

B₂-293

3-1

联合国教科文组织

海洋科学技术报告

海水基本特性计算方法

主办单位:

联合国教科文组织

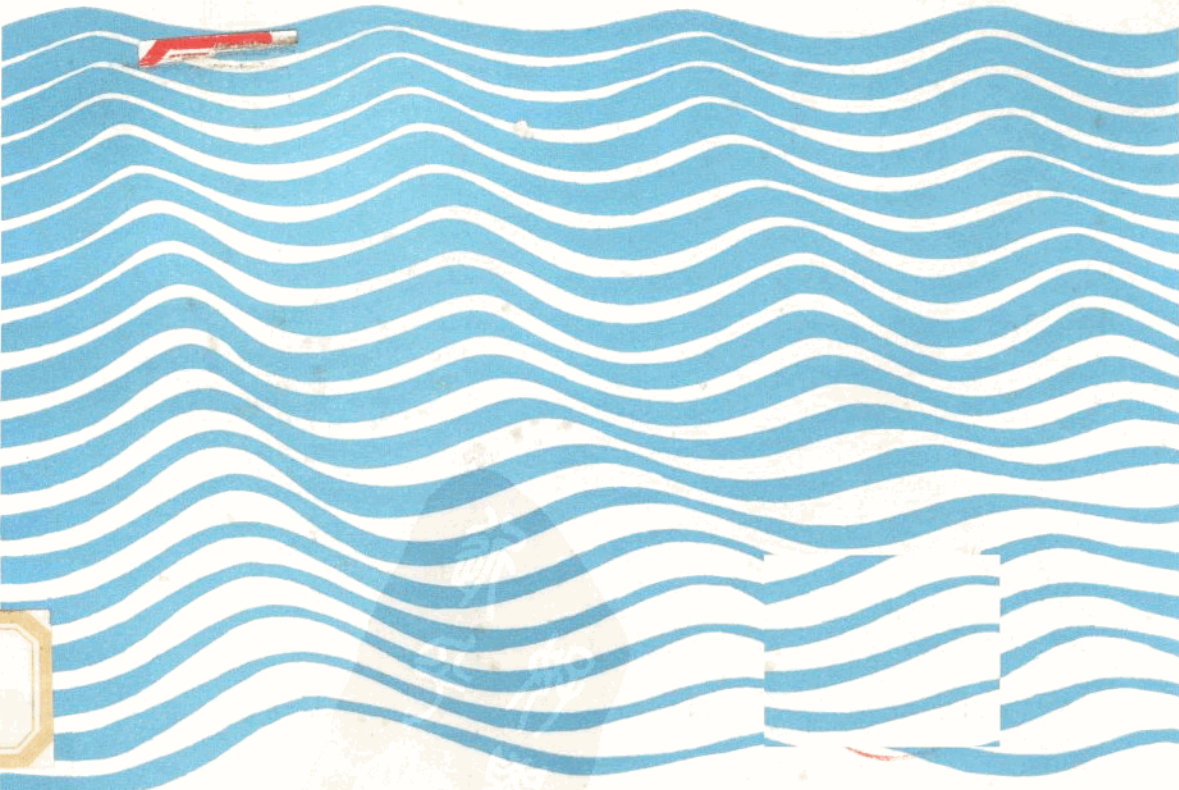
海洋研究科学委员会

国际海洋考察理事会

国际海洋物理科学协会

海洋学用表与规范联合小组

海洋研究科学委员会 第51工作组



教科文组织 1983年

摘 要

本报告列举了以实用盐标 (pSS—78) 和国际海水状态方程 (EOS80) 为基础的海水基本特性计算方法, 为处理海洋学数据提供标准计算机程序。

报告中以 FORTRAN 子程序和图表实例说明在通常海洋范围内, 海水温度、盐度、压力等基本特性的变化范围和有效性。这些算法包括: 电导率与盐度的换算; 海水比容偏差和密度偏差; 水深与压力换算; 海水冰点温度; 海水比热; 绝热递减率; 位温以及海水中的声速。

前 言

本报告所编入的算法是以实用盐标及国际海水状态方程为基础，经联合国教科文组织、海洋研究科学委员会、国际海洋考察理事会、国际海洋物理科学协会海洋学用表与规范联合小组及海洋研究科学委员会CTD资料评价第51工作组签署的。

