

A Petrophysical Modelling-based Inversion Method for Mud-corrected Carbonate Rocks—Taking the Lungu Area as an Example

Meng Jin^{1,2} Jun Tian² Xiangwen Li² Guangjian Dan² Jiawei Ren²

1. School of Geoscience and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Korla Branch, GRI, BGP Inc, CNPC, Korla, Xinjiang, 841001, China

Abstract

The fractured-vuggy carbonate reservoir is richly developed in the Ordovician inside-out area of the Tabei Lungu Dong region, and the oil- and gas-bearing formations are the Lianglitage and Yijianfang Formations, of which the muddy tuff stripes are developed at the top of the Lianglitage Formation and are distributed throughout the region. Seismically, it is difficult to distinguish the seismic response of the fractured-vuggy reservoirs from that of the mudstone tuffs; in the conventional impedance inversion profiles, both the mudstone tuffs and the fractured-vuggy reservoirs show low impedance characteristics, which also affects the accuracy of reservoir identification. In this paper, based on the equivalent mineral model, the porosity curves of drilled wells in the work area are replaced with the petrographic background curves by analogous fluid substitution based on the petrophysical modelling. The impedance body is then used as a low-frequency model for post-stack deterministic inversion, thus achieving the purpose of mud correction and improving the quantitative prediction accuracy of the carbonate reservoir.

Keywords

carbonate rock; facies controlled inversion; petrophysical model; fluid substitution

基于岩石物理建模的碳酸盐岩泥质校正反演方法——以轮古地区为例

金梦^{1,2} 田军² 李相文² 但光箭² 任嘉伟²

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司研究院库尔勒分院, 中国·新疆 库尔勒 841000

摘要

塔北轮古东地区奥陶系内幕区发育丰富的缝洞型碳酸盐岩储层, 含油气层系为良里塔格组、一间房组, 其中良里塔格组顶部发育泥质灰岩条带且在全区均有分布。地震上, 缝洞储层与泥质灰岩条带的地震响应难以区分; 常规阻抗反演剖面上, 泥质灰岩条带与缝洞储层均表现为低阻抗特征, 也无法区分, 影响储层识别准确性。针对塔北轮古东地区奥陶系良里塔格组储层预测难点, 论文基于等效矿物模型, 在岩石物理建模的基础上类比流体替代的思路对工区内钻井的孔隙度曲线进行置换作为岩相背景曲线, 从原有的相控反演结果中减去岩相背景曲线插值成的阻抗体并与均质灰岩构成的阻抗体叠加, 得到仅含储层响应的阻抗体, 将该阻抗体作为低频模型进行叠后确定性反演, 从而达到泥质校正的目的, 提高碳酸盐岩储层的量化预测精度。

关键词

碳酸盐岩; 相控反演; 岩石物理模型; 流体替代

1 引言

岩石物理学隶属于地球物理学, 主要研究内容是构建速度、密度、纵横波速度比、波阻抗等岩石弹性参数与孔隙度、泥质含量、流体饱和度等储层物性参数的桥梁。在地震勘探中, 地震响应特征与岩石的速度、密度等弹性参数息息相关, 而岩石矿物组分、孔隙度、渗透率等储层参

数信息可从测井资料中获取。岩石物理建模是应用地震及测井资料来优选储层和油气藏的基础。岩石物理建模能够提供针对储层识别及含油气性分析的敏感弹性参数, 为优选储层解释方案和储层及流体预测方法提供依据, 从而使地震解释和反演结果的精度得到提高, 减少勘探开发过程中的风险。

轮古东地区位于塔里木盆地轮南低凸起与草湖凹陷相接触部位^[1], 是轮南古潜山东部斜坡带的简称, 其奥陶系碳酸盐岩油气勘探曾获得重大突破, 探明和控制油气储量总

【作者简介】金梦(1995-), 女, 中国四川成都人, 本科, 助理工程师, 从事地震资料解释的研究。

计近亿吨油当量，成为塔里木油田公司的重点勘探区域之一（见图1）。该区含油气层系主要为良里塔格组、一间房组和鹰山组，其碳酸盐岩储集体在地震叠后数据体上常表现为以波谷—波峰或波谷—波峰—波谷组成的低频率、较强振幅反射，即“串珠”状反射，“串珠”状反射是碳酸盐岩缝洞型储层的地震综合响应，是油气储渗的主要空间，反映的是大型洞穴、缝洞集合体、裂缝密集带的整体地震特征^[2]。同时，良里塔格组顶部发育一套泥质灰岩，该泥质灰岩条带在轮古东全区均有分布，厚度在5-10m之间^[3]。地震上，缝洞储层与泥质灰岩条带的地震响应难以区分；常规相控反演剖面上，泥质灰岩条带与缝洞储层均表现为低阻抗特征，也无法区分，影响储层识别准确性，对储层的量化预测带来困难。

