蓋でライナー管の上端を閉ぢるがその蓋はライナー管の外側に砂利セメントその他の物質が注入せられる迄かぶさつていてライナー管中にそれ等のものが入らないためである。又蓋はシャープピンで止められて居り、ライナー管を坑底迄下ける爲に用ゐられるオーバーシヨット（尖起物）に依りその頂部の所にかみあふ様に作られてゐる。然してオーバーシヨットはワイヤーラインに取り付けられて居る。そして砂利充填が終つて最後にセメントが砂利の上に注入せられると取り除かれる様になつて居る。そして全ての砂利、砂、セメント及その他の充填物はダンプベラーで注入せられる。

ダンプベラーは、その底が一つ又はそれ以上のガラス又はプラスチック製の皿で閉いだ型のものが最も良い。そしてベイラーが坑底に降入される時には其の皿はライナー管の上につけられた蓋で衝撃のために壊されて坑底に達する。そしてライナー管の周りに充填物が送入される。

ライナー管を挿入する前に常に少量の砂利を坑底に注入する。之は軟弱砂の中にライナー管を突入せしめると其の第一孔が砂のために塞がる恐れがあるのでそれをさけるためである。ライナー管の長さはケーシング尻の少く共10呎上部迄あれば充分である。そして充填用の砂利は少量宛所定の位置迄注入充填される。砂利が坑内に注入せられた量は注入毎にベラーの挿入深度を計つて知ることが出来る。注入せられた砂利はベラーを上下運動させて各注入毎に衝き固められる。

所要量の砂利が注入せられると、速硬セメントと砂の混合物を最後に注入して砂利の頂部をかためる。このセメント混合物の量はセメント頭がライナー管頭より2~3呎下の所に来る位の量があれば充分である。砂の機能は砂利の間隙を埋めてセメントが砂利の間隙に入るのを防ぐためである。最後の注入セメントの頭が充分硬化したことが認められると、最後にライナー管頭の金属性の蓋はワイヤーライン、オーバーシヨットとシャープピンの働きによつて引上げられる。

瓦斯坑井の掘鑿と仕上げについて

松 浦 政 男*

On the Drilling and Finishing Method of Natural Gas Wells.

by M. Matsuura

Here the author explains the present practice of drilling and finishing method of natural gas wells in Japan, and also points out the most efficient methods in relation to the production problems.

* 東京大學教授

I 緒 言

現在我國に於て天然瓦斯井として掘鑿された坑井數は小規模の自家用井を除いて約 1100 坑と記録されてゐる。今後の増産対策として約 500 坑が計畫されてゐるが更に増加せしめる必要も認められる。この意味に於て今後の坑井掘鑿と採收方法に就いては充分な検討を加へて萬全を期する必要がある。茲に坑井の掘鑿並びに仕上げ方法とこれに關聯する事項とに關し若干の意見を述べる事とする。

II 掘 鑿 方 法

我國瓦斯產出地の地理的條件は比較的に良好であるが石油井に伴ひ產出する所謂油井瓦斯產地にはこれに反する個所もある、瓦斯井の掘鑿型式として豫定深度の如何によりて上總掘式、綱掘式、コアボーリング機、及びロータリー式が採用される事は一般に熟知されてゐる處である。各型式は夫々の特徴を有し豫定深度、地質の如何によりて採用さる可きであつて一概に論ずる事は出来ないが、深度別に考へて次の如き各種の掘鑿型式を擧げることが出来る。

深度 200米以内……上總掘式、綱掘式、コアボーリング機

〃 300米内外……綱掘式、コアボーリング機、ロータリー式

〃 400米以上……綱掘式、ロータリー式

就中ロータリー式機が掘鑿能率の上に於て最も優れてゐる事は云ふ迄もない處である。從來大石油會社は大型並びに特殊型ロータリー式機の改良に専念し其の發達見るべきものがある。一方天然瓦斯會社は產出深度の關係から上總掘機其他の輕便型のみ採用し來り中位の深度に最も適した好能率の小型ロータリー式機の發達が缺如せる觀がある。今後天然瓦斯の開發は平面的に廣範圍に涉つて行はれると共に立體的に深度も増加する事が考へられるを以つて高能率の機臺の整備が痛感せらる。

凡そ坑井の掘鑿に當つて考ふべきは最少の經費でしかも完全なる掘鑿をなすといふ事である、前者に就いては説明を加へる迄もなく掘進能率を擧げるに在る。後者は掘鑿中地下狀態を明かにするため地質見本の採收、出水個所の調査等地下資料を得、且つ瓦斯採收を效果的ならしめるため坑井の仕上げを完全に行ふことである。以上の問題に關聯し若干の問題を検討して見ることとする。

