第84卷 第6期
2010年6月
地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA
Vol. 84 No. 6
June 2010

LITHOPROBE——加拿大地球探测计划

刘志强[1)]，陈宣华[2)]，刘刚[1)]，周琦[1)]，冯军[3)]

1) 中国地质科学院，北京，100037； 2) 中国地质科学院地质力学研究所，北京，100081；
3) 中国铝业股份有限公司，北京，100082

内容提要：LITHOPROBE是加拿大的国家级地球科学研究计划。选择10个典型剖面，每个都不同程度地代表了加拿大典型的地质特征或具全球意义的重要构造过程。时间上其地质演化跨越了40多亿年漫长的地质年代。通过地震深反射技术为先锋的以及多种不同学科的综合研究，取得一系列成果，如证实3.0 Ga前即发生与板块构造有关的作用，对古老岩石圈板块碰撞和新地壳形成过程进行了重大修正，揭示了若干大型矿集区的深部控矿构造的反射影像，使加拿大的地球科学研究走到世界的前列，本文拟通过较系统介绍LITHOPROBE，为我国深部探测技术与实验研究提供参考。

关键词：LITHOPROBE；地球探测；加拿大

岩石圈是由全球七大板块拼凑成，大板块又由众多的微板块或者地体拼接而成，在几十亿年时间里，这些板块及其前身相互进行碰撞、分离以及侧向滑动，地球物质通过再循环作用进入新的板块，经过不断混合、分选、挤压和物质交换，形成了目前的固态大陆。北美是一个非常古老的大陆，地球上已知的最老的岩石（约4.0 Ga）来自于北美的西北部的Slave省。一些最年轻的岩石形成在温哥华岛的西部和美国西北部的大洋扩张中心。加拿大出露的最古老到最新的岩石序列提供了研究当前大陆的结构以及过去的演化历史线索的基础。LITHOPROBE是加拿大为了全面了解北美大陆演化过程而设立的一个国家级地球科学研究合作项目（1984～2003年）(Clowes，1984；Clowes et al.，1984；Wilson，2003)。由加拿大地质调查局(GSC)与自然科学和工程研究理事会(NSERC)共同资助，主要以地震反射技术为先锋(Green et al.，1983)，以地质、地球化学、地球物理等多学科的综合方式为手段调查加拿大陆地和大陆边缘演化的三维结构(http://www.lithoprobe.ca)。从而把现代地球物理、地质和地球化学等学科的概念、方法和技术完全扩展到各种性质不同的重要研究地区与剖面的岩石圈深部构造的解释上，LITHOPROBE取得的研究成果大大超过了某一单一学科分支所能取得的成就(Clowes et al.，1999)。加拿大参与该研究的学者和科学家多达900多人，他们来自各大学、加拿大地质调查局、加拿大各省和地区地质部门以及矿业和石油工业的各个部门。该地球探测计划选择了10个典型的剖面：南科迪勒拉测线(SC)、卡普斯卡辛构造带剖面(KSZ)、大湖国际多学科地壳演化计划剖面(GL)、LITHOPROBE的东部剖面(LE)、阿伯蒂比—格伦维尔测线(AG)、特朗斯—哈德孙造山带剖面(THOT)、艾伯塔基底剖面(AB)、东加拿大地盾向岸—向海测线(ECSOOT)、斯拉夫—北科迪勒拉剖面(SNORCLE)和西苏必利尔剖面(WS)(Clowes，1992；Clowes et al.，2002)。这些断面空间上遍及加拿大全国，从温哥华岛至纽芬兰，从美国边界至育空(Yukon)和北西部边界(图1)，每个断面或研究区都不同程度地代表了加拿大典型的地质特征或具全球意义的重要构造过程。时间上其地质演化跨越了40多亿年漫长的地质年代。该计划共划分为5个阶段，从1984年第Ⅰ阶段开始，到2000年总计完成了深地震反射剖面169条，总长约14338.7 km(表1)。加拿大通过1984～2003年岩石圈探测计划(LITHOPROBE)的研究，取得一系列成果，如证实3.0 Ga前即发生与板块构造有关的作用，对古老岩

注：本文为国家专项“深部探测技术与实验研究”(编号SinoProbe-08-04)资助的成果。
收稿日期：2010-04-22；改回日期：2010-05-10；责任编辑：周健。
作者简介：刘志强，男，1976年生。主要从事地质学研究及深部探测专项管理等相关工作。通讯地址：100037，北京市西城区百万庄大街26号；电话：010－68994510；Email：liuzhiqiang@cags.ac.cn。

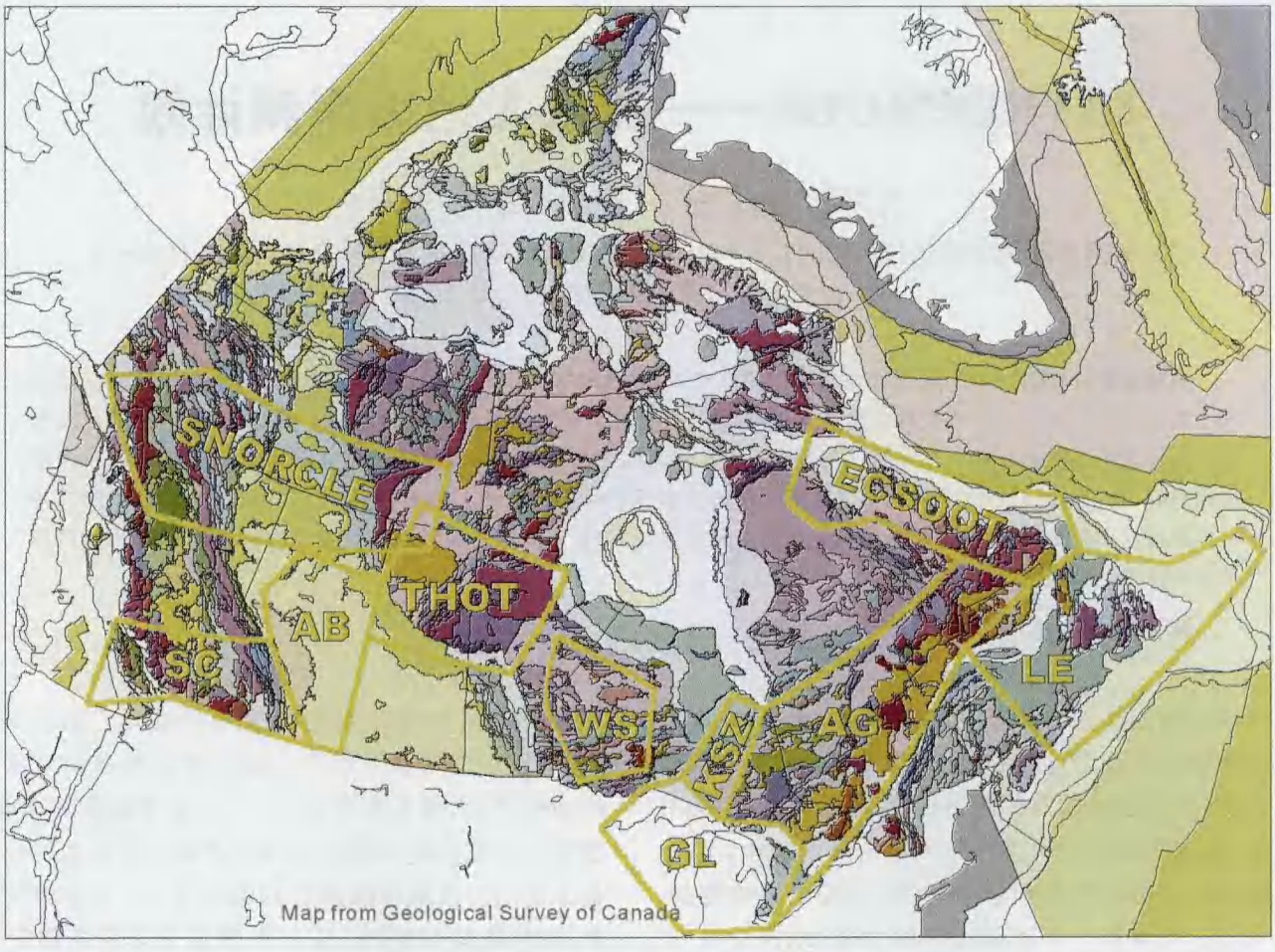


图 1 加拿大国家岩石圈探测计划(据 Clowes,1997)

