拖动2700MM×3600MM球磨机
TDQ系列同步电动机
使用KLFK系列可控硅整流装置励磁

重载起动試驗报告

（内部资料）

北京电机修理厂

1971

毛主席語录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前　　言

在毛主席无产阶級革命路綫的指引下，在我国社会主义革命和社会主义建設的高潮中，拖动重載起动机械的同步电动机使用可控硅整流励磁——这項具有先进水平的新技术試驗成功了。并已应用于生产。这是毛主席无产阶級革命路綫的伟大胜利！

在鞍鋼宪法精神指引下，新技术，新产品，新材料，新工艺不断涌現。用于空載和輕載起动的同步电动机的可控硅励磁技术得到了迅速推广。我厂試制成功并成批投产了供輕載起动 TDK 系列同步电动机励磁的 KLF 系列可控硅整流装置（主电路为三相半控桥式整流綫路）。可是，在矿山，冶金等工业企业中的大量传动机械都是重載起动的。那种供輕載起动同步电动机励磁的 KLF 系列可控硅整流装置应用于重載起动的同步电动机效果如何呢？我們同使用单位及产品原設計单位协作进行了多次試驗，証明 KLF 系列可控硅励磁装置使用在重載起动的同步电动机上是不够可靠不够完善的。

为了使这項先进水平的新技术迅速应用于矿山，冶金等需要重載起动的場合，落实伟大領袖毛主席“**狠抓矿山建设，大打矿山之仗**”的指示，我們試制了适于重載起动的可控硅励磁装置（主电路为三相全控桥式整流綫路），并小批投入生产，为首都鋼鉄公司新建水厂鉄矿选矿厂 8 个系列 16 台球磨机所有重載起动同步电动机配套。为将此系列可控硅整流装置与 KLF 系列可控硅整流装置区分，暫将此系列适于重載起动的可控硅励磁装置命名为 KLFK 系列。

为检驗此系列可控硅整流装置的可靠性，特进行此次起动及运行試驗。在試驗过程中，首鋼矿区会战指揮部，冶金部鞍山矿山設計院与我們一起在多台机組上，在各种負荷状态下，在各种网路电压下进行了多次試驗。經試驗証明，拖动球磨机的大型同步电动机采用 KLFK 系列可控硅整流装置励磁，具有运行可靠，自动化水平高，維修工作量小，对于网路电压波动适应性强和重載起动的特点，从而提高了生产效率。由于本装置体积小，重量輕，效率高，耗电小，还可节省建設投資和大量电力。

这次試驗的成功証实了拖动重載起动机械的同步电动机采用可控硅整流励磁是可靠的，它将逐步代替过去那套落后的四十年代的励磁設备，实現同步电动机励磁系統的无接点化和电子化。

拖动2700MM×3600MM球磨机400KW、380KW、TDQ系列同步电动机使用KLFK系列可控硅励磁装置重载起动试验报告

一、试验目的：

在此次試驗之前，我們与首都鋼鉄公司、鞍山矿山設計院和一机部电传所等单位一起曾用KLF系列可控硅整流装置（三相半控桥式整流綫路）供拖动球磨机重載起动的TDQ系列同步电动机励磁，作了一次試驗。証明KLF系列整流装置供重載起动的TDQ系列同步电动机励磁不够可靠和完善，影响了同步电动机的牵入轉矩和励磁装置主电路可控硅元件的正常換相(詳見工业試驗报告)。后，我們試制了KLFK系列的可控硅励磁装置(三相全控桥式整流綫路)，弥补了KLF系列可控硅整流装置的不足，但不知經改进后，起动，运行效果如何，特进行这次試驗。

二、拖动2700 MM×3600 MM球磨机同步电动机及可控硅整流励磁装置铭牌数据如下：

1．拖动1～3系列6台2700 MM×3600 MM球磨机的同步电动机銘牌数据：

三相同步电动机

型号：TDQ 215/29～32	功率因数：0.9
容量：400 KW	励磁电压：79 V
电压：3000 V/6000 V	励磁电流：228 A
电流：95.4 A/47.7 A	接法：2 Y/Y
轉速：187.5 轉/分	标准編号：0512、006
重量：8.6 吨	出厂編号：69～13～6～18
頻率：50 周	出厂日期：69 年 12 月

〈东方电机厂制造〉

2．拖动4系列2台2700 MM×3600 MM球磨机的同步电动机銘牌数据如下：

同期电动机

型式：——	功率因数：0.9 越前
容量：380 KW	励磁电压：107 V
电压：6000 V/3000 V	励磁电流：109 A
电流：45 A/90 A	相数：3
轉速：187.5 轉/分	定額：連續
頻率：50～	出品編号：9082～2
接法：Y/YY	出厂日期：1970 年

