

变质岩层构造形变的野外调查与研究

戴元裕

(江西省吉安地区地质队)

本文从理论和实践上,介绍了作者对变质岩层构造形变,进行野外调查研究的认识和经验,特别是对资料的收集、取舍和应用,作了详尽、有益的论述。

关键词: 构造形变; 变形幕; 复杂褶皱系; 构造控矿作用



工作方法

近20余年,随着前寒武纪变质岩中的各种矿产发现得越来越多,通过找矿勘探和开采使我们认识到,变质岩层不仅结构、构造、矿物组份与原岩面貌全非,难以进行原岩恢复与地层对比,需要进行岩石学和地层学两方面的研究,更重要的是变质岩层经历了自原岩形成以来地史上各变形幕的作用和影响,地质构造尤其复杂。为解决矿床的构造控矿规律和区域构造演化,迫使地质工作者,对变质岩层构造不得不进行专门性研究。

笔者现综合有关资料,并结合个人的工作感受,就变质岩层构造形变的野外调查与研究,作一次尝试性小结。

变质岩层构造形变的一般特征与调查研究的目的

变质岩层构造形变形成的构造形迹,有线理构造、面理构造和褶皱构造。同一变形幕形成的这三类构造形迹,组成同一构造序列,而不同变形幕形成的这三类构造形迹,则组成不同的构造序列。相应的变形幕及其构造序列的各类构造形迹,可用表1方法列出。

总观各类构造形迹,变质岩层构造形变普遍存在以下特征。

1. 变质岩层经历了自原岩形成以来地史上各次构造变形幕的作用和影响,不同序次的构造形变作用形成的各种构造形迹,往往以不同方式复合叠加,从而形成复杂的叠加构造形态。

相应变形幕及其构造序列各类形迹构造表示法

表 1

变形幕序次	变形幕代号	线理构造	面理构造	褶皱及主要构造要素			褶皱系列
				褶	皱轴(脊线)	轴面	包络面
	D	L	S	F	B	Sa	A
0 变形幕	D ₀	L ₀	S ₀	F ₀	B ₀	Sa ₀	A ₀
第一变形幕	D ₁	L ₁	S ₁	F ₁	B ₁	Sa ₁	A ₁
第二变形幕	D ₂	L ₂	S ₂	F ₂	B ₂	Sa ₂	A ₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

注: L, S, F, B, Sa, A均为构造形迹代号。

2. 构造形变产生的褶皱形态, 样式复杂, 且往往成群出现, 形成复杂的系列褶皱群。

3. 同一构造变形幕形成的褶皱构造, 其尺度规模虽然不一, 但其突出点, 就是具有几何形态的相似性和优选方位的一致性。

4. 由于后期构造形变形成的构造形迹, 是在前期构造形变作用形成的构造形迹基础上脱胎产生的, 所以具有前期构造对后期构造的控制和后期对前期构造的改造的形变特点。

5. 在变形旋回 (D旋回) 的同时, 不会产生变质旋回 (M旋回)。由变质旋回的变质作用形成新生矿物, 由于它们间的内聚力与附着力不同, 因而产生变质分异, 加之变形旋回的定向地应力作用, 使这些新生矿物产生定向运移。在这种变形变质条件下, 会形成新的线理构造、面理构造。这些新构造, 往往部分或全部包容、吞并、掩盖、置換取代原生构造, 致使原生构造失去其应有的作用和意义, 这是一个十分重要的特征。不了解或不研究这种特征, 而将不同构造序次的同类构造形迹等同起来, 将导致整个调查研究工作的失败。

鉴于变质岩层构造形变存在上述特征, 因此我们对变质岩层构造形变调查研究的基本任务是: 在构造地质填图基础上, 从调查各种构造形迹入手, 在极复杂的组合构造中, 对各种构造形迹分构造序次进行构造序列配套, 以掌握各变形幕形成的构造形迹的序列特征, 并在此基础上确立主体构造骨架和构造展布规律, 以指导找矿勘探; 然后, 再进一步研究构造形变的形成机制及其发生、发展、演化, 以探讨构造形变史和地壳演化规律。

变质岩层构造形变的调查与研究

F.J.特纳等, 在《变质岩的构造分析》中指出, “在任何构造岩中, 无论其构造多么复杂, 总可能找到这样一块手标本或一个

露头, 在它上面, 大型岩体的所有几何性质, 均以小型形式表现出来”。由此可以领会到变质岩层构造形变的调查方法应是:

“在地质构造填图基础上, 从大构造着眼, 从中小尺度构造着手, 研究解剖典型露头”。之所以这样做, 是因为中小尺度构造形迹反映出的构造景观图像直观、清晰, 易于观察素描和产状测定。笔者1974~1980年间, 对江西新余铁矿田太平山铁矿区和杨家桥铁矿区进行矿层构造形态研究时, 就是从调查和素描各种暴露而较大的人工露头 (机台壁和剥土点) 所揭示的中小尺度构造形迹入手, 对每个素描点, 除进行精细的素描外, 还详细地、客观地观察并描述有关构造形态和岩性特征, 同时还系统地测量各种构造形迹组构要素的产状。通过较多典型露头的解剖和勘探剖面分析, 终于获得了较理想的调查结果。

在各类构造形迹中, 褶皱构造形态是从三维空间引起形变岩层的形态变化, 而面理构造和线理构造则分别是由二维和一维空间呈现出的构造形态。因此, 对褶皱形变的调查研究, 其难度和重要性都高于面理和线理构造的调查研究。特别是对变质层控矿床的找矿勘探来说, 为确切查明矿层在三维空间形状和产状的变化, 及矿层在空间的展布规律, 对褶皱形变的调查研究, 则显得尤为重要。因而在对变质岩层构造形变的调研中, 应以褶皱形变为重点对象, 同时也要重视面理和线理构造的研究。

1. 褶皱形变的调查研究

(1) 野外调查的资料收集 在露头上, 对中小尺度褶皱构造进行素描时, 除客观地、详细地观察描述构造形态和地层、岩性特征外, 为使资料完整和系统化, 可在素描图上对素描点所见的褶曲群中, 每一个褶曲逐一编号, 并在素描图的下方绘制如表2的记录表格。

因为不同变形幕形成的褶曲构造, 其几

某素描点褶曲构造组要素产状及几何形态调查一览表

表 2

褶皱 序次 (F)	褶皱 编号 (f)	组要素产状				几何形态要素特征				真 厚 度 (t)	轴 面 厚 度 (T)	褶 曲 类 型
		褶 轴 (脊线) (B)	轴 面 (Sa)	上 翼	下 翼	两翼 夹角	褶 皱 幅 度	褶 皱 宽 度	幅 度 宽 度			

注：为了节约版面，此附表只排表头（下同）——编者

何形态、优选方位和褶曲类型，都有明显的差异，因此对褶曲构造进行表2所列内容的调查后，能使我们划分出不同褶皱序列，帮助初步确定工作地区经历了几个变形幕的褶皱形变，与此同时，也可以总结出各褶皱序列的序列特征。

(2) 褶曲类型划分及构造控矿作用

根据褶曲构造形成力学或物质运动的变形方式，变质岩中的褶曲有两个基本类型：一类是平行褶曲（或称弯褶曲），另一类是相似褶曲。平行褶曲的特点是，在单个褶曲中具有真厚度 t （垂直于层面测定的厚度）近于相等，而轴面厚度 T （平行褶曲轴面所测定的厚度）变化悬殊，其几何形态是平行式，从形成机制来说，是形变体处于刚性条件下发生弯曲变形。但相似褶曲的特点则具有真厚度 t 变化悬殊，而轴面厚度 T 近于相等

之特点，其几何形态是相似式（图1），此外，相似褶曲最重要的形变特征——就是压扁作用的特征。从形成机制来说，是形变体处于塑性条件下，由剪切形变作用使形变物质平行于轴面流动造成的。由于相似褶曲具有压扁作用的特征，在形变的物质平行轴面流动的同时，大量形变物质会向两翼向核部运移，形成核部加厚（或呈叠之字状加厚）、翼部变薄的特点。如果相似褶皱形变的形变岩层是矿层，那么就会在一定规模的相似褶皱核部形成厚大矿体，而翼部失去物质则厚度变薄，甚至产生“虚脱”形成天窗。我们在新余铁矿田的地质勘探中，利用和针对这一构造控矿特点，有目的地在一定规模的相似褶皱核部加密钻孔，来控制这部分厚大矿

