

谷 宁,陶 果,刘书民. 电缆地层测试器在渗透率各向异性地层中的响应. 地球物理学报, 2005, 48(1): 229 ~ 234

Gu N, Tao G, Liu S M. Responses of the wireline formation tester in permeability anisotropic formations. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(1): 229 ~ 234

电缆地层测试器在渗透率各向异性地层中的响应

谷 宁¹, 陶 果¹, 刘书民²

1 石油大学(北京)CNPC 测井重点实验室,北京 102249

2 中国海洋石油服务有限公司,北京 101149

摘 要 为正确地设计仪器和解释电缆地层测试器的测量结果,文中建立了渗透率各向异性地层中电缆地层测试器响应的数学模型,并利用三维有限元方法得到其数值,解得到了压力场随时间、距离变化及等压面等的各种结果。

关键词 各向异性 电缆地层测试器 有限元 石油测井

文章编号 0001 - 5733(2005)01 - 0229 - 06 中图分类号 P631 收稿日期 2004 - 01 - 12, 2004 - 09 - 08 收修定稿

Responses of the wireline formation tester in permeability anisotropic formations

GU Ning¹, TAO Guo¹, LIU Shu-Min²

1 *University of Petroleum (Beijing), Well logging Key Laboratory of CNPC, Beijing 102249, China*

2 *China National Offshore Corporation, Beijing 101149, China*

Abstract A mathematic model of the wireline formation tester in permeability anisotropic formations is established in this paper. 3-D finite element method is employed to solve the model numerically. Various results of pressure field vs time and distance, as well as isobar contours are calculated with this model and presented here. These studies are very important to the tool designing and field data interpretation.

Key words Anisotropy, Wireline formation tester, Finite element, Petroleum well logging.

1 引 言

电缆地层测试器是目前惟一能够进行地层动态测试的测井仪器。在油气藏综合评价中,作为直接测量油藏压力性质的一项测井技术,电缆地层测试器具有无可替代的作用^[1~3]。

20 世纪 60 年代以来,人们对电缆地层测试器压力响应与待测地层的性质之间的关系进行了深入的研究。Moran et al.^[4] 针对 RFT 仪器的前身建立了第一个地层测试器测试过程的非稳态压力扩散方程。Stewart et al.^[5] 提出 RFT 仪器的理论模型,并在仪器响应中加入几何因子来考虑非渗透井筒的影

响,并得到了压差与时间的半对数关系,提出用球形流动方程解释渗透率的方法。Brigham^[6]、Joseph et al.^[7] 也都分别建立了不同情况下的压力扩散方程,并给出了解析解。20 世纪 90 年代初,人们逐渐认识到单探头地层测试器的不足和局限性^[8],因此出现了多探头地层测试器。多探头地层测试器不仅能够确定地层渗透率,而且能够测量渗透率的各向异性,为更好地评价油藏提供了依据。从 1998 年到 2002 年,Proett et al.^[9~12] 以压力扩散方程的数学模型为基础,依次推导了多探头仪器在各向同性地层和各向异性地层中考虑不同影响因素的电缆地层测试器的响应方程的解,同时根据多探头仪器的特点还提出了用脉冲谐波压力测试的方法进行渗透率测量等

基金项目 国家 863 项目(2001AA60201704)资助。

作者简介 谷 宁,女,1972 年生,石油大学博士研究生,主要从事地层测试器研究。E-mail: guning7210@126.com

方法.然而这些方法都是根据解析的方法求出电缆地层测试器的仪器响应与地层参数之间的关系,而在实际测量中,由于地层、井筒与探头三者接触的几何形状极为复杂,上述解析模型求解时只能笼统地引入几何形状因子来定性地考察井筒所带来的复杂性,而几何形状因子的确定通常要通过数值方法.另一方面,数值方法能够在满足工程所需精度的情况下,解决解析方法不能解决的问题,代价低、速度快,对于复杂的渗流问题,可以在短时间内进行多种方案的运算和对比,因此本文采用数值方法求解双探头地层测试器的压力响应方程,从而更好地理解仪器操作参数与地层响应的关系.由于有限元方法具有较好的处理复杂几何形状问题的能力和较高的精度^[13],因此为了更好地理解各向异性地层中地层测试器所引起的储层压力变化,本文建立了地层测试器各向异性地层中的有限元模型,并通过通用的有限元计算软件求出了地层测试器工作整个过程中的压力响应,为更好地进行仪器设计和资料解释奠定了基础.通过与具有解析解的各向同性地层中的解析解对比,证明所建立的模型是可靠的.

