



海水电导率的温度效应

T. M. Dauphinee H. P. Klein

(加拿大国家研究会渥太华物理分会)

引言

海水电导率温度效应的资料,对于通过现场海水盐度-温度-深度(STD)测量给出的温度、电导和压力数据来确定盐度是重要的。这对于许多实验室的工作也是需要的。例如用一个实验室盐度计为基准进行电导测量装置的校正。在海洋测量中常用的函数是电导率 $R_{s,t,p} = C_{s,t,p}/C_{s,15.0}$ 。盐度(S)和压力(P)的影响可以用对基本温度系数关系 $R_{s,t,0} = C_{s,t,0}/C_{s,15.0}$ 的干扰来处理, S和P的影响可将 $R_{s,t,p}$ 写成下式来计算:

$$R_{s,t,p} = (R_{s,t,0}) \cdot [f_s(s, t, 0)] + f_p(s, t, p) \quad (1)$$

$$\text{或 } (R_{s,t,0}) \cdot [f_s(s, t, 0)] \times [g_p(s, t, p)] \quad (2)$$

用于海洋测量前式是较好的,因为它更能区分出不同项中主要和次要的变量。计算的步骤已经在几个刊物上进行过讨论,特别是在 Bennett (1976年)、Perkin 和 Walker (1972年)及 Rlbe 和 Howe (1975年)的著作中。

本文叙述测试仪器,叙述对标准海水和人造海水(由海盐制取) $R_{s,t,0}$ 随温度 t 的变

化,以及对任选的低盐度大西洋海水试样的 $R_{s,t,0}$ 随 t 变化的新的初步测定结果。测量正在进行中,不同盐度的 $R_{s,t,0}$ 随温度的变化将在以后发表。

以前测量 R 的方法,其步骤是把接近于所要求盐度的试样水注满电导管,在若干个温度点上测量,指示出电导值,在每个温度点上都要保证处于等温状态,而且要在某些参考温度上保证前一后数据的再现性,以检验系统的稳定。从不同的试验和现场测量到的数据是有一些矛盾的(在0.01%的水平上)。鉴于目前大量使用了盐度-温度-深度(STD)和电导-温度-深度(CTD)系统,在我们看来,需要仔细地温度系数进行重新确定。

此外,我们还发展了一种新型的实验室盐度计系统。在该系统中,一个连续缓慢流动的试样水,用一个高精度恒温搅拌槽建立热平衡状态。该试样水是在低气压的推动下,通过一个细孔的热交换器管再进入电导管的。水是直接从试样瓶中流出的,这样就使我们可同时从同一瓶中把完全相同的试样水馈送到两个电导管里,只要把水分成两个支流,每一路就流入各自的电导管。假如把两个电导管置于不同的

平均粒径 $M\phi$ 时,需将平移后算得的平均粒径 $\bar{X}_d$ 减去 $1/2\phi$ 。

下图是 Islote 海滩砂观测值平移前后的概率曲线图对比。Z是用原始观测值算得的概率曲线, Y 是将每个观测值 $+1/2\phi$ 以后算得的概率曲线。可以看出, Z和Y之间,除平均粒径差 $1/2\phi$ 以外,其他参数将是相等的。A、B是观测值变换前后理论曲线对比的例子。

这种方法同样适用于沉降管法分析的资

料。由于该方法对于冗长繁琐的矩法计算有所简化,因此颇有参考价值。

参考文献

- [1] Moussa. M. T., 1977, Jour. Sed. Petrology, 47(3):1295—1298.
- [2] 克鲁宾, W. C., 机械分析和统计分析, 海洋地质参考资料第五辑。王文远译, 谢继哲校。地质部海洋地质科学研究所, 1966年。

恒温槽中, 两槽的温度已精确测定, 且为 (t) 和参考温度 (例如 15°C), 那么 $R_{s.t.o.} = C_{s.t.o.}/C_{s.15.o.}$ 的值可以通过同时对两个电导管进行的测量来获得。假如 $\alpha = (C_b/C_a)_{s.t.o.}$ 是两个电导管在相同条件下电导读数之比, 那么

$$\frac{C_{s.t.o.}}{C_{s.15.o.}} = \frac{(1 - k\Delta t)\alpha(C_a)_{s.t.o.}}{(C_b)_{s.15.o.}} = \frac{(1 - k\Delta t)(C_b)_{s.t.o.}}{\alpha(C_a)} \quad (3)$$

