

墨西哥奇克休罗伯陨石撞击构造 科学钻探项目(CSDP)的实施

左汝强

(国土资源部 国际合作与科技司,北京 100035)

摘 要 简述了发生于 6500 万年以前的墨西哥奇克休罗伯陨石撞击构造于 90 年代通过浅孔钻探揭示证实的过程,介绍了列入国际大陆科学钻探研究项目的重要意义,拟解决的基本问题和实施计划,包括深孔钻探孔深、孔位的确定和项目的组织实施等。

关键词 陨石撞击构造 陨石撞击坑 撞击角砾岩 熔融岩石 大陆科学钻探

中图分类号 P634 **文献标识码** B **文章编号** 1000-3746(2000)06-0064-04

墨西哥奇克休罗伯(Chicxulub)陨石撞击构造多年来为世界各国科学家所关注,这是因为发生于 6500 万年以前在墨西哥南部的巨大陨石撞击事件,不但对地质界,而且对生物界和全球环境造成了重要而深远的影响。科学家们推测,这个事件与地球上恐龙灭绝的年代竟然如此巧合,从而可能是恐龙等生物普遍消亡的直接原因。

国际大陆科学钻探计划(ICDP)已决定资助 100 万美元予以“奇克休罗伯科学钻探项目”(CSDP),并于 1999 年 3 月在墨西哥梅里达市(位于陨石撞击中心附近)召开了此项目的国际研讨会,交流已取得的地质和地球物理调查成果,讨论未来计划及确定科学目标。出席研讨会的有墨西哥 18 名科学家及加拿大、美国、德国、俄罗斯、荷兰等国的 20 名科学家和工程师。2000 年 4 月,国际大陆科学钻探计划组织在梅里达市召开了 ICDP 第五届执行委员会和科学顾问组会议,并进行了野外考察,参观了陨石撞击构造科学钻探项目钻孔选址环境。笔者作为 ICDP 执行委员会成员,出席了此次会议并随之参观。

1 通过钻探方法发现陨石撞击构造

1.1 石油钻探和重力测量初步揭示已被覆盖的陨石撞击坑

奇克休罗伯陨石撞击事件发生于现今墨西哥尤卡坦半岛北端,撞击中心在奇克休罗伯镇。由于经历了新生代几千万年的风化和沉积,该区域的地表已十分平坦,从地貌上看不出陨石撞击坑的特征。

陨石撞击构造实际上是从 20 世纪下半叶开始逐步发现并验证的。

已被覆盖的陨石撞击构造首次于 1948 年所作的重力测量中得到认识。测量得到的重力异常呈同心圆分布(见图 1)。紧接着在 50 年代初开始,由墨西哥国立石油公司(Pemex)为寻找石油,在该区域实施钻孔勘探。至 70 年代中期,前后共打了间隔取心的 8 个钻孔(见图 1),其中深度 3 km 以上的钻孔有 4 个:T1、Y2、Y5A、Y1;Y4 孔(位于图 1 之外)2398 m 有 3 个较浅的钻孔(1500 m 左右):C1、S1、Y6 钻穿了碳酸盐覆盖岩层以下的(陨石撞击)熔融岩石和角砾岩。直到 80 年代初,科学家才正式报道该地区的异常特征,并提出重力异常和所钻岩石可能是被掩埋的大型陨石撞击构造的信息。通过对岩心的分析及大量实验室的工作,于 90 年代初期揭示出奇克休罗伯结构是一个与白垩纪~第三纪界线相联系的被覆盖的陨石撞击坑。至今,这个结论已被广为接受,于是问题的重心已转移到探索这样一个大型撞击事件的特征和本质上,特别是这事件是如何造成全球环境危机的。

1.2 浅孔取心钻探证实陨石撞击坑的存在

1994 年,墨西哥国立自治大学在奇克休罗伯的南侧开展了浅孔取心钻探活动。采用包伊尔 JKS37 型岩心钻机,配备 NQ(69.9 mm)和 PQ(117.5 mm)绳索取心钻杆。该钻机额定钻探深度 690 m,实际钻到 700 m,岩心采取率达到 85% 以上。共钻探 7 个钻孔(U1~U7 见图 1),共取心 2800 m。在 2 个

