

# 电梯曳引机承重梁监检初探

聂靖

(湖南省特种设备检验检测研究院娄底分院 湖南 娄底 417000)

**摘要:** 本文针对某型电梯的监督检验案例, 通过对其曳引机承重梁刚度不足的缺陷进行了力学模型构建、载荷分析, 在查阅大量中外电梯资料的基础上, 并结合对多台电梯挠度检测结果的统计分析, 提出了对曳引机承重梁刚度进行监检的实用方法。

**关键词:** 承重梁; 监检; 许用挠度; 刚度; 方法

## 0 引言

曳引机承重梁是电梯产品中的一个构件, 主要承托着曳引机、轿厢、载重、对重、电缆、钢丝绳等整台电梯的重量, 以及电梯加减速运行、紧急制动等过程中的冲击。在电梯的监督检验和定期检验规则中, 对该项目的检验内容及要求较少, 检验人员对其的关注度也较少。

本文通过介绍实际监检中亲身经历的案例, 系统分析讨论了曳引机承重梁的受力状况, 并由此提出了对承重梁进行监督检验的建议。

## 1 案例基本情况

某工地安装有两家不同制造厂生产的同载重量的无机房载货电梯各一台, 电梯基本参数为额定载质量  $n=3200\text{kg}$ , 空载轿厢质量  $P=2950\text{kg}$ , 对重质量  $W=4422\text{kg}$ , 额定速度  $v=1.0\text{m/s}$ , 平衡系数  $\phi=0.46$ , 曳引包角  $\alpha=180^\circ$ , 曳引方式为  $4:1$ , 悬挂绳 (曳引绳) 根数  $n_1=8$ , 悬挂绳 (曳引绳) 单位长度质量  $q_1=0.339\text{kg/m}$ , 曳引机型号为 MCK300-1600-2.0A, 自重  $480\text{kg}$ , 随行电缆根数  $n_2=1$  根, 随行电缆单位长度质量  $q_2=0.74\text{kg/m}$ , 提升高度  $H=18\text{m}$ , 顶层高度  $H_1=9\text{m}$ , 轿厢尺寸为  $2000\text{mm}\times 2800\text{mm}\times 2320\text{mm}$  (宽  $\times$  深  $\times$  高), 钢丝绳规格为  $8\times 19\text{S}-10\text{-IWRC}$ 。整梯安装于  $3500\text{mm}$  宽、 $3400\text{mm}$  深的电梯井道中, 井道总体布置如图 1 所示。

曳引机承重梁一厂家采用  $300\times 200\times 8\text{-GB/T6728-2017/Q235-GB700-88}$  冷弯矩形空心型钢制造; 另一厂家采用 25a 型 ( $250\times 116\times 8\text{-GB706-1988/Q235-GB700-88}$ ) 热轧工字钢制造。

