

◀ 测井录井 ▶

doi:10.11911/syztjs.201406014

测井标准井节箍深度值的确定新方法

任中豪¹, 张文昌¹, 朱新民¹, 晋新伟², 田文涛¹

(1. 中国石油冀东油田分公司工程监督中心, 河北唐山 063200; 2. 中国石油冀东油田分公司开发处, 河北唐山 036004)

摘 要:为提高标准井深度量值传递的精度和可信度, 利用多口深度标准井对新建标准井深度量值传递。对多口标准井传递的不等精度数据, 依据每次传递的误差度对传递结果加权, 采用加权平均法求取节箍深度最佳估计值。通过绘制标准节箍深度测量值的概率密度曲线, 计算加权平均法处理结果和直接平均法处理结果的误差度, 分析传递结果的可信度。分析表明, 在标准节箍深度测量值的概率密度曲线上, 多井传递的标准节箍深度值的位置接近曲线最高部位, 而单井传递深度值偏离较多, 多井深度量值传递结果可信度高于单井传递结果。误差度计算结果表明, 加权平均法求取的最佳估计值可信度高于直接平均法求取的最佳估计值。研究表明, 利用多口深度标准井对新建标准井深度量值传递, 并采用加权平均法求取节箍深度的最佳估计值, 提高了标准井深度量值传递的精度和可信度。

关键词:标准井 不等精度 加权平均法 深度量值传递

中图分类号:P631.8⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2014)06-0068-05

Method to Determine the Collar Section Depth in Standard Well Logging

Ren Zhonghao¹, Zhang Wenchang¹, Zhu Xinmin¹, Jin Xinwei², Tian Wentao²

(1. Engineering Supervisory Center, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tanghai, Hebei, 063200, China; 2. Development Department, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei, 036004, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and reliability of the measured depth transfer of a standard well, the measured depths of many standard wells were transferred to a new standard well. On the basis of unequal precision of the data delivered by different standard wells, transfer results were weighted according to the error degree of each pass to calculate the best estimate of collar depth by weighted average method. Through drawing the probability density curve of standard collar depth measurements, the degree of error of processing the results between the weighted average method and direct average method was calculated to analyze the credibility of the transfer results. Analysis showed that, on the probability density curve of standard collar depth measurements, the position of depth value transferred by multi wells was close to the maximum probability density. However, the transferred depth value of a single well was largely deviated. The results of analysis showed that the transmission reliability of multiple wells was higher than a single well. The error of calculation processing results showed, the credibility of the best estimate of weighted average method was higher than the direct average method. Altogether, using the measured depths transfer from the multi depth standard well to new standard well and calculating the best estimate of collar depth value by the weighted average method could improve the precision and reliability of the measured depth transfer of the standard well.

Key words: standard well; unequal precision; weighted average method; measured depth transfer

测井深度标准井是用于刻度或检验测井深度系统的标准井^[1], 其节箍深度的精准度是标准井能否使用的重要指标。目前, 对新建标准井 B 的深度量值传递, 是选取某一深度标准井 A, 将标准井 A 的深度量值传递到新建标准井 B^[2-3], 其传递精度取决于深度标准井 A 的节箍深度精度和测井队深度系统标定精度, 可信度较低。冀东油田测井深度标准井柳 X 井的深度量值由中原油田卫古 2 井传递, 在

使用中发现原始标准节箍深度误差较大, 影响了标

收稿日期:2014-05-14; **改回日期:**2014-10-13。

作者简介:任中豪(1983—), 男, 山西平遥人, 2007 年毕业于西南石油大学勘查技术与工程专业, 工程师, 主要从事测井现场生产组织和科研工作。

联系方式:(0315)8765180, jdx_rzh88@petrochina.com.cn。

基金项目:冀东油田分公司科研项目“大斜度井完井测井工艺研究与应用”(编号:2014C-34)部分研究内容。

准井的使用效果。

为提高柳 X 井的深度量值精度,笔者利用多个测井队将深度系统分别经不同的深度标准井刻度合格后、传递到柳 X 井的节箍深度数据集,采用加权平均法求取节箍深度的最佳估计值,即利用多口深度标准井对柳 X 井进行深度量值传递,提高了新建标准井节箍深度值的精度和可信度。

