

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号:

密 級:

夏季、冬、春季水量很少，有的甚至干枯。河流流出山口以后，沿途渗入戈壁砾石层，流经十几公里后即全部渗入，转为地下径流。由于水流挟带物质堆积于盆地中，在山前形成宽广的平缓的倾斜平原。而努罗塔格山山势低矮，山上既无永久积雪，降水亦少，是一个极干旱的剥蚀秃山。山区基岩的风化壳层较厚，因水流径流量极小，祇於山麓的北坡形成狭窄的坡积——洪积带。

盆地中却有火焰山（即阿斯香塔格）作东西走向，把盆地分隔成南北两部分。该山高度500—600米，最高山峰837米。它的存在加深了盆地自然条件南北变化的特点。

就整个盆地的地势而言，是从北向南倾斜的。博格达山南麓一带的高度为1,000米左右，至火焰山北麓为300米，火焰山南麓为厘米。盆地中央大部份地区处海平面以下，最低处位于盆地的南缘，艾丁湖东南岸标高为154米，成为全国陆地最低的地方。

由于地处欧亚大陆的中心，周围为山地环绕，潮湿的气流难以入侵，加以盆地部份地区在海平面以下，所以气候极其炎热干旱。自古即有“火洲”之称，年蒸发度2,800—3,000毫米，降水量仅十几毫米，年平均气温 14°C ，最热的7月份平均气温 33.6°C ，最冷的一月仍为 -9.8°C ，绝对最高气温曾达 47.8°C （1942年7月24日）。吐鲁番盆地自然环境如此特殊，先时盆地地下水的形成终以深居的影响，盆地最低之处便成为水—盐积聚的中心。

二、地质及水文地质简况

海西运动结束了天山地槽的发展，并在其中形成一些

盆地，吐鲁番盆地即为其中的一个。

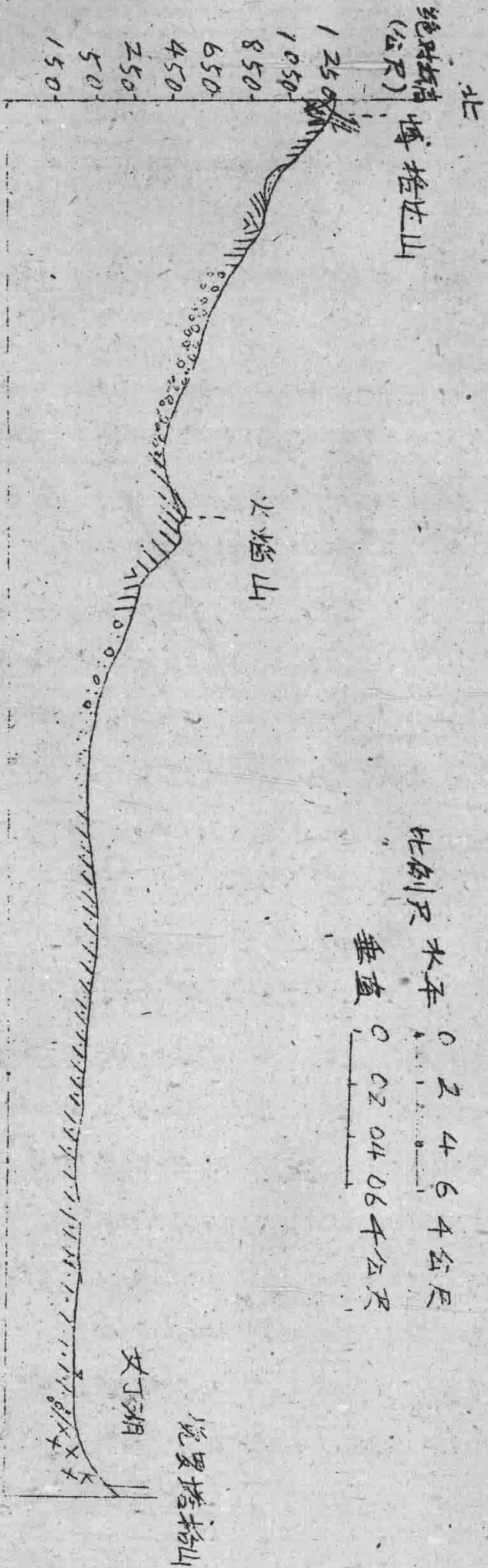
自三叠纪至第三纪，除了三叠纪末期盆地暂时回升，停止沉积遭到剥蚀在下侏罗纪的古气候较湿润外，其余的地质年代里，山区一直以不同的幅度隆起，而盆地则下沉。古天山是盆地沉积物的来源地，发源于山区的河流携带大量的砾石、砂泥堆积于盆地中，形成中生代及新生代的厚6000—7000米的陆相碎屑沉积层。由于古气候条件干旱，岩层中含可溶性盐类多，有时有石膏等化学沉积伴生，它成为盆地地下水盐份最主要的来源。

