

兰州市红古区红层景观及形成演化分析

王汉青, 谢小平*

曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东 日照
Email: *501238559@qq.com

收稿日期: 2021年2月3日; 录用日期: 2021年2月17日; 发布日期: 2021年2月26日

摘要

甘肃省红层地貌发育广泛, 分布较密集的市(州)为张掖、兰州、临夏及平凉。其中位于张掖的彩丘地貌随着有关部门的宣传已经被大家所熟知, 但对兰州市远郊的红古区辖区内发育的大片红层景观关注度明显不足。本文将利用实地调查资料和已有的研究成果, 在表明研究区红层地貌自然地理条件、地质构造、景观分布的基础上, 对区域内局部地貌景观进行科学的定义。探究其形成演化的动力机制。本文以兰州市红古区内的红层为研究对象, 按照主导动力成因, 开展地貌测量和分析工作。对发育的红层景观和丹霞地貌的类型、形成条件及演化过程进行研究。本研究对了解和认识红古区丹霞地貌具有重要意义, 同时对于本区以丹霞地貌为主题的地质公园申报、建设和旅游开发具有重要意义。

关键词

红层景观, 丹霞地貌, 演化

Analysis of Redbeds Landscape and its Formation and Evolution in Honggu District of Lanzhou City

Hanqing Wang, Xiaoping Xie*

School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao Shandong
Email: *501238559@qq.com

Received: Feb. 3rd, 2021; accepted: Feb. 17th, 2021; published: Feb. 26th, 2021

Abstract

The redbed geomorphology in Gansu province is widely developed, and the densely distributed cities (states) are Zhangye, Lanzhou, Linxia and Pingliang. Among them, the colored hills landforms in

*通讯作者。

Zhangye have been well known with the publicity of relevant departments, but attention to the large red landscape developed in the Honggu district in the outer suburbs of Lanzhou city is obviously insufficient. Using the field investigation data and existing research results, we will scientifically define the local microlandscapes in the region on the basis of showing the natural geographical conditions, geological structure and landscape distribution of the red layer landforms in the study area. The dynamic mechanism of its formation and evolution will be investigated. This paper takes the red layer in the Honggu District of Lanzhou City as the object of study, and carries out geomorphological measurement and analysis according to the dominant driving force causes. The type, formation conditions and evolution process of the developed red layer landscape and Danxia landform are studied. This research work is of great significance to the understanding and knowledge of Danxia landform in Honggu District, and is also of great significance to the application, construction and tourism development of the geopark in this district with Danxia landform as the theme.

Keywords

Redbeds, Landscape, Formation and Evolution

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

红层(redbeds)在我国主要是指中生代以来即三叠系、侏罗系、白垩系和新生代古近系的湖相、河流相、河湖交替相或是山麓洪积相等陆相碎屑岩,多以互层出现,从外表来看颜色为红色[1]。红层的岩性通常为交互沉积、软硬相间的砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩,有时夹有淡水灰岩或膏盐层[2]。宏观上,红层发育了各式各样的地貌,典型的有红层丘陵、红层平原、丹霞地貌等。

丹霞地貌是一种具有很高科学价值和美学价值的地貌类型[3]。从1928年冯景兰先生开始至20世纪80年代,经众多地理工作者的广泛深入研究,认为丹霞地貌的形成、演化取决于地质构造、岩石组分和结构、气候条件三要素[4]。红层作为丹霞地貌发育的物质基础,近年来丹霞地貌的研究有向着红层及红层地貌拓展的趋势[5]。粗碎屑物是红层的主要物质构成成分,其周边山地的物质组分与临近红层碎屑物的组分有很高的相似度。岩屑、砾屑是其外围物源地岩石碎屑的混合,其砂质主要是石英,含部分长石,胶结物以泥、沙为主,化学胶结物主要为硅质、钙质和铁质[6]。

根据我国红层的分布特征及形成背景,将我国红层划分为西南地区红层、西北地区红层、中南、东南地区红层和其他地区(西藏及华北的部分地区)红层[7]。西北地区红层总面积191,251 km²,约占全国红层面积的23.15%,其中甘肃红层面积约87,799 km²,占西北红层的45.9% [8]。

在兰州市西北郊区的红古境内发育的大量红层地貌,其主要地质年代为白垩纪。形成的各种红层丘陵和丹霞地貌具有极高的观赏价值和科普意义。本文在前人关于甘肃地质地貌研究的基础上,结合野外实地考察和室内分析结果,对考察区内发育的大规模红层地貌和丹霞景观的沉积环境和形成演化过程进行探讨。

2. 研究区概况

2.1. 研究区地质构造背景

红古区地处兰州市的西北远郊区,位于102°50′~102°54′E, 36°19′~36°21′N之间。地理单元上隶属于民和中新世盆地的周家台隆起[9] (盆地内褶皱、断裂发育,主要划分为皋兰隆起、永登拗陷、周家台

