

溪洛渡水电站雨水温度骤降分析与预报^{*}

秦 剑¹, 朱保林¹, 陈 艳², 綦正信¹, 赵 刚¹, 刘 瑜³

(1. 云南省气象服务中心, 云南 昆明 650034; 2. 四川省凉山州气象局, 四川 西昌 615000;
3. 云南省气候中心, 云南 昆明 650034)

摘 要: 对溪洛渡水电站坝址自动气象站进行了改造, 在常规遥测雨量筒中加装了雨水温度传感器, 得到了 2010–2011 年雨季地面雨水温度资料。在此基础上, 对溪洛渡水电站大坝浇筑时碰到的降雨过程雨水温度骤降进行了分析及预报。结果如下: ①2010–2011 年溪洛渡水电站雨季降雨天气过程所引发的雨水温度骤降出现概率为 37%, 雨温骤降高值主要集中在 7–8 月; 过程降雨量的大小并不能直接决定雨水降温的幅度, 引起雨水温度骤降的因素较多。②利用 90 次降雨过程的历史数据建立了溪洛渡坝址站雨水温度变化最优子集回归方程, 雨水温度骤降回代准确率为 73%。该方程对雨水温度骤降的预报准确率达到 75%, 预报值与实测值的符号一致率达 94.4%, 表明该方程对溪洛渡坝址站雨水温度骤降预测效果较好。

关键词: 雨水温度骤降; 溪洛渡水电站; 最优子集回归; 大坝浇筑

中图分类号: P426.61; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2012)03–0069–06

雨水温度是一个较少提及的概念, 关于雨水温度研究的学术文献非常少。1992 年, 徐永胜等^[1]利用 1989–1990 年夏、秋在湖南常德市观测所获的 45 块自然积云和催化积云对地面雨水温度进行了统计和个例分析。但是该文未给出雨水温度的具体定义。

由于水电站大坝浇筑过程中对温度的要求非常高, 如果碰到气温骤降, 必须做好大坝表面的保温措施, 不然会影响混凝土大坝的质量。研究表明^[2–5], 大多数混凝土大坝的裂缝都是在浇筑过程中由于温度变化而引起的, 气温骤降是引起大体积混凝土表面裂缝的主要成因。

溪洛渡水电站是我国在建的第二大水电站, 总装机容量 1 260 万 kW, 地处四川盆地与云贵高原的过渡地带, 位于云南省永善县与四川省雷波县交界的金沙江下游溪洛渡峡谷。该区域山高谷深, 沟壑纵横, 气候多变, 立体、水平差异极大, 雨季多雷雨等强对流天气, 产生大风、短时强降雨以及由强降雨引起的气温骤降等恶劣天气现象, 对电站大坝浇筑等施工造成很大影响^[6]。

雨水温度骤降的概念在国内的文献中无迹可查, 也无人专门针对这个问题做过深入研究。本文研究的雨水温度, 是在溪洛渡水电站施工过程中, 应大坝浇筑施工的需要而提出来的, 是指雨水降落到近地面时的温度。溪洛渡水电站现场施工技术人员根据多年水电站大坝浇筑施工经验认为, 雨季引起大坝温度骤降的主要原因是由于雨

水使得近地面降温。因此, 为了确保大坝浇筑的顺利进行, 做好雷雨多发季节临近和短时气象保障服务, 研究近地面雨水温度的变化是势在必行的, 监测与预测雨水温度的变化和骤降对水电站大坝浇筑具有指导性意义。同时, 建立完善和科学的雨水温度监测系统、收集连续完整的雨水温度资料对大坝浇筑的施工和质量有着举足轻重的意义。

本研究工作开创了国内巨型水电站大坝浇筑雨水温度骤降观测及预测的先河, 首次提出了雨水温度骤降的概念, 改进了雨水温度的测量方法, 并取得了较好的预报效果。本研究将为今后国内巨型水电站大坝浇筑保温提供一些思路和积极的科学指导。

1 溪洛渡水电站地面雨水温度变化监测试验

1.1 雨水温度传感器的改造原理

2010 年 5 月, 我们对溪洛渡水电站大坝旁边已建成的坝址自动气象站进行了改造, 加装雨水温度传感器和地温传感器, 以实现降雨天气过程中地表温度变化和降雨强度、雨水温度、气温的同步监测, 为溪洛渡水电站雨水温度变化分析提供科学的数据。

