

doi: 10.11720/wtyht.2017.4.13

刘东明,林振洲,高文利,等.藏南泽当科学钻探 ZDSD-1 孔超声成像测井解释[J].物探与化探,2017,41(4):672-677.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.13

Liu D M, Lin Z Z, Gao W L, et al. Interpretation of ultrasonic imaging logging data obtained in Drill Hole ZDSD-1 of the Zedang Scientific Drilling in Tibet [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4): 672-677. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.13

藏南泽当科学钻探 ZDSD-1 孔超声成像测井解释

刘东明,林振洲,高文利,孔广胜,贾定宇

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北廊坊 065000)

摘要: ZDSD-1 孔是“大陆科学钻探选址与钻探实验”项目在罗布莎铬铁矿科学钻探实验区部署的第三口科学钻探孔,终孔深度 1 486.86 m,全孔实施了连续取芯和综合地球物理测井作业。采集到的超声成像测井资料包含丰富的井壁地质特征信息,对裂缝、破碎带识别和构造应力场分析具有重要作用。通过对超声成像测井资料的研究,在超声成像测井图上裂缝多表现为宽度变化明显的暗色条带特征;破碎带多表现为杂乱的暗色或黑色斑块,地层破碎严重时则呈大段的暗色或黑色条带;井壁崩落表现为一组近 180°对称分布的暗色或黑色垂直条带或斑块。通过对 20 组井壁崩落方位的统计,推断 ZDSD-1 孔现今最大水平主应力方位为 40.3°~218.4°。

关键词: ZDSD-1 孔;超声成像测井;裂缝;地应力

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)04-0672-06

0 引言

ZDSD-1 孔是“大陆科学钻探选址与钻探实验”项目在罗布莎铬铁矿科学试验区实施的第三口科学钻探孔,终孔深度 1 486.86 m。在钻进过程中实施了连续取芯、地球物理测井以及井中物探工作,这些资料的取得,对于精细刻画罗布莎—泽当蛇绿岩体深部结构,查明铬铁矿在该岩体中分布特征和赋存规律,探讨铬铁矿的成矿条件和成矿机制具有重要作用。该孔位于雅鲁藏布缝合带东段泽当蛇绿岩体内(图 1),钻遇地层岩性主要包括纯橄岩、方辉橄橄榄岩、含单斜辉石方辉橄橄榄岩、二辉橄橄榄岩。由钻孔岩芯编录资料知该孔未见金属矿化层。ZDSD-1 孔测井数据采集工作由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所于 2014 年 4 月 18 日至 22 日完成。超声成像测量井段为 93.91~1 478.40 m,垂向采样间距为 0.1 cm,横向分辨率为 2°,采样速度为 4 m/min,重复测量井段达到 10%,重复测量结果显示测井资料质量良好。超声成像数据的处理包括深度对齐、坏点插值、滤波、归一化等预处理和裂缝、破碎

带、井壁崩落等典型地质特征的产状提取。

超声成像测井通过井周 360°扫描成像获取直观的井壁图像,能够有效地识别地层裂缝、破碎带和井壁崩落,进而评价裂缝产状、推断地应力方向等^[1-3]。文中以 ZDSD-1 孔为研究对象,利用超声成像测井资料分析了主要地质特征的成像测井响应,总结了井壁裂缝随深度变化的规律,推断了钻孔现今地应力状态。

1 裂缝和破碎带测井响应特征分析

超声成像测井图像包括振幅图像和走时图像,振幅图像是井壁两侧声阻抗差的直接反映,较走时图像反映井壁细节地质特征效果更为明显。当井壁存在张开裂缝或破碎严重时,容易形成漫反射,使回到探头的超声波反射信号相对较弱,图像中的裂缝或破碎带就呈黑色或暗色特征^[5-6]。ZDSD-1 孔的超声成像测井图像可以清楚地反映出井壁原位的裂缝和破碎带,具体特征如图 2 所示。

从图中可以看出,裂缝表现为暗色条带,宽度变化大,当裂缝单一且宽度较小时,常规测井曲线无异

收稿日期: 2016-11-24;修回日期: 2017-05-16

基金项目: 物化探所基本科研业务费项目(AS2015J07);大陆科学钻探选址与钻探实验研究项目(SinoProbe-05)

