

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22320120153447

廈門大學

博士学位论文

白令海、西北冰洋和北欧海氧化亚氮分布特
征及影响因素研究

Distributions of Nitrous Oxide and its Influence Factors in
the Bering Sea, Western Arctic Ocean and Nordic Sea

张介霞

指导教师姓名: 陈立奇 研究员

专业名称: 海洋化学

论文提交日期: 2015年4月

论文答辩时间: 2015年5月

2015年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

Contents	iv
图目录.....	vii
表目录.....	x
List of Figures.....	xi
List of Tables.....	xiv
摘要.....	I
Abstract.....	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 N ₂ O 研究意义	1
1.2 海洋 N ₂ O 研究概况	2
1.2.1 海洋中 N ₂ O 的形成和消耗机制研究	3
1.2.2 海洋中 N ₂ O 的分布特征	5
1.2.3 ΔN ₂ O 与 AOU 相关性的应用	6
1.3 稳定同位素方法在海洋 N ₂ O 形成机制的研究	8
1.4 极区 N ₂ O 研究进展	10
1.4.1 南大洋 N ₂ O 研究进展	10
1.4.2 北冰洋 N ₂ O 研究进展	10
1.5 研究内容和目标	12
1.6 论文框架	12
第 2 章 研究海区和样品采集及分析	14
2.1 研究海区地理位置	14
2.1.1 白令海.....	14
2.1.2 西北冰洋和北欧海.....	15
2.2 样品采集	16

2.2.1 航次和站位.....	16
2.2.2 采样方法.....	16
2.3 N₂O 分析方法.....	17
2.3.1 材料与步骤.....	18
2.3.2 顶空样品处理.....	19
2.3.3 标准样品和质控的准备.....	20
2.3.4 顶空样品平衡.....	20
2.3.5 制冷干燥除水装置.....	20
2.4 其他参数.....	23
2.5 海水中 N₂O 溶解度计算.....	23
2.6 水体中 N₂O 的饱和度异常值计算.....	26
第 3 章 白令海 N₂O 分布特征及其影响因素.....	27
3.1 研究海域区域特征.....	27
3.2 采样站位.....	28
3.3 结果.....	31
3.3.1 白令海表层海水 N ₂ O 分布特征.....	31
3.3.2 白令海 N ₂ O 垂直分布.....	33
3.4 讨论.....	35
3.4.1 表层水中 N ₂ O 浓度分布的可能影响因素.....	35
3.4.2 阿留申海盆影响 N ₂ O 垂直分布的主控机制.....	36
3.4.3 陆架区 N ₂ O 垂直分布的控制因素.....	40
3.5 结论.....	47
3.5.1 白令海表层水.....	47
3.5.2 阿留申海盆 N ₂ O 垂直分布.....	48
3.5.3 陆架区 N ₂ O 垂直分布.....	48
第 4 章 楚科奇海陆架及其北部加拿大海盆上跃层 N₂O 高值的成因探 究.....	50
4.1 研究区域概况.....	50

4.2 采样站位设置	50
4.3 结果	53
4.3.1 温盐结构.....	53
4.3.2 N ₂ O 垂直分布	55
4.4 讨论	57
4.4.1 陆架区 N ₂ O 高值的可能来源	57
4.4.2 加拿大海盆中上跃层 N ₂ O 高值的可能来源	60
4.5 结论	62
第 5 章 加拿大海盆和北欧海 N₂O 分布特征.....	63
5.1 研究区域特征	63
5.2 采样站位	64
5.3 结果	67
5.3.1 加拿大海盆和北欧海的温盐结构.....	67
5.3.2 北欧海和加拿大海盆表层海水 N ₂ O 分布特征及其影响因素	69
5.3.3 北欧海和加拿大海盆 N ₂ O 垂直分布	70
5.4 讨论	72
5.4.1 上层水体挪威海、格陵兰海和加拿大海盆 N ₂ O 分布的主控因素	73
5.4.2 北欧海和加拿大海盆的中层水和深层水中 N ₂ O 浓度分布的成因探讨.....	75
5.5 结论	79
第 6 章 总结和展望	81
6.1 论文结论	81
6.2 特色和创新	84
6.3 尚未解决的科学问题和工作展望	85
参考文献	86
附录 攻读博士学位期间相关学术论文	100
致谢.....	101

