科 学 通 报
第 42 卷 第 14 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 7 月

【专题评述】

甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分

方小敏 李吉均 朱俊杰 陈怀录 曹继秀
(兰州大学地理科学系,兰州 730000)

关键词 临夏盆地 新生界 层型剖面 年代测定 地层划分

青藏高原和广大西北地区是我国新生界研究最为薄弱的地区之一,绝大多数地层的划分仅依据岩性和发现的少量生物化石进行,缺少绝对年代测定[1]. 本文以临夏盆地为层型地点,对我国西北地区的新生界开始逐步展开详细研究.

临夏盆地位于兰州市南约 100 km,是一个以青藏高原东北缘雷积山深大断裂、秦岭北深大断裂和祁连山东延余脉马衔山围成的一个具有山前拗陷性质的盆地,属第三纪大型陇中盆地的西南隅,其地层岩性、结构和古生物演化与陇中盆地主体具有很好的一致性和可比性[2~8]. 盆地中新生界非常发育,大致以临夏市大夏河近南北向的正断层为界,可将盆地一分为二,西盆地主要位于正断层的下降盘并紧接青藏高原,第三纪红层厚达 1 600 多米,并已强烈变形和褶皱. 东盆地主要位于正断层的上升盘,仅南侧与西秦岭相接,构造相对稳定,第三纪红层在盆地中部仅厚约 400~500 多米,地层水平,延伸稳定. 整个盆地在红层之上均为 100~400 m 左右的第四纪湖相地层和黄土(图 1). 早先的工作称第三纪红层为临夏组,粗分为 4 个岩性段,认为形成于上新世[2],后依据陆续采到的化石和相邻的兰州盆地地层的进展,将临夏组一词的含义仅限于上部原第四和第三岩性段,而将下部原第二和第一岩性段分别对比于兰州盆地中新统咸水河组和下第三系野狐城组及西柳沟组[3]. 后来,邱占祥等依据在和政县和东乡县他们认为相当原临夏组第四和第二岩性段地层中发现的对鼻角犀[4]、巨犀和猪齿兽类等化石[5],认为可能分别形成于晚和早中新世[4,5]. 我们在盆地的东、西部共选取了 5 个层型剖面(包括对比研究用的平行剖面)进行详细的地层学工作和以古地磁为主的多种手段的绝对年代测定,同时对这些剖面和其他地点的古生物学也进行了系统的研究. 早先曾报道过部分剖面古地磁地层测年的初步结果[9],这里概况了所有 5 个剖面各项地层工作的最后结果.

1 临夏盆地地层概况

以 5 个层型剖面为核心,即位于东盆地的东乡县毛沟剖面(厚 443 m)和洒勒山剖面(厚 16 m)、位于临夏县的王家山剖面(厚>1 600 m,本次研究仅测量了上部 600 m)、东山顶剖面(厚>1 200 m,本次研究仅测量了上部 166 m)和大塬顶剖面(厚约 170 m,本次研究仅测量了上部 70 多米),以及位于临夏市区的北塬剖面(厚 35 m). 临夏盆地地层主要依据岩性和构造可分成 13 个组 40 个层型或模式序列(详见后述)(图 1 和表 1). 从下至上,地层特征简述如下:毛沟剖面他拉组下段(层序(1)~(3))主要为多层粒序状砂细砾岩层和含少量细砾和石膏的纹层状、块状泥岩;中段(层序(4)~(9))为紫红色水平纹层状、块状及韵律状粉砂岩和粉砂质泥岩、泥岩;上段(层序(10))为紫红色块状泥岩. 中庄组下段(层序(11)~(14))为特征的锈黄色大型槽状、板状交错层状或平行层状砾质粗砂岩,中夹互层状粉砂岩与泥岩及块状泥岩. 中、下

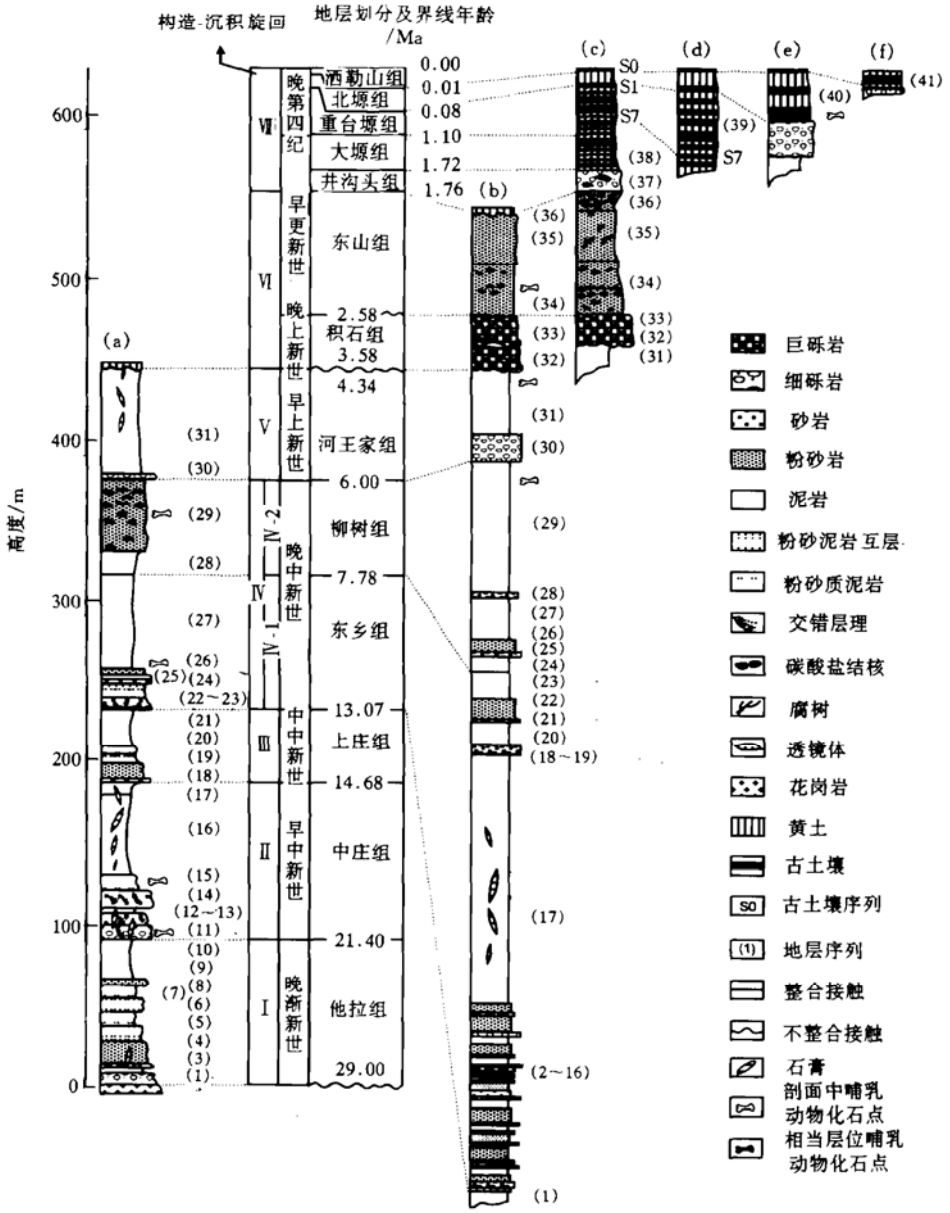


图 1 临夏盆地新生代地层层型剖面及其岩性与层序划分

(a)毛沟剖面；(b)王家山剖面；(c)东山顶剖面；(d)大塬剖面；(e)北塬剖面；(f)西勒山剖面

部含大量细脉状和中脉状(约 5 cm 厚)次生石膏，砂层中产 *Gomphotherium* sp.，*Dzungariotherium orgosense*，Rhinocerotidae gen. indet.，*Paraentelodon macrognathus* sp. nov.；中庄组上段(层序(15)～(17))主要为褐红色块状和韵律层状褐红色和浅褐红色泥岩，从上到下依次产核状、透镜状、细脉状(约 0.5～1 cm 厚)、大脉状(约 5～10 cm 厚)、细脉状及核状石膏. 上庄组下段(层序(18)～(19))为青灰色平行层状中粒砂岩和褐红色水平纹层状粉砂岩及韵律纹

