

用吴氏网法推求震源地方柯氏力的方向

郭安宁

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文研究讨论了吴尔夫网(吴氏网)求解地震断层错动时产生的柯里奥利力(简称柯氏力)的方向及其在断层面法线、倾斜方向和走向上分量问题。在空间上用数学方法直接处理柯氏力的方向及分量比较繁琐复杂,且难于表示,而用吴氏网作为工具处理这些问题时就显得快速简便。诸要素都集中于一图上,空间直观性很强。文中还以唐山大地震为例实际处理了唐山地震断层两盘产生的柯氏力方向及在断层面的各分量方向。

关键词: 柯氏力; 吴氏网

在1992年由地震出版社出版的《未来灾害学》一书中^[1],首次讨论了震源地方的柯氏力数值、方向和其在强余震以及续发性强震预报中的意义。但是,在求柯氏力方向时上述著作只是讨论了一个原理,即柯氏力方向与地轴和断层盘体错动方向构成的平面相垂直,并用螺旋钻垂直该平面由错动方向按小角向地轴方向旋转时则螺旋钻移动方向即为柯氏力的方向(螺旋钻为顺时针前进型)。但实际应用时,地球由于是一立体系统,该原理在使用上有不易表达和不易求解的缺点,故在这里我们建议用吴氏网的方法处理上述问题,因为吴氏网能很好的把三维立体系统中的问题变换为二维平面系统中的问题,这样,就便于我们处理三维立体系统中的问题,且操作起来简便易行。下面,我们将就吴氏网法用于求解地球坐标系中断层错动时其断层盘所产生的柯氏力的方向问题进行讨论。

1 地球自转系统与震源坐标系

我们这里用吴氏网推求柯氏力方向时完全应用的是用吴氏网处理震源机制解的原理和方法,不过此时应把地球自转系统中的问题变换为震源坐标系中的问题,对此如图1所示。图中E为震源,假设以E为坐标原点,以地球系统为参照系,做向上(垂直于地平面通过地心的铅直线)、向北和向东的三个坐标轴,该三轴所构成的坐标系即震源坐标系。因柯氏力的方向求解与地轴的方向时时相关,故应算清在震源坐标系中地轴的方向。对此,把地轴平移且通过震源E点,由图1不难看出,由真实地轴、平移地轴和通过震源的铅直线构成了一个平面,在此平面内,铅直线与真实地轴和平移地轴这两条平行线斜交。根据平面几何学不难得知,通过震源的铅直线与地轴的夹角 θ 恰是震源所在地点的纬度角的余角,即 90° 减去纬度角所得的角,这是由图1中的同位角相等的关系即可一目了然得知的。具体说来就是若某震源地理位置的纬度角为 φ ,则其震源坐标系中铅直线与地轴的夹角应是 $90^\circ - \varphi$ 。因为该

概念常被用到,故在此特别提出。

2 震源坐标的吴氏网投影

震源坐标的吴氏网投影是把震源当作一个参考球的中心,通过球园心 O 点作一南北方向的直径和东西方向的直径,再引作一条铅直方向的直线,如图 2 所示,图中的 O 点即图 1 中的 E 点(震源)。图 2 是以天顶 O' 向赤平面上投影的,这个投影即吴氏网,如图 3 所示。网的中心即震中,也是震源的位置,两者投影后成为一点。一般震源机制的处理就是在这个网上处理的。我们对于柯氏力方向的推求也用此吴氏网。

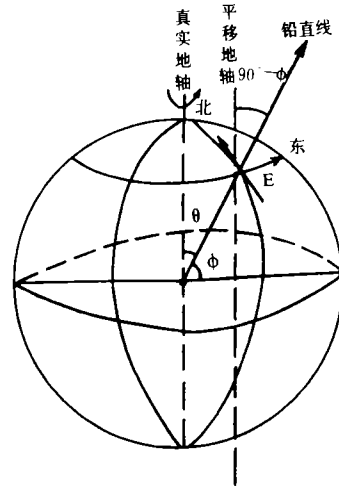


图 1 在地球旋转坐标系中的震源坐标系

Fig. 1 Focal coordinates in rotation coordinates of the Earth.