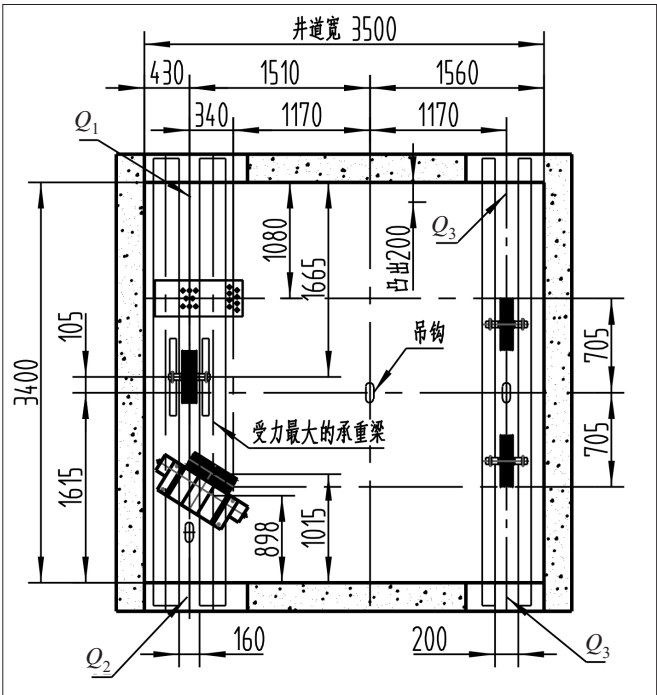


图 1 井道总体布置图

该型梯在安装完工后分别进行的运行试验及轿厢限速器-安全钳试验中, 出现以下情况: 采用冷弯矩形空心型钢制造的曳引机承重梁在做空载、满载运行试验时, 承重梁在空载时出现用肉眼观察不明显的微量弯曲, 满载时, 承重梁有肉眼可见的弯曲, 在轿厢限速器-安全钳试验时, 承重梁有明显的弯曲; 采用 25a 型工字钢制造的曳引机承重梁在做空载、满载运行试验时, 承重梁在空载时有肉眼可见的微量弯曲, 在满载时, 承重梁有肉眼可见的弯曲及明显抖动, 在轿厢限速器-安全钳试验时, 承重梁有明显的弯曲且出现明显的剧烈抖动, 存在严重安全隐患。

## 2 对曳引机承重梁的要求

对于曳引机承重梁, GB/T 10060-1993《电梯安装验收规范》中有如下具体要求: 曳引机承重梁如需埋入承重墙内, 则支承长度应超过墙厚中心 20mm, 且不应小于 75mm。

在朱昌明等<sup>[1]</sup>编著的《电梯与自动扶梯——原理、结构、安装、测试》一书中对曳引机承重梁有如下安装要求: “对于砖墙、梁下应垫以能承受其载荷的钢筋混凝土梁或金属梁。多根承重梁安装后上水平面水平度不应大于 0.5/1000, 承重梁上平面相互间高度差不大于 0.5mm 且相互间平行度不得大于 6mm。”

对承重梁的强度、刚度的要求鲜见报道, 基于此, 针对上述电梯缺陷, 有必要对其强度、刚度进行计算分析。

## 3 曳引机承重梁承载力的验算

由图 1 可知, 曳引机承重梁由两根组成, 两根承重梁所受的总载荷主要由主机自重力  $Q_1$ 、轿厢侧钢丝绳的拉力  $Q_2$ 、对重侧钢丝绳的拉力  $Q_3$  三部分组成。其中:

主机自重力  $Q_1$ :

$$Q_1 = 480 \times 9.81 = 4708.8 \text{ (N)} \quad (1)$$

当轿厢装载 125% 的额定载货量时, 轿厢侧钢

绳的拉力  $Q_2$  为最大:

$$Q_2 = k_2 \left[ \frac{P+Q}{i} + n_2 q_2 (H+H_1) \right] g_n = 1.2 \times \left[ \frac{2950 + 125\% \times 3200}{4} + 8 \times 0.339 \times (18+9) \right] \times 9.81 = 21315.84 \text{ (N)} \quad (2)$$

式中:  $k_2$ —动载系数, 取 1.2;

$i$ —曳引比, 取 4。

对重侧钢丝绳的拉力  $Q_3$ :

$$Q_3 = k_2 \left( \frac{W + n_3 q_3 H}{i} + n_2 q_2 H_1 \right) = 1.2 \times \left( \frac{4422 + 2 \times 5.45 \times 18}{4} + 8 \times 0.339 \times 9 \right) \times 9.81 = 13018.45 \text{ (N)} \quad (3)$$

上述计算的三部分载荷分别由两根曳引机承重梁承担。依据图 1 中两承重梁的安装位置关系可知, 由于两承重梁并不是对称安放、均匀分担载荷, 其中最靠近曳引机处的承重梁受力最大 (参见图 1 标注), 现选择受力最大的一根承重梁计算其强度。考虑到曳引机安装间距较小, 载荷作用位置较为集中, 可接受单点集中力作用的简支梁来考虑, 其受力学模型如图 2 所示。图 2 中, 各参数如下:  $a=898\text{mm}$ ;  $b=1015\text{mm}$ ;  $c=1665\text{mm}$ ;  $d=1080\text{mm}$ ;  $L=3400\text{mm}$ 。

