

莱州湾地区 干湿气候研究

李爱贞 金荣兴 著

4572

2

山东省地图出版社

莱州湾地区干湿气候研究

李爱贞 金荣兴 著

山东省地图出版社

责任编辑:袁晓莉

封面设计:韩 莉

内 容 简 介

本书在对山东省莱州湾地区水汽资源、降水及早涝规律研究的基础上,系统论述了该地区的空中水汽资源、降水资源、地表水和地下水资源,分析了该地区 500 年来的旱涝规律和现代旱涝特征,预测了气候变化的干湿趋势,提出了防、减旱涝灾害,合理利用水资源的措施。

本书约 20 万字,共分 7 章。书中论及莱州湾地区的有关内容对同类地区有普遍参考价值。可供气象、水利、地理、减灾、农业、林业及环保等有关大专院校师生和科研人员阅读参考,也可供有关产业部门在制订经济计划、工业布局、农业种植结构调整及防旱、减灾决策等方面参考使用。

莱州湾地区干湿气候研究

李爱贞 金荣兴 著

山东省地图出版社出版发行

(济南市文化东路东首路北 电话:8937369)

山东冶金地质勘查局印刷所

787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 180 千字

1997 年 5 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—500 定价:19.50 元

ISBN7—80532—282—1/K·272

前 言

山东省莱州湾沿岸地区是我国东部经济发展水平较高的地区,也是发展中的重点对外开放区。近十几年来,该地区降水量偏少,持续干旱;而随着工农业生产的迅速发展和人民生活水平的提高,需水量日增,水资源的供需矛盾日趋突出。为了缓解水资源的供需矛盾,大量用水不得不靠超采地下水来维持。而此举又使地下水位大幅度下降,引发了海、咸水入侵这一新的自然灾害,对当地的社会经济发展构成了严重威胁。

为了防治海、咸水入侵,国家计委确定《海水入侵防治试验研究》课题为国家“八五”重点攻关项目。本书作者主持了其中的“莱州湾沿岸地区水汽资源、降水及旱涝规律研究”部分,对莱州湾地区的干湿气候特征及变化趋势进行了全面系统的研究。为了适应社会和读者的需要,作者对该研究的有关内容进行系统的概括总结,并根据该地区的具体情况作了分析提炼,提出了防、减旱涝灾害的措施,从而编写成本书。

气候是人类及一切生物赖以生存的一个重要条件,它对国民经济各部门和人民生活部有着重要而深刻的影响。气候的干湿变化及其影响不仅是一个非常重要的研究课题,而且是制定社会和经济发展规划、工业布局、农业种植结构调整以及防灾、减灾决策等必须认真对待的重要问题。因此,研究干湿气候变化规律有着重要的学术价值和社会经济意义。

本书共分七章。第一章介绍莱州湾地区区域概况;第二章论述该地区的水汽资源;第三章为干湿气候和旱涝灾害;第四章对莱州湾地区 500 年来的旱涝规律进行了研究,并预测了未来的干湿气候趋势;第五章分析了该地区的人工增雨潜力;第六章论述了河川径流量和水资源;第七章提出了防、咸旱涝灾害和合理利用水资源的对策及建议。

参加《莱州湾沿岸地区水汽资源、降水和旱涝规律研究》课题的还有史可琳、蔡春河、刘厚风、张雪芹、张桂芹、张富强、程凤鸣、陈淑芬、王昌明、李宝洪、徐红、王立红、薛晓萍等同志。本书还得到了山东师范大学出版基金的资助。借本书出版之机,谨对他们及所有曾给予作者支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

