

涡流波痕

沈锡昌

(武汉地质学院)

提要 本文介绍一种新的波痕类型——涡流波痕，它由若干列放射状排列的波痕组成一个小波痕体系。单列波痕脊的中段呈弧形前凸。笔者将涡流波痕的形态特征与涡流的运动特征相比较，探讨了形成涡流波痕的水动力条件。笔者在阐明涡流波痕产地地理背景的基础上，指出大潮差沙滩的后滨是发育涡流波痕的理想环境。

沉积构造是沉积物（含沉积岩）的重要特征。在沉积过程中形成的原生沉积构造，能够反映该构造形成时的水动力条件和沉积环境；其中层面流动构造更能反映搬运介质的水动力状况。波痕是最常见的一类原生层面流动构造，学术界极为关注。国外文献有过大量研究报告。述及波痕的国内文献主要有刘宝珏主编的高等学校试用教材《沉积岩石学》以及前年出版的一本沉积构造专著《沉积构造与环境解释》。纵观国内外代表性论著中的各种波痕分类，横看这些著作内的每张波痕照片，均未见有涡流波痕。笔者在研究现代沉积时，在现场发现了一种国内外权威性论著中未曾报道过的波痕类型，据其形态特征及水动力条件分析，它是由水质点绕轴作旋转运动的水流——涡流的作用所形成，故命名为涡流波痕。中国科学院南海海洋研究所范时清认为，关于涡流波痕问题，目前尚属一较新的提法与发现，国际上对沉积动力学之研究尚处于早期阶段或称萌芽时期，尚有许多有意义的现象有待我们去探讨与发现。

(一)

涡流是液体运动的一种重要现象，其基本特征是水质点绕轴作旋转运动。但是国内地质文献对涡流(eddy)一词的使用上不大统一。刘宝珏主编的《沉积岩石学》^[1]中把涡流与紊

流(turbulent flow)等同使用，称“ $Re > 2000$ 时流动为紊流型(或涡流型)”；而由李叔达主编的《动力地质学原理》^[2]认为涡流与紊流的水质点运动方式不同，称“涡流是河流中水质点绕轴旋转的现象”。本文对涡流的理解与李叔达相同，认为它相当于流体动力学中的圆形旋涡。《理论流体动力学》^[3]的作者认为：“圆形旋涡在其中心的诱导速度¹⁾为零”，“在半径为 r 的圆周上任意点的速度都是沿此圆的切线方向”，“旋涡内的流体，它的速度大小和 r 成正比例”，“在旋涡的边界上速度达到最大值”，“旋涡外的一点，……此点的诱导速度大小与 r 成反比”，当 r “趋向无穷大时，诱导速度趋于零”。

可见涡流（旋涡与涡流在英语中是同一个词eddy）有两个特征：第一是水质点运动方向的特征，第二是水质点运动速度值的特征。如图1所示，在一个涡流内，流向统一变化，或是左旋（反时针的），或是右旋（顺时针的），各水质点运动方向都沿圆的切线方向，即与半径相垂直，这可剖析为两方面，同一半径上各点运动方向相互平行，同一圆周上各点运动方向不相平行且是多向的，并随弧度而渐变。这

1) 流场中无其它扰动时，某点的速度称旋涡诱导速度，有时简称速度。

是涡流的第一特征。第二特征表现为速度值的变化,图1也有所示,也可剖析为二方面,同一圆周上各点速度值相同;同一半径上各点速度值不同,自中心向外,从零开始,由小变大,再变小。由于在现实流场中,涡流往往不是孤立的,至少会受到周围介质的摩擦而使外围流速变慢。因此,在实际应用中,可以认为最大速度值并不在边界上。

(二)

涡流波痕是一个独立的小波痕体系(图2),其形态特征有:(1)波痕呈放射状排列,自中央往外辐射。(2)波痕列数内外不等,内少外多,波痕有分叉现象。(3)波痕横剖面略具不对称;图2中陡坡的倾向为顺时针方向,缓坡反之;也可陡坡朝逆时针方向,缓坡反之。(4)单列波痕脊的平面形态呈弧形弯曲,曲率半径最小点的位置居中,往两端,即往中央和边缘曲率半径都变大。(5)相邻波痕脊的弯曲基本同步。(6)各波痕脊的弧形前凸方向一致,且与波痕陡坡倾向相同;图1中前凸指向顺时针;也可统一为逆时针方向。

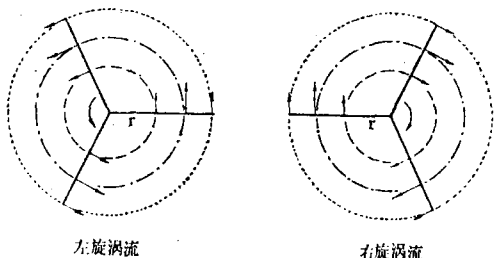


图1 涡流中水质点运动方向和速度值的变化

Fig. 1 The variations of velocity and moving direction of the water particles in eddy

从上可见,涡流波痕有两个主要特征,第一个是波痕脊排列方式的特征,第二个是单列波痕脊平面形态的特征。首先,若干列波痕汇聚在一起,既不互相平行,又不成几组彼此叠置、相交,而是从一个中心往外辐射,这是前