该承重梁所受的力主要由主机自重施加在承重梁上的力  $F_1$ 、曳引机施加在承重梁上的力  $F_2$ 、导向轮

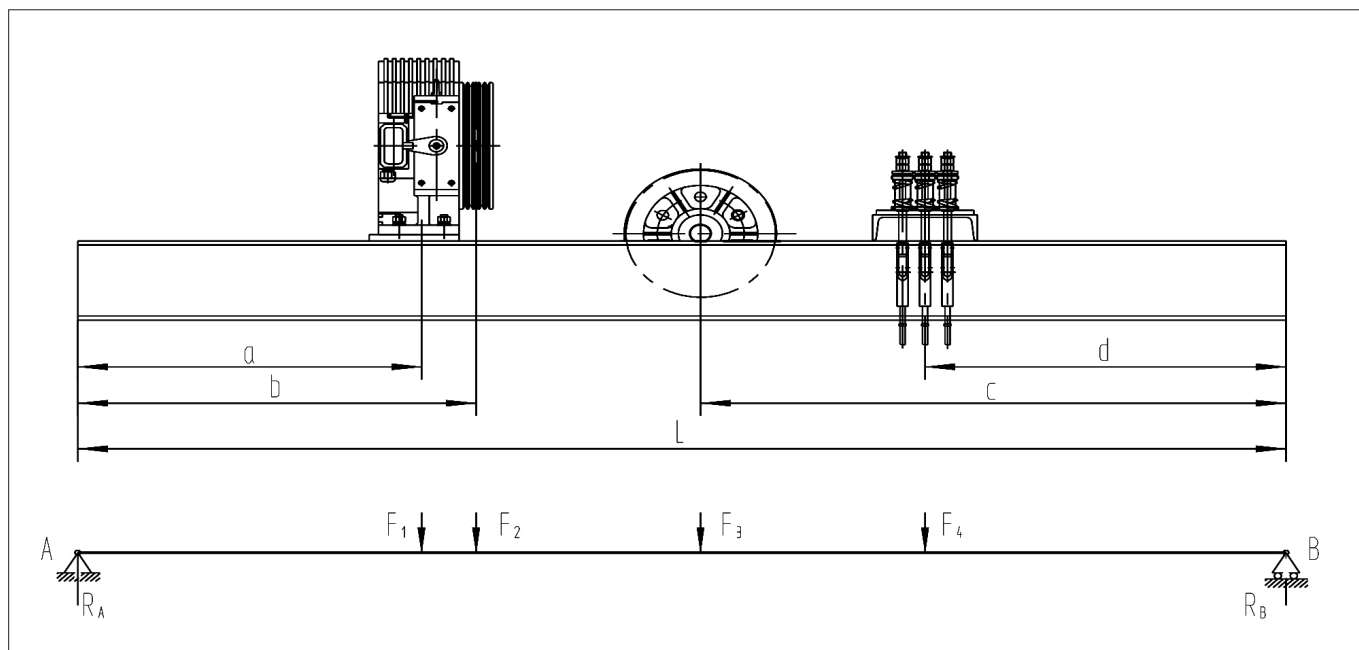


图 2 曳引机承重梁的受力学模型

施加在承重梁上的力  $F_3$ 、绳头组合施加在承重梁上的力  $F_4$  四部分组成。

主机自重施加在承重梁上的力  $F_1$  可依据图 1 中两承重梁的安装位置关系建立力学模型 (图 3) 进行计算。

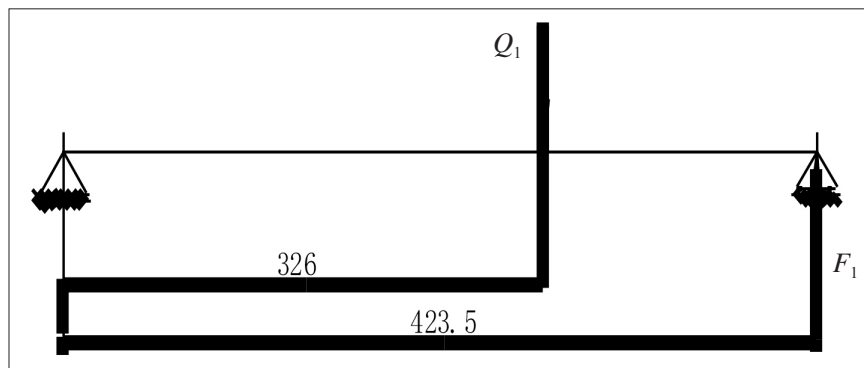


图 3  $F_1$  计算的力学模型

$$F_1 = \frac{Q_1 \times 326}{423.5} = \frac{4708.8 \times 326}{423.5} = 3624.72 \text{ (N)} \quad (4)$$

