

杨丽中,陈菲菲,梅丽峰. 应用地温数据的相关特征分析传感器故障[J]. 气象,2010,36(5):123-127.

应用地温数据的相关特征分析传感器故障

杨丽中 陈菲菲 梅丽峰

江苏省东台市气象局,东台 224200

提 要:通过对江苏省大量台站地温数据相关特征的分析,找出最佳相关指标点随时间分布规律;介绍利用单站资料建立统计估计指标和经验估计指标,并对估计值与正确值的偏差情况进行比较和分析。结果表明:绝大多数情况下,两种指标所确立的估计值与正确值之差均在给定的科学合理范围。这一结果可作为日常判断地温传感器故障的重要依据。

关键词:地温传感器,相关特征,统计指标,经验指标,故障判断

Malfunction Judgment Method of Ground Temperature Sensors by Related Measurement Characteristics

YANG Lizhong CHEN Feifei MEI Lifeng

Dongtai Meteorological Office of Jiangsu Province, Dongtai 224200

Abstract: Based on the analysis on the related characteristics of enormous ground temperature data at observatories in Jiangsu Province, the general law of the appearing time of the best index point is found. With single-stationed data, the statistical index and empirical index are established and the deviation between estimated value and correct value is compared and analyzed. Conclusion is drawn as follows: In most cases, the deviation between the estimated value and correct value, which are established by the two indexes, would come within a given range which is scientifically rational. This is the important basis for the daily malfunction judgment of ground temperature sensors.

Key words: ground temperature sensor, related characteristics, statistical index, expirical index, malfunction judgment

引 言

关于地温传感器故障的判断方法,欧阳秋明等^[1]和王燕等^[2]采取与人工仪器读数同步比对分析,或从土壤中取出地温传感器,置于同一较为稳定的水环境进行示值比较,类似于现场校准^[3]的方法,在分析确认明显的传感器故障方面有值得借鉴之处。但从各层地温之间内在联系的角度,在地温变化的动态环境中寻找突破点,建立估计指标,进行传

感器故障判断的方法,鲜有相关深入的研究介绍。

地温传感器故障有多种表现形式,通过对自动站多年运行中的故障情况及江苏省一般站地面报表中发现的故障情况的分析,总结得出以下三种情形:① 传感器内短路或断路:出现野值;② 传感器性能不稳定:上下层平稳升温或降温时,中间层在升或降的总趋势上出现 0.5℃ 以上的跳动变化;③ 传感器性能参数漂移:变化符合该层次的日变化规律,随时间的推移,数值逐渐偏高或偏低,缓慢地超出合理范围。对于前两种故障,各站一般能及时准确地判断

并处理,而最后一种故障形式具有一定的隐蔽性,尤其在差别不是很大时,不易被发觉。在审核报表数据^[4]过程中就发现不少台站由于缺少判断方法,无法发现传感器问题,使得故障长时间得不到处理,最终导致数据序列明显异常。运用统计指标或经验指标所确定的地温传感器故障判断方法,适用于不同的故障形式,主要针对的是最后一种故障情形。

1 地温传感器测量相关特征及最佳指标点

1.1 地温传感器测量相关特征

地温的各层之间本是同一事物的不同层面,存在着很好的相关关系,但由于白天太阳对地面的直接照射,使浅表层快速升温,且随层次的加深,升温幅度变小,日最高值出现的时间逐渐滞后,这就使得各层之间线性相关变差,而傍晚开始又逐渐恢复线性相关。因此傍晚至第二天日出前后必存在某一时刻或时段,各层地温之间达到相对稳定的平衡态,线性相关最好。

从江苏省各站随机选取 10 个站 1—12 月共 120 个站月报表地温数据,分别计算各站每月中逐日同一时刻 0~20 cm 各层地温之间的相关系数,得出 240 个/月相关系数数据。以随机样本 58242 站的 2007 年 2 月份数据为例(数据略),根据计算结果作相关系数曲线图(图 1)。结合数据分析图 1 可知,任意一层地温总是与相邻层次关系最密切,浅表层地温相关系数曲线的峰值出现在 6 时左右。随层次加深,其与邻层相关峰值逐渐滞后。

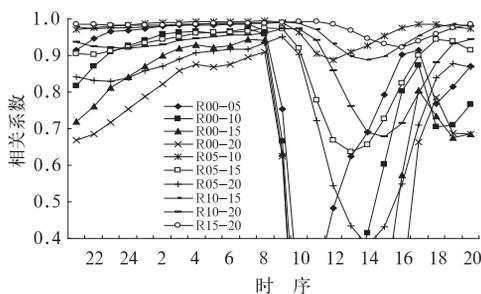


图 1 2007 年 2 月 58242 站逐时各层地温相关系数曲线图

Fig. 1 Hourly correlation coefficient curves of ground temperature between different layers at Station 58242 in February 2007

