

爆震观测及爆震效应的工程评价

谢建清

(广东省地震局)

提 要 本文介绍了有关爆破地震效应工程评价方法及其标准,汇报了观测仪器和得到的不同地区的经验传递系数,同时还介绍了部分振速及爆破地震烈度标准。

关键词 爆破地震 工程效应 评价方法与标准 传递系数

前 言

爆破是矿山开采工作中的主要环节,亦是修堤筑路有效的手段,而且是拆除废旧建筑的优良技术。然而,当爆破失去控制,意外引爆时,将会给人们和社会带来不可估量的损失。所以爆破工程引起的爆破地震效应是研究爆破公害中最为重要的课题之一。除了需要科学地设计爆破方案、引爆方法、认真组织施工外,还必须对爆破工程进行爆破地震动的实测、试验和理论研究。本文就手中掌握和收集到的部分有关资料,作简单介绍。

一、爆破技术的应用及爆破地震效应的危害

1. 爆破技术的应用

随着生产的发展,爆破技术在生产上的应用越来越普遍,应用领域越来越广泛,爆破技术要求越来越高。爆破方法和形式根据生产目的而决定。矿山开采多用松动爆破,拦河筑堤则采用定向爆破,废旧建筑物可用微孔爆破进行拆除。例如四川渡口的万吨双层加强松动爆破,云浮硫铁矿的剥离采用定向爆破,香港将军澳隧道开挖用松动爆破,广州黄沙一芳村过江隧道采用水下松动爆破开挖,广东省人民政府的旧建筑采用微孔爆破拆除,凡此等等,应用爆破技术的例子直至进行科学试验,不胜枚举。爆破药量从小到大,露天开采中一次爆破可达几千吨至万吨以上,而井下爆破则达二三百吨,而微孔爆破只有几十克。

2. 爆破地震效应的危害

虽然利用适当药量的爆破可造福人类,然而在爆破引发的爆震作用下,容易引起不良的甚至是破坏的作用。例如有些爆破威胁到爆点周围的工业与民用建筑的安全,有些结构开裂、毁损或倒塌;由于爆破振动引起电源跳闸,锅炉触点失灵;有些造成边坡失稳,坍落,基础砂土液化;更有甚者造成人畜伤亡。因此,需对爆破工程进行爆震观测,分析爆破地震记录,对爆破地震效应作出评价。

二、爆破地震动的观测

要完整地描述一个测点在空间的运动状态,可通过测量测点的三个正交分量的随时间变化的加速度或速度或位移时程,得到爆破时各物理量的最大值及其包含的频率成份,运动时间的长短。观测通常可用下述框图表示。

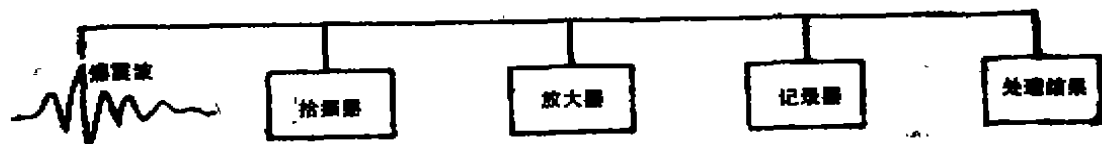


图1 记录框图

Fig. 1 Map of the Recording frame

为获取不同物理量结果,可使用不同的地震仪器,表1介绍部分不同物理量获取情况。

表1 获取各物理量的组合条件

Tab. The combined condition of obtained each physical quantity

物 理 量	获 取 方 法	记录形式
加 速 度	加速度摆+线性放大器	光、磁带
	速度摆+微分放大器	光
速 度	加速度摆+积分放大器	光、磁带
	速度摆+线性放大器	光、磁带
	速度摆+线性放大器	输入计算机
位 移	加速度摆+二级积分放大器	笔
	速度摆+积分放大器	光

现介绍本局爆破观测中较常使用的几种地震仪器。

(1) RDZ—1型强震加速度仪

这是一种国产光记录的强震仪,具有通频带宽、测量范围大、多道记录、性能稳定等优点。在爆破观测时作加速度时程记录器又可作速度时程记录器。多用于结构爆震观测。

(2) JC—5 A及SC—16系统

本系统包括了压电晶体探头,JC—5 A放大器和SC—16光线示波器组成的光记录仪器。结果较直观、方便。亦可作加速度或速度记录。

(3) GDD—87HK系统

此仪器由压电晶体探头,电荷放大器及TAEK磁带机组而成的磁带记录的观测系统。可作加速度、速度或位移三种不同物理量的观测。使用较方便、性能稳定、可靠、动态范围大,适用于结构和地面爆震观测。本系统曾于1987年经香港理工学院验定,香港有关方面认可,完成了香港将军澳隧道爆破观测工作。

