

doi: 10.12029/gc20160326

杨利荣, 岳乐平, 王洪亮, 等. 祁连山及邻区第四纪地层区划与沉积序列[J]. 中国地质, 2016, 43(3): 1041-1054.

Yang lirong, Yue Leping, Wang Hongliang, et al. Quaternary stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qilian Mountain and adjacent areas[J]. Geology in China, 2016, 43(3): 1041-1054(in Chinese with English abstract).

祁连山及邻区第四纪地层区划与沉积序列

杨利荣^{1,2} 岳乐平^{1,2} 王洪亮³ 张 睿^{1,2} 郭怀军^{1,2} 朱小辉³ 张云翔^{1,2} 弓虎军^{1,2}

(1.西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2.西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069;

3.国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:在前人资料和野外勘查的基础上对祁连山及邻区贵德盆地、循化—化隆盆地、同仁盆地、西宁盆地、门源盆地、临夏盆地、兰州盆地、定西盆地、天水盆地、肃北盆地、酒泉盆地、玉门盆地、张掖盆地、武威盆地、哈拉湖盆地、苏里盆地、木里盆地、民和盆地、共和盆地、青海湖盆地及柴达木等 20 余个盆地的第四纪地层进行了研究。以祁连山第四纪构造地貌演化、盆地沉积序列、古生物及古气候特征为地层分区依据,对祁连山及邻区第四纪地层进行了地层分区,并对部分地层名称做了厘定或统一。祁连山及邻区第四纪沉积特征总体为东部(主要为陇中地区)黄土分布广泛,堆积了世界上最厚的黄土地层;北部(河西走廊地区)冲洪积扇堆积及风沙发育;南部(柴北盆地)以冲洪积—湖积为主,晚更新世以来发育风成沙及黄土;共和盆地由湖泊转向冲积扇和风沙沉积;青海湖盆延续至今;中西部高山及山间盆地冰碛、冰水堆积以及河流阶地堆积发育。根据上述特征及划分原则,将祁连山及邻区第四纪地层区划分为:兰州—西宁地层区,贵德地层区,酒泉—张掖地层区,柴北地层区,共和地层区,青海湖地层区及肃北—门源地层区。

关键词: 地层区;盆地;沉积序列;第四纪;祁连山

中图分类号: P534.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2016)03-1041-14

Quaternary stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qilian Mountain and adjacent areas

YANG li-rong^{1,2}, YUE Le-ping^{1,2}, WANG Hong-liang³, ZHANG Rui^{1,2},
GUO Huai-jun¹, ZHU Xiao-hui³, ZHANG Yun-xiang^{1,2}, Gong Hu-jun^{1,2}

anxi, China; 2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 3. Key laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Quaternary stratigraphy of twenty basins in Qilianshan Mountain and adjacent areas includes Guide Basin, Xunhua-Hualong Basin, Tongren Basin, Xining Basin, Menyuan Basin, Linxia Basin, Lanzhou Basin, Dingxi Basin, Tianshui Basin, Subei Basin, Jiuquan Basin, Yumen Basin, Zhangye Basin, Wuwei Basin, Har Lake Basin, Suli Basin, Muli Basin, Minhe Basin, Gonghe

收稿日期: 2016-01-15; 改回日期: 2016-03-07

资助项目: 中国地质调查局工作项目(DD20160345-16)及国家自然科学基金(201180025、41372020、4172036)联合资助。

作者简介: 杨利荣, 女, 1978 年生, 讲师, 从事第四纪地质学教学与研究工作; E-mail: lryang@163.com。

通讯作者: 岳乐平, 男, 1949 年生, 教授, 从事第四纪地质学教学与研究工作; E-mail: yleping@nwu.edu.cn。

Basin, Qinghai Lake Basin and Qaidam (N) Basin. The authors studied these basins based on the previous data and field investigations. Characteristics of Quaternary tectonic landform evolution, sedimentary sequence of basins, palaeontology and paleoclimate were used as the basis to make stratigraphic division and also to unify the name of parts of sequences. The general characteristics of Quaternary sedimentation of the study areas are as follows: Loess is widely distributed in the east (central Gansu Province) with the thickest loess in the world. Alluvial fan and aeolian deposits are distributed in the north (Gansu Corridor). Pluvial-alluvial and lacustrine deposits are distributed in the south (north Qaidam Basin), followed by aeolian sand and loess of late Pleistocene. The transition from lake to alluvial and aeolian deposits happened at the Gonghe Basin. Qinghai Lake has lasted for a long time. Moraines, pro-glacial and river terrace are distributed in the high mountains in the middle and west. According to the above characteristics and principles, the sedimentary sequences of Qilian Mountain and adjacent areas are divided into the following realms: Lanzhou-Xining stratigraphic realm, Guide stratigraphic realm, Jiuquan-Zhanagye stratigraphic realm, North Qaidam Basin stratigraphic realm, Gonghe stratigraphic realm, Qinghai Lake stratigraphic realm and Subei-Menyuan stratigraphic realm.

Key words: stratigraphic realm; basin; sedimentary sequence; Quaternary; Qilian Mountain

About the first author: YANG Li-rong, female, born in 1978, lecturer, engages in teaching and study of Quaternary Geology; E-mail: lryang@163.com.

About the corresponding author: YUE Le-ping, male, born in 1949, professor, engages in teaching and study of Quaternary Geology; E-mail: yelping@nwu.edu.cn.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 12120113013400), National Natural Science Foundation of China (No. 201180025, 41372020, 4172036).

祁连山及邻区第四纪地层区位于青藏高原东北缘,北界至北祁连断裂带以北及河西走廊,西至阿尔金断裂带,东抵六盘山。区域内新生代盆地发育受青藏高原隆升及北向生长控制,始新世印度板块与欧亚板块全面碰撞,祁连山地区初始响应,兰州—西宁—柴达木压陷盆地初始形成,并接受沉积^[1];渐新世青藏高原隆升并东北方向扩张逆冲,西秦岭北缘贵德—西宁—兰州—临夏前陆盆地形成,祁连山地区前陆盆地全面接受沉积^[2-3];中新世受青藏高原隆升和北向逆冲作用加强影响,祁连山地区进入陆内挤压造山与前陆盆地裂解阶段,拉脊山、青海南山、积石山等隆升成山^[4-7],早期前陆盆地解体为贵德、西宁、兰州、循化、临夏等一系列相对独立盆地,区内盆地全面发展扩张,大型湖盆发育;上新世祁连山地区持续抬升,盆地萎缩且大型湖盆逐渐消失,红黏土型风积物大面积出现;第四纪青藏高原加速隆升造成祁连山地区海拔快速抬升,区内形成诸如大雪山(海拔 5483 m)、祁连山(海拔 5547 m)、岗则吾结山(海拔 5808 m)及冷龙岭(海拔 4843 m)等高大山脉。第四纪全球气候发生变化,山岳冰川开始发育,区内第一次出现第四纪冰碛物堆积,形成不同时期的冰碛、冰水沉积、冲洪积及冻土带。中国中、西部地区西风环流和季风系统发生变

化,区域内出现沙漠、黄土沉积。

祁连山及邻区现今发育有贵德盆地、循化—化隆盆地、同仁盆地、西宁盆地、临夏盆地、兰州盆地、武威盆地、定西盆地、天水盆地、酒泉盆地、玉门盆地、张掖盆地、肃北盆地、哈拉湖盆地、苏里盆地、木里、民乐、门源盆地、共和盆地、青海湖盆地及柴达木等 20 余个盆地。这些盆地大多数进行过新生代地层学研究,部分建立了年代标尺,完成了地层命名与划分,进行了岩石地层学、生物地层学及年代地层学研究^[8-14]。在地层研究方面,早期研究者重点研究的是各盆地沉积物特征,根据岩石学特征、地层年代数据以及古生物化石特征进行了地层划分,由于这些研究是不同学者多年来先后独立完成的,部分盆地有各自的命名系统且之间的关系论述较少,缺乏对祁连山地区第四系全貌的认识,这种状况制约了祁连山地区新生代构造、古生物及古气候演化综合研究。

如前所述祁连山地区古近纪、新近纪与第四纪在新构造及盆山演化阶段,沉积充填特征、古生物特征及古气候古环境方面有巨大的差别,因此第四纪将作为一个独立时段进行地层分区。对祁连山及邻区第四纪地层区的沉积充填特征进行分析,并进行不同地层区间地层时空结构对比(表 1)。讨论