由于作者的专业知识和学术水平有限,书中肯定有不妥之处,敬请指正。

作者

1997 年 1 月于济南

目 录

前 言

第一章 研究区域概况	(1)
第一节 自然环境概况	(1)
第二节 社会经济概况	(3)
第二章 莱州湾地区的水汽资源	(6)
第一节 水分平衡方程	(6)
第二节 水汽通量及其散度的计算原理和方法	(10)
第三节 1981~1990 年水汽通量和水汽通量散度	(17)
第四节 莱州湾地区的蒸散量	(37)
第三章 莱州湾地区干湿气候与旱涝究害	(66)
第一节 降水	(66)
第二节 降水与主要农作物的适宜性分析	(75)
第三节 旱涝灾害	(84)
第四章 莱州湾地区 500 年来旱涝规律研究	(98)
第一节 历史旱涝资料和软硬件配置	(98)
第二节 莱州湾地区 500 年来旱涝灾害指数序列的建立	(99)
第三节 500 年来旱涝灾害的统计特征	(114)
第四节 旱、涝灾害时间序列的周期分析	(119)
第五节 莱州湾地区干湿阶段划分和旱涝趋势预测	(126)
第六节 研究小结	(128)
第五章 人工增雨潜力研究	(130)
第一节 人工增雨的基本原理	(130)
第二节 适宜人工增雨的天气条件	(133)
第三节 莱州湾地区云水资源及人工增雨潜力分析	(142)
第四节 小结	(149)
第六章 莱州湾地区河川径流量和水资源	(150)
第一节 河川径流和水资源	(150)
第二节 地表水和地下水资源供需状况	(153)
第七章 合理利用水资源和防、减旱涝灾害	(158)
参考文献	(162)

第一章 研究区域概况

第一节 自然环境概况

一、地理位置

莱州湾地区位于山东省的北部,北纬 $36^{\circ}25'$ ~ $37^{\circ}47'$,东经 $118^{\circ}17'$ ~ $120^{\circ}44'$ 。该地区北临渤海莱州湾,南依泰山北麓山前平原,东与胶东半岛相邻,西与鲁中腹地接壤,沿莱州湾海岸呈半环状,西起广饶县广北农场,东至龙口市黄水河。行政区包括烟台市的龙口、招远、莱州,潍坊市的昌邑、寒亭、寿光,东营市的广饶等市(县、区)及青岛所属平度市的新河、灰埠、官庄三个乡镇。东西长约 200km,南北宽约 40km,总面积约 10114km^2 。

莱州湾地区的地理位置详见图 1-1。

二、地形地貌

莱州湾地区的地形地貌大体上以莱州市虎头崖为界,可分为东面西段。西段属华北地台的沉降区,地势低平,坡度平缓,土层深厚。西段的滨海地带,是由海陆相沉积物及胶莱河、潍河、白浪湾、弥河、小清河及黄河等几条较大河流的冲、洪积物叠盖西成的滨海平原,海拔高度一般在 10m 以下。与滨海平原相接的南侧是河流形成的山前洪积、冲积平原。土壤类型有棕壤、褐土、潮土、滨海盐土等。

东段属鲁东地盾,多低山丘腹,基岩主要为太古一元古界变质岩、中生界碎屑岩及后期侵入的花岗岩、玄武岩等地层。由于岩石的长期风化剥蚀、河流冲积、海相沉积,沿海有第四纪小型泥沙和砂砾层堆积平原。在龙口市的黄水河、中村河、北马河、八里沙河及莱州市的王河、朱桥河、苏郭湾、南洋湾等河流下游形成了两个西积约 800km^2 的滨海冲积平原。该区域内的土壤大部分为棕壤和褐土,土质肥沃。

三、气候

莱州湾沿岸地区地处中纬度,属暖温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,雨热同期,光照充足,气候资源丰富。黄河口是全省降水最少的

地区,旱、涝、碱灾害频繁。潍河以东,北邻渤海,南处胶东半岛,兼有明显的海洋性气候特征,春季气温回升及秋季降温较内陆缓慢。

本区年太阳辐射总量在 $522 \sim 543 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$,作物生长旺盛季节的 5~8 月太阳总辐射量占全年的 40~50%。年日照时数为 2600~2800 小时,年日照百分率为 60~65%,均为全省最高值。全年日照时数高值在 5 月份,为 243~300 小时;低值在 12 月份,仅 142~193 小时;喜温作物生长季 4~10 月,每天平均日照 7~8 小时。

