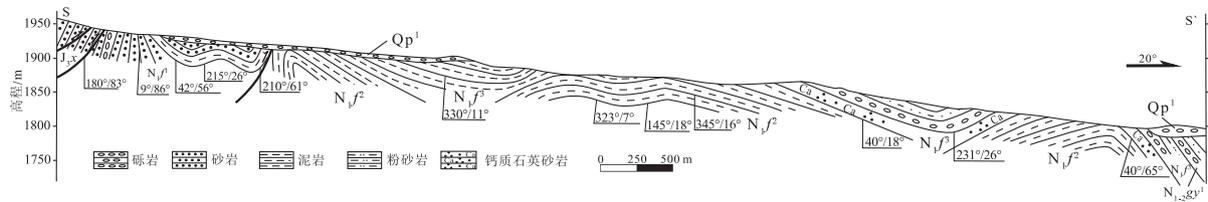


图4 武威盆地丰乐甘肃群地质剖面

Fig. 4 Section of Gansu Group in Fengle, Wuwei Basin

Qp¹—下更新统;N₁₋₂gy¹—中新统—上新统果园组一段;N₁f²—中新统丰乐组二段;J₃x—上侏罗统享堂组

1. 灰白色—灰绿色中—薄层状砂质细砾岩,砾石分选性、磨圆度差,成熟度低 10.05 m

—————断层—————

下伏地层:享堂组(J₃x)紫红色砂岩、页岩

根据沉积特征与沉积相差异,自下而上划分为2个层序,即下部丰乐组和上部果园组。

丰乐组(N₁f):包括1~18层,主要为土黄色砂岩、砖红色泥质粉砂岩、砾岩,含石膏。该套地层沉积总体上由河湖相逐渐过渡为湖泊相沉积,区域上相当于甘肃群丰乐组。该层序进一步划分为3个岩性段。

一段(N₁f¹):包括1~4层,底部为一套灰白色—灰绿色砂质细砾岩,砾石分选性、磨圆度差,成熟度较低;中部为一套土黄色含砂质细砾岩、含砾粗砂岩、泥质砂岩互层,河流二元结构不明显,其中砂岩多以透镜体产出,发育平行层理、交错层理和斜层理,整体由下至上粒度逐渐变细,表现为多阶韵律层;顶部为一套杂色砂质泥岩,厚度小于10 m。该段总体厚度大于80 m,应为扇三角洲扇中沉积,或冲积扇之上的辫状河沉积。

二段(N₁f²):包括5~17层,砖红色、浅红色、紫红色中—细砾岩、含砾粗砂岩、泥质粉砂岩组成的韵律层,厚度大于300 m。其中,底部中—细砾岩砾石分选性一般,磨圆度差,砂质含量大于30%,单层厚度10~20 cm;中部主要为含砾粗砂岩、细砾岩互层,含砾粗砂岩中发育大量斜层理和交错层理,河流二元结构不发育,多以透镜体形式产出,偶见薄层中—细砾石层,含砾粗砂岩单层厚度可达30~50 cm,应为冲积扇之上的辫状河心滩沉积;上部为泥质粉砂岩、砂岩互层,产出稳定,其中,泥质粉砂岩中断续夹青灰色薄层不规则泥质细砂岩条带,发育水平层理,偶见薄层石膏,单层厚度10~20 cm。为扇三角洲前缘相或滨浅湖相沉积体系。

三段(N₁f³):包括14~18层,底部为一套厚约

5 m的灰白色砂质泥灰岩,其中,砂质数量少,以灰质—泥质为主,砂砾的粒度不等,磨圆度差,应为分选性差和搬运距离较近的沉积物,应为湖相沉积岩;其上为砖红色砂质细砾岩、含砾粗砂岩、泥质粉砂岩,以砖红色泥质粉砂岩为主,厚度30~50 m,为滨浅湖相沉积岩。

果园组(N₁₋₂gy¹):包括19~20层,主要为浅砖红色—棕红色中—粗砂岩、砾岩。为典型的河流相沉积。与下伏甘肃群丰乐组之间相变明显,两者之间存在沉积间断,为平行不整合接触。与上覆早更新世玉门组砾岩(Qp¹γ)呈角度不整合接触。