不同地层区沉积充填对构造演化及气候变化的响应。揭示第四纪以来祁连山地区对青藏高原隆升的响应,包括祁连地区山体隆升,盆地充填及气候环境变化特征。

1 地层分区原则与依据

祁连山及邻区第四纪地层区划分的原则与依据为:首先是地层区内盆地具有类似的构造演化背景与构造地貌特征,其次具有类似的沉积充填特征,第三是古气候带的分布与生物群的一致性。祁连山及邻区第四纪沉积总体特征为东部(主要为陇中地区)黄土分布广泛,并堆积了世界上最厚的黄土地层;北部(河西走廊地区)冲洪积扇堆积及风沙发育;南部(柴北地区)以冲洪积-湖积为主,晚更新世以来发育风成沙及黄土。第四纪共和湖盆被黄河袭夺逐渐干枯,第四纪早期沉积湖相沉积而晚期沉积风沙堆积;中西部高山及山间盆地冰碛、冰水堆积以及河流阶地堆积发育。不同地层区沉积特征既受构造位置控制又受气候影响,体现了构造演化和气候变化过程。根据上述原则及不同区域盆地沉积特征将祁连山及邻区第四纪地层区划分为:兰州—西宁地层区,贵德地层区,酒泉—张掖地层区,柴北地层区,共和地层区,青海湖地层区及肃北—门源地层区(图1)。这些地层区分别包括兰州—西宁地层区的兰州—靖远盆地、西宁盆地、临夏盆地、定西盆地及天水盆地;贵德地层区的贵德盆地、循化—化隆盆地、同仁盆地;酒泉—张掖地层区的酒泉盆地、玉门、张掖盆地及武威盆地;肃北—门源地层区的肃北盆地、门源盆地、哈拉湖盆地、苏里盆地、木里盆地以及共和地层区的共和盆地,青海湖地层区的青海湖盆地。本文重点分析了兰州—西宁地层区中的西宁、兰州、武威盆地,贵德地层区中贵德盆地,酒泉—张掖地层区中的酒泉盆地的沉积地层。肃北—门源地层区重点论述了疏勒南山、大通山、大雪山、达坂山及冷龙岭一带的冰碛及冰水沉积。

本文使用了作者野外调查结果和分析数据,以及《青藏高原及邻区第四纪地质与地貌图及说明书》^[15]祁连山及邻区区域地质调查报告(1:25万),以及前人祁连山地区新生代地质研究资料与数据,建立了地层序列及时空结构(表1)。

2 地层区划分与沉积序列

2.1 兰州—西宁地层区

兰州—西宁地层区第四纪沉积物以黄土最有特色,湖泊相、河流相沉积也较为发育,同时兼有部分冰水沉积。兰州—靖远、定西、会宁、天水一带第四纪黄土沉积最为特色,西宁盆地虽然黄土也较为发育,但河湖相沉积也具有特征。兰州—西宁地层区重点论述兰州黄土,靖远、西宁及会宁黄土,风成沙沉积,水成堆积,冰碛及冰水沉积。

2.1.1 兰州黄土

中国黄土记录了丰富的古气候、古环境及古生物信息,多年来取得了大量研究成果^[16-23]。

传统的中国黄土地层划分是采用刘东生先生的命名:午城黄土、离石黄土、马兰黄土,这种划分方法在野外容易操作,一直为国内外地质工作者采用。本文在进行黄土地层划分时依然采用午城黄土、离石黄土、马兰黄土的地层命名,岩石地层学名称为午城组、离石组、马兰组。中国黄土地层目前有“L₀-S₃₄”的黄土-古土壤序列层序命名系统^[20](相当数量的古土壤层合并为一层命名)。按照《中国区域年代地层(地质年代)表》(2002)^[24]更新世下限为2.58 Ma,全新世下限为0.01 Ma。中国黄土-古土壤序列:早更新世黄土底界年龄为2.58 Ma,上界位于黄土L₈中,年龄为0.78 Ma,晚更新世黄土上界位于S₁底,年龄为0.128 Ma,晚更新世黄土包括S₁、L₁,年龄为0.128~0.01 Ma;全新世黄土包括黑垆土S₀及其上黄土L₀(0.01 Ma至今)。

兰州黄土主要分布于兰州段黄河两岸,各级黄河阶地上多沉积黄土^[25-28],其中九州台黄土厚度达335 m。黄河以北白塔山、五一山、墩洼山、薛家山以及更北—皋兰县一带分布广泛。九州台黄土岩性总特征是颗粒较粗,色调淡,古土壤成壤作用弱,土壤结构不明显,古土壤底部无明显钙质结核层且色调淡,黄土总厚度远远大于古土壤总厚度。兰州黄土-古土壤序列描述如下:

全新统黄土厚5 m。由黑垆土(S₀)及上部淡黄色黄土(L₀)组成。黄土为淡灰黄色,颗粒粗,疏松,具大孔隙,黄土厚度大约4 m。黑垆土为淡灰黑色,颗粒较粗,含较多的植物根茎,具不明显土壤团粒结构,见

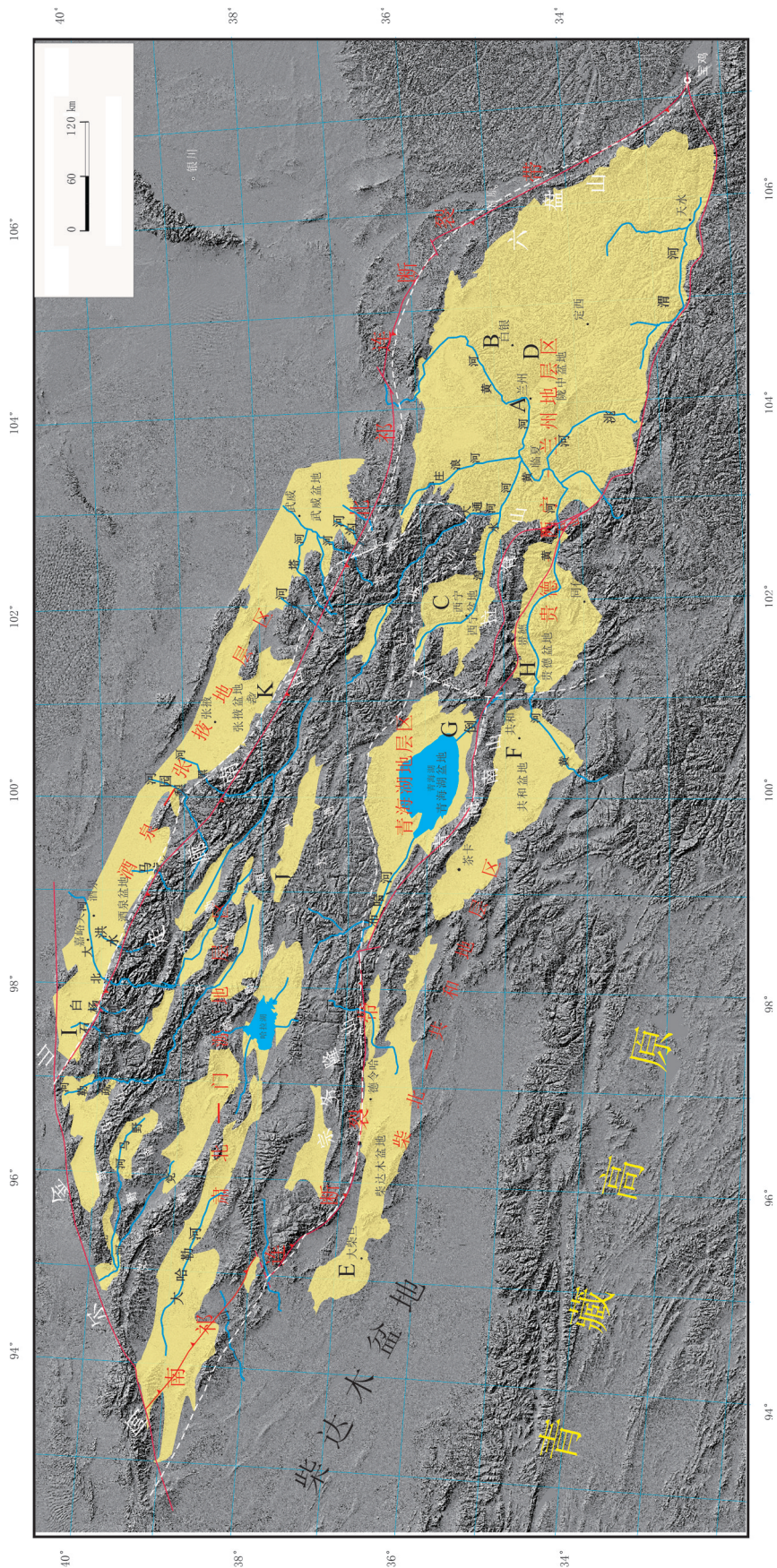


图1 祁连山及邻区第四纪地层分区图

A—兰州; B—靖远; C—西宁; D—会宁; E—柴北; F—共和; G—青海湖; H—贵德; I—酒泉; J—民乐; K—木里剖面

Fig. 1 Quaternary stratigraphic realm and sedimentary sequence of Qilianshan Mountain and adjacent area

A—Lanzhou section, B—Jingyuan section, C—Xining section, D—Heining section, E—Qaidam (N) section, F—Gonghai Lake section, G—Qinghai Lake section, H—Guide section, I—Jiuquan section, J—Minle section, K—Muli section

