

# TM 图象在大型水库库情监测 管理中的应用\*

刘建波 戴昌达

(中国科学院遥感卫星地面站 北京 100086)

**摘要** 本文以北京密云水库为例,结合5个时相的遥感影像数据,初步探讨了TM数据在大型水库管理中可能应用的若干方面和具体方法。研究表明, TM 图象在监测水库水面积变化、估算水库蓄水量、研究水库库底形态、分析水库周围生态环境等方面都有很大的应用潜力。利用 TM 数据进行水库库情监测管理,具有速度快、效果好、成本低的特点,应在水库管理部门大力推广使用。

**关键词** 遥感, TM 图象, 库情监测

## 1 引言

我国天气受东亚季风影响,降雨量不仅地区分布不均匀,而且同一地区的年内、年际变幅都很大,因此建设并管好用好水库,对缓解旱涝灾情,调节常年正常供水有着重要的意义。我国已经建成数以百计的大中型水库,而对水库的监测管理基本上仍沿用常规水文学方法。能否应用具有丰富光谱信息、较高空间分辨率的 TM 图象作为信息源,并以此为基础建立库情监测管理信息系统,是一个值得探讨的问题。

1994年汛期,北京地区降了几场大、暴雨,作为北京主要供水源的密云水库水位猛涨,蓄水量大幅增加,这对缓解北京市的供水矛盾将产生重大作用,但同时也淹没了水库周围不少农地和村庄,给当地人民造成了相当大的经济损失。不同时期过境的陆地卫星专题制图仪(简称 TM)客观地记录下这些情况,使我们萌生了以密云水库为例,探索 TM 图象在大中型水库库情监测管理中应用可能性的想法。试验研究中共使用5个时相的 TM 图象数据,其中1987.9.26代表枯水年份水库状况,1994.2.1, 4.6, 6.9反映1994年汛前水库蓄水量不断减少的情况,1994.8.28则反映了汛期水库涨水,周岸洼地发生洪涝的事实。

## 2 水库水面积变化的监测

由于水体强烈吸收红外线,所以水面在 TM4、5、7几个波段的灰度值都很低,特别是7波段几乎趋近于0<sup>[1]</sup>。因此,在这几个波段上,水体与陆地影象形成强烈反差,水

\* 论文写作过程中得到密云水库管理处张承炜先生的热情帮助,特此致谢。

收稿日期:1995年4月20日;收到修改稿日期:1995年8月12日

陆边界非常鲜明，只需通过简单的计算机密度分割便可以确定出水面的分布范围。进行统计处理，算出水面的象元数后，再将象元数乘以每个象元所覆盖的面积，即可得到水库水面面积。我们对密云水库 5 个时相 TM 图象的红外波段(TM7)进行密度分割与统计处理，得出各个时期水库实际水面积数(表 1)。

表 1 密云水库不同时期实际水面积  
Table 1 Water area of Miyun reservoir in different time

时 相	象 元 数	每象元面积 (m <sup>2</sup> ) <sup>*</sup>	水面积 (km <sup>2</sup> )
1987 .9.26	128034	812.25	103.996
1994 .2.1	214013	625.00	133.758
1994 .4.6	211913	625.00	132.446
1994 .6.9	199089	625.00	124.431
1994 .8.28	254001	625.00	158.751

\* 1994 年前，地面站老系统进行预处理获得的图象象元尺寸为 28.5<sup>2</sup> m<sup>2</sup>。1994 年后，地面站新系统可生产两种产品：georeferenced 产品，象元尺寸为 30<sup>2</sup> m<sup>2</sup>；geocoded 产品，象元尺寸为 25<sup>2</sup> m<sup>2</sup>。

为了更直观地了解水面变化，我们对 1994 年汛前、汛期两景图象进行复合处理。在几何配准后，取 6 月 9 日的 TM7，8 月 28 日的 TM4，8 月 28 日的 TM2，分别赋红、绿、蓝色合成彩色图象(图版 I 图 1)。图中，红色为汛期上涨新增的水面，蓝黑色为汛前枯水期仍保持的水面，绿色为植被覆盖区，黄色为裸地。由表 1、图版 I 图 1 可知，1994 年汛期密云水库的实际水面积比当年 6 月 9 日的汛前低水位期扩大 34.32km<sup>2</sup>，比枯水年(1987 年 9 月 26 日)扩大近 55 km<sup>2</sup>，增幅可达 50% 左右。