地震资料反演作为储层量化描述的核心技术已经发展多年，是连接地震、测井与地质三者的桥梁。华晓琴（2019）等对塔中Ⅲ区奥陶系良里塔格组储层内部的沉积泥质灰岩条带，以及一间房组洞穴顶部存在的沉积泥质条带，分析奥陶系良里塔格组 and 一间房组储层内泥质展布规律，完成了无井约束叠后地质统计学反演，较好地解决了该区储层预测难的问题^[4]。一直以来，因为碳酸盐岩具有的强非均质性，使得一般针对于传统砂泥岩储层的反演方法效果并不理想，近年来发展的相控反演技术相比于其他反演方法，融入了优选后的属性信息，能真实刻画非均质储层断裂破碎带的轮廓，反映非均质储层的横向分布特征，提高断控储层的预测精度^[5]。针对塔北轮古东地区良里塔格组储层预测难点，论文在前人研究的基础上，基于等效矿物模型，以岩石物理模型为基础类比流体替代的思路将含有泥质影响的岩相背景从反演结果中去除，再与均质灰岩阻抗模型叠加作为低频背景进行确定性反演，从而达成泥质校正的目的，得到较为准确的储层预测结果，为研究区滚动评价、加密调整、措施挖潜等工作提供了可靠的基础资料^[6]。

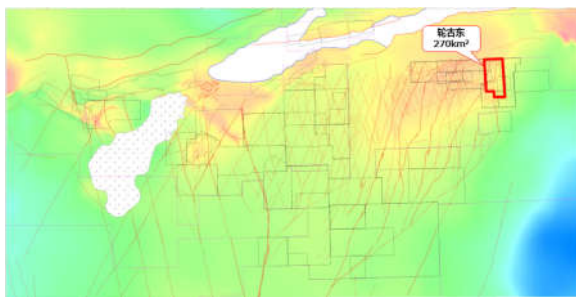


图1 塔北地区奥陶系灰岩顶面构造图

2 技术思路

基于等效矿物模型可将碳酸盐岩岩石的阻抗分解为两部分：①灰岩组分和泥岩组分（相当于混合岩石岩相背景的阻抗）；②孔隙的阻抗和孔隙流体的阻抗（相当于储层的阻抗）。由此可见，泥质组分对岩石阻抗的影响包含在混合岩石岩相背景的阻抗中，将其影响去除即能达到泥质校正的目的。

的。岩石物理模型是联通岩石中孔隙度、泥质含量、饱和度等物性参数与地球物理学中所需的纵波速度、横波速度、密度等弹性参数的桥梁。在构建岩石物理模型的基础上，类比流体替代的思路，将工区内钻井的孔隙度曲线置换为0输出作为岩相背景曲线，并间插值为阻抗体后，从相控反演结果中减去岩相背景的阻抗体与均质灰岩的阻抗体叠加得到仅含储层响应的阻抗模型，将该阻抗模型作为低频模型进行叠后确定性反演（见图2）。

