

# Ni002 因瓦水准标尺模板的研制\*

邢思明<sup>①</sup> 宋建桥<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>武汉测绘科技大学光学仪器系; <sup>②</sup>武汉测绘科技大学开发总公司, 武汉市珞瑜路 39 号, 430070)

**摘要** 本文详细地叙述和分析了 Ni002 因瓦水准标尺模板研制的整个过程, 包括冲孔模的研制, 模板的冲裁, 模板及标尺全分划刻划误差的检验, 并由此推算出喷漆复制精度和模板的精度。文中, 特别指出了冲孔模冲头间距误差正负号的排列对标尺检验结果的影响, 并在实践中得到了验证。

**关键词** 因瓦水准标尺; 标尺模板; 标尺分划; 刻划精度; 复制精度

**分类号** TH711.2 P204

## 0 前言

两年前, 笔者为某测绘仪器厂研制了一根 Ni002 因瓦水准标尺模板。标尺模板是用来喷漆复制 Ni002 因瓦水准标尺的, 是标尺生产环节中最重要技术设备。在为该厂提供该模板之前, 国内尚无厂家可以生产用于一等水准测量的因瓦水准标尺。模板简图见图 1。模板材料为 0.2mm 厚的因瓦钢。Ni002 水准标尺全分划刻划误差  $\Delta l$  指标按公式

$$\Delta l = \pm (0.02 + 2L \times 10^{-5}) \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

给定, 所以相应的模板误差  $\Delta l'$  定为

$$\Delta l' = \pm (0.01 + 0.7L \times 10^{-5}) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

式中  $L$  为被测长度(任意二孔或二条刻划之间的中心距)。同时要求模板孔形规则, 所有孔端平齐, 二排孔的间隔(6mm)在全模板上一致, 模板带中心线与二排孔的对称中心一致。可以看出, 模板的各种精度要求很高, 特别是孔与孔之间的位置精度要求极高。因此要加工出合格的模板, 必须同时解决两个问题: 一是要有一副高精度的冲孔模, 使在模板上逐次冲出的 1200 个矩形孔的尺寸精度、形状精度和位置精度都满足要求; 二是每次冲孔时的进给量(步距)要精确, 使前后相邻两个步距间形成的那个孔距满足要求, 同时每次的进给方向要严格一致, 使前一个步距中冲出的二排孔的对称中心线与后一个步距中两排孔中心线同在同一条直线上, 且与模板带的中心线重合。为此, 本研制重点在于标尺模板研制中有关工艺设计、模板制作和检验等技术问题。

## 1 冲孔模研制

由于模板的孔距误差即位置公差要求极高,  $\Delta l'$  比一般概念中精密冲模冲出的孔距公差所能达到的最高精度还要高出 2~3 个等级。所以为了使每个步距中冲出的孔距合格, 就必须在模具的设计、加工、装配等方面作精心的安排。

收稿日期: 1992-12-24. 邢思明, 男, 46 岁, 副教授, 现从事机械制造工艺的研究。

\* 扬州测绘仪器厂科研基金资助项目。

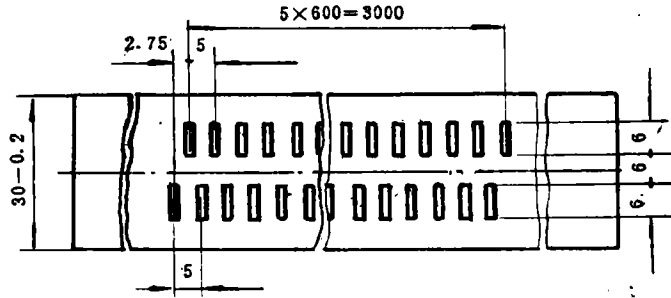


图 1 标尺模板示意图

1.1 误差分配

冲模步距定为 30mm。6 组冲头, 冲头间距误差  $\delta_1 \sim \delta_5 = \pm 0.005\text{mm}$ , 步距累积误差  $\delta = \pm 0.005\text{mm}$ , 尺寸链封闭环也应控制。步距之间形成的第六个间距的误差  $\delta_6 = -\delta$  (体现在冲制的模板上的实际误差是  $\delta'_6$ ,  $\delta'_6$  并不等于  $-\delta$ , 因为还存在一个导柱导套配合间隙引起的误差影响)。根据笔者经验, 这类模具对低强度薄板材进行冲孔时, 若模具导向件间隙在  $8 \sim 10\mu\text{m}$  以内, 则孔距误差  $\delta'_6 = \text{凸模相应的间距误差 } \delta_6 \pm (3 \sim 4)\mu\text{m}$ 。因此各项误差按上述分配, 就可以保证每个步距中的孔距和步距与步距间形成的孔距合格, 见图 2(a)。

