水面积为 10.728km^2。

表 5- 1 波密县气象站 1990-1999 年降雨量统计

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
降雨量(*mm*)	907.7	1128.5	714.2	810	847.3	1130.7	1068.4	930.6	1108.8	932.2

5.1.2 区域地质背景

滑坡所在的扎木弄沟位于念青唐古拉山南麓山原区的易贡藏布深切割极高山地貌区，这一地区属青藏“歹”字型构造体系，位于“歹”形构造西藏北部弧形构造南缘的当雄—嘉黎断裂带上，这一区域的地形严格受断裂带控制，易贡藏布 200 余公里长的河谷均沿断裂带发育。在扎木弄沟以东，当雄—嘉黎断裂带与北东向的林芝断裂交叉，构成“人”字型活动断裂带，形成著名的通麦—林芝地震带，历史上曾多次发生强地震，据历史地震记录，1938~1967 年的 30 年中，该带发生大于等于 6 级的地震 8 次，该带的地震活动对区内的滑坡、泥石流的形成、发育和活动有重要影响。滑坡区及周围主要为石炭～二叠系深变质的大理岩、板岩及通麦花岗片麻岩，经印支期、燕山期以及后来的喜山期等多期造山运动强烈褶皱变质而成。

5.2 易贡滑坡遥感监测数据源和数据处理

5.2.1 卫星遥感数据

易贡滑坡监测中使用了多种平台的遥感数据，以期能尽量多地获取滑坡变化信息，在监测过程中使用的遥感数据有 6 种：*TM5*、*ETM*、*SPOT2*、*SPOT4*、*CBERS-1*、*IKONOS*，具体类型、接收时间及分辨率见表 5- 2。

5.2.2 地面控制数据

地面控制数据主要用于图像几何精纠正和数字高程模型生成，使用了两种地面控制数据，一是滑坡前的地形数据，使用扎木弄沟周边地区 1:10 万地形图，二是扎木弄沟滑坡发生后的地形数据，采用 GPS 现场实测资料。

易贡滑坡和易贡湖、易贡河下游受影响地区涉及的地形图有：*H-46-70*、*H-46-71*、*H-46-82*、*H-46-83*、*H-46-94*、*H-46-95* 共 6 幅，在 *AutoCAD* 下进行数字化并将结果导入 *Arc/Info* 中。

野外*GPS*实测的控制点基本覆盖了滑坡体所能到达的大部分地区，实测GPS点共有 117 个，其位置见图 5- 2，三维坐标见表 5- 3。

表 5-2 易贡滑坡监测中使用的卫星数据

卫星	数据类型	分辨率	接收时间
TM5	多光谱	30*m*	11/15/1998
TM5	多光谱	30*m*	12/17/1998
CBERS-1	多光谱	20*m*	4/13/2000
SPOT4	多光谱	20*m*	5/4/2000
CBERS-1	多光谱	20*m*	5/9/2000
IKONOS	多光谱	4*m*	5/9/2000
ETM	多光谱	15*m*/30*m*	5/20/2000
SPOT2	多光谱	20*m*	6/16/2000
IKONOS	多光谱	4*m*	9/20/2000
IKONOS	多光谱	4*m*	10/20/2000
ETM	多光谱	15*m*/30*m*	12/30/2000