算法与简表的编纂工作得到海军研究厅根据N00014—74—0262, NR083—004, N00014—76—C—0197, NR083—400等合同以及 Grant OCE国家科学基金会78—06886.00的资助。

56.38003/0.54
7686

目 录

概述.....	(1)
1. 电导率换算盐度.....	(2)
2. 盐度换算电导率.....	(5)
3. 海水的比容偏差与密度偏差.....	(11)
4. 压力与深度换算.....	(21)
5. 海水冰点温度.....	(24)
6. 海水比热.....	(26)
7. 绝热递减率.....	(33)
8. 位温.....	(36)
9. 海水中声速.....	(39)
参考文献.....	(45)

概 述

最近由海洋学用表与规范联合小组正式通过 (Uneso 报告 No.08) 的实用盐标 (pss-78) 和国际海水状态方程 (EOS80) 需要有一套与之相一致的算法, 以便从电导率、温度、压力等实测资料中导出各种海水特性。以从前的盐标、温标为基础的公式、除少数例外, 建议不要再用于新的实用盐度。

1981年, Lewis和Perkin曾对pss-78盐度与过去几种盐度公式所求得盐度之差进行了鉴定。在大洋盐度范围内, 这种差值小于0.01, 但大于盐度测定精度 (± 0.003)。对于盐度很低和很高的海水, 其差值可达0.06 (Lewis and Perkin, 1981.2-7表), 在大洋温度范围内 ($-2-40^{\circ}\text{C}$), 用1968年国际实用温标 (IPTS-68) 求得的温度与用1948年温标 (IPTS-48) 求得的温度要相差 0.009°C (Barber, 1969)。由于温、盐二者的差值均超过新式传感器测量精度、凡用过去温标、盐标求得的温、盐值计算出的其他参数, 均须进行订正或换算, 以确保精度。

1980年状态方程 (EOS80) 有效地提高了全球范围内海水密度和比容的精度。热膨胀, 压缩性, 比热, 绝热递减率, 位温, 声速等可在EOS80提高了精度的基础上算得。

本报告选编的算法是与实用盐标 (pss-78) 及温标 (IPTS-68) 相一致的。出版物中提供的公式均与直接由EOS80计算的结果进行了比较, 使之彼此相符。

给出的公式及子程序名如下:

1. 由电导率换算实用盐度 SAL78 (CND, T, P, M)
2. 由实用盐度换算电导率 SAL78 (CND, T, P, M)
3. 计算比容偏差 SVAN (S, t, p, SIGMA); 密度偏差 SIGMA
4. 由压力换算深度 DEPTH (P, Latitude)
5. 计算海水冰点温度 TF (s, p)
6. 计算海水比热 CPSW (s, t, p)
7. 计算绝热递减率 ATG (s, t, p)

8. 计算位温 THETA (s,t,p,pr)

9. 计算海水声速 SVEL (s,t,p)

每个公式都包括有 FORTRAN 子程序实例, 检验值, 误差估计及海洋学范围典型值简表。表中以粗线围出的值表示超出算法范围的有效值(见盐度表)。在 FORTRAN 调用语句的输入变量中, S 为盐度 (pss—78), t 为温度 (°C, IPTS—68); P=pr 为压力 (分巴, 1 分巴 = 10^4 pa)。必须注意的是: 有些子程序中的压力系数单位是巴 (上列 3, 5, 8 式)。在这些子程序中, 输入压力由分巴换算成了巴。深度计算须用纬度 (单位: 度)。在比容偏差调用语句中, 函数换算后送回密度偏差值。检验值以 32 位字长, 尾数 24 位 (含前导位) 算出, 精度为 2^{-24} 或 6×10^{-8} 。

1. 电导率换算盐度

若 $C(s, t, p)$ 为海水电导性, S 为盐度 (pss—78), t 为温度 (IPTS—68), P 为压力 (分巴), 则电导率定义为:

$$R = C(s, t, p) / C(35, 15, 0)$$

这里 $C(35, 15, 0)$ 为在 1 个大气压下, 盐度为 35, 温度为 15°C 的标准海水电导性, 可定义为等于同条件下氯化钾标准溶液 (1000 克溶液含氯化钾 32.4356 克) 的电导性。

