

国外资料

科學研究工作報告 №1.1B-14-23

閥門鑄件的珠光體鋼制定和試制

(15X1M1ΦЛ和12X2M1ΦБ—Л鋼)

內部資料 注意保存



第一机械工業部

机械科學研究院譯制

1960.3. 北京

国外資料 艺資复字第 057 号

机械科學研究院譯制

1960年3月出版 内部發行

787×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 印數1—1,000册 160千字

东單印刷厂印刷 定價 2.96 元

簡 介

本工作是由技術科學副博士亞洛芬斯基洛母 (ЯРОВИНСКИЙ Л.М.) 所指導的綜合課題的一部分。本冊共分三個部分。

第一部分為鋼及熱處理規範的選擇。在此部分確定了15X1M1Φ-Л (ЛБ-1) 和 12X2M1ΦБ-Л (ЛЖ-3) 鋼的成分、組織及機械性能，使其能保證足夠的耐熱性及塑性的配合。根據所得的結果，制定了臨時的技術條件並給工廠提出了初步的建議。

第二部分是檢查對鋼、焊條及鑄件在芬紐可夫配件廠條件下製造的整個工藝週期的正確性。根據重約800公斤的鑄件金屬持久強度、蠕變試驗及某些其它性能研究的結果，確定了對 15 X1M 1Φ-Л 鋼初步建議的正確性並指出了在現有的熱處理車間的設備下由於熱處理工藝不能令人滿意，使 12X2M1ΦБ-Л 鋼鑄件金屬的技術條件不適合。

此外，在第二部分內還作出了在測定持久強度極限時利用參數關係優點的論據並涉及到了鋼蠕變破壞的原理問題。

第三部分例入了在不同的冷卻速度、在正火過程中及不同溫度下等溫靜置時珠光體耐熱鋼的奧氏體分解動力學及組織形成的研究結果。同時還指出了經過等溫淬火的15X1M1Φ-Л 鋼持久強度試驗的初步結果，研究了這種處理的優點並提出了珠光體耐熱鋼等溫淬火工藝的原理。

熔煉、鑄造、熱處理及焊接工藝列入研究院有關科室的獨立報告內。蒸汽介質持久強度試驗在馬克新莫夫А.И.的指導及索洛金Т.В.的參加下由中央工藝及機械製造科學研究所腐蝕和塗蓋處負責進行。這一節包括在本報告內。

首先是在技術科學碩士尼基金娜Л.П.的指導下在耐熱合金科進行了研究工作，以後是由技術科學碩士卡爾斯基Н.Е.的指導下繼續進行研究工作。耐熱合金處的一些研究人員：技術科學碩士西拉葉夫А.Ф.，工程師杜波夫斯卡雅Е.Ф.，依克娜托娃И.В.和巧依金娜З.И.，化驗員洛金娜А.П.，斯米尔諾娃Л.И.及卡比申娃С.М.等參加了這個工作。物理性能的測定是由耐熱合金處物理研究法試驗室及在技術科學碩士貝洛娃В.И.的指導下進行的，其中膨脹法研究由工程師克諾洛娃Л.И.負責。金屬物理化學研究方法處的技術科學碩士歐金С.Л.及工程師茲洛夫В.Я.參加了奧氏體分解的研究工作。這個處的化學試驗室在技術科學碩士契伯爾可娃Е.Е.的指導下進行了碳化物分析。本冊有附錄——插圖。科學技術科學碩士 (費托爾索夫-洛基可夫Г.Л.)

目 錄

序 言	1
第一部分 两种鑄鋼性能及对此两种鋼耐熱性影响的基本因素的初步研究	2
15X1M1Φ-Л (ЛБ-1) 鋼	2
12X2M1ΦБ-Л (ЛЖ-3) 鋼	17
第二部分 15X1M1Φ-Л (ЛБ-1) 和 12X2M1ΦБ-Л (ЛЖ-3) 鋼的工业鑄件	
金屬的性能	24
15X1M1Φ-Л (ЛБ-1) 鋼	24
閥体 №159-225 梅花鑽及底板 (爐次 6-292BA3) 金屬的机械性能	28
ЛБ-1 鑄鋼的持久强度	37
ЛБ-1 鑄鋼的蠕变性	45
ЛБ-1 鑄鋼的时效	47
12X2M1ΦБ-Л (ЛЖ-3) 鋼	49
爐次 6-399BA3 金屬的机械性能	49
爐次 6-399BA3 金屬的持久强度	50
爐次 6-399 金屬的蠕变	54
爐次 6-399 金屬的时效	56
ЛБ-1 和 ЛЖ-3 鑄造鋼	56
第三部分 ЛБ-1 和 ЛЖ-3 型鋼的奧氏体分解动力学及等溫淬火的远景	70
提高珠光体鋼耐熱强度的貝氏体熱处理	70
珠光体鋼在連續冷却時奧氏体分解动力学的研究	74
ЛБ-1 鋼 (爐次 5-759BA3) 的 G 形图	77
ЛБ-1 鋼經貝氏体熱处理过的耐熱强度	83
附录 №1	86
ЛБ-1 鋼在 570° 过热蒸汽介质中进行持久强度試驗	86
附录 №2	88
15X1M1Φ-Л (ЛБ-1) 和 12X2M1ΦБ-Л (ЛЖ-3) 鋼的物理性能	88
結論	90
結束語	93

