

陡河电厂冷却水航空遥感应用研究*

李承尊

(地质矿产部地质遥感中心)

1987年1月20日收稿

摘 要

本文着重讨论了航空遥感应用于热电厂冷却水循环综合调查的工作方法。对仪器、成像时间、航向、航高、黑体参考源定标等的选择依据做了理论上和实际应用上的分析,并在水面上做了同步测量,取得了较好的效果。对收录的数据通过图像增强处理,获得了不同风向的水面温度图像、等温线和水草生长区的图像,并对这些结果进行了讨论分析。

引 言

作为遥感手段之一的航空热红外扫描成像技术,以其独特的优越性越来越受到人们的重视和广泛应用。快速、准确地获得不同条件下的大面积温度图像,调查水体表面温度分布状态和面积,研究水体污染程度和时空变化规律,分析温度场与环境诸因素的关系,已成为环境监测的新手段。尤其是对现代工业热流研究和温排水监测,红外遥感技术更具有独特的实用意义。

陡河水库是陡河电厂的主要冷却水水源。其循环水量可达 147.7 万米³/日,流经发电设备后水温升高 6—8℃。在水库内与冷水对流,自然冷却,最后又从取水口抽回循环使用。研究不同气象条件下水体温度的时空变化规律,掌握整个水域温度、流速等数据,是分析衡量发电设备运行是否经济合理、能否改建扩建、增加发电装机容量的科学依据。

为此,我们于 1983 年 8—9 月,应用多种遥感仪器,就冷却水水温、流速、水深和水中浮游生物量等方面进行了综合性研究,取得了较好的效果。并在技术方法上摸索了一些经验。图 1 为工作区示意图。

一、工作方法

1. 仪器选择

调查水面温度、探测水深、研究水生生物、测量水的流速是水库遥感综合调查的主要任务。为此,使用 DS-1260 多光谱扫描仪和 RMK A 15/23 航空摄影机进行组合飞行。多光谱扫描仪纪录了可见光、近红外 10 个波段的地物反射能量和两个热红外通道的

* 本文承蒙陈荫祥、崔承禹同志热情指导,特表谢意。

参加本项工作的有王志民、李景华、黄永芳、何志文及水利电力部华北电力设计院的赵国等同志。邵金林、孙勃、刘心季等同志在图像处理中作了很多工作,在此一并表示感谢。

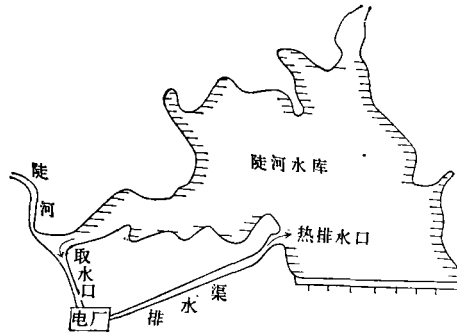


图 1 陡河水库示意图

Fig. 1 Douhe Reservoir

地物辐射能量。前者作为水深探测和水生生物研究之用,后者作为水面温度研究之用。航空摄影与多光谱扫描同时使用获得了水面流速和温度场变化的动态资料。多光谱扫描仪的数字化纪录为计算机图像处理、数据定量分析提供了依据。

2. 成像条件选择

(1) 成像时间

选择研究对象与背景之间温差最大的时刻成像是热红外遥感飞行遵循的一般原则。但就电厂来说,排出的热水虽然温度高,但 24 小时内的温度变化不大。冷热水之间最大温差时间不是白天,而是夜间。然而飞行时间没有选择温差最大的夜间,而是选择温差最小的夏季 8—9 月份气温最高的 12—17 点进行扫描成像的。其原因是此时的温度数据是衡量水域最小散热能力的有效值,是保证电厂安全经济运行的最低标准。这是本次飞行时间选择的主要根据。

采用航空摄影—浮标法测量水的流速,成像时间的选择除考虑太阳高度角、方位角、光照条件等因素外,对气象条件要求很高。风向、风速将直接影响浮标移动的方向和速度,以风速减少到对浮标影响最小为最佳。飞行结果表明:这次成像时间的选择是成功的。

