第 27 卷　第 6 期
2025 年　12 月

古　地　理　学　报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY（Chinese Edition）

Vol. 27　No. 6
Dec.　2025

文章编号：1671-1505(2025)06-1466-19　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2025.079

柴达木盆地全新世地层格架与岩相古地理*

梁坤先[1]　张金明[1]　宋泰忠[1]　柯　学[2]　杨文军[1]

1 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室，青海省地质调查院，青海西宁 810012
2 中国地质大学（武汉）地质调查研究院，湖北武汉 430074

摘　要　柴达木盆地地处古亚洲构造域和特提斯—喜马拉雅构造域的结合部，具有特殊的盆—山构造格局，盆地内新生代地层非常发育，保存了从新生代早期至第四纪之间连续、完整的沉积记录。明确柴达木盆地全新世地层格架与岩相古地理、分析沉积相演化历史，对柴达木盆地盐类矿产勘探取得新突破具有重要意义。本次通过对盆地 103 个钻孔剖面、4 处露头剖面的岩相及钻孔地层间对比分析基础上，对柴达木盆地全新世沉积相进行综合研究。研究认为：柴达木盆地全新世发育冲积扇、辫状河、风成沙、湖泊三角洲、湖泊 5 种沉积相类型；盆地边缘发育冲积扇相，辫状河相主要分布于盆内平原地区，盆地内小型湖泊主体形成盐湖干盐滩相沉积及局部的盐湖滨、浅湖亚相沉积。因 MIS（Marine Isotope Stage）期气候影响，盆内盐湖逐渐干涸并消亡，干盐滩化学沉积进一步扩大，大型盐类矿产地逐步形成。

关键词　地层划分　岩相古地理　沉积相　全新世　柴达木盆地

第一作者简介　梁坤先，男，1989 年生，工程师，从事区域地质矿产调查。E-mail：471008497@qq.com。

通讯作者简介　张金明，男，1982 年生，教授级高级工程师，从事区域地质矿产调查。E-mail：271883992@qq.com。

中图分类号：P531　　**文献标志码**：A

Holocene stratigraphic framework and lithofacies palaeogeography of Qaidam Basin

LIANG Kunxian[1]　ZHANG Jinming[1]　SONG Taizhong[1]　KE Xue[2]　YANG Wenjun[1]

1 *Key Laboratory of the Northern Qinghai-Tibet Plateau Geological Process and Mineral Resource, Qinghai Geological Survey Institute, Xining* 810012, *China*
2 *Institute of Geological Survey, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan* 430074, *China*

Abstract　The Qaidam Basin is located at the junction of the Paleo-Asian tectonic domain and the Tethyan-Himalayan tectonic domain, characterized by a distinctive basin-mountain structural pattern. The Cenozoic strata in the basin were well developed, preserving a continuous and complete sedimentary record from the early Cenozoic to the Quaternary. Clarifying the Holocene stratigraphic framework and lithofacies-palaeogeography of the Qaidam Basin, and analyzing the history of sedimentary facies evolution, are of great significance for achieving new breakthroughs in salt mineral exploration within the basin. Based on a

* 青海省地质矿产勘查开发局地质勘查项目（编号：青地矿科［2022］32 号，青地矿［2025］9 号）资助。［Financially supported by the Geological Exploration Project of Qinghai Province Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development (Nos. Qingdi Mining Department［2022］32, Qingdi Mine［2025］9)］

收稿日期：2024-08-20　　改回日期：2025-02-18

comparative analysis of lithologic facies and stratigraphic correlations from 103 borehole sections and 4 outcrop sections, a comprehensive study of the Holocene sedimentary facies of the Qaidam Basin was conducted. The results show that five types sedimentary facies developed in Qaidam Basin: alluvial fan, braided river, eolian sand, lacustrine delta and lake. The alluvial-fan facies developed along the basin margins, while the braided-river facies were mainly distributed across the intrabasin plains. Small lakes within the basin primarily formed salt-lake dry-flat deposits, accompanied locally by shoreline and shallow-lake subfacies. Influenced by the climatic variations of the Marine Isotope Stage (MIS) periods, the intrabasin salt lakes gradually dried up and disappeared. Consequently, the chemical deposition within the dry salt flat expanded further, leading to the progressive formation of large-scale evaporite (salt) deposits.

Key words　stratigraphic division, lithofacies palaeogeography, sedimentary facies, Holocene, Qaidam Basin

About the first author　LIANG Kunxian, born in 1989, is an engineer. He is mainly engaged in regional geology and mineral resources survey. E-mail: 471008497@qq.com.

About the corresponding author　ZHANG Jinming, born in 1982, is a professor-level senior engineer. He is mainly engaged in regional geology and mineral resources survey. E-mail: 271883992@qq.com.

被誉为“聚宝盆”之称的柴达木盆地，不仅是孕育油气资源的大型盆地，也是中国盐湖盐类资源最为丰富的盆地。现已发现并探明储量和资源量的矿产有 12 种，氯化钾、氯化镁和氯化锂等资源储量居全国首位，其储有的盐湖资源在保障中国粮食安全、支撑新能源及新材料产业发展中处于重要的战略地位。随着新一轮找矿突破战略行动的实施，以及习近平总书记对青海省“加快建设世界级盐湖产业基地”的要求，近年来针对柴达木盆地盐类资源开发、勘查持续加大。这对柴达木盆地盐矿资源的成矿地质背景的研究提出了更高要求，如何更好的实现柴达木盆地盐类资源的找矿突破，成为了众多学者研究的热点，不同学者从不同尺度、不同内容进行了分析研究。潘彤等（2023）围绕柴达木盆地开展了盐湖黏土中锂、铷、铯超常富集及其开发潜力分析，李建森等（2022）进行了柴达木盆地盐湖 K、B、Li 资源的成矿地球化学系统研究，韩春梅等（2023）探讨了盐湖卤水型锂矿源汇过程及流域水文地貌演化与成矿；崔子豪等（2023）就柴达木盆地别勒滩地区深部卤水储集层空间分布特征进行了探究，王冀洺等（2023）针对柴西狮子沟地区深层富钾卤水成钾物质来源进行了分析，高春亮等（2015）进行了大柴旦地区盐湖化学沉积特征及其控制因素研究。整体而言，以往各类研究更注重于早期古近纪—新近纪盐类矿产的成矿作用及该期岩性岩相的控矿地质条件研究，而对第四纪岩相与盐类的控矿研究相对较少，此外将柴达木全盆地作为一个整体的岩相古地理研究程度较低，沉积相划分较粗。潘彤等（2024）在柴达木盆地盐类矿产成矿单元划分、盐类及地下水矿床成矿系列与找矿方向一文中指出，与第四纪沉积作用有关的钾、石盐、镁、锂、硼、天然碱矿床是柴达木盆地主要成矿类型之一，其中全新世的蒸发沉积盐层、石盐层间和岩盐层底部的黏土层是主要控矿层。

全新世作为柴达木盆地最主要的盐类形成时期之一，明确柴达木盆地全新世地层格架与岩相古地理，分析沉积相演化历史，对柴达木盆地盐类矿产勘探取得新突破具有一定的理论和现实意义。本研究在系统梳理前人研究成果基础上，利用普查深孔剖面，同位素年代学、沉积岩石学等方法进行综合研究，初步划分了柴达木盆地全新世地层格架，并结合沉积物的组成与结构构造的研究，明确了沉积相和沉积环境的演化及其与成盐作用的关系。

1　区域地质概况

柴达木盆地位于青藏高原北部，是青藏高原北部最大且沉积巨厚的陆相沉积盆地，其周围被 3 大山系所围限，北部为祁连山系，南部为东昆仑山系，西部为阿尔金山系，具有特殊的盆山分布格局(图 1-a)。

柴达木盆地基底主要由元古代深变质岩和火成岩体、古生代浅变质岩组成。印支运动后，柴达木盆地全面进入陆相盆地发展阶段，在基底之上沉积了巨厚的中、新生界，地层分布严格受盆地构造演化控制，具有明显的分区性，即中生界主要分布于柴北缘，古近系、新近系主要分布于西部，第四系主要分布于东部。古近纪—新近纪地层划分为：始新统路乐河组、上始新统下干柴沟组、渐新统上干柴沟组、中新统下油砂山组、中新统上油砂山组、上新统狮子沟组（张克信等，2010；Ji *et al.*，2017；李莎等，2019）；第四系以湖相为主的地层划分为下更新统阿尔拉组、中更新统尕斯库勒组、上更新统察尔汗组和全新统达布逊组（沈振枢等，1993；潘彤等，2022，2024），主体为 1 套细碎屑岩夹盐类沉积组合，其中，上更新统察尔汗组和全新统达布逊组为盆地内最主要的含盐地层（沈振枢等，1993；潘彤等，2022；张金明等，2025）。

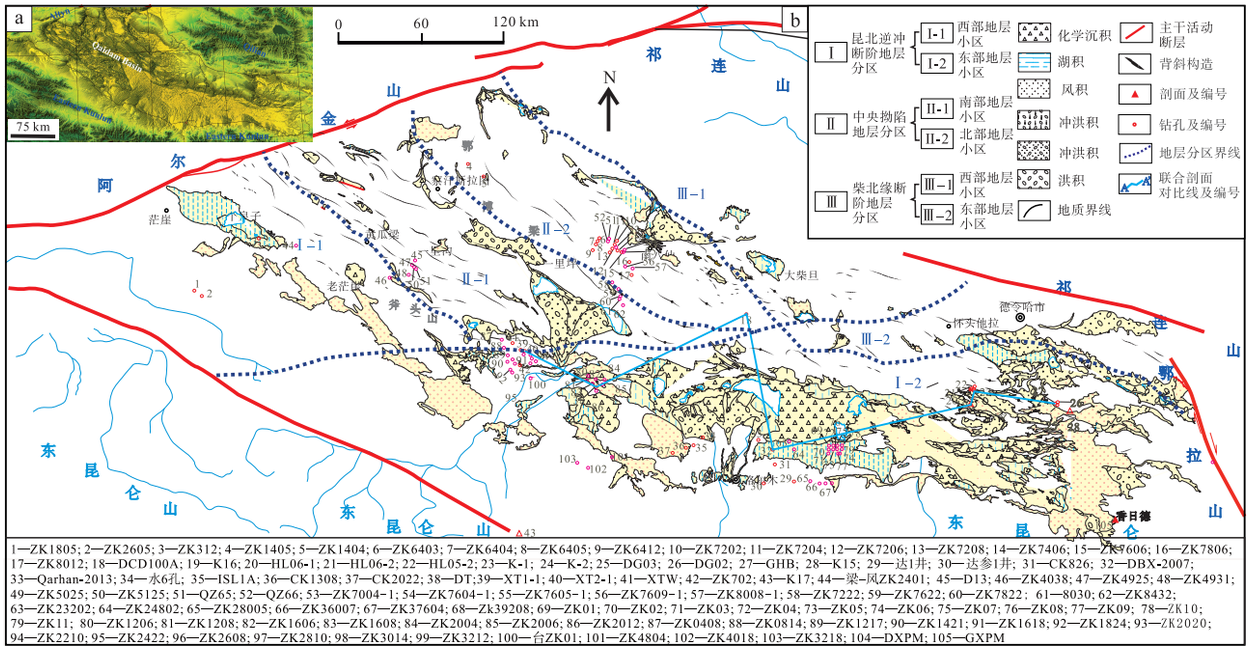
柴达木盆地北以南祁连山—柴北缘逆冲断裂带为界，西与阿尔金走滑断裂带和塔里木盆地相邻，西南、东南分别与东昆仑断裂/东昆仑造山带、鄂拉山断裂/西秦岭造山带相接（图 1-b）。盆地内断裂分为北西向、北东向和北北西向 3 组（戴俊生和曹代勇，2000；余一欣等，2005；付锁堂等，2015）。受昆仑山对盆地方向的推挤和阿尔金断裂的左旋走滑，使盆地整体处于挤压扭张的应力环境，形成了一系列北西西向的褶皱，表现为背斜、向斜构造相间排列，成群成带出现的构造格局（曹国强等，2005；吴光大等，2006）。

