

冶金分析的现代方法

Н.В. 布揚諾夫 合編
Б.А. 盖涅罗佐夫
周 昌 譯



冶金工业出版社

冶金分析的現代方法

H. B. 布扬諾夫, ~~Л. А. 羅佐夫~~ 合編

冶金工业出版社

本書系一論文集，討論了許多新的化學分析法、物理化學分析法與光譜分析法，用以測定黑色金屬和有色金屬、礦石、輕合金與電解液中各成分。

本書的對象是科學研究所試驗室的工作人員和工廠化學試驗室的工作人員。

原書的評閱人為А.М.戴基夫教授化學博士和化學副博士М.И.特羅依茨卡婭。

Н.В.Буннов В.А.Генерозов 合編

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА В МЕТАЛЛУРГИИ

Металлургиздат (Москва 1955)

冶金分析的現代方法

周昌譯

編輯：陳略

設計：魯芝芳 董應堯

校對：馬泰安

1959年1月第一版 1959年1月北京第一次印刷8,000冊

850×1168·1/32·200,000字·印張7¹⁴/₃₂ 定價 0.96 元

中央民族印刷廠印

新華書店發行

書號 0383

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

目 录

序.....	5
--------	---

第一編 黑色冶金分析法

黑色冶金分析的快速方法的統一.....	6
光譜方法在快速分析方面的应用.....	21
鋼中鋁含量的电位滴定法.....	30
矿石中磷的光电比色測定法.....	34
鉄合金与其他合金中磷的測定法.....	37
錳矿中錳与鈷的測定法.....	41
錳鉄磷盐中五氧化二磷的快速測定法——离子交換法.....	49
炼鋼生鉄与合金鋼中銅的光电比色測定法.....	53
組成复杂的鋼类的光譜定量分析法	
——应用交流电弧的方法.....	56
P 9、P 18 与 ЭИ 347 等鋼的光譜分析法	
——应用低压火花的方法.....	61
鋼与酸性轉爐生鉄中硅和錳的光譜測定法.....	67
鉻鉄中鉻与硅的光譜測定法.....	72
硅鉄的光譜分析法.....	80
鉻鉄中碳、磷与硅的光譜分析法.....	86
硷性平爐爐底与鎂石的光譜分析法.....	92
硷性平爐爐底的光譜分析法.....	96
氧化鉻中微量鉛、錫、鋁与砷的光譜測定法.....	99

第二編 有色冶金分析法

分析有色冶金产品与矿石的新方法.....	106
銅与鉛的碘量滴定新法.....	135
关于含鉛溶液中鉄的极譜測定問題.....	140

鎘的新显色反应	146
在大量鉛存在的情况下鉍的极譜測定法	152
用抗坏血酸測定錒的方法	155
鉈的比色測定法——甲基紫法	160
鉄矿与多金屬矿中鎳的快速測定法——光电比色法	164
銅矿中鎘与鋅的极譜測定法	167
矿物原料中砷的光电比色法——次磷酸盐法	173
粗錫的光譜分析法	180
铍的光电比色測定法——应用托龙試剂	185

第三編 輕金屬与輕合金的分析法

鎂、鉄、銅、鋅与錳同时存在时鋁的容量測定法	189
各种合金中鋁的測定法——应用阳离子交換剂	195
含有鉄或鎳的合金中鋁的快速測定法	198
应用茛偶氮試剂測定鋁与氟的方法	201
鎂合金中鈣的測定法	203
分析銀焊料的新方法	207

第四編 溶液与电解液的分析法

酸性鍍鋅槽中电解液的光譜分析法	211
当各种杂质存在时鋅电解液的 pH 值的电位測定法	215
威尔茲法氧化物、升华物和烟尘經浸析处理后，浸析液 中有机与无机还原剂的快速測定法	221
鎳电解液与其他电解液中硼酸的直接滴定法——应用茛 光指示剂	226
氰化物溶液中金含量的測定法——硫化鈉 与間硫氮酞硫醇〔2〕沉淀法	229
氰化尾渣中所損失的金量測定法	232
硝石槽液、电鍍槽中的电解液以及其他物料中氯离子的 測定法——汞液滴定法	235