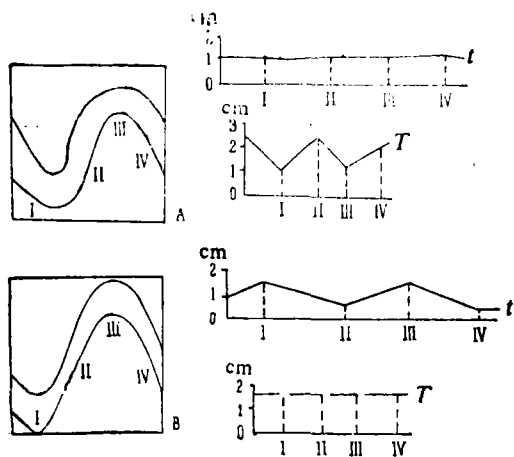


图 1 典型之平行褶曲和相似褶曲的几何特征

A、B之左图上下分别为平行褶曲和相似褶曲的横切面；A、B之右图分别为两类褶曲的 t 、 T 坐标曲线图；罗马数字 I、II...为测点

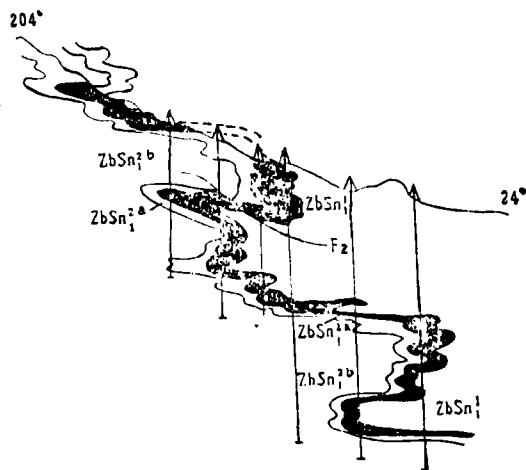


图 2 新余良山铁矿14线勘探剖面，图示相似褶皱构造控矿

ZbSn₁^b—含磁铁矿二云石英片岩；ZbSn₁^a—绿泥石石英片岩；ZbSn₁^c—含黄铁矿金云母、白云母石英片岩

体, 以确保其储量的精确性 (图 2)。不但新余铁矿田的地质勘探有这种体会, 同时辽宁本溪地区的铁矿勘探也有这种经验。

(3) 叠加褶皱的鉴别 近年来, 根据前寒武纪变质岩区的构造研究, 多期叠加褶皱形变被认为是变质岩区的最基本的构造特征。指示着褶皱构造叠加的迹象有以下几方面: ①不同几何形态、不同类型、不同优选方位的褶皱存在。②同几何形态、同类型、同优选方位的褶皱, 也可能形成共轴叠加, 但在这种情况下, 必须注意观察褶皱构造由核部到翼部的地层排列层序。在正常情况下, 背斜构造由核部到翼部, 其地层层序是

由下部层位→上部层位; 向斜构造由核部到翼部, 其地层层序是由上部层位→下部层位, 如有叠加褶皱存在, 则会出现相反的地层层序 (图 3)。从该图可看出: 太平山矿区 F_1 和 F_2 相似褶皱共轴叠加; F_2 下翼重叠后形成的 F_2 序次褶皱, 由核部→翼部地层层序与 F_1 恰恰相反; F_2 的变形形面为 S_0 及 S_{a1} , F_1 变形形面为 S_0 。③轴面、轴面片理或轴面与脊线有规律发生弯转再褶皱。④褶皱的褶皱 (即后期褶皱形变, 使先期褶皱形变形成的褶皱整体发生褶皱)。⑤不同方位、不同类型的劈理面交割, 或某种劈理面有规律的弯转。⑥各种线理再定向、再变形。

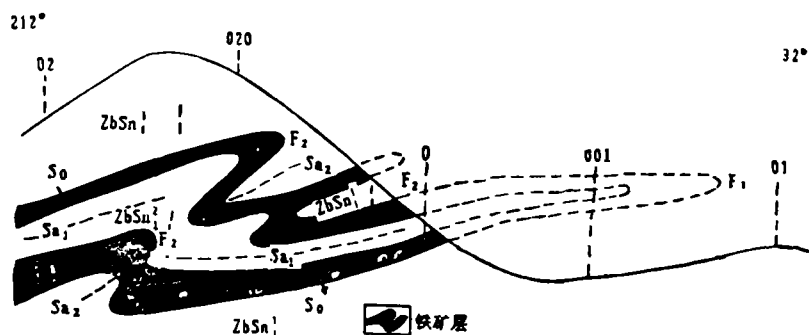


图 3 太平山铁矿区 95 线南西段勘探剖面图

$ZbSn_1^3$ —杨家桥组下段 (矿层顶板);

