

奇特的电流变液

郭志荣

(廊坊师范学院物理系 河北 065000)

电流变液(Electrorheological Fluid)是由高介电常数的固体颗粒悬浮于某种低介电常数、低黏性的不导电液体中所形成的,未加电场时,电流变液内的颗粒无序分布,施加电场后,颗粒迅速聚集成跨越电极的链或柱,当施加的电场足够大时,电流变液转变为类似固态,撤去外电场时,又恢复为液态,这一液固两态相变的响应时间为毫秒量级,这一奇特属性,再加上电流变液的电导率低,产生电流变效应所需的电功输入少,电流变液电热效应低,使得电流变液在工业技术中有着极大的潜在应用。

1. 电流变液的机理

将电流变液置于两无限大平板间,施加足够的电场后,固体颗粒极化为一电偶极子,即在外电场的作用下,电流变液中的球形介电颗粒获得感生偶极矩:

$$p = \alpha a^3 \epsilon E_{loc},$$

式中 a 是球形颗粒的半径, $\alpha = (\epsilon_p - \epsilon_f) / (\epsilon_p + 2\epsilon_f)$ 为介电错配参量, ϵ_p 、 ϵ_f 分别为分散相颗粒和连续相液体的介电常数, E_{loc} 为施加在颗粒上的局部有效电场强度,如果 $\alpha \ll 1$, $E_{loc} = E_0$, 颗粒间的偶极矩相互作用产生作用能,采用电偶极子近似方法,忽略高极矩作用,则位于 r_i 和 r_j 处的两电偶极矩相互作用势能为:

$$U(r_{ij}) = \frac{p^2(1 - 3\cos^2\theta_{ij})}{\epsilon_f r_{ij}^3},$$

其中 $r_{ij} = r_i - r_j$, θ_{ij} 为颗粒中心连线的方向与电场方向的夹角。可以看出,颗粒间的极化作用力既为长程作用力又具有各向异性,当两颗粒中心连线的方向矢量垂直于电场方向时,两颗粒相互排斥,而平行电场方向时,两颗粒相互吸引。这样,电流变液中原来无序分布的分散相颗粒便在电场作用下,聚集成跨越电极的链或柱。当发生剪切运动时,流体不仅要克服分子之间的内摩擦力,还要克服由于电场作用而形成的静电极化力,所以剪切力大大增强,宏观上表现为流体的流变性能提高,抗剪切能力增强,产生电流变效应。

2. 电流变液的结构

静态结构:由于电流变液中分散相颗粒间的极

化力具有各向异性,颗粒便有沿电场方向排列成链状结构的趋势。实验已证实,尺寸均匀的球形分散相颗粒,在外加电场作用下,快速聚集成跨越电极的链状排列,然后链链聚集成纤维柱。从理论上,应用球形悬浮颗粒并采用点偶极子模型,对各种可能结构(体心四方结构、面心立方结构、六角密排结构)进行了能量计算并对相变过程进行了研究,结果表明,体心四方结构是最稳定的电流变液结构。在某一特定温度下,存在两个临界电场强度 E_{c1} 和 E_{c2} ($E_{c1} > E_{c2}$),当外加电场 $E_0 < E_{c2}$ 时,电流变液表现为液态,长程无序;当 $E_{c2} < E_0 < E_{c1}$ 时,颗粒在两电极之间形成链,但链的分布是随机的;当 $E_0 > E_{c1}$ 时,链链聚集成纤维柱,电流变液呈固态。由此可见,电流变液在足够的电场作用下,颗粒会像晶体中原子那样形成长程有序的晶格,黏滞性变大,实现了由液相到固相的转变。另外,电流变液的固态结构将随着悬浮粒子形状的变化而变化,采用近邻相互作用近似方法,对悬浮于液相中的旋转椭球颗粒在外电场作用下,形成的不同结构的电偶极矩相互作用能进行了计算,发现相互作用能随椭球长、短半轴的变化而变化,表明悬浮粒子的形状对电流变液的基本结构有很大影响。

动态结构:动态结构特性是研究在剪切场作用下电流变液的基本结构如何变化,人们已经发现:施加剪切场后,静态结构的链或柱沿剪切场方向倾斜;在高剪切速率下,一旦链或柱结构被破坏后便不再恢复;断裂后的链或柱,尺寸大的附在静止极板上,尺寸小的则与运动极板一起运动,这里仅有液体承受连续形变。

3. 影响电流变液性能的因素

电流变液的性能高低直接影响着其实际应用的可能性,在稳态剪切场下,电流变液的液变行为是:当外加应力低于屈服应力时,电流变液呈固态,发生弹性形变,释放外力后,应变可回复;当外加应力高于屈服应力时,电流变液呈液态,发生黏性流动,释放外力后,应变不可回复。

