★★ 論文・報告 ★★

真空中における石炭内部ガスの排出について*

正 会 員 黒 岩 忠 春**

On Secretion of Gas from Coal in Vacuum

Tadaharu KUROIWA

It is said that the parts surrounding gas-zones in a coal seam are more porous and broken than other parts; and there, the author thought that the sample of coal brought from such parts might discharge the included gas rapidly when it was put in vacuum. The author made a testing apparatus of the rate of secretion of gas from the sample of coal and tested these rates of the samples brought from the Horonai coal seam and the Ōnoura coal seam (under some conditions).

The author found that $op \Delta p$ (index of the rate of secondary secretion of gas) was almost linearly proportional to the porosity and had no relation to the friability of sample of coal, while q (index of the volume of primary secretion of gas) was linearly proportional a little to the later and had little relation to the former.

1. 序 文

ガス突出の予知法としては、炭層や湧出ガス等の特殊な変化をとらえて、それを経験的・統計的に判断する方法が主に用いられている様であるが、まだ正確に予知効果をあげ得る事は少ないといわれる。この事は、最近行われた一連の調査・統計によつても明らかにされている。

突出は炭層がもめて粉化した所に多いといわれ、突出の前兆として、排気中のガスの増加、炭壁の湿り、炭層内奥部での山鳴等がしばしば認められている。また、突出の源は、多量のガスを吸着しているガス・ゾーンであろうという事も広く認められているようである。

突出の原因に関するこれ等の特徴から、極めて脆弱で比表面積の大きいガス・ゾーンやその周辺を何らかの方法によつて探知する事が、突出の予知法として大切な事に思われる。しかし、常時炭層の脆弱性を調べる簡便で正確な方法はほとんどない様で、Friability percentを測定する方法（ASTM 試験法）も、供試粒径の規定が中塊となつているため測定の範囲が極めて制限され、突出が起る程に著しく粉化している箇所では試料の採取すら不可能な場合が多いのではないと思われる。そこで、石炭の比表面積の状態を何らかの方法で測定する事が、予知法として良い方法ではないかと考えた。しかし、比表面積の測定法として考えられる透過法や孔隙率測定法等は、炭鉱現場で行うには測定時間や操作からみて、いささか不便であるので、これ等に代るものとして、真空中においた場合の石炭の排ガス量や排ガス速度を測定す

る方法があるのではないかと考えた。

また、ソ連のバルジン⁴⁾、リーデン⁵⁾等の諸氏による最近の研究によると、圧力の平衡が破れた時に吸着相から自由相へ転移するガスの量が突出エネルギーに大きな影響を与えるという事であり、もしそうであれば、真空中におかれる排出させられるガスの量や速度は、その石炭が突出を起しやすい状態に近いかどうかをさらによく明らかにするのではないと思われる。

本文は、排ガス速度の実験装置を試作し、これによつて石炭が真空中におかれた場合の内部ガスの排出傾向を求め、排ガス量や排ガス速度が石炭の破碎性や孔隙率とどの様な関係にあるかを調べたものである。

2. 実 験 方 法

2.1 装 置

第1図はその略図である。

第 1 図 実 験 装 置

* 昭和31年1月19日受理。昭和30年4月日本鉱業会春季大会にて講演

** 東北大学助手。鉱山学教室

Dは石炭試料を入れる内径15cmの真空用デシケーターである。供試炭が粗粒の場合は一定の重さのガーゼで包み、微粒の場合は硝子容器に入れたままその中に入れる。この時用いるガーゼや硝子容器は、試料と同期間、同一の恒湿槽におかれたものを用いる。V.Pは島津製S2型のGS回転式真空ポンプ（大気圧における排気速度35l/min）で、スライダックによつて常に正確に100Vの電圧で運転される。 $B_1 \sim B_3$ はおのおの1lの容積を有するバフテで、これによつて容器内の真空化が急激に行われすぎる事を避けた。T.Mは温度計、K.Mは精度10μのカセットメーターである。容器内が或る真空に達するとV.Pの運転を止め、その真空の下で暫く放置し、この間に供試炭から排出されるガス量を測定するが、これはK.M付備の傾斜式微圧計V（内径0.2cm）によつて行つた。 $K_1 \sim K_5$ はコックで、このうち K_3 は三方コックである。連絡硝子管の内径は1cmで、 K_2 を閉じ K_3 、 K_4 、 K_5 を開いた時の装置内の全容積は6,550cc、 K_3 を点線管路の方に開き、 K_4 を閉じた時の点線で示される部分とD内容積との合計が2,290ccである。なお、 $K_1 \sim K_5$ の摺合箇所を用いたグリースは、東洋瀧紙製の高真空用グリースである。