序 言

为了制造透平的铸件及超高蒸汽参数的阀门，需要满足以下要求的珠光体钢：

温度565—570°。(σ_{1x10} ≥ 5 公斤/公厘² 和 σ_{1%} ≥ 9 公斤/公厘²。

20°的冲击韧性 α_K ≥ 3公斤米/公分²。

钢在工厂和安装的条件下应有良好的焊接性能。假使考虑到至今苏联用于动力设备的珠光体钢仅在525°下作为长期使用的话，则这些要求是很严格的。今天才开始采用 20XMΦ-JI 钢用在温度540°。

我们所知道的国产铸钢中的任何一种钢都不可能适合于温度570°的新工作条件。因此，在寻找须要的材料时，决定了走两条道路：

(1) 利用国外应用温度为565—600° 铬钼钒钢的经验。(2) 建立国家钢的管子标号中的一种即 ЭИ-531 钢的铸造方案。

近几年来在国外的565°工作的铸件和锻件以及蒸汽管道的实践中(1)(2)，采用了以下成分的铬钼钒钢：

碳	矽	锰	硫	磷	铬	钼	钒
≤0.15	≤0.35	0.5	≤0.03	≤0.03	1.0—1.2	0.8—1.2	0.2

在锻造和热处理状况下，这种钢具有室温和高温的性能。列于表1

从表1看出，此钢的铸状态，仅能知道此铸件应用于正火加回火(2)的状态。因此，为了估计565°C 时铸件金属持久强度性能的可能级，我们只能利用锻(轧制的)钢研究的结果。

这些数据中的某些引证在图1—2。从这些引证的数据中看出，此钢的耐热强度可以满足我们的要求，虽然发现了在钢的个别试验熔炼强度上有较大的差别。这些差别不能仅解释为这些熔炼的化学成分的差别；看来，热处理以及其它没有预料到的因素也起着一定的作用。可以设想，这些因素可以影响着近似成分的铬钼钒钢。有必要弄清这些因素的主要部份。

我们所研究的与上述美国钢相近似化学成分的铸钢被称为 15XM1Φ-JI (11B-1)。

由于此钢应用于工作在565—570°C 的国产铸件是否可行的问题不明确，强度性能分散较大，钢在这些温度的蒸汽介质中有可能发生氧化，焊接过程等未经研究，因此将成分近似 ЭИ-531 (ЭИ-454) 钢的第二种 12X2M1ΦБ-JI 钢同第一种钢同时进行研究。这种钢号的选择是由以下的理由来决定的：

(1) 钢的含铬量较高，在工作条件下有较好的抗蚀性能。

(2) 有自己顺利的五年经验即将这型的钢用在第九热电站的565°过热器管上。

(3) 在制造第九热电站过热器实验蛇形管时，没在焊接工作上造成严重的困难。

但是，这种管子钢的强度稍低于铸钢(3)的强度(见图3)。这个情况迫使钢的合金元素稍微加强，以达到好的耐热强度。

于是，力求从速解决透平及超高蒸汽参数(140大气压，565°C) 阀门铸件用钢的选择问题，

研究了两种鋼号：15X1M1Φ-J鋼和12X2M1ΦB-J。

研究工作分为两个主要部分：

(1) 两种鑄鋼性能及影响其耐热强度的主要因素的初步研究。

(2) 根据制訂的工艺，对在芬紐可夫配件厂条件下制造的鑄件金属性能的評價。

根据研究結果，应该制訂出工作在 565°—570°C 鑄件用鋼的技术条件。

研究工作是綜合进行的，由以下的中央机械制造与工艺科学研究院的处室負責进行：冶金处、金属学与热处理处、焊接处、耐热合金处和腐蝕处。

本报告敘述了耐热合金处的工作內容。

第 二 部 分

兩種鑄鋼性能及對此兩種鋼耐热性影響的基本因素的初步研究

下面敘述的15X1M1Φ-J和12X2M1ΦB-J鋼的全部研究結果是从試驗在芬紐可夫閥門工厂冶煉的工业实验鋼中得到的。

金属是在三吨电弧爐內熔煉的。金属浇鑄在砂型內。为了研究制了每个重約40公斤的梅花形試样及每个重250公斤和800公斤閥門标准件。金属的热处理及所有試驗是在中央机械制造与工艺科学研究院进行的。

在工作的第一部分中，研究了强度同鋼的热处理主要是同正火规范的关系；回火规范在这里購得很少。此外研究了梅花試样和鑄件金属性能是否相付以及某些其它問題。

在最少占用蠕变試驗設備和在最短时期內必須解决这些任务的情况下，迫使我们采用新的估計持久强度的方法：拉尔松和米立尔参数关系，这个关系对得到比較数据特別方便。鋼的抗蠕变性检查仅是粗略的估計，仅在570°C，应力为6公斤/公厘²相当于另件內工作应力一倍半值的个别情况下检查了抗蠕变性。

