

A detailed technical line drawing of a hot air alkaline iron furnace, showing its internal structure, including the combustion chamber, heat exchanger, and gas passages. The drawing is rendered in white lines on a green background.

热风碱性化铁炉的 理论与实践

許 康 編著

冶金工业出版社

热风碱性化铁爐的 理論与实践

許康 編著

冶金工业出版社

热风碱性化鉄爐的理論与实践

許康 編著

冶金工业出版社出版 (北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版业營業許可証出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

— * —

1960 年 1 月第一版

1960 年 1 月北京第一次印刷

印数 3,020 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ · 108,000 字 · 印张 $4 \frac{22}{32}$ · 插頁 10

— * —

統一書号 15062 · 1964 定价 0.71 元

出版者的話

采用热风碱性化鉄炉是轉炉炼鋼去硫的最有效措施，已为去年和今年召开的三次全国轉炉炼鋼會議所肯定，並要求各地坚决貫徹推广，以使高硫消灭在鉄水进入轉炉之前，提高轉炉鋼的质量。

本书是作者根据上海地区进行有关热风碱性化鉄炉的試驗研究工作，全国各厂先进經驗和各国有关資料編寫而成的。书中对国内外有关資料做了广泛的收集和分析。全书共分三个部分，第一部分介紹化鉄炉預热鼓风的发展情况、預热鼓风对化鉄炉熔炼操作的影响以及各种空气預热器的类型、构造及其比較；第二部分着重叙述了化鉄炉炉内外脫硫的基本理論和生产工艺；第三部分簡要地探討了热风碱性化鉄炉的发展方向。

本书內容比較丰富，理論和經驗並重，对于轉炉炼鋼工作者是一本很好的参考书，也可供鑄造車間技術人員、学校教师和学生参考。

目 录

前言	1
第 I 部分 化鉄爐預热鼓风	3
一、发展簡史	3
二、預热鼓风对化鉄爐熔炼过程的影响	7
1. 預热鼓风对焦炭理論燃烧温度的影响	7
2. 預热鼓风对燃烧产物組成的影响	9
3. 預热鼓风对化鉄爐出鉄温度的影响	11
4. 預热鼓风对化鉄爐爐渣中 FeO 含量的影响	13
5. 預热鼓风对鉄水成分的影响	15
6. 預热鼓风对鉄損的影响	23
7. 預热鼓风对化鉄爐热效率、熔化率及焦比的影响	23
8. 預热鼓风对化鉄爐操作的影响	24
9. 小結	25
三、空气預热器的类型	26
1. 利用化鉄爐废气物理热加热的空气預热器	28
(1) 装在化鉄爐爐衬內的	28
(2) 装在化鉄爐爐外的	31
2. 利用化鉄爐废气的物理热和化学热加热的 空气預热器	32
(1) 将一部分废气直接加入鼓风內	32
(2) 蓄热室式預热器	32
(3) 装在化鉄爐烟囱內的换热式空气預热器	35
I) 鋼管式换热器	35
II) U形鑄鉄管式或頂帽式换热器	37
III) 輻射式换热器	37
(4) 装在化鉄爐爐外的换热式空气預热器	44

I) Cupodel 式交流型换热器	44
II) Schack 式逆流型换热器	46
III) Schack 式輻射换热器	47
IV) 輻射—对流混合式换热器	43
3. 外加热的空气預热器	53
(1) 烧煤气的 Schack 式管状换热器	53
(2) 烧煤的輻射式管状换热器	54
(3) 烧煤的針状管换热器	57
(4) 八一九式U形管换热器	60
(5) 輻射—对流混合式换热器	61
四、結論	63
第II部分 碱性化鉄爐去硫	65
五、国内外各种去硫方法的发展情况及其比較	65
1. 苏打去硫	65
2. 迴轉爐去硫	66
3. 用气体噴射石灰粉法去硫	67
4. 电解去硫	67
5. 其他各种爐外去硫剂	68
6. 化鉄爐內造碱性渣去硫	69
六、碱性化鉄爐爐內去硫的基本理論	72
1. 爐气揮发去硫	73
2. 爐渣去硫	77
(1) 碱度对硫分配比的影响	81
(2) 爐渣中FeO含量对硫分配比的影响	90
(3) 溫度对硫分配比的影响	92
(4) 爐渣粘度对硫分配比的影响	95
(5) 其他因素对硫分配比的影响	97
3. 爐渣去硫的离子理論观点	100
4. 小結	101

