中国盐湖粘土矿物研究

徐 昶 著

科学出版社

中国科学院科学出版基金资助项目

中国盐湖粘土矿物研究

徐　昶 著

科学出版社
1993

前　言

我国盐湖主要分布在青海、西藏、内蒙古和新疆等省区，以数量多、面积和储量大、资源富、类型全而著称于世。随着国民经济的发展，对盐湖资源的开发和利用已被逐步提到日程上来。在我国盐湖地学研究工作中，盐湖粘土矿物工作起步较晚。作者自1972年以来，在承担一系列重大课题的同时，先后对青海、西藏、内蒙古和新疆等省区约70个湖区沉积物中的粘土矿物进行了较系统的研究，同时，对盐湖地区某些咸水湖沉积物也做了一些粘土矿物分析，某些研究结果已在一些学术期刊和盐湖专著中零星报道过。为了使这些零碎的资料系统化，便于同行们参考，特编写成册。

本书包括我国盐湖粘土矿物类型、含量和分布，盐湖粘土的化学特征，盐湖粘土矿物成因和粘土矿物在盐湖形成演化过程中的地质意义等，以及与国外某些盐湖粘土矿物资料的初步对比。本书实际资料较丰富，是我国盐湖粘土矿物方面的第一本专著，但是，由于研究粘土矿物的盐湖数量还不多，涉及到的其中一些盐湖的研究深度还不够，特别由于作者业务水平有限，书中定会有不少欠妥或错误之处，垦请读者批评指正。

本书盐湖粘土矿物资料的积累是许多同志共同努力的结果。首先，作者所做的盐湖粘土矿物原样，绝大部分是我所[1]历次盐湖野外考察中采集的，许多同志先后参加野外打钻、钻孔地质编录和采样。同时，书中也收集和引用了其它单位和同志的少量资料。第二，在盐湖粘土矿物室内研究工作中，高章洪、蔡碧琴、吴俐俐、鄢桂芬和胡金泉等同志先后参加了青海和西藏盐湖部分样品的粘土分离工作，杨波和董继和同志完成部分粘土样的X射线粉晶衍射工作，许开芬、刘福敏和张晓凤等同志完成粘土样的红外光谱测定，罗瑞鹿同志完成粘土样的差热分析，林乐枝、邵明昱、单兰娣、钮永宁、吕亚萍和王克俊等同志完成粘土样的化学分析，王华安和孙长敏同志完成粘土样的微量元素光谱测定，祁永唐同志完成粘土样的穆斯堡尔谱测定。此外，在粘土矿物鉴定方面，曾得到中国科学院南京地质古生物研究所何锦文同志的协助。第三，作者在盐湖粘土矿物研究工作中，先后得到本所张彭熹、陈克造、郑喜玉和于昇松等先生的关怀和支持。本书编写过程中，得到本所王政存高级工程师和杜祥芝高级工程师的指导和帮助。本书初稿承蒙中国科学院南京土壤研究所许冀泉研究员和中国科学院青海盐湖研究所郑喜玉研究员详为审阅，并提出了大量的修改意见。本书图件由胡金泉和刘建华同志清绘。作者在此一并表示诚挚的感谢。

1）中国科学院青海盐湖研究所。

目　　录

前言…… i

第一章　概述…… 1

第一节　我国盐湖概况…… 1

第二节　粘土矿物及其研究方法…… 11

第三节　我国盐湖粘土矿物研究概况…… 20

第四节　盐湖沉积物分布及粘土产状…… 24

第五节　盐湖碎屑沉积物粒度组成及粘土含量…… 29

第二章　各地区盐湖沉积物中的粘土矿物…… 33

第一节　内蒙古盐湖粘土矿物…… 33

第二节　西藏盐湖粘土矿物…… 50

第三节　青海盐湖粘土矿物…… 63

第四节　新疆盐湖粘土矿物…… 115

第五节　盐湖地区咸水湖和土壤中的粘土矿物…… 133

第三章　我国盐湖粘土矿物的基本特征…… 169

第一节　粘土的含量和分布…… 169

第二节　粘土矿物的类型和分布…… 171

第三节　粘土的化学特征…… 172

第四节　粘土矿物成因…… 174

第五节　控制因素…… 175

第四章　盐湖粘土资料与资源环境关系讨论…… 177

第一节　盐湖粘土资料与沉积环境…… 177

第二节　盐湖粘土资料与成矿元素…… 180

第五章　中国与澳大利亚盐湖粘土矿物资料对比…… 182

第一节　澳大利亚某些盐湖粘土矿物…… 182

第二节　中澳盐湖粘土矿物资料对比…… 187

结语…… 189

参考文献…… 192

附表 1　各湖沉积物粒度成分 …… 194

附表 2　粘土化学成分总表 …… 200

附表 3　盐湖粘土微量元素光谱分析结果 …… 206

第一章　概　　述

第一节　我国盐湖概况

我国的盐湖大致分布在大兴安岭、吕梁山一线以西，延安、兰州、玉树至拉萨一线以北，即我国内陆湖盆主要分布地区的青海、西藏、新疆和内蒙古高原。盐湖分布概况如图1-1所示。

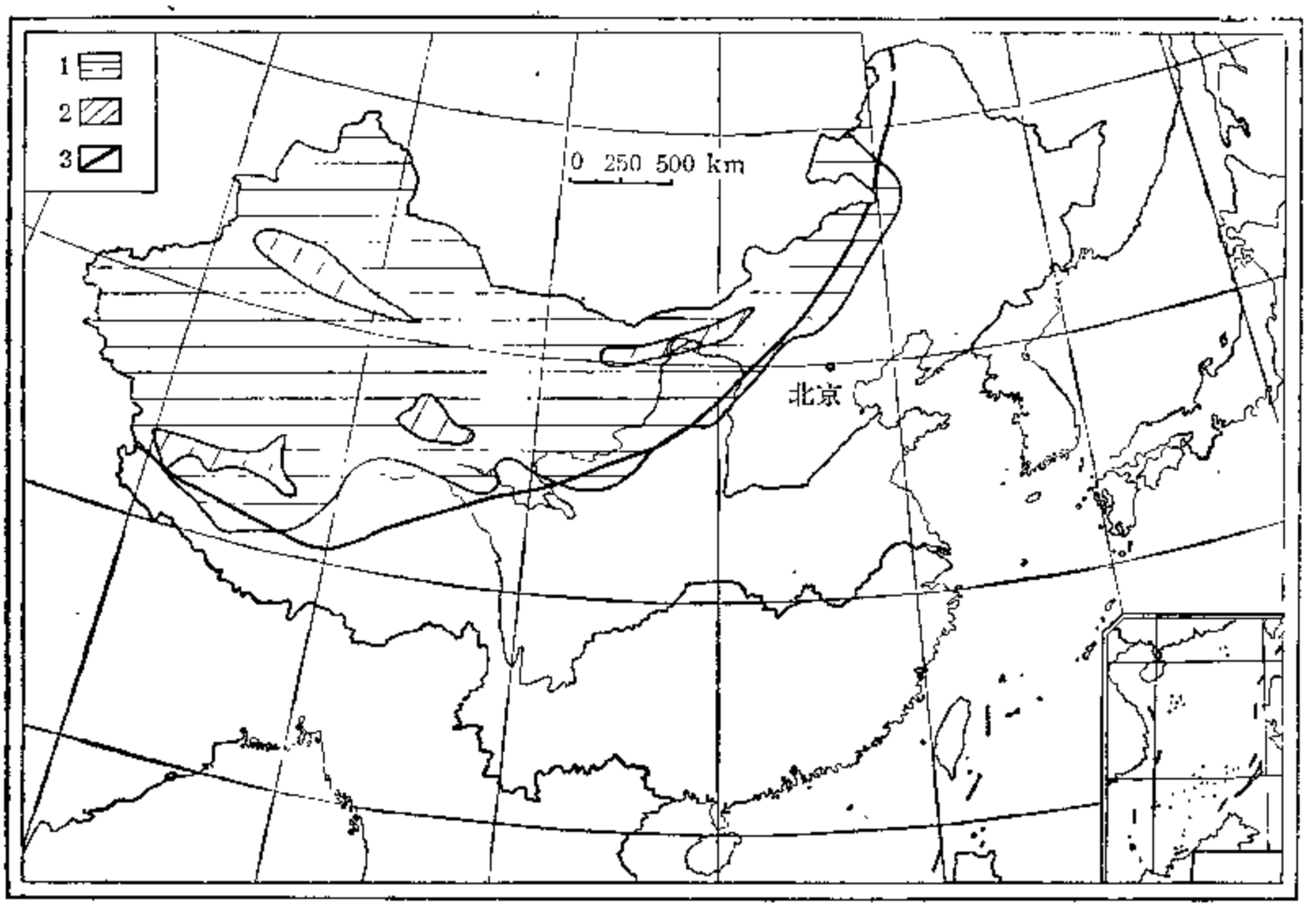


图 1-1　我国盐湖分布示意图(徐昶，1988)

1.盐湖分布区　2.盐湖粘土矿物工作区　3.干旱与湿润气候带分界线

我国盐湖以“多、大、富、全”而著称。所谓多，就是盐湖数量多。我国究竟有多少个盐湖？由于盐湖划分的标准(指卤水矿化度多少)不一，所统计的面积界限和资料来源不同等因素，不同文献中盐湖数量相差较大。王方强等(1983)统计为316个盐湖，但根据中国科学院青海盐湖研究所有关资料，青海、西藏、内蒙古和新疆4个省区就计约700个盐湖。总之，我国是世界上多盐湖的国家之一。所谓大，是指盐湖面积和盐类矿产的储量而言。例如，柴达木盆地中部的察尔汗盐湖，总面积约5 800km²，盐层厚度一般为 40m，盐类储量达数百亿吨。所谓富，指盐湖中蕴藏着多种资源。固相矿床中有石盐、芒硝、天然碱、石膏、光卤石、水氯镁石和硼酸盐等；液相矿床中含有钾、钠、钙、镁、硼、锂、溴、碘、铷、铯、锶、铀

和重水等。所谓全，是指盐湖类型而言。碳酸盐型、硫酸盐型和氯化物型盐湖均有。

现将4个主要省区的盐湖概况分别介绍如下。

一、内蒙古盐湖概况

该自治区面积 1km² 以上的盐湖有370多个，占湖泊总面积的28.55%。以碱湖为特征，是我国苏打、天然碱资源的主要产地。根据地质构造和自然地理环境，内蒙古高原可划分为呼伦贝尔高原、锡林郭勒高原、鄂尔多斯高原和阿拉善高原4个盐湖分布区，各区盐湖主要特征见表1-1。湖水面积大于 5km² 的盐湖约60个，这些盐湖的基本概况见表1-2。我们仅对其中5个盐湖的沉积物进行了粘土矿物研究。

表 1-1　内蒙古盐湖区主要特征

盐湖分区	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
	呼伦贝尔盐湖区	锡林郭勒盐湖区	鄂尔多斯盐湖区	阿拉善盐湖区
构造单元	大兴安岭-蒙古海西晚期褶皱带		鄂尔多斯台向斜	阿拉善台块
地理环境	半干旱草原区	干旱沙漠草原区		干燥沙漠区
新构造运动形态	不均匀上升或下降		大面积隆起	
湖盆形成作用	河谷侵蚀洼地	断陷或拗陷盆地	河谷侵蚀及风蚀洼地	断陷盆地风蚀洼地
湖盆形成时代	第四纪末	第三纪末—第四纪初	第四纪末	第三纪末—第四纪初
干燥系数	0.11	0.11—0.13	0.06—0.13	0.02—0.06
区域潜水类型	HCO_3-Na 型	HCO_3-Na 型为主，局部为 SO_3-Na 型	东部为 HCO_3-Na 型 西部为 SO_3-Na 型	SO_3-Na 型
盐湖类型	硫酸盐型>碳酸盐型		碳酸盐型>硫酸盐型>氯化物型	硫酸盐型>氯化物型

据郑喜玉，1983。

表 1-2　内蒙古主要盐湖概况

地区	湖名	地理坐标 东经	地理坐标 北纬	湖面高程 (m)	湖水面积 (km²)	水深 (m)	pH	总盐量 (g/L)	湖泊水化学类型	盐类沉积物
呼伦贝尔高原	库库湖	119°14′	49°18′	600.00	18.00					
	阿尔善查干诺尔	116°37′	48°10′	501.60	7.60					
	查干诺尔	117°28′	48°05′	508.00	8.70					
	火布逊湖	119°05′	48°13′	706.60	17.50				硫酸盐型	芒硝，石盐
	大翁泉	123°08′	46°54′	150.00	5.00					
	碱泡子	122°57′	46°18′	135.30	8.70				碳酸盐型	碱，硝
	哈达泡子	122°56′	46°17′	150.00	10.00					
	图牧吉泡子	123°05′	46°16′	138.10	13.20					
	洋沙泡	123°15′	46°07′	140.00	25.10					
	巴彦查干诺尔	118°43′	48°24′	666.00	7.50					
	白音陶力木湖	117°05′	48°30′		11.05			144.71	硫酸盐型	芒硝
锡林郭勒高原	十三泡	123°13′	44°30′	143.00	9.00					
	四十六泡子	123°21′	44°24′	150.00	7.00					

续表

地区	湖名	地理坐标		湖面高程(m)	湖水面积(km^2)	水深(m)	pH	总盐量(g/L)	湖泊水化学类型	盐类沉积物
		东经	北纬							
锡林郭勒高原	准沙巴尔	118°33′	46°38′	830.00	6.10					
	绍尔内诺尔	118°17′	45°44′	836.00	7.30					
	额仁诺尔	118°00′	45°14′	840.00	6.00					
	额吉淖尔*	116°30′	45°14′	830.10	19.50	0.1—0.3	7.56	333.78	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
	柴达木诺尔	117°34′	44°56′	917.30	7.50					
	查干诺尔	116°13′	44°34′	904.00	5.40					
	巴彦诺尔	115°36′	43°56′	1046.10	8.10					
	二连诺尔	112°03′	43°44′	900.00	8.75		7.34	351.18	硫酸镁亚型	芒硝,石盐
	阿尔善戈壁	114°02′	43°17′	983.80	15.00					
	浩勒图音诺尔	115°41′	42°56′	1267.00	11.50					
	查干淖尔	115°30′	42°44′	1280.00	9.50					
	沙腊格诺尔	114°53′	42°48′	1180.00	7.50					
	东乌兰诺尔	115°06′	41°44′	1360.00	6.10					
	黑沙土淖尔	115°15′	41°00′	1380.00	7.80					
	察汗淖	113°54′	41°27′	1274.10	40.75					
	碱海子	113°29′	41°30′	1345.00	11.34					
	东岸海	113°15′	41°31′	1405.00	7.80					
	哈尔淖尔	109°52′	42°21′	1102.90	6.70					
	脖格尔诺尔	110°41′	42°26′	1079.60	28.62					
	查干诺尔*	112°54′	43°16′	920.00	21 00		9.77	415.8	碳酸盐型	天然碱
	查哈诺尔呼吉尔诺尔	113°09′	43°22′	940.00	30.00		10.67	130.6	碳酸盐型	天然碱
鄂尔多斯高原	盐海子	108°27′	40°08′	1177.00	18.00		9.48	329.6	碳酸盐型	芒硝,石盐
	昌汗淖	108°19′	40°00′	1198.00	11.00		9.09	344.82	同上	芒硝,天然碱
	大科保	108°40′	39°26′	1343.00	6.00		9.9	209.71	同上	天然碱,苏打
	察汗淖*	108°04′	39°14′	1344.00	6.50	0.30	10.21	76.19	同上	天然碱,苏打
	合同察汗淖	109°00′	39°12′	1268.00	22.00		10.82	423.94	同上	天然碱,苏打
	西察汗淖	107°30′	39°00′	1181.00	7.80					
	奥摆淖	108°49′	38°55′	1305.00	7.00					
	好勒报计淖	108°31′	38°44′	1335.00	5.50	0.5	9.5	114.31	碳酸盐型	天然碱
	北大池	107°26′	37°58′	1292.00	20.30	0.3	6.2	353.11	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
	兰泥池	107°25′	37°35′		5.00			376.92	硫酸盐型	石盐
	惠安堡湖	106°57′	37°35′		8.00			373.62	同上	石盐
阿拉善高原	西巴延海	100°44′	42°26′	900.00	260.00				同上	石盐,芒硝
	中泉子	102°45′	39°20′		20.00				同上	芒硝,石盐
	青德门敖包淖	105°51′	40°42′	1304.00	5.50					
	果红呆不隆芒硝湖	105°49′	39°50′	1030.00	14.00				硫酸盐型	芒硝
	吉兰泰盐湖*	105°42′	39°45′	1023.80	120.00		6.9	323.83	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
	大海子	104°04′	39°37′	1247.00	16.00					
	雅布赖湖*	102°50′	39°23′	1230.00	15.61		7.32	331.51	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
	鸡龙同古硝池	104°54′	39°28′	1151.00	47.50					
	和屯盐池	105°01′	39°22′	1162.00	10.00				硫酸盐型	石盐
	白碱湖	104°08′	39°06′	1285.00	42.00					
	长湖	104°04′	38°50′	1318.00	12.25					
	霍隆丘湖	104°11′	38°47′	1319.00	16.50					
	爱麦扎克湖	104°20′	38°39′	1314.00	18.00				硫酸盐型	石盐,芒硝
	查汗池	104°40′	38°24′	1313.00	5.80				同上	石盐
	黑盐湖	104°42′	38°18′	1316.00	5.00				同上	石盐
	古尔乃湖	100°55′	40°28′		42.00				碳酸盐型	天然碱

注：资料引自张明刚、郑喜玉，1984，内蒙古高原湖泊类型一览表。

* 进行过粘土矿物研究的盐湖。

二、西藏盐湖概况

该自治区盐湖有170多个，主要分布在藏北高原(冈底斯山一念青唐古拉山以北，昆仑山一唐古拉山以南的广大地区)，尤其是班公错-尼玛-怒江断裂带附近，盐湖更是密集成群。该地区盐湖中，蕴藏着大量的石盐、芒硝和硼酸盐等具有工业价值的固体盐类；卤水中含有丰富的钾、镁、硼、锂、铷和铯等元素。该地区主要盐湖的基本概况见表1-3。对其中24个盐湖的沉积物进行了粘土矿物初步研究，这里包括他人的部分资料。此外，对该地区11个咸水湖的沉积物中的粘土矿物亦进行过一定的研究。

表 1-3 西藏主要盐湖概况

湖名	地理坐标		面积 (km^2)	水深 (m)	海拔高程 (m)	主要盐类沉积
	东经	北纬				
扎西茶卡	80°10′	33°34′	5.5	0.20		芒硝
嘎尔昆沙*	79°55′	32°20′	0.52			石盐，芒硝，硼砂，钠硼解石
龙木错	80°30′	34°37′	97	1.0	5 002	芒硝
台错	80°07′	33°07′	8	0.20	4 504	石盐
热邦错	80°34′	33°02′	27	0.30	4 324	
阿翁错*	81°44′	32°46′	55	1.20	4 427	碳酸盐
玛尼错	81°24′	32°39′	3	0.30	4 480	芒硝
扎仓茶卡 I*	82°31′	32°33′	35.25	0.15	4 400	石盐，芒硝，硼酸盐，水菱镁矿
扎仓茶卡 II*	82°23′	32°35′	60	1.20	4 400	石盐，芒硝，硼酸盐，水菱镁矿
扎仓茶卡 III*	82°15′	32°35′	35	0.15	4 400	石盐，芒硝，硼酸盐
那若则错*	82°55′	32°25′	40	0.80	4 512	芒硝
聂尔错	82°42′	32°17′	33	0.50	4 604	芒硝，硼酸盐
仑木错	83°30′	32°10′	101		4 370	硼酸盐
茶拉卡*	82°23′	31°40′	10	0.50	4 650	芒硝，硼砂
昂拉仁错 I	83°00′	31°35′	10		4 689	
扎布耶茶卡*	84°00′	31°35′	250	2.00	4 886	石盐，芒硝，硼酸盐
布尔嘎错	84°22′	33°40′	12		4 608	
戈木错	85°49′	33°40′	76		4 668	石盐，芒硝
才玛尔错	84°35′	33°33′	32		4 580	石盐，芒硝
查波错*	84°12′	33°12′	32		4 505	石盐
拉果错	84°05′	32°02′	86		4 490	钠硼解石
洞错*	84°44′	32°10′	84	1.50	4 416	石盐，芒硝
达瓦错*	84°58′	31°17′	111		4 636	芒硝
嘎仁错*	84°58′	30°47′	90		4 850	
马尔盖茶卡	86°45′	35°07′	80	0.30	4 785	石盐
错尼东错*	87°15′	34°34′		58.7	4 902	
确旦错*	87°30′	34°20′	36.3	0.40	4 867	石盐
玛尔果茶卡*	87°00′	33°50′	80	0.05	4 830	石盐，芒硝
康如茶卡	86°58′	33°33′	10	0.20	4 766	石盐
冈塘错	86°40′	33°12′	11	3.60	4 866	石盐
肖茶卡*	87°46′	33°05′	14	0.40		石盐
依布茶卡*	86°45′	33°00′	100	1.50	4 557	石盐，芒硝
当穷错	86°45′	31°34′	51		4 475	
孔孔茶卡*	88°06′	33°10′	36		4 775	石盐

续表

湖　名	地理坐标		面积 (km^2)	水深 (m)	海拔高程 (m)	主要盐类沉积
	东经	北纬				
才多茶卡	89°09′	33°10′	43.5		4 822	石盐
朋彦错	88°12′	32°54	51		4 722	石盐，硼酸盐
毕洛错	88°51	32°54′	24		4 820	
鄂葱错	89°28′	32°54′	5		4 913	
昂达尔错	89°35	32°42	45	0.94	4 863	石盐
诺尔玛错	88°03′	32°22′	67		4 695	
其香错	89°59′	32°27′	165	3.9	4 460	
赞宗错	89°36′	32°15	8		4 520	石盐
崩则错*	88°40′	32°08	1	0.05	4 528	石盐，硼酸盐
郭加林*	88°42	32°00	80	0.20		芒硝，泥砂
班戈错 I	89°40′	31°45		0.50	4 522	芒硝
班戈错 II*	89°30′	31°45′	140		4 523	芒硝，硼砂
班戈错 III*	89°30′	31°42		0.30	4 522	芒硝，水菱镁矿
雅个冬错	89°01′	31°35	8		4 539	芒硝，硼砂
仁错纳玛	89°50′	31°35′	56		4 648	
蒂让碧错	89°04′	33°04	26		4 840	石盐
阿木错	88°43′	33°27	32		4 970	芒硝
北雷错	88°26′	32°54	20		4 813	
普嗄错	89°33′	31°06′	30		4 783	
宁错	85°40′	33°15′	9			
雅根错	89°48′	33°00′	108		4 865	
噶尔雅沙错	80°05′	31°30′				硼砂
错戳龙错	85°23′	29°11′	28			
结则茶卡	80°56′	33°57′	104		4 524	石盐
昂拉仁错	83°10′	31°35′	560		4 689	
徐果错	90°24′	31°47′	22	0.30	4 597	石盐
散得木错	82°05′	32°55′	12		4 565	
泽错	79°45′	34°10	115		4 963	
邦达错	81°32′	34°58′	103		4 902	
民卓茶卡	81°24′	33°12′	6		4 470	石盐
普尔错	81°59′	35°50′	41		5 045	
清澈湖	81°40′	34°30′	57		5 103	
骆驼湖	81°58′	34°27′	62		5 045	
埃永错	80°32′	33°21′	22	0.40	4 292	芒硝
芒错	80°28′	34°30′	11.5			石盐，芒硝
碱水湖	83°08′	35°18′	87		4 886	
普让茶卡	82°30′	33°05′	35		4 400	石盐
走构由茶卡	85°05′	33°07	7		4 755	石盐
嘎尔孔茶卡	86°30′	33°58′	48		4 907	
达玛孜让错	86°01′	30°58′	48		4 624	
江尼茶卡	86°53′	35°04′	35		4 784	
纳克茶卡	87°42′	34°25′	28			
热觉茶卡	86°50′	33°41′	19		4 751	石盐
角木茶卡	87°13	33°18′	12		4 749	石盐，芒硝
题玛茶卡	87°56	33°12′	7		4 831	
虾别错	87°16′	32°13′	15			

续表

湖　名	地理坐标		面积 (km^2)	水深 (m)	海拔高程 (m)	主要盐类沉积
	东经	北纬				
姆错丙弓 I	86°14′	30°40′	84		4 692	
姆错丙尼 II	86°20′	30°36′	60		4 692	
常木错	80°20′	33°30′	8		4 280	
独立石湖	81°54′	34°44′	72		5 031	
拉木错	82°04′	33°05′	13		4 419	
黑石北湖	82°45′	35°34′	88		5 048	
纳屋错	82°12′	32°50′	46		4 381	
纳屋北湖	81°05′	32°55′	16		4 402	
拜资布错	83°10′	35°00′	122		4 958	
三岛湖	83°53′	34°44′	18		4 916	
玉环湖	83°55′	34°47′	10		4 916	
万泉湖	83°49′	34°15′	26		4 882	
小盆湖	82°34	34°24′	5		5 095	
拉布错	83°49	32°58′	10		4 561	
心湖	84°15′	34°24′	25		4 806	
桃形湖	84°01′	33°53′	5		4 720	
冈玛错	84°20	33°50′	13		4 700	
多玛错	84°28′	32°58′	13		4 690	
香桃湖	84°59′	34°08′	6		4 901	
拉顺湖	85°04′	34°17′	9		4 870	
鲁玛扎错	85°22′	33°01′	8		4 746	
牧狮错	87°01′	32°44′	5		4 821	
夏碱湖	82°46′	34°09′	8		4 977	
长条湖	82°58′	33°57′	16		4 941	
鸭蛋湖	83°20′	33°58′	5		4 890	
鸭子湖	87°04′	35°03′	5		4 784	
亚克错	87°12′	34°42′	16		4 905	石盐
曼民德错	81°25′	33°57′	12		4 813	
盐碱湖	86°30′	32°43′	5		4 708	石盐
西雀尔茶卡	89°28′	33°13′	6		4 920	
果根错	89°11′	32°24′	27		4 659	
仁青休布错	83°29′	31°18′	113		4 400	
比嘎错	89°35′	30°59′	6		4 652	
令戈错	88°36′	33°51′	89		5 051	
郭扎错	80°01′	35°01′	244		5 080	
物玛错*	83°14′	32°30′	2	0.50		芒硝
棉桃湖	85°07′	35°01′	15		4 950	
朝阳湖	87°15′	35°17′	21		4 750	
达尔沃错温	88°43′	33°33′	33		4 970	
日干配错	86°15′	32°35′	40		4 666	
坡孔错	86°07′	30°28′	25		4 663	
许如错	86°26′	30°20′	240		4 714	
雀尔茶卡	89°31′	33°13′	8			
多尔索洞错	89°50′	33°24′	350		4 749	
查下不错	87°54′	31°51′	5			
达则错*	87°30′	31°55′	252	31.7	4 401	芒硝

注：据郑喜玉等，1988。

* 进行过粘土矿物研究的盐湖。

表 1-4 青海主要盐湖概况

湖名	地理坐标		湖面高程 (m)	湖水面积 (km^2)	水深 (m)	pH	总盐量 (g/L)	湖泊水化学类型	盐类沉积物
	东经	北纬							
尕斯库勒湖*	90°42′—90°53′	38°03′—38°11′	2 853.7	103	0.65	7.56	333.278	硫酸镁亚型	石盐
大浪滩	91°25′—91°35	28°28′- 38°32′		500 (干)		7.57	341.026	硫酸镁亚型	石盐,光卤石,泻利盐
昆特依湖*	92°45′—93°25′	38°24′—39°20′	2 723.97	1 667(干)		6.20	328.961	氯化物型	石盐,芒硝
德宗乌海湖	94°19′	38°14′	2 740.17	11	0.15	7.40	355.155	硫酸镁亚型	石盐
一里坪盐湖*	92°58′—93°20′	37°51′—38°04′	2 683	268(干)		7.32	327.243	硫酸镁亚型	石盐
西台吉乃尔湖	93°16′—93°19′	37°39′—37°47′	2 678.17	82	0.30	7.70	336.328	硫酸镁亚型	石盐
东台吉乃尔湖*	93°49′—94°01′	37°24′—37°36′	2 681.37	116	0.60	7.75	331.533	硫酸镁亚型	石盐
察尔汗盐湖*	93°43′—96°15′	36°37′—37°13′	2 677—2 680	5 856(干)		7 00	321.464	硫酸镁亚型-氯化物型	石盐,光卤石
涩聂湖	94°15′—94°21′	37°00′—37°07′	2 675.57	69—85	0.38—0.48	7.10	332.247	硫酸镁亚型	石盐
大别勒湖*	94°31′	36°59′	2 676.57	7.38	0.18	7.00	362.885	硫酸镁亚型	石盐,光卤石
小别勒湖*	94°39′	37°02′	2 676.37	6.25	0.06	6.20	386.922	硫酸镁亚型	石盐,光卤石
东陵湖	94°50′	37°16′	2 690.3	7.2	0.02—0.15		513.02	氯化物型	石盐,光卤石,水氯镁石
达布逊湖*	94°55′—95°18′	36°50′—37°06′	2 675.57	184—334	0·39—1.02	4.90	472.893	硫酸镁亚型	石盐,光卤石
西达布逊湖	94°45′	37°06′	2 675	30	0.30				石盐
协作湖	95°39′	37°00′	2 691	17	0.10	5.50	358.498	氯化物型	石盐,水氯镁石
团结湖	95°21′	36°48′				5.40	425.266	硫酸镁亚型	石盐
北霍布逊湖	95°51′—96°03′	36°50′—36°58′	2 675.57	90.44	0.32		306.77	氯化物型	石盐,水氯镁石
南霍布逊湖	95°47′	36°44′	2 675.57	33.41	0.29		312.53	氯化物型	
大柴旦湖*	95°13′	37°50′	3 148.1	36	0.34	7.94	274.504	硫酸镁亚型	石盐,硼酸盐,芒硝
小柴旦湖*	95°30′	37°29′	3 172	35.91	0.26	7.80	339.074	硫酸镁亚型	石盐,硼酸盐,芒硝
尕海	97°33′	37°08′	2 851.2	37.4	8—13	8.28	90.587	硫酸镁亚型	
柴凯湖	98°00′	37°01′		18		6.85	324.135	硫酸镁亚型	
柯柯盐湖	97°58′—98°30′	36°50′—37°06′	3 010	3.5(90)	0.18	6.75	326.383	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
茶卡盐湖	99°02′—99°12′	36°38′—36°45′	3 059	104	0.20	6.80	322.864	硫酸镁亚型	石盐
希里沟湖	98°27′	36°50′	2 938	19.5	0.50	7.62	261.323	硫酸钠亚型	石盐
哈江盐池	97°54′	35°03′		9		7.90	381.993	硫酸镁亚型	

注：资料引自唐渊、郑喜玉，1981，青海高原湖泊类型一览表。

* 进行过粘土矿物研究的盐湖。

三、青海盐湖概况

该省盐湖主要分布在柴达木盆地。有盐湖 30 多个，其总面积约 9 500km²，占湖泊总面积的 47.26%。盐湖中石盐、芒硝、钾盐和硼酸盐等都具有工业规模的天然沉积，尤其是达布逊湖的现代天然光卤石，大、小柴旦湖的天然硼酸盐和察尔汗盐湖的石盐沉积，以及盐湖卤水中镁、钾、硼、锂、铷、铯、铀和钍等有用元素，储量之大，在世界上亦属罕见。该省主要盐湖概况如表 1-4 所示，对其中 10 个盐湖的沉积物进行了较系统的粘土矿物研究。此外，对著名的青海湖的沉积物亦进行了较详细的研究。

四、新疆盐湖概况

该自治区有盐湖 100 多个，占全区湖泊总数的 50%，盐湖面积 7 428.64km²，占全区湖泊总面积的 66.56%。盐类资源有湖相沉积的芒硝、石盐、天然碱、硼酸盐和淋滤形成的钠硝石，也有富含钠、钾、镁、硼、锂、铀和钍等元素的高矿化卤水。根据地质构造和自然地理环境，可划分为阿尔泰山间盆地、准噶尔盆地、天山山间盆地、塔里木盆地和昆仑山山间盆地等 5 个盐湖分布区，各区盐湖主要特征见表 1-5。湖水面积大于 5km² 的盐湖 50 多个，这些盐湖的基本概况见表 1-6。仅对其中 8 个盐湖的沉积物进行了粘土矿物研究。

表 1-5　新疆盐湖区主要特征

特征 \ 盐湖区	I	II	III	IV	V
	阿尔泰山间盆地	准噶尔盆地	天山山间盆地	塔里木盆地	昆仑山山间盆地
构造位置	阿尔泰地槽褶皱带	准噶尔拗陷	天山地槽褶皱带	塔里木台块	昆仑地槽褶皱带
地理环境	干旱-半干旱荒漠区	干旱荒漠区		干燥沙漠区	半干旱荒漠区
湖盆性质	拗陷盆地	断陷盆地，河谷侵蚀洼地	断陷盆地	风蚀、河谷侵蚀洼地，断陷盆地	拗陷盆地
干燥指数	0.05—0.29	0.01—0.05	0.01—0.13	0.005—0.01	0.13—0.29
湖水化学类型	SO_4 型	SO_4-Cl 型	SO_4 型	Cl-SO_4 型	HCO_3-SO_4 型
盐类沉积	石盐为主	芒硝，石盐	芒硝，石盐，天然碱	石盐，芒硝	芒硝，天然碱
盐湖类型	硫酸盐型为主，氯化物型次之	硫酸盐型	硫酸盐型为主，碳酸盐型次之	硫酸盐型（氯化物型）	硫酸盐型（碳酸盐型）
代表性盐湖	山塔山盐池	艾比湖，玛纳斯湖	七角井湖，艾丁湖，巴里坤湖	罗布泊，台特马湖，加以多拜湖	库木库里湖，硕尔湖

据郑喜玉，1984。

表 1-6 新疆主要盐湖概况

地区		湖名	地理坐标		湖面高程 (m)	湖水面积 (km^2)	水深 (m)	pH	总盐量 (g/L)	湖泊水化学类型	盐类沉积物
			东经	北纬							
准噶尔界山-阿尔泰山	山间盆地盐湖区	苛苛苏盐池	87°32′10″	47°40′30″	485	12		6.36		硫酸钠亚型	石盐,芒硝
		淖毛西湖	94°35′10″	43°57′20″	323	6		6.36	314.87	氯化物型	石盐
		汉水泉湖	92°40′45″	44°50′30″	479	5					石盐
		塔巴斯他乌湖	91°15′00″	44°47′25″	700	5					石盐
		北塔山湖	90°40′10″	44°58′30″	735.8	20					石盐
		克孜治拉湖	87°00′00″	47°40′30″		25				碳酸盐型	石盐,天然碱
		哈拉玉湖	83°15′40″	46°20′38″	600	5	0.05			碳酸盐型	水碱
准噶尔盆地盐湖区		玛纳斯盐湖	85°50′45″	45°48′40″	256	250			308.28	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
		达巴松诺尔(大盐池)	86°20′32″	45°44′30″	267	87				硫酸镁亚型	石盐
		小盐池	86°10′20″	45°20′00″	312	15					石盐
		艾比湖*	82°53′00″	44°55′00″	189	562.5			110.00	硫酸镁亚型	石盐,芒硝
		苏苏湖	90°07′35″	44°55′45″	500	10					石盐
		北沙窝盐湖*	87°36′30″	44°37′28″	428	3			249.70	硫酸盐型	芒硝
天山山间盆地盐湖区		巴里坤盐湖*	92°47′10″	43°40′00″	1 585	116	0.6	7.31	244.87	硫酸镁亚型	芒硝
		巴里坤北湖	92°55′20″	43°47′07″	1 587	12	0.1	7.25	323.43	硫酸镁亚型	芒硝
		伊吾盐湖*	94°15′00″	43°24′30″	1 890	24	0.5	6.36	230.26	硫酸镁亚型	芒硝
		石英滩南湖	93°55′10″	41°28′10″	1 240	10		7.12	306.88	硫酸钠亚型	石盐
		石英滩北湖	93°40′30″	41°32′50″	1 250	8				硫酸钠亚型	石盐
		恰特卡尔塔格北湖	90°43′50″	42°18′30″	883	9					石盐
		恰特卡尔塔格南湖	90°45′30″	42°05′20″	1 104	7					石盐
		七角井盐湖*	91°30′00″	43°27′30″	855.8	40		7.35	322.62	硫酸钠亚型	石盐,芒硝
		白山湖	92°12′30″	41°22′11″	952	10					石盐
		八字堡湖	92°08′10″	41°04′20″	1 056	7					石盐
		白玉山湖	93°25′13″	41°10′05″	1 135	8					石盐
		艾丁湖*	89°22′05″	42°37′30″	−155	650	0.2		336.48	硫酸钠亚型	石盐,芒硝
		达板城东盐湖	88°10′10″	43°25′10″	1 071	35.14	0.5	7.96	67.45	硫酸钠亚型	石盐,芒硝
		伊尔托克什布拉克湖	89°45′05″	41°30′50″	1 116	20					

续表

地区	湖名	地理坐标		湖面高程	湖水面积	水深	pH	总盐量	湖泊水化学	盐类沉积物
		东经	北纬	(m)	(km^2)	(m)		(g/L)	类型	
天山山间盆地盐湖区	加依多拜湖	77°03′30″	40°09′20″	1 230	231			331	硫酸钠亚型	石盐,芒硝
	硝尔库勒湖	77°20′10″	40°07′20″	1 550	45				硫酸钠亚型	
	克孜勒他乌湖	77°10′20″	40°10′10″		20					
	乌勇布拉克湖*	89°10′30″	41°58′20″		196				硫酸钠亚型	石盐等
	乌尔喀什布拉克湖*	88°30′06″	42°06′40″		86				硫酸钠亚型	石盐
	沙尔得兰布拉克湖*	89°58′58″	41°57′30″		65				硫酸钠亚型	石盐
	帕尔干布拉克西湖	90°40′30″	41°20′50″	1 000	5					石盐
	帕尔干布拉克东湖	91°10′20″	41°17′00″	1 000	10					石盐
塔里木盆地盐湖区	罗布泊	90°14′45″	40°20′30″	780	2 218(3 300)				氯化物型	石盐,光卤石
	台特马湖	88°22′40″	39°27′08″	807	10			200	氯化物型	石盐
	盐山湖	81°22′30″	41°29′38″	1 300	5					石盐
	绍尔克里湖				231			334.95	硫酸盐型	石盐,芒硝
	曲曲克苏湖	83°30′30″	37°33′50″		100					
	青格力克湖	84°30′30″	38°05′40″		120					
	色格孜力克湖	81°00′00″	40°59′30″		70					
	艾曼库勒湖	82°10′30″	41°00′00″		10					
昆仑山-阿尔金山山间盆地盐湖区	阿牙克库木湖	89°30′00″	37°30′30″	3 876	570			145.90	硫酸镁亚型	
	阿其克库勒湖	88°25′30″	37°08′00″	4 250	328		6.9	205.97	硫酸镁亚型	
	阿克苏库勒湖	84°28′30″	36°35′40″	4 243	10					
	硝尔湖	82°40′45″	36°06′30″	4 474	5					硼酸盐,石盐,芒硝
	库木库勒湖	90°03′30″	37°08′10″	4 100	25					石盐
	克其克库木库勒湖	90°41′56″	36°58′28″	4 105	20					
	阿什库勒湖	81°35′10″	35°45′20″	4 680	8					
	乌鲁格湖	81°30′50″	35°41′05″	4 685	12					石盐
	阿其可湖	81°50′	35°06′		13	0.1			碳酸盐型	天然碱
	土布拉克湖	79°22′	35°43′		5	0.2			硫酸盐型	石盐
	鲸鱼湖	89°55′40″	36°15′50″		300				硫酸镁亚型	钾,石盐

注：资料引自郑喜玉、朱渊，1989，新疆湖泊类型一览表。

* 进行过粘土矿物研究的盐湖。

第二节　粘土矿物及其研究方法

粘土矿物为含水的层状硅酸盐或铝硅酸盐。它的颗粒一般小于 2 μm，具吸附性、可塑性和粘性。陆地、海洋和大气尘埃中到处有粘土矿物的分布，土壤和沉积物是粘土矿物的主要分布场所。利用粘土矿物的研究成果来恢复沉积盆地的古气候、古温度、古盐度，划分和对比地层，探讨物质来源、沉积时的物理化学条件等，有的已取得良好效果。

一、粘土矿物的名称和分类

作者在工作过程中发现，粘土矿物的名称存在一些问题：有的本来是同种矿物，但出现不同的名称；有的同一名称，在不同文献中又代表了不同矿物等。已经有人注意到这个情况(张天乐等，1978)。这与对某一矿物定义的理解、一种矿物不同人译成不同名称、文献的新老等因素有关。例如，伊利石，又称水云母。它原是 1937 年格里姆等人给泥质沉积物中具有 10 Å 反射的粘土云母起的名字，它比云母少钾多水。它实际上不是一个矿物，而是一类矿物的名称，是混层矿物。但是，后来 Bailey 认为伊利石可以作为 $d(001)$ 为 10 Å 的水化二八面体云母矿物（成岩作用的产物）。作者是这样考虑的：样品甘油处理后，10 Å 位置不发生变化，其 X 射线衍射峰的峰形对称或不对称的称做伊利石，若 10 Å 位

表 1-7　粘土矿物及有关层状硅酸盐矿物分类表

层型	族 x = 单位化学式电荷	亚　族	种*
1:1	高岭石-蛇纹石 $x=0$	高岭石	高岭石，迪开石，埃洛石
		蛇纹石	纤蛇纹石，利蛇纹石，铁石棉
	叶蜡石-滑石 $x=0$	叶蜡石	叶蜡石
		滑　石	滑石
	蒙脱石 $x=0.2—0.6$	二八面体蒙脱石	蒙脱石，贝得石
		三八面体蒙脱石	皂石，锂蒙脱石，锌蒙脱石
	蛭　石 $x=0.6—0.9$	二八面体蛭石	二八面体蛭石
		三八面体蛭石	三八面体蛭石
2:1	云　母** $x=1$	二八面体云母	白云母，钠云母
		三八面体云母	金云母，黑云母，锂云母
	脆云母 $x=2$	二八面体脆云母	珍珠云母
		三八面体脆云母	绿脆云母，钡铁脆云母
	绿泥石 x 不定	二八面体绿泥石	片硅铝石
		过渡型绿泥石	锂绿泥石，铝绿泥石
		三八面体绿泥石	斜绿泥石，鲕绿泥石，镍绿泥石

*　仅举少数几种。

**　伊利石(或水云母)、绢云母等的位置还不清楚，故未列入表内；多数已表明它可能是间层矿物。

置向低角度移动，则以规则间层矿物来对待，若 10 Å 位置不变，峰形不对称、则理解为伊利石结晶程度较差，反映伊利石水化或脱钾的程度。

多年来，许多人都曾致力于粘土矿物的分类工作，并提出过不少粘土矿物及有关层状硅酸盐矿物的分类意见。例如，许冀泉和方邺森 1982 年曾提出一个粘土矿物的分类和名称表，张天乐等(1978)把伊利石列为单独的粘土矿物一类。为了使读者了解粘土矿物的分类，这里介绍两个分类表：一是 Bailey (1980) 提出的分类表 (表 1-7)；一是方邺森

表 1-8 粘土矿物及有关层状硅酸盐矿物分类表

层 型	层间物质	族 x =单位化学式电荷	亚族	种(举代表性种为例)
1:1 层状	无或有残留水	高岭石-蛇纹石 $x=0$	二八面体	高岭石，迪开石，珍珠陶土，多水高岭石
			过渡型	铁蛇纹石
			三八面体	叶蛇纹石，纤蛇纹石，利蛇纹石
	无	叶蜡石-滑石 $x=0$	二八面体	叶蜡石
			过渡型	铁滑石
			三八面体	滑石
2:1 层状	阳离子或水化阳离子	蒙皂石 $0.2<x<0.6$	二八面体	蒙脱石，贝得石，绿脱石
			过渡型	斯温福石
			三八面体	皂石，锌皂石，汉克托石，斯蒂文石
		蛭石 $0.6<x<0.9$	二八面体	粘粒蛭石
			三八面体	蛭石
		水云母 $0.6<x<1$	二八面体	水白云母，水钠云母，伊利石
			三八面体	水金云母，水黑云母
		云母 $x=1$	二八面体	白云母，钠云母，钒云母，铬云母
			过渡型	锂云母，铁钾云母
			三八面体	金云母，黑云母
		脆云母 $x=2$	二八面体	珍珠云母
			三八面体	绿脆云母，钡铁云母，锂铍云母
	氢氧化物	绿泥石 x 不定	二八面体	顿绿泥石，硼锂绿泥石
			过渡型	须藤石，锂绿泥石
			三八面体	斜绿泥石，叶绿泥石，镍绿泥石
	二元混层体系		规则	累托石，柯绿泥石等
			不规则	伊利石-蒙皂石，海绿泥-蒙皂石等
	三元混层体系		伊利石-绿泥石-蒙皂石，伊利石-蒙皂石-蛭石等	
2:1 链层状	水化阳离子和沸石水	纤维棒石 $x=0.2$	过渡型	坡缕石(凹凸棒石)，尧弗蒂石
			三八面体	海泡石
非晶质及半晶质				水铝英石，硅铁石，伊毛缟石

(1985)提出的分类表(表 1-8)。

二、粘土矿物的鉴定方法

粘土矿物的鉴定方法，可以参阅许多文献，这里主要就作者所采用的方法和手段叙述于后。

1. 粘土试样的分离提取

粘土试样的分离方法和步骤随目的和要求而异。作者在青海盐湖粘土矿物研究的早期阶段是按下述步骤提取 $<1\mu m$ 粘粒试样的：原样破碎，在低温(50—60℃)下烘干，根据所含可溶性盐类的多少，称取一定重量，先加蒸馏水浸泡溶去可溶性盐类，然后加过氧化氢(30%或 10%)处理有机质至反应消失，接着用稀盐酸(0.05mol/L)(开始时盐酸浓度可以高些)除去碳酸盐，并借助于离心机，用 0.005mol/L 盐酸洗净钙离子、再用蒸馏水洗净氯离子。必要时加少量偏磷酸钠作分散剂，最后通过沉降分离的方法，吸出全部 $<1\mu m$ 粘粒，低温烘干，供鉴定和研究用。

后来，作者考虑到盐湖沉积物中有机质很少，而盐酸、过氧化氢和分散剂可能会改变绿泥石和蒙脱石的某些性质，因此，尽可能不采用过氧化氢和分散剂。同时，粘粒的界限也从 $<1\mu m$ 改为 $<2\mu m$，碳酸盐的去除也留到粘粒分离提取后进行，并保留一部分未处理样品。这样做可以节省化学试剂，又可以预备不同样品，便于不同的研究目的。

2. 粘土矿物鉴定

主要采用X射线粉末衍射法进行粘土矿物鉴定，有时配合红外、差热和电镜等手段。

(1) 粘土矿物的X射线鉴定

沉积物中的粘土矿物粒度细，结晶度低，衍射弱。为了增强 (00L) 基面反射强度，需要将粘粒制成定向薄片，即一定量的粘粒倾倒在玻璃片上，然后在室温下晾干。这种定向方法虽然简单，却并非理想，因为各种不同矿物的粒经常常不同，例如，高岭石约为 0.3—4 μm，伊利石约为 0.1—0.3 μm，蒙脱石约为 0.02—0.2 μm，绿泥石和云母是最粗的粘土矿物。这样，样品在定向晾干过程中会因分选作用而在薄片上产生垂向分异，绿泥石和粘粒云母沉淀在最底部，蒙脱石留在表面，势必影响各矿物的衍射强度，这对通过衍射峰进行矿物的相对含量估计是不利的，不过这种缺点可以适量控制，通过试样的厚度来弥补。薄片上的试样量与粘土薄膜厚度、衍射峰的面积之间存在着一定的关系(假定密度为 2.68/cm^3)，通过试验发现，样品厚度为 0.07—0.12mm 较理想，我们实际是采用 30mg 样品铺在 2.6 × 4.8cm^2 的玻璃薄片上。

再者，当粘粒上有氧化铁存在时，也会削弱衍射强度，故常用化学还原法除去氧化铁。具体步骤是：30—50mg 样加 5mL 0.3mol/L 柠檬酸钠和 0.6mL 1mol/L 碳酸氢钠，在水浴中加热到 80—90℃，再逐渐加保险粉待粘粒褪为灰白色后离心。后来的工作中，作者考虑到尽量保持样品的原始状态，不再进行这样的处理。

有些粘土矿物的X射线衍射图谱十分相似，为了鉴定准确，不能只用原样制成薄片，还需要用 0.5mol/L 氯化镁饱和并用 10% 甘油水溶液淋洗(镁-甘油薄片)，或在 590℃条

件下加热 1h 等几种经过不同处理的定向薄片。镁-甘油薄片中膨胀性 2:1 矿物沿 c 轴方向的晶层间距 d 增大，可以区分蒙脱石和埃石。加热处理可以进一步确定高岭石和绿泥石。这 3 种不同处理的X射线衍射图上，根据 10 Å峰形和位置，可以进一步了解伊利石的性质。

为了测定某些矿物的结晶度或区别二八面体和三八面体绿泥石，则需要用不定向试样。

分析粘土矿物X射线衍射图谱时，首先要抓住矿物的特征衍射线。下面是常见矿物的特征衍射线的 d 值(此值在不同文献中略有出入)。

蒙脱石：15 Å(001)。

绿泥石：14.2 Å(001)，7.08 Å(002)，4.72 Å(003)，3.54 Å(004)。

高岭石：7.16 Å(001)，3.58 Å(002)。

伊利石：10 Å(001)，5.0 Å(002)，3.33 Å(003)。

坡缕缟石：10.5 Å，4.5 Å，3.23 Å，2.62 Å。

海泡石：12.6 Å，4.31 Å，2.61 Å。

埃洛石 ($4H_2O$)：10.1 Å。

表 1-9 主要粘土矿物 X 射线衍射鉴定

矿物	基面间距	乙二醇化效果 1h, 60℃	加温效果 1h
高岭石	7.15 Å，3.75 Å	不变化	550—600℃成为无定形
无序高岭石	7.15 Å(宽)，3.75 Å(宽)	不变化	成为无定形的温度比高岭石低
埃洛石 ($4H_2O$)	10 Å(宽)	不变化	110℃脱水成为 $2H_2O$ 型
埃洛石 ($2H_2O$)	7.2 Å(宽)	不变化	125—150℃脱水，560—590℃后成无定形
云母 (2M)	10 Å，5 Å	不变化	加热后 10 Å峰增强，晶体结构维持到 700℃
伊利石 (1Md)	10 Å(宽)，其它基面间距存在，但小	不变化	加热中 10 Å峰增强，层间水迁移，在较高温度下似云母
蒙脱石族	15 Å和其它基面间距	d(001) 膨胀到 17 Å	300℃，d(001) 成为 9 Å
蛭石	14 Å和其它基面间距	不变化	分阶段脱水
镁绿泥石	14 Å和其它基面间距	不变化	d(001) 峰增强，<800℃显示重量损失，但晶体结构不变化
铁绿泥石	14 Å比镁形式强度小，显其它基面间距	不变化	d(001) 强度变化不显，800℃以上晶体结构破坏
混层矿物	规则的：(001)和其它基面反射	除可膨胀成分存在外，一般不变化	变化
	不规则的：	有蒙脱石则变化	取决层间矿物的存在
坡缕缟石	10.5 Å，4.5 Å，3.23 Å，2.62 Å	不变化	宽阶段脱水
海泡石	12.6 Å，4.31 Å，2.61 Å	不变化	
水铝英石，无定形粘土	没有反射峰	不变化	脱水和损失重量

埃洛石（$2H_2O$）：7.2—7.5 Å。

蛭石：14 Å。

此外，在粘土试样中还经常碰到一些非粘土矿物：石英，4.26 Å，3.34 Å（此峰与伊利石峰重叠）；长石，3.18—3.24 Å；方英石，4.04 Å；方解石，3.84 Å，3.03 Å，2.49 Å；白云石，2.88 Å；文石，3.39 Å，3.25 Å，1.977 Å；菱镁矿，2.77 Å，2.12 Å；三水铝石，4.85 Å。

表 1-10 粘土矿物鉴定中的温度效应*

矿　　物	温　　度	效　　果
高岭石 （结晶良好）	575—625℃	无衍射峰
高岭石 （无序）	550—562℃	相似于高岭石
迪开石	665—700℃	相似于高岭石
埃洛石 （$4H_2O$）	125—160℃ 560—605℃	水分迁移 相似于高岭石
埃洛石 （$2H_2O$）	125—150℃ 560—590℃	水分迁移 相似于高岭石
水铝英石	140—180℃	吸着水迁移，在任何温度下无定形
云　母	700℃	显示逐渐失重，<700℃结构不破坏
伊利石和粘土云母	125—250℃ 350—550℃ 700℃	失去吸着水 复归云母构造 相似于云母
绿鳞石	500—600℃	相似于海绿石
海绿石	530—650℃	失去层间水，复归到云母结构
黑云母	700℃	金云母相似于白云母，黑云母在700—1000℃显示破坏
蛭　石	<300℃	随着水的失去，逐步出现 13.8 Å，11.6 Å
蒙脱石族	300℃	原 15 Å 消失，出现 9 Å 间距
绿泥石族	600—800℃	显示逐渐失重，但结构不变化
镁绿泥石	650℃	14 Å 强度增强
铁绿泥石	500℃	14 Å 强度几乎不变，可能变成宽而发散
混层粘土	<600℃	随矿物存在的种类和量的不同
坡缕缟石	400—440℃	<400℃迅速脱水，但结构不变化 >400℃ 10.5 Å 呈宽而发散 接近 800℃结构破坏
海泡石	<200℃ >200℃	迅速脱水 缓慢脱水 12 Å 在 350℃时变成弱而发散，出现一条 9.8 Å 峰和一条 7.6 Å 峰 800 ℃再结晶

* 加热时间为 1h。

总之，粘土矿物的X射线衍射鉴定可参考 Carroll（1970）的有关表格（表 1-9 和表 1-10）。

（2）粘土矿物其它鉴定方法

应该认为，粘土矿物鉴定的最主要方法是X射线粉末衍射法，但红外、电镜、差热等方法也是需要的，这些方法有时对某些粘土矿物的鉴定，甚至起到决定性的作用，因此，各种手段虽然在矿物鉴定上作用不同，但它们是相辅相成的。

红外分析方面，作者主要参考了 H. W. Vander Maral, H. Beutelepaher 1976 年编著的《粘土矿物及其混合物红外图谱集》。各种粘土矿物的吸收带，在该书中均已详细列出，这里不再摘抄。作者利用红外图谱，主要看有没有高岭石特征的 3 700cm^{-1} 吸收带，以此来进一步确定盐湖粘土中有无高岭石存在，并根据该吸收带的形态和大小（"肩"状、"勺"状、或"勾"状），来估计高岭石的多少。许多粘土矿物的吸收带的位置相似或相近，在一个样品中通常含有几种矿物的情况下，单利用红外吸收光谱是不容易将它们区分开的。作者通过实际工作认为，可以把 648cm^{-1} 吸收带作为绿泥石的特征吸收带。

电镜分析方面，可以参考张天乐等(1978)著的《中国粘土矿物的电子显微镜研究》一书。从盐湖粘土矿物样品来看，盐湖粘土矿物基本上是他生的，因此，矿物晶形不好，仅在个别样品中可以见到高岭石的假六边形，这进一步表明盐湖粘土中有高岭石存在。

差热分析方面，许多文献中都有粘土矿物的差热分析资料。单个矿物的热特征是比较清楚的，但含有几种矿物的混合样的差热曲线的判读就不够理想。不管怎么说，热分析也是粘土矿物鉴定的一种手段。作者体会到在只有一两种粘土矿物为主时，差热曲线也能充分显示这些矿物的热性质。

（3）盐湖粘土矿物鉴定

现将作者在盐湖粘土矿物研究过程中，在$<2\mu m$ 粘土试样中所碰到的粘土矿物和一些非粘土矿物的鉴定，分别简述如下。

蒙脱石：在镁-甘油薄片的X射线衍射图谱上，原样上的 15 Å 衍射峰变为 18 Å，并出现 9 Å的次级衍射。进一步我们可以划分结晶良好的蒙脱石［(001) 衍射峰基本呈尖锐性］和结晶较差的蒙脱石［(001)衍射峰明显呈锯齿状］。

伊利石：在X射线衍射图谱上有 10 Å，5.0 Å，3.33 Å 3 条衍射峰，镁-甘油饱和或加热处理后峰的位置不变。10 Å衍射峰的不对称，视为伊利石已经脱钾水化。

绿泥石：在X射线衍射图谱上，14.2 Å，7.0 Å，4.72 Å，3.54 Å 4 条衍射峰清楚可见，尤其是4.72 Å峰的存在可以确证；富镁低铁绿泥石的基面反射都很强；而富铁绿泥石的基面反射中第一级和第三级很弱，第二级和第四级较强。590℃加热 1h 后镁绿泥石的 14 Å衍射峰强度增强，而铁绿泥石则不变。Carroll（1969）提出 7 Å/14 Å值约<2时为镁绿泥石，>4时为铁绿泥石，2—4 之间的为镁铁绿泥石。由于我国盐湖粘土中高岭石一般很少，高岭石的 7 Å衍射峰的影响不会成为问题。在红外图谱上可见到绿泥石的较明显的 648cm^{-1} 吸收带。

高岭石：在我国盐湖沉积物中，高岭石普遍很少，而绿泥石较多。在这种情况下，单靠X射线衍射来确定高岭石是否存在是不容易的，因为高岭石的 7 Å和 3.5 Å强峰都与绿泥石的峰相重叠，即使采用加热的方法，也不易分辨，因为这时高岭石结构已破坏，不再出现衍射峰，而绿泥石也只留下 14 Å峰。若是碰到铁绿泥石或 7 Å绿泥石，14 Å峰本来就

很弱或根本没有，那就更不容易与高岭石相区分。改用酸处理（如用 2 mol/L 盐酸，在80℃加热半小时），虽可使绿泥石溶解而留下高岭石，但粘粒样经酸处理后X射线衍射的结果常常很不理想。在个别盐湖粘土样品中，曾见到高岭石的 3.58 Å和绿泥石的 3.54 Å叠合成双峰出现，显然一般可以判定有这两种矿物存在。高岭石虽然有特征的假六边形晶体可以与绿泥石相区别，但是，盐湖碎屑粘土，在电镜上常常找不到晶形完好的高岭石颗粒，故要确定高岭石的存在，最好通过红外光谱分析，即以高岭石的特征的 3 700cm^{-1}吸收带作为依据。

与我国盐湖中的情况相反，澳大利亚某些盐湖粘土却含有较多的高岭石，绿泥石很少。在这种情况下，用X射线、红外、差热、电镜分析等手段来确定这两种矿物的存在或估计相对含量，都会取得较好的效果。

混层矿物：个别样品的X射线衍射图谱上可明显见到 25 Å衍射峰，根据 d 值，它与累托石相当。不少样品中，蒙脱石(001)衍射峰明显不对称，应该说不规则混层矿物是普遍存在的。

坡缕缟石-海泡石族矿物：有些样品的X射线衍射图谱上，约略可见 10.5 Å或 12.6 Å峰的出现，可能为这类矿物。郑绵平等(1987)在西藏个别盐湖中，通过电镜分析资料证实这类矿物的存在。

此外，在盐湖粘土中还普遍存在以下一些非粘土矿物：石英、长石、方解石、白云石、文石、菱镁矿等，在澳大利亚台瑞湖粘土中还发现有不少的明矾石存在，这些矿物通过X射线衍射分析是比较容易鉴定的。

三、粘土矿物的相对含量和结晶度

1. 粘土矿物相对含量估计

根据X射线衍射图谱估计粘土矿物相对含量，曾提出过几种大同小异的方法。但是，影响粘土矿物衍射强度的因素很多，如矿物的吸收系数，颗粒的择优取向，试样的厚度和均匀性，矿物的结晶度、多型、水化作用、化学组成的差异等等。尽管如此，在实际工作中，经常需要知道粘土矿物的含量，那怕是相对的多少。在盐湖粘土矿物工作中，作者采用了Biscaye（1965）提出的方法，该法只估计蒙脱石、伊利石、高岭石和绿泥石这几种粘土矿物的相对多少（作为100%），不管有无其它矿物存在。具体方法是：经乙二醇处理的X射线衍射图谱上，17 Å衍射峰强度×1 为蒙脱石的权重强度；10 Å衍射峰强度 ×4 为伊利石的权重强度；7 Å衍射峰强度×2 为高岭石与绿泥石合计的权重强度，两者的含量比例可从绿泥石的（004）（≈3.54 Å）和高岭石的（002）（3.56—3.58 Å）的衍射强度求出[Darby（1975）提出利用 7 Å盐酸处理，以避免衍射图上 3.54 Å和 3.56 Å的重叠]，然后按照权重强度的大小换算成含量百分比，作为这几种矿物的相对含量。利用X射线衍射图谱进行粘土矿物的定量分析，其基本原理是：某一种粘土矿物在样品中的含量比越高，则它的衍射峰强度越强。因此，可以利用某些特定的衍射峰的强度比来测定样品中粘土矿物的相对含量。考虑到诸多因素影响衍射峰的强度，各特征峰强度势必要乘上一个系数(权重系数)。这些系数是在一定的实验条件下，并假定特征峰的强度比和矿物的重量比之间成简单的直线关系。因此，所得的含量数值并非实际含量，只能供剖面对比时

判断某一矿物含量变化趋势之用。

各种矿物对X射线衍射的最低可鉴定含量相差较大(表 1-11)，了解这一点对矿物的含量估计是有益的。

表 1-11　常见矿物可鉴定的最低百分数

矿　　物	可鉴定的最低含量(%)	*hkl*	鉴定用的主要面网间距 *d*(Å)
高岭石	5	001	7.13—7.16
高岭石,无序	1—5	001	7.15
埃洛石,$4H_2O$	10	001	10.1
埃洛石,$2H_2O$	10	001	7.21
云母,$2M_1$	1	001	9.99—10.4
伊利石	5	001	10.16
海绿石	?	001	10.06—10.19
鲕绿泥石	?	001	7.10
黑云母	1	002	10.1
蛭石	5	001	14.2
蒙脱石族	10	001	15.4(变化)
镁绿泥石	1	001	14.1—14.2
铁绿泥石	10	001	14.1—14.2
坡缕缟石	5	110	10.2—10.48
海泡石	5?	110	12.05—13.3
石英	1	101	3.34
石英	5	100	4.26
方英石 α	5	101	4.04
长石,正长石	5	040,202	3.25—3.28
长石,斜长石	5	002,040	3.18—3.20
方解石	5	104	3.03
白云石	1	104	2.88—2.89
铁氧化物	<1		
石盐	5	200	2.83—2.84

据 Carroll (1970)。

2. 伊利石结晶度的测定

伊利石是云母在风化过程中水化脱钾或蒙皂石在成岩过程中层间固定钾离子后转化而成的。水化脱钾使云母晶层逐步打开，钾离子固定使蒙皂石层间逐步闭合。因此，伊利石的结晶度或开放度是地质环境的指示。

韦弗（Weaver）1960 年首先用伊利石(001)反射 10 Å处的峰高与 10.5 Å 处的峰高之比来测定伊利石的“结晶度”(即韦弗指数)。库伯勒（Kubler）1964 年则以 10 Å 反射本底以上峰高一半处的宽度，即通常所说的“半高宽”或库伯勒指数。韦伯（Weber, 1972）方法，则在试样中加入石英作为内标，以相对半高宽（H_{b_1}/H_{b_2}）× 100 来表示，其中，H_{b_1}：伊利石（001）反射的半高宽（mm），H_{b_2}：石英（100）反射的半高宽（mm）。

Milliers 和 Perez-Nieto 1973 年则提出用参数 E_0 来计算伊利石的“开放度”。

$$E_0 = 100\,\frac{S_1 - S_2}{S}$$

式中，S_1:10 Å衍射峰的总面积，S_2:10 Å衍射峰高角度部分的面积以及与高角度部分对称的低角度部分面积之和。

刘东生等(1985)用 $H_W - \frac{H}{W}$ 指数来表征伊利石的"结晶度"，式中，H：伊利石 10 Å衍射峰的峰高(mm)，W：伊利石 10 Å衍射峰的半高宽（mm)。

H_W 的测量是在$<2\,\mu m$ 的未作处理的样品的X射线衍射图谱上进行的。

近来，任磊夫(1987)提出用伊利石衍射峰的开放度来说明伊利石结晶程度的好坏。具体描述是：伊利石 10 Å峰，当伊利石结晶较好时，其峰狭窄而且比较对称，在此峰的半高宽处，b 的长度(低角度一侧)与 a 的长度(高角度一侧)相近似；结晶较差的伊利石，其峰宽而且不对称，呈开放形，向低角度一侧拖大一个底脚，成为扩散峰形态，在此峰的半高宽处，$b > a$。总之，用 $b \approx a$ 或 $b > a$ 来表示伊利石的结晶程度的好坏，即所谓伊利石的"开形指数"。

在任磊夫方法的基础上，作者采用 b/a 值。它能更好反映陆源伊利石的脱钾或水化的程度，但此值随实验条件而定，在青海湖沉积物粘土矿物研究中运用此值已获得初步成效。此法是在甘油饱和的$<2\,\mu m$ 样品的X射线衍射图谱上进行的。作者初步体会到，此值尤其在一个沉积剖面中，更能反映沉积过程中的某些环境。

四、粘土的化学成分及应用

粘土矿物各有其特征的化学组成，能在一定程度上反映其形成条件或环境(图 1-2)。

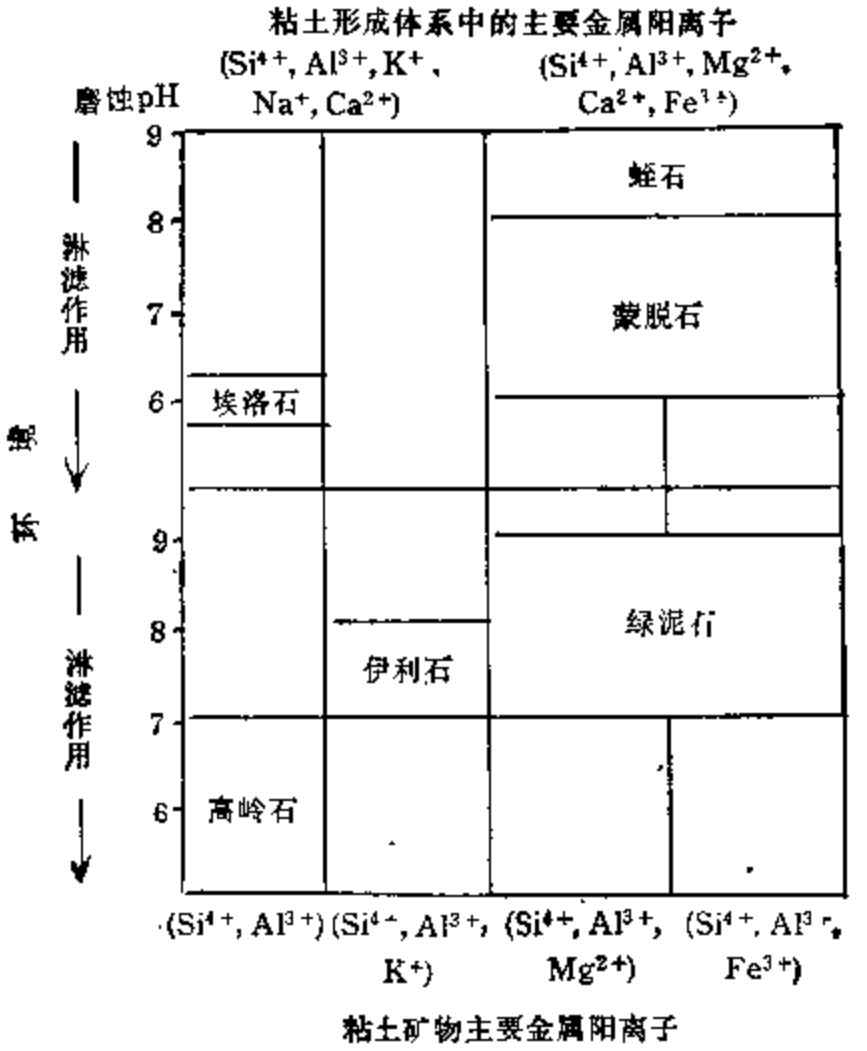


图 1-2　粘土矿物形成的主要条件(据 Degens, 1965)

伊利石的主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，K^{+}，它是淋滤作用不强的、弱碱性环境下的产物；绿泥石的主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，Mg^{2+}，Fe^{3+}，是碱性环境的产物；蒙脱石的主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，Mg^{2+}等，是弱碱性、淋滤作用不强等环境的产物；高岭石的主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，是酸性和淋滤作用较强等环境的产物。

利用粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图可以反映粘土的不同成因类型。刘东生等(1985)提出粘土中 SiO_2-Al_2O_3 的关系图代表样品形成时的湿度状况，SiO_2-Fe_2O_3 的关系图代表化学风化的强度，CaO-Fe_2O_3 的关系图代表淋滤作用的强度。

盐湖粘土，特别是盐湖晚期成盐阶段中的粘土，长期处于高矿化度卤水的特定环境中。根据盐湖中主要粘土矿物及其化学组成，以及盐湖形成演化的一般趋势，在实际工作中，作者用不含碳酸盐的$<2\mu m$ 粘土中的 Al_2O_3/MgO 值来反映沉积过程中某些环境变化，已取得初步效果，并具有一定的普遍意义。

第三节　我国盐湖粘土矿物研究概况

盐湖野外考察和钻井记录表明，盐湖沉积的重要特征是化学沉积物和碎屑沉积物常常互层或混层沉积，构成沉积旋回；或者化学沉积物（蒸发盐）直接发育在碎屑沉积物之上。粘土矿物是碎屑沉积物的重要组成部分。很显然，这就是盐湖粘土矿物研究的物质基础。

如前所述，粘土矿物的形成和稳定，除了必要的金属离子外，还需要一定的环境。粘土矿物的重要特点是类质同象取代比较普遍，而盐湖粘土矿物又是长期处于高矿化度卤水的特定环境中，这样，盐湖卤水化学成分势必要影响粘土矿物的化学成分、类型和属性。因此，研究盐湖粘土矿物，也为讨论盐湖形成演化过程中某些沉积环境的变化，以及成矿条件等提供了科学依据。这就是研究盐湖粘土矿物的重要目的。

我国盐湖粘土矿物研究，在总的盐湖地学研究中起步较晚。1972 年中国科学院青海盐湖研究所地球化学研究室成立盐湖沉积学研究组，责成作者全面系统地研究我国盐湖粘土矿物。在此前后，地质科学院矿床地质研究所和中国科学院西藏综合考察队，对西藏扎仓茶卡、班戈错和茶拉卡等 3 个盐湖沉积物中粘土矿物进行过一定的研究[1]，近年来，郑绵平等（1987）对西藏一些盐湖沉积物中粘土矿物进行了深入研究，并积累了宝贵的资料。80 年代以来，断续有人研究盐湖粘土矿物，如柴达木盆地的达布逊湖(袁宝印，1987)和小柴旦湖(贾容芬等，1986)等。

我们自 1972 年以来，在中国科学院组织的西藏盐湖研究(1976，1978)，中澳第四纪合作盐湖风成沉积研究(1981—1984)，青海湖气候变化规律研究(1985—1987)，柴达木盆地盐湖成盐演化、成矿规律研究(1972—1980)，以及内蒙古盐湖研究(1983—1984)和新疆盐湖研究(1986—1990)等一系列重大课题中都开展了盐湖粘土矿物的研究工作。通过许多同志的共同努力，积累了不少有关盐湖粘土矿物的资料，为本书的撰写打下了基础。

本书包括青海、西藏、内蒙古和新疆 4 个省区约 70 个湖区的约 500 个沉积物样的粘土矿物资料，其中包括盐湖地区的一些咸水湖和泥样中的粘土资料。绝大部分资料是我

1）地质科学院矿床地质研究所和中国科学院西藏综合考察队，1974，西藏盐湖硼矿研究报告。

表 1-12 各湖区粘土矿物研究一览表

地区	类型	湖名（产地）	样品情况			研究情况								粘土矿物鉴定结果
			采样时间	产状	数量	X衍射	红外	差热	电镜	粒度分析	化学分析	光谱分析	穆谱	
内蒙古	盐湖	查干诺尔	1983	钻孔	12	12	6			12	12			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		吉兰泰	1983	钻孔	6	6	1			6	3			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		雅布赖	1983	钻孔	6	6	1			6	4			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		察汉淖	1983	钻孔	5	5	1			5	3			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		额吉淖尔	1983	钻孔	5	5	1			5	3			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
西藏	盐湖	班戈错 II	1976	钻孔	1	1	1					1		伊利石，绿泥石，高岭石（蒙脱石，埃洛石，坡缕石*）
		班戈错 III	1976	表层	1	1								伊利石，绿泥石
		郭加林	1976	钻孔	2	2	1			1	1	1		伊利石，绿泥石，高岭石
		崩则错	1976	表层	1	1					1			伊利石，绿泥石
		依布茶卡	1978	表层	1	1				1		1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，混层矿物?
		玛尔果茶卡	1978	钻孔	1	1	1			1		1		伊利石，绿泥石，高岭石
		孔孔茶卡	1978	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石，蒙脱石
		肖茶卡	1978	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石，蒙脱石
		错尼东错	1978	表层	1	1				1		1		伊利石，绿泥石
		尼玛错	1978	表层	1	1								伊利石，绿泥石
		确且错	1978	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石
		洞错	1976	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石
		查波错	1978	表层	1	1	1							伊利石，绿泥石，高岭石
		达瓦错	1976	表层	1	1						1		伊利石，绿泥石，高岭石?
		嘎仁错	1978	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石
		错呐	1976	表层	1	1				1				伊利石，绿泥石
		扎仓茶卡 I	1976	表层，钻孔	26	26	3	2	2			1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		扎仓茶卡 II	1976											伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		扎仓茶卡 III	1976											伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		别若则错	1976	表层	1	1								伊利石，绿泥石
		茶拉卡	1976	表层	1	1				1	1	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		尼错	1976	表层	1	1								伊利石，绿泥石，蒙脱石?
		阿翁错	1976	表层	1	1				1		1		伊利石，绿泥石，蒙脱石?混层矿物?

续表

地区	类型	湖名（产地）	样品情况			研究情况								粘土矿物鉴定结果
			采样时间	产状	数量	X衍射	红外	差热	电镜	粒度分析	化学分析	光谱分析	穆谱	
西藏	盐湖	噶尔昆沙	1978	表层	1	1								伊利石，绿泥石
		扎布耶茶卡												伊利石，绿泥石，蒙脱石*
青海	盐湖	大柴旦湖	1972	钻孔	5	5					3			伊利石，绿泥石，蒙脱石
		一里坪盐湖	1972 1982	钻孔	44	44	2			17	10	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		大别勒湖	1974	钻孔	44	44	8				13	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		小别勒湖	1974	钻孔	8	8					2			伊利石，绿泥石，蒙脱石，混层矿物
		达布逊湖	1973 1980	钻孔	13	13	1							伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		昆特依湖	1973 1984	钻孔	42	42	1			6	3	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		东台吉乃尔湖	1974	钻孔	4	4					2	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石
		察尔汗盐湖	1974 1981	钻孔	87	87	1		1	82	6	20	8	伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		尕斯库勒湖	1973 1984	钻孔	35	35	1				1	1		伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		小柴旦湖												伊利石，绿泥石，蒙脱石，混层矿物**
新疆	盐湖	艾丁湖	1986	钻孔	21	21	5			18	8			伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		巴里坤盐湖	1986	表层	1	1	1							伊利石，绿泥石，高岭石
		伊吾盐湖	1986	表层	1	1	1							伊利石，绿泥石，高岭石
		艾比湖	1987 1989	钻孔	22	22	1							伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		七角井盐湖	1986	表层	1	1	1							伊利石，绿泥石，高岭石
		北沙窝盐湖	1986	表层	2	2	1							伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石
		乌尔喀什布拉克湖	1989	表层	1	1								伊利石，绿泥石，高岭石
		乌勇布拉克湖	1989	表层	1	1								伊利石，绿泥石，高岭石

青藏	咸水湖	青海湖	1985 1986	钻孔 表层	97	97	8			97	24		11	伊利石,绿泥石,蒙脱石,高岭石
		扎日南木错	1978	表层	1	1				1				伊利石,绿泥石
		甲热布错	1976	表层	1	1								伊利石,绿泥石
		达则错	1976	表层	1	1					1			伊利石,绿泥石,蒙脱石
		赛布错	1976	表层	1	1					1			伊利石,绿泥石
		色林错	1976	表层	1	1					1			伊利石,绿泥石
		尕错	1976	表层	1	1								伊利石,绿泥石
		纳卡错	1978	表层	1	1	1							伊利石,绿泥石,蒙脱石,高岭石
		色哇东错	1976	表层	1	1								伊利石,绿泥石
		错那	1978	表层	1	1								伊利石,绿泥石
		物玛错	1976	表层	1	1								伊利石,绿泥石
		吓嘎错	1978	表层	1	1								伊利石,绿泥石
	湖周泥样	渥北	1974	钻孔	1	1								伊利石,绿泥石,蒙脱石
		格尔木	1974	表层	2	2								伊利石,绿泥石,蒙脱石
		诺木洪农场	1983	浅坑	4	4				4	2			伊利石,绿泥石,蒙脱石,高岭石
		革吉盐湖区	1976	表层	1	1								伊利石,绿泥石,蒙脱石
		巴毛弯宗	1978	表层	1	1								伊利石,绿泥石,蒙脱石
澳大利亚	盐湖	芒戈湖	1982	表层	1	1	1	1		1	1	1		伊利石,高岭石
		吐尔湖	1982	浅坑	1	1	1	1		1	1	1		伊利石,高岭石
		弗罗姆湖	1982	浅坑	1	1	1	1		1	1	1		伊利石,高岭石,蒙脱石
		艾尔湖	1982	表层	2	2	1	1	1	2	2	1		伊利石,高岭石,蒙脱石
		台瑞湖	1982	浅坑	2	2	1	1		2	2	1		伊利石,高岭石,蒙脱石,绿泥石

注：表内数字为样品数。

* 资料引自郑绵平等(1987)。

** 资料引自贾容芬等(1986)。

们自己积累起来的。为了与国外盐湖粘土矿物进行对比，本书最后一章介绍了澳大利亚东南部几个盐湖的有关资料。为了了解样品的产状和分布，书中介绍了许多钻孔剖面的岩性资料。本书包括278个沉积物样的粒度分析资料，118个粘土样的化学成分数据，54个粘土样的微量元素光谱分析结果，约300个粘土样的X射线衍射图谱，50多个粘土样的红外图谱，以及少量粘土样的差热曲线、电子显微镜照片和穆斯堡尔谱等资料。

本书各湖区样品的产状、研究概况和粘土矿物鉴定结果见表1-12。

第四节　盐湖沉积物分布及粘土产状

盐类沉积物和碎屑沉积物构成了整个盐湖沉积实体。粘土矿物是盐湖碎屑沉积物的重要组成部分，要深入认识盐湖粘土矿物的基本特征，就应该对盐湖粘土产状及盐湖沉积物分布特征有所了解。这里以本书做过粘土矿物研究的某些盐湖沉积剖面地质资料为主，简要论述盐湖沉积物的成分、分布和粘土产状。

一、方法和说明

1. 关于盐湖碎屑沉积物的岩性定名问题

关于沉积物岩性定名的方案，在许多文献中都有论述(任明达等，1981；成都地质学院陕北队，1978)，但是，盐湖沉积物有其独特之处，即盐类沉积物(蒸发盐)与碎屑沉积物混层沉积比较发育，在不溶物中又常常含有不等量的其它盐类，例如，吉兰泰盐湖碎屑沉积物的 $>50\mu m$ 粒级中，石膏含量从≈95%到≤10% 都有分布，并且在沉积剖面中有一定分布趋势；又如察尔汗盐湖碎屑物的 $>50\mu m$ 粒级中，有的样品中石膏含量很少，有的样品中石膏含量 $>95\%$，且呈不规则分布。该盐湖沉积剖面成盐阶段中的37个样品，其中石盐层中的24个样的不溶物平均含量25%，碎屑层中的13个样的可溶盐平均含量29%。以上可见，石膏的含量和分布，以及盐、碎混层的事实直接影响到岩性的命名。因此，盐湖碎屑沉积物的岩性定名，势必难以完全照搬现有的有关沉积岩(物)的命名原则。作者在盐湖野外地质考察和钻井地质编录工作中，常常遇到同一岩性被人描写为不同名称的情况，这是对盐湖沉积物岩性定名没有规范化的必然结果。

几年前，作者与高章洪等同志曾研究过岩性定名问题。通过进一步实践，我们对以碎屑物为主的盐湖沉积物的命名提出了一个初步方案：$<5\mu m$、$5—50\mu m$ 或 $>50\mu m$ 的颗粒含量大于或等于75%时，分别叫做粘土、粉砂或砂；不足75%时，则含量最多的颗粒成分放在后面，次多的颗粒成分放在前面，中间加一个"质"字作为修饰词。若可溶盐含量为15—30%时，则在碎屑物名称前面加上"含盐"二字。其中"盐"字视主要盐类矿物来定，若样品中可溶盐含量为30—50%时，则盐、碎各取主要名称，例如，样品中石盐含量40%，粘土含量45%，则称为石盐粘土；若可溶盐含量 $<15\%$ 时，则不取盐类名称。其理由是：根据作者的实验结果，盐湖碎屑物通过卤水提取上来(指钻孔中样品)，原样烘干，用蒸馏水浸泡后，再烘干称重，其重量一般要损失百分之几到百分之十几。这样的岩性命名，虽然比沉积学上的有关分类要简化一些，但是，由于碎屑物名称前加上含盐情况，可以较好地反映盐湖碎屑沉积物的岩性特征。当然，某些特殊情况还可特殊对待，例如，遇到有地质

意义或经济价值的盐类矿物，尽管它的含量很少，亦可以冠在岩性名称的最前面，以充分显示盐湖沉积物的岩性特点。有了这个方案，实际资料就便于利用和对比。本书中凡沉积物做了粒度组成分析的，都是按此命名原则进行岩性定名的。当然，这种盐湖碎屑沉积物命名方案还有待在实践中不断完善。

2. 盐湖沉积不同阶段的划分问题

为了便于研究盐湖的沉积环境，我们把盐湖形成演化过程划分为两个阶段：未成盐阶段——盐湖发展早期尚未出现盐类沉积层的阶段；成盐阶段——盐湖发展晚期出现盐类沉积层的阶段。这里强调的是盐类沉积有没有成层出现，“层”是划分盐湖沉积两个不同阶段的标志。

二、盐湖沉积物的成分和分布特征

盐湖沉积分异作用多数良好，也就是说，盐类沉积层质地较纯；碎屑层中不含或含很少的盐类矿物。但是，在相当多的盐湖沉积中，沉积分异作用较差，即盐、碎混层沉积比较发育，因此，下面所谓盐层或碎屑层，是指主要成分而言的。

某些盐湖沉积剖面如图 1-3(1)、图 1-3(2)所示。根据这些资料，盐湖沉积物的成分和分布有以下几点特征。

1. 盐、碎沉积的韵律性

从盐类沉积层角度来讲，可分为以下几种情况：

(1) 由单一盐类构成的沉积层。如察汉淖盐湖沉积剖面，只有 1 层天然碱层；郭加林 76-1 孔和班戈错 76-2 孔沉积剖面中，只有 1 层芒硝沉积层。

(2) 一种盐类沉积层与碎屑层构成多旋回沉积层。如查干诺尔盐湖沉积剖面中，9 层天然碱层与碎屑层互层沉积；一里坪盐湖沉积剖面中，多层石盐层与碎屑层互层或混层。

(3) 多种盐类沉积层沿着正向演化，与碎屑层互层沉积。如额吉淖尔盐湖和扎仓茶卡III 湖沉积剖面中，自下往上，依次沉积碎屑层—芒硝层—碎屑层—芒硝层—石盐层；雅布赖盐湖沉积剖面中，自下往上，依次为碎屑层—芒硝层—碎屑层—石盐层。

(4) 多种盐类沉积层沿着正向演化，直接发育在碎屑层之上。如吉兰泰盐湖沉积剖面中，自下往上，依次为碎屑层—芒硝层—石盐层。

(5) 硼酸盐的沉积比较复杂。如扎仓茶卡沉积剖面中，自下往上，依次为碎屑层—硼酸盐层—石盐层；或碎屑层—芒硝层—硼酸盐层；或碎屑层—硼酸盐层等。

(6) 盐类构不成层的沉积。如郭加林 76-2 孔和班戈错 76-1 孔沉积剖面中，只见有含芒硝粘土或含硼砂粘土沉积。

从碎屑沉积物粒度粗细角度来讲，可分为以下几种情况：

(1) 碎屑物的粒度成分分布未成盐阶段比成盐阶段明显偏细。如察尔汗和一里坪干盐湖：成盐阶段以粉砂或粘土质粉砂为主，未成盐阶段以粉砂质粘土为主，甚至出现粘土层。

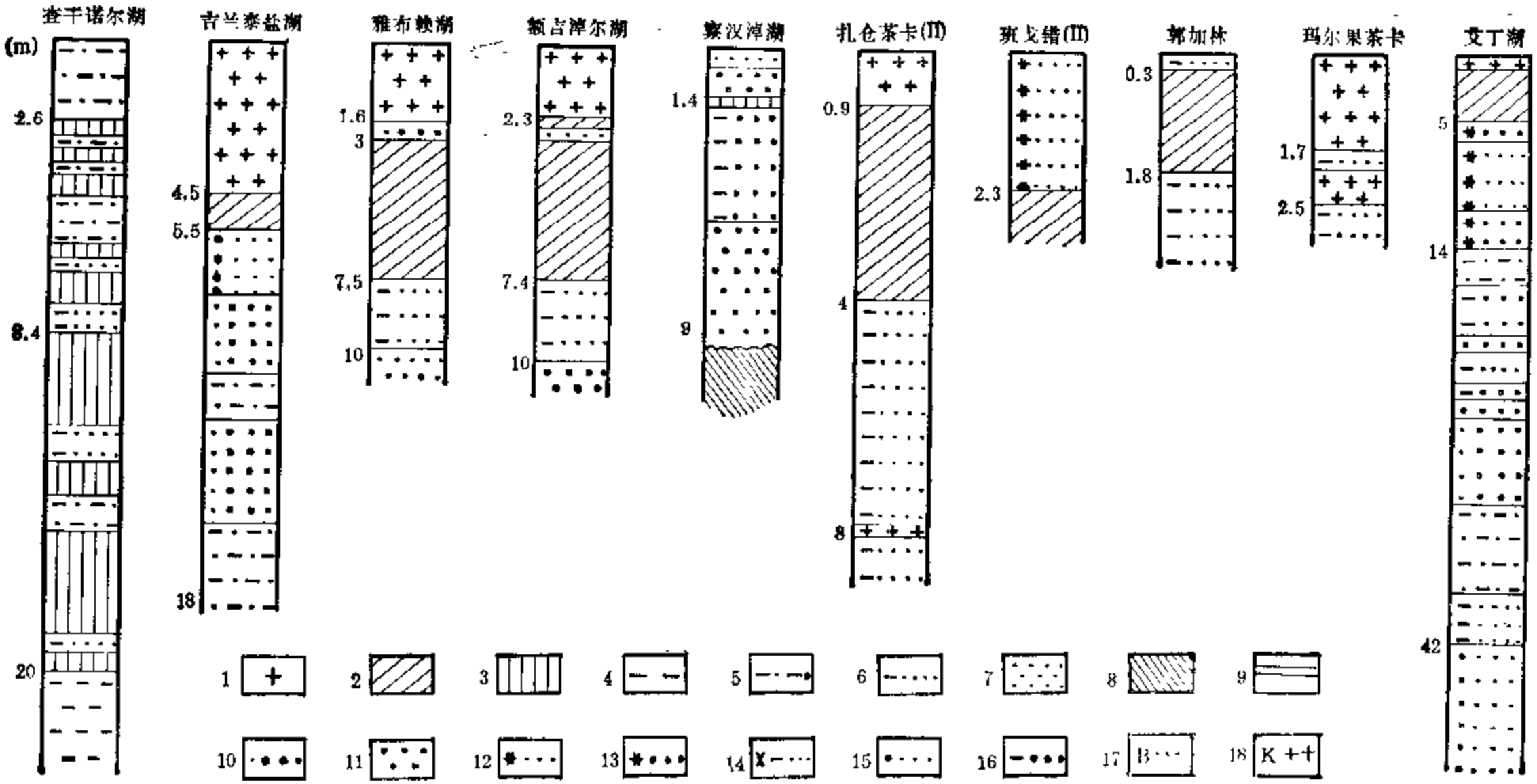


图 1-3(1) 某些盐湖沉积剖面

1.石盐 2.芒硝 3.天然碱 4.粘土 5.粉砂质粘土 6.粘土质粉砂 7.粉砂 8.砂岩 9.泥岩
10.粉砂质砂 11.砂 12.含芒硝粉砂 13.含芒硝砂 14.含石膏粘土质粉砂 15.砂质粉砂
16.粘土质砂 17.含硼粉砂 18.含钾石盐

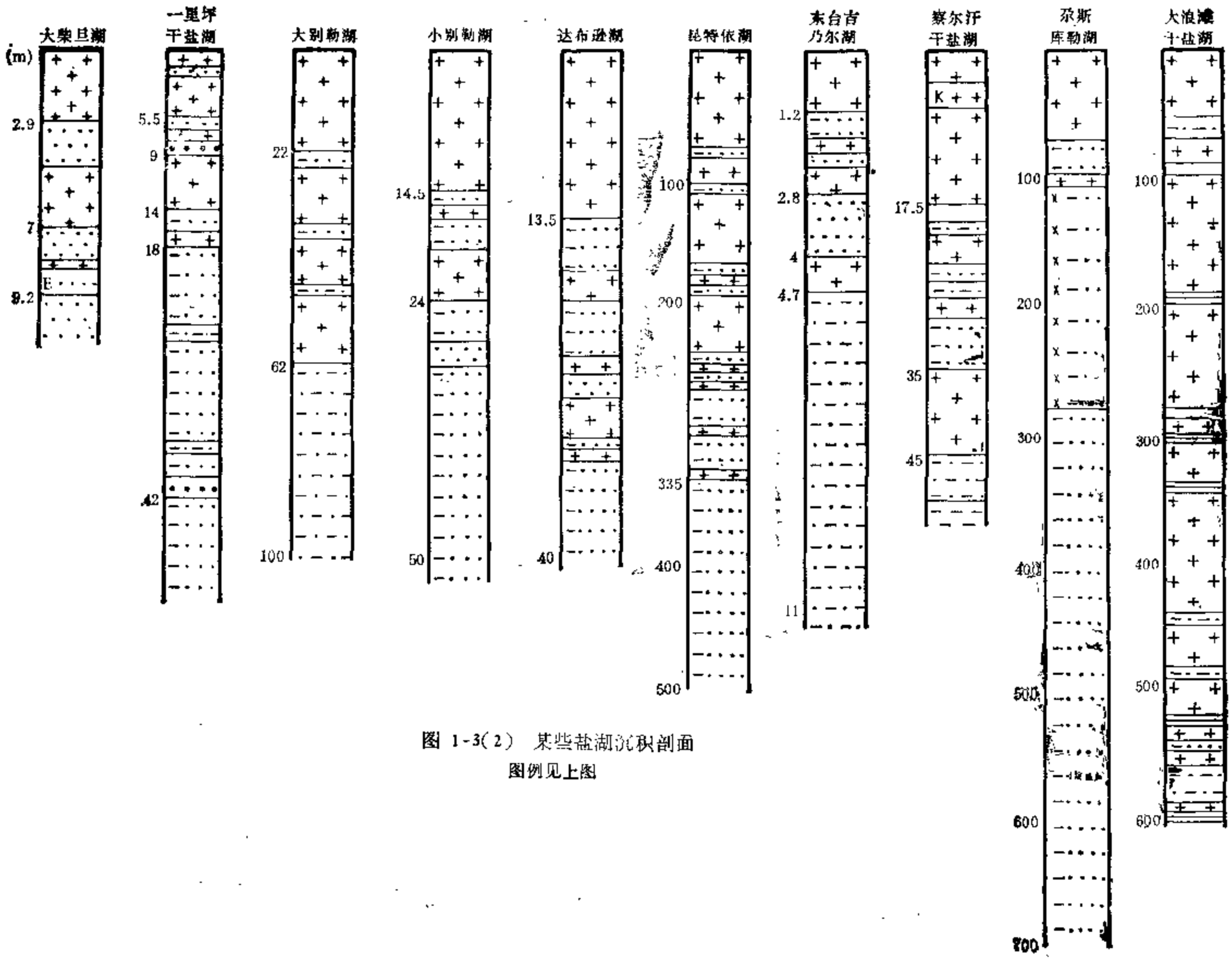


图 1-3(2) 某些盐湖沉积剖面

图例见上图

（2）碎屑沉积物粒度成分在剖面中自下往上由粗变细。如察汉淖盐湖：最底部为砂岩，然后是粗砂，最上部为粉砂。

（3）碎屑沉积物粒度成分在盐湖成盐阶段中呈现多次粗细旋回性变化。如查干诺尔盐湖沉积剖面中，交替出现粘土质粉砂和粉砂质粘土沉积。

2. 盐湖表层沉积的盐类及分布特征

（1）多种盐类沉积层的不规则分布。例如，从作者等人于1976年对扎仓茶卡II湖所作的岩相分布图来看，芒硝分布在该湖的东部和西北部；石盐仅在湖的东南部出露；硼矿层分布较分散，在湖的西南边、西北部、东北边以及I—II湖的湖堤上均有出露。

（2）一种盐类沉积层的单一分布。大多数盐湖表层属于这种情况。

3. 盐类沉积物中矿物组合及沉积类型

（1）对盐类矿物来讲，以横线前为成层的盐类矿物，横线后为主要共生矿物，主要有以下几种矿物组合：① 天然碱-芒硝、石膏；② 天然碱、芒硝-石膏等；③ 石盐-石膏等；④ 石盐、芒硝-石膏等；⑤ 石盐-光卤石、石膏等；⑥ 芒硝、硼矿、石盐-石膏等等。

（2）从整个盐湖发育历史以及构成层的盐类沉积物来看，可以分为以下几种沉积类型：① 只有碳酸盐沉积(天然碱，$NaHCO_3 \cdot 2H_2O$)；② 只有硫酸盐沉积(芒硝，$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)；③ 只有氯化物沉积(石盐，NaCl)；④ 碳酸盐-硫酸盐沉积；⑤ 硫酸盐-氯化物沉积；⑥ 硫酸盐-硼酸盐沉积和硼酸盐-氯化物沉积等。

4. 盐湖沉积最后阶段的岩性特点

（1）干盐湖：① 以盐壳出露地表结束盐湖沉积。例如，察尔汗盐湖，地表为石盐壳所覆盖。② 以碎屑层出露地表结束盐湖沉积。碎屑物有两种成因类型：一种是水的搬运作用形成的，如查干诺尔湖表层；一种是风积物所覆盖的，如察汉淖湖表层。

（2）水湖：① 湖水底部继续成盐作用，沉积盐类沉积层；② 湖水底部沉积碎屑物沉积层；③ 湖水底部盐层(一种或多种)与碎屑层同时沉积在不同部位。

这里应强调指出，无论是干盐滩，还是湖水底部沉积物，都不是固定不变的。随着淡水补给来源的变化及补给量的大小，盐类沉积物可以析出—消溶—再析出—再消溶，充分显示出盐湖的表层盐层具有易变性的特征。例如，达布逊湖西边的西达布逊湖，由于格尔木西河改道，淡水汇集到这里，消溶了周围的盐壳，于70年代中期后明显地扩大了湖的面积。1981年8月作者等人曾考察了该湖，该湖湖表可划分为碎屑层—石盐层—光卤石层3个岩相带。当半个月后再次考察该湖时，由于来自格尔木西河的水量突然增加很多，导致该湖内盐类沉积物全部消溶，湖水边界向外扩张30多米。

总之，各湖沉积实体是物质来源、气候干湿变化、湖泊演化历史、湖盆性质和大小、淡水补给来源和量的大小、沉积条件等诸因素综合控制和影响的结果。由于以上诸因素的差异，形成不同的盐类沉积层及分布特征，以及形成碎屑物粒度组成及分布上的不同特点。例如，柴达木盆地中的盐湖，是在柴达木古湖长期演化的基础上形成的，盐湖演化历史长久。进入盐湖阶段后，在总的干旱气候条件下，相对淡化期(碎屑层沉积)和相对咸化期(石盐层沉积)十分频繁地交替出现，每一次淡化过程，不仅沉积了碎屑层，而且为下一

次成化过程中沉积石盐层带来了大量的盐类组分。该盆地盐湖盐、碎混层沉积比较发育，表明为浅水动荡的环境。我们知道，该盆地周围岩体中钾的地球化学背景值高。由于以上这些背景，使该盆地盐湖沉积物具有以下一些共同特点：形成巨厚的石盐层(该盆地西部盐湖中石盐层厚数百米，东部盐湖中石盐层厚几十米)。不少盐湖最上部的石盐层中出现钾盐矿物，甚至出现钾盐沉积层；以及一些盐湖湖水底部仍在进行钾盐沉积作用。未成盐阶段中碎屑物粒度组成比成盐阶段中明显偏细。