(2) 航向

就红外扫描成像来说,记录的是物体辐射能量,对飞行方向的选择并无特殊要求,一般是根据测区范围和地形高差并以最经济为原则来确定的。而应用多光谱扫描成像,记录的是地物光谱的反射能量(热红外波段除外),因此航向选择至关重要。前人研究表明^[4],特别是在水面上空飞行时,为避免水面镜面反射,太阳高度角要小于 38 度,扫描方向与太阳方位应尽量垂直。陡河水库东西窄,南北宽。由于特殊的地理条件和气候条件的(蒸发量大,能见度低)限制,在该区不可能同时满足上述两个条件。为了选择最佳飞行航向的范围,做了不同太阳高度角、方位角和飞行方向的实验。实验结果表明:应用多光谱扫描成像,在水面上空飞行,太阳方位与航线之间的夹角不得大于 20 度。在此前提下,太阳高度角小于 50 度不会受到镜面反射的影响,超过这一阈值,即使太阳高度角小于 38 度,也会出现镜面反射造成的光谱干扰条带现象,形成沿航向方向上图像一侧出现亮色调的条带,影响图像质量和使用效果。在飞行设计中应引起特别注意。

(3) 温度定标

我们使用的这台多光谱扫描仪的热红外通道具有 0.04°C 的 $NE\Delta T$ (噪声等效温度)^[2]和 8 位数字化器。如果温标选择合适,将有很高的测量精度。按照仪器的设计要求,温度定标范围最小温差不能低于 8°C ,最大温差不能高于 40°C 。确定上下限温度值应视研究对象的温度值而定。本次以热水排出口(水温 34.5°C)和水库外渔池(水温 25.5°C)的水温做为温度定标的上下限的参考值。飞行中 BB_1 BB_2 (温标上下限)选择为 $23-37^{\circ}\text{C}$, (实际上 BB_2 选择偏高),温差 14°C ,最大温度灵敏度达到 0.055°C 。

大气衰减是红外温度定标中应考虑的问题,特别是在水温高、蒸发量大、空气湿度大的条件下。本次不同高度飞行和计算结果表明:在水库上空比周围空气湿度大 6% 的环境下,飞行高度 2000 米,平均大气衰减 1.92°C 。因此在类似地区飞行中,温标上限的选择应低于研究对象的最高温度 $1.5-2^{\circ}\text{C}$,温标下限应低于研究对象的最低温度 $2-3^{\circ}\text{C}$ 。这样,既保证记录了研究物体温度范围内的全部温度信息,又不致于因选择温差太大降低了温度分辨率。

(4) 飞行高度

为了提高温度分辨率,减少大气衰减,往往采取降低飞行高度的办法。但由于飞机往返地速不同,地物温度变化大,相邻航线变形大,相同温度物体的色调也难一致,给图像镶嵌、计算机处理和定量分析造成困难。同时,数字多光谱扫描仪波段多、数据量大,增加了图像处理的工作量。选择适当的飞行高度,是保证精度要求和图像质量,节省计算机处理时间和经费的关键。基于这些,本次实验选择航高为 2000 米,扫描宽度覆盖了水库的宽度。这不但减少了航带之间图像拼接镶嵌的麻烦,获得整个水库完整的图像资料,而且缩短了航线,减少了记录的数据量,给大量图像处理和定量分析带来方便,节省了时间和经费。

总之,在类似工作中,根据研究内容、目的、使用仪器和当地自然环境,成像条件选择应掌握以下原则:(i) 在温度最高的时刻扫描成像。选择晴朗的天气和尽可能小的风速,以减少对水面温度和流速的影响。(ii) 合适的太阳高度角和方位角,以避免水面的镜面反射。(iii) 适当的温度定标和飞行高度可最大限度地提高温度分辨率,尽量减少飞行工作量。

3. 地面同步测量

地面同步测量是多光谱扫描飞行中十分重要的一环。它可为飞行方案的制定、选择提供必要的参考依据。例如:为选择飞行时间做定点、定时昼夜测温;为选择航向观测记录太阳方位角、高度角变化;为研究水深进行水深剖面、透明度、浑浊度测量;为研究水中藻类分布和水质污染取水样化验分析叶绿素浓度等以及空地同步观测和天气状况的详细记录都是图像处理、解译、资料分析和定量计算的重要依据。