2 数学模型的建立

2.1 测量模型的建立

在地层测试器测试过程中,探头抽吸流体,引起地层中的微可压缩流体在孔隙岩石中流动,这一过程实际上是一个渗流的过程.在各向异性地层中,假设渗透率的主轴方向与坐标系的主轴方向重合,渗透率在 x, y 方向上相同,记为 K_h ,在 z 方向上不同,记为 K_v ,则整个渗流过程的数学模型可以根据渗流过程的运动方程、状态方程和连续性方程得到.

根据广义达西定律,得到运动方程^[14]

$$v = -\frac{1}{\mu} K \cdot P, \quad (1)$$

式中, v 为流体的速度, μ 为流体的黏度, P 为地层的压力, K 为地层的渗透率张量,具有如下形式

$$K = \begin{bmatrix} K_h & 0 & 0 \\ 0 & K_h & 0 \\ 0 & 0 & K_v \end{bmatrix} \quad (2)$$

弱可压缩流体的状态方程^[15]为

$$\rho = \rho_0 e^{C(P - P_0)}, \quad (3)$$

式中, ρ 为流体的密度, ρ_0 为压力为 P_0 时流体的密度, C 为流体的密度压缩系数, P_0 为初始地层压力.

连续性方程^[14]即质量守恒方程为

$$\frac{\partial(\phi V)}{\partial t} + \nabla \cdot (Vv) = 0, \quad (4)$$

其中, ϕ 是地层的孔隙度, t 是时间.

假设初始时刻和无穷远处压力 P_0 为定值,在半球形源处以流量 q 抽取地层流体,联立方程(1)~(4),并根据测量的实际情况,可以得到各向异性地层中地层测试器测量的数学模型:

$$\begin{cases} K_h \left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \right) + K_v \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \phi \mu C \frac{\partial P}{\partial t}, \\ P|_{t=0} = P_0, \\ P|_{\text{无穷远}} = P_0, \\ \left. \frac{2}{\mu} \frac{r_s^2}{r_s} \left[K_h \frac{\partial P}{\partial x} n_x + K_h \frac{\partial P}{\partial y} n_y + K_v \frac{\partial P}{\partial z} n_z \right] \right|_{\text{探头处}} = q, \end{cases} \quad (5)$$

其中 n_x, n_y, n_z 分别是与 x, y, z 方向夹角的余弦, q 是探头的抽吸流量, r_s 是探头半径.

2.2 有限元模型的建立

将整个渗流区域离散为有限个单元体,并假设单元各个节点处的压力值用 P_i 表示, N 为形函数,则每个单元中任意点的压力值为

$$P_e = N^T P_i, \quad (6)$$

可以得到压力对时间的导数 \dot{P}_e 及压力的变化 P_e :

$$\dot{P}_e = \frac{\partial P_e}{\partial t} = N^T \frac{\partial P_i}{\partial t} = N^T \dot{P}_i, \quad (7)$$

$$P_e = P_i^T N, \quad (8)$$

其中 P_i 为单元各个节点处的压力变化.

$$\text{令矢量算子 } L^T = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right\},$$

$$\text{则 } L P_e = B P_i, \quad (9)$$

其中 $B = L N^T$.

