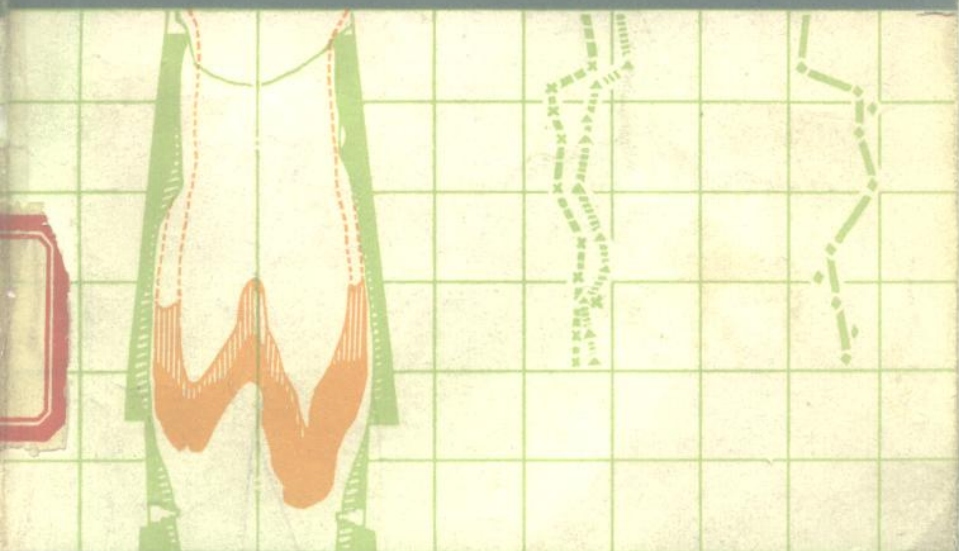


(日) 神原健二郎 等著

刘 晓 侦 译

高炉解体 研究



冶金工业出版社

高炉解体研究

〔日〕神原健二郎等 著

刘 晓 侦 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了高炉从停炉、冷却到解体调查的方法；着重论述了炉料在炉内的分布状况、下降状况和煤气流、温度的分布状况及有关炉料的粉化、还原、软化、滴下过程，硅、硫、碳、碱金属在生铁、炉渣中的物理、化学变化。也对焦炭在炉内的变化、风口前焦炭循环区的状况进行了分析。此外，还通过实验对解体调查所得的部分资料进行了补充和修正。

高 炉 解 体 研 究

〔日〕神原健二郎等著

刘 晓 侦 译

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 4 3/8 字数 94 千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷

印数 00,001~3,100 册

统一书号：15062·3458 定价 0.50 元

00179

译 者 的 话

为了强化高炉冶炼，高炉工作者多年来一直是通过观察、测定、取样、模拟试验等各种手段了解高炉炉内状态。高炉解体调查是近几年才开始的了解高炉炉内状态的一种方法。它是在尽量保持高炉的原有生产状态下停炉，注水冷却后，从炉喉的炉料开始，一直到炉底的积铁，进行像发掘古迹一样的细致解体调查，以便更确切地了解炉内状态。

高炉解体调查，虽然不能完全了解高炉生产过程的动态情况，但对高炉冶炼的理论及进一步使球团矿、烧结矿、生矿、焦炭等原燃料更适应高炉生产需要的研究，强化高炉冶炼等都很有参考价值。

本书译自日本《铁と鋼》1976年第五期中的五篇文章。前四篇是日本东田五号高炉、广畑一号高炉、洞冈四号高炉的解体调查情况。最后一篇是日本小仓二高炉的解体调查情况的综合论述。

书中介绍了从停炉、冷却到解体调查的方法；着重论述了炉料在炉内的分布状况、下降状况和煤气流、温度的分布状况及有关炉料的粉化、还原、软融、熔化、滴下过程；硅、锰、硫、磷、碳、碱金属在生铁、炉渣中的物理、化学变化；也对焦炭在炉内的变化、风口前焦炭循环区的状况进行了分析。还通过实验对解体调查所得的部分资料进行了补充和修正。本书文字不多，但内容较丰富。可供从事高炉冶炼的生产、科研人员，大专院校有关专业的师生参考。

由于水平有限，译文难免有错误缺点，欢迎批评指正。

1978年7月

35136

目 录

一、高炉解体调查与炉内状况·····	1
二、高炉内块状带状况·····	31
三、高炉内软融带的形成、融化与滴落·····	58
四、高炉内焦炭的变化·····	82
五、小仓二号高炉解体调查结果·····	106