1 最佳估计值的计算思路

在同一测量条件下、同一测量人使用同一测量工具、采用同样测量方法测量多次,即等精度测量多次时,其最佳估计值就是多次测量值的平均值,且平均值服从正态分布。当测量次数趋于无穷大时,平均值也收敛于该测量工具精度下的最佳值,但其前提条件是等精度测量,且测量结果的精度受测量工具精度的制约。

利用某测井深度标准井 A,对新建标准井 B 进行深度量值传递,其传递精度取决于深度标准井 A 的节箍深度精度和测井队深度系统标定精度,可信度较低。所以,利用多次电缆深度系统检验测量值,来求取标准井节箍深度的最佳估计值。多次测量值分别由不同的服务商测井小队所测,其电缆深度系统的刻度方式和标定井均不相同,深度系统丈量方式有磁记号和马丁代克 2 种方式^[4-7],操作工程师也非同一人,因此多次测量为不等精度测量,其测量值可信度不等,且为有限次数,无法使用等精度平均法求取其最佳估计值。如果能用一个权值来表示这多次不等精度测量值的不同可信度,就可以利用加权法来体现不同精度测量值在求取最佳估计值中的贡献^[8-12]。

2 利用加权法求取最佳估计值的计算方法

计算单次不等精度电缆测量值的权值时,需要一个反映单次电缆测量值离散程度的参数,定义为误差度。标准差可以反映一个多次等精度测量数据集 x_1, x_2, \dots, x_M 的离散程度,其计算公式^[13]为:

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: ρ 为标准差,m; M 为测量次数; x_i 为第 i 次测量值,m; \bar{x} 为 M 次测量的平均值,m。

标准差评价的数据集是针对一个被测量物的测量值,单次电缆测量并未完成对单个节箍多次等精

度测量,但单次电缆测量完成了对下井多根套管长度的等精度测量,每根套管在地面都进行了测量,且多数套管为同一规格,其长度相同,那么单次电缆测量得到的多根套管长度值就等同于一个多次等精度测量数据集,可利用这个数据集计算单次电缆测量的误差度 σ 。

假设单次电缆测量所测 N 根套管的长度为 x_1, x_2, \dots, x_N ,而套管的地面测量值为 y_1, y_2, \dots, y_N (实际 y_1, y_2, \dots, y_N 多数相等),那么单次电缆测井误差度的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

式中: σ 为误差度,m; x_i 为第 i 根套管的电缆测量值,m; y_i 为第 i 根套管的地面测量值,m。

确定了单次电缆测量的误差度,就可以计算单次电缆测量的加权权值。假设权值为 β ,确定 β 的依据是使最佳估计值 \bar{x} 的精度最高,即误差值 $\sigma_{\bar{x}}$ 达到最小。假设有 2 次不等精度的测量 x_1 和 x_2 ,则可以得到:

$$\bar{x} = \beta x_1 + (1 - \beta) x_2 \quad (3)$$

式中: \bar{x} 为最佳估计值,m; β 为加权权值; x_1 和 x_2 分别为 2 次测量值,m。

其中 x_1, x_2 相互独立,则根据误差合成公式:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \beta^2 \sigma_1^2 + (1 - \beta)^2 \sigma_2^2 \quad (4)$$

式中: $\sigma_{\bar{x}}$ 为平均误差值,m; σ_1 和 σ_2 分别为 2 次测量的误差值,m。

那么希望其中 β 使得 $\sigma_{\bar{x}}^2$ 达到最小,根据极值理论,可以得到:

$$\frac{\partial \sigma_{\bar{x}}^2}{\partial \beta} = 0, \text{ 且 } \frac{\partial^2 \sigma_{\bar{x}}^2}{\partial \beta^2} > 0 \quad (5)$$