作者简介: 刘东明(1988-),男,助理工程师,现从事地球物理测井相关工作。Email: liudongming@igge.cn

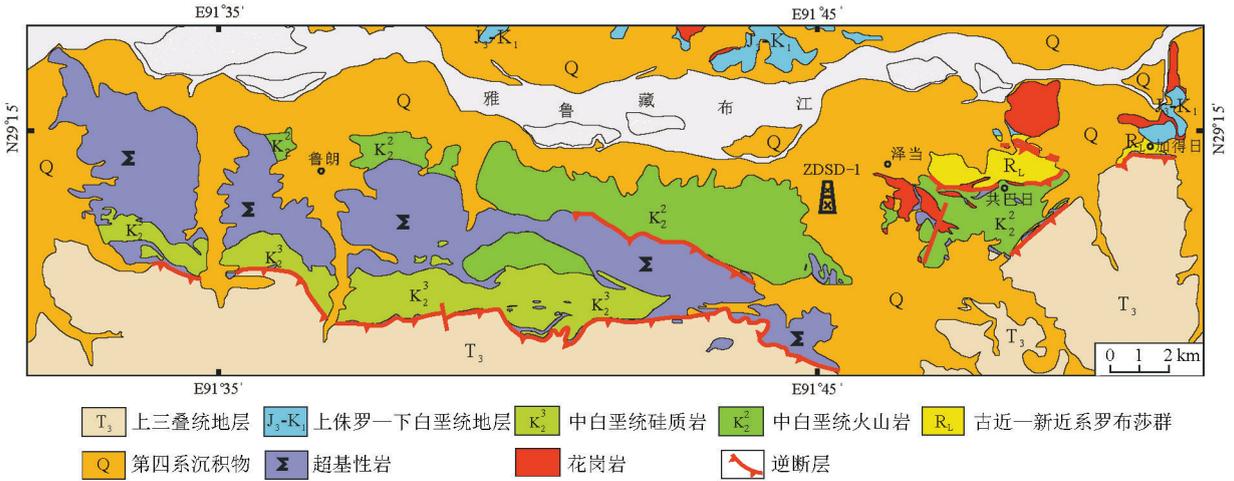


图 1 ZDSD-1 孔钻孔位置示意及区域地质简图^[4]