1. 掘進能率の向上

我國天然瓦斯會社に就て使用してゐる個々の掘鑿型式に就いて比較する事を止め最近アメリカ¹⁾の掘鑿業者間に於てこの問題に就て研究検討の結果概

1) Oil and Gas Journal: Oct. 1946

論を記述する。其の結論として次ぎの5つの範疇に分けてゐる。勿論我國石油掘鑿井術者間にてても問題とされてゐる處である。

1. ビット、ドリルパイプ、ドリルカラーの問題
2. ビットに加へる荷重
3. ビットの回轉數
4. 循環泥水
5. 人的問題

1. に関してはロックビット(Rock Bit)とドラグビット(Drag Bit)が多く用ひられ其の齒の形狀と先端の泥水噴射孔の形狀迄検討されてゐる。我國に於ても一種のドラグ型であるミドコビット(Midco type Bit)を採用し1丁のビットで200米以上も掘鑿出来る様になつた。

ドリルパイプは4 $\frac{1}{2}$ "、3 $\frac{1}{2}$ "、2 $\frac{7}{8}$ "が用ひられてゐて餘り細いものは効果が悪い。ドリルカラーは極めて長いものとなり其の全體の重さはビットにかける荷重の2倍程度になつてゐる。

2. ビットに加へる荷重

この點に關しては理論的に論究する事は困難であつて全く經驗によると稱してゐる。

3. ビットの回轉數

カリフォルニアに於ては毎分300乃至350回轉が普通で或る會社は500回轉も行つてゐるが一般的には350回轉とされてゐる。我國に於ては100回轉内外であつて雲泥の差がある。高速回轉を行ふためには機臺と掘管の材質等が良質でなければならぬので一舉にこの點に到達するには相當困難である。

4. 循環泥水

カリフォルニアに於ては比重1.12~1.13、粘性23~30秒のものが一般に用ひられる。坑井が深くなると特にこの泥水を充分に吟味する必要がある。重要な坑井には特に技術者を配して泥水の性質を吟味する必要がある。又掘鐵管外の上昇速度も毎秒3~5呎でなければならぬと述べてゐる。我國の現狀は如何といふに近來この方面の研究も相當進められてゐるが瓦斯井の如く比較的深度の浅いものに於ても厚い砂層等を掘鑿する場合には特に考慮すべき問題である。又上昇速度を増す事は掘進率を増す因子であるから泥水ポンプの容量を大にする必要を認める。

5. 人的問題

如何に優秀な機械であつてもこれが取扱ひに不注意であると坑井の致命的失策を招くを以つて整備に對する習熟と着實なる作業意識が望ましい此點現今の社會狀勢の變化につれて最も留意すべき點と考へらる。

以上掘鑿能率の増進に關し述べたが我國に於ても考慮すべき點が多い。

Ⅲ 仕 上 げ 方 法

仕上げ方法に關聯して最も重要な配管方法から述べる事としたい。一般に石油井でも又瓦斯井でも試掘井と採掘井に依つて自ら配管方法に若干相異があるが、茲には採掘井のロータリー仕上げ方法を述べる。(第1圖、参照)

第1圖 各種仕上げ配管圖

坑井の共通條件として

イ. 深度 40米 コンダクター設置

ロ. 深度 500米 遮水のため本水止管使用, セメンテング施行

ハ. 深度 550米 掘止め, ライナー管降下, 瓦斯採収

以上の條件の下に圖示せる如く A. B. C. の 3種の配管による仕上方法が考へらる。A は普通に行はる方法であり, B は中間水止法によるもの, C は A の管徑を小とし特に瓦斯層に對して砂利充填 (Gravel Packing) を施したものである。此等を比較するに先づゲーシングコストに於ては B は A より管材約 8.0 吨の節約となる C は B より更に節約さる。然しながら B のセメントバスケット使用によるセメンテング作業は特に慎重に計畫實施されないと瓦斯層を閉塞して終ふ結果に陥る。又鐵管節約のみならず掘鑿坑徑が A より小であるから掘進率がよい。然も瓦斯層に面する孔明管が A と同じ大きさであるから仕上げが完全に行はれるとすれば A, B 共に同じ採収量が期待される。C は小坑徑掘りを行ふに依り掘進率も良いが遮水後瓦斯層に面する孔明管は $2\frac{1}{2}$ " 程度の小徑に制約を受けるから A, B の如き採収量が期待出来ずと考へらる。然れどもこの缺點は瓦斯層部分の擴掘と砂利充填とを行へば排除する事が可能である。擴掘作業はベーカー式, 又はグラント式水壓擴掘器²⁾を使用すればよい。 $2\frac{7}{8}$ " ドリルパイプ接続, $4\frac{3}{4}$ " 管内用のものは最

