

王凤娇, 吴书君, 王立静, 等. 海盐生产的降水塑苫决策分析[J]. 气象, 2011, 37(1): 116-121.

海盐生产的降水塑苫决策分析^{*1}

王凤娇 吴书君 王立静 张 鹏 刘昭武 牛丽玲

山东省滨州市气象局, 滨州 256600

提 要: 通过分析降水对卤水结晶的影响, 得出了造成卤水淡化、化盐、毁池的降水量是逐级增大的结论, 而化盐、毁池的降水量远大于塑苫的降水量, 降水塑苫决策只考虑塑苫的降水量即可。利用等价原则, 讨论了影响降水塑苫决策的主要因素, 结果表明, 塑苫成本、结晶池面积及原盐价格的变动对塑苫的降水量影响较小, 塑苫的降水量主要与苫盖操作时间、降水持续时间、日蒸发量正相关。当操作时间一定时, 塑苫的降水量由降水持续时间和日蒸发量决定。根据结晶池的塑苫情况, 建立了两套降水塑苫决策方案。

关键词: 降水, 塑苫, 蒸发量

Decision-Making Analysis of Plastic Film Cover Against Rainfall During Sea Salt Producing

WANG Fengjiao WU Shujun WANG Lijing ZHANG Peng LIU Zhaowu NIU Liling

Binzhou Meteorological Office of Shandong Province, Binzhou 256600

Abstract: By analyzing the impact of precipitation on the crystallization of brine, a conclusion is obtained that the precipitation leading to brine desalination, salt dissolving and pool damage is progressively increased. The precipitation leading to unfreezing salts and the pool damage is much larger than that of plastic film cover. Therefore, the decision makers can consider the plastic film cover precipitation only. By using equivalence principia, the major factors which influence decision-making of plastic film cover to precipitation are analyzed. Results show that the influences of plastic film cover cost, rime cistern acreage and changes of salt prices are less, but the plastic film cover precipitation has a positive correlation to the plastic film cover working time, rainfall duration and daily evaporation. When the operating time is constant, the plastic film cover of precipitation is decided by the rainfall duration and daily evaporation. According to the crystal pool of plastic film cover, two projects for decision-making of plastic film cover to precipitation are worked out.

Key words: precipitation, plastic film cover, evaporation

引 言

海盐生产是露天作业, 是以海水为原料, 盐滩为设备, 依靠自然蒸发, 使引进的海水逐渐浓缩成饱和卤水、进而结晶产盐。要提高产量, 必须充分利用蒸发量并尽量避免降水造成的损失。因此, 海盐生产

离不开气象。气象工作者积极开展盐业与气象关系的研究及专题服务, 并得出了一些有益的结论, 李金枝等^[1]分析了气象条件对海盐产量的影响; 王来兵^[2]分析了塘沽地区气候特征和变化, 对海盐的季节性生产进行了客观的评价; 周小珊等^[3]利用 MM5 进行辽宁复州湾盐场降水中尺度数值预报试验, 提高了对降水的预报准确率; 王亦平等^[4]结合苏北海

