

地质学方法估算准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度

王敏芳, 李平平

(中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 综合利用地层对比法和沉积速率法估算了准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度, 用全盆地 34 条二维区域地震测线资料, 估算了西山窑组剥蚀厚度的平面分布特征。利用单井的地质分层和精细年代格架数据, 估算了西山窑组的单井剥蚀厚度。对比结果表明, 两者剥蚀厚度的估算结果相近, 绝对误差最大不超过 50 m, 相对误差在 20% 以内。估算结果表明, 准噶尔盆地腹部西山窑组剥蚀厚度为 100~400 m, 且自北东向南西, 剥蚀厚度逐渐增大, 在南部剥蚀厚度可大于 400 m。

关键词: 地层对比法; 沉积速率法; 剥蚀厚度; 西山窑组; 准噶尔盆地

中图分类号: P512.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)01-0030-04

Geological Estimation of Denuded Strata Comeback of Xishanyao Formation in Junggar Basin

WANG Min-fang, LI Ping-ping

(School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Strata antithesis and sedimentary ratio analysis methods are used in the estimation of denuded strata comeback of Xishanyao Formation in Junggar basin. Strata antithesis method uses two dimension seismic data to comeback the plane distribution character of Xishanyao Formation, and sedimentary ratio analysis method uses well geological layer and precise chronology framework data to comeback well denudation thickness. The results show that these methods gain the similar denudation thickness with absolute error less than 50 m, and relative error limited in 20%. The denudation thickness of Xishanyao Formation in Junggar basin varies from 100 m to 400 m, increases from northeast to southwest, and may reaches more than 400 m in the south most of Junggar basin.

Key words: strata antithesis; sedimentary ratio analysis; denudation thickness; Xishanyao Formation; Junggar Basin

0 引言

地层剥蚀是多期沉积盆地中普遍存在的现象^[1-2]。如剥蚀量不大, 对油气生成、运移和聚集的影响可不必考虑, 但如果有过较大的剥蚀, 则会对盆地中油气的生成、运移和聚集等产生影响^[3-6], 这时就要恢复剥蚀量。恢复地层剥蚀厚度是定量研究盆地演化史和进行油气资源定量评价的重要工作。

目前, 剥蚀厚度的恢复由于受地质条件和测试

手段的限制, 至今还没有一种完善的方法能恢复任意地质条件下的剥蚀厚度。常用地层剥蚀量恢复法有地层对比法、参考层厚度对比法^[7]、沉积速率法、测井曲线法^[8-9]、镜质体反射率法^[10-12]、地震地层学法、最优化方法^[13]和沉积盆地波动方程法^[14-15]、磷灰石裂变径迹法^[16-17]等。

笔者通过对准噶尔盆地西山窑组地质背景分析, 选择了综合利用地层对比法和沉积速率法来估算准噶尔盆地西山窑组的剥蚀厚度。

收稿日期: 2006-04-28

基金项目: 中石化西部新区油气勘探项目(XBKT2004KY10033); 湖北省油气勘探开发理论与技术实验室项目

作者简介: 王敏芳(1980-), 女, 江苏泰州人, 博士研究生, 从事盆地分析及石油地质研究。E-mail: wang_minfang@163.com

1 地质背景

准噶尔盆地位于新疆维吾尔自治区北部,地理坐标位于东经 $81^{\circ}\sim 92^{\circ}$ 、北纬 $43^{\circ}\sim 48^{\circ}$,其四周被褶皱山系所环绕,西北为扎伊尔山和哈拉阿拉特山,东北为青格里底山和克拉美丽山,南面是天山山脉的依林黑比尔根山和博格达山。现今,盆地平面形态大致呈南宽北窄的近三角形,东西长 700 km,南北宽 370 km,面积约 $13.4\times 10^4\text{ km}^2$,平均海拔约为 500 m,沉积岩最大厚度约 14 km。

准噶尔盆地晚古生代—第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期次构造旋回作用。由于构造作用的背景、方式和作用应力场特征的不同,导致了不同类型和性质的盆地发育。西山窑组沉积期是挤压拗陷型盆地发育期,准噶尔湖盆周缘抬升出现沼泽化的浅水湖泊,湖湾、三角洲平原广布。