二、研究结果

1. 水面温度

水域冷却能力大小是决定电厂装机容量的重要指标之一。多年来有关部门一直采用

室内冷却池模型模拟法,获得有关水温、水流速度等参数,计算水域冷却能力,做为工程扩建的依据。工程实施后再通过原体观测,检验模型数据正确与否。该方法需大量人力物力观测水温、流速。其手段落后、周期长、精度低、费时费力,并且只能获得局部点上的数据,测量数据也难以控制在同一水平上。热红外图像真实地记录了瞬时温度场分布状况,迅速、准确、直观地再现了水体表面温度全貌,获得了整个水面的连续温度流速数据。

研究热红外图像表明,与常规测量方法相比,红外遥感具有明显的优越性。

(1) 热红外图像准确地反映了不同气象条件下热循环时水的扩散趋势。表面温度分布状态受风向风速的控制,表明风向风速对水体散热的影响,热红外图像为不同气象条件下水域的散热能力计算提供了依据(图版 I 中图 2)。从热排水口起至以远温度由高向低,分别为白、红、黄、绿、青、蓝、品、灰。

(2) 通过计算机低通滤波,可获得不同差值的温度等值线图,可统计各等温面面积(图版 I 中图 3)。面积统计方法如下:

$$S_i = (1.79H)^2 \cdot X_i\%$$

其中: S_i ——第 i 个等温面面积, H ——航高, X_i ——第 i 个等温面占计算总面积之百分比, $1.79H$ ——地面扫描宽度。

将各等温面面积代入热平衡方程:

$$\gamma C Q (T_1 - T_2) = K \sum_{\Delta i=1}^n (T_i - T_0) \Delta A_i$$

其中: γ ——水的比重, C ——水的比热, Q ——取水流量, K ——散热系数, T_1 ——排水口水温, T_2 ——取水口水温, T_0 ——自然水温, T_i ——第 i 等温面温度, ΔA_i ——第 i 等温面面积。

式中 $T_1, T_2, T_0, T_i, \Delta A_i$ 数据都可从热红外图像上获得,以此计算出不同气象条件下水库的散热系数 K 值。该方法与原体观测相比,具有精度高、速度快、一致性好等优点。

(3) 等温面面积统计结果表明,在排水口附近,水流速度大,对流作用强,冷热水剧烈掺混,水温跃降很大。仅库区 20% 的水域面积可使排出的热水水温下降 50%。也就是说,如果排出的热水高于自然水温 10℃,则占全部水域面积五分之一的排水口附近可使水温下降 5℃¹⁾。

(4) 过热度(自然水温与取水温度之差)是判断冷却池容纳热负荷的重要指标。过热度越小,所能容纳的热负荷越大。图像细分处理计算结果,过热度只有 0.5℃。说明当时发电设备没有达到满负荷运转,水库还有一定的冷却潜力。

(5) 水域面积是衡量散热能力的主要因素之一。陡河水库水温高,富营养化严重,水草丛生。计算机统计面积结果发现: 整个水域面积为 9.08km², 不含水草的面积为 5.12 km², 含水草的水域面积为 3.96km², 后者占 43.6%。几乎一半的水域含有水草。对比热红外图像和实测温度曲线(图 4)可知: 含水草的水体,白天升温快,温度高,呈亮色调的高温区,平均高于正常水温 5—6℃。

分析水草和水流速度测量结果后认为,形成高温区的主要原因有: (i) 水草生长在小

1) 李平衡、赵国,“热污染与防治监测方法”,全国电力环境保护学术讨论会,1984年11月。

于1.5米深的水域,水草区域总热容量小,吸热易升温。(ii) 水草丛生影响水的流动,降低水流速度和减少热交换是水温升高的主要原因。

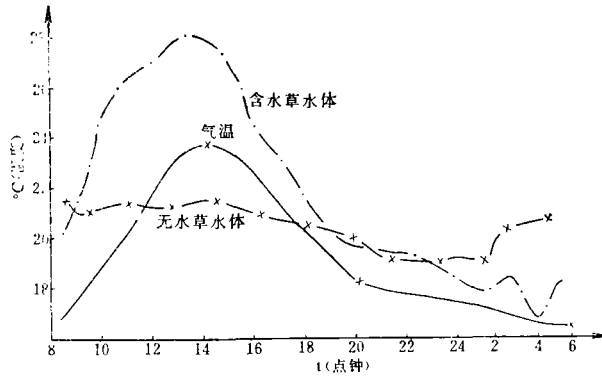


图 4 陡河水库不同地物日变化温度曲线图

Fig. 4 Changes of Temperature Curve from Different Ground Objects in Area of Reservoir

