

TM 资料水体识别技术的改进

陆家驹 李士鸿

(水利部南京水文水资源研究所)

1990年11月28日收稿

摘 要

本研究从原理方法上分析、讨论、比较了红外单波段和色度判别法识别水体的结果,并引进了“比率测算”法,大大提高了判读精度。

一、试验资料和试验场地

本试验所用的遥感资料为美国陆地卫星5号的 CCT 磁带,成像时间是1987年12月6日。

试验前,先对 CCT 磁带资料进行地理位置纠正等预处理,使之与1:5万地形图配准。各种处理(包括预处理),均在本所的 DIPIX 数字化图像系统上进行。

试验场地选在皖东滁州城西水库上游的清流河流域。地理位置为东经 $118^{\circ}12'$,北纬 $32^{\circ}17'$ 。流域总面积为 82.1 km^2 ,属浅山丘陵区,四周是浅山,中间以丘陵为主,岗、冲、田相间。塘、坝、湖、库星罗棋布,在1:5万地形图上标出的就达390个,其中水面面积小于 5000 m^2 的有304个,占了77.9%¹⁾。更小的水体就更多,根据1981年10月—1982年1月所进行的流域地面实况调查的统计,全流域的塘、坝、湖、库总数为1192个。

二、近红外图像的水体识别原理

国内外许多研究早已证明,近红外波段的遥感信息是确定水体的一种可信的和有效的技术。我们知道,水体的辐射主要来源于水—气界面的反射、水体中悬浮物的反射和水底底面的反射。除此之外,从水面到卫星传感器之间还有一定的天空散射辐射。但就其数量而言,远远弱于太阳的直接辐射,尤其在近红外波段和晴朗之日,更是如此。

在考虑水体悬浮物和水底底面反射时,还必须考虑水体本身的吸收。在近红外波段,穿过水—气界面的太阳辐射大部被水体所吸收,吸收的多少随波长和水深而定。图1是纯净水中各种深度水体的光谱透射率。从图可知,对于深于1m的水体,红外波段的透射率极低。因而,一个观测水体的近红外波段传感器,只能接受到少量辐射,有时甚至没有辐射。

近红外波段的波长不同,对水体的反映效果也不同。如大气窗口为 $2.0\text{—}2.6 \mu\text{m}$ 的

1) 陆家驹,多种遥感资料河网水体的有效解译,水利学报,(待发)。

波段,由于太阳辐射量的减少,并非最佳。值得考虑的是,大部分地物相对水体来说都是强漫射反射体,随着足够的太阳照度,将与黑色水面形成强烈反差。根据国外学者的测试,理想的识别水体的波长应在 $1.5\text{--}1.8\ \mu\text{m}$ 之间^[4]。在该波段,足够的太阳照度既能照亮背景物体,也能对水生植物所封闭的水体增加许多识别条件。

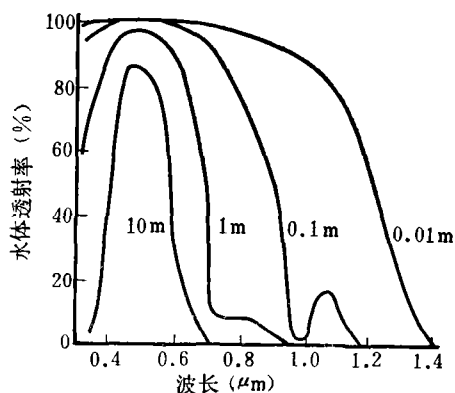


图 1 纯净水中各种深度水体的光谱透射率
Fig. 1 Spectral transmittance of pure water for different depth

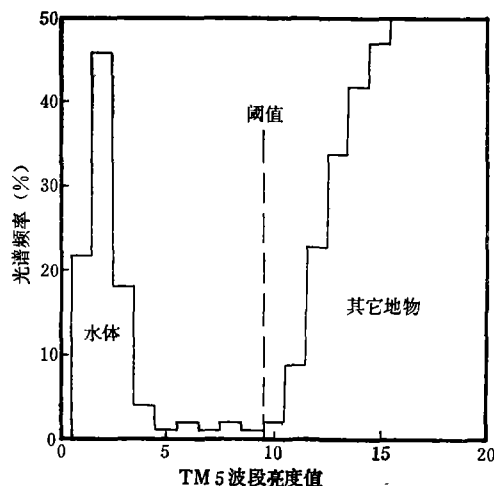


图 2 典型的水体频率分布直方图
Fig. 2 Typical histograms for separating frequency of water

综上所述,近红外波段的水体辐射率明显地单一并低于其它地物。因此,选用一个合适的近红外波段,定出其水体阈值,将低于该值的像元定为水体,高于该值的像元则为非水体,这样就把水体与其它地物区分开了。