西山窑末期燕山运动第 I 幕造成盆地区域性抬升,发生剥蚀、褶皱、断裂、火山活动,使盆内莫北隆起、东缘、北三台地区缺失西山窑组。由于燕山运动的影响,晚侏罗世盆地经受一次较强烈的北北东向挤压,来自准噶尔盆地北西、南东两侧的压扭应力进一步增强,天山沿其北缘断裂不断推覆隆升,车—莫地区遭受强烈隆起改造、中央局部隆升为古陆剥蚀区并最终定型而形成北东向展布的车—莫古隆起。

2 剥蚀厚度估算方法

通过对准噶尔盆地西山窑组区域地质背景分析^[18],笔者选择了地质学方法估算西山窑组剥蚀厚度。首先运用地层对比法(地层趋势延伸法),利用地震资料在 Landmark 工作站解译平台上,估算西山窑组的平面剥蚀量;然后采用沉积速率法,利用单井地质分层和精细地层年代格架数据,估算西山窑组的单井剥蚀量;最后通过两者的互相验证,确保剥蚀量估算结果的可靠性,其具体工作流程见图 1。

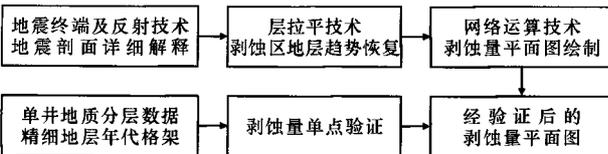


图 1 准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度估算流程
Fig. 1 Flow Chart of Denuded Strata Comeback of Xishanyao Formation

2.1 地层对比法

利用地震终端反射技术识别剥蚀界面,对反映

被剥蚀地层的地震剖面作详细解释,仔细追踪反映剥蚀后残留地层的分层界面,编绘出地震地层解释剖面。在 Landmark 工作站解译平台上,利用层拉平技术,以白垩系底拉平,根据地层变化趋势,推测并解释出剥蚀范围内地层的大致展布情况,并对层位数据进行时深转换工作。利用 Z-map 自动成图软件,绘制剥蚀厚度平面分布图(图 2)。

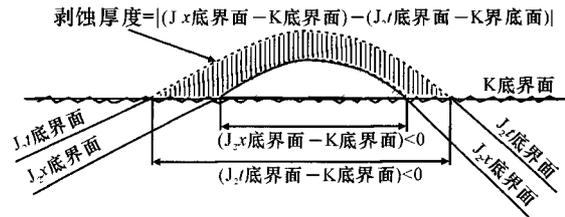


图 2 地层对比法估算西山窑组剥蚀厚度原理示意图
Fig. 2 Sketch Map of Strata Antithesis in Denuded Strata Comeback of Xishanyao Formation

白垩系底界面与下伏侏罗系呈明显的角度不整合接触,大面积剥蚀了中上侏罗统头屯河组和西山窑组地层。依据现今残留地层的厚度变化趋势,可推测出剥蚀范围内地层的大致展布情况(图 2 中虚线所示的地层底界面)。图 2 打双斜线的阴影部分,代表了西山窑组底界面与白垩系底界面深度相减结果小于零的区域,也就是西山窑组被完全剥蚀的区域;同样也就不难理解头屯河组底界面与白垩系底界面深度相减结果小于零的区域代表了头屯河组完全剥蚀的区域,也就是西山窑组部分剥蚀的区域;图 2 打竖线的阴影半圆环区域就是西山窑组被剥蚀的厚度。

剥蚀模式图的建立,认为地层是先沉积,而后再整体抬升遭受剥蚀的,这恰好与前人对准噶尔盆地车—莫古隆起的强烈隆升阶段主要发生在中侏罗世晚期(J_2t)认识是一致的。因此,利用地层对比法,依据图 2 的方法,利用准噶尔全盆地 34 条二维区域测线在 Landmark 工作站平台上,估算了西山窑组的平面剥蚀厚度(图 3)。

