

埋弧自动焊带锈焊接
试验及其认识

黄辰奎

铁道部北京工程机械工厂

1979年2月

埋弧自动焊的带锈焊接试验及其认识

执笔者 黄长奎

< 论文摘要 >

锈蚀和氧化铁皮是埋弧自动焊缝产生气孔的主要原因。为了获得致密的合格焊缝，目前在生产中都没有一道十分繁锁的磨锈工序。

论文从试验的基础上提出了带锈焊接新工艺的基本原理。即根据焊接冶金学关于气孔生成的机理出发，调查焊丝、焊剂的化学成分，在埋弧焊接过程中，夺取锈和氧化铁皮中的氧，阻止生成CO气孔，同时扼制氢气的产生。新的抗锈焊丝和焊剂在大易的对接焊和角接焊试验中，证明它有很好的抗锈能力，并保证合格的焊缝机械性能。在16 Mn 桥钢材的埋焊钢梁制造中，进行批量试生产，达到了较好的效果。

论文分析了试验结果，认为锈和氧化铁皮之所以生气孔，主要是氧和熔池中的碳生成CO气孔，而并非通常认为的氢气泡。

论文还说明了在生产中要实现带锈焊接新工艺，需要有一定的工艺措施，即对锈蚀特别严重的钢板，可采用火焰加热法处理。

论文还提出了目前实现带锈焊接中还存在的需要进一步探讨的问题。

< 正文 >

埋弧自动焊在桥梁、船舶、锅炉、化工容器、工程机械等焊接结构生产中，广泛地被采用，由于它具有焊缝质量好，生产效率，劳动强度低等一系列优点。至今，还没有一种焊接

方法所能完全代替。但是，埋弧自动焊对气孔很敏感。为了获得致密的焊缝组织，在焊接前必须清除工件焊接边缘的锈迹和氧化铁皮。在焊接结构生产中，除锈就成为一项专门工序。通常靠手持砂轮或机械除锈机完成。除锈工序花帮工的多，劳动强度大，粉尘飞扬，工作条件恶劣，占用不少厂房面积，并且，除锈往往不易彻底，焊缝金属中还经常出现气孔缺陷。所以，在焊接结构埋弧焊生产中，取消磨锈工序，实现带锈焊接这对提高焊接生产率，改善劳动条件，促进焊接生产发展是有很大实际意义的。

一九五九年，上海东方红造船厂、上海焊条厂、上海钢铁研究所三个单位联合搞试验，提出了从冶金化学反应来控制因锈蚀产生的气孔的设想，并试制了抗锈能力较强的焊剂（4组）和焊条（14895），在船用钢板对接中得到了广泛应用。一九七一年铁边下山海关桥梁工厂，在他们试验的基础上继续进行埋弧自动焊带锈焊接试验，先后采用了十一种焊丝和十一种焊剂通过二千三百多次试验，最后，找到了适用于桥梁结构的带锈焊接新工艺。抗锈焊丝和抗锈焊剂曾委托上海焊条厂和上海第一钢铁厂研制了一个分，在生产中进行试焊和推广应用，效果良好。后来，由于解决不了材料的供应问题，试验和推广工作都没有继续下去，作者本人曾参加了整个试验研究工作，并在“焊接”杂志一九七二年第十期上发表过试验总结，作者认为埋弧自动焊带锈焊接，虽然试验工作和理论研究都还做得不多，但从已经取得的试验结果和生产中的应用，可以相信它在焊接生产中是有可能实现的，它的抗锈机理是会进一步被认识的。

本文根据试验和生产中实际应用的实际结果，对带锈焊接的原理进行讨论，并提出带锈焊接的工艺要求，希望能对这项

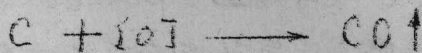
新工艺继续开展试验以及推广应用有所参考。

一、焊接前为什么要除锈？

在焊接结构生产中都必须明确在焊接前，工件必须除锈（可用磨轮、打砂、酸洗等）把钢板焊接边缘的锈迹和氧化铁皮完全去掉，露出光亮的金属表面。这项规定主要是为了防止焊缝中产生气孔。因为气孔使焊缝金属的强度、塑性、致密性都大大降低。它是焊缝组织中严重缺陷之一。我们知道，锈是钢板腐蚀后的产物，时间一长就要成黑黄色，其主要成分是高价氧化物的水化物 $mFe_2O_3 \cdot nH_2O$ 。它具有很强的吸湿能力，不断地吸收空气中的水分，锈中含水份约 10%。氧化铁皮是钢板在高温轧制中生成的高价氧化物 Fe_3O_4 ，紧贴在钢板表面。在焊接时，由于高温作用，锈和氧化铁皮中的高价氧化物分解成低价氧化物，放出氧，水在高温下分解成氧和氢。



