

中国科学院知识创新重要方向性项目

项目编号：KZCX2-YW-340

项目名称：土壤湿度与积雪参量高精度微波遥感反演机理研究

积雪参量地基微波遥感实验报告（2）

之三（农田积雪遥感实验）

中国科学院东北地理与农业生态研究所

2010年1月31日

3.1 旱地积雪微波遥感实验

2010年1月20日开展了旱地积雪的遥感实验。实验地点：吉林省松原市深井子屯靠勺山村（44° 49' 18' ' N, 123° 42' 16' ' E, 海拔高度 198m），天气：晴，风力 3 级。实验的目的是测量耕地微波辐射特性，以及耕地与积雪混合像元。早上 8 点出发，10 点左右到达实验地点。

3.1.1 实验样点

玉米地呈垄状，扫雪前后的观测方向均为顺垄向观测。大豆地也呈垄状，分别进行垂直垄向和平行垄向的测量。大豆地垄宽约 65cm，垄沟雪深约 17cm，垄台雪深 3cm。在玉米地和大豆地分别选取了两个样点，标识 1，2，3，4。

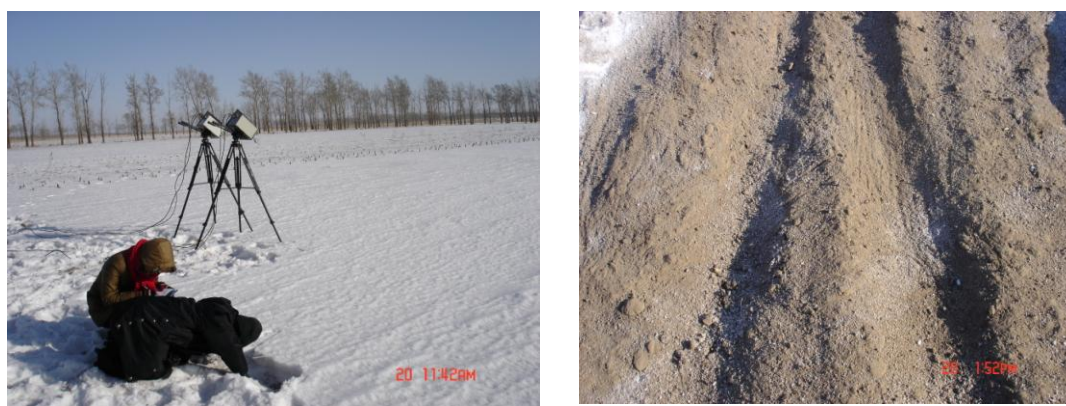


图 3.1 实验样点图

3.1.2 积雪辅助参数测量

表 3.1 农田积雪辅助参数测量数据

时间		13:00			16:20
雪深 cm		10	13.5	10	7
雪湿度	表层	0.111	0.573	0	0.653
	中层 1	0.319	0.347	0.651	0.214
	中层 2	0.22	0.756	0.673	0.659
	下层	/	0.765	0	/
雪密度	表层	0.3053	0.1579	0.1362	0.2656
	中层 1	0.0988	0.1791	0.1004	0.1063
	中层 2	0.1333	0.0912	0.1304	0.1102
	下层	0	0.101	0	/

雪层温度	表层	-6.9	-8.9	-7.5	-18.6
	中层	-6.2	-6.3	-6	-14.1
	雪土界面	-6.7	-5.8	-5.6	-18.9
土壤温度		-6.3	-5.8	-5.7	-6.9
空气温度		-11.6	-10.5	-12.7	-17.5
				Pic:201	
备注	雪分析仪编号：100001；A0000+1300； No. 1				200001； A0000+1620；NO. 2