图 3 中西山窑组完全剥蚀边界,东西长约 190 km,南北宽约 57 km,其部分剥蚀边界,东西长约 295 km,南北宽约 138 km,两者均大致呈南西—北东走向,这也反映出车—莫古隆起的大致展布范围,而近东西向的剥蚀边界分布范围,也表明盆地可能受来自南北方向的挤压作用。准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度主要分布在 100~400 m,且自北东向南西,剥蚀厚度逐渐增大,在南部剥蚀厚度可大于 400 m。

2.2 沉积速率法

由于准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度远小于上

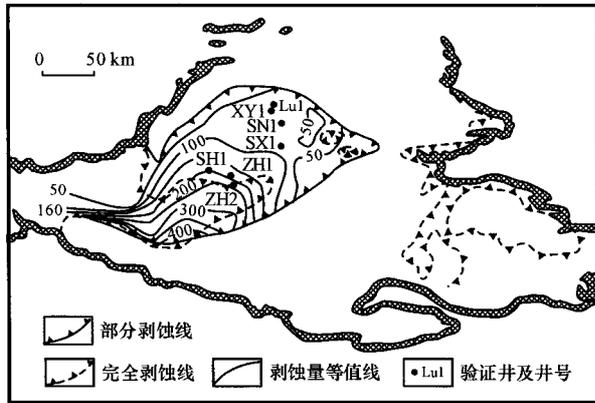


图 3 准噶尔盆地西山窑组剥蚀量平面分布
Fig. 3 Plane Distribution Chart of Denudation

Thickness in Xishanyao Formation in Junggar Basin

覆地层的沉积厚度,不整合面上下地层的压实状态趋向一致,并普遍发育超压^[19 22],因此限制了声波时差法恢复单井地层剥蚀量。同样,由于地层的埋藏深度再次增大,使得 R_e 发生“退火”现象,也导致了无法利用镜质体反射率法恢复地层剥蚀量。因此,笔者综合利用了单井的地质分层和精细地层格架数据,采用沉积速率法估算了单井剥蚀量,并对平面剥蚀厚度进行了单点验证工作,以期更加准确地估算出西山窑组剥蚀厚度。由于西山窑组主要是在盆地腹部遭受剥蚀的,因此,对单井剥蚀厚度的估算仅限于盆地腹部的部分井。

沉积速率法关键参数是剥蚀速率和沉积速率。笔者认为,准噶尔盆地腹部侏罗系沉积先经历了八道湾组和三工河组先后发生沉积,接着西山窑组与下伏三工河组也发生连续沉积,并在西山窑组之上沉积头屯河组。由于中侏罗纪晚期(J₂l)车—莫古隆起强烈隆升,使头屯河组和西山窑组在上侏罗统时期均遭受不同程度剥蚀,尤以头屯河组剥蚀最为严重。因此,在沉积演化历史下,有可能认为西山窑组与三工河组的沉积速率相等,也正是本次采用沉积速率法进行单井剥蚀厚度估算的首要前提条件。事实也证明,通过对准噶尔盆地八道湾组和三工河组的平面厚度图的编制,根据表 1 的精细年代格架数据,分别计算出八道湾组和三工河组的沉积速率为 70~90 m/Ma 和 20~30 m/Ma。由于中上侏罗统均不同程度地遭受了剥蚀,因此,只能利用地层未被剥蚀井的地质分层数据对西山窑组和头屯河组的沉积速率进行估算,结果表明,西山窑组和头屯河组的沉积速率均为 20~30 m/Ma。由此也证明了西山窑组和下伏三工河组沉积速率近似相等。

表 1 准噶尔盆地腹部地层的精细年代格架

Tab. 1 Precise Chronology Framework of Hinterland in Junggar Basin

地 层	底界地质年代/Ma	地质时间跨度/Ma
白垩系	137.0	
喀拉扎组	152.1	15.1
齐古组	157.1	5.0
头屯河组	166.1	9.0
西山窑组	178.0	11.9
三工河组	194.5	16.5
八道湾组	208.0	13.5

据表 1 可知,西山窑组和头屯河组沉积总时间为 20.9 Ma,齐古组和喀拉扎组剥蚀总时间为 20.1 Ma,近似等于西山窑组和头屯河组的沉积时间。在位于车—莫古隆起范围内征沙村地区的部分井,发现西山窑组和头屯河组均被完全剥蚀,直接出露下伏三工河组,这表明西山窑组和头屯河组的沉积地层在经受了齐古组和喀拉扎组的这段剥蚀时间后,刚好有可能将沉积的全部地层剥蚀完毕,笔者认为西山窑组剥蚀速率近似等于其沉积速率。