1.2 制模材料与工艺

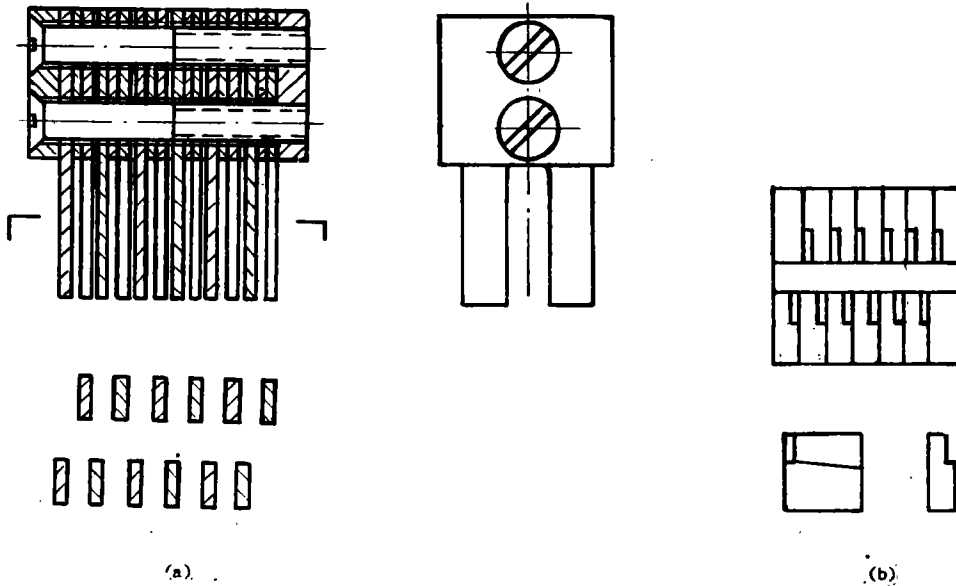


图 2 凹、凸模结构

凸模、凹模采用全镶拼结构, 材料选用  $\text{Cr}_{12}\text{MoV}$ 。凸模分为 1.5mm 厚的冲头 12 片、1.25mm 厚的隔片 6 片和 0.75mm 厚的隔片 5 片, 凹模分为 15 片, 见图 2(a)、(b)。凸模镶片加工完后先组装, 并测得  $\delta_1 \sim \delta_5$  和  $\delta$ 。若  $\delta$  为正, 则调整冲头间距误差  $\delta_1 \sim \delta_5$  的正负相间排列如图 3(a), 此时  $\delta'_6 (= -\delta)$  为负; 若  $\delta$  为负, 则如图 3(b) 排列, 此时  $\delta'_6 (= -\delta)$  为正。这样做不但可以控制冲制

成的模板的误差在短距离内的过量累积,而且使复制成的标尺的偶然中误差变小,这是因为各点残差变小之故。上述这种分析可以从成品尺经双频激光干涉仪全分划检测的结果得到证实(见表3)。再看图6中的误差(当然这里还含有复制误差)分布情况,图6(b)中各点相对于线性回归后的模拟直线的分布情况明显优于图6(a)中的误差分布。这无疑是模具的实际冲头间距误差 $\delta_i$ 与 $\delta_i$ 同为负, $\delta_i$ 与 $\delta_i(=\delta^2)$ 同为正,以致于模板上的那排孔也出现同样的情况所造成的,见表1和表2。

调整并组装好的凸模用低熔点合金浇固于凸模固定板。由于低熔点合金具有热缩冷胀的特性,所以浇固后 $\delta$ 将变少。若 $\delta$ 减少太多,可提高冲模使用时的环境温度来部分地补偿(本副模具温度每提高 $10^\circ\text{C}$ , $\delta$ 可增大 $3\sim 4\mu\text{m}$ )。

