



矿区水文地质工作 要为开发矿业服务

——云南冶金第三矿三家厂矿床涌水量预测方法介绍

云南冶金地质勘探公司 陈光灿

云南冶金第三矿三家厂矿床位于绿汁江、菜园河交汇的三角地带，矿床绝大部分在江河水面标高以下，水文地质条件比较复杂。该区在1953~1956年地质勘探时期，对绿汁江面（0米标高）以下的水文地质条件没有查清，1956年作了专门水文地质勘探工作。

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。这期间，三家厂矿区生产逐年上升，采掘速度加快，深部水文地质工作的重要性日益突出。在毛主席无产阶级革命路线指引下，矿区水文地质人员在深部开拓之前，于1970年进行了大量的调查研究工作，结合为深部放水打的三个观测钻孔并利用原水文地质钻孔作了群孔抽水试验，进一步查清了1号断层的隔水性及受江水直接补给的北东部分含水层的赋水性，

重新预测了矿坑涌水量，做到了心中有数。此外，修改了原水仓方案，节约近20万元投资和人力、物力，使江面标高以下-50米中段提前投产。现该中段已开拓完毕，实际涌水量与予测量相差很小，保证了安全生产。

一、矿区水文地质条件简述

三家厂矿床由于绿汁江下切很深，形成陡壁狭谷，比高800~1000米，为侵蚀构造地形。绿汁江纵贯全区，流量大者在10000米³/秒以上，小者为5米³/秒，菜园河系山间年轻的V形谷河流，流量大时达5米³/秒以上，最小时为0.010米³/秒。二者流经矿床两侧，是地下水的主要补给来源（图1）。

矿区出露地层为元古代上昆阳群绿汁江组，由于经受多次构造运动，断裂发育，岩石稳定性差，形成裂隙潜水的水体特征。主要含水层为矿体上盘之青灰色绿汁江白云岩（DM），厚度大于700米，岩层走向与江、河相切，层间裂隙是地表水补给地下水的主要通道，含水量取决于裂隙发育程度，如发育的与不发育的单位涌水量及渗透系数（ $q=0.010\sim 1.187$ 升/秒米， $K=0.016\sim 0.959$ 米/日），相差80~100倍。含矿层泥质白云岩（MC）结构致密，含水性弱，单位涌

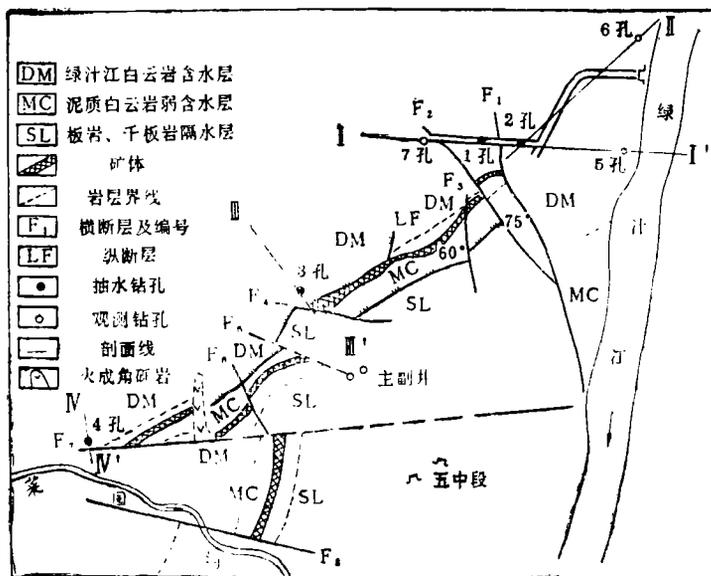


图1 三家厂矿区平面示意图

矿区出露地层为元古代上昆阳群绿汁江组，由于经受多次构造运动，断裂发育，岩石稳定性差，形成裂隙潜水的水体特征。主要含水层为矿体上盘之青灰色绿汁江白云岩（DM），厚度大于700米，岩层走向与江、河相切，层间裂隙是地表水补给地下水的主要通道，含水量取决于裂隙发育程度，如发育的与不发育的单位涌水量及渗透系数（ $q=0.010\sim 1.187$ 升/秒米， $K=0.016\sim 0.959$ 米/日），相差80~100倍。含矿层泥质白云岩（MC）结构致密，含水性弱，单位涌