将式(4)带入一阶导数式,可以得到:

$$2\beta\sigma_1^2 - 2(1 - \beta)\sigma_2^2 = 0 \quad (6)$$

整理式(6),可以得到:

$$\beta = \frac{\sigma_1^{-2}}{\sigma_1^{-2} + \sigma_2^{-2}} \quad (7)$$

则标准节箍的最佳估计值计算公式为:

$$\bar{x} = \frac{\sigma_1^{-2}}{\sigma_1^{-2} + \sigma_2^{-2}} x_1 + \frac{\sigma_2^{-2}}{\sigma_1^{-2} + \sigma_2^{-2}} x_2 \quad (8)$$

式中: \bar{x} 为节箍深度最佳估计值,m。

用归纳法推广到一般情况,设 x_1, x_2, \dots, x_N 为 N 个不等精度独立测量值,其对应误差为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ 。同样,可以得到类似的结果:

$$\bar{x} = \frac{1}{\sigma_1^{-2} + \sigma_2^{-2} + \dots + \sigma_N^{-2}} \left(\frac{x_1}{\sigma_1^2} + \frac{x_2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{x_N}{\sigma_N^2} \right) \quad (9)$$

3 柳 X 井标准节箍深度最佳估计值的计算

柳 X 井深 3 993 m, 最大井斜角 3° , 每隔 500 m 选一个节箍作为标准节箍, 共有 7 个节箍。柳 X 井原始标准节箍深度值由中原油田深度标准井卫古 2 井进行深度量值传递(见表 1)。

表 1 卫古 2 井传递的原始标准接箍深度值

Table 1 Depth value of original standard collar transferred by Well Weigu 2

节箍	深度/m
标准节箍一	498.441
标准节箍二	1 013.509
标准节箍三	1 501.569
标准节箍四	2 043.958
标准节箍五	2 529.309
标准节箍六	3 041.909
标准节箍七	3 507.269

表 2 各服务商测井队在柳 X 井所测标准节箍深度值

Table 2 Standard collar depth value of Well Liu X logged by different logging service crews

序号	深度/m						深度系统 类型	深度系统 标定单位
	标准节箍一	标准节箍二	标准节箍三	标准节箍四	标准节箍五	标准节箍六	标准节箍七	
1	498.441	1 013.510	1 501.572	2 043.963	2 529.310	3 041.912	3 507.270	磁记号
2	498.251	1 013.050	1 501.052	2 043.251	2 529.612	3 040.951	3 506.050	马丁带克
3	498.452	1 013.201	1 501.198	2 044.501	2 528.702	3 041.603	3 506.901	磁记号
4	498.502	1 013.603	1 501.604	2 044.051	2 529.201	3 042.001	3 507.202	马丁带克
5	498.451	1 013.402	1 501.250	2 043.455	2 528.451	3 041.055	3 506.052	马丁带克
6	497.748	1 012.502	1 500.303	2 042.448	2 527.303	3 039.702	3 504.701	马丁带克
7	498.849	1 013.948	1 502.102	2 044.447	2 529.549	3 041.851	3 506.652	磁记号
8	497.701	1 012.548	1 500.048	2 042.151	2 527.001	3 039.601	3 504.750	磁记号
9	498.751	1 013.902	1 502.203	2 044.949	2 530.648	3 043.447	3 508.849	磁记号
10	498.501	1 013.302	1 502.447	2 043.548	2 528.849	3 041.547	3 507.102	马丁带克
11	497.803	1 012.201	1 499.449	2 041.248	2 525.847	3 037.949	3 502.601	马丁带克
12	498.248	1 013.349	1 501.248	2 043.347	2 528.246	3 040.549	3 505.449	磁记号
13	497.802	1 012.601	1 500.302	2 042.603	2 528.001	3 040.602	3 505.601	磁记号
14	498.401	1 013.302	1 501.201	2 043.402	2 528.401	3 040.702	3 506.201	磁记号
15	498.101	1 012.802	1 500.603	2 042.801	2 528.101	3 040.798		马丁带克