高温下放出的氧有强烈的氧化作用，在熔池中氧化合金元素，并和碳生成一氧化碳气体。带锈焊接过程中产生较多的



H_2 和 CO 气体，有一部分逸出液态金属表面，进入熔渣或跑到外界；另有一部分气体来不及逸出，就存在于凝固的焊缝金

屋内，生成气孔。

目前在研究气孔产生原因方面，看法还不一致。但是，可以认为焊缝金属中是否出现气孔，取决于焊接过程中，液态金属在凝固时吸收气体和焊接冶金反应本身产生的气体多少。同时，也取决于金属凝固时排出气体的能力。所以，要在带锈焊接中防止气孔产生，可以有二条途径：

(1) 提高熔池排出气体的能力。试验中曾在工艺上采取了很多措施，如降低焊接速度，增大焊接线能量，使熔池停留时间增加，使气体能充分逸出；适当控制熔渣的粘度和熔剂的颗粒度，采用直流感接，便于气体排出。所有这些工艺措施都有利于气孔的减少，但由于锈和氧化铁皮在焊接过程中放出气体量很大，仅靠工艺措施，很难防止气孔产生。

(二) 通过适当的焊接冶金化学反应，减少锈和氧化铁皮在焊接高温下所产生的气体。这是防止气孔比较积极的方法，可以通过调查焊丝、焊剂的化学成份，控制焊接过程中的氧化—还原反应，减少 H_2 和 CO 气体的产生，就能有效地防止气孔产生。

二、带锈焊接的基本原理

目前，在低碳钢和一般低合金钢的埋弧自动焊中，采用的431焊剂和H08A焊丝，它们的抗锈能力较差，对于带锈锈和氧化铁皮的钢板，焊后在焊缝中极易出现气孔。其主要原因是锈和氧化铁皮在高温中分解成氧和氢，由于氧的大量存在，使熔池冷却结晶时，产生 CO 气体增加，从而 CO 气孔产生的可能性大大增加。而氢气能使 CO 气孔大大扩大。根据这种气孔产生理论的分析，带锈焊接的基本原理应该是调查焊丝、焊剂的化学成份，提高脱氧能力，使它们在焊接过程中，发生一

系列的冶金化学反应，夺取锈和氧化铁皮中的氧，减少生成CO气孔，同时设法控制氢气的产生，从而达到埋弧自动焊带锈焊接的目的。根据这个原理，试验工作取得了较好的效果。

表1，表2分别列出了对接和角接的带锈试验结果。试验焊缝长度均为800毫米。

表1 对接焊试件 (板厚12×12毫米)

试件号	表面情况	焊剂	焊丝	焊缝中气孔
5—1	锈蚀严重	431	H08A	外气孔4个，内群孔
6—14	锈蚀严重	KJ ₄	KS ₁	内外无气孔
8—2	锈蚀严重	KJ ₄	H08A	内外无气孔

表2 角接焊试件 (盖板6毫米，腹板12毫米)

试件号	表面情况	焊剂	焊丝	焊缝中气孔
1—6	磨锈	431	H08A	内外无气孔
22—3	锈较轻	431	H08A	内有大而密集气孔
1—3	锈严重	KJ ₄	KS ₁	内有小而排列气孔
14—2	锈严重	KJ ₄	KS ₄	内外无气孔

从表1，表2中可以看到，钢板的锈蚀都很严重，采用431焊剂和H08A焊丝，就会在焊缝中出现很多气孔，而采用KJ₄焊剂和KS₁、KS₄焊丝，由于调整了化学成份，焊缝中的气孔明显地减少甚至全部消除。表3、表4中列出了这些焊剂、焊丝的主要成份。