一、高炉解体调查与炉内状况^①

(一) 引言

为了在操作技术上能正确处理高炉冶炼中经常出现的复杂现象，就要切实了解炉内状况。但是，做到这一点是相当困难的。在高炉的实际生产中，往往只能依赖于分析和判断炉内状况。把实际正在生产着的高炉，保持生产状态的原样而停炉，急速冷却，进行炉内状况调查，这是深刻地最直接了解炉内状况的有效方法。

于1968年首次将东田五号高炉(646米³)，接着于1970年将广畑一号高炉(1407米³)、1971年将洞冈四号高炉(1279米³)按生产状态的原样停炉、注水冷却，进行了炉内状况调查。调查结果与苏联莫拉凡夫等人的调查结果有很大出入。通过调查了解了与高炉操作条件和操作现象相对应的炉内状况。还发现了在这次高炉解体调查之前，不曾预料的一些情况和其它的一些宝贵的发现，可为今后改进高炉操作和设计提供依据。但是，另一方面，由于停炉后，存在熔融物的滴下、持续反应和冷却过程的再氧化等而深感对炉内的有关反应，特别是对在滴下带的反应给予正确解释存在困难。

本文作为这组解体调查报告的总论，对有关停炉、解体调查方法、炉内概略状况以及高炉操作与炉内状况的关系加

① 本文作者：神原健二郎、萩原友郎（新日铁广畑制铁所工学博士），重见彰利（新日铁广畑制铁所），近藤真一（新日铁基础研究所理学博士），金山有治（新日铁室兰制铁所），若林敬一、平本信义（新日铁技术开发部）。

以论述。关于块状带、软融带及炉内焦炭状况，将在下面几篇报告中详细论述。在本文中，炉内各有关部位采用下列名称：

块状带(Lumpy Zone)——含铁原料仍以块状下降的部位。

软融带(Softening-melting Zone)——表示含铁原料软化、融粘、熔化滴落过程的部位。把具有这种状态的矿石层称为软融层。

滴下带(Dropping Zone)——只以焦炭为充填层的层中，有熔融了的金属、炉渣流下的部位。

(二) 新日铁公司高炉解体调查的过程

东田五高炉的解体调查是把实际生产着的高炉保持生产的原状进行停炉、注水冷却，然后进行炉内状态的调查。通过这次解体调查，看到炉料明显地保持着层状下降，到炉身下部仍以层状软融成岩石状的圆盘存在。另外，也证实了炉料整体浮在铁水之中的结论。此外，还对炉内矿石、焦炭性质的变化，熔化的铁水与炉渣成分的变化等进行了调查。以前，从炉墙钻眼取样只能了解局部的情况，而这次能初步掌握整个炉内的有关分布状况。

东田五高炉是冶炼铸造生铁的646米³的小型高炉。停炉前炉况不顺行。为了了解冶炼炼钢生铁的高压操作的中型高炉炉内状况，对广畑一高炉进行了解体调查。新日铁公司聚集了所有与炼铁专业有关的研究力量，对所采集的炉内样品加以讨论研究，详细研究了炉内炉料的软化、融粘直到滴下的状况。特别值得注意的是发现了炉内有整齐的软融层。它在炉子的上部开始生成，一直延续到风口上部，呈倒V形

分布。该高炉直到停炉，炉况一直顺行、高产（一代炉龄平均利用系数为 $1.94\text{吨}/\text{米}^3\cdot\text{日}$ ）。软融层的分布可以由与高炉利用系数有密切关系的煤气流分布判断出来。

如上所述，广畑一高炉以高利用系数进行稳定操作，但焦比较高。而洞冈四高炉当时采用以低焦比、大重油喷吹量的操作方针，焦比达到400公斤/吨以下。以了解如此之低的焦比进行生产操作的高炉炉内状况为目的，对这座高炉进行了解体调查。通过这次调查，证实了洞冈四高炉与广畑一高炉的软融层分布状况不同。软融层随着操作条件、操作中出现的现象不同而有所差别。甚至可以断言，这个结论对于高炉的生产操作和设计都具有重要的意义。另外，洞冈四高炉的解体调查，停炉前没有从炉底放积铁，在完全保持原有的生产操作状态下进行注水冷却。所以，不言而喻，这样可以详细地了解风口前及炉缸的状况。