七、碱性化鉄爐爐內去硫的实践.....	102
1. 碱性化鉄爐的构造和設計.....	102
2. 碱性化鉄爐的爐衬及其修砌、烘烤.....	102
(1) 前爐及后爐熔化帶以下部分.....	102
(2) 过鉄道、出鉄口及出渣口.....	105
3. 碱性化鉄爐的熔炼操作工艺.....	111
(1) 对原材料的要求.....	111
(2) 配料.....	112
(3) 加料.....	114
(4) 爐前操作.....	118
(5) 熔炼过程中熔渣的控制.....	119
(6) 碱性化鉄爐的实际去硫效果.....	120
(7) 碱性操作对鉄水中 C, Si, Mn, P 的影响 ...	126
(8) 碱性操作对化鉄爐熔化率的影响及 其改进措施.....	131
第Ⅱ部分 热风碱性化鉄爐的发展方向	135
1. 使用高預热鼓风溫度.....	135
2. 如吸式出渣出鉄.....	135
3. 无衬、淋水式(或汽化式)水冷风口的 高爐型化鉄爐.....	136
4. 炭質耐火材料(亦即中性耐火材料)	137
参考文献	139

前 言

自从去年党中央提出了“全民办钢铁”这一伟大号召以来，我国钢铁工业得到了空前未有的高涨，1958年钢的产量由1957年的575万吨提高到1100多万吨，增加了一倍以上，今年我国钢产量按计划将达到1200万吨（不包括土钢），其中转炉钢将占有很大的比重。目前转炉钢的生产，有些地方还不太正常，同时，质量也不太高，这当然和小高炉供应的生铁原料中含硫量高大有关系。去年10月在天津召开的“全国地方炼钢现场促进会议”及今年3月在上海召开的“全国转炉炼钢会议”都曾先后明确地肯定了采用“热风碱性化铁炉”处理高硫生铁是最合理而又有效的方法；6月在青岛召开的“全国转炉炼钢提高质量经验交流会议”更进一步肯定了热风碱性化铁炉的优越性，并认为青岛市各钢厂使用热风碱性化铁炉这一先进经验，在全国不仅具有普遍的意义，而且更具有长远的意义。因此，会议要求全国各地根据具体情况，坚决采用热风碱性化铁炉这一最有效的脱硫手段，以保证钢的质量。我们相信，在不久的将来，热风碱性化铁炉也会象小高炉、转炉那样，很快的在全国遍地开花，钢的质量也一定会进一步得到提高。

本书就是在这种形势下应冶金工业出版社的要求而编写出来的。书中内容主要根据上海地区有关热风碱性化铁炉的试验研究总结，同时也吸取了国内其他各地的不少先进经验。此外，鉴于最近几年来，苏联以及德、美、英、法等国家在这方面积累了许多成功的经验和资料，因此书中也比较着重的作了一些介绍，以供参考。全书共分三大部分：第Ⅰ部分化铁炉预热鼓风，介绍了化铁炉预热鼓风的发展简史、预热鼓风对化铁炉熔炼操作的影响以及各种空气预热器的类型、构造及其比较；第Ⅱ部分碱性化铁炉去硫，着重叙述了各种生铁炉外去硫方法的比较，化铁炉采用碱

性渣操作的发展历史，以及碱性化鉄爐內去硫的基本理論与实践，最后第Ⅲ部分指出了今后炼鋼車間內热风碱性化鉄爐进一步发展的若干方向。可是由于編者水平有限，加上時間仓促，錯誤之处，在所难免，尙希同志們随时批評指正。

本書全稿承蒙邹元熾先生在百忙中抽空校閱了一遍，在編写过程中还得到了严荣华等許多同志的热誠帮助，特此謹向以上几位同志致謝。

編 者

1959.7.