3.1.3 环境温度测量

环境温度测量结果如表 3.2 所示。

表 3.2 旱田积雪样点环境温度测量结果

玉米地环境温度 (°C)					
时间	垄沟			垄台	
	上	中	下	下	
11:19	-7.5	-11	-9	-10.5	-12
	-9	-7.5	-8	-8	-12
	-6.5	-7	-8.5	-8	-13
	-9			-10	
11:47	-10			-8.5	
	-6	-13.5	-10	-11	-13
	-8	-7	-8	-10.5	-13.5
	-6.5	-7	-8	-9	
12:17	-9.5			-8.5	
	-10				
	-6	-13.5	-10.5	-11	-12.5
	-8.5	-6	-7.5	-12	-13
12:27 雪表面用电子温度计测是-5	-6	-8.2	-8	-10	
	-9			-8	
	-8.5				
12:47	-11	-14	-8	-12	-13
	-10	-6.2	-8	-10	-13
	-9.5	-7.5	-8	-12	
	-9			-8	
13:29	-9.5				
	-10	-11.5	-11	-12	-14.5
	-11.5	-8	-8	-11	-13.5
	-8	-8	-8.5	-13	
	-11.5			-8	
	-11				

14:18	-12.5	-14.5	-11.5	-13	-15
	-13	-7	-8.5	-14	-15.8
	-10.5	-10	-8.5	-12	
	-14			-8.5	
	-13				
14:39	-14	-15	-12	-14.5	-15.5
	-14	-7.5	-8.5	-15	-16
	-12	-11	-9	-13	
	-15.5			-9	
	-14.5				
豆杆地环境温度 (°C)					
时间	垄沟			垄台	
	上	中	下	下	
14:50	-14.5	-12	-8	-11	
		-9.5	-6.5	-10	
		-11.5	-8	-8	
			-8	-10.5	
15:56	-18	-8	-8	-13	-18.5
	-15.5	-12	-12	-12	-20
		-12.5	-12	-9	-18
			-6.5	-12.5	
			-8		
16: 10 (大概)	-18	-9	-8	-15	-20
	-20	-13	-7	-13	-21
		-14	-8	-10	-20
			-8	-13.5	
			-8		

3.1.4 玉米地积雪微波辐射测量

测量点玉米地的特征：已收获，无秸秆，土很松，裸土。样地图片如图 3.2 所示。测量结果如表 3.3 所示。

表 3.3 玉米地样地 1 (天线入射方向垂直垄沟) 微波辐射观测结果

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
11:15	30	V	246.38	0.12	231.36	0.28
11:18	40	V	245.23	0.14	228.42	0.22
11:23	50	V	242.09	0.19	226.17	0.28
11:27	60	V	237.20	0.09	220.77	0.30
11:32	60	H	222.20	0.16	201.13	0.19
11:35	50	H	232.77	0.13	214.53	0.13

11:39	40	H	238.84	0.15	221.56	0.23
11:41	30	H	243.15	0.09	224.17	0.15



图 3.2 玉米地垂直垄向观测样点图

对玉米地积雪探测后，将积雪去除，呈现裸土状态，土很疏松，没有冻结。地表温度： -6.5°C ， -9°C 。顺垄观测结果如表 3.4 所示。



图 3.3 玉米地裸地观测

表 3.4 玉米地样地 1 裸地（天线入射方向垂直垄沟）微波辐射观测结果

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
12:03	30	H	251.46	0.07	255.75	0.12
12:05	40	H	248.21	0.08	253.48	0.09
12:10	50	H	241.42	0.20	250.16	0.22
12:14	50	V	251.14	0.14	255.72	0.13
12:19	40	V	253.24	0.11	256.73	0.09
12:23	30	V	253.98	0.10	256.82	0.21