为了使所获得的观测数据科学真实, 雨水温

* 收稿日期: 2012–02–13 修回日期: 2012–03–15

基金项目: 中国长江三峡集团公司 2010 年溪洛渡水电站雷雨天气条件下雨水温度监测与预测试验项目

作者简介: 秦剑(1957–), 男, 四川绵阳人, 高级工程师, 主要从事气象服务方面的研究。E-mail: whuqinyu@126.com

通讯作者: 刘瑜(1958–), 女, 云南武定人, 教授级高级工程师, 主要从事气候预测及气候变化研究。E-mail: cqkly@163.com

度传感器采用自动气象观测站的遥测雨量器和温度传感器改装,即在遥测雨量器中加装温度传感器,再与自动遥测雨量器获得的降雨量进行同步分析。基本原理为:降雨产生时通过遥测雨量器的雨量筒收集降雨,并自然滴落在温度传感器上,形成雨水温度原始数据,采集器通过地温传输通道对温度传感器进行数据采集并传输到计算机形成雨水温度数据从而测得雨水温度。我们将无降雨时雨量筒中温度传感器所测环境温度及降雨过程中所测雨滴温度统称为雨水温度,这样所得的雨水温度是连续的,便于对其进行分析研究。

由于夏季气温高,雨量筒内环境温度比外部气温要高很多,容易导致雨水温度失真。因此我们将雨量筒在传感器以下部位打了 8 mm 的若干小孔,使得雨量筒内外空气流通,从而减小雨水温度的实际误差(图 1)。

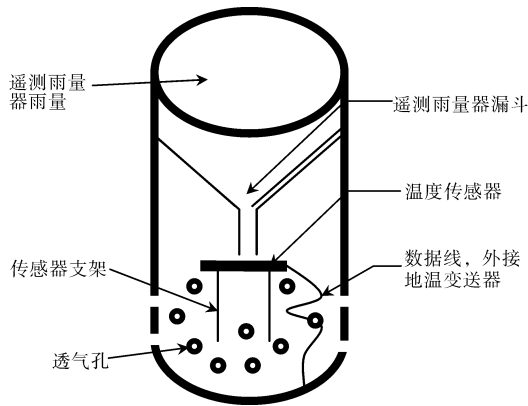


图 1 雨水温度传感器简单示意图

1.2 资料的收集

雨水温度监测试验从 2010 年 6 月 5 日正式开始,每日形成一个 RTD 文件,目前已经获得 2 年

的雨季(云南雨季为每年 5 - 10 月)数据。利用这 2 年的雨水监测数据以及溪洛渡水电站坝区坝址、三坪、杨家坪和塘房坪等 4 个自动气象站的逐日观测数据,对溪洛渡水电站降雨天气过程的雨水温度变化及骤降进行分析和预测。文中日资料统计时间以气象时间为准,即头天 20:00 - 次日 20:00 为 1 d。

1.3 雨水温度骤降的定义

经过对 2 年雨水温度资料的仔细分析,发现降雨过程中雨水降温主要出现在降雨开始前 30 min 到降雨开始后 30 min 之间。因此,本文规定降雨出现后 30 min 的雨水温度值与降雨出现前 30 min 的雨水温度值(共 1 h)之差为该次降雨过程的雨水温度变化值。雨水降温在 -3℃及以上,则称之为 1 次雨水温度骤降过程。

2 雨水温度骤降分析及预测因子的选取

2.1 雨水温度骤降分析

表 1 所示为 2010 - 2011 年雨季溪洛渡水电站坝址站降雨过程雨水温度变化统计结果。由表 1 可知,2010 年 6 - 10 月溪洛渡水电站坝址站一共出现了 56 次降雨天气过程,其中出现雨水温度骤降 16 次,骤降出现率为 28.6%。雨温骤降主要集中在 7 - 8 月,其中出现了 5 次 10℃以上的雨水温度骤降过程,最大降温幅度达 -14.7℃。2011 年 5 - 9 月一共出现了 52 次降雨天气过程,其中出现雨水温度骤降 24 次,骤降出现率为 46.2%。2011 年仅出现了 2 次 10℃以上的雨水温度骤降过程,最大降温幅度为 -14.4℃。2010 - 2011 年一共出现降雨过程 108 次,出现 3℃及以上的雨温骤降共 40 次,总体骤降率为 37%。

