5-9)，两部分之间形成了一个宽度在70～180m的河道，河道位置与原河道相比，整体向北移动，坝体西侧河道向北移动250～450m，坝体东侧河道向北移动80～180m。滑坡堆积分成两部分：西南部分①和东北部分②；两部分的面积分别为：①的覆盖面积1.790 km^2，②的覆盖面积为2.728km^2。其中东北②部分的东南侧，发育了一条顺坡向的泥石流沟，沟长约1.38km，宽约40～100m，深30～70m，将滑坡堆积②再切分为两块，沟口有新的泥石流堆积扇发育。根据图5-9中的堆积范围进行体积计算，①部分$0.911\times10^8m^3$；②部分体积$1.355\times10^8m^3$。两部分相加，得6月16日易贡滑坡堆积体的覆盖面积为4.518 km^2，体积为$2.226\times10^8m^3$。与溃坝前相比，面积减少了0.155 km^2，这部分面积即是溃坝后，在滑坡堆积体内形成的新的易贡河河道面积；体积减少了$0.227\times10^8m^3$，这部分体积也是溃坝一周内洪水带到下游的泥沙的主要部分。

滑坡发生到滑坡坝溃决后，易贡滑坡总体的变化情况见图5-11。

(7) 2000年12月30日

滑坡堆积物的顶部没有变化，河道部分有变化，见图5-12，河道与6月17日相比，河床位置明显向南摆动，上游河道变窄，南岸向前移动距离最大约50m，北岸向前移动最大近20m；下游两岸均向南移动，最大距离分别为：南岸44m，北岸72m。滑坡堆积体的面积变小，具体数据为：①部分1.696 km^2，②部分2.715 km^2，总面积4.411 km^2，与6月16日相比，面积减少0.107 km^2。滑坡堆积体体积分别为①部分$0.901\times10^8m^3$，②部分$1.310\times10^8m^3$，总的体积为$2.211\times10^8m^3$，较6月17日减少了$0.015\times10^8m^3$。表明易贡河床虽有摆动，但已处于较稳定的自然侵蚀状态。这一结果与一般的河流的凹岸冲刷，凸岩堆积不同，主要原因是，②部分的堆积体较散，在降雨和雪融水的作用下，不断坍塌，迫使河床位置向南移动。

5.3.3 易贡湖变化遥感监测

（1）易贡湖湖面变化和水量计算

易贡湖及其周边的地物可分为三大类：水体、土地（包括岩体和土体）、积雪。湖水水体光谱特征与土地和积雪截然不同，图5-7为*SPOT*多光谱合成图像上这三类地物的光谱特征。根据水体的光谱特征，通过编程完成水体的自动提取。剔除易贡藏布上、下游河道水体部分后，得到易贡湖水体范围，并计算出湖水面积，易贡湖面积计算结果见表5-4和图5-13。

可使用三维滑坡中体积计算功能求各个时期滑坡堰塞湖中的水量，相当于求解滑坡模型中挖/填方方量，计算中使用各个时期的水面高程为顶面，滑坡发生之前的数字高程模型作为计算底面。

水面高程是根据湖水边界线滑坡前数字高程模型中的位置确定的，提取出湖面范围后，通过高通滤波，确定出湖水边界线，根据边界线的空间坐标在*DEM*上求出各点的高程，并取平均值作为水面高程，

需要说明的是，水量计算是以滑坡前湖面高程（*DEM*生成时使用的地形图高程）为基准面进行的，所得的水量应是滑坡发生后入湖的水量，易贡湖的实际库容应该是上述计算水量加上滑坡发生以前湖内的水量；实际分析表明，滑

坡前易贡湖内水量约为 $0.7\times10^8m^3$（万海斌，2000，殷跃平，2000），实际水力计算时应纳入这部分水量。

表 5- 4 易贡滑坡前后易贡湖变化统计

编号	监测时间	易贡湖水面积 (km2)	水面高程 (m)	增加的水量 (10^8m^3)
1	1998-12-17	10.728	2210	0.000
2	2000-04-13	18.909	2214	0.854
3	2000-05-04	33.659	2225	5.143
4	2000-05-09	36.32	2228	7.062
5	2000-05-12	37.979	2229	7.707
6	2000-05-20	43.121	2234	12.345
7	2000-06-10*	52.855	2270	22.590
8	2000-06-16	20.335	2216	1.178
9	2000-12-30	9.280	2209	-0.267