Fig. 1 LITHOPROBE program in Canada(after Clowes, 1997)

SC—南科迪勒拉;SNORCLE—北科迪勒拉岩石圈演化;AB—阿尔伯塔盆地;THOT—特朗斯—哈德森造山带;WS—西苏必利尔;GL—大湖国际多学科地壳演化计划(GLIMPCE);KSZ—卡帕斯派申构造带;AG—阿伯蒂比—格伦维尔构造带;LE—东部岩石圈探针;ECSOOT—东加拿大地盾近岸—离岸

SC—Southern Cordillera; SNORCLE—Slave－northern Cordillera lithosphere evolution; AB—Alberta basin; THOT—Trans－Hudson orogen; WS—West Superior; GL—crustal evolution of the Great Lakes International Multidisciplinary Program (GLIMPCE); KSZ—Kapaskasing tectonic zone; AG—Abitibi－Grenville; LE—the eastern part of the lithosphere probe; ECSOOT—eastern Canadian shield near-shore－offshore

石圈板块碰撞和新地壳形成过程进行了重大修正,揭示了若干大型矿集区的深部控矿构造的反射影像,使加拿大的地球科学研究走到世界的前列(Wilson, 2003; Clowes et al., 2005)。

1 LITHOPROBE 计划的研究方法

为揭开加拿大大陆目前的结构和过去演化历史的神秘面纱,需要运用各种地质方法去研究人类所居住的地球。LITHOPROBE 计划取得的巨大成功在于协同的、多学科方法的运用(www.lithoprobe.ca)。地表出露的岩石包含丰富的地质、地球化学的奥秘,它们为解决一些地质问题提供了最直接的线索,是研究所有断面的基础。地球物理有深部定位的功能,因此是在研究中使用的间接的探索方法。地震多道反射法是岩石探测计划的先锋,它在深部显示最好的解决单位岩石之间的结构和边界图像。地震折射和电磁深探测能为地震深反射提供必要补充信息。势场数据(重力和磁力)为推断地下地质结构提供了一个超越有限露头的手段。地球化学分析则是陆块合并的表征。地质年代学为运动演化提供了重要资料。深地震反射剖面探测技术在揭示岩石圈结构、解决深部地质构造问题方面扮演了其他方法所不可替代的角色。特别是近垂直反射地震由于激发点和接收点密集,覆盖次数高,常常记录到清晰的连续反射波,经数据处理可获得地壳结构和莫霍面的精细图像,因而被誉为岩石圈探测的"先锋/龙

表 1　加拿大 LITHOPROBE 计划完成的深地震反射剖面情况

Table 1　The deep seismic reflection profiles completed by LITHOPROBE in Canada

剖面位置	实施时间	剖面数(个)	长度(km)
阿伯蒂比—格伦维尔测线(AG)	1990	11	920
	1993	5	990
艾伯塔基底剖面(AB)	1992	11	522
	1994	20	608
	1995	13	1037
东加拿大地盾向岸—向海测线(ECSOOT)	1992	15	984
大湖国际多学科地壳演化计划剖面(GLIMPCE)	1986	8	1340
卡普斯卡辛构造带剖面(KSZ)	1987	15	497
LITHOPROBE 的东部剖面(LE)	1989	18	668
斯拉夫—北科迪勒拉剖面(SNORCLE)	1996	1	721
	1999～2000	3	1895
南科迪勒拉(SC)	1984	4	219
	1985	6	210
	1988	15	862
特朗斯—哈德森造山带剖面(THOT)	1991	11	1076
	1994	7	997
西苏必利尔剖面(WS)	1997	6	791
总计	1990～1997	169	14337

头"技术(图 2),是研究板内造山带的构造格局和岩石圈的精细结构,探索陆内变形的形成机制的基础。①宽角反射/折射方法。根据地震波传播理论,随着观测距离的增加,地震波的反射系数随着入射角增加,在临界点处入射的全部地震能量变成反射能量,所以过临界角的振幅很大,且一次波有效信号与干扰信号的远道分开,这使得即使在单次覆盖地震记录上,甚至在噪声地区也较容易将有效反射震相识别出来。特别是噪声背景不太大时,小速度差界面的宽角反射也可识别出来,从而能获得较高的速度图像和分辨率。宽角反射记录信号包含了丰富的速度信息,具有分辨高速和低速夹层的能力,是确定莫霍面深度和上地幔顶部速度最有效的方法。②重力与磁学研究。对重力的测量可用于追踪地壳的结构密度空间变化,因为密度反射和地震速度在结构模型上相互制约,解释密度变化往往与地震折射/地震反射的解释配合进行。时间范围不同和区域变化的磁异常数据规律是解释岩层的几何形状和地下岩石的性质的一个强大工具。③电磁学(EM)。电磁的研究用于探讨地下的导电性。电导率是一种与速度和密度无关的物理性质。但是对岩石内部或岩石本身的结构组成和流体的性质极其敏感。

2　加拿大 LITHORPOBE 计划的 10 条地学断面

2.1　南科迪勒拉(Southern Cordillera)剖面

加拿大科迪勒拉山系是地球上最伟大的山系之一,南科迪勒拉断面,主要包括 Lnsular 带、Coast 带、Intermontane 带、Omineca 带、Foreland 带。LITHOPROBE 南部科迪勒拉横断面研究目标主要是确定增生地体和北美古地壳的结构和岩性、地体之间、地壳结构和第三纪扩张与早期的挤压结构、莫霍面深度和结构或者地壳的基底和间接年龄、走滑断层的深部结构和地下几何产状以及海岸带深部结构及其与俯冲地层的关系。

通过加拿大一些学者对西南部的研究,取得了一系列成果(图 3),研究表明,科迪勒拉岩石圈经过了裂谷、海底扩张、板块分离,随后是板块俯冲、洋盆关闭和板块的汇聚等过程。加拿大科迪勒拉外来地壳块体(地体)组成的板块碎片、岛弧或微大陆尤其广泛发育,这种构造关系可以用来解释世界上许多其他造山带的地质关系(Bally et al., 1966; Dahlstrom, 1970; Gordy et al., 1977; Price, 1981; Spence et al., 1985; Yorath et al., 1985; Clowes et al., 1986, 1987, 1995; Brown et al., 1986; Eaton et al., 1988, 1990; Davis et al., 1989; Journeay, 1990; Green et al., 1988, 1990b; Varsek et al., 1994; Zelt et al., 1995; van der Velden et al., 1995; Ledo et al., 2001; Monger et al., 2002)。科迪勒拉大陆地壳的形成阶段,可以概括如下几个阶段:①沿北美西部边缘发展的被动陆缘始于约 1600 Ma 并一直持续到古生代,750 Ma 开始裂解,540 Ma 大陆解体,在西部形成古洋盆。②晚泥盆纪(约 370 Ma),造山事件导致冒地槽西部的火山-岩浆侵入活动,并在陆架地层中发生微弱的收缩折叠-断裂作用。③北美大陆与洋盆的汇聚促使洋盆中的一些地体拼合到大陆的边缘,拼合上去的地体与北美大陆西部衔接,由于北美地体的增生,山系被向上抬升,大陆向西扩张;北美科迪勒拉超级大陆的发展(180 Ma),导致了 Rocky 山脉/前陆盆地和一条深成的 Omineca 变质缝合带的形成。早期通过地层斜插收缩、走滑断裂和岩浆作用地层汇聚被消减;在 100～40 Ma 之间,科迪勒拉西部大型右旋走滑断层形成,被消减的地体相对北美大陆向西运动;在白垩纪中期,孤立的超级地体增生,形成超级地体与海岸缝合带。Vancouver 岛以西 Juan de

