

熱 經 濟 計 器 講 座 (二)

Lecture on the Heat Economical Instruments (II)

富 士 舜 世

(營業部弱電係)

熱電對溫度計の續き

5. 冷接點の溫度上昇に因る誤差の除去

熱起電力は熱電對の熱接點と冷接點との溫度の差によつて生ずるものである故に、熱電對溫度計を製作する場合には、常に冷接點の溫度を或る値に定めて計器の目盛をせねばならぬ。

従つて、實際熱電對を使用する場合の冷接點の溫度が、目盛を施す際基準となつた冷接點の溫度と異なる場合にはこの溫度計の指針は誤まつた指示をなす事は明かである。普通冷接點溫度として 0°C 及 20°C が最も多く目盛の基準に用ひられる。

前者は主に研究室用の熱電對に、後者は實際の工場現場に使用する溫度計に採用されて居る。然し乍ら實際の場合、熱電對の溫度が 0°C 又は 20°C などの一定溫度に保たれるといふことは殆んど絶無といつてもよいのであつて、屢々冷接點の溫度が 100°C 、 200°C 甚だしきは 300°C 位に昇る場合がある。夫れ故斯様な場合には計器の讀みに何等かの補正を與へねば大なる測定の誤差を生ずる。以下かかる補正に對する二三の方法を述べる。

5a. 計算による冷接點溫度の補正

溫度の目盛のみを施した溫度指示計が、熱電流零の場合に指す指度を t° とし、冷接點の實際溫度を t° とすれば、この溫度計で讀み取つた溫度 T に $(t^{\circ}-t) \cdot K$ の溫度を加算せねばならぬ。こゝに用ひた係數 K は熱電對の溫度～起電力曲線の形狀によつて異なるものであり、この曲線が直線の場合には $K=1$ となる。鐵→コンスタンタン、ニッケル→ニッケルクロム熱電對に於てはやゝ直線的で K も1に近い。

溫度～起電力曲線が、最初の邊で、上昇割合が少く高溫度範圍に行くに従つて急に昇る熱電對(例へ



ば白金→白金ロヂウム) に於ては $K < 1$ である。

曲線が之れと反對に、最初昇りが多く、後に、緩漫に昇つて行く場合には $K > 1$ となる。實用に供される熱電對にあつては概して $K < 1$ であつて、下にその二三の熱電對の K の値と測定溫度との關係を表にして示す。

白金→白金ロヂウム		銅→コンスタンタン		鐵→コンスタンタン		ニッケル→ニッケルクロム	
溫度	K	溫度	K	溫度	K	溫度	K
265~450	0.65	0~50	1.0	0~100	1.00	0~800	1.0
450~650	0.60	50~80	0.95	100~600	0.95	800~1000	1.05
650~1100	0.51	80~110	0.90	600~1000	0.85	—	—
1000~1450	0.50	110~150	0.85	—	—	—	—
—	—	150~200	0.80	—	—	—	—
—	—	200~270	0.75	—	—	—	—
—	—	270~350	0.7	—	—	—	—

上表は勿論絶對的のものではなく、熱電對の材質の如何により多少異なるも大體の趨勢を知ることが出来る。白金→白金ロヂウム熱電對を用ひた場合の K を 0.5 として概算すれば次の様になる。

計器で讀んだ高溫度が 1400°C である時に、冷接點の溫度が、 80°C とすれば、眞溫度は $1400 + (80 - 0) \times 0.5 = 1440^{\circ}\text{C}$ となる。

5b. 機械的方法による冷接點溫度の補正

計算による冷接點の補正法に對し、この機械的の補正法は一層簡單である。この補正法を行ふには、溫度指示計と熱電對との接續を絶つて熱電流の流れぬ状態となし、この際指示計の指針が冷接點の溫度を指示する様に計器の零點補正子 (Zero point adjuster) を調整するのである。この方法は任意の起電力特性を持つた熱電對に適用出来るのであるが、實際の測定には乍遺憾餘り利用されて居らぬ。溫度 0°C が 0mV で始まる様な溫度指示計、即ち冷接點の基準を 0°C に置いて目盛を切つた溫度指示計を用ひる場合に一般の人々は指針の零點調整といへば、指針を 0°C に持ち來たす様な習慣になつて居るため上の様な零點調整による補正の方法は一寸誤りを起し易い。