## 2.2 剖面对比分析

丰乐地层剖面沉积序列分析表明,下部层位(丰乐组)为相对完整的甘肃群丰乐组,上部层位(果园组)为部分甘肃群上岩组,顶部为第四系覆盖。其地层序列大致可与武威盆地钻孔地层序列进行对比(图6)。其中,1~18层(丰乐组)与钻孔地层层序V和层序VI相当,但沉积厚度明显更大、沉积序列更完整(图6),可能由于丰乐剖面更接近武威盆地中心的缘故。与钻孔剖面对比显示,其地层沉积时代早于8.25 Ma,沉积起始时间大于11 Ma。如果该组与宁夏彭恩堡组相当,则这套地层沉积起始时间约为21 Ma^[7]。由于该套地层在丰乐实测剖面获得,因此命名为丰乐组,为区域上的甘肃群下岩组。19~20层对应部分甘肃群果园组,其地层沉积时代为8.25~2.58 Ma,在区域上与宁夏干河沟组相当。本次地层调查与研究,主要依据武威市果园村钻孔地层剖面,因此将其定名为果园组。

## 3 讨论

本次区域地质调查工作依据新近系钻孔地层剖面和地表实测地层剖面划分了丰乐组(N₁f)和果园组(N₁₋₂gy)。下部的丰乐组定义为角度不整合于

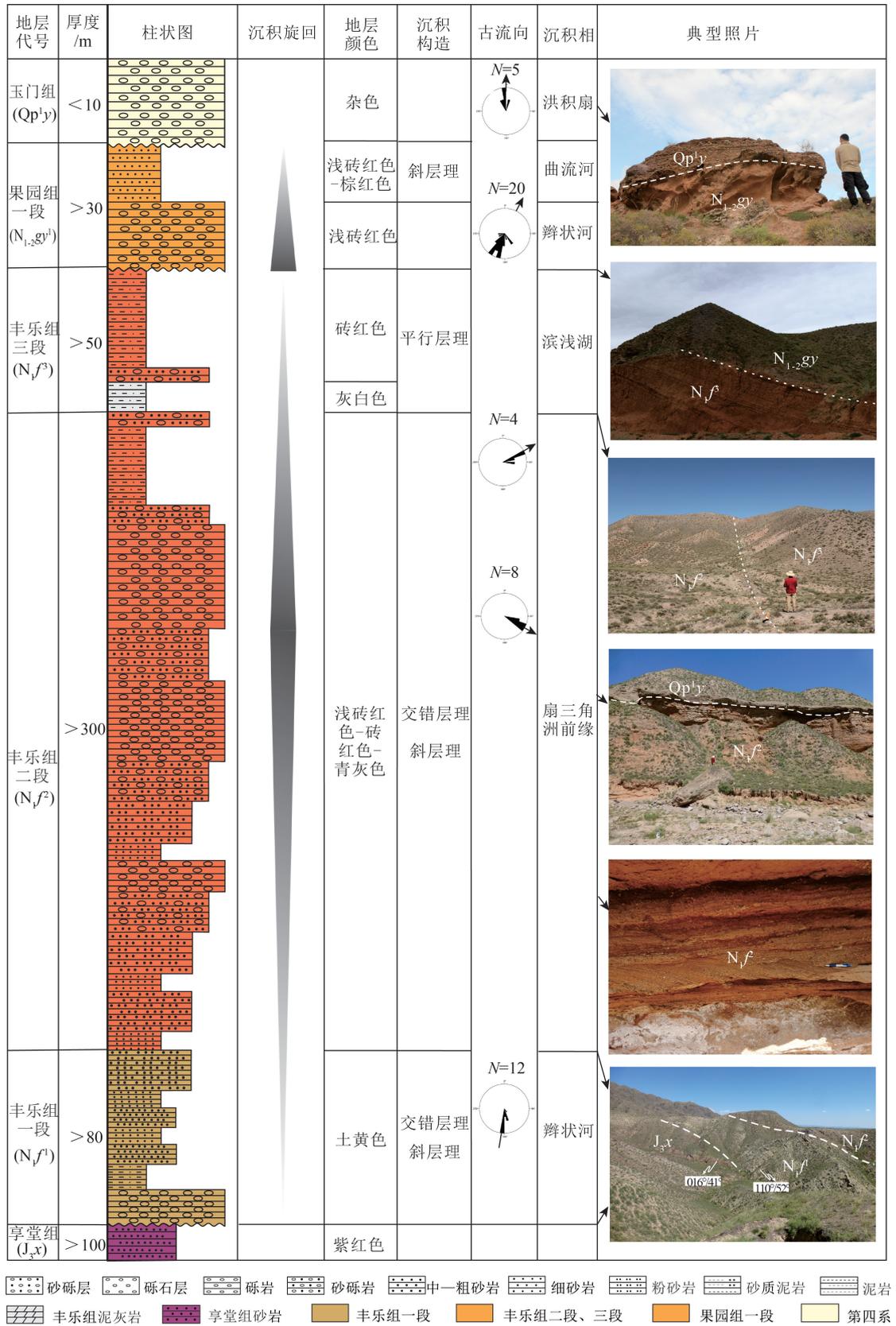


图 5 武威盆地丰乐甘肃群综合柱状图

Fig. 5 Stratigraphic column of Gansu Group in Fengle, Wuwei Basin

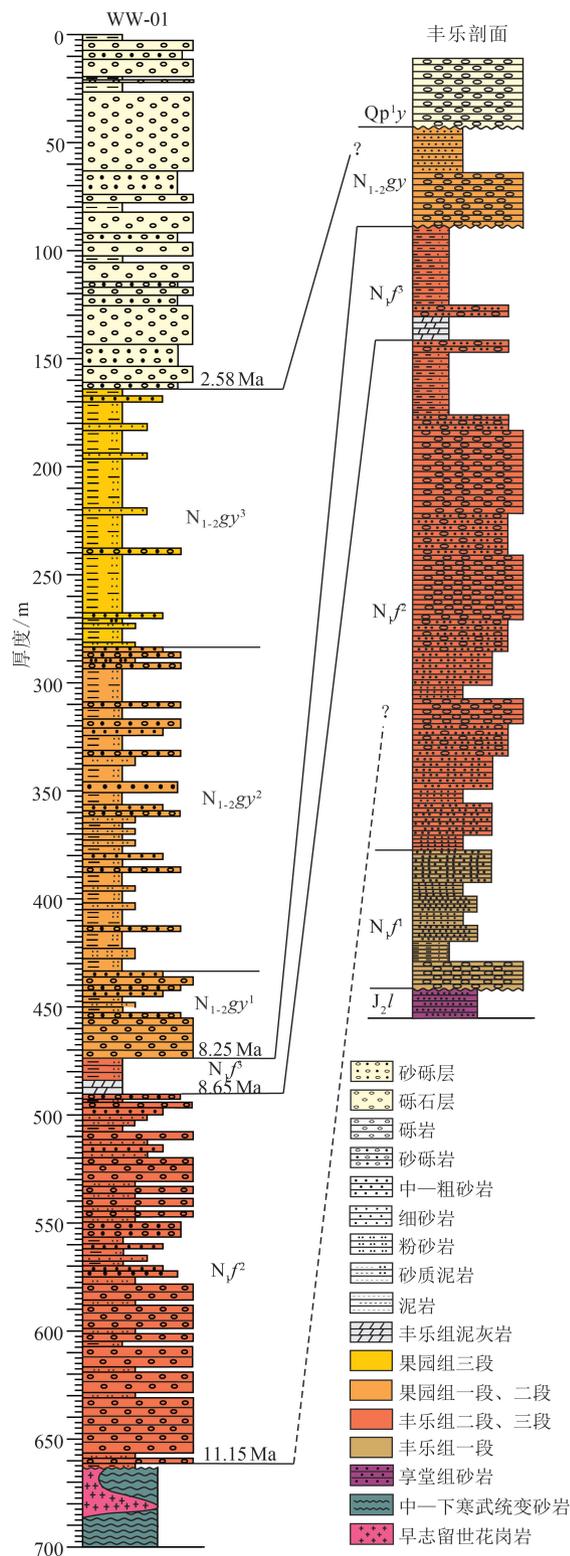


图6 丰乐甘肃群地层剖面与武威盆地钻孔地层剖面对比  
 Fig. 6 Stratigraphic section of the Gansu Group in Fengle, with correlation strata of the WW-01 drilling core in Wuwei Basin  
 Qp¹y—下更新统玉门组; N₁₋₂gy—中新统一上新统果园组; N₁f—中新统丰乐组