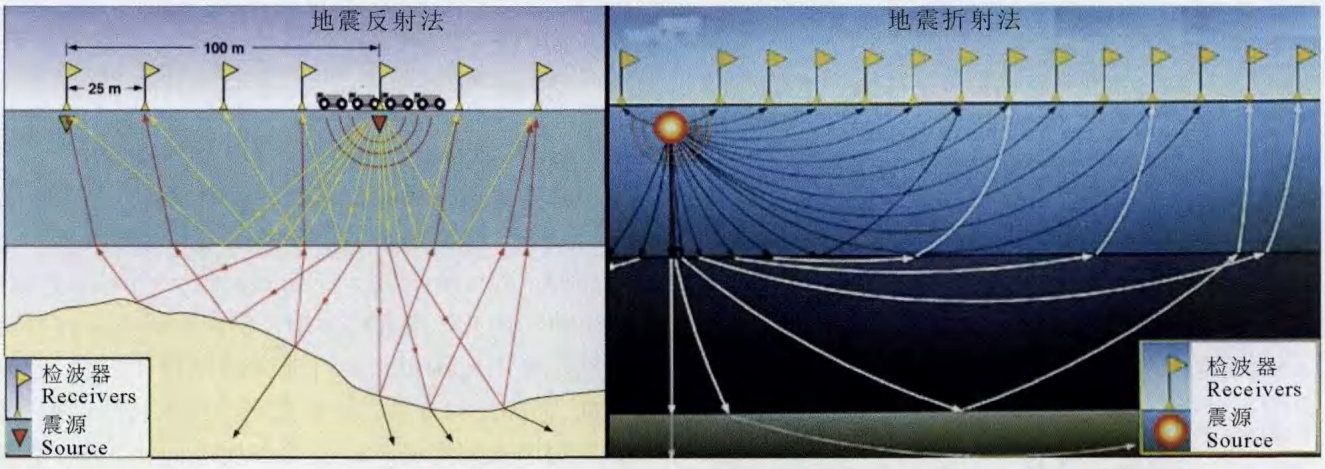


图 2 地震反射及折射方法示意图(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 2 Seismic reflection and refraction method sketch map (after www. lithoprobe. ca)

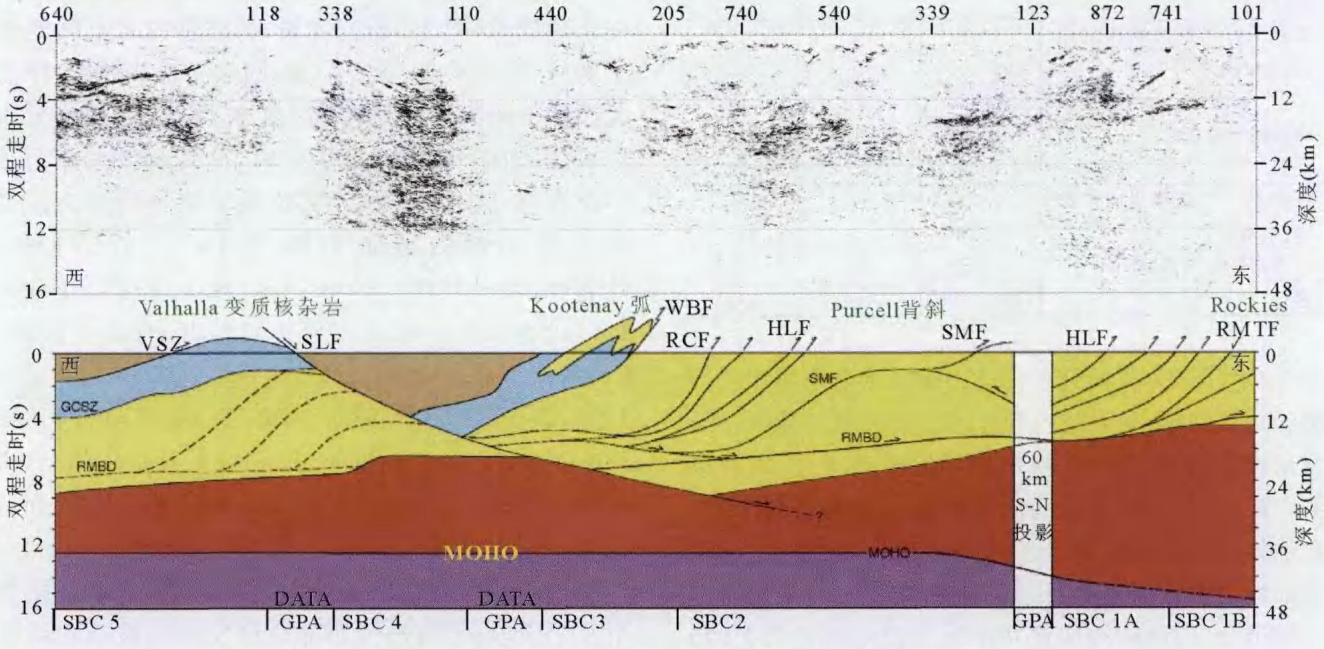


图 3 南科迪勒拉 SBC 1－5 深地震反射测线及其地质解释(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 3 Southern Cordillera － Lines SBC 1－5 and its geological interpretation (after www. lithoprobe. ca)

Fuca 板块俯冲到北美大陆板块之下的汇聚模式广泛发育。④到 58 Ma,在加拿大南部科迪勒拉山脉构造运动经历了从东向西地壳缩短增厚到大规模的东西地壳伸展减薄并伴随向西部持续走滑变形的根本性转变。⑤在古近纪的扩张时期,科迪勒拉内部一直保持相对平静,西缘经历了俯冲—消减有关的岩浆作用,向东的俯冲一直持续到今天的西海岸。

2.2 斯拉夫—北科迪勒拉(Slave － Northern Cordillera)剖面

在加拿大西北部,Great Slave 湖区向西到加拿大和美国边界的阿拉斯加“锅柄”范围内的地质特征,提供了研究大陆岩石圈 4.0 Ga 地质历史时期的构建和演变场所(Oliver et al., 2001)。位于西北地区西部的太古宙早期 Slave 克拉通,包括在地球上已知最古老的地壳(4.0 Ga),与中—晚期太古宙高级克拉通内部结构、岩石组成类型及元古宙造山带接触带显著不同(Thorkelson et al., 2001)。Slave 克拉通西部和南部边界是年龄范围在 2100～1100 Ma 元古宙的特征。研究其性质、几何形状和年代关系以及从太古宙地壳逐步过渡到较年轻的元古宙造山带的转换关系,查明北部 Cordilleran 造山带的复杂结构特征以及交替增生和随后地体通过平行走滑变形后的解体事件,讨论 2500 km 长的 Cordilleran 造山带前陆盆地无论是面积和垂直方向上南部都比北部更广阔的原因,是

斯拉夫—北科迪勒拉断面的主要任务和目标,也代表了国际科学研究的热点方向。由于该断面含有潜在的石油等资源,加拿大石油工业部门对断面盆地部分和东北部几条地壳深剖面表示出极大的兴趣。为了创造从地球上最古老的地壳延伸到太平洋板块近乎连续的、多学科的研究廊带,SNORCLE 原计划的两条剖面还积极与美国 ACCRETE 项目资助的剖面相连接(图 4)。

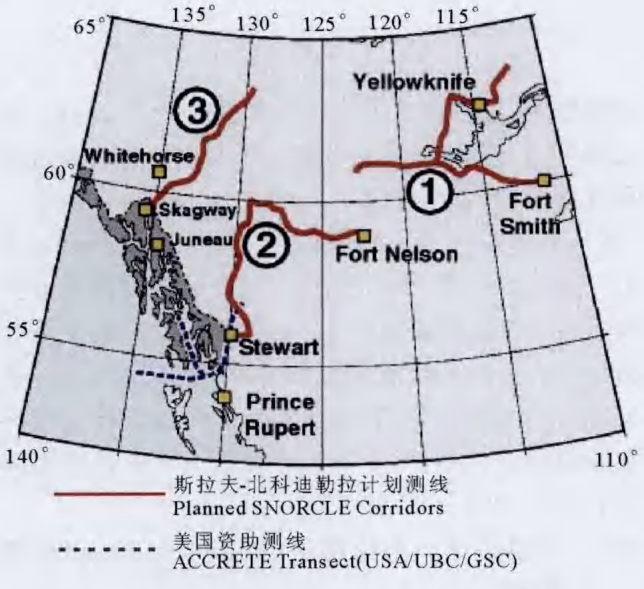


图 4　斯拉夫—北科迪勒拉剖面地震测线部署图(据 www.lithoprobe.ca)