关于在不同热处理状态下的鋼的組織和机械性能的詳細資料应在热处理处的报告中闡述之，內有热处理的整个研究规范。这里我們研究了暫短强度性能的平均值并仅引証了由于对耐热强度評價的某些金属組織。

持久强度实验数据外推法問題由于“同名”試样試驗的实验資料的缺乏，在第一部分中沒有作特別的研究。但是，举例說明了在評價球光体鑄鋼耐热强度時这个問題的重要性和在第二部分內将此問題講明的必要性。

为了敘述得方便和簡略，每个鋼的爐次試驗规范在表、曲綫表和文章內用同一字母来标示。

在Φ10公厘和計算长度50公厘的試样上以及在标准冲击試样上測定了暫短强度的特性。ИП-2和ИП-4的机器上并采用Φ10公厘和計算长度100公厘的試样上作了蠕变(持久强度)的試驗。

15X1M1Φ-J (11B-1) 鋼

15X1M1Φ-J 鋼是用三爐鋼研究的。这三爐鋼的成分和基本数据包括每个材料的字母代号列入表2。这些爐次的基本差別就是含碳量(由0.10至0.19%)和含鉬量(由0.78至1.05%)的不同；碳和鉬的比例是成反比的，碳愈高，鉬就愈小。較詳細地研究了№5-1333爐次的金属，由这

*) 此外研究了在10吨电弧爐12X2M1ΦB-J鋼的一些金属，詳情上面已述。

温 度	成 分										热 处 理	材 料	23° 的 机 械 性 能					570° 的 机 械 性 能					570°C 的参数关系
	碳	硅	锰	硫	磷	铜	钼	钒	铌	其它			σ _{0.2} MPa	σ _s MPa	δ ₅ %	ψ ₅ %	α _k J/cm ²	σ _{0.2} MPa	σ _s MPa	δ ₅ %	ψ ₅ %	α _k J/cm ²	
BA3 5-1303 (梅花头)	0.10	0.26	0.50	0.038	0.024	1.17	1.05	0.32			900-1.5秒却 100度/小时 710-5	A	24	48	22	55	1.3 1.5	19	30	38	73	5.3	0.3
				0.033							1000秒却 100度/小时 710-5	B	24	48	24	58	9	20	31	41	73	7.2	2.5
											950 秒却 300度/小时 710-5	C	24	58	26	58	1.6 6.7	19	30	43	73	5.7	2
											— (铸件)	D	22	36	23	62	11	21	28	56	67	7.0	2.4
											1100秒却 100度/小时 710-5	E	24	48	27	63	7	20	34	40	71	7	3
											1050秒却 300度/小时 710-5	F	20	49	24	56	6.1 10.2	21	34	37	100	7.8	4
											1050秒却 1140度/小时 710-5	GO	34	58	17	50	5.7	28	37	38	66	5.7	6.5
											1050秒却 1440度/小时 710-5	M	45	64	14	39	3.1	35	42	31	56	3.1	1500
											961-3秒却 3360度/小时 710-5	P	44	66	14	43	1.1 4.9	43	47	25	55	4.8	5000
											1030-1.5秒却 3300度/小时 710-5	E	51	61	10	33	2.0 5.2	39	45	20	58	4	5000
											1050+900秒却 2140度/小时 710-5	II	32	54	19	55	6.0	28 32	30	32	62	5	8
											1050+900秒却 650度/小时 710-5	G	53	63	15	45	6.2	32	40	32	62	5.2	8.4
											1050+900秒却 3360度/小时 710-5	AK	53	69	13	44	3.7	42	48	25	53	4.5	1002
											1030+900秒却 3360度/小时 710-5	R	33	54	20	51	6.2 7.1	20	38	30	62	6	19
											1050+900秒却 3360度/小时 220-5	Y	33	53	17	51	7.2 8.4	23	37	38	67	5.5	33
BA3 5-709 (铸件)	0.15	0.30	0.6	0.025	0.017	1.19	0.52	0.24			1030秒却 300度/小时 720-5	8.9 7	37	57	20	55	1.1 10.5	29	41	23	72	8	25
											900-3.4秒冷却 3500度/小时 710-5	11	70	81	13	63	2.9 9.3	—	—	—	—	—	500
BA3 5-739 (梅花头和铸件)	0.19	0.19	0.5	0.018	0.017	0.84	0.78	0.21			1450-1.5秒却 100度/小时 710-5 (铸件)	K	30	52	13	34	—	27	37	24	43	—	36
											900-3.4秒冷却 3500度/小时 710-5 (梅花头)	KY	50	65	13	25	2.9 6.2	—	—	—	—	—	5000
											900-3.4秒冷却 3500度/小时 710-5 (铸件)	DC	69	80	7	14	1.1 1.5	—	—	—	—	—	—
											1050-1.5秒却 3500度/小时 720-3.4秒 (铸件)	BH	67	79	15	40	3.2 4.4	—	—	—	—	—	—