侏罗系享堂组(J_{3x})之上的一套桔黄色-砖红色砂质细砾岩、泥质粉砂岩、粘土夹灰白色长石石英砂岩、砂砾岩透镜体,向上为粘质砂土、粘土渐增,偶夹浅灰色泥灰岩。该组整体以一套桔红色和砖红色陆源碎屑沉积岩为主,指示当时的气候环境较炎热干旱,主体为河湖相-湖泊相沉积,为早中新世沉积。由于丰乐组下限未获得具体年龄,本次通过地层的区域对比,推测其沉积起始于中新世初期,沉积结束时间约为8.25 Ma。因此,其年代地层为中新统谢家阶-通古尔阶和灞河阶下部^[20](表2)。上部的果园组(N₁₋₂gy)为土黄色粉砂质泥岩,浅砖红色-棕红色中-粗砂岩、砾岩,为典型的河流相沉积,与下伏甘肃群丰乐组呈平行不整合接触,向上与更新统玉门组砾岩呈角度不整合接触,沉积时代为中新世-上新世(8.25~2.58 Ma)。因此,其年代地层为麻则沟阶-高庄阶与灞河阶上部(表2)。

甘肃省及邻近地区均有新近系沉积,各地新近系的沉积特征、岩石组合、古生物群组合均相似。最近在新疆新近纪火山岩中获得了精确的年龄^[28]。甘肃省及邻近地区近年的高精度地古地磁定年和哺乳动物化石分析,为新近纪地层划分与对比提供了依据。

河西走廊盆地边缘零星出露新近系疏勒河组,该组划分为下段弓形山层、中段胳膊塘沟层和上段牛胳膊套层3段^③。下段弓形山层为灰白色厚层砂岩夹棕红色泥岩,底部为灰白色砾状砂岩,与下伏白杨河组呈平行或角度不整合接触;中段胳膊塘沟层为棕红色砂质泥岩、土黄色-灰色砂岩及砾岩,沉积时代始于13 Ma前,结束于8.3 Ma^[16-17];上段牛胳膊套层为灰色砾岩夹棕红色砂岩及砂质泥岩,时代为8.3~3.0 Ma^[17-18]。对比其岩性组合特征和沉积时代,下段弓形山层和中段胳膊塘沟层基本上对应于武威盆地中新世丰乐组,上段牛胳膊套层对应中新世-上新世果园组。

甘肃东部地区,如兰州盆地、靖远地区等,曾明确将甘肃群划分为中新统咸水河组与上新统临夏组。其后的1:25万“兰州市幅”区域地质调查,相应改称为甘肃群一组和二组^⑤(表2)。咸水河组是一套以河流相为主的沉积,以褐黄色、棕红色砂质泥岩为主,底部为白色砂砾岩,与下伏野狐城组之间往往有沉积间断,富含哺乳动物化石。地层对比

表 2 武威盆地及其邻区新近纪地层对比 [7, 19, 27, 29, 31, 33-34]

Table 2 Neogene stratigraphic sequence in Wuwei Basin and its correlation with that in adjacent region