水量 < 0.01 升/秒米，渗透系数 $K = 0.0306$ 米/日；含矿层下盘为白云岩、板岩互层(SL)及千枚状板岩隔水层。

二、矿坑涌水量预测

矿坑涌水量预测是一项复杂而重要的工作。涌水量的大小关系到矿山开发远景和生产能力，也是矿床能否提供建设的取舍条件之一。涌水量计算是否准确，关键是计算公式及计算参数的选择，并要有多种方法验证，才能得出接近正确的数据。

(一) 涌水量计算公式推导

该矿区主要是地表水沿层间裂隙补给地下水，深部沿裂隙循环，以层流为主，紊流次之，我们选用两种方法计算对比。

1. 用层流公式推导——选用与含水层走向一致的 I 号剖面，用层流达尔西公式： $Q = kW I \dots\dots (1)$ 推导。式中：Q - 钻孔涌水量；W - 潜水横断面面积；I - 水头梯度，k - 渗透系数。

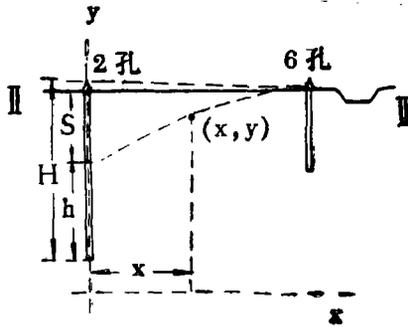


图 2

如图 2 所示，设直角坐标的降落漏斗曲线上任取一点 (x、y)，用此点纵坐标 y 来表示井轴的四周边界，即以井轴为 x 距离向井流动的潜水横断面面积，表示为 $2\pi xy = W$ ，代入公式 (1) 得 $Q = 2\pi xy k I \dots\dots (2)$

在 (x、y) 点上，水头梯度可用无穷小损失 dy 与无穷小的运动距离 dx 之比来表示，即 $I = \frac{dy}{dx}$ ，把 I 代入 (2) 式得降水曲线的微分方程：

$$Q = 2\pi xy k \frac{dy}{dx} \dots\dots (3)$$

(3) 式中 Q、 π 、k 都是常数，将方程式的左右两端乘上 dx，然后除以 x，得：

$$Q \cdot \frac{dx}{x} = 2\pi y k dy \dots\dots (4)$$

将 (4) 式积分：

$$Q \int_r^R \frac{dx}{x} = 2\pi k \int_h^H y dy$$

$$(\text{因 } y dy = \frac{y^2}{2}, \frac{dx}{x} = \ln x),$$

$$Q \ln x \int_r^R = \pi k y^2 \int_h^H,$$

$$Q (\ln R - \ln r) = k\pi (H^2 - h^2),$$

$$Q \ln \frac{R}{r} = \pi k (H^2 - h^2),$$

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$= \frac{3.1416k(H^2 - h^2)}{2.3(\lg R - \lg r)},$$

$$Q = \frac{1.366k(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r} \dots\dots (5)$$

因 $(H^2 - h^2) = (H + h)(H - h)$ ，从图 (2) 中得知 $h = H - S$ ，代入 (5) 式：

$$Q = \frac{1.366k [H + (H - S)] \cdot [H - (H - S)]}{\lg R - \lg r}$$

$$= \frac{1.366k(2H - S)S}{\lg R - \lg r} \dots\dots (6)$$

因 (5)、(6) 为潜水完整井公式，三家厂矿区因岩层倾角较陡，为非完整井，须加孔底进水 $\sqrt{\frac{t + 0.5r}{h}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2h - t}{h}}$ 的流量，

并计算有效带厚度，

$$\text{即 } Q = \frac{1.366kS(2Ha - S)}{\lg R - \lg r}$$

$$\sqrt{\frac{t + 0.5r}{ha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2ha - t}{ha}} \dots\dots (7)$$

