

近地小行星及其对地球的撞击 ——重大天文灾害的预防性研究

The Earth-Crossing Asteroids and Their Impact on the Earth

吴铭蟾

(中国科学院云南天文台)

提 要 太阳系小天体撞击地球不是科学幻想而是严酷的事实。用奥比克公式分别计算阿登型、阿波罗型和阿摩尔型三种类型近地小行星撞击地球的概率,采用不同的样本数,结果不同,但量级是相同的,即大约每16~30万年有1次直径大于1公里的小行星与地球相撞。按今天的科学技术水平预测、预防这类灾害是完全可能做到的。

一、小行星撞击地球是不可忽视的天灾

太阳系中的小天体撞击大天体是十分普遍的现象。航天器近探月球、水星以及其它大行星的卫星所拍摄的它们表面的照片上清晰地显示出瘢痕累累、满目疮痍的陨击坑。造成象月球或水星表面直径为几十公里的陨击坑的小天体撞击如果发生在地球上,则足以构成严重的全球性天灾。由于公众对太阳系小天体撞击地球的知识了解较少,再加上某些新闻媒介不适当地渲染报道,于是只要有宇宙天体可能撞击地球的消息一旦透露,便会引起社会的恐慌和骚动。这种事例曾一再发生。1773年出现的一颗彗星,由于错误地预报它将与地球相撞,在法国引起相当大的骚动。1910年,当公众得知著名的哈雷彗星彗尾将扫过地球时,在西方世界引起极大的恐慌和骚动。1980年,美国小行星专家格瑞尔斯在印度作学术报告时,提到一颗名叫“地理星”(Geographos)的小行星将在1994年与地球近距离交会。错误的新闻报道竟改成“1982年小行星将击中地球”,从而又掀起一场不小的社会风波。无独有偶,1989年美国地球物理学会一篇报告提及当年3月一颗小行星将在距地球70万公里的近处飞掠而过,美联社发了这条电讯,而新华社改编为“一颗小行星可能撞击地球”。消息发到全国各地,我国公众纷纷向报社和

天文台询问此事,引起公众极度不安。为此新华社发布了更正声明,北京天文台和紫金山天文台的专家也向报界作了科学解释,风波才得以平息。这样说来,考虑小行星撞击地球岂不成了杞人忧天?其实不然。

作为太阳系天体和太阳系结构演化的重要信息来源,小行星历来是天文学上十分重视的研究对象,而近地小行星及其对地球的撞击更是多学科研究的十分严肃的科学命题。1908年的通古斯大爆炸、1976年吉林陨石雨、地球上的许多陨击坑都在提醒人们,太阳系小天体撞击地球决不是科学幻想而是严酷的事实。

80年代初美国科学家阿尔瓦雷斯提出科学假设:6 500万年前地球上恐龙的灭绝是一颗小行星或彗星撞击地球造成全球性灾变的直接后果。另外,据天文学家计算预测,1620号小行星(即引起印度记者错误报道的那颗“地理星”)将于1994年与地球近距离交会。这两件事大大促进了小行星的系统搜索和研究。由于各种高新技术在小行星研究中的应用,小行星的动力学和物理研究在近十多年中发展迅速,并取得显著成果。被发现的近地小行星数量很快增长,而且更小更暗的小行星不断被发现。据统计,1898~1977年的80年间发现的近地小行星仅43颗,而1978~1982年的5年间便发现28颗,1983~1989年发现45颗,而1990

年1年中发现的小行星竟达14颗。至今,近地小行星的总数已超过130颗,而且近几年来,一再发现超近距的所谓掠地小行星。例如,1988年发现的1988EG小行星距离地球为628万公里,1989年发现的1989FC(即在我国引起轰动的那颗小行星)离地球最近时仅70万公里,大约等于地球到月球距离的两倍,而1991年发现的1991BA小行星离地球竟近达17万公里,只有地球到月球距离的一半!因此,近地小行星的数量远比过去估算的多得多。过去曾经确定小行星撞击地球是小概率事件,随着新发现掠地小行星数目的激增和距离的靠近,这种概率的估算要作相应的修正,比过去预计的高得多。因此在天文学、地学和灾害学领域应该以科学的态度加强这方面的预防性研究。