在上述的观测位置基础上，向观测前方移动 1m 的几何位置，雪有轻微融化，雪粒径很大，垄沟深 15cm 垄台神 8cm，顺垄向观测。观测样点图如图 3.4 所示。

观测结果如表 3.5 所示。雪深分布：7，15，9cm。

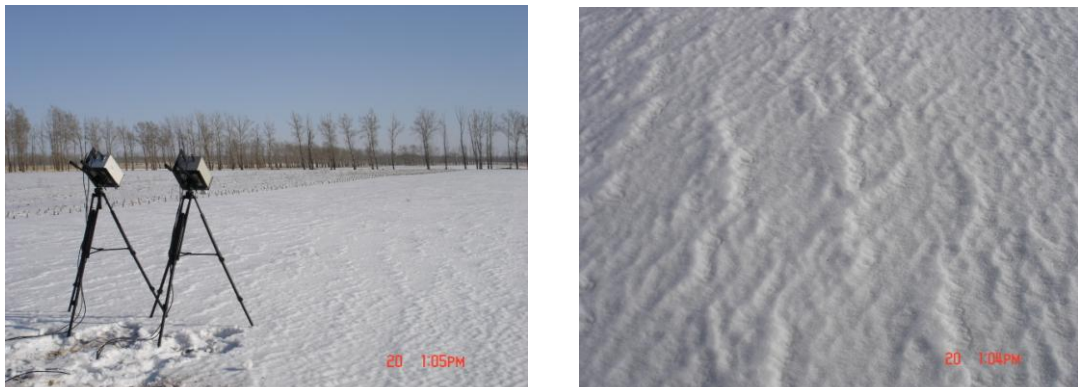


图 3.4 玉米地样点 2 观测

表 3.5 玉米地样点 2（天线入射方向平行垄沟）微波辐射观测数据

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
12:36	30	V	246.65	0.22	229.14	0.17
12:41	40	V	246.38	0.07	228.85	0.25
12:45	50	V	243.92	0.08	226.69	0.16
12:49	60	V	238.79	0.09	222.12	0.13
12:55	60	H	217.79	0.12	198.82	0.09
12:59	50	H	230.49	0.06	210.11	0.18
13:06	40	H	240.09	0.09	219.74	0.16
13:09	30	H	244.81	0.07	226.06	0.23

将玉米地样点 2 的积雪去除，呈现裸土状态，如图 3.5 所示。微波辐射测量结果如表 3.6 所示。



图 3.5 玉米地样地 2 裸土状态观测

表 3.6 玉米地样地 2 裸土（天线入射方向平行垄沟）微波辐射观测数据

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
13:38	30	H	250.68	0.08	252.87	0.14
13:46	40	H	247.56	0.17	251.14	0.15
13:50	50	H	241.90	0.18	247.19	0.25
13:58	60	H	234.94	0.14	231.53	0.29
14:08	60	V	242.93	0.22	247.15	0.07
14:15	50	V	247.46	0.12	250.45	0.28
14:18	40	V	250.37	0.10	251.54	0.07
14:20	30	V	251.10	0.09	252.35	0.25

表 3.7 玉米地样点 1 和样点 2 积雪测量比较（入射角 50°）

样地号	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
1	H	232.77	0.13	214.53	0.13
2	H	230.49	0.06	210.11	0.18
1	V	242.09	0.19	226.17	0.28
2	V	243.92	0.08	226.69	0.16

表 3.8 玉米地样点 1 和样点 2 裸地测量比较（入射角 50°）

样地号	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
1	H	241.42	0.20	250.16	0.22
2	H	241.90	0.18	247.19	0.25
1	V	251.14	0.14	255.72	0.13
2	V	247.46	0.12	250.45	0.28

3.1.5 大豆地积雪微波辐射测量

测量点大豆地的特征：裸土，有秸秆呈垄状，收割完大豆，顺垄向观测。雪深：垄沟：18cm，17，18.5cm；垄台：3cm，1cm，4cm，垄距 65cm。

大豆地样地编号为样地 3，如图 3.6 所示。



图 3.6 大豆地样地 3 图片

表 3.9 大豆地样地 3（天线方向顺垄沟观测）观测结果

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
14:33	30	V	243.03	0.20	226.64	0.23
14:38	40	V	242.36	0.07	226.59	0.21
14:41	50	V	241.41	0.10	225.54	0.17
14:46	60	V	236.56	0.08	223.57	0.11
14:53	60	H	213.45	0.16	195.54	0.19
14:59	50	H	224.62	0.15	207.40	0.29
15:01	40	H	232.45	0.07	215.36	0.07
15:05	30	H	236.72	0.14	218.61	0.10