| 新近系地层系统 |                                      | 武威盆地<br>(本文)                 | 河西走廊          | 兰州盆地                            | 临夏盆地                               | 宁南盆地                         | 阿拉善地区                      | 柴达木盆地                            |
|---------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 统/世     | 阶/期/Ma                               |                              |               |                                 |                                    |                              |                            |                                  |
| 更新统     | 泥河湾阶                                 |                              |               |                                 |                                    |                              |                            |                                  |
| 上新统     | 上上新统<br>Piacen-Zian<br>2.59<br>麻则沟阶  |                              |               |                                 | 积石组<br>(N _{2j} )          |                              | 苦泉组<br>(N _{2k} )  | 狮子沟组<br>(N _{1-2sh} )    |
|         | 下上新统<br>Zanclean<br>3.60<br>高庄阶      | 果园组<br>(N _{1-2gy} ) | 疏勒河组<br>牛胳膊套层 | 甘肃群<br>二组<br>(NG ₁ ) | 何王家<br>山组<br>(N _{1-2hw} ) | 干河沟组<br>(N _{1-2g} ) |                            |                                  |
| 中新统     | Messinian<br>5.33<br>保德阶             |                              |               |                                 |                                    |                              |                            |                                  |
|         | 上中新统<br>Tortonian<br>7.25<br>潮河阶     | —8.25—                       |               | —?—                             | 柳树组<br>(N _{1l} )          |                              |                            |                                  |
|         | 中中新统<br>Serravalian<br>11.63<br>通古尔阶 |                              | 疏勒河组<br>胳膊塘沟层 |                                 | 东乡组<br>(N _{1d} )          |                              |                            | 上油沙<br>山组<br>(N _{1sy} ) |
|         | Langhian<br>13.82                    | 丰乐组<br>(N _{1f} )    | —?—           | 甘肃群<br>一组<br>(NG ₁ ) | 上庄组<br>(N _{1sz} )         | 彰恩堡组<br>(N _{1z} )   | 红柳沟组<br>(N _{1h} ) |                                  |
| 下中新统    | Burdigalian<br>15.97<br>山旺阶          |                              | 疏勒河组<br>弓形山层  |                                 | 上庄组<br>(N _{1zz} )         |                              |                            | 下油沙<br>山组<br>(N _{1xy} ) |
|         | Aquitanian<br>20.14<br>谢家阶           |                              |               |                                 |                                    |                              |                            |                                  |
| 渐新统     | Chattian<br>23.03                    |                              |               |                                 |                                    |                              |                            |                                  |

分析表明,武威盆地的丰乐组对应于咸水河组。临夏组为山麓及河流相沉积,岩性以桔红色、桔黄色泥岩、砂岩、砂砾岩为主^③。在靖远地区因发现丰富

的哺乳类化石和上新世轮藻组合,将其时代确定为上新世^[19]。岩石地层特征对比显示,武威盆地的果园组基本上与临夏组相当。在临夏盆地,借助哺乳

动物化石和磁性地层学,建立了精细的新近纪地层格架,划分了积石组、何王家山组、柳树组、东乡组、上庄组^[20]。武威盆地丰乐组相当于其中的中新世柳树组、东乡组、上庄组和中庄组,果园组基本与积石组和何王家山组相当,但其沉积下限稍早于何王家山组(表2)。

在宁夏,中新统彰恩堡组岩性以橘红色、橘黄色泥岩、粉砂质泥岩为主,下部夹灰白色—浅黄灰色厚—巨厚层含砾中—细粒长石石英砂岩及砾岩、砂砾岩透镜体,砂岩、砂砾岩发育大型槽状交错层理。含哺乳动物化石碎片^[21]。古地磁测试分析表明,其沉积时代为21.32~10.17 Ma^[7]。从地层岩性和古地磁年龄特征对比分析,武威盆地的丰乐组相当于宁夏的中新世彰恩堡组。宁夏的中—上新统干河沟组岩性为灰色厚层—块状中—粗砾岩、砂砾岩、砂岩夹浅橘红色、橘黄色粉砂质泥岩及浅紫红色泥岩条带^[21],与下伏彰恩堡组呈平行不整合接触,其古地磁测试年龄为9.58~2.77 Ma^[7],为晚中新世—上新世。由于有非常一致的古地磁年龄,武威盆地的果园组与宁夏的干河沟组相当。