收稿日期 2000-07-17

作者简介 左汝强(1941-),男(汉族),江苏南京人,国土资源部国际合作与科技司巡视员,高级工程师,国际大陆科学钻探计划(ICDP)执行委员会委员,北京勘探地质研究所西区 37 号。

钻孔(U5 和 U7)中钻到了陨击角砾岩(见图 2)。

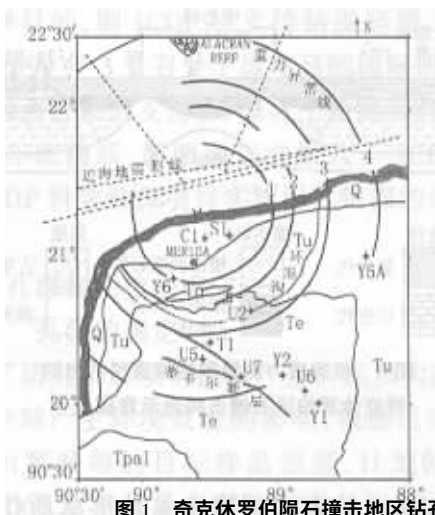


图 1 奇克休罗伯陨石撞击地区钻孔分布、重力异常和地表地质图^[1]

墨西哥国立石油公司所钻 8 个钻孔为 C1、S1、Y6、Y1、Y2、Y5A、T1、Y4(在图外)。墨西哥国立自治大学所钻 7 个取心浅孔为 U1~U7(U1、U3、U4 在图外)。

Q——地表碳酸盐岩层(第四纪,1.6 百万年以前);Tu——上第三纪(1.6~38 百万年);To——渐新世(24~38 百万年);Te——始新世(38~55 百万年);Tpal——古新世(55~66 百万年);MERIDA——梅里达市;X——陨石撞击中心,位于奇克休罗伯镇

了该区域曾经历过陨石撞击。熔融岩石为陨石撞击地层产生高温高压而形成,而角砾岩则是撞击作用使受撞击地层和陨石本身产生大量岩石碎块被挤压与掩埋而形成。至于陨石撞击的时间为 6500 万年以前则是通过地层学等方法加以确定的。U6 孔因距陨石撞击中心较远(150 km),钻孔中未发现陨击岩石,但是其角砾岩与 U7 孔的地台岩石角砾岩相似。U6 孔的下部存在蒸发岩和白云岩,初步描述蒸发岩为硬石膏。该地区地下厚层硬石膏的存在,对于研究陨石撞击造成生物灭绝有重要意义。

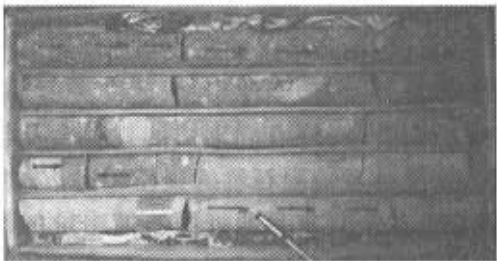


图 3 揭示陨石撞击构造的 U5 孔所取陨击角砾岩岩心(作者摄于墨西哥国立自治大学岩心库)

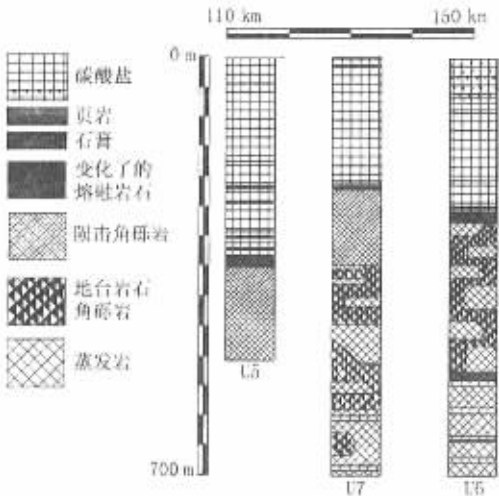


图 2 墨西哥国立自治大学所钻浅孔地层柱状图^[1]