莱州湾沿岸地区年平均气温 $12.5 \sim 13.6^\circ\text{C}$,比胶东半岛年平均气温($11 \sim 12^\circ\text{C}$)略高。四季平均气温分别为:冬季 $-2.0 \sim 0.5^\circ\text{C}$;春季 $10.0 \sim 13.0^\circ\text{C}$;夏季 $24.0 \sim 26.0^\circ\text{C}$;秋季 $13.0 \sim 14.0^\circ\text{C}$ 。极端最低气温出现在 1 月($-18.5 \sim -20.5^\circ\text{C}$),极端最高气温出现在 7 月($37.6 \sim 39.4^\circ\text{C}$),年较差 $50.5 \sim 53.5^\circ\text{C}$ 。

本区累年平均降水量 $550 \sim 700 \text{ mm}$,是山东省降水量低值区,70%的降水量集中在 6~9 月份。

莱州湾地区旱涝灾害频繁。特别是 80 年代以来,该地区降水量偏少,持续干旱,而随着工农业生产的迅速发展,需水量剧增。大量用水靠超采地下水维持,数值地下水位下降,破坏了原有的咸淡水界的平衡条件,又进一步引发了海、咸水入侵这一新的自然灾害,使生态环境恶化。

四、河流、水系

莱州湾地区有大中型河流 20 多条,其中较大的河流有小清河、潍河、弥河、白浪河、胶莱河、王河、黄水河等。莱州湾地区的河流水系属黄河流域沿湾诸河水系,河流多独流入海。小清河发源于济南诸泉,向东北由寿光羊角沟入莱州湾,全长 232km。潍河、弥河、白浪河等均发源于泰沂山北麓,上游坡降较大,洪水暴涨暴落,中下游进入山前冲积平原,坡度变缓,易发生洪涝灾害。王河、黄水河等发源于胶东半岛的大泽山、艾山等,均向北流入渤海。在胶东半岛与泰沂山区之间为胶莱河平原,南、北胶莱河分别向南、北流入胶州湾和采州湾。由于莱州湾地区降水集中,上述河流均为季节性雨源河道,源短流急,雨季流量大,枯季流最小,甚至干涸。

近年来,小清河、虞河、白浪河等因接纳了大量工业废水和生活污水,河水被严重污染,这几条河道实际上已成为纳污、排污河道。

第二节 社会经济概况

莱州湾地区总面积 10114km²,耕地 42.1 万 hm²,人口 462.4 万人,区内自然资源丰富。该区是我国东部经济发展水平较高的地区,也是发展中的重点对外开放区。1993 年工农业总产值达到 638.3 亿元,其中工业产值为 536.8 亿元。莱州湾地区 1993 年的基本情况统计表见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 1993 年各市(县)面积、人口情况(km²,百万人,人/km²)

市、县名称	土地面积	人口总数	非农业人口	农业人口	人口密度
龙口	840	0.602	0.099	0.503	717
莱州	1957	0.878	0.087	0.791	449
招远	1380	0.572	0.058	0.514	414
平度	202	0.073	0.003	0.07	361
昌邑	1570	0.67	0.059	0.611	424
寒亭	838	0.352	0.045	0.307	420
寿光	2180	1.013	0.099	0.914	465
广饶	1138	0.463	0.037	0.426	407
全区	10105	4.623	0.487	4.136	457

表 1-2 1993 年各市(县)三个经济部门产值 (百万元)

市(县)	第一产业	第二产业	第三产业	合计
龙口	1356.33	11817.6	1494.21	14668.14
莱州	2493.76	11218.35	1469.92	15182.03
招远	870.87	10599.72	1245.73	12716.32
平度	153.22	369.01	41.92	564.15
昌邑	1839.94	7568.86	860	10268.8
寒亭	522.52	3559.63	552	4634.15
寿光	2314.8	8192.68	1325	11832.48
广饶	582.37	1514.82	569.55	2666.74
全区	10133.81	54840.67	7558.33	72532.81