序

正确組織生产的最重要条件之一是妥善安排工艺过程的控制和周密布置原料与产品的檢驗。

现代技术的发展要求大大地扩大試驗室各种檢驗的范围，包括推广化学檢驗法並認真地提高其准确度。因此，工厂与科学研究所的試驗室人員必須运用其本身所有的力量和知識，致力于創立新的更加完善的檢驗方法；这些方法往往是首創的，在原理上是很新穎的。

本書包括試驗室工作者的許多論文，他們都是在各冶金部門从事化学檢驗的实际工作的。

这些作者叙述了他們所創立的化学分析法、物理化学分析法与光譜分析法，用以測定冶金工业原料和产品中各种元素和化合物。

本書系由下列各編所組成：黑色冶金分析法、有色冶金分析法、輕金屬与輕合金的分析法、溶液与电解液的分析法。

第一編 黑色冶金分析法

黑色冶金分析的快速方法的統一

A. A. 贊多罗夫

(中央黑色冶金科学研究所)

1. 引 言

快速分析方法之所以有統一的必要，是因为有关这一問題的专门著作十分缺乏^①。由于这种既成的情况，工厂試驗室就不得不依靠本身力量創立各种快速方法，这样在各个工厂所采用的快速分析的方法上就造成了互不配合的不良现象。

在进行各种方法的最后一次編纂工作时，考虑了各主要的黑色冶金工厂試驗室所提出的中肯的意见。

2. 快速分析方法的統一

a. 碳鋼、低級合金鋼与中級合金鋼的分析方法

低級与中級合金鋼系指含鉻 $\leq 2\%$ 、鎳 $\leq 4\%$ 、鉬与鈮 $\leq 2\%$ 、錳 $\leq 6\%$ 的各种鋼。

^① G.C. 普利雅尼什尼科夫, A.A. 叶里謝叶夫合著的“特种鋼生产过程中的化学分析法”一書第一部分“快速分析法”(苏联机械出版社1934年莫斯科出版), 现已过时。

下面提出选择有关这类鋼的快速化学分析方法的依据。

碳 ГОСТ 2331—43 所规定的测定碳的气体体积法 [1] 可作为統一方法的依据。这一方法的基本原理是：在氧气流中燃烧試样。在这一条件下，不論碳在鋼中呈何种形态（石墨碳或碳化物），均将氧化成二氧化碳。

气体体积法的缺点如下：1. 难以测定組成复杂的合金鋼中的碳含量；2. 当碳的含量甚少，約为万分之几时，难以获得可靠的測定結果（在此种情况下，宜采用氢氧化鋇法或应用微量量气管）；3. 当金屬中硫的含量較高时，分析結果可能偏高。在此种情况下，可于气态混和物（ $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ）的通道中設一內盛鉻酸酐或重鉻酸鉀溶液（溶于浓硫酸中）的特殊吸收器，供吸收二氧化硫之用。

根据各工厂試驗室的意見，在測定碳的方法上已作了若干修改。例如，根据契利亚宾斯克冶金工厂的建議，为了使中級合金鋼中碳的測定更为可靠起见，將試样的燃烧溫度自 $1000 \sim 1150^\circ\text{C}$ 提高至 $1150 \sim 1250^\circ\text{C}$ 。根据該厂的建議，又取消了試样的“再次燃烧法”；並着重指出，用氢氧化鈉溶液代替氢氧化鉀溶液以吸收二氧化碳是不适合的；为了降低平准瓶內二氧化碳的溶解度起见，可用25%的氯化鈉溶液代替蒸餾水。