$ZbSn_1^1$ —杨家桥组上段 (矿层底板)

(4) 褶皱序次的确定 当发现一地区存在多期次褶皱形变的复合叠加, 则必须进一步查明各变形幕之间的先后顺序 (即确立褶皱序次), 只有这样才能确切地了解褶皱构造叠加样式, 以及褶皱形变的发生、发展及其演化。

叠加褶皱构造序次的确定, 除综合考虑研究上述迹象外, 主要通过以下几方面进行鉴别: ①观察研究形变面 (指那种面理构造发生褶皱变形), 这是因为后期的褶皱构造, 会使先期褶皱构造的轴面或轴面片理 (S_a) 和脊线 (B) 一起再度弯转褶皱。如江西新余太平山铁矿区的三重叠加褶皱形态, 其中 F_1

褶皱的形变面, 为地层层序倒转后的原始层理 (S_0), 而褶皱轴 (B_1) 则是由 F_1 的轴面 S_{a1} 与 S_0 的交线呈现出来的; F_2 褶皱的形变面; 除 F_1 褶皱两翼的 (S_0) 再次褶皱外, 而 F_1 褶皱的轴面 S_{a1} 也作为形变面发生褶皱, 而褶皱 B_2 是 S_{a2} 与 S_{a1} 的交线或 S_{a2} 与 S_0 的交线 (图 3)。②从褶皱形变演化规律鉴别, 因为褶皱形变的演化是由塑性变形→刚性变形, 由紧闭褶皱→开阔褶皱, 由相似褶皱→平行褶皱。也就是说, 有紧闭褶皱与开阔褶皱同时存在, 即前者先形成, 后者后形成; 有相似褶皱与平行褶皱同时存在, 那又是前者先形成, 后者后形成。Ю.В. 米尔列尔作了这方

面的论证*。

(5) 包络面 当褶皱成群出现、形成褶皱系列时, 仅了解单个褶皱 (F) 是不够的, 还必须研究整个褶皱系列, 而包络面 (A) 就是代表褶皱系列特征的重建起来的一个假设面状构造形迹, 由于包络面代表了褶皱系列, 因此笔者将它从一般的面状构造中区分出来, 当作一个独立的组构要素。这是因为在复杂褶皱系列中, 岩层的原始层理 (S₀) 往往不能真实地反映地质客体的总体产状和总体构造, 而由原始层理呈现出来的地质客体的总体产状往往是一种假像, 致使原始层理失去应有的作用和意义。为确切弄清地质客体的总体产状, 必须重建岩层面, 以置取代失去作用和意义的原始层理。复杂褶皱系中, 岩层面状构造的重建方式, 是建立褶皱包络面。所谓包络面, 是指通过复杂褶皱系中单个褶皱脊线所勾连出来的一个假设面。在切割脊线方向的剖面上, 包络面是通过连接复杂褶皱系中各单个褶皱转折端表达出来的 (图 4)。在复杂褶皱系中重建包络面的作用和意义, 以及包络面的地质要素和如何利用包络面进行构造分析、判定大型构造、判定地层层序、进行地质填图、布设钻孔等, 笔者曾在《地质与勘探》1981年第12期和《地质找矿论丛》1986年第2期中作过介绍。

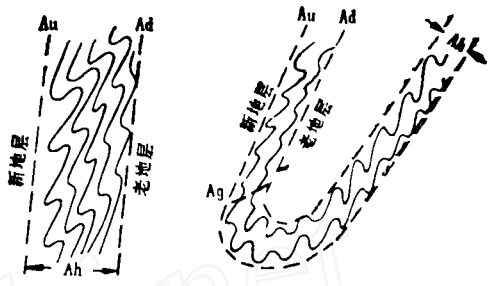


图 4 包络面 (A) 及其地质要素
Ag—构造分析指向; Au—上包络面; Ad—F 包络面; Ah—包络面间距

(6) 资料整理与构造形迹组构解析 野外调查、资料整理和综合研究, 这三者应穿插进行。然而资料的最终整理却要在野外调查结束后才能进行。资料最终整理的步骤是: ①在构造地质填图基础上划分构造均匀区段; ②按构造均匀区段和构造序次将资料归纳整理, 在此基础上建立起各构造序次的褶皱序列的几何特征; ③分构造均匀区段和构造序次, 将褶皱构造的组构要素用表 3 的形式全面整理, 然后用吴氏网作下球赤平极射影面构造形迹 (S_a) 的 π 图解, 线构造形迹 (B) 的 β 图解, 以便对褶皱的复合叠加关系作进一步的分析研究。有关赤平极射投影及复合褶皱赤平投影分析方法, 何绍勋、刘如琦各有专文^[1,2]详述。