自早期第三纪至第四纪的早期造山运动，特别是喜马拉雅运动，将剥蚀得较低平准平瓦状的古天山重新隆起，使盆地中的中生代及新生代地层发生褶皱，从南而北形成了四个构造带：即山麓拗皱带、北部倾斜带、火焰山拗皱带和南下单斜带。它构成了今日盆地面貌的雏形。第三纪末期至第四纪早期，构造运动仍持续不断，在原来的构造体系的基础上，再将山区隆起，因而在火焰山及山麓拗皱带的背斜轴部有老第四纪的冰水砾石出现。从上升的幅度和速度看，觉罗塔格山较博格达山要缓慢得多和小得多，而盆地一直是下降的，河水从山区夹带物质按照由粗而细的规律沉积下来，形成巨厚的（最小大于200米）第四纪的洪积层。

所有这些发展的结果，形成吐鲁番盆地今日特殊的自然环境。它对盆地的水文地质条件有极大的影响，下面作简略的叙述。

盆地北部及西北部的山区的地质结构复杂，主要由下古生代变质砂岩夹薄层灰岩、结晶片麻岩和千枚岩等组成。岩层的裂隙发育，存储很多裂隙水，是盆地地下水的补给区。盆地南

吐鲁番盆地地形地质剖面示意图



比例尺 水平 0 2 4 6 4 公尺
垂直 0 0.2 0.4 0.6 4 公尺

图例

- | | | |
|-----|-----|-----|
| 第四系 | 中生界 | 古生界 |
| | | |
| 砾石 | 杂岩 | 变质岩 |
| | | |
| 砂 | 断层 | |
| | | |

矮低矮的贺罗塔格山，水很贫乏，对盆地地下水的补给的意义不大（参1）（见上页）

在博格达山前出现的山麓冲积带，在地形上是山前丘陵，海拔1000—1500米，由中生代及新生代的杂岩组成，大多以背斜构造出现，与天山主体（海西褶皱带）之间有很大的逆掩断层。

河流深切上述丘陵，深达150米以上，两岸一般有数级阶地。山区的裂隙水通过这些河谷或直接与山前平原相接（没有中生代及新生代构造的地段）的地段流入平原。

火焰山褶皱带和山麓冲积带之间是一个大向斜，其上覆盖未经胶结或半胶结的洪积冲积砾石和卵石。在地形上构成南北宽达20—30公里的戈壁砾石倾斜平原，仅在木头沟以东，火焰山以北麓在冲积—洪积扇的前缘表层有土覆盖，但其下的含水层仍是砾石和卵石。河流在冲积洪积扇的顶部切割很深往下渐浅。河水在砾石带大量的渗漏，向斜盆地内有巨大的地下径流，潜水的埋藏深度从山前至冲积—洪积扇末端变浅，洪积扇潜水埋藏深度20—200米。

横亘于盆地中部的火焰山褶皱带，由一系列轴向NNE—SE的背斜组成，出现的地层以侏罗纪、白垩纪和第三纪的砂砾岩和泥岩为主。在地形上成为标高500—600米东西长90公里，南北宽6—9公里的丘陵。它的存在对盆地水文地质条件有极大的影响。它如堤坝一样拦蓄从博格达山南麓戈壁砾石层中而来的水流，阻挡水流的去路，在山北形成巨大的地下水库。水流找不到出路，在山北造成回水，潜水的埋藏深度普遍变浅，形成了高水位带或者潜水资源带。在这一带有表土覆盖即成洪积，如鄯善、连木心、苏巴什、英克迪等绿洲即是。资源带内有很多泉，集泉水形成很多泉流（即火焰山水系）。