仪器各部分的尺寸亦已有更精确的规定。

根据茲拉托烏斯特冶金工厂試驗室的建議，在測定仪器中只需一个吸收器。

硫 ГОСТ 2331—43 [1] 所规定的测定硫的碘量滴定法可以作为統一的方法。这一方法的基本原理是：將試样放在溫度为 $1300 \sim 1400^\circ\text{C}$ 的氧气流中燃烧。

查波罗什鋼厂的試驗室鉴于碘酸鉀与碘化鉀的混和液更为穩定，故建議用以代替碘的标准溶液。这一方法須在許多試驗室积累了丰富的經驗之后才可以采用。

契利亚宾斯克冶金工厂的意見——供分析用的試样宜取 0.5 克而不宜取 1 克——在“統一方法”的最后一方法中已加以考

慮。

磷 以生成黃色絡合物為基礎的磷的光電比色法已經加以審核，並沒有得到肯定的結果，因為這一方法並不能保證進行分析所必需的速度。

基於同樣的理由，若干快速分析試驗室仍在採用的砒量滴定法〔1〕亦終於放棄。

選作主要方法的是大家所知道的目視比色法〔2〕。很多快速分析試驗室都採用這一方法，自三十年代起一直到现在，極有成效。1945年中央黑色冶金科學研究所的試驗室又改進了這一方法。

選作補充方法的是大家所知道的光電比色法，這一方法記載於ГОСТ 2331—43〔1〕中，系以生成藍色絡合物為基礎。“鑼刀與鏈子，冶金工廠的試驗室修正了這一方法，且最為成功，這一修正法已列入“統一方法”中。

進行磷的測定時系採用目視法，將乙醚液層的藍色與極穩定的標準系列相比較。此項標準系由各種礦物鹽類的溶液製成。

鉍能干擾此項分析的進行；但預先將鉍還原至四價之後，此項干擾影響即極易消除。

砷與鈦對此項分析亦具有干擾作用。但中級合金鋼中二者的含量甚少。在此種情況下，二者的影響可略而不計。

分析所需的乙醚可用其他有機溶提劑代替，例如，異戊醇，乙酸丁酯。

選作快速測定用的磷的光電比色法，在實質上幾乎與目視比色法並無區別。在這一方法中，並不進行磷鉍酸的溶提，還原時不用氯化亞錫而用硫脲或亞硫酸鈉。就完成分析所需的時間而言，光電比色法不及目視比色法。

在“統一方法”的最後一種方法中，各工廠試驗室的具体意見均已加以考慮，例如，根據茲拉托烏斯特冶金工廠試驗室的資料，製備標準系列極為方便。該廠又提出了如下的意見：應用光電比色法測定磷時，宜取試樣0.2克而不宜取1克。

硅 选作硅的测定法的有光电比色法与目视比色法。很多冶金工厂的快速分析试验室都采用这两种方法。

光电比色法的操作规程系根据斯大林汽车厂试验室的资料与乌克兰科学院尚未发表的记录拟订而成。这两种方法在审核过程中又曾加以修正（以更精确的方法进行各试剂中硅含量的空白试验，将溶液加热使黄色络合物的生成加速等）。

硅钼酸系在酸度为 $0.05 \sim 0.2 N$ 的溶液中生成；但在酸度较高（不超过 $4 N$ ）的条件下，亦能保持其稳定度。

在生成黄色络合物的同时，尚有磷钼杂多酸生成。为了消除后者的影响起见，可于溶液中加入草酸盐，使磷钼络合物分解；但同时亦降低了硫酸亚铁的还原能力。磷钼酸亦能在酸度增高至 $1.6 \sim 2 N$ 的条件下分解。这些方法提供了如下的可能性：硅的测定可以在磷存在的情况下进行，二者毋需预先分离。

契利亚宾斯克冶金工厂的试验室建议：于所量取的一部分溶液（供比色测定用）中，并不加蒸馏水而加 1% 硫酸溶液，在此种情况下，亦毋需加入草酸铵。由于一系列的理論方面的考虑，此项分析步骤的修改并未采纳。