表 5-3 实测 GPS 点

编号	纬度 (°)	经度 (°)	高程 (m)	编号	纬度 (°)	经度 (°)	高程 (m)
1	30.180000	94.918972	2261.40	*60*	30.195000	94.953417	2509.40
2	30.173750	94.936278	2350.00	*61*	30.194417	94.953139	2508.90
3	30.164250	94.976472	2107.10	*62*	30.193528	94.952472	2499.80
4	30.164389	94.976611	2141.20	*63*	30.192972	94.952056	2501.20
5	30.167333	94.975278	2145.50	*64*	30.192389	94.951778	2503.60
6	30.168056	94.973889	2153.00	*65*	30.192000	94.951556	2502.40
7	30.171722	94.969722	2195.30	*66*	30.191611	94.950861	2503.90
8	30.174833	94.967750	2226.80	*67*	30.191222	94.950722	2497.40
9	30.175333	94.966611	2239.30	*68*	30.191056	94.950472	2493.30
10	30.178583	94.962556	2293.10	*69*	30.190778	94.948972	2456.30
11	30.178944	94.962667	2296.00	*70*	30.190667	94.948306	2442.10
12	30.184722	94.959889	2367.00	*71*	30.190417	94.947639	2437.50
13	30.185583	94.959222	2387.30	*72*	30.190389	94.947389	2426.20
14	30.186333	94.958667	2140.40	*73*	30.190333	94.946917	2412.50
15	30.187528	94.958000	2438.70	*74*	30.190250	94.946639	2408.00
16	30.187556	94.957944	2439.00	*75*	30.189444	94.945972	2395.50
17	30.188083	94.958111	2446.70	*76*	30.189000	94.945222	2394.50
18	30.188444	94.958111	2458.20	*77*	30.188111	94.943917	2389.70
19	30.188583	94.958111	2463.50	*78*	30.187750	94.943528	2381.10
20	30.188750	94.958111	2470.00	*79*	30.187528	94.943222	2371.70
21	30.188806	94.958139	2472.00	*80*	30.187139	94.942778	2356.10
22	30.188944	94.958167	2476.50	*81*	30.186694	94.941694	2341.20
23	30.188972	94.958167	2475.00	*82*	30.186500	94.941250	2335.90

24	30.188972	94.958056	2475.00	83	30.186333	94.940861	2328.90
25	30.189111	94.959056	2489.40	84	30.186278	94.940639	2325.30
26	30.189194	94.959278	2490.00	85	30.185556	94.939222	2316.40
27	30.189194	94.960222	2498.80	86	30.184778	94.938306	2305.10
28	30.189306	94.960500	2494.20	87	30.184389	94.938111	2292.90
29	30.189694	94.960861	2489.90	88	30.182500	94.937806	2230.40
30	30.189833	94.960944	2485.40	89	30.182083	94.938333	2231.60
31	30.191472	94.962056	2503.00	90	30.180556	94.939778	2230.10
32	30.190944	94.961472	2468.50	91	30.180444	94.939833	2229.20
33	30.192139	94.961250	2506.50	92	30.180083	94.940389	2229.60
34	30.192167	94.961278	2506.30	93	30.179722	94.940778	2232.80
35	30.192528	94.961028	2513.70	94	30.179250	94.940861	2237.10
36	30.193222	94.960972	2519.00	95	30.178444	94.941722	2243.30
37	30.193806	94.961139	2522.60	96	30.178667	94.941889	2250.80
38	30.195417	94.961639	2565.40	97	30.178444	94.942389	2250.60
39	30.195583	94.961639	2587.00	98	30.178250	94.942167	2242.40
40	30.196667	94.962250	2597.80	99	30.177694	94.942167	2231.10
41	30.197194	94.962722	2618.50	100	30.177250	94.942056	2230.40
42	30.197333	94.963472	2617.80	101	30.177111	94.942083	2226.80
43	30.199500	94.964250	2656.70	102	30.176639	94.942611	2222.20
44	30.199806	94.964583	2669.40	103	30.176389	94.942861	2218.80
45	30.200444	94.964917	2683.90	104	30.175056	94.944500	2208.50
46	30.200583	94.965000	2686.00	105	30.174694	94.944861	2207.10
47	30.201361	94.966000	2687.50	106	30.174333	94.945472	2203.90
48	30.202056	94.965389	2688.20	107	30.174250	94.945750	2204.90
49	30.200944	94.965861	2688.90	108	30.173667	94.947333	2212.30
50	30.200361	94.965722	2681.00	109	30.172806	94.948528	2209.90
51	30.197833	94.959250	2588.00	110	30.172222	94.949556	2204.70
52	30.197472	94.957750	2558.70	111	30.171278	94.951056	2203.70
53	30.197389	94.957222	2548.60	112	30.169778	94.952583	2195.50
54	30.197278	94.957028	2545.00	113	30.169139	94.954111	2184.20
55	30.197056	94.956556	2542.60	114	30.168528	94.954917	2182.30
56	30.196667	94.956028	2540.90	115	30.167806	94.955889	2182.50
57	30.196139	94.954917	2528.10	116	30.167083	94.958583	2181.10
58	30.195778	94.954333	2523.60	117	30.166806	94.962167	2176.50
59	30.195139	94.953667	2513.50				