二、近地小行星的类型、数量和大小

迄今为止已有4 600多颗小行星被定出轨道,给予正式的永久编号,列入小行星总表。它们中的绝大多数(接近95%)位于火星和木星轨道之间,离太阳平均距离为2.8天文单位(1天文单位=1.49亿公里)的所谓小行星带内,称为主带小行星。有一小部分小行星的轨道却偏离主带,形成几个特殊的群体。其中一个便是近地小行星,它们轨道的近日点远远偏离主带深入到内太阳系,进入火星、地球、金星,甚至水星的轨道之内。它们大都能接近地球的轨道,故称近地小行星(Earth-approaching Asteroids)。根据轨道特征和接近地球的程度近地小行星可分为三种类型:阿登型(Aten)、阿波罗型(Apollo)和阿摩尔型(Amor)。所以近地小行星也往往称为AAA小行星。这三种类型近地小行星的轨道特征见表1。

表1 三类近地小行星的轨道特征

型别	半长径 (天文单位)	近日距 (天文单位)	远日距 (天文单位)
阿摩尔型	>1.0	>1.017, <1.30	
阿波罗型	>1.0	<1.017	
阿登型	<1.0	<0.983	>1.017

注: 1.0天文单位为地球轨道平均半径,
1.017天文单位为地球轨道半长径,
0.983天文单位为地球轨道半短径。

1. 到达地球近旁的阿摩尔型近地小行星

它们轨道的半长径比地球轨道大,轨道的近日距从1.3天文单位到地球轨道近旁,不会进入地球轨道之内。这类小行星以1932年首次发现如此靠近地球的(1221)阿摩尔小行星之名命名。阿摩

尔的半长径为1.92天文单位,近日距为1.08天文单位。近日距地球最近的阿摩尔型小行星是(3757)1982XB,距地1.02天文单位;最远的是(1951)利克(Lick),近日距是1.30天文单位。著名的(433)爱神星(Eros)也属于阿摩尔型,近日距为1.13天文单位。现已发现的阿摩尔型近地小行星有60多颗,它们的轨道在近日点附近有一小段与地球轨道较为接近,所以与地球实际近距交会的机会很少,与地球相撞的可能性也就相当小。但它们在行星的长期摄动作用下,有的可能会演变为阿波罗型掠地小行星。现已能测定其大小的阿摩尔型小行星不过20颗左右。它们的直径从0.3公里到38公里,最大的是(1036)格尼梅德(Gany-med),为38公里;其次是(433)爱神星,为22公里。而阿摩尔本身的大小还没有测定,估计为1公里。

2. 深入到地球轨道之内的阿波罗型掠地小行星

阿波罗型近地小行星以1932年首先发现能深入到地球轨道之内的(1862)阿波罗之名命名。它们的轨道半长径比地球轨道大,但是比较扁,所以近日距可以在地球轨道之内。也就是说阿摩尔型小行星最多只能运行到地球轨道外侧的近旁,而阿波罗型小行星可以穿过地球轨道到达它的近日点,然后折回来再穿过地球轨道。这样一来,它们有相当长的轨道段与地球轨道非常靠近,有的甚至可以与地球轨道相交,所以实际上可能与地球近距交会,从地球近旁飞掠而过,也称掠地小行星。正因为如此,阿波罗型小行星便特别令人关注和不安。至今发现的阿波罗型小行星已达80颗左右。阿波罗型的轨道半长径在1.08~4.21天文单位之间。近日距在0.14~1.01天文单位之间。典型的(1862)阿波罗半长径为1.47天文单位,近日距为0.65天文单位。著名的(1566)伊卡鲁斯(Icarus)小行星也是阿波罗型,曾经以0.19天文单位的近日距,最靠近太阳而著称,但后来被(3200)法厄同(Phaethon)的0.14天文单位的近日距打破纪录。至今已测定大小的阿波罗型小行星不足20颗,它们的直径在0.9~8.2公里之间,最大的是(1866)西辛弗斯(Sisyphus),直径8.2公里;其次是(3200)法厄同,直径6.9公里,(1862)阿波罗,直径1.5公里;最小的是(1566)伊卡鲁斯,直径0.9公里。

3. 与地球轨道十分相似的阿登型掠地小行星

阿登型近地小行星1976年才首次发现,它们以发现的第一颗这种类型的(2062)阿登小行星之名命名。它们轨道奇特之处在于半长径和近日距都小于1.0天文单位,而远日距略大于1.0天文单位。这就是说它们的轨道与地球的轨道十分相

似。至今发现的阿登型小行星不过10颗。最早发现的几颗这类小行星曾被归类于阿波罗型, 后来发现的数量逐渐增多, 而且轨道特征与阿波罗型有显著的不同, 所以单独定为阿登型。因为数量不多, 现全部列于表2。既然阿登型近地小行星轨道与地球轨道十分相似, 所以两者有较长的段落非常接近, 甚至相交, 它们与地球相撞的可能性远大于阿波罗型。

