



平板检定参考资料

廖念钊 莫雨松 李硕根 著

技 术 标 准 出 版 社

内 容 提 要

本书对平板检定的有关资料和常用量仪作了系统的介绍，特别是对平板检定的各种方法进行了系统的收集和总结，对常用方法的测量精度进行了分析比较，以利于在生产中广泛推行。

本书可供计量战线的工程技术人员及检验工人阅读。

平 板 检 定 参 考 资 料

廖念钊、莫雨松、李硕根 编

技术标准出版社出版

(北京复外三里河)

秦皇岛市印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $7 \frac{1}{8}$ 字数 192,000

1979年11月第一版 1979年11月第一次印刷

印数 1—10,000

书号: 15169·3-10² 定价 1.06 元

前 言

关于平板检定方法的问题，我们曾于1976年夏及1977年春先后召开了两次讨论会。根据会议代表的意见，经与重庆大学机械系商定，由该校廖念钊、莫雨松、李硕根三位同志负责，系统地整理了会上所讨论的问题，并作了一些补充，写成了这个比较完整的资料，现出版供参考。

国家标准计量局 计量管理处

1977年12月8日

目 录

一、概述	(1)
(一) 平板种类	(1)
(二) 平板尺寸系列	(1)
(三) 平板的材质要求	(3)
1. 铸铁平板	(3)
2. 岩石平板	(5)
(四) 铸铁平板的时效处理	(5)
(五) 平板的刚度	(7)
(六) 平板的支承问题	(11)
(七) 平板的着色斑点和表面光洁度	(14)
1. 按接触斑点数计算	(14)
2. 按接触面的百分数计算	(14)
(八) 平板不平度的精度等级	(16)
(九) 平板检定的环境要求	(20)
二、平板检定中常用的仪器	(21)
(一) 水平仪类	(21)
1. 框式水平仪	(21)
(1) 结构	(21)
(2) 刻度值的含义	(22)
(3) 读数值和高度差的关系	(23)
(4) 零位调整	(25)
(5) 水平仪读数方法	(28)
2. 合像水平仪	(32)
(1) 仪器结构	(32)
(2) 工作原理	(32)
(3) 读数方法	(34)
(4) 使用方法	(34)

3. 电子水平仪	(35)
(1) 机械结构	(35)
(2) 工作原理	(35)
(3) 使用方法	(36)
(4) 维护保养	(37)
(二) 准直仪和自准直仪	(37)
1. 准直仪	(37)
(1) 工作原理	(37)
(2) 用于测不直度的使用方法	(38)
2. 自准直仪	(38)
(1) 工作原理 (自准直原理)	(38)
(2) 结构介绍	(39)
a. HYQ-03光学平直仪	(40)
b. ZH-CH ₁ 型自准测微平行光管	(41)
(3) 用于测不直度的使用方法	(41)
a. 仪器的安置和调整	(42)
b. 测微目镜座的位置	(42)
c. 读数值正负和倾斜方向	(43)
(4) 用于测平板的使用方法	(44)
(5) 仪器的维护保养	(44)
三、不直度误差测量数据的处理	(45)
(一) 以两端点连线为基准的不直度误差的数据处理	(46)
1. 角差法测量不直度误差的数据处理	(46)
(1) 算法	(49)
(2) 图解法	(50)
2. 线差法测量不直度误差的数据处理	(51)
(1) 图解法	(52)
(2) 算法	(53)
(二) 满足最小条件的不直度误差的数据处理	(54)
1. 满足最小条件的不直度误差的判别准则	(54)
2. 图解法	(56)
3. 图解算法	(58)

