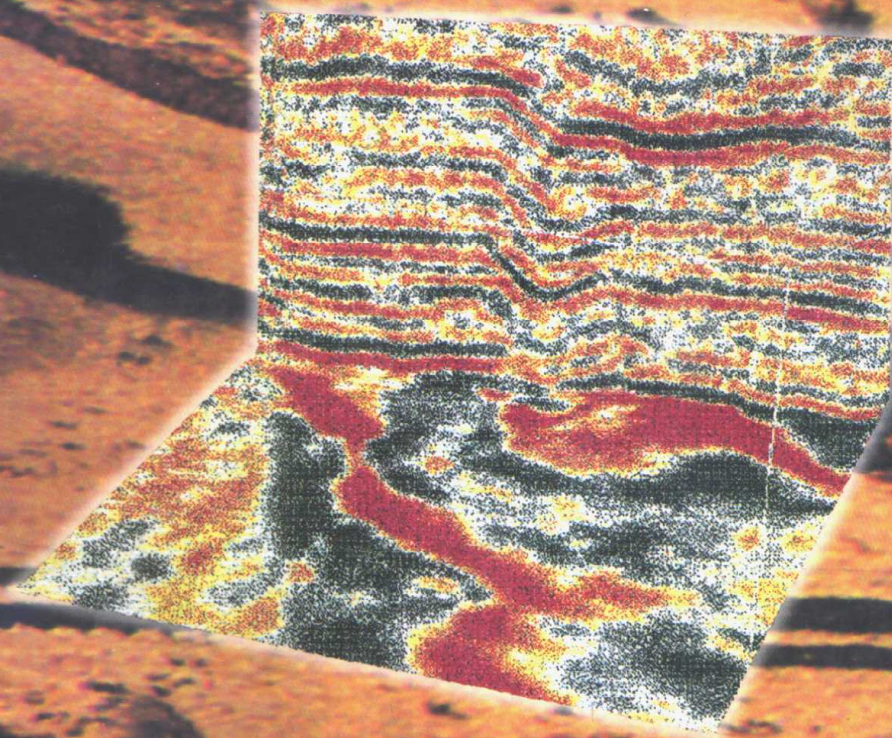


煤矿采区实用地震勘探技术

唐建益 方正 主编



煤炭工业出版社

煤矿采区实用地震勘探技术

唐建益 方 正 主编

煤 炭 工 业 出 版 社

874219

内 容 提 要

本书从实际应用出发,较为系统地叙述了目前利用高分辨率反射地震勘探技术,探测煤矿地质小构造的方法。内容包括:中国主要煤矿的地震反射波;煤矿采区高分辨率地震勘探;煤矿采区高分辨率三维地震勘探;复杂地表地区煤矿采区地震勘探和煤层横向预测地震技术。

本书可供采煤、地质、物探工程师,科研人员和有关大专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿采区实用地震勘探技术/唐建益,方正主编. —北京:煤炭工业出版社,1998

ISBN 7-5020-1564-7

I. 煤… II. ①唐…②方 III. 煤矿-地震勘探 IV. P618.110.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01541 号

煤矿采区实用地震勘探技术

唐建益 方 正 主编

责任编辑:牟金锁 马淑敏

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

北京宏伟胶印厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 17¹/₄ 插页 2

字数 411 千字 印数 1—1, 155

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

书号 4333 定价 (精) 53.00 元
(平) 37.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

序

20 世纪 90 年代,在中国大型和特大型煤矿基建矿井和生产矿井中,开展的大规模的煤矿采区地震勘探是中国物探史上一个重大的里程碑,在世界上也处于领先水平。连续进行的上百个项目的地质成果,给矿井带来了巨大经济效益,实践证实了采用这一新技术对提高煤田地质勘探水平和节约煤矿建设投资、加强科学管理起到了重大的推动作用。

当许多产煤大国的煤炭地震勘探从发展到逐渐萎缩以至于几乎消亡的时刻,中国煤炭地震勘探却在如此短的时间,如此广泛地在煤矿得到开展,特别是三维地震勘探迅速的发展,并取得令人鼓舞的成果说明:中国煤炭地震勘探技术在推广范围及其取得重大地质效果和经济效益上,已经居于世界领先地位。

本书所列举的实例,如永夏矿区陈四楼、车集矿井,兖州矿区济宁二号、三号矿井,淮南矿区张集、谢桥、潘集矿井等,都是中国年产原煤百万吨以上(200~400 万 t/a)的主力矿井。它们的设计井型和开拓方式,均采用综合机械化开采和高产高效技术。据大部分基建和生产矿井、巷道、采煤工作面的开采证实,采区必须进行地震勘探,才能保证矿井建设做到“三大控制”(工期、质量、费用),安全生产,产生好的经济效益。

采区地震勘探是建立在高分辨率地震勘探的基础上,它要求从项目立项、设计审查、野外采集、资料处理、地质解释、报告编制等各个方面都要更精细。几乎与报告同时或者在报告提出很短的时间里,建设部门和生产部门的巷道和工作面就将打开,报告中所得出的任何地质结论都将接受基建和生产的验证。值得庆幸的是,本书所列举的这些实例几乎全部或局部经过验证,这也是此项技术迅速推广的重要原因之一。

正和世间所有的事物一样,由于地面和地下地质条件的变化,以及地震勘探技术发展本身还有一段逐渐完善和探索的过程,因而有一些项目所取得的效果与业主要求和人们的期望还有一些距离,这也正是煤炭地震勘探工作者应该努力奋斗的目标。相信经过广大煤矿企业和煤炭地震工作者的努力,在世纪之交煤矿建设的重大机遇和挑战的大好环境下,煤矿采区地震勘探技术定会取得长足的进步和发展。

毕孔超

前 言

本书是根据近年来我国东部、中部地区开展煤矿采区地震勘探工作的实践，并参阅国内外有关文献编写的。以实例的方式较系统地阐述了煤矿采区二维、三维地震勘探野外资料采集、处理及解释等方面的实际工作方法、技术和经验。