* 山东省气象局课题“海盐生产的塑苫决策系统”(2005sdqxz01)资助

2008 年 10 月 14 日收稿; 2010 年 3 月 30 日收修定稿

第一作者: 王凤娇, 从事短期预报、服务工作. Email: qxtwfj3265094@126.com

盐生产工艺,建立了海盐生产管理决策指数,在指导海盐生产上取得了一定的效果。

近 10 年来,北方盐区广泛应用塑苦池长期结晶工艺,海盐产量稳定提高。所谓塑苦池长期结晶工艺,是指在有降水天气过程时,雨前用塑料薄膜将结晶池苫盖起来,防止雨水稀释饱和卤水和溶化盐渣,雨后揭开塑料薄膜可以迅速恢复原盐结晶。空苫、漏苫都将造成一定的损失,因此针对降水情况决定是否实施塑苦作业(简称降水塑苦决策)成为气象为盐业生产服务的关键。以前,由于降水预报能力的限制,降水塑苦决策仍停留在经验阶段,如 5 mm 以下降水不进行塑苦,10 mm 以上降水即塑苦,5~10 mm 降水视季节而定等,并未考虑结晶池自然蒸发的损失和塑苦成本等,涉及结晶池降水塑苦决策方面的研究未见报道。近年来,随着综合气象观测系统的发展,数值预报技术不断进步^[5-10],由此而发展的精细化预报水平也进一步提高,降水的精细化预报能力也明显提高,使专业气象对盐业服务的定量决策成为可能。本文对造成卤水淡化、化盐、毁池的降水量进行分析,结合山东滨化海源盐化盐场实际海盐结晶工艺,以降水的精细化预报为基础,综合考虑塑苦成本、原盐价格及蒸发量,采取不同塑苦应对措施,试探讨、建立不同的降水塑苦决策方案。

1 影响卤水结晶的降水量分析

降水对卤水结晶的不利影响主要是淡化卤水、溶化结晶盐(简称化盐)、破坏结晶池底板(简称毁池),其中以淡化卤水对卤水结晶的影响最小,以毁池影响最为严重。分析造成这些不利影响的降水量,结合塑苦降水量进行综合决策,可为海盐生产提供更有针对性的服务。

1.1 降水量与淡化卤水的关系

左秉坚等^[11]在《海盐工艺》中推导出的卤水浓度稀释公式为:

$$b = B \left(1 - \frac{R}{0.26 + 1.116h + 1.034R} \right) \quad (1)$$

式中 b 为稀释后的卤水浓度($^{\circ}\text{Be}'$), B 为稀释前的卤水浓度($^{\circ}\text{Be}'$), R 为降水量(mm), h 为卤水深度(mm)。由公式可以看出,只要有雨水进入卤水池

与卤水混合,池中卤水的浓度就会下降,且降水量越大、卤水淡化就越明显;卤水淡化还与卤水深度有关,相同的降水量,卤水越浅、淡化就越明显。

1.2 降水量与化盐的关系

由降水造成的化盐分为降水直接使盐溶化(简称降水化盐)和雨水稀释卤水使盐溶化(简称余卤化盐)。

文献[11]给出的降水化盐公式为:

$$P_1 = \frac{S(h_1 + R)(d_2 - d_{\text{平}})}{(1 - ad_2)}$$

余卤化盐公式为:

$$P_2 = \frac{S(h_1 + R)(d_{\text{饱}} - d_2)}{(1 - ad_{\text{饱}})}$$

式中 S 为盐池面积(m^2), h_1 为雨前卤水深度(m), R 为本次降水量(mm), $d_{\text{饱}}$ 为饱和卤水比重, d_2 为降水化盐后卤水比重, $d_{\text{平}} = \frac{h_1 d_1 + R d_{\text{水}}}{h_1 + R}$ 为降水与卤水混合后比重(其中 $d_{\text{水}}$ 为淡水比重, d_1 为结晶池原来卤水比重), a 为溶解 1 吨盐溶液体积的增大值($a = 0.355 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)。

由于结晶池中的结晶盐基本浸泡在过饱和卤水中,降水化盐量可忽略不计。在无塑苦、雨后不排除的假设下,经充分化盐、混合后的卤水比重 $d_2 = d_{\text{平}}$ 。故最大化盐公式可简化为:

