

海 洋 学 报

ACTA OCEANOLOGICA SINICA

第 2 卷

第 4 期

Vol. 2

No. 4

1 9 8 0

中 国 海 洋 学 会 编
海 洋 出 版 社 出 版

(姓氏笔划为序)

王乃梁	石 松	业治铮	刘光鼎	刘恩兰
李法西	李德尚	朱继懋	严钦尚	邱大洪
张正斌	陈吉余	陈则实	陈伯乐	陈国珍
吴宝铃	何恩典	郑 重	郑文振	承继成
梁其荀	秦蕴珊	黄士松	黄宗国	巢纪平
景振华	管秉贤			

海 洋 学 报

一九八〇年 第2卷 第4期

编 辑 中 国 海 洋 学 会
出 版 海 洋 出 版 社
北京东长安街31号

印刷装订 测绘出版社印刷厂
发 行 新华书店北京发行所
一九八〇年十二月出版

统一书号: 13193·0052 定价: 1.20 元

1981年5月23日

海洋学报

第2卷 第4期

目 录

浅海海水温度、盐度和深度调查值精确度的研究.....	景振华 (1)
由波浪压力记录计算表面波谱.....	隋世峰 (13)
简单海-气边界层模式中的埃克曼流动 I	秦曾灏 (23)
应用北太平洋表层水温及环流场进行海冰预报.....	臧恒范 张宝珍 (37)
加州海狮水下声信号的分析.....	荆显英 肖友芙 景荣才 (48)
陆地卫星相片的海岸带解译.....	任明达 (56)
海水溶解氧测定方法的研究.....	张荣坤 罗颖华 万 楨 蔡维平 (71)
长江口海水比重的直接测定.....	闵学颐 陈国华 李飞永 于春秀 (86)
渤海湾及沿岸盆地的构造格局.....	李德生 (93)
滦河三角洲滨岸沙体的形成和海岸线变迁.....	
.....	高善明 李元芳 安凤桐 李凤新 (102)
东海浮游动物量的分布特征.....	陈亚瞿 朱启琴 陈清潮 (115)
杭州湾北岸潮间带生态学研究 I	
.....	蔡尔西 林双淡 张水浸 江锦祥 吴启泉 徐惠州 刘泉顺 (122)
孤立桩柱上不规则波浪力的计算.....	俞聿修 (132)

浅海海水温度、盐度和深度调查值 精确度的研究

景 振 华

(山东海洋学院)

一、前 言

通过海洋调查所得到的海水温度、盐度和深度值进行海水比容偏差及海水比容值计算时,由于要求这样计算出来的值有 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 的精确度,以适应动力计算的需要,因而便要求温度、盐度和深度的调查值各有一定的精确度。对于深海来说,这个问题比较明确,可是对于浅海在100米的范围来说,对这些调查值的精确度将如何要求呢?下面就在作者1955年论文^[1]的基础上,进一步研究这个问题。

当然,直接将深海动力计算的原理及方法应用到浅海中去是不可以的,因为在深海动力计算中有一个前提,就是要有个无运动面的存在,在那里水平压强梯度为0,同时水平流速为0,这个前提在浅海是不存在的。在浅海,即使是海底,也不能视作无运动面,因而在海底水平压强梯度既不为0,水平流速也就不能为0了。但如让在海底水平压强梯度及水平流速均不为0,且仍忽视湍流摩擦力,则可推导出一套浅海适用的动力计算方法,我们曾经试过,是可行的且效果是较好的。

二、海水比容偏差及海水比容计算公式

是利用下两公式进行海水比容偏差及海水比容两值的计算的:

$$\delta = -0.97264 + \frac{1}{1 + 10^{-3}\sigma_t} + \delta_{\theta, P} + \delta_{S, P}, \quad (1)$$

$$\alpha_{S, \theta, P} = -0.97264 + \frac{1}{1 + 10^{-3}\sigma_t} + \delta_{\theta, P} + \delta_{S, P} + \alpha_{36, 0, P}. \quad (2)$$