Contents

Abstract (Chinese) I

Abstract..... IV

Chapter 1 Introduction..... 1

1.1 The implications for N₂O researche 1

1.2 Research progress of oceanic N₂O 2

 1.2.1 Formation and depletion mechanism of N₂O..... 3

 1.2.2 Distribution patterns of N₂O 5

 1.2.3 Relationship between Δ N₂O and AOU 6

1.3 The application of isotope method in oceanic N₂O mechanisums 8

1.4 Research progress of N₂O in polar regions 10

 1.4.1 Research progress of N₂O in Southern Ocean 10

 1.4.2 Research progress of N₂O in Arctic Ocean..... 10

1.5 Objective of this dissertation..... 12

1.6 Framework of this dissertation..... 12

Chapter 2 Study area and methodology 14

2.1 Study area 14

 2.1.1 Bering Sea 14

 2.1.2 Western Arctic Ocean and NordicSea 15

2.2 Collection sampling..... 16

 2.2.1 Cruises and sampling stations 16

 2.2.2 Method of sampling 16

2.3 Analytical method 17

 2.3.1 Materials 18

 2.3.2 Preparing for headspace sample..... 19

 2.3.3 Preparing for standard and control samples..... 20

2.3.4 Balance of headspace sample.....	20
2.3.5 Moist system	20
2.4 Other parameters.....	23
2.5 Calculation of N₂O solubility in sea water	23
2.6 Calculation of N₂O saturation anomaly in sea water.....	26
Chapter 3 Distribution patterns of N₂O in Bering Sea and the influent factors.....	27
3.1 Study area in Bering Sea	27
3.2 Sampling locations	28
3.3 Results	31
3.3.1 Distributions of N ₂ O in the surface water.....	31
3.3.2 Vertical distribution patterns of N ₂ O.....	33
3.4 Discussion.....	35
3.4.1 The N ₂ O distributions influence factors in the surface water	35
3.4.2 Aleutian Basin.....	36
3.4.3 Shelf.....	40
3.5 Conclusions.....	47
3.5.1 Surface water of N ₂ O in the surface water.....	47
3.5.2 N ₂ O distribution in the Aleutian Basin	48
3.5.3 N ₂ O distribution in the shelf.....	48
Chapter 4 Distributions of subsurface maxima of nitrous oxide in the Chukchi Sea Shelf and upper halocline of Canada Basin.....	50
4.1 Study area	50
4.2 Sampling stations	50
4.3 Results	53
4.3.1 Temperature and salinity.....	53
4.3.2 Vertical patterns of N ₂ O	55
4.4 Discussion.....	57

4.4.1 The possible sources of high N ₂ O concentrations in the shelf.....	57
4.4.2 The possible sources of high N ₂ O concentrations in the upper halocline	60
4.5 Conclusions.....	62
Chapter 5 Distribution patterns of N₂O in the Canada Basin and Nordic Sea.....	63
5.1 Study area.....	63
5.2 Sampling stations.....	64
5.3 Results.....	67
5.3.1 Vertical distributions of temperature and salinity.....	67
5.3.2 Distributions of N ₂ O in the surface water in Nordic Sea.....	69
5.3.3 Vertical distributions of N ₂ O in Nordic Sea and Canada Basin.....	70
5.4 Discussion.....	72
5.4.1 Difference of N ₂ O in the upper water in the Norvegain sea, Greenland sea and Canada Basin.....	73
5.4.2 Difference of N ₂ O between the middle depth water and deep water in Nordic Sea and canada Basin.....	75
5.5 Conclusions.....	79
Chapter 6 Summary.....	81
6.1 Conclusions.....	81
6.2 Innovations.....	84
6.3 Prospect.....	85
Reference.....	86
Appendix.....	100
Acknowledgements.....	101