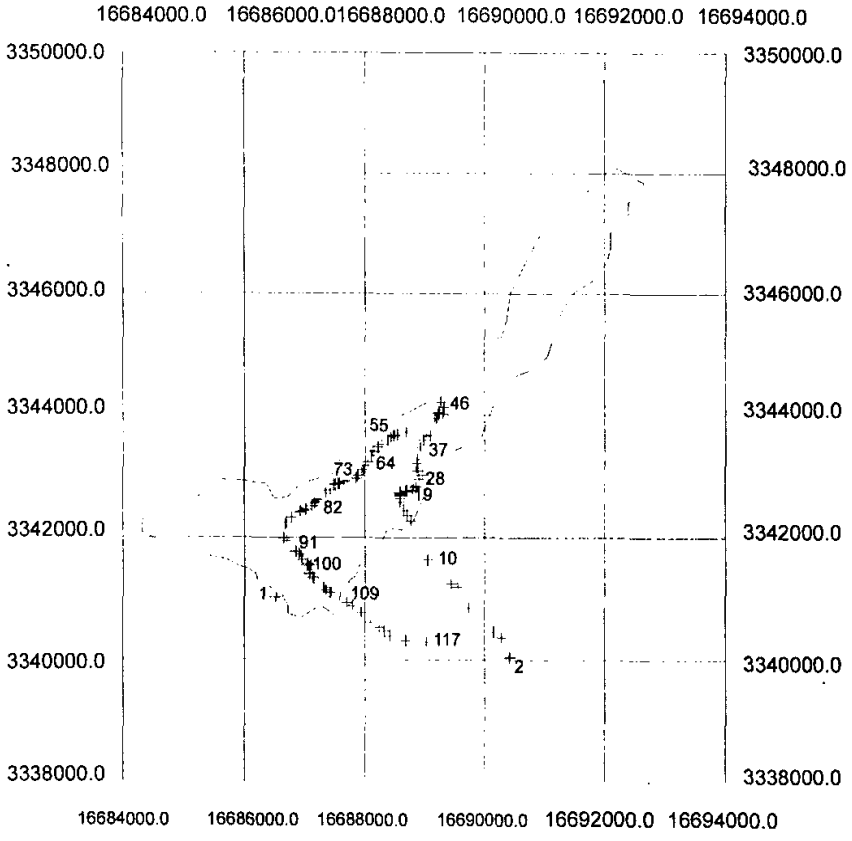


图 5- 2 易贡滑坡实测 *GPS* 点

5.2.3 图像处理

原始卫星遥感数据针对卫星运行过程中产生的各种几何畸变已经进行了几何粗校正，但这些校正对于环境灾害监测而言是不够的，需要使用大地坐标控制点对图像进行几何精校正。几何精校正综合考虑了所有因素造成的几何畸变，可获得高精度的用于定量分析的数字图像。

易贡滑坡图像处理的大地坐标控制点取自地形图，而纸质地形图本身可能有各种误差(形变)，为了将这些误差减为最小，在图像精校正前先校正地形图。具体步骤为：

1) 地形图高精度扫描，形成数字图像；

2) 对数字地形图进行几何校正，地形图纠正为高斯—克里格投影；

3) 将校正好的地形图镶嵌为完整的一幅。

以纠正的地形图为准，对图像进行几何精纠正，每景图像选取约 20 个控制点，这些点均匀分布在图像的各个部位，采用三次褶积法对图像进行重采样，转换几何位置，确定亮度值，最终校正结果的均方差均小于一个象元。

为了方便对比及提高精度，将除 *IKONOS* 数据以外的所有图像重采样为统一空间分辨率的图像（20*m*），图像处理结果见图 5- 3