

世界地应力实测资料汇编

陈彭年 陈宏德 高莉青



SHIJIE DIYINGLI SHICEZILIAO HUIBIAN

地震出版社

世界地应力实测资料汇编

陈彭年 陈宏德 高莉青等编译

地震出版社

1990

内 容 提 要

目前世界各国广泛地开展了地应力测量工作,取得了大量资料。为满足矿山开采、水电工程、能源开发和利用、地球动力学研究、地震成因及其测报的实际需要,本汇编收集了1986年以前中国、美国、苏联、日本等20多个国家和地区在近千个测点上所获得的2000个数据的地应力实测资料。内容包括地应力测量概况、应力测点位置图、地应力大小和方向及其随深度的变化、地应力实测数据。可供矿山、水电工程、建筑、石油、地震地质、地震测报、岩石力学和地质力学等科技人员及有关的大专院校师生使用。

世界地应力实测资料汇编
陈彭年 陈宏德 高莉青等编译

责任编辑:李玲

地震出版社出版
北京民族学院南路9号
燕郊东方印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 15印张 356千字
1990年7月第一版 1990年7月第1次印刷
印数 0001—1000
ISBN 7-5028-0377-1/P·245
180.767 定价:6.65元

目 录

一、中国的地应力测量	(1)
二、美国的地应力测量	(40)
三、澳大利亚的地应力测量	(68)
四、南非的地应力测量	(82)
五、西德的地应力测量	(88)
六、法国的地应力测量	(94)
七、加拿大的地应力测量	(97)
八、奥地利的地应力测量	(99)
九、挪威的地应力测量	(101)
十、瑞典的地应力测量	(104)
十一、利比亚的地应力测量	(106)
十二、东德的地应力测量	(107)
十三、希腊的地应力测量	(108)
十四、英国的地应力测量	(112)
十五、印度的地应力测量	(114)
十六、冰岛的地应力测量	(117)
十七、南朝鲜的地应力测量	(120)
十八、苏联的地应力测量	(122)
十九、日本的地应力测量	(169)
二十、世界各地的地应力测量	(220)
二十一、主要参考文献	(238)

中国的地应力测量

一、概况

我国开展地应力相对测量工作并将其用于地震预报的研究是在著名科学家李四光倡导下进行的。1966年3月在河北省隆尧县建立了全国第一个地应力观测台站。此后，在全国21个省、市、自治区建立了几十个地应力观测台站。至今20多年来积累了大量的资料，对地震预报研究做出了贡献。

与此同时，地壳应力研究所及地质力学研究所等全国不少单位相继开展了地应力绝对值测量。李方全等人先后在全国12个省市进行了百余次测量，取得了大量实测数据，首次编制出我国地壳应力状态图。这不仅对地震成因和预报研究有重要作用，而且在矿山、水电等工程方面也日益引起人们的重视。

1980年10月，地壳应力研究所在河北易县，首次成功地进行了水压致裂应力测量，迈出了我国深部应力测量的第一步。以后，又在华北、西南等地进行了多次测量，获得了较深部的地壳应力资料。

为了适应地应力测量工作发展的需要，我国科技工作者研制了多种地应力测量仪器。使用的压磁应力仪主要有：LQJ-1A型、LQJ-2A型、CD-2型、4103型、RYC-2型、RYC-3型、DLI-69型等。最近几年又新研制成功的仪器有：768数字式应力仪、4101A型自动记录仪、振弦式应力仪、高精度压容式钻孔应变仪和体积式应变仪。这些仪器在地应力测量工作中起着重要作用。

自1966年以来，我们先后在华北、东北、华东、中南和西北等地区用套芯法和水压致裂法进行了应力测量。综合分析我国20多年所获得的地应力实测资料得出以下几点认识：

1. 我国现今地壳应力状态的区域特征

据李方全等人(1986)研究结果认为，我国地应力状态有明显的分区特点。

华北地区地应力测量资料较多，地应力特征较为明显。以太行山为界，东西两个区域有较大差别。太行山以东的华北平原及其周边山区，其主压应力轴的方向为近东西向，这与日本列岛的主压应力方向相同；太行山以西，主压应力方向表现为近南北向，与该区震源机制解的P轴方向一致。