在每一个单元体内渗流模型可以用其等价变分问题来描述,与方程(5)相等效的 Galerkin 提法可以表示为^[16]

$$\begin{aligned} & \iint \iint_e \left[K_h \left(\frac{\partial^2 P_e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_e}{\partial y^2} \right) + K_v \frac{\partial^2 P_e}{\partial z^2} \right. \\ & \left. - \phi \mu C \frac{\partial P_e}{\partial t} \right] P_e dV_e + \iint_e \frac{q_e \mu}{2 r_s^2} - K_h \frac{\partial P_e}{\partial x} n_x \\ & \left. - K_h \frac{\partial P_e}{\partial y} n_y - K_v \frac{\partial P_e}{\partial z} n_z \right] P_e dV_e \\ & = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

其中 e 是该单元所在区域, e 是 e 的边界, q_e 是该单元边界的抽吸流量.

对(10)式第一项积分可得

$$\iiint_e \frac{\partial^2 P_e}{\partial x^2} P_e d_e = \iiint_e \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial P_e}{\partial x} P_e \right) d_e - \iiint_e \frac{\partial P_e}{\partial x} \frac{\partial (P_e)}{\partial x} d_e \quad (11)$$

同理,对第二、三项积分可得

$$\iiint_e \frac{\partial^2 P_e}{\partial y^2} P_e d_e = \iiint_e \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial P_e}{\partial y} P_e \right) d_e - \iiint_e \frac{\partial P_e}{\partial y} \frac{\partial (P_e)}{\partial y} d_e \quad (12)$$

$$\iiint_e \frac{\partial^2 P_e}{\partial z^2} P_e d_e = \iiint_e \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial P_e}{\partial z} P_e \right) d_e - \iiint_e \frac{\partial P_e}{\partial z} \frac{\partial (P_e)}{\partial z} d_e \quad (13)$$

将(11)~(13)式代入(10)式中,可以得到

$$\begin{aligned} & \iiint_e \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial P_e}{\partial x} P_e \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial P_e}{\partial y} P_e \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial P_e}{\partial z} P_e \right) \right] d_e - \iiint_e \left[K_x \frac{\partial P_e}{\partial x} \frac{\partial P_e}{\partial x} + K_y \frac{\partial P_e}{\partial y} \frac{\partial P_e}{\partial y} \right. \\ & \left. + K_z \frac{\partial P_e}{\partial z} \frac{\partial P_e}{\partial z} \right] d_e - \iiint_e C \frac{\partial P_e}{\partial t} P_e d_e + \iiint_e \left[\frac{q_e \mu}{2 r^2} - K_x \frac{\partial P_e}{\partial x} n_x - K_y \frac{\partial P_e}{\partial y} n_y - K_z \frac{\partial P_e}{\partial z} n_z \right] P_e d_e = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

根据高斯公式可以得到(10)式的弱形式,即地层测试器三维渗流问题的变分形式

$$\begin{aligned} & \iiint_e \frac{q_e \mu}{2 r^2} P_e d_e \\ & = \iiint_e \left[K_x \frac{\partial P_e}{\partial x} \frac{\partial P_e}{\partial x} + K_y \frac{\partial P_e}{\partial y} \frac{\partial P_e}{\partial y} \right. \\ & \left. + K_z \frac{\partial P_e}{\partial z} \frac{\partial P_e}{\partial z} + \mu C \frac{\partial P_e}{\partial t} P_e \right] d_e. \end{aligned} \quad (15)$$

将(6)~(9)代入(15)中,由于 P_e 的任意性,化简可得

$$\begin{aligned} & \iiint_e C N N^T \dot{P}_i d_e + \iiint_e K B P_i d_e \\ & = \iiint_e \frac{q_e \mu}{2 r^2} N d_e. \end{aligned} \quad (16)$$

由于节点处的压力 P_i 及压力随时间的变化 \dot{P}_i 不随单元内位置变化而变化,因此对上式化简得

$$C_e \dot{P}_i + K_e P_i = Q_e. \quad (17)$$

(17)式就是一个单元内求解节点处压力变化的方程.其中 $C_e = \iiint_e \mu C N N^T d_e$ 为单元的质量矩阵, $K_e = \iiint_e K B^T B d_e$ 为单元的刚度矩阵, $Q_e = \iiint_e \frac{q_e \mu}{2 r^2} N d_e$ 为单元的载荷向量.