隆起及巴州坳陷四个次级构造单元)。盆地是一个多种矿产资源共存的中新生代陆相碎屑岩沉积盆地, 是燕山运动初期形成的典型的退缩型盆地[10]。在不同的构造和气候条件下, 沉积了 5000~7000 余米的中-新生界地层, 发育多种不同的沉积建造和丰富的沉积相类型, 盆地内彩色丘陵广布, 地貌形态奇特, 多种地质遗迹保存完整[11]。

红古区红层主要见侏罗系 J、白垩系 K、三叠系 T 地层, 红层总面积约为 213 km² (图 1), 占全区总面积的 37.5%, 总体上在全区呈均匀态分布。三叠系 T 层和侏罗系 J 层主要分布在区域西北部的窑街街道、下窑街道和矿区街道, 白垩系 K 层大部分分布在花庄镇东北部和平安镇北部, 其余的在全区零星展布, 多呈条带状或串珠状延伸。第四系 Q 层黄土盖层下部基岩多为白垩系和第三系(图 1)。区域内由于构造运动和地层岩性的不同, 使得不同地段呈现出的红层地貌特征有巨大差异。

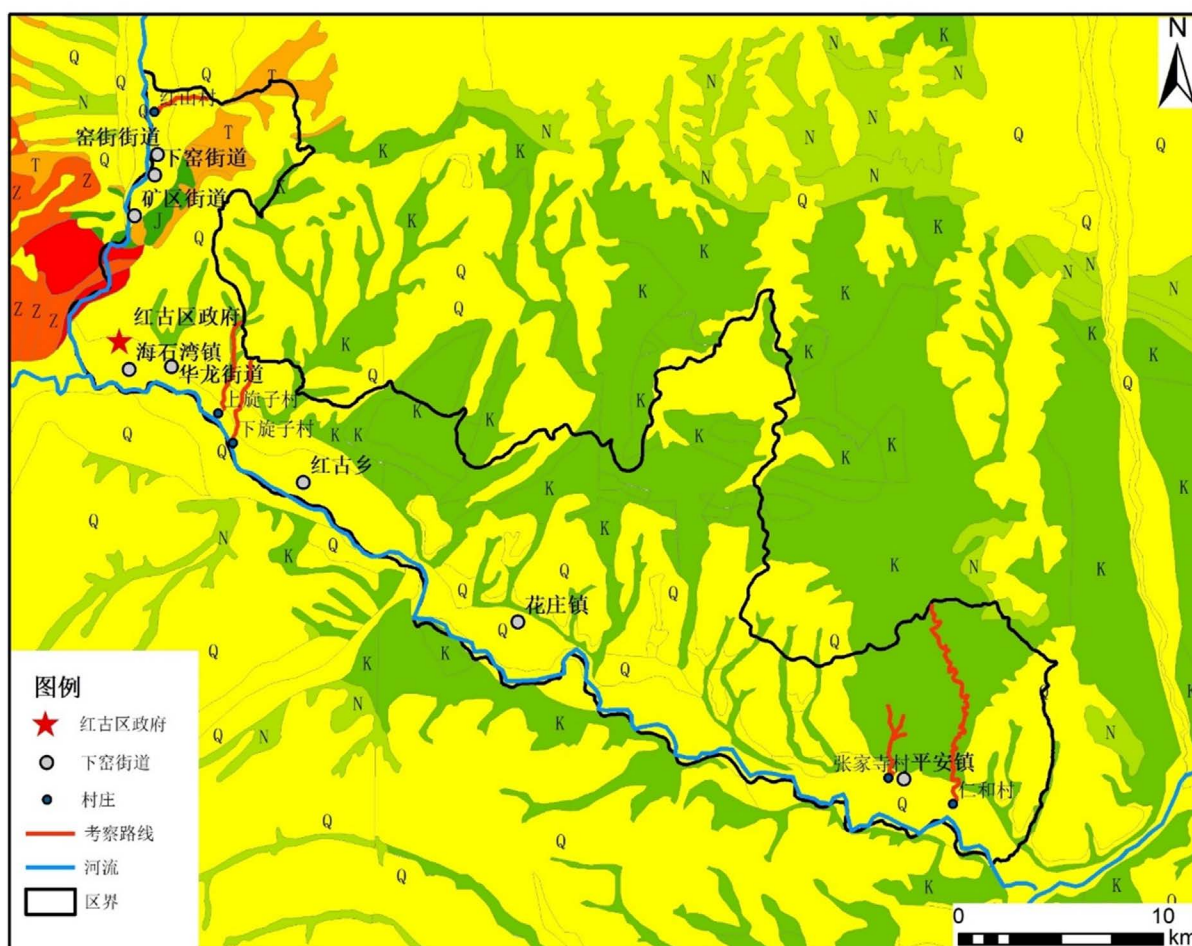


Figure 1. Survey route map

图 1. 考察路线图

2.2. 产出特征

红层地貌的分布不仅仅是指出露地表的红层, 还包括被后期地层掩盖的下伏的地层[12]。

2.2.1. 窑街东北红层分布区

本区产出的红层以上覆黄土盖层的丘陵为主, 少量的黄土红层混合型地貌和几处大型滑坡体, 主要

分布在红山村东部大沟。因为本区黄土盖层和红层之间含有 1 米到 20 米不等的砾石层, 并且黄土盖层较厚, 最厚的地方达到 30 米左右, 薄处有两米以上, 导致典型的红层景观特征不明显。