式中, C_a 和 C_b 是两个电导管 a 和 b 在给定的温度下的电导读数, K 是该电导管材料的线性膨胀系数。假如这些电导管是由具有相同膨胀系数的相同材料做成, 调换两个温度的电导管, 那么从方程 (3) 就可以解出 α , 而不需要知道膨胀系数, 也就是

$$\alpha^2 = \frac{(C_b)_{s.t.o.}}{(C_a)_{s.15.o.}} \cdot \frac{(C_b)_{s.15.o.}}{(C_a)_{s.t.o.}} \quad (4)$$

而 $R_{s.t.o.} = C_{s.t.o.}/C_{s.15.o.}$ 的计算是需要进行膨胀校正的。对于 Pyrex 电导管, $k = 3.3 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$, 故这一校正是很小的。

测量系统

水样的流程系统示于图 1, 电导管、热交换器和流动机构的具体详情见图 2。在控制槽里的安装结构如图 3。使用铜温度计的测量电路如图 4, 电导测量电路示于图 5。

在电导管中, 由具有精确调节的基准电压 $(V_R^{\pm}, A_2)$ 的固态开关 (S_1, S_2) 产生方波电流,

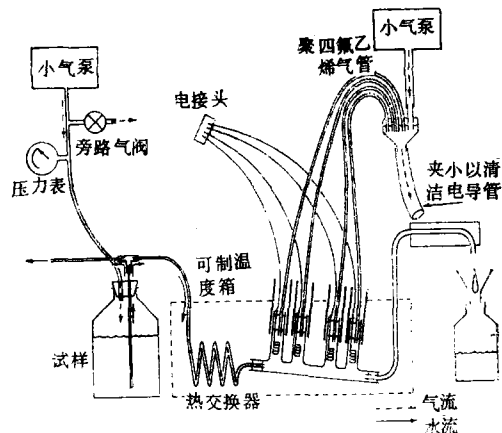


图 1 试样水流程图

该电流被 A_1 (增益 $G = 10^6$) 控制, 以使电导管电位引线端保持电压的方波成分不变。因此电

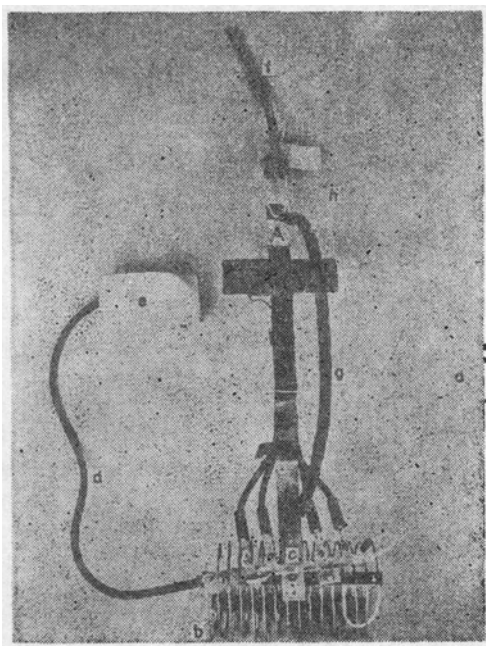


图 2 电导管、热交换器和冲洗机构图
a) 试样水进入管; b) 热交换器; c) 电导管; d) 试样水排出管; e) 泡沫塑料 (Styrofoam) 过滤层; f) 从泵进入加热器的气体进口; g) 来自加热器的气体出口 (为抽空电导管可夹断此出口); h) 聚四氟乙烯逸气管。