表3 见下页

表3 KJ₄ 和 431 焊剂的化学成份

牌号	SiO ₂	MnO	CaF ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	FeO
431	40~44	34.5~38	3~4	5~7.5	≤5.5	≤4	≤1.5
KJ ₄	43~45	46~50	3~5				

表4 H08A、KS₁ 和 KS₂ 焊丝的主要成份

牌号	C%	Mn%	Si%	Ti%	Nb%	Al%
H08A	≤0.1	0.5	≤0.03			
KS ₁	0.105	0.82	0.28	0.35	0.11	0.3
KS ₄	0.02	0.76	0.17	0.06	0.04	

比较表中的焊丝，焊剂成份，可以看到 KJ₄ 比 431 焊剂中增加了 MnO, SiO₂。KS₁, KS₄ 焊丝中增加了合金元素 Ti, Al, Nb。Mn, Si 元素也比 H08 焊丝有所提高，KS₄ 中的 C 有明显的减少。这些化学成份的调查，有利于夺取氧，减少生成 CO 气孔。它们的冶金化学反应在下节再详细叙述。但必须强调的是锈和氧化铁皮之所以产生气孔，主要的是氧和熔池中的碳生成 CO 气孔，而不是 H 气孔。某些认为锈主要产生氢气孔的理论，在我们试验中得不到证实。大量试验表明，是锈中分解的氧所生成的氧化碳气孔。从气孔形状来看，大部分气孔是从焊缝根下开始生成的针状气孔。这是 CO 气孔的典型形状。而不是像 H 气孔在焊缝中面或表面呈圆形瓶状气孔；同时在调查焊剂化学成分时，若增加抗氢能力较强

的氯化钙 (CaF_2) 时效果也不好, 甚至气孔出现更多。
见表5。

表5 增加 CaF_2 对气孔的影响 (成分按投料配方)

焊 剂 编 号	主 要 成 份			防 气 效 果
	MnO	SiO_2	CaF_2	
KJ ₄	45	50	5	很 好
KJ ₂₃	43	42	10	不 好
KJ ₂₅	50	30	12	很 坏
KJ ₇	38	39	18	很 坏

而在焊丝中提高脱氧能力和减少含碳量, 获得了很好的效果。说明了锈产生气孔的主要原因是氧。当然, 这也不是说氢一毫不起作用, 当CO气孔产生后, 氢就会起打大气孔的作用。在实验中, 若钢板存在锈的同时, 有油污, 那么, 焊后在焊缝中出现大量氢气孔, 呈圆形或旗状大气孔。因为油是碳氢化合物, 其中不存在氧。而在锈中存在大量氢情况下, 锈中的氧是不易产生氢气孔的, 其原因是在高温时, 氧和氢于氢组成稳定的化合物 $[\text{OH}]$



$[\text{OH}]$ 不溶于金属中, 所以减少了氢气生成气孔的可能性。实际上锈中的氧, 其一部分和氢结成 $[\text{OH}]$, 起到了抑制氢气孔的作用。

三、对接带锈焊接试验

1) 试验情况和结果

在桥梁生产中，对接焊一般应用在钢板接料生产中，由于是受力焊缝，焊缝质量要求高，不允许气孔存在。而钢板的焊接边缘由于生产工艺要求是经过刨边加工过的。减少了部分锈斑，对实现带锈焊接比较有利。见图1

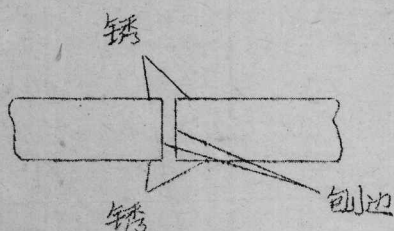


图1 对接表面锈斑情况

试验结果也十分满意，见表6

当采用KJ4焊剂，KS4焊丝，对接带锈焊接试验得到了满意的焊缝，X光拍片中均未发现气孔。当时，结合生产任务急需推广带锈焊接，而KS4焊丝冶炼比较困难，就暂采用了H08A和H10Mn2焊丝，试