3 用吴氏网求柯氏力的方向

对于求取柯氏力的方向问题,关键要弄清震源坐标与地轴的关系,具体做法是:首先在图 3 中(即吴氏网上)把震源定在吴氏网的中心,然后由中心沿向北的半径数 $90^\circ - \varphi$ 的角度(φ

为震源所在纬度角),即为平移地轴穿出图 2 中的上半球的出头点的投影位置,如图 4 中的 R 点所示。如所周知,用吴氏网求震源机制解是通过吴氏网上区分各台站的 P

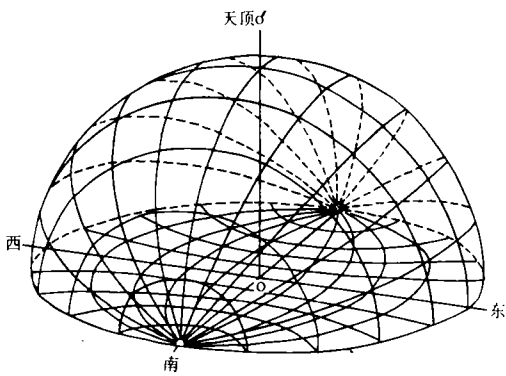


图 2 以震源为中心的上半球投影

Fig. 2 Projection of upper half of the Earth taking focus as center.

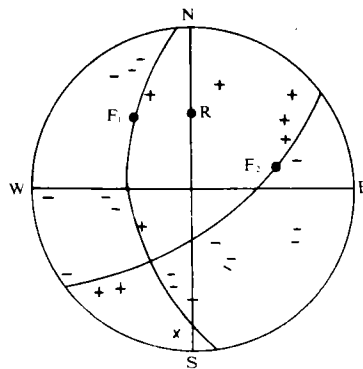


图 3 在吴氏网上求柯氏力

Fig. 3 Coriolis force determined at Wulff's net.

波初动符号两条节线来实现的,如图 4 所示(该图是上半球投影)。图 4 中网心所在象限为 $+P$ 波,故为平推一兼逆断层错动,其错动方向有两个,

一个是 F_1 ,另一个是 F_2 。在这里并不知道那个节线为真实的断层面,如用其它办法像发震构造对比、宏观考察所得极震区走向的对比,以及用余震分布长轴方向的对比,即可选择得出图 4 中那个节线代表真实的断层面。倘若经对比认定 F_2 点所在的节线为真实断层面在吴氏网

上的投影,则 F_2 就是上盘真正的错动方向。

按照《未来灾害学》中所介绍的求柯氏力的原则,首先求与地轴与上盘错动方向构成的平面的法线。其具体做法是通过 R 和 F_2 作一大圆弧,如图 5 所示,此大圆弧即代表着地轴与上盘错动方向所构成的平面。然后由此大圆弧的中点 M 与网心连一条直线,并由 M 点数 90° 求得一点 C ,此点 C 是该大圆弧所相应的平面的法线出头点,也是震源地方三度空间中柯氏力的所在空间直线在上半球上出头点的投影位置。图 5 中的 C_i 即为柯氏力所在直线与

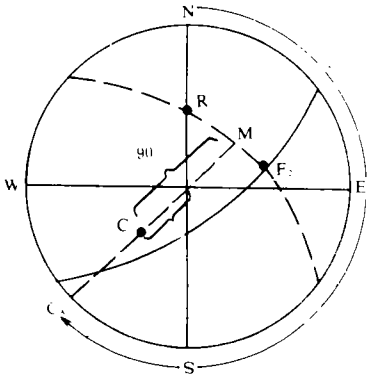


图 4 由地轴方向和错动方向求解柯氏力方向

Fig. 4 Direction of the Coriolis force determined by direction of earth axis and dislocation direction.

力也是背离断层面的,即这两盘的柯氏力是相互背离的,因之图 5 所示的柯氏力断层面解的柯氏力的作用后果是使断层两盘有拉离作用,按《未来灾害学》中的观点,这种震源易于以主震释放在震源地方积累起来的绝大部分能量,因之后面的强余震与主震震级之差大于 1 级,即强余震的强度不太大了。

如果在图 4 中,最后鉴别的真实断层面是 F_1 所在的那条节线,则螺旋钻由 F_1 向 R 点旋转时是右旋的(即顺时针),此时用类似上述程序求得的柯氏力方向是向着 F_1 和 R 构成的平面的,即可判断震源地方断层错动的后果是促使两断层盘互相压紧的,这样震源地方不利于所储存的能量以主震全部释放,其强余震就大而多,其震级与主震震级之差小于 1 级。

4 柯氏力在断层面法线上的分量和在断层面上分量

在上节中我们只是讨论了柯氏力是垂直于地轴和错动方向构成的平面,但还未具体讨论柯氏力在断层面法线上的分量和断层面上分量。而正是这个断层面分量与断层面法线分量对判断强余震的发生具有重要的意义。当柯氏力与断层面法线之间的夹角越小时,则其后果是对两断层盘起拉离作用或对两盘起压紧作用。对于走滑兼倾滑的断层错动来说,柯氏力的方向与断层面的走向方向和倾斜方向不呈正交关系,此时柯氏力必定在其走向上或倾斜方向上有分量产生,那么对断层两盘来说就附加产生了一个柯氏力的剪切作用,这一点对强余震的预报也带有一定的意义。