〈上海电机厂制造〉

3．供1～2系列4台400 KW同步电动机励磁的可控硅整流装置銘牌数据如下：

可控硅整流装置

型号：KLFK 250/90　　出厂序号：70424（等）

交流輸入：～380 V　　直流輸出：250 A，0～90 V

重量：510 kg　　出厂日期：1970年11月

〈北京电机修理厂制造〉

4．供3系列2台400 KW同步电动机，4系列2台380 KW同步电动机励磁的可控硅整流装置銘牌数据如下：

可控硅整流装置

型号：KLFK 200/90　　出厂序号：——

交流輸入：～380 V　　直流輸出：200 A，0～90 V

重量：500 kg　　出厂日期：1970年11月

〈北京电机修理厂制造〉

5．同步电动机励磁繞組放电电阻銘牌数据：

电阻器　　〈上海起重电器厂〉

型号：ZK 1——2/140

全电阻值：5.6欧姆

額定电流：29 A

通电率：100%

耐压：2000 V/1分钟

6．測得同步电动机其它数据：

«表一»

台次 \ 项目	转子励磁绕组直流电阻值（−10℃）	转子励磁绕组放电电阻值
一系列一次	0.2095 欧	2.0 欧
一系列二次	0.212 欧	1.98 欧
二系列一次	0.209 欧	1.91 欧
二系列二次	0.212 欧	2.06 欧
三系列一次	0.207 欧	2.03 欧
三系列二次	0.207 欧	2.03 欧

三、关于拖动4系列1～2次球磨机380 KW同步电动机励磁绕组改接线的说明：

1．拖动4系列2台球磨机的同步电动机原設計使用东方电机厂TDQ 215/29～32型同步电动机，但貨沒发到，又工期紧迫，即用上海电机厂380 KW同期电动机代用。但此型号电机励磁电压过高，可控硅励磁装置輸出电压无法达到此值；又因此种型号电机要求励磁电压較高，起动时轉子励磁繞組两端感应的交变电压峰值也高，使得可控硅整流装置

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

主电路元件电压安全系数降低，有击穿危险，故不能使用。

2．矿区設計单位从此点出发，将同步电动机励磁繞組更改接綫，由原来的一路接法改为二路接法，即将額定励磁电压降低1倍至55 V左右，額定励磁电流上升1倍至218 A左右。这样改接綫后，新的問題又产生了：可控硅励磁装置額定輸出为90伏，200安，依照更改后的接綫，可控硅励磁装置运行于輸出电压較低而輸出电流較大的情况下，使得通过主电路可控硅整流元件的电流峰值加大，违犯了可控硅整流元件的运行規范。根据經驗，这种工作状态还可造成主电路整流变压器的过載，故是不能采取的。

3．經研究决定在更改同步机励磁繞組接綫的前提下，改变可控硅励磁装置整流变压器規格，改用KLF 300/75型整流变压器，降低直流輸出額定电压，即能有效地解决以上問題。

4系列2台同步机励磁繞組放电电阻阻值的选择同以上3系列一样，选择在9～10信的励磁繞組直流电阻值（常溫下）的范围內。

四、试验前测量400 KW同步电动机在起动过程中的有关参数：

此項試驗主要是測定起动过程中，同步电动机励磁繞組在放电电阻 R_{Fd} 上的感应电压 U_{dsm} 与感应电流 I_{dsm} 以核对可控硅励磁装置有关元件是否可以投入运行。这項測定在一系列1次400 KW同步电动机上进行。

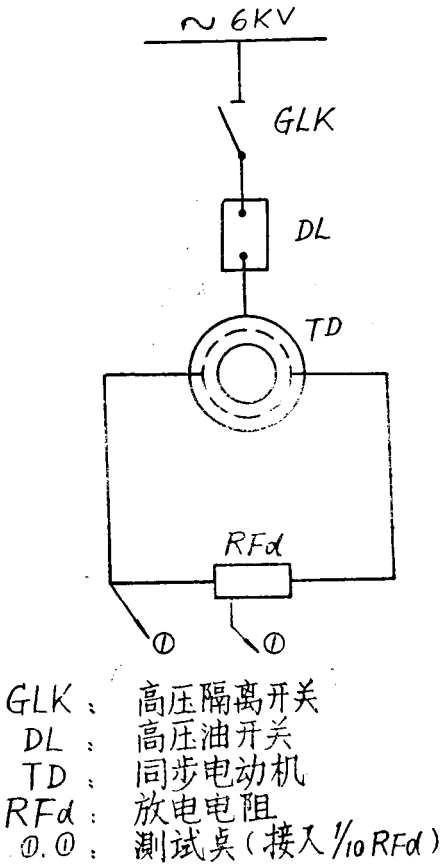

图 一

1．測定时的接綫和示波器观測点如图一所示：

用SB-14型示波器观察同步机起动过程中在放电电阻 R_{Fd} 上的感应电压峰值。

放电电阻 R_{Fd} 为2.0欧。

測量前估計同步机起动时在 R_{Fd} 上的感应电压峰值 U_{dsm} 小于1000 V，所以取放电电阻 R_{Fd} 的1/10（0.2欧）为SB-14型示波器的信号源，再在SB-14型示波器上找出100 V交流峰值电压的比較信号（从一单相調压器获得），这样，示波器瑩光屏上就找出了同步机起动后在放电电阻 R_{Fd} 上感应的峰值电压 U_{dsm} 1000 V的对应值，以便于换算。

