

中国区域地质调查现代化与加强深部调查

赵文津

(国土资源部 中国地质科学院, 北京 100037)

[摘要] 从对区域地质调查的任务出发,总结了过去区域地质调查工作的特点,即基本上是沿用传统方式进行的。提出和论述了21世纪中国区域地质调查应有新发展,以适应战略转变的要求,即除去运输、通讯、记录及数字化成图等之外,更应当面向土地资源、矿产资源、地质灾害以及提高环境质量的需要,用现代地学理论指导进行多学科的调查和采集、整理资料,实现3维多参数填图和理论概括,是关系现代地质科学发展的、具有深远战略意义的事。几十年的调查工作已证明深部的地质构造情况与地表的观察结果是不一样的,与依据地表地质构造情况推测的深层情况也很不同。今后应加强深部探测,发展深部探测技术,取得不同深度层次的高分辨率成像图案,使人们对地球的认识提高到一个新的高度,形成新的空间—时间观念,以更有效地解决我国及地球的资源环境问题。

[关键词] 区域地质调查;深部探测;资源;环境

[中图分类号] P51; P54; P62 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)06-0025-08

2002年10月,时任国务院副总理的温家宝在“新中国地质工作50年和中国地质学会成立80周年纪念大会”报告中提出,进入新世纪我国地质工作要实现四个转变,一是从计划经济体制下的地质工作转向社会主义市场经济体制下的地质工作;二是从传统地质工作转向以“地球系统科学”为核心内容的现代地质工作;三是从资源保障为主的地质工作转向资源、环境保障并重的多目标、多功能地质工作;四是从主要依靠国内“一种资源、一个市场”转向发挥比较优势、参与全球化的“两种资源、两个市场”。这是中国地质工作在新形势下实现战略转变的方向,意义十分重大,因为在新世纪“人口、资源、环境”三大问题是全世界所面临的重大挑战,中国作为一个人口众多,资源、环境问题突出的发展中大国,形势严峻,任务繁重复杂。

地球是人类生存活动和取得物质资源的主要或唯一的场所和基地,人类进行这一切活动时,都要和地球发生各种各样的关系,如果不注意处理好

和地球的关系将是很难解决什么问题的,教训是很多的;而处理好人和地球的关系是离不开地学工作的,任何工程措施都要符合人与地球(或自然)的正确关系的要求。因此,今天提出我国地质工作转变问题,地质工作者积极参与我国资源、环境的开发和保护(不仅仅是只管找矿!),将会大大提高问题处理的科学性和有效性,影响将是多方面的。地质工作的基础则是多种区域性地质调查工作,中国地质部门当前进行的一项大工程就是开展西部地区的区域地质大调查,正是我们地质工作者接受地质工作“四个转变”的机遇和挑战。

1 关于新的区域地质调查

我国新的1:25×10⁴区域地质调查的规范要求是:“以详实的地质观察研究为基础,通过填制1:25×10⁴比例尺的地质图件,查明区内地层、古生物、岩石(含沉积岩、岩浆岩、变质岩及混杂岩)、构造以及其它各种地质体的特征,并研究其

属性、形成时代、形成环境和发展历史等基础地质问题,为矿产资源、土地资源和海洋资源的普查,为水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质、农业地质和城市地质的勘查,为地学教育和科学研究以及推动国际地学前缘学科发展等提供基础地质资料;……。”

这里强调了区域地质调查要为矿产资源、土地资源和海洋资源的普查,为水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质、农业地质和城市地质的勘查,为地学教育和科学研究以及推动国际地学前缘学科发展等提供基础地质资料,亦即实现“向资源、环境保障并重的多目标、多功能地质工作转变。”这些方面都是国家持续发展要解决的重大问题,很重要,也体现了新世纪地质工作所面临的广泛要求。途径则是以详实的地质观察研究为基础,通过填制 $1:25 \times 10^4$ 比例尺的地质图件,来查明区内“地层、古生物、岩石(含沉积岩、岩浆岩、变质岩及混杂岩)、构造以及其它各种地质体的特征,并研究其属性、形成时代、形成环境和发展历史等基础地质问题。”

