

耐 圧 防 爆 形 変 圧 器

大阪変圧器KK 生産第2部 技術課*

赤 川 溥

1. ま え が き

最近、炭坑における切羽動力は、採炭或は運搬の機械化に伴い、甚しく増大してきた。このため、受配電設備の増設が必要となってきたが、従来のように、坑外或は坑特免区域に設けられた受配電設備より給電する場合には、設備費の増大、また、給電される電源電圧の降下等の問題があり、それ等の解決には種々の努力が払われてきたが、幸いにも、近年H種絶縁物の出現により、耐湿内性、耐熱性にすぐれた乾式変圧器の量産が軌道にのってきた。また、化学工場、石油精製所においても可燃性物質ガスを扱う関係上、火災の防止及び万一事故が起つても、その事故が他に波及するのを防ぐために、電気機器の不燃化、耐圧性が問題になつてきて、労働省産業安全研究所技術指針として「工場電気設備防爆指針」が発表されその基準が示されるようになった。

当社においては、これ等の問題に対して、数年前からH種絶縁耐圧防爆形乾式変圧器を完成しているが、特に炭坑用としては、その後、需要家の要望もあり、狭い坑内での運搬、使用に便利のように、その構造の強化、外形寸法の縮小、取扱の簡易化等に努力を注いできた。また、一方安川電機製作所の御協力を得て鋭意研究の結果、1次側気中開閉器、2次側気中開閉器及び変圧器を一体に組合せた移動変電所、所謂マインパワーセンターの完成をみた。

また化学工場用としては、世界的に記録的製品である3相 500KVA を完成したのでその一端をのべる。

2. 構 造

2-1 マインパワーセンターの一般構造

(1) マインパワーセンターは上述のように、1次側気中開閉器、2次側気中開閉器並びにH種絶縁乾式変圧器を同一ベース上に設置した構造のもので、1次側気中開閉器は変圧器1次端子箱側に、そのベースを変圧器のその延長上に設置、2次側気中開閉器は変圧器の側面に直接取付け一体とした構造のものである。

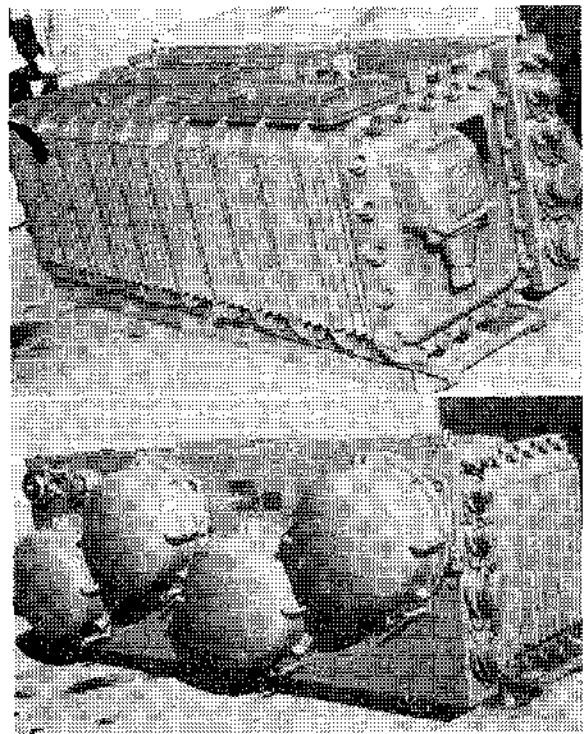
(2) 1次、2次側気中開閉器及び変圧器等すべて、JISC 0901（電気機器の防爆構造）にもとづく耐圧防爆