对整个渗流场中的所有单元进行叠加,就可以得到:

对整个渗流场中的所有单元进行叠加,就可以得到:

$$C^T \dot{P}_i + K P_i = Q, \quad (18)$$

其中 $C^T = C_e^T$ 为总质量矩阵, $K = K_e$ 为总刚度矩阵, $Q = Q_e$ 为总载荷向量.求解方程(18)就可以得出每个单元各个节点的压力 P_i ,根据(6)式就能求出整个渗流场的压力分布 P .

3 数学模型的求解

3.1 建立三维实物模型

电缆地层测试器测量时,通常是用其半球形的探头贴井壁测量,根据地层测试器测量的实际模型,建立其求解的实物模型,如图1所示,在一块厚为4m的地层中心有一个半径是0.1016m的井,在井中心处有一个半球形源.工业中认为,两个数据相比在10倍以上就可以认为它们具有相对无穷小的数学意义^[15].因此,地层模型外侧的上、下、左、右、前、后面可以认为相对井筒是无穷远处.如图1所示,放大其源所在处,可以看到贴井壁的半球形源.根据所建模型的对称性,图中只画出模型的1/4.

3.2 网格划分

由于实物模型中存在曲面,且源处几何形状较为复杂,因此采用四面体对所建的模型进行网格划分,得到有限元模型.如图2所示,在源附近,由于曲率变化,网格自动加密.

3.3 模型的加载和求解

将数学模型中的初始条件和边界条件加载到已

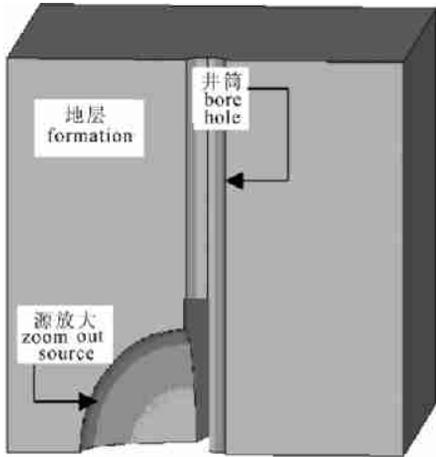


图 1 地层测试器三维实物模型

Fig. 1 3-D formation model of the formation tester

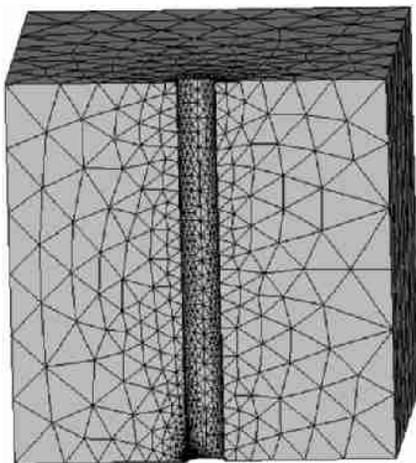


图 2 地层测试器测量的有限元模型

Fig. 2 Finite element model of the formation tester

经得到的有限元模型中,假设从 1s 时仪器开始工作,抽吸流体 20s,然后停止.整个过程可以分为 3 个步骤来完成,在所建立的 1/4 个模型中每步所设载荷如表 1 所示.加载后,就可以求解,得到压力场分布.

表 1 测试过程中的载荷设置

Table 1 Load setup during testing

步骤	t/s	原始压力位置	$q/(10^{-6} \text{ m}^3 \text{ min}^{-1})$	初始压力范围
1	0~1	地层的左、右、上、后面	0	整个模型
2	1~21	地层的左、右、上、后面	5	—
3	21~101	地层的左、右、上、后面	0	—

3.4 计算结果

3.4.1 模型验证

因为在各向同性的情况下存在三维球形流动问题的解析解,因此为检验模型的准确性,考虑各向同

性地层.设原始地层压力为 34.475MPa,渗透率为 1.02 m^2 ,探头流量为 $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{min}$,探头直径为 1.27cm,各向异性 K_z/K_h 为 1,用上述模型进行计算.在整个抽吸过程中,源面处压力的变化与解析解的对比如图 3 所示,可以看出计算的数值解与解析解的差别很小,相对误差基本上小于 0.3%.存在的差别是由于解析解推导过程中的简化导致与数值解所建模型的差别引起的.由此可见所建立的计算模型是准确的.