同理，曳引机施加在承重梁上的力  $F_2$ 、导向轮施加在承重梁上的力  $F_3$ 、绳头组合施加在承重梁上的力  $F_4$  也可依据图 1 中两承重梁的安装位置关系分别建立各自的力学模型进行计算，计算结果如下：

$$F_2 = 37318.30 \text{ (N)} \quad (5)$$

$$F_3 = 13018.45 \text{ (N)} \quad (6)$$

$$F_4 = 37289.30 \text{ (N)} \quad (7)$$

#### 4 曳引机承重梁的强度计算

显然，承重梁的强度应在轿厢装载额定载质量的工况下进行校核。依据曳引机承重梁的受力学模型，承重梁支反力  $R_B$  为：

$$R_B = \frac{F_1 a + F_2 b + F_3 (L - c) + F_4 (L - d)}{L} \\ = \frac{3624.72 \times 898 + 37318.30 \times 1015 + 13018.45 \times (3400 - 1665) + 37289.30 \times (3400 - 1080)}{3400} = 55153.10 \text{ (N)} \quad (8)$$

承重梁支反力  $R_A$  为：

$$R_A = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - R_B = 3624.72 + 37318.30 + 13018.45 + 37289.30 - 55153.10 = 36097.67 \text{ (N)} \quad (9)$$

梁承受的最大弯矩发生在  $F_3$  作用点。

$$M_{F_2} = R_B c - F_4 (c - d) \\ = 55153.10 \times 1665 - 37289.30 \times (1665 - 1080) = 70015671 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \quad (10)$$

对于曳引机承重梁采用  $300 \times 200 \times 8$ -GB/T6728-2017/Q195 -GB700-88 冷弯矩形空心型钢，其截面特性为截面惯性矩  $I = 9.389 \times 10^7 \text{ mm}^4$ ；抗弯模量  $W = 6.26 \times 10^5 \text{ mm}^3$ ；许用应力  $[\sigma] = 130 \text{ MPa}$ 。

因此，可求得该曳引机承重梁所受的弯曲应力  $\sigma$ ：

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{70015671}{626000} = 111.85 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 130 \text{ MPa} \quad (11)$$

故主机承重梁强度满足要求。

对于曳引机承重梁采用 25a 型 ( $250 \times 116 \times 8$ -GB706-1988/Q235-GB700-88) 热轧工字钢，其截面特性为截面惯性矩  $I = 5.02 \times 10^7 \text{ mm}^4$ ；抗弯模量  $W = 4.02 \times 10^5 \text{ mm}^3$ 。

同理，可计算出 25a 型工字钢曳引机承重梁所受的弯曲应力  $\sigma = 174.2 \text{ MPa} \geq [\sigma] = 130 \text{ MPa}$ ，故主机承重梁强度不满足要求。

若曳引机承重梁采用 32a 型 ( $320 \times 130 \times 9.5$ -GB706-1988/Q235-GB700-88) 热轧工字钢，其截面特性为截面惯性矩  $I = 1.11 \times 10^8 \text{ mm}^4$ ；抗弯模量  $W = 6.92 \times 10^5 \text{ mm}^3$ 。

同样，可计算出 32a 型工字钢曳引机承重梁所受的弯曲应力  $\sigma = 101.2 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 130 \text{ MPa}$ ，故主机承重梁强度满足要求。

#### 5 曳引机承重梁的挠度计算

根据曳引机承重梁的受力学模型，曳引机承重梁按简支梁计算，梁的中心位置近似为挠度最大处，其最大挠度可按公式 (12) 计算<sup>[2]</sup>：

$$f_{\max} = \frac{F_1 a(3L^2 - 4a^2) + F_2 b(3L^2 - 4b^2) + F_3 c(3L^2 - 4c^2) + F_4 d(3L^2 - 4d^2)}{48EI} \quad (12)$$

式中： $E$ —承重梁材料的弹性模量， $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

当轿厢装载 125% 的额定载货量时，矩形钢承重梁的挠度最大：

$$\begin{aligned}
 f_{\max} &= \frac{F_1 a(3L^2 - 4a^2) + F_2 b(3L^2 - 4b^2) + F_3 c(3L^2 - 4c^2) + F_4 d(3L^2 - 4d^2)}{48EI} \\
 &= \frac{3624.72 \times 898 \times (3 \times 3400^2 - 4 \times 898^2) + 37318.30 \times 1015 \times (3 \times 3400^2 - 4 \times 1015^2)}{48 \times 2.06 \times 10^5 \times 93890000} \\
 &\quad + \frac{13018.45 \times 1665 \times (3 \times 3400^2 - 4 \times 1665^2) + 37289.30 \times 1080 \times (3 \times 3400^2 - 4 \times 1080^2)}{48 \times 2.06 \times 10^5 \times 93890000} \\
 &= 3.21(\text{mm})
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