1.3 采用卸料板导柱导套

因为冲头的刚性差,所以冲孔时可能产生弯曲,因此必须加卸料板导柱导套。卸料板孔与冲头的配合间隙必须小而均匀,使冲孔时前者能为后者正确导向。

1.4 组装中用低熔点合金固定

上、下模间的导套和卸料板导套都用低熔点合金浇注固定,以保证工作行程内导向间隙均匀,运动件不被卡死。卸料板孔必须为冲头正确导向,故用低熔点合金直接以组装调整好的冲头为型芯浇铸出。凸模和凹模在固定板中的固定也用低熔点合金来完成,而不能以传统的过盈配合来实现。所有零件的定位不用定位销,而是先分别钻好孔,再浇低熔点合金以替代销的作用,这样就不会发生那怕是微小的错位。

1.5 上、下模的对准

凸模冲头和凹模刃口之间的冲孔间隙非常小,所以先在凹模型腔的刃口部分和冲头上涂上干性油脂,然后将冲头刃口轻轻滑入凹模,使上、下模对准。

1.6 装配顺序

不按常规方法组装,而是以“凸模调整组装—凸模浇固于凸模固定板—以冲头为型芯浇出卸料板孔—压入卸料板导柱—凸模固定板浇固于上模座—浇固卸料板导套于上模座—凹模浇固于凹模固定板—凹模固定板浇固于下模座—压入导柱—凸、凹模刃口对准—浇固导套于上模座”的顺序进行。

模具装配后,在万能工具显微镜上实测凸模冲头间距误差如表1(10次平均值),括号内的为 $\delta_6(=-\delta)$ 。

从实测结果可以看出,下排有一对冲头间距误差符号与设计相反,此问题虽在凸模组装时就已发现,但由于冲头略有变形而无法调整,以致冲出的模板上的这对孔距误差符号也与设计相反。

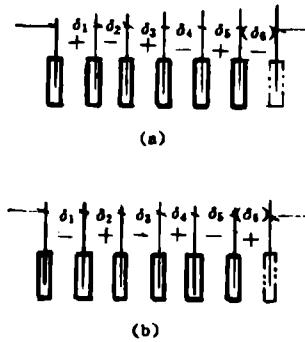


图3 凸模冲头间距误差正负相间排列法

表1 冲头间距误差实测值(单位:  $\mu\text{m}$ )

$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$ ( $\delta_6$ )
$\delta_7$	$\delta_8$	$\delta_9$	$\delta_{10}$	$\delta_{11}$	$\delta_{12}$
$\delta_1$	-1.7	$\delta_7$	-3.8		
$\delta_2$	+3.0	$\delta_8$	+1.2		
$\delta_3$	-3.6	$\delta_9$	-2.6		
$\delta_4$	+1.0	$\delta_{10}$	-1.9		
$\delta_5$	-4.3	$\delta_{11}$	+0.7		
$\delta_6$	+5.6	$\delta_{12}$	+6.4		