同步机起动时在放电电阻 R_{Fd} 上的感应电流 I_{dsm}，也可从观察到的轉子感应电压数据和所接入的放电电阻 R_{Fd} 的欧姆值計算得出。

2．測定說明：

（1）測定过程：

起动同步电动机至亚同步速时停車，用SB-14型示波器观察此过程中轉子感应电压波形变化。

同样条件下观察2次。电机起动正常。

（2）观察到的轉子感应电压波形变化如图二所示：

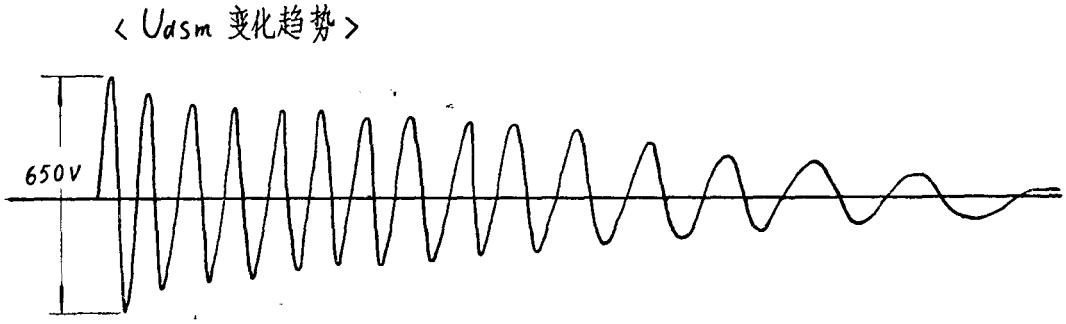

图 二

3．以两次起动过程所测参数（R_{Fd}为 2.0 欧）核对 KLFK 250/90 型可控硅励磁装置有关元件是否可以投入运行：

两次观察，所得数据大致相同，核算中以大的数据进行。

（1）核对三相全控桥可控硅整流器 1～6 KGZ 是否可以承受同步机起动过程的感应电压 U_{dsm}。

KLFK 250/90 型可控硅整流装置所用可控硅整流元件 1～6 KGZ 规格为 3 CT 100 A / 500 V 和 3 CT 100 A /600 V 两种。

$$U_{(dsm)}=\frac{2U_{KGZ}\cdot K_1}{K_2}$$

式中：

$U_{(dsm)}$——三相全控整流桥所能承受的最大正、反向阻断峰值电压

U_{KGZ}——可控硅整流器 1～6 K_{GZ}标称电压

K_1 ——均压系数（取 0.9）

K_2 ——安全系数（取 1.5）

以 3 CT 100 A /500 V 规格元件計算：

$$U_{(dsm)}=\frac{2\times500\times0.9}{1.5}=600(\text{V})$$

以 3 CT 100 A /600 V 规格元件計算：

$$U_{(dsm)}=\frac{2\times600\times0.9}{1.5}=720(\text{V})$$

同步电动机起动过程中所产生的最大感应电压 U_{dsm}，测定为 650 V。

即当选用 3 CT 100 A /600 V 元件时：

$U_{(dsm)}>U_{dsm}$ 可以滿足要求。

当选用 3 CT 100 A /500 V 元件时：

$U_{(dsm)}<U_{dsm}$，安全系数小于 1.5 降至 1.3 左右，故以选用 3 CT 100 A /600 V 元件合适。

（2）核对与放电电阻 R_{Fd}串联的可控硅整流元件 KGZ 1 和硅整流元件 GZ 的电流容量：

KLFK 型可控硅整流装置所用可控硅元件 KGZ 1 为 3 CT 100(A)/400(V)，硅元件GZ为2 CZ 100(A)/500(V)。

現以图一所示接綫測得的感应电压 U_{dsm}与放电电阻 R_{Fd}的关系算出起动过程中流經 R_{Fd}的感应电流 I_{dsm}来核算可控硅元件 KGZ_1 与硅元件 GZ 的电流容量。

按照可控硅整流器与硅整流器技术规格，元件的标称电流是指正弦半波平均电流如图三所示。在正弦半波导电情况下，峰值电流 $I_{KGZm}(I_{GZm})$与平均值电流 $I_{KGZ}(I_{GZ})$的关系为：

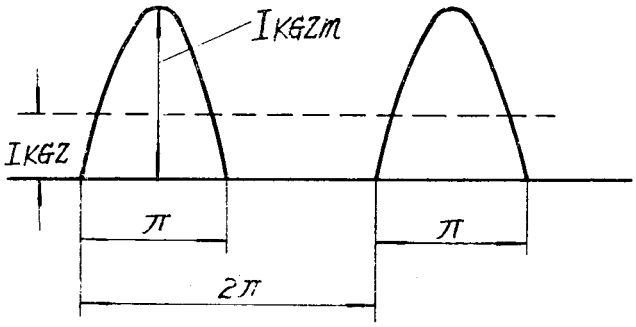

图 三

$$I_{KGZm}=\pi\cdot I_{KGZ}=3.14\,I_{KGZ_1}$$
$$(I_{GZm})\qquad(I_{GZ})\qquad(I_{GZ})$$

KLFK 250/90 型可控硅励磁装置中与 R_{Fd}串連的可控硅元件 KGZ_1 与硅元件 GZ 的电流平均值（标称值）为 100 安，其允許通过的峰值电流 $I_{KGZm}(I_{GZm})$为：

$$I_{KGZm}=3.14\cdot I_{KGZ}=3.14\times100=314(\mathrm{A})$$
$$(I_{GZm})\qquad(I_{GZ})$$