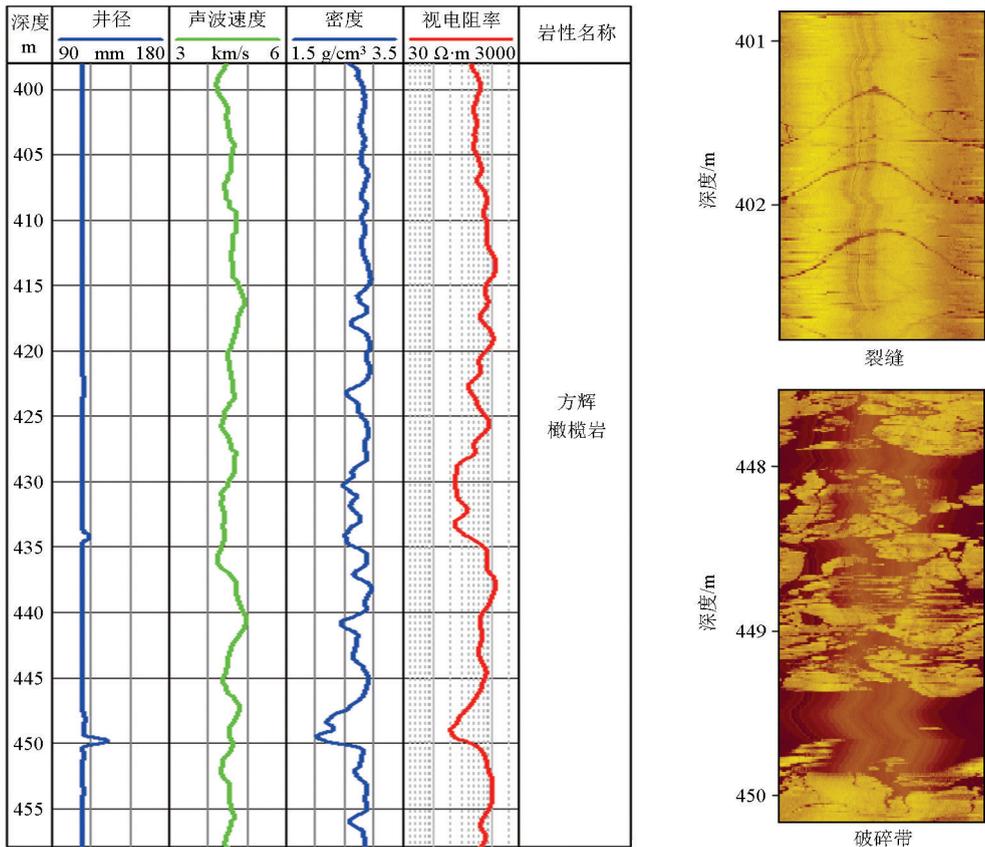


图 2 ZDSD-1 孔裂缝与破碎带示例

常反映;当裂缝密集且宽度较大时即形成破碎带,在图像上表现为杂乱的暗色或黑色斑块,严重时图像呈大段的暗色或黑色条带,常规测井曲线中,井径出现扩径,密度和视电阻率明显降低。

2 裂缝与破碎带的统计分析

笔者对 ZDSD-1 孔 93.9~1 478.4 m 深度范围的超声成像测井图像进行了人工裂缝提取和破碎带划

分,共提取到裂缝 2 196 条,划分出破碎带 44 处,其统计结果见图 3 和表 1,其中裂缝密度定义为单位深度段内(每 10 m)裂缝的数量。①裂缝密度平均值为 15.6 条/10 m,最大裂缝密度为 33 条/10 m;破碎带总厚度为 94.65 m,单一破碎带最大厚度达 15.18 m。②700 m 以下深度破碎带总厚度达 80.35 m,超过该深度段超声成像图像总长度的 10%,因此 700 m 以下深度地层较破碎,这也导致该深度段内提取到的裂缝相对较少。③裂缝倾向主要分布在

