

影响高锰酸盐指数准确测定的因素探讨

陈丽琼¹, 茹婉红², 胡勇³, 余东波⁴, 茹菁宇⁵ (1. 云南省环境监测中心站, 云南昆明 650034; 2. 上海航天化工应用研究所, 上海 201109; 3. 西南林业大学, 云南昆明 650224; 4. 云南省科学技术情报研究院, 云南昆明 650051; 5. 云南省环境科学研究院, 云南昆明 650034)

摘要 高锰酸盐指数是一个相对的条件性指标, 其测定结果与反应体系酸度、标准溶液浓度、加热时间与温度、滴定条件、终点判断、空白值、 K 值及水浴水位高低等因素有关。全面总结分析了实际监测中各因素对 COD_{Mn} 测定的影响情况, 并指出测定过程中应当注意的关键问题, 对高锰酸盐指数的准确测定具有非常重要的意义。

关键词 高锰酸盐指数; 准确测定; 影响因素

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)01-00284-04

Discussion on Influencing Factors for Accuracy Determination of Permanganate Index

CHEN Li-qiong et al (Yunnan Environmental Monitoring Center, Kunming, Yunnan 650034)

Abstract The determination result of permanganate index is correlated with acidity of reaction system, concentration of standard solution, heating time and temperature, titration condition, end-point judgment, blank value, K value and water level. Effects of each factor on COD_{Mn} determination in reality were summarized, the key problems during determination process were pointed out, which has significance on accuracy determination of permanganate index.

Key words Permanganate index; Accuracy determination; Influencing factors

高锰酸盐指数(COD_{Mn})是指在一定条件下, 用高锰酸钾氧化水中某些有机物和无机物还原性物质, 由消耗的高锰酸钾的量换算成相当的氧量, 以 mg/L 表示。 COD_{Mn} 是地表水、水源水和生活污水监测的重要项目, 也是我国地表水在线自动监测的重要指标之一, 主要反映水体受有机污染物和还原性无机物质污染的程度。水中 COD_{Mn} 监测通常采用的酸性高锰酸钾滴定法属于氧化还原反应, 其反应机理和氧化程度比较复杂, 使得该项目成为较难测得准确的项目之一。用高锰酸钾法测定水中 COD_{Mn} 时, 由于易挥发的有机物不能被高锰酸钾氧化^[1], 故 COD_{Mn} 的大小不能完全反映水被有机物污染的程度, 它只是一个相对的条件性指标, 其测定过程受到很多因素的影响^[2], 主要有反应体系酸度、标准溶液浓度、加热时间和温度、滴定条件、终点判断、空白值、 K 值及水浴水位高低等, 从而使测定结果偏离真值, 质量控制方面也很难达到要求。因此, 在 COD_{Mn} 测定过程中必须严格遵守操作规程, 使其结果具有准确性与可比性。笔者在充分理解酸性高锰酸钾氧化法原理及分析过程的基础上, 结合多年从事 COD_{Mn} 分析的实践经验, 现对测定过程中的影响因素作一简要总结。

1 标准溶液对 COD_{Mn} 测定的影响

1.1 高锰酸钾溶液对 COD_{Mn} 测定的影响

1.1.1 高锰酸钾标准溶液浓度对测定结果的影响。高锰酸钾标准溶液浓度的高低对空白值及样品值的影响较大。通过对标准样品进行测定试验和误差分析证明, 高锰酸钾溶液浓度一般应保持在 $0.009\ 8 \sim 0.010\ 0\ \text{mol/L}$ 之间, 且理论上应该准确控制在 $0.010\ 0\ \text{mol/L}$, 空白值保证在 $0.40 \sim 0.50$ 之间, 样品测定的相对误差较低, 可以保证较高的准确度。高锰酸钾溶液浓度的最佳值应略 $< 0.010\ 0\ \text{mol/L}$, 否则当高

