



### 5. 圧力検査 (PRESSURE TEST)

前述したようにバルブで最も重要な機能に“流体を外へ漏らさない。”及び“流体の流れを制御する。”が含まれ、圧力試験はこれらの機能を直接検証する最も重要な検査と言える。

圧力試験は、バルブに気体又は液体を充てんし、加圧する試験方法。

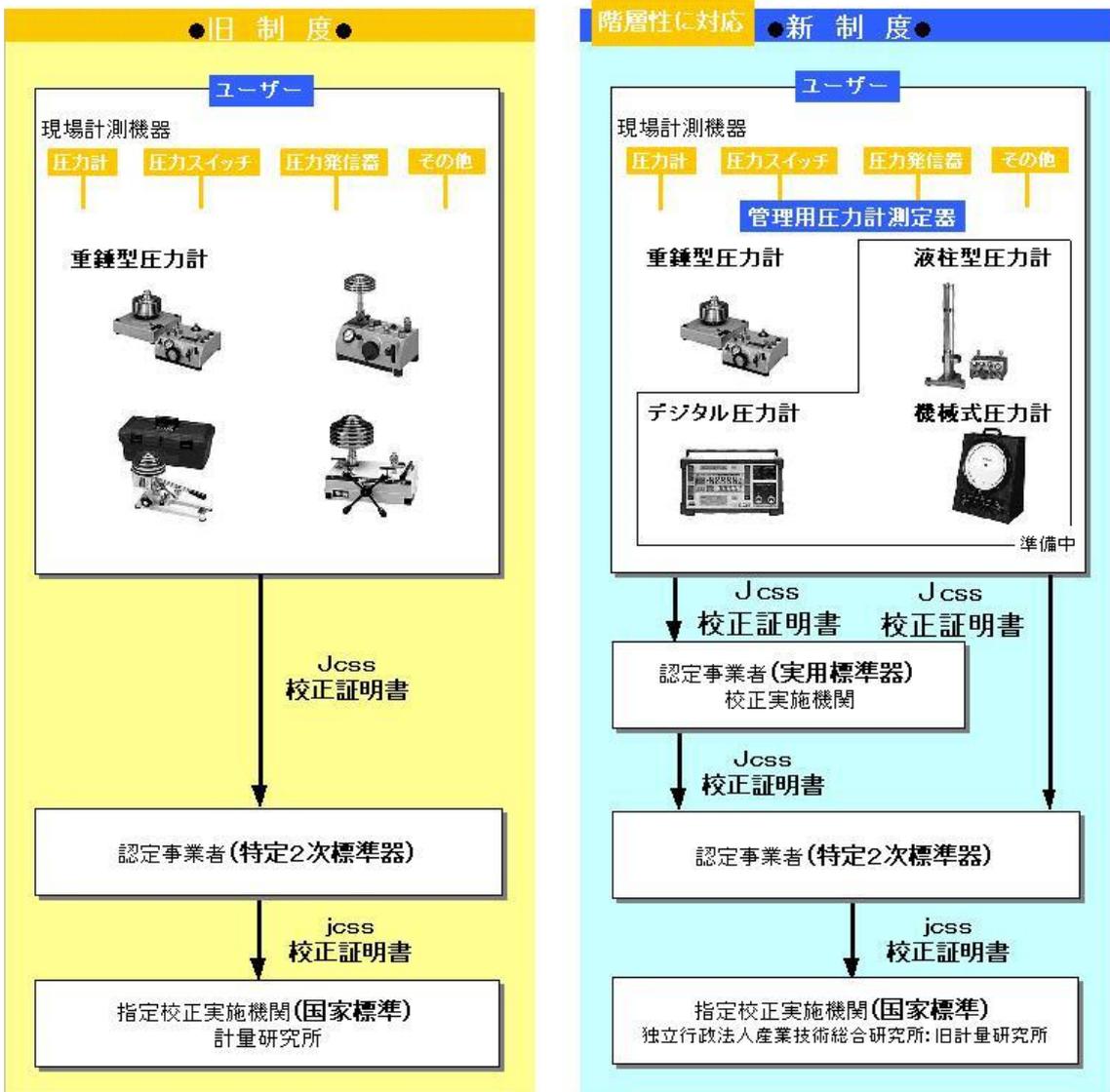
ここでは室温での圧力検査について解説を行い、低温及び高温での試験を機能検査の項目で解説します。

#### 5.1 試験設備

(1) 圧力計：ポンプ又は蓄圧槽の元及び検査をするバルブの各1個以上、合計2個以上。圧力計の最大目盛は、試験圧力の1.5倍以上3倍以下とする。

圧力計の校正（2001年4月改正）

- ・トレーサビリティ



(ワシノ機工のホームページより転載しました。)

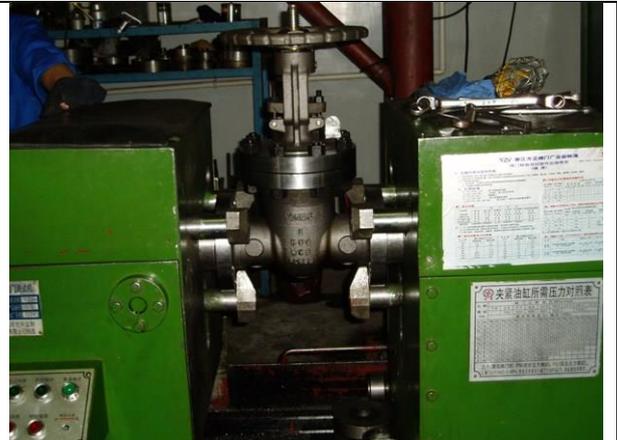
・圧力計の校正期間：計量法では1年ごとに上記トレーサビリティの証明がある基準器を用いたメーカーによる校正を定められていますが、バルブの圧力試験に用いられる圧力計は使用頻度が多く、3ヶ月又は6ヶ月ごとに校正・記録されることを推奨する。