表 2 阿登型近地小行星

编号	名称	周期 (天)	半长径 (天文单位)	近日距 (天文单位)	远日距 (天文单位)	估算大小 (公里)
(3753)	1986TO	364	1.00	0.48	1.51	/
(3362)	柯夫 (Khufu)	360	0.99	0.53	1.45	0.7
(3554)	阿姆 (Amun)	351	0.97	0.70	1.25	2.0
(2062)	阿登 (Aten)	347	0.97	0.79	1.14	0.9
	1991JY	336	0.97	0.67	1.24	/
	1989UQ	320	0.97	0.67	1.16	/
(2340)	哈瑟 (Hathor)	283	0.84	0.46	1.22	0.2
(2100)	拉夏洛姆 (Ra-Shalom)	277	0.83	0.47	1.20	2.4
	1954XA	250	0.78	0.51	1.05	0.6
	1989VA	227	0.72	0.33	1.16	/

据小行星搜索专家海林和休梅克所作的估算, 小行星中绝对星等到达18等的阿摩尔小行星约为500颗, 阿波罗型为700颗, 阿登型为100颗, 它们总数约为1 300颗。

三、近地小行星与地球的近距离交会

近地小行星, 特别是阿波罗和阿登型掠地小行星均有可能与地球近距离交会。虽然这种机会不多, 但毕竟在本世纪内已发生过多次(见表3)。表中选用的是与地球最近距离小于0.08天文单位(1 000万公里)的近地小行星纪录。表中最前面的三次是当时认为是最近的纪录, 虽然超过1 000万公里, 也一并列出以示比较。

近期内有没有小行星与地球近距离交会? 英国的汤赛德和罗杰斯通过计算给出1986~1999年的20颗近地小行星与地球近交的距离和日期。其中只有(1620)地理星在1994年8月25日与地球相距最近, 0.03天文单位(约450万公里)。其余19颗都较远, 大都在0.1天文单位之外。所以, 从已知轨道的近地小行星近期的运动行为来看, 本世纪没有更近距的交会发生, 更不存在已知小行星与

地球相撞的可能性。我国紫金山天文台小行星专家张家祥特意计算了1989FC这颗掠地小行星今后100多年中的运动行为。结果表明, 下次与地球近交将在2051年3月, 距地球0.012天文单位(180万公里), 其它的交会都大于此值。所以到下世纪末, 1989FC再也不会与地球极度近交。

表 3 本世纪发生过的小行星与地球近距离交会的记录

小行星名称	与地球最近的距离		日期
	(天文单位)	(万公里)	(年、月、日)
(433) 爱神星 (Eros)	0.17	2500	1931.1.30
(1221) 阿摩尔 (Amor)	0.15	2200	1932.3.22
(1862) 阿波罗 (Apollo)	0.076	1140	1932.5.5
(2101) 阿冬尼斯 (Adonis)	0.015	220	1936.2.7
赫米斯 (Hermes)	0.0047	70	1937.10.30
1950DA	0.06	894	1950.3.12
(1915) 昆扎考特 (Quetzalcoatl)	0.05	745	1953.3.4
(2061) 安扎 (Anza)	0.06	894	1960.10.7
(1566) 伊卡鲁斯 (Icarus)	0.04	596	1968.6.14
(1620) 地理星 (Geographos)	0.06	894	1969.8.27
(2102) 汤塔鲁斯 (Tantalus)	0.04	596	1975.12.26
(2340) 哈瑟 (Hathor)	0.008	89	1976.10.20
1988EG	0.042	628	1988.2.26
1989FC	0.0046	70	1989.3.22
1991BA	0.0011	17	1991.1.18

意大利的米兰尼和瑞典的汉恩等人执行一项名为“太空警戒”的科学计划, 利用大型电子计算机对410颗与火星、地球和金星近交的小行星作数字积分计算, 考察它们轨道的演变及其在空间的位置。结果表明, 只有44颗近地小行星在20万

年内与地球发生近距交会。与地球相距最近的是阿登型(3362)柯夫小行星,距地球近达0.0002天文单位,即仅3万公里;其次是阿波罗型的(1981)米达斯(Midas)和1982DB,均为0.0003天文单位,约4.5万公里。其它包括阿波罗、阿登和地理星在内的30多颗近地小行星大都在几万至几十万公里的范围内与地球近交,有两颗距离地球超过百万公里。这项计划的结果告诉我们,在未来以万年计的年代中,近地小行星与地球相撞的可能性是存在的。