所試一系列一次 400 KW同步电动机励磁繞組外接放电电阻 R_{Fd}为 2.0 欧。在起动后，第一个周波观察到的感应电压 U_{dsm}为 650 V，此时流經放电电阻 R_{Fd}的峰值电流为：

$$I_{RFdm}=\frac{650}{2}=325(\mathrm{A})\ (\text{峰值})$$

但 I_{RFdm}电流在同步机起动过程中，只維持了 0.5～1 个周期，虽然此值超过了 KGZ_1 与 GZ 的允許峰值电流（314 A），但可控硅元件与硅元件在一个周期时間內具有 5～10 倍的过載能力，故不能以此值考核。而应以同步机起动至亚同步速过程中維持时間較长的感应电流核算。

从图一所示接綫观察到的轉子感应电压峰值，除第一个周波为 650 V 外，維持較长时間的感应电压为 550 V 峰值。以此感应电压所产生的电流来考核 KGZ_1及 GZ：

$$I_{RFdm}=\frac{550}{2.0}=275\,\mathrm{A}\ (\text{峰值})$$

I_{RFdm} 小于可控硅及硅元件 KGZ_1 与 GZ 的允許峰值电流（314 A），但电流儲备系数較小，考虑使用条件 KGZ_1及 GZ 仅在同步机起动短时間內（10 秒以內）通电，所以就完全滿足使用条件了。

五、拖动 2700MM×3600MM 球磨机 400 KW，380 KW 同步电动机使用 KLFK 250/90，KLFK 200/90 型可控硅整流装置励磁起动试验记录：

（一）試車系統接綫見电气原理图及接綫图，系統工作原理，使用方法及調試說明，元件明細表均見本厂所編“同步电动机可控硅励磁装置 KLFK 系列說明书”。

（二）試車前 KLFK 系列可控硅励磁装置有关参数整定如下：

1．与放电电阻 R_{Fd} 串联的可控硅元件 KGZ_1 的导通开放电压为 300 V 峰值。

2．投励环节电阻器 14R 在 150——270 K 范围內（各台装置均不相同），其投励时所需的充电时間为 10～15 周范围內，折合轉差即为 3.3～5%范围內。（轉差折算方法的推导过程及工作原理可詳見“同步电动机可控硅励磁装置整定，調試方法”）。

3．电压負反饋的整定：

KLFK 系列装置出厂时整定的电压負反饋較强，其特性見图四。这样，交流电网电压波动时，励磁电压，电流变化較大，根据一些单位使用經驗，这样会出現励磁电压，电流大幅度变化和振蕩現象，故将此电压負反饋适当减弱，使网路电压上升 5%时，直流輸出电压下降 2 V 左右，网路电压下降 10%时，直流輸出电压上升 2 V 左右。

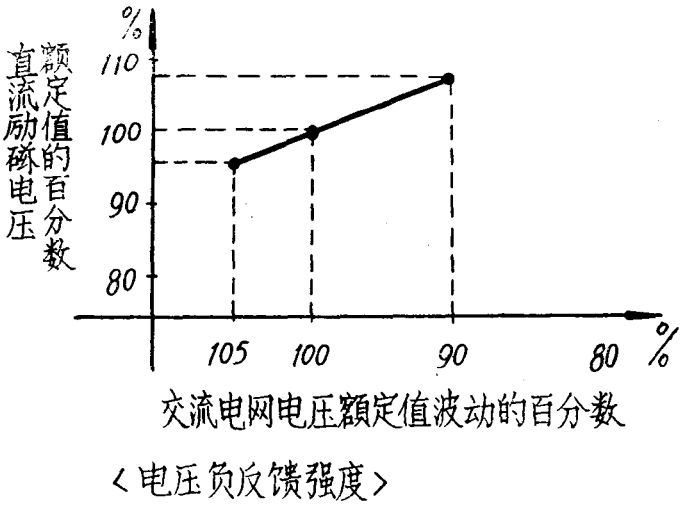

图 四

4．直流过流继电器 LJ 的整定：

KLFK 250/90型可控硅励磁装置直流过流继电器 LJ 的动作整定值为 300 A，KLFK 200/90 型为 250 A。

关于直流过流继电器使用在 KLFK 系列可控硅励磁装置上，在起动中所遇到問題下面还将談到。

（三）試車情况說明：

1．第一程序：

拖动球磨机 TDQ 型同步电动机空載起动，試驗結果列入表二：

«表二»

一、二、三、四系列1～2次400 KW，380 KW

TDQ型同步电动机拖动2700 MM×3600 MM球磨机空载起动（不装料，不通水）用KLFK系列可控硅整流装置励磁起动试验结果

项目 / 台次	励磁绕组直流电阻值 (R_L)	放电电阻 R_{Fd} 电阻值 (R_{Fd})	同步机定子电网电压	投励环节的充电周波数	投励时的转子较差 (S)	投励时的励磁电压值 (U_d)	投励时的励磁电流值 (I_d)	同步机起动至投励的总时间 (t)	试验结果
	—(10℃)欧姆 (Ω)	欧姆 (Ω)	(伏) (V)	周 (HZ)	%	伏 (V)	安 (A)	秒	
一系列一次	0.2095	2.0	5600	14	3.6	48	170	4	成功
一系列二次	0.202	1.98	5600	11	4.5	50	170	3.3	成功
二系列一次	0.209	1.91	5600	12	4	48	165	3.5	成功
二系列一次	0.212	2.06	5600	13	3.8	48	135	3.8	成功
三系列一次	0.207	2.03	5400	14	3.6	50	180	4.1	成功
三系列二次	0.207	2.03	5200	9	5.6	50	170		失敗
四系列一次	未记录	未记录							未试
四系列二次	未记录	未记录	5800	11	4.6	30	150	3.6	成功

