電気検層におけるSPGの計測*

淵 田 隆 門**

(昭和27年9月5日受理)

Direct Measurements of SPG in Electrical Logging

by Takato FUCHIDA

It has been frequently experienced at the Tokyo Natural Gas Field that SP curves are disturbed by the stray current from the electric cars or others.

The writer has advanced the direct measurements of SPG (Self Potential Gradient) instead of SP and showed that the reliable SPG curve is better than the unreliable SP curve. Because the SPG curve is not disturbed by the stray current.

1. 緒 言

人工的迷走電流の存する地区に掘鑿せられた坑井においては、その障害のため従来のSP計測方式によつては、信頼し得べきSP現象の把握が困難なことが多い。筆者は、それに対する1つの解決策として、SPそのもののかわりに、その傾度を直接記録する方式を思い立ち、2, 3, の実験を重ねたので、その結果をここに報告する。

2. 従来のSP計測

坑井内のSP計測は Schlumberger の着想以来今日に至るまで、測定原理的には少しも変つていない。(第1図) そもそも、いわゆるSP現象の如き定常電界の実態を捉えるには、とにかく電位分布状態を知りさえすればよいのであるが、かかる電界の計測方式としては、任意の固定点に比べての各点の電位差の変化を追跡するという方式が最も基本的な行き方であるし、しかも、SPの実態が、かかる計測方式による結果の直接表現、いわゆるSP曲線の形式で示されてある方が、地層の性格を判読するに最も好都合なようなものであるからであろうと思われる。

* 文部省科学研究費による研究

** 東京大学工学部教授

3. SP 計測の困難な場合

ところで、従来の方式によつては真実の SP 現象を把握し難い場合がある。実は筆者は寡聞のためであろうが、電気検層の場合に関する限り、この方面の経験深きアメリカの情報にもかかる報告を見受けなかつたことよりする慢然たる先入観念により、自ら経験するまでは気付かなかつたのである。

筆者は昭和26年9月、昭和天然ガス(株)、川崎試験 R 1 号井において実験の機会を得たが、その際得られた SP 曲線は異常であることに気付いた。そこで繰返し測定、その他いろいろ実験的に調べた結果、それは電車または何らかの人工的直流電気施設よりの非定常の迷走地電流があつて、それが本来の SP に重畳し (§ 5 参照)、結果において著しい障害を及ぼしているものと推察した。この場合の障害の程度は甚しくて、3回の繰返し測定結果より相似性を見出すことも容易でないくらいだつたが、たとえそれほどではないにしても、要するに SP 現象そのものの実態を正確に計測できないことは、電気検層としては甚だ望ましくないことである。しかも、東京ガス田の如く都市地区に開発される場合は、今後しばしば遭遇の可能性のある問題で、この際この対策を研究しておくことは誠に意義あることと考えられる。

次節以下において記述する SPG 記録方式は、上述の趣旨に沿つて筆者が提唱しようとする最も簡便にして、しかも一応正しく SP 現象を把握できる解決策の1つであると信ずる。

4. SPG の 意 味

SPGなる記号は SP (Self Potential) そのものと区別するために筆者が仮に採用しているものであつて、SP の傾度 (Self Potential Gradient) の意味である。したがつて、SPG は数学的には SP の微分である。

第 2 図

すなわち、 x を深度とし、SP 曲線が $f(x)$ にて表わされるものとすれば、SPG 曲線は df/dx にて表わされるような関係にある。例を示せば第2図の如くである。

さて、両曲線の関係は上述の如くであるので記録せられた SP 曲線 $f(x)$ を知れば、これより微分計算により SPG 曲線 df/dx が得られるし、また逆に記録が SPG 曲線であれば積分計算によつて SP 曲線が得られる道理である。し

たがつて、いわゆる SP 現象による坑井内の電界の実態を示すという意味においては、両者は等価であつて、単に電界——いかなる計測、表現をしようとも、それとは無関係に存する坑井内の自然の姿——の表現形式を異にするにすぎない。* もつとも