表 1 2010 - 2011 年雨季溪洛渡水电站坝址站降雨过程雨水温度变化统计结果

| 年份 | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ |
|------|----------|---------|------------|----------|---------|------------|-----------|---------|------------|
| 2010 | 6 月 5 日 | 14.0 | -0.4 | 7 月 17 日 | 36.1 | -0.2 | 9 月 2 日 | 6.9 | -0.8 |
| | 6 月 9 日 | 12.2 | -3.4 | 7 月 25 日 | 10.2 | -5.6 | 9 月 5 日 | 5.3 | -3.4 |
| | 6 月 10 日 | 2.1 | -0.6 | 7 月 26 日 | 0.9 | -1.0 | 9 月 6 日 | 0.2 | -2.0 |
| | 6 月 11 日 | 1.0 | -0.2 | 7 月 27 日 | 8.0 | -13.5 | 9 月 7 日 | 24.1 | -0.9 |
| | 6 月 14 日 | 1.2 | -1.0 | 7 月 28 日 | 24.4 | -1.5 | 9 月 9 日 | 1.2 | -1.0 |
| | 6 月 17 日 | 6.7 | -1.7 | 8 月 1 日 | 7.5 | -8.9 | 9 月 13 日 | 0.2 | -0.2 |
| | 6 月 19 日 | 3.1 | -5.4 | 8 月 3 日 | 2.0 | -14.7 | 9 月 14 日 | 0.3 | -0.3 |
| | 6 月 20 日 | 6.2 | -2.2 | 8 月 5 日 | 0.9 | -4.5 | 9 月 22 日 | 1.7 | -6.2 |
| | 6 月 22 日 | 1.5 | -4.6 | 8 月 6 日 | 0.8 | -10.9 | 9 月 29 日 | 7.6 | -2.2 |
| | 6 月 23 日 | 4.6 | -0.6 | 8 月 14 日 | 2.8 | -6.4 | 9 月 30 日 | 0.2 | -2.0 |
| | 6 月 24 日 | 23.3 | -0.2 | 8 月 15 日 | 7.4 | -1.2 | 10 月 2 日 | 1.7 | -0.7 |
| | 6 月 25 日 | 0.3 | -0.5 | 8 月 19 日 | 25.6 | -11.1 | 10 月 6 日 | 1.0 | -3.4 |
| | 6 月 26 日 | 4.7 | -1.0 | 8 月 20 日 | 14.5 | -1.0 | 10 月 7 日 | 1.3 | -0.2 |
| | 6 月 27 日 | 19.4 | -1.5 | 8 月 21 日 | 12.2 | -10.3 | 10 月 9 日 | 1.4 | -0.7 |
| | 6 月 28 日 | 1.3 | -0.7 | 8 月 22 日 | 2.4 | -1.0 | 10 月 14 日 | 0.7 | -1.9 |
| | 7 月 5 日 | 3.8 | -4.2 | 8 月 26 日 | 8.3 | -0.3 | 10 月 15 日 | 6.4 | -0.3 |
| | 7 月 12 日 | 1.0 | -0.6 | 8 月 27 日 | 0.5 | -0.2 | 10 月 17 日 | 11.1 | -2.5 |
| | 7 月 13 日 | 1.0 | -1.2 | 8 月 31 日 | 6.0 | -1.3 | 10 月 18 日 | 15.4 | -0.1 |
| | 7 月 16 日 | 0.2 | -1.6 | 9 月 1 日 | 0.2 | -0.3 | | | |