BA3爐次 №5—1303 (C=0.1%)

材 料 指 数	t°C	σ 公斤 公厘	$\epsilon_0\%$	Θ_K 小時	$\epsilon_K\%$	$\psi\%$	参数T (20+lg ϵ_K) · 10 ³
A	570	15	0.49	4	28.0	77.2	17.4
		13	—	0	30.7	78.7	—
		28	—	0	24.2	67.9	—
B	570	15	0.10	45	43.0	74.8	18.2
Б	570	12	0.076	491	28.6	79.8	19.15
		15	0.125	32	39.7	84.5	18.15
		28	—	0	28.0	72.0	—
OT	570	12	0.03	755	44.7	76.7	19.3*
		15	0.165	34	26.4	82.6	18.1
		18	0.140	11	42.8	76.4	17.75
Л	570	15	0.121	80	46	85	18.45
Г	570	15	0.105	90 ⁹⁰	39.5	83.2	18.5
	650	10	0.105	61	40.17	87	
Ю	570	15	0.10	80 ⁸⁰	12.2	46.2	19.3
		20	0.111	65 ⁶⁵	25.7	77.4	18.4
		25	0.66	5 ⁵	27.6	73.7	17.45
	650	12	0.10	64 ⁶⁴	13.8	59.0	20.15
М	570	20					
	570	25	0.21	107 ¹⁰⁷	11.7	42.0	18.6
	620	18	0.18	18	14.8	69.5	19.0
	620	15	0.10	148 ¹⁴⁸	6.4	22.4	20.4
Г	570	25	0.225	32	3.7(i)	63.4	18.15
	570	28	0.29	5 ²⁸	11.8	60.3	17.1
	570	30	0.30	22 ²²	13.2	74.0	18.0
	570	15*	0.2	2668	5.1	24.8	20.18
	630			+ 145			

2813

*附註：試样首先在570度进行試驗，然后加热到630度为了加快破裂，已得的结果是近似的。

15XIM1Φ(11B-1)鋼

BA3種次 5—1303 (C=0.10%)

材 料 指 数	t°C	σ 公斤 公厘	$\varepsilon_0\%$	Θ_K 小 時	$\varepsilon_K\%$	$\psi\%$	参数 $\tau (20 + \lg \Theta_K) \cdot 10^{-1}$
E	570	22	0.14	1836	4.1	9.6	19.55
		25	0.19	360	8.5	49.0	19.0
	570	32		6	15.0	60.0	17.5
	650	15	0.115	230	1.9	9.2	20.65
H	570	18	0.165	142 ¹⁰	20.0	73.0	18.7
		20	0.335	8(1)	24.5	82.0	17.6
	650	10	0.09	181	18.7	76.3	20.5
		12	0.085	159 ²⁰	12.3	61.0	20.4
C	570	18	0.14	1509	6.5	43.4	
		20	0.18	814	6.5	33.6	19.35
		28	0.316	9 ¹⁸	22.3	76.3	17.7
	650	12	0.035	357	5.3	35.7	20.8
Ж	570	20	0.115	1602	3.7	23.1	19.55
		28	0.25	15 ²⁵	12.7	63.8	17.9
	650	12	0.085	435	6.3	30.1	20.9
		28	0.135	144	15.3	29.1	20.45
Я	570	20	0.25	19	32.1	79.2	17.95
		25		0 ³⁰	26.7	77.9	16.8
	650	10	0.07	515	12.3	38.9	
		18	—	0	27.6	81.4	—
У	570	12	0.075	449	25.8	74.9	19.1
		18	0.175	63 ³⁰	23.3	79.6	18.4
		20	0.32	33 ³⁵	28.5	81.4	18.15
	650	10	0.095	57	42.1	86.2	20.1

15X171中鋼(11B-1)

BA3 變次 5-660 (C=0.14%)

材 料 指 數	1°C	公 斤 公 厘 ²	ε ₀ %	數 小 時	ε _κ %	ψ %	參數 τ(20+1.5θτ) 0.10 ⁻³
7,8,9	570	6	0.034	4000	V3000/4000 ± 2 × 10 ³ °/小時 ε4000 ≈ 0.3%		
		6	0.025	660	ε660 = 0.07%		
		18	0.02	33 ³	22.5	86.0	18.55
		20	0.42	13 ³	31.0	85.0	17.8
		21	0.22	27 ³	23.0	85.0	18.1
		22	0.366	5 ³	34.0	72.0	17.4
		24	0.75	3 ¹³	30.0	83.0	17.6
		25	0.44	6 ¹⁵	25.0	74.0	17.8
		27	0.94	1 ³²	27.0	81.0	17.9
		28	6	0 ³²	21.0	76.0	
	620	12		182	26.8	77.6	19.8
	650	9		468	10.0	38.9	20.0
9	560	6					
600		16 ³					
1000 小時		18		179	19.5	67.4	
II	570	25	0.16	1511	ε = 1.0%		
		27	0.21	791	2.2	19.2	
	650	18	0.145	81	2.5	7.5	20.2