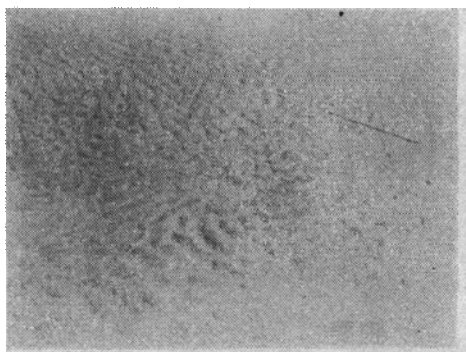


图2 涡流波痕

Fig. 2 Eddy ripple marks

述国内外文献中未见报道的,它是涡流波痕最重要的形态特征,故笔者当初将这种波痕命名为放射状波痕。众所周知,波痕的波脊线或波谷线的方向通常是与流水方向相垂直的。那末,形成放射状波痕的流水方向也必定是与每一列波痕脊相垂直。试将图1中的半径线代表波痕脊,那些与半径线相垂直的箭头正好是与波痕脊相垂直的流水方向。显然,这里的流水在作旋转运动。涡流的第一特征与涡流波痕的第一主要特征巧相吻合,表明放射状波痕是涡流作用形成的。其次,单列波痕脊的中段呈弧形前凸也是涡流波痕形态的一个重要特征。众所周知,波痕的移动是通过沙粒的运动来实现的,在一定限度内,若流水速度大,沙粒就运动快,结果波痕的移动也就快。那末,如果流经同一列波痕的流水中,不同段位的速度值相异,就必定会使各段位沙粒运动快慢不一,从而导致同一列波痕的不同段位迁移速度不一致而使波痕脊平面形态弯曲,呈现出速度快的段位前凸现象。试将图1中的半径线代表波痕脊,那些与波痕脊相垂直的箭头为流水方向,线段长短示意速度值的大小。显然,流经每一条波痕脊的流水速度都是中段快,内段和外段都慢,这正是驱使波痕脊中段弧形前凸的流水。综合起来,这就是绕轴作旋转运动的涡流。很明显,涡流的第二特征与涡流波痕的第二主要特征互相呼应,因果相关。

(三)

以上我们通过二个对比,即以涡流的流向变化与涡流波痕的放射状排列相对比,以涡流速度值的变化与涡流波痕的弧形前凸相对比,讨论了涡流波痕形成的水动力条件。此外,根据与流水方向相一致的波痕脊弧形前凸方向和陡坡方向,能够判断涡流旋向与涡流波痕性质。显然,图2是流向为顺时针的右旋涡流所形成的右旋涡流波痕。如若为逆时针,则是左旋涡流波痕。

涡流波痕分布在现代海滨沙滩的后滨(潮上带)环境。我们¹⁾是在潮差达4米的普陀岛发现它的。“普陀岛是舟山群岛中一个面积仅12km²的小岛,岸线曲折,海岸类型复杂”^[4],海岬为基岩岸,海湾主要为海滩。在大潮期间高潮刚过去不久的一天清晨,夜里潮水冲蚀沙滩的痕迹历历在目,位于后滨沿岸沙堤向陆侧的纵向沟中新添了昨天傍晚未见的冲蚀坑(图3)。坑壁堤内层理清晰显露,坑中蓄有薄层积水,坑底展现一个独立的小波痕体系——涡流波痕(见图2)。显然,冲蚀坑出现在先,之后纵向中流水在这个增宽处形成涡流,从而塑造了涡流波痕。纵向沟平日干涸,其中的流水是暂时性线状流水。水源受潮汐控制,当海水于高潮时越堤入沟,那里才有水流动。沟底纵坡明显,水从高处流向低处,而没有潮坪上潮水沟里的涨潮流、落潮流现象。

有一次中国科学院海洋研究所研究员秦蕴

珊看了笔者拍摄的涡流波痕照片后说,他在加拿大海滩上见过这种波痕,那里的潮差大,可见潮差较大的沙滩后滨是发育涡流波痕的理想地理环境。



图3 纵向沟沟底的冲蚀坑
(图中部为沿岸沙堤的向陆坡)

Fig. 3 The wash puddle in the bottom of lenthwise gully (The central section of this figure is the landward slope of coastal sand levee)

参 考 文 献

- [1] 刘宝珩, 1980. 沉积岩石学. 地质出版社, 27—31。
- [2] 李叔达, 1983. 动力地质学原理. 地质出版社, 150—152。
- [3] 米尔恩-汤姆森 (L.M. Milne-Thomson), 1979 (1984译). 理论流体动力学. 机械工业出版社, 第397—400页。
- [4] 沈锡昌, 1981. 舟山普陀岛海岸特征. 海洋科学 3: 23—24。

1) 陪同野外工作的有本室王京名同志

EDDY RIPPLE MARKS

Shen Xichang

(Wuhan College of Geology)

Abstract

The paper introduces a new ripple type—eddy ripple mark, which is a small system of ripple composed of radiant form ripples. The middle of every single array of ripple ridge appears to be in an arc shape with convex forward.

The author compares characters of eddy ripples with the features of eddy motion and inquires into the hydrodynamic conditions under which eddy ripples are formed. Based on geographical setting where eddy ripple are produced, the author notes that the backshore of sandy beach with large tide range is the ideal environment of eddy ripples.