4. 基准偏转法	(61)
四、平板不平度误差的检定方法	(65)
(一) 测量截面和测点的布置	(65)
(二) 不平度误差的测量	(68)
1. 角差法	(69)
(1) 对角线布置法	(69)
(2) 栅格布置法	(69)
2. 线差法	(71)
(1) 刀口尺测量法	(71)
(2) 平尺测量法	(71)
(三) 不平度误差的评定基准	(72)
1. 对角线法	(72)
2. 三点法	(72)
3. 最大不直度法	(73)
五、不平度误差的数据处理	(74)
(一) 对角线法数据处理	(74)
1. 基本方法	(74)
(1) 计算法	(74)
(2) 图解法	(80)
a. 截面固定法	(80)
b. 截面旋转法	(82)
c. 对角线方向投影法	(84)
2. 桥板跨距相等时测量数据的处理	(86)
(1) 图解法	(87)
(2) 简化公式法	(90)
(3) 简化表格法	(96)
3. 桥板跨距不相等时测量数据的处理	(98)
(1) 图解法	(100)
(2) 简化计算法	(102)
(二) 三点法数据处理	(107)
1. 一般方法	(107)

2. 图解法	(110)
3. 简化公式法	(111)
4. 直接累加法	(116)
(三) 线值偏差法测量不平度误差的数据处理	(120)
(四) 等高线的画法和使用	(124)
六、按“最小条件”求不平度误差	(126)
(一) 判别基面偏转法	(131)
(二) 逼近法	(133)
(三) 以包容面为基面的逐步逼近法	(138)
(四) 判别逼近法	(150)
(五) 不以包容面为基面的逐步逼近法	(153)
(六) 逐步逼近作图法	(166)
(七) 用投影法确定包容面	(173)
(八) 判别投影作图法	(182)
(九) 判别图解法	(186)
(十) 算法	(191)
七、测量方法的精度分析	(196)
(一) 对角线法测量精度的分析	(196)
(二) 三点法测量精度的分析	(203)
(三) “最小条件”法测量精度的分析	(205)
(四) 自然水平法测量精度的分析	(213)
(五) 实例	(217)
结束语	(218)

一、概 述

(一) 平 板 种 类

平板是机械制造业中不可缺少的基本工具。根据其用途,可分为:
检验用的平板——为生产和计量部门作精密测量用的基准平面;
划线用的平板——为生产中作划线用的基准平面。

根据其制造所用的材料,可分为:

铸铁平板——用普通灰口铸铁或合金铸铁制成;

岩石平板——用花岗石、辉绿岩、辉长岩等自然界的坚硬岩石制成。

岩石平板与铸铁平板相比较,它的主要优点是:精度稳定性好,使用维护方便。岩石平板比铸铁平板稳定,温差变形小,即使没有恒温条件,也能常年保持精度;不怕酸性气、液体侵蚀,不怕受潮生锈;使用时,只需将灰尘抹净便可;使用后也不必涂油防锈。

岩石平板加工也简便。对毛石料进行锯切开料和打眼后,再经多次研磨,最后抛光至镜面光泽即成。

岩石平板的主要缺点是:不能承受过大的撞击、敲打。这也是一般铸铁平板在使用中应当避免的。

(二) 平板尺寸系列

按我国现行的平板尺寸系列,即工具专业标准 GL 31—62 规定的,从 100×200 毫米到 1000×1500 毫米共分 10 种规格(表 1)。这一系列,已经和我国社会主义生产建设的发展不相适应,其规格尺寸不但不符合 GB 321—64 《优先数和优先数系》的要求,而且生产使用中的大平板,也已远远超出它所规定的最大规格尺寸。因而应当遵照“独立自主,自力更生”的方针,广泛深入地进行调查研究,在总结现行系列生产实践经验的基础上,制订出既满足我国现阶段生产

的要求，也能适应我国生产迅速发展需要的新平板尺寸系列。

但是，考虑到我国现阶段生产的迫切需要，1977年春平板检定方法“襄樊讨论会”上，建议暂在工具专业标准 GL 31—62 平板系列尺寸的基础上，增添 1500×2000 毫米到 3000×5000 毫米三种规格尺寸（表 1）。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，下面介绍几种国外的平板尺寸系列，以供参考。

苏联铸铁平板尺寸系列

苏联铸铁平板标准

我国平板尺寸系列 表1

平板尺寸(长×宽) 毫米	精度等级	备 注
100×200 200×200 200×300 300×300 300×400 400×400	0、1、2	原规定有 3 级精度， “襄樊讨 论会”建议 取消
450×600 500×800 750×1000 1000×1500	0、1、2、3	
1500×2000	2、3	“襄樊讨 论会”建议 增加的规格 尺寸
2000×3000	3	
3000×5000		