第 I 部分 化鉄爐預热鼓风

一、發展簡史

早在 1832 年 Faller du Faur 就第一个在化鉄爐上使用了預热鼓风。1838 年在古老的俄国的亚历山大罗夫斯克(Александровский) 工厂也开始使用了俄国的第一个預热鼓风的化鉄爐〔1〕，空气的預热溫度是 320°C 。那时俄国化鉄爐上用的是木炭燃料，为了获得过热鉄水以滿足薄壁鑄件的需要，在化鉄爐的旁边装了一个用废气加热的换热器，冷风先經换热器預热后再送入爐內。图 1a 就是带有这种换热器的化鉄爐示意图。也有换热器直接装在化鉄爐烟囱內的（见图 1b）。可是这种热风化鉄爐在以焦炭代替木炭作燃料后，由于燃烧产物中一氧化碳含量降低，使空气預热溫度达不到使用木炭的那样高，因而沒有得到进一步的发展，同时改用焦炭后，無論在鉄水溫度、熔化率以及燃料消耗等各方面即使在使用冷风的条件下也尚能滿足当时鑄造生产的要求，因此直到 20 世紀，由于对鉄水質量方面新的急剧增长的要求，加以战时焦炭質量的驟然下降（灰分高），才促使化鉄爐預热鼓风向新的現代化方向发展，尤其是在欧洲大陆的德国发展較快。

虽然化鉄爐作为一个熔炼設備而言，乃是最經濟不过的，但其热效率却很低，一般都不大于 38%。送进化鉄爐燃烧的燃料中很大一部分热量（包括物理热及化学热）是由废气通过烟囱散失在大气之中。因此，如何合理而有效的利用这部分热量一直是化鉄爐工作者經常注意的問題。近代大多数化鉄爐所用的空气預热裝置也都是基于这一观点出发的。当然也有个别的不利用化鉄爐废气热量，而用外加燃料（固体、液体或气体）使空气得到預热的方法，不过这种化鉄爐，在很大程度上，热风的使用已不仅仅在

于节省焦炭的消耗，而更重要的在于热风能給化鉄爐冶金过程带来一系列的有利作用，而且看来这种有利作用已越来越成为化鉄爐使用热风的主要方面，因为使用热风再配上碱性操作就有可能使用最廉价的原料（劣質焦炭、废鋼、杂鉄）并获得最經濟最先进的技术經濟指标，生产出最優質的生鉄，从而更充分地發揮化鉄爐在冶金方面的一切优点和可能性。

化鉄爐預热空气用换热器的各种型式及其构造，近年来已見諸許多国外总结性文献〔1〕—〔6〕。

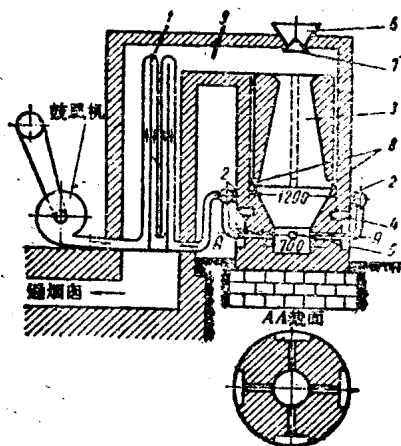


图 1 (a) 柳金諾夫斯基 (ЛЮДИНОВСКИЙ) 工厂具有預热鼓风的化鉄爐

1—生鉄换热器； 2—环状分气管；
3—化鉄爐爐身；4—水冷生鉄支承环；
5—风口，其总截面积为 161 公分²，
或爐缸横截面积的 (5026 公分²) 的
3.2%；6—爐頂漏斗； 7—能下降的
鐘形罩； 8—热爐气通往换热器的支
气道； 9—自化鉄爐通往换热器的出
气道

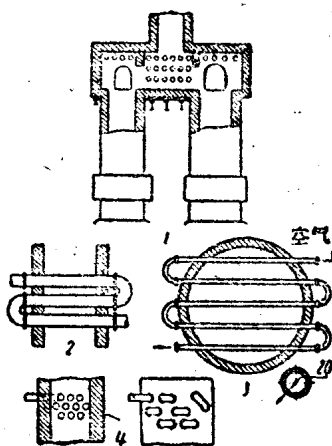


图 1 (b) 化鉄爐用的鑄鉄换热器

1—两化鉄爐共用的室内换热器的布
置； 2—化鉄爐烟道中换热器的垂
直布置； 3—化鉄爐烟道中换热器的
水平布置； 4—化鉄爐烟道中换热器的
多排布置

E. Longden [2] 简单介绍了 1946 年前，英、美、德、意等国的热风化铁爐的构造和发展情况，其中最值得注意的是 F. K. Vial 应用的 Griffin 式热风化铁爐，空气預热 是在一利用化铁爐爐頂废气（物理热及化学热）加热的豎式管状换热器中进行的，是后来国外比較經常見到的一种，其风溫可达 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 。使用結果可以使焦炭消耗降低 40%，熔化率增加 20%。