2.2 試料

新幌内炭と大之浦炭とを用いたが、前者は新幌内炭の南坑北4片奥4番層払において採取（昭29.8）し、後者は新管半田炭の西卸左零片5尺層払において採取（昭29.11）したものである。採取が終ると、パッキングの為に粉炭を混ぜ、坑内で直ちに木箱につめて仙台に送つた。実験室では必要な粒径に選別して秤量した後、規定のガーゼ（試料が4meshより粗粒の場合）或いは硝子容器（試料が10meshより微粒の場合）に入れたまま1週間、85%の恒湿槽に入れた。

粒径は1~1.5in, 2~4mesh, 10~32mesh, 48mesh以下の4種に分け、1回あたりの供試量は粒径によつて異なり、1~1.5inの時1,000g, 2~4meshの時800g, 10~32meshの時400g, 48mesh以下の時200gとした。

2.3 操作

Dに試料を入れる前、 K_1 を閉じて10min間V.Pを運転し、容器内の掃除、Dや $K_1 \sim K_5$ のグリース摺合の条件差等を少なくし、次いで K_1 を開いて容器内を再び大気圧に戻した後、V.Pによる無試料時の排気能率を調べた。この時の排気容積は6,550ccであるが、能率は実験の度毎に異なり、排気が進んで50mm・Hgより高真空になるとこの様な違いは特に著しく表われる。その主な原因として、室温等によるV.P自身の排気速度の違い、摺合グリースの条件差、コックの開き方の違い等が考えられるが、V.Pの周囲の温度が非常に異なる時を選んで比較試験したり、グリースの摺合条件を色々と変えたり、

或いはコックの開き方をわざと変化させてみたりした所では、グリース摺合の条件差が最も大きい原因である様に見受けられた。したがつて、この条件差をなくすために多くの方法（グリースの塗付温度、塗付量の均等化、その他）を試みたが、それが非常に困難な事が分つたので、実験の度毎に排気能率を調べる事にした。

石炭試料のガス排出は、V.Pの運転によつて容器内が段々真空になつて行く間の排出と、或る真空に達してV.Pの運転を止めた後、時間の経過と共にその真空下で行われる排出とに分けられる。本文においては、前者を一次排ガス、後者を二次排ガスと仮称し、両者別箇に排出の傾向を検討する事とした。

a) 一次排ガスの測定は次の様に行つた。

Dに試料を入れV.Pを始動してから、V.Pによつてもたらされる実験容器内の排気時間を測定した。この時の真空の読みはMによつて行つたが、バフテ $B_1 \sim B_3$ があるため水銀の上昇が緩慢で、1mmまで読みとる事が出来た。これは1回の測定における水銀の移動が750mmであるから、1/750の精度に相当する。排気時間は1/2sec読みのストップウォッチで測つた。

試料から排出されるガスが多い程真空になる時間が長いので、その遅延が容器に全く試料の入つていない時に比べてどの程度かを観測する事によつて、ガスの排出状態を検討した。しかし、前述のように試料が入っていない場合の排気能率も元来一定ではないので、排気時間の遅延の程度を単なる両者（無試料時と有試料時）の差によつて求めず、この差をその時の無試料時の排気時間で除した値 q （排ガス率と仮称）によつて求める事とした。 K_1 を除いてコックは全部開いているので、無試料時の装置内真空容積は6,550ccである。