表 1　临夏盆地新生代地层划分与模式序列

地层划分与命名		符号	序列	厚度/m	年代/MaBP	特征	建模地点	年代序列		其他地区		
										中国	欧洲海相	欧洲陆相
洒勒山组		Q_4s	(41)	5	0～0.01	黄土，河流 T_1 组成者	东乡洒勒山	全新世		泥河湾期	Calabrian	Biharian
北塬组		Q_3b	(40)	27	0.01～0.08	黄土，河流 T_3 组成者	临夏北塬	更新世	晚			
重台塬组		Q_2c	(39)	100	0.08～1.1	黄土，河流 T_5 组成者	临夏重台塬		中			
大原组		Q_1by	(38)	50	1.1～1.72	黄土，河流 T_6～T_7 组成者	临夏大原顶、东山顶		早			
井沟头组		Q_1j	(37)	13	1.72～1.76	砂砾层，组成黄河最高阶地下部	临夏井沟沟头					
东山组(Q_1d)	上段	Q_1d^3	(36)	12	1.76～1.8	褐黄色湖相粉砂岩，块状，含大量钙结核	临夏县井沟乡东山顶					
	中段	Q_1d^2	(35)	30	1.8～1.9	褐黑色湖沼相粉砂岩，含许多腐树						
	下段	Q_1d^1	(34)	35	1.9～2.5	褐黄色湖相粉砂岩，含大量成层钙结核产三门马等化石				游河期	Pincenzian	Villannian
积石组(积石砾石层)		N_2j^2	(33) (32)	60	2.58～3.58	山区河流、泥石流沉积，砂砾岩	积石县城附近	上新世	晚			
何王家组(N_2^1h)	上段	N_2h^{1-2}	(31)	49	4.34～6.16	湖相泥岩，含大量钙结核，褐黄色，顶部产李氏三趾马等化石	临夏井沟乡何王家村		早	静乐期	Zanclian	Rusinian
	下段	N_2h^{1-1}	(30)	11	6.16～6.25	河流砂砾岩，钙质胶结						
柳树组(N_1^3l))	上段	N_1l	(29)	39	6.25～7.16	褐黄色湖相粉砂岩，含大量钙结核，产四棱齿象等化石	东乡柳树村	中新世	晚	保德期	Messinian	Turolian
	下段	N_1l	(28)	14	7.16～7.78	褐黄色块状泥岩，含钙结核						
东乡组(东乡斑马层)(N_1^3d)	上段	N_1d^{3-2}	(27)	60	7.78～11.42	紫红色含大量灰白、青灰色泥灰岩条带的泥岩，底部产大量第二层位三趾马等化石(龙光动物群)	东乡县城附近				Tortonian	
	下段	N_1d^{3-1}	(26)～(22)	24	11.42～13.07	褐黄色钙质胶结粉砂岩、砂岩夹少量泥岩，底为薄层砂砾岩，产寺沟动物群				灞河期	Serravallian	Vellasian
上庄组(N_1^2s)	上段	N_1s^{2-2}	(21)～(20)	33	13.07～13.54	褐红色湖相泥岩，具韵律层理	东乡毛沟上庄		中	通古尔期		Astaracian
	下段	N_1s^{2-1}	(19)～(18)	12	13.54～14.68	褐红色河湖相粉砂岩、砂岩，产山庄动物群						
中庄组(N_1^1z)	上段	N_1z^{1-2}	(17)～(15)	67	14.68～18.88	褐红色泥岩，具韵律层理，含大量石膏，产山庄动物群	东乡毛沟中庄		早	山旺期	Langhian	Orleanian
	下段	N_1z^{1-1}	(14)～(11)	30	18.88～21.4	锈黄、褐黄色河流相砂岩、砂砾岩，夹少量紫红色泥岩，产石膏和大量象、巨犀类化石				谢家期	Burdigalian	
											Aquitanian	
他拉组(E_3^2t)	上段	E_3t^{2-3}	(10)	26	21.4～24.09	紫红色块状、湖相泥岩	东乡毛沟东原他拉村	渐新世	晚	塔崩布拉克期	Chattian	Agenian
	中段	E_3t^{2-2}	(9)～(4)	52	24.09～28.09	河湖相紫红色粉砂岩泥岩互层，强钙质胶结						
	下段	E_3t^{2-1}	(3)～(1)	13	28.09～29	山区洪积相紫红色砂砾岩，产准同生石膏						Coderetian
						加里东期花岗闪长岩						

层状粉砂岩与泥岩；上段(层序(20)～(21))为褐红色互层状粉砂岩、泥岩及块状泥岩. 东乡组下段(层序(22)～(26))主要为青灰色粒序状砂细砾岩(底部)，褐红色、青灰色、含锈斑的块状和水平纹层状粉砂岩和泥岩(中、上部)；上段(层序(27))为特征的呈韵律层状的块状紫红色泥

岩(厚约1～2 m)与块状的青灰色、灰白色泥灰岩(厚约0.5～1 m). 柳树组下段(层序(28))为褐黄色块状泥岩夹数条青灰色泥灰岩条带;上段(层序(29))为5个大粒序状褐黄色、锈黄色块状粉砂岩与泥岩,含大量2～10 cm钙质结核,产巨形象牙(未鉴定). 何王家组下段(层序(30))为灰色强烈钙质胶结的平行层状砂细砾岩(下)及褐黄色块状粉砂岩(上);上段(层序(31))为褐黄色块状泥岩,含石膏脉及钙结核(图1(a)). 王家山测量剖面包括了顶部5 m黄土地层、上部第四纪早期湖相层(东山组)和厚层砾岩层(积石组)、中部何王家组和柳树组,下部东乡组和上庄组,从下至上共分出36个层序(图1(b)),其中上庄组至何王家组除发现较多的哺乳动物化石外(图1(b)和参见表3),其岩性特征与毛沟剖面基本一致,故不赘述. 积石组(层序接编为(32)～(33))为灰黄色具块状构造或平行层理、叠瓦状构造的巨砾岩层,砾径多5～15 cm,近山前达1～2 m,夹多层大型粒序状粉砂岩、泥岩透镜体(图1(b)). 东山组在王家山仅出露下段和中段,下段(层序(34))为灰黄色、浅褐色波状～水平纹层状、块状粉砂岩,含大量钙质结核,产 *Equus sanmeniensis* Lynx sp.和 *Gazella* sp.;中段(层序(35))为青灰色、锈黄色、浅褐色平行纹层状粉砂岩,部分层段含锈斑. 顶部为2～5 m疏松黄土和黑垆土型古土壤层(图1(b)). 东山顶测量剖面由底部何王家组泥岩和积石组巨砾岩,中部东山组粉砂岩与井沟头组砾石层,以及上部大塬组至洒勒山组黄土组成,进一步可分为11个层序,为与王家山剖面对比及盆地总模式层序建立的方便,从下至上将这11个层序依次编为(31)～(41)(图1(c)). 何王家组～积石组岩性与王家山剖面基本一致. 东山组下段(层序(34))为褐黄色块状粉砂岩,含大量层状钙结核;中段(层序(35))为褐黄色、褐黑色水平纹层状、脉状粉砂岩,部分层段见纹层状泥岩夹层和锈斑、植物、蜗牛、瓣鳃类残片及气孔,中、下部产大量云、冷杉腐树;上段(层序(36))为褐黄色块状粉砂岩,含许多散乱或层状钙质结核(图1(c)). 井沟头组(层序(37))为灰色平行层状、叠瓦状砂砾层,砾石5～10 cm,次圆状,成分以砂岩和花岗岩为主,含几层砂、粉砂及泥岩透镜体. 大塬组(层序(38))、重台塬组(层序(39))、北塬组(层序(40))和洒勒山组(层序(41))均为黄土地层,含有23层古土壤,分属不同时代(图1(c)). 大塬顶剖面、北塬剖面和洒勒山剖面均为第四纪不同时期堆积的厚层黄土层型剖面,大塬顶测量剖面由重台塬组～洒勒山组组成,含8层古土壤(图1(d),并参见图4). 北塬剖面由黄土及末次间冰期5层古土壤、末次冰期4层古土壤和冰后期1层组成,为中国西部晚更新世标准剖面之一[10](图1(e)). 洒勒山剖面是目前所知我国分辨率最高的全新世黄土地层,由6层古土壤和黄土组成,其中5层为全新世古土壤,1层为晚冰期古土壤[11](图1(f)). 盆地地层除积石组与上、下地层为不整合接触外,其余均为整合接触(图1). 表1概述了临夏盆地地层的各主要特征.

