青藏高原近垂直反射地震剖面探测

高 锐 李秋生 匡朝阳 贺日政 王海燕 李朋武 张季生 管 烨 白 金 卢占武 朱海华 政洪伟
（中国地质科学院地质研究所岩石圈研究中心，北京，100037）

马永生 朱 铉 李仲远 政天发
（中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司，昆明，650200）

冯如进 唐成鸽 黄东定 钱桂华
（中国石油化工股份有限公司华东分公司，南京，210009）

近垂直反射地震剖面方法被称为探测地下深部结构的先锋，是最有效方法。其垂向分辨率从浅层几米、几十米，到深部几百米。因而，可以达到对地壳结构的精细探测。曾融生等（1958）曾在柴达木盆地进行过两条短剖面反射地震试验，得到了莫霍面深度，建立了地壳模型。但是，限于当时的技术水平，没有应用多次覆盖与偏移处理技术。INDEPTH 项目首次将多次覆盖的近垂直反射地震剖面方法引进到青藏高原（1992），试验探测喜马拉雅和藏南的地壳上地幔结构，获得成功。所发现的主喜马拉雅逆冲断裂（MHT）为国际学者广泛引用。至此，近垂直反射地震剖面方法没有间断的被用于探测青藏高原地壳的精细结构。据不完全统计，到目前为止，累计完成深地震反射剖面约 1300 km; 石油地震反射剖面约 4450 km（原石油部+原地矿部）、50km（中国地质调查局）。本文概述青藏高原近垂直反射地震剖面方法探测成果，取得的重要发现，总结经验与不足，提出努力方向。

1， 喜马拉雅和西藏（INDEPTH-I，II，III）

INDEPTH 项目的深反射剖面记录时间达 50 s，探测深度原则可达 150km.，开创了在青藏高原实施近垂直深地震反射剖面探测的先河，获得许多重要发现（见赵文津等著作，2001-2004），这里略介绍一二。INDEPTH-I 不仅发现主喜马拉雅逆冲断裂（MHT），而且发现喜马拉雅山下莫霍面深度达 23-24s， 约 69-72 km。远远大于中法合作宽角反射与折射地震方法揭示的 55 km。近来，法国人用宽频地震方法发现喀拉昆仑-喜马拉雅莫霍面深达 90 km，看来横过喜马拉雅，莫霍面深度变化较大。INDEPTH-II 发现了拉萨地体地壳浅层的地震亮点，揭示了中地壳大面积部分熔融现象。遗憾的是没有探测到莫霍面。INDEPTH-III 进行了反射地震剖面试验，初步结果表明羌塘（双湖附近）的莫霍面比拉萨地体（班戈附近）浅 6-8 km，也就是由南向北过了怒江缝合带，地壳减薄了。

2， 青藏高原北缘

1992-2000，横过青藏高原北缘造山带及其与塔里木盆地结合地带实施了 3 条深地震反射探测，累计剖面长度约 330 km。揭露出造山带（西昆仑山、阿尔金山与祁连山）及盆山结合部位的岩石圈精细结构。揭示出塔里木盆地与这些造山带岩石圈尺度的耦合关系。塔里木地壳主体楔入到西昆仑造山带中部，西昆仑造山带岩石圈被拆离为上下两部分，其上部仰冲在塔里木之上，下部向北俯冲并与向南俯冲的塔里木岩石圈下部发生面对面碰撞挤压。在阿尔金山前，塔里木的地壳向阿尔金造山带中部楔入，阿尔金造山带上地壳向北向塔里木盆地逆冲，阿尔金断裂岩石圈尺度的剪切作用限制了塔里木地壳向青藏高原下的继续挤入，但是，塔里木的岩石圈地幔正向高原

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

下俯冲。在祁连山前也见到塔里木地壳向造山带中部楔入，岩石圈地幔向高原下俯冲的的类似现象。 因而，可以用地壳楔入、地幔俯冲来概括盆地与造山带岩石圈尺度的耦合关系。

3， 青藏高原东北缘

2004 年秋季-冬季，我们在国家基金会和中石化公司资助下完成了横过松潘地块-西秦岭造山带的深地震反射剖面 259 km。取得了浅层 120 次叠加、深层 30 次叠加、探测深度达到岩石圈底部的高分辨率长深地震反射剖面，这不仅在国内而且在国际上也是难得的。

在初步的地震反射叠加剖面可以清楚的看见 7s 的强反射层，比较平的展布在整条剖面。将地壳上下分开，地壳上部弱反射，下部强反射。表明地壳并非是连续变形。7s 强反射层连续追踪特征也说明西秦岭与松潘地块属同一个地台基底。

莫霍面界面清晰，呈平的层状多组强反射，剖面北段莫霍面界面出现在 17.00 s 附近，向南加深，在地块内部出现莫霍面错断，剖面南端莫霍面最浅约 16.50 s。

4， 青藏高原中部（怒江缝合带-羌塘地体）

在这一地区，原地矿部及新星公司在怒江缝合带两侧（班戈-伦布拉盆地-羌塘南部）、原石油部在羌塘盆地进行了数千公里的石油反射地震探测，一般记录时间为 6s，探测深度能达 10km。如果资料好，可以提供上部地壳结构部分信息。总体来看，班戈-伦布拉盆地地震资料较好，INDEPTH-III 也在班戈盆地取得了浅层（1-2 秒）及莫霍面的反射（22s，约 66 km）；羌塘盆地难以取得好的地震资料，至今没有形成一条高质量的区域性基准反射地震长剖面，包括油气储层、含油气层基底等地下构造格架不清。油气保存条件难以评价。

5， 羌塘盆地新的反射地震探测试验

2004 年秋季，我们在中国地调局负责的青藏油气资源战略评价项目委托下，在羌塘盆地南部进行了新的反射地震探测试验，并完成 2 条施工剖面，长度 70 公里，满覆盖剖面长度 51 km。取得了较好的资料。吸取前人的经验与教训，经专家指导，调用了进口的 300 马力多性能钻机，保证打钻这一地震探测前提。认真进行了方法技术试验，试验采用了 480 道新型数据采集仪器，先进的现场质量分析软件与现场监控处理系统。为了落实专项专家组意见，保证获得基底反射，采集记录时间，在保证 6 s 以上获得好资料、不增加费用情况记录到 15 s，数据处理到 10 秒。共施放 458 炮。为了增加激发能量，每隔 5 km 添加施放 90 kg 大炮，大炮数目 11 炮占小炮数目的 2.4%。

经精细处理的地震叠加时间剖面清楚揭示出基底之上的结构面貌，特别是发现了原来地震工作没有发现的基底反射。对比原有地震剖面，采集资料好，处理效果明显。在 QT-1 线，1-2 s 地层平，可以连续追踪。基底反射出现在 4.4-6.5 s。在 QT-2 线，几套地层隆起及其组合关系被清楚揭露，显示出挤压构造强烈，基底反射出现在 4.4-5.5 s。这些资料情况与处理效果得到我国固体地震与石油地震专家肯定。能在条件艰苦、经费困难等不利条件下，采集得到资料并处理出来，令人鼓舞，看到羌塘地震工作新希望。专家希望项目组总结经验与不足，继续工作，近早搞清地下构造格架，为评价油气储存条件提供基础资料。

主要参考文献

卢占武，高锐等，2005，青藏高原地壳上地幔地球物理探测回顾(1958-2004)，投送地球物理学报。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net