

H-1 高圧環境(High Mass)Pneumotachographの試作

北里大学防衛庁技術研究本部

森田明紀, 八木順次

日本光電・海上自衛隊潜水医学実験部

周 慶仁, 大岩弘典

〔目的〕 300m (31 Ata) を越える飽和潜水における呼吸力学的な data の解析のため flow Pressure を測定するのに必要な Pneumotachograph の電氣的な精度及び安定性を得る。

〔実験方法〕

生体 Pneumotachograph における flow (気速) 測定は呼吸管に接続する抵抗管を流れる気流の両端の差圧を差圧 transducer で検知する方法である。抵抗管は現在 slit 状の Fleisch type のものが良いとされている (Fig. 1)。抵抗管を流れる気流が層流 (laminar flow) である限り、抵抗管両端の差圧は気速 (V) に比例すると考えて良く、流れの層流における式: Hagen-Poiseuille's law;

$$\dot{V} = \frac{Pr^4}{8l\eta}$$

: P = 抵抗管両端の差圧 (dynes/cm²)

: r = 抵抗管の径 (cm)

: l = 抵抗管の長さ (cm)

: η ≡ 気体粘性係数

が成り立つ。

Hagen-Poiseuille の式から分る如く、層流が成り立つには管径が大きく影響する。気速が早くなってくると、圧・流速関係は一次でなくなり、わずかな流速の増減のためにも大きな圧力の変化を示す。この時は乱流として考えて良く、Reynolds 数 (Re) ;

$$Re = \frac{\rho v r}{\eta}$$

: ρ = 気体の密度

: v = 気速

が関係し、このため高圧下のように気体密度が算術級数に増加する場合は Pneumotachograph の抵抗管の形状は、測定時の条件を満足するように設計しなければならない。

一般に市販されている Fleisch-type の抵抗管は最高気速を 1 ata, air, 5 l/sec. として設計され、各条件用に数種ある。

一方、transducer の側からみると、高圧環境; High Mass 効果による気速の微小変化を安

定状態で測定する上で、差圧計の構造が従来の差圧トランス型では、diaphragm displacement に直線的な感度が得られず、300m(31 ata)にも適する high mass の測定には不向きである。

このため、検知部に strain gage を用い感度を上げるため小型化し、材質に SUS-27 を用い、しかも body を一体化した構造にしたものを high mass pneumotachograph として試作することにした。

この一体化構造は transducer の姿勢変化による balance のくずれを防ぐ目的もある。strain gage を採用する上で、strain gage 個有の特性の差からくる応答差を防ぐため、平行につないだ 2 個の bridge の値の平均をとることにより基線の動揺を防いでいる。この SUS-27 を受圧膜とする strain gage 型 flow detector は高圧による温・湿度変化にも正しく追従する特性を有するものとして選んだものである。(Fig. 2)

〔実験成績〕

日本光電製の普通に用いられる Fleisch type 抵抗管 ($r = 4.4\text{cm}$) を用いた場合の、air, He-O₂(84%-64%) 混合ガス及び He を気速 0.5~4 l/sec, 深度 0~60m(0~200ft) 並びに 0~300m(0~1,000ft) における Re 数を求め、およそ 3000 を層流の限界値としてみた場合の適用の範疇を考察した。(table 1)

すなわち、air の場合には Re 数からみた場合では制限が大きく、He-O₂ の混合ガス使用の場合でも深々度では制限される。

次に、実際に air 及び He-O₂(84%~16%) 混合ガスを使用して Fig. 3 のような block diagram で測定した試作 high mass pneumotachograph の特性は次の如くであった。尚、使用した抵抗管は日本光電製の一般に使用されている Fleisch type ($r = 4.4\text{cm}$) のものである。

Om(大気圧)で測定した 0.5l/sec から 4.0l/sec に至る air 及び He-O₂ に対する出力電圧の特性は Fig. 4 のように He-O₂ では直線性が得られるも、air では 2.0l/sec 位が限界に思える。

このときの Re 数は air 2.0l/sec で 3548, He-O₂ 4.0l/sec では 1673 であった。

次に 0~40m の深度で測定した特性も 2.0l/sec を代表して試験してみると、air では 20m でくずれてしまうが He-O₂ では直線性が得られる。(Fig. 5) この時の Re 数は air 2.0l/sec 20m 環境下で 9982, He-O₂ では 4.0l/sec 40m で 3600 であった。

これらのことから、試作 high mass pneumotachograph を用いた、出力特性の linearity が得られる Re 数の限界値は 3000 以上で 3500 近くにあるようにみえた。

〔考察〕

市販抵抗管に接続した strain gage 型 flow detector の高圧下特性を検討した結果いまだ十分な数の実験を終了していないが、strain gage 採用による感度の向上 (~500 Hz) が、high mass 用に適当かと考えられる。