三、盐湖粘土产状

根据以上实际资料，盐湖粘土按分布层位及含量多少，可以归纳出以下几种产状：

(1) 作为盐类沉积层中混杂的次要成分——碎屑物中的一员而存在。在盐湖沉积分异作用较差的情况下，粘土的这种产状普遍存在。

(2) 在盐湖晚期成盐阶段盐、碎互层沉积的情况下，粘土作为碎屑层的一员而存在。大多数情况是如此。

(3) 在蒸发盐直接发育在碎屑物之上的情况下，粘土作为湖早期未成盐阶段碎屑层中的一员而存在。这时它可以是主要成分(粉砂质粘土层、粘土层)，也可以是次要成分(粘土质粉砂等)。

(4) 粘土作为盐湖沉积最终的表层沉积物中的一员而存在。这种盐湖表层沉积物，可以是水力搬运而来或风力作用而来的碎屑物，也可以是盐类为主的沉积物或盐、碎混合沉积物。

(5) 粘土作为石盐等包裹体中的一员而产出。通常含量很少，石盐晶形较好，单晶较大，一般为碎屑层中次生的石盐。

第五节　盐湖碎屑沉积物粒度组成及粘土含量

盐湖粘土($<2\mu m$)主要分布在盐湖碎屑沉积层中，因此，对盐湖碎屑物的粒度组成应该有一了解。作者在进行粘土试样分离提取时，先后对287个盐湖碎屑沉积物原样，通过沉降分离的方法，进行了粒度分析。分出 $<2\mu m$、$2—5\mu m$、$5—10\mu m$、$10—50\mu m$ 和 $>50\mu m$ 等5个粒级。这些粒级中包括碳酸盐和石膏。碳酸盐主要分布在 $<5\mu m$ 粒级中，石膏主要分布在 $>50\mu m$ 粒级中。各盐湖一些碎屑物样品的粒度分析结果及其分布特征，在第二章中有具体资料。这里仅根据现有的资料，简述盐湖碎屑沉积物粒度组成方面的总特点、粘土含量及变化趋势。

作者以表1-13和1-14进行粒度分析。

一、盐湖碎屑物粒度组成的基本特征

按 $<5\mu m$，$5—50\mu m$，$>50\mu m$ 粒级(分别代表粘土，粉砂和砂)的含量，将我国盐湖碎屑沉积物的粒度组成作成图1-4。

根据图1-4和有关资料，盐湖碎屑物粒度组成基本特征可以归纳以下几点：

表 1-13　不同粒径颗粒在不同温度时沉降 10cm 需要的时间

温度(℃)	<5μm	<2μm	<1μm
4	1:56′11″	12:6′0″	48:23′20″
5	1:52′36″	11:43′40″	46:55′0″
6	1:49′12″	11:22′30″	45:30′0″
7	1:45′52″	11:1 30″	44:6′40″
8	1:42 46′	10:42′10′	42:48′20″
9	1:39 47′	10:23 30′	41:33′20″
10	1:36 57′	10:8 10″	40:18 20″
11	1:34 13″	9:51 0″	39:16′40″
12	1:31′38′	9:34 40″	38:10′0″
13	1:29 11″	9:19 20″	37:10′0″
14	1:26′40″	9:2′40″	36:10′0″
15	1:24′31′	8:48 10″	35:13′20″
16	1:22′22″	8:34′40″	34:18′20″
17	1:20′17″	8:21′40″	33:26′40″
18	1:18′18′	8:9′20″	32:36′40″
19	1:16′21′	7:57′10″	31:46′20″
20	1:14′30′	7:45 40″	31:2′20″
21	1:12′44″	7:34′30″	30:18′20″
22	1:11′1″	7:23′50″	29:35′0″
23	1:9′21″	7:13′30″	28:53′20″
24	1:7′46″	7:3′30″	28:13′20″
25	1:6′16″	6:54′0″	27:36′26″
26	1:4′44″	6:44′50″	26:59′0″
27	1:3′22″	6:35′50′	26:24′0″
28	1:1′58″	6:27′20′	25:49′20″
29	1:0′39″	6:19′0′	25:16′10″
30	0:59′22″	6:11′0′	24:24′0″

据于天仁等，1965。

表 1-14　土壤机械分析时吸取悬液的间隔时间、

土粒直径(mm)	比　重	取样深度(cm)	不同温度下吸取土		
			10℃	12.5℃	15℃
0.05	2.65	25	2′25″	2′15″	2′07″
0.01	2.65	10	24′07″	22′30″	21′06′
0.005	2.65	10	1:36′27″	1:30′0′	1:24′21″
0.001	2.65	7	28:07′53″	26:15′05′	24:36′25″

据中国土壤学会土壤农化分析专业委员会，1974。

(1) 盐湖碎屑物粒度组成，一般来说，以粉砂级为主，其含量多数集中在 30—70%。粘土级和砂级的含量分布较分散。

(2) 各地区盐湖碎屑物粒度组成有明显差异：西藏盐湖碎屑物粒度组成较粗，以砂为主；青海盐湖碎屑物粒度组成较细，以粉砂为主；内蒙古和新疆盐湖碎屑物粒度粗细不一。

(3) 盐湖碎屑物粒度成分在沉积剖面中有一定的分布趋势：① 盐湖未成盐阶段中样品的粒度组成明显细于成盐阶段中样品的粒度组成，成盐阶段中碎屑隔层的粒度组成

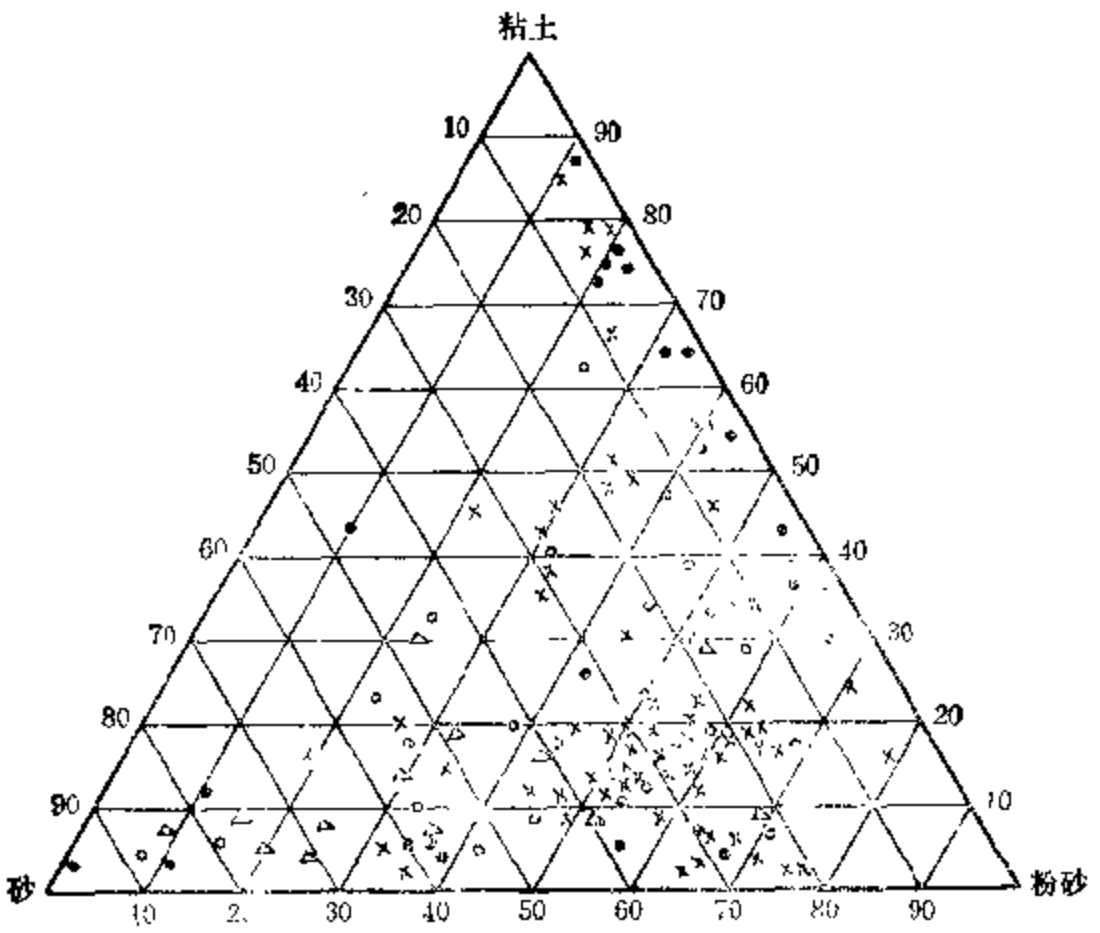


图 1-4　我国盐湖碎屑沉积物粒度组成

● 内蒙古盐湖（5个湖 34 个样）　△ 西藏盐湖（16 个湖 16 个样）
× 青海盐湖（2个湖 97 个样）　○ 新疆盐湖（1个湖 17 个样）

明显细于成盐阶段中混层中碎屑物的粒度组成（如察尔汗和一里坪干盐湖）；② 碎屑物粒度成分粗细在成盐阶段中呈多次旋回性变化，如查干诺尔盐湖；③ 未成盐阶段中碎屑物的粒度组成明显粗于成盐阶段中碎屑物的粒度组成，如察汉淖盐湖。

（4）某些盐湖成盐阶段碎屑物中掺杂了风积物。例如，察尔汗盐湖 81 钻孔碎屑物的 $>50\mu m$ 粒级中，通过双目镜下的观察，发现石英颗粒表面具有风蚀痕迹，这说明盐湖

深度及其土粒比重和水温的关系

液 所 需 的 间 隔 时 间					
17.5℃	20℃	22.5℃	25℃	27.5℃	30℃
1'59"	1'52"	1'45'	1'40"	1'34'	1'29"
19'48"	18'39'	17 53'	16'35"	15'39'	14'50'
1:19'08"	1:14'34"	1:10'12'	1:06'21"	1:02'58"	59'19'
23:05'26'	21:45'09"	20:28 59	19:21'13'	18:16'05"	17:17'52"

沉积物中掺杂了风积物。该湖北岸有现代沙丘堆积，并且发现该湖成盐阶段中碎屑沉积物的粒度组成与我国马兰黄土的粒度组成相似，即都以粉砂级为主，进而有人认为该湖沉积物中有黄土堆积。这是属于盐湖碎屑物的来源和成因方面的问题，值得我们进一步研究。

二、粘土含量及分布

从图 1-4 中可以看出，盐湖碎屑沉积物中粘土含量变化范围很大，从百分之几到

80%，但是，多数集中在5—20%范围内。

在某些盐湖沉积剖面中，粘土含量有以下几种分布趋势：

（1）早期未成盐阶段碎屑层中粘土含量较多，而在晚期成盐阶段（碎屑隔层或蒸发盐层中混杂的碎屑物）中的粘土含量显著减少。如察尔汗盐湖，未成盐阶段中粘土含量一般40%以上，甚至超过75%，而成盐阶段中粘土含量一般小于20%。

（2）在盐湖成盐阶段中，蒸发盐与碎屑物多次互层沉积的情况下，碎屑层中粘土含量可呈现多次旋回性变化。如查干诺尔湖，粘土含量从多（一般50—70%）到少（一般30—40%）呈现3次旋回性变化。

三、认识和讨论

就目前的情况来说，对盐湖碎屑沉积物进行粒度分析的目的有二：一是进行标准的岩性定名，以便资料的统一和对比；二是利用沉积物粒度组成资料来讨论沉积环境。在这里我们要充分认识影响盐湖沉积物粒度组成或粘土含量的分布特征的复杂因素。沉积物粒度粗细，除了与岩性、物质来源、风化程度、搬运距离远近、水动力大小等因素有关外，还与某些盐类沉积物对盐湖沉积物粒度组成分布的影响有关，如碳酸盐主要集中在 $< 5\mu m$ 粒级内，石膏主要集中在 $> 50\ \mu m$ 粒级中，它们的含量及其变化与盐湖形成演化过程又是紧密相连的。

第二章　各地区盐湖沉积物中的粘土矿物

这里包括内蒙古、西藏、青海和新疆等省区约 70 个湖区沉积物中的粘土矿物资料。各地区盐湖粘土矿物的研究程度不尽相同：内蒙古盐湖，研究的盐湖和样品数较少，但是钻孔剖面中沉积物样积累的资料较完整。西藏盐湖，研究过的盐湖数量虽然较多，但多数为表层样品，研究程度较差。青海盐湖，研究过的盐湖多，样品也较多，绝大部分样品来自钻孔剖面，有的盐湖进行过多次研究，积累了较系统的资料。新疆盐湖，只有两个盐湖研究得较为详细。此外，对青海湖沉积物中粘土矿物进行了较详细研究，对西藏 10 多个咸水湖表层沉积物中粘土矿物亦积累了一定的资料。以上所有湖区样品，都是通过 X 射线粉末衍射法进行粘土矿物鉴定和研究的，有些样品还作了红外、差热、电镜和穆斯堡尔谱等分析。同时积累了相当数量的粘土化学分析、粘土微量元素光谱分析和沉积物粒度分析等资料。此外，几十个盐湖的沉积剖面有其详细的岩性描述。现按不同地区分别叙述于后。

第一节　内蒙古盐湖粘土矿物

作者从 1983 年我所内蒙古盐湖野外考察队中获得查干诺尔、吉兰泰、雅布赖、额吉淖尔和察汉淖等 5 个盐湖钻孔剖面地质资料及 34 个样品，对样品进行了粒度成分分析和粘土矿物研究，各湖概况见表 1-2。现按各盐湖沉积剖面岩性，碎屑物粒度成分及粘土含量，粘土矿物组合、含量和分布，粘土化学成分及特征，粘土与沉积环境等分别进行叙述。

一、各盐湖沉积剖面和岩性简述

各湖沉积剖面及样品号见图 2-1。

1. 查干诺尔盐湖

该湖钻孔位于湖的中部，其剖面自上往下共分 21 层：

1，2. 粉砂质粘土层。上部土黄及黄褐色，中部红褐色，下部灰绿、浅灰色。下部含碱晶粒。埋深地表—2.84m，层厚 2.84m。

3. 碱层。浅灰色，质纯。埋深 2.84—3.14m，层厚 0.30m。

4. 粉砂质粘土层。灰黑色，含芒硝。埋深 3.14—3.64m，层厚 0.50m。

5. 碱和芒硝层。浅灰色，埋深 3.64—4.00m，层厚 0.36m。

6. 粉砂质粘土层。灰黑色，上部含芒硝。埋深 4.00—4.34m，层厚 0.34m。

7. 粉砂和碱薄层互层。埋深 4.34—5.04m，层厚 0.70m。

8. 上部为粉砂质粘土层，含芒硝；下部为粘土质粉砂层，灰黑色。埋深 5.04—6.64m，层厚

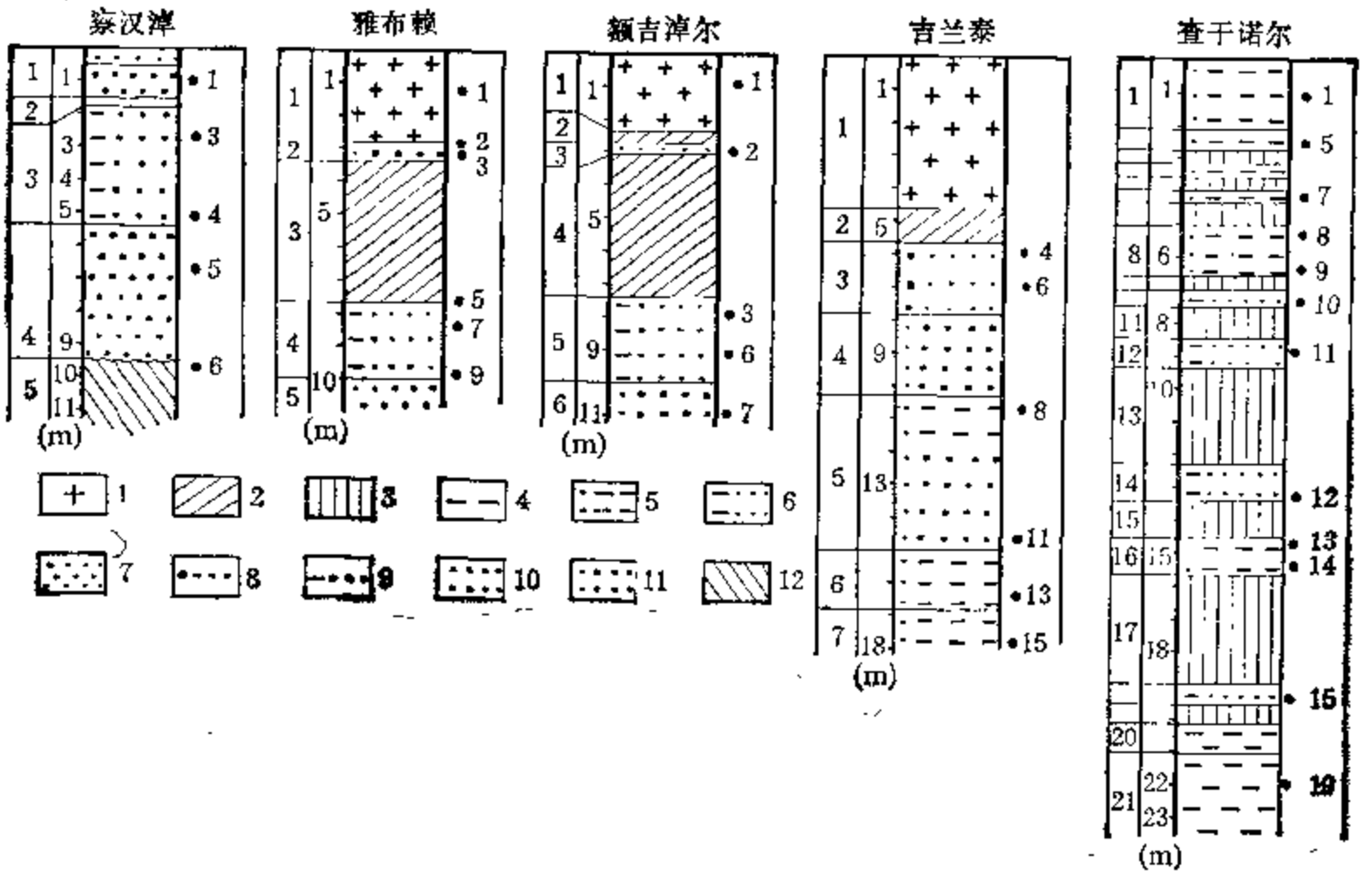


图 2-1　内蒙古盐湖沉积剖面

1.石盐层　2.天然碱层　3.芒硝层　4.粘土层　5.粉砂质粘土层　6.粘土质粉砂层
7.粉砂层　8.砂质粉砂层　9.粘土质砂层　10.粉砂质砂层　11.砂层　12.砂岩

1.60m。

9.碱层。灰白色,质纯。埋深 6.64—7.00m,层厚 0.36m。

10.粘土质粉砂层。灰黑色,埋深 7.00—7.64m,层厚 0.64m。

11.碱层。灰白色,埋深 7.64—8.64m,层厚 1.00m。

12.粘土质粉砂层。含碱薄层,灰黑色,埋深 8.64—9.39m,层厚 1.35m。

13.碱层。灰白色,质纯,下部夹 3 层(层厚 1—2cm)碎屑薄层,埋深 9.39—12.39m,层厚 3.00m。

14.粘土质粉砂层。灰黑色,含碱晶粒,埋深 12.39—13.65m,层厚 1.26m。

15.碱层。灰白色,夹多层碎屑薄层,埋深 13.65—14.61m,层厚 0.96m。

16.粉砂质粘土层。灰黑色,埋深 14.61—15.71m,层厚 1.10m。

17.碱层。灰白色及青灰色,质纯坚硬,上部夹碎屑,埋深 15.71—19.01m,层厚 3.30m。

18.粘土质粉砂层。含碱粒,灰黑色,埋深 19.01—19.71m,层厚 0.70m。

19.碱层。灰白色,埋深 19.71—20.07m,层厚 0.36m。

20,21.粘土层。上部含碱粒,灰黑色,下部黄褐色,埋深 20.07—23.41m,可见层厚 3.34m。

总之,该湖剖面岩性以碱层和碎屑层构成多次旋回沉积为特征。

2. 吉兰泰盐湖

该钻孔位于湖的中部,其剖面自上往下共分 7 层:

1.石盐层。粒状,上部质纯,含少量石膏,下部含少量碎屑和芒硝晶体,埋深地表—4.61m,厚 4.61m。

2.芒硝层。粗粒,含少量碎屑和石膏,埋深 4.61—5.61m,层厚 1.00m。

3.砂质粉砂层。黑色，上部含芒硝斑晶，埋深 5.61—7.76m，层厚 2.15m。

4.粉砂质砂层，灰色，灰绿色，含次生芒硝晶体，埋深 7.76—10.30m，层厚 2.54m。

5.粉砂质砂层为主。上部为粉砂质粘土，上下部呈灰色，中部呈红褐色，含石膏晶体，埋深 10.30—14.91m，层厚 4.61m。

6,7.粉砂质粘土层。上部呈灰色，松散，下部呈红褐色，粘性强，埋深 14.91—17.93m，可见层厚 3.02m。

总之，该剖面盐类以硫酸盐(芒硝)层开始沉积，到氯化物(石盐)沉积结束。

3. 雅布赖盐湖

该湖钻孔位于湖的中部，其剖面自上往下可分 5 层：

1.石盐层。粗粒，颗粒直径 1—3cm，上部含碎屑，埋深地表—2.70m，层厚 2.70m。

2.粉砂质砂层。含石盐，埋深 2.70—3.20m，层厚 0.50m。

3.芒硝层。致密坚硬，局部含碎屑，呈黑灰色，埋深 3.20—7.67m，层厚 4.47m。

4.粘土质粉砂层。红色，红褐色，埋深 7.67—9.83m，层厚 2.16m。

5.粉砂层。灰色，埋深 9.83—10.68m，可见层厚 0.85m。

总之，该湖沉积简况自下往上是碎屑层—芒硝层—碎屑层—石盐层。

4. 额吉淖尔盐湖

该钻孔位于湖的中部，其剖面岩性自上往下可分 6 层：

1.石盐层。上部细粒，白色，下部颗粒变粗含碎屑，埋深地表—2.47m，层厚 2.47m。

2.芒硝层。埋深 2.47—3.09m，层厚 0.62m。

3.粉砂层。含盐，灰黑色，埋深 3.09—3.29m，层厚 0.20m。

4.芒硝层。下部含碎屑及石膏晶体，埋深 3.29—7.65m，层厚 4.66m。

5.粘土质粉砂层。灰色，灰绿色，埋深 7.65—10.00m，层厚 2.35m。

6.粉砂质砂层。灰色，浅灰色，埋深 10.00—11.04m，可见层厚 1.04m。

总之，该湖沉积特点自下往上是碎屑层—芒硝层—碎屑层—芒硝层—石盐层。

5. 察汉淖盐湖

该湖钻孔位于湖的边部，其剖面岩性自上往下可分 4 层：

1.可分两个亚层：粉砂层，埋深地表—0.50m；砂层，埋深 0.50—1.70m。总层厚 1.70m。

2.碱层。埋深 1.70—1.90m，层厚 0.20m。

3.粘土质砂层。含硫化物，黑灰色，埋深 1.90—5.46m，层厚 3.56m。

4.砂层。色调上深下浅，埋深 5.46—9.44m，层厚 3.98m。

第 4 层直接沉积在白垩纪中细粒砂岩上。总之，该湖沉积特点是湖相沉积不厚，碎屑物粗，天然碱层很薄。

二、 碎屑沉积物粒度组成和粘土含量

通过沉降分离，分出 $<2\mu m$，$2—5\mu m$，$5—10\mu m$，$10—50\mu m$，$>50\mu m$ 等 5 个粒级，各粒级中包括碳酸盐和石膏。各湖碎屑沉积物粒度成分见表 2-1，各湖沉积物粒度成分平均值见图 2-2。

表 2-1　查干诺尔等盐湖碎屑物粒度成分

湖名	样号	埋深(m)	粒度成分(%)					沉积阶段	备注
			<2 μm	2—5 μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm		
查干诺尔	1	1.14	67	3	24	4	2	成盐阶段	
	5	2.61	71	4	14	8	3		
	7	4.65	68	4	20	5	3		
	8	5.04	50	3	25	18	4		
	9	6.64	33	2	20	40	5		
	10	7.34	28	4	19	36	13		含碱约10%
	11	8.43	27	2	20	48	3		含碱约10%
	12	13.36	37	3	20	37	3		
	13	14.61	58	3	27	10	2		
	14	15.40	50	2	18	27	3		
	15	19.80	23	3	11	35	28		
	19	22.25	84	3	10	2	1	未成盐阶段	
吉兰泰	4	5.61	8	2	19	35	36	成盐阶段	95%*
	6	7.01	2	2	61	7	28	未成盐阶段	95%
	8	10.50	48	3	26	18	5		20%
	11	14.73	3	1	4	36	56		15%
	13	16.21	71	3	21	3	2		≤10%
	15	17.78	60	2	28	8	2		≤10%
雅布赖	1	1.24	3	3	6	31	57	成盐阶段	含石盐
	2	2.89	4	3	10	30	53		含石盐
	3	3.00	3	1	23	13	60		含石盐
	5	7.87	12	5	35	32	16		含石盐
	7	8.27	12	24	16	35	16	未成盐阶段	
	9	9.63	31	4	25	35	5		
额吉淖尔	1	1.00	4	2	24	40	30	成盐阶段	含盐
	2	3.00	3	2	27	28	40		含盐
	3	8.05	26	20	10	31	13	未成盐阶段	
	6	9.20	26	6	15	47	6		
	7	11.04	16	1	18	11	54		
察汉淖	1	1.24	10	2	2	9	77	成盐阶段	
	3	2.88	40	2	2	8	48	未成盐阶段	
	4	5.48	17	4	4	15	60		
	5	6.94	2	1	1	11	85		

* >50μm 中石膏的含量。

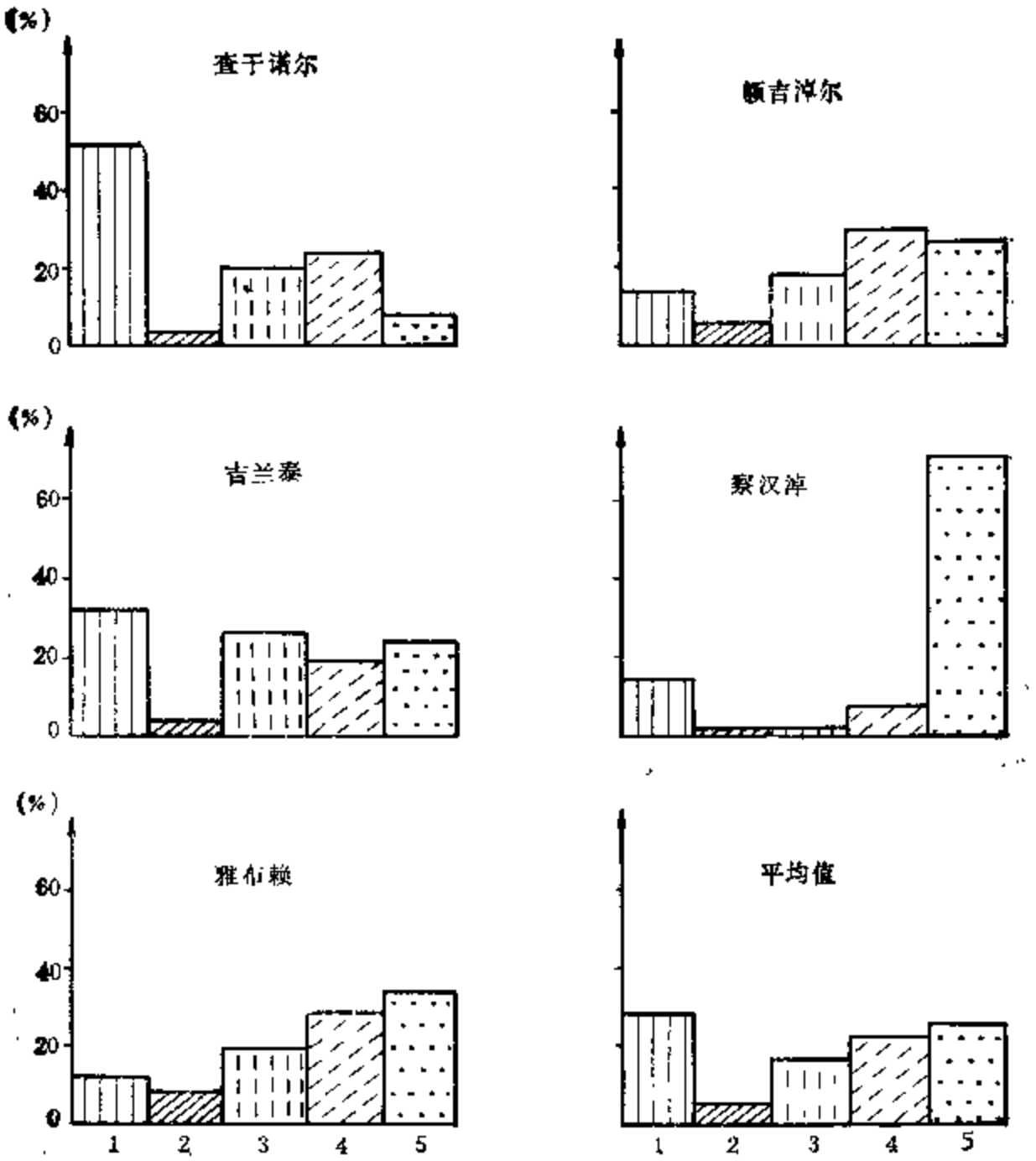


图 2-2 内蒙古盐湖碎屑物平均粒度成分

1. <2μm 2. 2—5μm 3. 5—10μm 4. 10—50μm 5. >50μm

从图 2-2 可以看出，查干诺尔等 5 个盐湖碎屑沉积物，各粒级平均百分含量如下：<2μm，30%；2—5μm，6%；5—10μm，18%；10—50μm，23%；>50μm，26%。但就各个盐湖碎屑物的平均粒度成分来说，则各有明显差异：查干诺尔盐湖沉积物粒度成分最细，<2μm 平均含量 50%，其它粒级含量一般在 20% 以下；而察汉淖盐湖碎屑物粒度成分最粗，>50μm 平均含量 72%，其它粒级含量一般 <10%。同时可以看出，额吉淖尔和雅布赖盐湖碎屑物粒度分布，从粗到细，有逐步递减的趋势。吉兰泰盐湖碎屑物粒度成分，则从粗到细含量呈现一高一低的波浪式变化。

若把各个湖的每个沉积物样的粒度组成分布制成柱状图(图 2-3)，可以进一步看出：雅布赖盐湖剖面，自下往上，"细尾"由多到少变化，"粗尾"则相反，其含量由少到多变化。而查干诺尔盐湖剖面，自下往上，"细尾"含量呈现多次旋回性变化。

盐湖碎屑物粒度成分及分布特征，与物质来源、搬运距离远近、水动力大小等因素密切相关。例如，察汉淖盐湖，湖水面积仅 6.5km²，钻孔位置又偏于边部，湖相沉积不厚

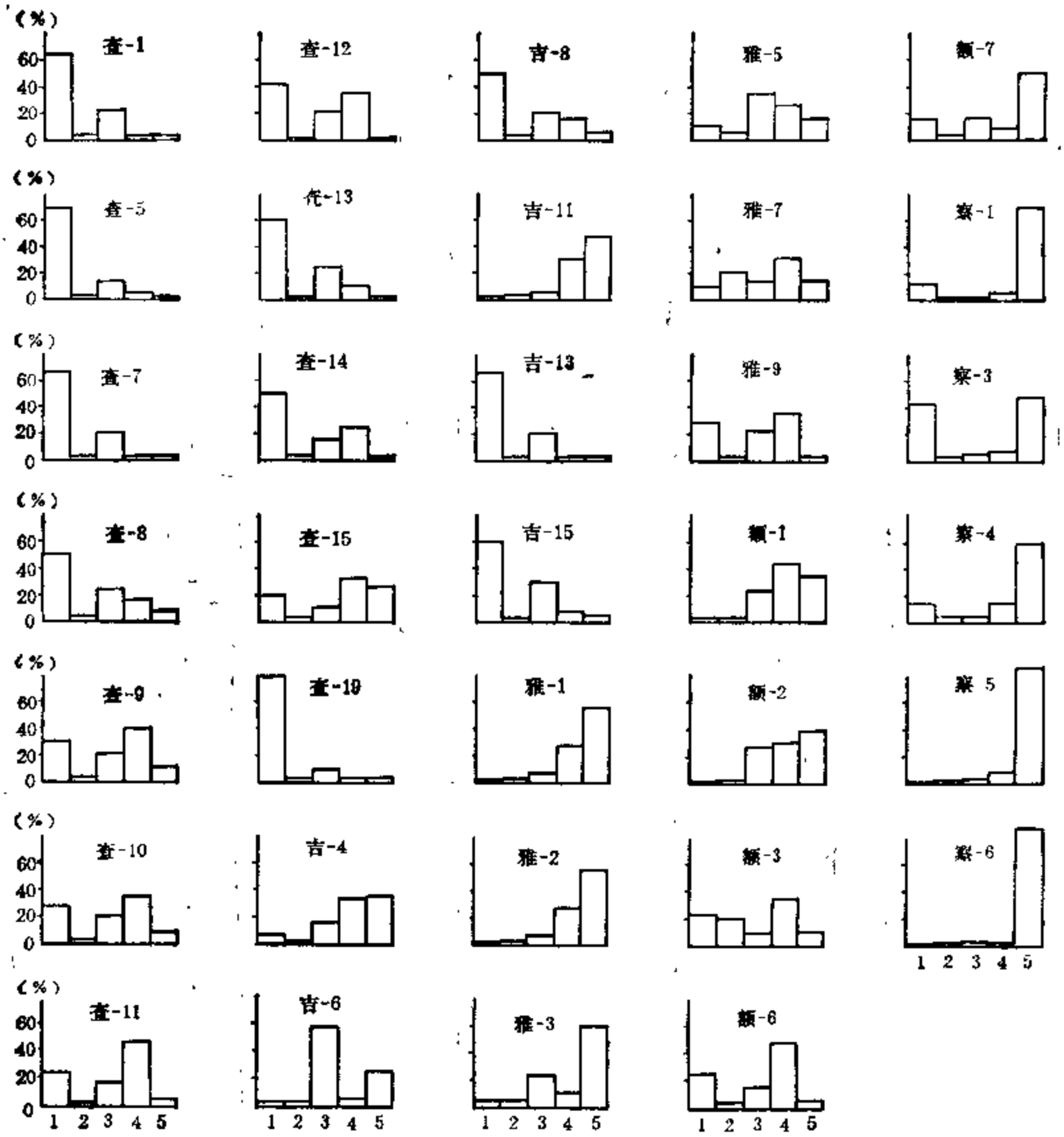


图 2-3　内蒙古盐湖各样品粒度分布柱状图

1. <2μm　2. 2—5μm　3. 5—10μm　4. 10—50μm　5. >50μm

(9.5m)，并直接发育在白垩纪砂岩上，因此，该湖碎屑物粒度成分最粗，可能与物质来源于砂岩、搬运距离较近、水动力较大等因素有关。又如，查干诺尔盐湖，湖水面积有 21km²，钻孔位置又接近湖中心，湖周有第三纪的泥岩出露，从该湖形成较厚较纯的天然碱层来看，沉积时势必保持一定的水深和水动力较小的条件。因此，该湖碎屑物粒度成分较细，可能与部分物质来源于泥岩、搬运距离较远、水动力较小等因素有关。

此外，在进行盐湖碎屑物粒度成分研究时，应该考虑盐类沉积和盐类沉积物对粒度成分分布的影响。例如，吉兰泰盐湖碎屑物 > 50μm 粒级中，据双目镜下观察，其石膏含量在不同样品中差别很大，从 ≤ 10% 到 95% 都有分布，并在剖面中呈现一定变化趋势。

三、盐湖沉积物中粘土矿物类型、含量和分布

从图 2-4 至图 2-9 可以看出，内蒙古盐湖中的粘土矿物，以伊利石为主，次为绿泥石，

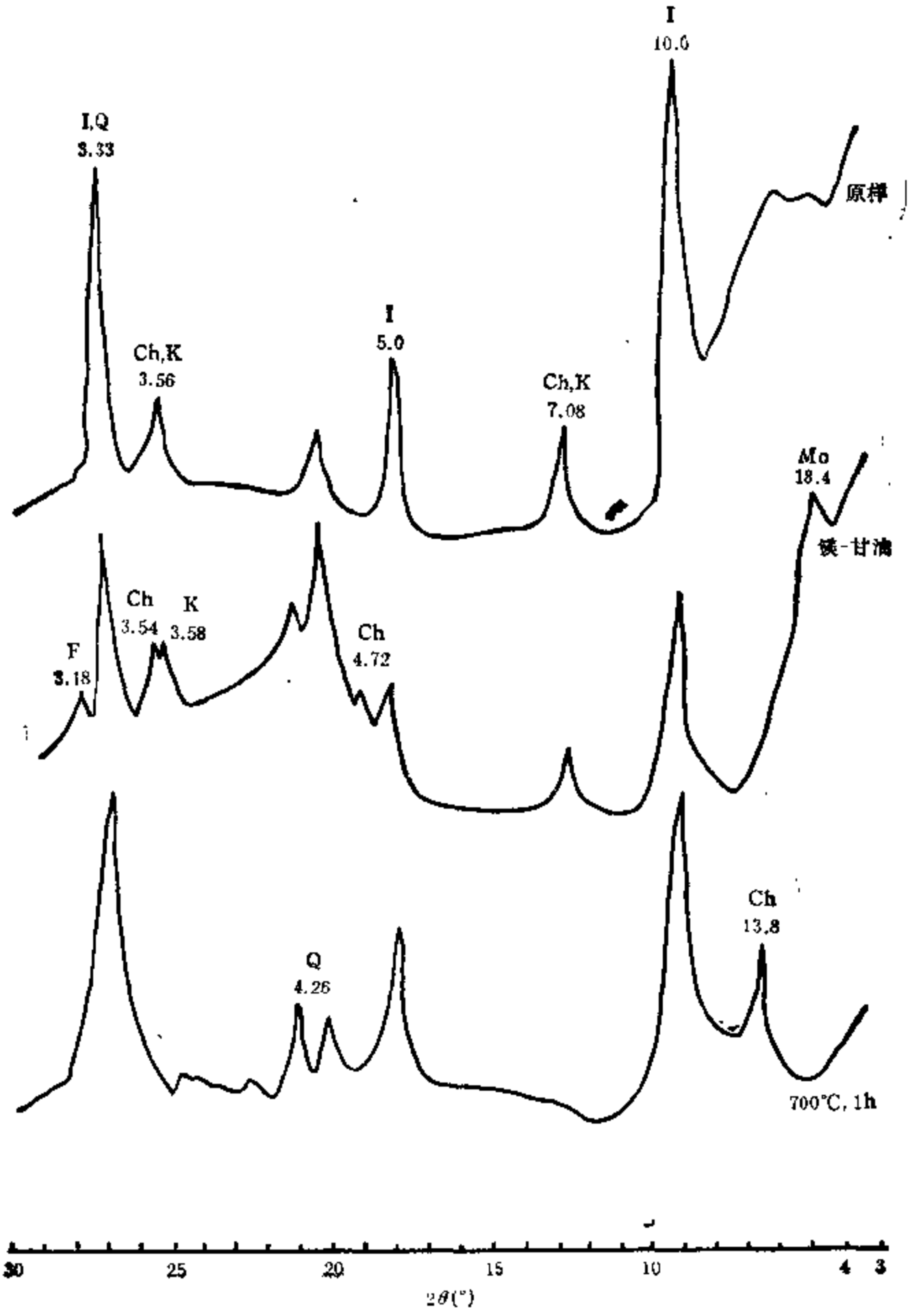


图 2-4(1) 查干诺尔盐湖 15 号样 X 射线衍射图

Mo. 蒙脱石 Ch. 绿泥石 I. 伊利石 K. 高岭石
Q. 石英 F. 长石(全书同)

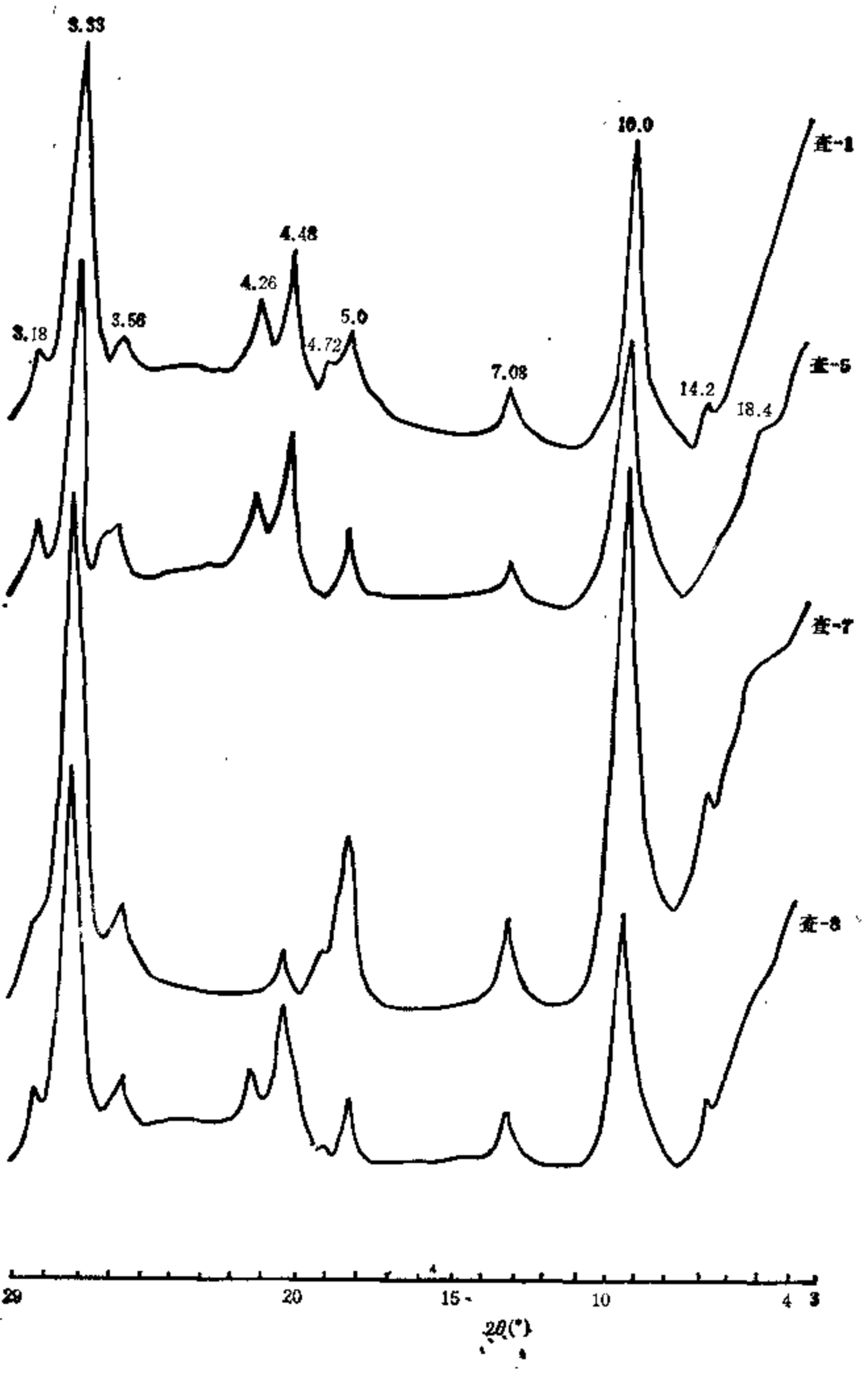


图 2-4(2) 查干诺尔盐湖粘土样 X 射线衍射图

并有不等量的蒙脱石和少量高岭石的存在。且不管哪个盐湖哪个沉积阶段，粘土矿物组合亦都基本相似。高岭石特征的 3700 cm^{-1} 吸收带多呈“肩”状或“勺”状，表明高岭

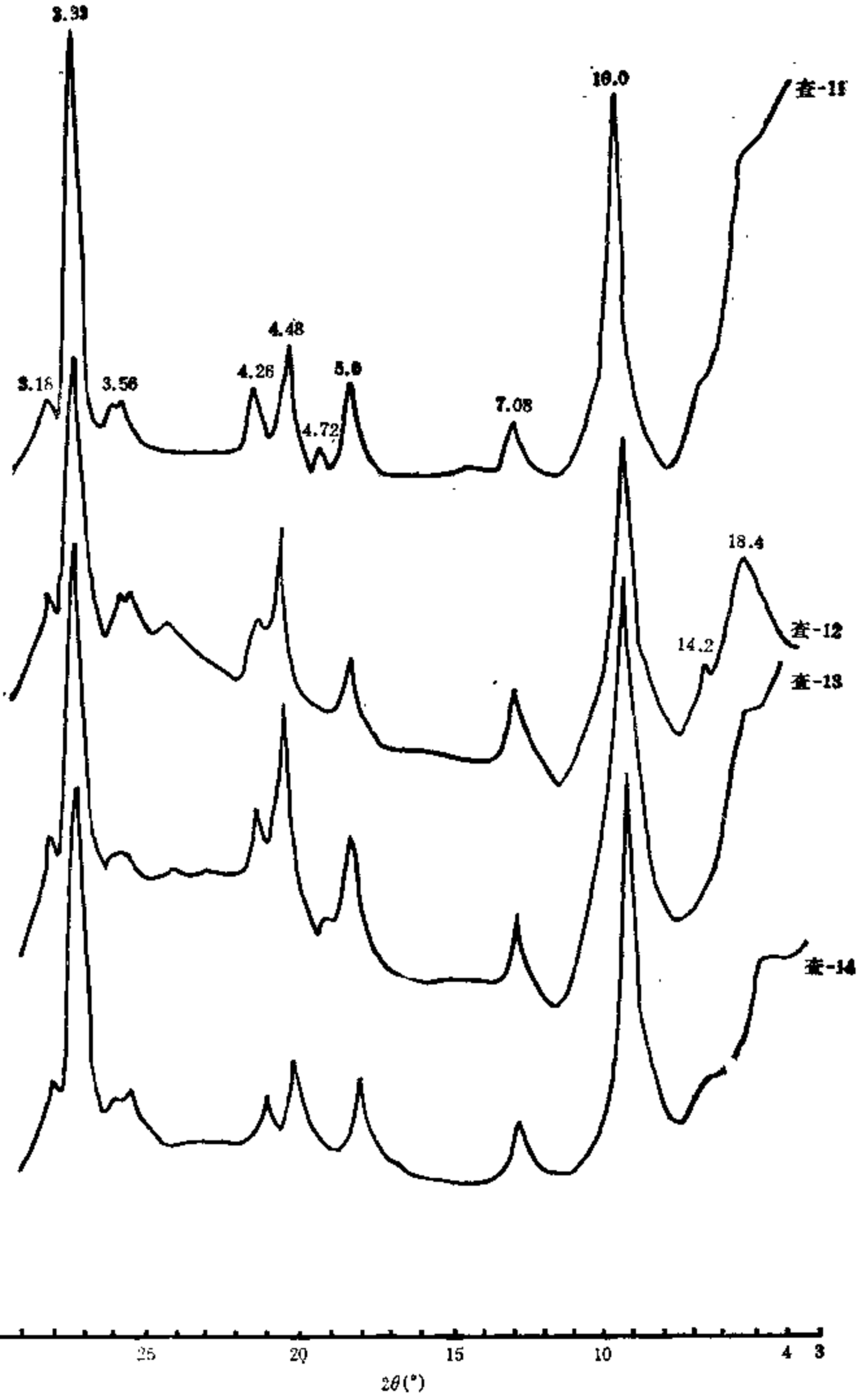


图 2-4(3) 查干诺尔盐湖粘土样 X 射线衍射图

石含量很少。除了额吉淖尔盐湖外，在其它盐湖中蒙脱石都普遍存在，有时含量相当可观。

查干诺尔盐湖沉积剖面几个粘土样中 4 种粘土矿物的相对含量如表 2-2 所示。

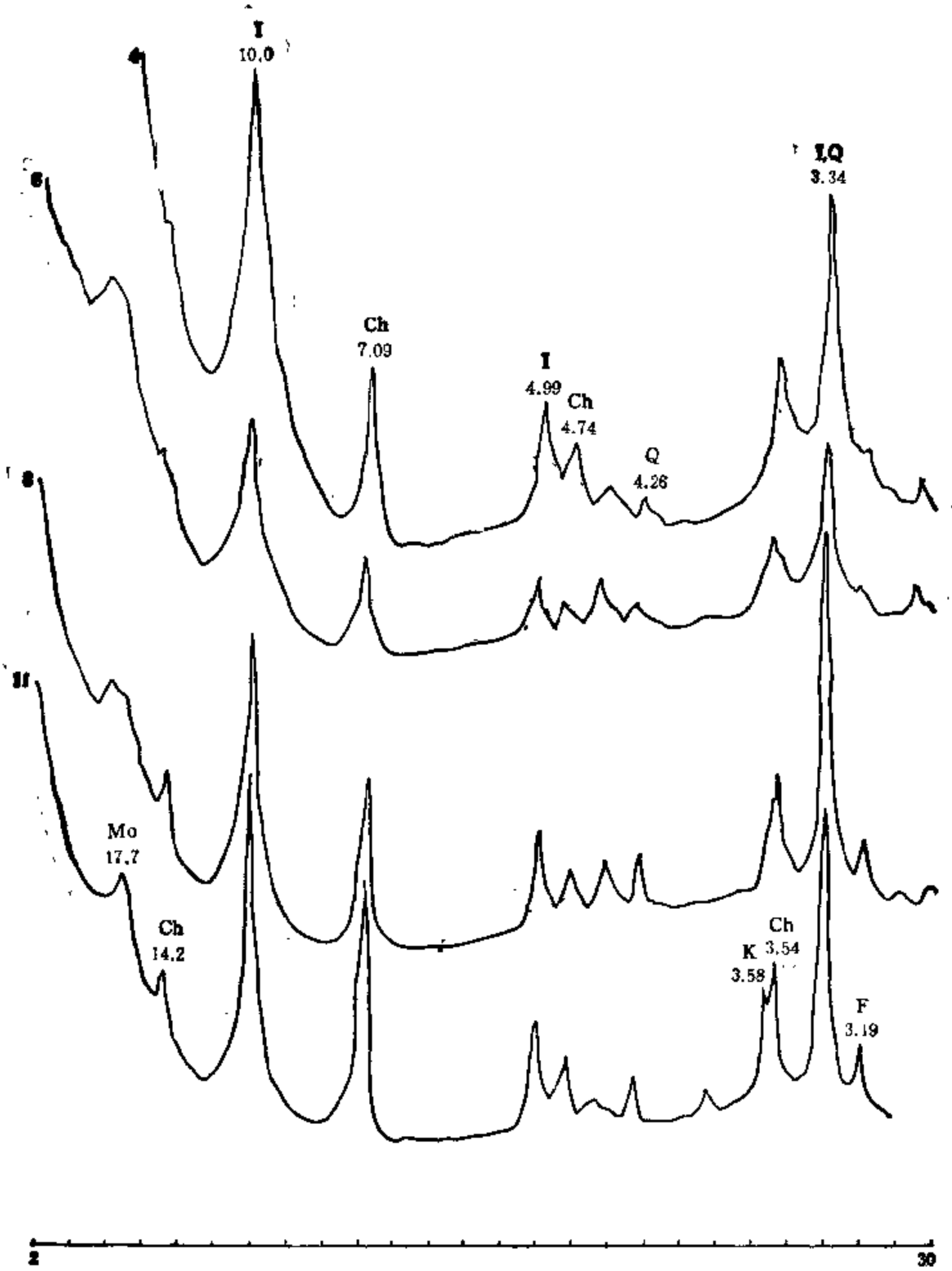


图 2-5　吉兰泰盐湖粘土样 X 射线衍射图

从查干诺尔盐湖粘土矿物资料来看，未成盐阶段中的高岭石明显多于成盐阶段中的；伊利石和蒙脱石的含量互为消长，并与岩性存在一定关系。伊利石多蒙脱石少大致与碎屑沉积物为主的沉积层相对应。

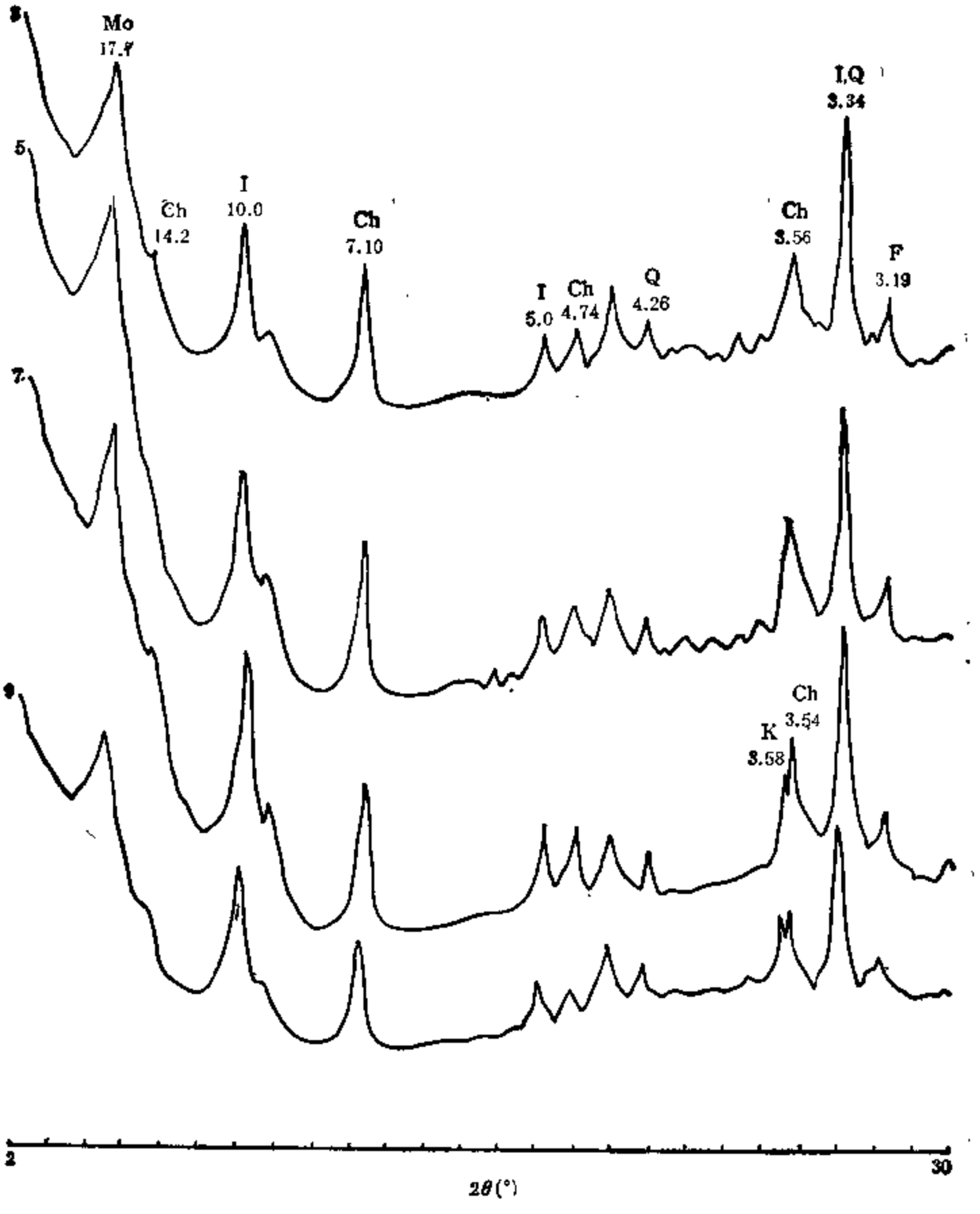


图 2-6　雅布赖盐湖粘土样 X 射线衍射图

表 2-2　查干诺尔盐湖各粘土矿物相对含量(%)

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	伊 利 石	绿 泥 石	蒙 脱 石	高岭石*
成盐阶段	1	1.14	72	18	—	存在
	5	2.61	72	18	存在	—
	7	4.15	64	14	12	存在
	8	5.04	69	21	—	—
	9	6.64	73	17	—	—

续表

沉积阶段	样 号	埋 深 (m)	伊利石	绿 泥 石	蒙 脱 石	高岭石*
成盐阶段	10	7.34	72	18	存在	存在
	11	8.43	74	16	存在	—
	12	13.36	52	16	22	存在
	13	14.61	72	18	存在	—
	14	15.40	60	15	15	存在
	15	19.80	49	20	21	存在
未成盐阶段	19	22.25	59	22	9	较多

* 据红外图谱中 3 700cm^{-1} 吸收带大小和形态估计。

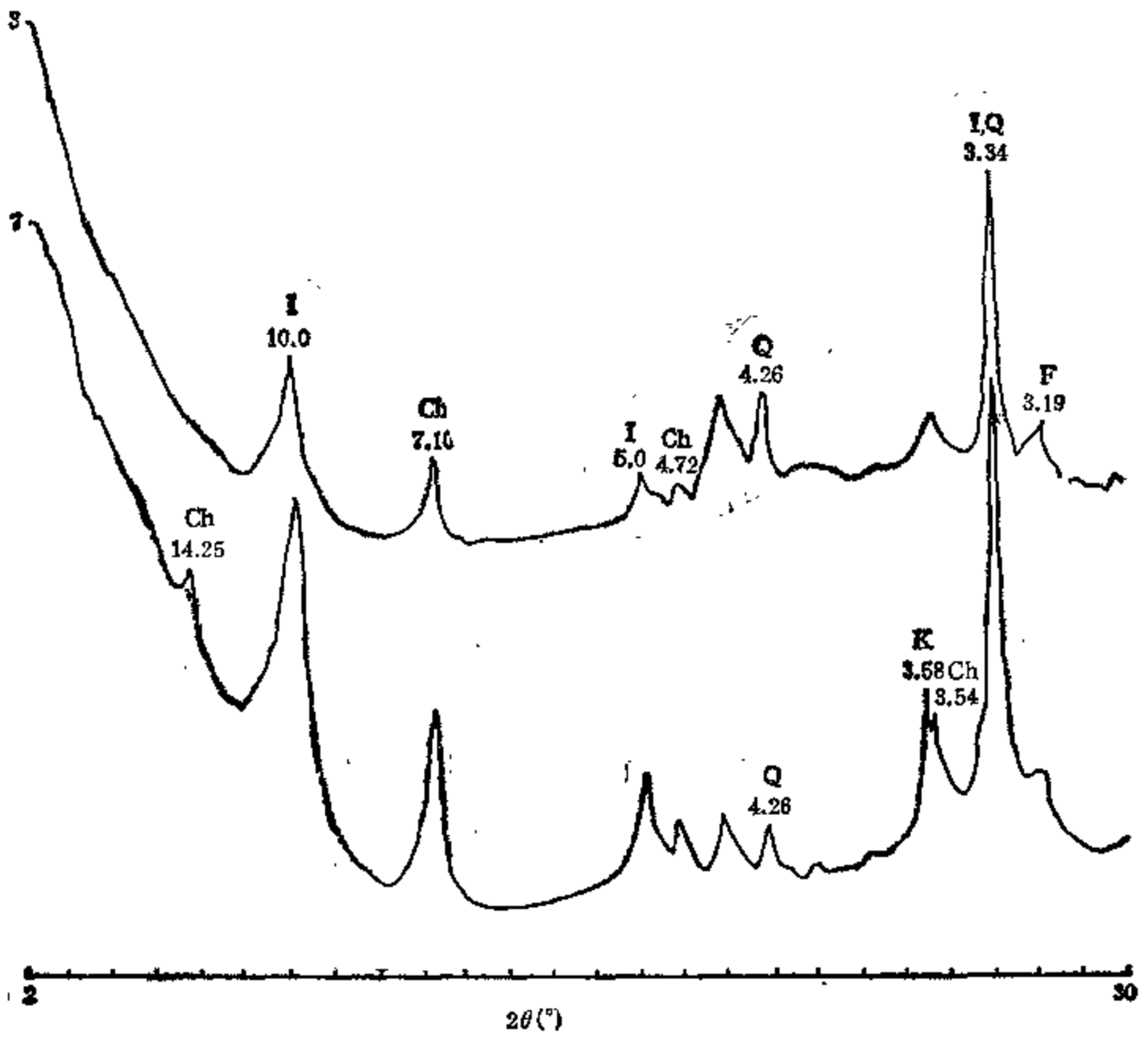


图 2-7 额吉淖尔盐湖粘土样 X 射线衍射图

表 2-3　查干诺尔等盐湖粘土化学成分

湖　名	样　号	化　学　成　分　(%)						
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO
查干诺尔	1	54.63	25.63	8.03	5.97	0.60	0.57	3.20
	5	56.51	24.90	6.91	5.80	0.50	0.43	3.50
	7	56.05	25.57	6.47	6.49	0.48	0.62	3.17
	8	56.04	26.04	6.46	5.59	0.85	0.60	3.09
	9	55.77	27.16	6.37	5.40	0.74	0.57	3.17
	10	56.18	25.53	5.78	5.44	0.79	0.61	1.10
	11	56.61	25.90	6.55	5.67	0.55	0.68	3.00
	12	57.43	24.39	5.91	5.24	0.62	0.76	3.19
	13	56.90	25.27	6.43	5.88	0.58	0.72	3.16
	14	56.01	26.37	6.47	6.14	0.92	0.63	3.15
	15	55.00	26.21	5.47	4.28	0.80	0.99	3.71
	19	53.69	28.06	7.78	4.76	0.72	0.77	2.46
吉兰泰	8	52.77	27.56	7.74	5.10	0.97	0.96	3.71
	13	53.17	26.90	8.27	4.43	0.53	0.95	3.81
	15	53.53	27.69	8.47	4.32	0.60	0.97	3.20
雅布赖	3	50.70	26.36	8.24	0.79	1.15	1.54	5.76
	5	52.42	27.77	9.86	2.04	1.14	0.82	5.36
	7	53.94	25.68	9.97	0.58	0.99	0.68	4.45
	9	54.60	26.82	9.46	4.05	1.15	0.54	4.20
额吉淖尔	3	51.91	25.07	9.56	5.65	0.93	0.83	3.53
	6	53.68	26.67	8.72	2.64	0.85	0.58	3.23
	7	51.92	26.01	10.50	3.49	1.08	0.77	4.08
察汉淖	1	53.96	18.91	9.08	3.90	1.01	0.39	9.13
	3	55.62	10.97	6.51	1.02	1.15	0.36	17.61
	4	54.10	17.45	6.05	0.34	0.93	0.58	15.65

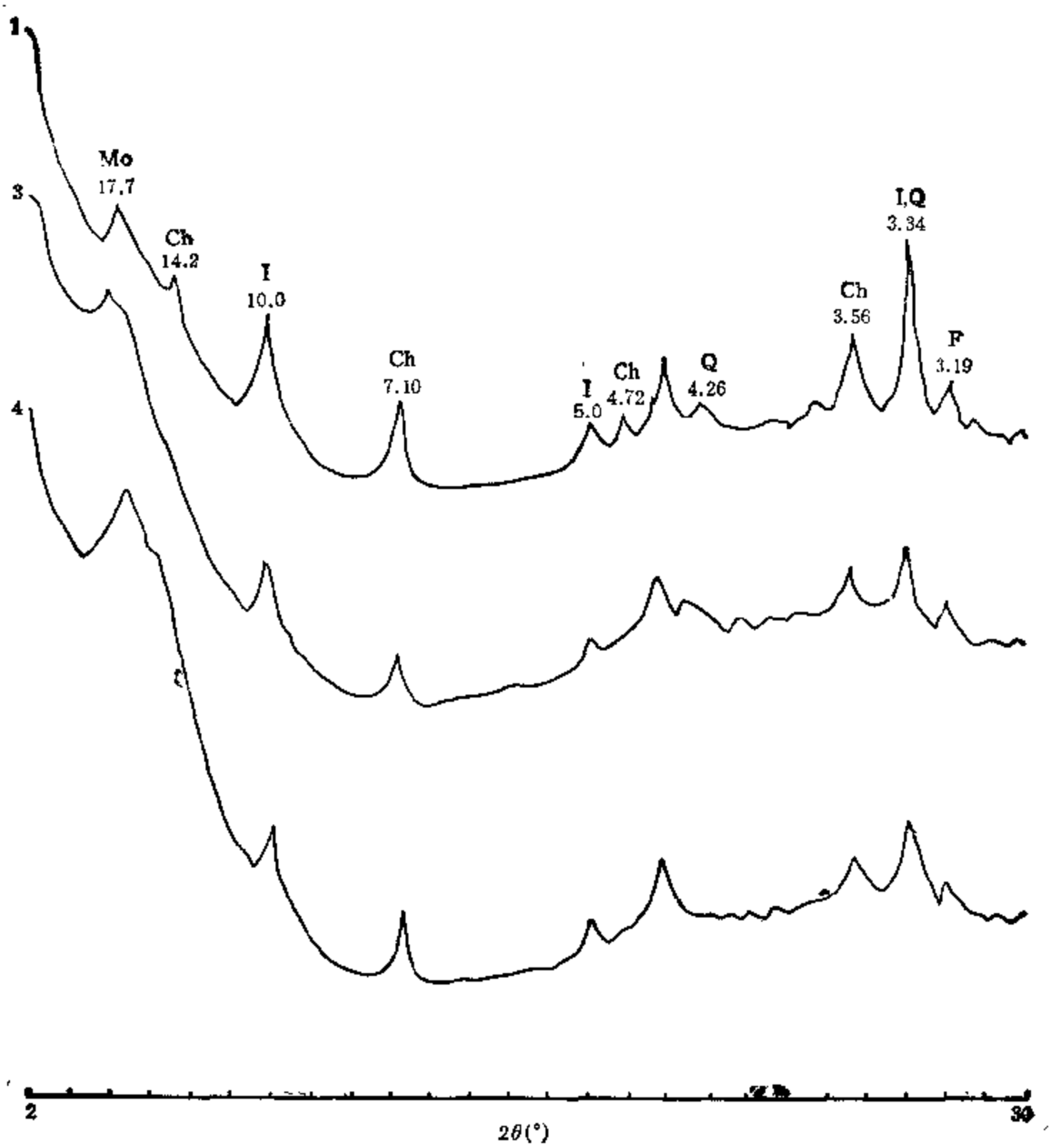


图 2-8　察汉淖盐湖粘土样 X 射线衍射图

四、粘土化学成分及特征

从查干诺尔等 5 个盐湖中25个粘土样的化学分析结果(表 2-3)可见，该地区盐湖粘土平均化学成分如下： SiO_2，54.52%；Al_2O_3，25.02%；Fe_2O_3，7.60%；K_2O，4.19%；Na_2O，0.82%；CaO，0.71%；MgO，4.06%。察汉淖盐湖两个样品中特别富镁低钾，可能与蒙脱石多有关。

将粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 的相对含量作成三角图(图 2-10)，从图中看出，该地区盐湖粘土在化学成分上大致与海粘土相似 (Braitch，1971)，以富 Al_2O_3（相对含量约 75%）为特征。

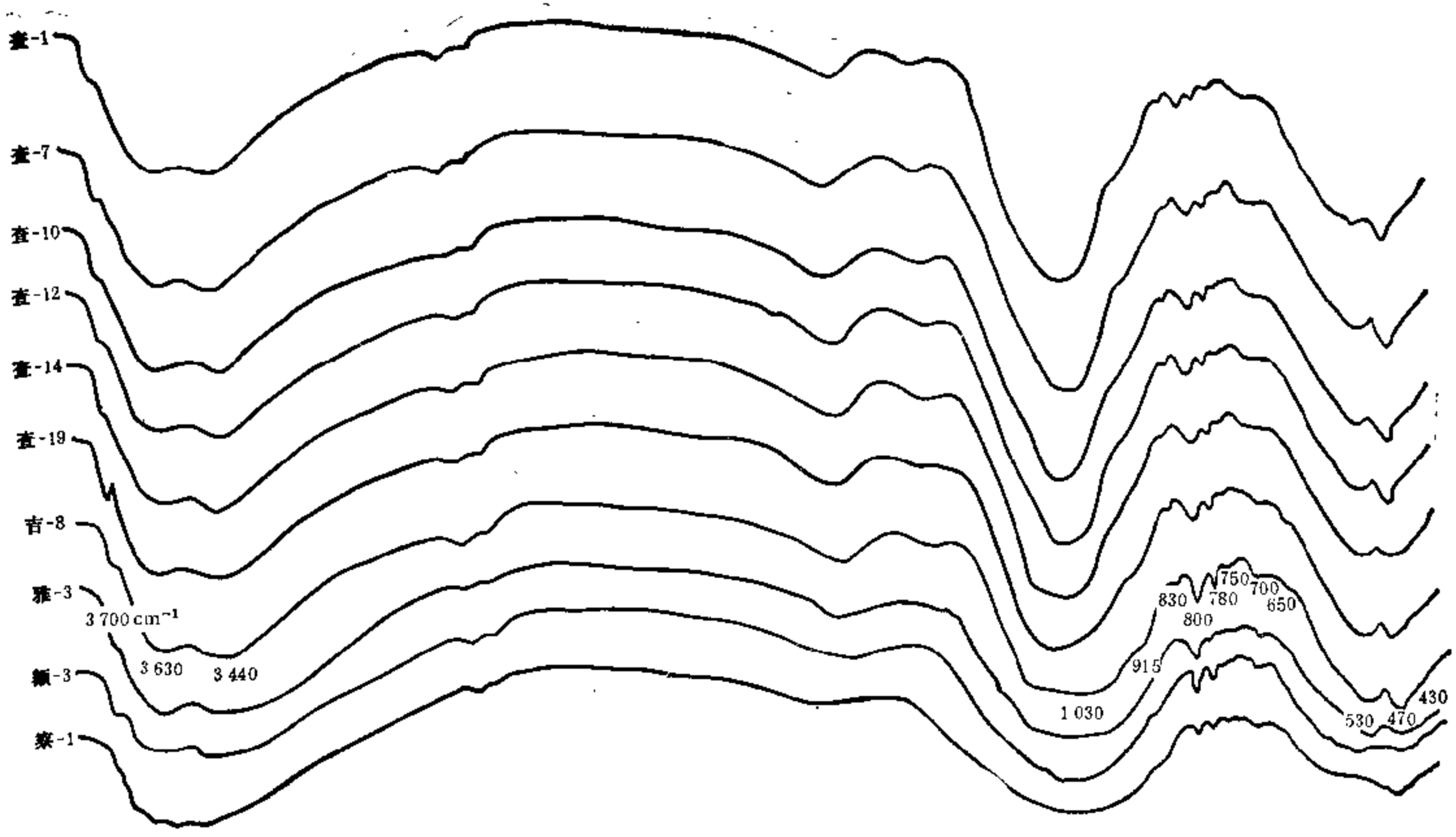


图 2-9　查干诺尔等盐湖粘土样红外图谱

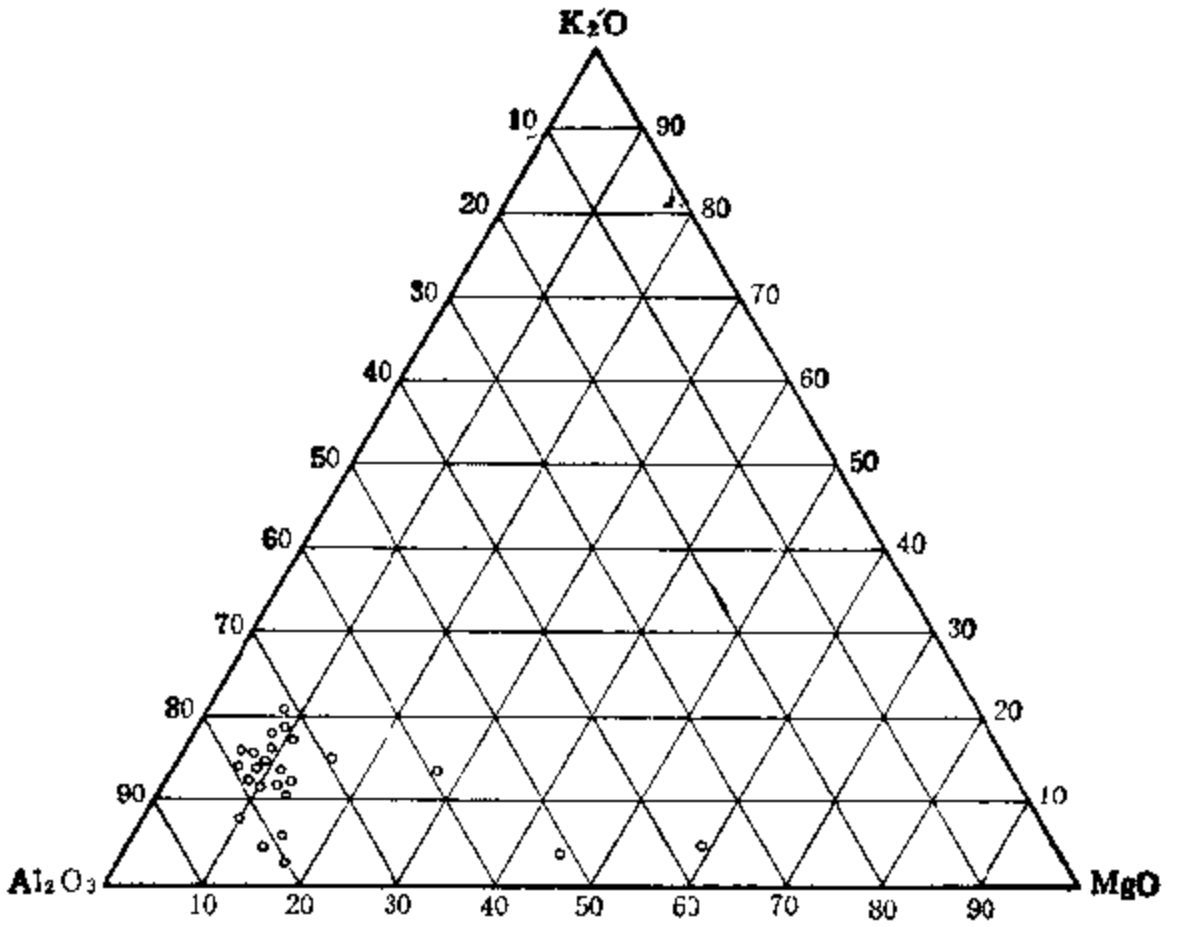


图 2-10　内蒙古盐湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

粘土中某些化学成分在盐湖沉积剖面中有一定的变化趋势，在下面讨论粘土矿物与沉积环境时具体论述。

五、查干诺尔盐湖沉积剖面中粘土矿物资料与沉积环境之间的关系

我们从图 2-11 中可以看出，该湖以天然碱层和碎屑层多次互层沉积为特征，构成多次沉积旋回。在该湖早期未成盐阶段中，粘土含量和粘土中 Al_2O_3/MgO 值最大，分别为 84% 和 11.4；高岭石含量相对较多。在该湖沉积晚期的成盐阶段中，其粘土含量，粘土中 Al_2O_3/MgO 值和高岭石相对含量明显减少。在整个成盐阶段中，Al_2O_3/MgO 值、蒙脱石和伊利石相对含量等呈现某些变化趋势：即粘土含量相对增多，Al_2O_3/MgO 值增大，蒙脱石含量相对减少，伊利石含量相对增多，大致与碎屑沉积物为主的沉积层相对应，反映是一个相对淡化时期。反之，则大致与天然碱沉积为主的沉积层相对应，反映是一个相对咸化时期。根据以上这些资料，在该湖沉积过程中，可以划分出 5 个相对咸化和淡化时期：（剖面自下而上）淡化期（I）、第一相对咸化期（II）、第一相对淡化期（III）、第二相对咸化期（IV）和相对咸淡频繁交互期（V），最后结束天然碱沉积。我们知道，盐湖从尚未出现盐类沉积层到沉积较厚的盐类沉积层，盐湖卤水必然急剧和持续的浓缩，气候必然急剧和持续的干旱。这样，该湖剖面中粘土矿物资料反映的相对咸淡沉积时期，也可以说间接地反映了沉积过程中气候相对干旱或温冷的状况。由此可见，研究盐湖粘土矿物，不仅能够积累和丰富盐湖矿物学基本资料，而且能为研究盐湖沉积环境提供科学依据。

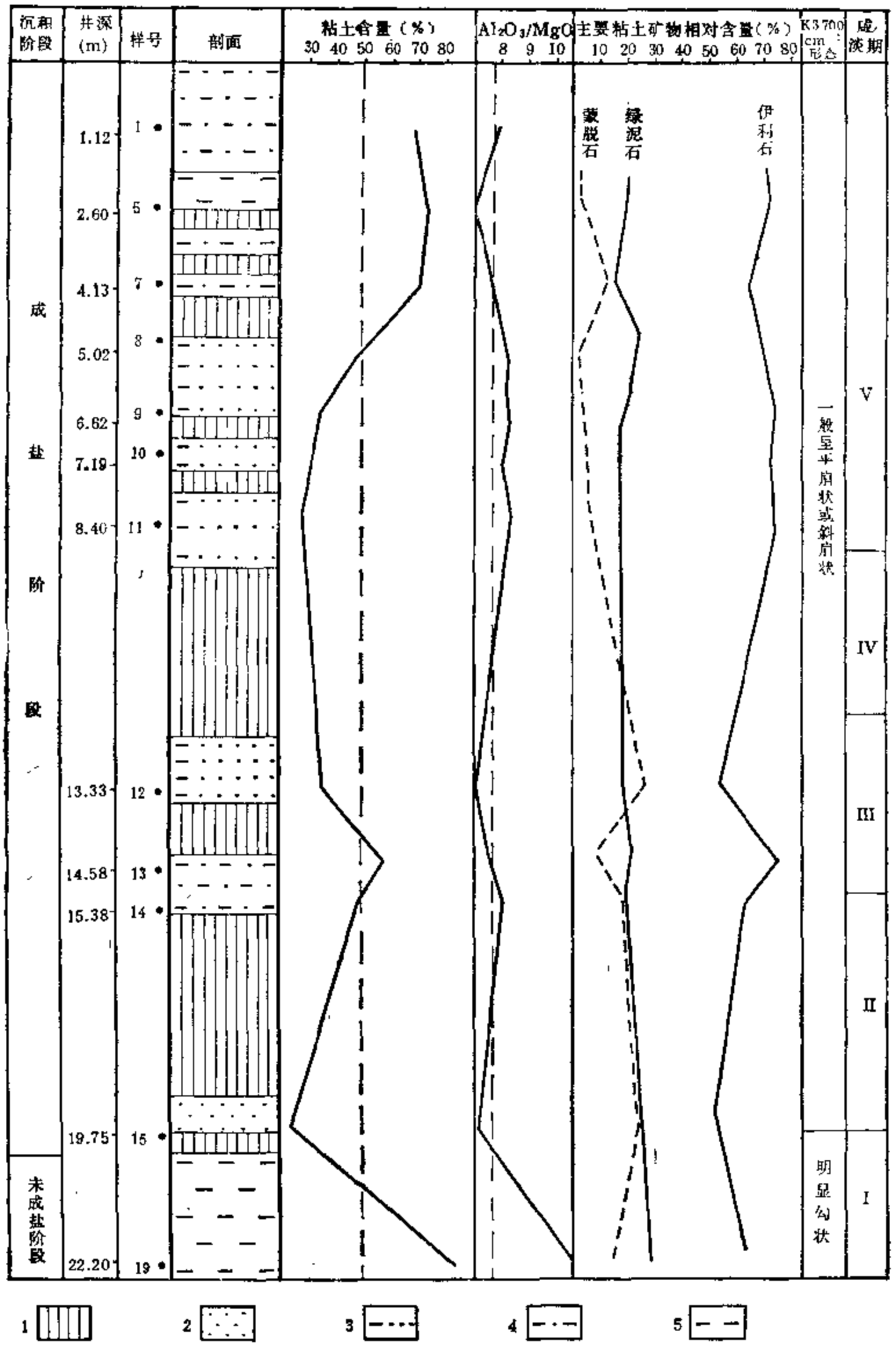


图 2-11　查干诺尔盐湖沉积剖面中粘土资料

1.碱层　2.砂质粉砂层　3.粘土质粉砂层　4.粉砂质粘土层　5.粘土层

六、小　结

据本节资料，该地区盐湖粘土矿物以伊利石为主，相对含量 60—70%，次为绿泥石，相对含量 15—20%，蒙脱石含量高低悬殊，高岭石含量很少，但在未成盐阶段稍高于成盐阶段。该地区盐湖粘土化学成分，以相对富 Al_2O_3 为特征，其含量 25.02%，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对含量大致具有海相粘土的化学特征。通过查干诺尔盐湖沉积剖面，讨论了粘土矿物资料，特别是粘土中 Al_2O_3/MgO 值与沉积环境之间的关系，并获得初步结果。但是，对该区盐湖粘土矿物成因未进行具体讨论。

第二节　西藏盐湖粘土矿物

该地区进行盐湖粘土矿物研究的原始样品是我们 1976 年和 1978 年两度野外考察中采集的。我们对班戈错（II、III）、郭加林、崩则错、依布茶卡、玛尔果茶卡、孔孔茶卡、肖茶卡、错尼东错、洞错、尼玛错、确旦错、查波错、达瓦错、嘎仁错、错呐、扎仓茶卡（I，II，III）、别若则错、茶拉卡、尼错、阿翁错、噶尔昆沙等 24 个盐湖中沉积物进行了粘土矿物研究，其中仅对扎仓茶卡等少数几个盐湖进行了较详细的工作，各湖基本概况见表 1-3。此外，在本节中还收集了郑绵平等(1987)的有关资料。现按几个盐湖粘土样品地质资料、各湖沉积物中粘土矿物类型、粘土化学成分及特征等几个方面分别叙述如下。

一、代表性盐湖粘土样品地质资料

1. 扎仓茶卡

扎仓茶卡位于阿里地区革吉县盐湖区。该湖自东往西由 I、II 和 III 3 个湖组成，呈串珠状分布。1976 年对该湖盐类分布进行了调查，并打 11 口钻孔，对该湖 26 个沉积物样进行了粘土矿物鉴定。该湖岩相分布、钻孔位置和样品埋深分别见图 2-12、图 2-13 和表 2-4。

从图 2-12 中可以看出，石盐主要分布在 I 湖和 III 湖，其次，在 II 湖东南部亦有分布；硼矿主要分布在 I 湖东北部和 I、II 湖之间的隔堤上，其次，在 II 湖的西南、西北等部位和 III 湖东北部亦有少量分布；芒硝基本分布在 II 湖的东端和西北端。总之，该湖表层盐类分布具有多样性和不规则性。

从图 2-13 中可以看出，湖表以下主要为芒硝沉积，厚度可达 5m，而且愈接近湖的中部愈厚。硼酸盐的沉积顺序在 I—II 湖的湖堤上是比较清楚的，上部为柱硼镁石沉积，厚约 20cm；下部为库水硼镁石-多水硼镁石沉积，厚约 80cm；最下部为碳酸盐粘土。

2. 郭加林

1976 年在横穿该湖的黑阿公路路边上打钻两口，每孔做了一个样。钻孔剖面岩性和样品分布简述如下。

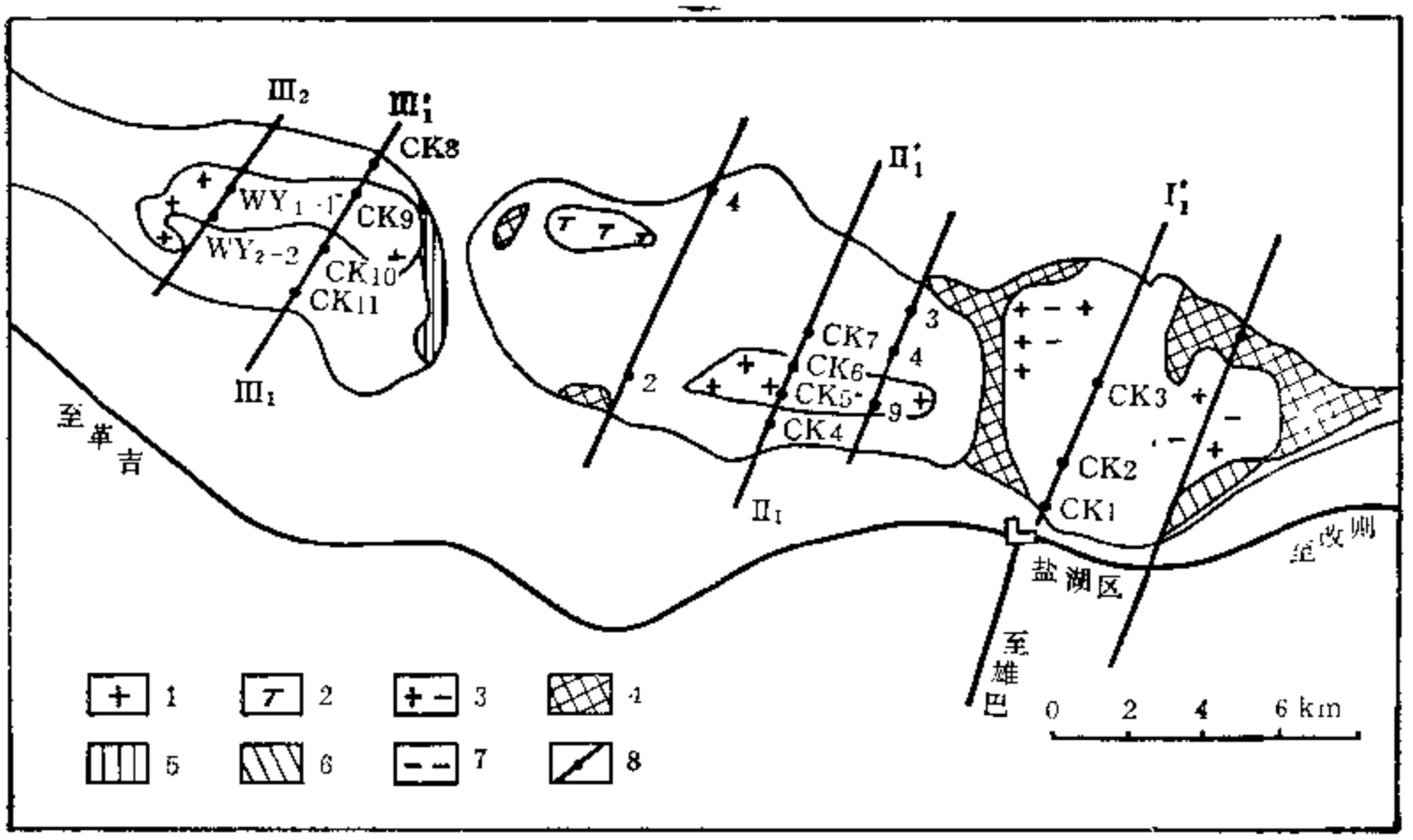


图 2-12 扎仓茶卡岩相分布(郑喜玉等，1988)

1.石盐 2.芒硝 3.盐泥 4.柱硼镁石 5.含水硼镁石、柱硼镁石
6.柱硼镁石-粘土 7.粘土 8.剖面线、钻孔、样号

1 号孔剖面，自上往下：

1.含芒硝粘土层，层厚 0.25m。

2.芒硝层，层厚 1.60m。

3.灰黑色粘土层，层厚 0.40m。

4.含芒硝粘土层，层厚 0.66m (孔 1-4 号样)。

5.红褐色粘土层，可见厚度 0.41m。

2 号孔剖面，自上往下：

1.含芒硝粘土层，层厚 0.70m。

2.含芒硝单斜钠钙石粘土层，层厚 0.68m。

3.含芒硝粘土层，可见厚度 2.83m (孔 2-9 号样)。

3. 班戈错

该湖位于班戈县内。由 3 个湖组成。对 II 湖表层采样一个；对 III 湖 1 号钻孔中沉积物采样两个。该钻孔剖面岩性自上往下：

1.含芒硝粘土层，层厚 0.50 m。

2.黑色粘土层，层厚 1m。

3.含芒硝粘土层，可见层厚 2.5m (孔 1-6 和孔 1-8 两个样)。

4. 玛尔果茶卡

该湖属申扎县管辖。1978 年在离南岸约 1 000m 的湖内打钻一口，该剖面岩性自上

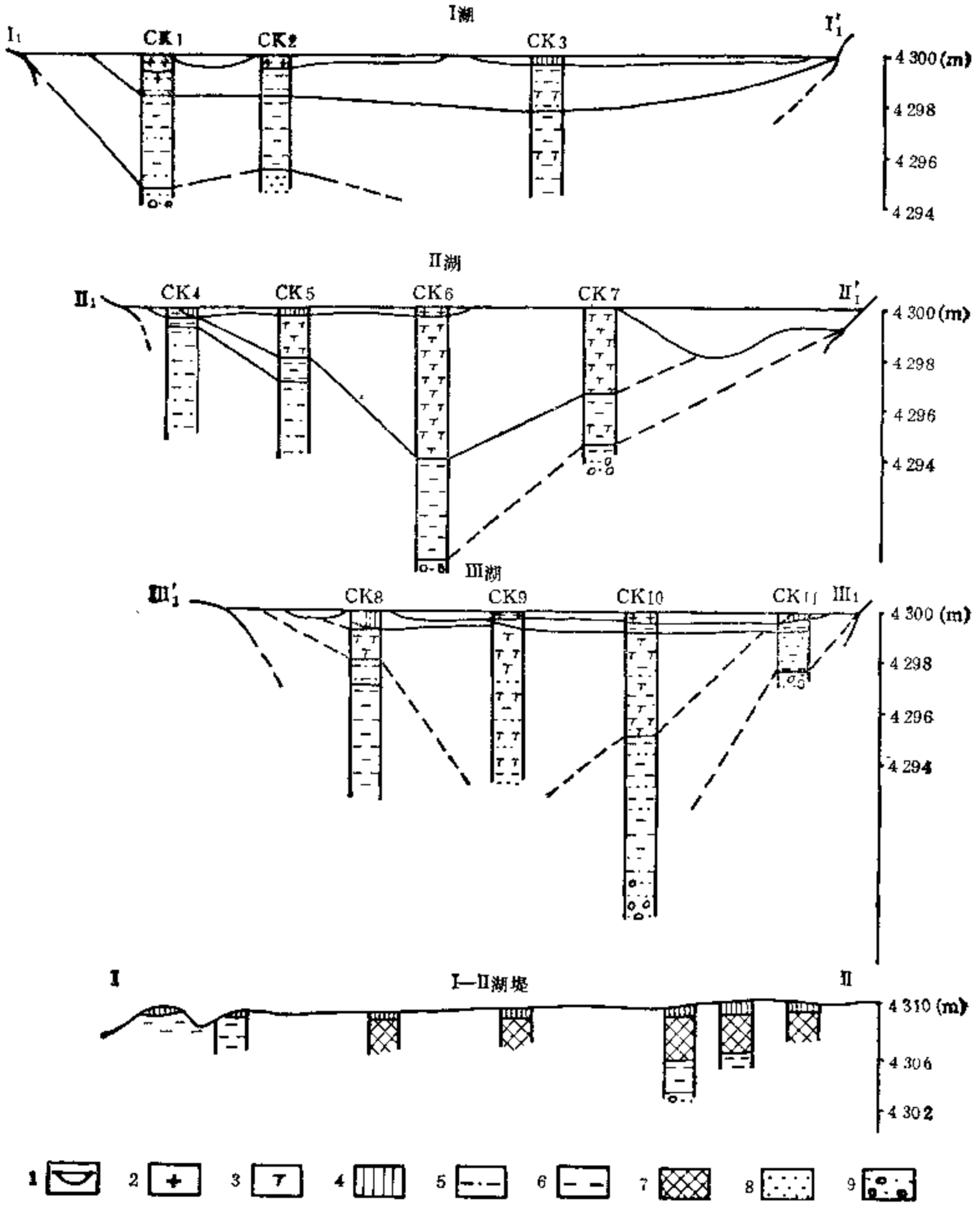


图 2-13　扎仓茶卡沉积剖面(郑喜玉等，1988)

1.湖水　2.石盐　3.芒硝　4.柱硼镁石　5.砂质粘土　6.碳酸盐粘土
7.库水硼镁石-多水硼镁石　8.砂　9.砂砾

往下：

1.中细粒石盐层，层厚 0.1m。

2.含石膏中细粒石盐层，层厚 0.97m。

3.含水钙芒硝石膏钾石膏中细粒石盐层，层厚 0.66m。

4.含伊利盐石盐碳酸盐粘土层，层厚 0.34m。

5.含石盐石膏碳酸盐粘土层，层厚 0.09m。

6.含石盐粘土无水芒硝层，层厚 0.50m。

7.土黄色含盐粘土层，可见层厚 0.66m（采样一个）。

其它盐湖的碎屑沉积物均采自表层，样品介绍从略。

二、各湖沉积物中粘土矿物类型

各湖粘土样的X射线衍射分析、红外光谱和差热分析资料分别见图 2-14 至图 2-22。粘土矿物鉴定结果见表 2-4。

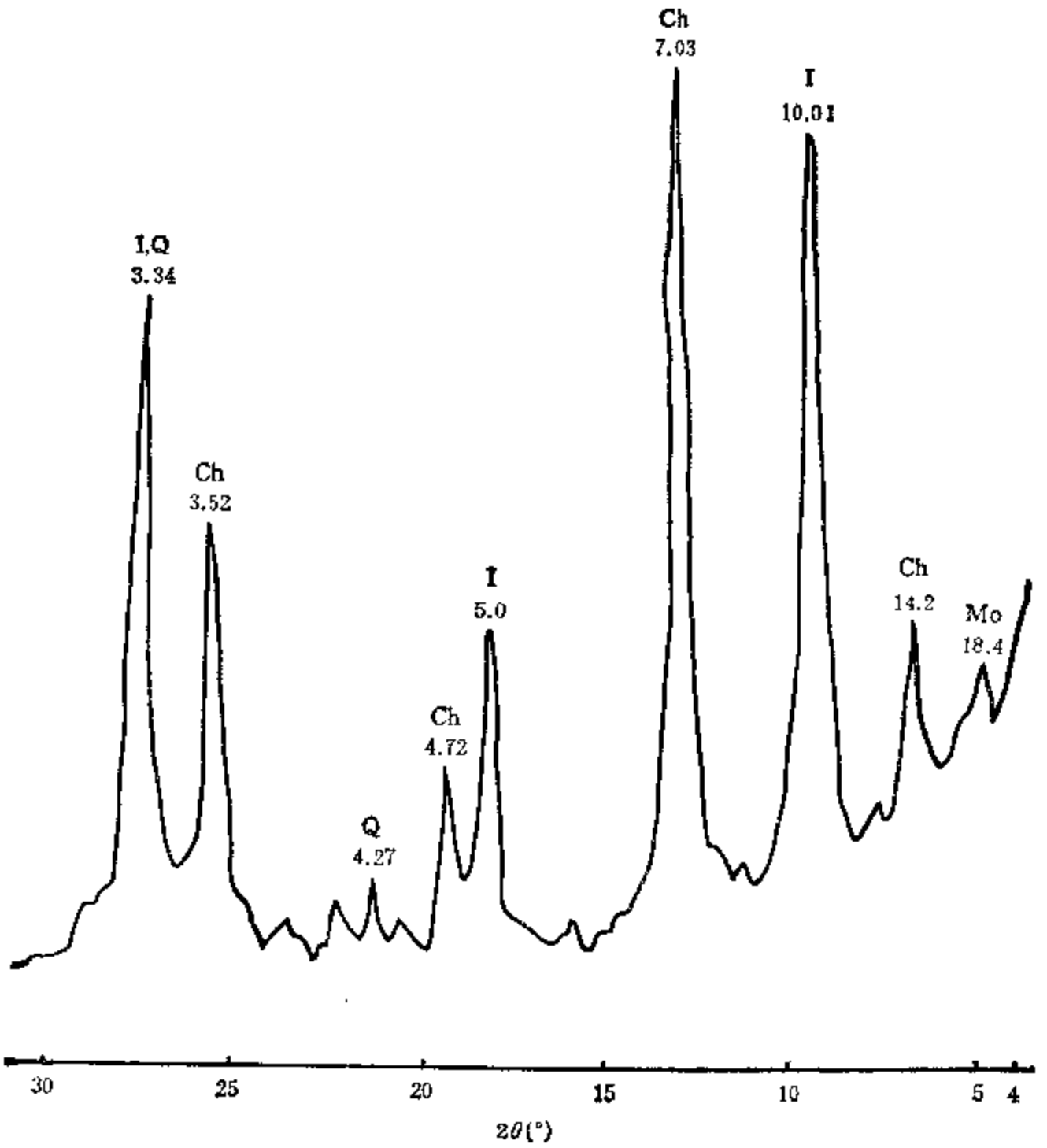


图 2-14　玛尼茶卡粘土样 X 射线衍射图

从以上资料中可以看出，该地区盐湖沉积物中的粘土矿物亦以伊利石为主，含量 60--70%，次为绿泥石，含量 10—30%，有少量蒙脱石和高岭石。在 <2 μm 粘土试样中

