

# 风资源评估中MCP方法的比较研究

庞自飞

龙源(北京)新能源工程设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 本研究系统评估了线性最小二乘法(LLS)、总体最小二乘法(TLS)、方差比率(VR)和矩阵时间序列法(MTSM)在风资源测量-关联-预测(MCP)中的性能。基于项目实测数据,采用误差指标量化各方法的准确性,并提出针对风数据插补、相关性分析和长期预测的优化选择策略。

**关键词:** 风资源评估; MCP方法; 数据插补; 预测准确性; 算法比较

引言: 在风资源评估中,除了《风电场气象观测资料审核、插补与订正技术规范》中规定的线性相关法推算插补风速外还有LLS、TLS、VR、MTSM等方法。利用参考数据对缺测数据进行插补时会带来一定程度的误差,因此插补方法的选择尤其重要。国内外学者针对测风数据插补方法的准确性开展了相关研究。王远以广东某风电场为例,比较了3种不同的线性相关测风数据插补方法的误差。尹旭对当前风电行业中插补测风数据常用的线性最小二乘法、总最小二乘法和方差比率法的插补准确性进行对比分析,研究了测风时长和决定性系数对测风数据插补带来的不确定度的影响。本文考虑到现有的风资源评估中MCP方法相对单一,通过对比LLS、TLS、VR、MTSM适用场景与局限性对传统的MCP方法进行补充,并用实际案例验证windographer软件中对偏差预估的准确性。

## 1 方法综述与理论框架算法特性对比

方法一:

LLS“线性最小二乘法”MCP算法是通过直接将线性最小二乘过程应用于目标速度与参考速度的散点图,来关联目标速度与参考速度数据,得到的线性曲线拟合用一个斜率和截距值描述。

这种方法与“完全最小二乘法”的不同之处在于,它最小化的误差项是每个测量数据点与最佳拟合线之间差的平方和。完全最小二乘法则不同,它是从垂直方向测量误差,与最佳拟合线垂直。

方法二:

TLS“完全最小二乘法”也称“正交最小二乘法”,是一种关联目标速度和参考速度数据的方法,它能够最小化与最佳拟合线之间的正交距离。得到的线性曲线拟合由斜率和截距值。这种方法与“线性最小二乘法”的不同之处在于,它最小化的误差项是每个测量数据点与垂直于最佳拟合线之间的平方和。

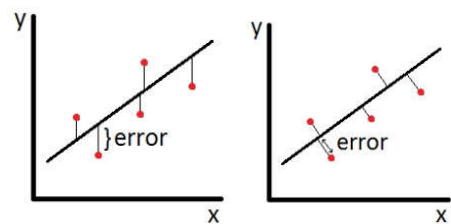


图1 LLS与TLS方法方式对比

方法三:

VR“方差比率”算法是由罗杰斯等人提出的一个简单且稳健的MCP算法。它使用线性模型的形式 $y = mx + b$ ,并设置该线性模型的这两个参数,使得预测目标风速的方差等于观察。目标风速的方差。方差比算法的原则是基于预测目标风速的方差等于观测目标风速的方差,斜率 $m$ 本身等于观测目标风速的标准差与观测参考风速的标准差之比。VR本身不能单独完成测风塔数据插补,而是在“相关性检验通过”的基础上,提升插补数据“变异性精度”的关键工具。

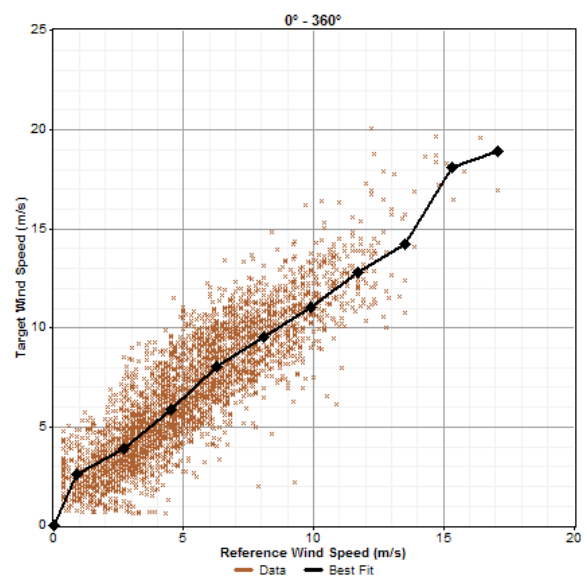


图2 VS方法示意图

方法四:

MTS “矩阵时间序列”的方法在联合概率分布的基础上, 认识到目标风速与参考风速之间关系的概率性质:

一个参考风速并不对应于一个单一的目标风速, 而是对应于一个目标风速分布。

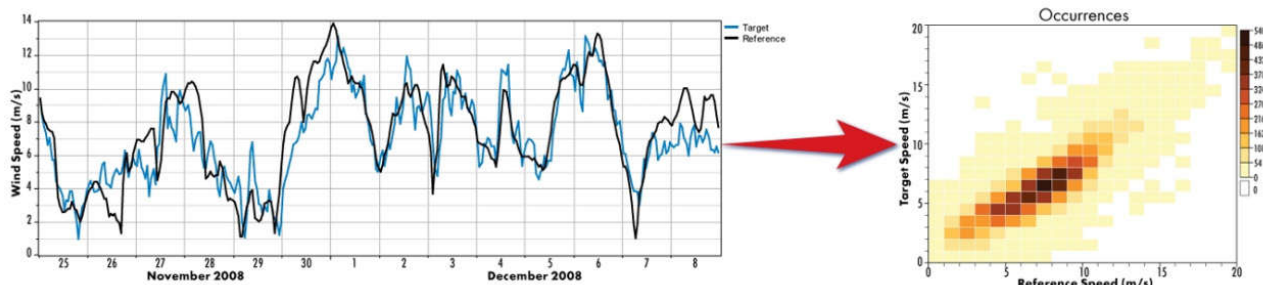


图3 MTS方法示意图

表1 5种MCP方法对比表

方法	优点	缺点	适用场景
LLS (线性最小二乘法)	计算简单, 解释性强	忽略参考数据误差, 高风速区偏差大	低风速平原区
TLS(总体最小二乘法)	同时考虑x/y误差, 精度更高	计算复杂, 对异常值敏感	高精度需求场景
VR(方差比率)	保留风速分布形态	不适用于高频或极端天气数据插补	适合风资源均一性较好的区域 (如平原、近海)
MTSM(矩阵时间序列法)	捕捉时空相关性, 适合多站点	需高维矩阵运算	区域风场协同预测

2 插补误差验证

已知两基测风塔实际测风已满6个月, 本次对两基测风塔通过不同方式插补进行试算来验证不同方式插补

效果的差异。分别将CFT2的1个月、2个月、3个月、4个月、5个月数据通过相关性插补至6个月的数据, 并进行偏差验证。

表2 两基测风塔不同时段内相关性对比分析

	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月
LLS	0.67	0.61	0.62	0.65	0.66
TLS	0.53	0.38	0.44	0.53	0.56
VR	0.59	0.47	0.49	0.54	0.56
MTSM	--	--	--	--	--

表3 不同方法将CFT2不同时段内的数据插补至半年后的风速情况

	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月
LLS	6.742	6.246	6.139	6.277	6.207
TLS	7.413	6.664	6.398	6.399	6.201
VR	7.049	6.587	6.366	6.390	6.201
VSM	--	--	--	--	--
MTSM	6.238	5.844	5.951	6.396	6.011

表4 不同方法将CFT2不同时段内的数据插补至半年后的风速偏差情况

	1个月	2个月	3个月	4个月	5个月
LLS	10.34%	2.23%	0.47%	2.73%	1.59%
TLS	21.33%	9.07%	4.71%	4.73%	1.49%
VR	15.37%	7.81%	4.19%	4.58%	1.49%
MTSM	2.09%	-4.35%	-2.60%	4.68%	-1.62%