表 3.10 大豆地样地 3（天线方向垂直垄沟观测）观测结果

时间	观测角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
15:45	30	H	236.99	0.06	221.32	0.07
15:52	40	H	233.33	0.31	217.85	0.32
15:58	50	H	226.31	0.05	210.60	0.28
16:02	60	H	215.51	0.16	201.58	0.10
16:06	60	V	236.54	0.10	226.98	0.18
16:10	50	V	240.61	0.12	228.73	0.25
16:14	40	V	243.48	0.18	231.50	0.49
16:16	30	V	241.98	0.09	228.67	0.12

将微波辐射计架设在北京师范大学的遥感车上，在样地 4 上进行混合像元的探测，如图 3.7 所示。

此时，天色已黑，与北师大多数微波辐射计的像元对准有一定的差异。测量结果如表 3.11 所示。天线观测角度为 66° ，水平极化方式。



图 3.7 微波辐射计架设在北师大遥感车上在大豆地（样地 4）进行混合像元探测

表 3.11 大豆地（样地 4）混合像元探测结果

时间	面积比例	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
17:20	6/8	206.87	0.05	185.20	0.12
17:32	5/8	208.22	0.08	187.98	0.11
17:47	4/8	216.54	0.05	198.31	0.17
17:59	3/8	217.04	0.08	201.11	0.06
18:13	2/8	218.43	0.09	209.00	0.13
18:23	1/8	217.75	0.06	209.64	0.10
18:29	0	220.03	0.08	213.95	0.10

表 3.12 大豆地（样地 4）混合像元探测时温度测量数据

时间	17:08	17:20	17:36	17:50	18:05	18:20	18:30	18:35
裸土比例	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	8/8
空气温度	-20.2	-19.5	-20.6	-21.5	-22.1	-21.9	-20.3	-20.5
雪层温度	上层	-21.4	-21.7	-22.4	-24	-26.2	-26.8	-25.6
	中层	-10.6	-11.1	-16.9	-16.2	-11.4	-9.8	-14.5
	下层	-7.6	-9.5	-10.8	-9.9	-6.4	-7	-7.2
土壤温度	-6.8	-8.4	-8.3	-8.2	-6.4	-6	-6.6	-6.5
备注：裸土部分温度-11.2℃								

3.2 水田积雪微波遥感实验

2010年1月25日实验移师到吉林省东部吉林市附近的大绥河水库，地理位置：经度：126° 18' 30"，纬度：43° 51' 04"，海拔高度 202m。下垫面介质为水田。在该区域有不同厚度的积雪，积雪厚度 20cm 至 50cm，通过仪器的移动探测不同厚度的积雪。实验过程天空晴朗。

3.2.1 实验样点

实验场景如图 3.8 所示。水田土壤样本编号为：1.25-1 和 1.25-2。水田下垫面粗糙，凹凸不平。整个实验的雪表面都比较粗糙，呈微起伏状，表层雪比较硬实。



图 3.8 水田积雪微波遥感实验场景图

3.2.2 积雪辅助参数测量

表 3.13 (a) 水田积雪密度测量结果

第一次测量			第二次测量		
雪厚度	雪湿度 (%)	雪密度 (g/cm ³)			
5cm	0.689	0.3086	5cm	0.232	0.1894
10cm	0.358	0.218	10cm	0.117	0.2024
15cm	0.113	0.1682	15cm	0.113	0.1705
20cm	0.225	0.1533	20cm	0	0.2064
25cm	0.693	0.1597	25cm	0.478	0.2069
30cm	0.872	0.0928	30cm	0	0.1465
35cm	0	0.2285			

表 3.13 (b) 水田积雪辅助参数测量数据 (粒径单位: mm)