秦岭构造带以南的华南地区，主压应力方向为北西西至北西向。这与该区震源机制解的P轴方向一致。如安徽无为地区测得的主压应力的方向为 $N63^{\circ}W$ 。

东北地区实测资料很少，少数测点资料结合震源机制解资料可以看出，主压应力轴方向似乎以北东东向为主。

我国西部地区地应力测量资料不多。测得的主压应力方向以北北东向为主，个别为近南北向。如甘肃金川地区，测得的主压应力方向为 $N10^{\circ}W$ （平均值）。这一方向与该区震源机制解的方向相一致。

在滇西南北构造带上进行地应力测量结果表明,小江断裂带附近最大主压应力的方向为近东西向。从此断裂向西,包括澜沧江断裂以北,鲜水河断裂以南地区,最大主压应力的方向逐渐转为北西向或北北西向。

新疆、西藏地区几乎是地应力测量的空白区,在1982年乌什地区进行过地应力测量,主压应力方向为 $N53^{\circ}W$ 。这一方向与该区震源机制解的方向是一致的。

总之,地应力绝对值在我国东、西部地区是不同的,东部偏低,一般在300m深度上,最大主应力值不超过10KPa。如唐山地区用水压致裂法测量结果,在300m深度上最大主应力为8KPa。而在西部,应力值一般偏高。如甘肃金川矿区,500m深度上,最大主应力超过30KPa,四川二滩电站,最大主应力为65.9KPa(深度为40.5m)。

2. 地壳应力随深度的变化

目前,我国大部分地区的地应力测量资料反映出水平应力大于铅直应力,特别是在前震旦纪或前寒武纪结晶岩体中,这一特点更为明显。一般说来,两个水平主应力不相同,表现出很强的方向性,通常, $\sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin} > \sigma_v$; 在较深部地区却表现为 $\sigma_v > \sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin}$ 。

据我国的地应力测量资料可以看出,平均水平主应力与铅直应力之比为K,浅部K值为0.5—4;大于100m时,K值为0.5—2,推测,在500m以下,K值趋于1。

3. 活断层附近的应力状态

从郯庐断裂带附近的七个测点,即新源、安丘、定远、无为、青岛、宿县和济南得出的地应力实测值来看,断层附近的剪应力值较低(0.2—0.5MPa),随离断层距离的增加剪应力值增大(1.2MPa),大量的应力测量结果表明,逆断层的应力状态为: $\sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin} > \sigma_v$; 走向滑动断层的应力状态为: $\sigma_{Hmax} > \sigma_v > \sigma_{Hmin}$; 正断层的应力状态为: $\sigma_v > \sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin}$ 。

4. 强震区的应力状态

强震区地应力状态的研究,特别是对大震前后地应力状态的了解,有助于认识地震孕育、发生和发展的整个力学过程。

从唐山、龙陵和海城等大震区震后进行的地应力测量获得的结果可以看出,强震区附近的应力值比外围地区的应力值低得多——外围地区的最大主应力(或剪应力)比震中区的最大主应力高一倍左右。

值得注意的是,震后立即进行地应力测量得出的最大主应力的方向与区域构造应力场方向有较大的偏离,经过一段时间的调整之后,与区域应力场方向又一致起来。如,1976年唐山地震震后,在唐山凤凰山测得的最大主应力的方向为 $N47^{\circ}W$ 与区域应力场最大主应力方向有较大偏差;1978年,在同一地点测量,最大主压应力方向变为近东西向($N89^{\circ}W$)。邢台地震区也有类似的情况。

5. 地壳应力状态与地壳运动的关系

许多学者对此问题有不同看法,有人认为,地应力大小与地壳运动强度有关,实际上,构造运动强度高的地区,其应力值并不高。有人认为地应力的大小与剥蚀、切割有关,但高水平应力不仅在谷底出现,在山麓之上也同样存在着。经过分析可以看出,地应力值的高低与现代地壳升降运动密切相关。一般来说,现代隆起区内最大水平主应力值(或剪应力值)较高,而沉降区内最大水平主应力(或剪应力值)较低。