圧力試験を立会する場合は、圧力計の機番と校正記録を確認する必要がある。



(2) 水圧ポンプ及び空気圧縮機：試験圧力の 1.2 倍以上の圧力を出すことができるもので、蓄圧槽等により脈動が発生しないような十分な力量のあるもの。また、高圧ガス保安法の規制を受ける空気圧縮機及び配管等は、都道府県の許可を得なければならない。

(3) 取付台又はプレス：



プレス方式 1：

この方法は、バルブ口径に治具を取付け、プレスで押付けて圧力を加える方法。

参考：試験圧力に対して、過大なプレス圧力を加えるとバルブが変形する。このような試験装置には圧カスイッチを取付け、試験圧力とプレス圧力が均衡を取れるようにしなければならない。また、水圧試験でバルブを立てた場合に Bonnet に空気が残り、正常な試験が出来ないことがありますので、空気を抜く方法を事前に確認する必要があります。

高圧弁の過去の例では、空気層が異常昇圧し、Packing が崩壊したことがあります。

プレス方式 2：

この方法は、配管側フランジにノブを引っ掛け、引っ張る方法。

中国では、こうした方法が多く見受けられた。参考：バルブへの変形は比較的小さいが、フランジの変形に注意を要する。また、大口径及び高圧弁には注意を要する。

バルブを立てた場合は、プレス方式 1 と同様のリスクがある。



この写真は、プレスで固定できないような大口徑高圧バルブで BW 部に試験治具を挿入し、クランプ方式でフランジを固定した方法。  
参考：この方式を採用する場合は、強度計算の検証を的確に行うこと。また、漏洩を直接確認できない部分があるので、試験方法を含め十分に検討しなければならない。  
その他、口径内にねじ加工を施し、治具をねじ込む方式で試験後にねじ部を加工する方法等もあります。

この写真は、検査台にバルブを固定して試験を行う方法です。  
この方法が適切な方法ですが、作業への負担がかかります。  
どの方法を選択するかは、メーカーの規模、バルブの種類、生産量等により適切な方法を考慮しなければならない。

その他、種々の試験方式がありますが、基本的には安全が確保され、バルブへの変形を最小限にし、十分に漏れを観察できる環境でなければなりません。



最近では欧米を中心に HSE(Health, Safety and Environment) MANAGEMENT が普及し、圧力試験設備の周りを防護壁で囲うことが要求される。左の写真はその一例である。  
また、作業員に対しても保護帽、安全靴、保護メガネ等の着用が規定され、実施されていることが求められる。



5.2 試験方法

ここでは、石油工業で世界的に認知されている API 598-2009 (Valve Inspection and Testing)を中心に解説を行い、各規格との比較を後述する。

(1) 圧力試験の種類 (Tests Required)

**Table 1—Pressure Tests**  
 Valves: DN (NPS) ≤ DN 100 (NPS 4) and ASME Class ≤ 1500  
 DN (NPS) > DN 100 (NPS 4) and ASME Class ≤ 600

Test Description	Valve Type					
	Gate	Globe	Plug	Check	Floating Ball	Butterfly and Trunnion Mounted Ball
shell	required	required	required	required	required	required
backseat <sup>a</sup>	required	required	NA	NA	NA	NA
low-pressure closure	required	optional <sup>c</sup>	required <sup>b</sup>	optional <sup>c</sup>	required	required
high-pressure closure <sup>d</sup>	optional <sup>c f</sup>	required <sup>e</sup>	optional <sup>b c f</sup>	required	optional <sup>c f</sup>	optional <sup>c f</sup>
NOTE NA = Not applicable.						
<sup>a</sup> The backseat test is required for all valves, except for bellows seal valves, that have the backseat feature.						
<sup>b</sup> For lubricated plug valves, the high-pressure closure test is mandatory and the low-pressure closure test is optional.						
<sup>c</sup> When the purchaser specifies an "optional" test, the test shall be performed in addition to the required tests.						
<sup>d</sup> The high-pressure closure test of resilient-seated valves may degrade subsequent sealing performance in low-pressure service.						
<sup>e</sup> For power-operated and manually operated gear actuated globe valves, including nonreturn type globe valves, the high-pressure closure test shall be performed at 110 % of the design differential pressure used for sizing of the operator.						
<sup>f</sup> A high-pressure closure test is required for all valves specified to be double block and bleed valves.						

**Table 2—Pressure Tests**  
 Valves: DN (NPS) ≤ DN 100 (NPS 4) and ASME Class > 1500  
 DN (NPS) > DN 100 (NPS 4) and ASME Class > 600

Test Description	Valve Type					
	Gate	Globe	Plug	Check	Floating Ball	Butterfly and Trunnion Mounted Ball
shell	required	required	required	required	required	required
backseat <sup>a</sup>	required	required	NA	NA	NA	NA
low-pressure closure	optional <sup>b</sup>	optional <sup>b</sup>	optional <sup>b</sup>	optional <sup>b</sup>	required	optional <sup>b</sup>
high-pressure closure <sup>c</sup>	required	required <sup>d</sup>	required	required	optional <sup>b e</sup>	required
NOTE NA = Not applicable.						
<sup>a</sup> The backseat test is required for all valves, except for bellows seal valves, that have the backseat feature.						
<sup>b</sup> When an "optional" test is specified by the purchaser, the test shall be performed in addition to the required tests.						
<sup>c</sup> The high-pressure closure test of resilient-seated valves may degrade subsequent sealing performance in low-pressure service.						
<sup>d</sup> For power-operated and manually operated gear actuated globe valves, including nonreturn type globe valves, the high-pressure closure test shall be performed at 110 % of the design differential pressure used for sizing of the operator.						
<sup>e</sup> A high-pressure closure test is required for all valves specified to be double block and bleed valves.						



