

杜玛苏油田开发

苏联 И.Г. 别尔米亚科夫著

石油工业出版社

內 容 提 要

杜瑪茲油田是苏联的最大油田之一，是苏联采用注水法开发的第一个油田。“杜瑪茲油田开发”一書系統地总结了該油田的开发經驗。

本書首先扼要地介紹了杜瑪茲油田的地質情况和开发簡史，接着重点地分析了杜瑪茲油田的开发狀況，敘述了改进該油田开发的措施，研究了油層最終采收率与井距、井位分布、采液量和注水量等的关系，合理强化采油的条件，各种油田开发图的繪制和应用等等。

本書供油田开发研究人員、工程技術人員、有关院校师生参考。

И. Г. ПЕРМЯКОВ

РАЗРАБОТКА ТУИМАЗИНСКОГО

НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

根据苏联國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСНЕФТЕХИЗДАТ)

1959年莫斯科版翻譯

統一書号：15037·924

杜 瑪 茲 油 田 开 发

北京石油学院外語教研室等譯

*

石油工业出版社出版（社址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

石油工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本·印张7 $\frac{1}{2}$ ·163千字·印1-2,000册

1960年7月北京第1版第1次印刷

定价(10)1.10元

緒 言

苏联首先是在杜瑪茲油田上大規模地采用保持压力法开发油藏的。因此研究杜瑪茲油田的开发經驗不仅在过去大大促进了苏联采油工艺的順利发展，而且在今后仍將起到同样的促进作用。

用保持压力法开采杜瑪茲油田，取得了很大的經濟效果。新工艺的优点之一，就是在井網最稀而且主要是用最經濟的自噴采油法的情况下，能大大地增加石油的可采工业儲量。

从1944年到现在的开发期間，从杜瑪茲油田的泥盆紀地层內采出了几万吨原油。

虽然如此， Π 层的采油量在最近八年来一直都是稳定的，而 Π 层的采油量到最近还在增长。在这种情况下油井自噴期已达八年以上，只是下油层渗透率低的地帶，油井采用机械采油法生产。

按新工艺开采杜瑪茲油田的結果，大大地提高了劳动生产率，节省了大量物資，显著地提高了采油率并縮短了开发時間。采用保持压力法的效果估計在十八亿卢布以上。

在按杜瑪茲油田开发設計进行工作的过程中，发现原設計有一些缺点，因而对設計也做了一些改进。例如，曾把注水綫移至生产井附近，从而就大大提高了注水效果。油藏的几个大水区由几排注入井把它們与 Π 层的主油藏分开，使其成为几个独立的生产区。开始在 Π 层西北翼的广大油水部分鑽生产井，这在原开采設計上是沒有的。

在考虑开发杜瑪茲油田的成就的同时，也必須查明所采用的采油工艺的缺点，以便于改进采油工艺，並以此促进开发理論与实践的进一步发展。

本書的目的是依据烏发石油研究所多年来所进行的杜瑪茲油田开发情况的分析工作，客觀地解决杜瑪茲油田泥盆紀油藏开发方面的原則問題，这些問題将有助于改善杜瑪茲油田今后的开发工作，同时也可以編制新油田开发設計时加以采用。

杜瑪茲油田在开发方面的最迫切的、同时也是有爭論的問題如下：

1. 油层最終采收率与井距及油井在构造上的位置的关系，以及与采液速度和注水速度的关系；

2. 把油藏切割成几部分是否合理，尤其是边內注水的組織問題；

3. 在那些条件下，从油井中強化采液是合适的；

4. 对在边外注水条件下全面鑽生产井的做法（如在 II 层等大油藏上鑽第四排与第五排生产井）的評價。

此外，書中还談到了以下的問題：

a. 在考虑到采液和注水情况、地层的渗透率和厚度的不均一性情况下繪制等压綫图的方法；

6. 繪制油水接触面图和划出含油边界的方法；

b. 依据油层岩相特性和采液速度計算井距对油层最終采收率的影响的方法。

根据这些問題，本書共分为三篇。

第一篇算引言，其中敘述关于杜瑪茲油田泥盆紀油藏的地質构造和开发情况的綜合資料，即儲油层及其中的液体的特性和泥盆紀油藏的开发簡史。

第二篇闡明泥盆紀油藏开发情况的觀察結果。在这篇里敘述地层压力的觀測方法，敘述在考虑到油层不均一的結構和弹性力的情况下繪等压綫图的方法。对烏发石油研究所創立的繪制油水接触面图的新方法也有描述。此外还敘述了油井水淹情况的觀測結果。

