

气象台站网 合理分布概论

杨贤为 何素兰 编著
崔伟强 张 强

气象出版社

气象台站网合理分布概论

杨贤为 何素兰 编著
崔伟强 张 强

气象出版社

内 容 简 介

本书论述了气象台站网合理布局方面的问题。书中全面介绍了我国气象台站网的历史、现状和发展规划,详细论述了国内外开展站网布局研究的若干方法,着重展示了作者多年来在我国平原地区从事此项研究的工作成果。

本书资料丰富,图文并茂,供从事气象、气候的专业人员和业务管理人员参考。

气象台站网合理分布概论

杨贤为 何素兰 编著
崔伟强 张 强

责任编辑:苏振生

气象出版社出版
(北京西郊白石桥路46号)

中国科技情报研究所印刷厂印刷

1989年1月第一版 1989年1月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 字数:201.6千 印张:8.5

印数:1—1500

ISBN 7—5029—0239—2/P·0145

科技新书目:193—219

定价:4.40元

前 言

遍布全国的气象台站网是全国气象工作的组织基础，在气象事业为国民经济和国防建设的服务过程中起着不可代替的重要作用。

气象台站通过多种手段，对三维空间大气进行连续探测，不断记录大气变化的实况，积累地面和高空的各种气象资料，实时拍发各类气象情报。这些资料和情报是制作天气预报、进行气候分析、开展大气科学研究以及制订有关工程计划的依据。

分布合理、密度适中的气象台站网，可保证所观测的气象要素在所有地点的内插值都具有足够的精度。因为在实际工作中，我们不仅要求气象台站提供所在点的观测资料，而且往往要求利用这些资料内插某一点的气象要素值或估算某一区域的平均值。为了保证这些内插值和平均值具有一定的精度，气象台站必须达到相应的密度，如站网太稀就达不到所要求的精度，从而导致分析失真、判断失误以及预报不准等不良后果。但站网过密，又会造成人力、物力和财力的浪费。因此，如何以最小的站网密度来达到必要的内插精度，也就是说，如何以最小的经济代价来换取最大的工作效益，是我们开展这项研究所寻求的主要目标。

建国以来，我国气象台站网的建设迅速发展，到1982年底为止，全国属气象部门建制的气象台站为建国初期台站总数的26倍，基本上能够适应为经济建设和国防建设服务的需要。但是，由于种种原因，我国气象台站的建设和布局确实也存在不少问题。众所周知，我国气象台站网的布局主要是根据行政区划来设置的，经常因为行政区划的变动而造成气象台站的兴建、撤消和迁移，从而不同程度地影响了观测资料的连续性和代表性。在不少人口稠密、经济发达的平原，气象站网过于密集，少数地区甚至出现重复设置台站的情况。反之，在地形复杂及人烟罕至的高山、高原地区，气象台站较少，不能满足日益发展的气象现代化服务、业务和科研的要求。

鉴于上述情况，对我国各地区、各类型的气象台站网进行系统、全面的合理分布研究，不论从经济效益还是现实需要的角度出发，都是十分必要的。

在本书中，我们一方面将我们所了解的国内外曾经采用的气象台站网合理分布研究方法进行介绍和评述；另一方面，着重将我们近年来根据我国多年气象资料采用结构函数方法，在若干平原地区所获得的研究成果予以详细的论述。本书供气象部门的业务管理人员和观测人员参阅。由于本书计算和编绘了我国主要平原地区若干气象要素的内插标准误差与站间距离对应关系的一系列图表，因此对于从事气候分析和天气预报的专业技术人员来说也有一定的参考、使用价值。

应该指出的是，气象台站网的合理分布研究工作量大，计算繁复，牵涉面广，其理论至今还远远没有趋于完善。由于缺乏必要的资料，我们的研究工作主要是在纯气象学理论的基础上进行的，未能从经济效益的角度开展更加深入的研究；我们的研究范围也仅局限于站点比较密集的平原地区，在地势起伏的山区如何进行站网设计，尚有待于今后进一步探讨。

由于我们的水平有限，在编写过程中，缺点和错误在所难免，敬希读者批评指正。

编著者于国家气象局北京气象中心

目 录

前 言

第一章 我国气象观测站网的历史、现状和展望.....	(1)
§ 1.1 我国气象观测站网的历史.....	(1)
§ 1.2 我国气象观测站网的现状.....	(2)
§ 1.3 我国气象观测站网的展望.....	(6)
第二章 国内外台站网研究方法综述.....	(8)
§ 2.1 比塔斯法.....	(8)
§ 2.2 结构函数法.....	(12)
§ 2.3 相关法.....	(16)
§ 2.4 聚类法.....	(18)
§ 2.5 概率论法.....	(23)
§ 2.6 信息论法.....	(24)
§ 2.7 误差法.....	(29)
§ 2.8 指标法.....	(31)
第三章 设计平原地面气象台站网的思路和计算过程.....	(34)
§ 3.1 地面气象台站网的分布原则和类型.....	(34)
§ 3.2 山区站网建设的复杂性.....	(35)
§ 3.3 结构函数和协方差函数的定义及计算方法.....	(38)
§ 3.4 观测随机误差的估计和线性内插标准误差的计算.....	(40)
§ 3.5 最大容许误差及最佳台站网间距的确定.....	(42)
§ 3.6 台站网设计中特征函数值的统计程序.....	(43)
第四章 我国主要平原地区地面气象站网的设计.....	(54)
§ 4.1 东北平原.....	(54)
§ 4.2 河北平原.....	(64)
§ 4.3 江淮平原.....	(73)
§ 4.4 成都平原.....	(79)
§ 4.5 江汉平原.....	(85)
§ 4.6 珠江平原.....	(95)
第五章 各类气象要素的内插精度与最佳台站间距在我国平原地区的分布特征	(103)
§ 5.1 气压	(103)
§ 5.2 气温	(107)
§ 5.3 相对湿度	(112)
§ 5.4 风速	(118)
§ 5.5 降水	(123)