（三）停炉前的高炉操作

当时，广畑一高炉面临着广畑制铁所生铁供应不足的局面。因此，需要采用高利用系数操作方针。停炉前一年的9月份，月平均利用系数达 $2.3\text{吨}/\text{米}^3\cdot\text{日}$ 。后来该高炉因被新建的四高炉所代替，所以炉龄只有4年零3个月就停炉了。因为四高炉开炉后，生产能力迅速提高，所以在一高炉停炉的当月（1970年7月）不得不减风操作，出现比全风作业稍低的高炉利用系数（停炉月份的高炉平均利用系数为 $1.85\text{吨}/\text{米}^3\cdot\text{日}$ ）。

洞冈四高炉自1961年9月开炉以来生产了9年零8个月，是一座到了生产末期的高炉。1971年2月以后，由于采用了增加富氧、多喷重油的操作，从而保持了470~480公斤/吨

表 1-1 广烟一高炉停炉前三天的生产情况
(1970年 7 月 23 日停炉)

日期 (7月)	产 量 (吨)	利用系数 (吨/米 ³ ·日)	送 风 条 件						焦炭 负荷
			风 量 (米 ³ /分)	风压/ 风量	风 温 (℃)	湿 度 (克/米 ³)	富氧 (%)	炉顶压力 (克/厘米 ²)	
20日	2593	1.84	2300	0.96	981	30.9	0.96	900	2.99
21日	2580	1.83	2300	0.93	954	32.0	0.96	900	3.00
22日	3289	2.34	2300	0.90	941	32.0	0.96	900	2.97

日期 (7月)	燃料比 (公斤/吨)			生铁成分 (%)			渣		炉顶煤气 (%)	
	焦 比	油 比	总 计	Si	S	Mn	渣 量 (公斤/吨)	CaO/ SiO ₂	CO ₂	CO
20日	511	36	547	0.65	0.034	0.66	261	1.14	19.0	23.7
21日	504	37	541	0.85	0.037	0.61	287	1.15	19.1	23.6
22日	471	31	502	0.80	0.038	0.62	265	1.12	19.2	23.4

注：装料顺序：焦炭↓焦矿↓矿矿↓。

表 1-2 涓冈四高炉停炉前三天的生产情况
(1971年 5 月 25 日停炉)

日期 (5月)	产 量 (吨)	利用系数 (吨/米 ³ ·日)	送 风 条 件						焦炭 负荷
			风 量 (米 ³ /分)	风压/ 风量	风 温 (℃)	湿 度 (克/米 ³)	富氧 (%)	炉顶压力 (克/厘米 ²)	
22日	2257	1.76	2046	0.62	980	13.5	1.97	61	3.94
23日	2262	1.77	2024	0.62	980	14.5	1.98	60	3.94
24日	2268	1.77	2039	0.61	980	16.5	1.99	58	3.94

日期 (5月)	燃料比 (公斤/吨)			生铁成分 (%)			渣		炉顶煤气 (%)	
	焦 比	油 比	总 计	Si	S	Mn	渣 量 (公斤/吨)	CaO/ SiO ₂	CO ₂	CO
22日	386	78	464	0.57	0.037	0.69	166	1.19	18.8	23.3
23日	388	77	465	0.56	0.037	0.71	166	1.19	18.7	23.1
24日	387	78	465	0.52	0.039	0.60	267	1.22	19.0	22.7

注：装料顺序：焦炭↓矿矿↓。

的低燃料比。在停炉的当月(1971年5月)取得平均焦比394公斤/吨、平均重油比83公斤/吨的好成绩。

可以认为,两座高炉的解体调查情况与炉内状况有着最密切的关系。现将停炉前三天的高炉操作情况及入炉原料情况列于表1-1~4。

表 1-3 广烟一高炉停炉前三天的原料情况

原 料	批 重 (公斤)	化 学 成 分 (%)					
		TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn
烧结矿	18900	54.32	5.75	1.80	11.56	0.95	0.60
哈莫斯利(澳)球团矿 (Hamersley)	5700	63.16	5.34	3.11	0.46	0.08	0.04
哈莫斯利生矿	5100	65.00	3.00	1.70	0.24	0.06	0.09
布兰迪生矿 (Blended)	7800	61.80	5.20	1.45	0.85	0.55	0.26
小 计	37500						
印度锰矿	400	20.50	7.00	4.48	1.30	0.16	33.04
橄榄石	660	6.09	37.92	0.88	0.66	36.96	—
石灰石	1080	0.77	0.36	0.18	54.29	0.12	—
焦 炭	12500	0.62	6.10	3.20	0.34	0.26	—