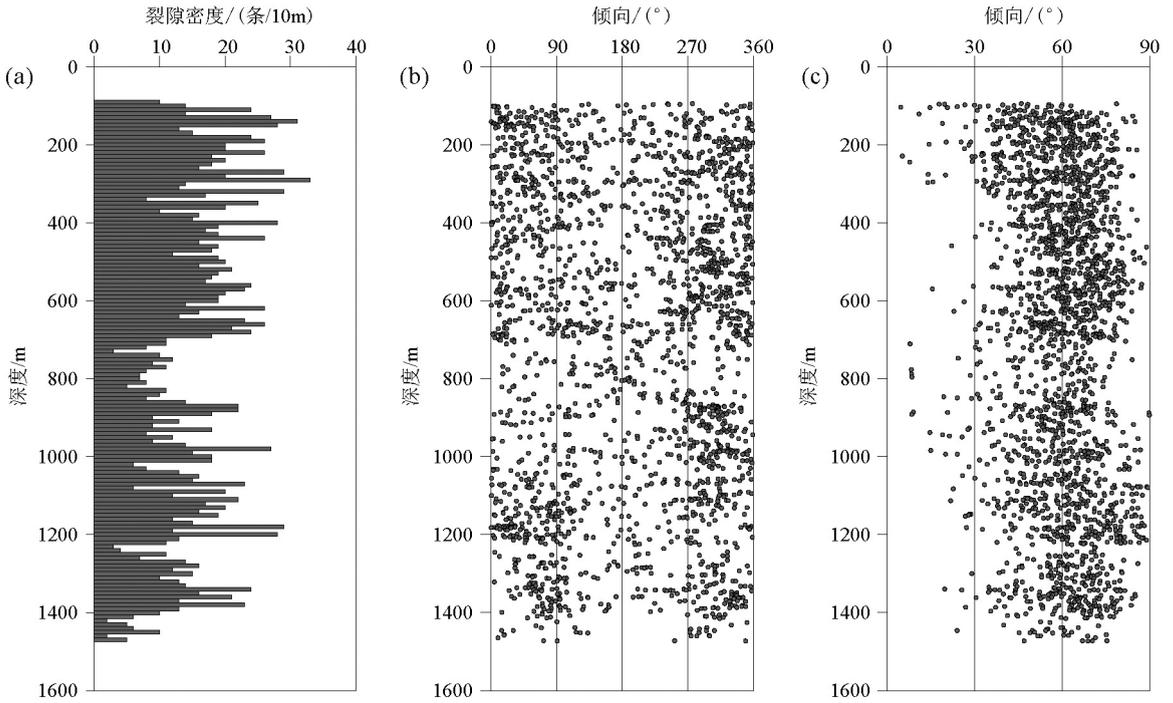


图3 ZSDS-1 孔裂缝密度 (a)、倾向 (b) 及倾角 (c) 随深度的变化特征

表1 ZSDS-1 孔破碎带统计

| 序号 | 深度范围/m | 厚度/m | 序号 | 深度范围/m | 厚度/m |
|----|-----------------|------|----|-----------------|-------|
| 1 | 263.55~263.87 | 0.32 | 23 | 1185.32~1185.54 | 0.22 |
| 2 | 313.33~314.67 | 1.34 | 24 | 1188.46~1188.98 | 0.52 |
| 3 | 372.04~372.48 | 0.44 | 25 | 1193.18~1196.45 | 3.27 |
| 4 | 376.64~377.45 | 0.81 | 26 | 1216.30~1217.55 | 1.25 |
| 5 | 379.32~380.04 | 0.72 | 27 | 1226.33~1231.61 | 5.28 |
| 6 | 393.46~394.01 | 0.55 | 28 | 1237.50~1248.78 | 11.28 |
| 7 | 433.50~434.46 | 0.96 | 29 | 1257.15~1260.56 | 3.41 |
| 8 | 447.83~449.89 | 2.06 | 30 | 1265.99~1266.86 | 0.87 |
| 9 | 495.42~496.20 | 0.78 | 31 | 1267.15~1268.31 | 1.16 |
| 10 | 580.79~581.86 | 1.07 | 32 | 1270.23~1271.96 | 1.73 |
| 11 | 582.60~583.29 | 0.69 | 33 | 1313.18~1314.58 | 1.40 |
| 12 | 615.42~616.85 | 1.43 | 34 | 1315.37~1317.67 | 2.30 |
| 13 | 636.84~637.23 | 0.39 | 35 | 1328.43~1328.90 | 0.47 |
| 14 | 637.91~639.26 | 1.35 | 36 | 1351.45~1352.36 | 0.91 |
| 15 | 639.78~641.17 | 1.39 | 37 | 1366.54~1367.33 | 0.79 |
| 16 | 826.15~827.26 | 1.11 | 38 | 1368.17~1369.14 | 0.97 |
| 17 | 1000.98~1001.56 | 0.58 | 39 | 1399.17~1400.77 | 1.60 |
| 18 | 1086.35~1086.86 | 0.51 | 40 | 1414.57~1418.30 | 3.73 |
| 19 | 1115.24~1117.74 | 2.50 | 41 | 1426.10~1431.38 | 5.28 |
| 20 | 1156.75~1157.21 | 0.46 | 42 | 1434.56~1449.74 | 15.18 |
| 21 | 1163.09~1166.02 | 2.93 | 43 | 1452.54~1454.84 | 2.30 |
| 22 | 1183.89~1184.59 | 0.70 | 44 | 1461.89~1469.53 | 7.64 |

0°~90°和 270°~360°;倾角主要分布在 40°~80°范围内。

地层岩石中存在裂缝或岩石破碎,会导致地层孔隙空间增大、孔隙连通性增强,这往往有利于矿脉的富集,因此在金属矿找矿中,识别地层破碎深度并评价其破碎程度,可能间接指示出矿体的赋存位置。为了直观地评价 ZSDS-1 孔地层破碎情况,文中引

入破碎指数这一全新概念,其定义为裂缝与破碎带所在深度范围单位面积内暗色像素点与全部像素点的比值,是一个无量纲物理量,数值范围为 0~1(见图 4 第 3 道)。

利用上述方法对 ZSDS-1 全孔进行了地层破碎评价,图 5 为全井段地层破碎指数曲线,可以看出该孔在 1 100~1 460 m 地层破碎较严重,300~450 m、