上面提出的区域地质调查服务对象是多方面的,而且各个方面提出的要求是很不相同的。按上述要求作出的地质图件可以满足哪一方面的基本要求呢?笔者认为仅仅提出填制 $1:25 \times 10^4$ 比例尺的地质图件还太笼统,针对性不强。应当针对不同服务对象和其对地质工作的要求进行调查,作出具体分析,明确共性的内容和特性的要求,并安排好各项地质工作的布局问题。开展西部地质大调查工作是需要,但是西部地区有近 $500 \times 10^4 \text{ km}^2$,各个地区也有不同的重点开发任务,不能一提加强西部地质工作就和消灭西部地区地质填图空白区联系起来,把问题简单化。

从全国讲,东部人口稠密,经济发达,同样也迫切需要解决一些重大问题,如大型中心城市发展规划要求的;沿海城市发展的资源环境问题;大量危急矿山问题的持续生存和发展问题;特种农业经济区发展的要求等等。新规范所规定的工作内容并不能满足这些服务目标的要求。

从去年起,中国地调局除去开展了西部地质大调查外,又先后开展了青藏铁路沿线活断层工程地质调查,东部农业生态地球化学调查,北京市城市发展多参数地质调查等,这已是对已定的地质调查工作做了进一步的补充和丰富。但是,西部地质大

调查如何体现多目标多功能的要求并不明确,安排不好又会形成新的重复工作。

2 区域地质调查中应加强深部调查

强调通过“详实的地表地质观察研究”填制出 $1:25 \times 10^4$ 比例尺的地质图件,作为完成一张基础性的地质图件是必要的,但是,这并不能达到查明上述多个服务对象提出的各项工作要求。

由于矿产资源绝大部分是赋存在地下几十米至几千米(可以更深,但现代不能利用的不计入)深处,而控制矿藏产出的条件则是要从更大的空间背景上与更长的时间过程中去探讨;灾害性的地震也都是发生在深部,震中深度在几 km 到几十 km 深,即发生地震的地质背景与力学背景是在深部,在宏观的时间空间条件,就事论事地做地表断层活动不活动的评价研究也是很难得出正确结论的;地表的岩浆岩深部赋存情况和内部情况,这些岩体地表出露的面积并不大,不能说明地下延伸、扩大、缩小情况,岩体大可能对找金属矿有利,但对评价盆地的油气远景则是不利因素。凡此种种,都必须从区域 3 维空间地壳运动演化进行分析,地表地质调查结果能说明多大深度的地质构造情况呢?

几十年的经验表明,地表所推测的深部情况与深部调查得到的情况有很大的不同,利用地表观测结果推测深部情况多数是不可用的,是建立不了正确的地质构造演化观念的。因此,依据地表观测结果推测深部情况多数是不对的。我们的经验和国家地震局的经验都充分说明这一点。

在 1976 年唐山大地震之后,为了了解深部断裂活动情况和地震产生的地质背景,国家地震局开展了大量的地震测深调查,1986 年对深部工作 10 年总结中提出:“在深部探测资料缺乏的地区,过去常将表层构造向下延伸来代替深部构造,现在越来越多的资料证明,地表构造与深部构造之间并不完全一致;……以往认为地壳结构随着深度增加而趋于简单的说法,现在看来也是值得怀疑的。深部探测资料表明华北地区结构十分复杂,不仅深大断裂发育,断距较大,而且深部界面起伏剧烈,呈波浪式,有厚壳区、薄壳区及地壳厚度梯级带(过渡带),在上地幔内高导层也存在着隆起和拗陷”^[1]。

对藏南地壳深部情况的认识也是这样。最早黄汲清先生提出藏南雅鲁藏布江断裂为 1 条超岩石圈深大断裂,另有多条岩石圈内的断裂;1984 年法

国的 Allegre 则依据地震测深扇形剖面结果提出地表的 6 条断裂向下都与地幔岩石圈上部的大错动相连，构成岩石圈内的大推覆构造使地壳加厚（见图 1A）；吴功建等于 1989 年提出的地学大断面结果（图 1B），从地表到岩石圈的结构发现，地壳内存在一条地速高导电层，地壳电性普遍高，藏南为厚