第一章 我国气象观测站网的历史、现状和展望

§ 1.1 我国气象观测站网的历史

气象观测是开展气象研究、进行天气预报及气候分析的前提,可以说没有气象观测就没有气象学,更谈不上现代的数值预报了。我国古代劳动人民很早就注意观察风云雨雪的变化,对各种物候现象进行观测记述,总结出一些天气变化的经验,并根据这些经验来预测未来的天气。我们的祖先虽然很早掌握了气象知识,但由于历代封建王朝的反动统治,气象科学和其他自然科学一样发展迟缓。

早在明朝,我国已设立了掌管天文、气象的钦天监组织机构,上自中央,下至州县都有编制,人数众多。到了清朝,又有新的发展,在钦天监中,不但有汉人,还有满人和蒙古人,甚至也吸收了西洋人参加这一工作。明洪武十八年(1385年)在南京鸡鸣山西侧山颠上建立观象台,此台比英国格林威治观象台的成立(1670年)要早约三个世纪,实际上是世界上最早的一个观象台。观象台内,先后设有浑天仪、简仪、圭表和相风杆等仪器,颇为完备。明成祖后,迁都燕京(今北京),于齐化门(今建国门)上亦建有观象台,但仪器设备尚不及南京。

明清时期的气象观测,从《明史》和《清史稿》中可以看到各地对恒阴、恒寒、雨雪、阴霾、冰雹、雷震、水潦、恒燥、恒雨、恒晴、恒风、风霾、大水、少雪、大雨、旱、淫雨以及飓风等灾害性天气和反常的气候现象,均有详细的记载。对于雨雪的测量则更加广泛普及。据史料分析,永乐末年(1424年)已颁发雨量器到各州府县,进行雨量观测。清代除测量雨量外,在其它气象观测方面较明朝也有很大的进步。清朝自康熙以后,对气象观测已相当重视,并把观测工作分为两种。一种是不定时的观测,当有特殊天气现象(如初雷)出现时,钦天监的工作人员即进行详细观测,然后将观测结果专门以“题本”形式上奏皇帝阅看。另一种是钦天监和各地气象专职人员所进行的定时观测。这种观测又分两种情况,一是令全国各州县测量下雨、下雪过程的起止时间,下雪深度和雨水入土深度;二是令国家和各州县逐日观测晴、阴、雨、雪等天气现象。此外在苏州、杭州等地还增加风向、霜冻等观测项目。这称为晴雨录。

我国古代保存下来的持续时间较长的气候记录,最早的要算北京故宫文献馆里所藏的晴雨录了,其中记录年代较长的有北京、江宁、苏州、杭州四处。其中尤以北京记录最为长久,从清雍正二年到光绪二十九年(1724—1903),共180年之久。降雨的开始和终止,都用时辰表明,可惜没有数量的记载。

清末,外国传教士将西方比较近代的气象仪器温度表和湿度表输入我国,客观上对我国气象科学的发展起了一定的推动作用,并使我国的气象观测开始进入用仪器定量观测阶段。

法国传教士哥比(Gaubil)于乾隆八年(1743年)在北京开始进行气象观测,这是我国境内最早用近代仪器观测的气候资料。其记录除马尔曼(W. Mahlmann)曾经发表过零星温度资料外,其余已无法查考。此后,又有耶稣教士阿弥倭(Amiol)从乾隆二十年初到二十五年间(1755—1760年)在北京做过温度、气压、云量、雨量、风向等观测。其6年统计资料由

美休 (Messier) 在巴黎《数理杂志》上发表, 是这一时期中仅存的我国最早的气象记录。

外国人在我国南方也建立了许多气象台站, 最早有同治十二年 (1873年) 耶稣会教士在上海创立的徐家汇观象台; 光绪十年 (1884年) 英国人在香港建立的皇家气象台; 光绪二十四年 (1898年) 德国人在青岛设立的青岛观象台。这些都是比较完备的气象机构, 有每时观测并用无线电与各地通报, 画出每天的天气图。同时在广州、宁波、厦门、温州、九江、芜湖、汉口、嵊山、重庆等43处设立了海关测候所。另外, 在我国西藏等边缘地区、中东铁路一线及外蒙 (今蒙古人民共和国) 诸地也设立了不少测候所。这些测候所为我国建立全国统一的观测网奠定了基础。但在当时, 各地测候所几乎全都掌握在外国人手中, 为他们各自的目的而服务, 即没有统一规格的仪器, 也没有统一的管理制度和观测规范。

辛亥革命之后, 北京政府成立中央观象台, 从1915年开始设气象科, 专管气象观测工作。为了开展业务, 气象科一方面自己设计制造雨量计和百叶箱; 另一方面向国外购买气象仪器。1915年开始制定观测规则, 确定24小时观测制度, 观测内容为气压、气温、湿度、风、雨量、云量、云类、最高最低温度和地温等项目, 从此观测工作开始走向正规。中央观象台气象科的成立, 标志我国自办气象测候事业的开始。最初的观测只在北京一地进行, 1917—1922年相继在张北、开封、西安等地方设立测候所, 但因常年内战, 不久即停止工作。

1927年北伐战争后, 南京政府成立中央研究院, 院内设气象研究所, 由我国现代气象事业创始人竺可桢先生任所长。为了发展气象事业, 获得可靠的实况资料, 1928年竺可桢提出了“全国设立测候所计划书”, 他考虑我国地形、人口与地区的大小等情况, 主张将全国划分为十大区。计划在每一大区内设一气象台, 总揽一切, 下设二、三等测候所10~13个。在各方面的努力下, 到1936年止, 这类简单的测候所达到了50多处。在这段时期内, 气象台站的建设已开始深入到西北甚至边远的西藏地区, 观测内容也有所扩充。但与测候所比较集中的沿海、沿江地区相比, 西北、西南地区的气象站点仍然很少。测候所的布局极不均衡, 除国家建立的测候所外, 各省的建设厅 (实业厅)、水利单位、农林试验场以及少数大学与师范学校也都纷纷设立了自己的气象测候所。可惜缺乏统一指导, 所用仪器类型和工作制度也没有统一的规定。与此同时, 北京、南京、西安、青岛、上海、汉口、厦门等地都开始进行高空测风观测, 北京进行了风筝观测, 南京还进行了飞机观测。由于当时国民党政府不加重重视, 经费缺乏, 设备陈旧落后, 发展速度异常缓慢。虽然在气象工作者的努力下, 零星地先后建立了一些气象站, 但大都仪器型号混杂, 记录残缺不全。我国气象观测网的全面建设是在新中国成立以后才正式开始的。