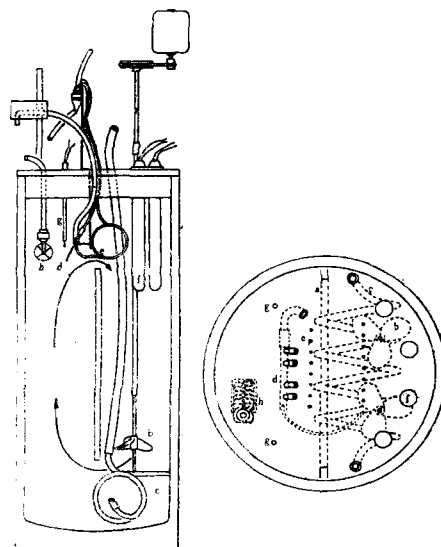


图 3 系统在槽中的结构图
a) 上下流分离板; b) 推进器; c) 冷却用蛇形管; d) 电导管; e) 热交换器; f) 加热灯; g) 控制用热敏电阻; h) 铜温度计。

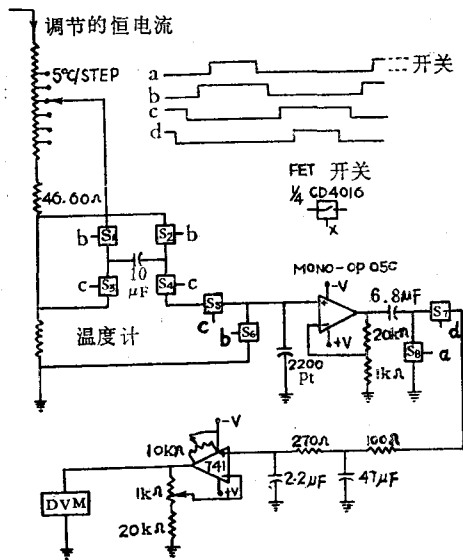


图4 温度测量电路

S_1-S_8 是 C/MOS 场效应晶体管开关 (RCA 型 4016)。DVM 是数字式电压表 (Hewlett-Packard 2401 C)，用于 1 秒积分时间常数。

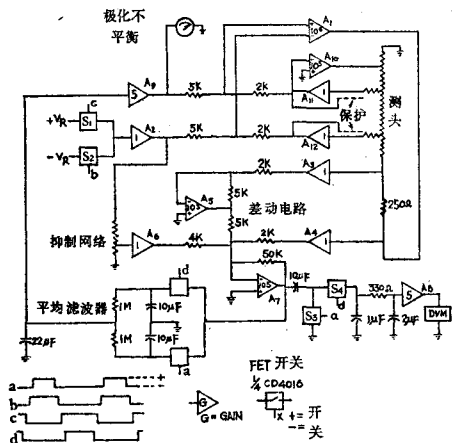


图5 电导测量电路

S_1-S_4 是 C/MOS 场效应晶体管开关 (RCA 型 4016)，放大器为 AD741K 型，场效应晶体管的输入放大器 A_{11} ， A_{12} 为 BB3522，高增益推动器 A_1 为 MONO OP 05。

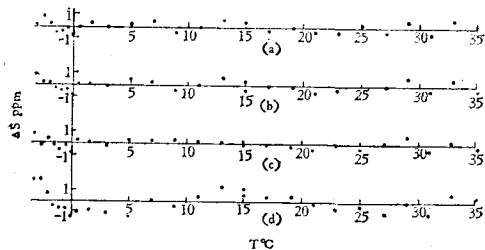


图6 测量值对相应方程计算值的偏差 (转换到盐度单位)

(a) 标准海水 (四阶方程); (b) 人工海水 (35‰); (c) 大西洋海水 (33.2‰); (d) 标准海水 (三阶方程)。

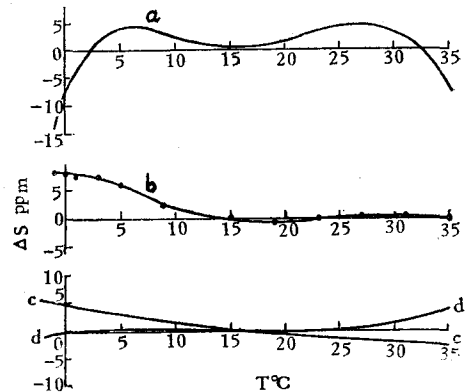


图7 标准海水四阶方程与 (a) Brown-Al-lentoft 方程的比较; (b) 用于红海水 (含 Cl 为 19‰, 实线) 和标准海水测量值的 Reeburgh 表比较; (c) 人工海水 (35‰ 盐度) 的比较; (d) 大西洋海水 (33.2‰ 盐度) 的比较。
 $\Delta S = S_t - S_{15^\circ C}$, S 是按照上述标准海水方程计算的。