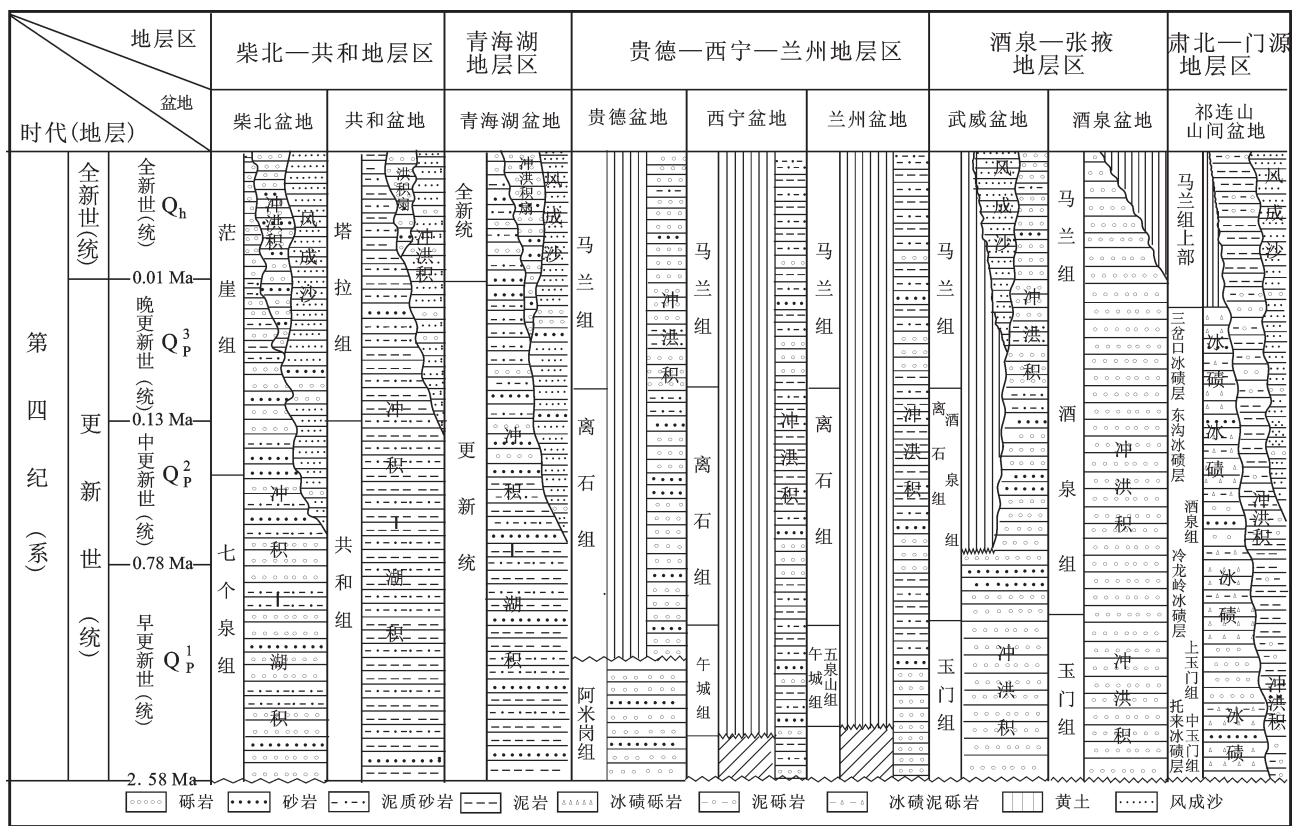


表1 祁连山及邻区第四纪地层序列时空结构

Table 1 Quaternary space-time configuration of stratigraphic sequence of Qilian Mountain and adjacent areas

大量虫孔,见白色碳酸钙丝状物,黑垆土厚约1 m。

晚更新世黄土地层厚约55 m。包括第一层古土壤 S_1 及上部淡黄色黄土(L_1)。 S_1 由两层淡红褐色古土壤组成(S_{1-1}, S_{1-2}),两层土壤之间夹厚约3 m的黄土。黄土(L_1)为淡黄色,土质疏松,具大孔隙,柱状节理,颗粒粗。 L_1 中含两层不明显的淡红褐色风化层,似弱发育的古土壤层。黄土层厚大约50 m。古土壤具有不明显的土壤团粒结构,较黄土稍硬,孔隙明显,单层古土壤厚约1 m, S_1 共厚约5 m。

中更新世黄土厚133.5 m。黄土为褐黄色,颗粒较粗,较疏松,孔隙中等,含零星硫酸钙结核。黄土与古土壤都具有黑色斑点。黄土中夹有11层淡红褐色古土壤。第三、四层(S_{2-1}, S_{2-2})古土壤相距较近,可与黄土高原地区典型的黄土剖面洛川剖面黄土-古土壤序列之 S_2 对比。第五、六层(S_{3-1}, S_{3-2})古土壤间距较小,相当于洛川剖面的 S_3 。第七层(S_4)相当于洛川剖面 S_4 。第八、九、十层($S_{5-1}, S_{5-2}, S_{5-3}$)相距较近,可与洛川剖面 S_5 对比。第十一、十二、十三层(S_6, S'_6, S_7)古

土壤分别相当于洛川剖面的 S_6, S'_6, S_7 。

早更新世黄土厚141.5 m。黄土为黄褐色,坚硬,较上部细,孔隙少,含零星硫酸钙小结核。其间夹有两层颗粒很粗的砂质黄土层,分别相当于黄土-古土壤序列层序命名系统之 L_9 与 L_{15} ,即通常所称为的第一、二粉砂质黄土层。整个剖面含29层古土壤,相当黄土-古土壤序列层序命名系统中 $S_6 \sim S_{21}$ 。早更新世黄土地层不全,缺失早更新世早期地层。最底部为4m厚的冲积黄土,覆盖在下伏黄河阶地砾石层之上。

兰州九州台黄土剖面记录了磁性地层布容赫斯正极性带(B)与松山负极性带(M),B/M界线位于 L_8 中上部,大约剖面190 m深度处。加拉米洛正极性亚带(J)位置大约在234~250 m深处,包括该剖面第16、17、18层古土壤,即黄土-古土壤序列层序命名系统之 S_{10}, S_{11} 及期间黄土。在J亚带与B/M界线之间。兰州九州台黄土剖面未记录到奥尔杜威正极性亚带(O)。测得的兰州九州台黄土年龄大约

1.4 Ma(Mankinon,1979年表)^[28],经过Cand S C et. al 95古地磁年表^[29]校正,兰州九州台黄土年龄大约1.5 Ma,这是一个目前被普遍认可的年龄范围。

2.1.2 靖远、西宁及会宁黄土

除兰州地区黄土发育外,在地层区内靖远、会宁、西宁、武威、天水一带都广泛分布黄土沉积。靖远黄土分布于甘肃省靖远县黄河两岸,黄河阶地及塬区均有分布,其中位于黄河靖远段六级阶地黄土堆积厚约484 m,底部为水成黄土(具有流水层理且含小砂石的黄土)厚约21 m。靖远黄土由全新世黄土,晚更新世黄土、中更新世黄土,早更新世黄土构成,含32层古土壤层,包括黄土-古土壤序列地层层序命名系统之S₀-S₂₀。磁性地层学研究结果显示^[30]:古地磁B/M界线位于285 m深处的L₈中上部,与黄土高原地区大多数黄土剖面B/M界线位置一致,J亚带被记录在S₁₀-S₁₂位置,靖远剖面未发现O亚带记录。根据沉积速率计算靖远黄土剖面底部年龄大约1.50 Ma(本文根据Cande S C. 95年表作了校正),与兰州黄土形成年龄大致相当。靖远黄土沉积速率大约330 mm/1000 a是中国黄土沉积区沉积速率最大的地区,其沉积速率是兰州黄土的(220 mm/1000 a)的1.5倍,是洛川黄土的(50 mm/1000 a)6.6倍。靖远黄土沉积区北侧为腾格里沙漠,是靖远黄土的主要物源区,西邻是祁连山脉东支乌鞘岭,东抵贺兰山一六盘山之间的屈吴山(海拔2858 m)。腾格里沙漠风沙在西北冬季风携带下向东南风方向行进,沿乌鞘岭与屈吴山之间三角形地带南行,将粉尘携带入靖远、兰州一带,堆积了靖远—兰州一带的巨厚黄土,向东南方向黄土厚度逐渐减薄,粉尘颗粒渐细。

西宁盆地广泛分布黄土沉积,尤其以西宁湟水两岸黄土最为发育。大墩岭黄土剖面是西宁黄土典型剖面,位于西宁市湟水北岸最高阶地6级阶地砾石层之上,黄土厚261.3 m,剖面包括S₀至L₁₇连续完整的黄土-古土壤序列,而且可进一步划分出32个古土壤层和其间的32个黄土层,磁性地层学研究结果表明: B/M界限位于第8层黄土(L₈),J亚带被记录在S₁₁-S₁₂之间黄土与古土壤中。剖面未记录到O亚带。根据沉积速率计算,黄土剖面底部年龄大约1.2 Ma^[31]。

会宁位于六盘山西侧陇中黄土高原东侧,会宁县断岷村断岷黄土剖面发育厚约223 m的黄土-古

土壤序列,由25层古土壤和26层黄土层组成。顶部30 cm为现代耕作层,0.3~1.6 m为全新世黑垆土(S₀),马兰黄土厚约20 m,颗粒较粗且质地均一,上离石黄土厚约48.4 m,其中S₁古土壤发育强烈,由三层褐红色古土壤及其间黄土层组成,S₂、S₃、S₄古土壤都由两层独立的褐红色古土壤组成,下离石黄土厚约94 m,其中L₉颗粒较粗,但L₁₅特征不明显,午城黄土厚约59 m。古地磁测量结果显示:断岷剖面记录了布容正极性带与松山负极性带,B/M界线位于101 m深度的L₈中部,古地磁年龄约为0.78 Ma,剖面记录了J正极性亚带与O正极性亚带,断岷剖面底部的磁性地层年龄约1.8 Ma^[32]。

兰州—西宁地层区黄土地层中哺乳动物化石相对新近纪时期贫乏得多,大型哺乳动物化石相对较少。在靖远黄土剖面中采集了50余块化石标本^[33],主要有:

食虫目: Order Insectivra

麝掘鼯 *Scaptochirus* sp. (层位:L₁)

翁氏兔 *Corcidura wongi* (层位:L₇)