二次大战前夕，E. Piwowarsky 教授在德国的 Aachen 高等技术学校，对 300° 及 600°C 的高风溫化铁爐进行了試驗研究，并且得到了一些有趣的結果 [7]，証明热风的使用不仅可以节省焦炭，增加熔化率，同时还可以降低生鉄含硫量，提高質量。

1841 年 Georg Fischer 根据 E. Piwowarsky 的設計，在瑞典的 Schaffausen 进行了进一步的試驗研究，其热工方面所得結果如表 1 所示 [3]。

从表 1 可知，由于热风的使用化铁爐車間的热效率，由冷风的 31.8% 分別提高到 48.7% (300°C) 及 53.8% (600°C)，燃料节省分別为 18.4 及 36.1%。

在利用化铁爐废气預热空气的换热器中，所碰到的一个相当伤脑筋的問題是爐气灰尘对热交换效率的影响；为了解决这一問題，設計者們曾想了許多办法，例如情願放弃热效率較高的一般气流原則——废气从换热器管子的外围走，而被加热的空气則从管内走——反过来改用废气从管内走、空气从管外走的原則 [3]。最近在苏联、德国等化铁爐上相繼出現的輻射式及輻射一对流混合式换热器，可以說进一步的解决了这一問題 [6]、[8]—[12]。同时这种换热器和普通管状的比較起来更具有結構簡單緊湊、和高热效率等优点。

在苏联热风化铁爐已由政府以命令方式向各工厂加以推荐，由此也可見化铁爐預热鼓风的合理性。

近年来在国外随着鋼鉄工业的发展，热风化铁爐不仅在鑄造車間，而且同时更大規模地在炼鋼車間里也得到了广泛的应用，

所用的空气預热器都是現代化的，風溫一般都在 $500^{\circ}\sim 550^{\circ}\text{C}$ ，出鉄溫度高达 $1500\text{—}1550^{\circ}\text{C}$ 。

表 1

內徑 650 公厘的化鉄爐使用冷風和熱風的熱平衡比較
(熔煉可鍛鑄鉄)

項 目	冷 風	熱 風	
		300°C	600°C
焦炭發熱量, %	97.00	88.70	79.30
鉄燒損發熱, %	3.00	3.90	4.90
熱風帶入熱, %	—	7.40	15.80
共計, %	100.00	100.00	100.00
鉄水含熱, %	31.8	51.8	60.00
渣含熱, %	3.34	6.4	5.65
石灰石分解吸熱, %	1.60	2.07	—
焦炭水分蒸發, %	0.02	0.05	0.04
鼓風中水汽分解, %	1.90	2.02	3.06
廢氣帶走的物理熱, %	9.20	5.30	4.95
廢氣帶走的化學熱, %	43.00	26.50	20.00
冷卻水吸熱, %	0.94	0.80	1.90
輻射熱損失, %	8.20	5.06	4.40
總 計	100.00	100.00	100.00
化鉄爐的熱效率, %	31.80	51.80	60.00
空氣預熱器的熱效率, %	—	60.00	64.20
整個車間的熱效率, %	31.80	48.70	53.80
最後廢氣溫度, $^{\circ}\text{C}$	350	200	200
化鉄爐焦炭消耗, 磅/噸鉄水	358	233	174
焦炭節省, %	—	35	51.5
空氣預热器耗煤, 磅/噸鉄水	—	59	55
全部燃料節省, %	—	18.4	36.1

至于在國內，熱風化鉄爐的廣泛應用，那還是去年鋼鐵工業大躍進以後才引起特別注意的。由於小高爐生鉄 C、Si 低，S 高，嚴重的影響了轉爐鋼的正常吹煉，因而使用熱風以提高化鉄爐的出鉄溫度，熔化類和去硫率，對保證鋼的“優質、高產、低耗、多種”具有特別重要的意義。目前全國各轉爐鋼廠的化鉄爐