1.2 最佳指标点随时间分布规律

通过以上相关特征分析,将各层分别与两相邻层次相关系数平均值最大时刻所对应的点确定为最佳指标点。在最佳指标点,各层与上下相邻层次相关系数均在 0.95 以上,使统计方法建立较为准确的估计指标成为可能。

通过对抽查的不同月份样本运算结果的分析,得出普遍规律:各站同月相关系数曲线图形相似,相邻层次相关系数峰值随层次的变化,6—11 月多出现在 17—22 时,少数在日出前后;12—5 月多出现在 06—09 时,少数在日落前后;多雨月份和低温冷月有冻土存在时,相关系数曲线图显得零乱,相关情况不太好。

2 统计指标判断方法

2.1 样本的选择和估计指标的建立

基于降水对地温数据的影响,降水天气数据序列离散程度变大,会使统计指标估计效果变差;低温冷月有冻土存在时,土壤中水分冻结潜热的释放会破坏冻土对应层与邻层的相关关系。故实际确定最佳指标点和指标时,须选择条件样本,剔除阴雨天气和有冻土的日期,结果亦用于同条件天气下各层地温的相互估计。

以 2005—2008 年 5 月 58251 站数据为例,4 年中该月符合条件的样本有 77 个;由于 0 cm 作为空气与土壤的耦合层,空气温度对 0 cm 的影响很大,引入温度参与相关计算。对某层地温而言,上下层温度对其温度变化的影响是反向的。如日出前:上层地温较低,对下层影响是使其降温,下层反之,且其与邻近上下层关系最为密切。故根据客观实际情况,取两相邻地温为影响因子,以两相邻相关系数平均值最大的时点作为最佳指标点,进行回归分析^[5],从而减少随机误差。5 月 58251 站相邻层次相关系数随时间分布曲线(典型图形,各站同月图形类似)如图 2 所示。

结合相关系数数值分析图 2:该月 0 cm、5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 最佳指标点分别出现在 06 时、

06 时、07 时、08 时、09 时。通过运算建立估计方程为(数据以 0.1 °C 为单位代入):

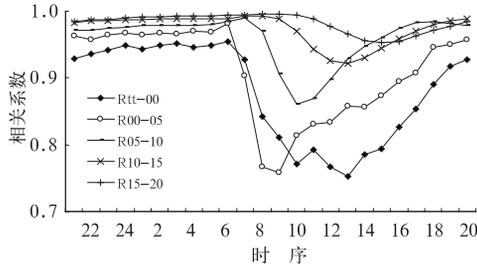


图 2 5 月 58251 站逐时相邻层次地温相关系数曲线图

Fig. 2 Hourly correlation coefficient curves of ground temperature between adjacent layers, May, Station 58251

0 cm:以 06 时空气温度和 5 cm 地温记录估计:

$$\hat{X}_0 = 0.297X_t + 0.732X_5 - 11.100$$

5 cm:以 06 时 0 cm 和 10 cm 地温记录估计:

$$\hat{X}_5 = 0.450X_0 + 0.623X_{10} - 16.885$$

10 cm:以 07 时 5 cm 和 15 cm 地温记录估计:

$$\hat{X}_{10} = 0.437X_5 + 0.600X_{15} - 8.921$$

15 cm:以 08 时 10 cm 和 20 cm 地温记录估计:

$$\hat{X}_{15} = 0.431X_{10} + 0.591X_{20} - 6.070$$

20 cm:仅以 09 时 15 cm 地温记录进行估计:

$$\hat{X}_{20} = 0.933X_{15} + 16.135$$

2.2 统计估计效果验证及判断方法

利用方程对样本进行估计值与正确值绝对误差的拟合统计,结果见表 1。

表 1 估计值与正确值绝对误差拟合统计表

Table 1 Statistical fitting of absolute error between estimated and correct values

误差绝对值/°C	0 cm		5 cm		10 cm		15 cm		20 cm	
	出现次数	累计百分率/%	出现次数	累计百分率/%	出现次数	累计百分率/%	出现次数	累计百分率/%	出现次数	累计百分率/%
0.0	9	12	15	19	28	36	39	51	21	27
0.1	18	35	23	49	37	84	34	95	35	73
0.2	10	48	15	69	10	97	4	100	15	92
0.3	13	65	12	84	2	100			4	97
0.4	6	73	5	91					1	97
0.5	6	81	6	99					1	100
≥0.6	15	100	1	100						