表6 不同焊丝、焊剂的对接带锈焊接试验结果

试件号	试件板厚 (毫米)	锈蚀程度	焊 丝		焊剂 牌号	施焊情况		焊缝中气孔情况	
			编 号	直径 (毫米)		车速 (米/时)	条速 (米/时)		
19	4	12X12	严重	H08A	5	431	32	57	外气孔4个,内气孔多
4-3	"	"	"	KS ₄	"	KJ ₄	"	"	内外无气孔
7-1	10	10X10	"	H08A	"	"	37.5	"	无气孔(X光拍片)
7-13	12	12X12	"	"	"	"	32	62.5	无气孔(")
11-5	26	26X26	"	10Mn2	4	"	16	129	无气孔(")

注：焊接电流和焊接电压基本上取决于送丝速度，它们的相应数值如下：

送丝速度(米/时)	57	62.5	74.5	81	129
电流(安培)	620	640	680	690	780
电压(伏特)	33	34	35	36	38

考虑到板厚的影响，分别作了不同板厚的带锈焊接试验。焊缝均没有发现气孔，试验情况见表7。

表7 不同板厚的对接带锈焊接试验结果

试件号	试件厚度 (毫米)	锈蚀程度	焊 丝		焊剂牌号	施焊状况		焊缝中气孔情况
			编 号	直径 (毫米)		车速 (米/时)	条速 (米/时)	
7-1	10X10	严重	H08A	5	KJ ₄	37.5	57	无气孔(×光照片)
7-13	12X12	"	"	"	"	32	62.5	"
8-1	16X16	"	"	"	"	27.5	74.5	"
8-4	20X20	"	"	"	"	23	81	"
8-6	24X24	"	"	"	"	16	81	"
11-5	26X26	"	16Mn2	4	"	16	129	"

试验用的焊剂，焊丝，钢板及焊缝的化学成份见表8

表见下页

表8 试验用的焊剂、焊丝、钢板及焊缝的化学成份

试件号	板厚 (毫米)		化学成份 %					说明
			C	Mn	Si	P	S	
8-1	16	焊丝H08A	<0.1	0.3-0.55	0.03	0.04	0.04	H08A未 化验
		基材	0.17	1.38	0.53	0.014	0.028	
		焊缝	0.11	1.23	0.47	0.017	0.024	
11-5	26	焊丝10Mn2	0.07	1.45	0.04	0.018	0.01	用单—— J4焊剂 X型坡口
		基材	0.18	1.41	0.05	0.016	0.029	
		焊缝	0.09	1.42	0.59	0.025	0.014	
KJ4 焊剂成份 SiO_2 43.0% MnO 45.95% CaF_2 2.9%								

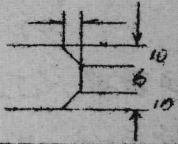
对接带锈焊接的焊缝机械性能见表9

表9 对接带锈焊接焊缝的机械性能

试件号	板厚 (毫米)	拉伸试验			冷弯试验		冲击韧性试验 (公斤—米/厘米 ²)			
		σ_s	σ_b	δ_5	纵弯	横弯	-40°C		时效	
		公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²	%	180°	180°	焊肉	熔合线	焊肉	熔合线
8-1	16	41.5	53.5	24	d=20 合格	d=20 合格	8.9	9.9	4.8	7.1
		42.5	54	24.5			7.5	7.9	5.0	9.3
		41.5	54	26			5.9	7.9	7.3	5.8
11-5	26	38	53	26.7	d=30 合格	d=30 合格	9.8	12.4	4.8	4.4
		37.5	53.2	26			5.4	8.4	5.5	5.6
		39	53	26.7			9.4	6.6	4.9	4.9

考虑到桥梁在承受动载情况下，常出现疲劳破坏，还做了对接带锈焊接接头的疲劳强度试验，并与磨锈焊接接头作了比较，疲劳试件的施焊状况见表 10。

表 10 疲劳试件的施焊状况

试件号	试件尺寸 长×宽×厚 (毫米)	锈 蚀 状 况	焊 缝		焊 剂 编 号	施焊状况		焊 缝 中 气 孔 情 况	说 明 (坡口尺寸)
			编 号	直 径 (毫米)		车速 米/时	条速 米/时		
19 5 2	1800×200×26	磨 锈	10M112	4	431	25	129	无 气 孔	
19a3	"	严重	"	"	KJ4	29.5 (二通)	103	"	" "