6. 利用钻孔崩落椭圆确定地应力方向

利用钻孔崩落椭圆确定地壳应力方向，最早由加拿大学者贝尔和高夫首先提出。现在已引起世界各国地质和地球物理学家的兴趣。我国丁健民等人在华北地区利用四臂倾角测井仪所测的油田测井资料，确定出华北地区地壳应力的方向，这一方向与套芯法、水压致裂法和震源机制解得出的结果是吻合的。

二、地应力实测结果

(一) 全国范围内地应力实测结果 (包括套芯法和水压致裂法)

中国及其邻区地应力状态分区见图 1-1。

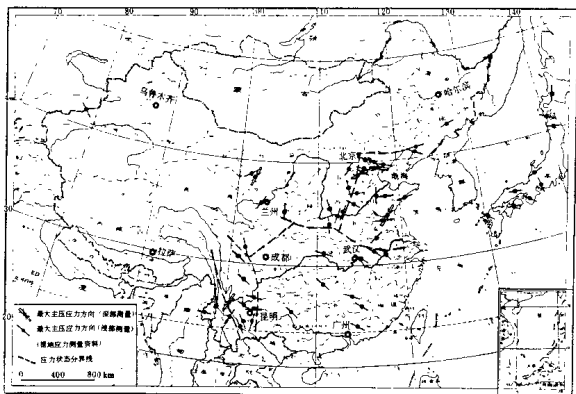


图 1-1

水平应力随深度变化见图 1-2。

平均水平主应力与垂直应力之比随深度变化见图 1-3。

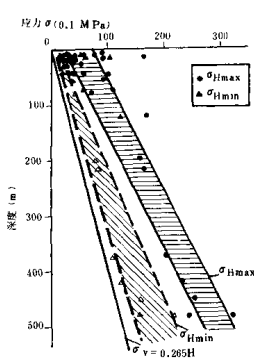


图 1-2

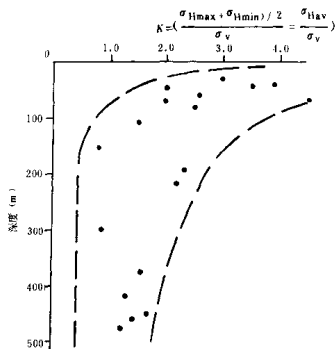


图 1-3

我国地应力实测结果见表 1-1。

表 1-1

测量地点	测量时间 (年·月)	σ_{Hmax} (0.1MPa)	σ_{Hmin} (0.1MPa)	方向(σ_{Hmax})	资料来源及 测量方法	注
河北隆尧	1966.10	77	42	N54° W	应力解除法 李方全等	
顺义吴雄寺	1973.11	26	4	N73° W	应力解除法 李方全等	
顺义鹿山	1973.11	4	1	N58° W	应力解除法 李方全等	55m(钻孔)
北京温泉	1974.8	36	22	N65° W	应力解除法 李方全等	
北京昌平	1974.10	12	8	N75° W	应力解除法 李方全等	
北京大灰厂	1974.11	21	9	N35° W	应力解除法 李方全等	
辽宁海城	1975.7	93	59	N87° E	应力解除法 李方全等	
辽宁营口	1975.10	166	104	N84° W	应力解除法 李方全等	