(ГОСТ 10905—64) 规定，从 250×250～4000×1600 毫米共分 7 种规格尺寸（表 2）。它是以平板一边之长（矩形平板按长边计）为参数，按优先数系中的基本系列 R 5（即公比 = 1.6）排列的。

西德铸铁和岩石平板尺寸系列

西德平板标准 (DIN 876) 规定，西德铸铁平板和岩石平板使用同一尺寸系列；从 100×100～2500×1600 毫米，共分 14 种规格尺寸。除 2000×1000 毫米一种规格外，方形平板和矩形平板的边长，都是按优先数系中的基本系列 R 5 排列的（表 3）。

英国铸铁和岩石平板尺寸系列

英国平板标准 (BS 817 : 1972) 规定，英国铸铁平板和岩石平板使用同一尺寸系列；从 160×100～2500×1600 毫米，共分 10 种规格尺寸（表 4）。矩形平板和方形平板的边长，都是按优先数系中的

基本系列 R 5 排列的，工作面积约按 2.5 倍逐次增加。

日本铸铁平板尺寸系列

日本标准《JIS B 7513—1959 精密铸铁平板》规定，从 150×100~2000×1000 毫米共分 8 种规格尺寸（表 5）。

苏联铸铁平板尺寸系列 表2

平板尺寸(长×宽) 毫米	精 度 等 级
250×250 400×400 630×630	01、0、1、2
1000×630 1600×1000	01、0、1、2、3
2500×1600	1、2、3
4000×1600	2、3

西德铸铁和岩石平板系列 表3

方 形 平 板 毫米	矩形平板(长×宽) 毫米
100×100 160×160 250×250 400×400 630×630 1000×1000	160×100 250×160 400×250 630×400 1000×630 1600×1000 2000×1000 2500×1600

英国铸铁和岩石平板系列 表4

矩形平板(长×宽) 毫米	方 形 平 板 毫米
160×100 250×160 400×250 630×400 1000×630 1600×1000 2500×1600	400×400 630×630 1000×1000

日本铸铁平板系列 表5

平板尺寸(长×宽) 毫米	精 度 等 级
150×100 300×300 500×500 600×600 750×500 1000×750 1000×1000 2000×1000	1、2

从以上几个国家的平板尺寸系列看来，苏联系列在扩大尺寸范围的同时，又减少了规格尺寸；同时又是符合优先数系中的基本系列（R 5），这对今后平板发展的尺寸系列来看，是值得参考的。

（三）平板的材质要求

1. 铸铁平板

按我国工具专业标准 GL 31—62 规定：“平板材料为稠密细粒的铸铁。工作面的硬度为布氏硬度 HB 150~210（在钢球直径 $d = 10$ 毫米和 $P = 3000$ 公斤时）”。对材料的牌号、化学组成、机械性能、硬度的不均匀性等，均未作规定。在国外的平板标准中，对平板材质的要求，详细程度也不一致。如西德平板标准 DIN 876 规定，铸铁平板材料使用片状石墨铸铁（DIN 1691），种类由制造者选择；日本标准《JIS B 7513—1959 精密铸铁平板》规定，平板的材料为 JIS G 5501（灰口铸铁件）的 FC 20，或与此同等以上的铸铁；英国平板标准 BS 817：1972 规定，铸铁平板应采用优质的普通铸铁或合金铸铁，并对这两种铸铁的化学组成作了推荐，如表 6。

英国平板铸铁成分									表 6
材 料	化 学 组 成, %								
	总含碳量	化合碳	锰	硅	硫	磷	镁	镍	铬
普通铸铁	3.0~3.5	0.4~0.7	0.5~1.2	1.0~1.6	≤0.15	≤1.20	—	—	—
合金铸铁	2.8~3.2	—	—	0.8~1.5	≤0.12	≤0.30	0.6~1.0	1.4~1.6	0.4~0.6

苏联平板标准 ГОСТ 10905—64 规定，苏联用灰口铸铁制的平板，铸铁的机械性能不应低于标号 Ч 18—36（ГОСТ 1412—54）；平板工作面硬度为 HB 170~229（比我国标准 GL 31—62 规定的硬度约高 14%）；同一平板的硬度差，不应超过：