而式中

$$\sigma_t = \Sigma_t + (\sigma_0 + 0.1324) [1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0.1324)], \quad (3)$$

$$\Sigma_t = \frac{(\theta - 3.980)^2}{503.570} \times \frac{\theta + 283}{\theta + 67.26}, \quad (4)$$

$$A_i = \theta(4.7867 - 0.098185\theta + 0.0167\theta^2) \times 10^{-3}, \quad (5)$$

$$B_i = \theta(18.030 - 0.8164\theta + 0.01667\theta^2) \times 10^{-6}, \quad (6)$$

$$\sigma_0 = -0.069 + 1.4708Cl - 0.001570Cl^2 + 0.0000398Cl^3, \quad (7)$$

$$S = 0.030 + 1.8050Cl. \quad (8)$$

三、计算海水比容偏差及海水比容两计算值的精确度公式

在深度为 100 米的范围内略去 $\delta_{\theta, P}$ 及 $\delta_{s, P}$ 对深度的影响, 则对 (1) 式所示的海水比容偏差求全微分, 便得

$$\Delta\delta = \frac{\partial\delta}{\partial\theta} \Delta\theta + \frac{\partial\delta}{\partial Cl} \Delta Cl, \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} \frac{\partial\delta}{\partial\theta} = & + \frac{10^{-3}}{(1+10^{-3}\delta_i)} \left[\left(\frac{2}{\theta-3.980} + \frac{1}{\theta+283} - \frac{1}{\theta+67.26} \right) (-\Sigma_i) + (\sigma_0 + 0.1324) \right. \\ & (4.7867 - 0.19637\theta + 0.0032529\theta^2) \times 10^{-3} - (\sigma_0^2 - 0.1324^2) \\ & \left. (18.030 - 1.6328\theta + 0.05001\theta^2) \times 10^{-6} \right], \end{aligned} \quad (10)$$

略去对深为 100 米范围来说较小的 $\frac{\partial\delta_{\theta, P}}{\partial\theta}$ 项。

$$\frac{\partial\delta}{\partial Cl} = - \frac{10^{-3}}{(1+10^{-3}\sigma_i)^2} \left[(1 - A_i + 2\sigma_0 B_i) (1.4078 - 0.003140Cl + 0.0001194Cl^2) \right]. \quad (11)$$

略去对深为 100 米范围来说较小的 $\frac{\partial\delta_{s, P}}{\partial s} \frac{dS}{dCl}$ 项。

对 (2) 所示海水比容求全微分, 得

$$\Delta\alpha = \frac{\partial\alpha}{\partial\theta} \Delta\theta + \frac{\partial\alpha}{\partial Cl} \Delta Cl + \frac{\partial\alpha}{\partial P} \Delta P, \quad (12)$$

在略去对深为 100 米范围来说较小的 $\frac{\partial\delta_{\theta, P}}{\partial\theta}$ 及 $\frac{\partial\delta_{s, P}}{\partial s} \frac{dS}{dCl}$ 项后, 知

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\theta} = \frac{\partial\delta}{\partial\theta}. \quad (13)$$

$$\frac{\partial\alpha}{\partial Cl} = \frac{\partial\delta}{\partial Cl}. \quad (14)$$

至于 $\frac{\partial\alpha}{\partial P}$ 有平均值

$$\frac{\partial\alpha}{\partial P} = \frac{0.97219 - 0.97264}{100 \text{ 米}} = -0.45 \times 10^{-5} / \text{米}. \quad (15)$$

式中 P 值是以米为深度的值代替的。于是海水比容偏差值的计算精确度便为

$$\Delta\delta = \sqrt{\left(\frac{\partial\delta}{\partial\theta} \Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial\delta}{\partial Cl} \Delta Cl\right)^2} \quad (16)$$

计算时, 是变动两个平方值, 使它们的和的开方值, 有低于或等于 $\pm 1 \times 10^{-3}$ 的值, 而海水比容值的计算值精度便为

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial\theta} \Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial Cl} \Delta Cl\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial P} \Delta P\right)^2} \quad (17)$$

计算时, 是变动三个平方值, 使它们的和的开方值, 有低于或等于 $\pm 1 \times 10^{-3}$ 的值。

四、海水比容偏差及海水比容计算值两者精确度的计算结果

为适应深为 100 米范围的浅海情况, 令海水温度变化范围为 $-2-30^{\circ}\text{C}$, 选择 8 个代表值, 分别为 $\theta^{\circ}\text{C} = -2, 0, 5, 10, 20, 25, 30$; 令海水氯度变化范围 $5-20$, 选择 4 个代表值, 分别为 $Cl\% = 5, 10, 15, 20$; 令深度变化的范围为 $0-100$ 米。

表 1 $Cl\%-S\%-\sigma_0$ 值

$Cl\%$	5	10	15	20
$S\%$	9.055	18.080	27.105	36.130
σ_0	7.251	14.522	21.774	29.037