锰酸钾标准溶液浓度偏高, 在进行空白滴定时, 加入 $10.00\ \text{ml}$ 草酸钠溶液后, 不足以完全还原溶液中剩余高锰酸根, 导致紫红色无法完全褪除, 需要增加相应处理步骤, 或者空白及样品试验所消耗高锰酸钾的体积偏低, 使得样品测定值偏低^[3]。当高锰酸钾标准溶液浓度偏低时, 滴定用量增大, 样品温度下降幅度大, 反应速度减慢, 从而使样品测定值偏高。

1.1.2 高锰酸钾标准溶液的配制。纯的 $0.1\ \text{mol/L}$ 的高锰酸钾溶液是相当稳定的, 但因市售的高锰酸钾试剂常含有二氧化锰、硫酸盐、氯化物和硝酸盐等杂质, 并且受蒸馏水中微量还原性物质的影响, 它们可与 MnO_4^- 反应而析出 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 沉淀, MnO_2 和 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 能促进高锰酸钾溶液的分解, 且高锰酸钾溶液还能自行分解。分解的速度因溶液的 pH 而不同, 一般在中性溶液中分解很慢, 在碱性和酸性溶液中分解较快, 见光分解更快。因此, 必须正确地配制和保存高锰酸钾溶液^[4]。

高锰酸钾试剂本身含有的少量杂质和蒸馏水中所含有的微量还原性物质会消耗少量的高锰酸钾, 从而降低了高锰酸钾溶液的浓度, 所以在高锰酸钾标准溶液的配制过程中, 称取高锰酸钾的质量要稍多于理论量。将高锰酸钾溶液加热至沸腾, 并保持一定时间, 使溶液中还原性物质充分氧化, 放置过夜后再用玻璃砂芯漏斗过滤, 以除去溶液中少量的二氧化锰颗粒和 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 沉淀, 这样才能延长溶液的使用期。配制好的高锰酸钾溶液需贮存于棕色瓶中, 置于暗处, 避免高锰酸钾分解^[5]。

1.1.3 高锰酸钾标准溶液浓度的准确标定。按现行标准方法配制高锰酸钾标准贮备溶液, 高锰酸钾加热溶解后没有定容和标定浓度, 很容易造成浓度偏高, 给测定结果带来误差。为确保配制的溶液浓度更接近于理论值, 建议在高锰酸钾贮备溶液配制后和滴定溶液稀释使用前, 先对高锰酸钾标准贮备液的浓度进行标定(草酸钠标定法), 确定贮备液的准确浓度值以后, 再按比例稀释成准确的高锰酸钾标准滴定溶液浓

度,从而避免因标准溶液浓度偏差带来的测定结果误差^[6]。

高锰酸钾标准贮备溶液的标定须在强酸性溶液中进行,若酸度过低,高锰酸钾与被滴定物作用生成褐色的 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 沉淀,则反应不能按一定的计量关系进行,但也不能过强,否则会使 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 分解^[7]。国标方法中要求配制的高锰酸钾使用液的浓度为 0.01 mol/L ,确切的浓度值需当日标定。标定时,高锰酸钾的消耗量一般在 $9.95 \sim 10.05 \text{ ml}$ 之间为宜。

1.2 草酸钠标准溶液的准确配制 标定高锰酸钾标准溶液的基准物质较多,如草酸钠、 As_2O_3 、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和纯铁丝等,其中以草酸钠较为常用,因为它易于提纯,性质稳定,不含结晶水。草酸钠溶液是基准溶液,用于标定高锰酸盐指数的准确浓度,直接影响到高锰酸盐指数的测定结果。草酸钠性质相对稳定,但是容易潮解,其溶液长时间暴露在空气中容易被氧气氧化,浓度变小。如果保存温度过高,则容易引起草酸分解,同样导致浓度变小。草酸钠固体应保存在密闭容器中、放置阴凉处,配制草酸钠溶液时,先要在 120°C 烘干基准级草酸钠试剂 2 h 左右,于干燥器中冷却至室温后再准确称量,否则会引起测定结果偏高。草酸钠贮备液应于 4°C 密闭保存,标准溶液应在临用前配制。由于各实验室空气背景值不同、冰箱贮存条件也不同,具体操作人员应根据自己实验室情况,利用测定标准样品的准确度来检验出草酸钠贮备液的准确保存时间,一般不超过半年^[8]。