× × 构造均匀区段 × × 序次褶曲构造组构要素登记表 表 3

观察位置	褶曲编号	脊 线 (B)		轴 面 (S _a)		上 翼		下 翼	
		倾伏方向	倾 伏 角	倾 向	倾 角	倾 向	倾 角	倾 向	倾 角

2. 面理构造 (S) 的野外调查与研究 变质岩层的面理构造, 除岩层层理外, 还有顺层片理、轴面片理、片麻理、折劈理、破劈理与密集的节理等。对面理构造的调查我们也用相应的表格 (从略——编者) 加以记录。

我们在实践中, 研究这些面理构造意义是:

(1) 比较层理 (S₀) 与轴面片理或劈理 (S_a) 的倾向、倾角关系, 可判断地层

* 《国外地质资料选编》(14), 1974。

层序正或倒：①在 S_0 与 S_{a_1} 倾向相同的情况下，若 S_0 倾角小于 S_{a_1} 倾角则层序正常，反之则倒了；②在 S_0 与 S_{a_1} 倾向相反的情况下，若 S_0 倾角小于 S_{a_1} 倾角则层序倒转，若 S_0 倾角大于 S_{a_1} 倾角，则层序正常。

(2) 轴面片理 (S_{a_1}) 与层理 (S_0) 相交的锐角方向，总是指向褶皱转折端 (图5)，据此，我们可以利用这种关系，作为构造指向，进而判断构造形态是向斜 (形) 还是背斜 (形) 构造。

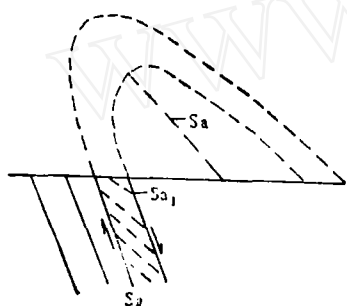


图5 轴面片理 S_{a_1} 与原始层理 S_0 相交锐角方向指向褶皱转折端

(3) 不同的折劈类型，常伴生在褶皱构造的不同部位，一般由褶曲翼部到核部，开始为简单型，靠近轴部为微褶型，轴部因处于强烈挤压部位，扁平化效应显著，则出现复褶型 (图6)。据此也可帮助我们判断所处构造部位。

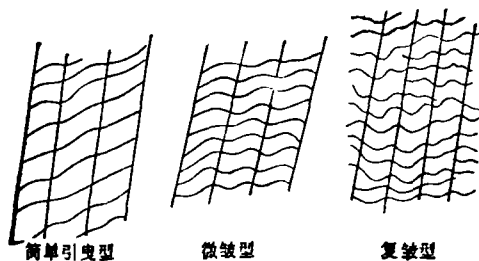


图6 折劈类型示意图

据折劈类型可判断褶皱构造部位。由翼部→核部，由A型→C型

(4) 轴面片理 (S_{a_1}) 与层理 (S_0)

在褶皱构造的不同部位，其交角关系是不同的，它可以帮助我们判断所处构造部位。如太平山铁矿区，由磁铁石英岩矿层呈现出的共轴叠加的 F_1 和 F_2 倒转平卧褶曲，其轴面片理 (S_{a_1}, S_{a_2}) 与磁铁石英岩矿层层理 (S_0) 之间的关系是，由翼部→核部，由互相平行渐变为互相垂直。当发现轴面片理 (S_{a_1}, S_{a_2}) 与矿层层理 (S_0) 近于垂直时，就意味着临近褶曲转折端了。在追索矿层时，若发现 S_{a_1} 和 S_{a_2} 与层理 S_0 的交角由平行渐变至垂直，且真厚度由薄变厚，则是由翼部向核部追索矿层，若情况相反，则是由核部向翼部追索矿层。