该厂提出：按照“统一方法”中第一种方法的资料所规定的条件，磷钼酸能被硫酸亚铁铵还原，另外还提出有必要增添一项溶提（Выдержка）溶液的手续。但是实验证明：这些意见是不正确的（含磷为 0.167% 的 105 号标准试样与含不同硅量的其他试样，应用上述方法测定硅的结果是完全满意的）。

查波罗什钢厂试验室认为宜改用 B. H. 茹拉夫斯卡亚 [3] 的方法来代替所建议的方法，这也是毫无理由的。用实验审核这两种方法的结果说明，虽然待测定溶液的色调不同：如采用所建议的方法，则溶液呈绿色，如采用 B. H. 茹拉夫斯卡亚的方法，则溶液呈蓝色，但这两种方法的数据是完全一致的。

在进行“统一方法”的最后一次编纂工作时，契利亚宾斯克冶金工厂试验室的意见——最好在水浴上进行试样的溶解——已经加以考虑。

錳 拟訂測定錳的操作規程時，系以ГОСТ 2331—43〔1〕為依據。

建議作為測定錳的補充方法的有高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法與高硫酸鹽（以銀鹽作催化劑）法。這兩種方法均為中央黑色冶金科學研究所試驗室所創立，毋需應用硝酸銀。測定錳的光電比色法在審核時並未得到良好的結果。應用硫代硫酸鈉滴定高錳酸的方法在審核時亦未能獲得十分滿意的結果。

高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法與高硫酸鹽（以銀鹽作催化劑）法的區別在於：用鈷代替銀，鈷是一種較弱的催化劑。

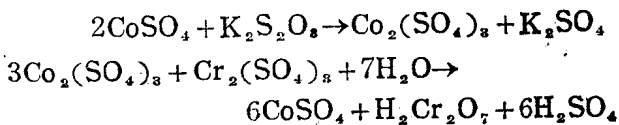
高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法的結果極為準確，這一點已為許多試驗室所証實。

高硫酸鹽（以銀鹽作催化劑）法的基本原理是：在鹼性介質中用高硫酸鉀氧化錳。

根據許多試驗室的意見，由於所需的勞動量比較大，這一方法應從“統一方法”中剔去。但是，如果先經氧化鋅處理，使鉻與錳分離，然後進行錳的測定，則在此種情況下，高硫酸鹽（以銀鹽作催化劑）法要比高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法或高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法簡便得多。僅僅是由於這一點，高硫酸法才得以保留下來。

鉻 選作主要方法的是ГОСТ 2604—44〔5〕的方法。中央黑色冶金科學研究所試驗室所創立的高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法，結果很好，已作為補充方法。許多試驗室，例如，烏拉爾重型機器製造廠的試驗室，在實際工作中都採用這一方法：利用高硫酸鉀進行鉻的氧化反應。測定鉻的高硫酸鹽（以鈷鹽作催化劑）法，文獻中尚無記載，其要點如下：

當硫酸溶液加熱時，很可能產生如下的反應：



當酸度相當低並有磷酸存在時，鉻的氧化反應能夠定量地進

行，且毋需任何催化剂（鉍离子亦包括在内）。仅当鉍量相当多或相当少时，为了达到定量氧化的目的，鉍——作为反应的催化剂——才是绝对必需的。

繼鉍氧化之后，随即开始錳的氧化（至高錳酸）反应，高錳酸的生成表示鉍的氧化业已完全。因此，如待分析的試样含錳极少，則应将錳加入試液中。在高硫酸盐（以鉍盐作催化剂）法的分析步骤中，将氯化鉀（氯化鉀中尚杂有碘化鉀，后者作催化剂用）加入煮沸的試液中以后，即能使高錳酸分解。同时，过量的高硫酸鉀亦起分解。