如苏北沟、连木沁沟、苏巴什沟、木头沟、葡萄沟、羊奶子沟、大旱沟、大草湖和小草湖等，这些泉流和山北的地下径流通过火焰山的先成河谷或山的缺口注入盆地。火焰山水系——四沟水的年径流量达3.5亿公方，佔天山水系径流量的50%以上。水质良好，流量稳定，早已为当地居民广泛利用于灌溉。

火焰山以南至觉罗塔格山北麓的基岩以单斜状存在，其上堆积了巨厚的洪积冲积物质，构成宽广的平原。总的地质是自北向南和从西向东向盆地最低之处——艾丁湖倾斜。随岩性的分选，地形的变化，径流条件逐渐变坏，潜水的埋藏深度也变浅。整个平原由山麓的冲积洪积扇和火焰山南部的冲积平原两部分组成。山麓冲积——洪积扇由砾石卵石组成。在胜金口以东，洪积洪积扇的规模不大，沉积的物质粒径较细，以小砾石为主。胜金口以西其规模渐大，岩石粒径较粗，直至以西至托克逊的伊拉湖为白杨河及阿拉沟所形成很大冲积扇。冲积扇带内潜水埋藏深度5—40米，冲积扇的前缘，岩石颗粒变细，过渡为砂土质的平原。地表坡度比冲积扇要平缓得多，潜水埋藏深度3—15米，大部分土地已垦为农田。更往南便是艾丁湖三角洲平原，地势低洼，第一个含水层由亚砂土和亚粘土组成，潜水埋藏深度为1—3米，是一片重盐土分佈地区。艾丁湖沿岸，潜水埋藏深度在1米以内，岸边没有植物生长，地表有硬盐壳约10余厘米。土壤中含盐很多的盐沼地，成为盆地潜水的排泄区。

整个吐鲁番盆地是一个巨大的地下水库。承压区位于盆地的中部，吐鲁番南17公里的红星农场曾打3数十个40—120米的钻孔，上都遇到了两个自流水层，压力水头直西北向东南方向减少，含水层及隔水层的结构都不均一。第一含水层埋藏在40米左右的深度上，由夹有直径为3—5厘米的砾石的细沙

及中砂层构成。含水层的顶板是亚粘土，含水层的厚度变化很大，由10—30米。第二个含水层埋藏在80米以下，也是由含小砾石的细砂和中砂构成，上覆粘土为其隔水顶板，因钻探深度所限，此含水层的深度未明。自流井的涌水量平均11公方/小时，最大者达40公方/小时。

托克逊县城一带，在60余米的深度内有两个自流水层，均是由含砾石的砂子组成，水头上升高于地面3—8米，井的自流量约13公方/小时。

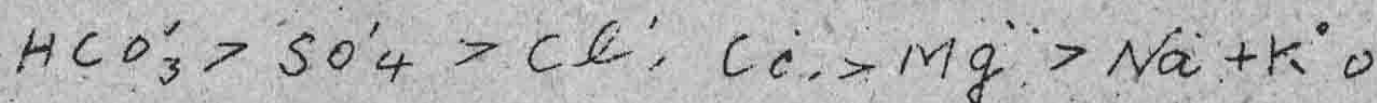
三、吐鲁番盆地水文地球化学的规律

(一) 地表水

这里所指的地表水是包括天山水系和火焰山水系以及艾丁湖。

河水的化学成分主要由下述因素决定：1. 径流形成区的岩石的性质；2. 径流特徵。

天山水系发源于博格达山及喀拉乌成山，均非融雪水及降水所补给。由变质岩和沉积岩为主组成的山区，岩石中含可溶盐量极少。山区的河谷的坡降大，水在峡谷中流得很快，使水与岩石作用的时间很短，故水的矿化度很低。根据我们1958年6月在各河山口处所采取水样分析的结果，其变化幅度0.1—0.25克/升。水中离子的特点是



