第一章　地形测量

本章包括的内容仅限于测定高度和高差．一开始就遇到坡度测定问题的使用者，可参阅第二章．地貌学家承担的大量制图任务，可归纳为两个方面：第一，在平面图上确定若干测量点；第二，增加高度资料．前者实质上是平面几何和简单三角函数问题，它们对于解决那些可在第十三章中找到的问题可能是需要的．后一任务是本章所讨论的内容．

1.1节内容包括将视斜坡距离（apparent slant distance）和高度角（Angle of elevation）或坡度角（declination）换算成实际水平距离和高度差．高度角可以用经纬仪或测斜仪测定，视斜坡距离可用视距仪测定或直接用卷尺或测绳（chain）测量．1.2节包括气压计测量中某些对温度变化订正方法的详细内容．最后，表1.3简单地列出了地图的比例尺和制图变形的关系．

1.1　将视斜坡距离换算成实际水平距离和垂直距离

表1.1和1.2可以用来将视斜坡距离换算成实际水平距离和垂直高差（图1.1）．表1.1列出$100\cos^2\theta$的数值，用下面公式

$$AC = 100\,pq\cos^2\theta$$

表1.2列出$100\sin^2(\theta/2)$的数值，用下式

$$BC = 100\,pq\sin^2(\theta/2)$$

表1.1 由视距仪读数得到的实际水平距离

角度	视斜坡距离								
° ′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0 0	100.00	200.00	300.00	400.00	500.00	600.00	700.00	800.00	900.00
0 20	100.00	199.99	299.99	399.99	499.98	599.98	699.98	799.97	899.97
0 40	99.99	199.97	299.96	399.95	499.93	599.92	699.91	799.89	899.88
1 0	99.97	199.94	299.91	399.88	499.85	599.82	699.79	799.76	899.73
1 20	99.95	199.89	299.84	399.78	499.73	599.68	699.62	799.57	899.51
1 40	99.92	199.83	299.75	399.66	499.58	599.49	699.41	799.32	899.24
2 0	99.88	199.76	299.63	399.51	499.39	599.27	699.15	799.03	898.90
2 20	99.83	199.67	299.50	399.34	499.17	599.01	698.84	798.67	898.51
2 40	99.78	199.57	299.35	399.13	498.92	598.70	698.48	798.27	898.05
3 0	99.73	199.45	299.18	398.90	498.63	598.36	698.08	797.81	897.53
3 20	99.66	199.32	298.99	398.65	498.31	597.97	697.63	797.30	896.96
3 40	99.59	199.18	298.77	398.36	497.96	597.55	697.14	796.73	896.32
4 0	99.51	199.03	298.54	398.05	497.57	597.08	696.59	796.11	895.62
4 20	99.43	198.86	298.29	397.72	497.15	596.57	696.00	795.43	894.86
4 40	99.34	198.68	298.01	397.35	496.69	596.03	695.37	794.70	894.04
5 0	99.24	198.48	297.72	396.96	496.20	595.44	694.68	793.92	893.16
5 20	99.14	198.27	297.41	396.54	495.68	594.82	693.95	793.09	892.22
5 40	99.03	198.05	297.08	396.10	495.13	594.15	693.18	792.20	891.23
6 0	98.91	197.81	296.72	395.63	494.54	593.44	692.35	791.26	890.17
6 20	98.78	197.57	296.35	395.13	493.92	592.70	691.48	790.26	889.05
6 40	98.65	197.30	295.96	394.61	493.26	591.91	690.57	789.22	887.87

表1.1续

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
7	0	98.51	197.03	295.54	394.06	492.57	591.09	689.60	788.12	886.63
7	20	98.37	196.74	295.11	393.48	491.85	590.22	688.60	786.97	885.34
7	40	98.22	196.44	294.66	392.88	491.10	589.32	687.54	785.76	883.98
8	0	98.06	196.13	294.19	392.25	490.32	588.38	686.44	784.50	882.57
8	20	97.90	195.80	293.70	391.60	489.50	587.40	685.30	783.20	881.10
8	40	97.73	195.46	293.19	390.92	488.65	586.38	684.11	781.84	879.56
9	0	97.55	195.11	292.66	390.21	487.76	585.32	682.87	780.42	877.98
9	20	97.37	194.74	292.11	389.48	486.85	584.22	681.59	778.96	876.33
9	40	97.18	194.36	291.54	388.72	485.90	583.08	680.26	777.44	874.62
10	0	96.98	193.97	290.95	387.94	484.92	581.91	678.89	775.88	872.86
10	20	96.78	193.56	290.35	387.13	483.91	580.69	677.48	774.26	871.04
10	40	96.57	193.15	289.72	386.30	482.87	579.44	676.02	772.59	869.17
11	0	96.36	192.72	289.08	385.44	481.80	578.16	674.51	770.87	867.23
11	20	96.14	192.28	288.41	384.55	480.69	576.83	672.97	769.10	865.24
11	40	95.91	191.82	287.73	383.64	479.55	575.46	671.38	767.29	863.20
12	0	95.68	191.35	287.03	382.71	478.39	574.06	669.74	765.42	861.10
12	20	95.44	190.88	286.31	381.75	477.19	572.63	668.06	763.50	858.94
12	40	95.19	190.38	285.58	380.77	475.96	571.15	666.34	761.53	856.73
13	0	94.94	189.88	284.82	379.76	474.70	569.64	664.58	759.52	854.46
13	20	94.68	189.36	284.04	378.73	473.41	568.09	662.77	757.45	852.13
13	40	94.42	188.84	283.25	377.67	472.09	566.51	660.92	755.34	849.76

表1.1续

角度 °	′	视斜坡距离 100	200	300	400	500	600	700	800	900
14	0	94.15	188.29	282.44	376.59	470.74	564.88	659.03	753.18	847.33
14	20	93.87	187.74	281.61	375.49	469.36	563.23	657.10	750.97	844.84
14	40	93.59	187.18	280.77	374.36	467.95	561.54	655.12	748.71	842.30
15	0	93.30	186.60	279.90	373.21	466.51	559.81	653.11	746.41	839.71
15	20	93.01	186.01	279.02	372.03	465.04	558.04	651.05	744.06	837.07
15	40	92.71	185.42	278.12	370.83	463.54	556.25	648.95	741.66	834.37
16	0	92.40	184.80	277.21	369.61	462.01	554.41	646.82	739.22	831.62
16	20	92.09	184.18	276.27	368.36	460.46	552.55	644.64	736.73	828.82
16	40	91.77	183.55	275.32	367.10	458.87	550.65	642.42	734.20	825.97
17	0	91.45	182.90	274.36	365.81	457.26	548.71	640.16	731.62	823.07
17	20	91.12	182.25	273.37	364.50	455.62	546.74	637.87	728.99	820.11
17	40	90.79	181.58	272.37	363.16	453.95	544.74	635.53	726.32	817.11
18	0	90.45	180.90	271.35	361.80	452.25	542.71	633.16	723.61	814.06
18	20	90.11	180.21	270.32	360.42	450.53	540.64	630.74	720.85	810.96
18	40	89.76	179.51	269.27	359.02	448.78	538.54	628.29	718.05	807.80
19	0	89.40	178.80	268.20	357.60	447.00	536.40	625.80	715.20	804.60
19	20	89.04	178.08	267.12	356.16	445.20	534.24	623.28	712.32	801.36
19	40	88.67	177.35	266.02	354.69	443.37	532.04	620.72	709.39	798.06
20	0	88.30	176.60	264.91	353.21	441.51	529.81	618.12	706.42	794.72
20	20	87.93	175.85	263.78	351.70	439.63	527.55	615.48	703.41	791.33
20	40	87.54	175.09	262.63	350.18	437.72	525.26	612.81	700.35	787.90

表1.1续

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	800	400	500	600	700	800	900
21	0	87.16	174.31	261.47	348.63	435.79	522.94	610.10	697.26	784.42
21	20	86.77	173.53	260.30	347.06	433.83	520.59	607.36	694.12	780.89
21	40	86.37	172.74	259.11	345.47	431.84	518.21	604.58	690.95	777.32
22	0	85.97	171.93	257.90	343.87	429.83	515.80	601.77	687.74	773.76
22	20	85.56	171.12	256.68	342.24	427.80	513.36	598.92	684.48	770.04
22	40	85.15	170.30	255.45	340.60	425.75	510.89	596.04	681.19	766.34
23	0	84.73	169.47	254.20	338.93	423.66	508.40	593.13	677.86	762.60
23	20	84.31	168.62	252.94	337.25	421.56	505.87	590.18	674.50	758.81
23	40	83.89	167.77	251.66	335.55	419.43	503.32	587.21	671.09	754.98
24	0	83.46	166.91	250.37	333.83	417.28	500.74	584.20	667.65	751.11
24	20	83.02	166.04	249.07	332.09	415.11	498.13	581.15	664.18	747.20
24	40	82.58	165.17	247.75	330.33	412.91	495.50	578.08	660.66	743.25
25	0	82.14	164.28	246.42	328.56	410.70	492.84	574.98	657.12	739.25
25	20	81.69	163.38	245.07	326.77	408.46	490.15	571.84	653.53	735.22
25	40	81.24	162.48	243.72	324.96	406.20	487.44	568.68	649.92	731.15
26	0	80.78	161.57	242.35	323.13	403.92	484.70	565.48	646.26	727.05
26	20	80.32	160.65	240.97	321.29	401.61	481.94	562.26	642.58	722.90
26	40	79.86	159.72	239.57	319.43	399.29	479.15	559.01	638.86	718.72
27	0	79.39	156.78	238.17	317.56	396.95	476.33	555.72	635.11	714.50
27	20	78.92	157.83	236.75	315.67	394.58	473.54	552.42	631.33	710.25
27	40	78.44	156.88	235.32	313.76	392.20	470 64	549.08	627.52	705.96

表1.1续

角度	视斜坡距离								
° ′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
28 0	77.96	155.92	233.88	311.84	389.80	467.76	545.72	623.68	701.64
28 20	77.48	154.95	232.43	309.90	387.38	464.85	542.33	619.80	697.28
28 40	76.99	153.98	230.96	307.95	384.94	461.93	538.91	615.90	692.89
29 0	76.50	152.99	229.49	305.98	382.48	458.98	535.47	611.97	688.46
29 20	76.00	152.00	228.00	304.00	380.00	456.00	532.01	608.01	684.01
29 40	75.50	151.00	226.51	302.01	377.51	453.01	528.51	604.02	679.52
30 0	75.00	150.00	225.00	300.00	375.00	450.00	525.00	600.00	675.00
30 20	74.49	148.99	223.48	297.98	372.47	446.97	521.46	595.96	670.45
30 40	73.99	147.97	221.95	295.94	369.93	443.91	517.90	591.89	665.87
31 0	73.47	146.95	220.42	293.89	367.37	440.84	514.32	587.79	661.26
31 20	72.96	145.92	218.87	291.83	364.79	437.75	510.71	583.67	656.62
31 40	72.44	144.88	217.32	289.76	362.20	434.64	507.08	579.52	651.96
32 0	71.92	143.84	215.76	287.67	359.59	431.51	503.43	575.35	647.27
32 20	71.39	142.79	214.18	285.58	356.97	428.37	499.76	571.15	642.55
32 40	70.87	141.73	212.60	283.47	354.33	425.20	496.07	566.94	637.80
33 0	70.34	140.67	211.01	281.35	351.68	422.02	492.36	562.69	633.03
33 20	69.80	139.61	209.41	279.22	349.02	418.82	488.63	558.43	628.24
33 40	69.27	138.54	207.81	277.07	346.34	415.61	484.88	554.15	623.42
34 0	68.73	137.46	206.19	274.92	343.65	412.38	481.11	549.84	618.57
34 20	68.19	136.38	204.57	272.76	340.95	409.14	477.33	545.52	613.71
34 40	67.65	135.29	202.94	270.59	338.23	405.88	473.53	541.17	608.82

表1.1续

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
35	0	67.10	134.20	201.30	268.40	335.51	402.61	469.71	536.81	603.91
35	20	66.55	133.11	199.66	266.21	332.77	399.32	465.87	532.43	598.98
35	40	66.00	132.01	198.01	264.01	330.02	396.02	462.02	528.02	594.03
36	0	65.45	130.90	196.35	261.80	327.25	392.71	458.16	523.61	589.06
36	20	64.90	129.79	194.69	259.59	324.48	389.38	454.28	519.17	584.07
36	40	64.34	128.68	193.02	257.36	321.70	386.04	450.38	514.72	579.06
37	0	63.78	127.56	191.35	255.13	318.91	382.69	446.47	510.25	574.04
37	20	63.22	126.44	189.67	252.89	316.11	379.33	442.55	505.77	569.00
37	40	62.66	125.32	187.98	250.64	313.30	375.96	438.62	501.28	563.94
38	0	62.10	124.19	186.29	248.38	310.48	372.58	434.67	496.77	558.86
38	20	61.53	123.06	184.59	246.12	307.65	369.18	430.72	492.25	553.78
38	40	60.96	121.93	182.89	243.86	304.82	365.78	426.75	487.71	548.68
39	0	60.40	120.79	181.19	241.58	301.98	362.37	422.77	483.16	543.56
39	20	59.83	119.65	179.48	239.30	299.13	358.95	418.78	478.61	538.43
39	40	59.25	118.51	177.76	237.02	296.27	355.53	414.78	474.04	533.29
40	0	58.68	117.36	176.05	234.73	293.41	352.09	410.78	469.46	528.14
40	20	58.11	116.22	174.33	232.44	290.54	348.65	406.76	464.87	522.98
40	40	57.53	115.07	172.60	230.14	287.67	345.21	402.74	460.27	517.81
41	0	56.96	113.92	170.88	227.83	284.79	341.75	398.71	455.67	512.63
41	20	56.38	112.76	169.15	225.53	281.91	338.29	394.67	451.06	507.44
41	40	55.80	111.61	167.41	223.22	279.02	334.83	390.63	446.44	502.24

表1.1续

角度	斜坡距离								
° ′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
42 0	55.23	110.45	165.68	220.91	276.13	331.36	386.58	441.81	497.04
42 20	54.65	109.29	163.94	218.59	273.24	327.88	382.53	437.18	491.83
42 40	54.07	108.14	162.20	216.27	270.34	324.41	378.48	432.54	486.61
43 0	53.49	106.98	160.46	213.95	267.44	320.93	374.41	427.90	481.39
43 20	52.91	105.81	158.72	211.63	264.54	317.44	370.35	423.26	476.17
43 40	52.33	104.65	156.98	209.31	261.63	313.96	366.28	418.61	470.94
44 0	51.74	103.49	155.23	206.98	258.72	310.47	362.21	413.96	465.70
44 20	51.16	102.33	153.49	204.65	255.82	306.98	358.14	409.31	460.47
44 40	50.58	101.16	151.75	202.33	252.91	303.49	354.07	404.65	455.24
45 0	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00	350.00	400.00	450.00

表1.2 由视距仪读数得到的实际垂直高差

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	20	0.58	1.16	1.75	2.33	2.91	3.49	4.07	4.65	5.24
0	40	1.16	2.33	3.49	4.65	5.82	6.98	8.14	9.31	10.47
1	0	1.74	3.49	5.23	6.98	8.72	10.47	12.21	13.96	15.70
1	20	2.33	4.65	6.98	9.31	11.63	13.96	16.28	18.61	20.94
1	40	2.91	5.81	8.72	11.63	14.54	17.44	20.35	23.26	26.17
2	0	3.49	6.98	10.46	13.95	17.44	20.93	24.41	27.90	31.39
2	20	4.07	8.14	12.20	16.27	20.34	24.41	28.48	32.54	36.61
2	40	4.65	9.29	13.94	18.59	23.24	27.88	32.53	37.18	41.83
3	0	5.23	10.45	15.68	20.91	26.13	31.36	36.58	41.81	47.04
3	20	5.80	11.61	17.41	23.22	29.02	34.83	40.63	46.44	52.24
3	40	6.38	12.76	19.15	25.53	31.91	38.29	44.67	51.06	57.44
4	0	6.96	13.92	20.88	27.83	34.79	41.75	48.71	55.67	62.63
4	20	7.53	15.07	22.60	30.14	37.67	45.21	52.74	60.27	67.81
4	40	8.11	16.22	24.33	32.44	40.54	48.65	56.76	64.87	72.98
5	0	8.68	17.36	26.05	34.73	43.41	52.09	60.78	69.46	78.14
5	20	9.25	18.51	27.76	37.02	46.27	55.53	64.78	74.04	83.29
5	40	9.83	19.65	29.48	39.30	49.13	58.95	68.78	78.61	88.43
6	0	10.40	20.79	31.19	41.58	51.98	62.37	72.77	83.16	93.56
6	20	10.96	21.93	32.89	43.86	54.82	65.78	76.75	87.71	98.67
6	40	11.53	23.06	34.59	46.12	57.65	69.18	80.72	92.25	103.78

表1.2续

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
7	0	12.10	24.19	36.29	48.38	60.48	72.58	84.67	96.77	108.86
7	20	12.66	25.32	37.98	50.64	63.30	75.96	88.62	101.28	113.94
7	40	13.22	26.44	39.67	52.89	66.11	79.33	92.55	105.77	119.00
8	0	13.78	27.56	41.35	55.13	68.91	82.69	96.47	110.25	124.04
8	20	14.34	28.68	43.02	57.36	71.70	86.04	100.38	114.72	129.06
8	40	14.90	29.79	44.69	59.59	74.48	89.38	104.28	119.17	134.07
9	0	15.45	30.90	46.35	61.80	77.25	92.71	108.16	123.61	139.06
9	20	16.00	32.01	48.01	64.01	80.02	96.02	112.02	128.02	144.03
9	40	16.55	33.11	49.66	66.21	82.77	99.32	115.87	132.43	148.98
10	0	17.10	34.20	51.30	68.40	85.51	102.61	119.71	136.81	153.91
10	20	17.65	35.29	52.94	70.59	88.23	105.88	123.53	141.17	158.82
10	40	18.19	36.38	54.57	72.76	90.95	109.14	127.33	145.52	163.71
11	0	18.73	37.46	56.19	74.92	93.65	112.38	131.11	149.84	168.57
11	20	19.27	38.54	57.81	77.07	96.34	115.61	134.88	154.15	173.42
11	40	19.80	39.61	59.41	79.22	99.02	118.82	138.63	158.43	178.24
12	0	20.34	40.67	61.01	81.35	101.68	122.02	142.36	162.69	183.03
12	20	20.87	41.73	62.60	83.47	104.33	125.20	146.07	166.94	187.80
12	40	21.39	42.79	64.18	85.58	106.97	128.37	149.76	171.15	192.55
13	0	21.92	43.84	65.76	87.67	109.59	131.51	153.43	175.35	197.27
13	20	22.44	44.88	67.32	89.76	112.20	134.64	157.08	179.52	201.96
13	40	22.96	45.92	68.87	91.83	114.79	137.75	160.71	183.67	206.62

表1.2续

角度	视斜坡距离								
° ′	100	200	800	400	500	600	700	800	900
14 0	23.47	46.95	70.42	93.89	117.37	140.84	164.32	187.79	211.26
14 20	23.99	47.97	71.96	95.94	119.93	143.91	167.90	191.89	215.87
14 40	24.49	48.99	73.48	97.98	122.47	146.97	171.46	195.96	220.45
15 0	25.00	50.00	75.00	100.00	125.00	150.00	175.00	200.00	225.00
15 20	25.50	51.09	76.51	102.01	127.51	153.01	178.51	204.02	229.52
15 40	26.00	52.00	78.00	104.00	130.00	156.00	182.01	208.01	234.01
16 0	26.50	52.99	79.49	105.98	132.48	158.98	185.47	211.97	238.46
16 20	26.99	53.98	80.96	107.95	134.94	161.93	188.91	215.90	242.89
16 40	27.48	54.95	82.43	109.90	137.38	164.85	192.33	219.80	247.28
17 0	27.96	55.92	83.88	111.84	139.80	167.76	195.72	223.68	251.64
17 20	28.44	56.88	85.32	113.76	142.20	170.64	199.08	227.52	255.96
17 40	28.92	57.83	86.75	115.67	144.58	173.50	202.42	231.33	260.25
18 0	29.39	58.78	88.17	117.56	146.95	176.34	205.72	235.11	264.50
18 20	29.86	59.72	89.57	119.43	149.29	179.15	209.01	238.86	268.72
18 40	30.32	60.65	90.97	121.29	151.61	181.94	212.26	242.58	272.90
19 0	30.78	61.57	92.35	123.13	153.92	184.70	215.48	246.26	277.05
19 20	31.24	62.48	93.72	124.96	156.20	187.44	218.68	249.92	281.16
19 40	31.69	63.38	95.07	126.77	158.46	190.15	221.84	253.53	285.22
20 0	32.14	64.28	96.42	128.56	160.70	192.84	224.98	257.12	289.25
20 20	32.58	65.17	97.75	130.33	162.91	195.50	228.08	260.66	293.25
20 40	33.02	66.04	99.07	132.09	165.11	198.13	231.15	264.18	297.20

表1.2续

角度		视斜坡距离								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
21	0	33.46	66.91	100.37	133.83	167.28	200.74	234.20	267.65	301.11
21	20	33.89	67.77	101.66	135.55	169.43	203.32	237.21	271.09	304.98
21	40	34.31	68.62	102.94	137.25	171.56	205.87	240.18	274.50	308.81
22	0	34.73	69.47	104.20	138.93	173.66	208.40	243.13	277.86	312.60
22	20	35.15	70.30	105.45	140.60	175.75	210.89	246.04	281.19	316.34
22	40	35.56	71.12	106.68	142.24	177.80	213.36	248.92	284.48	320.04
23	0	35.97	71.93	107.90	143.87	179.83	215.80	251.77	287.74	323.70
23	20	36.37	72.74	109.11	145.47	181.84	218.21	254.58	290.95	327.32
23	40	36.77	73.53	110.30	147.06	183.83	220.59	257.36	294.12	330.89
24	0	37.16	74.31	111.47	148.63	185.79	222.94	260.10	297.26	334.42
24	20	37.54	75.09	112.63	150.18	187.72	225.26	262.81	300.35	337.90
24	40	37.93	75.85	113.78	151.70	189.63	227.55	265.48	303.41	341.33
25	0	38.30	76.60	114.91	153.21	191.51	229.81	268.12	306.42	344.72
25	20	38.67	77.35	116.02	154.69	193.37	232.04	270.72	309.39	348.06
25	40	39.04	78.08	117.12	156.16	195.20	234.24	273.28	312.32	351.36
26	0	39.40	78.80	118.20	157.60	197.00	236.40	275.80	315.20	354.60
26	20	39.76	79.51	119.27	159.02	198.78	238.54	278.29	318.05	357.80
26	40	40.11	80.21	120.32	160.42	200.53	240.64	280.74	320.85	360.96
27	0	40.45	80.90	121.35	161.80	202.25	242.71	283.16	323.61	364.06
27	20	40.79	81.58	122.37	163.16	203.95	244.74	285.53	326.32	367.11
27	40	41.12	82.25	123.37	164.50	205.62	246.74	287.87	328.99	370.11

表1.2続

角度		視斜投距高								
°	′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
28	0	41.45	82.90	124.36	165.81	207.26	248.71	290.16	331.62	373.07
28	20	41.77	83.55	125.32	167.10	208.87	250.65	292.42	334.20	375.97
28	40	42.09	84.18	126.27	168.36	210.46	252.55	294.64	336.73	378.82
29	0	42.40	84.80	127.21	169.61	212.01	254.41	296.82	339.22	381.62
29	20	42.71	85.42	128.12	170.83	213.54	256.25	298.95	341.66	384.37
29	40	43.01	86.01	129.02	172.03	215.04	258.04	301.35	344.06	387.07
30	0	43.30	86.60	129.90	173.21	216.51	259.81	303.11	346.41	389.71
30	20	43.59	87.18	130.77	174.36	217.95	261.54	305.12	348.71	392.30
30	40	43.87	87.74	131.61	175.49	219.36	263.23	307.10	350.97	394.84
31	0	44.15	88.29	132.44	176.59	220.74	264.88	309.03	353.18	397.33
31	20	44.42	88.84	133.25	177.67	222.09	266.51	310.92	355.34	399.76
31	40	44.68	89.36	134.04	178.73	223.41	268.09	312.77	357.45	402.13
32	0	44.94	89.88	134.82	179.76	224.70	269.64	314.58	359.52	404.46
32	20	45.19	90.38	135.58	180.77	225.96	271.15	316.34	361.53	406.73
32	40	45.44	90.88	136.31	181.75	227.19	272.63	318.06	363.50	408.94
33	0	45.68	91.35	137.03	182.71	228.39	274.06	319.74	365.42	411.10
33	20	45.91	91.82	137.73	183.64	229.55	275.46	321.38	367.29	413.20
33	40	46.14	92.28	138.41	184.55	230.69	276.83	322.97	369.10	415.24
34	0	46.36	92.72	139.08	185.44	231.80	278.16	324.51	370.87	417.23
34	20	46.57	93.15	139.72	186.30	232.87	279.44	326.02	372.59	419.17
34	40	46.78	93.56	140.35	187.13	233.91	280.69	327.48	374.26	421.04

表1.2续

角度	视斜坡距离								
° ′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
35 0	46.98	93.97	140.95	187.94	234.92	281.91	328.89	375.88	422.86
35 20	47.18	94.36	141.54	188.72	235.90	283.08	330.26	377.44	424.62
35 40	47.37	94.74	142.11	189.48	236.85	284.22	331.59	378.96	426.33
36 0	47.55	95.11	142.66	190.21	237.76	285.32	332.87	380.42	427.98
36 20	47.73	95.46	143.19	190.92	238.65	286.38	334.11	381.84	429.56
36 40	47.90	95.80	143.70	191.60	239.50	287.40	335.30	383.20	431.10
37 0	48.06	96.13	144.19	192.25	240.32	288.38	336.44	384.50	432.57
37 20	48.22	96.44	144.66	192.88	241.10	289.32	337.54	385.76	433.98
37 40	48.37	96.74	145.11	193.48	241.85	290.22	338.60	386.97	435.34
38 0	48.51	97.03	145.54	194.06	242.57	291.09	339.60	388.12	436.63
38 20	48.65	97.30	145.96	194.61	243.26	291.91	340.57	389.22	437.87
38 40	48.78	97.57	146.35	195.13	243.92	292.70	341.48	390.26	439.05
39 0	48.91	97.81	146.72	195.63	244.54	293.44	342.35	391.26	440.17
39 20	49.03	98.05	147.08	196.10	245.13	294.15	343.18	392.20	441.23
39 40	49.14	98.27	147.41	196.54	245.68	294.82	343.95	393.09	442.22
40 0	49.24	98.48	147.72	196.96	246.20	295.44	344.68	393.92	443.16
40 20	49.34	98.66	148.01	197.35	246.69	296.03	345.37	394.70	444.04
40 40	49.43	98.86	148.29	197.72	247.15	296.57	346.00	395.43	444.86
41 0	49.51	99.03	148.54	198.05	247.57	297.08	346.59	396.11	445.62
41 20	49.59	99.18	148.77	198.36	247.96	297.55	347.14	396.73	446.32
41 40	49.66	99.32	148.99	198.65	248.31	297.97	347.63	397.30	446.96

表1.2续

角度	视坡距离								
° ′	100	200	300	400	500	600	700	800	900
42 0	49.73	99.45	149.18	198.90	248.63	298.36	348.08	397.81	447.53
42 20	49.78	99.57	149.35	199.13	248.92	298.70	348.49	398.27	448.05
42 40	49.83	99.67	149.50	199.34	249.17	299.01	348.84	398.67	448.51
43 0	49.88	99.76	149.63	199.51	249.39	299.27	349.15	399.03	448.90
43 20	49.92	99.83	149.75	199.66	249.58	299.49	349.41	399.32	449.24
43 40	49.95	99.89	149.84	199.78	249.73	299.68	349.62	399.57	449.51
44 0	49.97	99.94	149.91	199.88	249.85	299.82	349.79	399.76	449.73
44 20	49.99	99.97	149.96	199.95	249.93	299.92	349.91	399.89	449.88
44 40	50.00	99.99	149.99	199.99	249.98	299.98	349.98	399.97	449.97
45 0	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00	350.00	400.00	450.00

表1.3　地图比例尺和制图变形参考表

地图比例尺	地图上1英寸等于地面上1英尺	地图上1公分等于地面上1米	地面上1英里等于地图上1英尺	地面上1公里等于地图上1公尺	不同厚度（mm）图幅的实际地面宽度，地面宽度用米制					
					0.10	0.13	0.25	0.35	0.50	1.00
1：500	41.67	5.00	126.72	200.00	0.05	0.07	0.13	0.18	0.25	0.50
1：600	50.00	6.00	105.60	166.67	0.06	0.08	0.15	0.20	0.30	0.60
1：1000	83.33	10.00	63.36	100.00	0.10	0.13	0.25	0.35	0.50	1.00
1：1250	104.17	12.50	50.68	80.00	0.13	0.16	0.31	0.44	0.63	1.25
1：1500	125.00	15.00	42.24	66.67	0.15	0.20	0.38	0.53	0.75	1.50
1：2000	166.67	20.00	31.68	50.00	0.20	0.26	0.50	0.70	1.00	2.00
1：2500	208.33	25.00	25.34	40.00	0.25	0.33	0.63	0.88	1.25	2.50
1：3000	250.00	30.00	21.12	33.33	0.30	0.39	0.75	1.05	1.50	3.00
1：5000	416.67	50.00	12.67	20.00	0.50	0.65	1.25	1.75	2.50	5.00
1：6000	500.00	60.00	10.56	16.67	0.60	0.78	1.50	2.10	3.00	6.00
1：10000	833.33	100.00	6.34	10.00	1.00	1.30	2.50	3.50	5.00	10.00
1：10560	880.00	105.60	6.00	9.47	1.06	1.37	2.64	3.70	5.28	10.56
1：12000	1000.00	120.00	5.28	8.33	1.20	1.56	3.00	4.20	6.00	12.00
1：20000	1666.67	200.00	3.17	5.00	2.00	2.60	5.00	7.00	10.00	20.00
1：24000	2000.00	240.00	2.64	4.17	2.40	3.12	6.00	8.40	12.00	24.00
1：25000	2083.33	250.00	2.53	4.00	2.50	3.25	6.25	8.75	12.50	25.00
1：40000	3333.33	400.00	1.58	2.50	4.00	5.20	10.00	14.00	20.00	40.00
1：48000	4000.00	480.00	1.32	2.08	4.80	6.24	12.00	16.80	24.00	48.00
1：50000	4166.67	500.00	1.27	2.00	5.00	6.50	12.50	17.50	25.00	50.00
1：63360	5280.00	633.60	1.00	1.58	6.34	8.24	15.84	22.18	31.68	63.36

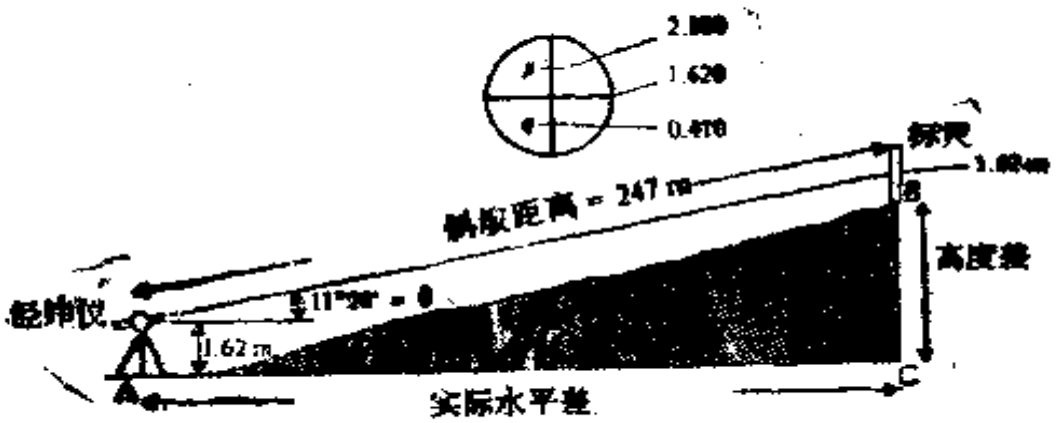


图1.1 用经纬仪测定视斜坡距离、实际水平距离和高度差

式中，AC = 实际水平距离，BC = 高度差，pq = 视距仪读数差，θ = 高度角或倾角. 表中数值都是以20′间隔，在必要的地方可在表中数值间按比例内插. 下面是一个该表用法的实例，在图1.1中加以说明.

测站A的经纬仪轴的高度为1.62m，望远镜瞄准器上十字丝对准测站B标尺上的刻度为1.62m.

视距仪上部读数 = 2.880

视距仪下部读数 = 0.410

视距仪读数差（pq） = 2.47

因此，视斜坡距离 = 247 m.

测站A低于测站B，高度角是11°20′，由此查表1.1的11°20′，得：

200m = 192.28

40m = 38.46

7m = 6.47

237.47m

因此，实际水平距离（AC） = 237.47m.

从表1.2的11°20′得：

200m = 38.54

40m = 7.71

$$\frac{7\,\mathrm{m} = 1.35}{47.60\,\mathrm{m}}$$

因此，高度差 (BC) = 47.60m.

1.2 气压计（无液气压表或高度计）测量中的温度订正

气压计的压力随着高度和温度的变化而变化，如果观测

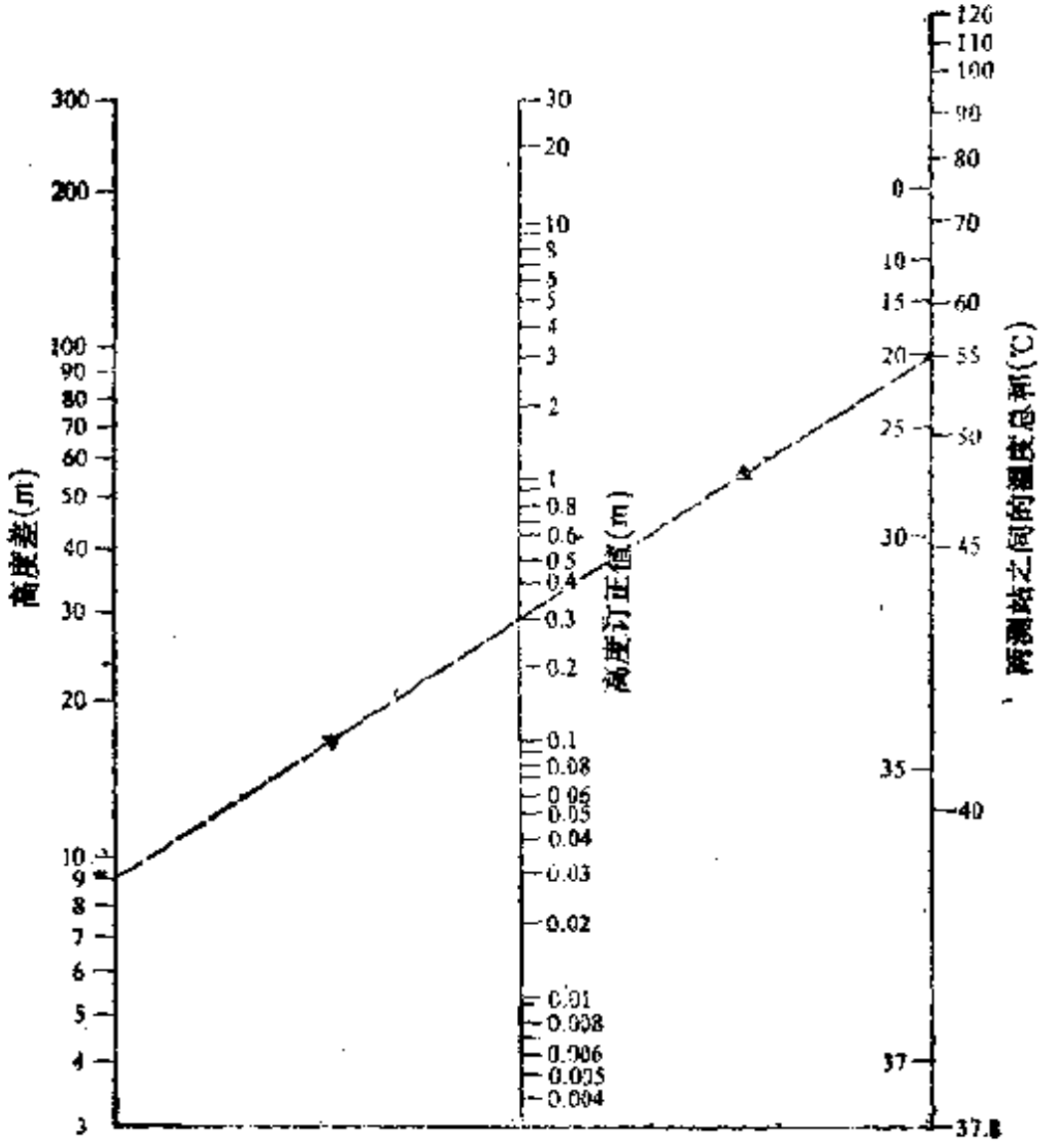


图1.2 应用于气压计读数中的温度订正简诺模图

（莱希，1931年以后）

站之间温度不同，应对气压计上的读数进行订正．图1.2是对两个测站之间的温度差订正，订正值的代数和是一个测站一个测站地进行的．这一方法最适用于温度差明显且地形起伏大的区域．两个测站之间所测出的高差和两个测站的温度总和分别标在计算图的左、右侧，再用直线连接，在这条直线与图中间的线相交处便可读出高度差的订正值．如果两站温度的总和超过37.8℃，可将订正值加到所测的高度值上．如果温度的总和小于37.8℃，则从测得的高度值中减去订正值．这个计算图也可以用来将各个站的数值同选定的基准高度差进行比较．

图1.3是被应用的一种类似的订正，使用起来比较快速，但欠精确，最适用于地形起伏中等的区域．基准高度与观察点之间的绝对高差值是在垂直比例尺上．温度订正可以在垂

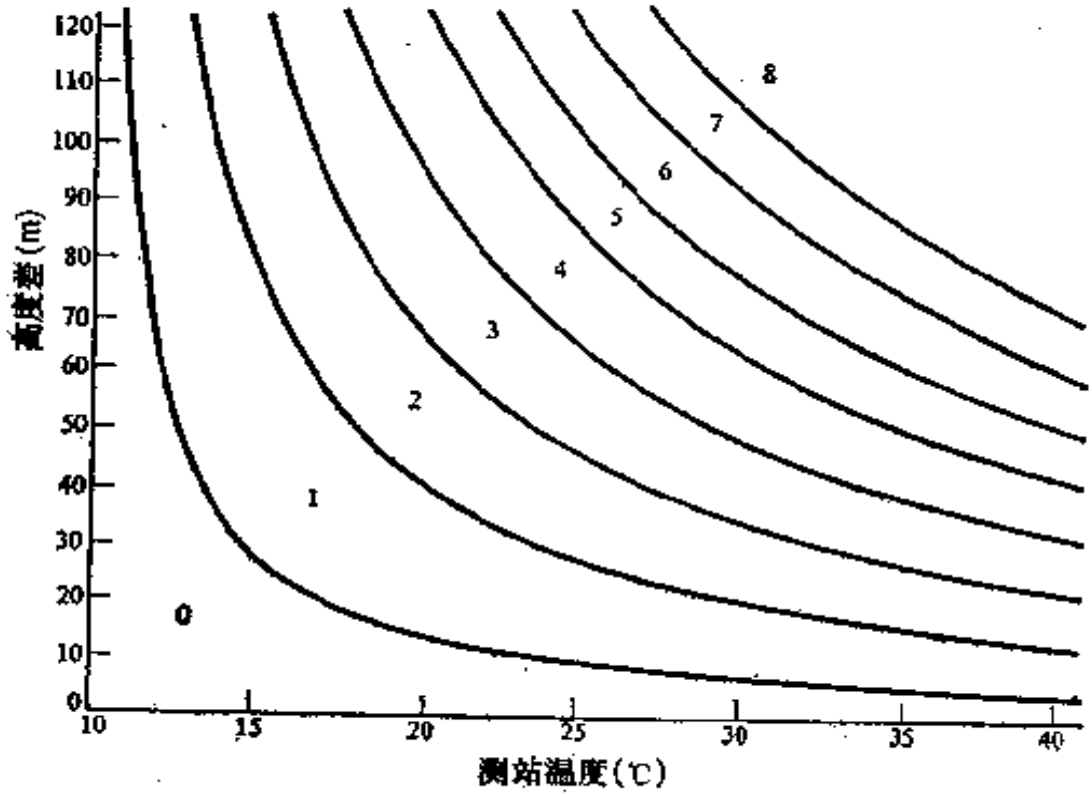


图1.3　气压计测量中的温度订正值估算图
（福罗杰斯，1947）

直坐标的相应高度差的位置上找到，而在高度差与观测点相对应的温度值的交点上读出订正值．这个交点一般落在两条曲线之间，两线之间的数字就是订正值（单位：m）．如果基准值大于观测值，订正值是减，小则应加上订正值．

第二章　地貌制图

本章所述的是有关地貌制图方面的内容. 2.1节介绍的是一套简明的制作地貌图的图例. 2.2节所述的是一套用于要考虑地貌成因的普通地貌制图的一般综合性符号. 最后一节所提供的是一套更专用的符号. （参阅格迪尔，1981，68—78页）

2.1　基本地貌形态制图符号

图2.1中所示的一套符号，是为描述地形以解释坡面诸单元的办法而设计的，并以坡折或缓坡作为分界的标志. 这些符号如科克（Cooke）和杜尔凯泼（Doornkamp，1974）所介绍的，是以沃特斯（Waters，1958）和萨维杰尔（Savigear，1965）提出的图式作为基础的.

2.2　地貌（成因）制图符号

图2.2中的符号，主要是以科克和杜尔凯泼（1974）的符号为基础的，用于考虑地貌成因的普通地貌制图对于不同的地貌成因过程则可以用不同的颜色来表示，所提到的颜色标注在每一组符号的括号内. 在普通地貌制图中，如果需要更为详细和精确的图式符号，可以参考德米克（Demek，1972）所拟订的大比例尺地图符号，及德米克和恩布尔顿（Embletom，1978）设计的中比例尺地图的符号. 更专用

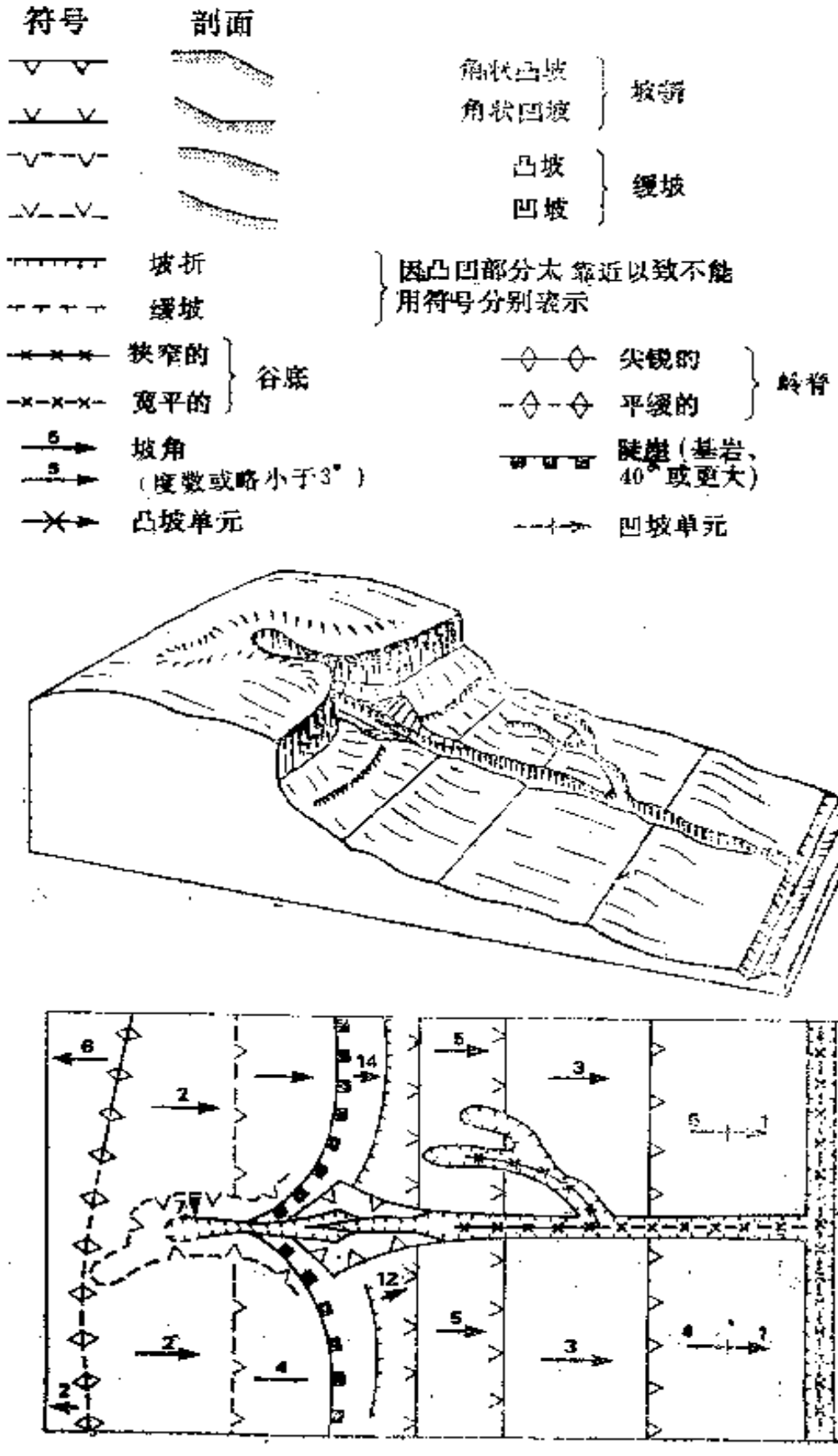


图2.1　基本地貌形态制图符号

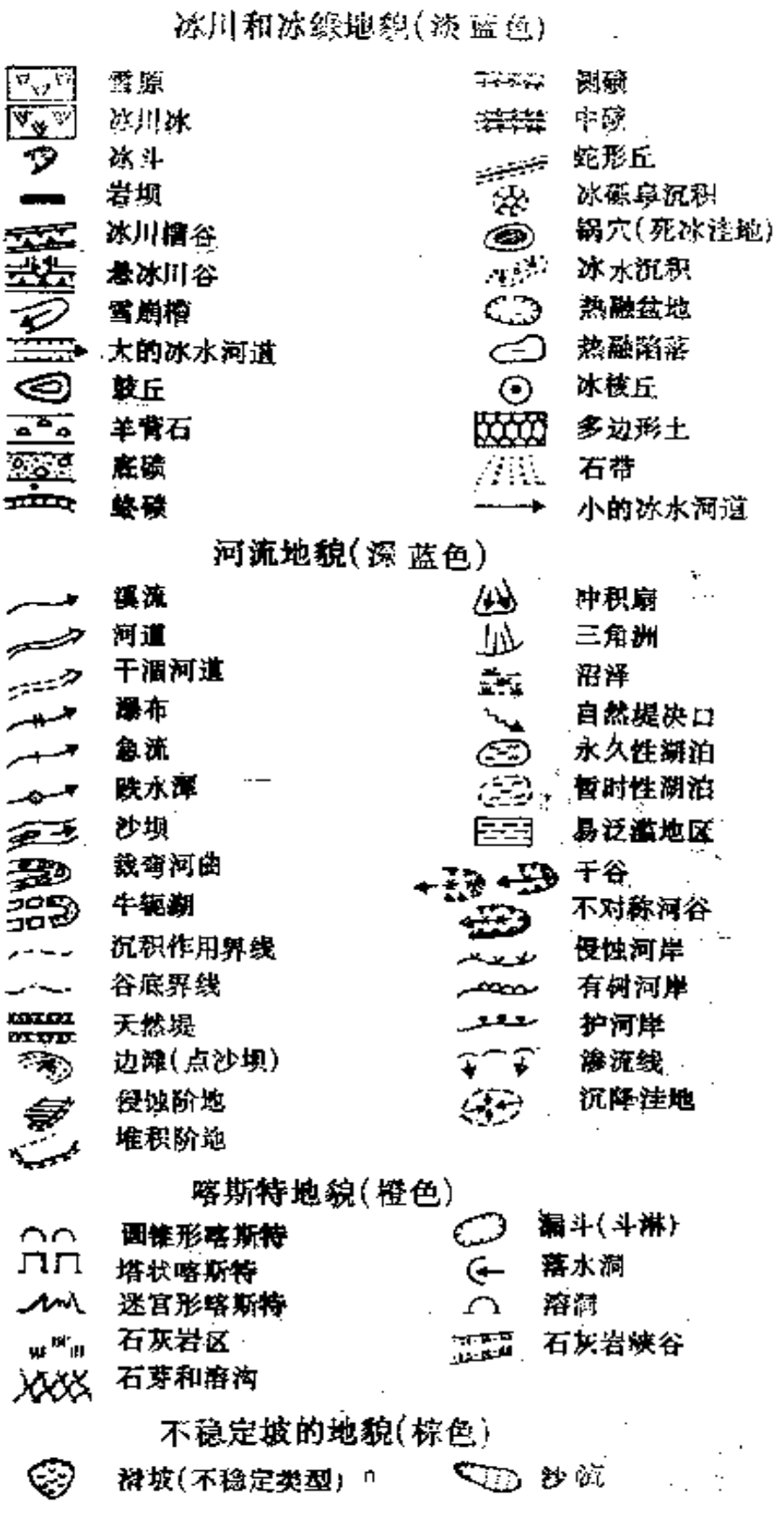


图2.2 地貌（成因）制图符号

（据科克和杜尔凯奥，1974）

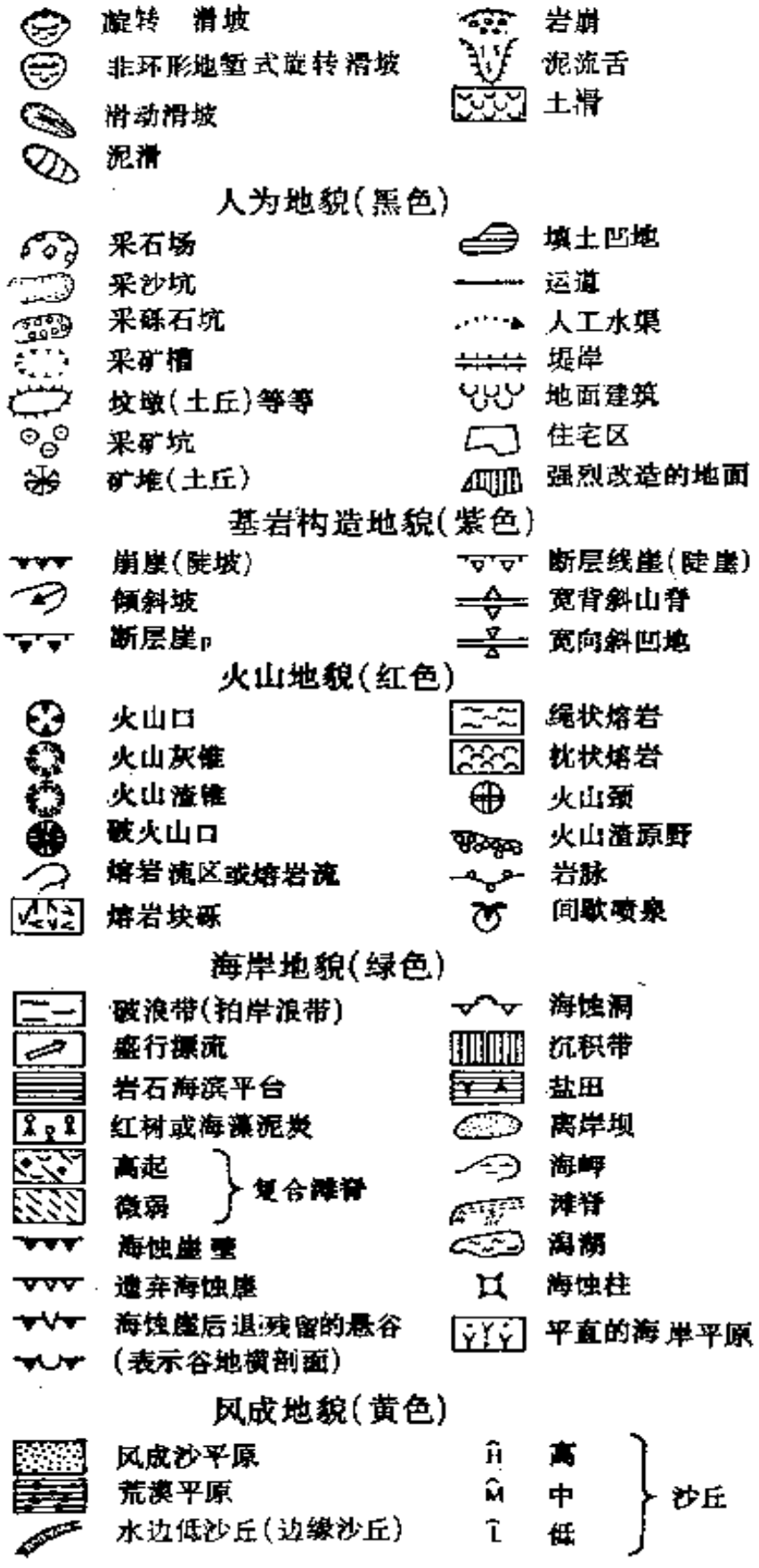

旋转 滑坡
非环形地堑式旋转滑坡
滑动滑坡
泥滑
岩崩
泥流舌
土滑
人为地貌(黑色)
采石场
采沙坑
采砾石坑
采矿槽
坟墩(土丘)等等
采矿坑
矿堆(土丘)
填土凹地
运道
人工水渠
堤岸
地面建筑
住宅区
强烈改造的地面
基岩构造地貌(紫色)
崩崖(陡坡)
倾斜坡
断层崖p
断层线崖(陡崖)
宽背斜山脊
宽向斜凹地
火山地貌(红色)
火山口
火山灰锥
火山渣锥
破火山口
熔岩流区或熔岩流
熔岩块砾
绳状熔岩
枕状熔岩
火山颈
火山渣原野
岩脉
间歇喷泉
海岸地貌(绿色)
破浪带(拍岸浪带)
盛行漂流
岩石海滨平台
红树或海藻泥炭
高起
微弱
复合滩脊
海蚀崖壁
遗弃海蚀崖
海蚀崖后退残留的悬谷
(表示谷地横剖面)
海蚀洞
沉积带
盐田
离岸坝
海岬
滩脊
潟湖
海蚀柱
平直的海岸平原
风成地貌(黄色)
风成沙平原
荒漠平原
水边低沙丘(边缘沙丘)
H 高
M 中
L 低
沙丘

图2.2（续）

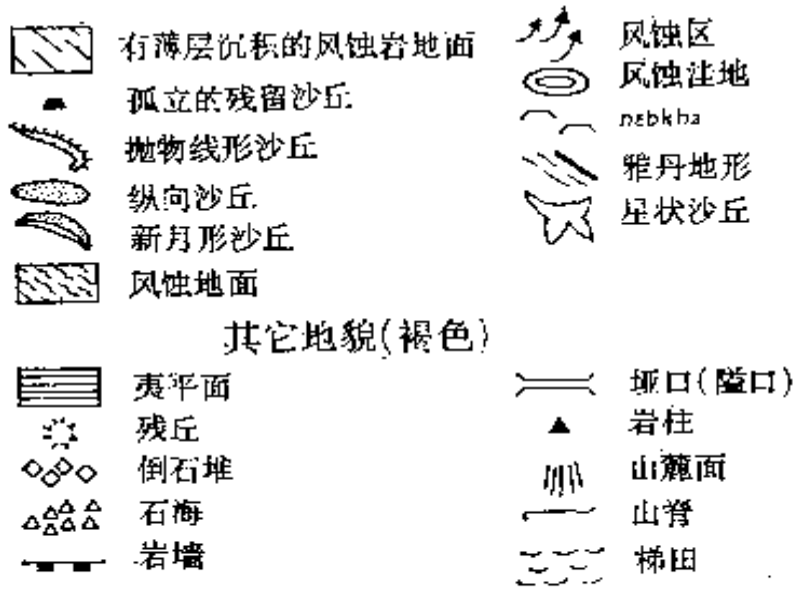


图2.2（续）

的符号将见下面所述.

2.3 更详细的制图符号

本节包括应用于特殊地貌形成环境中的更详细的制图符号，它比图2.2中的一套符号使用得更广泛，但仅限于有限的内容和意图. 图2.3，2.4和2.5表示了一些具有流水地貌特征的制图符号. 图2.3是仿照格雷戈里(Gregory，1979)的有关

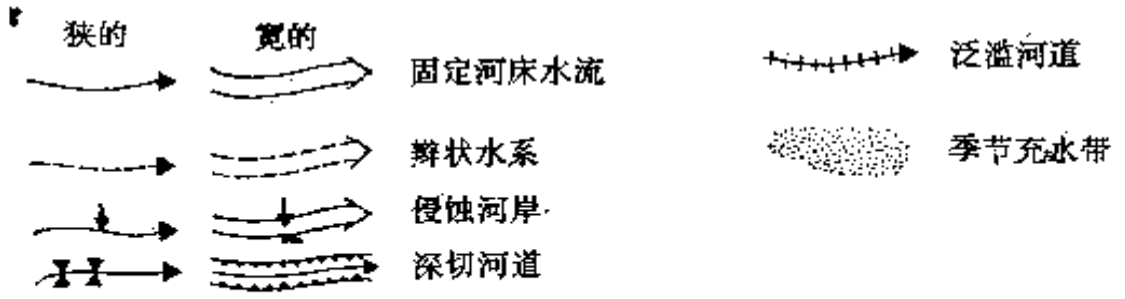


图2.3 河道类型方面的制图符号
（据格雷戈里，1979）

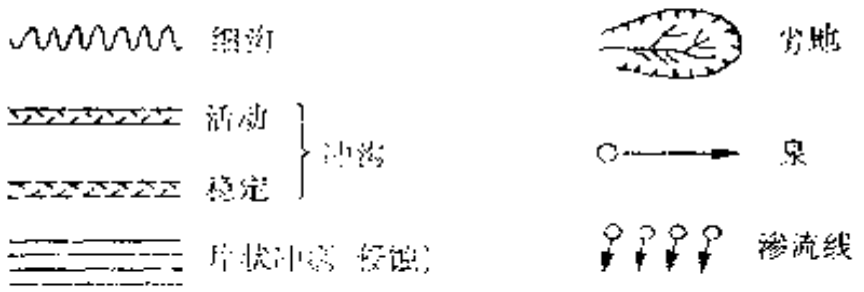


图2.4　坡地流水侵蚀制图符号

描述河道(槽)类型的符号.对于坡地上的流水侵蚀可按图2.4中的符号制图. 图2.5是一套由尼杰曼(Nijman)和普德伐不里格斯(Puigdefabregas,1978) 设计的详细的沙坝类型的符号. 坡地的块体运动特征和坡地的不稳定性,可以用图2.6的符号表示, 这套符号是以地质协会工程组工作队(1972)的符号为根据的.图2.7列出了一套由布莱丘脱(Blachut) 和米勒 (Müller, 1966) 提出的表示有关活冰川特征的符号. 雪和冰的制图符号将在第八章中提出.

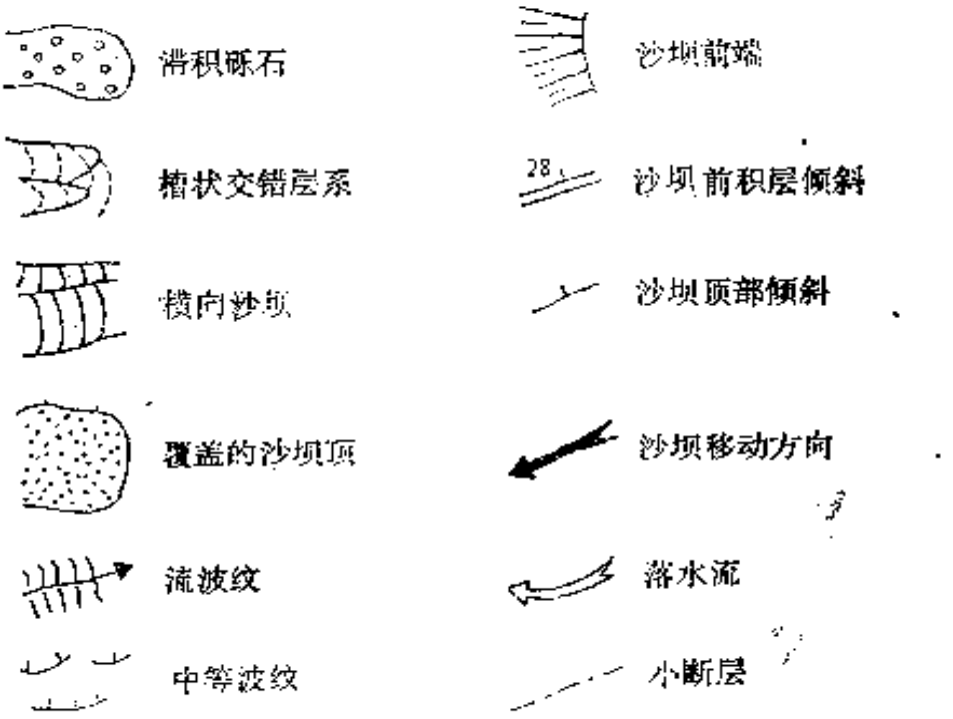


图2.5　详细的沙坝形态制图符号

（尼杰曼和普德伐不里格斯，1978）



滑坡(类型未定)



旋转滑坡(如滑坡体清楚
则具有翘起特征)



具地塑特征的滑坡
一种无明显连续旋转滑动



移动滑坡



滑动滑坡



泥滑



泥石流



沙流

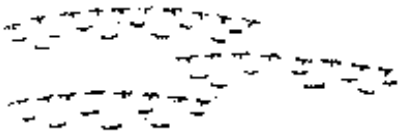


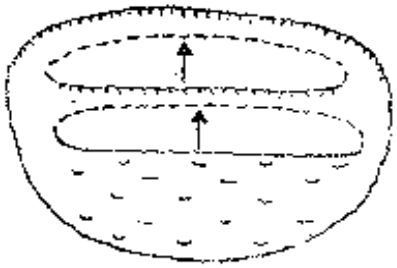
岩崩

由上述符号可以列出复合型滑坡的符号，如：



连续的旋转滑坡





复合旋转滑坡

波状起伏到改造平缓的
连续旋转滑坡

滑动中的物质类型应作如下表示　　表示物质的字母放在滑坡体内

F　全是充填堆积物

D　仅是表层沉积物

S　只有固体岩石

F＋D　充填堆积物和表层沉积物

D＋S　沉积物和岩石



包括表层沉积和岩石的
旋转滑坡



只有表层沉积的移动滑坡

图2.6　坡地、块体运动形地及不稳定山坡
的详细制图符号
（地质学会工程地质工作组，1972）

上述所有滑坡符号的的界线，可以表示为确定的、近似的或推测的。凡受滑坡影响的一切区域，无论是受侵蚀的，还是堆积的，对滑坡的界线均应圈出。

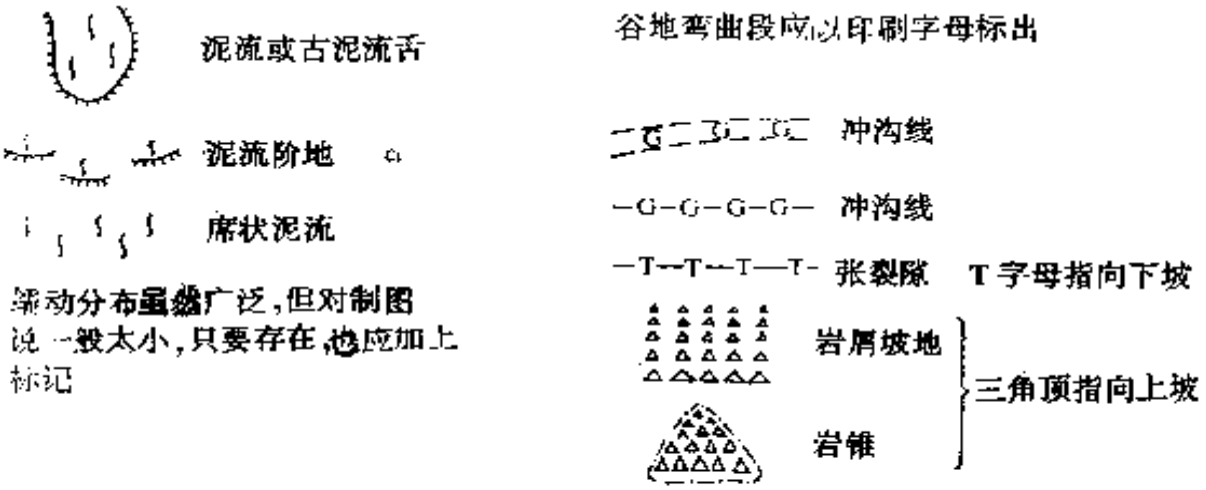


图2.6（续）

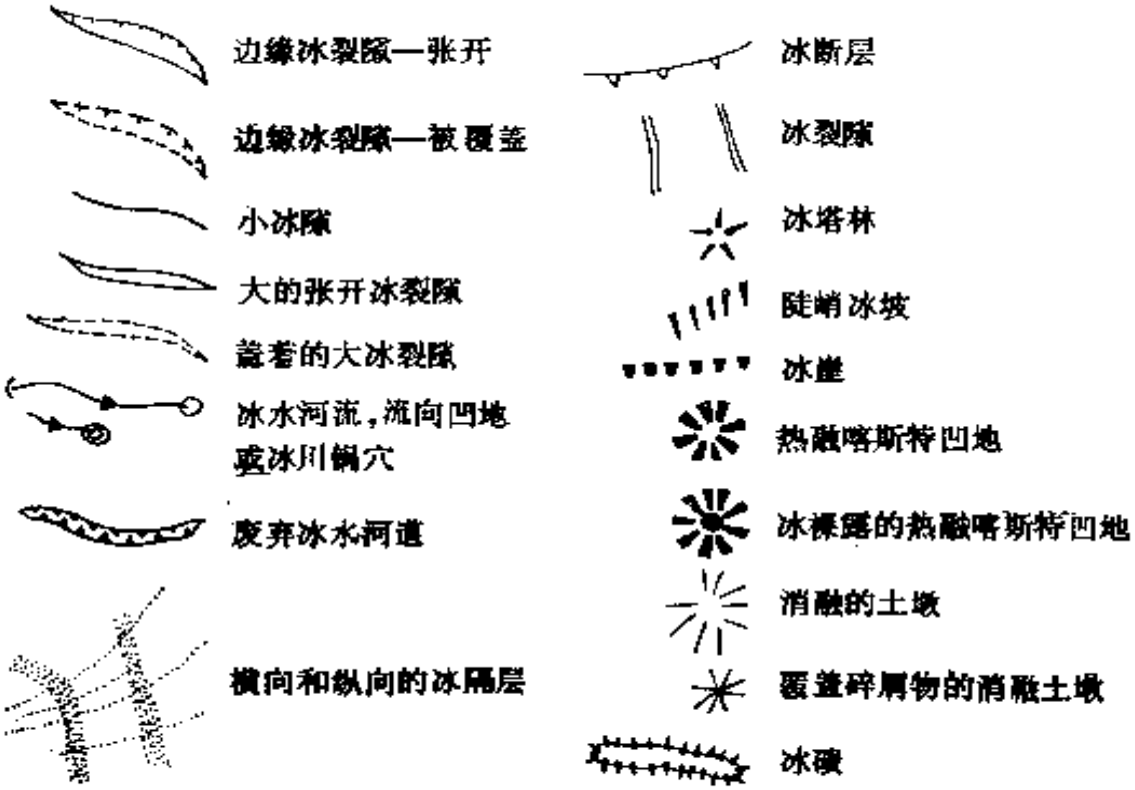


图2.7　有关冰川特征的制图符号

（布莱丘脱和米勒，1966）

第三章　坡地剖面制作

本章包括了在工作中为制作连续的山坡剖面（3.1节）需遵循的建议和程序，以及当单独进行坡地测量或测量难以到达的山坡或悬崖时，特殊技术所需的资料（3.2节）.坡度角单位之间的换算公式也列在表3.2中. 角度测算单位之间换算的详细表格，查阅杨格（young，1972）的文献，剖面制作方法的评论，参阅格迪尔的书（1981，62—65页）.

3.1　连续坡地的剖面制作

本节主要介绍在连续坡地剖面制作中需要遵循的建议和程序. 有关制作剖面技术、设备的更详细的描述，请查阅杨格及其他人（1974）的有关资料. 有关各种标准的优点的讨论，可参阅皮蒂（Pitty，1966）的论文.

有人建议测量的长度不得大于20米或小于2米. 如果依次连续测量的长度不为2米或更小的话，在小于20°的坡地上，相邻测定长度之间的角度差不得超过 2°，在大于20°坡地上则不得超过4°. 不过，上述内容可随不同地区高河网密度或平缓坡度的变化而变. 坡地剖面应延向分水线和最深谷底线，直到与被调查坡相反方向的一坡能清晰地显示出来（反方向坡约为2°或大于2°），或者已达非坡地地形（例如泛滥平原）为止. 靠近分水脊或者谷底，其坡度角可能不与其轴线垂直，这时剖面应继续垂直延伸到山脊或谷底，而斜坡度数应视为视坡度. 表3.1列的是在剖面制作过程中需记录的特征.

3.2 坡地测量的特殊方法

如果要想以多种方法使这项工作迅速而又高效地进行的话，在一般情况下坡地剖面制作，需要两个操作人员．但安蒂(1968)的坡地缩尺仪和下面详细介绍的两种技术例外．

表3.1 坡地剖面制作期间要记录的特征项目

完整剖面

剖面环境：

（1）剖面编号，测量日期，观测者。

（2）位置，例如：从地图上定出坐标。

（3）区域的一般地质特征，特殊点的详细描述，包括表层沉积物，资料出处（野外和地图上的）。

（4）区域、坡地和剖面线上的植被和土地利用、

（5）区域、坡地和剖面线风化层及土壤特征。

（6）区域、坡地和剖面线上的微地貌。

（7）区域地貌的一般特征。绘制剖面的坡地与附近地貌和山坡的关系。剖面沿线形态与剖面所在坡地其余部分形态的关系。

（8）河槽特征（如有的话）。河的宽度、深度，估计流速和流量。坡地是否受切割。

剖面形态：

（1）剖面最陡地段的特征。

（2）剖面的横向坡度。

（3）剖面基部的横向坡度。

（4）剖面最陡地段设计的弯曲度。

每个测量地段

（1）坡度。要向前和向后测量。

（2）地面距离。

（3）植物或土地利用。

（4）作用和物质的可见证据，例如微地貌、块体运动的迹象、基岩露头、石块和风化层性质。

（5）人为地貌，例如定剖面位置可利用的障碍物。

（6）受地面扰动的现状。

表3.2 角度测量单位之间的换算

换 算 成 度 数	把度数换算成其他形式
度(°) = 弧度 × 57.296	弧度(rad) = 度数/57.296
度数 = $\tan^{-1}$ × 0.001	函数值 = 10 × log
（对数以10为底）	(1000 tan θ)
度 = $\tan^{-1}$（%/100）	坡度% = 100 tan θ
度 = $\tan^{-1}$（1/坡度）	坡度 = 1/tan θ
英尺/英里 度 = $\tan^{-1}$(ft/mi/5280)	英尺/英里 = 5280 tan θ
米/公里 度 = $\tan^{-1}$(m/km/1000)	米/公里 = 1000 tan θ

图3.1说明了布朗（Blong，1972）方法所使用的装置，它由一根垂直标杆和一根横尺组成，此横尺可作为水准，能自由地垂直移动，不过，它只适合于测量短距离（约1—1.5

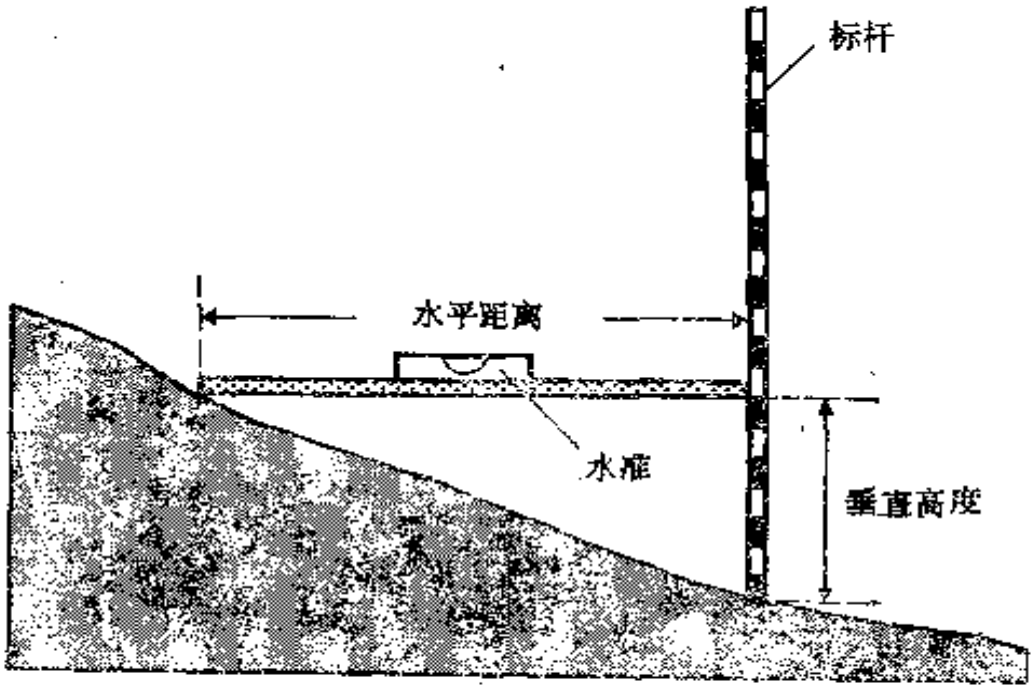


图3.1 测量坡地的布朗（1972）方法

m）的坡度角，类似于坡地缩尺仪. 坡度角（θ）可由下列公式计算：

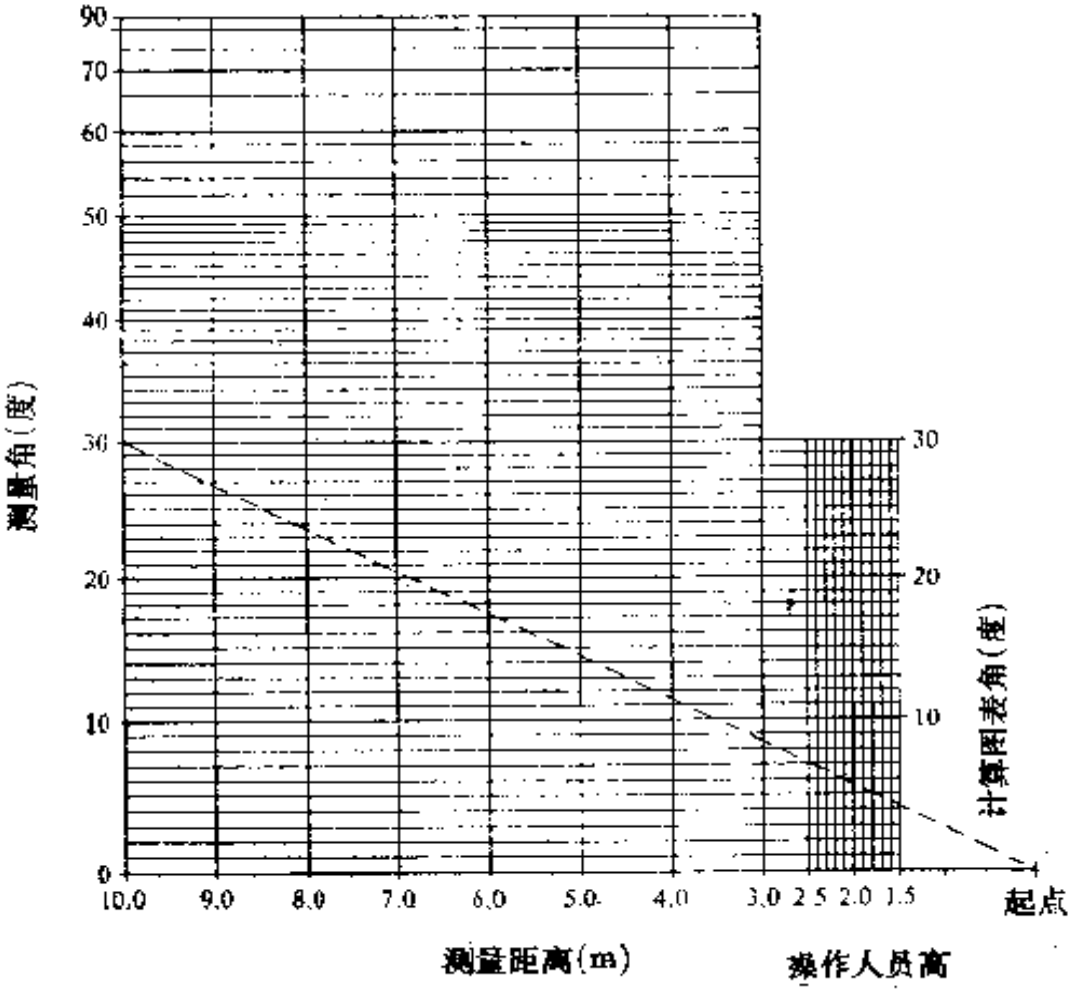
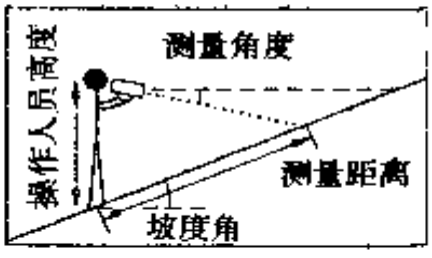


图3.2 加德纳和戴克蒙 (1977)测量方法中由坡地的测量角度换算成真坡度角的计算图表.在本文中将说明这种方法的使用



例如:
操作人员高 = 2.1m
测量倾角 = 30°
坡度 = 36°

测量下倾斜(declination):
坡度 = 测量角度—计算图表角度.
测量上倾斜(inclination):
坡度 = 测量角度 + 计算图表角度.

$\tan\theta$ = 垂直高度 ÷ 水平距离

如果水平距离取 1 米，则$\tan\theta$ = 垂直高度.