当前，煤矿采区地震勘探在我国正处于蓬勃发展时期，由于过去十年里，在安徽、山东、河南、河北、山西、宁夏、天津等省市、自治区近百个大、中型煤矿所取得的令人鼓舞的成果启示下，把煤矿采区地震技术作为设计和开发中高度现代化煤矿的工具，正在成为中国大、中型煤矿采用的标准做法。使用这一技术为煤矿建设和煤矿的稳产、高效奠定了基础。无论是煤矿设计、建设和生产部门，还是地球物理勘探单位、有关大专院校和科研单位都急需关于全面介绍煤矿采区地震勘探技术的读物，以促进我国煤炭工业更快地发展。煤炭采区地震勘探技术发展到这个水平，不是意味着它的终点，而是一个新的挑战又摆在我们面前，那就是根据推广大规模综合机械化采煤技术，实现建设高产高效矿井的需要，在勘探更小断层，更小褶曲，煤层厚度和煤层顶、底板岩性预测，火成岩，瓦斯富集带，矿井防治水，煤层气开发等多方面发挥地震勘探的作用，这是一项很艰巨的任务，和石油地震勘探一样，它的核心问题是要大幅度提高现有地震勘探的分辨率。随着电子技术、计算机技术以及地震数据采集、处理、解释技术的发展，煤矿采区地震勘探技术在我国煤炭工业中的应用定会有更加广阔的前景。

本书在编写过程中，本着理论联系实际的原则，不作繁琐推导，把重点放在应用上，在阐述应用的同时，给读者介绍了该技术应用的效果以及井巷、钻孔对所获地质成果的验证情况。

全书分为六部分，第一部分绪论；第二部分煤矿采区高分辨率地震勘探；第三部分煤矿采区高分辨率三维地震勘探；第四部分复杂地表地区煤矿采区地震勘探；第五部分煤层横向预测和地震时—深转换，在此部分中作者提出了一种标定速度新概念，它的引入使地震解释成果精度达到了一个前所未有的水平；第六部分结束语。

笔者都是野外煤田物探工作者，先后都从事过煤矿采区地震勘探野外采集资料处理和解释等工作，有着丰富的实验经验。但由于理论方面的深入研究所限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

1998年2月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 中国主要煤矿区的地震反射波	5
第二章 煤矿采区高分辨率地震勘探	12
2.1 河南永夏车集矿井达产采区地震资料精细解释及效果	13
2.2 山东兖州济宁二号矿井达产采区地震勘探和地质效果	24
2.3 山东龙口北皂煤矿海上地震勘探技术与效果	35
2.4 安徽淮北祁南矿井达产采区地震勘探技术与效果	44
2.5 河南永夏陈四楼矿井达产采区地震勘探技术与方法	54
2.6 安徽淮南张集矿井达产采区地震资料精细解释及效果	63
2.7 河南郑州郜城矿井达产采区地震勘探煤层横向预测效果	65
第三章 煤矿采区高分辨率三维地震勘探	72
3.1 安徽淮南潘三矿西采区三维地震勘探	72
3.2 安徽淮南潘三煤矿东一、东二采区三维地震勘探	93
3.3 安徽淮南谢桥煤矿东一、西一采区三维地震勘探数据采集、处理与解释	108
3.4 河南新庄煤矿复杂小构造独特的三维地震勘探与解释	128
3.5 河南永夏陈四楼煤矿北四采区三维地震勘探的数据采集方法和地质效果	137
3.6 山西阳泉五矿山区陷落柱三维地震勘探	150
第四章 复杂地表地区煤矿采区地震勘探	158
4.1 河流沙滩地区,河南平顶山十三矿达产采区地震勘探技术	158
4.2 毛乌素沙漠南缘宁夏灵武煤矿初期采区地震勘探技术	172
4.3 卵石区河南焦作古汉山矿井达产采区地震勘探	180
4.4 湖泊、水网区,山东枣庄付村矿井达产采区地震勘探技术	185
4.5 异常炮点二次校正与复杂地形条件下地震资料处理	190
4.6 南方山区贵州大湾矿井 MA 采区地震勘探资料处理技术	199
4.7 山前黄土卵石冲沟区河北省蔚县崔家寨矿井达产采区地震勘探技术	205
第五章 煤层横向预测和地震时—深转换	212
5.1 山东唐口区 3 号煤层宏观结构综合解释技术	212
5.2 论地震反射波的时—深转换	228
5.3 地震反射波时—深转换的速度标定方法	231
5.4 二层界面三维偏移归位方法	236
5.5 层状介质空间校正问题的讨论	240
5.6 地震资料细微地质构造解释方法	245
5.7 许厂矿井奥陶系灰岩岩溶发育带横向预测的地震技术和效果	257
5.8 一种由等时平面图直接归位做构造图的方法	261

第六章 结束语 267

致谢 269

参考文献 270

第一章 绪 论

1.1 概 述

煤矿采区地震勘探技术是指专门探查地质小构造，为煤矿布设采煤工作面、巷道、井筒及其辅助工程服务的高精度、高分辨率地震勘探技术。概括的讲，这种技术就是在地面通过人工手段激发地震波，研究地震波在地层、煤层中传播情况，反演以查明地下主要煤层地质小构造的一种物探方法。它是近年煤炭高分辨率地震技术取得重大突破，为适应大型煤矿采用综合机械化采煤技术的需要，保证采煤工作面稳产高产，而首先在我国东部矿区发展起来的。

建设一个煤矿，首先必须精确地回答煤炭工业管理部门所提出的问题，主要包括：

- (1) 这个区域能提供多少可采的煤炭储量？
- (2) 从本矿区的情况出发，采煤所需投资是多少？
- (3) 所采煤炭的煤种是什么？煤质如何？煤的计划销售价格是多少？
- (4) 投资利润预测率是多少？
- (5) 这些估计的确信程度如何？

由此可见，煤矿开发的成败，主要依赖于煤炭资源的开发价值、可采煤率、煤的销售价格，以及采煤过程中所要遇到的作业问题。上述诸条在某种程度上均为煤矿区内地质情况所左右，而我们估计确信的精确定度，则取决于地质部门所提供的精查地质报告，对煤矿区内地质情况的详细了解程度，以及回答这些问题的准确程度。然而，长期以来在最终精查勘探中，确定地质构造，可采煤炭储量等的传统作法，主要靠钻孔采取的岩心和测井数据，地质工程师综合分析这些数据，再制做出与实际类似的地质模型。如果模型制做得很好，回答煤炭管理部门所提出的那些难以解决的问题就会更准确。假如模拟得不凑巧，计划的销售收入和利润率就可能极不准确，甚至错到否定的方面，在煤矿建井多年的历史中这种教训是屡见不鲜的。