### 3 水库蓄水量变化的估算及其与水位的关系模型

库情监测的另外一个重要内容是蓄水量变化。蓄水量是水面面积和水深的函数。由于库岸不规则，坡降不一，库底起伏淤积程度不同且随时间推移而有所变化，用常规方法测算的蓄水量误差较大。如上所述，通过对多个时相(水位)的水库 TM 图象进行密度分割和统计处理，可以获得比较精确的水面面积数，而水面面积与水位、蓄水量存在确定的变化关系：

设  $S = mH + b$ ， $S$  为水面面积， $H$  为水位。根据一定数量的  $n$  组数据  $(S_1, H_1)$ ， $(S_2, H_2)$ ，……， $(S_n, H_n)$ ，应用回归分析方法便可确定参数  $m$ (量纲为  $m$ ) 和  $b$ (量纲为  $m^2$ )。

$$\text{系数 } b = \bar{S} - m\bar{H}, \quad m = \frac{F_{HS}}{F_{HH}}, \quad \text{相关系数: } \gamma = \frac{F_{HS}}{\sqrt{F_{HH} \cdot F_{SS}}}$$

$$\text{其中: } F_{HH} = \sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}, \quad F_{SS} = \sum S^2 - \frac{(\sum S)^2}{n}, \quad F_{HS} = \sum H \cdot S - \frac{\sum H \cdot \sum S}{n}$$

当水位由  $c$  变至  $d$ ，水库的蓄水量变化  $V_{dc}$  为：

$$V_{dc} = \int_c^d SdH = \int_c^d (mH + b)dH = \frac{1}{2}m(d^2 - c^2) + b(d - c) \quad (1)$$

若已知水位为  $c$  时水库的蓄水量为  $V_c$ ，则水位为  $d$  时水库蓄水量  $V_d$  为：

$$V_d = \int_c^d SdH + V_c = \int_c^d (mH + b)dH + V_c = \frac{1}{2}m(d^2 - c^2) + b(d - c) + V_c \quad (2)$$

根据上述 1987 和 1994 年间 5 个时相 TM 图象提取出的水面面积  $S$  和密云水库管理处在相同日期实测得到的 5 个水位值  $H$  (表 2)，应用回归分析方法，得出该水库的  $m = 3675938 \text{ m}$ ， $b = -409495617 \text{ m}^2$ 。利用上述公式，就可进一步算出，当密云水库水位由 1994 年 6 月 9 日 (汛前) 的 146.16 m 升至 1994 年 8 月 28 日 (汛期) 的 153.82 m 时，水库的蓄水量净增  $10.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

结合水库管理处的历史资料，1987 年 9 月 26 日实测水位为 139m，蓄水量估测为  $13.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，当时距水库建成蓄水年限不很长，此数据应较准确，以此数为基准，又可算出以后各年份的蓄水量 (表 2)。由表 2 看出，遥感估算的 1994 年汛期蓄水量比管理处测算的数值低  $1.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，差距仅为 3%。同时还可看出，密云水库蓄水量的年际、年内变幅都达到相当大的程度，这是值得密切关注的问题。

表 2 密云水库不同时期水位、水面积和蓄水量表

Table 2 Water level, water area and water volume of Miyun reservoir in different time

时 相	水位 $H$ (m)	水面积 $S$ ( $\text{km}^2$ )	总蓄水量 I ( $10^8 \text{ m}^3$ )	总蓄水量 II ( $10^8 \text{ m}^3$ )
1987.9.26	139.00	103.996	13.22	13.22
1994.2.1	148.01	133.758	23.90	23.85
1994.4.6	147.75	132.446	-----	23.50
1994.6.9	146.16	124.431	21.41	21.42
1994.8.28	153.82	158.751	33.33	32.29

注：总蓄水量 I —— 水库管理处测算值，总蓄水量 II —— 遥感估算值

## 4 水库库底形态与水深探测

水库建成以后，每年都有数量可观的泥沙流入 (密云水库为百万吨数量级)，同时水库岸边也会发生不同程度的坍塌或淤积，这样多年以后库底、库岸形态与水深都会发生变化。利用 TM 图象精确分析这种变化目前还存在很大困难，但通过探索实践，我们认为找到了对它进行定性或半定量分析的技术途径。众所周知，蓝、绿光对水有一定的穿透能力，因此，遥感水深主要使用 TM1、TM2 波段。遥感水深时传感器所接收的辐射能量主要由 3 部分组成<sup>[2]</sup>：水底的反射辐射、水气界面的反射辐射以及水体的后向散射辐射。水气界面的反射不随水深变化，同一水库的水底介质一般可认为是一样的，因此，