§ 1.2 我国气象观测站网的现状

1. 建国以来气象台站网的发展

新中国成立时, 全国总共只有101个气象台站, 远远不能适应为经济建设和国防建设服务的需要。由于接收的台站情况不同, 仪器设备、技术规范均不一致。在三年经济恢复时期, 党和国家大力整顿、建设统一的气象台站网。到1952年底, 全国已有气象台站317个。1953年, 我国开始第一个五年计划建设, 气象部门从军队建制转为政府建制, 为适应第一个五年计划经济建设的需要, 气象台站网的建设迅速发展, 根据天气、气候的要求, 除继续建立天气观测站外, 同时开始建设气候站, 特别加速省级气象台和重点工矿城市、港口气象台的建设。到1957年, 全国气象台站增至1647个, 全国范围的地面天气观测网已经建成, 高空气象探测网

也初具规模。

1958年,气象工作为了适应为农业服务的需要,气象台站网的布局和建设开始按行政区划进行。当时曾提出三年之内在全国范围内建成“专专有台、县县有站、社社有哨、队队有组”的气象服务网。到1960年,全国台站总数达到3240个,是历史上的最高记录。但经过三年调整、巩固,到1962年底,全国气象台站实际上只保留了2361个,除个别自治区外,基本上实现了专专有台、县县有站。

以后,又经过几个五年计划的建设,中间还经历了文化大革命,气象台站网的建设虽经波折,但还是有了较大发展,到1976年,全国气象台站已发展到2668个。

1976年10月以后,气象台站通过整顿,建立、健全了各项业务规章制度,工作开始走上正规。特别是党的十一届三中全会以后,业务指导思想完成了拨乱反正的任务,气象台站工作秩序日趋正常,业务质量稳步上升。

1979年,国家气象局在总结以往台站建设经验的基础上,制定了“在国家统一规划下,把自然条件(天气、气候和地理特点)与行政体制结合起来,考虑服务、业务、科研和气象现代化的要求,尽量做到合理”的气象台站建设原则。在此期间,新技术的应用、推广有了迅速发展。到“六五”末(1985年),全国共有气象台站2635个,其中有高空探测站120个,天气雷达站196个,日射观测站85个,自动气象站2个,农气观测站1149个,72个气象台配备了卫星云图接收设备,1000多个气象台站配备了天气图传真接收机。

总而言之,建国以来气象台站网建设成绩巨大,我国已建成一个具有初步现代化水平的气象台站网。在密度上,不少地区已达到并超过世界气象组织所要求的标准。探测质量和时效是世界上比较好的国家之一。近几年来,在组织改革气象电码等全球性重大业务变动和全球大气试验活动中,都较为圆满地完成了任务,受到世界气象组织和其他国家的称赞和好评。

2. 现有气象观测站网的类型和任务

根据我国气象台站在大气探测方面的职能,可划分为气候、天气、高空气象、航空天气、农业气象、太阳辐射、天气雷达、卫星气象等八类气象探测网。

(1) 气候观测网

气候站是为连续定时观测大气变化,记录和积累气象资料,以供了解气候状况,研究和开发气候资源而设置的。气候观测是气象台站最基本的观测。气候站分为四级:基准气候站(一级):国家气候站网的骨干和标准站,一般300~400公里设一站。每小时观测一次,资料要求有足够的精确度,并保持长期的连续性。基本气候站(二级):国家气候站网的主体部分,选择在气候代表性较好的地方建立,站点间距主要考虑气压,并保证其他要素达到必要的精度,一般不大于150公里设一站。每天进行四次观测,昼夜守班。以上两级基准站、基本站组成国家气候站网。一般气候站(三级):与一级、二级共同组成地方气候站网,站点间距主要考虑气温,兼顾其他要素及服务需要,一般50公里左右设一站。每天进行三次(或四次)观测,夜间不守班。辅助气候站(四级):以服务为主的站,观测项目根据服务需要进行,不守班。

(2) 地面天气观测网

其任务主要是按照规定担负地面天气观测并实时发报,以供天气分析和预报等使用。该类观测网按每天拍发地面天气报告时次的多少分为三级:一级基本地面天气站每天拍发7—8次天气报;二级基本地面天气站每天拍发4次天气报;三级一般地面天气站每天拍发小图天气报1—2次。一、二级基本地面天气站即为国家气候站网中的台站。

（3）高空气象探测网

高空气象探测网是为进行大范围的天气形势分析和预报，了解三度空间的气象要素变化而设立的。探空站一般按间距不大于300公里设一站。小球测风站一般作为探空站不足的补充。探空站的主要任务是利用无线电探空仪、雷达等设备探测高空气压、温度、湿度、风向和风速等气象要素的垂直廓线，实时编发高空气象电报。

我国的高空探测站根据探测任务和时次，分为三级。一级探空站：每天进行二次探空，四（或三）次雷达测风探测和发报，二级探空站：每天进行二次探空、雷达测风探测和发报。三级测风站：每天进行二次高空风探测和发报。

（4）航空天气观测网

主要提供军事和民航安全飞行所需要的航空天气报告和危险天气通报（简称航危报）。根据需要可分为固定的和预约的两类航危天气报告站。

固定的航危报站每天按固定时段（每小时或半小时）拍发一次航空天气报告。当发现危及飞行安全的重要天气现象时，随时拍发危险报。预约航危报站是气象台站根据使用部门临时预约而在规定时段内拍发航空天气报告和危险报。