注:烧结矿配比:50.4%,球团矿配比:15.2%。

在生产操作上,两座高炉的炉顶压力、富氧量、湿度(季节影响)、焦炭负荷、重油喷吹量有明显差别。尽管广烟一高炉采用0.9公斤/厘米²炉顶压力的高压操作,但 P/V (风压/风量)高。这是该高炉一代炉龄的一贯现象。洞冈四高炉在可能条件下进行了强化富氧鼓风。即使这样,其风口前理论燃烧温度仍未达到2000°C。广烟一高炉的生铁含Si量为0.8%左右,洞冈四高炉的生铁含Si量为0.5%左右。从生铁含Si量可以比较出洞冈四高炉代表低燃料比作业的特点。在

表 1-4 洞冈四高炉停炉前三天的原料情况

原 料	批 重 (公斤)	化 学 成 分 (%)					
		TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn
烧结矿 (洞冈)	13000	56.68	5.91	2.20	10.86	0.20	0.33
烧结矿 (广烟)	6500	56.31	5.82	1.97	9.59	1.26	0.40
科瓦(Kowa)球团矿	3300	62.19	4.82	0.86	3.65	0.29	0.07
斯威士兰生矿 (非洲) (Swazealand)	3600	64.30	4.00	1.46	0.16	0.06	0.34
哈莫斯利生矿	1000	65.50	2.40	0.08	0.14	0.08	0.06
南非生矿	1000	67.20	1.88	1.09	0.06	0.03	0.05
小 计	28400						
轧钢皮	300	73.69	9.46	1.03	1.20	0.13	0.56
非洲锰矿	150	21.02	6.04	6.13	1.18	0.25	31.80
焦 炭	7200	0.65	5.00	2.83	0.51	0.18	—

注：烧结矿配比：68.7%，球团矿配比：11.6%。

入炉原料方面，广烟一高炉的熟料比为65%，洞冈四高炉的熟料比为80%，由于使用了70%的高碱度烧结矿，可不加石灰石、橄榄石。所以洞冈四高炉的原料条件比广烟一高炉的原料条件优越。

(四) 停炉、冷却及解体调查的方法

1. 停炉及冷却

东田五高炉、广烟一高炉、洞冈四高炉都以正常炉料装到停炉，炉顶放散煤气后，从炉顶几处注水急速冷却。注水情况如图 1-1 所示。广烟一高炉由炉底放了积铁，而洞冈四高炉是在炉缸积有很多残铁的状况下，进行注水冷却的。所以，冷却时间长，总注水量多。洞冈四高炉注水后不到10个小时就从出铁口开始流出70~80℃的热水。经 30~40 小时

后，热水温度才降到40℃左右。

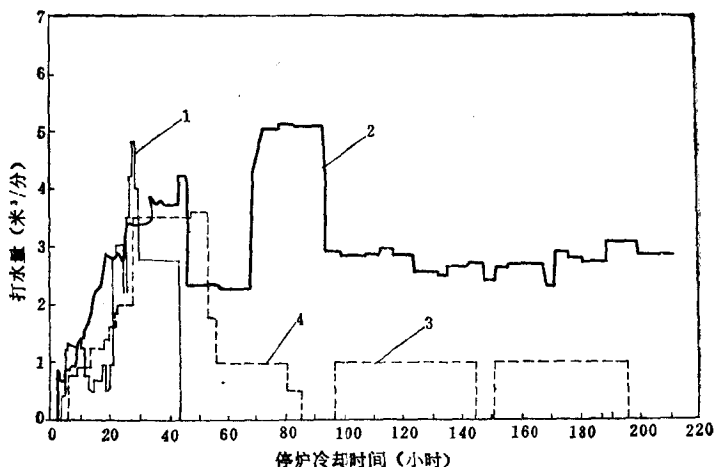


图 1-1 高炉注水冷却情况

1—东田五高炉；2—洞冈四高炉；3—广畑一高炉；

4—炉顶煤气($H_2 + CO$ 为0%)