2 反应体系酸度对测定结果的影响

高锰酸盐指数测定所采用的酸性高锰酸钾滴定法属于氧化还原反应,反应体系的酸度对整个反应的速度和方向有较大的影响,因此酸度必须适宜,否则将会导致测定结果出现偏差。当酸度较低时,高锰酸钾易被氧化为 MnO_2 沉淀,使高锰酸钾的氧化性降低,影响其对水体中无机和有机还原性物质的氧化,使测定结果偏低;当酸度过高,则会引起溶液中草酸的分解,反应中 H^+ 的消耗会干扰反应的正常进行,使高锰酸钾在有限的时间内不能充分发挥其氧化作用,使测定结果偏低。因此,为保证反应能有效进行,酸性高锰酸盐滴定法要求水样的酸度在 $0.5 \sim 1.0 \text{ mol/L}$ 之间,避免使用盐酸、硝酸^[9]。滴定反应开始时,溶液 $[\text{H}^+]$ 应为 $0.5 \sim 1.0 \text{ mol/L}$ 左右,滴定终了时应为 $0.2 \sim 0.5 \text{ mol/L}$ 左右,高锰酸盐指数测定结果才接近真值。

3 加热温度对测定结果的影响

高锰酸钾氧化草酸钠的反应是个吸热反应,在常温下,该反应的反应速度非常慢,但温度升高时明显加快了反应的速度,试验证明,反应温度每升高 10°C ,反应速度可增加 $2 \sim 4$ 倍。试验环境的外界温度和气压均影响水浴温度,在相同的加热时间内,导致有效加热时间不一致,使高锰酸盐指数的测定值出现偏差。研究表明,沸水浴的温度范围较广(90 、 95 、 98 、 100°C 等),高锰酸盐指数的测定结果则随水浴温度的升高而增大。因此,按照标准方法控制沸水浴加热时间为 30 min ,不同水浴温度将导致同一水样高锰酸盐指数测定值不一致^[10]。

当多个样品同时加入沸腾的恒温水浴中,水温会急剧下降,经常会出现局部沸腾的现象,很难准确给每个样品准确计时,直接影响分析结果准确性。因此,当测定多个样品时,分析人员应根据各实验室的试验环境条件及个人操作速度的快慢,将每个样品的加热时间隔开,这样可以避免水浴锅中出现局部再沸腾的现象,保证了样品始终处在沸腾水浴状态,同时有利于计算每个样品的沸水浴时间。

4 加热时间对测定结果的影响

在化学反应的温度和反应速度一定的条件下,反应时间的长短将影响反应进行的程度。采用酸性高锰酸钾氧化法测定高锰酸盐指数,只是测得规定时间内高锰酸钾所氧化水样中的还原性物质的量,并不是水样中所有可以被氧化的还原性物质的总量,反应时间将直接影响最终测定的结果。一般情况下,加热时间长,高锰酸钾消耗量的就多,高锰酸盐指数值就偏高;加热时间短,高锰酸钾消耗量的就少,高锰酸盐指数值就偏低。

沸水浴中放入装有常温溶液的锥形瓶会引起水温下降,因此不能从锥形瓶放入水浴锅内就开始计时,会导致反应时间不足,测定结果偏低,应从水浴锅内再次沸腾时开始,计时 30 min 结束。但由于高锰酸盐指数测定是一个条件性试验,测定结果易受外界条件的影响,把加好试剂的三角烧瓶放入沸水浴中,反应体系与水浴温度达到平衡时间约需几分钟,所以许多研究结果^[11-14]认为,水浴加热的总体时间应根据具体情况尽可能控制在 33 min 以内,最长不宜超过 35 min 。若加热时间过长,测定结果会增加 $4\% \sim 8\%$ ^[15]。水样的加热时间超过 3 min ,检测结果的回收率就会在最大回收率的基础上提高 4% 。所以应严格控制加热时间,注意不要使加热时间超出最佳范围。