续表 1-1

测量地点	测量时间 (年·月)	σ_{Hmax} (0.1MPa)	σ_{Hmin} (0.1MPa)	方向(σ_{Hmax})	资料来源及 测量方法	注
河北隆尧	1976.6	32	21	N87°E	应力解除法 李方全等	
滦县一孔	1976.8	58	30	N84°E	应力解除法 李方全等	
滦县二孔	1976.9	66	32	N89°W	应力解除法 李方全等	
顺义吴雄寺	1976.9	36	17	N83°W	应力解除法 李方全等	
北京温泉	1976.10	54	31	N67°W	应力解除法 李方全等	
唐山凤凰山	1976.10	25	17	N47°W	应力解除法 李方全等	
三河孤山	1976.10	21	5	N69°W	应力解除法 李方全等	
怀柔坟头村	1976.11	41	11	N83°W	应力解除法 李方全等	
房山歇息岗	1977.5	87	45	N50°E	应力解除法 李方全等	
河北赤城	1977.7	33	21	N82°E	应力解除法 李方全等	
房山歇息岗	1977.9	59	43	N59°E	应力解除法 李方全等	
唐山凤凰山	1978.4	23	11	N77°E	应力解除法 李方全等	
唐山凤凰山	1978.5	16	10	N71°W	应力解除法 李方全等	
河北滦县	1978.7	50	36	N82°W	应力解除法 李方全等	
山东济南	1979.7	32	6	N5°W	应力解除法 李方全等	
山东安丘	1979.7	31	20	N84°W	应力解除法 李方全等	
山东青岛	1979.9	26	14	N74°E	应力解除法 李方全等	
江苏新沂	1979.10	17	13	N25°W	应力解除法 李方全等	
安徽定远	1979.10	41	20	N50°E	应力解除法 李方全等	
安徽宿县	1979.10	47	27	N86°E	应力解除法 李方全等	
安徽无为	1979.12	11	0.02	N63°W	应力解除法 李方全等	
河北易县	1980.8	54	43	N66°W	应力解除法 李方全等	65m 方向为平均 值(钻孔)
河北易县	1980.10	72	41	N80°E	应力解除法 李方全等	85m 方向为平均 值(钻孔)
湖北大冶	1965.8	230	130	N51°W	应力解除法 李方全等	150m(矿井)
湖北宜昌	1978.12	115	57	N73°W	应力解除法 孙世宗等 ¹⁾	

续表 1-1

测点地点	测量时间 (年·月)	σ_{Hmax} (0.1MPa)	σ_{Hmin} (0.1MPa)	方向(σ_{Hmax})	资料来源及 测量方法	注
云南下关	1976	11.7	8.3	N11° W	应力解除法 丁旭初等	
云南保山	1976	41	15	N3° W	应力解除法 丁旭初等	
云南路西	1976	24	14	N82° E	应力解除法 丁旭初等	
河北潘家口	1980	48	28	N15° E	应力解除法 地震地质大队	
河北潘家口	1980	80	49	N19° E	应力解除法 地震地质大队	
河南安阳	1980	24	14	N62° W	应力解除法 地震地质大队	
河南焦作	1980	13	7	N18° E	应力解除法 地震地质大队	
山西绛县	1980	44	24	N22° W	应力解除法 地震地质大队	
山西平定	1980	22	11	N3° W	应力解除法 地震地质大队	
山西浑源	1980	15	10	N32° E	应力解除法 地震地质大队	
四川二滩	1981	249	132	N18° E	应力解除法 孙世宗等	平均值
甘肃青山堡		29	22	N59° E	应力解除法 廖栢庭等	
甘肃平口峡		84	30	N43° E	应力解除法 廖栢庭等	
甘肃金川	1978	42	35	N20° E	应力解除法 廖栢庭等 ²⁾	44m(钻孔)
甘肃金川	1975	198	108	N3° E	应力解除法 廖栢庭等	375m(矿井)
甘肃金川	1980	245	154	N25° W	应力解除法 廖栢庭等	480m(矿井)
甘肃金川	1976	500	334	N13° W	应力解除法 廖栢庭等	460m(矿井)
甘肃金川		320	206	N32° E	应力解除法 廖栢庭等	480m(矿井)
四川普格	1977.8	62	47	N54° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川冕宁	1977.9	41	-39	N59° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川丹巴	1981.7	53.5	34.5	N24° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川雅江	1981.10	64.8	48.4	N56° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川宝兴	1982.7	87.5	61.3	N61° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川康定	1982.8	65.5	51.5	N86° E	应力解除法 董玉善等 ³⁾	
四川康定	1982.9	61.5	30.6	N82° W	应力解除法 董玉善等 ³⁾	