$$P = \frac{S(h_1 + R)(d_{\text{饱}} - d_{\text{平}})}{(1 - ad_{\text{饱}})}$$

化盐量(P)是结晶池面积、降水量、雨前卤水浓度、卤水深度的函数。卤水的饱和度 $d_{\text{饱}}$ 为 $26^{\circ}\text{Be}'$, 则当卤水浓度 $d_{\text{平}}$ 大于 $26^{\circ}\text{Be}'$ 时,将析出结晶盐;而当卤水浓度 $d_{\text{平}}$ 小于 $26^{\circ}\text{Be}'$ 时,卤水中的结晶盐将会溶解,因此当 $d_{\text{平}} < d_{\text{饱}}$ 时 $P > 0$, 即有化盐现象出现,则 $d_{\text{平}} = d_{\text{饱}}$ 时的降水量为降水化盐的降水量。结晶池卤水为过饱和卤水,随着结晶盐的析出以及饱和卤水的补充,浓度维持在 $26 \sim 30^{\circ}\text{Be}'$ 之间,因此过饱和卤水浓度一般取 $28^{\circ}\text{Be}'$, 该浓度卤水比重的 $d_1 = 1.241$, 如果雨后卤水浓度 $d_{\text{平}}$ 为 $26^{\circ}\text{Be}'$, 即有 $d_{\text{饱}} = d_{\text{平}}$, 该浓度卤水比重 $d_{\text{平}} = 1.22$, 代入公式 $d_{\text{饱}} = d_{\text{平}} = \frac{h_1 d_1 + R d_{\text{水}}}{h_1 + R}$ 计算,可得 $R = 0.0954 h_1$ 。结晶池卤水深度根据季节的不同而不同,若结晶池卤水深度在 $150 \sim 200 \text{ mm}$ 之间,则降水量大于 $14.3 \sim 19.1 \text{ mm}$ 就可出现化盐(见表 1)。

表 1 化盐、毁池的降水量

Table 1 Precipitation leading to the melt salt and crystallizing pond damage

卤水深度/mm	150	160	170	180	190	200
28°Be' 卤水化盐降水量/mm	14.3	15.3	16.2	17.2	18.1	19.1
25.5°Be' 卤水稀释到 20°Be' 的降水量/mm	64.4	68.7	73	77.3	81.6	85.9

1.3 降水量与毁池的关系

盐场结晶池的底板多是泥土底板,当低于某一浓度的卤水存于结晶池时,就可能泡软结晶池的底板,影响原盐结晶生产、严重时甚至停产。由公式(1)可转化得:

$$R = - \frac{(0.26 + 1.116h)(B - b)}{0.034B - 1.034b}$$

若取雨前卤水浓度为 26°Be', 雨后卤水浓度若小于 20°Be' 则对结晶池底板有影响,以此为例,将 $B = 26^\circ\text{Be}'$, $b = 20^\circ\text{Be}'$ 代入,得 $R = 0.1131 + 0.4854h$ 。可见毁池的降水量与池中卤水深度、浓度有关,卤水越深、卤水浓度越大则可能造成毁池的降水量就越大。

表 2 不同天空状况下的日蒸发量 (mm)

Table 2 Evaporation in different weather conditions (mm)

月份	平均	晴天		多云				阴天			
		无降水	有降水	无降水	有降水	降水>5	降水>10	无降水	有降水	降水>5	降水>10
4	9.5	11.4	7.9	9.2	6.9	4.5	2.3	8.2	5.1	3.5	2.9
5	12.6	15.1	11.3	12.2	8.9	7.6	8.0	11.0	6.1	4.9	4.6
6	12.5	14.5	12.2	13.5	9.5	9.2	9.0	11.0	6.2	5.9	5.0
7	8.7	10.3	8.3	9.0	7.6	8.1	8.2	7.8	5.3	4.9	4.2
8	7.7	8.7	7.8	7.9	6.6	7.3	6.9	6.6	4.6	4.7	5.7
9	7.2	8.4	6.7	7.1	5.8	5.1	5.4	6.4	4.0	3.4	3.1
10	5.6	6.4	5.9	5.3	5.3	5.2	5.0	4.1	3.0	2.8	2.8

2.1 降水造成的蒸发损失估计

根据文献[11]卤水蒸发公式为:

$$E_{\text{卤}} = E_{\text{皿}} f_1 f_2 f_3$$

式中 $E_{\text{卤}}$ 为卤水的蒸发量, $E_{\text{皿}}$ 为小蒸发器的蒸发量, f_1 为大蒸发与小蒸发的换算系数(北方一般取 75%), f_2 为卤水某一浓度区间的平均比蒸发系数(取值范围 99%~24%), f_3 为卤水深度蒸发系数(取值范围 100%~112%)。若降水不与卤水混合,则将这部分降水全部蒸发,仅需考虑蒸发器与结晶池蒸发的换算系数,由降水造成的蒸发损失为 $E_s = R/f_1$ 。若降水与卤水完全混合,则将这部分降水全部蒸发,消耗的蒸发量应为 $E_s = R/f_1 f_2 f_3$ 。因此,降水不论是否与卤水混合,造成的蒸发损失都大于