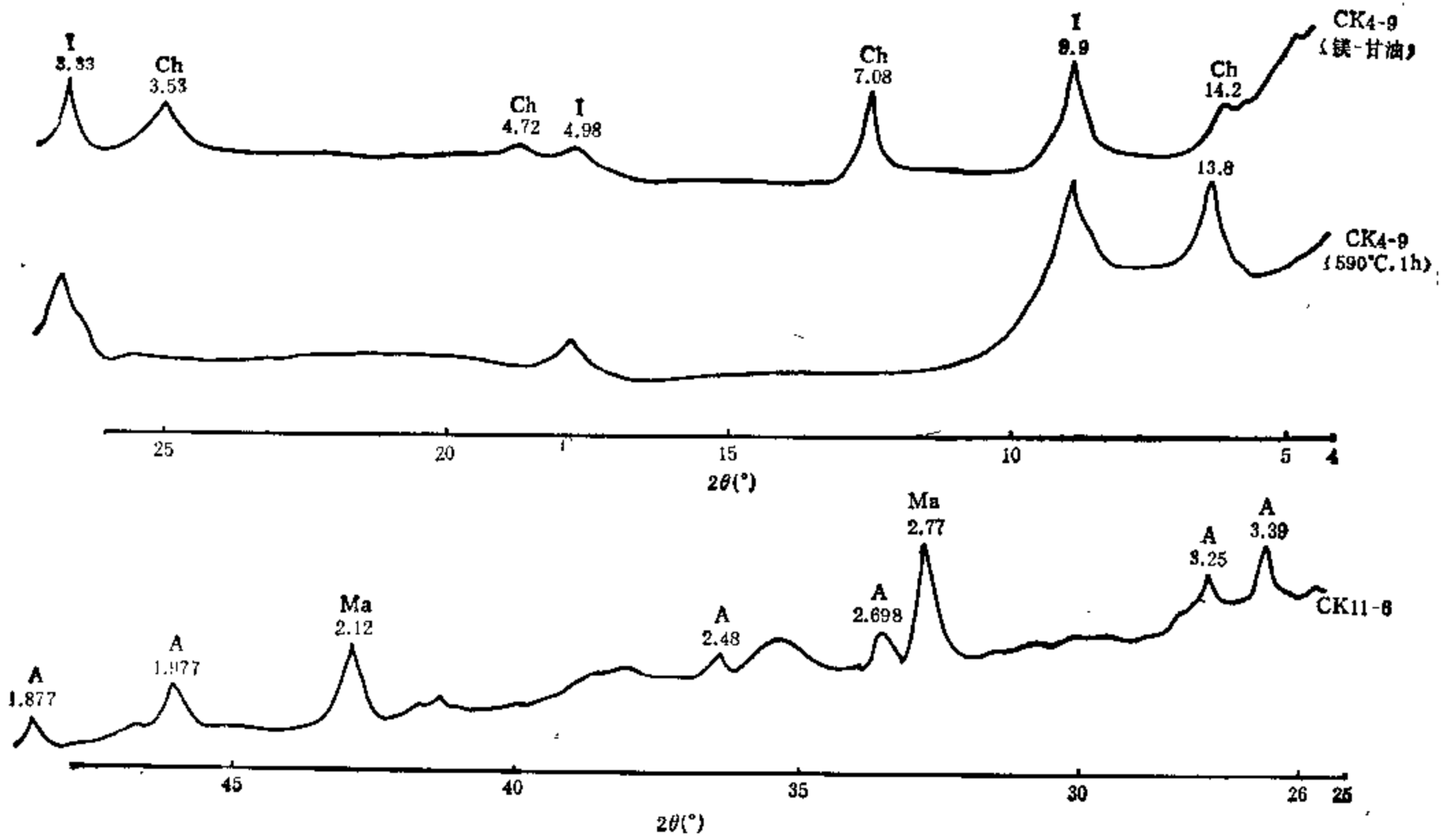


图 2-15　扎仓茶卡粘土样X射线衍射图

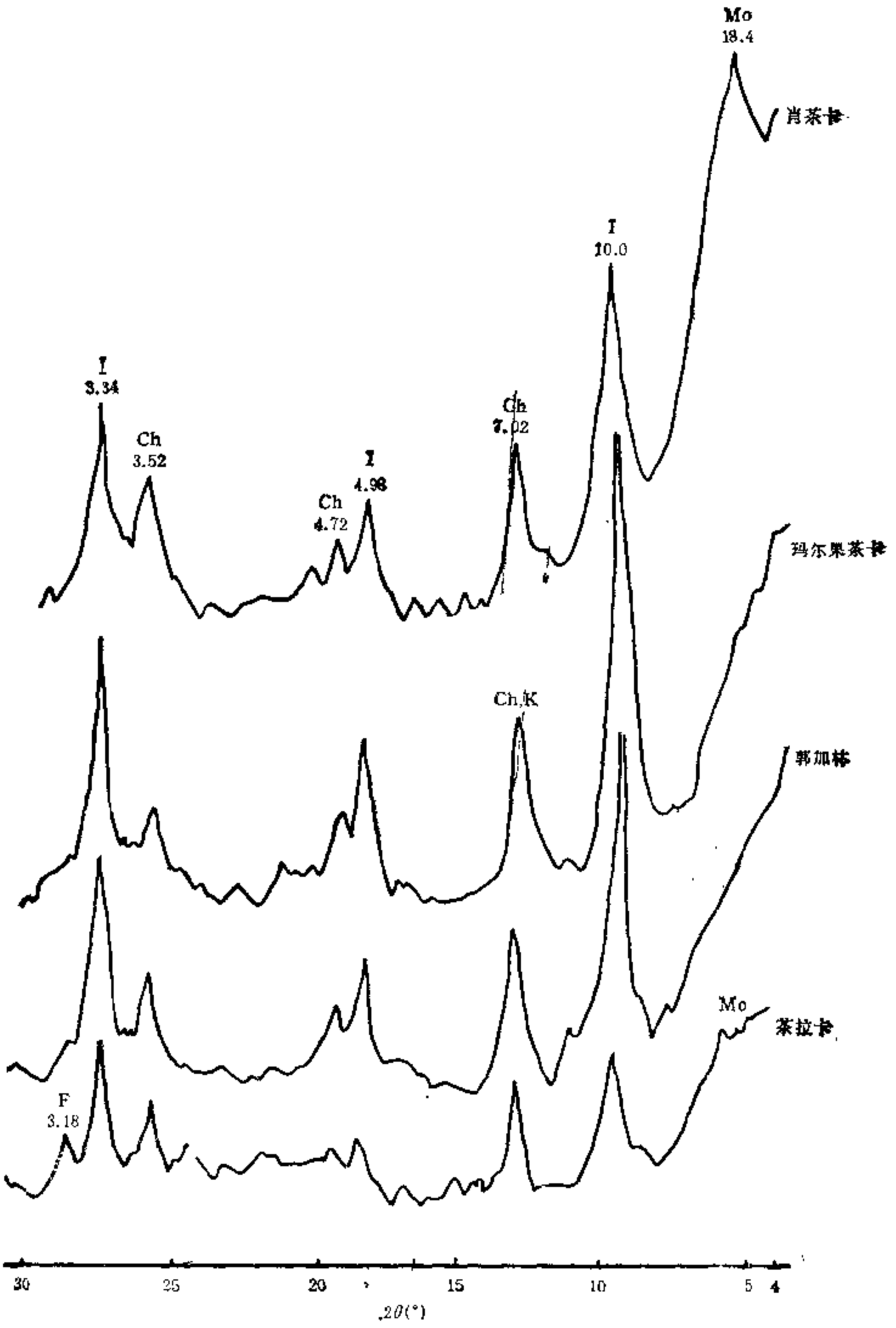


图 2-16　肖茶卡、玛尔果茶卡、郭加林和茶拉卡粘土样 X 射线衍射图

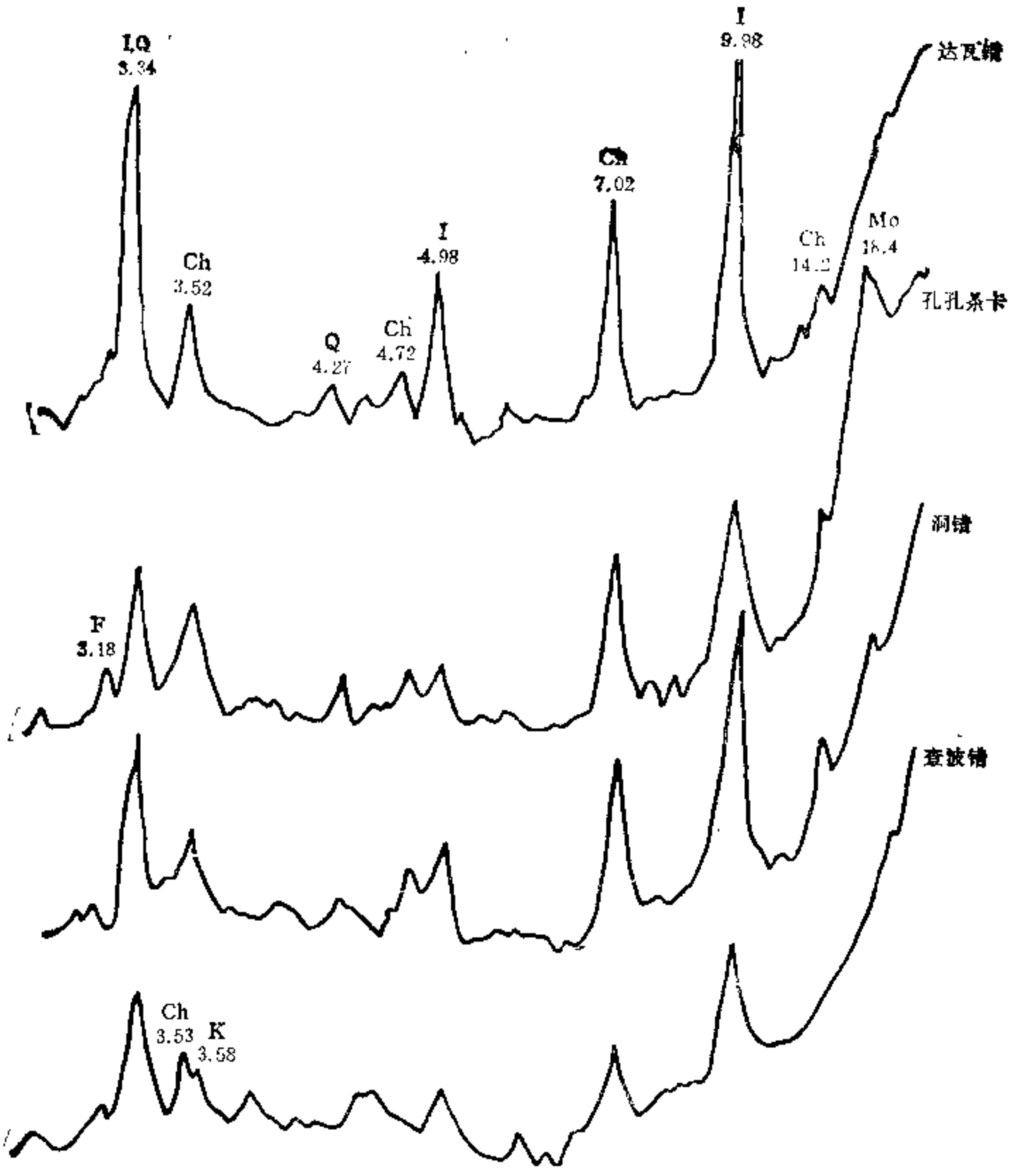


图 2-17　达瓦错、孔孔茶卡、洞错和查波错粘土样 X 射线衍射图

亦普遍存在石英、长石和碳酸盐矿物等。

近年来，郑绵平等(1987)对班戈错沉积物中粘土矿物进一步进行了研究，发现在沉积底板偶可见到含量较少的埃洛石，沉积上部有少量的坡缕石等，以及在扎布耶茶卡中有伊利石、绿泥石和蒙脱石等矿物。

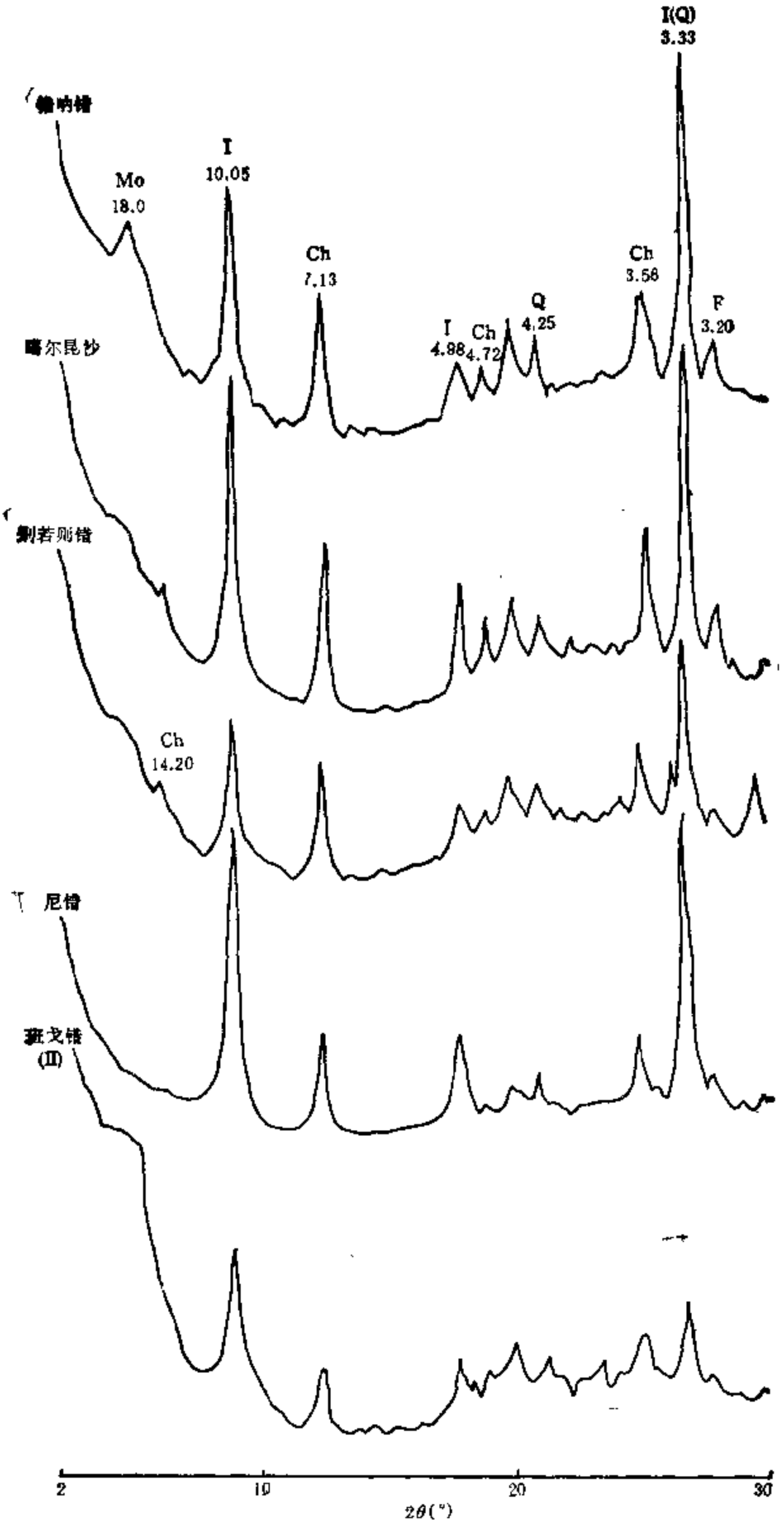


图 2-18　错呐、嘎尔昆沙、别若则错、尼错和班戈错（II）粘土样 X 射线衍射图

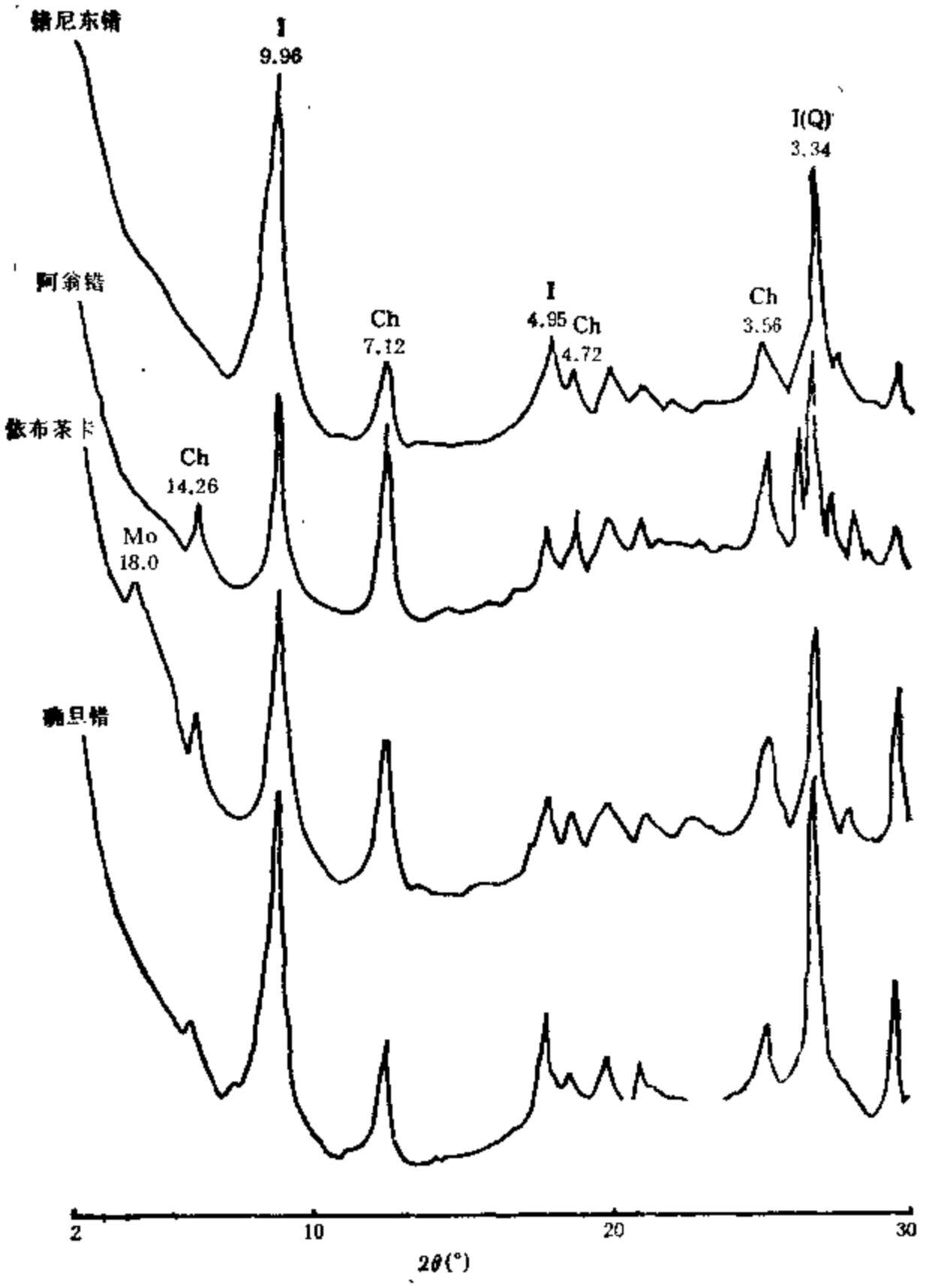


图 2-19　锆尼东锆、阿翁锆、依布茶卡和确旦错粘土样 X 射线衍射图

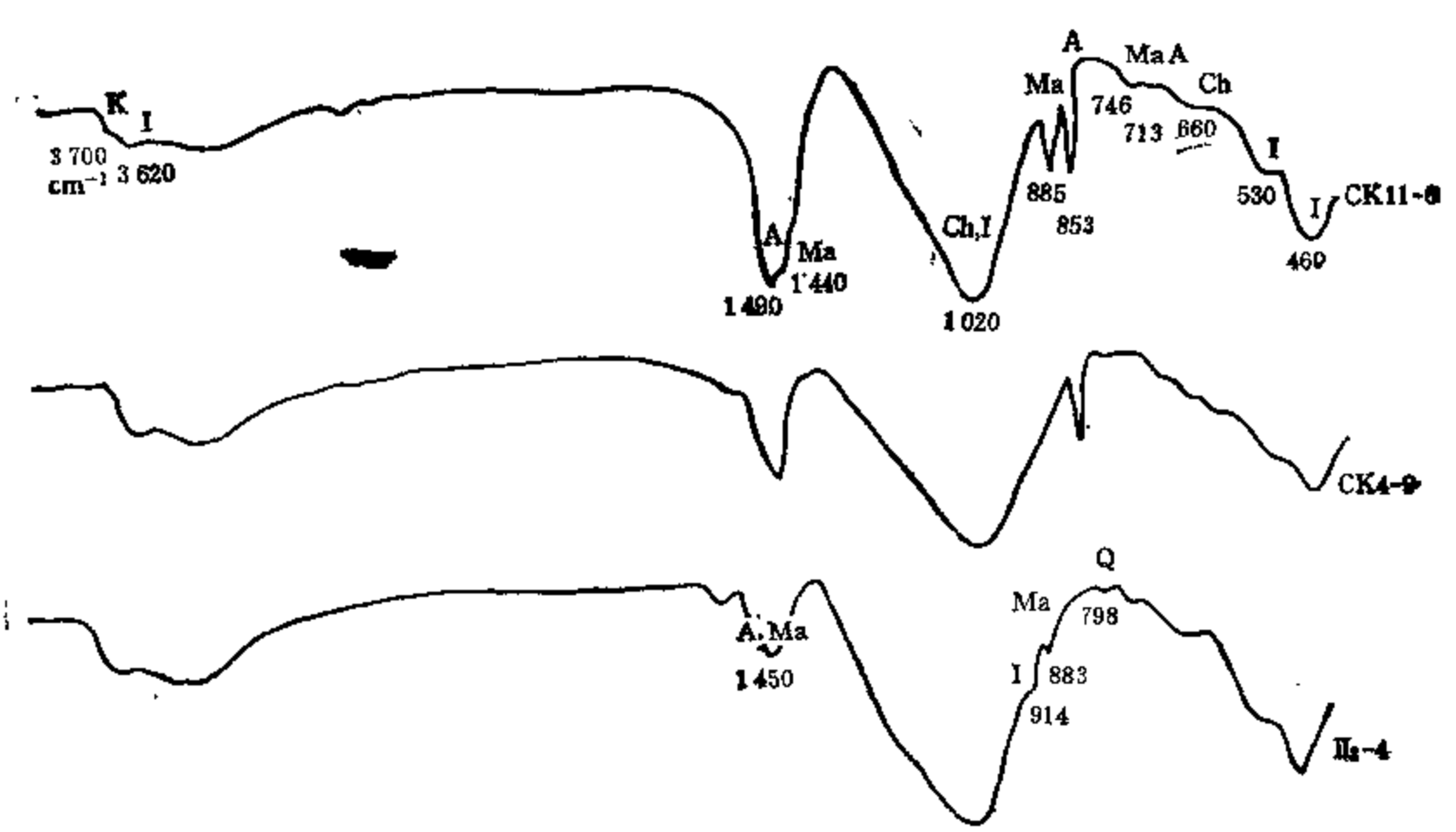


图 2-20　扎仓茶卡粘土样红外图谱

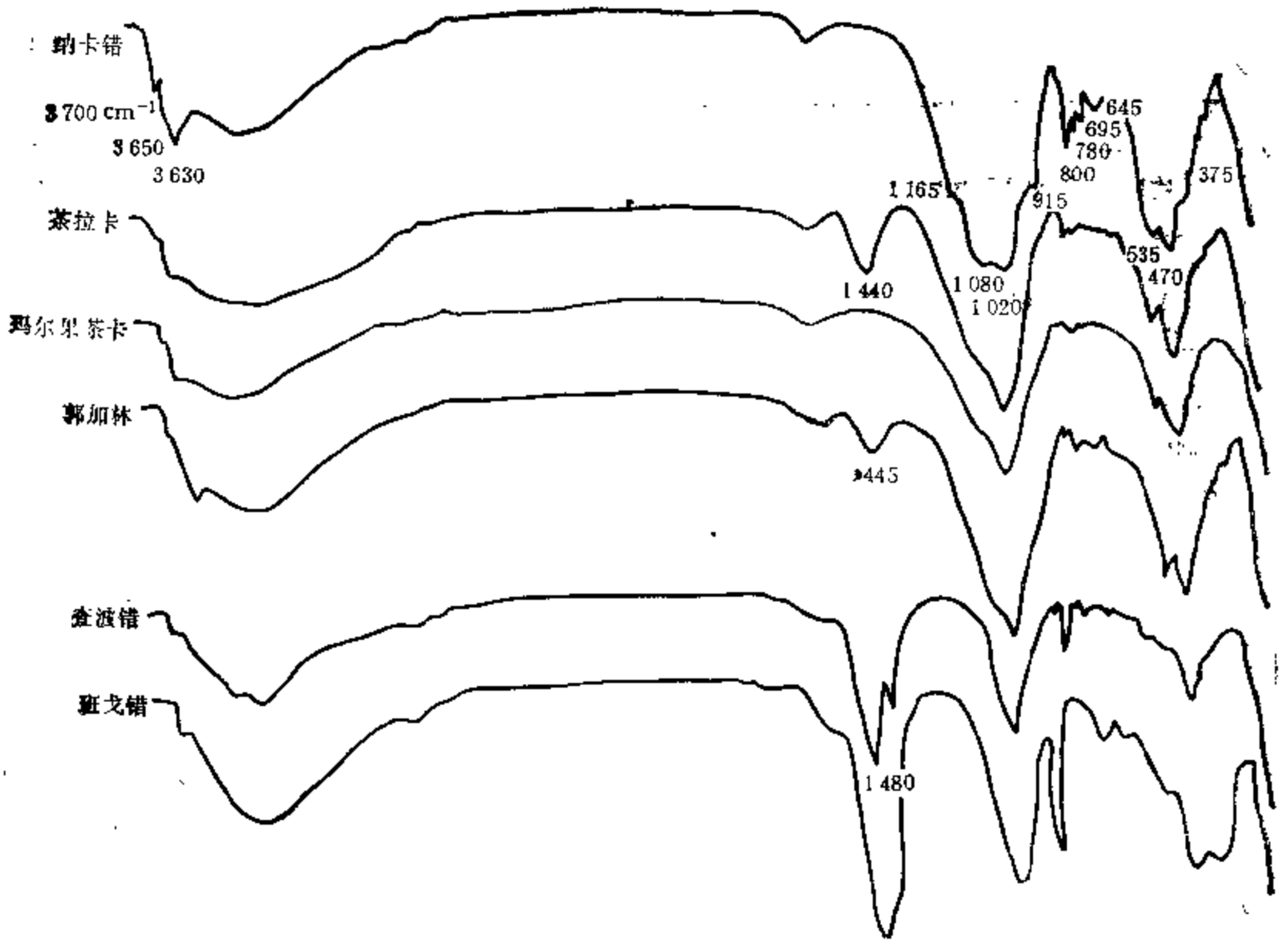


图 2-21　班戈错等粘土样红外图谱

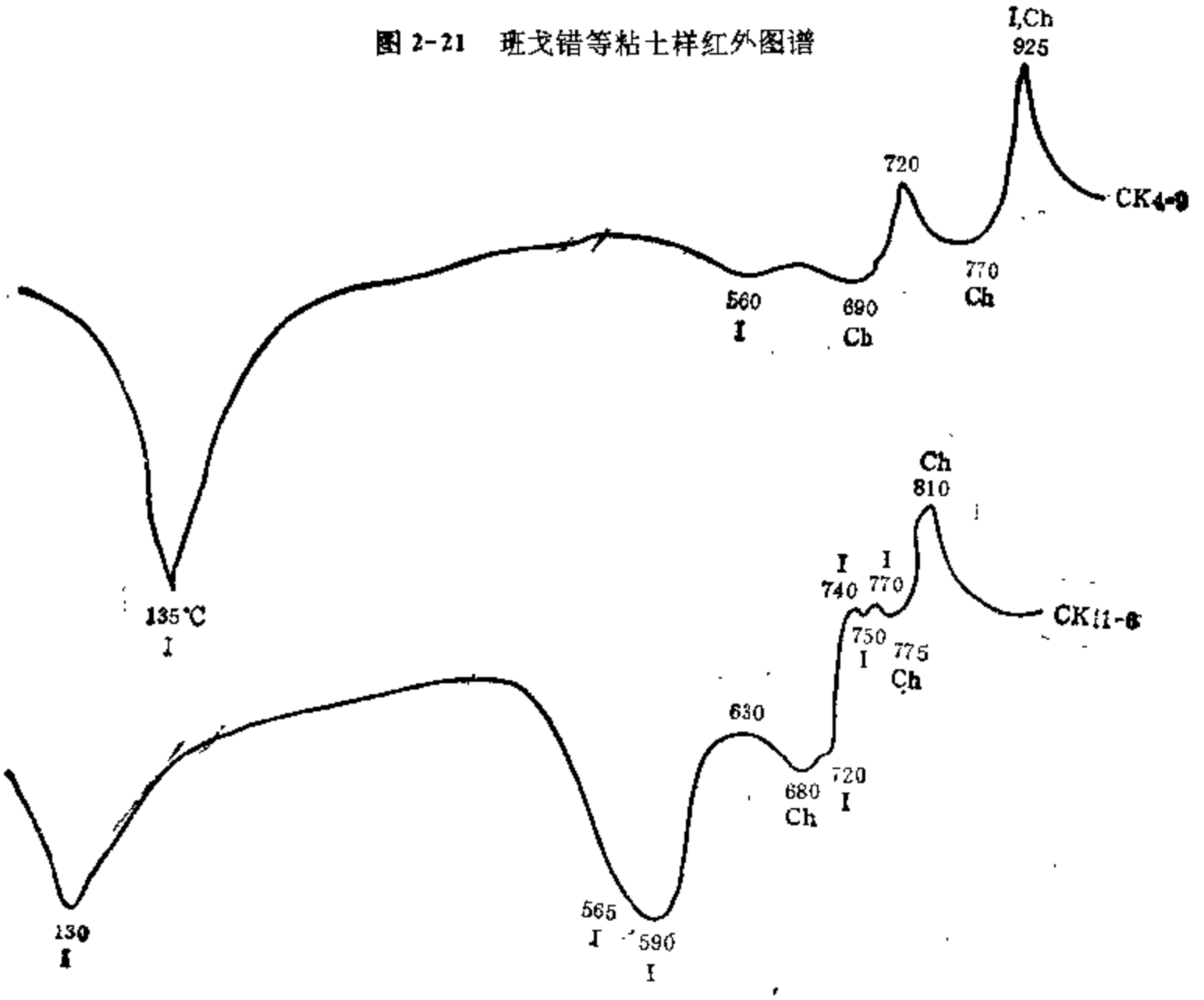


图 2-22　扎仓茶卡粘土样差热曲线

表 2-4　西藏盐湖沉积物中粘土矿物

湖　名	岩　性*	<2μm (%)	样品埋深 (m)	粘 土 矿 物 组 合
班戈错II	粘土质粉砂	27		伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
班戈错III				
孔 1-6	粘土质粉砂	16.5	2.66—2.81	伊利石为主,绿泥石次之
孔 1-8	砂质粘土	16.3	3.80—4.00	伊利石为主,绿泥石次之
鄂加林				
孔 1-4	褐色粘土	8.3	2.34—2.76	伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
孔 2-9	砂质粘土	17.8	3.80—4.06	伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
崩则错	灰白色粘土	10		伊利石为主,绿泥石次之
依布茶卡	红色粘土	24		伊利石为主,绿泥石次之,少量蒙脱石
玛尔果茶卡	含盐粘土	11		伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
孔孔茶卡	粘土	9.2		伊利石为主,绿泥石次之,少量蒙脱石
肖茶卡	含盐粉砂粘土	16		伊利石为主,绿泥石次之,少量蒙脱石
错尼东错	粘土质细砂	14.6		伊利石为主,绿泥石次之
尼玛错	粉砂	21.6		伊利石为主,绿泥石次之
确旦错	褐色粘土	31.5		伊利石为主,绿泥石次之
洞错	粘土	24.4		伊利石为主,绿泥石次之
查波错	灰白色粘土	21.7		伊利石为主,绿泥石次之,少量蒙脱石、高岭石
达瓦错	黄褐色粘土	21		伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
嘎仁错				伊利石为主,绿泥石次之
错帕	粉砂	2		伊利石为主,绿泥石次之
别若则错	粉砂质粘土	9		伊利石为主,绿泥石次之
茶拉卡	灰色粘土	13.1		伊利石为主,绿泥石次之,少量高岭石
尼错	粘土	18		伊利石为主,绿泥石次之
阿翁错	黑色粘土	5.1		伊利石为主,绿泥石次之
噶尔昆沙	粉砂	0.7		伊利石为主,绿泥石次之
扎仓茶卡				
CK 1-1	灰黑色粘土	7.3	1.08—1.16	伊利石为主,绿泥石次之
1-5	黑色粘土	14.3	3.38—3.51	伊利石(71)**,绿泥石(27)
1-7	灰色粘土	15	3.95—4.15	伊利石(70),绿泥石(28)
2-2	黑色含盐粘土	7.7	0.05—0.20	伊利石为主,绿泥石次之
2-7	灰黑色粘土	5.3	1.25—1.45	伊利石(69),绿泥石(29)
2-14	黑色粘土	12.3	4.90—5.12	伊利石(67),绿泥石(31)
3-13	黑色粘土	3.2	4.40—4.55	伊利石为主,绿泥石次之
4-6	黑色粘土	22.3	1.75—1.85	伊利石为主,绿泥石次之
4-9	黑色粘土	27	4.00—4.20	伊利石(63),绿泥石(35)
5-11	黄褐色粘土	18	4.70—4.93	伊利石为主,绿泥石次之
7-11	灰白色粘土	20	5.90—6.06	伊利石(73),绿泥石(25)
8-4	灰白色粘土	12.6	1.00—1.13	伊利石(70),绿泥石(29)
9-13	灰色粘土	24	5.90—6.00	伊利石(60),绿泥石(30),蒙脱石(5)
10 2	灰色粘土	9	0.20—0.30	伊利石(65),绿泥石(34)
11-6	黄褐色粘土	26	2.10—2.25	伊利石为主,绿泥石次之
11-10	黄褐色粘土	30.6	6.68—6.88	伊利石为主,绿泥石次之
I_2-5	细砂	0.7		伊利石为主,绿泥石次之
I_2-7	灰黑色粘土	24		伊利石为主,绿泥石次之
II_2-3	灰黑色粘土	2.6		伊利石为主,绿泥石次之
II_2-4	灰色含盐粘土	1.7		伊利石(68),绿泥石(17),蒙脱石(10)

续表

湖　名	岩　性*	<2μm (%)	样品埋深 (m)	粘土矿物组合
II_2-9	含盐粘土	7		伊利石为主,绿泥石次之
II_3-2	灰色粘土	20.6		伊利石(63),绿泥石(35)
II_3-4	黑色粘土	4.7		伊利石为主,绿泥石次之
II-III-7	灰白色砂质粘土	22.3		伊利石为主,绿泥石次之
$IIII_2WY_1$-1	灰色含芒硝粘土	1		伊利石(74),绿泥石(16),蒙脱石(10)
$IIII_2WY_2$-2		2.7		伊利石(61),绿泥石(31)

* 野外定名。

** 相对百分含量。

三、盐湖粘土化学成分及特征

某些盐湖粘土化学成分见表 2-5。某些盐湖粘土微量元素光谱分析结果见表 2-6。粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量三角图见图 2-23。

表 2-5　西藏某些盐湖粘土化学成分

湖　名	化学成分 (%)						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO
茶拉卡	48.67	15.99	5.73	4.03	0.76	4.33	9.01
郭加林错	48.20	21.47	6.10	5.12	0.43	0.56	7.84
崩则错	55.82	20.90	3.24	4.51	0.44	0.19	2.84
班戈错	51.28	15.52	3.9	3.22	0.70	0.36	5.89
班戈错	54.12	13.74	2.4	2.75	0.61	0.23	2.15
班戈错	50.80	15.68	2.7	2.90	0.70	0.29	2.05
班戈错	48.15	14.63	3.2	3.20	0.53	0.42	5.07
茶拉卡	51.05	17.14	4.0	3.90	1.38	0.51	2.55
扎仓茶卡	50.86	13.32	3.4	3.10	0.90	0.54	7.50

据郑喜玉等,1988。

从表 2-5，2-6 和图 2-23 中可以看出，西藏盐湖粘土中平均化学成分如下：SiO_2，51.33%；Al_2O_3,17.13%；Fe_2O_3，4.51%；K_2O，3.93%；Na_2O，0.85%；CaO，0.78%；MgO，5.23%。与其它地区盐湖粘土化学成分相比，以相对富镁为特征；与其它成因类型粘土化学成分相比，均不相似。此外，该地区盐湖粘土中微量元素的丰度和分布，与其它地区盐湖粘土亦大体相似。

表 2-6　西藏某些盐湖粘土微量元素光谱分析结果(%)

湖　名	硼	锰	铅	铬	锡	镓	镍	钒	钼	铜	锆	锌	银	钴	锂	钡	铍	钛
班戈错	0.01	0.05	0.0001	0.0001	—	<0.0001	—	0.0001	—	<0.0001	—	—	—	—				0.01
郭加林	0.03	0.05	0.0003	0.003	0.0001	<0.0001	0.0008	0.003	—	0.0003	0.01	0.03	—	—				0.8
依布茶卡	0.01	0.1	0.0001	0.001	—	0.0001	0.0001	0.0003	—	0.0001	—	—	—	—				0.1
玛尔果茶卡	0.05	0.05	0.005	<0.001	0.0006	0.005	0.0008	0.0008	<0.0001	0.01	—	—	0.001	0.0005				0.01
错尼东错	0.05	0.01	0.006	0.006	0.0003	0.006	0.005	0.03	<0.0001	0.008	—	—	0.00008	0.001				0.08
洞错	0.05	0.02	0.0008	0.006	0.0006	0.005	0.005	0.02	<0.0001	0.003	—	0.05	—	0.001				0.8
达瓦错	0.03	0.2	0.0006	0.001	0.0001	0.001	0.0001	0.003	—	0.001	—	—	0.00008	—				0.06
扎仓茶卡	0.05	0.02	-	0.002	0.0001	0.0001	0.0001	0.006	—	0.0001	—	—	—	—				0.1
阿翁错	0.04	0.1	0.003	0.003	0.0003	0.005	0.008	0.008	0.0001	0.003	—	0.03	0.0002	0.003				0.8
茶拉卡	0.04	0.1	0.0004	0.001	0.0002	0.0008	0.0008	0.008	—	0.001	—	0.03	0.00001	0.0005				0.8
班戈错	0.01	0.01	—	—	0.001	—	—	0.003	—	<0.001	0.005		<0.001	—	—	0.03	—	0.5
班戈错	0.05	0.01	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.005	—	<0.001	0.01		0.001	0.003	0.1	0.03	0.001	1
班戈错	0.01	0.01	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.01	<0.001	<0.001	0.01		<0.001	—	—	0.03	0.001	1
班戈错	0.01	0.01	—	0.003	—	0.001	0.001	0.005	—	<0.001	0.005		<0.001	—	—	0.03	<0.001	1
班戈错	0.01	0.05	0.003	0.005	—	0.001	0.003	0.01	—	0.001	0.03		0.003	0.003	0.03	0.05	0.001	1
班戈错	0.01	0.01	—	0.005	—	0.001	0.003	0.03	—	0.001	0.01		0.001	0.003	—	0.05	0.001	1
班戈错	0.03	0.01	—	—	—	<0.001	—	0.001	0.001	<0.001	—		—	—	1	0.005	—	0.05
班戈错	0.01	0.03	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.01	—	<0.001	0.01		<0.001	—	0.05	0.03	0.001	1
茶拉卡	—	0.05	—	—	—	0.001	0.003	0.01	—	<0.001	0.01		<0.001	0.001	—	0.05	0.001	1
茶拉卡	0.01	0.05	—	0.003	—	<0.001	0.001	0.005	0.001	<0.001	0.01		0.001	0.001	0.05	0.05	0.001	0.05
扎仓茶卡	0.01	0.03	—	—	—	<0.001	0.003	0.001	—	<0.001	0.05		0.001	-	—	0.03	<0.001	0.05
扎仓茶卡	0.03	0.03	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.003	—	<0.001	0.01		<0.001	—	—	0.05	<0.001	0.05
扎仓茶卡	0.01	0.03	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.01	—	<0.001	0.01		<0.001	0.001	—	0.05	0.001	1
扎仓茶卡	0.01	0.03	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.005	—	<0.001	0.01		0.001	0.001	—	0.05	<0.001	—

据郑喜玉等，1988。

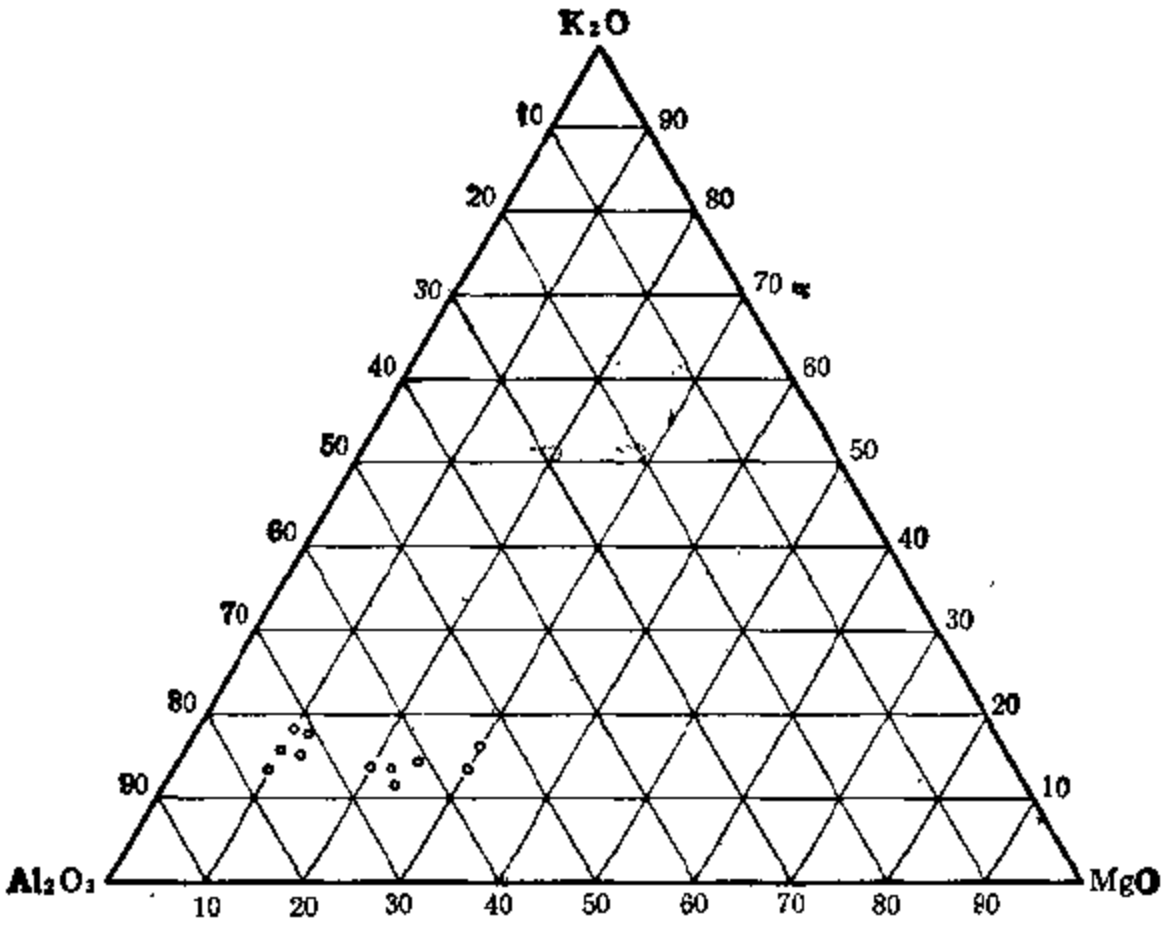


图 2-23　西藏某些盐湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

四、讨　论

西藏高原盐湖星罗棋布，我们限于人力，仅初步积累了一些表层的粘土矿物资料，做了个别剖面的粘土矿物研究，缺乏系统的研究。这里仅提出两个问题，供今后工作参考。

1. 西藏盐湖物质来源问题

西藏盐湖粘土化学成分以富镁为特征，而不同于其它成因类型粘土的化学成分。这一点似乎表明西藏盐湖物质来源有它的独特之处，即可能与热水活动关系更为密切。我们在扎仓茶卡等盐湖的周围或湖内普见到很发育的古泉华堆积物，甚至温泉，表明热水活动为西藏盐湖提供了重要的化学组分的可能性是存在的。

2. 粘土矿物与气候关系问题

在纳卡错咸水湖表层沉积物中，见到含量较多的高岭石，这从红外图谱上 3 700cm^{-1} 吸收带明显呈"勾"状得到肯定。而在其它地区盐湖中，只有盐湖早期未成盐阶段的沉积物中高岭石含量较多。藏北高原的气候极为干寒，而高岭石代表湿热气候带的产物，两者极不协调。因此，不得不使人设想高岭石的形成与古气候有关。

第三节　青海盐湖粘土矿物

青海柴达木盆地盐湖举世瞩目。我们从 1972 年开始对该地区盐湖沉积物中粘土矿物进行研究，积累了较系统的盐湖粘土矿物资料，其中绝大多数样品是我室历年野外打钻

过程中采集的。先后进行粘土矿物研究的盐湖有大柴旦湖、一里坪盐湖、大别勒湖、小别勒湖、达布逊湖、昆特依湖、东台吉乃尔湖、察尔汗盐湖和尕斯库勒湖，这些盐湖的基本概况见表 1-4。其中对察尔汗湖区沉积物中的粘土矿物工作进行得较为详细。现按察尔汗湖区粘土矿物、其它盐湖粘土矿物、柴达木盆地盐湖粘土矿物基本特征等几方面分别叙述。

一、察尔汗盐湖区沉积物中的粘土矿物

察尔汗湖区位于柴达木盆地中部，东西延长约 168km，南北宽 20—40km。该湖区包括察尔汗干盐滩和一系列水湖，前者按地质、矿产特征又可细分为霍布逊、察尔汗、达布逊和别勒滩 4 个区段;后者包括 11 个盐湖(图 2-24)。

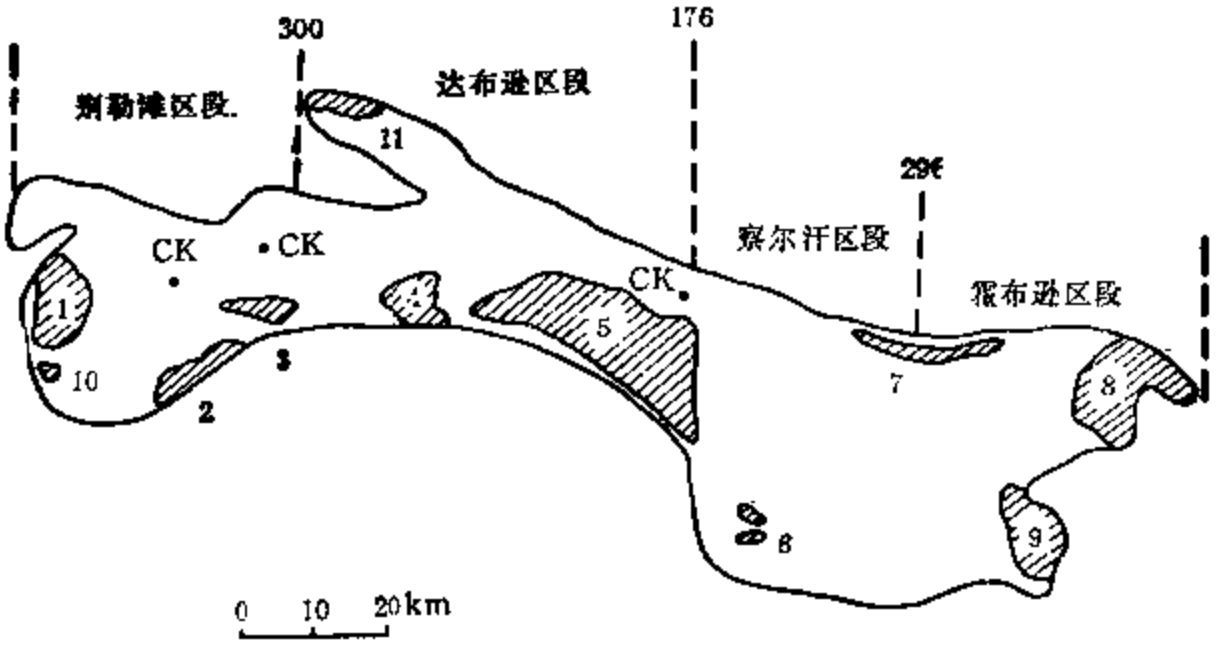


图 2-24 察尔汗湖区盐湖分布和区段划分(张彭熹等，1987)

1.涩聂湖 2.大别勒湖 3.小别勒湖 4.西达布逊湖 5.达布逊湖 6.团结湖
7.协作湖 8.北霍布逊湖 9.南霍布逊湖 10.南涩聂湖 11.东陵湖 CK. 孔位

(湖区界线引自郑喜玉等，1990，察尔汗盐湖首采区采卤过程中水动态水化学变化规律)

1. 察尔汗盐湖区样品产状和岩性

我们先后对大别勒湖、小别勒湖、达布逊湖、别勒滩和察尔汗区段钻孔中沉积物的粘土矿物进行了研究，各沉积剖面岩性简述如下。

(1) 大别勒湖

1974 年我们在该湖北岸打了一口 101m 的深孔，对其中 14 个沉积物样进行了粘土矿物研究，各样品埋深见表 2-9。该钻孔剖面岩性自上往下可分为以下 8 大层:

1.石盐层。该层又可分为 4 个亚层:

① 主要为中粒石盐层，含石膏和粉砂，井深地表—7.31m，层厚 7.31m。

② 以含钾石盐为特征的石盐层或粉砂石盐层，钾石盐含量一般 10—30%，井深 7.31—11.68m，层厚 4.37m。

③ 以含光卤石为特征的石盐层或粉砂石盐层，光卤石含量一般 10—20%，井深 11.68—

16.88m，层厚 5.2m。

④ 石盐粉砂和粉砂石盐互层，粉砂石盐层较厚，井深 16.88—21m，层厚 4.12m。

2.石盐粉砂层。石盐含量一般 30—40%，含石膏，井深 21—23m，层厚 2m。

3.石盐层。夹薄粉砂层，普遍含石膏，井深 23--33.60m，层厚 10.60m。

4.含石盐粉砂层。井深 33.60—36.87m，层厚 3.27m。

5.石盐层。中粗粒，盐、碎混层发育，局部为含盐粉砂，普遍含石膏，井深 36.87—46.39m，层厚 9.52m。

6.灰色粘土。含少量石盐和石膏，井深 46.39—47.38m，层厚 0.99m。

7.石盐层。中粗粒，普遍含石膏，井深 47.38—61.88m，层厚 14.5m。

8.以黑灰色粘土层为主，夹土黄色粘土质粉砂层。微层理发育，见石膏晶粒，部分井段含硫化物。井深 61.88—101m，可见层厚 39.12m。

总之，该湖沉积在晚期成盐阶段(井深地表—61.88m)，以盐、碎互层或混层沉积为特征，在最晚一层石盐层中出现钾盐沉积。

(2) 小别勒湖

1974 年我们在小别勒湖北岸打了一口 51.58m 的深孔，对其中 8 个样品进行了粘土矿物研究，各样品埋深见表 2-9。该钻孔剖面岩性，自上往下简述如下：

1.石盐层。夹含盐粘土薄层，局部含碎屑，井深地表—7.99m。

2.含盐粉砂。井深 7.99—10.19m。

3.含粉砂石盐层为主，局部为粉砂或含盐粉砂薄层，普遍含石膏，井深 10.19—12.79m。

4.粘土质粉砂层，井深 12.79—13.48m。

5.石盐与粘土质粉砂互层，井深 13.48—20.40m。

6.主要为含盐粉砂层，井深 20.40—26.04m。

7.粉砂质粘土为主，下部较细，含石膏，井深 26.04—51.58m。

(3) 达布逊湖

1973 年我们在达布逊湖北岸打了一口 41.78m 深的钻孔，对其中 6 个样进行了粘土矿物研究，各样品埋深见表 2-9。该剖面岩性自上往下简述如下：

1.石盐层。含粉砂，见粘土质粉砂薄层，井深地表—15.49m。

2.粘土质粉砂层。普遍含石盐，井深 15.49—19.07m

3.含粉砂石盐层。井深 19.07—21.17m。

4.粘土质粉砂层。黑色、褐色、灰色，局部含石盐，井深 21.17—25.30m。

5.含粉砂石盐层为主，井深 25.30—26.55m。

6.粉砂层为主，黑灰色、褐黄色，含石盐，井深 26.55—31.33m。

7.含粉砂石盐层为主，其次为灰色粘土质粉砂层，井深 31.33—35.02m。

8.灰色粉砂质粘土或粘土质粉砂层，普遍含石盐，井深 35.02—41.78m

(4) 察尔汗区段干盐滩

我们于 1980 年和 1981 年在察尔汗区段打钻，分别进行了 7 个样和 82 个样的粘土矿物研究。现以 1981 年钻孔为例，各样品埋深见表 2-7。其剖面岩性自上往下简述如下：

1.石盐层。该层又可分为 3 个亚层：

① 含粉砂中粒石盐层，井深地表—3.6m。

② 含光卤石粉砂石盐层，井深 3.6—10m。

⑥ 含粉砂石盐层为主,少量粉砂石盐或石盐粉砂层，夹粉砂薄层（层厚一般 <10cm)，井深 10—17.7m。

2.含盐粉砂层。一般含盐量 <10%，含少量石膏，底部为含盐粘土，夹数层薄层（层厚 5—10cm)含粉砂石盐层,井深 17.7—21.2m。

3.含粉砂石盐层为主,夹含盐粉砂层,井深 21.2—25.15m。

4.上部为含盐粉砂层,下部为黑色、灰色粉砂,含硫化物,具微层理,井深 25.15—27.7m。

5.含粉砂石盐层,井深 27.7—29.75m。

6.上部为黑色粘土质粉砂层,具微细层理,含少量石膏;中部为粉砂层;下部为含粉砂石盐与含盐粉砂质粘土互层,井深 29.75—32.80m。

7.以含粉砂石盐层为主,石盐颗粒一般中等，34.5m 处夹 10cm 薄层粉砂,35.2m 处夹 30cm 薄层粉砂石盐,接着有 82cm 厚的石盐粉砂层，38m 以下，夹 5 层黑色粘土质粉砂(层厚 10—20cm)，具微层理,井深 32.80—44.97m。

8.粘土质粉砂和粘土层。该层可分 3 个亚层:

① 黑色粘土质粉砂层。含硫化物,具微层理,井深 44.97—46.50m。

② 上部为暗绿色、灰色粉砂质粘土层,含柱状石膏晶体,具微层理;中部为褐色粉砂层，具微层理;下部为灰色粉砂质粘土层。井深 46.50—50.30m。

⑧ 黄绿色粘土层,含少量石膏,井深 50.30—52.31m。

(5) 别勒滩区段干盐滩

为了解该湖区深部沉积物中的粘土矿物特征,作者对由黄麒同志提供的 1984 年青海第一地质队在该湖区别勒滩区段所钻进的 800 多米深的钻孔中 30 个沉积物样(包括提供钻孔岩性资料)，进行了粘土矿物 X 射线衍射鉴定。该钻孔剖面岩性和样品分布自上往下简述如下:

1.土黄色粉砂石盐,埋深地表—0.24m。

2.灰白色中粒石盐,埋深 0.24—3.00m。

3.褐黄色含粉砂石盐,埋深 3.00—4.18m。

4.褐黄色石膏粉砂石盐,埋深 4.18—4.77m。

5.褐色含粉砂石盐,埋深 4.77—6.24m。

6.灰白色含光卤石石盐,埋深 6.24—8.62m。

7.灰褐黄色粉砂石盐,埋深 8.62—13.55m。

8.褐色含粉砂石盐,埋深 13.55—15.36m。

9.褐黄灰色含粉砂石盐,埋深 15.36—22.50m。

10.灰褐色石盐,埋深 22.50—24.68m。

11.深灰色石盐粉砂,埋深 24.68—25.78m。

12.灰色含粉砂石盐,埋深 25.78—27.78m。

13.褐黄色粉砂石盐,埋深 27.78—29.78m。

14.灰白色石盐,埋深 29.78—32.77m。

15.灰褐色含粉砂石盐,埋深 32.77—34.44m。

16.浅褐红色含钾石盐,埋深 34.44—35.00m。

17.灰褐色含粉砂石盐,埋深 35.00—40.33m。

18.灰褐色粉砂石盐,埋深 40.33—40.92m。

19.灰褐色含粉砂石盐,埋深 40.92—43.15m。

20.灰色钙质石盐粉砂,埋深 43.15—45.29m。

21.灰褐色含粉砂中粒石盐，埋深 45.29—47.10m。
22.灰褐色含粉砂细中粒石盐，埋深 47.10—51.28m。
23.灰褐色粉砂石盐，埋深 51.28—51.68m。
24.灰褐色含粉砂中细粒石盐，埋深 51.68—54.87m。
25.褐黄色含粉砂粘土，埋深 54.87—57.06m。
26.灰黄色含粘土粉砂，埋深 57.06—58.34m。
27.灰黄色含粉砂粘土，埋深 58.34—64.72m。
28.灰黄色含粉砂粘土，埋深 64.72—76.11m，1 号样。
29.青灰色粉砂，埋深 76.11—80.08m。
30.含腐植质白云质粘土，埋深 80.08—80.91m。
31.含粘土粉砂及粘土粉砂，埋深 80.91—88.32m。
32.黄灰色含粉砂粘土与土灰色粉砂互层，埋深 88.32--89.35m。
33.黄灰色含粉砂粘土，埋深 89.35—92.30m。
34.灰色含粘土粉砂，埋深 92.30—99.00m。
35.棕灰色腐植层，埋深 99.00—99.40m。
36.青灰色含粘土粉砂，埋深 99.40—103.85m，2 号样。
37.深灰色粘土质粉砂，埋深 103.85—105.25m。
38.土灰色含粘土粉砂，埋深 105.25—112.30m。
39.土灰色粉砂质粘土，埋深 112.30—113.90m。
40.土灰色粘土质粉砂，埋深 113.90—118.50m。
41.灰色粉砂质粘土，埋深 118.50—125.13m，3 号样。
42.灰色钙质粉砂夹腐植层，埋深 125.13—127.68m。
43.灰色含粘土粉砂，埋深 127.68—131.17m。
44.土黄灰色含粘土粉砂，埋深 131.17—134.54m。
45.土灰色含粘土粉砂，埋深 134.54—139.10m。
46.灰色粉砂，埋深 139.10—143.82m。
47.灰色粉砂粘土，埋深 143.82—157.19m，4 号样。
48.绿灰色粉砂，埋深 157.19—170.68m，5 号样。
49.土灰一黄灰色含粘土粉砂，埋深 170.68—173.74m。
50.深灰色粉砂质粘土，埋深 173.74—181.32m。
51.灰色粘土质粉砂，埋深 181.32—187.94m。
52.土灰色含粉砂粘土，埋深 187.94—191.96m。
53.灰一土灰色粉砂质粘土，埋深 191.96—196.65m，6 号样。
54.土灰一黄灰色含粉砂粘土，埋深 196.65—204.28m。
55.土灰色含粉砂粘土，埋深 204.28—206.90m。
56.绿灰色含粉砂粘土，埋深 206.90—213.58m。
57.绿灰一黄灰色条带状粉砂质粘土，埋深 213.58—223.72m。
58.青灰色含粘土粉砂，埋深 223.72—226.02m。
59.浅绿灰色含粘土粉砂，埋深 226.02—231.04m，7 号样。
60.土灰色粉砂，埋深 231.04—233.28m。
61.青灰色粘土质粉砂，埋深 233.28—237.32m。
62.土灰色粘土质粉砂，埋深 237.32—242.64m。
63.绿色一土灰色含粘土粉砂，埋深 242.64—257.20m，8 号样。

64.土灰色粘土质粉砂，埋深 257.20—260.97m，9 号样。

65.绿灰色粘土质粉砂与含粉砂粘土互层，埋深 260.97—271.27m。

66.绿灰色夹土灰色含粉砂粘土，埋深 271.27—274.65m。

67.绿灰色夹姜黄色粉砂质粘土，埋深 274.65—282.91m。

68.绿灰色粘土质粉砂，埋深 282.91—285.98m。

69.绿灰色夹姜黄色含粉砂粘土，埋深 285.98—293.84m，10 号样。

70.绿灰色粉砂质粘土，埋深 293.84—297.33m。

71.上部浅绿灰夹姜黄色条带粉砂质粘土，下部青灰色粘土质粉砂，埋深 297.33—310.72m。

72.青灰色粘土质粉砂，埋深 310.72—320.17m。

73.青灰色粘土质粉砂，埋深 320.17—323.10m。

74.浅绿灰夹黑灰色粉砂质粘土，埋深 323.10—326.35m。

75.青灰色含粉砂粘土，埋深 326.35—331.04m。

76.土灰色粉砂质粘土，埋深 331.04—339.66m，11 号样。

77.土灰色粘土质粉砂，埋深 339.66—348.75m。

78.绿灰色含粉砂粘土，埋深 348.75—354.87m。

79.绿灰—土灰色粘土质粉砂，埋深 354.87—363.40m。

80.土灰—青灰色粘土质粉砂，埋深 363.40—378.93m，12 号样。

81.绿灰色粉砂，埋深 378.93—388.94 m。

82.绿灰色粘土质粉砂，埋深 388.94—392.08m。

83.绿灰色含粘土粉砂，埋深 392.08—397.76m。

84.青灰色粉砂质粘土，埋深 397.76—403.41m。

85.青灰色粉砂质粘土，埋深 403.41—405.94m。

86.青灰色含粘土粉砂，埋深 405.94—414.85m，13 号样。

87.暗灰色粉砂，埋深 414.85—418.35m。

88.黄灰色粘土质粉砂，埋深 418.35—423.25m。

89.土灰色—浅绿色粉砂质粘土，埋深 423.25—425.55m。

90.土灰色含粉砂粘土，埋深 425.55—436.27m，14 号样。

91.土灰色—浅绿灰色粘土质粉砂与含粘土粉砂互层，埋深 436.27—441.36m。

92.土灰色含粉砂粘土，埋深 441.36—442.67m。

93.土灰—绿灰色粉砂质粘土，埋深 442.67—451.37m，15 号 样。

94.土灰—绿灰色夹白云岩薄层的含粘土粉砂，埋深 451.37—456.98m。

95.土灰色粘土质粉砂，埋深 456.98—458.80m。

96.土灰—青灰色粘土质粉砂，埋深 458.80—462.12m。

97.土灰色含粉砂粘土，埋深 462.12—470.79m。

98.土灰—青灰色粉砂质粘土，埋深 470.79—472.39m。

99.土灰色粉砂质粘土夹粘土质粉砂，埋深 472.39—479.87m，16 号 样。

100.土灰色粉砂质粘土，埋深 479.87—485.39m。

101.土灰色粉砂质粘土，埋深 485.39—493.89m。

102.土灰色粉砂质粘土，埋深 493.89—498.29m。

103.绿灰色夹姜黄色条带状粘土质粉砂，埋深 498.29—505.61m。

104.绿灰色含粘土粉砂，埋深 505.61—507.61m。

105.土灰色含粘土粉砂，埋深 507.61 —520.48m，17 号样。

106.土灰—青灰色含粘土粉砂，埋深 520.48—523.25m。

107.暗灰色粘土质粉砂，埋深 523.25—537.17m。

108.暗灰色粘土质粉砂与含粘土粉砂互层，埋深 537.17—544.93m。

109.土灰色含粉砂粘土，埋深 544.93—555.48m。

110.暗灰色粘土质粉砂，埋深 555.48—565.40m。

111.土灰—青灰色粘土质粉砂，埋深 565.40—575.65m，18 号样。

112.青灰色含粘土粉砂，埋深 575.65—586.40m。

113.绿灰—土灰色粘土质粉砂与粉砂质粘土互层，埋深 586.40—595.63m。

114.土灰色砂质粘土，埋深 595.63—598.63m。

115.土灰—绿灰色粘土质粉砂，埋深 598.63—607.71m。

116.暗灰色含粘土粉砂，埋深 607.71—616.23m。

117.土灰—暗灰色粉砂质粘土，埋深 616.23—628.01m，19 号样。

118.土灰色粘土质粉砂夹含粉砂粘土，埋深 628.01—637.30m。

119.土灰—暗灰色粘土质粉砂，埋深 637.30—644.98m。

120.暗灰—土灰色粘土质粉砂，埋深 644.98—658.21m，20 号样。

121.绿灰色粘土质粉砂，埋深 658.21—661.97m。

122.土灰色含粉砂粘土，埋深 661.97—665.85m，21 号样。

123.青灰色粘土质粉砂，埋深 665.85—667.65m。

124.深灰色含粉砂粘土，埋深 667.65—670.60m。

125.土灰色粘土质粉砂，埋深 670.60—675.94m。

126.灰色含粘土粉砂，埋深 675.94—678.69m。

127.灰色粉砂质粘土与含粘土粉砂互层，埋深 678.69—684.69m，22 号样。

128.深灰—土灰色粉砂，埋深 684.69—697.96m，23 号样。

129.灰色粘土质粉砂，埋深 697.96—700.04m。

130.浅黄灰色含粉砂粘土，埋深 700.04—709.78m，24 号样。

131.黑灰色淤泥质粘土，埋深 709.78—712.48m。

132.灰色含粘土粉砂，埋深 712.48—716.33m。

133.黑灰色淤泥质粘土，埋深 716.33—717.33m。

134.灰色含粉砂粘土，埋深 717.33—719.73m。

135.深灰—黄灰色粉砂质粘土，埋深 719.73—726.30m，25 号样。

136.灰色含粉砂粘土，埋深 726.30—731.19m。

137.浅灰黄色含粉砂粘土，埋深 731.19—736.38m。

138.深灰色含粉砂粘土，埋深 736.38—738.92m，26 号样。

139.深灰—土灰色含粉砂粘土，埋深 738.92—746.00m。

140.灰色粉砂质粘土，埋深 746.00—749.20m。

141.深灰—土灰色粘土质粉砂，埋深 749.20—752.28m，27 号样。

142.灰色粘土质粉砂，埋深 752.28—756.00m。

143.深灰—土灰色含粉砂粘土，埋深 756.00—764.39m。

144.灰色含粘土粉砂，埋深 764.39—770.90m，28 号样。

145.灰色含粘土粉砂，埋深 770.90—773.55m。

146.土灰色含粘土粉砂，埋深 773.55—776.75m。

147.深灰色粉砂，埋深 776.75—781.30m。

148.灰色粘土质粉砂，埋深 781.30—784.50m，29 号样。

149.灰色含粉砂粘土，埋深 784.50—792.43m。

150.灰色含粘土粉砂，埋深 792.43—796.00m。

151.灰色粘土质粉砂，埋深 796.00—806.21m。

152.深灰色含粉砂粘土，埋深 806.21—810.40m，30 号样。

总之，察尔汗盐湖区沉积物岩性特点是：在成盐阶段中，石盐层厚度东部为 40 多米，西部为 50 多米，一般可分 4 层石盐沉积，在最上部的一层石盐层中（即 S_4 层），普遍含光卤石或钾石盐，甚至有钾盐成层出现。据 1987 年在达布逊湖东边约 200km² 范围内所打的 90 个钻孔的地质资料，钾盐多数分布在深 3—10m 范围内。达布逊湖和西达布逊湖的部分湖底现在仍在继续进行钾盐沉积。此外，盐、碎混层沉积特别发育也是该湖沉积的一个特征。在该湖未成盐阶段中，碎屑沉积物一般较细，以粘土质粉砂和粉砂质粘土为主；甚至出现粘土层，颜色主要呈灰色，岩性较均一。

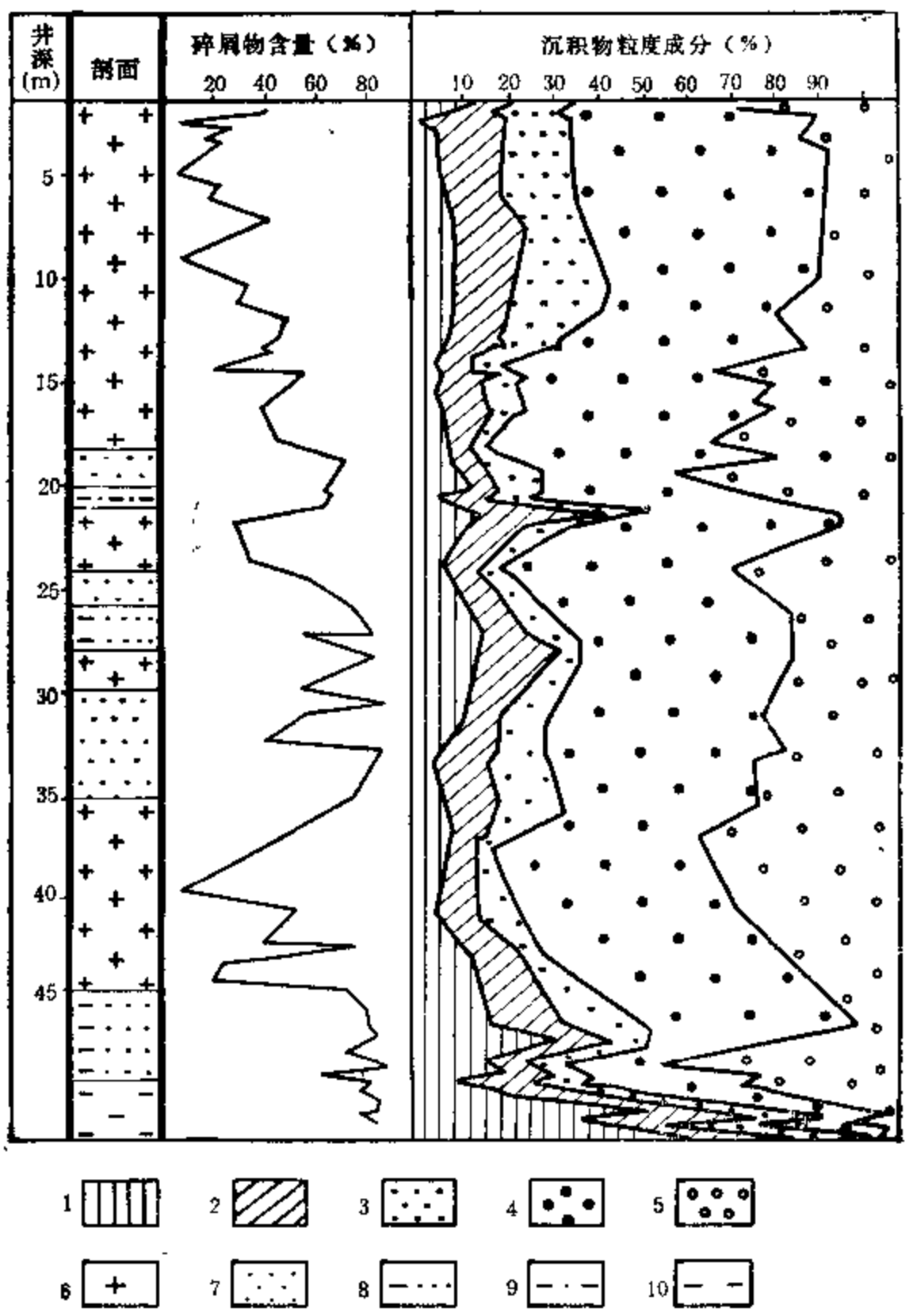


图 2-25　察尔汗 81 钻孔剖面中沉积物粒度分布

1.<2μm 2. 2—5μm 3. 5—10μm 4. 10—50μm 5. >50μm 6.石盐
7.砂质粉砂 8.粘土质粉砂 9.粉砂质粘土 10.粘土

2. 察尔汗盐湖沉积物粒度成分及特征

我们曾将察尔汗盐湖中察尔汗区段 81 钻孔中 53 个沉积物样，通过沉降分离的方法，分出 $<2\mu m$，$2—5\mu m$，$5—10\mu m$，$10—50\mu m$，$>50\mu m$ 等 5 个粒级，这些沉积物样的粒度组成列于表 2-7。各样品粒度成分在剖面中的分布见图 2-25。以 $<5\mu m$，$5—50\mu m$，$>50\mu m$ 分别代表粘土、粉砂和砂作成图 2-26。

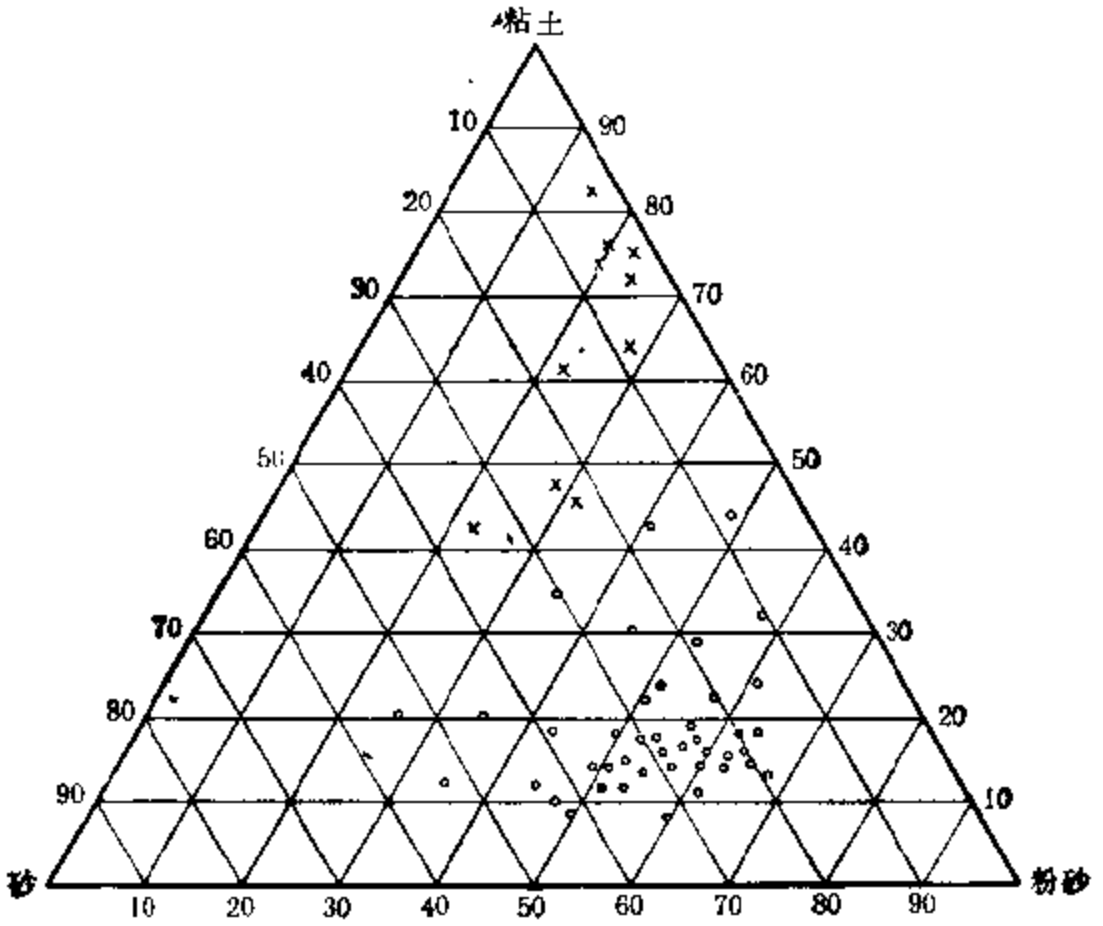


图 2-26　察尔汗 81 钻孔沉积物粒度成分三角图

○ 成盐阶段中样品　× 未成盐阶段中样品

表 2-7　察尔汗 81 钻孔沉积物粒度成分

样号	样深 (m)	碎屑物含量 (%)	粒度成分(%)					粒度参数		
			<2 μm	2—5 μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm	Md (μm)	S_0	S_K
1	0.20	13	4	9	16	34	37	20	0.15	0.60
2	0.30	42	11	7	8	55	19	14	0.27	0.9
3	1.0	36	2	15	14	48	21	9.2	0.43	0.73
5	1.2	36	2	15	12	50	21	8.8	0.5	0.93
6	1.8	15	6	10	14	46	24	8.5	0.5	1
7	2.0	13	4	12	14	53	17	8	0.24	1.5
10	5.0	19	6	11	15	49	19	7.6	0.24	1.7
11	6.0	42	9	13	16	42	20	7.6	0.14	1.45
14	9.1	34	8	10	19	44	19	7.6	0.18	1.5
15	10.0	28	8	10	12	41	29	10	0.15	1.53
17	11.9	46	6	9	11	52	22	9	0.18	1.73
18	12.3	29	7	12	9	53	19	9	0.17	1.44

续表

样号	样深(m)	碎屑物含量(%)	粒度成分(%)					粒度参数		
			<2 μm	2—5 μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm	Md (μm)	S_0	S_K
19	12.6	46	4	5	5	55	31	18	0.22	0.79
20	13.4	17	3	7	5	43	42	26	0.19	0.48
21	13.5	40	6	10	6	53	25	12	0.19	1.21
22	13.6	60	4	7	7	55	27	17	0.16	0.84
23	15.3	33	4	9	5	49	33	14	0.19	1.28
24	15.7	39	6	9	5	52	28	15	0.20	0.92
25	17.0	47	6	3	2	48	41	25	0.25	0.57
26	17.9	74	7	8	9	51	25	8	0.55	0.86
27	18.0	66	8	5	5	31	51	30	0.19	0.36
28	19.7	62	13	6	5	38	38	18	0.14	0.69
29	19.9	67	6	7	2	50	35	35	0.21	0.76
32	21.0	59	20	23	5	36	16	6	0.10	1.30
33	21.2	28	11	13	6	55	15	10	0.14	0.90
35	23.4	38	5	6	4	47	38	22	0.21	0.62
37	25.6	79	11	8	9	48	24	9.5	0.25	2.98
38	26.8	88	13	10	11	41	25	8.5	0.18	2.29
41	27.6	79	13	17	3	43	24	9.8	—	—
45	30.5	92	11	5	8	48	28	14	0.17	0.90
46	31.0	54	11	6	8	45	30	14	0.15	0.89
47	32.3	33	8	8	9	49	26	12	0.17	1.04
48	32.9	88	3	11	13	40	33	10	0.14	1.80
49	35.3	75	6	12	12	30	32	10	0.13	1.60
50	37.0	43	8	4	3	42	43	26	0.20	0.47
52	40.8	52	3	9	10	44	34	6	0.18	0.48
56	42.9	21	11	12	5	46	25	12	0.13	0.83
61	46.5	81	14	18	18	40	10	5.2	0.26	0.96
62	47.1	84	18	17	3	32	30	9.2	0.07	1.0
63	47.3	84	31	14	3	45	7	6	0.13	0.46
66	48.3	76	11	9	2	25	53	32	0.15	0.31
70	49.0	60	21	8	9	43	19	16	0.12	0.30
71	49.15	85	6	14	10	35	35	10	0.10	1.44
73	49.9	80	28	16	6	17	33	5.2	0.04	2.04
74	50.2	81	26	20	10	21	23	4	0.08	3
75	50.5	88	44	21	13	14	8	2.8	0.20	1
76	50.8	90	54	23	12	10	1	1.6	0.33	1.1
77	51.15	87	31	16	16	23	14	3.6	0.17	0.97
78	51.25	88	41	20	12	22	5	2.4	0.25	1.56
79	51.6	88	51	21	10	14	4	2	0.38	1.5
80	51.8	87	48	27	9	11	5	2.2	0.50	0.94
81	51.95	86	59	24	9	6	2	1.6	0.33	1.17
82	52.15	87	48	28	11	9	4	2.2	0.50	0.97

该湖区沉积物粒度成分与我国马兰黄土粒度成分对比结果见表 2-8。

表 2-8　察尔汗含盐地层碎屑沉积物与马兰黄土粒度组成对比

地　区		马兰黄土粒级含量（%）							
		>0.25 mm	0.25—0.1 mm	0.1—0.05 mm	>0.05 mm	0.05—0.01mm	0.01—0.005mm	0.05—0.005mm	<0.005 mm
山　东		0.16	0.45	8.96	8.95	55.99	8.71	64.70	25.72
山　西		0.00	1.02	26.17	27.20	46.35	7.20	53.56	19.09
陕　西		0.00	1.11	29.18	30.29	45.88	6.73	52.61	17.00
甘肃陇东		0.00	1.05	22.57	23.62	54.06	6.63	60.69	15.69
甘肃陇中		0.00	1.04	23.93	24.97	48.75	7.58	56.36	18.59
甘肃陇西		0.00	23.47		23.47	47.40	7.78	56.10	20.37
青海柴达木		3.15		38.78	41.93	33.62	7.62	41.25	16.81
察尔汗盐湖	成盐阶段	2.75		26.74	28.03	46.32	8.73	55.24	16.94
	未成盐阶段	6.25		19.09	15.81	22.94	9.56	32.50	51.94

据陈克造等，1985。

据以上资料，该湖沉积物粒度组成及分布有以下几点特征：

（1）该湖碎屑物粒度成分以粉砂级为主（5—50 μm），其含量一般为 40—60%。

（2）未成盐阶段中沉积物粒度成分分布明显细于成盐阶段中沉积物粒度成分分布，其粘粒（<2 μm）含量一般分别为 >30% 和 <20%。

（3）成盐阶段中，所谓碎屑隔层的碎屑物粒度成分一般比盐、碎混合层中的碎屑物粒度成分要细。

（4）成盐阶段中的碎屑物，掺杂了风积物。作者曾用双目镜对 >50 μm 粒级中石英颗粒进行了观察，发现部分石英颗粒表面具有毛玻璃现象，其磨圆度亦较好。今天我们在该湖北岸就可见到现代砂丘堆积，该湖区又是多风地区，湖内降落风积物是不言而喻的。它的存在直接影响了该湖碎屑物粒度成分的分布。同时，对 >50μm 粒级中石膏含量进行估计，发现有的样品中石膏含量 >95%，有的样品中石膏含量 <10%。石膏的含量和分布，也直接影响了该湖碎屑物粒度成分的分布。

（5）由于该湖成盐阶段中碎屑物粒度成分与马兰黄土粒度成分相似，加上两者的粘土矿物组合亦相似，某些学者认为该湖含盐地层中有马兰黄土堆积。作者也曾提到这个问题[1]，但是，作者现在认为，仅凭粒度成分和粘土矿物组合这两方面的相似性，认为含盐地层中有马兰黄土堆积，证据尚嫌不足，因为它们都是分布在我国干旱气候带内，不过，这个有意义的问题毕竟已经提出来了，应该进一步加以研究。

1）徐淑，1983，澳大利亚某些盐湖沉积物中粘土矿物的初步研究。

3. 察尔汗盐湖区沉积物中的粘土矿物

粘土矿物鉴定资料如图 2-27 至图 2-31 所示。一些样品中粘土矿物组合、相对含量

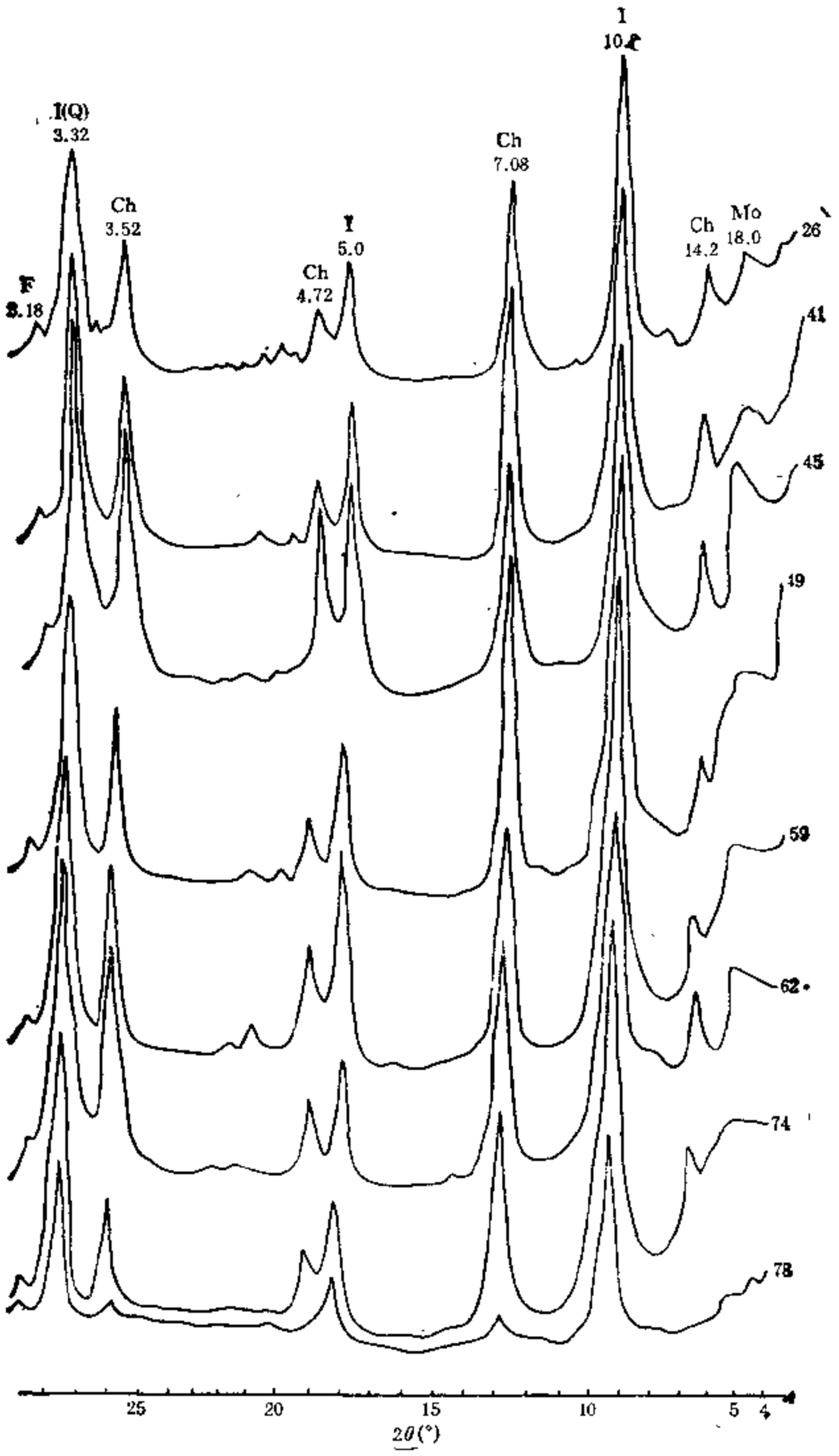


图 2-27(1)　大别勒湖粘土样 X 射线衍射图

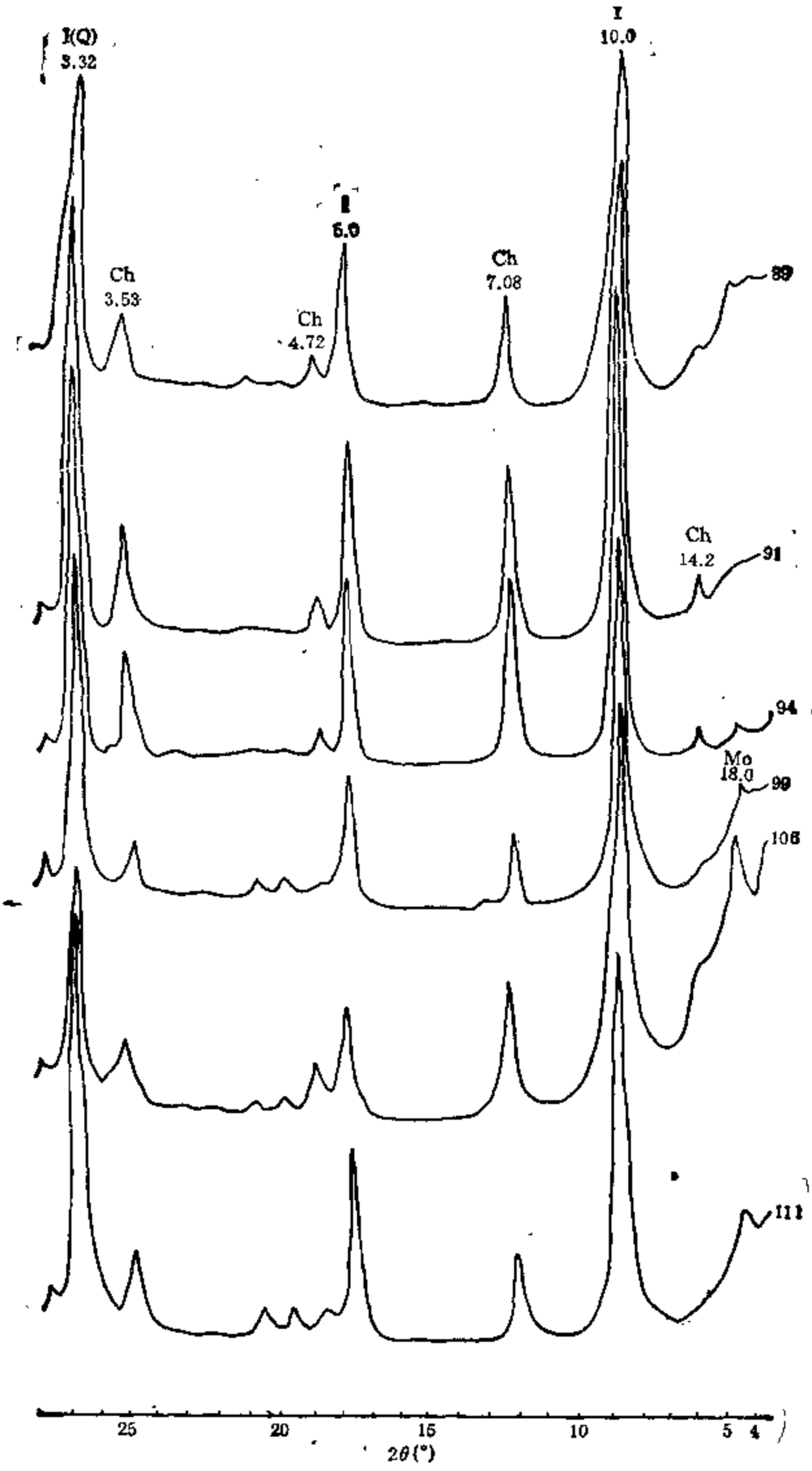


图 2-27(2)　大别勒湖粘土样 X 射线衍射图

和分布见表 2-9。

从以上资料可以看出，该湖区粘土矿物也是以伊利石为主，次为绿泥石，含少量蒙脱

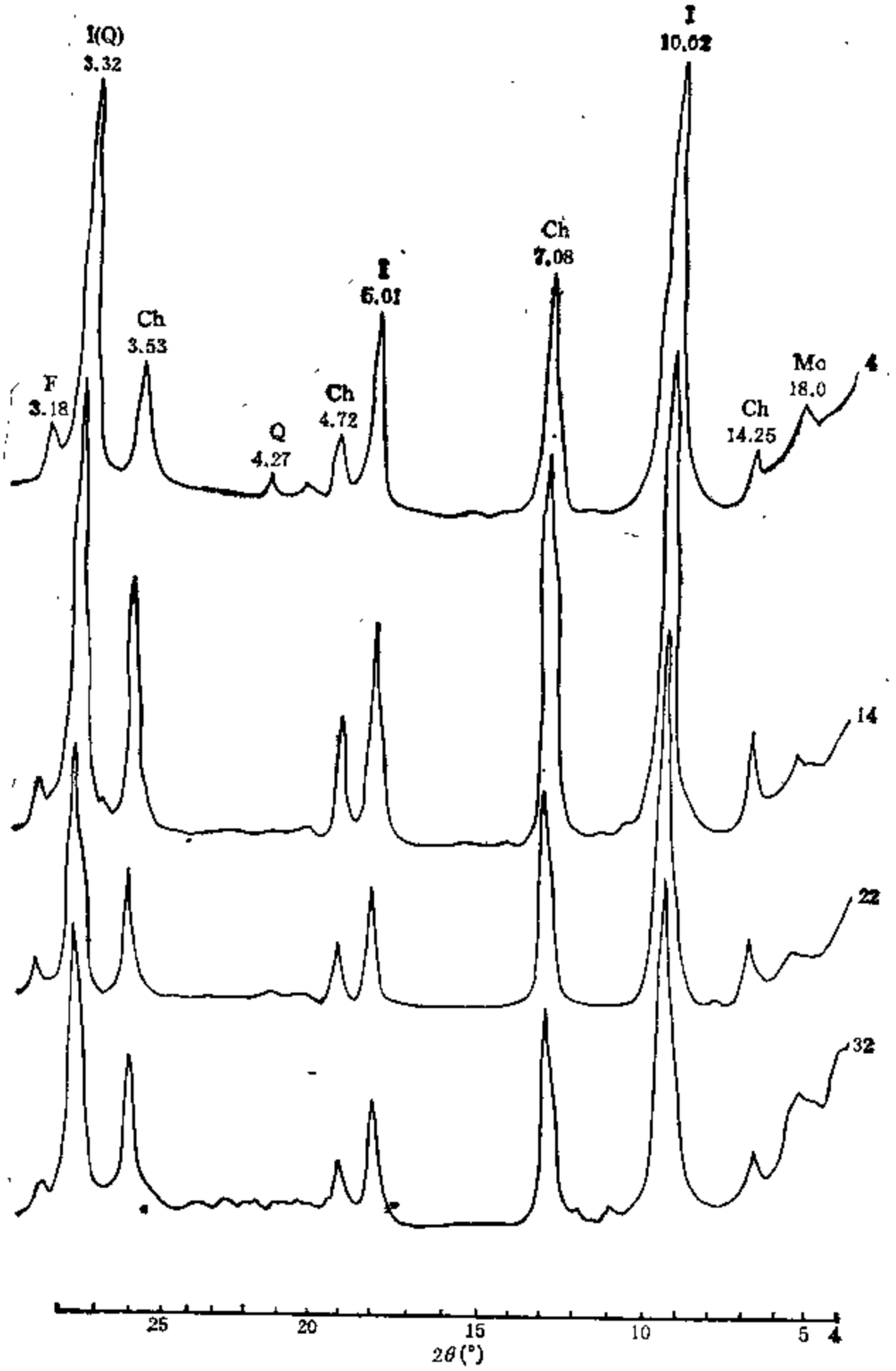


图 2-28(1) 小别勒湖粘土样 X 射线衍射图

石和高岭石等。以矿物及其相对含量由多到少排列，有以下几种矿物组合：伊利石-绿泥石-高岭石；伊利石-绿泥石-蒙脱石-高岭石；伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石等。

这里需要指出两点：①大别勒湖沉积剖面中粘土矿物含量和分布与盐湖不同沉积阶段之间存在某些关系。未成盐阶段中，高岭石含量较多（图 2-30），绿泥石含量一般<10%，基本为铁绿泥石，伊利石含量一般 86%；在成盐阶段中，高岭石含量很少，绿泥石

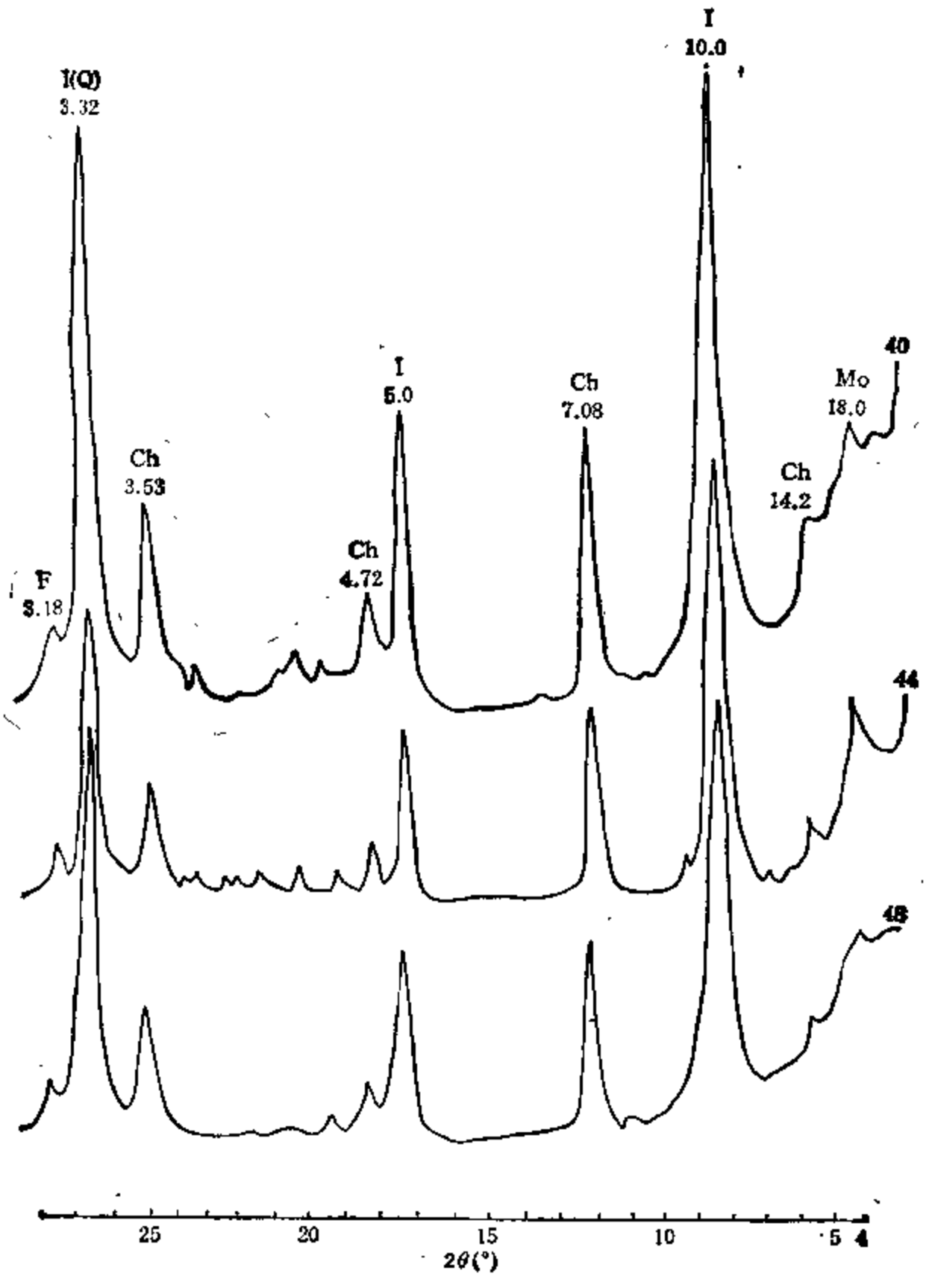


图 2-28(2)　小别勒湖粘土样 X 射线衍射图

含量升高到 20% 左右，基本为镁铁绿泥石，伊利石含量下降为 80%。② 在别勒滩 84 钻孔剖面中，蒙脱石主要分布在井深 70—500m 的沉积物中，最多的是 7 号和 13 号两个样，其相对含量超过 10%。从红外图谱上 3700cm^{-1} 吸收带大小和形态来判断(图 2-31)，高岭石的含量在沉积剖面中有些变化：4 号样最多，其次为 18，23，30 号样，再次为 13 号样，7 号样最少。这些资料及其意义将在讨论沉积环境时具体论述。