续表 1

| 年份 | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ | 日期 | 过程雨量/mm | 过程雨水温度变化/℃ |
|------|-------|---------|------------|-------|---------|------------|-------|---------|------------|
| 2011 | 5月2日 | 5.0 | -6.2 | 6月27日 | 32.1 | -5.7 | 8月1日 | 2.3 | -2.5 |
| | 5月4日 | 12.0 | -6.0 | 7月2日 | 2.9 | -3.0 | 8月5日 | 21.2 | -1.7 |
| | 5月12日 | 3.6 | -1.0 | 7月3日 | 4.9 | -9.9 | 8月18日 | 0.1 | -4.0 |
| | 5月14日 | 5.7 | -0.9 | 7月4日 | 2.5 | -0.1 | 8月21日 | 1.0 | -5.7 |
| | 5月15日 | 1.6 | -1.5 | 7月7日 | 7.2 | -4.0 | 8月22日 | 1.8 | -8.0 |
| | 5月16日 | 2.0 | -0.3 | 7月10日 | 2.0 | -8.1 | 8月23日 | 16.3 | -1.8 |
| | 5月21日 | 5.8 | -2.5 | 7月11日 | 3.0 | -0.4 | 8月26日 | 7.3 | -4.9 |
| | 5月22日 | 2.6 | -1.3 | 7月12日 | 1.6 | -1.5 | 8月29日 | 7.0 | -9.0 |
| | 5月30日 | 3.1 | -3.6 | 7月13日 | 2.0 | -0.3 | 9月7日 | 7.2 | -1.6 |
| | 5月31日 | 3.2 | -0.3 | 7月14日 | 0.3 | 0.6 | 9月8日 | 1.5 | -4.4 |
| | 6月7日 | 2.6 | -0.4 | 7月17日 | 0.5 | -2.4 | 9月9日 | 3.3 | -0.3 |
| | 6月9日 | 2.1 | -6.4 | 7月20日 | 0.8 | -14.4 | 9月11日 | 0.1 | -8.0 |
| | 6月10日 | 7.2 | -0.1 | 7月21日 | 7.5 | -12.1 | 9月16日 | 0.8 | -3.6 |
| | 6月11日 | 2.5 | -0.4 | 7月22日 | 34.0 | -7.3 | 9月22日 | 0.7 | -0.6 |
| | 6月14日 | 0.5 | -1.3 | 7月23日 | 1.8 | -3.0 | 9月23日 | 0.8 | -0.2 |
| | 6月17日 | 10.0 | -3.1 | 7月25日 | 1.8 | -7.7 | 9月24日 | 3.3 | -2.3 |
| | 6月22日 | 25.7 | -1.4 | 7月27日 | 12.1 | -1.1 | | | |
| | 6月23日 | 3.5 | -1.4 | 7月30日 | 11.0 | -7.2 | | | |

图 2 为 2010 - 2011 年雨季溪洛渡水电站坝址站降雨过程雨量与雨水温度变化曲线。从图 2a 可知, 2010 年雨水温度骤降主要出现在 7 - 8 月, 降水量与雨水温度变化值关系并不密切, 其相关系数仅为 -0.11, 未通过显著性检验。而 2011 年雨水温度骤降主要出现在 7 - 9 月, 降水量与雨水温度变化值之间的相关系数为 -0.08, 关系不显著。