粒径时间	粒径对应文件夹	粒径 1	粒径 2	粒径 3		平均粒径
-13: 29 到 4	1	1.24	1.52	1.26		1.34
-13: 31 到 8	2	1.74	1.42	1.66		1.61
-13: 33 到 12	3	1.52	1.48	1.80		1.60
-13: 40 到 16	4	2.96	3.38	2.60		2.98
-13: 46 到 20	5	3.56	3.26	2.88	1.68	2.85
-13: 49 到 24	6	1.28	1.64	1.82		1.58
-13: 56 到 30	7	1.83	1.76	2.32	1.33	1.81
-14: 01 到 32	8	1.55	1.44	1.68		1.56
-14: 10 到 36	9	1.74	2.06	1.88	1.17	1.71
-14: 16 到 40	10	2.29	2.20	1.25		1.91
到 46	11	3.16	3.00	4.12		3.43
到 50	12	1.62	1.28	1.10	1.34	1.34
到 54	13	1.16	1.38	1.24		1.26
-15: 01 到 4	14	1.70	2.26	1.90	2.05	1.98
-15: 03 到 8	15	2.17	2.16	1.97		2.10
-15: 05 到 12	16	2.21	1.49	1.86		1.85

-15: 06 到 16	17	1.92	1.60	2.60	2.49	2.15
-15: 18 从 21 到 24	19	1.58	1.99	2.33	1.76	1.92
-15: 20 到 28	20	1.68	1.42	2.15		1.75
-15: 25 到 32	21	1.84	2.15	1.60		1.86
-15: 09 从 17 到 20	18	2.44				2.44

3.2.3 环境温度测量

在样点区对积雪剖面进行了温度测量，如图 3.9 所示，测量结果如表 3.14 所示。从田埂边往田里边雪深下降，温度计插在一个雪深渐变的地方，插了三组，每一组的雪深不同，字段头中的高度是离地面的高度。

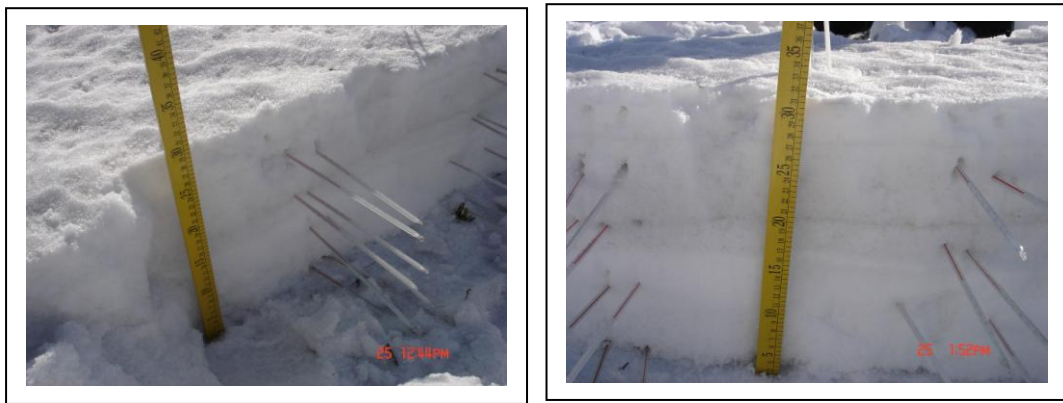


图 3.9 积雪温度测量

表 3.15 积雪温度测量结果

时间	28cm				31cm			
	底部	10cm	16cm	22cm	底部	10cm	17cm	24cm
12:12	-6.5	-9.2	-10	-13	-3.5	-9.8	-12	-12
	-5.5	-9.5	-10.6	-12.5	-3.5	-9.8	-12	-11
12:40	-6.5	-9.5	-10	-12.5	-3.5	-10	-12	-12
	-5.5	-10	-11	-13	-3.5	-9	-12	-10.2
13:10	-6	-9.8	-10.5	-13.2	-3.5	-10.5	-12	-12
	-7	-10.2	-11.5	-12.6	-3.5	-9.5	-12	-12.5
13:40	-6	-10	-11	-13	-3.5	-9.5	-11.8	-11.5
	-7.2	-10.5	-11.8	-13	-3.5	-10.5	-11.5	-10.5
14:10	-6	-11	-12	-12	-3.5	-10	-11	-11.5
14:48	-6	-11	-12.5	-12.5	-3.5	-10	-11	-11.8
15:20	-6	-11	-12.5	-13	-3.5	-9.5	-11	-12
15:50	-6.5	-11.5	-13	-13.5	-3.5	-9.5	-11	-12.5
16:14	-6.5	-11.5	-13	-14	-3.5	-9.5	-11.5	-13