Fig. 4　Seismic lines of SNORCLE—Slave Cordillera (after www.lithoprobe.ca)

SNORCLE 断面采集了 2600 多千米地震剖面数据,在加拿大西部显生宙沉积盆地、Fort Simpson 盆地、Fort Simpson 地体、Hottah 盆地、地幔、Hottah—Slave 转换带等研究取得了积极成果。Fort Simpson 地体分散的反射勾画出了岩石圈尺度的分层结构(Cook et al., 1999a, 1999b; Fernandez et al., 1999, 2002)。特别是 SNORCLE 1 号测线,接收到了来自 80～100 km 深度的地幔反射地震图像,这可能是目前能观测到的可控震源最深的反射图像。

2.3　艾伯塔(Alberta)基底剖面

Alberta 断面的调查主要在 Peace River Arch (PRAISE)、Alberta 中部(CTA)和 Alberta 南部(SALT 95)3 个地区。Peace River Arch 剖面从 Farmington 到 Entwhistle Alberta 约 627.5 km,它的显生宙沉降史与整个加拿大西部沉积盆地(WCSB)沉降的特点几乎一致。其基底与早元古代(2400～1780 Ma)和太古宙微大陆碰撞并伴随岩浆活动及地壳的变形有关。研究的目的就是确定它的性质、地壳的几何学特征、基底构造域特征以及与 WCSB 演化的相互关系(Ross, 1990)。中央断面从 Alberta-Saskatchewan 西北部边界延伸到 Edmonton 西北。它横穿了 Hearne 西部太古宙克拉通进入 Rae 西部太古宙克拉通古元古代岩体,其边界正好在 Rae 和 Hearne 省之间,磁异常显示了 Alberta 中央基底位置(Eaton et al., 1995)。SALT 剖面主要是获取地壳尺度(双向 18 s)地震反射数据,解释区域构造演化及加拿大西部沉积盆地基底结构。LITHOPROBE 计划地震反射数据揭开了前寒武纪基底性质和几何结构以及它们与显生宙构造地层单元之间的关系(Kanasewich et al., 1969; Ross et al., 1991; Ross, 1995)。

2.4　跨哈德森(Trans—Hudson)造山带

Trans—Hudson 造山带是在北美唯一完全保留的早元古代造山带(Jones et al., 1990; Symons, 1991)。它是元古宙地壳增生与早期存在的太古宙大陆碰撞形成的。在 THO 地区太古宙大陆分布于 Superior 省东南部和 Hearne—Rae 省西北部。在 Saskatchewan 和 Manitoba 北部,宽 500 km 的造山带主要包括 4 个岩石构造区:东南前陆区、元古宙地壳内部的年轻区、安第斯型岩浆弧岩基区、西北腹地区。

通过反射地震调查,已取得了突出的地震反射显示成果:Superior 省造山带边界整个前陆地带的地壳普遍向东倾斜反射(不是先前预测的向西部倾斜),这样的结果需要对目前的边界大地构造模式和整个造山带作出重大修订。在造山带西段,地壳大规模隆起与 Glennie 岩浆弧型花岗岩通过太古宙基底"窗口"侵入不谋而合。这个隆起被认为是一个以前未知的太古宙微大陆(图 5)。

2.5　西苏必利尔(Superio)横断面

Superio 省是几个构成北美大陆太古宙克拉通核部最大的克拉通(White et al., 1998; Böhm et al., 2000)。在 Ontario 省西部,裸露的岩石区体现了"典型"的前寒武纪地盾。Superio 省内部突出的构造特征是 100～200 km 宽的由一系列花岗质绿岩、深成变质岩、变质亚区所构成的岩石构造带。Superio 断面的主要目的是了解亚区内部及亚区之间的地质关系,并用 3200～2650 Ma 洋壳增生、岛弧、透镜状沉积、大陆会聚板块边缘的碎片堆积等现

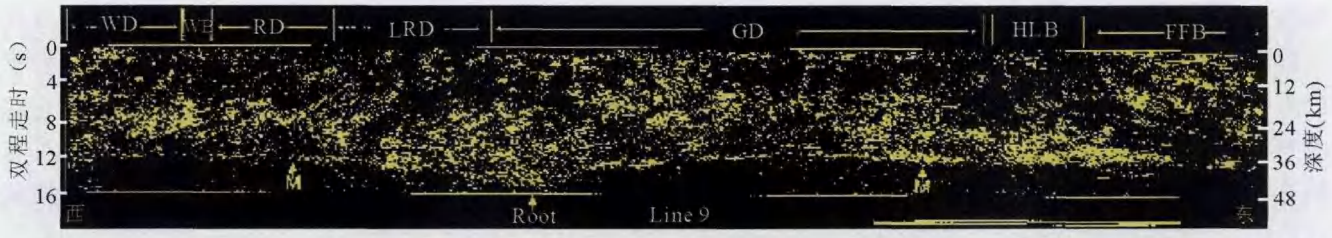


图 5 沿 9 号线采集的地震反射数据偏移线条图据(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 5 Migrated line drawing of seismic reflection data collected along line 9 (after www. lithoprobe. ca)

反射(黄点)底部代表了壳、幔过渡带(反射莫霍面),最厚达 45 km 的地壳被解释为是一虏获的太古宙微大陆

Base of reflections (yellow dots) represents the crust—mantle transition (reflection Moho),

The thickest crust (45 km) is interpreted as a trapped Archean microcontinent

代构造模型进行解释。同时获得了可以广泛利用的高质量的地质数据库、航磁图、确切的年龄数据以及现代结构模型(图 6)。

2.6 大湖(Great Lake)国际多学科地壳演化计划断面

大湖国际多学科地壳演化计划断面主要针对大湖区深部地质的调查(Behrendt et al., 1990; Cannon et al., 1991)。Superior 湖涵盖了 1100 Ma Keweenawan 抬升体系,一个从 Kansas 到 Michigan 中部延伸 2000 km 的弓状结构。这种结构是目前地球上已知最深刻的裂谷(Cannon et al., 1989),总计 25 km 的同裂谷期火山岩和蒙脱石沉积另加 10 km 裂谷后期沉积物。地壳变薄到北美几乎分裂成两个独立区块的程度。在 Huron 湖,Grenville Front 构造带(1300～1000 Ma)被证明是一个洲际碰撞并形成了山系,它或许可与今天的喜马拉雅山相媲美。这些山系被迅速侵蚀,只有造山带深部山根出露。演化模式推断如下:①1800～1300 Ma 之间,Front 岩体处于一个较低水平;②约 1300 Ma,大陆外缘通过西北向迁移的微地体被推覆到地下;③约 1200 Ma 来自西北方向逆冲推力把下沉的岩体重新推覆到地表,形成山系。

2.7 卡帕斯派申(KSZ)构造带

Kapuskasing 隆起是一个神秘的东北向高度变质的岩体,它穿越北美克拉通的核心处 Superior 省南部大部太古宙东西向分布的低级岩性带。通过多种方法的研究表明(Cook, 1985; Percival et al., 1986; Boland et al., 1988; Halls et al., 1990):它是一个沿 55～70 km 处中、下地壳的岩石滑脱面向南东逆冲推覆到表面厚 20 km 的地壳,伴随下地壳山根发育上地壳变形达到 200 km 宽,12 km 厚。通过 20 km 处脆性断裂和侵蚀以及下地壳韧性褶皱和断层完成了挤压。KSZ 是研究中—下地壳裸露岩石实验室的一个"窗口"。