2 全新世地层格架

2.1 地层区划

在前人对柴达木盆地第四系区划的基础上（孙镇城和曾学鲁，1992；汤良杰等，2000；张彭熹，2007；陈宣华等，2011；李凤杰等，2012），按构造—地貌单元、沉积成因类型、地层序列、生物组合、沉积环境和盐类矿产成矿单元共 6 条区划原则，通过对控制柴达木第四纪地层时空分布的各因素综合分析，将柴达木盆地第四纪区划为昆北逆冲断阶地层分区（Ⅰ）、中央拗陷地层分区（Ⅱ）、柴北缘断阶地层分区（Ⅲ）共 3 个地层分区。并在系统收集和分析了 3 个地层分区全新世 103 个钻孔剖面和 4 个露头剖面基础上，详细梳理了 3 个分区全新世沉积特征（表 1；图 1-b）。

昆北逆冲断阶地层分区（Ⅰ）：位于柴达木盆地南部，受东昆仑向北逆冲作用影响，形成东昆仑



a—遥感影像图；b—全新世地质简图

图 1 柴达木盆地遥感影像图及全新世地质简图

Fig. 1 Remote sensing image map and Holocene geological sketch map of Qaidam Basin

表 1 柴达木盆地全新世地层剖面(含钻孔)分布

Table 1 Distribution of Holocene stratigraphic section(including boreholes)in Qaidam Basin

图中编号	剖面或钻孔地点与原编号	组名	地质年代依据	Qh 厚度/m	主要岩石组合	优势相	优势亚相	资料来源
1	尕斯库勒湖 ZK1805 钻孔	Qh*d*	地层对比	36.00	石盐—泻盐互层	Ls	dsf	魏新俊等,1993
2	尕斯库勒湖 ZK2605 钻孔		铀系测年	8.04	含粉砂石盐			沈振枢等,1993
3	大浪滩区 ZK312 钻孔		地层对比	14.00	石盐夹黏土			魏新俊等,1993
4	冷湖镇昆特依 ZK1405 钻孔		AMS ^{14}C 测年	2.89	黏土—粉砂—石膏石盐互层		kl	Hou *et al.*, 2021
5	冷湖镇昆特依 ZK1404 钻孔			1.00	钾石盐			中国地质大学(武汉),2016
6	大柴旦镇马海 ZK6403 钻孔		地层对比	10.50	含盐粉砂—含粉砂石盐—粉砂质黏土		dsf	马骁,2017
7	大柴旦镇马海 ZK6404 钻孔			5.00	含盐粉砂—含粉砂石盐			
8	大柴旦镇马海 ZK6405 钻孔			2.20	含石盐黏土			
9	大柴旦镇马海 ZK6412 钻孔			9.55	含粉砂石盐—石盐—含石膏石盐黏土			
10	大柴旦镇马湖 ZK7202 钻孔			16.00	含粉砂石盐—含石膏粉砂质黏土			
11	大柴旦镇马海 ZK7204 钻孔			6.00	泥质石盐—含石盐粉砂			魏新俊等,1993
12	大柴旦镇马海 ZK7206 钻孔			8.00	含泥石盐—含石盐黏土质粉砂			马骁,2017
13	大柴旦镇马海 ZK7208 钻孔			7.00	石盐质粉砂—含粉砂石盐—含石膏黏土			
14	大柴旦镇马海 ZK7406 钻孔			8.00	含粉砂石盐—石盐			
15	大柴旦镇马海 ZK7606 钻孔			14.00	含粉砂石盐—含石膏粉砂质石盐			
16	大柴旦镇马海 ZK7806 钻孔			20.00	含石盐粉砂—粉砂质石盐—粉砂质黏土			
17	大柴旦镇马海 ZK8012 钻孔		AMS ^{14}C 测年	9.40	石盐—粉砂质黏土		kl	沈振枢等,1993
18	大柴旦盐湖 DCD100A 钻孔			45.69	石盐—淤泥			洪荣昌,2018
19	德令哈市托素湖 TSH		光释光	1.25	粉砂—黏土—粉砂质黏土	Lsw	sl	樊启顺等,2010
20	德令哈盆地可鲁克湖 HL06-1 钻孔		AMS ^{14}C 测年	9.28	粉砂	La		He *et al.*, 2016
21	德令哈市可鲁克湖 HL06-2 钻孔			8.50	粉砂			Zhao *et al.*, 2009
22	德令哈市可鲁克湖 HL05-2 钻孔		地层对比	6.88	粉砂			
23	德令哈市可鲁克湖 K-1 钻孔		AMS ^{14}C 测年	5.92	粉砂质黏土—含腐殖质粉砂质黏土			Song *et al.*, 2020
24	德令哈市可鲁克湖 K-2 钻孔			9.27	粉砂质黏土—含腐殖质粉砂质黏土			
25	尕海湖 DG03 钻孔			37.05	黏土质粉砂—粉砂质黏土—淤泥—石膏	Lsw		张西营等,2007
26	尕海湖 DG02 钻孔			35.00	淤泥—含粉砂淤泥—石膏			
27	尕海湖 GHB 钻孔			13.50	粉砂质黏土—石盐—黏土			李双,2011
28	尕海湖 K15		光释光	13.00	粗砂—细砂—黏土		kl	樊启顺等,2010
29	达布逊湖达 1 井钻孔		磁性地层	528.00	石膏—含黏土石盐与石膏—含盐黏土	Ls	dsf	杨藩等,1997
30	达布逊湖达参 1 井钻孔		介形类化石带	46.00	泥岩		sl	杨藩等,1997;朱筱敏等,2003

续表 1

图中编号	剖面或钻孔地点与原编号	组名	地质年代依据	Qh 厚度/m	主要岩石组合	优势相	优势亚相	资料来源
31	察尔汗盐湖 CK826 钻孔	Qh*d*	^{14}C 测年	3.00	钾石盐—含黏土粉砂	Ls	sl	陈克造和 Bowler,1985
32	察尔汗盐湖 DBX-2007 钻孔		AMS ^{14}C 测年	6.00	石盐—黏土质粉砂			Zhang and Liu, 2020
33	察尔汗盐湖 Qarhan-2013 钻孔			3.50	石盐		dsf	李高远,2016
34	察尔汗盐湖水 6 孔		^{14}C 测年	13.55	含粉砂石盐—含石膏的石盐粉砂			沈振枢等,1993
35	察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔		铀系测年	1.20	石盐—含石盐粉砂		sl	魏海成等,2016
36	察尔汗盐湖 CK1308 钻孔		^{14}C 测年	10.00	钾石盐		dsf	陈克造和 Bowler,1985
37	察尔汗盐湖 CK2022 钻孔			15.00	钾石盐			黄麒等,1990
38	东台吉乃尔 DT 钻孔		光释光	13.40	黏土质粉砂	Ld	pd	Ma *et al.*, 2021
39	西台吉乃尔湖 XT1-1 钻孔			7.15	粉砂质黏土—含粉砂石盐	Ls	sl	王懿萱等,2019
40	西台吉乃尔湖 XT2-1 钻孔			7.58	黏土质粉砂—含黏土石盐			
41	西台吉乃尔湖 XTW 钻孔			1.70	黏土—粉砂—含粉砂石盐			Ma *et al.*, 2021
42	一里坪 ZK702 钻孔		AMS ^{14}C 测年	9.70	含粉砂黏土			沈振枢等,1993
43	哈西牙(PM401)		地层对比	22.00	砾石—粗砂	Me	rb	中国地质大学(武汉),2011①
44	小梁山—大风山 ZK2401 钻孔			8.80	粉砂质黏土—石盐	Ls	dsf	江苏长江地质勘查院,2017②
45	察汗斯拉图碱北凹地 D13		光释光	3.39	含钾盐、石盐细砂			陈安东等,2022
46	察汗斯拉图 ZK4038 钻孔			1.10	含石盐粉砂			
47	察汗斯拉图 ZK4925 钻孔			1.14	含黏土粉砂的石盐			山东省鲁南地质工程勘察院,2011③
48	察汗斯拉图 ZK4931 钻孔			0.80	含粉砂石盐			
49	察汗斯拉图 ZK5025 钻孔			0.60	含光卤石石盐的粉砂			
50	察汗斯拉图 ZK5125 钻孔			2.00	含光卤石的粉砂石盐			
51	冷湖镇马海 QZ65 钻孔		地层对比	9.27	含粉砂石盐—含石盐的粉砂黏土			青海省柴达木综合地质勘查大队,2004④
52	冷湖镇马海 QZ66 钻孔			6.57	含粉砂石盐—石盐—含石膏石盐的中细砂—含石膏石盐的黏土			
53	冷湖镇马海 ZK7004-1 钻孔			13.13	含粉砂石盐—含石盐粉砂的黏土—含石盐粉细砂			
54	冷湖镇马海 ZK7604-1 钻孔			12.57	含光卤石粉砂的石盐—含粉砂石盐—粉砂黏土			
55	冷湖镇马海 ZK7605-1 钻孔			13.38	含粉砂石盐—粉砂黏土			
56	冷湖镇马海 ZK7609-1 钻孔			3.95	含光卤石粉砂的石盐—含粉砂石盐—含石膏的黏土			
57	冷湖镇马海 ZK8008-1 钻孔			11.02	含粉砂石盐—含石盐黏土		kl	
58	巴仑马海 ZK7222 钻孔			4.80	含石盐中细砂			青海省柴达木综合地质勘查大队,2003⑤
59	巴仑马海 ZK7622 钻孔			4.40	含石盐的细粉砂			
60	巴仑马海 ZK7822 钻孔			2.00	含石盐的粉砂			
61	巴仑马海 ZK8030 钻孔			1.60	含粉砂石盐			
62	巴仑马海 ZK8432 钻孔			0.80	含石盐砂质黏土		dsf	

续表 1

图中编号	剖面或钻孔地点与原编号	组名	地质年代依据	Qh 厚度/m	主要岩石组合	优势相	优势亚相	资料来源
63	察尔汗盐湖 ZK23202 钻孔	Qh*d*	地层对比	18.63	含粉砂石盐—含黏土石盐—含黏土粉砂—黏土			青海省柴达木综合地质勘查大队,2004④
64	察尔汗盐湖 ZK24802 钻孔			29.15	含粉砂石盐—石盐—含石盐粉砂—细砂		dsf	
65	察尔汗盐湖 ZK28005 钻孔			16.50	含粉砂石盐—石盐—含石膏石盐—粉砂黏土			
66	察尔汗盐湖 ZK36007 钻孔			8.63	含粉砂石盐—含粉砂黏土			
67	察尔汗盐湖 ZK37604 钻孔			10.25	含粉砂石盐—石盐—含淤泥粉砂石盐—淤泥粉砂—石盐粉砂—黏土		sl	
68	察尔汗盐湖 ZK39208 钻孔			7.30	石盐—淤泥黏土—黏土—石盐淤泥—粉砂黏土			
69	察尔汗盐湖 ZK01 钻孔			17.50	含粉砂石盐—含石盐粉砂—黏土	Ls	dsf	青海省柴达木综合地质矿产勘查院,2010⑥
70	察尔汗盐湖 ZK02 钻孔			20.23	含粉砂石盐—含石盐粉砂			
71	察尔汗盐湖 ZK03 钻孔			12.20	含粉砂石盐—含石盐粉砂—黏土粉砂			
72	察尔汗盐湖 ZK04 钻孔			16.90	含粉砂石盐—石盐粉砂—粉砂黏土			
73	察尔汗盐湖 ZK05 钻孔			20.23	含粉砂石盐—石盐—含淤泥石盐—含石盐的黏土粉砂		sl	
74	察尔汗盐湖 ZK06 钻孔			16.76	含粉砂石盐—含淤泥石盐—石盐—含石盐粉砂			
75	察尔汗盐湖 ZK07 钻孔			16.66	含粉砂石盐—石盐—含石盐粉砂		dsf	
76	察尔汗盐湖 ZK08 钻孔			18.66	石盐—含粉砂石盐—含淤泥石盐—含石盐粉砂			
77	察尔汗盐湖 ZK09 钻孔			17.93	含粉砂石盐—含淤泥石盐—黏土粉砂—石盐—含石盐粉砂			
78	察尔汗盐湖 ZK10 钻孔			15.06	含粉砂石盐—含淤泥石盐—石盐—含石盐粉砂			
79	察尔汗盐湖 ZK11 钻孔			19.16	含粉砂石盐—含淤泥石盐—含石盐粉砂—粉砂			
80	东台吉乃尔湖 ZK1206 钻孔			9.85	含石盐黏土—含黏土、粉砂、芒硝的石盐—含粉砂、石盐黏土		sl	青海省地质矿产勘查院,2002⑦
81	东台吉乃尔湖 ZK1208 钻孔			9.47	黏土—含石盐粉砂黏土			
82	东台吉乃尔湖 ZK1208 钻孔			8.93	含芒硝的石盐黏土—含粉砂的芒硝石盐—含淤泥黏土—芒硝石盐—石盐淤泥			
83	东台吉乃尔湖 ZK1608 钻孔			9.20	含淤泥石盐的黏土—黏土			
84	东台吉乃尔湖 ZK1210 钻孔			4.55	含粉砂石盐—黏土石盐			
85	东台吉乃尔湖 ZK2006 钻孔			8.49	石盐—含芒硝石盐—含石盐粉砂—含粉砂石盐—含石盐的砂质黏土			
86	东台吉乃尔湖 ZK2012 钻孔			8.75	黏土—粉砂黏土—黏土淤泥	Ld	pd	
87	西台吉乃尔湖 ZK0408 钻孔			0.90	含石盐粉细砂	Ls	kl	
88	西台吉乃尔湖 ZK0814 钻孔			1.00	粉砂质石盐—含粉砂石盐		dsf	
89	西台吉乃尔湖 ZK1217 钻孔			1.00	含石盐黏土		sl	
90	西台吉乃尔湖 ZK1421 钻孔			2.93	砂质黏土	Ld	dm	
91	西台吉乃尔湖 ZK1618 钻孔			3.50	砂质粘土			