图 1-1-1 是根据 3 个有限的数据点，推断的地质剖面。很显然，假如区段内果真是如图 1-1-2 所示的图像，而实际制定开采计划是根据图 1-1-1，必然不可能取得最佳生产率。

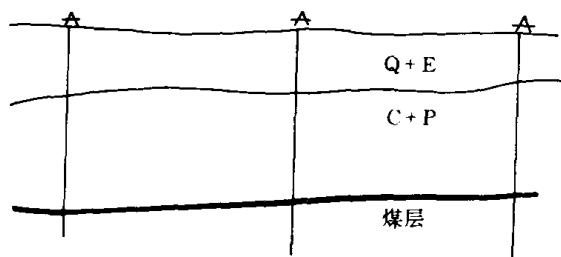


图 1-1-1 根据 3 个钻孔制定开采计划的地质剖面

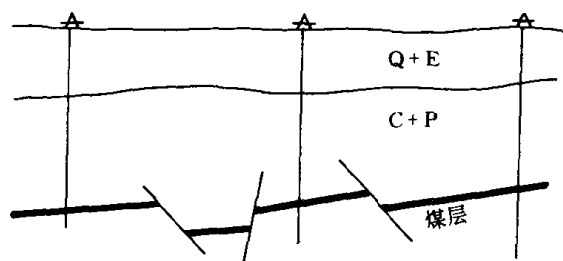


图 1-1-2 实际地质剖面

可是,如果这3个钻孔点的数据,被3个钻孔间的附加资料所补充,必然会呈现更加精确的图像,最简单的办法是在3个钻孔间,加密钻孔,但由于钻孔费用很高,特别是我国东部地区大型矿井开采深度通常在600~800m,北票、开滦煤矿最近开采深度已达1000~1100m,因而限制了将钻孔间距缩小至250m、125m或更小的可能性。过密钻孔将大大提高吨煤勘探费用,这是煤矿业主所不能承受的。地震—钻探相结合的方法,则适合这一问题的解决。

在我国的煤炭工业中,地震技术的采用始于1955年,早期主要是寻找新煤田和新的含煤区。直到70~80年代,才在安徽、山东、江苏、河南等省采用地震—钻探相结合的综合勘探技术,进行煤炭资源的普查、详查和精查,但由于当时使用的是模拟磁带地震仪采集地震数据,所获地震剖面的分辨率很低,信噪比也不够高,在加之地震时—深转换精度差,反射面的空间归位不准,一般只能查明落差30m以上断层,深度解释误差达3%~5%,因而不能满足煤矿开发阶段的要求。

1981年2月,由煤炭部地质局组织山东煤田物测队在济宁煤田进行高分辨率研究试验。

1982年底,由江苏煤田物测队在江苏龙垵地区进行了较为全面系统地高分辨率试验研究。

1983年,安徽煤田物测队在安徽淮南刘庄区进行高分辨率地震技术试验研究,在取得一整套高分辨率地震数据采集、处理和解释技术方法后,首次在该区全井田施行高分辨率地震勘探,与钻探相结合进行地质精查。所获地震时间剖面主要反射波信噪比高,连续性好,特征突出,分辨率高,主要煤层反射波视主频达到70~100Hz,能可靠查出断距10m以上的断层。本次勘探中,坚持了凡地震能解决的地质问题(构造、煤层露头 and 煤层厚度变化趋势等),均以地震勘探为主,钻探提供参数孔,定位孔资料和验证资料。对地层层序、煤层厚度变化、煤质、水文地质及开采技术条件等以钻探为主。本次勘探首次查明了井田—水平先期采区落差 ≥ 15 m的断层,并查找出 $< 15 \sim 5$ m的断点,高于规范要求的一倍以上;主要煤层露头(埋深400~500m)位置可靠,沿测线方向摆动误差 < 50 m;由于高精度的地震成果,突破规范钻孔网距,因而节约构造孔,煤层露头孔等总计进尺120000m;在勘探方法和勘探成果上取得重大突破,比以往同类地质条件地区每平方公里节约钻孔1.2~3倍,仅用5年时间从普查到精查结束,勘探周期至少缩短7年。1986年底,安徽煤田物测队基于刘庄高分辨率地震勘探的成套技术,第一次为朱仙庄,百善煤矿生产预备采区和井下防水治水服务。1987年又进行刘桥煤矿,姚园煤矿采区勘探。1988年对毛郢子煤矿、孟庄煤矿、蔡山煤矿采区进行勘探,均取得了十分满意的成果,查明了区内落差10m以上的断层,为工作面合理布置,矿井防水治水提供了可靠的地质资料。至此,江苏煤田物测队(1989),山东、河北、河南煤田物测队,中国煤田地质总局物测队(1990),东北煤田地质局第三物探公司(1991),先后在兴隆庄煤矿1、5、6、8、10采区,南屯煤矿九采区,鲍店煤矿,东滩煤矿,夹河煤矿1、2、3采区,肥城煤矿,柴里煤矿,太平煤矿,运河煤矿,田城煤矿,横山煤矿,大屯煤矿,芦岭煤矿,张庄煤矿,葛店煤矿,通辽煤矿等等在几十个煤矿采区进行了规模空前的采区地震勘探,为各煤矿采区和工作面布置、巷道掘进计划制定提供了高精度的地质资料,技术经济效益十分显著,引起原国家能源投资公司、中国统配煤矿总公司、能源部的极大重视,并于1991年开始在全国大型、特大型基本建设矿井推广,以提高基本建设矿井地质勘探精度,为优化矿井的采区设计,缩短建设工期,保证矿井按期达产,提高投资的使用效益创造条件。对“八五”计划建设可以利用地震手段