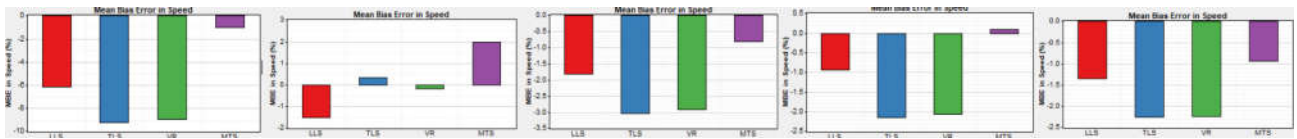


图4 windographer软件在4种方法通过不同时段的数据插补偏差分析

通过表2可知通过控制不同时段变量，两基测风塔1-5月同期数据相关性并没有较大波动。以本项目为例，两基测风塔不同时段的数据相关性呈现水平波动的趋势，无明显上升或下降的趋势。当同期数据仅有1个月时，尽管LLS方法相关性略高于其他时段，但是由于该时段同期数据占比最小，导致插补后的数据偏差最大<sup>[1]</sup>。由此可见当同期数据占比较小时，数据相关性的好坏对于插补数据的精确度没有直接影响<sup>[2]</sup>。

由表3可知当仅有一个月同期数据时，数据完整率16.67%（相对于6个月数据），不同方式插补后的风速和实际风速差异均较高，偏差范围在2.09-21.33%。当同期数据小于3个月时（即小于50%时），不同插补方法的偏差比例均有较大差异<sup>[3]</sup>。但是当同期数据为5个月时（即同期数据达到83%时），不同插补方法的偏差比例基本一致，基本上在1.5%左右。考虑到本项目中两基测风塔的相关性一般，因此初步认为该偏差比例在合理范围内。因此初步判断数据完整率在80%时，采用异塔方式进行插补较为合适，且不同方法插补后的结果不会出现较大差异。当同时段风速区间小于该比例时可能存在较大的随机性。

通过表4和图4进行对比可知，windographer软件在对不同方式插补偏差对比和实际偏差的趋势和偏差范围有一定参考性，但仍存在一定偏差。总体可以看出，针对本项目而言LLS和MTSM方法的插补风速偏差较小，但是LLS风频分布偏差影响较大。对于本项目而言MTSM在几种方法中最为保守。

**结束语**

1、异塔插补时，测风塔之间的相关性并不一定伴

随同期测风时段增长而有明显提升的趋势。以本项目为例，两基测风塔不同时段的数据相关性呈现水平波动的趋势，无明显上升或下降的趋势。当同期数据占比较小时，数据相关性的好坏对于插补数据的精确度没有直接影响。当同期数据时间占比不断提高，插补数据占数据总量比例逐渐减小，因此由异塔插补导致的不确定性影响减弱。

2、考虑到本项目中两基测风塔的相关性一般，因此初步认为该偏差比例在合理范围内。因此初步判断数据完整率在80%时，采用异塔方式进行插补较为合适，且不同方法插补后的结果不会出现较大差异。当同时段风速区间小于该比例时可能存在较大的随机性。

3、windographer软件在对不同方式插补偏差对比和实际偏差的趋势和偏差范围有一定参考性，但仍存在一定偏差。总体可以看出，针对本项目而言LLS和MTSM方法的插补风速偏差较小，但是LLS风频分布偏差影响较大，MTSM在几种方法中最为保守。

4、数据插补时建议采用多种MCP方式对比，并基础上进行敏感性分析。

**参考文献**

[1]靳晶新, 叶林.融合多维气象信息的风能资源评估MCP方法[J]. 高电压技术, 2021,47 (6): 2178-2186.  
 [2]陈磊, 李刚, 龚玺.分风向扇区 MCP 方法在复杂地形风资源评估中的应用 [J]. 可再生能源, 2021,39 (7):923-929.  
 [3]靳晶新, 叶林.融合多维气象信息的风能资源评估MCP方法[J]. 高电压技术, 2021,47 (6):2178-2186.