表 1 统计结果分析:以规范规定的一般站仪器允许误差±0.5 °C^[6]作为估计值与正确值允许偏离范围,在该误差范围内认为准确。则用空气温度和 5 cm 地温读数估计 0 cm 值的准确率为 81%,效果稍差;用 0 cm 和 10 cm 地温读数估计 5 cm 值的准确率为 99%;其余均达 100%准确率。且层次越深,用上下层地温估计中间层地温的准确性越高;20 cm 仅以 15 cm 地温值为影响因子进行估计,其估计值偏离正确值程度稍大,间接证明用上下两层地温值为因子进行二元回归分析以减少随机误差的必要性。

统计指标是建立在样本数据的正确基础上,从正常数据变化中找出各层地温之间所遵循的规律或相互关系,要求样本数据必须确认正确,才能得出正确的估计表达式。实际工作中,在最佳指标点,若利

用上下层地温估计中间层地温值与中间层显示值在给定误差范围,则间接证明该三层地温传感器正常;若发现在最佳指标点,数据超出估计值所给定的允许误差范围,应引起注意。

3 经验指标判断方法

3.1 浅层地温经验判断指标及判断方法

根据多年工作经验及审核江苏省一般站报表中对数据的规律摸索,也发现夏季在 04—05 时、春秋季节在 05—06 时、冬季在 06—07 时左右,大约日出前,中间层地温与相邻上下层之间遵循平均近似规律:

$$\text{即: } \hat{X}_n = \frac{(X_{n-1} + X_{n+1})}{2}, \text{ 且一般地: } X_{n-1} \leq X_n \leq X_{n+1} (n \text{ 表示各层次,由浅入深}). | \hat{X}_n - X_n | \leq$$

ΔX_n (X_n 为指标时刻第 n 层地温记录值)。

给定经验误差范围 $\Delta X_n = 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$, 满足以上关系, 则所对应的三层地温均为正常。有时会偶尔出现不符合的情形, 这是由于上日有强降水或较强的升温、降温造成的残余影响, 或因为低温土壤冻结造成; 但在随后的晴天经验指标点, 数据序列很快恢复到符合经验指标的范围, 这种情形属于正常。否则, 三层中必定有一层地温传感器出现故障, 重新移位计算, 可以分析出哪层地温偏高或偏低。

3.2 经验判断的统计验证

从已审核无误的江苏省 2008 年 1—5 月报表抽查 23 个台站共 115 个站月, 每月随机相近间隔抽查 6 个晴天 06 时各层地温, 以经验指标估算中间层地温, 并与正确值比较, 结果如表 2 所示。

表 2 经验指标估算中间层地温与正确值绝对误差统计表 (误差单位: $^\circ\text{C}$)

Table 2 Statistics of absolute error between empirical estimated value of ground temperature in intermediate layer and correct value (unit: $^\circ\text{C}$)

最大绝对误差/ $^\circ\text{C}$	站月个数	累计百分率/%
0.1	1	1
0.2	24	22
0.3	30	48
0.4	33	77
0.5	15	90
0.6	6	95
0.7	2	97
0.8	3	99
0.9	1	100

按规范关于地温传感器准确度要求, 一般站要求在 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内, 基准站要求在 $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内。对一般站而言, 考虑上下层地温出现正负误差的极端情形, 误差在 $\pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内均为正常; 但根据经验给定的误差为 $\pm 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$, 相当于基准站上下层地温传感器器差反向极端情形, 是合理而科学的。超过该经验误差, 要引起注意。从表 2 分析: 最大绝对误差 $\leq 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 的站月累计百分率达 95%; 统计过程中, 发现有少数站月中个别日期最大绝对误差 $> 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$, 但在随后日期的指标点, 数据序列恢复到符合经验指标上, 为正常。

3.3 关于 0 cm 地温故障的经验判断指标

在日常判断浅层各传感器均正常的情况下, 小雨天气或雾天, 当发现: 5 cm、10 cm 数据相同并持续数小时, 而 0 cm 始终高于或低于 (一般是低于) 5 cm 值 $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上 (无锡产: 4 支地面温度传感器, 下同); 0 cm 与 10 cm 数据相同并持续数小时, 而 5 cm 始终高于或低于 (一般是高于) 0 cm (或 10 cm) 值 $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上。则 0 cm 地温传感器中至少有一支^[7] 有故障。该指标点的选择具有不定性, 日常工作中要善于抓住机会, 及时判断。

4 判断指标的意义和在实际工作中的应用

由于各层地温传感器不可能同时发生性能参数漂移故障, 开始发生故障时数据不是立刻偏离到不能使用的程度, 这使统计指标或经验方法判断成为可能, 从正常地温数据序列中找出的规律和经验判断指标非常实用。各站应根据实际情况, 利用正确的历史资料, 建立适合本站特点的逐月的统计或经验判断指标, 用于日常的故障判断, 及时发现故障。通过以上判断指标, 尤其是经验指标, 在 2007 年度审核江苏省一般站地面报表工作中, 共发现地温传感器故障 7 例, 其中: 传感器性能不稳定故障 2 例; 传感器性能参数漂移故障 4 例; 0 cm 地温中有一支或以上性能参数漂移故障 1 例。各站在收到报表审核意见后更换了相应层次地温传感器, 数据序列恢复正常。指标的判别意义是非常显著和有效的。实践证明, 该统计指标方法的建立和经验指标的判断方法值得应用和推广。