在高錳酸与高硫酸鉀分解之后，即可按照通常的方法用硫酸亚鉄鉍与高錳酸鉀二种标准溶液进行滴定①。

工厂試驗室的某些意見並未加以考虑，属于这一类意見的計有：

1. 建議于高硫酸鉍（或鉀）已全部分解的試液中，加入氯化鉀。但根据“电鋼”厂与其他工厂的快速分析試驗室的实验，証明这样会增加分析所需的时间，至于結果的准确度則並未提高。
2. 建議采用高硫酸鉍（或鉀）法測定鉍，但不用任何一种催化剂。

錳 选作測定錳的主要方法的是 A. M. 戴莫夫与 O. 沃洛金娜〔4〕的光电比色法（根据斯大林汽車厂的資料）。选作补充方法的是茲拉托烏斯特冶金工厂快速分析試驗室所采用的目視比色法，但有下列几点的修改：並無滤去磷酸鉄沉淀的必要，采用了制备更加灵敏的标准系列（由各种矿盐溶液制成）的方法等。

可应用酒石酸鉀鈉、与鉄、錳、鉍以及其他能在硷性介质中生成沉淀的元素結合成可溶性的絡合物，並用高硫酸鉍作氧化剂。

“电鋼”厂試驗室建議在分析不含銅、鉍的鋼样时，采用滴定法（以氯化鉀作滴定剂）。这一方法應該認為是过时的。

基于同样的理由，契利亚宾斯克冶金工厂試驗室的建議——

① 意即先加入过量的硫酸亚鉄鉍标准溶液，然后用高錳酸鉀标准溶液进行逆滴定——譯者。

采用电位滴定法（以氰化钾作滴定剂）决定终点——也不能认为是有效的。

在进行“统一方法”的最后一次编纂工作时，契利亚宾斯克冶金工厂试验室的意见已经予以考虑。该厂的意见是：测定镍的目视比色法仅适用于含镍 $\leq 0.5\%$ 的钢类，因为在镍含量更高的情况下，并不能保证结果所需的准确度。

钒 测定钒的电位滴定法在审核过程中证明并不完全可靠；

“电钢”厂试验室的试验证实了这一点。

就完成分析的速度与准确度而论，当推钒的光电比色法的结果为最佳（根据乌克兰科学院的资料）。

建议作为补充方法的是测定钒的滴定法（按照ГОСТ 2604—44 [5]，并经契利亚宾斯克冶金工厂试验室修正）。

钒的光电比色测定系利用大家所知道的显色反应——生成红紫色的反应，这是由于在硫酸与硝酸介质中用氯化亚锡还原磷钒钼络物的结果。

这一方法适用于：在铬、镍、钨、铜、钴、钼与其他元素大量存在的情况下，进行钒的测定；且毋需预先分离的手续。磷钒钼络物还原后所呈的颜色可稳定数小时。

根据兹拉托乌斯特冶金工厂试验室的意见，大家所知道的高硫酸铵法亦已列入“统一方法”中，供测定较高的钒含量之用。

铜 A.M. 戴莫夫 [6] 与 B.H. 波德柴诺娃 [7] 的著作中所述的各种测定铜的方法，由于耗时颇久，不能当作快速法来应用。

在进行大批检验工作时，中央黑色冶金科学研究所试验室所创立的目视散射测浑法亦不适用于铜的测定。

库兹涅茨克冶金联合企业试验室所创立的光电比色法亦曾加以试验。这一测定铜的方法的基本原理是：先用氨水分离铁，再比较铜的氨合物的颜色。这一方法并不适用于分析含镍颇多 ($> 0.3\%$) 的钢样。

类似的光电比色法（试液用硫代硫酸钠处理，再行煮沸，使铜先成沉淀析出）由于耗时颇久，亦不能当作快速法来应用。

A. Γ. 斯特罗姆別尔格等〔8〕所述的极譜分析法，經中央黑色冶金科学研究所試驗室修改以后，結果很好。这一方法已选作快速測定銅的补充方法。

“鑛刀与鏈子”工厂与契利亚宾斯克冶金工厂的試驗室認為：在快速分析試驗室的条件下，应用极譜仪进行銅的測定是一个过于复杂的問題；並建議仅在确定鋼类的牌号时采用这一方法。