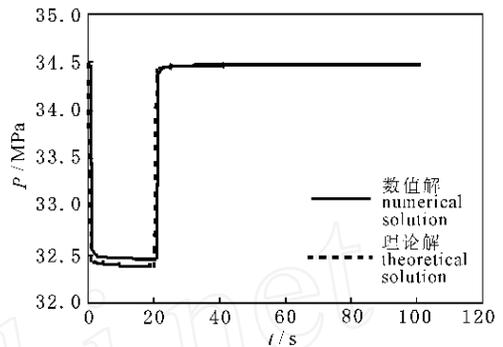


图 3 各向同性地层数值解与解析解的比较

Fig. 3 Comparison between numerical and analytical solutions in isotropic formation

3.4.2 各向异性解

当地层是各向异性时,由于其流动过程及探头几何形状的复杂性远远大于各向同性地层的情况,因此无法用解析的方法求解,只能依靠数值解法来考察此时地层瞬态压力的变化规律.考虑各向异性 K_z/K_h 为 0.1,其余条件同 (3.4.1) 的情况,可以得出各向异性情况下压力响应的一个算例.在抽吸结束时源附近压力分布如图 4 所示,可以看到等压面的分布情况.从源向地层,压力逐渐增高.由于是各向异性地层中半球形源引起的流动,因此等压面是椭球面.

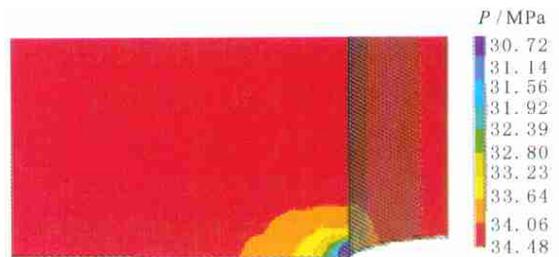


图 4 抽吸结束时压力分布

Fig. 4 Pressure distribution at the end of sinking

压力随时间的变化规律如图 5 所示.图中可以看出,其他条件相同时各向异性时的压降大于各向

同性时的压降,这是由于垂向渗透率小于水平渗透率时,地层测试器从水平方向抽取更多的流体,导致压力下降更大。

由于多探头地层测试器对研究地层的各向异性、加深测量深度、开发更多的解释方法等许多方面都具有单探头测试器无法比拟的优点,因此多探头地层测试器的应用越来越广泛。为了更好地研究多探头地层测试器中各个探头的压力响应及垂直探头间距对测量的影响,更好地设计多探头地层测试器,研究压力响应沿井轴的变化至关重要。如图 6 所示,为各向异性 $K_z/K_h = 0.1$ 时,压力沿井轴的变化规律。

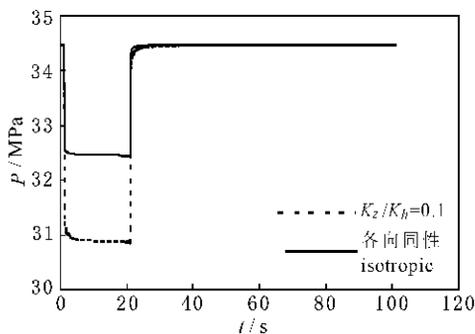


图 5 各向同性及各向异性为 $K_z/K_h = 0.1$ 时的压力响应

Fig. 5 Pressure responses in isotropic formation and anisotropic formation with $K_z/K_h = 0.1$