5 滴定条件对测定结果的影响

5.1 滴定温度 用高锰酸钾滴定剩余的草酸钠时,滴定温度要求在 $60 \sim 90^\circ\text{C}$ 之间,在 80°C 左右反应速度最快。当反应温度超过 90°C 时,草酸钠容易分解: $2\text{H}^+ + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} = \text{CO}_2 \uparrow + \text{CO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$,使溶液呈现茶色,应在从沸水浴中取出后将溶液稍微放置,再加入草酸钠,就不会出现这种现象了;当反应温度低于 60°C 时,高锰酸钾与草酸钠的反应速度缓慢,则会影响氧化反应的程度。当室温为 25°C 时,水样从水浴锅中取下 2 min 时,水样的温度一般在 $80 \sim 85^\circ\text{C}$ 之间,此时正好进行滴定。但是冬天溶液温度过低,加入 10.00 ml 草酸钠标准溶液后,锥形瓶内溶液温度会很快下降,有可能低于 60°C ,就不符合反应的温度条件。因此,实验室最好用空调控温,否则应将溶液加热至 85°C 左右,才能达到 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 的反应温度。

5.2 滴定时间 分析操作中规定,滴定应遵循“成滴不成线”的原则,对于一般项目很容易做到,而高锰酸盐指数需要 $60 \sim 90^\circ\text{C}$ 的温度才能使反应正常进行,所以控制滴定的时间非常重要,以防止滴定时间过长导致整个溶液体系温度降低幅度太大,影响测定结果。高锰酸盐指数的测定是一个条件性试验,其化学反应完成的时间也会受到加热时间、消解反应

进行的程度、气压、季节等诸多因素的影响。许多工作者研究了锥形瓶从沸水浴中取出时起溶液温度随时间的变化,试验结果表明,滴定时间最好控制在自加热结束起 2~7 min 内为宜,否则温度下降,会影响测定结果的准确度^[16]。

5.3 滴定速度 酸性法测定高锰酸盐指数时,应保持滴定的速度与反应的速度同步,使溶液中高锰酸钾和草酸钠能在最适宜的温度条件下充分接触反应,避免发生热解反应和温度下降造成测定结果产生误差。在对样品进行滴定时,由于 MnO_4^- 与 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 的反应是自催化反应,生成物中的 Mn^{2+} 对反应本身起一定的催化作用,整个滴定过程应保持“慢→快→慢”的滴定速度。开始时反应较慢,高锰酸钾褪色较慢,速度不宜太快,否则会使高锰酸钾来不及与草酸钠反应,直接分解为 MnO ,影响结果的准确度。滴加到样品中生成一定量的 Mn^{2+} 时,反应速度就会加快,滴定速度也可稍微加快。随着反应的进行,反应物的浓度在减少,反应速度也会变慢。当反应快到终点时,滴定速度应当放慢,并注意观察颜色的变化。整个滴定过程都要摇动锥形瓶,以便使反应充分完全。

5.4 滴定终点的判断 高锰酸钾不太稳定,环境中的还原性物质及尘埃等杂质能使反应液中的 MnO_4^- 还原,粉红色消失,所以标准方法中规定当反应液出现淡粉红色 0.5~1.0 min 内不褪色,即可认为反应到达了滴定终点。但这种粉红色颜色较淡,比较难判断,容易滴定过量,导致结果偏高。因此,为了让所有样品的终点颜色保持一致,滴定操作可将装有 100 ml 纯水的锥形瓶置于较大面积的白色衬底上,与被滴试样一起比较,根据颜色的变化,比较容易判断终点。高锰酸钾的滴定尽量用体积小一些的棕色滴定管进行,加入量也最好都从零点开始,这样可以使滴定条件最大可能的趋向一致,减小系统误差,提高监测的准确程度。在酸性高锰酸钾滴定法中,高锰酸钾既是标准溶液,又是自身指示剂,读数时按通常方法要求有色溶液要读溶液最高点^[17]。

6 空白值对测定结果的影响

高锰酸盐指数的实验室用水应该是不含有机物的蒸馏水,但日常工作中的蒸馏水的批号、保存时间和制备方法以及当地地表水的水质级别多少都有差异,会直接影响到其空白值的高低,所以试验用水引进的误差必须在计算时减去,否则将造成 10% 的误差。但在质控考核时,当样品含量 > 5 mg/L 需减少取样量时,由于空白液即为稀释水,不应再减去空白值,否则测定结果将偏低,导致考核失败。