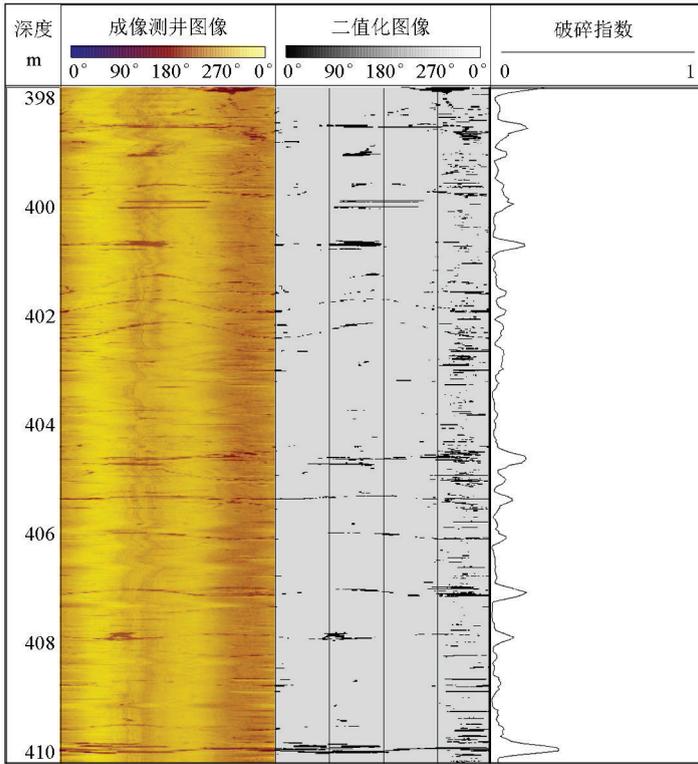


图 4 破碎指数提取过程

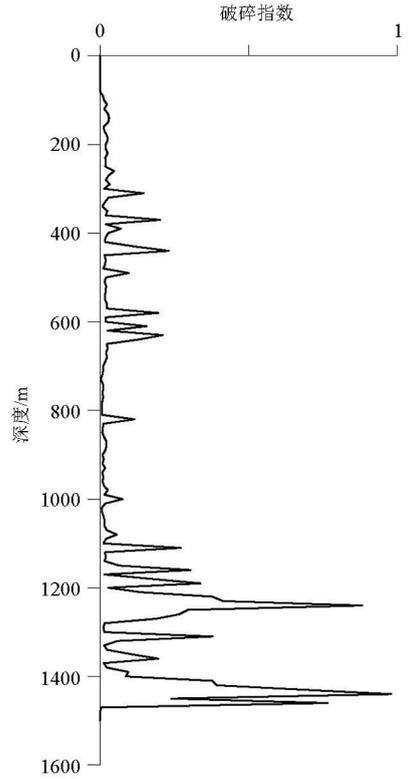


图 5 ZDSD-1 孔地层破碎指数曲线

570~650 m 地层破碎次之,其余深度地层较为完整。

3 地应力方向分析

根据超声成像测井资料,ZDSD-1 孔在 1 000 m 深度以下出现了钻孔崩落现象。理论分析和室内试验已经证明了这种崩落现象的力学机理:钻孔崩落是最小水平主应力方向上挤压应力最大集中处钻孔壁的压剪破裂导致的,是地应力作用的结果^[7]。在

钻孔近于垂直的情况下,崩落椭圆长轴方向平行于最小水平主应力方向,垂直最大水平主应力方向^[8-9]。因此利用超声成像测井资料量取崩落椭圆长轴方向,经统计平均后可以得到最大水平主应力方向。