图 3 TM5 波段的水体判读图
Fig. 3 Water interpretation map from TM5 data

根据这一原理,我们选用了 TM5 波段为基本波段 ($1.55\text{--}1.75\ \mu\text{m}$)。为了确定水体判别阈值,先进行频率分布直方图分析。从图 2 可见,在水体与非水体之间有一过渡区,为了将各种浅水水体也归入地表水一类,其界线定在非水体起点更为合理。据此得出的水体分布图见图 3。

在检验单波段水体分布成果时,发现所谓的水体尺寸实际上是“可见尺寸”。因为每个像元要么确定为水体,要么为非水体。而事实上,许多像元刚好位于水体周边,这就产生了水面积缩小的问题。按百分比来讲,小水体和形状不规则的(即周长与面积比为高值的)水体,其误差更大。当然,太小的水体也

就无法判别了。按理论来说,大于 $1\,000\text{ m}^2$ 的水体就可识别,这是由 30 m 分辨率所决定的。但实际上能否识别这种水体,取决于该水体是否完全落入一个像元之内。如分布于几个像元,就无法识别了。从我们的研究来看, $1\,000\text{—}4\,000\text{ m}^2$ 之间的水体,要想在单波段上正确区分,还有一定难度,而大于 $4\,000\text{ m}^2$ 的水体,几乎都能识别。

三、色度判别法的原理及方法

为了提高对水体识别的效果,Alfoldi 等人于 1978 年提出了色度判读法,后经多人研究,得到了进一步的完善和发展。其基本原理是,利用卫星资料绿、红和红外波段的综合信息来求得绿色系数和红色系数,从而确定水体位置^[2,3]。

首先从 TM 资料上读出绿、红和红外波段的像元值(即 TM 2, 3 和 4 波段),然后利用下式化为辐射率:

$$R = \frac{D}{D_{\max}} (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min} \quad (1)$$

其中, D 为图像上像元的亮度值; D_{\max} 为最大的像元亮度值,即 255; L_{\max} 和 L_{\min} 分别为传感器测量的最大和最小辐射值,对于我们的图像,可从卫星用户手册上查取(表 1); R 为辐射率,单位是 $\text{mWcm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

然后对整个图像进行色度转换,即分别用绿波段和红波段的辐射值除以绿、红、红外波段辐射值总和,得到绿色系数 x 和红色系数 y :

$$x = \frac{R_{\text{绿}}}{R_{\text{绿}} + R_{\text{红}} + R_{\text{红外}}} \quad (2)$$

$$y = \frac{R_{\text{红}}}{R_{\text{绿}} + R_{\text{红}} + R_{\text{红外}}} \quad (3)$$

将 x 和 y 点绘成图,就叫做陆地卫星色度坐标 (Landsat Chromaticity Coordinates)。在这一坐标系统中,已定出了一条曲线,它具体地标志着水体在色度坐标中的集结位置(图 4)。因此,只要计算出我们图像的 x 和 y 值,就可将接近于这条曲线的像元定为水体。

表 1 陆地卫星 5 号传感器辐射值

Table 1 Irradiance of sensor in Landsat 5

	TM2	TM3	TM4
L_{\max}	29.68	20.43	20.62
L_{\min}	-0.28	-0.12	-0.15

值得注意的是, x 和 y 值的范围只在 0—1 之间,为了使其能以图像形式显示,可以乘上 255 后四舍五入取整,这样就能以 8 bits 的数值,很容易地进行图像显示。图 5 为其水体判读图。