在测定高锰酸盐指数时,对制备好的试验用水应及时使用,密闭保存,且保存期限不要超过 5 d,最好取用新鲜蒸馏水,保证空白值滴定体积在 0.35~0.60 ml 之间,这样就可以减少空白值对测定结果的影响。大量试验研究证明,普通蒸馏水、用碱性高锰酸钾法新烧制的二次蒸馏水,以及电导率 < 2.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 $^{\circ}\text{C}$) 的去离子水均可以用作试验用水,其检测结果的精密度和准确度不受影响,均符合分析要求^[18]。

7 K 值对测定结果的影响

在高锰酸盐指数测定过程中,需要准确测定高锰酸钾的

校正系数 K 值,再带入公式校正其测定结果。试验证明,校正系数 K 值每相差 0.01,分析结果将浮动 0.015 mg/L 左右^[19]。 K 的最佳值应 < 1,当 K 值在 1.000 左右时,样品测定的相对误差较低, K 值增大或减小,相对误差都会增大。当 K 值较小,即高锰酸钾溶液浓度过低时,空白消耗量偏大,使测定结果偏低^[20];当 K 值 > 1,在进行空白试验或水样浓度很低时,加入 10 ml 草酸钠溶液,溶液的淡红色无法退去,需加大草酸钠溶液的加入量,才能使淡红色溶液变为无色溶液^[21]。因此,高锰酸钾标准溶液浓度的校正系数需准确调在 0.980 0~1.010 0 之间,空白值应保证在 0.40~0.50 之间,这样对样品测定的影响较小,测定的准确度较高^[22]。

采用标准方法测定高锰酸盐指数时,高锰酸钾溶液的配制时间变化和水样浓度变化在 4~5 h 内对校正系数 K 值不存在显著性影响。当测定多个样品时, K 值不必每个水样都测定,一般在 4~5 h 测定 2~3 个 K 值,用其平均值计算这段时间内指数值即可^[23]。

8 水浴水位高低对测定结果的影响

李红梅等就水浴锅中加水量对高锰酸盐指数检测结果的影响进行了研究,结果发现,水浴锅中加水量的多少,水位的高低对检测结果的准确性有直接的影响^[24]。水浴加热时,要保证沸水浴液面高于锥形瓶内反应液的液面,以便锥形瓶中的样品可以充分反应,但水浴锅内的加水量也不能太多,否则三角瓶容易漂浮,还会影响水浴锅内的温度,进而影响测定结果的准确性。水浴锅内加水量少,加热过程中蒸发量过多,会导致水浴锅液面低于三角瓶内液面,加热不均匀,会造成测定结果偏低。每次做样时,放入水浴锅中的样品数量不宜太多,最好留有一半或 1/3 的空间用密封圈封着,这样水温不会下降过快,达到沸腾的速度较快,对测定值的影响就不大。

除此之外,水样中含有的 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 Cl^- 等干扰物质、水样的浊度和取样体积也会高锰酸盐指数的测定产生影响。当水样中 Cl^- 含量超过 300 mg/L 时, Cl^- 的诱导反应使高锰酸盐指数数值偏高,此时应先将水样稀释后再测定,如果稀释后 Cl^- 浓度仍高于 300 mg/L,则要改用碱性高锰酸钾法来测定。刘萍等对重庆的 5 条江进行 11 个月浊度和高锰酸盐指数的分析测定和统计,结果证明,水样的浊度与高锰酸盐指数值之间成正相关关系。尤其在丰水期,浊度越大,高锰酸盐指数越大;在枯水期和平水期,高锰酸盐指数比较稳定,呈现出丰水期 > 平水期 > 枯水期的规律^[25]。刘巧莲^[26]和余晓鹏等^[19]研究证明,当取样体积过小时,空白及低浓度样品测定结果偏高,引起的误差较大,反之当取样体积过大时,则会使结果降低。取样体积为 100 ml 时,各个样品所得结果的准确度较高,样品平行性也较好。