表 3 地面测量累计所得标准接箍深度

Table 3 Standard collar depth value measured in the ground

节箍	深度/m
标准节箍一	498.112
标准节箍二	1013.011
标准节箍三	1500.936
标准节箍四	2043.198
标准节箍五	2528.298
标准节箍六	3040.910
标准节箍七	3505.910

各服务商测井队在柳 X 井进行的 15 次测量数据如表 2 所示, 测井队深度系统分别标定于长城、中油、渤钻、大庆、中原、胜利等 6 家深度标准井。为避免各测井队测量数据的零点不统一, 各测井队统一以井口法兰盘面作为深度参考点(即深度 0 m 点), 所记录标准节箍深度值均为对零偏移后的数据。

根据式(2)计算电缆测量误差度时, $x_i = L_{i+1} - L_i$, $y_i = l_{i+1} - l_i$ 。其中, L_{i+1} 和 L_i 分别为电缆测量 $i+1$ 节箍长度和电缆测量 i 节箍长度, m; l_{i+1} 和 l_i 分别为地面测量 $i+1$ 节箍长度和地面测量 i 节箍长度, m。

计算时, 选择同批次相同规格的单根套管为最佳计算单元, 由于节箍数据很多, 选择了 7 个标准节箍深度值作为计算单元。根据各服务商测井队在柳 X 井所测标准节箍深度值(见表 2)和地面测量累计所得标准接箍深度值(见表 3), 利用式(2)计算得到 15 次电缆校验测井的误差度(见表 4)。

表 4 电缆校验测井的误差度

Table 4 Error degree of cable checkout logging

序号	误差度/m	序号	误差度/m
σ_1	0.146 023	σ_9	0.396 524
σ_2	0.421 317	σ_{10}	0.722 840
σ_3	0.584 421	σ_{11}	0.518 007
σ_4	0.174 479	σ_{12}	0.197 926
σ_5	0.067 934	σ_{13}	0.162 013
σ_6	0.164 969	σ_{14}	0.221 092
σ_7	0.212 599	σ_{15}	0.417 964
σ_8	0.215 132		

有了误差度,根据式(9)计算得到各标准节箍深度的加权平均法最佳估计值(见表 5),同时,为对比加权平均法和等精度平均法处理结果的差异,利用等精度平均法计算得到各标准节箍深度值(见表 5)。

4 加权平均法处理结果可信度分析

为了验证利用加权平均法求取的标准节箍最佳深度估计值的准确性,利用计算数据(见表 2)绘制了 7 个标准节箍深度测量值的概率密度曲线(见图 1)^[14],横坐标为标准节箍深度,纵坐标为对应深度值出现频率。