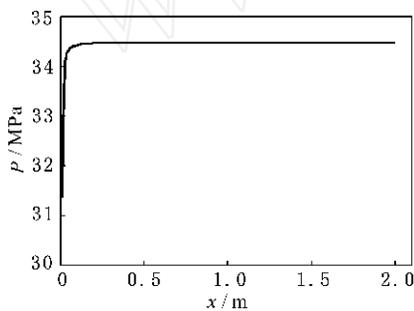


图 6 压力沿井轴变化的规律

Fig. 6 Pressure distribution along the well axis

4 结 论

4.1 本文首次建立了各向异性地层中电缆地层测试器测量时的有限元模型,并得到其有限元的解,而在此条件下解析解是无法得到的。

4.2 通过将模型退化到解析解存在的各向同性地层中验证,证明了有限元方法所得到的解是准确的。

4.3 应用我们建立的有限元数值模拟程序,得到了各向异性地层中最终压力场随时间变化、随距离变化及等压面等各种结果,为仪器设计和更好地理解

各向异性地层中电缆地层测试器测量结果提供了重要的基本手段。

参考文献 (References)

- [1] Gunter J M, Moore C V. Improved use of wireline testers for reservoir evaluation. *Journal of Petroleum Technology*, 1987 (6) : 635 ~ 644
- [2] Badry R, Head E, Morris C, et al. New wireline formation tester techniques and applications. SPWLA 34th Annual Logging Symposium, 1993. ZZ1 ~ ZZ15
- [3] Frimann-Dahl C, Irvine-Fortescue J, Rokke E, et al. Formation testers vs. DST - The cost effective use of transient analysis to get reservoir parameters. 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1998. 65 ~ 78
- [4] Moran J H, Finklea E E. Theoretical analysis of pressure phenomena associated with the wireline formation tester. The 36th Annual Fall Meeting of SPE, 1962. 8 ~ 11
- [5] Stewart G, Wittman M. Interpretation of the pressure response of the repeat formation tester. 54th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, 1979. 711 ~ 731
- [6] Brigham W E, Peden J M, Ng K F, et al. The analysis of spherical flow with wellbore storage. 54th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, 1980. 1 ~ 10
- [7] Joseph J A, Koederitz L F. Unsteady-state spherical flow with storage and skin. *SPE Engineers Journal*, 1985, 12: 804 ~ 822
- [8] Goode P A, Thambayayagam R K M. Analytic models for a multiple probe formation tester. 65th SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1990. 297 ~ 303
- [9] Proett M A, Chin W C. New exact spherical flow solution with storage and skin for early-time interpretation with applications to wireline formation and early-evaluation drillstem testing. 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1998.
- [10] Proett M A, Gilbert G N, Chin W C, et al. New wireline formation testing tool with advanced sampling technology. 1999 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1999. 483 ~ 498
- [11] Proett M A, Chin W C. New dual-probe wireline formation testing and sampling tool enables real-time permeability and anisotropy measurements. 2000 SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, 2000.
- [12] Proett M A, Chin W C, Mandal B. Advanced dual probe formation tester with transient, harmonic, and pulsed time-delay testing methods determines permeability, skin, and anisotropy. SPE International Oil and Gas Conference and Exhibition, 2000
- [13] 杨顶辉. 双相各向异性介质中弹性波方程的有限元解法及波场模拟. *地球物理学报*, 2002, 45(4) : 575 ~ 583
Yang D H. Finite element method of the elastic wave equation and wavefield simulation in two-phase anisotropic media. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2002, 45(4) : 575 ~ 583
- [14] 葛家理, 刘月田, 姚约东. 现代油藏渗流力学原理(下册). 北

- 京:石油工业出版社,2003. 35~36
- Ge J L, Liu Y T, Yao Y D. The Modern Mechanics of Fluids Flow in Oil Reservoir (The second half volume) (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. 35~36
- [15] 林 梁. 电缆地层测试器资料解释理论与地质应用. 北京:石油工业出版社,1994. 64~74
- Lin L. The Data Interpreting Theory and Geological Application of Wireline Formation Tester (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 64~74
- [16] 王勛成, 邵 敏. 有限单元法基本原理和数值方法. 北京:清华大学出版社,1997. 3~15
- Wang X C, Shao M. The Principles and Numerical Methods of Finite Element (in Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 1997. 3~15

第五次空间天气学研讨会暨中国科学院空间天气学研讨会

(2004年9月19~25日,武夷山)

第五次空间天气学研讨会暨“中国科学院空间天气学研讨会”,也是第一次国际日地系统气候和天气计划空间天气主题研讨会(The First Chinese Space Weather/ CAUSES Symposium),由国家自然科学基金委员会地球科学部和中国科学院主办,中国科学院空间科学与应用研究中心具体组织、承办.出席会议的人数为161人,其中院士7人.