構造としている。

(3) すべて接続部は運搬、設置時等における振動によるゆるみのないよう充分強固に接続されている。

(4) 外形寸法は坑内のスペースを考慮し出来得る限り小さくしている。

第1図、第2図に常磐炭坑に納入したマインパワーセンター（1次側気中開閉器は附属していない）の外観を示す。



第1図

第2図

2-2 変 圧 器

変圧器は特に狭い坑内での運搬設置に便利のように高さ及び巾を小さくした乾式のH種絶縁変圧器とし耐熱性、耐湿性にすぐれたものとしている。

2-2-1 定 格

(1) 型 式	乾式H種絶縁耐圧防爆型
(2) 相 数	3相
(3) 周 波 数	50又は60サイクル
(4) 定格出力	75~150KVA
(5) 電 圧	1次電圧 3,450 3,300 3,150 3,000 2,850 V
	2次電圧 420 210 V 又は 440

* 大阪市東淀川区元今里北通3の14

220 V

(6) 結 線 Δ Δ 結線

(変圧器は原則として単相3台同一ケースに入れてV運転が可能な構造としている)

2-2-2 鉄 心

鉄心は無機物の表面処理を施した最高級のケイ素鋼板を使用し、更にこれを選別して製品の均一化を期している。上述のように単相内鉄型3台を組合せて特にその高さを低くしている。

2-2-3 巻 線

絶縁方式はH種絶縁を採用している。即ち、巻線にはH種シリコン含浸ガラス巻線を使用し、絶縁物には、シリコンガラスクロス、シリコンマイカ、シリコン積層品、アスベスト、磁器等を主体とし、その結合材としてシリコンワニス及び同等の性質をもつ接着剤を使用している。また、導体の接続には圧接、または特殊半田を採用し高温に充分耐えるよう注意を払っている。

(1) 混触予防板 混触予防板は高圧及び低圧の間に挿入しこれを一括ケースに接地して危険を防止している。

(2) エアーダクト 乾式変圧器特に密封型のものでは巻線の温度上昇の見地から充分な冷却効果をもたせるために、鉄心或は巻線に適当なダクトを設けて器内空気の対流作用が最大限に行われるよう特に留意している。

第3図、第4図、第5図に変圧器の中身の構造を示す。

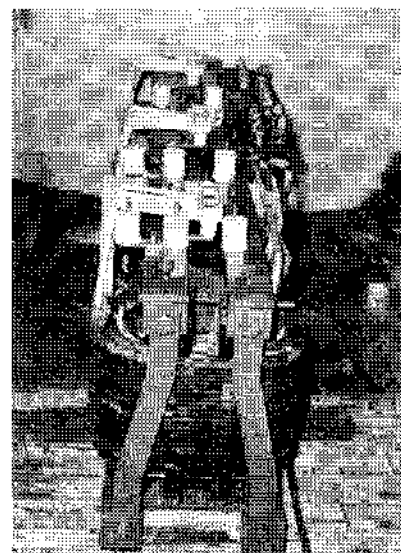
2-2-4 ケ ー ス

ケースは耐圧防爆規定による内圧に耐えることは勿論外部からの衝撃、腐蝕に対しても充分強固のように製作し、また、ケースの外観についても全体のバランス等について留意している。

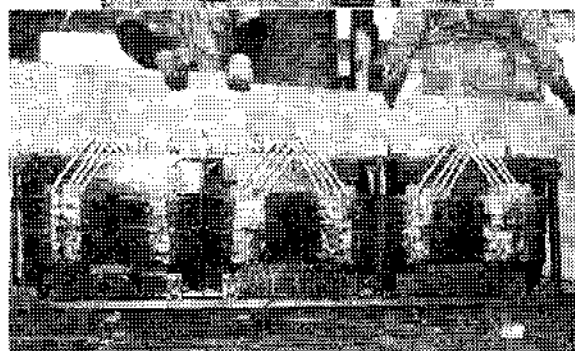
ケースには高、低圧用ハンドホール、1次端子箱、2次引出口、水抜栓、補強用リブ、放熱用リブ等を設けている。