2 样品采集

古地磁样品采集于大塬顶剖面、东山顶剖面、王家山剖面和毛沟剖面的1～1.5 m深的探槽新鲜面上,对覆盖较严重的东山顶剖面上部还进行了两个30多米深的探井开挖,采样间隔,除探井中为0.5 m和王家山剖面下部为2 m外,其余均为0.5～1 m,每个样点采集4～5套平行样,共采集了1 300多组约5 200多个样品. 估计年代在40 ka以内的古土壤一般在其上、下边界采集一个有机^{14}C样品,150～40 ka的古土壤一般在其上、下边界黄土层内采集一个TL或OSL样品. 百万年以上的,在合适的部位采集氨基酸样品和裂变径迹石膏晶体样品.

3　年代测定与分析

3.1　^{14}C 和 TL/OSL 绝对年代测定

安芷生对位于巴谢河一级阶地上的洒勒山黄土剖面进行了系统的^{14}C 和 TL 测年(图 1(e)),说明约 10～5 m 深度的 5 层古土壤形成于约 10～5 ka,即全新世温暖时期,并反映 9～5 ka 为全新世最佳期,9～8 ka 达到高峰,最下一层古土壤 TL 年龄约为 12 ka,代表晚冰期中一次明显的暖湿事件[11],因其高分辨率而成为我国全新世黄土的层型剖面.

我们曾对大夏河三级阶地上的北塬黄土剖面进行过系统的^{14}C 和 TL 年代测定[10],采自 S0 下部的两个有机^{14}C 样品测年为(4 950 ± 110) a 和(6 670 ± 180) a,据此计算的沉积速率推断 S0 底部年龄约为 10 ka,即北塬全新世的开始年龄与洒勒山剖面全新世黄土-古土壤的开始年龄基本相同. 在古土壤 Sm-1 和 Sm-3 的上、下采集 2 个^{14}C 样品和 1 个 TL 样品表明它们的年代约为 54～26 ka,即为末次间冰期的古土壤. 采自古土壤 S1 系列的 5 个 TL 年代表明它们形成于约 140～80 ka,即末次间冰期,其中 S1-a 和 S1-b 可分别对比于深海氧同位素记录的 5a 和 5c 亚阶段,而 S1-c, S1-d 和 S1-e 均形成于 5e 阶段,是 5e 亚阶段气候不稳定性的记录,它详细地记录了我国末次冰期旋回气候变化的许多重大特征,已成为晚更新世的层型剖面之一.

采自大夏河 6 级阶地上大塬顶剖面马兰黄土下部的 OSL 样品给出的年代为(62.4 ± 1) ka(参见图 4),采自 7 级阶地上东山顶剖面 S0 下部的^{14}C 样品和 S1 上部的 TL 样品得到(6.4 ± 0.07) ka 和(62.4 ± 1) ka 两个年代(参见图 5),与系统测年的北塬剖面的相应层位的年代基本一致,说明黄土-古土壤层序在临夏地区相当稳定.

3.2　氨基酸绝对年代测定

东山组中段产出大量瓣鳃类化石(埋深 110 m 处)和较新鲜的埋藏树木(埋深 100 m 处)(图 2),经吴佩珠测定,其中含有丰富的氨基酸(图 2). 选用目前氨基酸测年中最可靠的别异亮氨酸和异亮氨酸对,并参考兰州地区磁化率所代表的温度变化历史及泥河湾层氨基酸测年古温度的变化估计[12],采用修正的适合贝壳测年的 Badd 一级反应动力方程[12],初步估算贝壳化石两个平行样的平均年龄为 1.83 Ma,树木两个平行样平均年龄为 1.765 Ma. 表 2 为红层中不同部位采集的石膏样品的裂变径迹测年结果.

毛沟剖面何王家组中、上部产出的 1～5 cm 左右的次生脉状石膏晶体,经裂变径迹测年,其年龄为 3.8 Ma 左右(表 2 和参见图 7). 次生石膏来源于顶部石膏淋溶或在准同生形成阶段沿裂隙渗入下部地层中,因此,次生石膏裂变径迹年龄实质代表了何王家组泥岩上部某一时期的同生或准同生石膏年龄. 在中庄组中、上部,透明石膏晶体呈脉状和结核状大量产于泥岩中,石膏晶体随埋深的增加,从顶部的结核状,经大脉状(5～10 cm 厚)、中脉状(3～5 cm 厚),细脉状(1～2 cm 厚),最后变成核状(参见图 7). 微形态分析表明顶部的核状石膏使周围纹层微微弯曲,而底部的核状石膏和脉状石膏切割了周围纹层,因此顶部的核状石膏属准同生成因,底部核状和脉状石膏为次生成因. 裂变径迹测年表明从上至下,石膏年龄基本相同,变化于 15.8～14 Ma 之间(表 2 和参见图 7),进一步证明了岩相分析的结果和次生石膏物质主要来源于顶部准同生石膏的上述结论. 由于中庄组顶部是不含石膏的上庄组下部砂砾岩和粉砂岩所覆盖,石膏年龄实质代表了中庄组顶部的年龄(参见图 7). 在中庄组底部的紫红色泥岩中及下砂岩层中产许多核状和约 5 cm 厚的脉状石膏晶体,裂变径迹平均年龄为 21.39 Ma(表 2 和参见图 7),由于紫红色泥岩位于两个锈黄色砂岩层之间,而上锈黄色砂岩层中没有石膏产

出，同理，石膏年龄指示了砂岩层之间的地层年龄．在王家山剖面，在 370～470 m 深度共采集了系列次生石膏样品，其裂变径迹年龄变化于约 12～7 Ma(表 2 和参见图 6)，说明这一段地层(东乡组上段)大致形成于中中新世．

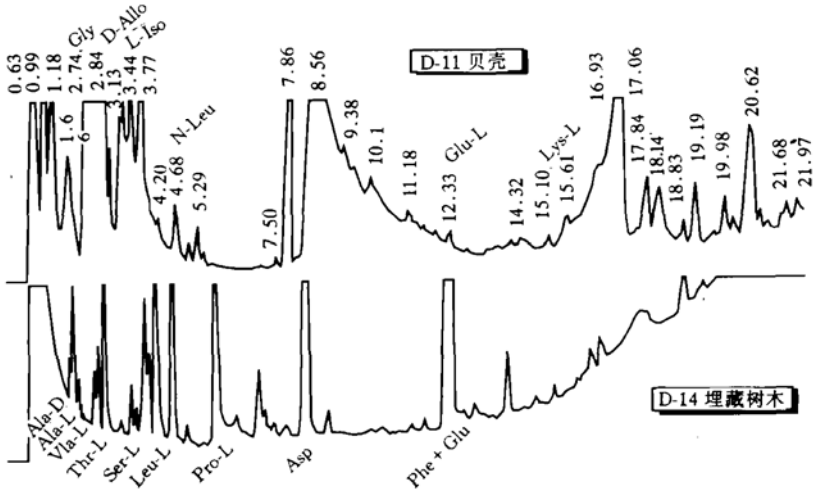


图 2 临夏盆地东山组湖相地层中埋藏瓣鳃类贝壳和树木的氨基酸色谱图

Ala——丙氨酸，Val——缬氨酸，Thr——苏氨酸，Gly——甘氨酸，D-Allo——别异亮氨酸，L-Iso——异亮氨酸，Leu——亮氨酸，Ser——丝氨酸，Pro——脯氨酸，Met——蛋氨酸，Asp——天冬氨酸，Phe——苯丙氨酸，Glu——谷氨酸，Lys——赖氨酸