在加德纳（Gardiner）和戴克蒙（Dackombe）方法中，角度的测量是沿剖面由观测者的眼睛向地面上的标志点进行的. 因此，这一方法允许使用任何合理长度的测量距离. 每一测距的真坡度角可用图3.2的图表求出. 由起点（观测者眼高）到测量的坡角处与测量长度之间的交点连一直线，就可以读出表上图解的角度. 再将图解角度加上或者减去测量倾角即得出真坡度角.

下列两种技术能测量坡地坡度或难以到达坡地的高度. 第一种方法(邱吉尔，1979)要求坡段的始端和末端有十分明显的特征，以便能使用测距仪. 第二种方法是，对于测定象悬崖这样的地形高度，只能测量其角度，但要求再有一个可供估算的高度点，这可从两个点中得出来.

图3.3中图解了邱吉尔的方法. α角和β角可用经纬仪或水准仪测量，距离D_u和D_l用测距仪测量. 坡段长度(D_s)和角度(γ)用下列公式计算取得：

$$D_s = \left[D_u^2 + D_l^2 - 2D_uD_l\cos(\alpha-\beta)\right]^{0.5},$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left[(D_u^2 + D_s^2 - D_l^2)/2D_uD_s\right] + \alpha.$$

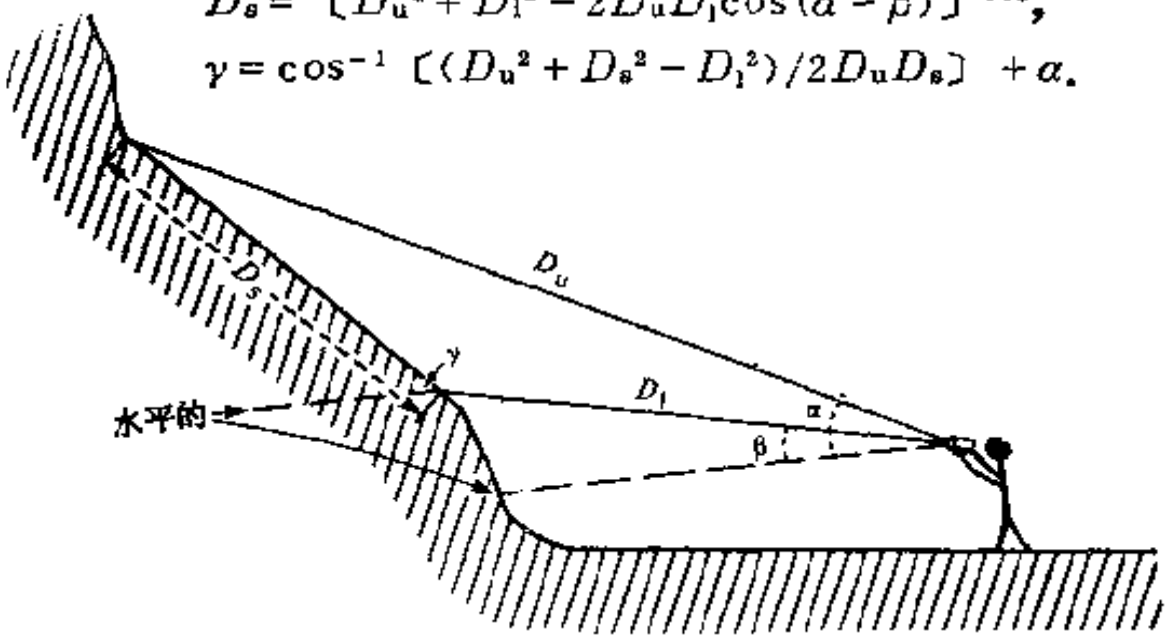


图3.3 邱吉尔（1979）测定坡度的方法

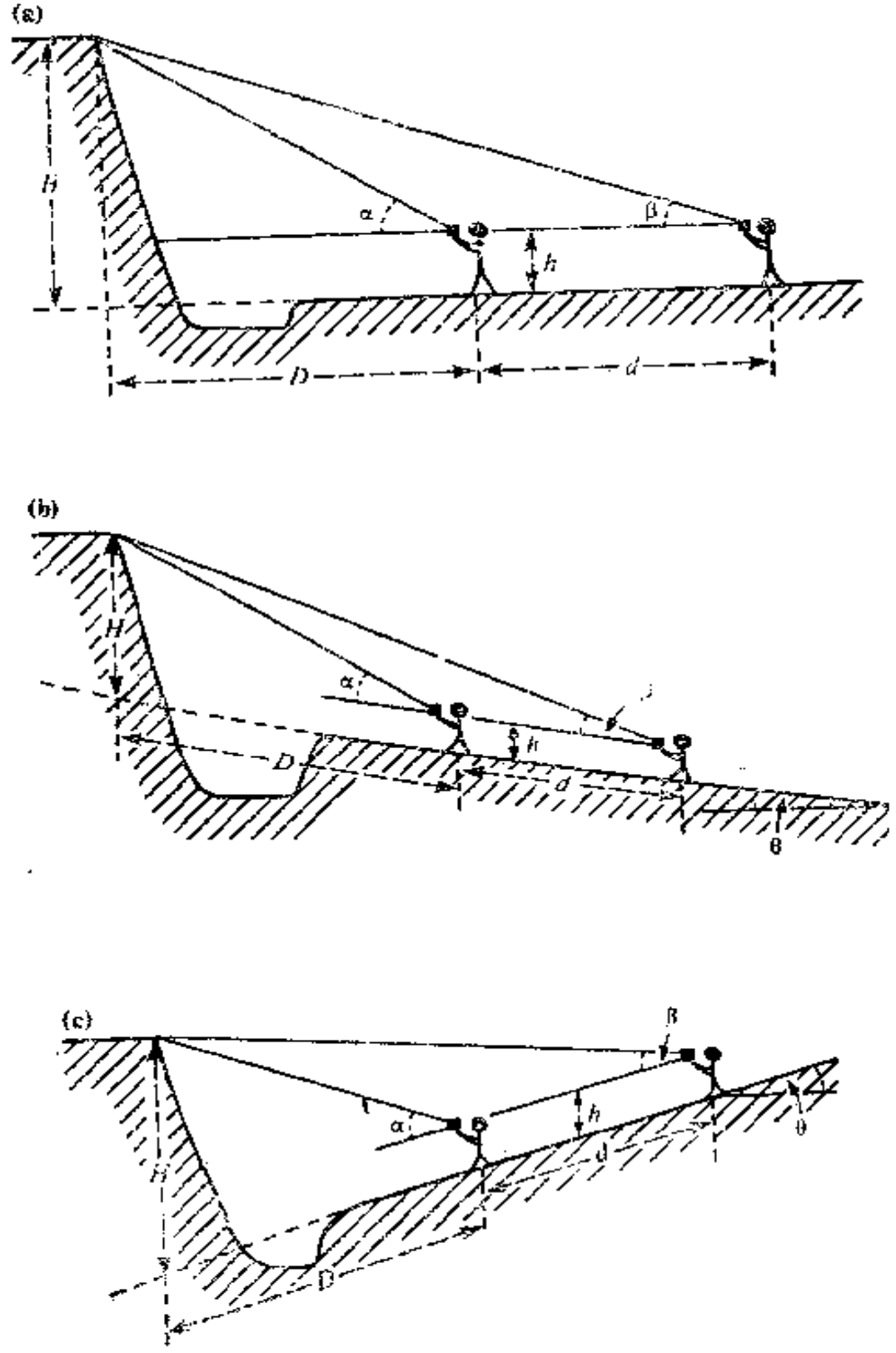


图3.4 悬崖高度的测定：（a）从平坦地面；
（b）从上倾地面；（c）从下倾地面

图3.4说明第二种方法，这种方法需要从两点上测量角度，不用测距仪．α角和β角既可用经纬仪，也可用水准仪测量．两个观测点的距离可以用卷尺或测绳测量．这个方法对每一定点使用一个标准距离是便利的．观测者站立的地面以上的高度（H）和从最近观察点到该地形水平投影的距离（D），可用下列公式计算．

(a) 由水平平面上取得的读数〔图3.4(a)〕：

$$H=\left[\tan\alpha\tan\beta/(\tan\alpha-\tan\beta)\right]+h,$$

$$D=(H-h)/\tan\alpha.$$

(b) 由角度为θ的上倾坡地上取得的读数〔图3.4(b)〕：

$$H=h+\{d\tan(\alpha-\theta)\tan(\beta-\theta)/\cos\theta\left[\tan(\alpha-\theta)-\tan(\beta-\theta)\right]\},$$

$$D=\left[(H-h)/\tan\alpha\right]-(H-h)\sin\theta.$$

(c) 由角度为θ的下倾坡地上取得的读数〔图3.4(c)〕：

$$H=h+\{d\tan(\alpha+\theta)\tan(\beta+\theta)/\cos\theta\left[\tan(\alpha+\theta)-\tan(\beta+\theta)\right]\},$$

$$D=\{(H-h)/\tan\alpha\}+(H-h)\sin\theta.$$

在每个测站上取重复读数，使这一方法可用于制作难以到达的坡地的剖面图．

第四章　景观物质的制图

本章专论岩石（solid）和沉积（drift）体的各种比例尺的制图．4.1和4.2节介绍一些符号和处理方法，俾便在野外制图和制作横剖面以及地层柱状图的扫尾工作中使用．4.3和4.4节是关于计算真倾角和视倾角以及地层厚度的公式和方法．本章的重点是放在描绘地貌的空间类型上，而不是详细描述组成物质本身，后者是第六章的主题．尽管对泥炭已提出了数种符号，但在对泥炭占主导层序的详细工作中，需要应用一种详细的泥炭符号图式，如费格尔（Faegri）和德姆（Gams，1937）提出的那样．

4.1　地　质　制　图

小比例尺地质图（1∶10,000或更小些）的制作，基本

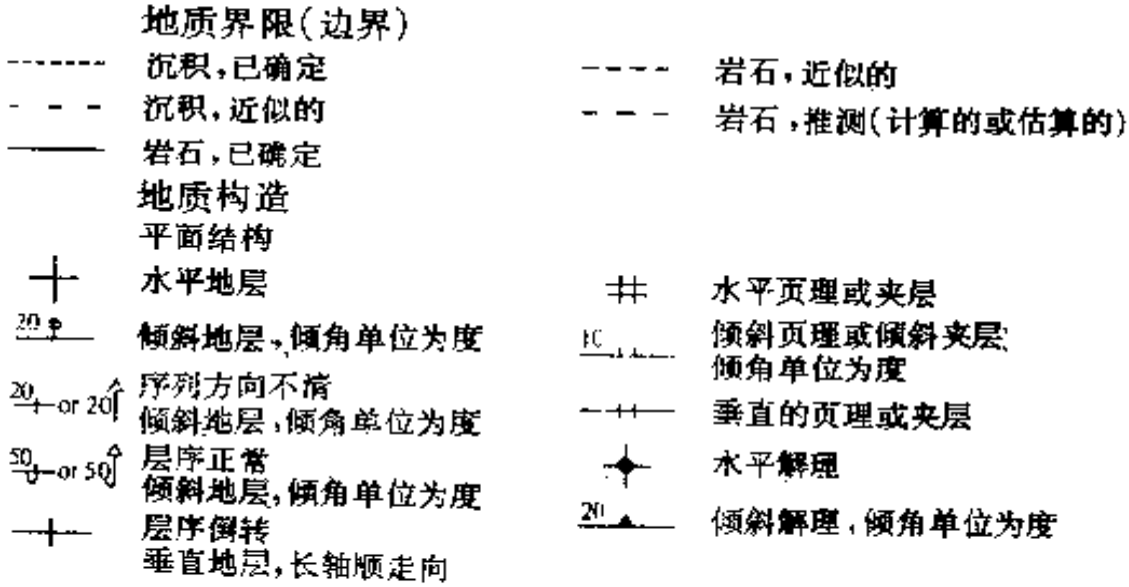


图4.1　小比例尺地质制图的符号

〔地质协会工程队工作组，1972；康普顿（Compton）1962；莱希（Lahee）1961〕

平缓倾斜地层
中等倾斜地层
高度倾斜地层
水平褶曲轴面
20 倾斜褶曲轴面，倾角单位为度
垂直褶曲轴面
褶曲轴面，走向、倾向未知
水平剪切带
5 倾斜剪切带，倾角单位为度
垂直剪切带

线状构造

水平线理
15 倾斜线理，倾角单位为度
垂直线理
垂直解理
水平节理
70 倾斜节理，倾角单位为度
垂直节理
火成岩水平流动的劈理
5 火成岩流动的倾斜劈理 倾角单位为度
火成岩垂直流动的劈理
火成岩流动的劈理，走向倾向未知

以上用符号表示的线理，将用下列缩写词来详细说明它们的类型：

BD	绳变形构造（香肠构造）
CB	解理/层面交切
BC	层面/解理交切
L	矿物线理：当有特殊矿物时，例如LP表示 黄铁矿 、LQ表示 石英
M	栅状构造
P	褶皱
PB	卵石
R	岩脉可以定性：石英脉RQ
SL	擦痕面可以定性，石英擦痕SLQ
TB	层面顶部的线形构造 例如：波浪脊
BB	层面底部的线形构造 例如：沟槽构造

小水平褶曲轴
5 小的倾斜褶曲轴及角度
小的垂直褶曲轴
5 背斜轴及角度
5 向斜轴及角度

50 T10 断层，垂线在下降盘上（度）T断距（m）

断层

具水平运动的断层
断层终止点
断层，不知确切位置
断层带

平面构造形迹

层理或层面形迹
背斜轴

图4.1（续）

页理或纹理
火成岩中流动页理
解理
节理
向斜轴
倒转背斜轴
倒转向斜轴

构造符号组合

在组合符号中，符号中心点表示平面构造位置，由这一点散射出去的符号表示线状构造。当线状符号单独使用时，箭头代表该构造的位置，例如：

CB 由解理与层面相交产生层面上的线状构造
S

对于推测情况来说，以上全部符号同等地为虚线，例如：

推测的背斜轴迹

图4.1（续）

上是指对构造特征和总的岩石或沉积物类型的制图。关于地质构造的符号在图4.1中列出，并应与缩写的岩石学名称一起直接标明在野外图上。

不连续的制图符号

不连续的，很小或无位移的切变
层面上的痕迹
宽度数毫米的节理及指示填充节理，充填性质和在分类中有其它特征意义的填充节理
0.2
裂隙
不连续的而可估计的或大的剪切位移
主要剪切转移（必要的话标上P
较小的剪切变形迹（M）
明显的剪切变形迹
细长的切变带接触线

表明勘探孔和槽探位置的符号

松散沉积钻孔，用字母标明类型，例如：
Sh 铲形钻*
Ha 手摇钻
Ro 旋转钻
基岩钻孔，用字母标明类型，例如
Pc 冲击钻
Ro 旋转钻
取岩芯的基岩钻孔

*可能相当于中国的洛阳铲。——译者注

图4.2 大比例尺地质制图的附加符号

（工程地质协会工作组，1972）

Wa 冲洗钻

Pr 探坑

有未被扰乱样品的沉积钻孔

样品扰乱的沉积钻孔

两种岩芯都有的沉积钻孔

试验坑或矿井

探槽

试坑口

基岩钻孔—斜井划线表示倾斜方位和数字是偏离垂线的度数

基岩钻孔—斜井，并有岩芯

试验位置及样品部位符号

十字板剪切试验

压力试验

渗透动力试验，例如 SPT

导电性或溶蚀深度

静态穿透，例如：荷兰人的锥体试验

钻孔中金属板挤压试验

加利福尼亚挤压比率试验

金属板负载试验，不同于钻孔内的

压力计试验：用字母表示压力计类型例如：

H = 水压计 HO 敞开的储水管
HC 封闭的储水管
HT 两管液压类型

E = 电压计

直接剪切试验

容积密度测定

摄影、箭头说明摄影机位置和方向

七米德锥试

下面符号是指提供的样品数量

被扰乱的样品

被扰乱的样品深度（向下的范围）

未被扰乱样品的深度及长度（向下范围）

被扰乱的大块样品（向下的范围）

未被扰乱的样品不同于块样

水样

地球物理测量的位置符号

测定电极电阻率的扩大部分

恒定的横向电阻率间距

单道地震反射测量

反向地震反射测量

洞穴下部（DS）或穿过洞穴（CS）的地震测量

重力（g）或地磁（m）的测量

混杂符号

地面

基岩面（不确定岩石类型）

水面

压力测定的水准面

最高量

最低量

图4.2（续）

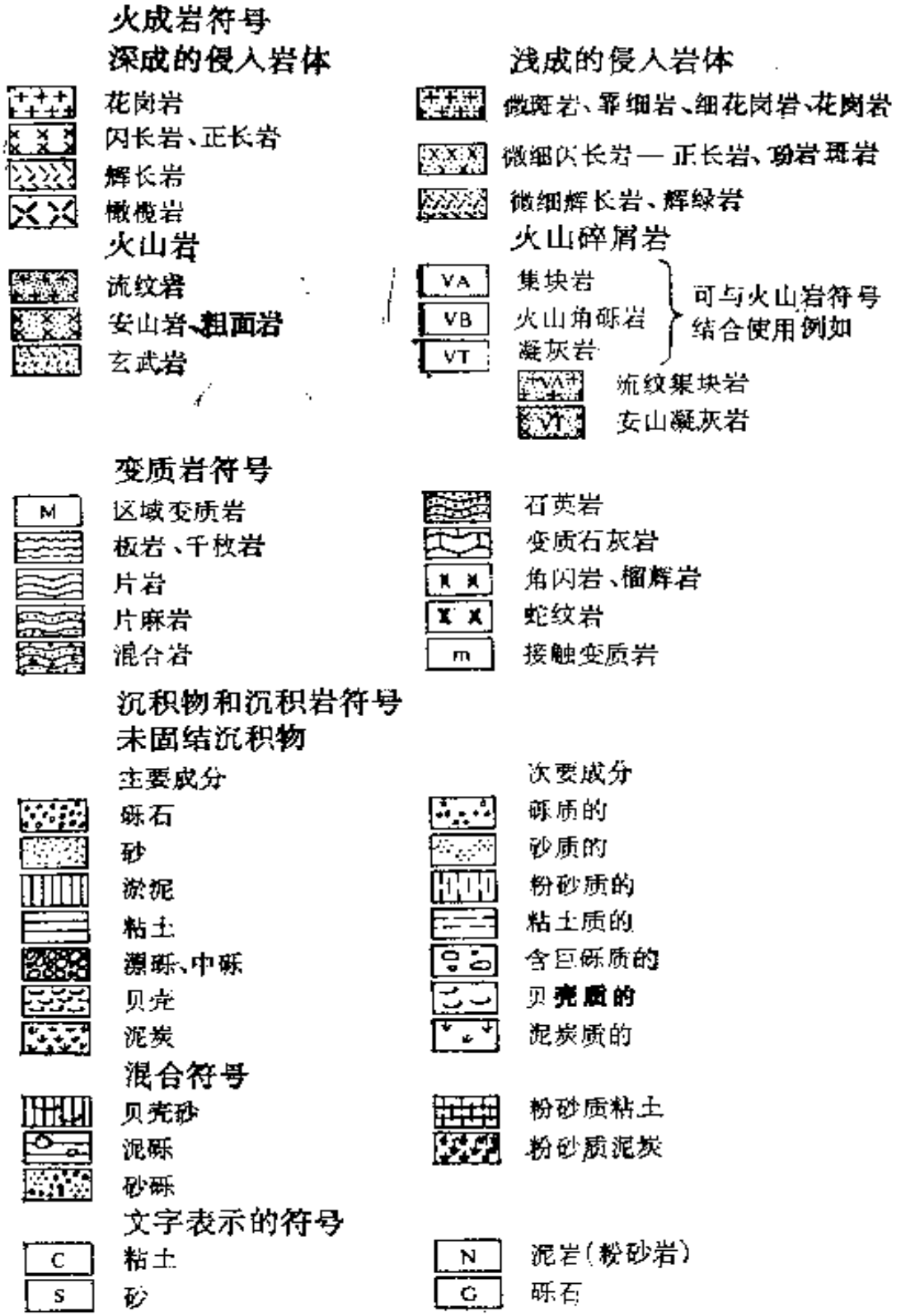


图4.3 表示岩石类型和水文地质的符号

(工程地质协会工作组，1972)

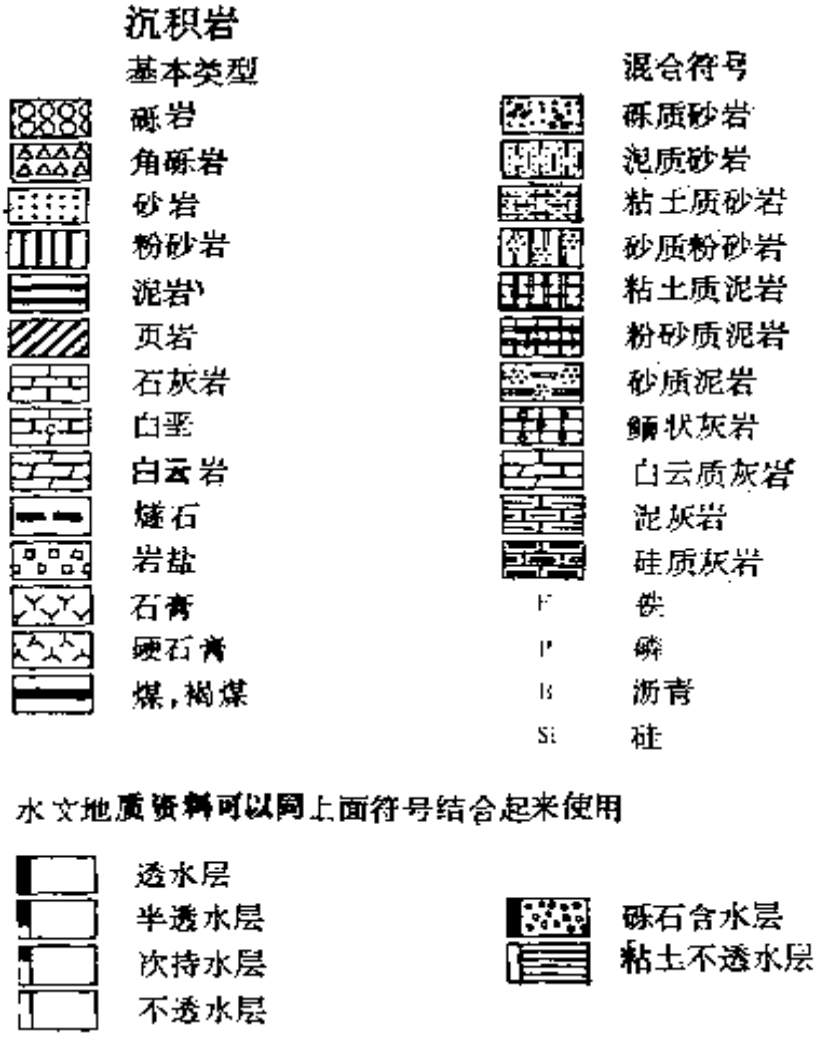


图4.3（续）

在用于工程和地貌学研究方面的更大比例尺图中，需要表示出更为详细的有关主要岩体的特征，所以在图4.2，4.3和4.4中给出了增加的符号，可以恰当地使用．这方面也包括搜集自然的或人工陡崖和地面的详细高度．第六章提供了对主要岩体特征更为详细的描述资料．图4.3所述的处理方案，是由地质协会工程队工作组（1972）提出的，是专为描述岩体特征的制图需要使用的．这样处理可以充分的结合岩石学描述，可以与图4.1和4.2中的构造符号，以及图4.2中表示调查位置的符号连同起来使用．

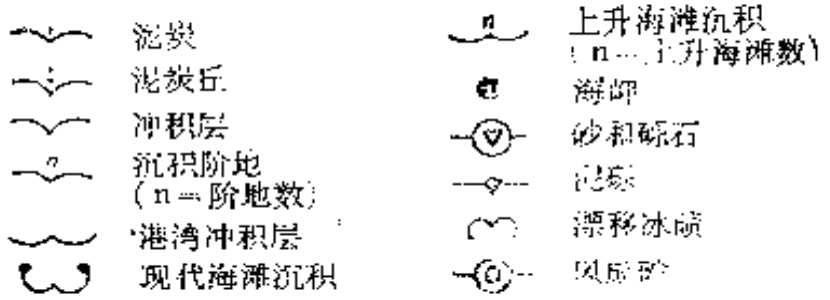


图4.4　漂移沉积物的符号

〔康普顿，1962；凯特洛根（Kottlowski），1965〕

4.2　记录沉积层序

这一节包括记录沉积层序的一整套符号，主要目的是为了详细地重建古地理环境，而不是物质本身．这一套符号应和绘制的沉积物剖面（6.5节）协同使用．以沉积物类型作为基础（图4.5），将每个单元建立起来，单元间的界线，可用6.4节中的有关术语及图4.6中所提供的某些符号．图4.6中的层面构造符号，可用于同一岩性的沉积层描述，以及沉积地层中不同岩性的沉积层类型描述，并作为对接触关系的补充说明．通常将地层柱的宽度与平均粒径或砂的百分含量成比

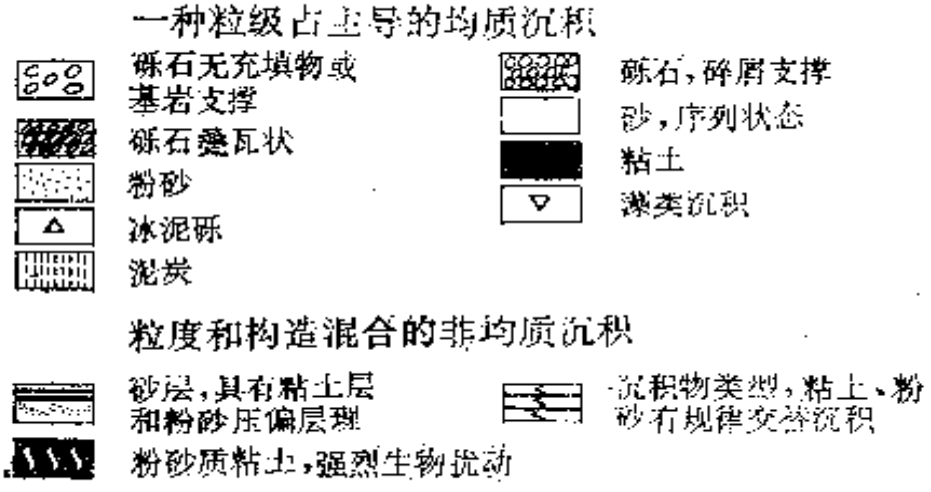


图4.5　岩性的修饰符号

〔据博尔斯玛（Boersma），1975〕

例关系．对于生物构造、古水流方向等资料，可附加上次要柱状图，否则，这类资料将混淆基本的类型．在图4.7中列出了有关古水流的符号．这些符号，应连同表示相对朝北的水流方向，即在剖面或记录中应是从这页纸的顶端向下．在

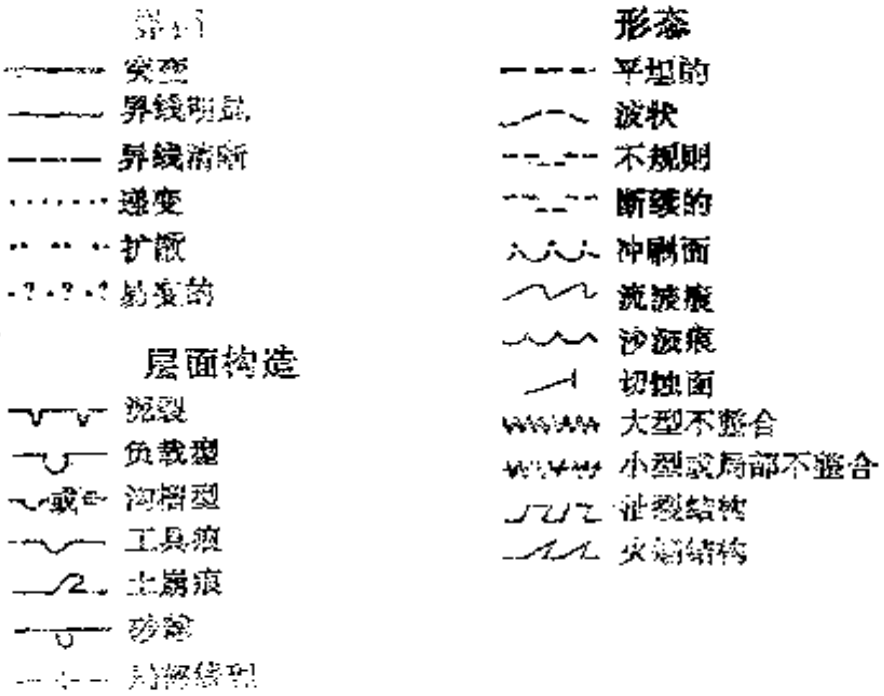


图4.6　边界性质和层面构造符号

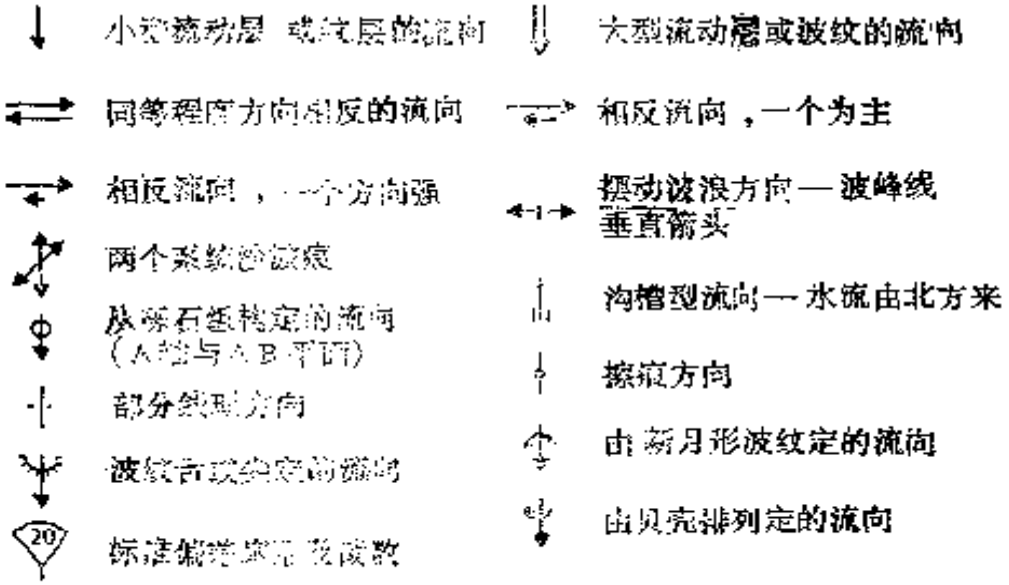


图4.7　古水流符号

（据博尔斯玛，1975）

作了若干测量的地方，标准偏差扇及若干读数应注在符号的上端．在画线型符号，如条痕时，应该对称．如果需要的话，水流强度可以用符号的长短表示．描述沉积物结构的符号，在图4.8中列出，一般都加在岩石符号上．可以被替代或只表示次要特征的一些比较小的符号，都在括

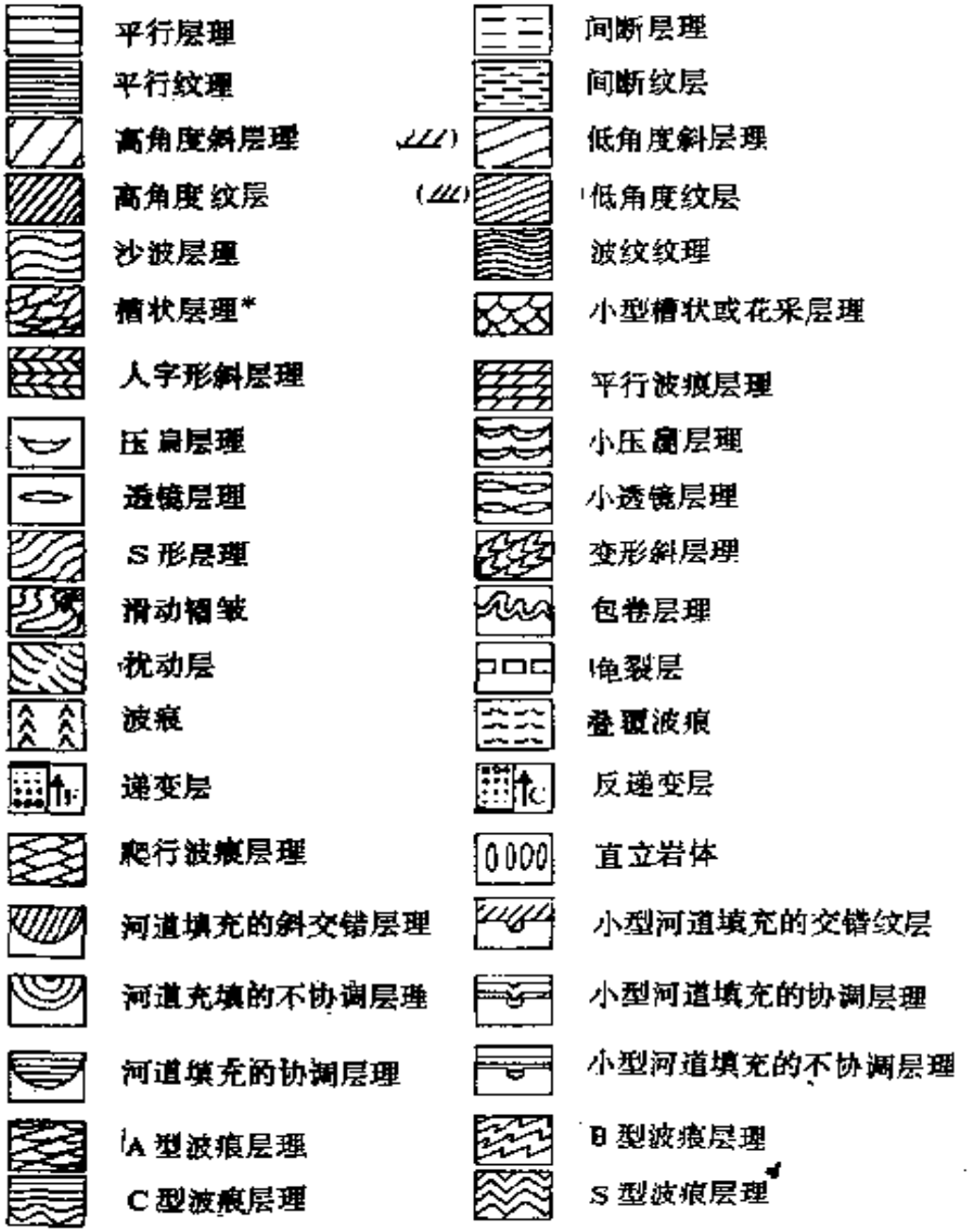


图4.8 沉积物构造符号

* 为反沙丘层理，国内常称槽状层理。——译者注

成因及化石

弱生物扰动
中等生物扰动
强生物扰动
含化石
植物残体
蛇蚓管
碳屑
块根植物
腹足纲的软体动物
牡蛎
U型地洞
贝壳—无差别的
地下洞

混合沉积特征

泥屑或泥砾
结核
滞积
泥片
卷曲泥片粘土

图4.9 生物成因构造、化石及混合沉积形态符号
〔据博尔斯玛，1975；舍夫（Cherven），1978〕

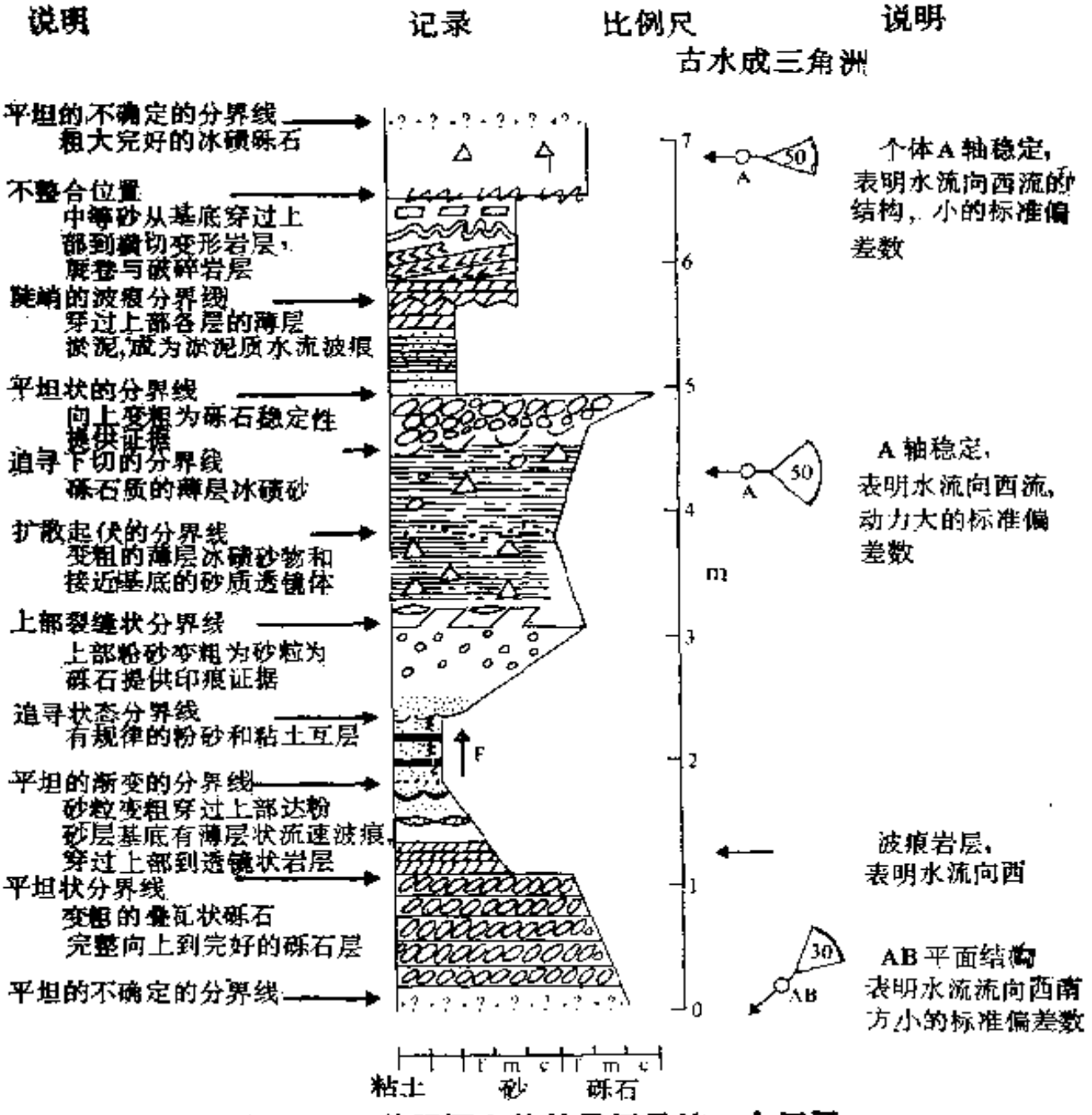


图4.10 使用沉积物符号记录的一个例子

弧内列出. 细微的压扁层理、波纹层理和透镜层，可采用图6.16中的象征性符号替代. 艾伦（Allen，1963）划分的一系列交错层类，可用图4.8中适当的符号，结合希腊字母来表示. 乔普林（Jopling）和沃尔克（Walker，1967）分类的波纹层理表示方法类似，或者可使用图4.8中的符号. 对于生物成因的构造、化石和混杂在一起的特征符号见图4.9所示. 图4.10是使用这种制图方案的一个例子. 图4.2的符号也可以用来表示采样和照像等的位置.

4.3 真倾角和视倾角的换算

把测定的视倾角换算成真倾角是一项经常性的工作，并提出了三种供挑选的方法. 使用立体网点图对一个地质学家来说是熟悉的，并需要印刷网点图作为基准. 因为受纸张大小所限，对这种图本文没有提出. 三角法和图解计算法两者需要的仪器数量最少，并可在野外使用. 地质横剖面图的建立需要沿着横剖面线把真倾角换算成视倾角. 为做这一工作这里提供了一种简单的三角法.

球面投影法

在立体网点图上旋转膜片直到倾斜方位角沿着东西向轴排列为止，画出两个视倾角. 用适当的等级数由圆周向内分出倾斜量. 旋转膜片直到一对视倾角处于同一大圆上. 然后从大圆周和东西轴线的相交处就直接得出真倾角的量. 标出相交点并把膜片转回到基准位置. 这样就可以得出真倾角的方位角.

三角法

A = 第一视倾角的方位角； B = 第二视倾角的方位角；a = 第一视倾角的量； b = 第二视倾角的量.

设$K = A - B$和设

$$\tan X = \operatorname{cosec} K \left[(\cot a \cdot \tan b) - \cos K \right] .$$

真倾角方向(C)和真倾角的量 (c) 均由下式求算

$$C = A - \arctan X,$$

$$c = \arctan \left(\tan a / \cos C \right) .$$

在特殊情况下，下式中的A和B互相垂直，

$$\tan X = \cot a \ \tan b,$$

$$C = A - \arctan X,$$

$$c = \arctan (\tan a / \cos c) .$$

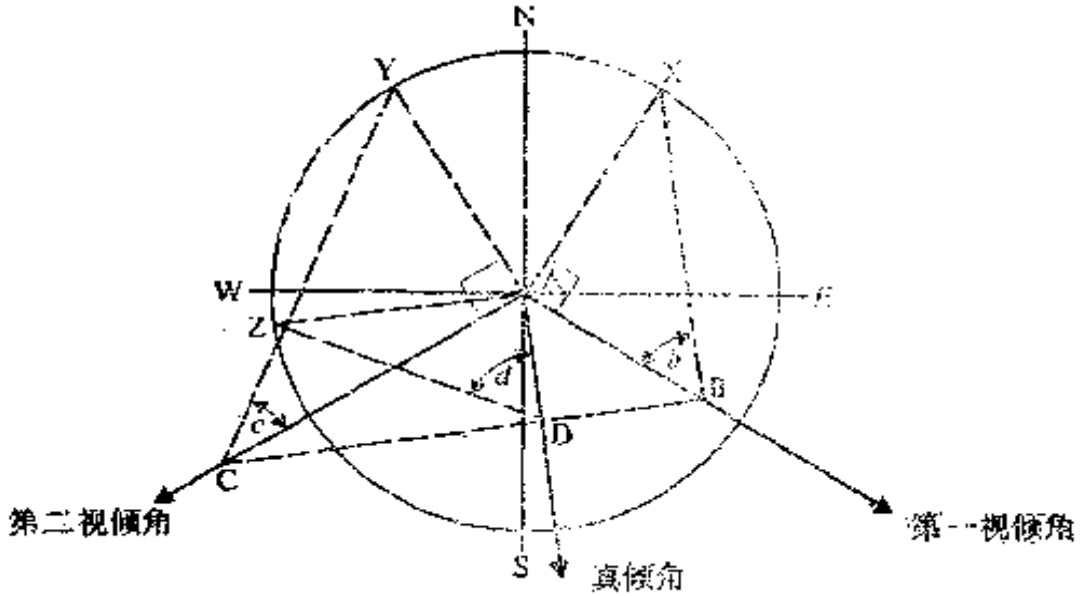


图4.11 关于视倾角换算成真倾角的图解法

图解法

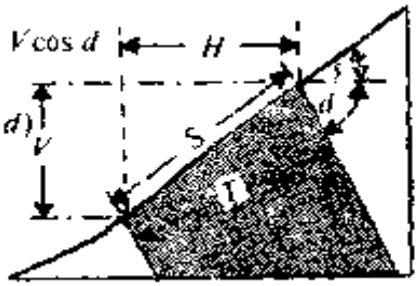
绘制适当直径的圆周和正交地绘出南-北轴和东-西轴（图4.11），在两个视倾角的方位上绘出AB和AC线. 从圆周中心点A绘垂直于AB和AC线的线AX和AY，构成

(a) 方向相反的坡地和倾角，它们的总和大于90°

$T = H\sin d + V\cos d$

或

$T = S\sin(s + d)$

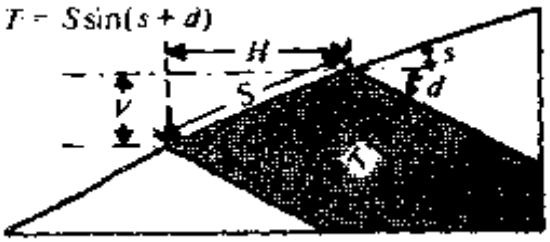


(b) 方向相反的坡地和倾角，它们的总和小于90°

$T = H\sin d + V\cos d$

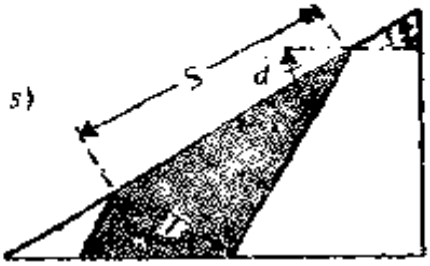
或

$T = S\sin(s + d)$

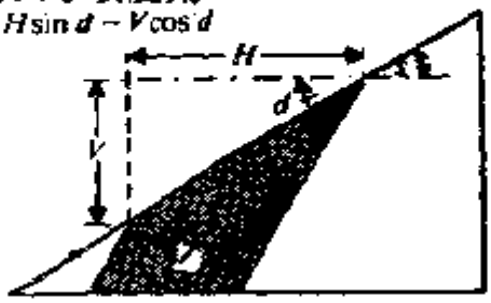


(c) 在同一方向上的坡地和倾角，同时倾角大于坡度角

$T = S\sin(d - s)$

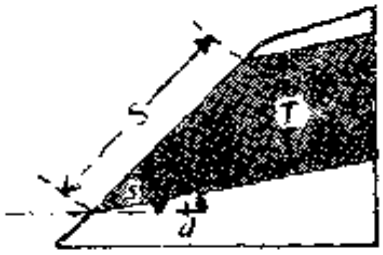


$T = H\sin d - V\cos d$

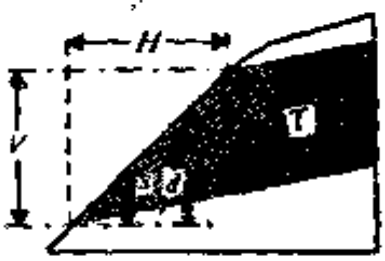


(d) 在同一方向上的坡地和倾角，同时倾角小于坡度角

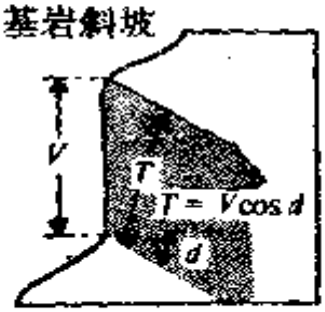
$T = S\sin(s - d)$



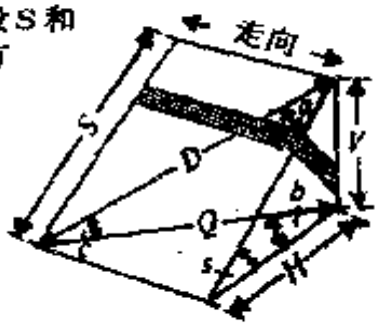
$T = V\cos d - H\sin d$



(e) 在垂直的地表面上测量基岩斜坡



(f) 以上全部解答是在假设S和H都在平行于真倾角方向上测量得出的，关于测量偏斜的校正提供如下：



$H = Q\cos b$

$S = D\sin c/\sin s$

$S = D\cos a$

$\tan s = \tan c/\cos b$

图4.12　从测量露头中测定地层厚度

（据科特罗斯基，1965；康普顿，1962）

ABX三角形，使ABX角成为第一视倾角值b. 复制ACY三角形，使ACY角成为第二视倾角值c. 绘CB线和垂直于CB的垂线AD，构成AZD三角形，AZD是真倾角的总值d.

沿一条剖面线将真倾角换算成视倾角

在图4.12(f)中利用标志法表示，沿着一条剖面线的视倾角可以从下式获得

$$\tan c = \tan s \cos b,$$

式中：c是视倾角，b是从真倾角方向起的剖面线的偏差角度，s是真倾角的角度.

4.4 计算地层厚度

根据多次野外测量的地层厚度的计算方法表示在图4.12中，对于另一些几何学问题，参阅第十三章，十三章中提供了各种三角公式.

第五章　地下勘察的地球物理方法

本章讨论地貌学家采用的两种地下勘察的主要地球物理方法.对于象"沉积物有多厚及其在不同深度上的物理性质如何？"这样一个一般性问题，在有利条件下，通过采用地震折射法（本章前半部述及）或电阻率法(本章后半部的内容)可以得到解答. 这两种方法同时使用能得到好的结果. 读者可以参考格里菲思（Griffiths）和金（King，1965）对每一种方法从正反两方面所作的出色论述.

5.1　地震折射法

本书是为已熟悉地震折射法的工作者提供在野外使用这一方法的有关信息和资料，决不是对这种方法的充分介绍，若要知道详细内容，应参考一本格里菲思和金（1965）、特尔福德（Telford，1976）、帕拉斯尼斯（Parasnis，1979）或者是雷德帕思（Redpath，1973）的优秀著作. 这里假定采用单道设备和大铁锤或下落重物为震源. 理想的情况是，使用具有全波列显示的增强型地震仪，而且是十进位计数器，只显示初至时间. 但使用者应充分了解十分熟悉厂家的说明书. 这种仪器所得结果可靠性亦有一定限度. 对于可能穿透的深度及最大的线长度没有规定，因为这完全取决于当地条件及所用的设备. 依靠增加一些仪器设备，能够导致使用过长的测线和相对狭隘定义的断裂. 为了避免使人误解结果，应该只记录清晰的好确定的断裂. 本文不包括

剖面法．可是剖面法的详细内容可在多布林（Dobrin，1976）的标准教科书里找到．若利用剖面法，必须注意速度上的微小变化，特别是表层物质的速度．对长度测量上的不精确性和地表地形作用都不能解释成折射界面在深度上的变化．作为一般规律，所有地震测线排列都应在两个方向上放炮，这样，可以避免5.2节中所指出的某些可能解释错的情况．尽管地震折射法也可用于地貌学的工作，但设备不能一般地被利用，因而在此处未提及．

5.2节主要是简短说明某些比较常见的结果，以作为指导解释时间-距离图之用．5.3节包括一些在野外迅速解答地震公式的诺模图．一整套公式在5.4和5.5节中给出．一种测定覆盖层深度的简单方法，在5.6节中可以找到．表5.2提供了各种岩石（层）、沉积物和流体中P-波速度的典型值．

5.2 几种简单地质构造的时距图

图5.1的图形，表示在不同的简单地下条件下，初至时间对距离的关系曲线图．仅在必须确定构造的地方，才绘制续至时间图．图5.1（a）表示所有条件中最简单的情况，在下层高速层和上层低速物质之间延伸的界面与地面相平行．在这种情况下，上层速度（V_0）和下层速度（V_1），可以由时距曲线的斜率直接决定．如图5.1（b）中表明的情况，该分界面相对于地表来说是倾斜的，求取下层的真速度只能把排列线倒转．这就需要由排列线的一端检波器开始沿着测线移动，移动到排列线最远端的炮点位置，移动的方向朝着第一个检波器的位置．应该注意两个地层之间速度差小的地方，排列线在下倾方向爆炸不可能明显地显示出两段时距曲线．如果向下倾斜地层的视速度（V_{1d}）不是太大于地

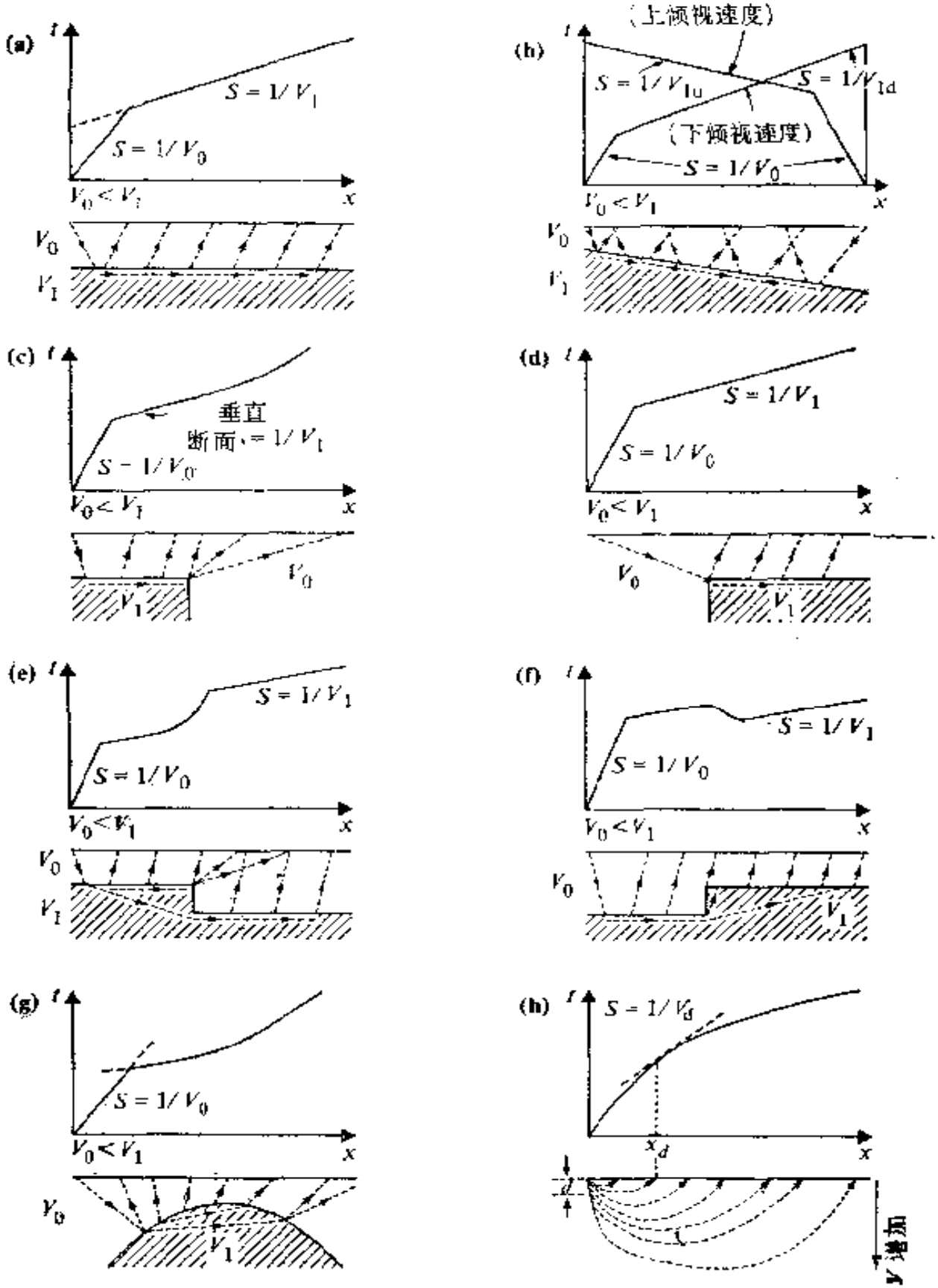


图5.1　关于单一地质构造的时距图

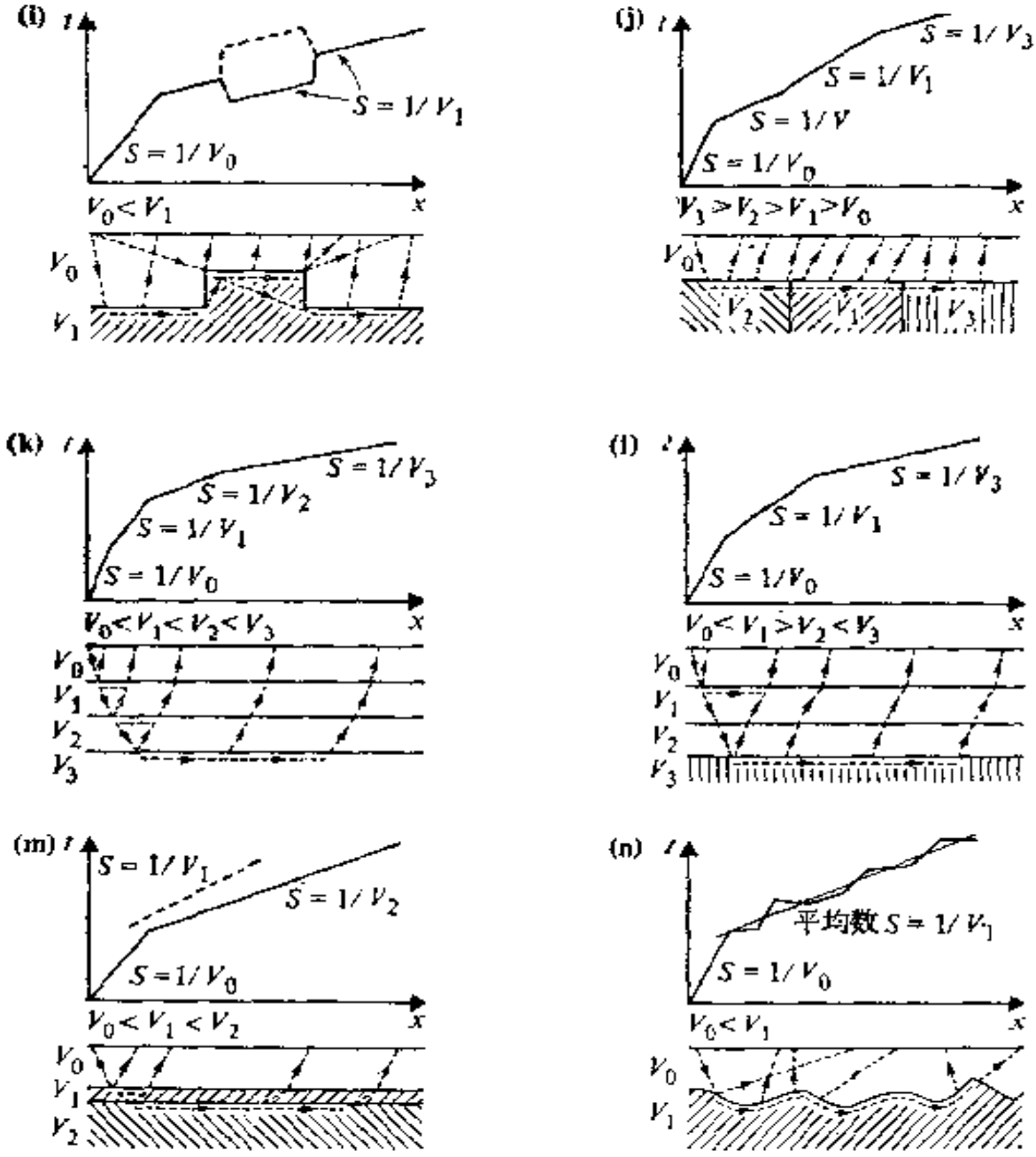


图5.1续

表物质的速度（V_0）时，则下部地层就不能探测.

图5.1（c）和（d），表示出爆炸在地下陡崖附近的可能结果. 前一图形表示测线离开陡崖方向爆炸时的条件，如排列线倒转，则可能被误解为图5.1（g）所示的状况. 相反的情况〔图5.1（d）〕本身可以被误解为图5.1（a）表示的简单情况，并显示出分界面的深度过大. 显然，为了合理

地确定正确的解释，在两个方向上进行爆炸是必要的.

图5.1 (e) 和 (f) 为当爆炸穿过下层高速层时的断层或小的阶梯时的曲线. 如果位移小时，则不可能清晰地确定图中的曲线. 显然，这两个例子是图 5.1 (c) 和 (d) 所表示的条件的延长.

图5.1 (g) 表示一个绝缘的高速物质的圆丘状物体的影响，图5.1 (h) 所表明的是用物质的速度连续的向下增加而不是逐步增加时的曲线图. 后一种情况可能是在那些未固结的沉积物覆盖着深部风化基岩的地区出现.

图5.1 (i) 表示穿过下层地垒时横切的剖面曲线图. 虚线表示相反状况，即是穿过低地和地堑的情形. 图5.1 (j) 表示下部高速层速度横向变化的影响.

图5.1 (k) 表示在多层平行介质的状况下，速度随深度连续增加的情况. 图5.1 (b) 表示的情况，可以扩大到多层倾斜地层，这时每一曲线段的斜率代表每一连续地层的视速度. 必须注意，当解释如图5.1 (k) 所示的时距曲线图时，要保证应尽可能辨认图5.1 (l) 中表示的情况. 在这种情况下，第三岩层的速度低于直接覆盖其上的那一层岩层的速度，这就不能由折射法测出. 唯一能测出这岩层的方法是用井下地震速度测量，研究井中的速度随深度的变化.

用折射法的一种相似的陷井是不能识别图5.1 (m) 所表示的情况，因其第二岩层的厚度比其深度薄得多，以致于不能得到初至时间. 如果能绘出续至波（图中虚点表示），则这种情况可以识别. 用霍金斯 (Hawkins)、马格 (Maggo, 1961) 的方法能够估计任何这类可疑岩层的最大厚度. 最后，理想直线被散点所代替的常见状况可能是图5.1 (n) 中所表示的那些情况，如不规则的分界面，或者在其中一种物质或全部物质的速度变化，或者时间和距离测定

中的精确度不足或错误的产物．当这种情况出现时，明智的做法是在主要测线中作些小排列，以求得良好的表面物质的速度控制．

5.3 地震计算诺模图

这一节包括有三种计算诺模图，它可以用于整个野外在

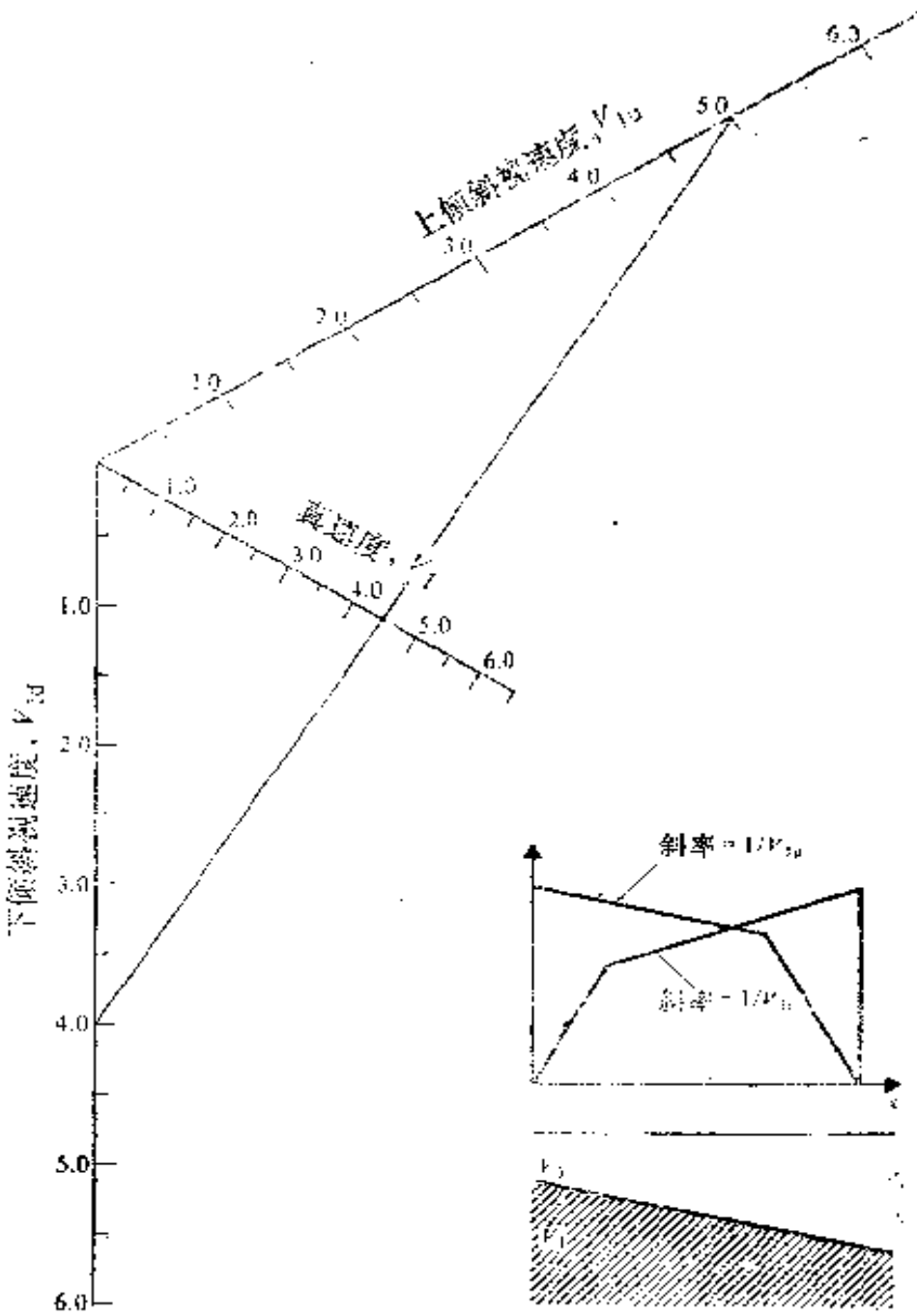


图5.2真速度诺模图

（据梅达夫，1960）

爆炸时记录的初步分析. 整个诺模图，根据梅达夫 (Meidav, 1960) 的资料，就一种限制来说，仅在一种单一分界面上有效，这个分界面平行于地面，或者下面很靠近的一个界面平行于地面. 各种诺模图的比例尺适用于国际单位 (SI制)，尽管它们同时也可以使用英制单位，但比例尺可能是不方便的.

真速度诺模图

真速度诺模图 (图5.2) 可从两个视速度 (V_{1u}和V_{1d}) 中测定折射面的真速度 (V_1) (图5.2插图). 解方程式如下：

$$V_1 = 2\cos\alpha(1/V_{1u} + 1/V_{1d}),$$

式中，倾角 (α) 是小的，且$\cos\alpha \approx 1.0$.

使用方法：

连接V_{1u}和V_{1d}的值在中心刻度表上求出V_1读数，例如：$V_{1d} = 4.0$，$V_{1u} = 5.0$，求得$V_1 \approx 4.5$. 任何合适的单位都可采用. 视速度可以分为相等的两部分，标在刻度表上，然后其结果必须加倍.

截取时间诺模图

截取时间诺模图 (图5.3) 可应用在求解地震折射方程式，该式包括了方程式

$$A = V_1V_0/(V_1^2 - V_0^2)^{1/2}$$

中的公因子.

该式可用于计算下列情况：

(a) 折射层的深度 (图5.3，插图A)，

$$Z_0 = T_iV_1V_0/2(V_1^2 - V_0^2)^{1/2} = T_iA/2.$$

(b) 一个断层的垂直位移 (图5.3，插图B)

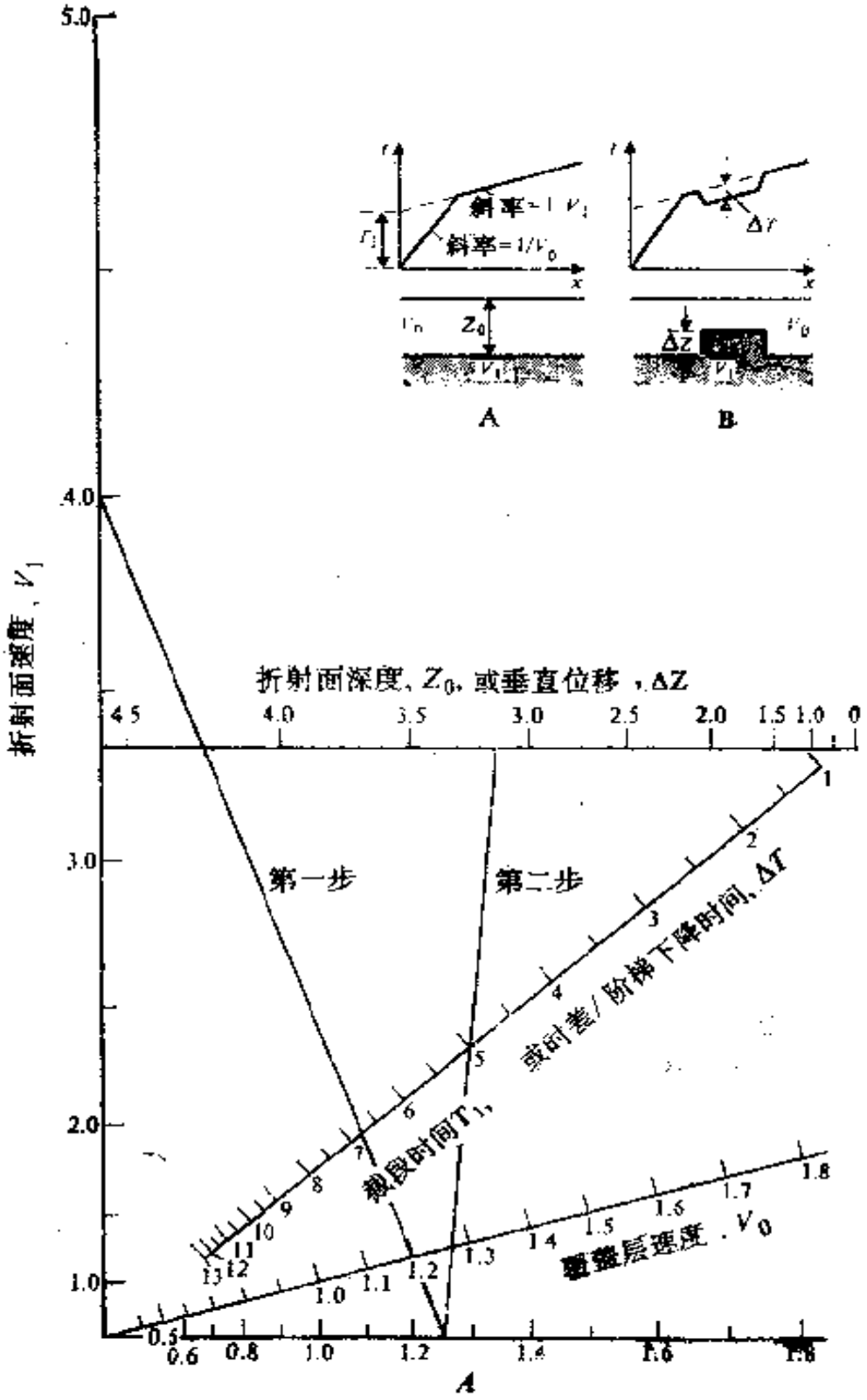


图5.3　截取时间诺模图

（据梅达夫，1960）

$$\Delta Z = \Delta T V_1 V_0 / (V_1^2 - V_0^2)^{1/2}.$$

(c) 在每一检波器处不规则或轻微倾斜界面的深度. 从截取时间诺模图求得的A值可用于对未知深度重复求解方程式. 这一方程式仅对小倾角有效.

$$Z_j = A(T_j - X_j/V_1) - Z_1,$$

式中：X_j=从炮点到第j个检波器的距离；

Z_1=炮点的已知深度；

Z_j=在第j个检波器处到分界面的深度；

T_j=到第j个检波器的总时间.

使用方法：

第一步：联接V_1与V_0；得出读数A.

第二步：联接A与T_1或ΔT；得出Z或ΔZ读数.

例如$V_1=4.0$到$V_0=1.2$，得出$A=1.25$，当$A=1.25$，$T_1=5.0$，得出$Z=3.2$.

用V_1和V_0(m ms^{-1})和T_1和ΔT (ms)的值，得出Z和ΔZ的值 (m).

临界角和偏距诺模图

临界角和偏距诺模图 (图5.4) 可以用于确定：

(a) 由$i_{临界角}=\sin^{-1}(V_0/V_1)$得入射的临界角($i_{crit}$)；

(b) 由$q_0=z_0\tan i_{crit}$得偏距q_0 (图5.4插图).

使用方法：

第一步：V_1和V_0及读出i_{crit}.

第二步：把i_{crit}的值从第一步换算成i标度. 连接i和Z并读出q_0.

例如，$V_0=0.7$和$V_1=2.5$得$i_{crit}=28°$，然后'i'$=i_{crit}=28°$，$Z_0=2.5$得$q_0=1.06$.

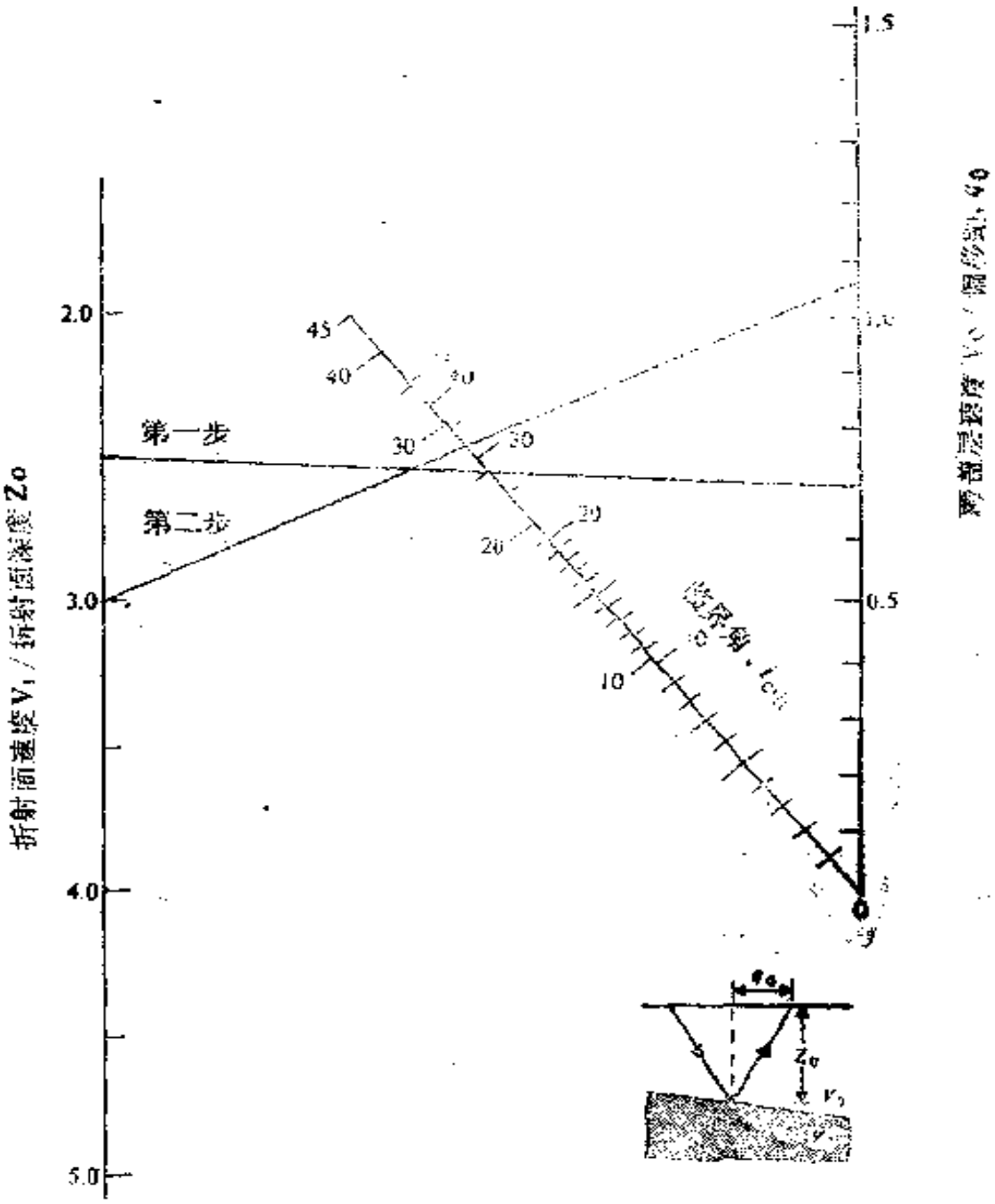


图5.4　临界角和偏移距诺模图

（据梅达夫，1960）

V_1和V_0的单位都是度，q_0取的单位和用于Z_0的单位相同.