4. 察尔汗湖区粘土化学特征

某些样的化学分析结果见表 2-10 和表 2-11。

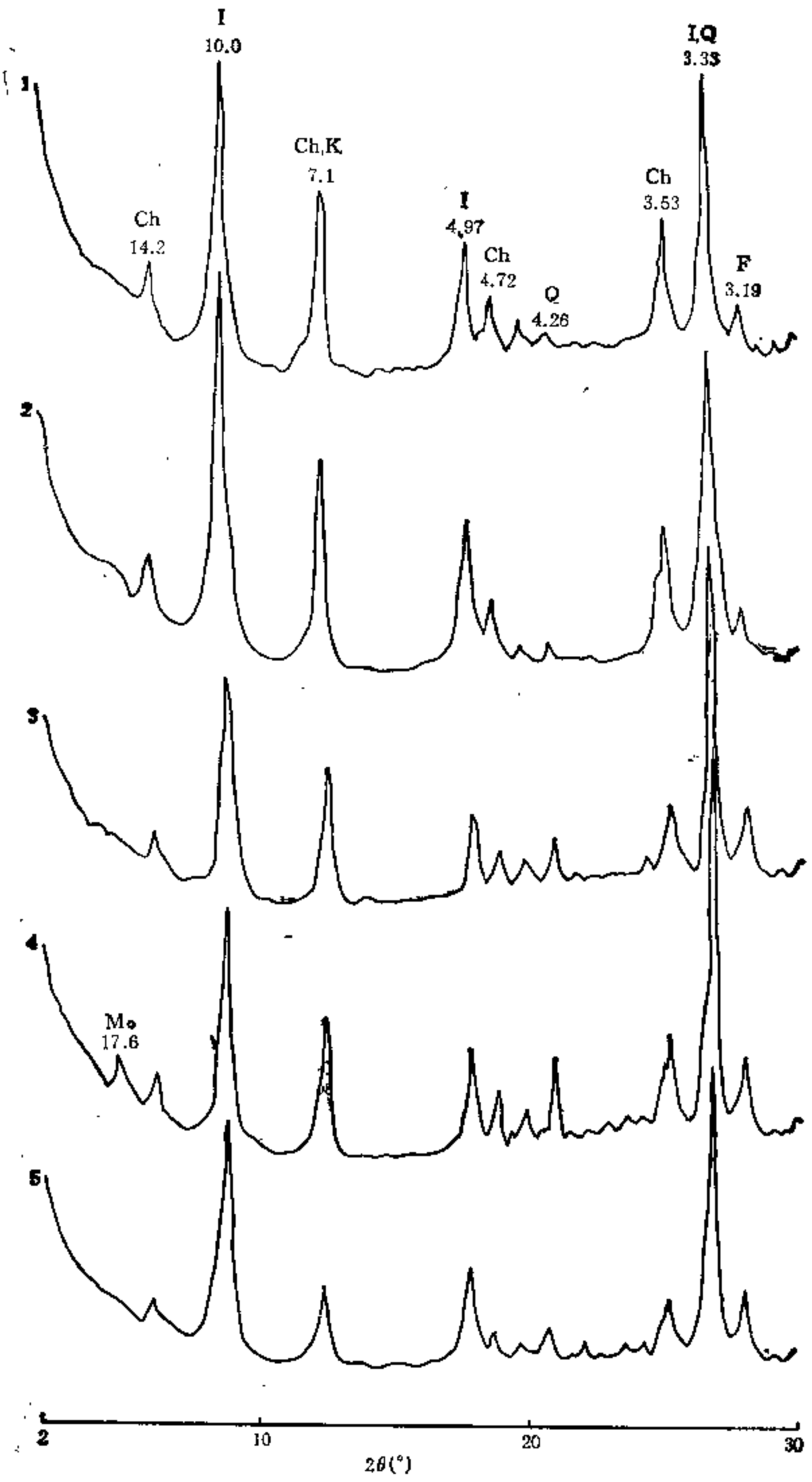


图 2-29(1) 别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

从表 2-10 中可见，大别勒湖粘土的化学成分，特别是 MgO 的含量，在该湖不同沉积阶段中存在明显差异。 在成盐阶段中，MgO 含量为 3.5—5.5%；而在未成盐阶段中，

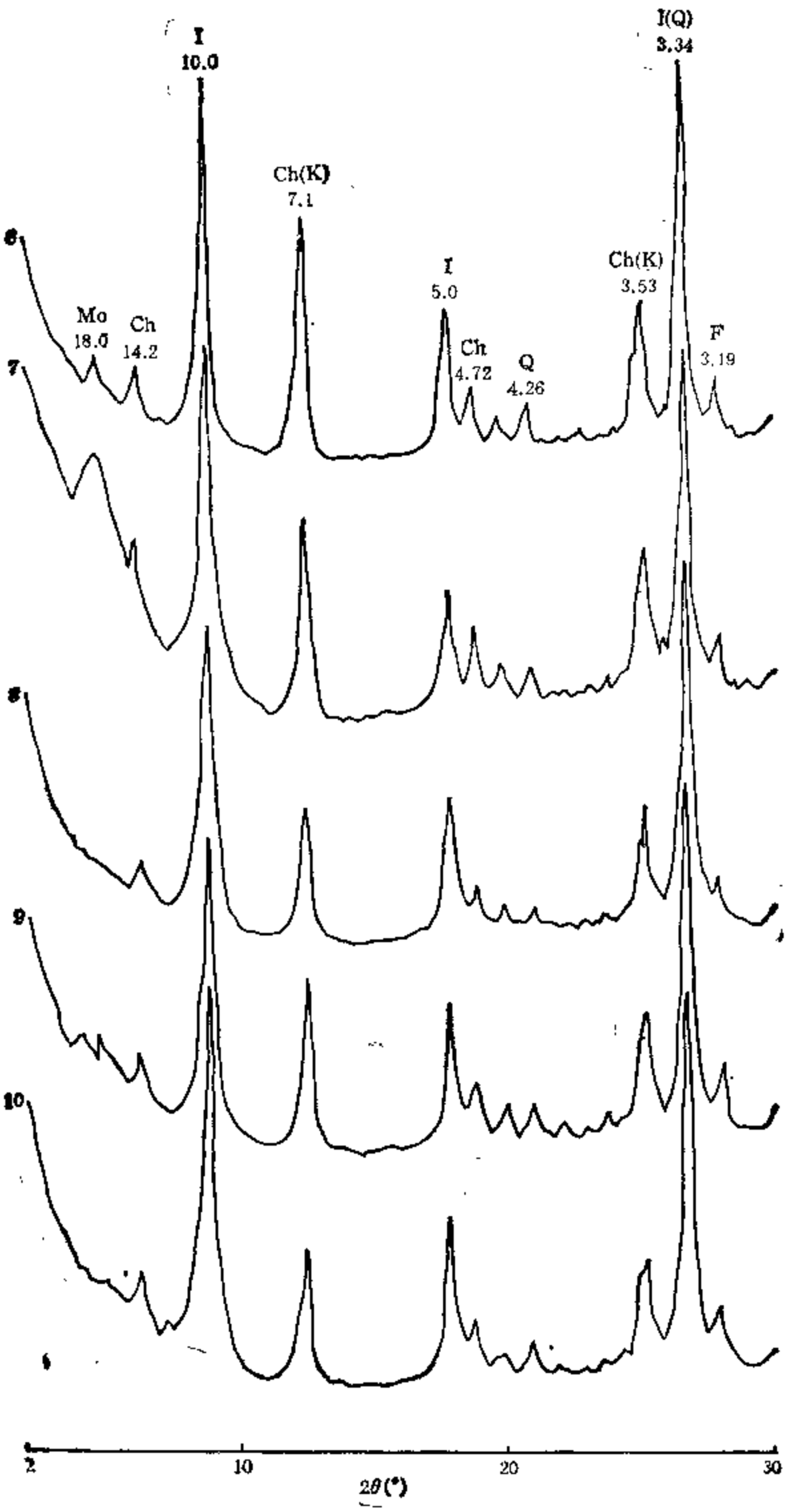


图 2-29(2) 别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

其含量只有 2—2.5%。MgO 含量的变化与绿泥石类型的变化相吻合。

以粘土中Al_2O_3、MgO和K_2O相对含量作三角图(图 2-32),我们可以看出,该湖未成

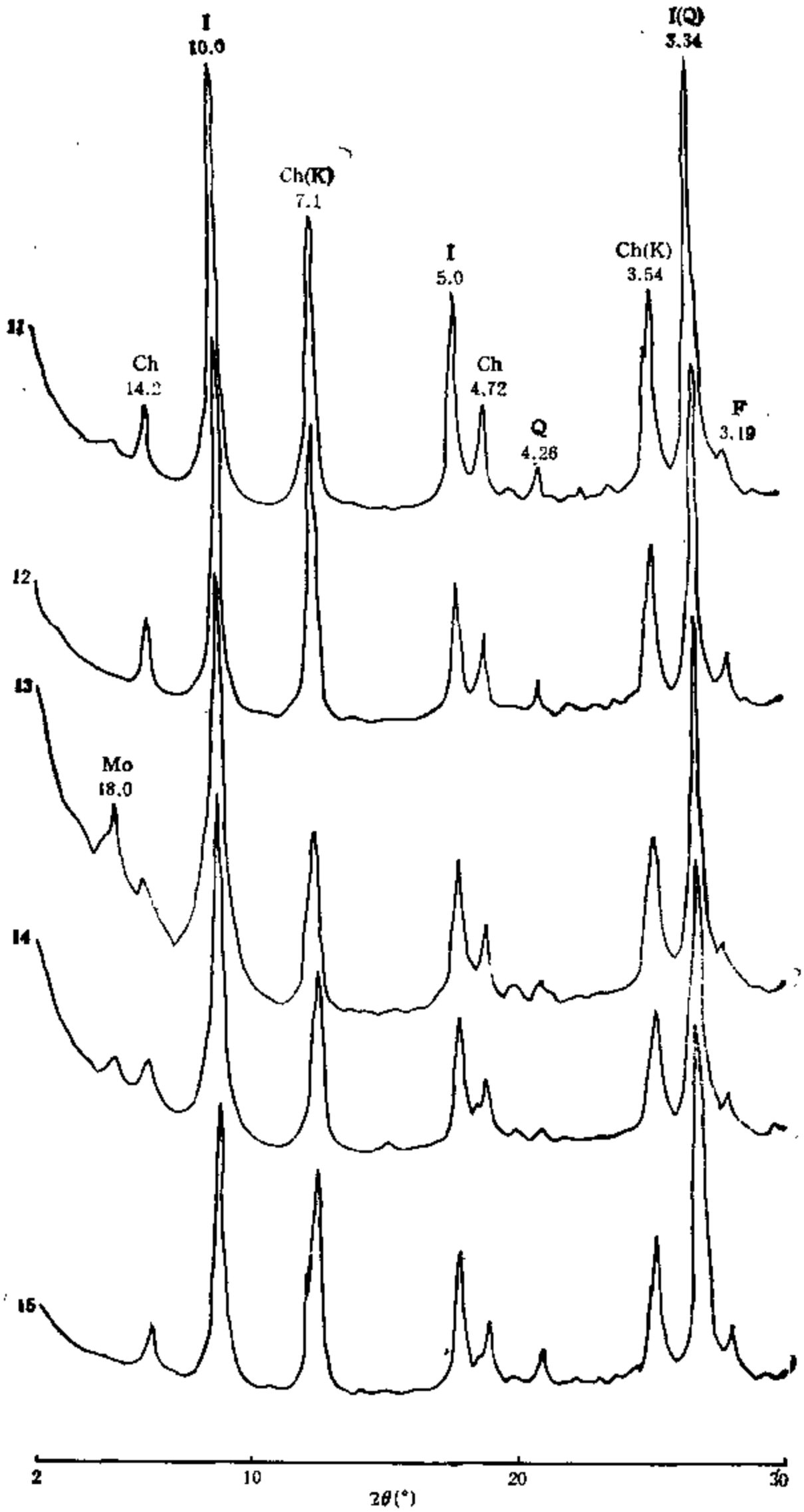


图 2-29(3)　别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

盐阶段粘土的化学成分更接近冷温带大陆粘土化学成分特征，而在成盐阶段粘土的化学成分比较接近盐沼泽或干湖粘土化学成分特征。显示了盐湖粘土化学成分的基本特征。

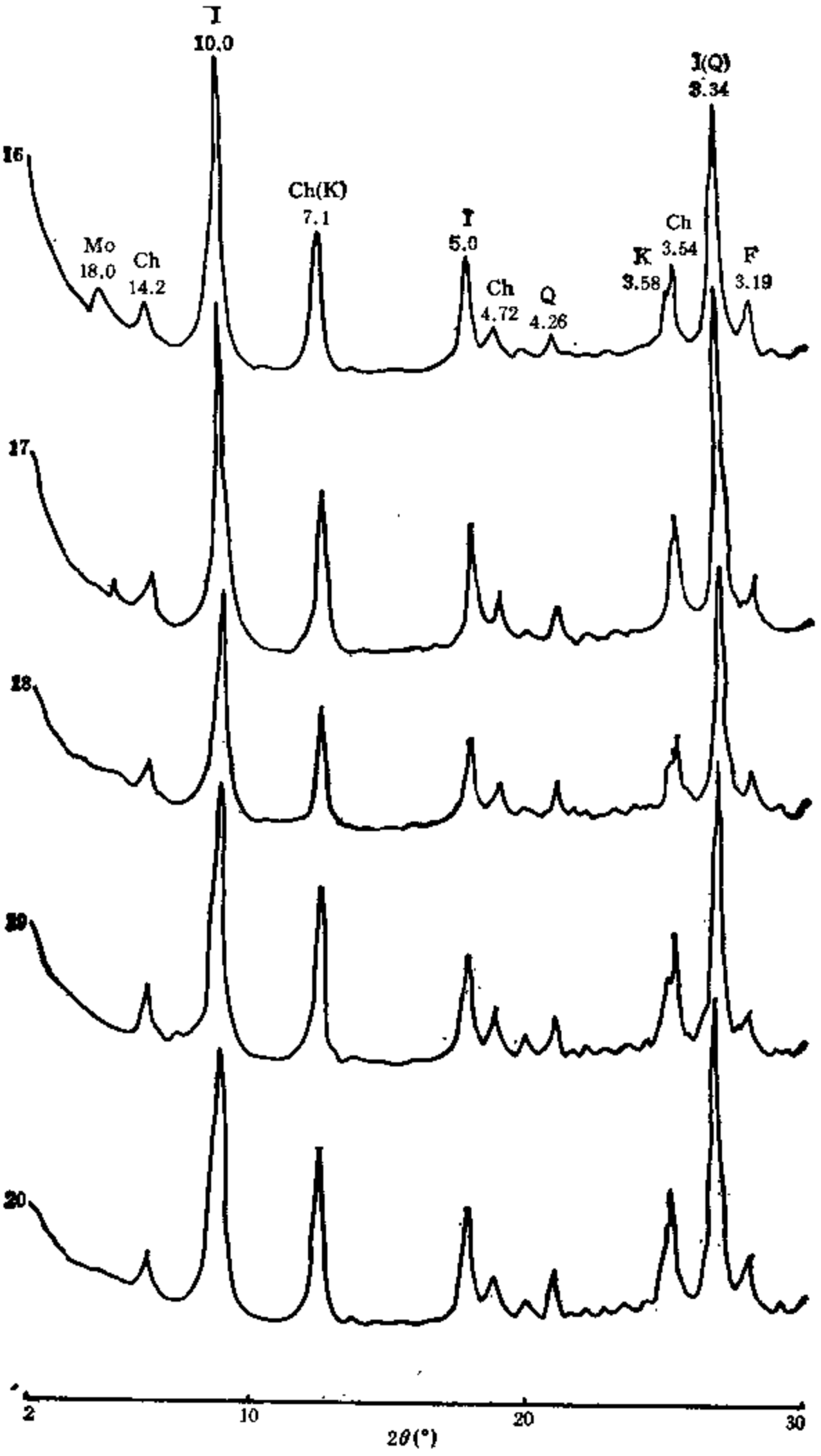


图 2-29(4)　别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

从表 2-11 和图 2-33 中可以看出，察尔汗盐湖粘土中微量元素含量在剖面中有一定分布趋势，其中铅、铜等元素含量大致是柴达木盆地其它盐湖粘土中含量的 10 倍。这

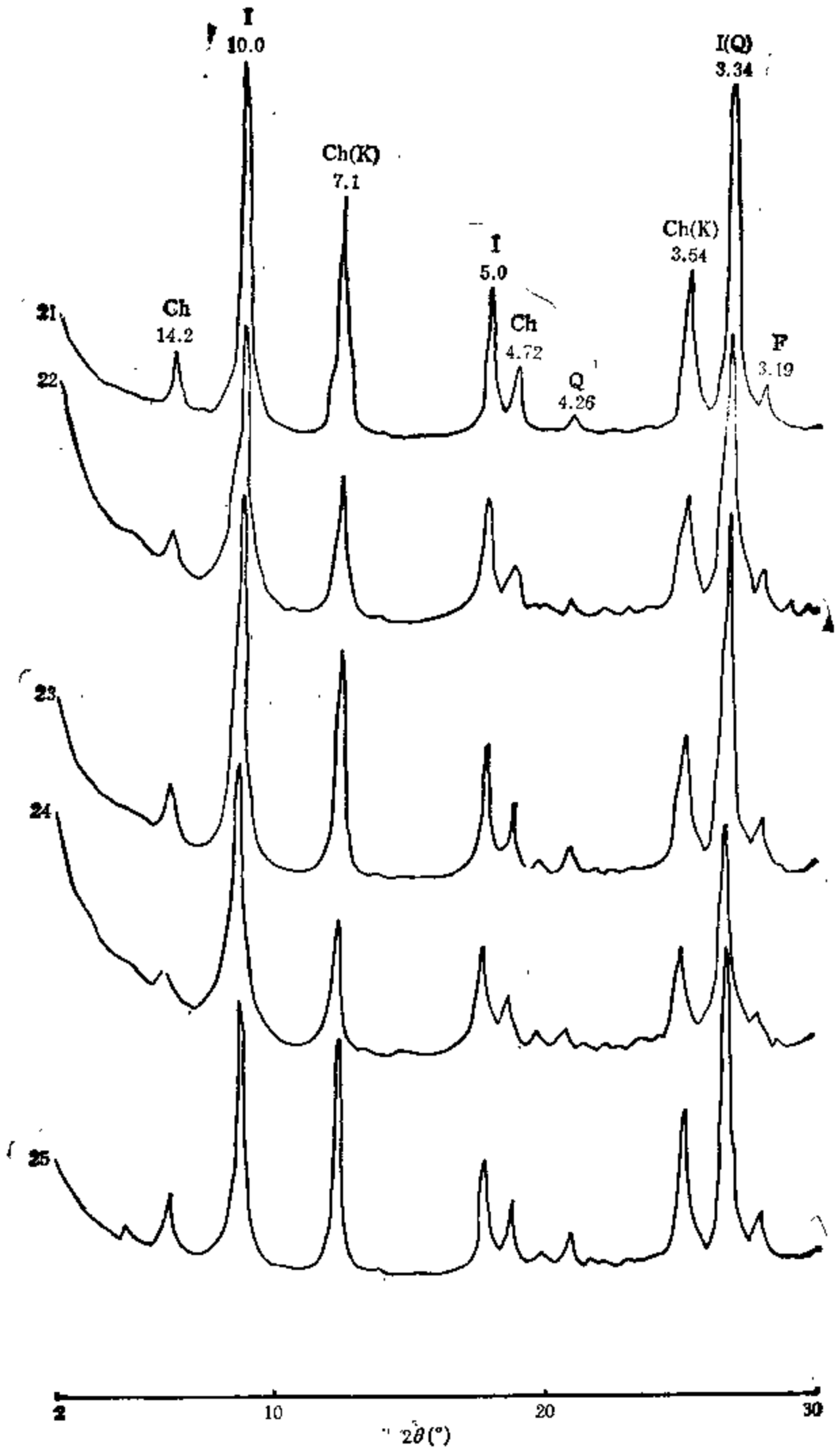


图 2-29(5)　别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

可能与该湖区附近锡铁山蕴藏的铅锌矿有关，为我们讨论该湖物质来源提供了有用的信息。

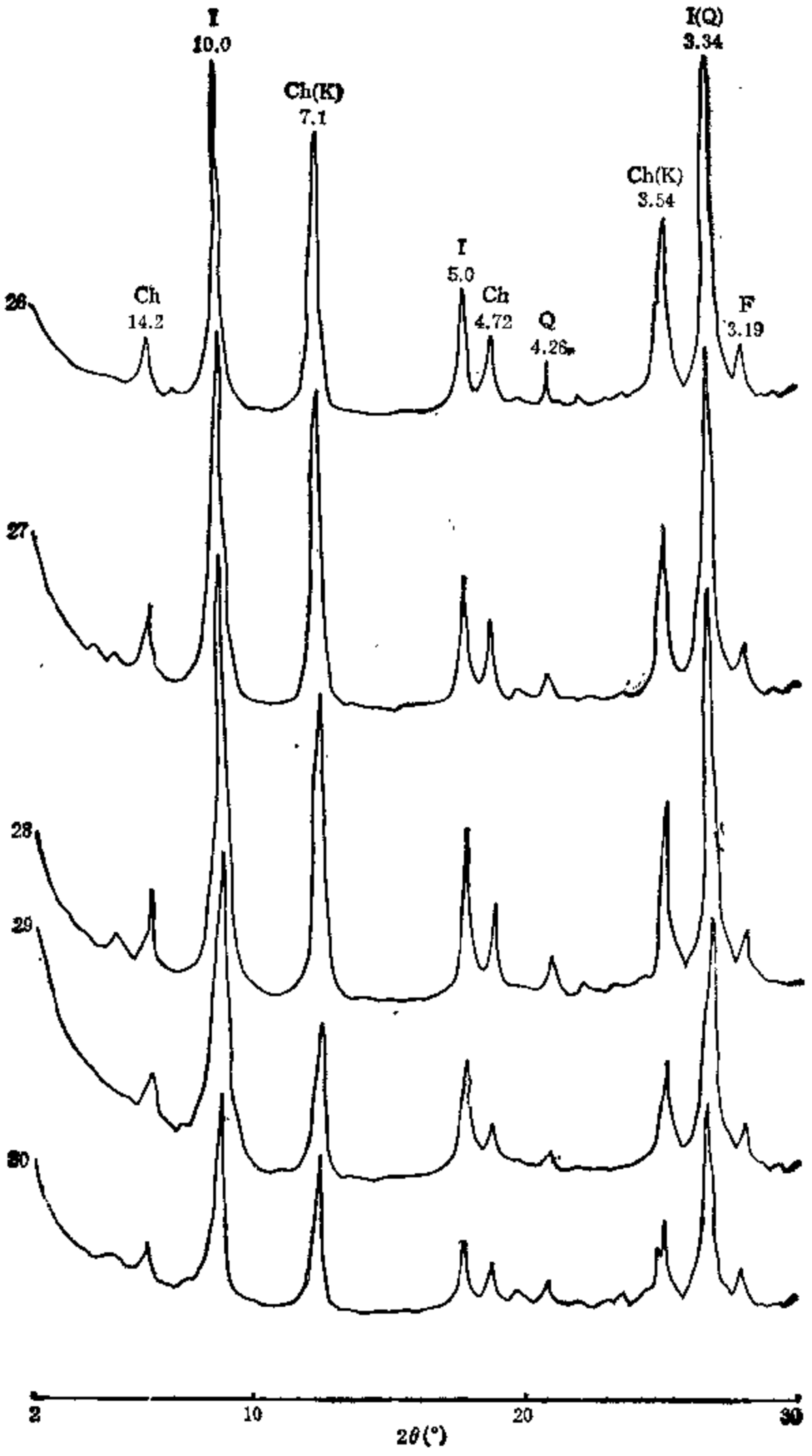


图 2-29(6)　别勒滩 84 孔粘土样 X 射线衍射图

5. 察尔汗湖区粘土与沉积环境的关系

作者在该湖区作粘土矿物研究时早就提到粘土与沉积环境之间存在某些关

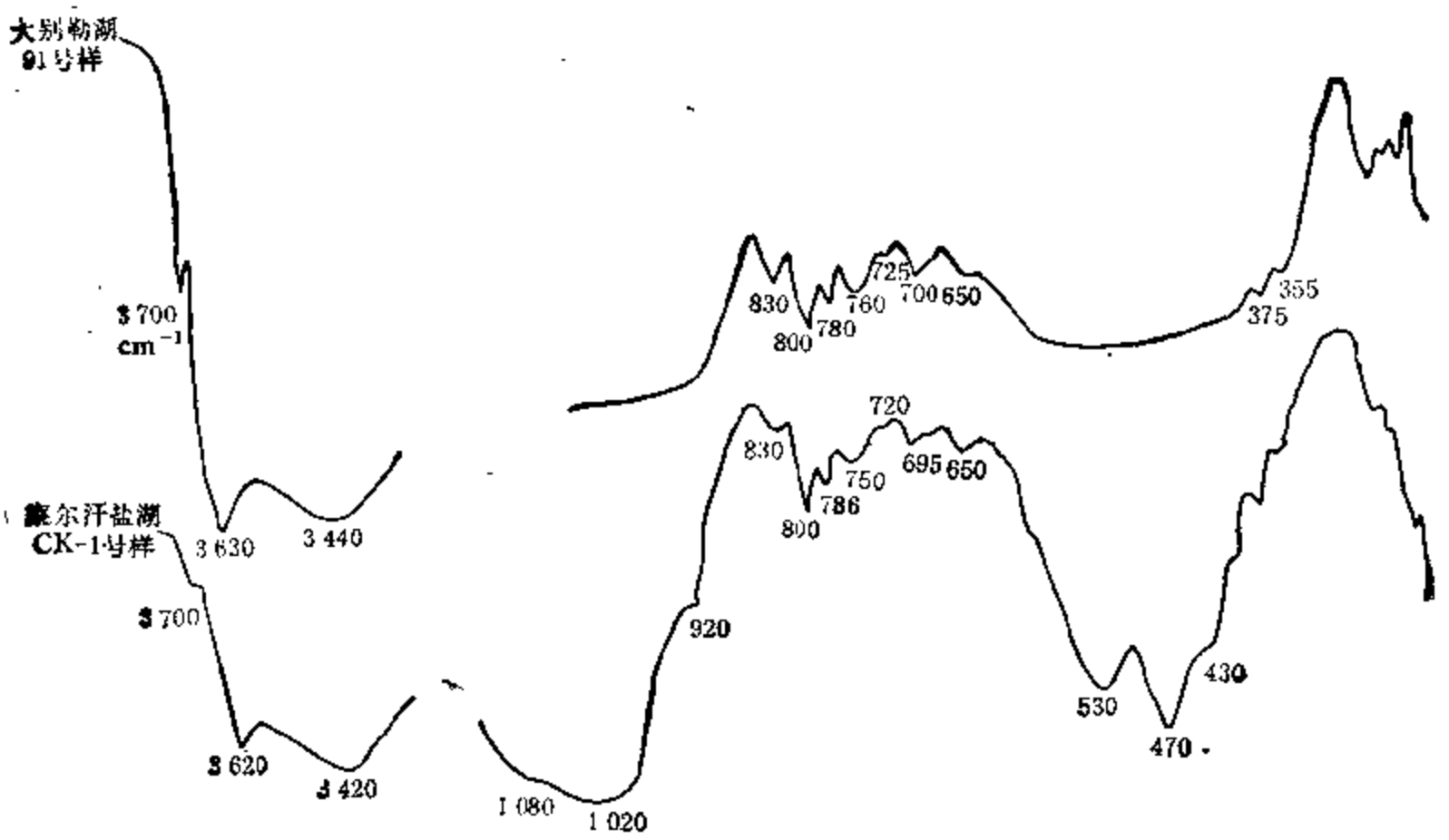


图 2-30　察尔汗区段 81 孔和大别勒湖粘土样红外图谱

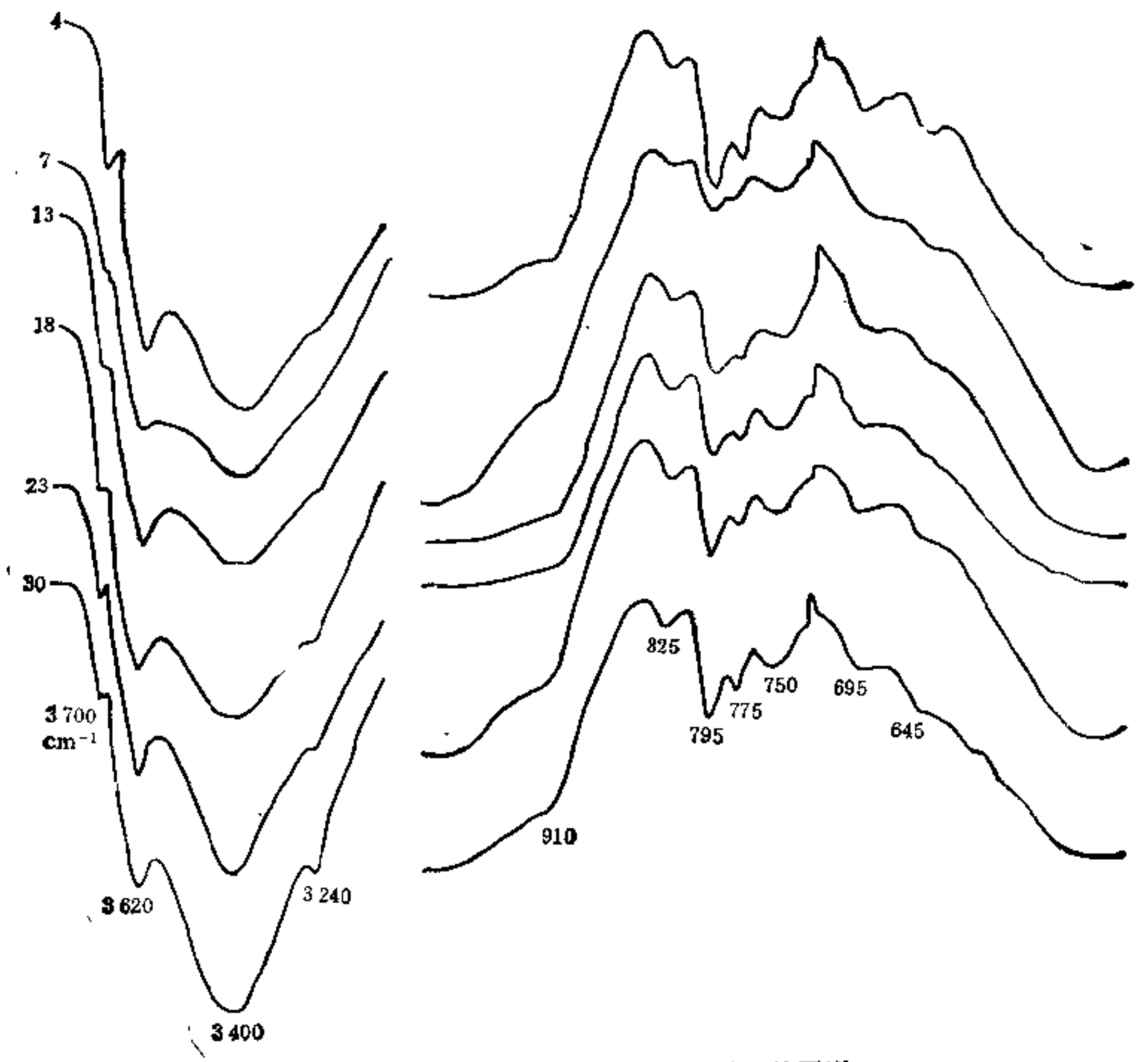


图 2-31　别勒滩 84 孔粘土样红外图谱

表 2-9　察尔汗湖区某些样品中粘土矿物相对百分含量

湖区	样号	埋深(m)	<5μm(%)	伊利石	绿泥石(含高岭石)	蒙脱石	绿泥石类型
大别勒湖	26	11.9	9.4	77	19	5	镁铁
	41	17.1	10.1	76	20		镁铁
	45	18.7	9.1	77	22		镁铁
	49	21.2	6.4	79	20		铁
	59	31.5	10.3	85	14		镁铁
	62	35.9	11.0	79	20		镁铁
	74	43.9	30.1	80	19		镁铁
	78	47.4	8	90	<10	5	镁铁
	89	59.5	7	91	7		铁
	91	65.5	35	88	7		铁
	94	70.2	40	85	14	5	铁
	99	79.9	36	83	<10	5	铁
	106	91.2	13	86	10	5	镁铁
	111	101.1	34	92	7	5	铁
小别勒湖	4	2.4	13	83	15	5	
	14	10.6	5.6	75	20	5	
	22	14.9	15	80	18	5	
	32	26.6	6.2	80	19	5	
	37	33.5	19.8	78	17	5	
	40	40.0	12.4	89	10	5	
	44	45.17	22	88	17	5	
	48	51.2	29.6	89	10		
达布逊湖	6	10.3	11.3	76	22	5	
	11	15.8	12.8	78	21		
	19	24.2	28	80	19	5	
	23	27.8	13.5	74	25		
	31	36.4	7.2	83	16	5	
	33	40.1	13.7	82	16	5	

系[1]。现将有关资料作成图 2-34 和图 2-35。

我们知道，盐湖从早期未成盐阶段发展到晚期成盐阶段，气候上必然从相对温湿转为

1) 徐　旭，1979，青藏盐湖沉积物中粘土矿物初步研究。

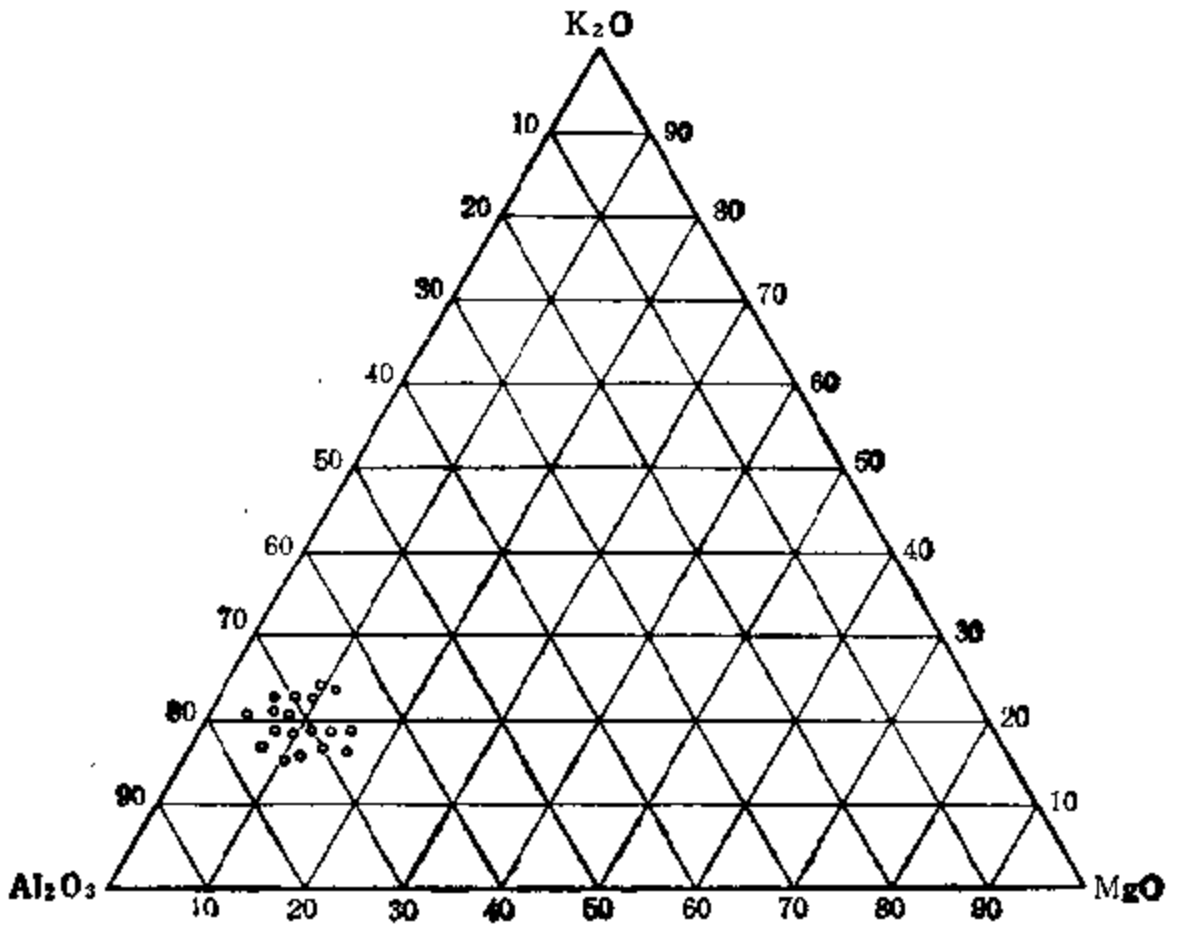


图 2-32　大别勒湖粘土中 Al_2O_3–MgO–K_2O 三角图解

表 2-10　察尔汗湖区粘土化学成分

湖区	样号	化学成分 (%)							相对百分含量(%)		
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
大别勒湖	26	48.45	22.99	10.33	6.17	0.31		5.11	68	15	17
	41	46.61	22.41	12.77	5.93	0.32		5.57	66	17	17
	45	52.15	21.79	8.83	5.60	0.26		3.53	70	11	19
	49	48.15	27.05	9.50	6.36	0.30		3.63	73	10	17
	59	50.49	25.69	7.18	6.43	0.31		3.90	71	11	18
	62	47.60	25.65	10.30	5.99	0.30		4.79	71	12	17
	74	49.28	25.05	8.62	6.30	0.31		5.34	67	16	17
	78	61.05	19.80	2.83	6.00	0.23		1.61	73	5	22
	89	56.25	24.47	4.54	6.58	0.35		2.11	74	6	20
	91	55.07	24.91	5.20	6.53	0.35		2.21	75	5	20
	94	52.10	23.64	5.43	7.36	0.31		2.49	70	9	21
	99	54.13	24.78	4.58	6.44	0.31		2.65	72	9	19
	100	59.60	25.90	3.30	7.01	0.32		2.40	74	6	20
察尔汗盐孔	22		22.64	5.98	4.63	1.02	0.48	3.42	73	11	16
	35		19.08	12.30	6.69	0.91	0.84	3.06	61	11	23
	46		22.54	10.60	6.23	1.22	0.36	2.84	71	9	20
	61		26.25	11.30	5.56	1.16	0.34	2.46	76	7	17
	71		19.73	11.04	6.52	1.28	0.48	3.96	69	10	21
	75		12.34	15.60	6.81	1.06	0.62	3.34	54	4	32
小勒剧湖	22		24.35	8.31	6.55	2.29	0.38	2.92	72	8	20
	48		24.57	6.11	6.33	1.93	0.40	2.80	73	8	19

表 2-11　察尔汗湖区粘土微量元素光谱测定结果(%)

湖区	样号	硼	锰	铅	铬	锡	镓	镍	钒	钼	钛	铜	锆	锶	银	钴
大别勒湖	41	0.01	0.08	0.0001	0.002	0.0003	0.0006	0.0008	0.003	0.0001	1.0	0.0006	0.02	0.03	—	0.0001
察尔汗盐湖81孔	1	0.03	0.03	0.006	0.01	0.0003	0.004	0.005	0.009	0.0005	0.2	0.003	0.01	0.03	1×10^{-2}	0.002
	6	0.03	0.01	0.006	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0005	0.1	0.003	0.01	0.01	3×10^{-2}	0.001
	10	0.03	0.01	0.005	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.2	0.003	—	0.03	1×10^{-2}	0.0008
	12	0.03	0.02	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.09	0.0005	0.15	0.002	—	0.01	3×10^{-2}	0.001
	17	0.03	0.01	0.005	0.01	0.0003	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.1	0.003	—	0.01	—	0.001
	22	0.03	0.02	0.002	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0005	0.15	0.003	—	0.01	—	0.001
	26	0.03	0.02	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0005	0.2	0.003	—	0.03	1×10^{-2}	0.001
	35	0.03	0.01	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0005	0.3	0.003	—	0.075	6×10^{-2}	0.0001
	37	0.03	0.01	0.002	0.01	0.0002	0.004	0.004	0.01	0.0003	0.25	0.002	—	0.05	6×10^{-2}	0.001
	40	0.03	0.01	0.002	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0003	0.2	0.002	—	0.03	3×10^{-2}	0.0008
	44	0.03	0.01	0.003	0.01	0.0001	0.002	0.001	0.009	0.0003	0.2	0.003	—	0.03	6×10^{-2}	0.0005
	46	0.03	0.01	0.004	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.2	0.003	—	0.03	—	0.001
	49	0.03	0.01	0.004	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0003	0.2	0.003	—	0.03	1×10^{-2}	0.0008
	52	0.03	0.02	0.004	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0003	0.2	0.003	—	0.03	1×10^{-2}	0.0008
	59	0.03	0.01	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.002	0.01	0.0003	0.2	0.001	—	0.03	3×10^{-2}	0.0006
	60	0.03	0.01	0.003	0.01	0.0001	0.004	0.002	0.01	0.0001	0.3	0.001	—	0.06	1×10^{-2}	0.0008
	61	0.03	0.02	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0001	0.2	0.002	—	0.03	—	0.0008
	71	0.03	0.02	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0005	0.2	0.002	—	0.03	—	0.0008
	75	0.03	0.02	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0003	0.3	0.002	—	0.06	—	0.001
	82	0.03	0.01	0.003	0.01	0.0001	0.004	0.005	0.01	0.0003	0.1	0.003	—	0.02	—	0.001

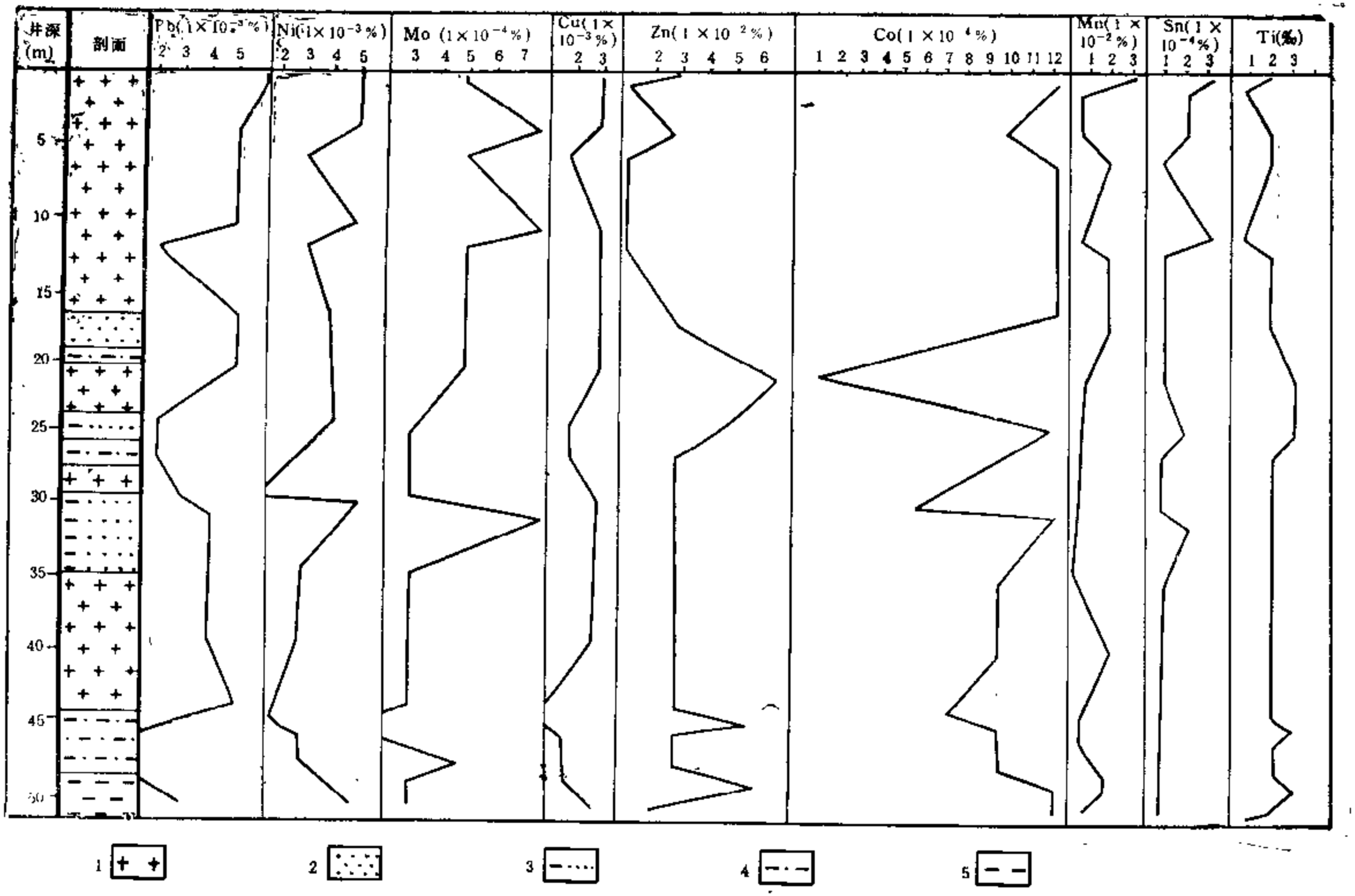


图 2-33 察尔汗盐湖沉积剖面中微量元素分布

1.石盐 2.粉砂 3.粘土质粉砂 4.粉砂质粘土 5.粘土

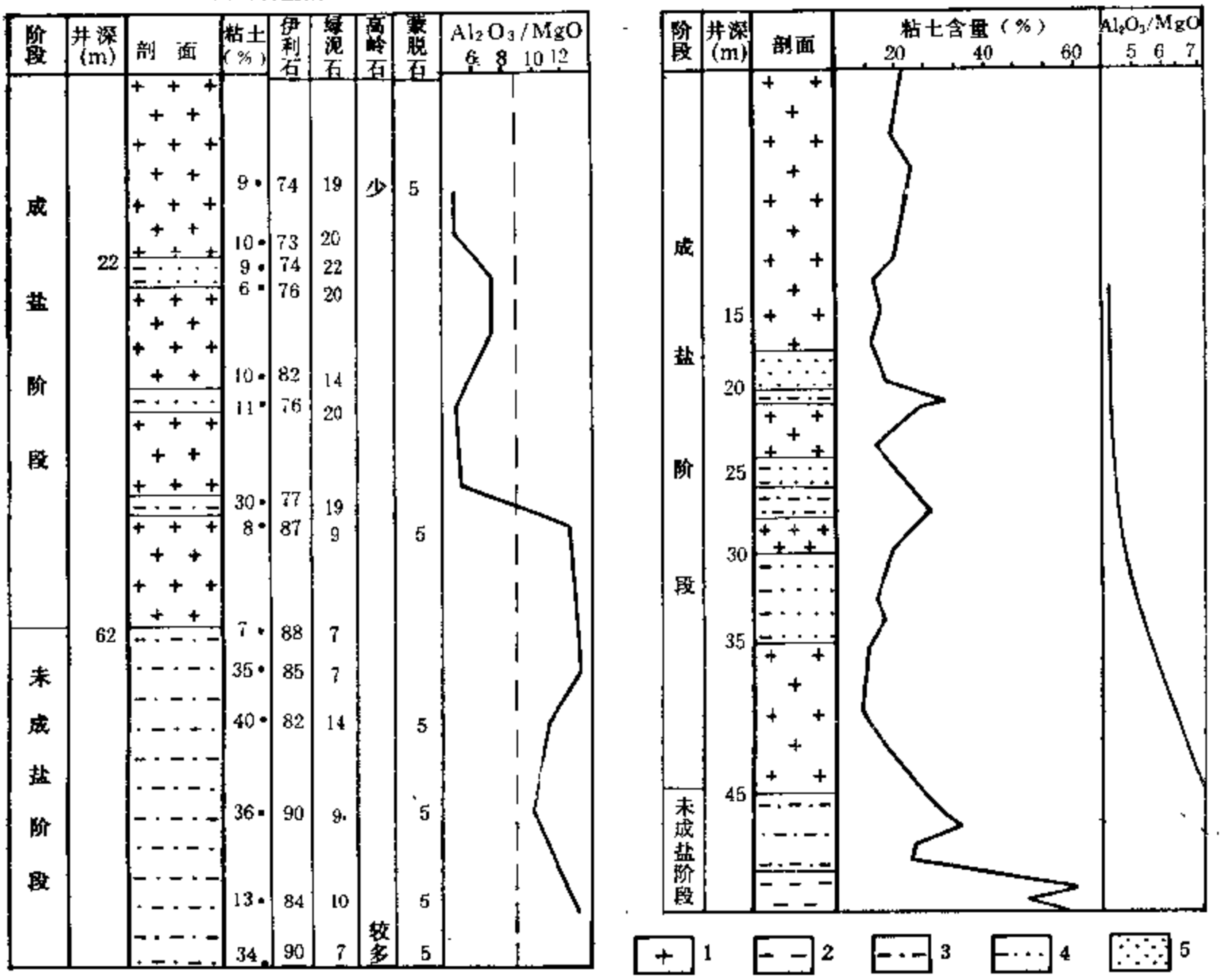


图 2-34　察尔汗 81 孔和大别勒湖沉积剖面中粘土资料

1.石盐　2.粘土　3.粉砂质粘土　4.粘土质粉砂　5.粉砂

持续的干旱。粘土矿物的形成和稳定，除了必要的金属离子外，还需要一定的环境。成盐阶段中的粘土是长期处于高矿化度卤水的特定环境中，因此，盐湖不同沉积阶段粘土资料的差异，可以用来指示沉积环境。作者根据盐湖主要粘土矿物的主要金属阳离子及其形成环境，提出采用粘土中 Al_2O_3/MgO 值来反映盐湖沉积过程中的某些环境变化，该值越大，越代表相对温湿、淋滤作用稍强、弱碱性的环境；该值越小，越代表相对干冷、淋滤作用较差的弱碱性—碱性环境。

图 2-34 和图 2-35 表明，在未成盐阶段中，蒙脱石主要分布在井深 500—70m 的沉积物中，尤以井深 400 多米和 200 多米处最多。从红外图谱上 3 700cm^{-1} 吸收带大小和形态来判断，高岭石的含量也随剖面而有些变化。井深 100m 和 150m 处最多，200 多米处最少，400 多米处又稍增加，600 至 800m 处含量中等。井深 50 至 60m 以上，该湖进入成盐阶段。在井深 100m 以上的两个沉积阶段中粘土资料存在明显差异：在井深 100 至 60m 的未成盐阶段中，伊利石和绿泥石相对含量分别为 >85% 和≈10%，绿泥石一般为铁绿泥石，MgO 和 K_2O 的含量分别为 2.25% 和 6—7%，Al_2O_3-MgO-K_2O 相对含量更接近冷温带大陆粘土化学成分特征。而在井深 60m 以上的成盐阶段中，伊利石和绿泥石

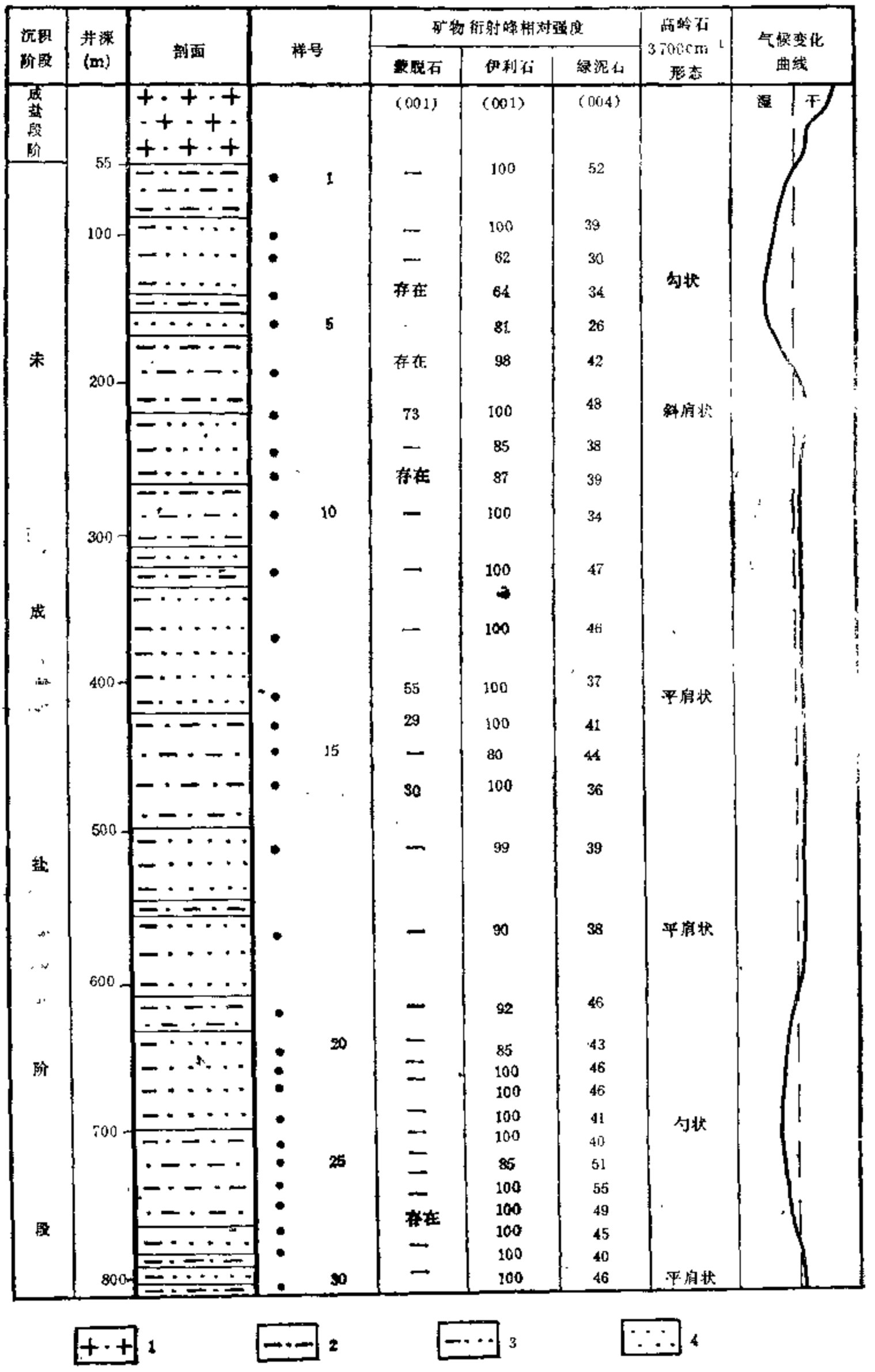


图 2-35　别勒滩 84 孔沉积剖面中粘土资料

1.含粉砂石盐　2.粉砂质粘土　3.粘土质粉砂　4.粉砂

相对含量分别为 76—80% 和≈20%，绿泥石一般为镁铁绿泥石，高岭石含量很少，粘土中 MgO 和 K_2O 含量范围分别为 3.5—5% 和 5—6%， Al_2O_3-MgO-K_2O 相对含量也接近盐沼泽、干湖粘土化学成分特征，即以相对富镁为特征。

图 2-34 还表明，粘土中 Al_2O_3/MgO 值曲线在沉积剖面中有明显变化趋势。在该湖成盐阶段中，自下而上呈现 3 次旋回性变化，其值越来越小。这种变化与岩性特征基本吻合。前面已提到，该湖区只有最上部一层石盐层中含有钾石盐和光卤石等钾盐矿物，而钾盐矿物是盐湖卤水演化浓缩到最后阶段的产物。进一步可见，Al_2O_3/MgO 值大的大致与相对淡化时期(碎屑沉积层为主)对应，其值小的大致与相对咸化时期(石盐沉积层为主)对应，而相对淡化或相对咸化与气候有一定联系，即相对淡化与气候相对温湿对应。粘土中 Al_2O_3/MgO 值大小及其变化趋势所反映的古气候变化，与岩相古地理反映的盆地古气候变化是吻合的(杨治林，1986)。

根据该湖区粘土矿物资料，以及该湖沉积年代学的研究结果(黄麒等，1987)，该湖沉积过程中环境的变化大致如下：井深 800—55m 整个未成盐阶段中，粘土化学成分具有冷温带大陆粘土化学成分特征，Al_2O_3/MgO 值最大，伊利石较多，绿泥石较少，总的反应一个弱碱性、淋滤作用较强和冷温的气候环境。其中井深 150—100m 附近，高岭石的含量明显较多，岩性较细，较均一，可能为湖水较大的时期，气候更为温湿。大约到距今 25 000 年前，该湖进入成盐阶段，在此阶段，粘土化学成分与盐沼、干湖粘土化学成分特征相似，Al_2O_3/MgO 值明显减小，伊利石较少，绿泥石较多，且由铁绿泥石转变为镁铁绿泥石，高岭石含量很少，粘土含量明显减少，表明气候急转干旱。到约 22 000 年前，沉积第一层石盐层。接着是出现相对淡化和相对咸化时期内的几个盐、碎沉积旋回：气候相对温冷，到约 20 000 年前，沉积了以碎屑物为主的沉积层；再至 19 000 年前，又相对干旱，沉积第二层石盐层；19 000—18 000 年前又相对温冷，沉积了碎屑物为主的沉积层；18 000—16 500 年前沉积第三层石盐层，气候干旱；16 500—15 000 年前最后一次相对淡化，沉积了碎屑物为主的沉积层；15 000 年前开始沉积最后一层石盐层（包括钾盐沉积），到约 8 000 年前结束沉积(指干盐滩)。这几次盐、碎旋回性沉积过程中，粘土的 Al_2O_3/MgO 值及其变化较好地反映了相对淡化或相对咸化时期。总之，该湖资料再次表明，利用盐湖沉积物中粘土矿物来研究古气候变化也是一个有效的途径。

对该湖区 84 孔中某些粘土样还作了穆斯堡尔谱的初步研究，具体资料将在后面青海湖的一节中简要介绍。

二、其它盐湖沉积物中的粘土矿物

1. 各湖沉积剖面岩性和样品分布

(1) 一里坪盐湖

我们曾先后对该湖 1972 年钻孔中的 21 个样，1980 年钻孔中的 6 个样和 1982 年钻孔中的 19 个样进行了粘土矿物研究。3 个钻孔位置仅相距数公里。现以 1982 年钻孔剖面为例，该钻孔位于该湖东部，公路里程碑 636km 北侧。该剖面岩性自上往下简述如下：

1.细粒石盐层，含少量砂粒，埋深地表—0.94m。

2.含盐砂质粉砂层，埋深 0.94—1.59m。

3.粗巨粒石盐层，含少量砂粒，夹 3 层薄层(层厚 <15cm) 石盐粉砂，埋深 1.59—5.55m。

4.含盐砂质粉砂层，石盐细粒，分布不均，埋深 5.55—6.88m。

5.含砂中粒石盐层，致密，夹薄层含盐粉砂，埋深 6.88—7.72m。

6.含盐粉砂质砂层，夹薄层石盐，埋深 7.72—9.03m。

7.含砂石盐层，石盐以中粒为主，含砂不均，夹数层含盐粉砂，埋深 9.03—14.43m。

8.灰色含盐粉砂质粘土层，局部含盐较多，或构成薄层石盐，含片状石膏，埋深 14.43—16.95m。

9.含砂中粒石盐层，埋深 16.95—17.76m。

10.灰色含盐粉砂质粘土层，含盐不均，越往下越少，上部含薄层石盐，具微层理，埋深 17.76—19.68m。

11.灰色粉砂质粘土层，色杂，微层理发育，井深 25.41—27.04 米处夹粘土质粉砂层，含石膏，埋深 19.68—34.31m。

12.黑色粉砂质粘土层，含块状石膏，微层理发育，夹粘土质粉砂层(井深 36.89—38.09m)，埋深 34.31—40.65m。

13.杂色粉砂质砂层，埋深 40.65—42.43m。

14.灰色或黑色粉砂质粘土层，微层理发育，埋深 42.43—52.55m（未见底）。

样品分布和埋深见表 2-12。

(2) 东台吉乃尔湖

作者对 1974 年该湖东岸钻孔中 4 个沉积物样进行了粘土矿物研究，该钻孔剖面岩性自上往下简述如下：

1.中细粒石盐层，埋深地表—1.20m。

2.浅褐色粉砂层，中部呈黑色，埋深 1.20—1.80m。

3.含砂粗粒石盐层，埋深 1.80—2.00m。

4.浅褐色粉砂层，埋深 2.00—2.35m。

5.中粗粒石盐层，埋深 2.35—2.95m。

6.浅褐色粉砂层，埋深 2.95—4.08m。

7.粉砂石盐层，埋深 4.08—4.75m。

8.粉砂或粘土层，黄绿和浅灰色为主，次为褐色、灰黑色，埋深 4.75—11.54m（未见底）。

样品分布和埋深见表 2-15。

(3) 昆特依湖

我们曾对 1973 年该湖钻孔中的 10 个样进行了粘土矿物研究，各样品分布、埋深和粘土矿物鉴定结果见表 2-14。后来又对该湖 1984 年钻孔中 26 个样进行了粘土矿物鉴定(样品和剖面岩性资料来源同别勒滩 84 孔)。该孔剖面岩性（自上往下）及样品分布简介如下：

1.土褐色含钾石盐的石盐粉砂层，埋深地表 —1.35m。

2.土褐色石盐粉砂层，埋深 1.35—3.97m。

3.白色中粗粒石盐层，埋深 3.97—13.05m。

4.黑色、灰黑色含石膏粉砂层，埋深 13.05—14.86m，1 号样。

5.白色、灰白色中粒含泻利盐石盐层，埋深 14.86—18.63m。

6.土褐色中粗粒粘土石盐层，埋深 18.63—22.56m。

7.土褐色含石盐石膏粘土层，埋深 22.56—24.21m，2 号样。

8.灰白色中粗粒石盐层，埋深 24.21—37.82m。

9.浅黑色含石膏粉砂层，埋深 37.82—38.85m。

10.灰白色、白色中粗粒粘土石盐和石盐层，埋深 38.85—45.25m。

11.土褐色粉砂粘土层，埋深 45.25—46.75m。

12.灰白色中粒含粉砂石盐层，埋深 46.75—47.60m。

13.土灰黑色含石膏粉砂层，埋深 47.60—48.65m。

14.灰白色中粒石盐层，埋深 48.65—51.61m。

15.灰黑色粉砂层，埋深 51.61—52.76m。

16.灰白色、白色中粒石盐层夹粘土石盐，埋深 52.76—64.45m。

17.灰黑色、土褐色粉砂层，埋深 64.45—67.84m，3 号样。

18.灰白色、无色中粒含粉砂石盐和含芒硝石盐层，埋深 67.84—74.84m。

19.黑色、瓦灰色粉砂和黄褐色粉砂粘土层，埋深 74.84—81.96m，4 号样。

20.灰白色、白色中粗粒含粉砂芒硝石盐层，埋深 81.96—89.85m。

21.灰黑一黑色粉砂层，埋深 89.85—92.05m，5 号样。

22.灰白色粗粒含粘土芒硝石盐层，埋深 92.05—98.11m。

23.灰黑色含石膏粉砂和土黄色粘土粉砂层，埋深 98.11—99.56m，6 号样。

24.灰白色中粒含芒硝石盐层，埋深 99.56—103.20m。

25.黑色含石膏粉砂和土黄色含石盐粘土粉砂层，埋深 103.20—108.48m。

26.白色、灰色中粒含粉砂石盐层，埋深 108.48—110.56m。

27.土褐色、灰黑色粉砂和土褐色含石盐粉砂粘土层，埋深 110.56—116.90m，7 号样。

28.灰—灰白色中粗粒含粉砂芒硝石盐层，埋深 116.90—121.98m。

29.黑色粘土质粉砂层，埋深 121.98—123.13m，8 号样。

30.土灰色粗粒含芒硝粘土石盐层，埋深 123.13—126.02m。

31.土黄色粘土粉砂层，埋深 126.02—126.86m。

32.灰白色含石盐的粘土杂卤石夹土灰色含石盐的粘土粉砂层，埋深 126.86—128.21m。

33.土黄色含石盐粘土粉砂层，埋深 128.21—129.21m。

34.白色中细粒含芒硝石盐层，埋深 129.21—131.56m。

35.土灰色粉砂粘土层，埋深 131.56—132.93m。

36.灰白色中粒含粉砂芒硝石盐层，埋深 132.93—134.03m。

37.黑色含石膏碳质粉砂和土黄色粘土粉砂层，埋深 134.03—139.66m，9 号样。

38.浅灰、灰白色中粒含粉砂石盐层，埋深 139.66—144.18m。

39.黑色粘土质粉砂层，埋深 144.18—147.03m。

40.灰白色中细粒含芒硝石盐夹含石盐芒硝薄层，埋深 147.03—153.31m，10 号样。

41.灰绿、灰黑色粘土质粉砂层，埋深 153.31—155.69m。

42.灰白色中粒石盐层，埋深 155.69—164.40m。

43.土褐色、灰黑色粘土质粉砂层，埋深 164.40—175.79m，11 号样。

44.浅灰色中细粒含粉砂石盐层，埋深 175.79—178.81m。

45.杂色粘土质粉砂夹芒硝石盐层，埋深 178.81—190.37m，12 号样。

46.灰白色中粒芒硝石盐层，埋深 190.37—193.30m。

47.灰黑色、土褐色粘土质粉砂层，埋深 193.30—198.75m，13 号样。

48.浅灰色中粒含粉砂石盐层，埋深 198.75—201.10m。

49.黑色、灰黑色粘土质粉砂层，埋深 201.10—204.00m。

50.灰黑色中粒粉砂石盐层，埋深 204.00—205.22m。

51.土褐色、灰黑色粘土质粉砂层，埋深 205.22—207.24m，14 号样。

52.浅灰色中细粒粘土石盐和含粘土石盐层，埋深 207.24—214.73m。

53.土褐色含粉砂粘土层，埋深 214.73—216.13m，15 号样。

54.灰白色中细粒含粘土石盐层，埋深 216.13—226.86m。

55.杂色粘土质粉砂层，埋深 226.86—248.28m，16 号样。

56.灰白色中细粒含芒硝石盐层，埋深 248.28—252.09m。

57.杂色粘土质粉砂层，埋深 252.09—270.08m，17 号样。

58.灰白色中粒石盐层，埋深 270.08—273.40m。

59.黑色粉砂及土褐色粉砂粘土层，埋深 273.40—276.86m，18 号样。

60.无色中粒石盐芒硝层，埋深 276.86—278.24m。

61.土褐色粉砂粘土与灰黑色粘土质粉砂互层，埋深 278.24—299.71m。

62.灰白色中粒石盐层，埋深 299.71—300.36m。

63.杂色粘土质粉砂，埋深 300.36—334.68m，19 和 20 号样。

64.灰白色中粒含粉砂石盐层，埋深 334.68—335.81m。

65.灰色、土灰色粘土质粉砂层，埋深 335.81—500.91m，21 至 26 号样。

各样品埋深见表 2-18。

(4) 尕斯库勒湖

曾先后对我室该湖 1973 年钻孔中 9 个样和 1980 年钻孔中 5 个样进行了粘土矿物鉴定，1973 年钻孔中粘土矿物组合见表 2-16。后来对 1984 年该湖深孔中 22 个样进行了粘土矿物研究(该孔样品及地质资料来源同别勒滩深孔)，该孔剖面岩性(自上往下)及样品分布简介如下：

1.褐黄色含粉砂中粗粒石盐层，埋深地表 —8.04m，1 号样。

2.土黄褐色含粉砂泻盐石盐层，埋深 8.04—14.63m。

3.白色含软钾镁矾泻盐石盐层，埋深 14.63—15.43m。

4.灰褐色含泻盐粉砂石盐层，埋深 15.43—17.21m。

5.黄灰色含粉砂泻盐石盐层，埋深 17.21—19.12m。

6.浅黄色含泻盐粉砂中细粒石盐层，埋深 19.12—21.57m。

7.黄褐色含石盐粉砂粘土层，埋深 21.57—23.10m，2 号样。

8.黄褐色含杂卤石粉砂石盐层，埋深 21.10—27.30m。

9.黄褐色石盐中细砂层，埋深 27.30—28.42m。

10.黄褐色含粉砂粗巨粒石盐层，埋深 28.42—33.34m。

11.灰绿色、黄褐色石盐细粉砂夹粗巨粒石盐层，埋深 33.34—35.86m。

12.浅黄褐色粗巨粒石盐夹黄褐色含粘土粉砂层，埋深 35.86—40.16m。

13.黄褐色含粘土粉砂层，埋深 40.16—41.79m，3 号样。

14.黄褐色含粉砂石盐夹粉砂薄层，埋深 41.79—43.53m。

15.黑色含石膏粘土质粉砂层，埋深 43.53—44.46m。

16.灰白色、黄褐色含粉砂石盐夹粉砂薄层，埋深 44.46—48.86m。

17.黄褐色含石盐粉砂层，埋深 48.86—50.26m，4 号样。

18.灰黑色含石盐粘土质粉砂层，埋深 50.26—51.76m。

19.褐灰色条纹状石膏粉砂夹石盐薄层，埋深 51.76—55.76m，5 号样。

20.黄褐色细粉砂层，埋深 55.76—57.76m。

21.灰褐色含粉砂粗巨粒石盐层，埋深 57.76—63.40m。

22.灰黑色含粉砂芒硝粗巨粒石盐层，埋深 63.40—70.39m。

23.黑褐色粉砂石膏层，埋深 70.39—71.18m。

24.土黄色含石膏粘土粉砂层，埋深 71.18—95.23m，6 号样。

25.黑褐、褐灰色含石膏粉砂夹石膏薄层，埋深 95.23—99.71m。

26.浅黄灰色粉砂石膏层，埋深 99.71—100.75m。

27.土黄色石膏粉砂层，埋深 100.75—108.03m。

28.土黄色粉砂石膏层，埋深 108.03—109.14m。

29.土黄色含粉砂石盐石膏层，埋深 109.14—114.98m，7 号样。

30.黄褐色含石膏粘土粉砂夹石膏薄层，埋深 114.98—123.03m。

31.黄褐色含石膏粉细砂层，埋深 123.03—129.06m。

32.褐灰色细粉砂石膏层，埋深 129.06—137.85m。

33.黄褐色含粉砂石膏层，埋深 137.85—140.71m。

34.黄褐色石膏粉砂层，埋深 140.71—144.93m。

35.褐灰色石膏粘土粉砂层，埋深 144.93—147.96m。

36.灰褐色含石膏粘土粉砂层，埋深 147.96—157.90m。

37.黄褐色含石膏粘土粉砂层，埋深 157.90—170.91m。

38.褐黄色含砾细砂层，埋深 170.91—172.59m。

39.黄褐色含粘土粉砂层，埋深 172.59—189.25m，8 号样。

40.灰褐色含石膏粉砂粘土层，埋深 189.25—196.22m。

41.黑褐色、褐灰色粘土质粉砂层，埋深 196.22—207.92m。

42.褐黄色石膏粉砂夹含石膏粘土粉砂层，埋深 207.92—209.47m。

43.黄褐色石膏粉砂层，埋深 209.47—214.71m，9 号样。

44.黄褐色含石膏粉砂粘土层，埋深 214.71—221.90m。

45.黑色含石膏粘土质粉砂层，埋深 221.90—233.43m。

46.褐黄色含石膏粘土粉砂层，埋深 233.43—237.64m。

47.褐黄色含石膏粘土粉砂层，埋深 237.64—245.42m。

48.黄褐色含石膏粘土粉砂层，埋深 245.42—256.72m。

49.黑褐色含石膏粉砂层，埋深 256.72—259.75m。

50.黄褐色、绿灰色含石膏粘土粉砂层，埋深 259.75—271.68m。

51.黄褐色含石膏砂质粘土层，埋深 271.68—283.10m，10 号样。

52.灰色含泥质粉砂层，埋深 283.10—290.31m。

53.土黄色泥质粉砂层，埋深 290.31—291.66m。

54.土黄色含砾中粗砂层，埋深 291.66—295.05m。

55.土黄色泥质粉砂层，埋深 295.05—302.79m，11 号样。

56.棕红、黄绿、绿灰色粉砂粘土层，埋深 302.79—305.34m。

57.深灰色粉砂粘土夹含砾粗砂层，埋深 305.34—309.96m。

58.黑褐色、灰褐色粘土质粉砂层，埋深 309.96—315.08m。

59.黄褐色含粘土粉砂层，埋深 315.08—319.01m。

60.黄褐色粗中砂层，埋深 319.01—320.25m。

61.土黄、黄绿、黄褐色粘土粉砂层，埋深 320.25—322.74m。

62.灰色含植物化石泥质粉砂层，埋深 322.74—330.19m。

63.褐黄色含砾粗中砂层，埋深 330.19—336.83m。

64.黄褐色粘土粉砂层，埋深 336.83—338.72m。

65.黄褐色含砾中粗砂层，埋深 338.72—342.90m。

66.黄褐色含化石粘土粉砂层，埋深 342.90—349.32m。

67.黄褐色、黄绿色细粉砂层，埋深 349.32—356.17m，12 号样。

68.黄褐色、土黄色粘土粉砂层，埋深 356.17—360.23m。

69.黄褐色含粘土细粉砂层，埋深 360.23—362.57m。

70.土黄色、黄褐色粘土粉砂层，埋深 362.57—374.33m。

71.黄绿色、土黄色中细砂层，埋深 374.33—383.37m。

72.黄褐色粘土粉砂层，埋深 383.37—398.30m。

73.土黄色砂砾层，埋深 398.30—399.23m。

74.绿灰色含石膏泥质粉砂层，埋深 399.23—410.85m。

75.土黄色粗中砂层，埋深 410.85—424.57m。

76.黄绿色、褐灰色粘土粉砂层，埋深 424.57—426.91m。

77.土黄色中粗砂层，埋深 426.91—436.54m。

78.灰绿色、黄褐色泥质粉砂层，埋深 436.54—452.83m。

79.土黄色砂砾层，埋深 452.83—456.38m。

80.土黄色粉砂粘土层，埋深 456.38—464.88m。

81.土黄色含粘土中细砂层，埋深 464.88—469.22m。

82.黄褐色粘土粉砂层，埋深 469.22—473.67m。

83.土黄色粘土粉细砂层，埋深 473.67—476.02m。

84.土黄色含砾粗中砂层，埋深 476.02—481.19m。

85.褐灰色、黄褐色粘土粉砂层，埋深 481.19—490.39m，13 号样。

86.土黄色粗中砂层，埋深 490.39—492.91m。

87.土黄色粘土粉砂层，埋深 492.91—496.64m。

88.土黄色含砾粗中砂层，埋深 496.64—500.44m。

89.土黄色、黄褐色粘土粉砂层，埋深 500.44—502.01m。

90.土黄色中粗砂层，埋深 502.01—504.02m。

91.土黄色含粘土粉细砂层，埋深 504.02—506.61m。

92.土黄色含砾中粗砂层，埋深 506.61—510.32m。

93.土黄色粘土粉砂层，埋深 510.32—526.57m。

94.土黄色粗中砂层，埋深 526.57—529.17m。

95.土黄色粘土粉细砂层，埋深 529.17—532.24m。

96.土黄色含砾粗中砂夹粘土粉细砂层，埋深 532.24—540.67m。

97.土黄色含砾中细砂层，埋深 540.67—549.98m。

98.土黄色粘土粉砂层，埋深 549.98—551.97m，14 号样。

99.土黄色含砾粗中砂层，埋深 551.97—554.04m。

100.土黄色粘土粉细砂层，埋深 554.04—556.15m。

101.土黄色含粘土细粉砂夹粘土粉砂层，埋深 556.15—561.93m。

102.土黄色粉砂粘土夹含砾粘土砂层，埋深 561.93—563.47m。

103.土黄色含砾粘土中粗砂层，埋深 563.47—567.56m，15 号样。

104.土黄色粘土粉砂层，埋深 567.56—579.23m。

105.土黄色含砾粗中砂层，埋深 579.23—580.70m。

106.土黄色粘土粉砂层，埋深 580.70—586.80m，16 号样。

107.浅黄色含砾粗中砂层，埋深 586.80—589.15m。

108.黄褐色、土黄色粘土细粉砂层，埋深 589.15—607.90m，17 号样。

109.土黄色砾石中粗砂层，埋深 607.90—612.57m。

110.黄褐色、土黄色粘土粉砂层，埋深 612.57—634.89m，18 号样。

111.灰色粘土质粉砂层，埋深 634.89—644.79m，19 号样。

112.棕黄色粉砂粘土层，埋深 644.79—648.89m。

113.黄褐色、土黄色粘土粉砂层，埋深 648.89—660.97m，20 号样。

114.土黄色、黄褐色含粘土粉砂层，埋深 660.97—665.28m。

115.褐灰色粘土质粉砂层，埋深 665.28—671.03m，21 号样。

116.土黄色细粉砂层，埋深 671.03—677.13m。

117.灰色粘土质粉砂层，埋深 677.13—679.22m。

118.土黄色含粘土细粉砂层，埋深 679.22—689.48m。

119.土黄色含粘土粉细砂层，埋深 689.48—692.06m。

120.土黄色粘土粉砂层，埋深 692.06—700.40m，22 号样。

总之，该剖面岩性可分 3 部分：①地表—115 米，主要为石盐和粘土粉砂互层，属成盐阶段。②井深 115—283m，主要为黄褐色含石膏的粘土粉砂；③井深 283—700m，主要为黄褐色、土黄色中粗砂和粘土粉砂互层。

(5) 大柴旦盐湖

我们曾对该湖 1972 年钻孔中 5 个沉积物样进行了粘土矿物工作。该钻孔位置在湖内(偏北岸)，该剖面岩性自上往下简述如下：

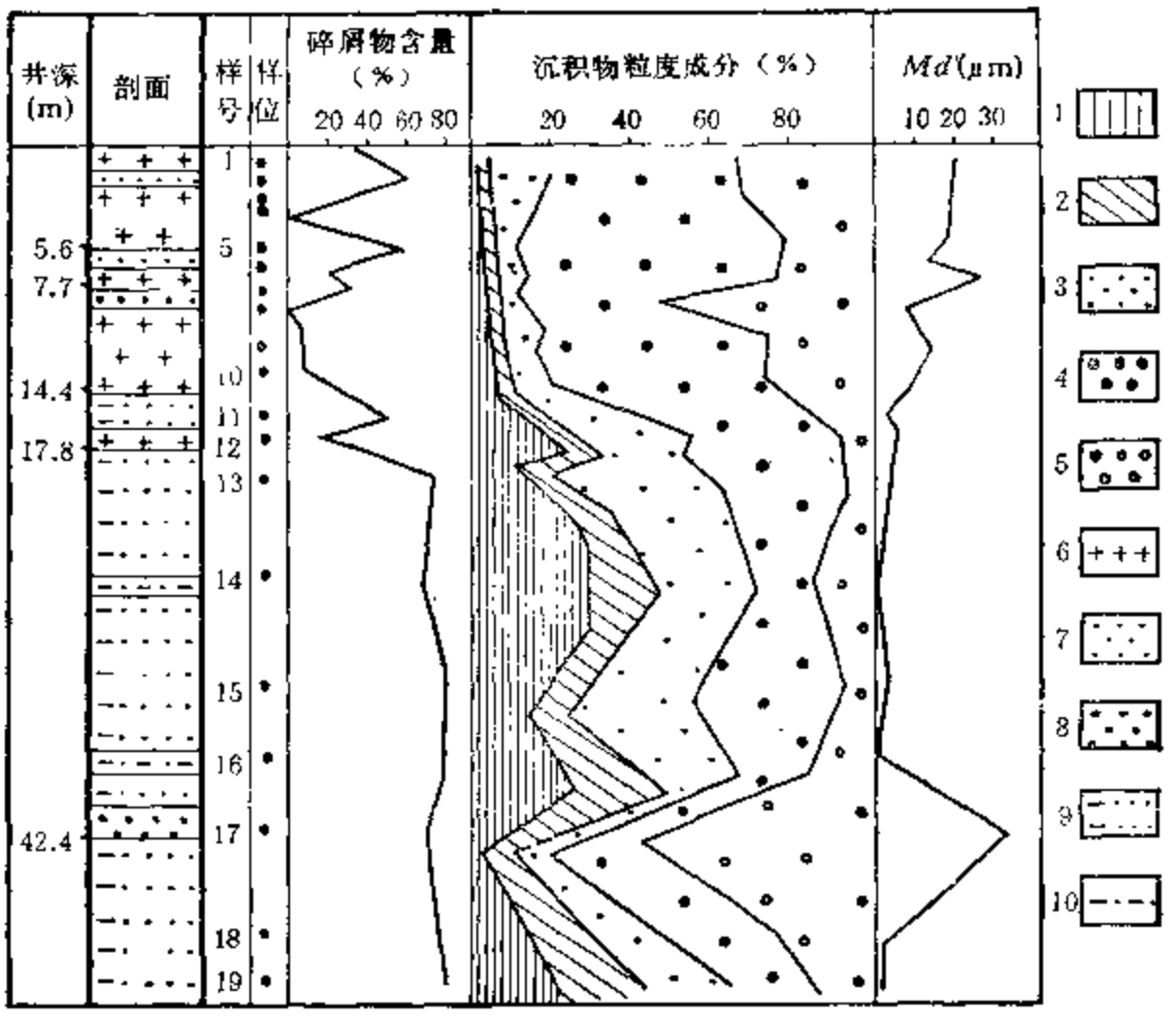


图 2-36 一里坪 1982 钻孔中沉积物粒度分布(徐旭，1987)

1. <2μm 2. 2—5μm 3. 5—10μm 4. 10—50μm 5. >50μm 6. 石盐 7.粉砂 8.砂 9.粘土质粉砂 10.粉砂质粘土

1.白色石盐层,层厚 0.50m。

2.粉砂石盐层,层厚 0.39m, 34 号样。

3.灰黑色粉砂层,层厚 1.63m, 35 号样。

4.石盐层,层厚 2.50m。

5.黑色粉砂层,层厚 1.14m, 39 和 40 号样。

6.石盐层,层厚 0.30m。

7.含硼矿层,层厚 0.81m。

8.黑色粉砂层,层厚 0.82m。

9.黄色粉砂层,层厚 1.00m, 44 号样。

各样品埋深见表 2-17。

2.一里坪盐湖碎屑物粒度成分及分布

我们仅对 1982 年该湖钻孔剖面中 17 个沉积物样进行了粒度成分分析(表 2-12, 图 2-36)。从这些图表中可以看出,该湖沉积物粒度成分分布与察尔汗盐湖相似,即以粉砂级为主,其含量一般为 50—60%。沉积物粒度组成在未成盐阶段明显细于成盐阶段。具体讲,在未成盐阶段,粘土含量一般 >30%, Md 一般 <7μm; 而在成盐阶段,粘土含量一般 <7%, Md 一般 >15μm。

表 2-12 一里坪盐湖碎屑沉积物粒度成分

样号	埋深 (m)	碎屑物含量 (%)	粒度成分 (%)					粒度参数		
			<2 μm	2—5 μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm	Md (μm)	S_0	S_K
2	1.3	80	2	2	15	50	32	22	0.24	0.62
3	2.25	62	2	2	14	52	31	20	0.24	0.74
5	6.0	68	2	1	7	70	21	20	0.32	0.69
6	7.1	50	2	1	12	64	22	16	0.28	0.87
7	8.0	39	3	1	8	30	59	32	0.42	0.66
8	10.1	13	4	3	14	54	26	10	0.19	1.86
9	12.0	20	2	2	10	62	25	16	0.25	0.88
10	13.5	16	5	2	14	53	27	15	0.20	0.85
11	16.4	70	29	7	23	35	7	4.6	0.22	1.09
12	17.4	18	9	3	41	40	7	7.2	0.52	1.0
13	20.0	83	25	6	31	32	6	6	0.21	0.53
14	26.0	81	31	19	21	14	15	3.2	0.23	1.1
15	33.4	90	14	7	33	39	7	5	0.31	0.18
16	37.5	92	29	18	18	18	17	4	0.18	1.12
17	42.25	85	3	1	11	23	62	36	0.16	0.24
18	49.0	91	19	19	25	18	19	5	0.6	1.44
19	52.2	90	25	1	24	34	8	4.5	0.22	0.88

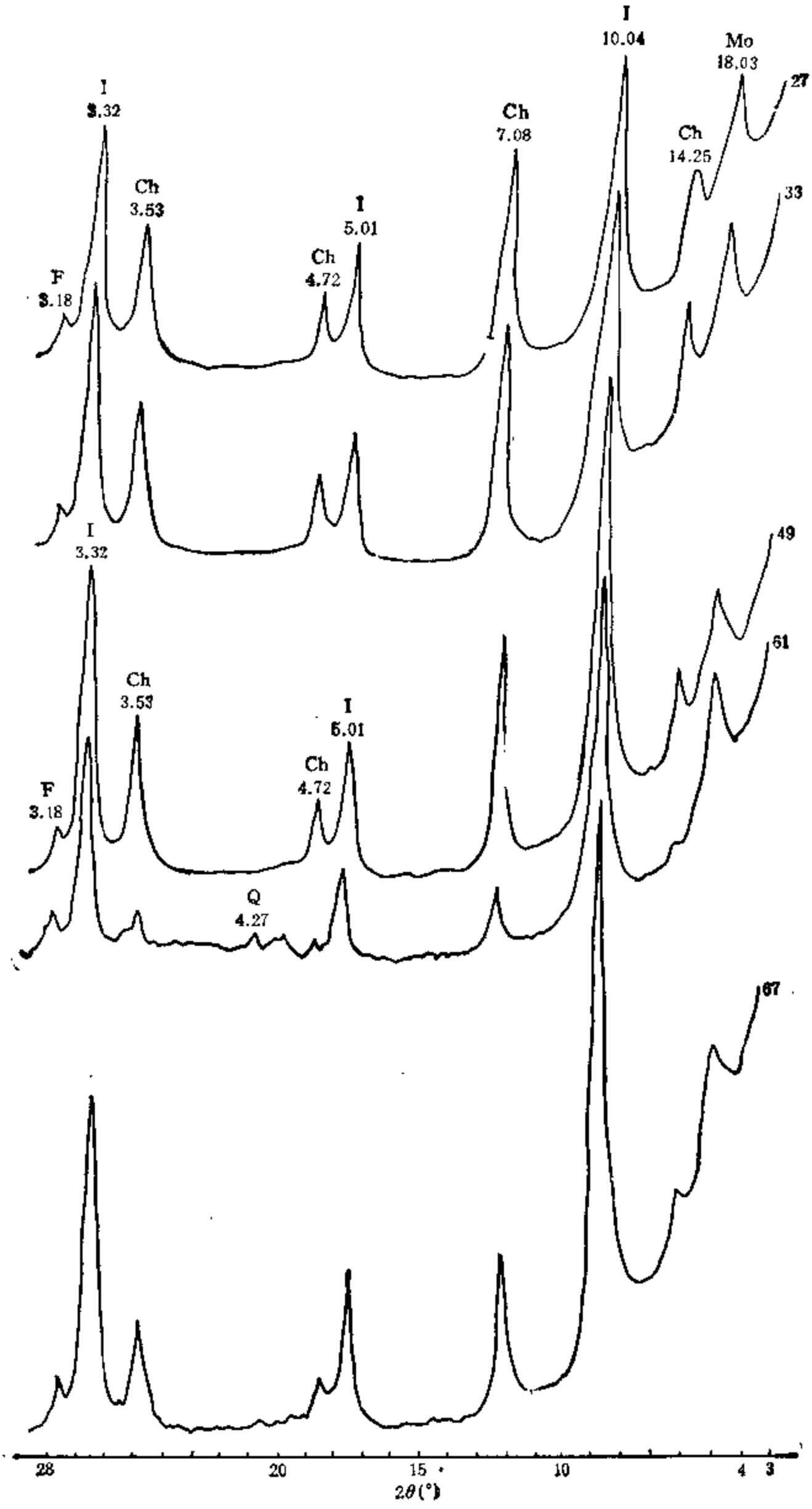


图 2-37　一里坪盐湖粘土样 X 射线衍射图

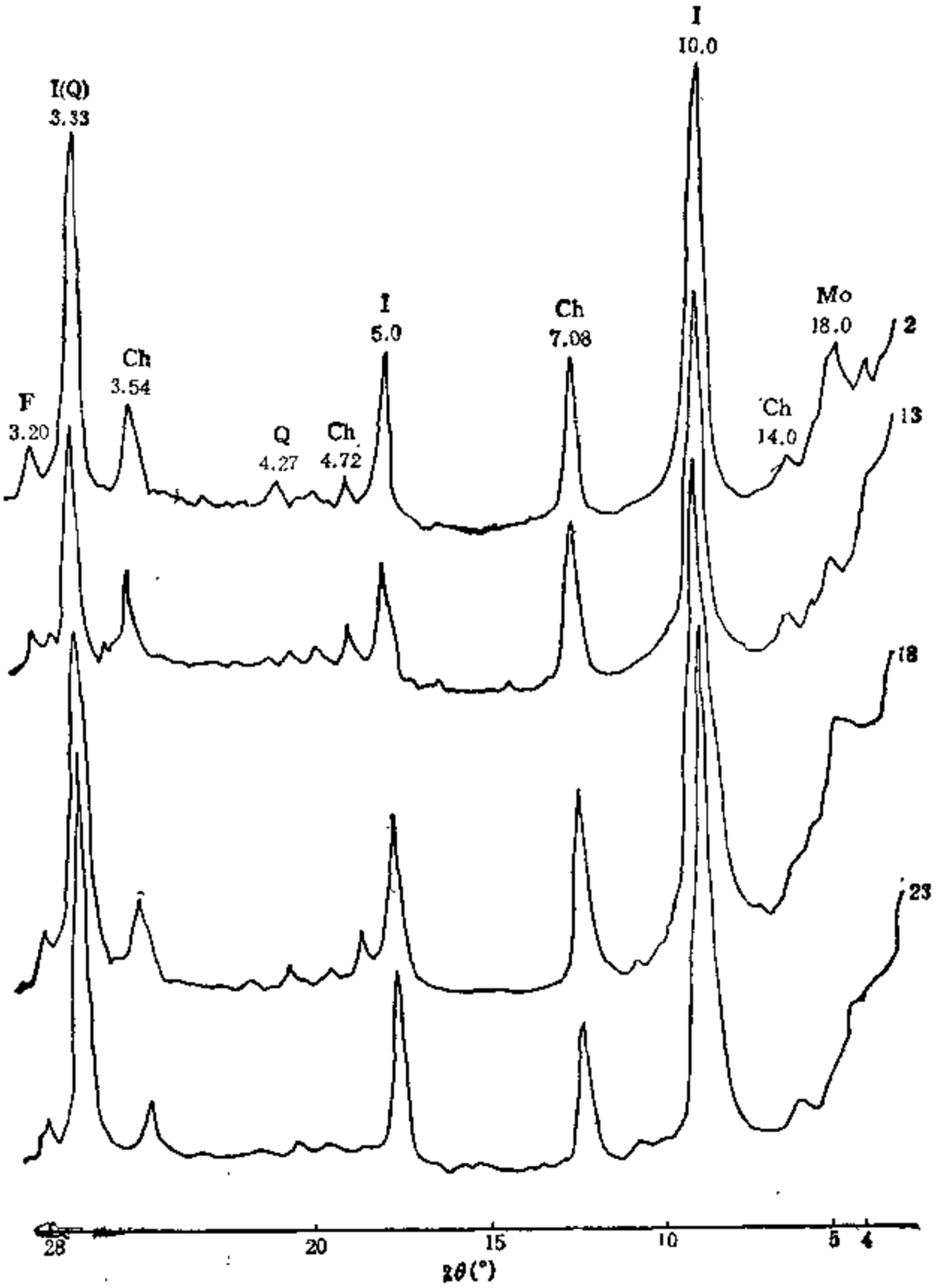


图 2-38　东台吉乃尔湖粘土岩X射线衍射图

表 2-13　一里坪盐湖沉积物中粘土矿物（1972）

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	<5μm (%)	主要矿物相对百分含量(%)			绿泥石类型	
				蒙脱石	绿泥石	伊利石	7Å/14Å (I/I)	类　型
成盐阶段	27	9.95	18.4	8	21	71	2.4	镁铁
	33	12.88	13.7	8	23	69	2.2	镁铁
	49	18.39	7.3	5	16	79	3.2	镁铁
未成盐阶段	61	27.16	23.9	11	9	80	4.7	铁
	67	32.73	24.7	5	10	87	4.2	铁