表 2 临夏盆地新生代红层中石膏晶体的裂变径迹年代测定

样品	剖面地点与岩性	石膏产状	中子通量 /$10^{15}\cdot cm^{-2}$	自发裂变径迹数 /$10^{4}\cdot cm^{-2}$	诱发裂变径迹数/$10^{5}\cdot cm^{-2}$	年龄/MaBP
WJS-400	王家山，紫红色泥岩	厚 1 cm 脉状	60.30	1.01	49.5	6.94±0.62
WJS-402	王家山，紫红色泥岩	厚 1 cm 脉状	60.30	0.84	4.16	6.88±0.61
WJS-416	王家山，紫红色泥岩	厚 2 cm 脉状	60.30	0.92	3.98	7.87±0.70
WJS-422?	王家山，紫红色泥岩	厚 2 cm 脉状	60.30	1.20	40.20	10.16±0.83
WJS-440	王家山，紫红色泥岩	厚 1 cm 脉状	7.087	1.59	7.12	8.92±0.80
WJS-460	王家山，紫红色泥岩	厚 2 cm 脉状	7.087	2.58	8.74	11.83±0.10
DX-92	毛沟，砾岩	厚 5 cm 脉状	7.087	3.70	3.46	21.39±0.20
DX-132	毛沟，褐红色泥岩	2 cm 结核	7.087	1.50	3.79	15.84±0.14
DX-150	毛沟，褐红色泥岩	厚 2 cm 脉状	7.100	2.06	2.72	15.15±0.14
DX-155	毛沟，褐红色泥岩	厚 3 cm 脉状	7.087	2.14	2.86	14.97±0.13
DX-164	毛沟，褐红色泥岩	厚 4 cm 脉状	7.10	1.99	2.73	14.61±0.13
DX-166	毛沟，褐红色泥岩	厚 4 cm 脉状	7.087	1.96	2.69	14.58±0.13
DX-170	毛沟，褐红色泥岩	厚 5 cm 脉状	7.100	1.78	2.51	14.21±0.12
DX-174	毛沟，褐红色泥岩	厚 8 cm 脉状	7.087	1.64	2.34	13.97±0.12
DX-177	毛沟，褐红色泥岩	厚 10 cm 脉状	7.087	1.57	2.25	13.96±0.11
DX-407	毛沟，褐黄色泥岩	厚 1 cm 脉状	15.60	0.376	8.67	3.82±0.33
DX-420	毛沟，褐黄色泥岩	厚 1 cm 脉状	15.60	0.382	8.89	3.79±0.33

3.3 古生物断代

临夏盆地地层含有丰富的哺乳动物化石，目前已发现 6 个层位的哺乳动物化石，其中三趾马动物群就有 4 个层位，是我国已知的三趾马动物群最连续的层位. 表 3 总结了临夏盆地以往和我们的古生物地层研究结果.

表 3　临夏盆地哺乳动物化石演化一览表

陆相分期	哺乳动物成分	层序[a)]	地点	资料来源
泥河湾期 1.8～0.73 Ma	*Equus sanmeniensis*, *Lynx* sp. (*L. shansius* ?) and *Gazella* sp.	(34)	王家山	[2]
静乐期 5.2～3.4 Ma	*Hipparion* sp.	(31)	王家山	[2]
保德期 9～5.2 Ma	Giraffidae gen. et sp. indet. 龙光动物群：*Machairodus* (*Epimachairodus*?) cf. *ultimus*, *Indarctos* sp., *Ictitherium gaudryi*, *Adcrocuta* cf. *eximia variabilis*, *Hipparion* (*Hipparion*) *platyodus*, *H.* (*H.*) *fossatum*, *Hipparion* (*Cremohipparion*) cf. *licenti*, *Acerorhinus linxiaensis* sp. nov., *A. palaeosinensis*, *Chilotherium* (*Chilotherium*) *anderssoni*, *Ch. gracile*, *Gazella gaudryi*, *Antilope* sp., *Cervavitus novorossiae*, *Propotamochoerus* sp.,	(28)～(29)	银川乡龙关村动物群；	[6]
	Hipparion sp., *Chilotherium* sp., *Honanotherium* sp., *Cervavitus* sp.		东乡县结沟	[8]
	Protalactaga cf. *tunggurensis*, *Spalacinae* gen. indet., Castoridae gen. indet., *Ochotona lagrelii minor*, *Ichotherium hipparionum hyaenoides*, *Adcrocuta* cf. *eximia variabilis*			
新河期 12.5～9 Ma	寺沟动物群：*Dinocrocuta gigantea*, *Adcrocuta eximia variabilis*, *Ictitherium wongii*, *H.* cf. *chiai*, *Hipparion platyodus*, *H.* cf. *chiai*, *H.* cf. *fossafum*, *H.* cf. *tchicorcum*, *chilotherium* sp., *Ninxiatherium* cf. *longirhinus*, *Palaeotragus* cf. *microdon*, *Cervavitus novorossiae*, *Gazella gaudryi*, *G.* cf. *dorcadoides*, *Tetralophodon exoletus*, *Serridentinus* sp., *T.* cf. *xaolongtanensis* (?), *Gomphotherium* cf. *hopwoodi*	(26)	广河县寺沟	[6] [2]
	Hipparion cf. *Hippidiodus sefve*, *Gazella* sp.	(27)		
通古尔期 15.4～12.5 Ma	山庄动物群：*Giraffokeryx shanzhuangensis* sp. nov., *Hipparion*, Rhinocerotidae: *Chilotherium*, *Platybelodon*, *Honanotherium*, *Mustelidae*, *Struthis*, 以及许多其它未鉴定种	(21)	和政县山庄、买家巷	[6]
谢家期 (Burdigalian) 22～15.4 Ma	*Gomphotherium* sp., *Dzungariotherium orgosense*, Rhinocerotidae gen. indet., *Paraentelodon macrognathus* sp. nov.	(14)～(15)	东乡县毛沟、椒子沟	本次研究 [5]

a) 层序号参见图 1

3.4 古地磁年代测定与解释

3.4.1 样品测定　在实验室，第 1 套样品由美国 GSD-1 型交变退磁和英国 Digico 磁力仪测定，第 2 套样品为 350～400℃ 下一次性退磁并在 SSM-Ⅱ型磁力仪上测定，第 3 套样品为 20～700℃ 内间隔 50℃ 的系统热退磁测定结果(磁力仪仍为 SSM-Ⅱ)，第 4 套和第 5 套样品为 20～680℃ 间隔 20～50℃ 下系统热退磁，在 2G 型超导磁力仪上测定，整个测定工作均在美国密歇根大学古地磁零磁场实验室中进行. 为更好地解释样品的测定数据和古地磁行为，同时在明尼苏达大学岩石磁学研究所进行了更系统的岩石磁学参数测量. 相对而言，在 SSM 型磁力

仪上系统热退磁的测定结果与零磁场下2G超导磁力仪测定的结果比较接近，后者数据更为稳定，而交变退磁结果在红层的部分地段与热退磁的结果吻合较差，可能主要是退磁不完全造成．黄土热退磁和岩石磁学测定表明其中磁性矿物主要为磁铁矿和磁赤铁矿，少量为赤铁矿，与以往许多工作的结果相似，图3为红层中4种主要类型样品的退磁曲线和磁矢量变化图，说明其中磁性矿物类型复杂，主要为磁铁矿、赤铁矿，其次为针铁矿及其他隅合磁性矿物．