莱州湾地区自然资源丰富,工农业生产水平较高,交通发达,文化水平较高。区内有丰富的金矿,年产黄金 20 多万两,居金国之首,享有“金城天府”之盛誉。有大量的银、铜、铁、锌等金属矿产;还有煤、菱镁矿、滑石、大理石等非金属矿产。区内龙口市 有我国第一座沿海煤田,储量 20 多亿吨,并建有装机容量 1200MW 的坑口电厂。海盐、卤水资源居全国前列,拥有我国最大的羊口盐场,是我国重要的原盐生产基地,并建有年产 60 万吨的潍坊纯碱厂。区域西北部有丰富的石油资源,是胜利油田的主要油区。龙口市是一座新兴的以能源、交通为主体的对外开放港口城市,年吞吐量 54 万吨以上,是山东省第三大港,其他小型海港、渔港通及各市(县、区)。莱州市是全国闻名的建材工业基地,“雪花白”文理石、石膏、滑石等产品驰名全国。该区土地类型多样,山地、丘陵、平原、草地、滩地、海洋俱全,是发展农、林、牧、副、渔业的理想地带。耕地土层深厚,土质肥沃,光热条件配合好,是山东省重点粮食生产基地,素有“粮仓”之誉。该区两部滨海平原区是我国黄淮海平原中低产田开发和黄河三角洲粮棉基地建设的重点地区,具有重大的发展农业生产潜力。

1993 年金区粮食总产最达到 314.95 万吨,平均羊产 6051kg/hm²。果品、瓜菜生产有雄厚的基础,龙口长把梨、莱州两瓜久负盛名,寿光蔬菜驰名全国,是我国量大的蔬菜生产市,已成为目前金国主要的蔬菜交易中心之一。本区滩渔辽阔,海产资源丰富,是山东省重要的水产品生产基地,盛产对虾、大蟹、文蛤、贝类及各种鱼类,建设“海上山东”有广阔的发展前景。本区工业发达,门类比较齐全,各市(县、区)的机械加工、纺织、电子、家用电器、食品加工、化工等已发展到相当规模,不少产品畅销金国,远销国外。该区属于对外开放经济区,已初步建立起一批外商独资与中外合资企业,外向型工业已有长足发展。随着改革开放经济政策的推行,农副产品及各种工艺品已成为本区主要的对外出口商品。该区生产潜力大,在山东省经济发展中占有举足轻重的地位。

区内交通方便,已形成以公路为主,公路、铁路、海运互相连接的交通运输网,通讯设施齐全。风光秀丽,气候宜人,滨海风光与文化古迹联成一体,是理想的海滨旅游与避暑地带。本区开发历史久远,商业贸易繁荣。当地人民生活水平较高,文化素质较高,是山东省文化、教育、卫生事业比较发达的地区。