兔形目: Order Lagomorpha

达尔乌鼠兔 *Ochotorica* (层位:S₁,S₂,L₃,S₃,L₅,L₉,S₁₁,S₁₂)

啮齿目: order Rodentia

蒙古黄鼠 *Citellus mongolicus* (层位:L₁₅)

方氏鼯鼠 *Myospalax fontannieri* (层位:S₅)

拟布氏田鼠 *Microtus brandtoides* (层位:L₁,L₅,S₃,S₅)

沙鼠 *Meriones* sp. (层位:L₁,L₃,L₅)

2.1.3 风成沙沉积

西宁—兰州地层区风成沙地集中分布于腾格里沙漠南部边缘及武威盆地北部,多为中、晚更新世及全新世风沙沉积,由褐黄色松散细沙组成。砂粒成分以石英、长石为主,并有少许暗色岩屑。颗粒磨圆度良好,分选性很强,但未胶结,特别松散,不具层理。在地貌上常形成高约数米到30余米的沙垅、新月形沙丘、链状沙丘和丛草沙堆。

2.1.4 冲洪积

(1) 早更新世冲洪积

兰州五泉山以及景泰县井子川一带出露一套砾石层,杨钟健于1936年将兰州五泉山一带的砾岩层命名为五泉山系,1955年甘肃第一区调队称为五泉砾石层,时代为早更新世,1975年将五泉砾石层改称为五泉山组。该组分为上下两段,下段为浅灰色砾石层和浅棕色亚粘土,与下覆咸水河组或临夏

组不整合接触,厚约30 m。上段为浅灰红色砾石层和浅褐色亚粘土,与上覆离石组不整合接触,厚60 m。兰州五泉山地区该组中所产生物化石:*Aegista cf. Chinensis*, *Planorbis sp.*, *Cathaica sp.*, *Galba sp.*, *Opeas sp.*, *Myospalax sp.*^[34]。兰州段黄河5,6级阶地发育早更新世具二元结构冲积层。

西宁盆地下更新统冲积沉积广泛分布于盆地内湟水河及其支流水系两侧,并构成其2级以上阶地或台地,厚数米至数十米不等,具二元结构特征。下部为灰色、土灰色砂岩透镜体,局部可见水成交错层理,常具洪积和冲积双重特征。

(2)中更新世冲洪积层

兰州盆地黄河及支流庄浪河2,3,4级阶地发育中更新世具二元结构冲积层。岩性主要为灰色、杂色砂砾层、砾石层、粗沙及黄土状亚砂土。西宁盆地中更新世冲洪积广泛分布于盆地内湟水河及其支流水系两侧河流阶地。

(3)晚更新世冲洪积层

兰州段黄河及支流庄浪河1级阶地发育晚更新世具二元结构冲积层。西宁盆地冲积主要沿湟水

河及其主要支流水峡河、北川河、南川河及沙塘川河分布,并构成较低的河流阶地或河漫滩,厚度不大,磨圆度通常较好,具有典型的二元结构,时代从晚更新世—全新世。

(4)全新世冲洪积层

冲洪积主要分布于黄河及支流祖厉河、庄浪河、渭河上游及全区部分山间沟谷中,主要组成为沙、砾石及次生黄土等。区域内山前冲积扇上部发育全新世冲洪积层。

2.1.5 冰碛及冰水沉积

兰州—西宁地层区冰川遗迹分布于高海拔山区,主要见于盆地周边拉脊山北坡,达坂山南部一带,为一套冰水堆积物,其冰蚀地貌主要在拉脊山北坡、达坂山南峰岭,发育冰斗、刃脊、角峰、冰蚀谷,周缘分布有冰碛沉积。

2.2 柴北地层区

柴达木盆地位于青海省西北部,周围有阿尔金山、祁连山、昆仑山及布尔汗布达山环绕,新生代地层发育广泛^[35]。第四纪柴北地层区位于柴达木盆地北部区域,沿南祁南连断裂带南缘分布。第四系下、中

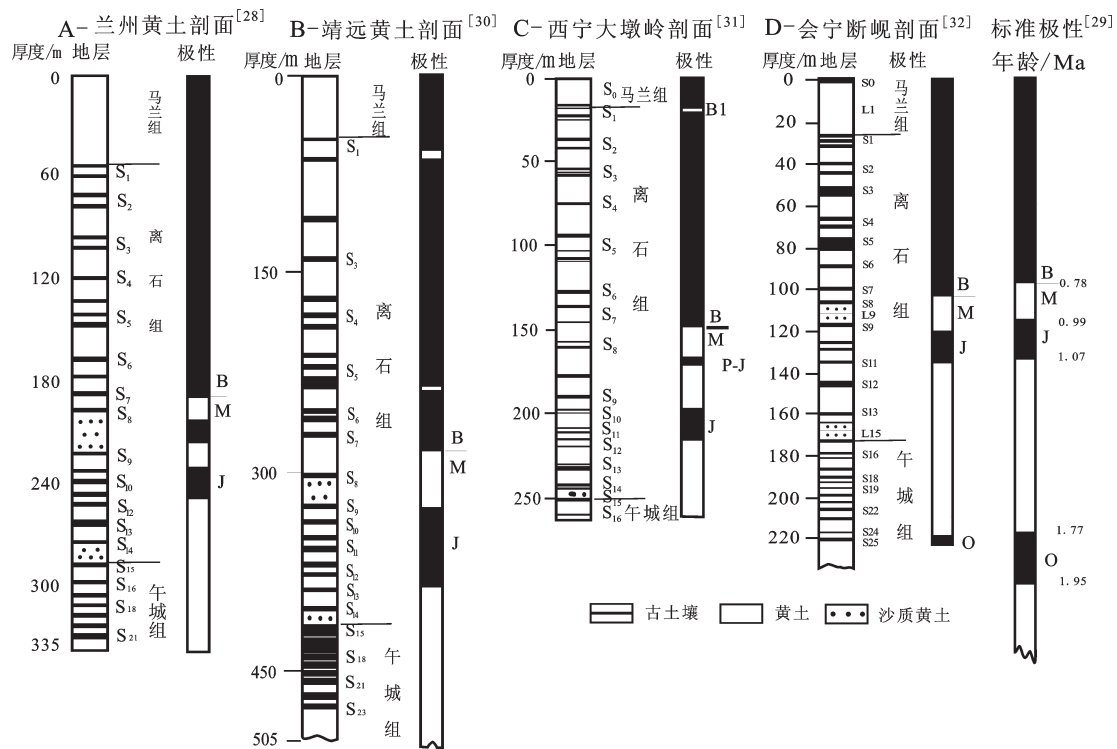


图2 兰州—西宁地层区黄土-古土壤序列及磁性地层

Fig.2 Loess-paleosol sequence and magnetostratigraphy age of Lanzhou-Xining stratigraphic realm

更新统七个泉组在柴北地区广泛发育。盆地边缘地区沉积物颗粒较粗,为灰色、黄灰色厚层砾岩夹少量砂岩、砂质泥岩。盆地中部沉积物颗粒逐渐变细,三湖地区以暗色泥岩为主,夹粉砂岩、泥质砂岩。鸭湖、东陵丘、冷湖七号、盐湖等地区为棕灰色、灰色砂质泥岩及石膏质砂岩和绿色泥岩等,七个泉剖面地层厚度约550 m,磁性地层学年龄为2.6~0.4 Ma^[9]。

上更新统及全新统:主要分布于茫崖—台吉乃尔湖—马海以南区域以及北部河谷地带。主要为风积沙丘及沙质黄土,冲洪积砂砾石,湖积粉砂及粘土。

2.3 共和地层区

共和盆地位于青海省西宁市的西南部,为青海南山和鄂拉山之间的山间盆地,大地构造位置处于西秦岭印支褶皱带的西段,北界受宗务隆山—青海南山断裂控制,西为鄂拉山断裂带。共和盆地第四系下一中更新统称共和组,上更新统称塔拉组。

下一中更新统共和组广泛分布于青藏高原东北边缘地区,露头主要见于青海东部黄河及其主要支流谷地,尤以共和盆地内出露较为完整^[13]。据共和盆地钻孔资料,在山麓地带共和组厚度为130~150 m,向盆地中心逐渐增厚至200~300 m,最大厚度可达600 m左右。地层的岩性岩相变化较大,在平面上可划分出山麓相、河床相、河漫滩与浅湖交替相。岩性以细砂与粉砂为主,下部成岩程度高,上部较松散。

共和盆地共和组岩性为灰色砾状砂岩,灰黄色中砂岩,黄灰、土黄色巨厚层细砂岩、灰白色粉砂岩。产哺乳动物化石:三门马 *Equus sanmeniensis*, 中国鬣狗 *Hyaena cf. sinensis*, 犀牛科 *Rhinocerotidae*, 象科 *Elephantidae*, 达呼尔鼠兔 *Ochotonaurica*, 中华鼯鼠 *Myospalax fantanieri*, 野牛 *Bison sp.*, 真马 *Equus sp.*。

共和盆地达连海—克才村剖面共和组磁性地层学研究结果显示:该剖面记录了布容正极性带与松山负极性带,B/M界线约位于剖面172 m处。负极性带中记录了三个正极性带,分别位于187~195 m、230~240 m和262~285 m,剖面记录了J亚带和O亚带^[17]。根据上述磁性地层测定结果,共和组形成于整个早、中更新世。