第三篇（主要的一篇）分析了杜瑪茲油田泥盆紀油藏的开发

情况。在本篇的結尾作出了結論，这些結論是对采用注水法开发，地层油藏的一些基本問題的答案，即：考虑儲油层的岩相特征确定井距和采液速度对油层最終采收率和石油成本的影响。

但是应当指出，在研究和分析杜瑪茲油田开发情况的現阶段，存在着許多不一致的觀點和爭論的問題，这些問題既与进一步开发有关，也与一般的开发理論有关。

虽然書中对进一步开发杜瑪茲油田的基本問題作了并非唯一正确的解决，但是本書將成为石油工作者广泛討論和对所涉及到的問題找出最正确观点的基础。

目 录

緒言

第一篇 杜瑪茲油田泥盆紀油藏的概況

第一章	地質剖面和儲油层的特性簡述	1
第1节	剖面的层序和岩性描述	1
第2节	儲油层的物理性質	4
第3节	儲油层的含油飽和度	10
第4节	在水驅油条件下泥盆紀砂岩的石油采收率	13
第二章	杜瑪茲油田泥盆紀油藏的构造情况	18
第1节	油藏的大小	18
第2节	儲油层的岩性及相性	24
第三章	油层中液体的物理化学性質	33
第1节	泥盆紀油藏地层水的特性	33
第2节	地层水压头	36
第3节	油层中的原油及其溶解气的性質	37
第4节	油藏的驅动类型	42
第四章	杜瑪茲油田泥盆紀諸油藏的开发史	46
第1节	杜瑪茲油田的注水設計	46
第2节	采液量、注水量及地层压力的变化情况	47
第3节	开发油层的实际工作与原开发設計的不同点	51

第二篇 杜瑪茲油田泥盆紀油藏开发的控制

第五章	对地层压力变化的观察	58
第1节	确定地层压力和井底压力名詞的涵义	58
第2节	地层压力的量測	63
第3节	繪制等压綫图	65

第六章	油水接触面及含油外緣的轉移·····	90
第1节	有关研究油水接触面移动的术语解释及这些问题的解决·····	90
第2节	繪制油水接触面图的原则·····	91
第3节	油水接触面上升速度分布图的繪制方法(輔助图)·····	95
第4节	油水接触面图的繪制·····	98
第5节	含油边綫图的繪制·····	100
第6节	含油边綫移动图、油水接触面图及等压綫图的分析·····	103
第七章	泥盆紀油井水淹的觀察·····	108
第1节	M_1 层油井的含水量·····	108
第2节	M_1 层油井的含水量·····	114

第三篇 杜瑪茲油田泥盆紀油藏开发的分析

第八章	采用矿厂資料确定貯量利用系数·····	115
第1节	計算公式·····	115
第2节	砂岩冲洗部分厚度图的繪制·····	116
第3节	計算砂岩冲洗部分的方法·····	116
第4节	由 M_1 层窜入 M_1 层的油和水的計算方法·····	120
第5节	根据各地段和年份計算石油儲量利用系数·····	125
第九章	决定石油儲量利用程度的因素·····	130
第十章	地层注水系数与井距以及儲油层构造的关系·····	141
第十一章	根据矿場数据确定貯量利用系数与貯油层相特性、井距、渗濾速度之間的关系·····	161
第1节	选择矿場数据分析的方法和分析的原始数据·····	161
第2节	开采过程中儲量利用系数的变化·····	165
第3节	儲量利用系数与渗濾速度变化图的分析·····	176
第4节	儲量利用系数与注入井和生产井之間的距离以及及与渗濾速度的关系·····	178
第5节	在考虑到儲油层相特性的情况下儲量利用系数与注入井和生产井之間的距离的关系·····	180
第6节	渗濾速度同注入井和生产井井距的关系·····	191
第7节	对杜瑪茲油田泥盆紀地层开发方案的評价·····	193