已相繼建立了自己的热风系統，但除个别厂子以外，一般的热风溫度都不太高，只有 $200-250^{\circ}$ 或更低。因此如何进一步改进設計、提高風溫，是一个进一步迫切需要解决的問題。相信在不久的将来， $500-600^{\circ}\text{C}$ 左右的热风一定会在我国的化鉄爐上普遍出現的。

二、預热鼓風对化鉄爐熔煉过程的影响

化鉄爐預热鼓風后，由于空气中 O_2 和底炭固体燃料中的C之間反应速度的急剧增加，使化鉄爐氧化帶縮短、高溫区域更加接近风口（見图2）以及还原帶反应 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} \uparrow$ 加剧进行，給化鉄爐的熔煉过程带来了一系列的影响，学者們对此也进行了不少研究〔13〕—〔17〕，今簡單介紹如下。

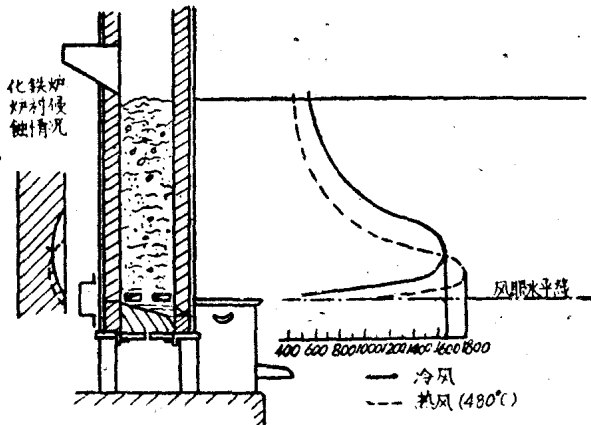


图2 化鉄爐內溫度的分布

1. 預热鼓風对焦炭理論燃燒溫度的影响

固体炭的理論燃燒溫度在不同燃燒产物比（簡称燃燒比）和不同風溫下可以下式表示：

$$T = \frac{2400 + 5640 \times \eta_v / 100 + 4.45(1 + 1.855 \times \eta_v / 100 \times C_{CO_2} + 1.867(1 - \eta_v / 100) \times + \eta_v / 100) \times C_{\text{灰}} \times t}{\times C_{CO} + 3.510(1 + \eta_v / 100) \times C_{N_2}} \dots\dots\dots (1)$$

式中 $\eta_v = \frac{CO_2}{CO_2 + CO} \times 100$ (即燃烧比),

t = 风温, °C;

CCO_2, C_{N_2} 个别燃烧产物 CO_2, N_2 等的平均比热 (在燃烧温度下)。

按 (1) 式计算出来的不同风温下的理论燃烧温度与燃烧比 η_v 的关系如图 3 所示。

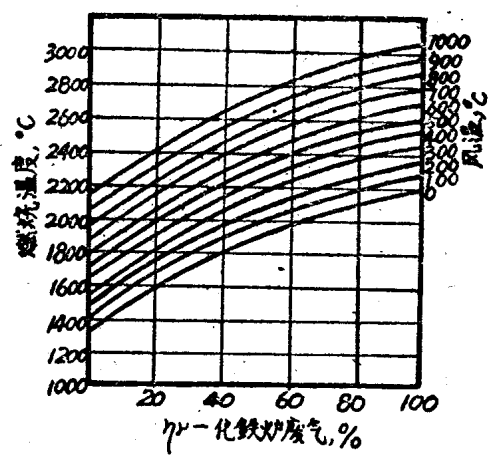


图 3 不同风温和 η_v 下固体 C 的理论燃烧温度

从图中曲线可以看出, 由于热风的使用, 理论燃烧温度得到了很大的提高, 例如当 $\eta_v = 50\%$, 风温由 0° 增加为 $500^\circ C$ 时, 其燃烧温度即由 1900° 增为 $2300^\circ C$, 即增加了 $400^\circ C$ 。