由此看来,水草的存在大大缩小了水域有效散热面积(中午只有 56.4%),降低了水域散热能力。同时,高温区不断向外辐射热能,提高了环境温度背景值,对全区散热能力将产生一定影响。特别是在水温高,水草生长茂盛的季节,水草存在实为弊多利少。因此,增加水库蓄水量、提高水位、扩大水域面积固然是提高水域散热能力的重要措施。然而,在现有条件下,尽量缩小水草面积,扩大现有水域的相对有效散热面积,也是提高散热能力,增加发电量值得考虑的措施之一。遥感技术提供的图像资料和数据揭示了水草对冷却水温度的影响,查清了水草的分布面积,为有关部门清除水草,扩大水域散热面积提供了依据。

2. 水的流速

采用航空摄影—浮标法测量水面流速是将水中浮标按不同时间间隔拍摄下来,在 Topocart-B 型测图仪上量测浮标的座标位置,经计算机处理得出浮标移动的速度并自动绘制出浮标移动轨迹图。从而获得整个水面的流速数据及流速流向分布图。

测量结果客观地反映了水面流速分布及主流线的位置。与同时记录的热红外图像比较,主流线的分布基本吻合。测得最大流速 30.79 厘米/秒,最小流速 1.99 厘米/秒。测量精度较高。在目前国内尚无更先进的低速测速仪的情况下,遥感方法成功地解决了大面积水域的动态测量,是具有一定实用意义的。

值得注意的是影响测量精度的因素很多。例如:地面平高点的测量精度,仪器本身的测量精度,浮标定位点的大小,浮标本身的浮力、形状及布置的地点范围等,都是应引起注意的。

此外,由于水生生物和水的较高浑浊度的干扰,对库区水深探测研究产生一定影响,没有完全达到预期效果。

三、结 论

航空热红外遥感技术是研究电厂冷却水温度与环境诸因素关系的有力手段。热红外图像所提供的不同气象条件下各等温面面积、温度、水草分布范围、过热度、水流速度等数据资料以及水草温度对环境的影响分析,可为电厂冷却水散热系数 K 的计算、工程扩建和运行水温预报提供可靠的依据。

因此,如果采用多种遥感方法,对使用江河湖海冷却水源的电厂,做全面环境遥感综合调查,分析冷却水循环系统布局是否合理,研究水温时空变化规律及对周围环境的影响,建立全国电厂冷却水温度信息系统,无疑对提高电厂科学管理水平和运行经济效益是很有意义的。

参 考 文 献

- [1] [美] P.H. 斯韦恩等(朱振福等译),遥感定量方法,科学出版社,1984年。
[2] DS-1260 多光谱红外扫描仪工作手册,戴德拉斯公司,1978年。

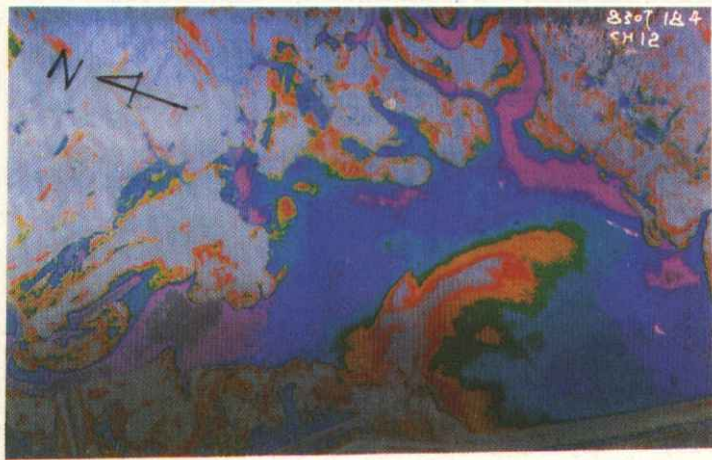
The Application of Aerial Remote Sensing to Investigation of Water Coolent for Douhe Power Plant