(1) ハンドホール ハンドホールとして高圧側のタップ切換用と低圧側の直並列切換用の2ヶを設け容易にそれぞれの操作が出来るようにしている。

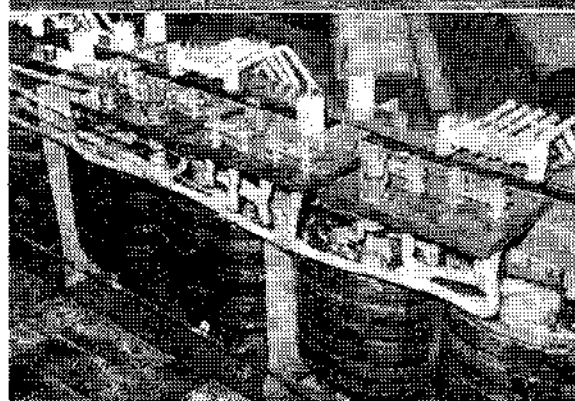
(2) 1次端子箱 1次端子箱はケースのカバー部に設け安全増構造として、ブッシングには溶剤レス端子を採用して、ケーブルとの接続に便利よう考慮している。ケーブルヘッドはアーマードケーブル用のものを設けコンパウンドを充填して密封構造を保つようにしている。また、端子箱内には接地端子を設けている。メインパワーセンター用として1次側気中開閉器を取付ける場合には、このケーブルヘッドで開閉器とケーブル接続をするようになっている。



第3図



第4図



第5図

(3) 2次引出口 マインパワーセンター用として2次側気中開閉器を取付ける場合はこの2次引出口に直接取付けられるが、2次側開閉器を必要としない時、即ち、変圧器単独にて使用する場合、または別個に独立して使用する場合には、この引出口のフランジ面をそのまま利用し1個或は数個のケーブルヘッドをもつた2次端子箱を取付け、キャブタイヤーケーブル接続を行なうことが出来る構造になっている。即ち、2次側開閉器及び2次端子箱取付けのケースフランジが共用となっているので非常に便利になっている。

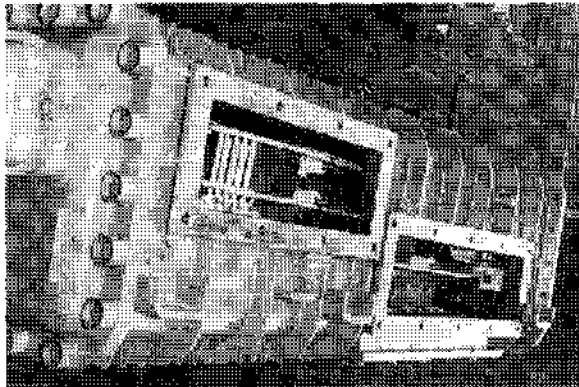
2次ブッシングも1次ブッシングと同様溶剤レス端子とし、また、それぞれの分岐数に従い箱内に接地端子を設けている。

(4) 水抜栓 湿度の高い坑内で使用されるので、

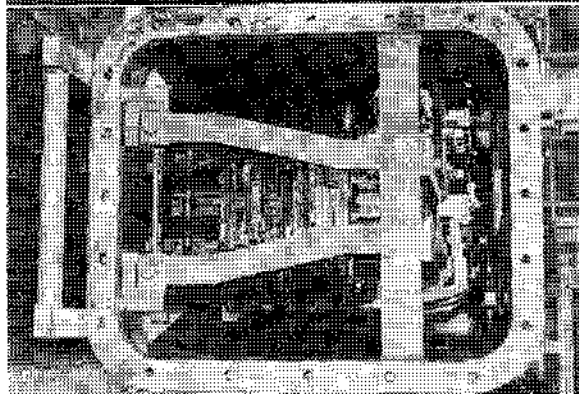
呼吸作用によるケース内部への水分の浸入はある程度まぬがれない。このため変圧器側面下部に水抜栓を設け、カバーを取りはずさないでも簡単に水抜きが実施出来るようになっている。

(5) 補強用放熱用リブ 変圧器ケース側面並びにカバー内面には防爆規定の内圧に充分耐え得るように補強用リブを溶接し、また、放熱用にリブを側面カバーに取付けその温度を充分安全な温度まで低下させている。