HB 10（小于和等于 630 × 400 毫米的平板）；

HB 15（等于和大于 1000 × 630 毫米的平板）。

但对平板铸件的金相组织，没有提出要求。铸件金相组织的不均匀，是影响平板精度保持性的重要因素之一。因为不同的组织具有不同的热膨胀，珠光体的热膨胀系数为 $10 \sim 11 \times 10^{-6}$ 米/米°C，铁素体为 $12 \sim 12.5 \times 10^{-6}$ 米/米°C，渗碳体为 $6 \sim 8.3 \times 10^{-6}$ 米/米°C，温度变化时，不同的组织产生不均匀的膨胀，而使平板变形；金属组织不均匀，也是削弱常温下铸铁平板抗微小塑性变形能力（或称抗弛预张

力的能力)的因素。所以精密平板,还应注意金相组织的均匀性。

从上述几个平板标准比较起来,苏联平板标准对材质的要求,规定得稍全面一些,可供参考。

2. 岩石平板

我国平板标准 GL 31—62 没有包括岩石平板,当然也就谈不到对平板岩石的要求。各地生产的岩石平板,是根据当地资源而选材的。譬如上海大理石厂生产的花岗石平板,采用的原材料为“济南青”,属黑云母橄榄辉长岩。它的抗压强度为 2015 公斤/厘米²,抗折强度为 379 公斤/厘米²,耐磨率为 0.01069 克/厘米²,硬度为莫氏 6~7 级。

在国外的平板标准中,西德标准 DIN 876 规定,硬石材料,由制造者选择;英国标准 BS 817:1972 规定,用于制造岩石平板的石块,晶粒应稠密,组织应均匀,没有夹杂其他矿物;岩石颜色无关重要,但同一块平板的色泽应当一致。该标准对岩石的机械性能,也未提出要求。

总之,在选用平板材料时,应贯彻“独立自主,自力更生”的方针,根据确保平板质量的要求,充分利用本地资源,特别是岩石平板材料,我国蕴藏丰富,应通过不断的实践和总结,探索和建立起我国自己的平板材料体系。

(四) 铸铁平板的时效处理

铸铁平板残余应力的存在,是影响平板精度保持性的重要因素。所以我国平板标准 GL 31—62 明确规定:“平板应经过时效处理和去磁”。国外平板标准对这一问题,也普遍重视,都有“应消除平板内应力”的明确规定。

铸铁平板的残余应力,主要是由三部分构成:

铸造应力:由于铸件各部位不均匀冷却而造成。

切削加工时的附加应力:切削加工,一方面破坏了铸件原有的应力场,使应力重新分布;另一方面,由于切削层在高温高压下不均匀的塑性变形而产生应力。

热时效中产生的二次应力：主要是热时效冷却阶段存在有温差，就会产生二次残余应力。

上述三部分应力残留在铸铁平板中，就会随时间而发生松弛和再分布，引起平板变形，破坏平板精度。

消除平板内应力的时效处理方法有多种，如自然时效、振动时效、喷丸处理、 550°C 退火等。其中 550°C 退火是各国通常采用的一种行之有效的方法。英国平板标准 BS 817:1972 中，就推荐有铸铁平板粗加工后的热时效处理规范，如图 1 所示。该规范的保温时间，特别是降温时间是相当长的，这两段时间是影响热时效效果的重要环节。保温时间以不降低机械性能，特别是硬度为前提，足够长一些，才能使残余应力获得充分的松弛；冷却速度足够缓慢，就可避免产生二次应力。