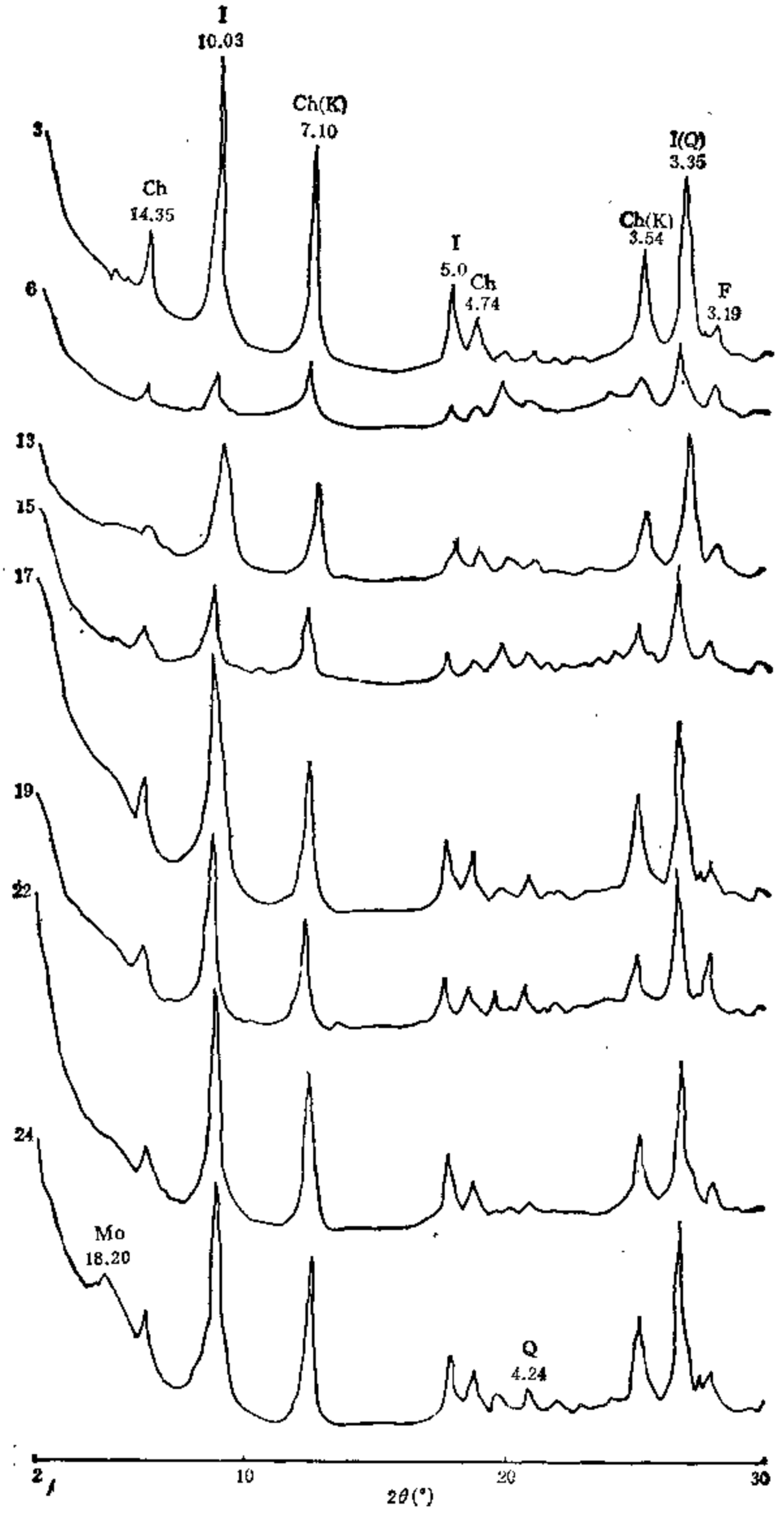


图 2-39(1)　毘特依湖粘土样(1984)X 射线衍射图

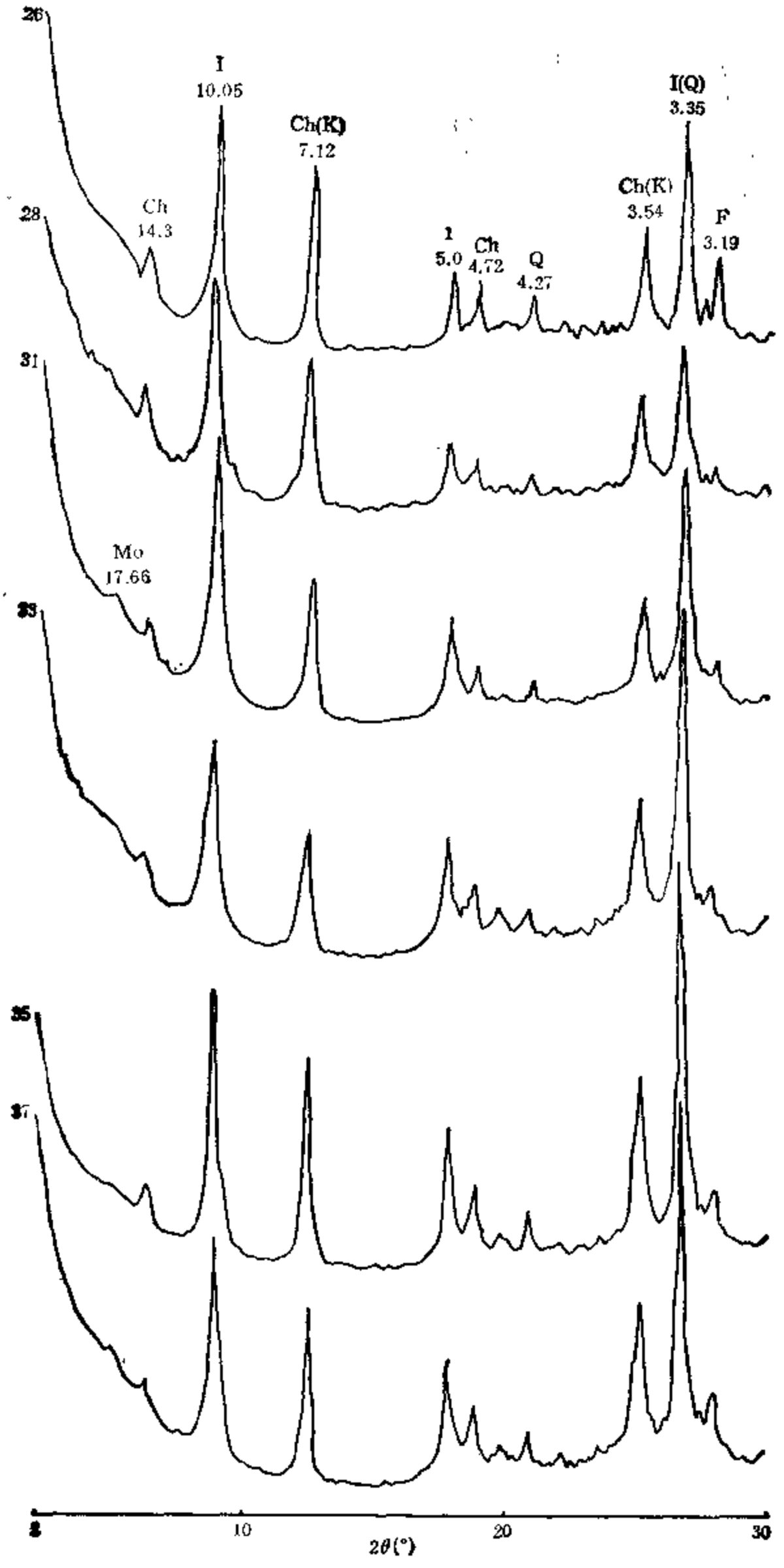


图 2-39(2)　昆特依湖粘土样(1984)X 射线衍射图

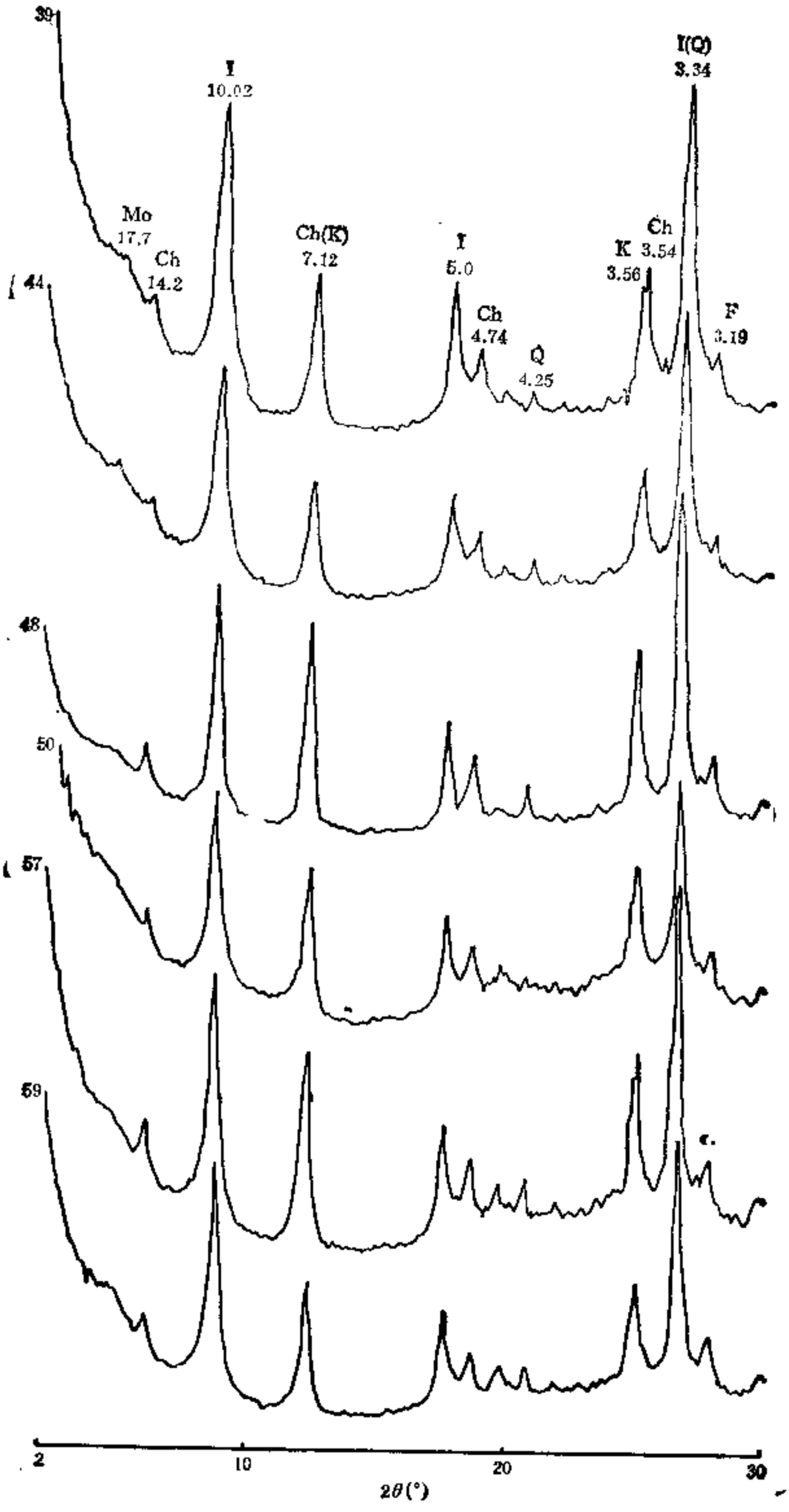


图 2-39(3)　昆特依湖粘土样(1984)X 射线衍射图

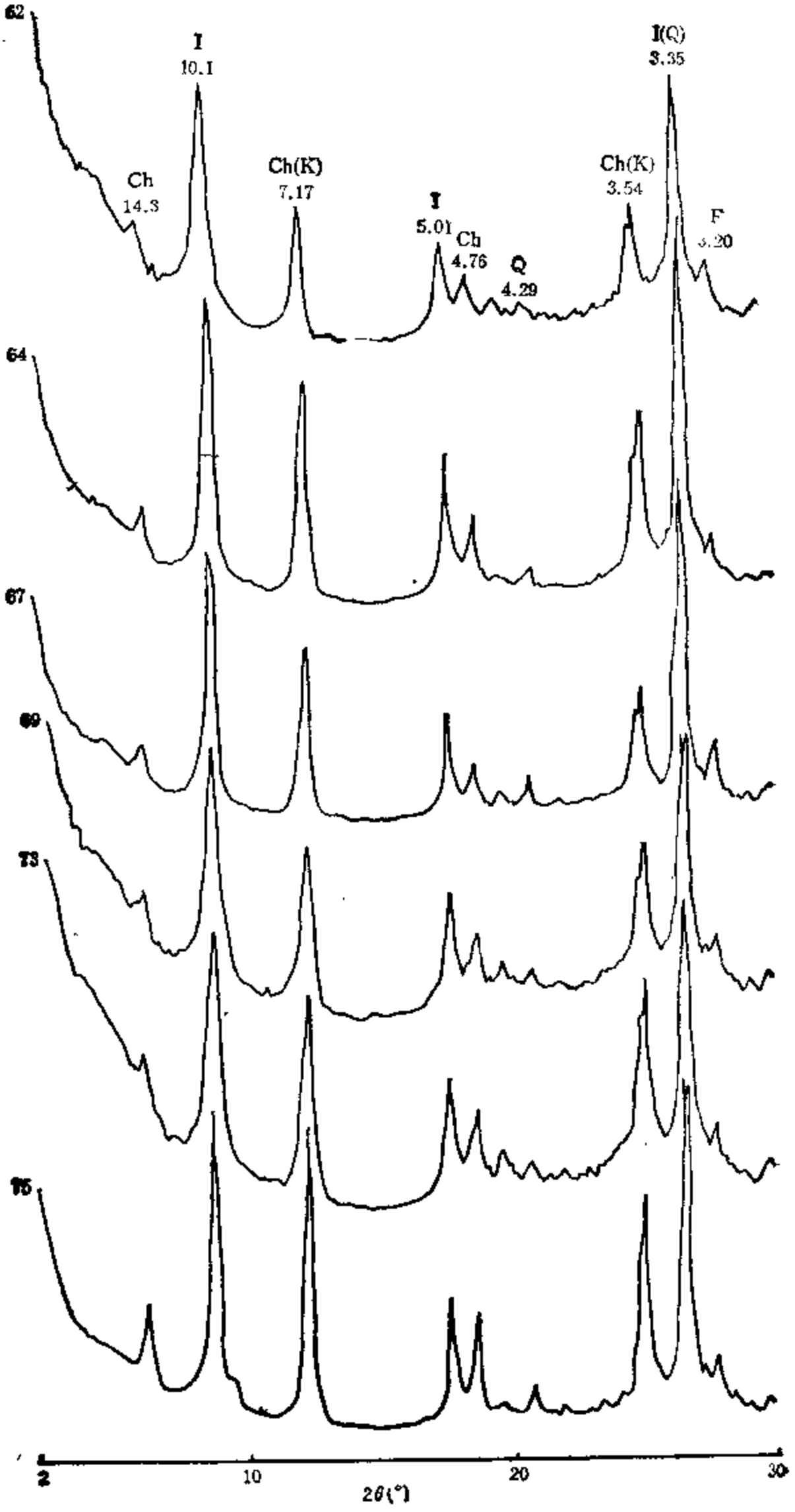


图 2-39(4)　昆特依湖粘土样(1984)X 射线衍射图

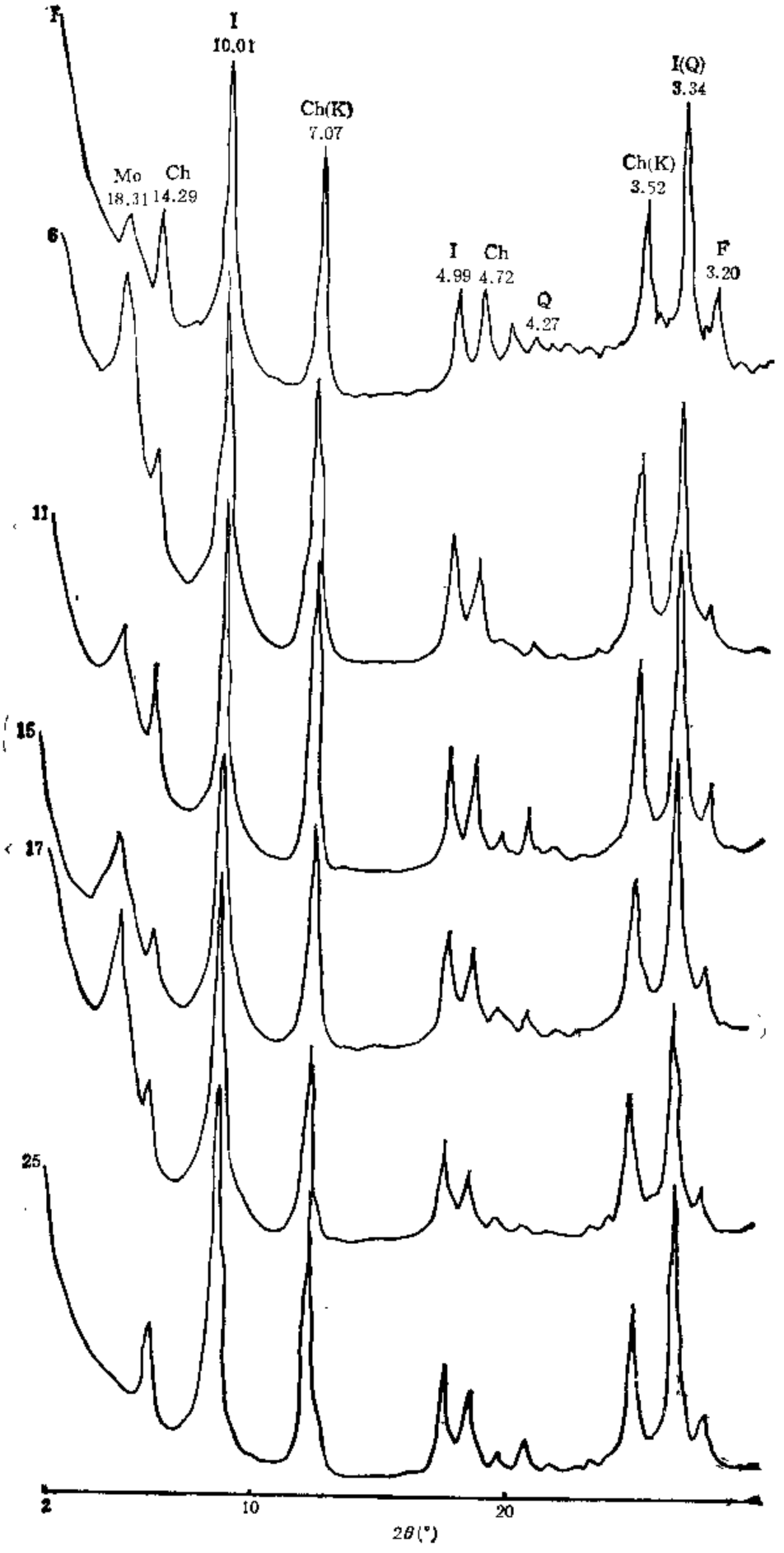


图 2-40(1)　尕斯库勒湖粘土样(1984)X 射线衍射图

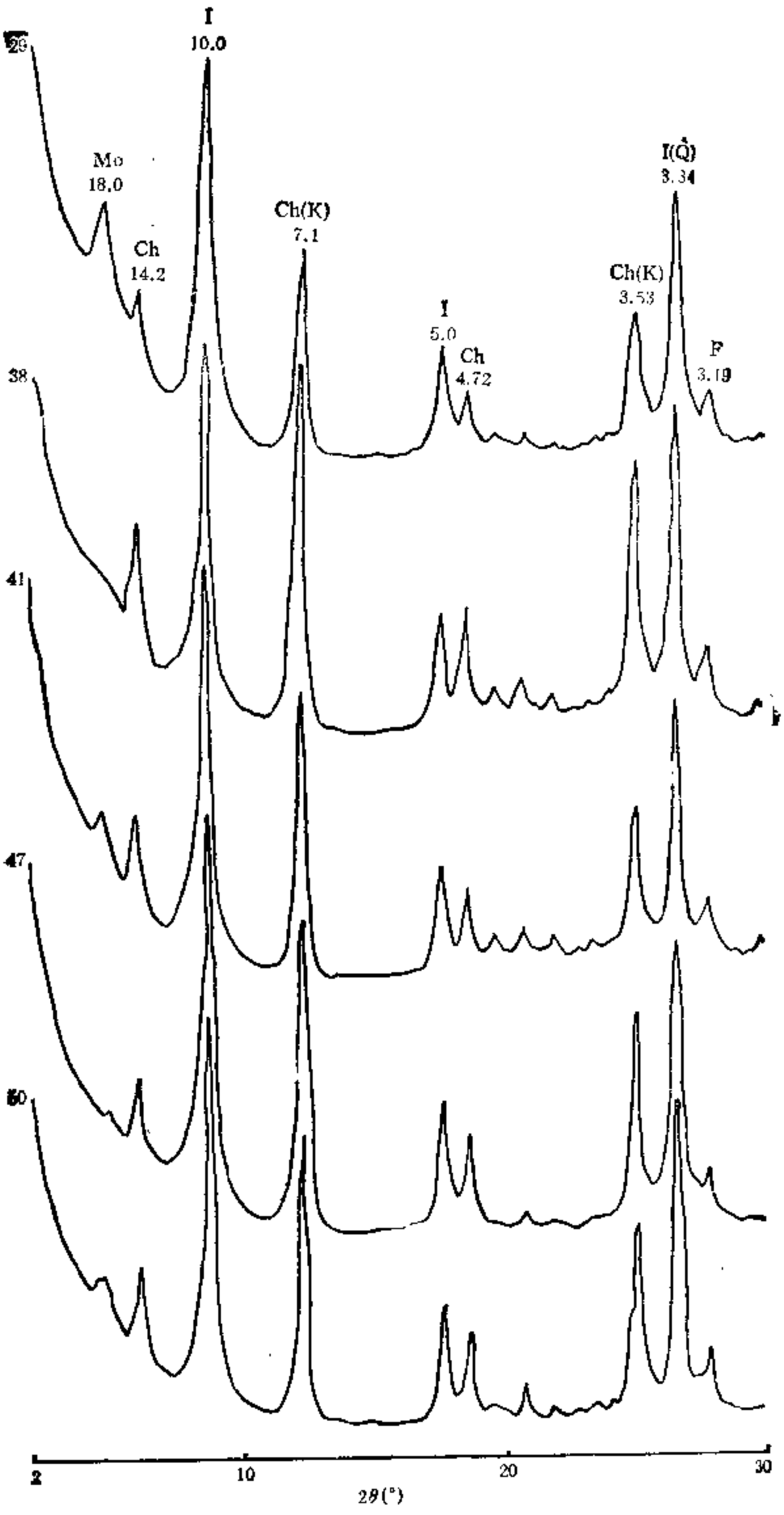


图 2-40(2)　尕斯库勒湖粘土样(1984)X 射线衍射图

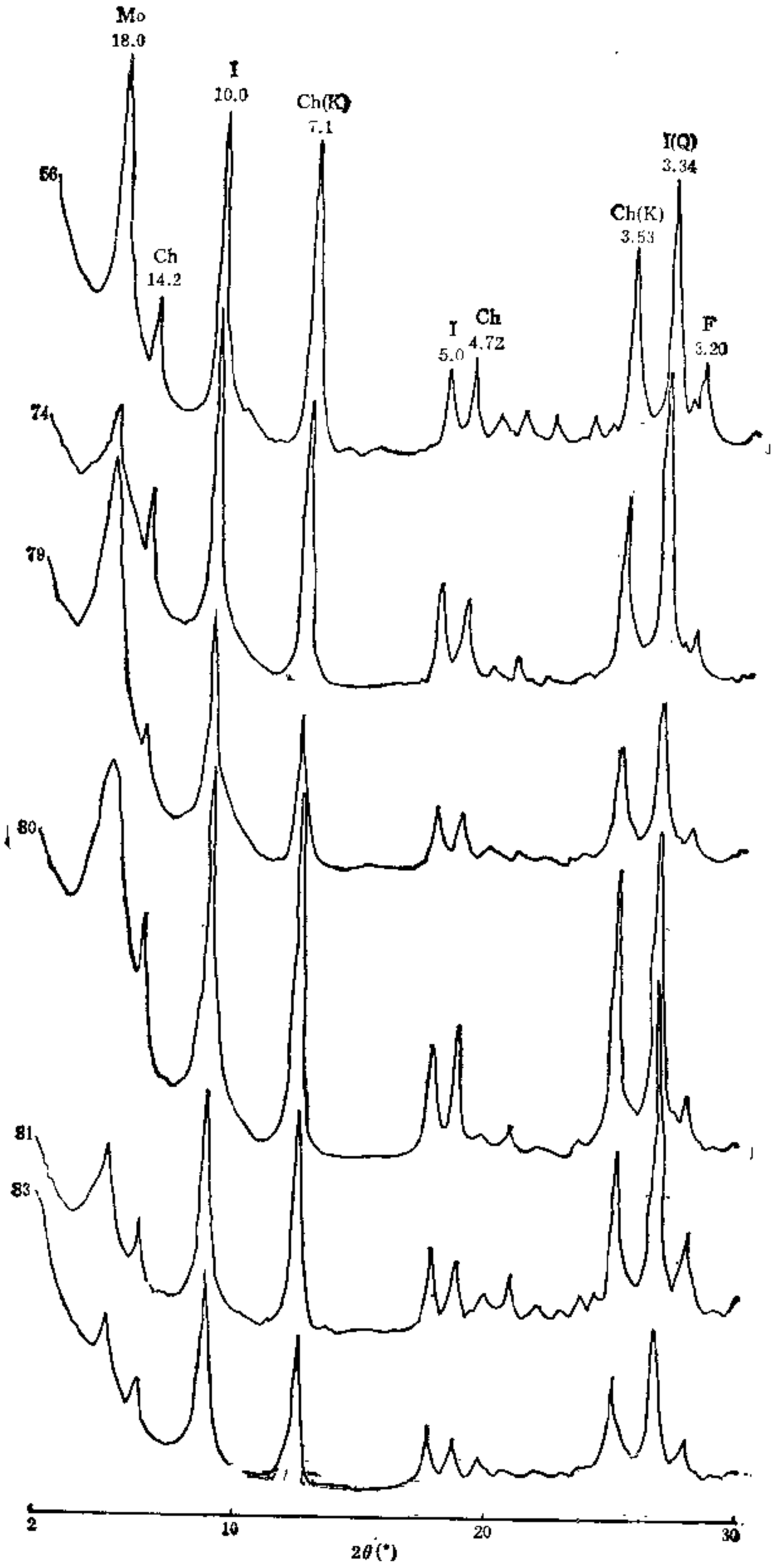


图 2-40(3)　尕斯库勒湖粘土样(1984)X 射线衍射图



图 2-40(4)　尕斯库勒湖粘土样(1984)X射线衍射图

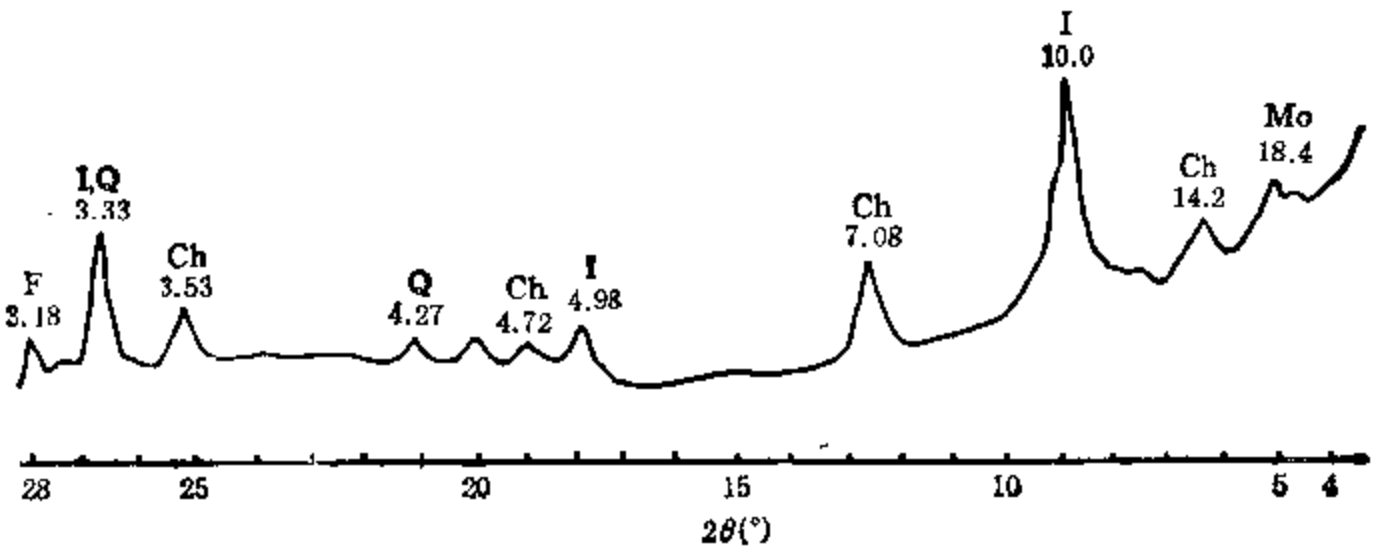


图 2-41　大柴旦湖粘土样X射线衍射图

3. 各湖粘土矿物类型

一些样品粘土矿物鉴定如图 2-37 —图 2-42 所示。各湖粘土矿物组合见表 2-13—表 2-19。

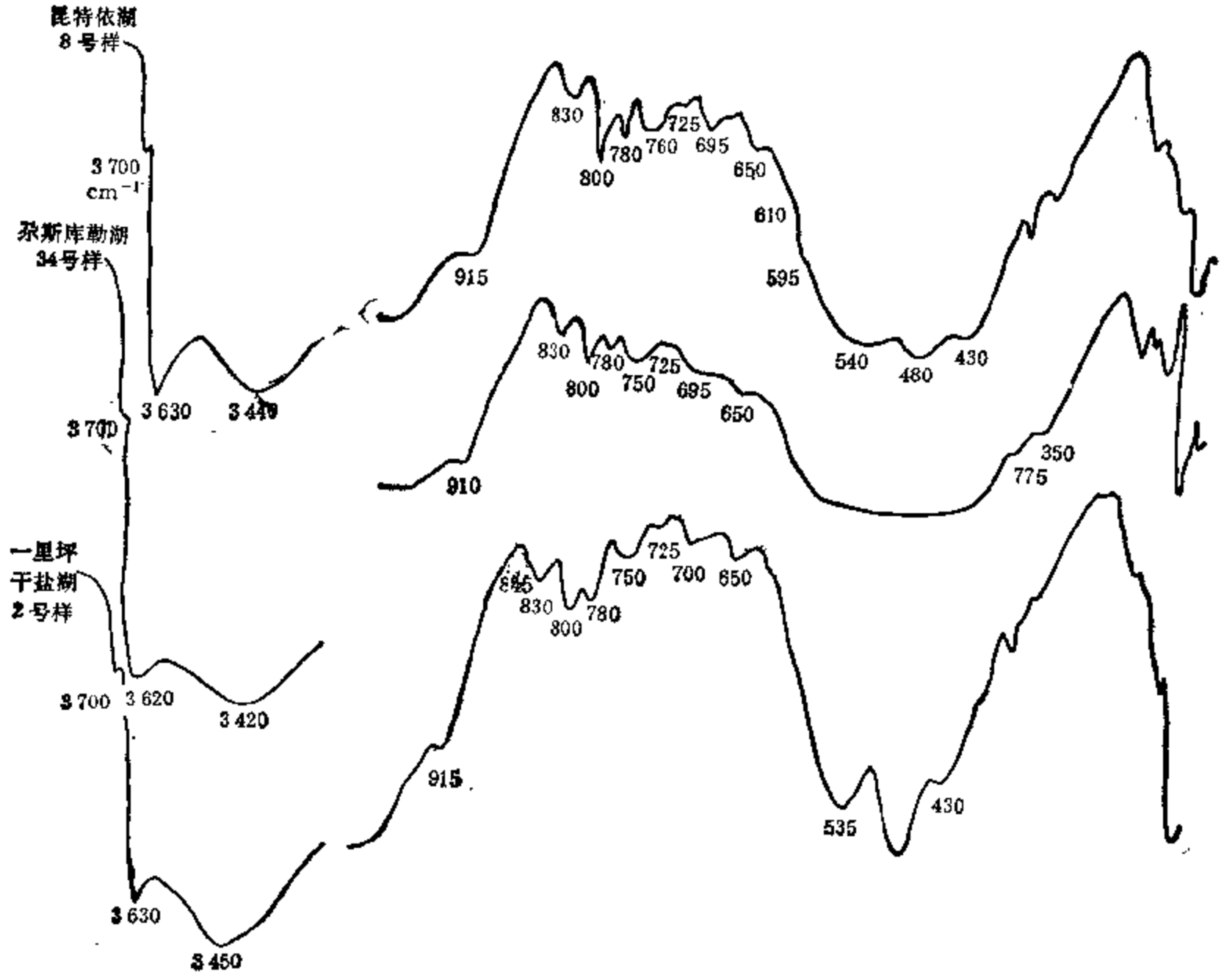


图 2-42　一里坪等盐湖粘土样红外图谱

表 2-14　昆特依湖沉积物中粘土矿物(1973)

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	<5μm (%)	主要矿物相对百分含量(%)		
				蒙脱石	绿泥石	伊利石
成盐阶段	8	1.8	14		8	90
	9	3.7	24	5	11	87
	19	6.8	6.4	5	5	90
	20	7.9	4.8		8	90
	29	12.6	8.4		8	90
	37	20.4	19	5	5	92
	42	22.5	19		9	89
	44	28.2	33.4	5	10	85
	54	33.6	10.4	5	8	87
	58	34.5	22.4	5	12	83

表 2-15　东台吉乃尔湖沉积物中粘土矿物

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	<1μm (%)	主要矿物相对百分含量(%)			绿泥石类型	
				蒙脱石	绿泥石	伊利石	7Å/14Å (I/I)	类　型
成盐阶段	2	1.5	8.2	5	12	83	7	铁
	13	4.09	5.3	5	14	84	5.4	铁
未成盐阶段	18	7.29	9.3	5	8	88	5.5	铁
	23	11.4	27		8	88	5.2	铁

表 2-16　尕斯库勒湖沉积物中粘土矿物(1973)

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	<5μm (%)	主要矿物相对百分含量(%)			粘土中 K_2O 百分含量 (%)
				蒙脱石	绿泥石	伊利石	
成盐阶段	30	19.9	20.6	10	26	64	3.96
	34	23.2	16.1	17	14	69	—
	40	27.6	23.5	17	16	67	4.11
	45	29.8	7.4	11	20	69	4.41
	57	35.8	30.2	5	22	74	4.37
	64	39.6	13.3	8	20	72	4.91
	71	42.1	9.6	8	18	74	4.03
	85	49.5	22.6	8	17	75	4.45
	92	55.4	22.5	8	28	64	3.76

表 2-17　大柴旦湖沉积物中粘土矿物

沉积阶段	样　号	埋　深 (m)	主要矿物相对百分含量(%)		
			蒙脱石	绿泥石	伊利石
成盐阶段	34	2.94	5	12	80
	35	4.27	少	次	主要
	39	7.67	9	13	74
	41	7.91	少	次	主
未成盐阶段	44	10.84	9	12	73

表 2-18　昆特依湖沉积物中粘土矿物(1984)

沉积阶段	主要岩性	样号	埋深(m)	主要矿物及特征峰相对强度百分比(%)		
				蒙脱石(17 Å)	伊利石(10 Å)	绿泥石(含高岭石)(7 Å)
成盐阶段	石盐层和粘土质粉砂层	1	14.51	—	57	43
		2	23.89	—	46	54
		3	66.9	—	58	42
		4	79.85	—	55	45
		5	91.61	—	62	38
		6	98.4	—	62	38
		7	115.0	—	60	40
		8	122.0	27	42	31
		9	134.8	—	56	44
		10	147.2	—	54	46
		11	169.5	存在	64	36
		12	183.25	—	61	39
		13	198.65	—	61	39
		14	207.24	—	63	37
		15	215.3	存在	66	34
		16	244.95	存在	64	36
		17	253.0	存在	54	46
		18	276.7	—	58	42
		19	310.3	—	57	43
		20	320.23	存在	63	37
未成盐阶段	粘土质粉砂层	21	336.52	—	63	37
		22	365.5	—	57	43
		23	403.76	存在	60	40
		24	430.38	—	59	41
		25	458.4	—	55	45
		26	481.52	—	51	49

从图 2-37—图 2-42 和表 2-13—表 2-19 中可以看出，这些盐湖沉积物中的粘土矿物组合与前面提到的湖区中粘土矿物组合相似。这里值得提出的是尕斯库勒湖钻孔沉积物中普遍存在蒙脱石，有时含量还相当高。如果按矿物相对含量由多到少排列，这个盐湖还存在伊利石-蒙脱石-绿泥石(含高岭石)这种矿物组合。此外，该盆地小柴旦湖中粘土矿物有伊利石、绿泥石、蒙脱石和混层矿物。

表 2-19　尕斯库勒湖沉积物中粘土矿物（1984）

沉积阶段	主要岩性	样　号	埋　深 (m)	主要矿物及特征峰相对强度百分比(%)		
				蒙脱石 (17Å)	伊利石 (10Å)	绿泥石（含高岭石） (7Å)
成盐阶段	石盐层与粘土质粉砂层	1	0.35	9	51	40
		2	22.3	41	28	31
		3	41.5	26	40	34
		4	49.06	30	39	31
		5	52.1	36	40	24
		6	79.2	—	63	37
		7	114.8	32	40	28
未成盐阶段	黄褐色粘土质粉砂层	8	183.9	—	51	49
		9	214.7	20	46	34
		10	271.78	?	57	43
		11	300.19	18	47	35
		12	356.17	38	33	29
		13	485.83	29	40	31
		14	550.6	49	30	21
		15	565.16	36	36	28
		16	580.75	27	38	35
		17	605.75	32	39	29
		18	616.7	24	42	34
		19	634.7	32	38	30
		20	651.6	28	42	30
		21	666.3	25	38	37
		22	696.15	52	32	16

4. 一里坪等盐湖粘土化学成分及特征

对除去碳酸盐的粘土样进行了化学分析（表 2-20 和表 2-21）。除一里坪盐湖 1982 年样品和湖周样品采用 $<2\mu m$ 试样外，其余样品均为 $<1\mu m$ 试样。我们以粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量作成图 2-43。

我们从表 2-20，2-21 和图 2-43 中可以看出，一里坪等盐湖粘土在化学成分上与伊利石粘土相似；Al_2O_3-MgO-K_2O 相对百分含量与冷温带大陆粘土化学成分特征相似(相对富钾低镁)。此外，一里坪盐湖粘土中 Al_2O_3/MgO 值在剖面中的变化趋势与大别勒湖沉积剖面中相似，即其值在未成盐阶段中明显大于成盐阶段。

表 2-20　一里坪等湖区粘土化学成分

湖名	样号	化学成分（%）							相对百分含量(%)		
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
一里坪 (1974)	9		19.41	4.44	6.76	5.16	0.54	3.24	66	11	23
	33		21.76	7.64	3.68	1.05	1.84	5.54	70	17	13
	49		20.51	5.32	5.00	6.61	1.12	2.90	72	10	18
	55		21.12	5.82	7.21	4.93	0.64	2.38	68	8	24
一里坪 (1982)	11	50.91	25.08	8.67	5.88	3.53	0.71	3.75	72	11	17
	12	54.18	24.23	7.75	6.09	2.30	0.80	3.57	71	11	18
	13	51.51	22.58	10.50	5.84	2.15	0.71	3.63	71	11	18
	15	54.07	22.77	7.65	5.69	2.82	1.11	3.45	71	11	18
	17	33.71	19.95	6.35	3.08	2.70	7.63	13.62	54	38	8
	19	52.92	24.10	7.66	6.37	1.75	0.79	3.46	71	12	17
东台吉乃尔	2	51.39	23.60	6.86	5.82	2.61	0.70	2.30	74	7	19
	23	54.97	25.81	4.20	7.19	1.73	0.33	1.97	73	5	22
昆特依	29	54.08	24.79	5.52	7.73	3.09	0.89	2.73	70	8	22
尕斯库勒	92	49.63	20.20	11.89	4.93	0.95	1.30	4.44	68	15	17
大柴旦	35		20.61	5.34	3.80	0.68	1.44	2.64	76	6	18
	41		17.07	10.48	7.67	0.44	1.52	2.74	62	10	26
	44		26.03	9.70	5.56	0.48	1.88	3.76	73	11	16
诺木洪	6	52.17	25.66	9.99	6.11	2.10	0.85	3.31			
	9	45.05	23.03	9.70	5.34	2.11	6.64	3.11			
昆特依（风蚀地貌）	5	49.52	26.61	9.89	5.92	2.26	1.65	3.31			
	6	42.67	22.51	9.01	5.34	2.21	8.97	3.21			

表 2-21　一里坪等盐湖粘土微量元素光谱测定结果(%)

湖名	样号	硼	锰	铅	铬	锡	镓	锑	钒
一里坪	2	0.05	0.01	0.0008	0.006	0.0003	0.005	0.003	0.01
东台吉乃尔	2	0.03	0.05	0.0008	0.006	0.006	0.001	0.001	0.01
昆特依	8	0.05	0.02	0.0005	0.005	0.006	0.005	0.002	0.01
尕斯库勒	34	0.05	0.05	0.001	0.006	0.003	0.005	0.005	0.01

湖名	样号	钼	钛	铜	锆	锌	铍	钴
一里坪	2	—	0.1	0.003	0.01	0.02	0.0001	0.0003
东台吉乃尔	2	0.0001	1.0	0.0005	0.03	0.08	0.0001	0.0002
昆特依	8	0.0001	1.0	0.0008	0.01	0.03	—	0.0003
尕斯库勒	34	0.001	0.8	0.003	—	0.03	—	0.001

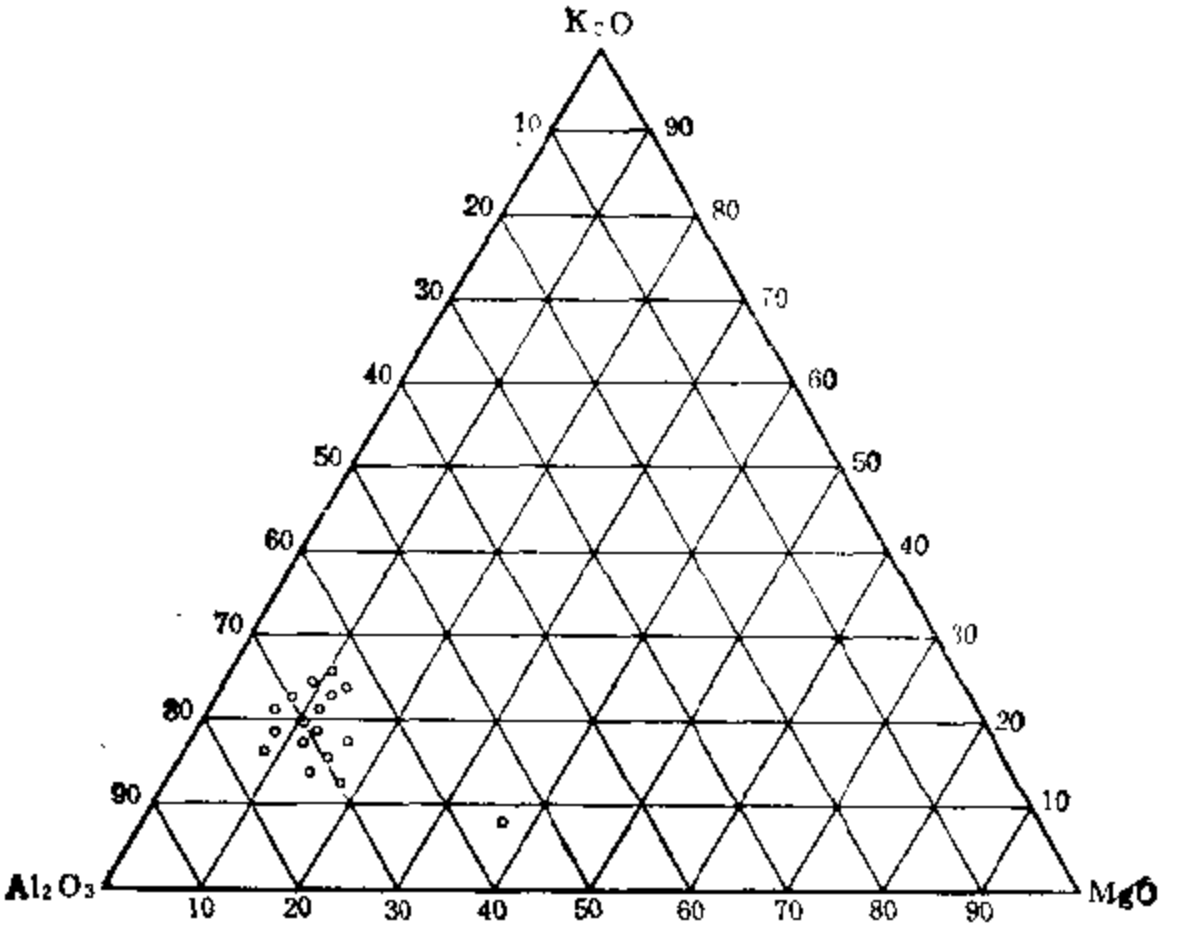


图 2-43 —里坪等盐湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

三、柴达木盆地盐湖粘土矿物基本特征

(1) 粘土含量的普遍特点是，盐湖早期未成盐阶段中含量多于晚期成盐阶段。

(2) 各盐湖粘土矿物组合虽十分相似(伊利石为主，次为绿泥石，含少量蒙脱石和高岭石等)，但两个阶段相比，在晚期成盐阶段中，伊利石相对较少，而绿泥石相对较多（表 2-22)。

表 2-22 柴达木盆地某些盐湖中主要粘土矿物及相对百分含量（%）

湖名 \ 阶段 / 矿物	成盐阶段			未成盐阶段		
	样数	伊利石	绿泥石	样数	伊利石	绿泥石
昆特依	10	88	8			
一里坪	3	73	20	2	85	9
东台吉乃尔	2	83	13	2	88	9
大别勒	9	80	13	5	88	9
小别勒	3	79	18	5	83	14
达布逊	6	79	20			
尕斯库勒	9	70	20			
平均		79	17		86	10

(3) 该盆地盐湖中粘土的化学成分与其它地区盐湖粘土化学成分相比，以富钾为特征。粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量具有冷温带大陆粘土和盐沼、干湖粘土化学成分特征。

(4) 从尕斯库勒湖、昆特依湖和察尔汗湖的深孔沉积物中的粘土矿物来看，整个剖面及各个盐湖中矿物组合都十分相似，表明这些盐湖在成盐阶段之前相当长的时期内，沉积环境相似。

(5) 各盐湖粘土综合资料（表2-23）在盐湖不同沉积阶段中具有明显差异。

表2-23 柴达木盆地盐湖粘土资料与沉积阶段关系

项目 \ 阶段	未成盐阶段	成盐阶段
粒度与岩性	$Md\approx5\mu m$，粘土质粉砂、粉砂质粘土为主	$Md\approx20\mu m$，砂质粉砂为主
矿物组合	伊利石和绿泥石为主，含少量蒙脱石、高岭石等	同左
主要矿物相对含量	伊利石 86%，绿泥石 10%	伊利石 80%，绿泥石 16%
高岭石相对含量	>5%	≤5%
绿泥石类型	铁绿泥石为主	镁铁绿泥石为主
Al_2O_3，MgO，K_2O 相对百分含量特征	接近冷温带大陆粘土化学成分特征	接近盐沼、干湖粘土化学成分特征
粘土中 Al_2O_3/MgO	>8.5	<8.5
粘土主要化学成分	接近伊利石粘土	同左

(6) 对该地区盐湖积累了一些有意义的粘土矿物资料。例如，尕斯库勒湖沉积剖面中不仅普遍含有蒙脱石，而且有的样品中蒙脱石的含量超过绿泥石，仅次于伊利石，这在其它地区盐湖中是非常少见的。进一步可以看到，蒙脱石和伊利石的含量呈现互为消长的现象。又如，大别勒湖不同沉积阶段中，绿泥石类型的变化，MgO 含量的变化，Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量所具有的粘土化学成分的不同成因类型等都存在明显差异。以及在察尔汗等3个盐湖深孔（井深500—800m）沉积物中系统积累了粘土矿物的X射线衍射资料等。

为了避免重复，对一些资料的认识，我们将在后面有关章节中具体讨论。

第四节 新疆盐湖粘土矿物

我们于1986、1987和1989年在新疆盐湖考察中采集了艾丁湖、艾比湖、七角井、巴里坤、伊吾湖、北沙窝、乌尔喀什布拉克和乌勇布拉克等8个盐湖的50个沉积物样品，其中仅对艾丁湖和艾比湖沉积剖面中样进行了较详细的粘土矿物研究，各湖基本概况见表1-6。下面主要介绍艾丁湖和艾比湖沉积物中粘土矿物。

一、艾丁湖和艾比湖概况及样品产状

1. 艾丁湖概况和样品产状

艾丁湖位于吐鲁番县内，海拔 −153.73m，该湖区夏季气温平均 33.8℃，最高 48.3℃，地表温度最高可达 74.9℃；年降水量 10.9mm，蒸发量达 4 983mm。现在已有 80% 的无水湖面，湖水面积在平水期为 22.4km²。该湖为吐鲁番拗陷的沉降中心，盐矿以石盐、芒硝为主，主要分布在现在湖面的四周。拗陷边缘有出露广泛的三叠纪、侏罗纪和第三纪地层，第三纪红层中赋存厚层岩盐和石膏[1]。

1986 年我们在该湖北岸盐硝厂东面打了一口钻，对该钻孔中 18 个沉积物样及湖南岸出露的第四纪以前的几个泥样进行了粘土矿物研究和沉积物粒度分析，样品分布和该钻孔沉积剖面见图 2-51 和表 2-24。

该钻孔剖面岩性自上往下简述如下：

1.褐色粉砂无水芒硝层，表层 0.47m 石盐壳，下部含石盐和钙芒硝，埋深地表 −2.32m。

2.含粉砂芒硝层，芒硝巨粒，致密，粉砂含量约 5%，埋深 2.32—2.97m。

3.褐色粉砂无水芒硝、芒硝、钙芒硝层，松散，埋深 2.97—4.95m。

4.褐色含钙芒硝砂层，松散，埋深 4.95—6.15m。

5.褐色含钙芒硝粉砂层，松散，下部较细，埋深 6.15—11.60m。

6.灰褐色含钙芒硝砂层，松散，埋深 11.60—14.11m。

7.灰褐色粉砂质粘土层，埋深 14.11—16.63m。

8.褐色粘土质砂层，下部夹 0.2m 厚的红色粘土，埋深 16.63—20.00m。

9.灰褐色粗砂层，松散，含少量砾石，其最大直径 0.8cm，埋深 20.00—21.00m。

10.红褐色粘土质粉砂层，埋深 21.00—23.41m。

11.红褐色粘土质砂层，埋深 23.41—24.50m。

12.灰褐色粗砂层，松散，含少量小砾石，埋深 24.50—25.81m。

13.褐色粉砂质砂层，松散，下部含少量砾石，具层理，埋深 25.81—32.20m。

14.上部为褐色粉砂质粘土层，下部为红褐色粘土质粉砂层，井段 36.00—36.84m 和 39.40—40.00m 处具明显的薄层理，底部为一层厚 0.44m 的砂砾层，砾径多为 2—10mm，总的埋深 32.20—42.14m。

15.褐色砂质粉砂层，下部呈灰色，井段 45.5—46.1m 见有介形虫壳和小砾石，砾径一般为 3—6mm，下部(井段 47.41—51.01m)具不清晰的层理，致密，较硬，埋深 42.14—51.01m。

2. 艾比湖概况及样品产状

艾比湖又名尔哈齐湖，位于精河县北境，阿拉山口东南方，湖面海拔 194m。该湖呈椭圆形，长轴方向为西北-东南，长约 65km，宽 30—35km。湖水面积逐渐缩小，解放初期 1 200km²，60 年代 1 070km²，现在 630km²。1976—1986 年平均年降水量 101mm，蒸发量 1 613mm。该湖受西北-东南向构造断陷控制，为平原构造湖。阿拉山口，介于阿拉套山和巴尔鲁克山之间，宽 20 余公里，由西北向东南倾斜，形成落差为 150m 的狭长谷地，它是北方冷空气入侵新疆的重要门户，是世界著名的大风口。年平均大风(风速≥17m/s)

1) 宋伟然，1981，新疆吐鲁番县艾丁湖盐矿地质特征及矿床破坏与再造。

日数多达 164 天，最多达 188 天，最大风速可达 50m/s[1]。该湖湖水矿化度一般 100g/L，仅湖北岸见到芒硝等表层沉积，盐场附近是利用湖水抽到盐田晒盐或卤水沟晒盐。

1989 年我们在精河盐场场部打钻一口，对该钻孔 20 个样及湖水表层、盐滩各 1 个样进行了粘土矿物鉴定。钻孔中样品分布见表 2-26。该钻孔岩性自上往下简介如下：

1.砂砾层，埋深地表 —1.15m。

2.绿灰色粉砂层，埋深 1.15—2.60m。

3.黑灰色粘土质粉砂层，埋深 2.60—3.10m。

4.浅灰色粉砂质粘土层，埋深 3.10—4.35m。

5.黄绿色粉砂质粘土层，埋深 4.35—4.45m。

6.浅黄灰色粘土质粉砂层，埋深 4.45—5.10m。

7.灰色粘土质粉砂层，埋深 5.10—5.30m。

8.黑灰色粘土质粉砂层，见灰、黄色薄层埋(层厚 1mm) 相间，埋深 5.30—5.80m。

9.黄绿色粉砂层，埋深 5.80—7.20m。

10.黄绿色细砂层，埋深 7.20—8.45m。

11.灰色粉砂层，埋深 8.45—12.46m。

12.灰色砂砾层，埋深 12.46—15.02m。

13.灰色粘土质粉砂层，埋深 15.02—16.08m。

14.灰黑色粉砂层，埋深 16.08—16.88m。

15.灰黑色粘土质粉砂层，埋深 16.88—20.29m。

16.深灰色粉砂层，埋深 20.29—22.27m。

17.灰黑色粉砂质粘土层，埋深 22.27—22.90m。

18.灰色粉砂层，埋深 22.90—23.56m。

19.灰色粗粉砂与黑色粘土质粉砂层，埋深 23.56—24.08m。

20.灰色粉砂层，埋深 24.08—24.26m。

21.灰色粉砂质粘土层，埋深 24.26—25.74m。

22.灰色粘土质粉砂层，埋深 25.74—27.64m。

23.灰色粗砂层，埋深 27.64—27.84m。

24.砂砾层，埋深 27.84—27.94m。

25.含砾中细砂层，埋深 27.94—30.16m。

26.深灰色粘土质粉砂层，埋深 30.16—30.56m。

27.灰黑色粉砂质粘土层，埋深 30.56—30.77m。

28.灰色粉砂质粘土层，埋深 30.77—35.52m。

29.粗粉砂层，埋深 35.52—37.02m。

30.灰色粉砂质粘土层，埋深 37.02—37.76m。

该孔在钻进到第 30 层提钻后，有承压水溢出地表。

二、艾丁湖沉积剖面中沉积物的粒度组成

该剖面沉积物粒度组成见表 2-24。从表中可以看出，沉积物粒度成分在纵向上的分布特点(由底部往上，以粘土级而言)，有由粗—细—粗—细—粗几次旋回性变化。粘土含

1) 刘学勤，1986，艾比湖地区生态环境及资源调查报告。

表 2-24　艾丁湖沉积物中粒度组成

沉积阶段	层序	样号	埋深 (m)	粒度组成 (%)				
				<2μm	2—5μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm
成盐阶段(包括含盐层)	1	3	0.47—0.70	4	4	2	45	45
	2	8	2.77—2.87	—	—	—	—	—
	3	10	3.95—4.00	—	—	—	—	—
	4	13	5.07—5.12	3	2	2	42	51
	5	17	8.20—8.30	3	5	4	67	21
末成盐阶段	5	21	10.79—10.89	19	10	12	46	13
	6	23	11.90—12.00	11	9	6	33	41
	7	26	15.69—15.89	40	20	14	17	9
	8	27	19.23—19.33	18	5	5	18	54
	9	28	20.10—20.20	2	3	1	7	87
	10	30	21.90—22.00	20	15	3	42	20
	11	31	23.80—24.01	20	11	4	18	47
	12	32	25.20 25.30	5	1	8	7	79
	13	36	32.05—32.15	4	6	2	32	56
	14	38	35.30—35.40	41	21	14	11	13
	14	41	39.24—39.34	30	5	13	48	4
	15	48	44.10—44.20	8	7	13	45	27
	15	55	50.81—50.86	6	5	7	45	37

量变化较大，最多 62%，最少 5%，平均 22.7%。

三、艾丁湖和艾比湖等 8 个盐湖沉积物中粘土矿物类型

以去除碳酸盐的 <2μm 的粘土试样，主要通过 X 射线粉末衍射和配合红外分析进行

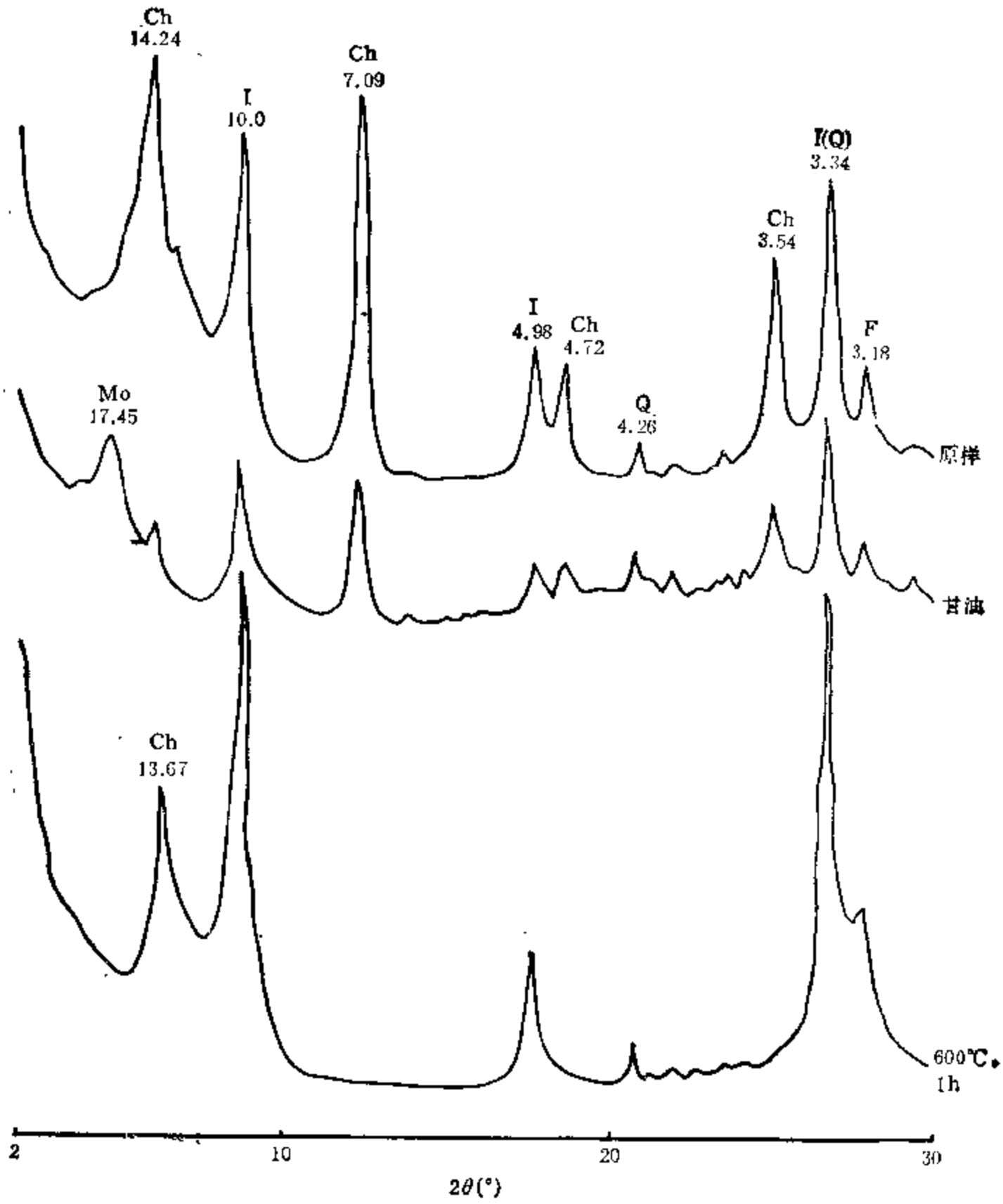
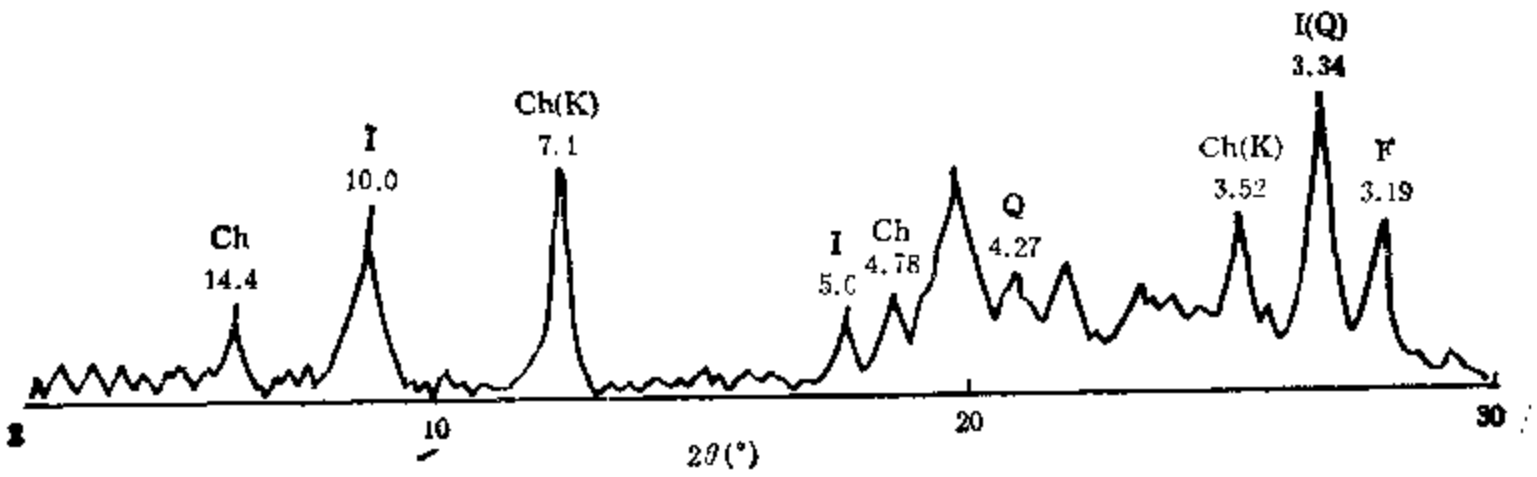


图 2-44　艾丁湖 26 号粘土样 X 射线衍射图

粘土矿物鉴定，实际鉴定资料如图 2-44 至图 2-49 所示。各湖沉积物中粘土矿物及相对百分含量见表 2-25 至表 2-27。

从图 2-44 至图 2-49 和表 2-25 至表 2-27 中可以看出，这些盐湖沉积物中粘土矿物以伊利石为主，其含量一般为 45—65%，次为绿泥石，其含量一般为 30—40%，含少量蒙脱石，存在高岭石和不规则混层矿物等。

蒙脱石的含量和分布，在艾丁湖和艾比湖两个沉积剖面中存在一些差异。在艾丁湖沉积剖面中，从底部第 15 层直到第 7 层(样品号 55—26)，蒙脱石的相对含量普遍较高，平均含量约 14%；而上部从第 6 层起到第 1 层(样品号 23—3)，蒙脱石的相对含量急剧减



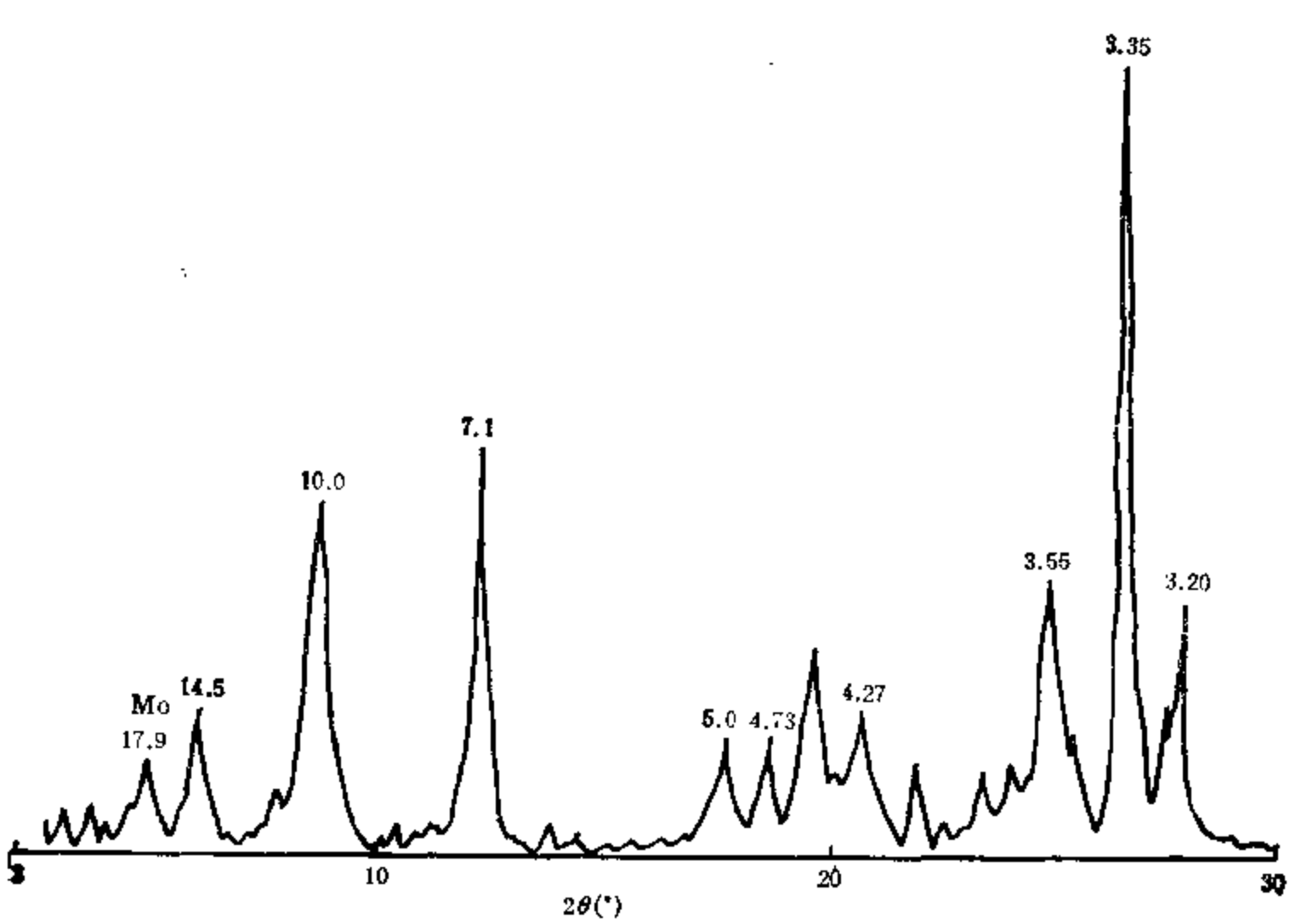
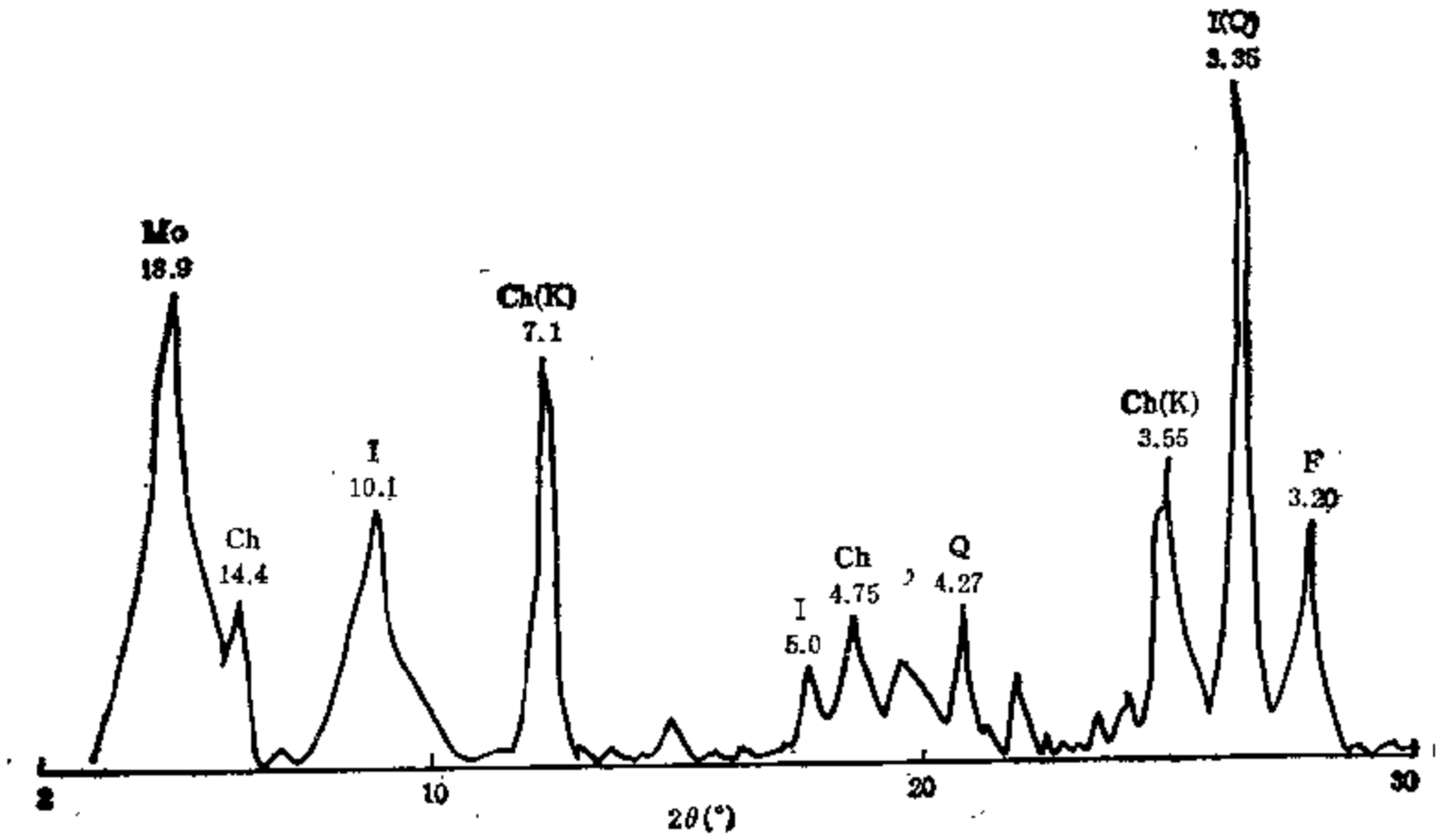


图 2-45(1)　艾丁湖某些粘土样 [3 号(上)和 21 号(下)样] X 射线衍射图

少，平均含量 <8%，且有的样品中未见到蒙脱石。蒙脱石含量明显变化的层位，恰好是该盐湖沉积过程中从未成盐阶段发展到成盐阶段的过渡层位。与此相对应的伊利石含量的变化趋势正好与蒙脱石相反，即上部成盐阶段中伊利石较多，相对百分含量平均 63%；下部未成盐阶段中伊利石较少，平均 50%。根据红外图谱中 3 700cm^{-1} 吸收带的存在与否及其形态和大小来判断，该剖面中普遍存在很少量的高岭石。只有该湖周围泥岩中，该吸收带明显呈勾状，表明高岭石含量较多。在艾比湖沉积剖面中，蒙脱石普遍存在，含量一般为 7—10%，且变化不大。

根据粘土矿物组合及含量多少，这些盐湖沉积物中粘土矿物有以下几种矿物组合：



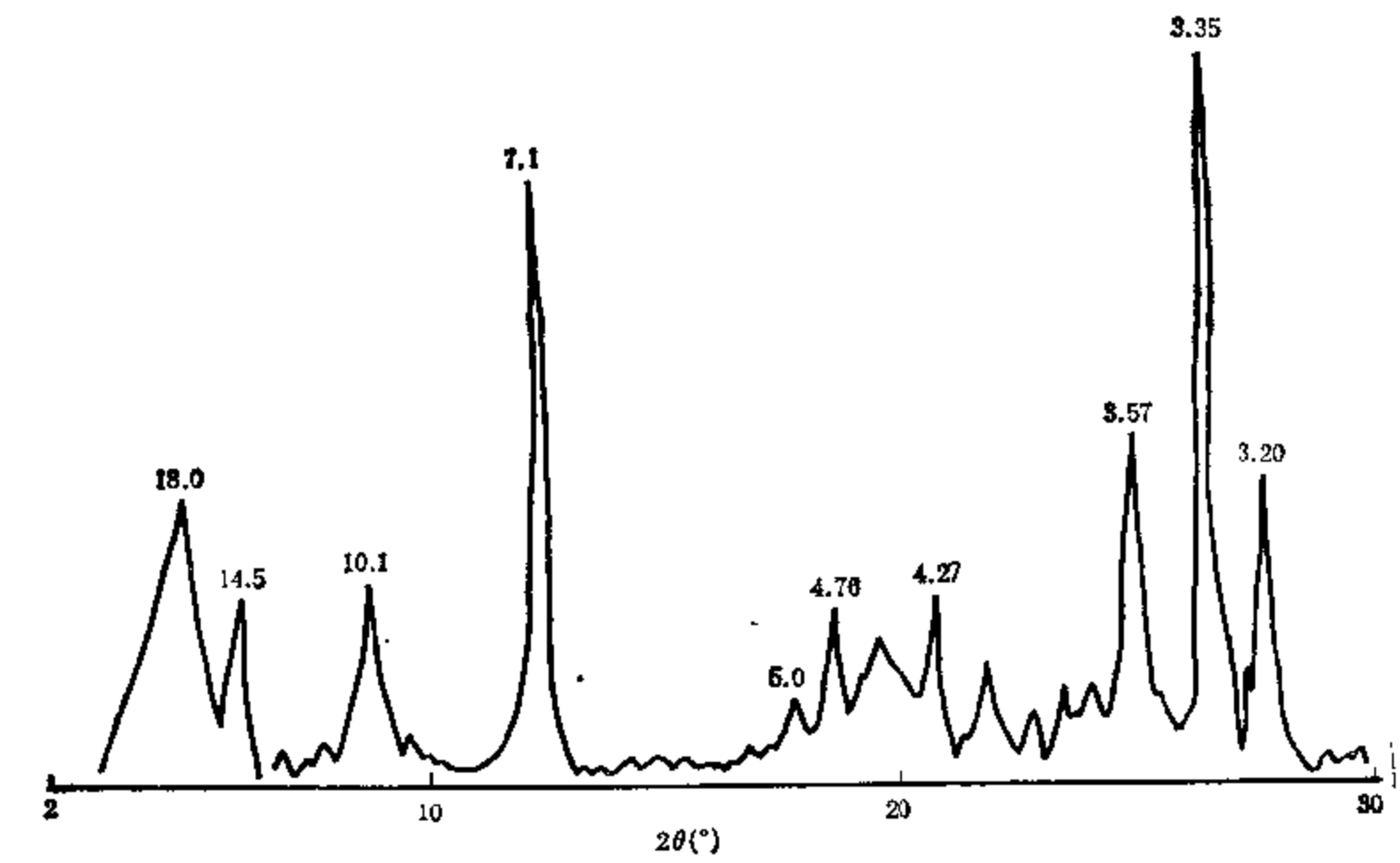


图 2-45(2)　艾丁湖某些粘土样 [38 号(上)和 55 号(下)样]
X 射线衍射图

①伊利石-绿泥石-蒙脱石-高岭石；②伊利石-绿泥石-高岭石；③伊利石-蒙脱石-绿泥石-高岭石；④伊利石-高岭石-绿泥石-蒙脱石；⑤绿泥石-伊利石-蒙脱石-高岭石等。这里没有考虑不规则混层矿物。其中①②组合分布最普遍，⑤组合偶见。

关于以上青海、西藏、内蒙古、新疆盐湖沉积物中，以及第五节一些咸水湖中粘土矿物

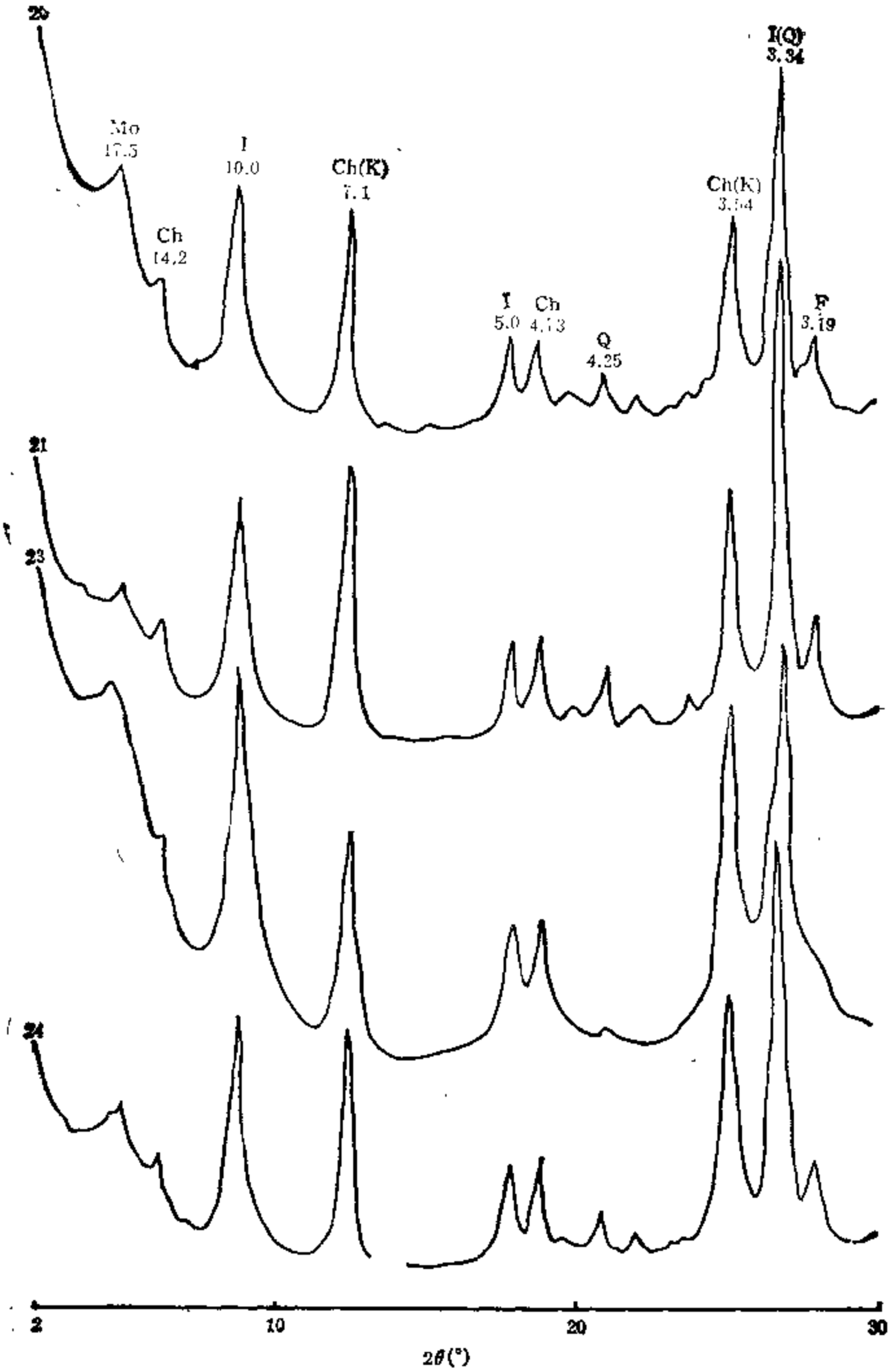


图 2-46(1)　艾比湖粘土样 X 射线衍射图

的鉴定方面，需要指出以下几点：

（1）在粘土样X射线衍射图谱上，由于高岭石的 7.1 Å 和 3.58 Å 峰与绿泥石的衍射峰相重叠，因此，高岭石的存在与否，以及含量多少，是根据红外图谱上 3 700cm^{-1} 吸收带

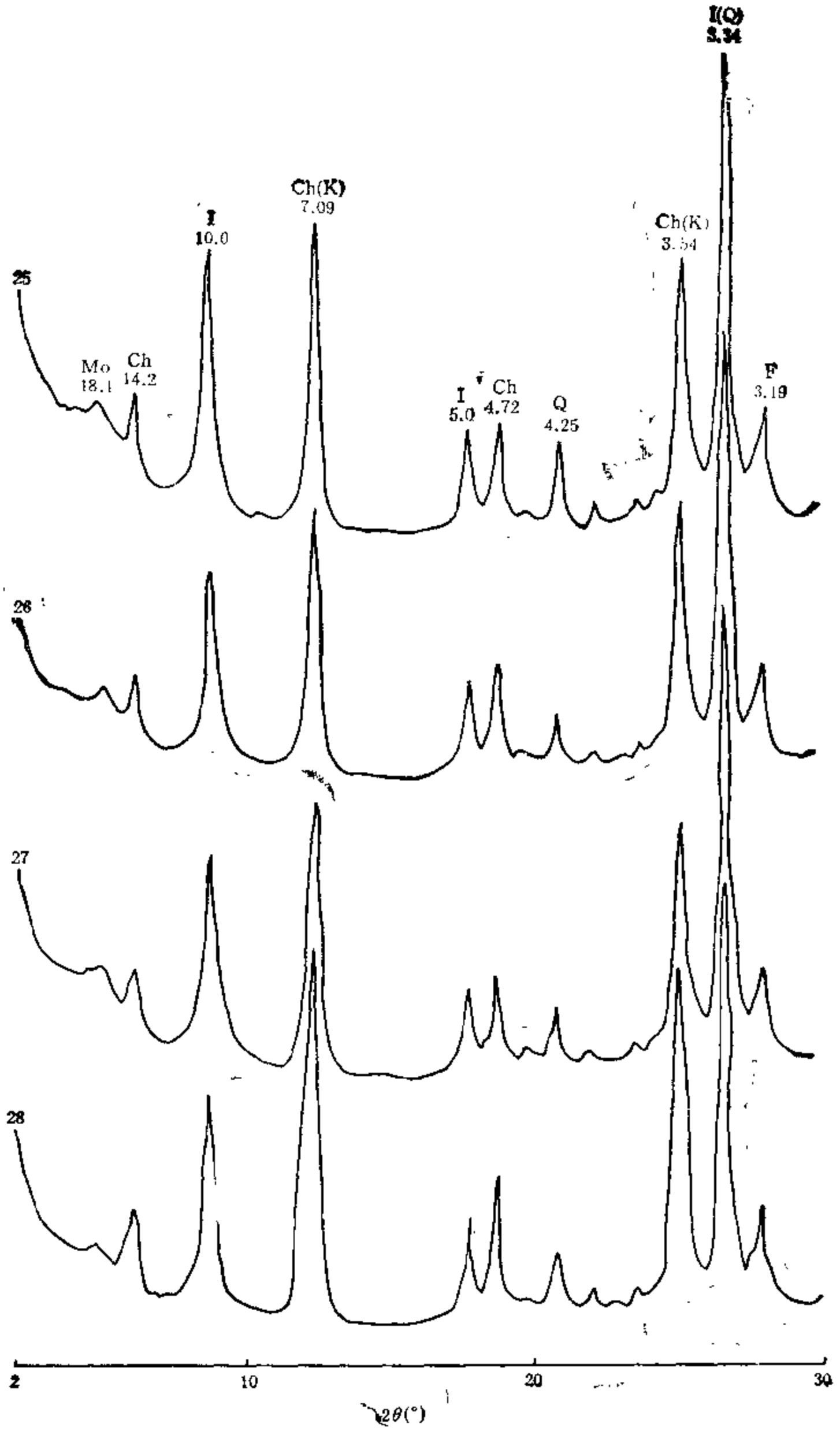


图 2-46(2)　艾比湖粘土样X射线衍射图

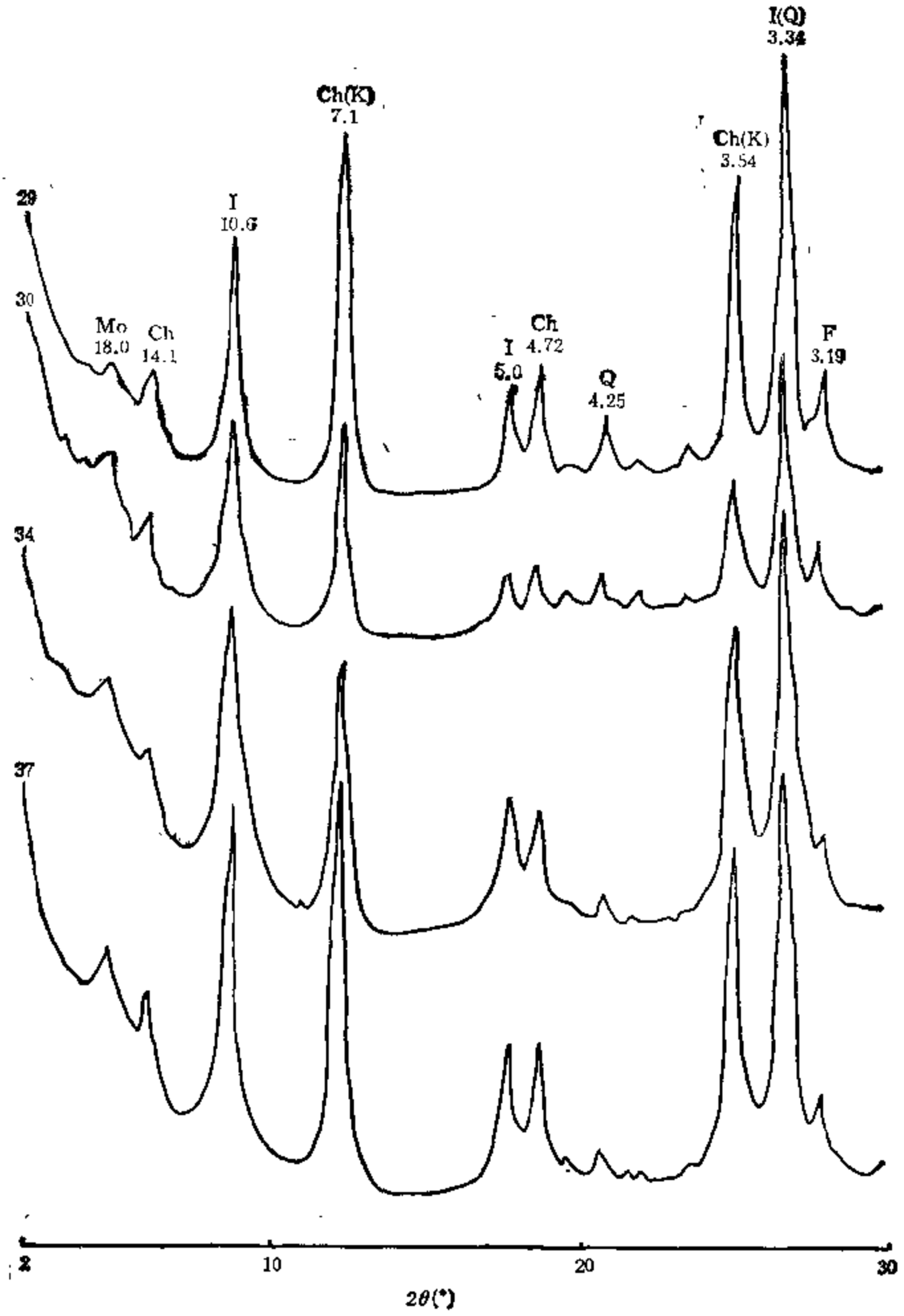


图 2-46(3)　艾比湖粘土样 X 射线衍射图

的存在与否，以及形态大小而决定的。限于条件，只做了少量样品的红外分析。从实际情况来看，应该认为我国盐湖沉积物中普遍存在高岭石，但含量很少。

(2) 不少粘土样中，甘油处理后的X射线衍射图谱上，蒙脱石的 17 Å 衍射峰低角度一侧明显不对称，这不对称的部分，作者确定为不规则混层矿物。只有少量样品标上了这类矿物的存在，如艾比湖中样品。但应该认为，含蒙脱石的许多样品中都存在少量不规则

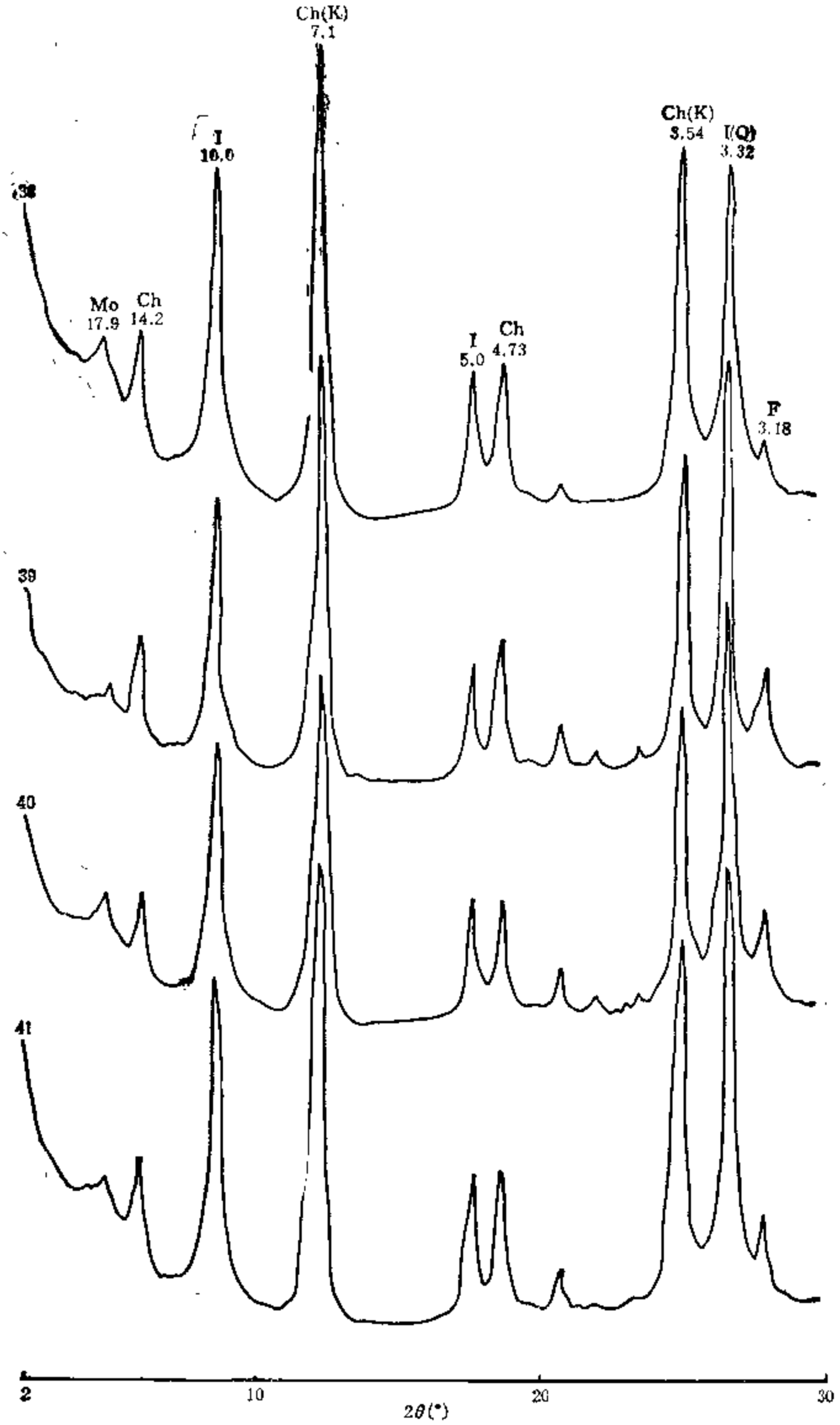


图 2-46(4)　艾比湖粘土样 X 射线衍射图

混层矿物。

(3) 本书未作任何说明的X射线衍射图，都是指用甘油饱和薄片做的。其实验条件

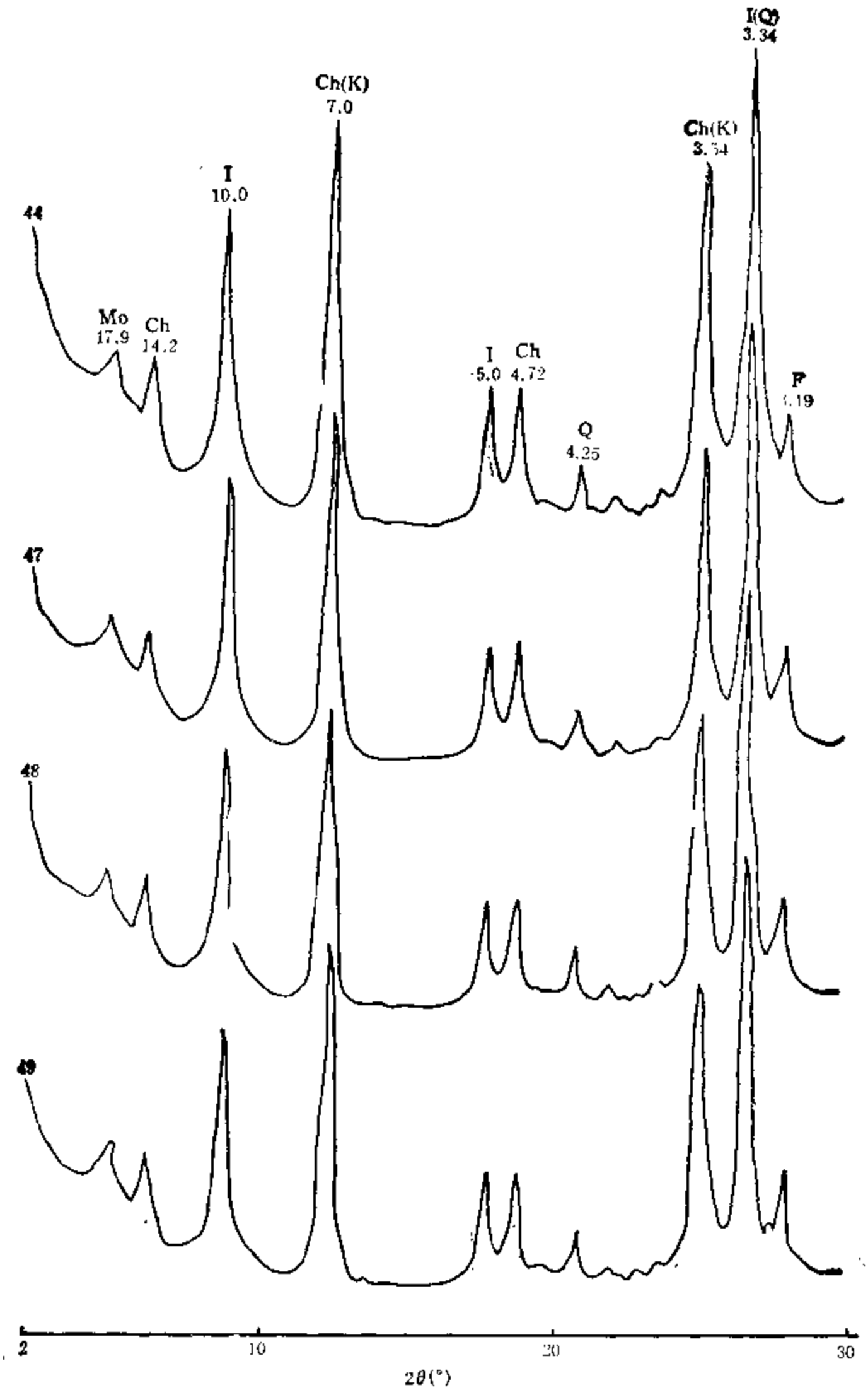


图 2-46(5)　艾比湖粘土样 X 射线衍射图

不尽相同，曾先后采用原苏联、中国、荷兰和日本等生产的X射线衍射仪，均使用铜靶。使用最多的是日本理学 D/max-IIIB 型X射线衍射仪。其条件通常是：40kV，30mA，4°/min，2θ 2°—30°。

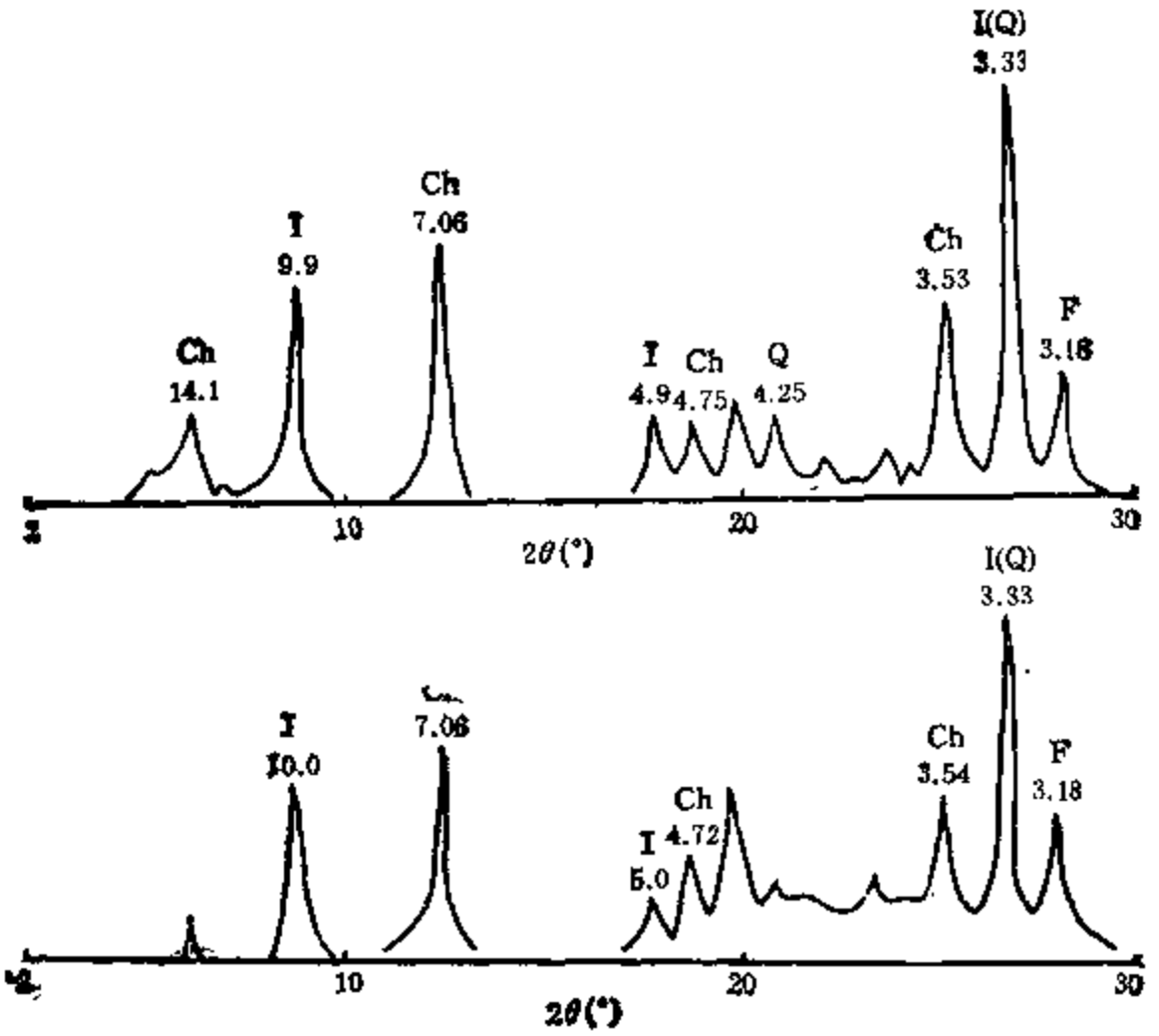
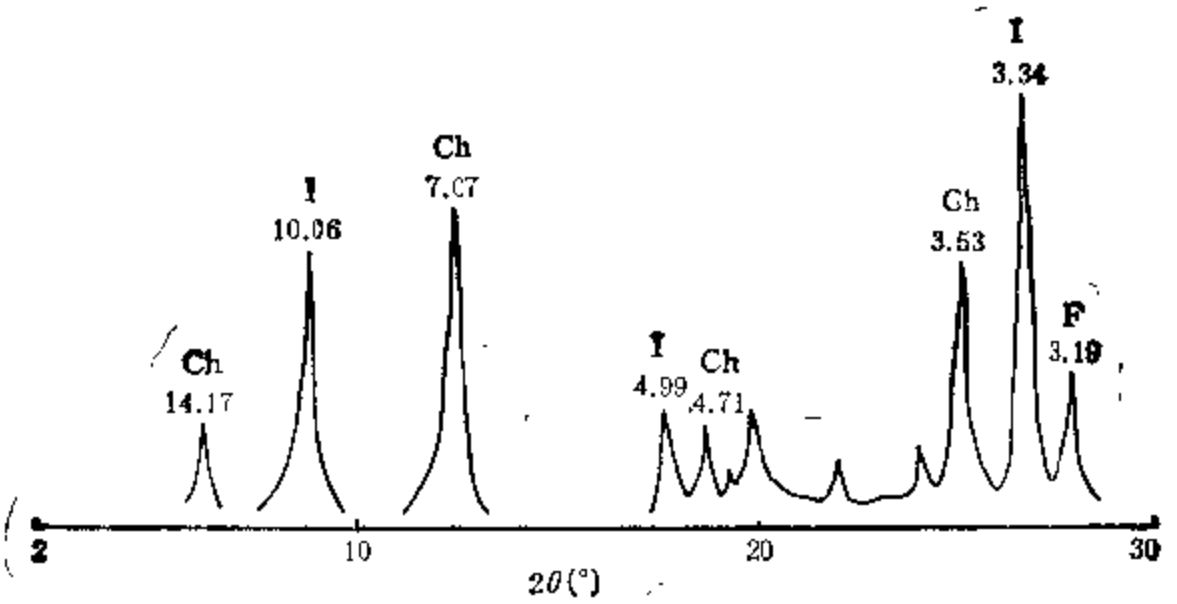