四、近地小行星与地球的撞击

1979年休梅克等人利用奥比克(Öpik)公式分别计算并给出3颗阿登型、23颗阿波罗型和10颗阿摩尔型小行星与地球发生撞击的参数。结果表明,这三种类型小行星与地球的平均撞击概率是:每10亿年阿登型9.1次,阿波罗型2.6次,阿摩尔型大致为1次。再按,总数分别为100、700和500颗,绝对星等到18等估算的三种类型近地小行星(相当于直径大于1公里)与地球的撞击率,为每百万年阿登型1次,阿波罗型2次,阿摩尔型0.5次。三种类型的总撞击率为每百万年3.5次。1985年斯蒂尔和巴格莱用类似的方法,将阿登型样本增加到4颗,阿波罗型的样本增加到34颗,计算得到它们与地球的平均撞击概率分别为每10亿年22次和5.8次,而总撞击率为每百万年7次。后者的结果显然高于前者。方法相同,只因采用样本数增加,撞击率便随之升高。但结果的量级是相同的,即大约每16~30万年有一次直径大于1公里的小行星与地球相撞。从地质年代来衡量,小行星撞击地球并不是罕见的事件。事实上,现已在地球上查找到近百个大大小小的陨击坑,大部分直径都约为几十公里,少数甚至超过100公里,年龄从5万年到20亿年都有。据动力学计算,像这么大的陨击坑很可能是几公里至十几公里大小的小行星撞击时形成的。阿尔瓦雷斯等人从这些陨击坑中挑选出一批,认为它们是地球在不同地质年代受到小行星或彗星撞击而生成的,见表4。

通过陨击坑的地质考察,结合撞击物理的理论计算可推导出陨击坑直径D(以公里为单位)与撞击能量E(以百万吨TNT当量为单位)之间的关系为 $E=2.4D^3$ ¹⁴。这个关系式在内华达进行的多次化学和核爆炸中得到实验验证,只不过规模远小于小行星撞击地球。又据粗略估计,一个小行星撞击地球形成的陨击坑直径大约为其本身直径的20倍,于是得到表5的关系。

据表5推算,造成6 500万年前恐龙灭绝的小行星直径大约为10公里,其撞击坑直径应为150

表 4 若干地球上的陨击坑

地 点	直径 (公里)	年龄 (百万年)
卡拉(苏联)	10	7 ± 4
霍顿(加拿大)	20	13 ± 11
华斯(德国)	24	14.8 ± 0.7
米斯塔斯丁(加拿大)	28	38 ± 4
瓦纳比坦(加拿大)	8.5	37 ± 2
波比加依(苏联)	100	39 ± 9
拉帕加维(芬兰)	14	77 ± 4
史蒂里弗(加拿大)	25	95 ± 7
波尔蒂希(苏联)	25	100 ± 5
洛哥依斯克(苏联)	17	100 ± 20
米因湖(瑞典)	5	118 ± 2
戈西斯布鲁夫(澳大利亚)	22	130 ± 6
罗契乔特(法国)	23	160 ± 5
奥伯龙(苏联)	15	185 ± 10
普钦茨-卡图基(苏联)	80	183 ± 3
马尼卡冈(加拿大)	70	210 ± 4

表 5 小行星撞击地球的陨击坑与能量

小行星直径 (公里)	击坑直径 (公里)	撞击能量 (10 ⁶ × 百万吨 TNT)	撞击间隔 (百万年)
1.0	20	3	0.25
3.9	80	7	9.2
5.0	100	15	14
10.9	200	160	58
30.8	500	3600	360

~200公里,但目前还没有找到这么大的陨击坑。有人认为可能是几颗小行星相继撞击地球或分裂的彗核先后撞击地球。其根据是地球上存在几十公里直径的陨击坑群,例如加拿大魁北克就有两个击坑(克利沃特湖)孪生在一起,一个32公里,另一个22公里,年龄完全相同,都是2.9亿年。最近的考察认为,这几个大陨击坑在加勒比海、美国的依阿华州和墨西哥的尤卡坦半岛等地,苏联西伯利亚的波比加依坑也是6 500万年前的陨击坑。这些都有待进一步考证。

五、小行星撞击地球的预测和预防

我们已知直径为1公里的小行星撞击地球的能量大致相当于3万次大地震的总和。虽然估算大约25万年才发生一次,属于小概率事件,可是小概率事件可能发生在几十万年之后,也可能出现在几十年或几百年之内。一旦这种事件发生,所造成