一系列1～2次，二系列1～2次，三系列1次四系列2次球磨机空載起动均为一次成功。

造成三系列二次球磨机空載起动失敗的原因是同步机起动轉速上升后，可控硅励磁装置內直流过流继电器LJ动作，造成故障分閘，起动失敗。經分析，造成直流过流继电器LJ动作的原因是这样的：在同步机异步起动至亚同步速KLFK可控硅励磁装置投励时，因此台可控硅励磁装置整定的投励环节充电周波数較小（9周），投励时轉差較大（5.6%），所以投励后未牵入同步时的轉子励磁繞組感应电流較大，此感应电流在可控硅励磁装置投励后与可控硅励磁装置輸出的励磁电流(I_d)迭加，此迭加电流值超过了直流过流继电器LJ的动作整定值300A，LJ即动作，造成起动失敗。

后又对三系列二次球磨机进行三次試車：

第一次：条件不变，14R＝180K，投励环节充电，周数为9周，起动同步机轉速上升后，仍是LJ动作，故障分閘，失敗。

第二次：将14R改为200K电阻，投励环节充电周波数为12周，其它条件同第一次試驗，同步机起动，轉速上升后，LJ仍然动作，造成起动失敗。

第三次：将14R改为270K，投励环节充电周波数为15周，折合投励时轉差3.3%，其它条件同上，同步机起动后，投励时过流继电器微顫，但沒动作，起动成功，同步机起动至投励的总时間为9秒。

通过三次試車，証明上面的分析是正确的，更改了投励环节的充电周波数（TPF），就降低了投励后未同步时的轉子感应电流值，此感应电流与励磁电流迭加值也就减小，小于

LJ 的动作整定值，LJ 不再动作，但整定的投励时轉差过小，就增加了同步机起动，至投励的总时間（9 秒），造成起动时間的延长。

以上試驗还說明两点：

a. 同步机异步起动，投励后未同步时的轉子感应电流与励磁电流迭加值，十分接近直流过流继电器 LJ 的动作整定值。（LJ 微顫）而投励时的轉差大小，又直接影响此迭加电流值的大小，故必須对 LJ 的动作电流值及使用价值重新考虑。（下面試驗还将談到）

b. 投励时轉差过小，就增加了同步机起动至牵入同步的时間，在同步机重載起动时，到达此轉差值（3.3%）的可能性較小，故需重新整定投励时的轉差值——将投励时的轉差值限在 4.5～5.5%范围內，即投励环节充电周波数为 9～11 周。

2．第二程序：

拖动球磨机 400 KW，380 KWTDQ 系列同步电动机重載起动。

試車在 1～4 系列 1～2 次 8 台球磨机上依次进行，負荷等級为重載；20 吨鋼球（介质），10 吨矿石并通水。

試車結果列于表三

«表三»

拖动 1～4 系列 1～2 次 2700 MM×3600 MM 球磨机 400 KW，380 KWTDQ 系列同步电动机使用 KLFK 系列可控硅励磁装置重载起动试车结果。

项目 / 台次	励磁绕组直流电阻值 (R_L)	放电电阻值 (R_{Fd})	同步机定子电网电压	投励环节充电周波数	投励时的转子转差 (S)	投励时的励磁电压值 (U_d)	投励时的励磁电流值 (I_d)	同步机起动至投励的总时间 (t)	试车结果
	(−10℃) 欧姆 (Ω)	欧姆 (Ω)	伏 (V)	周 (HZ)	%	伏 (V)	安 (A)	秒	
一系列一次	0.2095	2.0	6000	11	4.6	55	180		未投励
一系列二次	0.202	1.98	6000	11	4.6	55	180	2.6	成功
二系列一次	0.209	1.91	6000	12	4	55	180		定子过流跳闸
二系列二次	0.212	2.06		10	5				未试
三系列一次	0.207	2.03	5800	14	3.6	55	180	3.8	成功
三系列二次	0.207	2.03	5800	9	5.6	55	180	3.2	成功
四系列一次	未记录	未记录	6000	12	4	40	150	3.7	成功
四系列二次	未记录	未记录	6000	11	4.6	40	150	3.8	成功

本程序試車小結：

a. 1 系列 2 次，3 系列 1～2 次，4 系列 1～2 次球磨机均为一次起动成功。

b. 1 系列 1 次球磨机，同步电动机异步起动后，轉速一直未上去，可控硅励磁装置投励环节未动作。經分析是：球磨机与同步机均为新安装机械，沒有經过长期运轉，其靜阻轉矩較大，又加上了重載，造成起动困难。后又对 1 系列 1 次球磨机进行机械盘車，并增加了投励时的励磁电流值（200 A），增加其牵入轉矩，其它条件同上，又进行試車，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