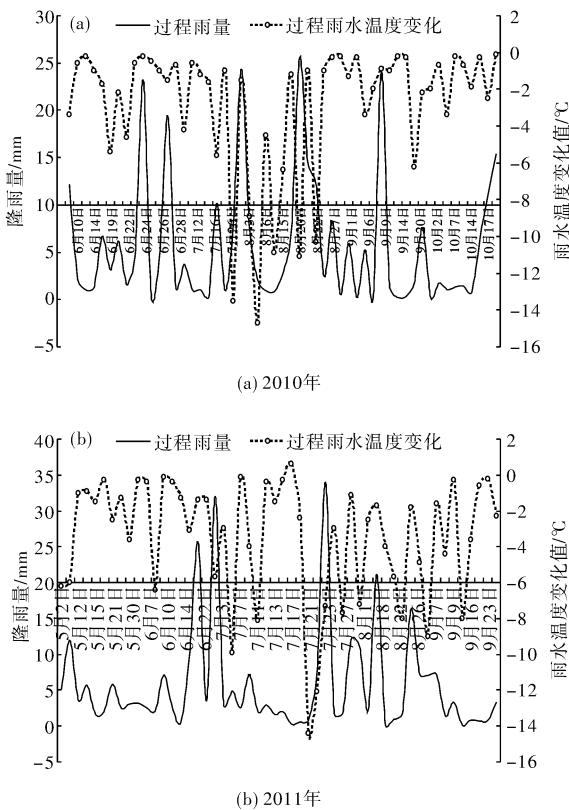


图 2 2010 年 2011 年雨季溪洛渡水电站坝址站降雨过程雨量与雨水温度变化曲线图

变化之间的相关系数为 -0.06 (样本数 108 个), 未通过 95% 的显著性检验。表明过程降雨量的大小与雨水温度变化没有明显的关系, 降雨量的大小并不能直接决定雨水降温的幅度, 这与现场施工人员想法不一致。表明引起雨水温度骤降的原因很复杂, 雨水降温并不是由降雨量大小决定的, 而是需要考虑其它因素的影响。

2.2 预测因子的选取

本文研究的是溪洛渡坝址站雨水温度的变化情况, 因此确定雨水温度变化为因变量。由于雨水温度变化并不是单纯由降雨量决定的, 而是一个复杂的过程。所以, 自变量即预测因子选用的是降雨发生前溪洛渡坝区坝址、三坪、杨家坪和塘房坪 4 个自动气象站的一些相关的气象要素。经过相关分析, 我们选定了 11 个与坝址站雨水温度变化关系较好的预测因子。由于降雨的预报在 24 h 内较为准确, 所以本文将要研究的是未来 24 h 坝区出现降雨天气时坝址站雨水温度的变化及骤降情况, 起报时间为每天下午 14:00 以后。预测因子具体见表 2。

| 表 2 预测因子定义 | |
|------------|----------------|
| 预测因子 | 定义 |
| x_1 | 起报前 1 d 坝址平均气温 |
| x_2 | 起报当天坝址 14 时气温 |
| x_3 | 起报前 1 d 坝址平均风速 |
| x_4 | 起报前 1 d 坝址平均地温 |
| x_5 | 起报当天坝址 14 时地温 |
| x_6 | 起报当天三坪 14 时气温 |
| x_7 | 起报当天三坪 14 时地温 |
| x_8 | 起报当天三坪 14 时气压 |
| x_9 | 起报前 1 d 三坪平均气压 |
| x_{10} | 起报当天塘房坪 14 时气温 |
| x_{11} | 起报当天杨家坪 14 时气温 |

2010 - 2011 年 108 次过程降雨量与雨水温度

3 雨水温度骤降预测

3.1 预测方法

选取了 11 个预测因子, 其中难免包括一些自相关很大的因子, 为减少这种因子之间自相关的影响, 我们采用最优子集回归模型来筛选、组合因子并建立回归预测方程。最优子集回归是从自变量所有可能的子集回归中以某种准则确定出一个最优回归方程的方法。

3.1.1 最优子集回归的计算方法

假设考虑有 m 个自变量的回归, 由于每个变量有在方程内或不在方程内两种状态存在, 因此, m 个自变量的所有可能的变量子集就有 2^m 个。除去方程一个变量也不含的空集外, 实际有 $2^m - 1$ 个变量子集。可见, 计算量是随自变量个数呈指数增长的。当 m 较大时, 变量个数非常之大, 建立最优回归预测方程就是要从所有可能的回归中确定出一个效果最优的子集回归。具体做法是: 按照一定的目的和要求, 选定一种变量选择准则 S , 每一个子集回归都能算出一个 S 值, 共有 $2^m - 1$ 个 S 值(由 Furnival 设计的算法, 并不需要 $2^m - 1$ 个回归)。 S 越小(或越大)对应的回归方程效果就越好。在 $2^m - 1$ 个子集中, 最小(或最大)值对应的回归就为最优子集回归。

3.1.2 选择最优子集回归的 CSC 准则

设 k 为任一子集回归中自变量个数, CSC_k 定

义为:

$$CSC_k = S_1 + S_2 \quad (1)$$

式中: $S_1 = nR^2 = n(1 - \frac{Q_k}{Q_y})$, Q_k 为残差平方和; Q_y 为气候学预报。

$$Q_k = \sum_{i=1}^n (y_i - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \cdots - b_k x_{ki})^2; Q_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

$$S_2 = 2I = 2[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I n_{ij} \ln n_{ij} + n \ln n - (\sum_{i=1}^I n_i \ln n_i + \sum_{j=1}^I n_j \ln n_j)] \quad (3)$$