2) Baker hydraulic Expansion Wall Scraper. Pet. Eng. Oct. 1938

大徑 $6\frac{1}{2}$ " 迄擴掘する事が出来る。(使用例は石油技術協會誌第6卷第4號参照) 従つて砂利充填が理想的に施されるならば寧ろ A, B より出瓦斯の期待がかけられる。砂利充填法によつて油井又は瓦斯井を仕上げた例は我國には無いが海外に於ては既に實施されてゐて特に出砂の多い坑井に應用して効果を擧げてゐる。我國の瓦斯井の中には採收中砂の埋没を生じ瓦斯量頗るみに減少せる例が極めて多く浚渫作業を繰返さなければ瓦斯採收が出来ない結果になる。目前の採收量を増すため孔明管の孔の大きさを適度以上に大とし出砂又は埋没のため坑井の維持に困難を招くよりは最初より適當なる坑井の仕上げ方法を講じて長く採收を續行するのが合理的である。

Ⅲ 開發一般問題

海外の瓦斯產出地に於ける產出状態を見ると其の深度も數百米から3千米以上にも及び壓力も數百氣壓に達するものがある。多くは石油瓦斯又は准石油瓦斯であつて我國の如くメタン瓦斯を開發してゐる例は僅少である。

我國の瓦斯產地に於ける產出状態を見ると瓦斯は一部自由瓦斯 (Free Gas) と存在するが多くは地下の層水 (Connate Water) に溶解してゐるものと考へらる。従つて瓦斯井に於ては相當量の層水を汲み揚ぐる事に依つて瓦斯採收が可能である。坑井深度 400 米内外の或產出地に於ては瓦斯の成功當初に於て瓦斯水比 (Gas-Water Ratio 即ち坑水 1 立方メートル瓦斯が何立方メートル含まれてゐるか) が 4.0 乃至 5.0 であるが約 1 ヶ月経過後には 1.0 内外に低下して相當の期間持續し更らに減少して 0.7 程度で繼續してゐる。勿論例外の場合もある。何れにせよ我國に於て天然瓦斯の採收に當つては多大の地下水を汲み揚げる必要ある事は共通の事實として考へらる。以上の見地から天然瓦斯の主成分であるメタン瓦斯が地下水に如何なる割合で溶解してゐるかを考察する事は興味ある問題である。瓦斯溶解度に關する化學法則として

(イ) 一定壓の下に於て溶解度は溫度が高くなるにつれて減少する。

(ロ) 一定溫度の下に於て溶解する氣體の重量或は標準狀態に換算した體積は壓力に比例する。

この2つが考へられ更らに清水以外の鹽類等を含む水に對する溶解度も鹽分に比例して減少することも擧げられる。即ち瓦斯產地の坑井の深度、層水の壓力、性質に依つて溶解度が異つてゐることを認めなければならない。高壓下に於てメタン瓦斯の水に對する溶解度に就いて各種實驗³⁾を試みた結果を第2圖に示す。(實線は實測値の諸點を結んだもの、破線は筆者が假りに延

3) Michels, Gerver, and Bijl の實驗, Physica; 3, 1936. D. M. Newitt の著書より採録

長せるものである。) この圖に依つて知られる事は深度400米級の瓦斯井に在りて坑内水頭を約40気壓とすれば溶解度は 25°C に於て約1.0である。即ち瓦斯水比1.0と考へてよい。深度200米級に於ては約0.6である。

勿論地質構造の如何により浅井に於てもガスキャップ(Gas Cap)の部分に掘鑿された坑井の瓦斯・水比は大であることは當然である。又採收中瓦斯・水比が急激に減少するが如き場合は一應他層の水、又は地表水が混入せる事なきやを検討する必要がある。この意味に於て多層の同時採收は再検討の餘地がある。以上論じ來りたる處により我國の天然瓦斯採收技術は油田地に産する石油瓦斯採收と若干趣きを異にするものと云ふ事が出来る。即ち前述の如くメタン瓦斯採收は寧ろ地