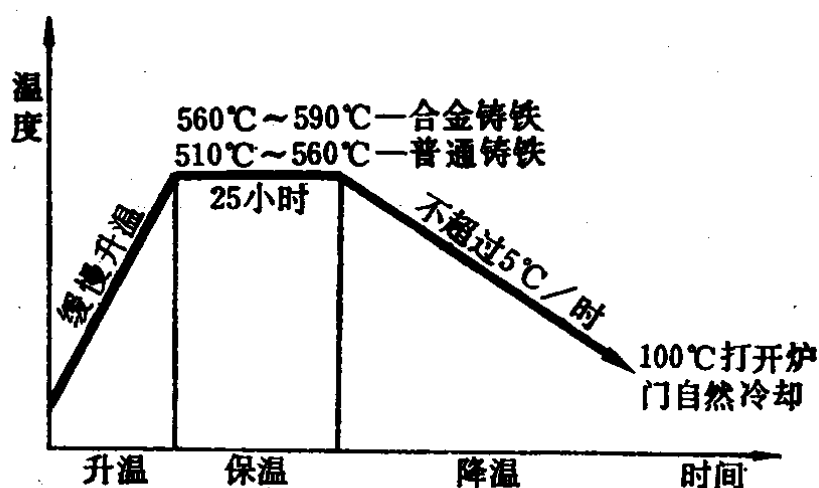


图 1

此外，热时效次数和工序的合理安排，也影响消除内应力的效果。如有的单位安排两次热时效时，第一次热时效安排在粗加工之前，显然，这次时效作用不大。对于检验平板，如精密机床基础件（床身、工作台等）一样，当其安排两次热时效时，就应在粗加工后和半精加工后分别安排一次。有的单位，曾经作过实验，按图 2 所示的热时效处理规范，经两次时效的 T 4240 双柱坐标镗床床身，在 10~15 个月内，精度稳定在 4 微米以内。这可作为铸铁平板热时效处理的参考。

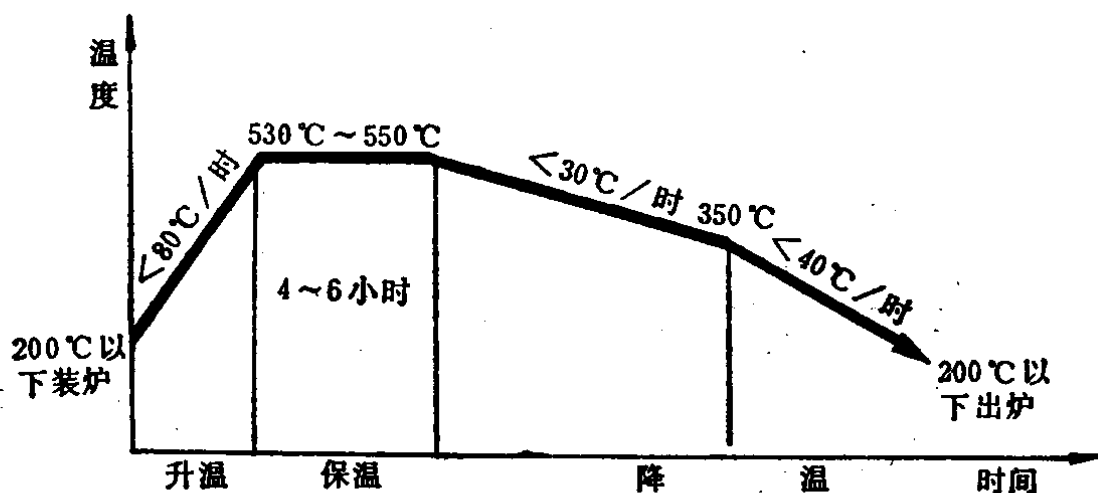
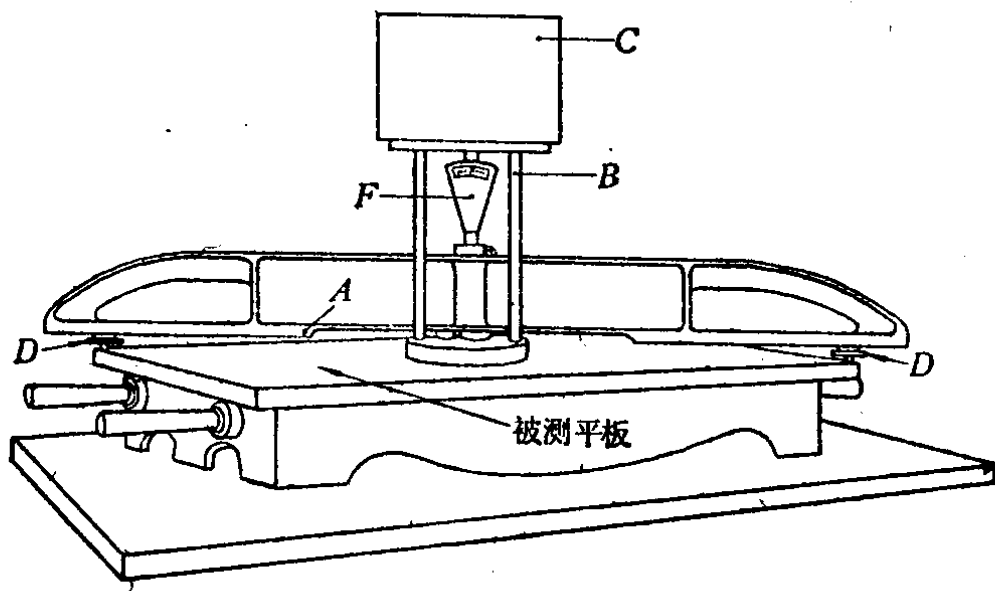