一般情况下,除了新结晶池刚开始灌卤(卤水浓度为 25.5°Be')晒盐时,结晶池底无结晶盐,通常结晶池中都有 10 mm 以上的结晶盐,因此结晶池卤水的最低浓度 25.5°Be'。取雨前卤水浓度为 25.5°Be', 计算可得毁池降水量的下限值(见表 1)。

2 实施塑苦的降水决策分析

利用无棣县埕口盐场气象站 1961—1989 年逐日蒸发量、天空状况观测资料,分析两者之间的关系,其中规定 08、14、20 时 3 时次平均总云量大于 8 成或平均低云量大于 7 成为阴天,平均总云量小于 5 成或平均低云量小于 3 成为晴天,其他为多云。统计不同天空状况下的平均日蒸发量(表 2),可以看出天空状况对日蒸发量的影响很大:云量越多、日降水量越大日蒸发量就越小。即使是在阴天、降水大于 10 mm 的情况下,5—9 月仍有 5 mm 左右的蒸发量,最少的 4 月也有近 3 mm 的蒸发量。因此,在实施塑苦的状态下必然会造成结晶池卤水蒸发的损失。

降水量。

而实际上,由于卤水的比重远远大于雨水的比重,通常情况下降水与卤水难以完全混合,很难用一个简单的公式来计算降水与卤水的混合程度,因而也就很难计算出降水造成的蒸发量损失。为此,盐业上通常取上述情况的平均值来代表降水造成的蒸发损失^[11],即:

$$E_s = 0.5(R/f_1 + R/f_1 f_2 f_3) = R(1 + f_2 f_3) / 2f_1 f_2 f_3 \quad (2)$$

结晶池的卤水深度一般在 150~200 mm,以卤水深度为 150 mm、卤水浓度为 28°Be' 为例,10 mm 的降水完全混入卤水中,需要从卤水中将雨水蒸发掉才能恢复到原来的浓度。在不采取措施、雨水与卤水完全混合的情况下,将会造成 36.5~31.8 mm

的蒸发损失,就是在采取了排淡等常规措施后,仍可造成 26.5~23.1 mm 的蒸发损失。如在蒸发量较小的 10 月,1 mm 的降水若混入卤水中,晴天也需要约半天时间,才能使卤水恢复到原来的浓度。

2.2 降水量的确立

2.2.1 未塑苫时降水量的确立

根据文献[11],在没有降水的情况下,1 mm 蒸发量、1 公亩结晶池的盐产量计算公式为:

$$P_s = 100E_m f_1 f_2 f_3 / (1000 \times 2.86) = E_m f_1 f_2 f_3 / 28.6 \quad (3)$$

式中 P_s 为 1 mm 蒸发量(蒸发皿)、1 公亩结晶池面积上的盐产量(单位: t/mm · 公亩,1 公亩 = 100 m²,下同),2.86 为实验常数,即卤水达到饱和后每蒸发 2.86 m³ 水分可产盐 1 吨。

将降水造成蒸发损失的公式(2)代入公式(3),可得降水造成盐产量损失公式:

$$P_s = R / f_1 f_2 f_3 \times f_1 f_2 f_3 / 28.6 = R / 28.6 \quad (4)$$

当采取塑苫措施时,塑苫造成的损失小于降水造成的损失时,才有经济效益。对于某一时间段(如从开始塑苫到收苫结束),塑苫造成的损失包括塑苫成本和因塑苫而造成的这一时段的蒸发损失,降水造成的损失为因降水量与这一时段的结晶池蒸发量之差。则当(塑苫成本+蒸发损失)<降水损失时,就可以实施塑苫。即针对降水实施塑苫的决策公式(简称为降水塑苫决策公式)为:

$$(C + JSP_{s损}) < (JSP_{s水} - JSP_{s蒸})$$

其中 C 为塑苫成本(元)、 J 为每吨原盐市场价(元/t)、 S 为结晶池的面积(公亩)、 $P_{s损}$ 为蒸发损失造成的盐产量损失、 $P_{s水}$ 为降水造成的盐产量损失、 $P_{s蒸}$ 为塑苫期间蒸发形成的盐产量。代入公式(4)化简,得:

$$R > [28.6C/JS + (E_{蒸} + E_{损})f_1 f_2 f_3] \quad (5)$$

由此可知,塑苫的实施不但与塑苫成本、结晶池面积、原盐价格有关,还与损失的蒸发量、卤水浓度、深度等有关。当塑苫成本、结晶池面积、原盐价格、卤水浓度、深度一定时,则决定实施塑苫的降水量仅与损失的蒸发量有关。

在降水开始前结晶池苫盖完毕、降水结束即开始收苫,可以使塑苫造成的蒸发损失达到最小。塑苫操作时间 T_0 加上降水持续时间 t ,就是苫盖时间。假设一天中各时次结晶池蒸发量的分布基本相等,则塑苫期间的蒸发量为 $E_{蒸} = (t + T_0)E_m / 24$ 。塑苫操作时间为苫盖与收苫的时间之和,一般情况下,由于塑苫

操作而造成的结晶池的实际苫盖时间为苫盖时间与收苫时间的一半。因此 $T_{损} = (t + 0.5T_0)$, $E_{损} = (t + 0.5T_0)E_m / 24$ 。代入公式(5),则

$$R > [28.6C/JS + (1.5T_0 + 2t)f_1 f_2 f_3 E_m / 24] \quad (6)$$

由于结晶池的面积一般在 55~110 公亩之间,塑苫成本随结晶池面积的增大在 200~800 元之间变动、每吨原盐的价格在 150 元左右,公式(6)右侧第一项的值基本在 1 mm 以内变化,因此塑苫成本、结晶池面积及原盐价格的变动对塑苫降水量影响较小。实施塑苫的降水量与苫盖操作时间、降水持续时间及日蒸发量成正相关,当操作时间一定时,实施塑苫的降水量由降水时间和日蒸发量决定。如在 4 月份,55 公亩的结晶池 ($T_0 = 10$ 、 $C = 300$) 卤水 (28°Be') 深度在 150 mm 左右,每吨原盐以 150 元的市场价计算,则实施塑苫的降水量与降水持续时间和日蒸发量的关系见表 3。

由表 3 可知:日蒸发量越大、降水持续时间越长则实施塑苫的降水量就越大。如降水预报量为 5 mm 时,若日蒸发量为 10 mm,则 1、6、12、24 小时的降水持续时间对应的实施塑苫的降水量分别为 3.0、4.1、5.5、8.2 mm,即降水持续时间不足 12 小时时,预报的 5 mm 降水量大于塑苫降水量,需实施塑苫,反之则不需要塑苫。再如降水预报量为 5 mm 时,若降水持续时间为 24 小时,日蒸发量 5 mm 对应的塑苫降水量为 4.6 mm,小于降水预报量 5 mm,必须塑苫;日蒸发量 10 mm 时就不需塑苫。因此,仅根据降水量的大小决定是否实施塑苫是不够科学的。

表 3 未塑苫时降水量与日蒸发量的关系(单位:mm)

Table 3 The relationship between precipitation and daily evaporation without plastic film cover (unit: mm)

蒸发量	降水持续时间			
	1 h	6 h	12 h	24 h
1 mm	1.2	1.3	1.5	1.8
3 mm	1.6	2.0	2.4	3.2
5 mm	2.0	2.6	3.3	4.6
10 mm	3.0	4.1	5.5	8.2
15 mm	3.9	5.7	7.7	11.8
20 mm	4.9	7.2	9.9	15.4

由前面的分析可知,当结晶池卤水为 150 mm 深时,化盐的降水量为 14.3 mm,即使在日蒸发量较大为 20 mm、且 24 小时都下雨的情况下(此情况历史未见),实施塑苫的降水量仍在 14 mm 以下。可见化盐降水量远大于塑苫降水量。因此,对于降水塑苫决策只考虑塑苫降水量即可。