铅直线之间的夹角, C_A 即为柯氏力所在直线的方位角。知道了柯氏力所在直线在吴氏网上的出头点,尚不知道柯氏力的方向是向着 R 和 F_2 构成的平面,还是背着 R 和 F_2 构成的平面,对此要用螺旋法则。对此目测图 5 即可看出。设想 C 点为螺柄,该螺杆通过 F_2 与 R 所构成的平面,且该钻由 F_2 向 R 方向旋转(在物理上的法则规定是由质点运动速度方向向地轴方向旋转,且沿其间夹的最小角度去旋转),此时螺旋钻移动方向即是柯氏力作用方向(螺旋钻规定为右旋或顺时针旋转前进型)。由图 5 可知,此图所示情况的螺旋钻是逆时针旋转,那螺旋钻的移动方向应是后退的,即柯氏力是背着 R 与 F_2 构成的平面。按照这种螺旋钻的方法,柯氏力的方向就完全确定了。

图 5 中所表示的是断层上盘错动时的柯氏力方向,它是背离断层面的,相应的下盘错动时产生的柯氏力

在吴氏网上,如果已知断层面节线,又已知它的法线方向投影点,同时又已知柯氏力方向的投影点。如图 5 所示,那么,我们就可以求得柯氏力在断层面法线上的分量了。在图 6 中,C 是柯氏力的投影点,N 为断层面法线的投影点,则为了求柯氏力与法线之间的夹角可把 C 点和 N 点置于一个大圆弧上,则此弧就是断层面法线与柯氏力方向所构成的平面,N 和 C 之间的弧长就对应着它们两者之间的夹角。在吴氏网上角度是以弧长直接表示的,量度这个弧长就得出这个角度。如果在图 6 中 C 点和 N 点重合,则柯氏力就与断层面法线重合了,这时柯氏力对断层面法线的贡献分量最大。

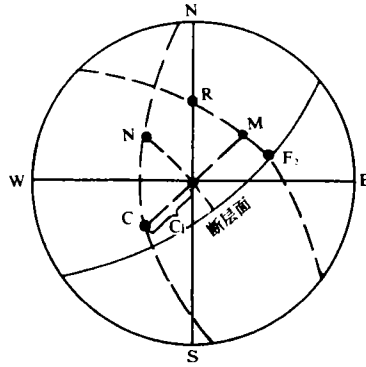


图 5 断层面法线 N 和柯氏力方向 C 之间的夹角

Fig. 5 Included angle between normal line plane and direction of Coriolis force of fault.

对于求取柯氏力在断层面倾斜方向上的分量,则需知道柯氏力方向与断层面倾斜方向之间的夹角。在吴氏网上断层面倾斜方向的出头点投影就是断层面大圆弧的中点 M,如图 6 所示。在图中,MF₂ 弧为断层面的节线(F₂ 为断层错动速度方向)。当已知柯氏力投影点 C 和断层面倾斜方向的投影点 M 后,则把 C 和 M 在吴氏网上,置于一大大圆弧上,该大圆弧相应的大圆面即为柯氏力和断层面倾斜方向所构成的平面,M 点到 C 点截取的大圆弧上的刻度即为柯氏力方向与断层面倾斜方向之间的夹角,当这个角度知道后,就可求得柯氏力在倾斜方向的分量了,这个分量是促使两断层盘沿倾斜方向互相剪切的。

在吴氏网上,断层面的走向就是断层面大圆弧所表示的方向,如图 7 所示。在图中连接

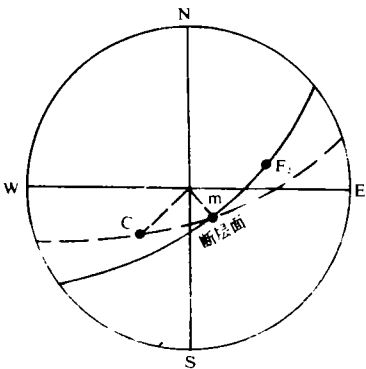


图 6 柯氏力方向与断层面倾斜方向的夹角

Fig. 6 Included angle between direction of Coriolis force and slope direction of fault plane .

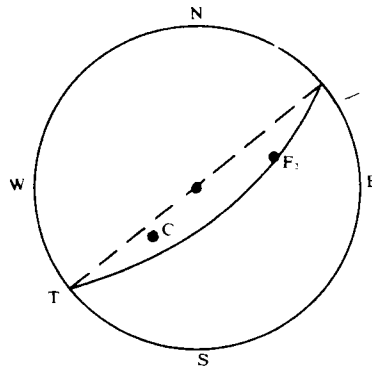


图 7 柯氏力在断层走向上的分量

Fig. 7 Component of Coriolis force along fault strike.

