

光譜析鋼儀試制工作報告^{*†}

南开大学物理系

一. 緒 言

用析鋼儀(或称鋼材分光鏡,看譜鏡)进行鋼、鋁及銅合金以及在适当条件下其他金屬的定量与定性分析,已成为冶金工業、机械和仪器制造業中材料分析,产品分析的重要方法之一^[1,2]。过去我国各工厂、企業、学校及研究單位均向苏联或西德購買該項仪器;在大跃进的形势下單靠进口已无法滿足广大工厂、企業以及其他單位的需要。南开大学物理系光学教研組及天津仪表研究室在大跃进形势的鼓舞下,以不到二个月的时间(1958年8,9月)設計并試制出了我国第一套析鋼儀,全套仪器包括特殊的自准式分光鏡,电极台架及交流电弧发生器。現在正由南开大学仪器工厂进行小批生产,以滿足部分單位的急需。

二. 仪器裝置及工作原理

我們試制成的析鋼儀与西德菲氏(Fuess)厂 87a 型析鋼儀相当,是由自准式的特殊分光計与开尔納(Kelner)目鏡組合而成。仪器可用于座式(如图 1 所示);換附件后則可携帶到爐前或現坊使用;經簡單的置換后(目鏡取掉,換上附加的物鏡)还可攝譜。在保証仪器有足够大的色散和分辨本領的同时,采用了稜鏡轉向方法尽可能地縮小了仪器的尺寸。

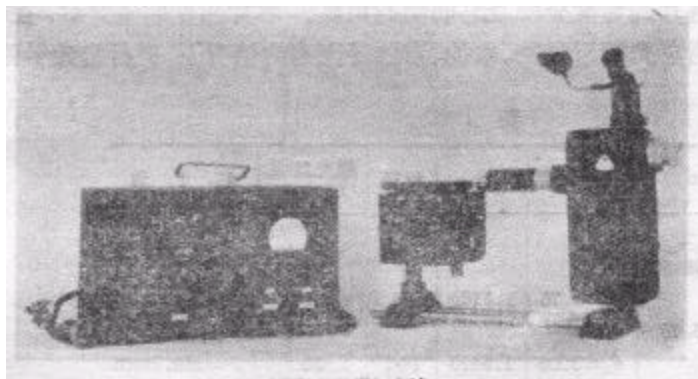


图 1 光譜析鋼儀

析鋼儀光学系統的簡图如图 2 所示(沒按比例)。

析鋼儀的工作原理是这样:样品放在試样台上(特殊的电极架),由交流电弧发生器使样品产生交流电弧,由之发射出样品中各种組成元素的特征光綫。这些光綫由聚光鏡 2 会聚到狹縫 3,經“轉向”稜鏡組 4 后投射到自准物鏡 5 上。由物鏡射出的平行光进入色散

* 1959 年 1 月 19 日收到。

† 此文曾在 1958 年 11 月間于北京举行的全国光譜学會議中宣讀。

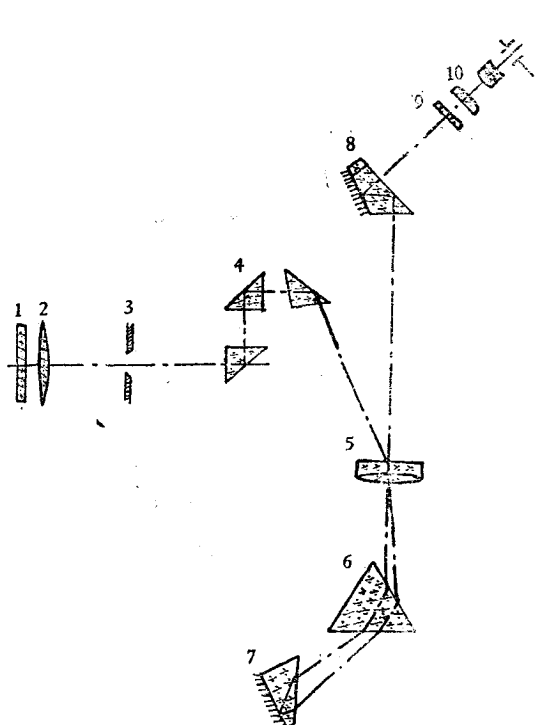


图2 光谱析钢仪光学系统简图

1—保护玻璃；2—聚光镜；3—狭缝；4—稜鏡；5—物鏡；
6—稜鏡；7—稜鏡；8—稜鏡；9—分划板；10—目鏡

根据对目镜眼点距离与工作距离的要求,并考虑到透镜的形状和厚度,用近轴光学公式确定了目镜各片的焦距分配及它们间的距离。各片焦距确定之后,在参考已有开尔纳目镜的结构及考虑到校正色差、象散、场曲等因素的情况下,进行选光学玻璃的工作。