2.8 阿伯蒂比－格伦维尔(Abitibi－Grenville)构造带

Abitibi 亚省是最大的也许是世界上研究太古宙花岗质绿岩地体最好的地区(Green et al., 1990a; Mueller et al., 1992; Ludden et al., 1993; Desrochers et al., 1993, 1996)。它储存了加拿大大部分的矿产资源。是加拿大矿产资源最主要的产地。Grenville 省是太古宙和元古宙构造叠加的代表地区。Abitibi－Grenville 构造带的重点是研究太古宙 Abitibi 绿岩和 Superior 省南部北美克拉通核心区,以及从瑞典南部延伸至墨西哥南部暴露在加拿大东南部的地盾,中元古代 Grenville 造山带,Abitibi 研究的首要目的是确定绿岩带以及周围亚省的三维几何形状以及内部结构,并且确定其地壳

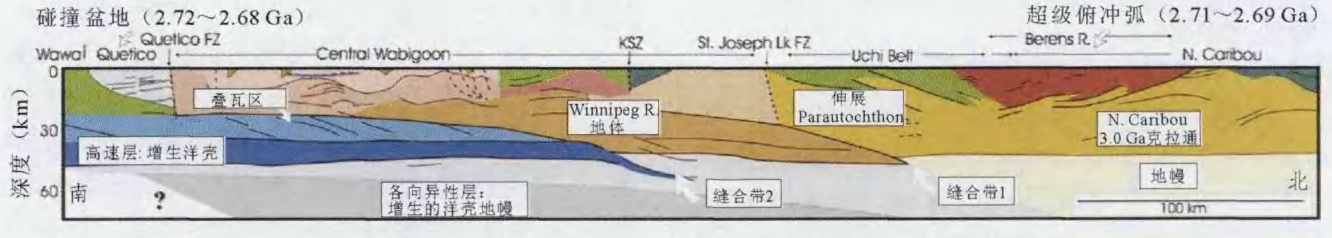


图 6 Superior 断面西部地震反射综合解释图(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 6 Reflection interpretation of western Superior transect (after www. lithoprobe. ca)

结构和特性与开发矿产资源之间的关系(Bellefleur et al., 1998)。

2.9 东部岩石圈探针(LE)

海盆的开裂和闭合是地球持续演化的基本过程。纽芬兰岛剖面的重点是古生代(600～275 Ma) Iapetus 古海洋的开裂和闭合的地质演化。随着大西洋中生代(? 165～90 Ma)的开裂,为抵消空间补偿,Iapetus 洋沿北美东部 Appalachian 造山带封闭形成缝合带。大量地球物理资料的解释表明在下地壳至少存在海洋和陆地两块块体,也许与劳伦大陆(Laurentian)和冈瓦纳大陆(Gondwanan)有关(Keen et al., 1987; Stockmal et al., 1990; van der Velden et al., 2004)。劳伦大陆裂解及岩石圈下地壳俯冲与冈瓦纳大陆随 Lurentia 古大洋关闭发生陆-陆碰撞,Iapetus 洋壳逆冲到陆壳之上。多学科的数据集成,使大陆地壳演化模型得到较大发展。LITHOPROBE 研究已经大大改变了纽芬兰 Appalachians 山脉以前的演化模式,并提出了一个更全面的演变过程和结构模型。

2.10 东加拿大地盾向岸—向海(ECSOOT)断面

Labrador 东部和魁北克(Quebec)北部地质特征代表了前寒武纪大陆演变的缩影。目前 3 个太古宙克拉通(Superior, Rae, Nain)和 5 个元古宙造山带(Eastern Churchill 省包括新 New Quebec、Torngat 造山带、Labrador 造山带、Makkovik 和最东面 Grenville 省)记载了 3800～900 Ma 地质历史和北美东部的地质编年史。Nain 省岩石圈结构、元古宙造山带的三维结构以及前寒武纪基底构造和中、新生代边界发展之间的联系构成了东加拿大地盾向岸—向海断面研究的主体和方向(Connelly et al., 1999; Hall et al., 2002; Funck et al., 2008)。

3 LITHOPROBE 计划取得的部分重大成果及其意义

LITHOPROBE 计划在深部基础地质研究、矿产资源勘探、人才培养、地质仪器研制、重大科技专项的管理等方面均取得了很好的成果。

(1)地质研究:取得了大量的高精度的地震反射、重力、电磁、地球化学等数据(图 3,图 5,图 7,图 8),获得 3 种类型的 Moho 深地震反射剖面(Cook, 2002):透明的 Moho 反射、近水平的 Moho 反射以及穿透地幔的反射;在阿伯蒂比—格伦维尔构造带取得 3 个重要的科学发现:①保留有太古宙俯冲带。Lithoprobe 48 测线,穿过 Quebec 西部 Superior 省太古宙 Opatica 带(图 7),它是迄今为止太古宙板块构造存在的最有力证据。Opatica 带浅部侵入的片麻岩带反射特征可追踪到近 30 km 的深处,这几乎是地壳的厚度。②Grenville Front 地壳结构。通过运动学和地震反射剖面的研究(Indares et al., 1990a, 1990b; Milkereit et al., 1992; White et al., 1994; Eaton et al., 1995; Martignole et al., 1996),提出一个因西北向的地壳叠加产生广泛的造山带以及地壳增厚的构造发育演化模式。③Sudbury 结构。加拿大地盾研究最深入的地区之一,因出产世界级的镍、铜、钴和铂族元素矿产而闻名。通过地球物理、地球化学、钻井等综合研究,揭示了杂岩体的几何形态并建立了这一地区新的构造模型(Fueten et al., 1992; Hearst et al., 1993; Miao et al., 1994; Milkereit et al., 1994; Moon et al., 1999; Boerner et al., 2000);在 Trans Hudson 造山带发现了一个穿过整个地壳范围的构造隆起带,推测为异地的太古宙微大陆(Symons, 1991; Meyer et al., 1992; Lucas et al., 1993; Gala et al., 1998; Yang et al., 1998a, 1998b; Thomas et al., 1999; White et al., 2000; Schwerdtner et al., 2001; Rolandone et al., 2002; Hollings et al., 2002; White, 2005);另外在太古宙绿岩带(Woods et al., 1986; Boland et al., 1989; Feng et al., 1991; Tomlinson et al., 1996; Perron et al., 1998)、造山带花岗岩区(Roy et al., 2000)、火山杂岩区(Milkereit et al., 1992)等地区探测方面取得重要进展,开辟了成矿学研究和深部找矿的新思路,LITHOPROBE 计划总结出的一些有关加拿大大陆演化和发展的等诸多崭新观点(Clowes et al., 1998),为石油和工业矿产的开采战略提供新的研究基础和指导(White et al., 2000; Milkereit et al., 2000),并对西海岸板块构造及地震灾害认识提供了新的线索和资料。

(2)LITHOPROBE 计划管理:LITHOPROBE 是加拿大的国家级科研计划,之所以取得巨大的成功,项目的科学管理起着重要的作用。LITHOPROBE 计划设有项目负责人、秘书处、咨询专家组(包括专家委员会和各分支委员会)、3 个分支委员会:地质与地球化学委员会,大地电磁和其他的地球物理委员会,地震和地震处理中心等;项目负责人负责本项目科学的领导、协调和沟通。秘书处由项目负责人领导,负责该项目各个部分之间的联系和协调。咨询专家组的责任是确保项目科学和技

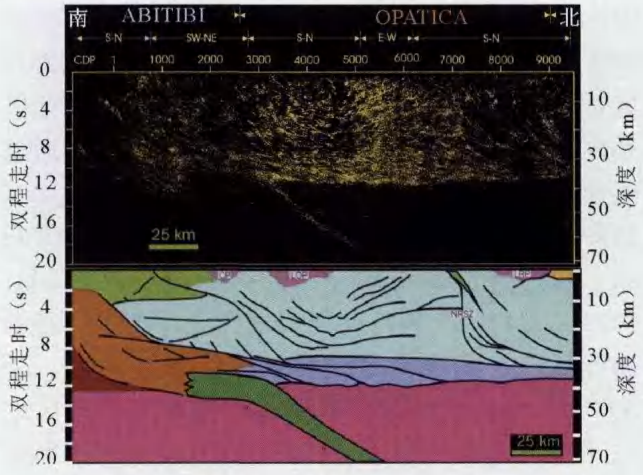


图 7 LITHOPROBE 48 测线地震反射剖面及其地质解释(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 7 Seismic reflection profile of line 48 of LITHOPROBE and its geological interpretation (after www. lithoprobe. ca)