图 2-47(1)　巴里坤(上)和伊吾湖(下)粘土样 X 射线衍射图

表 2-25　艾丁湖沉积物中粘土矿物

沉积阶段	产　状	样　号	粘土矿物及相对百分含量(%)				绿泥石类型	
			高岭石	蒙脱石	伊利石	绿泥石	7Å/14Å (I/I)	类型
成盐阶段(包括含盐层)	钻孔样品	3	存在	—	64	36	2.3	镁铁
		8		8	60	32	1.8	镁
		10		—	66	34	>4	铁
		13		—	53	47	2.4	镁铁
		17	存在	—	63	37	3.8	镁铁
		21		5	63	32	2.4	镁铁
		23		7	64	29	2.3	镁铁
未成盐阶段		26	存在	14	73	13	(未算)	
		27		13	50	37	1.5	镁
		28		11	48	41	2.0	镁
		30		13	54	33	1.3	镁
		31		13	50	37	2.7	镁铁
		32	存在	18	51	31	2.3	镁铁
		36		13	52	35	3.4	镁铁
		38		19	46	35	2.6	镁铁
		41		18	43	39	3.0	镁铁
		48		12	49	39	1.4	镁
		55	存在	9	37	54	3.3	镁铁
	湖周样品	固-36 泥岩	较多	4	63	33	6.2	铁
				17	61	22	>4	铁
		泥岩		18	66	16	1.4	镁



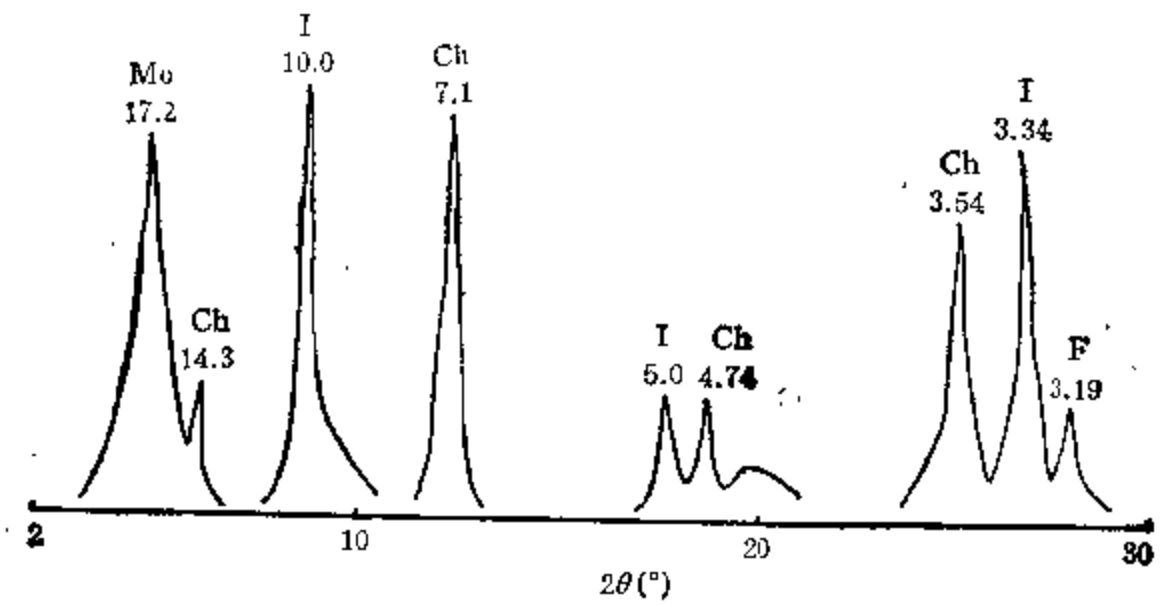


图 2-47(2)　七角井(上)和北沙窝(下)盐湖粘土样 X 射线衍射图

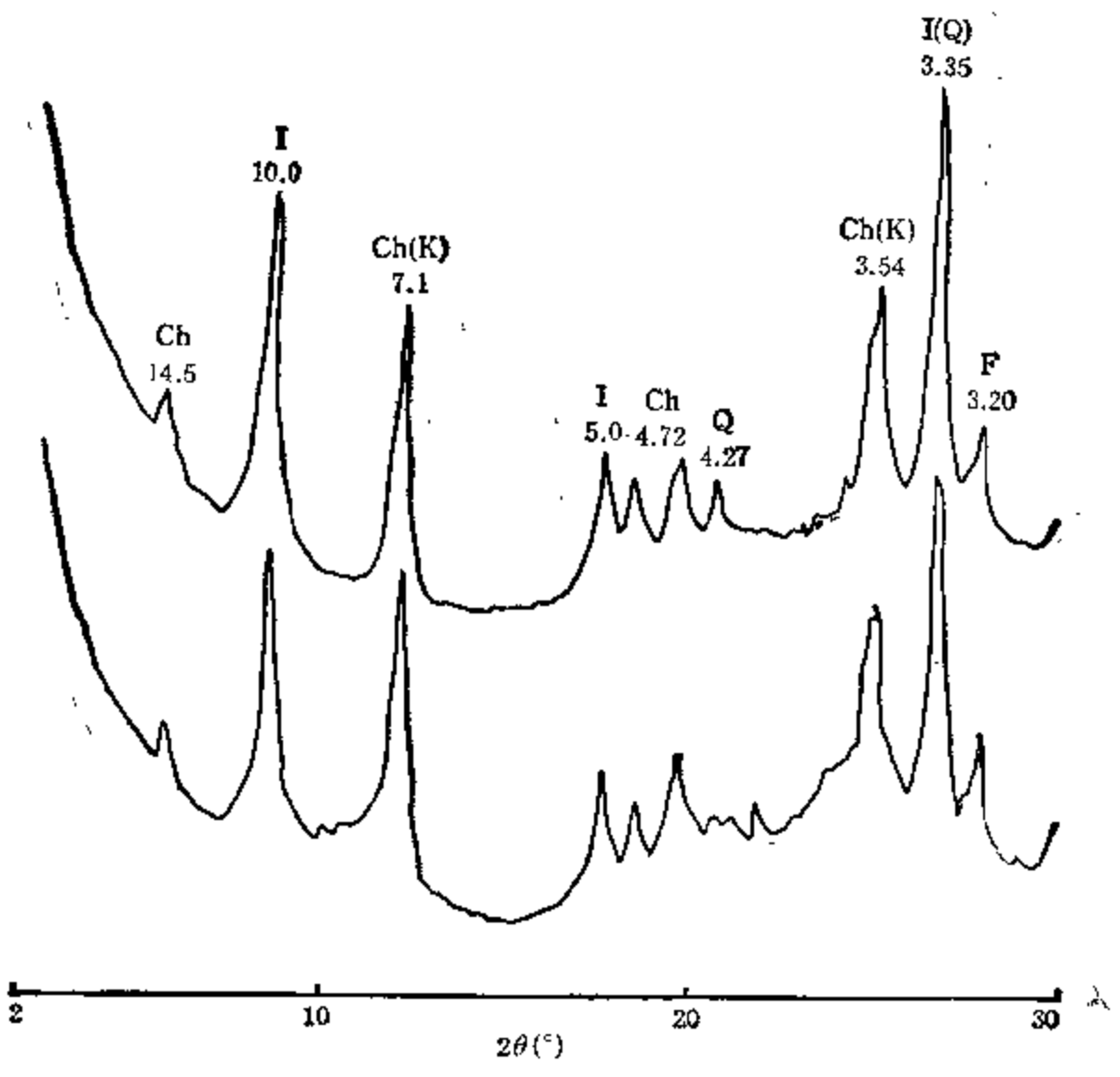


图 2-47(3)　乌尔喀什布拉克(上)和乌勇布拉克(下)盐湖粘土样 X 射线衍射图

表 2-26　艾比湖沉积物中粘土矿物

样品产状	层　序	样号	埋深 (m)	粘土矿物及相对百分含量(%)			绿泥石类型	
				蒙脱石	伊利石	绿泥石**	7Å/14Å (I/I)	类型
钻孔样品	2	20	2.05—2.25	15	58	27	1.3	镁
	3	21	2.45—2.65	9	58	33	2.0	镁
	4	23	3.05—3.40	15	64	21	1.1	镁
	5	24	4.35 - 4.45	10	60	30	2.0	镁
	6	25	4.90—5.10	8	60	32	2.1	镁铁
	7	26	5.40—5.50	6	58	38	2.3	镁铁
	8	27	6.58—6.78	7	57	36	2.3	镁铁
	9	28	7.08 - 7.28	存在	55	45	2.8	镁铁
	11	29	9.63 - 9.83	7	54	39	2.6	镁铁
	11	30	11.90—12.05	12	58	30	1.6	镁
	13	34	16.34—16.44	12*	61	27	1.4	镁
	15	37	18.97—19.12	9*	59	32	2.0	镁铁
	15	38	21.07—21.27	7*	56	37	2.3	镁铁
	16	39	21.57—21.72	5	54	40	2.7	镁铁
	17	40	23.28—23.53	7*	57	36	2.8	镁铁
	18	41	24.13—24.28	6	56	38	2.5	镁铁
	22	44	27.52—27.62	7*	60	33	1.9	镁
	27	47	31.54—31.74	7	57	36	2.4	镁铁
	28	48	34.34—34.44	8*	58	34	2.1	镁铁
	30	49	38.34—38.74	8*	56	36	2.4	镁铁
湖底盐滩	抽水泵站附近			6	65	29	4	镁铁
	老盐场			11	62	27	1.3	镁

* 含不规则混层矿物。

** 含少量高岭石。

表 2-27　巴里坤等湖沉积物中粘土矿物

湖　名	岩　性	样品产状	粘土矿物及相对百分含量(%)				绿泥石类型	
			高岭石	蒙脱石	伊利石	绿泥石	7Å/14Å (I/I)	类型
巴里坤	灰绿色粉砂		存在	—	62	38	2.9	镁铁
伊吾湖	黑灰色粉砂		存在	—	71	29	>4	铁
七角井	黑色粘土质粉砂		存在	—	63	37	3.1	镁铁
北沙窝	白灰色粉砂		存在	11	60	29	2.7	镁铁
乌尔喀什布拉克	土黄色粘土质粉砂	盐壳中土丘	存在	—	71	29	1.3	镁
乌勇布拉克	含粉砂石盐	表层盐壳	存在	—	68	32	1.6	镁

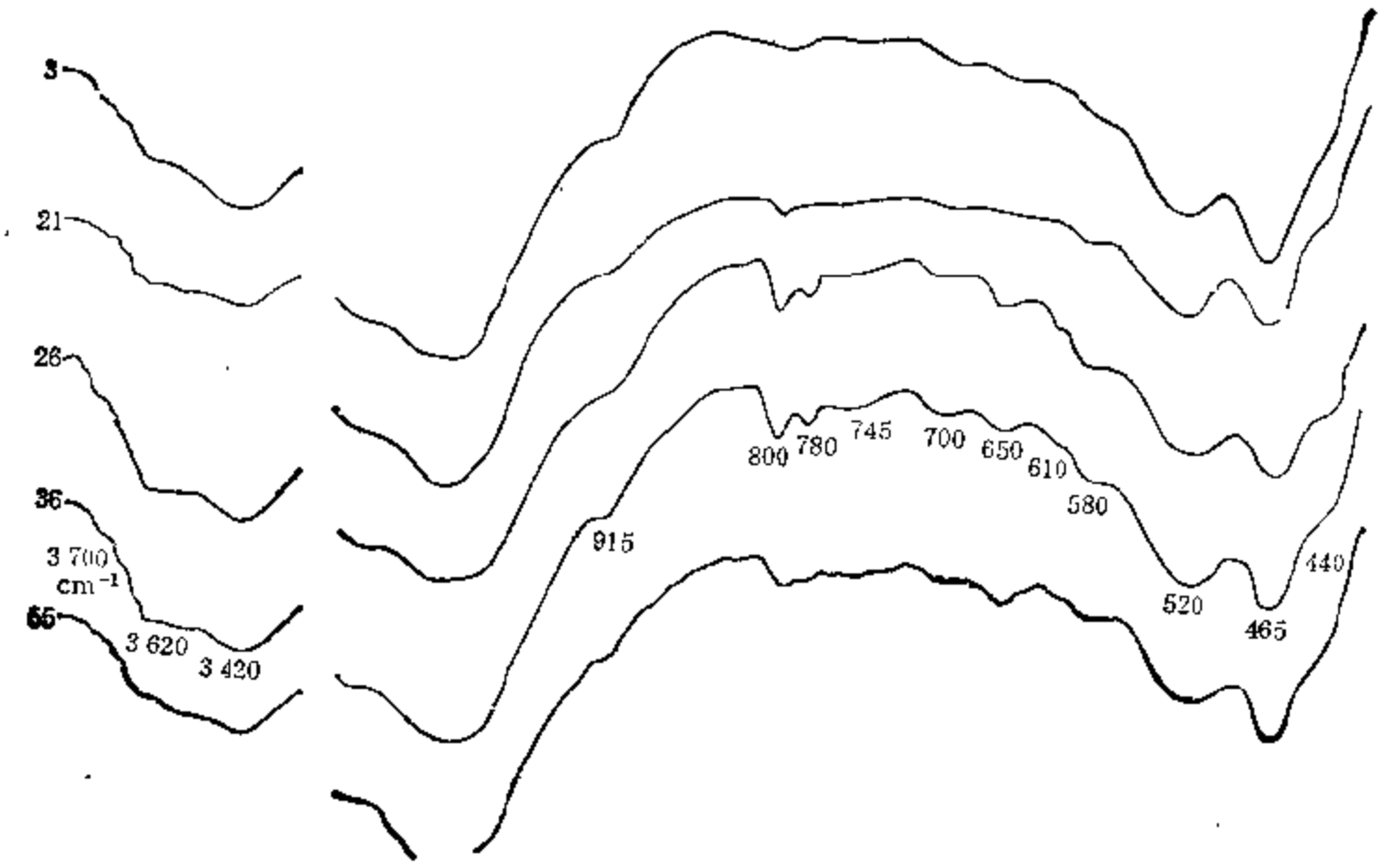


图 2-48　艾丁湖粘土样红外图谱

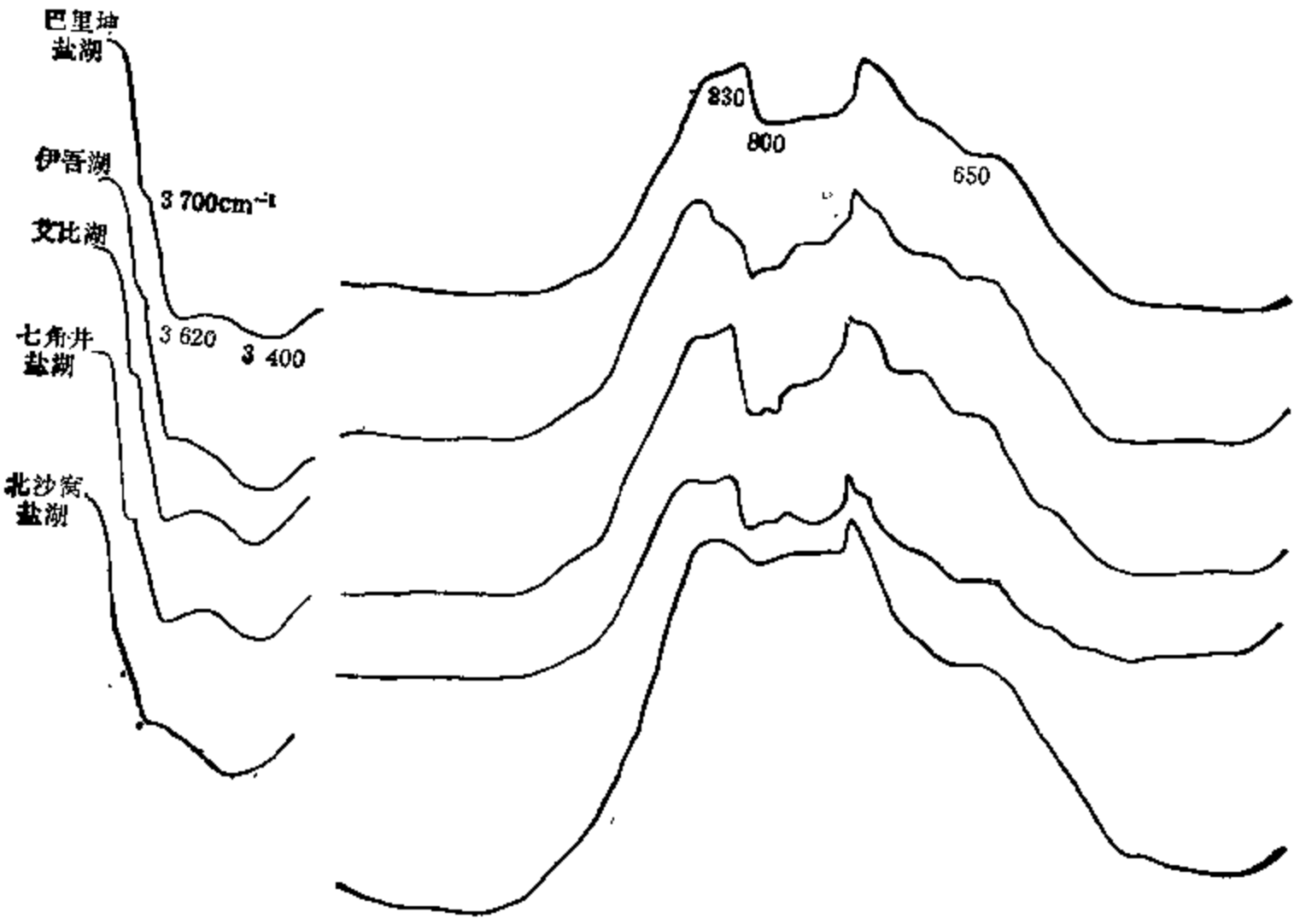


图 2-49　艾比湖等湖粘土样红外图谱

四、艾丁湖粘土的化学成分

以除去碳酸盐的 $<2\mu m$ 粘土样进行化学分析，其结果见表 2-28。粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 相对含量如图 2-50 所示。

表 2-28　艾丁湖粘土化学分析结果

样号	化学成分（%）							相对百分含量(%)			Al_2O_3/MgO
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O	
3	56.89	24.41	7.94	2.51	0.99	0.83	6.72	72	21	7	3.6
10	56.83	20.61	6.66	2.33	1.19	0.56	11.29	60	33	7	1.8
17	53.27	26.13	8.90	2.98	1.35	0.81	6.18	78	13	9	4.2
26	53.87	27.46	10.76	3.44	1.55	0.82	4.10	79	11	10	6.7
31	54.20	23.76	9.75	2.93	1.62	0.95	5.19	74	17	9	4.6
36	54.96	24.30	10.32	2.62	1.51	0.88	4.86	76	16	8	5.0
41	54.54	24.68	10.16	2.86	1.65	1.08	4.56	77	14	9	5.4
55	53.62	22.63	10.67	2.56	1.68	1.37	6.40	71	21	8	3.5
平均	54.65	24.25	9.39	2.78	1.44	0.91	6.16				

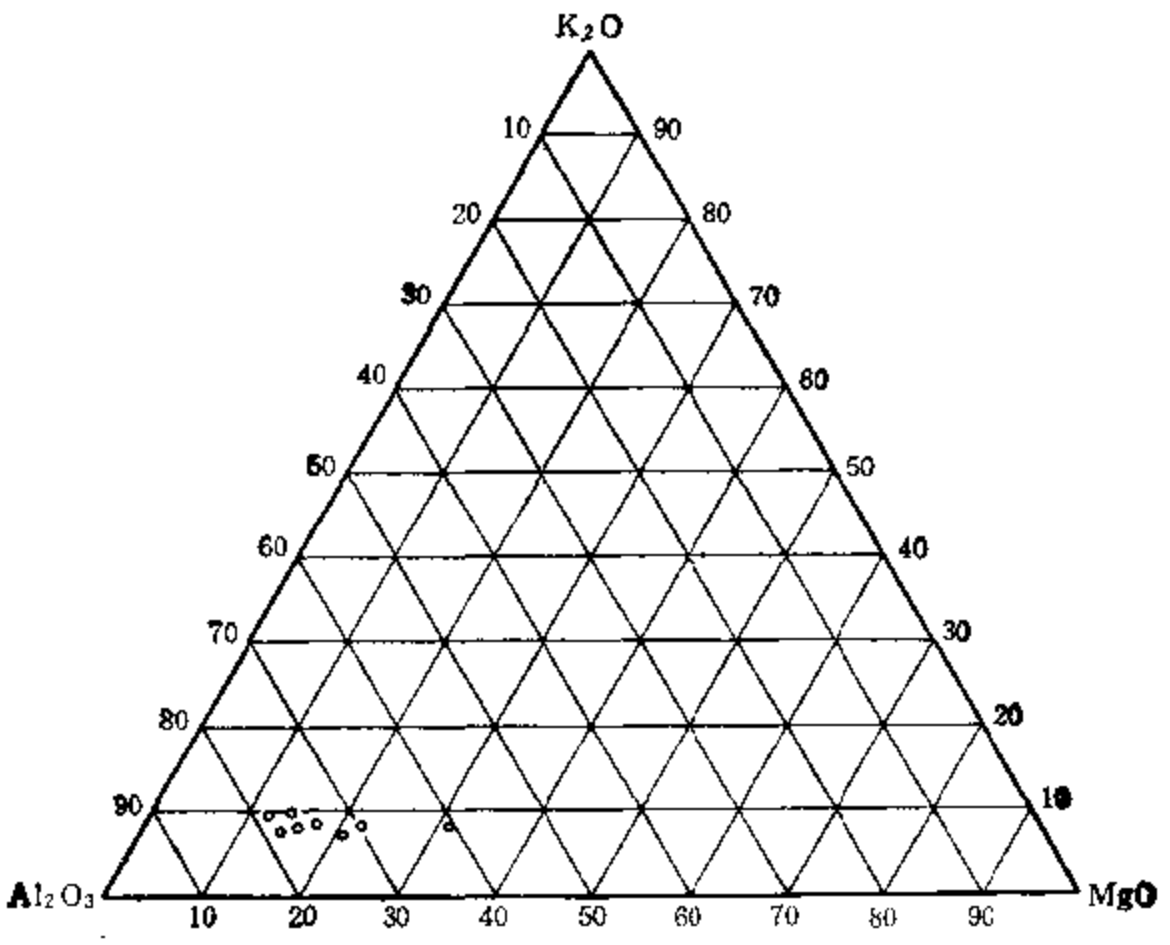


图 2-50　艾丁湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

从表 2-28 和图 2-50 中可以看出，该湖成盐阶段中粘土的 MgO 含量高于未成盐介段中粘土的 MgO 含量。与其它地区盐湖的粘土化学成分相比，明显少钾多镁。与其它成因类型的粘土相比，化学成分亦明显不同。

五、认识和讨论

1. 艾丁湖粘土与沉积环境

从艾丁湖粘土剖面变化图(图 2-51) 中可以看出，在该湖不同沉积阶段中，粘土矿物组成、含量及粘土的化学成分存在明显差异。具体说，在早期未成盐阶段中，蒙脱石普遍存在，且含量较多，粘土中 MgO 含量相对较少(平均 5%)，Al_2O_3/MgO 值较大(平均 5)；而在晚期成盐阶段中，蒙脱石含量明显减少，有些样品未见蒙脱石，粘土中 MgO 含量明

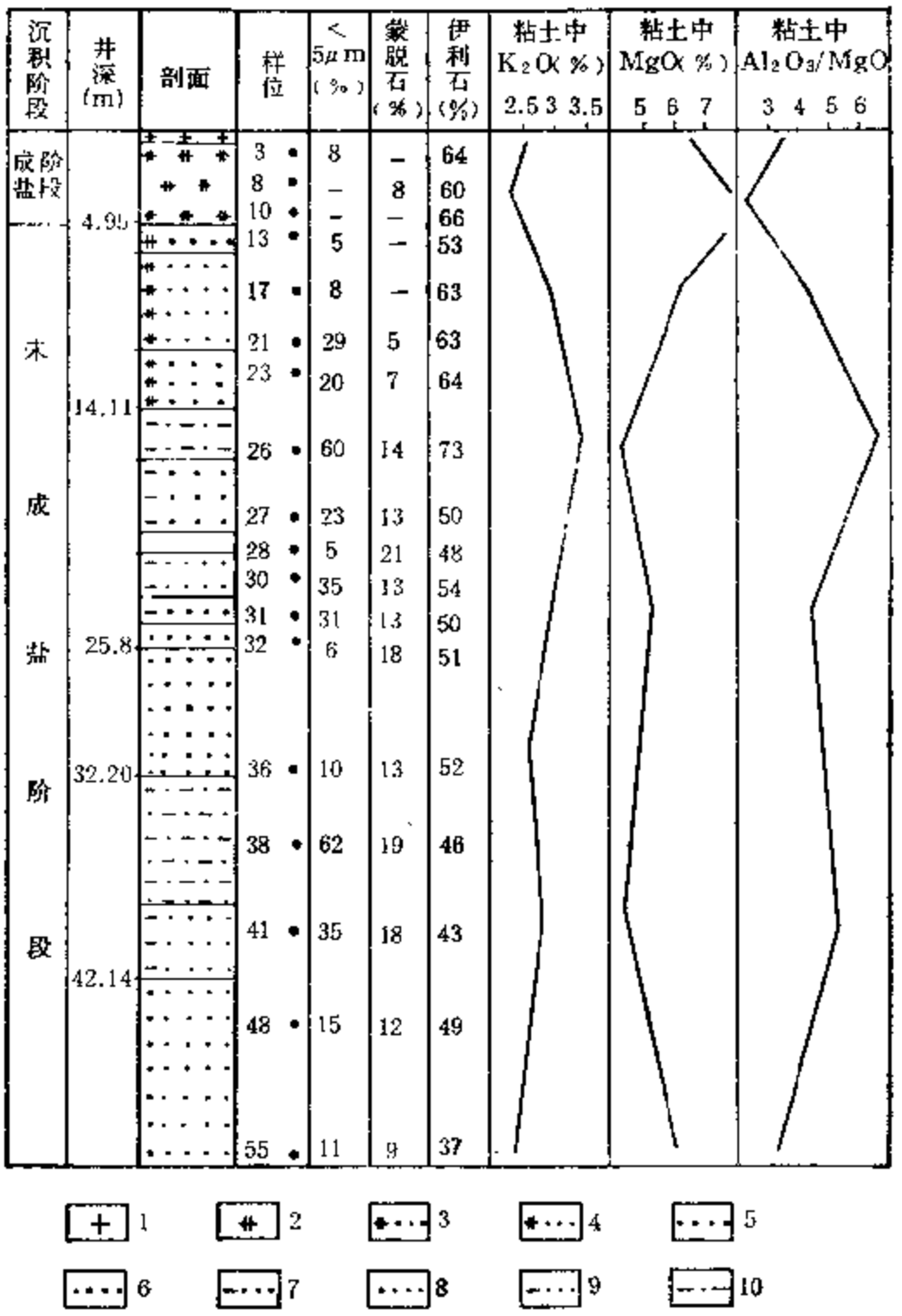


图 2-51　艾丁湖粘土剖面变化图

1.石盐壳　2.芒硝、钙芒硝、无水芒硝层　3.含芒硝砂层　4.含芒硝粉砂层
5.砂层　6.粉砂质砂层　7.粘土质砂层　8.砂质粉砂层　9.粘土质粉砂层
10.粉砂质粘土层

显增多(平均 8%)，Al_2O_3/MgO 值明显变小(平均 3.2)。以上资料，特别是粘土中 Al_2O_3/MgO 值在不同沉积阶段中的变化趋势，与其它地区一些盐湖(如内蒙古的查干诺尔湖和青海的察尔汗盐湖)中的情况相似，反映了沉积过程中的气候环境变化，即从未成盐阶段发展到成盐阶段，气候从相对温冷到急剧和持续的干旱。此外，从蒙脱石和伊利石的相对含量变化来看(表 2-25)，该湖进入成盐阶段后，其环境更趋于碱性。

2. 艾丁湖成盐阶段粘土中 MgO 含量高的原因

该湖粘土中 MgO 含量在成盐阶段中为什么明显高于未成盐阶段？从前面的粘土矿物资料来看，两个阶段中绿泥石类型相似，多数为镁铁绿泥石，成盐阶段白蒙脱石含量明显减少。该湖进入成盐阶段后，主要沉积了芒硝、钙芒硝和石盐等盐类矿物，镁势必在卤水中相对富集起来。综合这些情况来看，成盐阶段中粘土的 MgO 含量明显增多，主要是由于粘土吸附作用所致。

第五节　盐湖地区咸水湖和土壤中的粘土矿物

我们在 1976 和 1978 年西藏盐湖考察中，曾对该地区一些咸水湖中粘土矿物做过一定工作。作者于 1985—1987 年对青海湖沉积物中粘土矿物进行了较系统的研究。对盐湖地区某些土壤中粘土矿物也曾零星地做了一点工作。为了更深入了解盐湖粘土矿物基本特征，以及盐湖粘土矿物与盐湖周围地质体中粘土矿物之间的关系，现将这些资料分别叙述于后。

一、西藏一些咸水湖沉积物中粘土矿物

各湖沉积物中粘土样均是通过 X 射线粉末衍射鉴定的，仅纳卡错粘土样配合了红外图谱分析。矿物鉴定资料如图 2-52 和图 2-53 所示。各湖基本概况及矿物鉴定结果见表 2-29，某些咸水湖粘土化学成分见表 2-30。

表 2-29　西藏某些咸水湖基本概况及粘土矿物鉴定结果

顺序	湖　名	地理坐标		湖面高程(m)	湖水面积(km^2)	pH	总盐量(g/L)	湖泊水化学类型	<2μm(%)	矿物组合
		东经	北纬							
1	扎日南木错	85°30′	31°46′	4 613	1 000	9.8	11.638	硫酸钠亚型	27	伊利石，绿泥石
2	甲热布错	87°46′	32°13′		35	9.75	14.779	碳酸盐型	10	伊利石，绿泥石
3	达则错	87°30′	31°55′	4 461	252	9.85	33.743	碳酸盐型	2.5	伊利石，绿泥石，蒙脱石
4	赛布错	88°15′	30°59′	4 516	64	9.45	15.108	碳酸盐型	24	伊利石，绿泥石
5	色林错	88°59′	31°50′	4 530	1 865	9.20	20.854	碳酸盐型	5	伊利石，绿泥石
6	尕错	86°45′	31°45′		2	9.5	9.911	碳酸盐型	—	伊利石，绿泥石
7	纳卡错	89°45′	31°52′	4 534	16	9.2	2.198	碳酸盐型	45.7	伊利石，绿泥石，高岭石，蒙脱石
8	色哇东错	90°12′	31°50′		1.5	9.3	23.550	硫酸钠亚型	18.7	伊利石，绿泥石
9	错那	91°30′	32°02′	4 596	100	9.1	34.024	碳酸盐型	8	伊利石，绿泥石
10	物玛错	83°14′	32°30′		2	9.26	13.301	硫酸钠亚型	17	伊利石，绿泥石
11	吓嗄错	83°47′	32°20′		12	9.60	24.436	碳酸盐型	—	伊利石，绿泥石

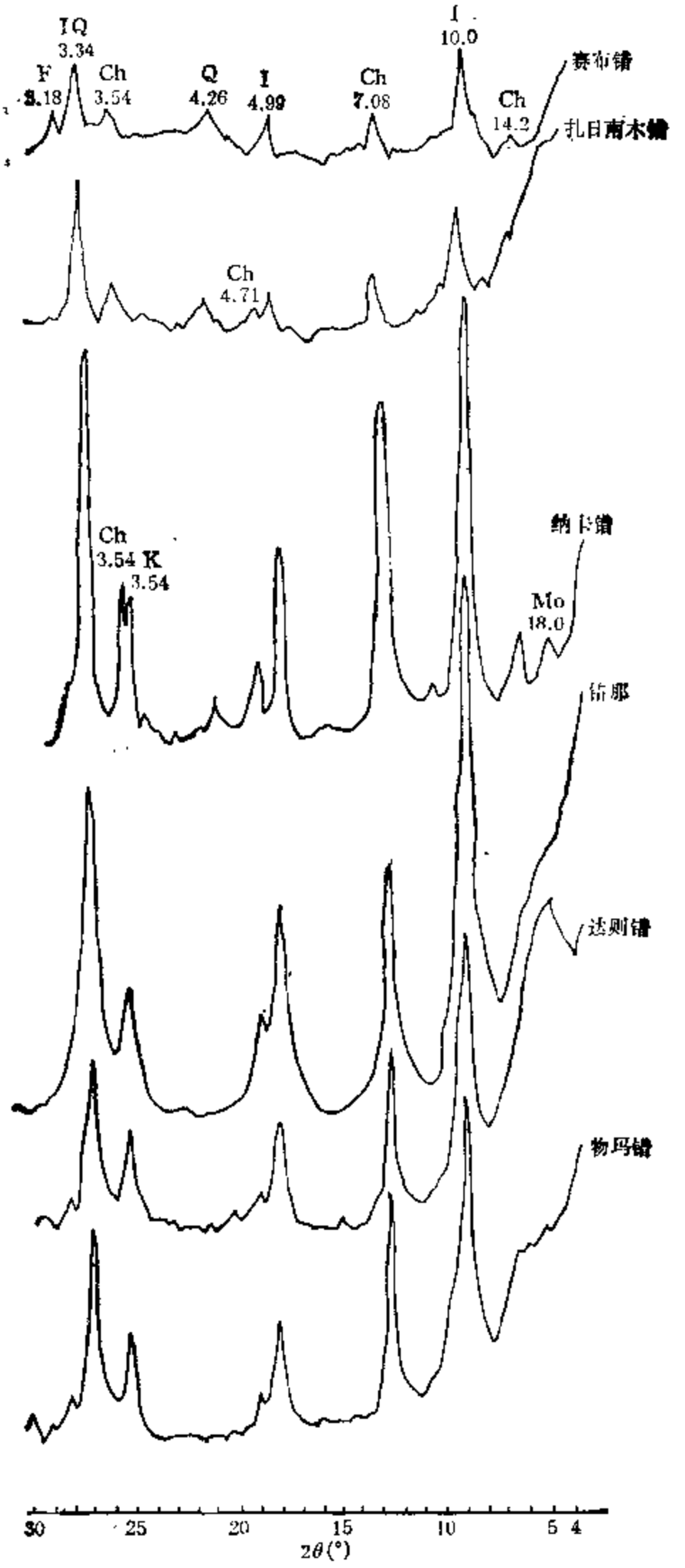


图 2-52(1) 西藏某些咸水湖粘土样 X 射线衍射图

从以上图表中可以看出，西藏咸水湖中粘土矿物组合及粘土的化学成分，与该地区盐湖中粘土矿物组合和粘土的化学成分相似，即以伊利石为主，次为绿泥石，含少量蒙脱石

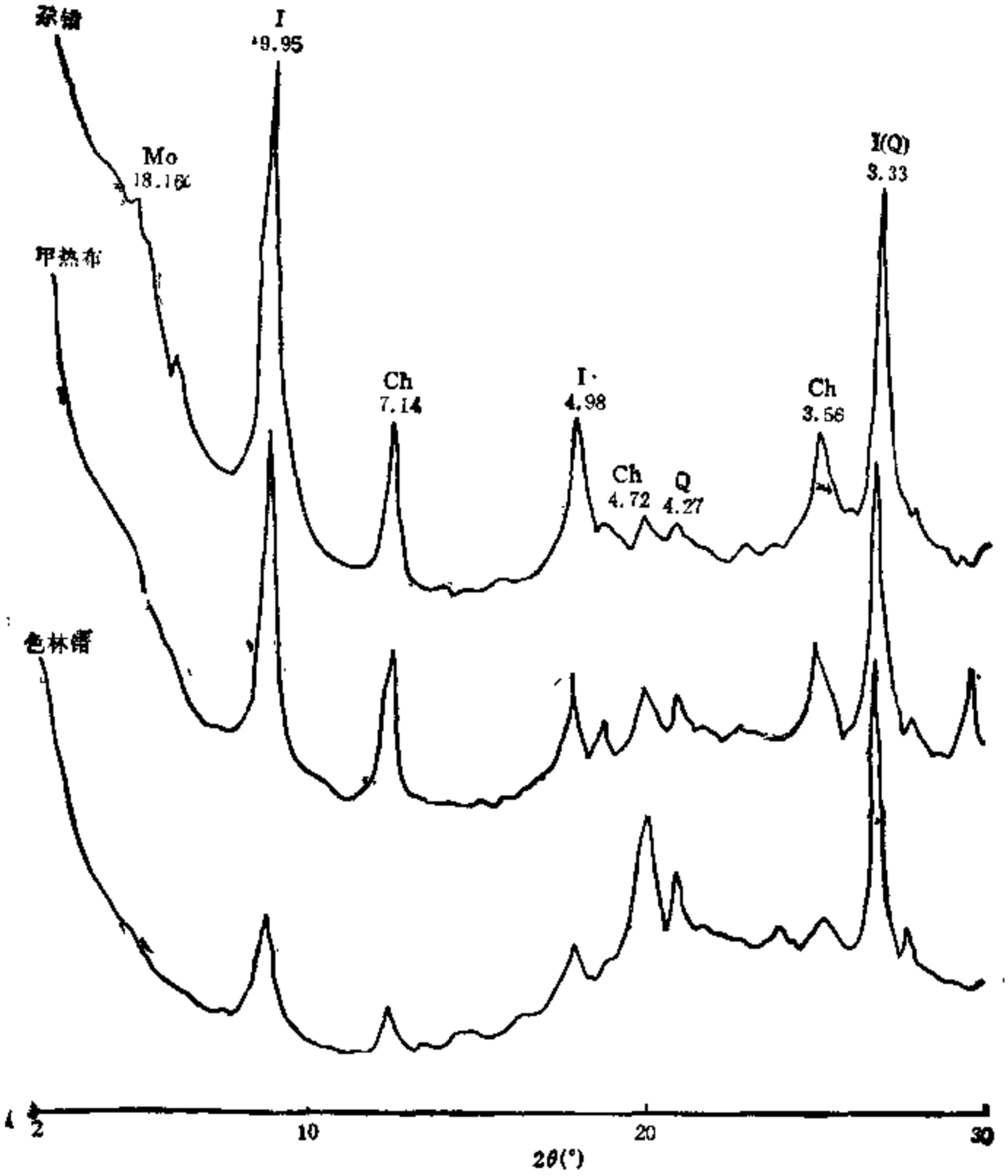


图 2-52(2)　西藏某些咸水湖粘土样 X 射线衍射图

表 2-30　西藏某些咸水湖粘土化学成分

湖　名	化　学　成　分　(%)							相对百分含量(%)		
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
赛布错	52.50	19.51	3.99	4.53	1.10	0.51	5.44	67	18	15
色林错	54.01	21.26	7.42	6.35	1.05	0.77	3.01	70	9	21
达则错	50.48	16.39	8.66	3.47	1.63	0.69	9.40	60	28	12

和高岭石等，粘土的化学成分相对富镁，明显不同于其它成因类型粘土化学成分特征。

此外，纳卡错粘土样的 X 射线衍射图上，明显地出现了 3.5 Å 双峰，在红外图谱上，

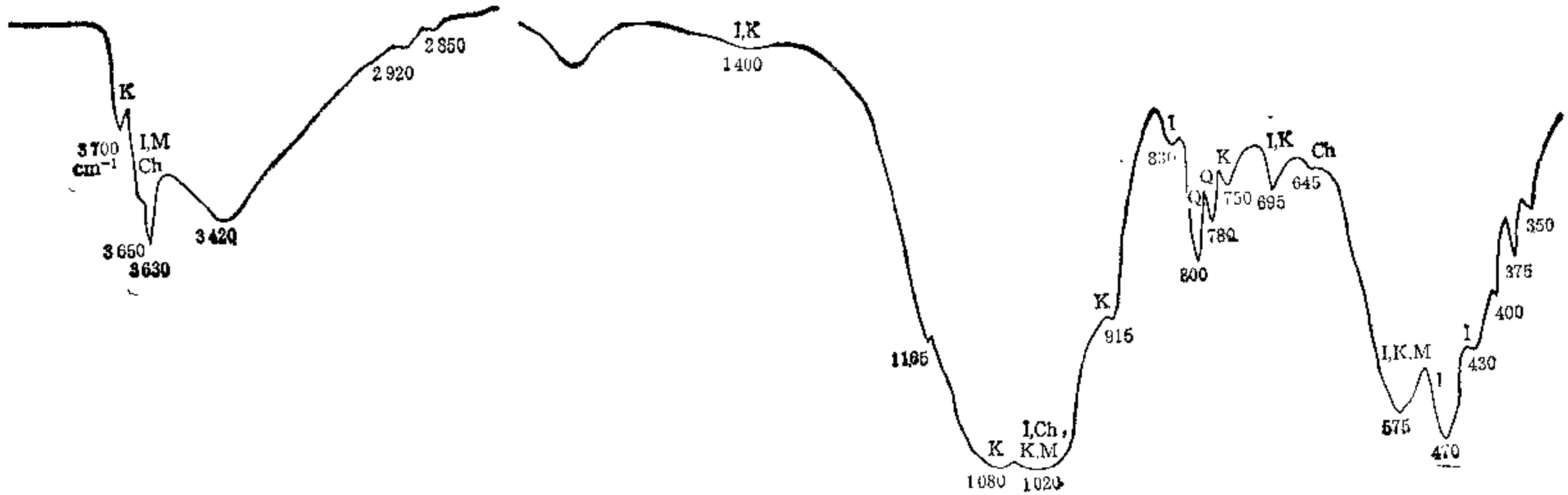


图 2-53　纳卡错粘土样红外谱图

3 700cm^{-1} 吸收带明显呈"勾"状，表明有较多的高岭石。藏北高原的气候极为干寒，而高岭石代表湿热气候带的产物，因此，较多的高岭石的形成可能与古气候有关。

二、青海湖沉积物中粘土矿物

青海湖是我国最大的内陆高原微咸水湖，它位于东经 99°36′—100°47′，北纬 36°32′—37°15′。湖面积 4 636km^2，湖面海拔 3 196m，水深最大 28.70m，平均 19.15m，湖水含盐量 12.49g/L。湖区为大通山、日月山、青海南山所环绕。

前人曾对该湖进行过较系统的多学科的综合考察，对该湖沉积物中粘土矿物亦做过相当多的工作(中国科学院兰州地质研究所等，1979)。

作者先后对青海湖西岸哈达滩和南岸二郎尖(1985 年)、二郎尖深孔(1986 年)、湖内的 14 孔(1985 年)等沉积物和湖周某些土壤共计 97 个样品，进行了粒度组成和粘土矿物分析，获得了一些新资料，各样品位置如图 2-54 所示。现按以下几方面分别叙述。

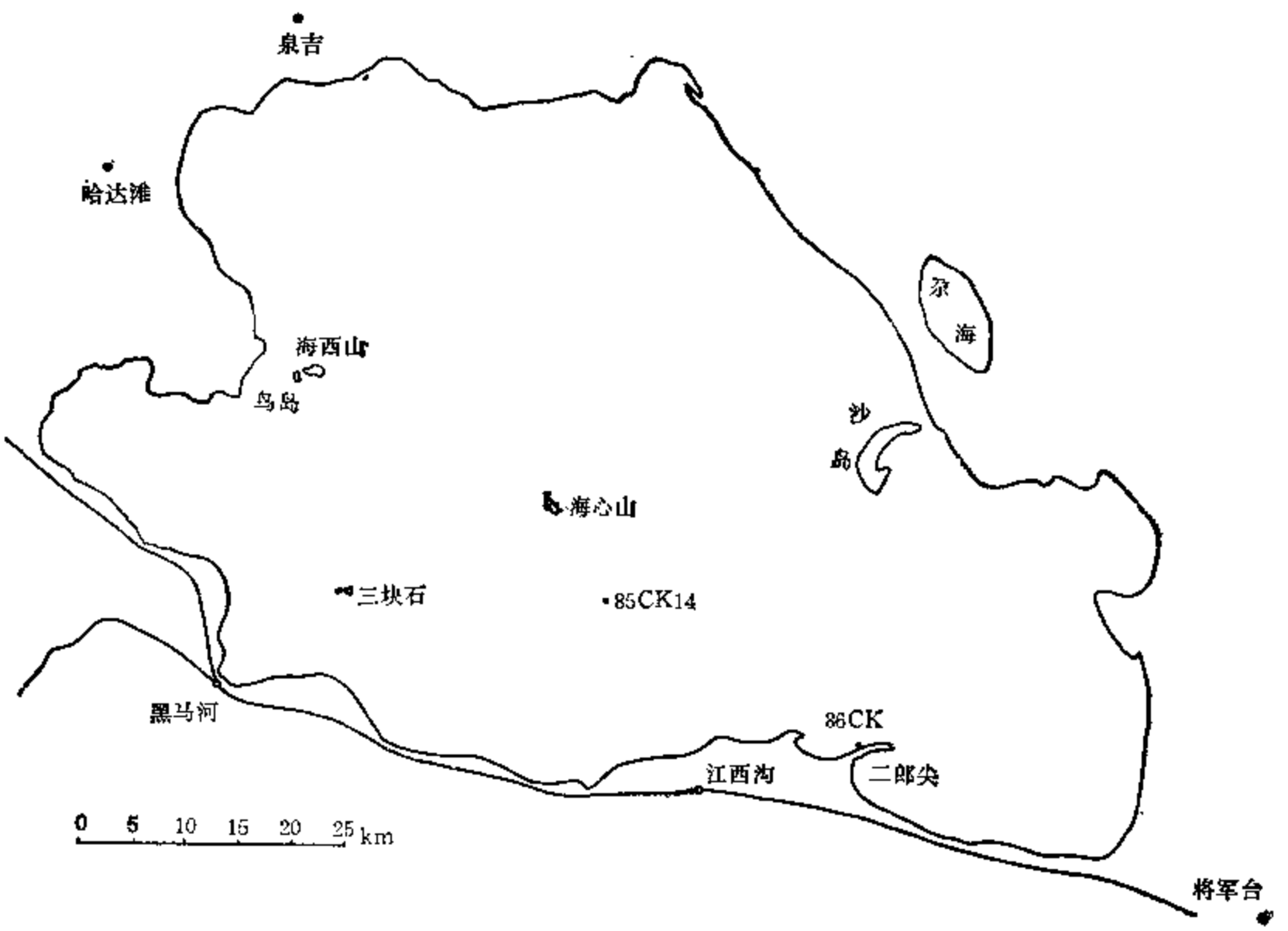


图 2-54 青海湖样品分布

1. 沉积剖面岩性和样品分布

(1) 85-14 孔沉积剖面(图 2-55)

该钻孔位于湖内，其剖面岩性自湖底往下可分 4 层：

1.灰绿色粘土质粉砂层。岩性较均一，薄层理发育，单层厚一般 2 — 3 mm，整层普遍含有少量

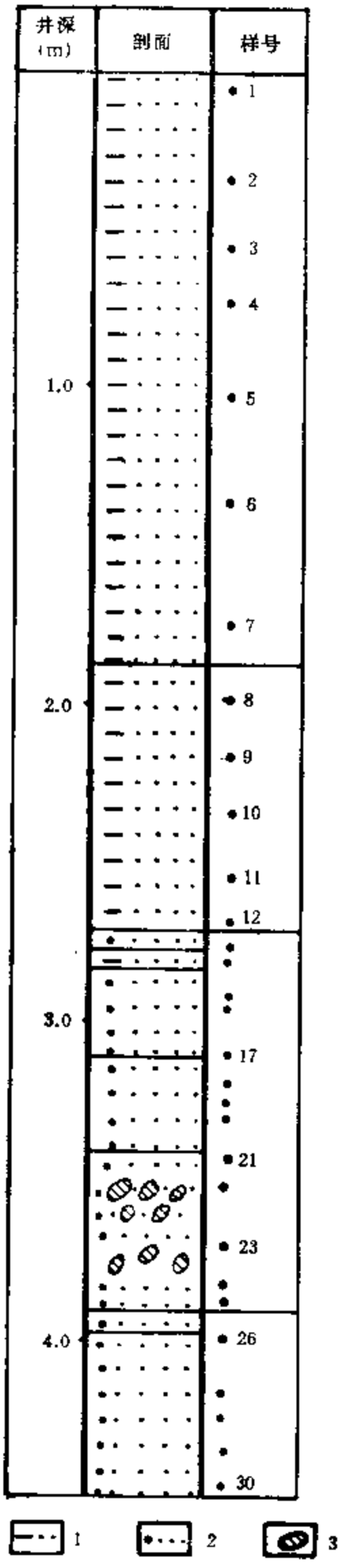


图 2-55　青海湖 85-14 孔沉积剖面和样品分布

1.粘土质粉砂层　2.砂质粉砂层
3.钙质结核

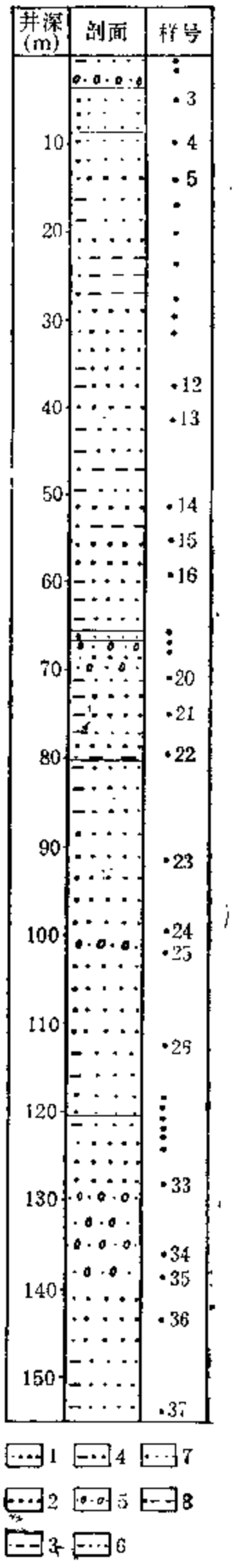


图 2-56　青海湖 86 深孔沉积剖面和样品分布

1.粉砂质砂　2.细砂　3.粉砂质粘土　4.粘土质砂
5.砂砾　6.粘土质粉砂　7.砂质粉砂　8.砂质粘土

介形类，个别层位含有深褐色丝状、纤维状藻类，埋深湖底—1.90m。

2.褐灰色粘土质粉砂层。略呈褐色的灰绿色调，薄层理发育，单层厚一般2—3 mm，埋深1.90—2.90m。

3.棕褐色条带状砂质粉砂和粘土质粉砂层。深浅不同的棕褐色相间成清晰的条带状构造，每一条带宽约3—5 mm，少数宽达10mm，薄层理发育，单层厚一般1—2 mm，介形类很丰富，含钙质结核，埋深2.90—3.90m。

4.灰绿色粘土质粉砂层为主，夹粉砂层，埋深3.90—4.48m。

各样品分布及埋深见表2-32。

(2) 86二郎尖深孔剖面和样品分布(图2-56)

该孔位于湖南岸二郎尖。其剖面岩性经过反复观察和室内工作，自地表往下可分20层：

1.黄绿色粘土质粉砂层。具层理，含植物根，埋深地表—1.25m。

2.砂砾层，埋深1.25—3.50m。

3.黑色砂质粉砂层。具黑灰相间条带，一般具微层理，具硫化物，局部含植物根，底部呈黄绿色、灰色，埋深3.50—9.02m。

4.黄绿色砂质粉砂层。致密，埋深9.02—12.6m。

5.灰色为主的粘土质粉砂和粉砂质砂层。含植物根和介形类，具层理，埋深12.6—14.94m。

6.灰色粘土质粉砂层。含薄层细砂，具微层理，局部含植物碎片，埋深14.94—20.82m。

7.灰黄色粉砂质粘土层。局部见硫化物条带，普遍具微层理，偶见螺壳，埋深20.82—28.42m。

8.土黄色粉砂质或粘土质砂层为主，一般具微层理，局部见小贝壳和植物根，埋深28.42—40.36m。

9.褐色粘土质粉砂层。含螺壳，局部见弱微层理，埋深40.36—42.06m。

10.褐色粘土质粉砂层。局部具硫化物，含钙质结核和植物根，埋深42.06—46.66m。

11.灰色粉砂质粘土、粘土质粉砂、细砂互层。偶见硫化物，局部具微层理或条带，埋深46.66—51.81m。

12.土黄色粉砂质砂层，埋深51.81—56.47m。

13.土黄色粉砂层，埋深56.47—57.37m。

14.灰色粘土质粉砂层。局部有不规则条带，含钙质结核，夹薄层细砂，埋深57.37—65.72m。

15.砂砾层为主。上部为黑色砂质粉砂，局部具黑色条带，埋深65.72—70.18m。

16.岩性依次为灰色粘土质粉砂，灰绿色粘土质砂，黄绿色粘土质粉砂，灰黄色粉砂质粘土层。局部具杂色条带，含砾石、贝壳碎片，埋深70.18—80.17m。

17.土黄色粘土质或砂质粉砂层。具多层砂砾或细砂薄夹层，多处含钙质结核，埋深80.17—119.33m。

18.细砂层为主，上部为砂质和粘土质粉砂，呈黄绿色、棕褐色，具微层理，含小贝壳，埋深119.33—127.50m。

19.砂砾层。夹数层土黄色粘土质粉砂薄层，埋深127.50—139.82m。

20.土黄色粘土质粉砂层为主，上部较粗，局部含砾石、钙质结核，埋深139.82—155.16m。

总之，该剖面沉积物自上往下，有由细(粘土质粉砂或砂质粉砂)到粗(砂砾或细砂)几次旋回性沉积；井深约80m以上的沉积物一般具微层理，80m以下除119—121m井段具微层理外，其余井段未见到微层理；80m以上的岩性多呈灰黑色，灰色色调，80m以下岩性多呈土黄色，即以黄褐色、红褐色为主要色调，钙质结核较为散布。前人把80m以下的这套沉积物称为类共和黄土(中国科学院兰州地质研究所等，1979)。

表 2-31　二郎尖、哈达滩和湖周土样概况

哈达滩剖面			二郎尖剖面			湖周土壤	
样号	埋深(m)	岩性	样号	埋深(m)	岩性	样号	位置与埋深（m）
I	0.30	土壤	1	0.20	土壤	1	江西沟 0.3m
H	0.91	浅砖红色粉砂质砂	2	0.40	土壤	2	江西沟 0.8m
G	1.21	黄色细砂	3	0.60	土壤	3	江西沟 1.0m
F	1.41	土黄色粉砂质砂	4	0.80	土壤	4	江西沟 1.2m
E	1.56	浅黄色细砂	6	1.20	土壤	5	泉吉 101km(路碑)处,底部
D	1.95	浅黄绿色粉砂质砂	O	3.30	细砂	6	泉吉 101km 处,中部
C	2.30	土黄色砂质粉砂	N	4.00	细砂	7	倒淌河 116km (路牌)处
B	2.41	黄绿、灰绿色细砂	M	5.10	粉砂质砂	8	龙羊峡
A	2.78	浅砖红色砂质粉砂	L	6.80	砂质粉砂	9	将军台
			K	7.40	砂质粉砂	10	园者寺
			J	8.20	砂质粉砂		

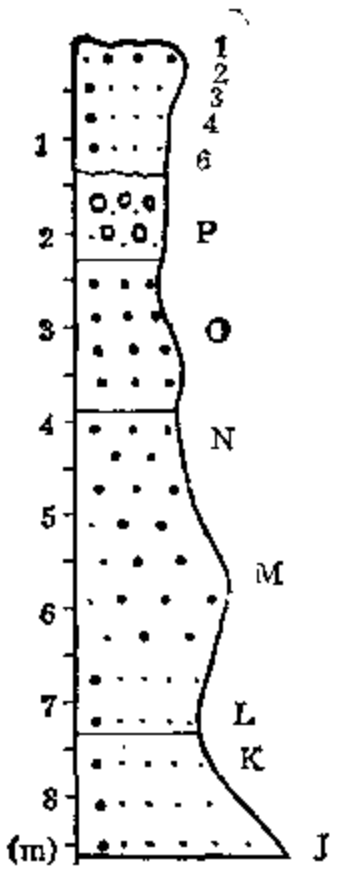


图 2-57　青海湖二郎尖剖面
（符号同图2-56）

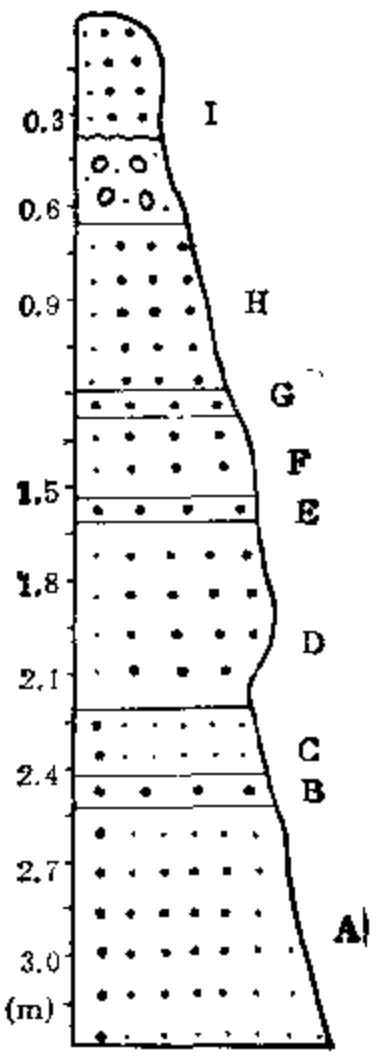


图 2-58　青海湖哈达滩剖面
（符号同图 2-56）

各样品埋深见表 2-32。

（3）85 二郎尖剖面、85 哈达滩剖面和青海湖周围各地土壤样品的位置、埋深、岩性见

表 2-32　青海湖沉积物粒度组成

地区	样号	埋深 (m)	粒度组成 (%)				
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm
西岸哈达滩剖面	1	0.30	1	4	5	27	63
	H	0.91	1	4	6	21	68
	G	1.21	1	3	2	4	91
	F	1.41	1	2	4	20	72
	E	1.56	1	1	1	3	94
	D	1.95	1	3	4	24	68
	C	2.30	2	10	12	55	21
	B	2.41	1	2	2	7	88
	A	2.78	5	12	11	53	19
南岸二郎尖剖面	1	0.20	1	4	6	26	63
	2	0.40	8	12	13	40	27
	3	0.60	9	10	12	41	28
	4	0.80	10	10	12	43	25
	6	1.20	7	10	13	46	24
	O	3.30	1	1	1	2	95
	N	4.00	1	1	1	20	77
	M	5.10	2	1	1	40	56
	L	6.80	3	3	4	56	34
	K	7.40	4	4	5	57	30
	J	8.20	6	6	6	58	24
湖内 85—14 孔剖面	1	0.05	12	19	16	52	1
	2	0.33	16	22	15	45	2
	3	0.53	15	23	14	45	3
	4	0.73	9	15	11	59	6
	5	1.00	16	24	16	38	6
	6	1.35	19	26	15	38	2
	7	1.74	24	22	11	40	3
	8	1.93	19	18	10	46	7
	9	2.16	9	14	9	54	14
	10	2.37	15	17	13	46	9
	11	2.57	17	14	12	35	22
	12	2.69	18	16	20	36	10
	13	2.75	6	9	11	48	16
	14	2.76	15	15	13	36	22
	15	2.93	6	11	15	46	22
	16	2.96	10	14	14	36	26
	17	3.10	6	11	19	39	35
	18	3.18	8	10	13	33	26
	19	3.25	11	19	12	40	15
	20	3.33	13	20	17	40	10
	21	3.43	13	21	17	27	22
	22	3.51	8	16	17	33	26
	23	3.70	7	13	16	30	31
	24	3.83	7	11	12	40	30
	25	3.90	8	15	19	36	22

续表

地区	样号	埋深(m)	粒度组成(%)				
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm
湖内85-14孔剖面	26	4.01	4	14	35	41	6
	27	4.19	17	23	12	28	20
	28	4.25	11	19	11	41	18
	29	4.35	14	19	12	40	15
	30	4.48	16	16	9	30	29
86二郎尖深孔剖面	1	0.45	10	8	9	60	13
	2	1.10	6	5	6	51	32
	3	5.22	4	5	5	62	24
	4	9.77	8	7	6	51	28
	5	14.49	6	9	6	33	46
	6	16.94	16	11	12	51	10
	7	20.21	10	7	5	20	58
	8	24.07	31	18	14	18	19
	9	27.92	32	14	8	17	29
	10	29.40	11	7	6	28	48
	11	31.74	22	9	7	23	39
	12	37.69	8	6	5	30	51
	13	41.94	15	10	16	47	12
	14	51.66	29	36	21	9	5
	15	55.37	6	4	5	31	54
	16	59.86	6	8	9	64	13
	17	65.72	11	7	9	46	26
	18	66.17	10	9	8	42	31
	19	67.79	5	4	5	25	61
	20	71.38	9	12	11	47	21
	21	75.36	13	15	7	19	46
	22	79.92	16	14	11	43	16
	23	92.17	6	12	11	51	20
	24	98.86	4	6	8	55	27
	25	102.12	5	11	13	47	24
	26	113.19	6	12	15	55	12
	27	119.33	7	9	10	49	25
	28	119.98	20	10	11	43	16
	29	121.00	10	9	6	18	57
	30	121.58	3	7	9	27	54
	31	121.83	3	6	5	16	70
	32	122.63	3	3	3	36	55
	33	127.89	2	4	6	42	46
	34	136.29	3	5	5	45	42
	35	139.16	3	6	7	49	35
	36	142.94	5	7	7	36	45
	37	154.41	10	11	14	59	6
湖周土壤	江西沟	0.3	2	2	3	49	44
	江西沟	0.8	4	6	7	42	41
	江西沟	1.0	2	3	5	46	44

续表

地　区	样　号	埋深(m)	粒度组成（%）				
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm
湖周土壤	江西沟	1.2	6	8	9	46	31
	泉　吉	底部	8	5	6	40	41
	泉　吉	中部	4	5	6	44	41
	倒淌河	表层	5	4	6	55	30
	龙羊峡	表层	2	4	5	42	47
	将军台	表层	5	6	7	50	32
	园者寺	表层	2	4	4	36	54

表 2-31 和图 2-57 和图 2-58。

2. 沉积物粒度组成及分布特征

通过沉降分离，将沉积物分出 <2μm，2—5μm，5—10μm，10—50μm，>50μm 等 5 个粒级，各剖面样品粒度组成见表 2-32。

以 <5μm，5—50μm，>50μm 分别代表粘土、粉砂和砂，将以上沉积物和土壤的粒度组成作成三角图(图 2-59)。从表 2-32 和图 2-59 中可以看出，总的来说，青海湖沉积物粒度组成以粉砂级为主，其含量 45—65%。就不同地区样品比较，湖内 85-14 孔粒度成分较细，其粘土含量 15—40%。西岸哈达滩剖面粒度成分较粗，其粘土含量一般 <5%。以上不同地区沉积物粒度成分分布的差异，主要与搬运距离远近和水动力大小等因素有关。

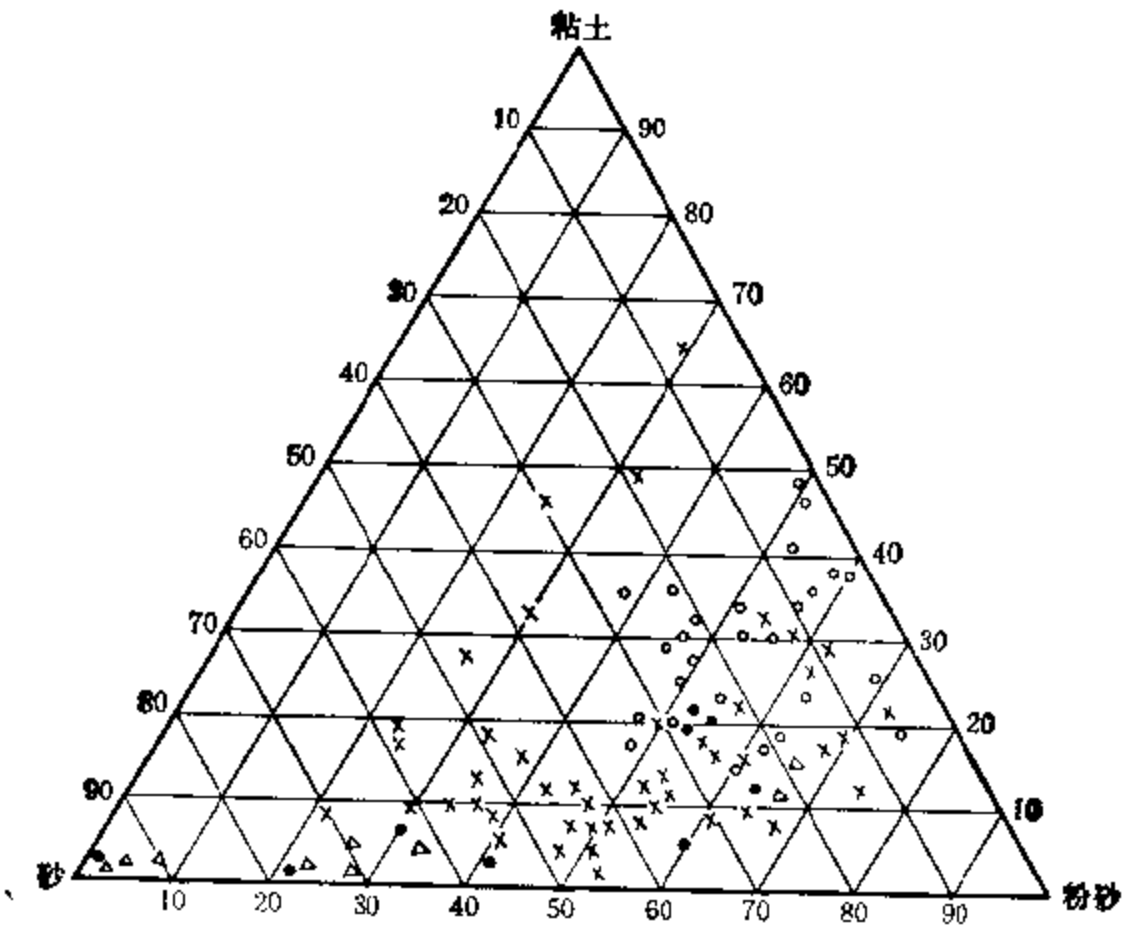


图 2-59　青海湖沉积物粒度成分分布

● 湖内 85-14 孔　△ 西岸哈达滩剖面　● 湖周土壤　× 南岸二郎尖剖面

3. 粘土矿物类型和分布

对除去碳酸盐的 $<2\mu m$ 试样，通过X射线粉末衍射和配合红外分析进行了粘土矿物鉴定，实际资料如图 2-60 至图 2-66 所示。

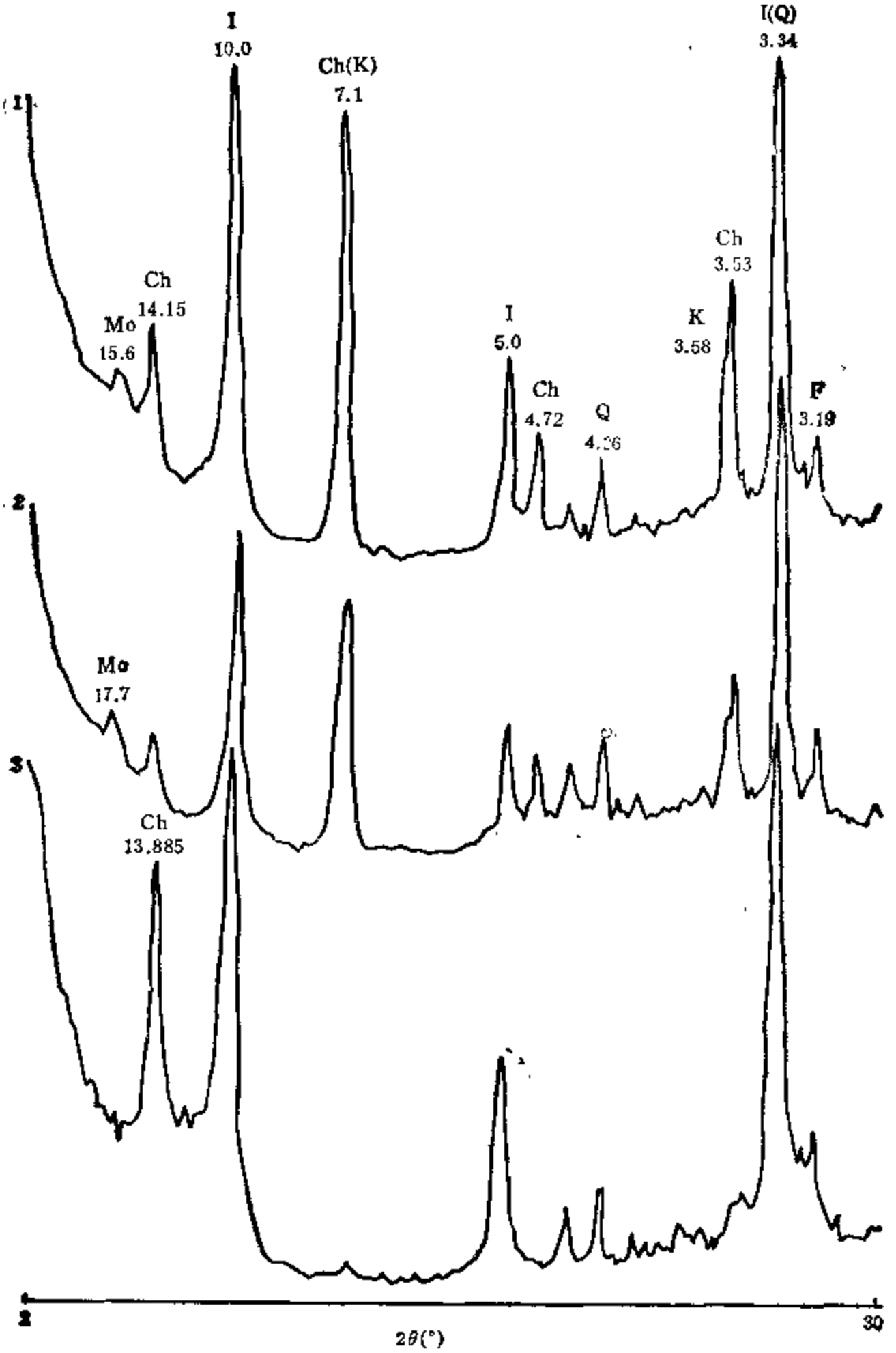


图 2-60　湖内 85-14 孔 30 号粘土样 X 射线衍射图

1.原样　2.甘油处理　3.600℃, 1h

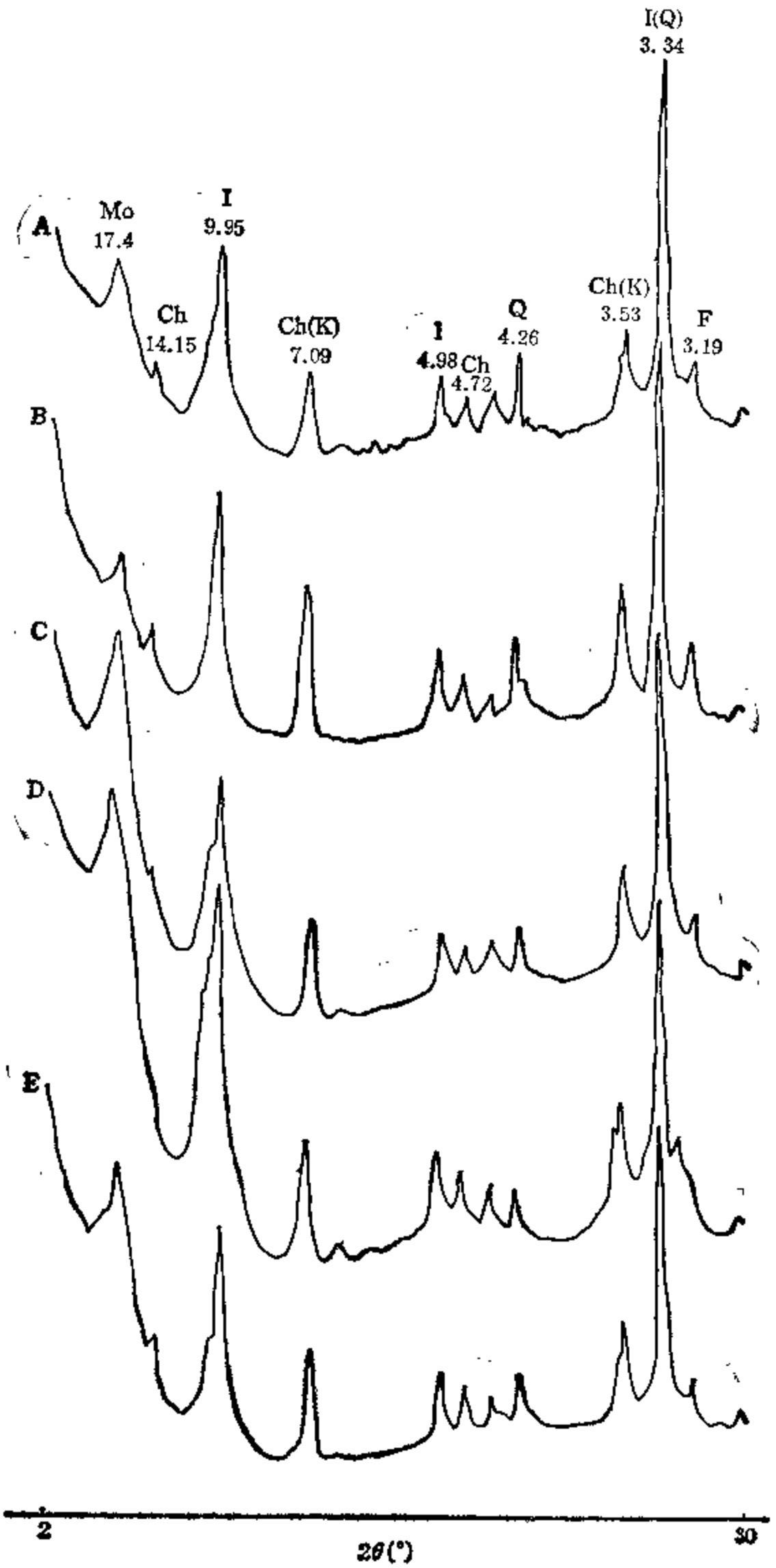


图 2-61(1)　西岸哈达滩剖面粘土样 X 射线衍射图

从这些实际资料来看，青海湖沉积物粘土矿物以伊利石为主，相对含量 60—70%，其次为绿泥石，相对含量 15—30%。不少样品中含少量蒙脱石并有高岭石存在。蒙脱石的

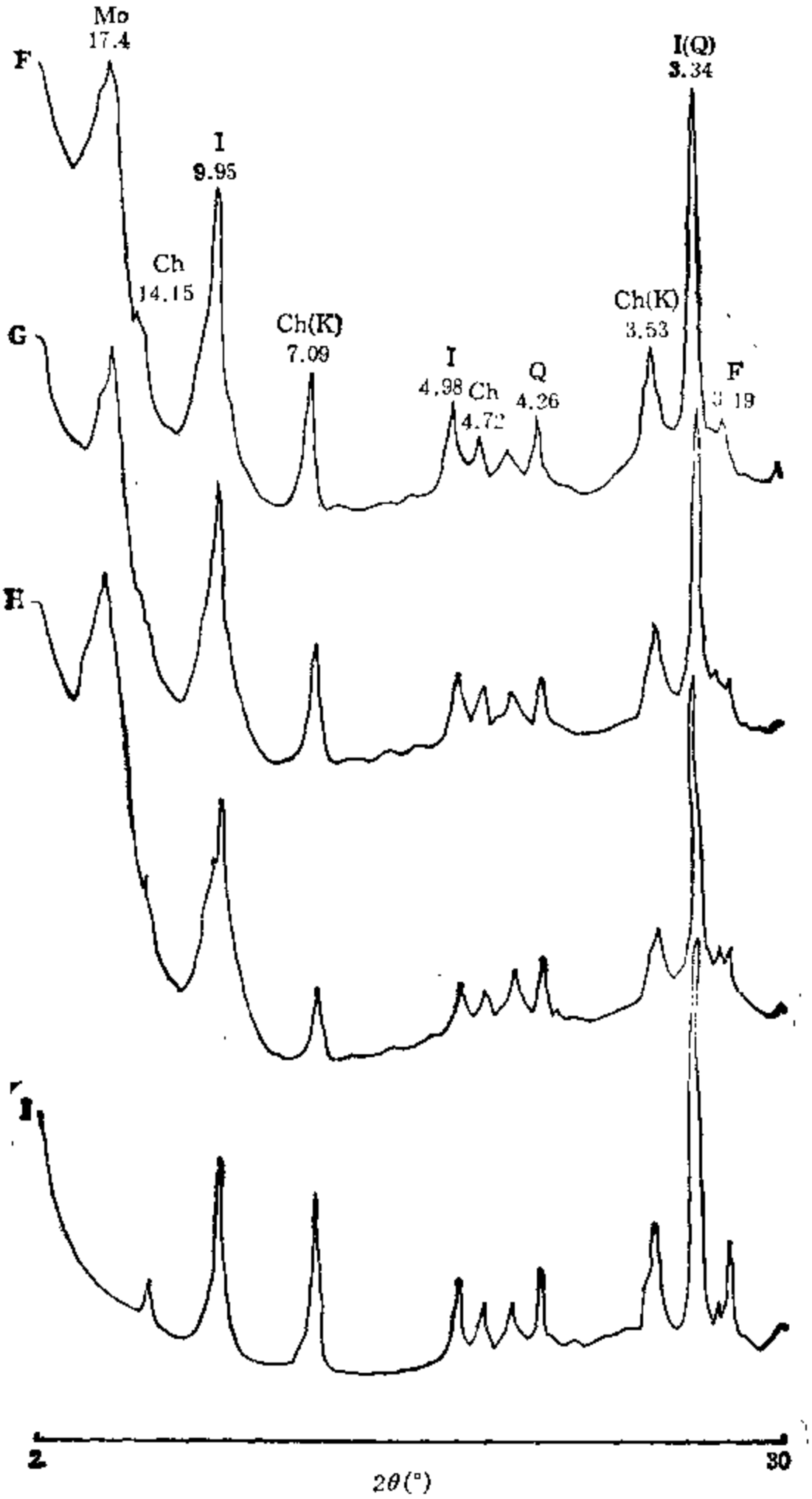


图 2-61(2)　西岸哈达滩剖面粘土样 X 射线衍射图

含量多少不一，有时超过绿泥石(如哈达滩剖面中某些样品)，高岭石一般很少。

我们对该湖 97 个样品所作的 X 射线衍射图谱表明，绿泥石的 004 (d = 3.54 Å) 比高岭石的 002 (d = 3.58 Å) 的衍射峰强度要强得多，红外光谱上高岭石特征的 3 700cm^{-1} 吸收带普遍呈肩状或勺状，亦表明高岭石的含量很少。

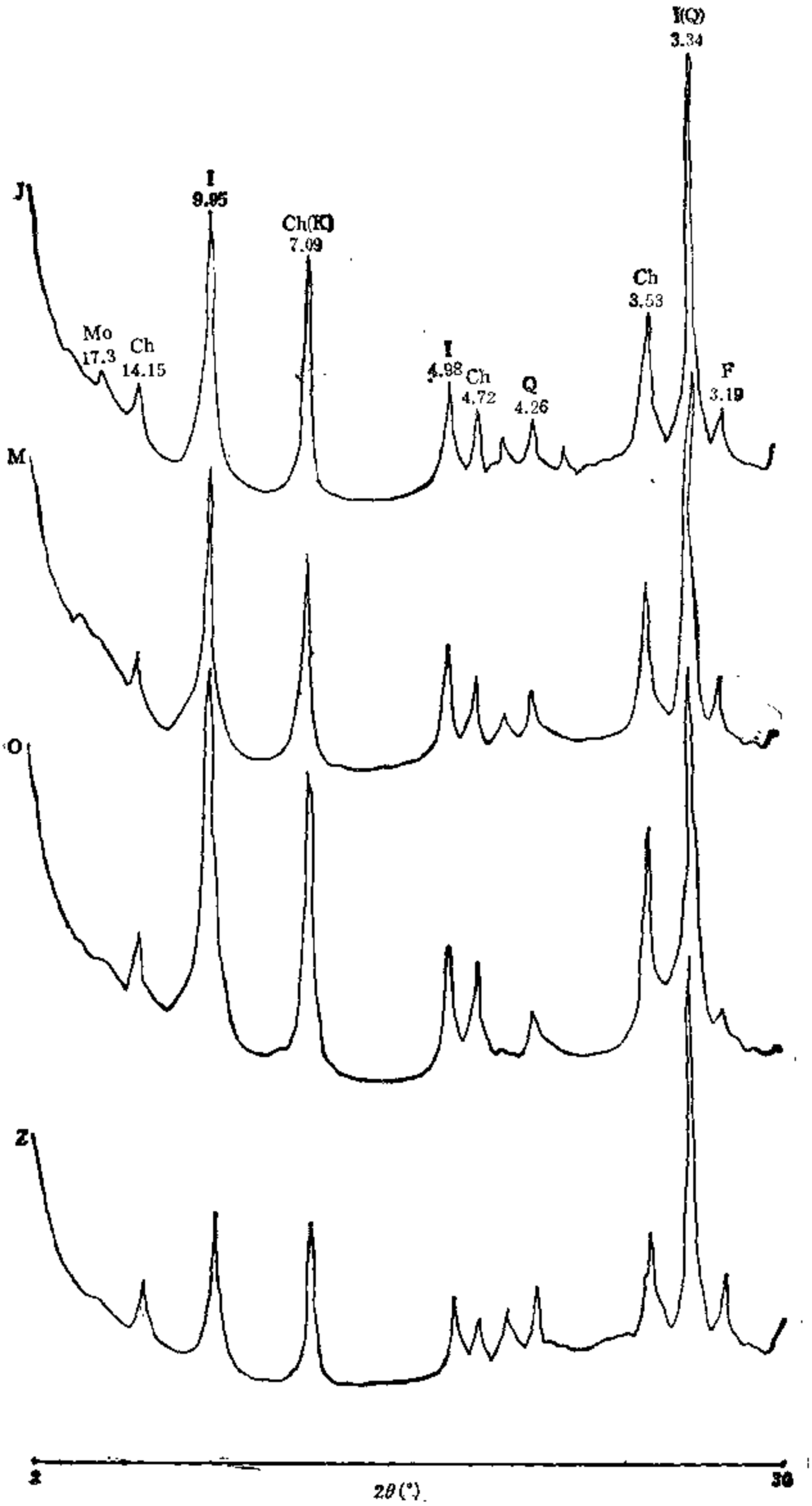


图 2-62　南岸二郎尖剖面粘土样 X 射线衍射图

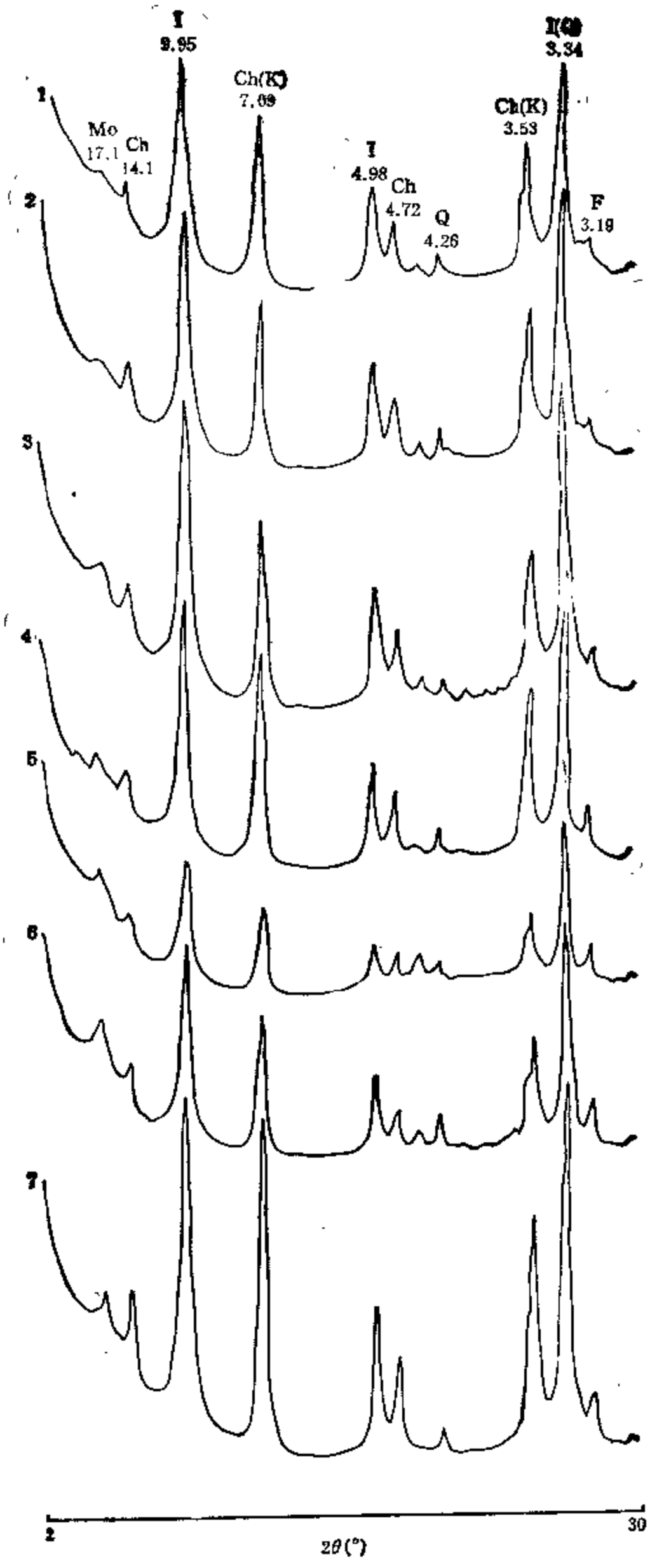


图 2-63(1)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

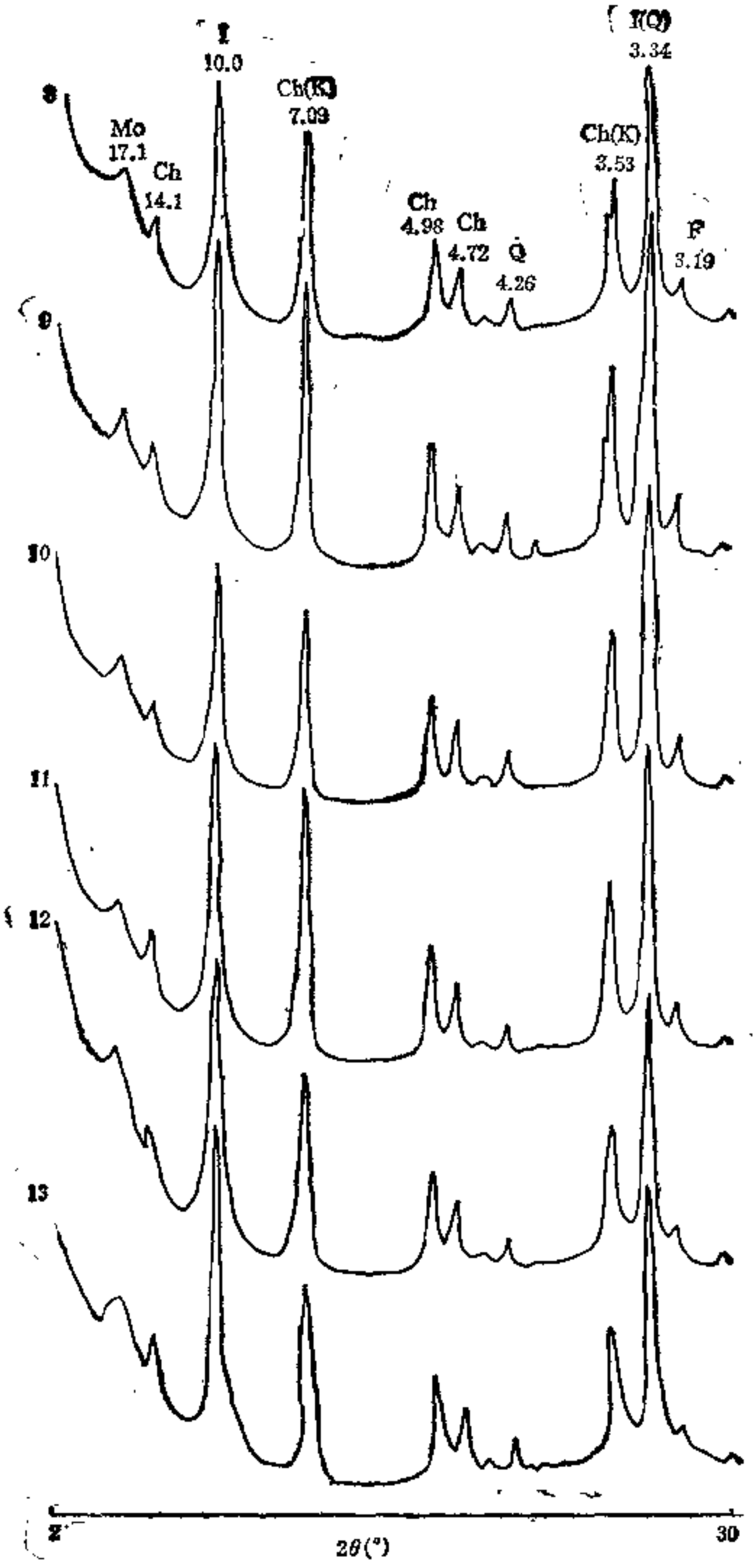


图 2-63(2)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

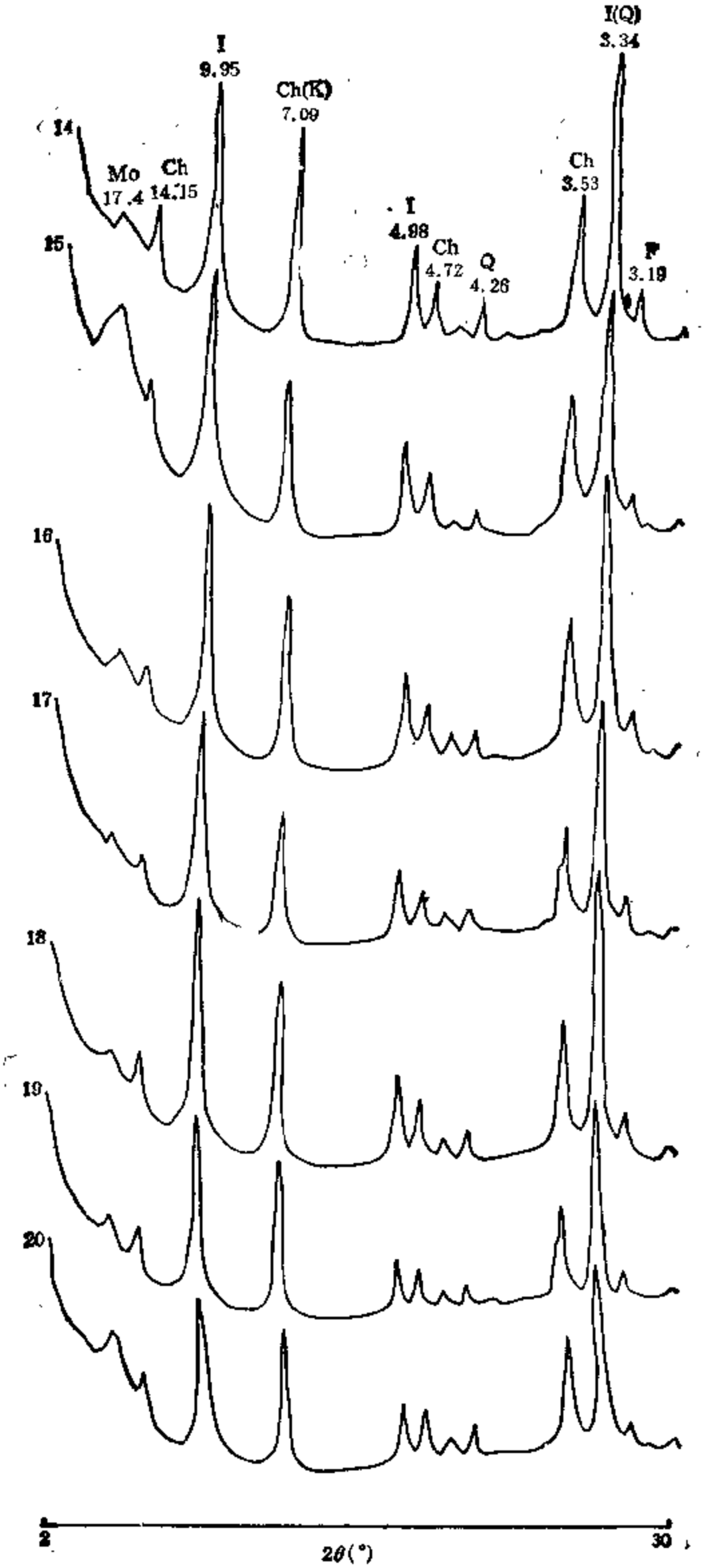


图 2-63(3)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

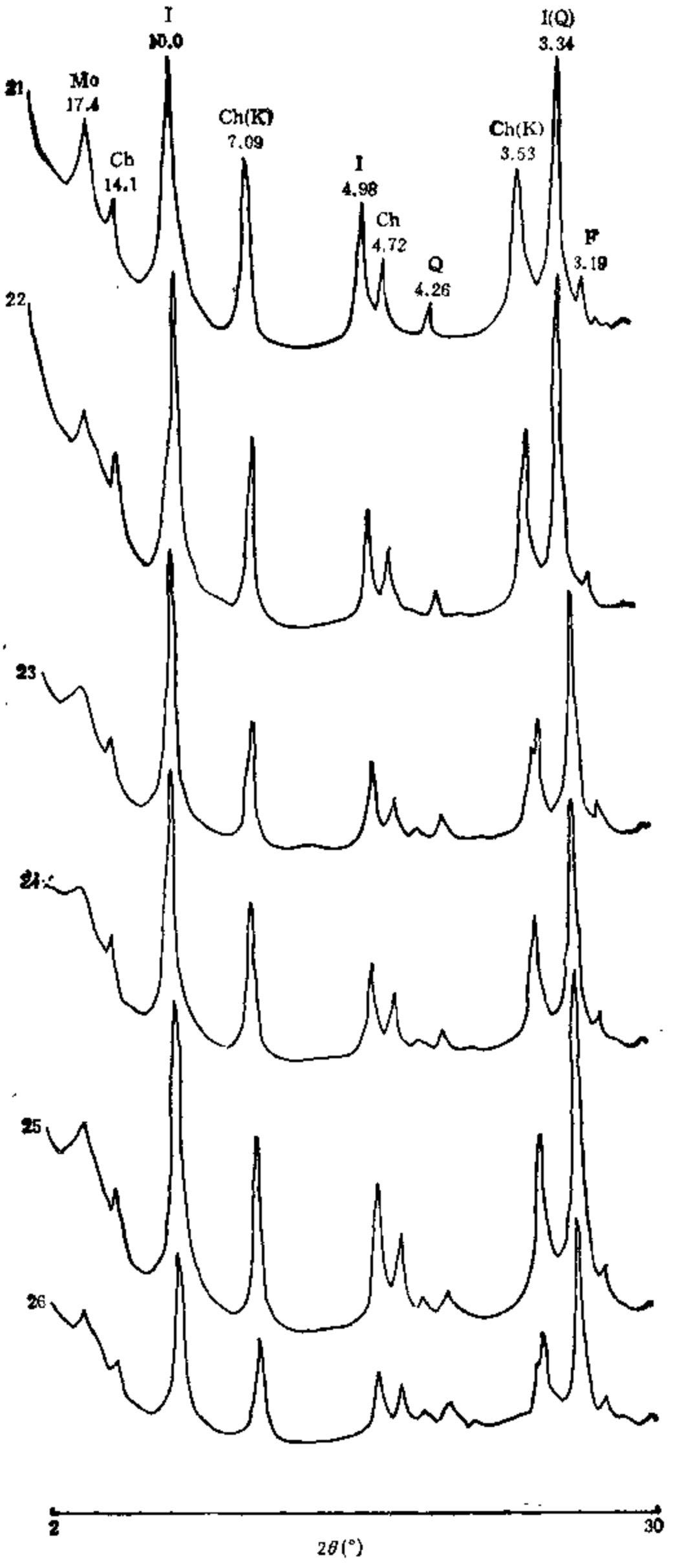


图 2-63(4)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

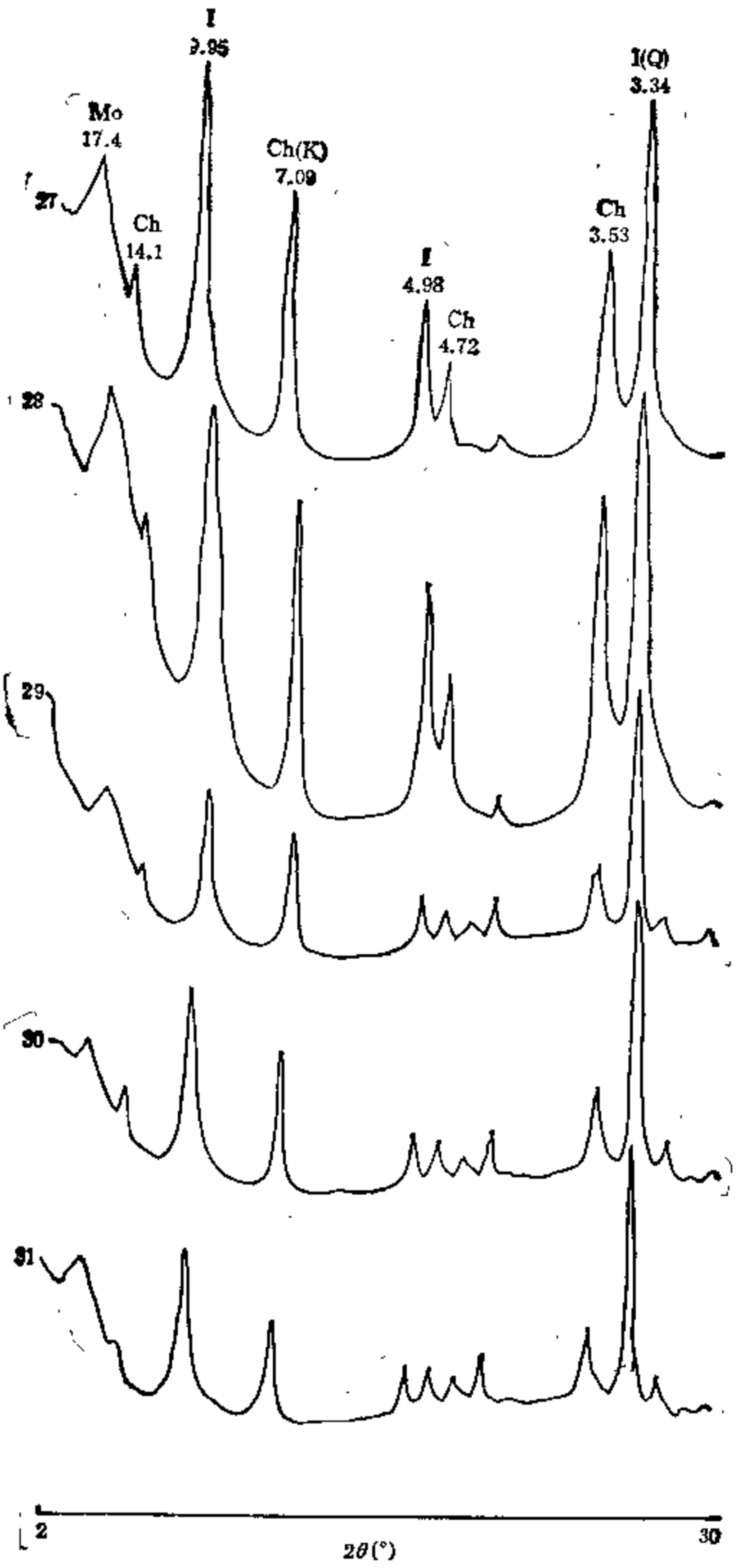


图 2-63(5)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

总之，该湖沉积物中粘土矿物组合和分布可归纳以下几点：① 伊利石-绿泥石(含少量高岭石)组合，分布在表层沉积物和土壤中；② 伊利石-绿泥石-蒙脱石(含少量高岭石)