图目录

图 1-1 2005 年 N ₂ O 自然源和人为源排放	2
图 1-2 海洋中 N ₂ O 形成机制	4
图 1-3 海洋 N ₂ O 典型的垂直分布 (右) 和溶解氧浓度分布 (左)。(a) O ₂ > 10 μmol L ⁻¹ 的海区; (b) 低溶解氧海区 (0 < O ₂ < 2 - 10 μmol L ⁻¹); (c) 缺氧海区	6
图 2-1 白令海地形图	14
图 2-2 北冰洋和北欧海地形图	16
图 2-3 N ₂ O 分析装置	19
图 2-4 顶空导入装置示意图	19
图 2-5 N ₂ O 标准工作曲线	20
图 2-6 未使用干燥装置条件下气相色谱分析水样 N ₂ O 的浓度变化趋势	21
图 2-7 在使用高氯酸镁作为干燥剂的条件下, 气相色谱分析水样 N ₂ O 的浓 度变化趋势	22
图 2-8 在使用制冷干燥装置条件下, 气相色谱分析水样 N ₂ O 的浓度变 化趋势	22
图 3-1 白令海上层水体环流示意图	28
图 3-2 白令海采样站位	31
图 3-3 白令海表层海水中 N ₂ O 浓度 (a)、饱和度异常值 (SA) (b)、温度 (c) 和 (d) 盐度分布图	32
图 3-4 阿留申海盆 N ₂ O (a) 和溶解氧 (b) 的垂直分布	33
图 3-5 白令海陆架区 N ₂ O 垂直分布。(a) BS 断面; (b) BN 断面; (c) BM 断面; (d) BL 断面	35
图 3-6 阿留申海盆 0 - 600 m 温度 (a) 和盐度 (b) 垂直分布	37
图 3-7 阿留申海盆上层水体 N ₂ O、饱和度异常值以及 AOU 的垂直分布 ...	37
图 3-8 阿留申海盆中层水 ΔN ₂ O 与 AOU 之间的相关性	39
图 3-9 阿留申海盆中层水 ΔN ₂ O 与 NO ₃ ⁻ 之间的相关性	40
图 3-10 2012 年 7 月白令海陆架区采样站位温度和盐度垂直分布	42

图 3-11 2012 年 7 月和 9 月白令海陆架区采样站位温度和盐度垂直分布	42
图 3-12 白令海陆架采样站位类型	43
图 3-13 白令海陆架水体中 N^* 与 N_2O 之间的相关关系	44
图 3-14 白令海和楚科奇海冰间湖的分布情况 (阴影区域)	46
图 4-1 楚科奇海陆架及其北部加拿大海盆采样站位	51
图 4-2 T-S- N_2O 分布图。SML: 表层混合层; UHL: 上跃层; LHL: 下跃层; AL: 大西洋层; CBDW: 加拿大海盆深层水	54
图 4-3 楚科奇海陆架及其北部加拿大海盆温度 (a) 和盐度 (b) 垂直分布	54
图 4-4 陆架区 N_2O 浓度 (a)、饱和度异常值 (b) 以及 DO 浓度 (c) 垂直分布	56
图 4-5 加拿大海盆 N_2O 浓度 (a)、饱和度异常 (b) 和 DO 浓度 (c) 垂直分布	56
图 4-6 楚科奇海陆架区下层水 (黑色圆点) 和上跃层 (蓝色菱形) 中 ΔN_2O 和 AOU 之间的相关关系	58
图 4-7 楚科奇海陆架区 N_2O 与 N^* 之间的相关性	59
图 4-8 楚科奇海陆架区及其北部加拿大海盆 300 m 以浅 N^* 垂直分布	60
图 5-1 北冰洋表层环流图	64
图 5-2 北欧海和加拿大海盆采样站位	65
图 5-3 加拿大海盆温度和盐度垂直分布图	67
图 5-4 北欧海盆中 AT 和 BB 断面的位势温度 (a)、盐度 (b) 和位势密度 (c) 分布图	68
图 5-5 北欧海和加拿大海盆表层海水中温度 (a)、盐度 (b)、 N_2O 浓度 (c) 和饱和度异常值 (d) 分布图	70
图 5-6 加拿大海盆 N_2O (a) 和 DO (b) 浓度的垂直分布	71
图 5-7 挪威海盆 (AT08 站位)、罗弗敦海盆 (AT05 站位) 和格陵兰海盆 (BB07 站位) 中 N_2O 和 DO 浓度垂直分布图	72
图 5-8 挪威海、格陵兰海和加拿大海盆 N_2O 垂直分布	73
图 5-9 不同海盆 ΔN_2O 与 AOU 之间的相关性, 格陵兰海盆 (黑色圆点)、挪	