Li Chengzun

(Remote Sensing Center of Geology, Ministry of Geology and Minerals)

Abstract

This paper is focused on the discussion of methodology of aerial remote sensing applied to comprehensive investigation into water coolent circulation of heat and power plant. Basis for the determination of instrument used, imaging hours, flight course and altitude, and for the calibration of the blackbody reference sources is analyzed both in theory and practicality, and the real time measurement is made on water surface. Thus, much better experimental results have been achieved. The collected image data is enhanced using image processing facilities. The images of water surface temperature under the influence of different wind directions, the isotherm image and aquatic plants area image are produced. The discussion and analysis made on these results shows that the power facilities have not yet been operated in full load and the cooling potentiality of reservoir has not been fully exploited. It is our suggestion that all of the power plants possessing such conditions and facilities should conduct the investigation of this kind.



(a)

成像时间:

1983年9月15日13点17分

飞行高度: 1530米

BB₁ BB₂: 22 - 37°C

风向: 北偏东

风速: 0.3 - 0.4 米/秒

(b)

成像时间:

1983年9月12日15点33分

飞行高度: 2000米

BB₁ BB₂: 23 - 37°C

风向: 西偏南

风速: 3.4 - 3.6 米/秒

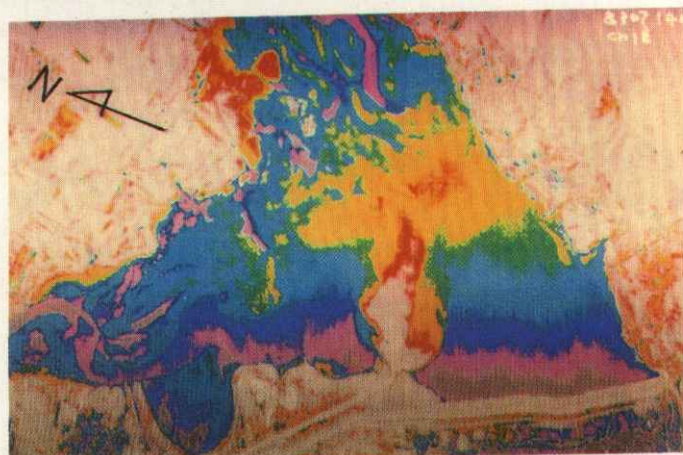


图2 不同风向水面温度分布图像

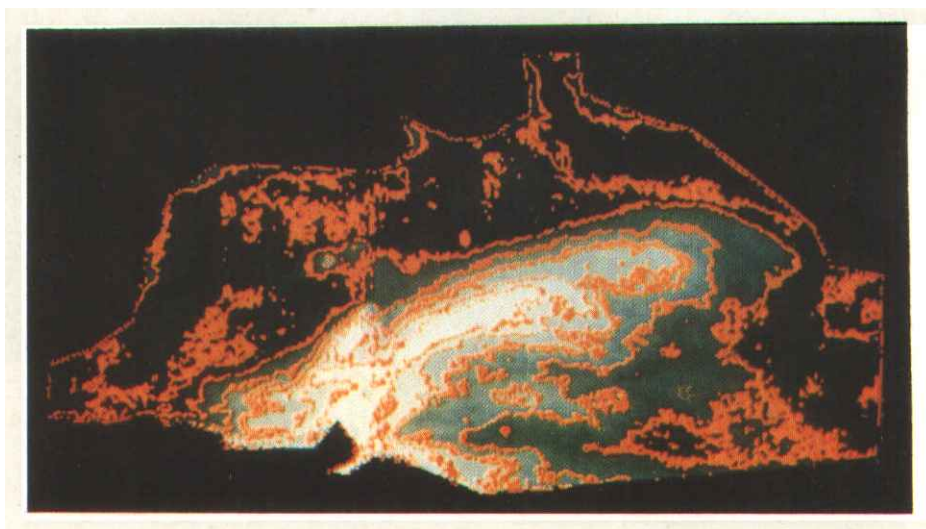


图3 温差1°C的温度等值线图