从图 4 更可以看出, 理论燃烧温度随风温的增加而增加的明显关系 [4]。

虽然理论燃烧温度在实际化铁爐上永远不会达到, 但至少可

以大致看出预热鼓风对化铁爐高温区最高温度的有利影响。

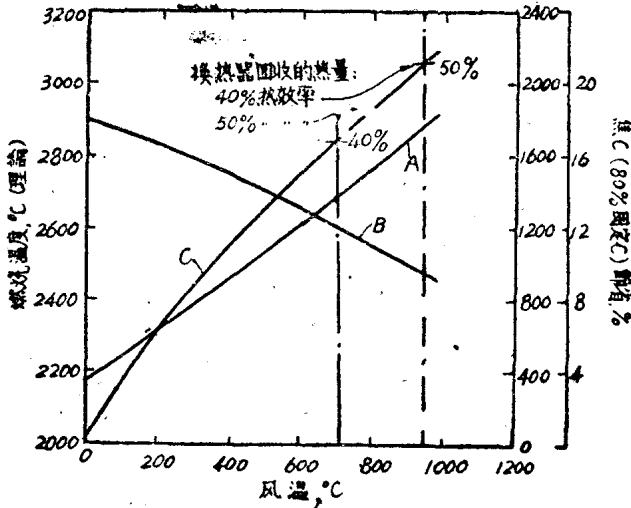


图 4 风温对理論燃烧温度与焦比的影响

A—理論燃烧温度；B—由于使用热风而节省的焦炭%（铁水温度不变）；C—每公斤炭燃烧所需的空气预热后的物理热，假定燃烧产物中CO同冷风一样均为 $CO/CO_2 + CO \times 100 \approx 50\%$

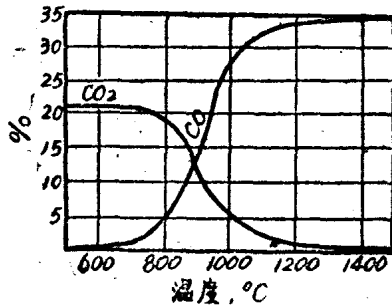


图 5 CO_2/CO 平衡曲线（按 Boudouard）

2. 预热鼓风对燃烧产物组成的影响

M. Bader [18], W. Gumz [19] 都发现增加风温即增加燃烧温度，燃烧比 η_v 将要显著的下降；Gumz 并且从理論計算得

出了相同的結論。这是由于根据 Boudouard 反应曲綫 (图 5)，随着溫度的增加， CO_2/CO 平衡将向 CO 方面移动的緣故；也就是說 CO_2 被 C 还原成 CO 的反应得到了发展。A.H. Jungbluth 和 K. Stockkamp 的研究結果也証明了这点 (见图 6、7)。同时，A.H. Jungbluth 和 K. Stockkamp 还引用了其他一些研究者

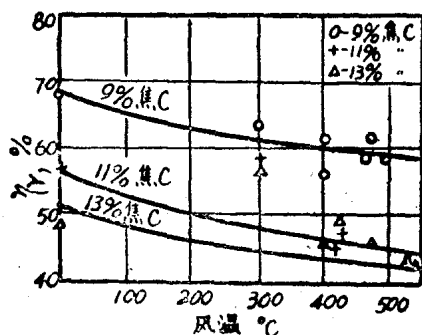


图 6 不同焦比下燃烧比 γ 与风温的关系

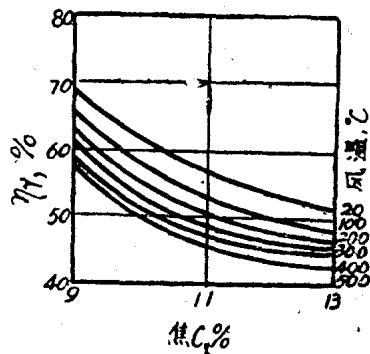


图 7 不同风温下焦比与燃烧比 γ 的关系

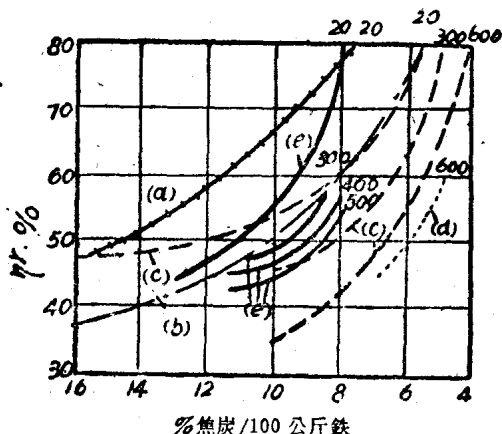


图 8 各研究者所得 γ 值的比較

(a) — Jungbluth 和 Korshan; (b) — Jungbluth 和 Heller; (c) — Guniz 的計算值; (d) — Bader; (e) — Jungbluth 和 Stockkamp