含S量对 15X1M1G—21 鋼硬度的影响

表4

品 名 型 号	合 格 率	材 料	20度的机械性能										570度的机械性能										持久强度										备 注																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			$\sigma_{0.2}$		σ_s	δ	ψ	ak	$\sigma_{0.2}$		σ_s	δ	ψ	ak	R _m	$\sigma_{1\%}$	公斤	公斤	N/mm ²	σ_{100h}	σ_{200h}	σ_{300h}	σ_{400h}	σ_{500h}	σ_{600h}	σ_{700h}	σ_{800h}	σ_{900h}	σ_{1000h}	σ_{1200h}	σ_{1500h}	σ_{2000h}		σ_{2500h}	σ_{3000h}	σ_{4000h}	σ_{5000h}	σ_{6000h}	σ_{7000h}	σ_{8000h}	σ_{9000h}	σ_{10000h}	σ_{12000h}	σ_{15000h}	σ_{20000h}	σ_{25000h}	σ_{30000h}	σ_{40000h}	σ_{50000h}	σ_{60000h}	σ_{70000h}	σ_{80000h}	σ_{90000h}	$\sigma_{100000h}$	$\sigma_{120000h}$	$\sigma_{150000h}$	$\sigma_{200000h}$	$\sigma_{250000h}$	$\sigma_{300000h}$	$\sigma_{400000h}$	$\sigma_{500000h}$	$\sigma_{600000h}$	$\sigma_{700000h}$	$\sigma_{800000h}$	$\sigma_{900000h}$	$\sigma_{1000000h}$	$\sigma_{1200000h}$	$\sigma_{1500000h}$	$\sigma_{2000000h}$	$\sigma_{2500000h}$	$\sigma_{3000000h}$	$\sigma_{4000000h}$	$\sigma_{5000000h}$	$\sigma_{6000000h}$	$\sigma_{7000000h}$	$\sigma_{8000000h}$	$\sigma_{9000000h}$	$\sigma_{10000000h}$	$\sigma_{12000000h}$	$\sigma_{15000000h}$	$\sigma_{20000000h}$	$\sigma_{25000000h}$	$\sigma_{30000000h}$	$\sigma_{40000000h}$	$\sigma_{50000000h}$	$\sigma_{60000000h}$	$\sigma_{70000000h}$	$\sigma_{80000000h}$	$\sigma_{90000000h}$	$\sigma_{100000000h}$	$\sigma_{120000000h}$	$\sigma_{150000000h}$	$\sigma_{200000000h}$	$\sigma_{250000000h}$	$\sigma_{300000000h}$	$\sigma_{400000000h}$	$\sigma_{500000000h}$	$\sigma_{600000000h}$	$\sigma_{700000000h}$	$\sigma_{800000000h}$	$\sigma_{900000000h}$	$\sigma_{1000000000h}$	$\sigma_{1200000000h}$	$\sigma_{1500000000h}$	$\sigma_{2000000000h}$	$\sigma_{2500000000h}$	$\sigma_{3000000000h}$	$\sigma_{4000000000h}$	$\sigma_{5000000000h}$	$\sigma_{6000000000h}$	$\sigma_{7000000000h}$	$\sigma_{8000000000h}$	$\sigma_{9000000000h}$	$\sigma_{10000000000h}$	$\sigma_{12000000000h}$	$\sigma_{15000000000h}$	$\sigma_{20000000000h}$	$\sigma_{25000000000h}$	$\sigma_{30000000000h}$	$\sigma_{40000000000h}$	$\sigma_{50000000000h}$	$\sigma_{60000000000h}$	$\sigma_{70000000000h}$	$\sigma_{80000000000h}$	$\sigma_{90000000000h}$	$\sigma_{100000000000h}$	$\sigma_{120000000000h}$	$\sigma_{150000000000h}$	$\sigma_{200000000000h}$	$\sigma_{250000000000h}$	$\sigma_{300000000000h}$	$\sigma_{400000000000h}$	$\sigma_{500000000000h}$	$\sigma_{600000000000h}$	$\sigma_{700000000000h}$	$\sigma_{800000000000h}$	$\sigma_{900000000000h}$	$\sigma_{1000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000h}$	$\sigma_{1500000000000h}$	$\sigma_{2000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000h}$	$\sigma_{3000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{700000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{800000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{900000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1200000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{1500000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{2000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{2500000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{3000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{4000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{5000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{6000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{7000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{8000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{9000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{10000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{12000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{15000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{20000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{25000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{30000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{40000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{50000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{60000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{70000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{80000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{90000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{100000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{120000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{150000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{200000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{250000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{300000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{400000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{500000000000000000000000000000000h}$	$\sigma_{600000000000000000000000000000000h}$	σ_{70

15XIMIΦ鋼(11B-1)

BA3 種次 5-759 (C=0.19%)