同理,当轿厢装载125%的额定载货量时,可计算出25a型工字钢曳引机承重梁的最大挠度 $f_{\max}=6.0\text{mm}$ 、32a型工字钢曳引机承重梁的最大挠度 $f_{\max}=2.72\text{mm}$ 。

## 6 曳引机承重梁的监检结果分析

根据上述计算,从强度方面来看,曳引机承重梁不管采用 $300 \times 200 \times 8\text{-GB/T6728-2017/Q195-GB700-88}$ 冷弯矩形空心型钢,还是采用32a型工字钢都是满足要求的,仅25a型工字钢不满足要求。但由于电梯曳引机承重梁许用挠度的选取目前没有相应的标准可供参考,因此对各类型钢制成的曳引机承重梁的挠度是否符合要求,不易得出结论。

许用挠度的选取,要根据具体情况而定,要考虑载荷与应力计算的准确程度,材料性质的均匀性和构件的工作条件等在主观估量和客观实际间存在的差异,还要保证构件有必要的强度储备,以防构件在出现偶遇的不利工作条件下发生破坏,但也不可一味加大安全系数。

对于电梯曳引机承重梁许用挠度 $[f]$ 的选取,若参照机械设计手册中一般用途的轴进行选取,则其许用挠度 $[f]$ 可按 $(0.0003 \sim 0.0005)L$  ( $L$ 为两支座间的距离)计算,对应于 $L=3400\text{mm}$ 的电梯曳引机承重梁,其许用挠度 $[f]$ 为 $1.02 \sim 1.7\text{mm}$ ;若参照机械设计手册中刚度要求较高轴进行选取,其许用挠度可按 $0.0002L$ 计算,则此处电梯的许用挠度 $[f]$ 为 $0.68\text{mm}$ 。照此标准对照各类型钢的承重梁进行检验,则可判定其均不合格,且相差甚远。由此可见,在电梯曳引机承重梁上直接套用机械制造的许用挠度要求,这显然过于苛刻,也是不合适的,极易造成资源的浪费。

通过查阅国外电梯曳引机承重梁方面的设计资料,查得,英国标准BS5655-6《电梯选型安装实用规程》中许用挠度按 $L/1500$ 进行计算,则此处电梯

的许用挠度 $[f]$ 为 $2.27\text{mm}$ 。照此标准对照各类型钢的承重梁挠度进行检验,虽然也不合格,但相差不多,由此可见,该许用挠度的选取总体还是合理的,但可能偏严了一些。

为探索出符合我国国情的许用挠度数值,对辖区内稳定运行多年的电梯曳引机承重梁挠度进行了检测,经过统计、分析汇总后发现:曳引机承重梁许用挠度大致集中在 $(1/1500 \sim 1/1000)L$ 范围内,按此原则可判断该梯许用挠度 $[f]$ 为 $2.27 \sim 3.40\text{mm}$ 。照此标准对照各类型钢的承重梁挠度进行检验,可判断,冷弯矩形空心型钢制成的曳引机承重梁挠度为 $3.21\text{mm} < 3.4\text{mm}$ ,其刚度符合要求;而25a型热轧工字钢制成的曳引机承重梁挠度为 $6.0\text{mm} > 3.4\text{mm}$ ,其刚度不符合要求。

## 7 曳引机承重梁刚度不足解决方法

为更好地解决该梯承重梁刚度不足的问题,同时也为后续电梯相关项目的监督检验积累经验,主动与电梯制造厂家的技术部门取得了联系,并将查阅的资料及探索出的许用挠度取值与电梯制造厂家技术部门进行了沟通、交流<sup>[3]</sup>。

经电梯制造厂家技术人员的进一步论证及对更大范围内电梯挠度的测试分析,同时咨询了有关单位的同行及专家,电梯制造厂家最终认可了提出的许用挠度按 $(1/1500 \sim 1/1000)L$ 取值的方法。