(5) 在断裂构造中，破劈理与断面相交的锐角方向，指示着断层两盘的相对位移方向 (图7)，据此可帮助我们判定断层的性质。

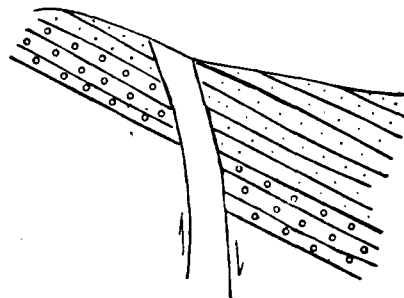


图7 破劈理与断面相交锐角方向指示着断层位移的方向

(6) 不同类型的面理构造是在区域变质条件下，不同变形阶段的产物。刘如琦^[3]综合各方面资料后指出，“根据各种面状构造保存得比较完全的浅变质岩 (绿片岩相) 岩石地区的观察，按其生成顺序构成下列序次：顺层片理→轴面片理或轴流劈理→折劈理→共轭折劈理→破劈理与密集的节日。”这也为我们确定构造序次提供了佐证。

3. 线理构造 (L) 的野外调查研究

变质岩层中常见的线理构造，有层间滑

动擦痕、矿物线理、香肠构造、杆状构造、窗根构造、搓板构造、压扁砾石、断层擦痕等。线理构造的野外调查,也建议用一定的表格详加记录。表格内容应包括:观察位置,构造序次,线理类型,产状,赋存地层时代、岩石名称及线理特征,照片或素描图编号。此项调查研究的意义在于:

(1) 层间滑动擦痕可指示岩层层间相对滑动方向并与褶皱轴垂直,据此可为判断构造形态与褶皱走向提供依据。

(2) 矿物线理、香肠构造、窗根构造、杆状构造、搓板构造、压扁砾石等,多数与 F_1 褶皱相伴生,且属B线理构造,同时它们都是塑性柔变的产物,这可帮助我们确定同期褶皱的轴向和判断褶皱形变的形成机制。

(3) 在断层面上观察和测定断层擦痕方向与擦痕角(即断层擦痕线与水平线之间

的夹角),能帮助我们判断断层性质、断层两盘相对滑动方向,以及确定断层位移的水平量与垂直分量间的比例关系。

最后应指出的是,对面理和线理构造的资料整理,也应分构造均匀区段和构造序次归纳,在此基础上建立起各构造序次而构造序列特征和线构造序列特征,综合各构造序次褶皱构造、面构造、线构造的序列特征,以利全面总结出各构造变形幕的形变特征和形变机制,以及各变形幕形成的各种构造形迹在时间上、空间上的叠置关系与展布规律,及其发生、发展、演化过程。

参 考 文 献

- [1] 何绍勋,《构造地质学中的赤平极射投影》,地质出版社,1979年。
- [2] 刘如琦,地质学报,1976,第1期。
- [3] 刘如琦,地质科学,1983,第1期。

Field Investigation and Study on Tectonic Deformation of Metamorphic Rock Formations

Dai Yuanyu

A Field investigation on tectonic deformation of metamorphic rock formations was made both in theoretical and practical aspects by the author. His understanding and experience on this study are summed up in this paper in which the collection and analysis of the formation for deciding which to use are introduced in detail.

地下管道网探测成果鉴定会在宜昌召开

武钢正拟扩大生产,为避免在施工中误伤地下管道,中断水、电、气的供给,造成生产停顿,亟需查清地下铺设的各种管道。中南冶金地质研究所承担了这项管道探查任务。

他们先对各种材料制成的管道进行了物性测定和试验,选定了有效的方法技术,在武钢3号高炉区实地探测。该区地下管道纵横交错,并且掩埋有废弃的铁板、铁块和管材,在地面和上空架设有各种用途的管道和工业电缆。这就形成了复杂的干扰场,给探管施工带来困难。

在这种不利的条件下,中南所利用自己改装的设备取得了良好的探测效果。经实地开挖验证,查

明地下金属管道和电缆位置的准确度达85.7%,埋深误差约7%。所测水泥管的位置亦都准确,只是埋深误差稍许偏大。

1989年8月15~17日,武钢技术改造部与中南冶金地质研究所在宜昌对这项技术成果联合召开了鉴定会。与会专家一致认为,成果可信。难能可贵的是,在现场干扰极其强大而复杂的情况下,成功地完成了管道网的探测任务,解决了武钢的难题。专家们指出,这一成果值得推广,在武钢各个地段开展类似的管道探测工作。同时希望,逐步完善所用仪器设备,以提高探测工作效率。

(贝 庚供稿)