16:37	-6.5	-11.8	-13.5	-14.5	-3.5	-9.5	-11.5	-13.2
17:00	-6.5	-11	-14	-15	-3.5	-9.5	-12	-14

续表 3.15

时间	38cm				气温	
	底部	11cm	22cm	33cm	-14	-12.5
12:12	-4	-7.5	-9	-11		
	-4.2	-7.5	-9.5	-10		
12:40	-4	-7.5	-9.5	-10	-14.5	-13
	-4.5	-8.5	-9.5	-10		
13:10	-4.5	-9	-8.5	-10.5	-13	-14
	-4.5	-7.8	-9	-9.5		
13:40	-4.5	-9.5	-8	-10.5	-14	-12.5
	-4.5	-8	-9	-9.5		
14:10	-4.5	-9.5	-13	-10.5	-14	-12.5
14:48	-4.5	-8.5	-13	-11	-14.5	-13.5
15:20	-4.5	-8.5	-13.5	-11.5	-13.5	-14.5
15:50	-4.5	-8.5	-13.5	-12.5	-15	-14.2
16:14	-4.5	-8.5	-13.5	-13	-17	-16
16:37	-4.5	-8.5	-13.8	-13.5	-18	-17
17:00	-4.5	-9	-14	-14	-19	-17.5

3.2.4 微波辐射测量

进行雪深测量时,共分三次。第一次的雪厚为 34cm,第二次的雪厚为 37.2cm,第三次的雪厚度为 41.2cm,观测角度 50°。测量结果分别如表 3.16 所示。

表 3.16 水田雪厚微波辐射测量结果

时间	积雪厚度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5 GHz (K)	σ (K)
12:13	34cm	V	238.77	0.10	215.32	0.39
12:26	34cm	H	227.95	0.18	209.87	0.59
12:37	37.2cm	H	230.48	0.13	211.16	0.08
12:44	37.2cm	V	237.10	0.12	217.11	0.14
12:59	42.1cm	V	239.02	0.09	222.14	0.11
13:06	42.1cm	H	230.43	0.11	207.53	0.12

将仪器移至较大平整的空间,积雪厚度 6-10cm,平均雪深为 8cm。积雪平面较粗糙,如图 3.10 所示。测量结果如表 3.17 所示。



图 3.10 水田积雪微波辐射测量

表 3.17 水田积雪极化特性测量数据

时间	入射角度	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5GHz (K)	σ (K)
13:23	30	H	243.24	0.06	229.34	0.16
13:32	40	H	240.95	0.19	225.90	0.14
13:39	50	H	237.24	0.07	218.75	0.15
13:47	60	H	231.13	0.14	208.31	0.34
13:57	60	V	238.94	0.17	218.06	0.09
14:02	50	V	242.84	0.10	224.27	0.46
14:07	40	V	244.79	0.09	229.51	0.11
14:13	30	V	245.37	0.17	231.42	0.18