按上述分析,制造厂家通过计算后,将该梯曳引机承重梁更换承重梁为32a型( $320 \times 130 \times 9.5\text{-GB706-1988/Q235-GB700-88}$ )热轧工字钢。更换后,再次运行电梯进行了各种试验,曳引机承重梁挠度得到较大改善,剧烈抖动故障消失,电梯运行舒适性得到较大提高。

## 8 结语

通过上述电梯曳引机承重梁刚度不足的成功解决案例,并结合在本次监督检验中所做的大量工作,可以得到以下一些建议,供同行参考。

(1) 按照提出的简支梁受单点集中力作用(或两点集中力作用)的力学模型计算承重梁的受力和选取承重梁的型钢规格型号是可行的,而且也比较方便。

(2) 在曳引机承重梁监检过程中, 承重梁的安放应满足 GB/T 10060-1993《电梯安装验收规范》中“曳引机承重梁如需埋入承重墙内, 则支承长度应超过墙厚中心 20mm, 且不应小于 75mm。”的具体要求。

(3) 在执行 TSG/T 7001-2009《电梯监督检验及定期检验规则——曳引与强制驱动电梯》中所涉及的各项试验时, 不仅要满足各项试验在 TSG/T 7001-2009 中要求的结果, 还应密切关注曳引机承重梁挠度的变化量, 在进行的各项试验中, 曳引机承重梁挠度的变化量均应满足  $(1/1500 \sim 1/1000)L$  的要求。

(4) 建议国标及检规中增加曳引机承重梁挠度的

具体要求。

### 参考文献:

- [1] 朱昌明, 洪致育, 张惠侨. 电梯与自动扶梯—原理、设计、安装、测试 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1995: 42-43.
- [2] 刘鸿文. 材料力学 [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2019: 91-93.
- [3] 王旭, 赵君麟. 电梯对重系统反绳轮与其框架上板刚蹭案例的原因分析 [J]. 中国电梯, 2022, 33(19): 55-58+62.

作者简介: 聂靖 (1979.09-), 男, 汉族, 湖南娄底人, 本科, 工程师, 研究方向: 特种设备安全。

## 严正声明

近期, 本刊编辑部收到作者反映, 一些不法分子盗用我刊名义, 自建非法网站或钓鱼网页 (<http://www.zgjxzz.cn>, <http://mach-china.toug.com.cn> 等), 或以《中国机械》杂志社编辑部“编辑”“责任编辑”等名义, 向广大作者征收稿件, 并收取所谓的“版面费”、“审稿费”等, 严重侵犯、影响了我刊声誉和广大作者的权益。在此, 我刊严正声明如下:

1. 《中国机械》杂志社于 1982 年创刊, 是国家新闻出版署批准登记的国家级机械工程类学术期刊 (旬刊), 目前尚未创建独立的“官方网站”, 浏览本刊电子版需从中国工业新闻网 (<http://www.cinn.cn>) 下方链接进入, 链接地址 [http://www.cinn.cn/zgjxzz/index\\_348.shtml](http://www.cinn.cn/zgjxzz/index_348.shtml), 或通过万方数据知识服务平台 (<https://www.wanfangdata.com.cn/>) 的官方网页搜索本刊进行查询, 链接地址 <https://sns.wanfangdata.com.cn/perio/zgjx> 查询全文;

2. 《中国机械》杂志为旬刊, 请广大作者认准, 凡标记“半月刊”“月刊”的网络征稿平台, 均为非法网站, 欢迎联系本刊编辑部进行举报;

3. 《中国机械》杂志社唯一投稿邮箱: [jxzzs@cinn.cn](mailto:jxzzs@cinn.cn);

4. 《中国机械》杂志社《录用通知书》加盖“中国机械编辑部”公章, 凡加盖“《中国机械》杂志社编辑部”或使用已作废公章 (防伪码为 1101081749266 的总编室公章、防伪码为 1101081491290 的原编辑部公章), 均为假冒录用通知书;

5. 《中国机械》杂志社从未委托任何机构、网站或个人代理本刊的组稿、审稿等相关事宜, 编辑部一直严格遵守“三审三校”规定, 追求杂志整体质量的提升, 将期刊的社会效益放在首位, 对于盗用《中国机械》杂志社名义发布虚假信息、实施非法征稿等行为, 本刊将依法追究其法律责任;

6. 本刊编辑部唯一联系电话: 010-67410664。

敬请广大作者和读者注意辨别, 提高警惕, 谨防上当!

《中国机械》杂志社  
2023 年 2 月