进行勘探的基建矿井都补做了地震勘探，称之为地震补充勘探，即对地质精查勘探后的补充，主要是查明地质构造。

为此，1991~1995 年，中国煤田地质总局先后集中了 25 个地震队，采用高分辨率地震技术，对 13 个省、市、自治区 38 个矿区 68 对矿井进行了补充勘探。从已完成的 38 对矿井达产采区地震补充勘探项目统计来看，成果十分喜人，估计至少避免 20~30 亿费用的损失。在 460km² 勘探面中，新发现断层 787 条。修改原精查报告断层 127 条，否定原精查报告断层 69 条。新发现的断层中按断层断距划分：断距≥50m 者 93 条；断距 50~30m 有 105 条；断距 30~20m 有 129 条；断距 20~10m 者 274 条；断距<10m 者 186 条。综上所述，在矿井达产采区地震补充勘探新发现的断层中，主要是影响矿井采区布置的断距小的断层，所占比例大（断距小于 20m 者占总数的 59%），用钻探技术来查明这些小断层，从吨煤勘探费用投资率来看几乎是不可能的。各有关设计部门，根据这些成果，对原矿井初步设计进行了优化修改，包括：（1）改变矿井初步设计开拓方案、井筒位置和生产能力；（2）对 90% 的项目的矿井采区设计进行修改，包括工作面位置、工作面走向长度；（3）修改主要巷道位置，调整矿井境界。此外，在各项成果中，还进一步查明了主要煤层赋存形态，煤层变薄带、无煤带、构造破碎带、采空区、陷落柱等地质灾害。为防止水害和主要巷道躲开构造破碎带提供了地质资料，确保新建矿井安全高速建成，从矿井投产后长远生产来看，也节省了矿井投产后的巷道维修费用。

应该指出，地震勘探所提供的地质数据，其精度远不如钻孔取心，但地震数据点间密度很大，可实现对地质体的视连续观测，这是单一钻探手段所不可比拟的。为了充分估计由地震勘探提供的地质控制点增加数量的作用，我们再进行进一步讨论，假设有一个长 3km、宽 3km、面积 9km² 的地质模型，用常规勘探提供的数据和地震—钻探综合勘探所提供的数据作对比研究。另外，还假定所预想的地区地质构造较复杂，煤层厚度变化比较稳定，那么高级储量区，所确定的钻孔孔距，应小于 500m，采用这种孔距所作的典型钻孔勘探如图 1—1—3 所示，最少需要 49 个钻孔才能满足 9km² 勘探面积的要求。如果采用地震—钻探相结合的综合勘探技术勘探相同区域，它的设计布置，如图 1—1—4 所示。将钻孔减到 25 个，设计 11 条地震测线，总长 36km，包括 3km 机动工程量，按照标准的野外方法采集地震数据，则每条地震测线所获地震剖面，均将提供沿测线 5m 一个地质资料点（地震数据道），全

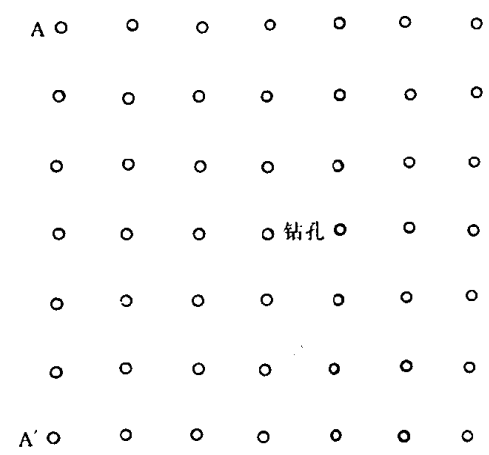


图 1—1—3 钻孔位置设计图

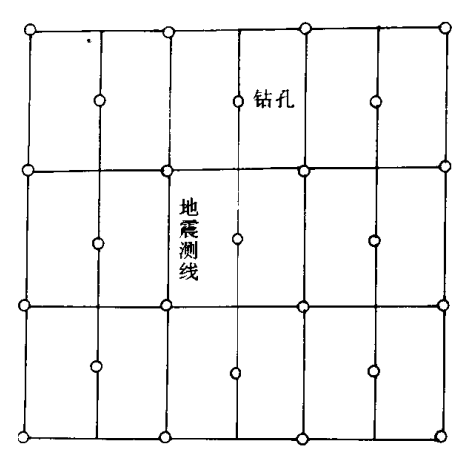


图 1—1—4 地震—钻探相结合设计图

区总计为 7200 个地质资料点,这比常规钻孔沿测线剖面测量,能多提供 100 多倍的控制点,尽管每个点的精度不如钻孔,但它用高精度的钻孔作标定并由钻孔外推,实现对煤层、地层的连续观测,得到该区更为精确的地质模型。

图 1-1-5 是一条简化的地质剖面。它是以图 1-1-3A-A' 线钻孔资料为基础的,据资料解释,在钻孔 A⁷ 和钻孔 A⁶ 之间存在着大断层,钻孔 A⁴ 未见煤层,在相对深度上为厚层粗砂岩代替。既然同一编号煤层出现在钻孔 A⁵、A⁶,也出现在钻孔 A³、钻孔 A⁴ 又没有明显位移,因此钻孔 A⁴ 所出现的煤层缺失,可以解释为古河道。根据相邻钻孔勘探线和按其规律推断,能大致确定断层的延展走向,但不能确定古河道延展方向,因为只在一个个别钻孔中碰到它。