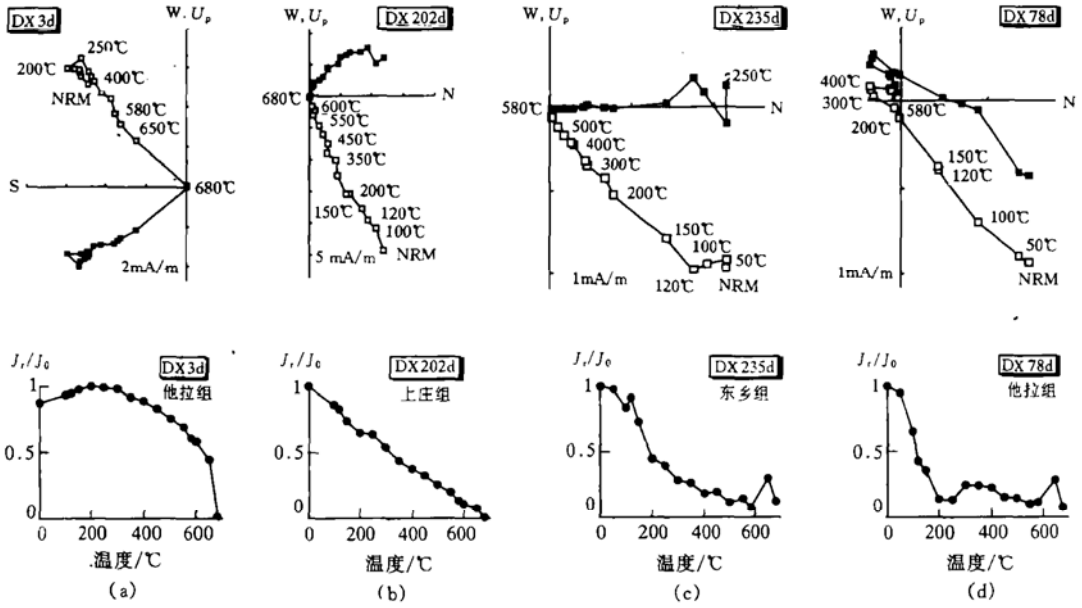


图3 临夏新生代部分红层代表性样品剩磁矢量正交投影图与逐步热退磁曲线

■，□分别为水平面和垂直面上投影

3.4.2 磁性地层及解释 本文采用文献[13]最新年表．图4为大塬顶剖面补采样后所得古地磁VGP变化及相应磁化率变化与古土壤层序图．古土壤发生特征和磁化率均表明测量剖面共有8大层古土壤，8 m深处黄土热释光测年为62.4 ka，说明其下一层古土壤为S1．因而最下一层古土壤为S8，B/M界线位于黄土L8中，与黄土高原的磁性地层结果[14]一致．

图5为东山顶剖面磁性地层结果．166 m测量剖面共发现9段正磁极，从上往下依次编号为N1～N9，8段负磁极R1～R8．土壤发生及磁化率变化表明上部黄土剖面中共有23大层古土壤，最顶部古土壤呈灰黑色，底部有机^{14}C测年为6.4 ka，因为它是全新世古土壤S0(图5)．约7 m深处黄土光释光测年为96 ka左右，其下第1层古土壤应为S1，地层无缺失，按黄土高原古土壤地层模式[10,13,14]，推断最下一层为S23．正磁极N1与负磁极R1界线在S7与S8之间，与大塬顶剖面一致，说明黄土-古土壤层序地层在本区和黄土高原中心地区一样很稳定，因此可利用黄土高原土壤磁性地层的模式[13]来解释我们的土壤磁性地层结果．R1/N2和N2/R2界线在S10下部和S11与S12之间，N3发生于S14与S15之间，R3/N4和N4/R4界线基本上与古土壤S22的顶底界一致(图5)．根据黄土高原土壤磁性地层的年龄模式[13,14]，贾拉米洛事件顶多位于S10或其上黄土中，其底多位于S11下部黄土中，因此本剖面中的N2为贾拉米洛事件(图5)．S14和S15的天体轨道参数调波年龄分别为1.154～1.142

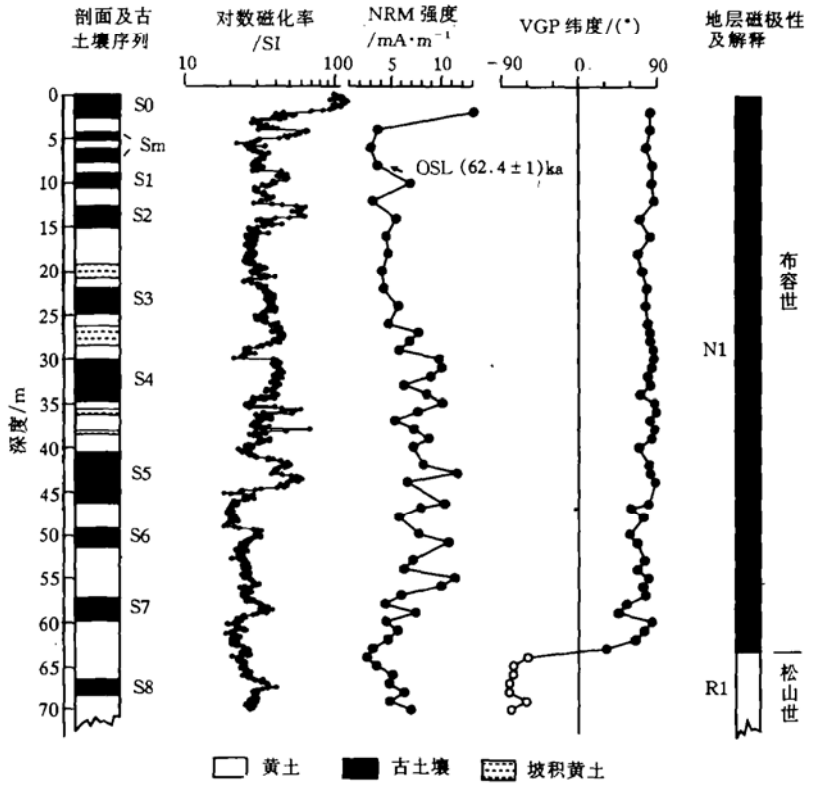


图 4　大塬顶剖面磁性地层、磁化率及 NRM 强度的变化
○为南纬的虚地磁极 VGP,●为北纬的虚地磁极 VGP

Ma 和 1.201～1.178 Ma[15],因此 N3 可与发生于 1.12～1.1 Ma 附近的考柏事件相对比. 这一事件最近在世界各地频繁被发现,在西安及兰州黄土地层中也多被发现,因此,对比是合理的. S22 的天体调波年龄为 1.532～1.509 Ma[15],因此,位于 S22 中的短暂 N4 可与发生于 1.58～1.55 Ma 左右的吉尔萨(Gilsa)事件相对比. 尽管目前对吉尔萨事件的确认及年代仍存在很大的争议[15],但是高分辨率的北大西洋钻孔证实吉尔萨事件跨越 1.5 m 深海沉积物,历时 8.8 ka,中值年龄 1.55 Ma[15]. 钱方在研究元谋盆地古地磁年龄时,也发现一短暂的正磁极稳定地存在于奥尔都维事件之上,将 N4 对比于吉尔萨事件是可行的. 这样,依据吉尔萨和贾拉米洛之间的沉积速率推断黄土底部年龄为 1.72 Ma(图 5). R4 是一段较长的负磁极,主要对应于井沟头组砾石层,N5 和 N6 代表一厚层正磁极,对应于东山组粉砂层中、上部(图 5). 按古地磁年表磁极性序列[13]推断,N5 和 N6 应为奥尔都维事件(R5 则很可能反映了奥尔都维事件结束过渡期中几次快速反复的倒转之一). 上述东山组中段埋藏鼢鼠类化石和树木的氨基酸测年(图 2)表明它们的平均年龄为 1.83 Ma 和 1.765 Ma. 王家山剖面东山组的下部产第四纪早期的标准动物化石三门马 *Equus sanmeniensis* 及其他这一时期的动物[2](图 6 和表 3),因此,上述对比是成立的. 相应地,N7 和 N8 对应于留尼汪Ⅰ和Ⅱ. 因砾石层中无样,N9 在本剖面中难以给予解释,但结合下面王家山剖面的分析,N9 为吉尔伯特世中的努尼瓦克事件.

王家山剖面共发现 23 个正磁极段 N1,N23 和 23 个负磁极段 R1～R23(图 6). 位于东山

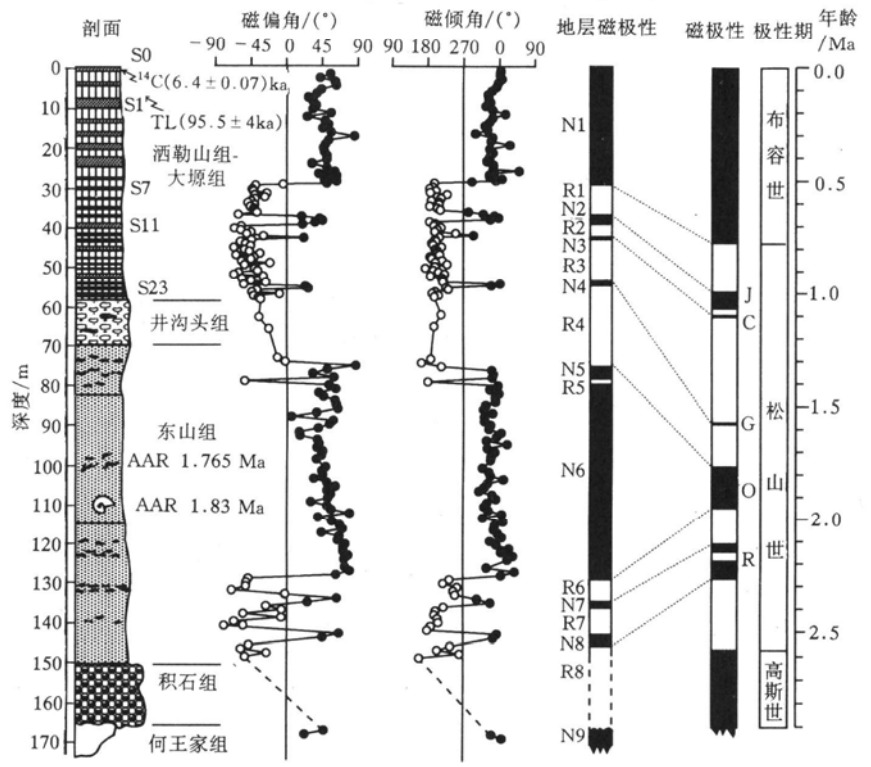


图 5 东山顶剖面磁性地层及其与标准磁极性柱[14]的对比

○为负磁极,●为正磁极. 岩性说明见图 1. J = Jaramillo, C = Cobb Mountain, G = Gilsa, O = Olduvai, R = Reunion