在检验中发现,色度判别法可以改善部分小水体的识别效果,然而对于更小的水体,特别是那些众多的接近或小于像元面积的水体,还是无法识别。为此,必须另谋它途。

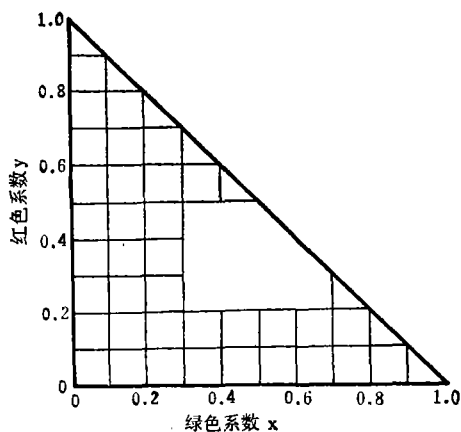


图 4 陆地卫星色度坐标中水体位置

Fig. 4 Water Position in Landsat chromaticity Coordinates plot



图 5 色度判别法水体判读图

Fig 5 Water interpretation map form chromaticity method

四、比率测算法的引进

我们知道,当卫星传感器的瞬时视场(简称 IFOV)大于被扫描的目标物体时,这一分辨像元除去含有该目标物体的信息外,还必然要包括一部分其它物体的信息。采用增加卫星其它波段来建立起一个数据空间,运用数理方法具体地测算出目标物体和其它物体在该像元内各自所占的百分比,这样的技术就称为“比率测算”(Proportion Estimation)^[4,5]。

比率测算的数理理论已超出我们的研究,下面只从几何角度来进行介绍。假定两个光谱波段 λ_1 和 λ_2 组成一个数据空间,其中包含了三种纯净的物体 A, B, C (图 6)。在分布良好的情况下,二维数据空间中的 A, B, C 可连结组成一个几何三角形并各为顶点。此时,如有一个含有这三种物体信息的像元 x 落入三角形内,我们就可以从各顶点到其对面边线作一条通过 x 中心的直线。只要根据 x 点到对面边线的距离与整个直线长度之比,就可测算出该顶点物体在 x 像元中所占的比重。如图所示,未知像元 x 恰好落入三角形的中心,因而三种物体的比重各为 $1/3$,即说明该像元内, A, B 和 C 这三种物体的信息量有着相等的比例。

应该考虑的一种特例是如图 6 中的未知像元 D 落在三角形之外的情形,很明显它只含有物体 A 和 C 的成分。因此,可以 D 与 AC 边线的垂直交点为分点,用分点至 C 的长度除以 AC 线与 D 分点线两者的总长,来近似表示物体 A 在 D 像元中的比例。同理,用 A 至分点的长度作为分子,也就得到 D 像元中物体 C 的近似比例。这两个比例值相加必定小于 1,其不足 1 的部分,则可认为是另一种异物成分。当然,如果未知像元与三角体的距离相当远,从理论上说大于 x^2 ,就可将其完全作为异物处理。

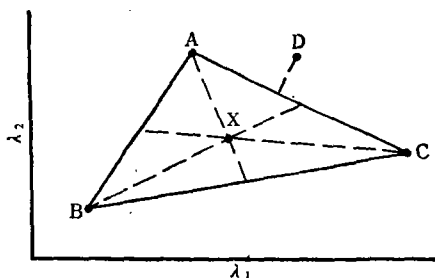


图 6 三维数据空间图示

Fig. 6 Illustration of 2-dimension data space



图 7 比率测算法水体判读图

Fig. 7 Water interpretation map from proportion estimation

以上只是一种简单的二维数据空间情况,可以证明,这种方法能扩展到多维空间去,但要注意两点:(1)在 n 维空间时,必须选用 $n+1$ 种物体才能满足比率测算;(2)选用的纯净物体,其特性不能相似,也不允许一种物体的特性接近于其它几种物体的加权平均值。如果发生这种情况,比率测算的结果将会出现重大误差,或根本无效。

考虑到以上条件的限制,我们选用了陆地卫星 TM3 和 5 波段进行二维测算。因为,一则,在我们的研究中,目的只是在图像上识别出水体,故选用的不同物体不易太多;二则,经 TM 各波段光谱信息量的分析,发现 TM5 波段信息量最多,且与 TM3 波段的相关性也较低。而 TM7 和 4 波段都与 TM5 波段在地物信息上有着很大相似, TM 1, 2, 3 波段的相关性也较高,接近 0.9^[6],说明好多信息是重复的。

在这种情况下,所选物体就不能大于三种,最终选定了水体、裸地和绿色植被。应用这一技术,计算出了流域每个像元中水体信息所占的比例。为了产生一个水体分布图,还需定出一个可接受的百分比,才能在图像系统上进行显示。在水体显示时,凡是水体比例大于 85% 的像元就以水体表示,占 30% 以下的,就划为非水体地物。图 7 是比率测算法的水体判读图。

五、结果的比较及讨论

我们将图 3、图 5 和图 7 上的水体判读数目进行了比较(表 2),从中可以看出比率测算算法的效果最好,判读出的水体数目远比 TM5 单波段的的多。从总体上来说,增加了 135.8%,其中大部分为小于 5 000 m² 的小水体,这部分增加的数目高达 186.1%。事实上,单波段上所得到的 151 个水体,其面积大多分布在 4 000—5 000 m²,因此,色度判别法和比率测算法所增加的数目,主要是 4 000—1 000 m³ 之间的小水体。