* 地表における電気探鉱においても同様の事情が存するので、もつと詳しくは、それについて論じた次の論文を参照せられたい。

淵田肇門：人工電位法の基礎的考察，物理探鉱，第5巻（1952），27

5. SPG記録方式

迷走地電流は地表の人工的施設を端子として大地中に流れるものであるから、その流線分布は図解的に示せば、一般には第3図の如くなっているものと思われる。かかる流線分布のとき、 P_1 , P_2 , P' の3点をよぎる等位面はそれぞれ S_1 , S_2 , S' の如くなるが、今、間隔 P_1-P_2 は P_1-P' に比べて遙かに小さいものとすれば、 S_1-S_2 は S_1-S' に比べて遙かに小さいものとなる。かりに前者が 1:100 の割合とすれば、大体において後者もその程度となる。そこで S_1-S' 間の電位差がかりに100mVあるとすれば、 S_1-S_2 間のそれは1mVあることとなる。故に S_1-S' 間の電位差が時間的にたとえば 0~100mVの間を変化するとすれば、それと同時に S_1-S_2 間に見られる変化は 0~1mVということになる。

第3図

迷走地電流等電位面

第 3 図

従来の SP 記録方式は上図についていえば、 P' と P_1 を測定電極とし、 P' は地上任意の点に固定して基準とし、 P_1 が坑井内を移動して両者間の電位差の変化を SP 曲線として記録する方式となつてゐる。よつてもし上述の如き迷走地電流が存し、それによる S_1-S' 間の電位差がいわゆる SP 現象に基く坑井内の局部電位変化の程度に比べて無視し得る程度に小さくなくて、しかも時間的に変化するときには、記録せられた SP 曲線は擾乱を受けることとなる。かゝる電極配置において見られる擾乱は、局部変化をした電界の中を、 P_1 極が移動するにつれて現われる電位変化の遅期と迷走地電流のもつ遅期——こゝで遅期とは時間的な変化の緩急の度合を示す意味で使用する——とが著しく違つてゐない限り、本質的に分離観測できない性格のものである。

ところで、 P' の代りに P_1 と一定の小間隔、たとえば 1m を保つて移動する電極 P_2 を採用し、 P_2-P_1 間の電位差を測定することにすれば、迷走地電流による電位差 (S_1-S_2 間) は上述の如く極めて小さいのに反し、SP 現象による局部電界の電位差は正味のまゝ感知されるので、結果においては迷走地電流による障害をほとんど受けることなく、坑井内の局部電界の実態を P_2-P_1 間の電位差という形において計測し得ることとなる。

測定中 P_2-P_1 間隔を 1m に保てば、両電極間に感知される電位差は、坑井に沿って 1m 当りの電位変化の割合、すなわち SP の傾度ということになるわけだから、けつきよく SP の傾度の直接計測方式を採用すれば迷走地電流の障害を受けることなく、SP 現象による局部電界のみを把握し得ることとなる。

6. 実 験

筆者は前述の川崎における実験後直ちに SPG 記録方式の考えをいけいしていたが、実際に実験の機会を得たのは本年1月、東京天然ガス工業(株)の大島 R—1 号井(江東区)においてであつた。測定器に関する技術としては従来の SP 記録方式と同じでよいわけで、ただ結線を第3図における V_1 測定回路の代りに V_2 測定回路を使用すればよい。電線や電極も増設する必要はない。というのは、筆者が使用している電極は第4図の如きもので、 P_1 を地上の P' と組合せて PS を $C—P_1$ 、 $C—P_2$ によつてそれぞれ電極間隔 30cm, 90cm の2極方式見掛け抵抗を記録しているので、直ちに P_1 と P_2 の組合せによつて 60cm 当りの SPG を測定できるからである。

上記第1回の実験においては、SPG記録方式により迷走地電流の障害が全く除かれることが観察できたし、かつ記録曲線は予想どおり SPG らしき形のものを得ることができた。たゞ、全く予期しないことではなかつたが、 P_1 、 P_2 電極(30A 位のヒューズを1重巻したもの)の電気化学的性質の不同のため、坑井内泥水との間に生ずる単極電位差が等しくないためと思われる 10mV 位の基線のズレがみられた。しかしこのズレは曲線の形に關係ないばかりでなく、必要とあらば曲線全体の観察により容易に推測できるもので大して重要な支障となるものではないと思われた。

第2回の実験は埼玉県試掘 R—1 号井(草加町)においてであつて、近くを通る電車の影響がみられたので実施したのである。そのときの SPG 曲線は、比抵抗曲線と対比しながら観察すると、若干の位置のズレはあるが、むしろ SP 曲線らしい部分もあり、正しく SPG を記録していないのではないかの疑念を生じた。しかし同井はその後追掘し再度実験の機会を得たとき、重複部の SPG 記録を比較すると全く同じであるので、そのことより推察してたまたまの測定器の故障などによるのではなくて、同井の SPG がそういうものであると一応結論した。