注 冷却水量：东田五高炉3800米³；广畑一高炉 14500 米³；洞冈四高炉 64460米³。

2. 扒料作业

在每一扒料作业点开两个宽0.8米，高1.2米的孔，在其中一个孔前安装直径为1米的钢管溜槽，将炉料扒入下方的车厢里。另一个孔作为工作人员的出入口和取样的送出口。扒料方法如图1-2所示，按炉子直径保留一个十字形的台，其余部分挖下约1~1.5米，观察测定垂直方向的断面形状。然后，再把保留的十字形台的炉料扒出。扒平后，在其表面铺铁板或草袋子，再拆除周围的耐火砖及附着物，并把它们清出炉外。按这种方法反复交替进行扒料与拆除耐火砖工作。

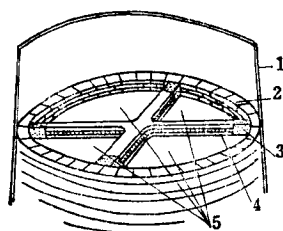


图 1-2 扒料方法（洞冈四高炉）

1—炉壳；2—耐火砖；3—保留的十字形炉料；4—料层断面；5—分割开的炉料已扒出

3. 取样方法

（1）一般的取样方法

要预先确定取样断面的位置（东田五高炉有12个取样断面；广畑一高炉有15个取样断面；洞冈四高炉有18个取样断面）。在每一取样断面按直径方向分9等分，每一等分一个取样点。每一取样点取矿石与焦炭各100公斤。取样要点如前所述，由每层断面的侧面切取，并且要在每层断面的上下方向均匀取样。

（2）取芯样方法

为了调查炉内不同部位炉料的充填状态和透气性等而打入直径为30厘米或40厘米，长度为1.2~2.6米的管子取芯样。广畑一高炉打入23根取样管，洞冈四高炉打入32根取样管。打入取样管后，挖出取样管周围的炉料，在取样管底焊上钢板，在取样管中注入树脂或石蜡固定试样。

（3）炉缸部位的取样方法

在炉缸部位，除一部分按上述的芯样取样法进行取样

外，还按图1-3所示取高2米、宽1.8米观察原状用的试样。
 风口前的取样如图1-3所示，按20厘米³和40厘米³取样。取样时，清出所取样品的部分断面，再沿着用圆钢做成的框架从侧面取出试样。

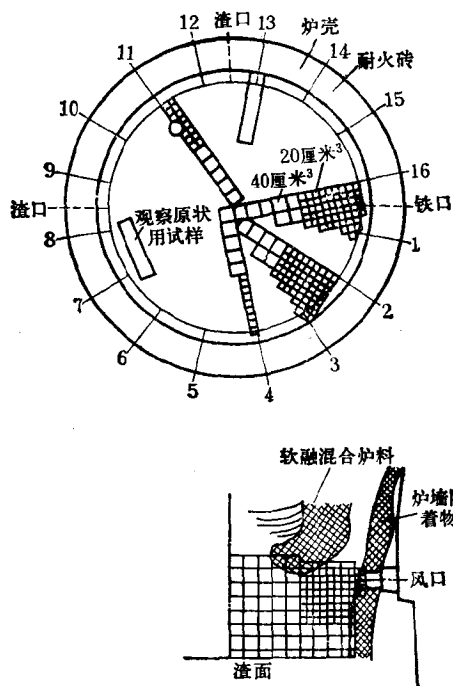


图 1-3 风口前的取样

(4) 炉底钻探取样

为了调查东田五高炉和洞冈四高炉由于没放炉底残铁而在炉底的渣铁积存状态，沿垂直方向和水平方向进行了钻探

取样。取出直径为70毫米，长为2~3米的圆柱试样(洞冈四高炉沿垂直方向取17个样，沿水平方向取3个样，沿斜方向取1个样)。

(五) 炉内状况

1. 炉料下降状况

在炉内，由于炉墙的侵蚀状况和炉墙上的附着物状况不同，造成炉料下降有差异。但是，这几座高炉的共同点是，在矿石熔化、滴下前，矿石层与焦炭层一直保持着明显的层状，并且可以数出它们的层数。随着炉料下降，焦炭层与矿石层的厚度变薄，倾斜面角度变小。图1-4表示洞冈四高炉的炉料下降状况。

洞冈四高炉在靠近炉墙处存在矿石与焦炭的混合层。在炉喉处混合层的宽度为30~50厘米，随着下降而变宽，到炉腹处达到2米。为查其原因，根据1:20的比例做了二元模型实验，如图1-5所示。查清了是由于炉喉保护板脱落，而形成这样的混合层。由于这种混合层透气性好，造成了生成后面要讲到的W形软融层的条件。通过上述一系列调查研究才开始明白，炉喉保护板脱落而炉况发生变化的原因。在高炉冶炼中，针对其现象，采取适当措施加以控制是完全有可能的。