材 料 指 数	t °C	$\frac{\sigma}{\text{公厘}^2}$ 公斤	$\epsilon_0\%$	Θ_K 小 時	$\epsilon_K\%$	$\psi\%$	参数 $\tau(20 + \lg \Theta_K) \cdot 10^{-3}$
K	570	18	0.16	958	8.2	45.0	19.35
		20	0.215	36	9.4	43.4	18.15
		25	0.60	10	28.7	72.8	17.7
	650	12	0.12	70	21.5	78.0	20.5
11T	565	25	0.18	522 ¹⁰	13.9	71.5	19.0
		27	0.19 ₆	51 ¹⁰	10.0	72.0	18.4
		28	0.25	122	12.0	69.0	18.5
BC	565	25	0.185	> 1941	$\epsilon_{1941} = 0.519\%$		19.45
		28	0.19	1683	1.3	5.7	
	650	18	0.166	170	10.2	56.9	20.55
BH	565	25	0.18	> 1996	$\epsilon_{1996} = 0.63\%$		19.4
		28	0.18 ₆	1402	1.2	5.0	
		32		761	1.0	9.0	

个爐次浇鑄了几个梅花头；其他两个爐次研究得較少。于表3包括有持久强度試驗的結果。

現有資料的簡單審查証明了机械性能和抗蠕变性（持久强度）以及由于鋼的正火和回火规范发生长久断裂的塑性关系是密切的。鋼的含碳量（由0.1至0.19%）的变化有显著的影响。0.8至1.0%錳的影响不太显著。

較詳細地研究了現有的結果。

1. 含碳量的影响

列于图4和表4中。这些材料的持久强度可在以下的許多图中看出。

在图4中引証了按含碳量至試样破裂的时间（当試驗温度和外加应力是經驗的常数時）。从这可以看出，含碳量愈高，材料就愈坚固；这个对正火時空气快速冷却（ $V_{\text{возд}} \approx 3350^\circ/\text{小時}$ ）及 $V_{\text{озл}} \approx 100-300^\circ/\text{小時}$ 緩慢冷却來說是确实的。

應該注意：快速冷却对鋼組織的組成來說，比緩慢冷却要堅固一些。表4的数据証明在相同热处理時，含碳量高的鋼是較堅固，有强度的优点時，就失掉了在室溫時进行短時試驗的塑性。当溫度 570° 時在持久破裂的条件下，在沒有发现同含碳量直接发生关系時，塑性是只由鋼的强度或至破裂的时间來測定的。

2. 正火温度的影响

按文献数据來判断，Cr-Mo-V鋼正火的溫度普通选择高于 A_{c1} 点 $30-40^\circ$ 。我們的含碳量0.10%鋼（爐次5—1303），按中央工艺与机械制造科学研究院热处理处的資料，选择如下的临界点：

冷却速度	$A_{c1}=819^\circ$	$A_{c2}=973^\circ$	$A_{c3}=818^\circ$	$A_{c4}=908^\circ$
100°/小時				
250°/小時	$A_{c1}=800^\circ$	$A_{c2}=980^\circ$	$A_{c3}=700^\circ$	$A_{c4}=852^\circ$

因此， 1050° 可作为正火最合适的溫度。但是，还希望在工厂的条件下简化热处理的过程并不影响鋼的强度降低正火溫度。要达到这个希望，就迫使我們进行检查由于降低正火溫度对强度的影响。为了保持正火時的冷却速度及回火规范（ $710^\circ-5$ 小時），根据表5表明了，在 570° 時至断裂的时间（见图5）。

表5

正火溫度对 570° 达到断裂的时间的影响（ $710^\circ-720^\circ$ 回火—5小时）

含碳量%	正火冷却速度 $V_{\text{озл}}^\circ/\text{小時}$	正火溫度 $t^\circ\text{C}$	材料指数	应力 570° σ 公斤/公厘 ²	至断裂的时间(小時)	$\Sigma \epsilon$ %	ψ %
0.10	100	900	A		4	28	77
		1000	B	15	45	43	75
		1100	Л		80	46	85
	3360	960	P	25	32	3.7	63
		1050	E		360	8.5	49
0.19	3360	960	ЛТ		122	12	69
		960	BC	28	1683	1.3	5.7
		1050	ВН		1402	1.2	5.0

从被引証的数据中看出,当含碳量为 $C=0.10\%$ 时,正火温度从900上升到1100°,对钢在持久断裂的强度及塑性都是很有利的。这是由于临界点 $A_{c1} \approx 980^\circ C$ 的原因。当含碳量为0.19%时(植次5—799),钢的临界点位于960°以下,因此,实验的结果是不够精确的。

应该指出,正火温度不能显著地影响到拉伸机械性能的特性但能降低临界脆性温度;室温时的冲击韧性随着正火温度的升高而提高(见表2)。在图6和其它图可以看出,蠕变强度随着含碳量的增加不仅在相当高的应力或在持久强度限度的应力时亦增长了。