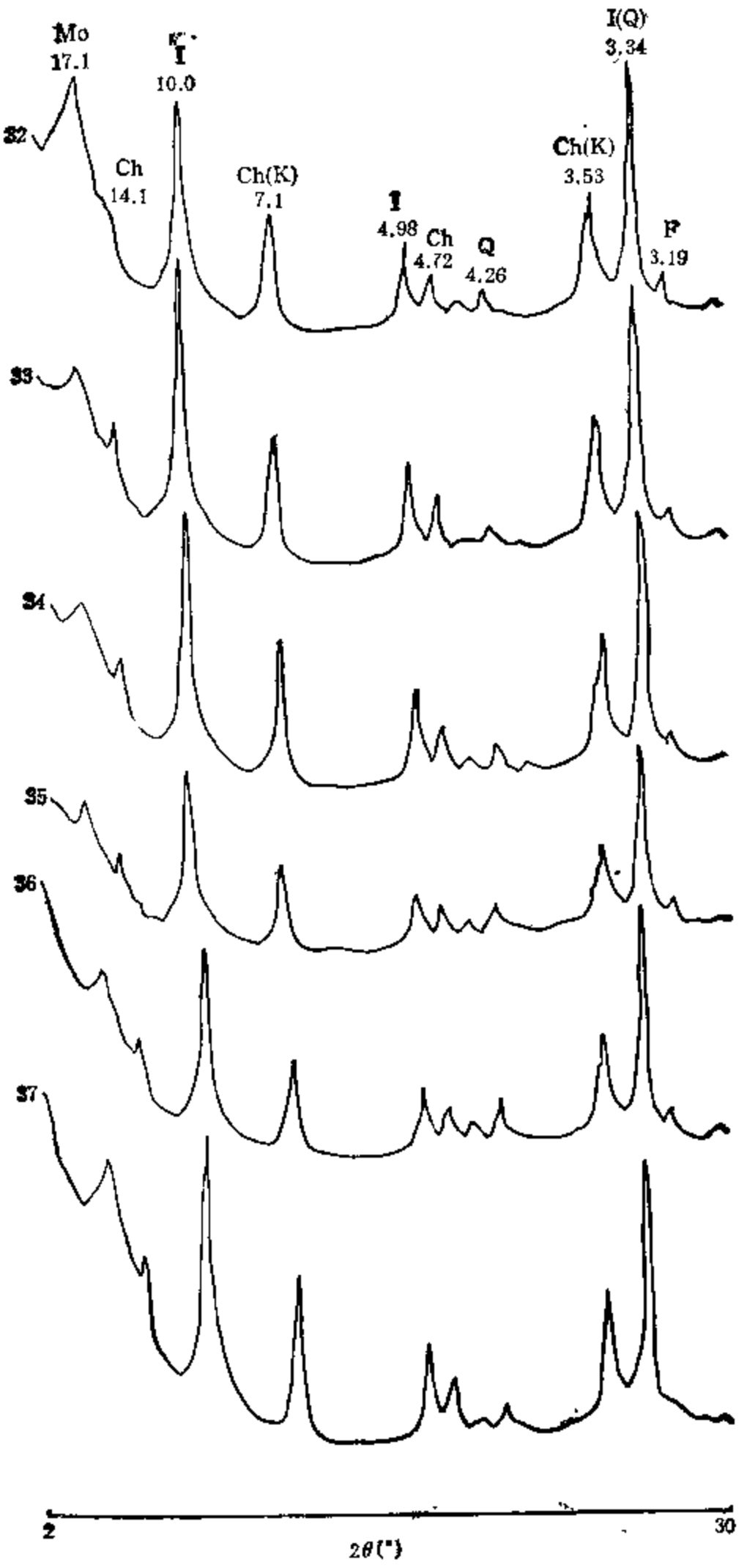


图 2-63(6)　86 二郎尖深孔粘土样 X 射线衍射图

组合，分布在深部沉积物中；③ 伊利石-蒙脱石-绿泥石(含少量高岭石)组合，分布在西岸哈达滩剖面部分沉积物中。就这几种粘土矿物来讲，其中蒙脱石的含量及分布存在明显

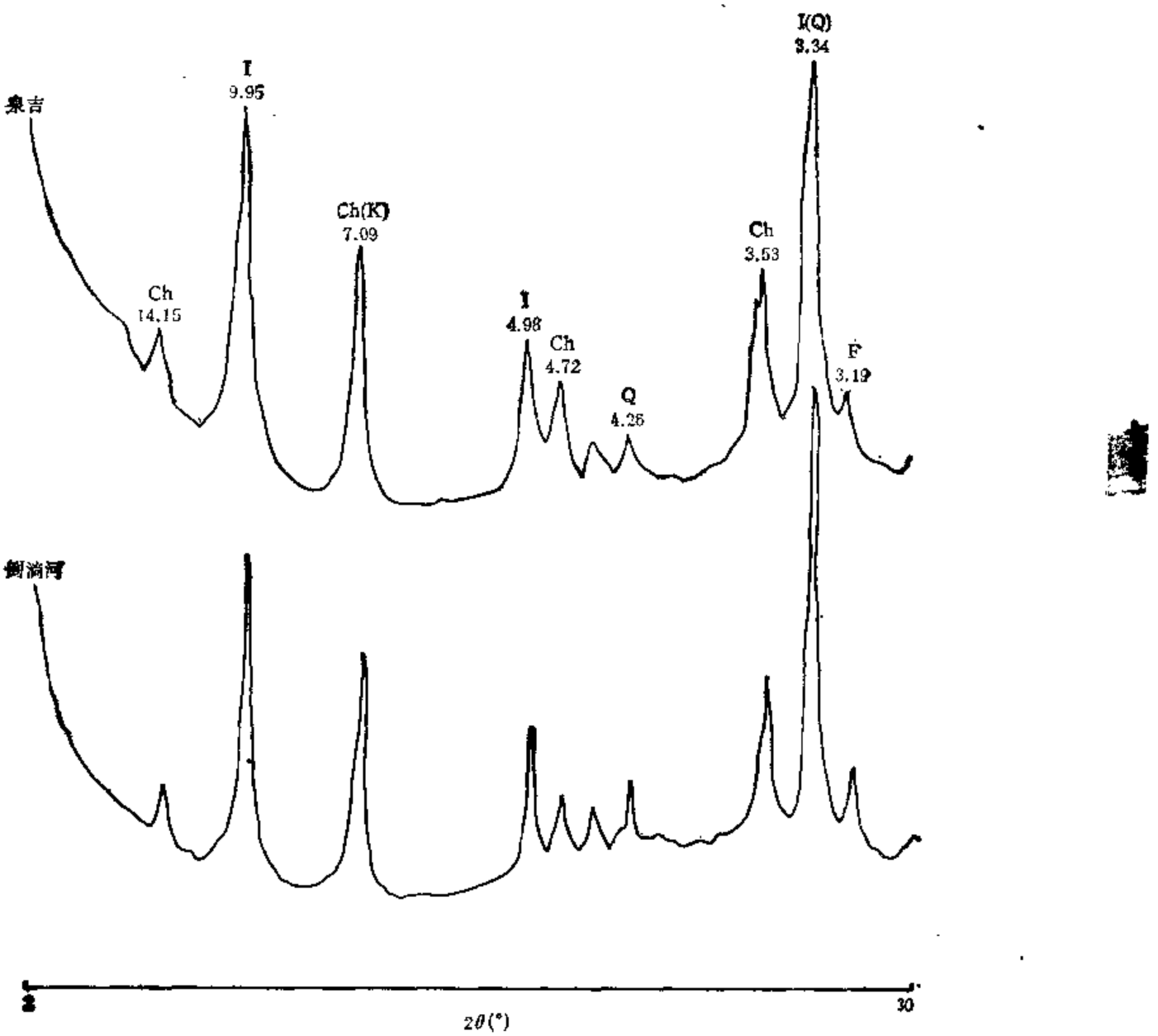


图 2-64　青海湖周围土壤中粘土样 X 射线衍射图

差异：表层沉积物和土壤中未见有蒙脱石，湖内 85-14 孔中蒙脱石只出现在底部样品中，南岸二郎尖 86 深孔中蒙脱石分布普遍，蒙脱石含量最多的是西岸哈达滩沉积剖面中，平均相对含量 11%，最多可达 18%，个别样中超过了绿泥石的含量。

4. 粘土的化学特征

对除去碳酸盐的 $<2\mu m$ 的 24 个粘土样进行了化学分析，其结果见表 2-33。以粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量作成图 2-67。

从图 2-67 中可以看出，与各种不同成因类型的粘土相比，青海湖粘土在化学成分上与海粘土相似，且在剖面中变化不明显。与相邻的柴达木盆地盐湖粘土化学成分相比，它明显地少钾多钠。



图 2-65(1)　湖内85-14孔粘土样 X 射线衍射图

该湖粘土中 Al_2O_3/MgO 值在沉积剖面中有一定变化趋势，并反映出不同的沉积环境，有关这方面的问题在讨论沉积环境时具体论述。

5. 粘土矿物资料与沉积环境

(1) 湖内 85-14 孔

85-14 孔沉积剖面中有关粘土矿物资料汇总于表 2-34。

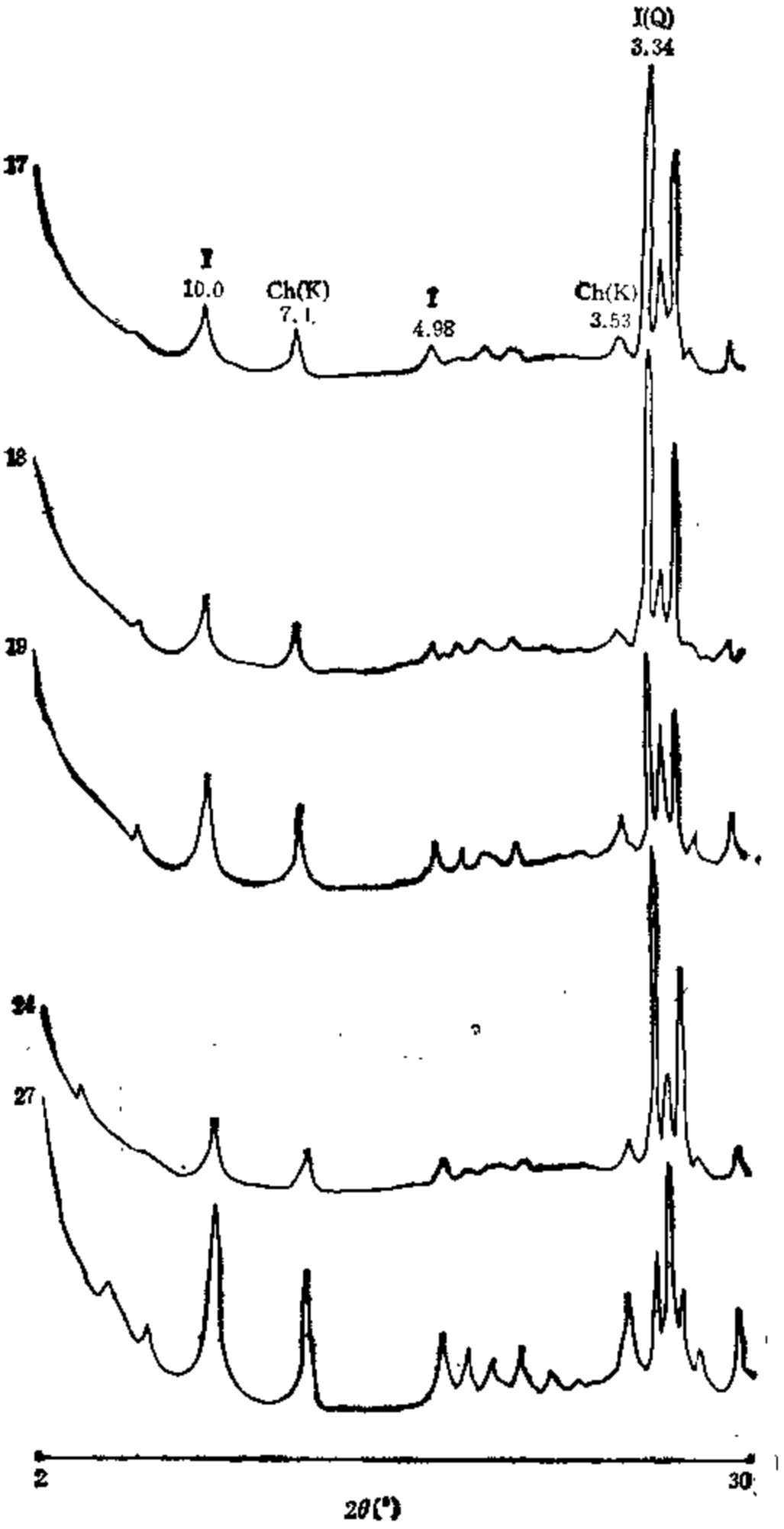


图 2-65(2)　湖内 85-14 孔粘土样 X 射线衍射图

我们从表 2-34 中看出，第 2，3 层中粘土的 Al_2O_3/MgO 值相对较小，伊利石的 b/a 值较小；前面的资料表明，在第 2，3 层中，特别是第 3 层中，介形类最丰富，条带非常发育，以及沉积物粒度成分较粗。这说明第 2，3 层中伊利石结晶度较好，粘土的 Al_2O_3/MgO 值较小，似乎与相对干旱、浅水等环境有关。

（2）西岸哈达滩剖面

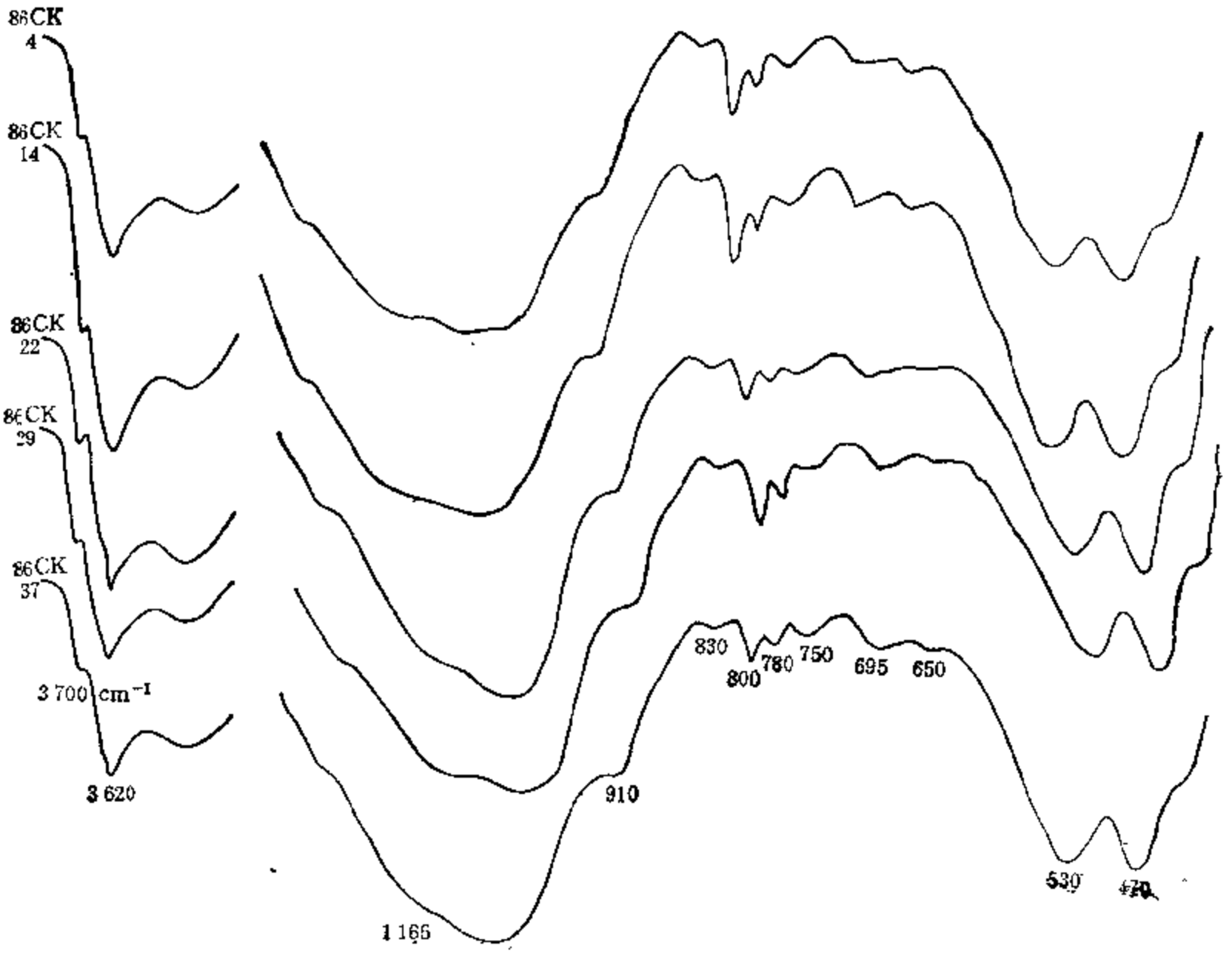


图 2-66(1)　青海湖某些粘土样红外图谱

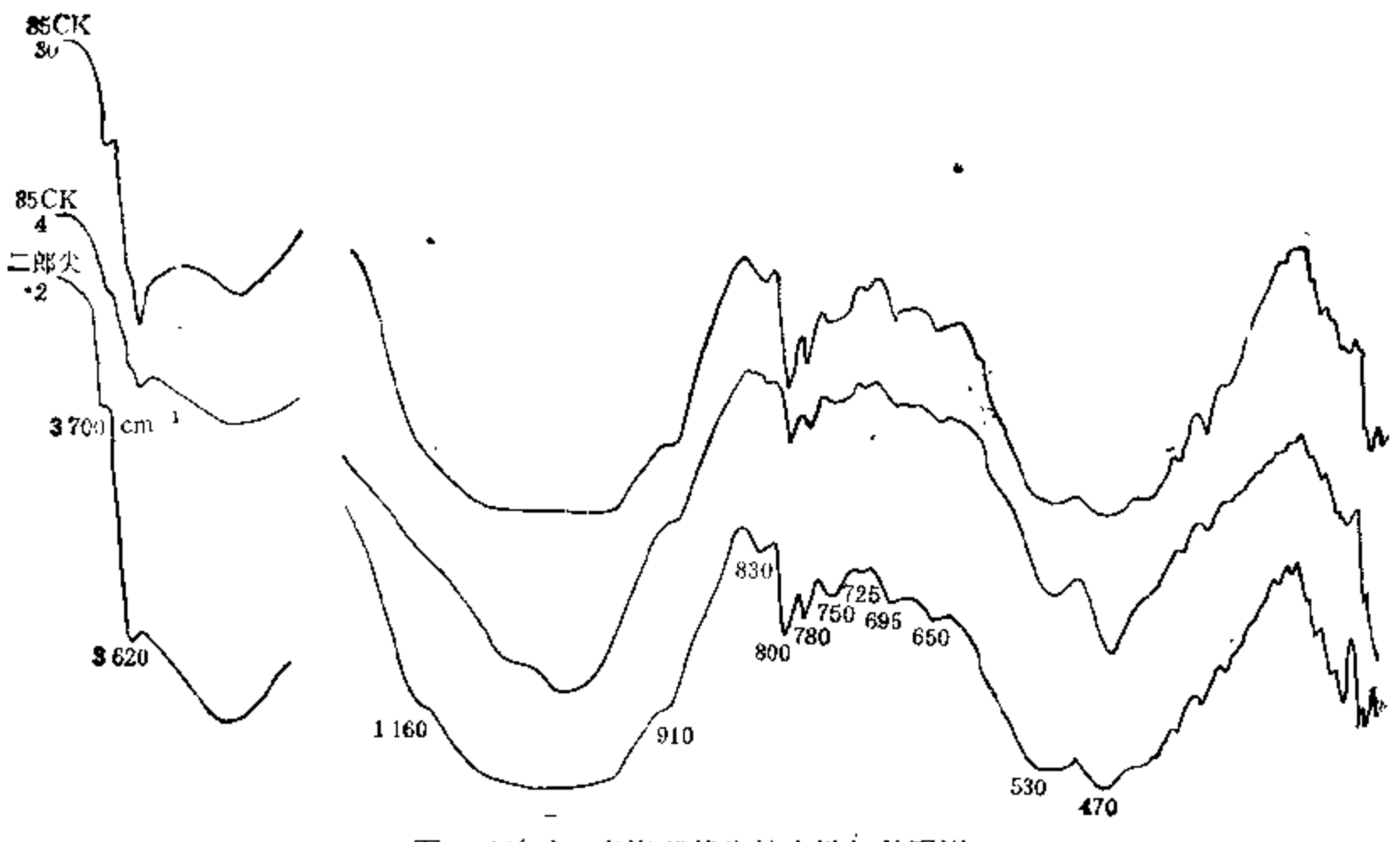


图 2-66(2)　青海湖某些粘土样红外图谱

表 2-33　青海湖粘土的化学成分

地区	样号	化学成分 (%)							相对百分含量(%)		
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
86二郎尖深孔	1	47.91	25.08	10.41	3.86	1.23	0.94	4.14	76	13	11
	4	49.79	25.42	10.02	3.79	2.75	0.85	3.87	77	12	11
	8	48.92	25.49	9.91	3.91	2.92	1.70	3.53	77	11	12
	11	50.89	26.41	8.61	4.06	1.36	0.99	3.77	77	11	12
	13	50.14	27.15	9.71	4.54	0.88	0.83	3.58	77	10	13
	14	52.21	25.77	7.51	4.40	1.34	0.88	3.50	77	10	13
	18	49.32	26.41	8.61	4.05	1.47	0.62	3.88	77	11	12
	21	51.98	25.09	9.31	4.62	2.11	0.65	3.42	76	10	14
	22	49.87	25.96	9.69	4.25	1.15	0.85	4.08	76	11	13
	23	49.78	27.45	10.01	4.21	1.12	0.71	3.46	78	10	12
	25	49.54	26.51	10.36	4.70	0.80	0.74	3.43	76	11	12
	26	51.21	25.33	9.90	4.29	0.88	0.74	3.51	77	10	13
	28	53.00	25.33	8.63	3.79	1.21	0.83	3.17	79	9	12
	32	50.08	25.77	10.82	4.26	0.93	0.62	3.59	76	11	13
	34	49.58	25.81	10.90	4.67	0.91	0.68	3.61	76	10	14
	36	49.61	25.82	10.40	3.96	1.18	0.62	3.79	76	12	12
	37	49.11	26.21	10.42	3.85	1.15	0.85	3.58	77	11	12
湖内85-14孔	3	50.51	23.53	6.53	3.01	1.12	2.53	3.50	78	12	10
	5	50.73	23.04	6.34	3.21	1.48	0.84	3.85	77	13	10
	8	50.04	21.68	6.27	3.20	1.43	2.26	3.85	75	13	12
	12	47.65	23.14	6.24	2.94	1.37	0.70	4.58	75	15	10
	25	58.42	20.66	7.09	3.21	1.15	0.84	4.43	73	15	12
	27	52.87	23.09	6.24	3.36	1.61	0.67	3.66	77	12	11
	30	53.55	23.94	6.66	3.66	1.43	0.61	3.91	76	12	12
平均值		50.69	25.01	8.77	3.91	1.37	0.94	3.73			

该剖面的粘土矿物资料见表 2-35。它的特点是除了表层一个样未见到蒙脱石外，其余样品中不仅普遍存在蒙脱石，而且其含量在青海湖地区沉积物中是最高的。有的样品中蒙脱石相对含量超过了绿泥石的含量。与该湖区其它剖面相比，该剖面沉积物是在更弱碱性的环境下沉积的。同时，蒙脱石和绿泥石相对含量在剖面中的变化，以及绿泥石类型和伊利石结晶度在剖面中的差异，反映该剖面沉积物的沉积环境有几次旋回性变化，即蒙脱石相对含量少，绿泥石相对含量多，以铁绿泥石为主，伊利石结晶程度良好的，大致与较粗的沉积物(细砂)相对应，则基本反映是一个水动力较大和相对碱性的沉积环境。

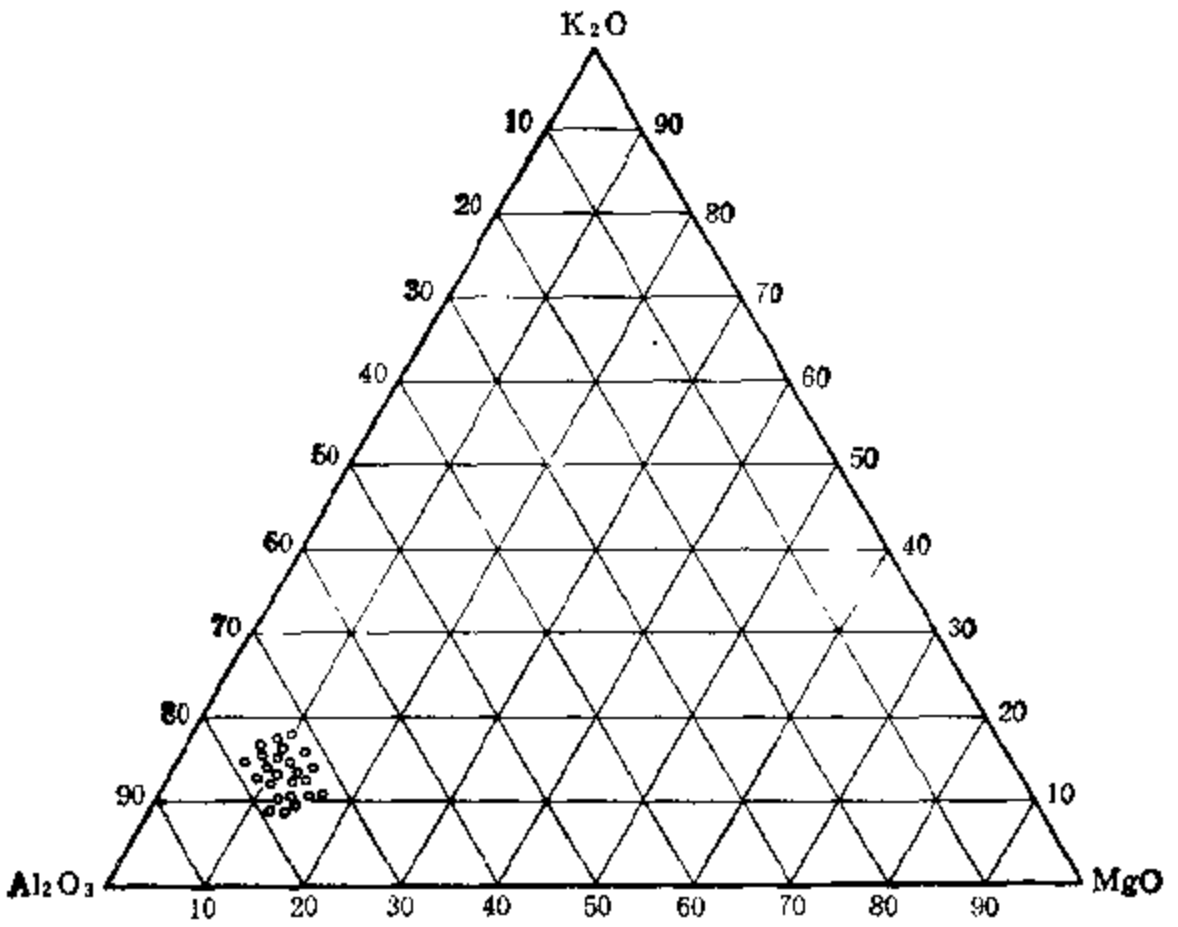


图 2-67 青海湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

表 2-34 85-14 孔沉积剖面中粘土矿物资料

层序	样号	粘土矿物相对百分含量(%)			绿泥石类型		伊利石结晶度	粘土中 Al_2O_3/MgO 值
		蒙脱石	伊利石	绿泥石*	7Å/14Å (I/I)	类型	*b*/*a*	
1	2	—	68	32	2.8	镁铁	3	—
	3	—	—	—	—	—	—	6.7
	4	—	68	32	5.5	铁	3.2	—
	5	—	—	—	—	—	—	6.0
	6	—	71	29	3.7	镁铁	3.2	—
2	8	—	—	—	—	—	—	5.6
	9	—	72	28	>4	铁	1.3	—
	12	—	71	28	>4	铁	2.9	5.1
3	17	—	66	34	>4	铁	2.5	—
	18	—	73	27	>4	铁	1.3	—
	19	—	66	34	3.5	镁铁	1.3	—
	24	存在	62	36	2.7	镁铁	2.5	—
	25	—	—	—	—	—	—	4.7
4	27	存在	70	28	2.4	镁铁	3.4	6.3
	30	5	66	29	3.3	镁铁	3.6	6.1

* 含少量高岭石。

表 2-35　哈达滩剖面中粘土矿物资料

样　号	粘土矿物相对百分含量(%)			绿泥石类型		伊利石结晶度
	蒙脱石	伊利石	绿泥石*	7Å/14Å (I/I)	类　型	b/a
I	—	69	31	4.1	铁	1
H	18	68	14	3.9	镁铁	2.5
G	11	68	21	>4	铁	2
F,	13	69	18	4.4	铁	1.7
E	10	70	20	4.2	铁	1.5
D	14	69	17	6.7	铁	2
C	17	77	10	3.2	镁铁	2
B	5	69	26	5.2	铁	1.3
A	13	69	18	>4	铁	2.2

* 含少量高岭石。

表 2-36　86 二郎尖深孔沉积剖面中粘土矿物资料

样　号	<2μm (%)	<5μm (%)	粘土矿物相对百分含量(%)			粘土中 Al_2O_3/MgO 值
			蒙脱石	伊利石	绿泥石*	
1	10	18	—	74	26	6.0
2	6	11	1	71	28	
3	4	9	2	74	24	
4	8	15	2	69	29	6.5
5	6	15	4	70	26	
6	16	27	4	71	25	
7	10	17	2	70	28	
8	31	49	2	68	30	7.2
9	32	46	2	67	31	
10	11	18	3	67	30	
11	22	31	2	68	30	7.0
12	8	14	3	73	24	
13	15	25	3	73	24	7.5
14	29	65	2	71	27	7.4
15	6	10	5	72	23	
16	6	14	2	73	25	
17	11	18	1	74	25	
18	10	19	1	72	27	6.8
19	5	9	1	69	30	
20	9	21	4	69	27	
21	13	28	5	72	23	7.3
22	16	30	3	75	22	6.4
23	6	18	3	78	19	7.9
24	4	10	4	75	23	

续表

样　号	<2μm (%)	<5μm (%)	粘土矿物相对百分含量(%)			粘土中 Al_2O_3/MgO 值
			蒙脱石	伊利石	绿泥石*	
25	5	11	4	75	21	7.7
26	6	18	4	75	21	7.2
27	7	16	5	70	25	
28	20	30	5	70	25	7.9
29	10	19	5	69	26	
30	3	10	4	70	26	
31	3	9	9	72	19	
32	3	6	6	70	24	7.2
33	2	6	4	78	18	
34	3	8	3	76	21	7.1
35	3	9	6	75	19	
36	5	12	4	78	18	6.8
37	10	21	5	72	23	7.3

* 含少量高岭石。

(3) 86 二郎尖深孔沉积剖面

该钻孔剖面沉积物中粘土矿物资料见表 2-36。

从表 2-36 中可见，整个剖面中粘土矿物组合及相对含量基本一致，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 的相对百分含量也都很接近，这似乎表明整个剖面的沉积物是同一物质来源和基本相同的环境下形成的。该剖面岩性所显示出来的井深 80m 以上多具微层理，80m 以下绝大部分未见到微层理，以及粗(砂砾)细(粘土质粉砂)互层沉积的特点，可能只是表明沉积过程中水介质条件的差异。从红外图谱中可以看出，高岭石特征的 3 700cm^{-1} 吸收带，在该剖面上下的 5 个样品中均呈现肩状或勺状，其含量都很少，变化也不明显，说明整个剖面沉积物都是在比较干旱的气候环境下沉积的。有人把该剖面井深 80m 以下这套沉积物称作类共和黄土，从这套沉积物的颜色来看，与共和黄土的色调相似，那么，对 10 多米厚的砂砾层和部分井段岩性具有明显的微层理又作如何解释呢？作者的初步看法是，该剖面的沉积物可能来源于周围的共和黄土，但是，它是经过水的搬运作用而沉积的，水动力的大小有异。当然，我们应该将它与共和黄土一起加以对比研究，这样，可能会得出较正确的结论。

三、察尔汗盐湖和青海湖沉积物中粘土的穆斯堡尔效应的初步研究

在沉积物含铁矿物中，铁元素的存在形式和状态对沉积学和地球化学的研究特别重要。这是因为铁元素在自然界存在着两种具有完全不同溶解度的价态。从铁的价态变化，可以反映沉积过程中气候与环境的变化。穆斯堡尔谱学是研究沉积物中含铁矿物的一种非常有用的方法，它可以鉴定样品中含铁的矿物相及其相对含量，并可以给出关于矿物中铁的氧化态 (Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 之比)、晶格点阵配位、电子自旋和磁性状态等信息。根据作者的研究结果，我国广大盐湖沉积物中粘土矿物是以伊利石-绿泥石为特征的，而绿

泥石中的铁离子便是主要化学成分之一，因此，我国盐湖粘土可以作为穆斯堡尔谱学的研究对象。这项工作我们还是刚刚开始，这里仅介绍察尔汗盐湖别勒滩区段84钻孔中8个粘土样和青海湖86深孔中11个粘土样的穆斯堡尔分析结果。这两个钻孔剖面的地质资料及样品分布见前面有关章节。

1. 样品处理

在对所有样品（$<2\mu m$）不经化学处理进行穆斯堡尔谱测量分析的基础上，对部分样品按两种方法进行了化学处理：① 酸化草酸铵法：将300mg的干燥样品放入100ml的0.2mol/L草酸铵和0.2mol/L草酸混合溶液中，在黑暗环境中振荡2h，然后用离心机分离出沉淀物，并用去离子水洗净，干燥备用；② 稀盐酸法：将另外300mg干燥样品放入100mL 0.1mol/L的稀盐酸中，振荡2h，然后用离心机分离出沉淀物，用去离子水洗净，干燥备用。根据有关文献介绍，用方法①处理，可以清除样品中部分三价铁的氢氧化物和全部菱铁矿（$FeCO_3$），但不能去除粘土矿物中的二价铁，而用方法②处理，可以清除碳酸盐和其它不稳定化合物，对粘土矿物中的铁只能溶去很少量。因此，通过以上两种方法

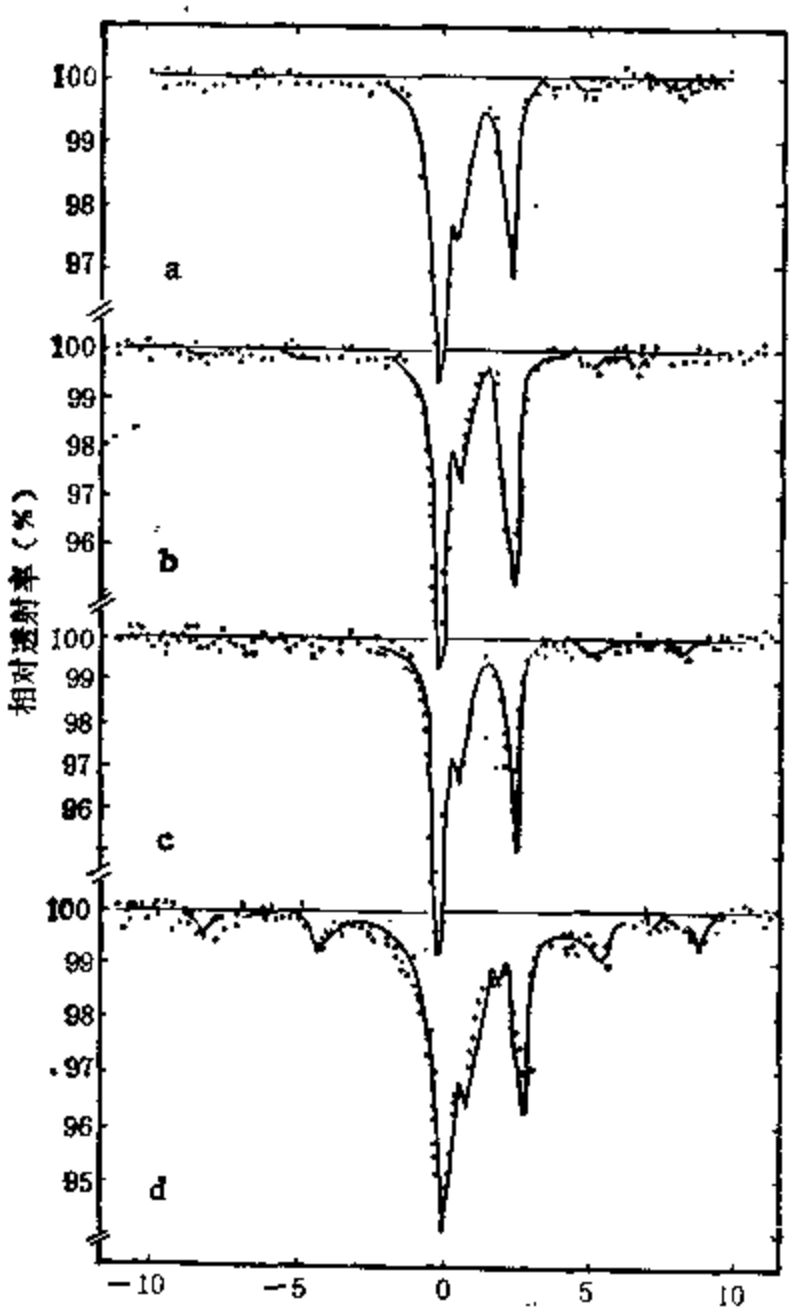


图 2-68　察尔汗盐湖1号粘土样的穆斯堡尔谱

a. 未经化学处理，$T = 290K$　b. 酸化草酸铵处理，$T = 290K$
c. 稀盐酸处理，$T = 290K$　d. 未经化学处理，$T = 5K$

处理，可以更好地区分粘土矿物中的二价铁和碳酸铁，同时还有助于鉴定样品中非晶态的铁的氢氧化物。

2. 穆斯堡尔谱的测量和解析

称取研磨后的样品 150mg 封装入面积为 2cm² 的塑料持样盒中，作为穆斯堡尔吸收体。穆斯堡尔放射源采用 Rh 作基本的 ^{57}Co 源。谱仪为速度扫描式，其速度用 α-Fe 标定。所有样品都在常温下进行了测量。 对 1 号、8 号、11 号和 21 号样品还做了低温下的测

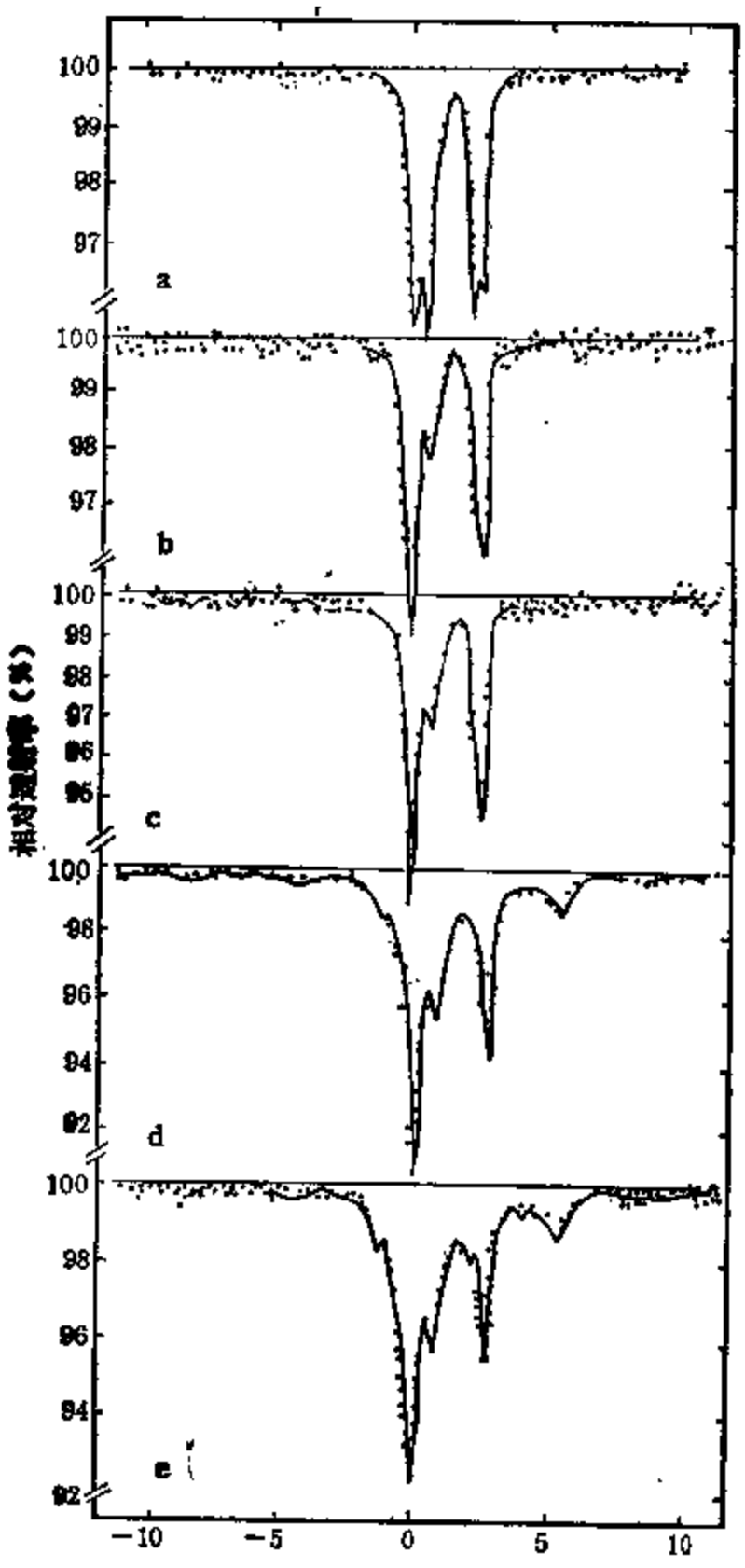


图 2-69 察尔汗盐湖 8 号粘土样的穆斯堡尔谱

a. 未处理，$T = 290K$ b. 酸化草酸铵处理，$T = 290K$ c. 稀盐酸处理，$T = 290K$ d. 未处理，$T = 15K$ e. 未处理，$T = 5K$

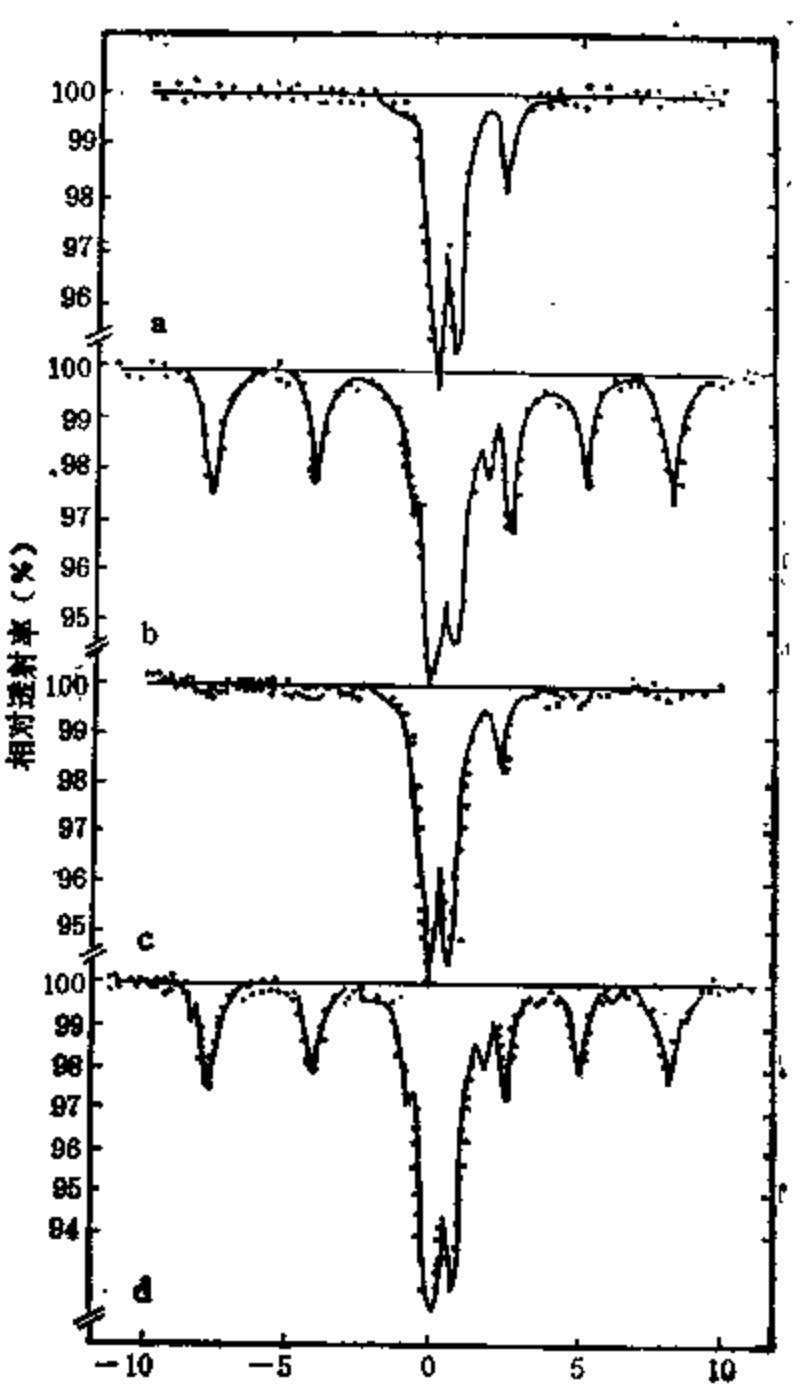


图 2-70 青海湖 11 号和 21 号粘土样的穆斯堡尔谱

a. 11 号样，$T = 290K$ b. 11 号样，$T = 5K$ c. 21 号样，$T = 290K$ d. 21 号样，$T = 5K$

表 2-37　察尔汗盐湖粘土样的室温穆斯堡尔参数

样号	埋深(m)	化学处理	穆斯堡尔谱的成分	δ* (mm/s)	ΔE_Q (mm/s)	Γ (mm/s)	占总铁量的百分数(%)	Fe^{2+}/Fe^{3+} 值	绿泥石的含量** (%)
1	100.5	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.13	2.67	0.33	33.56±5.11	0.88	39
			Fe^{2+} 双线 II	1.20	1.99	0.38	13.34±5.42		
			Fe^{3+} 双线	0.32	0.75	0.65	44.52±1.99		
			Fe^{3+} 六线	0.37	0.44		8.57±2.77		
1		酸化草酸铵处理	Fe^{2+} 双线 I	1.13	2.66	0.34	53.41±2.04	1.15	
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0		
			Fe^{3+} 双线	0.34	0.65	0.58	39.40±1.75		
			Fe^{3+} 六线	0.37	0.44		7.19±2.67		
1		稀盐酸处理	Fe^{2+} 双线 I	1.14	2.65	0.33	46.53±2.00	0.87	
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0		
			Fe^{3+} 双线	0.35	0.68	0.60	45.61±1.95		
			Fe^{3+} 六线	0.40	0.51		7.85±2.93		
2	196.5	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.12	2.67	0.34	35.04±3.79	0.95	42
			Fe^{2+} 双线 II	1.20	1.94	0.32	13.80±3.92		
			Fe^{3+} 双线	0.33	0.71	0.61	46.37±1.77		
			Fe^{3+} 六线	0.35	0.38		4.80±2.23		
3	331.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.12	2.67	0.34	41.26±3.82	0.88	47
			Fe^{2+} 双线 II	1.19	2.03	0.30	5.64±3.71		
			Fe^{3+} 双线	0.32	0.73	0.63	45.44±2.09		
			Fe^{3+} 六线	0.38	0.32		7.66±2.98		
4	414.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.14	2.66	0.33	34.59±4.78	0.76	37
			Fe^{2+} 双线 II	1.18	1.93	0.46	8.70±5.18		
			Fe^{3+} 双线	0.34	0.62	0.61	51.60±2.05		
			Fe^{3+} 六线	0.40	0.51		5.12±2.01		
5	517.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.14	2.66	0.35	40.71±3.00	0.89	39
			Fe^{2+} 双线 II	1.21	2.00	0.41	6.25±8.35		
			Fe^{3+} 双线	0.33	0.68	0.60	48.52±2.02		
			Fe^{3+} 六线	0.35	0.28		4.52±1.97		
6	662.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.13	2.66	0.35	40.22±7.30	1.09	46
			Fe^{2+} 双线 II	1.21	1.91	0.55	11.84±7.96		
			Fe^{3+} 双线	0.33	0.66	0.59	43.13±1.88		
			Fe^{3+} 六线	0.36	0.51		4.81±1.75		
7	751.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.12	2.67	0.33	46.25±4.84	1.19	49
			Fe^{2+} 双线 II	1.18	2.06	0.38	7.99±5.18		
			Fe^{3+} 双线	0.32	0.70	0.61	43.50±1.88		
			Fe^{3+} 六线	0.55	0.53		2.26±1.53		
8	784.0	未处理	Fe^{2+} 双线 I	1.11	2.64	0.35	36.42±2.37	1.88	40
			Fe^{2+} 双线 II	1.23	1.87	0.27	28.86±2.48		
			Fe^{3+} 双线	0.33	0.67	0.59	32.31±1.12		
			Fe^{3+} 六线	0.19	0.33		2.41±1.28		

样号	埋深(m)	化学处理	穆斯堡尔谱的成分	δ*(mm/s)	ΔE_Q(mm/s)	Γ(mm/s)	占总铁量的百分数(%)	Fe^{2+}/Fe^{3+}值	绿泥石的含量**(%)
8		酸化草酸铵处理	Fe^{2+} 双线 I	1.14	2.65	0.35	58.73±3.01	1.42	
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0		
			Fe^{3+} 双线	0.33	0.64	0.61	39.98±2.51		
			Fe^{3+} 六线	0.36	0.58		1.29±3.73		
8		稀盐酸处理	Fe^{2+} 双线 I	1.13	2.65	0.35	54.07±1.89	1.18	
			Fe^{2+} 双线II	—	—	—	0		
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.67	0.59	43.45±1.65		
			Fe^{3+} 六线	0.45	0.52		2.47±2.48		

* 所有同质异能移位 δ 均为相对于 α-Fe 的值。

** 绿泥石的含量为 X 射线衍射分析结果。

量。低温测量时采用牛津 CF500 型低温恒温器。数据处理采用 E. W. Müller 博士编写的 MOSFUN 拟合程序。谱线被拟合为洛伦兹线，并令每个四极双线分裂的两个峰的面积及半高宽完全相等。

通过对样品的穆斯堡尔谱的测量和解析，得到各个样品的穆斯堡尔参数(见表 2-37、表 2-38、表 2-39)，图 2-68 至图 2-70 是 4 个代表性样品的穆斯堡尔谱图。

3. 结果和讨论

(1) 察尔汗盐湖样品的谱的分析

察尔汗盐湖沉积物粘土样品在室温下的穆斯堡尔谱均可解为二个 Fe^{2+} 双线分裂，一个 Fe^{3+} 双线分裂和一个 Fe^{3+} 六线分裂。

较强的一个 Fe^{2+} 双线分裂(表 2-37 中的 Fe^{2+} 双线 I) 的同质异能移位 δ = 1.11—1.14mm/s，电四极分裂 ΔE_Q=2.64—2.67mm/s，峰的半高宽 Γ = 0.33—0.35mm/s。这个双线分裂是处于八面体配位的高自旋二价铁的贡献。上述参数值同有关文献报道的绿泥石和富含绿泥石的沉积物中 Fe^{2+} 的穆斯堡尔参数值很相符。而这一双线分裂在低温下 δ 和 ΔE_Q 的增大 (δ 增大到 1.27—1.29mm/s，ΔE_Q 增大到 2.86—2.89mm/s) 也极好地同文献所介绍的绿泥石和富含绿泥石的沉积物的情况相一致。这个双线分裂可能还有伊利石和其它矿物中高自旋 Fe^{2+} 的微小贡献，但它所反映的主要是绿泥石中的二价铁。

第二个 Fe^{2+} 双线分裂(Fe^{2+} 双线 II)强度较弱。其 δ = 1.18—1.23mm/s，ΔE_Q = 1.87—2.06mm/s，Γ = 0.27—0.55mm/s。由这些参数可以认为该双线分裂是由菱铁矿($FeCO_3$) 中的 Fe^{2+} 引起的。样品中菱铁矿的存在可以用化学处理的方法来证实。样品经过方法①和方法②处理后，这个双线分裂都消失了。

Fe^{3+} 双线分裂的穆斯堡尔参数 δ、ΔE_Q 和 Γ 分别在 0.32—0.36，0.62—0.75 和 0.59—0.65mm/s 范围内。这些参数值是处于八面体配位的高自旋 Fe^{3+} 的典型穆斯堡尔参数值。这个双线分裂除了反映伊利石、绿泥石和其它矿物中的 Fe^{3+} 外，还包含有非晶态的三价铁氢氧化物及非晶态的三价铁凝胶的贡献。样品经过酸化草酸铵处理后，这个双线

表 2-38　青海湖粘土样的室温穆斯堡尔参数

样号	埋深(m)	化学处理	穆斯堡尔谱的成分	δ (mm/s)	ΔE_Q (mm/s)	Γ (mm/s)	占总铁量的百分数(%)	Fe^{2+}/Fe^{3+} 值	绿泥石的含量(%)
11	0.34	未处理	Fe^{2+} 双线	1.11	2.66	0.36	24.22±1.29	0.32	26
			Fe^{3+} 双线	0.37	0.63	0.46	74.48±1.96		
			Fe^{3+} 六线	0.26	1.03		1.30±2.02		
12	10.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.12	2.62	0.38	35.61±2.07	0.55	29
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.63	0.53	59.95±2.65		
			Fe^{3+} 六线	0.34	0.36		4.44±3.00		
13	17.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.12	2.62	0.35	30.65±1.41	0.44	25
			Fe^{3+} 双线	0.39	0.57	0.53	69.35±1.41		
			Fe^{3+} 六线	—	—		0		
14	29.5	未处理	Fe^{2+} 双线	1.13	2.62	0.42	39.34±2.39	0.65	30
			Fe^{3+} 双线	0.37	0.61	0.58	51.92±2.62		
			Fe^{3+} 六线	0.39	0.54		8.74±2.89		
15	42.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.13	2.62	0.39	41.36±1.24	0.71	24
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.63	0.57	49.58±1.33		
			Fe^{3+} 六线	0.34	0.41		9.07±1.37		
16	51.7	未处理	Fe^{2+} 双线	1.13	2.64	0.40	47.51±2.98	0.91	27
			Fe^{3+} 双线	0.35	0.62	0.60	46.40±3.04		
			Fe^{3+} 六线	0.36	0.22		6.10±3.58		
17	65.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.11	2.60	0.47	44.44±2.65	0.80	25
			Fe^{3+} 双线	0.39	0.54	0.66	48.01±2.61		
			Fe^{3+} 六线	0.42	0.69		7.55±2.46		
18	80.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.11	2.66	0.35	24.54±2.00	0.33	22
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.66	0.55	73.79±2.59		
			Fe^{3+} 六线	0.93	1.78		1.67±2.78		
19	120.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.13	2.63	0.40	39.13±2.34	0.64	19
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.59	0.59	54.94±2.63		
			Fe^{3+} 六线	0.36	0.64		5.93±2.80		
20	141.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.12	2.66	0.35	15.99±1.19	0.19	18
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.64	0.55	77.92±1.82		
			Fe^{3+} 六线	0.39	0.53		6.09±1.67		
21	154.0	未处理	Fe^{2+} 双线	1.10	2.68	0.36	16.89±1.01	0.20	23
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.66	0.54	78.72±1.70		
			Fe^{3+} 六线	0.38	0.53		4.40±1.64		

分裂的强度降低了 23%（1 号样品）和 12%（8 号样品），从而证实了非晶态的三价铁氢氧化物和凝胶的存在。

在察尔汗盐湖所有样品的室温穆斯堡尔谱中，都可以看到一个强度很弱的六线分裂。这个六线分裂为磁超精细场，它是由样品中赤铁矿（α-Fe_2O_3）产生的。这是因为在常温下只有赤铁矿可以产生磁分裂。各个样品中赤铁矿的含量不同，随着取样深度增加有减少的趋势（从约 9% 降到约 2%，见表 2-37）。

表 2-39　察尔汗盐湖和青海湖某些粘土样的低温穆斯堡尔参数

湖　名	样号	测量温度(K)	穆斯堡尔谱的成分	δ (mm/s)	ΔE_Q (mm/s)	Γ (mm/s)	占总铁量的百分数(%)	Fe^{2+}/Fe^{3+} 值
察尔汗盐湖	1	5	Fe^{2+} 双线 I	1.27	2.89	0.40	23.69±1.59	0.74
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0	
			Fe^{2+} 磁分裂	1.03	0.08		18.73±3.20	
			Fe^{3+} 双线	0.41	0.78	0.79	39.28±2.91	
			Fe^{3+} 六线 I	0.48	0.42		11.44±2.74	
			Fe^{3+} 六线 II	0.59	0.11		6.86±3.29	
	8	5	Fe^{2+} 双线 I	1.29	2.86	0.39	24.29±1.68	1.42
			Fe^{2+} 双线 II	1.20	1.87	0.59	8.92±2.69	
			Fe^{2+} 磁分裂	2.04	0.13		25.55±2.00	
			Fe^{3+} 双线	0.32	0.98	0.69	36.76±1.79	
			Fe^{3+} 六线 I	0.51	0.25		4.48±2.14	
			Fe^{3+} 六线 II	—	—		0	
	8	15	Fe^{2+} 双线 I	1.28	2.87	0.37	30.80±1.20	1.31
			Fe^{2+} 双线 II	1.19	1.90	0.45	6.49±1.46	
			Fe^{2+} 磁分裂	2.04	0.04		19.35±1.55	
			Fe^{3+} 双线	0.36	0.89	0.66	37.90±1.26	
			Fe^{3+} 六线 I	0.45	0.60		5.46±0.97	
			Fe^{3+} 六线 II	—	—		0	
青海湖	11	5	Fe^{2+} 双线 I	1.29	2.89	0.40	15.97±0.76	0.19
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0	
			Fe^{2+} 磁分裂	—	—		0	
			Fe^{3+} 双线	0.48	0.64	0.75	41.52±1.20	
			Fe^{3+} 六线 I*	0.48	0.17		4.01±2.46	
			Fe^{3+} 六线 II	0.48	0.44		38.50±2.59	
	21	5	Fe^{2+} 双线 I	1.27	2.87	0.35	12.03±0.64	0.14
			Fe^{2+} 双线 II	—	—	—	0	
			Fe^{2+} 磁分裂	—	—		0	
			Fe^{3+} 双线	0.47	0.67	0.66	51.81±0.99	
			Fe^{3+} 六线 I	0.47	0.47		1.77±0.77	
			Fe^{3+} 六线 II	0.48	0.51		34.39±1.38	

* 不是赤铁矿的磁分裂，而是由三价铁的又一种氢氧化物产生的。

低温下测得的穆斯堡尔谱可以给出更多的信息，特别是关于磁超精细场的信息。

在常温下菱铁矿的双线分裂（Fe^{2+} 双线 II）在低温下（$T \leqslant 15K$）基本消失（1 号样品）或大大减弱（8 号样品），而出现了一个形状比较复杂的磁分裂（表 2-39 中的“Fe^{2+} 磁分裂”）。这个磁分裂的复杂形状可能是由为菱铁矿中部分铁离子被镁或钙离子取代而造成的。同时，根据文献介绍，在 7K 以下，这个磁分裂中还包含有部分绿泥石晶体出现磁有序的贡献，所以在 5K 下“Fe^{2+} 双线 I”的强度也有明显减弱。

在 5K 下 1 号样品的谱中出现了一个新的 Fe^{3+} 六线磁分裂（磁超精细场），这是非晶态三价铁氢氧化物或凝胶在低温下磁有序的结果，而 8 号样品却几乎看不出这个磁分裂。这说明在后期的沉积物中（钻孔岩芯上部）含有较多的非晶态三价铁氢氧化物或凝胶。

另外，在低温下赤铁矿的磁分裂（在 5K 下）符合文献值的强度比室温下略有增强，这意味着细小颗粒的赤铁矿晶体在室温下有一部分仍然处于超顺磁状态。

（2）青海湖样品的谱的分析

青海湖沉积物粘土样品在室温下的穆斯堡尔谱分解为一个 Fe^{2+} 双线分裂，一个 Fe^{3+} 双线分裂和一个 Fe^{3+} 六线磁分裂，所有 11 个样品的谱中都没有出现象察尔汗盐湖样品中的第二个 Fe^{2+} 双线分裂，这说明在青海湖沉积物粘土样品中碳酸铁的含量很少。

Fe^{2+} 双线分裂的穆斯堡尔参数（$\delta = 1.10—1.13$，$\Delta E_Q = 2.60—2.68$，$\Gamma = 0.35—0.47mm/s$）同察尔汗样品的“Fe^{2+} 双线 I”一致，主要归因于绿泥石中二价铁的贡献。Fe^{3+} 双线分裂（$\delta = 0.35—0.39$，$\Delta E_Q = 0.54—0.66$，$\Gamma = 0.46—0.66mm/s$）则同察尔汗样品的“Fe^{3+} 双线”所代表的成分相同，但 Fe^{3+} 的相对含量要比察尔汗样品中高得多。Fe^{3+} 六线分裂和察尔汗的样品一样，是由赤铁矿所产生的。

在低温下青海湖样品的谱中出现了一个较强的六线磁分裂，这说明在青海湖样品中含有比察尔汗样品中更多的非晶态三价铁氢氧化物或凝胶，而赤铁矿的六线分裂在低温下与察尔汗样品的情况相反，不但没有增强，反而相对减弱了。11 号样品的这个谱分量甚至完全被淹没了。该样品中出现了另一个六线分裂，这是三价铁的又一种氢氧化物的磁分裂。

（3）两湖样品中各种矿物相对含量的差异

X 射线衍射分析的结果，两个湖沉积物中的粘土矿物主要成分均为伊利石和绿泥石，含有少量的蒙脱石和高岭石等。这些矿物中主要含铁矿物为绿泥石，这与穆斯堡尔分析的结果相一致。但是，有一些含铁矿物在这两个湖中存在明显差异，特别是在察尔汗盐湖样品中含有较多的碳酸铁（菱铁矿），而在青海湖样品中却几乎没有发现。在青海湖样品中含有比察尔汗盐湖样品中更多的三价铁的氢氧化物或凝胶，察尔汗盐湖样品的 Fe^{2+}/Fe^{3+} 值相对于青海湖样品要高得多。另外，在同一湖的样品中，各种矿物的相对含量以及 Fe^{2+}/Fe^{3+} 值随钻孔深度也有明显的变化。

第三章　我国盐湖粘土矿物的基本特征

前一章已经分别介绍了青海、西藏、内蒙古和新疆等省区盐湖粘土矿物的实际资料，以及盐湖地区某些咸水湖粘土矿物资料，虽然所研究的盐湖数量有限，但对我国盐湖粘土矿物的基本情况已经初步掌握。根据现有的资料和认识，这一章将对我国盐湖粘土的产状，粘土矿物类型，粘土化学成分，粘土矿物成因和控制因素等初步作一归纳。

第一节　粘土的含量和分布

根据盐湖粘土分布的层位及含量多少，可以归纳以下几种产状：

（1）作为盐类沉积层中混杂的次要成分——碎屑物中的次要组成或主要组成而存在，以前者较为普遍。

（2）在盐湖晚期成盐阶段中盐、碎互层沉积的情况下，粘土作为碎屑层的组分而存在，大多数情况是如此。

（3）在蒸发盐直接发育在碎屑物之上的情况下，粘土作为盐湖早期未成盐阶段碎屑层中的组分而存在，它可以是主要成分（如粉砂质粘土层、粘土层），也可以是次要成分（如粘土质粉砂）。

了解盐湖粘土的分布层位是十分重要的。我们知道，粘土矿物的形成和稳定，需要一定的金属阳离子和相应的环境（图 1-2），盐湖晚期成盐阶段中的粘土矿物，是长期处于高矿化度卤水的特定环境中，而粘土矿物的类质同象取代是比较发育的。盐湖沉积从早期未成盐阶段发展到晚期成盐阶段，气候上必然急剧和持续的干旱。成盐阶段中的蒸发盐层和碎屑层则分别代表沉积过程中的相对咸化和相对淡化时期（指湖水）。无疑，获得不同层位的盐湖粘土矿物资料，对探讨沉积环境和成矿元素迁移富集等方面可以提供有用的信息。

根据现有的近 300 个盐湖沉积物粒度分析结果来看，盐湖碎屑沉积物中粘土含量变化范围很大，从百分之几到 80% 都有分布，但是，其含量仍多数集中在 5—20% 范围内。

从若干盐湖沉积剖面中沉积物粒度分析资料来看，粘土含量在剖面中有以下几种分布趋势：

（1）早期未成盐阶段碎屑层中粘土含量较多，甚至构成粘土层，而在晚期成盐阶段中（碎屑层或蒸发盐层中混杂的碎屑物）的粘土含量显著减少，多数情况属此，如察尔汗盐湖（图 2-25）。

（2）但也有例外情况，如察汉淖盐湖（表2-1），晚期成盐阶段碎屑层中粘土含量反而较多，而在早期未成盐阶段碎屑物中的粘土含量较少。

（3）在盐湖成盐阶段，蒸发盐与碎屑物多次互层沉积，碎屑层中粘土含量呈现多次旋

回性变化，如查干诺尔盐湖(表 2-1)。

某些盐湖沉积剖面中粘土含量变化如图 3-1 所示。

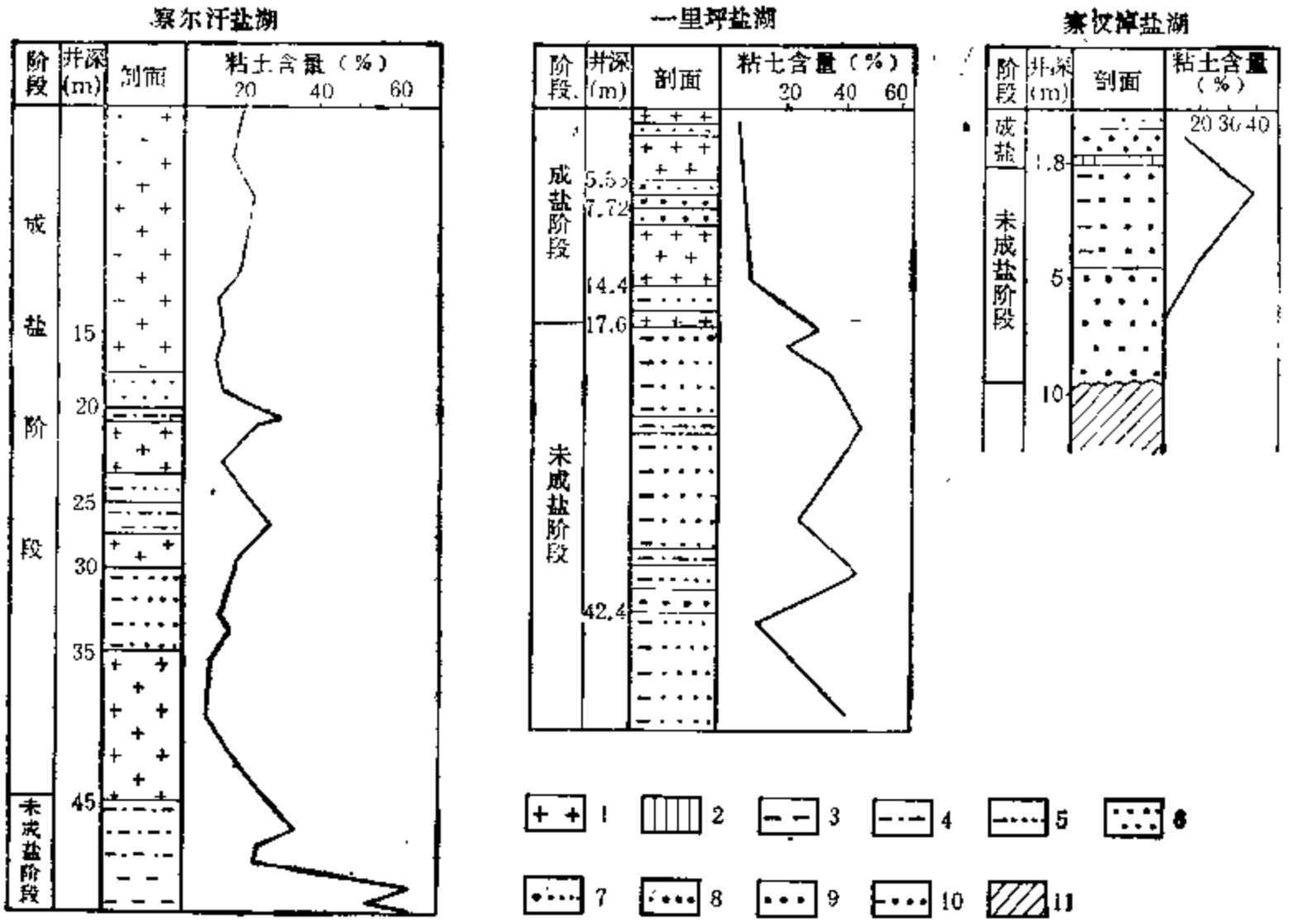


图 3-1　某些盐湖沉积剖面中粘土含量的变化

1.石盐　2.碱　3.粘土　4.粉砂质粘土　5.粘土质粉砂　6.粉砂　7.砂质粉砂　8.粉砂质砂　9.砂　10.粘土质砂　11.砂岩

盐湖碎屑沉积物粒度成分或粘土含量的分布特征，除了受一般因素如岩性、物质来源、风化程度、搬运距离远近和水动力大小等制约外，这里还应强调盐类组分对粘土含量及分布的影响。而盐类组分与盐湖演化不同阶段和物质来源有关，这充分显示盐湖粘土含量的分布特征有它本身的特殊性和复杂性。

根据一些资料(高章洪,1987)，盐湖碎屑物中碳酸盐含量差别较大，多分布在 5μm 粒级以下，一般说，在未成盐阶段，碳酸盐含量较高；而在晚期成盐阶段，碳酸盐含量降低。

石膏的含量和分布有以下两种情况：① 我们在吉兰泰盐湖碎屑物的 $>50\mu m$ 粒级中，通过双目镜下观察与统计，该剖面自下往上，石膏含量有由约 95% 到 15% 逐渐减少的变化趋势；②在察尔汗 81 孔碎屑物的 $>50\mu m$ 粒级中，石膏含量和分布在剖面中呈现不规则变化。有的样品中石膏含量可达 90%，而有的样品中石膏含量 $<10\%$。总之，不管上面哪种情况，石膏主要分布在 $>50\mu m$ 粒级范围内。

以上不难看出，不溶于水的碳酸盐和石膏的存在，直接影响盐湖粘土含量及分布，而它们的含量和分布，又受到盐湖演化不同阶段和物质来源的制约。

第二节　粘土矿物的类型和分布

我国盐湖粘土矿物，以伊利石-绿泥石为特征，这两种矿物普遍存在，蒙脱石的含量高低不一，有时接近绿泥石，个别可超过绿泥石，高岭石一般很少，在末成盐阶段沉积物中有时能见到稍多高岭石，还存在少量的不规则混层矿物，偶见坡缕石等。此外，在粘土试样中还普遍存在方解石、文石、菱镁矿等碳酸盐矿物，以及石英、长石等原生碎屑矿物。

根据粘土矿物类型及相对含量多少，可划分以下几种矿物组合：①伊利石-绿泥石；② 伊利石-绿泥石-蒙脱石-高岭石；③伊利石-绿泥石-高岭石；④伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石；⑥伊利石-蒙脱石-绿泥石-高岭石。这里不规则混层矿物没有考虑进去。其中，①和②组合在我国盐湖沉积物中最普遍，③和④组合主要分布在我国盐湖早期末成盐阶段中，⑤组合分布在尕斯库勒湖、艾丁湖和青海湖哈达滩剖面等一些沉积物样品中。此外，还偶见伊利石-高岭石-绿泥石-蒙脱石和绿泥石-伊利石-蒙脱石-高岭石(如艾丁湖个别样中)等组合。总之，我国盐湖粘土矿物的基本特征是以伊利石-绿泥石为主导成分。

粘土矿物的相互关系及含量变化，在某些盐湖沉积剖面中存在一定趋势。例如，尕斯

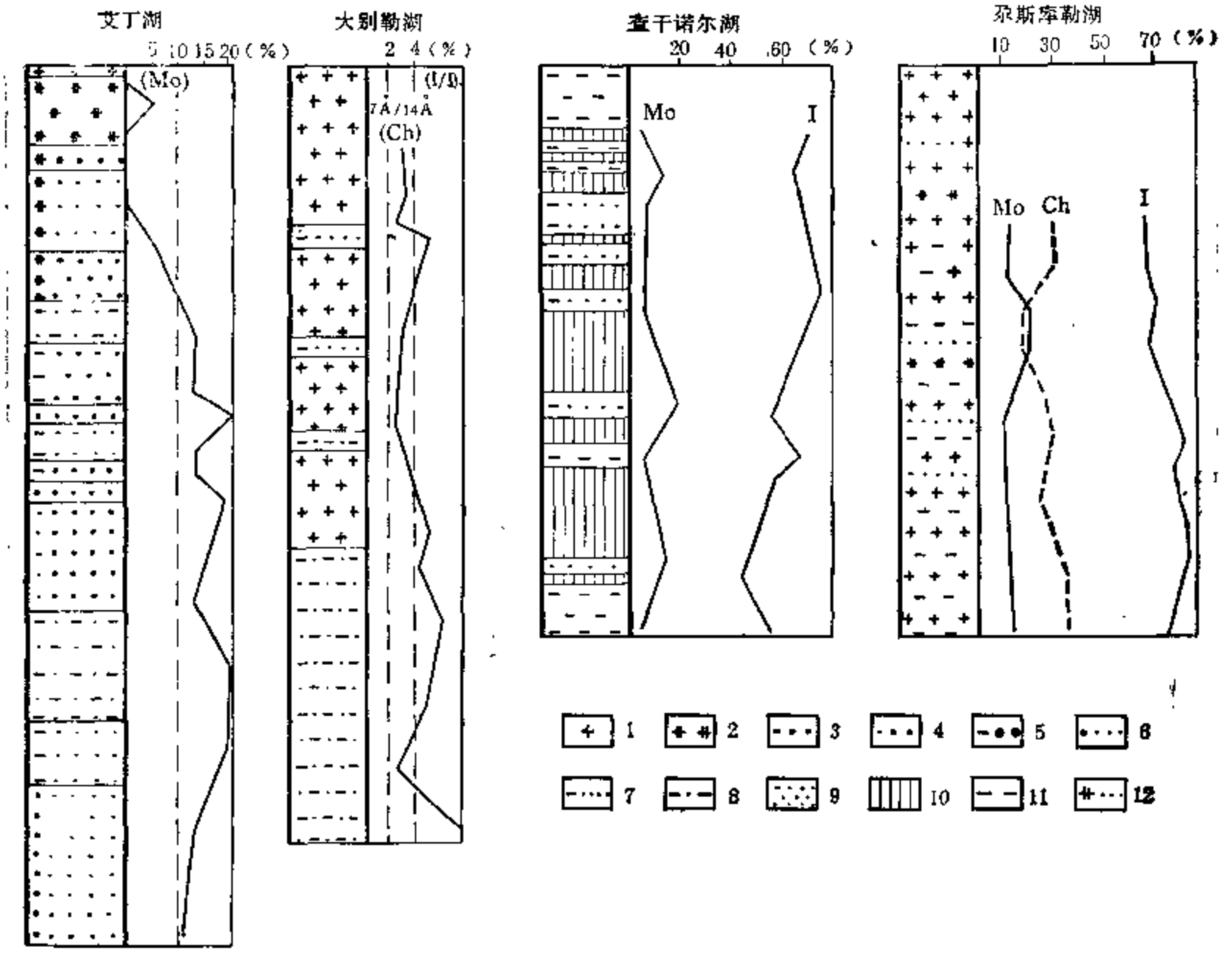


图 3-2　某些盐湖沉积剖面中粘土矿物分布特征

1.石盐　2.芒硝　3.细砂　4.粉砂质砂　5.粘土质砂　6.砂质粉砂　7.粘土质粉砂　8.粉砂质粘土　9.粉砂　10.碱　11.粘土　12.含芒硝粉砂

库勒湖、查干诺尔湖和艾丁湖等沉积剖面中，蒙脱石和伊利石的相对含量，大致呈互为消长的关系(图 3-2)。

又如，大别勒湖沉积剖面中，伊利石和绿泥石的含量在不同沉积阶段中明显不同。即该湖未成盐阶段中，伊利石平均 89%，绿泥石平均 9%，而在成盐阶段中，伊利石减少，平均80%，绿泥石增加，平均18%。此外，艾丁湖沉积剖面中，蒙脱石的含量在不同沉积阶段中的差异也是十分明显的。即未成盐阶段中，蒙脱石普遍存在，平均含量 14%；而在成盐阶段中，蒙脱石含量明显减少，<8%，且有的样品中未发现。

主要粘土矿物与沉积阶段的关系是：

伊利石：成盐阶段<未成盐阶段(表 2-22，柴达木盆地盐湖，79%<86%)。

绿泥石：成盐阶段>未成盐阶段(表 2-22，柴达木盆地盐湖，17%>10%)。

蒙脱石：成盐阶段<未成盐阶段(艾丁湖)。

高岭石：成盐阶段<未成盐阶段(查干诺尔湖、大别勒湖等)。

伊利石的结晶度和绿泥石的类型在某些盐湖沉积剖面中呈现一定的变化趋势。例如，青海湖 85-14 孔剖面中(表 2-34)，伊利石结晶度的变化 (b/a)，与剖面中岩性特征存在一定的关系。即伊利石结晶良好的与具条带特征、含丰富的介形类的岩性有关。大别勒湖沉积剖面中，早期未成盐阶段中，绿泥石基本为铁绿泥石类型；而在晚期成盐阶段中，绿泥石基本为镁铁绿泥石类型。

第三节　粘土的化学特征

我国盐湖粘土的化学成分有共同的基本特征，同时，也随分布地区和沉积阶段而异。为了便于比较，现将不同地区盐湖粘土的化学成分、盐湖不同沉积阶段中粘土化学成分、盐湖地区内其它沉积物中粘土化学成分，以及澳大利亚某些盐湖粘土化学成分的平均值列于表 3-1 中，并将各湖区粘土中的 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 的相对百分含量作成图 3-3。

从表 3-1 和图 3-3 中，我国盐湖粘土化学成分可以归纳出以下几点：

(1) 80 个盐湖粘土样的化学成分平均值如下：SiO_2，53.55%；Al_2O_3，23.01%；Fe_2O_3，7.56%；K_2O，4.97%；Na_2O，1.17%；CaO，0.79%；MgO，4.01%。它大致与伊利石粘土化学成分相似。盐湖粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 的相对百分含量特征与冷温带大陆粘土和盐沼、干湖粘土的化学成分特征相似。也就是说，我国盐湖粘土化学成分，既具有冷温带大陆粘土富钾的特征，又具有盐沼粘土富镁的特征 。

(2) 不同地区盐湖粘土化学成分显示明显差异，尤其表现在 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 的含量上。根据粘土化学成分特点，我们可以把我国盐湖粘土初步划为 3 个区：西藏和新疆为富镁区 (MgO，5.23—6.16%)，青海为富钾区 (K_2O，6.19%)，内蒙古为富铝区 (Al_2O_3，25.02%)。

(3) 盐湖不同沉积阶段中粘土某些化学成分也存在明显差异，尤其是 MgO 的含量在成盐阶段中明显较多，但是，SiO_2、Al_2O_3 的含量略有减少。大别勒湖中的粘土化学成分特点就是一个较好的例子。该湖早期未成盐阶段中，MgO 和 K_2O 的含量范围分别为 1.61—2.65%、6.00—7.36%，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征与冷温带大陆粘土化学成分特征十分相似；而在晚期成盐阶段中，MgO 和 K_2O 的含量范围分别为

表3-1　不同湖区粘土化学成分平均值

项　目	样数	化学成分(%)							相对百分含量(%)		
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
青海盐湖	38	53.21	22.81	7.87	6.19	1.33	0.82	3.24	71	10	19
西藏盐湖	9	51.33	17.13	4.51	3.93	0.85	0.78	5.23	66	19	15
内蒙古盐湖	25	54.52	25.02	7.60	4.19	0.82	0.71	4.06	76	11	13
新疆盐湖	8	54.65	24.25	9.39	2.78	1.44	0.91	6.16	73	19	8
未成盐阶段		53.60	23.56	7.99	5.69	1.27	0.74	3.10			
成盐阶段		53.02	23.29	7.59	5.52	0.95	0.79	3.80			
我国盐湖平均值	80	53.55	23.01	7.56	4.97	1.17	0.79	4.01			
西藏咸水湖	3	52.33	19.05	6.69	4.78	1.26	0.66	5.95			
青海盐湖周围土样	4	47.35	24.45	9.65	5.43	2.17	4.52	3.24			
青海湖	24	50.69	25.01	8.77	3.91	1.37	0.94	3.73			
澳大利亚盐湖	6	54.88	21.16	10.05	3.24	2.65	0.75	2.19			
伊利石粘土*		50.80	28.00	6.90	4.93	0.54	0.75	3.07			

* 据中国科学院贵阳地球化学研究所，1977。

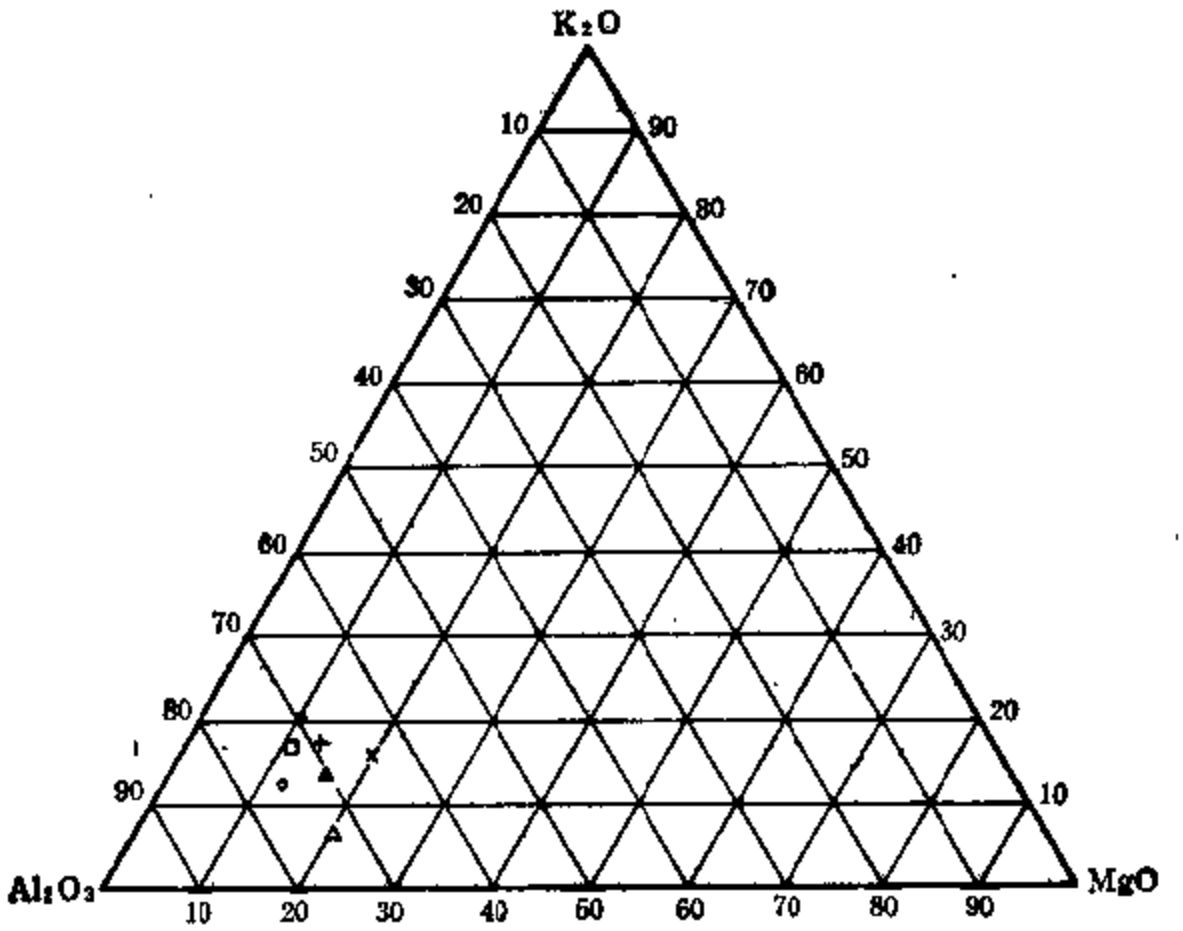


图3-3　各湖区粘土的 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

● 青海盐湖　× 西藏盐湖　○ 内蒙古盐湖　△ 新疆盐湖　□ 盐湖未成盐阶段
＋ 盐湖成盐阶段　▲ 我国盐湖平均值

3.34—5.57 %和 5.60—6.43 %，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征与盐沼、干湖粘土化学成分特征十分相似。

（4）粘土中 Al_2O_3/MgO 值及其变化趋势与盐湖不同沉积阶段存在一定关系，这可以从图 3-4 中得到较好的反映。重要的是 Al_2O_3/MgO 值变化曲线与沉积环境之间存在一定联系，这方面将在下一章中具体论述。

（5）盐湖粘土中微量元素的含量和分布。从 16 个盐湖的 35 个粘土样的光谱分析结果来看，青藏一些盐湖粘土中各微量元素的百分含量范围如下：硼和锰为0.01—0.5 %，钛

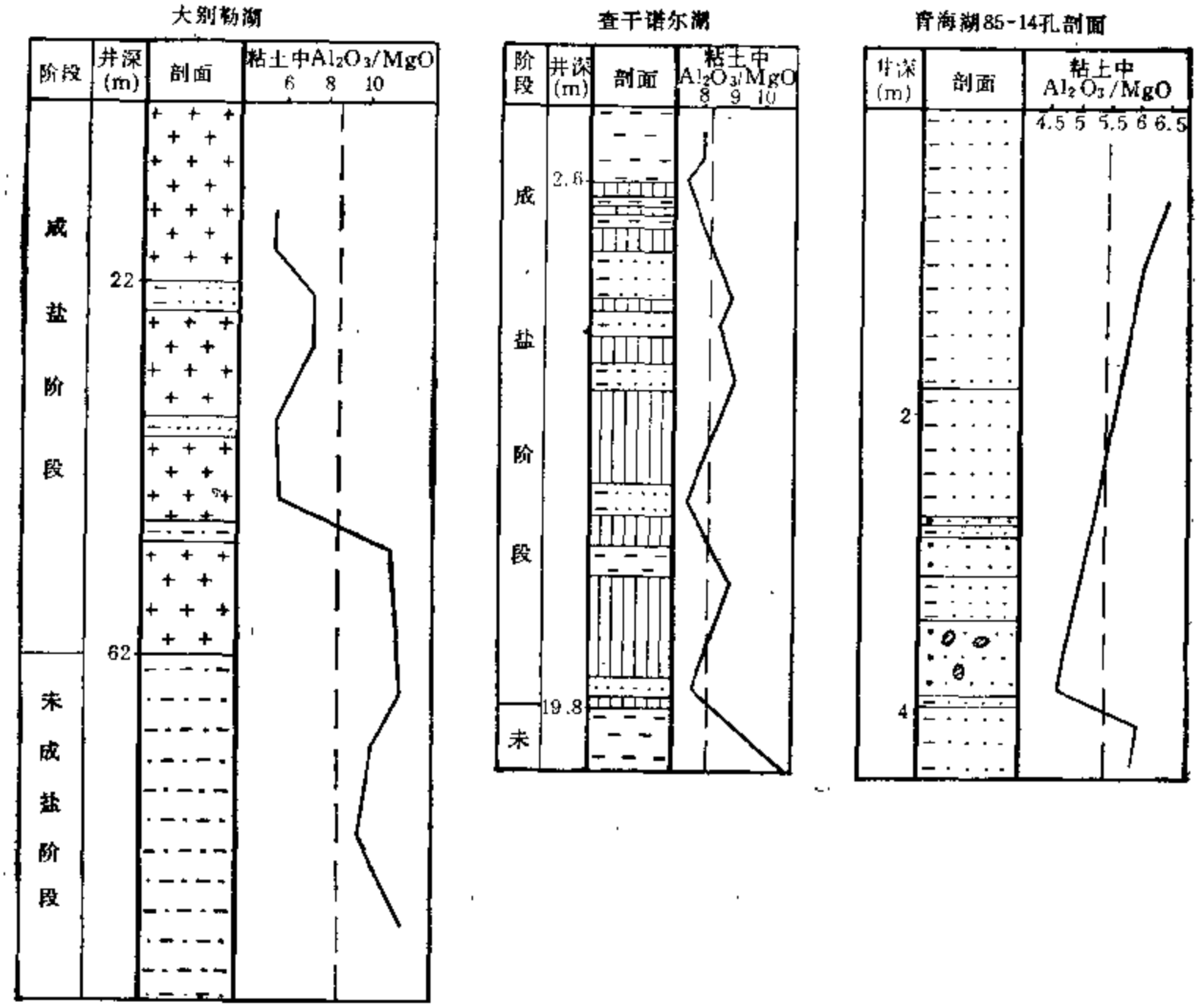


图3-4　某些盐湖沉积剖面中粘土的 Al_2O_3/MgO 值变化曲线

为0.8—1.0%，锆为0.01—0.03%，锌为0.03%，钴和锡为0.0003—0.003%，铅为0.0005—0.0008%，铬为0.001—0.006%，镓为0.005%，镍为0.0008—0.005%，钒为0.003—0.01%，钼为0.0001%，铜为0.005—0.003%，银为0.0008—0.0001%。其中，察尔汗盐湖沉积剖面中有较系统的微量元素数据（表2-11）。该湖粘土中铅、铜等元素含量分别为0.003—0.005%和0.002—0.003%，大致为柴达木盆地其它盐湖粘土中铅、铜含量的10倍。可能与该湖附近锡铁山蕴藏的铅锌矿有关。总之，我国盐湖粘土的微量元素分析数据还不够系统，有待今后进一步积累资料。

第四节　粘土矿物成因

粘土矿物成因，一般都归纳为下列3种：

（1）继承（他生）——随母质中的碎屑矿物而来，受目前环境的影响较轻。

（2）转变——在化学风化或蚀变作用下，一种粘土矿物蜕变为另一种粘土矿物，并能基本保留矿物的原有晶体结构。

（3）新生（自生）——在沉积环境中由各种元素重新结合而成。

那么，我国盐湖粘土矿物是什么成因呢？根据现有的资料和认识，初步归纳为以下几种成因类型：

（1）我国盐湖粘土矿物基本上属碎屑成因，也就是说，盐湖粘土矿物基本上是他生的，是从湖周围经搬运而沉积到湖盆的。这方面的佐证有以下几点：

1）盐湖碎屑沉积物的岩性特点与粘土矿物碎屑成因的沉积物岩性特点无异。即松散的、未固结的，以物理风化为主等。

2）盐湖粘土矿物组合与盐湖地区咸水湖和土壤中粘土矿物组合基本一致。即以伊利石-绿泥石为特征。许冀泉在《中国土壤》一书中，根据土壤粘粒中的主导粘土矿物把全国划分为7个分布区，新疆、内蒙古高原西部、柴达木盆地、青藏高原大部属水云母(即伊利石)区。土壤粘粒中以水云母为主，其次为绿泥石和蒙脱石。以上这些地区基本上处于我国西北干旱气候带内(图1-1)。

3）盐湖粘土，尤其是未成盐阶段的粘土的 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征，更接近于冷温带大陆粘土的化学特征。很显然，这一特点的产生与我国盐湖分布的地理位置有关，反映了盐湖粘土矿物的碎屑继承性。

