

气候变化对浅层地温测量影响的改正

金 旭 陈晓冬 管彦武

吉林大学地球探测科学与技术学院,吉林 长春,130026

摘 要 实测的浅层地温受地表温度周期性日变和年变的影响,使得正常浅层地温发生畸变。为了改正其影响,对实测的离散温度数据进行离散富里叶变换,将地表温度转化为富里叶级数形式,可以得到富里叶振幅谱和相位谱,进而获得地表温度变化对地下温度场的影响深度和程度的数学表达式。地表温度变化周期长,且地下介质热扩散率大,则地温受影响的深度和程度大;反之则小。

关键词 气候变化 浅层地温富里叶级数 振幅 周期

The Correction of the Influence of Climatic Change upon Geotemperature Measurement at Shallow Layer

JIN Xu CHEN Xiaodong GUAN Yanwu

College of Geoeexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin, 130026

Abstract As geotemperature at the shallow layer is affected by daily and yearly periodic change of temperature on the earth's surface, the normal geotemperature is likely to be distorted. To eliminate this effect, the authors transformed actual measuring discrete temperature data into Fourier form and got Fourier frequency and phase spectra. On such a basis, the mathematical expression for the degree and the depth of the influence of the earth's surface temperature was formulated in terms of amplitude. The longer the periodic variation of temperature on the earth's surface and the bigger the thermal diffusivity of the media, the greater the depth and the degree of the influence.

Key words climatic change shallow layer geotemperature Fourier series amplitude period

地温场是地球物理场的一种,它反映地下温度的分布。地下温度场可直接通过钻孔温度测量而获得。地温测量结果不仅可用于地热田的调查,还可用于某些矿产(如硫化矿等)和流动地下水等的调查,以解决水文地质、构造地质、矿产、煤田、石油天然气和工程地质等方面的问题。浅层地温测量方法(如 1 m 深地温测量)因具有钻孔深度浅、经济易操作等优点,广泛应用于地热田的普查、工程地质及流动地下水成因的地质灾害勘察等领域。但是,浅层地温场随地表温度的周期性变化(如日变和年变)而发生变化,使得在某一地点一定深度处不同时间所测得地温值不同,不能正确反映某一处地下正常的

地温分布,因而使实际测量值失去了可信度和可比性。为了获得未受地表气温周期性变化干扰的地下浅层正常地温,必须对实测温度值进行合理改正,去掉地表温度周期性变化对它的影响。地表温度的变化主要是由太阳辐射热的变化所引起的,其变化有日变和年变两种。其中日变的影响一般情况下至 50~60 cm 深度后就衰减得非常小,但年变会影响到较深的部位(几米或十几米深处)。因此,对 1 m 深地温测量结果应进行地表气温年变化影响的改正(竹内笃雄,1996;池田光良等,1999;Moscio 等,1987;中国科学院地质研究所地热组,1978)。以往进行这项改正时通常假设地表气温是以 1 年为周

期、振幅为年最大温差之半的正弦波的形式而变化。即：

$$\theta_{\text{地表}}(t) = \theta_0 \sin \omega t = \theta_0 \sin(2\pi t/T)$$

其中 $\theta_{\text{地表}}(t)$ 为地表气温； T 为周期(这里为 1 年)； ω -圆频率； θ_0 为振幅,其值取为 $(\text{Max}\theta_{\text{地表}} - \text{Min}\theta_{\text{地表}})/2$ 。这种假设在研究一定周期的谐波对地下不同深度的影响时是很方便且合理的。但是,实际上地表气温决非按这种简单的谐变形式而变,而且我们通常实测的地温是时间域上的不同离散值。这就要求对非谐变形式的有限离散实测温度进行相应的谱分析,来判断不同频率的谐波分量对地