会议由中国科学院空间科学与应用研究中心魏奉思研究员和国家自然科学基金委员会地球科学部地球物理和空间物理学学科主任于晟博士共同主持,各单元的学术报告由刘振兴院士和中国空间科学学会理事长肖佐等一批优秀的科技专家主持,会务工作由中国科学院空间科学与应用研究中心空间天气学重点实验室副主任冯学尚研究员领导的会务组负责.

大会以空间天气及其对人类活动的影响为主题,提交摘要报告150余份,大会报告130余个,其中大会邀请报告33个;专题邀请报告和工作报告100余个.

会上,国际科联日地物理委员会前任主席刘兆汉教授、现任副主席吴式灿教授和“国际与日同在计划”(International Living with a Star)副主席刘维宁博士等对空间天气:科学与应用的国际和国内发展态势进行了高水平的评估;以“地球双星”首席科学家刘振兴院士为首的一批科学家们介绍了“双星”进展和初步的科学成果;刘振兴院士、北京大学涂传诒院士和中国科学院空间科学与应用研究中心常务副主任吴季研究员分别介绍了新的卫星计划“风暴”、“夸父”和“太阳极轨射频频成像”建议;中国科学院空间科学与应用研究中心副主任王赤研究员、中国科学院空间天气学重点实验室副主任史建魁研究员和中国气象局空间天气监测与预警中心主任张洪涛研究员分别对“中科院空间科学中长期发展规划”、“共建海南空间天气综合观测台”和“中国气象局空间天气监测预警业务发展纲要”做了介绍.

通过会议的学术交流活,增进了解,促进了合作.中国和加拿大关于“空间风暴探测计划”的合作,在过去商谈的基础上,刘维宁博士与刘振兴院士又进一步讨论了合作的方案;刘维宁博士和涂传诒院士就“夸父”卫星计划表示了热切的合作意向;巴西空间研究中心(INPE)简建隆教授和中国电波传播研究所的吴健教授就在巴西建立电离层闪烁观测都表示了浓厚的合作兴趣;斯坦福大学赵学溥教授和魏奉思研究员、冯学尚研究员就利用斯坦福大学天文台磁场观测数据进行空间天气事件数值研究达成了合作意向;台湾中央大学太空科学研究所刘正彦教授和北京大学肖佐教授等就台风的电离层效应研究也表示了进一步合作的意向,也同史建魁研究员就利用海南空间天气综合观测台站和台湾的电离层资料开展合作研究表示了兴趣;美国宇航局哥达德飞行中心地外物理实验室的吴锦春博士所在 R. P. Lepping 小组和冯学尚研究员所在小组就进一步开展磁云以及地球物理效应的研究表示了合作意向;美国喷气推进实验室周晓燕博士所在 B. T. Tsurutani 小组和魏奉思研究员所在小组就研究磁云边界层及其地磁活动预报方法研究表示了进一步的合作意向.

会议代表一致认为“此次会议开得很成功”,“表现了很强的凝聚力”,“中国近几年的空间天气领域发展很快,取得很好成绩”,“令人兴奋”,“希望下次再来”等等.

大家期盼:“子午工程”这一重大的国际合作项目能尽快启动建设,把以它为基础的“国际空间天气子午圈计划”推向组织实施的阶段;大家期盼:要把2005年11月中旬在澳门科技大学举办的“全球华人空间/太空天气科学大会”办成国际一流水平的科学会议,广泛动员、团结空间天气领域的全球华人为发展空间天气这一造福人类和平进步的科学事业做出重要贡献.

最后,于晟博士代表与会全体代表为会务组全体同志送鲜花,感谢他们付出的辛勤劳动.会议在热烈的掌声中闭幕.

(第五次空间天气学研讨会组委会)

THE FIRST CHINESE SPACE WEATHER/CAUSES SYMPOSIUM