- ・試験の種類としては、Shell Test (弁箱圧力試験)、Backseat Test (逆座漏れ試験)、Low-Pressure Closure Test (低圧弁座漏れ試験) 及び High-Pressure Closure Test (高圧弁座漏れ試験) 4 つに分類される。
- ・API598 は、バルブの Class 及び Size により、"Low-Pressure Closure" 又は "High-Pressure Closure" の要求が異なります。
- ・High-Pressure Closure Test が Option であってもメーカーはバルブの試験圧力に耐える構造を設計しなければならない。

参考 :

\* 高圧で大口径の Globe Valve はトルクシートが要求され、閉止圧力により構造設計が難しくなる。このような場合、メーカーは発注者と協議して試験圧力を配管ラインの設計圧力にデビエーションすることも考慮に入れることを推奨する。

\* Low- 又は High-Pressure Closure Test が Option になっても配管されるラインの圧力によっては、両方を適用することを推奨する。メーカー側は、Option の圧力に対する構造を保証するかもしれないが、規定漏れ量に関して保証しない場合がある。

(2) 試験流体 (Test Fluid)

- ・全ての試験の種類について、空気、不活性ガス、灯油、水若しくは水より粘性が高くない液体を認めている。
- ・試験流体の温度は、5℃から50℃の範囲と規定している。
- ・Low-Pressure Closure 及び Low-Pressure Backseat は、空気又は不活性ガス。
- ・各種の試験で空気又はガスを使用する場合、メーカーは事前に漏れの安全な検出方法についてデモンストレーションを実施しなければならない。
- ・バルブの接液部がオーステナイト系ステンレス鋼を用いている場合は、試験流体の塩化物含有量を 100ppm 以下にしなければならない。

参考 : この塩化物含有量の規定は、水圧試験後保管していたバルブステム(13Cr系)の Packing 接触面にピittingコロージョン/クレビスコロージョン等の隙間腐食が多発したことにより、定められたと記憶している。著者も30年以上前にこれらの腐食現象を経験し、調査した結果から試験流体の塩化物含有量を提言したことがある。これらの調査結果から多くの Packing メーカーは塩素イオンに反応する犠牲陽極を添加することになった。現在ではオーステナイト系ステンレス鋼の SCC (応力腐食割れ) を考慮した規定と思われるが、ステム材としてよく用いられる 13Cr系ステンレス鋼へも適用することを推奨する。

Shell-GSI/MESC では、2ppm 以下。



(3) 試験圧力 (Test Pressures)

度々記載してきたが Class 150,300,600,900,1500,2500,4500 等の表示は“呼び圧力” (Rated Pressure) と言う。数字自体は、psi(pounds per square in.)単位であるが、これらの数字自体の意味はない。ここで、少しバルブの設計の話になるが、バルブは木型及び金型で製作される場合がほとんどである。バルブが配管されるラインの温度、圧力、流体等により、個々に設計していたのでは木型・金型が膨大な数量になり、コスト面でも管理面でも複雑になる。そこで考えられたのが肉厚を規定して、Class、温度、圧力、材質毎に使用できる圧力を定めたものが、現在の ASME B16.34 に記載された表で極めて合理的な考え方です。但し、日本の高圧ガス保安法適用バルブについては、配管ライン毎の条件で肉厚を検証されている。

- ・ Shell Test Pressure: ASME B16.34 に示す表の 38℃の圧力を 1.5 倍し、25psig 毎に切上げた数値を試験圧力とする。
- ・ High-Pressure Closure and Backseat Test: ASME B16.34 に示す表の 38℃の圧力を 1.1 倍した数値を試験圧力とする。
- ・ Low-Pressure Closure and Backseat Test: 一律に 60~100psig と定めている。
- ・但し、Power-operated (Gate/Globe 他) and manual gear actuated globe valves については、High-Pressure Closure Test Pressure をアクチュエーターのサイジングする最大設計差圧の 1.1 倍とする。

参考：アクチュエーターのサイジングを行う場合、発注者から設計条件を提示されない場合、規定試験圧力で行うことがあるが、この場合、コストインパクトが極めて大きい。発注者は設計条件を提示することを推奨する。

Table 3—Shell Test Pressures

Valve Type	Class	Shell Test Pressure (Minimum)	
		Bar Gauge	Pounds per Square Inch Gauge (psig)
ductile iron	150	26	400
	300	66	975
cast iron	125		
DN 50 to 300 (NPS 2 to 12)		25	350
DN 350 to 1200 (NPS 14 to 48)		19	265
cast iron	250		
DN 50 to 300 (NPS 2 to 12)		61	875
DN 350 to 600 (NPS 14 to 24)		37	525
steel			
flanged	150 to 2500	b	b
butt weld	150 to 4500	b	b
threaded <sup>a</sup> and socket weld	800	c	c
	150 to 4500	b	b

<sup>a</sup> ASME B16.34 limits threaded-end valves to Class 2500 and lower.  
<sup>b</sup> Per ASME B16.34.  
<sup>c</sup> For Class 800 valves, the shell test pressure shall be 1 1/2 times the pressure rating at 38 °C (100 °F), rounded off to the next higher bar (25 psig), (see Table 2 of API 602).



Table 4—Other Test Pressures

Test	Test Pressure <sup>d</sup>	
	Bar Gauge	Pounds per Square Inch Gauge (psig)
Valves Except Butterfly and Check		
high-pressure closure and backseat <sup>a</sup>	b	b
low-pressure closure and backseat <sup>a</sup>	4 to 7	60 to 100
Butterfly Valve		
high-pressure closure	c	c
low-pressure closure	4 to 7	60 to 100
Check Valve		
high-pressure closure		
Class 125 (cast iron)		
DN 50 to 300 (NPS 2 to 12)	14	200
DN 350 to 1200 (NPS 14 to 48)	11	150
Class 250 (cast iron)		
DN 50 to 300 (NPS 2 to 12)	35	500
DN 350 to 600 (NPS 14 to 24)	21	300
Class 150 (ductile iron)	17	250
Class 300 (ductile iron)	44	640
carbon, alloy, stainless steel, and special alloys	b	b
low-pressure closure (see Table 1 and Table 2)	4 to 7	60 to 100
<sup>a</sup> The backseat test is required for all valves that have this feature. <sup>b</sup> 110 % of maximum allowable pressure at 38 °C (100 °F) in accordance with the applicable purchase specification. <sup>c</sup> 110 % of design differential pressure at 38 °C (100 °F) in accordance with the applicable purchase specification. <sup>d</sup> Single values shown are minimum test pressures. A range of values indicates both minimum and maximum test pressures.		