悬浮颗粒的大小对电流变液的性能有一定影响,颗粒尺寸一般在 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间,以不超过两极间距的 $1/10$ 为上限,颗粒尺寸太小不易沉降,受布朗力扰动大,电流变效应减弱;颗粒尺寸过大,受布朗力扰动小,但易沉降,电流变效应同样减弱。悬浮颗粒在电流变液中的体积分数 ϕ (所占百分比)直接影响着电流变液的性能,只有在 $0.05 < \phi < 0.4$ 范

浅析日凌与凌日现象

司德平 路慧奇

(河南省平顶山市一中 平顶山 467001)

前段,报纸上频频报道“日凌”现象,殊不知还有一种叫做“凌日”的天文现象,那么二者有什么区别呢?

1. 日凌

位于赤道上空约 36000km 的通信卫星与地球同步运转,同时二者又一起围绕太阳旋转。每年的春分和秋分前后,太阳光直射赤道,必然会出现太阳、通信卫星和地球依次排列在一条直线上的现象,这时,卫星地面接收站的天线不但对着卫星,也同时对着太阳。而卫星相对太小,太阳发出的电磁波对地球的辐射(噪声信号)非常强烈,导致通信卫星上发射的信号与之相比十分微弱,对灵敏的卫星地面接收设备来说,影响太大,太阳引起的噪声信号完全淹没了需要接收的正常信号,而出现每年两次的接收信号的中断现象。这种由太阳造成的卫星通信的死角,称为“日凌”现象。

日凌每次持续的天数和时间,随各地面站的地理位置和天线大小而不同。一般情况下,地面站所处的纬度越高,天线直径越小,持续的时间就越长。例如:纬度是 3° 的上海卫星通信地面站的天线直径若是 30m,则每次日凌约持续 5 天,每天持续时间约 5min 左右。为了防范日凌现象,可根据卫星所处的位置,地面站所处的经纬度数,天线直径、天线工作时的仰角、方位角等数值,预先计算出每个地面站出现日凌的具体日期和时间,使信息传输具有“天地备份”方案的银行、证券、航空管制等重要部门,通过地上光缆避开日凌中断时间。

2. 凌日

凌日是地球上的观测者看到内行星经过太阳圆面的现象。水星和金星轨道小于地球轨道,所以当它们运动到太阳与地球之间,即合日时,地球上的观测者看到有一小黑点掠过太阳圆面。因为只有水星和金星才会发生凌日现象,并且水星和金星的轨道与黄道平面之间的倾角分别为 7° 和 3.4° ,所以并非每次合日都满足凌日条件。只有当水星(或金星)和地球同时经过升交点或降交点时,也就是太阳、地球和水星或金星接近在一条直线上时,才会出现凌日现象。地球经过水星升交点在每年 11 月 10 日前后,经过降交点在 5 月 8 日前后,所以水星凌日都发生在这两个日期附近。地球经过金星升交点和降交点分别在每年 12 月 9 日和 6 月 7 日前后,因此金星凌日也只能发生在这两个日期附近。据计算,平均每 100 年内发生水星凌日 13 次(发生在 11 月的 9 次,5 月的 4 次)。上次水星凌日发生在 1999 年 11 月 15 日。而金星凌日相隔 8 年出现一次后,要再相隔约 120 年才能再现,如此循环,可见出现金星凌日的次数更少。人类历史上最早的金星凌日记录是阿拉伯天文学家法拉比于公元 910 年观测的。上次金星凌日发生在 1882 年 12 月 6 日,下次金星凌日将发生在 2004 年 6 月 8 日。

水星凌日的观测有助于测定水星的位置以及修正水星的轨道要素。金星凌日的观测有助于测定太阳视差,确定天文单位的长度。

围内,随着 ϕ 的增大,电流变效应越显著。

分散相颗粒和连续相液体的介电常数($\epsilon_p > \epsilon_f$)决定着电流变效应的产生;其电导率决定着电流变效应的能量损耗和焦耳热;温度的变化强烈地影响着电流变液的介电极化及其产生的电流变效应。

4. 电流变液的应用

由于电流变液具有可逆、可控、能量小、响应快、黏度无级变化等优点,可广泛应用于液压控制、减震、机械传动等领域。利用电流变液的毫秒量级反映特性,将其应用到要求有快速反应界面场合,如制

动器、离合器、机器人、阀门等电控机械传动设备,以改善这类机械传动构件由于惯性制约造成的驰豫时间长、适用工作频率范围窄等缺陷。利用电流变液的黏度无级变化的特点,将其应用于液压传动系统,通过控制外加电压大小来控制流速或改变传递的应力(或扭矩)大小,将有精度高、成本低、能耗少的效益。可以预言:电流变液不仅会成为物理、化学、材料科学等各门学科的热点,而且将会发展成为有广泛应用的重要材料。