（5）农业气象观测网

这是为农业服务需要而开展各项农业气象专业观测的站网。按业务项目多少和服务范围可分为三级：一级为农业气象试验站；二级为基本农业气象站；三级为一般农业气象站。

（6）太阳辐射观测网

这是为研究太阳辐射和开发利用太阳能资源提供、积累资料而设立的观测站网，根据不同气候区，考虑纬度、海拔高度及其它影响太阳辐射分布的因子均匀布设，站点间距约300公里。我国的太阳辐射观测站，按观测任务大小和项目多少可分为两级：一级太阳辐射观测站进行太阳总辐射等基本项目以及辐射平衡的观测；二级太阳辐射观测站只进行太阳总辐射的观测。

（7）天气雷达探测网

其主要任务是监测台风、暴雨、强对流天气系统的活动和观测降水性质、分布及强度等，为短时天气预报服务及时提供情报。天气雷达站分为两级：一级是基本天气雷达站，为全国组网和区域范围内雷达联防的骨干站，使用5厘米或10厘米波长的天气雷达，两站间距为300—400公里，进行定时观测发报和实时监测。二级是一般天气雷达站，使用波长为3厘米的天气雷达，主要为当地的天气预报服务。

（8）卫星云图接收站网

其任务是接收国外气象卫星提供的云图资料，从空间的宏观角度了解、掌握大气和云团的变化，以便监测海上台风以及大范围的暴雨等灾害性天气。

3. 我国地面气象站网的分布特征

到1980年为止，我国共有地面基本站和一般站2542个（台湾省资料暂缺）。如果这些台站均匀分布的话，每1万平方公里约有2.7个站，也就是说，平均站距约61公里左右，这与世界气象组织就中纬度平原地区二类气象站网所规定的合理站距太致相仿。但是，由于我国幅员辽阔，山地的面积远远超过平原，台站的分布很不均匀。

概括起来，我国现有地面气象站网大致有如下分布特征（参见图1.1）：

（1）东密西疏。我国的站网密度从东向西明显递减。东部沿海地区每1万平方公里的台站数普遍在6个以上，其中尤以京津至苏沪一带为最密。到吉林以北及甘肃以西，台站密

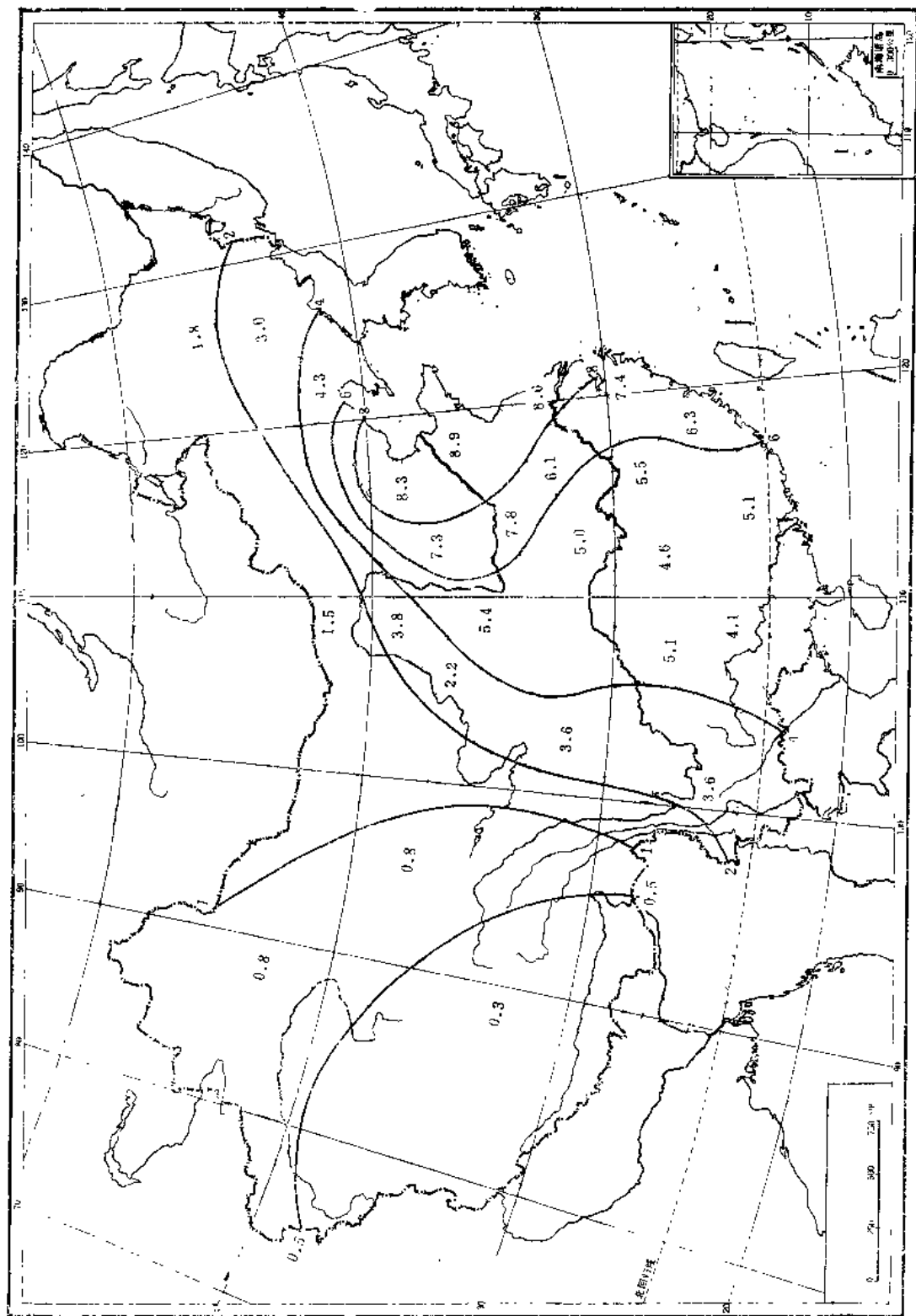


图1.1 我国地面气象观测站网密度分布图 (图中数字为每平方公里的台站数)