Abitibi－Opatica 亚省边界下方的壳幔叠瓦结构，上地幔倾斜构造为洋壳下插板块，为俯冲痕迹的标志

Crust－mantle imbrication beneath the Abitibi－Opatica subprovince boundary. The dipping structure in the upper mantle is interpreted as a trapped slab of oceanic crust, marking a subduction scar

术发展的方向。3 个分支委员会是负责为本学科方向的一些科学问题提供意见和建议。另设地震数据处理和存储中心(LSPF)，负责地震数据的统一处理和存储工作。LITHOPROBE 取得巨大成功的另外一个重要原因就是开放性，无论是在参与的人员、单位还是资金的投入都是对全社会甚至全球开放，它欢迎任何科研人员或单位的参与，无论你是加拿大人还是美国人，也欢迎任何单位和个人资金的投入，只要你是以科学研究为目的。当然 LITHOPROBE 计划所取得的成果——深反射地震、重力、磁力等数据以及各个剖面的解释也是对外开放的。

(3)人才培养：参与 LITHOPROBE 计划的青年科学家超过 400 人。本科生、研究生、博士生、博士后、助理研究员等也是该项目的重要组成，他们接受了一个协作的、多学科研究环境的教育。目前这些青年科学家已经充实到工业、政府以及科研的各个部门。

(4)矿产资源勘探：LITHOPROBE 计划在深入了解北美大陆地壳结构和演化的同时，对深部矿产资源的勘探也取得了丰硕的成果：如在纽芬兰省西部海岸发现了石油资源，在 Saskatchewan 中部地区发现了含有微钻石的金伯利岩带。

(5)仪器研制：LITHOPROBE 计划在取得地质调查巨大成就的同时，地质仪器的研制也取得了突破性进展，许多先进的仪器设备已经进入工业化生产阶段并销售到全世界各地，如由地震学家设计的便携式折射地震仪专利转移到加拿大 Scinrex 地球物理公司；大地电磁仪的设计和生产技术转移到加拿大凤凰地球物理公司。

4 结论

总之，加拿大通过实施 LITHOPROBE 计划，新探明的矿产资源使加拿大的石油开采业和金属矿产勘探业有了更大的发展机会，一些地质仪器的研究也取得较大的进步。加拿大研制的地震记录仪、超深电磁测深系统等地质仪器已销售到全世界多个国家。同时加拿大的地壳结构和演化理论也取得了快速的发展，加拿大一举跨入世界地质研究强国的行列。另外还促进了大学地球科学家与政府、行业之间的合作，培养了大批高素质的地球科研人员，



图 8 南不列颠哥伦比亚地震剖面及其解释(据 www. lithoprobe. ca)

Fig. 8 Geological cross-section of southern British Columbia and its explanation (after www. lithoprobe. ca)

LITHOPROBE计划不但具有巨大的科学意义和社会意义,扩大了加拿大国际地学地位和影响,同时也获得了较大的经济效益。

致谢:本文得到了吴珍汉研究员和李秋生研究员的帮助和指导,致以衷心的感谢!

参 考 文 献

Bally A W, Gordy P L, Stewart G S. 1966. Structure, seismic data and orogenic evolution of the southern Canadian Rockies. Bull. Can. Petr. Geol., 14: 337～381.

Bellefleur G, Calvert A J, Chouteau M C. 1998. Crustal geometry of the Abitibi subprovince, in light of 3D seismic reflector orientations. Canadian Journal of Earth Sciences, 35: 569～582.

Behrendt J C, Hutchinson D R, Lee M W, Thornber C R, Tréhu A, Cannon W F, Green A G. 1990. GLIMPCE seismic reflection evidence of deep crustal and upper mantle intrusions and magmatic underplating associated with the Midcontinent rift system of North America. Tectonophysics, 173: 595～615.

Brown R L, Journeay J M, Lane L S, Murphy D C, Rees C J. 1986. Obduction, backfolding and piggyback thrusting in the metamorphic hinterland of the southeastern Canadian Cordillera. Jour. Struct. Geol., 8: 255～268.

Böhm C O, Heaman L M, Corkery M T. 2000. Archean crustal evolution of the northwestern Superior craton margin: U-Pb zircon results from the Split Lake Block. Canadian Journal of Earth Sciences, 36: 1973～1987.

Boerner D, Milkereit B, Davidson A. 2000. Geoscience impact: a synthesis of studies of the Sudbury structure. Canadian Journal of Earth Sciences, 37: 477～501.

Boland A V, Ellis R M, Northey D J, West G F, Green A G, Forsyth D A, Mereu R F, Meyer R P, Morel-à-Huissier P, Buchbinder G G R, Asudeh I, Haddon R A W. 1988. Seismic delineation of upthrust Archean crust in Kapuskasing, Northern Ontario. Nature, 335: 711～713.

Boland A V, Ellis R M. 1989. Velocity structure of the Kapuskasing uplift, northern Ontario, from seismic refraction studies. Journal of Geophysical Research, 94: 7189～7204.

Cook F A. 1985. Geometry of the Kapuskasing structure from a lithoprobe pilot reflection survey. Geology, 13: 368～371.

Cannon W C, Green A G, Hutchinson D R, Lee M W, Milkereit B, Behrendt J C, Halls H C, Green J C, Dickas A B, Morey G B, Sutcliffe R, Spencer C. 1989. The North American midcontinent rift beneath Lake Superior: from GLIMPCE seismic reflection profiling. Tectonics, 8: 305～332.

Cannon W F, Lee M W, Hinze W J, Schulz K, Green A G. 1991. Deep crustal structure of the Precambrian basement beneath northern Lake Michigan, mid-continent North America. Geology, 19: 207～210.

Clowes R M. 1984. Phase 1 LITHOPROBE: a coordinated national geoscience project. Geoscience Canada, 11: 122～126.

Clowes R M, Green A G, Yorath C J, Kanasewich E R, West G F, Garland G D. 1984. LITHOPROBE—a national program for studying the third dimension of geology. Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists, 20: 23～39.

Clowes R M, Spence G D, Ellis R M, Waldron D A. 1986. Structure of the crust in a young subduction zone: results from reflection and refraction studies. In: Barazangi M, Brown L, eds. The Continental Crust. American Geophysical Union, Geodynamic Series. Reflection Seismology, 14: 313～321.

Clowes R M, Brandon M, Green A G, Yorath C J, Sutherland-Brown A, Kanasewich E R, Spencer C S. 1987. LITHOPROBE southern Vancouver Island: Cenozoic subduction complex imaged by deep seismic reflections. Can. J. Earth Sci., 24: 31～51.

Clowes R M. 1992. LITHOPROBE: an integrated approach to studies of crustal evolution. Geotimes, Agu: 12～14.

Clowes R M. 1997. LITHOPROBE phase IV: multidisciplinary studies of the evolution of a continent—a progress report. Geoscience Canada, 23: 109～123.

Clowes R M, Zelt C A, Amor J R, Ellis R M. 1995. Lithospheric structure in the southern Canadian Cordillera from a network of seismic refracrion lines. Can. J. Earth Sci., 32: 1485～1513.

Clowes R M, Cook F A, Ludden J N. 1998. Lithoprobe leads to new perspectives on continental evolution. Gsa Today, 8(10): 1～7.

Clowes R M, et al. 1999. Canada's LITHOPROBE Project (Collaborative, multidisciplinary geoscience research leads to new understanding of continental evolution). Episodes, 22 (1): 3～20.

Clowes R M, Buriyank M J A, Gorman A R, Kanasewich E R. 2002. Crustal velocity structure from SAREX, the southern Alberta refraction experiment. Canadian Journal of Earth Sciences, 39 (3): 351～373.

Clowes R M, Philip T C Hammer, Gabriela Fernandez Viejo, Welford J Kim. 2005. Lithospheric structure in northwestern Canada from LITHOPROBE seismic refraction and related studies: a synthesis. Canadian Journal of Earth Sciences, 42: 1277～1293.