第十二章	在考虑到注水系数情况下对采用的井網进行技术 經濟評價	196
第十三章	在杜瑪茲油田的泥盆紀油井中采用強化采液的問題 和冲洗油层的次数所产生的影响	206
第十四章	主要結論	212
第1节	井距对石油儲量可采程度的影响	212
第2节	在下一步开发油田时期的开发速度和油井強化采油法的 采用	214
第3节	保持 Π_1 层整个油藏含油边缘均匀收縮原則的合理性	214
第4节	关于对杜瑪茲油田 Π_1 层进行边內注水の問題	215
附录	对比系数計算法 参考文献	

第一篇 杜瑪茲油田泥盆紀 油 藏 的 概 况

第一章 地質剖面 and 儲油层的特性簡述

第 1 节 剖面的层序和岩性描述

杜瑪茲油田位于巴什吉里亞的西部，在橢圓穹狀隆起的東南坡上。就石油儲量來說它是蘇聯最大的油田之一。

杜瑪茲油田內結晶基岩以上的沉積岩總厚度達1900米。按年代來說這些沉積岩層分屬於前泥盆系、泥盆系、石炭系和二疊系沉積。剖面主要是由碳酸鹽類沉積、石灰岩和白云岩組成。陸源沉積起於腐作用，而位於剖面上部的水化學沉積只起着很微小的作用。

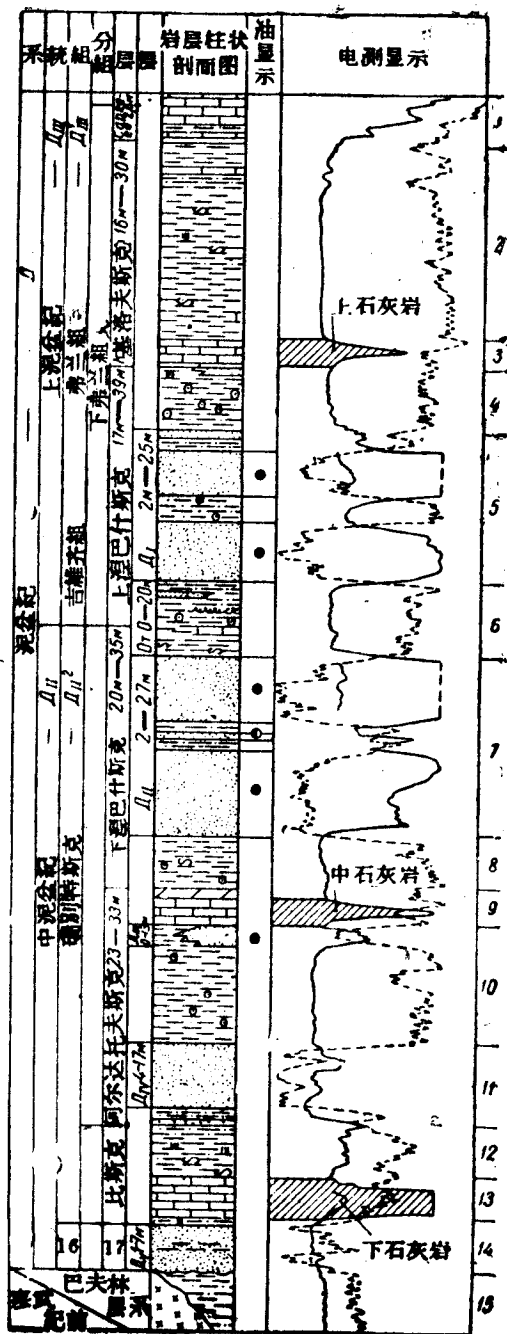
工業含油層屬於石炭和泥盆系沉積。石炭系沉積中的油藏屬於煤系的陸源沉積。石油儲積在6到12米厚的砂岩透鏡體中。2—3公里寬的砂岩透鏡體長達7公里。