组中的 N1, N2 和 N3 与东山顶剖面东山组中 N5～N8(图 5)在磁极性和岩性层位上均可进行很好对比,同时在本剖面东山组下部发现三门马等化石. 因此,可将 N1～N3 分别对应于奥尔都维和留尼汪的两个事件(图 6),依据 R1～R3 段沉积速率推算东山组底部年龄在东山顶剖面为 2.4 Ma,在王家山剖面为 2.5 Ma,因此,N4 可能最少应为高斯世中的某一段. 在王家山剖面何王家组上部曾发现上新世的三趾马化石[2](表 3). 上述何王家组下部地层柳树组和东乡组的龙光动物群和寺沟动物群推断的地层年代为保德期和霸河期(表 3)[6],并为东乡组下部发现的大量次生石膏晶体裂变径迹年龄为 11.83～6.9 Ma(表 2 和图 6)所证实. 此外,在毛沟剖面何王家组发现的次生石膏晶体的裂变径迹测年推断何王家组顶部年龄为 3.8 Ma 左右(图 7 和表 2). 综上所述,我们认为何王家组在层位上不老于早上新世,其中的 3 个正磁极 N6B、N7 和 N8 是吉尔伯特反极性世中努尼瓦克、西杜夫加尔和斯维拉事件的记录(图 6). N4～N6A 为高斯正向世、短暂的 R4 和 R5 可与高斯世中凯纳和马斯事件相对比,而吉尔伯特世最上一段负极性和柯奇蒂事件则因何王家组与积石组间角度不整合而缺失(图 6). 这样,利用凯纳和马斯事件之间的沉积速率可以粗略估计出积石组的顶底年龄为 2.58 和 3.58 Ma.

在毛沟剖面,我们共获得 41 个正磁极 N1～N41 和 42 个负磁极 R1～R42(图 7). 位于何王家组至东乡组中的 N1～N11 可与王家山剖面下部(深 94 m 以下)磁性地层和岩性地层进行

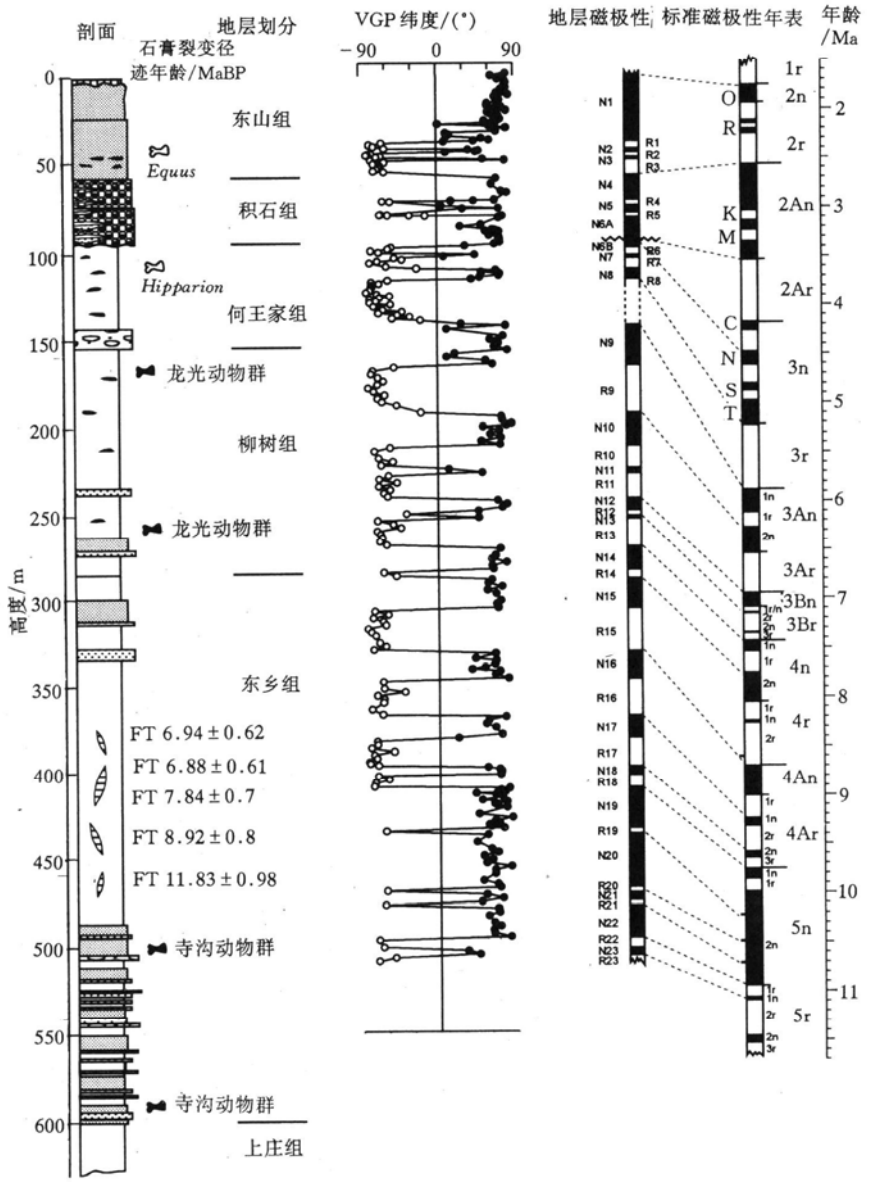


图 6　王家山剖面磁性地层及其与标准磁极性柱[14]的对比

标准磁极性柱左边的短横线代表跨时小于 30 ka 的古地磁事件. ○,●同图 5,三角符号为不确定磁极,可能由非原始层位样品造成,岩性说明见图 1. O = Olduvai, R = Reunion, K = Kaena, M = Mammoth, C = Cochiti, N = Nunivak, S = Sidufjall, T = Thvera subchrons

极好的对比. 依据生物化石年代和石膏裂变径迹年龄(表 2,3),N1～N3 可对比于吉尔伯特磁极性世中努尼瓦克、西杜夫加尔和斯维拉正磁极性段,N4 和 N5 对比于 C3An 中的两个相邻较长时间段的正磁极,N11 可对比于磁极性年表中 C5n 期中正磁极性世(图 7). 中庄组中、上部准同生至次生石膏晶体的系统裂变径迹测年表明中庄组顶部年龄在 15～14 Ma 左右(表 2 和