## 2 冲制模板

由于无专用设备, 所以用 1m 长刻线机分段冲出孔形。

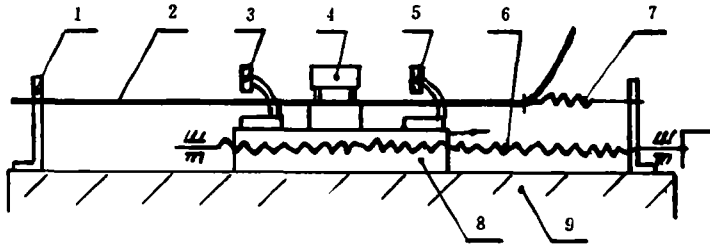


图4 模板冲制示意图

1 夹具 2 模板带 3 后显微镜 4 冲孔模 5 前显微镜 6 丝杆 7 弹簧 8 工作台 9 机架

先在模板带上划一条基线, 基线一定要直。模具安装在长刻线机工作台上。模板带装夹在机架上, 一端刚性固定, 另一端串接一弹簧并加拉力 2kg 后固定, 所以这端实际上是可以游动的。模板带高度与凹模刃口持平, 基线与机床导轨平行, 凹模二排刃口的对称中心线与模板带中心线一致。用丝杆的转动使工作台与模具一起相对于模板带移动, 移动量(步距)以丝杆螺距和转动周数来确定, 见图 4。在工作台上, 装有前、后二台 100× 的显微镜。前镜监视基线, 使每次冲孔时基线在显微镜中的位置不变(若变了, 则必须调整模板带后才可冲孔), 以控制孔端平齐及二排孔的对称中心线与模板带的中心线一致; 后镜监视一个孔的二条互相垂直的边和基线, 以检查靠人工转动丝杆提供的进给量是否正确及基线的实际偏移量。图 5(a)、(b) 分别为后镜和前镜视场。模板带装夹一次实际最大冲孔距离为 900mm, 所以要接头三次, 每次接头时须重新安装模板带, 并仔细调整二端的夹具, 使前后显微镜中的状态分别与接头前的严格一致。

## 3 检验结果与讨论

### 3.1 模板自检

凸模用低熔点合金浇固于凸模固定板后,  $\delta = -7\mu\text{m}$  ( $t = 17^\circ\text{C}$ )。冲模板时 ( $t = 25^\circ\text{C}$ ) 温度补偿使  $\delta$  增大约  $3\mu\text{m}$ , 实际步距比设计的小  $2.25\mu\text{m}$ , 因此  $\delta = -2\mu\text{m}$  左右, 即  $\delta_0 = 2\mu\text{m}$  左右。冲

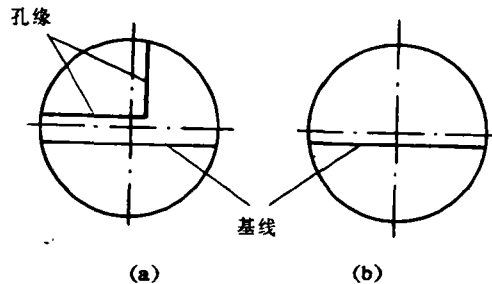


图5 监视显微镜视场

孔后模板上的  $\delta_0$  应当在  $2 \pm (3 \sim 4)\mu\text{m}$  范围内, 但在万能工具显微镜上实测模板全长内二排孔上共 202 个  $\delta_0$  的变化范围在  $+17 \sim -22\mu\text{m}$ , 超出  $\pm 6\mu\text{m}$  的共 17 个点位。对这 17 个点位都进行了改正, 使其都在  $\pm 5\mu\text{m}$  以内, 同时还保证了设计的基辅差数值。表 2 列出了模板头、中、尾部各 10 个步距共 30 个数据平均后的  $\delta_1 \sim \delta_6$  ( $\delta_6 = -\delta$ ), 可以看出由冲孔模造成的其中一排孔(即后来喷漆复制成的标尺基本分划)的误差符号排列不符合设计要求。

表2 冲孔自检精度(单位:  $\mu\text{m}$ )

分划名称	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$
基本分划	-2.7	+1.8	-3.4	-2.9	+1.7	+6.3
辅助分划	-1.4	+4.1	-4.3	+0.4	-2.1	+3.1

在无拉力的情况下,模板累积误差-300μm,这可以通过喷漆时给模板和尺带坯、装配时给尺带所加拉力的大小来补偿,所以可以较方便地使标尺的系统误差调整为零,即

$$\Delta S = \Delta l_{\text{模板}} + \Delta l_{\text{尺带}} - \Delta l_{\text{尺带坯}} - 0.3 \approx 0 \tag{3}$$

式中,  $\Delta l = PL/EF$ ;  $P$  所加的拉力(kg);  $L$ , 尺长, 3000mm;  $E$ , 因瓦带的弹性模量(15500kg/mm<sup>2</sup>);  $F$ , 受力件的截面积(mm<sup>2</sup>)。

需要注意的是,由于模板上有矩形孔,所以受拉时会产生应力集中,实际伸长量将大于用上述公式的计算值。

由于影响  $\delta_0$  的工艺因素很多,且其影响是随机的,所以  $\delta_0$  的离散性较大。其中最主要的影响因素是工作台上冲模相对于模板带的移动量即步距不能直接得知,而是由丝杆的转动周数推算;其次是模具导向件的间隙偏大。其它如丝杆螺距误差、模板带自重引起的挠度、丝杆转动周数的照准误差、工作台移动时的滞后或爬行、丝杆和螺母不清洁、孔缘毛刺不均引起模板带与凹模之间的摩擦力不均等对  $\delta_0$  也有或多或少的影