5.4 地震波公式

用于多层倾斜地层的地震折射公式列在表5.1中，而特

表5.1 多层倾斜地层情况下的地震折射公式 表示法

层来说，计算应按顺序从左向右进行

地层	$\alpha_{0,n}$ = 临界射线第一个界面处的入射角到第n个界面（下倾）的入射角	$\beta_{0,n}$ = 在临界射线第一个界面处的入射角到第 n 个界面（上倾）的入射角
0		
1	$\alpha_{0,2}=\sin^{-1}(V_0/V_{2d})+\omega_{0,1}$	$\beta_{0,2}=\sin^{-1}(V_0/V_{2d})-\omega_{0,1}$
2	$\alpha_{0,3}=\sin^{-1}(V_0/V_{3d})+\omega_{0,1}$	$\beta_{0,3}=\sin^{-1}(V_0/V_{3d})-\omega_{0,1}$
n	$\alpha_{0,n}=\sin^{-1}(V_0/V_{(n+1)d})+\omega_{0,1}$	$\beta_{0,n}=\sin^{-1}(V_0/V_{(n+1)d})-\omega_{0,1}$

地层	$\omega_{n-1,n}$ = 第n个层面相对于其上这一岩层的倾角	V_{n+1} = 第$(n+1)$层中的速度
0	$\omega_{0,1}=0.5[\sin^{-1}(V_0/V_{1d})-\sin^{-1}(V_0/V_{1u})]$	$V_1=V_0/\sin i_{crit0,1}$
	$\omega_{1,2}=0.5[\sin^{-1}(V_1\sin\beta_{0,2}/V_0)-\sin^{-1}(V_1\sin\alpha_{0,2}/V_0)]$	$V_2=V_1/\sin i_{crit1,2}$
	$\omega_{2,3}=0.5[\sin^{-1}(V_2\sin\beta_{1,3}/V_1)-\sin^{-1}(V_2\sin\alpha_{1,3}/V_1)]$	$V_3=V_2/\sin i_{crit2,3}$
	$\omega_{n,n+1}=0.5[\sin^{-1}(V_n\sin\beta_{n-1,n+1}/V_{n-1})-\sin^{-1}(V_n\sin\alpha_{n-1,n+1}/V_{n-1})]$	$V_n=V_{n-1}/\sin crit_n$

征波路程、时距图及表示法显示在图5.5中．这些公式以尤因（Ewing）等人（1939）的公式为根据，这里列出了一个工作程序，一个一个的地层的计算程序也从左到右沿每一地层顺序排列出来．

注意到这一点是重要的，即连续向下每一较深地（岩）层的倾角（ω）是相对于其上覆地层而言的，并非是相对于水平面的．地层厚度（Z）一般测量到它的下部边界，采用适当的截取时间（T_{iu}，T_{id}）所给的公式既可用于断面的上

见图6.5（根据尤因等人1939文献）．对一个一个地

$i_{crit_{n-1,n}}$ = 在第n个界面处的入射临界角

$$i_{crit_{0,1}} = 0.5[\sin^{-1}(V_0/V_{1d}) + \sin^{-1}(V_0/V_{1u})]$$

$$i_{crit_{1,2}} = 0.5[\sin^{-1}(V_1 \sin\alpha_{0,2}\ V_0) + \sin^{-1}(V_1 \sin\beta_{0,2}/V_0)]$$

$$i_{crit_{2,3}} = 0.5[\sin^{-1}(V_2 \sin\alpha_{1,2}/V_1) + \sin^{-1}(V_3 \sin\beta_{1,3}/V_1)]$$

$$i_{crit_{n,n+1}} = 0.5[\sin^{-1}(V_n \sin\alpha_{n-1,n+1}/V_{n-1}) + \sin^{-1}(V_n \sin\beta_{n-1,n+1}/V_{n-1})]$$

Z_n = 第n层地层的厚度，测量时应和其底部边界面成直角

$$Z_0 = V_0(T_{i1}/2\cos i_{crit_{0,1}})$$

$$Z_1 = \frac{V_1[Ti_2 - Z_0(\cos\alpha_{0,2} + \cos\beta_{0,2})/V_0]}{2\cos i_{crit_{1,2}}}$$

$$Z_2 = \frac{V_2[Ti_3 - Z(\cos\alpha_{1,3} + \cos\beta_{1,3})/V_1 \quad Z_0(\cos\alpha_{0,3} + \cos\beta_{0,3})/V_0]}{2\cos i_{crit_{2,3}}}$$

$$Z_n = \frac{V_n\left[Ti_{n-1} - \left\{\sum_{i=0}^{i=n-1} Z_i(\cos\alpha_{i,n+1} + \cos\beta_{i,n+1})/V_i\right\}\right]}{2\cos i_{crit_{n,n+1}}}$$

倾端，也可用于其下倾端．对于多于四层的情况，只需要增加一个适当的下标，尽管计算地层厚度的公式，对于每一附加层，需要一个附加项．这些公式可被分解，而用于求多层平行地层的解．

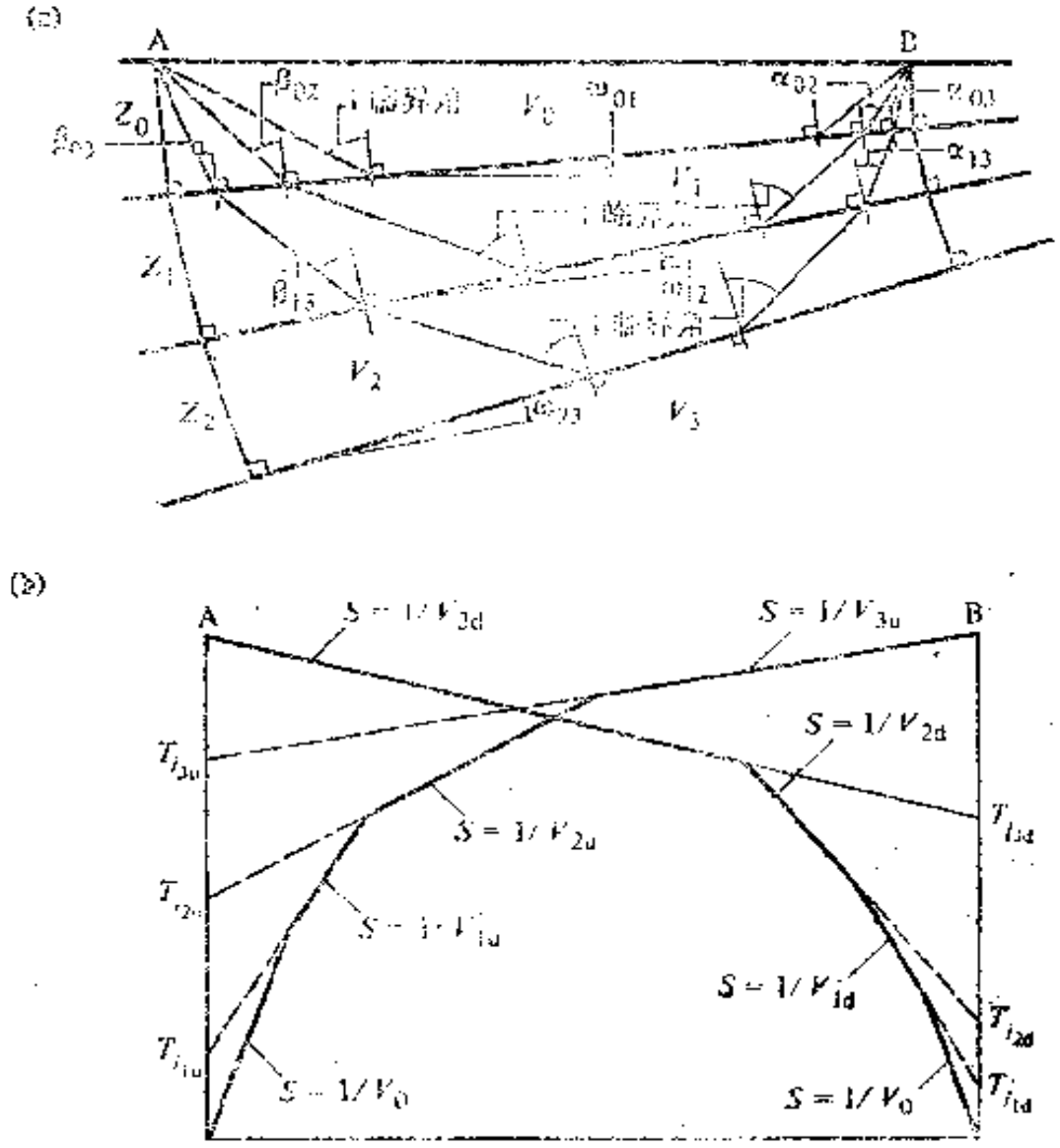


图5.5 多层倾斜地层的特征波路程（a）和时距曲线图（b）.注意：每一层面的倾角（ω）是相对于其下一个比较高速的那一层（据尤因等人，1939）界面倾角而言

5.5 折射分析使用的校正

高程校正

对从观察到的推迟时间中减去的炮点（发射点）推迟时间的修正为

表5.2 不同物质中主要地震波的速度由各方面的资料编辑而成，这些资料包括：莱希（1961）、贾科斯基（Jakosky，1957）、雷德帕思（1973）、多布林（1976）和基泽尔（Kesel，1976）

沉积物和风化的岩石	波速(mms^{-1})	未风化岩石	波速(mms^{-1})
轻的、干燥的顶土	0.18—0.26	页岩	2.74—4.27
湿润的壤土或粉砂土	0.30—0.40	砂岩	1.83—4.27
潮湿壤土	约0.76	白垩	1.83—3.96
致密潮湿的粘土	0.90—1.80	石灰岩	2.13—6.10
碎石或砾石	0.60—0.80	盐	1.83—5.18
砂质粘土	0.98—1.16	花岗岩	3.96—6.10
湿砂 / 砂（不同作者报道了纵(P)波速度方面的巨大变化）	0.43—1.40 / 1.40—2.56	花岗闪长岩	4.57
含冰碛物	1.70—2.26	玄武岩	5.58
残积物	1.60—2.10	辉绿岩	6.09
冰碛	0.76—1.53	辉长岩	3.38
潮湿冰碛	1.53—2.13	千枚岩	3.05—3.35
松散岩屑堆	0.38—0.76	板岩	2.29—4.69
胶结砂	0.85—0.98		
胶结砂质粘土	1.16—1.28	流体	
胶结集块岩	1.53—1.83	水 / 海水（随湿度和盐度而变化）	1.43—1.68 / 1.46—1.53
风化残积物	0.40—0.60	冰	3.68
风化页岩	1.22—1.98	油	1.31
风化砂岩	约1.44		
花岗岩（高度分解的）	0.47		
花岗岩（极度破碎，部分分解）	0.57		
花岗岩（已软化，部分分解）	3.20		
玄武岩（已风化，已破碎）	2.74—4.27		

$$C=(e-h-d)(V_1^2-V_0^2)^{1/2}V_1V_0$$
$$=(e-h-d)\mathrm{Cos}i_{crit}/V_0,$$

式中：e=炮点的高程；h=炮井的深度；

d=基准面高程。

使用同样的方程式可在检波器处作相似的校正，但应去掉炮井深度项。应从截取时间中减去总的高程校正，这是上述两校正值的总和。

高程和风化层的综合校正

$$C=(e_s+e_d-h-t-2d)(V_2^2-V_1^2)^{1/2}/V_1V_2$$
$$+t(V_2^2-V_0^2)^{1/2}/V_2V_0,$$

式中：e_s=炮点高程；e_d=检波器高程；t=风化层厚度，V_0=风化层的速度，V_1，V_2=第一层和第二层的速度。C为从截取时间中减去的值。

5.6 测定表层沉积物以下基岩深度的一种快速方法

这既简又快的方法可用于基岩与冰碛物之间速度差大的地方，且基岩速度至少应是上覆冰碛物速度的三倍。就速度而论，覆盖层应当是相当均匀的，覆盖层深度变化应当平滑，且其界面的倾角应小。图5.6表示了所用的表示法，

基岩的深度（Z_c）$=\frac{1}{2}V_0(T_{AC}+T_{BC}-T_{AB})$。

这种方法是哈格多恩（Hagedoorn，1959）加-减法的一种变式。在哈格多恩加-减法中，$V_1V_0/(V_1^2-V_0^2)^{1/2}$这项接近于1。

T_{AC}，T_{BC}和T_{AB}分别是在AC，BC，AB三段距离中的传播时间，应在一条短的常规排列线上去确定冰碛物的速度：

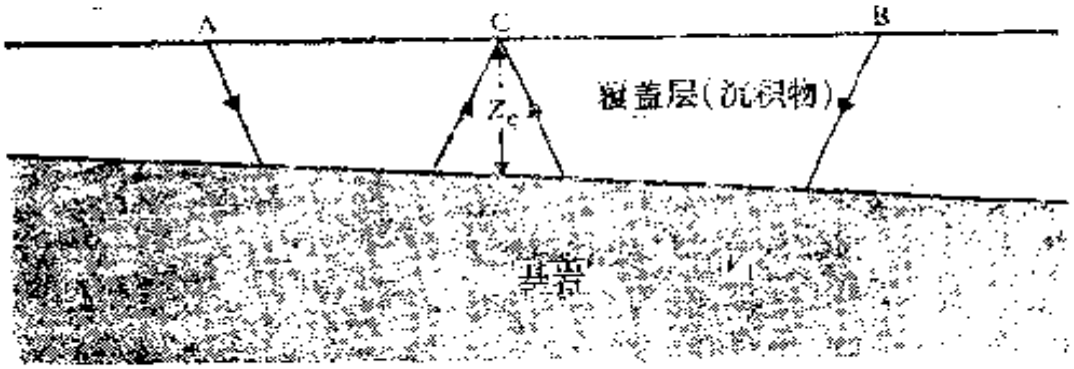


图5.6 对确定基岩深度的一种简单方法的排列布置和表示

5.7 电阻率法

这一节为简单电阻率法的野外使用提供了一些信息和材料，使用这一方法的人应已熟悉这一方法．需要有关电阻率勘探的理论和实践完整介绍的用户应参考一本标准地球物理的教材，如：格里菲思和金（1965）、特尔福德等（1976）或帕拉斯尼斯（1979）、巴塔格尔亚（Bhattacharya）和巴特拉（Patra，1979）、凯勒（Keller）和弗里奇克内克特（Frischknecht,1966）和范．诺斯特尔德（Van Nostrand）和科克（Cook，1966）等人的文献，都是有用的高级教材，其中包含电阻率数据的解释．

对大多数用途来说，使用低频率（60赫次至约5赫次）交流电装置效果要好一点．这种装置不需要使用非极化电极或测量与考虑自然电位（spontaneous potentials）．用交流电装置测出的电阻率通常低于实际直流电电阻率，但是快速操作的优点经常超过了上述缺点，在使用直流电电源的地方，必须使用不极化电位（porous-pot potential electrodes），并在电流接通前测出自然电位．然后从电流流动时测得的电位中直接减去或以使用补偿电压的方式减去自然电位．

尽管交流电电源消除了自然电位的影响，使信噪比提高，但也可能产生不稳定的读数．这既可归因于附近的长电流（long current）和位导（potential lead）之间的电感偶合，也可归因于湿地条件下的漏电．

电极的选择和安置是重要的．对直流电源来说，必须使用非极化电极．采用确保牢固地埋置电极的方法，使电极与地面之间的接触电阻（contact resistance）保持最小．在干燥地面中，用对电极浇水或使用多个电极或不极化电极（pot electrodes）的方法，可使接触状况得到改善．在裸露基岩上，可在电极上附加一小块湿粘土．

5.8节论述了电极配置及如何选择一种适宜于所进行工作的配置方式，而5.9则涉及解释二层地层状况的简单方法．由于篇幅限制，对三层或多层地层的解释程序，不作充分论述，但5.9节提出的有关这一资料的来源，可作参考．

5.10节简单讨论了电阻率剖面制作(resistivity profiling)，5.11节提供了对覆盖层勘探的一种简单方法．5.12节论述了一般地球物质的电特性．

5.8 电极配置

温纳排列

温纳（Wenner）排列〔图5.7(a)〕是一种具有相同电极间隔的对称排列．对于垂直电测深（电阻率钻孔）来说，整个排列围绕着中心点扩展〔图5.7(b)〕，温纳排列的水平剖面的工作方法，是沿着排列的方向逐步移动整个排列〔图5.7(c)〕．用温纳排列测定的视电阻率由下式提供

$$\rho a = K\Delta V/I \quad (\Omega m)$$

式中，ΔV = 测量电极的电位差（V或mV），I = 供电电极

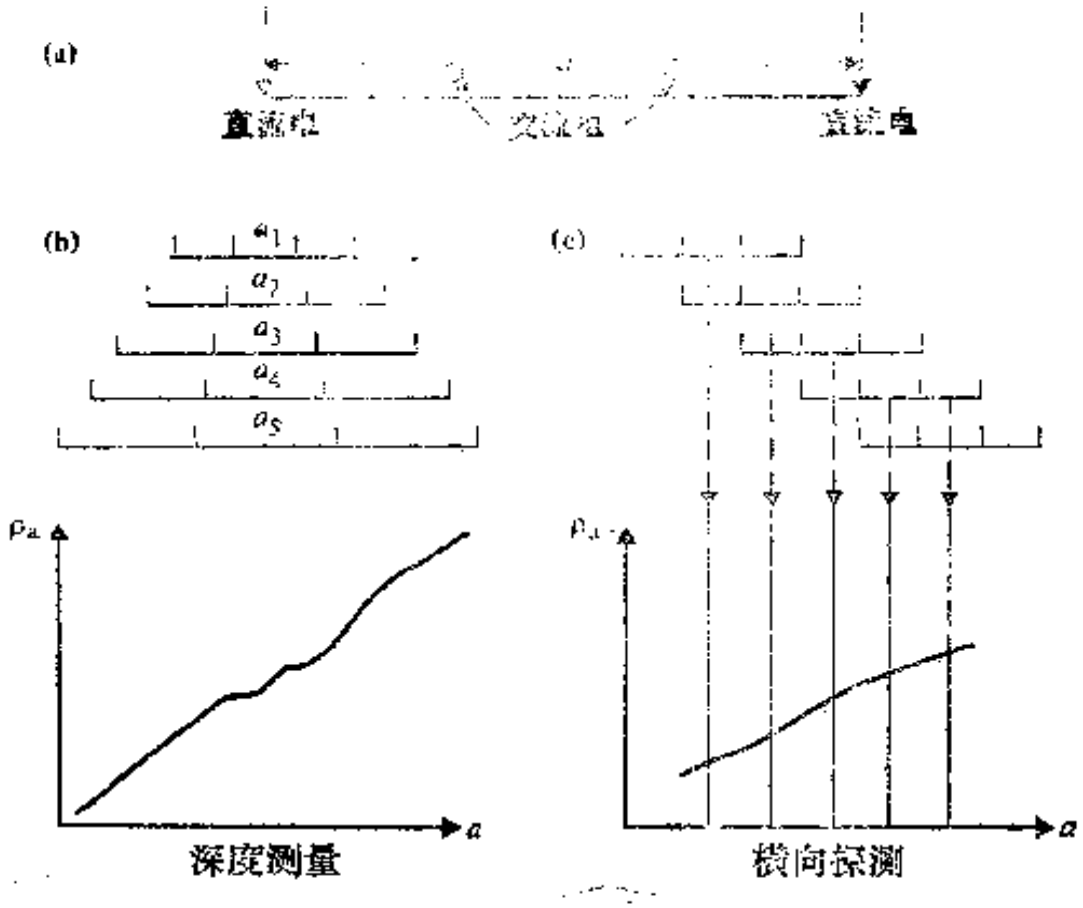


图5.7 温纳排列及其在深度测量和横向探测方面的应用

的电流（A或mA），K=一个有关长度大小的项，其大小视排列的几何图形而定．在温纳排列中$K=2\pi a$，其中a是电极距，单位为m．

$\triangle V/I$为总的电阻值，通常直接从仪器上读出．当排列用于电测深时，K所呈现的值依赖于电极距，但是，当用于水平剖面时，K值保持常数．

使用卡彭特（Carpenter，1955）提出的电极开关变换法，可从电阻率的垂直变化中辨认和区分出电阻率的横向变化．这一方法中保留了温纳排列的几何形状，但是，用不同的方式联接电极，可进行视电阻率的三种测量．电极排列、测定的电阻和视电阻率均列在表5.3中．如果三种视电阻率的趋势都相同，可以假设电阻率没有大的横向变化．然而，如果视电阻率中的一个值上升，而另外两个值下降，这时，

可能是排列扩大穿过了一条横向电阻率边界。任何以视电阻率曲线为基础的测深，在间隔上大于这种在间隔上以分散趋向出现的视电阻率曲线为基础的深度探测将是不可靠的。

表5.3 卡彭特（1955）三种电位方法使用的电极排列、测定的电阻和视电阻率

电极排列	电阻	视电阻率
CPPC或PCCP	$(\pm)R^{\alpha}$	$\rho_{a\alpha}=2\pi sR^{\alpha}$
CCPP或PPCC	$(\pm)R^{\beta}$	$\rho_{a\beta}=6\pi sR^{\beta}$
CPCP或PCPC	$(\pm)R^{\gamma}$	$\rho_{a\gamma}=3\pi sR^{\gamma}$

李氏分割排列

李氏(Lee)分割排列，是一种修改过的温纳排列，也可以估算地表物质电阻率的横向变率。在温纳排列的中心插入一根附加电位电极，形成一个五根电极排列。然后可在中心电位电极与左边的电位电极之间和中心电位电极与右侧电位电极之间测量电位差和电阻率。这二个测量值应是相同的，在这种情况下，地表物质的电阻没有大的横向变化。如果发现了变化，且是一个可接受的数值，则可采用一个简单的平均值。在实际变化明显的地方，采用施伦贝尔格（Schlumberger）排列可能更好些。李氏分割排列的视电阻率由下式提供：

$$\rho a = K\Delta V/I$$

式中$K=4\pi a$。

施伦贝尔格排列

设计施伦贝尔格排列的目的是以测量电位梯度的方式测量电阻率，它在一对大间距的电流电极之间使用了一对小间距的电位电极〔图5.8(a)〕。这种排列既可对称使用〔图5.8(b)〕，也可不对称使用〔图5.8(c)〕。对于垂直电测深来说，

在保持电位电极间距不变的同时，要增加电流电极的间距．在电流电极间距大的情况下，有必要增加电位电极间距，以保证它们之间有可测出的电位差．无论什么时候，当电位电极间距增加时，应缩小电流电极的间距，以保持一个数据的重叠范围．这将突出近地表的电阻率的任一横向变化．一种经过良好试验的间距程序，列在表5.4中．

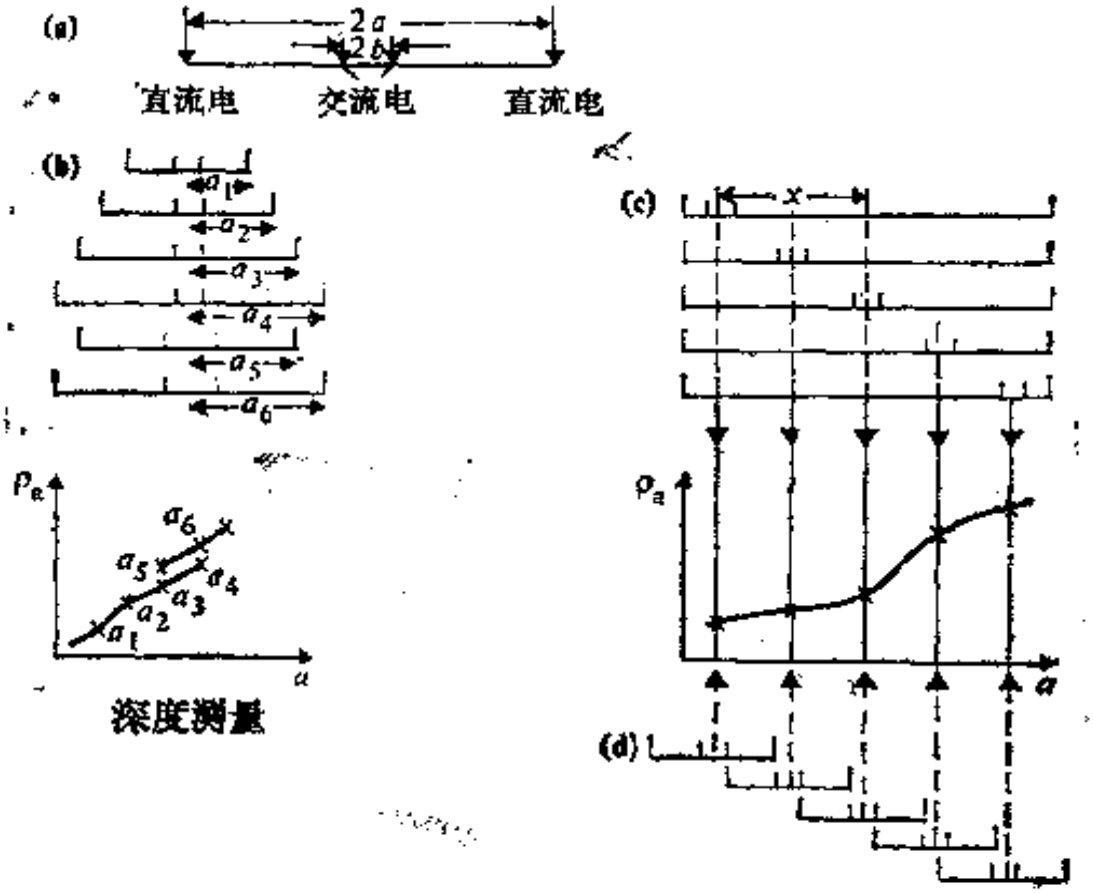


图5.8　施伦贝尔格排列及其用于垂直测深和横向探测的两种变换方法

当用于水平剖面时，施伦贝尔格排列可用下列二种方式中的一种．一种方法是横向移动整个排列，但需保持一种不变的排列几何形状［图5.8(d)］．另一种（一般更快）的方法是采用大的电流电极间距，并在电流电极之间横向移动电位电极，如图5.8(c)所示．后一种方法所受的限制是，移动

表5.4 使用施伦贝尔格排列进行垂直电测深的典型野外配置

观测次序	电位电极间距 2b(m)	电流电极间距 2a(m)	观测次序	电位电极间距 2b(m)	电流电极间距 2a(m)
1	1.0	3.0	16	10	30
2	1.0	4.0	17	10	40
3	1.0	6.0	18	10	60
4	1.0	8.0	19	10	80
5	1.0	10.0	20	10	100
6	2.0	6.0	21	20	60
7	2.0	8.0	22	20	80
8	2.0	12.0	23	20	100
9	2.	16.0	24	20	120
10	2.0	20.0	25	20	160
11	4	12	26	20	200
12	4	16	27	40	200
13	4	20	28	40	280
14	4	30	29	40	320
15	4	40	30	40	400

的势电极离任一电流电极的距离不能超过电位电极间距的4至5倍. 施伦贝尔格排列的视电阻率由下式提供:

$$\rho a = K\Delta V / I,$$

对不对称排列来说,

$$K = 2\pi / \left[\left(\frac{1}{a-x-b} - \frac{1}{a+x+b} \right) - \left(\frac{1}{a-x+b} - \frac{1}{a+x-b} \right) \right]$$

式中a, x和b为图5.8定义的距离. 如果电流电极和电位电极

之间的最短距离总是大于10的一个系数或大于二个电位电极之间距离的话，这个表达式可简化为

$$K=\pi\ (a^2-x^2)^{\ 2}/\ 2b\ (a^2+x^2)$$

对对称的施伦贝尔格排列来说，视电阻率由下式提供：

$$\rho a=K\Delta V/I,$$

式中，$K=\pi a^2/2b$.

电极配置的选取

一般说来，尽管两种主要的电极配置在良好的地面条件下都能提供令人满意的结果，但每种方法各有不同的优点.

对于垂直电测深来说，温纳排列在数学上较为简单，能测出更大的电位差，因此，可得出更为精确的电阻率. 它还具有一个简易标准野外程序的优点. 与此相反，温纳排列的缺点是必须在读数之间移动所有的电极. 完全不考虑所需的附加工作，除非使用电极变换开关，否则便无法区分由深部岩层引起的和近地表岩层的影响引起的电阻率变化（图5.9）。根据解释，完全曲线吻合或塔格（Tagg）的方法是能提供满意结果的仅有方法.

施伦贝尔格排列在理论上欠正确性，从理论和实践相比较方面来看，电位电极间距应当是无穷小. 然而，倘若采用适当小的电位电极间距，这种方法能很好地反映不同岩层的电的性质. 表5.4提供了有关这一问题的规定. 施伦贝尔格排列的一个重要优点是缩减工作时间，使用较少数的电极移动. 可能这一方法最重要的优点是有解释地表和深部特征两个方面引起的电阻率变化的能力. 地表物质电阻率变化的影响一般是在移动电位电极的一个点上位移测深曲线的圆弧（图5.9）. 只要把这一部分曲线移回到与其余曲线相一致的位置上就可以消除近地表的影响. 施伦贝尔格排列的又一

个主要优点是曲线吻合和用辅助曲线部分（见凯勒和弗里奇克内克特，1966），这可用提供初步野外数据解释，这些数据对于计划（规划）进一步的工作是很准确的.

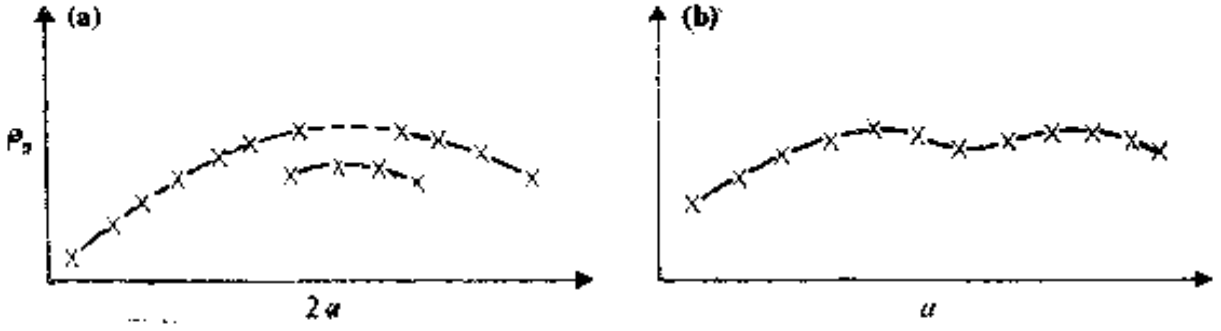


图5.9 近地表电阻率的变化对施伦贝尔格（a）和温纳（b）测深曲线形状的影响

对水平剖面制作来说，不对称施伦贝尔格排列或一种半施伦贝尔格排列（详见特尔福德等人，1976）就工作时间而论是最有效的. 它们还能很好地模拟异常的方向和位置，特别是当电位电极间距相对于异常的横向范围小的时候. 另一方面，对于横向范围大的异常来说，温纳或半温纳更为可取. 因为观测到的电阻率曲线更为对称，且观测到的电阻率差的最大值从不大于实际的差值.

水平剖面制作（用于它本身）并非特别有效，在任何有可能的地方都应该用垂直测深和钻孔的方法对其进行校正.

5.9 电阻率测深曲线的解释

下面扼要介绍在简单两层地层情况下，两种解释测深曲线的方法. 曲线拟合法作起来相当快和简单，但不能提供成果的精度显示. 塔格的方法（1934），虽然要花费较多的时间，却无上述缺点，但一定要求精确地测定顶部岩层的电阻率，所作的正当解释要包括横向的和垂直的变化.

三层地层情况可以产生多种多样的曲线类型，这些曲线类型依赖于地层之间的电阻率差和这些地层的相对厚度．完全曲线吻合是解释的最可取方法，但需要大量的理论曲线，对此，本书未能提供．这些曲线的基本内容是由穆尼（Mooney）与韦策尔（Wetzel，1956）、奥里尔纳(Orellana)与穆尼（1966）、法国CGG公司（La compagnie Générale de Géophysique，1963）和里克苏特斯台特（Rijkswaterstaat，1980）提供的．然而，部分曲线拟合法可以供野外解释用，这一解释可以使操作人员计划下一步的工作．

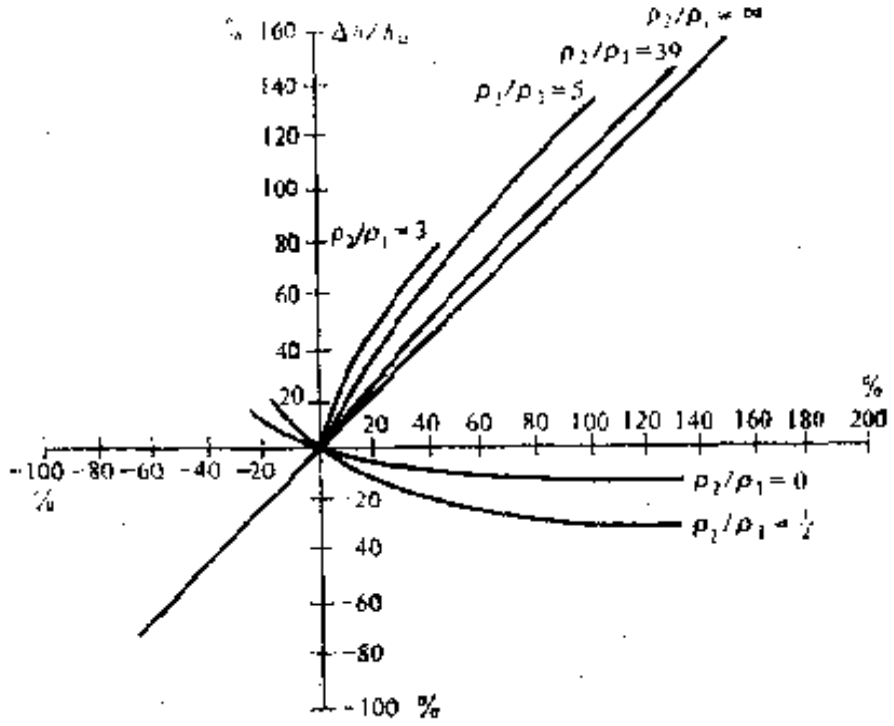


图5.10　解释表层厚度方面的误差百分率，这种误差是由于表层电阻率值作为电阻率比率的函数的误差引起的

（凯勒和弗里奇克内克特，1966）

部分曲线拟合法还有这样一个优点，就是在简单二层地层情况下所需的理论曲线，它需要的辅助理论曲线为最少，

在凯勒和弗里奇克内克特（1966）的书中可以找到这一方面的详细内容.

当使用这组合适的理论曲线时，完全曲线吻合法可以用于重控曲线的施伦贝尔格和温纳排列两者的数据上. 部分曲线吻合仅用于解释三层地层的施伦贝尔格测深. 温纳测深的三层数据应利用全部曲线拟合法的曲线图集解释.

深度估计误差的可能原因之一是对地表物质电阻率值选择的不正确. 所求深度的误差百分数是地面电阻率误差百分数的函数，估计时，可参考图5.10.

两层岩层曲线的曲线拟合法

第一步：把野外数据描绘在透明纸上，采用与合适的理论曲线族一致的双对数比例（图5.11或12）.

第二步：把野外数据曲线的透明图重叠在合适的理论曲线族上，确保轴线的平行，环绕野外曲线移动直到与理论曲线的某一部分达到令人满意的吻合为止. 对覆盖在已吻合的理论曲线上的原点作上标记，野外曲线这一点的坐标为：$\rho_a=1.0$，$a=1.0$〔图5.13(a)〕.

第三步：读出相应于理论曲线原点的野外数据值（ρ_1）. 空间轴的值是最上层地层的厚度（h_0），视电阻率轴上的值是最上层地层的电阻率（ρ_0）.

第四步：计算第二层地层的电阻率，使用的方法是：先用表5.5或表5.6中提供的公式把k值换算成电阻率比率（ρ_1/ρ_0）. 由此和第三步中得出的ρ_0值，可以计算出ρ_1.

塔格两层地层曲线法

第一步：可取在很短（小）电极间距内电阻率的记录值作为最上层地层的电阻率ρ_0.

第二步：对一些特殊的数据点或从平滑的野外曲线上取得的视电阻率值来说，把视电阻率值换算成由地表电阻率来除的一种视电阻率（ρ_a/ρ_0）．对ρ_a/ρ_0的值和它对于电极间距的相应值（a），从理论曲线（图5.11或图5.12，随所采用的电极配置而定）上读出所有h_c/a和k的可能值．由于a值是已知的，所以对于每一个k值都能算出h_0的值．对于该数据点，描绘一条h_0对k的曲线〔图5.13(b)〕．

表5.5 相应于各种k值的ρ_1/ρ_0值。对其他值来说，用 $k=\rho_1-\rho_0/\rho_1$或$\rho_1/\rho_0=(k+1)/(1-k)$

	ρ_1/ρ_0			ρ_1/ρ_0	
k	k正值	k负值	k	k正值	k负值
1.00	∞	0	0.45	2.54	0.38
0.95	39.00	0.03	0.40	2.33	0.43
0.90	19.00	0.05	0.35	2.08	0.48
0.85	12.33	0.08	0.30	1.86	0.54
0.80	9.00	0.11	0.25	1.67	0.59
0.75	7.00	0.14	0.20	1.50	0.67
0.70	5.67	0.18	0.15	1.35	0.74
0.65	4.71	0.21	0.10	1.22	0.81
0.60	4.00	0.25	0.05	1.11	0.90
0.55	3.44	0.29	0	1.00	1.00
0.50	3.00	0.33			

第三步：对于其他数据点，重复第二步，求一簇h_0对k的曲线〔图5.13(b)〕．

第四步：这些曲线相交于所需的h_0和k值处〔图5.13(b)〕．

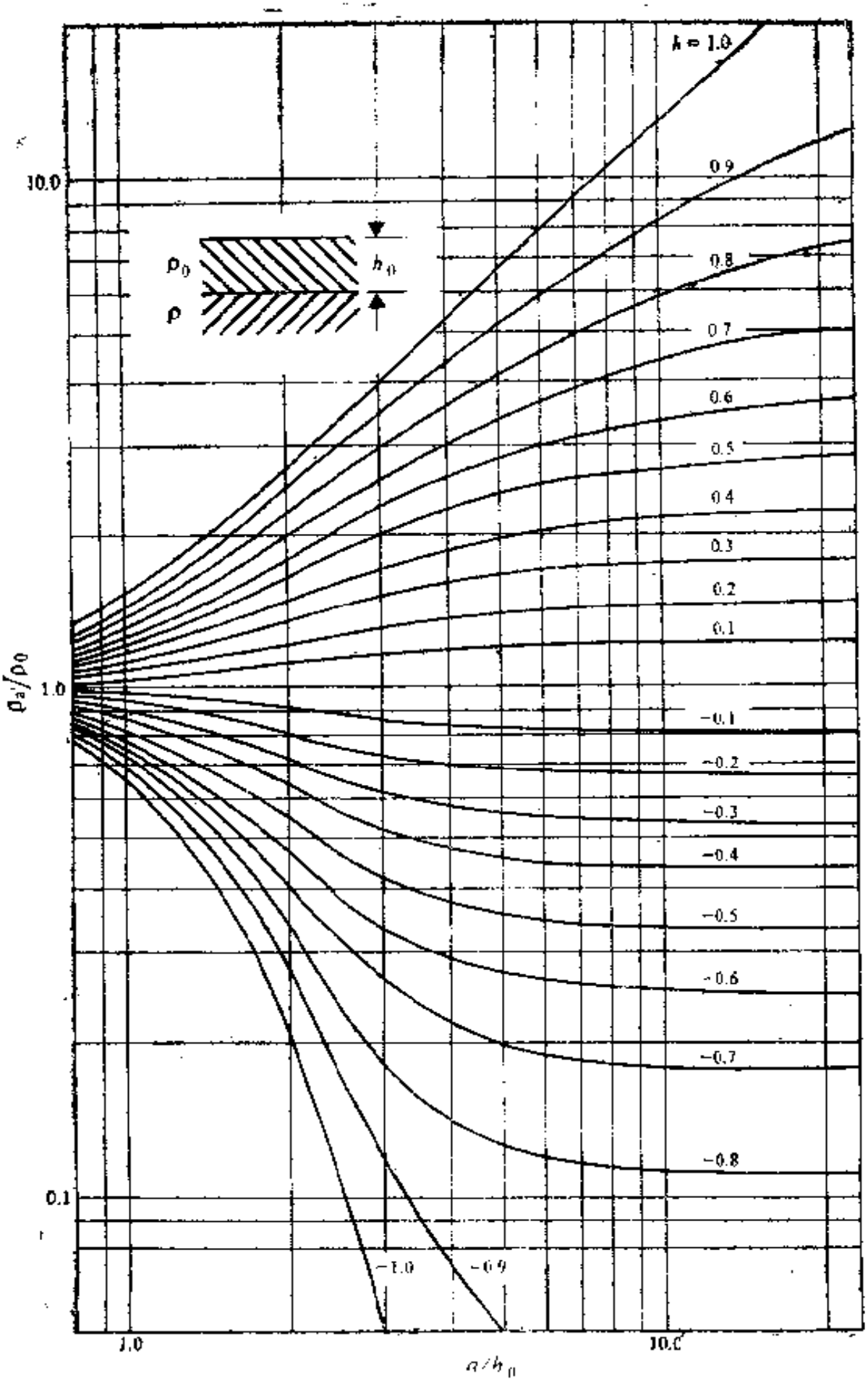


图5.11　对于温纳排列，标准化视电阻率对电极间距的二层地层的理论曲线

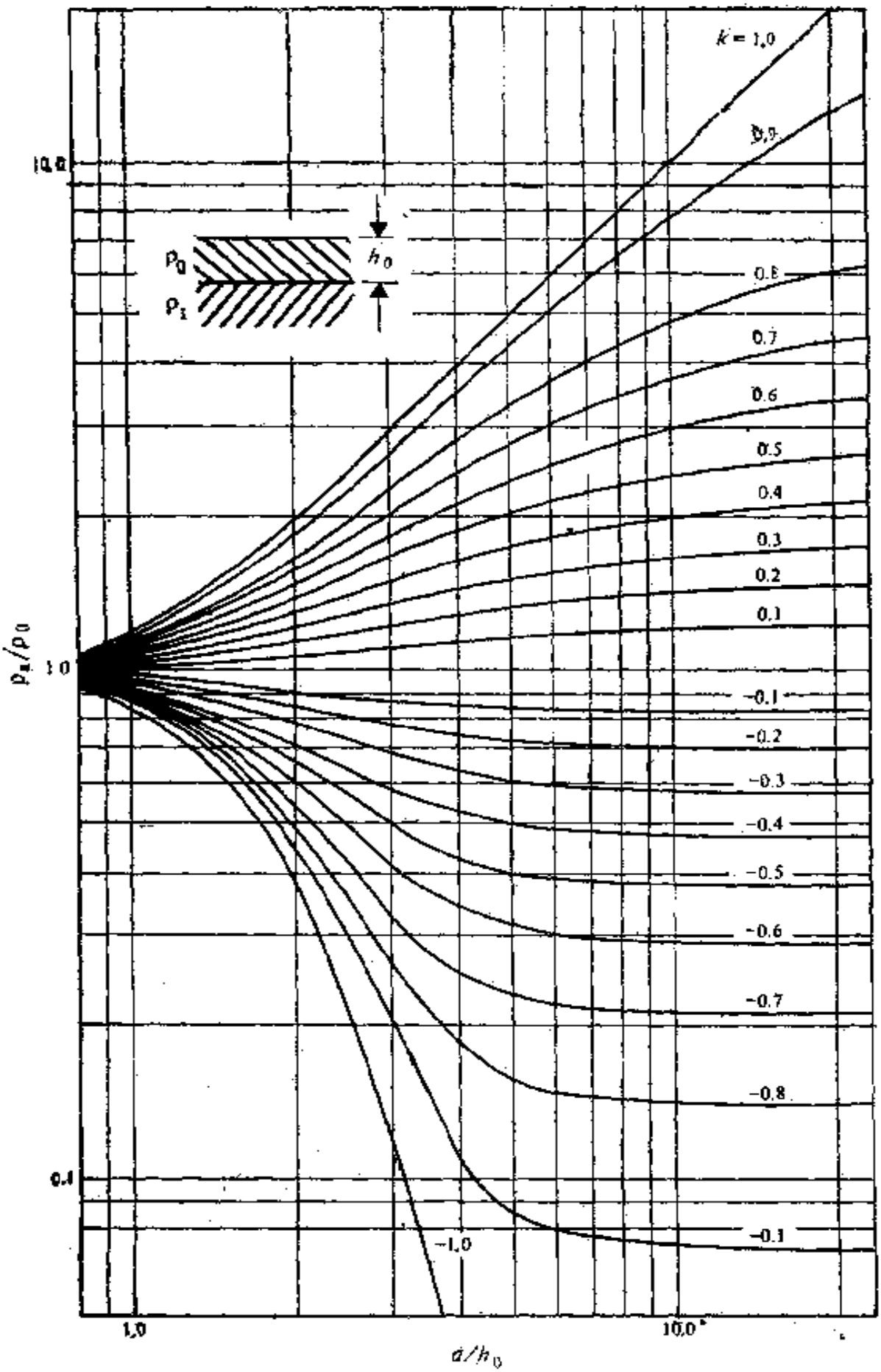


图5.12　对于施伦贝尔格排列，已标准化视电阻率对电极间距的二层地层的理论曲线

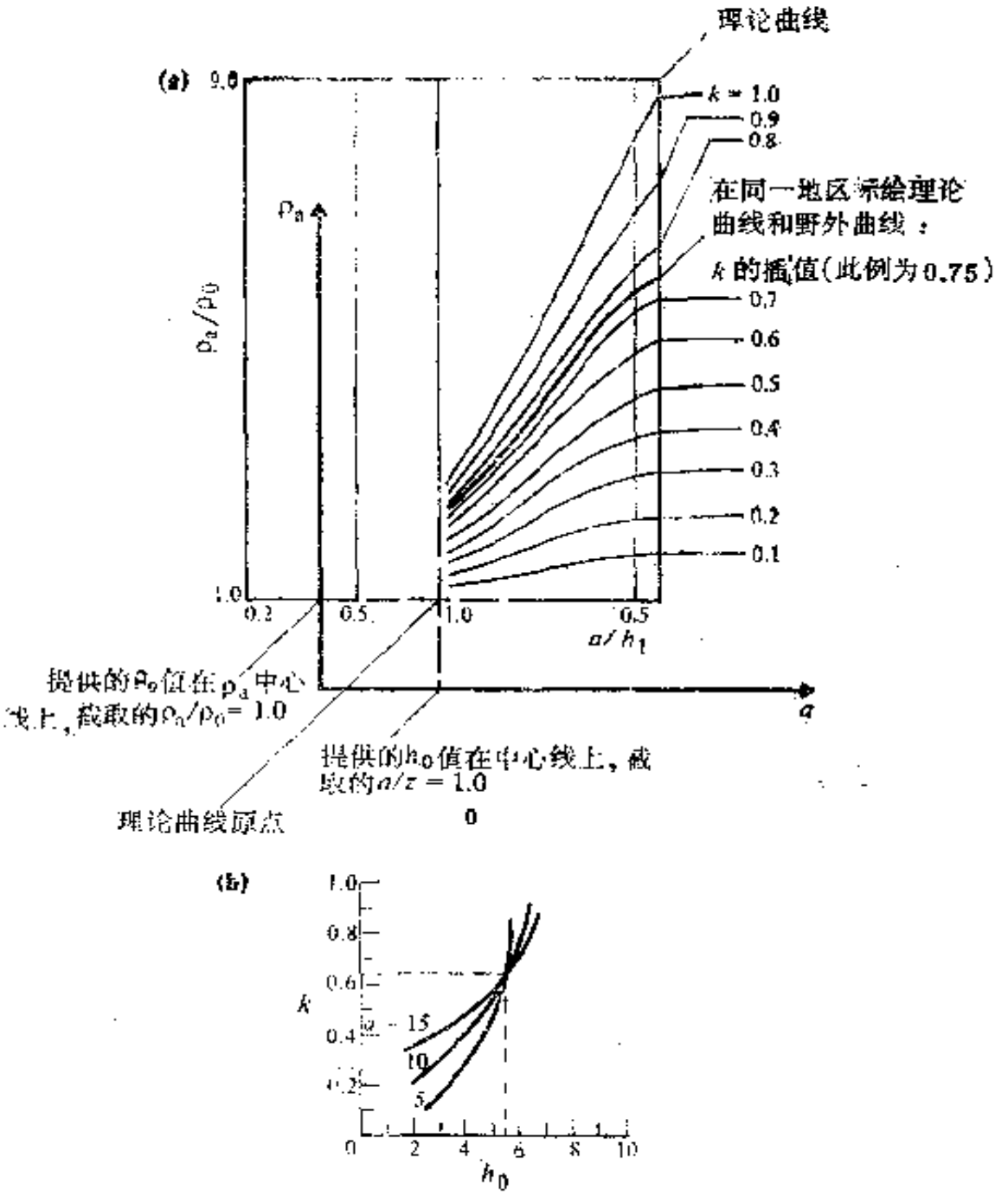


图5.13　确定k，ρ_0，h_0值的理论曲线的使用方法

第五步：用表5.5或其中之公式把k值（电阻率差因子）换算为电阻率比率ρ_1/ρ_0．利用在第一步中测定的ρ_0值和电阻率比率ρ_1/ρ_0计算第二层地层的电阻率．

在大多数情况下，这些曲线并非完全相交于一点，但却能标出环绕k和h_0可能值范围的一个区域．第一步是特别关

键的一步，要十分仔细地确保能求得ρ_0的实际值．特别是，必须注意不要使用允许电流进入下层媒介长的电极间距，然而，要保证过短的间距不要给出仅最顶部地层的错误值．

5.10 电阻率剖面制作

水平电阻率剖面制作或电法绘图是一种处理有覆盖层勘探的有用方法．然而，这种方法非常强调根据它的分辨力来选择电极配置．有关这一论题的某些规定应参照5.8节．制作水平剖面之前，需要某些有关地质情况的预备知识，这些知识可用大量垂直测深的方法求得．

然后，采用5.11节中所述的技术，就可能图示特殊地层的深度或厚度．在一般条件下，水平剖面法是最适于这种工作，并且这方法应限制在电阻率差大和异常体横向延伸的地方．这种方法对小范围的三维物体并非十分有效．图5.14和5.15提供了一些穿过各种简单地质构造的电阻率剖面实例．

5.11 覆盖层勘探

电阻率勘探的一种普通用法是确定在绝缘的基岩上，低阻覆盖物的厚度．采用两个固定电极间距作水平剖面法能有效地完成这一工作．选择较短的间距可测定覆盖层的电阻率，尽管覆盖层可能薄些．挑选较长的间距可测定基岩的电阻率，甚至在覆盖层最厚的区域．

覆盖层的厚度（T_s）由下式提供：

$$T_s = \rho_1 S_1,$$

式中，ρ_1 = 用较短的电极间距测定的覆盖层电阻率，S_1 = 覆盖层的导电率 = a_2/ρ_2，a_2 = 较长的电极间隔，ρ_2 = 在较长

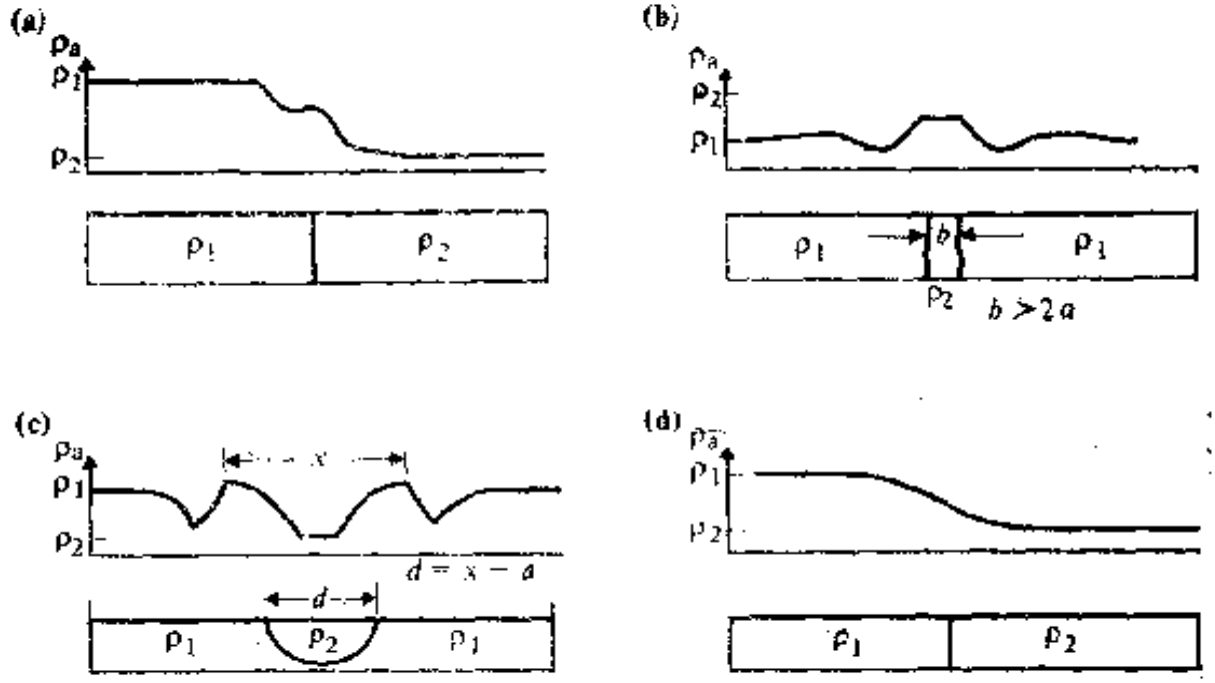


图5.14　采用全温纳电极配置，在地质构造上电阻率剖面的某些实例

（a）垂直接触构造使用电极排列垂直于接触面。（b）宽度超过电极间距两倍的垂直岩脉。（c）宽度大于电极间距两倍的半球状沉陷；沉陷的直径可以近似地定为野外曲线两角之间的距离减去电极间距（据范·诺斯特尔德和科克，1954）。（d）垂直接触使用电极排列平行于接触面，并向垂直于接触面移动。

的电极间隔条件下测定的基岩电阻率.

在任何有可能的地方，这种方法可通过垂直测深进行校正.

5.12　地球物质的电性

在大多数岩石和沉积物中电导即是电解，因为除了相对少的金属矿物之外，大多数矿物是绝缘体. 因此，导电主要在裂隙水中发生，并在很大程度上是孔隙度、水容量和水中溶解盐类数量的函数. 对这一般规律来说是最重要的，例外的

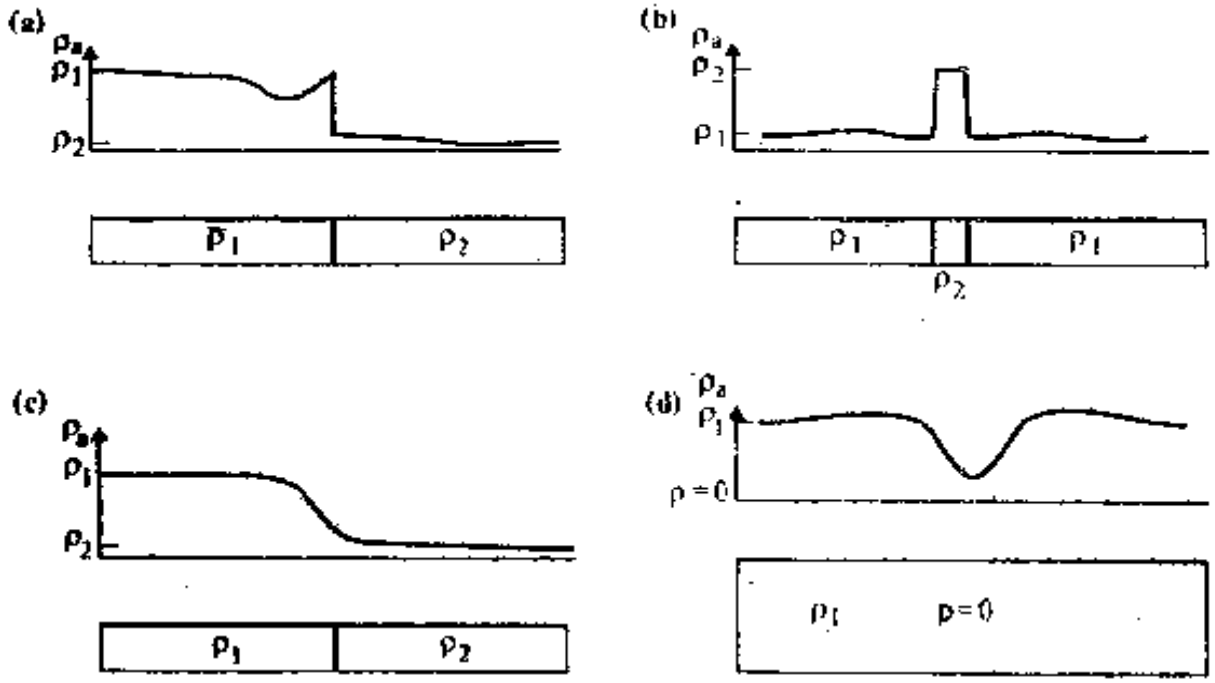


图5.15　采用全施伦贝尔格电极配置，在地质构造上电阻率剖面的某些实例

（a）垂直接触面使用电极排列垂直于接触面。(b）垂直岩脉的宽度是电极排列总长的一半。（c)垂直接触面使用电极排列平行于接触面。（d）完全导电的被埋藏的球体。这种异常类型可能有很微弱的显示，除非被埋藏的球体靠近于地表。

情况是金属硫化物和富含粘土矿物的物质，这两种物质都是导体．孔隙少的结晶岩通过充水裂隙和裂缝导电，而且裂隙度是这些岩石电阻率的主要控制因素，除非这些水中含有盐分．在多孔的岩石和沉积物中饱和度通常是电阻率值的控制因素（表5.6）．

电阻率具有易变的特性，它的变化不仅在地层之间，而且同样在地层内部．这在近地表非固结物质（例如冰碛堆积）特别真实．表5.7提供了一套标准的电阻率值，当考虑这些一般点时，我们应使用表5.7.

表5.6 岩石在不同含水容量下的电阻率变化(特尔福德及其他人等, 1976)

岩 石	水(%)	电阻率(Ωm)	岩 石	水(%)	电阻率(Ωm)
粉砂岩	0.54	1.5×10^{4}	叶蜡石	0.76	6×10^{6}
粉砂岩	0.44	8.4×10^{6}	叶蜡石	0.72	5×10^{7}
泥质岩	0.38	5.6×10^{6}	叶蜡石	0.7	2×10^{8}
粗粒砂岩	0.39	9.6×10^{5}	叶蜡石	0	10^{11}
粗粒砂岩	0.18	10^{8}	花岗岩	0.31	4.4×10^{3}
中粒砂岩	1.0	4.2×10^{3}	花岗岩	0.19	1.8×10^{6}
中粒砂岩	1.67	3.2×10^{6}	花岗岩	0.06	1.3×10^{9}
中粒砂岩	0.1	1.4×10^{8}	花岗岩	0	10^{10}
硬砂岩	1.16	4.7×10^{3}	闪长岩	0.02	5.8×10^{5}
硬砂岩	0.45	5.8×10^{4}	闪长岩	0	6×10^{6}
长石砂岩	1.26	10^{3}	玄武岩	0.95	4×10^{4}
长石砂岩	1.0	1.4×10^{3}	玄武岩	0.49	9×10^{5}
有机质的石灰岩	11	0.6×10^{3}	玄武岩	0.26	8×10^{7}
白云岩	2	5.3×10^{3}	玄武岩	0	1.3×10^{8}
白云岩	1.3	6×10^{3}	橄榄石-辉石	0.028	2×10^{4}
白云岩	0.96	8×10^{3}	橄榄石-辉石	0.014	4×10^{5}
橄榄岩	0.1	3×10^{3}	橄榄石-辉石	0	5.6×10^{7}
橄榄岩	0.03	2×10^{4}			
橄榄岩	0.016	10^{6}			
橄榄岩	0	1.8×10^{7}			

ss代表砂岩。

表5.7 基岩和沉积岩的电阻率（特尔福德及其他人等1976）

基岩类型	电阻率范围（Ωm）
花岗岩	3×10^2—10^5
花岗斑岩	4.5×10^3（湿）—1.3×10^6（干）
长石斑岩	4×10^3（湿）
钠长石	3×10^2（湿）—3.3×10^3（干）
正长石	10^2—10^6
闪长岩	10^4—10^5
闪长斑岩	1.9×10^3（湿）—2.8×10^4（干）
斑岩	1.5×10^4（湿）—3.3×10^5（干）
碳酸盐斑岩	2.5×10^3（湿）— 6×10^4（干）
石英斑岩	9×10^2— 9×10^5
石英闪长岩	2×10^4—2×10^6（湿）—1.8×10^5（干）
斑岩（各种）	60—10^4
英安岩	2×10^4（湿）
安山岩	4.5×10^4（湿）—1.7×10^2（干）
辉绿斑岩	10^3（湿）—1.7×10^5（干）
辉绿岩（各种）	20— 5×10^7
煌岩	10^2— 5×10^4
辉长岩	10^3—10^6
玄武岩	10—1.3×10^7（干）
橄榄苏长岩	10^3— 6×10^4（湿）
橄榄岩	2×10^3（湿）—6.5×10^3（干）
角页岩	8×10^5（湿）— 6×10^7（干）
片岩（石灰质的和云母）	20—10^4
凝灰岩	2×10^3（湿）—10^5（干）

表5.7续

基岩类型	电阻率范围 (Ωm)
石墨片岩	$10—10^2$
板岩（各种）	$6\times10^2—4\times10^7$
片麻岩（各种）	68×10^4（湿）—3×10^6（干）
大理岩	$10^2—2.5\times10^8$（干）
砂卡岩	2.5×10^2（湿）—2.5×10^6（干）
石英岩（各种）	$10—2\times10^8$
固结的页岩	$20—2\times10^3$
泥质板岩	$10—8\times10^2$
砾岩	$2\times10^3—10^4$
砂岩	$1—6.4\times10^8$
石灰岩	$50—10^7$
白云岩	$3.5\times10^2—5\times10^3$
未固结的湿粘土	20
泥灰岩	8—70
粘土	1—100
冲积层和砂	10—800
油砂	4—800

第六章　景观形成物的描述

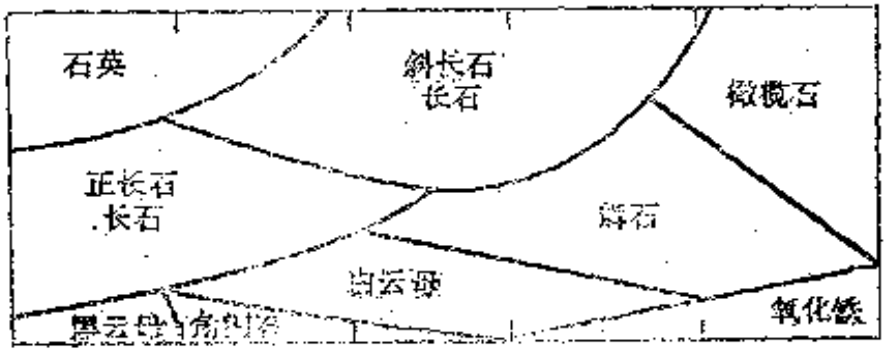
本章的目的在于为描述主要的景观形成物——岩石、未固结的沉积物和土壤——提供一个轮廓和必要的帮助．由于篇幅所限，这里未提供识别矿物的材料，因此，我们建议读者预备一些适宜的矿物学教材〔如拉特莱〈Rutley〉，1970〕作为这一部分的补充材料．6.1节提供了野外岩石类型命名法，接着的是英格兰和威尔士土壤调查所用的命名系统．单种岩石类型的耐久性或强度可能是一个地区地质最重要的特征之一．6.2节提供了用于岩块强度和特征描述的两个系统．到现在为止，还未作过把这两个系统结合起来的尝试，因为这种结合将削弱采用每一系统已经出版的结果之间的横向对比．岩块分级的必要条件之一是能再现的原始岩石强度的测量．几乎没有进行强度试验的袖珍的和可在野外使用的设备．6.3节简单阐明的情况不在这两个系列以内．6.4节涉及土壤（从土壤学的观点而不是工程学的意图）的描述，所采用的土壤描述方法紧承《土壤调查野外手册》〔霍奇森〈Hodgson〉，1974〕一书中所用的方法．6.5节是有关沉积物和沉积岩的描述，这一描述既以沉积学者的观点，也同样以地貌学者的观点来进行．本章通篇，都以鲜明的形式展现关键特征或特性，以利于把它们作为将要记录或描述的特征之检索，去细细地审视．

6.1　岩石的识别

不借助于切片检查，在野外精确地命名一种岩石几乎是

不可能的．用放大镜仔细检查，可把标本归到表6.1，6.2，6.3，6.4中的概略类型中的一种，这四张表可分别用于岩浆岩、沉积岩、变质岩和火成碎屑岩．在任何情况下，都应估计出任何有意义的次要矿物的丰度，并在概略的岩石名称前加上适当的限制词．用于丰度估计的图见第十三章．在火成碎屑岩的情况下，岩石名称前应加上一个构成术语，例如流纹凝灰岩．作为岩石物质描述系统的一个部分，表6.5列出了替换的岩类学名称．有关对沉积物和沉积岩描述的更为详细的系统见6.5节．

表6.1 岩浆岩的名称（图中矿物所占的垂直宽度指示了每一岩类中每一种主要矿物的相对丰度）

	酸性	中性	基性	超基性
粒径（毫米）				
粗（＞5）	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩 橄榄岩
中（1—5）	微晶花岗岩	微晶正长岩	微晶闪长岩	粗面岩
细（＜1）	流纹岩	粗面岩	安山岩	玄武岩
主要矿物				
密度（g/cm³）	2.4—2.7	2.8	2.8	2.9 >3.0
次要矿物	云母 普通角闪石	黑云母 普通辉石 普通角闪石 钠长石	黑云母 普通辉石 普通角闪石	普通辉石 橄榄石
颜色	灰或白	中等		暗 很暗或黑

6.2 岩石块体描述

本节包括了用于岩石块体描述的两个系列. 第一个系列，即地质协会工程队工作组（1977）的，强调了不连续性的详细描述，而塞尔比（Selby）的系列（1980）是一个岩块强度比率系统，是特地为地貌学者的使用而设计的. 由于没有作过把这两者结合起来的尝试，使用者必须选择一个最适于自己需要的系统。在有必要的地方，使用6.4节和6.5节中用于土壤和沉积物描述系统中的合适部分，可以包括一些附加信息. 两个系统都能使我们在野外或实验室试验中确定出参数，如原始岩石的强度、渗透度等等. 这些测试的绝大部分（如其所要求的程序、图和公式，特别是所使用的仪器）都在本手册的范围之外. 点负荷测试和施米特锤可用于野外确定原始岩石强度和作简明指导，用于后者的图提供在6.3节中. 6.3节还有关于点负荷试验使用的某些注释.

地质协会工程队工作组系列

本系列的基础是：原始岩石物质和全部岩石块体的“指数”特征的认别、描述和量值. 应对指数特征的每一种类编号，并且这种号码能在数据记录纸上把数据变成电码. 这些方面的某些例子可在原有的论文中发现，或者可以按使用者的目的专门设计例子. 在所给术语被证明为不充足的地方，应加上定量的描述. 对原始岩石物质来说，指数特征为岩石类型、岩石颜色、颗粒大小、强度、结构和构造.

岩石类型应用表6.5中列出的岩类学名称来辨识. 表6.6列出了用于描述岩石颜色的一个简明系统. 表6.6第 3 列中选出的颜色可由从第 1 列和第 2 列中选出的适当术语补充.

表6.2 沉积岩的名称（霍奇森，1974）

粒径	硬度	矿物学和结构	岩石类型	以次要矿物或不纯净性为根据的岩石亚类
非晶质-微晶质	很硬	玉髓质氧化硅，常常有贝壳状断口玉髓，偶有小的放射目或海绵状骨针	燧石	
			燧石	
		带有连续氧化硅胶结的石英颗粒	石英岩	
粘土质的（<2μm）	硬-软	已固结的粘土径颗粒占优势，无裂变	泥岩	石灰质的 云母质的 赤铁矿化的（红色） 碳质的（黑色）
		轻度的劈裂变化，转化为板岩	裂开泥岩	
		带有裂变的已固结粘土径颗粒、占优势	粘土页岩	含铁的
粉砂质的（2—60μm）	硬-软	已固结粉砂径颗粒占优势，无裂变	粉砂岩	
		已固结粉砂径颗粒占优势，有裂变	粉砂质页岩	
砂质的（60μm—2mm）	很硬	氧化硅胶结的砂岩，转化成石英岩	石英砂岩	石灰质的 云母质的
	硬-软	砂径颗粒占优势，带有氧化硅质、石灰质、铁质或其他胶结物	砂岩	含铁的 含长石的 含海绿石的

表6.2续

粒径	硬度	矿物学和结构	岩石类型	以次要矿物或不纯净性为根据的岩石亚类
		砂径颗粒占优势，带有氧化硅质、石灰质、铁质或其他胶结物，部分颗粒>2mm	粗砂岩	含白云石的
混杂的	硬	砂、粉砂、粘土径颗粒及各种矿物（包括石英、长石、粘土矿物和岩石碎屑）的混合物	杂砂岩	
粗（>2mm）	硬-软	已胶结的角状岩石碎屑，以细填质方式出现	角砾岩	亚类以岩石碎屑和胶结物的性质为据
		已胶结的磨圆石块，以细填质方式出现	砾岩	
碳酸盐质（>50% $CaCO_3$）	硬-软	碳酸钙占优势或一致的成分	石灰岩	云母质的、含铁的
		碳酸钙占优势，带有丰富的贝壳残体	含贝壳石灰岩	含海绿石的 含白云石的
		碳酸钙占优势，带有丰富的鲕状体	鲕状灰岩	砂质的 泥质的
		碳酸钙占优势，带有丰富的鲕状体	豆状灰岩	
	硬	碳酸钙占优势，以微晶质（或泥质）形式存在	方解石泥岩	
	软	碳酸岩占优势的，以微晶质（或泥质）形式存在	白垩	
碳质的	软-硬	黑色碳化的碳质物质	煤	

表6.3 变质岩的名称(霍奇森 1974)

	标准结构	主要矿物	岩石名称
无叶理化	角砾质的（未定向颗粒的细级镶嵌）	云母、石榴子石、辉石等	角砾岩
	粒状的（中等粒化等维矿物颗粒）	石榴子石、透辉石、绿帘石等	砂卡岩
		方解石或白云石	大理岩
		石英	石英岩
叶理化（岩层中出现片状矿物）	弱叶理化	角闪石、长石	闪岩
		石英或辉石、长石	粒变岩
		紫苏辉石、石英、长石	紫苏花岗岩
		石英、长石、绿泥石	泥质板岩
	良好发育的裂开平面	石英、云母、绿泥石	板岩
	裂开平面成片状	石英、云母、绿泥石	千枚岩
	片状（细叶理化）	云母、绿泥石、石英	云母片岩
		方角石、云母、石英	石灰片岩
		绿泥石、阳起石、透辉石	亚氯酸盐片岩
		滑石	滑石片岩

表6.3续

	标准结构	主要矿物	岩石名称
		蓝闪石	蓝闪石片岩
		角闪石、长石	角闪石片岩
		石榴子石、云母、绿泥石	石榴子石片岩
		十字石、云母	十字石片岩
		硅线石	硅线石片岩
		石墨、云母、石英	石墨片岩
	片麻岩状（粗叶理化或夹层）	石英、长石、云母	片麻岩
	有花岗岩掺入	石英、长石	混合岩
角砾岩化	糜棱岩的（细粒化和薄片化）	石英、长石	糜棱岩
	眼状的（石英和长石的杏仁状眼）	石英和长石的眼	眼状片麻岩

表6.4 火成碎屑物和非晶质岩浆岩的名称（霍奇森1974）

碎屑粒径	名称
很粗（>32mm）	集块岩
粗（4—32mm）	火山角砾岩
细（<4mm）	凝灰岩
非晶质	黑曜岩（玻璃质的）
	浮石（多孔的）

应采用表6.7中用于岩石和土壤二者的颗粒大小的常用术语。对于原始岩石物质强度，理想的是用非限定压缩强度试验、点负荷试验或施米特锤来测定。如无这些试验数据，可用表6.8对岩石强度作出估计。6.3节介绍了施米特锤和点负荷试验。对岩石物质的结构和构造应作描述性记录，特别要注意任何组成颗粒占优势的定向排列。

这一系列中采用的岩体指数特征为不连续、风化和交换的三维空间及性质。不连续是指岩石中的一个平面（不必是分裂的平面），在这一平面上，岩石的张力度低或为零。在有可能的地方，要区分出不连续的类型（表6.9），特别在那些是唯一的（如断层）、那些是定位的（如节理、解理、层面）之间作出区分。应记下足够的资料，最好在地图上或平面图上标出每一不连续的空间位置，并记下每一不连续的倾斜量和倾斜方向。应测出相邻不连续之间的间隔，方法是计算切割一已知长度的横断面的不连续数，并把结果用平均值或值域表示。理想的是，这种测量应沿着三个互相垂直的轴进行，并使用表6.10中的术语对测量值分类。

应测量不连续的间隙或宽度，并用表6.11中的术语描述之。应识别不连续中的各种充填物，用表6.5中关于岩石物质的术语或6.4节中关于土壤的适当术语描述之。充填物的性质可按表6.12中的术语分类，充填物的厚度取主岩表面的裂隙宽度，并按表6.11中的术语分类。需指出不连续表面的延续性，建议测量其最大迹线长度。应记下是否整个迹线长度都可见及不连续是遇到坚实的岩石而终止还是遇到另一不连续而终止。

应记录不连续的表面性质。波形是指在表面以一列粗糙的波浪形式出现，这些粗糙的波形在任何运动中都不可能被切掉。可用带尺或直尺测量其平均波幅和波长的方法对其进

行描述.表6.13中的术语可用来描述表面糙度,虽然这些术语只有在不规则变化趋向的方向上是最小抗滑力方向时才有意义. 为了确保估计的统一性，建议对每一地点每一种类的典型例子照相。

表6.6 描述岩石的术语（地质协会工程队工作组，1977）

第一列		第二列		第三列	
术语	号码	术语	号码	术语	号码
浅	1	带粉红色的	1	粉红色	1
深	2	带红色的	2	红色	2
		带黄色的	3	黄色	3
		带棕色的	4	棕色	4
		带橄榄色的	5	橄榄色	5
		带绿色的	6	绿色	6
		带蓝色的	7	蓝色	7
		带灰色的	8	白色	8
				灰色	9
				黑色	0

表6.7 描述颗粒大小的术语（地质协会工程队工作组，1977）

术语	颗粒尺寸	相应的土壤等级	类目	
极粗粒	>60mm	砾石和中砾	1	内眼可见
粗粒	2—60mm	沙砾	2	内眼可见
中粒	60μm—2 mm	砂	3	——
细粒	2—60μm	粉砂	4	内眼不可见
极细粒	<2 μm	粘土	5	内眼不可见

表6.8 描述岩石强度的术语（地质协会工程队工作组，1977）

术　语	非限定压力强度 ($MNm^{-2}=MPa$)	硬度的野外估计	类目
很　强	>100	很硬的岩石——用地质锤几击才碎的标本	1
强	50—100	硬岩——地质锤一击可碎的标本	2
次　强	12.5—50	软岩——用啄掘物的尖端可打入5 mm	3
稍　弱	5—12.5	硬到用手不能刻入一个三轴标本	4
弱	1.25—5.0	很软的岩石——用地质锤的尖端一敲即碎	5
很弱的岩石或硬的土壤	0.60—1.25	脆的或韧的——用手可以弄碎，但有困难	6
极硬土	0.30—0.60	能被指甲刻划的土壤	7
硬　土	0.15—0.30	不能在手中成型的土壤	8
坚实土	0.8—0.15	在手指强压力下能成型的土壤	9
软　土	0.4—0.8	手指易使成型的土壤	10

表6.9 不连续的类型（地质协会工程队工作组，1977）

类目	类型	类目	类型
0	断层带	5	剪裂
1	断层	6	裂缝
2	节理	7	张裂隙
3	解理	8	斜理
4	片理	9	层理

表6.10 描述不连续空隙的术语
（地质协会工程队工作组，1977）

术语	空隙	类目
极宽	>2m	1
很宽	600mm—2m	2
宽	200—600mm	3
次宽	60—200mm	4
稍窄	20—60mm	5
窄	6—20mm	6
很窄	<6mm	7

应收集有关不连续性质的任何其他资料。这些资料可包括水渗漏的性质、邻近不连续已风化岩石的强度、膨胀物质的存在，最重要的是目前运动或不稳定性的任何形迹。

表6.14中关于不连续相互交叉所形成的块体形状的术语可用来描述三维空间中的不连续空隙。另外，应分出长维和短维的方向。块体的大小可用表6.15中的术语描述。

岩体的风化可根据岩体中风化物的分布和不连续处风化

表6.11 描述不连续性隙缝和宽度的术语

（地质协会工程队工作组，1977）

术语	隙缝或宽度	类目
宽	>200mm	1
次宽	60—200mm	2
稍窄	20—60mm	3
窄	6—20mm	4
很窄	2—6mm	5
极窄	0—2mm	6
紧密	0	7

表6.12 描述不连续处充填性质的术语

（地质协会工程队工作组，1977）

充填性质	类目	充填性质	类目
无	1	膨胀粘土或粘土脉	5
仅表面充填	2	已胶结的粘土	6
非粘结充填	3	绿泥石、滑石或石膏	7
惰性粘土或粘土脉	4	其他——特种	8

表6.13 描述不连续处糙度的术语

（地质协会工程队工作组，1977）

粗糙程度	类目	粗糙程度	类目
磨光	1	明显的突起	5
断层擦痕	2	小阶梯	6
光滑	3	很粗糙	7
粗糙	4		

表6.14 描述块体形状的术语

（地质协会工程队工作组，1977）

术　语	描　述	类　目
块　状	各维近乎等长	1
板　状	一维明显地小于另两维	2
柱　状	一维明显地大于另两维	3

表6.15 描述块体大小的术语

（地质协会工程队工作组，1977）

术　语	块体大小	块状岩石中的不连续空间	类目
很　大	$>8m^3$	极　宽	1
大	$0.2—8m^3$	很　宽	2
中　等	$0.008—0.2m^3$	宽	3
小	$0.0002—0.008m^3$	稍　宽	4
很　小	$<0.0002m^3$	小于稍宽	5

的效应来描述．表6.16列出了用于风化等级的描述术语，但是，这些术语中需要修改，才能适用于特殊情况．应注意岩体中风化级别的分布．

岩体强度等级（塞尔比，1980）

这一系列是为在野外用有限的设备估定岩体强度而设计的．所需的设备是：测尺、罗盘、倾斜仪和某种强度测试仪，尽管强度测试仪可能缺少．分类的每一级参数都有一定数值．岩体的强度是由几种等级值的总和得到的．这一系列中使用了7个*等级的参数，它们的数值可从几个表中求得．

* 原7个等级，实际表中是6个等级．——译者注

表6.16 描述风化等级的术语（地质协会工程队工作组，1977）

术　语	描　述	等级	类目
新　鲜	无岩石物质剥蚀的可见迹象	ⅠA	1
微小风化	在主要不连续表面有变色	ⅠB	1
轻度风化	变色指示出岩石物质和不连续面的风化，所有的岩石物质可因风化而变色，有点比新鲜条件下软弱	Ⅱ	2
中等程度风化	不足半数的岩石物质被分散了或分解成土壤；新鲜的和变色的岩石以连续结构或岩核的形式出现	Ⅲ	3
深度风化	一半以上的岩石物质被分散或分散成土壤；新鲜的或变色的岩石以不连续结构和岩核形式出现	Ⅳ	4
完全风化	所有的岩石物质被分散或分散成土壤；原有的块体结构在很大程度上仍保持未变	Ⅴ	5
残积土	所有岩石物质转化成土壤；块体结构和物质组织被破坏，体积变化很大，但是土壤无重大迁移	Ⅵ	6

经受检验的露头应划分为内部相似的区，并定出它们的等级．对于不连续性空隙和连续性应在分区的水平和垂直二个面上进行．测量的面积一般要求为10m^2．在依次确定每个单元的等级的同时（至少在开始时），为检查其与实际相符，应当进行详细的描述和野外素描．原岩强度理想的是用

非限定的单轴抗压强度来测定．其它适用的方法还有点负荷测试或者用施米特锤测量，或是参照表6.17中勾勒出的简单

表6.17　原始岩石强度的描述、分类和等级（塞尔比，1980）

描　述	非限定抗压强度（MPa）	点负荷强度（MPa）	近似N型施米特锤的 'R' 值	等级 'r'
非常弱的岩石，在地质锤的重击下破碎，小刀能切割，例如白垩、岩盐、褐煤	1—25	0.04—1.0	10—35	5
弱的岩石，用小刀能切出浅口或切痕，用锤重敲击成击点缺刻，例如煤、粉砂岩、片岩	25—50	1.0—2.0	35—40	10
中等强度的岩石，小刀刮不动其表面，在地质锤的重击下形成浅凹，例如板岩、页岩、砂岩、泥岩、熔结凝灰岩	50—100	2.0—4.0	40—50	14
强的岩石，在地质锤的一次重击下成手掰大标本	100—200	4.0—8.0	50—60	18
非常强的岩石，要破碎原始标本需地质锤的多次敲击	＞200	＞8.0	＞60	20

试验；6.3节介绍了使用施米特锤和点负荷测试的方法。风化等级可参照表6.18来确定。等级低于3的残积土很少测量，因为它们通常被植被所覆盖。

表6.18 岩体风化级别的描述和分级（塞尔比，1980）

级别	类别	分级 'r'	描述
Ⅵ	残积土	<3	具有特征层次的土壤，失去了原岩石组构的迹象
Ⅴ	完全风化的	3	岩石已褪色并转化为土壤，但原岩的某些结构和构造还大量保留；可能存在某些岩核或岩核幻影
Ⅳ	强风化的	5	岩石完全褪色。不连续可能开敞，并具褪色表面，靠近不连续的岩石结构可能已转化，以致于相当于一半的岩石块体已分解或崩解到用地质锤可挖掘的阶段，可能存在岩核，但一般互相不结合
Ⅲ	中等风化的	7	岩石的大部分块体已完全褪色，但已分解或崩解的岩块不足一半，风化已沿不连续处（可以是裂隙结风化物或土壤带）深入，岩核遥中
Ⅱ	轻度风化的	9	岩石可能轻度褪色，特别临近不连续（可以是开敞的，并有轻度褪色的表面），原岩与新鲜者比起来无明显地变弱
Ⅰ	未风化的新鲜岩石	10	母岩无褪色、无强度减弱或任何其他风化效应。

对表6.19中各种不连续构造都给定一个等级，但这些等级仅能看作为一个近似的引导，使用者在使用中必须根据当地野外的证据，特别是已有的山坡破坏的任何证据。表6.20列出了各种不连续空隔的等级。但应忽略表面的裂隙，只考虑深的不连续。对不连续宽度的等级值应参见表6.20。要记录的宽度至少应是深入篇头中100毫米的不连续部分。在估计宽度方面必须作某些判断，例如，细缝断裂应忽视。表6.20中对类别的解释估算偏保守。表6.20还列出了不同程度断裂连续性的等级值。等级中还包含了充填效应，因为膨胀

表6.19 不連续方位的描述、分级和类别（塞尔比，1980）

	分级	不连续结构的模式	
	（r）	张力（粗糙的）	切应力（平滑的）
非常不利	5	表面倾出坡外，平的表面30°—80°；随机表面>70°	表面倾出坡外，平的表面20°，随机表面30°
不利	9	表面倾出坡外，平的表面10°—30°；随机表面10°—70°	表面倾出坡外，平的表面10°—20°，随机表面10°—30°
顺畅	14	水平到倾出坡外10°；在有平的表面的坚硬岩石中近于垂直（80°—90°）	水平到倾出坡外10°
有利	18	表面倾入坡内从水平到30°，垂直节理并非总是互相交叉的	
非常有利	20	表面倾入坡内超过30°，垂直节理良发育并相互交叉	

压力可以削弱穿过不连续的强度．对在一年中最潮湿季每10平方米岩石表面流出的水量也应作出估计．如果这不可能进行的话，应使用表6.20中的主观术语．

表6.20 地貌学的岩体强度类别和分级（塞尔比，1980）

	1	2	3	4	5
	很强	强	中等	弱	很弱
原岩强度（N型施密特锤'R'）	100—60	60—50	50—40	40—35	35—10
	很强	强	中等	弱	很弱
	r=20	r=18	r=14	r=10	r=5
风　化	未风化	轻度风化	中等风化	强风化	完全风化
	r=10	r=9	r=7	r=5	r=3
不连续之间隔	>3m	3—1m	1—0.3m	300—50mm	<50m
	团结	块状	块状/有缝	碎屑状的	破碎的或粉碎的
	r=30	r=28	r=21	r=15	r=8
节理方位	很有利的，陡地倾入坡内，垂直节理交叉	有利的；中等倾入坡内	顺畅的；水平倾斜或近于垂直(仅硬岩)	不利的，中等倾出坡外	非常不利的，陡地倾出坡外
	r=20	r=18	r=14	r=9	r=5
节理宽度	<0.1mm	0.1	1—5mm	5—20mm	>20mm
	r=7	r=6	r=5	r=4	r=2
破裂延续性	非延续	少延续	延续，无充填	延续，薄层充填	延续，厚层充填
	r=7	r=6	r=5	r=4	r=1
地下水流出量	无	有痕迹	轻度（10m²中流出量<25lmin⁻¹）	中等（10m²中流出量介于26—125 lmin⁻¹之间）	大（10m²中流出量>125 lmin⁻¹）
	r=6	r=5	r=4	r=3	r=1
总的级别	100—91	90—71	70—51	50—26	<26

6.3 野外测定岩体强度方法

施米特回跳锤测试

'N' 和 'L' 型锤都曾被地貌学家和工程师用于估计岩体强度. 戴伊 (Day) 和格迪尔 (1977) 曾试验过 'N' 型锤，迪尔 (Deere) 和米勒 (1966) 曾使用过 'L' 型锤. 在使用任一种锤时，必须采取下面的预防方法：

(a) 应在离边缘或裂隙至少60毫米处取读数.