此大圆弧与吴氏网的边界圆的两个交点并作通过网心的直线就是断层面的走向。它在吴氏

网上的投影点为 T 点(取距 C 最近的这一边的断层走向的投影点),当 T 知道后,即可把 C 点和 T 点置于一大圆弧上去量由 C 到 T 之间的夹角。此角度知道后,即可知道柯氏力在断层面走向方向上的分量,这个分量是促使两断层盘沿走向剪切的。

对于欲求这些分量的数值,按照力的分解与合成原理,当柯氏力 F 知道后(在未来灾害学中有讨论,此处略),乘上这些分量与柯氏力方向夹角的余弦值便可得出。

在这里要特别指出的是,柯氏力在断层面上的分量必与错动方向垂直,这一点在讨论余震发生中是必须注意的。

5 唐山大震举例

根据邱群对 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级大震在吴氏网上投影的震源机制解并考虑到这个大震因有地面错动资料、大地测量反演求得的震源断层参数以及余震分布的优势走向和极震区宏观等震线的长轴方向资料,所以邱群在机制解中给出的北东 41° 的那个节线

代表的是真正的震源断层面。这个面的倾向为东南,倾角为 85°,断层错动以右旋走滑为主兼有正断层下滑分量,下盘的错动方向的投影如图 9 中的 F_2 点。这里只可以取下盘的错动方向,因它是平推兼向上错的,在上半球投影中它易于在吴氏网上表示。错动方向 F_2 的方位角为 39°,倾角为 20°。考虑到唐山大震震源的所在地点的纬度角为北纬 40°,并根据前述的求解柯氏力的方法,我们求得 1976 年唐山大震下盘断层错动产生的柯氏力参数为:

- (1)地轴与铅直线之间的夹角:50°;
- (2)柯氏力与铅直线方向的夹角: $i_c = 42^\circ$;
- (3)柯氏力的方位角: $A_c = 152.5^\circ \approx 153^\circ$;
- (4)柯氏力与断层面法线之间的夹角: $N_c = 46^\circ$;
- (5)柯氏力与断层面倾斜方向之间的夹角:

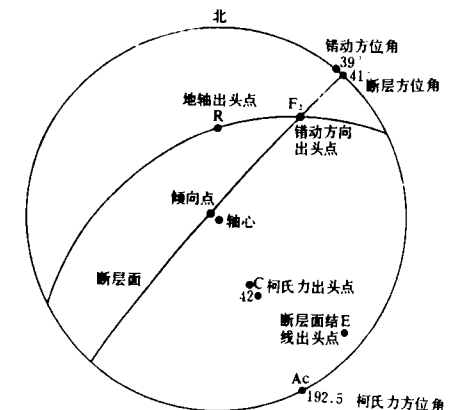


图 8 唐山地震断层的柯氏力效应吴氏网图

Fig. 8 The Wulff's net showing effect of Coriolis force of Tangshan earthquake fault.

$D_c = 46^\circ$;
 (6)柯氏力与断层面走向之间的夹角: $T_c = 76^\circ$ 。

以上就是唐山大震下盘错动产生的柯氏力方向及其与一些断层面产状参数之间的夹角关系。按照螺旋钻判定法则可知上述柯氏力方向是由下盘向另一盘压下来的,相应的这另一盘错动产生的柯氏力是相反方向的。故可知唐山大震两断层盘产生的柯氏力使两盘对压,不利于震源地方储存的能量全以主震释放,后面应有强余震。事实上在唐山主震发生后(1976 年 7 月 28 日凌晨 3 时 42 分)过了约 15 个小时,就在唐山大震极震区北部发生了滦县 7.1 级强余震,它们两者之间的震级之差为:

$$\Delta M = 7.8 - 7.1 = 0.7$$

这两个震级之差是小于 1 级的。

以上全部讨论的是应用吴氏网的方法从空间几何上处理断层各产状及在地球坐标与震源坐标中柯氏力的相互关系的技术方法讨论,至于柯氏力的地震物理效应的讨论准备用另文再做专题研究讨论。

(本文 1993 年 12 月 26 日收到)

参考文献

- 1 郭增建,秦保燕,李革平. 未来灾害学. 北京:地震出版社,1992.
- 2 邱群. 1976 年 7 月 28 日河北省唐山 7.8 级地震的发震背景及其活动. 地球物理学报,1976,19(4).

DETERMINATION OF CORIOLI FORCE DIRECTION IN EARTHQUAKE SOURCE BY MEANS OF WULFF'S NET OPERATION

Guo Anning

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

It is very complex to determine the direction of Corioli force generating from slippage of an earthquake fault. For the sake of convenience, a method of the Corioli force direction solution by means of Wulff's net had been proposed. Besides, an example of the 1976 Tangshan strong earthquake had been presented.

Key Words: Wulff's net; Corioli force