地壳薄岩石圈地幔，与热地壳南冷北热的岩石圈地幔，岩石圈地幔有多条断裂等等；1992 年 INDEPTH 项目用高分辨率的深反射地震等多种方法求证，发现地表深大断裂并没有向下延伸到地壳内的趋势，也证实不了莫霍层有多条大断裂存在，藏南为厚地壳薄岩石圈地幔，并形成藏南下地

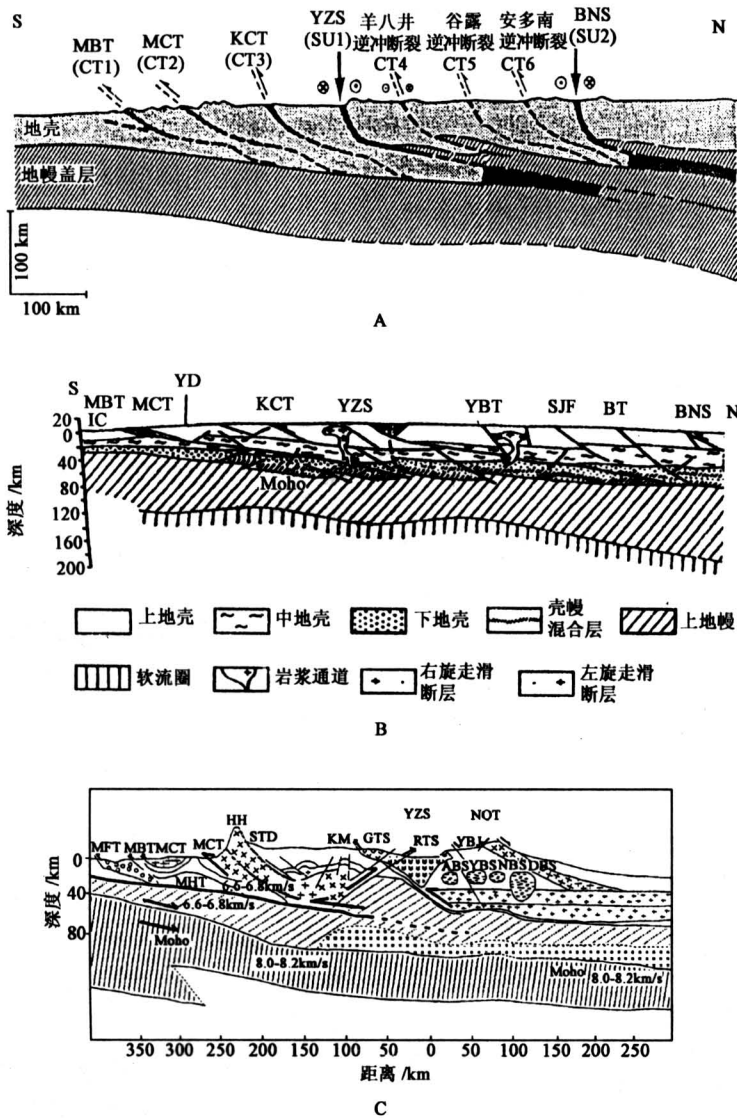


图 1 藏南构造模式

Fig.1 Structure model under South Tibet

A—C. J. Allegre; B—吴功建 (Wu G J); C—赵文津 (Zhao W J)

HH—高喜马拉雅结晶岩带；YZS—雅鲁藏布江缝合带；NQT—念青唐古拉山；YBJ—羊八井断裂；MFT—主前缘断裂；MCT—主中央断裂；MHT—主喜马拉雅逆冲断裂；STD—藏南拆离系；KM—康马；MBT—主边界断裂；DX—当雄；YBT—羊八井—工布江达逆冲断裂；SJF—申扎—嘉黎正断层；SAT—安多南逆冲断裂；GLT—谷露逆冲断裂；ABS—安岗亮点；YBS—羊八井亮点；NBS—念青唐古拉亮点；DBS—当雄亮点；YD—亚东；GTS—冈底斯逆冲断裂系；KCT—康马逆冲断裂系；crust—地壳；mantle lid—地幔盖层；ocean crust—洋壳；Depth (km)—深度 (公里)；BT—班公错逆冲断裂；Moho—莫霍；RTS—仁布背冲断裂系；BNS—怒江缝合带