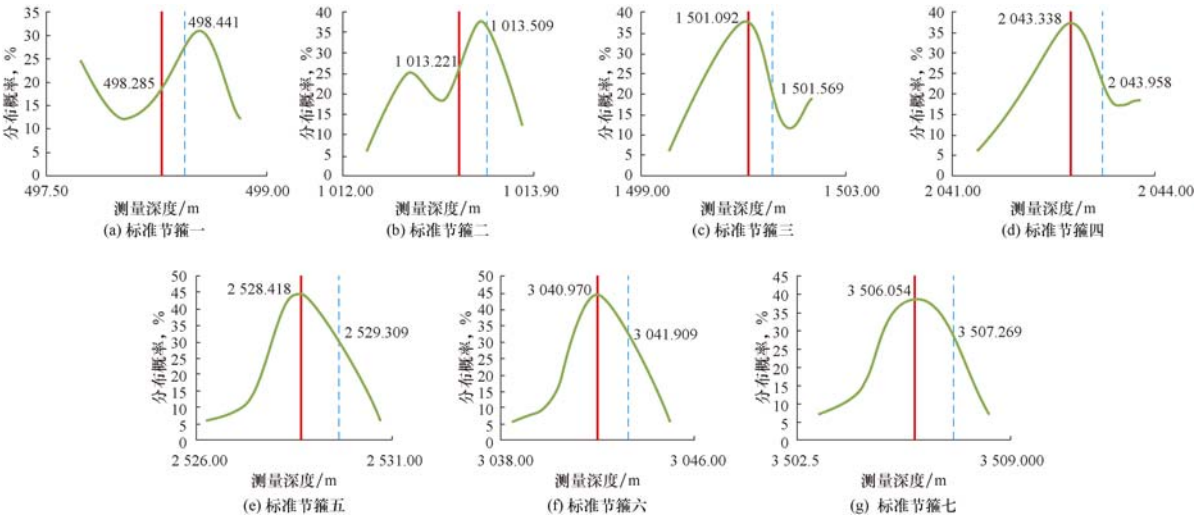


图 1 标准节箍深度测量值概率密度曲线

Fig. 1 Probability density curve of standard collar depth

由图 1 可以看出,由于受测量数据次数有限的影响,概率密度曲线并不完全服从正态分布,以标准节箍一和节箍二最为突出,而其余节箍均服从类似正态分布。红色实线为利用加权平均法处理数据得到的标准节箍深度值,蓝色虚线为原始标准节箍深度值,利用加权平均法得到的标准节箍深度值的位置接近曲线的最高部位,而原始标准节箍深度值偏离较多,说明利用加权平均法得到的标准节箍深度值的可信度要高于原始标准节箍深度值。

为对比加权平均法和等精度平均法 2 种处理结果的差异,利用等精度平均法计算出了各标准节箍深度的最佳估计值,并选择可靠性相对较高的辽河小数控测井设备所测结果(见表 6)作为分析 2 种方法处理结果的参考值。

根据标准节箍相间距离,分别计算小数控所测量结果与加权平均法结果和等精度平均法结果的误

表 5 加权平均法和等精度平均法所求标准节箍深度值

Table 5 Standard collar depth values calculated using the weighted average method and precision average method

节箍	加权平均法 所求深度/m	等精度平均法 所求深度/m
标准节箍一	498.285	498.266
标准节箍二	1 013.221	1 013.147
标准节箍三	1 501.092	1 501.105
标准节箍四	2 043.338	2 043.344
标准节箍五	2 528.418	2 528.481
标准节箍六	3 040.970	3 040.951
标准节箍七	3 506.054	3 506.098

表 6 辽河小数控所测标准节箍深度

Table 6 Standard collar depth value logged by Liaohe CNC

序号	深度/m
标准节箍一	498.309
标准节箍二	1 013.211
标准节箍三	1 501.129
标准节箍四	2 043.389
标准节箍五	2 528.488
标准节箍六	3 041.101
标准节箍七	3 506.109

差度^[15], σ (加权平均)为 0.001 440, σ (等精度平均)为 0.004 801, σ (加权平均)小于 σ (等精度平均)。

比较 2 种处理数据方法的处理结果,可以看出,利用加权平均法求取的最佳估计值比直接平均法求取的最佳估计值可信度更高,更加接近期望值。

5 结 论

1) 标准节箍深度测量值的概率密度曲线显示,利用多个深度标准并对新建标准井进行深度量值传递,避免了传递精度受制于单一深度标准井的节箍深度精度,深度值更接近概率密度曲线最高部位,其可信度和准确度远高于利用单井传递。

2) 利用加权平均法和直接平均法分别处理不等精度测量值求取最佳估计值的误差度表明,利用加权平均法求取的最佳估计值可信度更高。

3) 用于计算最佳估计值的测量次数越多,最佳估计值越接近期望值,所以随着柳X井测量数据的不断积累,应不断对标准节箍深度值进行校正,其可信度也将随测量次数的增多而不断提高。