（2）粘土矿物具有巨大的活性表面，而盐湖粘土矿物，特别是在盐湖晚期成盐阶段中，长期处于高矿化度卤水的这样一个特定的环境中，卤水的化学成分势必对粘土矿物产生一定的影响，甚至发生一些变化。也就是说，盐湖粘土矿物在沉积过程中还存在转变或自生的成因类型。下面一些资料可以初步说明这个问题。

1）尕斯库勒湖、查干诺尔湖和艾丁湖沉积剖面中，伊利石和蒙脱石的含量呈现互为消长的关系(图3-2、图2-51)：①根据粘土样X射线衍射图谱上伊利石（10Å峰)和蒙脱石（17Å 峰)(镁-甘油饱和)的峰形和峰面积大小，以及粘土中 K_2O 含量多少，初步认为在富钾离子卤水条件下，部分蒙脱石发生向伊利石的转变。尕斯库勒湖沉积剖面中粘土属这种情况。②在查干诺尔湖沉积剖面中，虽然伊利石与蒙脱石也大致呈现互为消长的现象，根据粘土中MgO含量的变化，可能与蒙脱石自然改型有关。也就是说，蒙脱石的属性可能发生某些变化。③艾丁湖，在不同沉积阶段中，绿泥石类型没有明显变化，高岭石的含量也没有明显差异，蒙脱石在未成盐阶段中普遍存在，并含量较多，而在成盐阶段中含量很少，或有的样品中未见到。从该剖面盐类沉积来看，自下往上为芒硝、钙芒硝、无水芒硝和石盐沉积。这些矿物析出后，卤水中镁的含量势必相对增加，因此，成盐阶段中镁含量较多(表2-28)。根据这些资料初步认为，造成成盐阶段中粘土的MgO增加的原因，可能是粘土表面发生了某些化学作用，相当于部分类质同象取代。

2）大别勒湖沉积剖面中，早期未成盐阶段的绿泥石基本为铁绿泥石类型，而在晚期成盐阶段中，绿泥石基本为镁铁绿泥石类型。绿泥石类型的这种转变，是成盐阶段中卤水的镁离子取代绿泥石中部分铁离子的结果。

第五节　控制因素

一、干旱气候控制盐湖粘土矿物基本特征

如前所述，我国广大地区盐湖粘土矿物存在共同的特征，即以伊利石-绿泥石为特征。

粘土化学成分与伊利石粘土相似，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征与冷温带大陆粘土、盐沼、干湖粘土的化学成分特征相似等。不仅如此，而且与盐湖地区其它现代地质体(咸水湖、土壤)中粘土矿物组合亦十分相似。是什么因素控制盐湖、咸水湖和土壤中粘土矿物的这些基本特征呢？我们知道，干旱气候是盐湖形成发育的必要条件，我国盐湖基本分布在我国东南湿润气候带和西北干旱气候带分界线的西北干旱区内。因此，我国各地区盐湖粘土矿物所显示的一些共同特征，表明它是干旱气候控制下的产物。

二、物质来源不同和盐湖卤水的不同化学组分控制不同地区盐湖中及盐湖不同沉积阶段中某些粘土矿物特征

(1) 不同物质来源控制不同地区盐湖粘土中某些化学成分是显而易见的。例如，柴达木盆地盐湖粘土中较西藏、内蒙古和新疆等省区盐湖粘土中明显富钾(表 3-1)，这与该盆地周围岩体中钾的地球化学背景值较高密切相关。郑喜玉(1986)曾具体列出了柴达木盆地基底及边缘蚀源区和沉积区中钾的平均百分含量，其含量明显高于地壳克拉克值。杨谦(1986)在研究柴达木盆地钾盐形成条件及盐类聚集过程时指出：外围山系的岩浆岩和古老变质岩通过长期的风化淋滤，使钾被迁移出来并转入水体，然后以地表或地下径流的方式汇入盆地。这是钾的主要来源。他同时提到，昆仑山的岩浆岩，特别是中酸性岩石中的 K_2O 的含量，与全国和世界相比，更是明显偏高。正是由于该盆地岩体中 K_2O 含量高，才能导致盐湖粘土中 K_2O 含量亦高，以至该盆地一些盐湖成为我国大型的钾镁矿床。又如，西藏盐湖粘土中富镁，粘土中 Al_2O_3、K_2O 和 MgO 相对百分含量特征与其它成因类型粘土化学成分特征明显不同，表明西藏盐湖物质来源有它的独特之处。事实上，热水活动为西藏盐湖提供了重要化学组分。今天我们在一些盐湖的湖内或湖周所见到的不少古泉华堆积物，就是一个佐证。

(2) 盐湖卤水中某些化学组分控制成盐阶段中粘土化学组分的一些特征。粘土矿物具有巨大的活性表面，盐湖卤水中的化学成分可能与粘土矿物发生表面化学作用，甚至由表面逐渐深入内部，相当于局部的类质同象取代作用。例如，前面提到的大别勒湖，从早期未成盐阶段发展到晚期成盐阶段中，绿泥石由铁绿泥石类型转变为镁铁绿泥石类型，就是盐湖晶间卤水中镁离子取代部分铁离子的结果。以及在尕斯库勒湖沉积剖面中（成盐阶段），由于晶间卤水中富存钾离子，使部分蒙脱石转变为伊利石。

我们可以说，盐湖卤水化学成分对粘土矿物的影响和作用，实质上也是物质来源不同而产生的不同结果，是物质来源控制某些粘土矿物特征的一种表现形式。这是一个方面，另一方面，必须强调盐湖形成演化历史对粘土矿物的作用和影响。我们知道，蒸发盐的析出顺序一般是碳酸盐→硫酸盐→氯化物。在不同阶段中，卤水中的主导的化学成分是不同的。各个盐湖的演化历史也是千姿百态。所以，研究盐湖卤水化学成分对粘土矿物的作用和影响，要同时考虑物质来源和盐湖演化历史。

第四章　盐湖粘土资料与资源环境关系讨论

粘土矿物通常与形成环境联系起来研究。就作者所知，国内外公开报道的专门研究盐湖粘土矿物的资料甚少。也就是说，盐湖粘土矿物研究尚未引起人们的重视。作者在开始研究盐湖粘土矿物的时候，也主要是基于它是盐湖地学学科的基础资料积累。随着盐湖粘土矿物研究工作的不断深入，资料的不断积累，我们初步认识到，盐湖粘土矿物资料不仅可以反映沉积过程中某些环境变化，而且可以为某些成矿元素迁移富集规律的探讨提供科学依据。而后者更具有特色。

根据现有的资料，下面就盐湖粘土矿物资料与沉积环境和成矿元素之间的关系分别进行论述。

第一节　盐湖粘土资料与沉积环境

一些资料已表明，盐湖粘土矿物资料也能反映沉积过程中某些环境变化。

1. 盐湖不同沉积阶段中某些粘土矿物资料的差异反映沉积过程中某些气候环境变化

一般说，盐湖早期未成盐阶段中，粘土矿物组合以伊利石-绿泥石-高岭石为特征，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量具有冷温带大陆粘土化学成分特征；而在盐湖成盐阶段中，粘土矿物组合以伊利石-绿泥石为特征，粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量具有盐沼、干湖粘土化学成分特征等。这基本反映了从盐湖早期未成盐阶段发展到晚期成盐阶段过程中，其气候环境从相对温冷、淋滤作用较强、酸性、弱碱性到相对干旱、淋滤作用不强、弱碱性、碱性。

2. 某些盐湖沉积剖面粘土中 Al_2O_3/MgO 值的古气候环境意义

在实际工作中，作者根据盐湖沉积物中主要粘土矿物及粘土矿物的主要金属阳离子及其形成条件，例如，伊利石，主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，K^+，形成环境为弱碱性，淋滤作用不强等；绿泥石，主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，Mg^{2+}，Fe^{3+}，形成环境为碱性；高岭石，主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，形成环境为酸性，淋滤作用较强等；蒙脱石，主要阳离子为 Si^{4+}，Al^{3+}，Mg^{2+} 等，形成环境为弱碱性，淋滤作用不强等，提出采用粘土中 Al_2O_3/MgO 值大小及其变化来反映沉积过程中古气候环境变化，已经取得初步结果，并具有一定的普遍意义。

现在以察尔汗盐湖(大别勒湖)、查干诺尔湖和艾丁湖的具体资料为例(表 4-1)，进行粘土中 Al_2O_3/MgO 值与沉积环境关系讨论。

(1) 察尔汗盐湖

该剖面自下往上沉积过程中气候环境变化如下：距今约 25 000 年前，该湖进入成盐

表 4-1　察尔汗等盐湖粘土中 Al_2O_3/MgO 值与沉积环境关系

湖名	沉积阶段	主要岩性	样号	埋深(m)	粘土中		粘土中	沉积环境
					Al_2O_3(%)	MgO(%)	Al_2O_3/MgO	
察尔汗盐湖	成盐阶段	石盐与粘土质粉砂互层或粘土层	26	11.9	22.99	5.11	4.5	咸化时期（包括4次相对咸化和相对淡化交互期）
			41	17.1	22.41	5.57	4	
			45	18.7	21.79	3.53	6	
			49	21.2	27.05	3.63	7.4	
			59	31.5	25.69	3.90	6.5	
			62	35.9	25.65	4.79	5.3	
			71	43.9	25.05	5.34	4.6	
			78	47.4	19.80	1.61	12	
	未成盐阶段	粉砂质粘土	89	59.5	24.49	2.11	11.5	淡化时期
			81	65.5	24.91	2.21	11.2	
			94	70.2	23.64	2.49	9.1	
			99	79.9	24.78	2.65	9.3	
			106	91.2	25.90	2.40	10.8	
查干诺尔湖	成盐阶段	碱与粘土质粉砂多次互层	1	1.1	25.63	3.20	8	咸化时期（包括9次相对咸化和相对淡化交互期）
			5	2.6	24.90	3.50	7.1	
			7	4.2	25.57	3.17	8	
			8	5.0	26.04	3.09	8.4	
			9	6.6	27.16	3.17	8.5	
			10	7.3	25.53	3.10	8.2	
			11	8.4	25.90	3.00	8.6	
			12	13.4	24.39	3.19	7.6	
			13	14.6	25.27	3.16	8	
			14	15.4	26.37	3.15	8.3	
			15	19.8	26.21	3.71	7	
	未成盐阶段	粘土	19	22.3	28.06	2.46	11.8	淡化时期
艾丁湖	成盐阶段	芒硝	3	0.7	24.41	6.72	3.6	咸化时期
			10	4.0	20.61	11.29	1.8	
			17	8.3	26.13	6.18	4.2	
	未成盐阶段	粉砂、砂、粘土	26	15.9	27.46	4.10	6.7	淡化时期
			31	24.0	23.76	5.19	4.6	
			36	32.2	24.30	4.86	5.0	
			41	39.3	24.68	4.56	5.4	
			55	50.9	22.63	6.40	3.5	

阶段，气候急剧干旱，至约 22 000 年前，沉积第 1 层石盐层(井深 61.88—47.38m)，这一过程中，粘土的 Al_2O_3/MgO 值明显减小。接着至约 20 000 年前，为相对淡化时期，沉积了以碎屑物为主的沉积层 (47.38—46.39m)；至约 19 000 年前，又相对咸化，沉积了第 2 层石盐层(46.39—34.72m)；距今约 19 000—18 000 年前，又相对淡化，沉积了以碎屑物为主的沉积层 (34.72—34m)；距今约 18 000—16 500年前，再次相对咸化，沉积了第 3 层石盐层 (34—23m)；距今约 16 500—15 000 年前，最后一次相对淡化，沉积了碎屑为主的

沉积层（23—21m）；距今约 15 000 年前开始沉积最后一层含钾盐石盐层，至约 8 000 年前结束沉积（指干盐滩，21m—表层盐壳）。在该盐湖成盐阶段中总的干旱气候条件下，粘土中 Al_2O_3/MgO 值大小的旋回性变化，与其相对淡化和相对咸化期的旋回性变化是大致吻合的。即其值小对应于相对咸化时期。进一步可以看出，其值自下往上是越来越小，这与岩性特征相吻合，显示该剖面自下往上气候越来越旱的趋势。利用粘土中 Al_2O_3/MgO 值及其变化所反映的古气候变化及变化趋势，与通过岩相古地理研究所反映的该盆地古气候变化趋势是大致吻合的。

（2）查干诺尔湖

该湖剖面井深约 20m 以下为早期未成盐阶段，粘土中 Al_2O_3/MgO 值最大，为 11.8。表明为淡化时期。井深 20m 往上，一开始其值急剧变小，为 7，进入成盐阶段，沉积了较厚的碱层，表示气候急剧干旱，为第 1 相对咸化期。接着在井深 15.7—12.39m，沉积了以碎屑物为主的沉积层，其值又有所提高，为 8.3，表示该湖进入成盐阶段后的第 1 相对淡化期。然后在井深 12.39—9.39m，又沉积了较厚的碱层，表示为第 2 相对咸化期。从井深 9.39—2.44m，出现碱层和碎屑层互层或混层，层均较薄。这一井段中，Al_2O_3/MgO 值变化较大，碱、碎频繁交替沉积，为相对咸淡频繁交互期。在井深 2.44m 左右，该湖结束碱沉积。从 2.44m 到地表，其值又略有提高，表示该湖进入最后一个相对淡化期。

（3）艾丁湖

该湖剖面井深 14.11m（距今 29 700 年前）以下为早期未成盐阶段，为淡化时期，Al_2O_3/MgO 值 5 个样平均为 5。井深 14.11m 往上开始有芒硝沉积，其值为 4.2，开始成盐阶段。井深约 5m 往上（距今 10 900 年前），芒硝、钙芒硝和石盐分别成层沉积，其值最小，2 个样平均为 2.7，表明湖水进一步咸化。

综合上面 3 个盐湖剖面粘土中 Al_2O_3/MgO 值数据，它们存在以下的共同点：盐湖从早期未成盐阶段一进入晚期成盐阶段，Al_2O_3/MgO 值急剧减小；早期未成盐阶段中的值（一般大于 5—8.5）明显大于晚期成盐阶段中的值。其值大的大致对应于淡化时期或相对淡化时期，并大致与碎屑物为主的碎屑层相对应；其值小的对应于咸化时期或相对咸化时期，并大致与盐类为主的沉积层相对应。而湖水相对淡化或咸化，与气候相对温湿或干旱有联系。形成较厚的蒸发盐层，需要一个长期的干旱的条件，这是显而易见的，因此，作者初步认为，可以利用粘土中 Al_2O_3/MgO 值及其变化作为盐湖沉积过程中气候环境变化的一种标志。

粘土中 Al_2O_3/MgO 值在盐湖沉积的两个不同阶段中，在相对淡化或相对咸化时期中，为什么会有明显的差异？也就是说，成盐阶段中为什么 MgO 多，Al_2O_3 少？根据这 3 个盐湖样品的粘土矿物学的研究结果，主要是由于不同沉积阶段中某些矿物类型或含量的变化，以及成盐阶段中粘土吸附作用等所致。例如，察尔汗盐湖，未成盐阶段中绿泥石基本为铁绿泥石，成盐阶段中绿泥石基本为镁铁绿泥石。查干诺尔湖，未成盐阶段中高岭石含量明显多于成盐阶段，蒙脱石在样品中普遍分布，也可能与蒙脱石自然改型有关。艾丁湖，在不同沉积阶段中，绿泥石类型没有明显变化，高岭石含量也没有明显差异，蒙脱石在未成盐阶段中普遍存在，并含量较多，而在成盐阶段中含量很少或有的样品中未见到。从盐类沉积来看，自下往上为芒硝、钙芒硝、无水芒硝和石盐沉积，这些矿物析出后，卤水中镁的含量势必相对增加，这可能由于粘土吸附作用所致。

造成 Al_2O_3/MgO 值的变化，即 Al_2O_3 或 MgO 的多和少的原因，主要是由于成盐阶段中粘土矿物长期处于高矿化度晶间卤水的特定环境中，使粘土表面发生某些化学作用。总之，不管是什么因素，并不影响粘土中 Al_2O_3/MgO 值作为反映古气候环境的标志。

3. 伊利石结晶度也可以反映沉积过程中某些沉积环境的变化

伊利石结晶度具体测定方法是：在甘油饱和的 $<2\mu m$ 样品的X射线衍射图上，设伊利石 10 Å 衍射峰的半高处低角度一侧宽度为 b(mm)，高角度一侧宽度为 a(mm)，则伊利石结晶度为 b/a。作者曾在青海湖 85-14 孔沉积剖面中取得初步结果，即伊利石结晶度较差的大致相当浅水的沉积环境(表 2-34)。

第二节　盐湖粘土资料与成矿元素

研究盐湖粘土化学成分可以为讨论盐湖成矿元素的地质背景和成矿元素的迁移富集提供某些信息。

这里主要以柴达木盆地盐湖为例，说明盐湖粘土中K_2O的含量和分布，与该盆地盐湖中钾资源的分布，以及盐湖周围岩体中钾的地球化学背景值三者之间有某些内在联系。

该盆地盐湖分布和盐湖粘土中K_2O百分含量及分布情况如图 4-1 所示。

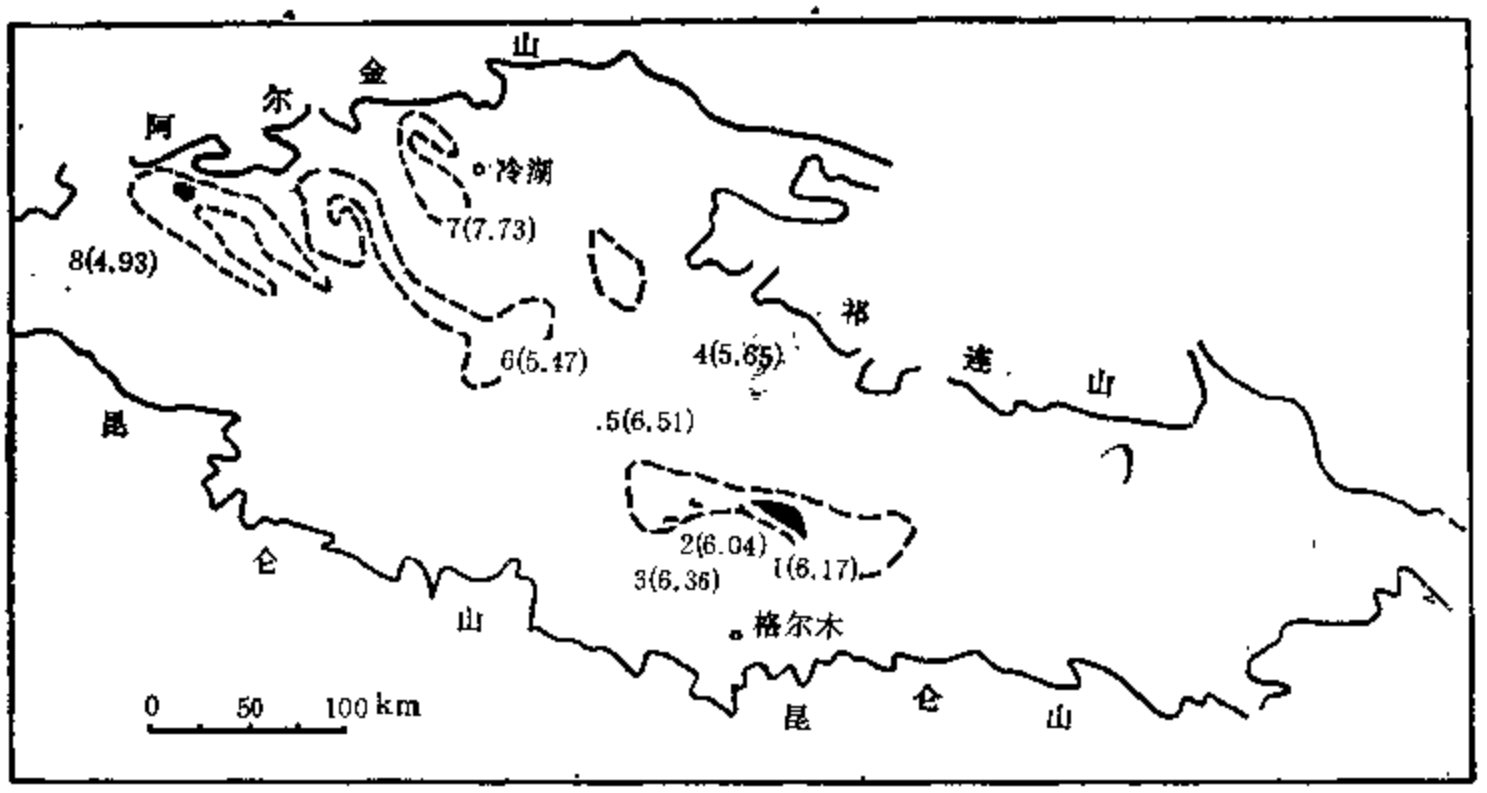


图 4-1　柴达木盆地某些盐湖粘土中K_2O含量(%)分布

1.达布逊湖　2.小别勒湖　3.大别勒湖　4.大柴旦湖　5.东台吉乃尔湖　6.一里坪干盐湖　7.昆特依湖　8.尕斯库勒湖

根据作者所积累的资料，该盆地一些盐湖粘土中 K_2O 平均百分含量如下：达布逊湖，6.17%（6个样）；小别勒湖，6.44%（2个样）；大别勒湖，6.36%（13个样）；大柴旦湖，5.67%（3个样）；东台吉乃尔湖，6.51%（2个样）；一里坪干盐湖，5.47%（10个样）；昆特依湖，7.73%（1个样）；尕斯库勒湖，4.93%（1个样）。

该盆地盐湖钾盐沉积分布在某些局部拗陷的干盐湖沉积中和某些现代盐湖的水体中。属于前者的有：大浪滩、马海、察尔汗等干盐湖；属于后者的有：达布逊湖，大、小别

勒湖，昆特依的钾湖等。

一些盐湖湖水和晶间水中的含钾量（mg/L）如下(张彭熹等，1987)：别勒滩，湖水8 928，晶间水23 183；达布逊湖，晶间水19 037；察尔汗，晶间水12 110；一里坪，晶间水11 019；东台吉乃尔湖，湖水3 786，晶间水15 400；尕斯库勒湖，湖水4 511，晶间水7 920；大浪滩，晶间水10 398；钾湖，湖水5 367；昆特依，湖水2 971，晶间水12 219等。

柴达木盆地外围山系花岗岩类钾含量(平均值，重量百分比)如下(张彭熹等，1987)：昆仑山3.482%，阿尔金山3.297%，祁连山4.056%。郑喜玉(1986)提到，钾的百分含量(各类岩石平均值)，祁连山褶皱带2.72%，阿尔金山褶皱带1.70%，昆仑山褶皱带1.78%。杨谦(1986)提到，昆仑山岩浆岩的总平均化学成分中 K_2O 的含量为4.103%，特别是中酸性岩石的平均化学成分的K_2O的含量，与全国和世界相比，更是明显偏高。

以上资料表明，我国盐湖粘土中 K_2O 含量最高的柴达木盆地盐湖，其含钾量高是由该盆地周围岩体中钾的地球化学背景值高所决定的。该盆地周围不同部位钾的地球化学背景值存在的差异，大致决定了盐湖中钾盐沉积和赋存的格局。而一些盐湖粘土中 K_2O 的含量及分布特征，与钾盐赋存的部位又大致相当，即盐湖粘土中 K_2O 含量高，则一般的就相应有钾盐沉积和赋存钾。虽然盐类聚集过程、钾盐形成条件是比较复杂的，但仍可以说，盐湖粘土中 K_2O 的含量和分布特点，能够为探讨该盆地盐湖成矿元素钾的来源，寻找钾盐沉积和赋存的部位提供科学依据。

西藏盐湖粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征，均明显不同于其它成因类型的粘土化学成分特征，最大的特点是明显富 MgO（含量5.23%）。这就给人以启示：西藏盐湖的物质来源自有独特之处，地下热水活动是否为盐湖提供了较多的镁？事实上，在扎仓茶卡、班戈错和郭加林等著名盐湖的周围或湖内水体中，我们可以见到分布广泛的古泉华堆积物，有的湖还可见到热泉分布。以上也可说明，盐湖粘土化学成分及其特点，可为研究盐湖物质来源提供有用的信息。

盐湖粘土中微量元素含量和分布的研究，对讨论盐湖物质来源也是有用的。察尔汗盐湖沉积剖面中铅、铜等微量元素的含量分别为0.003—0.005%和0.002—0.003%，大致为柴达木盆地其它盐湖中铅、铜含量的10倍，这可能与该湖附近锡铁山蕴藏的铅锌矿有关。

第五章　中国与澳大利亚盐湖粘土矿物资料对比

就作者所知，国外盐湖中粘土矿物虽有报道，但资料简略，通常仅表述盐湖粘土矿物类型和分布，缺乏粘土矿物的系统资料。由于国外盐湖粘土矿物资料积累和研究程度与我国相差甚大，因此，很难进行盐湖粘土矿物资料对比。作者等人曾考察了澳大利亚东南部几个盐湖，并对表层沉积物中粘土矿物进行了研究，由于所采集的样品数量尚少，因此，关于这些盐湖中粘土矿物资料就有一定的局限性。这里首先介绍澳大利亚东南部芒戈湖（Mungo）等5个盐湖粘土矿物的有关资料，然后将它与我国柴达木盆地盐湖粘土矿物资料进行对比。

第一节　澳大利亚某些盐湖粘土矿物

1981—1984年，在中国科学院和澳大利亚国立大学第四纪合作研究中，作者参加了其中“盐湖和风成沉积”专题的研究工作。1982年10—11月在澳大利亚国立大学生物地理和地貌系J. M. 鲍勒博士等的帮助下，考察了澳大利亚东南部芒戈湖、弗罗姆湖（Frome）、吐尔湖（Tuturn）、艾尔湖（Eyre）和台瑞湖（Terrell）等5个湖，并采集了这些盐湖的沉积物样，进行了粒度分析和粘土矿物研究，并取得了初步结果（徐昶，1987）。现将这些盐湖粘土矿物资料简述如下。

一、各湖概况和样品简述

1. 芒戈湖

该湖位于新南威尔士州，是威纳登（Willandra）湖群中的一个干湖。该湖宽约10km，长约20km，无石盐沉积层，仅在泥中含有石盐粒。但是，由于该湖湖周有澳大利亚迄今发现最早的土著人类活动的遗迹，并设有芒戈国家公园，从而使该湖颇有声誉。我们在该湖西岸澳大利亚古地磁采集点附近，采了一个表层粘土球粒样。

2. 弗罗姆湖

该湖位于南澳大利亚州，面积约2 700km^2，是一个干盐湖，湖表有薄石盐层。我们在湖内离湖岸约2km处采了一个杂色砂质粘土样，样品埋深0.5m。

3. 吐尔湖

该湖位于弗罗姆湖东北，近于圆形，直径约2km，是一个小干盐湖，湖表有厚约1cm

的石盐层。我们在湖内(离湖岸约 15m)采了一个红色粘土样,其埋深 0.5m。该湖湖岸上有基本由米粒状石膏组成的石膏砂丘。

4. 艾尔湖

该湖位于南澳大利亚州,面积约 7 800km²,湖表有约 7cm 厚的石盐层,据鲍勒博士介绍,该湖沉积剖面中有两层石盐层,厚均约 1m。我们在湖边采了两个粘土样,样品附近有数层贝壳层和石膏层。

5. 台瑞湖

该湖位于维多利亚州,湖表有数厘米厚的石盐层,湖内有红色铁壳,宽几百米,厚 2—3m。我们在湖内表层取样一个,样品中有长柱状石膏,大者长约 2cm。经室内鉴定,样品中还含有较多的明矾石。此外,我们在湖岸上又采集了一个灰绿色粘土样,即所谓 Blanchetown 粘土,样品埋深 0.3m。湖中地下卤水的 pH 值一般在 2.6—4 之间。

二、沉积物粒度成分

通过沉降分离,分出 $<2\mu m$,$2—5\mu m$,$5—10\mu m$,$10—50\mu m$ 和 $>50\mu m$ 等 5 个粒级,结果见表 5-1。

表 5-1 澳大利亚某些盐湖沉积物粒度成分

湖名	粒度成分(%)					备注
	$<2\mu m$	$2—5\mu m$	$5—10\mu m$	$10—50um$	$>50\mu m$	
芒戈湖	33	9	5	7	46	
弗罗姆湖	64	4	3	4	25	
吐尔湖	32	4	2	6	56	
艾尔湖	80	7	4	4	5	
艾尔湖	78	4	2	3	12	
艾尔湖	56	24	5	12	3	
台瑞湖	17	4	2	9	68	含大量石膏和明矾石
台瑞湖	80	7	5	6	2	

从表5-1中可以看出,这些盐湖沉积物粒度成分分布,主要集中在 $<2\mu m$ 和 $>50\mu m$ 的粒级中。若以 $<5\mu m$、$5—50\mu m$ 和 $>50\mu m$ 分别代表粘土、粉砂和砂,则澳大利亚盐湖沉积物岩性是以粘土和粘土质砂为主。这些盐湖沉积物粒度分布特点是缺少粉砂级(其含量仅 5—17%)。

三、 粘土矿物类型

以去除碳酸盐的 $<2\mu m$ 粘土试样,通过 X 射线粉末衍射、红外、差热和电镜等手段进行了粘土矿物鉴定。矿物鉴定的实际资料如图 5-1 至图 5-3 所示。

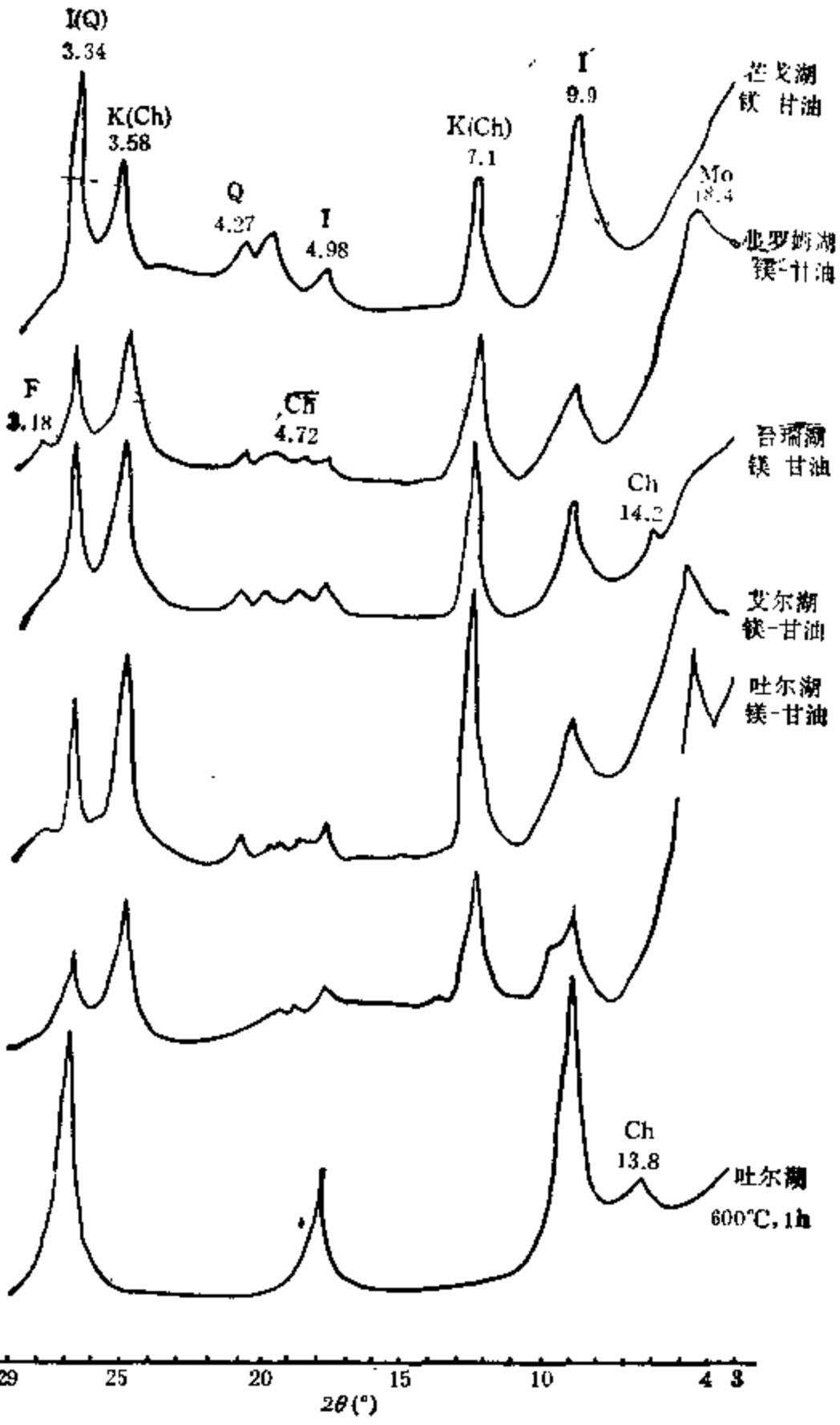


图5-1 澳大利亚某些盐湖粘土样X射线衍射图

从这些图中可以看出，在镁-甘油处理后，弗罗姆湖、艾尔湖和台瑞湖粘土样的X射线衍射图上有 d 值为 18 Å 的衍射峰，表明这些盐湖沉积物中含有蒙脱石；在各湖样品的X射线衍射图上，有 d 值为 9.9 Å、4.98 Å 和 3.34 Å 3条强衍射峰，且不受加热处理所改变，表明为伊利石；还有 d 值为 7.1 Å和 3.56 Å两条明显的衍射峰，通过加热处理后，这两条峰消失，同时，根据红外图谱上有明显呈勾状的 3 700cm^{-1} 吸收带和电镜照片上有清楚的假六边形，均表明有较多的高岭石；从台瑞湖样品加热处理后的X射线衍射图上，可以清楚见到一个 d 值为 13.8 Å 的小峰，则表明该湖样品中有少量绿泥石的存在，并且是富镁的绿泥石。

总之，这些盐湖沉积物中粘土矿物主要为伊利石和高岭石，含少量蒙脱石和绿泥石

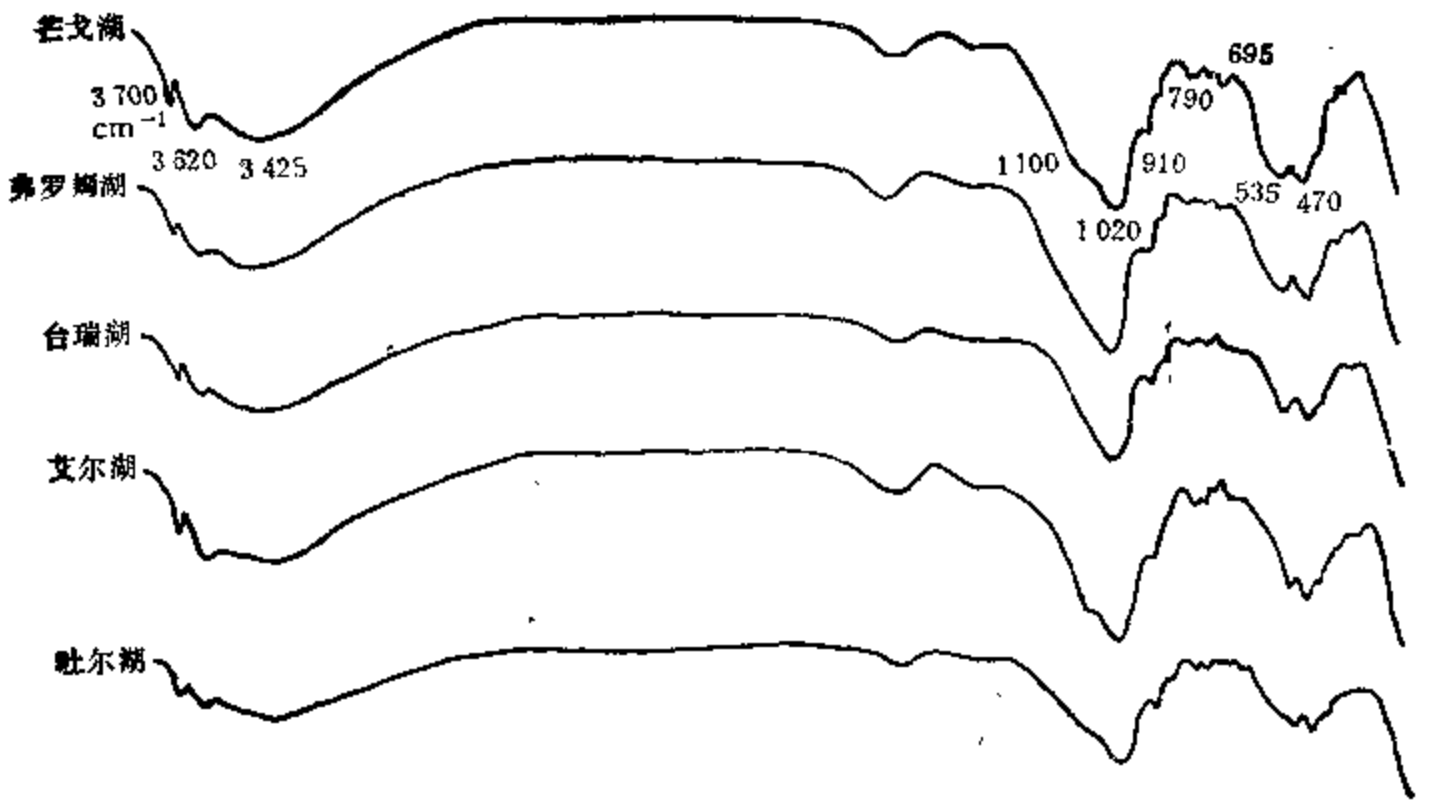


图 5-2　澳大利亚某些盐湖粘土样红外图谱

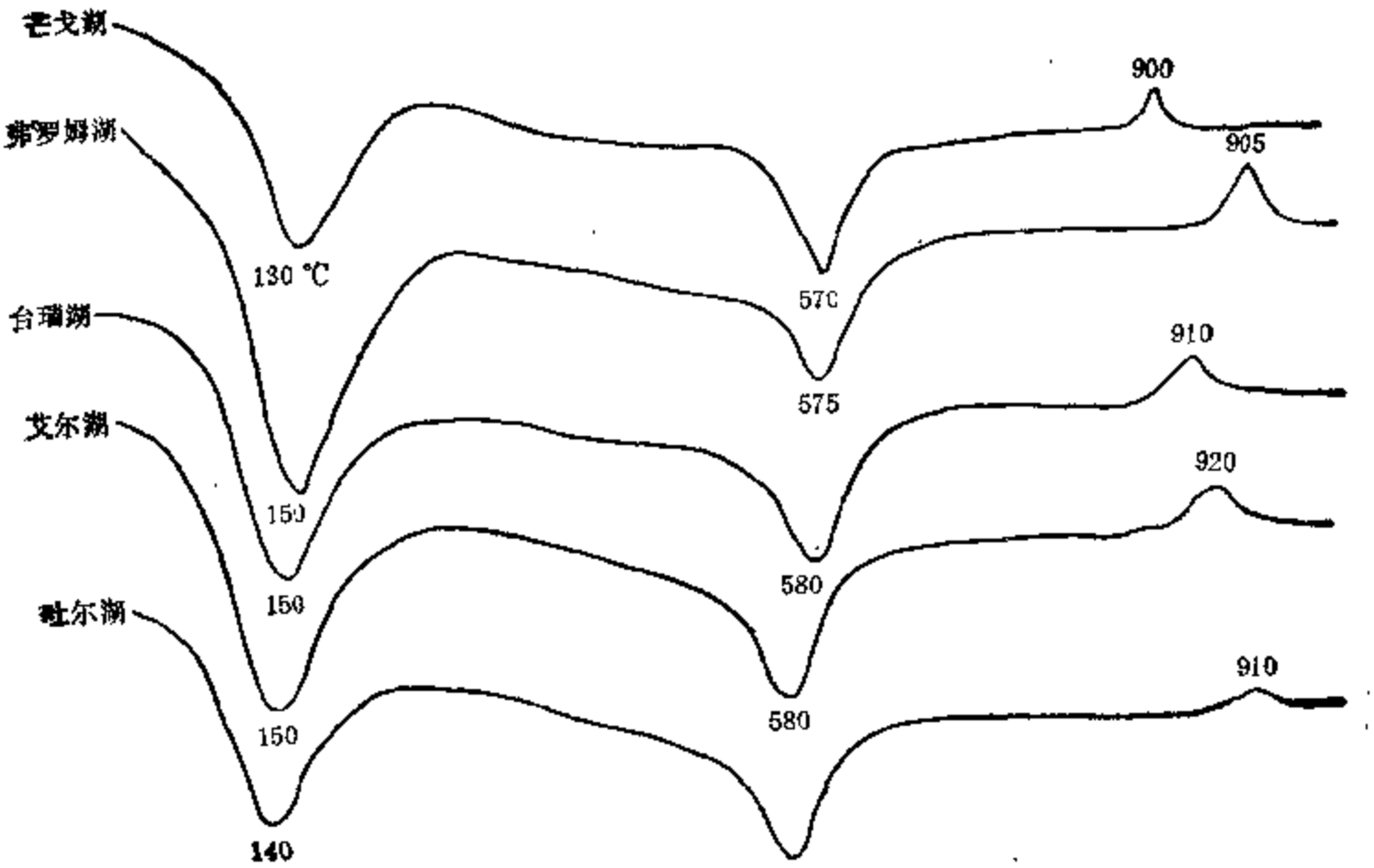


图 5-3　澳大利亚某些盐湖粘土样差热曲线

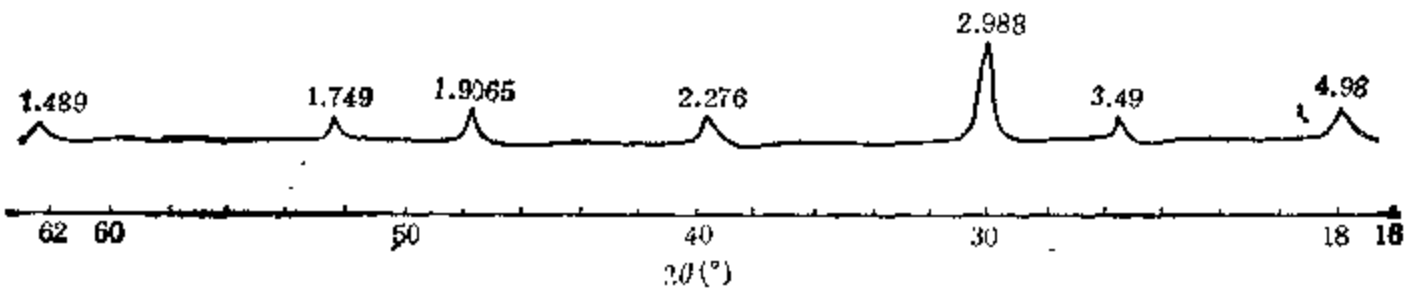


图 5-4　台瑞湖粘土样 X 射线衍射图

表5-2　台瑞湖粘土样明矾石 X 射线衍射数据

样品衍射数据 (d)	明矾石	
	d	I/I_0
4.98	4.91	7
3.49	3.48	8
2.988	3.27	7
2.726	2.97	10
1.907	2.266	9
1.749	1.891	10
1.489	1.738	10
	1.489	9

明矾石资料引自 B. И. 米赫耶夫,1965。

等。此外,台瑞湖表层粘土样中还含有较多的明矾石,具体资料见表 5-2 和图 5-4。

四、粘土的化学特征

对除去碳酸盐的 $<2\mu m$ 粘土样进行了化学分析和微量元素光谱测定,结果见表 5-3 和表 5-4。表 5-3 中台瑞湖一个样品中 Al_2O_3 和 K_2O 含量特别高,是由于样品中含有明矾石所致。

表5-3　澳大利亚某些盐湖粘土化学成分

湖　名	化学成分(%)							相对百分含量(%)		
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	MgO	K_2O
芒戈湖	54.02	20.45	9.70	4.35	2.38	1.34	3.05	73	11	16
弗罗姆湖	55.67	20.40	9.34	2.61	6.62	0.76	3.17	79	12	9
吐尔湖	53.21	21.58	11.60	3.70	1.54	0.74	0.72	83	3	14
艾尔湖	55.56	21.75	9.21	2.85	0.76	0.84	2.41	81	9	10
艾尔湖	56.55	20.12	9.67	2.95	1.96	0.53	2.49	80	10	10
台瑞湖	10.64	30.32	4.31	8.82	2.27	0.36	1.20	75	4	21
台瑞湖	54.30	22.67	10.79	2.98	0.63	0.28	1.33	84	5	11

表5-4　澳大利亚某些盐湖粘土微量元素光谱测定结果(%)

湖名	硼	锰	铅	铬	镓	镍	钒	钛	铜	锆	锌
芒戈湖	0.005	0.04	0.0001	0.001	0.0003	0.0003	0.002	1.0	0.0003	0.01	0.05
弗罗姆湖	0.001	0.05	—	<0.001	0.0001	<0.0001	0.002	0.1	0.0001	--	0.01
吐尔湖	0.003	0.05	—	0.001	0.0002	0.0001	0.002	0.8	0.0001	0.01	0.03
艾尔湖	0.005	0.08	0.0001	0.002	0.0003	0.0002	0.002	0.2	0.0001	0.01	0.02
台瑞湖	0.003	0.01	0.0001	0.003	0.0003	0.0002	0.002	0.3	0.0001	0.01	0.02

我们以粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量作成图 5-5。

我们从表 5-3,5-4 和图 5-5 中可以看出，澳大利亚这些盐湖粘土化学成分平均含量

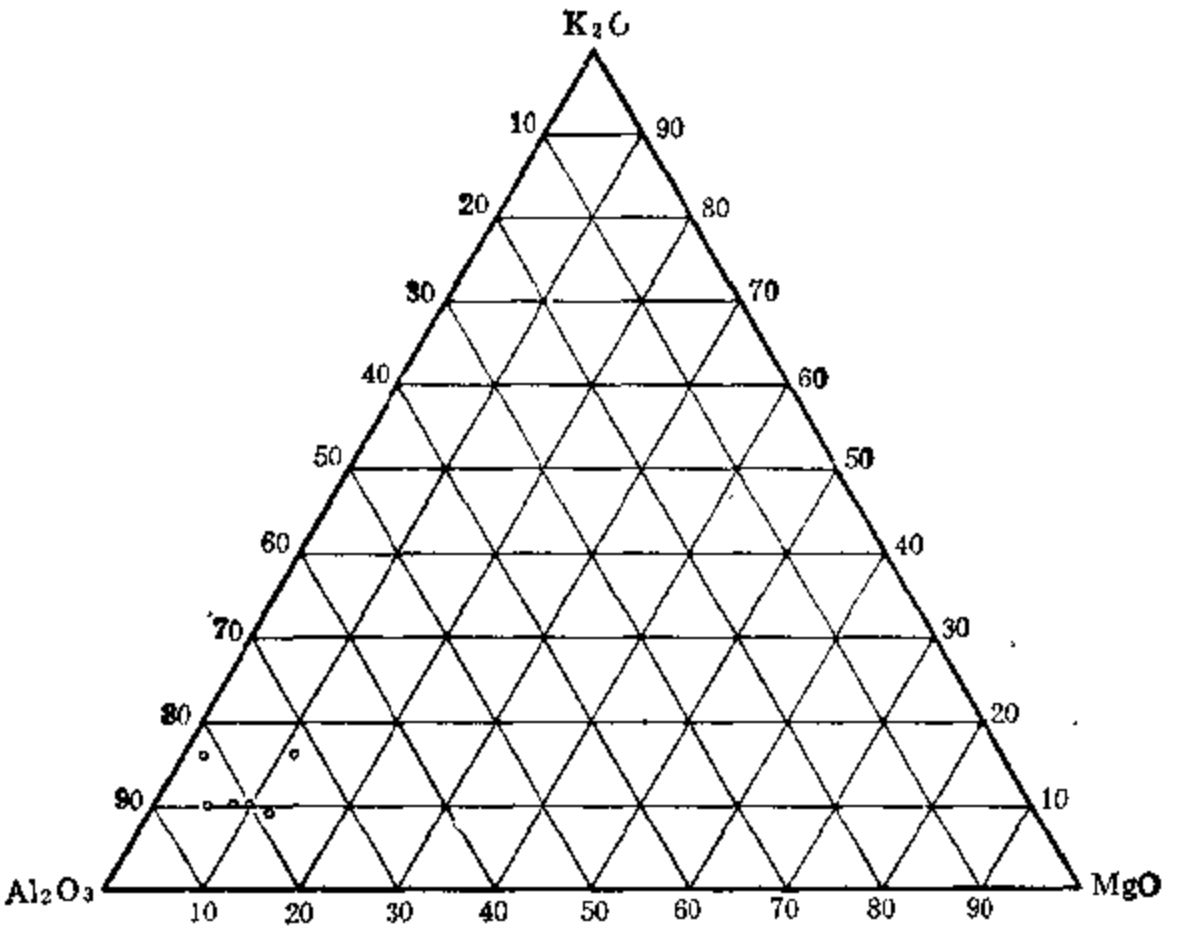


图 5-5　澳大利亚某些盐湖粘土中 Al_2O_3-MgO-K_2O 三角图解

如下：SiO_2, 54.88%；Al_2O_3, 21.16%；Fe_2O_3, 10.05%；K_2O, 3.24%；Na_2O, 2.65%；CaO, 0.75%；MgO, 2.19%。粘土中微量元素种类少，含量低(与我国盐湖粘土相比)。粘土中 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征接近海粘土化学成分特征。

第二节　中澳盐湖粘土矿物资料对比

现以我国柴达木盆地盐湖粘土矿物资料与澳大利亚东南部芒戈湖等 5 个盐湖粘土矿物资料进行对比，对比结果如表 5-5 所示。

表 5-5　中澳某些盐湖粘土矿物资料对比

项目 \ 地区	中国柴达木盆地盐湖	澳大利亚东南部盐湖
沉积物粒度成分特征	粉砂为主(35—70%)	粘土和砂为主
矿物组合	伊利石，绿泥石，蒙脱石，高岭石等	同左
主要矿物	伊利石，绿泥石	伊利石，高岭石
粘土主要化学成分特点	接近伊利石粘土	同左
Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对含量特征	接近冷温带大陆粘土和盐粘土	接近海粘土
粘土中 Al_2O_3/MgO 值	未成盐阶段>8.5，成盐阶段<8.5	9.6
微量元素种类和丰度	种类多，含量高。硼、镓、铼、钒含量约为澳大利亚盐湖中 10 倍；锡、钼、银、钴在我国盐湖中存在，在澳大利亚盐湖中未发现	种类少，含量低

根据表 5-5 和有关资料，我们可以初步讨论以下几点：

(1) 澳大利亚盐湖一般仅表层有薄石盐沉积，即使沉积剖面中有盐层，如艾尔湖，其

石盐层厚也只不过 1m 左右，且只有两层石盐层。个别湖的湖岸出露由米粒状石膏组成的砂丘。而我国柴达木盆地盐湖，不仅盐类矿物种类复杂，而且盐层和碎屑层交替成层或混层沉积，构成多次沉积旋回。盐层很厚，盐层埋深可达数百米(详见第二章第三节)。由此可以看出，中澳这些盐湖在发育历史、发育程度、物质来源以及经济意义等方面是明显不同的。

(2) 澳大利亚这些盐湖沉积物的粒度成分的明显特点是缺少粉砂级，其含量一般 5—17%，而我国柴达木盆地盐湖成盐阶段中沉积物粒度成分，恰恰以粉砂级为主，其含量一般 35—70%。这种粒度成分与我国黄土粒度成分相似。以上表明，澳大利亚盐湖周围岩石风化物和土壤矿物的风化程度一定较高，所以粒度较细。

(3) 总的来讲，中澳这些盐湖沉积物中粘土矿物，虽然在组合上基本相似，即都有伊利石、绿泥石、高岭石、蒙脱石等，但就主要粘土矿物来讲，是明显不同的。澳大利亚盐湖中，以伊利石和高岭石为主要矿物，而在我国盐湖中，则以伊利石和绿泥石为主要矿物。根据主要粘土矿物的差异及其矿物形成和稳定的环境可以初步认为：澳大利亚这些盐湖粘土矿物是在干热的气候条件和偏酸性的环境下形成的，而我国这些盐湖中粘土矿物是在干冷的气候条件和弱碱性的环境下形成的。显示了粘土矿物形成时干热和干冷的不同气候条件。

(4) 中澳盐湖粘土中化学成分存在明显差异：澳大利亚这些盐湖粘土中，Al_2O_3 相对百分含量较高(80—85%)，K_2O 相对百分含量较低(10—15%)，Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征接近海粘土化学成分特征。盐湖粘土中微量元素种类少，含量低。我国盐湖粘土中，Al_2O_3 相对百分含量较低(70—75%)，K_2O 相对百分含量较高(20—25%)，Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征，在盐湖成盐阶段和未成盐阶段中分别接近盐沼、干湖粘土和冷温带大陆粘土化学成分特征。盐湖粘土中微量元素的种类和丰度大大优于澳大利亚盐湖。具体讲，硼、镓、锶、钒等元素的丰度约是澳大利亚盐湖中的 10 倍，锡、钼、银、钴等元素在澳大利亚盐湖中未发现，而在我国这些盐湖粘土中存在。盐湖粘土中化学成分的明显差异，再次表明中澳这些盐湖在物质来源和发育程度等方面是显著不同的。

结　语

由于作者水平有限，又无机会与各方专家充分研讨，虽经反复改写，仍有表达未尽之感，在结束之前再把本书的主要论点和个人的初浅认识稍作归纳。

（1）盐湖沉积的重要特征是碎屑物和蒸发盐互层或混层沉积，有时蒸发盐直接发育在碎屑沉积物之上，蒸发盐和碎屑物共同构成了盐湖沉积实体。粘土和粘土矿物是碎屑物的重要组成部分，因此，盐湖粘土矿物不是以粘土矿产的形式出现，而是作为碎屑沉积层中的一员或作为混杂在蒸发盐层中的次要成分出露。

盐湖碎屑沉积物中包括了不同盐类矿物，除可溶性盐类矿物外，碳酸盐主要集中在$<2\mu m$粒级中，石膏主要集中在$>50\mu m$粒级中，在不同盐湖和不同样品中其含量和分布差别甚大。它们的存在，直接影响碎屑沉积物粒度成分的分布情况，或者说，直接影响粘土的含量和分布。这就涉及到对盐湖碎屑沉积物的岩性命名问题，为了体现盐湖沉积物的岩性特征，作者等人曾初步拟出了一个盐湖沉积物岩性命名的原则。

（2）盐湖粘土（$<2\mu m$）含量的变化范围很大，但大多数集中在5—20%之间。粘土含量一般未成盐阶段中较成盐阶段中多，有些也有相反情况。此外，粘土含量在某些沉积剖面中呈现多次旋回性变化趋势。粘土含量变化及分布特征，除与湖盆大小、盐湖发育历史、搬运距离远近、水动力大小等因素有关外，还与不溶盐类（碳酸盐、石膏等）的含量和分布有关。

盐湖粘土矿物组合，以伊利石-绿泥石为特征，这两种矿物普遍存在，另外含少量蒙脱石和存在高岭石，个别见混层矿物等。归纳起来有以下几种主要矿物组合：①伊利石-绿泥石（含高岭石）；②伊利石-绿泥石-蒙脱石（含高岭石）；③伊利石-绿泥石-高岭石；④伊利石-绿泥石-高岭石-蒙脱石；⑤伊利石-蒙脱石-绿泥石（含高岭石）。①②组合在我国盐湖沉积物中最普遍，③④组合主要分布在我国盐湖早期未成盐阶段，⑤组合只分布在个别盐湖中。

某些盐湖粘土矿物的相对含量分布和相互关系有以下几种情况：①高岭石含量在未成盐阶段中一般较多；②在某些盐湖沉积剖面中，蒙脱石和伊利石的含量大致呈现互为消长的关系；③在某些盐湖中，绿泥石或蒙脱石的含量或分布，以及绿泥石的类型等，在不同沉积阶段中有明显差异。

根据作者研究的结果，澳大利亚东南部一些盐湖表层沉积物中粘土矿物组合，虽然与我国盐湖粘土矿物组合相似，但就主要粘土矿物来讲是不同的，这些盐湖以伊利石-高岭石为特征，这两种矿物普遍存在。

我国盐湖粘土化学成分，一般讲，与伊利石粘土化学成分相似，未成盐阶段中粘土的Al_2O_3、MgO和K_2O相对百分含量特征接近冷温带大陆粘土化学成分特征，成盐阶段中粘土化学成分接近盐沼、干湖粘土化学成分特征。

根据粘土化学成分特点，可以把我国盐湖粘土划分以下几个区：青海富钾区（K_2O，6.19%），内蒙古富铝区（Al_2O_3，25.02%），西藏和新疆富镁区（MgO，分别为5.23%和6.16%）。

此外，作者在实际工作中初步得出，粘土中 Al_2O_3/MgO 值在沉积剖面中呈现一定的变化趋势，用它作为反映沉积过程中相对淡化或相对咸化等环境变化的一种标志，具有一定的普遍意义。

关于盐湖粘土矿物成因，作者初步认为，盐湖粘土矿物以碎屑成因为主，也就是说，粘土矿物主要是他生的，是从湖周围经搬运而沉积到湖盆的。其论据主要有以下几点：① 碎屑成因的粘土矿物的岩性特点与盐湖碎屑沉积物的岩性特点相似；② 盐湖中主要粘土矿物与盐湖地区其它现代地质体中粘土矿物基本一致；③ 盐湖未成盐阶段中粘土的 Al_2O_3、MgO 和 K_2O 相对百分含量特征与冷温带大陆粘土化学成分特征相似。

但是，在盐湖晚期的成盐阶段中，由于盐湖卤水化学成分可能与粘土矿物发生表面化学作用，由表面逐渐深入内部，相当于局部的类质同象取代作用，从而使某些粘土矿物发生相互转变或类型的变化。某些粘土资料表明，伊利石向蒙脱石转变，或反之，铁绿泥石转变为镁铁绿泥石等。也就是说，盐湖粘土矿物也存在转变或自生成因类型。

（3）我国盐湖粘土矿物基本特征受两个主要因素所控制。

各地区盐湖粘土矿物主要组合相似、盐湖粘土矿物组合与盐湖地区土壤中粘土矿物组合相似、各地区盐湖粘土化学成分与伊利石粘土化学成分大致相似等，这些相似不是偶然的。我们知道，我国盐湖基本分布在我国西北干旱气候带内，这就表明干旱气候是控制盐湖粘土矿物基本特征的一个重要因素。

同时，不同地区盐湖中粘土化学成分有明显差异，盐湖不同沉积阶段中粘土矿物或粘土某些化学成分存在明显差异，成盐阶段中某些粘土矿物发生相互转变或类型的变化等，表明盐湖的不同物质来源和盐湖卤水的不同化学成分，是控制盐湖粘土矿物基本特征的另一个重要因素。

（4）盐湖粘土和粘土矿物，可以为讨论盐湖形成演化过程中某些环境变化和成矿条件等提供有用的信息。

例如，作者提出用粘土中 Al_2O_3/MgO 值作为沉积过程中环境变化的一种指示。具体讲，其值大的大致与碎屑物沉积为主的沉积层相对应，表明为相对淡化时期；其值小的大致与蒸发盐沉积为主的沉积层相对应，表明为相对咸化时期。在某些盐湖沉积剖面中，利用这个值已取得可喜的结果。此外，利用伊利石结晶度的数据（b/a），也能反映一定的沉积环境。

在柴达木盆地盐湖粘土研究中，初步得出该盆地盐湖粘土中钾含量的分布，与盐湖中钾矿分布和盐湖周围地质体中钾的分布之间存在一定的关系，即盐湖粘土中钾含量高，则一般的就相应有钾盐沉积和赋存钾。因此，盐湖粘土中钾的含量和分布特点，可以为探讨该盆地盐湖成矿元素钾的来源、寻找钾盐沉积和赋存的部位提供科学依据。

（5）今后应加强对盐湖粘土矿物本身的研究。例如，对伊利石"结晶度"或"开放度"的研究，以及它与钾的关系的研究。伊利石是盐湖沉积物中最主要的粘土矿物，因而具备广泛的研究基础。要开展对蒙脱石属性的研究。我们知道，蒙脱石的不同属性，反映它们晶层间吸附的标型离子、pH值盐度等不同。从现有的资料来看，大约有 1/2 到1/3 的样品中

存在蒙脱石，其含量一般较少。因此，对蒙脱石属性的研究，不象研究伊利石的“结晶度”那样容易做到。要继续进行绿泥石类型的研究，粘土中 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 丰度和分布的研究，以及混层矿物和其它粘土矿物的研究等。以上这些研究，要与矿物成因结合起来，与盐湖演化阶段，特别与盐湖卤水不同化学类型等方面结合起来。

要继续探索反映盐湖沉积环境的粘土方面的指标及指标的具体化。对已经提出的利用粘土中 Al_2O_3/MgO 值来反映盐湖沉积过程中的相对淡化期和相对咸化期的问题，还需要进一步验证和完善。我们要特别注意在盐湖沉积过程中发生变化的一些粘土矿物资料，它将更能反映盐湖形成演化过程中某些环境变化。

要加强对盐湖粘土化学成分与某些成矿元素迁移富集之间关系的研究。作者虽然对柴达木盆地盐湖粘土与成矿元素钾之间的关系已经作了有益的探讨，但仅仅是开端。我们要充分发挥盐湖粘土长期处于高矿化度卤水的特定环境的这样一个“优势”，把盐湖粘土与成矿元素之间关系的研究，作为盐湖粘土矿物研究的一个重要的“生长点”。

为了达到研究的预期目的，从野外采样的科学性，到室内某些研究方法的改进首先是必要的。为了更深入研究和认识盐湖粘土矿物基本特征及其地质意义，对盐湖其它沉积物和盐湖水化学等方面做一定的研究或了解也是十分必要的。同时，要不断地进行研究人员知识更新、新的技术引进等。

总之，我国盐湖粘土矿物研究工作已经起步。我国盐湖以“多、大、富、全”而著称于世，它为盐湖粘土矿物的研究提供了理想的场所，作者相信，盐湖粘土矿物的研究前景是广阔的。

参　考　文　献

于天仁等,1965,土壤的电化学性质及其研究法,科学出版社,表 14-1。
王方强等,1983,盐湖矿床开采,化学工业出版社,7—10。
王诗俏,1987,伊利石"开形指数"的地质意义探讨,沉积学报,5(1),58—68。
方邺森,1985,粘土矿物的分类,海洋地质与第四纪地质,5(2),125—127。
中国土壤学会土壤农化分析专业委员会,1974,土壤常规分析方法,科学出版社。
中国科学院兰州地质研究所等,1979,青海湖综合考察报告,科学出版社,1—2,109—111,216—217。
中国科学院贵阳地球化学研究所,1977,简明地球化学手册,科学出版社,124—125。
米赫耶夫, В. И., 1965,矿物伦琴射线鉴定手册,中国工业出版社,434。
任明达、王乃樑,1981,现代沉积环境概论,科学出版社,8—12。
成都地质学院陕北队,1978,沉积岩(物)粒度分析及其应用,地质出版社,3。
许冀泉,1983,土壤矿物,土壤,14(2),76—80。
许冀泉、方邺森,1982,粘土矿物的分类和名称,硅酸盐通报,(3),1—8。
刘东生等,1965,中国黄土堆积,科学出版社,154—156。
刘东生等,1985,黄土与环境,科学出版社,228—230。
陈克造等,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,(5),463—472。
陈克造等,1986,察尔汗盐湖沉积的基本特征及其古气候演化,青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化,科学出版社,34—49。
杨治林,1986,柴达木盆地新生代岩相古地理及其演化,青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化,科学出版社,1—18。
杨康,1986,柴达木盆地钾盐形成条件及盐类聚集过程,青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化,科学出版社,71—78。
张天乐、王宗良,1978,中国粘土矿物的电子显微镜研究,地质出版社,5,49。
张彭熹等,1987,柴达木盆地盐湖,科学出版社,105。
郑绵平、向军等,1987,青藏高原盐湖,北京科学技术出版社,138—142,220。
郑喜玉,1983,内蒙高原的盐湖,地理科学,3(4),369—378。
郑喜玉,1984,新疆盐湖及其成因,海洋与湖沼,15(2),168—178。
郑喜玉,1986,柴达木盆地盐湖 Li、B 地球化学,青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化,科学出版社,133—147。
郑喜玉、唐渊、徐旭等,1988,西藏盐湖,科学出版社,18—22,97—107。
徐旭,1982,柴达木盆地盐湖沉积物中的粘土矿物,矿物学报,(3),226—230。
徐旭,1983,柴达木盆地某些盐湖沉积剖面中粘土矿物的初步研究,沉积学报,1(3),123—127。
徐旭,1985,青藏盐湖沉积物中粘土矿物的初步研究,地质科学,(1),87—96。
徐旭,1986,我国盐湖粘土矿物研究概况,盐湖研究,(2),46—49。
徐旭,1987,中澳(澳大利亚)某些盐湖沉积物中的粘土矿物,中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集,科学出版社,153—161。
徐旭,1988,中国一些盐湖粘土矿物初步研究,海洋与湖沼,19(3),273—285。
徐旭,1988,某些盐湖沉积物粒度成分初步研究,海洋湖沼通报,(3),37—43。
徐旭,1990,我国盐湖粘土矿物及其意义的初步研究,中国科学,B 辑,(3),303—312。
徐旭,1990,我国盐湖粘土矿物研究现状,矿物岩石地球化学通讯,(3),195—197。
徐旭,1990,某些盐湖沉积剖面粘土中 Al_2O_3/MgO 比值的古气候环境意义,中国环境地质地球化学记录与环境变化学术讨论会论文集,贵州科技出版社,72—75。
徐旭、林乐枝,1988,内蒙查干诺尔和吉兰泰盐湖沉积物中粘土矿物,矿物岩石,8(1),82—86。
徐旭、林乐枝,1990,我国某些盐湖粘土化学成分的初步研究,地球化学,(1),81—89。
徐旭、林乐枝、杨波,1989,青海湖沉积物中的粘土矿物,地质科学,(4),348—354。
高章洪,1987,柴达木盆地某些盐湖碎屑沉积层中碳酸盐的初步研究,中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集,科学出版社,142—152。
贾容芬等,1986,青海小柴旦盐湖沉积物的地球化学初步研究,海洋与湖沼,17(2),117—125。
袁宝印,1987,达布逊盐湖沉积中的黄土,中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集,科学出版社,162—167。
黄麒、蔡碧琴,1987,察尔汗盐湖沉积物年代学的初步研究,中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集,科学出版社,106—114。
熊毅、李庆逵主编,1978,中国土壤,科学出版社,285—298。
Bailey, S. W., 1980, Summary of Recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on Clay Mineral. The American Mineralogist, 65(1—2), 1—7.

Biscaye, P. E., 1965, Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Altlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans. Bull. Geol. Soc. Am., **76**, 803—832.

Braitch, O., 1971, Salt Deposits——Their Origin and Composition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 230.

Carroll, D., 1970, Clay Minerals: A Guide to Their X-ray Identification. The Geological Society of America, table 9 10.

Carroll, D., 1969, Chlorite in Central North Pacific Ocean Sediments. Proceedings of the International Clay Conference. Israel Universities Press, 1, 335—338.

Darby, D. A., 1975, Kaolinite and Other Clay Minerals in Arctic Ocean Sediments. J Sed. Petrol., **45**(1), 272—279.

Degens Egout, 1965, Geochemistry of Sediments a Brief Survey. New Jersey Printed in the United States of America, 14—47.

Xu Chang, 1991, Preliminary Researches on Clay Minerals in Salt Lake Sediments of China and its Significance. Science in China (series B), **34**(4), 490—501.

附表1　各湖沉积物粒度成分

附　表　1A

湖　名	样号	不溶物含量(%)	粒度成分(%)					粒度参数		
			<2μm	2—5μm	5—10 μm	10—50 μm	>50 μm	Md (μm)	S_0	S_K
察尔汗盐湖 (81孔)	1	13	4	9	16	34	37	20	0.15	0.6
	2	42	11	7	8	55	19	14	0.27	0.9
	3	36	2	15	14	48	21	9.2	0.43	0.73
	5	36	2	15	12	50	21	8.8	0.5	0.93
	6	15	6	10	14	46	24	8.5	0.5	1
	7	13	4	12	14	53	17	8	0.24	1.5
	10	19	6	11	15	49	19	7.6	0.24	1.7
	11	42	9	13	16	42	20	7.6	0.14	1.45
	14	34	8	10	19	44	19	7.6	0.18	1.5
	15	28	8	10	12	41	29	10	0.15	1.53
	17	46	6	9	11	52	22	9	0.18	1.73
	18	29	7	12	9	53	19	9	0.17	1.44
	19	46	4	5	5	55	31	18	0.29	0.79
	20	17	3	7	5	43	42	26	0.19	0.48
	21	40	6	10	6	53	25	12	0.19	1.21
	22	60	4	7	7	55	27	17	0.16	0.84
	23	33	4	9	5	49	33	14	0.19	1.29
	24	39	6	9	5	52	28	15	0.20	0.92
	25	47	6	3	2	46	41	25	0.25	0.57
	26	74	7	8	9	51	25	8	0.55	0.86
	27	66	8	5	5	31	51	30	0.19	0.36
	28	62	13	6	5	38	38	18	0.14	0.69
	29	67	6	7	2	50	35	35	0.21	0.76
	32	59	20	23	5	36	16	6	0.1	1.30
	33	28	11	18	4	55	15	10	0.14	0.9
	35	38	5	6	6	47	38	22	0.21	0.62
	37	79	11	8	9	48	24	9.5	0.25	2.98
	38	88	13	10	11	41	25	8.5	0.18	2.29
	41	78	13	17	3	43	24	9.8	—	—
	45	92	11	5	8	48	28	14	0.17	0.9
	46	54	11	6	8	45	30	14	0.15	0.89
	47	38	8	8	9	49	26	12	0.17	1.04
	48	88	3	11	13	40	33	10	0.14	1.8
	49	75	6	12	12	38	32	10	0.13	1.6
	50	43	8	4	3	42	43	26	0.20	0.47

续附表1A

湖名	样号	不溶物含量(%)	粒度成分(%)					粒度参数		
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	Md(μm)	S_0	S_K
察尔汗盐湖(81孔)	52	52	3	9	10	44	34	6	0.18	0.48
	56	21	11	12	5	46	25	12	0.13	0.83
	61	81	14	18	18	40	10	5.2	0.26	0.96
	62	84	18	17	3	32	30	9.2	0.07	1.0
	63	84	31	14	3	45	7	6	0.13	0.46
	66	76	11	9	2	25	53	32	0.15	0.31
	70	60	21	8	9	43	19	16	0.12	0.30
	71	85	6	14	10	35	35	10	0.1	1.44
	73	80	28	16	6	17	33	5.2	0.04	2.04
	74	81	26	20	10	21	23	4	0.08	3
	75	88	44	21	13	14	8	2.8	0.2	1
	76	90	54	23	12	10	1	1.6	0.33	1.1
	77	87	31	16	16	23	14	3.6	0.17	0.97
	78	88	41	20	12	22	5	2.4	0.25	1.56
	79	78	51	21	10	14	4	2	0.38	1.5
	80	87	48	27	9	11	5	2.2	0.5	0.94
	81	86	59	24	9	6	2	1.6	0.33	1.17
	82	87	48	28	11	9	4	2.2	0.5	0.93
一里坪盐湖(82孔)	2	80	2	2	15	50	32	22	0.24	0.62
	3	62	2	2	14	52	31	20	0.24	0.74
	5	68	2	1	7	70	21	20	0.32	0.69
	6	50	2	1	12	64	22	16	0.28	0.87
	7	39	3	1	8	30	59	32	0.42	0.66
	8	13	4	3	14	54	26	10	0.19	1.86
	9	20	2	2	10	62	25	16	0.25	0.88
	10	16	5	2	14	53	27	15	0.20	0.85
	11	70	29	7	23	35	7	4.6	0.22	1.09
	12	18	9	3	41	40	7	7.2	0.52	1.0
	13	83	25	6	31	32	6	6	0.21	0.53
	14	81	31	19	21	14	15	3.2	0.23	1.1
	15	90	14	7	33	39	7	5	0.31	0.18
	16	92	29	18	18	18	17	4	0.18	1.12
	17	85	3	1	11	23	62	36	0.16	0.24
	18	91	19	19	25	18	19	5	0.6	1.44
	19	90	25	9	24	34	8	4.5	0.22	0.88

附 表 1B

湖名	沉积阶段	样 号	粒度成分(%)					备 注
			<2 μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	
查干诺尔湖	成盐阶段	1	67	3	24	4	2	
		5	71	4	14	8	3	
		7	68	4	20	5	3	
		8	50	3	25	18	4	
		9	33	2	20	40	5	
		10	28	4	19	36	13	含碱约 10%
		11	27	2	20	48	3	含碱约 10%
		12	37	3	20	37	3	
		13	58	3	27	10	2	
		14	50	2	18	27	3	
		15	23	3	11	35	28	
	未成盐阶段	19	84	3	10	2	1	
吉兰泰湖	成盐阶段	4	8	2	19	35	36	(>50μm 中石膏含量)
	未成盐阶段	6	2	2	61	7	28	95%
		8	48	3	26	18	5	
		11	3	1	4	36	56	15%
		13	71	3	21	3	2	
		15	60	2	28	8	2	≤10%
雅布赖湖	成盐阶段	1	3	3	6	31	57	含盐
		2	4	3	10	30	53	含盐
		3	3	1	23	13	60	含盐
	未成盐阶段	5	12	5	35	32	16	含盐
		7	12	24	16	32	16	
		9	31	4	25	35	5	
额吉淖尔湖	成盐阶段	1	4	2	24	40	30	含盐
		2	3	2	27	28	40	含盐
	未成盐阶段	3	26	20	10	31	13	
		6	26	6	15	47	6	
		7	16	1	18	11	54	
察汉淖湖	成盐阶段	1	10	2	2	9	77	
	未成盐阶段	3	40	2	2	8	48	
		4	17	4	4	15	60	
		5	2	1	1	11	85	
		6	1	1	1	2	95	
艾丁湖	成盐阶段	3	4	4	2	45	45	
		8	—	—	—	—	—	
		10	—	—	—	—	—	

续附表 1B

湖名	沉积阶段	样 号	粒度成分(%)					备 注
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	
艾丁湖	成盐阶段	13	3	2	2	42	51	
		17	3	5	4	67	21	
		21	19	10	12	46	13	
		23	11	9	6	33	41	
	未成盐阶段	26	40	20	14	17	9	
		27	18	5	5	18	54	
		28	2	3	1	7	87	
		30	20	15	3	42	20	
		31	20	11	4	18	47	
		23	5	1	8	7	79	

附表 1C

湖名	样品位置	样 号	粒度成分(%)					备 注
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	
艾丁湖		36	4	6	2	32	56	
		38	41	21	14	11	13	
		41	30	5	13	48	4	
		48	8	7	13	45	27	
		55	6	5	7	45	37	
青海湖	西岸哈达滩剖面	I	1	4	5	27	63	
		H	1	4	6	21	68	
		G	1	2	2	4	91	
		F	1	3	4	20	72	
		E	1	1	1	3	94	
		D	1	3	4	24	68	
		C	2	10	12	55	21	
		B	1	2	2	7	88	
		A	5	12	11	53	19	
	二郎尖剖面	1	1	4	6	26	63	
		2	8	12	13	40	27	
		3	9	10	12	41	28	
		4	10	10	12	43	25	
		6	7	10	13	46	24	
		0	1	1	1	2	95	
		N	1	1	1	20	77	
		M	2	1	1	40	56	
		L	3	3	4	56	34	
		K	4	4	5	57	30	
		J	6	6	6	58	24	
	湖内 85-14 孔	1	12	19	16	52	1	
		2	16	22	15	45	2	
		3	15	23	14	45	3	
		4	9	15	11	59	6	
		5	16	24	16	38	6	
		6	19	26	15	38	2	
		7	24	22	11	40	3	

续附表1C

湖名	样品位置	样　号	粒度成分(%)					备　注
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	
青海湖	湖内85-14孔	8	19	18	10	46	7	
		9	9	14	9	54	14	
		10	15	17	13	46	9	
		11	17	14	12	35	22	
		12	18	16	20	36	10	
		13	6	9	11	48	26	
		14	15	15	13	36	22	
		15	6	11	15	46	22	
		16	10	14	14	36	26	
		17	6	11	19	39	35	
		18	8	20	13	33	26	
		19	11	19	12	40	15	
		20	13	20	17	40	10	
		21	13	21	17	27	22	
		22	8	16	17	33	26	
		23	7	13	16	30	31	
		24	7	11	12	40	30	
		25	8	15	19	36	22	
		26	4	14	36	41	6	
		27	17	23	12	28	20	
		28	11	19	11	41	18	
		29	14	19	12	40	15	
		30	16	16	9	30	29	
	86二郎尖深孔剖面	1	10	8	9	60	13	
		2	6	5	6	51	32	
		3	4	5	5	62	24	
		4	8	7	6	51	28	
		5	6	9	6	33	46	
		6	16	11	12	51	10	
		7	10	7	5	20	58	
		8	31	18	14	18	19	
		9	32	14	8	17	29	
		10	11	7	6	28	48	
		11	22	9	7	23	39	
		12	8	6	5	30	51	
		13	15	10	16	47	12	
		14	29	36	21	9	5	
		15	6	4	5	31	54	
		16	6	8	9	64	13	
		17	11	7	9	46	26	
		18	10	9	8	42	31	
		19	5	4	5	25	61	
		20	9	12	11	47	21	
		21	13	15	7	19	46	

续附表1C

湖名	样品位置	样号	粒度成分(%)					备注
			<2μm	2—5μm	5—10μm	10—50μm	>50μm	
青海湖	86二郎尖深孔剖面	22	16	14	11	43	16	
		23	6	12	11	51	20	
		24	4	6	8	55	27	
		25	5	11	13	47	24	
		26	6	12	15	55	12	
		27	7	9	10	49	25	
		28	20	10	11	43	16	
		29	10	9	6	18	57	
		30	3	7	9	27	54	
		31	3	6	5	16	70	
		32	3	3	3	36	55	
		33	2	4	6	42	46	
		34	3	5	5	45	42	
		35	3	6	7	49	35	
		36	5	7	7	36	45	
		37	10	11	14	59	6	
	江西沟	1	2	2	3	49	44	湖周土壤
	江西沟	2	4	6	7	42	41	
	江西沟	3	2	3	5	46	44	
	江西沟	4	6	8	9	46	31	
	泉吉	1	8	5	6	40	41	
	泉吉	2	4	5	6	44	41	
	倒淌河		5	4	6	55	30	
	龙羊峡		2	4	5	42	47	
	将军台		5	6	7	50	32	
	园者寺		2	4	4	36	54	

附表 2　粘土化学成分总表

地区	湖名（或样品产地）	样品情况				化学成分(%)							分析者
		采样时间	产状	样号	埋深(m)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	
青	小别勒湖	1974	钻孔	22	14.9	54.75	24.35	8.31	6.55	2.29	0.38	2.92	林乐枝
				48	51.2	53.46	24.57	6.11	6.33	1.93	0 40	2.80	
	东台吉乃尔湖	1974	钻孔	2	1.5	51.39	23.60	6.86	5.82	2.61	0.70	2.30	
				23	10.0	54.97	25.81	4.20	7.19	1.73	0.33	1.97	
	昆特依湖	1973	钻孔	29	12.6	54.08	24.79	5.52	7.73	3.09	0.89	2.73	
	尕斯库勒湖	1973	钻孔	92	55.4	49.63	20.20	11.89	4.93	0.95	1.03	4.44	单兰娣
	大柴旦湖	1972	钻孔		4.1	（未测）	20.61	5.34	3.80	0.68	1.44	2.64	邵明昱
					7.9		17.07	10.48	7.67	0.44	1.52	2.74	
					10.5		26.03	9.70	5.56	0.48	1.88	3.76	
	一里坪盐湖	1972	钻孔	9	3.4	（未测）	19.41	4.44	6.76	5.16	0.54	3.24	
				33	12.8		21.76	7.64	3.68	1.05	1.84	5.54	
				49	18.4		20.51	5.32	5.00	6.61	1.12	2.90	
				55	20.5		21.12	5.82	7.21	4.93	0.64	2.38	
		1982		11	16.4	50.91	25.08	8.67	5.88	3.53	0.71	3.75	
				12	17.4	54.18	24.23	7.75	6.09	2.30	0.80	3.57	
				13	20.0	51.51	22.58	10.50	5.84	2.15	0.75	3.63	
				15	33.4	54.07	22.77	7.65	5.69	2.82	1.11	3.45	

		1982	钻 孔	17	42.3	53.71	19.95	6.35	3.08	2.70	7.63	13.62	林乐枝
				19	52.2	52.92	24.10	7.66	6.37	1.75	0.79	3.46	
	诺木洪农场	1983	浅 坑	6	0.8	52.17	25.66	9.99	6.11	2.10	0.85	3.31	
				9	1.0	45.05	23.03	9.70	5.34	2.11	6.64	3.11	
	昆特依风蚀地貌	1983	表 层	5		49.52	26.61	9.89	5.92	2.26	1.65	3.31	
				6		42.67	22.51	9.01	5.34	2.21	8.97	3.21	
	察尔汗盐湖	1981	钻 孔	22	13.6	（未测）	22.64	5.98	4.63	1.02	0.48	3.42	邵明昱
				35	23.4		19.08	12.30	6.69	0.91	0.84	3.06	
				46	31.0		22.54	10.60	6.23	1.22	0.36	2.84	
				61	46.5		26.25	11.30	5.56	1.16	0.34	2.46	
				71	49.2		19.73	11.04	6.52	1.28	0.48	2.96	
				75	50.5		12.34	15.60	6.81	1.06	0.62	3.34	
	大别勒湖	1974	钻 孔	26	11.9	48.45	22.99	10.33	6.17	0.31		5.11	钮永宁、吕亚萍
				41	17.1	46.61	22.41	12.77	5.93	0.32		5.57	
				45	18.7	52.15	21.79	8.83	5.60	0.26		3.53	
				49	21.2	48.15	27.05	9.50	6.36	0.30		3.63	
				59	31.5	50.49	25.69	7.18	6.43	0.31	（未测）	3.90	
				62	35.9	47.60	25.65	10.30	5.99	0.30		4.79	
				74	43.9	49.28	25.05	8.62	6.30	0.31		5.34	
				78	47.4	61.05	19.80	2.83	6.00	0.23		1.61	
				89	59.5	56.26	24.47	4.54	6.58	0.35		2.11	

续附表2

地区	湖名（或样品产地）	样品情况				化学成分(%)							分析者
		采样时间	产状	样号	埋深(m)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	
青	大别勒湖	1974	钻孔	91	65.5	55.07	24.91	5.20	6.53	0.35	（未测）	2.21	钮永宁、吕亚萍
				94	70.2	52.10	23.64	5.43	7.36	0.31		2.49	
				99	79.9	54.13	24.78	4.58	6.44	0.31		2.65	
				106	91.2	59.60	25.90	3.30	7.01	0.32		2.40	
	青海湖	1985 (85-14)	钻孔	3	0.53	50.51	23.53	6.53	3.01	1.12	2.53	3.50	
				5	1.00	50.73	23.04	6.34	3.21	1.48	0.84	3.85	
				8	1.93	50.04	21.68	6.27	3.20	1.43	2.26	3.85	
				12	2.69	47.65	23.14	6.24	2.94	1.37	0.70	4.58	
				25	3.90	58.42	20.66	7.09	3.21	1.15	0.84	4.43	
				27	4.19	52.87	23.09	6.24	3.36	1.61	0.67	3.66	
				30	4.48	53.55	23.94	6.66	3.66	1.43	0.61	3.91	
		1986	钻孔	1	0.45	47.91	25.08	10.41	3.86	1.23	0.94	4.14	
				4	9.77	49.79	25.42	10.02	3.79	2.75	0.85	3.87	
				8	24.07	48.92	25.49	9.91	3.91	2.92	1.70	3.53	
				11	31.74	50.89	26.41	8.61	4.06	1.36	0.99	3.77	
				13	41.94	50.14	27.15	9.71	4.54	0.88	0.83	3.58	
				14	51.66	52.21	25.77	7.51	4.40	1.34	0.88	3.50	
				18	66.17	49.32	26.41	8.61	4.05	1.47	0.62	3.88	
				21	75.36	51.98	25.09	9.31	4.62	2.11	0.65	3.42	

海				22	79.92	49.87	25.96	9.69	4.25	1.15	0.85	4.08		
				23	92.17	49.78	27.45	10.01	4.21	1.12	0.71	3.46		
				25	102.12	49.54	26.51	10.36	4.70	0.80	0.74	3.43		
				26	113.19	51.21	25.33	9.90	4.29	0.88	0.74	3.51		
				28	119.98	53.00	25.33	8.63	3.79	1.21	0.83	3.17		
				32	122.63	50.08	25.77	10.82	4.26	0.93	0.62	3.59	林乐枝	
				34	136.29	49.58	25.81	10.90	4.67	0.91	0.68	3.61		
				36	142.94	49.61	25.82	10.40	3.96	1.18	0.62	3.79		
				37	154.41	49.11	26.21	10.42	3.85	1.15	0.85	3.58		
内蒙古	查干诺尔湖	1983	钻 孔	1	1.14	54.63	25.63	8.03	5.97	0.60	0.57	3.20		
				5	2.61	56.51	24.90	6.91	5.80	0.50	0.43	3.50		
				7	4.15	56.05	25.57	6.47	6.49	0.48	0.62	3.17		
				8	5.04	56.04	26.04	6.46	5.59	0.85	0.60	3.09		
				9	6.64	55.77	27.16	6.37	5.40	0.74	0.57	3.17		
				10	7.34	56.18	25.53	5.78	5.44	0.78	0.61	3.10		
				11	8.43	56.61	25.90	6.55	5.67	0.55	0.68	3.00		
				12	13.36	57.43	24.39	5.91	5.24	0.62	0.76	3.19		
				13	14.61	56.90	25.27	6.43	5.88	0.58	0.72	3.16		
				14	15.40	56.01	26.37	6.47	6.14	0.92	0.63	3.15		
				15	19.80	55.00	26.21	5.47	4.28	0.80	0.99	3.71		
				19	22.25	53.69	28.06	7.78	4.76	0.72	0.77	2.46		

续附表2

地区	湖名（或样品产地）	样品情况				化学成分(%)							分析者
		采样时间	产状	样号	埋深(m)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	
内蒙古	吉兰泰盐湖	1983	钻孔	8	10.50	52.77	27.56	7.74	5.10	0.97	0.96	3.72	林乐枝
				13	16.46	53.17	26.90	8.27	4.43	0.53	0.95	3.81	
				15	17.78	53.53	27.69	8.47	4.32	0.60	0.97	3.20	
	雅布赖湖	1983	钻孔	3	2.90	50.70	26.36	8.24	0.79	1.15	1.54	5.75	
				5	7.67	52.42	27.77	9.86	2.04	1.14	0.82	5.36	
				7	8.27	53.94	25.68	9.97	0.58	0.99	0.68	4.45	
				9	9.63	54.60	26.82	9.46	4.05	1.15	0.54	4.30	
	额吉淖尔湖	1983	钻孔	3	8.25	51.91	25.07	9.56	5.65	0.93	0.83	3.53	
				6	9.26	53.68	26.67	8.72	2.64	0.85	0.58	3.23	
				7	11.04	51.92	26.01	10.50	3.49	1.08	0.77	4.08	
	察汉淖湖	1983	钻孔	1	1.24	53.96	18.97	9.08	3.90	1.01	0.39	9.13	
				3	2.88	55.62	10.97	6.51	1.02	1.15	0.36	17.61	
				4	5.48	54.10	17.45	6.05	0.34	0.93	0.58	15.65	
西藏	赛布错	1976	表层			52.50	19.51	3.99	4.53	1.10	0.51	5.44	单兰娣
	色林错	1976	表层			54.01	21.26	7.42	6.35	1.05	0.77	3.01	
	达则错	1976	表层			50.48	16.39	8.66	3.47	1.63	0.69	9.40	
	茶拉卡	1976	表层			48.67	15.99	5.73	4.03	0.76	4.33	9.01	钮永宁
	郭加林	1976	表层			48.20	21.47	6.10	5.12	0.43	0.56	7.84	
	崩则错	1976	表层			55.82	20.90	3.24	4.51	0.44	0.19	2.84	

新疆	艾丁湖	1986	钻 孔	3	0.70	56.89	24.41	7.94	2.51	0.99	0.83	6.72	林承枝
				10	4.00	56.83	20.61	6.66	2.33	1.19	0.56	11.29	
				17	8.30	53.27	26.13	8.90	2.98	1.35	0.81	6.18	
				26	15.89	53.87	27.46	10.76	3.44	1.55	0.82	4.10	
				31	24.01	53.20	23.76	9.75	2.93	1.62	0.95	5.19	
				36	32.15	54.96	24.30	10.32	2.62	1.51	0.88	4.86	
				41	39.34	54.54	24.68	10.16	2.86	1.65	1.08	4.56	
				55	50.86	53.62	22.63	10.67	2.56	1.68	1.37	6.40	
澳大利亚	芒戈湖	1982	表层			54.02	20.45	9.70	4.35	2.38	1.34	3.04	
	弗罗姆湖	1982	表层			55.67	20.40	9.34	2.61	6.62	0.76	3.17	
	吐尔湖	1982	表层			53.21	21.58	11.60	3.70	1.54	0.74	0.72	
	艾尔湖	1982	表层			55.56	21.75	9.21	2.85	0.76	0.84	2.41	
						56.55	20.12	9.67	2.95	1.96	0.53	2.49	
	台瑞湖	1982	表层			10.64	30.32	4.31	8.82	2.27	0.36	1.20	
						54.30	22.67	10.79	2.98	0.63	0.28	1.33	
西藏	班戈错					51.28	15.52	3.9	3.22	0.36	5.89	0.70	郑喜玉等(1988)
						54.12	13.74	2.4	2.75	0.23	2.15	0.61	
						50.80	15.68	2.7	2.90	0.29	2.05	0.70	
						48.15	14.63	3.2	3.20	0.42	5.07	0.53	
	茶拉卡					51.05	17.14	4.0	3.90	0.51	2.55	1.38	
	扎仓茶卡					50.86	13.32	3.4	3.10	0.54	7.50	0.90	

附表 3　盐湖粘土微量元素光谱分析结果(%)

湖　名	样号	硼	锰	钛	锆	锌	钴	铅	铬	锡	镓	镍	钒	钼	铜	银
班戈错		0.01	0.05	0.01	—	—	—	0.0001	0.0001	—	<0.0001	—	0.0001	—	<0.0001	—
郭加林		0.03	0.05	0.08	0.01	0.03	—	0.0003	0.003	0.0001	<0.0001	0.0008	0.003	—	0.0003	—
依布茶卡		0.01	0.1	0.1	—	—	—	0.0001	0.0001	—	0.0001	0.0001	0.0003	—	0.0001	—
玛尔果茶卡		0.05	0.05	0.01	—	—	0.005	0.005	<0.001	0.0006	0.005	0.0008	0.0008	<0.0001	0.01	0.0001
错尼东错		0.05	0.01	0.08	—	—	0.001	0.006	0.006	0.0003	0.006	0.005	0.03	0.0001	0.008	0.00008
涡错		0.05	0.02	0.8	—	0.05	0.001	0.0008	0.006	0.0006	0.005	0.005	0.02	<0.0001	0.003	—
达瓦错		0.03	0.2	0.06	—	—	—	0.0006	0.001	0.0001	0.001	0.0001	0.0003	—	0.001	0.00006
扎仓茶卡		0.005	0.02	0.1	—	—	—	—	0.002	0.0001	0.0001	0.0001	0.006	—	0.0001	—
阿翁错		0.04	0.01	0.8	—	0.03	0.003	0.003	0.003	0.0003	0.005	0.008	0.008	0.0001	0.003	0.0002
茶拉卡		0.04	0.01	0.8	—	0.03	0.0005	0.0004	0.001	0.0002	0.0008	0.0008	0.008	—	0.001	0.00001
尕斯库勒湖		0.05	0.05	0.8	—	0.03	0.001	0.001	0.006	0.003	0.005	0.005	0.01	0.001	0.003	—
东台吉乃尔湖		0.03	0.05	1.0	0.03	0.08	0.0002	0.0008	0.006	0.006	0.001	0.001	0.01	0.0001	0.0005	0.0001
一里坪盐湖		0.05	0.01	0.1	0.01	0.02	0.0003	0.0008	0.006	0.0003	0.005	0.003	0.01	—	0.003	0.0001
昆特依湖		0.05	0.02	1.0	0.01	0.03	0.0003	0.0005	0.005	0.006	0.005	0.002	0.01	0.0001	0.0008	—
大别勒湖		0.01	0.08	1.0	0.02	0.03	0.0001	0.0001	0.002	0.0003	0.0006	0.0008	0.003	0.0001	0.0006	—
芒戈湖		0.005	0.04	1.0	0.01	0.05	—	0.0001	0.001	—	0.0003	0.0001	0.002	—	0.0003	—
弗罗姆湖		0.001	0.05	0.1	—	0.01	—	—	<0.001	—	0.0001	<0.0001	0.0002	—	0.0001	—
吐尔湖		0.003	0.05	0.8	0.01	0.03	—	—	0.001	—	0.0002	0.0001	0.002	—	0.0001	—

艾尔湖		0.005	0.08	0.2	0.01	0.02	—	0.0001	0.002	—	0.0003	0.0002	0.002	—	0.0001	—
台瑞湖		0.003	0.01	0.3	0.01	0.02	—	0.0001	0.003	—	0.0003	0.0002	0.002	—	0.0001	—
察尔汗盐湖	1	0.03	0.03	0.2	0.01	0.03	0.002	0.006	0.01	0.0003	0.004	0.005	0.009	0.0005	0.003	1×10^{-5}
	6	0.03	0.01	0.1	0.01	0.01	0.001	0.006	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0005	0.003	3×10^{-5}
	10	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0008	0.005	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.003	1×10^{-5}
	12	0.03	0.02	0.15	—	0.01	0.001	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.09	0.0005	0.002	3×10^{-5}
	17	0.03	0.01	0.1	—	0.01	0.001	0.005	0.01	0.0003	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.003	—
	22	0.03	0.02	0.15	—	0.01	0.001	0.002	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0005	0.003	—
	26	0.03	0.02	0.2	—	0.03	0.001	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0005	0.003	1×10^{-5}
	35	0.03	0.01	0.3	—	0.075	0.0001	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0005	0.003	6×10^{-5}
	37	0.03	0.01	0.25	—	0.05	0.001	0.002	0.01	0.0002	0.004	0.004	0.01	0.0003	0.002	6×10^{-5}
	40	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0008	0.002	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0003	0.002	3×10^{-4}
	44	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0005	0.003	0.01	0.0001	0.002	0.001	0.009	0.0003	0.003	6×10^{-5}
	46	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.001	0.004	0.01	0.0002	0.004	0.005	0.01	0.0008	0.003	—
	49	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0008	0.004	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0003	0.003	1×10^{-5}
	52	0.03	0.02	0.2	—	0.03	0.0008	0.004	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0003	0.003	1×10^{-5}
	59	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0006	0.005	0.01	0.0001	0.004	0.002	0.01	0.0003	0.001	3×10^{-5}
	60	0.03	0.01	0.3	—	0.06	0.0008	0.003	0.01	0.0001	0.004	0.002	0.01	0.0001	0.001	1×10^{-5}
	61	0.03	0.01	0.2	—	0.03	0.0008	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.01	0.0001	0.002	—
	71	0.03	0.02	0.2	—	0.03	0.0008	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.003	0.009	0.0005	0.002	—
	75	0.03	0.02	0.3	—	0.06	0.001	0.001	0.01	0.0001	0.004	0.004	0.01	0.0003	0.002	—
	82	0.03	0.01	0.1	—	0.02	0.001	0.003	0.01	0.0001	0.004	0.005	0.01	0.0003	0.003	—

续附表3

湖　名	样号	硼	锰	钛	锆	锌	钴	铅	铬	锡	镓	镍	钒	钼	铜	银
班戈错		0.01	0.01	0.5	0.005		—	—	—	0.001	—	—	0.003	—	<0.001	<0.001
		0.05	0.01	1	0.01		0.003	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.005	—	<0.001	0.001
		0.01	0.01	1	0.01		—	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.01	<0.001	<0.001	<0.001
		0.01	0.01	1	0.005		—	—	0.003	—	0.001	0.001	0.005	—	<0.001	<0.001
		0.01	0.05	1	0.03		0.003	0.003	0.005	—	0.001	0.003	0.01	—	0.001	0.003
		0.01	0.01	1	0.01		0.003	—	0.005	—	0.001	0.003	0.03	—	0.001	0.001
		0.03	0.01	0.05	—		—	—	—	—	<0.001	—	0.001	0.001	<0.001	—
		0.01	0.03	1	0.01		—	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.01	—	<0.001	<0.001
茶拉卡		—	0.05	1	0.01		0.001	—	—	—	0.001	0.003	0.01	—	<0.001	<0.001
		0.01	0.05	0.05	0.01		0.001	—	0.003	—	<0.001	0.001	0.005	0.001	<0.001	0.001
扎仓茶卡		0.01	0.03	0.05	0.05		—	—	—	—	<0.001	0.003	0.001	—	<0.001	0.001
		0.03	0.03	0.05	0.01		—	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.003	—	<0.001	<0.001
		0.01	0.03	1	0.01		0.001	—	0.005	—	<0.001	0.003	0.01	—	<0.001	<0.001
		0.01	0.03	—	0.01		0.001	—	0.003	—	<0.001	0.003	0.005	—	<0.001	0.001

[General Information]
书名=中国盐湖粘土矿物研究
作者=徐昶
页数=208
SS号=10093456
出版日期=1993年03月第1版