壳是粘滞性强而不是刚性的概念。这不同的调查结果说明,有深部调查结果和没有深部调查结果得到的概念会大不一样;深部调查一定要用最新的探测技术得到高质量的结果。这里提出了深部调查的现代化问题,在中国这个问题同样是迫切的。

从图 1A,图 1B,图 1C 可以看出对藏南地下结构看法的演变。

此外,早在 20 世纪 60 年代初,中国地质科学院内就曾发生过一场大争论,即关于长江中下游铁铜矿床与岩浆岩体的关系。一种意见认为岩体是成岩株状,矿体围绕着岩株的外接触带产出;一种意见则认为长江中下游的中酸性岩体呈层状产出,矿是受层状岩层控制的。双方从武汉出发,沿长江中下游两岸边观察边讨论,但是并未能统一认识。不同的认识得出的找矿方向就不同,而认识不统一就是因为对深部地质构造情况了解太少,在地表上看来,支持那一种观点的地质现象都存在。后来就提出需要作深部调查工作查明长江中下游岩体的产状。可见,了解深部地质情况直接与部署找矿工作方向有关。

通过大型科学钻探工程来了解深部情况,这无疑是好办法,直接从地下取出岩石标本,得出最可信的结论。但是,靠打钻了解深部情况,首先是打钻的深度很有限(现在世界上仅有一个 12 262 m 深的钻井),技术资金难度太大,不可能取得更深入的地质资料,也不可能到处打钻;二是仅靠少量钻井又有一孔之见的弊病,极易造成认识上的片面,不可能得出宏观的概念。

为了得到对地下地质情况的深入认识,新一轮区域地质调查应当加强不同层次的深部调查,将地表调查与深部调查结合起来。

深部调查的深部不是仅指岩石圈深度范围的调查,而是分几个层次。地表采集的资料仅在 0.5~5 km 范围以内零星的数据,今后应当区分为表壳层(5 km 深度以浅)、上地壳(几 km~十几 km 深)、全地壳(15~35 km,西部地区则为 35~80 km 深),一些地区则应达到岩石圈的深度(100~200 km)的调查,并将调查与研究结合起来。因为地球半径约为 6 400 km,上地幔的厚度也在 1 000 km,地壳仅仅是其薄薄的表层而已。不过地壳的现状(包括矿产分布)则是地球宏观活动所造成的结果。

3 加强多学科的综合

要能形成对地球认识的深化,必须改变以往的仅仅依据地表地质调查,对深部情况想当然地外推下去的片面观点,加强对不同深度地下情况(不只是地球物理的调查,也不仅是上地壳)地质、地球物理、地球化学、大地测量学及钻探(浅、深钻探)等多学科调查资料的收集;加强对地质体和地质事件的年龄数据的收集;加强对第四纪和新生代的地质事件的调查(过去工作不多,仅限于水文和工程方面);用现代地球科学新理论的研究成果作指导,并运用现代科学方法整理所收集到的多种资料,以形成地球构造演化的新概念,要在对最近地壳运动的基础上推测更古老的地壳运动特点。

区域地质调查工作现代化的主要内容除了实现交通、通讯、记录、数字化成图等方面现代化之外,就应当是突出上述方面的提高,使我们的认识更为接近真实的 3~4 维的地球演化观。否则在对地下情况不清楚甚至是错误认识的情况下,又怎么能解决实际问题呢?笔者认为现在已是进一步推进区域地质调查现代化的时候了。

我国过去区域地质调查工作有以下不足:

一是与区域地质调查(地表地质观察为主)一起还进行了 $1:20 \times 10^4$ 重力、磁法等区域地球物理和 $1:20 \times 10^4$ 区域地球化学调查,所用的技术方法基本上是传统的(化探分析质量有了很大提高)。重力、磁力测量和化探结果反映了一些深部的地质内容,但是这些资料只能给出一些比较笼统的地下结构和构造概念,得不出深入的地质和构造演化观念的。地质、地球物理与地球化学工作是单打一的各自提出自己的图件,缺乏综合研究性的成果图件。

二是区域地质调查与地质专题研究(区域地质和专门问题)有了较多的结合,也有较大的规模,特别是地层划分,建立标准地层剖面,编制全国地层典,南方岩相古地理研究,南岭岩浆岩,全国变质岩填图等等以及大地构造方面,工作不少,但各相关学科的结合及综合研究,有待进一步加强和改进。