在柴达木盆地,新近系划分为狮子沟组、上油沙山组和下油沙山组^[22]。上油沙山组主要为褐红色、灰绿色和灰色砂岩、粉砂岩夹泥岩,发育滨、浅湖沉积相,富含轮藻化石^[23]。通过高分辨率古地磁年代学确定下油沙山组沉积时代为15.3 Ma之前,上油沙山组形成时代为19.5~8.1 Ma,狮子沟组为8.1~2.5 Ma^[24-25]。区域地层对比表明,武威盆地的果园组相当于狮子沟组,而丰乐组则对应上油沙山组和下油沙山组(表2)。在阿拉善地区,由于缺乏哺乳动物化石和古地磁年代,新近系大致划分为上新世苦泉组和中中新世红柳沟组^[26]。红柳沟组为一套桔黄色—桔红色砾岩、砂岩、粉砂质泥岩,含大量钙质结核。本次武威盆地丰乐组相当于红柳沟组。苦泉组为一套砖红色、桔红色砂质泥岩、砂岩、砂砾岩组合,夹石膏层。虽然缺乏确切的地层时代,但从其岩性特征分析,武威盆地果园组与苦泉组相当(表2)。

总之,依据沉积特征差异和古地磁年代学,武威盆地甘肃群可划分为果园组和丰乐组,在区域上均有非常一致的地层系统。

## 4 结 论

(1)依据岩性组合特征与沉积环境,结合磁性

地层学研究,将祁连山东北缘武威盆地的新近系甘肃群新划分为丰乐组( $N_{1f}$ )和果园组( $N_{1-2gy}$ )。丰乐组为桔黄色—砖红色砂质细砾岩、泥质粉砂岩、粘土夹灰白色长石石英砂岩,为早中新世(21~8.25 Ma)沉积,区域上相当于兰州—临夏盆地的咸水河组和宁夏的彰恩堡组。果园组为土黄色粉砂质泥岩,砖红色中—粗粒砾岩,沉积时代为晚中新世—上新世(8.25~2.58 Ma),区域上相当于兰州—临夏盆地的临夏组和宁夏的干河沟组。

(2)建立丰乐组和果园组2个正式岩石地层单位,填补了祁连山东北缘武威盆地新近系地层划分的空白,对青藏高原东北缘新生代沉积盆地性质、构造背景等基础地质问题研究具有重要的地质意义。

**致谢:**古地磁样品采集得到中国地质科学院地质力学研究所韦利杰副研究员的大力协助,古地磁测试在地质力学研究所完成,测试及分析过程中得到实验室相关人员悉心指导,两位审稿专家对本文提出了建设性意见,在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] Zhao Z X, Shi W, Yang Y, et al. The Late Cenozoic crustal shortening in the north-east margin of the Qilian Shan: Evidence from the Fenge Basin, Gansu Province [J]. *Geological Journal*, 2020, 55: 7193-7205.
- [2] Li J J, Fang X M, Van der Voo R, et al. Late Cenozoic magnetostratigraphy (11~0 Ma) of the Dongshanding and Wangjiashan sections in the Longzhong Basin, western China [J]. *Geologie En Mijnbouw*, 1997, 76: 121-134.
- [3] Dai S, Fang X M, Dupont-Nivet G, et al. Magnetostratigraphy of Cenozoic sediments from the Xining Basin: Tectonic implications for the northeastern Tibetan Plateau [J]. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2006, 111: 335-360.
- [4] Yang R, Fang X M, Meng Q, et al. Paleomagnetic constraints on the Middle Miocene—Early Pliocene stratigraphy in the Xining Basin, NE Tibetan Plateau, and the geologic implications [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2017, 18: 3741-3757.
- [5] Fang X M, Fang Y H, Zan J B. Cenozoic magnetostratigraphy of the Xining Basin, NE Tibetan Plateau, and its constraints on paleontological, sedimentological and tectonomorphological evolution [J]. *Earth-Science Reviews*, 2019, 190: 460-485.
- [6] Hu X F, Chen D B, Pan B T. Sedimentary evolution of the foreland basin in the NE Tibetan Plateau and the growth of the Qilian Shan since 7 Ma [J]. *GSA Bulletin*, 2019, 131(9/10): 1744-1760.
- [7] Liu X B, Shi W, Hu J M, et al. Magnetostratigraphy and tectonic implications of Paleogene—Neogene sediments in the Yinchuan Basin, western North China Craton [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 173: 61-69.