U5 孔位于距陨石撞击中心 110 km 处(见图 1),其钻穿的陨石撞击层序含 20~30 m 厚的撞击抛出熔融岩石及其下面的陨击角砾岩(见图 3),这两层岩石位于钻孔深度 330~503 m。U7 孔位于距陨石撞击中心 130 km 处,其陨击岩石分布于孔深 220~345 m,其成分类似于 U5 孔陨击岩石的下一部分。在陨击岩石以下,约 350 m 厚度是略受冲击的来源于地台层序的陨击角砾岩,包含有白云岩的碎屑和 50 m 厚的蒸发岩。在 U5 和 U7 两个钻孔中取心所发现的陨击岩石(熔融岩石和角砾岩)确凿证明

2 奇克休罗伯陨石撞击构造科学钻探项目(CSDP)的重要意义

2.1 陨石撞击引起的全球环境变化

发生于约 6500 万年以前的奇克休罗伯陨石撞击是地球历史上最引人注目的事件之一。据科学家分析,当时一个直径约 10~15 km 的小行星或彗星撞击尚未形成现今尤卡坦地台的浅海区域时,突然爆发释放出的能量约有 100 万亿吨梯恩梯当量。其能量的大部分传输给所撞击地区的地表物质,巨大与剧烈的碰撞必然产生全球效应。伴随着撞击,从撞击坑中喷抛出的尘埃、灰烬和小球体在空中所形成的离散物质在白垩纪~第三纪界线的年代遍布全球。与此同时,不但形成了巨大的陨石坑(直径>200 km),而且产生大火笼罩、粉尘喷发遮日,接着引起全球持续地变暗变冷,促使海洋中和陆地上生物的大量死亡。同时,根据奇克休罗伯当地具有碳酸盐和硬石膏等含碳及硫元素岩层,在陨石撞击的时刻产生了约 2×10^{13} t 的 CO_2 (相当于现代大气中 CO_2 的 10 倍),冲击过程还可能同时喷发近似 CO_2 数量的 SO_2 。弥漫于空中的巨量 CO_2 足以使生物普遍窒息而死亡,而大量的 SO_2 引起的酸雨和海水酸化,也使生物难以存活。生物集群灭绝的事件标志着中生代的结束,是地球有史以来生物演化发生的最大灾变之一。恐龙在地球上突然消失即在这个地

质年代。采用科学钻探的方法,对陨石坑不同部位取出撞击构造不同岩层的岩心,并分析研究了解陨石撞击机理,无论对于地质科学或是生物科学及环境科学,对于自然科学或是社会科学,对于了解过去灾难影响和改善未来生存环境,均具有重要意义。所以国际大陆科学钻探计划(ICDP)认为,必须把这个大型撞击坑看作是科学研究的最高前沿,并将‘撞击构造和生物集群灭绝’列入其十大大陆科学钻探科学主题的第 2 个科学主题。

2.2 选择奇克休罗伯陨石撞击构造开展科学钻探研究的独特条件

除了前述该撞击事件的发生与白垩纪~第三纪界线(约 6500 万年前)全球生物(恐龙种群等)灭绝的时间十分巧合外,还有它形成的规模大及年代新的原因。奇克休罗伯陨石坑的直径超过 200 km,据调查,现在地球上只有另两处陨石撞击坑的尺寸达到或超过这个规模。一个是在加拿大安大略省的萨德伯里(Sudbury),另一个在南非的弗里德堡(Vredefort)。但是这两个大型陨石撞击坑形成于约 20 亿年以前,已经严重地被侵蚀变形了。而奇克休罗伯陨石坑形成年代较晚,其内部的形状已被覆盖层保持住,只有边缘部分被冲蚀变形。所以作为研究大型陨石撞击对地质和生物演化产生的影响,奇克休罗伯陨石撞击构造几乎是唯一最佳的选择。进行这项研究,除了开展地质和地球物理调查外,最重要的就是要采用岩心钻探方法从地下取出由于陨石撞击产生的物质及其上下部分地层的实物资料。