井壁崩落在超声成像测井图像上表现为两组(两条)呈 180°或接近 180°对称分布的暗色或黑色垂直条带或斑块(图 6)。

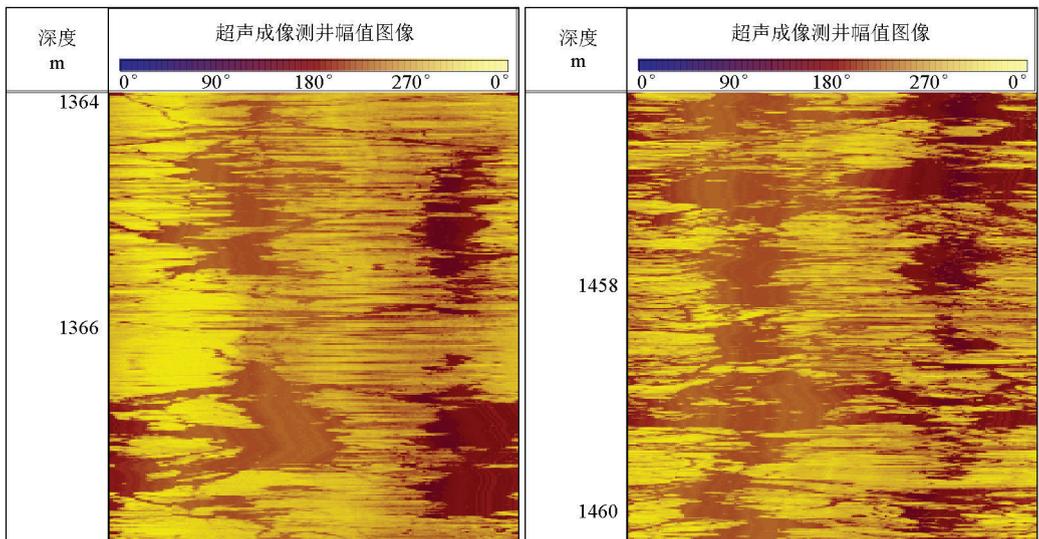


图 6 ZDSD-1 孔井壁崩落示例

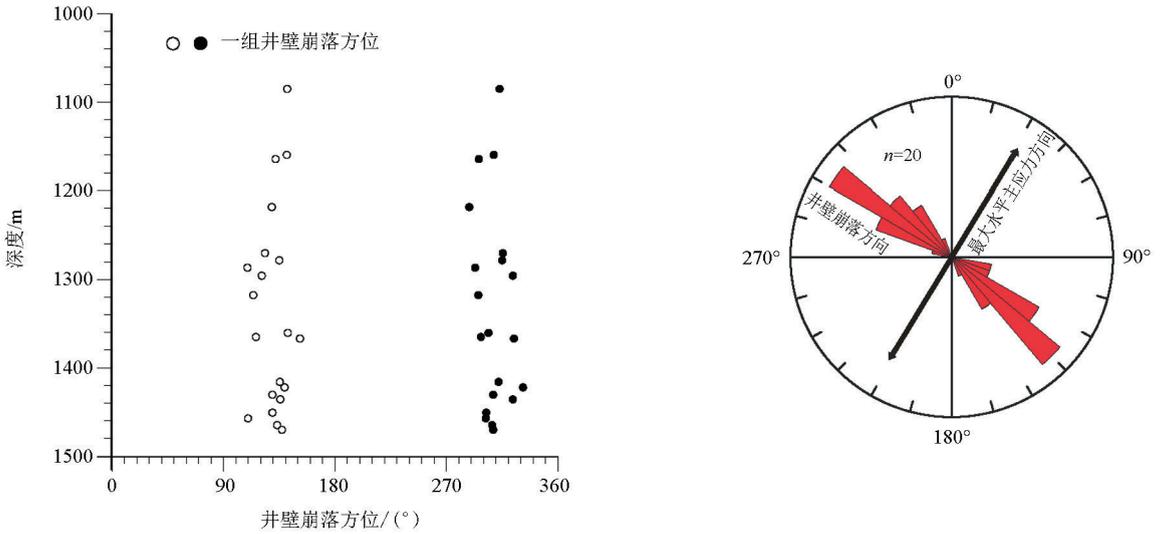


图7 ZDSD-1孔井壁崩落方位及地应力方向

ZDSD-1孔在1000~1480m范围内采集到了20组井壁崩落,每组崩落均位于NW和SE两象限内,通过对两象限内的崩落进行测量,平均后得到崩落椭圆长轴方位角。对这20组数据进行方向统计,得到平均崩落方位为130.3°~308.4°,对应的最大水平主应力方位为40.3°~218.4°,标准偏差为11.5°。

前人利用地质断裂构造和震源机制解对该区域构造地应力场进行了研究^[10],结果表明该区域的构造应力场以北东—北北东向近水平挤压为主,现代构造应力场最大主压应力轴是水平的,方位为近南北—北北东,与文中利用钻孔崩落所反映的最大水平主应力方向基本一致或小角度斜交。