据此,不难建立起沉积速率法估算地层剥蚀厚度的计算模型(图 4),A 是遭受剥蚀地层,B 是未遭受剥蚀地层。

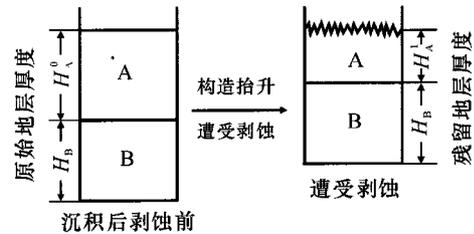


图 4 沉积速率法估算地层剥蚀厚度的计算模型

Fig 4 Calculating Model of Sedimentary Ratio Analysis in Denuded Strata Comeback

$$\Delta H_e = (T_A - H'_A/R_A) \times R'_A \quad (1)$$

式中: ΔH_e 是 A 的剥蚀厚度(m); T_A 是 A 沉积原始地层厚度(H'_A)的时间(Ma); H'_A 是 A 地层被剥后的残留地层厚度(m); R_A 是 A 的沉积速率(m/Ma); R'_A 是 A 的剥蚀速率(m/Ma)。

通过上述分析可知: $R_A = R_B = H_B/T_B$; $R'_A = R_A$ 。 R_B 是 B 的沉积速率(m/Ma); H_B 是 B 的原始沉积厚度(m); T_B 是 B 的沉积时间(Ma)。将 $R_A = R_B$, $R'_A = R_A$ 和 $R_B = H_B/T_B$ 代入公式(1),得出

$$\Delta H_e = T_A H_B/T_B - H'_A \quad (2)$$

式 2 是应用沉积速率法估算单井剥蚀厚度的计算公式。据此可估算部分单井剥蚀厚度,并与地层对比

法估算的平面剥蚀厚度进行对比,结果见表 2。

表 2 准噶尔盆地腹部西山窑组单井剥蚀厚度与平面剥蚀厚度估算结果对比
Tab. 2 Comparison Results of Well and Plane Denudation Thickness of Xishanyao Formation

井号	剥蚀量 1/m	剥蚀量 2/m	绝对误差/m	相对误差/%
SH1	236	200	36	15
ZH2	280	230	50	17
ZH1	200	180	20	10
SN1	75	70	5	7
SX1	83	97	-14	17
XY1	81	77	4	5
Lu1	77	73	4	5

注:剥蚀量 1:单井剥蚀厚度估算结果;剥蚀量 2:平面剥蚀厚度估算结果;绝对误差=剥蚀量 1-剥蚀量 2;相对误差=(|剥蚀量 1-剥蚀量 2|/剥蚀量 1)×100%

据式 2 估算西山窑组剥蚀厚度,公式虽简单,且单井资料易获得,但选择单井仍需满足 2 个条件:

(1)必须选择西山窑组未被完全剥蚀的井,即要求 $H_A^1 > 0$ 。

(2)必须选择下伏三工河组沉积发育完全的井,即三工河组并未遭受剥蚀或三工河组已被钻穿。

依据上述 2 个条件,并结合剥蚀厚度的平面分布特征及钻孔的平面分布位置,在准噶尔盆地腹部地区选择了 7 口单井,其分别是 Lu1、SH1、SN1、SX1、XY1、ZH1 和 ZH2,进行了单井的剥蚀厚度恢复和对比。

3 结语

(1)借助地层对比法和沉积速率法估算了准噶尔盆地西山窑组剥蚀厚度。结果表明,西山窑组剥蚀厚度主要分布在 100~400 m 间,且自北东向南西,剥蚀厚度逐渐增大,在南部剥蚀厚度可大于 400 m。

(2)剥蚀边界存在部分剥蚀边界和完全剥蚀边界,前者往往会被地质研究人员所忽略。所谓部分剥蚀边界是指研究目的层上覆地层的剥蚀边界范围,如西山窑组上覆地层头屯河组遭受完全剥蚀,就意味着西山窑组遭受了部分剥蚀,因此,在进行剥蚀厚度估算时,需考虑部分剥蚀厚度。

(3)通过地层对比法和沉积速率法估算剥蚀厚度结果的对比研究发现,两者的吻合性相当好,绝对误差最大 50 m,相对误差小于 20%。

参考文献:

[1] 李 伟. 恢复地层剥蚀厚度方法综述[J]. 中国海上油气(地

质), 1996, 10(3):167-172.