(b) 求每一读数时，锤必须移到一个新鲜点.

(c) 测试表面应是平坦的，且没有剥落或污物. 然而，当工具用于确定不连续岩壁的强度时，无需作表面准备.

(d) 在任一位置所作的打击次数至少应是10或15次. 塞尔比 (1980) 报道：如果忽略较高的和较低的20%打击读数，且连续测量直到对于余数平均值的偏差不超过三点上下，所得的结果是最可信的.

(e) 应对锤使用的高度作修正. 以迪尔和米勒 (1966) 为基础的图6.1对于 'L' 型锤来说，既可用于修正锤的打击角，又可用于 'L' 型锤打击读数转换成单轴压缩强度. 就 'N' 型锤而论，表6.21列出了用于R值的修正因素.

(f) 工具应定期地对照制造者提供的测试铁砧重新划分度数.

(g) 读数将随样本的湿度而变化. 因此，理想的是，所有读数应在同样的湿度条件下得出.

内维尔 (Neville, 1973, 501页) 曾对回跳读数向非限定单轴压缩强度的转化作了鉴定. 对于使用施米特锤的任何计划来说，以对R值作野外测试来绘制本身的校准曲线，然

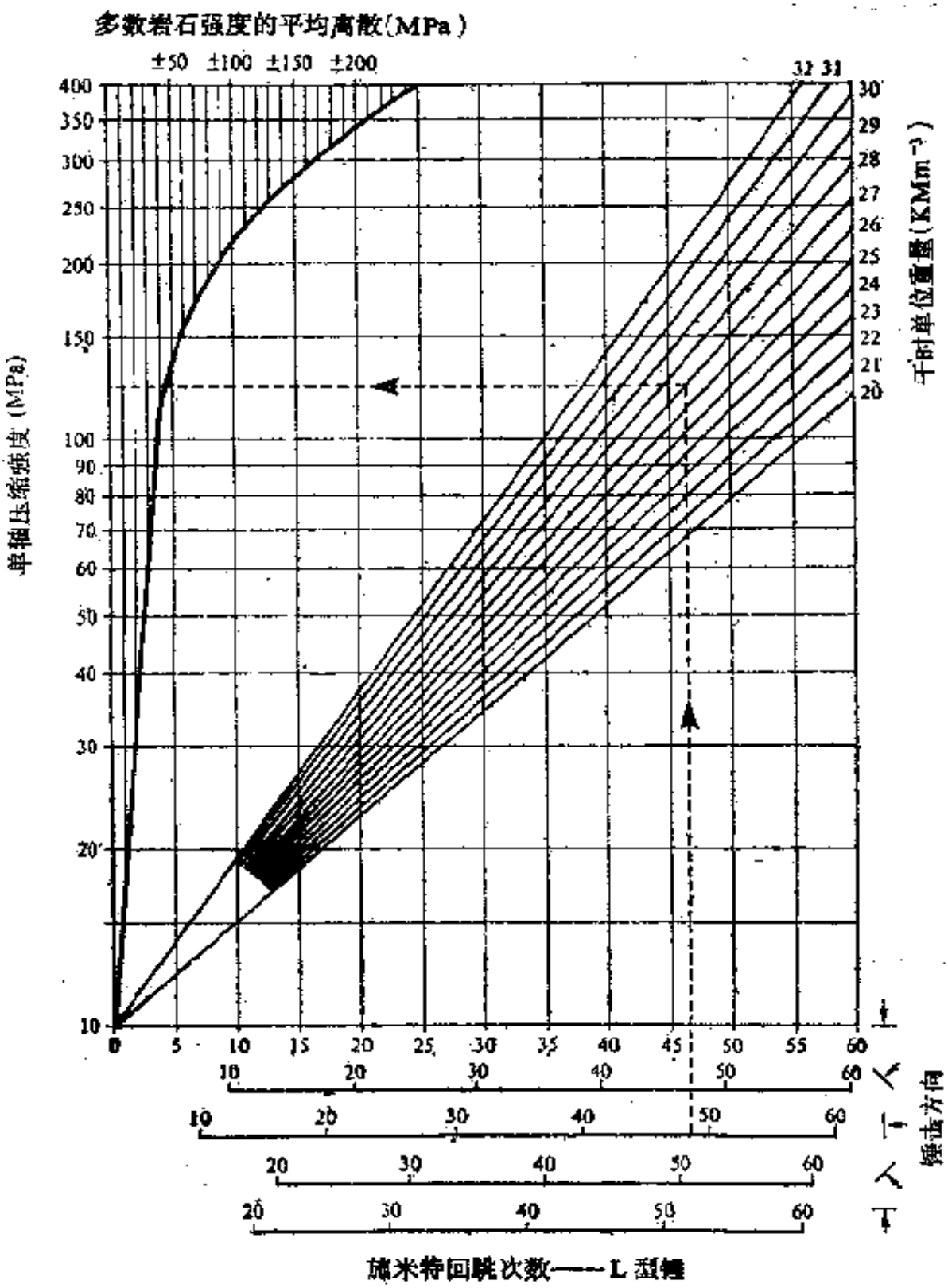


图6.1 'L' 型锤的锤击方向、回跳次数与单轴压缩强度之间的关系

(据迪尔和米勒，1966)

后测试用标准工程程序制成的非限定单轴压缩强度的标本是可取的.

辛格（Singer）和亚隆（Yaalon，1974）发现了R和压缩强度之间的下列线性回归：

$$\log (\delta/9.81\times10^4) = 0.0387R + 0.826$$

式中，R是回跳数量，δ是压缩强度（单位巴斯加）.

就单纯的比较意图来说，没有必要把R值转换成压缩强度. 例如塞尔比（1980）的岩体等级方案就用了原来的R值.

表6.21 非水平打击时，'N'型测试锤回跳数的修正
（据戴伊和格迪尔，1977）

记录回跳值						锤击方向
10	20	30	40	50	60	↓
	-5.4	-4.7	-3.9	-3.1	-2.3	↙
	-3.5	-3.1	-2.6	-2.1	-1.6	→
修正						
+2.4	+2.5	+2.3	+2.0	+1.6	+1.3	↗
+3.2	+3.4	+3.1	+2.7	+2.2	+1.7	↑

点负荷测试

野外，点负荷测试无论在岩芯还是在不规则的岩块上都可进行. 建议这种测试仅在岩芯上进行，负荷施加于横切直径处，并岩芯的最小长度应是其直径的1.5倍（贝尼斯基（Bieniawski）1975，布罗奇（Broch）和富兰克林（Franklin）1972）. 在不规则块体上作的测试和沿岩芯轴向施加负荷的地方可能受原样形状的影响，并可出现不可预测的和不可信的结果. 如果使用两种方法中的任何一种，应作大

量的测试去说明结果的离散状况．对于任意形状的标本，其受负荷轴的长度不能小于42毫米．

为了判断来自特定点负荷测试的结果是否有效，应对标本的碎片作检查，如果一个干净的碎片从一个负荷点凹坑移向其他凹坑，则测试结果可以接受．如果碎片横穿过其他平面，或负荷点陷入岩石表面，既产生凹坑又产生破碎，其结果不可接受．

在点负荷指数和非限定压缩强度之间存在一个合理的关系，关于这一转换的详细内容和表由布罗奇和富兰克林（1972）给出．

6.4 土壤描述

在土壤描述方面有三个因素：在最大范围方面，需要作位置的描述；在中等范围方面，需作剖面的描述；在最小范围方面，需要对剖面内每一单独层次作描述．

位置描述应包括地区性名称和适当的参考图、高度和区域及当地地形的记录．当地地形指半径约100米内的地面，应包括与主要分水线之间的关系、坡度角和山坡特征及坡形．微地形——单个面积小于约100平方米且高差不超过几米的特征——也应描述．应记录过去的和描述时的天气，它可能影响到土壤水分的观察．应注意任何洪水证据，对土壤侵蚀或沉积及其强度、年代以及是否由水、风或块体运动而产生的也应注意．应当记录岩石露头所占的地面面积，对出露的任何现象参照6.1节描述．大石块或漂砾的存在及频数也要注意．对土地利用和地区植被应作较详细地描述．对封闭的农场土地应特别地描述作物及其生长状态，对半自然植被如林地、公园土地和非封闭农场土地则记录植物群的总

类型和布局．说明土壤表面的形态，是否是作畦的、盖沃土的或犁过的，以及最后一次犁耕的日期（如知道的话）．对土壤表面条件、表面的总体状况（松散的、非松散的、覆盖的）和表面石块也应注意．表面石块的岩性、大小、形状、丰度应采用下面介绍的有关术语描述．

剖面描述应包括一张样坑或切面显示沉积层次的三维素描图．应清晰地显示各层垂向的和水平方向之间的关系，记录至底部边界的最大和最小深度及层次的稳定性．完成描述后应对层次进行命名，对从剖面上取的样连续地从表面向下编号，它们的位置应标记在剖面图上．样坑或切面是自然的还是人工的也要记下．

对土壤剖面中的每一个层次应根据下面段落中给出的特征进行全面描述．必须细心地做到，使描述尽可能地完善，将下面未列出的任何非常见特征都记录下来．

对土壤质地只有在实验室分析后才能进行详细描述，并在英格兰和威尔士土壤调查〔霍奇森（Hodgson）1974〕或美国农业局（1951）使用的分类中选出一个合适的质地名称．根据肖（Shaw，1928）在野外确定土壤质地类型的简明测试为：

（a）砂土　松散的或单粒的．能清楚地看见或感觉出单个砂粒．干时捏紧，当压力松开时即松散开来．在湿润的情况下能形成一个一碰即碎的团．

（b）砂质壤土　砂质壤土含有许多砂子，但也有足够的粉砂和粘土使它多少有点凝聚性．看得见和摸得出单个砂粒．干时捏紧，能形成落下时易分散的团，但在湿润情况下，能形成一个可承受细心地触摸而不破碎的团．

（c）壤土　为不同级别的砂、粉砂和粘土的均一混合体．虽然多少有点砂的感觉，但却相当光滑并有轻度的

可塑性．干时握紧，能形成一个可承受细心触摸的团，在相当湿润的情况下形成的团，可任你摆弄而不破裂．

（d）*粉质壤土*　这种土带有中等数量的细砂及少量的粘土，半数以上的颗粒为粉砂级．干时以土块形式出现，但块体易于弄碎，研碎时，有软感和面粉感．湿时，易于聚集并泥泞，无论干时或湿时，都能捏成任你摆弄而不破碎的团．湿时，用拇指和食指捏，它不形成片，而以破裂的现象出现．

（e）*粘质壤土*　是一种细质土壤，干时裂成硬的土块或团块．湿时用食指和拇指捏，能形成易于弄裂的薄片，勉强能承受自身的重量，潮湿的土壤是可塑的，可形成能承受许多玩弄的团．在手中捏时，不易破碎，而趋于形成一个很结实的块体．

（f）*粘土*　是一种细质土壤，干时通常形成很硬的团块或土块，湿时可塑且粘．当用食指和拇指捏湿土时，形成易于弯曲的长条．某些胶体含量很高的细粘土是易碎的，并在任何水分条件下都缺少可塑性．

石块应采用6.5节中的术语，根据单个石块的大小、形状、圆度进行描述．对单个石块的岩性应参照6.1节描述，表6.22列出了用于石块丰度描述的术语．表示丰度目视估计的图在第13章．

土壤颜色应对照〔芒塞尔（Munsell）〕土壤颜色图作记录，也可使用一张替换颜色图，或在缺乏任何图时使用表6.6中列出的用于描述岩石颜色的术语．当使用颜色图时，对“湿土颜色”、“自然体面（Ped face）颜色”、“风干色”和“条痕色”都应作记录．

斑块应根据大小、边界清晰度和单个斑块对比等术语描述．除了应详细描述的线形状况　大小应沿最长轴测量．对

表6.22 描述石块丰度的术语（霍奇森，1974）

术语	丰度（%）	替换术语（用在标准术语不相宜处）
无石块	＜1	
很轻度石质	1—5	少量石块
轻度石质	6—15	普通数量石块
中度石质	16—35	多石块
强石质	36—70	丰富的石块
极强石质	＞70	非常丰富的石块

比度应分为模糊、明显、或显著，下列术语应用于描述界线的清晰度：

清晰　刀口状界线；

清楚　颜色过渡的空间小于2毫米；

扩散状　色变距离大于2毫米。

碎块丰度应采用下列术语描述，估计覆盖百分率的图在第13章提及。

无

少量　占表面的＜2％；

一般　占表面的2—20％；

多　占表面的20—40％；

很好　占表面的＞40％。

对有机物在层次中的分布应作描述。应注意是否和非有机物质有密切关系，是均匀混合还是不均匀混合、是以矿物颗粒上的膜还是以小球的形式出现。对内衬或充填于蚯蚓穴、毛孔和其他任何空隙中的有机物也应注意，还应注意活的或死的根。

土壤构造应根据它的形状、大小和构造集合体（自然体、土块）的发育程度及空间排列去描述。所夹毛孔和裂隙

表6.23 单个土体和碎屑形状、大小的描述术语（霍奇森1974；美国农业部，1951）

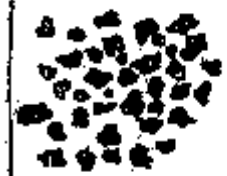
大小 \ 形状	粒状	次角状块体	角状块体	棱柱状	片状
细	细粒状	细次角状块体	细角状块体	细棱柱状	细片状
	<2mm	<10mm	<10mm	<20mm	<2mm
中等	中等粒状	中等次角状块体	中等角状块体	中等棱角状	中等片状
	2—5mm	10—20mm	10—20mm	20—50mm	2—5mm
粗	粗粒状	粗次角状块体	粗角状块体	粗棱角状	粗片状
	5—10mm	20—50mm	20—50mm	50—100mm	5—10mm
特粗	特粗粒	特粗次角状块体	特粗角状块体	特粗柱状	特粗片
	>10mm	>50mm	>50mm	>100mm	>10mm
图示					

表 6.24　土壤强度分级（据霍奇森，1974）

强度等级	用于破碎所需的力（N）	所用方法	30mm立方体标本或单个土体的破碎情况
松散	0		不能取得土壤立方体，这一级不表示湿润状态下土壤的单体强度
很弱	＜8	伸出的食指和拇指之间在立方体的水平面上所产生的力，正如在插图中	可取得立方体或单体，但在弱力下破碎
稍弱	8—20		在弱力下破碎
稍硬	20—40		在强力下破碎，所需的力强小于大多数人在缓慢状况下所产生的最大力
很硬	40—80		在80N力下破碎，即大部分人伸出的食指和拇指之间产生的最大力
稍强	80—160	在一个坚强且平坦的表面上用脚慢慢下踩的力或两只手之间的力	在脚踩的弱力下破碎，在一般人的两只手中能破碎
很强	160—800	在一个坚硬平坦表面上脚慢慢下踩的力	在一个约重80kg的人慢慢施加全身重量的情况下破碎
坚固	＞800		经受得住一个平均重量的人脚下慢慢产生的力

的性质也应描述．自然体是经过干、湿循环而能够存在的自然的和永久性的集合体．碎块或土块是次永久性集合体，它是由于冰冻作用或耕垦而在表面或靠近表面形成的．表6.23

展示了各类自然体的图形并给出了用于其系统命名的分类表．自然体发育程度在野外是以土壤分裂为自然体的容易性和分裂时它们的牢固性估计的．这随土壤水状况而变化，而且通常是在具有土壤水状况中描述的．因此，记下土壤水状况是重要的．下列术语可用于描述自然体发育的程度：

不发育　　无看得见的集合体；

'单粒状'——土壤分散为原始颗粒；

'块状'——裂成易碎的块体．

弱发育的　　次成形的、不分明的、弱凝聚的自然体，在其

表 6.25　湿润或潮湿标本的破碎特性（霍奇森，1974）

试　验	结　果	分级
伸出的拇指和食指之间慢慢增加的压力下的一个30mm立方体或标本	保持其大小和形状，直到突然碎成单体或碎片	脆
	被压缩但有裂纹，并在其被压缩到原有厚度一半前破碎	半变形
	能被压缩原有厚度的一半而无裂隙或破裂	变形
如果一把土在手中挤压	无物质从手指中流出	变形
	趋向于流入手指间的空隙，但当全部压力加上后，大部分土壤留在手中	弱流体
	全部压力加上后，易于从手指中间流出，小部分残渣留在手中	中等流体
	全部压力加上后象弱粘滞流体那样从手指中间流出，很少或无残渣留在手中	强流体

所在的位置上勉强看得见

中等发育的　　成形良好、中等牢固的自然体，自然体明显，但在未扰动的土壤中不清晰.

强发育的　　牢固的自然体，在未扰动的土壤中十分明显.

如果需要的话，还可区分出非常强和非常弱的发育等级.

裂隙的方向、类型、丰度和发育程度与自然体的特性紧密相关，一般可从自然体的描述中推理出来，虽然补充记录是有用的.

土壤坚度可在强度、最大粘度、胶结性和可塑性的标题下描述. 由于所有这些性质依赖于土壤的水状态，因此记录土壤水状态是重要的.

表 6.26　描述胶结度的术语和试验（霍奇森，1974）

术　语	试　验　结　果
非胶结	在水中浸泡一小时即分散
极弱胶结	食指和拇指间用力即能使其破碎（力小于80N）
弱胶结	食指和拇指用力不能使其破碎，但当放在一个硬的表面，一个平均重量的人用脚能踩碎（力在80—800 N之间）
强胶结	承受得住平均人的重量，但当受到能量为3J的一击时即碎裂或破碎。做法是：在0.3m的高度〔由物体的重量(kg)确定〕向标本落下一个已知重量的物体（锤等）。
极强胶结	在能量为 3J 的打击下不破碎

土壤强度可看作为破碎一个非限定的30毫米边长的立方体的阻力，并通常估作为垂直平面上的强度．表6.24和6.25列出了强度等级、列隙状况和性质．

估计最大粘度，是把弄碎的标本放在手中进行的，在标本中加入或挤出水分，直到达到最大粘度为止．用下列术语来记录粘度：

无粘性　　压力消除后，无物质粘结．

轻度粘性　　感觉得出土壤物质粘在拇指和食指上，但当手指分开时无拉伸．

中度粘性　　粘结于手指上，当手指分开时趋向于拉伸．

很粘　　土壤牢固地粘于手指上，随着手指的分开而拉伸，每个手指上有部分土壤遗留着．

估计胶结性的方法是：把一块30mm见方的风干土放入水中一小时，然后象表6.26列出的方法去测试．

估计最大可塑性的方法是：把一块标本放在手中盘弄，加入出现最大可塑性所需的水．然后把土壤做成约40mm长

表 6.27　确定最大可塑性的试验（霍奇森，1974）

术　语	试　验
不可塑	不能做成40mm长、6 mm粗的条
弱可塑	能做成40mm长、6 mm粗的条，并能承受住自身重量，但粗4 mm的条不能承受自身的重量
中等可塑	能做成40mm长、4 mm粗的条，并能承受其自身的重量，但粗2 mm的条不能承受其自身重量
强可塑	能做成40mm长、2 mm粗的条，并能承受住自身的重量

表 6.28 描述根系丰度的术语（霍奇森，1974）

丰度等级	每100cm³根系数量	
	很细的和细的根系	中等粗的和粗根系
少	1—10	1或2
一般	10—25	2—5
多	25—200	>5
丰富	>200	—

的条，并用表6.27所述的方法测试。

应详细记录根系和其他植物残体。根系的大小用下列术语表示：

很细 <1 mm

细 1—2 mm

中等 2—5 mm

粗 >5 mm

表6.28列出了描述根系丰度的术语。应把根系描述成木质的、纤维质的或肉质的和其他活的植物物质（如球根、根茎等），应采用表示其平均大小、分布指标和丰度指标的一般术语描述。对可识别的死植物残体应采用一般术语描述，在泥炭层中，应估计腐殖质的数量，并把泥炭分为纤维状的、半纤维状的或无组织的。

土壤中碳酸钙的含量可用观察其与10%盐酸溶液的反应测定，参照表6.29。

对成土起源的所有特征应作描述。应记下所有晶体、盐碱显迹、结核或结块现象。记录应包括它们的丰度、形状、构

表6.29 描述碳酸钙含量的野外术语（霍奇森，1974）

术语	$CaCO_3$（%）	听觉效应	视觉效应
非石灰质的	<0.5	无	无
微量石灰质的	0.5—1.0	刚能听见	无
轻度石灰质的	1.0—2.0	中等听得见	刚能看见的轻度起泡
中等石灰质的	2.0—5.0	明显听得见	易见泡泡
石灰质的	5.0—10.0	易于听见	中等起泡；泡泡上摇8毫米
强石灰质的	>10.0	易于听见	一般强烈起泡；泡泡大而易见

造和任何盘状体的外貌、位置、连结或构造的详细内容.

与下一土层界线的特征和形式应用下列术语描述：

剧变　变化发生于<5mm的距离内；

突变　变化发生于5—25mm的距离内；

清晰　变化发生于25—60mm的距离内；

渐变　变化发生于60—130mm的距离内；

混杂　变化发生于>130mm的距离内；

平滑　边界表面平整，几乎没有不规则的变化；

波状　边界表面带有宽浅的、相对规则的凹穴；

不规则　边界表面带有深大于宽的凹穴；

破碎　断裂的边界.

土壤反应（pH）最好在实验室中测试，但是，在野外应用袖珍仪测定，精确到单位的十分之一.

土壤层次的系统命名

虽然土壤层次的命名在一定程度上依赖于可观察到的实地特征，但是，只有掌握了实验室分析的成果后，才能进行

完整的和精确的命名. 这里展示的系统命名有意作了缩略，而且是非定量的，仅供野外初步命名之用.

枯枝落叶层

L　前一年循环期中的新鲜枯枝落叶堆积.

有机质层

F　前些年残留下来的部分分解的枯枝落叶层，肉眼可见其中某些原植物结构；

H　良好分解的枯枝落叶层，其中原植物结构已不可见，常与矿物质混合在一起；

O　潮湿条件下积累的泥炭层：

Of　纤维状泥炭；

Om　半纤维状泥炭；

Oh　无组织的泥炭；

Op　耕垦混合的泥炭.

矿质层

A　形成于近表面的矿物层，以含腐殖化的有机质团为特征，受耕垦的扰动，或分为：

Ah　未耕垦的A层；

Ap　受耕垦混合的层.

E　亚表层矿质层，颜色比紧接着的下层浅，有机质的含量比紧接着的下层少；和上覆层的区别是较浅的颜色和较少的有机物含量：

Ea　无铁斑或铁结核；

Eb　由于游离氧化铁的均匀分布引起的明显的棕色.

B　无岩石结构的矿质亚表层，以下列任一个或所有的淀积集中为特征：硅质粘土、铁、铝或腐殖质，或者以涉及碳酸盐的分解和迁移的有机物的转化为特征：

Bf　明显富含铁和碳的层，黑至红棕色，易碎，厚度

小于 5 mm；

Bh　含有迁移过的有机物的B层；

Bs　以富含三氧化二物为特征的B层；

Bt　带有以包裹膜或以单个土体内结核形式出现的迁移过的硅质粘土的特征；

Bw　展示由风化、淋溶或结构上的重组织引起的迁移证据的层.

C　未固结或弱固结矿质层，保留有岩石结构或缺少上覆A、E、B层的性质：

Cu　通常层次不发育或没有层次，表明无强潜育化证据；

Cr　弱固结的、少交换的亚层，紧密到足以阻止根系的插入；

Ck　含有次生$CaCO_3$结核、包裹膜或结盘的层；

Cy　含有次生石膏积累的层.

R　除裂隙外是连续的坚硬的或非常坚硬的基岩.

下列附加后缀是常用的：

G　极度潜育化（衰变的）层；

g　渐渐衰变层；

m　断续胶结层；

x　密实层.

6.5　对沉积物和沉积岩的描述

如土壤的情况一样，需要作三步描述. 第一步位置的描述应仿照6.4节开始时用作土壤的相同格式.

剖面或露头的描述应包括精确位置的详细内容，特别当所研究的剖面是许多相邻间隔剖面之一时或横剖面的一个部

表 6.30 颗粒大小的等级

mm	φ值	温特沃思 (1922)	美国土壤局	ASTM (1935)	BS1377 (1967)
2048	-11				
1024	-10				
		漂砾			
512	-9				
256	-8	----------			中砾
128	-7	中砾			
64	-6	----------		---76.1--	
					--60--
32	-5		砂砾	c	c
		卵石		砂	
16	-4			-19--	砂-20--
				f	m
8	-3			砾	-6--
4	-2	--------		---4.76---	砾
3	-1	细卵石			f
		-------		-2.00--	---2--
1	0	vc		m	c
		------ -----			
		c	c		
0.5	1	------ ----		砂	-0.6--
		砂 m	砂 m		砂 m
0.25	2	------ ----		f	-0.2---
		f	f		f

表6.30续

mm	φ值	温特沃思 (1922)	美国土壤局	ASTM (1935)	BS1377 (1967)
0.125	3	------			
			--0.1--		
0.0625	4	vf ------	vf	--0.076--	--0.06-
			--0.05--		
0.0313	5				粉
					c --0.02---
0.0156	6	粉砂	粉砂	粉砂	
					m
0.0078	7				
		--0.005--		--0.005--	砂-0.006--
0.0039	8				
					f
0.0020	9				--0.002--
0.00098	10	粘土	粘土	粘土	粘土
0.00049	11				
0.00024	12				

表中vc=很粗，c=粗，m=中等，f=细，vf=很细。

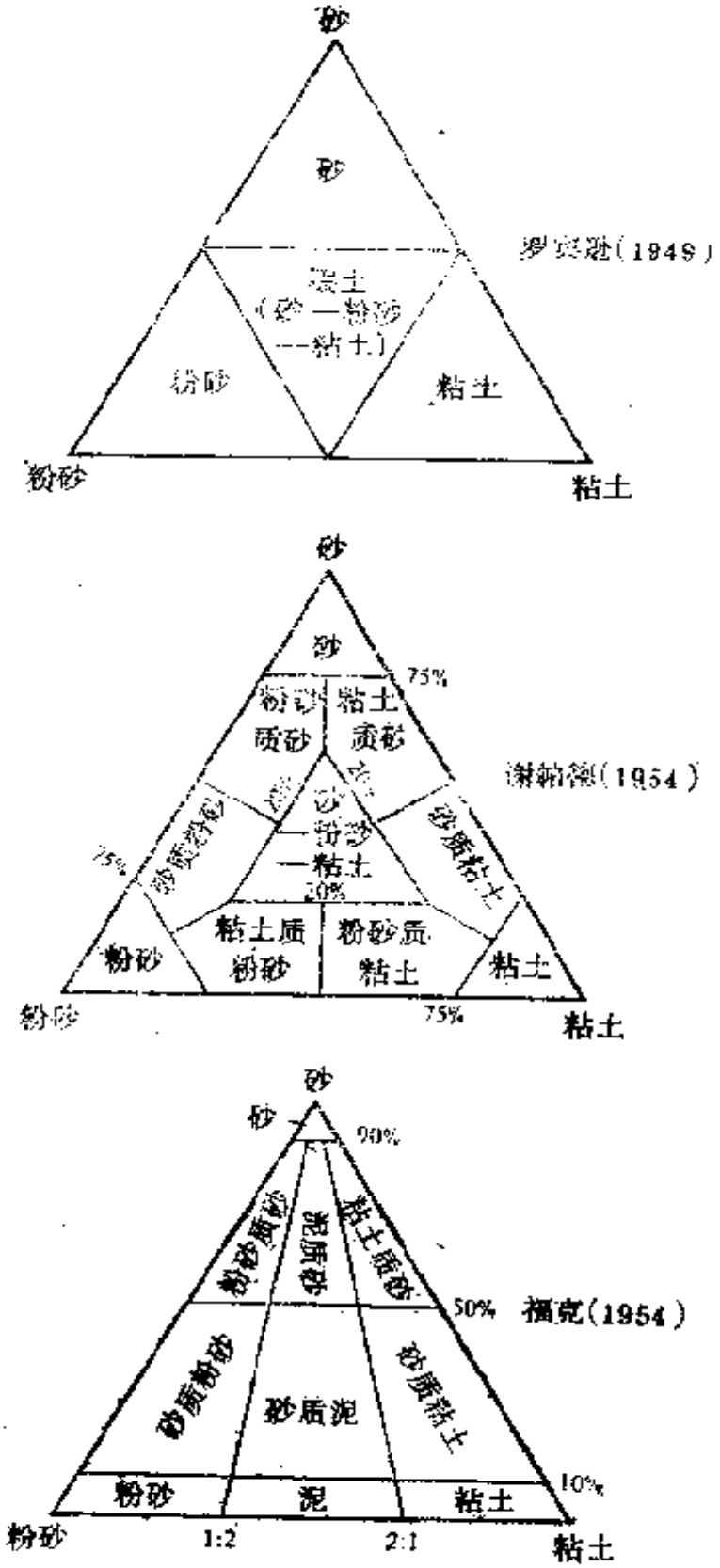


图6.2　砂、粉砂和粘土混合物的命名系统

代的或迅速的剥蚀断面．大部分资料最好包括在详细的野外简图上，这一简图还应展示单元之间的界线和非暴露式或暴露不好的任何区域．样品应系统地编号，如从剖面顶部开始编号，并用带后级的方法表示多重样品，所有样品点应表示在野外简图上．

每一岩石单元应根据下面所述的特征进行充分地描述．应仔细到将剖面观察中未包括进去的非一般特征记录下来．在描述表面沉积和已风化岩石时，可以使用用于土壤描述的术语．

单个颗粒、碎屑或良好分选的沉积物的粒径应用表6.30中所提出的一种粒级的适当术语表达．对于分选差的沉积物

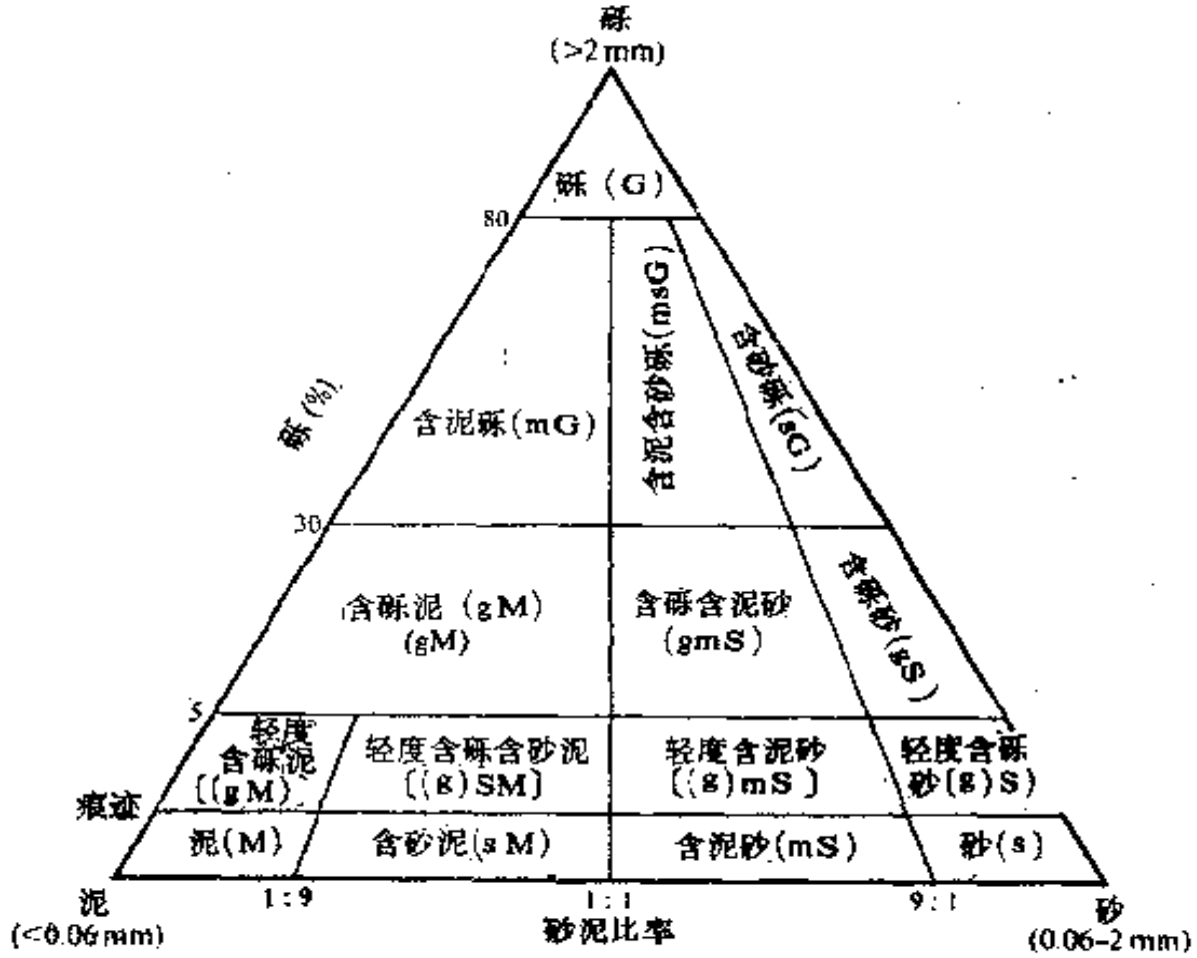


图6.3　用于砾石、砂和泥混合物的命名系统

（福福克，1954）

表 6.31 沉积物强度的评定和专用术语

（地质协会工程队工作组，1977）

沉积物	强度	
	术语	定义
粗粒沉积物	固结	仅当用尖头锤打击时破裂，甚至在浸湿时也是如此；产生铃环
	强胶结	拇指不能使其有磨痕，用手不能弄碎
	弱胶结	尖器能以团块形式刮去沉积物，用手指能擦成磨痕，并能用手破碎之
	紧实	需用尖器挖掘；用50mm长的钉子难以打进超 过50—100mm
	松散	用铁铲能挖掘之，50毫米的木钉易于打进去
细粒沉积物	坚硬	易碎的或很坚韧的
	硬	手指不能使其成形
	结实	手指的强压力能使其成形
	软	手指易使其成形
	很软	挤压时能从指缝中流出
	脆	无塑性，用手指能使其成粉末
泥炭	结实	纤维被压缩在一起
	海绵状	非常可压缩，并为松散结构
	可塑	在手中能成形，并沾在指缝中

或沉积岩，可用图6.2选择一个相应的描述术语．在物质中包含大量砾石级物质的情况下，图6.3提供了适合的专用术语．每一组分的百分率在野外可用图13.2进行估计．分选程度在野外可参照图6.4估计．

机械性质应根据强度、粘度、胶结度和可塑性进行相应描述．强度可用表6.31中列出的测试和术语进行定性估计．在强度范围的上端，表6.8或表6.17列出的测试可能更为合适．用于土壤强度的替换测试由表6.24列出．粘度、胶结度和可塑性的描述可分别参照6.4节有关部分内容和表6.26、表6.27进行．此外对任何胶结物的特征应作识别，并且确定与其它岩石和结构性质有关系的胶结物的分布．土质学方面应取样作实验室测试．

对沉积物的颜色应采用芒塞尔土壤颜色图或美国地质协会岩石颜色图进行确定．如没有可用的颜色图，可用表6.6中列出的术语．应对颜色分布不均匀处作仔细记录，关于这一点160—162页上用于染色描述的专门术语是有用的．应估计出新鲜条件下和风化条件下的颜色．

对组成颗粒的类型应作记录，对多种颗粒应确定出主要成分的相对丰度．对次要类型和它们的相对丰度也应作记录．对于岩石碎屑、化石和在更小程度上的重矿物，要在时间和它们的大小所允许的范围内作精确的辨识．对化石来说，记录其高度，是否在原生位置，是否受流水定向，是否被分组或固结了也是有用的．图13.2可用于估计每一组分的丰度．表6.1，2，3和4可用于帮助命名岩屑和卵石．

组成颗粒的形态可在磨圆度、形状和表面特征的标题下描述．颗粒磨圆度在野外可对照标准图肉眼确定．图6.5和6.6是两个常用的图．克雷贝（Krumbein，1941）的图适用于直径为16—32毫米的卵石．如果颗粒实际大于或小于这个

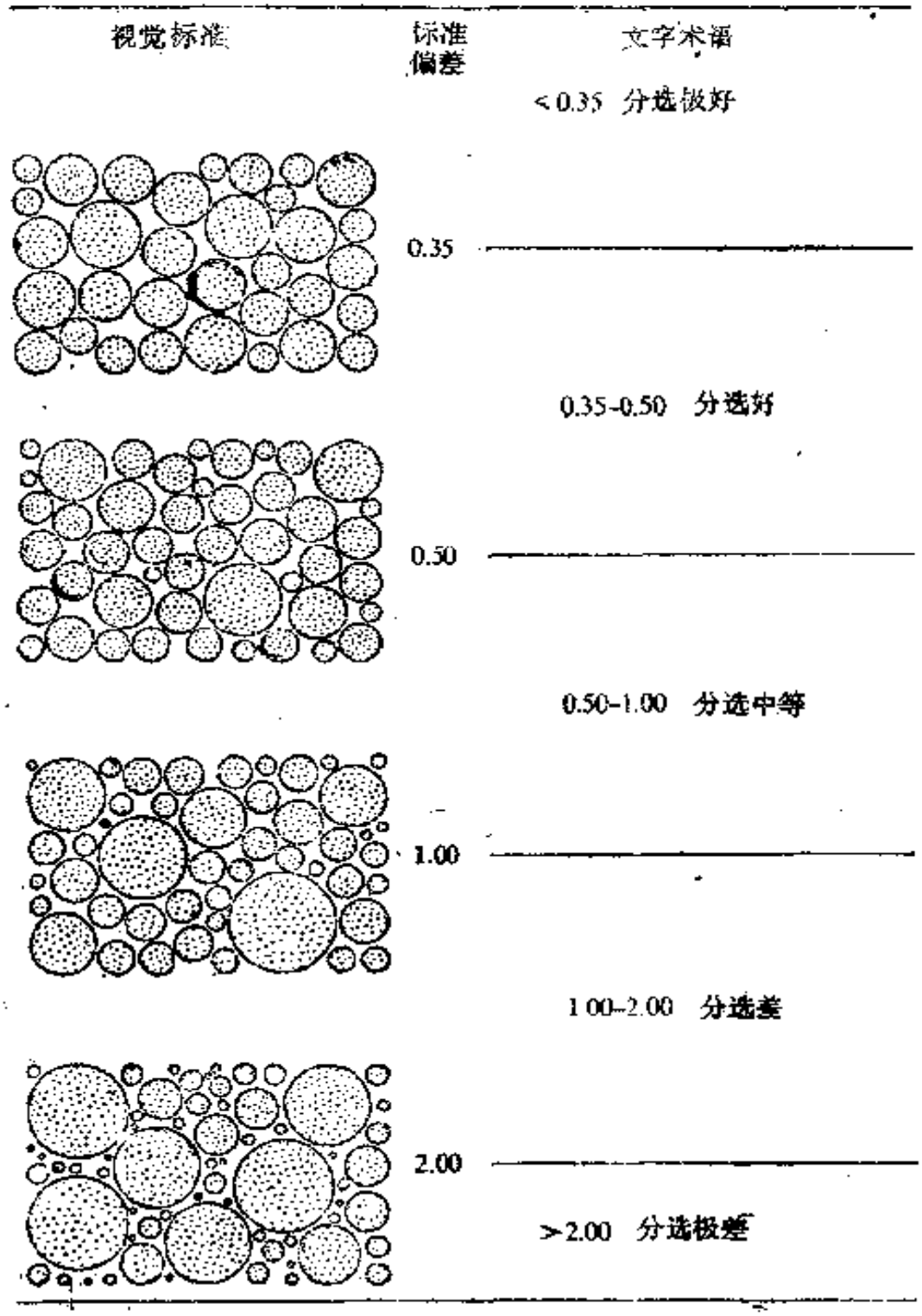


图6.4 野外估计分选程度的图

（据福克1968的资料编绘而成）

图例，用它的缩略形式（图6.5）进行比较也是可以的．图6.6中鲍尔斯（Powers，1953）的磨圆度图仅适用于砂粒级

的颗粒．这一章的最后，介绍了计算磨圆度指数的公式，这个公式在很大程度上依赖于棱角曲率的测量．

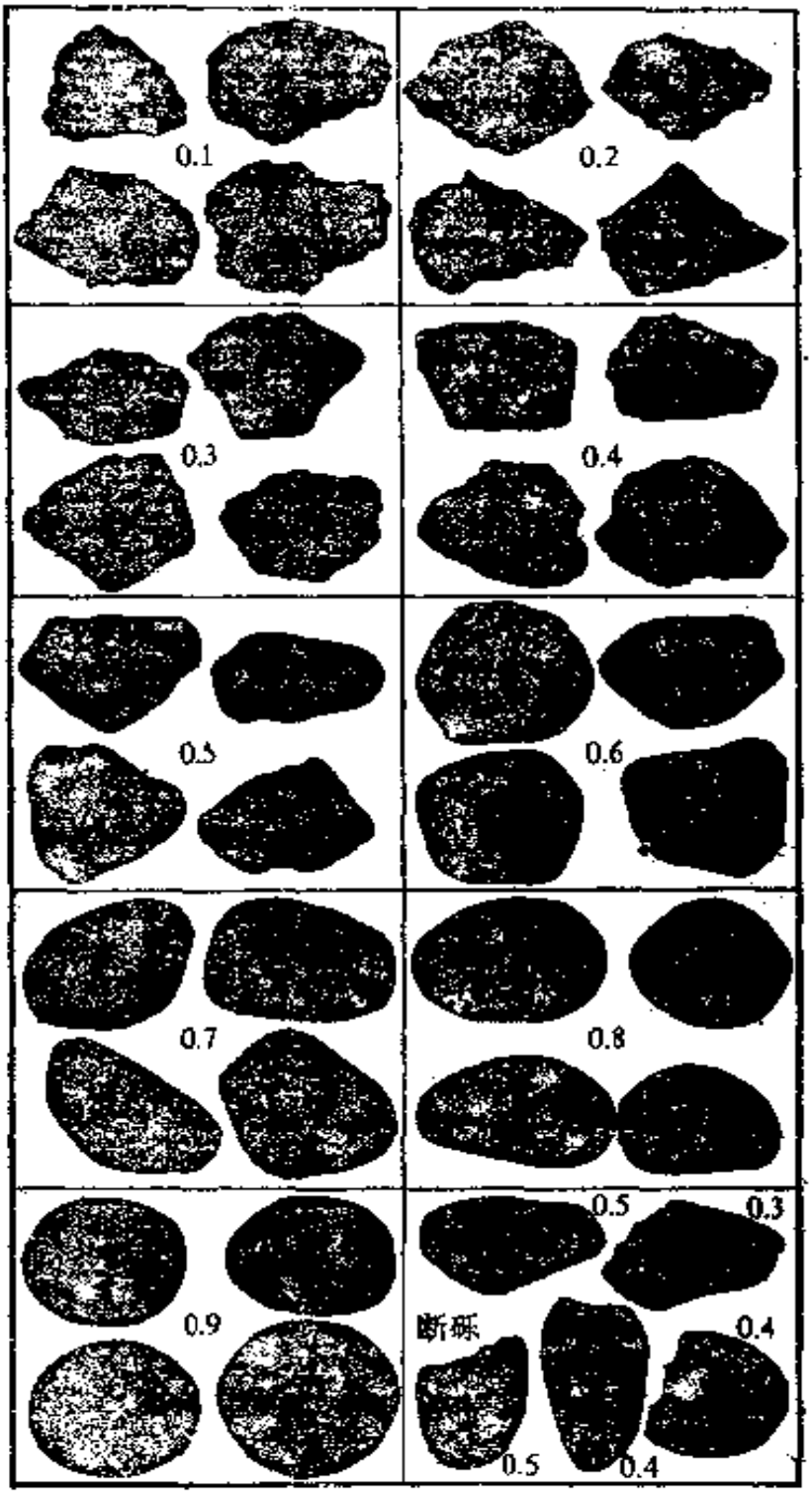


图6.5　用于肉眼估计卵石磨圆度图

（据克雷贝，1941）

确定形状（即轴长之间的关系）的最好方法是直接测量和用本章末尾列出的形状指数计算．图6.7和6.8是两种可替换的颗粒形状分类．

应对单个颗粒的任何表面特征和类型作记录．比较小的颗粒应用放大镜作检查．记下细纹（striation）、冻痕（frosting）、磨光（polishing）、颤痕(chattermark)、凹坑（gauge）等．记下是否这些特征对所有颗粒类型来说都有或者是否它们仅限于特殊类型．对任何腐蚀或颗粒外膜（grain coatings）也应作记录．



图6.6 肉眼估计砂粒磨圆度图
（据鲍尔斯，1953）

对任何结核或矿瘤（nodules）的存在应作记录，对它们的形状和组成应作描述，并记下任何明显的聚集作用（concentration）或局部性质(localisation)．

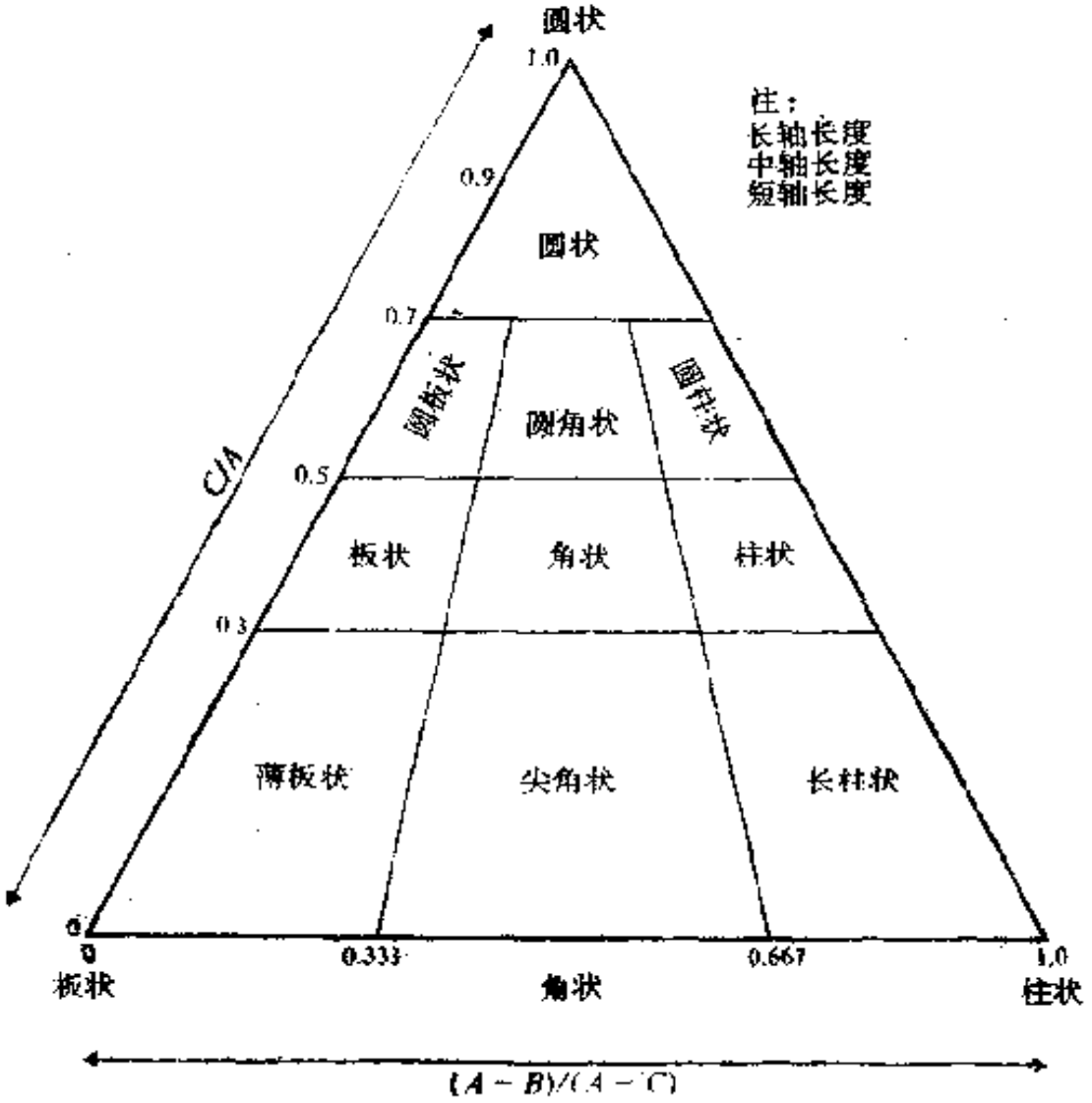
应采用表6.16或6.18中的术语描述风化状态，过度的程度也可用同样的术语描述．未固结沉积物中风化的描述可取描述土壤的方式，6.4节中的专门术语是适宜的．

每一沉积单元的外部几何形状应根据层理厚度，成层性质和边界性质进行描述．层理厚度可用图6.9中的术语描述．

如不考虑成因，则可用图6.10中的术语描述层理。如果薄层、透镜状、线状、楔形或不规则形等术语更合适的话，也可以使用。边界的性质可使用116页中关于边界的划分及边界形式的术语。当涉及与土壤相对立的沉积物时，划分两种类型的递变界线（gradational boundary）是有用的：

混合递变　　递变是由两种极端组分的混合而每一种组分的相对丰度发生变化形成的。

连续递变　　递变是从一种物质类型向其他类型连续和逐步变化的，无极端组分的混合。



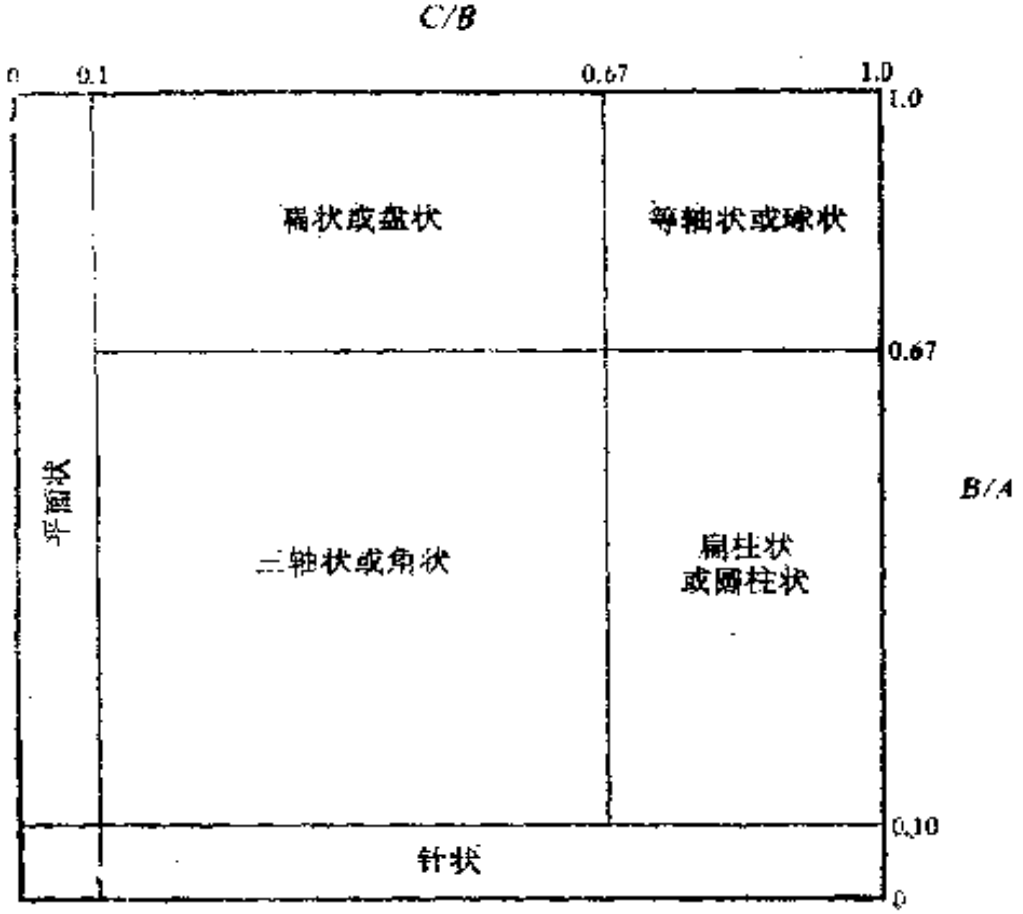


图6.7和6.8　颗粒形状分类

（斯尼德和福克，1958）

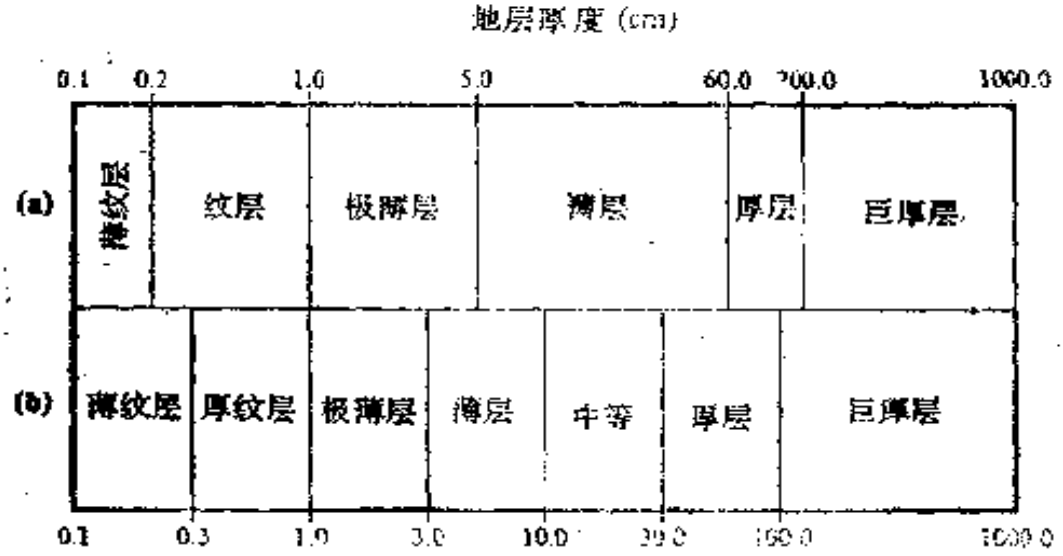


图6.9　描述地层厚度的术语：（a）麦基（Mckee）和韦尔（Weir，1953）；（b）英格拉姆（Ingram，1954）

描述界线形态的术语还包括有波状的、侵蚀的、交叉的、不整合的和整合的等，视其情况而采用比较恰当的术语.

应记录下层内的任何具有显明特征的袋状体或透镜体. 在适宜的地方应记录每一个特征的形状、大小和精确性质.

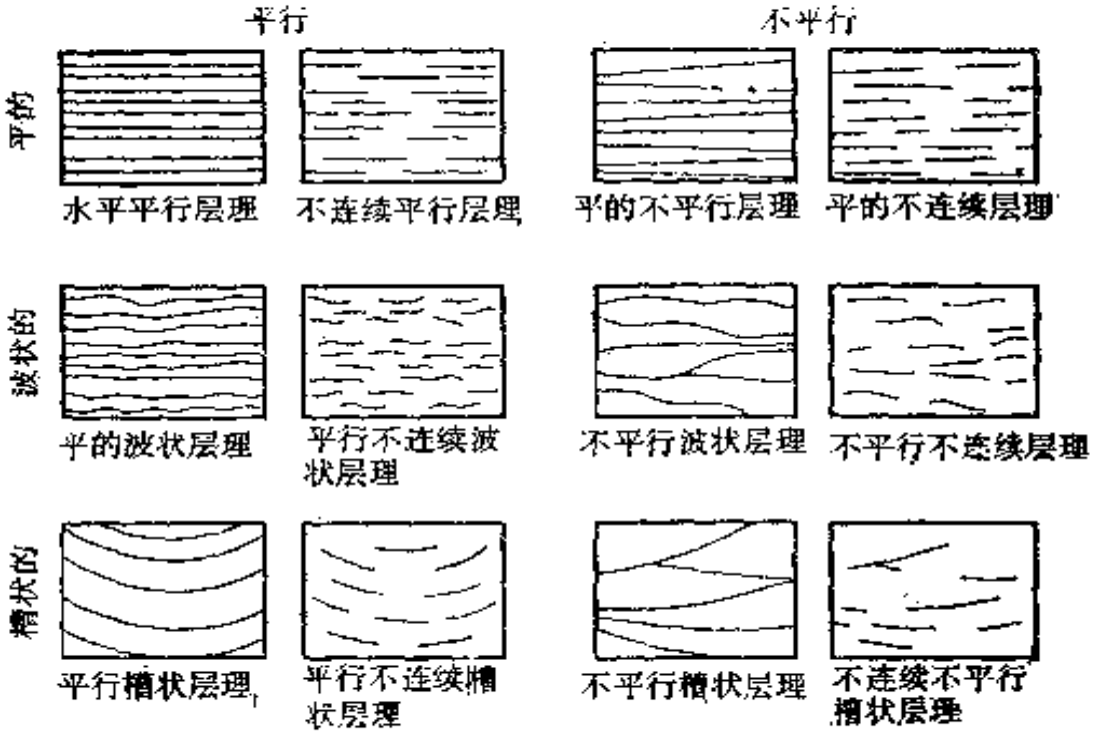


图6.10 描述沉积层理的术语

〔坎贝尔 (Campbell)，1967〕

下面的检索单用于记录出现在每一单元中的沉积结构的类型：

非生物构造

结构	颗粒	碎屑	贝壳
层理类型	斜层理	波痕层理	
	递变层理	斜层理	透镜体
	韵律层理	易裂层理	压扁层理
层面标志	线状剥离	波痕	
	凹痕	工具痕	泥裂

	擦痕	冲刷痕和流痕	
变形构造	负载构造	包卷层理	碎屑障
	河道	割裂构造	褶皱
	断裂	冻土现象	
	流水构造	水下滑塌构造	
生物构造	生物穴	生物迹	

当需作环境解释时，对沉积构造的详细描述和测量是必须的．特别是交错层和波痕应采用下面的定义进行描述。

交错层常用三种分类．乔普林与沃尔克（1967）和麦基与韦尔图式的进一步划分可用如下的定性术语来完成：

层的形状	透镜状	斜层为辐合的面所界限．至少一侧弯曲
	板　状	斜层的界限是平的．层面基本平行
	楔　状	斜层为平的辐合面所界限
层　态	下凹的或非下凹的	
对　称	对称的	轴面两边交叉层的大小与形状对应
	不对称	
斜层曲率		凸的、凹的或直的
倾　角	高角度	20°或更大
	低角度	小于20°
规　模	小规模	交叉层的长度小于30厘米
	中等规模	交叉层的长度在30厘米—6米之间
	大规模	交叉层的长度大于6米

艾伦（1963）提出的分类更为综合，但在野外使用欠便利．为使这一系统更便于野外使用，用图6.12展示了其基本描述

表 6.32 斜层理的分类（乔普林和沃尔克，1967） 注意：A类、B类、S类是过渡系列

特征	A类	B类	C类	S类
纹层	仅保留在背流坡	从迎流坡继续到背流坡	从迎流坡继续到背流坡	从迎流坡继续到背流坡
沉积物	砂和粉砂，在滑落面基部附近具有某些细粒	砂和粉砂，细粒集中在滑落面的基部附近和波谷	砂和粉砂限于迎流坡，逐渐向波谷变为细粒	砂、粉砂和细粒并不分选沉积在沙波上
波纹形态	不对称的，幅度可变	不对称，幅度可变	不对称，在一套地层中幅度向上减少	对称，正弦曲线剖面
层系递变	无递变	无递变	递变，从基部的细砂和粉砂到顶部的粉砂和细粒	无递变
悬移质对推移质的比率	低且稳定	中等且稳定	中等且稳定	高且稳定
水流强度的稳定性	稳定	稳定	减小	减小
				

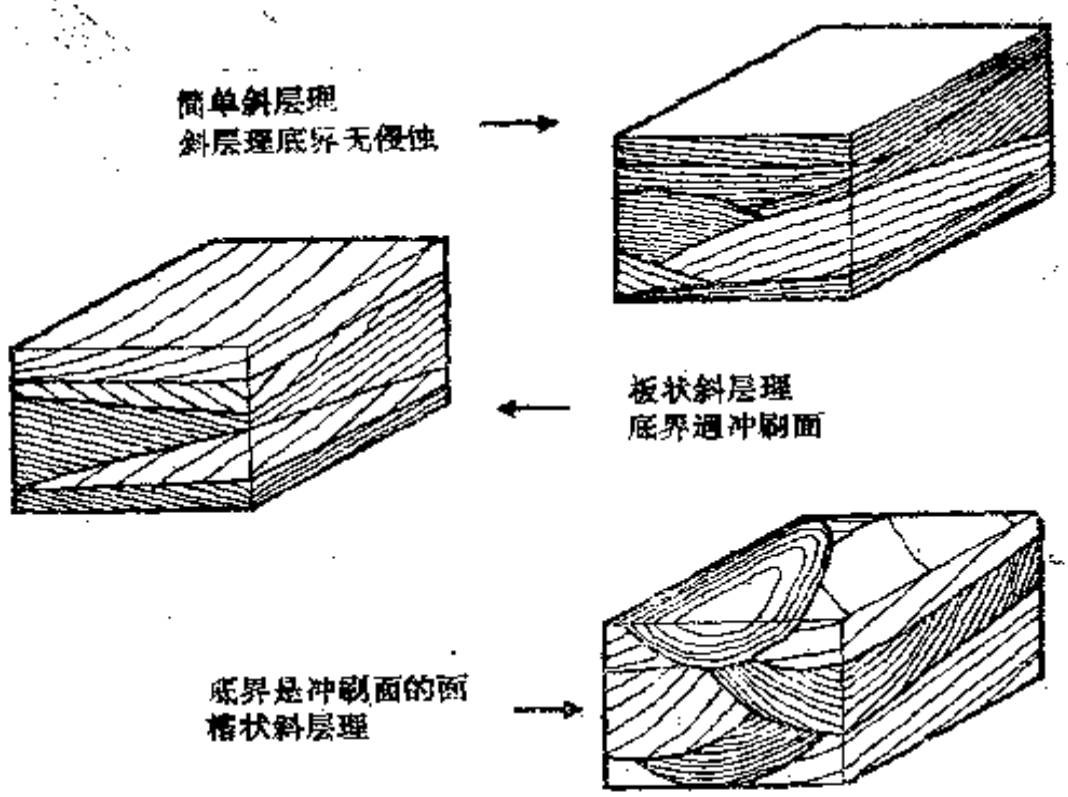


图6.11 斜层理的术语和分类
（麦基和韦尔，1953）

术语的图式．使用这些图式，就可对每一构造的主要特征作野外记录．然后，可用表6.33中的判别标准去识别斜层理的类型，并可参照表6.34中的成因分类作初步解释．图6.13是艾伦分类中主要类型的图解．

作波痕描述时，应采用图6.14中的专门术语，这张图用于描述平面和垂直剖面特征．关于波痕的起源可以从计算各种波的指数求得．下面列出了必须进行的量测及指数计算．坦纳（Tanner，1967）引证这些指数来区分不同成因的沙波．图6.15表示了沙波指数的各种组合，可以用来区分各种可能的起源．

量测：

一组波中最大波长 L_{max}

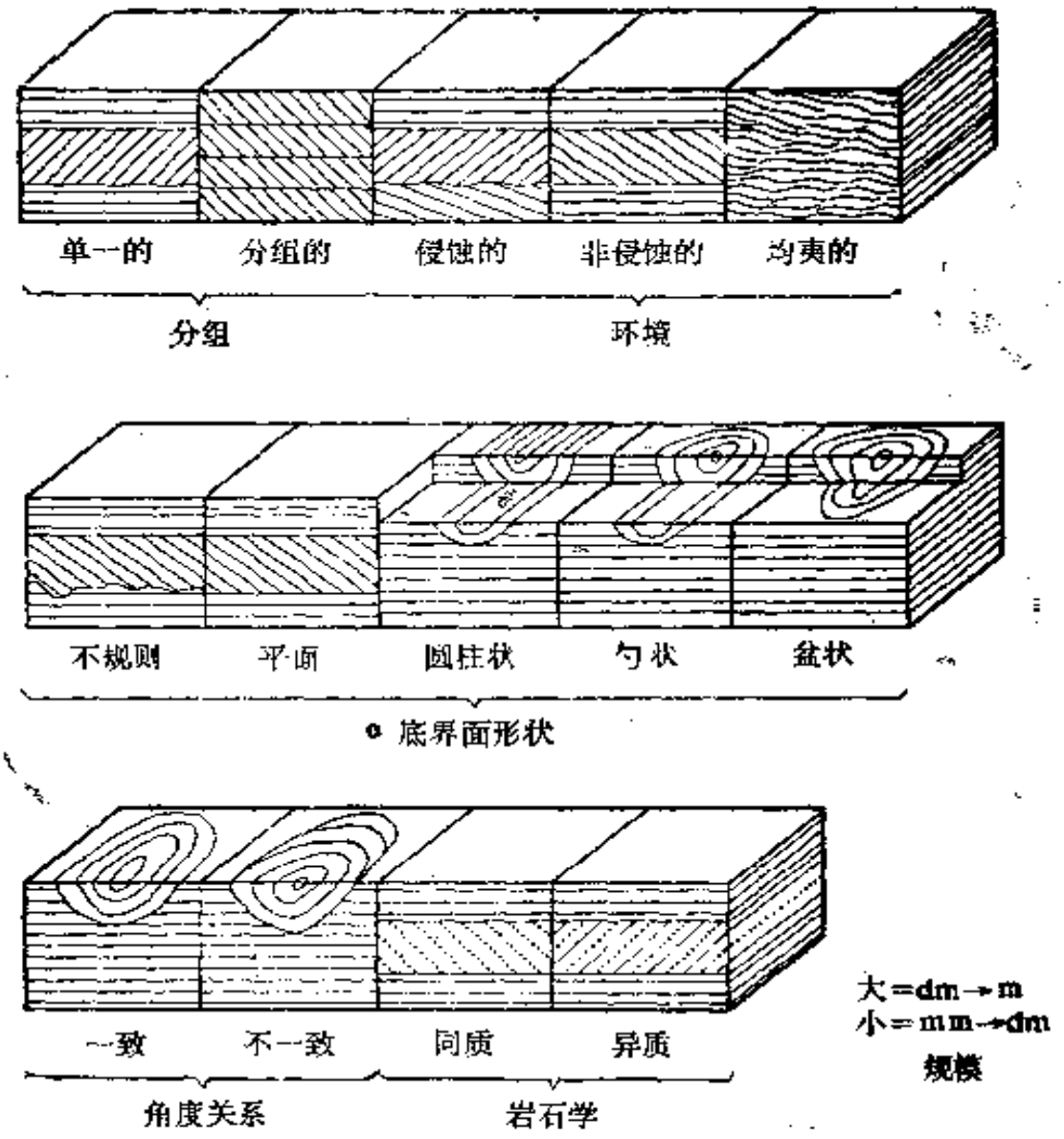


图6.12 艾伦（1963）分类中对斜层理特征描述的术语

一组波中最小波长	L_{min}
两个分叉点之间沿波峰的距离	l_b
两端点之间的峰长	C
波长的多个测量值	L_1, L_2, 等
平行于波峰的距离，沿波峰能看出弯曲	l_d
在ld距离内波峰线对直线的偏离	d
迎水面的水平长度	L_s

表 6.33 交互层类型识别的索引（艾伦分类，1963）

1．单独的或成组的？	(a) 单 独 ——转向 2（大型）
	(b) 成 组 ——转向 7
2．环境？	(a) 非侵蚀的——阿尔法（α）
	(b) 侵 蚀 的——转向 3
3．底界面？	(a) 平 的——转向 4
	(b) 不规则的——伽马（γ）
	(c) 圆柱状的——截塔（ξ）
	(d) 勺子状的——艾塔（η）
	(e) 槽 状 的——转向（5）
4．岩石学？	(a) 均 质 的——贝塔（β）
	(b) 非均质的——伊普西隆（ε）
5．角度关系？	(a) 协 调 的——约塔（ι）
	(b) 不协调的——西塔（θ）
6．大型或小型？	(a) 大 型——转向 7
	(b) 小 型——转向 8
7．环境？	(a) 侵 蚀 的——转向 9
	(b) 非侵蚀的——克西（ξ）
8．环境？	(a) 侵 蚀 的——转向10
	(b) 渐 变 的——转向11
9．底界面？	(a) 平 的——奥密克戎（o）
	(b) 勺子状的——派（π）

表6.33续

10. 底界面？	(a) 平　　的——米尤 (μ) (b) 勺子状的——纽 (υ)
11. 底界面？	(a) 不规则的——卡帕 (κ) (b) 平　　的——拉姆达 (λ)

表 6.34　斜层理的成因分类（艾伦，1963）

	第1组	第2组	第3组
描述	简单的，大部分是大型的，界面平滑或不规则	简单的，大部分是大型，以圆柱状、勺子状和楔状的形式填积在洼处	组合形式，既有小型，也有大型
类型	α β γ ε ξ	ζ η θ ι	1. 小型 κ λ μ ν 2. 大型 ο π
起源	具弯曲或直线型前峰的简单沙洲迁移产生，多数情况下前峰是滑落面	由孤立的河槽，坑洼，切割和充填形成	由多种形态的大型、小型不对称波痕迁移形成，决定于形成层系的形状和规模

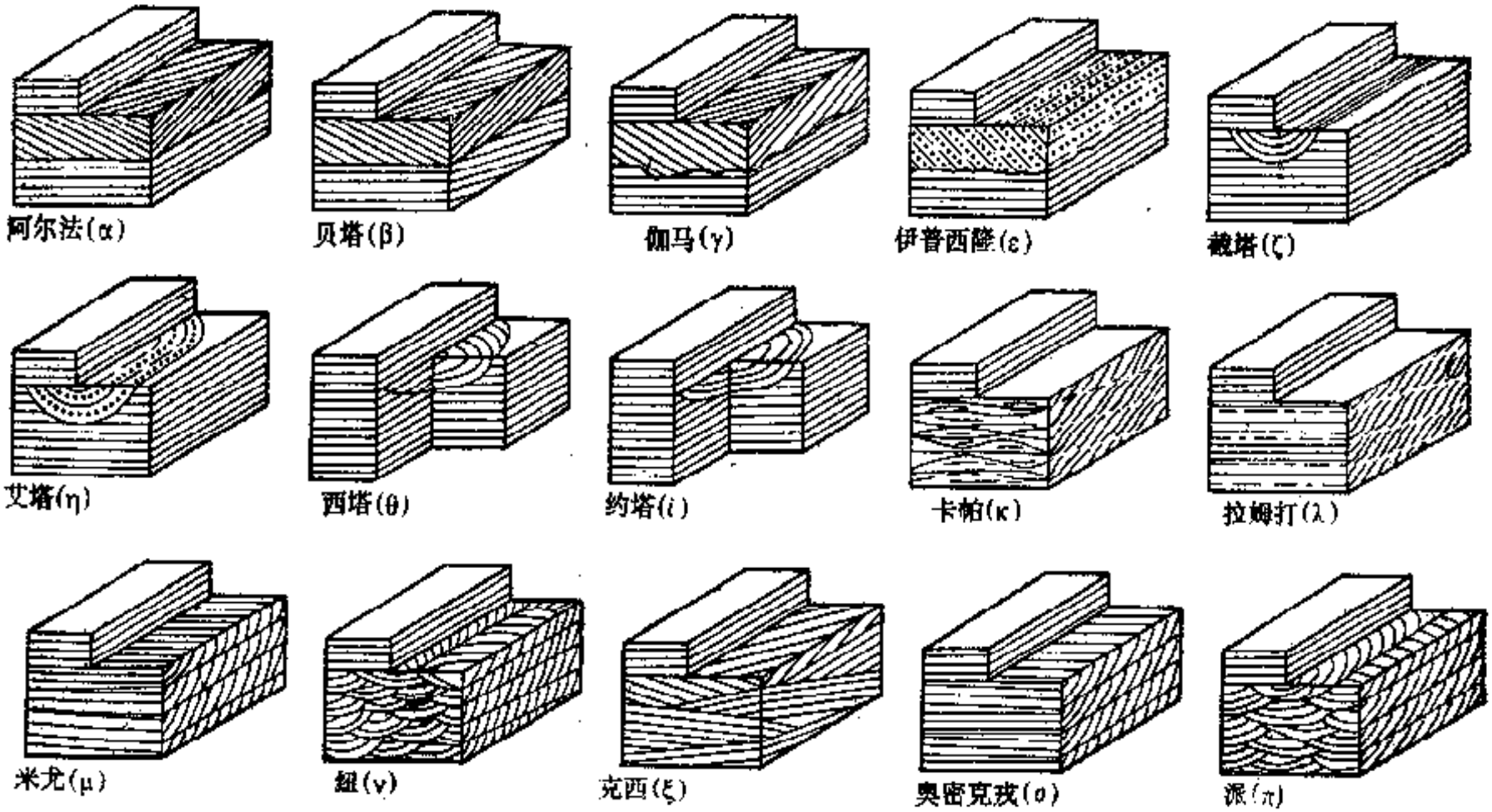


图6.13 斜层的分类
（艾伦，1963）

背水面的水平长度 L_L

波高 H

指数

沙波指数（RI）

$$=\frac{\text{波长}}{\text{波高}}=\frac{L}{H}$$

沙波对称指数（RSI）

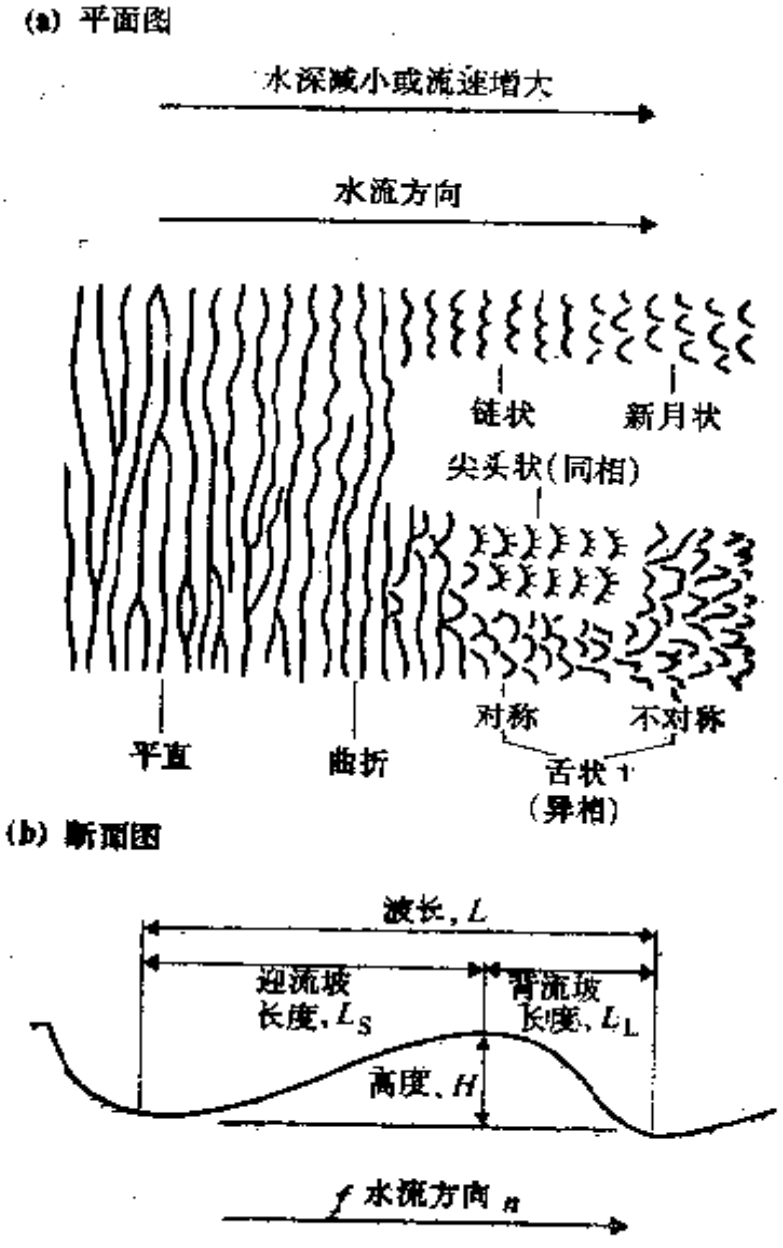


图8.14 沙波平面和剖面描述的术语

（根据艾伦，1968）

$$= \frac{\text{迎水面水平投影的长度}}{\text{背水面水平投影的长度}} = \frac{L_a}{L_L}$$

平行指数Ⅰ（PI_1）

$$= \frac{\text{波峰线弯曲部分的长度} \times \text{最小波高}}{\text{平均波长} \times \text{最大波高}} = \frac{L_d}{L}\,\frac{L_{min}}{L_{max}}$$

平行指数Ⅱ（PII_1）

$$= \frac{\text{最大波长} - \text{最小波长}}{\text{平均波长}} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L}$$

顺直指数（SI）

$$= \frac{\text{波峰线弯曲部分的长度}}{\text{曲线对直（波峰）线的偏离}} = \frac{L_d}{d}$$

连续指数（CI）

$$= \frac{\text{波峰长}}{\text{平均波长}} = \frac{C}{L}$$

分叉指数（BI）

$$= \frac{\text{沿波峰两分叉点之点的距离}}{\text{平均波长}} = \frac{l_b}{L}$$

用图6.16中说明的术语可描述压扁层理和透镜状层理.