续表 1-1

测量地点	测量时间 (年·月)	σ_{Hmax} (0.1MPa)	σ_{Hmin} (0.1MPa)	方向(σ_{Hmax})	资料来源及 测量方法	注
四川雅安	1982.11	41.3	25.0	N45° W	应力解除法 董玉善等 ¹⁾	
云南会泽		122.0	95.8	N81° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南嵩明		90.4	51.3	N88° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南华宁		62.7	39.2	N65° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南弥渡		42.7	28.1	N78° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南新平		106.3	44.6	N31° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南建水		119.2	48.9	N21° E	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南墨江		123.0	72.9	N44° W	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
云南景谷		123.3	85.0	N13° E	应力解除法 饶凯年等 ²⁾	
江苏新沂	1981.10	16	15	N26° E	应力解除法 李方全等 ³⁾	45m(钻孔)
江苏新沂	1981.10	20	17	N3° E	应力解除法 李方全等 ³⁾	75m(钻孔)
江苏新沂	1981.11	107	80	N30° E	水压致裂法 李方全等 ³⁾	254m(钻孔)
河北唐山	1982.10	78	58	N86° W	水压致裂法 李方全等 ³⁾	296m(钻孔)

注: 压应力为正, 张应力为负。未标明测量深度的均为地表下 30m 以上的浅部应力测量结果。

- 1) 孙世宗、李立球, 冀皖背斜及其周围地区构造应力场分析, 地震地质参考资料, 国家地震局地质地质大队, 第 1 期, 1979;
- 2) 廖樟庭、施兆贤、李庚辛、朱英枢、曾克启、张之衡等, 金川矿区原岩应力测量及构造应力场的研究, 冶金部金川资源综合利用科研项目交流鉴定会议, 1981;
- 3) 董玉善执笔, 川西地区地应力测量, 四川地震, 第 2 期, 1983;
- 4) 饶凯年执笔, 根据地应力绝对值测量结果探讨小江断裂带北段应力场, 地震地质报告集, 第 1 集, 云南省地震局综合大队地质队, 1980;
- 5) 饶凯年执笔, 红河断裂带两侧的浅部地应力测量, 地震地质报告集, 第 2 集, 云南省地震局综合大队地质队, 1982;
- 6) 李方全、翟青山、毕尚煦、刘鹏、张钧、赵仕广, 水压致裂法测地应力测量及其初步成果;
- 7) 李方全、张钧、刘鹏、毕尚煦、毛吉震、赵仕广, 唐山地区深部应力测量。

(二) 全国范围内深部应力实测结果 (包括油井水压致裂法等)