(4) 保持期間 (Test Duration)

各種試験圧力に加圧後、最低下記表に示す時間以上保持する。

Table 5—Duration of Required Test Pressure

Valve Size		Minimum Test Duration (Seconds) <sup>a</sup>			
DN	NPS	Shell	Backseat (for Valves with Backseat Feature)	Closure Check Valves (API 594)	Closure Other Valves
≤ 50	≤ (2)	15	15	60	15
65 to 150	(2 1/2 to 6)	60	60	60	60
200 to 300	(8 to 12)	120	60	120	120
≥ 350	≥ (14)	300	60	120	120

<sup>a</sup> The test duration is the period of inspection after the valve is fully prepared and is under full pressure.

(5) 許容漏れ量 (Test Leakage)

Table 6—Maximum Allowable Leakage Rates for Closure Tests

Valve Size		All Resilient Seated Valves	Metal Seated Valves Except Check		Metal Seated Check Valves		
DN (mm)	NPS (in.)		Liquid Test <sup>a</sup> (drops/ minute)	Gas Test (bubbles/ minute)	Liquid Test (cc/min)	Gas Test (m <sup>3</sup> /h)	Gas Test (ft <sup>3</sup> /h)
≤ 50	≤ 2	0	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	6	0.08	3
65	2 1/2	0	5	10	7.5	0.11	3.75
80	3	0	6	12	9	0.13	4.5
100	4	0	8	16	12	0.17	6
125	5	0	10	20	15	0.21	7.5
150	6	0	12	24	18	0.25	9
200	8	0	16	32	24	0.34	12
250	10	0	20	40	30	0.42	15
300	12	0	24	48	36	0.50	18
350	14	0	28	56	42	0.59	21
400	16	0	32	64	48	0.67	24
450	18	0	36	72	54	0.76	27
500	20	0	40	80	60	0.84	30
600	24	0	48	96	72	1.01	36
650	26	0	52	104	78	1.09	39
700	28	0	56	112	84	1.18	42
750	30	0	60	120	90	1.26	45
800	32	0	64	128	96	1.34	48
900	36	0	72	144	108	1.51	54
1000	40	0	80	160	120	1.68	60
1050	42	0	84	168	126	1.76	63
1200	48	0	96	192	144	2.02	72

<sup>a</sup> For the liquid test, 1 mL is considered equivalent to 16 drops.  
<sup>b</sup> There shall be no leakage for the minimum specified test duration (see Table 5). For liquid test, 0 drops means no visible leakage per minimum specified test duration. For gas test, 0 bubbles means less than 1 bubble per minimum specified test duration.



参考 1 :

・ Shell Tests 中、adjustable stem seals から漏れた場合は、不合格としない。

但し、メーカーが 38°C の Rating Pressure で漏れないことを証明する必要がある。

また、Shell Tests で Air or inert gas を用いて検査する場合は、漏れ検出の方法を明らかにする必要がある。例えば、No leakage の定義を最小漏れ量で表現することも考えられる。

メーカーの通常の品質管理においては、Drop (水滴) 又は Bubbles (泡) の肉眼での観察で漏れを認めていないケースが多い。

・ Low- & High-pressure closure tests で Disc 隔壁部、seat ring 背面及び Shaft seals からの漏れと構造的なダメージは認めていない。

・ 試験流体が気体の場合の試験方法 :

JIS Z2329-2002 (発泡漏れ試験/Methods for bubble leak testing) で詳細が規定しているので参考にすることを推奨する。また、発泡剤について、大気圧との差圧  $4 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$  Pa (1 atm=0.101325 MPa) で発泡が確認されるものとし、オーステナイト系ステンレス鋼等の試験体においては、低硫黄、低ハロゲンの発泡剤を使用することが望ましいとされている。これらの発泡剤は市販されている。一般用の家庭用洗剤は使用してはならない。

発泡漏れ試験は簡易な方法であるが、漏れ量の感度は高く、極めて厳しい検査と言える。

ASNT の HANDBOOK では、次のように感度を記載している。

TABLE 4. Relative ultimate leakage sensitivities of leak testing methods under ideal conditions with very high concentrations of tracer gases.<sup>a</sup>

Test Method	Minimum Detectable Leakage Rate	
	Pa·m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	(std cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
Liquid pressure drop	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>
Gas pressure drop	—	—
Pressure rise	— <sup>c</sup>	— <sup>c</sup>
Ultrasonic leak detector	10 <sup>-2</sup>	(10 <sup>-1</sup> )
Volumetric displacement <sup>d</sup>	10 <sup>-3</sup>	(10 <sup>-2</sup> )
Gas discharge	10 <sup>-3</sup>	(10 <sup>-2</sup> )
Ammonia and phenolphthalein	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup>	(10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-3</sup> )
Ammonia and bromocresol purple	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup>	(10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-3</sup> )
Ammonia and hydrochloric acid	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup>	(10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-3</sup> )
Ammonia and sulfur dioxide	10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup>	(10 <sup>-2</sup> to 10 <sup>-3</sup> )
Halide torch	10 <sup>-4</sup>	(10 <sup>-3</sup> )
Air bubbles in water	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-5</sup>	(10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup> )
Air and soap or detergent	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-5</sup>	(10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-4</sup> )
Thermal conductivity	10 <sup>-5</sup>	(10 <sup>-4</sup> )
Infrared	6 × 10 <sup>-5</sup> to 6 × 10 <sup>-7</sup>	(6 × 10 <sup>-4</sup> to 6 × 10 <sup>-6</sup> )
Hydrogen Pirani	10 <sup>-7</sup>	(10 <sup>-6</sup> )
Hot filament ionization gage	10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-8</sup>	(10 <sup>-6</sup> to 10 <sup>-7</sup> )
Mass spectrometer detector probe	10 <sup>-6</sup> to 10 <sup>-7</sup>	(10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-6</sup> )
Halogen diode detector	10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-9</sup>	(10 <sup>-6</sup> to 10 <sup>-8</sup> )
Hydrogen bubbles in alcohol	5 × 10 <sup>-7</sup>	(5 × 10 <sup>-6</sup> )
Paladium barrier detector	10 <sup>-8</sup> to 10 <sup>-9</sup>	(10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-8</sup> )
Mass spectrometer envelope test	10 <sup>-10</sup>	(10 <sup>-9</sup> )
Radioactive isotopes	10 <sup>-9</sup> to 10 <sup>-13</sup>	(10 <sup>-8</sup> to 10 <sup>-12</sup> )