三是过去指导地质调查与概括区域地质调查结果,深化地质认识的主导理论,长期以来是黄汲清先生倡导的多旋回槽台论。这一理论已深入人心,长期指导着广大地质人员去观测和认识地质问题。

部分人员用了地质力学及其他大地构造学说，开始学用板块构造理论，今后应当有计划地引进国外先进的地学理论研究成果。因为任何实践活动不是在这种理论指导下就是在另一种理论指导下进行活动；不是在正确理论指导下，就是在不完全正确的理论指导下进行活动，理论问题是无法回避的。调查时要有理论指导，调查的资料最后也必需经过综合研究，去伪存真，由表及里，形成理性的认识；理论认识是来源于地质实践，不是凭空设想得来的，理论认识还必需再经过实践的检验，检验看其是否能成立或部分成立，只有上升成理论认识人们的认识才得以深化。当代板块构造理论、大陆动力学理论及地球动力学理论是 20 世纪发展起来的地学革命主要内容，这一革命尚在发展之中，不是一切都已定论。今后需要很好学习和发展它，要加强地对地壳运动过程的定性与定量分析研究，对地质现象要多探求为什么，寻求其发生变化的依据和机制。

关于学习和应用先进的地学理论，用以指导资料的综合研究，同时它对我们的地质资料的采集也很有作用。如我们过去认为超基性岩都是来自地下深部，见到它就认为有深大断裂存在。现在知道了它也可以是洋壳存在的标志，但是必需是蛇绿岩套的一部分，现在我们再看到基性超基性岩时就要看一看有没有配套的岩石构成蛇绿岩套了。又如我们研究老的变质地层，如果仅就变质地层论变质地层，就不会注意到有没有老的洋壳，老的洋壳存在的其它标志。不久前，北京大学的有关学者在华北老变质岩地区发现了 25 亿年的洋壳标志，又发现存在有洋底的黑烟囱就是又一例。说明，不同观点指导下收集的资料将会有很大的不同。

这两个例子都说明用什么理论指导地质调查工作关系很大，用过去传统的理论观点指导工作就不会有这些新发现，只有用现代大家比较公认的板块构造理论，或大陆动力学或地球动力学的观点指导进行野外观察和数据采集才能获得这些新发现。

我们应当大力提倡学习和运用板块构造理论或大陆动力学理论，或地球动力学理论，但是并没有排斥其它地质理论假说之意。提倡学习和运用板块构造理论也不是提倡仅仅记住某些科学家已提出的说法，应当说现在得到的任何说法都不能成为定论，都可以随着新事实的发现而进一步发展，就像现代物理学和宇宙学那样。

板块构造理论是 20 世纪下半纪地球科学取得的突出成就之一，Allegre 在 31 届地质大会上所作主旨报告中强调它是 20 世纪三大观念革命之一（另两个是环境问题和行星探测），是一次地学思想的革命，是对人类科学文化发展的重大贡献。国外提出和发展这一学说时正值中国文化大革命期间，我们错过了参与的时机。此后，全球开展了广泛的调查研究，进行了一系列的国际合作计划推进这项研究，通过“地壳上地幔计划”、“国际岩石圈计划”、“全球大陆钻探计划”、“大洋钻探计划”、“全球地学大断面计划”以及美国 1989 年提出的 30 年“大陆动力学研究的国家计划”等等计划，研究从海洋扩展到大陆；青藏高原就是国际上调查研究的热点，采集到了大量的地质、地球物理、地球化学资料，使板块构造理论更加完善和成熟，发展了大陆动力学的理论。当然也发现了很多新的事实，表明地球构造理论在进一步深化。我们可以利用中国的优越国土条件，为从板块构造理论发展到大陆动力学理论作出贡献。