Connelly J N, Ryan A B. 1999. Age and tectonic implications of Paleoproterozoic granitoid intrusions within the Nain Province near Nain, Labrador. Canadian Journal of Earth Sciences, 36: 833～853.

Cook F A, van der Velden A J, Hall K W, Roberts B J. 1999a. Tectonic delamination, and subcrustal imbrication of the Precambrian lithosphere in northwestern Canada mapped by LITHOPROBE. Geology, 26: 839～842.

Cook F A, van der Velden A J, Hall K W, Roberts B J. 1999b. Frozen subduction in Canada's Northwest Territories: LITHOPROBE deep lithospheric reflection profiling of the western Canadian Shield. Tectonics, 18: 1～24.

Cook F A. 2002. Fine structure of the continental reflection Moho. Geological Society of America Bulletin, 114: 64～79.

Dahlstrom C D A. 1970. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. Bull. Can. Petr. Geol., 18: 332～406.

Davis E E, Hyndman R D. 1989. Accretion and recent deformation of sediments along the northern Cascadian subduction zone. Geological Society of America Bulletin, 101: 1465～1480.

Desrochers J P, Hubert C, Ludden J, Pilote P. 1993. Accretion of Archean oceanic plateau fragments in the Abitibi greenstone belt, Canada. Geology, 21: 451～454.

Desrochers J P, Hubert C. 1996. Structural evolution and early

accretion of the Archean malartic composite block, southern Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 33: 1556～1569.

Eaton D W S, Cook F A. 1988. LITHOPROBE seismic imaging of Rocky Mountain structures east of Canal Flats, B. C. Can. J. Earth Sci., 25: 1339～1348.

Eaton D W S, Cook F A. 1990. Crustal structure of the Valhalla complex, British Columbia from LITHOPROBE seismic reflection and potential field data. Canadian Journal of Earth Sciences, 27: 1048～1060.

Eaton D W, Milkereit B, Ross G M, Kanasewich E R, Geis W, Edwards D J, Kelsch L, Varsek J. 1995. Lithoprobe basin-scale seismic profiling in central Alberta: influence of basement on the sedimentary cover. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 43: 65～77.

Fernandez Viejo G, Clowes R M, Amor J R. 1999 Imaging the lithospheric mantle with seismic wide-angle reflections. Geophysical Research Letters, 26: 2809～2812.

Fernandez Viejo G, Clowes R M. 2002 Lithospheric structure beneath the Archaean Slave Province and Proterozoic Wopmay Orogen, northwestern Canada, from a LITHOPROBE refraction wide/angle reflection survey. Geophysical Journal International, submitted.

Feng R, Kerrich R. 1991. Single zircon age constraints on the tectonic juxtaposition of the Archean Abitibi greenstone belt and Pontiac subprovince, Quebec, Canada. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55: 3437～3441.

Fueten F, Redmond D. 1992. Structural studies in the southern Province south of Sudbury, Ontario. In: Current Research. Geological Survey of Canada, (92～1C): 179～187.

Funck T, Hansen A K, Reid I D, Louden K E. 2008. The crustal structure of the southern Nain and Makkovik provinces of Labrador derived from refraction seismic data. Canadian Journal of Earth Sciences, 45: 465～481.

Gala M G D, Symons T A, Palmer H C. 1998. Geotectonics of the Hanson Lake Block, Trans Hudson orogen, central Canada: a preliminary paleomagnetic report. Precambrian Research, 90: 85～101.

Gordy P L, Frey F R, Norris D K. 1977. Geological guide for the Canadian Society of Petroleum Geologists 1977 Waterton-Glacier Park field conference. Can. Soc. Petr. Geol. (Calgary, Alberta), 93.

Green A G, Clowes R M. 1983. Deep geology from seismic reflection studies in Canada. First Break, (July issue): 24～33.

Green A G, Milkereit B, Davidson A, Spencer C, Hutchinson D R, Cannon W F, Lee M W, Agena W F, Behrendt J C, Hinze W J. 1988. Crustal structure of the grenville front and adjacent terranes. Geology, 16: 788～792.

Green A G, Milkereit B, Mayrand L J, Ludden J N, Hubert C, Jackson S L, Sutcliffe R H, West G F, Verpaelst P, Simard A. 1990a. Deep structure of an Archean greenstone terrane. Nature, 344: 327～330.

Green A G, Clowes R M, Ellis R M. 1990b. Crustal studies across Vancouver Island and adjacent offshore margin. In: Green A G, ed. Studies of Laterally Heterogeneous Structures Using Seismic Refraction and Reflection Data. Geol. Surv. Can., 3～25.

Halls H C, Palmer H C. 1990. The tectonic relationship of two early Proterozoic dyke swarms to the Kapuskasing structural zone: a paleomagnetic and petrographic study. Canadian Journal of Earth Sciences, 27: 87～103.

Hall J, Wardel R J. 2002. Proterozoic evolution of the northeastern Canadian shield: Lithoprobe Eastern Canadian Shield Onshore-Offshore Transect. Canadian Journal of Earth Sciences, 39: 563～897.

Hearst R, Morris W, Thomas M. 1993. Magnetic interpretation along the Sudbury Structure LITHOPROBE Transect. Geophysical Research Letters, 21: 951～954.

Hollings P, Ansdell K. 2002. Paleoproterozoic arc magmatism imposed on an older backarc basin: Implications for the tectonic evolution of the Trans-Hudson orogen, Canada. Geological Society of America Bulletin, 114: 153 ～ 168.

http://www.lithoprobe.ca.

Indares A, Martignole J. 1990a. Metamorphic constraints on the evolution of the allochthonous monocyclic belt of the Grenville province, western Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 27: 371～386.

Indares A, Martignole J. 1990b. Metamorphic constraints on the evolution of the gneisses from the parautochthonous and allochthonous belts, Grenville province, western Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 27: 371～386.

Journeay J M. 1990. A progress report on the structural and tectonic framework of the southern Coast belt. British Columbia: Geol. Surv. Can., 90～195.

Jones A G, Craven J A. 1990. The North American Central Plains conductivity anomaly and its correlation with gravity, magnetic, seismic, and heat flow data in Saskatchewan, Canada. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 60: 169～194.

Kanasewich E R, Clowes R M, McCloughan C H. 1969. A buried Precambrian rift in western Canada. Tectonophysics, 8: 513～527.

Keen C E, Stockmal G S, Welsink H, Quinlan G, Mudford B. 1987. Deep crustal structure and evolution of the rifted margin northeast of Newfoundland: results from LITHOPROBE east. Canadian Journal of Earth Sciences, 24: 1537～1549.

Ledo J, Jones A G. 2001. Regional electrical resistivity structure of the southern Canadian Cordillera and its physical interpretation. Journal of Geophysical Research, 106: 30755～30769.

Lucas S B, Green A, Hajnal Z, White D, Lewry J, Ashton K, Weber W, Clowes R. 1993. Deep seismic profile across a Proterozoic collision zone: surprises at depth. Nature, 363: 339～342.

Ludden J N, Hubert C, Barnes A, Milkereit B, Sawyer E. 1993. A three dimensional perspective on the evolution of Archean crust: LITHOPROBE seismic reflection images in the southwestern Superior province. Lithos, 30: 357～372.

Meyer M T, Bickford M E, Lewry J F. 1992. The Wathaman batholith: an Early Proterozoic continental arc in the Trans-Hudson orogenic belt, Canada. Geological Society of America Bulletin, 104: 1073～1085.

Milkereit B, Green A, the Sudbury Working Group. 1992. Deep geometry of the Sudbury structure from seismic reflection profiling. Geology, 20: 807～811.

Martignole J, Calvert A J. 1996. Crustal scale shortening and extension across the Grenville Province of western Quebec. Tectonics, 15: 376～386.

Miao X G, Moon W M, Milkereit B, Mwenifumbo C J. 1994. Three-component vertical seismic profiling (VSP) experiment in the Sudbury basin. Geophysical Research Letters, 21: 939～942.

Milkereit B, White D J, Green A G. 1994. Towards an improved seismic imaging technique for crustal structures: the LITHOPROBE sudbury experiment. Geophysical Research Letters, 21: 927～930.