其中Ca和HCO₃⁻离子会占阳离子和阴离子克当量数的40—60%，其他离子的比例则较小。

火焰山水系实际上是火焰山北麓戈壁砾石中的天然回归水。由于火焰山壅水的结果，使得地下径流重新转变为地表径流。水的矿化度略有增加，正如戈壁砾石层中的地下水一样，矿化

度比天山系河水为大。其变化幅度 $0.45 - 0.7$ 克/升。水中阴离子的特点是 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ，有时候是 $\text{SO}_4^{2-} \approx \text{Cl}^-$ ，阳离子的特点是 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ，水中 Cl^- 和 Na^+ 的增加看来是火焰山北麓潜水沿带内水受蒸发和蒸腾影响的结果。

偏处于盆地南缘的艾丁湖水味很咸，充分反映了吐鲁番盆地的自然特点。该湖水很浅，北岸水深 $0.4 - 0.5$ 米，南岸水深约 1 米。目前（1958.6.7自测）水自东向西长 16 公里，南北宽约 4 公里，水面面积约 124 平方公里。由于天山水系及火焰山水系的水在戈壁砾石带内大量的渗漏和取用河水灌溉的结果，水流不能直接注入湖中，只有在冬季作物不需水期间，白杨河的河水和坎儿井的余水才排入湖里。艾丁湖的终年存在，说明它是靠地下水补给的。

湖水通过蒸发而消耗，盐分长期累积，形成了典型的盐湖。湖底虽有 NaCl 的沉淀物。根据在南岸及北岸采取两个水样分析的结果，矿化度分别是 $20.4, 3$ 克/升和 $23.3, 4$ 克/升。水中的阴离子的特征是： $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ，阳离子是： $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ，其中 Cl^- 占阴离子总数的 90% 左右， SO_4^{2-} 占 8.9% ， $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 占阳离子总数 98% 左右。河水及湖水的化学成分如表(1)

吐鲁番盆地地表水的化学成分

表1

水系	河名	矿化度 (克/升)	阴离子(毫克当量/升)		阳离子(毫克当量/升)		阴离子 Cl ⁻	阳离子 Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	硫酸 盐类型
			CO ₃	HCO ₃	SO ₄						
天山水系	东柯里	0.258	0.231	2.065	0.461		0.695	2.183	0.449	0.820	HCO ₃ -Ca
	二堂沟	0.106	0.480	0.500	0.461		0.224	0.638	0.611	0.416	HCO ₃ -Ca
	坎尔齐	0.186	0.230	1.730	0.311		0.193	1.798	0.579	0.107	HCO ₃ -Ca
	排尔沟	0.186	0.230	2.016	0.370		0.340	2.116	0.635	0.207	HCO ₃ -Ca
	坎窑沟	0.173	0.346	0.980	0.865		0.322	1.758	0.440	0.315</	

(二) 潛水

潛水的化學成分的組成及其分佈規律直接受自然地理條件及地質結構所控制。吐魯番盆地地勢低窪，氣候極為炎熱乾旱。地貌條件及地質結構有規律地由盆地的外圍向中心轉換是潛水形成的基本因素，決定了潛水的礦化度由盆地四周到內部由小而大的增加，礦化類型由 $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}$ 型。

潛水的礦化度 據我們分析180多個水樣的結果來看，潛水的礦化度的變化幅度極大，從0.23—198.6克/升。由此可以認為，在吐魯番盆地的自然條件下，潛水礦化度的下限是0.25克/升，上限是200克/升。把礦化度分為<0.5、0.5—1、1—3、3—12、12—50、>50克/升 六個等級。井、泉、探坑及鉆井水所佔比例如表(2)。

表(2) 吐魯番盆地坎兒井、泉、探坑及鉆井水的礦化統計

礦化度 水泉類型 (克/升)	<0-5	0.5-1	1-3	3-12	12-50	>50
坎兒井 或井	34	20	35	21		
泉	30	8	8	1		
探坑及 金井		2	3	2	7	2
計	64	30	46	25	7	2