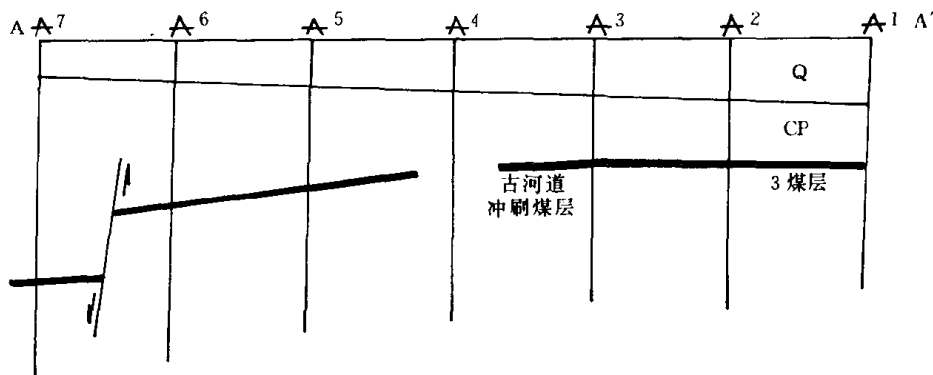


图 1-1-5 钻孔勘探地质剖面图

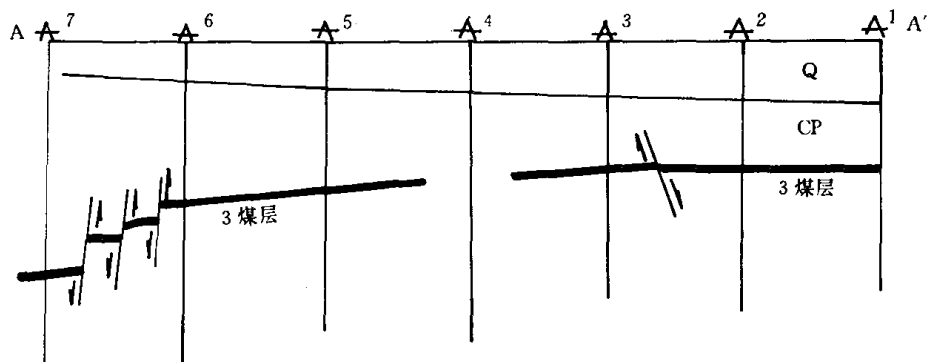


图 1-1-6 地震—钻探综合勘探地质剖面

图 1-1-6 表示的是沿同一条 A-A' 线,以地震—钻探综合勘探提供的资料为基础的地质剖面,从地震勘探所提供的补充资料表明,钻孔 A⁷ 和钻孔 A⁶ 之间,存在明显的大断层,实际上是由 3 条阶梯状正断层组成。地震勘探能准确地确定 3 条阶梯状断层位置,而钻探只能提出在 0.5km 间隔的两个钻孔间存在 1 条断层。出现一系列小断层,对开采的影响比存在单条大断层的影响更为明显。地震勘探还允许我们追踪任意横穿区域的古河道延展方向。如果在这个勘探区段只采用钻孔资料,则绘制的断层构造切割煤层的特征及断层的走向如图 1-1-7 所示,可以看到,由于只有一个控制点,因而不可能画出古河道展布情况。采用由地震—钻探综合模拟的图像,如图 1-1-8 所示,它有利于采矿设计或提供有关该地区

的采煤成本和可能开采的地段。当然从勘探总费用上概算,单一钻探手段 49 个钻孔平均孔深 700m,每米费用 500 元(有的地区每米为 800 元)钻探总费用 1715 万元,而地震—钻探综合勘探 25 个钻孔、36km 地震剖面总费用 965 万元,比常规单一钻探手段能节约 750 万元。如果拟探测更小的地质小构造,断距大于 10m 以上的断层,可将地震测线加密为 $175\text{m} \times 250\text{m}$ 的测网,增加 50km 地震剖面总费用也比常规单一钻孔勘探节约 635 万元。

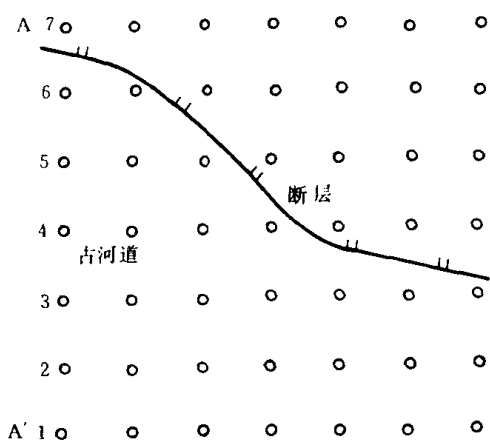


图 1-1-7 钻孔勘探

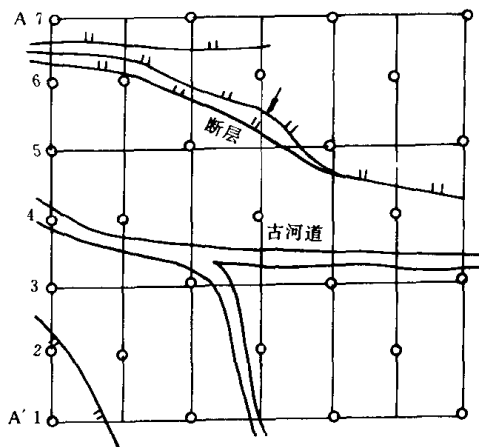


图 1-1-8 地震—钻探综合勘探

图 1-1-9 是河南永夏矿区陈四楼矿井达产采区地震勘探前后构造的对比,地质精查阶段采用的是单一钻探手段,达产采区内共钻孔 58 个、勘探网 $500\text{m} \times 500\text{m}$,除边界断层 F_{24} 、 F_{15} 、 F_{13} 外区内从未发现断层,地震补充勘探查出断层 24 条,地震测网 $125\text{m} \times 250\text{m}$,其中断距 30m 以上断层达 5 条。由图中可以看到原矿井设计的两个综合机械化采煤工作面都布置在断层上,为断层 F_{30} 、 F_{40} 所切割。地震补充勘探成果提出后,设计部门对此设计进行了修改,才避免了矿井较大的经济损失。

中国的煤矿采区地震勘探技术发展至今,所能完成的地质任务是:

(1) 二维地震技术,查明埋深 1000m 以内的主要煤层,落差 10m 以上的断层,平面位置误差 $<30 \sim 50\text{m}$; 三维地震技术,查明埋深 1000m 以内的主要煤层落差 5m 以上的断层,平面位置误差小于 $10 \sim 20\text{m}$ 。

- (2) 查明幅度 $>10\text{m}$ 的褶曲,深度解释误差 $<1\% \sim 2\%$ 。
- (3) 圈定煤层冲刷带、火烧带、天然焦带和煤层隐伏露头的位置。
- (4) 探测老窑采空区和废弃巷道位置。
- (5) 确定较大型的岩浆侵入体,及其对煤层的影响范围。
- (6) 划分主要煤层的分叉、合并带。
- (7) 探测煤矿陷落柱。
- (8) 预测煤层厚度变化趋势。

1.2 中国主要煤矿区的地震反射波

在中国的煤炭总产量中,有 60% 以上的煤炭产于中国的华北晚古生代成煤盆地(图 1-2-1)。其次为中国东北的若干、中、小型中生代煤盆地;中国的西部和西南部煤炭储