起动成功，同步机起动至投励的总时間为6.4秒。起动时間还略长。

c. 2系列1次同步机起动失敗的过程是：机旁操作开关一合启，同步机定子迴路过电流反时限继电器即动作，油开关DL跳閘停車。此时，电机轉速还未上升。

經分析是：定子过电流反时限继电器瞬动值低，造成分閘。此定子过流反时限继电器瞬动整定值是按一般重載起动同步电动机起动电流为7～10倍的額定电流值来整定的，但此机組为新安装机組，各台同步机的起动特性又有差异，又根据首鋼另一选矿厂調整經驗，将定子过流反时限继电器瞬动值整定为10～12倍的額定电流值。又重新試車，条件同上，起动成功，順利牽入同步。

3．第三程序：拖动球磨机400 KWTDQ型同步电动机滿載起动及欠压滿載起动。

此項試車目的在于检驗球磨机滿載后的起动性能及高压网路降低后的起动性能。

負荷等級：37吨鋼球（介质），10吨矿石并通水。

(1) 失在一系列1次球磨机上做此項試驗：

第一次試車：

网路电压5600 V为額定6000 V的93.3%，投励环节充电周波数为11周，14 R＝200 K，投励时励磁电压为55 V，励磁电流为200 A。

电机起动后，順利投励，牽入同步运行，电机起动至投励的总时間5秒。

第二次試車：

条件同第一次試車，在上次試車停机后3分钟即作此次試車。（因矿区提出要求作此項試驗，观察連續起动情况）电机起动后，轉速一直未达到整定轉差值，可控硅励磁装置未投励。

第三次試車：

将14 R改为185 K，投励环节充电周波数为10周，其它条件同第一次試車，电机起动后，順利牽入同步运行，起动至投励的总时間为4秒。

第四次試車：

条件同第三次試車，电机起动后，轉速稳步上升，在可控硅励磁装置投励时，直流过流继电器LJ动作，（顫动）因LJ与交流继电器2 QC联鎖，2 QC有一定剩磁，而LJ又是顫动，就造成了2 QC的多次重合閘，其产生的操作过电压将桥臂可控硅元件一只(－C)击穿。A. C. 两相快速熔断器动作。

情况分析：

a. 通过多次試驗說明直流过流继电器使用在本綫路中是不适宜的，因同步机起动时，在励磁繞組中可产生一較大的感应电流，当可控硅励磁装置投励时，这一感应电流就通过导通的可控硅元件（主电路）而成迴路，流过LJ，与励磁装置的輸出电流合成一較大的电流，致使LJ动作，經研究将LJ輔助接点在同步机起动时短接（通过时間继电器）或将LJ从綫路上省略。（暫将LJ短接）

b. 电机連續起动的成功率問題：

造成同步机連續起动成功率低的原因經与电机制造厂联系原因可能是这样的：由于电机的連續起动，电机启动繞組（启动籠）发热后电阻率上升，产生了电机牽入轉矩减小的后果，所以同步机异步起动后所能到达的最小轉差S_m就增大了，超过了可控硅励磁装置的整定轉差值，故不能投励。这种工作方式还会造成电机启动繞組的过热和开焊，TDQ型

同步机出厂时已有說明，第二次起动与第一次停机間隔20分钟，連續起动不得超过3次，所以，連續的多次起动是不能允許的。

下面又进行几次試車：

第五次試車：

投励环节充电周波数为12周，14R:210K，其它条件同第一次試車。起动后，轉速上升至一定轉速，投励环节未动作。

第六次試車：

将投励环节充电周波数改为9.5周，14R:180K，其它条件同第一次試車，起动后順利投励，牵入同步。

第七次試車：

条件同第六次試車，成功。

第八次試車：

网路电压5400V，为額定值的90%，其它条件同第六次試車，起动后，順利投励，牵入同步，起动至投励的总时間为5.5秒。

(2) 在二系列1次球磨机上作欠压滿載起动試驗。（負荷等級同一系列1次）

第一次試車：

网路电压5400V，为額定值的90%，投励环节充电周波数为14周，投励时励磁电压50V，励磁电流200A，电机起动后6秒钟投励，牵入同步。

第二次試車：

条件同上，电机起动后，投励环节未动作，手动停車。

第三次試車：

条件同上，再試一次，投励环节仍不动作，手动停車。

第四次試車：

更改14R，使投励环节充电周波数为12周，其它条件同第一次試車，电机起动成功，起动后4.9秒投励，牵入同步。

第五次試車：

条件同第四次試車，电机起动后，投励环节未动作，手动停車。

第六次試車：

更改14R，使投励环节充电周波数为10周，折算轉差5%时投励，网路电压升至5600V，其它条件同第一次試車，电机起动后4.9秒，順利投励，牵入同步。

第七次試車：

条件同第六次試車，电机起动后4秒投励，牵入同步。

第八次試車：

条件同第六次試車，电机起动后3.5秒投励，牵入同步。

第九次試車：

条件同第六次試車，网路电压降至5300V，电机起动后5.3秒投励，牵入同步。

第十次試車：

条件同第九次試車，电机起动后4.8秒投励，牵入同步。

本程序試車小結：

KLFK 系列可控硅整流装置供重載起动 TDQ 系列同步电动机励磁，在供电高压网路降至額定电压值的 90%时，电机可以順利起动，牵入同步运行，不影响电机起动性能。但須指出一点，就是需要选择一个合适的投励时的轉差值（4.5～5.5%）。以保証电网电压降低后的可靠投励。