4 重视开展深部地质调查

国外早就重视开展深部调查（以地壳为目标，不是分层次的深部地质调查），并把它作为一项战略性地质工作来安排。以前苏联为例。前苏联的深部调查工作是从 1950 年开始，直到 80 年代前苏联解体为止，工作规模最大，工作时间最长。这项工作是由前苏联地质部、石油部等部门领导的。他们把这项工作看成是为解决 21 世纪油气等矿产资源问题建立地质构造背景、矿产预测理论以及探测技术的储备而采取的一项重大战略措施。计划在主要含油气远景区和金属矿区以及不同的地球动力学环境区，开展区域地质—地球物理调查（地震测深）、航天—航空地质调查以及深钻和超深钻工作，查明地壳深部结构，深部发生的各种作用，物质组分和岩石的物理性质和状态，深部矿化作用等。计划完成 12 条区域地质—地球物理调查剖面，其中近东西向剖面为 3 条，近西北—东南向 5 条，东北—西南向 4 条；到 1980 年已完成 185 000 测线 km（见图 2）。计划打深钻和超深钻 22 口，油气区和金属矿区各占一半。首批打 10 个深钻和超深钻，其中最著名的为科拉 SG-3 超深钻，它位于波罗的海地盾老变质岩区，已打到了 12 262 m 深以下，是目前世界上最深的科学井，取得了一系列重要成

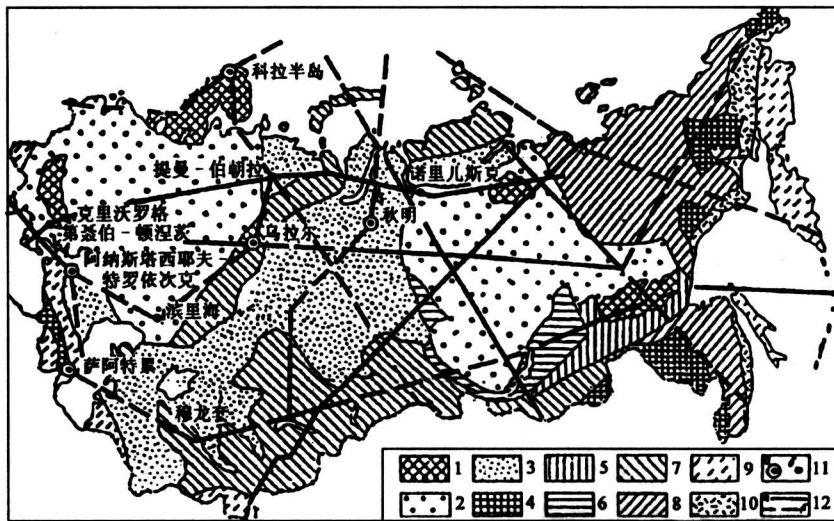


图2 前苏联地质-地球物理综合调查剖面分布图

(本图的国界线是按原文附图绘制的, 只供参考)

Fig.2 Location map of integrated geological-geophysical profiles of former USSR

果。俄罗斯建立后又大力进行了近垂直反射地震法深剖面工作, 如穿过乌拉尔的 500 km 大剖面, 远东地区反射地震深剖面等, 给人留下深刻的印象。

2000 年 10 月俄罗斯召开了 3000 人参加的地质大会, 主题是“迈向 21 世纪的俄罗斯地质调查和矿产资源”, 总结和编制了国家地质图系列、生态地质图系列及海洋地质图系列。深部调查作为国家地质图系列内容的一部分, 提出了大量的深部结构与地球动力学图件, 遍布各大主要地质构造单元, 规模很大。

此外, 英国、德国、法国等国都进行了多项深部探测和科学钻探计划, 包括大陆与大洋深部探测和科学钻探计划, 形成了 20 世纪下半纪最为壮阔的调查活动。德国还打了一个 KTB 钻井深度深达近 10 km。美国打了很多浅钻。在这些调查的基础上, 人们对地球, 特别是对地壳和上地幔结构和构造运动加深了认识。

5 关于深部调查的现代化问题

深部调查的重要性是肯定的, 但是, 我国深部地质地球物理的调查还是有限的, 人们从超深钻得到的直接资料则是更为有限。中国仅有石油部在四川和塔里木盆地内打了两口 7 000 m 深的基准井; 正在进行的东海科学钻计划打 5 000 m 深。了解深部, 了解宏观结构还应以地球物理方法(加上必要的深钻检验)为主, 但是地球物理方法又有很