(4) APPLE II—ARA系统

本系统包括65型摆,ARA放大器与APPLE II组成观测记录仪器。利用AD模数转换器,把65摆检测到的信号通过ARA放大器直接读入APPLE II计算机中进行存储和处理。结果存入5吋半软盘中,应用较为方便。

图2为各测量系统观测得到的爆震记录。

在观测中要考虑观测对象，爆心到测点的距离、拾振器的布设、埋设方法、记录系统的灵敏度等等，使观测结果理想化、不能过大或过小，记录要清晰。

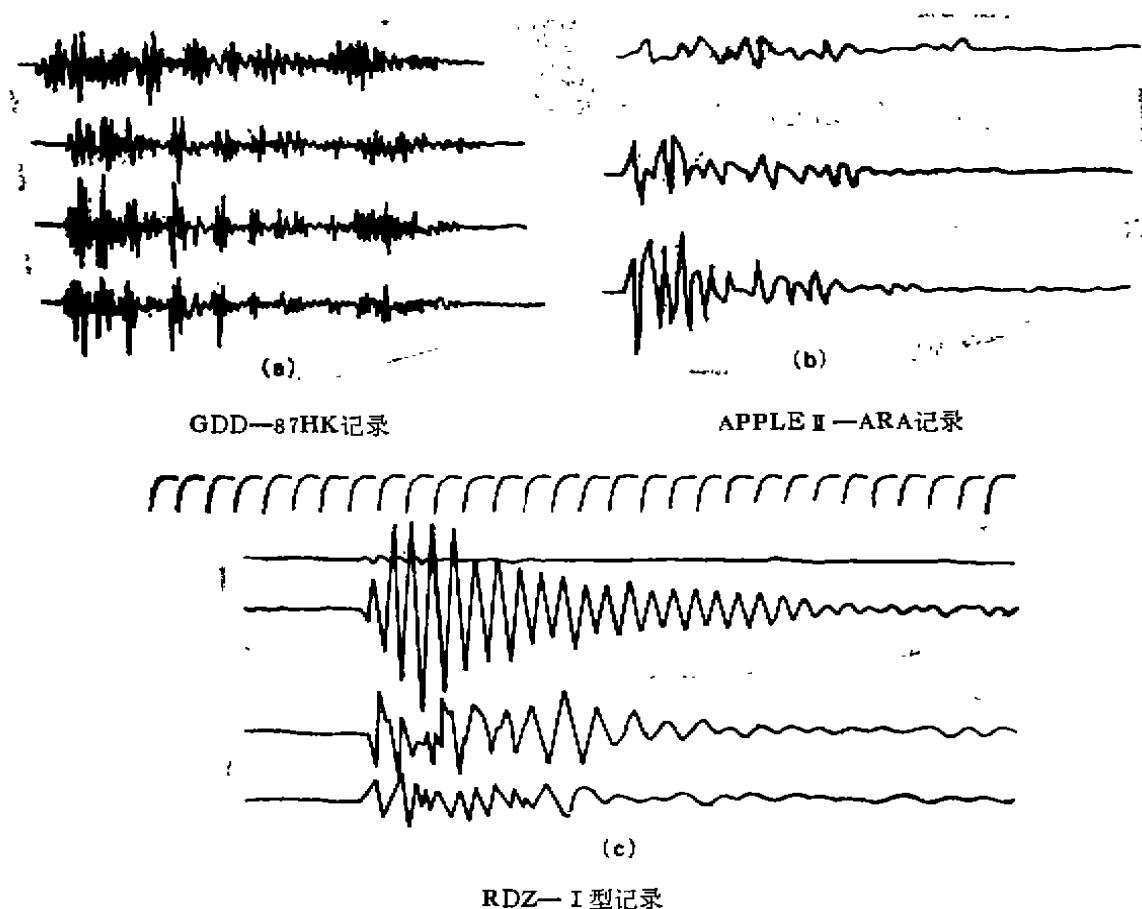


图2 各仪器获得的爆破记录
Fig. 2 Records of explosion earthquakes got by instruments

三、爆破振动记录的分析

爆破地震与天然地震虽然不尽相同，但亦有相似要素：例如能量及振幅大小，频率高低，作用持续时间的长短，震源到测点的距离等因素都能影响着建筑物的安危，一句话，两者都是振动问题。所以天然地震记录分析方法，可引用到爆破地震记录分析中。