表 1

名 称	$r_i(\text{mm})$	$d_i(\text{mm})$	n_D	材料	通光口径 (mm)	其 他
物 鏡	$r_1 = +198.57$	$d_1 = 3.75$	1.5163	K8	32	$f' = 258.7\text{mm}$
	$r_2 = -95.88$	$d_2 = 3.00$	1.6475	TΦ1	32	
	$r_3 = -247.66$					

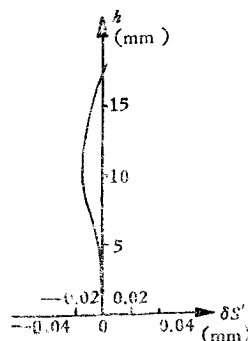


图3 球差曲线

在这一工作中注意到了开尔纳目镜的接目胶合透镜的两片应有尽可能相同的折射率(n_D),而阿贝数 ν 尽可能多差些^[5]。因此选SK 4 ($n_D = 1.61263$, $\nu = 58.58$)和F 2 ($n_D =$

1) 与雷莱(Rayleigh) $\frac{\lambda}{4}$ 极限相应的 $\Sigma(d-D)dN$ 值为 ± 0.00025 ; 其中 d, D 分别为近轴光线、边缘光线在透镜中的几何长度, $dN = N_F - N_C$ 。

稜鏡6及7。光线再由稜鏡7及6返回物鏡,經轉向稜鏡8后呈光谱綫于分划板9上。最后通过25×Kelner 目鏡观看光谱,轉动与稜鏡7连接的鼓輪,則有不同波段的光谱通过視场。

三. 光学系統的設計

为使产生平行光和成光谱綫的自准物鏡严格地保証成优質象,在設計时須將物鏡5的剩余象差校正到雷萊(Rayleigh) $\frac{\lambda}{4}$ 波差极限內。設計成的物鏡5的結構要素如表1所示。它的球差曲线如图3;作为量度它剩余色差的 $\Sigma(d-D)dN^{1)}$ 值为 -0.000074 。它是一个能与旨在“轉向”的稜鏡組4或稜鏡8抵消象差的消色透镜^[4]。

仪器的目視系統要求在較大視场内能看到清晰的譜綫,即目鏡10須在較大視场内 ($2\omega = 40^\circ$) 消除彗差、象散、场曲和倍率色差等象差,为此析鋼仪采用了开尔納(Kelner)型目鏡。

1.61992, $\nu = 36.34$) 兩玻璃作接目鏡。完成确定焦度、选玻璃之后, 再参考开尔納目鏡的一般結構, 并利用繪图方法, 求得目鏡的初始結構如下:

$r_1 = \infty$	$d_1 = 2.50$	BK 7
$r_2 = -10.0479$	$d_2 = 7.156$	空气
$r_3 = +7.8191$	$d_3 = 2.80$	SK 4
$r_4 = -4.9361$	$d_4 = 0.70$	F 2
$r_5 = \infty$		

对所得初始結構进行光路的近軸計算; 用近軸計算所得的量进行賽特 (Seidel) 象差系数 $S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V$ 及色差系数 S_I^{zp}, S_{II}^{zp} 的計算^[6]。从而得知組成开尔納目鏡的各要素 (r_i, n_i, d_i) 对目鏡的象差的貢獻, 即由象差系数得知在各折射面上的各种象差的分布。这样, 校正象差和修改目鏡的結構就有了依据。表 2 即为目鏡初始系統的象差系数值; $S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V$ 分别与系統的球差、彗差、象散、坊曲、畸变相应, S_I^{zp}, S_{II}^{zp} 与其位置色差、放大率色差相应。