2.2.2. 平安镇北红层分布区

平安镇北部红层考察地点主要在仁和沟红古区境内和张家寺北沟, 仁和沟产出以红层丘陵为主, 少量丹霞地貌。在一处名为红峁子的地点附近, 发现的丹霞地貌主要以塔状、宫殿状、残峰孤丘地貌类型为主。本区域黄土盖层较薄, 普遍在 1 到 2 米, 个别地方黄土层侵蚀殆尽, 红层丘陵普遍发育, 色调以紫红色为主, 间杂灰色板状砂岩, 砂岩呈平行状分布, 砂岩中伴有明显的石膏穿层。张家寺北沟整体比较广阔平缓, 已经发育成坳沟, 红层大面积出露, 侵蚀残丘和石柱较多。

2.2.3. 海石湾镇东北红层分布区

海石湾镇东北部红层分布区考察活动在上旋子村北哈拉沟进行。本区域产出以红层丘陵为主, 发现一处火焰山地貌, 两处丹霞地貌。本区黄土盖层比较厚, 无砾石层。地貌形态受切割明显, 存在一定规模的大型切沟、冲沟和山间台地。红层地貌色调以红褐色为主, 夹有灰色页岩。

2.2.4. 红古乡红层分布区

红古乡红层分布区考察活动在下旋子村东部磨石沟和马家台东沟进行。

磨石沟沟口发现有典型的彩色丘陵, 在不同颜色的粉砂岩碎屑、泥岩、黄土的衬托下, 呈现出鳞羽形态, 沟口深切, 沟内流水侵蚀剧烈, 产出多种坡面地貌以及小型冲沟, 沟内砾石遍布。红层地貌色调以红褐色为主, 夹有互层状杂色砂质泥岩。

马家台东沟主要以红层丘陵为主, 流水侵蚀剧烈, 遍布切沟和冲沟, 发现少量火焰山地貌、并且有两处处于发育初期的砂岩石柱。此沟水流侵蚀和溶蚀作用明显, 由于大片红层都是由细软的粉砂岩和泥质岩等组成, 虽遭受侵蚀作用强烈, 但很难形成陡崖, 大多形成波状起伏的丘陵。

2.3. 典型的红层地貌类型

2.3.1. 窑街东红山沟

红山沟具有景观特征的红层地貌主要分布在定点(103°53'59"E, 36°27'56"N)以及往东约 3 公里内。区域内黄土盖层较厚, 并且盖层和红层间普遍夹有 1 米以上砾石层, 个别地方甚至达到 20 米, 导致很多丹霞景观如岩墙、岩壁、石柱、峰丛等都处于形成初期, “顶平、身陡、麓缓”的典型丹霞地貌特点只体现出“身陡、麓缓”两项。并且多以基部红层, 中部夹砾石层, 黄土盖顶的组合形式存在。全部为正地貌。因流水夹带泥沙的侵蚀, 导致裸露的红层剖面普遍覆有薄层泥乳膜。红山大沟形成景观的裸露红层为粉砂岩夹泥岩, 色泽红灰相间, 产状缓倾斜, 海拔 1830~1890 m, 丘陵之间的高差大多在 50 m 左右, 水蚀、风蚀和重力坍塌等作用综合形成的丹霞雏形遍布。

2.3.2. 平安镇北仁和沟和张家寺北沟

仁和沟黄土盖层普遍薄, 并且因流水侵蚀, 导致粘土物质流失, 土壤沙化, 颜色已近灰白色, 宏观上明显呈现的红层丘陵地貌特征。此沟遍布各种散流侵蚀堆积地貌和洪流侵蚀堆积地貌, 因为红土连续夹有板岩和紫红色泥岩叠层, 导致坡面切沟受出露岩层的阻挡, 形成了陡坎和跌水。丹霞地貌多以火焰山地貌, 单体形态主要以塔式、宫殿式呈现, 有石柱、残峰等(图 2、图 3)。成景地层为白垩世河口群的棕红色块状粘土岩夹细砂岩, 色彩层次明显, 产状近水平, 海拔 1800~1890 m, 动力作用多为溶蚀、风蚀和重力崩塌等作用。

张家寺北沟入口在张家寺村正北方向, 此沟相对较短, 与仁和沟近平行, 平均距仁和沟 3.5 公里, 除黄土盖层稍厚外, 其他地质特点与仁和沟相似。此区域盖层普遍达到 3 米以上, 此沟整体广阔平缓,

已经发育成坳沟。在距沟口 5 公里处发现一处丹霞象形景观和一处比较震撼的红层台地(图 4), 成景地层由早白垩世河口群砂砾岩组成, 红层建造主要为陆相碎屑沉积, 产状近水平, 层理清晰可见。丹霞象形山由相对高度为 30~50 米的连续山包组成, 顶部覆有 5 米左右厚的冒状黄土, 红层台地景观大约高 50 米, 宽 120 米, 黄土层和不同种类的砂岩呈现出不同的色彩, 具有一定的视觉冲击力。