第6図、第7図に変圧器の本体構造を示す。



第6図



第7図

ことに止めたいと思う。

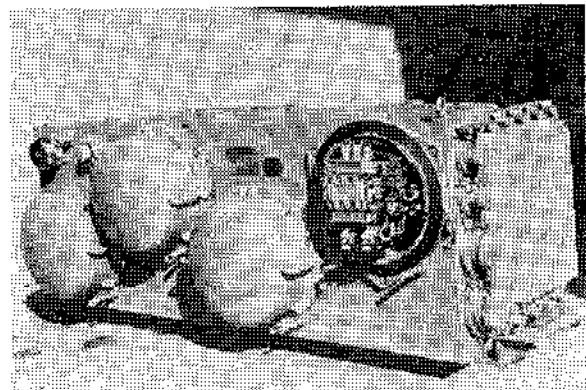
2-3-1 1次側気中開閉器

耐圧防爆型	1次側
マグネトリッド	高圧気中電磁開閉器
定格電圧	3,450 V
定格電流	200 A
遮断容量	3,450 Vにて 25MVA

2-3-2 2次側気中開閉器

耐圧防爆型	2次側
マグネトリッド	低圧気中電磁開閉器
定格電圧	600 V
定格電流	100 A
最大適用電動機容量	22KW (30HP) 200 V級 45KW (60HP) 400 V級

この開閉器は従来のものに比して甚しく小形化されており、分解、組立の容易なこと、機械的耐久度の大なること、遮断容量の大きいこと等、多くのすぐれた特長をもっている。



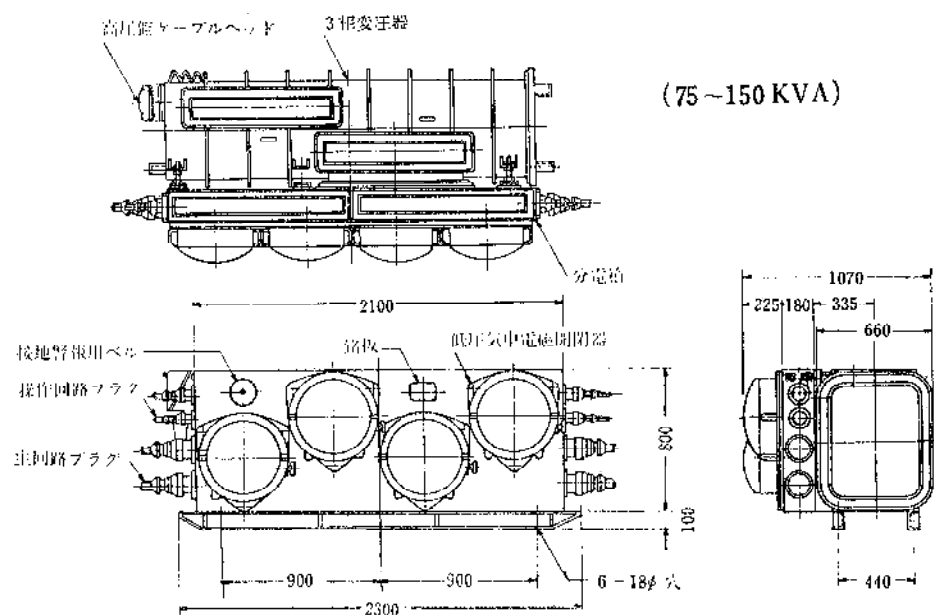
第8図

2-2-5 温度上昇

巻線の最高温度上昇値は JEM-R 2005 に規定されているように、抵抗法にて 140°C 以下 (周温 40°C にて) とし、また、ケースの温度上昇は 45°C 以下としている。

2-3 開閉器

1次、2次側気中開閉器は前述の様に安川電機製であるが、これ等開閉器については「安川電機」(71号-30年10月、73号-31年4月、84号-34年1月)に詳細に報告されているので、こゝではその大略を述べる