传感器所接收的能量差异主要取决于光穿透水体的衰减程度，即取决于水深。通过对密云水库多个时相 TM1、TM2 波段遥感影象的数值分析，获得以下几点认识：① 水库的水深遥感应避开汛期，因为这时有大量泥沙流入，水中悬浮物过多，影象的灰度变化不完全反映水深变化；② 在非汛期，由于悬浮泥沙量很少，又由于密云水库水质保护得好，藻类含量很低，水体清澈，TM1、TM2 波段上水域部分的灰阶变化确实主要是水深不同所致，可以反映密云水库的深浅水区分布状况；③ 在水库水位较高时，灰阶变化范围明显减小，这说明即使是蓝绿光，对水的穿透能力也是有限的，因此，宜使用在低水位时成象的遥感影象进行库底形态与水深的探测。

根据以上认识，我们选用 1987 年 9 月 26 日密云水库 TM2 波段图象数据做处理。1987 年属于干旱年份，汛期入库水量少，至 9 月底，水体已相当清澈。在分析该图象直方图的基础上确定阈值，进行密度分割，即获得反映枯水年份 5 级不同深度分布范围的水深图（图版 I 图 2 彩色部分）。然后再套合上根据 1994.8.28 和 1994.6.9 这二景 7 波段确定的水面范围（图版 I 图 2 黑白部分），最后得出全库水深图（图版 I 图 2），图上红色为最深的水区，灰色为最浅的水区，其它依排列次序类推。据水库管理处有关人员介绍，其分布规律符合实际情况。应该说明的是，这幅图仅仅反映水深的相对差异，关于水深的定量探测，尚待进一步研究。

## 5 库区生态环境及 1994 年洪涝灾情初略分析

处理出的 TM 彩色图象还真实地反映了库区生态环境概貌和 1994 年汛期洪涝灾情状况。从图版 I 图 1 可以看出，库区周围长了茂密植被的绿色影象占了绝大比重，只是东北部植被覆盖度很低的黄色影象还有一定比例，那一角库中水层最浅，汛期水体最浑浊，说明密云水库库区周围大部分地区绿树成荫，水土流失基本杜绝。但东北部分丘坡水土流失尚未完全控制，有待进一步加强治理。此外，入库的溪流绝大部分都显示为红色影象，仅见少数蓝色细线，说明汛前基本上都成了涓涓细流，甚至干枯断流，因此，水库上游水源涵养林的建设应该引起有关部门的加倍重视。

此外，对比 1994 年汛前、汛期的 TM 图象及地形图，还可看到，1994 年 8 月水库水位上涨时，库北的黄土坎、石圭村滨库的大片肥沃农田已全部淹没；库西的水保子、石塘路、库东北的金山村、石匣村等村庄或全部被淹，或部分进水；密云县城西农田发生不同程度内涝也历历在目。这表明卫星遥感对汛期水库水位上涨过程是否造成洪涝灾害也是有用的监测手段，同时也说明在千方百计考虑增加水库蓄水量的同时，如何提高库边防洪抗涝能力也是个应该认真研究的问题。

总之，密云水库试验研究获得的结果表明，水库库情监测管理中的许多问题都可以使用 TM 图象数据来解决。另一方面，一般大中型水库的覆盖面积小于  $1024 \times 1024$  象元，一张微机软盘即可装下一个波段，数据费及处理开支不大，因此在各水库管理部门推广使用 TM 数据又具有很大的现实可能性。

## 参 考 文 献

- [1] 戴昌达等. TM 图象的光谱信息特征与最佳波段组合. 环境遥感, 1989, 4 (4): 282 — 291.  
[2] 邹尚辉. 遥感图象专题制图. 华中师范大学出版社, 1990 年.

## 作 者 简 介

刘建波, 男, 1962 年 6 月生, 北京大学遥感与地理信息系统研究所硕士毕业生, 助理研究员。主要从事遥感图象处理与应用工作, 发表的论文有 3 篇。

## The Application of TM Image in Reservoir Situation Monitoring

Liu Jianbo    Dai Changda

(Remote Sensing Satellite Ground Station, CAS Beijing 100086)

**Abstract** By discussing the application of TM image in Beijing Miyun reservoir, this paper give an example of how TM data can be used in reservoir situation monitoring. The results show that TM image is effective in monitoring water area variation, estimating water volume retained, detecting reservoir base shape, and analysing eco-environment around. It is of important significance to spread extensively the use of TM data to reservoir management area.

**Key words** Remote sensing, TM image, Reservoir situation monitoring