颗粒形态指数

下面列出了计算各种常用颗粒形态参数的公式. 每个参数的表示法分别给出.

球体

两维球体的指数为:

韦德尔（Wadell, 1935）　　$\varphi_w = d_o/D_o$,

赖利（Riley, 1941）　　$\varphi_r = (D_i/D_o)^{1/2}$,

式中: d_o = 名义上的断面直径，即等于颗粒投影面积的圆的直径，D_o = 最小的外接圆直径，D_i = 内切圆直径.

韦德尔和赖利的量测是以最大横断面面积为基础的.

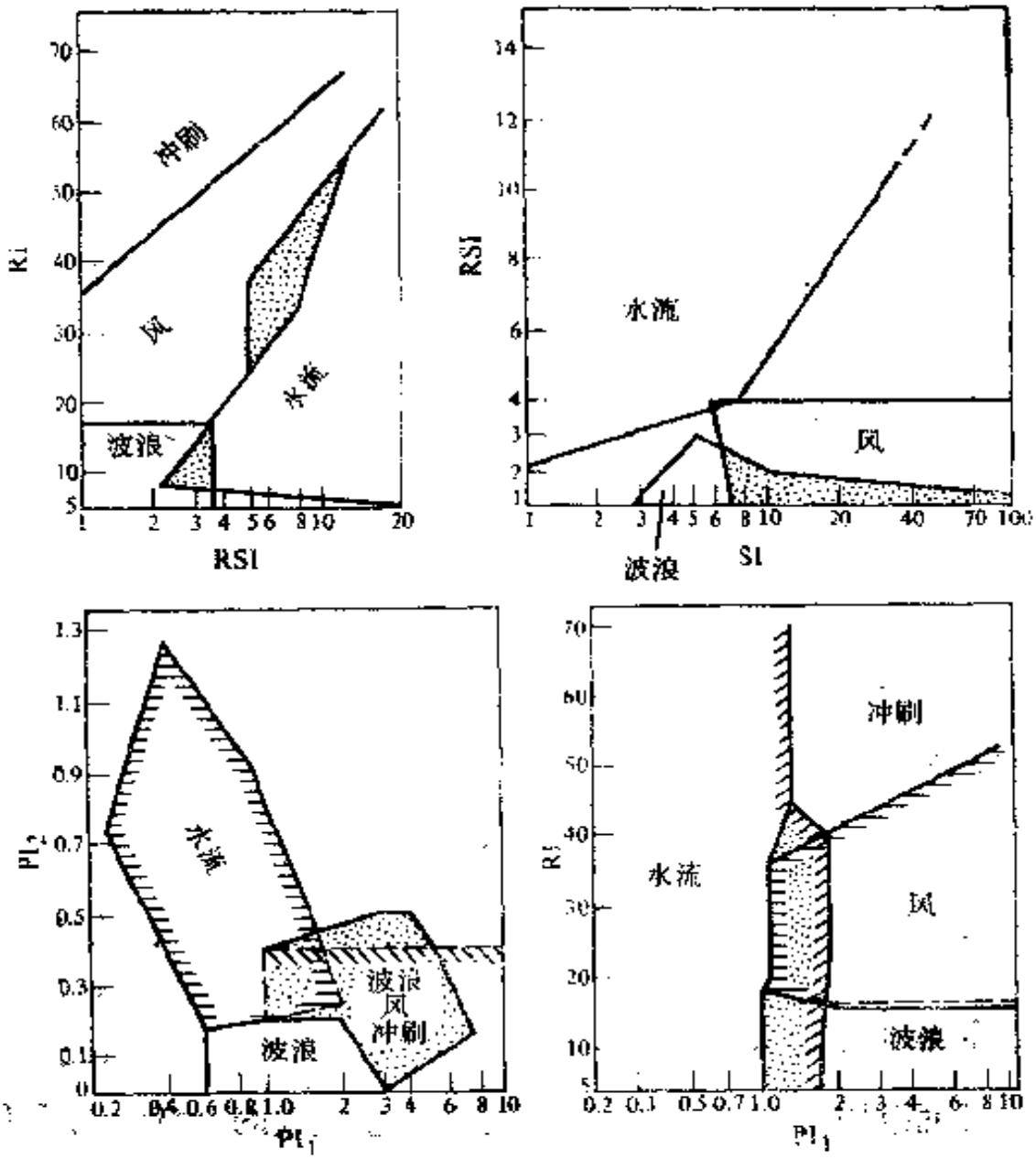


图6.15 沙波指数与形成环境各种组合之间的关系

（据坦纳，1967）

三维球体指数有三个公式，其中克雷贝（1941）的两个公式为：

$$\Psi_i = (BC/A^2)^{1/3},$$

$$\Psi_k = \left[\left(\frac{B}{A}\right)^2 \frac{C}{B}\right]^{1/3},$$

（后者是一种替换形式，可从津格（Zingg，1935）的形状分类中的颗粒轴的比例直接求出）。第3个是斯尼德与福克

(1958) 的公式：

$$\Psi_p = (C^2/AB)^{1/3},$$

式中：A = 长轴长度，B = 中间轴长度，C = 短轴长度.

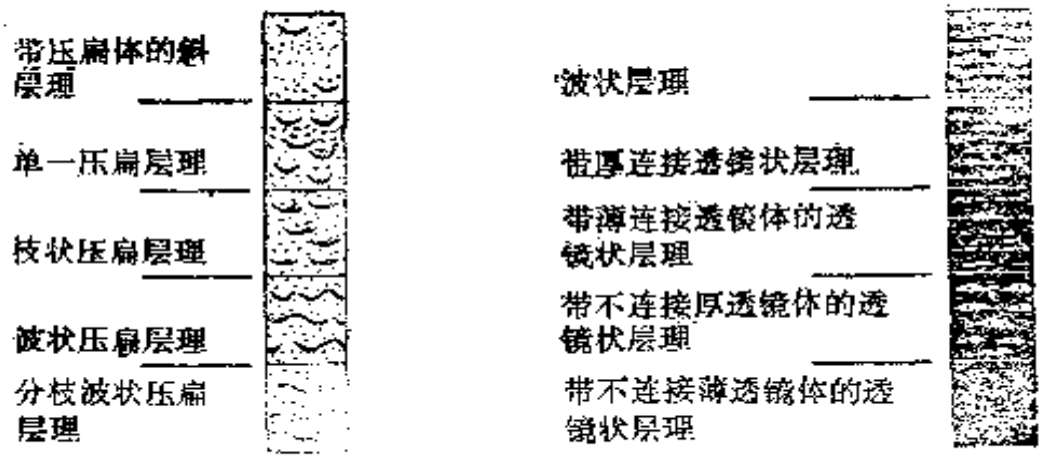


图6.16 用于压扁和透镜层理描述的术语

〔据赖内克（Reineck）和旺德利奇（Wunderlich），1968〕

扁平度

圆度比例为温特沃思（Wentworth，1919）的

$$F_{w1} = (A+B)/2C.$$

扁平比例为温特沃思（1919）的

$$F_{w2} = (A+B+C)/3,$$

和凯约（Cailleux，1947）的

$$F_c = \frac{A+B}{2C} \times 100,$$

式中：A = 长轴长度，B = 中间轴长度，C = 短轴长度.

延伸度

二维延伸指数由达普尔斯（Dapples）和罗米格尔（Rominger，1945）提出的

$$E_p = W_p/L_p,$$

三维延伸指数由斯奇德尔宏（Scheiderhohn，1954）

提出

$$E_s = B/A,$$

式中：W_p = 颗粒投影的宽，L_p = 颗粒投影的长，A = 长轴长度，B = 中间轴长度.

磨圆度

磨圆指数包括温特沃思（1933）的圆度比

$$P_r = r_s/D,$$

凯约（1947）的磨圆指数

$$P_1 = 2r_s/A,$$

沃德尔（1933）的磨圆度

$$P_d = \Sigma\frac{r}{R}/N,$$

乌马（Ouma，1967）的磨圆指数

$$X = 3\overline{r}\ (A+B+C),$$

式中：r_s = 最小棱角的半径，r = 每个棱角的半径，$\overline{r}$ = 所有棱角的半径的平均值，R = 最大内接圆的半径，D = 平均粒径 = $(A+B)/4$，其中A为长轴长度，B为中间轴长度，N = 颗粒上的棱角数.

注意沃德尔和乌马量算要求测量所有的棱角.

各种形状指数

各种形状指数包括弗莱明（Fleming，1965）. 近似的或真实的名义直径$D_e = (ABC)^{1/3}$；福克（1974）的体积

$V = (\pi/6)\ ABC$；

最大投影面积 $MPA = (\pi/4)\ AB$；

里维埃拉（Riviere）和维勒（Ville，1967）的

$$\text{形态指数}K = \frac{1}{3}\left(\frac{A}{C}+\frac{2r}{C}+\frac{B}{C}\right),$$

式中：A = 长轴长度，B = 中间轴长度，C = 短轴长度，r = 最小棱角的半径.

第七章　流水作用过程

本章提供的资料对流水作用过程的测量及野外观察资料的初步分析和评价有所帮助．各种有关的技术在格迪尔（1981）书中（196—222页）都有说明．本书前四节是有关流量方面的问题，其余三节为河槽中的沉积现象．7.1节是关于速度-面积方法的一般介绍和测定速度的某些特殊方法．7.2节是野外估计阻力系数的技术，关于这些系数的应用在7.1节中有了描述．7.3节讨论了盐稀释测流．7.4节介绍了建筑物测流．7.5节是有关估计泥沙搬运率的方法．7.6节是关于河床形态、流态和流态之间的关系．最后一节（7.7）是有关输送率的量测．本章还包括一张水力学计算中的常用表（表7.6）．

7.1 速度-面积方法

根据BS3680（1980），首先概述这一方法的程序，其次是关于速度测量的某些特殊方法．最后概要地说明了估计洪峰流量的速度面积方法的应用．

用速度-面积方法测定流量的步骤

选择测流断面的要点是：

（a）河段必须是顺直的，横断面及坡降均一．当长度有限时，测量断面上游的顺直长度应两倍于供流速仪测量的下游长度．

(b) 深度能使流速仪或浮标有效地浸入.

(c) 河槽无阻，没有树或其它障碍物.

其次要考虑的是:

(a) 施测地点要便于通行.

(b) 测量期间河床不会变化. 如有必要重复测量时，河床及河岸应当是稳定的.

(c) 全部流量限制在一定的河槽内，或者河槽具有稳定的边界条件，即一定的几何形态.

(d) 断面应远离支流的汇入点、弯道及自然或人工障碍物，如果它们影响水流的话.

(e) 河槽没有水生植物生长.

(f) 应避开有可能产生漩涡、回流或滞水带.

(g) 河段方位应尽可能使水流接近盛行风向.

当所选位置不可能满足所有这些标准时，应当省去那些不必要之点，但应避开因河槽下游横断面缩小而产生各种回水的位置. 如果不可避免地要在泛滥平原上作的话，河道宽度应最小，尽可能平顺，没有叉道，清除了灌木和树. 当一定要在桥梁附近测量时，除了在可能出现有木材、冰或其他碎屑物堆积的情况下，可在下游进行外，以在上游进行好一些. 对于有季节冰的溪流，还应考虑:

(a) 冰应能承受住人和仪器的重量.

(b) 应选择半融解河冰最少的位置. 在未冻河段选择上游位置比下游位置好.

(c) 应避免多层冰的测流断面.

所用垂线的数量视溪流的宽度而定，但一般地说，除最小的溪流外，至少要20条. 大致等距地分布. 但也要注意剖面的特征点，在正常情况下，所产生的误差不大于2%. 每对垂线之间的流量不超过总量的5%.

过水断面面积应当由测量一系列紧邻垂线的深度决定，垂线位置和间隔的选择要利于精确地确定断面．如果使用好构成测流断面，并用以计算垂线间断面面积的连续河床剖面，就可以缩小测流误差．一般说，均一河床剖面其间隔不大于河宽的十五分之一，不规则河床则不超过二十分之一，不过，这些限制对剖面规则很小的河槽来说可放宽．在任何可能的地方测深和速度均应使用相同的垂线．

用流速仪测定流速

当采用测点测流时，应根据表7.1 (BS-3680, 1973)

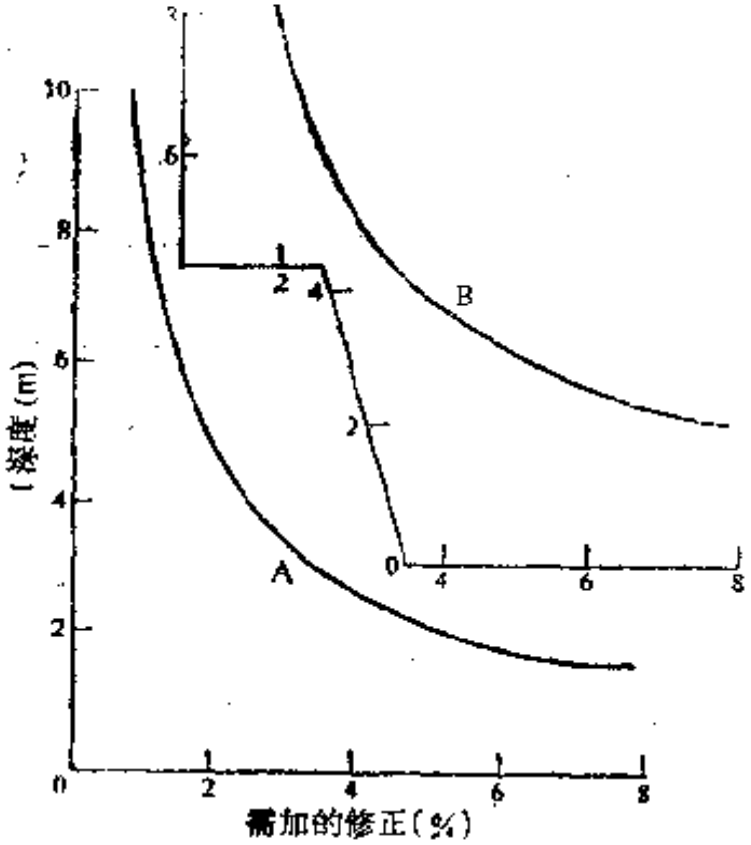


图7.1 加于旋转数上的修正．旋转数是用流速仪，以速度测定的组合方法记录下来的，假设一个对数的垂直速度分布：曲线A．垂线的未取样部分=0.15m；曲线B．垂线的未取样部分=0.2m

(根据爵森，1979)

中的指导原则，测定平均流速．凡有可能，每一垂线上要取两个或更多的测点．在平均流速的测量过程中，二点法产生5％的误差，而五点法仅产生约3％的误差〔詹森(Jansen)，1979〕．每个测点施测时间除流速很小，需要60s外，30s足以得出合理的平均流速．当每一垂线多于四个测点时，则时间可缩短，但不得少于10s．

在流速积测法中，流速仪下放与提升的速度必须小于横断面平均流速的5％，任何情况下都应小于0.04ms^{-1}．考虑到垂线中的部分点未靠近河床，需要进行修正．其高度视流速仪的型号而定，对于大河一般是0.15—0.25m，图7.1（詹森，1979）提出的修正是依据增加的旋转总数．

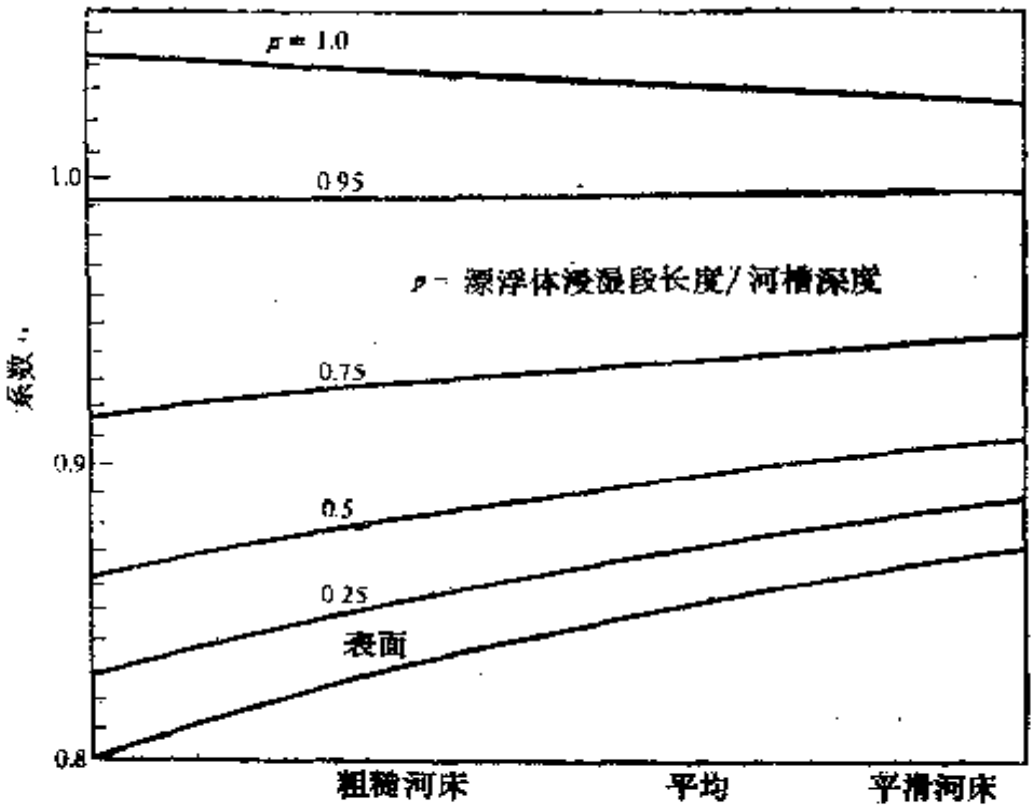


图7.2　用于从已观察到的垂直杆状漂浮体的速度中进行垂线上平均速度估计的修正系数

（根据BS-3680，1964）

表 7.1　流速仪方法的一般程序和适用性　（D=深度；$\bar{v}$=垂线平均流速；v_n=水面以下D处第n部分的速度；k_1=0.95，要用流速分布方法核实；一般来说，k_2=0.84—0.90，平滑河床为0.88—0.90，k_2的极流值可能出现，因此，用0.6D深度的速度或由积分法得的平均速度修正的“表面”流速对每个断面和每个阶段计算其系数是可取的）

垂线上的测点数	测量点的深度（D=深度）	一　般　程　序	适　　用
1	0.6D	$\bar{v}=v_{0.6}$	D小
1	0.5D	$\bar{v}=k_1v_{0.5}$	D小
1	直接在水面下	$\bar{v}=k_2v_{表面}$	瞬时断面
1	0.5D	$\bar{v}=0.88v_{0.5}$	有冰盖，$D<1m$
1	0.6D	$\bar{v}=0.92v_{0.6}$	有冰盖，$D<0.5m$
2	0.2D和0.8D	$\bar{v}=0.5\ (v_{0.2}+v_{0.8})$	$D>0.5m$(如用小型仪，则0.3m)
3	0.2D，0.6D和0.8D	$v=0.25\ (v_{0.2}+2v_{0.6}+v_{0.8})$	$D>0.5m$

表7.1续

垂线上的测点数	测量点的深度（D=深度）	一般程序	适用
3	$0.15D$，$0.5D$和$0.85D$	$\bar{v}=(v_{0.15}+v_{0.5}+v_{0.85})/3$	有冰盖
5	$0.2D$，$0.6D$，$0.8D$，表面和底部	$\bar{v}=0.1(v_{表面}+3v_{0.2}+3v_{0.6}+2v_{0.8}+v_{底部})$	无冰和水生物生长
6	$0.2D$，$0.4D$，$0.6D$，$0.8D$，表面和底部	$\bar{v}=0.1(v_{表面}+2v_{0.2}+2v_{0.4}+2v_{0.6}+2v_{0.8}+v_{底部})$ 或用横切断面的平面等速线求出	多冰或植物

浮标法测定流速

浮标运动的历时不得少于20s，测流的顺直河段不得小于100m．一系列测量得出的平均流速应乘以一个系数，把它转化为垂线上的平均流速．这一系数一般变化于0.8—1.0之间，值的大小根据地区条件选择．就表面浮标来说，这一系数一般在0.84—0.90之间，高值出现于平滑河床．就双浮标而言，如水下浮标在相对水深0.6处，系数为1，如水下浮标在相对水深0.5处，则系数为0.96．

垂线上的平均流速也可从观察一垂直杆状漂浮体的速度估计出，只要把这一速度乘以一个从图7.2上得出的系数．这些线代表不同的P值（在图中规定）．圆形河槽横断面平均流速（$\overline{v}$）可由观察漂浮体得出的表面最大流速（v'）估算出，计算式为：$\overline{v}=k\cdot v'$，式中k是一依赖于水深的系数，$k=0.715D^{0.072}$．有关浮标测流的进一步介绍可见于*BS*-3680（1964，1980）．

求流速的经验公式

河流流速可由均匀流经验公式给出．这些公式如下：

曼宁公式

$$\overline{v}=R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}/n,$$

式中：$\overline{v}$=河槽的平均流速（ms^{-1}）R=水力半径（m）=$A/P\approx$就宽浅河槽而言即平均水深．A=河槽横断面面积（m^2），P=河槽横断面湿周（m），S=水面坡度（梯度，mm^{-1}），n=曼宁阻力系数，估算n的方法见7.2节．

表7.2列出了一定R值的$R^{\frac{2}{3}}$值，因为$R^{\frac{2}{3}}$的计算并非总是易于在袖珍计算器上进行的。依照周文太（1959）的材

表7.2　在水力学计算中所采用的数的1/6次和2/3次幂

R	$R^{1/6}$	$R^{2/3}$	R	$R^{1/6}$	$R^{2/3}$
.05	.6070	.1357	2.10	1.1316	1.6399
.10	.6813	.2154	2.15	1.1361	1.6658
.15	.7289	.2823	2.20	1.1404	1.6915
.20	.7647	.3420	2.25	1.1447	1.7171
.25	.7937	.3969	2.30	1.1489	1.7428
.30	.8182	.4481	2.35	1.1530	1.7676
.35	.8395	.4966	2.40	1.1571	1.7926
.40	.8584	.5429	2.45	1.1611	1.8174
.45	.8754	.5872	2.50	1.1650	1.8420
.50	.8909	.6300	2.55	1.1688	1.8665
.55	.9052	.6713	2.60	1.1726	1.8908
.60	.9184	.7114	2.65	1.1764	1.9150
.65	.9307	.7504	2.70	1.1800	1.9390
.70	.9423	.7884	2.75	1.1836	1.9629
.75	.9532	.8255	2.80	1.1872	1.9866
.80	.9635	.8618	2.85	1.1907	2.0102
.85	.9733	.8973	2.90	1.1942	2.0336
.90	.9826	.9322	2.95	1.1976	2.0569
.95	.9915	.9664	3.00	1.2009	2.0801
1.00	1.0000	1.0000	3.05	1.2042	2.1031
1.05	1.0082	1.0331	3.10	1.2075	2.1261
1.10	1.0160	1.0656	3.15	1.2107	2.1489
1.15	1.0236	1.0977	3.20	1.2139	2.1715
1.20	1.0309	1.1292	3.25	1.2171	2.1941

表7.2续

R	$R^{1/6}$	$R^{2/3}$	R	$R^{1/6}$	$R^{2/3}$
1.25	1.0379	1.1604	3.30	1.2202	2.2165
1.30	1.0447	1.1911	3.35	1.2232	2.2389
1.35	1.0513	1.2215	3.40	1.2263	2.2611
1.40	1.0577	1.2515	3.45	1.2292	2.2832
1.45	1.0639	1.2811	3.50	1.2322	2.3052
1.50	1.0699	1.3104	3.55	1.2351	2.3271
1.55	1.0758	1.3393	3.60	1.2380	2.3489
1.60	1.0815	1.3680	3.65	1.2408	2.3706
1.65	1.0870	1.3963	3.70	1.2437	2.3922
1.70	1.0925	1.4244	3.75	1.2464	2.4137
1.75	1.0978	1.4522	3.80	1.2492	2.4351
1.80	1.1029	1.4797	3.85	1.2519	2.4564
1.85	1.1080	1.5070	3.90	1.2546	2.4777
1.90	1.1129	1.5340	3.95	1.2573	2.4988
1.95	1.1177	1.5608	4.00	1.2599	2.5198
2.00	1.1225	1.5874	4.05	1.2625	2.5408

料，图7.3给出了曼宁公式的解法诺模图。诺模图的用法为，从水力半径值经过曼宁的n值划一直线与中枢线相交，然后划出一条从相交点到相应坡度值的直线，这样从流速轴上就可读出流速.

谢才公式

$$V = C\ (RS)^{\frac{1}{2}},$$

式中：C=谢才水流阻力因素，估算C值的方法见7.2节.

达西-维斯巴赫公式

$$\overline{V}^2 = 8gSR/f,$$

式中：g-重力加速度(米/秒²) f = 达西-维斯巴赫阻力因素. f 可由科尔布若克-怀特(Colebrook-white)公式(156-157页)导

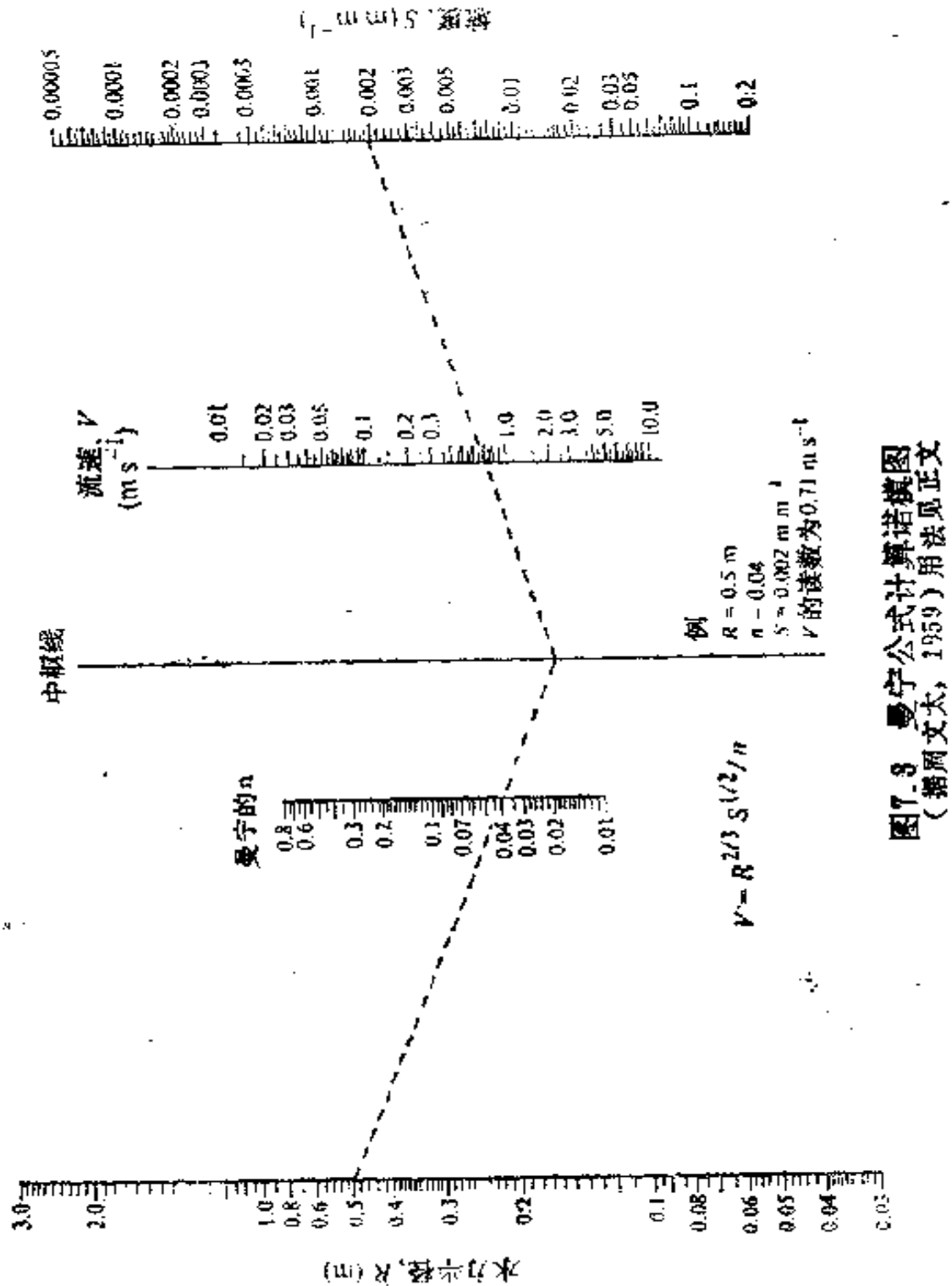


图7.8 曼宁公式计算诺模图
(据周文杰，1959)用法见正文

出；利用这一公式求平均流速的方法见下面描述.

谢才和曼宁阻力因素与$C=R^{\frac{1}{6}}/n$有关. 一定R值的$R^{\frac{1}{6}}$值也包括在表7.2中.

尽管在大多数应用中，上述公式是正确的，但如果需要的话，也可改用巴甫洛夫斯基（Pavlov-skiy）公式：

$C=R^{y}/n$，式中：

$Y=2.5n^{\frac{1}{2}}-0.13-0.75R^{\frac{1}{2}}\quad(n^{\frac{1}{2}}-0.10)$，

该式实用于$0.1<R<3.0$m和$0.011<n<0.04$. 当$R<1.0$m及$R>1.0$m时，可分别用$y=1.5n^{\frac{1}{2}}$和$y=1.3n^{\frac{1}{2}}$作近似计算.

与达西-维斯巴赫阻力因素有关的C和n，由$n=R^{\frac{1}{6}}\cdot(f8g)^{\frac{1}{2}}$和$C=(8\ g\ f)^{\frac{1}{2}}$求得.

均匀流流速公式的更详细的讨论见周文太的著作(1959).

用比降-面积法估算洪水流量

按照本森（Benson，1968）的材料，这一方法应用于洪水波过后的洪水流量估算. 测流河段应是：

(a) 具有均匀的横断面.

(b) 无障阻、扰动和回水影响.

(c) 长度不能小于平均水深的75倍.

(d) 长度不能小于平均宽度的5倍.

(e) 长度大于300m.

(f) 整个河段水面降落小于0.15m.

横断面分为（1，2，3，……n）等分，这样选择以便使得在任一部分中谢才阻力系数（Cj）可作为不变值. 图7.4求出每一部分的横断面面积（Aj）和水力半径（Rj）.

然后通过每一部分的流量可由：

$$Qj = \overline{V}Aj = CjAjRj^{0.5}S^{0.5},$$

估算出．式中：Qj = 每一部分的流量，$\overline{V}$ = 每一部分的平均流速，S = 全河段的平均比降．$CjAjRj^{0.5}$是这一横断面每一部分的输送量（Kj）．

全断面的流量由：

$$Q = S^{0.5}\sum_{j=1}^{j=n} Kj,$$

求出．

如果河段开始和结尾的横断面不同，几何量的平均输送量可看作：

$$Kj = (Kj_1Kj_2)^{0.5}.$$

7.2 野外估算阻力系数

正如上一节描述的那样，有许多方法可在野外估算阻力系数．根据下面的系统，在河槽的类型和大小的基础上，必须选择出最合适的方法：

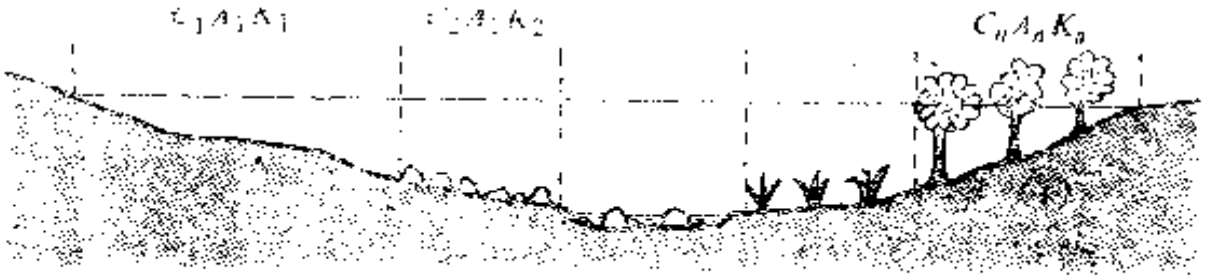


图7.4 在估算流量的比降-面积法中横断面均匀部分的划分

(a) 对于粗糙（即大于砂粒的尺度）河床物质的河槽，可采用象巴恩斯（Barnes，1967）和周文太（1959）复制的照片的可见的比较方法．然而这儿由于篇幅的限制，没有复制照片，如需使用这种方法，可利用它的原始来源．一种替换的方法是利用使阻力和河床物质颗粒尺度有关的公式（见本页）．

(b) 对于沙质河床的河槽，可采用西姆斯（Simous）和里查特森(Richardson，1962a和b，1971)的程序，见158页的描述．

(c) 对各种更细的河槽类型，可采用159页上描述的科恩（Cowan）的分量方法．

(d) 对于各种河槽，可采用160页提供的周文太的描述．

尽管多数方法是根据曼宁的n测定来表示的，但也可用于从7.1节中描述的相互关系中求其他阻力系数．对于阻力系数的精确讨论和估算方法见西姆斯和森图尔克(Sentürk，1976)．

由粗糙河床物质颗粒大小估算阻力系数

许多公式都以与斯特里克勒（Strickler，1923）相似的形式出现：

$$n = kd^{1/6}$$

式中：n＝曼宁的n；d＝粒径累积频率曲线某一百分位点的河床物质粒径，以m表示，（即d_{50}＝第50个百分位点或中值）；k＝系数．

取自于西姆斯和森图尔克（1976）与布雷（Bray，1979）的一些常用k值为：

d	k	
d_{50}	0.0594	(d以m计)
	0.0410	(d以m计)
d_{65}	0.0132	(d以mm计)
	0.0569	(d以mm计)
d_{90}	0.0385	(d以m计)
	0.0523	(d以m计)
d（均质砂）	0.0474	(d以mm计)

简单的通用公式为

$$n = 0.113 d_{75}^{0.16} / D^{0.33}$$

式中：D = 水深（m）。

采用英制单位的一个较完善的公式〔利默里诺斯（Limerinos），1970〕是：

$$n = 0.0926 R^{1/6} \left[a + 2.0 \log (R/d) \right]$$

式中：R = 水力半径（ft）（1 ft = 0.3048m），a = 系数，其值依赖于河床物质的轴线和粒径分布的百分位点，根据下列关系。

	最小直径	中间直径
d_{84} (ft)	0.76	1.16
加权粒径大小Pw (ft)	0.50	0.90

其中$Pw = 0.6 d_{84} + 0.3 d_{50} + 0.1 d_{16}$，

达西-维斯巴赫摩擦因素（f）可由科尔布鲁克-怀特等式估算出：

$$1/f^{0.5} = 2.03 \log (aR') / 3.5 d_{84}$$

式中：d_{84}=推移质中间直径的累积频率分布第84个百位分点；R'=考虑到糙率高度方面的横断面变异的有效水力半径，R'由下式求出

$$R' = A/\left[P_b + (Y_l/\sin\theta_l) + (Y_r/\sin\theta_r)\right],$$

式中：A=横断面面积（m^2），P_b=河床湿周（m），Y_l和Yr=从左岸和右岸到最大流速点的垂直距离（m），θ_l和θ_r=左岸和右岸的坡度角，a=从图7.5中读出的系数。

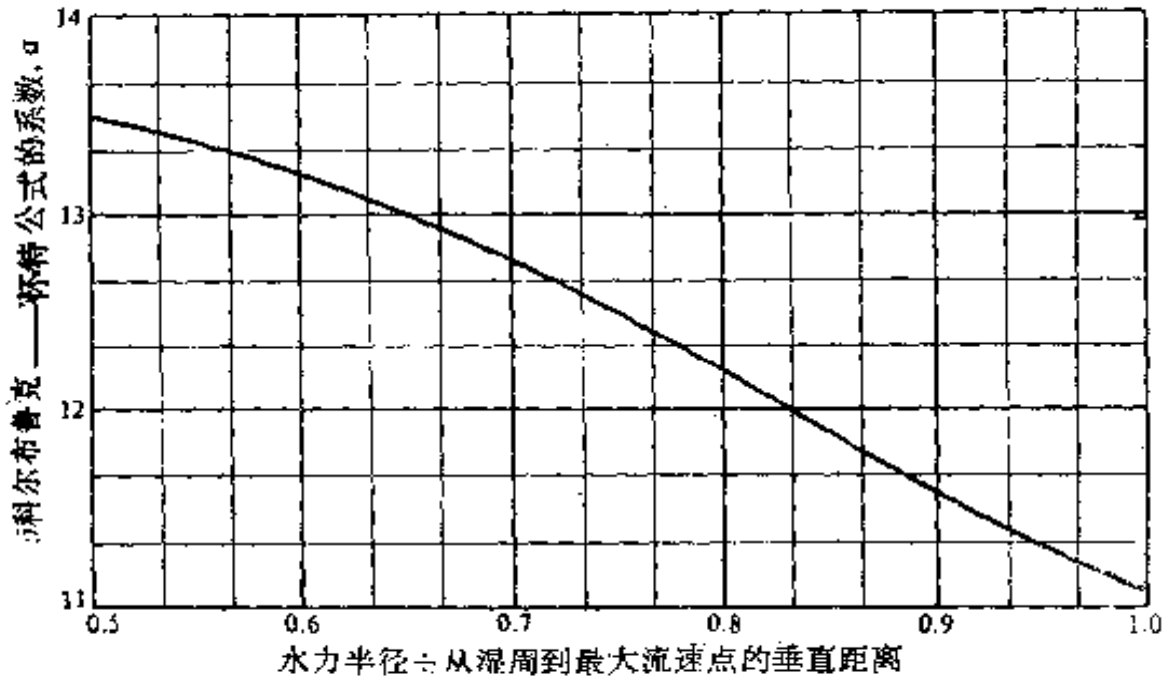


图7.5 科尔布鲁克-怀特公式中系数a的出处

〔海伊（Hey），1979〕Y_b代表从湿周（通常为河床）至最大流速点的最大距离

因此，这一程序的应用步骤是：

第一步：从横断面中求R'；

第二步：按图7.5的说明求R'/Y_b；

第三步：从图7.5中读出a；

第四步：从第一个等式中求f。

砂质河床阻力系数的估算

据西姆斯和里查特森（1962a和b，1971），阻力系数值的范围可由下列步骤估算出：

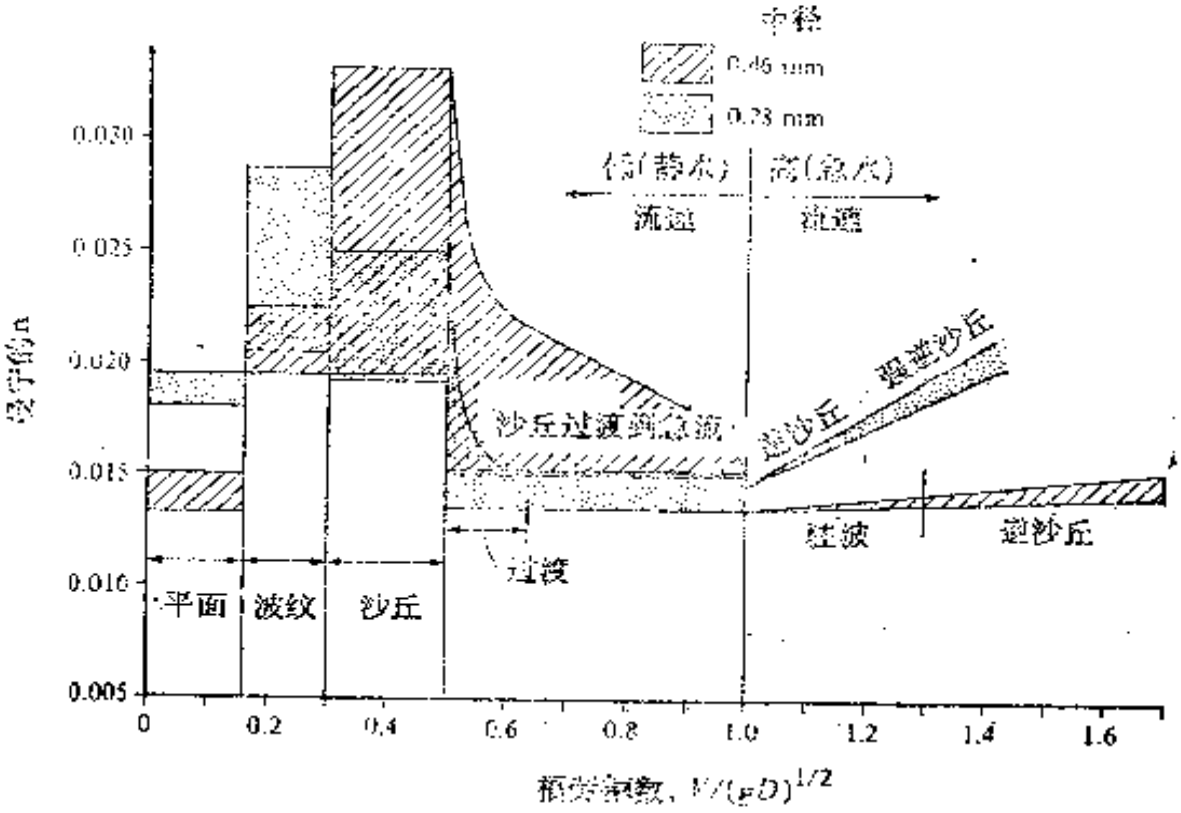


图7.6　砂质河床曼宁的n随福劳德数的变化

（西姆斯和里查特森，1962a和b，1971）

第一步：确定河床物质的中间直径；

第二步：由$F=V/(g\cdot D)^{1/2}$式确定福劳德数，式中V=水流速度（ms^{-1}），g=重力加速度（ms^{-2}），D=水深（m）；

第三步：从图7.6中读出有关沉积物相应大小的曼宁n的界限、福劳德数和联合河床形态。

注意：当河床形态变得平滑时，随着排泄量增加，阻力下降；图7.13给出了它的某些值。

阻力估算的分量法

科恩（1956）的方法对于大的河槽（水力半径约大于5 m）是不适用的。应用中在多于一个分量时必须细心地避免重复估计或双重计算。

n可由下式估算出：

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\ m_5$$

式中：n_0为在顺直而单一河槽中对应于床沙的基础值；n_1表示不规则性影响的组合；n_2河槽横断面的坡度和大小变化影响的组合；n_3障碍物影响的组合；n_4植物影响的组合；m_5河槽弯曲的组合（注意：这是一个乘数）。

这些因素的值为：

物质	n_0	表面不规则程度	n_1
土	0.020	平滑	0.000
岩石	0.025	微小（例仅微小不平）	0.005
细砂	0.024	中等（例中等不平）	0.010
粗砂	0.028	严重（例十分不平，或不规则岩石表面）	0.020
河槽横断面变化	n_2	障碍（碎物、根、漂砾）的相互影响	n_3
渐变	0.000	可忽视的	0.000
偶尔交替	0.005	微小的	0.010—0.015
频繁交替	0.010—0.015	值得重视的	0.020—0.030
		严重的	0.040—0.060
植物	n_4	弯曲程度	m_5（乘数）
无	0.000	微小（弯曲度＜1.2）	1.00
低	0.005—0.010	应重视的（弯曲度1.2—1.5）	1.15
中	0.010—0.025	严重的（弯曲度＞1.5）	1.30
高	0.025—0.050		
特高	0.050—0.1000		

表7.3 用于小溪和泛滥平原的曼宁n值

（据周文太，1959）

	曼 宁 n
小溪（全宽<30m）	
(a) 平原上的溪流	
（1）干净、顺直、全盛期、无裂口或深潭	0.025—0.030—0.033
（2）同（1），但石块和杂草较多	0.030—0.035—0.040
（3）干净、曲折、有小潭或浅滩	0.033—0.040—0.045
（4）同（3），但有一些杂草和石块	0.035—0.045—0.050
（5）同（4），但水位较低且少有效坡度和断面	0.040—0.048—0.055
（6）同（4），但有较多石块	0.045—0.050—0.060
（7）滞流河段、杂草、深潭	0.050—0.070—0.080
（8）有深潭的多杂草河段	0.075—0.100—0.150
（9）带有繁茂树木和植物生长的洪水道	0.075—0.100—0.150
(b) 河槽中无植物的山区溪流，通常有陡岸和高水位时淹没的岸生植物	
（1）有砂、卵石和少量漂砾的河床	0.030—0.040—0.050
（2）有大漂砾的卵石河床	0.040—0.050—0.070
泛滥平原	
(a) 草地，无灌木	
（1）矮草	0.025—0.030—0.035
（2）高草	0.030—0.035—0.050
(b) 耕作土地	
（1）无作物	0.020—0.030—0.040
（2）旺盛的野生作物	0.025—0.035—0.045
（3）旺盛的田间作物	0.030—0.040—0.050

表7.3续

(c) 灌木	
(1) 散生灌木，杂草茂盛	0.035—0.050—0.070
(2) 少量灌木和树林，冬季时	0.035—0.050—0.060
(3) 同 (2)，夏季时	0.040—0.060—0.080
(4) 密度中等到稠密的灌木，冬季时	0.045—0.070—0.110
(5) 同 (4)，夏季时	0.070—0.100—0.160
(d) 树木	
(1) 密而直的柳树，夏季时	0.110—0.150—0.200
(2) 有树桩的已清除树木的土地，树桩上无芽	0.030—0.040—0.050
(3) 同 (2)，但树桩上有大量芽生长	0.050—0.060—0.080
(4) 许多直立树木，少量倒地树木，少量正在生长，洪水位在树枝下	0.080—0.100—0.120
(5) 同 (4)，但洪水淹到树枝	0.100—0.120—0.160

表7.4 用于干流和河床物质粗糙河流或切割基岩河槽的曼宁n值（周文太1959）

	曼 宁 n
干流（全宽>30m）	
(1) 无覆盖和灌木的规则断面	0.025—0.060
(2) 不规则和粗糙断面	0.035—0.100
河流物质粗糙河流或切割基岩河槽	
砂砾：直径 4 — 8 mm	0.019—0.020
砂砾：直径 8 —20mm	0.020—0.022
砂砾：直径20—60mm	0.022—0.027
小鹅卵石和砂石：直径 60—110mm	0.027—0.030
小鹅卵石和砂石：直径110—250mm	0.030—0.035
平滑均一的切割基岩河槽	0.025—0.035—0.040
参差的和不规则切割基岩河槽	0.035—0.040—0.050

描述比较法确定阻力

从周文杰（1959）的表7.3和7.4中提供的描述可用于天然河槽。曼宁n的最小、一般和最大值列在相应的地方。表7.3用于小溪和泛滥平原。表7.4用于干流和粗糙河床物质或切割基岩河槽的溪流。注意在冲积河槽中从沙垄过渡到平面河床或驻波河床的粗糙度变化的形式，n的量值减少约50%（见图7.13）。

7.3 用稀释法测量流量

作为备忘录，这里列出了在这一技术中所需的基本公式，对这一技术的全部内容和描述见丘奇（Church，1975），詹森（1979）和格迪尔（1981）。

恒定速率注入

$$Q = TN,$$

式中：Q=流量，T=注入速率；$N = C_1/C_2$，其中C_1=注入溶液中的示踪物的浓度，C_2=样本断面示踪物的浓度。

如果示踪物以浓度C_0自然存在于河流中则

$$N = C_1/(C_2 - C_0).$$

大量注入

$$Q = (C_1 - C_0)\,V / \int_0^t [(C_t - C_0)]\,dt$$

式中：V=注入的示踪物容积，C_1=注入的示踪物浓度，C=示踪物的自然浓度，C_t=示踪物波通过时所测量到的示踪物浓度。

下游取样距离

当取样点距注入点的距离（L）超过下式给出的值时，

就达到了完全混合：

$$L = 0.13\ [\ (0.7C + b)\ /g]\ \ (b^2/d)\ ,$$

式中：C = 谢才阻力系数（见151页），b = 河流平均宽度（m），d = 河流平均深度(m)，g = 重力加速度(ms^{-2}).

7.4 测 流 建 筑

使用永久性测流建筑测量流量已超出了本手册的范围. 但在这里可以列出一些在有限制的野外季节中希望建立临时测流站所使用的基本公式. 更为完备内容的技术和关系的参考资料应见阿克斯（Ackers等，1978）和BS3680 (1965). 仅考虑有陡边的河坝，因为这些最适合于做临时地点.

V形坝

流量（Q）由下式给出：

$$Q = \ (8/15)\ \ (2g)^{1/2} C_d \tan\cdot(\theta/2)\ H^{\frac{5}{2}},$$

式中：g = 重力加速度（ms_{-2}），C_d = 流量系数（见表7.5），θ = V形槽口两边之间的角度，H = 总水头（m）.

使用这一关系式所受的限制是：

(a) H不得小于0.05m或大于0.38m；

(b) 顶点高度（P）需超过0.45m；

(c) H/P不得超过0.4；

(d) 近河槽的宽度（B）不能大于0.9m；

(e) H/B不得超过0.20.

矩型坝

流量见下式：

表7.5 V形坝流量系数（据*BS*-3680, 1965）

水头(m)	90°V形	1/2 90°V形	1/4 90°V形
0.05	0.6080	0.6153	0.6580
0.06	0.6032	0.6114	0.6417
0.07	0.5994	0.6084	0.6352
0.08	0.5964	0.6060	0.6298
0.09	0.5937	0.6040	0.6256
0.10	0.5917	0.6021	0.6219
0.11	0.5898	0.6005	0.6187
0.12	0.5885	0.5989	0.6162
0.13	0.5876	0.5976	0.6139
0.14	0.5868	0.5964	0.6119
0.15	0.5861	0.5955	0.6102
0.16	0.5857	0.5946	0.6085
0.17	0.5853	0.5938	0.6070
0.18	0.5851	0.5930	0.6057
0.19	0.5850	0.5923	0.6047
0.20	0.5849	0.5918	0.6038
0.21	0.5848	0.5913	0.6029
0.22	0.5847	0.5908	0.6021
0.23	0.5846	0.5904	0.6014
0.24	0.5846	0.5901	0.6008
0.25	0.5846	0.5898	0.6002
0.26	0.5846	0.5896	0.5997
0.27	0.5846	0.5892	0.5992
0.28	0.5847	0.5890	0.5988

表7.5续

水头(m)	90°V形	1/2 90°V形	1/4 90°V形
0.29	0.5847	0.5888	0.5984
0.30	0.5848	0.5885	0.5980
0.31	0.5849	0.5882	0.5976
0.32	0.5850	0.5881	0.5972
0.33	0.5850	0.5880	0.5968
0.34	0.5851	0.5879	0.5964
0.35	0.5852	0.5877	0.5960
0.36	0.5853	0.5875	0.5956
0.37	0.5854	0.5874	0.5952
0.38	0.5855	0.5872	0.5948

$$Q=(2/3)(2g)^{1/2}C_d b h_g^{3/2},$$

式中：b=矩形宽度，h_g=测头+0.0012 m，其它术语同V形坝，这里C_d见下式

$$C_d=0.602+0.083h/P$$

式中：h=测头（m），P=坝高（m）.

使用矩形坝关系式所受的限制是：

(a) h/p不得超过1.0；

(b) 测头应在0.03m与0.75m之间；

(c) 坝宽至少0.3m；

(d) 坝高不得低于0.10m.

7.5 冲刷和沉积物输送

用于检验沉积物输送的大多数公式对野外迅速估算来说

过于复杂，且这些公式很少和野外观测完全一致. 因此，这重包括的材料在很大程度上试图作为初步估算和评价野外数据的基础. 更为详细的参考材料见克拉夫 (Craf, 1971) 和西姆斯和森图尔克 (1976) .

图7.7提供了泥沙起动所需平均流速的呼尔斯特姆(Hjulstrom, 1935) 曲线，低于这一流速就会有沉积发生. 严格地说，这仅适用于大小均匀的沉积物，但常用于求混合沉积物的近似值. 杜布伊斯 (Duboys) 等式(克拉夫,1971)是一个估算推移质输沙率的简单公式. 单位时间单位河宽推移质输沙量 (q_s) 为：

$$q_s = \chi \tau_0 \left[\tau_0 - (\tau_0)_{cr}\right]$$

式中：χ = 特征沉积系数，τ_0 = 切应力 = γDS (kg/kgm^{-2})，γ = 水的单位重量 (Nm^{-3})，D = 深度(m)，S = 河槽坡度 (梯度，mm^{-1})，$(\tau_0)_{cr}$ = 临界条件下，即运动刚开始时的切应力.

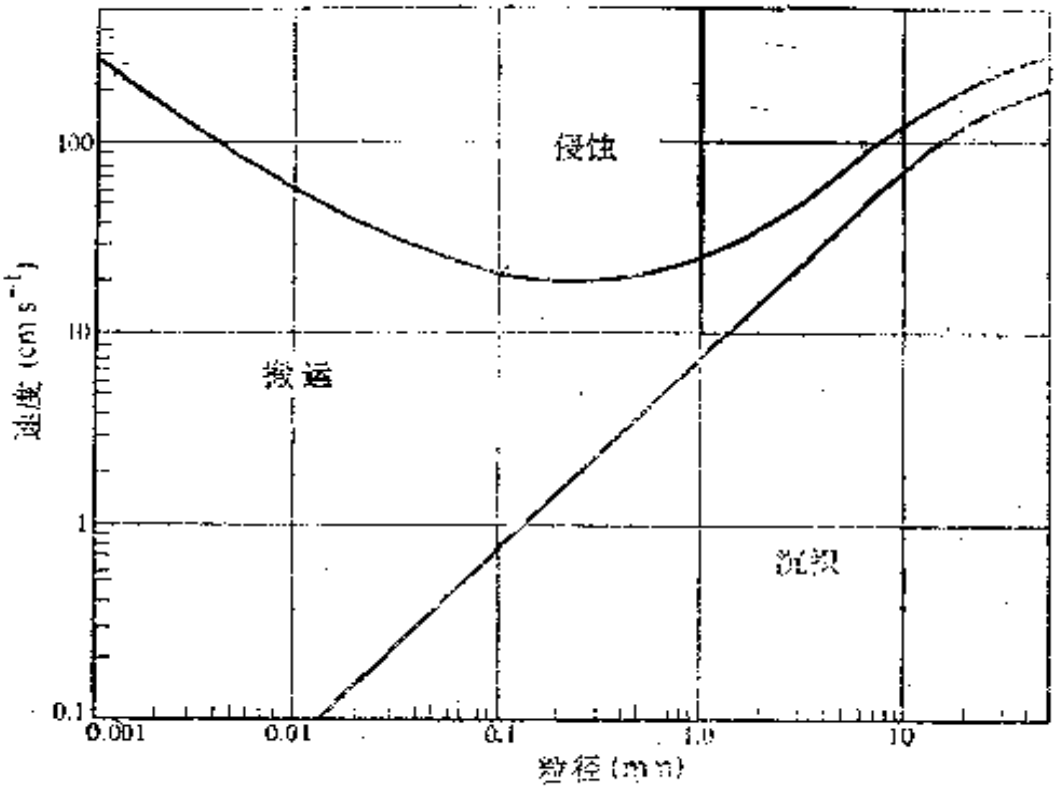


图7.7 就侵蚀和沉积而论，速度和粒径之间的呼尔斯特姆 (1935) 关系

τ_0可由直接测量或计算求出，就中等大小的沉积物而言$(\tau_0)_{cr}$和χ可从图7.8〔泽勒（Zeller），1963〕上读出.

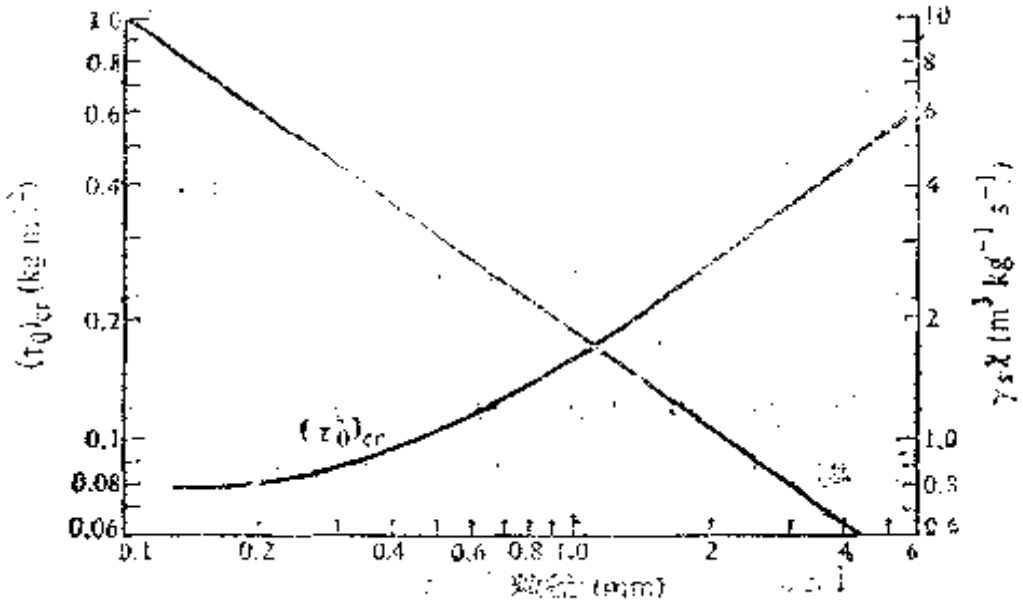


图7.8　杜布伊斯等式中的参数估算.Γ_s=沉积物的单位重量

图7.9是表示希尔兹（Shields）拖曳函数（F_*）和沙粒雷诺数之间相互关系的希尔兹（1936）曲线，Re可由下式求得：

$$\mathrm{Re}^* = du^*/v,$$

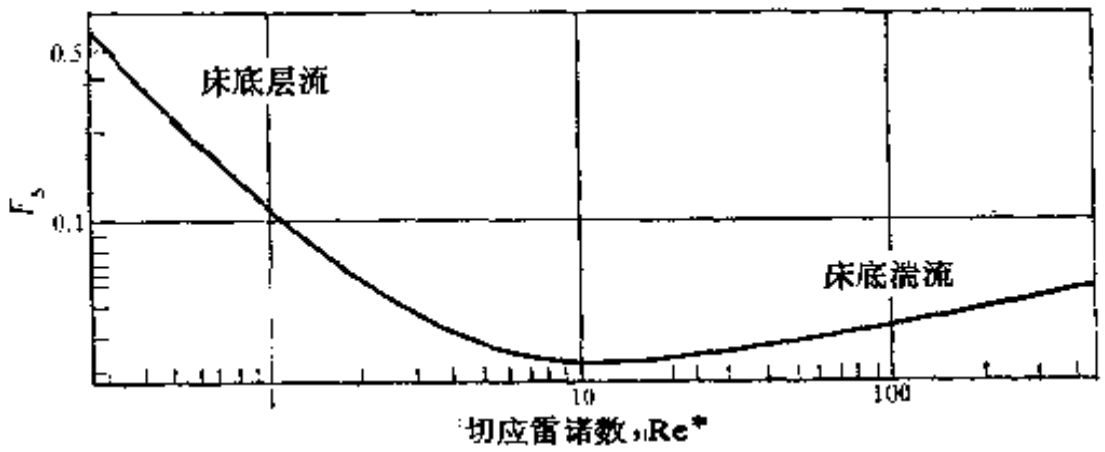
式中：d=颗粒大小，u^*=动力流速$=(\tau_0/\rho)^{\frac{1}{2}}$，$\rho$=密度，$v$=运动粘滞系数.

对充分发展的紊流来说，$F_*=0.06$是一个令人满意的近似值，拖曳函数能用于从经验的爱因斯坦（Einstein，1942）推移函数中估算推移质输沙率.

$$\Phi = q_s/wd,$$

式中：q_s=单位宽度输沙率，d=沉积物颗粒大小，Φ=爱因斯坦推移质函数，w=颗粒下沉速度$=G\,[gd(S_s-1)]^{\frac{1}{2}}$，式中

$$G=\{0.6667+[36v^2/gd^3(S_s-1)]\}^{\frac{1}{2}}$$



7.9 希尔兹（1936）的拖曳函数。F_*（无维临界剪切力），它是沙粒雷诺数的函数

$$-[36\nu^2/gd^3(S_*-1)]^{\frac{1}{2}},$$

当$d\geqslant 1.6$mm时，就水中比重2.6的颗粒而论，$G\approx\frac{2}{3}$；g=重力加速度，S_*=固体和液体密度的比率，υ=运动粘滞系数（在10℃时为0.013cm^{2}s^{-1}，30℃时为0.008cm^{2}s^{-1}）。

按照亨德森（Henderson，1960）这一函数已画成图7.10中的F_*函数。

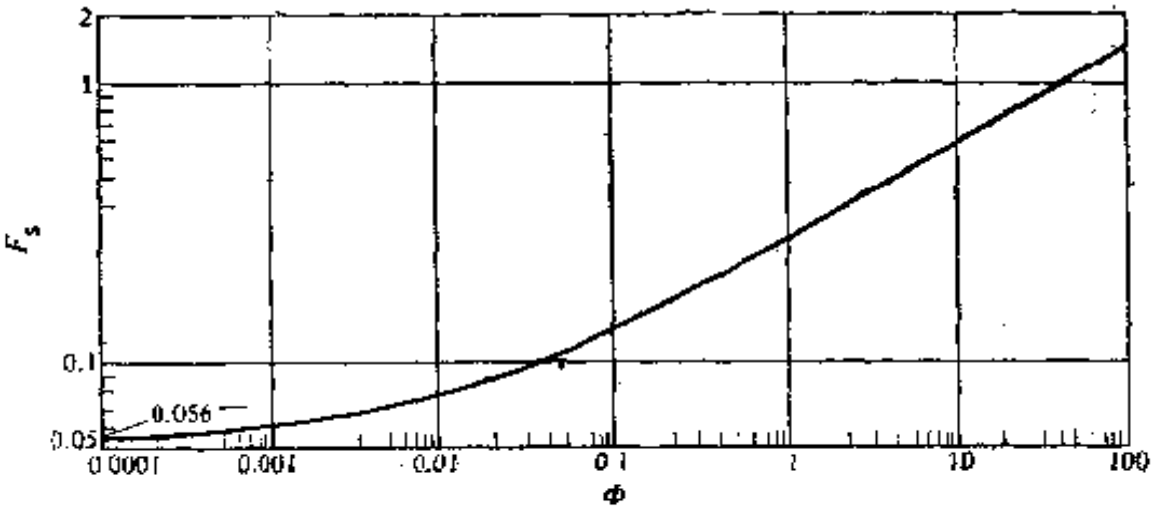


图7.10 爱因斯坦(1942)的推移质函数（Φ），作为希尔兹拖曳函数F_*的一个函数

（据亨德森，1966）

推移质输沙率的估算也可以从巴格诺尔德（Bagnold，1956）和梅尔-彼德（Meyer-Peter）与马勒（Muller，1948）的关系式中得出，据卡森（Carson）和柯克比（Kirkby，1972）．这些表示在图7.11中．无量纲剪切（θ），由下式求得：

$$\theta = Rs/\Delta d$$

式中：R=水力半径，s=河床坡度，$\Delta=(\rho-\rho_w)/\rho_w$，$\rho$-沉积物密度，$\rho_w$=水的密度，$d$=颗粒直径．

巴格诺尔德函数与参数B成比例．主曲线簇表示B=1.0图上方的插入曲线表示B作为颗粒直径函数．c是沉积物集中度，无量纲泥沙输送参数（φ）和单位宽度输沙率有关．

$$\varphi = s/\ (g\Delta d^3)^{\frac{1}{2}}$$

巴格诺尔德（1980）进一步完善地发展了这一方法．

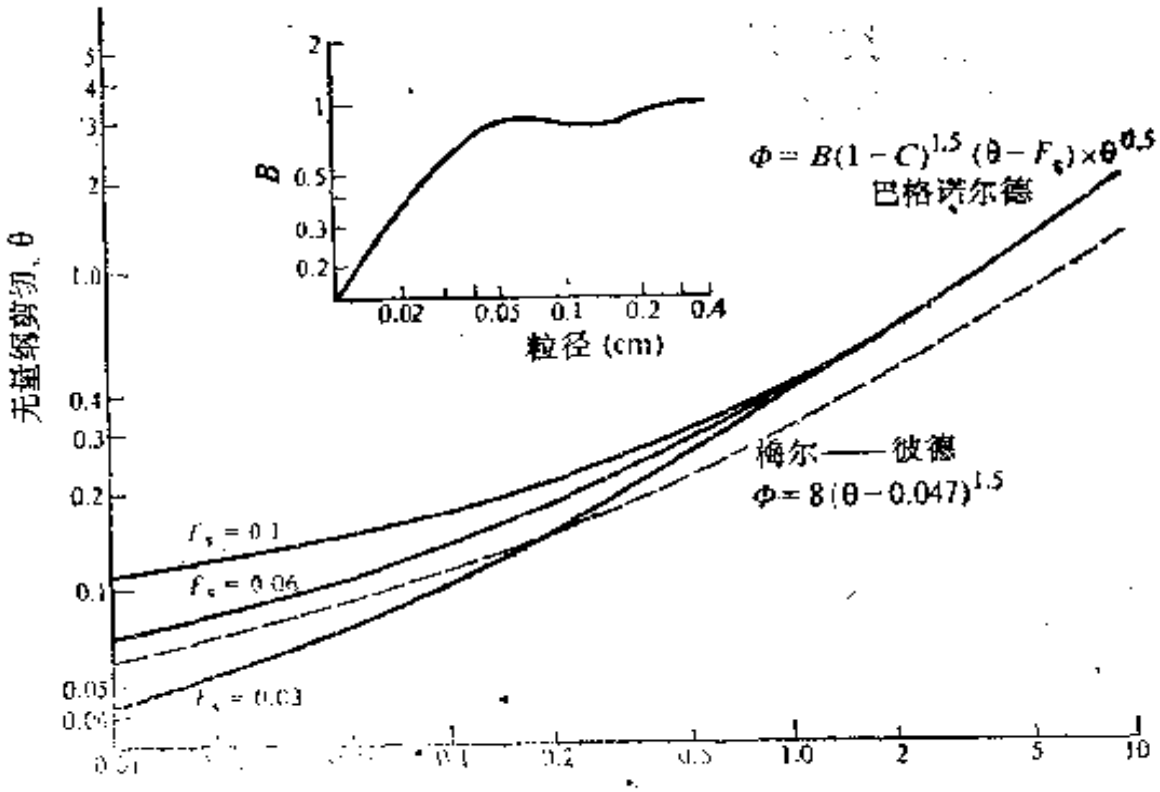


图7.11 巴格诺尔德（1956）和梅尔-彼德与马勒（1948）泥沙输送函数．图中的小图在文中分析．

爱因斯坦（1950）还建立了一个解析的推移质函数．这可能是最通用的，但也是最复杂和不适于野外求算的．现已设计出了一个可求算总输沙量的修正爱因斯坦程序，就测量而论，必须在野外用这一方法确定总输沙量，才可进行计算．根据科尔比（Colby）和哈贝尔（Hubbell，1961）和加德（Garde）与拉格拉鸠（Rangaraju，1977）提出了一个核对用的清单，内容如下：

（1）河宽；
（2）平均深度；
（3）平均流速；
（4）河床物质的粒径分析；
（5）水温；
（6）对悬移质的样本：
　(a)颗粒大小分析；
　(b)做样垂线的深度；
　(c)悬移质的集中度；
　(d)取样深度．

7.6 河床形态、水流特性和颗粒大小之间的关系

这一部分中包括了允许在野外对现代流水过程和古水力特征作初步分析和解释的材料．关于其他许多推荐过的关系式参考材料可参见艾伦（1965，1969），杜里（Dury，1976），乔普林（1966），索瑟德（Southard，1971）和埃思里奇（Etheridge）与舒姆（Schumm，1978）．

图7.12（据西姆斯和里查德森，1971）表示了按照中等下降的推移质直径(d)和河流动力(p)的河床形态的关系．其

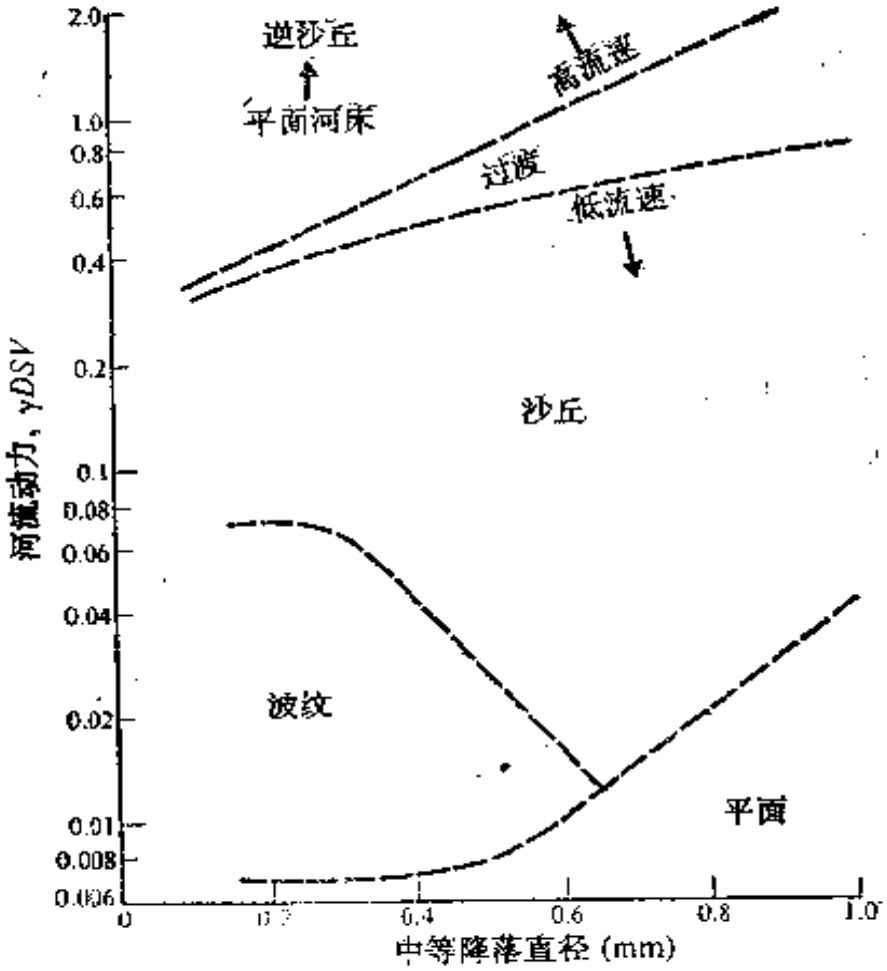


图7.12 中等沉降直径推移质与河床形态之间的相互关系

（西姆斯和里查德森，1971）

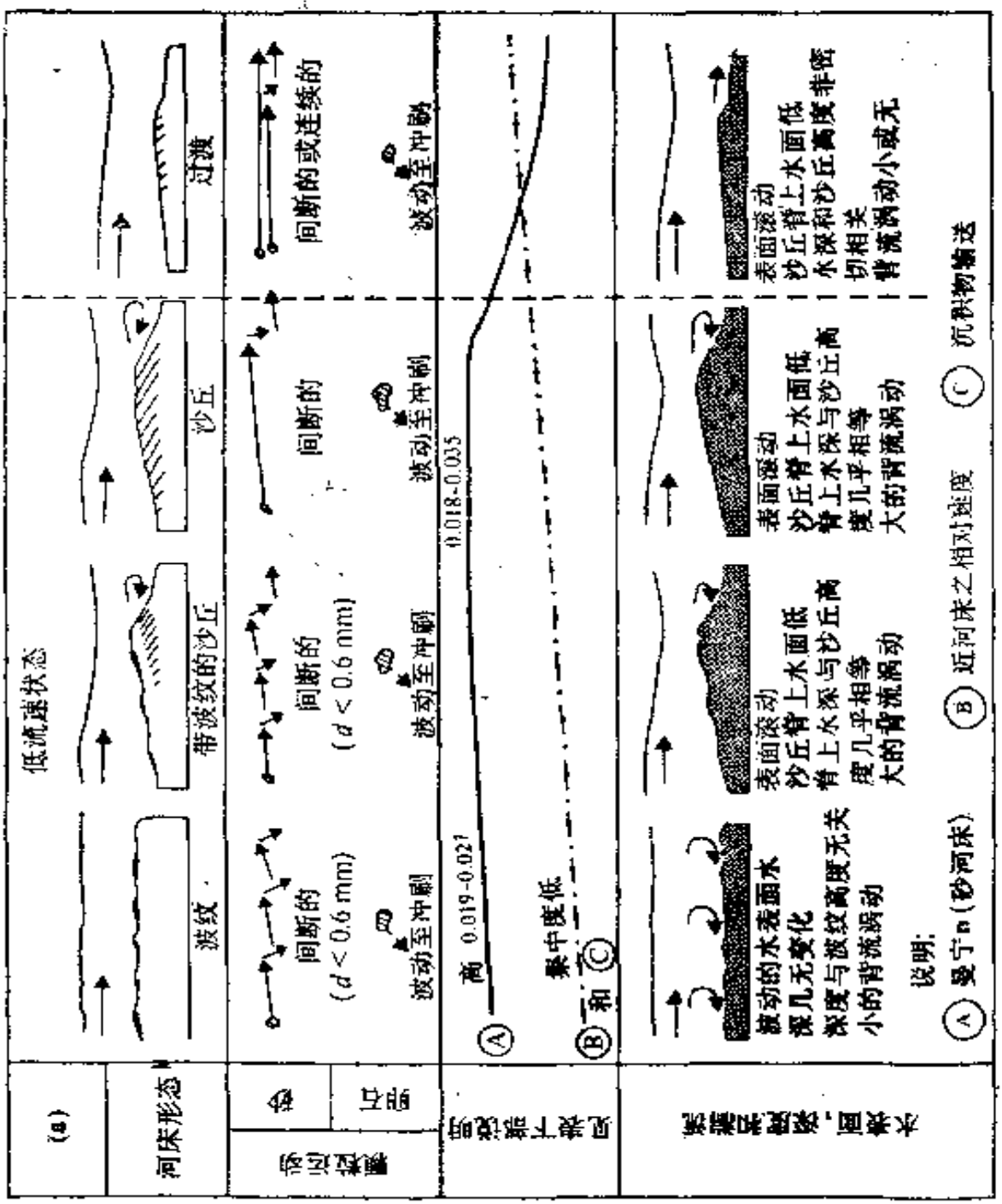
中P见下式：

$$P = \gamma DSV,$$

式中：γ＝水的单位重量（kgm^{-2}），D＝水流深度（m），S＝河槽坡度（梯度，mm^{-1}），V＝流速（ms^{-1}）。

这可用于预测由于给定水流条件而产生的可能河床形态，或从沉积物结构中估算出河流动力和D,S或V。替换的解释由索瑟德（1971）、艾伦（1969）和博加德（1961）设计出。

图7.13a和7.13b按照哈姆斯(Harms)和法内斯托克



(Fahnestock, 1965) 的关系式分别表示了较低的流速状态和较高的流速状态下河床形态随流速增加的变化. 这些图可用于从其他观察到的特性中粗略估计水流阻力或预测由特殊水流条件产生的可能河床形态.