续表 1

图中编号	剖面或钻孔地点与原编号	组名	地质年代依据	Qh 厚度/m	主要岩石组合	优势相	优势亚相	资料来源
92	西台吉乃尔湖 ZK1824 钻孔	Qh*d*	地层对比	5.40	砂质黏土	Ld	dm	青海省地质矿产勘查院,2002⑦
93	西台吉乃尔湖 ZK2020 钻孔			6.00	砂质黏土—含粉砂的淤泥			
94	西台吉乃尔湖 ZK2210 钻孔			3.00	黏土		pd	
95	西台吉乃尔湖 ZK2422 钻孔			7.00	砂质黏土		dm	
96	西台吉乃尔湖 ZK2608 钻孔			2.40	含芒硝黏土	Ls	sl	
97	西台吉乃尔湖 ZK2810 钻孔			3.60	砂质黏土	Ld	pd	
98	西台吉乃尔湖 ZK3014 钻孔			7.10	黏土质粉砂—黏土—含淤泥的砂质黏土		dm	
99	西台吉乃尔湖 ZK3212 钻孔			6.10	黏土		pd	
100	西台吉乃尔湖台 ZK01 钻孔			20.01	粉砂黏土—含粉砂粘黏土	Ld	dm	青海省柴达木综合地质矿产勘查院,2017⑧
101	中灶火 ZK4804 钻孔	Qh*d*	地层对比	28.26	含光卤石粉砂的石盐—含石盐细中砂	Ls	kl	青海省柴达木综合地质勘查大队,1992⑨
102	中灶火 ZK4018 钻孔			18.29	含黏土的石盐粉砂—细砂—细中砂	Af	fr	
103	中灶火 ZK3218 钻孔			13.79	含石盐的黏土粉砂—细粉砂			
104	都兰县西沙滩村察汗乌苏河剖面		光释光		风成砂	De		本次实测
105	郭勒木德镇小干沟剖面				砾石	Me		
106	都兰县察汗乌苏镇铁奎河剖面		光释光			Af	rb	青海省地质调查院,2012⑩
107	格尔木市那陵格勒河剖面		光释光	1.20	砂岩—砾岩	De		

①中国地质大学（武汉）地质调查研究院. 2011. 1∶5 万区域地质调查报告.
②江苏长江地质勘查院. 2017. 青海省茫崖行委小梁山—大风山地区深层卤水钾盐矿预查报告.
③山东省鲁南地质工程勘察院. 2011. 青海省冷湖镇察汗斯拉图矿区碱北凹地钾矿详查报告.
④青海省柴达木综合地质勘查大队. 2004. 青海省冷湖镇马海钾矿区北部矿段详查报告.
⑤青海省柴达木综合地质勘查大队. 2003. 青海省大柴旦行委巴仑马海钾矿区潜卤水矿详查报告.
⑥青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2010. 青海省格尔木市察尔汗盐湖察尔汗矿区钾镁盐矿资源储量核实报告.
⑦青海省地质矿产勘查院. 2002. 青海省冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩钾矿床详查报告.
⑧青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2017. 青海省格尔木市一里坪—霍布逊深层卤水钾盐资源调查评价报告.
⑨青海省柴达木综合地质勘查大队. 1992. 青海省格尔木市中灶火北钾锂硼综合普查报告.
⑩青海省地质调查院. 2012. 青海省都兰县香日德地区 1∶5 万区域地质矿产调查报告.

山北缘山前的构造逆冲压陷次级盆地群，代表性次级盆地或湖盆有尕斯库勒湖、茫崖湖、达布逊湖、霍布逊湖。区内构造不发育，可见少量纵弯背斜。地层以那棱格勒河洪冲积、西沙滩风积及尕斯库勒湖周围湖沼沉积为主。

中央坳陷地层分区（Ⅱ）：位于柴达木盆地中西部，与昆北逆冲断阶地层分区以油砂山—斧头山一线褶皱隆起相隔，是盆地西部中央形成的构造挤压凹陷次级盆地群。代表性次级盆地或湖盆有大浪滩、察汗斯拉图、一里坪、东台吉乃尔湖、西台吉乃尔湖及昆特依、马海。区内背斜、断裂密集发育，一里坪一带断层多为树枝状分叉、帚状组合方式，背斜多呈右列雁行式展布，褶皱带成排平行排列，祁南一带背斜多呈反 S 形，背斜成排成带分布。地层以一里沟、小梁山地区湖沼沉积和化学沉积、湖泊周缘的湖积及盆地北缘阶地周围的风积为主要出露地层。

柴北缘断阶地层分区（Ⅲ）：位于盆地北部，北界为南祁连山，南界为柴北缘断裂—锡铁山—埃姆尼克山。受南祁连向南逆冲作用影响，形成南祁连山缘的构造逆冲压陷次级盆地群。代表性次级盆地或湖盆有花海子、大柴旦湖、小柴旦湖。靠近东部地区是断裂、褶皱发育比较集中的地带，断裂走向以 NW、NWW 向为主，且断裂走向具有尾部转折的特征。以大柴旦地区化学沉积、德令哈盆地风积及尕海湖和托素湖周围湖相沉积为主要沉积地层。

2.2　典型剖面多重地层划分与相分析

2.2.1　柴北缘断阶地层划分与相分析

选取柴东尕海湖 GHB 钻孔地层剖面、柴东大柴旦盐湖 DCD100A 钻孔地层剖面作为柴北缘断阶地层区典型剖面（图 2-a，2-b；图 3）。

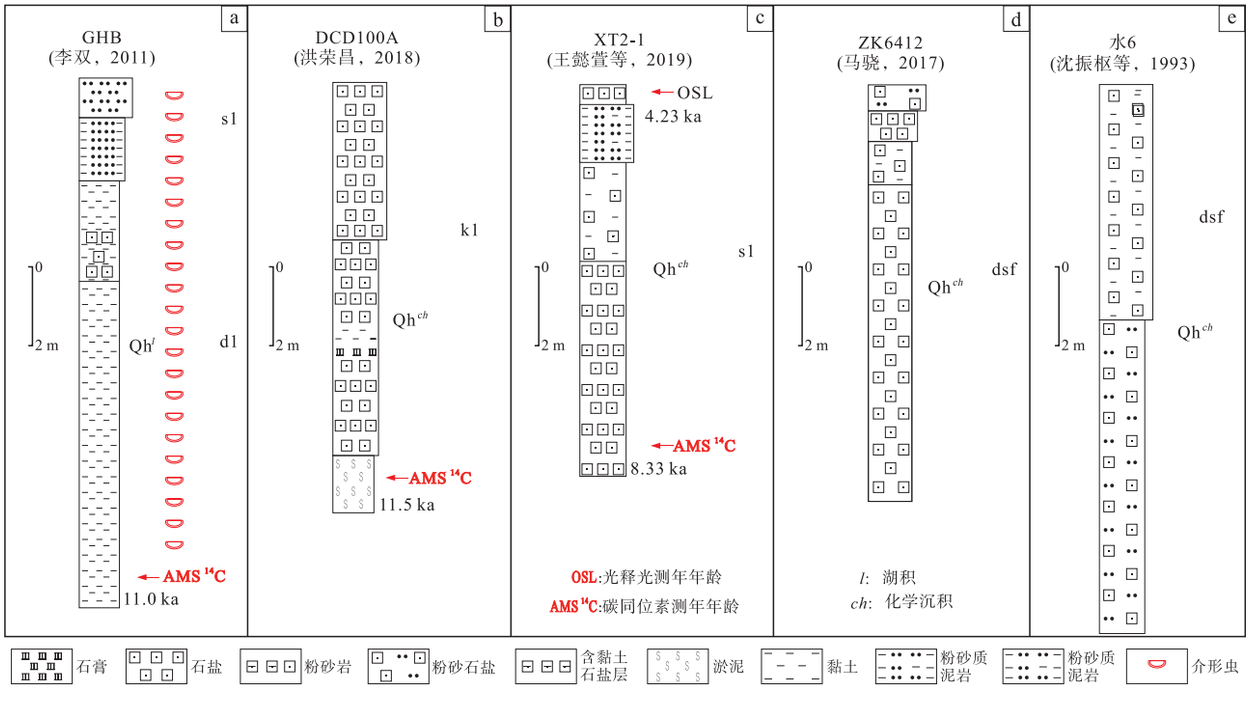
1）柴东大柴旦盐湖 DCD100A 钻孔地层剖面

该剖面位于大柴旦盐湖沉积中心，孔深 100.3 m，钻孔揭露全新统、晚更新世，全新世地层主要岩性为石盐为主的蒸发盐类沉积层夹淤泥。在 4 层中获得 AMS^{14}C 测年年龄为 11.50 ka。

1 层：顶部为坚硬盐壳，以下为松散盐晶（3.76 m）

2 层：石盐与黄色淤泥互层（0.24 m）

3 层：石盐层，以细粒盐晶为主，局部夹泥质石膏层（4.53 m）



a—柴北缘断阶地层分区东尕海湖 GHB 钻孔；b—柴北缘断阶地层分区柴东大柴旦盐湖 DCD100A 钻孔；c—中央坳陷地层分区台吉乃尔 XT2-1 钻孔；d—中央坳陷地层分区马海 ZK6412 钻孔；e—昆北逆冲带地层分区尕斯库勒湖水 6 钻孔

图 2　柴达木盆地全新统柱状剖面沉积序列、地层划分及相分析

Fig. 2　Sedimentary sequence, stratigraphic division and facies analysis of the Holocene in Qaidam Basin

4 层：黑色淤泥层，分布有植物枝条（0.74 m）

整合

上更新统化学沉积石盐层（Qp_3^{ch}）

2）东尕海湖 GHB 钻孔地层剖面

该剖面位于德令哈尕海湖，孔深 14.0 m，钻孔揭露均为全新统，主要岩性为粉砂质黏土、青灰色黏土，夹中等颗粒蒸发盐。在 4 层中获得 AMS^{14}C测年年龄为 11.00 ka。

1 层：以粉砂为主，纤维状有机质残体较多，多卤冲卵及碎的介形虫壳体（0.9 m）

2 层：粉砂质黏土，颜色较上层偏浅，呈深灰色—灰色。夹杂中等颗粒蒸发盐，沉积物仍以鲕状或纤维状胶结物为主（1.42 m）

3 层：青灰色黏土，质地较均匀，夹团块状大颗粒蒸发盐，局部可见截状豌豆蚬（11.25 m）

4 层：粉砂岩，颜色较深，含滨湖相沉积物（0.43 m）

整合

上更新统：化学沉积石盐层（Qp_3^{ch}）

上述 2 条典型地层剖面岩性组合特征反映，柴北缘断阶地层区在尕海、托素湖等地全新统沉积相类型主要为湖泊相。GHB 钻孔全新统以黏土、粉砂质黏土为主，中上部出现少量石盐晶粒，顶部以粉砂为主，含有机质残体，反映了盐湖滨浅湖亚相沉积环境。柴北缘断阶地层区总体上为北部宗务隆断裂和南部赛什腾山—锡铁山断裂控制形成的断陷盆地，柴东尕海湖、托素湖等地区属德令哈盆地的汇水中心，沉积相为湖泊相，由沉降中心向外依次为浅湖亚相、滨湖亚相。靠近北部宗务隆断裂和南部赛什腾山—锡铁山断裂为山前冲积扇分布区。该区发育的巴音郭勒河及其支流为山前辫状河相。