根据油井水压致裂、地壳形变和震源机制解资料得出的最大水平主应力方向见图 1-4。

根据油井压裂资料得出的平均最大水平主应力方向见图 1-5。

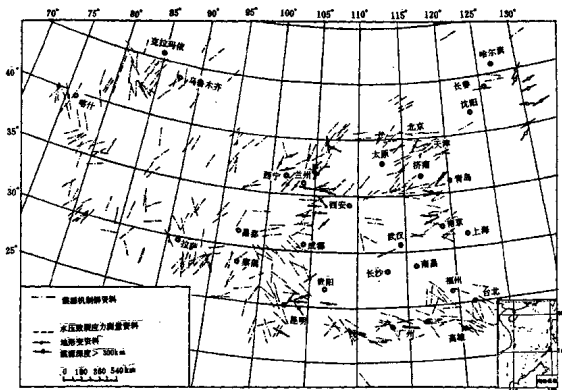


图 1-4

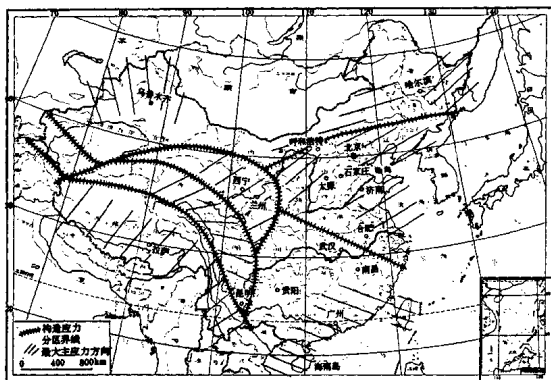


图 1-5

根据油井压裂资料得出的水平主应力（深度 2000m）分布见图 1-6。

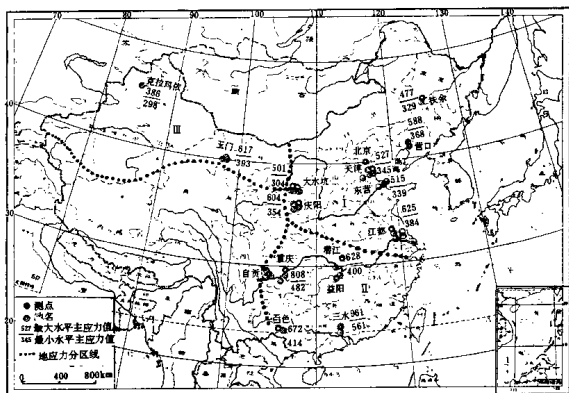


图 1-6

I——华北地区；II——华南地区；III——西北地区

华南地区应力随深度的变化关系见图 1-7。

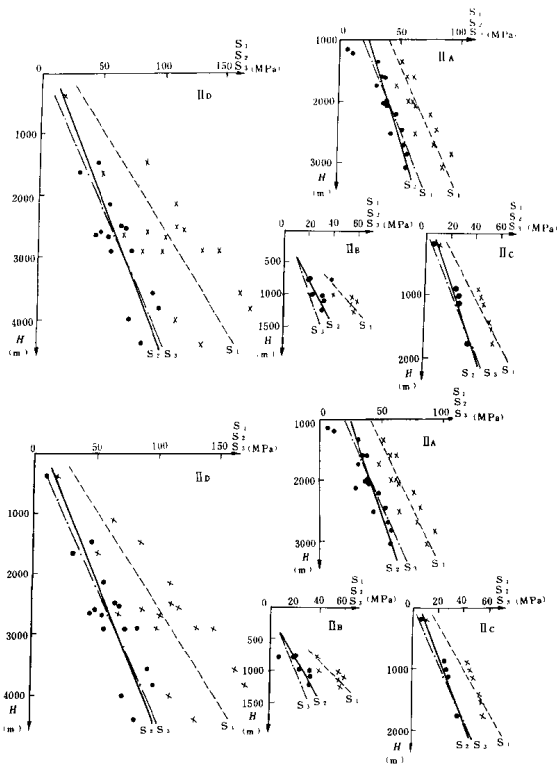


图 1-7

图中 II A, II B, II C, II D——应力测量的位置, 图中 S_1 ——最大水平主应力, S_2 ——最小水平主应力, S_3 ——垂直应力

西北地区地应力随深度的变化关系见图 1-8。

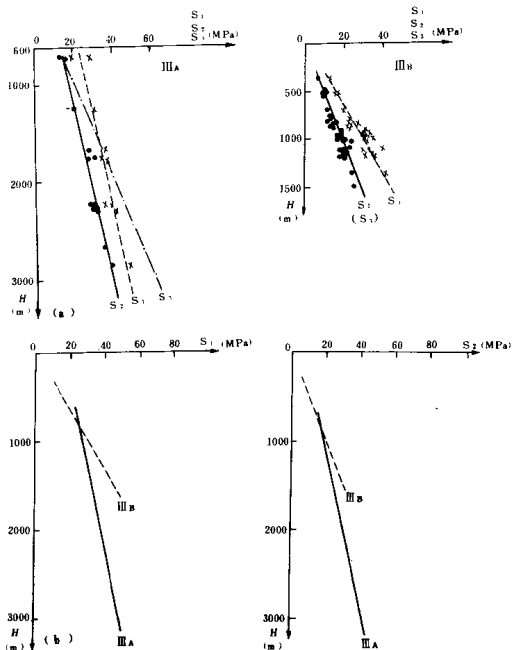


图 1-8