熱電對の實際の使用状態では冷接點は特に 0°C に保つといふことが困難の場合が多いので、室温の儘に放置されて居る。それ故溫度指示計を $20^{\circ}\text{C} = 0\text{mV}$ として目盛の方が、より實際的である場合が多く、現場用の溫度計には、よく 20°C から目盛の始まるものを見受ける。

上述の機械的補正法は零點補正子によつて冷接點の溫度の變る都度補正をやりなほしてやらねばならぬので煩雜であるが、これを自動的になすために特殊な考案を溫度計に施したのものがある。その一例と



しては、溫度計のスパイラルスプリング(Spiral spring)の終端にバイメタル(Bimetal)の條片を添加して、計器を設置した場所の室溫の變化に従つてバイメタル條片の伸縮を生ぜしめ、指針の零點調整を自動的に行はしめる方法である。

この場合バイメタルの材質の選定には相當の考慮を要するのであつて、不適當なものを用ふると計器として使用に堪へないものとしてしまふ恐れがある。この種の計器は恒溫槽に入れて長い期間各種の溫度に於けるバイメタル條片の補正作用を實際に檢する必要がある。

この自動補正法に於ては熱電對の冷接點が計器を設置した場所の室溫と同一であるといふことを前提として居るのであつて、熱電對の冷接點を計器の端子に直接接続するか、又は、後に述べる補償導線を計器の端子に直接接続するかに限られるのであつて、冷接點が計器と異なつた、溫度にある場合には無意味の補正法となる。

5c. 補償導線

上述の計算による冷接點の補正法又は機械的の補正法の何れをとるにせよ、冷接點の溫度は成る可く低溫にして、溫度の變化の勤い様にするを望むのである。熱電對の冷接點を水を以て冷却するといふ方法もあるが、之れは裝置が複雑になり、又、水が洩れて熱電對に滲込み熱電對を損傷することがある。之等に代る方法としては、熱電對と全く同じ材質の導線又は極めて類似する熱起電力特性を有する導線を熱電對の冷接點に接続して、あだかも熱電對を延長した様な状態とし、この導線の他端を溫度變化の勤い場所に持ち來り、此處で計器に接続するか、又は普通の電線に接続するかする。かゝる特殊導線を補償導線(Compensation lead wire)と稱す。

補償導線は通常二芯の電線とし、アスベスト等の耐熱性絶緣物で被覆し、300°C 位の高熱には堪へる構造とする。補償導線は卑金屬熱電對の場合には上記の様に、熱電對と同質の材料を用ふるが、貴金屬熱電對用の補償導線としては銅とニッケルとの合金の如き、白金→白金ロヂウム熱電對特性と類似した熱起電力を有する材料を以て補償導線とする。普通補償導線には+を附し接続を誤らぬ様にしてあるが、若し規定の極性通りに接続せぬと、二倍の誤差を生じ、補償導線を用ひぬ場合よりも却て悪い結果となる故、接続の際には極性を誤らぬ様にせねばならぬ。補償導線は一般に比較的高抵抗の電線であるため、内部抵抗の低い計器に接続する時には注意を要する。即ち補償導線を使用することを最初から考慮に入れずに目盛をした計器に、相當な長さの補償導線を後から挿入すると、溫度の讀みが低くなる結果となる。

冷接點の位置は補償導線で任意に延長することが出来るが、冷接點を置く場所の溫度が絶えず變化する場合には、冷接點を魔法壺に入れるか又は恒溫槽に入れて、常に冷接點の溫度を一定に保つ工夫をせ



ねばならぬ。又は冷接點を地下に埋めて、一定溫度に保つ方法もある。地表面下3米突の深さの地點では場所により多少の相異はあるが、年間平均 8°C より 10°C の間に於て $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の溫度變化を見る程度である故冷接點用の等溫裝置として利用するには極めて好都合である。その爲には、適當な鐵管に補償導線と銅の電線とを入れ、鐵管の先端の部分で之等を接続して冷接點を作り、之れを地中に埋め、鐵管上部はコンバウンド等にて充填して濕氣の鐵管内部に侵入するのを防いだ構造のものを用ひる。