度迅速降至2个左右。在新疆、青海、西藏等地,台站密度均在1个以下。

(2) 相差悬殊。台站最密的山东、河北、江苏一带,平均每1万平方公里的台站数接近9个;而最稀的西藏地区平均每3万平方公里才有1个台站,两地的台站密度差高达27倍之多。

(3) 平原多,山地少。统计表明,全国有四分之一的台站集中在海拔50米以下的区域;将近60%的台站分布在海拔400米以下的地区;海拔1000米以上的台站仅占总数的25%左右。

§ 1.3 我国气象观测站网的展望

为了在不远的将来把我国建设成为社会主义现代化强国,从我国的国情出发,同时考虑世界气象科学技术水平的发展趋势和我国气象科学技术的现有水平,在发动广大气象科技人员反复讨论的基础上,国家气象局在1983年制定了《气象现代化建设发展纲要》,提出了新的历史时期气象现代化建设的奋斗目标及战略重点,为我国气象现代化提出了明确的近期和远景规划。

气象事业现代化的奋斗目标是:建成适合我国特点,布局合理,协调发展,比较现代化的气象业务技术体系,把经济发达国家气象部门在八十年代普遍采用的先进技术在我国各级气象部门广泛采用。这个技术体系包括大气综合探测,综合气象电信网,气象资料自动处理及信息检索,天气预报及气候诊断、分析、预测等业务和气象服务等五个分系统。这五个方面必须尽量采用现代电子技术、自动化手段和系统工程方法,使之构成有机联系、协调发展的整体。

围绕这一总目标,如何组织现代化的气象业务技术体系是成功与否的关键,而气象台站网的现代化建设,则是整个现代化的气象业务技术体系的基础。因此,如何把我国的气象台站网建成适合我国特点、布局合理、探测传输手段现代化的观测体系更是关键的关键。

将来,气象台站网不单是地面的观测系统,而是包括由空间探测卫星、飞机、天气雷达、综合气象电信网组成的互相联系、互相补充、协调发展,而且具有观测、收集、传输等功能综合体系。概括地说,我国台站网将来的规模,也就是前面所说的气象技术业务体系中第一、第二分系统所要建成的规模。

我国未来的大气探测系统将是一个空间探测与地面观测相结合的综合探测系统。它既能为大尺度天气预报,又能为中、小尺度灾害性天气监测提供大量信息。其地面气象观测站网将实现综合遥测化。国家基本天气站要建成综合的观测—收集—传输的自动化站网。高空气象探测应着重提高探测仪器精度,并向小型化、自动化方向发展。

我国将设计、研制并发射探测地球大气的极轨气象卫星和静止气象卫星,重点发展地球静止气象卫星。同时,仍要积极利用国外的气象卫星资料。本世纪末之前,我国气象业务工作将同时使用国内外的系列气象卫星资料,形成完整的地面接收和处理、传输系统。我国的地球静止气象卫星还将具有收集、传输和分发气象情报的通信功能,成为综合气象电信网的一个重要组成部分。要逐步形成由国家气象局卫星气象中心,区域气象中心及省级气象台卫星资料处理设备所组成的卫星资料应用系统,其业务产品将通过通信网络广泛地提供各级气象台站或其他部门使用。

天气雷达站的发展方向是尽快利用数字化技术处理雷达回波数据,开展定量测定区域雨量的研究及应用,实现雷达气象数字化传输,使天气雷达成为开展短时天气预报的有力工具。

为了适应各种专业的需要,综合大气探测系统还将包括专业性的探测站网,如农业气象

观测站网，海洋气象观测站网，大气本底及污染观测站网，大气边界层探测站网，太阳辐射站网和臭氧观测站网等。

为了保证探测仪器的准确性，气象仪器计量系统是综合大气探测系统中不可缺少的一部分。这个系统首先要保证基准和标准仪器的准确性，并按规定向各级气象台站进行定量传递。计量测试设备要逐步实现自动化，同时要完善量值的传递手段，使国家一级的气象仪器计量测试中心成为我国气象仪器计量测试的权威机构和国际性检定、评价中心。

关于综合气象电信网系统的建立，预计到本世纪末，气象电信系统的主干电路仍将利用邮电部门的公共电信网络，为了适应天气预报技术的发展和气象服务的需要，更快地实现气象探测系统的自动化，今后在省以下气象部门和重点服务区内，还需要发展气象部门自身的专业通信网。根据我国电信技术的发展规划和气象部门的需要，气象电信网将建成多种手段并存的多层次结构，并将按需要与可能分别使用中高速数据传输、卫星通信、有线电传、模拟传真和数字传真等技术手段。在通信技术方面将特别重视图象传输技术。

为了加速收集基层气象台站的探测资料和尽快分发天气分析预报指导材料，将逐步建立省气象台和县气象站之间的专用通信网。省、自治区、直辖市内的专用通信网将与天气雷达情报传输网、预报服务广播网及其他专业通信网相结合和协调发展。今后，这一专用通讯网还将与气象探测的遥测化和自动化建设结合起来，逐步达到国家基本气象台站网的观测-传输自动化。

气象事业及其台站网现代化的实现，需要广大气象工作者的共同努力，让我们为这个宏伟目标而团结奋斗吧！

第二章 国内外台站网研究方法综述

§2.1 比塔斯法

该方法主要基于直线内插法,通过某个区域内不同距离上气象要素差值的变化情况,来建立该区域内插误差与距离的关系,从而进一步确定各要素的“有效半径”。在实际运算过程中,由于当时电子计算机的技术还不太发展,多数的统计工作主要靠手工进行,于是为简化工作量,将反映要素差值变化情况的 F 值通过带有经验常数的比塔斯公式(Peters'a公式)来求取的。对于平原来说,利用所求出的“有效半径”即可对那里的台站网密度作出初步估计。但对于山区而言则还应考虑要素差值的变化与高度差的关系,相应地也应找出“有效高度差”来,然后再考虑“有效半径”与“有效高度差”的综合影响来设计山区台站网的合理分布问题。