2.2.2 中央坳陷地层划分与相分析

选取台吉乃尔 XT2-1 钻孔地层剖面、马海 ZK6412 钻孔地层剖面作为中央坳陷地层区典型剖面（图 2-c，2-d）。

1）台吉乃尔 XT2-1 钻孔地层剖面

该剖面位于西台吉乃尔盐湖，孔深 17.0 m，钻孔揭露了全新统、上更新统。其中全新统地层厚度约 10 m，主要岩性为黄褐色粉砂质黏土、青灰色含粉砂质黏土的石盐及灰白色石盐层。在 1 层、4 层中分别获得热释光年龄为 4.23 ka、8.33 ka。

1 层：白色盐壳（0.5 m）

2 层：黄褐色粉砂质黏土层（1.5 m）

3 层：青灰色含粉砂质黏土的石盐层。其上部 1.5 m 以中粗粒石盐为主，下部 1 m 以细粒石盐为主（2.5 m）

4 层：灰白色石盐层，其上部 1 m 以灰白色大粒石盐为主，下部 4.5 m 以灰白色含少量粉砂质黏土的中粗粒石盐为主（5.5 m）

整合

上更新统：化学沉积石盐层（Qp_3^{ch}）

2）马海 ZK6412 钻孔地层剖面

该剖面位于马海盐湖地区，孔深 303.92 m，钻孔揭露了全新统、上更新统、中新统等地层。其中全新统地层厚度约 9.55 m，主要岩性为浅黄色含粉砂石盐、白色-灰白色石盐、含泥石盐。

1 层：浅黄色含粉砂石盐，成分石盐含量 80%，粉砂含量小于 20%，含少量的白钠镁矾（0.72 m）

2 层：白色、灰白色石盐，成分石盐含量大于 90%，不等粒结构，块状构造，自形晶，含少量白钠镁矾（0.70 m）

3 层：灰白色含泥石盐，成分石盐含量大于 70%，半自形晶，中粒结构淤泥含量小于 25%，芒硝含量 5%，含少量粉砂（1.11 m）

4 层：灰白色、白色石盐，成分石盐含量大于 85%，自形晶，细—中粒结构，含少量黏土（7.02 m）

整合

上更新统：化学沉积石盐层（Qp_3^{ch}）

根据 2 条典型地层剖面岩性组合特征反映，中央坳陷地层区在台吉、马海等地广布盐类沉积。其中台吉乃尔 XT2-1 钻孔地层剖面反映了盐湖浅湖—滨湖亚相的沉积环境，马海 ZK7204 钻孔地层剖面反映了盐湖干盐滩的沉积环境。该区作为祁南逆冲带、昆北逆冲带控制形成的坳陷盆地，沉积相总体以湖泊相干盐滩为主，盆地中心洼地和靠近山地边缘由于山前辫状河输入保留小面积盐湖滨湖亚相。

2.2.3 昆北逆冲断阶地层分区划分与相分析

选取察尔汗水 6 钻孔地层剖面、都兰县西沙滩村乌苏河第四纪阶地实测剖面、青海省格尔木市那陵格勒河第四纪阶地实测剖面作为昆北逆冲带地层

区典型剖面(图 2-e)。

1）察尔汗水 6 钻孔地层剖面

该剖面位于达布逊湖以西之干盐滩上，孔深 910.10 m，钻孔揭露了全新统、上更新统、中新统，至上更新统顶部终孔。其中揭露全新统地层厚度约 13.55 m，主要岩性为褐黄色含粉砂石盐岩。

1 层：褐黄色含粉砂石盐夹灰白色、白色石盐(6.00 m)

2 层：褐黄色含石膏的石盐粉砂（0.24 m）

3 层：褐黄色含粉砂石盐（7.21 m）

整合

上更新统：化学沉积石盐层（Qp_3^{ch}）

2）青海省格尔木市那陵格勒河第四纪阶地实测剖面（图 4-a）

该剖面野外露头中自上而下可分为 15 层，揭露岩性主要为全新统冲积、冲洪积物，主体由Ⅰ、Ⅱ级阶地组成。岩石类型有含砾砂土、含砾粉砂，发育透镜状砂砾石层，局部发育大型交错层理。在 4 层、13 层中分别获得热释光年龄为 1.2 ka、4.3 ka。

全新统：冲积（Qh^{al}）含粗砾砂砾石层

侵蚀

全新统冲洪积（Qh^{pal}）Ⅰ级阶地：阶砍高 3.2 m，阶地面 31 m，为堆积阶地，全新统冲洪积砂砾石层，为那陵格勒河Ⅰ级阶地。阶砍由下至上分述如下：

1 层：灰黄色砂土（36 cm）

2 层：砂砾石层（6 cm）

3 层：含砾砂土，发育透镜状砂砾石层。砂砾石层厚 3~5 cm，延伸大于 2 m（29 cm）

4 层：灰黄色细砂土层，该层发育水平层理及 2~3 mm 的黏土层。下部为水平层理，上部为板状交错层理。板理产状 230°∠30°，板状层上陡下缓，判断水流方向 230°方向

5 层：含粗砂细砂层，水平层理发育（3 cm）

6 层：砂砾石层，平行层理发育，发育细粉砂透镜（82 cm）

7 层：含砾粉砂，下部发育交错层理，上部为水平层理（13 cm）

8 层：发育槽状层理及槽状交错层理（6 cm）

9 层：含砾中砂，砾石呈薄片状，具叠瓦状定向排列（16 cm）

10 层：中—粗砂层，发育大型交错层理，层理明显，局部略见槽状层理（47 cm）

11 层：砂砾石层，砾石及砂均互相呈透镜状出露（48 cm）

12 层：砂砾石层（22 cm）

掩盖

全新统冲洪积（Qh^{pal}）Ⅱ级阶地：阶砍高 24.2 m，阶面宽大于 50 m。由下至上分层如下：

13 层：中—粗砂层，砂砾石疏松未胶结（30 cm）

14 层：砂砾石层，砂砾石疏松未胶结（24.7 m）

15 层：砂砾石层，砾石为半胶结，胶结物为钙质（6 m）

掩盖

上更新统：冲洪积（Qp_3^{pal}）

3）都兰县西沙滩村乌苏河第四纪阶地实测剖面（图 4-c，4-d）

该剖面野外露头由底到顶分为 11 层，揭露岩性为全新统风积，由细粉砂泥和风成沙交替构成，粉砂泥发育沙纹层理及水平层理，为河漫滩沉积物，风成沙发育大型楔状交错层理。在 11 层、10 层、8 层、1 层中分别获得热释光年龄为 5.22 ka、3.797 ka、3.298 ka、0.466 ka。

1 层：风成沙，发育大型楔状交错层理(11.00~15.00 m)

2 层：土黄色钙质泥与细粉砂互层，发育沙纹层理及水平层理，为河漫滩沉积物（1.50~2.20 m）

3 层：土黄色钙质泥夹细粉砂，下部钙质泥呈条带状。发育水平层理（0.35 m）。

4 层：土黄色钙质泥，发育小型沙纹层理(0.20 m)。

5 层：土黄色钙质泥与细粉砂互层，发育沙纹层理及水平层理，为河漫滩沉积物（0.25 m）

6 层：风成沙，呈透镜体，发育大型楔状交错层理（1.00 m）

7 层：土黄色含钙质泥夹粉砂条带（1.00 m）

8 层：风成沙，夹含钙质泥条带，发育大型楔状交错层理（1.80 m）

9 层：土黄色含泥细粉砂（0.50 m）

10 层：风成沙，发育大型楔状交错层理(1.00 m)

11 层：土黄色含细粉砂泥（0.80 m）

根据 3 条典型地层剖面岩性组合特征反映，昆北逆冲带地层区在尕斯库勒湖、达布逊湖、茫崖湖等全新世多为干盐滩及盐泥坪沉积，察尔汗水 6 钻孔地层剖面反映了盐湖干盐滩相的沉积环境。沿茫崖、乌图美仁、格尔木、都兰等盆地边缘为冲积扇相，那陵格勒河第四系阶地实测剖面反映了为 1 套山麓磨拉石快速堆积的冲积扇相沉积。在盆地东部和西南部风成相较为发育，广泛形成了风成沙地貌，反映了盆地全新世气候干旱化的特点。

2.3 联合剖面对比与地层格架

通过盆地不同相区剖面年代—岩石地层对比研究，厘定了柴达木盆地全新世年代—岩石地层序列及地层格架，盆地全新世地层沉积类型按成因类型划分为洪积、冲积、风积、湖积、化学沉积等。从盆地的各沉积中心向盆地边部，由洪积、冲积逐渐过渡为湖积和湖泊化学沉积(图 3)。

2.3.1 洪积

分布于东昆仑西段山前的茫崖、北祁连山前的冷湖、德令哈等地区，地貌上构成山前大型洪冲积扇及山前倾斜平原，由砾石及粗砂组成，砾石成分与物源有关，较为复杂，磨圆度一般，为次棱角状，具有一定的分选性，呈明显洪积扇地貌，经后期改造成大片戈壁滩，在沟口及沟谷地带，多布于阶地之上(图 4-a)。

2.3.2 冲积、洪冲积

大量分布于那陵格勒河、格尔木河及马海、尕海一带，为河流沉积产物，地貌上组成了山前及山间冲积平原。物质成分为砾石和粗砂，少量细砂夹泥质粉砂。沉积物呈层状，具水平层理，部分细砂层中呈现出清晰的平行层理及交错层理的构造形迹。局部可观察到较为明显的粒序层理，由下到上砂砾石粒径逐渐变细，其反映了水动力由强逐渐变弱的沉积特征，后期又有风成沙覆盖，如此循环反复沉积，形成厚层的砂砾石层，在不同层位中砾石与砂的含量比例有显著变化。在一定程度上，全新世冲积物的分布，在平面上表现出了比较明显的独立分割形态，这也体现出盆地全新世大小河流交错发育，互相切割的格局(图 4-b，4-c)。

