

浅海水温度、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等于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：

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

$$\alpha_{S, \theta, P} = -0.97264 + \frac{1}{1 + 10^{-3}\sigma_t} + \delta_{\theta, P} + \delta_{S, P} + \alpha_{35, 0, P}. \quad (2)$$

而式中

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{\partial\delta}{\partial Cl} = - \frac{10^{-3}}{(1+10^{-3}\sigma_t)^2} \left[(1 - A_t + 2\sigma_o B_t) (1.4078 - 0.003140Cl + 0.0001194Cl^2) \right]. \quad (11)$$

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

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

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 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 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 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 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 $Cl_{\text{‰}} = 5, 10, 15, 20$; 令深度变化的范围为 $0-100$ 米。

表 1 $Cl_{\text{‰}}-S_{\text{‰}}-\sigma_0$ 值

$Cl_{\text{‰}}$	5	10	15	20
$S_{\text{‰}}$	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 \ $\theta^{\circ}\text{C}$	-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% ₀	-2	0	5	10	15	20	25	30
5	-0.067685	-0.032294	0.029206	0.109445	0.167457	0.219894	0.268062	0.313099
10	-0.033332	-0.001619	0.054549	0.129196	0.182766	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	0.052276	0.099794	0.164940	0.210426	0.252437	0.290903	0.328242

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

$\theta^\circ\text{C}$ Cl% ₀ ($\Delta\theta$) ²	-2	0	5	10	15	20	25	30
1	0.004581	0.001043	0.000853	0.011880	0.028040	0.048363	0.071857	0.098091
4	0.018324	0.004172	0.003412	0.047920	0.112160	0.193412	0.287428	0.382124
9	0.041229	0.009387	0.007677	0.107820	0.252360	0.435177	0.646713	0.882279
16	0.073296	0.016888	0.013648	0.191680	0.448640	0.773648	1.149712	1.568496
25	0.114525	0.026075	0.020325	0.299600	0.701000	1.208825	1.796425	2.450775
36	0.164916	0.037548	0.030708	0.431280	1.009440	1.740708	2.586825	3.529116
49	0.224469	0.051107	0.041797	0.597020	1.373960	2.369297	3.520993	4.803519
64	0.293184	0.066752	0.054592	0.766720	1.794560	3.094592	4.598948	6.273984
81	0.371061	0.084483	0.069093	0.970380	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

附表 4

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	0.306348	0.409064
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	1.225392	1.631266
25	0.027775	0.000075	0.074400	0.417250	0.835000	1.339200	1.914675	2.556660
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	0.190464	1.068160	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	7.685700	10.226600
1	0.000143	0.000735	0.006082	0.021800	0.038892	0.068607	0.080831	0.105501
4	0.000572	0.002940	0.024328	0.087200	0.155568	0.234428	0.323324	0.422004
9	0.001297	0.006615	0.054736	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	0.794800	1.400112	2.109852	2.909916	3.798036
49	0.007007	0.036015	0.298018	1.068200	1.905708	2.871743	3.960719	5.169645
64	0.009152	0.047040	0.389248	1.395200	2.489088	3.750848	5.173184	6.752064
81	0.011583	0.059535	0.492642	1.765800	3.150252	4.747167	6.547311	8.545580
100	0.143000	0.073500	0.608200	2.160000	3.869200	5.860700	8.083100	10.550100
1	0.000673	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	1.353066	1.723888
25	0.016825	0.070950	0.248675	0.680250	1.106975	1.593100	2.114150	2.693575
36	0.024228	0.102168	0.358092	0.979560	1.594044	2.294064	3.044376	3.878748
49	0.032977	0.139062	0.487403	1.333290	2.169871	3.122476	4.143734	5.279407
64	0.043072	0.181632	0.636608	1.741440	2.833956	4.078336	5.412224	6.895552
81	0.054513	0.228878	0.805707	2.204010	3.586599	5.161644	6.849846	8.727183
100	0.067360	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	1.384587	1.365590	1.352864	1.342285	1.333939
10	1.422588	1.410054	1.384844	1.361451	1.344604	1.331784	1.322235	1.315327
15	1.400707	1.389330	1.364469	1.344411	1.329935	1.316633	1.306065	1.302465
20	1.384947	1.375021	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	0.072069	0.071176
.09	0.189476	0.185888	0.178352	0.172538	0.167394	0.164722	0.162156	0.160145
.16	0.336846	0.330467	0.317070	0.306734	0.298549	0.292839	0.288277	0.284703
.25	0.526323	0.516355	0.495423	0.479272	0.466482	0.457560	0.450432	0.444848
.36	0.757904	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	1.226936	1.194195	1.171354	1.153107	1.138812
.81	1.705285	1.672390	1.605169	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	0.162716	0.159628	0.157347	0.155701
	.16	0.323801	0.318120	0.306847	0.295668	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	0.728553	0.715771	0.690405	0.667278	0.650866	0.638514	0.629390	0.622806
	.49	0.991641	0.974243	0.939719	0.902339	0.885900	0.869088	0.856669	0.847708
	.64	1.295204	1.272481	1.227988	1.182271	1.157094	1.135135	1.119915	1.107210
	.81	1.632243	1.610484	1.553412	1.501375	1.464448	1.436656	1.416127	1.401903
	1.00	2.105288	1.988252	1.917793	1.853549	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	0.297684	0.289191	0.282996	0.277364	0.273765	0.271426
	.25	0.490495	0.482560	0.465444	0.451860	0.442182	0.433381	0.427759	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	0.886646	0.866676	0.849426	0.838407	0.831243
	.64	1.255667	1.235352	1.191537	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	1.769727	1.733522	1.711034	1.696415
20	.01	0.019181	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	0.068393	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	0.279041	0.273391	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	0.938658	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	1.407585	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 的精确度要求 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 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}	$> 9 \times 10^{-1}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}	$> 1 \times 10^{-3}$	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}						
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}						
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}						
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}						
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}						

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 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 甚至于 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$, 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 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$, 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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围, 在 $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求中等, 在 9×10^{-2} 至 $4 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求高些, 要达到 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

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 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$, 甚至于 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$, 高时可升高至 $1 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。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 $\theta = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $Cl = 5 \%$; $\theta = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, $Cl = 5 \%$; $\theta = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, $Cl = 20 \%$ 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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求高些, 在 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求高些, 要求 $2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 之间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求中等, 在 $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $3 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求低些, 在 2×10^{-2} 至 $1 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间要求高些, 要求 $1 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。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 $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求低些, 在 $> 1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求中等, 在 $1 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 的范围; 在 $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 至 $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ 间, 要求高些, 要求 $1 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

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.