4 结论

利用超声成像测井资料对ZDSD-1孔井壁发育的裂缝、破碎带及崩落进行了研究,取得以下主要认识:

1)在超声成像测井图上裂缝多表现为宽度变化明显的暗色条带特征;破碎带多表现为杂乱的暗色或黑色斑块,地层破碎严重时则呈大段的暗色或黑色条带;井壁崩落表现为一组近180°对称分布的暗色或黑色垂直条带或斑块。

2)根据裂缝和破碎带的分布,综合评价了ZDSD-1孔地层破碎情况,认为该孔在1100~1460m地层破碎较严重,300~450m、570~650m地层破碎次之,其余深度地层较为完整。

3)通过对20组井壁崩落方位的统计,推断

ZDSD-1孔现今最大水平主应力方位为40.3°~218.4°,与前人研究结果基本一致。

参考文献:

[1] 朱留方,许东晖,李双林.中国大陆科学钻探主孔(0~2000 m)成像测井地质特征分析[J].地球科学,2005,30(S1):57-61.

[2] 黄继新,彭仕宓,王小军,等.成像测井资料在裂缝和地应力研究中的应用[J].石油学报,2006,27(6):65-69.

[3] 邹长春,刘东明,聂昕,等.利用成像测井资料分析汶川地震断裂带科学钻探3号孔(WFSD-3)裂缝特征[J].现代地质,2012,26(6):1146-1153.

[4] 熊发挥,杨经绥,徐向珍,等.雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩中铬铁矿的前景讨论[J].中国地质,2015,42(5):1535-1558.

[5] 邹长春,肖昆,周新鹏,等.于都—赣县矿集区科学钻探NLS-D-1孔超声波成像测井响应特征及其深部找矿意义[J].地质学报,2014,88(4):676-685.

[6] 周新鹏,项彪,邹长春,等.南岭地区多金属矿NLS-D-2孔综合地球物理测井研究[J].地质学报,2014,88(4):686-694.

[7] 李朋武,崔军文,王连捷,等.中国大陆科学钻探主孔钻孔崩落与现场应力状态的确定[J].岩石学报,2005,21(2):421-426.

[8] Vernik L,Zoback M D.Estimation of maximum horizontal Principal stress magnitude from stress-induced well bore breakouts in the Cajon Pass scientific research borehole[J].Journal of Geophysical Research,1992,97(B4):5109-5119.

[9] Nie X,Zou C C,Pan L,et al.Fracture analysis and determination of in-situ stress direction from resistivity and acoustic image logs and core data in the Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Borehole-2 (50-1370 m)[J].Tectonophysics,2013,593:161-171.

[10] 鲍杰.“拉萨—林芝地块”地壳岩体的现今应力—形变作用机制数值模拟研究[D].成都:成都理工大学,2012.

Interpretation of ultrasonic imaging logging data obtained in Drill Hole ZDSD-1 of the Zedang Scientific Drilling in Tibet

LIU Dong-Ming, LIN Zhen-Zhou, GAO Wen-Li, KONG Guang-Sheng, JIA Ding-Yu

(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China*)

Abstract: Drill Hole ZDSD-1 is the third scientific drilling hole in the Luobusha chromite deposit, belonging to the "continental scientific drilling; site selection and pilot hole" project, and its final depth is 1486.86 m. The drill hole implemented continuous coring and conducted geophysical well logging. The ultrasonic image logging data contained a mass of information about the borehole wall geological features, which played an important role in the identification of fractures, fracture zones and the analysis of tectonic stress field. Using the ultrasonic image logging data, the authors found that most fractures exhibit the form of dark stripes whose width changes obviously, the fracture zones in most cases exhibit littery dark patches, while they assume a large area of dark stripes where the strata are broken seriously, and the borehole breakouts exhibit a pair of symmetrical dark straight stripes or patches spacing 180 degree. Through the statistics of the orientation for 20 pairs of borehole breakouts, the authors infer that the orientation of the maximum horizontal principal stress for drill hole ZDSD-1 is $40.3^{\circ} \sim 218.4^{\circ}$.

Key words: drill hole ZDSD-1; ultrasonic image logging; fractures; stress

(本文编辑:徐晶晶)