陸源沉積中的石油於1936年被發現；煤系油藏的开发工作中沒有採用油層壓力保持法；因此在本書中沒有談到煤系的开发問題。

杜瑪茲油田主要的探明儲量是在泥盆系的 ΠI 和 ΠII 兩個砂岩層中， ΠI 和 ΠII 分屬於上泥盆系下弗蘭組建造 (ΠI) 和中泥盆系吉維齊組 (ΠII) 的陸源沉積。

圖1是杜瑪茲油田泥盆紀沉積陸源部分的剖面圖。

在電測曲綫圖上表現為高電阻的標準層是：1) 埋藏於基洛夫斯克層底部的上部石灰岩，在電測圖上表現為尖銳的高峯；2) 結



藏于阿尔达托夫斯克层顶部的中部石灰岩；3) 埋藏于比斯克层底部的下部石灰岩，表现为高电阻。上部石灰岩的平均埋藏深度大约为1650米。

剖面上分出五个砂层，其中是含油层的有 Π_I 、 Π_{II} 、 Π_{III} 和 Π_{IV} 层。

Π_{IV} 和 Π_{III} 层油藏不大，在本书中未作阐述。

Π_I 层和 Π_{II} 层虽然由泥质夹层隔开，但是由于泥质夹层有的地方被侵蚀掉了，所以两个层在水动力系统上彼此有联系。

图 1 杜瑪茲油田陆源沉积综合地质剖面图

岩石简要描述：1—浅绿灰色和灰色石灰岩，含有腕足类动物化石、夹有一些泥质岩层；2—绿色、棕色薄层碎片泥岩，有时为贝壳状，夹有薄层石灰岩和粉砂岩；3—灰色、深灰色微晶稍含泥质的石灰岩；4—灰色、有时是深灰色，富含泥质、稍含砂质的致密粉砂岩，含有鲕状菱铁矿颗粒；深灰色坚固泥岩，有贝壳状节理；细粒泥质石英粉砂岩；5—浅灰色（含水的）、棕黄色（含油的）细粒、微含泥质的砂岩，夹有薄层灰色和深灰色富含泥质的致密粉砂岩和灰色与深灰色致密泥岩，有贝壳状节理；6—灰色和深灰色、富含泥质的薄层粉砂岩，夹有砂岩透镜体；深灰色有时灰色或淡绿灰色泥岩，有贝壳状节理，有菱铁矿夹层和结核；深灰色有时黑色、富含泥质的疏松石灰岩；含泥质、菱铁矿质砾石和磷灰岩砾石的砾岩；7—浅灰色（含水的）、棕黄色（含油的）、分选好、微含泥质的细粒砂岩，夹薄层粉砂岩；8—深灰色，有时是淡绿灰色和灰色的薄层泥岩，时而有贝壳状节理；细粒石英粉砂岩、富含泥质、有时为薄层状（带状的）；9—黑色和深灰色薄层泥灰岩；灰色和深灰色细粒的坚硬石灰岩；10—灰色和淡灰色的细粒的砂岩，有时为薄层状的粗粒粉砂岩；深灰色和灰色的泥岩和粉砂岩的交互层；11—浅灰色和灰色砂岩，其粒度不同（主要为中粒和粗粒），夹粉砂岩层；12—灰色石英泥质粉砂岩，深灰色的层状泥岩，夹鲕绿泥石和菱铁矿层；13—石灰岩——上部是深灰色，层状生物灰岩，下部是灰色，泥质，块状灰岩；14—灰色和浅灰色石英长石砂岩，粒度不一，带有碳酸盐泥质胶结，胶结物含有细砾和粗砾物质的混合物；15—a) 黑云母片麻岩，微斜花岗岩、閃岩；6) 淡绿灰色复矿泥质薄层状粉砂岩；绿色粉砂质泥岩；16—艾斐尔组；17—塔卡金。