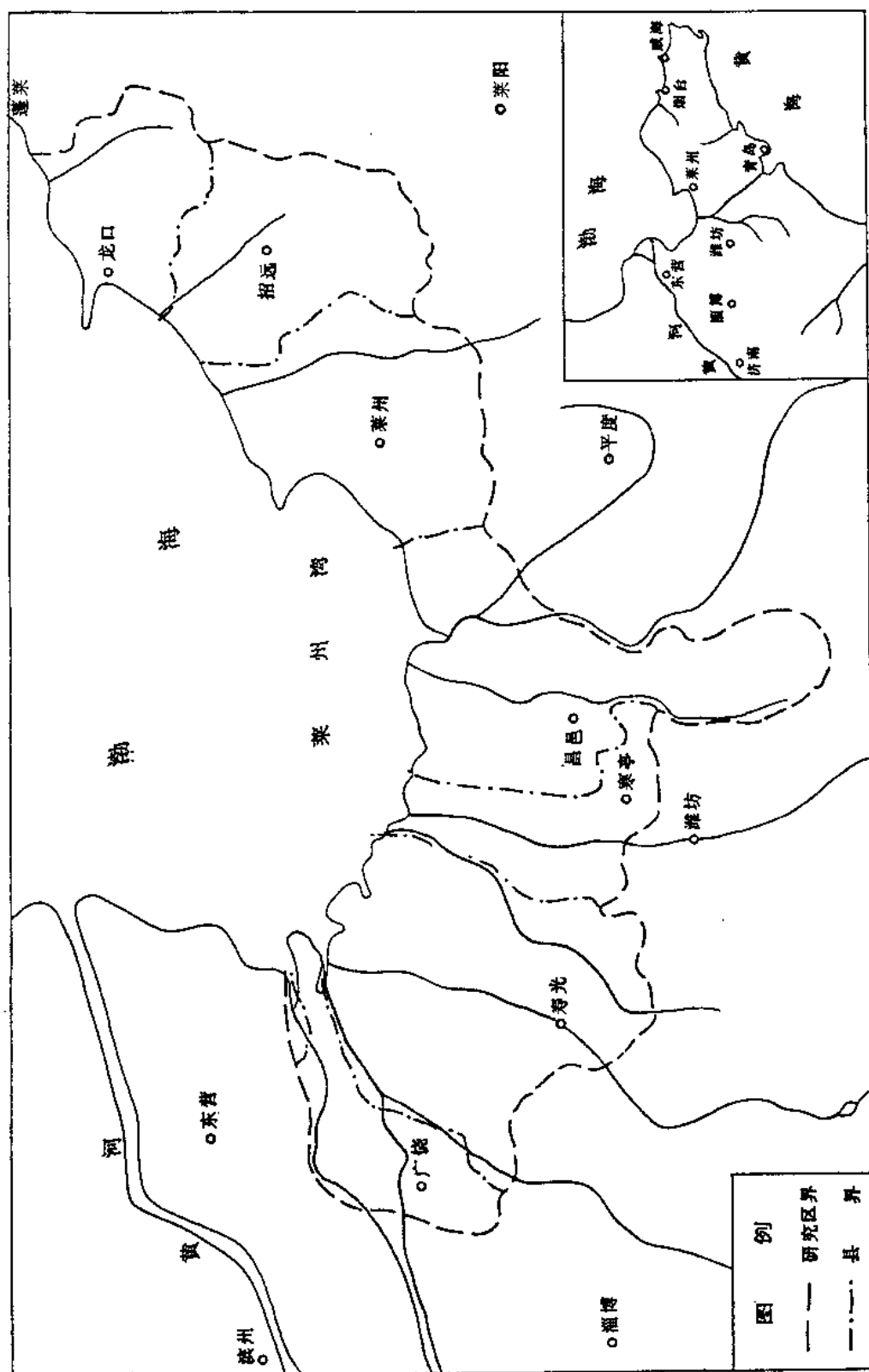


图 1-1 研究区域位置图

第二章 莱洲湾地区的水汽资源

第一节 水分平衡方程

水分平衡问题,就是某一地区在给定的时段内,水分收入与水分支出之差。依据研究的对象不同,又可分为地面水分平衡、大气水分平衡和地气系统的水分平衡。

一、水分平衡方程

大气、地面和地气系统水分平衡各量的示意图,见图 2-1~2-3。

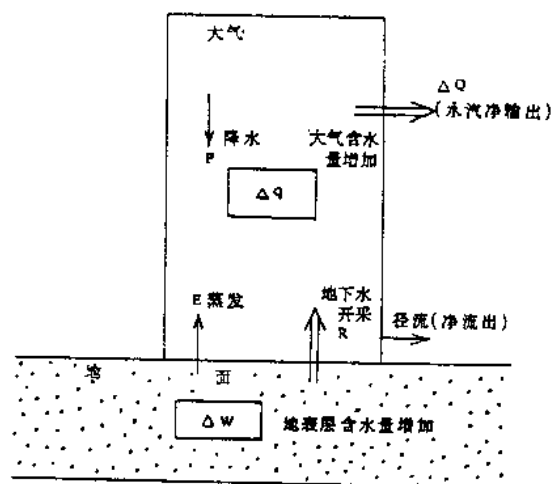


图 2-1 水分平衡示意图

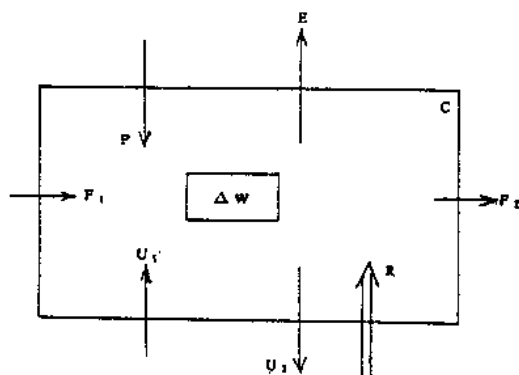


图 2-2 地面水分平衡示意图

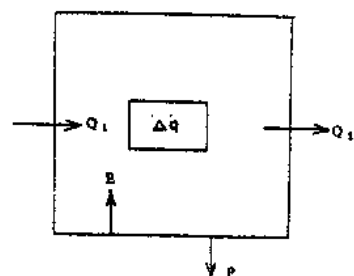


图 2-3 大气水分平衡示意图

(一)地面水分平衡方程

在给定的时间内,被研究地区总的收入水量与支出水量的差额等于该地区地面土壤水分储存量的变化,就是该地区地面水分平衡。

可以表示为:

$$O - G = \Delta W \quad (2-1)$$

(2-1)式中, O 表示地面总的水分收入量。它包括:

1. 降水量 P ;
2. 地面水汽凝结量 C ;
3. 地面流进水量 f_1 ;
4. 下层土壤流进水量 U_1 ;
5. 人工开采地下水进入地表面的部分 R 。

G 表示地面总的水分支出量。包括:

1. 蒸散量 E (下垫面蒸发及植物蒸腾之和,还包括人为的蒸发量);
2. 地面流出水量 f_2 ;
3. 向下层土壤的流出量 U_2 。

$$\text{即: } (P + C + f_1 + U_1 + R) - (E + f_2 + U_2) = \Delta W$$

$$\text{或: } P - E + C + R + (f_1 - f_2) + (U_1 - U_2) = \Delta W \quad (2-2)$$

对于长年平均情况而言,地面水汽凝结量 C 可略而不计;下层土壤流进、流出的水量大致相当,部分差值可以作为 ΔW 处理;地面上流进、流出的水量就是径流量(净流出量) f 。所以地面水分平衡方程可以写成:

$$P - E - f + R = \Delta W \quad (2-3)$$

对于年平均情况, $\Delta W = 0$ 则有

$$P - E - f + R = 0 \quad (2-4)$$

(二)大气水分平衡方程

一个地区在给定时段内,整个大气柱收入的总水汽量与总支出的水汽量之差,应该等于该地区大气柱水汽含量的变化量。大气水分平衡方程可表示为:

$$\Sigma W_i - \Sigma W_e = \Delta q \quad (2-5)$$

式(2-5)中, Δq 为 t_0 到 t_1 时段大气柱水汽含量的变化,

$$\Delta q = q_{t_1} - q_{t_0}$$

q_{t_0} 和 q_{t_1} 分别为 t_0 和 t_1 时刻大气柱的水汽含量。

ΣW_i 为大气柱总收入的水汽量, 主要包括:

1. 由外界输入该地区的水汽量 Q_1 ;
2. 地面蒸发的水汽量 E 。

ΣW_e 是大气柱总支出的水汽量, 主要包括:

1. 该地区整层大气柱向外输出的水汽量 Q_2 ;
2. 由大气降水降到地面的水汽量 P 。

$\Delta Q = Q_2 - Q_1$ 为被研究地区输出和输入的水量差, 称为该地区大气中的水汽净输出量;

$\Delta N = P - E$ 为大气凝结降落的水量与蒸散量之差, 称为地气间净交换量。

于是有:

$$\Delta N + \Delta Q + \Delta q = 0$$

$$\text{或} \quad E - P + \Delta Q + \Delta q = 0 \quad (2-6)$$

对于年平均情况, $\Delta q = 0$

$$\text{则有} \quad E - P + \Delta Q = 0 \quad (2-7)$$

(三) 地气系统水分平衡方程

地气系统的水分平衡方程为:

$$\Delta Q + f + \Delta q + \Delta W = R \quad (2-8)$$

对于年平均情况, $\Delta q = 0$, $\Delta W = 0$

$$\text{即有:} \quad \Delta Q + f = R \quad (2-9)$$

即水汽净流出量与地面水净流出量之和等于过量抽取地下水量。

二、大气中水汽含量的变化和水汽通量计算

对于某一空气微面, 大气系统的水汽收支方程为:

$$\rho \frac{dq}{dt} = E - P \quad (2-10)$$

$\rho \frac{dq}{dt}$ 为单位时间单位体积空气中的水汽的增加量;