Figure 2. The flaming mountains physiognomy
图 2. 火焰山地貌

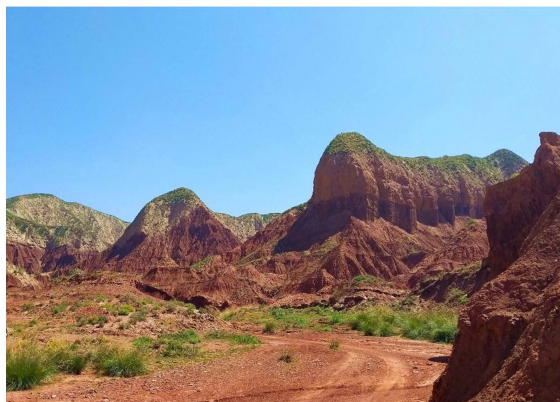


Figure 3. Pictographic mountain of Danxia
图 3. 丹霞象形山

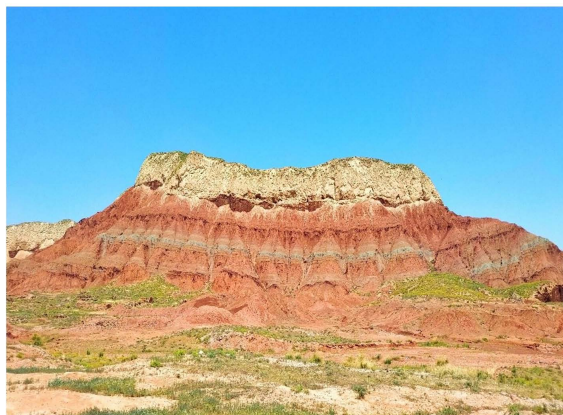


Figure 4. Danxia platform
图 4. 丹霞台地

2.3.3. 上旋子村北哈拉沟

此沟黄土盖层较厚, 冲沟侵蚀深度普遍达 30~50 m, 丹霞地貌特征不明显。沟道两侧地层滨湖相沉积和滨浅湖相沉积典型, 呈平行层理, 由中细粒石英砂岩、块状暗紫红色钙质泥岩组成, 砂岩相对薄, 约 0.2~0.5 m, 最厚 4 m, 泥岩单层厚 1~3 m, 虫迹、波痕和泥裂等遗迹发育。在沟内发现大片红层残塬景观(图 5)和一处丹霞石柱(图 6)。视野总体比较辽阔, 可以看出大型的切沟、冲沟和山间台地, 能较好的体现出整个高平原在长期的地质历史过程中被切割的千沟万壑的景象。



Figure 5. Erosion platform
图 5. 侵蚀台地



Figure 6. Pillars of danxia
图 6. 丹霞石柱

2.3.4. 下旋子村东部磨石沟和马家台东沟

下旋子村东部磨石沟和马家台东沟同属于红古区红古乡辖区。

磨石沟入口的一处丹霞地貌以宫殿式彩色丘陵呈现(图 7), 在红褐色砂砾岩、灰绿色泥质粉砂岩的衬托下, 呈现出鳞羽状色彩分布, 加之顶部黄土凸起, 神似一尊佛像, 沟间下切比较深, 两侧陡峻, 砾石遍布, 形态各异。此处表层为第四纪上统冲积砂土, 层理清晰, 顶部为风成黄土[13], 属于湟水河古河道 III、IV 级阶地, 存在大面积厚层冲积砾石。沟内主要包括小型丹霞和红层丘陵地貌, 并伴有流水切割形成的多种坡面红层与黄土结合的地貌以及小型阶地、构造夷平面等, 基座为晚第三纪红层。在磨石沟红古区与永登县交界处发现一处孤峰残丘(图 8), 含砾冲积砂土作顶。

马家台东沟距离马家台垂直距离约 1.7 公里, 地貌表现为黄土台地和红层丘陵交错分布, 同样存在大量的流水切割所形成的多种坡面红层地貌和构造夷平面。彩丘和丹霞的成景地层主要是早白垩世河口群红褐色砂砾岩和少量的灰白色泥岩。