第2节 儲油层的物理性質

ДІ 层和ДІІ 层都具有良好的儲油性質。

烏发石油科学研究所和杜瑪茲油矿管理局中心科研實驗室，用ДІ 层的414个岩样和ДІІ 层的856个岩样测定了砂岩的孔隙度和渗透率。ДІ 层和ДІІ 层砂岩孔隙度数据見表 1。

泥盆紀砂岩孔隙度数据

表 1

孔隙度 %	机 遇 率		孔隙度 %	机 遇 率		孔隙度 %	机 遇 率	
	ДІ	ДІІ		ДІ	ДІІ		ДІ	ДІІ
5—6	—	1	14—15	2	5	23—24	49	108
6—7	—	4	15—16	4	14	24—25	36	66
7—8	—	9	16—17	7	9	25—26	18	27
8—9	1	6	17—18	9	30	26—27	5	15
9—10	0	8	18—19	15	57	27—28	2	18
10—11	0	7	19—20	36	87	28—29	1	3
11—12	1	7	20—21	76	137	29—30	0	0
12—13	4	9	21—22	78	159			
13—14	0	4	22—23	78	158			

ДІ 层和ДІІ 层砂岩孔隙度的变化范围相当小，ДІ 层是20—23%，ДІІ 层是20—22%（图 2 的 I）。ДІ 层和ДІІ 层砂岩孔隙度的加权平均值实际上是一样的，都等于21.5%。

泥盆紀砂岩渗透率，按實驗室測定岩心的結果，ДІ 层砂岩比ДІІ 层大。

表 2 中列出了孔隙度在10%以上的砂岩的渗透率数据。

从分配曲綫（图 2）上可看出，对ДІ 层最常見的渗透率在0.2到0.8达西范围内。同时发现有0.3—0.4、0.5—0.6和0.7—

泥盆紀砂岩滲透率數據

表 2

滲透率 千分達西	機 遇 率		滲 透 率 千分達西	機遇率		滲 透 率 千分達西	機遇率	
	ДI	ДII		ДI	ДII		ДI	ДII
0—100	19	28	800—900	21	18	1500—1700	2	2
100—200	37	126	900—1000	15	23	1700—1800	1	1
200—300	45	168	1000—1100	15	11	1800—1900	0	0
300—400	49	146	1100—1200	17	10	1900—2000	0	1
400—500	44	109	1200—1300	11	6	2000—2100	1	--
500—600	46	90	1300—1400	6	6			
600—700	28	63	1400—1500	5	3			
700—800	47	44	1500—1600	6	1			

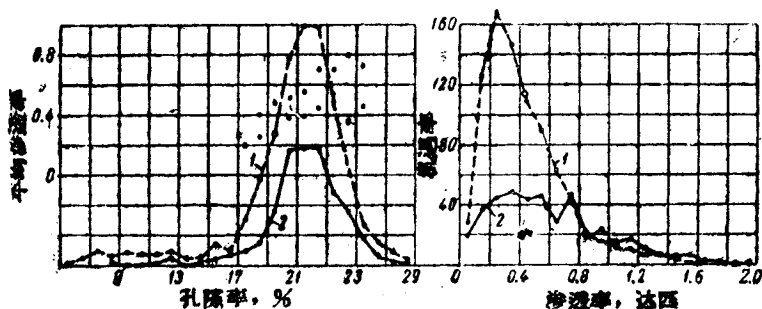


图 2 孔隙度和滲透率的機遇率

○—ДII 层；●—ДI 层。

0.8达西等三个高峰。由此可知 ДI 层砂岩的沉积条件在不同时间是不一样的。对地质剖面图的研究表明, ДI 层是由三个分层构成的,而形成 ДI 层的砂质物质的埋藏条件,对每一个分层来说都是不同的。以下对此将作较详细的叙述。

ДI 层渗透率的加权平均值是0.450达西。对 ДII 层来说,最常见的渗透率变化范围较小:从0.2到0.4达西。ДII 层砂岩的滲

透率加权平均值是0.361达西。

Ⅱ层渗透率机遇率分布曲线有一个显明的高峯，这表明该层砂岩只有一个沉积旋迴。

渗透率平均值沿两个层的孔隙度間段分布的情况用点标明。从这些点中可看出，在孔隙度最大机遇率的部份，Ⅱ层砂岩的渗透率平均值为0.51—0.7达西，Ⅰ层砂岩的为0.375—0.540达西。