参 考 文 献

References

- [1] 刘江伟,李建华,叶文军,等. 测井电缆深度记号标定新方法实现的研究与应用[J]. 测井技术,2007,31(6):580-582.
Liu Jiangwei, Li Jianhua, Ye Wenjun, et al. A new method to calibrate magnetic depth mark of cable and its implementation [J]. Well Logging Technology, 2007, 31(6): 580-582.
- [2] 吴凯华,张相山,王国龙,等. 浅谈量值传递和量值溯源的实施[J]. 计量与测试技术,2013,40(1):52-53.
Wu Kaihua, Zhang Xiangshan, Wang Guolong, et al. Discussion implementation on the quantity value transfer and measurement traceability[J]. Metrology & Measurement Technique, 2013, 40(1): 52-53.
- [3] Q/SY 1557-2012 测井电缆深度标准井技术规范[S].
Q/SY 1557-2012 Technical specification for well logging cable depth standard well[S].
- [4] 林浩,王铁刚,邓基华. 井眼深度测量及校正[J]. 石油仪器,2005,19(1):77-78.
Lin Hao, Wang Tiegang, Deng Jihua. Borehole depth measurement and correction[J]. Petroleum Instruments, 2005, 19(1): 77-78.
- [5] 王辉,吕海霞,潘俊辉,等. 基于相对幅值法的接箍深度识别方法[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2012,28(4):435-438.
Wang Hui, Lv Haixia, Pan Junhui, et al. Study on collar depth identification based on relative amplitude method[J]. Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition, 2012, 28(4): 435-438.
- [6] 罗厚义,汤达祯. 中东某油田测井深度系统的误差分析及解决案例[J]. 西部探矿工程,2013,25(4):43-45.
Luo Houyi, Tang Dazhen. Case of well logging depth system error analysis and its solution in an oil field of Middle East[J]. West-China Exploration Engineering, 2013, 25(4): 43-45.
- [7] 罗荣,黄国光. 超深井测井深度质量控制方法探讨[J]. 石油工业技术监督,2012,30(4):21-24.
Luo Rong, Huang Guoguang. Discussions on the quality control method for the logging depth of ultradeep wells[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2012, 30(4): 21-24.
- [8] 芦立娟,鲁晓东,竺江峰. “加权平均”法在不等精度测量中的运用[J]. 大学物理实验,2003,16(4):53-54.
Lu Lijuan, Lu Xiaodong, Zhu Jiangfeng. Application of weighted average method to non-precise measurement[J]. Physical Experiment of College, 2003, 16(4): 53-54.
- [9] 廖东良,肖立志,张元春. 基于矿物组分与断裂韧度的页岩地层脆性指数评价模型[J]. 石油钻探技术,2014,42(4):37-41.
Liao Dongliang, Xiao Lizhi, Zhang Yuanchun. Evaluation model for shale brittleness index based on mineral content and fracture toughness[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 37-41.
- [10] 陶靖轩,顾龙芳,宋明顺,等. 不等精度测量结果标准差的估计[J]. 计量学报,2012,33(1):94-96.
Tao Jianxuan, Gu Longfang, Song Mingshun, et al. Estimation of standard deviation in unequal precision measurement[J]. Acta Metrologica Sinica, 2012, 33(1): 94-96.
- [11] 周拥军,邓才华. 加权和不加权 TLS 方法及其在不等精度坐标变换中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2012,37(8):976-979.
Zhou Yongjun, Deng Caihua. Weighted and unweighted total least square methods and applications to heteroscedastic 3D coordinate transformation[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(8): 976-979.
- [12] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京:机械工业出版社,2010:14-15.
Fei Yetai. Error theory and data processing[M]. Beijing: China Machine Press, 2010: 14-15.
- [13] 张德根. 单摆实验中不等精度测量的不确定度分析[J]. 大学物理实验,2013,26(6):92-94.
Zhang Degen. Uncertainty analysis of unequally accurate measurement in the single pendulum experiment[J]. Physical Experiment of College, 2013, 26(6): 92-94.
- [14] 陶靖轩,王敏华,刘春雨. 应用统计学[M]. 北京:中国计量出版社,2003:125-130.
Tao Jingxuan, Wang Minghua, Liu Chunyu. The application of statistics[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2003: 125-130.
- [15] 倪燕茹. 基于测量不确定度评定的数据处理方法[J]. 大学物理实验,2012,25(1):68-70.
Ni Yanru. The method of data processing based on uncertainty in measurement[J]. Physical Experiment of College, 2012, 25(1): 68-70.

[编辑 滕春鸣]