电导率公式可分解成三部份:

$$R = R_p \cdot R_t \cdot r_t$$

$$R_p(s, t, p) = C(s, t, p) / C(s, t, 0)$$

$$R_t(s, t) = C(s, t, 0) / C(35, t, 0)$$

$$r_t(t) = C(35, t, 0) / C(35, 15, 0)$$

由于 R_t 或 R 直接由电导性桥在一定温度和压力下测出, 电导率公式便发展成由这些变量表示, 而不用盐度表示。

因此, 实用盐度可用下式计算:

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S \quad (1)$$

此处

$$\Delta S = \frac{(t-15)}{1+k(t-15)} (b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2}) \quad (2)$$

公式中所定义的常数 a_i , b_i 为

$$\begin{aligned}
 a_0 &= +0.0080 & b_0 &= +0.0005 \\
 a_1 &= -0.1692 & b_1 &= -0.0056 \\
 a_2 &= +25.3851 & b_2 &= -0.0066 \\
 a_3 &= +14.0941 & b_3 &= -0.0375 & k &= +0.0162 \\
 a_4 &= -7.0261 & b_4 &= +0.0636 \\
 a_5 &= +2.7081 & b_5 &= -0.0144 \\
 \Sigma a_i &= 35.0000 & \Sigma b_i &= 0.0000
 \end{aligned}$$

$$2 < S < 42$$

公式(1)和(2)适用于全球温度范围(-2到35℃), 盐度范围(2到42)之内 (Perkin and Lewis, 1980)。

电导率 r_t 可由下式给出:

$$r_t = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned}
 c_0 &= +0.6766097 \\
 c_1 &= +2.00564 \text{ E-2} \\
 c_2 &= +1.104259 \text{ E-4} \\
 c_3 &= -6.9698 \text{ E-7} \\
 c_4 &= +1.0031 \text{ E-9}
 \end{aligned}$$

有效范围: $t = -2 \sim 35^\circ\text{C}$

电导率 R_P 由下式给出

$$R_P = 1 + \frac{P(e_1 + e_2 P + e_3 P^2)}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + (d_3 + d_4 t)R} \quad (4)$$

其中

$$e_1 = +2.070 \text{ E-5} \quad d_1 = +3.426 \text{ E-2}$$

$$e_1 = -6.370 \text{ E-10} \quad d_1 = +4.464 \text{ E-4}$$

$$e_2 = +3.989 \text{ E-15} \quad d_2 = +4.215 \text{ E-1}$$

$$d_3 = -3.107 \text{ E-3}$$

电导率压力订正中的最大压力范围 (分巴) 已算出列于下表 (Perkin and Lewis, 1980) :

T°C/S	T<0	5	10	15	20	25	30
2							
14	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998
22	1998	1998	3996	1998	1998	1998	1998
31	1722	1722	1722	1722	1722	1722	
35	10,334	9988	3996	1998	1998	1998	1998
39	1722	1722	5162	5162	1722	1722	

给定R, t, P时, 比率 R_t 可由下式给出

$$R_t = R / (R_p \cdot r_t)$$

盐度则按 (1), (2) 式计算

下列数据用于检验上述公式使用是否正确

R	t (°C)	P (dbars)	R_p	r_t	R_t	S
1	15	0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	35.000000
1.2	20	2000	1.0169429	1.1164927	1.0568875	37.245628
0.65	5	1500	1.0204864	0.77956585	0.81705885	27.995347

2. 盐度换算成电导率

如欲求电导率, 可用迭代算法对盐度公式进行反算。

盐度 S 和温度 t 为已知, 则电导率 R_t 可由公式 (1), (2) 反算, 即:

$$S = S(R_t, t) \quad (5)$$

若 $R_{t,n}$ 已知, 其对应的值 S_n 可由 (5) 式求得。由于 S_n 不同于 S , $R_{t,n+1}$ 的较佳近似值可由 (5) 式的泰勒展开式求得,

$$S - S_n = \frac{\partial S}{\partial R_t} (R_{t,n+1} - R_{t,n})$$

$$\text{即: } R_{t,n+1} = R_{t,n} + (S - S_n) / \partial S / \partial R_t$$

如果直接对上式 S 微分求微商 $\partial S / \partial R_t$, 这一计算过程就是标准的牛顿—拉菲森迭代。在实际计算中由于公式中有 $1/2$ 幂, 故求 $\sqrt{R_t}$ 的微分, 并解出 $\sqrt{R_t}$ 较为方便。