图 2

(五) 平板的刚度

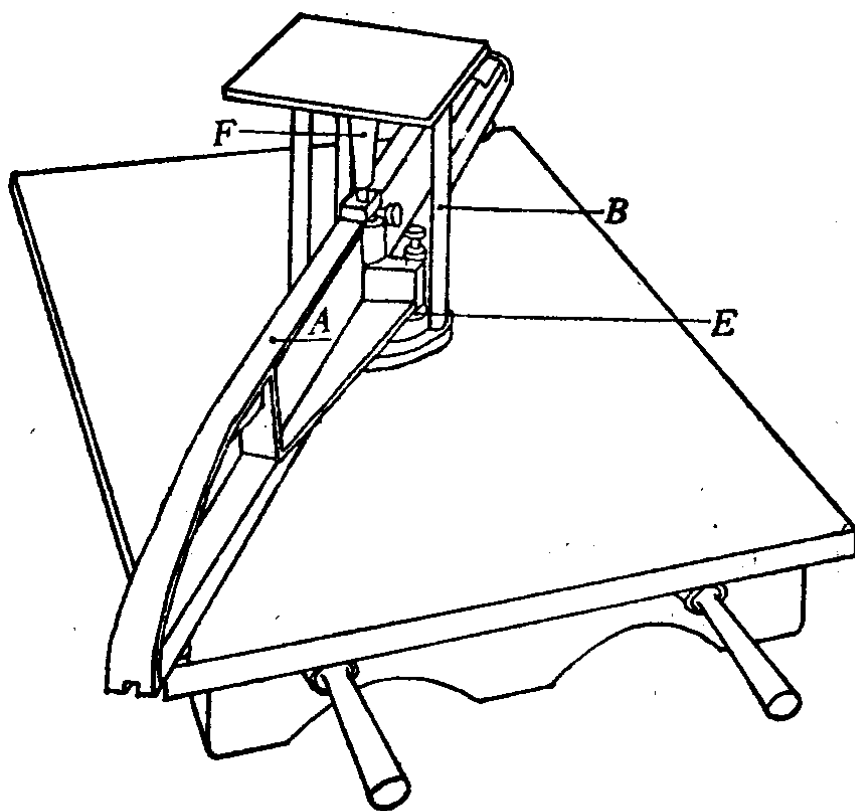
平板的结构设计，必须保证平板有足够的刚度，这是影响平板使用精度的关键问题。因平板在使用时，要承受一定荷重，若平板刚度差，承受荷重后产生的挠度大，使不平度值超差，也就不再起应有的基准平面的作用。