因水降至坑道底板 $t = 0$ ，根据扎马林的意见，当 $t = 0$ 时， $Ha = 2S$ ，则上式可简化为：

$$Q = 4.88 \frac{kS^2}{\lg \frac{R}{r}} \sqrt{\frac{0.5r}{ha}} \dots\dots (8)$$

式中Q为不完整井涌水量(米³/日), S为水位降低(米), Ha为有效带厚度(米), t为抽水时井筒中的水柱高(米)。

2.用紊流公式推导——采用谢兹公式 $Q = kW I^{\frac{1}{2}}$ (1) 推导紊流公式。从上方可知潜水横断面面积 $W = 2\pi xy$, 水流梯度 $I = \frac{dy}{dx}$, 代入(1)式得:

$Q = k2\pi xy \left(\frac{dy}{dx}\right)^{\frac{1}{2}}$, 左右两端平方得:

$Q^2 = k^2(2\pi)^2 x^2 y^2 \frac{dy}{dx}$, 两端乘上dx然后除以x²得:

$$Q^2 \frac{dx}{x^2} = (2\pi)^2 k^2 y^2 dy, \text{ 积分得:}$$

$$Q^2 \int_r^R \frac{dx}{x^2} = (2\pi)^2 k^2 \int_h^H y^2 dy,$$

$$Q^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) = (2\pi)^2 k^2 \frac{H^3 - h^3}{3},$$

$$Q = 2\pi k \sqrt{\frac{H^3 - h^3}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}} \text{(2)}$$

因 $S = H - h$, $h = H - S$, 故可变为:

$$Q = 2\pi k \sqrt{\frac{H^3 - (H - S)^3}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}}$$

$$= 2\pi k \sqrt{\frac{H^3 - (H^3 - 3H^2S + 3HS^2 - S^3)}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}}$$

$$Q = 2\pi k \sqrt{\frac{3H^2S - 3HS^2 + S^3}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}}$$

$$= 2\pi k \sqrt{\frac{3(H^2 - HS + \frac{1}{3}S^2)S}{3\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)}}$$

$$Q = 2\pi k \sqrt{\frac{(H^2 - HS + \frac{1}{3}S^2)S}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}}$$

$$= 2\pi k H \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{S}{H} + \frac{S^2}{3H^2}\right)S}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}} \text{(3)}$$

公式(3)当水位降低与岩层总厚度比较起来并不大时可把分子中含H的一些数值忽略不计, 于是得:

$$Q = 2\pi k H \sqrt{\frac{S}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}} \text{(4)}$$

涌水量与水位降低的平方根成正比。当井的井径不大、R数值较r大得多时, 可以使 $\frac{1}{R} = 0$, 结果得出更简便的公式:

$$Q = 2\pi H k \sqrt{rS} \text{(5)}$$

3.狭长坑道水动力学公式

由上述公式可以看出, 坑道涌水量同渗透系数k、含水层厚度H成正比, 同影响半径R及井的半径r的对数成反比。由于三家厂坑道是长条形, 在含水层中, 坑道越长涌水量越大, 成正比关系。其公式为:

$$Q = \frac{akH_1B}{\ln R - \ln r} \text{(1)}$$

式中 $a = \frac{\pi}{2} + \frac{H_1}{R}$, H_1 为由坑道底板起算的含水层厚度(米), r为坑道半径。

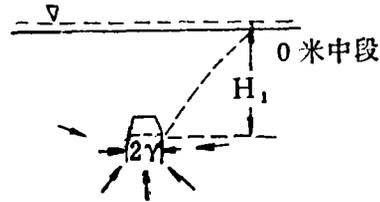


图3

(二) 参数选择

选用抽水钻孔各试验段成果推断的最大水位降低及最大降低之涌水量来计算渗透系数k。

从图4曲线得知单位涌水量与水位降低成等级关系, 最大下降推断为2倍。其公式为:

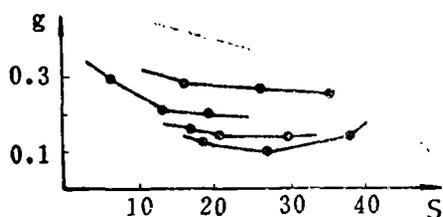


图4 抽水钻孔单位涌水量与水位降低关系曲线图

$$Q_{max} = a + b \lg S_{max} \dots\dots\dots (1)$$

式中: Q_{max} —推定的最大涌水量;