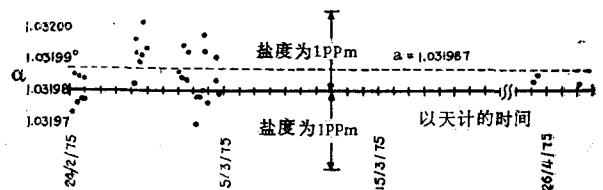


图8 从1975年2月24日到1975年3月15日的测量时间内 α 的全部测量结果

流的方波成分就正比于电导管的电导，与此相应，与电导管串联的250欧电阻上的电压也正比于此电导。这一电压可用一个隔离差动放大器 (A_3 , A_4 , A_5) 进行检测，并减去一个自基准方波引出的可变 (分24挡) 的抑制信号 (A_6)，相减后的差值方波由 (A_7) 放大，然后由 (S_3 , S_4) 解调成直流信号，用一个闭塞电容消除像温度测量电路中一样的另点偏移。最后的直流放大级 (A_8) 引出一个与温度测量电路中应用的 DVM 所要求数量级的直流信号。输出的增益调整使得每挡抑制正好相应于 DVM 上的电压变化为 5 V，其内部比率是使得 4 毫姆的电导 (即等于电导管电导 250 欧) 正好对应于抑制刻度盘上的 20 挡 (该刻度盘读数为 100.0000)。其它的电导可以从抑制刻度读数与 DVM 表上不平衡读数的相加读得。此刻度可以通过改变串联电阻