Figure 7. Palatial landform

图 7. 宫殿式地貌



Figure 8. Danxia peak cluster

图 8. 丹霞峰丛

3. 红古区地质特征

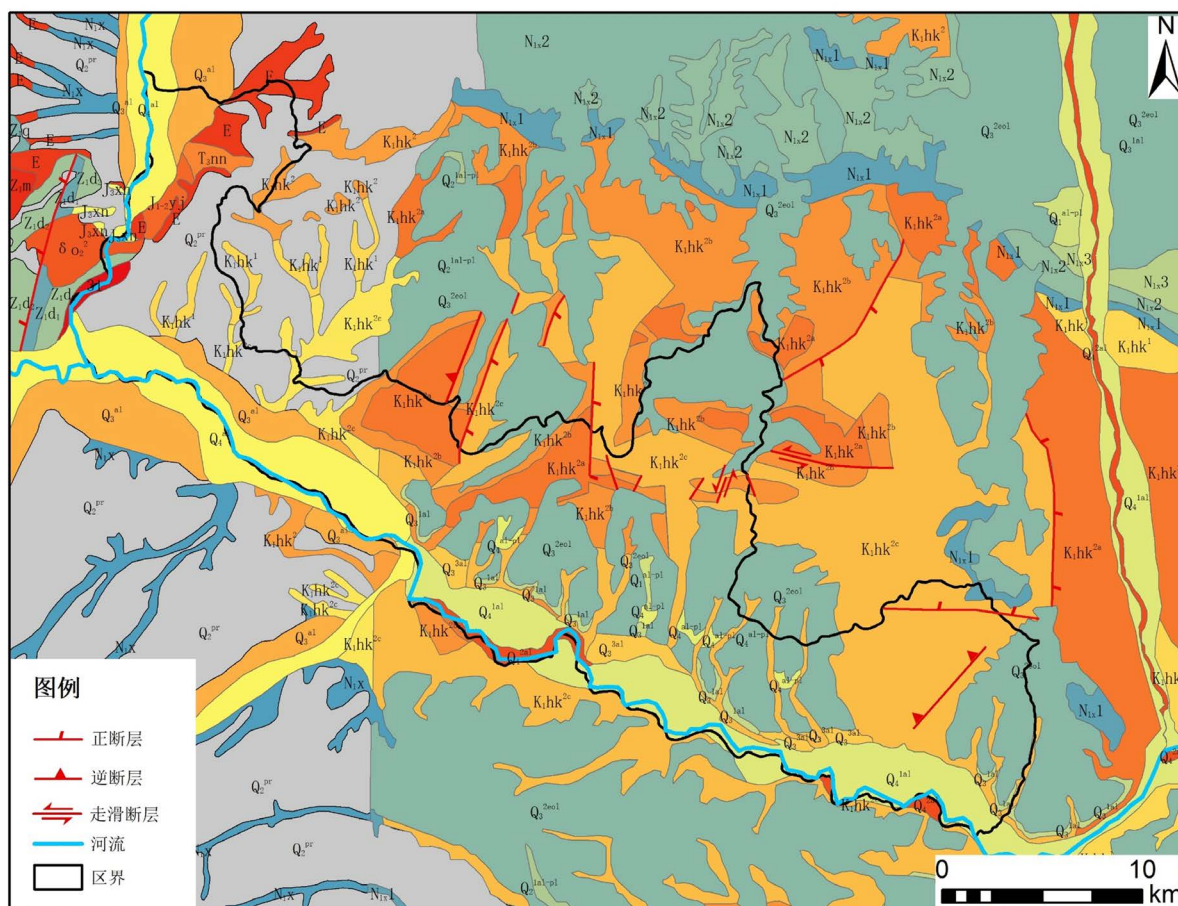
3.1. 地层特征

红古区地处民和盆地周家台隆起, 河口群主要出露于周家台隆起, 与下伏地层呈角度不整合, 与上覆地层呈假整合接触, 地层遭剥蚀程度较高[14]。周家台隆起构造单元区白垩系地层主要包括早白垩世河口群和上白垩世民和组, 由下图可以看出红古区成景地层主要分布在早白垩世河口群地层出露区(图 9)。

早白垩世河口群是以一套紫红色为主夹灰绿色、桔红色、红褐色、蓝灰色等杂色的陆相碎屑岩沉积[15]。与下伏侏罗系亭堂组呈不整合或微角度不整合接触, 或覆于更老的地层或岩体之上, 与上覆上白垩统民和组或新生代地层呈不整合接触[16]。

1998 年到 2000 年间, 中国地质大学(武汉)地质调查院将兰州 - 民和盆地下白垩统河口群自下而上依次建组为朱家台组、盐锅峡组、红古城组和花庄组。朱家台组为一套紫红色厚层、巨厚层状砾岩、砂岩组合[17]; 盐锅峡组由粉砂质泥岩、粉砂岩、紫红色细砂岩组成[18]; 红古城组以灰紫色厚层、中厚层、薄层细、粉砂岩夹钙质泥页岩为主要成分[19]; 花庄组为厚到巨厚层粉砂质泥岩、薄层细砂岩、粉砂岩互层[20]。