在对沉积物作古代水力条件解释方面，最大颗粒尺度可从图7.14〔据贝克(Baker)和里特(Ritter)，1975〕中估算

图7.13 与水流速度增长相联系的水流特征、沉积物运动和河床形态（哈姆斯和法林斯托克，1956）：(a) 低流速状态；(b) 高流速状态

运动期间的切应力.该图的运用有许多限制，因为原作者编纂此图只不过取用了有限的研究资料，所建立的回归关系有相当大的变化范围. 曾从该图中确定出切应力，河槽深度可用关系式：

$$\tau_0 = \gamma RS,$$

估算出. 式中：τ_0 = 切应力，γ = 液体的重率 $\approx 1000 kg\ m^{-3}$

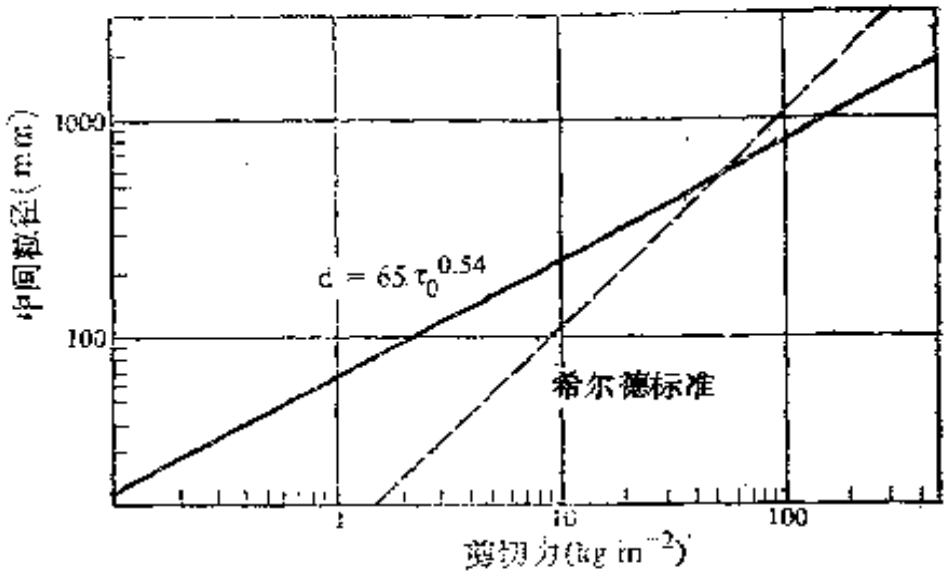


图7.14　就粗糙河床物质而论颗粒大小对平均剪切力
（贝克和里特，1975）

（对于含有较少的呈悬浮状的泥沙水体而言），R = 水力半径（m）≈宽浅河流的平均水深，S = 能量坡度≈河槽坡度≈堆积物的坡度.

7.7　水质分析中的传导系数测量

这一部分包括作由于温度和pH值而需修正的传导系数和需核对的传导系数计的野外测量的资料. 更为详细的资料见爱德华（Edwards）等（1975）和芬利森（Finlayson，1979）.

温度修正

如果不是自动进行的话，可由下列方法中的一种求出温度的修正值.

近似值法

$$L_R = L_T - 0.02\ (T - R)\ L_T,$$

式中，L_R = 在参考温度下的传导系数，L_T = 取样温度下的传导系数，R = 参考温度（℃），T = 样本温度（℃）。

这一方法不适用于野外温度接近 0 ℃时的状况。

更精确的方法

$$L_R = L_T/[1+a(T-R)],$$

式中：a=温度系数（以%℃$^{-1}$计），a位于1.5—2.4%℃$^{-1}$ 之间，并可在两个温度（t_1和t_2）下以取传导系数测量方法用实验确定，a由：

$$a=(L_{t2}-L_{t1})/[L_{t1}(t_2-R)-L_{t2}(t_1-R)]$$

求得。对实验室目的来说，用25℃作为参考温度；对野外来说用10℃可能更适宜。

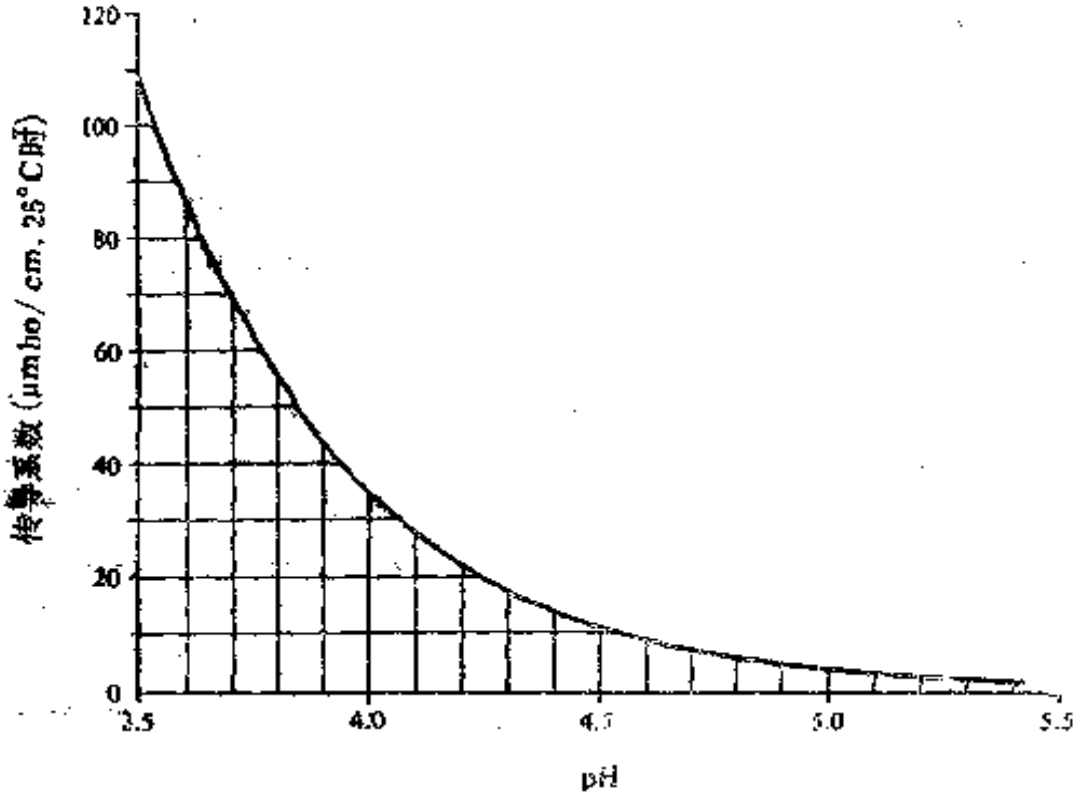


图7.15 应加于pH传导测量的修正

（芬利森，1979）

pH值的修正

氢离子浓度大大地影响水的传导系数，pH值低于 5．5

（即在酸性水中），有必要对与氢有关的传导系数修正数值．图7.15表示了对于测定的pH值来说在参考温度25℃时需减去的传导系数数量．

传导系数计的划度和核对

在野外，传导系数计的读数可对照已知溶液校正．下表列出了在25℃时对于KCl的各种浓度的特有传导系数；0.1molKCl＝7.455(gl^{-1})．

浓度（mol）	特殊传导系数（$\mu mhocm^{-1}$）
0.0001	14.94
0.0005	73.90
0.001	147.00
0.005	717.80
0.01	1413.00
0.1	12900.00
1.0	111900.00

表7.6　供水力学计算中应用的系数

水温(℃)	特有重力	特有重量 (Nm^{-3})	粘滞度 (Nsm^{-3})	运动粘度 (m^2s^{-1})
0.0	0.9999	9805.4	0.001794	0.000001794
4.0	1.0000	9806.5	0.001568	0.000001567
10.0	0.9997	9803.8	0.001310	0.000001310
15.6	0.9990	9797.5	0.001129	0.000001131
21.1	0.9980	9786.6	0.000982	0.000000984
26.7	0.9966	9774.0	0.000861	0.000000864
37.8	0.9931	9739.4	0.000682	0.000000687

第八章　冰川作用过程

本章包括了一系列关于地貌学者在活动冰川地区能够使用的简单技术（如格迪尔1981年所介绍的）．开头三节主要涉及踏勘方面．包括定点准备(8.1)和用于监测冰川体平衡、表面速度和应变率的桩网（8.3）．8.2节涉及雪和冰的制图.8.4节给出了确定冰川表面速度的简单方法的详细内容和确定三条基本应变轴方向的方法．8.5节是沿这三个方向的应变率的量值．8.6节讨论了冰川上积累的测量．撞击测量仪可用来调查雪的硬度随深度的变化，在有利的条件下，不用挖雪坑即可定出前年夏季的雪面位置，当标出密度时，可用于调查永久积雪区密度变化．撞击硬度及其与强度的关系在8.7节中提及．8.8节介绍了冰面消融的测量．8.9节简明地列出了在任何冰川研究中必须作的最少的气象观察．8.10节是关于排泄水量起码观察的一些记录．对内容更丰富的河流观测和沉积物测量参见第七章．第十二章包括有关水样理化分析所需的某些简明记录．对大多数冰川学研究来说，冰川冰温度的测量是重要的，但理想的是需要使用已划分度数的热敏电阻探棒，这种探棒能冻结在钻孔中．哈里森（Harrison，1975)，克拉森(Classen，1977）和胡克与科塞（Hooke and Koci，1978）的论文中有这一方法的例子．冰川中开口钻孔里温度的粗糙测量可放入温度表或温度探棒进行，并在探棒的上部和下部导线上放置圆盘以阻止对流〔托马斯(Thomas)，1976〕．

8.1 冰川调查中固定点的选择与标志

斐斯特伦和斯坦利(Φstrem and Stanley, 1966) 建议冰川表面关键点应标志在稳定地面上眺望冰川的调查站容易观察到的地方，使它们能显示在照片上. 同样，眺望冰川的固定点必须易于从冰川上和任何航空照片上找出来.

冰川周围选择的固定点，要能从冰川上或其他固定点都容易观察到. 如果可能，虽然应先考虑可通行性，但应选择突出的地貌特征. 如果选定点不易于找出，必须筑一顶上插有旗帜的石堆. 这样，为了便于选定点显示于航空象片上，或者从上面观察它，用数面至少1m宽、5m长的白旗把它表示出来，这些白旗在固定点上放置成具有'L'内角的'L'形式.

对冰川上的关键点应视其是在积累区或消融区而作不同的标志. 如在消融区时，在污化冰川上用大的白旗，洁净冰川上用黑旗，缚在各种测量用的桩上. 当从上面观察桩时，为了便于识别，其位置由在冰川表面上以桩为交点放置的两排漂砾作标记. 漂砾排列的方位不要与任何冰川自然表面特征相一致. 在积累区域，可用弄成粉的颜料或炭黑围着选成点标出一个直径10m、宽1m的圈或半圆.

作为补充控制方法，在地面上要量出固定点之间的距离，以便万一标志变得不清楚时，可重新定出固定点的位置.

8.2 雪和冰制图

图8.1中的符号用来表示出不同类型冰的界线. 冰碛符号

已在第二章中介绍了．表面积雪可用8.6节中的图式详细地描绘，Unesco/IASH/WMO（1970）设计了一套既能以地图的形式又能以剖面的形式表示这些资料的广泛的符号．在图上，用棕色表示冰碛和基岩的特征，用蓝色描绘冰和雪的特征．

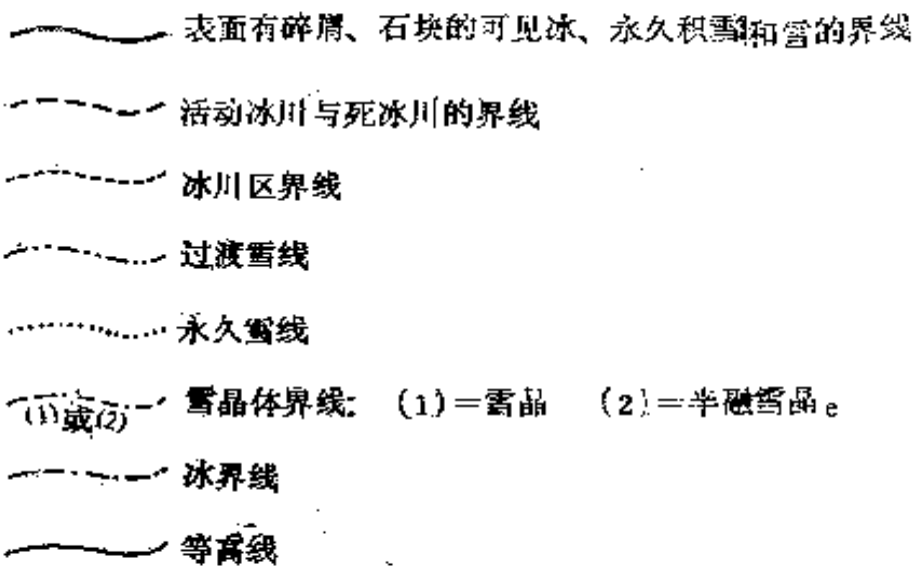


图8.1 冰特征的制图符号

（据布莱切特和马勒（Blachut and Muller），1966）

8.3 冰川表面布桩的介绍

插入冰川表面的桩有多种用途，包括测量积累、消融、冰川表面运动速度和表面应变率．前两项严格要求桩的垂直稳定性，后两项要求桩完全随冰川冰运动．下面的介绍是斐斯特伦和斯坦利（1966）为基础的．

测量网布设

测定冰川物质平衡，理想的是在冰川面上均匀和密集地布置观测桩，这是一个非常实用的建议，但作为替换办法，布置成规则的几何形也是相当适用的．在山谷冰川上，宜在

冰川的中心布置成一条长形的桩线，并有规则间隔的横线．这些横线与中心线须成直角相交．结果的正确程度主要决定于测量网的合理性．样点的数量很大程度上决定于布桩、读数的时间及其他要进行的观测．一般地说，积累区需比较密的桩，因为这里积累和消融变化大于其他地方．在大多数冰川上，积累与消融逐年大体是一致的，在连续的研究中，可以减少样点的数量，直到剩下的点能代表广大的区域．冰面速度测量桩的布设常由一系列横向线组成，均匀地分布于积累带和消融带．确定三个基本应变轴方向和量的桩应象 8.5 节中描述的那样设置，其中心桩可用于测量表面速度．

编号

中心线桩的编号应从冰舌向永久积雪区编，采用上升数如100，200，300等．以200号桩为中心的横线，左手桩应采用上升奇数从200号桩向外编号．因此，从200号桩向左边的相续桩号为201，203，205等．右手则类似，用偶数编号．其余纵向和横向桩很容易插入这个图式，因此，合逻辑的布设使得能找到出露差的桩．

缺失桩的复位

布置的新桩应尽可能地接近缺失桩的位置，以原编号加上一个指示复位的前缀编号．例如，对103号桩第一次复位的桩将是1103号，第二次的是2103号等．老桩一经重新发现，复位的桩应立即拔掉．

重复桩

当桩难于重新设置时，可以在附近设置一个重复桩，它到原桩的距离应是已知的．重复桩应用旗帜标明，在原编号

前加上一个前缀作标记．因此，A103指示至103号桩的路．第二重复桩将是B103等等．

桩的加长

管状铝桩可在顶上插入30cm长的钢管，再加上2m长的加长管加长．加长部分应当编号．因此，103号桩的第一节加长管编为103/1，第二节为103/2，等等。

桩的插入

对于雪地桩来说，铝是最好的常用材料，尽管在湿润的气候下需用钢桩，因为那儿风强和白霜有重量，需用更强的材料．最适宜的长度是4m或5m．桩应有精确的刻度，在每1m处，四周应标上符号，以便辨识，刻成凹槽的标志最为理想．

在永久积雪地区，桩必须插入雪中，直到抵达前一夏季面。桩入位之前，应在桩根安置一个软木塞或木制塞子以阻止或至少减少其垂直下沉．如果钻了一个大直径的孔，在插桩之前可在孔中放置一个直径大于桩的圆盘．

当桩插入冰川冰时，必须钻一孔，可让桩冻结在此．可用向孔中倾注防冻剂的方法防止冰钻因冻而粘结．打孔最好是在寒冷到融水不能渗入孔中和冻结时进行．

如果桩在消融季节开始时插入，只需留下10—20cm作标志．如在消融季节结束时安置，应露出2—2.5m．当桩不足1.5m保持牢固地冻结在原位置上时，这桩必须重建。重建的桩应安置在原桩上游1m处．如这桩是用于冰川运动研究的，在老桩不能用之前，必须对新桩的精确位置作很好地记载．

8.4 冰川表面速度测量

冰川表面速度的测量，可采用标准调查方法，测量其水平的和垂直的速度来完成[佩特森（Paterson），1969]. 标志物（通常是木头的或铝桩）安置在冰中，并以固定的时间间隔观测它们的位置. 桩的安置应按所建议的测量物质平衡的方式. 在消融区，钻孔必须细心地钻到足够深度，使桩在夏季不被融化出来. 在积累区域，必须把桩牢固地锚定在垂直分速测量能够进行的位置上. 用测量速度所采用的方阵的中心桩进行，可以使速度测量和应变率的测定（8.5）结合起来.

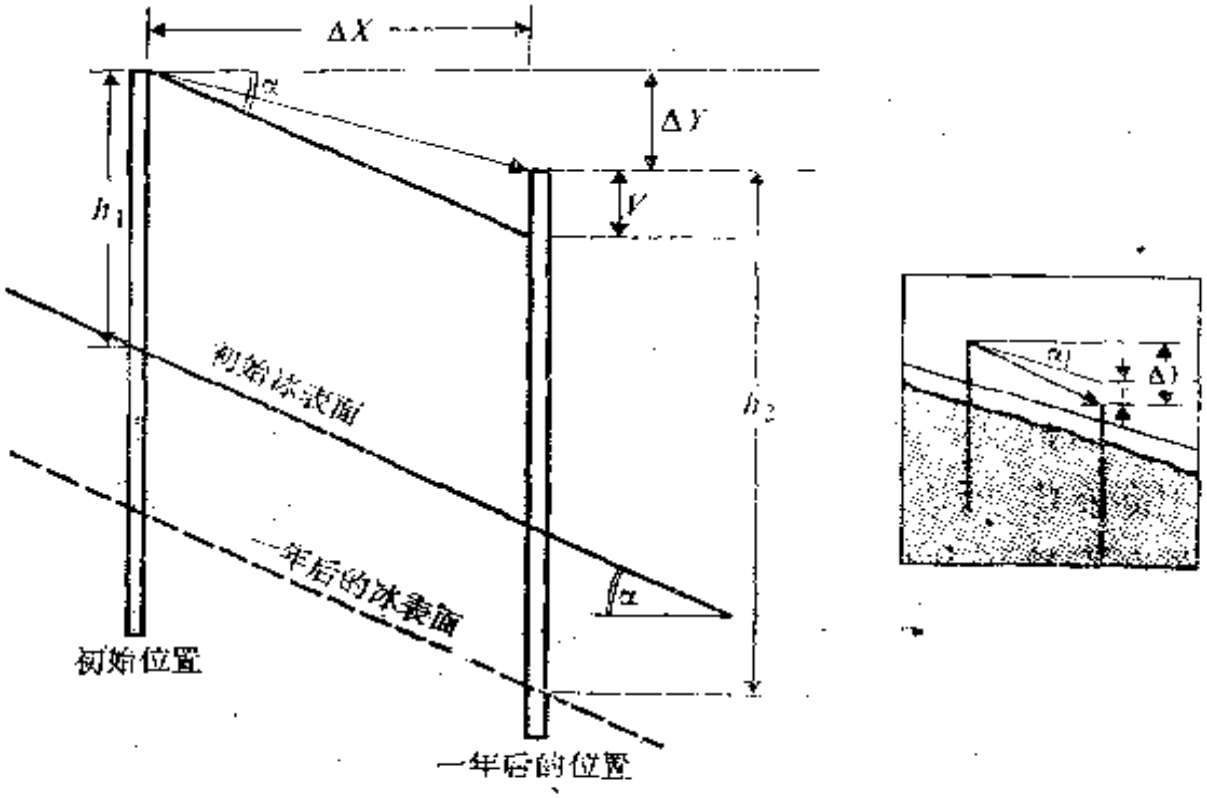


图8.2 确定冰川速度所需的测量。本图展示的是设置在消融区的桩位。右边的插图表示积累区的状况，测量和计算时应作适当地调整

（据佩特森，1969）

图8.2表明了所需作的测量.在测量桩顶的垂直和水平位移（以ΔX和ΔY代表）时，使用空间轴、水平分速(U)等于ΔX，可以用几天为周期的重复三角测量进行监测．在消融区，冰流是上向的，其垂直位移由下式求得：

$$\Delta Y = \Delta X \tan \alpha - V,$$

式中：V是冰川表面单位时间内的向上运动量．因此，冰流的垂直分量（V）为

$$V = \Delta X \tan \alpha - \Delta Y.$$

垂直分量是小的，而且标志桩连续向上测量至少应以几个月来划分．垂直于表面的分量（v）由下式求得：

$$v = -V \cos \alpha = \Delta Y \cos \alpha - \Delta X \sin \alpha,$$

（v一般向下为正）．离开冰川中心线的点上，X等于中心线方向上的水平分速（U）

$$U = \Delta X \sec A$$

式中：A是水平速度方向与中心线之间的角度．桩所在的冰表面将有一个单位时间内的上升变化Δh：$\Delta h = b - v$，式中b是单位时间物质平衡的冰厚度．

8.5 冰川表面应变率的测定

奈（Nye，1959）说明了确定冰川表面三个基本应变轴方向和量值以及沿这三轴的应变率所要进行的计算和测量的详细内容.在冰川表面应布置一个象图8.3所展示的由5根桩组成的正方形．方阵的x轴沿其中的一条对角线，并指向冰川下游，z轴横切冰川流向，并与x轴成直角．y轴正对着冰川表面．桩的排列应尽可能地接近正方形，并且应对每一连接线的方向和长度作记录．

中心桩的顶部位置，采用经纬仪三角测量或对冰川边缘

固定点进行后方交汇，固定在垂直和水平平面上．这就为用8.4节所述的方法在应变率的确定位置计算运动速率作好了准备．

桩与桩之间的距离（即连线长度）和每条连线的方向应在适宜的时间间隔内调整．每次测量的时间间隔将完全决定于调查范围、可用于这一任务的时间、测量方法及应变率的瞬时变化的要求．奈（1959）在挪威的渥斯特德尔斯林（Austerdalsbreen）所作重复测量的间隔是5—6天．瓦

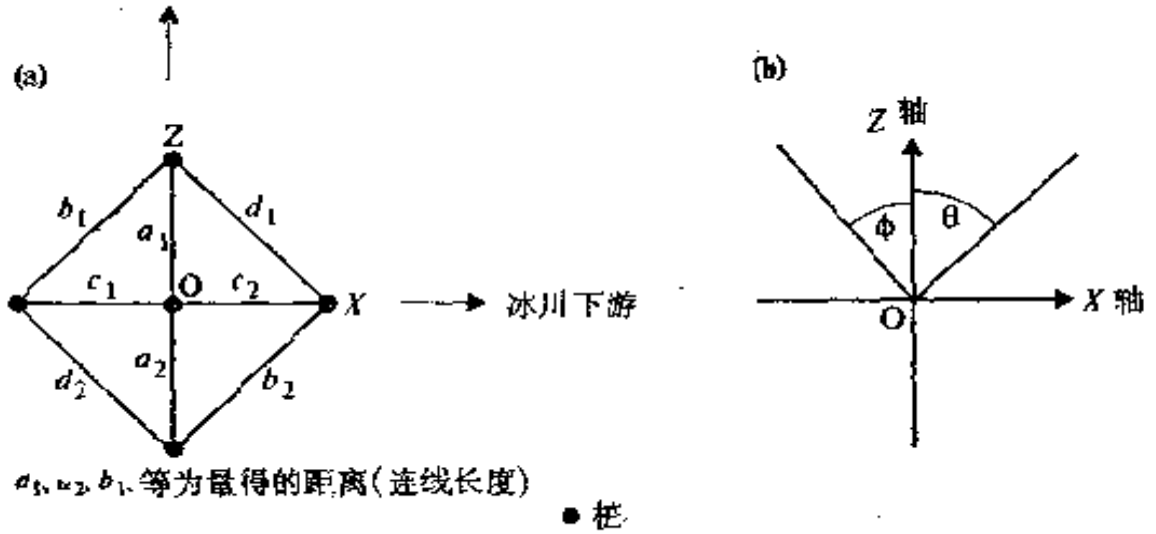


图8.3　确定应变的桩设置和表示方法
（据奈，1959）．

格和埃克梅尔（Waag and Echelmeyer，1979）在阿拉斯加采用的间隔为11天．很小的应变率所需的测量之间的时间间隔可能要一年，尽管采用熟练测量方法进行精确测定1天多就可完成〔霍尔兹沃思（Holdsworth），1975〕．连线长度有多种需要，至少要50m，最好是不少于100m．用钢尺进行测量，并细心地使每次测量钢尺的拉张稳定，精确地在桩上同一点进行．桩的高度和倾斜度也应记录下来．如果桩要重新插入冰中，在插入前和插入后都应立即对它们进行重测量．桩必须牢固地固定于冰中，在它们无用之前，应认真地重插入．

从8条连线（a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2）的测量中，应变率（$\dot{\varepsilon}$）的8个值可由下式求得：

$$\dot{\varepsilon}^0 = (1/\Delta t)\ln(l_2/l_1)\ ,$$

式中：l_1和l_2依次是每条连线的最初和最终的长度，Δt为测量时间间隔.

对应于方向角$\theta = 0°$, $45°$, $90°$和$135°$，8个$\dot{\varepsilon}$值可减为4个，θ是从OZ开始用顺时针测定的角（图8.3b）：

$$\dot{\varepsilon}_0 = (a_1 + a_2)/2\ ,$$

$$\dot{\varepsilon}_{45} = (b_1 + b_2)/2\ ,$$

$$\dot{\varepsilon}_{90} = (c_1 + c_2)/2\ ,$$

$$\dot{\varepsilon}_{135} = (d_1 + d_2)/2\ .$$

这4个值适用于四方形中心的O点，根据是假设四方形面积内应变率为线性变化.

误差（v）可用下式计算：

$$v = (\dot{\varepsilon}_0 + \dot{\varepsilon}_{90} - \dot{\varepsilon}_{45} - \dot{\varepsilon}_{135})/4\ .$$

则

$$\dot{\varepsilon}_x = -\frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_0 + \frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_{45} + \frac{3}{4}\dot{\varepsilon}_{90} + \frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_{135},$$

$$\dot{\varepsilon}_{xy} = \frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{45} - \frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{135}$$

$$\dot{\varepsilon}_y = \frac{3}{4}\dot{\varepsilon}_0 + \frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_{45} - \frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_{90} + \frac{1}{4}\dot{\varepsilon}_{135}.$$

标准差（S.E.）为：

$3^{0.5}|v|$　　对$\dot{\varepsilon}_x$；

$3^{0.5}|v|$　　对$\dot{\varepsilon}_y$；

$2^{0.5}|v|$　　对$\dot{\varepsilon}_{xy}$.

三个基本应变率（$\dot{\varepsilon}_1$, $\dot{\varepsilon}_2$, $\dot{\varepsilon}_3$）的量值和方向可由下式求出：

$$\dot{\varepsilon}_1 = 0.5(\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y) - [0.25(\dot{\varepsilon}_x - \dot{\varepsilon}_y)^2 + \dot{\varepsilon}_{xy}^2]^{1/2},$$

$$\dot{e}_2 = -(\dot{e}_x + \dot{e}_2)\ ,$$

$$\dot{e}_3 = 0.5(\dot{e}_x + \dot{e}_2) + [0.25(\dot{e}_x - {}^2 + \dot{e}_x)e_x{}^2{}_y]^{1/2}.$$

基本应变率$\dot{e}_x$位于垂直平面，即$\dot{e}_y$. 其他两个基本应变率$\dot{e}_1$和$\dot{e}_3$位于水平的X，Z平面.

如果$\dot{e}_x > \dot{e}_x$基本应变率轴是$\dot{e}_3$的轴，如果$\dot{e}_x < \dot{e}_x$，则是$\dot{e}_1$的轴.

OZ和基本轴之间的角度（φ）由下式得：

$$\tan 2\varphi = 2\dot{e}_{xx}/(\dot{e}_x - \dot{e}_x),\quad -\pi/4 < \varphi < \pi/4\ .$$

φ的意义见图8.3.

8.6 积累量测量

冰川上积累量的测量由雪的深度测量或从雪坑研究中完成.

雪深测量

为了有效地估计易变的雪的深度，样点的密度应定为每平方公里约100个. 理想的是，样点应平均地分布于冰川上面或布置成一系列的测量剖面. 把剖面布置在如8.3节中描述的那样所设置的雪桩之间是适宜的. 沿剖面每隔50m作一次测量，测量深度应记录到极接近厘米. 为了确定在雪深易变地区所需的附加测深，应及时绘出雪深的测量图.

测量最好从舌部开始，因为这儿雪盖最薄，并且上一年夏季表面将是冰表面，因此能很好地区分出来. 从舌部向上，上一年夏季表面可能较难区分，特别是在凉爽的夏季之后，因此标出当年夏季的表面对来年的调查是有利的. 在积累带测深需较长的时间，数量也最大. 整个调查时间的四分之三要化在这一地区.

雪坑研究

很仔细的雪坑研究超出了本书的范围．下面仅是基本的指导原则．这些方法的使用者应熟悉雪转化成冰川冰的主要过程．这些的简明轮廓由塞利格曼（Seligman,1936）和佩特森（1969）设计出，阿姆斯特朗（Armstrong，1966）等提供了一本关于雪和冰类型术语有用的图解小辞典．

所挖雪坑的数量视工作的目的而定．最少应挖三个，一个在永久积雪区的下部，一个在中部，另一个在上部．在开挖之前，先用雪探棒确定雪的厚度，一直挖到前一夏季表面以下约0.5m处．在挖之前，决定坑的哪一面保持不动，供做样和测量用，最好是最阴面．坑应大到在底部有 1 m^2的工作空间．如果必须在现存桩附近挖坑，应在离桩适当距离的下流进行，建议这一距离取 5 m或10m．如果坑的场所周围无桩，应插进一个桩，加以定位．挖好坑后，应尽可能快地读出雪的温度，以确定是否发生过融化．前一夏季表面0.5m以下位置的雪的密度应以代表性雪样和天平来确定．表8.1列出了不同类型雪和冰的密度．表8.2是应作记录的雪面特征的核对表．对已堆积雪层的密度、自由水含量（表8.3）、颗粒大小和形状（表8.4和8.5）、强度（表8.6）、撞击硬度（表8.7）、雪温和不纯净或冰层现象都应作记录．

表8.1 典型的雪和冰的密度（佩特森，1969）

雪／冰类型	密度（g cm^{-3}）	雪／冰类型	密度（g cm^{-3}）
新雪	0.01—0.07	风积雪	0.35—0.4
潮湿新雪	0.01—0.2	永久积雪	0.4 —0.85
已沉陷雪	0.2 —0.3	很湿的雪和永久积雪	0.7 —0.8
深霜	0.2 —0.3	冰川冰	0.85—0.91

前一夏季表面可由污染层，或者密度、硬度或颗粒形状的突然变化显示出来。在极地冰川的情况下，可取深霜层的底作为前一夏季的表面（佩特森，1969）。

表8.2 用于雪面条件描述的核对表

表面沉积的性质	
表面霜	主要为呈鳞片状、针状和羽毛状的表面冰晶层，由雪凝结而成
雾 凇	一层白色的、毡毛状的、相对稀疏的小片和盘状晶体簇，由凝华后形成。应说明是硬的还是软的
冻结冰	明显无结构的、混浊的或玻璃状非晶质冰，由过冷水迅速冻结而成
表面粗度	
	说明是否平滑、波状、积成或随机纹
表面可渗性	
	以观察在雪面上单脚或单滑雪板支撑一个人的重量所形成的印痕深度来测量。

表8.3 雪中自由水容量的估定（Unesco/IASH/WMO，1970）

种 类	特 性
干 燥（Wa）	不能捏成雪球
湿 润（Wb）	液体水不明显，但可捏成雪球
潮 湿（Wc）	可见液体水
很潮湿（Wd）	液体水丰富，但不能自由排出
雪 泥（We）	需加压力液体水即可从雪中排出

表8.4 雪粒大小的估定 (Unesco/IASH/WMO, 1970)

种　类	粒径范围 (mm)
很　细 (Da)	<0.5
细　(Db)	0.5—1.0
中　等 (Dc)	1.0—2.0
粗　(Dd)	2.0—4.0
很　粗 (De)	>4.0

表8.5 雪粒形状的估定 (Unesco/IASH/WMO, 1970)

种　类	特　征
新　雪 (Fa)	未变化或轻度转化的雪晶体，原始形状易于辨识
常呈毡状 (Fb)	晶体进一步转化，但原晶体仍可辨识
粒状、球形 (Fc)	球形，常呈拉长的粒状，带有或没有融化
有小平面的粒状、全晶体 (Fd)	常呈圆粒状或杂有杯形晶体
深　霜 (Fe)	杯形晶体，但未必充分发育；常为杯形碎片，以凹角和独特的边为特征

表8.6 雪强度的估定 (Unesco/IASH/WMO, 1970)

种　类	特　征
很　软 (Ka)	戴手套的拳头能插入
软　(Kb)	带皮手套的四个指尖能插入
中　等 (Kc)	带皮手套的一个手指能插入
硬　(Kd)	铅笔可插入
很　硬 (Ke)	小刀可插入

8.7 雪的撞击硬度

雪的硬度和强度是根据标准锥形贯入计的进入量测定的. 贯入计的顶角应为60°, 直径40mm.

撞击硬度 $R=(w+qQ+P)+(Phn/x)\mathrm{kgF}$,

式中: w=贯入计第一部分重量 (kg), q=1 m长加长棒的数量, Q=1 m加长棒的重量, P=锤的重量, h=锤下落的高度 (cm), n=单位深度锤子下落的次数, x=棒的总进入量. 如果把其结果设计成深度间隔的累积量和撞击硬度值, 即$\Sigma\Delta xR$相对于深度, 解释是便利的. 表8.7列出了术语系列和相应的硬度值. 表中还列出了剪切强度的近似值.

古布勒 (Gubler, 1975) 提出一个撞击硬度的修正公式, 这一公式更实际地考虑到转移至撞击点的能量. 一个通过实验得出的修正因子 (c) 必须加到上述等式的最后一项上, 这一因子依赖于锤落与贯入深度的比率. 即:

$Rc=(w+qQ+P)+\mathrm{C}(Phn/x)\mathrm{kgF}$.

修正因子c的值可从图8.4中的座标上读出.

表8.7 撞击硬度、剪切强度和描述术语 (Unesco/IASH/WMO, 1970)

种类	撞击硬度, R (kgF)	引力强度, K (g cm^{-2})
很软 (Ra)	0—2.0	0—10.0
软 (Rb)	2.0—15.0	10.0—75.0
中等 (Rc)	15.0—50.0	75.0—250.0
硬 (Rd)	50.0—100.0	250.0—500.0
很硬 (Re)	100.0	500.0

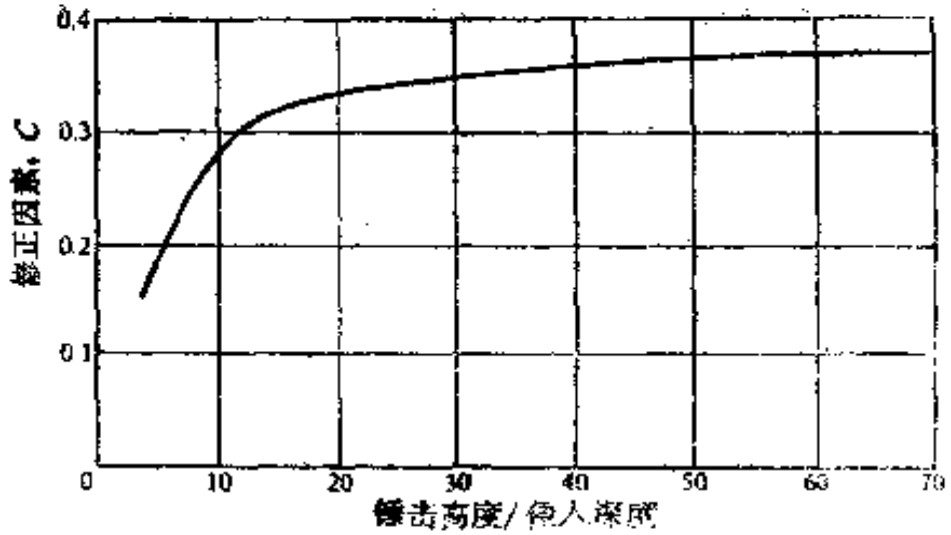


图8.4 用于撞击硬度公式的修正因子

(福吉布勒, 1975)

8.8 消融量测量

大多数消融研究以反复观测插入冰川桩位置的冰面降低量的方式进行的. 为了取得一致的结果，应注意下面的规则.

在桩插入冰的地方，测量应从桩顶向下测到冰表面. 冰表面应以放在冰上垂直流向并和桩接触的冰刀的下边来定.

在雪仍然覆盖于冰的地方，测量必须包括桩的可见长度和雪的深度. 雪深应取在桩的1—2 m范围内确定的三个值的平均值. 雪的表面高度测定应按上一节所定的方法. 夏季期间，为了测定密度，雪面应定期取样.

8.9 气象观测

观测应在早晨和晚上进行,以便不妨碍冰川学的工作.希望观测次数尽可能地接近地区标准.下面是至少应作的观测:

(a) 气温和湿度　　理想的是使用斯蒂芬逊(Steven

son）百叶箱里的温湿计．定时检查标志，用所提供的水银温度计进行核对．

（b）云量　应以十分法记录日平均云量．对云高和云量变动性也应作记录．

（c）降水　应采用标准雨量器记录雨和潮湿的雪量，后者应融化后再记录．应对大雪的深度和密度进行观测．保持雨量器的网络，至少有一个雨量器要每天观察．

（d）风速和风向　每天应对单位为ms^{-1}的风速和风向作两次估计，最通常的是在观察温度的同时进行．对于这一工作来说，手握风速仪是一理想工具．如果没有的话，则可飘出一张小纸片，让它落到地面上，粗略地计算它的速度．

（e）净辐射　理想的是使用净辐射仪．但如没有的话，日照时间应记录下来，并对冰川表面的反射率作某些估计．然后可用经验公式确定所得辐射（布莱克等人，1954）．

8.10　流水量测量

无论什么时候只要有可能，都应观测从冰盆中排泄出的水和沉积物．通常每天在气象观测的同时记录流水量，使用比例断面的方法最方便．其方法第七章已介绍．悬移质和推移质基本上也应每天观测，其观测方法也在第七章中．

为了了解冰川河流中的白天变化，无论什么地方只要有可能，应在上午的晚些时候和晚上的早些时候对流量作附加观察．如果可能的话，挟沙量观测也应在这些时间进行．如果完全可能的话，以小时为基础观测至少一个主要事件是很理想的了．同样，当条件正常时，在整个“正常”的24小时周期内作每小时观察，将能在每天三个或四个读数的基础上绘出水和沉积物的排泄曲线．

第九章　风力作用过程

本章包括测验和分析风力作用过程的资料（参阅《地貌方法》，第226—246页，格迪尔，1981）。9.1节介绍在风力作用下风沙起动和搬运的基本关系，作为野外估算和分析的基础。9.2节简要介绍风积物的特征，以帮助对沉积物的鉴别和对风积地形的分类。

9.1　风速、摩阻流速、沉积物的起动和搬运的关系式

该节列出的关系式可作为野外初步分析的基础，至于这些关系的更详细介绍可参见《流沙的性质和沙丘》〔巴格诺尔德(Bagnold)，1954〕、《沙漠地貌学》〔库克（Cooke）和沃伦（Warren），1973〕。该节也包括尘土在空气中富集的可见度，可用于野外估计尘土的浓度。

摩阻流速（V_*）或速度梯度由下式给出：

$$V_* = KV / \log (z/k),$$

式中：V_z＝高度为z处的风速；K＝速度为0处的高度；

K＝范·卡曼（Von Kàrmàn）常数，大致等于0.04，但随温度梯度而变化。

V_z可由下式得出：

$$V_z = 5.75V_* \log (z/k),$$

式中：V_*＝摩阻流速或速度梯度；k＝表面糙度，如是沙质表面，则$k \approx 0.081 (\log d) / 0.18$；如是相对光滑的表面，

则$k \approx d/30$；如是粗糙的表面，则$k \approx d/10$〔d为平均粒径（cm）〕。

颗粒起动的临界速度V_*t（巴格诺尔德，1954）或拖曳开始的速度，可由下式得出：

$$V_*t = A\,[(\sigma-\rho)\,gd/\rho]^{1/2},$$

式中：σ=沙粒比重（gcm^{-3}）；ρ=空气比重；近似于1.22×10^{-3}（gcm^{-3}）；g=重力常数（cms^{-2}）；d=沙粒平均粒径（cm）。

巴格诺尔德参数A在颗粒粒径大于0.1mm时近似于0.1，它是雷诺数（B）的函数，雷诺数可由下式算得：

$$B = V_*t \cdot r/\upsilon,$$

式中：r=表面糙度（$\approx d$）；υ=空气的动粘滞度（cm^2s^{-1}）=粘滞度÷密度。

图9.1表示A和B间的关系，是根据格里利（Greeley）等人（1974）的实验结果。

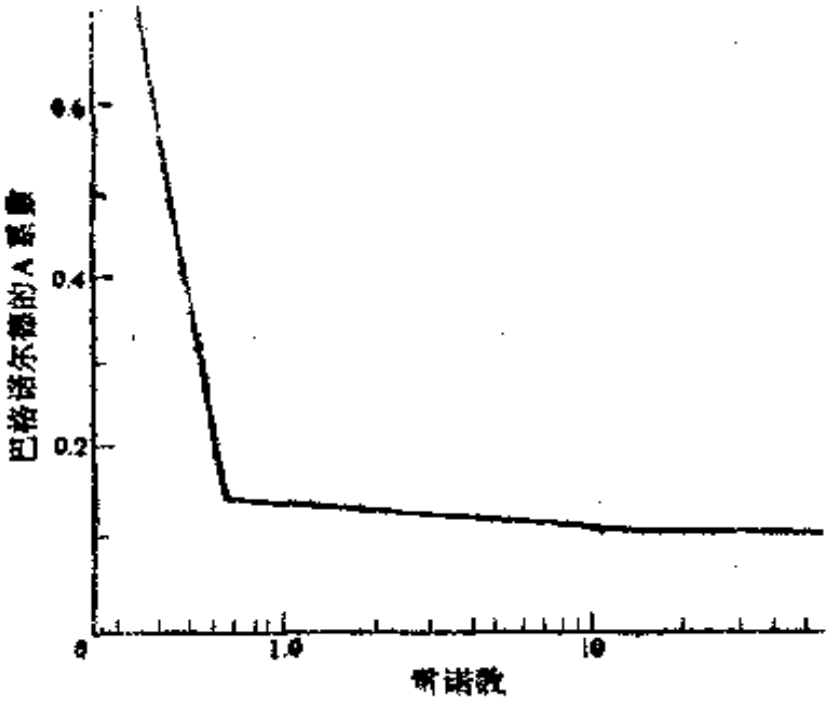


图9.1 巴格诺尔德的A系数和雷诺数间的关系

把V_s和V_{*t}的公式合并得：

$$V_s \approx 5.75A\left[(\sigma-\rho)\,gd/\rho\right]^{1/2}\left[\log(z/k)\right].$$

冲击临界速度（V_{*i}）（低于该速则运动停止），由下式给出：

$$V_{*i} = 680d^{0.5}\log(30/d).$$

气流临界速度、冲击临界速度及颗粒大小的关系表示在图9.2上（根据巴格诺尔德，1954）.

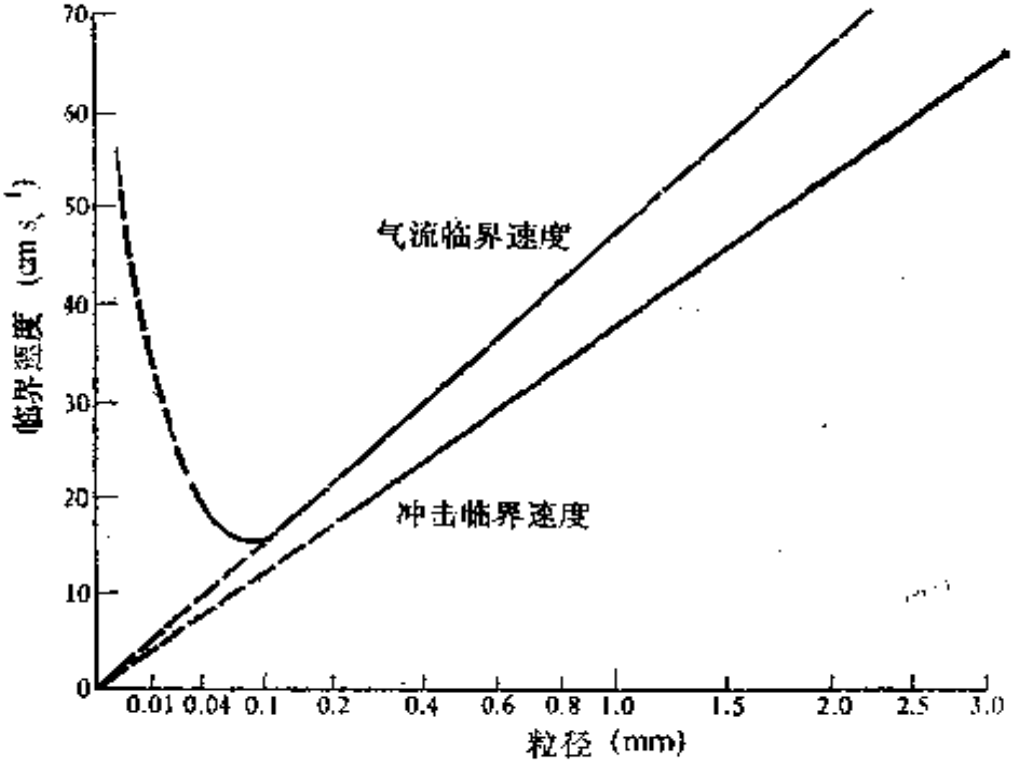


图9.2 气流临界速度、冲击临界速度与颗粒大小的关系

巴格诺尔德（1941）提出了下列公式，估计单位时间内，单位宽度所通过的总沙量.

$$q = C\,(d/D)^{0.5}\,(\rho/g)\,\alpha\,(V-V_t)^3$$

式中：q=所搬运的总量（t/1 m宽·h）；C=系数，对普通的均质砂取1.5，自然等级的砂取1.8，对分选差的砂取2.8，砾质表面取3.5；d=颗粒大小（mm）；D=标准颗

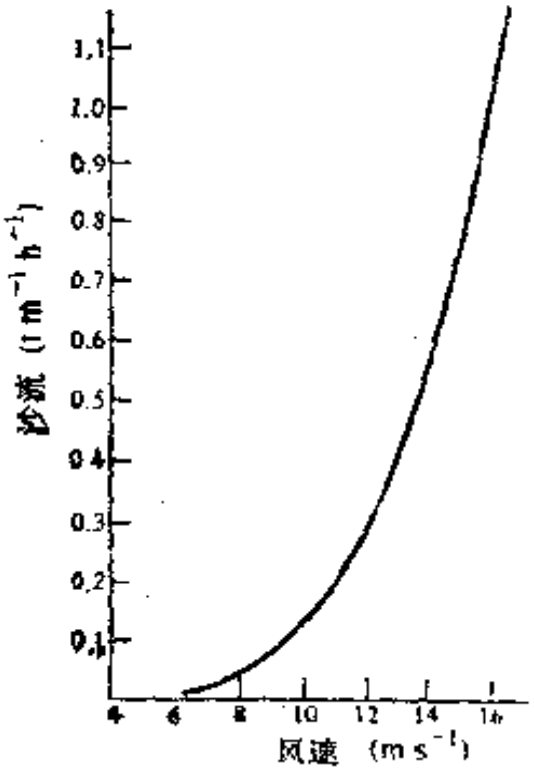


图9.3 对一般的沙丘砂、沙流与地表面以上1m所测得风速的关系。这一般的砂指粒径为0.25mm的普通粒级，对它们来说ρ/g值是1.25×10^{-3}

粒大小，为0.25mm；ρ＝空气比重；g＝重力加速度；α＝常数，为0.174/〔log(z/h)〕；V＝所测得的风速；V_t＝沙的临界起动风速；z＝测定风速的高度（m），h＝速度为0的高度。

在地面以上1 m测量风速，对一般的沙丘砂，这种关系式为：

$$q=1.5\times10^{-9}\ (V-V_t)^3$$

这一关系表示在图9.3中。其它的关系式可参见《沉积学·8》中第257—287页〔威廉斯（Williams），1964〕，《世界沙漠研究》〔弗雷伯杰（Freyberger）和迪安（Dean），1979〕。

对能见度与大气中尘土富集间关系有两种意见，依据切皮尔（Chepil）和伍德拉夫（Woodruff，1957），罗宾森（Robinson，1968）的资料，表示在图9.4中，可以用来从能见度中估算尘土的浓度。

9.2 风积物及堆积地形

该节的资料供调查风积物和风积地形时参考。下面逐条说明风积物特征〔根据麦基，1979和格伦尼（Glennie），1970〕，以助鉴定可能是风成的堆积物，然后是关于堆积地

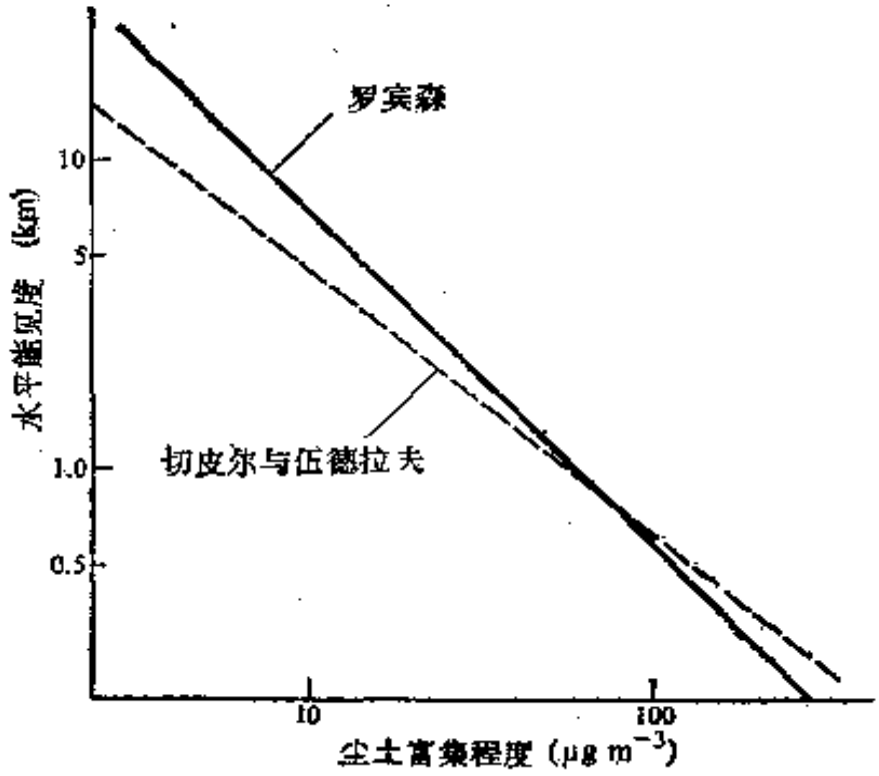


图9.4 地面以上1.8m处的尘土富集程度和水平能见度的关系

形的介绍.

风积物特征

(a) 沙体通常为浅色、均粒的，但边界不连续，多是石英质的.

(b) 沙或砂岩层的厚度变化可以几厘米到几百米.

(c) 前积层的倾角可从0°到34°（如紧密则小）；倾向可以有多个，也可是一个（麦基，1966，1979，格伦尼，1970）.

(d) 通常为大的交错层理，普遍具有板状和楔状的交错层，槽状交错层理比较少（参阅第六章图6.11）.

(e) 纹层通常是平的，在较陡倾向的前积层上偶而出现波纹，波纹总是有高的沙波指数（通常大于15），具有平行的波脊和槽. 据斯通（Stone）和萨默斯（Summers）

(1972) 研究，波长 (L) 可由下式得出：

$$L=63.8D^{-0.75}\ (\mathrm{cm}),$$

式中：D=平均粒径（mm）.

(f) 单一的纹层分选好，尤其是细粒砂. 明显的颗粒变化通常出现在相邻纹层的最大颗粒之间.

(g) 颗粒大小一般是从粉砂〔60μ，即0.06mm〕到粗砂（2000μ即2 mm），大部分为125—300μ（即0.125—0.3mm），风运物的最大粒径有1 cm级的，但粒径大于5 mm的就罕见了.

(h) 粉砂粘土的百分含量一般小于5 %，甚至没有（除自然粘土外）.

(i) 大的砂粒磨圆较好.

(j) 很少有粘土盖层，且常伴有流水沉积迹象.

(k) 埋藏较浅的石英砂一般是松散的，或略有轻微的铁质胶结，红色赤铁矿外膜的颗粒局部脱色，变为绿色或白

表9.1 风积地貌按等级分类

等级	名称	方向	波长	波高
1	巨形沙丘	纵向或横向	300—5500m	20—450m
2[1]	沙丘	纵向或横向	3—600m	0.1—100m
3	空气动力形成的沙波纹	纵向或横向	15—250cm	0.2—5 cm
4	冲击沙波纹 次级沙波纹 弯曲的	横向的 纵向的	0.5—2000cm 1—3000cm	0.001—100cm 0.05—100cm

1）这一等级的地貌可进一步划分，详见表9.2和图9.5和9.6.

表9.2 基本沙丘类型和其它风成堆积的名称

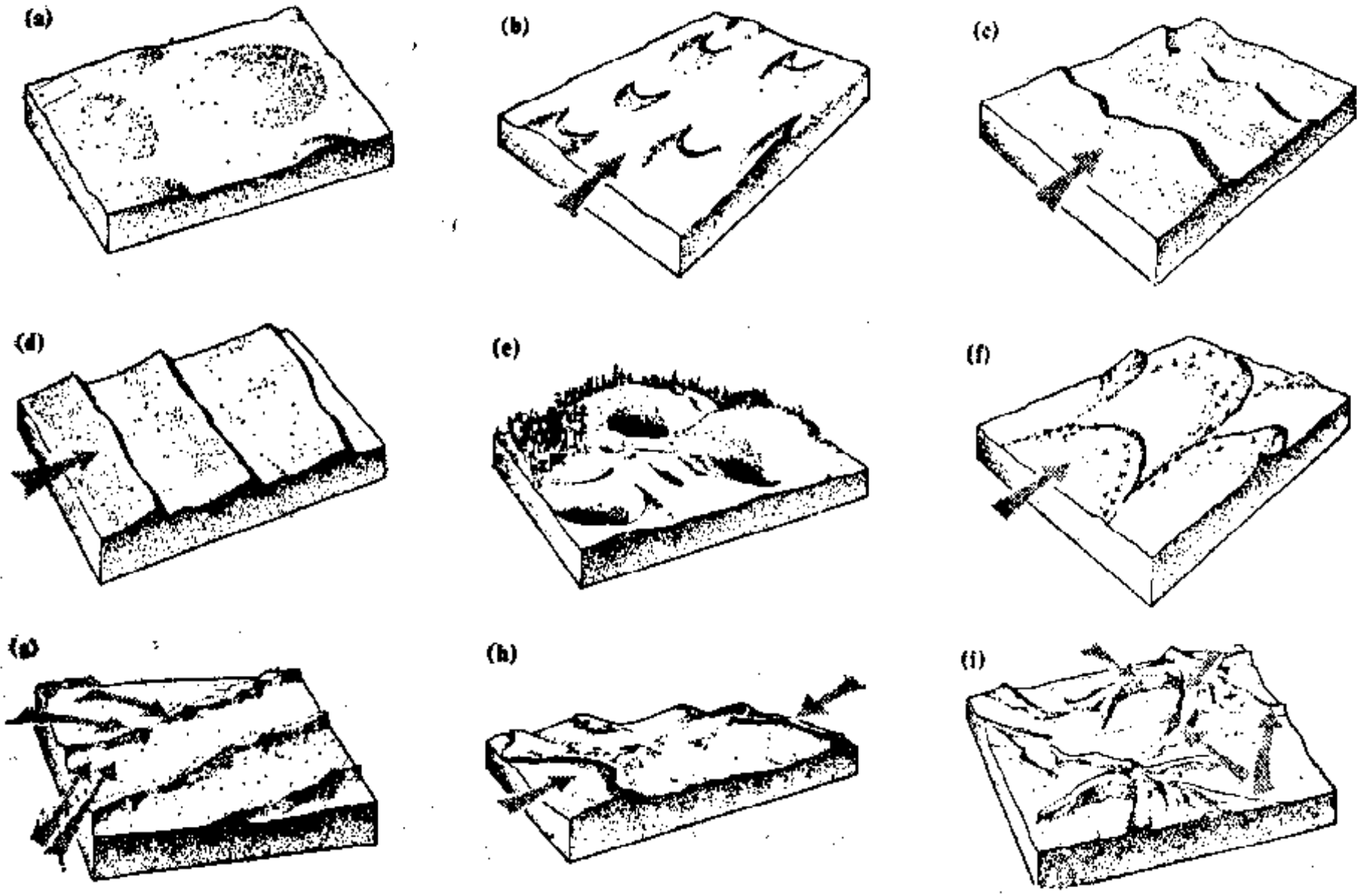
（据麦基，1979）

形　式	滑动面数目	在实地研究形态（滑动面和内部构造）中使用名称	所附的块状图标记	利用卫片和航片研究沙丘类型和形态所用的名称
蓆状，具宽阔平坦的表面	无	蓆　状	无（平坦面）	蓆　状[1]
薄的长条	无	纵　向	无（平坦面）	线条状[1]
圆形或椭圆形岗状	无[2]	圆　丘	(a)	圆丘状
平面观察为新月状	1	新月形沙丘	(b)	新月状的：新月形沙丘
平面观察为新月形链状	1	新月形沙丘链	(c)	新月状的：新月形沙丘链
不对称沙垄	1	横向沙垄	(d)	
洼地的圆形边缘	1或更多	风蚀坑[3]	(e)	新月状的：不能辨别
平面观察为"U"形	1或更多	抛物线形沙丘[3]	(f)	抛物线状
对称的沙垄	2	线状沙丘	(g)	线　状
不对称的沙垄	2	往复型沙丘	(h)	往复型
有三个或三个以上围的沙丘中心峰	3或更多	星状沙丘	(i)	星　状

1）还包括沙岗及其它较小卫片上反映不出来的地貌；

2）内部结构可表现为有一个滑动面的锥形新月形沙丘；

3）植被控制的沙丘。


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
(h)
(i)



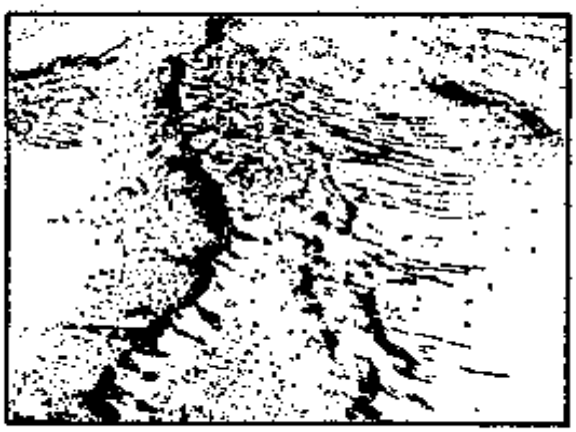
新月形沙丘链



大型抛物线型沙丘中的抛物线型沙丘



星状沙丘链



大型线状沙脊上的线状沙丘



大型新月形沙丘上的新月形沙丘

图9.5 复合沙丘一般形式举例

（据麦基，1979）

色的不多。

(1) 一般缺少云母。

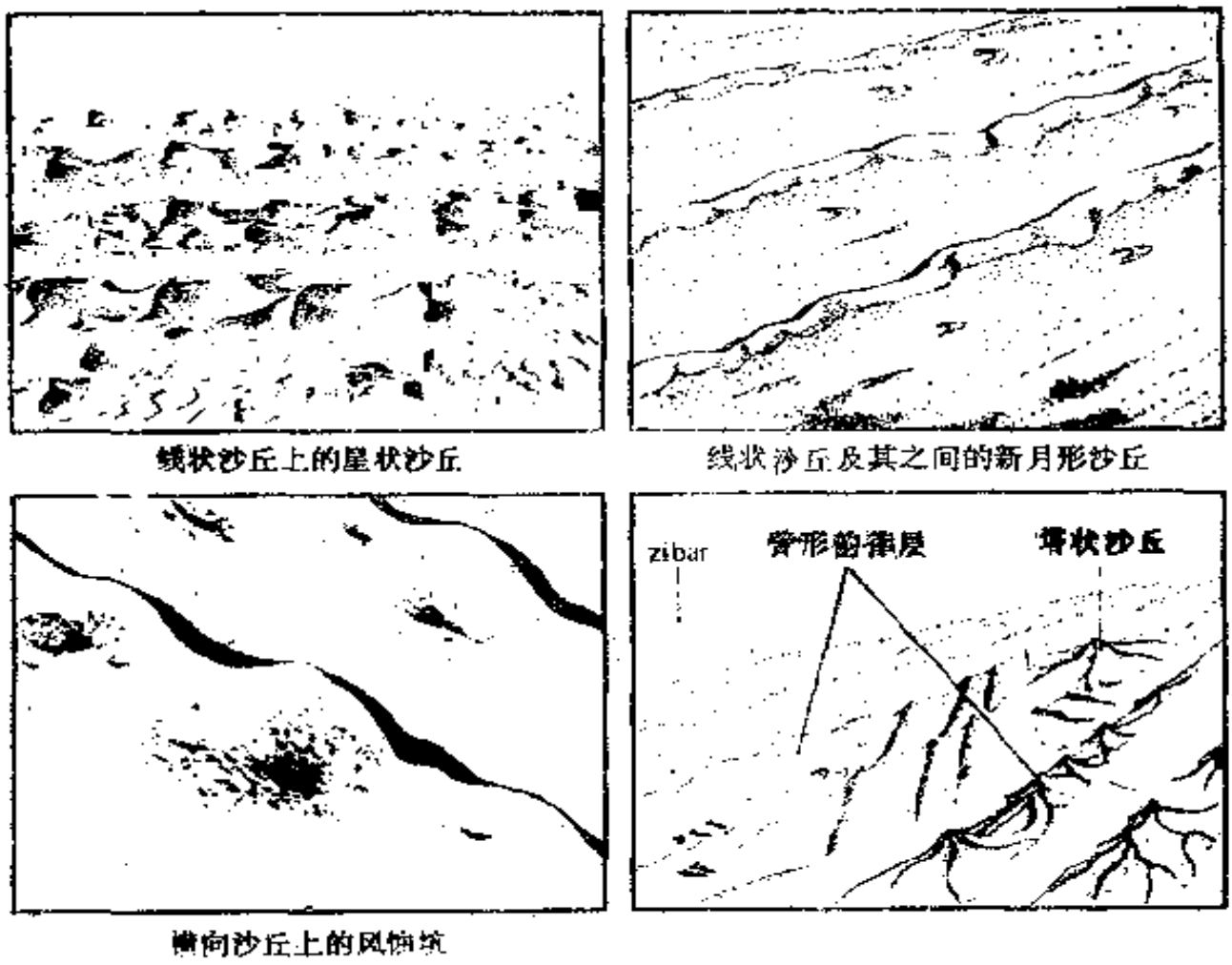


图9.6　复杂沙丘举例

（据麦基，1979，库克和沃伦，1973）

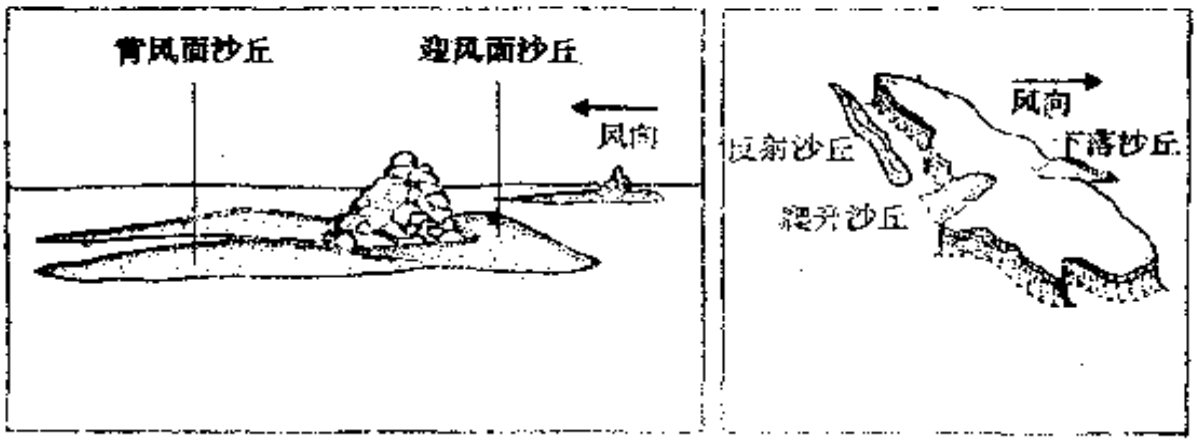


图9.7　与障碍物相联系的沙丘分类

（据库克和沃伦，1973）

(m) 随着粘土含量的增加和石膏或硬石膏胶结的存在，形成粘着波纹（adhesion ripples）.

(n) 未被钙质胶结的石英颗粒在显微镜下常常显示出毛玻璃状及凹坑.

风积层理特征在6.6节中描述，亨特（Hunter，1977），麦基（1966，1979）和格伦尼（1970）对普通沙丘类型的沉积特征作了更详实的论述.

风积地貌分类

风积地貌可按等级分类，见表9.1. 这一分类综合了威尔逊（Wilson，1970，1972）、库克和沃伦（1973）报告中的资料，大体上可代表极大部分常见的特征，表中的第二类型可进一步划分为流动沙丘及与障碍物有关的沙丘. 表9.2和图9.5，9.6是简单的、复合的及复杂类型的流动沙丘. 简单沙丘是独立的沙丘；复合沙丘是同种类型的两个或更多的沙丘排成雁列状，而复杂沙丘由两个以上不同类型的沙丘组成. 图9.7是与障碍物相联系的沙丘.

第十章　海岸作用过程

本章涉及研究港湾、海岸及浅海过程所需的一些资料。其中10.1节是美国工程师协会海岸环境观测（LEO）计划中的观察项目；10.2节包括了与各种水体和波动方面有关的许多项目；最后一节（10.3）是一些关于调查沉积物和盐度的内容。海岸作用过程的测量技术在《地貌方法》（格迪尔，1981）一书中有较多的评述。

10.1　美国工程师协会的海岸环境观测（LEO）计划

美国工程师协会的海岸环境观测计划范围很广。按照它的程序，在特定点和一个周期内，可以对海岸作用过程作充分的记录。所使用的计划及步骤的详细条目是由伯格（Berg，1968）、布鲁诺（Bruno）和希佩卡（Hiipakka，1973）所拟定的。应记录的材料和有关步骤的简介如下：

（a）观察站；

（b）日期；

（c）时间（用24小时制）；

（d）碎波的观察：

①波浪周期　十一个波峰经过某一静止物体所需的时间（以s计），测时从第一个波峰经过静止物体开始，而在第十一个波峰经过时刻结束。如是风平浪静，则记为0。

②碎波波高　由观察者判断，误差不要超过 8 cm.

③碎波波角　碎波向海滩推进的方向，海滩被视为 0°—180°，如无碎波则记为 0.

④碎波类型　见212—213页（碎波类型划分）.

(e) 风的观察：

①风速　如有风速仪的话，则从风速仪上读出（单位为kmh^{-1}）；如无风速仪则可用蒲福（Beaufort）风级来估算风速. 如无风则记为 0.

②风向　以罗盘的八分法作界标确定风的来向.

(f) 前滨坡度，用“Abney”水准仪或倾角仪测出最接近的度数.

(g) 碎波带的宽度，从滨线到向海一侧碎波线的距离（以m作单位）.

(h) 沿岸流：

①“染色距”　如可能，染色体应在碎波刚向岸前进时注入，也可用浮木或其它小型浮动物体. 所谓“染色距”就是染色体注入地点到滨线的距离（以m表示）.

②流速　染色体或漂浮物平行于滨线所移动的速度（$mmin^{-1}$）.

③流向　如面对着海，染色体向左移动，记作－1，向右移动则记作＋1. 如无沿岸流则记为 0.

(i) 回流，这是向岸的碎波涌来的水流回流向海的槽流，它们得到注入流的补充. 如能观察到则以m为单位记录它们的间距，如没有则记为 0.

(j) 滩尖，它们在滩面上呈半圆状或新月状. 如有出现则记录相邻滩尖角之间的距离（以m作单位）；如不规则，则估计其平均距离；如没有则记为 0.

10.2 风及波动

本节内容是观测碎波的几何形态、运动和形成，并进而探讨它们之间的关系．首先在表10.1中列出了描述风力的蒲福风级．接着对碎波几何形态与其运动之间现存的基本关系作了概述，目的是便于在野外能进行初步的计算和分析．最后，介绍了碎波的类型及其野外鉴别的方法，并给出有关风成碎波方面的准许野外预报和后报（hindcast）的材料．

碎波的几何形态及其运动速度间的关系

波速（C）可由下式得出：

$$C = L/T$$

或

$$C \approx [(gL/2\pi)\tan h(2\pi d/L)]^{0.5}$$

$$= (gT/2\pi)\tan h(2\pi d/L),$$

式中：L＝波长（m）；T＝周期（s）；d＝水深（m）；g＝重力加速度（ms^{-2}）．

表示波速、周期和水深关系的曲线可见图10.1（据奥布赖恩（O·Brien）《震动波原理概要》1942）．

上述关系式可近似地表示为：

$C \approx (gL/2\pi)^{0.5}$　　深水（$d/L>0.5$）时用

$C \approx (gd)^{0.5}$　　浅水（$d/L<0.05$）时用

深水中波长与周期的关系是$L=1.56T^2$（L单位：m），速度与其它特征值之间更精确的关系式为：

$$C = \{(gL/2\pi)[1+(\pi^2H^2/2L^2)]\}^{0.5}.$$

图10.2表示不同深度处的波浪周期与波长间的关系，这种关系为下列等式：

表 10.1 风力的蒲福风级

蒲福风级	一般描述	风速约数 (ms^{-1})	浪高约数 (m)	征状	
				海岸用	内陆用
0	平静	0.0—0.2	0	海面如镜	烟直上
1	软风	0.3—1.5	0.1—0.2	出现很小的波纹，但尚无飞沫状波峰	烟能显示出风向，但风向标不能转动
2	轻风	1.6—3.3	0.3—0.5	出现小的子波，但波峰平静而不破碎	人面感觉有风，树叶沙沙响，风向标转动
3	微风	3.4—5.4	0.6—1.0	出现大的子波，波峰顶开始破碎，形成散乱的白浪	树叶和细枝动摇不息，旌旗展开
4	和风	5.5—7.9	1.5	小波浪变长，形成频繁的白浪	能吹起尘土和松散的纸张，树的小枝摇动
5	清劲风	8.0—10.7	2.0	中等波浪，出现许多白浪，偶然出现激溅浪花	有叶小树摇摆，内陆水面有小波
6	强风	10.8—13.8	3.5	大波浪出现，白色飞沫的波峰延至各处，可能出现激溅浪花	大树枝摇动，电线呼呼作响，举伞困难
7	疾风	13.9—17.1	5.0	海面起伏，碎波的白色飞沫开始被风吹成条纹；开始见到激溅浪花	全树摇动，迎风步行感到不便

表10.1续

蒲福风级	一般描述	风速约数 (ms^{-1})	浪高约数 (m)	征状	
				海岸用	内陆用
8	大风	17.2—20.7	7.5	较长的较高的波浪出现，飞沫被吹成明显条纹，波峰顶边缘破碎成浪花	细枝被折，人向前行进，阻力甚大
9	烈风	20.8—24.4	9.5	出现高的波浪，浪背翻卷，激起浪花影响能见度	不结实的建筑物发生危险，烟囱管帽和平屋摇动
10	狂风	24.5—28.4	12.0	出现很高的波浪，长的悬浪和翻卷浪重重地撞击，整个海面呈白色，飞沫成片，并被吹成浓白条纹	内陆少见，树被连根拔起，很多建筑物发生危险
11	暴风	28.5—32.7	15.0	出现异常高的波浪，海面已被长条状白色飞沫完全覆盖，中小尺度的船舶可能久时隐没于波浪背后	极少出现，有则必有严重损毁
12	飓风	>32.7	>15	空中充满飞沫和激溅浪花，推进着的雪激浪花使海面变成白色，能见度极低	—

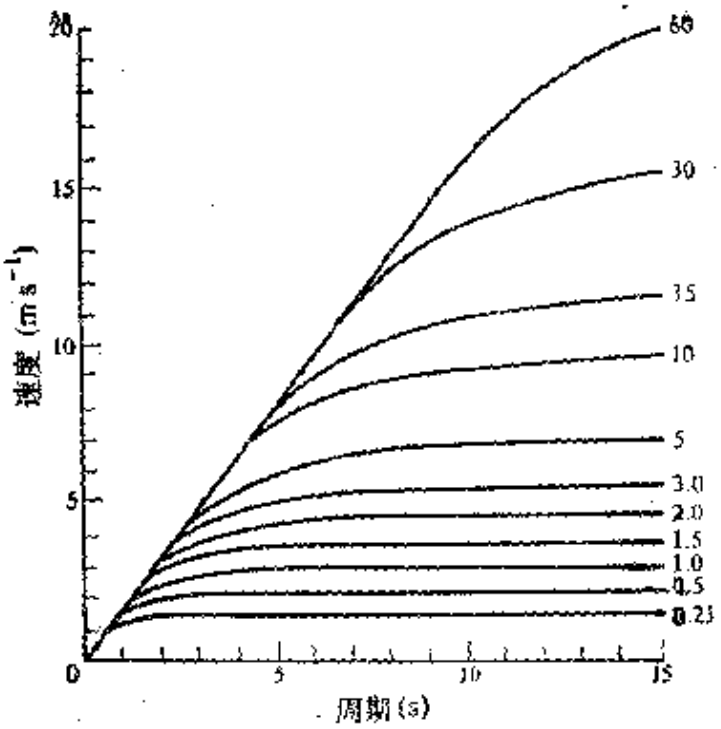


图10.1 不同深度处的波浪周期与速度间关系。
图上曲线表示深度（m）

$$T = [(2\pi L/g)\coth(2\pi d/L)]^{0.5}$$

对于深水可以转化为：

$$T^2 = 2\pi L/g \approx 0.344L.$$

对于一组以C_1和C_2为速度的波组速度（C_g）可估计为$C_g = C_1C_2/(C_1+C_2)$，如$C_1 \approx C_2$，则$Cg = c/2$，式中$\bar{} = (C_1+C_2)/2 = gT/4$，对于浅水波（$d/L<0.05$），$C_g \approx C$，式中$C$为波速．对于任何深度的波组速度则更精确地表示为：

$$C_g = 0.5C\{1 + [(4\pi d/L)/\sinh(4\pi d/L)]\}.$$

对这些关系式的进一步讨论的详细内容可参阅《大气和海洋：人类的流体环境》〔哈维（Harvey）1976〕、《海滩和海岸》〔金（King），1972〕和《海滩和近滨沉积》〔柯林斯（Collins），1976〕．

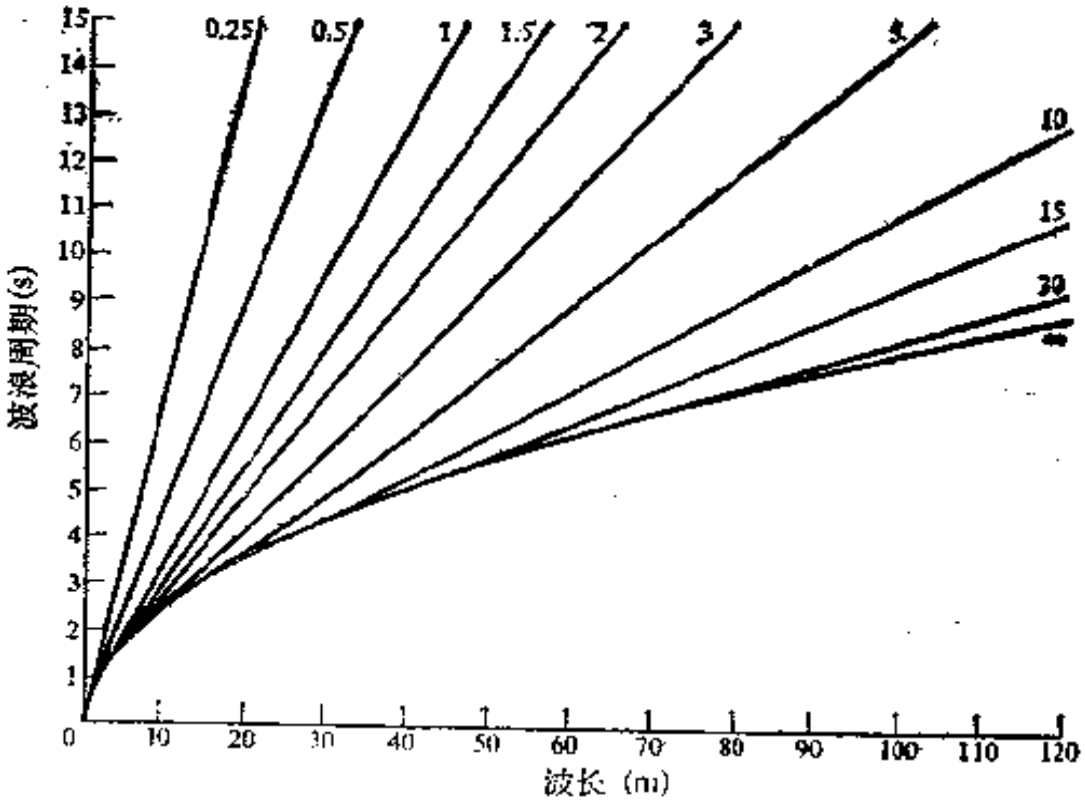


图10.2 浅水中的理想波在不同深度处的波浪周期占波长之间的关系。图中曲线代表深度（m）

水深变浅和水流对波浪的影响

当一个波进入浅水区时，它的高度按下列关系式变化〔霍姆斯（Holmes），1975〕：

$$H = DH_0,$$

式中：H = 波高；H_0 = 深水中的波高；D = 变浅系数，可由下式得出：

$$D = \tanh(2\pi d/L)\{1 + [(4\pi d/L)/\sinh(4\pi dL)]\}^{-0.5},$$

式中：d = 水的深度；L = 波长。

在深水中$D = 1.0$，在$d/L_0 = 0.15$时，D减小至最小值0.91，然后增大，直至波浪破碎。波高和波长随深度减小而变化的关系如图10.3所示〔拉塞尔（Russell）和麦克米

兰(MacMillan)，1952〕．理想的波在浅水中的波长、周期和水深的关系参见图10.2。

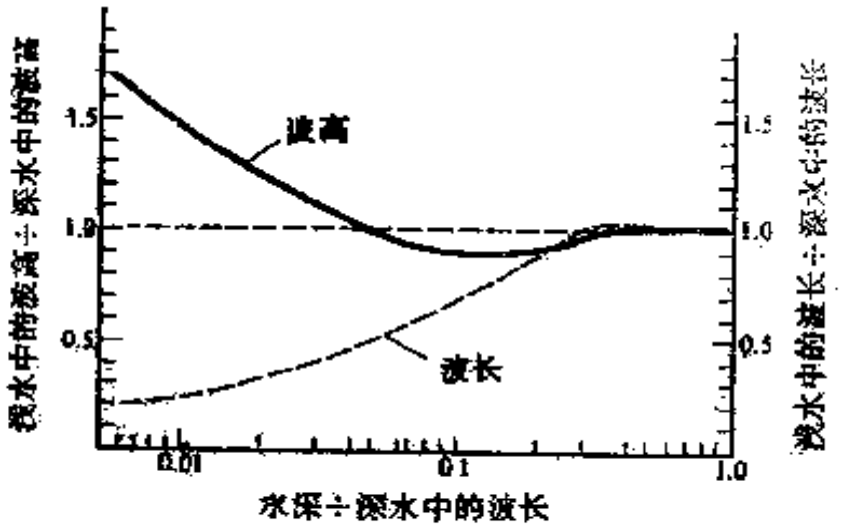


图10.3 水深变浅对波高和波长的影响

如随水变浅而发生了折射，它对波高的影响可由下式表示出：

$$H = (b_0/b)^{0.5} DH_0,$$

式中：b_0 = 深水中的波射线(波向线)之间的距离；b = 深水中的波射线进入到浅水中的间距.