潛水的礦化度與下兩因素的關係最密切，一是含水層的岩性，更確切地說是地下逕流條件；另一是潛水的埋藏深度。

吐魯番盆地各個地區的含水層的岩性有很大的差異，岩性

什多端，生粗大的砾石，卵石至粒径很小的砂子和砂土。砾石、卵石分佈的地区与冲积洪积扇占据的位置相符。它具有强大的地下径流。砂子和砂土分佈的地区与火焰山前冲积平原占据的位置相符。地表坡度平缓，砂土的透水性差，地下水径流微弱，甚至处于停滞的状态。因而水的矿化度的差异极大，详细地资料如表(3)。

表(3). 含水层的岩性与观测点潜水矿化度之关系

含水层的岩性 \ 矿化度(克/升)	<0.5	0.5-1	1-3	3-12	12-50	>50	附性部分水点的 水层的岩性
砾石、卵石	38						未详 按表内的 数字按表2 的水点数有 差别
含砾石的砂		10					
砂			19	10			
亚砂土 亚粘土					6	2	

表(3)中矿化度在3克/升以内的水点，潜水埋藏深度在10米以上，最深达60-70米。3-12克/升的水点潜水埋藏深度5-10米。>12克/升的在3米以内，含水层是亚砂土、亚粘土，有时亚夹砂子。这里岩性对矿化度的影响看来没有多大关系，起决定作用的是潜水的蒸发作用。据苏联学者萨瓦连斯基、普里瓦隆斯基、加采夫诺夫、柯夫达和克图洛夫等人的研究，潜水的埋藏深度与矿化度的收集程度有密切的关系，潜水愈接近地表蒸发的消耗愈高，则潜水的矿化度愈大。在吐鲁番盆