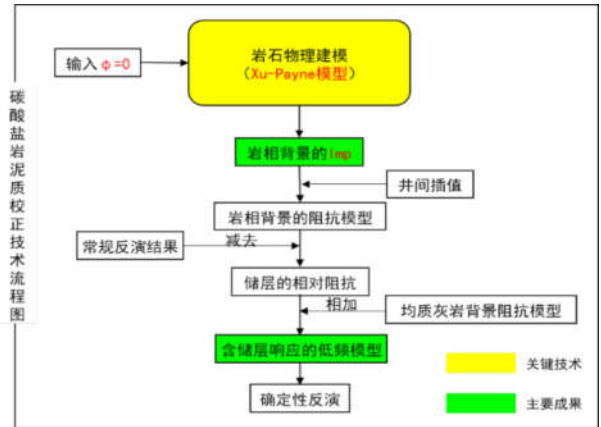


图2 碳酸盐岩泥质校正技术流程图

与传统碎屑岩相比，碳酸盐岩由于其具有的强非均质性，孔隙结构更加复杂，论文采用 Xu-Payne 模型进行岩石物理建模（见图3）。Xu-Payne 模型是目前应用最为广泛的碳酸盐岩岩石物理模型，由 Xu 和 Payne 在 2019 年提出，该模型基于 Xu-White 模型，首先进行基于加权平均法的密度重建，反演得到流体和矿物的密度，构建出总孔隙度，再在微分等效介质模型和 K-T 理论的基础上求得干岩石弹性模量；然后基于 Gassmann 方程计算饱和和孔隙流体岩石的剪切模量和等效体积模量，并进一步计算纵波速度和横波速度。本次使用井数据较全的 LGA 井进行建模，对比岩石物理正演得到的合成曲线与实测的曲线，可见吻合度很高，证明本次建立的岩石物理模型对于预测纵波速度来讲是相对准确的（见图4）。

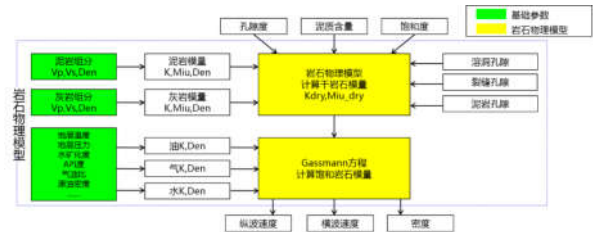


图3 Xu-Payne 岩石物理模型构建流程

通过岩石物理模型，可以预测所需的岩相背景的阻抗曲线，将孔隙度设置为0计算对应的纵波速度、密度作为岩相背景曲线。与实测曲线对比可见，岩石物理模型正演得到的合成曲线削弱了因储层造成的异常部分，仅保留基质岩石的阻抗曲线特征，证实了该方法的可行性（见图5）。

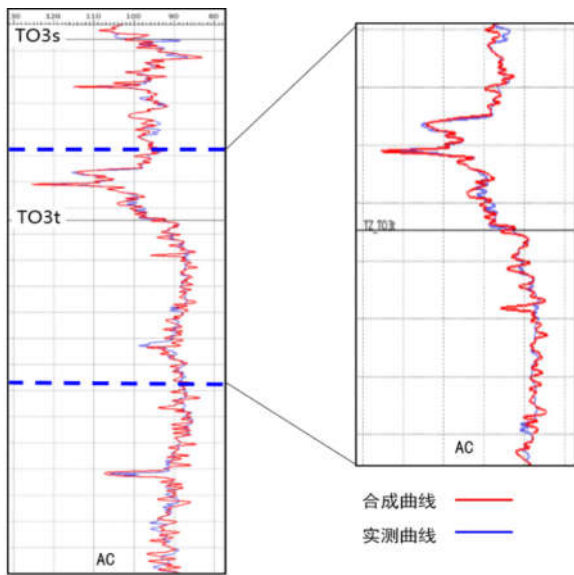


图 4 LGA 井实测曲线与合成曲线对比

利用多口井的合成曲线进行井间插值得到岩相背景的阻抗模型，用相控反演结果减去岩相背景的阻抗模型再与均质灰岩背景的阻抗模型叠加，得到仅含储层响应的低频模型，利用该模型进行确定性反演（见图 6）。

3 效果分析

从剖面来看，岩石物理建模校正的反演结果中良里塔格组顶部泥质灰岩条带的异常低阻得到了很好的压制，储层轮廓更加清晰（见图 7）。从平面属性来看，去泥质之前，由于泥质背景的干扰，导致断控性储层的描述精度很低，很难判断有效储层的具体位置；去泥质之后，串珠状储层基本沿断裂分布，与该地区的储层认识吻合（见图 8）。

从井上来看，利用反演结果提取井点处的伪井曲线与实测波阻抗曲线进行对比分析，可以发现二者的规律基本一致，证明了本次基于岩石物理模型去泥质反演结果的可靠性和准确性（见图 9）。