表 2 σ_t 值

σ_0 σ_t $\theta^{\circ}\text{C}$	—2	0	5	10	15	20	25	30
7.251	7.148	7.250	7.198	6.790	6.071	5.078	3.836	2.365
14.522	14.485	14.520	14.343	13.830	13.027	11.964	10.663	9.141
21.774	21.796	21.770	21.463	20.827	19.928	18.785	17.420	15.846
29.037	29.124	29.040	28.594	27.855	26.862	25.644	24.217	22.596

表 3 $\frac{\partial \delta}{\partial \theta} \times 10^3$ 值

$\theta^\circ\text{C}$ Cl%	-2	0	5	10	15	20	25	30
5	-0.067685	-0.032294	0.029206	0.109445	0.167457	0.219894	0.268082	0.313099
10	-0.033332	-0.001619	0.054549	0.129196	0.182756	0.231447	0.276744	0.319790
15	-0.011969	0.027109	0.077988	0.147647	0.197210	0.242088	0.284308	0.324809
20	0.025942	0.062276	0.099734	0.164940	0.210426	0.252437	0.290803	0.328242

表 4 $\Delta\theta=1, 2, \dots, 10 \times 10^{-2}$ 时 $\left(\frac{\partial \delta}{\partial \theta} \Delta\theta\right)^2$ 的值 ($\times 10^{-10}$)

$\theta^\circ\text{C}$ Cl%	-2	0	5	10	15	20	25	30
1	0.004581	0.001043	0.000853	0.011980	0.028040	0.048353	0.071857	0.098031
4	0.018324	0.004172	0.003412	0.047920	0.112160	0.193412	0.287428	0.392124
9	0.041229	0.009387	0.007677	0.107820	0.252360	0.435177	0.646713	0.882279
16	0.073296	0.016688	0.013648	0.191680	0.448640	0.773648	1.149712	1.568496
25	0.114525	0.026075	0.020325	0.299500	0.701000	1.208825	1.796425	2.450775
36	0.164916	0.037549	0.030708	0.431280	1.009440	1.740708	2.586825	3.529116
49	0.224469	0.051107	0.041797	0.587020	1.373960	2.369297	3.520983	4.803519
64	0.293184	0.066752	0.054592	0.766720	1.794560	3.094592	4.598848	6.273984
81	0.371061	0.084483	0.069093	0.970360	2.271240	3.916593	5.820417	7.940511
100	0.458100	0.104300	0.085300	1.198000	2.804000	4.835300	7.185700	9.803100

续表 4

10	1	0.001111	0.000003	0.002976	0.016690	0.033400	0.063568	0.076587	0.102266
	4	0.004444	0.000012	0.011904	0.066760	0.133600	0.214272	0.308348	0.409084
	9	0.009999	0.000027	0.026784	0.150210	0.300600	0.482112	0.689283	0.920394
	16	0.017776	0.000048	0.047616	0.267040	0.534400	0.857088	1.226392	1.631266
	25	0.027775	0.000075	0.074400	0.417250	0.835000	1.339200	1.914675	2.556650
	39	0.039996	0.000108	0.107136	0.600840	1.202400	1.928448	2.757132	3.681576
	49	0.054439	0.000147	0.145824	0.817810	1.636600	2.624832	3.752763	5.011034
	64	0.071104	0.000192	0.190494	1.069160	2.137600	3.428352	4.901568	6.545024
	81	0.089991	0.000243	0.241056	1.351890	2.705400	4.339008	6.203547	8.283546
	100	0.111100	0.000300	0.297600	1.669000	3.340000	5.356800	7.686700	10.226600
15	1	0.000143	0.000735	0.000082	0.021800	0.038892	0.058607	0.080831	0.105501
	4	0.000572	0.002940	0.024328	0.087200	0.155568	0.234428	0.328324	0.422004
	9	0.001287	0.006615	0.054738	0.196200	0.350028	0.527463	0.727479	0.949509
	16	0.002288	0.011760	0.097312	0.348800	0.622272	0.937712	1.293296	1.688016
	25	0.003575	0.018375	0.152050	0.545000	0.972300	1.465176	2.020773	2.637525
	36	0.005148	0.026460	0.218952	0.784800	1.400112	2.109852	2.909916	3.798036
	49	0.007007	0.036015	0.298018	1.068200	1.905708	2.871743	3.960719	5.169545
	64	0.009152	0.047040	0.389248	1.395200	2.489088	3.760848	5.173184	6.752064
	81	0.011583	0.059535	0.492642	1.765800	3.150252	4.747167	6.547311	8.545580
	100	0.14300	0.073500	0.608200	2.180000	2.889200	5.860700	8.083100	10.550100
20	1	0.000573	0.002838	0.009947	0.027210	0.044279	0.063724	0.084566	0.107743
	4	0.002692	0.011352	0.039788	0.108840	0.177116	0.254896	0.338264	0.430972
	9	0.006057	0.025542	0.089523	0.244890	0.398511	0.573516	0.761094	0.969687
	16	0.010768	0.045408	0.159152	0.435300	0.708404	1.019584	1.353056	1.723888
	25	0.016825	0.070950	0.248675	0.680250	1.069375	1.593100	2.114150	2.693575
	36	0.024228	0.102168	0.358092	0.979560	1.594044	2.294064	3.043376	3.878748
	49	0.032977	0.139062	0.467403	1.333290	2.169071	3.122476	4.149734	5.279407
	64	0.043072	0.181632	0.636608	1.741440	2.833856	4.078336	5.412224	6.895552
	81	0.054513	0.229878	0.805707	2.204010	3.586599	5.161644	6.849846	8.727183
	100	0.067300	0.283800	0.994700	2.721000	4.427900	6.372400	8.456600	10.774300