地水得示同样的规律，当潜水埋藏深度在 2.5—3.0 米时，矿化度即有极显著的增高，从 3 克/升至 30—200 克/升。图(2)较清楚地表示了这一特点。

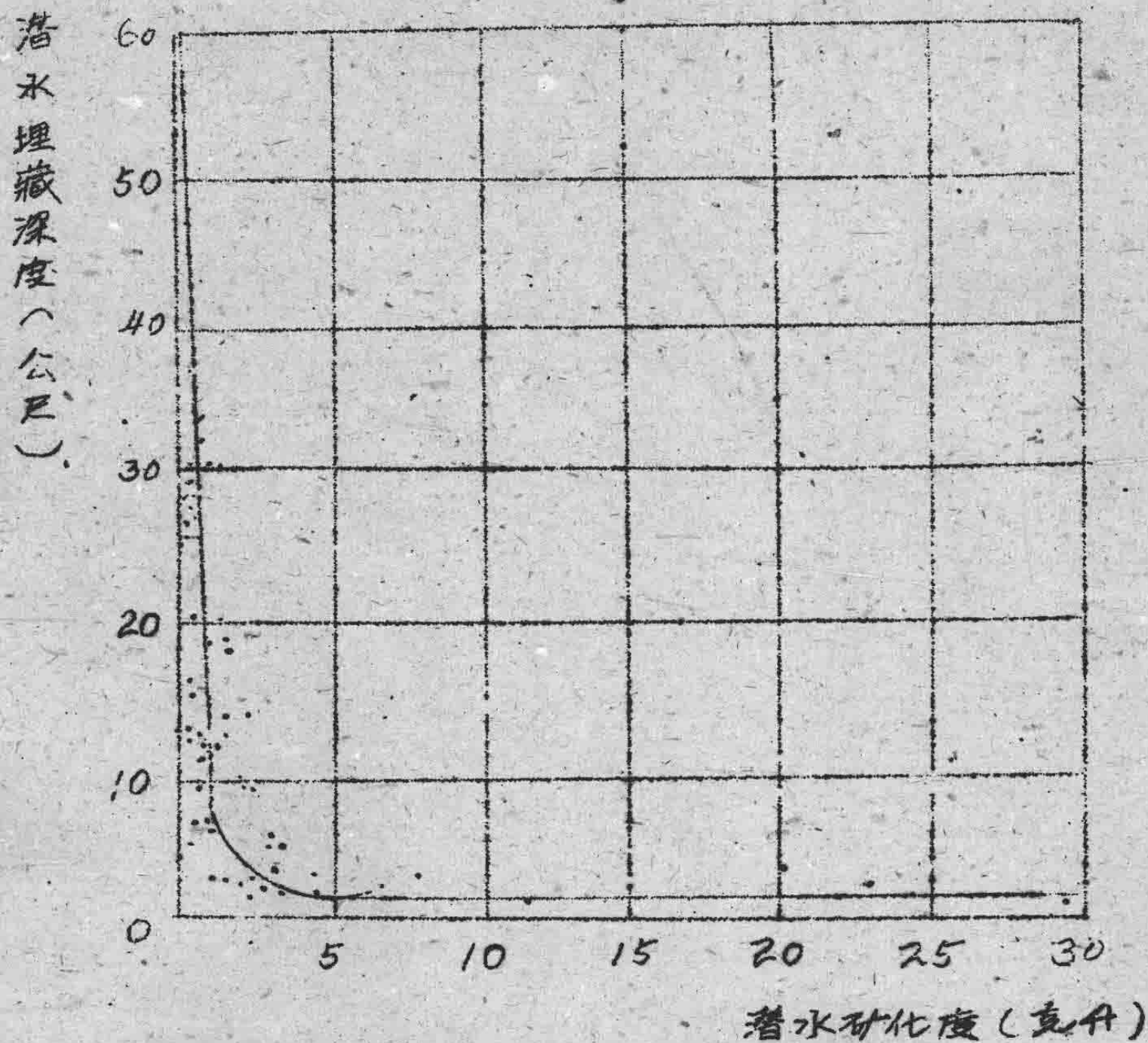


图2吐鲁番盆地潜水矿化与潜水埋藏深度的关系

潜水的矿化度和其化学成分是地区水文地质条件综合的反映。盆地潜水的化学成分主要从两个方向变化，即自北而南和自西而东，与盆地潜水的补给区及径流区和排泄区的分布相吻合。补给区内潜水矿化度小于 1 克/升，水中所含的盐类以 CaCl_2 及 Na_2CO_3 为主。径流区内矿化度 1—12 克/升，水中所含

的盐类以 Na_2SO_4 及 CaCO_3 、 MgSO_4 为主。消耗区内矿化度共达 12 克/升，最大的达到 200 克/升。补给区的盐类以 NaCl 及 Na_2SO_4 为主。详细的资料如表 (4)。

表 (4) 潜水化学成分与水文地质区的关係表

水文地质区	水井的编号	化学成分矿化度 (克/升)	阴离子 (毫克当量/升)				阳离子 (毫克当量/升)		
			CO_3	HCO_3	SO_4	Cl	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{Na} + \text{K}$
补给区	# 16	0.170	0.114	1.625	0.772	0.375	1.218	0.430	1.238
	# 48	0.656	0.115	5.835	2.307	2.029	4.367	1.680	4.239
	# 66	0.224	0.115	1.491	0.757	0.604	1.257	0.435	1.275
	# 67	0.350	0.231	2.195	1.568	0.978	2.222	0.687	2.063
	# 76	0.276	0.230	2.190	0.946	0.827	2.010	0.741	1.442
	# 82	0.232	0.231	1.811	0.526	0.564	1.957	0.582	0.592
	# 119	0.846	/	5.513	4.751	2.169	6.136	2.593	3.604
迳流区	# 47	3.222	0.462	6.909	28.610	10.690	5.690	6.068	34.919
	# 57	1.654	/	5.167	12.409	6.562	7.391	6.942	9.805
	# 8								

潜水的化学成分随盐渍土的关系。盐渍土的分布和形成与大陆性气候和地势的地形有密切关系。众所周知，吐鲁番盆地极其干旱而炎热，四周环山，水一盐不能外泄，盆地中部处于海平面以下，极有利于水—盐成分的积累，而且一直处于正均衡的状态中。再加上水文地质条件的不良，盆地中下潜水埋藏深度在3米以内，地下径流处于停滞状态。潜水在强烈的蒸发消耗之下，不仅潜水的矿化度受到浓缩，在毛细管作用下，土内蒸发也很剧烈。由于土中含有可溶盐很多，所以地表常有数厘米至十几厘米厚的盐壳，形成了面积广大的盐土。其范围约与 >12 克/升矿化度区域相一致。如吐鲁番七个不拉东南6里处，潜水埋藏深度为2.0米，表层20厘米土层含可溶盐63.74%，成分以 NaCl 、 Na_2SO_4 为主，往下则渐渐减少，含盐量11—2.5%，潜水上（深1.9米）的土层含可溶盐为14.56%，而潜水的矿化度为23.29克/升，成分以 NaCl 及 Na_2SO_4 为主。