第9図

2次開閉器は変圧器に直結している分電箱に取付けられているが、この分電箱には開閉器以外に耐圧防爆型の警報ベル、主回路用、操作回路用プラグ及び1次側気中開閉器用操作開閉器が標準として取付けられている。第8図に2次側電磁開閉器の外観及び内部構造を示す。

2-3-3 接地継電器

この耐圧防爆型坑内接地継電器は、防爆と感電防止の2点について保護するものであつて、直流重畳新保護方式を採用したものである。本継電器は2次側気中開閉器と並べて設置するが、分岐の数によつては単独設置型のもを組合せることもある。

3. マインパワーセンターの種類

マインパワーセンターの種類としては下記の様に4種の場合がある。

3-1 1次側気中開閉器・変圧器・2次側気中開閉器付の場合

この方式を標準型として採用している。即ち、上記3つの機器を同一ベース上にコンパクトにまとめたもので、その外形寸法を第9図に示す。一方、切羽近くまでレールが敷設してある場合には、台車付のマインパワーセンターを使用することが出来る。

とくに2次側気中開閉器に耐圧防爆型低圧手動遮断器を必要とする場合には、ノーヒューズ遮断を取付ける。

3-2 1次気中開閉器・変圧器付の場合

この方式は上記の2つの機器を同一ベース上にまとめた構造のもので、2次側気中開閉器は集団切羽開閉器として別置きとするものである。

3-3 変圧器・2次側気中開閉器付の場合

この方式は上記の2つの機器を直結したもので、先に述べた常磐炭坑に納入したマインパワーセンターがこれに相当する。1次側気中開閉器は標準製品の耐圧防爆型マグネグッド高圧気中電磁開閉器を別置きとして使用することもある。尚2次側気中開閉器には耐圧防爆型低圧気中電磁開閉器を採用したものが標準であるが、場合によつては、ノーヒューズ遮断器を取付けることも可能である。第10図に変圧器、2次側気中開閉器付の外形図を示す。