表 5 $-\frac{\partial \delta}{\partial Cl} \times 10^3$ 值

$\theta^\circ C$ Cl%	-2	0	5	10	15	20	25	30
5	1.450961	1.437157	1.407725	1.394587	1.365990	1.352864	1.342285	1.333939
10	1.422588	1.410054	1.394844	1.361451	1.344604	1.331784	1.322235	1.315327
15	1.400707	1.389330	1.364469	1.344411	1.329935	1.316633	1.308065	1.302465
20	1.384947	1.376021	1.351818	1.333067	1.318241	1.307027	1.299361	1.295049

表 6 $\Delta Cl = 0.1, 0.2, \dots, 1.0 \times 10^{-2}$ 时 $(\frac{\partial \delta}{\partial Cl} \Delta Cl)^2$ 值 ($\times 10^{-10}$)

$\theta^\circ C$ Cl% (ΔCl) ²	-2	0	5	10	15	20	25	30
.01	0.021053	0.020654	0.019817	0.019171	0.018659	0.018302	0.018017	0.017794
.04	0.084212	0.082617	0.079268	0.076683	0.074637	0.073210	0.072089	0.071176
.09	0.189476	0.185888	0.178352	0.172538	0.167934	0.164722	0.162156	0.160145
.16	0.336846	0.330467	0.317070	0.306734	0.298549	0.292839	0.288277	0.284703
.25	0.528323	0.516355	0.496423	0.479272	0.466482	0.457560	0.450432	0.444848
.36	0.767994	0.743551	0.713408	0.690151	0.671734	0.658887	0.648622	0.640581
.49	1.031592	1.012056	0.971028	0.939373	0.914305	0.896818	0.882847	0.871903
.64	1.347386	1.321869	1.268282	1.226935	1.194195	1.171354	1.153107	1.138812
.81	1.705285	1.672990	1.605159	1.552840	1.511402	1.482495	1.459400	1.441308
1.00	2.105288	2.065420	1.981690	1.917087	1.865929	1.830241	1.801729	1.779392