3. 正火时的冷却速度对机械性能及持久强度的影响

从开始研究此钢种起我们就遇到了正火时的冷却速度严重地影响着钢的强度。这个对我们来说是很生疏的,因为在参考文献内亦很少注意到此问题。确实有这样的指示,贝氏体(4)算是珠光体钢最耐热的组织,但是,我们没有找到关于这个所必须的热处理规范及此种钢种的完整C曲线的精确报导。为了把我们所关心的一组钢的奥氏体分解动力学问题弄清楚,耐热合金处作了有关的研究并将研究结果作如下的说明。早在掌握20ХМФЛ(5)钢的时候就获得了关于冷却速度对Cr-Mo-V钢强度影响的一些经验。但由于含碳量和含钒量相差较大(这些含量对正火时组织球化起很大作用),不可能将这经验直接转到15Х1М1Ф-Л钢。因此在本报告中只能研究某些冷却速度对有关特性曲线的影响(表2.3.6和图7—8)。

正火时的冷却速度对钢的强度影响
加热至1050°—1.5小时,正火后710°—720°回火5小时

表6

含 碳 量 %	C=0.10					C=0.19	
	100	300	1140	1640	3360	100	3360
冷却速度/小时	100	300	1140	1640	3360	100	3360
材 料 指 数	B	Г	Ю	М	Е	К	ВН及Вс
570°— $\sigma_{0.1}$ 公斤/公厘 ² 时的持久强度极限 (根据参数关系)	7	7.5	9.5	11.5	13	10.2	14

我们现有的资料可以证实正火时的冷却速度对钢的强度是有很大的影响的。这个影响不仅表现在钢短时强度而且还表现在长时间强度上。当 $V=1000—1500^\circ/\text{小时}$ 时,冷却速度对含碳量0.1%的钢有着良好和主要的影响。冷却速度从100°至300°/小时内变化就没有显著的影响。

速度从1500°升高至3500°/小时不能显著地改变钢的暂时性能,但能提高持久强度极限的值。但随着 $\sigma_{0.1}$ 的提高,长久断裂时钢的塑性亦随之下降。因为提高 $\sigma_{0.1}$ 同时降低塑性是不希望的。冷却速度对含碳量较高的(0.19%)钢影响同样是重要的。同时还可以看出,即是缓慢的冷却速度(100—300°/小时)能保证钢的强度和塑性,等于当 $V_{0.19}=1000—1500^\circ/\text{小时}$ 含碳量0.1%的低碳钢的塑性。因此,含碳量的提高对较小冷却速度的大零件来说是有利的。但当快速冷却时(3500°/小时)高碳钢具有较高的强度($\sigma_{0.1}=14$ 公斤/公厘²)和较低的塑性($\Sigma K_{1000} \approx 1.0—1.5\%$, $\psi=5—5.5\%$)。因此,小零件或有细小突出部分的零件应该防止快速冷却。

上述所研究的正火冷却速度对钢的强度影响通过显微组织分析后已完全清楚了。此问题的详尽分析将在金属学与热处理处的报告中进行阐述。在图9仅例举了一些关于研究强度问题方面的显微照片。

显微组织清楚地证明了，单独铁素体和珠光体或单独铁素体同单独贝氏体的存在次于碳化物均匀分布的贝氏体。由于被研究一組鋼的组织状态特别重要，因此对这个问题进行了专题研究。

从上述可得出结论是：为了得到高强度钢ЛБ-1，应该采取获得贝氏体或铁素体和贝氏体的组织的措施，就是提高碳的下限 ($C \approx 0.14-0.15$) 以及保证在正火的加速冷却 ($V_{\text{охл}} = 1000^\circ/\text{小时}$)。用别的方法依靠钢的等温淬火来获得贝氏体组织是可能的。现在对这个特别问题进行了研究 (见下)。

4. 鋼的双重正火规范

在许多国外 (4) (6) 及国内 (5) (7) 的研究工作中指出了，采取双重正火规范来保证Cr-Mo-V钢在长久断裂的最高强度及塑性；第一次加热高于 A_{c3} 点 $50-80^\circ$ ，而第二次加热仅高于 A_{c2} 点 $20-30^\circ$ 。现有的说明适合于含碳量较高 (0.30-0.35%) 的相似成份的钢种。我们认为关于我们研究的钢 (含碳量虽很低0.20%以下) 方面的这个问题有必要作详细的说明。在二次加热后的三个冷却速度时进行检查双重正火的影响。短时试验的结果列于表2。持久长度试验结果列于表7和图10。表7看单独的一页。

根据我们所得的数据证明，双重正火对钢的强度及塑性的影响不大。因此，在很好的做好钢的均匀退火以后，可采用一次正火及调整冷却速度来限制着。在分析已得的结果时，应该注意到试验室 (5-1303) 没有在維紐克零件工厂 (BA3) 进行退火。

5. 回火温度的影响

在初步试验钢ЛБ-1的时候，采取了 $710-720^\circ$ 5小时的回火。为了比较高温回火对钢的强度性能的影响，仅检查了 740 和 770° 的二种回火规范。从表2-3和图11a可以见到这个研究的结果。

回火温度超过 710° 会引起钢发生软化，它影响到机械性能和持久强度。第一次回火规范影响的检查迫使对这个问题进行更详细的研究。

因此，我们补充研究了特别是在維紐克零件工厂退火过的及最后在 1080° 一次正火后的5-960爐次 (见表8和9) 钢的回火规范对机械性能及耐热强度的影响。正火时冷却速度在 $700-900^\circ$ 范围内，约为 $3300^\circ/\text{小时}$ 。