若 R_t 已知, R 值可通过解二次方程求得

$$R = r_1 \cdot R_t \cdot R_s = r_1 \cdot R_t \cdot \left(1 + \frac{C}{AR + B}\right)$$

$$R = \frac{1}{2A} \left[\text{SQRT}[(B - Ar_1 R_t)^2 + 4r_1 R_t A(B + C)] - (B - Ar_1 R_t) \right] \quad (6)$$

此处, A , B , C 是由 (4) 式给出的温度、压力多项式

由电导率求盐度和由盐度求电导率结合在一个函数子程序中。虽然, 实用盐度低于 2 时无定义, 但子程序仍将送回一个大于 0.02 的值。电导率小于 0.005 或盐度小于 0.02 时, 该函数强制送回一个 0 值, 以避免输入的盐度或电导率为 0 时的收敛问题。

盐度与电导率换算子程序

REAL FUNCTION SAL78 (CND, T, P, M)

```

C .....
C   THE CONDUCTIVITY RATIO (CND) = 1.0000000 FOR SALINITY = 35 PSS-78
C   TEMPERATURE = 15.0 DEG. CELSIUS, AND ATMOSPHERIC PRESSURE.
C .....
C
C   FUNCTION TO CONVERT CONDUCTIVITY RATIO TO SALINITY (M=0)
C   SALINITY TO CONDUCTIVITY RATIO (M=1, CND BECOMES INPUT SALINITY)
C .....
C   REFERENCES, ALSO LOCATED IN UNESCO REPORT NO.37 1981
C   PRACTICAL SALINITY SCALE 1978, E.L. LEWIS IEEE OCEAN ENG. JAN. 1980
C .....
C   UNITS,
C       PRESSURE           P           DECIBARS
C       TEMPERATURE       T           DEG CELSIUS (IPTS-68)
C       CONDUCTIVITY      CND         RATIO (M = 0)
C       SALINITY          SAL78       (PSS-78) (M = 0)
C   CHECKVALUES,
C       SAL78 = 1.888091, CND = 40.0000, T = 40 DEG C, P = 10000 DECIBARS, M = 1
C       SAL78 = 40.00000, CND = 1.888091, T = 40 DEG C, P = 10000 DECIBARS, M = 0
C .....
C   SAL78 RATIO, RETURNS ZERO FOR CONDUCTIVITY RATIO, <0.0005
C   SAL78, RETURNS ZERO FOR SALINITY, <0.02
C .....
C   INTERNAL FUNCTIONS
C .....
C   PRACTICAL SALINITY SCALE 1978 DEFINITION WITH TEMPERATURE CORRECTION
C   XT = T-15.0, XR = SQRT (RT)
      SAL (XR, XT) = (((((2.7081*XR-7.0261)*XR+14.0941)*XR+25.3851)*XR
X   -0.1692)* XR+0.0080
X   +(XT/(1.0+0.0162*XT))*(((((-0.0144*XR+
X   0.0636)*XR-0.0375)*XR-0.0066)*XR-0.0056)*XR+0.0005)
C   DSAL(XR,XT) FUNCTION FOR DERIVATIVE OF SAL (XR,XT) WITH XR.
      DSAL (XR,XT) = (((((13.5405*XR-28.1044)*XR+42.2823)*XR+50.7702)*XR
X   -0.1692)+(XT/(1.0+0.0162*XT))*(((((-0.0720*XR+0.2544)*XR
X   -0.1125)*XR-0.0132)*XR-0.0056)
C   FUNCTION RT35, C(35,T,0)/C(35,15,0) VARIATION WITH TEMPERATURE