的危害将是全球性的、毁灭性的。所以预测、预防小行星或彗星撞击地球宜未雨绸缪,及早部署。按今天的科学技术水平,预测、预防这类撞击灾害是完全可以做得到的。

首要的措施是对已知的近地小行星(包括掠地彗星)的轨道演变进行透彻研究,精确掌握它们的变化规律,从中挑出一批(肯定是十分有限的)“危险目标”进行系统的监测。同时不断搜索和发现新的近地小行星(包括掠地彗星),也作同样处理,将其中的“危险目标”也列入监测名单。事实上这种系统的搜索和监测在80年代已经开始。以美国帕洛玛山天文台的“小行星和彗星巡天搜索”计划为首的国际搜索网正在形成,法国、比利时、丹麦等国都已参与。美国基特峰天文台也在执行一项名为“太空监视”的近地小行星搜索计划。由于高灵敏的光电器件和快速电子计算机等高新技术在这个领域中的应用,其成果和进展十分令人鼓舞。近几年新发现的近地小行星数量猛增,而且更暗更小的对象不断被发现。此外,确证工作也比过去用照相方法快得多,几乎是观测的即时就能判定。

在计算近地小行星轨道演变方面,已有相当成熟的理论和计算技术,可以预测它们的短期、长期以至超长期的动力学行为。

监测方法则更有航天技术可利用,比如1983年的红外天文卫星(IRAS),作为红外巡天的副产品,一年之内便检测到1万颗小行星,其中包括新发现的2颗近地小行星和5颗彗星。卫星上的监测是全天空的,完全弥补了地面监测局限于小行星“冲日”轨道段的不足。因此天地联网监测就可以将可能撞击地球的“危险目标”完全置于随时监测之中,一旦发现运动行为异常便可及早采取防御对策。

当然还要采取有效的防御对策和措施。除了精确掌握近地小行星的动力学数据外,还需要尽可能多地掌握它们的物理性质,如大小、质量、形状、结构成分、表面状态、自转等。这些都需要及早进行近地小行星的物理研究,靠长期的基础观测研究,采用各种先进技术一点一滴地积累每颗近地小行星的各种物理数据存入档案库,供随时调用。

防御方案可以是提前多年的预处理方案,也可以是临时性的紧急处理方案。其防御手段是相同的,即发射一个或多个航天器携带高效的爆破材料(类似于核导弹)与“危险目标”作多次冲撞和爆破,使其破碎而且脱离“危险轨道”。也可以用航天器在“危险目标”小行星上登陆,再开动发动机使其转入一条“安全”的轨道。从目前的航天技术来看,这都有可能办到。

预测预防小行星或彗星撞击地球,既有学术性的基础研究工作要做,以便在严格的科学判断的基础上提出具体的防御对策,也有国际合作的统一行动要部署和协调。

(责任编辑 肖庆山)

附 录

小行星的编号和命名规则

国际天文学联合会(IAU)小行星中心负责小行星轨道的计算、编号、命名和发布。凡新发现的小行星都要向该中心报告,由他们先给予一个临时编号,如1989FC。1989是发现的年份;第一个拉丁字母表示发现的时间,以半个月为单元,用A到Y(不用I)24个字母表示;第2个字母表示在这半个月中发现的顺序。1989FC表示1989年3月下半月发现的第3颗小行星。新发现的小行星经过多次观测后先定出轨道,再经过两次回归(冲日)观测的确证(需几年或者更多的时间),才正式给出顺序编号,并由发现者优先命名。经小行星中心确认后向全世界正式公布永久编号和命名。所以一颗小行星有几种表示方法。如1928年10月25日中国旅美天文学家张钰哲在美国发现一颗小行星临时编号为1928UF,正式永久编号为1125号,张命名该小行星为China(中华)。因此该小行星的全称是(1125)中华。可是在编号命名后许多年中没有再观测到它。1957年10月30日我国紫金山天文台又次发现了它,临时编号为1957UNI,但未能确证。1986年又一次被发现,临时编号为1986QKI,而且终于被确认1928UF=1986QKI=(1125)中华,但却获得另一个永久编号(3789)。因此现在的小行星总表里这颗小行星有两个编号:一个是(1125)China;一个是(3789)Zhongguo(中国)。

更正启事

1. 1991年第3期第13页《我国纺织工业的现状与对策》一文的作者应为卢至亮、冯远。

2. 1991年第7期第46页《数学的现代发展与数学教育》一文的作者单位应为:孙小礼,北京大学科学与社会研究中心;杜珣,北京大学力学系。

3. 1991年第9期第55页,《北京市新技术企业的内部管理体制研究》一文的作者,应为戴卫、史利国。编者按第8行中“……一文,由季应波执笔,”应为“……一文,由戴卫、史利国执笔”。

本刊编辑部