续表 6

10	.01	0.020238	0.019883	0.019178	0.018535	0.018080	0.017736	0.017483	0.017300
	.04	0.080950	0.079530	0.076712	0.074142	0.072318	0.070946	0.069932	0.069201
	.09	0.182138	0.178943	0.172601	0.166819	0.162715	0.159628	0.157347	0.155701
	.16	0.323801	0.318120	0.306847	0.295588	0.289274	0.283784	0.279729	0.276803
	.25	0.505939	0.497063	0.479448	0.463387	0.451990	0.443412	0.437076	0.432504
	.36	0.728563	0.715771	0.690405	0.667278	0.650866	0.635514	0.629390	0.622806
	.49	0.991641	0.974243	0.939719	0.908239	0.885900	0.869088	0.856689	0.847708
	.64	1.295204	1.272481	1.227388	1.182711	1.157094	1.135135	1.118915	1.107210
	.81	1.639243	1.610484	1.553412	1.501375	1.464448	1.436656	1.416127	1.401303
	1.00	2.105288	1.988252	1.917793	1.855549	1.807960	1.773649	1.748805	1.730016
15	.01	0.019620	0.019302	0.018618	0.018074	0.017687	0.017335	0.017110	0.016964
	.04	0.078479	0.077210	0.074471	0.072298	0.070749	0.069341	0.068441	0.067857
	.09	0.176578	0.173721	0.167560	0.162670	0.159185	0.156017	0.153993	0.152677
	.16	0.313917	0.308838	0.297884	0.289191	0.282996	0.277364	0.273765	0.271426
	.25	0.490495	0.482560	0.465444	0.451860	0.442182	0.433381	0.427769	0.424104
	.36	0.706313	0.694886	0.670239	0.650679	0.636742	0.624068	0.615972	0.610709
	.49	0.961370	0.945817	0.912270	0.885646	0.866676	0.849425	0.838407	0.831243
	.64	1.255667	1.235352	1.191637	1.156762	1.131985	1.109454	1.095062	1.085706
	.81	1.589204	1.563493	1.508039	1.464027	1.432669	1.404153	1.385938	1.374096
	1.00	1.961980	1.930238	1.861776	1.807441	1.768727	1.735522	1.711034	1.696415
20	.01	0.019191	0.018907	0.018274	0.017771	0.017378	0.017083	0.016883	0.016772
	.04	0.076723	0.075627	0.073096	0.071083	0.069510	0.068333	0.067584	0.067086
	.09	0.172627	0.170161	0.164467	0.159936	0.156398	0.153749	0.151951	0.150944
	.16	0.306892	0.302509	0.292386	0.284331	0.278041	0.273331	0.270134	0.268344
	.25	0.499528	0.472671	0.456853	0.444267	0.434440	0.427080	0.422085	0.419288
	.36	0.690508	0.680646	0.657868	0.639744	0.625593	0.614995	0.607802	0.603775
	.49	0.939858	0.926435	0.895432	0.870763	0.851502	0.837077	0.827286	0.821804
	.64	1.227570	1.210037	1.169544	1.137324	1.112166	1.093325	1.080557	1.073377
	.81	1.553643	1.531453	1.480204	1.439425	1.407685	1.383739	1.367555	1.358493
	1.00	1.918078	1.890683	1.827412	1.777068	1.737759	1.708320	1.688339	1.677152

表 7 δ 的精度要求 $\pm 1 \times 10^{-3}$ 时, $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$ 随 $\theta^{\circ}\text{C}$ 及 $\text{Cl}\%$ 的变化

$\theta^{\circ}\text{C}$ $\text{Cl}\%$	-2		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	9×10^{-2}	7×10^{-3}	5×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}
10	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	5×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}
15	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	6×10^{-2}	7×10^{-3}	5×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}
20	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-3}	6×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}

表 8 $\Delta P = 1$ 米时的 $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$

$\theta^{\circ}\text{C}$ $\text{Cl}\%$	-5		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	8×10^{-3}	6×10^{-3}	5×10^{-2}	6×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}
10	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	7×10^{-2}	6×10^{-3}	5×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	2×10^{-2}	7×10^{-3}
15	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	6×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	2×10^{-2}	7×10^{-3}
20	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 1 \times 10^{-1}$	6×10^{-3}	$> 9 \times 10^{-2}$	7×10^{-3}	5×10^{-2}	7×10^{-3}	4×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	3×10^{-2}	7×10^{-3}	2×10^{-2}	7×10^{-3}

表 9 $\Delta P = \sqrt{2}$ 米时的 $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$

$\theta^{\circ}\text{C}$ Cl%	-2		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	7×10^{-2}	5×10^{-3}	4×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}
10	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	5×10^{-2}	5×10^{-3}	4×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}
15	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	9×10^{-2}	5×10^{-3}	5×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}
20	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	5×10^{-3}	7×10^{-2}	5×10^{-3}	4×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	3×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-3}

表 10 $\Delta P = \sqrt{3}$ 米时的 $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$

$\theta^{\circ}\text{C}$ Cl%	-2		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	5×10^{-2}	4×10^{-3}	3×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}
10	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	4×10^{-2}	4×10^{-3}	3×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	1×10^{-2}	4×10^{-3}
15	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	8×10^{-2}	4×10^{-3}	4×10^{-2}	4×10^{-3}	3×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	1×10^{-2}	4×10^{-3}
20	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	4×10^{-3}	6×10^{-2}	4×10^{-3}	3×10^{-2}	4×10^{-3}	3×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	2×10^{-2}	4×10^{-3}	1×10^{-2}	4×10^{-3}