- [8] 杨钟健,卞美年.甘肃皋兰永登区新生代地质[M].中国地质学会志,1937,16:226-232.
- [9] 甘肃省地层表编写组.西北地区区域地层表·甘肃分册[M].北京:地质出版社,1980:1-311.
- [10] 甘肃省地质调查院.中国区域地质志·甘肃志[M].北京:地质出版社,2019:1-562.
- [11] 邱占祥,邱铸鼎.中国晚第三纪地方哺乳动物群的排序及其分期[J].地层学杂志,1990,14(4):242-260.
- [12] 谢骏义.甘肃晚第三纪地层及哺乳动物化石[J].地层学杂志,1991,15(1):35-41.
- [13] 甘肃省地质矿产局.甘肃省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:1-314.
- [14] 方小敏,李吉均.甘肃临夏盆地新生代地层经对年代测定与划分[J].科学通报,1997,42(14):1457-1471.
- [15] Zhao Z, Shi W, Yang Y, et al. Late Cenozoic magnetostratigraphy and paleoenvironmental change in the northeastern Tibetan Plateau: Evidence from a drill core in the Wuwei Basin, NW China[J/OL]. Journal of Asian Earth Sciences, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2021.105023>.
- [16] 方小敏,赵志军,李吉均,等.祁连山北缘老君庙背斜晚新生代磁性地层与高原北部隆升[J].中国科学(D辑),2004,34(2):97-106.
- [17] 赵志军,方小敏,李吉均.祁连山北缘酒东盆地晚新生代磁性地层[J].中国科学(D辑),2001,31(增刊):195-201.
- [18] 史正涛,业渝光,赵志军,等.酒西盆地晚新生代地层的 ESR 年代[J].中国科学(D辑),2001,31(增刊):163-169.
- [19] 李望祖.甘肃靖远上新统临夏组轮藻化石[J].微体古生物学报,1985,2(2):153-159.
- [20] Fang X M, Garzzone C, Van der Voo R, et al. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin, China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2003, 210: 545-560.
- [21] 宁夏回族自治区地质调查院.中国区域地质志·宁夏志[M].北京:地质出版社,2017:1-562.
- [22] 青海省地质矿产局.青海省地质志[M].北京:地质出版社,1991:1-604.
- [23] 李莎,王贺,崔庆岗,等.柴达木盆地宗马海湖地区中新统上油砂山组轮藻植物群[J].地层学杂志,2019,43(4):343-351.
- [24] Fang X M, Zhang W L, Meng Q Q, et al. High-resolution magnetostratigraphy of the Neogene Huaitoutala section in the eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau, Qinghai Province, China and its implication on tectonic uplift of the NE Tibetan Plateau [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 258: 293-306.
- [25] Ji J L, Zhang K X, Clift P D, et al. High-resolution magnetostratigraphic study of the Paleogene-Neogene strata in the Northern Qaidam Basin: Implications for the growth of the Northeastern Tibetan Plateau [J]. Gondwana Research, 2017, 46: 141-155.
- [26] 内蒙古自治区地质矿产局.内蒙古自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:1-725.
- [27] 邓涛,侯素宽,王世骥.中国新近纪综合地层和时间框架[J].中国科学(地球科学),2019,49(1):315-329.
- [28] 赵江林,曾忠诚,贺宁强,等.新疆大红柳滩地区奇台达坂北侧新近系泉水沟组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J].地质通报,2017,36(7):1129-1146.
- ①甘肃省地质局第一区域地质测量队.1:20万武威幅地质图及区域地质矿产报告.1965.
- ②甘肃省地质局第一区域地质测量队.1:20万河西堡幅地质图及区域地质测量报告.1968.
- ③甘肃省地质局区域地质调查队.甘肃的第三系.1984.
- ④中国地质大学(武汉).1:25万临夏市、定西市幅地质图及区域地质调查报告.2006.
- ⑤甘肃省地质调查院.1:25万兰州市幅区域地质调查报告.2003.
- ⑥甘肃省地质调查院.1:25武威市幅地质图及区域地质调查报告.2008.
- ⑦甘肃省地质局第一区域地质测量队.1:20万大靖幅地质图及区域地质测量报告.1977.
- ⑧甘肃省地质调查院.1:25景泰县幅地质图及区域地质调查报告.2008.
- ⑨Gradstein F M, Ogg I G, Schmitz M D, et al. The geologic time scale 2012. Oxford, Elsevier, UK, 2012.