```

```

      RT35(XT) = (((1.0031E-9*XT-6.9698E-7)*XT+1.104259E-4)*XT
      X +2.00564E-2)*XT+0.6766097
C   POLYNOMIALS OF RP, C(S,T,P)/C(S,T,0) VARIATION WITH PRESSURE
C   C(XP) POLYNOMIAL CORRESPONDS TO A1-A3 CONSTANTS, LEWIS 1980
      C(XP) = ((3.989E-15*XP-6.370E-10)*XP+2.070E-5)*XP
      B(XT) = (4.464E-4*XT+3.426E-2)*XT+1.0
C   A(XT) POLYNOMIAL CORRESPONDS TO B3 AND B4 CONSTANTS, LEWIS 1980
      A(XT) = -3.107E-3*XT+0.4215
C .....
C   ZERO SALINITY/CONDUCTIVITY TRAP
      SAL78 = 0.0
      IF((M.EQ.0).AND.(CND.LE.5E-4)) RETURN
      IF((M.EQ.1).AND.(CND.LE.0.02)) RETURN
C .....
      DT = T - 15.0
C   SELECT BRANCH FOR SALINITY (M=0) OR CONDUCTIVITY (M=1)
      IF (M.EQ.1) GO TO 10
C .....
C   CONVERT CONDUCTIVITY TO SALINITY
      R = CND
      RT = R/(RT35(T)*(1.0+C(P)/(B(T)+A(T)*R)))
      RT = SQRT (ABS(RT))
      SAL78 = SAL(RT, DT)
      RETURN
C .....
C   END OF CONDUCTIVITY TO SALINITY SECTION
C .....
C   INVERT SALINITY TO CONDUCTIVITY BY THE
C   NEWTON-RAPHSON ITERATIVE METHOD.
C .....
C   FIRST APPROXIMATION
      10 RT = SQRT (CND/35.0)
      SI = SAL (RT, DT)
      N = 0
C .....
C   ITERATION LOOP BEGINS HERE WITH A MAXIMUM OF 10 CYCLES
C .....
      15 RT = RT + (CND - SI)/DSAL (RT, DT)
      SI = SAL (RT, DT)
      N = N + 1
      DELS = ABS(SI - CND)
      IF((DELS.GT.1.0E-4).AND.(N.LT.10))GO TO 15

```

```

C .....
C .....END OF ITERATION LOOP.....
C .....
C .....
C COMPUTE CONDUCTIVITY RATIO
      RTT = RT35(T)*RT*RT
      AT = A (T)
      BT = B (T)
      CP = C (P)
      CP = RTT* (CP + BT)
      BT = BT - RTT*AT
C .....
C SOLVE QUADRATIC EQUATION FOR R,  $R = RT35*RT*(1 + C/AR + B)$ 
C .....
      R = SQRT (ABS(BT*BT + 4.0*AT*CP)) - BT
C CONDUCTIVITY RETURN
      SAL78 = 0.5*R/AT
      RETURN
      END

```

注：子程序SAL78中函数名及形式参数是

SAL78为盐度 (psu—78)

CND为电导率

T为温度 (°C, ITPS—68)

P为压力 (分巴)

M为指示变量，由电导率换算盐度时M=0

由盐度换算电导率时M=1

——译者

盐度 S [PSS-78]

温度 t (IPITS-68)