上更新统主要发育在湖盆边缘及黄河阶地上。主要为冲洪积砂砾石层,厚约40 m。在共和盆

地东部郎钳山黄土丘陵区分布有厚约6 m的黄土—风成沙堆积。

全新统分布于黄河两岸及其支流的阶地,主要为冲洪积层,顶部多有厚1~5 m的风沙层。

2.4 青海湖地层区

青海湖是中国最大内陆咸水湖,面积约4400 km²,流域面积30000 km²。处在东亚季风/印度季风和西风激流三者的汇集带上。湖区西接青藏高原、东临黄土高原北靠沙漠干旱区,处于东亚季风湿润区和内陆干旱区的过渡带上,既受亚洲季风影响又受西风环流影响,对气候十分敏感,湖盆一周缘盆地沉积物记录了丰富的气候环境变化信息。由于青海湖位置的独特性以及自第四纪以来至今始终保持湖泊沉积的特殊性,因此将其划分为一个独立地层区。

青海湖为青海南山、日月山及大通山环绕的山间湖盆,2001—2004年中科院地球环境研究所在青海湖一郎剑、二郎剑进行了钻探。一郎剑钻孔深度626.39 m^[10],包括第四系(图3)和上新统,底部岩心磁性地层年龄约为5.11 Ma,第四系深度大约330 m(321.56~277.65 m),2.52~1.89 Ma期间,这个时期是湖泊最稳定的时期,岩性主要为褐黄色的粉砂质泥或泥质粉砂层,湖泊处于平稳的浅湖期。

一郎剑钻孔岩心磁性地层年代学研究结果与沉积学研究结果显示:3.46~1.56 Ma(393.29~232.16 m)期间,岩性以棕黄色的黏土或粉砂为主,在不同层段夹有较粗的颗粒,主要为浅湖相堆积,<4 μm的粘粒级百分含量曲线波动明显,平均粒径值和>63 μm粒级的百分含量变化基本一致,前后变幅较大。1.89~1.56 Ma(277.65~232.16 m)期间,岩性主要为黄绿色的细砂,灰黄色的粉砂、泥质粉砂,部分层位为灰黄色的含砾粗砂,岩性变化较大,<4 μm的细粒含量及中值粒径均发生较为明显的波动,波幅较大,有机质含量均值有稍微的升高,湖泊由浅湖环境向滨湖环境过渡,沉积速率较大。1.56~0 Ma(232.16~0 m)期间,主要为滨湖相堆积。平均粒径和>63 μm的粗颗粒含量处于全孔最高值,<4 μm的黏粒含量波动较大。岩性以灰黄—灰绿色、杂色含砾粗砂及灰黄色泥质粉砂为主,部分层位有机质含量高,颜色较深。古生物化石主要有腹足类:*Vallonia aff. Pulchellula*, *Pupilla cf. Muscorum*等;介形类:*Limnocythere binoda*,

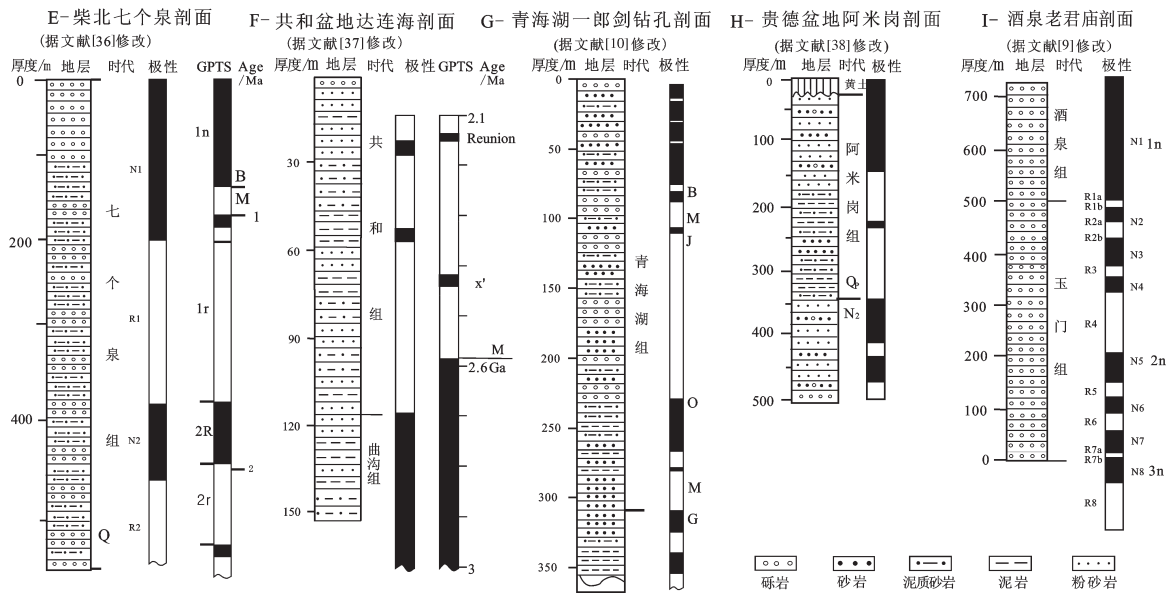


图3 青海湖、共和、贵德及酒泉等盆地第四纪地层剖面

Fig. 3 Quaternary stratigraphic sections of Qinghai Lake Basin, Gonghe Basin, Guide Basin and Jiuquan Basin

Ilyocypris biplicata, *Cytherissa lacustris* Sars, *Limnocythere dubiosa* 等。青海湖钻探未将第四纪地层做地层命名, 本文暂时称为更新统与全新统。

二郎剑钻孔深度 1108.95 m(曾蒙秀等, 2014)^[11], 包括第四系、上新统及中新统地层, 主要为湖相沉积, 磁性地层年龄尚未发表。

2.5 贵德—循化地层区

贵德—循化盆地位于西秦岭逆冲带北缘, 东临积石山, 拉脊山将其与西宁盆地分隔。贵德—循化地层区第四纪广泛发育河湖相沉积及上部黄土堆积, 方小敏等(2005)将贵德盆地更新统下部地层称为阿米岗组^[38]。其上部黄土为离石组与马兰组。

阿米岗组主要分布于阿米岗山顶和盆地西部, 其中在阿米岗山顶出露最佳, 厚度 200~300 m, 最厚可达 350 m。该套地层由浅灰绿、土黄色粉砂岩和泥岩夹灰黑色砂岩、泥质细砾岩或砂岩组成(在盆地边缘主要为细角砾岩和砂质砾岩), 含 *Myospalax arvicolinus* 和 *Equus sp.* 哺乳动物化石。磁性地层年龄约 <1.8~2.6 Ma(图 3)^[38]。

该区内离石黄土与马兰黄土广泛分布阿米岗组上部及山坡或河流阶地之上, 在拉脊山垭口南坡千户村—尕让村保留着较为完整的中更新世冰碛垆及冰水堆积物。

2.6 酒泉—张掖地层区

酒泉—张掖地层区包括玉门、酒泉、张掖及武威盆地第四纪地层, 本文以酒泉盆地和武威盆地第四系作为代表: 酒泉盆地位于祁连山北麓及祁连山北缘断裂带以北, 北至龙首山—合黎山一线, 西至阿尔金断裂北段, 东南至乌鞘岭。盆地第四纪沉积由下至上可划分为玉门组、酒泉组、戈壁砾石组 and 全新世沉积。部分地区沉积有马兰黄土。

玉门组: 该组为一套砾岩、砂砾岩夹砂岩透镜体, 区域内岩相变化较大, 黄泥堡一带下部为黄褐色、淡黄色粉砂岩、砂岩与细砂岩、中粗砂岩及砂砾岩互层。向上变为灰黄色巨厚层中细粒砂岩、粉砂岩夹薄层褐黄色粉砂土, 厚度大于 600 m。老君庙剖面磁性地层年龄 0.93~3.8 Ma^[39]。

酒泉组: 山前冲积扇为一套洪积及冲洪积的砂砾及亚砂土, 冲积扇端为冲积、湖积亚砂土、亚黏土, 厚度数十米至百余米不等。

戈壁砾石组: 该组为洪积及冲洪积的砂砾及亚砂土, 砂碎石及黄土状亚砂土、亚黏土, 冲积扇末端变为以冲积和湖积的亚砂土、亚黏土、黏土及砂砾卵石为主, 厚度数十米不等。

全新统: 按成因类型有冲积、洪积、冲洪积、风积、湖积、残积、沼泽沉积等。厚度一般小于 10 m。

武威盆地在东侧景泰井子川附近发育早更新世玉门组地层,上部为杂灰色厚层砾岩夹含砾粗砂岩,中部为杂灰色巨厚层砾岩与灰黄色厚层砂岩互层,下部为杂灰色巨厚层砾岩。玉门组地层共厚约500 m。中更新世冲洪积在古城—他家庄一带,古浪县以南的沟谷区及金强河沟两侧发育,类型主要为二元结构的河流阶地沉积物及山前扇缘台地。岩性主要为灰色、杂色砂砾层、砾石层、粗沙及黄土状亚砂土。晚更新世冲洪积主要分布于武威市附近,双石疙瘩,代乾牧场、芨芨滩一带,主要为北部山前古洪积扇及河流阶地,另有少量山前台地及山间沟谷冲洪积。全新世冲洪积主要分布于石羊河流域河漫滩及盆地部分山间沟谷中,主要组成为沙、砾石及次生黄土等。区域内山前冲积扇上部发育全新世冲洪积层。