2.3 开展科学钻探要达到的目的

(1)通过对撞击坑浅部充填物连续取心钻探,以确定直径 200 km 级陨石撞击的特征,并评价撞击对生物和气候的影响。

(2)钻探进入撞击坑的结晶基底,以确定撞击坑中央部分已抬升至少 15 km(见图 4)的深部地壳岩石特征,并确定下地壳和地壳~地幔边界岩石性质的特征。

2.4 科学钻探岩心样品的作用

沿着奇克休罗伯陨石坑径向剖面通过钻探取心,可以提供第一手完整的由陨石撞击形成的熔融岩石和角砾岩层序,这些岩心样品有以下不可估量的重要作用。

(1)评价陨石撞击岩石造成白垩纪~第三纪界线生物灭绝机制和理解尤卡坦地台演化本质。

(2)理解这些被撞击岩石在撞击过程中是如何受冲击、破碎、混和及进入撞击坑的(理解大型物体

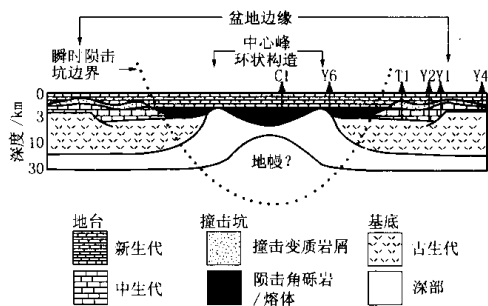


图 4 根据重力测量和钻探资料得出的奇克休罗伯陨石撞击构造示意模型^[2]

冲击性质)。

(3)加强对约束大型撞击盆地形状所作反射地震的解释。

(4)发现通过受撞击物质及其上部第三纪覆盖岩石的连续剖面,由此可以收集撞击之后动物群恢复和撞击坑长时期变形的信息,等等。

3 奇克休罗伯撞击构造科学钻探计划(CSDP)

3.1 CSDP 项目应解决的基本问题

3.1.1 陨石撞击事件的基本性质

(1)撞击过程中产生多少熔融岩石和角砾岩?

(2)伴随着产生上述物质喷出了多少抛出物?

3.1.2 冲击变形的性质

(1)受冲击的物质按其作用半径、深度和岩性的作用效果如何?

(2)在表示冲击变形、冲击熔化和相位转换等方面,被冲击物的挥发性、孔隙空间和非均匀性的作用如何?

3.1.3 陨石坑掘空形成的性质

(1)陨石坑穿透有多深?

(2)陨石坑掘空部分如何生长?

(3)在掘空过程中,喷出的岩渣被粉碎、震动和混和的效果如何?

3.1.4 喷出过程的性质

(1)喷出物质是如何传输的?(如抛射弹道方式、波动传播方式等)。

(2)喷出物质如何相互作用?与原地物质是如何结合的?等等。

3.2 CSDP 科学钻探项目的实施计划

奇克休罗伯陨石撞击构造科学钻探项目于 1996 年向国际大陆科学钻探计划(ICDP)申报,接着该项目立项建议书被批准,项目首席科学家小组(PIs)得到 ICDP 有条件的承诺,即墨西哥要加入

ICDP 组织和 PIs 筹集到另外的几百万美元用于钻探和科学目的,则 ICDP 将支持钻探经费 100 万美元。在 1999 年 3 月召开了该项目的国际研讨会,得到国内外多方面的支持,并修订了钻探和科学计划。至 1999 年底前后,墨西哥正式加入了 ICDP 组织,从而 CSDP 科学钻探项目实施深孔钻探的条件逐步成熟。

3.2.1 孔深和孔位的确定

3.2.1.1 孔深的确定

为了研究了解陨石撞击产生的地质构造基本问题和对全球产生环境效应的影响,根据已有测井资料所指示需获得的目标样品深度,计划对深度为 2500~3000 m 的主孔进行连续取心钻探。国际大洋钻探计划(ODP)拟配合 ICDP 提出在此打 2 个近海钻孔,进行互补深化研究。

3.2.1.2 孔位的确定

关于钻孔位置,需考虑以下几个要求:

(1)孔位应该在撞击坑边缘以内,以保证正确定位和保存一个完整的撞击岩性(包括熔融岩石)剖面。

(2)孔位不应在强烈破坏变形和喷出的内部区域(即中心部位)之内。

(3)孔位应该位于以前所钻钻孔的附近区域内,以便控制住地层和岩性及测井对比。

(4)孔位应在相对“安静”的道路附近,以便于将来作地震测量。

根据上述要求,已经确定 CSDP 项目的主孔和先导孔位置在撞击盆地的南侧,距撞击中心 60~80 km,大约在原有墨西哥石油公司所钻 T1 和 Y6 两个钻孔之间(见图 1、图 4)。这里有一条南北向的公路通过,交通方便,环境幽美,便于施工。2500~3000 m 深孔的具体孔位将由 CSDP 项目首席科学家小组和 ICDP 及 DOSECC(地球大陆地壳钻探、观测和取样团体)的钻探工程师协商确定。

3.2.2 CSDP 科学钻探项目的组织实施

CSDP 科学钻探项目深部钻探计划原确定的实施期限是 1998~2005 年。由于某些原因而延迟启动,实际将于 2000 年开始先钻探 700 m 的先导孔。

CSDP 科学钻探项目主要由墨西哥国立自治大学(UNAM)承担,首席科学家小组由该校路易斯教授及有关参与国家的专家组成。CSDP 项目由墨西哥承担负责,参与的国家有美国、加拿大、德国和奥地利等。该项目的资金来源有墨西哥自筹,ICDP 资助,美国若干部门和机构(能源部、地调所、科学基金会等)援助,及一些工业和私人财团支持等。

钻探工程的承包将由 ICDP、UNAM、Pemex 和 DOSECC 协商确定。钻探设备的最低要求将按钻探目标来确定。要求钻探设备在使用 CHD135 钻杆能满足取心钻探达到 3000 m 的终孔深度。也要求该设备能扩孔径 311 mm 至 18.3 m 孔深,孔径 222 mm 至 305 m 孔深。类似于通用 5000 型(Universal 5000)钻机可以满足上述要求。据 ICDP 负责人介绍,该项目将采用组合式钻机,新研制的顶驱系统将具有备用的钻深能力,将来也可用于中国的大别—苏鲁超高压变质带大陆科学钻探项目中。对于钻探设备工具的其它技术要求将和 Pemex、ICDP 运作保障组和 DOSECC 的钻探专家们共同研究商定。

钻孔位置在尤卡坦半岛北部地区,地势平坦,水源充足。基本的工程设计包括钻探设备、供水和蓄水、泥浆泵、钻探工具和材料(钻杆、套管、泥浆)、管理办公室、初级岩心处理室和临时岩心库。井场最小的尺寸约 50 m×50 m。预计井场位于 261 号联邦公路旁,便于运输和后勤供应。由汽油发电机供电,钻探工程用水由当地供给,饮用水从梅里达市运送至工地。

4 结语

在 2000 年 4 月墨西哥召开的 ICDP 会议上,我国科技部邵立勤副司长和中國大陸科学钻探工程中心的科学家许志琴、张晓西参观了奇克休罗伯陨石撞击构造科学钻探项目工地及墨西哥国立自治大学内存放的该项目已钻浅孔的岩心,特别是揭示陨石撞击坑的角砾岩和溶融岩(见图 3),并与 CSDP 首席科学家路易斯教授进行了会谈交流,这为今后双方的合作和交流打下了基础。鉴于墨西哥 CSDP 项目和我国东海 CCSD 大陆科学钻探项目在实施时间上相近(2000~2005 年),实施程序(先导孔—主孔)上相似,研究内容上相通(陨石撞击、地下岩层曾承受高压),以及有些关键设备(如顶驱系统)共用等,故对于墨西哥 CSDP 科学钻探项目予以关注,并与墨西哥国立自治大学保持和加强联系及交流是十分必要的。

参考文献:

- [1] ICDP Newsletter[J]. 2000,2(4).
- [2] Mark D. Zoback, Rolf Emmermann. Scientific Rationale for Establishment of an International Program of Continental Scientific Drilling[M]. Potsdam, Germany, 1993.
- [3] 经济合作发展组织理事会. 深部钻探[M]. 白星碧,等译. 北京:地质出版社,1996.