表 11 $\Delta P = \sqrt{4}$ 米时的 $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$

$\theta^{\circ}\text{C}$ Cl%	-2		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	4×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}
10	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	8×10^{-2}	3×10^{-3}	3×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}
15	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	5×10^{-2}	3×10^{-3}	3×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}
20	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	3×10^{-3}	4×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-3}

表 12 $\Delta P = \sqrt{5}$ 米时的 $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$ 及 $\Delta\text{Cl}(\%)$

$\theta^{\circ}\text{C}$ Cl%	-2		0		5		10		15		20		25		30	
	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl	$\Delta\theta$	ΔCl
5	4×10^{-2}	2×10^{-3}	9×10^{-2}	2×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	2×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}
10	9×10^{-2}	2×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	2×10^{-3}	5×10^{-2}	2×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}
15	$>1 \times 10^{-1}$	2×10^{-3}	$>1 \times 10^{-1}$	2×10^{-3}	4×10^{-2}	2×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}
20	$>1 \times 10^{-1}$	2×10^{-3}	5×10^{-2}	2×10^{-3}	3×10^{-2}	2×10^{-3}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}

对于海水比容偏差 δ 的计算来说, 在要求有精确度 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 时, 海水温度及氯度的精确度要求如表 7 所示。一般说来, 在低温及低氯时, 对温度的精确度要求低些, 可低至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 甚至于 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$, 而对氯度的精确度的要求就高些, 可高至 $6 \times 10^{-3}\%$; 在高温及高氯时, 对温度的精确度要求就高些, 可高至 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$, 而对氯度精确度的要求便低些, 可低至 $7 \times 10^{-3}\%$ 。温度一定时, 随着氯度的增加, 对温度精确度的要求便随着升高, 但对氯度的精确度的要求也是随之降低的。同样, 氯度一定时, 随着温度的增加, 对温度精确度的要求也是随着升高, 而对氯度精确度的要求也是随之降低的。粗略地说, 当海水比容偏差 δ 的精确度要求为 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 时, 氯度的精确度要求维持在 $7 \times 10^{-3}\%$ 至 $6 \times 10^{-3}\%$ 的范围, 而温度的精确度, 则在 -2°C 至 10°C 之间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围, 在 10°C 至 20°C 之间, 要求中等, 在 9×10^{-2} 至 $4 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围, 在 20°C 至 30°C 之间, 要求高些, 要达到 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 。

对于海水比容 α 的计算来说, 在要求有精确度 $\pm 1 \times 10^{-5}$, 且深度精确度分别为 1 至 $\sqrt{5}$ 米时, 海水温度及氯度的精确度要求将如表 8 至表 12 所示, 要比计算海水比容偏差 δ 时的精确度要求更高些。

一般说来, 随着深度精确度要求的降低, 对温度及氯度精确度的要求都随之升高。对温度精确度的要求, 低时可降至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$, 甚至于 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$, 高时可升高至 $1 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 。而对氯度精确度的要求, 低时可降至 $7 \times 10^{-3}\%$, 而高时升高至 $2 \times 10^{-3}\%$ 。至于在 $\Delta P = \sqrt{5}$ 米的情况下, 对于 $\theta = 2^{\circ}\text{C}$, $Cl = 5\%$; $\theta = 0^{\circ}\text{C}$, $Cl = 5\%$; $\theta = 0^{\circ}\text{C}$, $Cl = 20\%$ 时的温度及氯度的精确度要求稍特殊, 变化规律略有不同。