试验在清华材料力学试验室的瑞士的 Namsløt 10 吨电磁式高频疲劳试验机上进行。试验结果见表 11。

表 11 对接疲劳试验结果

类别	载荷循环特性	频率	$N = 10^6 \times 2$ 疲劳强度	说 明
	$\rho = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$	赫芝	σ_{-1}^0 (公斤/毫米 ²)	
磨锈试件	—1	123	24	断的试件少，未测偏差
带锈试件	—1	123	24 ± 2.2	
磨锈	—1	125	20.9	铁道研究所科学院 试验资料

从对接带锈焊接的气孔试验，机械性能试验和疲劳试验的

结果来看, 采用 H08A 或 H₁₀Mn₂ 焊丝, 配合 KJ₄ 焊剂, 完全可以在桥梁制造中进行对接带锈焊接。即当钢板上带有严重锈蚀和氧化铁皮情况下, 不用除锈, 采用 H08A 或 H₁₀Mn₂ 焊丝和 KJ₄ 焊剂进行自动焊或半自动焊, 其焊接工艺性能优良, 焊缝成型美观, 焊缝外表及内下均没有气孔及其它缺陷。而且焊接接头的机械性能和疲劳强度, 都能满足要求。对接带锈焊接新工艺不仅在大舅试验中获得了良好效果, 同时在生产上得到了推广。在几百多张钢板对接料生产中经受了实践的考验。

(二) 分析和认识

(1) 焊剂的抗锈能力, 对接带锈焊接之所以变成现实, 主要是 KJ₄ 焊剂的抗锈能力比 431 焊剂强。比较两者的化学成分, 见表 3。

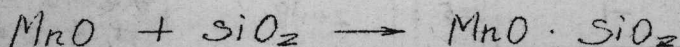
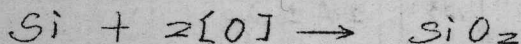
KJ₄ 焊剂中, MnO 增加很多, SiO₂, CaF₂ 差不多。由于 MnO 的增加, 在高温时的渗 Mn 反应较强。



由于渗 Mn 反应较强, 促使渗硅反应。



所以 KJ₄ 焊剂和 431 焊剂相比, 高温时的渗 Mn, 渗 Si 反应强些, 这些还原出来的 Mn、Si 元素在液态金属较低温度下, 就能脱掉钢中的氧。



MnO·SiO₂ 进入渣中, 从而提高了焊剂的抗锈能力。另一方面因 MnO 的增加, 降低了熔剂高温时的粘度, 有利于气体的排出。

实验中还有看到焊剂中 SiO_2 和 MnO 的含量符合一定的比例时，其抗锈能力最强，当增加或减少 SiO_2 ， MnO 的含量，焊剂的抗锈能力会有所下降。见表表12。

表12 MnO 和 SiO_2 含量对抗锈能力的影响

焊 剂 编 号	焊 剂 配 方				抗 锈 效 果
	MnO	SiO_2	MgO	CaF_2	
431	36	42	6	4	不好
KJ_2	38	56		6	有孔
KJ_{27}	45	45		5	少孔
KJ_4	45	50		5	好
KJ_1	52	40		8	多孔
KJ_{18}	45	30		5	有孔

对山东红造船厂和我们冶炼的近30种试验焊剂的气孔试验。（试验焊剂的化学成份见附表一） KJ_4 的抗锈能力最强，其化学成分很简单，仅有 MnO ， SiO_2 ， CaF_2 三种。 SiO_2 略比 MnO 多一类。其抗锈能力为什么最好，恐怕单从提高脱氢能力来解释还是不够的，需要进一步探讨。

(b) 对接带锈焊接的工艺条件比较好，焊接断面锈经刨边加工已除去，留下的只是表面锈，这样焊接中，合金反应所产生的气体很容易逸出；同时对接焊缝的冷却速度比较慢，焊缝的成型系数比较大，都有利于气体的排出。对接焊这些有利条件，使我们可以提高焊剂的抗锈能力，就能在生产上实现带

带锈焊接。

(C) 带锈焊接，见图(2)。从试验情况看，效果良好，采用KJ₄焊剂也能实现带锈焊接，但由于桥梁制造中，不带锈的情况很少，试验似是为了考察KJ₄的抗锈能力，没有作更多的试验，试验结果见表13 仅供参考。



