

# 关于油气勘探开发中的高程及其确定方法

张赤军<sup>1</sup>, 边少锋<sup>2</sup>

(1. 中国科学院测量与地球物理研究所, 湖北 武汉 430077; 2. 海军工程大学四系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 针对目前油气勘探开发中应采用哪一个系统的高程问题, 进一步做了论证和说明, 并指出用大地高代替高程的看法是不对的; 还介绍测定正常高或正高的新手段和新方法。该方法可以充分发挥油气勘探中重力数据的作用, 使正常高和重力异常能以很高精度一并地确定出来, 如此可满足油气勘探的需要。

关键词: 重力勘探; 重力位; 高程; GPS 测角高程; 油气勘探开发

中图分类号: P631.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2005)04-0342-05

高程在油气勘探开发中的作用非常明显, 这里既有测量方法问题, 如用几何方法就有水准、三角高程、GPS 等手段, 也有与之相应的高程系统问题, 其中包括对参考面的定义和选择。但不管怎样都离不开对位差的测量, 目前在油气勘探开发中均有所涉及, 人们应根据实际情况加以运用, 若是使用不当将会发生一些问题。例如在地下密度分布较为复杂的地区或山地乃至盆地(塔里木), 若采用大地高而不采用正高或正常高, 将会导致米级甚至更大的误差, 对重力的影响达  $n \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。又如在南北两点纬差及高差较大的西气东输中不采用动力高系统, 则可能导致 0.6 m 的误差, 由此引起的压(力)差变化也会影响油气的运移。

## 1 高程系统—重力位差的反映

众所周知, 依附在地球上的人和物都要受到地球重力场的作用, 而在重力等位面上的所有测点其高程应该相等, 由于重力等位面互不平行也不相交, 人们早已认识到水准测量的结果只反映两点间的几何高差, 由于未测重力, 因此随着所经过测量路径的不同, 所得的高差也不相同, 但是只要将这种几何的高差测量与重力测量相结合, 这时求得的高程才具有物理意义和实用价值。地面一点 A 和大地水准面上的 O 点的位差:  $W_0 - W_A$ , 且

$$W_0 - W_A = \int_0^A g dh = C, \quad (1)$$

这时称 C 为 A 点的位基数。对于地面上任一点而言, 不管水准和重力路径怎么变动, 重力位差是唯一

的, 因此在测地学中可以根据(1)式来定义各种不同的高程, 在大地测量中有 3 种与之相应的高程或高程系统<sup>[1]</sup>, 这里做一简介。

### 1.1 正常高系统

按我国的大地测量法规定, 采用的高程为以似大地水准面为基准的正常高系统, 有些国家则采用以大地水准面为基准的正高系统, 目前两者已可能用高精度方法求得。不过正常高和正高在滨海的大陆附近非常接近, 其间微小差别可以忽略。对于地面一点的正正常高  $h^\gamma$  有:

$$h^\gamma = \frac{1}{\gamma_m} \int_0^A g dh = \frac{C}{\gamma_m} \quad (2)$$

式中:  $\gamma_m$  为沿正常重力线的正常重力平均值。在上式中, 正常重力的平均值可以精确地计算出来, 若位差  $W_0 - W_A$  可以精确测定, 于是正常高也可精确确定。此外由文献[2]可知: 似大地水准面在海面上与大地水准面相合为一, 而在陆地则有异。

### 1.2 正高系统

正高就是海拔高, 它是大地水准面——等位面为基准面。该系统一直为欧美等国所采用, 地学中所指的海拔就是正高, 于是许多地区和山峰均以该高程为基准, 对于地面上一点的正高( $h^0$ )有:

$$h^0 = \frac{W_0 - W_A}{\bar{g}} \quad (3)$$

式中  $\bar{g}$  为 A 点沿垂线方向到大地水准面上重力的平均值, 其值是惟一的, 一般不能直接测得, 但可以很高精度求取, 不过这时需要有岩石层密度分布和较大比例尺的地形图<sup>[2]</sup>。

### 1.3 力高系统

为了使同一水准面上各点有相同的高程值,应采用力高系统,如果取地球的平均纬度  $45^\circ$  处的正常重力等于  $\gamma_{45^\circ}$ ,对正常地球而言,它就是全球重力的平均值,若将位基数  $C$  与之相除,则得力高:

$$h^d = C/\gamma_{45^\circ} \quad (4)$$

以往由于一些原因,使这种意义明确的高程——力高,至今尚未在各国得到广泛的应用,现今随着全球垂直基准研究的深入,大型地学工程的不断实施,以及人们认识的增强,预计对力高的研究和应用,必将受到进一步的重视。