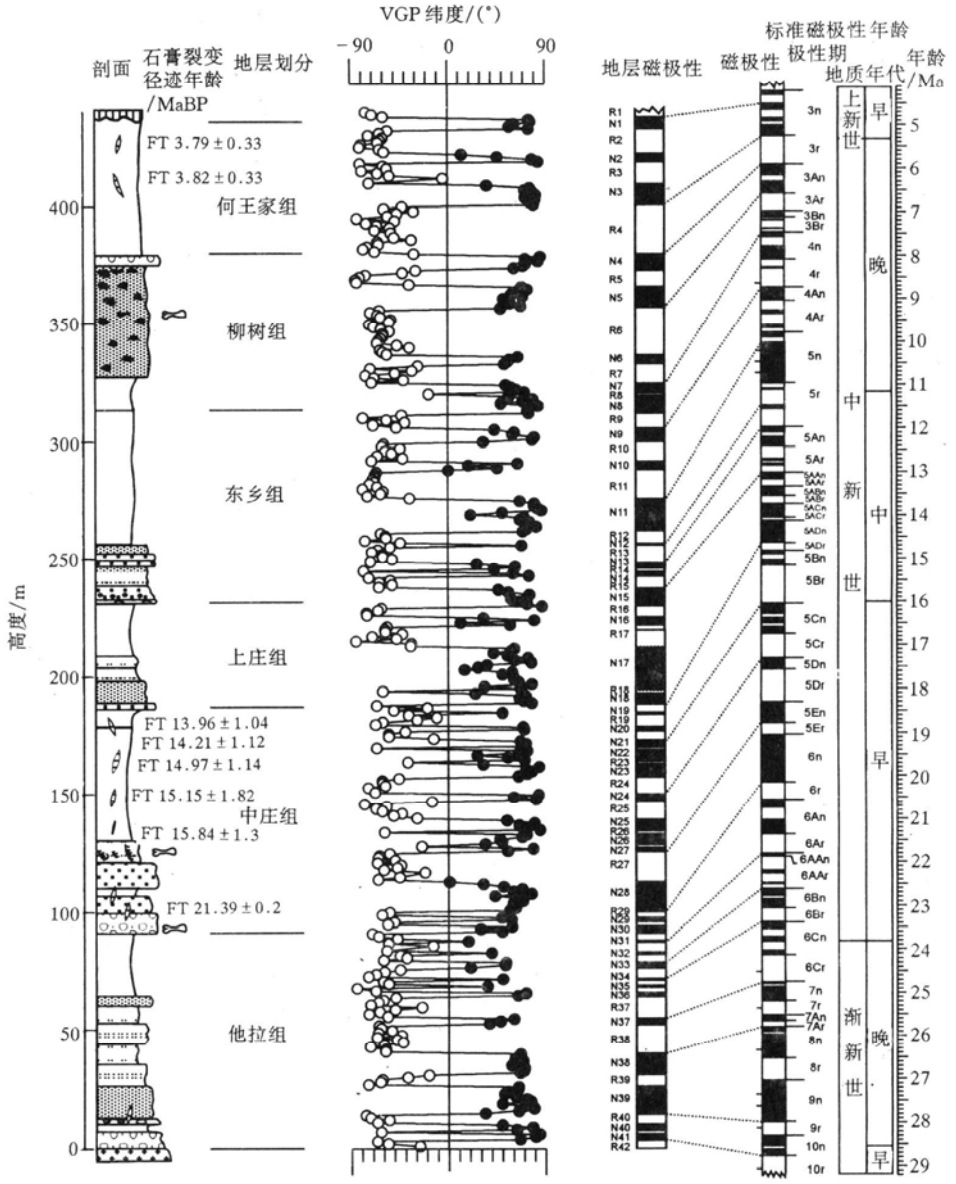


图 7 临夏东盆地稳定区毛沟剖面磁性地层及其与标准磁极性柱[14]的对比

标准磁极性柱左边的短横线代表跨时小于 30 ka 的古地磁事件. ○为南纬, ●为北纬, 岩性符号说明见图 2

图 7). 中庄组下部为标志锈黄色砂岩, 古生物断代的年龄在这一层中范围很窄, 并和石膏晶体裂变径迹测年很相近, 即约 21 MaBP. 图 8 为上述 3 个剖面的磁极性年龄-深度/高度的关系, 除了因角度不整合和岩性变化引起的部分偏差外, 各磁极性的年龄-深度/高度的关系基本呈线性, 说明上述磁极性剖面的解释不仅在宏观上可与生物地层和其它绝对年代有较好的吻合, 在细节上也有很好的说服力, 由此给出的临夏盆地整个新生代地层的年代总结于表 1 中.

4　地层划分

根据上面的绝对年代测定结果，临夏盆地新生界跨越了晚渐新世至全新世，早先的划分已不能适应这一精度要求．因此，我们按照国际地层指南中地层划分的原则和方法，对临夏盆地新生界重新进行了系统的划分和命名．临夏盆地红层分布稳定，在六盘山以西陇中盆地具有一定的代表性，建议以临夏群称之．临夏群的岩性变化实质上反映了 7 个大的沉积-构造旋回（含个气候地层旋回），每个沉积-构造旋回均以短暂的河流相（部分为河湖相或洪积相）细砾岩或砂岩开始，而以长时间的湖相沉积结束（图 1）．具体为：层序（1）～（10）（相当原临夏组第一岩性段）总的代表了一套干旱环境下由洪积扇向湖泊演化的沉积，反映湖盆形成以来湖水不断积聚加深的过程．地层呈特征的紫红色，缺少动物化石，植物以草原类型为主，盆地中地层易于辨认和追索，在毛沟他拉村一带出露最完整（图 1），建议命名为他拉组，古地磁年代为 29～21.4 Ma，即晚渐新世．层序（11）～（17）（相当原临夏组第二岩性段下部）为一套典型的较湿润环境下的辫状河流向开阔浅湖演替的沉积，其底部有标志性的厚层局部胶结的锈黄色辫状河流砂层（岩）（图 7），产大量巨犀、古象和猪齿兽等大型森林和草原-森林型动物（表 3），在毛沟中庄村一带出露完好（图 1），建议命名为中庄组，古地磁年代为 21.4～14.68 Ma，大致相当早中新世．这是目前所知中国连续的渐新世和中新世地层界线，且古动物、植物和气候在界线上下有巨大变化，界线年龄为争论不定的国际渐新世和中新世界线提供了新的证据．层序（18）～（21）（相当原临夏组第二岩性段上部）反映的沉积环境与中庄组相似，仅是辫状河流沉积不太发育，古生物上以含典型的中新世成分为特征（表 3），在上庄村一带出露完好（图 1），建议命名为上庄组，古地磁年代为 14.68～13.07 Ma，大致相当中中新世．邱占祥等曾依据在椒子沟（即轿子沟，毛沟南约 3 km）中庄组底部黄砂层中发现的化石，建议将相当我们层序（1）～（21）的 3 个沉积旋回的地层命名的为椒子沟组，并认为其形成于中新世早期[5]．我们的古地磁测年和沉积旋回分析表明这一划分已不妥，故本文未采纳这一名称．层序（22）～（27）（相当原临夏组第三岩性段）以多旋回的河流沉积开始，向上逐步为交替的浅湖相紫红色泥岩和深湖相青灰色泥灰岩所代替，颜色对比鲜明，酷似斑马条纹，地层极易追索，在东乡县一带广泛出露（图 1），以盛产霸河期三趾马动物群为特点（表 3），建议命名为东乡组或东乡斑马层，古地磁年代为 13.07～7.78 Ma，大致相当中中新世晚期至晚中新世早、中期．从层序（28）开始，地层的颜色产生永久性的改变，从以前的紫红色和褐红色变成以后的黄色和灰色，并出现大量钙结核，反映气候环境的巨大改变，气候变干，湖水变浅，这一气候变化过程也为我们的孢粉和地球化学记录所证实．层序（28）～（29）（相当原临夏组第四岩性段下部）在东乡以浅湖相含锈斑粉砂岩为主，在王家山为夹水下扇三角洲粉砂岩的杂色泥岩沉积，记录了古湖水体随气候变干而缩小的过程．这一层中保德

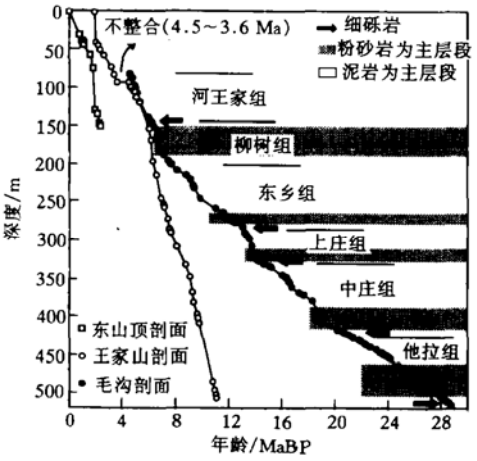


图 8　东山顶剖面、王家山剖面和毛沟剖面解释的磁极性年龄-深度关系图

岩性示意仅对毛沟剖面而言，注意因细砾岩和粉砂岩层段造成的较快沉积速率

期化石非常丰富(表3),因其在东乡柳树村一带出露完整,建议称之为柳树组,古地磁年代为7.78～6.25 Ma,大致相当中新世最晚期. 层序(30)～(31)(相当原临夏组第四岩性段上部)再次反映了一个从辫状河流向浅湖演化的过程,在王家山此层中发现的属上新世三趾马的化石曾导致将整个盆地红层划为上新世临夏组,现我们建议以王家山剖面所在地何王家村予以命名,称为何王家组,古地磁年代为6.25～4.34 Ma,大致相当于早上新世.