六、KLFK 250/90 型可控硅励磁装置投入运行有关部件温升记录

1．运行机組：一系列一次球磨机。

2．溫度測量法：半导体点溫計法。

3．励磁电压：54 V。

4．励磁电流：170 A。

5．同步机功率因数：$\cos\varphi=1$

6．环境溫度：20°C。

将运行中測量 KLFK 250/90 型可控硅励磁装置有关部件的溫度列于表四。

«表四»

有关部件 / 投入运行时间 / 測量溫度 °C	主电路＋A相可控硅整流元件管壳	主电路＋B相可控硅整流元件管壳	主电路＋C相可控硅整流元件管壳	主电路－A相可控硅整流元件管壳	主电路－B相可控硅整流元件管壳	主电路－C相可控硅整流元件管壳	整流变压器铁芯表面	整流变压器绕组外层	整流变压器绕组层间	风机进风口	风出机风口
0.5 小 时	62	56	50	40	40	52					
2 小 时	58.5	51	47	38	37	52					
3 小 时	60	51	48	38	38	54	38	38	60	18	21
8 小 时	64	54	51	39	38	61					
9 小 时	65	55	49	37	37	56	38	48	70	18	22

投入运行 9 小时后停机检查，发現＋A相可控硅整流元件螺絲松动，与散热器沒有装紧，故管壳溫度較其它元件高出10°C。装置其它部件正常。

按照可控硅整流元件技术規范：3 CT 可控硅整流元件最高工作結稳規定为100°C，而元件結溫与外壳溫度溫差一般为20～30°C，所以可控硅整流元件的管壳溫度一般不得超过70°～80°C 的范围。

七、试验结果的简单分析

（一）同步电动机拖动球磨机重載起动，在电机原設計起动轉矩，牵入轉矩一定的条件下影响其起动时間及能否牵入同步的因素：

1．与負荷等級有关：

負荷越重，同步机起动时間越长，电机起动后所能到达的最小轉差 S_m 就越大，所以在可控硅励磁装置整定的投励轉差值 S 較小（3～4%）而負載很重时，起动成功率較低。

2．与同步电机定子电网电压額定值的百分比有关：

同步机定子电网电压降低时，同步机的起动轉矩与牵入轉矩也相应减小，造成起动时間延长的后果，同样的也造成 S_m 值的增大，当可控硅励磁装置整定的投励时的轉差值 S 較小（3～4%）而网路电压較低（額定值的90%）时，起动成功率較低。

3．与可控硅励磁装置整定的投入励磁时的轉子滑差 S 有关：

同步机起动至亚同步速（轉差 $S=3\sim5\%$）时投入励磁，最有利于电机牵入同步。若投入励磁时轉差較大則显著減少起动时間，但对电机牵入同步不利，并有可能造成定子电流过大跳閘停車。投入励磁时的轉差值較小时，則会延长起动时間，当网路电压較大变化时或負荷很重时，起动成功率較低。通过多次試驗証实，可控硅励磁装置整定的投入励磁时的轉差值是保証同步机在欠压和重載情况下可靠起动的一个关鍵数据，对于重載起动的同步电动机此值我們建議整定在5～6%范围內。

（二）关于可控硅励磁装置的配套及綫路的改进。

可控硅励磁装置与同步电动机的配套：此次試車400 KW同步机額定励磁电压、电流为79 V，226 A。可控硅励磁装置額定輸出为250 A，90 V。同步机进入滿載运行后，励磁电压为58 V，励磁电流为180 A，$\cos\varphi$ 为0.95越前。

可控硅励磁装置始終运行在輸出电压較低即主电路可控硅整流元件导通角較小的情况下。按照可控硅整流元件运行規范規定：当可控硅整流元件导通角減小时，通过元件的額定平均电流必須降低，导通角越小，使用电流应降得更低。所以这种运行状态并不是一种十分合理的运行状态。

經与电机制造厂联系，同步机所給出的励磁电压值是进行电机設計时的計算值，距离实际使用的励磁电压有一定差距。而在选配可控硅励磁装置时往往又加了一定的余量即造成了上面的情况。希望今后选配可控硅励磁装置时，注意这一情况，保証合理的配套。（参考本厂所編“可控硅励磁装置配套参考数据”）

2．可控硅励磁装置綫路的改进

（1）通过試驗发現直流过流继电器安装在此綫路中是不合理的。改进方法为在快速熔断器上加装微动开关，将其接点串入主接触器吸引綫圈迴路作过流分閘保护之用。将直流过流继电器省略。

（2）提高主电路可控硅整流元件电压等級，保証一定的安全系数。

（3）簡化可控硅励磁装置与同步机定子开关柜联鎖綫路。

八、结　　论

此次工业試車証明KLFK系列可控硅励磁装置供重載起动TDQ系列同步机励磁是可靠的，它除了具备按同步机轉子滑差无接点自动投励和按网路电压波动自动調节励磁外，还适应同步机重載起动的特点，保証了同步机有足够的牵入轉矩牵入同步运行，它适用于供拖动球磨机或其它重載起动机械的TDQ系列同步电动机励磁。