a. Numbers not to be used as guides in practical leak testing.  
 b. Depends on volume tested and pressure range of gage.  
 c. Depends on volume tested.  
 d. Gas type flow meters.

\*上記表から、発泡漏れ 10<sup>-4</sup>~10<sup>-5</sup> Pa·m<sup>3</sup>/s (10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup> atm·cm<sup>3</sup>/s)程度検出可能であるとされている。



試験条件		漏洩状況	漏洩濃度
Heガス RT 5MPa	保持時間 20hr以上		5ppm以下
	保持時間 15hr以上		20ppm
	保持時間 20hr以上		338ppm

上記写真は、日本ピラー工業(株)殿の資料から抜粋しました。  
試験流体がヘリウムで、試験圧力が5MPaのボールバルブの Gland Packing 部からの漏れですが、かに泡の状況を参考にしてください。Rev.0B7

・API598では、Low- or High-Pressure Closure Testsの漏れ量を Drops (水滴) 又は Bubbles (泡) の数が基本になっている。しかし、実際の試験ではそれらを数えることが困難な場合が多い。

“Notes”では試験流体が**液体の場合**、16 drops = 1 ml と定めている。

Low- or High-Pressure Closure Tests を試験流体：気体で実施する場合は、加圧状態で Disc を全閉にして、片側を大気に開放して Seat 部分に発泡剤を塗布するか、水を満たして Bubble を観察する。但し、API598 程度の Bubble の漏れを観察する場合、発泡剤を塗布すると“かに泡”状になり Bubble を数えることができない。通常は検査治具を取付けた状態でビニールホース又は金属チューブ/パイプを治具に接続し、片方を水槽に入れ、漏れ量をメスシリンダー等で計量する方法が多い。規定漏れ量”0” No leakage は、昇圧後、規定保持時間で漏れないことを規定していますので、注意してください。

また、API 598 では、試験流体が気体の場合の 1 drop 当たりの漏れ量を規定していませんが、後述する ISO 5208-2008: Pressure Testing of Valves の Rate CC で規定していますので参考にしてください。



この写真は、Gate Valve に試験流体ヘリウムで High-Pressure Closure Test の試験圧力を加え、全閉後、片側を大気開放状態にし、発泡剤を塗布した状態です。

矢印 1 がシート部分で漏洩をかに泡で確認した状態です。

矢印 2 が Seat Ring 溶接部分でこの部分全周にも発泡剤を塗布し、漏れがある場合は不合格です。

矢印 3 が Disc の隔壁部でこの部分前面にも発泡剤を塗布し、漏れがある場合は不合格です。

矢印 4 が Body の口径部で、稀にはありますが铸造欠陥等で口径内から漏れることがありますので発泡剤を幅広く塗布しなければなりません。

また、口径内に水を満たす場合は、シート部だけでなく、Seat Ring 部の上 50mm～100mm まで満たすことを推奨します。あまり深く水を張ると水圧でシート漏洩までの時間が長くなります。



・ ANSI/FCI 70-2-1991: Standard for Control Valve Seat Leakage では、1 bobble = 0.15 ml と規定している。但し、6.3mm O.D., 肉厚 0.8mm のチューブを用い、水面下 3~6mm に沈め、切り口を水面に向け、10~52°Cの空気又は窒素ガスで試験圧力が最大差圧又は 50 psi のどちらか小さい圧力が条件で API598 の Low-Pressure Closure Test より若干圧力が低い。

・ Shell-GSI, MESC SPE 77/300-2007: PROCEDURE AND TECHNICAL SPECIFICATION FOR TYPE ACCEPTANCE TESTING (TAT) OF INDUSTRIAL VALVES では、6 mm O.D., 肉厚 1 mm のチューブを用い、水面下 5~10 mm に沈め、切り口を水面に向け、空気又は不活性ガスで、1 bubble = 0.3 ml、ヘリウムガスで、1 bubble = 0.4 ml

(試験圧力は規定の圧力 : Low- & High Pressure Closure Tests) と定めている。

・ その他の規格の許容漏れ量 :

ISO 5208-2008: Pressure Testing of Valves が 2008 年に改訂され、漏れ量が Rate A から Rate G まで大幅に増え、API 598 の漏れ量も Rate AA 及び Rate CC として取り入れている。また、適用範囲も Gate/Globe Valve では Backseat Test(水圧/High-Pressure)が Option になり、Shell Test (水圧/High-Pressure)では Stem seal (Packing)からの漏れを認めている。但し、× 1.1 CWP の水圧試験での漏れは認めていない。(API598 と整合が図られたと思われる。)