区域内零星分布离石黄土与马兰黄土,主要分布于祁连山北麓,酒泉、张掖、武威及古浪一带均有分布,但厚度较小,一般厚为40~50 m。呈浅灰黄色,颗粒较粗,垂直节理发育,质地疏松。

2.7 肃北—门源地层区

肃北—门源地层区主要位于门源县至肃北县之间祁连山脉之大阪山、托来山、大通山、宗务隆山、大雪山、党河南山、野马南山至阿尔金山之间的高山峡谷及山间盆地,第四纪冰期普遍发育冰川。党河、疏勒河、黑河上游河流阶地发育冲积层,或沉积冰碛、冰水—湖积物,部分地区亦有风成沙或黄土。肃北—门源地层区以冰碛、冰水沉积与冰水—湖泊沉积为特征,地表或覆盖薄层黄土。

下更新统(Qp¹)玉门组及托来冰碛:木里盆地北部唐姆尔河发育早更新世托来冰期冰碛(图4之A₁)^[40],为浅黄—土红色具层系冰碛砾层(图4之图例1)与冰湖相砾岩、泥岩(图4之图例2),厚约60 m,与下覆三叠系(T)砂岩地层呈角度不整合。托来冰碛与上覆玉门组砂砾岩层(图4之A₂)为不整合(假整合)。玉门组早期沉积,(或上新统部分)被托来冰碛侵蚀,托来冰碛相当于玉门组中部(即早更新世早期地层,与邻区玉门组中部地层同期异相),冰期结束后在托来冰碛之上沉积间冰期玉门组上部地层(早更新世晚期地层)或中更新统酒泉组(图4之B₂)。玉门组以灰白色砂砾岩夹黄绿色砂岩(图4之图例4),剖面厚度20~30 m,玉门组区域厚度为

200~300 m。区域内冰碛、冰水沉积、冲洪积,常见于海拔3000 m以上的山地及山间盆地,在疏勒南山北坡,托赖南山南、北坡为冰水堆积组成的最高一级冰水台地。党河南山南、北坡为北西向带状分布的冲积层,厚度可达700 m以上。在大雪山两侧,见冲—湖积沉积物,可见厚度为50~188 m。肃北—门源地层区冰碛层厚度变化大,一般为15~20 m,最厚可达80 m。原甘肃省地勘局第二水文地质工程地质队在黑河上游钻井ZK1号孔,揭示该区域堆积了厚约80 m的下更新统冰碛物,岩性主要为含砂泥砾,含泥砂砾石、泥砾。在黑河上游大沙垄东钻井ZK65孔,揭示该区域有厚约120 m的冰水—湖积层,主要岩性为泥砾岩,亚粘土,含砾淤泥,亚沙土及淤泥。^[41]在黑河、疏勒河、党河上游山间盆地分布冰水—湖泊沉积层,厚度45~120 m,最厚可达250 m。

中更新统(Qp²)酒泉组(图4之B₂)与冷龙岭冰碛(图4之B₁):区内中更新统被称为酒泉组,冷龙岭、达坂山、大通河一带主要为灰黄、青灰色冲积、冲洪积砂砾岩层酒泉组上部常有厚约50 m的离石组黄土,下部为冷龙岭冰期冰碛,冰碛物为灰黄色冰碛泥砾(图4中图例3),半胶结,最厚可达300 m^[40]不整合于侏罗系(J)砂岩之上。

在山区较大河谷和大雪山北麓地带分布中更新世冰碛(或冰水沉积)—洪积。在党河南山北侧见湖积—洪积成因堆积物。在查干布尔嘎斯河谷、哈马尔达巴阿木河、疏勒河西岸及黑刺沟、半截沟、洞子沟等地冲积、冲洪积组成河谷4—5级阶地。在托赖南山南坡见冰碛堆积,北坡见冰水堆积。民乐大红沟冰碛层厚约100 m,为灰绿色、灰褐色泥砾,砾石成分复杂,磨圆度及分选差,直径10~50 cm,最大可达100~150 cm,表面具压坑,擦痕。地貌呈巨大的侧碛垄,终碛垄,高达100 m。在花海盆地,昌马盆地南缘、黑河上游、党河谷地、野马河谷地有冰水洪积层,岩性主要为灰色,黄灰色砂砾石,砂砾石夹亚砂土,粉砂岩透镜体,地层厚度60~100 m。砾石成分复杂,直径多为5~10 cm,最大可达0.5~2 m,分选及磨圆差,半胶结。

上更新统(Qp³):发育冰碛、冰水、洪积、冲积和风成黄土等。区内晚更新世早期冰期称东沟冰期,冰碛物发育于祁连山东沟河谷,白水河谷、达坂山北坡、冷龙岭北坡及党河、疏勒河、黑河、洪水坝河、

白杨河上游。晚更新世中期多为冰水-湖相等间冰期沉积。晚更新世晚期冰期称三岔口冰期^[42], 冰碛物分布于海拔3600~3800 m一带山地, 多为未胶结泥砾, 厚20~30 m。民乐西大都麻河中游西岸堆积有厚约50 m的冰碛层, 岩性为砂砾石与灰绿色, 褐色冰碛泥砾, 粒径20~30 cm, 分选及磨圆差, 含泥质较多, 不整合于变质岩之上(图5)。

全新统(Qh)按成因分有洪积、冲洪积、冲积、风积、沼泽、冻土、崩积、冰水、冰碛、残坡等多种类型, 分布零星, 规模及厚度均小。冰碛、冰水沉积及冻土堆积多分布在现代冰川前缘地带; 洪积物分布在山前, 范围比较狭小; 冲洪积物分布于山间各河流、支沟低级阶地与河床、河漫滩等处。残坡积物在山坡零散分布, 厚度不大; 风成黄土在东部出现较多。风成砂分布于哈勒腾河转弯处两岸与塔喀巴斯陶以南地区, 形成横向沙垅、新月形沙丘、沙丘链; 纵向为沙垅、草灌丛砂丘等微地貌。在党河上游、野马河上游也有风沙分布, 呈波状沙丘和新月形沙丘。湖沼沉积物在党河河谷两侧河流低凹处和苏干湖周围地区分布。

3 讨论

3.1 祁连山及邻区第四系的多样性

新生代以来祁连山及邻区受青藏高原隆升及北向扩张影响新构造活跃^[43-44], 包括阿尔金山、拉脊

山、大阪山、祁连山、大雪山等一系列山脉隆升成为高大山系, 山盆发育进入新一轮演化阶段, 西宁、兰州、贵德、临夏、武威、酒泉、柴达木等新生代盆地形成, 古近纪-新近纪陆续开始充填湖泊-河流相沉积。进入第四纪祁连山地区受青藏高原进一步隆升与北扩影响构造地貌发生重大变化, 祁连山及邻区呈现沉积物多样性特征。

西宁-兰州地层区最大的沉积特征是第四纪黄土的广泛分布, 这一地区是东亚夏季风影响区域的西端, 在古气候方面有一致性, 冬季风将西北地区粉尘携带到这一地区沉降堆积黄土, 夏季风携带的雨水滋润黄土区植被发育了土壤, 形成了由黄土-古土壤序列构成的隆中黄土高原。第四纪柴达木盆地与酒泉盆地湖盆已经逐渐萎缩, 甚至干涸, 至今只有个别区域有小型盐湖或咸水湖存在, 区域内发育冲洪积扇或被风沙覆盖。肃北-门源地层区位于祁连山西部高山或山间盆地地区, 高海拔雪山冰川发育, 区内以冰碛、冰水-冰湖沉积为主, 亦发育冲洪积扇及河流阶地沉积。青海湖作为高原湖盆依然延续湖盆沉积。祁连山及邻区第四纪发育湖泊沉积、冲洪积、黄土-古土壤、沙漠、冰碛、冰水沉积、冻土等多种第四纪沉积物。如此多的第四纪沉积类型出现在一个地质单元十分罕见, 这种沉积多样性是区域构造演化-地貌演化-古气候演化共同造就的结果。

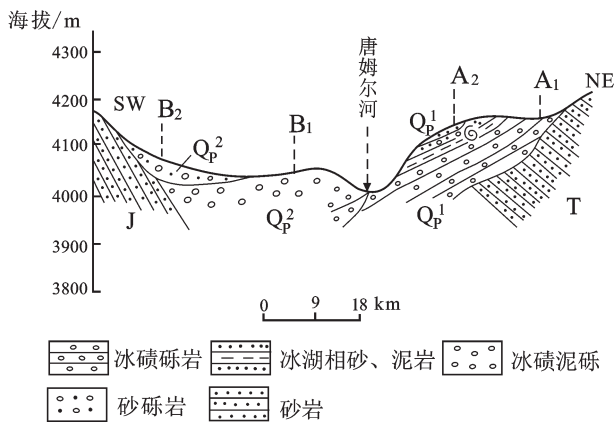


图4 (J) 木里盆地唐姆尔河早、中更统冰碛层^[40]
 A₁-冰碛砾岩; A₂-玉门组; B₁-冷龙岭冰碛层; B₂-酒泉组
 Fig. 4 (J) Glacial deposits of early and middle Pleistocene of Tangmuer River in Muli Basin^[36]
 A₁-Tuolai Glacial; A₂-Yunmen Formation; B₁-Lenglongling Glacial deposits; B₂-Jiuquan Formation