威海盆（红色圆点）、加拿大海盆（蓝色圆点）	74
图 5-10 加拿大海盆上层水体中 $\Delta\text{N}_2\text{O}$ 与 NO_3^- 之间的相关性.....	75
图 5-11 加拿大海盆（黑色圆点）和北欧海（空心圆圈）中 - 深层水中 NO_3^- 与 $\Delta\text{N}_2\text{O}$ 之间的相关性.....	77
图 6-1 所有站位表层海水中 N_2O 浓度和饱和度异常值分布	82

厦门大学博硕士论文摘要库

表目录

表 2-1 改进的静态顶空分析方法测得海水样品中 N ₂ O 浓度的相对标准偏差	23
表 2-2 溶解系数 K_0 和 F 值的计算常数	25
表 3-1 白令海采样站位信息表	29
表 4-1 楚科奇海陆架区及加拿大海盆采样站位信息以及表层海水 N ₂ O 浓度 和饱和度异常值.....	52
表 5-1 北欧海和加拿大海盆 N ₂ O 采样站位信息以及表层水中 N ₂ O 浓度和饱 和度异常值.....	66
表 5-2 北欧海与加拿大海盆中层和深层水体中 N ₂ O 浓度	76
表 5-3 北欧海与加拿大海盆中 - 深层水体中理论和实测 N ₂ O 浓度.....	79
表 6-1 各海区表层海水中 N ₂ O 的浓度和饱和度异常值	82

List of Figures

Fig. 1-1 Natural versus anthropogenic N ₂ O emissions in 2005.....	2
Fig. 1-2 A sketch of the oceanic N ₂ O formation mechanism.....	4
Fig. 1-3 Typical N ₂ O profiles (right column) and dissolved O ₂ (left column). (a) Oceanic regions with dissolved oxygen concentrations O ₂ > 10 μmol L ⁻¹ . (b) With sub-oxic environments (0 < O ₂ < 2 - 10 μmol L ⁻¹). (c) with anoxic deep water masses with O ₂ = 0 μmol L ⁻¹	6
Fig. 2-1 Topography of the Bering Sea.....	14
Fig. 2-2 Topography of the Arctic Ocean and Nordic Sea.....	16
Fig. 2-3 Analytical equipment for measurements of dissolved N ₂ O	19
Fig. 2-4 A sketch of the headspace introduction apparatus.....	19
Fig. 2-5 N ₂ O standard working curve.....	20
Fig. 2-6 The change trend of N ₂ O under no moisture.....	21
Fig. 2-7 The change trend of N ₂ O after insertion of a 2 m stainless steel tube packed with Mg(ClO ₄) ₂ at room temperature.....	22
Fig. 2-8 The change trend of N ₂ O after insertion of a 1 m stainless steel tube packed with Mg(ClO ₄) ₂ cooled using a semi-conductive refrigerator...	22
Fig. 3-1 Schematic of circulation in the upper water of the Bering Sea.....	28
Fig. 3-2 Sampling stations in the Bering Sea.....	31
Fig. 3-3 Distributions of N ₂ O concentration (a), saturation anomaly (b), temperature(c) and salinity(d) in the surface of Bering Sea.....	32
Fig. 3-4 Vertical distributions of N ₂ O (a) and oxygen (b) in Aleutian Basin.....	33
Fig. 3-5 The vertical distribution of N ₂ O in Bering Sea shelf. (a) BS section, (b) BN section, (c) BM section; (d) BL section	35
Fig. 3-6 Vertical profiles of temperature (a) and salinity (b) in the 0-600 m.....	37
Fig. 3-7 Vertical profiles of N ₂ O, SA and AOU in the 0 - 150 m of Aleutian Basin	37
Fig. 3-8 The relationship between ΔN ₂ O and AOU in the middle depth water of	