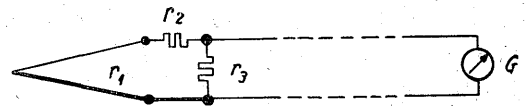
5d. 直列抵抗の挿入による補正法

冷接點の溫度變化に對する補正法の一として、水銀槽を用ひ檢流計回路の直列抵抗を冷接點の溫度の上昇により自働的に短絡して行く方法がある。冷接點溫度が上昇すれば熱起電力は小となり、指示計の振れは小さくならんとするが、水銀槽の溫度上昇により、回路の抵抗が短絡されるので、指示計は結局冷接點の溫度變化に關係なく原位の溫度を指示することとなる。この補正法は熱接點が一定の溫度にあつて、冷接點溫度のみが變る場合には正確であるが、熱接點溫度が變つて行く場合には不正確となる。熱接點溫度が低くなつた場合には補償値が不足であり、反對に熱接點溫度が高くなつた場合には餘分に補償し過ぎるといふ結果となる。

5e. 並列抵抗による補正法

この方法も亦、前節と同様にあらゆる熱接點溫度に對し正確といふ理ではないが、直列抵抗による場合よりも、より良好である。

第3圖に於て



- r_1 を熱電對の抵抗
- r_2 を溫度係數零なる直列抵抗
- r_3 を 0°C に於ける並列抵抗の抵抗値とし
- r_3' を $t^{\circ}\text{C}$ に於ける並列抵抗の抵抗値
- α を並列抵抗の溫度係數
- β を熱電對の比起電力(一定のものと假定す)
- t を熱接點の溫度
- t_0 を冷接點並びに r_3' の溫度
- t' を熱接點の溫度(但し完全なる補償をなすべき)
- t_0' を冷接點の溫度(但し完全なる補償をなすべき)

とする。 r_2 が r_1 に比し極めて大なるものとする時には r_1 は省略することが出来る。 r_2 と r_3 とが下の式のような關係にある時には、冷接點が 0°C 及び $t_0^{\circ}\text{C}$ に於て誤差0となる。



$$\frac{r_3}{r_2} = \frac{\alpha(t' - t_0) - 1}{1 + \alpha t_0'} \dots\dots\dots(2)$$

又、上記の様に r_2, r_3 を選んだ場合、冷接點の溫度が、任意の溫度 t_0 となり熱接點が、任意の溫度 t となつた場合の誤差は下の式で表される。

$${}^{\circ}\text{Cで表した誤差} = t_0 \left(\frac{t' - Kt}{t' - Kt_0} \right) \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{但し } K = \frac{1 + \alpha t_0'}{1 + \alpha t_0} \text{ とす。}$$

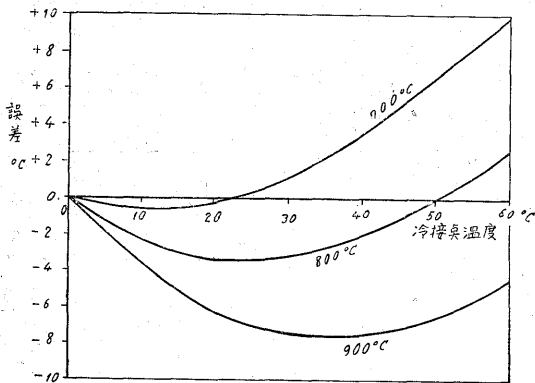
今一例として、鐵→コンスタンタン熱電對を用ひ、熱接點が800°Cで、冷接點が 0°C 及び 50°C で完全なる補正をされるべき r_2 及 r_3 の抵抗の比、及び、かくの如く r_2, r_3 を選んだ場合に冷接點溫度 t_0 及び熱接點溫度 t が任意に變つた場合の誤差を求めて見る。並列抵抗にニッケルを用ひれば $\alpha=0.006$ の溫度係數を持つ故に(2)式より

$$\frac{r_3}{r_2} = 2.7 \text{ を得}$$

(3)式より

$$\text{誤差 (}^{\circ}\text{C)} = \frac{(800 + 4.8t_0 - 1.3t)}{(800 + 3.5t_0)}$$

今この誤差の關係を圖示すれば第4圖の如くなる。圖に於て見る如く、冷接點溫度が0より 60°C



第 四 圖

の如く相當廣い範圍に變化しても、夫れに因る誤差は比較的に少いことがわかる。この並列抵抗による補正法は熱接點の溫度を、ある一定の値に保ち乍ら作業する様な場所に利用すれば、極めて好適であるが、熱接點溫度が餘り變る様な種類の作業場には、寧ろ補償導線を用ひるか、又は冷接點を地中に埋める方法の方が適當である。