## 2 大地高不能直接用于油气勘探和开发

近 30 年来空间大地测量的迅速发展,尤其是 GPS 的出现,给测地工作带来了革命性的变化,它不仅精确给出水平位置及其变化,还可用来测量地面点高程及其变化,由于 GPS 纯粹是用几何方法定位,故所得相对于椭球面的高程——大地高只具有几何性质,如果将 GPS 等所得的结果与重力测量相结合,则可以在油气勘探开发及其他事业中发挥重要作用。

这里应该强调的是,从高程系统而言,大地高不是一个高程系统,由于该高程与重力无关,在油气勘探中不能直接应用。一般人们所选的地球椭球赋予一定物理内涵,并定义为正常椭球,其表面上的正常位处处相等,它上面的位可用

$$u_0 = \frac{GM}{c} \arctan \frac{a}{b} + \frac{\omega^2}{3} a \quad (5)$$

描述。式中,  $G$  为万有引力常数,  $M$  为地球质量,  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $a$ 、 $b$  为地球的长短半径,  $\omega$  为其自转角速率。但是大地高的基准面——椭球面与实际地球上的大地水准面的形状互不一致,且在有的地方相差是很大的,例如在印度洋的赤道附近为  $-105$  m,在西藏为  $-25$  m 左右,在塔里木盆地中心为  $-60$  m,而盆地南侧达  $-40$  m,在赤道新几内为  $+60$  m,我国东北松辽盆地附近为  $+8$  m 左右,那里在  $50$  km 范围内大地水准面的变化达  $1$  m,即使那里相邻两点的大地高相等,而正常高(正高)是不会相等的。

众所周知,大地高:

$$h = h^y + \zeta = h^0 + N, \quad (6)$$

式中,  $\zeta$  为高程异常即似大地水准高,  $N$  为大地水准面高(以上二者相差不大),只有当似大地水准高或大地水准面高是常数时,才可用大地高来代替正常高或正高。这种忽略了重力场的影响,在理论上和实践上都是行不通的,如在塔里木盆地南北相距  $200$

km 的两点,大地水准面互差达  $20$  m,若在重力勘探中不顾这一影响,将造成近  $6.2 \times 10^{-5}$  m/s<sup>2</sup> 的重力偏差,即使在东北的松辽盆地  $50$  km 范围内,由于高程有  $1$  m 之差,也可引起  $0.31 \times 10^{-5}$  m/s<sup>2</sup> 的偏差,显然这在高精度重力解释中是不能忽视的。

### 3 不采用力高对长距离运输油气的影响

近年来,我国加大了能源开发和应用的步伐,以便满足国民经济和人民的需要,目前已经开展西气东输的工程。由于油气的运移是在地球重力场中进行的,而在一个等位面上力高的高程相等,此时的油气处于静力平衡状态,因此在讨论油气运移时需用力高系统。为了把目前一般所采用的正常高系统换算成力高系统,其换算方法可见文[2];现取油气东输的终点为沿海某市,其纬度为  $30^\circ$ ,正常高为  $6$  m,起点在纬度  $40^\circ$  西部某油田,正常高为  $1000$  m,利用有关公式可算得两点间的力高高差改正:  $\Delta h = 61$  cm,该值还是比较大的,若起、终点间的正常高高差增大,则  $\Delta h$  值也随之增大,对于如此大的改正在敷设油气管道时必须加以考虑。

如果纬度低而高程大的一点在南端,而纬度高高程低的另一点在北端,此时动力高差将更大,可达数米,这在水利工程特别是南水北调中应加注意,我们在文[2]中已经对此加以论证。