詳しくは、次に示す表を参照してください。

Valve の種類による多様化が仕様に反映したと思われる。

Table 1 — Prescribed pressure tests

Test	DN	PN or Class	Gate valve	Globe valve	Plug valve <sup>a</sup>	Check valve	Floating ball or diaphragm valve	Butterfly or trunnion mounted ball valve
Shell test Liquid test	All	All	Required	Required	Required	Required	Required	Required
Shell test Gas test	All	All	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional
Backseat test <sup>b, c</sup> Liquid test	All	All	Optional	Optional	Not required	Not required	Not required	Not required
Closure test Gas Low-pressure	DN ≤ 100	Class ≤ 1 500 and PN ≤ 250	Required	Optional	Required	Optional	Required	Required
		Class > 1 500 and PN > 250	Optional	Optional	Optional	Optional	Required	Optional
	DN > 100	Class ≤ 600 and PN ≤ 100	Required	Optional	Optional	Optional	Required	Required
		Class > 600 and PN > 100	Optional	Optional	Optional	Optional	Required	Optional
Closure test Liquid High-pressure	DN ≤ 100	Class ≤ 1 500 and PN ≤ 250	Optional	Required	Optional	Required	Optional	Optional
		Class > 1 500 and PN > 250	Required	Required	Required	Required	Optional	Required
	DN > 100	Class ≤ 600 and PN ≤ 100	Optional	Required	Optional	Required	Optional	Optional
		Class > 600 and PN > 100	Required	Required	Required	Required	Optional	Required

NOTE 1 Successful completion of an optional test does not relieve the manufacturer from also successfully completing the required test.

NOTE 2 In the case of resilient seated valves, a high-pressure closure test may degrade subsequent closure sealing performance in low-pressure applications.

<sup>a</sup> Plug valves that rely on a sealing compound to effect a closure seal may be closure tested with the compound installed.

<sup>b</sup> Successful completion of a backseat test should not be interpreted as a recommendation by the valve manufacturer that, while an installed valve is pressurized, the stem seal may be altered, repaired or replaced when backseated.

<sup>c</sup> In the case of bellows stem sealed valves, a backseat test is not required.



Table 4 — Maximum allowable closure test leakage rate

Test fluid	Unit leakage rates	Rate A	Rate AA	Rate B	Rate C	Rate CC	Rate D	Rate E	Rate EE	Rate F	Rate G
Liquid	mm <sup>3</sup> /s	No visually detectable leakage for the duration of the test	0,006 × DN	0,01 × DN	0,03 × DN	0,08 × DN	0,1 × DN	0,3 × DN	0,39 × DN	1 × DN	2 × DN
	drops/s	No visually detectable leakage for the duration of the test	0,000 1 × DN	0,000 16 × DN	0,000 5 × DN	0,001 3 × DN	0,001 6 × DN	0,004 8 × DN	0,006 2 × DN	0,016 × DN	0,032 × DN
Gas	mm <sup>3</sup> /s	No visually detectable leakage for the duration of the test	0,18 × DN	0,3 × DN	3 × DN	22,3 × DN	30 × DN	300 × DN	470 × DN	3 000 × DN	6 000 × DN
	bubbles/s	No visually detectable leakage for the duration of the test	0,003 × DN	0,004 6 × DN	0,045 8 × DN	0,340 7 × DN	0,458 4 × DN	4,583 7 × DN	7,129 3 × DN	45,837 × DN	91,673 × DN

NOTE 1 The leakage rates only apply when discharging test fluid to the atmosphere.  
NOTE 2 The closure leakage rate that applies is either that identified in a valve product standard or a leakage rate identified in a purchaser's valve procurement purchase order that is more stringent than that specified in the product standard.  
NOTE 3 The meaning of "No visually detectable leakage" is that there is no visible weeping or leakage in the form of drops or bubbles.  
NOTE 4 There is a loosely defined correspondence between the leakage rate acceptance values of API 598 and the leakage values Rate A as applied to DN ≤ 50, Rate AA-Gas and Rate CC-Liquid for other than metal seated check valves and for check valves Rate EE-Gas and Rate G-Liquid. Rates A, B, C, D E, F and G correspond to values in EN 12266-1.

参考 2 :

・ DBB 及び DIB について :

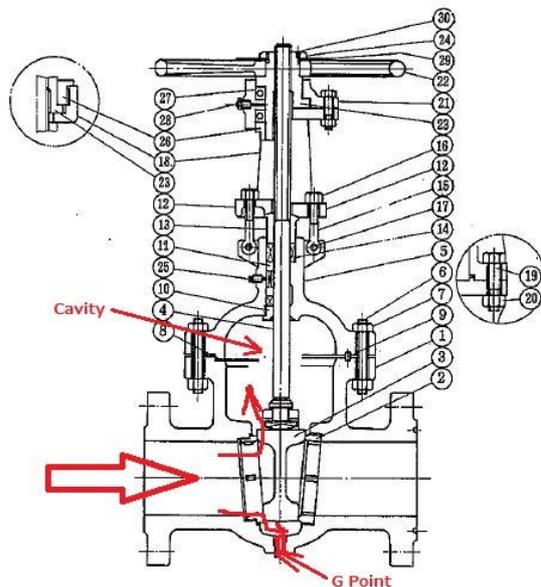
API 598-2009 には、次のように定義されています。

DBB (Double-Block-and-Bleed valve)

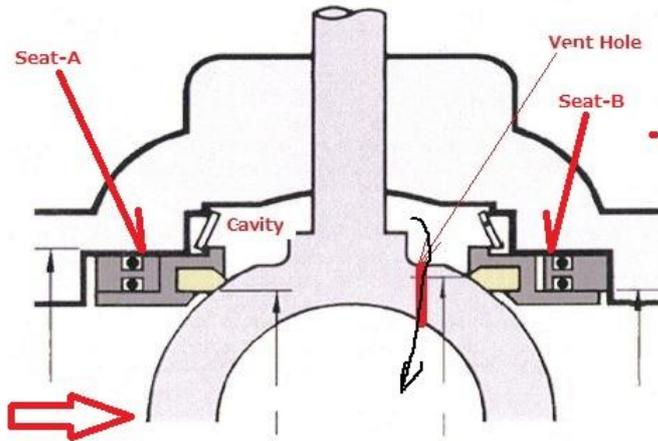
“Valve with two seating surfaces that when in the closed position, blocks flow from both valve ends when the cavity between the seating surfaces is vented through a bleed connection provided in the body cavity.”