图2 焊接边缘带锈

表13 带有边缘锈油针对接带锈焊接试验结果

试件号	试件板厚 (毫米)	锈蚀情况	焊 丝		焊剂 编号	施焊情况		焊缝中气孔情况	说明
			编号	直径 毫米		车速 (米/时)	条速 (米/时)		
5—2	12X12	严重	H08A	5	KJ ₄	32	57	无气孔	间隙2毫米
8—2	16X16	严重				27.5	74.5	无气孔	间隙2毫米
8—3	16X16	严重				27.5	74.5	无气孔	没留间隙
8—5	20X20	严重(坡口 无锈)				23	81	无气孔	没留间隙
8—7	24X24	严重(坡口 无锈)				16	81	无气孔	没留间隙

(4) 氧炔切割后的带锈焊接，经过氧炔切割的钢板表面，带有一层氧化铁皮 Fe_2O_3 ，试验是用氧炔切割的16毫米不开坡口和26毫米厚钢板开坡口的钢板进行，取得了满意结果，说明氧炔切割后，同不开坡口机械加工的钢板进行带锈焊接，这生产中具有很大的实用价值。26毫米开坡口的试验结果见表6-11在这些表中的11—5试件，坡口就是用氧炔切割加工的。

表 4 — 16 中列出了 16 毫米厚，不开坡口，边缘用氧炔切割后带锈对接的气孔试验，焊缝化学成分和机械性能的结果。氧炔切割后的带锈焊接曾在生产中推广应用，焊缝质量满意。

表 4 氧——乙炔切割后带锈焊接试验情况

试件号	试件板厚 (毫米)	锈蚀情况	焊 丝		焊剂 编号	施焊状况		焊缝中 气孔情况
			编 号	直径 (毫米)		车速 米/小时	条速 米/时	
11-3	16x16	严重边缘有氧化皮	H08A	5	KJ4	37	74.5	无气孔

表 15 氧——乙炔切割后带锈焊接焊缝化学成分

试件号	类别	化学成分 %			说 明
		Mn	Si	C	
11-3	基材	1.29	0.4	0.14	P. 3 没化验
	焊缝	1.20	0.5	0.11	

表 16 氧——乙炔切割后带锈焊接焊缝机械性能

试件号	试件板厚 (毫米)	拉 棒 试 验			冷弯试验		冲击韧性试验 (公斤——米/厘米 ²)			
		σ_s (公斤/厘米 ²)	σ_b (公斤/厘米 ²)	σ_s %	纵弯 180°	横弯 180°	-40°C		时 效	
11-3	16	37	51	28.4	未 做	合格 =4	焊肉	熔合线	焊肉	熔合线
		37	50.9	26.7			6.5	10.3	7.5	3.5
		37	50.5	28.7			5.5	10.5	6.8	7.3
									4.4	6.1

注：由于基材含碳量较低，所以焊缝强度偏低，而塑性比较高。

四、角接带锈焊接试验

(1) 试验情况和结果

角接在焊接桥梁制造中，占绝大下分。一般都用手工电弧焊或半自动焊完成。焊接多为船形位置。由于角接的冷却条件和熔池形状的特殊，排出气体的条件比对接时差，故容易出现气孔。角接带锈焊接的气孔试验情况见表(17)。

表17 角接带锈焊接情况

试件号	锈蚀情况	焊 剂	焊 丝	焊缝中气孔情况
2 5	严重	431	H08A	外气孔7个，内气孔大男
2 3	严重	KJ4	H08A	外气孔2个，内气孔密集
2 1	严重	KJ4	KS ₁	无外气孔，内气孔密集

从表(17)中看到，象对接带锈焊接那样采用H08A或KS₁焊丝，KJ4焊剂，在角接中是不能达到抗锈的满意结果。因为在焊缝内下存在大量的气孔。必须想办法进一步提高焊丝、焊剂的抗锈能力。比较了各种焊剂的抗锈能力，KJ4焊剂在30多种焊剂中是最强的。在角接带锈焊接中，仍确定采用KJ4焊剂。着重提高焊丝的抗锈能力，在北京钢铁研究院的帮助下，炼制了7种新型的抗锈焊丝KS₂——KS₈，其主要成份见附表二。这些焊丝的抗锈能力都有很大提高，特别是KS₄效果最好。KS₂——KS₈焊丝的角接带锈焊接的试验结果见表(18)。

表见下页。