层序(32)～(33)所代表的巨砾岩层是临夏群红层结束后的第1套地层,其中夹大量泥石流沉积,其与下伏地层的广泛不整合接触和巨砾岩代表的岩性和岩相的巨大变化指示了构造-沉积环境的巨大改变,反映了青藏高原的首次强烈隆起. 它在积石县雷积山前一带厚度最大,大面积覆盖于红层之上(图1),建议称之为积石组或积石砾岩层,古地磁年代为3.58～2.58 Ma,相当于晚上新世. 层序(34)～(36)为一套深湖相(湖心)或湖沼相(湖滨)粉砂岩沉积,以青灰色和灰黑色为特征,易于辨认和对比,其中产第四纪早期三门马等化石(表3),与其下地层在湖心为整合接触,在湖滨为轻微不整合接触,在东山顶一带地层出露完整,建议命名为东山组,古地磁年代为2.58～1.76 Ma,相当于早更新世早期. 层序(37)是一套未胶结的河流砾石层,其意义重大,指示了临夏古湖在本区的消失和黄河在本区的出现,目前仅发现于临夏县井沟乡井沟沟头,故以井沟头组命名之,古地磁年代为1.76～1.72 Ma. 井沟头组之上的层序(38)～(41)为不同时代的黄土沉积,代表了黄河自1.72 Ma开始下切以来地形面接收风成沉积的历史. 因盆地中早更新世、中更新世、晚更新世和全新世黄土分别在临夏大塬顶、重台塬、北塬和东乡洒勒山一带地层最完整和保存最好,其中北塬和洒勒山黄土还已成为世界知名的晚更新世和全新世黄土序列(详见上述),故分别以大塬组、重台塬组、北塬组和洒勒山组命名之,其古地磁年代分别为1.72～1.1, 1.1～0.08, 0.08～0.01和0.01～0 Ma.

上述地层划分的界线除了与国际地质年代的界线大致一致外,还与中国和世界许多重大构造和环境事件的发生年代基本一致. 限于篇幅,下面仅作扼要说明. 他拉组底年龄29 Ma代表临夏盆地开始沉陷和形成的时间,也大致是河西走廊白杨河组开始沉积的年代(29.5 Ma)[19]. 印度板块与欧亚板块自60～50 Ma开始碰撞以来,导致了冈底斯山脉及相关盆地的形成,临夏盆地是这一运动中较晚一幕的产物,全球气候在这一时期的阶段性大降温可能与这一运动增加的大陆面积和反照率密切相关. 约22～20 Ma是欧亚板块难以再变形缩短消化印度板块的俯冲应力,而转变成造山运动,垂直消化印度板块俯冲应力的开始,也即喜马拉雅运动的开始,导致了著名的西瓦利克沉积的形成. 中庄组的开始时间是21.4 Ma,与河西走廊疏勒河组的开始时间(22.2 Ma)[16]基本一致,而中庄组底部的厚层辫状河流沉积及疏勒河组与白杨河组之间的微角度不整合则应是上述碰撞带变形方式转化和喜马拉雅运动开始的记录. 8～7 Ma是北半球许多地方气候和生态环境发生重大转型的时间,早先的湿润的森林环境于此时急剧转变成以后的干旱或较干旱的草原环境,也大致相当以往所说的蓬蒂大草原开始发展时期. 临夏盆地柳树组(7.78～6.25 Ma)开始的地层颜色的永久改变和干旱气候的急剧发展正是这一气候生态环境转型的真实记录. 开始于古地磁高斯世(3.58 Ma)的积石组巨砾岩和其下的角度不整合及红层的褶皱揭示了青藏高原开始强烈隆起,我们曾称为青藏运动,此时为A幕[9]. 这一巨砾岩和其下的角度不整合在整个青藏高原周边都广泛存在,绝对年代也很相近,可进行很好对比,如西域砾岩层和玉门砾岩层[16]及昔格达盆地和元谋盆地底的砂砾岩和角度不整合. 2.5 Ma左右是临夏盆地湖相青灰色东山组的开始,在巨砾时代之后较深水的东山古湖的形成及东山组与其下积石组局部轻微角度不整合,除了反映又一次较强烈的

构造运动(我们曾称为青藏运动 B 幕)外,还说明亚洲季风系统此时已稳定建立,充沛的降水使盆地很快变成较深的古湖. 青藏高原和中国北方广大地区这一时期均为成湖时期,东山组与上述地区的地层有很好的对比,而北方的黄土也正是这个时期开始出现的[13,14]. 临夏东山古湖在 1.76 Ma 被切穿排干,黄河诞生,扫荡于古湖沉积面上,形成井沟头组砾石层,约 1.72 Ma 黄河在本区产生形成以来最大的下切. 自此开始了临夏盆地黄土沉积时期,因此,发生于 1.76～1.72 Ma 左右的构造运动是非常强烈的,我们曾称为青藏运动 C 幕,它奠定了亚洲构造、沉积、地貌和许多重大水系的格局[9]. 表 1 和图 1 概括地总结了临夏盆地地层划分及各主要层段的特征,以此作为本文的基本结论.

致谢　参加工作的还有:钟巍、王建力、王建民、张叶春、张宇田、潘保田、谷祖纲、穆德芬、奚晓霞、郝永萍、管东红、魏东涛、赵志军、R. Van der Voo. C. M. Niocaill 和 S. Banerjee. 日本学术振兴会和鸟居雅之先生提供部分实验室协助. 本工作为国家攀登计划和国家自然科学基金部分资助项目.

参　考　文　献

1　李云通主编. 中国的第三系. 北京:地质出版社,1984
2　甘肃省区调队. 1:20 万中华人民共和国地质图说明书,临夏幅. 北京:地质出版社,1965
3　甘肃省区调队. 甘肃的第三系. 甘肃地质,1984,(2):1～40
4　邱占祥,谢骏义,阎德发. 记甘肃和政新发现的大唇犀类化石-兼论中国"对鼻角犀"的性质. 中国科学,B 辑,1987,(5):545～552
5　邱占祥,谢骏义,阎德发,等. 甘肃东乡几种早中新世哺乳动物化石. 古脊椎动物学报,1990,28:9～24
6　谷祖纲,王四海,胡向阳,等. 临夏地区第三纪红层生物地层学研究进展. 见:青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京:科学出版社,1995. 91～95
7　谷祖纲,王四海,黄钊文,等. 甘肃临夏盆地第三系年代地层学研究与 Giraffokeryx 在中国的发现. 科学通报,1995,40(5):440～442
8　谢骏义. 甘肃晚第三纪哺乳动物化石组合. 兰州大学学报(自然科学版),1996,32:232～237
9　李吉钧,方小敏,朱俊杰,等. 临夏盆地新生代地层古地磁年代与模式序列. 见:青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京:科学出版社,1995. 41～54
10　李吉均,朱俊杰,康建成,等. 末次冰期旋回兰州黄土剖面与南极东方站冰岩芯的对比. 中国科学,B 辑,1990,(10):1 086～1 094
11　安芷生,吴锡浩,卢演俦,等. 最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究. 见:黄土、第四纪地质、全球变化. 北京:科学出版社,1990. 1～26
12　吴佩珠,龙天才,王淑芬. 泥河湾层的氨基酸年龄测定. 地质科学,1995,30:159～165
13　Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. J Geophys Res, 1995, 100: 6 093～6 095
14　刘东生. 黄土与环境. 北京:科学出版社,1985
15　Ding Z L, Rutter N W, Liu T S. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits. Quat Sci Rev, 1994, 13: 39～70
16　黄华芳,彭作林,卢　伟,等. 酒西盆地、酒东盆地第三系磁性地层的划分与对比. 甘肃地质学报,1993,2:6～16

(1997-01-29 收稿,1997-02-28 收修改稿)