图中 IIIA, IIIB——原地应力测点位置, 图中 S_1 ——最大水平主应力, S_2 ——最小水平主应力, S_3 ——垂直应力

华北、东北地区地应力随深度的变化关系见图 1-9。

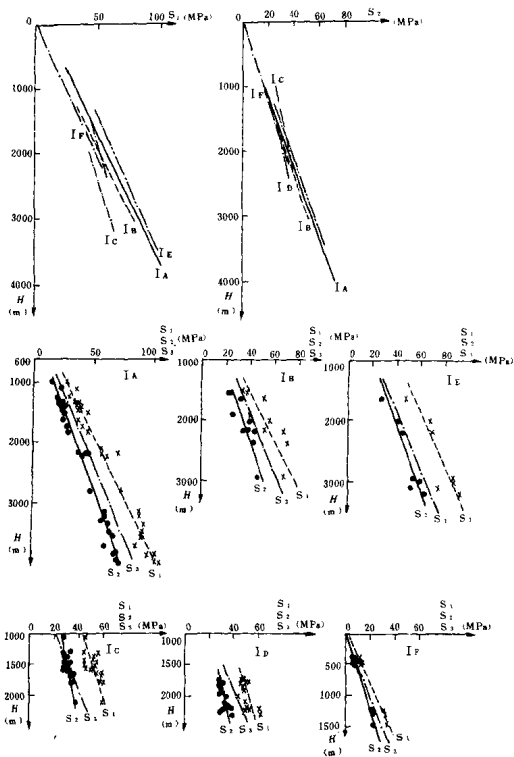


图 1-9

图中 S_1 ——最大水平主应力; S_2 ——最小水平主应力; S_z ——垂直应力;

IA, IB, IC, ID, IE 和 IF——应力测点位置。

最大水平应力与最小水平应力之比随深度的变化见图 1-10。

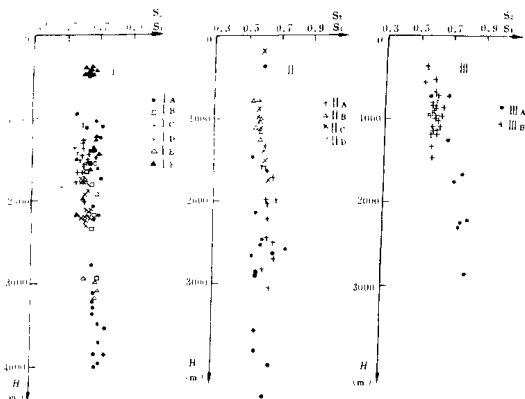


图 1-10 I A—III B——地应力测点位置

华北、东北地区平均水平主应力与垂直应力之比随深度变化见图 1-11。

华南、东北地区平均水平主应力与垂直应力之比随深度的变化见图 1-12。

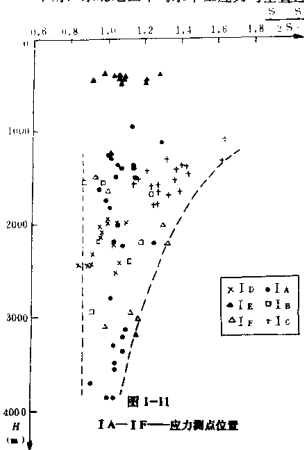


图 1-11

I A—I F——应力测点位置

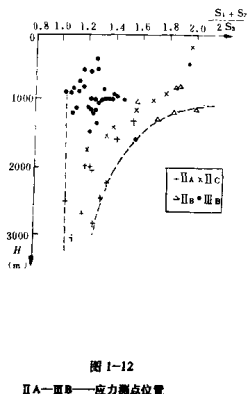


图 1-12

II A—II B——应力测点位置