2.3.3 风积

盆地风积在茫崖—甘森—台吉乃尔湖—达布逊

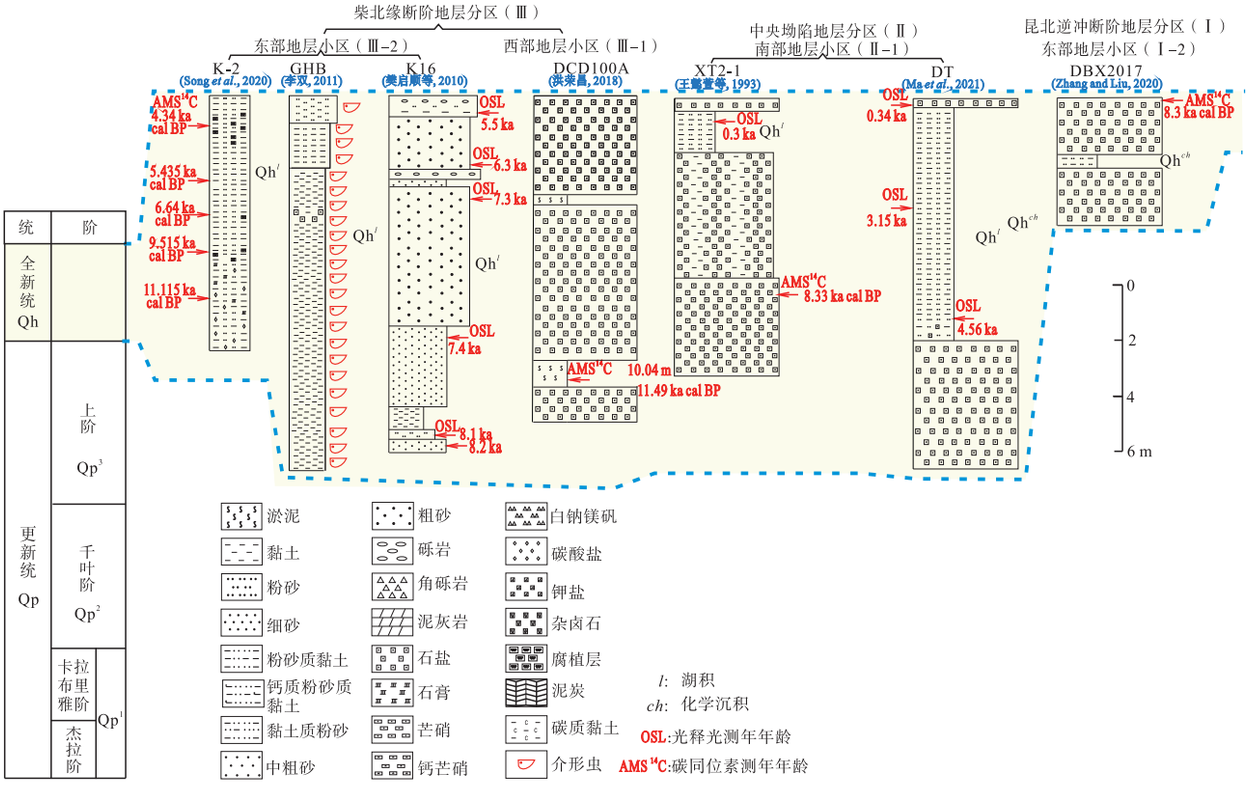
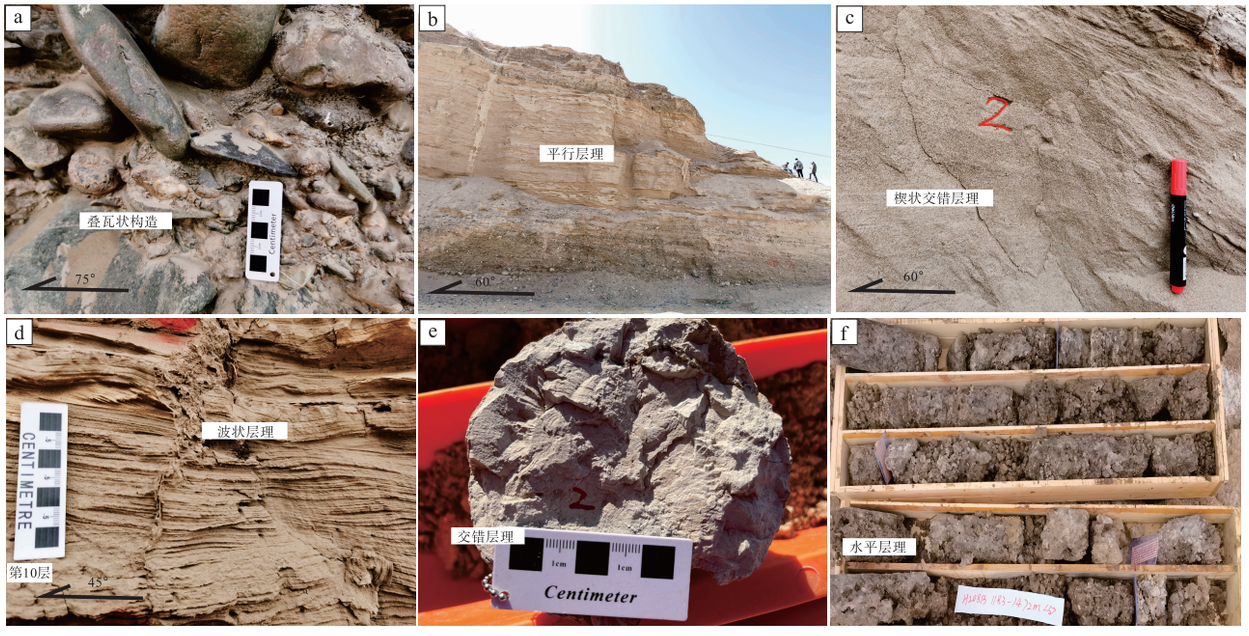


图 3 柴达木盆地全新世联合柱状剖面图

Fig. 3 Holocene joint column profile of Qaidam Basin



a—砾石层，格尔木市那陵格勒河剖面 9 层；b—含砾粗砂夹细砂透镜，郭勒木德镇小干沟剖面阶地；c—粉砂与细砂互层，都兰县西沙滩村察汗乌苏河剖面 10 层；d—细砂层，都兰县西沙滩村察汗乌苏河剖面 5 层；e—淤泥层，DCD100A 钻孔 2 层；f—石盐层，察尔汗水 6 钻孔 1 层

图 4　柴达木盆地全新世典型沉积层和沉积构造

Fig. 4　Typical Holocene sedimentary layers and sedimentary structures in Qaidam Basin

湖一线以东地区广泛发育，在盆地西南至东南边缘山前地带形成 1 条断续分布的沙带。风积地貌多样，包括新月形沙丘及沙丘链、线状沙丘、格状沙丘、梁窝状沙丘、灌丛沙堆，零散分布于戈壁、盐湖、盐土平原呈现出交错分布的地貌景观。风积主要由分选、磨圆好的细粒石英沙—粗粉沙组成，发育风成大型高角度板状交错层理、楔状交错层理，层系厚度巨大(图 4-d)。

2.3.4　湖积

盆地湖积主要在霍布逊湖至夏日果勒、达布逊湖、尕海、冷湖及中灶火等湖积平原中较为分布。湖积地貌与现存的湖泊分布一致，主要为三湖平原，其起伏很小，组成物质较细，植被稀少，发育有风沙堆积。湖积物以灰色、灰黑色、黄色黏土粉砂、粉砂黏土和淤泥为主，局部为含石膏、方解石的粉砂质黏土及有机质残体。在尕海湖沉积中见有介形类壳体（李双，2011)(图 4-e)。

2.3.5　化学沉积

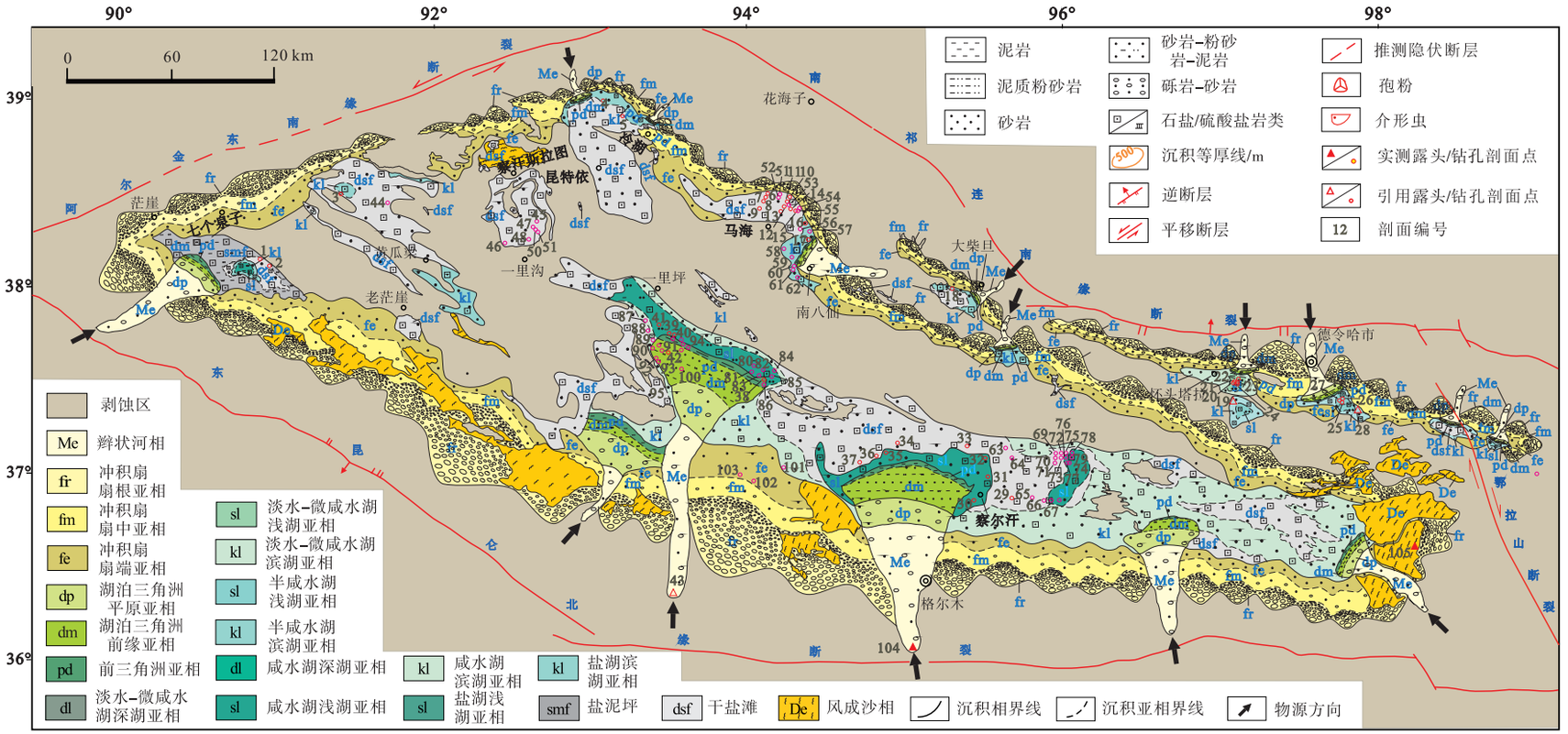
分布于大浪滩、尕斯库勒湖、芒崖湖、别勒滩、达布逊、甘森湖、大柴旦湖等盐土平原。地表出露以别勒滩、达布逊较好，盐壳地、干盐滩较为发育。沉积组成主要为下部和顶部的石盐层夹中部黏土质粉砂和粉砂质黏土，局部可见芒硝—碳酸盐黏土互层（马妮娜等，2011)。在大浪滩地区、昆特依和马海地区均形成了钾盐矿床（沈振枢等，1993；魏新俊等，1993)，其余地区地表大部分为盐渍化的岩石碎片、黏土粉砂组成的硬盐壳掩盖(图 4-f)。

3　全新世岩相古地理

通过对钻孔、剖面中岩石的颜色、结构、构造、成分、含矿性及动植物化石等研究，柴达木盆地全新世沉积相类型有冲积扇相、辫状河相、风成沙相、湖泊三角洲相、湖泊相 5 类沉积相和 20 类沉积亚相(图 5)。

3.1　沉积相与亚相类型及特征

1）冲积扇相：冲积扇发育于柴达木盆地周缘山前，形成环绕盆地的冲积扇相带。冲积扇相可进一步划分为扇根、扇中、扇端亚相(图 6-a)。盆地西南部的冲积扇，其蚀源区为祁曼塔格山。盆地西北部的冲积扇蚀源区为阿尔金山，东北部冲积扇的碎屑物质来源于祁连山，砾石主体为砂岩、凝灰岩、板岩、石灰岩等。东南部冲积扇物源来自东昆



1—ZK1805; 2—ZK2605; 3—ZK312; 4—ZK1405; 5—ZK1404; 6—ZK6403; 7—ZK6404; 8—ZK6405; 9—ZK6412; 10—ZK7202; 11—ZK7204; 12—ZK7206; 13—ZK7208; 14—ZK7406; 15—ZK7606; 16—ZK7806; 17—ZK8012; 18—DCD100A; 19—K16; 20—HL06-1; 21—HL06-2; 22—HL05-2; 23—K-1; 24—K-2; 25—DG03; 26—DG02; 27—GHB; 28—K15; 29—达1井; 30—达参1井; 31—CK826; 32—DBX-2007; 33—Qarhan-2013; 34—水6孔; 35—ISL1A; 36—CK1308; 37—CK2022; 38—DT;39—XT1-1; 40—XT2-1; 41—XTW; 42—ZK702; 43—K17; 44—梁-风ZK2401; 45—D13; 46—ZK4038; 47—ZK4925; 48—ZK4931; 49—ZK5025; 50—ZK5125; 51—QZ65; 52—QZ66; 53—ZK7004-1; 54—ZK7604-1; 55—ZK7605-1; 56—ZK7609-1; 57—ZK8008-1; 58—ZK7222; 59—ZK7622; 60—ZK7822; 61—8030; 62—ZK8432; 63—ZK23202; 64—ZK24802; 65—ZK28005; 66—ZK36007; 67—ZK37604; 68—Zk39208; 69—ZK01; 70—ZK02; 71—ZK03; 72—ZK04; 73—ZK05; 74—ZK06; 75—ZK07; 76—ZK08; 77—ZK09; 78—ZK10; 79—ZK11; 80—ZK1206; 81—ZK1208; 82—ZK1606; 83—ZK1608; 84—ZK2004; 85—ZK2006; 86—ZK2012; 87—ZK0408; 88—ZK0814; 89—ZK1217; 90—ZK1421; 91—ZK1618; 92—ZK1824; 93—ZK2020; 94—ZK2210; 95—ZK2422; 96—ZK2608; 97—ZK2810; 98—ZK3014; 99—ZK3212; 100—台ZK01; 101—ZK4804; 102—ZK4018; 103—ZK3218; 104—DXPM; 105—GXPM