压力 (分巴)	0	10	20	30	40	电导率
0	36.2864	26.8609	20.8085	16.7100	13.8131	0.6990725
1000	35.6746	26.5072	20.5932	16.5725	13.7213	0.6990725
2000	35.1188	26.1836	20.3953	16.4456	13.6364	0.6990725
3000	34.6143	25.8880	20.2136	16.3286	13.5579	0.6990725
4000	34.1568	25.6183	20.0470	16.2211	13.4855	0.6990725
5000	33.7426	25.3729	19.8948	16.1225	13.4191	0.6990725
6000	33.3684	25.1501	19.7562	16.0324	13.3582	0.6990725
7000	33.0314	24.9485	19.6303	15.9505	13.3027	0.6990725
8000	32.7289	24.7669	19.5166	15.8762	13.2523	0.6990725
9000	32.4588	24.6042	19.4143	15.8093	13.2069	0.6990725
10000	32.2191	24.4592	19.3231	15.7495	13.1662	0.6990725
0	50.0127	36.9676	28.6080	22.9533	18.9594	0.9320967
1000	49.2140	36.4999	28.3203	22.7681	18.8351	0.9320967
2000	48.4874	36.0717	28.0556	22.5970	18.7200	0.9320967
3000	47.8269	35.6801	27.8125	22.4394	18.6135	0.9320967
4000	47.2272	35.3226	27.5896	22.2943	18.5154	0.9320967
5000	46.6837	34.9970	27.3858	22.1614	18.4253	0.9320967
6000	46.1921	34.7013	27.2001	22.0399	18.3427	0.9320967
7000	45.7489	34.4336	27.0314	21.9292	18.2674	0.9320967
8000	45.3509	34.1923	26.8790	21.8290	18.1991	0.9320967
9000	44.9952	33.9760	26.7419	21.7388	18.1375	0.9320967
10000	44.6791	33.7832	26.6195	21.6580	18.0822	0.9320967
0	64.4641	47.5215	36.7173	29.4273	24.2862	1.1651209
1000	63.4810	46.9414	36.3576	29.1942	24.1289	1.1651209
2000	62.5855	46.4098	36.0265	28.9788	23.9832	1.1651209
3000	61.7706	45.9233	35.7222	28.7802	23.8485	1.1651209
4000	61.0299	45.4790	35.4432	28.5975	23.7244	1.1651209
5000	60.3579	45.0741	35.1879	28.4300	23.6102	1.1651209
6000	59.7498	44.7060	34.9552	28.2769	23.5057	1.1651209
7000	59.2011	44.3727	34.7439	28.1375	23.4104	1.1651209
8000	58.7080	44.0722	34.5527	28.0111	23.3239	1.1651209
9000	58.2670	43.8026	34.3809	27.8973	23.2458	1.1651209
10000	57.8750	43.5623	34.2274	27.7955	23.1759	1.1651209
0	79.7047	58.5321	45.1289	36.1195	29.7800	1.3981451
1000	78.5355	57.8397	44.6972	35.8382	29.5894	1.3981451
2000	77.4695	57.2050	44.2997	35.5783	29.4128	1.3981451
3000	76.4986	56.6237	43.9342	35.3386	29.2496	1.3981451
4000	75.6154	56.0925	43.5989	35.1181	29.0991	1.3981451
5000	74.8136	55.6082	43.2922	34.9158	28.9607	1.3981451
6000	74.0874	55.1678	43.0124	34.7308	28.8340	1.3981451
7000	73.4318	54.7688	42.7583	34.5624	28.7184	1.3981451
8000	72.8423	54.4088	42.5284	34.4098	28.6135	1.3981451
9000	72.3148	54.0858	42.3216	34.2723	28.5188	1.3981451
10000	71.8457	53.7979	42.1369	34.1492	28.4340	1.3981451

电导率 R

温度℃ (IPTS-68)

压力 (分巴)	0	10	20	30	40	盐度
0	0.498008	0.654990	0.825481	1.006639	1.195796	25
1000	0.506244	0.662975	0.833139	1.013951	1.202767	25
2000	0.513925	0.670435	0.840302	1.020797	1.209296	25
3000	0.521068	0.677385	0.846983	1.027187	1.215394	25
4000	0.527692	0.683840	0.853194	1.033130	1.221069	25
5000	0.533813	0.689814	0.858947	1.038640	1.226330	25
6000	0.539447	0.695319	0.864254	1.043724	1.231189	25
7000	0.544609	0.700369	0.869126	1.048395	1.235653	25
8000	0.549314	0.704979	0.873574	1.052661	1.239732	25
9000	0.553574	0.709153	0.877610	1.056533	1.243435	25
10000	0.557404	0.712912	0.881243	1.060020	1.246770	25
0	0.588220	0.772567	0.972727	1.185361	1.407338	30
1000	0.597649	0.781728	0.981533	1.193791	1.415394	30
2000	0.606437	0.790282	0.989769	1.201681	1.422939	30
3000	0.614605	0.798249	0.997447	1.209045	1.429984	30
4000	0.622176	0.805646	1.004585	1.215893	1.436539	30
5000	0.629168	0.812488	1.011194	1.222240	1.442617	30
6000	0.635602	0.818792	1.017289	1.228097	1.448228	30
7000	0.641494	0.824574	1.022884	1.233476	1.453382	30
8000	0.646862	0.829847	1.027990	1.238388	1.458092	30
9000	0.651722	0.834627	1.032622	1.242846	1.462367	30
10000	0.656090	0.838926	1.036792	1.246860	1.466219	30
0	0.676610	0.887529	1.116493	1.359679	1.613508	35
1000	0.687138	0.897778	1.126369	1.369156	1.622586	35
2000	0.696945	0.907346	1.135602	1.378024	1.631085	35
3000	0.706057	0.916254	1.144210	1.386298	1.639020	35
4000	0.714499	0.924521	1.152207	1.393993	1.646403	35
5000	0.722293	0.932167	1.159613	1.401122	1.653247	35
6000	0.729461	0.939209	1.166440	1.407701	1.659565	35
7000	0.736025	0.945666	1.172706	1.413741	1.665369	35
8000	0.742002	0.951555	1.178425	1.419257	1.670672	35
9000	0.747413	0.956891	1.183612	1.424263	1.675484	35
10000	0.752275	0.961690	1.188279	1.428769	1.679819	35
0	0.763298	1.000073	1.257061	1.529967	1.814775	40
1000	0.774845	1.011334	1.267936	1.540427	1.824816	40
2000	0.785595	1.021844	1.278102	1.550212	1.834216	40
3000	0.795580	1.031625	1.287575	1.559342	1.842990	40
4000	0.804827	1.040701	1.296377	1.567830	1.851154	40
5000	0.813362	1.049093	1.304525	1.575694	1.858721	40
6000	0.821209	1.056821	1.312037	1.582949	1.865705	40
7000	0.828392	1.063905	1.318929	1.589610	1.872121	40
8000	0.834932	1.070363	1.325218	1.595692	1.877982	40
9000	0.840851	1.076215	1.330921	1.601210	1.883301	40
10000	0.846168	1.081478	1.336054	1.606179	1.888091	40