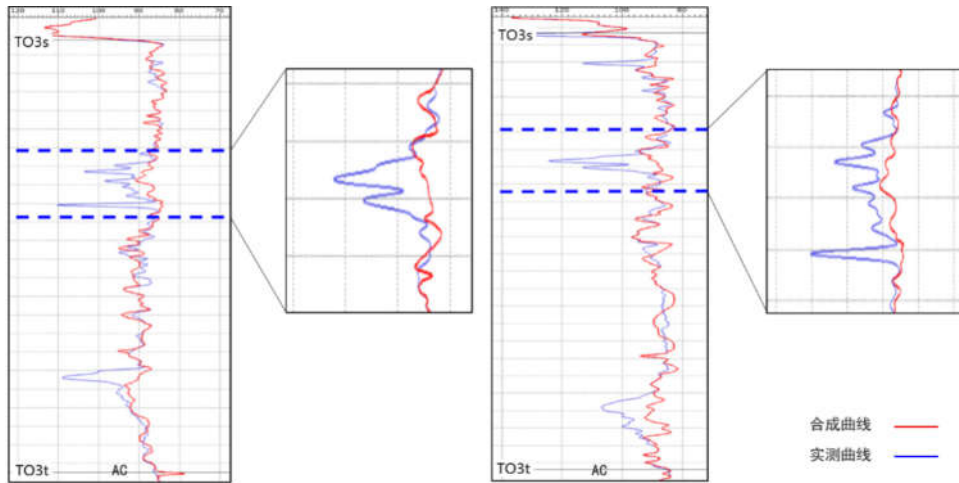


图 5 LGB 井和 LGC 井实测曲线与合成曲线对比

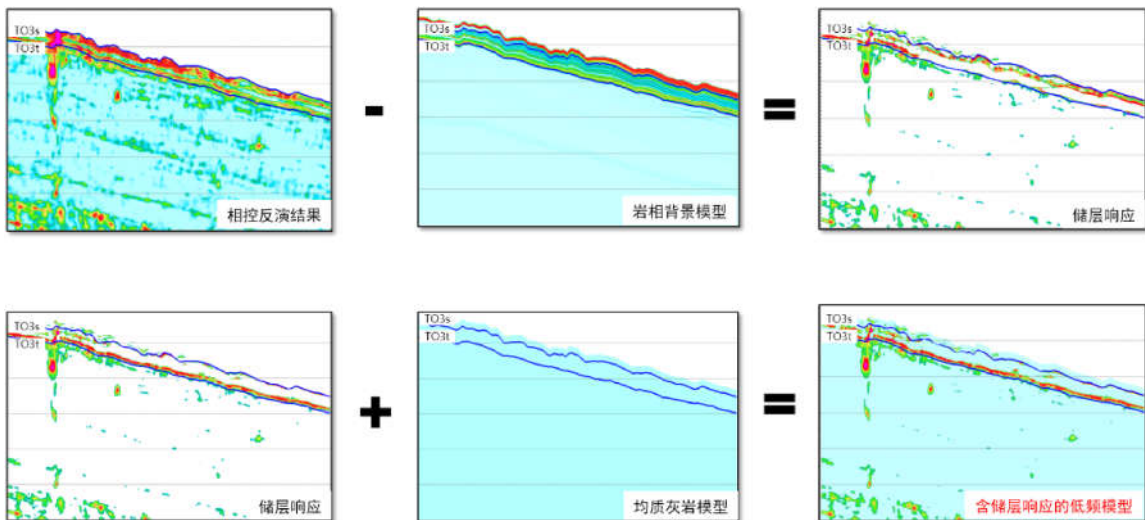
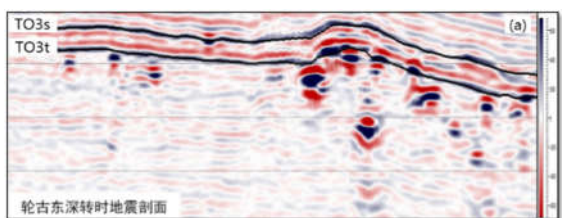
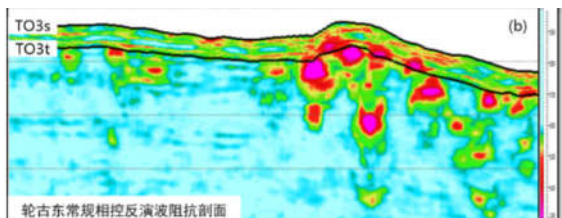