1. 爆破振动记录的直观分析

从爆破记录图中直接量出振幅最大值，计算出加速度或速度、或位移 A_m 、 V_m 、 D_m ，以及相对应的频率、持续时间。

设 A_V 、 A_P 、 A_T 分别为垂直向、径向和切向振动加速度最大值，则

$$A_m(V, P, T, t) = (A_V^2 + A_P^2 + A_T^2)^{\frac{1}{2}}$$

同样在振速或位移中可以得到相应的计算公式 获取 $V_m(V, P, T, t)$ 和 $D_m(V, P, T, t)$ 。

根据 A_m, V_m, D_m 位置, 在时间轴量出最大振幅相应的时间, 从而得到最大值相应的 振动频率, 称为主要频率。

2. 数字化处理

为充分应用爆破记录, 数字化工作是必不可少的。对于模拟光记录的数字化, 采用不等间隔在时间轴和振幅轴上, 读取数值。对于磁带记录的数字化, 可用AD板直接输入到 微机中。对于微型计算机作记录的系统, 爆破瞬间已将数字化结果记录到微机之中了。

3. 爆破振动记录的反应谱和富里埃分析

进行爆破观测都是为了解决某些具体问题而开展的, 针对性较强。获取记录并进行了数字化后, 就可进行反应谱和富里埃的分析, 了解地面运动特征, 爆破振动的强度, 以及进行结构动力分析, 对结构反应及爆破后效作出评价。

4. 各种经验公式的获得

由于爆破的影响因素很多, 利用多次爆破记录进行统计计算求得不同物理量的 传递系数, 并依据这些系数对爆破进行控制, 使工程按质保量完成。下面介绍一些有关的公式。

(1) 速度记录

对于振速来讲, 国内外较多采取径向最大值、垂直向或矢量和最大值等等。

美国矿务局提出的公式为

$$V = H(R/C^{\frac{1}{2}})^{-B}$$

式中 V 为振速, R 为距离, C 为药量。 H, B 则称为“位置常数”, 通过试验确定。

苏联萨道夫斯基及我国大多数爆研究工作者则多引用下面公式:

$$V = K\rho^{\alpha}$$

其中 $\rho = C^{\frac{1}{3}}R^{-1}$, 称为折算距离, K 和 α 为通过实测统计得到的传递系数。

(2) 加速度记录

使用加速度记录方式进行爆震观测, 可参照振速公式, 即 $A = K\rho^{\alpha}$ 进行计算。

(3) 位移记录

使用位移观测爆震时, 可采用公式

$$D = K\sqrt{C} / \alpha \quad \text{或}$$

$$D = KC^{\frac{2}{3}}R^{-1}$$

式中 D 为位移, K, α 亦为统计系数。

(4) 其它公式

$$1) \text{ 能量比: } ER = \left(\frac{50}{R} \right)^2 C^2 K \quad \text{或}$$

$$ER = \left(\frac{A}{f} \right)^2$$

K 为场地常数, 岩石取 0.001, 粘土取 0.004, f 为爆破记录中的振动频率。

$$2) \text{ 土壤振动周期: } T = \tau \log R \quad \text{或}$$

$$T = 4h / (2m - 1) V_1$$

其中 V_1 为所测的土壤波速, h 为土壤厚度, m 为土壤性状序次。当发生共振时记作 TR , τ 为土壤系数, 从表2得到。

表2 不同类型岩石的土壤系数
Tab.2 Soil coefficient of different types of rock soil

土 壤 条 件	τ 值
含水土(流沙、泥炭)	0.11~0.13
中等坚硬的冲积土	0.06~0.09
岩 石	0.01~0.03

3) 药量与震级关系: $M=K+\log C$

上述公式中, M 为震级, 其他都代表了相同意义, 不过当药量用磅时, 距离、速度和加速度的单位都改为吋, 吋/秒或吋/秒²。未说明时采用公制。 K 为统计系数。