DBB について、概要を解説します。

“Valve with two seating surfaces”とありますから、対象 Valve は主に Gate Valve, Ball Valve 及び Expanding Gate Valve が対象になります。



左図は、Gate Valve を示しています。通常ですと矢印側から圧力を加えると一時側の Body Seat から Body Cavity に流体が漏洩し、二時側の Body Seat で Seal する構造になっています。この現象は Disc に可塑性があるためで、圧力により Body が変形しても Disc が Body Seat に追従して Seal 性能を向上するための構造です。しかし、DBB を購入者が指定した場合は、Cavity 内への漏れを規制するものです。漏れの確認は、左図のように G-Point に漏れ観察用のバイパスを設け、規定漏れ量以内を合格としています。(両側について検査します) DBB での保持時間は、規定の 2 倍とされています。G-Point にバイパスを設けられない場合は、購入者側との協議が必要です。Gate Valve を DBB にする場合は、Body 及び Disc の圧力に対する剛性の設計検証を行わなければなりません。



左図は、トラニオン形 Ball Valve の Seat 構造(Double-Piston Type)を示したものです。

Ball Valve は、Gate Valve と Seating の構造が異なります。

圧力を矢印側から加えると、Seat-A が移動し、Ball に密着することによりシールする構造です。

従って、Cavity 内への漏洩が制限されます。また、Cavity 内の圧力により Seat-B の片側が Ball に密着し、下流側への漏洩が制限されます。

Cavity 内への漏れ量の測定方法は、購入者と協議してください。

注意：Double-Piston Type の場合、Cavity 内に入った圧力が抜けませんので、下流側が大気解放状態で Valve を Open 側に作動した場合、Cavity 内の圧力が急激に大気側に解放され Seat 構造によっては O-Ring の飛び出し事故があります。そのため図のように Vent Hole を設けています。

その他、DBB については、API 6D (Specification for Pipeline Valves)でも次のように定義されています。

DBB (Double-Block-and-Bleed valve):

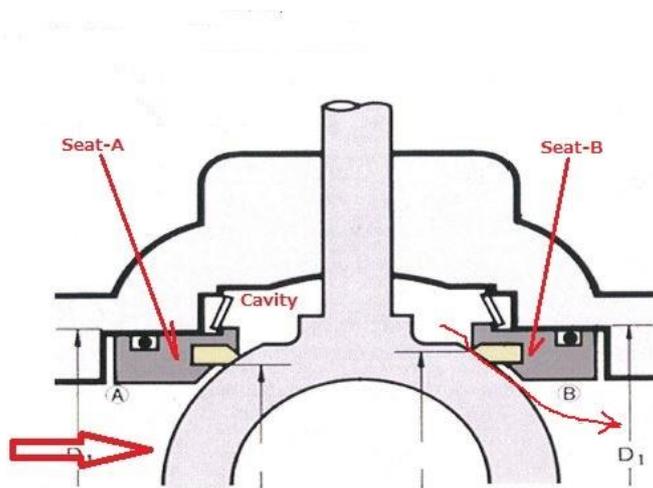
“Single valve with two seating surfaces that, in the closed position, provides a seal against from both ends of the valve with a means of venting/bleeding the cavity between the seating surfaces.

NOTE This valve does not provide position double isolation when only one side is under pressure. See double-isolation-and-bleed valve”

DIB (Double-Isolation-and-Bleed valve):

“Single valve with two seating surfaces, each of which, in the closed position, provides a seal against pressure from a single source, with a means of venting/bleeding the cavity between the seating surfaces.

NOTE This feature can be provided in one direction or in both direction.”



左図は、トラニオン形 Ball Valve の Seat 構造(Single-Piston Type)を示したものです。

矢印側から加圧すると Seat-A が移動し、Ball に密着することによりシールする構造で Double-Piston Type と同じですが、Cavity 内に入った圧力は Seat-B を通して、下流側へ漏れます。

\*Ball Valve の上記構造図は、Qublock 結城社長から提供されました。



### トピックス 1 : 漏れ量と保持時間のお話し。

条件設定 :

Class600-18" RF Gate Valve をサンプルに規定漏れ量と測定時間の関係を考察する。

シート漏れ観察を水柱 5mm から 10mm で観察し、18"の規定漏れ量を 8.1 cc/min.と Rate B で規定されているとすると。

ここで、試験流体をヘリウム、試験温度 15°C、バルブ全閉時の出口側容積を 226 liter.とする。

15°C、水柱の圧力は、1 atm = 10.332 mAq.であるから、

絶対圧力で、

5mm 水柱 = 1.0004839 atm

10mm 水柱 = 1.0009679 atm

従って、容積 226 liter、15°Cでヘリウムが大気圧との差圧 0.0004839 atm 又は 0.0009679 atm 上昇するまでの時間を算出すればよい。

計算 :

$p'v = nRT = (w/M)RT$  ... 1 式

$p'v = (w'/M)RT$  ... 2 式

ここで、

P:大気圧 1 atm、v:容積 226 liter、大気 w:He 重量 g、M:He モル量 4.0026、

R:ガス定数 0.08205 l.atm./deg/mol、T:試験温度 (絶対温度) 288.16 deg.K

P':水柱 (絶対圧力) 5mm 水柱 = 1.0004839 atm 又は 10mm 水柱 = 1.0009679 atm

ここで、水柱で漏れるまでのヘリウムの必要増加重量 :  $w' - w$  (g) =  $\Delta w$

1 式及び 2 式から

$\Delta w = (v.M.(p' - p))/R.T$  ... 3 式

3 式に上記条件を代入すると、

$38.259 \times (p' - p)$  となる。

従って、5mm 水柱で 0.01851g、10mm 水柱で 0.03703g、それぞれヘリウムが増えれば漏れを観察できることになる。

ここで、規定漏れ量  $8.1 \times 10^{-3}$  liter/min.が漏れたとして、漏れを観察できるまでの時間を算出すると、

$p'$  atm, 288.16 K,  $8.1 \times 10^{-3}$  liter/min. のヘリウムの重量は、2 式から、

5mm 水柱で、 $1.3719 \times 10^{-3}$  g/min、10mm 水柱で、 $1.3725 \times 10^{-3}$  g/min.であるから、