不多的资料表明，土中尚含有少量的 NaNO_3 ，它的存在反映了吐鲁番盆地气候的极端炎热和干旱的特点。

潜水和土壤的化学性质统计表(5) (见下页)

潜水中各主要离子与矿化度的关系。一般的概念认为，溶解在潜水中盐类数量的增加是随着 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ 的规律而变化的，并用不同化合物的溶解度以及浓度增加到饱和极限来解释。潜水中各主要离子与矿化度的关系随大区域的自然条件的变化而有别，通过图表(图3)的分析，来探讨吐鲁番盆地的自然条件对潜水形成的影响。(图3)(见下页)

HCO_3^- 和 Ca^{2+} 与矿化度的关系。 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 在水中的含量是不高的，在淡的和低矿化度的潜水中含 HCO_3^- 和 Ca^{2+}

含量的变化幅度分别在 1.5 — 6.56 毫克当量/升 (约 0 — 400 毫克/升) 和 0.75 — 12.5 毫克当量/升 (约 15 — 250 毫克/升)。并且 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 及 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 一般的情况下, HCO_3^- 和 Ca^{2+} 保持平衡, 在生盐岩的情况下是 $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$ 。

随着矿化度的增加, HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的增加很缓慢, 而其他离子则增加较快, 因此在水中的比例就相对的减少。当矿化度为 7—10 克/升时, 水中含 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 之量分别为 4—8 毫克当量/升及 10—30 毫克当量/升。当矿化度为 10—50 克/升时, 则为 10—15 毫克当量/升及 20—30 毫克当量/升。当矿化度为 50—200 克/升时, HCO_3^- 的含量维持于 5—10 毫克当量/升的极限上, Ca^{2+} 的含量为 30—70 毫克当量/升。

SO_4^{2-} 与矿化度的关系。在砂水中的特点是 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; 当矿化度从 1—2 克/升 增至 10—11 克/升时, 它的特特点是 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, 水的类型由碳酸盐水和硫酸盐水。当矿化度 $> 10—11$ 克/升时, $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-} = 1.2 \sim 2.0$, 此时成为氯化物水。随着矿化度的急剧的增加 SO_4^{2-} 的含量增加是相当快的, 其速度仅比 Cl^- 稍慢些。当矿化度 50 克/升时, 水中含 SO_4^{2-} 达到最大的限度, 含 SO_4^{2-} 370 毫克当量/升 (约 17.8 克/升)。 SO_4^{2-} 在水中的含量较多, 除了硫酸盐的溶解度较大外, 火焰山的地层中有硬石膏夹层。临时性的暴雨溶蚀

表5

土 的 化 学 成 分 深度 (厘米)	CO ₃ ^{''}		HCO ₃ [']		SO ₄ ^{''}		Cl [']		Ca ^{''}		Mg ^{''}		Na+K		全盐量 (%)
	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	毫克当量/100克	%	
0-20	/	/	1.297	0.0791	137.287	6.631	18.061	0.640	12.812	0.256	56.738	0.670	87.095		65.765
20-47	/	/	1.782	0.108	25.752	1.253	13.367	0.474	12.276	0.246	3.571	0.0434	25.25		1.102
47-70	/	/	1.644	0.100	18.164	0.807	2.163	0.767	12.276	0.257	2.143	0.026	26.440		3.335
70-144	/	/	1.462	0.0892	15.685	0.757	4.439	0.157	12.232	0.205	1.410	0.077	5.943		1.965
144-169	0.058	0.0437	1.919	0.1171	16.387	0.791	6.020	0.213	12.653	0.2415	2.366	0.0288	9.898		2.242
70-98	/	/	1.507	0.092	13.656	0.659	3.214	0.114	12.455	0.249	1.429				