### 3.2 Ni002 因瓦水准标尺的测试结果

某厂用该模板喷漆复制了三副标尺,经国家地震局第二测量大队尺长检定室用双频激光干涉仪进行全分划检测(采用光电显微镜自动瞄准标尺刻划线,计算机自动处理测量数据并打印结果),其六排分划刻线的偶然中误差  $m = \pm 5.4 \sim \pm 7.6 \mu\text{m}$ ,见表 3。由此可见,以偶然中误差来评判,标尺精度是很好的(蔡司厂同类标尺的偶然中误差为  $\pm 10 \mu\text{m}$  左右)。图 6(a)、(b)画出了其中一副标尺(编号为 2 号)的基本分划( $m = \pm 6.9 \mu\text{m}$ )和辅助分划( $m = \pm 5.5 \mu\text{m}$ )的误差分布情况。从图中可以看出,偶然误差的情况是相当理想的。至于过大的系统误差(120μm 左右),可按式(3)重新调整喷漆复制时模板和尺带坯装配时尺带的拉力来消除(拉力的允许变化范围是:模板 2~7kg,尺带坯 5~20kg,尺带 7.5~12.5kg)。国内测绘界专家、教授鉴定意见认为,由此模板复制成的 Ni002 因瓦水准标尺,其误差曲线理想,偶然误差小。该尺模不但填补了国内生产的空白,而且其精度优于国外同类产品,完全可以用于生产高精度因瓦水准标尺。

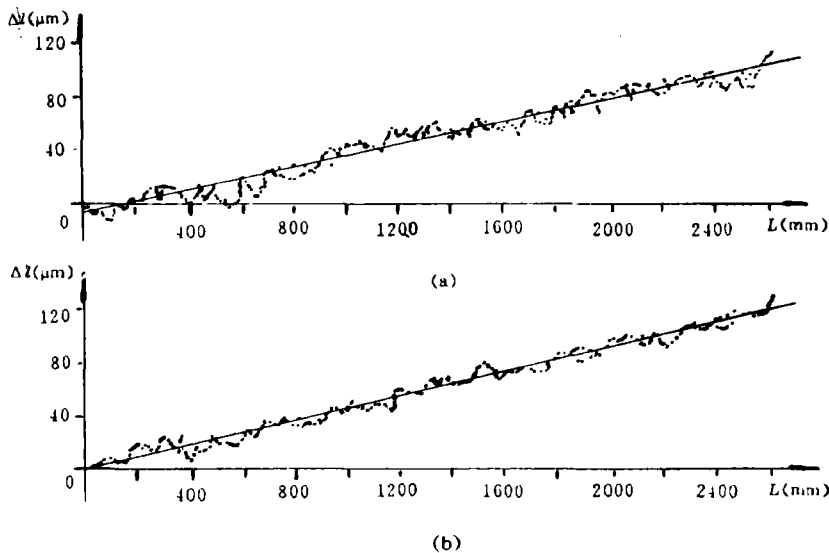


图 6 标尺全分划检测结果

### 3.3 由标尺分划刻划精度推算出的模板精度

水准标尺分划刻划精度主要决定于模板精度和喷漆复制精度。因标尺用双频激光干涉仪

进行全分划检测,其检测误差较小,故连同其它因素都忽略不计。喷漆复制精度可按不同尺相应分划刻划间隔的测定值之差计算而得,并根据采样数足够大时偶然误差的代数和为零的法则,剔除系统误差的影响。以 1、2 号标尺为例,其基本分划刻划距零分划刻划的距离为  $L_1^i$ 、 $L_2^i$  (1、2 号标尺上的相应点就是模板上的同一点),根据双频激光干涉仪自动检测打印的结果,得到两尺基本分划对应的刻划间隔长度之差的和为  $V_0$ 。

$$\sum_{i=1}^{520} V_i = \sum_{i=1}^{520} (L_1^i - L_2^i) = 3539.3 \mu\text{m} \neq 0$$

这说明 1、2 号尺喷漆复制时存在系统误差,必须给予消除。消除系统误差后对应的刻划间隔长度之差应为  $V_1$ 。

$$V_1 = V_0 - \frac{\sum V_i}{520}$$

所以 1、2 号标尺基本分划刻划每个间隔长度的复制精度

$$m_{\text{基}}^{-2} = \pm \sqrt{\frac{V_0 \cdot V_1}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{20217.77}{2 \times 520}} = \pm 4.4 \mu\text{m}$$