为了便于用图表来表示机械性能结果，在图11b表明了 $T (20 + \lg T)$ 参数函数，温度 ($T = t^\circ \text{C} + 273^\circ$) 及回火时间 (T 小时)。

按冲击韧性来说 (见图11a)，最好的回火参数为 $20, 7 \cdot 10^3$ 。但是，蠕变断裂时的低塑性附合于此回火时高持久强度 (见表8)。参数 $20, 8 \cdot 10^3$ 以上的回火得出了良好持久强度时足够的塑性 (见8)。

应该注意，在 $990 \pm 10^\circ$ 正火后进行 720° 保温5小时回火对于已经过 1080° 正火后的钢来说是适合的，因为参数 $22.55, 10^3$ 不能保证蠕变断裂时应有塑性，所以此参数不适于这样的回火。

因此，较高的正火温度要求较高的或较长时间的回火。

亦必须指出：双重回火比相同参数的一次回火降低强度特性 ($H_B, \sigma_B, \sigma_{0.2}$) 更有效些。

在相同的程度上对待持久强度，根据已得的结果 (图11 b 和11 c) 是不可能解决的。

鋼LIB—(爐次5—1303)

表7

正火規範對鋼的持久強度的影響，正火後回火710°—5 小時 C=0.10%

正火時的		一次正火 1050°						二次正火1050°+980°										
冷却速度	材料指數	t°C	σ 公斤/ 公厘 ²	θ_k 小時	Σk %	ψ %	參 數 T(20+ $\epsilon\theta_k$) $\cdot 10^{-3}$	材料指數	t°C	σ 公斤/ 公厘 ²	θ_k 小時	Σk %	ψ %	參 數 T(20+ $\epsilon\theta_k$) $\cdot 10^{-3}$	$\sigma_{1.5}$ 570°C			
1140	IO	570	15 (18)	804 (150)	12.2 (—)	46.2 (—)	19.3 (18.8)	M	570	18	142.10	20.0	73.0	18.7	9.5			
			20	65.25	25.7	77.4	18.4			20	8	24.5	82.0	17.6				
			25	5.25	27.6	73.7	17.45			650	10	181	18.7	76.3		20.5		
			650	12	64.45	13.8	59.0			20.15	12	159.20	12.3	61.0		20.45		
1640	M	570	(20)		(850)		—	C	570	18		—		11.5				
			25	107.30	11.7	42	18.6			20	814	6.5	33.6	19.35				
				650	(15)		(148)			20.4	650	(25)		(—100)		(18.5)		
					(—)		(—)			(—)		28	9.35	22.3	76.3	17.7		
3350 (空氣)	E	570	(20)		(6000)		(—)	X	570	(20)		(—)		19.55				
			20	360	8.5	49.0	19.0			20	1602	3.7	23.1	19.55				
				650	(15)		(50)			(—)	650	(28)		(—)		17.9		
					32	6	15.0			60.0		17.5	28	15.25	12.7	63.8	17.9	
—		650	12		12		20.65		650	12		435		20.9	12.5			
			15		230		20.65			15		144						

() 表示內推法及外推法

1080°正火及20°不同回火规范后钢11B-1的机械性能 (续表5-960)

表 8

正火规范	回火规范	σ_s 公斤/公厘 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/公厘 ²	85 %	ψ %	σ_K 公斤米/公分 ³	HB
	650°, 5小时	103.2	97.8	12.3	13.3	48.1	58.1
		100.6	87.2	15.3	50.5	0.9	
		平均100.5	平均90.3	平均13.6	平均52.3	平均0.8	277
	700°, 5小时	84.3	84.9	15.4	57.3	1.8	9.0
		74.9	74.9	14.4	56.3	4.9	
		平均84.6	平均74.6	平均14.9	平均56.8	平均5.2	229
	700°, 10小时	80.1	68.7	15.0	61.0	8.2	7.4
		79.1	66.35	14.5	57.5	9.2	
		平均79.9	平均67.5	平均14.7	平均59.2	平均8.2	229
	700°, 20小时	73.2	61.9	20.0	59.8	10.9	12.6
		71.1	59.3	18.0	55.4	11.2	
		平均72.1	平均60.6	平均19.0	平均57.6	平均11.2	195
	700°, 5小时	72.7	71.4	49.3	49.5	21.1	21.2
		71.6	48.7	19.6	63.5	8.4	
		平均71.9	平均49.1	平均20.6	平均61.0	平均8.2	189
	650°, 5小时	66.4	52.1	21.1	64.7	11.7	11.6
		68.8	55.9	17.9	54.9		
		平均67.6	平均54.0	平均19.5	平均59.8	平均11.65	162
	720°, 10小时	68.2	55.0	22.0	63.6	8.8	10.7
		66.4	53.4	20.8	55.8	8.5	
		平均67.3	平均54.2	平均21.4	平均59.7	平均9.3	160