Aleutian Basin	39
Fig. 3-9 The relationship between ΔN_2O and NO_3^- in the middle depth of Aleutian Basin	40
Fig. 3-10 The vertical distributions of temperature and salinity in Bering Sea shelf in July 2012	42
Fig. 3-11 The vertical distributions of temperature and salinity in Bering Sea shelf in September 2012	42
Fig. 3-12 Types of sampling stations in Bering Sea shelf.....	43
Fig. 3-13 Relationship between the N^* and N_2O concentrations for the water column samples in Bering Sea shelf.....	44
Fig. 3-14 Distributions of polynyas in the Bering Sea and Chukchi Sea.....	46
Fig. 4-1 N_2O sampling stations in the Chukchi Sea and the Canada Basin during the 5th CHINARE in 2012	51
Fig. 4-2 T-S- N_2O diagrams for the Chukchi Sea shelf and Chukchi Abyssal Plain. SML: Surface Mixed Layer; UHL: Upper Halocline Layer; LHL: Lower Halocline Layer; AL: Atlantic Layer; and CBDW: Canada Basin Deep Water.....	54
Fig. 4-3 The vertical distribution of temperature (a) and salinity (b) in the Chukchi Sea Shelf and Canada Basin.....	54
Fig. 4-4 Vertical profiles of N_2O concentration (a), N_2O saturation (b), and dissolved oxygen concentration (c) in the Chukchi Sea shelf.....	56
Fig. 4-5 Vertical profiles of N_2O concentration (a), N_2O saturation (b) and oxygen (c) in the Canada Basin.....	56
Fig. 4-6. The relationship between ΔN_2O and AOU in the shelf bottom water (black circle) and upper halocline layer (UHL) of the Chukchi Abyssal Plain (blue diamond).....	58
Fig. 4-7 The relationship between the N^* and N_2O concentration in the Chukchi Sea shelf the water column.....	59
Fig. 4-8 The distribution of N^* in the upper water (0 - 300 m) in the Chukchi Sea shelf and Canada Basin.....	60

Fig. 5-1 The circulation of the surface waters in the Arctic ocean.	64
Fig. 5-2 Sampling locations in the Nordic Sea and Canada Basin	65
Fig. 5-3 The vertical distributions of temperature (a) and salinity (b) in Canada Basin	67
Fig. 5-4 Distributions of potential temperature (a), salinity (b) and potential density (c) in section AT and section BB	68
Fig. 5-5 The distributions of temperature (a), salinity (b), N ₂ O concentrations (c) and saturation anomaly (d) in the surface water in Nordic Sea and Canada Basin	70
Fig. 5-6 The vertical distributions of N ₂ O and DO in the Canada Basin.....	71
Fig. 5-7 The vertical distributions of N ₂ O and DO in Norwegian Sea (AT08), Lofton Basin (AT05) and Greenland Basin (BB07)	72
Fig. 5-8 The vertical profile of N ₂ O in Norwegian sea, Greenland sea and Canada Basin	73
Fig. 5-9 The relationship between ΔN_2O and AOU in Greenland Sea (black dot), Norwegian Sea (red dot), Canada Basin (blue dot)	74
Fig. 5-10 The relationship between ΔN_2O and NO_3^- in the upper water in Canada Basin	75
Fig. 5-11 The relationship between NO_3^- and ΔN_2O in the middle and deep water in the Canada Basin (black dot) and Nordic Sea (black circle).....	77
Fig. 6-1 The distributions of N ₂ O and SA in surface water in all sampling stations	82

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.