今後、抵抗管の形状等を考慮しながら、transducer の特性評価をつづけていく。

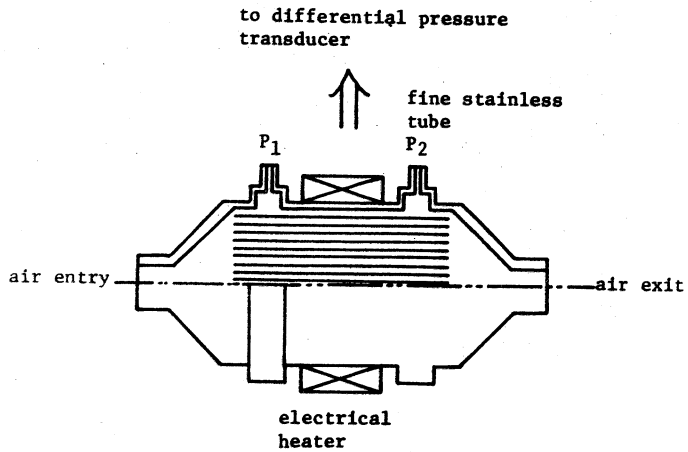


Fig 1 Fleisch type air flow transducer

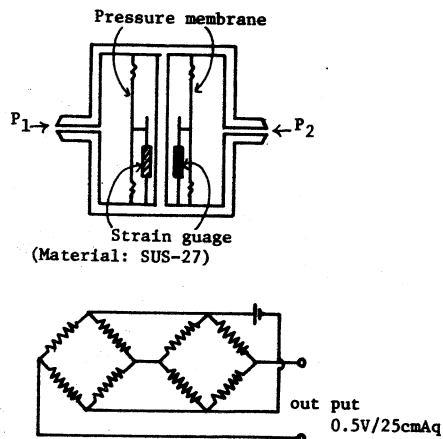


Fig 2 Schematic diagram & electric circuit of high mass pneumotachograph transducer.

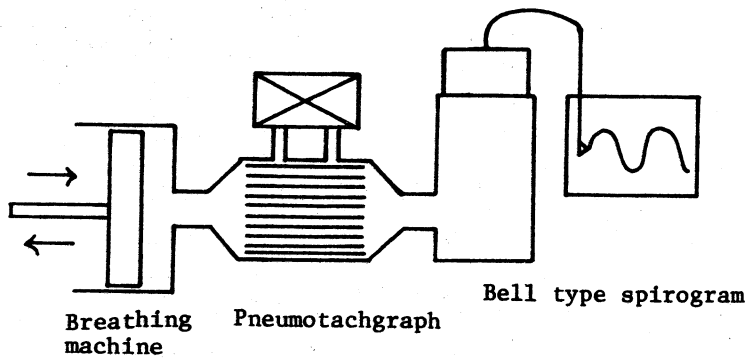


Fig 3 Schematic diagram of high mass pneumotachograph evaluation test.

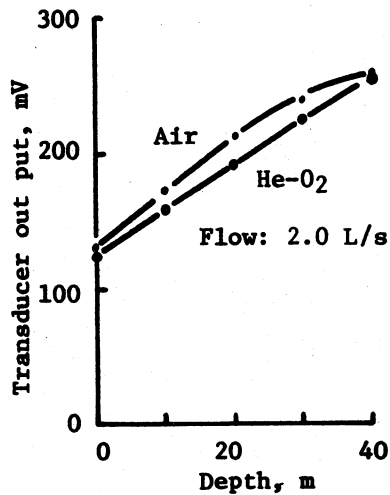


Fig 4 Calibration of high mass pneumotachograph transducer at 0 - 40 m.

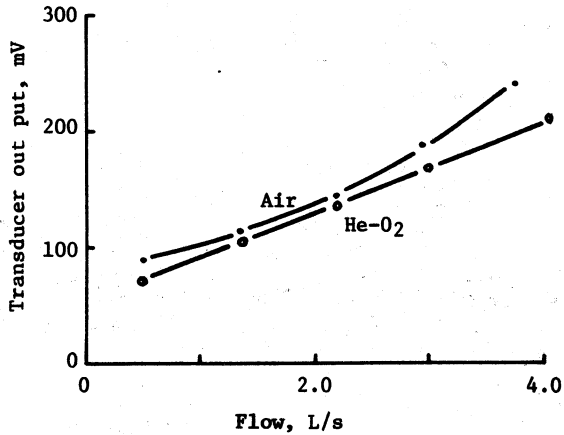


Fig 5 Calibration of high mass pneumotachograph transducer at 0 m.

Table 1 Reynold's number for various flow & depth.

D = 4.4 cm

Gas	Depth (ft)	Flow, L/s								
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
Air	0	887	1774	2661	3548	4435	5322	6209	7096	
	30	1690	3381	5072	6763	8454	10144	11835	13526	
	60	2495	4991	7486	9982	12478	14970	17560	19960	
	90	3301	6603	9905	13200	16500	19810	23110	26410	
	100	3566	7132	10690	14260	17830	21390	24960	28530	
	130	4371	8742	12110	17480	21850	26220	30590	34970	
	170	5444	10880	16330	21770	27220	32660	38110	43550	
	200	6227	12450	18680	24900	31130	37360	43580	49810	
	He/O ₂ (84/16)	0	209	418	627	836	1045	1254	1464	1673
		100	840	1680	2521	3361	4202	5042	5883	6723
200		1469	2939	4409	5879	7349	8819	10280	11750	
300		2097	4195	6292	8390	10480	12580	14680	16780	
400		2723	5446	8170	10890	13610	16340	19060	21780	
500		3347	6694	10040	13380	16730	20080	23430	26770	
1000		6440	12880	19320	25760	32200	38640	45080	51520	
He		0	112	224	336	449	561	673	786	898
	100	451	902	1353	1805	2256	2707	3158	3610	
	200	800	1601	2402	3203	4003	4804	5605	6406	
	300	1126	2253	3379	4506	5632	6759	7885	9012	
	400	1462	2925	4388	5850	7313	8776	10239	11701	
	500	1798	3596	5394	7192	8990	10788	12586	14384	
	1000	3460	6921	10382	13843	17303	20764	24225	27686	