下温度场的综合影响,从而解决实际的气温变化对地温场影响的改正问题。以下就是本次研究中所采用的对有限离散实测温度值进行改正的富里叶变换频谱分析方法。

1 利用富里叶级数研究气候变化对浅层地温的影响

为了研究气温周期性变化对浅层地温的影响,在宁德地区进行了为期 1 年的气温观测,采样的时间间隔 Δt 为 1 d,采样数 N 为 365,气温变化如图 1 所示。

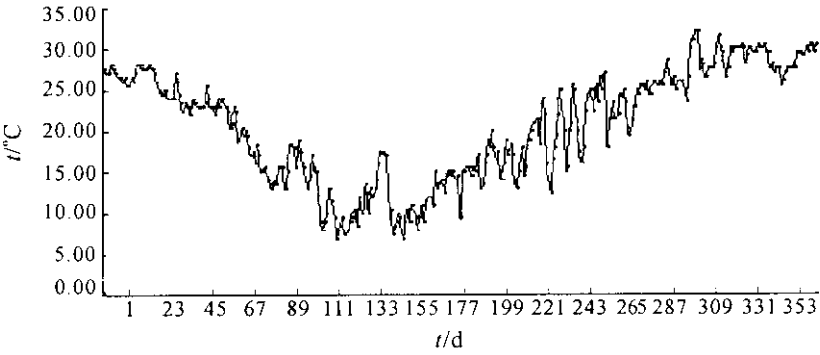


图 1 宁德地区的年气温变化

Fig. 1 Annual variation of air temperature in Ningde observation station

实测气温结果是呈周期性变化的等间距离散数据,如何获得气温光滑曲线的表达式,并利用富里叶热传导定律来研究气温对地下温度影响的规律呢?笔者对离散数据进行了离散富里叶变换,将离散的地表温度转化为富里叶级数形式的函数。利用富里叶变换不仅可以获得光滑曲线表达式,而且还可以得到富里叶频率谱。富里叶频率谱能够表明,在原来的波中所含有的频率分量以及相应的振幅和相位大小,通过振幅大小可以得到地表温度波动对地下

温度的影响程度和深度(布赖姆,1979)。实测的数据是有限的,因此采用有限富里叶级数进行变换。

假定地温只受到气温的影响,不考虑大地热流的影响,即地下无限深度的温度为平均气温 θ_0 ,把随时间做周期性变化的气温函数作为边界条件,并利用一维与时间相关的热传导方程 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}$ 来确定这些随时间周期变化的地表温度如何影响地下温度的规律(特科特等,1986),得到：

$$\theta(z,t) = \theta_0 + \sum_{n=1}^{N/2-1} \left[A_n \exp\left(-z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) + B_n \exp\left(-z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \right] + \frac{A_{N/2}}{2} \exp\left(-z\sqrt{\frac{N/2\omega}{2k}}\right) \cos\left(\frac{2\pi(N/2)t}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{N/2\omega}{2k}}\right) \tag{1}$$

其中 $\theta(z,t)$ 为由于地表温度的周期性变化而引起的地下 z 深度的温度变化； θ_0 是周期期间的平均温度； A_n 和 B_n 为有限富里叶级数的系数； $T = N\Delta t$ 是时间周期,也称第一谐波周期,如一天或者一年； k 为岩层热扩散率； ω 为圆频率； $\omega = 2\pi/T$ 。

数的衰减,即：

$$\theta_z = \theta_n e^{z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}} \tag{2}$$

式中 θ_z 、 θ_n 分别为深度 z 和地表处温度变化振幅。在表面温度的周期性变化影响下,宁德地区观测点地下 1 m 深处的温度年变化幅度为 5.22℃；2 m 深处为 3.06℃,5 m 深处为 0.62℃,而 10 m