红古区白垩世河口群为红古城组和花庄组。此外西北部还有小部分三叠系南营儿群和侏罗系窑街组地层出露, 其余表层为第四纪风积和冲积黄土(图 9)。



(E 下三叠系粗砂岩含砾砂岩、砾岩夹粉砂岩及砂砾岩; N_{1x} 西宁组泥岩、砂泥岩夹粉砂岩及石膏; Z_{1m} 湟源群磨石沟组厚状石英岩夹黑云母长英片岩; Z_{1q} 湟源群青石坡组石英岩、片岩互层, 局部夹含榴石、黑云母; Z_{1d} 湟源群东岔沟组上亚组: 榴石云母片岩、云母石英大理石; Z_{1d} 湟源群东岔沟组下亚组: 大理岩、云母石英片岩、绿泥石英片; $\&O_2^2$ 侵入石英闪长岩; Q_3^{al} 第四系上 III、IV 级阶地冲积砾石及黄土; Q_2^{pr} 第四系中上风积黄土; Q_4^{al} 第四系全新统 I、II 级阶地冲积砂土及亚砂土; T_{3nn} 南营儿群砾岩、砂岩夹页岩; J_{1-2j} 窑街群砾岩、砂岩夹煤层、油页岩; J_{3xn} 享堂群砾岩、砂岩夹粘土 K_{1hk}^2 河口群砂岩、沙质泥岩夹细砂岩; K_{1hk}^1 河口群砂泥岩、角砾岩; K_{1hk}^{2c} 河口群泥岩、砂岩、灰色页岩; N_{1x}^1 咸水河组橘红色厚层疏松砂岩; N_{1x}^2 咸水河组暗红色粘土夹砂岩及石膏层; N_{1x}^3 咸水河组褐黄色砂质粘土夹砂砾岩; Q_2^{1al-p} 第四系中冲积-洪积石质黄土; Q_1^{al-pl} 第四系下冲积-洪积砾石层; Q_3^{1al} 第四系上河成冲积 IV 级阶地: 砾石层、亚粘土、细砂; Q_2^{2pl-al} 第四系中洪积及河成冲积 V 级阶地: 砾石层及黄土夹亚粘土; K_{1hk}^{2a} 河口群棕红色粘土岩夹细砂岩及杂色页岩、粉砂岩条带; K_{1hk}^{2b} 河口群深灰、浅褐色细砂岩夹粘土岩; K_{1hk}^{2c} 河口群棕红色块状粘土岩偶夹细砂岩; Q_3^{3al} 第四系上河成冲积 III 级阶地: 砾石层、亚粘土、次生黄土; Q_4^{2al} 全新统河成冲积 I 级阶地: 砾石、砂、砂土; Q_4^{1al} 全新统河成冲积 II 级阶地: 砾石、砂、砂土; Q_3^{2ool} 第四系上风成黄土; N_{2g} 贵德组: 泥岩、砂砾岩夹结核状泥块。)

Figure 9. Geological sketch of Honggu area

图 9. 红古区地质简图

3.2. 岩性与沉积特征

沉积岩的颜色是沉积岩最醒目的标志, 是区分岩石, 判断古地理的重要依据[21]。不同颜色的沉积岩类代表不同的沉积环境, 有机质量含量的不同也会使岩石颜色产生变化[22]。

3.2.1. 砂岩

分析区选取河口群红古城组地层。砂岩主要是粉砂岩、泥质粉砂岩。剖面底部为紫红色粉砂岩夹紫红色泥岩和少量石英砂岩, 从下到上层理从不明显到发育微型交错层理, 剖面中上部含有紫红色厚层砂岩夹粉砂岩互层, 互层中含有碎屑填充物, 占比低, 层理多为槽状交错层理和平行层理(图 10)。岩层中多见虫迹、和植物碎屑化石。

剖面岩石分层性好, 水平方向延伸稳定, 面积广、垂直方向上由多个单层叠加而成, 层理多为槽状交错层理和平行层理。粉砂岩中含有少量的泥砾, 生物潜穴及生物扰动现象丰富, 可能是湖水位深浅变化的沉积产物[14]。由此可见, 沉积相应该为滨浅湖-半深湖。

3.2.2. 泥岩、粉砂质泥岩

泥岩和粉砂质泥岩在整个河口群亚组中广泛存在, 多与中-薄层砂岩互层存在。粉砂质泥岩主要见紫红色, 灰绿色和灰色, 层理不清晰, 中-厚层状构造。河口群花庄组中紫红色厚层块状砂岩夹有大面积中层粉砂质泥岩, 从颜色上看多为紫红色或者棕红色, 可以断定铁元素含量高。

泥岩、粉砂质泥岩岩层中明显可见沉积碎屑和浅灰色泥灰岩, 夹有少量砾岩, 碎屑物质平伏于岩层, 层理清晰有生物扰动痕迹, 属于湖相沉积环境。在红谷区西北部大通河 III、IV 级阶地中存在普遍的冲积相泥岩, 主要表现为粉砂质泥岩中夹有大量碎屑和砾岩, 且夹层厚度呈单一变化走向。