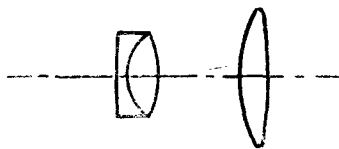


图 4 开尔納 (Kelner) 目鏡

表 2

$(S_I)_i$	$(S_I^{zp})_i$	$(S_{II})_i$	$(S_{III})_i$
1. 0.0	0.0	0.0	0.0
2. -0.06066	+0.02179	+0.04856	-0.03888
3. +3.25441	-0.02059	-0.59089	+0.10729
4. -0.01552	+0.00118	-0.07219	-0.33583
5. +0.16154	-0.00233	-0.00619	+0.00237
$*S_I = +3.3397$	$*S_I^{zp} = +0.00007$	$*S_{II} = -0.62071$	$*S_{III} = -0.26505$
$(S_{IV})_i$	$(S_V)_i$	$(S_I^{zp})_i$	
1. 0.0	0.0	0.0	
2. -0.00564	+0.03564	-0.01745	
3. +0.48455	-0.10746	+0.00373	
4. +0.33815	+0.01079	+0.00549	
5. 0.0	-0.00009	+0.00009	
$*S_{IV} = +0.81706$	$*S_V = -0.06112$	$*S_{II}^{zp} = -0.00814$	

由上表可以看出系統具有过大的象散和彗差, 并且它們分別在 r_4 及 r_3 上有較大的分布。为使初始系統趋于完善, 在这种情况下, 必須以改变 r_4, r_3 来校正系統的象散和彗差。又由于 S_{II} 和 S_{III} 兩者間有下列关系:

$$S_{II} = \left(\frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha} \right) S_I, \quad S_{III} = \left(\frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha} \right)^2 S_I = \left(\frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha} \right) S_{II},$$

所以在开尔納目鏡中当以减小 S_I 来校正 S_{II} 时, S_{III} 的改变不大 [因在目鏡中 $\frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha}$ 較 $\left(\frac{\Delta\beta}{\Delta\alpha} \right)^2$ 大很多倍], 因而可由使 r_3 的絕对值变大来单独校正彗差。于是便在初始系統上

得到了系統的第二結構:

$r_1 = \infty$	$d_1 = 2.50$	BK 7
$r_2 = -10.0479$	$d_2 = 7.156$	空气
$r_3 = +9.00$	$d_3 = 2.80$	SK 4
$r_4 = -4.5589$	$d_4 = 0.70$	F 2
$r_5 = -59.661$		

对此第二結構进行三角計算, 結果有: $\delta s'_m = 0.1847$, $V = 4.5\%$, $k = 0.0000713$, $\Sigma(D_a - D_c)dN = -0.0003120$, $\Sigma(d - D)dN = -0.0000153^{1)}$. 很显然, 除象散量 $\delta s'_m$ 过大外其余象差均在允許范围之內. 为了得到完善的目鏡, 必須再校正 $\delta s'_m$, 以求新結構.

如上所述, 改变 r_4 可显著地影响象散值; 我們以使坊鏡相对物鏡变平些 (即 r_4 绝对值变大些) 来减小象散; 遂在第二結構的基础上又得到了新的結構, 如表 3 所示. 对此新系統进行三角計算, 結果有: $k = -0.000478$, $\delta s'_m = -0.04543$, $\delta s' = -0.13509^{2)}$, $\Sigma(D_a - D_c)dN = -0.000342$, $\Sigma(d - D)dN = -0.000020865$ 及出射光瞳球差 $= 0.7522$.

这些象差已校正良好, 因此新結構即为設計的结果.

表 3

名 称	$r_i(\text{mm})$	$d_i(\text{mm})$	n_D	材 料	通光口径 (mm)	其 他
目 鏡 (Kellner)	$r_1 = +44.25$	$d_1 = 2.50$	1.51671	BK7	12	工作距离 $= 2.97\text{mm}$ 眼点距离 $= 4.73\text{mm}$ $f' = 10.38\text{mm}$
	$r_2 = -13.00$	$d_2 = 7.156$	1.00	空气		
	$r_3 = +9.00$	$d_3 = 2.80$	1.61263	SK4	7.5	
	$r_4 = -4.559$	$d_4 = 0.70$	1.61992	F2	7.5	
	$r_5 = -59.661$					

析鋼儀的色散系統有与底边为 10cm 的稜鏡同样的色散和分辨本领. 波長范围为 $3900\text{\AA}$ 到 $7000\text{\AA}$; 在 $\lambda = 4358\text{\AA}$ 附近的綫色散为 $\frac{d\lambda}{dl} = 0.89\text{\AA}/\text{mm}$, 即 1 毫米間隔内有 $0.89\text{\AA}$, 在 $5893\text{\AA}$ 附近則有 $2.91\text{\AA}/\text{mm}$, 仪器在这兩波長附近的分辨本领 $\Delta\lambda$ 分别为 $0.14\text{\AA}$ 和 $0.59\text{\AA}$. 西德 Fuess 厂 87a 型析鋼儀在波長 $4000\text{\AA}$ 及 $6000\text{\AA}$ 兩处的綫色散分别为 $0.65\text{\AA}/\text{mm}$ 及 $3.0\text{\AA}/\text{mm}$.