泥盆紀砂岩的孔隙度測量数据，根据 И.Л. 馬尔哈辛、B.C. 西蒙金娜和И.Л. 魯賓什坦因的研究資料列入表3中。

泥盆紀砂岩孔隙度測量数据

表 3

岩样编号	地 层 水 渗 透 率 千分达西	最典型的岩石		最典型孔隙的 半径变化范围 微 米
		空隙半径 微 米	机 遇 率 %	
138	200	11.4	25.0	8.5—12.0
137	846	11.5	30.0	8.3—12.5
135	570	11.7	25.0	8.3—13.4
134	1110	8.0	34.5	8.0—14.5
136	1300	8.0	35.0	8.0—14.5
142	27	6.0	10.5	6.0—9.0
146	108	9.0	22.0	7.0—10.0
141	85	8.0	20.0	7.2—9.5
143	56	7.0	10.0	7.0—8.5
144	85	7.0	6.5	7.0—8.5
145	95	7.0	8.6	7.0—8.0
224	300	5.0	18.0	4.5—7.0
114	360	6.0	17.5	4.0—8.0
194	580	9.0	11.0	4.0—13.0
72	180	6.0	18.0	4.0—8.0
197	520	10.0	29.0	9.0—11.0
261	360	7.0	15.0	6.0—12.0

泥盆紀砂岩孔隙通道最典型的半径是从7到12微米。这些孔隙的容积佔全部孔隙的60—75%。对渗透率小的岩样来讲，其孔隙的半径是从6到8微米（第142号和143号岩样），而这些孔隙的容积不超过全部孔隙容积的30%。

ΠI 层和 ΠII 层砂岩的导压系数变化情况如下： ΠI 层在含油部分为12200厘米²/秒，在含水部分为30200厘米²/秒； ΠII 层在含油部分为8000厘米²/秒，在含水部分为21500厘米²/秒〔20〕。同时应当指出，同一构造位置上的同一地层的砂岩，在不同方向上其导压系数是不同的。

关于这点，在 ΠII 层由于边外注水而使原油产量增长的图（图3）上可以判断出来。

产量增长間接表明地层压力升高。当油层在不同方向上厚度相同时，在注入井的周围压力就会增长，其传播速度与地层的导压系数是成比例的。

在往 ΠII 层的边外部分开始注水后， ΠII 层的压力传递速度已发生变化（见图3）。

在构造的东南翼，主要由于經297号井和521号井注水，而使得油井产量有所增长，但这种增长並不平衡。沿东南翼的25号井、36号井和5号井一带压力增长的最快，使构造軸綫一带的油井产量提高的注水作用的传播速度，比經297号井注水所产生的作用向51号井方面传布的速度大两倍。