3-4 1次側気中開閉器・変圧器・2次側気中開閉器をそれぞれ単独設置する場合

この方式は現在ではあまり採用されていないが、250 KVA以上のものに対して使用される場合が多い。

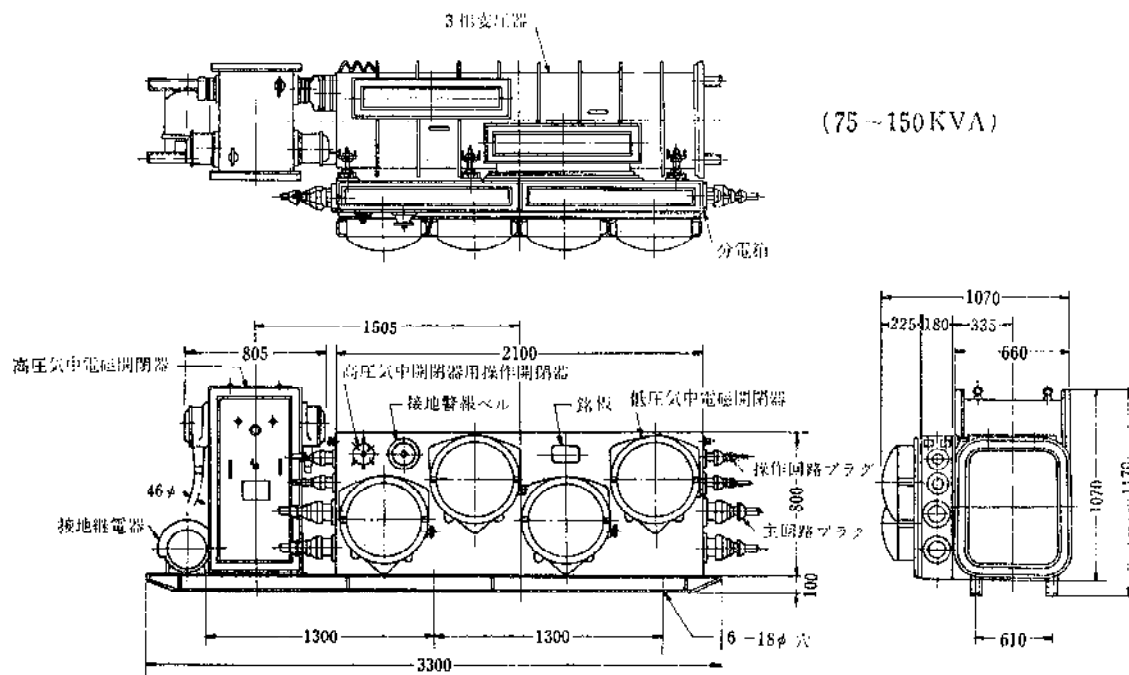
4. マインパワーセンターの特長

マインパワーセンターの特長を列記すれば下記の通りである。

(1) 変圧器は耐湿、耐熱性にすぐれたH種絶縁乾式変圧器を採用しているので、従来のような絶縁油による火災の心配がなく、絶縁物の劣化も少い。

(2) 変圧器、開閉器を一体にして外形寸法を小さくしているので、移動、設置が簡単で据付面積を多くとらず、また、切羽近くにおいて使用できるので、電圧降下の心配がなく、ケーブルの設備費が非常に少なくて済む。

(3) もつとも保守、点検を必要とする2次側気中開閉器は、1本のボルトをはずすことによつて防爆カバーを取除くことができるので内部の点検、手入が極めて容



第 10 図

易である。

(4) 短絡及び接地事故の保護装置を完備している。

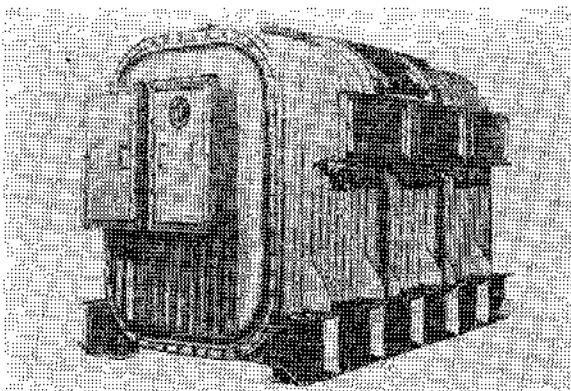
5. 500KVA耐圧防爆型変圧器

5-1 定格事項

本500KVA耐圧防爆型変圧器は、以上のべたメインパワーセンターに用いられた乾式変圧器と同様のものであるが、化学工場用電源変圧器として用いられ大容量であるために、特殊の設計を採用している。以下その異なる点のみ記す。

- | | |
|-----------|---|
| (1) 設置場所 | 第1種場所 |
| (2) 防爆記号 | 爆発等級d ₂ 発火度G ₁ |
| (3) 適用規格 | 労働省産業安全研究所
「工場電気設備防爆指針」
TEC, TEM |
| (4) 防爆構造 | 耐圧防爆形構造 |
| (5) 変圧器定格 | 3相 60~500KVA連続
1次電圧 3,450~3,000V△
2次電圧 220V△
H種絶縁乾式自冷式 |
| (6) 寸法 | 巾2,890mm×奥行1,720mm×
高さ1,825mm |

第11図はその外観を示す。



第 11 図

6. 変圧器の構造

6-1 内部冷却空隙

耐圧防爆型変圧器においては全閉構造であるため、巻線、鉄心の温度は気体を媒体として外箱表面から大気中に放散させねばならないので、内部冷却空隙のとり方が温度上昇を決定する大きな要素となる。また冷却空隙を大きくしても尚放熱効果は悪いので、H種温度上昇規格としても、巻線、鉄心の損失を減じることが重要な問題となる。当社の実測値および他の文献によっても縦方向の空隙長さが約500mm以上になると、普通油入変圧器に用いている5~9mm相当の空隙では冷却効果はほとんどないようで、空隙内空気温度が巻線平均温度より高