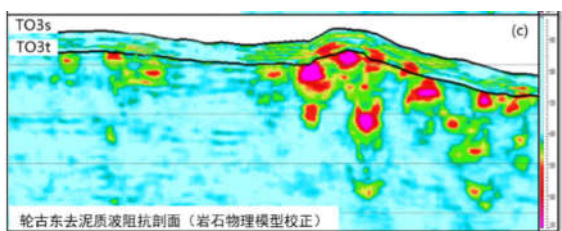
图 6 仅含储层响应的低频模型构建过程



(a) 轮古东常规相控反演波阻抗剖面

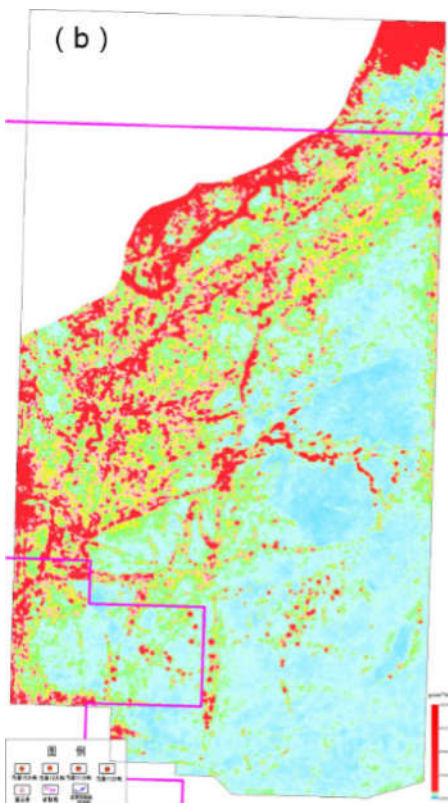


(b) 轮古东常规相控反演波阻抗剖面



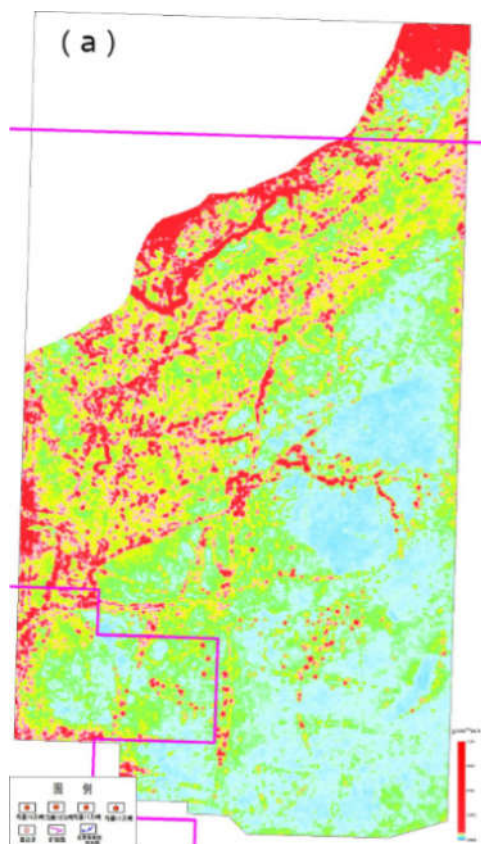
(c) 轮古东去泥质后相控反演波阻抗剖面

图7 岩石物理模型校正



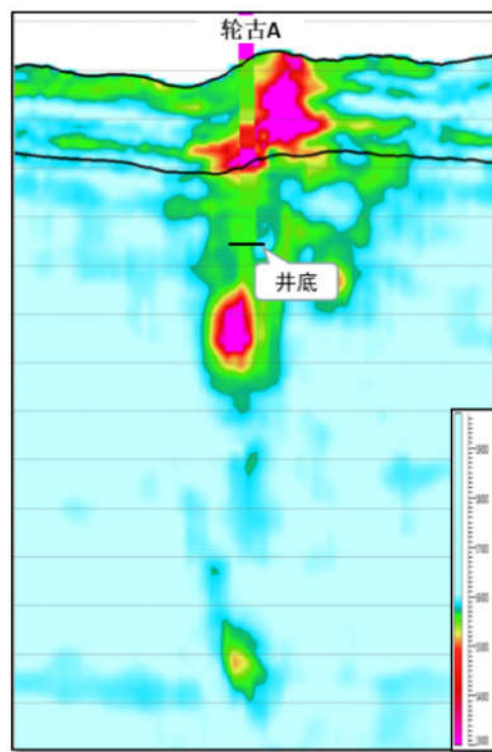
(b) 轮古东奥陶系良里塔格组波阻抗属性平面图(去泥质后)

续图8 轮古东奥陶系良里塔格组波阻抗属性平面图



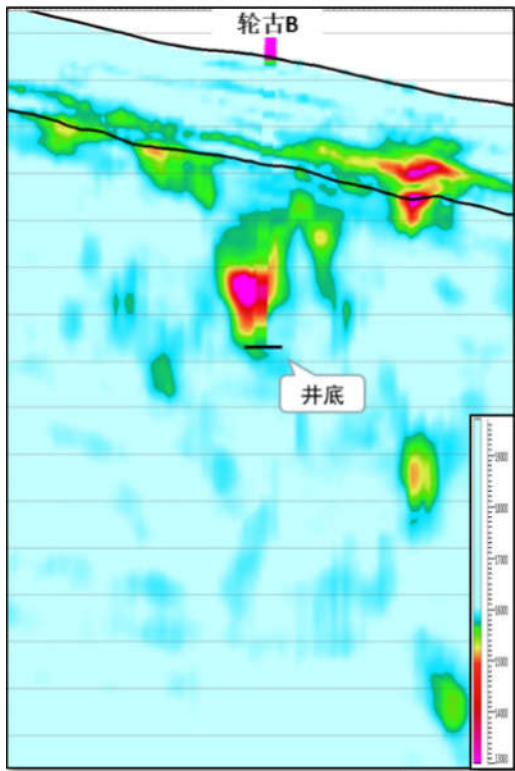
(a) 轮古东奥陶系良里塔格组波阻抗属性平面图(去泥质前)

图8 轮古东奥陶系良里塔格组波阻抗属性平面图



(a) 过轮古A井反演波阻抗剖面图

图9 过轮古A、B井反演波阻抗剖面图



(b) 过轮古 B 井反演波阻抗剖面图

续图 9 过轮古 A、B 井反演波阻抗剖面图

4 结论

基于岩石物理模型类比流体替代的思路对孔隙度曲线

进行置换,可以得到相对可靠的岩相背景曲线。以此为基础进行去泥质校正,得到的去泥质相控反演结果较之前更为准确,符合地区储层特征,有力地支撑圈闭及井位的研究工作。

参考文献

- [1] 涂喜,冯舸.基于Xu-Payne模型的岩石物理模板制作[J].能源与环境,2021,22(6):584-595.
- [2] Guang-jian Dan, Jiao-ying Bi, Pei-jun Wang, et al. (2021) Using Forward Modeling Analyses the Development Features of Carbonate Paleo-Subterranean River System[C].Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2020. IFEDC 2020.
- [3] X Li, J Y Li, Y L Lui, et al. Improved Workflow for Identifying Fault Controlled Fractured-Vuggy Body Sweets of Ultra Deep Tight Limestone[C]. 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition, Oct 2021.
- [4] Lei Zhang, Jiao-ying Bi Guang-jian Dan, et al.(2021)Reservoir Elaborate Description and Development Countermeasures of Western Lungu Area, Tarim Basin[C]. Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2020. IFEDC 2020.
- [5] X Li, J Y Li, J Tian, et al. Application of Iterative Inversion Incorporated Prior Knowledge of Strikeslip Fault Zone in Tight Limestone Reservoir Prediction[C]. 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition, Oct 2021.
- [6] Li X, Li J, Li L, et al. Seismic Wave Field Anomaly Identification of Ultra-Deep Heterogeneous Fractured-Vuggy Reservoirs:A Case Study in Tarim Basin,China [J]. Applied Sciences.2021(11):11802.