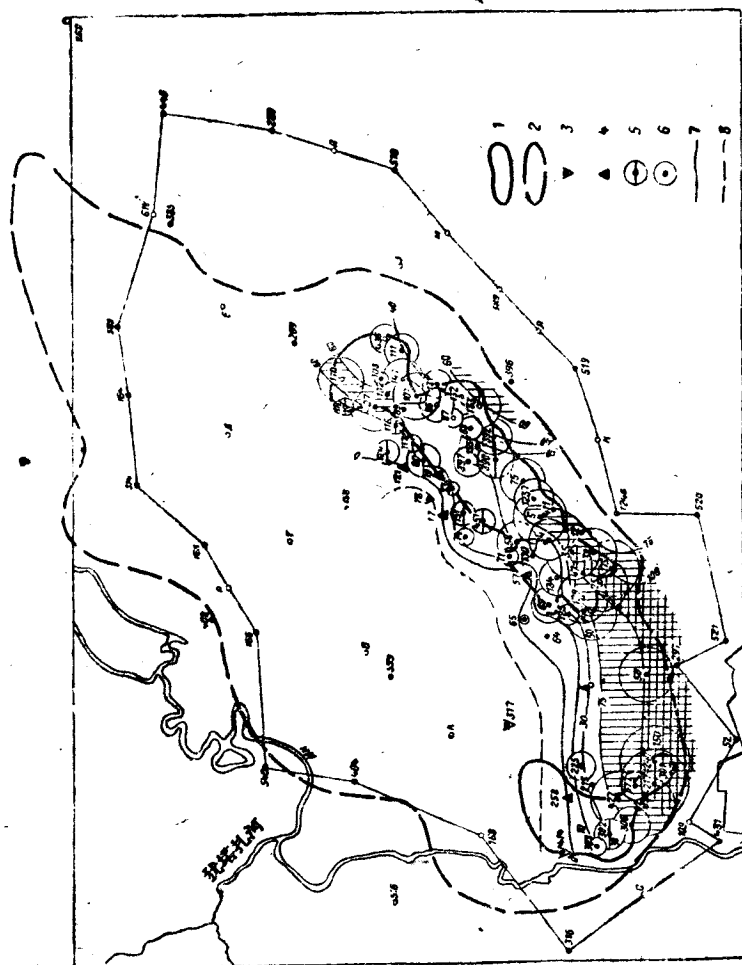
由于油层的导压系数是由其渗透率所决定的，所以在該段的不同方向上同一层的导压系数不同，只可能用在不同方向上油层的渗透率不同来解释。

不同方向上地层的渗透率不同，也可能是因为存在着一定走向的裂縫，沿裂縫走向地层的渗透率较高。

沿着通向25号井、36号井和5号井的方向，压力传播速度增高，这可能是因为这些井的位置都是在地层急剧弯曲的地方，并且是裂縫较发育的地带。

图 3 往 II 层
开始注水后产
量增长图 (按
1949年10月1日
的情况)

1—全含油边缘;
2—含油外缘;
3—产量递减的
油井; 4—产量
稳定在一个水平
上的油井; 5—产
量增高并进一步
稳定的油井;
6—产量连续升
高的油井; 7—产
量增值钱; 8—边
外注水使油井产
量提高的影响界
限。



根据E. H. 别尔米亚可夫的著作〔15〕,穹状隆起的主要裂隙的方向在翼部平行于地层走向,在穹隆顶部则与构造轴线构成40—50°的角度。

沿着通向170号井、407号井和101号井的方向,ⅡⅠ层的导压系数也升高。与位于101号井以北和132号井和133号井以南的井比较起来,位于101号井以南的87号、86号和131号等井中,注水效果要小得多。这表明170号井、407号井和101号井首先对北面的注入井的注水有所反应,但是与南面的注水井的位置比较起来,这些注入井与上述三口井的距离要远好多。这可能是西北翼有裂隙存在的缘故,裂隙在顶部与构造轴线成40°角度。

泥盆纪砂岩的导压系数提高的方向,与俄罗斯陆台穹状隆起所具有的裂隙的方向相一致。这证实了这样一个假定,即在一定的方向上,地层的导压系数和渗透率增高,是由于沿着这些方向存在着裂隙而引起的。在乌发石油科学研究所的著作里就首先指出了这一点。

泥盆纪砂岩压缩系数是由A. A. 安东诺夫通过实验测定的〔2〕。

杜玛兹油田泥盆纪砂岩岩样的压缩系数的实验测定结果,列在表4中。

在保持岩样内部压力(等于一大气压)下改变岩样外部的压力(80—180大气压)做了量测。在每一点上压力保持5分钟之久。

从表4中可看出,泥盆纪砂岩岩样的压缩系数相当好,平均约为 $1.0 \cdot 10^{-5}$ 厘米²/公斤左右。在这种情况下,很致密的718号岩样例外。

试验时,随着压力的增加,压缩系数降低。这是因为岩样内的压力分布在砂岩颗粒之间的接触点上,并随着岩样受到压缩,就开始反应出愈来愈多的接触点。此外,每个接触点的面积随着压力的增加而扩大,这就使得砂岩的压缩系数降低。