式中: I 为预报趋势类别数; n_{ij} 为 i 类事件与 j 类估计事件的列联表中的个数。其中, $n_i = \sum_{j=1}^I n_{ij}$, $n_j = \sum_{i=1}^I n_{ij}$ 。以 CSC_k 达到最大为准则选择最优子集回归。

3.2 回归预测模型的建立

利用 2010 - 2011 年雨季的前 90 次降雨过程的数据建立溪洛渡坝址站雨水温度变化最优子集回归模型。

表 3 所示为所有可能的最优子集及其对应的复相关系数 R 和 CSC 值。从表 3 可知, 由 4 个预测因子(x_6 、 x_8 、 x_9 、 x_{10})所组成的子集回归 CSC 值最大, 因此是最优的子集。利用这 4 个预测因子建立最优子集回归方程如下:

$$\hat{y} = 163.412 + 0.807x_6 - 0.320x_8 + 0.154x_9 - 1.273x_{10} \quad (4)$$

表 3 所有可能的最优子集及其对应的复相关系数 R 和 CSC 值

| k | 最优子集 | | | | | | | | | | R | CSC | |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|-------|
| 1 | x_{10} | | | | | | | | | | 0.57 | 43.93 | |
| 2 | x_8 | x_{10} | | | | | | | | | 0.61 | 42.81 | |
| 3 | x_6 | x_8 | x_{10} | | | | | | | | 0.62 | 44.87 | |
| 4 | x_6 | x_8 | x_9 | x_{10} | | | | | | | 0.63 | 49.90 | |
| 5 | x_2 | x_6 | x_8 | x_9 | x_{10} | | | | | | 0.63 | 46.28 | |
| 6 | x_2 | x_6 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | | | | | 0.64 | 46.23 | |
| 7 | x_2 | x_4 | x_6 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | | | | 0.64 | 45.27 | |
| 8 | x_1 | x_2 | x_4 | x_6 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | | | 0.64 | 43.64 | |
| 9 | x_1 | x_2 | x_4 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | | 0.64 | 43.53 | |
| 9 | x_1 | x_2 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | 0.64 | 45.08 | |
| 11 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | 0.64 | 42.47 |

3.3 结果分析

图 3 所示为雨水温度变化最优子集回归值与实测值对比曲线。从图 3a 可知, 坝址站雨温变化回归值与实测值符号一致率达到 94.4%, 表明回归方程对雨水降温的趋势回归效果很好。雨温骤降实测值共有 31 次, 回归值达骤降标准的有 37 次,

其中回归准确 27 次, 雨水温度骤降回归准确率为 73%。回归值与实测值的拟合相关系数达到 0.63 (样本数为 90 个), 通过了 99.9% 的显著性检验。表明最优子集回归方程对 90 次历史数据的回归效果较好。由图 3b 可知, 回归值与实测值的偏差较大, 其中偏差值超过 2 °C 以上的有 24 次, 占

26.7%。虽然雨水温度回归值与实测值总体偏差较大,但是由于本文研究重点是雨水温度骤降的趋势预测,因此结果可用(雨水温度骤降回归准确率为73%)。

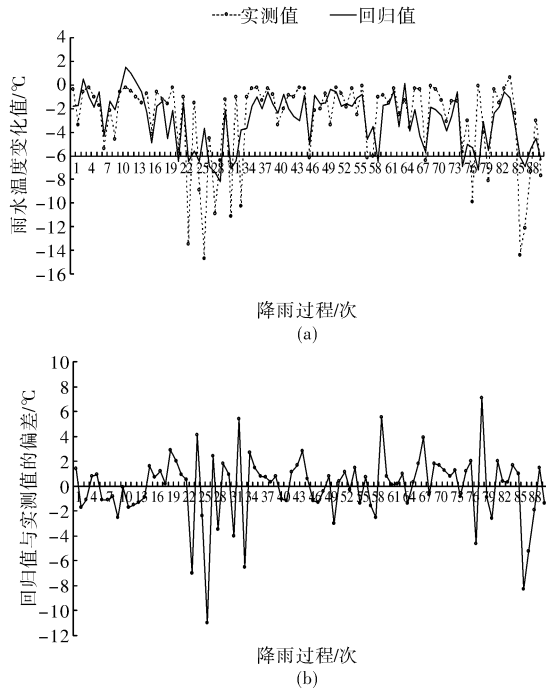


图3 雨水温度变化最优子集回归值与实测值对比曲线(a)及其偏差(b)