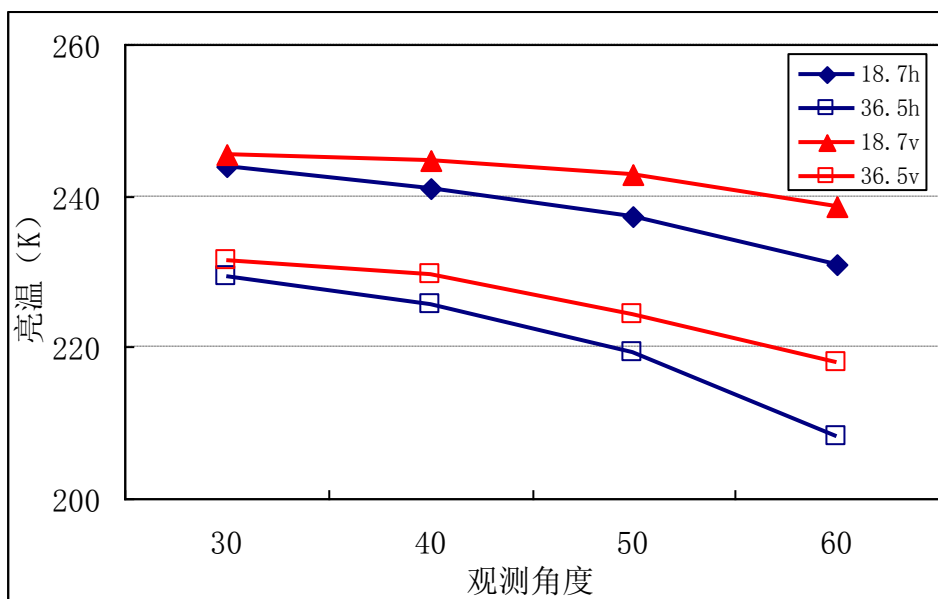


图 3.11 水田积雪极化特性测量曲线

在上述样地进行混合像元的测量，天线入射角 50° ，结果如表 3.18 所示。混合像元观测如图 3.12 所示。



图 3.12(a) 3/4 混合像元



图 3.12(b) 1/2 混合像元



图 3.12(c) 1/4 混合像元



图 3.12(d) 0 混合像元

表 3.18 水田混合像元测量数据

时间	雪面积比例	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5GHz (K)	σ (K)
14:35	0.75	V	243.29	0.19	226.59	0.63
15:07	0.75	H	236.63	0.07	219.90	0.18
15:18	0.50	H	237.90	0.05	227.87	0.15
15:27	0.50	V	243.05	0.05	232.67	0.20
15:37	0.25	V	244.64	0.10	241.55	0.13
15:42	0.25	H	239.13	0.09	237.46	0.09
15:51	0.00	H	240.00	0.07	238.62	0.11
15:57	0.00	V	246.43	0.11	246.87	0.15

样地下垫面介质特性如表 3.19 所示。其中包括土壤上面有很薄的雪粒和完全的裸土。如图 3.13 所示。



图 3.15(a) 含有薄雪的下垫面



图 3.15(b) 除掉雪层的裸土

表 3.19 水田下垫面不同状态的观测数据

下垫面的状态	时间	极化方式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5GHz (K)	σ (K)
a	16:05	V	244.72	0.24	246.48	0.14
	16:09	H	230.22	0.12	234.10	0.51
b	16:21	H	227.96	0.13	231.90	0.28
	16:26	V	243.12	0.13	245.19	0.15

在水田样地的积雪，由于风和温度的作用，经过几次的融化再结冻过程，雪粒径比较大，呈现冰晶状态。如图 3.16 所示。为了测量积雪的辐射与散射，取一个样品，厚度 7cm，在入射角为 30 度时进行垂直极化方式测量，结果如表 3.20 所示。



图 3.16 积雪样品辐射特性测量

表 3.20 积雪样品辐射特性测量

测试状态	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5GHz (K)	σ (K)
无雪样	245.37	0.17	231.42	0.18
有雪样	243.38	0.16	222.08	0.15

为了进一步测量积雪的散射和辐射与厚度的特性关系，在地表的水平方向

进行取样，然后去掉不同样品，在与天线相对应的方向放上黑体，测量有无黑体时辐射计的输出。测量过程如图 3.17 所示。(a)为 90cm 的雪样品；(b)雪样纵向尺度无穷大；(c)雪样纵向尺度 3m。 测量结果如表 3.21 所示。



图 3.17a 90cm 雪样



图 3.17b 无限大雪样



图 3.17c 3m 雪样

表 3.21 雪样微波辐射特性测试

雪样形式	18.7GHz (K)	σ (K)	36.5GHz (K)	σ (K)
90cm 雪样无黑体	180.52	0.40	182.34	0.23
90cm 雪样有黑体 (-17℃)	194.09	0.07	182.32	0.11
无限长雪样	204.20	0.06	185.03	0.27
3m 雪样无黑体	202.31	0.08	196.73	0.13
3m 雪样有黑体 (-19℃)	204.06	0.15	197.00	0.39
2m 雪样无黑体	203.22	\	195.10	0.08
2m 雪样有黑体 (-19℃)	211.09	\	195.37	0.07