碎波点的高度由很多因素控制，但一般由下列半经验公式得出：

$$H = 0.78d.$$

当波高观察值超过这一数值时，波将破碎．顺坡向或逆坡向水流的影响由下式表示（霍姆斯，1975）：

$$Lc/L_0 = [(1+a)/2]^2,$$

$$Hc/H_0 = [2/(a^2+a)]^{0.5},$$

式中下标“c”表示受水流影响的情况，而下标“o”则表示深水情况，a的值由下式求出：

$$a = [1 + 4(U/C_0)]^{0.5},$$

式中：U = 水流流速；C_0 = 深水中的波速.

碎波类型划分

三种主要的碎波类型（图10.4）实为完整碎波过程的不同阶段，可用下式中的 I 〔高尔文（Galvin）1968〕来断定：

$$I = h/(\lambda \tan^2\beta)\ ,$$

式中：

h——深水中的波高（深水即静水深 $+\lambda > 0.05$）；

λ——深水中的波长；　β——海滩坡度，

I 的临界值表示在图10.4和下文中，从图10.4也可以得出每一类型简单指标 h/λ 的预期值〔帕特里克（Patrick）和威格尔（Weigel）1955〕.

(a) 崩顶碎波（$I > 4.8$）

通常出现在低角度的海滩上，在波峰甚至波前出现飞沫和湍流．当小的浪尖前进速度大于波速时在波峰溅起并最后发展为激浪流．这种碎波普遍保留有相当好的外形．

(b) 卷跃碎波（$0.09 < I < 4.8$）

波前变陡以至直立，浪峰卷曲，翻倒落进波底，往往回弹出来，在波峰跌落处溅起一大片水流，它的变形十分快速．

(c) 激散碎波（$I < 0.09$）

通常出现在陡的海滩上，前面部分和波峰保持相对平滑，碎波的基部仅带着微小的泡沫涌上海滩，并无破碎现象，其外形保存相当好．

(d) 坍涨碎波（$I < 0.09$）

介于卷跃碎波和激散碎波中间的碎波，波前较低部分变陡至垂直，如同缩短的卷跃碎波一样翻倒，波前开始翻倒的这一点向陆并低于波的最大高度．

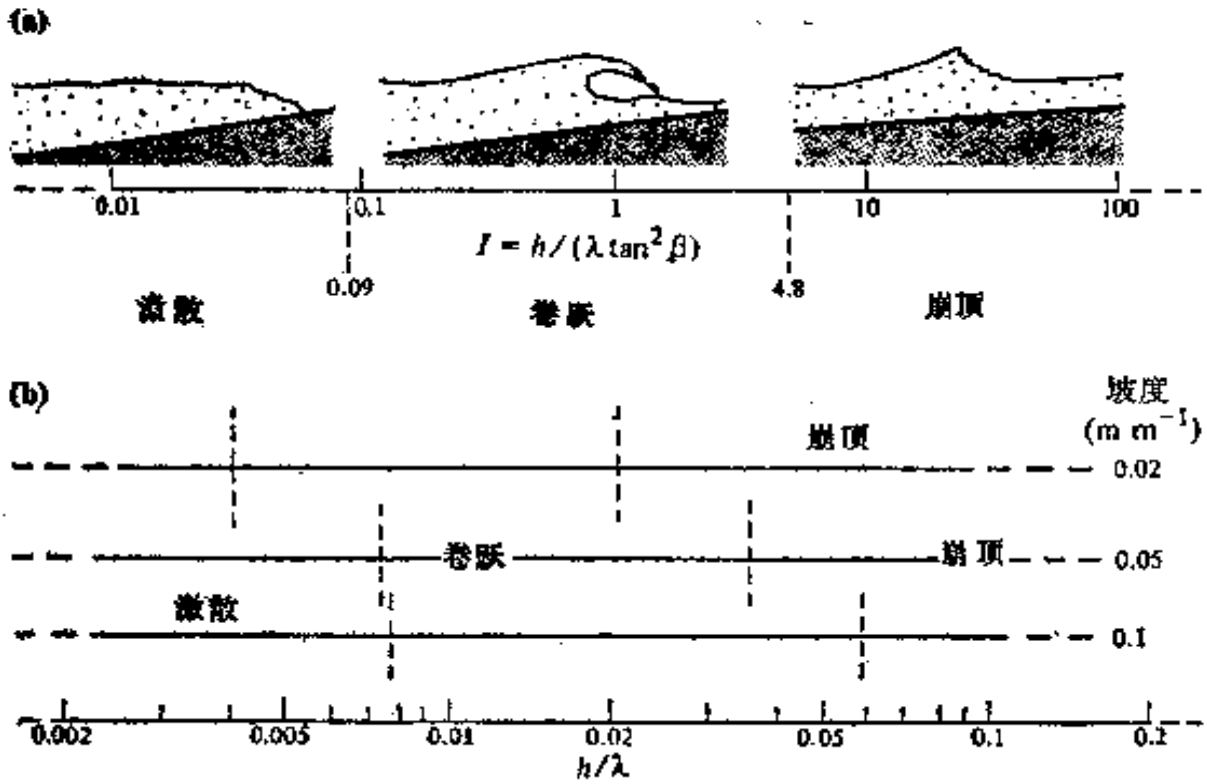


图10.4 与海滩坡度、波高和波长指标有关的碎波类型
〔据加尔文（1968），帕特里克和威格尔（1955）的资料汇编〕

风成海洋碎波的预报

图10.5—10.8〔达比希尔（Darbyshire）和德雷珀（Draper），1963〕可用于估算在一定的风速、持续时间和扬程配合下所产生的波高及波浪周期。图10.5和图10.6适合大洋用，图10.7和图10.8适合滨海水域。在运用图10.5—10.8时，先测定风速，然后在图左边找到相应风速，图10.5和图10.7用于预报波高，图10.6和图10.8用于预报波浪周期。运用时在合适的曲线图中以适当的速度值为起点，横穿过曲线图与风的持续时间值或风区距离值相交，就可以用相交的这一点在图的底部读出要求的波高或周期。无论是对风的持续时间还是对作用范围来说，常用的总是极限值，图中查得的则是最大波高（H_{max}）和主要周期（T_s），这是在持续十分钟和包含一百个碎波的典型碎波中记录到的，主要波高

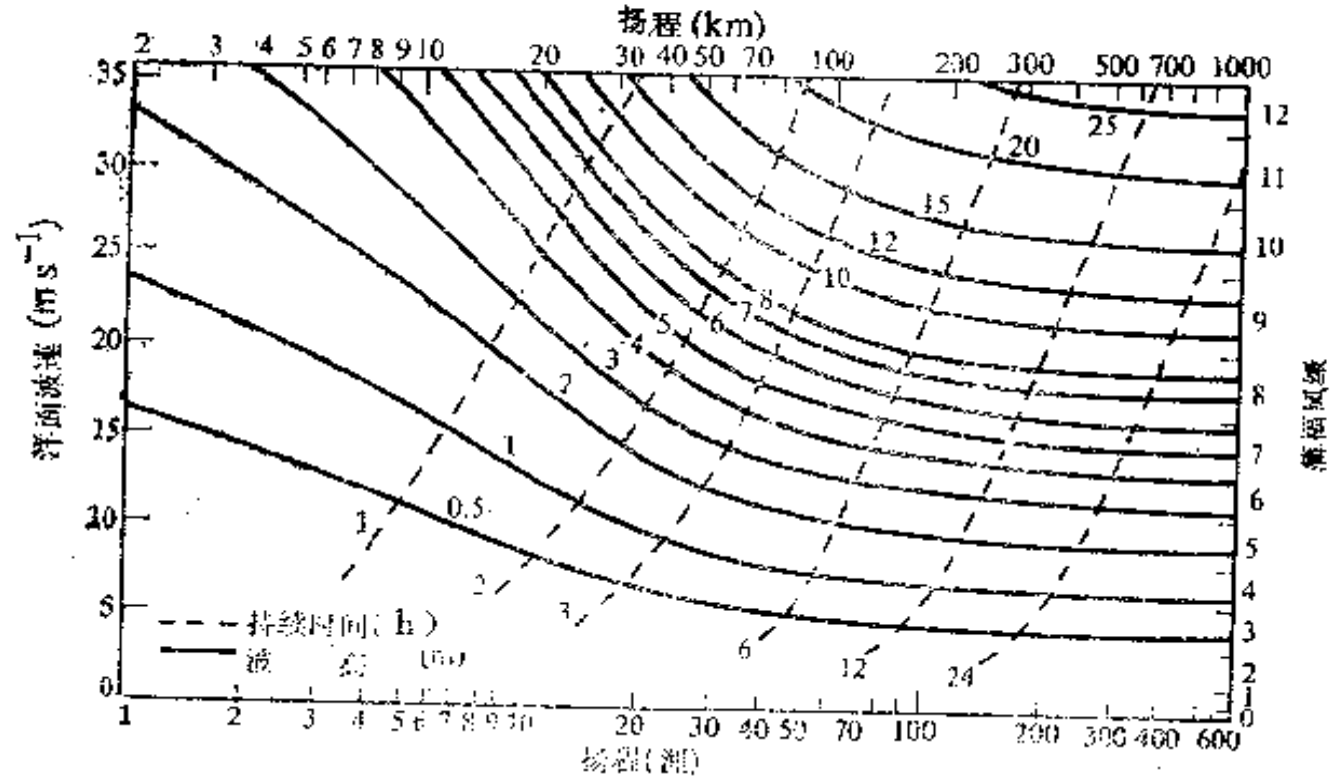


图10.5 在大洋中，从风速和扬程预报波高(实线，m) 的曲线

（据达比希尔和德雷珀，1963）

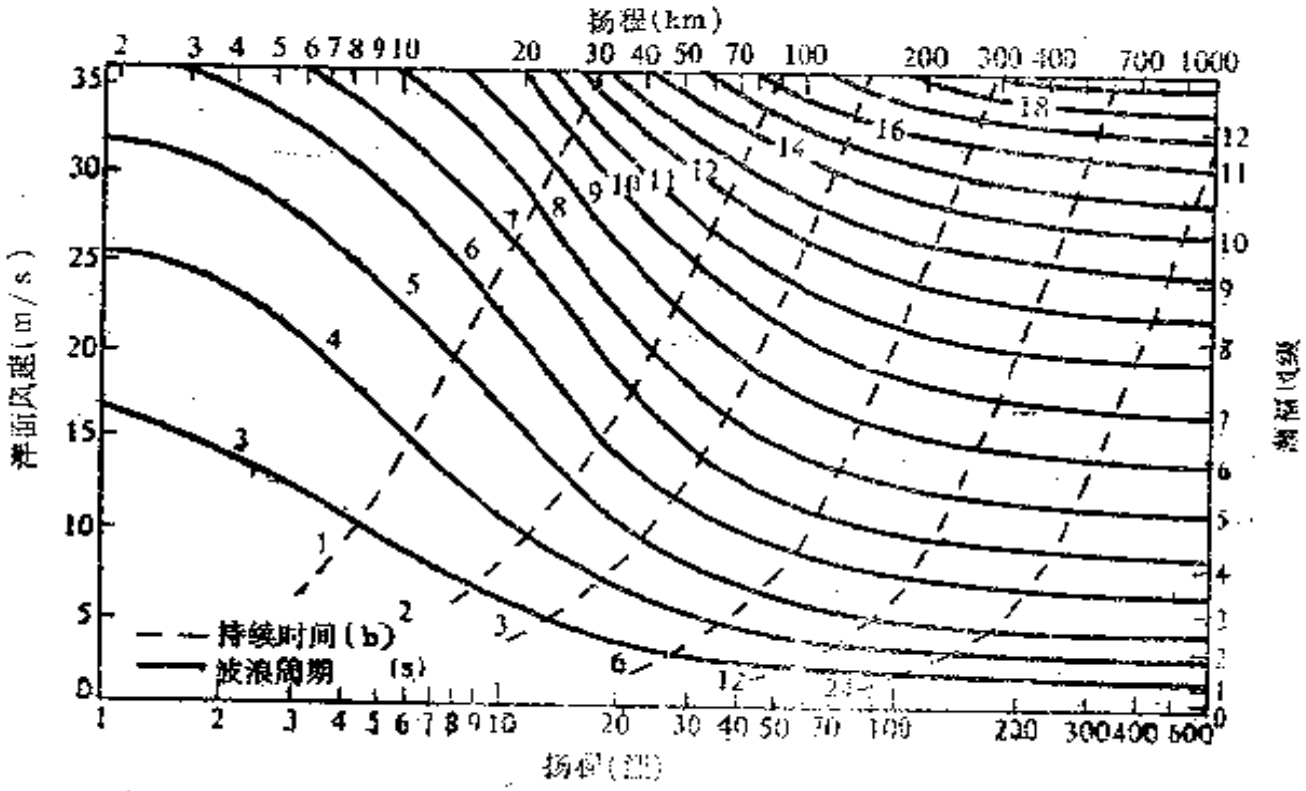


图10.6 在大洋中，从风速和扬程预报波浪周期(实线，m)的曲线

（据达比希尔和德雷珀，1963）

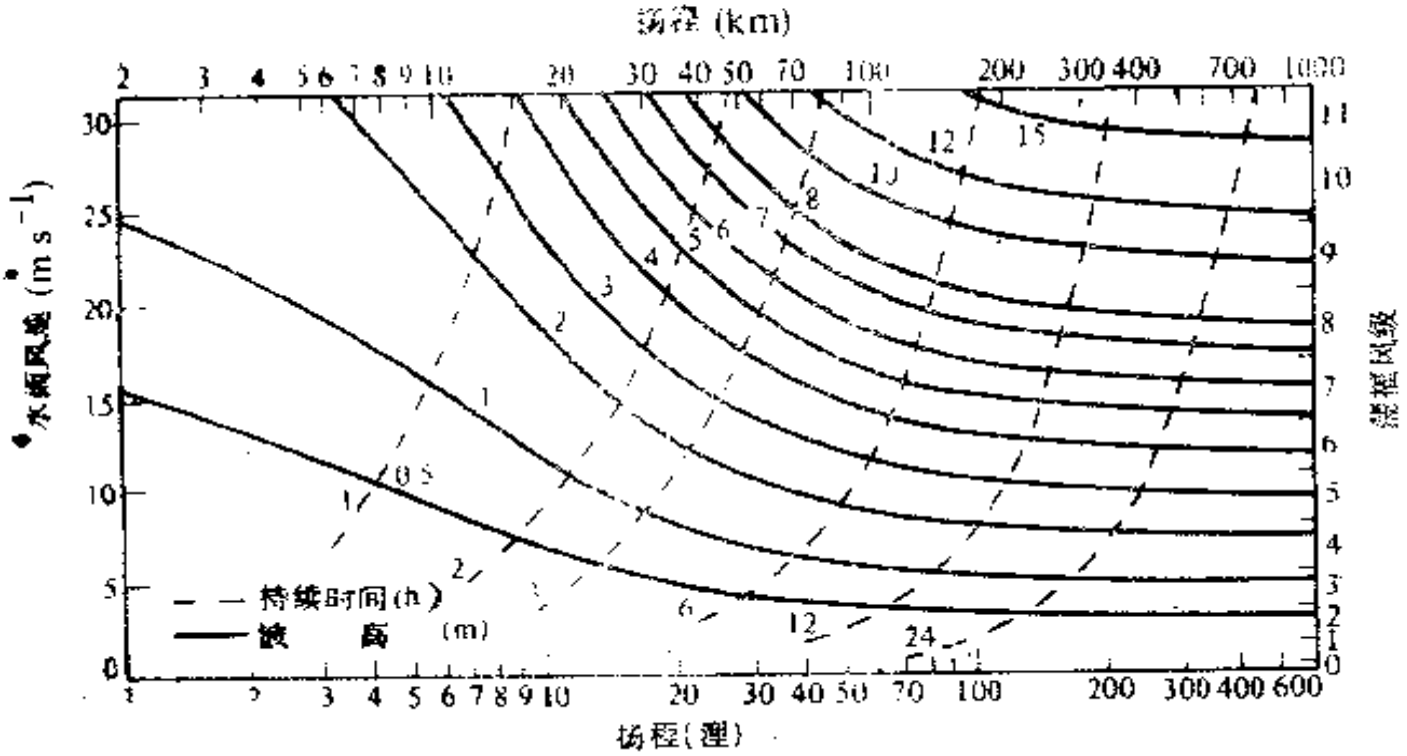


图10.7 在近岸水域，从风速和扬程预报波高(实线，m) 的曲线

（据达比希尔和德雷珀，1963）

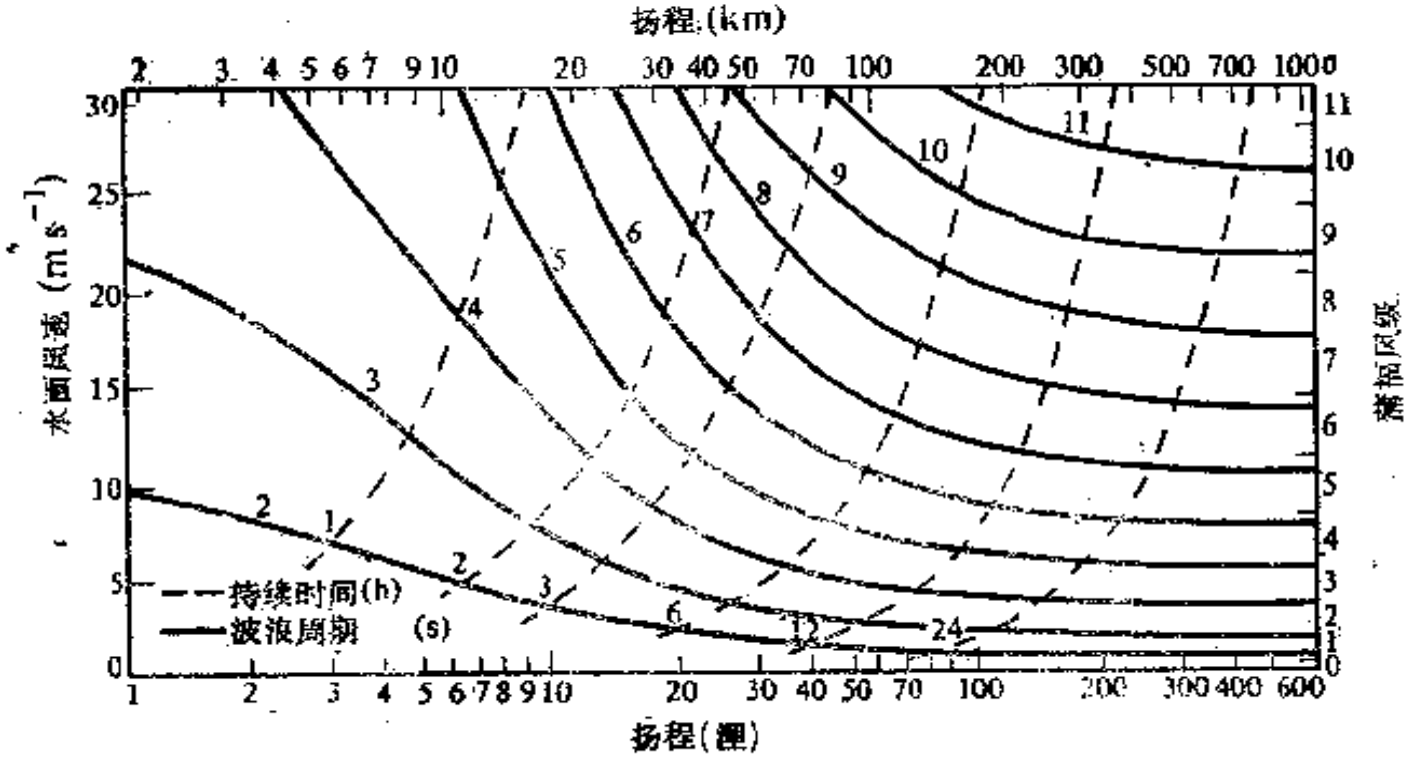


图10.8 在近岸水域，从风速和扬程预报波浪周期 (实线，s)的曲线

（据达比希尔和德雷珀，1963）

(H_s) 是所记录中最高的三分之一碎波的平均波高，可以由下式得出：

$$H_s = H_{max}/1.60.$$

风暴时最大碎波的可能波高（H_p）可由下式算出：

$$H_p = kH_{max},$$

式中k为系数，可从图10.9中查出〔据朗韦特-希金斯(Longwet-Higgins)，1952〕.

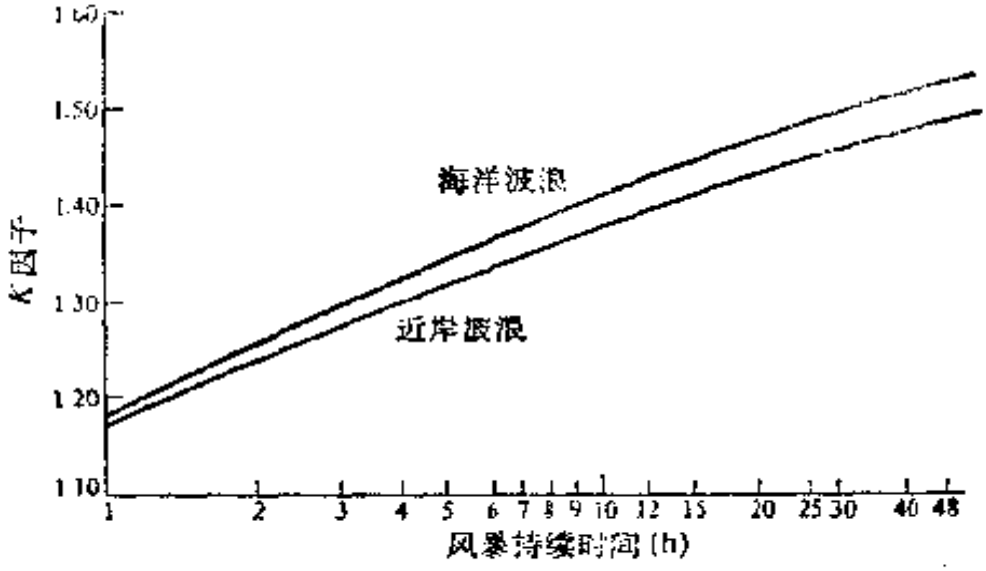


图10.9 为估算风暴中最大可能波高，从最大波高中引出的k值

平均波高（H_{sv}）由下式算出：

$$H_{sv} = 0.625H_s$$

碎波中10%最高碎波的平均高度（$H_{0.1}$）为：

$$H_{0.1} = 1.27 > H_s$$

图10.10提供了在海洋中预报碎波要素的另一种曲线〔据布雷彻奈德(Bretschneider)，1966〕. 由于许多权威人士在关于何种方法最精确（金，1972）和在何种条件下采用何种方法方面有分歧，所以也就不能指出什么时候用哪一张图最合适，尽管如此，图10.10可能还是优于达比希尔和德雷珀的图. 图10.11是依据布雷彻奈德（1966）的，用于浅水（<30m），因此可用于海和湖沼的研究.

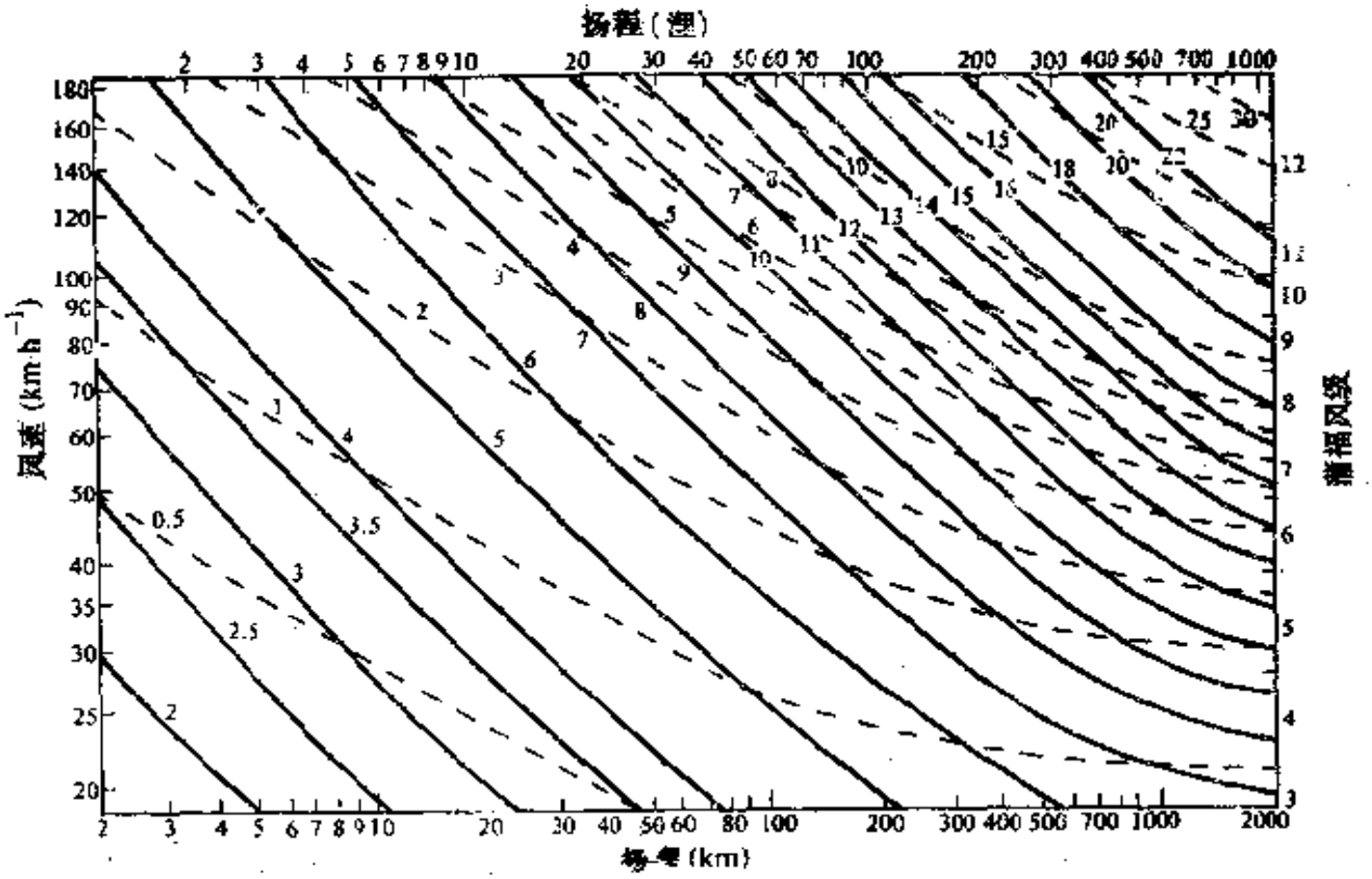


图10.10 在深水中通过风速和扬程预报深水波高（虚线，m）和期周（实线，m）

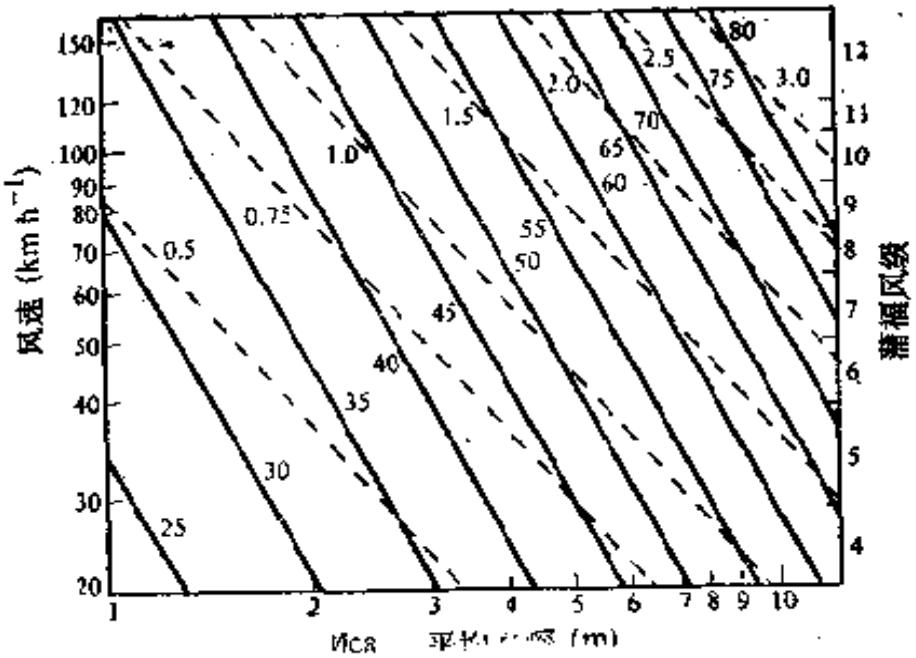


图10.11 据风速和平均水深预报波浪周期（实线，s和主要波高（虚线，m），该图常用于浅水

10.3 沉积物和盐度

本节包括在野外对海中底砂运移的估计及对盐度作初步调查的温度-盐度图. 关于沿岸流速和沉积物运移的公式参考《地学评论·5》（高尔文，1967），《海滩和海岸》（金，1972）和《海洋·第三卷》〔英曼（Inman）和巴格诺尔德，1963〕；对于沉积物运移的沿岸流起动流速和与此相关的沉积物的搬运方式和粒度参见《海洋学-沉积》（开放大学，1978）；关于底床形态见《海滩和近滨沉积》〔克利夫顿（Clifton），1976〕.

对浅海环境中底沙运移的估算

在浅海环境中，底沙的运移可通过沉积物结构和沿岸流距海底1 m处平均流速来估算. 巴格诺尔德（1963）的公式提供了这一方法的基础，斯特恩贝格（Sternbeg，1972）依据野外观察对这一方法加以修改，下面即据此进行介绍，具体步骤如下：

第一步：由速度的测定来估算边界剪切应力（τ_0），如在剖面上的速度已知，则：

$$\tau_0 = \rho \left[(\overline{U}_{z2} - \overline{U}_{z1}) / 5.75 (\log Z_2 - \log Z_1) \right]^2,$$

式中：ρ——液体密度；$\overline{U}_{z1}$、$\overline{U}_{z2}$——分别为距海底深度为Z_1、Z_2处的流速；如距海底1 m处的平均流速已知，则：

$$\tau_0 = 8 \times 10^{-3} \rho \overline{U}^2_{100}.$$

第二步：估计沉积物的平均粒径（d），用d值在图10.12中估计沉积物起动所需的临界剪切力（τ_c）.

第三步：计算过量的剪切力（τ_e），并用τ_e和粒径值在图10.13中估算系数K，τ_e可由下式得出：

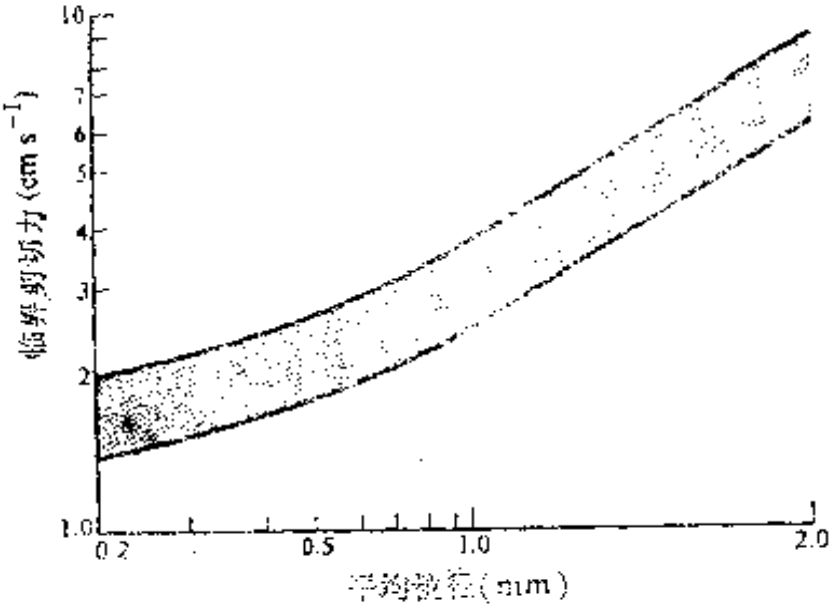


图10.12　临界剪切力和平均粒径的关系

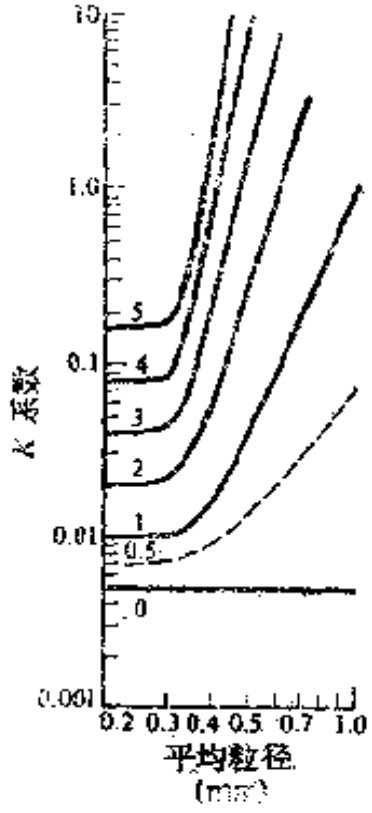


图10.13　对于不同数值的过量剪切力，用于底质估算公式中的系数K和平均粒径的关系，曲线上的数字表示过量剪切力

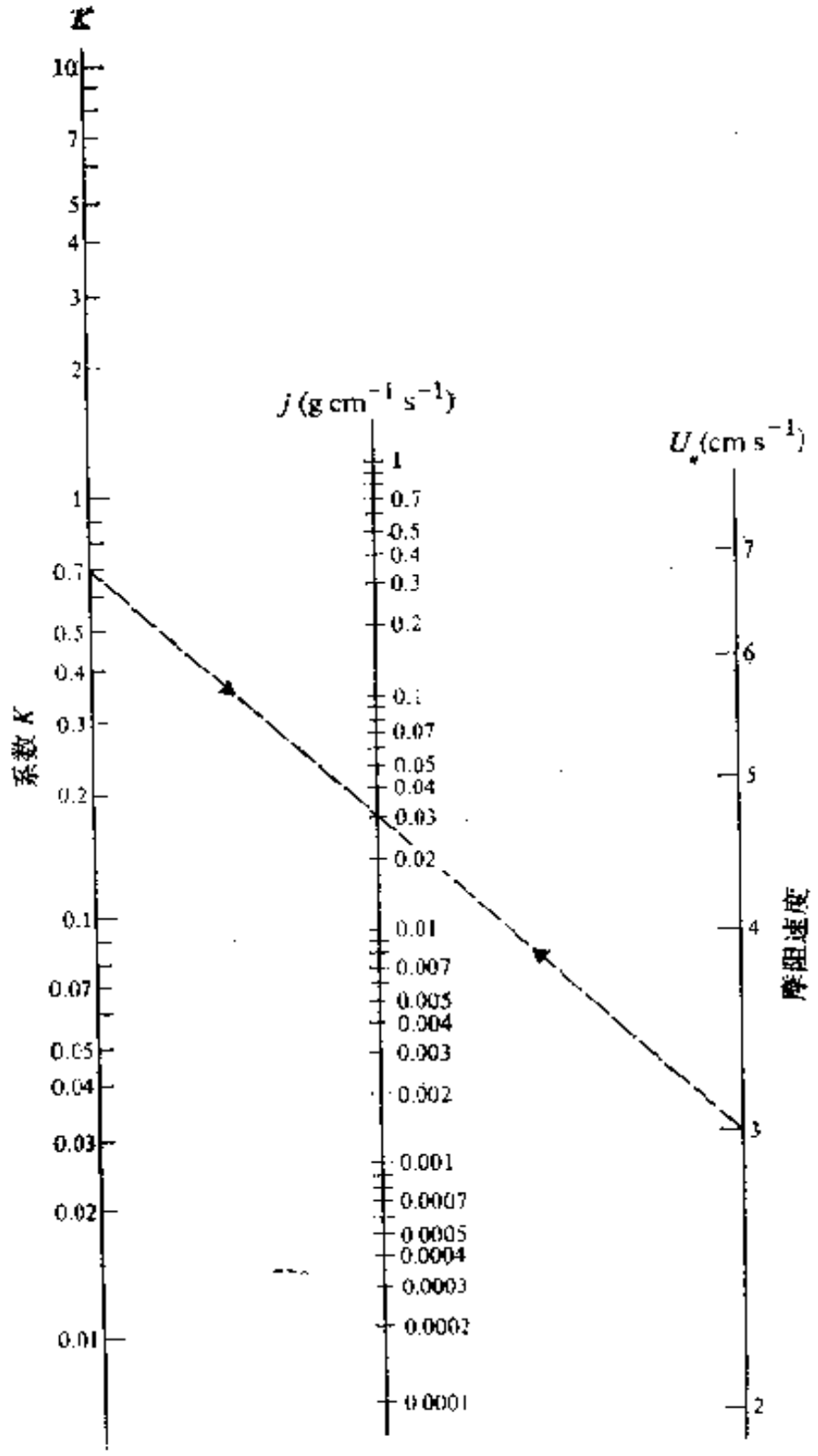


图10.14　通过测得临界速度和系数K来估算底质运移率的诺模图

例：平均粒径≈0.43mm；$\tau_* = 4\,cms^{-1}$；$K \approx 0.7$(由图10.13中查得)；$U_* \approx 8\,cms^{-1}$；$j \approx 0.03 gcm^{-1}s^{-1}$。

$$\tau_e = (\tau_0 - \tau_c) / \tau_c.$$

第四步：底沙运移率（j）的计算：

$$j = K\rho U_*^3 / gh,$$

式中：g——重力加速度；U_*^3——摩阻速度，为$5.47 \times 10^{-2} U_{100}$；$h = (\rho_s - \rho) / \rho_s$，（$\rho_s$为沉积物密度）.

该计算可由图10.14的计算图表来完成，但使用这一方法有下列限制：

(a) 在潮流中，水流应是在一次涨落潮过程中的涨潮流或处于平稳阶段.

(b) 这一方法的适用范围是沉积物的平均粒径为0.2—2 mm.

(c) 沉积物的搬运方式应大部分是底质而不是悬移质，这样才符合图10.15所要求的流动条件.

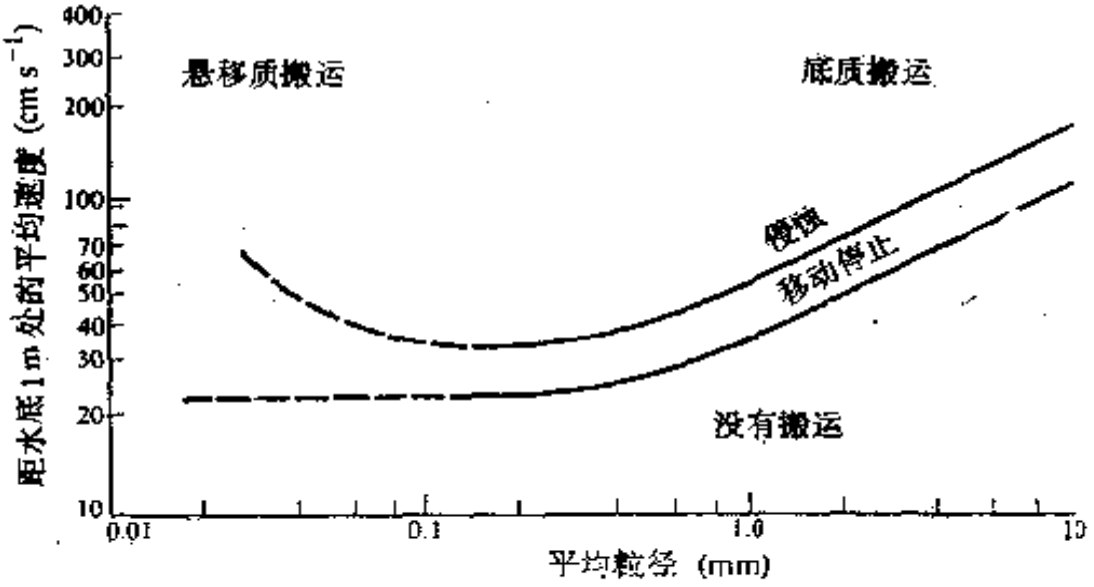


图10.15 粒径、流速和沉积物搬运形式之间的关系［假定沉积物密度为2.65gcm^{-3}］

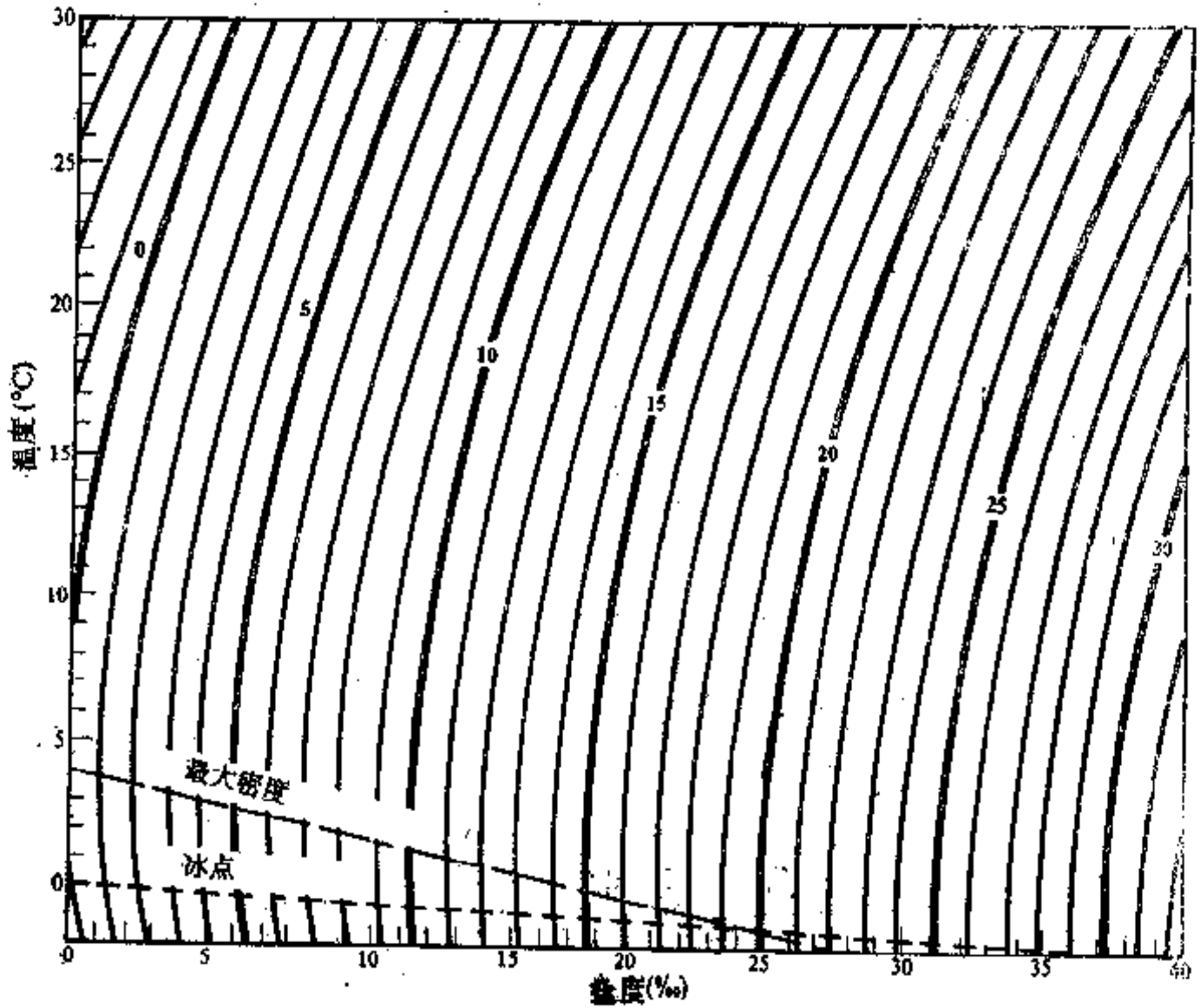


图10.16 温度-盐度图. 参数σ的 解释在 正文中

温度-盐度图

图10.16为温度-盐度图，图上标绘了水样的温度和盐度，可用于识别水团，确定水层的稳定性和水的混合〔马马耶（Mamayer），1975〕．图中标绘的线表示参数σ的等值，$\sigma = 10^3 (\rho_w - 1)$，式中$\rho_w$为水的密度．在大多数情况下，气压变化对水密度的微小影响可以忽略，所表示的σ值是在大气压作用下的．因咸水的冰点在0 ℃以下，所以图中标出了负值．曲线包括了较大区间的温度和盐度值，故可用于从海岸、海洋及港湾环境中取得的资料．

第十一章　坡面作用过程

本章是有关测定坡面作用过程的内容．对于适用方法的详尽论述参见《地貌方法》（第156—180页，格迪尔，1981）．第一节简介块体运动的分类；第二节是初步测定坡面稳定性的基本关系式；最后一节是与坡面稳定性有关的特殊物质性质的野外研究方法．

11．1　坡面块体运动过程的鉴定和分类

块体运动可以按不同标准和许多方式来分类．图11.1是

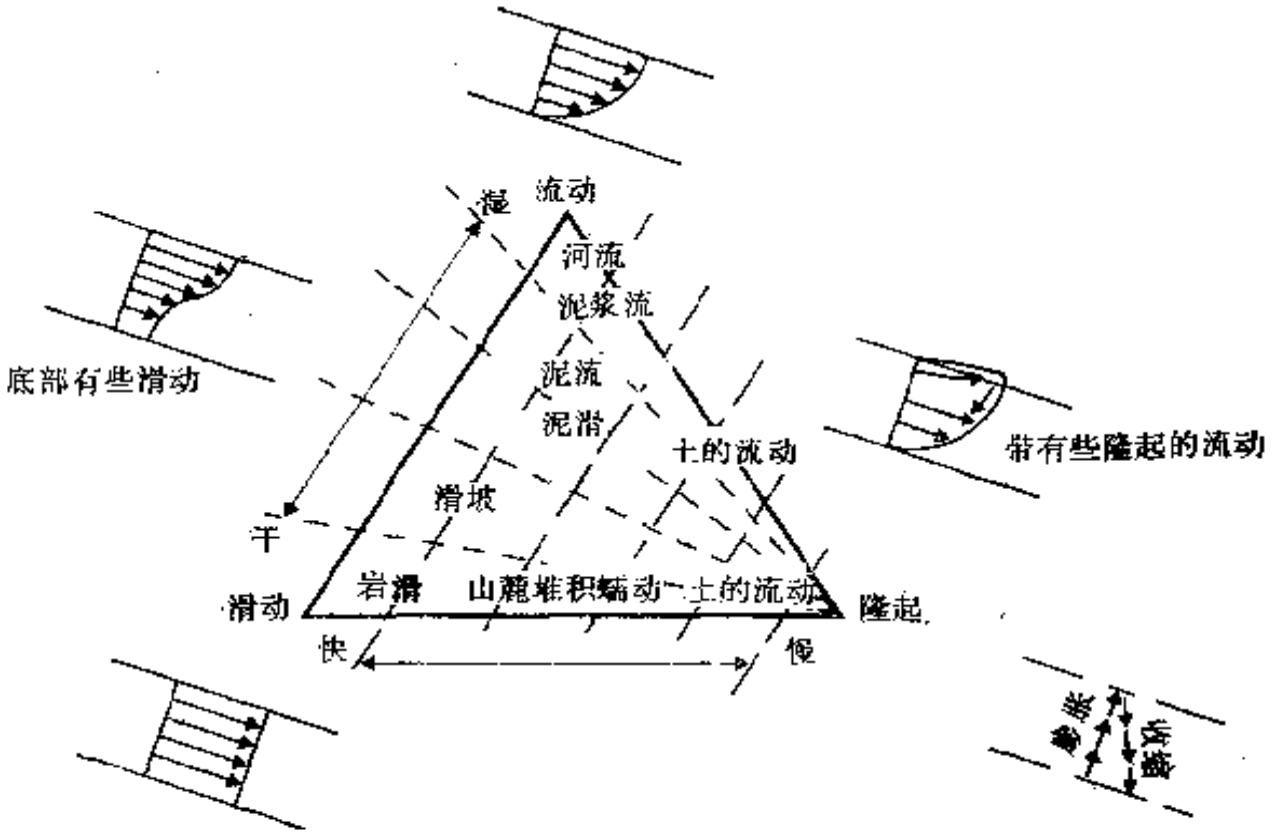


图11.1　块体运动过程分类．这种分类是依据三种运动形式的相对重要性来进行的，这些运动形式的图解速度纵剖面图也表示在图中（依据卡森和柯克比，1972）。

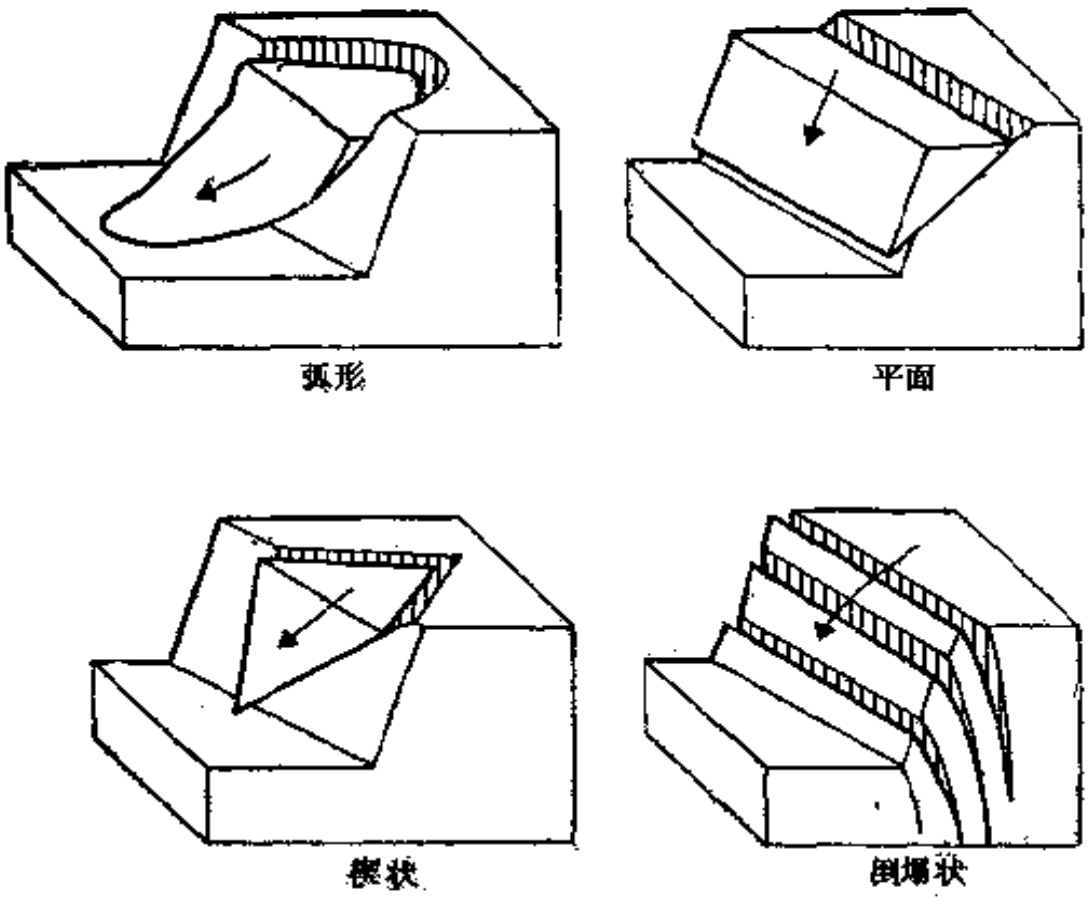


图11.2 由于构造条件而产生的坡面破裂形式的分类.破裂面用线条划出，这些破裂面在表11.1中进行了描述

表 11.1 与构造条件有关的坡面破裂主要类型分类〔仿照霍克（Hoek）和布雷（Bray），1977〕这些坡面破裂类型在图11.2中作了图解

类　型	特　征
弧形破裂	在表土、风化物或非常破碎的岩体中产生，没有明显的构造形式
平面破裂	在具有很规则构造的岩体中产生，如板岩
楔状破裂	裂隙产生在两个交叉的不连续面上
倒塌状破裂	在坚硬的岩石中，由陡峭的倾斜的不连续面分裂成栏状结构

按运动方式进行的简单分类．这种分类着重考虑了大多数作用过程所常常包括的一种以上的运动类型，且在表中把这些运动进行了分级，但它不包括导源于下落运动的作用过程．图11.2和表11.1是由于构造条件而产生的坡面破裂的简要分类．

图11.3是滑塌 (landslide) 和滑坡 (landslip) 的进一步分类，其特征是运动块体界面最初的剪切裂缝的产生，

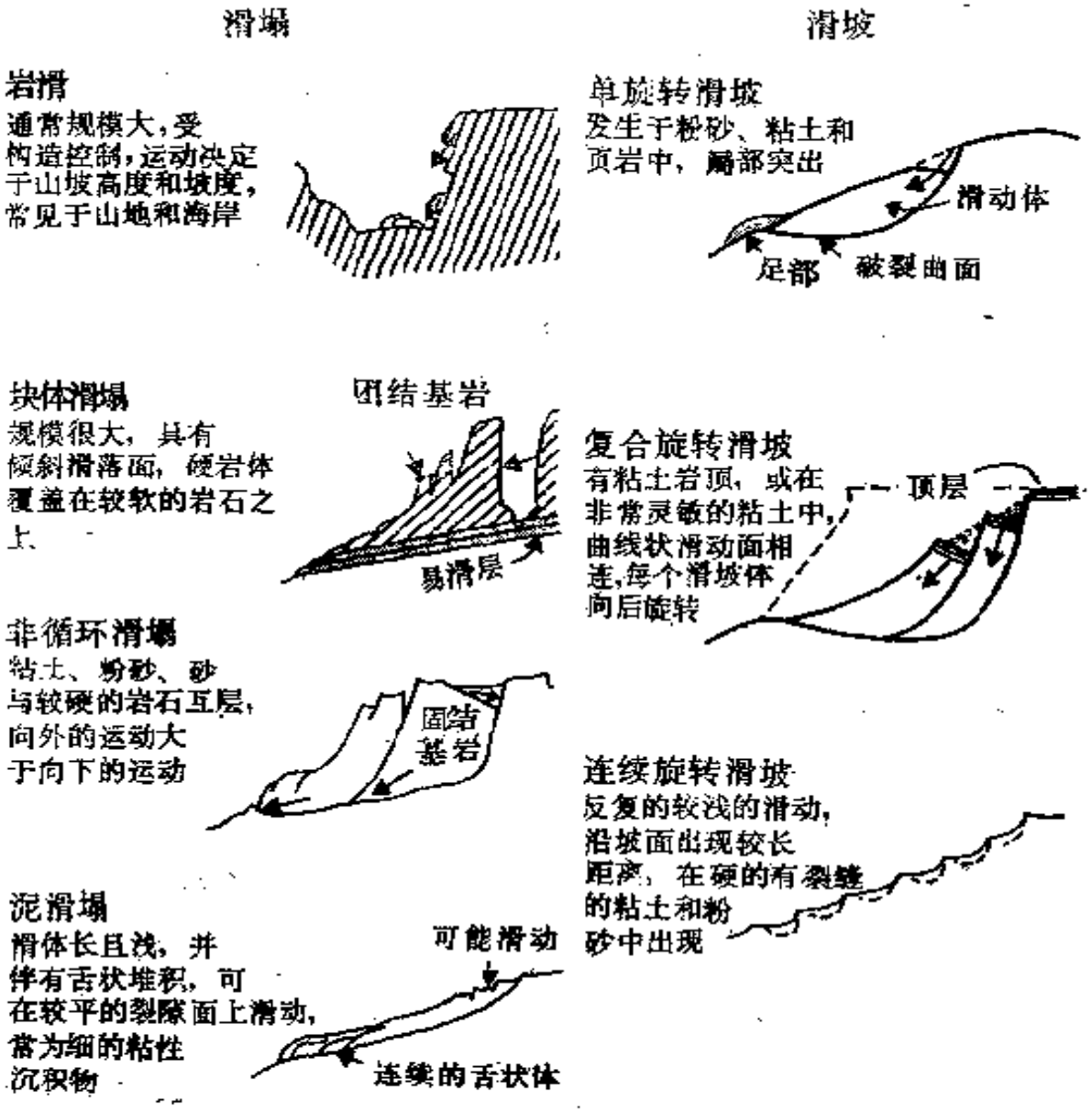


图11.3 滑塌和滑坡的分类

（布伦斯敦，1971）

其运动既有崩塌，又有流动.

崩落（fall）可分为岩体崩落和岩屑崩落，它们一般具有产生物体裂缝的整体运动的特征（除反跳外）．运动时以垂直下落为主，并伴以少量向外的运动.

上述分类仅是许多能加以研究的坡面作用过程分类中的一部分．而更详细的分类可参阅《斜坡》〔扬（Young），1972〕、《地貌学百科全书》中的“块体运动”部分〔赫金森（Hutchinson），1968〕、《地理杂志》第43期，759—764页关于“山崩”的内容〔布伦斯敦(Brunsden),1971〕、《滑坡及其有关现象》〔夏普（Sharp），1938哥伦比亚大学出版〕、《滑坡和工程实施》〔瓦尔尼斯（Varnes），1958〕．但这些参考资料中的分类并非全部都可简便地在野外运用.

11.2 坡面稳定性

本节开列了在野外对坡面稳定性作近似分析的关系式，不过，它仅仅是些最简单的分析形式，仅能运用于平均状态和普通物质．特别详细的分析以及稳定度计算则须参考专门的教科书．如《山崩形式及其过程》〔卡森（Carson）和柯克比（Kirkby），1972〕、《岩石坡面工程学》〔霍克（Hoek）和布雷（Bray）1977〕、《理论土壤力学》〔特扎基（Terzaghi），1943〕、《工程实施中的土力学》〔特扎基（Terzaghi）和佩克（Peck），1967〕等.

岩坡

对岩坡更严密的论述参见正规的教本，如《山崩形式及其过程》和《岩石坡面工程学》等．临界坡高及物质性质和

坡度角之间的一般关系式〔卡尔曼(Culmann),1866〕是：

$$H_c = 2c\sin i/\gamma\sin(i-a)(\sin a - \cos a\tan\varphi),$$

式中：c=粘聚力；γ=岩体或土体的单位重量；i=坡度角；a=破裂面的估计倾角；φ=物质的内摩擦角.

在野外估计φ的方法见11.3节，c和γ的标准值见表11.3，11.4，11.5和11.6，临界条件下的a的角度由下式(卡森，1971)给出：

$$a = 0.5(i+\varphi),$$

故上述关系式也可变为：

$$H_c = 4c\sin i\cos\varphi/\gamma\,[1-\cos(i-\varphi)].$$

当坡面倾角小于或等于破裂面的可能倾角，临界高度则不受限制. 如果内摩擦角(φ)再为0，则：

$$H_c = 4c\sin i/\gamma(1-\cos i),$$

如果坡度(i)为垂直的，则

$$H_c = 4c/\gamma.$$

在这种情况下，发育于岸边的张裂缝比其它破裂更重要，其临界高度H_c'由下式得出（特扎基，1943)：

$$H_c' = H_c - z,$$

式中z为张裂缝的深度. 当坡度为垂直的陡崖，无张裂缝发育时，上述一般关系式可变为：

$$H_c = 4c\cos\varphi/\gamma(1-\sin\varphi) = \frac{4c\tan(45+\varphi/2)}{\gamma}$$

如果有张裂隙发育，在板状裂隙条件下，一个坡的临界坡高的关系式〔洛尼斯(Lohnes)和汉迪(Handy)，1968〕如下：

$$H_c' = [4c/\gamma(\cos\varphi - 2\cos^2 a\tan\varphi)] - z,$$

如式中$a = 45+\varphi/2$，这也可写成(特扎基，1943)：

$$H_c' = \frac{4c\tan(45+\varphi/2)}{\gamma} - z.$$

如果物质抗张强度为零，则可简化为：

$$H_c' = \frac{2c\tan(45+\varphi/2)}{\gamma} \quad ,$$

未风化的岩体的临界高度可由下式近似得出：

$$H_c' = q/\gamma,$$

式中q为非限定的岩体抗压强度．由于节理、裂缝和断层等机械破坏，其高度往往减小，可以该等式所算出的值实际上是达不到的．上面提到的洛尼斯和汉迪的关系式一般被认为更接近实际些．

土质和风化层坡面的不稳定性

这种浅的滑塌的破裂面近于平面并平行于坡面，可以假定地下水位是在表面．对于其深度来说，土壤的范围在无限大的．其安全系数Fs由下式给出：

$$Fs = s/\tau,$$

式中：s＝土层柱体底部剪切强度；τ＝沿破裂面的切应力．它们可由下式估得：

$$s = c' + z\cos^2\theta(\gamma - \gamma w)\tan\varphi,$$

$$\tau = \gamma z \sin\theta\cos\theta,$$

式中：c'＝粘聚力(有效应力值)≈0(如有深裂缝)；z＝到破裂面的深度；θ＝坡度角；γ＝土壤单位体积重；γw＝单位水重；φ'＝内摩擦角(有效应力值)．在破裂时，安全系数$Fs=1.0$。

对于深层的滑坡，可参考图11.4，这是运用了非限定坡面的稳定数值Ns，可由下式算出：

$$Ns = \gamma H/c,$$

式中：γ＝物质的单位重量；H＝形成坡的岩屑深度；c＝粘聚力；φ＝内摩擦角．图11.4应与从物质性质判断得来Ns值和φ值同时使用，以估计具体情况下的最大稳定坡角．

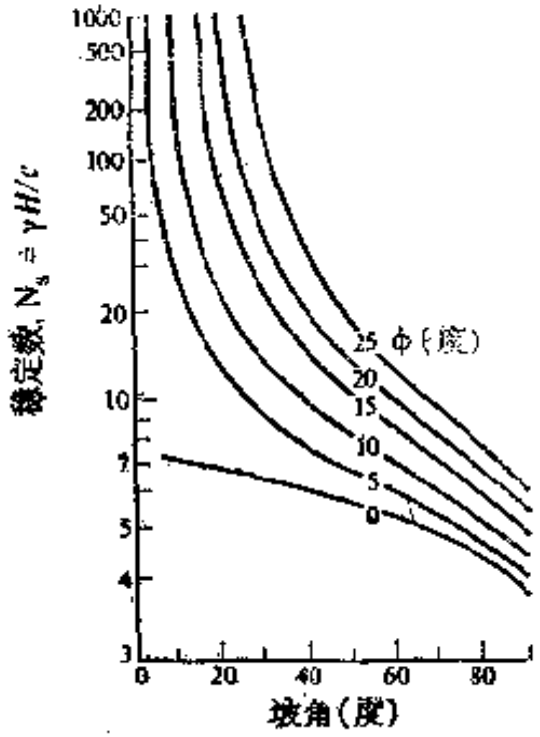


图11.4 深层滑坡的稳定性曲线，φ为物质的内摩擦角，稳定数值Ns的使用见《土力学原理》

上述浅层和深层滑坡的模式是十分简单的，但可用于野外快速判别，更详尽的分析方法应参考适应的教科书，如《山崩形式及其过程》（卡森和柯克比，1972）、《土壤的物理和工程地质特征》〔鲍尔斯(Bowles)，1979〕、《岩石坡面工程学》（霍克和布雷，1977）、《工程实施中的土力学》(特扎基和佩克，1967).包括内容更多的坡面稳定性曲线可参阅《地学技术》·15中“坡面的稳定系数”部分〔比肖普(Bishop)和摩根斯顿(Morgenstern)，1960〕，《坡面分析》〔乔德赫里(Chowdhury)，1978〕.

11.3 对表明坡面稳定性的物质特性的野外估计

本节和前节概括得一样，收编了用于分析坡面稳定性的重要特征的判断方法．不过，所列出的数据和关系式仅适用

于一般情况和在野外作出判断，如要对这些特征作更严格的分析则须通过一定的实验室分析技术工作来实现(BS1377，1975)[1)]，可参阅格迪尔(1981)在《地貌方法》中的描述.

在坡面稳定性研究中，剪切强度、粘聚力和内摩擦角的估计

这些性质可表达为：

$s = c + \sigma\tan\varphi$〔库伦(Coulomb)，1776〕，

式中：s=抗剪强度；c=粘聚力；σ=正应力；φ=内摩擦角.

事实上，c和σ并无直接关系〔沃斯莱(Hvorslev)，1960〕，精确地测定s、c和φ值需在实验室内运用直接的剪切试验装置来实现，不过，它们的近似估计可通过下列步骤来做到：

(a)按斯堪普顿(Skempton，1945)的说法，松散状态的粒状物倒在平面上呈锥形时，它的内摩擦角近似于坡面休止角.

(b)对于砂质物质，表11.2列出一组由柯克帕特利克(Kirkpatrick,1965)提出的平均粒径、孔隙比和内摩擦角的关系值.

(c)对于土壤，图11.5给出了粘土的百分率和内摩擦角的一般关系(斯堪普顿，1964).

(d)山麓堆积或砾质土的代表性数值列在表11.3中.

(e)对于山麓堆积和崩积混合物，其代表性数值列在表11.4中.

(f)残积土的有关数值见表11.5.

---

1)英国标准制：以民用工程为目的的土壤实验方法.

(g)未受扰动的基岩，其代表性数值列在表11.6.（注意：表11.6中的数值适用于未受扰动的基岩，在节理发育的岩体中，这些数值并不可直接运用于坡面稳定性的估算．对硬而节理少的块状岩石，特扎基(1943)提出了70°的内摩擦角的近似值．而卡森和柯克比(1972)提出了从45°—75°的一系列值，可较好地运用于破裂的岩体(见《山崩形式及其过程》）．

(h)表11.7是用于测定剪切强度的简单野外试验．

上述(a)、(b)和(c)为非常粗略的关系，仅可用于非常近似估算的基础，在有些情况下，会与实际数值差得很远．

非限定抗压强度的粗略估计，可在野外按下列方法进行：

(a)在无排水条件下，它可等于同样条件下的抗剪强度，可从表11.7内估得．在这种情况下，无排水的抗压强度也等于两倍的粘聚力，可从表11.3，5和6中估得．

(b)对于岩体，图11.6指出了一组近似的可能值．

(c)非限定的抗压强度可能与标准的穿透测验有关．在判

表 11.2 砂质土中内摩擦角的近似值（据柯克帕特利克，1965）

内摩擦角 / 孔隙率 / 平均粒径(mm)	0.54	0.60	0.67
0.25	43	$39\frac{1}{2}$	37
0.5	$42\frac{1}{2}$	39	$36\frac{1}{2}$
1.0	41	38	35
1.5	40	37	34
1.75	$39\frac{1}{2}$	36	$33\frac{1}{2}$

表 11.3 山麓堆积物的剪切强度、粘聚力和内摩擦角(砾质碎块含量>90%)(数据摘自卡森和柯克比的《山崩形式及其过程》和霍克、布雷的《岩石坡面工程学》)

物质			中值粒径 (cm)	孔隙比	粘聚力 (kgf/cm^{-2})[1]	最大内摩擦角 (度)[1]	剪切强度 (kgf/cm^{-2})
实例记录值	炭质	灰岩	2	0.83	0	53	0—0.2
	玄武岩	a	1	0.30	0	45	0—10
		b	1	0.30	8	30	20—50
	花岗	a	5.5	0.32	0	36	0—10
		b	11	0.62	0	31	0—10
	片麻岩	c	5.5	0.32	6	22	30—50
		d	11	0.62	7	18	30—50
破碎岩石的一般范围	石灰岩					35—40	
	玄武岩					40—50	
	白垩					30—40	
	花岗岩					45—50	
	砂岩					35—45	
	页岩					30—35	

1) 对棱角状物质用高值。

表 11.4　山麓混合碎屑堆积和崩积物的剪切强度、内摩擦角（数据摘自卡森和柯克比的《山崩形式及其过程》、霍克和布雷的《岩石坡面工程学》和鲍尔斯的《土壤的物理和工程地质特征》）

	物质	砾石碎片（%）	孔隙比	最大内摩擦角[1]（度）	剪切强度（kgf/cm^2）
实例记录值	冲积物	70	0.3	41—44	3.5—24
	河流沉积	20—60	0.4—0.55	45—48	0—1.4
	采石场碎石	60—80	0.3	39—44	0—1.4
	粉砂、砂砾		0.15	43	0—7
	冰碛物			37	0—7
	板状杂砂岩	85	0.45—0.7	43	
	Exmoor板岩	57	0.6	44	0—0.2
	页岩、砂砾岩	40—60	0.4—0.5	43	0—0.2
	河流、冰川倒石堆等	60—80		37	0—4
数值的一般范围	粒径均一的砾石			34—37	
	粒径混杂的砂砾			45—48	
	松散的砂砾	0.44—0.73		30—38	
	紧密的砂砾	0.18—0.44		36—45	
	松散的砾石	0.44—0.62		32—36	
	紧密的砾石	0.30—0.44		35—50	

1）棱角状物质用高值。

断抗压强度的试验中，每米需要的打击数列在表11.7中.

(d)表11.7*可用于把施米特锤的撞击值和非限定的抗压强度近似值对比.

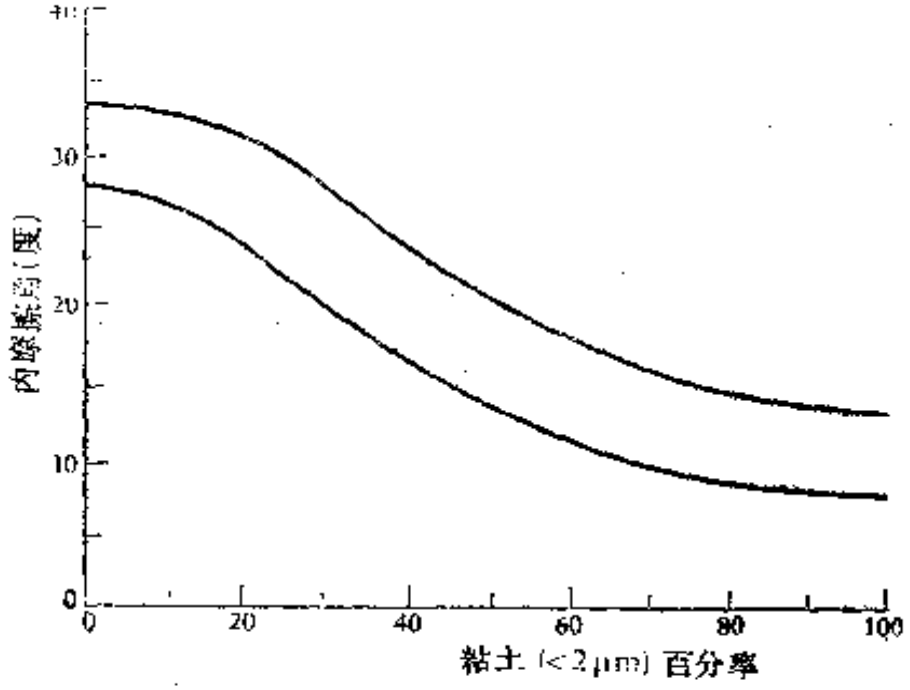


图11.5 粘土的内摩擦余角和粘土百分率的关系

粘土分类

在坡面研究中，粘土可按两个标准分类：(a)坚固性软或硬；(b)裂隙情况——完整或破裂. 该分类在粘土饱和状态时运用.

(a)软、硬区分是以流动指数为依据（格迪尔，1981）：

软的　　流动指数≥0.5，

硬的　　流动指数<0.5，典型的c值为0.

软粘土通常是普通的粘结或轻度的固结，而硬粘土通常十分固结. 软粘土的粘结力(c)为0，而硬粘土的粘结力则较大(c为9.5kpa). 软、硬粘土的强度性质也不同(表11.5)，

* 原文是图6.1，有误. ——译者注

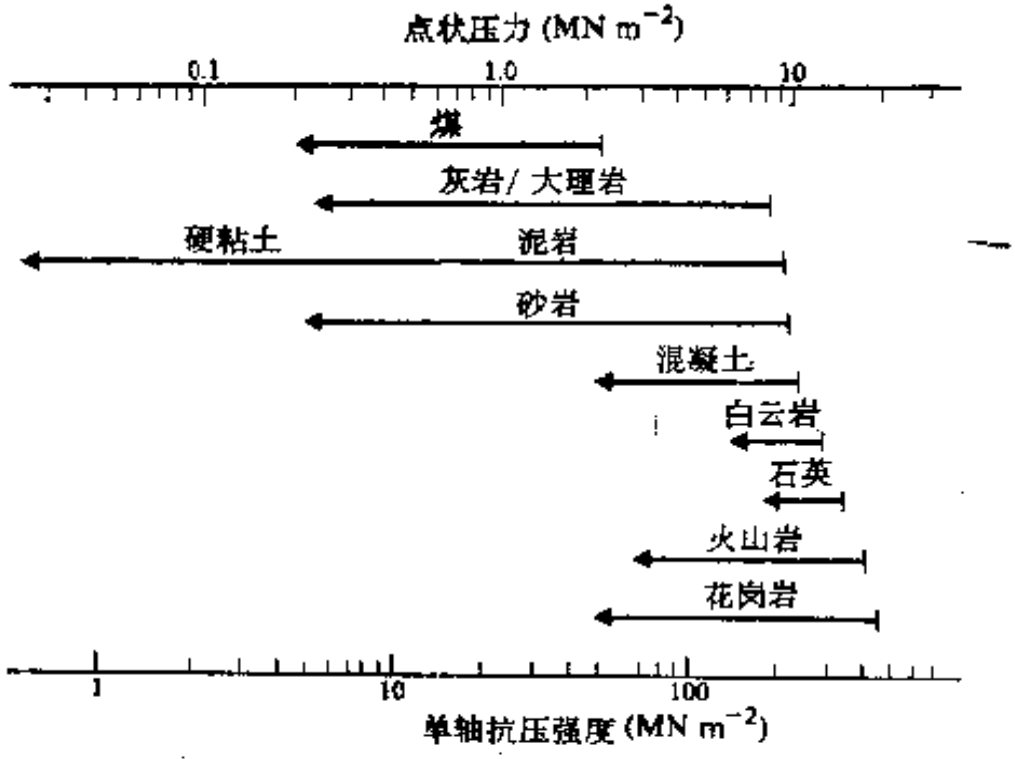


图11.6 点状压力和单轴抗压强度的相互关系，以及常见岩类的一般数值

如未排水的抗剪强度超过200kPa，其硬粘土的等级就上升为坚硬粘土或“页岩”。硬粘土加水仍可拌成糊状，而更硬的页岩和泥岩在水中则不分散。

上面提到的抗剪强度及粘结力需正规的实验室测定，取近似值的方法参见第231页。

(b)完整的粘土常因节理和裂隙而松散，破裂的粘土具有各种不连续的网状系统，如纹理、裂缝、节理、断裂和片理等。

每种粘土可按液限指数进一步划分，斯堪普顿1964年提出下列标准：

类　　型	液 限 指 数（%）
砂或粉砂质粘土	<30
低可塑性粘土	30—50
中等可塑性粘土	50—90
强可塑性粘土	>90

粘土类型划分的进一步指标为灵敏度(S_t)，由下式得出：

S_t=未扰动的不排水抗剪强度÷扰动的不排水抗剪强度.