现将此法的主要过程阐述如不:

1. 首先对两站间某气象要素差值的变化进行推算

假设 l_{12} 表示 A 、 B 两站之间的距离; $f(A)$ 、 $f(B)$ 分别代表两站实测的气象要素值; $\overline{f(A)}$ 、 $\overline{f(B)}$ 为它们的平均值。于是要素值与其平均值的偏差(距平)为 $f'(A)$ 和 $f'(B)$ 即 $f'(A) = f(A) - \overline{f(A)}$, $f'(B) = f(B) - \overline{f(B)}$ 。那么在相距为 l_{12} 的两相邻测站间某气象要素差值的变化情况可通过下列的关系式表达出来:

$$\begin{aligned} F(l_{12}) &= \sqrt{\{[f(A) - \overline{f(A)}] - [f(B) - \overline{f(B)}]\}^2} \\ &= \sqrt{[f'(A) - f'(B)]^2} \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

由于各测站的距平中均包含偶然误差值,若用 $\varepsilon(A)$ 、 $\varepsilon(B)$ 代表两站要素理论值的距平,且 $\alpha(A)$ 、 $\alpha(B)$ 表示它们的偶然误差值,那么有关系式: $f'(A) = \varepsilon(A) + \alpha(A)$ 、 $f'(B) = \varepsilon(B) + \alpha(B)$,并将此代入(2.1.1)式:

$$\begin{aligned} F(l_{12}) &= \sqrt{\{[\varepsilon(A) + \alpha(A)] - [\varepsilon(B) + \alpha(B)]\}^2} \\ &= \sqrt{\{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)] + [\alpha(A) - \alpha(B)]\}^2} \\ &= \sqrt{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2 + 2[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)][\alpha(A) - \alpha(B)] + [\alpha(A) - \alpha(B)]^2} \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

如果假设不同点上的偶然误差不与要素理论值的偏差相关,即:

$$\overline{\varepsilon(A) \cdot \alpha(B)} = 0 \quad (2.1.3)$$

则(2.1.2)式可写成

$$F(l_{12}) = \sqrt{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2 + [\alpha(A) - \alpha(B)]^2} \quad (2.1.4)$$

还假设各测站的偶然误差互不相关,且彼此之间还近似相等,也就是:

$$\overline{\alpha(A)\alpha(B)} = 0 \quad (A \neq B) \quad (2.1.5)$$

$$\overline{\alpha(A)\alpha(A)} = \overline{\alpha(B)\alpha(B)} = \sigma^2 \quad (A = B) \quad (2.1.6)$$

所以 $\overline{[\alpha(A) - \alpha(B)]^2} = \overline{\alpha^2(A)} + \overline{\alpha^2(B)} - 2\overline{\alpha(A)\alpha(B)} = 2\sigma^2$, 这里 σ 表示由偶然误差 α 造成的均方差, 将此代入 (2.1.4) 式可得:

$$F(l_{12}) = \sqrt{\overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2} + 2\sigma^2} \quad (2.1.7)$$

由上式看出, 当两测站十分靠近时, 它们各自的要素理论值偏差几乎是一致的。因此, 当 $l_{12} = 0$ 时, $\varepsilon(A) - \varepsilon(B)$ 接近于零。从而得:

$$F(0) = \sqrt{2}\sigma \quad (2.1.8)$$

上式的结果表明了, 即使是两站靠得很近, 各站测得的气象要素值也会存在一定的差异。

现设 A 、 B 、 C 三站位于同一条直线上 (见示意图 2.1), 它们之间的距离为 l_{13} 、 l_{12} 、 l_{23} , 令 $K = \frac{l_{12}}{l_{13}}$, 则 $\frac{l_{23}}{l_{13}} = 1 - K$ 。如果 A 与 C 两站间的距离为 l , 即 $l_{13} = l$, 那么 A 与 B 之间的距离为 $l_{12} = kl$, 同理 $l_{23} = (1-k)l$ 。又由于各测站要素的实际偏差中均包含要素的理论值偏差及偶然误差两部分, 现令 $\varepsilon(A)$ 、 $\varepsilon(B)$ 、 $\varepsilon(C)$ 分别为 A 、 B 、 C 三测点的理论值偏差, $\alpha(A)$ 、 $\alpha(B)$ 、 $\alpha(C)$ 为它们各点的偶然误差值。于是各点相互间 F 值的平方便能依据 (2.1.4) 及 (2.1.5) 式求出:

$$F^2(l_{13}) = F^2(l) = \overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(C)]^2} + \overline{\alpha^2(A)} + \overline{\alpha^2(C)} \quad (2.1.9)$$

$$F^2(l_{12}) = F^2(kl) = \overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2} + \overline{\alpha^2(A)} + \overline{\alpha^2(B)} \quad (2.1.10)$$

$$\begin{aligned} F^2(l_{23}) &= F^2((1-k)l) = \overline{[\varepsilon(B) - \varepsilon(C)]^2} + \overline{\alpha^2(B)} + \overline{\alpha^2(C)} \\ &= \overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(C)] - [\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2} + \overline{\alpha^2(B)} + \overline{\alpha^2(C)} \\ &= \overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(C)]^2} + \overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]^2} \\ &\quad - 2\overline{[\varepsilon(A) - \varepsilon(C)][\varepsilon(A) - \varepsilon(B)]} \\ &\quad + \overline{\alpha^2(B)} + \overline{\alpha^2(C)} \end{aligned} \quad (2.1.11)$$