“电鋼”厂的記錄，就恰恰相反，应用极譜法所得結果的重现性很好，且完成分析的速度亦快。

作者認為极譜法的优点（迅速、並有可能在鎳与鈷存在的情况下进行分析）是非常明显的，故决不应从“統一方法”中剔去。

鉬 大家所知道的目視比色法（应用有机溶剂溶提的硫氰酸盐法），經中央黑色冶金科学研究所化学試驗室修改为半微量法后，最适宜于鉬的快速測定，作为补充方法的是“鑄鉄与鋼的統一分析方法”〔9〕一書中所說的目視比色法。就完成分析的速度而論，鉬的光电比色測定法在审核時並不令人滿意。

应用补充方法測定时，毋需溶提手續，即可用鉬的标准溶液进行比色滴定。

錫 許多冶金工厂試驗室所采用的硫氰酸盐比色法曾加以审查。这一方法是大家都知道的，它的基本原理是：用三氯化鉄还原硫氰酸錫。这一方法的最后形式有二种：光电法与目視法。按照上述方法（無論是光电法或目視法）进行分析是頗費時間的。根据茲拉托烏斯特冶金工厂試驗室的工时記錄，每次錫的測定需29~30分鐘。但由于並無其他更合理理想的方法，所以这一方法仍然列入“統一方法”汇編中。

在“統一方法”中尚有下列两种測定錫的方法：1. 目視比色法，它的基本原理是：在硫酸介质中使錫与氢醌生成显色化合物〔10〕。2. 微量滴定法〔9〕。这两种方法比較快速，但結果的准确度亦較差。

契利亚宾斯克冶金工厂試驗室的意見——宜制备永久性的标准系列（由各种矿盐制成）供錫的測定（氢醌法）之用——已予

以考虑；但由于制备此項标准系列尚有困难，故並未实行。

茲拉托烏斯特冶金工厂試驗室的意見——錫的滴定法只适用于含錫 $>2\%$ 的鋼样——亦已加以考虑。

契利亚宾斯克冶金工厂試驗室的数据已作为容許誤差的依据。此外，A.M. 戴莫夫一書〔6〕与中央黑色冶金科学研究所化学試驗室多年来試驗中的相应数据亦加以利用。

必須指出：进行每种元素的測定时系利用同一个試样为了对分析結果进行适当的校正起见，尚須同时进行一次空白試驗。

同时，又有必要在同样的条件下分析标准鋼样中相应的元素。此时：

1. 如标准試样的分析結果与証明单上所注明的数值之差在容許誤差的正負值范围以內（待測定的元素应在适当的含量范围以內），則分析結果應該認為是足够准确的（接近真值）。

2. 所取的标准試样（供分析用）應該能够代表待分析的試样。

3. 如进行二个平行試样的分析，則結果之間的偏差值不应超过分析結果容許誤差的絕對值的2倍（待測定的元素应在适当的含量范围以內）。

在“統一方法”（參閱表1）中有11种滴定分析法，7种光电比色法，7种目視比色法，1种气体体积法与1种极譜分析法。其中物理化学方法的比重並不特別大；但应考虑到，这些分析法是首先从生产单位試驗室所采用的方法中进行挑选的（特別應該提到“电鋼”厂試驗室，这一試驗室广泛采用物理化学方法供快速分析之用）。

上述方法中的大多数（27种中有17种）規定：供分析的試样 ≤ 0.2 克。这就是說，这些方法已接近半微量法。与常量分析法比較起来，半微量法的先进性在于試料与試剂的节约（可至90%）与分析時間的縮短（可至50%）。