### 4 确定高程的几种方法

如前所说,只有几何方法与重力相结合才能真正构成地面点的高程,但在油气勘探中仍采用正常高。从(7)式可知:

$$h^y = h - \zeta,$$

式中,大地高  $h$  由 GPS 测得,目前国内外的观测精度已达到厘米级或更高,而高程异常  $\zeta$  的测定精度与发达国家相比尚有一定差距,国外许多国家近 10 年来已拥有高精度( $\pm 1$  cm)高分辨率( $5' \times 5'$ )的局部大地水准面<sup>[4]</sup>。在我国东经  $108^\circ$  以东精度为  $30$  cm(平原地区要高些),在  $108^\circ$ E 以西  $36^\circ$ N 以北精度为  $50$  cm,在  $108^\circ$ E 以西  $36^\circ$ N 以南为  $60 \sim 70$  cm<sup>[5]</sup>,显然这样的精度是不能满足高精度重力勘探的要求。近年来,已构成完整全国  $2000$  似大地水准面,上述精度会略有提高<sup>[6]</sup>。当前测绘部门正在向更高的标准进军,以便在不远的将来能提供不低于  $20$  km $\times$  $20$  km 分辨率和  $5 \sim 10$  cm 精度的似大地水准面。基于此,这里提出几种确定高程异常的方法,以适应当前勘探工作的急需。

(1)用莫洛金斯基公式的零级近似(即 Stokes

公式)推求  $\zeta$ 。其表达式为:

$$\zeta = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\Sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma, \quad (7)$$

式中,  $\Delta g$  为空间异常,  $S(\psi)$  为 Stokes 函数,  $\Sigma$  系指整个地球, 亦即对全球进行积分。这时重力异常  $\Delta g$  需复盖全球, 且在计算点周围应具有详细的重力资料, 如果将  $\Delta g$  展开为球函数, 并将它与 Stokes 函数的球函数表达式相乘, 积分后可得:

$$\zeta = \frac{GM}{r\gamma} \sum \left(\frac{R}{r}\right)^n \sum (\bar{C}_{mn} \cos m\lambda + \bar{S}_{mn} \sin m\lambda) \bar{P}_{mn}(\sin\phi), \quad (8)$$

式中,  $r$  为由地心到地面点的向径,  $R$  为地球半径,  $\bar{C}_{mn}$ 、 $\bar{S}_{mn}$  为正常化重力位系数,  $\bar{P}_{mn}(\sin\phi)$  为正常化的勒让德多项式,  $\phi$  为纬度,  $n$  为阶数,  $m$  为次数。目前全球重力场模型有 GPM98C(1 800 阶次)、EGM96(360 阶次), 区域重力场模型 IGG97-L(720 阶次), 中国沿海的 MOD99 和南海的 3 600 阶次局部重力场模型等, 如按

$$\delta\zeta = 10^{-5} R/n = 64m/n \quad (9)$$

估计  $\zeta$  的误差。当  $n=1\ 800$  时, 则  $\delta\zeta=0.035m$ ; 当  $n=3\ 600$  时, 则  $\delta\zeta=0.018m$ 。该法对中国东部地区可能适合, 对我国西部就不适用了, 这是由于西部一些地区重力点稀少。目前我国约有 10 个  $1^\circ \times 1^\circ$  和近 100 个  $30^\circ \times 30^\circ$  是空白, 如何在这个地区提供足够精确的似大地水准面是需要解决的问题。笔者认为应充分发挥该地区正在进行的 GPS 与重力测量的作用, 例如在  $1^\circ \times 1^\circ$  的中心按重力方法计算  $\zeta$ , 方法是: 在半径  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  以内用实测资料推算空间重力异常, 其外侧用已知的  $5' \times 5'$  平均空间异常, 在  $2^\circ$  之外用高阶模型资料, 则有可能使该点似大地水准面的精度有所提高, 但在山区莫洛金斯基的一次项的影响仍必须考虑。而这种计算非常繁复, 且需要布设密集的重力点乃至重力梯度测点或用详细的地形高代替, 实际上我国已有不少学者对上述问题作了研究, 可见文献[7, 8]。

(2)用海尔默特凝集法计算  $N^{[9]}$ 。其原理仍然是以 Stokes 理论为基础, 并将地表上的重力异常归算到大地水准面上, 并顾及归算后引起的间接影响, 方法是:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (10)$$

式中,  $N_1$  为用前述的地球重力位模型算得, 即  $N_1 = N_m$  (由模型算得的大地水准面高), 见

$$N_1 = \frac{GM}{R\gamma} \sum_{n=2}^m \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{mn} \cos m\lambda + \bar{S}_{mn} \sin m\lambda) \bar{P}_{mn}(\sin\phi), \quad (11)$$

$$N_2 = \frac{R}{4\pi\gamma} = \iint (\Delta g_F - \Delta g_m) S(\psi) d\sigma, \quad (12)$$

$$N_3 = \frac{\pi\mu h_p^2}{\gamma} + \frac{3\mu R}{4\gamma} \iint \frac{h^2 + h_p^2}{l_0} d\sigma - \frac{\mu R^2}{6\gamma} \iint \frac{h^3 + h_p^3}{l_0^3} \left(1 - \frac{3l_0^2}{4R^2}\right) d\sigma. \quad (13)$$