由于我国爆震测量多用速度控制, 现就本人所进行观测得到和掌握的部分有关传递系数列于表3。

表3 振速实测场地传递系数
Tab.3 Site transmission coefficient of observed vibration velocity

适 用 地 点 提 出 单 位		系 数		爆 破 条 件、方 法			
		K	α	药 量	距离	方 法	
朱 家 包 包 (渡口、多家进行)		128	2.08	万吨级	4 km	加强松动	
		630	2.8	万吨级	2 km	加强松动	
		718.	2.4.	330吨	2 km	松动	
枫 树 坝		187	1.8	20吨	150km	松动	
柳州水泥厂		372	2.08	20吨	1.5km	松动	
云浮硫铁矿		192	1.92	20吨	1 km	定向	
香港将军澳		385	2.03	100~500kg	50~200m	松动	
广 州 地 区	黄 沙	42.9.	1.03.	4~30kg	150m	水中	
		22.23	1.03	4~30kg	150m	水中	径向
		16.28	1.03	4~30kg	150m	水中	切向
	芳 村	40.27.	0.9.	4~30kg	150m	水中	
		29.17	0.9	4~30kg	150m	水中	径向
		27.54	0.9	4~30kg	150m	水中	切向
	金 盘 岭	301.1	1.84	2 kg	150m	松动	
大 镜 山		11.29	0.73	7 kg	160m	松动	

续上表

湘 钢	103.5	1.41	1 kg	30m	单孔、双孔
湖 北 冶 金	21.3	0.88	217吨		松动
工程力学所	198.	1.65.	1240kg		微差水下
	76	1.39	325~585吨		松动
	206.	1.81.			松动
甘 肃 冶 金	180	1.47	1000吨		变质岩
	200	0.83	1000吨		松动
	79	1.39	1000吨		松动
大 连 石 矿	130.	1.8			抛掷
	140.齐	1.8.齐			抛掷
迁 安 铁 矿	120	1.43			微差
	680	1.81			微差
大 冶 铁 矿	378	1.6			微差
	63	1.3			微差
	26	0.7			微差
长 江 流 域 办 公 室	201.4.	1.57.			排孔
	90.1	1.48			
江 苏 地 震 局	390.8	2.44	985.7吨		毫秒差

注：1. 表中有*者为垂直向；2. 1吨=10³kg

上述K、 α 值，除工程力学所外，其他与提供单位所在地相适应。而在某一工程中，需作试验观测和回归相关分析后才能引用。

四、爆破地震效应的工程评价

炸药在爆炸时引起爆源附近产生压缩过粉碎带，破碎和抛掷带以及振动带。应对爆破地震的效应作出评价。评价的目的是保证爆破时已有的建筑物不受损害，对人畜无直接影响，不发生次生灾害等。许多国家进行了深入研究，对爆破地震效应都有了较好的评定方法及标准。这些标准归纳起来主要包括安全半径的确定，物理量方面的定量标准以及宏观考察的烈度评定等。

1. 安全半径的确定

爆破的安全半径是指爆破后不致引起已有建筑物破坏的最小距离。现介绍几个安全半径的经验公式。

我国许多爆破设计单位选用的安全半径公式为 $R_c = K_c \alpha C^{\frac{1}{3}}$

其中 K_c 为土壤系数， α 为依作用指数而定的系数，两者均可查表4、5得到。

C为药量, Rc为安全半径。

表 4 土壤系数Kc的选择

Tab. 4 Selection of Kc in soil coefficient

组 别	建 筑 物 的 土 壤	kc值	备 注
1.	花岗岩片砾岩	1.5	在水中或含水土壤 爆破时, 系数值应 是土中的一倍半到 二倍, 在地面上爆 破时不考虑。
2.	石 英 石	3.0	
3.	石 灰 岩	5.0	
4.	砂 岩	6.0	
5.	砂砾土壤	7.0	
6.	密实砂子	8.0	
7.	黄 土	9.0	
8.	腐 植 土	10.0	
9.	新 填 土	15.0	
10.	流 沙 泥 层	20.0	

表 5 α的选取

Tab. 5 Selection of α-value

爆 破 条 件	η	α	注
药 壶 爆 破	≤0.5	1.2	①在地面上爆破时不考虑 ②η=1.5时, α=0.9是较 常使用的情况
	=1	1.0	
	=2	0.8	
	≥3	0.7	

全苏公式为

$$R_c = \begin{cases} 1.5 C^{\frac{1}{3}} \\ 8 C^{\frac{1}{3}} \\ 20 C^{\frac{1}{3}} \end{cases}$$