上述試驗結果分析供同志們参考，可能有許多不对的地方，望迅速指出，便于改正。

附参考资料

1. 可控硅整流器及其应用…… 一机部电气传动設計研究所
2. 同步电动机 KLFK 系列可控硅励磁装置說明书…… 北京电机修理厂
3. 同步电动机可控硅励磁装置整定，調試方法…… 一机部电气传动設計研究所
4. 可控硅励磁装置与同步电动机配套表…… 北京电机修理厂
5. 可控硅整流装置…… 北京电机修理厂、清华大学自动化系

KLFK 系列电气元件表（通用件）

项目	符号	型号	名称	数量	技术数据	备注
1	2*JR*	JRO-40	热继电器	1	整定电流范围1～1.6 A	
2	*QC*	CJ10 型	交流接触器	1	～220 V	根据装置规格改变额定电流
3	*RD*	RL_1-15	熔断器	1	熔芯 5 A	
4	*KRD*	RSO 或 RS_8	快速熔断器	3	80 A ～350 A	根据装置规格改变额定电流
5	1*JR*	JR_{15} 型	热继电器	1		〃
6	*TA*. *QA*.	LA19-11D	按钮（带指示灯）	2	红绿二色	
7	*WHK*	LW_5-^{15}00727	万能转换开关	1		大栅栏电器厂
8		KWX-1	微动开关	3		
9	*YF*		轴流风机	1	电动机 180W	3#风机 8 个叶片 35°
10	cos ϕ	$1D_1$-cos ϕ 型	三相功率因数表	1	100V. 5 A	
11	2*W*	WX-030	电位器	1	3W. 1K.	
12		K-12	旋钮	1		
13	KGZ_1. 1-6*KGZ*	3CT	可控硅整流器	7	见元件合格证	根据装置规格改变额定电压流
14	*GZ*	2CZ	硅整流元件	1	〃	〃
15	*JBO*	JBO-220	低压击穿保险器	1	云母片厚 0.10mm.	
16	1*Ra*	ZG11-10	管形电阻	6	10W. 5.1 K	
17	1*Rb*	RT-1	碳膜电阻	6	1W. 27Ω.	
18	1*Cb*	CZJJ-2	金属化纸介电容器	6	500V. 0.25μ	
19	*R′ a. b. c.*	ZG11-25	管形电阻	3	25W. 6.2Ω	
20	*C′ a. b. c.*	CZJJ-2	金属化纸介电容器	3	250V. 10μ	
21	*DB*		小电源变压器	1	15VA. 220/65.65.6.	
22	*A*	1C2-A	直流电流表	1	附带分流器 FL	根据装置规格改变
23	*V*	1C2-V	直流电压表	1		〃

续表

项目	符号	型号	名称	数量	技术数据	备注
24	*ZCB*		整流变压器	1		本厂自制
25	*RFd*		放电电阻	1	ZK_1-2/140 型电阻器 5.6Ω	上海起重电器厂
			同步电源插件			
26	1～3*B*		同步变压器	3	15VA. 220/65.65.6.	
			移相插件			
27	5～15*BZ*	2CP12	硅二极管	11	100mA. 100V	
28	2*C*	CD-3-CO	电解电容器	1	100μF. 150V	
29	3.4*WY*	2CW21I	硅稳压二极管	2	13.5～17V. 30mA.	
30	5*R*	RT(轴向)	碳膜电阻	1	220Ω. 2W.	
31	6*R*	〃	〃	1	560Ω. 2W.	
32	7*R*	〃	〃	1	200Ω. 2W.	
33	*KGZ*	3CT5/300	可控硅整流元件	1	5A. 300V.	
34	3*W*	WX3-11	锁紧电位器	1	1.5K. 3W.	
			投励插件			
35	16～20*BZ*	2CP12	硅二极管	5	100mA. 100V.	
36	3*C*	CD-3-D	电解电容器	1	50μ. 150V	
37	4*C*	CZJX	金属化纸介电容	1	1μ. 160V	
38	6*WY*	2CW21K	硅稳压二极管	1	19～24.5V 20mA	
39	5*WY*	2CW21	〃	1	3.2～4.5V 30mA	
40	8*R*	RJ	金属膜电阻	1	2K. 1W	
41	9*R*	RJ	〃	1	910Ω. 1W	
42	10*R*. 11*R*.	ZG11-15	管形电阻	2	6.8K. 15W	或 1 只ZG 11-15.15.15W
43	12*R*.	RT(轴向)	碳膜电阻	1	15K. ¼W	
44	13*R*.	〃	〃	1	360Ω. ¼W	
45	14*R*.	〃	〃	1	210K. ¼W	调整时可更换
46	15*R*.	〃	〃	1	300Ω. ¼W	
47	3*BG*.	BT31D 或 BT33F	单结晶体管	1	分压比 0.45～0.75	
48	4*BG*.	3DG8B	硅三极管	1		
49	*B*.		脉冲变压器	1	1:1	

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com