第 3 圖

下層水の採集に關する技術的問題として考慮すべきである。試みに瓦斯・水比 0.7 の産瓦斯井に於て 700 立方分の層水を得んとすれば 1000 立方分の層水を汲み揚げの事を要し、鑛場の産出瓦斯日産總量 2 萬立方分を維持せんとせば 3 萬立方分以上の層水を汲み揚ぐる事を要する（この計算には自噴に依る層水を考慮せず）。従つて揚水費は大なるものなるから出来る限り自噴によつて層水を得る様に坑井が配置されなければならない。

次に開發に當つて考慮すべき問題は坑井間の間隔、坑徑と涌水量との關係等がある。

一般に地下水の砂層中に於ける運動⁴⁾に關しては有名なるダルシーの法則 (Darcys Law) から出發して種々なる研究があるが第 3 圖の如き場合に於ては次式が導かれる。

$$Q = \frac{2 \pi k t (H - h)}{2.30 \log_{10} \left(\frac{R}{r} \right)} \dots \dots \dots (1)$$

茲に Q = 水汲揚量 (m^3/Hr)

k = 透水係數にして砂層の砂の粒徑、孔隙率、水の粘性によつて定まる量 (m/Hr)

上式の k なる値を見出すためには Hazen; Kozeny; Slichter 氏等の式があるが特定の砂層に對しては實驗から導く事も出来る。又坑井間隔は $2R$ で示されるもので R の値⁵⁾は合理的に決定されなければならない。又坑徑と涌水量との關係を見るに、 $k=1.0 m/Hr$, $t=10m$, $R=100m$, $H-h=24m$ なる同一條件の下に於て $r_1=0.1m$, $r_2=0.15m$, $r_3=0.2m$ に對する夫々の Q の値を計算すると $Q_1=21.6m^3/Hr$, $Q_2=23.0m^3/Hr$, $Q_3=24.5m^3/Hr$ となる。換言すれば $r_1:r_2:r_3=1:1.5:2.0$ に對し $Q_1:Q_2:Q_3=1:1.06:1.13$ となる。即ち大きな坑徑に仕上げて も 採收量は其の割合に増さないと云ひ得られるから採收中に於ける坑井の維持作業に適當せる坑徑に仕上げれば良い。

V 結 尾

以上述べた事から現在の我國天然瓦斯産地の開發に當つて考慮すべき點は次の如く要約せられる。

- イ. 掘進能率を向上せしむるため掘鑿機械の再檢討が必要である。尙此際速かに小型ロータリー式機の整備を要する。

4) M. Muskat: The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media 1937

P. J. Jones: Mechanics of Production 1946

5) 井戸の影響圓に就いて、(吉田教授 水道 第 29 號 昭 4)

ロ. 合理的な配管方法を撰び且つ理想的な仕上げを施すこと。此の意味に於て出砂・押出しの甚しい坑井には砂利充填法を試みる事が良い。

ハ. 層水汲上げのためにはガスリフト法の研究を進める事。

ニ. 坑井の間隔等に就いて検討すること。

更らに瓦斯採収井の維持の問題に關しては幾多の研究課題が残されてゐる。要するに瓦斯鑛業を發達せしむるためには地質學的に又掘鑿並びに機械的方面に更らに研究すべき點が多いと考へらる。幸ひにして日本天然瓦斯技術協會の専門委員會が此等の問題を取りあげて實施に移せば其の成果見るべきものがあると信ずるものである。

ガスリフトの理論的研究

藤井清光*

Theoretical Research on Gas Lift

by K. Fujii

By calculating the phenomena of the gas lift, the theoretical results are obtained as follows: (1) The characteristic curve of the gas lift indicates the most efficient method for the field work. (2) The maximum lifting capacity increases as the rate of submergence increases. (3) The minimum gas liquid ratio is on the point of 75 per cent of the submergence. (4) The tapered tubing method is not profitable because of the reduction of Reynolds number of the liquid.

I 計算結果

ガスリフト又はエアーリフトにより液體を經濟的に汲上げる爲には、液體のポテンシャルエネルギーを有効に利用しなければならない。實際にはガスの運動エネルギーが同時に作用するが、此の作用が加わる程ガスの消費量は多くなる。能率よく液體を上昇させることが問題となるので、此所では液體のポテンシャルエネルギーが作用する場合につき研究を進める。ガスリフトに於て基礎となることは、管を液體中に降してポテンシャルエネルギーを利用すること、及び容積に對し重量の非常に少いガスの特性を利用することである。液體に浸つてゐる管の中にガスを壓入することによつて起る水の運動を純粹に水力學的に扱い、液體とガスの關係を計算により求めればガスリフトの現象を數字で明かにすることができる。既發表の計算方針¹⁾の方法によ

* 東京大學助教授