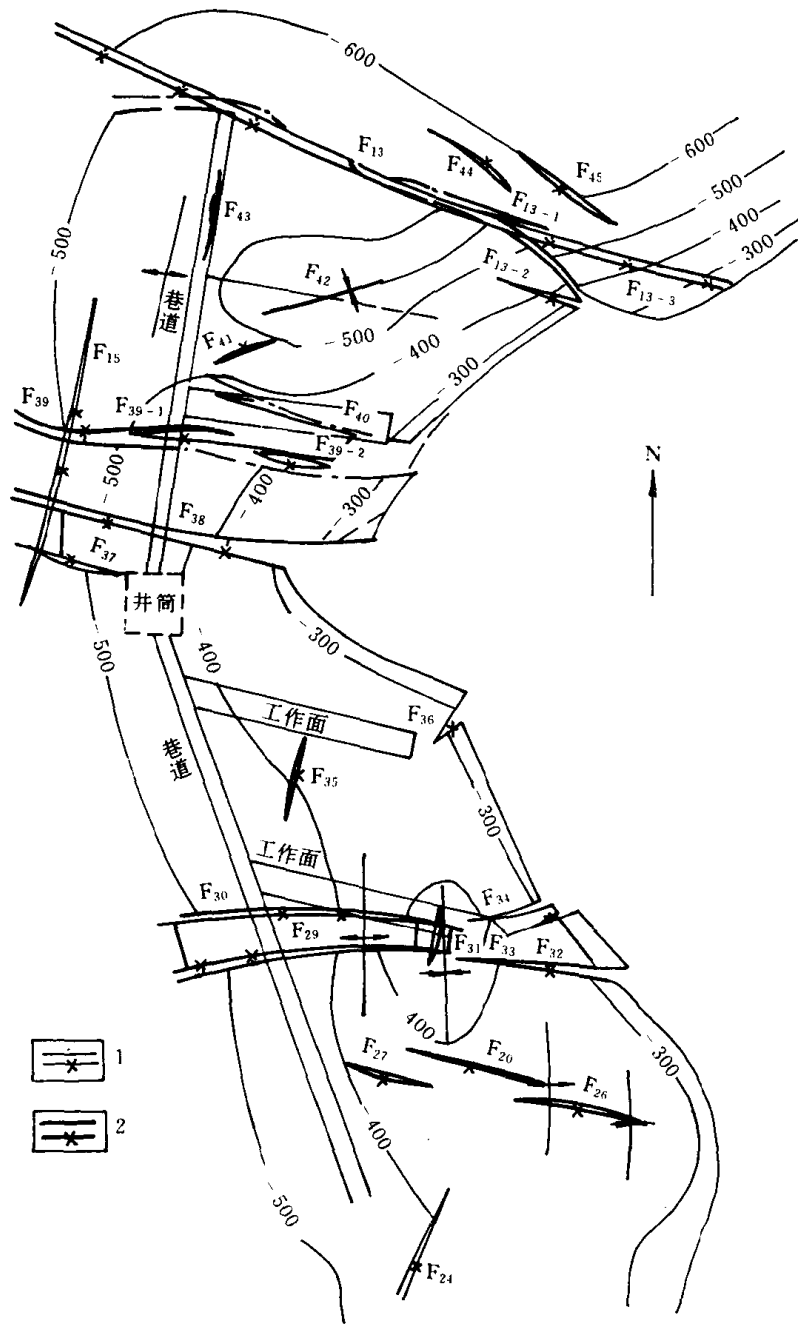
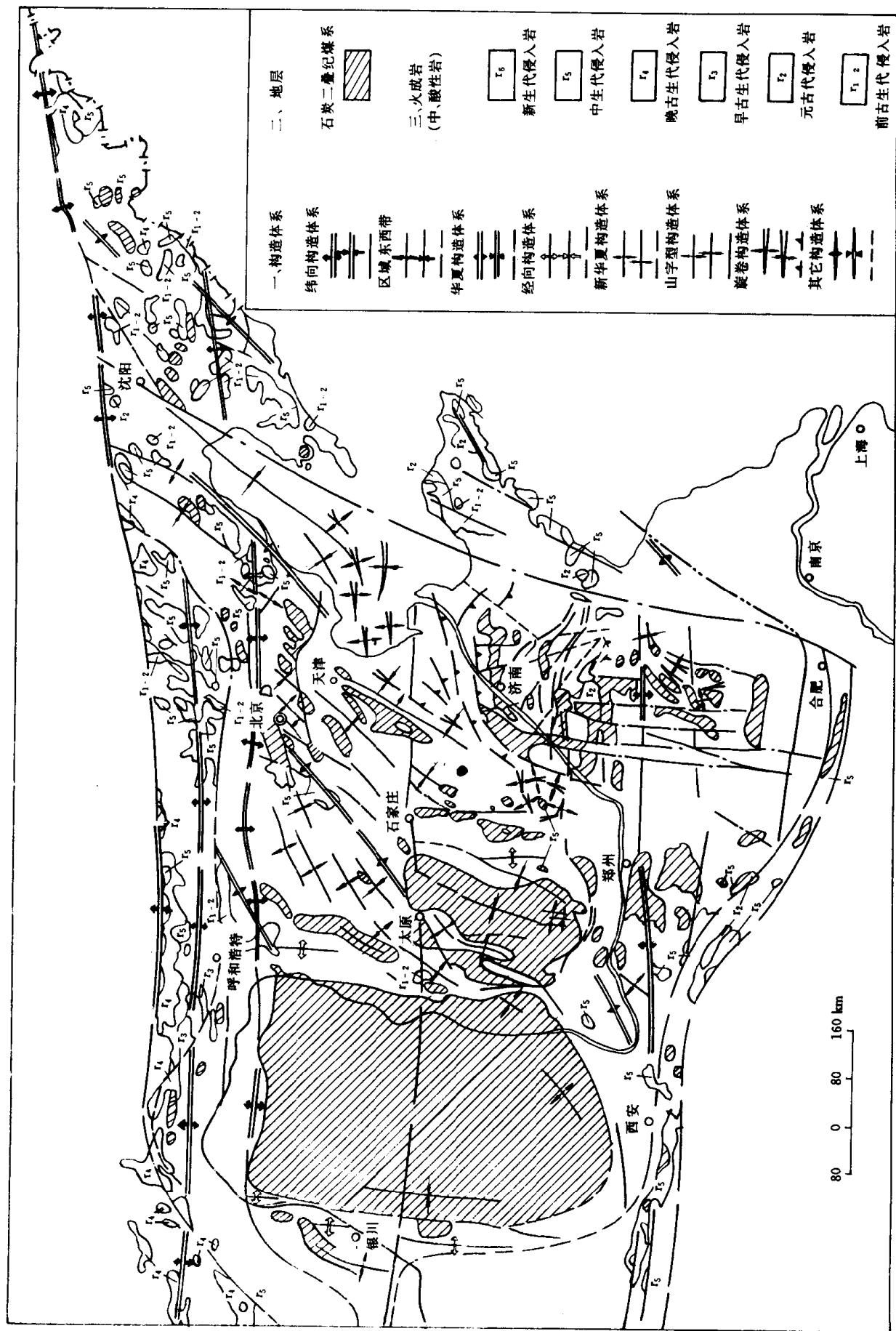