6. 熱起電力の測定法

熱起電力の測定法には大別して二つの方法があ

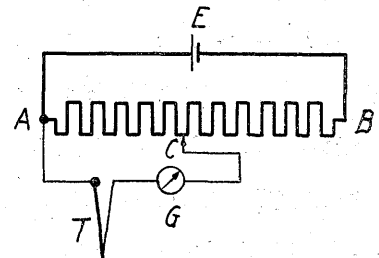
る。最も普通に行はれて居るのは、ミリボルトメーターを用ひて起電力を測定し、之れを直接溫度目盛に目盛るのである。又正確なる溫度測定をなす場合には電位差計を用ひて、起電力を測り、之より溫度を求める。

ミリボルトメーターは永久磁石と可動線輪とを用ひる所謂可動線輪型計器であつて、極めて僅かな起電力の測定に用ひるため、電氣的の感度の良好なものであることを必要條件となる。一般に感度のよい計器は機械的に見て構造が脆弱であるが、溫度計は測定のおほむね振動等の激しい工場現場であ

るため、機械的の強さも同時に要求されるのである。この二つの相反する要求を満すために計器の製作者はその設計に非常に苦しむのであるが、又一方使用者側に於ても、計器の選定に當つてはこの點に充分の考慮を拂ひ、感度は高いが、計器の強さの劣るもの（長期間使用することにより指針の軸が磨滅して誤差を増す等）は避ける様にせねばならぬ。この兩者の要求を出来るだけ多く満足させた計器は優良な計器と云ふ可く、この優良性の度を數字的に表すために計器の良性率(Gütefaktor)といふ觀念があるが、現在我國では未だ、かゝる點まで、考慮して計器の優劣を論ぜられないのは甚だ遺憾である。

熱電對用のミリボルトメーターの内部抵抗は成る可く高いものを選びねばならぬ。熱電對は長く使用した後はその固有抵抗を増すものである事は既に、第2節で述べたが、この抵抗増加は計器の讀みに誤差を起す。しかるに高抵抗の計器ではかゝる僅かな抵抗の増加は無視し得べく、又高抵抗の計器を用ひた場合には、特別な較正を経ずして、同一の熱電對に數個のミリボルトメーターを並列に接続出来るといふ利益がある。然し乍ら高抵抗計器は機械的に見て弱く、又價格も高くなる缺點がある。内部抵抗の低い計器を使用する場合には、熱電對と計器とを連結する導線の抵抗の影響を無視してはならぬ。この導線抵抗の値は、計器製作者が與へる許容制限の範圍内に置かねばならぬ事は勿論である。又補償導線の如き、比較的高抵抗の線を長い區間に用ひる場合には豫め、計器の目盛の際、之れを考慮に入れて目盛を施さねばならぬ。

上述の様に溫度指示計として、ミリボルトメーターを用ひた場合には、熱電對を含む回路の抵抗の變化の影響を測定値の上を受ける缺點がある。又普通の強電流計器に於ては、計器の電流消費量を充分大にとり得るため、精密度の高い計器を設計することが出来るが、熱電對用のミリボルトメーターは電源(熱電對)の有するエネルギーが極めて微小なものであるため計器の精密度を強電計器の様に勝手に高くとることが不可能である。故に熱電對の測定正確度はミリボルトメーターの精密度によつて制限されるといふ缺點がある。電位差計式の測定法はこれらの缺點を完全に除去したものとして、精密な溫度測定を必要とされる場所に賞用される。第5圖は電位差計式の溫度測定法の原理を示すもので、圖中Eは一定電壓を發生する標準電池(Standard cell)とし、ABは極めて高い不變抵抗とする。しかる時には、ABにはEの電壓が抵抗に比例して配分されて居る。熱電對Tの冷接點の一端をAに結び、他端をAB抵抗器中の摺動點Cに結びCをAB上に摺動して、ガルバノメーターGが零を指す様に調整すれば、熱電對の起電力eは