b) 二次排ガスの測定は次の様に行つた。

Mにより、容器内が或る真空に達するのをみて K_2 を閉じ、V.Pの運転を止める。次に K_3 を廻して点線で示される管路にのみD内のガスが通る様にし、 K_4 と K_5 を閉じる。この時、D内のガス圧もVの両水銀柱面にかかるガス圧も同一の真空圧であるが、その後、時間の経過と共に試料内部のガスが排出されると、それに伴つてDからVの右側水銀柱面にいたる容積2,290ccの真空度が低くなり、ガス圧は増す。しかるにVの左側水銀柱面にかかつているガス圧は常に始めの真空圧のままであるから、両柱面には排ガス量に比例する圧力差が生ずる。この時の柱面の移動をK.Mによつて測定し、増圧Pを計測した。

2.4 実験方法に関するその他の検討

本実験の排出ガスに対する石炭内部の吸着水の影響が少ない様に、真空の範囲を水の飽和蒸気圧（17°Cにおいて2/100at., 24°Cにおいて3/100at. 33°Cにおいて5/100

6) at. 等) より低くとつた。すなわち、実験期間を通じての室温はほとんど 20°C 以下であつたので、真空度は 20 mmHg より低い範囲にとどめた。ただし、稀に室温が 15°C より低い時を選んで、例外的に 15 mmHg でも測定を行つた。

室温がガス排出に与える影響については、室温が著しく異なる時を選び。他の条件を全く同じにして予備的な比較試験を行つてみたが。数回の試験のどの場合でもその影響は認められなかつた。

3. 実験結果とその考察

3.1 ガス排出の一般的傾向

a) 一次排ガス

a.1) 試料の排ガスによる排気時間の変化と排ガス率 q 。

V.P. による容器内の排気が進むと、それに応じて試料

a: 試料が入っている時の排気時間の実測値
b: 試料が入っていない時の排気時間の実測値
c: a の換算値((1)式)

第2図 q の計測(新幌内4番層, 供試粒径1~1.5in.の場合)

第3図 装置内容積の僅かの変化に伴う排気時間の変化

の内部ガスも排出され、それだけ排気時間が長くなる。この一例を示したものが第2図で、排ガスのための遅延時間は同図の Δt によつて表わされる。同図の a 曲線は試料を入れた時の排気時間の実測値、b は無試料時(排気容積 $6,550\text{ cc}$) のそれである。a の場合には、試料のために排気容積が小さくなっており、それだけ排気時間が b の場合より少なく表われすぎている。これを補正して b と同じく $6,550\text{ cc}$ の容積に対する排気時間を求める必要がある。しかるに排気容積の変化と排気時間との関係は第3図のようになり、 100 mmHg よりも高真空になると、容積の減少率と排気時間の減少率とが一致する事が認められた。したがつて、排気容積に関する補正は(1)式右辺の第3項のように行つた。また、4meshより微粒の試料では試料量が $1,000\text{ g}$ より少ないので、それを $1,000\text{ g}$ に換算したのが(1)式右辺の第2項である。

$$t = t' \times \frac{1,000}{w} \times \frac{6,550}{6,550 - v} \quad (1)$$

ここで

t' : 試料が入っている時の排気時間の実測値 sec.

w : 試料の重量, g.

v : 試料の容積, $v = w/1.295$ (実測)。

t : $1,000\text{ g}$ の試料からの排ガスを伴いつつ、 $6,550\text{ cc}$ の容積を所定の真空にする時間(換算値), sec.

同図の t と t_0 との差を Δt とし、(2)式によつて q を求めると第4図の様になる。

$$q = \frac{t - t_0}{t_0} = \frac{\Delta t}{t_0} \quad (2)$$

ここで

t_0 : 無試料時(排気容積 $6,550\text{ cc}$) の排気時間の実測値, sec.