为了使比较有个参照系,表 2 中还列出了 1:5 万地形图和 1981 年底实际调查的水体数目。值得注意的是,由于地形图受其比例尺的限制,所绘出的水体并非包括实有的全

表 2 水体判读数目结果比较
Table 2 The comparison of water interpretation results

m ²	1981 年实查	1:5 万地形图	TM5 波段	色度判别	比率测算
>5 000	123	86	81	92	115
<5 000	1 069	304	151	287	432
Σ	1 192	390	232	379	547

部,加上成图年月的不同,也对水体有一定影响。另外,1981年底实际调查时,并非按水面面积划分,而是以蓄水量 10 000 m³ 为界。为了便于同另外 4 种以面积为基础的数据进行比较,对其作了近似处理,将这些小水体平均作为 2m 水深看待,才得出 5 000 m² 面积上下的区分。还有,与地形图一样,实际调查也有一个时间差的问题,这期间各种水体也会有所变化。因此,想进行精确比较,是不合适的。但就其总体来看,还是有一定的参考价值的。例如,从表 2 中可以看出,色度判别法的效果与 1:5 万地形图的结果大致相当,而比率测算法要比 1:5 万地形图稍高一些。虽然从表上得到的比率测算法的水体数目,只是 1981 年实际调查的 45.9%,但严格来说,比率测算法求得的水体数还要大于 547。因为现在参加统计的只是水体比例大于 85% 的像元,而对那些在 30—85% 之间的半水体像元,没有进行图像显示,如果利用列表统计,水体数目还会增加。

总之,从对成果的检验来看,比率测算法能对其它方法无法识别的小水体,甚至于部分小于像元面积的水体,有效地加以识别。除此之外,对于湖库等较大水体的岸线形状也有很好改善,使其面积更加接近于实际情况。

六、结 语

本文在分析研究红外单波段和色度判别法识别水体的基础上,引进了比率测算法。经比较认为:(1) 红外单波段识别水体是一种简便迅速的方法,可满足 4 000m² 以上水体的要求;(2) 色度判别法识别水体的效果优于红外单波段,几乎达到了 1:5 万地形图的水平;(3) 比率测算法效果最佳,它不但能识别出其它方法无法识别的大量小水体,还能对较大水体的面积形状有所改进。

参 考 文 献

- [1] E. A. Work and F. J. Thomson, A Study of Waterfowl Habitat in North Dakota Using Remote Sensing Techniques: Phase II, Tech. Rep. No. 101000-12-T, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, 1974.
- [2] R. M. Haralick, S. Wang, L. G. Shapiro and J. B. Campbell, Extraction of Drainage Networks by Using the Consistent Labeling Technique, Remote Sensing of Environment, 18, 163—175, 1985.
- [3] T. Perrott, J. Harper, P. Hill and S. Blasca, The Analysis of Landsat MSS Data for Characterizing Sediment Dispersal in the Beaufort Sea, Proceedings of 8th Canadian Symposium on Remote Sensing, 283—291, 1983.
- [4] H. M. Horwitz, R. F. Nalepka, P. D. Hyde and J. P. Morgenstern, Estimating the Proportions of Objects within a Single Resolution Element of a Multispectral Scanner, Proceedings of 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1307—1330, 1971.

- [5] W. A. Malila and R. F. Nalepka, *Advanced Processing and Information Extraction Techniques Applied to ERTS-1 MSS Data*, Proceedings of Third Earth Resource Technology Satellite-1 Symposium, 1743—1772, 1974.
- [6] 戴昌达、胡德永, TM 数据的信息特征, 遥感信息, (2), 1987.

Improvement of the Techniques for Distinguishing Water Bodies from TM Data

Lu Jiaju Li Shihong

(*Nanjing Research Institute of Hydrology Water Resources*)

Abstract

Water resource planners and managers must understand the water body distribution such as ponds, pools, lakes and reservoirs within the research area for making more effective use of water resources. Remote sensing techniques of satellite has provided us new data containing above information. But, due to limitation of pixel resolution characteristics of Landsat, those smaller water bodies distributed widely over our country can't be effectively extracted.

In view of the situation, this paper concretely analyses and discusses principle and results of two water body interpretation methods by single near-infrared and Landsat chromaticity coordinates techniques, based on Landsat CCT data.

At last, a "proportion Estimation" method is introduced. It not only distinguishes smaller water bodies, but improves area accuracy of interpretation compared with the results at the same experimental watershed.