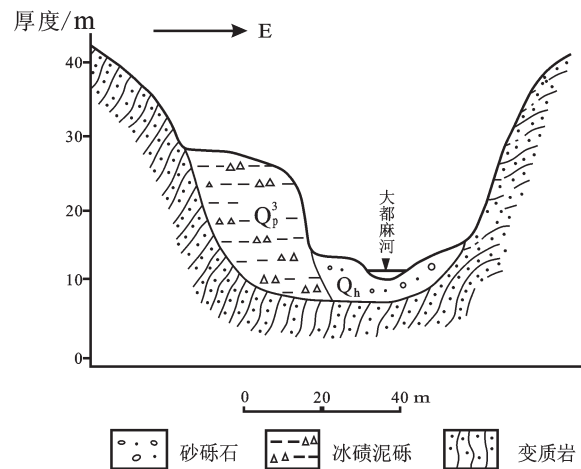


图5 (K) 民乐盆地大都麻河晚更新世冰碛层^[42]
 Fig. 5 (K) Glacial deposits of late Pleistocene of Duma River in Minle Basin^[37]

3.2 地层名称的沿用、厘定

本文采用的地层名称使用原则为:中国地层典^[45]启用的地层名称,中国地质调查局实施的1:25万区域地质调查报告或正式出版的地方地质志^[39,46]使用的地层名称。区域内历史上使用的地层名称繁杂、重叠,部分地层名称或仅仅是某篇文章作者自己使用的地层名称而后人再勿使用,类似这些地层名称没有在本中采用。有些重要的地层单元以往没有固定名称,本文采用了暂用名。

在黄土分布区,作者使用了刘东生先生命名的午城黄土、离石黄土及马兰黄土名称,并启用午城组、离石组及马兰组岩石地层名称。兰州地区早更新世的冲洪积层被杨钟键在1936年命名为五泉山系,本文采用了“(兰州幅)区域地质调查报告(1:25万)”^[34]使用的“五泉山组”名称。1942年孙建初在玉门市石油河一带建立的玉门砾石层,1959年全国地层会议称为玉门砾岩组,1965年甘肃区测二队改称为玉门组,并被“(玉门幅)区域地质调查报告(1:25万)”^[41]使用,本文在酒泉—张掖地层区采用玉门组、酒泉组岩石地层名称。柴北地层区采用了七个泉组和茫崖组岩石地层名称,贵德盆地使用了阿米岗组名称。共和盆地使用了共和组和塔拉组岩石地层名称。青海湖第四纪地层尚未正式命名第四纪地层名称,本文暂时使用更新统与全新统笼统称谓之。对于肃北—门源地层区内的冰碛物,下更新统使用托来冰碛层名称,中更新统使用冷龙岭冰碛层名称,上更新统使用东沟冰碛与三岔口冰碛层名称(引自青海省地质志)^[40]。

3.3 岩石地层的穿时问题

祁连山及邻区地层区内第四纪地层组有许多穿纪现象和穿世现象。本文采用的第四纪时间下限为2.58 Ma,中更新世下界0.78 Ma,晚更新世下界0.126 Ma,全新世下界0.01 Ma(国际地层委员会编制:“国际年代地层表,2015”)^[24]。酒泉地层区玉门组磁性地层年龄为0.93~3.8 Ma,时代为上新世—早更新世;共和盆地共和组磁性地层包括布容正极性带与松山负极性带,记录了J亚带与0亚带,显然共和组为早更新世与中更新世地层。柴北地层区的七个泉组包括了中更新统和中更新统。中国黄土区午城黄土、离石黄土和马兰黄土通常被视为早、中、晚更新世黄土,但其岩石地层单位是穿时的。

午城组归属下更新统下段,离石组归属下更新统上段及中更新统,同时包括上更新统的S₁古土壤。马兰组仅仅包括晚更新世的L₁黄土部分及全新世黄土L₀与古土壤S₀。

致谢:朱涛副研究员,研究生吴鸿天、邹宁、罗骏、张雷参加了野外工作,并帮助收集资料、制作图件,在此表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 青藏高原古近纪—新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 2010, 40(12): 1632–1654.
Zhang Kexin, Wang Guocan, Ji Junliang, et al. Paleogene–Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai–Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau[J]. Science in China (Series D): Earth Sciences, 2010, 40(12): 1632–1654(in Chinese).
- [2] 刘少峰, 张国伟, P L Heller, 等. 循化—贵德地区新生代盆地发育及其对高原增生的指示[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(增刊): 235–248.
Liu Shaofeng, Zhang Guowei, P.L.Heller, et al. Cenozoic basin development and its indication of plateau growth in the Xunhua–Guide district[J]. Science in China(Series D): Earth Sciences, 2007, 37(supp.): 235–248(in Chinese with English abstract).
- [3] Fang X M, Zan J B, Appel E, et al. An Eocene–Miocene continuous rock magnetic record from the sediments in the Xining Basin, NW China: indication for Cenozoic persistent drying driven by global cooling and Tibetan Plateau uplift[J]. Geophysical Journal International, 2015, 201(1): 78–89.
- [4] 宋春晖, 方小敏, 高军平, 等. 青藏高原东北部贵德盆地新生代沉积演化与构造隆升[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 493–500.
Song Chunhui, Fang Xiaomin, Gao Junping, et al. Tectonic Uplift and Sedimentary Evolution of the Guide Basin in the Northeast Margin of Tibetan Plateau in Cenozoic Era[J]. Acta Seditmentologica Sinica, 2001, 19(4): 493–500(in Chinese with English abstract).
- [5] 常宏, 金章东, 安芷生, 等. 青海南山隆起的沉积证据及其对青海湖—共和盆地构造分异演化的指示意义[J]. 地质论评, 2009, 55(1): 49–57.
Chang Hong, Jin Zhangdong, An Zhisheng. Sedimentary Evidences of the Uplift of the Qinghai Nanshan (the Mountains South to Qinghai Lake) and Its Implication for Structural Evolution of the Lake Qinghai Gonghe Basin[J]. Geological Review, 2009, 55(1): 49–57(in Chinese with English abstract).
- [6] Lease R O, Burbank D W, Clark M K, et al. Middle Miocene Reorganization of Deformation along the Northeastern Tibetan Plateau[J]. Geology, 2001, 39(4): 359–362.
- [7] 骆满生, 张克信, 林启祥, 等. 青藏高原东北缘循化—化隆地区新生代沉积古地理演化[J]. 地质科技情报, 2010, 29(3): 23–31.
Luo Mansheng, Zhang Kexin, Lin Qixiang, et al. Cenozoic Sedimentary Paleogeography Evolution of Xunhua–Hualong Area,