江苏省仅一例不太符合经验指标, 经信息反馈, 是由地质因素造成: 地温场下为石质地层。

5 结 论

(1) 统计最佳指标点, 一般出现在日出和日落前后, 06—09 时和 17—22 时。在最佳指标点, 统计估计值与记录值之差在允许偏离的器差范围, 或超

出范围,但在随后的一到二日,恢复到范围内,传感器正常;否则,传感器异常。

(2) 经验最佳指标点,一般选择在 04—07 时之间,大约日出前。在经验指标点,给定经验允许范围,中间层地温与相邻上下层之间遵循平均近似关系。符合这一关系,或不符合但在随后的一到二日,恢复到符合,传感器正常;否则,传感器异常。0 cm 指标点的选择具有不定性,应在日常工作中抓住机会。

(3) 统计方法计算量较大,判断 0 cm 效果稍差,判断 5~20 cm 精确度高,值得运用;经验方法效果良好,分析判断简单,值得借鉴。

参考文献

[1] 欧阳秋明,蔡玉荣,张玲. 浅层地温传感器的故障分析[J]. 山东

气象,2006,26(1):82.
[2] 王燕,母秀民. 地温传感器示值超差的判断与更换[J]. 山东气象,2007,27(1):59.
[3] 罗淇,任芝花,邹树峰,等. 自动气象站现场校准方法探讨[J]. 气象,2007,33(12):93-97.
[4] 封秀燕,何志军,金志凤. 地温资料的计算机自动审核方法[J]. 气象科技,2006,34(1):116-118.
[5] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京:气象出版社(第二版),2002:28-32.
[6] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社(第一版),2003:6.
[7] 罗淇. 自然环境校准自动气象站地温传感器超差成因分析[J]. 气象,2005,31(11):52-54.



征稿简则

- 1 《气象》主要刊登气象科学研究领域的综合评述及研究论文;天气、气候诊断分析与预报技术;气象业务技术及业务现代化建设经验;气象灾害的规律及防灾减灾决策;公共气象服务和专业气象服务技术方法;气象科技信息动态等。
- 2 来稿注意事项
 - 2.1 来稿务必论点明确,数据可靠,文字精炼。文章的书写顺序为:中文题目(不超过 20 个汉字)、作者姓名、单位名称、邮政编码、中文提要(200~300 字)、关键词(3~8 个);英文题目、作者姓名、单位名称、邮政编码、英文提要及英文关键词;引言;正文;结论和讨论;致谢;参考文献。文章首页页脚处附作者信息,即姓名、从事专业工作和研究方向。Email 等。
 - 2.2 正文标题用阿拉伯数字连续编号,不同层次数字间用圆点间隔,如“1”,“1.2”,“2.1.3”等。标题左顶格,在数字编号后空一格再写标题,末尾不加标点符号。
 - 2.3 基金资助的研究项目,请注明省部级以上基金名称和项目编号。
 - 2.4 文稿的单位制采用《中华人民共和国法定计量单位》。图、表中量和单位间用“/”隔开,表示物理量的符号用斜体表示,并注意文种、大小写、正斜体、上下角码等。
 - 2.5 科技术语和名词应使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。
 - 2.6 文稿只附必要的图表。图、表要求准确,清晰,美观。在文中相应的位置插入图、表。图、表附相应的中英文图题、表题。附表请使用三线表。
 - 2.7 参考文献按在文内出现顺序连续编码。在期刊上发表的文献书写格式为:[序号] 作者姓名(列出前 3 位). 题名[J]. 期刊名,年,卷(期):页码。在专著、教科书上发表的文献书写次序为:[序号] 作者姓名. 译者姓名. 文题名. 书名[M]. 出版地:出版社,出版年:页码。
- 3 请勿一稿两投。本刊一般不退稿,若 6 个月内未见刊用通知,可自行处理。
- 4 本刊收取发表费,并付稿酬,所付稿酬包含纸质版、数字版稿酬和刊物内容网络服务报酬等。凡不同意将其稿件纳入此两种版本进行交流者,请书面说明。
- 5 通讯地址:北京市中关村南大街 46 号《气象》编辑部 邮政编码:100081
网上投稿地址: <http://219.234.83.5>
电话:(010)68407936 58993789 68407336 Email:qixiang@cams.cma.gov.cn