图 5　柴达木盆地全新世岩相古地理图

Fig. 5　Holocene lithofacies paleogeographic map of Qaidam Basin

仑山，砾石主体为火山岩，以凝灰岩为主。盆地内扇根亚相与扇中亚相交替出现，偶见扇端亚相。

2）辫状河相：盆地周缘全新世辫状河相十分发育，主体沿香日德—诺木洪—格尔木—乌图美仁—茫崖一线和冷湖—马海—大小柴旦—怀头他拉—德令哈一线展布。辫状河谷内有多条合而又分、分而又合的河道，平面上形如“辫子状”。岩性为灰黄色中—薄层砾岩与中—薄层粗砂岩互层，偶夹薄层泥岩。砾石次圆—磨圆状、颗粒分选差、砂质充填，砾石成分复杂。可见大、中型槽状交错层理、板状交错层理及平行层理，以及各种小型的交错层理和冲刷—充填构造等(图 6-b)。

3）风成沙相：在达布逊湖、都兰地区分布较为集中，盆地边缘呈零散状分布，在东昆仑山的山前洪积扇与戈壁交错出现。在多种风成地貌中，以风蚀作用形成的雅丹和风积作用形成的沙丘为代表，两者连续分布，其中风成沙丘以新月形沙丘、线性沙丘、沙丘链和沙垄为主，较大的复合型沙丘链分布面积很小，雅丹地貌呈带状分布，长垄状分布。风成沙由细沙、粉沙及微沙组成，局部可见低角度楔状交错层理、平行层理。据盆地内沙丘运移方向，北西—南东盛行风是控制风成地貌形态的主要地质营力(图 6-c)。

4）湖泊三角洲相：分布于昆台湖、大小柴旦湖、怀头塔拉、尕海、达布逊湖、东台吉乃尔河等地区。是辫状河相将陡坡或较缓坡的碎屑物质推进到滨浅湖地区形成的扇形堆积体，沉积层序以向上变细变薄的正粒序为主。由于受河流和湖水两种水动力作用的影响，各种层理和层面构造十分发育，以槽状交错层理、平行层理、波状层理、斜层理、透镜状层理及各种形态的波痕构造。分为湖泊三角洲平原、湖泊三角洲前缘、前三角洲 3 个亚相(图 6-d)。

三角洲平原亚相：主要分布在阿尔金山及昆仑山前缘，台吉、格尔木、诺木洪等地区分布面积较大。以砾岩、砂砾岩、砂岩为主，顶部可见薄层粉砂岩。底面与泥岩呈突变接触，横向延伸稳定。具明显的冲刷凹槽，其中砾岩、砂砾岩发育有大量的大中型槽状交错层理、大型板状层理、楔状交错层理和平行层理，具自下而上有含砾岩、粗砂至粉砂岩变化的正粒序。

三角洲前缘亚相：在盆地中最为发育，主要有水下分流河道、水下分流河道间及前缘席状砂等微相，可见河口沙坝微相。细砂岩呈夹层状分布于泥岩和粉砂岩中，横向延伸较稳定，具水平层理和小型沙纹层理，见塑性滑动变形层理构造，反映属三角洲前缘席状砂堆积产物。

前三角洲亚相：位于盆地内湖盆的浅湖相带区，沉积物以灰绿色、浅灰色泥岩、粉砂质泥岩为主，夹少量薄层的粉砂岩、细砂岩；可见块状层理、水平层理、波纹层理、隐水平层理及生物扰动构造。有机质含量高，含较多介形虫和菱铁矿。

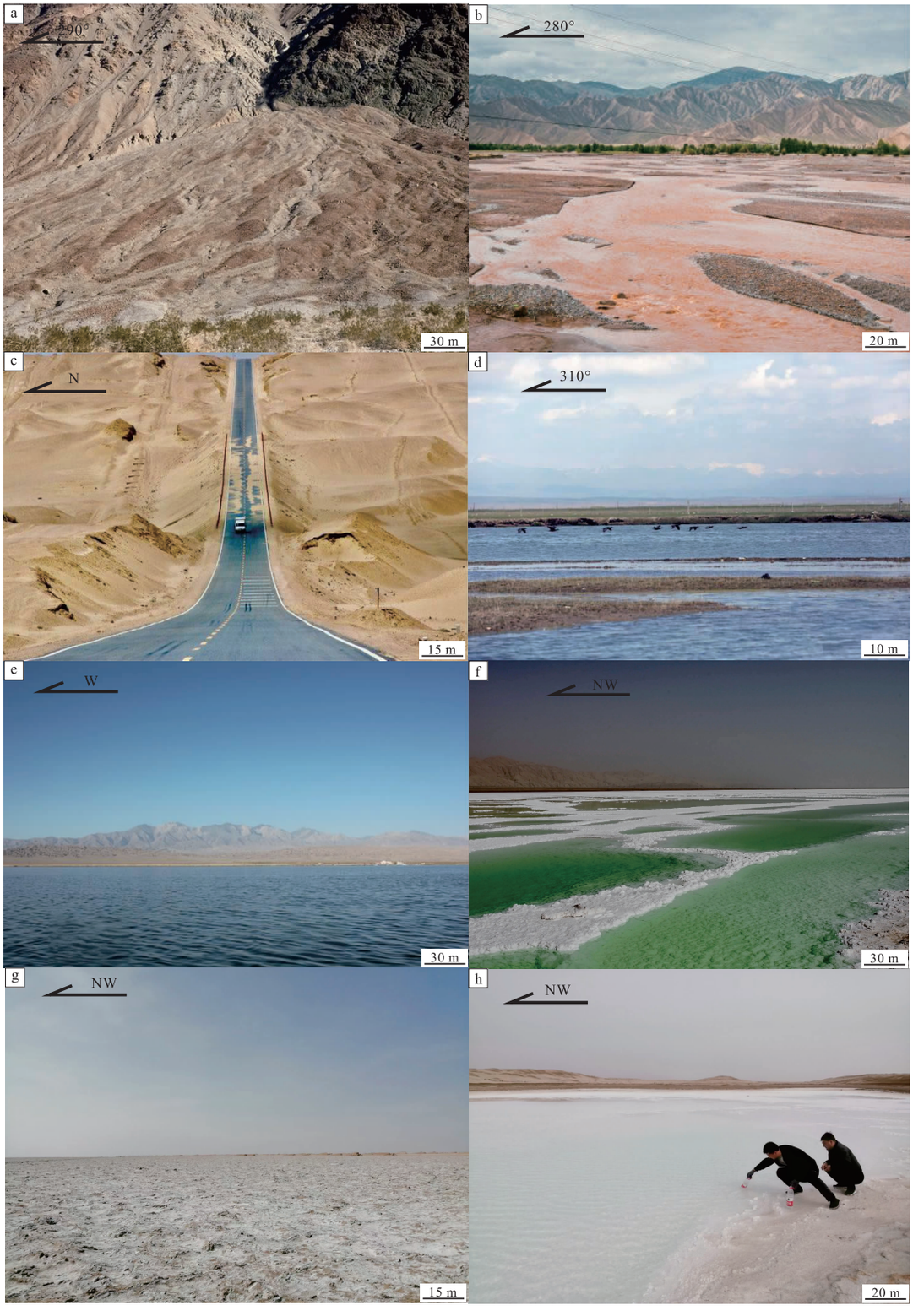
5）湖泊相：湖泊相是柴达木盆地全新世较为发育的沉积相类型，可分为淡水湖、盐湖 2 类，湖泊相可进一步划分为滨湖、浅湖、深湖 3 个亚相(图 6-e)。

淡水—微咸水湖滨湖亚相：仅分布于可鲁克湖盆边缘，沉积环境特点位于枯水期最低水位线与丰水期最高水位线之间。岩性以砂岩、泥岩、砂质泥岩为主，夹薄层砾岩。沉积构造丰富，常见小型交错层理、波状纹层、上攀纹层、生物扰动等沉积构造。

淡水—微咸水湖浅湖亚相：分布于可鲁克湖地区，发育在枯水期最低水位线与正常浪基面之间。岩石类型以粉砂质泥岩为主。当陆源碎屑供应充分时可出现较多的细砂岩、砂岩胶结物以泥质、钙质为主，分选和圆度较好。层理类型多以水平、波状层理为主，水动力强度较大的浅湖区具小型交错层理，砂泥岩交互沉积时，可形成透镜状层理，有时层面可见对称浪成波痕；见植物化石碎片、介壳化石和黄铁矿集合体，厚度可达数十米。

盐湖滨湖亚相：盆地内分布较广泛，沿冷湖—马海—大柴旦湖—尕海一线和尕斯库勒湖—台吉—霍布逊湖一线等地区分布。由于周期性暴露水面，蒸发作用很强，盐湖滨湖亚相除了陆源碎屑颗粒如砂和粉砂等，还发育钙芒硝、石膏、石盐等蒸发盐，以及碳酸盐沉积物等，常见交错层理、波状纹层、上攀纹层等层理构造以及各种中小型浪成波痕(图 6-f)。

盐湖浅湖亚相：其空间分布与盐湖滨湖亚相基本相同，沿盆地内的湖泊中心分布，岩性以泥质粉砂岩为主夹石盐层，泥质粉砂岩厚 6~8 m，泥盐交互厚层 8~10 m，发育水平层理、波状纹层，也可见浪成波痕。主要特征是沉积物盐类矿物，盐层较纯，局部含淤泥等。



a—冲积扇，德令哈市怀头他拉茶叶沟；b—辫状河，那陵郭勒河；c—风成沙，大柴旦；d—湖泊三角洲，可鲁克湖；e—淡水湖，可鲁克湖；f—盐湖，尕斯库勒湖；g—盐泥坪，茫崖；h—干盐滩，霍布逊湖

图 6 柴达木盆地全新世典型沉积相特征

Fig. 6 Characteristics of typical Holocene sedimentary facies in Qaidam Basin

盐湖深湖亚相：盆地内仅在尕海、托素湖分布。岩性总体为细粒沉积岩，以泥岩、石盐岩为主，夹粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩，偶见砂岩透镜体。因水体较深，波浪作用已完全停止，水体安静，致使沉积构造单调，多以水平层理为主，生物繁茂，多介形虫和生物介屑薄层，并偶见遗迹化石。

盐泥坪：主要集中分布于茫崖、尕斯库勒等地区。盐泥坪是在冲积扇底以下至盐湖滨岸或盐坪之间的环湖平原地带。沉积物以粉砂、黏土为主，表面形成一层盐质风化壳，水源充足的地区有机质含量较高，形成黑色淤泥(图 6-g)。

干盐滩：盆地内分布较多，在昆特依、霍布逊湖较为发育，表面具坚硬盐壳的坪地。盐坪上无植物生长。主要沉积石盐、石膏等蒸发盐，细粉砂、黏土等碎屑物充填于蒸发盐矿物中或富集成不规则薄层。盐坪表面的盐壳广泛发育多边形的干缩裂纹，形成时间较长的盐坪因受雨水反复溶解及风蚀、风积和毛细管蒸发再沉积作用的影响，表面坑洼不平，呈刀锋状，蜂窝状、蠕虫状小地貌(图 6-h)。