E 为地面蒸发得到的水汽；

P 为降水失去的水汽。

对铅直高度积分，可得到单位时间、单位面积铅直柱内所含的水汽量：

$$\int_U^T (\rho \frac{dq}{dt}) dz = - \frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} \frac{dq}{dt} dp = \frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} \frac{dq}{dt} dp \quad (2-11)$$

(2-10)式变为：

$$E - P = \frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} (\frac{\partial q}{\partial t}) + \nabla \cdot qv dp = \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} q dp + \nabla \cdot (\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} qv dp) \quad (2-12)$$

对于研究区域 Ω 取平均：

$$\overline{(E - P)^a} = \frac{\partial}{\partial t} \overline{[\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} q dp]^a} + \overline{\nabla \cdot (\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} qv dp)^a}$$

利用格林公式：

$$\iint_{\Omega} \nabla \cdot A d\Omega = \oint_L n \cdot (A dL)$$

$$\therefore Q' = \frac{1}{\Omega} \iint_{\Omega} \nabla \cdot (\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} qv dp) d\Omega = \frac{1}{\Omega} \oint_L [\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} (n \cdot qv dp)] dL$$

对起止时刻 t_1, t_2 积分，得

$$\begin{aligned} (E - P) \cdot \Delta t \cdot \Omega &= \Omega \cdot \left[\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} q dp \right]_{t_1}^{t_2} + \Delta t \cdot \left[\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} (\sum_{\text{边界}} q \cdot v_{ni} \cdot L_i) \right] \\ &= \Delta q + \Delta Q \end{aligned}$$

式中： Δq 为区域内水汽增加量；

ΔQ 为区域水汽净输出量。

对于年平均情况， $\Delta q = 0$ 。

单位时间单位面积上的 ΔQ 即为水汽通量散度 I

$$I = \frac{1}{\Omega} \left[\frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} (\sum_{\text{边界}} q v_{ni} \cdot L_i) \right] \quad (2-13)$$

第二节 水汽通量及其散度的计算原理和方法

水汽通量表示水汽的输送强度,是单位时间流经单位垂直面上的水汽量。水汽通量散度是指在某研究区域内,单位时间单位面积上某一层或整层大气柱水汽的净输出量。水汽通量散度为正,表示该区域净输出水汽,研究区域为水汽的源地;水汽通量散度为负,说明研究区域有水汽净输入,为水汽的汇。

一个地区空气中水汽含量的变化主要由下述面素决定:

1. 水平方向上水汽的净流入量;
2. 下垫面蒸发量;
3. 大气中水汽凝结降水量。

此外,还有面湍流扩散造成的水汽交换量。在中纬度陆地上,形成降水的水汽主要靠水平方向上的输送。水汽源地的水汽主要通过大规模的水汽平流输送到降水区。当然,一些中小尺度系统的涡动输送也输送了部分水汽。

有足够的水汽,是形成降水的必要条件之一。水汽输送量的大小,其时间变化规律及空间变化规律是一个地区气候的形成及其变化,特别是旱涝变化的决定性因素之一。本节即讨论莱州湾地区水平方向的水汽输送,以分析空中水汽资源量及其变化特点。

在计算水汽通量及散度时,利用气象站的常规探空资料。我国探空站是按照气候学原则设立的。相邻探空站之间的距离相距数百公里,面在莱州湾地区的县、市中,尚未设有探空站,所以必须借助相邻探空站的探空资料。因此,研究的范围显然也不能仅局限于莱州湾附近的几个县、市,面应扩大。由于影响水汽输送的主要因素是大尺度的环流和天气尺度的环流,因此扩大后的区域水汽输送资料,基本上可以代表莱州湾地区的水汽输送状况。同时,扩大后的区域的干湍状况资料亦与莱州湾地区相似。