全試料を通じて q には大体次のような性質がある事が認められた。

i) 真空度を h とした場合、 q と h との間にはべき級数に似た関係が認められる。

ii) h が約 100 mmHg より高真空になると q は逆に増加し始め、同時に試料差が表われる機会も多くなり、 $20 \sim 25\text{ mmHg}$ のような比較的高い真空になると、 q は

第4図 容器の真空化に伴う排ガス率の変化(新幌内4番層炭)

極めて大きく、また試料差も甚だしい。

iii) 試料の粒径が大きい程 q が小さくなる。幌内炭の場合はこの割合が特に著しい。

a.2) 排ガス量と排ガス率 q との関係

排ガス量は q とほぼ比例的な一定の関係にあり、これは V.P. による排気能率 (第3図・b 曲線) と (3) 式とによつて求める事が出来る。

$$v = V(1 - P_0/P)^* \quad (3)$$

ここで

V : 装置内容積, 6,550cc.

P_0 : 任意の排気時間における b 曲線で示された真空圧, at.

P : q によつて b 曲線から図解される。試料の排ガスのために低真空になっている真空圧 (P_0 と同一の排気時間における), at, $P \geq P_0$

v : 排ガス量, cc.

したがつて、排ガス量を示す一つの係数として q を用いてもよいのではないと思われるが、これには q をどの h の時に求めたら良いかを選ぶ必要がある。筆者は q を求める時の h として 100mmHg を採用した。その理由は、前述のようにこの附近までは q の試料差が非常に少ないからである。

b) 二次排ガス

b.1) 試料の排ガスによる増圧 p と排出時間 t との関係

V.P. を運転して (この間に一次排ガスが行われる) 容器内が一定の真空に達したら、運転を止めロックを切替えて、その真空の下における排ガス量を V に表われる増圧 p によつて測定した。

しかし、試料量は粒径によつて異なり、排ガス容積も試料の占める容積だけ 2,290cc (D と点線管路部の容積) よりも小さくなっているため、 p を同一条件で観察するため (4) 式を用い、各実測値を試料 1,000 g, 排ガス容積 1,000cc の場合に換算した。

$$p = p' \times \frac{1,000}{w} \times \frac{2,290 - v}{1,000} \quad (4)$$

ここで

p' : 増圧 (実測値), g/cm².

p : 試料 1,000 g, 排ガス容積 1,000cc の場合の増圧 (換算値), g/cm²

w, v : 前出

予備実験の結果によると、本実験の容器、試料量の範囲ではこの関係はほぼ成立している。

p と排出時間 (V.P. の運転を止めてからの時間) t との間には、第5図の様な関係が認められ、それは次の様な実験式によつて表わす事が出来る。

第5図 2次排ガスの時間と増圧との関係
(新幌内4番層炭)

$$p = \log t^n - \alpha \quad (5)$$

ここで

t : 排出時間, min.

p : 増圧 (試料 1,000g, 排ガス容積 1,000cc), g/cm²

n, α : 常数

一般に p 或いは dp/dt (増圧率, g/cm²·min) は q の場合と同様、供試粒径が大きい程小さく表われ、その割合は両炭種共に同じであつた。また高い真空で行う程大きく表われるが、この特徴は排出時間が長くなると共に段々明瞭になつてくる。

b.2) 排ガス速度を示す係数としての Δp

排ガス量と V に表われる増圧 p との間には、(3) 式 (前出、ただしこの場合には、 P_0 は初期の真空圧で $P = P_0 + p$ である) の関係がある。したがつて、排ガス速度を簡単な増圧率で表わそうと考えた。しかるに (5) 式によつて明らかなようにこの値は t の函数であるから、 $t=100$ における dp/dt を Δp とし、これによつて排ガス速度を検討した。 $t=100$ を選んだのは後述のようにこの附近で dp/dt の再現性が認められるからである。すなわち、

$$\Delta p \equiv dp/dt = n/100 (\text{at } t=100), \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min.} \quad (6)$$

b.3) Δp の再現性

粒径 1~1.5in の試料につき反覆回数を 5 回として調べた所、 $t=100 \sim 200$ においてほぼ Δp の再現性を認める

第6図 q (1次排ガス) Δp (2次排ガス) と
破砕性との関係

* ボイル・シャルルの法則によつて導く。

事が出来た。

3・2 排ガス量および排ガス速度と石炭の破碎性との関係

a) 破碎性の測定

ASTM 試験法の Friability test を用いた。この試験法では供試粒径として 1~1.5in, 供試量として 1,000 g を要求されているから、排ガスの実験を終った試料をそのまま用いる事が出来た。