3.2　岩相古地理展布及特征

柴达木盆地全新世高山深盆的构造格局最终形成，因 MIS（Marine Isotope Stage）期气候影响，中央拗陷地层分区的大浪滩、察汗斯拉图、昆特依和马海均广布盐类沉积，形成干盐滩。大浪滩在中心洼地和北部山地边缘由于洪水输入保留小面积盐湖滨湖亚相。昆特依仍接受北北西向少量淡水输入，在盆地北部边缘残留小面积水体，其岩性为黏土—粉砂—石膏石盐互层（ZK1405 钻孔），为盐湖滨湖亚相。马海盆地西部也有淡水输入，在干盐滩的东部边缘残存小面积盐湖滨湖亚相（ZK7204 钻孔和 ZK8012 钻孔）。昆特依和马海地区全新世岩性为下部和顶部的石盐层夹中部黏土质粉砂和粉砂质黏土，在昆特依和马海地区均形成了钾盐矿床(沈振枢等，1993；魏新俊等，1993)。一里坪地区主要为干盐滩沉积，临近东西台吉乃尔湖的地区全新世含有一定量的石盐沉积，但以碎屑岩沉积更占优势（ZK702 钻孔）（Ma *et al.*，2021），说明该地区靠近山前辫状河入湖的湖泊三角洲，在东西台吉乃尔湖形成盐湖滨浅湖。昆北逆冲断阶地层分区的尕斯库勒湖由于来自南西西方向的水源输入，仍残存小型盐湖，水深较浅，为滨浅湖亚相，盐湖周围石盐出露水面，形成干盐滩，外围更有较大面积的盐泥坪沉积。察尔汗地区全新世岩性为含粉砂石盐和含石膏的石盐粉砂，形成干盐滩。在格尔木入湖河流补给的影响下，局部钻孔中可见较多黏土和黏土质粉砂的盐湖浅湖亚相沉积（DBX2007 钻孔）。察尔汗东部也接受了来自南向和南东方向的补给，在洼地维持了盐湖滨湖环境，在中部水源影响不及之处出露干盐滩。柴北缘断阶地层分区的大柴旦盐湖也形成干盐滩，仅在边缘由于来自北东西向的淡水输入保留了盐湖滨湖亚相，同时，小柴旦盐湖的第四纪晚期沉积物中见有典型喜咸水种介形类肥胖真星介（*Eucypris inflata*）（孙镇城和曾学鲁，1992），并且其硼酸盐矿含量也较为丰富（孙大鹏，1991），处于盐湖滨湖亚相。柴北缘断阶地层分区的尕海、可鲁克湖、托素湖在全新世分割成较为独立的湖盆，均位于德令哈盆地的汇水中心，主要接受巴音河、巴勒更河以及四周山区的洪水补给（陈忠等，2007）。入湖河水流入可鲁克湖后，再经由可鲁克湖西南的褡裢河最后注入托素湖，所以作为过水性湖泊的可鲁克湖是淡水湖，而托素湖则为咸水湖。尕海湖和托素湖周围出露湖岸砂堤和湖相沉积，主要为盐湖滨浅湖亚相。尕海湖、可鲁克湖主要为包含上更新统和全新统的浅钻（GHB 钻孔）。尕海湖在全新世有 1 个从淡水—半咸水湖向盐湖转变的过程，其中 GHB 钻孔全新统以黏土、粉砂质黏土为主，中上部出现少量石盐晶粒，顶部以粉砂为主，含有机质残体，处于盐湖滨浅湖亚相。可鲁克湖全新统下部为含石膏和方解石的粉砂质黏土，中上部为含腐殖质的黏土，处于淡水—微咸水湖滨浅湖亚相。东部的柯柯盐湖出露大面积干盐滩，在来自北北东向的水源输入下在干盐滩边缘保留盐湖滨湖亚相沉积，都兰盐湖水源更为丰富，水深相对较深，处于盐湖滨浅湖环境。柴达木盆地在全新世广泛形成风成沙地貌，在盆地东部都兰地区和西南部分布格状沙丘，新月形沙丘、新月形沙丘链及新月形沙垄等（张姚姚，2023），盆地北部边缘也分布有线性沙丘，进一步反映了盆地全新世干旱化加剧。

从岩相古地理的演化过程可以看出，全新世是柴达木盆地主要的成盐期，也是盐类成矿的高峰期，在尕斯库勒湖、大浪滩、察汗斯拉图、昆特

依、马海、一里坪、察尔汗等均形成具有一定规模的成盐盆地。

4 结论

1）柴达木盆地全新世沉积物分为砾石层、砂层、黏土层和盐岩层 4 大类，盆地边部昆北逆冲断阶地层分区、柴北缘断阶地层分区以砾石层、砂层为主，盆地中心中央坳陷地层分区以黏土层、盐岩层为主。按照成因类型将全新世地层划分为：洪积、洪冲积、冲积、风积、湖积、化学沉积 6 种沉积类型。

2）柴达木盆地全新世发育冲积扇、辫状河、风成沙、湖泊三角洲、湖泊等 5 种沉积相；盆地边缘发育冲积扇相，辫状河相主要分布于格尔木、乌图美仁、茫崖、怀头他拉等地区。盆地内小型湖泊主体为盐湖干盐滩相沉积及局部的盐湖滨、浅湖亚相沉积。

3）柴达木盆地全新世高山深盆与极端干旱环境进入最盛期，盆缘巨厚砂砾洪积层十分发育。柴达木古湖完全解体，盆内多个盐湖逐渐干涸并消亡，干盐滩化学沉积进一步扩大，大型盐类矿产地形成。全新世盆地东部、南部和北部边缘地区广布的风成沙沉积，进一步说明了盆地干旱化的加剧。

参考文献（References）

曹国强，陈世悦，徐凤银，彭德华，袁文芳. 2005. 柴达木盆地西部中—新生代沉积构造演化. 中国地质，32(1)：33-40.［Cao G Q，Chen S Y，Xu F Y，Peng D H，Yuan W F. 2005. Ceno-Mesozoic sedimentary and tectonic evolution in the western Qaidam Basin. Geology in China，32(1)：33-40］

崔子豪，赵艳军，刘万平，杜江民，赵婷钰，焦鹏程，王罗海，严群雄，沈立建. 2023. 柴达木盆地别勒滩地区深部卤水储存空间分布特征研究. 岩石矿物学杂志，42(5)：723-734.［Cui Z H，Zhao Y J，Liu W P，Du J M，Zhao T Y，Jiao P C，Wang L H，Yan Q X，Shen L J. 2023. Spatial distribution characteristics of deep brine storage in Beletan area，Qaidam Basin. Acta Petrologica et Mineralogica，42(5)：723-734］

陈安东，顾佳妮，王学锋，韩光，李洪普，袁文虎. 2022. 晚第四纪柴达木盆地盐湖成盐期与冰期对比方案的再认识. 矿床地质，41(2)：426-439.［Chen A D，Gu J N，Wang X F，Han G，Li H P，Yuan W H. 2022. Re-understanding of the comparison scheme between the salt-forming period and the ice period of salt lakes in the Qaidam Basin during the Late Quaternary. Ore Deposit Geology，41(2)：426-439］

陈克造，Bowler J. 1985. 柴达木盆地察尔汗盐湖沉积特征及其古气候演化的初步研究. 中国科学(B 辑)，15(5)：463-473.［Chen K Z，Bowler J. 1985. Preliminary study on sedimentary characteristics and paleoclimate evolution of Chaerhan Salt Lake in Qaidam Basin. Science in China(Series B)，15(5)：463-473］

陈宣华，尹安，George GEHRELS，李丽，蒋荣宝. 2011. 柴达木盆地东部基底花岗岩类岩浆活动的化学地球动力学. 地质学报，85(2)：157-171.［Chen X H，Yin A，George G，Li L，Jiang R B. 2011. Chemogeodynamics of basement granitoid magmatic activity in eastern Qaidam Basin. Acta Geologica Sinica，85(2)：157-171］

陈忠，马海州，曹广超，张西营，周笃珺，姚远，谭红兵，高章洪. 2007. 柴达木盆地尕海湖区冰消期晚期以来的气候环境演变. 地球化学，36(6)：633-637.［Chen Z，Ma H Z，Cao G C，Zhang X Y，Zhou D J，Yao Y，Tan H B，Gao H Z. 2007. Climate and environment evolution since late deglaciation in Gahai Lake area，Qaidam Basin. Geochemica，36(6)：633-637］

戴俊生，曹代勇. 2000. 柴达木盆地构造样式的类型和展布. 西北地质科学，21(2)：57-63.［Dai J S，Cao D Y. 2000. The type and distribution of structural style in Qaidam Basin. Northwest Geoscience，21(2)：57-63］

樊启顺，赖忠平，刘向军，孙永娟，隆浩. 2010. 晚第四纪柴达木盆地东部古湖泊高湖面光释光年代学. 地质学报，84(11)：1652-1660.［Fan Q S，Lai Z P，Liu X J，Sun Y J，Long H. 2010. Late Quaternary photolithochronology of high lake level in the eastern Qaidam Basin. Acta Geologica Sinica，84(11)：1652-1660］

付锁堂，马达德，郭召杰，程丰. 2015. 柴达木走滑叠合盆地及其控油气作用. 石油勘探与开发，42(6)：712-722.［Fu S T，Ma D D，Guo Z J，Cheng F. 2015. Strike-slip superimposed Qaidam Basin and its control on oil and gas accumulation，NW China. Petroleum Exploration and Development，42(6)：712-722］

高春亮，余俊清，闵秀云，何先虎，成艾颖，辛首臻，洪荣昌，刘永，张丽莎. 2015. 大柴旦盐湖化学沉积特征及其控制因素. 盐湖研究，23(1)：22-30.［Gao C L，Yu J Q，Min X Y，He X H，Cheng A Y，Xin S Z，Hong R C，Liu Y，Zhang L Z. 2015. Chemical sedimentary characteristics and controlling factors of Da Qaidan Salt Lake. Journal of Salt Lake Research，23(1)：22-30］

韩春梅，樊启顺，韩光，魏海成，李庆宽，陈元军，陈天源，杨浩田. 2023. 柴达木盆地盐湖卤水型锂矿源汇过程及流域水文地貌演化与成矿联系. 盐湖研究，31(2)：9-18.［Han C M，Fan Q S，Han G，Wei H C，Li Q K，Chen Y J，Chen T Y，Yang H T. 2023. Source-sink process of brine-type lithium deposits in the salt lakes in the Qaidam Basin and its spatial mineralization association with hydrogeomorphic evolution of Nalinggele River. Journal of Salt Lake Resarch，31(2)：9-18］

洪荣昌. 2018. 大柴旦盐湖沉积演化：西风带古气候记录及镁硼酸盐矿床成因. 中国科学院大学博士学位论文.［Hong R C. 2018. Sedimentary evolution of Da Qaidan Salt Lake：Westerly paleoclimate record and genesis of magnesium borate deposit. Doctoral dissertation of University of Chinese Academy of Sciences］

黄麒,孟昭强,刘海玲. 1990. 柴达木盆地察尔汗湖区古气候波动模式的初步研究. 中国科学(B 辑),20(6): 652-663. [Huang Q, Meng Z Q, Liu H L. 1990. Preliminary study on paleoclimate fluctuation model in Qarhan Lake area of Qaidam Basin. Science in China (Series B),20(6): 652-663]

李莎,王贺,崔庆岗,张树淇,王启飞,张海春. 2019. 柴达木盆地宗马海湖地区中新统上油砂山组轮藻植物群. 地层学杂志,43(4): 343-351. [Li S, Wang H, Cui Q G, Zhang S Q, Wang Q F, Zhang H C. 2019. Miocene charophyte flora from the shang Youshashan Formation in Zongmahaihu area, Qaidam Basin, Northwest China. Journal of Stratigraphy,43(4): 343-351]

李双. 2011. 柴达木盆地尕海湖沉积岩心记录的全新世气候环境变化. 兰州大学硕士学位论文. [Li S. 2011. Holocene climatic and environmental changes recorded in the sedimentary core of Gahai Lake, Qaidam Basin. Masteral Dissertation of Lanzhou University]

李建森,蔡进福,樊启顺,山发寿,凌智永,韩元红,张永兴. 2022. 柴达木盆地盐湖 K、B、Li 资源的成矿地球化学系统. 盐湖研究,30(3): 12-20. [Li J S, Cai J F, Fan Q S, Shan F S, Ling Z Y, Han Y H, Zhang Y X. Metallogenic geochemical system of K, B and Li resources in salt lake of Qaidam Basin. Journal of Salt Lake Research,30(3): 12-20]