一、计算原理

(一)水汽通量计算原理

水汽通量的计算原理如图 2-4 所示。多边形 ABCDE 为所研究区域的平面示量图。设 v 为全风速,若在垂

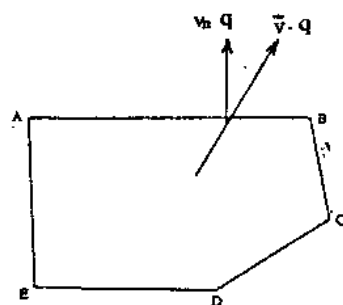


图 2-4 水汽通量计算示意图

直于风向的平面内取一单位面积,则在单位时间内,通过该单位面积的水汽量可表示为 $\rho q v$, 此即为水汽通量。

在单位时间内,通过单位截面大气柱的水汽通量矢量 Q 为:

$$Q = \frac{1}{g} \int_{P_s}^{P_T} \int_{t_1}^{t_2} q v \, dt dp \quad (2-14)$$

对时间积分后,可得:

$$Q = \frac{\Delta t}{g} \int_{P_s}^{P_T} q v \, dp \quad (2-15)$$

在实际计算时,对于某一区域的水汽通量及散度,用

$$Q_n = \frac{\Delta t}{g} \int_{P_s}^{P_T} q v_n \, dP \quad (2-16)$$

因为

$$q = \bar{q} + q' \quad (2-17)$$

$$v_n = \bar{v}_n + v_n' \quad (2-18)$$

所以

$$q v_n = \bar{q}' \bar{v}_n' + \bar{q} \cdot \bar{v}_n \quad (2-19)$$

$$\bar{Q}_n = \bar{Q}_n + Q_n' \quad (2-20)$$

$$\bar{Q}_n = \frac{\Delta t}{g} \int_{P_s}^{P_T} \int_{t_1}^{t_2} \bar{q} \cdot \bar{v}_n \, dt dp \quad (2-21)$$

$$Q_n' = \frac{\Delta t}{g} \int_{P_s}^{P_T} \bar{q}' v_n' \, dP \quad (2-22)$$

式中, Q_n 为法向 n 方向上单位面积上的总水汽通量;

$\bar{Q}_n$ 为法向平均环流输送的水汽通量;

Q_n' 为法向涡动输通的水汽通量;

q 为比湿;

v 为风速;

v_n 为法向风速分量;

$\bar{q}$ 和 $\bar{u}$ 分别为平均比湿和平均法向风速;
 q' 和 v' 分别为比湿和法向风速的脉动量;
 g 为重力加速度。

实际计算时,将用每日两次探空观测计算得到的水汽通量作为 Q_0 ,用月平均资料计算的水汽输送值作为 $\bar{Q}_0$,两者之差即为涡动输送量 Q_0' 。

(二)水汽通量散度的计算原理

水汽通量散度,即研究区域单位时间、单位面积上净输比的水汽通量。

对于一个闭合区域,水汽的总辐散量可写成:

$$Q_T = - \iint_{\Omega} \nabla \cdot Q \, d\Omega \quad (2-23)$$

利用格林公式,将面积分变换为环路积分,有:

$$Q_T = \oint_L n \cdot Q \, dL = \frac{\Delta t}{g} \int_{P_s}^{P_T} \oint_L q u_n dp dL \quad (2-24)$$

在实际计算中,用差分代替积分,并对区域取平均值,得单位面积、单位时间的水汽通量散度 I :

$$I = \frac{1}{\Omega g} \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^n q \cdot u_{nj} L_j \Delta P_i \quad (2-25)$$

式中: I 为某一区域单位时间单位面积上某一高度范围的水汽通量散度;

Ω 为研究区域的面积;

u_{nj} 为该高度上第 j 边法向风速;

L_j 为区域第 j 边的长度;

$$I = I + I' \quad (2-26)$$

$$I = \frac{1}{\Omega g} \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^n \bar{q} \cdot \bar{u}_{nj} L_j \Delta P_i \quad (2-27)$$

$$I' = \frac{1}{\Omega g} \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^n q' \cdot v'_{nj} L_j \Delta P_i \quad (2-28)$$

ΔP_i 为计算层下界面和上界面的气压差。各量的示意图见面2-5。

和水汽通量计算类似,将水汽总辐散量 I 分为平流辐散量 I 和涡动辐散量 I' 。

用逐日2次的探空资料计算得到水汽通量散度 I ;用月平均资料得到平均环流水汽通量散度 I ;两者之差即为水汽涡动辐散量 I' 。