式中,  $\Delta g_m$  为由模型算得的重力异常,  $N_2$  为残差大地水准面,  $\Delta g_F$  为法伊异常,  $h_p$  为计算点高程,  $l_0$  为计算点到积分单元的距离,  $N_3$  为间接影响改正<sup>[9]</sup>。至于如何由  $N$  推求  $\zeta$ , 可见文献[10, 11]。

(3)确定高程的垂线偏差法。由于在重力点上均测有 GPS, 则可充分利用这些资料, 根据比较详细的勘探重力资料可以计算出  $A$ 、 $B$  点间绝对垂线偏差之差 ( $\theta$ ), 同样由 GPS 数据可以计算  $A$ 、 $B$  两点的距离  $s$  及  $AB$  的方位角  $A$ , 这时  $A$ 、 $B$  点间的高程 (正高) 之差亦即两点间大地水准面的高差:

$$N_B - N_A = \int_A^B dN = - \int_A^B \theta ds = (\theta_A - \theta_B) S, \quad (14)$$

式中,  $\theta_A$ 、 $\theta_B$  为  $A$ 、 $B$  两点在  $AB$  方向上的垂线偏差, 并有:

$$\begin{aligned} \theta_A &= \xi_A \cos A + \eta_A \sin A, \\ \theta_B &= \xi_B \cos A + \eta_B \sin A. \end{aligned} \quad (15)$$

式中,  $\xi$  和  $\eta$  分别为任一点垂线偏差在子午线、卯酉线上的分量, 其角标  $A$ 、 $B$  分别为  $A$ 、 $B$  点。而

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{1}{4\pi\gamma} \iint \Delta g \frac{dS}{d\psi} \cos\alpha d\sigma, \\ \eta &= \frac{1}{4\pi\gamma} \iint \Delta g \frac{dS}{d\psi} \sin\alpha d\sigma. \end{aligned} \quad (16)$$

此式是对全球进行积分,  $\Delta g$  为面元对  $d\sigma$  上的空间重力异常,  $\alpha$  为计算点到  $d\sigma$  的方位角,  $dS/d\psi$  为 Stokes 函数对角距  $\psi$  的导数, 该法是利用重力资料及 GPS 资料求得  $h_0$ , 对于山区也需顾及地形的影响, 至于如何计算中央区域的影响可见文献[12]。

上面求出的是任意两点间的大地水面的高差, 只要知道测区中的任一点的高, 则可推出其他点上的高, 由公式(7), 可求出其他点上正高。

(4)GPS 测角高程法。在上述方法中, 除了用 GPS、重力确定正常高外, 还有是当今流行的 GPS 水准法, 然而在山区实现水准测量是很困难的, 所以笔者对此不加介绍, 但这里推荐一种简便的 GPS 测角高程法<sup>[13]</sup>, 只要在测区内相邻的 GPS 点上 (间距比重力点点距要大, 例如 1 km 左右) 使用经纬仪或全站仪做对向 (即在  $A$ 、 $B$  点上分别做  $AB$  和  $BA$  方向的观测) 各的天顶距或垂直角的观测, 这时两点间正常高差  $h$  可由文献[13]推求, 其公式为<sup>[14, 15]</sup>:

$$h = \Delta h_{AB} + \left( \epsilon_m - \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2} \right) S + \frac{1}{\gamma_m} \int_A^B (g - \gamma) dh + \frac{\gamma_0^A - \gamma_0^B}{\gamma_m} h_m. \quad (17)$$

式中,第一项  $\Delta h_{AB}$  为由边长及垂直角测量求得;第二项为 2 点的垂线偏差非线性影响; $\epsilon_A$ 、 $\epsilon_B$  分别为 A、B 点在同一方向 AB 上的垂线偏差, $\epsilon_m$  为在该方向上的积分平均值;第三项为重力异常改正,即实际重力与正常重力不符的改正;第四项为正常水准面不平行的改正。现将这四项分别讨论:

$$\Delta h_{AB} = \frac{1}{2} (S \cos Z_A - S \cos Z_B) - (k_1 - k_2) S^2 / 4R \quad (18)$$