2. 内插误差的计算

依据上面所绘的示意图, 如将 B 点作为内插点, 再设 $E(A)$ 、 $E(B)$ 、 $E(C)$ 分别为它们观测值的偏差, 即 $E(A) = \varepsilon(A) + \alpha(A)$, $E(B) = \varepsilon(B) + \alpha(B)$, $E(C) = \varepsilon(C) + \alpha(C)$ 。于是通过 A 、 C 两点的观测值偏差可以求得 B 点的内插值偏差为 $\{E(A) - [E(A) - E(C)]k\}$, 也可以写成 $\{[\varepsilon(A) + \alpha(A)] - [\varepsilon(A) + \alpha(A) - \varepsilon(C) - \alpha(C)]k\}$ 的形式。因而这种内插误差的均方便可由下式求得:

$$f^2(l) = \overline{\{[\varepsilon(B) + \alpha(B)] - [\varepsilon(A) + \alpha(A) - (\varepsilon(A) + \alpha(A) - \varepsilon(C) - \alpha(C))k]\}^2} \quad (2.1.12)$$

将上式展开并代入 (2.1.3)、(2.1.5) 式的结果, 便可改写成下列的形式:

$$\begin{aligned} f^2(l) &= \overline{[\varepsilon(B) - \varepsilon(A)]^2} + \overline{(k-1)^2\alpha^2(A)} \\ &\quad - 2k\overline{[\varepsilon(B) - \varepsilon(A)][\varepsilon(C) - \varepsilon(A)]} \\ &\quad + \overline{k^2[\varepsilon(A) - \varepsilon(C)]^2} + \overline{\alpha^2(B)} + \overline{k^2\alpha^2(C)} \end{aligned} \quad (2.1.13)$$

再考虑 (2.1.9)、(2.1.10)、(2.1.11) 的结果, 便能得出如下形式:

$$f^2(l) = kF^2((1-k)l) + (1-k)F^2(kl) - k(1-k)F^2(l) \quad (2.1.14)$$

因此在相距为 l 的两站之间任意点处的内插误差的均方可通过上式来计算。

假设 B 点的实际偏差中不包含偶然误差时, 则该点的内插误差的均方应为下列公式:

$$\psi^2(l) = \overline{\{[\varepsilon(B) - [\varepsilon(A) + \alpha(A) - (\varepsilon(A) + \alpha(A) - \varepsilon(C) - \alpha(C))k]]\}^2} \quad (2.1.15)$$

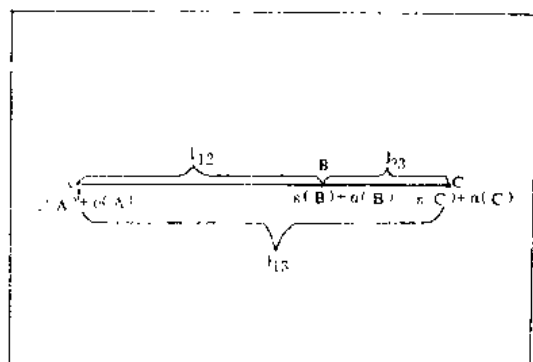


图2.1 示意图

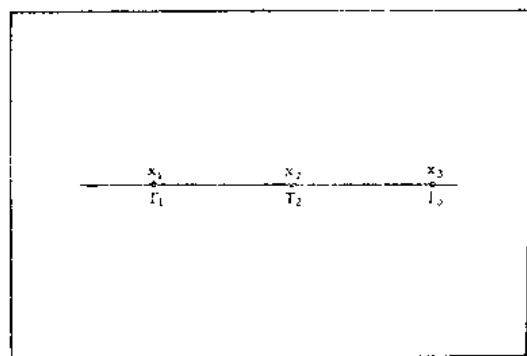


图2.2 示意图

用同样的条件（即（2.1.3）及（2.1.5）式的性质）来展开上式，并考虑（2.1.6）式可得下式：

$$\psi^2(l) = f^2(l) - \sigma^2 \quad (2.1.16)$$

如果再利用（2.1.8）式的关系，上式又可写成：

$$\psi^2(l) = f^2(l) - \frac{1}{2} F^2(0) \quad (2.1.17)$$

从上式的结果不难看出，不考虑内插点偶然误差算出的内插误差的均方与用实际观测值算得的内插误差的均方之间存在着一定的差值，这一差值可以通过把 F 曲线外延至零距离上的 F 值来推断。

下面对两测站间内插误差的最大值出现在何处进行讨论。以温度为例，设 x_1 、 x_2 、 x_3 分别为同一直线位置上的三个台站的座标（见示意图2.2）；它们的实际温度分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 。由于气团在一个地区的不同部位是逐渐增热或逐渐冷却的，故温度的分布是近似为抛物线的形式，可表示为：

$$\begin{aligned} T_1 &= ax_1^2 + bx_1 + c \\ T_2 &= ax_2^2 + bx_2 + c \\ T_3 &= ax_3^2 + bx_3 + c \end{aligned} \quad (2.1.18)$$

如果根据 x_1 和 x_3 点上的温度 T_1 和 T_3 进行内插，得到 x_2 处的内插温度为 T_2' ，则：

$$\begin{aligned} T_2' &= T_1 + \frac{(x_2 - x_1)(T_3 - T_1)}{(x_3 - x_1)} \\ &= \frac{1}{x_3 - x_1} [T_1(x_3 - x_1) + T_3(x_2 - x_1) - T_1(x_2 - x_1)] \\ &= \frac{1}{x_3 - x_1} [T_1(x_3 - x_2) + T_3(x_2 - x_1)] \\ &= \frac{1}{x_3 - x_1} [(ax_1^2 + bx_1 + c)(x_3 - x_2) + (ax_3^2 + bx_3 + c)(x_2 - x_1)] \\ &= \frac{1}{x_3 - x_1} [a(x_3 - x_1)(x_2x_3 + x_1x_2 - x_3x_1) \\ &\quad + bx_2(x_3 - x_1) + c(x_3 - x_1)] \\ &= a(x_2x_3 + x_1x_2 - x_3x_1) + bx_2 + c \end{aligned} \quad (2.1.19)$$

由此我们可以得出因内插所引起的误差应该是：

$$\begin{aligned} T_2 - T_2' &= a(x_2^2 - x_2x_3 - x_1x_2 + x_3x_1) \\ &= a(x_2 - x_3)(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (2.1.20)$$