2.2.2 已塑苫时降水量的确立

对于已苫盖的结晶池,预计未来仍有降水时,降水多大时才不收苫? 决策根据等价原则,当塑苫期间的蒸发损失大于降水造成的损失时,即 $tE_{\text{皿}} f_1 f_2 f_3 / 24 > R$ 时采取收苫措施,才有经济效益。表 4 为 4 月份结晶池卤水 150 mm 深时塑苫状态下降水量与日蒸发量及时间的关系。由表 4 可以知道,若日蒸发量为 15 mm,只要日降水量小于 5 mm 就可以收苫;若日蒸发量为 6 mm,只要日降水量小于 2 mm 就可以收苫;微量降水时不论日蒸发量多少,都可收苫。

表 4 塑苫时降水量与日蒸发量的关系(单位:mm)
Table 4 The relationship between precipitation and daily evaporation with plastic film cover (unit: mm)

蒸发量	降水持续时间			
	1 h	6 h	12 h	24 h
1 mm	0.0	0.1	0.2	0.3
3 mm	0.0	0.2	0.5	0.9
5 mm	0.1	0.4	0.8	1.6
10 mm	0.1	0.8	1.6	3.1
15 mm	0.2	1.2	2.4	4.7
20 mm	0.3	1.6	3.1	6.3

2.2.3 降水间歇期间收苫指标的确立

对于已苫盖的结晶池,此次降水已(或者即将)结束,而预计未来仍有较大降水时,需继续塑苫时,两次降水间隔多长时间才考虑收苫? 当然,如果降水间隔时间 T 小于塑苫操作时间 T_0 时,即当 $T \leq T_0$ 时不需要考虑收苫;当 $T > T_0$ 时才考虑收苫。决策根据等价原则,当收塑苫期间的蒸发收益大于收苫造成的损失(塑苫成本)时,采取收苫措施时,才有

经济效益。塑苫决策公式为:

$$JSP_{\text{蒸}} > C,$$

$$\text{即 } JS(T - 0.5T_0)E_{\text{皿}} f_1 f_2 f_3 / (28.6 \times 24) > C,$$

$$\text{则 } T > 0.5T_0 + 686.4C / (JSE_{\text{皿}} f_1 f_2 f_3).$$

如 55 公顷的结晶池 ($T_0 = 10, C = 300$) 卤水 ($28^\circ\text{Be}'$) 深度在 150 mm 左右,每吨原盐以 150 元的市场价计算,计算结果见表 5。由表 5 可知,当日蒸发量为 10 mm 时,只有降水间隔时间超过 14 小时才可收苫;当日蒸发量超过 18 mm 时,只有降水间隔时间超过塑苫操作时间就可收苫。当塑苫成本增加或原盐价格降低、结晶池面积减小时,收苫的降水间隔时间增多;反之则减小。

表 5 日蒸发量与收苫降水间隔时间的关系

Table 5 The relationship between daily evaporation and the recovery interval of the plastic film cover

日蒸发量/mm	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
降水间隔/h	50.6	27.8	20.2	16.4	14.1	12.6	11.5	10.7	10.1	9.6

3 降水塑苫决策

由上述分析可知,塑苫决策的降水量与塑苫成本、原盐价格及降水时间、蒸发量大小、苫盖时间有关。在塑苫成本和原盐价格已定的情况下,降水塑苫决策取决于塑苫期间的蒸发量和降水量的大小。以降水的精细化预报和蒸发量预报为基础,根据结晶池是否塑苫,将降水塑苫决策分为两套方案实施:未塑苫的决策方案和已塑苫的决策方案。决策框图详见图 1。