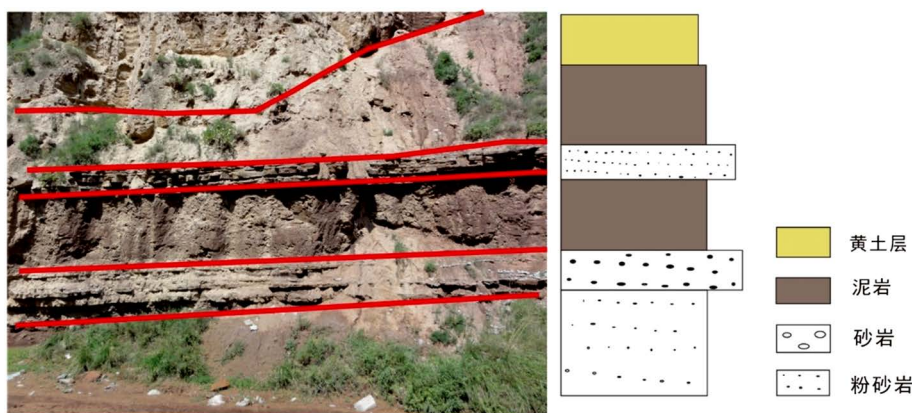


Figure 10. Profile analysis diagram of Honggucheng Formation in Hekou Group
图 10. 河口群红古城组剖面分析图

4. 红层地貌成因

红古区红层地貌的形成过程是整个兰州—民和盆地红层发育地质历史的缩影。泥盆世早—中期祁连运动使青海南部、南秦岭等地隆起成陆地, 加之干热的强氧化环境, 红层沉积开始形成; 经石炭纪、三叠纪多次海侵、海退循环, 以三叠世中期古祁连山—秦岭一线为界, 形成了南海北陆的沉积环境[23]。北部多山间盆地, 河湖相紫红色粗碎屑岩建造; 三叠纪末期, 甘肃海侵史结束; 中侏罗世早期, 燕山运动使山间盆地由水平挤压转变为伸展断陷, 沉积盆地规模迅速扩大, 气候湿润, 植物繁茂, 沉积了少量湖相、山麓相红色碎屑岩; 早白垩世早期, 祁连山隆生加快, 在兰州盆地边缘出现一套以洪积扇为代表的粗碎屑沉积[19]。早白垩世中期隆升趋向于稳定, 兰州—民和盆地大部分地区为滨浅湖, 湖相杂色泥岩开始大量建造。到早白垩末, 盆地演化趋缓[24] (图 11)。至此, 兰州西部河口群、民和群红色陆相砂、泥岩大规模发育。古近纪到新近纪山间盆地又沉积了西柳沟组、野狐城组及甘肃群等地层[25]。这些地层为兰州周边红层地貌的形成与演化奠定了物质基础。

新生代以来, 青藏高原的隆升速率发生多次变化, 高原东北缘为高原扩张的前锋区域, 导致地层发生构造运动, 形成大规模褶皱与断裂。民和盆地处于半干旱气候区, 主要受构造运动的改造和风化剥蚀, 伴随着流水的切割与溶蚀, 红层基本格局应运而生。在断裂构造带, 流水沿高角度断面或节理切割, 易形成陡峭坡面(丹霞岩壁), 亦可形成深切峡谷(巷谷), 也可形成顶平坡缓的台地, 或顶平四面陡峭的方山, 方山或台地进一步被切割各种各样的奇峰, 有直立型、堡垒型、宝塔型等, 在岩层倾角不大, 岩性又软

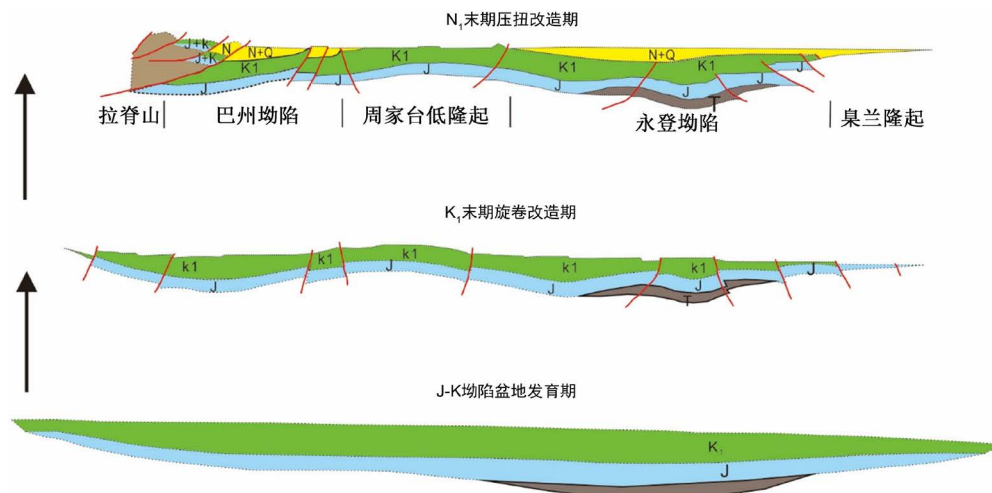


Figure 11. Stratigraphic evolution map (modified from Chen Jun [14])

图 11. 地层演化图(据陈军绘[14])

弱的区域, 多形成起伏和缓的丘陵。红层中的灰岩砾石、含盐类泥质胶结物等碳酸盐物质, 被水溶解后常形成一些溶沟、佛龕状凹陷等。

5. 结论

1) 通过对兰州市红古区的实地考察, 红古区红层地貌分布广泛, 形态类型丰富, 保存完整。大多数成景地层除去松散沉积层、第四纪马兰组(风积黄土)、五泉山组(钙质胶结砂砾石, 砂质土)外, 主要为早白垩世河口群红色相砂岩, 是一套在炎热环境下氧化形成的高价铁离子所导致的红层沉积, 大致经历了红盆发育与成岩、构造抬升、成景塑形等三个重要的阶段。