就一般言，对于每种元素的測定都提出了2~3种方法，这样就能使工厂試驗室在实际工作中更有效地应用“統一方法”。除

表 1

分析所需的时间与结果的容许误差

所分析的元素	分 析 方 法	每次测定所需的时间 (分钟)	含 量 (%)	容许的绝对误差 (±%)
碳	气体体积法	3~4	≤0.05	0.005
			0.05~0.10	0.010
			0.10~0.20	0.015
			0.20~0.50	0.020
			0.50~1.00	0.025
硫	重量滴定法 (它的基本原理是: 在氧气流中燃烧试样)	3~4	1.00~2.00	0.035
			≤0.020	0.0015
			0.020~0.030	0.0025
			0.030~0.050	0.0030
磷	目视比色法	6~8	0.050~0.100	0.0040
			≤0.010	0.0010
			0.010~0.015	0.0020
			0.015~0.030	0.0025
	光电比色法	13.5~15.5	0.030~0.050	0.0030
硅	光电比色法 (以硫酸亚铁铵作还原剂)	8~9	≤0.010	0.0010
			0.010~0.030	0.0020
			0.030~0.060	0.0025
			0.060~0.100	0.0030
	光电比色法 (以氯化亚锡作还原剂)	9~10	≤0.10	0.010
			0.10~0.20	0.015
			0.20~0.30	0.020
			0.30~0.50	0.025
	目视比色法	10~13	0.50~0.80	0.030
			≤0.10	0.015
锰	高硫酸盐 (以银盐作催化剂) - 亚硝酸盐滴定法	6.5~8.5	0.10~0.25	0.030
			0.25~0.50	0.040
			0.50~1.00	0.050
			0.10~0.30	0.010
	同上 (先用氧化剂分离铬)	15~17	0.30~0.50	0.015
			0.50~1.50	0.020
			0.10~0.30	0.025
			0.30~0.50	0.030
			0.50~1.50	0.040

續表 1

所分析的元素	分 析 方 法	每次測定 所需的时间 (分鐘)	含 量 (%)	容許的絕對誤差率 (±%)
鉻	高硫酸盐 (以鉍盐作催化剂) 滴定法	7~9	0.10~0.30	0.025
			0.30~0.50	0.030
			0.50~1.50	0.040
	同上 (先用氧化鉍分离鉻)	15~17	0.10~0.30	0.025
			0.30~0.50	0.030
			0.50~1.50	0.040
	高硫酸盐 (以鉍盐作催化剂) 滴定法 (先用氧化鉍分离鉻)	14~15	0.10~0.30	0.025
			0.30~0.50	0.030
			0.50~1.50	0.040
	高硫酸盐 (以鉍盐作催化剂) 滴定法	17~24	≤0.25	0.020
			0.25~1.00	0.025
			1.00~2.00	0.030
	高硫酸盐 (以鉍盐作催化剂) 滴定法 (半微量法)	12~14	2.00~5.00	0.050
			5.00~10.00	0.080
			1.00~2.00	0.030
	高硫酸盐 (以鉍盐作催化剂) 滴定法 (常量法)	12~14	2.00~5.00	0.050
			5.00~10.00	0.080
			1.00~2.00	0.030
鎢	光电比色法	10~11	≤0.20	0.010
			0.20~0.30	0.020
			0.30~0.50	0.025
			0.50~1.00	0.030
			1.00~2.00	0.040
			2.00~4.00	0.050
	目視比色法	10~11.5	4.00~7.00	0.070
			≤0.20	0.015
			0.20~0.50	0.025
			0.10~0.25	0.010
			0.25~0.50	0.020
			0.50~1.00	0.025
鈳	光电比色法	14~15	1.00~3.00	0.030
			0.10~0.25	0.015
			0.25~0.50	0.025
			0.50~1.00	0.030
	滴定法 (以邻苯氨基苯甲酸作指示剂)	15~19	1.00~2.00	0.035