粗略地说, 当海水比容 α 的精确度的要求为 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 时, 对于深度的精确度为 1 米来说, 氯度的精确度维持在 7×10^{-3} 至 $6 \times 10^{-3}\%$ 的范围。而温度的精确度, 则在 -2°C 至 5°C 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围, 在 5°C 至 20°C 之间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 20°C 至 30°C 之间, 要求高些, 在 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围。对于深度的精确度要求为 $\sqrt{2}$ 米来说, 氯度的精确度维持在 $5 \times 10^{-3}\%$ 的要求。而温度的精确度, 则在 -2°C 至 5°C 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围, 在 5°C 至 25°C 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 25°C 至 30°C 之间, 要求高些, 要求 $2 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 。对于深度的精确度要求为 $\sqrt{3}$ 米来说, 氯度精确度维持在 $4 \times 10^{-3}\%$ 的要求。而温度的精确度, 则在 -2°C 至 5°C 之间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围, 在 5°C 至 20°C 间, 要求中等, 在 1°C 至 $3 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 20°C 至 30°C 间, 要求低些, 在 2×10^{-2} 至 $1 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围。对于深度的精确度要求为 2 米来说, 氯度的精确度维持在 $3 \times 10^{-3}\%$ 的要求。而温度的精确度, 则在 -2°C 至 5°C 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 5°C 至 20°C 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 20°C 至 30°C 间要求高些, 要求 $1 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 。对于深度的精确度要求为 $\sqrt{5}$ 米来说, 氯度的精确度维持在 $2 \times 10^{-3}\%$ 的要求。而温度的精确度, 则在 -2°C 至 0°C 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 0°C 至 15°C 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1}^{\circ}\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 的范围; 在 15°C 至 30°C 间, 要求高些, 要求 $1 \times 10^{-2}^{\circ}\text{C}$ 。

参 考 文 献

- (1) 景振华, 浅海海洋盐度、温度和深度调查的精确度与海水密度计算的关系, 地球物理学报, 4(1955), 1, 25—31.

STUDY ON THE REQUIRED ACCURACY LEVEL OF MEASUREMENTS OF TEMPERATURE, SALINITY AND DEPTH IN SHALLOW SEA WATERS

Jing Zhenhua

(Shandong College of Oceanology)

ABSTRACT

This paper investigates the accuracy of the measurements of temperature, chlorinity and depth in shallow seas less than 100 meters deep, which are necessary to meet the need of the required accuracies $\pm 1 \times 10^{-5}$ of the calculated values of the anomaly of specific volume of sea water and of specific volume itself. The ranges of measurements of temperature, chlorinity and depth are -2°C — 30°C , 5‰—20‰ and 0m—100m respectively.

In general, the accuracy of temperature measurement necessary to meet the required accuracy $\pm 1 \times 10^{-5}$ of the calculated value of anomaly of specific volume, is lower in the low temperature and low chlorinity case than in the high temperature and high chlorinity case; however, the necessary accuracy of the measurements of chlorinity is higher in the low temperature and low chlorinity case than in the high temperature and high chlorinity case.

Generally speaking the accuracies necessary to meet the required accuracy $\pm 1 \times 10^{-5}$ of the calculated value of specific volume of both the temperature and chlorinity increases as the accuracy of measurements of depth decreases either in lower temperature and lower chlorinity case or in higher temperature and higher chlorinity case.

由波浪压力记录计算表面波谱*

隋 世 峰

(中国科学院南海海洋研究所)

一、引 言

对目前仍广为使用的压力测波仪来说,如何通过波浪在某深度处的压力信息来推算海面的波浪状况呢?根据深水小振幅简单波动的经典理论,关系式 $H_0 = H_z \exp[kz]$ 成立,式中 H_0 、 H_z 分别表示海面和水深 z 处的波高。将这一关系式应用于实际资料,则由波浪压力记录可以求出 H_z 、 T_z (或 λ_z),再由记录的深度 z 就可以求出 H_0 。但是人们发现这样计算出的 H_0 和同时在海面观测到的 H_0 之间有着系统性的偏差,这就产生了使用补偿系数 n 的问题,即 $H_0 = nH_z \times \exp[kz]$ 。对于水深为 d 的浅水则有 $H_0 = nH_z \times \text{ch } kd / \text{ch } k(d-z)$ 。

前人就如何确定补偿系数 n 做了很多工作,例如 Folsom (1947) 由规则波的水槽实验对单个波得到 $n = 1.08$ 。Gerhardt 等 (1955) 在旧金山沿岸进行对比观测,对单个波得 $n = 1.3 - 1.9$ 。日本的吉沪 (1965) 在须磨海岸外 260 米处用标杆摄影和压力仪进行对比观测,对单个波得 $n = 1.7$ 。Gerhardt 等人还对有效波进行了深度换算,得到 $n = 1.12 - 1.52$ 。而藤田兼吉等则把 n 看作水深和波长的函数,对有效波进行了研究,其结果当然不会好。