第 五 圖

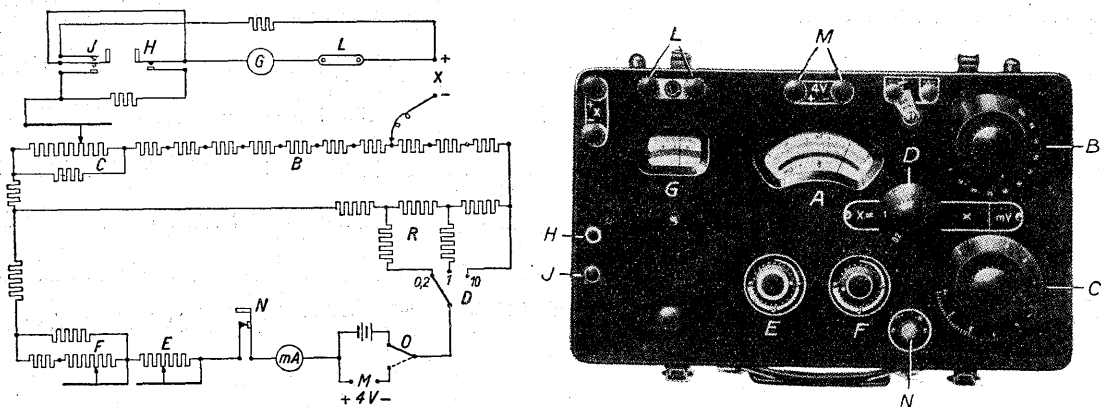
$$e = E \cdot \frac{AC}{AB} \quad \text{で表される。}$$



この e より温度を正確に求めることが出来る。

この方法では熱電對の起電力のみが測定要素に入つて来て、熱電對、並びに、その導線の抵抗は全然測定に關係を持たぬ。

工業測定の場合には、高價で、貴重で、取扱ひの不便な標準電池 E を用ひるのを避け、その代りに充分正確な精密電流計と普通の蓄電池又は乾電池とを用ひて、常に AEB の回路に一定の電流を通じて置き同様な方法で測定をする。第 6 圖右はシーメンス、ハルスケ會社製の工業用電位差計で、左圖はその内部の接続を示す。この種の電位差計は 0.3% の誤差以内の正確度を持つ。電位差計を以てする溫度測



第 六 圖

定は上記の様に熱電對回路の抵抗の變化を受けぬと共に、非常に正確な測定が出来る特長を持つて居るが、又、一方その缺點としては、器械が高價な事と、測定値を指針で指示するといふ所謂直指型でないといふことである。

上述のミリボルトメーターを用ひる直接測定法と電位差計を用ひる間接測定法との兩種を組合せた測定法に半電位差計法(Half Potentiometer method)といふのがある。これは第 5 圖と同様な方法で AC 間に電壓を起し、この電壓を熱電對 T の或る溫度、例へば 1000°C の場合の電壓と等しくする。然る時はガルバノメーター G は 1000°C で零點を指す。 C 點をこのまゝ、固定して動かさずに、熱電對の溫度を上げ又は下げる事により、ガルバノメーターはその零點の右又は左に振れるが、このガルバノメーターの振れを零を 1000°C として溫度の目盛に目盛る。今假りにこの目盛を $900-1100^{\circ}\text{C}$ と目盛りガルバノメーターの誤差を $\pm 1\%$ とすれば、零點(1000°C)より 100°C づつ異なる 900°C 及び 1100°C に於ては $100 \times 0.01 = \pm 1^{\circ}\text{C}$ の誤差を生ずる。この誤差は 900°C 又は 1100°C に對しては、夫々 0.11% 又は 0.0909% の誤差となるのである。即ち、この半電位差計の方法によれば、普通のミリボルトメーターを用ひる場合より、非常に正確度を増し、又電位差計にては企圖出来ぬ、直指型とすることが出来る。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。