S_{max} —推定的最大水位降低;

a 、 b —阻力系数。按下列公式确定(最小平方法计算):

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\sum Q - b \sum \lg S}{N} \dots\dots\dots \\ b &= \frac{N \sum Q \cdot \lg S - \sum Q \cdot \sum \lg S}{N \sum (\lg S)^2 - (\sum \lg S)^2} \dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

式中: N 为抽水次数; S 为水位降低(米); Q 为钻孔涌水量(公升/秒)。例如我们以4号抽水钻孔第一次试验段计算:

$$S_1 = 2.147 \text{米} \quad Q_1 = 2.632 \text{公升/秒}$$

$$g_1 = 1.225 \text{公升/秒} \cdot \text{米}$$

$$S_2 = 17.08 \text{米} \quad Q_2 = 4.808 \text{公升/秒}$$

$$g_2 = 0.281 \text{公升/秒} \cdot \text{米}$$

$$S_3 = 20.598 \text{米} \quad Q_3 = 5.000 \text{公升/秒}$$

$$g_3 = 0.243 \text{公升/秒} \cdot \text{米}$$

孔号	水位降低次数 N	S	Q	lgS	QlgS	(lgS) ²	备	注
四号孔第一试验段	1	2.147	2.632	0.3263	0.8588	0.1065		
	2	17.08	4.808	1.2304	5.9158	1.5138		
	3	20.598	5.000	1.3118	6.5590	1.7208		
	Σ		12.440	2.8685	13.336	3.3341		

代入(2)式:

$$b = \frac{N \sum Q \cdot \lg S - \sum Q \cdot \sum \lg S}{N \sum (\lg S)^2 - (\sum \lg S)^2}$$

$$= \frac{3 \times 13.336 - 12.440 \times 2.8685}{3 \times 3.334 - 2.8685^2} = 2.437$$

$$a = \frac{\sum Q - b \sum \lg S}{N}$$

$$= \frac{12.44 - 2.437 \times 2.8685}{3} = 1.81$$

将 a 、 b 值代入公式(1),最大降低取2

倍,即得:

$$Q_{max} = a + b \lg S_{max}$$

$$= 1.81 + 2.437 \lg 41.196$$

$$= 5.743 \text{公升/秒}$$

当最大推断降低为 S_3 (20.598米)的2倍(41.196米)时,相应涌水量为5.743公升/秒。此法计算的渗透系数同抽水时实际降深计算的渗透系数比较,推断的略偏小,在该试验段偏小3.6%。渗透系数计算结果如下表;抽水段划分如下各图:

坑道编号	标高(米)	抽水段	渗透系数 (k=米/日)						
			一号孔	二号孔	三号孔	四号孔	五号孔	六号孔	七号孔
六中段	-50	I	0.274	0.941	0.122	0.276	0.248	0.313	0.580
七中段	-100	II	0.395	0.959	0.179	0.187			
八中段	-150	III	0.894	0.142	0.016	0.152			0.039
九中段	-200	IV		0.034	0.831				

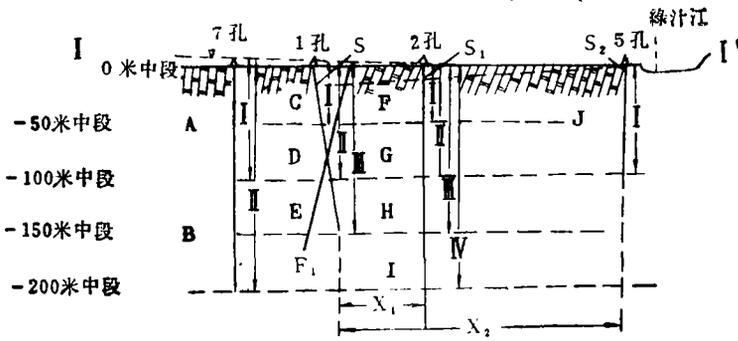


图5 一号横剖面示意图

A— $k=0.580$; B— $k=0.039$; C— $k=0.274$;
 D— $k=0.395$; E— $k=0.894$; F— $k=0.941$;
 G— $k=0.959$; H— $k=0.142$; I— $k=0.034$;
 J— $k=0.248$