くなる結果を生じて、巻線温度は予想以上に高くなる。普通空隙長500mm位までは最低10~12mmの空隙が必要であり、これ以上の場合は更に大きな空隙、損失の減少が必要となってくる。

6-2 鉄心

鉄心は中央に冷却用空隙を設け表面温度と内部温度との差を少くし、且空隙長さを短くするために五脚鉄心としている。同時に損失を減少させるため磁束密度は油入形に比し約25%低い値とし、これにより鉄心切断面のみの単位損失当りの放熱面積は油入形に比し約4倍とした。

6-3 巻線

2次巻線は電流が大きいので放熱効果をより多くする双成円板巻線とし、全巻線並列に接続して配線に便なるよう外側に巻いている。1次巻線は内側に巻き自然対流作用が良好でかつタップによる起磁力の影響の少ない円筒層巻線としている。巻線間は6・1にて述べたように必要空隙を設け温度上昇の減少、均一化を計っている。巻線は1次、2次共高さを合せ各巻線毎に、テーピングを行い巻線全体を組んでから更にシリコンワニス真空含浸しているので、機械的強度は著しく増大されている。インピーダンス電圧は短絡機械力を考慮して5%とした。

シリコンワニスは優れた絶縁性、耐湿性を有し、巻線、絶縁物の表面は完全にワニスで覆われて光沢のある滑らかな面となるので、塵埃、湿気に対して非常に良好なる絶縁特性を有している。巻線電流密度は油入形機器に比し約 $\frac{1}{2}$ として空隙と相俟つて温度上昇を減じた。単位損失当りの巻線有効冷却面積は油入形機器に比し約5倍とした。また防爆指針に従い、1次、2次間に混触予防板を設けている。

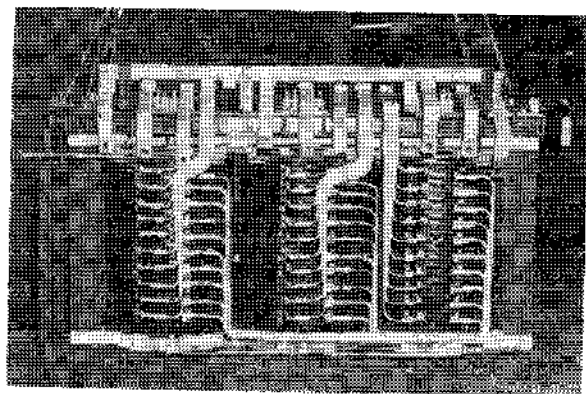
6-4 中身構造

中身構造についても気体の流通は非常に重要であり、特に巻線の上下部、鉄心、コア締間、巻線押え金具、1身ベース部、など何れも充分なる流通性をもたなければ、予想以上の温度上昇を起すことがある。特に絶縁物の歪み、余分なワニスの附着のため空隙が狭くならないように注意すべきである。中身は外箱側面より挿入する構造とし、上下8ヶ所で強固に外箱に固定されている。

第12図に中身構造を示す。

6-5 端子箱

端子箱は本体に付属して外部配線との接続、および機器本体への導線引込を行なうもので、防爆構造上特に重要な部分であり、防爆規格を満足すべきは勿論、安全度が高く接続が容易、確実な構造としている。1次側端子箱はケーブル接続であるので安全増防爆構造とし、外部導線引込方式は防塵固着式、本体への導線引込は耐圧



第 12 図

スタッド式としている。2次側は3相600Aの外部配線を接続し得る端子箱を前後3組宛計6組設置している。このため貫通金具、取付金具、本体への引込部は何れも非磁性金属を使用して、渦流損による局部加熱を防止している。2次側端子箱もケーブル接続であるので安全増防爆構造とし、外部導線引込方式は防塵パッキング式、本体への導線引込は耐圧スタッド式としている。引込口にはバルマウスを設けて引込口におけるケーブルの曲げを保護している。