所以平板的刚度，是衡量平板质量的重要指标。在国外一些平板标准中，已把这一指标列入平板质量的考核项目。如英国平板标准 BS 817:1972 对平板刚度就有这样的规定：当一个集中载荷加在平板中心时，平板的挠度不应大于 0.001 毫米/200 牛顿。刚度的这一允差，适用于 400×250 毫米和大于该尺寸的 AA 级和 A 级平板。并且对刚度的测量方法也作了介绍，如图 3 所示，利用横梁比较仪对平板进行加载实验，加载重量与平板大小成适当比例，在一般情况下，平板受载后的挠度，不应大于不平度公差值的一半；平板的中间受载面积，约为 $\phi 120 \sim 300$ 毫米的圆周范围内，小尺寸平板受载面积取小值；平板在加载和卸载状态下指示表读数之差，就是该平板受载时的挠度。根据平板的刚度要求，该标准还推荐有平板典型尺寸(表 7)，并指出按这些尺寸制作的 AA 级和 A 级铸铁平板，只要加上适当的筋，就能满足标准提出的刚度要求。



a

A—横梁；B—载重支架（与横梁无联系）；C—荷重，
D—横梁支座（可调式）；F—测微计



b

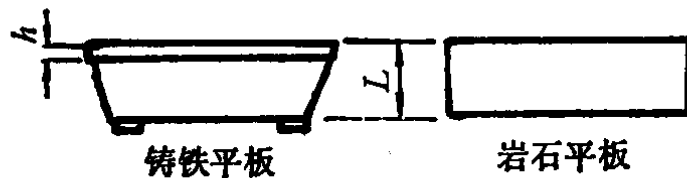
A—横梁；B—载重支架（与横梁无联系）；
E—横梁偏置支座（稳定和调节支座用）；F—测微计

图 3

英国平板典型尺寸

表 7

平板尺寸 毫米	铸铁平板顶面厚度 h 毫米		总高 L , 毫米	
	AA级和A级	B级	AA级和A级	B级
160×100	12	12	50	40
250×160	12	12	63	50
400×250	16	16	82	63
630×400	16	16	112	82
1000×630	20	20	160	125
400×400	16	16	100	75
630×630	19	19	128	100



原标准说明：表上未列出三种大规格平板的典型尺寸，部分原因是现有数据不充分，另外是因为这些大平板是5点支承，它们的尺寸，没有必要按小尺寸平板的同样比例增加。

苏联平板标准 ГОСТ 10905—64 对平板刚度也作了规定：集中载荷加在平板工作表面的任一处时，平板的挠度不应超过表 8 所列数值。载荷的作用面积，等于平板工作面积的五分之一。

西德平板标准 DIN876 虽然没有规定考核平板刚度的指标，但是，它根据对平板的刚度要求，规定了铸铁平板和岩石平板的详细尺寸，见表 9。

苏联平板允许挠度 表 8

平板尺寸 毫米	负 荷 公斤力	允许挠度 微米
250×250	20	1
400×400	20	1
630×400	40	2
1000×630	100	4
1600×1000	250	10
2500×1600	500	20
4000×1600	800	50

西 德 平 板 尺 寸

表 9

$a \times b$	表面积 cm^2 $\approx$	c		e min	h	s	加强筋组 格的大小 $m \times n$ (见图4)	重 量	
		新的	使用后 min					铸铁平板 (比重:7.25 kg/dm^3) 公斤/件	岩石平板 (比重:2.8 kg/dm^3) 公斤/件
100 × 100	100	9	6	50	25	5	80 × 80	1.5	1.4
160 × 100	160	9	6	50	25	5	70 × 70	2.1	2.2
160 × 160	250	9	6	50	25	5	64 × 64	3.1	3.5
250 × 160	400	12	8	50	40	5	73 × 64	6.8	5
250 × 250	630	15	10	50	40	8	100 × 100	12	9
400 × 250	1000	15	10	50	50	8	117 × 100	19	14
400 × 400	1600	18	12	70	50	8	107 × 107	32	31
630 × 400	2500	18	12	70	80	9	137 × 107	61	49
630 × 630	4000	21	14	70	80	9	126 × 126	105	78
1000 × 630	6300	24	16	100	125	12	175 × 126	235	176
1000 × 1000	10000	30	20	100	160	15	200 × 200	440	280
1600 × 1000	16000	30	20	160	200	18	280 × 200	845	717
2000 × 1000	20000	36	24	200	250	18	300 × 200	1350	1120
2500 × 1600	40000	—	—	250	—	—	—	—	2800

铸铁平板