2) 景观色彩主要以红色为主(棕红、紫红、褐红), 夹杂一些其它颜色。丹霞地貌以彩丘、残丘、宫殿状、塔状、泥乳状、石柱、峰丛为主要呈现方式, 色泽艳丽, 具有很高的欣赏价值和科研价值。区域内交通便利, 山间沟道开阔, 丘陵起伏和缓, 有利于开展以丹霞为主题的旅游活动和科研活动。

3) 区域内沉积岩岩性较软, 抗风化与流水侵蚀能力弱, 水流切割、溶蚀、重力崩塌等地质作用显著, 地貌景观外形多低矮、浑圆状, 条带状, 相当一部分红层地貌处于演化初期。

致 谢

感谢中国地质大学(北京)陈军同志提供测量数据及研究支持。

参考文献

- [1] 彭华, 吴志才. 关于红层特点及分布规律的初步探讨[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(5): 109-113.
- [2] 郭永春, 谢强, 文江泉. 我国红层分布特征及主要工程地质问题[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(6): 67-71.
- [3] 朱诚, 马春梅, 张广胜. 中国典型丹霞地貌成因研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [4] 赵汀, 赵逊, 彭华, 等. 论丹霞地貌[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
- [5] 彭华. 中国南方湿润区红层地貌及相关问题探讨[J]. 地理研究, 2011, 30(10): 1739-1752.
- [6] 王骑虎. 甘肃红层工程地质特性与边坡稳定性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2016.
- [7] 程强, 寇小兵, 黄绍槟, 周永江. 中国红层的分布及地质环境特征[J]. 工程地质学报, 2004, 12(1): 34-40.
- [8] 郭永春. 红层岩土中水的物理化学效应及其工程应用研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [9] 刘子锐, 杨涛, 刘兵昌, 胡妍. 甘肃省兰州市红古区地热资源远景分析[J]. 甘肃科技, 2019, 35(21): 28-31.

- [10] 卫生平, 张虎权, 陈启林, 等. 民和盆地多种能源矿产共存成藏机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 123-125.
- [11] 徐梓洋. 民和盆地侏罗系页岩气形成条件研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2016.
- [12] 曾昭璇, 黄少敏. 中国自然地理地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 139-150.
- [13] 刘兴旺, 袁道阳, 葛伟鹏. 兰州黄河阶地高精度 GPS 测量与构造变形研究[J]. 西北地震学报, 2007, 29(4): 341-346.
- [14] 陈军. 兰州-民和盆地早白垩世河口群沉积特征及古地理[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2014.
- [15] 陈启林, 周洪瑞, 李相博. 蒙甘青地区早白垩世原型盆地特征及其对烃源岩分布的控制[J]. 地球科学进展, 2005, 20(6): 656-663.
- [16] 陈军, 柳永清, 旷红伟, 刘燕学, 彭楠, 许欢, 董超, 刘海, 薛沛霖, 徐加林. 兰州-民和盆地早白垩世河口群沉积特征及盆地分析意义[C]//全国古地理学及沉积学学术会议. 出版地: 出版社, 2012: 2.
- [17] 蔡雄飞, 李长安, 占车生, 顾延生. 民和盆地南缘盐锅峡组的建立及其地质意义[J]. 岩相古地理, 1999, 19(3): 3-5.
- [18] 蔡雄飞, 顾延生, 李长安. 兰州-民和盆地恐龙足印化石形成的地质特征[J]. 地层学杂志, 2005, 29(3): 306-309.
- [19] 蔡雄飞, 李长安, 朱伟元, 王岳明, 顾延生, 唐小明. 兰州-民和盆地红古城组的建立及其地质学意义[J]. 甘肃地质学报, 1998(2): 3-5.
- [20] 蔡雄飞, 李长安, 顾延生. 兰州-民和盆地首次发现恐龙足印化石[J]. 地球学, 1999(2): 3-5.
- [21] 李国荣. 浅析沉积岩颜色与沉积相的关系[J]. 内江科技, 2012, 33(5): 49-68.
- [22] 谢小平, 李姝臻, 鲁宁, 王永栋, 席书娜. 川北广元须家河组一段沉积相与沉积环境演化分析[J]. 沉积学报, 2020(4): 1-17.
- [23] 蔡凯蒂. 甘肃省的三叠系[J]. 甘肃地质学报, 1993(增刊): 50-102.
- [24] 唐玉虎, 戴霜, 黄永波, 等. 兰州-民和盆地河口群沉积相和岩石磁化率——祁连山白垩纪隆升的记录[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 261-271.
- [25] 封凯强. 黄土-泥岩切层滑坡滑带泥岩强度特性及滑坡变形破坏机理研究——以兰州市某滑坡为例[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2019.