しかしその後念のため迷走地電流の障害のない所で、同じ測定器によつて SP と SPG とを同時記録して比較することを計画し、相生工業(株)第581号井(千葉県八積村)においてこれを実施する機会を得た。この実験結果によつて、SPG 曲線は一応正しく SP 曲線の傾度に相当していることがはっきりと認められた。そのときの結果の1部を第5図*に示す。図中 R 曲線は $C—P_1$ の組合せによるもの、また下半分は記録紙の送りの具合を普通のとおり 2mm/m にした場合、上半分は 6mm/m にして曲線の変化を明瞭に記録させた場合を示してある。

筆者が SPG 記録方式研究の目的をもつておこなつた実験の概要は、以上で尽しているのであるが、参考のため実験条件の異なる場合の例をも第6図に示しておく。これ

* SPの絶対値は、地上極 P' の位置や土壌の條件による単極電位差の相違などによつて變るので、何ら意味をもたないが、一應計測のまゝを示してある。

第 5 図

第 6 図

は筆者が新潟地区天然ガス井の鋼管内壁の電気腐蝕状態を探索する目的をもっておこなった 1 例であつて、50cm 間隔を保つた 2 つの電極を移動電極とし、1 極と地上極とによつて SP を、2 極によつて SPG（この場合知りたいものは SPG そのものではなくて、それに比例する電流密度であつた）を同時記録せしめたものである。この際既述の実験と特に異なる条件は電極が Cu—CuSO₄ 電極（電氣的露出部の長さ約 20mm）であることと、比抵抗測定をおこなわないので純然たる直流計測に終始していることである。両曲線が互に合理的関係になつていることは改めて説明する必要もないことだが、たゞ電極が非分極性だけに、金属電極によつて前に経験したような基線のズレはみられないことは、特に附言しておきたいことである。

7. SPG の積分について

過去において SP 曲線の判読に

習熟した多くの技術者にとつては、SPG より SP の方がより便利に感ぜられるにとは容易に察することができるところで §4 において述べたように、SPG を積分すれば SP が得られる道理である。しかし、実際の記録曲線がたとえば第 5 図の如く変化が急で頻繁な場

に、その計算の正確を期することは容易なことではない。

そこで、これは、SPG記録を余儀なくされる頻度と上述の要望の程度とによつて、具体的に実施すべきかどうかがきまるのであるが、専ら電氣的にしかも比較的簡単容易に実現の可能性ありと思われる方法が考えられるので、一応原理だけを紹介しておく。

それは電極としては SPG 方式の P_1-P_2 の組合せによつて迷走地電流の影響を避け、ガルバに特殊のものを使つてこれによつて所要の積分をおこなわせるのである。原理は極めて簡単である。すなわちガルバの強制振動の一般運動方程式は

$$\theta'' + 2\varepsilon\theta' + n^2\theta = \phi(t)$$

で表わされるが、この際 ε が極めて大きく n が極めて小さいときは

$$2\varepsilon\theta' \approx \phi(t)$$

となるので

$$\theta \propto \int \phi(t) dt$$

となつて、ガルバのフレの角 θ は強制力となる電流の積分値に比例することとなる。そこで電流が SPG に比例しているときは、 θ は SP に比例することとなるのである。

8. 結 言

この報告においては、人工的迷走地電流が存してそれが障害となつて、SP の直接記録が困難な場合にも、SPG 直接記録方式を採用することによつて坑井内の局部電界を正しく把握し得る道理を説明し、かつそれが実験的に容易に予想どおりに実現し得ることを示している。

筆者は、SP 方式が困難な場合に信頼するに足らない SP 曲線を記録するよりは、SPG 方式によつて信頼するに足る SPG 曲線を得た方がよい、という程度の考えをもつてこれを提唱しているものであるが、一方一般の判読技術者にとつては SP 曲線の方がつごうがよいとも考えられるので、さらに1歩を進めて、たとえば前節に述べた如き要領により、SPG 電極により SP 曲線を記録させる方式の実現が望ましいと考える。

電気検層に関する実験の機会には随意には選べない。この研究は、実験の順序に、昭和天然ガス(株)・東京天然ガス工業(株)・埼玉県庁・相生工業(株)と鑿井に係せられたる大多喜天然ガス(株)・湘南ドリリング(株)の深い御理解と御世話とによつて、初めておこなうことができたものである。こゝに厚くお礼申上げる。なお筆者の実験助手として島津孝・石原義雄両君に負うところ極めて大きく、また製図は神津敏子嬢を煩した。この機会に深く感謝の意を表する。

最後に、本研究は昭和26年度の文部省科学研究費の援助によるところ多く、こゝに謝意を表する。