3. 海水的比容偏差与密度偏差

对于被纯水稀释或蒸发浓缩的海水, 决定采用实用盐标的国际海水状态方程 (Millero, 1980; Millero and Poission, 1981)。这个方程比目前所用的那些方程 (克纽森, 1902; 厄克曼, 1908; 柯克斯, 1970) 更精确, 并适用于更广泛的温、压范围。有许多详细阐述拟合过程的数据报告文献可查考 (Millero, Chen, Bradshan and Schleicher, Unesco Report No.38 (1981); Millero and Poission, Unesco Report No.38(1981))。

海水密度 (ρ , kg/m³) 是实用盐度 S , 温度 t (°C) 和所用或实测压力 p (分巴) 的函数, 可由下式给出:

$$\rho(s, t, p) = \rho(s, t, 0) / [1 - p/k(s, t, p)] \quad (7)$$

K 是正切体积弹性模量

海水比容 $v = 1/\rho$ (m³/kg) 可从下式求得:

$$v(s, t, p) = v(s, t, 0) \cdot [1 - p/k(s, t, p)] \quad (8)$$

由于海水密度和比容在大洋里的最大变幅不超过 7%, 以单精度数表示其完整数据时精度有所丢失。一个 32 位单精度浮点数约表示 7 位有效十进数, 虽然已可表达高于观测精度的数, 能够满足一般全数字位要求, 但对于计算 Brunt-Vaisala 频率的差值来说, 还很不够。在海洋学范围中, 用下式确定比容偏差 δ , 精度可提高二个量级:

$$\delta = v(s, t, p) - v(35, 0, p) \quad (9)$$

单位是 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$

对海洋学各种应用来说, 使用比容偏差 (或空间偏差) δ , 可便于求得海洋的斜压结构。为便于计算, $v(35, 0, p)$ 可根据 EOS80, 用 $S = 35$, ($p_{ss} - 78$); $t = 0^\circ\text{C}$, (IPTS-68) 的系数, 由下式求得:

$$v(35, 0, p) = v(35, 0, 0) \cdot [1 - p/K(35, 0, p)] \quad (10)$$

这里

$$v(35, 0, 0) = 9.7266204 \text{ E-4 m}^3/\text{kg}$$

$$K(35, 0, p) = K_0 + A_0 p + B_0 p^2$$

$$K_0 = +21582.27$$

$$A_0 = +3.35940552$$

$$B_0 = +5.03217 \quad E-5$$

为提高精度，只要将作为压力函数的 δ 公式中某些相减项消去，在 δ 方程中以 $K(s, t, p) - K(35, 0, p)$ 代换，就可括出压力项，如：

$$\begin{aligned} \delta &= V(S, t, 0) \cdot \left[1 - \frac{p}{K(S, t, p)} + \frac{p}{K(35, 0, p)} - \frac{p}{K(35, 0, p)} \right] \\ &\quad - V(35, 0, 0) \cdot \left[1 - \frac{p}{K(35, 0, p)} \right] \\ &= \delta(S, t, 0) \cdot \left[1 - \frac{p}{K(35, 0, p)} \right] + V(S, t, 0) \cdot \left[\frac{p}{K(35, 0, p)} - \frac{p}{K(S, t, p)} \right] \\ &= \delta(S, t, 0) \cdot \left[1 - \frac{p}{K(35, 0, p)} \right] + V(S, t, 0) \cdot p \cdot \left[\frac{K(S, t, p) - K(35, 0, p)}{K(S, t, p) \cdot K(35, 0, p)} \right] \quad (11) \end{aligned}$$

在程序编码之前，将公式 $\delta(s, t, 0)$ 和 $K(s, t, p) - K(35, 0, p)$ 中的一些系数（标*号的项）减去，就可提高数字精度。

密度偏差 δ 定义为：

$$\delta = 1/V(s, t, p) - 1000 \text{ kg/m}^3$$

σ 公式可用类似推导得出如下：

$$\begin{aligned} \delta &= \rho(35, 0, 0) - 1000 \text{ kg/m}^3 + \frac{p}{V(35, 0, p)K(35, 0, p)} \\ &\quad - \frac{\delta}{V(35, 0, p)V(s, t, p)} \quad (12) \end{aligned}$$

这里

$$\rho(35, 0, 0) - 1000 \text{ kg/m}^3 = 28.106331 \text{ kg/m}^3$$

应注意，这个过程只提高数字精度，并不影响1980状态方程准确性，此准确性取决于构造该方程的实验室测试。

下列标有*号的常数是根据Millero and Poission(1980)公式中的常数经过修正而得，以便于计算比容偏差 δ 。计算比容偏差所需的经修改的常数列在下式的括号内。

$$\rho(S, t, 0) = p_w + (b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4)S + (c_0 + c_1 t + c_2 t^2)S^{3/2} + d_0 S^2 \quad (13)$$

$$b_0 = +8.24493E-1$$

$$c_0 = -5.72466E-3$$

$$\begin{aligned}
b_1 &= -4.0899\text{E}-3 & c_1 &= +1.0227\text{E}-4 \\
b_2 &= +7.6438\text{E}-5 & c_2 &= -1.6546\text{E}-6 \\
b_3 &= -8.2467\text{E}-7 & & \\
b_4 &= +5.3875\text{E}-9 & d_0 &= +4.8314\text{E}-4
\end{aligned}$$

标准纯水的密度 (SMOW, Craig, 1961) 由IUPAC (1976) 给出如下:

$$\rho_w = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad (14)$$

$$a_0^* = +999.842594[-28.263737]$$

$$a_1 = +6.793952 \text{ E}-2$$

$$a_2 = -9.095290 \text{ E}-3$$

$$a_3 = +1.001685 \text{ E}-4$$

$$a_4 = -1.120083 \text{ E}-6$$

$$a_5 = +6.536332 \text{ E}-9$$

今后若能得到更可靠的纯水数据, 上式也很容易修改。海水的正切体积弹性模量 K 给出如下:

$$K(S, t, p) = K(S, t, 0) + Ap + Bp^2 \quad (15)$$

其中

$$K(S, t, 0) = K_w + (f_0 + f_1 t + f_2 t^2 + f_3 t^3)S + (g_0 + g_1 t + g_2 t^2)S^{3/2} \quad (16)$$

$$f_0 = +54.6746 \quad g_0 = +7.944 \text{ E}-2$$

$$f_1 = -0.603459 \quad g_1 = +1.6483 \text{ E}-2$$

$$f_2 = +1.09987 \text{ E}-2 \quad g_2 = -5.3009 \text{ E}-4$$

$$f_3 = -6.1670 \text{ E}-5$$

$$A = A_w + (i_0 + i_1 t + i_2 t^2)S + j_0 S^{3/2} \quad (17)$$

$$i_0 = +2.2838 \text{ E}-3 \quad j_0 = +1.91075\text{E}-4$$

$$i_1 = -1.0981 \text{ E}-5$$

$$i_2 = -1.6078 \text{ E}-6$$

$$B = B_w + (m_0 + m_1 t + m_2 t^2)S \quad (18)$$

$$m_0 = -9.9348 \text{ E}-7$$