图 1-1-9 地震勘探前后构造的对比图
1—精查勘探查出的断层；2—地震勘探查出的断层

量很大，但开发程度较低。

80年代以来研究表明：煤层与其顶底板岩层之间波阻抗差异明显，反射系数高达0.354~0.773（表1-2-1）一般比油、气界面反射系数高一至几倍。在地面人工激发的地震波向下入射到主要煤层界面上，形成的煤层反射波能量强，波形特征突出，在地震时间剖面上很易识别，通常是以亮点形式出现。在地面所采集到的煤层反射波，其数量则因地而异，不是所有煤层或所有可采煤层或所有主要可采煤层的反射波，在地面都能采集到。它



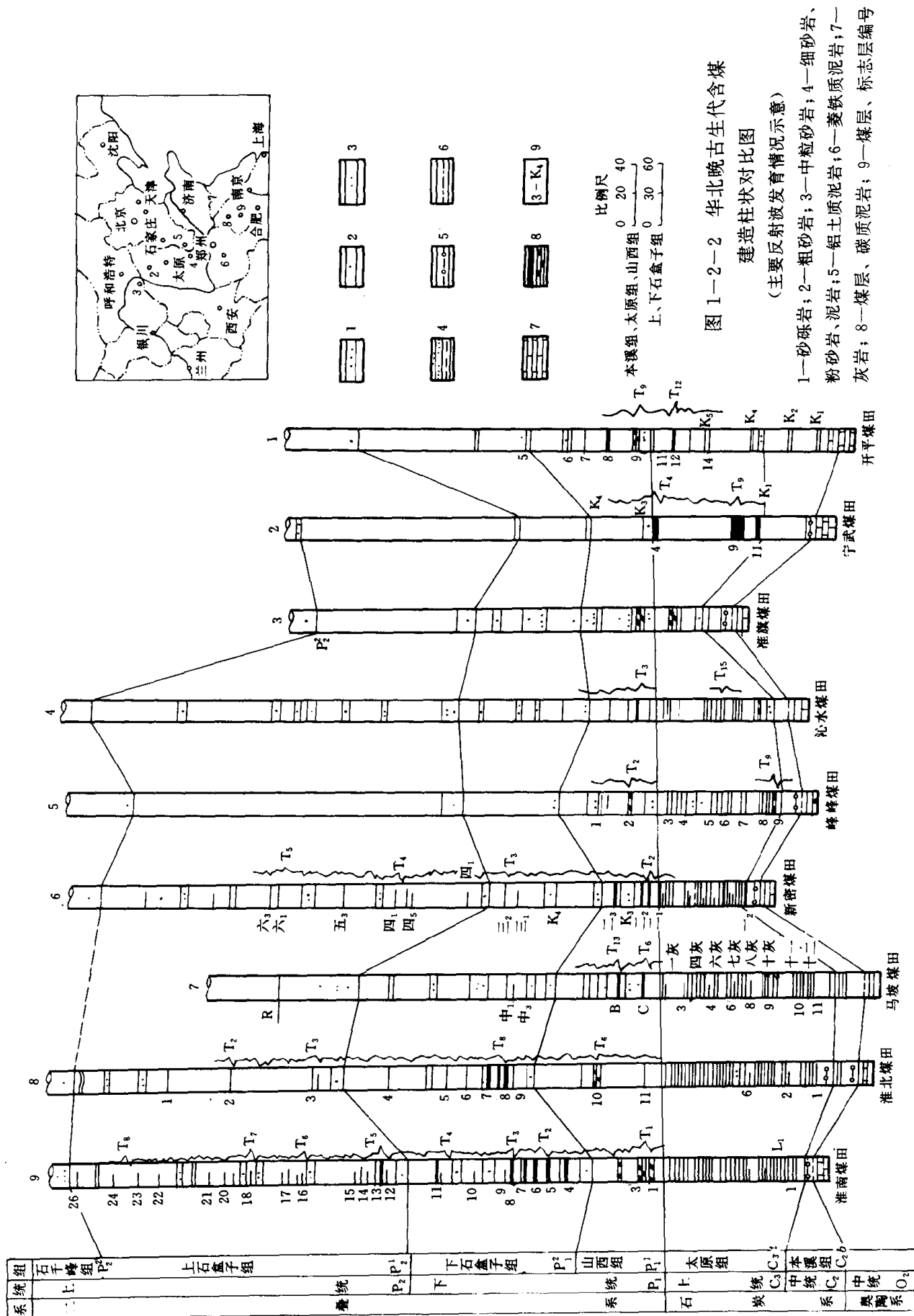
(引自《中国煤田地质学》)