对于井巷和隧道工程爆破作业, 其安全半径公式为

$$R_c = K_1 C^{\frac{1}{3}}$$

K₁与岩石, 临介速度和药包位置有关的系数, 可从表6查到。

还有一些其它公式, 如地下结构为

$R_c \geq 3 C (fn)^{\frac{1}{3}}$ 其中f(n)为爆破作用指数n的函数, $n = \frac{H}{W}$ 。见图3。

$$f(n) = (0.09 + 0.91n)^3 \text{ 或 } (1 + n^2 - 0.41)^3$$

$$f(n) = 0.356 (n^2 + 1)^{3/2} \text{ 或 } \left(\frac{4 + 3n}{7} \right)^3$$

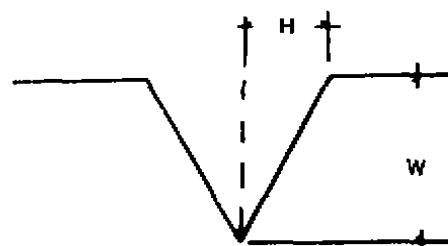


图 3 爆破漏斗

Fig. 3 Shot funnel

表 6 K_1 的选取
Tab. 6 Selection of K_1

岩 石 特 性	临 介 速 度	药 包 位 置	K_1
坚硬、中等破坏	34~50cm/s	扁形、平行、垂直	29~3.6
中等硬度剧烈破坏	17~24cm/s	同上	4.0
低强度破坏	3~10cm/s	平行、垂直	7~10

前者适合加强爆破，后者适用减弱爆破

2. 评价爆破地震效应标准

对爆破地震效应的评价，许多国家采用实测中的最大分量作评价标准的。现介绍一些评价标准。

多数国家的爆破安全规程中，将建筑物开始破坏的极限速度限定为5.1cm/s。亦有规定10~14cm/s。我国采用后者。而对岩土爆破规定为50~100cm/s。现将国内外有关建筑物安全标准列于表7。

表 7 各物理量安全标准
Tab. 7 Safety standard of each physical quantity

物理量	提出单位或个人	安全标准	安全评定	
振 速	萨道夫斯基	$<10\text{cm/s}$	安 全	
	中 国	8.1~11.1cm/s	产生松动	
		10~15.0cm/s	平房轻微破坏	
	兰格福尔斯等	2.8时/秒	无危险	
	爱德华	2~4.0时/秒	安全但要注意	
	德沃夏克	1.0~2.4时/秒	出现小裂缝	
能量比	克兰德尔	3.0~6.0	安全但要注意	
	(或)	≤ 20	安 全	
加速度	美国矿务局	0.1~1g	引起注意	中、英
位 移	美国矿务局	0.005时	安 全	引 用

3. 爆破地震烈度标准

在天然地震研究中，用宏观调查资料来说明地震动强度的大小，使用地震烈度标准。引用地震烈度概念用于爆破地震研究，确定爆破地震的振速、安全距离和相应的抗爆措施。现介绍麦德维捷夫提出的爆破地震热度表（表8）。

表8 爆破地震烈度表

Tab. 8 Intensity of explosion earthquakes

烈 度	震 动 特 征	V _{max}	S	ρ
1~3	仪器或个别人有感觉	0.2~0.8	0.2~1.2	40~100
4	很多人感觉门窗有振动	0.8~1.5	1.2~2.5	25~40
5	粉刷脱落、危房遭损害	1.5~3.0	2.5~5.0	16~25
6	灰开细缝、变形房遭损	3~6	5~10	10~16
7	灰块塌落、炉灶烟窗开裂	6~12	10~20	6.3~10
8	结构开裂、烟窗塌落	12~24	20~40	4~6.3
9	墙段倒塌、墙体开大裂缝	24~48	40~80	2.5~4.0
10~12	建筑物倒塌	748	780	<2.5