b) q および Δp と Friability との関係

100mmHg の真空において測定した q , および 20mm Hg の真空の下で測定した Δp と, Friability percent との関係をプロットした結果は第 6 図のようである。すなわち、一次排ガスの q と Friability との間には幾らか直線比例的な関係が認められるが、二次排ガスの Δp と, Friability との間にはこのような関係は認められ難い。

3・3 排ガス量および排ガス速度と孔隙率との関係

a) 孔隙率の測定

孔隙率の測定には湿潤法を用い、水深 5cm で 1 週間浸水した後の重量増加率を以て孔隙率とした。この時の試料は排ガスの実験を終った直後の、ガーゼに包んだままのもの (1,000 g) で、これを金網にのせて浸水せしめた。重量の増加は天秤状のスプリングバランスで測定したが、浸水後 3~4 日間ではほとんど湿潤飽和の状態になる事が認められた。バランスの感度は 0.2 g である。

第 7 図
 q (1 次排ガス)
 Δp (2 次排ガス) と孔隙率との関係

b) q および Δp と孔隙率

100mm Hg の真空において測定した q , および 20mm Hg の真空の下で測定した Δp と, 孔隙率との関係をプロットしたのが第 7 図である。これによると、 Δp と孔隙率との間にはほぼ直線比例的な関係が認められ、 q も孔隙率が大きい時に大きくなっている場合が多いが、しかし Δp の場合よりも比例性に乏しい。

4. 結 文

本文は、760~15mm Hg の比較的低真空における、石炭内部ガスの排出に関する諸性質を調べたもので、これより高真空の場合には触れていない。このような範囲の真空において認められる限りでは、二次排ガスの速度を示す Δp は、石炭の孔隙率とほぼ比例的な関係を有し、孔隙の特徴をある程度表わしているのに対して、一次排ガスの量を示す q は、むしろ石炭の破碎性といくらか比例的な関係にある事がうかがわれる。

全体として、試料の粒径が小さい程、また真空度が高い程、排ガス量 (一次排ガス) や排ガス速度 (二次排ガス) は大きい。

【謝辞】 本研究は、資源技術試験所北海道支所長波止薫博士、三井鉱山株式会社岩崎高雄博士の御指導によつて得られ、石炭研究懇談会 (東京) の諸師に御教示を頂き、当教室学生照沼真文君の協力によつて推進される事が出来た。ここに記して深謝する。また、試料の採取等にわたつて御援助を頂いた北炭幌内鉱業所、貝島大之浦鉱業所に対し篤く御礼申上る。

参 考 文 献

- 1) 炭鉱保安懇談会・ガス突出予防専門委員会: ガス突出調査報告書 (第 2 報): 昭和 30 年 4 月
- 2) 九州炭礦技術連盟通気委員会: 石炭鉱山におけるガス及び粉炭等の突出記録調査結果 (1)~(4): 昭和 29 年 7 月~30 年 1 月
- 3) 脇田連雄: 炭礦技術, 昭和 30 年 4 月, 19~21 頁。
- 4) A. B. Варзач: уголь, сен. 1953. стл. 19~22.
- 5) Г. П. Лидин: уголь, Дек. 1953. стл. 24~27.
- 6) 芝 亀吉: 物理常数表 123 頁。
- 7) Friability percent by A.S.T.M. Tentative Method of Tumbler Test for Coal (D.441-37.T)

会 費 を お 納 め 下 さ い

只今係から会費の請求を個々に差上げておりますが、是非お忘れなくお納め下さい。

正 会 員	1,000 円	} 半年分納も出来ます
賛 助 会 員	1,000 円	
准 会 員	800 円	
同 (学 生)	600 円	

なお御送金は振替口座を御利用下さい。 口座番号 東京 14181 番