- Northwestern Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 23-31(in Chinese with English abstract).
- [8] 岳乐平, F Heller, 邱占祥, 等. 兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录[J]. 科学通报, 2000, 45(18): 1998-2003.
Yue Leping, F Heller, Qiu Zhanxiang, et al. Tertiary magnetic formations and paleoenvironment records of Lanzhou basin, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(18): 1998-2003(in Chinese).
- [9] 宋春辉. 青藏高原东北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程[D]. 兰州大学博士论文, 2006: 1-326.
Song Chunhui. Tectonic uplift and Cenozoic sedimentary evolution in the northern margin of the Tibetan Plateau[D]. PhD thesis, Lanzhou University, 2006: 1-326(in Chinese with English abstract).
- [10] Chaofeng Fu, Zhisheng An, Xiaoke Qiang, et al. Magnetostratigraphic determination of the age of ancient Lake Qinghai, and record of the East Asian monsoon since 4.63 Ma[J]. Geology, 2013, 41: 875-878.
- [11] 曾蒙秀, 宋友桂, 安芷生, 等. 青海湖二郎剑钻孔的粘土矿物学研究[J]. 中国科学, 2014, 44(6): 1298-1311.
Zeng Mengxiu, Song Yougui, An Zhisheng, et al. Clay mineral records of the Erlangjian drill core sediments from the Lake Qinghai Basin, China[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(6): 1298-1311(in Chinese).
- [12] Deng Tao, Qiu Zhanxiang, Wang Banyue, et al. Late Cenozoic Biostratigraphy of the Linxia Basin, Northwest China. Fossil Mammals of Asia[M]. New York: Columbia University Press, 2013, 243-173.
- [13] 王吉玉, 张兴鲁. 青海省共和盆地的第四纪地层[J]. 地质论评, 1976, 25(2): 15-20.
Wang Jiyu, Zhang Xinglu. The Quaternary stratigraphy of Gonghe Basin, Qinghai, China[J]. Geological Review, 1976, 25(2): 15-20(in Chinese with English abstract).
- [14] 张克信, 王国灿, 骆满生, 等. 青藏高原及邻区新生代构造-岩相古地理图及说明[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2013: 1-299.
Zhang Kexin, Wang Guocan, Luo Mansheng, et al. Map of the Cenozoic Tectonic Lithofacies-paleo Geography of the Tibetan Plateau and its Adjacent Areas and Its Explanation[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2013: 1-299(in Chinese).
- [15] 向树元, 王岸, 王国灿, 等. 青藏高原及邻区第四纪地质与地貌图及说明书[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2013: 1-104.
Xiang Shuyuan, Wang An, Wang Guocan, et al. Geomorphologic Map of the Quaternary Geology of the Tibetan Plateau and its Adjacent Areas and Its Explanation [M]. China University of Geosciences Press, 2013: 1-104(in Chinese).
- [16] 刘东生, 张宗祜. 中国的黄土[J]. 地质学报, 1962, (4): 1-14.
Liu Dongsheng, Zhang Zonghu. Chinese Loess [J]. Acta Geologica Sinica, 1962, (4): 1-14(in Chinese with English abstract).
- [17] 安芷生, 吴锡浩, 汪品先, 等. 最近 130 ka 中国的古季风. 1. 古季风记录[J]. 中国科学(B辑), 1991, (10): 1076-1081.
An Zhisheng, Wu Xihao, Wang pinxian, et al. Paleomonsoons of China over the last 130000 years. 1. Record of Paleomonsoons[J]. Science in China (Series B), 1991, (10): 1076-1081(in Chinese).
- [18] 王永焱. 黄土与第四纪[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1982: 1-137.
Wang Yongyan. Loess and Quaternary[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1982: 1-137(in Chinese).
- [19] 张宗祜, 张之一, 王云生. 论中国黄土的基本问题[J]. 地质学报, 1987, (4): 352-374.
Zhang Zonghu, Zhang Zhiyi, Wang Yunsheng. Basic geologic problems of China[J]. Acta Geologica Sinica, 1987, (4): 352-374 (in Chinese with English abstract).
- [20] 丁仲礼, 刘东生. 中国黄土研究新进展(黄土层)[J]. 第四纪研究, 1989, (1): 24-35.
Ding Zhongli, Liu Tungsheng. Progresses of loess research in China (part 1) loess stratigraphy[J]. Quaternary Sciences, 1989, (1): 24-35(in Chinese with English abstract).
- [21] 岳乐平, 薛祥煦. 中国黄土古地磁学[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-126.
Yue Leping, Xue Xiangxu. Loess Paleomagnetism in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-126(in Chinese).
- [22] 孙建中. 黄土学[M]. 西安: 地图出版社, 2001: 1-480.
Sun Jianzhong. Science of Loess[M]. Xi'an: Map Publishing House, 2001: 1-480(in Chinese).
- [23] 陈发虎, 张维信. 甘肃地区黄土层学与第四纪冰川问题[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-155.
Chen Fahu, Zhang Weixin. The Problems of Loess Stratigraphical Quaternary Glacier in Gansu[M]. Beijing: Science Press, 1993: 1-155(in Chinese).
- [24] 全国地层委员会. 中国区域年代地层(地质年代)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 5-6.
National Stratigraphic Committee. Brief introduction to China Regional Chronostratigraphic (Geo-chronologic) Scale[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 5-6(in Chinese).
- [25] 岳乐平, 雷祥义, 屈红军. 黄河中游水系的阶地发育时代[J]. 地质论评, 1997, 43(2): 186-192.
Yue Leping, Lei Xiangyi, Qu Hongjun. The age of terrace development in the middle reaches of the Yellow River[J]. Geological Review, 1997, 43(2): 186-192(in Chinese with English abstract).
- [26] 潘保田, 苏怀, 刘小东, 等. 兰州东盆地最近 1.20 Ma 黄河阶地序列与形成研究[J]. 第四纪研究, 2007, 27(2): 172-180.
Pan Baotian, Su Huai, Liu Xiaodong, et al. River terraces of the Yellow River and their genesis in eastern Lanzhou basin during last 1.2 Ma[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(2): 172-180(in Chinese with English abstract).
- [27] Burbank D W, Li Jijun. Age and Paleoclimatic significance of the loess of Lanzhou, North China[J]. Nature, 1985, 316: 141-143.
- [28] 岳乐平, 屈红军, 杨永利, 等. 兰州九州台黄土古地磁研究[J]. 西北大学学报, 1992, 22(1): 87-93.
Yue Leping, Qu Hongjun, Yang Yongli, et al. Paleomagnetic research of Loess Section from Jiuzhoutai, Lanzhou[J]. Journal of

- Northwest University, 1992, 22(1): 87–93(in Chinese with English abstract).
- [29] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic[J]. *Geophys. Res.*, 1995, 100(B4): 6093–6095.
- [30] 岳乐平, 雷祥义, 屈红军, 等. 靖远黄土剖面磁性地层学初步研究[J]. *第四纪研究*, 1991, (4): 349–353.
Yue Leping, Lei Xiangyi, Qu hongjun, et al. A magnetostratigraphic study on the JingYuan loess section, Gansu, China[J]. *Quaternary Sciences*, 1991, (4): 349–353(in Chinese with English abstract).
- [31] 曾永年, 马海州, 李珍, 等. 西宁大墩岭黄土剖面古地磁初步研究[J]. *干旱区地理*, 1993, 16(2): 77–81.
Zeng Yongnian, Ma Haizhou, Li Zhen, et al. Palaeomagnetic study on the dadunling loess profile in Xining[J]. *Arid Land Geography*, 1993, 16(2): 77–81(in Chinese with English abstract).
- [32] 杨东, 方小敏, 彭子成, 等. 陕西六盘山黄土及最近 1.8 Ma P.B. 以来的构造运动与气候变化[J]. *地理科学*, 2006, 26(2): 192–198.
Yang Dong, Fang Xiaomin, Peng Zicheng, et al. Liupanshan loess since last 1.8 Ma B.P. on Longxi basin of western China and its response to tectonic movement and climate[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(2): 192–198(in Chinese with English abstract).
- [33] 岳乐平, 薛祥煦. 中国北方黄土层中的哺乳动物群集在磁性地层中的位置[J]. *古脊椎动物学报*, 1996, 34(3): 305–311.
Yue Leping, Xue Xiangxu. The mammalian faunas in north Chinese loess and the position in magnetostratigraphy[J]. *Vertebrata Pal Asiatica*, 1996, 34(3): 305–311(in Chinese with English abstract).
- [34] 肖林, 霍勤知, 曾俊杰, 等. (兰州幅)区域地质调查报告(1:25万)[R]. 甘肃省地质调查院, 2003: 107–127.
Xiao Lin, Huo Qinzhi, Zeng Junjie, et al. Investigation report of regional geology of 1:250 000 in Lanzhou[R]. Geological Survey Institute of Gansu Province, 2003: 107–127(in Chinese).
- [35] 惠博, 伊海生, 夏国清, 等. 柴达木盆地西部新生代沉积演化特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1274–1281.
Hui Bo, Yi Haisheng, Xia Guoqing, et al. Characteristics of Cenozoic sedimentary evolution in western Qaidam Basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1274–1281(in Chinese with English abstract).
- [36] Fang Xiaomin, Zhang Weilin, Meng Qingquan, 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 Planet Science Letters*, 2007, (258): 293–306.
- [37] 蒋复出, 王书兵, 傅建利, 等. 晚新生代构造气候变动对黄河水系演化影响研究成果报告[R]. 中国地质科学院地质力学研究所, 2012: 167–172.
Jiang Fuchu, Wang Shubing, Fu Jianli, et al. Research Report on the Impact of Late Cenozoic Tectonic Climate Change on the Yellow River Water System Evolution [R]. The Chinese Academy of Geological Sciences Institute of Geomechanics, 2012: 167–172 (in Chinese).
- [38] Fang Xiaomin, Yan Maodu, Rob V, et al. Late Cenozoic Deformation and Uplift of the NE Tibetan Plateau: Evidence from High-resolution Magnetostratigraphy of the Guide Basin, Qinghai Province, China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2005, 11(7): 1208–1225.
- [39] 赵志军, 方小敏, 李吉均, 等. 酒泉砾石层的古地磁年代与青藏高原隆升[J]. *科学通报*, 2001, 46(14): 1208–1212.
Zhao Zhijun, Fang Xiaomin, Li Jijun, et al. Magnetostratigraphic age of Jiuquan gravel and its implications for the Tibetan Plateau uplift [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(14): 1208–1212(in Chinese).
- [40] 青海省地质矿产局. 青海省地质志[M]. 1982: 227–246.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. *Geology Annals of Qinghai Province*[M]. 1982: 227–246(in Chinese).
- [41] 曹兴山. 甘肃的第四系[J]. *甘肃地质学报*, 1996, 6(2): 1–23.
Cao Xingshan. The Quaternary of Gansu Province [J]. *Acta Geologica Gansu*, 1996, 6(2): 1–23(in Chinese with English abstract).
- [42] 梁明宏, 霍勤知, 王云斌, 等. (玉门幅)区域地质调查报告(1:25万)[R]. 甘肃省地质调查院, 2005: 53–74.
Liang Minghong, Huo Qinzhi, Wang Yunbin, et al. Investigation Report of Regional Geology of 1: 250000 in Yumen[R]. Geological Survey Institute of Gansu Province, 2005: 53–74(in Chinese).
- [43] 许志琴, 杨经绥, 侯增谦, 等. 青藏高原大陆动力学研究若干进展[J]. *中国地质*, 2016, (1): 1–42
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Hou Zengqian, et al. The progress in study of continental dynamics of the Tibetan Plateau[J]. *Geology in China*, 2016, (1):1–42(in Chinese with English abstract).
- [44] 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 等. 青藏高原隆升对我国构造-地貌形成、气候环境变迁与古人类迁徙的影响[J]. *中国地质*, 2014, 41(3): 698–714
Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai et al. Tectonic uplift of the Plateau: Impacts on the formation of landforms, climate changes and ancient human migration in China[J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 698–714(in Chinese with English abstract).
- [45] 中国地层典编委会, 周慕林主编. 中国地层典-第四系[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1–118.
Editorial Committee of Stratigraphical Lexicon of China (Chief Editor: Zhou Mulin). *Stratigraphical Lexicon of China-Quaternary*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1–118(in Chinese).
- [46] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982: 305–320.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province *Regional Geology of Gansu Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982: 305–320(in Chinese).