块状带矿石中的烧结矿，由于还原反应而激烈粉化。生矿也有相当严重的粉化现象。与此相反，球团矿在炉身上部其强度虽然显著降低，但其粒度几乎没有发生变化。比较一下广畑一高炉与洞冈四高炉的情况，广畑一高炉沿炉内半径方向的粒度变化大，而洞冈四高炉的粒度变化小(参看高炉块状带的状况一文中的图2-5)。这是由于(后面将要叙述的)

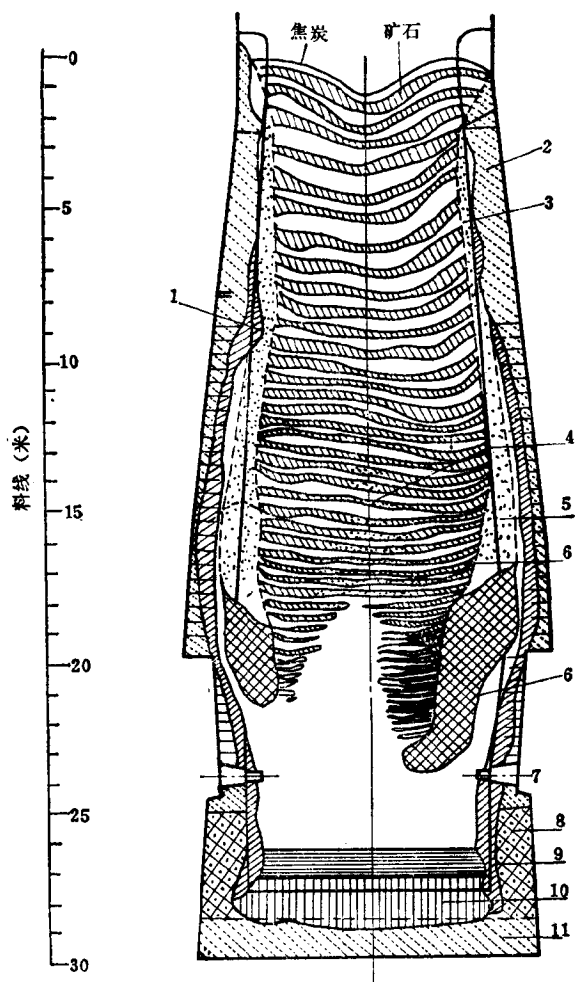


图 1-4 洞风四高炉的炉料下降状况

- 1—炉墙附着物；2—耐火砖；3—炉料混合层；4—软融层；
5—由混合炉料形成的软融层；6—半熔化带；7—风口；8—炭
砖；9—炉渣；10—生铁；11—耐火砖

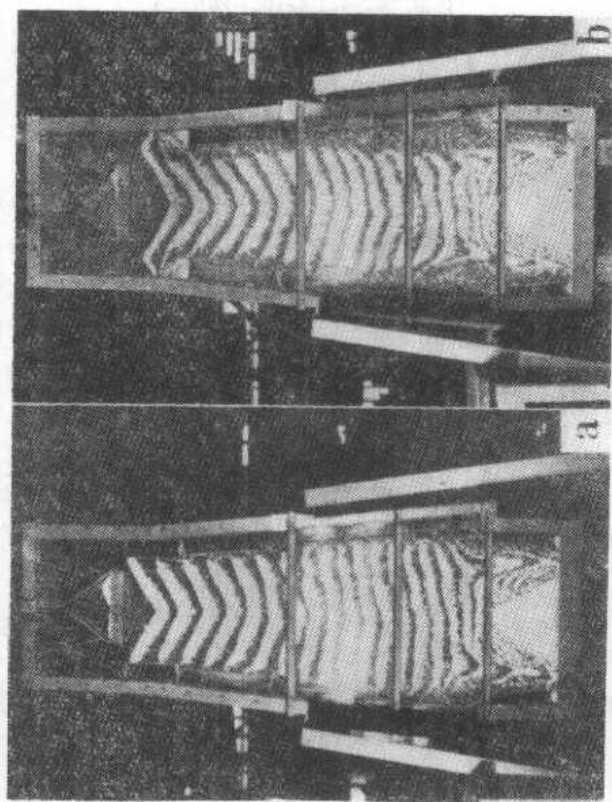


图 1-5 炉料下降模拟实验
a—有炉喉保护板；b—没有炉喉保护板