其分类为：

S_t（灵敏度）	类　　型
<2	低灵敏的
2—4	中等灵敏的
4—8	灵敏的
8—16	高灵敏的
>16	极敏锐的

表 11.5 残积土壤、粘土和砂的抗剪强度、粘聚力和内摩擦力（数据来源同表11.4）

母质		粘土含量 (<2μ)%	孔隙率	粘聚力 (kgf/cm^{-2})	最大内角摩擦（度）（分级余值[1]）	抗剪强度 (kgf/cm^{-2})
实际样品记录值	砂（英国）	0	0.5—0.7	0	33—43	
	细粒砂(比利时)	0			35—50	
	板岩（英国）	0	0.6	0	42(42)	0.3
	砂岩（英国）	0	0.7	0	36(36)	1.5
	花岗片麻岩(巴西)	5		0	42	
	花岗岩(香港)	5	0.4—0.6	0	36—37	
	砂岩（巴西）	6—22		0.1—0.5	30—33	
	粉砂	10		0	32—36	
	泥岩（英国）	36		0.1	25(19)	2.1
	片麻岩(巴西)	6—42		0.2—0.4	26—29	
	玄武岩(巴西)	10—47		0.4—0.5	29—30	
	伦敦粘土	55		0.15	20(16)	2.8
粘土和砂的一般数值	松散砂、粒径均匀				28—34	
	松散的粗砂		50—73		32—38	
	紧实砂、粒径均匀				32—40	
	紧实的粗砂		33—50		35—48	
	松散砂、粒径混杂				34—40	
	松散粘土质砂		58—86		28—32	
	紧实砂、粒径混杂				38—46	
	紧实粘土质砂	40—58			35—40	

表11.5续

	母质	粘土含量(<2μ)%	孔隙率	粘聚力 (kgfcm^{-2})	最大内角摩擦(度)(分级余剩值[1])	抗剪强度 (kgfcm^{-2})
粘土和砂的一般数值	松延脱岩粘土			0.1—0.2	7—13	
	很松的有机粘土			0.1—0.3	12—16	
	松、轻有机质粘土			0.2—0.5	22—27	
	软的冰川粘土			0.3—0.7	27—32	
	硬的冰川粘土			0.7—1.5	30—32	
	冰碛物			1.5—2.5	32—35	
	松粉砂质砂		0.68—1.05		28—32	
	紧实粉砂质砂		0.49—0.68		32—38	
	松的细砂		0.40—0.86		27—33	
	紧的细砂		0.44—0.68		33—39	
	松的砾质砂		0.44—0.73		30—38	
	紧的砾质砂		0.16—0.44		36—50	
	松粉砂		0.68—0.86		20—30	
	紧粉砂		0.49—0.68		25—32	

1）对棱角状物质取高值。

表11.6 未扰动岩体的粘聚力、内摩擦角

（数据来源同表11.3）

物质			粘聚力 (kgf/cm^{-2})	内摩擦角（度）	正压力 (kgf/cm^{-2})
样品记录值	白垩		9	21	0—70
	砂岩	a	350	44	0—350
		b	42—50	48—50	210—2100
	粉砂岩		210	29	0—350
	灰岩		35—350	37—58	210—2100
	花岗岩		97—406	51—58	700—2800
一般数值	硬岩浆岩		300—560	35—45	
	变质岩		200—410	30—40	
	硬沉积岩		100—300	35—45	
	软沉积岩		10—200	25—35	

表11.7　土壤或沉积物坚固性和强度的野外近似鉴定

（鲍尔斯，1979）

坚固性	无水抗剪强度（非限定的抗压强度）（kPa）	野外鉴定	标准穿透试验（打击次数/m）
很松	<25	用拳头就容易穿过几厘米	<7
松	25—50	用拇指可穿过几厘米	7—13
中等	50—100	用拇指穿过几厘米须经一定努力	13—26
硬	100—200	用拇指较易压出痕迹	26—52
很硬	200—400	用拇指甲较易刻出印痕	52—105
坚固	>400	用拇指甲很难刻出印痕	>105

第十二章　取　　样

本章包括四部分，第一部分（12.1）是关于地貌总体中统计性质的均匀取样；第二部分（12.2）介绍确定颗粒级配所需的样品大小；第三部分（12.3）是关于岩石、土壤和化石的收集，包括放射性碳测年样品；最后一节（12.4）是关于取水的样品.

12.1　随机取样

表12.1中的每个单独数字是从整体中取出的独立样本，表中数字0—9分别表示同等具有1／10的概率，它们可用于绘制项目（如砾石）的随机样图，或者用来测量坡度角的随机坐标. 图12.1〔森（Sen），1978〕用初步测量的样本估计在一定的可信限度内得到平均值所必须的样品大小，图按下列步骤运用：

（1）取一小样品并选定概率标准，在大多数地貌运用中，取用0.95是适当的.

（2）确定测得特征（如砾石的大小或圆度）的标准差.

（3）决定可信范围，以便在比均值大或小的数据中确定总体平均值，这一范围必须按该项目所研究的目的来决定.

（4）表示最初的样品在多种可信范围内的标准差，即通过可信限度划分标准差.

（5）找出适当的曲线，以最初样品的大小和概率标准（右边），与其适当的标准差有个交叉点，通过该点可在图表底部读出最终样品的大小.

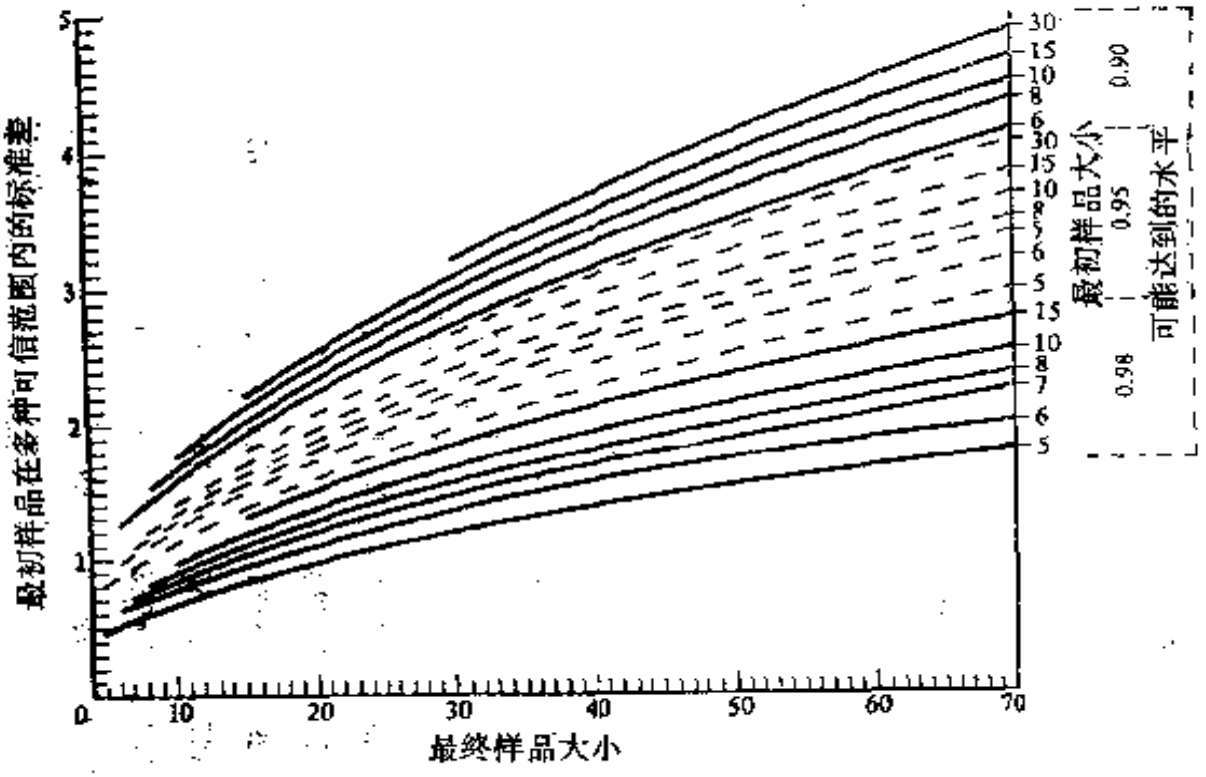


图12.1 在一定可信限度内求得平均值所需要的样本大小的估计图
（依据森，1978）

12.2 确定粒径分布所需的样品数量

对于粗粒沉积，图12.2（简森（Jansen），1979）和表12.2（BS812，1975，BS3681，1973）*是确定粒度分布所需的最少样品量的指南. 图12.2是从理论上推导出来的，适

* BS即不列颠标准制（伦敦）. BS812，1975是矿物集合沙和充填物的取样和试验中第二部分：物理性质. BS3681，1973是不同比重的矿物组成的集合体的采样和试验方法，——译者注

表12.1 随机数. 该表中每个数字均为随机数，数字0—9每个出现的概率均等

72328	01405	95661	83420	78000	03584	89256	48148	54441	15006	75844
50353	53906	43341	96425	80011	80602	51820	08747	05310	09154	85027
40095	55564	77525	64382	13597	58097	02658	23665	47217	61670	67507
00672	32089	39260	21678	37862	51031	02383	94270	24767	62636	56282
85373	82265	01452	02664	95827	63541	57748	37788	96641	13074	59851
60211	29095	08662	76489	13400	80308	33724	66220	23324	65317	03088
63654	67504	26671	55107	28320	06115	20688	11712	78786	66667	09120
33219	69719	37069	06584	89301	23188	47587	97659	16735	85383	40863
19059	48330	18547	05172	25732	48938	25173	56544	18643	46562	50058
28028	91527	34880	65788	77156	40212	16872	30322	47825	78698	89286
95262	87260	10265	28031	15641	49008	44362	68420	44736	80945	54083
68371	81282	26262	66386	11234	40456	77640	20932	55145	09798	61267
02517	72647	58029	21456	12820	17858	53396	72542	56587	61588	30946
55912	42538	65268	87143	85820	73838	73762	84002	56484	19486	27427
52711	65041	93170	13614	17029	18270	75218	30374	09200	22651	76392
86589	45872	53471	45101	67867	21767	74446	37426	23953	43742	60724
04562	14705	32767	85383	43730	74666	62480	24164	42771	56411	55458
26192	88637	15307	88580	78662	79156	39632	62864	84734	10681	57011

47173	54956	75299	10605	07643	70394	56712	20736	12631	64566	81018
57943	37570	62821	50387	53126	38468	21570	61830	21384	86599	07684
33235	25578	59405	24712	14565	98587	94862	61568	52375	51258	03932
57567	66833	39346	20099	68204	09323	94546	05511	29860	57563	27556
12043	42767	17828	73918	05445	16253	10615	04136	82898	31182	07834
30287	81277	71234	51435	35285	21856	03944	05070	52557	86600	66672
54164	48823	28124	98875	08937	51087	31415	21947	67216	25701	10042
36307	71763	99230	88528	35911	28077	31027	51213	37553	00330	12540
28660	87182	65085	93923	60378	48458	24842	71311	44193	39467	37422
07107	55856	42467	46407	21451	76500	18655	88052	41106	19538	64092
11026	67355	54195	91122	55017	41382	84028	05463	34210	68635	44965
69610	54521	82653	64520	96323	92538	31232	51428	70460	78712	01378
72836	86023	50517	74013	85441	78707	00286	65630	11430	60014	26046
73090	58675	26463	56635	96127	10657	80026	40735	90560	27350	00610
47466	54451	81515	38197	24982	38376	91496	05060	51789	16501	54418
18207	41438	55220	55808	54785	47129	06123	87318	19685	53824	51234
52982	03033	01617	63932	36097	86389	21048	33319	98684	48544	41435

表12.2 筛析确定粒度分布所需样品最少量（据BS812, 1975, BS3681, 1973），这一数量也适合于沉积和倾析法

物质粒径	样品最少数量（kg）	
（mm）	高密度[1]	低密度[1]
63	50	—
50	35	—
40	15	7.5
28	5	3
20	2	1
14	1	0.5
10	0.5	0.25
6	0.2	0.1
5	0.2	0.1
3	0.2	0.1
3	0.1	—

1）所谓低密度，如粒径小于5mm，则容重小于1200kg m^{-3}，如粒径较大，则容重小于950kg m^{-3}。

用于河流沉积，它比表12.2指出的偏大，主要用于分选较好的沉积物。对于细粒沉积物则不存在样品最小值。所有样品的最大值应当是不大到在过筛时发生障碍。在实际工作中，

粗砂100—150克，细砂如有40—60克是适宜的. BS812, 1975和BS3681, 1973给出了在适当的实验室过筛数量的精确指标. 当然，运用上述指标时，如果需要，应留有余地供二次分析.

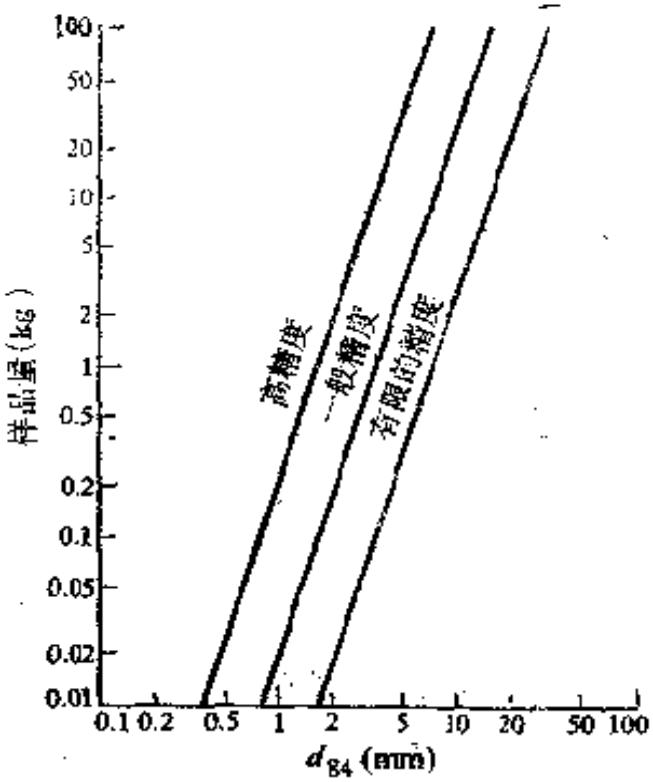


图12.2 为测定粗粒的河流沉积中粒度分布所需的样品最小量. d_{84}表示沉积物的84%的粒径大于该值，可从初步的样品中估得（简森，1979）

12.3 岩石、化石和土壤的取样、收集和运输

该节对岩石、化石和土壤的取样和收集方法作一般介绍〔据康普顿（Compton）的《野外地质指南》（1962）和不列颠博物馆（自然史）中“化石、矿物和岩石”(1970)〕，也涉及到样品的运输和保存.

岩石和土壤

样品必须经仔细选择，代表未受风化的露头．记录地理位置和地层部位、采集者的名字和日期．方位关系重要者，在样品上应标出定向记号．所有样品最好能置入塑料容器，内外贴上标签，如果作化学分析，则不能用颜料作标记．粉状土和岩石样须保存在不漏气的塑料或玻璃容器中，岩块样可用报纸或其它类似物包好，然后用粗帆布，坚韧的纸或塑料袋包装好．所有这些样品均用纸或稻草（不能用锯屑）塞紧，装入小而结实的木箱以便运输．

测定土壤含水量的土样应使用麻花钻，因为它同岩芯一样，不会将石头混入样中．柯蒂斯（Curtis）和特鲁德吉尔（Trudgill）（1975）建议把这种样品装在铝盒中，并用不掉色的铅笔标上记号，或将记录纸装进铝盒，或贴上纸卡，也可用自动密封锡罐代替．对高精度样品，可用带塞玻璃管保存，并用凡士林或透明胶纸封口．应尽量避免延长保存时间，如果必须延长，则须置样品于尽可能低的温度中，但又不使用上述方法封装的玻璃管发生冻结．

化石

最好应从未风化的露头中采集化石，如可能的话，在化石样品上保留一些原生岩石，附上标签，记录相应的地质数据：化石在地层中的位置和姿态．潮湿的标本应乘湿包装好让它慢慢晾干．易碎的化石应在野外喷上或涂上清漆或胶水用以加固．干的标本用溶在异丙醇中的'Butvar 98'稀溶液（重量百分比为10%）处理，或用经甲基化的酒精（加入体积化10%的双丙酮醇）处理，也可使其溶于甲基化酒精中粒胶（瘤状）的溶液（据需要用甲基化酒精稀释）．潮湿的标

本应用聚醋酸乙烯酯乳胶来处理（用一定量的百分比浓度为20%的甲苯——聚酯酸乙烯酯加入去污剂使浓度达到25%）。不过，化石树叶却不能硬化。大的易碎的标本如脊椎动物骨胳则应用上述方法硬化，然后用薄纸包好，再以熟石膏固之，如需要则再置入袋中用熟石膏浸泡。中等大小易碎的骨头可用长布条扎好，浸泡于面糊中，据需要再用木片或铁条在周围加固后再运输。小的易碎的标本应用脱脂棉、小锡罐、小箱子等包装。其余的样品应用薄纸、或旧报纸包好，扎紧以防擦破，再象处理岩石标本一样置入容器内。

用于放射性碳测年的样品的收集和贮存

能够进行放射性碳测年鉴定的实验室都开列在每年《放射性碳》杂志第三期上，每个实验室有各自的送检样品所必须达到的详细要求。因为有很多实验室，所以这里介绍的只是一般的要求〔据琼斯（Jones）和坎迪尔(Cundill)，1978，沃斯利（Worsley），1981〕，在收集和贮存样品时应加采用。大部分实验室对样品有个选择的程序：碳是最适宜的，其次为木头、泥炭、骨头和贝壳，相比之下贝壳是最不适合的。可靠的年代数字可以从5克碳中测得，对富含碳的沉积物要求30克样品，如沉积物中含碳量低，可能要100克样品才行（表12.3）。通常采回的沉积物数量应满足做二次测定的需要。

样品出处必须精确地划定界线，如可能的话，样品的具体位置必须离开现代根系与其它沾染物，在新切出的露头中。采样时，应用干净的工具，戴上塑料手套。如样品要从岩芯中取出，则应取厚度最小而口径大的切片。所有样品应单独在85℃中干燥，并用双层包扎后放在聚乙烯包中贮存，在包外再写上去不掉的标记。注意不要用防腐剂，标签应放在

表12.3 关于放射性碳测年的最适宜样品数量（沃斯利，1981）。实际需要量可能少于下列总量：

物质	未加工样品的质量（g）
木头	100—200
炭	50—100
泥炭	200—500
贝壳	75—100
骨头	300—1000
土壤有机物	200—1000

双层包之间。

12.4 用于理化分析的水样采集

水样最好放在配有合适密封塞的硼酸盐玻璃（如“派热克斯”牌硬玻璃）容器中，以便运输。广泛使用的聚乙烯瓶比聚丙烯瓶更好，如样品需冻结则更是不可缺少。瓶子应完全装满，除非它们可能冻结，另外应尽量避免振荡。使用前瓶子应彻底搞干净，并在当时放入要取样的水中清洗，再采水样。所采的这些样品要标上日期、地点、时间、水色和温度、流量和来向等内容。野外测定的项目是：温度、pH值、溶解性氧含量、酸度与碱度和特殊的导性，其它的测定应在实验室中完成，而且应在采样后进行得越早越好。

表12.4〔依据布朗（Brown），1970〕列出了对样品的

预处理方法．过滤使用45微米的滤器，酸化是由双重蒸馏的试剂级硝酸参与混和使水样pH值降到3以下．要对样品进行3号预处理，则在容器一打开就要进行．如对样品进行4号预处理，需防止细菌活动，则应保持冷冻．其它减小细菌活动及在溶液中保存碳酸盐和铁的预处理方法是冻结法或用盐酸（或硫酸）酸化使pH＜1，不过后者可使胶体和细粒物质进入溶液．所有的水样均应避开阳光，最好存在暗处．表12.4所不包括的预处理办法在布朗（1970）的《含有溶解性矿物和气体的水样的收集和分析方法》一书中有详细说明．

表12.4　水样的预处理（据布朗等，1970）

测定	预处理[1]	测定	预处理[1]	测定	预处理[1]
Al	2	N（硝酸盐）	1	酸度	3
B	1	N（亚硝酸盐）	1	碱度	3
Ba	2	N（有机氮）	4	CO_2含量	3
Ca	2	Na	1或2	颜色	3
Cl	1	Ni	2	COD	4
Cu	2	P	1	硬度	1
F	1	Pb	2	pH	3
K	1或2	SiO_2	1	悬浮质	4
Mg	2	SO_4	1	总溶解质	1
Mn	2	Zn	2	总挥发的固体物质	4
N（氨）	4			浊度	4

1）预处理：1.野外过滤，不处理；2.野外过滤，酸化；3.不过滤，使之澄清；4.不过滤，充分混合。

第十三章　各种辅助手段

这最后一章汇编了种种辅助手段和资料. 13.1节是关于安全问题和在野外工作中的遇难信号，以及急救所必需的装备. 相片对于记录野外现象是必不可少的，如曝光表发生故障或丢失，那么13.2节中的摄影曝光指导可提供方便. 度量单位及其换算经常令人头痛，13.3节简要地列出了国际单位制，并给出了国际单位制中的厘米·克·秒制和英国度量衡标准间的换算数. 在踏勘和测量进行时往往要用到简单的三角学，13.4节列出了一组通常运用的三角公式. 13.5节是关于物质覆盖和组成百分比的肉眼估计，图13.2则可在野外工作时用作参考.

13.1　安全问题

远离公路或车辆进行野外工作时必需携带的装备及安全事项

在安全地带，地貌工作者远离车辆、公路或住所进行工作时应携带下列装备：

带帽兜的雨衣，或能适应可能发生的气候条件变化的其它衣服；

急救药箱，备有橡皮膏，绷带，消毒膏和止痛药；

发信号用的手电筒和哨子；

突发情况下的给养，如葡萄糖；

地图和罗盘；

备用的保暖衣着；

睡袋或遮蔽用的帐篷.

无论何时，都不能一人单独进行野外工作，工作路线要提前计划好，并复制一份留给从事其它工作而回来较迟的人．如可能，工作前必须预测天气.

一个探险队所需的全部装备远远超出了本书所涉及的范围，这可在《探险手册》〔兰德（Land），1978〕中找到.

遇难信号

在摩尔斯（Morse）电码中，国际遇难信号是SOS，即较快且连续的三短、三长、三短（哨音或闪光）的呼唤，并以一分钟的间隔进行重复．另一种代替办法是当地所能识别的山地遇难信号，它是快而连续的六个长呼唤（哨音或闪光），并以一分钟的间隔进行重复．山地遇难“已知道了”的信号是快而连续的三个长呼唤（哨音或闪光），并以一分钟的间隔进行重复．但在遇难者的具体位置被确定前，该回答信号一发出往往使遇难者停发遇难信号，所以，这一信号的设计并非十全十美.

紧急情况下的急救

紧急抢救的要求如下：

1．恢复呼吸
2．止血 } 这是最重要的；

3．包扎伤口和为骨折上夹板；

4．使受伤者安适，并为之提供隐蔽地点和照顾．如可能，应提供有医药设备的运输.

上述简要条文并不能代替到急救工作中去锻炼，仅提供

了发生一般伤害事故后，在有限的情况下进行急救的一些最主要准则．更详细的资料见《旅行医学——实用医生手册》〔特纳（Turner），1974，1975〕．

暴晒

症状：患者有意外的似乎不合理的举止，抱怨冷或累，体力和精力懒散，语言含糊不清，不停地打颤，极端情况下视觉衰退或不正常，突然倒下或昏厥、肌肉痉挛、脸色苍白．

治疗：病是很重的．立即让病人休息并把他送入隐蔽处，与较热的地方隔开，最好置于树(如石楠树丛)下，并让他服些热糖水或葡萄糖饮料．如果病人停止呼吸则须口对口地进行人工呼吸．

决不能用酒精摩擦病人的四肢或局部加温（如用热水瓶），别让病人行走．尽可能征得援助．

由热和中暑引起的力乏

症状：病人失去辨别方向的能力，常伴有严重头痛，感到特别热和干，脉搏细而快，呼吸急促，可能失去知觉，也可能感觉乏力，出现肌肉痉挛或呕吐．

治疗：病人病得很严重，必须立即抢救，让他尽快变冷，如你有足够的水就倒在他身上；如你在附近能找到一条小溪，就将他置入其中，如你仅有很少的水，则用报纸或其它有孔材料包着他，再倒上水．尽可能快把病人带到能使他洗个冷水浴的地方，直至他的温度恢复正常．

冻伤

症状：早期症状是肢体上有刺痛，剧痛，或连续的疼痛，

由于患处冻麻木而在全身感到有令人不舒服的寒冷，先是皮肤红，再变软而发白．后期症状是患处由红肿变成水泡，造成肢体组织的毁坏．

治疗：脱掉压抑的衣服，如果可能则把冻着的衣服浸入热水中．要加温（如用手对冻伤部位加温）增加血液循环，维持其身体温暖并使之入睡．如条件允许，可在他身边放个热水袋．再用软的敷料涂上水泡处．

不能使用酒精，不要挑破水泡、使用油膏或损伤它；不能在伤口用热水袋或用火烤，使冻伤处过热；也不要按摩或用冷水浸泡，不用雪擦或让病人在周围散步．

骨折

症状：如果严重，一般则是明显的．在有的情况下表现为休克（shock，见下一病例），一触即痛，并出现不自然的动态，丧失运动能力，在骨折处出现肿大并有磨碎的感觉。

治疗：用临时准备的夹板夹固定到其它肢体或身体上，防止活动，再治疗休克．

不要试图安置断裂或把肢弄直，除非在手臂或腿上的长骨头发生骨折．在这种情况下，上夹板前要轻轻地向下拉着肢体缓缓牵引．不要试图强迫断裂骨头的尾部复位以免引起创伤．除非有生命危险，上夹板前不要移动病人．

休克

症状：休克一般在所有伤害的情况下都会发生，它与完全虚脱的轻感恶心不同．症状是多样的，但一般表现为轻、不规则而快速的呼吸，有头昏眼花、呕吐或恶心的感觉，皮肤冷而湿，口干，脉搏快而弱，十分苍白，眼睛瞳孔放大，

甚至于失去知觉。

治疗：使病人暖和，在治疗期间，始终使他的脚高于头部，如需要把失去知觉的病人运下山，则需十分注意保护其头部。如病人无明显胃病，可给他喝点暖的甜饮料。如条件允许，可解痛，解开他紧贴的衣服、检查和治疗轻伤。并经常消除病人的疑虑。

蛇咬

可采取下列步骤：

（1）把蛇打死并拎起它的尾巴，把它保留下来以便以后辨认。

（2）消除受害者的思想顾虑，被蛇咬伤致死在世界上大多数国家中是非常罕见的。

（3）在蛇咬处上部绕肢绑扎，使静脉受压但不要紧得使动脉受到阻塞，在每30分钟内放松1分钟（这些时间要作笔录）。

（4）用净水泼在蛇咬过的皮肤上，不要切除损坏的皮肤或在咬伤处吮吸，应用抗菌药拭擦伤口附近的皮肤。

（5）无论在何处被蛇咬，都应视紧张情况处理病人，如发生断裂则需用夹板固定肢体，如可能使被咬处变凉，则使之低于身体的其它部分。

（6）如疼痛，可给些阿司匹林、可待因等，但不给吗啡，千万不要施用Antivenin，除非医术高明的医疗室考虑使用。

（7）尽可能借助于药物，不要忘记带走死蛇。

蝎子螫

蝎子不以螫人为生。除非是很小的小孩，其中个别的会

因毒液过敏，一般蝎子是不会螫死人的．被这讨厌的东西螫是不舒服的，当肢体保持安静时，在被螫处用些麻醉剂去痛，一切就安稳下来了．防重于治，如你在早晨下床前在要经过的地方看到它们，挥动鞋子或裤子把它们赶出去，一切就没有问题了．

13.2 摄影曝光指南

这个指南〔据克拉文（Craven），1975〕仅提供了普通曝光的近似指标，只有因意外的事故或疏忽而无法利用更精确的曝光方法时，才能加以使用．

调整的快门时间等于1/ASA的胶卷速率(例如,对于ASA 125胶卷调整快门速度为1/125s)，把胶卷DIN(德国定制)的速度转换成ASA（美国标准制）的方法列在表13.1中．

对于下表中的条件分别用不同的孔径：

条　　件	孔　　径
明亮或有雾蒙蒙的太阳，有强影	f/16
雾蒙蒙的阳光，有弱的界限不明的影子	f/11
天较亮的多云，但看不见影子	f/8
较暗的多云，重重的雾或大雨，天较暗	f/4
阳光下的阴影（暗天目标全在影中）	f/5.6

上述标准从日出后1 h到日落前1 h均可使用，但仍须按物体与平均情况相比的明暗度适当修正，如果物体背光或在

高纬地区，参照下列建议：

在明亮沙体或雪地中一般用较小的光圈；

明亮的颜色需用较小的光圈；

比一般较暗的物体用较大光圈；

对背光物体用较大光圈；

在高纬地区用较大光圈；

航空摄影用较小的光圈.

快门速度应和一定的光圈数相配合，如果想改变曝光时间，则要相应变化孔径. 例如，按上述标准选用了1/125s和f/16，那么1/250s和f/11，或1/60s和f/22也是同样适用的. 而增加曝光时间就增加了焦距的深度，相反，减少曝光时间则减少了焦距的深度.

表13.1 由DIN的胶卷感光速率数近似转换为ASA的胶卷感光速率数（费宁格（Feninger），1978）

ASA	DIN	ASA	DIN	ASA	DIN
800	30	200	24	50	18
640	29	160	23	40	17
500	28	125	22	32	16
400	27	100	21	25	15
320	26	80	20	20	14
250	25	64	19		

13.3 单位及换算

在国际单位制中，往往用规范化的前缀表示其倍数和约数：

前缀	符号	倍数
万亿（tera-）	T	10^{12}
十亿（giga-）	G	10^{9}
百万（mega-）	M	10^{6}
千（kilo-）	K	10^{3}
毫（千分之一）（milli-）	m	10^{-3}
微（百万分之一）（micro-）	μ	10^{-6}
毫微（十亿分之一）（nano-）	n	10^{-9}
微微（万亿分之一）（pico-）	p	10^{-12}

国际单位制的基本单位可复合推导出另一些单位，其中较常用的单位有专门名称．在表13.2中列出了这些单位和它们的量纲，以及同一类型的cm·g·s制单位．表中最后一栏是表中列出单位间的比率．如国际单位制中的速度：（ms^{-1}）就比cm·g·s制中的速度（cms^{-1}）大100倍．

在表13.3中列出了常用的国际单位制，cm·g·s制和英国度量衡制的转换系数．

表13.2　国际单位制中的推导单位和cm·g·s制单位
(Tennent, 1971)

量及其表示符号	量　纲	国际单位制 (SI unit)	厘米·克·秒制 (cm·g·s-unit)	比　率 (厘米·克·秒制：国际单位制)
质　量，m	M	公斤（kg）	克（g）	10^{-3}
长　度，l	L	米（m）	厘米（cm）	10^{-2}
时　间，t	T	秒（s）	秒（s）	1
面　积，A，S	L^2	米^2（m^2）	厘米^2（cm^2）	10^{-4}
体　积，V	L^3	米^3（m^3）	厘米^3（cm^3）	10^{-6}
密　度，ρ	ML^{-3}	公斤/米^3（kgm^{-3}）	克/厘米^3（gcm^{-3}）	10^3
速　度，u，v	LT^{-1}	米/秒（ms^{-1}）	厘米/秒（$cm\ s^{-1}$）	10^{-2}
加速度，G	LT^{-2}	米/秒^2（ms^{-2}）	伽（gal）	10^{-2}
动　量，p	MLT^{-1}	公斤·米/秒（$kgm\ s^{-1}$）	克·厘米/秒（$gcm\ s^{-1}$）	10^{-3}
瞬时惯量，I，J	ML^2	公斤米^2（kgm^2）	克·厘米^2（gcm^2）	10^{-7}
角动量，L	ML^2T^{-1}	公斤·米^2/秒（kgm^2s^{-1}）	克·厘米^2/秒（gcm^2s^{-1}）	10^{-7}
力，F	MLT^{-2}	牛顿（N）	达因（dyn）	10^{-5}
功　能，E，W	ML^2T^{-2}	焦耳（J）	尔格（erg）	10^{-7}
功　率，P	ML^2T^{-3}	瓦特（W）	尔格/秒（$erg\ s^{-1}$）	10^{-7}
压强或压力，p	$ML^{-1}T^{-2}$	帕斯卡（Pa）	达因/厘米^2（$dyn\ cm^{-2}$）	10^{-1}
表面张力，γ	MT^{-2}	牛顿/米（Nm^{-1}）	达因/厘米（$dyn\ cm^{-1}$）	10^{-3}
粘滞性，η	$ML^{-1}T^{-1}$	公斤/米·秒（$kgm^{-1}s^{-1}$）	泊（p）	10^{-1}
频　率，ν，f	T^{-1}	赫兹（H_z）	秒$^{-1}$（s^{-1}）	1

表13.3 转 换 系 数

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
（长度）			
2.54×10^{-2}	吋（in）	米（m）	39.37
0.3048	呎（ft）	米（m）	3.2468
0.9144	码（yd）	米（m）	1.0936
1.8288	哩（fm）	米（m）	0.5468
20.1168	测链（ch）	米（m）	4.97×10^{-2}
201.168	浪（fl）	米（m）	4.97×10^{-3}
1609.34	哩（mi）	米（m）	6.214×10^{-4}
1853.2	海里，浬（英制）	米（m）	5.3961×10^{-4}
1852.0	浬（Int）	米（m）	5.3996×10^{-4}
1853.25	浬（美制）	米（m）	5.3959×10^{-4}
100.0	链（海上用）	哩（fm）	10^{-2}
1.6094	哩（mi）	公 里（km）	0.6214
8.0	哩（mi）	浪（fl）	0.125
1760.0	哩（mi）	码（yd）	5.6818×10^{-4}
5280.0	哩（mi）	呎（ft）	1.8939×10^{-4}
（面积）			
6.4516×10^{-4}	平方吋（in^2）	平方米（m^2）	1.55×10^3
9.2903×10^{-2}	平方呎（ft^2）	平方米（m^2）	10.764
0.8361	平方码（yd^2）	平方米（m^2）	1.196
2589988.0	平方哩（mi^2）	平方米（m^2）	3.861×10^{-7}
4046.856	英 亩	平方米（m^2）	2.4711×10^{-4}
2.590	平方哩（mi^2）	平方公里（km^2）	0.3861

表13.3续

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
0.4047	英　亩	公顷（ha）	2.471
640.0	平方哩m^2	英　亩	1.5625×10^{-3}
10000	公顷（ha）	平方米(m^2)	10^{-4}
3.861×10^{-3}	公顷（ha）	平方哩(mi^2)	259.0045
247.105	平方公里(km^2)	英　亩	4.047×10^{-3}
（体积）			
1.6387×10^{-5}	立方吋(in^3)	立方米(m^3)	6.1024×10^{-4}
6.387	立方吋(in^3)	立方厘米(cm^3)	6.1024×10^{-2}
2.8317×10^{-2}	立方呎(ft^3)	立方米(m^3)	35.314
28316.8	立方呎(ft^3)	立方厘米(cm^3)	3.5315×10^{-5}
28.3168	立方呎(ft^3)	升（l）	3.5315×10^{-2}
0.7646	立方码(yd^3)	立方米(m^3)	1.3079
3.785×10^{-3}	加仑（美制）	立方米(m^3)	264.2
4.546×10^{-3}	加仑（英制）	立方米(m^3)	219.97
0.21998	升（l）	加仑（英制）	4.546
0.26418	升（l）	加仑（美制）	3.7853
8.0	测式耳	加仑（英制）	0.125
9.608	测式耳	加仑（美制）	0.104
231.0	加仑（英制）	立方吋(in^3)	4.329×10^{-3}
1233.482	英亩×呎	立方米(m^3)	8.1071×10^{-4}
0.8326	加仑（美制）	加仑（英制）	1.2011
2.8413×10^{-2}	流量啊(ff.oz)	升（l）	35.195

表13.3续

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
（质量）			
2.835×10^{-2}	盎　司（oz）	公斤（kg）	35.273
0.4536	磅（lb）	公斤（kg）	2.2046
6.3503	吨（st）	公斤（kg）	0.1575
50.8023	英　担(cwt)	公斤（kg）	1.9684×10^{-2}
1106.04	英　吨	公斤（kg）	9.8421×10^{-4}
907.20	短　吨	公斤（kg）	1.1023×10^{-3}
1.016	英　吨	公吨（t）	0.9842
2204.6	公　吨（t）	磅（lb）	4.536×10^{-4}
14.5939	斯勒格，斯	公斤（kg）	6.852×10^{-2}
（重力）			
4.448	磅（lbf）	牛顿（N）	0.2248
0.1383	磅达（pdl）	牛顿（N）	7.233
10^5	牛顿（N）	达因（dyn）	10^{-5}
32.17	磅（lbf）	磅达（pdl）	0.03108
980.7	克（gf）	达因（dyn）	1.0197×10^{-3}
（压强或压力）			
15.44×10^6	每平方吋吨	帕斯卡(Pa)	6.4767×10^{-8}
157.47	每平方吋吨	每平方厘米公斤	6.3504×10^{-3}
107.3×10^3	每平方呎吨	帕斯卡(Pa)	9.3197×10^{-4}
1.0936×10^4	每平方呎吨	每平方米公斤	9.1441×10^{-5}
6.895×10^3	每平方吋磅	帕斯卡(Pa)	1.4503×10^{-4}
7.03×10^{-2}	每平方吋磅	每平方米公斤	14.225
47.9	每平方呎磅	帕斯卡(Pa)	2.0877×10^{-2}

续13.3

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
4.882	每平方呎磅	每平方米公斤	0.20483
101.325×10^{3}	标准大气压	帕斯卡（Pa）	9.869×10^{-6}
1.033	标准大气压	每平方米公斤	9.6805
14.697	标准大气压	每平方吋磅	6.804×10^{-2}
760	标准大气压	毫米高汞柱(mmHg)	1.315×10^{-3}
33.901	标准大气压	呎高水柱(ftH_2O)	2.9498×10^{-2}
3.05×10^{-2}	呎高水柱(ftH_2O)	每平方厘米公斤	3.2787×10^{-3}
2.989×10^{3}	呎高水柱	帕斯卡（Pa）	3.3456×10^{-4}
10^{5}	巴	帕斯卡（Pa）	10^{-5}
133.322	毫米高汞柱	帕斯卡（Pa）	7.5×10^{-3}
9.80665×10^{4}	每平方厘米公斤	帕斯卡（Pa）	1.0197×10^{-5}
（功能）			
1.3558	磅 呎	焦耳（J）	0.7376
1.3558×10^{7}	磅 呎	尔格	7.3757×10^{-8}
0.1383	磅 呎	公斤米	7.2307
4.2140×10^{2}	磅达呎	焦耳（J）	2.373×10^{-3}
4.2140×10^{9}	磅达呎	尔格	2.373×10^{-10}
1.055×10^{3}	英国热量单位（BTU）	焦耳（J）	9.4787×10^{-4}
10^{7}	焦 耳	尔格	10^{-7}
4.1855	15℃时的卡	焦耳（J）	0.2389
（功率）			
550	马 力	每秒磅呎	1.8182×10^{-3}
7.457×10^{9}	马 力	每秒尔格	1.341×10^{-10}

表13.3续

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
7.457×10^{2}	马　力	瓦特（w）	1.341×10^{-3}
1.3405	千瓦（kw）	马　力	0.74599
1.3558	每秒磅呎	瓦特（w）	0.7376
（密度）			
16.019	每立方呎磅	每立方米公斤	6.243×10^{-2}
1.6019×10^{-2}	每立方呎磅	每立方厘米克	6.243×10^{-2}
1.0012	每立方呎盎司	每升克	0.9988
（比重）			
16.019	每立方呎磅	每立方米公斤	6.243×10^{-2}
1.571×10^{2}	每立方呎磅	每立方米牛顿	6.3654×10^{-3}
27.68	每立方吋磅	每立方厘米克	3.613×10^{-2}
271.4×10^{3}	每立方吋磅	每立方米牛顿	3.6845×10^{-6}
（压缩系数）			
1.45×10^{-4}	每磅平方吋	每牛顿平方米	6.897×10^{3}
14.22	每磅平方吋	每公斤平方厘米	7.032×10^{-2}
9.324×10^{-6}	每吨平方呎	每牛顿平方米	1.0725×10^{5}
0.914	每吨平方呎	每公斤平方厘米	1.0941
（速度）			
2.54	每秒吋	每秒厘米	0.3937
30.48	每秒呎	每秒厘米	3.281×10^{2}
0.447	每小时哩	每秒米	2.2371
0.5144	节（Int.）	每秒米	1.944
1.0973	每秒呎	每小时公里	0.9113

表13.3续

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
0.61818	每秒呎	每小时哩	1.61765
0.5925	每秒呎	节(Int.)	1.6878
3.6	每秒米	每小时公里	0.2778
0.9659×10^{-3}	每年呎	每秒米	1.0353×10^{3}
（流量）			
2832	每秒立方呎	每秒立方厘米	3.53×10^{-4}
2.832×10^{-2}	每秒立方呎	每秒立方米	35.311
76464	每秒立方码	每秒立方厘米	1.3078×10^{-5}
0.7646	每秒立方码	每秒立方米	1.3078
101.941	每秒立方呎	每小时立方米	9.8096×10^{-3}
2446.57	每秒立方呎	每天立方米	4.0874×10^{-4}
28.3161	每秒立方呎	每秒升	3.5316×10^{-2}
11.57375	每天立方米	每秒升	8.6402×10^{-2}
0.408735	每天立方米	每秒立方呎	2.4466
4.3813×10^{-2}	每天百万加仑（美制）	每秒立方米	22.824
5.261×10^{-2}	每天百万加仑（英制）	每秒立方米	19.008
0.2713	每天英亩呎[illegible]	每天百万加仑(英制)	3.686
0.3259	每天英亩呎[illegible]	每天百万加仑(美制)	3.0684
（产量）			
0.699721	每英亩立方呎	每公顷立方米	1.4291
1.12085	每英亩磅	每公顷公斤	0.89218
（固结系数）			
0.1075	每分钟平方吋	每秒平方厘米	9.3023

表13.3续

把A转换为B所需乘的系数	A	B	把B转换为A所需乘的系数
1.075×10^{-3}	每分钟平方吋	每秒平方米	9.3023×10^{2}
2.94×10^{-5}	每年平方呎	每秒平方厘米	3.4014×10^{4}
2.94×10^{-9}	每年平方呎	每秒平方米	3.4014×10^{8}
（浓度）			
1.0012×10^{-3}	每立方呎盎司	每立方厘米克	9.988×10^{2}
1.0012	每立方呎盎司	每立方米公斤	0.9988
16.019×10^{-3}	每立方呎磅	每立方厘米克	62.426
16.019	每立方呎磅	每立方米公斤	6.2426
（动态粘滞性）			
47.8803	每平方呎磅·秒	每平方米牛顿·秒	2.0885×10^{-2}
47.8803	每呎·秒斯勒格	每平方米牛顿·秒	2.0885×10^{-2}
10^{-3}	厘泊（cP）	每平方米牛顿·秒	10^{3}
（运动粘滞性）			
9.290×10^{-4}	每秒平方呎	厘沲（cSt）	1.0764×10^{-3}
9.29030×10^{-2}	每秒平方呎	每秒平方米	10.764
10^{-6}	厘沲（百分之一泊）（cSt）	每秒平方米	10^{6}

13.4 简单三角关系

运用于直角三角形和斜三角形的记法见图13.1.

直角三角形

$$\sin A = a/b = \cos C$$

$\cos A = c/b = \sin C$

$\tan A = a/c = \cot C$

$\cot A = c/a = \tan C$

$a = b \sin A = b \cos C = c \tan A = c \cot C$

$b = a/\sin A = a/\cos C = c/\cos A = c/\sin C$

$c = b/\cos A = b \sin C = a \tan A = a \cot C$

$C = 90° - A$

$b = (a^2 + c^2)^{1/2}$

$a = \{(b+c)(b-c)\}^{1/2}$.

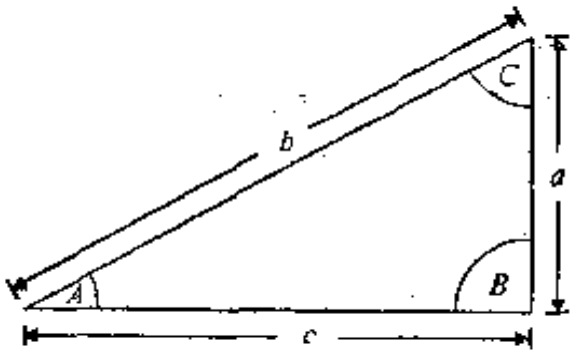


图13.1 在直角三角形中，直角和锐角的记法（∠B=90°）

斜三角形

$a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C$

$a = b \sin A/\sin B = c \sin A/\sin C$

$c = a \sin C/\sin A$

$b = a \sin (A+C)/\sin A$

$b = a \sin B/\sin A$

$a = c \sin A/\sin C$

$s = \frac{1}{2}(a+b+c)$

$c = (a^2 + b^2 - 2ab \cos C)^{1/2}$

$\sin \frac{1}{2}A = \{(s-b)(s-c)/bc\}^{1/2}$

$\cos \frac{1}{2}A = \{s(s-a)/bc\}^{1/2}$

$$\tan\frac{1}{2}A=\{(s-b)(s-c)/s(s-a)\}^{1/2}$$

$$\text{面积}=\{s(s-a)(s-b)(s-c)\}^{1/2}=\frac{1}{2}ab\sin C$$
$$=a^2\sin B\sin C/2\sin A.$$

13.5 覆盖百分数的估计

图13.2用于估计覆盖或组成的百分比.

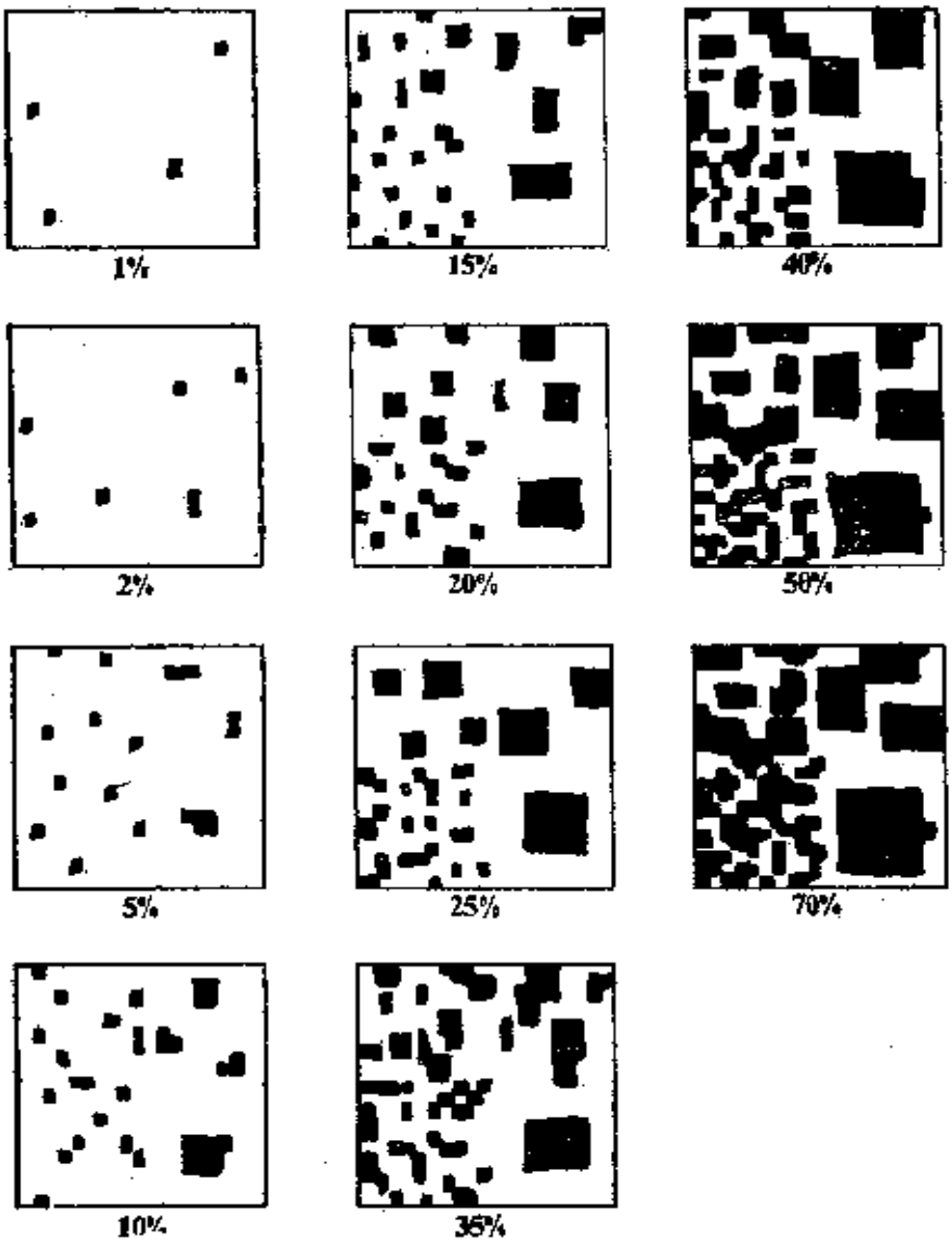


图13.2 用于估计覆盖或组成的百分比

〔据霍奇森(Hodgson), 1974〕

参 考 文 献

Ackers, P., W. R. White, J. A. Perkins and A. J. M. Harrison 1978. *Weirs and flumes for flow measurement.* Chichester: Wiley.

Allen, J. R. L. 1963. The classification of cross-stratified units with notes on their origin. *Sedimentology* 2, 93–114.

Allen, J. R. L. 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology* 5, 91–191.

Allen, J. R. L. 1968. *Current ripples.* Amsterdam: North Holland.

Allen, J. R. L. 1969. On the geometry of current ripples in relation to stability of fluid flow. *Geogr. Annlr* 51A, 61–96.

Armstrong, T., B. Roberts and C. Swithinbank 1966. *Illustrated glossary of snow and ice.* Cambridge: The Scott Polar Research Institute/Unesco.

Bagnold, R. A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes.* London: Methuen.

Bagnold, R. A. 1954. *The physics of blown sand and desert dunes*, 2nd edn. London: Methuen.

Bagnold, R. A. 1956. The flow of cohesionless grains in fluid. *Phil. Trans R. Soc. A* 249, 235–97.

Bagnold, R. A. 1963. Beach and nearshore processes. In *The sea*, Vol. III, M. N. Hill (ed.), 664–9. New York: Wiley.

Bagnold, R. A. 1980. An empirical correlation of bedload transport rates in flumes and natural rivers. *Proc. R. Soc. A* 372, 453–73.

Baker, V. R. and D. F. Ritter 1975. Competence of rivers to transport coarse bedload material. *Geol Soc. Am. Bull.* 86, 975–8.

Barnes, H. H. 1967. *Roughness characteristics of natural channels.* US Geological Survey Water Supply Paper no. 1849.

Benson, M. A. 1968. *Measurement of peak discharge by indirect methods.* Technical Note 90. Publication of WMO 225, TP1/9. Geneva: World Meteorological Organisation.

Berg, D. W. 1968. Systematic collection of beach data. In *Proceedings of the 11th Conference on Coastal Engineering, September 1968, London.*

Bhattacharya, P. K. and H. P. Patra, 1968. *Direct current geoelectrical sounding.* Amsterdam: Elsevier.

Bieniawski, Z. T. 1975. The point load test in geotechnical practice. *Q. J. Engng Geol.* 9, 1–11.

Bishop, A. W. and N. R. Morgenstern 1960. Stability coefficients for earth slopes. *Géotechnique* 15, 1–34.

Blachut, T. J. and F. Müller 1966. Some fundamental considerations on glacier mapping. *Can. J. Earth Sci.* 3, 747–9.

Black, J. N. C., C. W. Bonython and J. A. Prescott 1954. Solar radiation and the duration of sunshine. *Q. J. R. Met. Soc.* **80**, 231–5.

Blong, R. J. 1972. Methods of slope profile measurement in the field. *Aust. Geog. Stud.* **10**, 182–92.

Boersma, R. 1975. Rock types and sedimentary structures. In *Tidal deposits* R. N. Ginsburg (ed.), endpapers. Berlin: Springer Verlag.

Bogardi, J. L. 1961. Some aspects of the application of the theory of sediment transportation to engineering problems. *J. Geophys. Res.* **66**, 3337–46.

Bowles, J. E. 1979. *Physical and geotechnical properties of soils*. New York: McGraw-Hill.

Bray, D. J. 1979. Estimating average velocity in gravel-bed rivers. *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs J. Hydraul. Div.* **105, HY-9**, 1103–22.

Bretschneider, C. L. 1966. In *Shore protection, planning and design*, 3rd edn. Technical Report no. 4, 50–114. Coastal Engineering Research Center.

Brewer, R. 1964. *Fabric and mineral analysis of soils*. New York: Wiley.

British Geomorphological Research Group (various dates). *BGRG Technical Bulletins* 1–25. Norwich: Geo Abstracts.

British Museum (Natural History) 1970. *Fossils, minerals and rocks*. Instructions for collectors no. 11. London: British Museum (Natural History).

Broch, E. and J. A. Franklin 1972. The point-load strength test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **9**, 669–97.

Brown, E., M. W. Skougstad and M. J. Fishman 1970. *Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases*. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 5. Washington, DC: US Government Printing Office.

Bruno, R. O. and L. W. Hiipakka 1973. Littoral Environment Observation program in the state of Michigan. In *Proceedings, 16th Conference on Great Lakes Research*, 492–507. International Association of Great Lakes Research.

Brunsden, D. 1971. Ever-moving hillsides. *Geog. Mag.* **43**, 759–64.

BS 812 1975. *Methods of sampling and testing of mineral aggregates sands and fillers. Part 2. Physical properties.* London: British Standards Institution.

BS 1377 1967. *Methods of testing soils for civil engineering purposes.* London: British Standards Institution.

BS 1377 1975. *Methods of test for soils for civil engineering purposes*. London: British Standards Institution.

BS 3680 1964. *Methods of measurement of liquid flow in open channels. Part 3A. Velocity area methods listed*. London: British Standards Institution.

BS 3680 1965. *Methods of measurement of liquid flow in open channels. Part 4A. Weirs and flumes – thin plate weirs and venturi flumes*. London: British Standards Institution.

BS 3680 1973. *Methods of measurement of liquid flow in open channels. Part 8A. Current meters incorporating a rotating element*. London: British Standards Institution.

BS 3680 1980. *Methods of measurement of liquid flow in open channels. Part 3A. Velocity area methods*, 2nd edn. London: British Standards Institution.

BS 3681 1973. *Methods for testing sampling and testing of lightweight aggregates for concrete*. London: British Standards Institution.

Cailleux, A. 1947. L'indices de émoussé des grains de sable et grès. *Rev. Geomorph. Dynam.* 3, 78–87.

Campbell, C. V. 1967. Lamina, laminaset, bed and bedset. *Sedimentology* 8, 7–26.

Carpenter, F. W. 1955. Some notes concerning the Wenner configuration. *Geophys. Prospect.* 3, 388–402.

Carson, M. A. 1971. Application of the concept of threshold slopes to the Laramie Mountains, Wyoming. In *Slopes*, D. Brunsden (ed.), Trans. Inst. Br. Geogs, Spec. Publ. no 3, 31–48.

Carson, M. A. and M. J. Kirkby 1972. *Hillslope form and process*. Cambridge: Cambridge University Press.

Chepil, W. S. and N. P. Woodruff 1957. Sedimentary characteristics of dust storms II. Visibility and dust concentration. *Am. J. Sci.* 255, 104–14.

Cherven, V. B. 1978. Fluvial and deltaic facies in the Sentinal Butte Formation, Central Williston Basin. *J. Sed. Petrol.* 48, 159–70.

Chow, V. T. 1959. *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill.

Chowdhury, R. N. 1978. *Slope analysis*. Amsterdam: Elsevier.

Church, M. 1975. *Electrochemical and fluorometric tracer techniques for streamflow measurements*. BGRG Technical Bulletin 12. Norwich: Geo Abstracts.

Churchill, R. R. 1979. A field technique for profiling precipitous slopes. In *Shorter technical methods (III)*. BGRG Technical Bulletin 24, 29–34. Norwich: Geo Abstracts.

Classen, D. F. 1977. Temperature profiles for the Barnes Ice Cap surge zone. *J. Glaciol.* 18, 391–406.

Clifton, H. E. 1976. Wave-formed sedimentary structures: a conceptual model. In *Beach and nearshore sedimentation*, R. A. Davis & R. L. Ethington (eds), 126–48. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Colby, B. R. and D. W. Hubbell 1961. *Simplified method for computing total sediment discharge with the modified Einstein method*. US Geological Survey Water Supply Paper no. 1593.

Collins, J. I. 1976. Approaches to wave modeling. In *Beach and nearshore sedimentation*, R. A. Davis & R. L. Ethington (eds), 54–68. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Compagnie Général de Geophysique 1963. *Abaques de sondage électrique, Master curves for electrical sounding*. European Association of Exploration Geophysicists.

Compton, R. R. 1962. *Manual of field geology*. New York: Wiley.

Cooke, R. U. and J. C. Doornkamp 1974. *Geomorphology in environmental management*. Oxford: Oxford University Press.

Cooke, R. U. and A. Warren 1973. *Geomorphology in deserts*. London: Batsford.

Coulomb, C. A. 1776. *Essais sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problems de statique relatifs à l'architecture*. Mémoirs présentées par divers Savants. Academie des Sciences Paris.

Cousins, B. F. 1978. Stability charts for simple earth slopes. *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, J. Geotech. Engng Div.* **104, GT-4**, 267–79.

Cowan, W. L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agric. Engng, Lond.* **37**, 473–5.

Craven, G. M. 1975. *Object and image*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Culmann, C. 1866. *Graphische Statik*. Zürich.

Curtis, L. F. and S. Trudgill 1975. *The measurement of soil moisture*. BGRG Technical Bulletin 13. Norwich: Geo Abstracts.

Dapples, E. C. and J. F. Rominger 1945. Orientation analysis of fine grained clastic sediments: a report of progress. *J. Geol.* **53**, 246–61.

Darbyshire, M. and L. Draper 1963. Forecasting wind-generated sea waves. *Engineering* **195**, 482–4.

Day, M. J. and A. S. Goudie 1977. Field assessment of rock hardness using the Schmidt test hammer. In *Shorter technical methods (II)*, BGRG Technical Bulletin 18, 19–29. Norwich: Geo Abstracts.

Deere, D. U. and R. P. Miller 1966. *Engineering classification and index properties for intact rock*. Air Force Weapons Laboratory Technical Report AFWL-TR-65-116. Kirkland Base, New Mexico.

Demek, J. (ed.) 1972. *Manual of detailed geomorphological mapping*. Prague: Academia.

Demek, J. and C. Embleton (eds) 1978. *Guide to medium-scale geomorphological mapping*. Brno: International Geographical Union.

de Quervain, M. R. 1966. On avalanche classification, a further contribution. In *Proceedings of the international symposium on scientific aspects of snow and ice avalanches (Davos, 1965)*. Int. Assoc. scient. Hydrol. Publ. no. 69, 410–7.

Dobrin, M. B. 1976. *Introduction to geophysical prospecting*. New York: McGraw-Hill.

Dury, G. H. 1976. Discharge prediction, present and former, from channel dimensions. *J. Hydrol.* **30**, 219–45.

Edwards, A. M. C., A. T. McDonald and J. R. Petch 1975. *The use of electrode instrumentation for water analysis*. BGRG Technical Bulletin 15. Norwich: Geo Abstracts.

Einstein, H. A. 1942. Formulas for the transportation of bed-load. *Trans Am. Soc. Civ. Engrs* **107**, 561–74.

Einstein, H. A. 1950. *The bedload function for sediment transportation in open channel flows*. Technical Bulletin no. 1026. US Department of Agriculture.

Ethridge, F. G. and S. A. Schumm 1978. Reconstructing paleochannel morphologic and flow characteristics: methodology, limitations and assessment. In *Fluvial sedimentology*, A. D. Miall (ed.), 703–22. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists.

Ewing, M., G. P. Woollard and A. C. Vine 1939. Geophysical investigations in the emerged and submerged Atlantic Coastal Plain, Part 3, Barnegat Bay, New Jersey section. *Geol Soc. Am. Bull.* **50**, 257–96.

Faegri, K. and H. Gams 1937. Entwicklung and Vereinheitlichung der Signaturen fur Sediment-und-Torfarten. *Geol. Stockh. Forhdl.* **59**, 273.
Feininger, A. 1978. *The complete photographer*. London: Thames and Hudson.
Finlayson, B. 1979. Electrical conductivity: a useful technique in teaching geomorphology. *J. Geog. higher Educ.* **3**, 68–87.
Fleming, N. C. 1965. Form and function of sedimentary particles. *J. Sed. Petrol.* **35**, 381–90.
Folk, R. L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.* **62**, 344–59.
Folk, R. L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*, 2nd edn. Texas: Hemphills.
Folk, R. L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*, 3rd edn. Texas: Hemphills.
Freyberger, S. G. and G. Dean 1979. Dune forms and wind regime. In *A study of global sand seas*, E. D. McKee (ed.), 137–70. Washington, DC: US Geological Survey.

Galvin, C. J. 1967. Longshore current velocity: a review of theory and data. *Rev. Geophys.* **5**, 287–304.
Galvin, C. J. 1968. Breaker-type classification on three laboratory beaches. *J. Geophys. Res.* **73**, 3651–9.
Garde, R. J. and K. G. Ranga Raju 1977. *Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems*. New Delhi: Wiley Eastern
Gardiner, V. and R. V. Dackombe 1977. A simple method for the field survey of slope profiles. In *Shorter technical methods (II)*, BGRG Technical Bulletin 18, 9–18. Norwich: Geo Abstracts.
Geological Society Engineering Group Working Party 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Q. J. Engng Geol.* **5**, 295–382.
Geological Society Engineering Group Working Party 1977. The description of rock masses for engineering purposes. *Q. J. Engng Geol.* **10**, 355–88.
Glennie, K. W. 1970. *Desert sedimentary environments*. London: Elsevier.
Goudie, A. (ed.) 1981. *Geomorphological techniques*. London: George Allen and Unwin.
Graf, W. H. 1971. *Hydraulics of sediment transport*. New York: McGraw-Hill.
Greeley, R. C., J. D. Iversen, J. B. Pollack, N. Udovich and B. White 1974. Wind tunnel studies of Martian aeolian processes. *Proc. R. Soc. A* **341**, 331–60.
Gregory, K. J. 1979. Changes of drainage network composition. *Acta Univ. Ouluensis A* **82**, 19–28.
Griffiths, D. H. and R. F. King 1965. *Applied geophysics for engineers and geologists*. Oxford: Pergamon.
Gubler, H. U. 1975. *On the Rammsonde hardness equation*. IAHS-AISH Publ. no. 114, 110–21.

Hagedoorn, J. G. 1959. The plus–minus method of interpreting seismic refraction sections. *Geophys. Prospect.* **7**, 158–83.
Harms, J. C. and R. K. Fahnestock 1965. Stratification, bed forms and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). In *Primary sedimentary*

structures, G. V. Middleton (ed.), 84–115. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Harrison, W. D. 1975. Temperature measurements in a temperate glacier. *J. Glaciol.* **14**, 23–30.

Harvey, J. G. 1976. *Atmosphere and ocean: our fluid environments*. Sussex: Artemis Press.

Hawkins, L. V. and D. Maggs 1961. Nomograms for determining maximum errors and limiting conditions in seismic refraction surveys with a blind zone problem. *Geophys. Prospect.* **9**, 526–32.

Henderson, F. M. 1966. *Open channel flow*. New York: Macmillan.

Hey, R. D. 1979. Flow resistance in gravel-bed rivers. *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, J. Hydraul. Div.* **105, HY-4**, 365–79.

Hjulstrom, F. 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. *Bull. Geol Inst. Univ. Uppsala* **25**, 221–57.

Hodgson, J. M. (ed.) 1974. *Soil survey field handbook*. Soil Survey Technical Monograph no. 5. Harpenden, Herts: Rothamsted Experiment Station.

Hoek, E. and J. W. Bray 1977. *Rock slope engineering*, 2nd edn. London: Institute of Mining and Metallurgy.

Holdsworth, G. 1975. Measurement of small strain-rates over short time periods. *J. Glaciol.* **14**, 317–24.

Holmes, P. 1975. Wave conditions in coastal areas. In *Nearshore sediment dynamics and sedimentation*, J. Hails & A. Carr (eds), 1–16. London: Wiley.

Hooke, R. Le B. and B. R. Koci 1978. Temperature measurements on the Barnes Ice Cap, Baffin Island, Canada. *J. Glaciol.* **20**, 441–2.

Hunter, R. E. 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology* **24**, 361–87.

Hutchinson, J. N. 1968. Mass movement. In *Encyclopaedia of geomorphology*, R. W. Fairbridge (ed.), 688–96. New York: Halsted.

Hvorslev, M. J. 1960. Physical components of the shear strength of saturated clay. In *Proceedings of the ASCE research conference on shear strength of cohesive soils*, 1–8. New York: American Society for Civil Engineering.

Ingram, R. L. 1954. Terminology for thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks. *Geol Soc. Am. Bull.* **65**, 937–8.

Inman, D. L. 1963. Ocean waves and associated currents. In *Submarine geology*, F. P. Shepard (ed.), 48–81. New York: Harper and Row.

Inman, D. L. and R. A. Bagnold 1963. Littoral processes. In *The sea*, vol. III, M. N. Hill (ed.), 529–53. New York: Wiley.

Jakosky, J. J. 1957. *Exploration geophysics*. California: Trija.

Jansen, P. L. 1979. *Principles of river engineering*. London: Pitman.

Jones, R. L. and P. R. Cundill 1978. *Introduction to pollen analysis*. BGRG Technical Bulletin 22. Norwich: Geo Abstracts.

Jopling, A. V. 1966. Some principles and techniques used in reconstructing the hydraulic parameters of a paleo-flow regime. *J. Sed. Petrol.* **36**, 5–49.

Jopling, A. V. and R. G. Walker 1967. Morphology and origin of ripple-drift cross

lamination with examples from the Pleistocene of Massachussetts. *J. Sed. Petrol.* **38**, 971–84.

Keller, G. V. and F. C. Frischknecht 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford: Pergamon.

Kesel, R. H. 1976. The use of refraction seismic techniques in geomorphology. *Catena* 3, 91–8.

King, C. A. M. 1972. *Beaches and coasts*, 2nd edn. London: Edward Arnold.

Kirkpatrick, W. W. 1965. Effects of grain size and grading on the shearing behavior of granular materials. *Proceedings of the 6th International Conference on soil mechanics and foundation engineering* 1, 273–7. Toronto: Univ. of Toronto Press.

Kottlowski, F. E. 1965. *Measuring stratigraphic sections*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Krumbein, W. C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *J. Sed. Petrol.* **11**, 64–72.

Lahee, F. H. 1931. *Field geology*, 3rd edn. New York: McGraw-Hill.

Lahee, F. H. 1961. *Field geology*, 6th edn. New York: McGraw-Hill.

Land, A. E. 1978. *The expedition handbook*. London: Butterworth.

Limerinos, J. T. 1970. *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*. Water Supply Paper no. 1898-B. US Geological Survey.

Lohnes, R. A. and R. L. Handy 1968. Slope angles in friable loess. *J. Geol.* **76**, 247–58.

Longuet-Higgins, M. S. 1952. On the statistical distribution of the heights of sea waves. *J. Mar. Res.* **11**, 245–6.

McKee, E. D. 1966. Structure of dunes at White Sands National Monument, New Mexico (and a comparison with structures of dunes from other selected areas). *Sedimentology* 7, 3–69.

McKee, E. D. (ed.) 1979. *A study of global sand seas*. US Geological Survey Professional Paper no 1052.

McKee, E. D. and G. W. Weir 1953. Terminology of stratification and cross stratification. *Geol Soc. Am. Bull.* **64**, 381–90.

Mamayev, O. I. 1975. *Temperature–salinity analysis of world ocean waters*. Amsterdam: Elsevier.

Meidav, T. 1960. Nomograms to speed up seismic refraction computations. *Geophysics* **25**, 1035–53.

Meyer-Peter, E. and R. Müller 1948. Formulas for bed-load transport. In *Proceedings of the 3rd meeting of the International Association for Hydraulics Research, Stockholm*, 39–64.

Mooney, H. M. and W. W. Wetzel 1956. *The potentials about a point electrode and apparent resistivity curves for a two-, three- and four-layer earth*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Neville, A. M. 1973. *Properties of concrete*. London: Pitman.
Nijman, W. and C. Puigdefabregas 1978. Coarse-grained point bar structure in a molasse-type fluvial system, Eocene Castisent Formation, South Pyrenean Basin. In *Fluvial sedimentology*, A. D. Miall (ed.), 487–510. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists.
Nye, J. F. 1959. A method of determining the strain-rate tensor at the surface of a glacier. *J. Glaciol.* 3, 409–19.

O'Brien, M. P. 1942. *A summary of the theory of oscillatory waves*. Technical Report no. 2, 1–14. Beach Erosion Board, US Army Corps of Engineers.
Open University 1978. *Oceanography – Sediments*, S334 Course Book. Milton Keynes: Open University.
Orellana, E. and H. M. Mooney 1966. *Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures*. Madrid: Interciencia.
Østrem, G. and A. D. Stanley 1966. *Glacier mass balance measurements. A manual for field work*. Ottawa: Department of Mines and Technical Surveys.
Ouma, J. P. B. M. 1967. Fluviatile morphogenesis of roundness. The Hacking River, New South Wales, Australia. In *River Morphology* Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ. no. 75, 319–44.

Parasnis, D. S. 1979. *Principles of applied geophysics*. London: Cahpman and Hall.
Paterson, W. S. B. 1969. *The physics of glaciers*. Oxford: Pergamon.
Patrick, D. A. and R. L. Weigel 1955. Amphibian tractors in the surf. In *First conference on ships and waves*, 397–422. London and New York: The English Foundation Council on Wave Research and the American Society of Naval Architects and Marine Engineers
Pitty, A. F. 1966. Some problems in the location and delimitation of slope profiles. *Z. Geomorph.* 10, 454–61.
Pitty, A. F. 1968. A simple device for the field measurement of hillslopes. *J. Geol.* 76, 717–20.
Powers, M. C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *J. Sed. Petrol.* 23, 117–9.

Redpath, B. B. 1973. *Seismic refraction exploration for engineering site investigations*. Report A.D. 768 710. US Department of Commerce, National Technical Information Service.
Reineck, H. E. and F. Wunderlich 1968. Classification and origin of flaser and lenticular bedding. *Sedimentology* 11, 99–104.
Rijkwaterstaat, The Netherlands 1980. *Standard graphs for resistivity prospecting*. European Association of Exploration Geophysicists.
Riley, N. A. 1941. Projection sphericity. *J. Sed. Petrol.* 11, 94–7.
Rivière, A. and P. Ville 1967. Sur l'utilisation d'une indice morphologique nouveau dans la representation d'une formation detritique grossiere. *C.R. Hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris D* 265, 1369–72.
Róberts, A. 1977. *Geotechnology*. Oxford: Pergamon.

Robinson, E. 1968. Effects of air pollution on visibility. In *Air pollution*, vol. I, A. C. Stern (ed.), 349–400. New York: Academic Press.
Robinson, G. W. 1949. *Soils, their origin, constitution and classification*, 3rd edn. London: Murby.
Rogers, J. K. 1947. Temperature corrections in altimeter surveying. *Bull. Am. Assoc. Petrolm Geol.* **31**. 371–4.
Russel, R. C. H. and D. H. Macmillan 1952. *Waves and tides*. London: Hutchinson.
Rutley, F. and H. H. Read 1970. *Rutley's elements of mineralogy*, 26th ed. London: George Allen & Unwin.

Savigear, R. A. G. 1965. A technique of morphological mapping. *Ann. Assoc. Am. Geogs* **53**, 514–38.
Schneiderhohn, P. 1954. Eine vergleichende studies uber methoden zur quantitativen bestimmung von abrundung und form an sandkornern. *Heidelberger Beitr. Min. Petrol.* **4**, 172–91.
Scott, R. F. 1963. *Principles of soil mechanics*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
Selby, M. J. 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Z. Geomorph.* **24**, 31–51.
Seligman, G. 1936. *Snow structure and ski fields*. London: Macmillan.
Sen. N. 1978. A chart for optimisation of sample size. *Indian J. Earth Sci.* **5**, 214–6.
Sharpe, C. F. S. 1938. *Landslides and relaed phenomena*. New York: Columbia University Press.
Shaw, C. F. 1928. A definition of terms used in soil literature. In *Proceedings and Papers of the 1st International Congress on Soil Science*; vol. 5, 38–64.
Shepard, F. P. 1954. Nomenclature based on sand–silt–clay ratios. *J. Sed. Petrol.* **24**, 151–8.
Shields, I. A. 1936. Anwendung de Ahnlichkeitmechanik und des turbulenz for schung auf die geschiebebewegung. *Mit. Preuss. VersAnst. Wasserbau Erd Schiffbau* **26**. English translation by W. P. Ott and J. C. van Uchelen, California Institute of Technology, Passadena.
Simons, D. B. and E. V. Richardson 1962a. Resistance to flow in alluvial channels. *Trans Am. Soc. Civ. Engrs* **127**, 927–1006.
Simons, D. B. and E. V. Richardson 1962b. *The effect of bed roughness on depth discharge relations in alluvial channels*. Water Supply Paper no. 1498E. US Geological Survey.
Simons, D. B. and E. V. Richardson 1971. Flow in alluvial sand channels. In *River mechanics*, Vol. I, H. W. Shen (ed.), 9.1–9.89. Fort Collins: privately published by H. W. Shen.
Simons, D. B. and F. Şentürk 1976. *Sediment transport technology*. Fort Collins: Water Resources Publications.
Singer, D. H. and S. Yaalon 1974. Vertical variation in strength and porosity of calcrete (nari) on chalk, Shefela, Israel and interpretation of its origin. *J. Sed. Petrol.* **44**, 1016–23.
Skempton, S. W. 1945. Earth pressure and the stability of slopes. In *The principles and application of soil mechanics*. London: Institution of Civil Engineers,

Skempton, A. W. 1964. The long-term stability of clay slopes. *Géotechnique* 14, 75–102.

Sneed, E. D. and R. L. Folk 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas: a study in particle morphogenesis. *J. Geol.* **66**, 114–50.

Southard, J. B. 1971. Representation of bed configurations in depth–velocity–size diagrams. *J. Sed. Petrol.* **41**, 903–15.

Sternberg, R. W. 1972. Predicting initial motion and bedload transport of sediment particles in the shallow marine environment. In *Shelf sediment transport*, D. J. P. Swift, D. B. Duane & O. H. Pilkey (eds), 61–82. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross.

Stone, R. O. and H. J. Summers 1972. *Study of subaqueous and subaerial sand ripples*. Final Report no. USC-Geology-72-1. Department of Geological Sciences, University of Southern California.

Strickler, A. 1923. *Beitrage zur Frage der Geschwindigkeits-formel und der Rauhigkeitszahlen für Strome, Kanale und Geschlossene Leitungen*. Mitteilungen des Eidgenössischer Amtes fur Wasserwirtschaft no. 16, Bern.

Sundborg, A. 1967. Some aspects on fluvial sediments and fluvial morphology. I. General views and graphic methods. *Geog. Ann.* **49A**, 333–43.

Tagg, G. F. 1934. Interpretation of resistivity measurements. *Trans Am. Inst. Min. Metal. Engrs* **110**, 135–47.

Tanner, W. F. 1967. Ripple mark indices and their uses. *Sedimentology* **9**, 89–104.

Taylor, G. and K. D. Woodyer 1978. Bank deposition in suspended-load streams. In *Fluvial sedimentology*, A. D. Miall (ed.), 257–76. Canadian Society of Petroleum Geologists Memorandum no. 5. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists.

Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff and D. A. Keys 1976. *Applied geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Tennent, R. M. (ed.) 1971. *Science data book*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Terzaghi, K. 1943. *Theoretical soil mechanics*. New York: Wiley.

Terzaghi, K. and R. B. Peck 1967. *Soil mechanics in engineering practice*. New York: Wiley.

Thomas, R. H. 1976. The distribution of 10 m temperatures on the Ross Ice Shelf. *J. Glaciol.* **16**, 111–7.

Turner, A. C. 1974. *The traveller's health guide*. Newton Abbot: David and Charles.

Turner, A. C. 1975. *Travel medicine – a handbook for practitioners*. London: Longman.

Unesco/IASH/WMO 1970. *Seasonal snow cover*. Technical Paper in Hydrology No. 2.

US Department of Agriculture 1951. *Soil survey manual*. Agricultural Handbook no. 18. US Department of Agriculture.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.

Van Nostrand, R. G. and K. [illegible] *of resistivity data*. US Geological Survey Professional [illegible] 499.

Varnes, D. J. 1958. Landslide types and processes. In *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel (ed.). Special Report no. 29, Highway Research Board. 20–47.

Wagg, C. J. and K. Echelmeyer 1979. Rhombus and rhomboid parallelogram patterns on glaciers: natural indications of strain. *J. Glaciol.* **22**, 247–61.

Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles. *J. Geol.* **41**, 310–31.

Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. *J. Geol.* **43**, 250–80.

Waters, R. S. 1958. Morphological mapping. *Geography* **43**, 10–19.

Wentworth, C. K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *J. Geol.* **27**, 507–21.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**, 377–92.

Wentworth, C. K. 1933. The shapes of rock particles: a discussion. *J. Geol.* **41**, 306–9.

Williams, G. 1964. Some aspects of the eolian saltation load. *Sedimentology* **3**, 257–87.

Wilson, I. G. 1970. *The external morphology of wind-laid sand deposits*. PhD thesis. University of Reading.

Wilson, I. G. 1972. Aeolian bedforms – their development and origins. *Sedimentology* **19**, 173–210.

Worsley, P. 1981. Radiocarbon dating: principles, application and sample collection. In *Geomorphological techniques*, A. Goudie (ed.), 277–83. London: George Allen and Unwin.

Young, A. 1972. *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

Young, A., with D. Brunsden and J. B. Thornes 1974. *Slope profile survey*. BGRG Technical Bulletin 11. Norwich: Geo Abstracts.

Zeller, J. 1963. Einfuhrung in den Sedimenttransport offener Gerinne. *Schweiz. Bauzeitung* 81D.

Zingg, Th. 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz.* **15**, 39–140.