易贡湖水面变化特征表明，从滑坡发生（20002.4.9）到溃坝（2002.6.10）两个月的时间内，易贡湖的面积由滑坡前的 $10.7km^2$，水位 2210m，上升到溃坝前的 52.855km，水位 2270m。水量计算结果表明，两个月内入湖的总水量为 $22.59\times10^8m^3$。溃坝后，这些水量加上冲开滑坡坝时所挟带的泥沙，成为总体积约 $23\times10^8m^3$ 特大规模携沙洪水。

（2）溃坝水力学计算

水力学计算的项目包括：决口宽度、洪峰流量、流速、下游洪峰流量、洪水到达历时。

① 决口宽度（b）

利用美国气象局的简化溃坝洪水预报模型（*Costa*，1988，王永兴，1995）计算溃坝决口宽度：

$$b=0.47K_0H(\frac{V}{H^3})^{0.25}$$

式中：V 为水量（m^3），H 为决口水深（m），K_0 为系数。

②最大洪峰流量（Q_{max}）

按宽顶堰计算

$$Q_{\max}=mb\sqrt{2g}(H+\frac{\alpha v^2}{2g})^{\frac{3}{2}}$$

式中：m 为系数；α 为水头损失系数；H 为坝前水深（m）；v 为流速（m/s）。

采用 *Stocks* 公式计算

$$Q_{\max}=\frac{8}{27}\sqrt{g}(\frac{B}{b})^{\frac{1}{4}}bH^{\frac{3}{2}}$$

式中：B 为坝体宽度，取 2500m；b 为决口宽度（m）；H 为坝前水深（m），g 为重力加速度（m/s^2）。

③过水断面最大流速

$$v=\frac{Q_{\max}}{bH}$$

式中：b 为决口宽度(m)，H 为坝前水深(*m*)。

④下游洪峰流量(Q_{LM})

$$Q_{LM}=\frac{V}{\frac{V}{Q_{\max}}+\frac{L}{uK}}$$

式中：Q_{LM}为洪峰到达 L 处时的洪峰流量(m^3/s)；V 为库容(m^3)；L 为距坝址距离(*m*)；u 为河流最大流速(*m/s*)；K 为修正系数。

⑤洪峰到达时间

$$t=K_2\frac{L^{1.4}}{V^{0.2}H^{0.5}h_M^{0.25}}$$

式中，K_2为系数；h_M为河道平均水深；L 为距坝址距离(*m*)，H 为决口水深(*m*)，V 为河水流速（*m/s*)。

按①～⑤式计算 2000 年 6 月 10 日、7 月 8 日两种水位情况下溃坝的上述参数，并与大坝和通麦大桥 2000 年 6 月 10 日的观测结果对比，见表 5- 5。

表 5- 5 中决口宽度是在卫星影像上量取的决口宽度的最小值（约 138.86*m*)；洪峰流量、流速、洪峰到达通麦大桥（距坝址 19*km*）时的最大流量和到达时间根据现场观测记录确定。表中计算结果较实际值略小，误差分别为-9.4%（决口宽度)、4.47%和 1.81%（洪峰流量)，3.08%（洪峰到达通麦大桥时流量)、4.6%（洪峰到达通麦大桥时间)。但从总体上看，计算结果能够反映溃坝时的基本情况。

表 5- 5 水力计算的结果与实测值

时间	决口宽度(*m*)	洪峰流量(m^3/s)		流 速（*m/s*）		洪峰到达通麦大桥流量(m^3/s)	洪峰到达通麦大桥时间(分)
		宽顶堰	*Stocks* 公式	宽顶堰	*Stocks* 公式		
6 月 10 日(计算值)	138.86	118453	121758	23.06	25.71	116302	33.38
6 月 10 日(实测值)	128	124000				120000	35
7 月 8 日（计算值)	185.92	248200	327093	25.43	26.62	226412	29.70

计算表明，如果不采取工程措施，让水漫流过坝，则一旦溃坝(估计在 2000 年 7 月 8 日左右)，最大洪峰流量将比实测值大近一倍，对易贡湖下游造成的危害将是难以估计的。

5.3.4 溃坝洪水诱发灾害遥感监测

易贡湖溃决给下游带来严重的经济和生态灾难，遥感图像显示易贡河及下游的迫隆藏布及雅鲁藏布江均穿行在高山峡谷中，河道的纵比降大，挟沙水流下泄的速度高，影响距离也长；据 6 月 16 日卫星图像解译结果，溃坝洪水影响