9 结语

随着经济的迅速发展,人口的增多和工业的日趋发达,生活污水与工业废水的大量排放,我国的水环境污染现象也日益严重,高锰酸盐指数成了饮用水、水源水和地表水等水资源监测的重要因子和评价水体受有机及无机污染物质污

染程度的重要考核指标之一。目前,虽然国内就高锰酸指数测定影响因素做了很多研究,对实际工作有一定的指导作用,但是由于各地实验室的条件不同以及操作人员之间的个体差异,仍可能使结果有所不同。因此,需要试验操作人员平时不仅要注意参考同行研究成果和经验,还要注意摸索所在实验室条件下的最佳试验条件。另外,由于高锰酸盐指数是一个相对的条件性指标,建议相关部门从各种外界因素综合考虑,对标准方法中有关加热时间及水浴温度的规定进一步明确,以确保在反应高效段内的有效加热时间一致,并使室内和室间精密度和准确度达到质控要求。

参考文献

- [1] 胡丽丽. 酸性高锰酸盐指数测定影响因素的研究[J]. 河北工业科技, 2008,25(4):236-238.
- [2] 赵剑辉,傅正. 关于高锰酸盐指数检测条件的探讨[J]. 水质监测技术交流,2010(12):50-51.
- [3] 张云. 酸性高锰酸盐指数的准确测定及影响因素探讨[J]. 地下水, 2010,32(1):111-112.
- [4] 于航宇,刘蕾. 酸性法测定高锰酸盐指数的影响因素[J]. 中国新技术新产品,2011(15):146.
- [5] 刘振华. 减小高锰酸盐指数测定误差的分析研究[J]. 工业水处理, 2010,30(8):72-74.
- [6] 王晓利,原霞,赵明. 高锰酸盐指数影响因素研究[J]. 舰船防化,2011(2):45-47.
- [7] 宋海燕. 酸性法测定高锰酸盐指数的影响因素控制[J]. 污染防治技术,2009,22(4):95-96.
- [8] 许凯. 浅谈影响高锰酸盐指数准确测定的几个关键步骤[J]. 水质监测,2011(12):60-61.
- [9] 古昕玲. 测定高锰酸盐指数影响因素的探讨[J]. 水利科技与经济, 2007,1(5):324.

- [10] 江滔,雷晓玲,牛耘芑. 加热条件对高锰酸盐指数测定的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(19):10192-10193.
- [11] 乔莉莉,朱慧. 影响高锰酸盐指数测定值的因素[J]. 中国新技术新产品,2010(21):1.
- [12] 林晶,郭洁. 准确测定高锰酸盐指数应该注意的问题[J]. 福建分析测试技术交流,2004,13(Z1):2040-2041.
- [13] 张媛华. 高锰酸盐指数测定过程中的几个重要环节[J]. 云南环境科学,2004,23(S1):206-207.
- [14] 洪雪花,欧利华,连云,等. 影响水质高锰酸盐指数的测定因素分析[J]. 中国卫生检验杂志,2011,21(1):244.
- [15] 卡林,林树生. 酸性法测高锰酸盐指数有关问题探讨[J]. 仪器仪表与分析监测,2007(1):40-41.
- [16] 申茜. 影响高锰酸盐指数测定的因素和质量控制方案[J]. 科技资讯, 2009(14):251.
- [17] 任丹. 消除酸性法测定高锰酸盐指数误差的方法[J]. 北方环境,2010, 22(5):59-60.
- [18] 史长云,张玉芳,董丽萍. 高锰酸盐指数实验用水的探讨[J]. 黑龙江环境通报,2001,25(1):56.
- [19] 余晓鹏,张付宝. 高锰酸盐指数测定的影响因素研究[J]. 内蒙古环境科学,2008,20(3):56-58.
- [20] 蒋晶晶,印军荣. 准确测定高锰酸盐指数的条件因素探讨[J]. 污染防治技术,2009,22(3):103-104.
- [21] 王瑞兰. 试论高锰酸盐指数测定中的校正系数 K 值[J]. 环境研究与监测,2010,23(1):41-42.
- [22] 卡林,朱伊君,王芹. 测试条件对高锰酸盐指数测定结果的影响[J]. 黑龙江环境通报,2001,25(3):71-72.
- [23] 何冬萍. 高锰酸盐指数测定中校正系数 K 值的变化验证[J]. 云南环境科学,2003,22(S2):133.
- [24] 李红梅,王义伟,李梦露,等. 影响高锰酸盐指数测定准确度的因素探讨[J]. 给水排水,2011,37(S1):180-182.
- [25] 刘萍,翟崇治,余家燕,等. 地表水浊度对高锰酸盐指数的影响[J]. 三峡环境与生态,2010,32(6):30-31.
- [26] 刘巧莲. 影响高锰酸盐指数测定的几个因素[J]. 山西能源与节能, 2008(2):40.