四. 交流电弧发生器的电路

我們試制的析鋼儀, 附有交流电弧发生器^[7], 它的工作原理是以高频激活电路与低频回路耦合, 如图 5 所示. 在工作时, 前者使后者的分析电弧間隙 G_2 有一定頻率的“击穿”, 以保証稳定的电弧电流. 在低频中增加电容 (C_3), 則电弧的火花性增强, 使分析碳、磷、硫、硅等成为可能.

1) $\delta s'_m$ 为子午光綫交点到高斯面的距离, V 为畸变的量度 $V = \frac{\beta_w}{\beta_0} - 1$, k 为彗差的量度 $k = \frac{1}{2}(l'_{im} + l'_{-m}) - l'_0$, $\Sigma(D_a - D_c)dN$ 为放大率色差的量度.

2) $\delta s'_m$ 的允許值为 0.100 , $\delta s'$ 与物鏡的球差相加后余值极小.

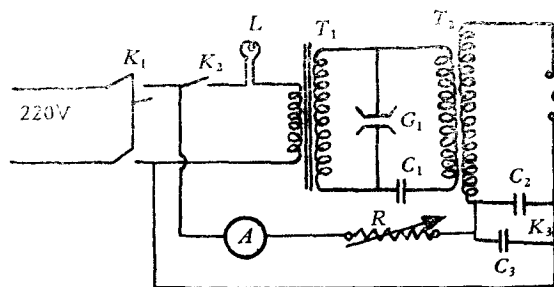


图5 交流电弧发生器

K_1 —主电源开关； K_2 —初级线圈开关(高频开关)； K_3 —并联电容开关； T_1 —80 瓦 220V/3000V 铁心变压器； T_2 —高频互感线圈； L —初级线圈降压电阻 40 瓦 220V 钨丝灯； G_1 —放电平行钨电极，亦作高频指示灯用； G_2 —电弧分析器； C_1 —高频振荡电容 0.012 μ f, 3000V； C_2 —高频短路电容 0.2 μ f, 600V； C_3 —并联电容 12 μ f, 600V； A —交流安培表，电弧电流读数； R —改变电弧电流的电阻 10A 50 Ω

五. 結 語

试制出的全套析钢仪已达设计要求。经初步试验，该仪器基本上与西德 Fuess J 87a 型析钢仪性能相同。现在拟增强电弧火花性以便析钢仪用于较难激发元素的分析。

参 考 文 献

- [1] 1958 年光谱学会资料：看谱镜及其使用(北满钢厂)。
- [2] 1958 年光谱学会资料：第一汽车厂光谱分析应用情况。
- [3] 光谱仪器综合手册，第 205—207 页。
- [4] Тудоровский, А. И., Теория оптических приборов, том. II, С 455—460; том. I, § 68.
- [5] 目镜：光学精密机械仪器研究所，1957。
- [6] Тудоровский, А. И., Теория оптических приборов, том. I, и II, § 130, § 131, § 282.
- [7] Прокофьев, В. К., Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов, том. I.

REPORT ON THE MANUFACTURING OF SPECTROSCOPE FOR STEEL ANALYSIS

PHYSICS DEPARTMENT OF NANG-KAI UNIVERSITY

ABSTRACT

In accordance with the development of our national steel industry, we try to construct a spectroscope for the visual analysis of the compositions of steel or the other alloys. The work is completed in a course of 2½ month. The whole apparatus consists of an auto-collimating spectroscope, a special designed holder for specimens, and a high frequency activated alternating current arc source. The model is somewhat like that produced by the firm of Fuess, but the whole optical systems are designed and computed according to the theory of optical aberrations. The auto-collimating objective is made achromatic, and the eyepiece is of Kelner type with magnification of 25X. With one and half prisms, each with 3 cm base, the spectroscope disperses the spectrum from 3900Å to 7000Å. The linear dispersions of the final image of the system, at $\lambda=4358\text{Å}$ and $\lambda=5893\text{Å}$ are 0.89Å/mm and 2.91Å/mm, respectively. The resolving power $\Delta\lambda$ of the spectroscope at these wave lengths is 0.14Å and 0.59Å, respectively. The circuit diagram of the arc source is also given.