- [2] 王 毅,金之钧. 沉积盆地中恢复地层剥蚀量的新方法[J]. 地球科学进展,1999,14(5):482-486.
- [3] 彭传圣. 济阳坳陷孤北低潜山煤成气成藏条件及特征[J]. 中国海洋大学学报,2005,35(4):670-676.
- [4] 丁 勇,王允诚,徐明军. 塔河油田志留系成藏条件分析[J]. 石油实验地质,2005,27(6):232-237.
- [5] 邱荣华,林社卿,涂阳发. 泌阳凹陷油气成藏特征及勘探潜力分析[J]. 石油天然气学报,2005,27(2):158-161.
- [6] 李振宏,王 欣. 鄂尔多斯盆地东部石千峰组天然气成藏机理初探[J]. 天然气地球科学,2005,16(3):314-318.
- [7] 牟中海,唐 勇,崔炳富,等. 塔西南地区地层剥蚀厚度恢复研究[J]. 石油学报,2002,23(1):40-44.
- [8] Magara K. Thickness of Removed Sediments, Paleopore Pressure, and Paleotemperature, Southwestern Part of Western Canada Basin [J]. AAPG Bull, 1976, 60(4): 554-565.
- [9] Henry P H, Natalya A K. Analysis of Sonic Well Logs Applied to Erosion Estimates in the Bighorn Basin, Wyoming [J]. AAPG Bull, 1996,80(5): 630-646.
- [10] Dow W G. Kerogen Studies and Geological Interpretations [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7(1): 79-99.
- [11] Katz B J, Pheifer R N, Schunk D J. Interpretation of Discontinuous Vitrinite Reflectance Profiles [J]. AAPG Bull, 1988, 72(8): 926-931.
- [12] 胡圣标,汪集旻,张容燕. 利用镜质体反射率数据估算地层剥蚀厚度[J]. 石油勘探与开发,1999,26(4):42-45.
- [13] 郝石生,贺志勇,高耀斌,等. 恢复地层剥蚀厚度的最优化方法[J]. 沉积学报,1988,6(4):93-98.
- [14] 张一伟,金之钧,刘国臣,等. 塔里木盆地环满加尔地区主要不整合形成过程及剥蚀量研究[J]. 地学前缘,2000,7(4): 449-457.
- [15] 刘国臣,金之均,李金昌. 沉积盆地沉积-剥蚀过程定量研究的一种新方法——盆地波动分析应用之一[J]. 沉积学报,1995,13(3):23-30.
- [16] Gleadow A J W, Dudaly I R, Iovering J F. Fission Track Analysis: A New Tool for the Evaluation of Thermal Histories and Hydrocarbon Potential [J]. APEA Journal, 1983, 23: 93-102.
- [17] 柳益群,周立发. 关于地层剥蚀厚度求取方法的讨论——以吐哈盆地为例[J]. 西北大学学报:自然科学版,1997, 27(4):337-339.
- [18] 赵文智,荆久强,薛良清,等. 中国西北地区侏罗纪原形盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [19] 邵 雨,陈 伟,张伯友. 断层相关褶皱理论在准噶尔盆地南缘山前带构造研究的应用[J]. 地球科学与环境学报,2005, 27(1):26-29.
- [20] 张卫海,查 明,曲江秀. 准噶尔盆地南缘古近系新近系异常高压系统与油气成藏机理[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(1):10-12.
- [21] 张勇刚. 准噶尔盆地中央坳陷异常压力研究[J]. 新疆石油学院学报,2003,15(4):26-29.
- [22] 曲江秀,查 明. 准噶尔盆地异常压力类型及成因探讨[J]. 石油实验地质,2003,25(4):333-336.