利用最优子集回归方程(4),对2011年雨季剩下的18次降雨过程雨水温度变化进行了试预报。有如下4种情况:①当预报值 $\leq -3^{\circ}\text{C}$,并且实测值 $\leq -3^{\circ}\text{C}$ 则称预报正确;②当预报值 $> -3^{\circ}\text{C}$,并且实测值 $> -3^{\circ}\text{C}$ 则称预报正确;③当预报值 $\leq -3^{\circ}\text{C}$,但实测值 $> -3^{\circ}\text{C}$ 则称预报空报;④当预报值 $> -3^{\circ}\text{C}$,但实测值 $\leq -3^{\circ}\text{C}$ 则称预报漏报。

表4所示为2011年雨季剩余18次降雨过程雨水温度变化最优子集回归试预报结果。从表4可知,预报值与实测值的符号一致率达94.4%; 3°C 及以上的雨温骤降预报一共出现12次,其中预报正确9次,准确率为75%;空报3次,占25%;未出现雨温骤降漏报现象。表明该最优子集回归预报方程对溪洛渡坝址站降雨过程雨水温度变化及骤降预测效果均较好,具有实际应用价值。

图4所示为雨水温度变化最优子集预报值与实测值对比曲线及其偏差。由图4a可知,预报值与实测值变化基本一致,其拟合相关系数为0.62,通过99%显著性检验,表明预报效果较好。预报值与实测值之间的偏差较为明显(图4b),偏差值在 2°C 以上的有5次,占27.8%。虽然误差明显,但是不可否认该最优子集回归预报方程仍旧具有较好的实际应用价值。

表4 2011年雨季剩余18次降雨过程雨水温度变化最优子集回归试预报结果

| 时间 | 实测值 | 预测值 | 预测结果 |
|-------|------|------|------|
| 7月27日 | -1.1 | -2.3 | 正确 |
| 7月30日 | -7.2 | -5.7 | 正确 |
| 8月1日 | -2.5 | -4.3 | 空报 |
| 8月5日 | -1.7 | 0.1 | 正确 |
| 8月18日 | -4.0 | -7.6 | 正确 |
| 8月21日 | -5.7 | -7.6 | 正确 |
| 8月22日 | -8.0 | -6.2 | 正确 |
| 8月23日 | -1.8 | -6.4 | 空报 |
| 8月26日 | -4.9 | -5.8 | 正确 |
| 8月29日 | -9.0 | -6.1 | 正确 |
| 9月7日 | -1.6 | -5.5 | 空报 |
| 9月8日 | -4.4 | -3.6 | 正确 |
| 9月9日 | -0.3 | -1.4 | 正确 |
| 9月11日 | -8.0 | -4.3 | 正确 |
| 9月16日 | -3.6 | -4.6 | 正确 |
| 9月22日 | -0.6 | -1.2 | 正确 |
| 9月23日 | -0.2 | -1.6 | 正确 |
| 9月24日 | -2.3 | -1.5 | 正确 |

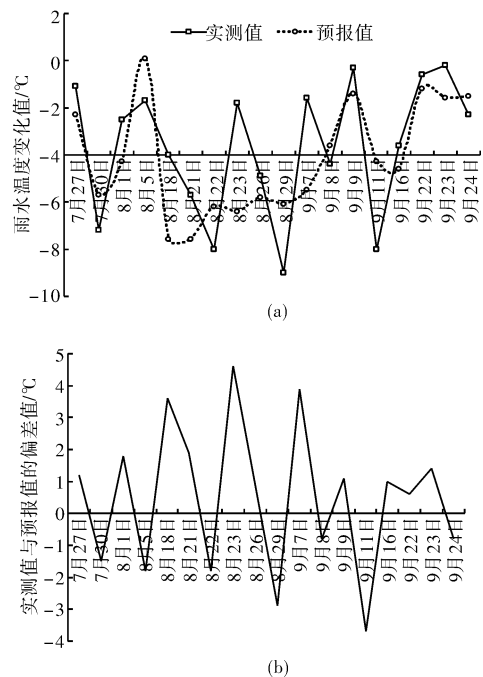


图4 雨水温度变化最优子集预报值与实测值对比曲线(a)及其偏差(b)