大的不足。为了取得深部较可靠的信息就必须大力提高地球物理方法(包括硬件和软件及新方法)提高地下调查的能力, 以取得高分辨率的更为可信的深部资料。用分辨率很低的方法(如天然地震面波成像)探测岩石圈细结构, 只会带来概念上的混乱。

我国分层次深部探测技术是落后的, 主要表现在: 探测技术落后, 处理软件自主开发少, 综合研究差。具体在有以下几个主要方面:

5.1 关于地震测深

地震测深(或称广角地震测量)是我国使用最多的方法, 虽然已作过很多的工作, 但是, 仪器、野外观测、资料处理及地质解释上都有待进一步改进和提高; 许多测线是弯曲过度, 又不改正, 测站密度不够, 炮点密度也不够; 处理软件也显得落后, SEI81 程序还是主力等等, 这种技术状况使得现有速度结构剖面的分辨率和可信度大大降低;

5.2 关于近垂直深反射地震法

近垂直深反射地震法分辨率最高, 但是工作量尚少, 使许多关键地段的构造情况一时还弄不清楚; 已作的深反射地震工作集中在盆地内的为多。今后应当加强山区及金属矿区的试验研究; 已用的技术方法还是从石油地震勘查技术移植过来的, 适合深反射地震探测的许多方法理论问题还需要开发。

5.3 流动地震台站

流动地震台站特别是数字式宽频地震台站, 我

来认识地质构造演化背景。

2) 要根据矿产(包括能源矿产)资源调查和环境灾害调查的需要,提出对区域地质调查研究的要求,明确调查中要取得的基本资料,和相关的基礎图件和专题图件。一些关键性问题不易弄清楚时,应与地质专题研究相结合。

3) 应进一步提高深部调查工作的水平,更新装备,提高对上、下地壳调查的分辨率和可靠性,加紧建立一支“精兵加现代化”的队伍。

4) 大力学习和应用现代地球科学的理论成果和现代科学(如近代物理学和天体宇宙物理学),积极调整过去的思维定式,提高我国地质找矿与解决地质环境问题的效果,使我国立于世界先进地学大国之林。

参考文献

[1] 国家地震局《深部物探成果》编写组. 中国地壳上地幔地球物理探测成果 [M]. 北京:地震出版社,

1986

- [2] Allegre C J, et al. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt [J]. Nature, 1984, 307: 17~22
- [3] 吴功建,肖序常,李廷栋. 青藏高原亚东—格尔木地学断面 [J]. 地质学报, 1989, 63 (4): 285~296
- [4] 赵文津,赵逊,史大年等,喜马拉雅和青藏高原深剖面(INDEPTH)研究进展 [J]. 地质通报, 2002, 21 (11), 691~700
- [5] 史崇周,栾祖谦. 苏联地壳和上地幔综合研究计划 [J]. 国外深部地质研究(专辑一), 1985, (11): 7~18
- [6] 程振森,郭新峰. 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化(地质专报第20号),北京:地质出版社, 1996
- [7] Wei Wenbo, Martyn Unsworth. Detection of widespread fluids in the Tibetan crust by magnetotelluric studies [J]. Science, 2001, 292: 716~718

On Modernization of the Regional Geological Survey and Deep Exploration Techniques in China

Zhao Weijin

(AGS/Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China)

[Abstract] Some characteristic features of the past regional geological survey in China have been summarized in view of its mission, i. e. it has been carried out principally in a traditional way. It is suggested and described that in the 21st century in addition to transportation, communication, recording and digital map making and so on, the regional geological survey should further meet the requirements from land resources, geological disasters, as well as improvement of environmental quality. Being directed by conception of modern geoscientific theory, it should conduct multi-disciplinary investigation, collect and regularize data, so as to realize three-dimensional multi-parametric mapping and theoretic synthesis. Several decades' investigation in China has demonstrated that geological structure in depth is different from that either observed at surface, even at shallow depths, or inferred on the basis of geological structure at surface. In the future, deep investigation should be strengthened, with techniques for deep exploration developed. Obtaining high-resolution images from various depths will enable to people improve their understanding of the Earth to a new level, to set up completely new space-time evolution concept, so that to resolve resource and environment problems effectively.

[Key words] regional geological survey; deep exploration; resources; environment