Milkereit B, Berrer E K, King A R, et al. 2000. Development of 3-D seismic exploration technology for deep nickel-copper deposits—a case history from the Sudbury basin, Canada. Geophysics, 65(6): 1890～1899.

Monger J, Price R. 2002. The Canadian Cordillera: Geology and tectonic evolution. CSEG Recorder, 27: 17～36.

Moon W M, Jiao L X. 1999. Sudbury meteorite-impact structure modeling with LITHOPROBE high-resolution seismic refraction results. Geoscience Journal, 2: 26～36.

Mueller W, Donaldson J A. 1992. Development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada: an overview. Canadian Journal of Earth Sciences, 29: 2249～2265.

Oliver D H, Hansen V L. 2001. Kilometre-scale folding in the Teslin zone, northern Canadian Cordillera, and its tectonic implications for the accretion of the Yukon-Tanana terrane to North America: Discussion. Canadian Journal of Earth Sciences, 38: 879～882.

Percival J A, McGrath P H. 1986. Deep crustal structure and tectonic history of the northern Kapuskasing uplift of Ontario: an integrated petrological-geophysical study. Tectonics, 5: 553～572.

Perron G, Calvert A J. 1998. Shallow, high-resolution seismic imaging at the ansil mining camp in the Abitibi greenstone belt. Geophysics, 63(2): 379～391.

Price R A. 1981. The Cordilleran foreland thrust and fold belt in the southern Canadian Rocky Mountains. In: McClay K R, N V Price, eds. Thrust and Nappe Tectonics. Geol. Soc. London Spec. Publ., 9: 426～448.

Rolandone F, Jaupart C, Mareschal J C, Gariepy C, Bienfait G, Carbone C, Lapointe R. 2002. Surface heat flow, crustal temperatures, and mantle heat flow in the Proterozoic Trans Hudson orogen, Canadian shield. Journal of Geophysical Research, 107(B12): 2341.

Ross G M. 1990. Deep crust and basement structure of the Peace River Arch region: constraints on mechanisms of formation. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 38A: 25～35.

Ross G M. 1995. Paleoproterozoic collisional orogen beneath western Canada sedimentary basin imaged by lithoprobe crustal seismic-reflection data. Geology, 23: 195～199.

Ross G M, Parrish R R, Villeneuve M E, Bouring S A. 1991. Geophysics and geochronology of the crystalline basement of the Alberta Basin western Canada. Canadian Journal of Earth Science, 28: 512～522.

Schwerdtner W M, Cote M L. 2001. Patterns of pervasive shear strain near the boundaries of the La Ronge domain, inner Trans-Hudson orogen, western Canadian Shield. Precambrian Research, 107: 93～116.

Spence G D, Clowes R M, Ellis R M. 1985. Seismic structure across the active subduction zone of western Canada. Jour. Geophys. Res., 90: 6754～6772.

Stockmal G S, Waldron J W S. 1990. Structure of the Appalachian deformation front in western Newfoundland: implications of multichannel seismic reflection data. Geology, 18: 765～768.

Symons D T A. 1991. Paleomagnetism of the Proterozoic Wathaman batholith and the suturing of the Trans-Hudson orogen in Saskatchewan. Canadian Journal of Earth Sciences, 28: 1931～1938.

Thorkelson D J, Mortensen J K, Creaser R A, Davidson G J, Abbott J G. 2001. Early Proterozoic magmatism in Yukon, Canada: constraints on the evolution of northwestern Laurentia. Canadian Journal of Earth Sciences, 38: 1479～1494.

Thomas M D, Tanczyk E I. 1999. Magnetic properties and modelling: LITHOPROBE seismic reflection line 7C, southern Kisseynew gneiss belt, Trans-Hudson orogen. Canadian Journal of Earth Sciences, 36: 175～183.

Tomlinson K Y, Hall R P, Hughes D J, Thurston P C. 1996. Geochemistry and assemblage accretion of metavolcanic rocks in the Beardmore-Geraldton greenstone belt, Superior Province. Canadian Journal of Earth Sciences, 33: 1520～1533.

Varsek J L, Cook F A. 1994. Three-dimensional crustal structure of the Eastern Cordillera, southwestern Canada and nortwestern United States. Geol. Soc. Am. Bull., 106: 803～823.

van der Velden A J, Cook F A. 1995. Displacement of the Lewis thrust sheet in southwestern Canada: new evidence from seismic reflection data. Geology, 22: 819～822.

van der Velden A J, van Staal C R, Cook F A. 2004. Crustal structure, fossil subduction, and the tectonic evolution of the Newfoundland Appalachians: evidence from a reprocessed seismic reflection survey. Geological Society of America Bulletin, 116: 1485～1498.

Wilson J. 2003. LITHOPROBE: Dancing Elephants & Floating Continents—The story of Canada beneath your feet. Key Porter Books.

White D J, Lucas S B, Hajnal Z, Green A G, Lewry J F, Weber W, Bailes A H, Syme E C, Ashton K E. 1994. Paleo-Proterozoic thick-skinned tectonics: LITHOPROBE seismic reflection results from the eastern Trans-Hudson orogen. Canadian Journal of Earth Sciences, 31: 458～469.

White D, Helmstaedt H, Harrap R, Thurston P. 1998. The origin of our continent: LITHOPROBE seismic investigations in the Western Superior Transect. CIM Bulletin, 90: 78～82.

White D, Boerner D, Wu J, Lucas S, Berrer E, Hannila J, Somerville R. 2000. Mineral exploration in the Thompson Nickel Belt, Manitoba using seismic and controlled-source EM methods. Geophysics, 65: 1871～1881.

White D J. 2005. High-temperature, low-pressure metamorphism in the Kisseynew domain, Trans-Hudson orogen: crustal anatexis due to tectonic thickening? Canadian Journal of Earth Sciences, 42: 707～721.

Woods D V, Allard M. 1986. Reconnaissance electromagnetic induction study of the Kapuskasing structural zone: implications for lower crustal conductivity. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 42: 135～142.

Yang H, Kyser K, Ansdell K. 1998a. Metamorphism of the MacLean Lake and central Metavolcanic belts, La Ronge domain, Trans-Hudson orogen: *P-T* variations and tectonic implications. Canadian Journal of Earth Sciences, 35: 905～

922.

Yang H, Kyser K, Ansdell K. 1998b. Geochemical and Nd isotopic composition of the metasedimentary rocks in the La Ronge domain, Trans-Hudson orogen, Canada: implications for evolution of the domain. Current Research, (1996E): 159～169.

Yorath C J, Clowes R M, Green A G, Sutherland-Brown A, Brandon M T, Massey N W D, Spencer C P, Kanasewich E R, Hyndman R D. 1985. LITHOPROBE—Phase 1: Southern Vancouver Island: preliminary analyses of reflection seismic profiles and surface geological studies. Paper Current Research, 85(1A): 543～554.

Zelt C A, White D J. 1995. Crustal structure and tectonics of the southeastern Canadian Cordillera. Jour. Geophys. Res., 100: 24255～24273.

LITHOPROBE——Earth Deep Exploration Program of Canada

LIU Zhiqiang[1)], CHEN Xuanhua[2)], LIU Gang[1)], ZHOU Qi[1)], FENG Jun[3)]

1) *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037;

2) *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing*, 100081;

3) *Aluminum Corporation of China Limited, Beijing*, 100082

Abstract

LITHOPROBE is Canada's national earth science program. Ten typical sections representing to some extents the typical geological characteristics of Canada or major tectonic processes with global significance. In terms of time, its geological evolution covers more than 4 Ga across the long geological age. A series of achievements has been made results using deep seismic reflection technology and comprehensive study of various disciplines. For example, the mechanism related to plate tectonics occurred about 3.0 Ga ago and greatly revised the collision of ancient lithological circle and the process of the formation of new crust, revealing the reflection image of deep ore-controlling structures in a number of the large-scale deposit intensive area. This has ushered Canada into the world's forefront of earth science come. This paper intends to systematically introduce LITHOPROBE in the hope to provide references for China's deep exploration technology and experiment research.

Key words: LITHOPROBE; earth exploration; Canada