表 1 标准海水测量结果

表 2 盐度35‰人工海水测量结果

表 3 盐度33.2‰大西洋水测量结果

项 的 阶 次	系 数	项 的 阶 次	系 数	项 的 阶 次	系 数
×	0.00 6.76583621732512 E +05	×	0.00 6.76661411875715 E +05	×	0.00 6.76174323873233 E +05
×	1.00 2.00529363371316 E +02	×	1.00 2.00494255914538 E +02	×	1.00 2.00793997785684 E -02
×	2.00 1.11098951612006 E -02	×	2.00 1.10799663828969 E -02	×	2.00 1.11007864360830 E -02
×	3.00 -7.26681983149906 E -07	×	3.00 -7.11721142171976 E -07	×	3.00 -7.15179743544951 E -07
×	4.00 1.35868272850193 E -11	×	4.00 1.13296675471612 E -11	×	4.00 1.20685701751952 E -11
X	Y(DATA) Y(CALC) ERROR	X	Y(DATA) Y(CALC) ERROR	X	Y(DATA) Y(CALC) ERROR
1	-321.560 613277.0 613274.5 -2.5	1	-321.550 613376.0 613361.9 -14.1	1	-321.590 612786.0 612772.9 -13.1
2	-259.600 625302.0 625287.7 -14.3	2	-259.560 625383.0 625380.1 -2.9	2	-259.570 624812.0 624814.7 2.7
3	-199.410 637047.0 637043.6 -3.4	3	-199.400 637132.0 637123.1 -8.9	3	-199.400 636590.0 636583.1 -6.9
4	-149.800 646788.0 646796.1 8.1	4	-149.790 646875.0 646880.4 5.4	4	-149.780 646348.0 646350.8 2.8
5	-101.480 656342.0 656349.1 7.1	5	-101.440 656430.0 656433.0 3.0	5	-101.430 655913.0 655922.7 9.7
6	-48.200 666941.0 666944.0 3.0	6	-48.200 667017.0 667023.4 6.4	6	-48.220 666519.0 666521.9 2.9
7	-1.740 676222.0 676234.7 12.7	7	-1.740 676297.0 676312.6 15.6	7	-1.700 675818.0 675833.0 15.0
8	47.900 686213.0 686214.4 1.4	8	47.910 686294.0 686292.4 -1.6	8	49.920 685826.0 685821.8 -4.2
9	151.770 707276.0 707271.3 -4.7	9	151.770 707345.0 707343.2 -1.8	9	151.730 706895.0 706893.9 -1.1
10	301.200 737971.0 737971.2 0.2	10	301.210 738037.0 738038.2 1.2	10	301.220 737641.0 737645.3 4.3
11	500.530 779650.0 779647.7 -2.3	11	500.500 779706.0 779695.8 -10.2	11	500.500 779368.0 779363.6 -4.4
12	695.700 821237.0 821227.6 -9.4	12	695.720 821282.0 821275.3 -6.7	12	695.730 821012.0 821007.9 -4.1
13	895.840 864617.0 864628.2 11.2	13	895.830 864649.0 864657.6 8.6	13	895.780 864450.0 864442.8 -7.2
14	1100.730 909824.0 909823.9 -0.1	14	1100.730 909845.0 909843.5 -1.5	14	1100.730 909710.0 909708.0 -2.0
15	1306.150 955894.0 955879.1 -14.9	15	1306.180 955910.0 955893.5 -16.5	15	1306.110 955813.0 955812.1 -0.9
16	1499.970 999995.0 999984.3 -10.7	16	1499.970 999991.0 999981.1 -9.9	16	1499.970 999987.0 999982.6 -4.4
17	1500.310 1000060.0 1000062.2 2.2	17	1500.320 1000051.0 1000061.3 10.3	17	1500.310 1000063.0 1000060.6 -2.4
18	1699.950 1046117.0 1046122.8 5.8	18	1699.930 1046105.0 1046104.4 -0.6	18	1699.930 1046174.0 1046176.2 2.2
19	1911.220 1095529.0 1095529.3 0.3	19	1911.220 1095503.0 1095505.0 2.0	19	1911.230 1095649.0 1095654.9 5.9
20	2102.940 1140915.0 1140924.4 9.4	20	2102.930 1140874.0 1140888.6 14.6	20	2102.920 1141091.0 1141103.8 12.8
21	2291.850 1186138.0 1186149.4 11.4	21	2291.870 1186105.0 1186112.2 7.2	21	2291.910 1186411.0 1186409.8 -1.2
22	2503.430 1237359.0 1237354.8 -4.2	22	2503.440 1237302.0 1237305.6 3.6	22	2503.450 1237667.0 1237676.6 9.6
23	2714.710 1289028.0 1289038.3 10.3	23	2714.710 1288976.0 1288977.0 1.0	23	2714.720 1289435.0 1289430.4 -4.6
24	2907.650 1336709.0 1336688.1 -20.9	24	2907.620 1336633.0 1336609.8 -23.2	24	2907.620 1337163.0 1337138.1 -24.9
25	3102.120 1385111.0 1385127.1 16.1	25	3102.140 1385036.0 1385050.6 14.6	25	3102.140 1385642.0 1385658.9 16.9
26	3297.590 1434234.0 1434206.3 -27.7	26	3297.580 1434129.0 1434110.0 -19.0	26	3297.560 1434806.0 1434796.0 -10.0
27	3510.540 1488076.0 1488091.8 15.8	27	3510.550 1487972.0 1487984.5 12.5	27	3510.490 1488747.0 1488753.6 6.6
ACC. OF FIT 11.06052211258		ACC. OF FIT 10.4800119400		ACC. OF FIT 8.9616641998	
SIG. OF FIT 12.3069503848		SIG. OF FIT 11.6610226147		SIG. OF FIT 9.9715696411	

而随意变化。

铂温度计和温度电桥由 NRC 温度标准实验室进行校正,而铜温度计的校正和相互比较在一个测量槽中进行,在测量过程中定时校核。温差测量和绝对温度的总误差在 $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ 的数量级。电导管膨胀修正误差是微不足道的,总的修正不会超过 2.5 ppm 盐度。个别

电导读数的精度基本上可优于 $\pm 1/10^5$ (± 0.4 -ppm 盐度)。然而,电导测量总精度最好用再现度 α 表示,每一次测量对 R 进行两次测定,并且电导管互换一次。我们可以得出结论,电导测量误差所引起的不精确度基本上小于 ± 1 ppm 的盐度,而总误差将小于 $1.5-2$ ppm 的盐度。