从(1)式中可以得到地温变化幅度随深度作指

深处只有 0.04 ℃ ,气温年变化对 10 m 深度的影响已经非常小了。随着深度的增加 ,地温变化幅度逐渐减小 ,气温变化对地下该深度温度的影响也越小。

从 (1) 式还可以看出 ,在不同深度地温变化具有不同的相位 ,温度波动随深度滞后。例如 ,在任意深度上极大温度都落后于地表温度的极大温度 ,因为温度极大值向下传播所需要的时间是有限的。地温变化的相位移 φ_n 可以通过下式计算 :

$$\varphi_n = z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}} \tag{3}$$

由 (1) 和 (2) 式可以得出变化幅度和波动周期、热扩散率等参数之间的关系 ,周期长 ,热扩散率大 ,则变化幅度大 ,影响深度大 ;反之则小。在趋肤深度 d_w 处地温变化幅度减少到地表温度幅度的 $1/e$,即 $d_w = \left(\frac{2k}{\omega}\right)^{1/2}$,对于温度的日变化 ,频率为 $\omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rads}^{-1}$,用 $k = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$,可以得到温度

$$\Delta\theta = \sum_{n=1}^{N/2-1} \left[A_n \exp\left(-z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \cos\left(\frac{2nt}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) + B_1 \exp\left(-z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \sin\left(\frac{2nt}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}\right) \right] + \frac{A_{N/2}}{2} \exp\left(-z\sqrt{\frac{N/2\omega}{2k}}\right) \cos\left(\frac{2\pi(N/2)t}{N\Delta t} - z\sqrt{\frac{N/2\omega}{2k}}\right) \tag{4}$$

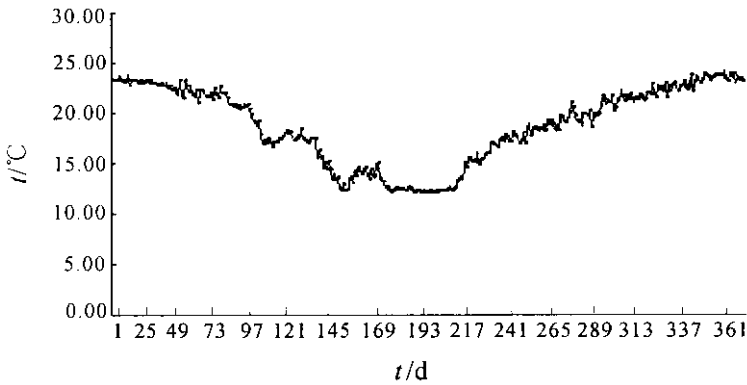


图 2 宁德地区观测点实测地下 1 m 温度年变化
Fig.2 Annual actual temperature variation at 1 m deep in Ningde observation station

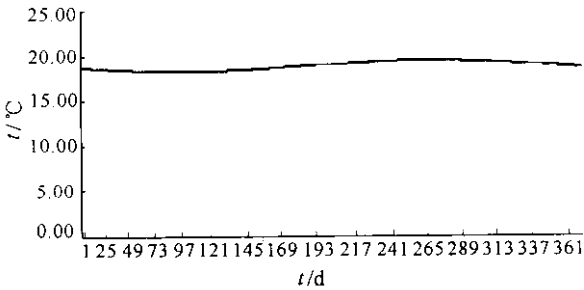


图 3 宁德观测点地下 1 m 温度改正值
Fig.3 Annual temperature correction at 1 m deep
万方数据 Ningde observation station

日变化的趋肤深度为 0.17 m(邦特巴恩 ,1988)。地温日变化幅度大约在 1 m 以内 ,最多至 2 m 深处就觉察不到了(变化小于 0.1 ℃)。

2 气温变化对地温影响的改正

2001 年 8 月至 2002 年 8 月在福建宁德地区进行了为期 1 年的不同深度地温实际观测 ,其深度分别为 1 m、2 m、5 m、10 m、20 m ,数据间隔时间是 1 d ,采样数为 365。根据宁德一年气温的变化对地下不同深度处的温度进行了气温改正 ,来消除气温变化的影响。下面以 1 m 深处地温数据的改正为例进行说明 ,其余深度类推即可。