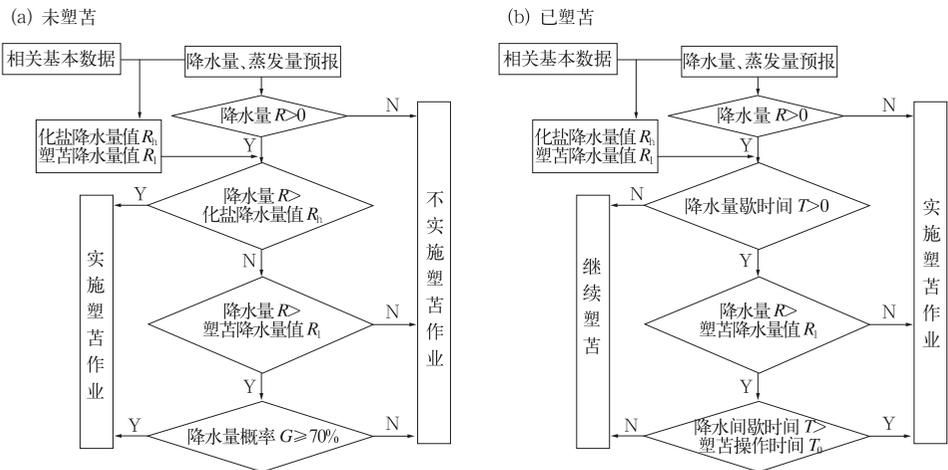


图 1 塑苫的降水决策框图

Fig. 1 The decision-making framework of the plastic film cover against rainfall

4 结 语

通过以上分析,可以知道,影响卤水结晶的淡化卤水、化盐、毁池的降水量是逐级增大的,降水塑苫决策只考虑塑苫降水量即可;塑苫的降水量与苫盖操作时间、降水持续时间及日蒸发量成正相关。在塑苫成本和原盐价格已定的情况下,当操作时间一定时,塑苫的降水量由降水量及降水持续时间、日蒸发量决定。根据上述分析结果,以降水的精细化预报和蒸发量预报为基础,针对结晶池未塑苫、已塑苫这两种塑苫状况,设计了两套降水塑苫决策方案:未塑苫时,当预报降水量大于塑苫降水量时,实施塑苫;否则不苫。已塑苫时,当预报未来仍有降水,若降水无间歇,或降水有间歇且间隔时间不大于塑苫操作时间,预报降水量大于塑苫降水量时,继续塑苫;否则收苫。

从理论上讲,只要按要求做出预报,即可根据上述两套方案做出塑苫决策。实际上由于预报水平的限制,降水的定时、定量、定点预报以及蒸发量的预报存在一定误差,因此,在实际工作中应利用卫星云图、天气雷达回波对天气系统监测定位准确、移动方向清晰、强弱变化清楚等特点,进行降水有无、降水

开始时间及降水量的临近订正,调整塑苫实施方案,提高塑苫效益。

参考文献

- [1] 李金枝,王凤娇,牛丽玲. 气象条件对海盐产量的影响[J]. 山东气象,2007,27(2):28-30.
- [2] 王来兵. 塘沽地区气候变化及对海盐生产影响评价[J]. 海湖盐与化工,2002,31(2):7-9.
- [3] 周小珊,杨森,王奉安,等. 复州湾盐场春晒期降水中尺度数值预报试验[J]. 辽宁气象,2002,1:9-10.
- [4] 王亦平,王肖成,蔡示来,等. 海盐生产管理决策指数[J]. 气象,2001,27(7):49-52.
- [5] 宋连春,李伟. 综合气象系统的发展[J]. 气象,2008,34(3):49-52.
- [6] 矫梅燕. 天气业务的现代化发展[J]. 气象,2010,36(7):1-4.
- [7] 闫之辉,王雨,朱国富. 国家气象中心业务数值预报发展的回顾与展望[J]. 气象,2010,36(7):26-32.
- [8] 管成功,王克敏,陈晓红. 2002—2005年 T213 数值降水预报产品分析检验[J]. 气象,2006,32(8):70-76.
- [9] 王雨. 2002年主汛期国家气象中心主客观降水预报对比检验[J]. 气象,2003,29(5):21-25.
- [10] 徐双柱,张兵,湛伟. GRAPES模式对长江流域天气预报的检验分析[J]. 气象,2007,33(11):65-71.
- [11] 左秉坚,郭德恩. 海盐工艺[M]. 北京:轻工业出版社,1989:223-432.