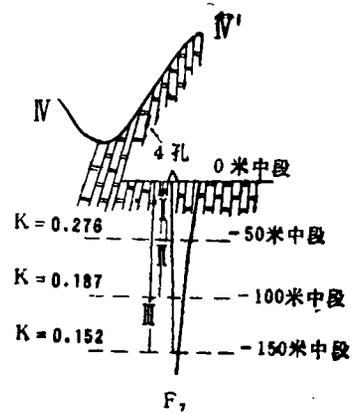


图6 四号横剖面示意图

由于该矿区东有绿汁江，西南有菜园河，矿层上盘为强含水层，下盘为弱含水层，四边地下水补给条件不同，岩石的含水性也有差异，四周不呈圆形的均匀补给边界，故分四部分计算涌水量。含矿层上盘（北西）及含矿层（南东）采用狭长坑道水

动力学法；北东及南西两端采用水动力学大井法分别计算，各参数分述如下：

1. 渗透系数 k ：北东部份采用一号横断层东部各抽水钻孔之相应坑道抽水试验段的平均数；南西部份采用4号抽水钻孔的相应坑道抽水试验段的渗透系数；矿体上盘（北西）部份采用在绿汁江白云岩中抽水的七个钻孔各相应坑道中段之平均数；矿体下盘（南西）部份的泥质白云岩弱含水层采用1956年勘探时期811—1抽水孔及竖井工程钻抽水的平均数。

2. 含水层厚度 H ：由静止水位（据1965年测定的静止水位：北东—+6米；南西—+9米；北西—+21米；南东—+21米）至坑道底板之厚度（米）。

3. 水位降低 S ：由于水位都降到坑道底板，故 $h=0$ ， $S=H$ （米）。

4. 坑道沿脉长度 B ：以中段采矿设计长度为准（米）。

5. 引用半径 r_0 ：采用上下盘沿脉间距之半，或 $r_0 = \frac{S}{4} = 0.25 \times S$ 求得。

6. 影响半径 R ：采用库萨金公式 $R = 25 \sqrt{Hk}$ ，或用逐步代入法求得。在河流附近的直接用河流距坑道之2倍。

各参数计算结果如下表；

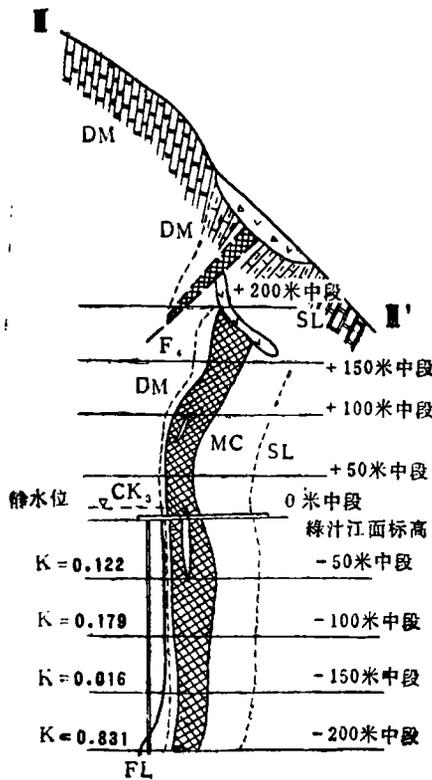


图7 三号横剖面示意图

中段	计算部位	渗透系数k (米/日)		水位降 低 S (米)	引用半 径 r ₀ (米)	至河流 距离 a (米)	有效带 厚度 ha (米)	坑道长 度 B (米)	影响半 径 R (米)	系 数 a
		层流	紊流							
六	北东	0.534		56	21	332	56		764	
	南西	0.276		69	22	199	69		218	
	北西	0.365		71	2			860	723	1.675
	南东	0.0306	0.656	71	2			860	180	1.960
七	北东	0.478		106	20	443	106		886	
	南西	0.187		120	20	170	120		340	
	北西	0.365		122	2			740	1627	1.643
	南东	0.0306	0.407	122	2			740	180	2.247
八	北东	0.398		156	20	490	156		984	
	南西	0.152		170	20	297	170		594	
	北西	0.365		172	2			650	2725	1.664
	南东	0.0306	0.248	172	2			650	180	2.610
九	北东	0.198		206	20	512	206		1024	
	南西	0.152		220	20	322	220		644	
	北西	0.365		222	2			560	3996	1.653
	南东	0.0306	0.203	222	2			560	180	2.800