图 2 所示为宁德地区观测点地下 1 m 深处的实测地温数据 ,需要对实测值进行气温改正才能去掉气温变化的影响。 $\theta_{\text{实测}} = \theta_{\text{正常}} + \Delta\theta$,其中 $\Delta\theta$ 为地表温度周期性变化对地温的影响 ,也就是需要进行改正的量 ,简称改正量。即 :

图 3 是宁德地区观测点地下 1 m 深度处经过气温变化改正的 $\theta_{\text{正常}}$ 曲线图。它已基本平稳 ,但仍然有一些小的波动 ,估计是由地表水向下渗透等不确定因素对地温的影响所引起的。

3 结论

综上所述 ,地表温度的周期性变化对浅层地温的测量有一定的影响 ,热扩散率越大 ,周期越长 ,影响的深度越大。地温变化幅度随深度作指数衰减即 :

$$\theta_z = \theta_n e^{z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}}$$

地温变化的相位移 φ_n 随着深度以下列规律变化：

$$\varphi_n = z\sqrt{\frac{n\omega}{2k}}$$

在利用浅层地温测量方法解决地质问题的时候 ,必须对实际测量结果进行气温影响改正 ,才能得到正确反映地下不同地质体的地温异常值。 $\theta_{\text{实测}} = \theta_{\text{正常}} + \Delta\theta$,其中改正量 $\Delta\theta$ 如(4)式所示。

致谢 本项研究得到中国地质调查局和吉林大学地质调查院有关领导的大力支持 ,同时得到进行野外数据观测记录的长春气象站和宁德市福建地质四队的合作 ,在此表示衷心感谢！

参 考 文 献

竹内笃雄. 1996. 依据地温测量的流动地下水调查法. 古今书院 ,3~15.

池田光良 ,竹内笃雄 ,三浦均也等. 1999. 十胜平原复合扇形地的地下水流动机制. 应用地质 ,39(6):486~499.

中国科学院地质研究所地热组. 1978. 地热研究论文集. 北京 :科学出版社 ,47~48.

卡普迈耶 O ,海聂尔 R. 1981. 地热学及其应用. 北京 :科学出版社 ,62~66.

布赖姆著 E O ,柳群译. 1979. 快速富里叶变换. 上海 :科学技术出版

社 ,147~155.

特科特 D L ,舒伯特 G. 1986. 地球动力学——连续介质物理在地质问题的应用. 北京 :地震出版社 ,146~148.

邦特巴恩 G 著 ,易志新 ,熊亮萍译. 1988. 地热学导论. 北京 :地震出版社 ,33~35.

References

Takeuchi Atsuo. 1996. Survey method of flowing groundwater by geotemperature measurement. Kokin Pressing House , 3~15(in Chinese with English abstract).

Mitsuyoshi Ikeda ,Atsuo Takeuchi ,Kinya Miura. 1999. Groundwater flow mechanism of a composite fan in the Tokachi Plain , Hokkaido. Jour. Japan Soc. Eng. Geol. ,39(6):486~499(in Chinese with English abstract).

Group Investigation Geothermic , Institute of Geology , Chinese Academy of Sciences. 1978. Geothermal research paper collection. Beijing : Science Press , 47~48(in Chinese).

Kappelmeyer O ,Haenel R. 1981. Geothermics with special reference to application. Beijing : Science Press ,62~66(in Chinese).

Brigham E O. 1976. The fast Fourier Transform. Shanghai :Science Press , 147~155(in Chinese).

Trucotte D L ,Schubert G. 1986. Geodynamics——application of continuum physics to geological problems. Beijing : Seismological Press , 146~148(in Chinese).

Buntbarth G. 1988. Geothermics : an introduction. Beijing : Seismological Press , 33~35(in Chinese).

Mosic W J. 1987. Temperature anomalies over underground cavities. Geophysical Prospecting , 35 :393~423(in Chinese).