要特别注意6、7、8、9度的振动。上表V_{max}、S及ρ可从下式得到。

$$V_{\max} = K \left(\frac{g}{\rho_0 T v} \right)^{\frac{1}{2}} \rho^{-1.5}$$

式中V_{max}代表振速最大值；g为重力加速度；

ρ₀为土壤容重；v为土壤传播速度；K为与场地有关的经验系数；T及ρ前面已讲明；S为谱烈度。

顾毅成亦提出了六度的爆破烈度标准，是我国较有权威的烈度标准（表9）。

表9 爆破地震烈度标准

Tab. 9 Standard about the intensity of explosion earthquakes

烈度级	震动特征	一般房屋状况	V _{max}	A _{max} (g)
1	微震	无损坏	<2.5	<0.25
2	弱震	简易房屋轻微损坏	2.5~5.0	0.25~0.5
3	中强震	一般房轻微损坏	5~10.0	0.5~1.0
4	强震	一般房损坏开裂	10~25	1.0~2.5
5	破坏震	严重破坏多塌方	25~50	2.5~5.0
6	毁坏震	混凝土结构破坏	>50	>5.0

除了引用地震裂度、振动速度和加速度作为评价标准外，还要考虑结构自振频率、爆震作用时间的长短、结构新旧程度及地基基础等综合进行评价。

EVALUATION ON THE OBSERVATION OF EXPLOSION EARTHQUAKE AND ENGINEER EFFECT

Xie Jianqing

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] This paper describes a method and standard of evaluating engi-

neering effect about explosion earthquake, empirical transmission coefficient of observational instrument in different area. It also introduces partial vibration velocity and the standard of explosive earthquake intensity.

[Key words] Explosion earthquake; Engineering effect; Method and standard of evaluating effect; Transmission coefficient

● 简 讯 ●

学 术 动 态

——写在地洼学说诞生35周年

地洼学说诞生35周年学术讨论会于1991年12月12日至14日在中国科学院长沙大地构造研究所隆重召开。此时正值中国科学院长沙大地构造研究所创建30周年和地洼学说创始人陈国达教授80岁寿辰庆典，可谓三喜临门。国务委员国家科委主任宋健、中国科学院领导周光召和孙鸿烈发来贺电，中科院有关主管部门的领导和中共湖南省委、省人大、省政府、省政协、中共长沙市委、省科委、省科协、省地质学会、省地震学会等部门的领导到会祝贺并发表了讲话。来自国内21多个省、直辖市、自治区的科研、生产部门和中国科技大学等有关大专院校的专家、学者共百多人参加了学术交流和研讨会。

地洼学说系由中国著名大地构造学家，中国科学院学部委员、联合国教科文组织地科联国际大地构造与成矿学委员会副主席，中南工业大学一级教授，中国科学院长沙大地构造研究所名誉所长陈国达教授于1956年创立的。该学说经过35年来的充实与发展，现已发展成为在国内和国际上都有显著影响的大地构造学派。在国内，前几年已成立了中国地洼学说研究会，近年又建立了国际地洼构造与成矿研究中心（设在中国科学院长沙大地构造研究所内）；在国外，加拿大、原苏联和蒙古已经相继宣布建立了地洼学说研究分中心，日本地洼学说研究分中心也在拟建之中。印度正积极争取1992年国际地洼学说学术讨论会在该国召开。

地洼学说系用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点、方法去研究和重建地壳大地构造演化历史的全过程，从地壳动、“定”递进演化的观点首次提出了地壳发展的第三大地构造单元—地洼区，进而发展并建立了地壳动、“定”转化递进理论和复因成矿理论。该学说自诞生以来受到我国有关领导部门和地学界的支持和重视；中国科学院为发展地洼学说于1961年成立了专门研究机构—中国科学院中南大地构造与地球化学研究室，后又发展成长沙大地构造研究所；中南工业大学及其前身中南矿冶学院也成立了研究地洼学说及其应用的机构，有关理论已在科研、生产部门和地学院校中得到发展和应用，现已广泛应用于矿产资源勘测、工程地质、环境地质、发震构造条件研究等各个方面，并已取得显著成效。在这次学术交流中，报告人介绍了许多运用地洼学说理论指导找煤、找石油、找黄金矿等方面成功的实例。

地洼学说目前仍在继续充实和发展之中。在这次研讨会上，陈国达教授在原有地洼学说理论的基础上，又吸收了近年国内、外地学考察、研究所取得的新资料、新成果，从更高的层次上提出了“历史—因果论大地构造学”的新观点，新理论。该理论主张用历史分析法与因果分析法相结合的思路、方法，去考察、分析、研究大地构造问题。目前长沙大地构造研究所与一些单位合作，已用此新理论指导编制了“亚洲大地构造图”，可望不久将出版。

可以意料，该学说将进入一个新的发展时期，它对地球科学及有关生产领域的影响将受到国内、外地学界的关注和重视。

（广东省地震局 薛佳谋）