为寻求内插误差的极值出现在何处，必须首先观察该内插误差能否有极值出现，为此应该使 $(T_2 - T_2')$ 对 x_2 的导数等于零，即：

$$\frac{\partial(T_2 - T_2')}{\partial x_2} = 0 \quad (2.1.21)$$

这样方能得到下式：

$$2ax_2 - ax_3 - ax_1 = 0$$

所以：

$$x_2 = \frac{x_3 + x_1}{2} \quad (2.1.22)$$

上面的结果表明，当 $x_2 = \frac{x_3 + x_1}{2}$ 时，内插误差出现极值。且据内插误差的性质（内插误差是随着离测站距离的加大而逐渐变大的）可知，在两测站中点处的极值只能是极大值。也就是说在两测站中点处的内插误差达到最大。但此处的内插误差值有多大？只要把 (2.1.22) 式的结果代入 (2.1.20) 式便能得到：

$$T_2 - T_2' = -\frac{a}{4} \cdot (x_3 - x_1)^2 \quad (2.1.23)$$

显然在 (2.1.14) 式中，当 $k = -\frac{1}{2}$ 时， $f^2(l)$ 就能达到最大，此时得：

$$f^2(l) = F^2\left(-\frac{l}{2}\right) - \frac{1}{4} F^2(l) \quad (2.1.24)$$

同样，当 $k = -\frac{1}{2}$ 时， $\psi^2(l)$ 也最大。

3. 比塔斯公式的引进

从以上分析可知， F 值的取得是计算 f 值和 ψ 值的依据，于是如何用简洁的方法将不同距离的两站间要素差值的变化情况定量描述出来是本法的要点。在实际的计算过程中不是采用上述推导出的公式，而是通过如下两组带有经验性的公式来求取 F 值的（通称比塔斯公式）。

对于温度、湿度、气压、风速等要素而言，虽然其本身的数据变化可能很大，但在大气环流的影响下，相邻两站间要素的差值确都具有相应稳定的特点。假定各对台站间各月（或 1、4、7、10 月）记录的相关系数约为 0.85，则运用差值订正法便能将距离为 l 的两站间的要素差值变化情况计算出来，具体公式表达如下：

$$F(l) = 0.85 \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_0|}{n} \quad (2.1.25)$$

式中 x_i 表示某一对台站间的要素差值， x_0 表示这些差值的平均值， n 为观测总次数。

而对于某些要素（如降水量、积雪深度等），在同一大气环流控制下的邻近测站间的差值并不稳定，可它们所对应的比值却是稳定的，所以对此可用比值订正法确定两站间要素变

化情况。该方法同样需要在相关系数约为0.85的条件下进行的。其表达式为：

$$F(l) = 0.85 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_i}{X} - \frac{y_i}{Y} \right| \quad (2.1.26)$$

式中 x_i 、 y_i 分别表示两站的月降水总量； X 、 Y 各代表它们多年月降水量的平均值； N 表示参加统计的年份。

利用上述两个公式便能计算出每一对台站各要素差值（或比值）偏离平均状态的情况，从而可以确定 F 值随距离的变化关系。具体做法是运用图解法先将某个地区各个不同距离台站“对子”间的 F 值算出来，然后逐个点绘在座标图上（见示意图2.3），这样就可以画出 F 曲线了。

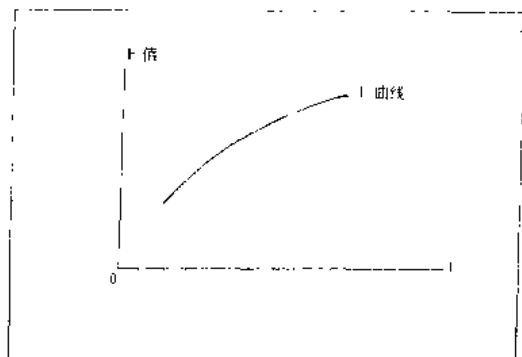


图2.3 示意图

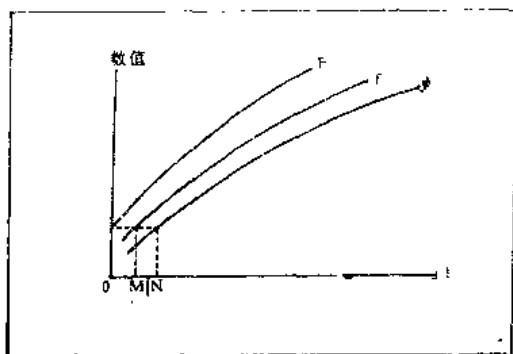


图2.4 示意图

4. “有效半径”的确定

在上述计算的基础上，我们便能应用（2.1.25）（或2.1.26）以及（2.1.24）、（2.1.17）式分别将某个地区不同站距间的 F 值、 f 值和 ψ 值都分别计算出来，并将其变化曲线绘在同一张图上（如示意图2.4），然后从 F 线与纵座标相截之处引一条与横座标平行的直线。在一般情况下，将这条平行直线与 f 线交点处的横座标（ M 点）的距离就视为“有效半径”。但有时也参考与 ψ 线的交点横座标（ N 点）来确定“有效半径”。对于山区来讲，除了考虑有效半径外，还必须考虑所谓“有效高度差”，其确定类似于计算“有效半径”的方法，只不过是将对台站之间的水平距离换成各站的高度差而已。

从总的情况看，上面所介绍的方法易学易用，运算简便。用于平原地区的站网设计较为可行，但对解决山区的问题此法还有待于进一步改进。

§2.2 结 构 函 数 法

自从德罗兹多夫（Drozdov）和塞普列夫斯基（Shepelevskiz）（苏联）首先引入结构函数的概念以来，结构函数已经在许多国家广泛地运用于台站网设计。普遍认为，任一气象要素的结构函数是描述该要素场统计结构最合适的特征值之一。

1. 结构函数

所谓结构函数，是指空间平面上任意两点 A 、 B 之间要素偏差（ f' ）之差的平方的平均，可表达为

$$b_f(A, B) = \overline{[f'(A) - f'(B)]^2} \quad (2.2.1)$$