5mm 水柱で、約 13.5 分

10mm 水柱で、約 27.0 分

となる。

結論 :

出口側を大気圧に解放後、class600-18" RF Gate Valve は、15°Cで約 13 分から 27 分の間もれが無い場合は、ISO5208 の Rate B の規定漏れ量以下である。

チューブを用い水槽(水柱 5mm から 10mm)で漏れ量を計測する方法では、API598 でも BS6755 でも 18"の最低保持時間は 2 分ですから、2 分以内に漏れがなくても Rate B を満足することの保証にならない。

ここで解ることは、一度大気解放して残圧をゼロにすると漏れ量が微量な場合、漏れを検出するまでに時間を要することである。(規定保持時間では許容量を超えている可能性がある。)

方法としては、大気解放する前に残圧の状態で漏れを計測し、一定の漏れ量になるまで測定することが正確な漏れ量を把握する方法になる。



トピックス 2 : N<sub>2</sub> 又は He を試験流体に用いた場合の漏れ量の違い。

低温試験等では、試験流体に N<sub>2</sub> 又は He 又は混合ガスを用いて弁座漏れ試験(Closure Test)を行います。それでは N<sub>2</sub> と He で漏れ量に違いがあるのでしょうか？

“ある” と考えるのが一般的です。それらの根拠について記載します。

あくまで参考としてください。

設定条件としては、シート面からの漏れを分子漏れと想定します。

分子漏れの Leakage Rate の計算式は、

$$Q = 3.342 \frac{r^3}{l} \sqrt{\frac{RT}{M}} (P_1 - P_2)$$

(ASNT LT Handbook から引用)

ここで、

Q: Leakage Rate (Pa · m<sup>3</sup> / sec.)

r: Radius of leakage tube (m) ここではシート面の微細なキズと解釈する。

l: Length of leakage tube (m) ここではシート面の微細なキズと解釈する。

M: Molecular weight of gas (g/mol)

P<sub>1</sub>: Upstream Pressure (Pa) 加圧側

P<sub>2</sub>: Downstream Pressure (Pa) 大気開放側

T: Absolute temperature (K)

R: Gas constant R=8.315 J · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>

N<sub>2</sub> の漏れ量を Q<sub>1</sub>、He の漏れ量を Q<sub>2</sub> とすると、

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

従って、

N<sub>2</sub> : 28.0134 g/mol、He : 4.0026 g/mol とすると、

ヘリウムガスは、窒素ガスに比べ約 2.65 倍漏れることになる。



(6) 試験手順 (Pressure Test Procedure)

a) 一般

- ・ 圧力試験は、100%実施すること。
- ・ グリスシール構造のプラグバルブ等を除き、シート部分にシール用グリース等を付けないこと。但し、“かじり”防止の目的で灯油より粘性の低いものであればシート面に塗布してもかまわない。
- ・ 水圧試験では、残留空気を排除すること。
- ・ 塗装はしていないこと。
- ・ Closure Testing (弁座漏れ試験) は、MSS SP-91 (Guidelines for Manual Operated Valves) に示すハンドル操作力及びメーカーが定める操作力を超えるような過大な力で操作しないこと。

b) Backseat Test (逆座漏れ試験)

- ・ ベローシールバルブ及び Backseat 構造でないバルブへの適用はない。
- ・ 加圧前にバルブを全開し、Stem が Backseat に当たるのを確認後、Gland Bolt を緩め、バルブに試験流体を満たし、試験圧力を加えて、規定時間保持後に Packing 部分からの漏れを確認する。
- ・ バルブのサイズが 4"以下については、Shell Test (弁箱圧力試験) と同時に Shell Test Pressure で行うことができる。但し、メーカーは、通常の Shell Test による Packing からの漏れを確認する必要がある。
- ・ Backseat Test に合格した製品であっても、加圧状態で Packing を交換することを推奨するものでない。まして、配管後のバルブで圧力が残った状態での Packing 交換は絶対に行っては行けない。

参考 :

気体にて Backseat Test を行い、かに泡状に漏れた場合、残圧をゼロにしても漏れ続けることがある。このような場合は、Packing を交換するか翌日に再試験を実施することを推奨する。

- ・ 試験終了後、Gland Bolts を規定のトルクで締付け、バルブを半開状態にする。

c) Shell Test (弁箱圧力試験)

- ・ 規定の圧力まで昇圧し、Body, Bonnet/Cover, Gasket, Packing 及びその他の部分からの漏れを確認する。

**注意 : 気体にて Shell Test を実施する場合は、事前に水圧で確認することを推奨する。**

d) Low-&High-Pressure Closure Test (低圧及び高圧弁座漏れ試験)

- ・ 規定の試験圧力で加圧した状態 (Bonnet、その他の内部空間に加圧された状態) で全閉し、片側を開放し、水を満たすか、発泡剤を塗布して漏れを確認する。

Double block-and-bleed Type を除き、Gate Valve は、両側について漏れ試験を行う。

Globe Valve は、規定の流れ方向について漏れ試験を行う。

Check Valve は、下流側から加圧し、漏れ試験を行う。

Double block-and-bleed Type Gate Valve は、全閉後に両側から個々に規定試験圧力を加え、バルブ内部からの漏れを Tapped Connection から確認する。試験後、Plug を取付ける。

- ・ API598 では、Body/Bonnet 内部に試験圧力を内封した状態での試験を認めていない。

5.3 その他

圧力試験はバルブの種類及び規定により試験方法が異なります。発注者は、メーカーとの間で検査要領書 (Inspection and Test Procedure) 及び検査計画書 (Inspection and Test Plan) を取り交わし、立会項目を含め承認作業を行うことを推奨します。

特に高圧ガス保安法適用バルブについては前述した方法と異なりますので、メーカーは通達を遵守し、安全対策を強化するよう管理願います。