(上接第 212 页)

面辐合线位于 850 hPa 急流前端,500 hPa 冷槽带动冷空气东移,侵入中低层暖温度脊中,强降雪发生,主要出现在 700 hPa 切变线与地面辐合线之间,随着 700 hPa 切变线与地面辐合线东移,强降雪区东扩。2011 年 3 月 13 日 08:00 主要影响系统与 2006 年 3 月 10 日 08:00 基本相同,有 850 hPa 急流、850 hPa 切变线、700 hPa 切变线、700 hPa 温度槽、850 hPa 温度脊、地面辐合线;700、850、925 hPa 层强降雪区为湿区;系统配置情况是 850 hPa 切变线、700 hPa 切变线、地面辐合线位于 850 hPa 急流前端,700 hPa 冷槽带动冷空气东移,侵入低层暖空气中,850 hPa 切变线与地面辐合线之间出现强降雪天气,随着 850 hPa 切变线与地面辐合线移动,强降雪区东移。可见,2 次强降雪的系统主要差异是影响的冷空气不同,2006 年 3 月 10 日主要来自于 500 hPa,而 2011 年 3 月 13 日主要来自于 700 hPa。

3 结论

(1)2 次强降雪天气是在比较有利的环流背景下发生的,均是在 500 hPa 西风槽、低涡切变线和蒙古气旋的影响下。

(2)在强降雪发生之前,黑龙江省强降雪区已经积累了大量不稳定能量。

(3)2 次强降雪的水汽主要来自渤海湾和黄海,并随低槽前部的强盛西南气流向强降雪区输送。低层辐合带使水汽在强降雪区上空形成垂直上升通道,为强降雪的产生提供了充沛的水汽和不稳定能量。

(4)2006 年 3 月 10 日高空槽、低空切变线、地面辐合线位置偏西南可能是西南部降雪强于 2011 年 3 月 13 日的原因;2006 年 3 月 10 日东部维持强上升运动区可能是鸡西东部、双鸭山东部、佳木斯东部降雪较强的原因。

参考文献

- [1] 高玉中,周海龙,苍瑾琦,等. 黑龙江省暴雪天气分析和预报技术[J]. 自然灾害学报,2007,16(6):25-30.
- [2] 刘松涛,赵广娜,钟幼军,等. 黑龙江省 2 次暴雪天气过程对比分析[J]. 黑龙江气象,2007,24(3):17-19.
- [3] 张杰,吴英,闫中帅. 2007 年 12 月 29 日黑龙江省暴雪诊断分析[J]. 黑龙江气象,2008,25(4):7-10.
- [4] 董伟,王丽娜. 一次东北暴雪天气过程诊断分析[J]. 安徽农业科学, 2008,36(31):13774-13776.
- [5] 効碧鸿,宋长远,张晶,等. 2007 年 3 月 3-5 日东北特大暴雪过程分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(6):3554-3558.
- [6] 张小玲,张涛,刘鑫华,等. 中尺度天气的高空地面综合图分析[J]. 气象,2010,36(7):143-150.
- [7] 黄晓慧,曲淑艳,刘丽. 满洲里地区一次暴雪天气过程分析[J]. 内蒙古农业科技,2010(5):83-84.