李凤杰,孟立娜,方朝刚,李磊,林洪. 2012. 柴达木盆地北缘古近纪—新近纪古地理演化. 古地理学报,14(5): 597-606. [Li F J, Meng L N, Fang C G, Li L, Lin H. 2012. Paleogene-Neogene paleogeographic evolution in the northern margin of Qaidam Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),14(5): 597-606]

李高远. 2016. 晚更新世以来青藏高原东北部湖泊藻类演化在古气候古环境研究中的意义. 中国地质大学(北京)博士学位论文. [Li G Y. 2016. The significance of algal evolution in Lakes of northeastern Qinghai-Tibet Plateau since the Late pleistocene in the study of paleoclimate and paleoenvironment. Doctoral disseration of China University of Geosciences(Beijing)]

张金明,潘彤,宋泰忠,柯学,梁坤先,杨文军,张小瑾. 2025. 柴达木盆地晚更新世岩相古地理特征. 古地理学报,27(5): 1258-1272. [Zhang J M, Pan T, Song T Z, Ke X, Liang K X, Yang W J, Zhang X J. 2025. Lithofacies palaeogeography of the Late Pleistocene in Qaidam Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),27(5): 1258-1272]

马骁. 2017. 柴达木盆地马海矿区富钾卤水储层特征有利区预测. 河北地质大学硕士学位论文. [Ma X. 2017. Prediction of favorable areas of potassium-rich brine reservoir characteristics in Mahai mining area, Qaidam Basin. Masteral disseration of Hebei University of Geosciences]

马妮娜,郑绵平,马志邦,陈文西,孔凡晶,施林峰. 2011. 柴达木盆地大浪滩地区表层芒硝的形成时代及环境意义. 地质学报,85(3): 434-444. [Ma N N, Zheng M P, Ma Z B, Chen W X, Kong F J, Shi L F. 2011. Formation age and environmental significance of surface mirabarite in Dalangtan area, Qaidam Basin. Acta Geologica Sinica,85(3): 434-444]

潘彤,张金明,李洪普,李东生,韩光,贾建团,袁文虎. 2022. 柴达木盆地盐类矿产成矿单元划分. 吉林大学学报(地球科学版),52(5): 1446-1460. [Pan T, Zhang J M, Li L P, Li D S, Han G, Jia J T, Yuan W H. 2022. Division of salt minerals metallogenic units in Qaidam Basin. Journal of Jilin Univcrsity(Earth Scicncc Edition),52(5): 1446-1460]

潘彤,陈建洲,丁成旺,马玉亮,梁辉,薛晟,张涛,杜小春. 2023. 柴达木盆地盐湖黏土锂、铷、铯超常富集及其开发潜力. 中国地质,50(6): 925-1927. [Pan T, Chen J Z, Ding C W, Ma Y L, Liang H, Xue S, Zhang T, Du X C. 2023. Supernormal enrichment of lithium, rubidium and cesium in salt lake clays of Qaidam Basin and their potential development. Geology in China,50(6): 925-1927]

潘彤,贾建团,李东生,郭廷峰,李小龙,韩光,张晓冬,张绍栋,刘久波,汪青川,苗青. 2024. 柴达木盆地盐类及地下水矿床成矿系列与找矿方向. 地球科学与环境学报,46(1): 96-113. [Pan T, Jia J T, Li D S, Guo T F, Li X L, Han G, Zhang X D, Zhang S D, Liu J B, Wang Q C, Miao Q. 2024. Metallogenic series and prospecting direction of salt and groundwater deposits in Qaidam Basin. Journal of Earth Science and Environment,46(1): 96-113]

孙大鹏. 1991. 柴达木盆地小柴旦湖硼酸盐的形成. 矿物岩石,11(4): 57-65. [Sun D P. 1991. Borate formation in Xiaochaidan Lake, Qaidam Basin. Mineralogy and Petrology,11(4): 57-65]

孙镇城,曾学鲁. 1992. 柴达木盆地盐湖有孔虫的发现及其地质意义. 石油学报,13(2): 252-257. [Sun Z C, Zeng X L. 1992. The discovery of pore thrust in the salt lake of Qaidam Basin and its geological significance. Acta Petrolei Sinica,13(2): 252-257]

孙镇城,曹丽,张海泉,张永华,董宁,乔子真,孙乃达,袁秀君,路艳丽,张宏欣. 2003. 柴达木盆地全球末次冰期介形类动物群的演变. 古地理学报,5(3): 365-376. [Sun Z C, Cao L, Zhang H Q, Zhang Y H, Dong N, Qiao Z Z, Sun N D, Yuan X J, Lu Y L, Zhang H X. 2003. Evolution of ostracoid fauna during the last glacial period in Qaidam Basin. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 5(3): 365-376]

沈振枢,程果,乐昌硕,刘淑琴. 1993. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境. 北京: 地质出版社. [Shen Z S, Cheng G, Le C S, Liu S Q. 1993. The Division and Sedimentary Environment of Quaternary Salt-bearing Strata in Qaidam Basin. Beijing: Geological Publishing House]

汤良杰,金之钧,张明利,由福报,张兵山,骆静. 2000. 柴达木盆地北缘构造演化与油气成藏阶段. 石油勘探与开发,27(2): 36-45. [Tang L J, Jin Z J, Zhang M L, You F B, Zhang B S, Luo J. 2000. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation stage in the northern margin of Qaidam Basin. Petroleum Exploration and Development,27(2): 36-45]

王冀洛,樊馥,赵为永,侯献华. 2023. 柴西狮子沟深层富钾卤水成钾物质来源研究. 沉积学报, 43(3): 1007-1018. [Wang J M, Fan F, Zhao W Y, Hou X H. 2023. Study on the source of potassium from deep potassium-rich brine in Shizigou Valley, western Qaidam. Acta Sedimentologica Sinica, 43(3): 1007-1018]

王懿萱,陈天源,吴蝉,赖忠平,郭守栋,丛禄. 2019. 柴达木盆地西台吉乃尔盐湖沉积的年代学研究. 干旱区地理,42(4): 876-884. [Wang Y X,Chen T Y,Wu C,Lai Z P,Guo S D,Cong L. 2019. A study on the chronology of the deposits in Xitai Kinel Salt Lake,Qaidam Basin. Arid Land Geography,42(4): 876-884]

魏海成,樊启顺,安福元,山发寿,马海州,袁秦,秦占杰. 2016. 94~9 ka 察尔汗盐湖的气候环境演化过程. 地球学报,37(2): 193-203. [Wei H C,Fan Q S,An F Y,Shan F S,Ma H Z,Yuan Q,Qin Z J. 2016. Chemical elements in core sediments of the Qarhan salt lake and palaeoclimate evolution during 94~9 ka. Acta Geoscientica Sinica,37(2): 193-203]

魏新俊,邵长铎,王弭力,赵德钧,蔡克勤,姜继学,何国权,胡文瑄. 1993. 柴达木盆地西部富钾盐湖物质成分、沉积特征及形成条件研究. 北京: 地质出版社. [Wei X J,Shao C F,Wang M L,Zhao D J,Cai K Q,Jiang J X,He G Q,Hu W X. 1993. Study on Material Composition,Sedimentary Characteristics and Formation Conditions of Potassium Rich Lake in Western Qaidam Basin.Beijing: Geological Publishing House]

吴光大,葛肖虹,刘永江,袁四化,巩庆林,陈言忠,沈亚. 2006. 柴达木盆地中、新生代构造演化及其对油气的控制. 世界地质,25(4): 411-417. [Wu G D,Ge X H,Liu Y J,Yuan S H,Gong Q L,Chen Y Z,Shen Y. 2006. Mesozoic-Cenozoic structural evolution in Qaidam Basin and its control on hydrocarbon occurrence. Global Geology,25(4): 411-417]

杨藩,孙镇城,马志强,张永华. 1997. 柴达木盆地第四系介形类化石带与磁性柱. 微体古生物学报,14(4): 378-390,35-38. [Yang F,Sun Z C,Ma Z Q,Zhang Y H. 1997. Quaternary ostracode zones and magneto stratigraphic profile in the Qaidam Basin. Acta Micropalaeontologica Sinica,14(4): 378-390,35-38]

余一欣,汤良杰,马达德,张跃中,张启全,谭万金. 2005. 柴达木盆地断裂特征研究. 西安石油大学学报(自然科学版),20(3): 11-14. [Yu Y X,Tang L J,Ma D D,Zhang Y Z,Zhang Q Q,Tan W J. 2005. Study on the features of the faults in Caidamu Basin. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 20(3): 11-14]

张克信,王国灿,骆满生,季军良,徐亚东,陈锐明,陈奋宁,宋博文,梁银平,张楗钰,杨永锋. 2010. 青藏高原新生代构造岩相古地理演化及其对构造隆升的响应. 地球科学,35(5): 697-712. [Zhang K X,Wang G C,Luo M S,Ji J L,Xu Y D,Chen R M,Chen F N,Song B W. Liang Y P,Zhang F Y,Yang Y F. 2010. Evolution of tectonic lithofacies paleogeography of Cenozoic of Qinghai-Tibet Plateau and its response to uplift of the Plateau. Earth Science,35(5): 697-712]

张彭熹. 2007. 柴达木盆地盐湖. 北京: 科学出版社. [Zhang P X. 2007. Salt Lake in Qaidam Basin.Beijing: Science Press]

张姚姚. 2023. 柴达木盆地沙漠风能环境特征及其对风沙地貌发育的影响. 太原师范学院硕士学位论文. [Zhang Y Y. 2023. Characteristics of desert wind energy environment and its influence on aeolian geomorphology development in Qaidam Basin. Masteral disseration of Taiyuan Normal University]

张西营,马海州,韩风清,陈忠,曹广超,王建国. 2007. 德令哈盆地尕海湖 DG03 孔岩心矿物组合与古环境变化. 沉积学报,25(5): 767-773. [Zhang X Y,Ma H Z,Han F Q,Chen Z,Cao G C,Wang J G. 2007. Mineral assemblages and Palaeoenvironmental changes of core DG03 of Gahai Lake in Delingha Basin. Acta Sedimentologica Sinica,25(5): 767-773]

朱筱敏,康安,韩德馨,王延斌,康强. 2003. 柴达木盆地第四纪环境演变、构造变形与青藏高原隆升的关系. 地质科学,38(3): 367-376. [Zhu X M,Kang A,Han D X,Wang Y B,Kang Q. 2003. Relation among Quaternary environmental evolution,tectonic deformation in the Qaidam Basin and uplifting of the Qinghai-Tibet plateau. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 38(3): 367-376]

He Y X,Zhao C,Liu Z H,Wang H Y,Liu W G,Yu Z C,Zhao Y,Ito E. 2016. Holocene climate controls on water isotopic variations on the northeastern Tibetan Plateau. Chemical Geology,440: 239-247.

Hou M Q,Zhuang G S,Ji J L,Xiang S Y,Kong W W,Cui X Q,Wu M H,Hren M. 2021. Profiling interactions between the Westerlies and Asian summer monsoons since 45 ka: insights from biomarker,isotope,and numerical modeling studies in the Qaidam Basin. GSA Bulletin,133: 1531-1541.

Ji J L,Zhang K X,Clift P D,Zhuang G S,Song B W,Ke X,Xu Y D. 2017. High-resolution magnetostratigraphic study of the Paleogene-Neogene strata in the Northern Qaidam Basin: implications for the growth of the Northeastern Tibetan Plateau. Gondwana Research,46: 141-155.

Ma Z,Han F Q,Chen T Y,Yi L,Lu X H,Chen F H,Liu X B,Yuan W H. 2021. The forming age and the evolution process of the brine lithium deposits in the Qaidam Basin based on geochronology and mineral composition. Frontiers in Earth Science,9: 702223.

Song G,Wang H,Shi L. 2020. Climate evolution since 9.32 cal ka BP in Keluke Lake,northeastern Qaidam Basin,China. Journal of Arid Environments,178: 104149.

Zhao C,Yu Z C,Zhao Y,Ito E. 2009. Possible orographic and solar controls of Late Holocene centennial-scale moisture oscillations in the northeastern Tibetan Plateau. Geophysical Research Letters,36: 40951.

Zhang M W,Liu X Q. 2020. Climate changes in the Qaidam Basin in NW China over the past 40 kyr. Palaeogeography,Palaeoclimatology,Palaeoecology,551: 109679.

(责任编辑 王绍华; 英文审校 龚承林)