涌水量预测成果表

中段	计算部位	推导的层流公式 (8)及狭长坑 道公式(1)	块段涌 水量 (米 ³ /日)	中段涌 水量 (米 ³ /日)	推导的紊流 公式(5)	中段涌 水量 (米 ³ /日)	实际涌 水量 (米 ³ /日)
六	北东	$Q = 4.88 \frac{ks^2}{\lg \frac{R}{r}} \sqrt{\frac{0.5r}{ha}}$	1134	9575~	$Q = 2\pi kH\sqrt{rS}$	10283	9500~ 10502
	南西		1281				
	北西	6345	11443				
	南东	815					
七	北东	公式同上	2442	13414~	$Q = 2\pi kH\sqrt{rS}$	14793	
	南西		1495				
	北西	8092	15000				
	南东	1385					
八	北东	公式同上	3618	16772	$Q = 2\pi kH\sqrt{rS}$	15032	
	南西		1746				
	北西	9418					
	南东	1990					
九	北东	公式同上	2588	17326	$Q = 2\pi kH\sqrt{rS}$	18241	
	南西		2499				
	北西	9861					
	南东	2378					

矿区涌水量预测以层流公式计算为主,紊流公式计算为辅,前者用不同渗透系数 k 值,计算了六、七中段的最大涌水量及最小涌水量,由于地形陡、排泄快,未加大气降雨渗透量。矿体延深九中段下还有200余米,未预测涌水量。除以上二种方法计算外,六中段还用以下二种方法进行验证。

1.矿体倾角较陡,至今一直采用崩落法进行采矿,故用崩落涌水量计算方法进行计算,

$$Q = \frac{\pi k H^2}{\ln \frac{R_0}{r_0}} = 9320 \text{米}^3/\text{日}$$

式中:引用半径 r_0 采用 $r_0 = 0.25 S$ 求得 $r_0 = 16$ 米;

采空区崩落界线半径 R_0 按 55° 崩落角推算为82米;含水层厚度 H 用上述层流公式数据为66.7米;

渗透系数 k 用三号抽水孔第四试验段裂隙含水层之渗透系数为0.831米/日。

2.用比拟法计算六中段涌水量:

已知五中段坑道长1200米、宽40米,面积 F 为48000米²,水位降低 $S = 16.7$ 米,涌水量 $Q = 2937$ 米³/日。

设计六中段坑道长860米,宽40米,面积 $F_1 = 34400$ 米²,水位降低 S_1 为66.7米,求涌水量 Q_1 。代入公式:

$$Q_1 = Q \frac{F_1}{F} \sqrt{\frac{S_1}{S}} = 8186 \text{米}^3/\text{日}$$

因五中段低于菜园河,相当于绿汁江标高,六中段低于绿汁江50米,故用五中段比拟法算出的水量应加上六中段北东部份的涌水量,即 $8186 + 1134 = 9320$ 米³/日。

六中段低于江河,是关键性的中段,计算方法用的也较多,要求精确。现六中段已开拓完毕,实际涌水量同预测的相差很小。往下的七、八、九中段可以根据上部中段资料用比拟法进行验证。

外刊报道最近十到十五年间

地质学、地球物理学和地球化学的重要成果

- 一、明确了陆地与海洋之下的地壳和地幔上部的成分及构成有本质的区别。
- 二、发现了世界范围的大洋中脊体系。
- 三、证实了软流圈的存在。
- 四、进一步查明了地幔上部的成分。
- 五、借助无线电测量方法弄清了地壳的前寒武纪发育史。
- 六、利用古地磁法发现了两极的运移和大陆的相对位移。
- 七、借助地震法取得了有关岩石变位方向的资料,从而了解到地震震源应力定向的情况。
- 八、确定了深断裂构成的星体网,它有规律地与地球自转轴保持一定的方向,而且是继承性地在地球发展史中大部分时期内得到发育。
- 九、查明了大型的平移断层,证实确有幅度达几百公里的辗掩构造存在。
- 十、取得了与太阳系其它星体(月球、金星、火星)的对比资料。