同样可计算得 1、2 号标尺辅助分划刻划每个间隔长度的复制精度  $m_{\text{辅}}^{-2} = \pm \sqrt{\frac{13206.01}{2 \times 520}} = \pm 3.6 \mu\text{m}$ 。所以模板的精度  $m_{\text{模}} = \pm \sqrt{m_{\text{基}}^2 - m_{\text{辅}}^2}$ ,其基本分划刻划的偶然中误差为  $\pm 5.3 \sim \pm 6.2 \mu\text{m}$ ,辅助分划刻划的偶然中误差为  $\pm 4.1 \sim \pm 4.2 \mu\text{m}$ 。由于复制误差是按不同尺相应分划刻划间隔的测定值之差为依据来计算的,未考虑相关性较强这个因素,又未计入检测误差,所以求得的复制误差偏小,故认为模板的偶然中误差  $m_{\text{模基}} = \pm 5 \mu\text{m}$ 、 $m_{\text{模辅}} = \pm 4 \mu\text{m}$  是比较令人信服的。

### 参考文献

1. 毛英泰. 误差理论与精度分析. 北京:国防工业出版社,1982.
2. 彭长清. 误差与回归. 北京:兵器工业出版社,1991.

## The Developing of Matrix Band in Ni002 Invariable Levelling Staff

Xing Siming<sup>①</sup> Song Jianqiao<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>Dept. of Optical Instrumentation, WTUSM, Luoyu Road 39, Wuhan, China, 430070)

(<sup>②</sup>Science and Technology Developing Corporation, WTUSM, Luoyu Road 39, Wuhan, China, 430070)

**Abstract** The whole preceed in which Ni002 invariable levelling staff's matrix hand is researched and manufactured is recounted and analysed in detail in this article. It includes designing and making die with which the rectangle holes can be made, making holes at the matrix band with the mould, inspecting results of error of levelling staff's carving marks that made of matrix band though copy with spraying lacquer, also worked out the error of copy and matrix using this result. Meanwhile, it is specially pointed that the rank method of positive and negative marks of interval deviation of the mould working parts which can be used to make holes infects the testing results of the levelling staff, and it had been verified in practice.

**Key words** invariable levelling staff ;matrix band ;staff' s carving marks accuracy ;copying accuracy

---

## 测绘科大《学报》、《科技》、《译文》三刊 1994年征订征稿启事

为了扩大“三刊”的社会影响,加强校内外测绘科技的交流和沟通,便于广大教学科研工作者及时将自己的成果公之于世,“三刊”将适当增加外稿的刊发量,以满足广大校友及测绘同仁的心愿。欢迎订阅和赐稿。

《武汉测绘科技大学学报》以测绘为主、多种学科兼顾的学术理论性刊物,国内外公开发行,主要刊登有关测量、遥感、制图、印刷、计算机、无线电、工民建、地籍管理及光学、电子仪器等专业的学术论文和科研报告。

《武测科技》以应用为主的技术性刊物,国内外公开发行,主要刊登工程测量、摄影测量、遥感、大地测量、地籍测量、地图制图、印刷、光学及电子测绘仪器、计算机、工民建等我校各专业的科研阶段性成果、科技文章、综述、评论、国内外测绘科技动态及发展趋势等文章。

《武测译文》国内公开发行的刊物,以测绘教学、科研、生产为服务对象,主要介绍国外相关专业的科技论文,主要内容有摄影测量、遥感、工程测量、大地测量、地籍测量、地图制图、印刷等专业的最新理论、方法、动态等,亦适当涉及有关测绘学科的电子测绘仪器、计算机、工民建、光学、印刷等方面的内容。

上述三刊均为季刊,每季末出版。为能使读者及时订购到我校三刊,不致误订、漏订,请不要错过我们正在进行的1994年的征订。本编辑部备有征订单,未收到订单而又需订阅的单位和个人请直接与我校学报编辑部何正国同志联系(邮政编码:430070)。

**欢迎赐稿,欢迎订阅。**

武汉测绘科技大学学报编辑部