该式第一项 S 和  $Z_A$ 、 $Z_B$  分别为两点的距离 A、B 点的天顶距;第二项为折光改正, $k_1$ 、 $k_2$  为折光系数,一般在 0.01 左右,实践证明,在做对向观测并对客观环境稍加注意的情况此值较小,可以略去,在仪器高与觇标高相等时,则测距三角所得高差:

$$\Delta h_{AB} = \frac{1}{2} (S \cos Z_A - S \cos Z_B) \quad (19)$$

又由于两点间的大地高之差,亦可由 GPS 获得,这时大地高差(相当于(17)式中少了最后二项)

$$h_B - h_A = \Delta h_{AB} - \frac{(\epsilon_A + \epsilon_B) S}{2}. \quad (20)$$

亦即根据(19)、(20)求上述两点的垂线偏差之差,如此可按(17)式进行计算。

对于(17)式中的第二项,存在 2 种情况,(主要视地形起伏程度而定),一是垂线偏差的非线性影响很小,则此项可以忽略;二是根据估计。若存在非线性影响,则可以利用重力或地形数据算得在 AB 方向上的垂线偏差的平均值,不过这时的计算范围只要在计算点最近的 3 个环带上进行即可,而不像第 3 种方法那样需全球资料。至于如何计算,文献[7]对利用极坐标直角坐标及已列出了相应公式,文献[12,16]还对中央区域的处理以及山区大地水准面的精化作了研究,这里不再作详细介绍。

(17)式的第三项中  $g - \gamma$  为空间重力异常,在山区该值可能较大,又设山区的 A、B 两点高差为 400 m,此项影响可达 4 cm,这里不可忽略。

(17)式中的最后一项的影响,视海拔高度而定,对于相距 1 km 的 2 点,若海拔为 4 500 m,则其影响小于 0.5 cm,故可忽略。

需指出的是该法是在大地测量理论基础上新提出的一种方法,预计在测区数十公里范围内高程可望达到厘米级,当然它还需在实践中检验和提高,但不管怎样,这要比利用天文大地方法确定正常高

(差)要方便得多。

## 5 结语

(1)地球表面上的高程测量是在地球重力场中进行的,除了在垂线方向作几何的高差测量外,还需作重力测量,两者的组合构成了高程(系统)。

(2)在油气勘探中的高程,应该用正常高或正高,而不能用地高。

(3)在西气东输的油气工程中以采用力高为宜。

(4)在推求油气勘探中的高程,可按 GPS 测角高程方法求得,我们认为这是目前在山区确定高程最为经济的一种方法。文中介绍的 GPS 重力方法可以高精度地确定出高程。不过这要求在测区内具有丰富的重力资料,故它适合于测区的中心地带,这时用它可这对方法 4 的结果做一检核。

## 参考文献:

- [1] Heiskanin W A, Moritz H. Physical Geodesy[M]. San Francisco:Freeman and company,1967.
- [2] 张赤军,许厚泽.重力位基数在水利工程中的应用[J].物探与化探,2002,26(1):68-70.
- [3] 励宝恒.关于重力勘查高度改正应采用何种高程系统的讨论[J].物探与化探,1996,20(1):35-39.
- [4] 陈俊勇,文汉江,程鹏飞.中国大地测量学发展的若干问题[J].武汉大学学报(信息科学版),2001,26(6):475-483.
- [5] 宁津生.跟踪世界发展动态,致力地球重力场研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2001,26(6):471-474.
- [6] 李建成,陈俊勇,宁津生,等.地球重力场逼近理论与中国似大地水准面的研究[M].武汉:大学出版社,2003.
- [7] 梁开龙,刘雁春,管铮,等.海洋重力测量与磁力测量[M].北京:测绘出版社,1996.
- [8] 许厚泽,李瑞浩,骆鸣津,等.鄂西北山区天文重力水准的计算[J].测量与地球物理集刊,1984.
- [9] EsSjoberg L, Nahavandchi H. On the indirect effect in the Stokes-Helmert method of geoid determination[J]. Journal of Geodesy. 1999,73:87-93.
- [10] Sjoberg L E. On the quasigeoid to geoid separation[J]. Manuscripta Geodetica 1995,20:182-192.
- [11] 张赤军,边少锋.似大地水准面与大地水准面的精密转换[J].自然科学进展,2001,11(2):153-156.
- [12] 边少峰,薛芳侠.论地形垂线偏差中央区域贡献的计算[J].测绘学报,1997,26(1):33-37.
- [13] 张赤军.测距高程中的垂线偏差问题[J].测绘学报,1997,26(1):58-61.
- [14] 郑汉球.光电测距三角高程和重力水准面曲率不差改正[A].张学廉.大气折射文集[C].武汉:测绘科技大学出版社,1992.
- [15] 佩利年.大地测量学[M].北京:测绘出版社,1983.
- [16] 张赤军.精化山区大地水准面的一种方法[J].测绘学报,1998,27(4):1-8.