结 果

在该系统的运行被证明是成功了之后,就可以在温度为 $-3.2-35^{\circ}\text{C}$ 的范围内,对标准海水、人工海水和大西洋海水进行测量。标准海水直接取自安瓿,人工海水取自用海盐配成盐度为35‰试样水的玻璃瓶中,而大西洋海水是从 Bedford 海洋研究所提供盐度很低的大西洋海水中任意选取的。这些测量的结果示于表1、表2和表3,表中还给出了根据用最小二乘法得出的四阶方程计算得到的数值,以及测量值与计算值之间的差。

对下列形式的方程,用最小二乘法得出的0到4阶项的常数列于表的顶部。

$$Y_{\text{calc}} = \frac{C_{s.t.o}}{C_{s.15.0}} \times 10^6 = \\ = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4$$

这里 $x = 100T$, Y_{data} 是测量值, Y_{calc} 是计算值, 误差 $\text{ERROR} = Y_{\text{data}} - Y_{\text{calc}}$, 而 S 是相当的盐度。

图6是用盐度单位表示的各个读数与四阶方程给出的计算值之差的曲线。也包括使用三阶方程时标准海水的差值曲线。由图中可见,三阶方程($\sigma = 24$)不能满足较精确的工作,而四阶方程($\sigma = 12$)可大为改善精度,使偏差不大于 $\pm 1\text{ppm}$ 。五阶方程却不能再进一步改善精度。图7是标准海水四阶方程与标准海水的 Brown-Allentoft 方程(1966年),用于红海水(19‰ Cl)的 Reeburgh 表与两组标准水的测量值(P37和P39)的偏差,以及与我们人造海水(盐度为35‰)和大西洋海水(盐度为33.2‰)四阶方程的偏差,已适当地修正到 T_{ss} 温度刻度和盐度差的容许值。

讨 论

在低于 25°C 的温度下,标准海水与大西洋海水之间有极好的一致性($-1-30^{\circ}\text{C}$ 温度下, $< \pm 1\text{ppm}$),是鼓舞人的,所示2‰的盐度差则是由于一个是密封的安瓿而另一个是非密封的玻璃瓶(带有几个传热器)以及完全不同的

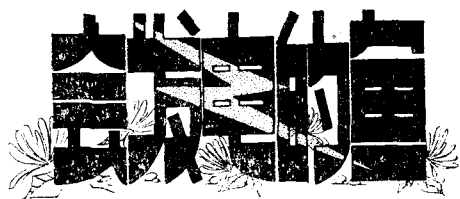
来源引起的。这大概意味着,不同来源的天然水,其温度系数的差别不会在盐度、温度和深度数据的转换或盐度、温度和深度仪器的校正中出现严重的问题。我们也不能(除去可能低于 0°C 之外)对过去的盐度、温度和深度计算提出不合理的误差要求,因为变化不会大于 Brown-Allentoft 的电导率的不确定度 $\pm 1/7500$ 或对两组标准水的 Reeburgh 的差。

Bennett, Perkin-Walker 和 Ribe-Howe 公式都可以很简单地使用,这与我们新的温度系数值结合是方便的。所要求的是用 Bennett 方程(3)、Perkin-Walker 方程(2)的适当比例常数或 Ribe-Howe 函数 R_s 代替我们的标准海水方程,我们所写出的方程要求代入在 T_{ss} 的标度上的温度,而 Ribe-Howe 方程的余项要求使用 T_{ss} 的温度。而且使用新数据排除了 Perkin-Walker 方程的必要,后者是根据我们早期(1970年)相当粗糙的试验(未发表)得出的。

在最后计算中全部采用相同的 α 数值(1.031987)。这是在早期六周的试验周期中确定并在实际测量中几次确认的。所有34个 α 的测定值与时间画于图8。对 $\alpha = 1.031987$ 的最大偏差仅仅相当于 0.8 ppm 的盐,而指出电导管长时间的稳定性仿佛在0.3 ppm 盐度的数量级或更好一些。