图 1-2-1 华北构造体系与石炭二叠纪煤系分布略图

表 1-2-1 刘庄地区各类岩石组合的弹性波反射系数 R 统计

$\begin{matrix} R \\ Z_2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Z_1 \end{matrix}$		煤	层	粘土	泥	岩	砂	泥	岩	粉	砂	岩	花	斑	砂	岩	中	细	砂	岩	粗	砂	岩	菱	铁	质	砂	岩	石	灰	岩
		2.1		4.4	6.41	6.21	8.48	9.33	10.56	10.63	12.27	13.19	15.32	14.36	16.4																
煤层 2.1				0.354	-0.506	-0.495	-0.603	-0.633	-0.668	-0.670	-0.708	-0.725	-0.759	-0.744	-0.773																
粘土 4.4		0.354			-0.186	-0.171	-0.317	-0.359	-0.412	-0.415	-0.492	-0.500	-0.584	-0.531	-0.577																
泥岩 6.41		0.506		0.180		0.016	-0.139	-0.186	-0.245	-0.248	-0.314	-0.346	-0.410	-0.383	-0.438																
砂泥岩 6.21		0.495		0.171	-0.016		-0.155	-0.201	-0.259	-0.264	-0.328	-0.360	-0.423	-0.396	-0.451																
砂质泥岩 8.48		0.603		0.317	0.139	0.155		-0.048	-0.109	-0.113	-0.183	-0.217	-0.287	-0.257	-0.318																
粉砂岩 9.33		0.633		0.359	0.186	0.201	0.048		-0.062	-0.065	-0.136	-0.171	-0.243	-0.212	-0.275																
花斑砂质泥岩 10.56		0.668		0.412	0.245	0.259	0.169	0.062		-0.003	-0.075	-0.111	-0.184	-0.152	-0.217																
细砂岩 10.63		0.670		0.415	0.248	0.262	0.113	0.065	0.003		-0.072	-0.107	-0.181	-0.149	-0.213																
中细砂岩 12.27		0.708		0.472	0.314	0.328	0.183	0.136	0.075	0.072	0.036	-0.036	-0.111	-0.078	-0.144																
中砂岩 13.19		0.725		0.500	0.346	0.360	0.217	0.171	0.111	0.107	0.036		-0.075	-0.042	-0.108																
粗砂岩 15.32		0.759		0.554	0.410	0.423	0.287	0.243	0.184	0.181	0.111	0.075		0.032	0.034																
菱铁质砂岩 14.36		0.744		0.531	0.383	0.396	0.257	0.212	0.152	0.149	0.078	0.042	-0.032		-0.066																
石灰岩 16.4		0.773		0.597	0.438	0.451	0.318	0.275	0.217	0.213	0.144	0.108	0.034	0.066																	

注： $R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$ ，式中 Z 代表波阻抗。



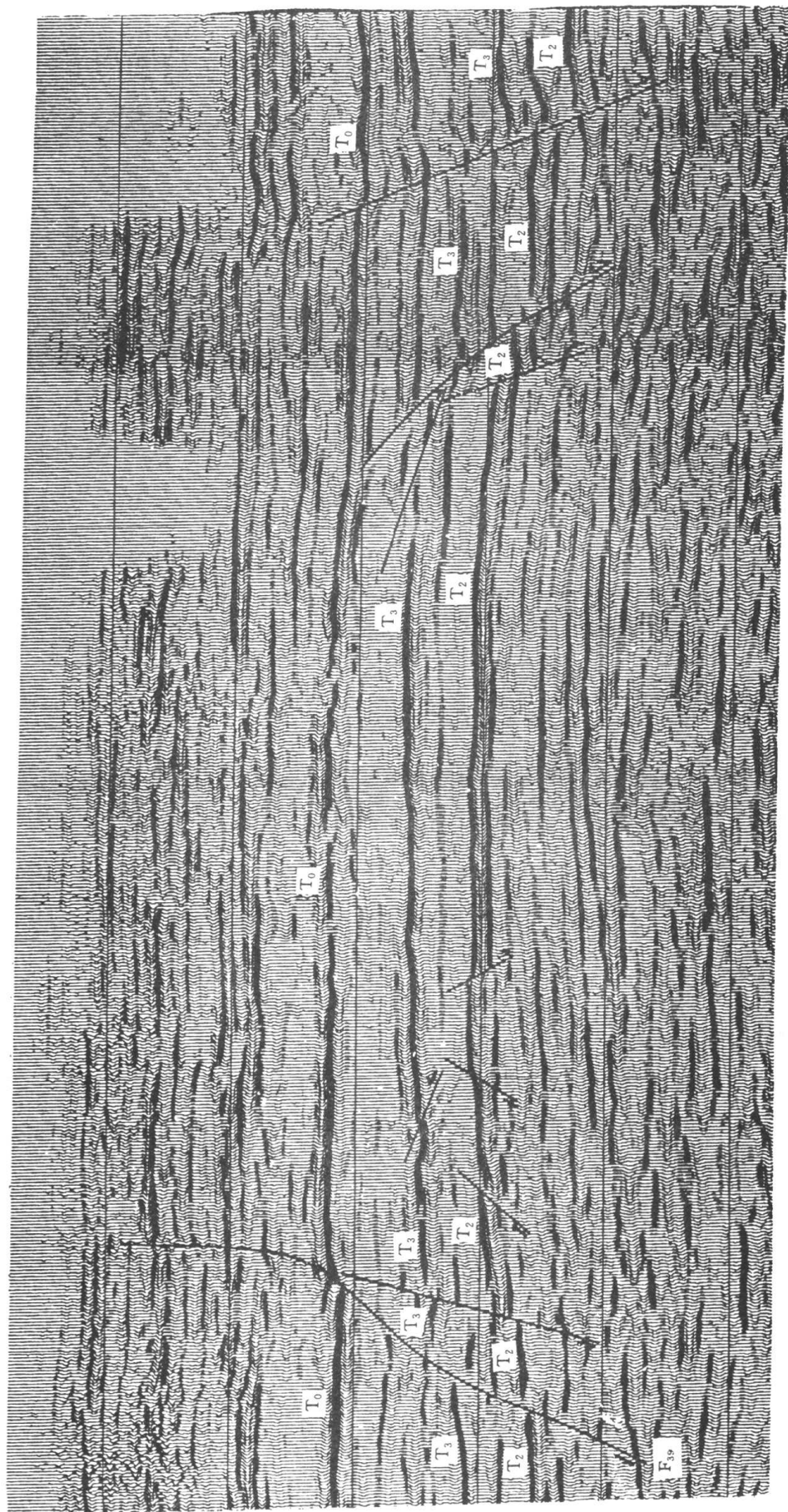


图 1-2-3 石炭二叠纪煤系典型的反射波特征