# THE ALTITUDE IN OIL AND GAS EXPLORATION AND DEVELOPMENT AND THE METHOD FOR ITS DETERMINATION

ZHANG Chi-jun<sup>1</sup>, BIAN Shao-feng<sup>2</sup>

(1. Institute of Surveying and Geophysics, Wuhan 430077, China; 2. Engineering University of Navy, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Aimed at solving the problem of adopting the altitude of he suitable system in oil and gas exploration, this paper gives demonstrations and explanations, and points out the incorrectness of the utilization of terrestrial height in place of altitude. The new method for determining normal height or positive height is described. With this method, the role of the gravity data can be brought into full play in oil and gas exploration, and the normal height and gravity anomaly can be jointly determined with very high precision. Thus, the demand of oil and gas exploration can be met.

**Key words:** gravity exploration; gravitational potential; altitude; GPS goniometric altitude; oil and gas exploration and development

作者简介:张赤军(1933—),男,中国科学院测量与地球物理研究所研究员,长期从事大地重力学研究,发表论文近百篇。

\*\*\*\*\* ❀ ❀ ❀ ❀ \*\*\*\*\*

## SRS24 工程勘察地震仪

### 仪器性能

由北京北方波华技术开发有限责任公司和北京艾达天地岩土技术有限公司共同研制的 SRS24 工程勘察地震仪,具有多道瞬态面波、浅层工程地震、地震映象、地脉动、桩基质检等多种勘探与检测功能;是一种轻便地震数据采集与处理系统。可在地矿、石油、化工、水电、交通、铁道、建筑、地震、煤田、冶金、核工业等领域的工程勘察与工程检测工作中发挥作用,包括地质构造及矿产资源调查、工程场地基础勘察、灾害地质体及地下埋设物调查、地基动力特性测试与评价、基础处理(基桩、复合地基、强夯、碾压、混凝土等)质检等。

### 公司简介

公司是岩土技术开发与应用为主的股份制企业。其主要技术人员在 20 余年来从事工程勘察与检测方法研究、数据采集与处理软硬件开发,并在数 10 项大中型工程应用中积累了丰富的经验,成果曾获部、市、国家级多个奖项。“开拓进取 共同发展”是企业追求的宗旨。我们将与同仁齐心协力,解决更多的岩土工程问题。

公司竭诚为您提供可靠、完善的服务。热情欢迎新老朋友垂询、惠临!



### 主要技术指标

- 通道:1~24 道可选
- 模拟滤波器
- 瞬时浮点放大器
- CPU:Pentium266MHz
- A/D 转换:20 bit
- 接口:串口、并口、网口、USB 口、鼠标口、VGA 口、软驱(外置)口
- 信号叠加增强:32 bit
- 前放增益:20、40、60 dB
- 采样间隔:10~500 μs(1道),0.25~8 ms (24 道), 5~20 ms(微动)
- 硬盘:15G
- 冲击:8G @10 ms
- 震动:1 G(10~60 Hz)
- 采样点数:512~800 000
- 频带:0.5~5 000 Hz
- 延时:1~10 000 ms
- 质量:14 kg
- 温度:-5~55℃
- 体积:370 mm×225 mm×245 mm

北京北方波华技术开发有限责任公司  
地址:北京市西城区德外大街 2 号 310 室 100011  
电话:010-62355487  
联系人:孟群(13801373062)  
E-mail:eng3062@sohu.com

北京艾达天地岩土技术有限公司  
地址:北京市西城区德外大街 2 号 406 室  
电话:010-62064089 62064079(f)  
联系人:高霞(13801373057)  
E-mail:gaoxia@263.net