6-6 外 箱

耐圧防爆構造変圧器の外箱は内容積100cm³を超えるものは10kg/cm²以上の内部耐力に耐えねばならない。

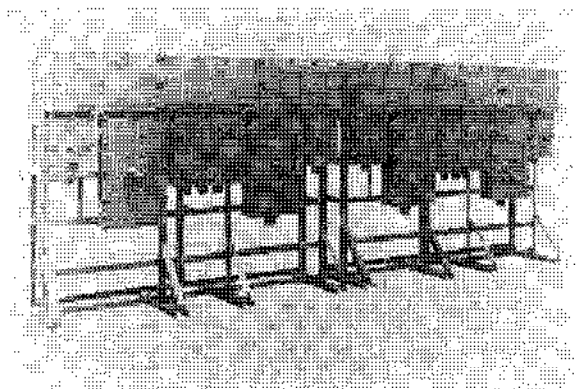
外箱は衝撃に強く重量が軽くてすむ鋼板製とし、両側面鏡板は外部に丸味をもつて圧出し内部は十字はりで補強している。外箱断面は奥行寸法の関係上四隅に丸味をもたせた長方形として、外部は大、小の補強リブを全周に溶接している。このリブは冷却ヒダを兼ねているので、別に冷却リブ、波板は設けていない。補強計算については、1, 2, の文献、試験データが発表されているが、外箱側面には2次側端子箱、かつこれに接続するためのハンドホールが必要となるため、補強リブの大きさ、ピッチ等の内圧に対する計算は非常に困難になり、この部分は内部補強リブを必要とすることになり外箱断面寸法、補強リブは大きなものになる。外箱、および端子箱の接合面は全部の溶接加工後充分焼鈍、歪取りを行つた上、一体として機械仕上げを行なうので、仕上面(35-S以上)の接合程度の変化を来すことはない。外箱は接合面を除いて防錆処理を施し、耐熱耐蝕塗料を焼付けている。外箱放熱面積は内部温度媒体が気体であるが、絶対温度が油入形機器に比して高いため冷却には有利であり、単位損失当りの有効放熱面積は油入形機器の約2倍とした。外箱内の見易い位置で外箱に接地させ、混蝕予防板付の表示として㊦の銘板を取付けている。

7. 工場用防爆形分電盤

変圧器には3箱600Aの2次端子箱を6組設置しているが、更にこれより少負荷に分電するため、2次側端子箱1組より引込み、これを3箱225A×2回路、3箱100

A×2回路に接続する分電盤、気中遮断器を自立架台に収め付けたものを変圧器1台につき2組宛設置している。

爆発等級d₂、発火度G₁、耐圧防爆構造とし、構造面は防爆指針に準拠している。第13図にその外観を示す。



第 13 図

8. 試 験

8-1

温度上昇試験は2台の返還負荷法で行つた。耐圧防爆形変圧器においては銅損のみ供給などの等価法では、同じ設計の既知の測定値、および豊富な資料がなければ「--」の誤差を生ずることがある。又温度上昇勾配が非常にゆるやかなので、長時間の測定が必要である。

8-2 特性測定値

無負荷損失 2,500W

負荷損失 3,900W

インピーダンス電圧 5%

温度上昇値(周囲温度を差引いたもの)

1次巻線(抵抗法) 113°C

2次巻線(最高部温度計挿入) 100°C

鉄心上部 87°C

器内空気最高部 60°C

外箱最高部 30°C

9. む す び

以上マイパワーセンター及び500KV A耐圧防爆形変圧器についてその大略をのべた。今後炭坑の合理化に伴う機械化及び石油化学工業の発達につれてこの種の、変圧器は益々多く採用されることになると思われる。この拙文が何等かの参考になれば幸である。

参 考 文 献

- (1) 永田, 高山 "マイパワーセンター" 安川電機第23巻, 第84号, (昭34.1月号)
- (2) 工場電気設備防爆指針: 労働省産業安全研究所
- (3) 変圧器の設計工作法: 木村久男
- (4) 耐圧防爆形容器の強度計算と爆発試験: 兼平, 中尾