进一步的作法是对压力记录进行调和分析,对每个频率的组成波分别进行深度换算。如菱田耕造 (1969) 应用同一观测点不同深度上的压力同步记录,求得的结果如图 1 所示,在低频部分 n 值比较稳定,平均为 1.07,和 Folsom 的规则波水槽实验值一致,而高频部分, n 值则急剧地减小。Esteve 和 Harris (1970) 由谱分析求得的 n 值在 0.98—1.04 之间,并认为当 $\exp[2\omega^2 z/g]$ 的值大于 25 后,由

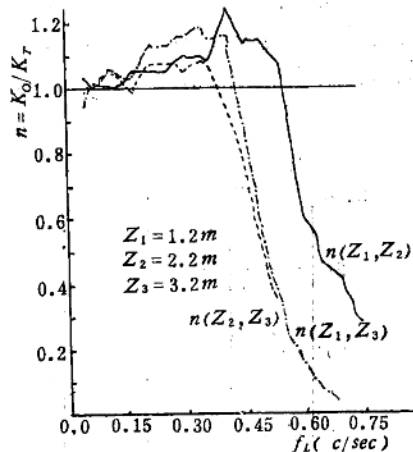


图1 不同深度差所对应的补偿系数 n 随组成波的频率 f_i 的分布
(菱田耕造, 1969)

本文 1978 年 11 月 27 日收到。

* 本文是在山东海洋学院余宙文副教授的具体指导下写成的,并得到了本所陈俊昌、兰昌华同志的大力协助,蔡清贵同志提出了宝贵意见,贾淑芬同志参加了资料整理工作,作者特此表示衷心感谢。

于失真, 换算工作就不能进行了。

显然, 对波浪压力记录作谱分析, 相对于组成波进行深度换算的方法是比较好的, 但又出现了高频部分换算失真的问题。为了解决这个问题, Kim 和 Simons(1974), Глуховский (1966) 等人采取了将海面波谱模式化的方法。他们都认为海面波浪符合某一模式谱, 从这个模式谱出发, 通过深度换算出深度 z 处的波谱, 并使它和那里的实验波谱相等, 这样就可以确定观测期间海面模式谱中参数的具体值。用这种方法建立起来的表面波谱和深度 z 处的波谱之间的关系, 避免了深度换算中高频失真的问题, 这是该方法的可取之处。但由于选定了模式谱, 则不能反映海面波浪的特殊规律, 而且在双峰和宽谱的情况下, 该方法的应用也是困难的。针对这一不足之处, 本文提出了在低频段按小振幅简单波动的理论对组成波进行换算, 而在高频段则根据平衡范围理论采用将波浪谱加以模式化的换算方法。

二、由波浪压力记录求表面波谱

(一) 所用的资料及其谱分析

1977 年 5 月底, 我们在北部湾我国海区 A 点 (图 2) 获取了 7 组不同深度上同步波浪压力记录曲线和两组波浪压力与表面波的同步记录曲线, 图 3 是同步压力记录曲线的一段。 A 点的水深是 76 米, 在离海面 40 米高度处, 观测期间的 10 分钟平均风速为 10 米/秒左右。

对所获得的连续波浪记录均用 Blackman—Tukey 方法在 DJS—21 机上进行了谱分析。分析时使用的参数为: N 在 1240—1980 之间, m 在 50—70 之间, $\Delta t = 0.634$ 秒。所得到的谱密度分布曲线和有关谱参数分别由图 4 以及表 1 给出。

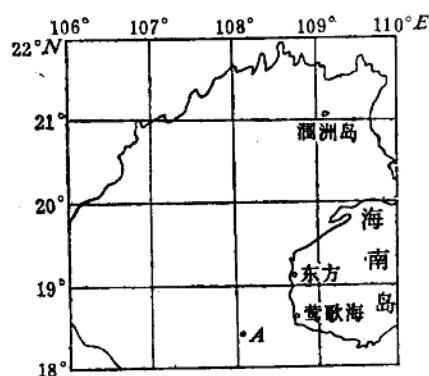


图2 本文所用实测资料的海区位置

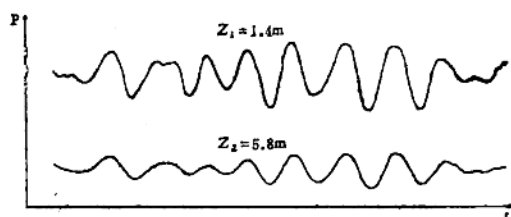


图3 不同深度上波浪压力的同步记录的示例