人造海水是用渥太华自来水(约 75 ppm 的盐)制成的,但用蒸馏水造成的海盐溶液来检验其读数,得出相同的数值。收到大西洋和标准海水时进行了精确的测量。这三型水之间存在着一定的实际差值,标准海水处于其它两型海水之间,更接近于实际海水。在使用人工海水对盐度、温度和深度系统进行校正时,应按注意点进行。

把测量范围扩大到大于正常凝固点下 1°C ,使我们能不用外推法而使逼近凝固点的曲线形状很精确。在这种连续流动系统中,相当过冷是可能的,我们对温度低至 -4°C ,盐度为20‰的水进行了测量,还将剩下的半凝态水留在电导管中一些时候而不冰冻。这是一个有趣的现



某些鱼类因为能发电称它们为电鱼，其电力是由发电器官产生的，其电压可达数百伏。



生活在南美洲河流中的电鳗 (*Gymnotus electricus*)，体长92公分时，可发出866伏的电压。生活在非洲河流中的电鲶 (*Malapterurus*)，体长60公分时，可发出 400—500 伏的电

压。海水中的电鳐 (*Torpedo*) 可发出220伏左右的电压，其它海产的电鱼发出的电压都比较低。

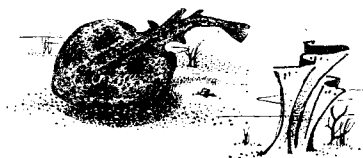
发电器官是电鱼放电的地方，是由肌肉或腺体组织衍化而成的。电鳐的发电器官位于鳃裂之间；电鳗的位于身体两侧，一直延伸到尾鳍部。发电器官是由多边形的柱状体组成，柱状体内又分成许多小的间隔，各柱状体之间被结缔组织的层板隔开。整个发电器官就象串连的蓄电池组，柱状体内的电板如同蓄电池的极板。电板的一面分布着神经，是负电性，另一面无神经分布则是正电性的。电板受脑和脊髓神经的支配。整个发电器官在鱼体上的位置是背面呈正电性，腹面呈负电性。发电器官的放电是连续脉冲放电，每个脉冲放电的时间只有2—3毫秒（毫秒是秒的千分之一）。高频放电每秒可达280次，低频放电每秒只有10—20次。温度对放电的时间有影响，温度高放电时间短，温度低放电时间长。电鳐的发电器官在10—30分钟内产生1,000—2,000余次的放电，才达到耗竭的程度。休息15分钟后，又恢复放电的能力。

象，但是我们怀疑它有否任何实用价值。

我们计划对大量不同来源和各种盐度的天然和人工海水的电导率的变化作进一步的测

由于电鱼发电器官是受神经支配的，当捕食和防御外敌入侵以及调整自身内部的某些活动时，便进行放电。发电器官是一种很完善的电学装置，它以极其经济的方式，存贮和释放出电能，电能耗竭后，经过一段时间的休息又可恢复。到目前为止，任何一种蓄电装置，在结构和效能方面都超不过它。电鱼发电器官的巧妙性，吸引着科学家们研究它的兴趣，一旦把发电器官的放电机理完全搞清楚后，那么对于改进现有的蓄电装置，将会起到有益的作用。

(郝 斌)



知识介绍

珊

瑚

珊瑚属于腔肠动物，是由许多腔肠动物个体组成的群体。这类动物包括低等的水螅、水母和海葵等。大多数腔肠动物都具有软的体躯，但是某些珊瑚类则被坚硬的钙质外套包围着。腔肠动物的共同特点之一是都有螯刺器。珊瑚类是造礁生物群落的重要成员，由于它们质地坚硬，耐受波浪冲击。珊瑚是一种似小海葵状的珊瑚虫，有短小的触手，肌肉不发达，生活在石凹内，底部有放射状的边缘。珊瑚礁就是由密集的珊瑚虫群体繁殖构成的。一般生活在20℃或更暖的水域中，大量生长在亚热带和热带海区。珊瑚呈现出各种鲜艳夺目的色彩，在清澈见底的水下，珊瑚礁常常展示出无比壮观的景色。

在珊瑚礁周围工作，碰到珊瑚礁也是一件

量。

林德辉摘译自1977年“Deep-Sea Research”24(10):891—902；徐世圻校)