4 小结

我们于2010年6月开展了溪洛渡水电站地面雨水温度变化监测试验,对坝址自动气象站进行了改造,在常规遥测雨量筒中加装了雨水温度传感器,得到2010-2011年雨季地面雨水温度资料。在此基础上,对溪洛渡水电站大坝浇筑时碰到的

降雨过程雨水温度骤降进行了分析及预报。结果如下:

(1)2010-2011 年溪洛渡水电站雨季降雨天气过程所引发的雨水温度骤降出现概率为 37%, 雨温骤降高值主要集中在 7-8 月; 过程降雨量的大小并不能直接决定雨水降温的幅度, 引起雨水温度骤降的因素较多。

(2)利用 90 次降雨过程的历史数据建立了溪洛渡坝址站雨水温度变化最优子集回归方程, 雨水温度骤降回代准确率为 73%。该方程对雨水温度骤降的预报准确率达到 75%, 预报值与实测值的符号一致率达 94.4%, 表明该方程对溪洛渡坝址站雨水温度骤降预测效果较好, 具有实际应用价值。

由于试验所获资料长度仅为 2 年, 还不能完全证明预报方程的稳定性。因此随着未来观测资料

的不断获取, 还需要不断对预报方程进行修正, 以期得到更为稳定高效的雨水温度骤降预报方程。

参考文献:

- [1] 徐永胜, 陈历舒, 贾璇云. 自然积云与催化积云地面雨水温度的差异[J]. 气象, 1992, 18(12): 3-8.
- [2] 王仁坤. 水工大坝混凝土材料和温度控制研究与进展[M]. 北京: 水利水电出版社, 2009.
- [3] 詹剑霞, 曾明. 聚苯板保温材料在三峡工程中的研究与应用[J]. 中国三峡建设, 2004(4): 23-25.
- [4] 齐建飞, 王忠友. 聚苯乙烯板在三峡大坝坝体保温中的应用[J]. 人民长江, 2009, 40(6): 27-28.
- [5] 张子明, 王嘉航, 姜冬菊, 等. 气温骤降时大体积混凝土的温度应力计算[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2003, 31(1): 11-15.
- [6] 秦剑, 朱保林, 赵刚. 云南水电气象[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010.

Analysis and Forecast on the Sudden Dropping of Rain Water Temperature at Xiluodu Hydropower Station

Qin Jian¹, Zhu Baolin¹, Chen Yan², Qi Zhengxin¹, Zhao Gang¹ and Liu Yu³

(1. Meteorological Service Center of Yunnan, Kunming 650034, China; 2. Liangshan Meteorological Bureau of Sichuan, Xichang 615000, China; 3. Climate Center of Yunnan, Kunming 650034, China)

Abstract: The conventional recording rain gauge of automatic weather station at hydropower station is reconstructed and sensors of rain water temperature are added, so that the data of rain water temperature in 2010 and 2011 are obtained. Based on the data, the authors analyzed and forecasted the sudden dropping of rain water temperature during the Xiluodu dam construction. The results show that: (1) Occurrence rate of the sudden drop of rain water temperature arising from rainfall weather process is 37% in 2010 and 2011, the high values of sudden dropping mainly appear in July and August. Precipitation cannot directly decide the range of rain water cooling, as there are more factors that result in the sudden drop of rain water temperature. (2) Using the historical data of 90 rainfall weather processes, authors have built a optimum subsets regression equation of the sudden dropping of rain water temperature at Xiluodu Dam. The regression precision of the model of optimum subsets regression on the sudden drop of rain water temperature is 73%. The forecast accuracy rate on the sudden dropping of rain water temperature of the equation is 75%, and the Symbols consistent rate of forecast and observation is 100%. It indicates that this optimum subsets regression equation can give a better sudden dropping prediction of rain water temperature at Xiluodu Dam, so it can be applied in actual works.

Key words: sudden drop of rain water temperature; giant hydropower station; optimum subsets regression; concrete dam construction