

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 16. 009

## 极端旱情下的城市应急取水设计思考

杨志峰, 赵加斌

(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 取水工程的安全是整个城市供水保障的前提。以湖南省中西部某城市为例,以应急取水为目标,结合现状取水特点,系统分析极端旱情下影响该城市取水的关键因素,并以“快速响应、安全经济、移动便捷、灵活调节”为设计原则,将原水重力自流改为压力输送,在借鉴浮船取水的基础上,创新性地设计由移动取水浮箱(浮筒+取水泵)、软管及浅埋于河床上的进水管组成的应急取水系统,形成快速应急取水能力,改善取水泵房的取水条件。同时针对应急取水系统运行中的液位控制和溢流控制进行分析,满足安全可靠的取水需求,全面保障城市供水的基础生命线,增强城市安全韧性。

**关键词:** 取水工程; 极端旱情; 应急取水; 压力输送; 移动取水浮箱

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)16-0060-06

## Considerations for Urban Emergency Water Intake Design under Extreme Drought Condition

YANG Zhi-feng, ZHAO Jia-bin

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The safety of water intake projects is a prerequisite for ensuring the stable and reliable water supply of the entire city. This paper systematically analyzed the key factors affecting water intake under extreme drought condition of a city in the central and western region of Hunan Province, with emergency water intake as the primary objective. Based on current water intake characteristics and guided by the design principles of rapid response, safety and economy, convenient and fast, flexibility and adaptability, the approach of converting gravity flow into pressurized transportation was adopted. Building upon the concept of floating boat water intake, an innovative emergency water intake system was developed, consisting of a mobile water intake floating tank (float and water intake pump), hoses, and shallowly embedded riverbed pipelines. This system enabled the establishment of rapid emergency water intake capacity and significantly improved the water intake conditions within the pumping station. Simultaneously, the liquid level control and overflow management during the operation of the emergency water intake system were examined to ensure safe and reliable water intake. This analysis comprehensively supported the fundamental urban water supply infrastructure, enhanced the city's safety and resilience.

基金项目: 上海市科委“科技创新行动计划”项目(22dz1209103)

通信作者: 杨志峰 E-mail: yangzhifeng@smedi.com

**Key words:** water intake project; extreme drought condition; emergency water intake; pressurized transportation; mobile water intake floating tank

作为整个供水系统的起端,取水工程是城市安全、可靠供水的前提。根据《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)、《城市给水工程项目规范》(GB 55026—2022)等规定,当取水水源为地表水时,设计枯水流量年保证率与设计枯水位保证率不应低于90%。在实际工程设计过程中,综合考虑供水重要程度、河道建设管理、工程造价投资、施工难易程度等一系列因素,设计枯水位保证率大多取95%~97%。由于设计枯水位往往基于历史水文观测数据进行推算而确定,对于短期内出现的极端旱情,特别是当水源水位下降至设计枯水位以下时,以江河、湖泊为水源的取水工程将普遍面临无法取水的困境<sup>[1]</sup>。

2022年9月,我国中西部地区突发极端旱情。其中湖南全省99.5%的面积出现中度气象干旱,96%的面积出现中度水文干旱,湖南省应急管理厅启动Ⅲ级自然灾害救助应急响应,气象局启动气象灾害(干旱)Ⅳ级应急响应,多处地区已出现水源的取水水位低于城市设计枯水位的状况。一旦城市取水中断,后果不堪设想。

以湖南省中西部某城市水厂为例,针对极端旱情,以应急取水为目标,通过设置移动取水装置,实现取水泵房内原水的压力输送,并通过对运行液位与溢流设施的控制,切实保障城市安全可靠的取水需求以及城市供水的基础生命线,增强城市安全韧性,以期供类似应急取水工程参考。

## 1 项目背景

某城市位于湖南省中西部,城区南部主要由一座总规划规模 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、近期供水规模 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂负责供水,采用“混凝-沉淀-过滤-消毒”的常规处理工艺。取水工程采用菱形的箱式取水头部,并通过两根DN1 600管道实现原水自流至取水泵房。取水泵房为圆形,位于河床岸边,内部包括吸水井室和增压泵房两部分,其中吸水井室分为两格进水前池,中间通过阀门进行连通;增压泵房采用卧式离心泵将进水前池内的原水输送至现状水厂。现状取水工程总体布置见图1,现状取水头部与取水泵房断面布置见图2。

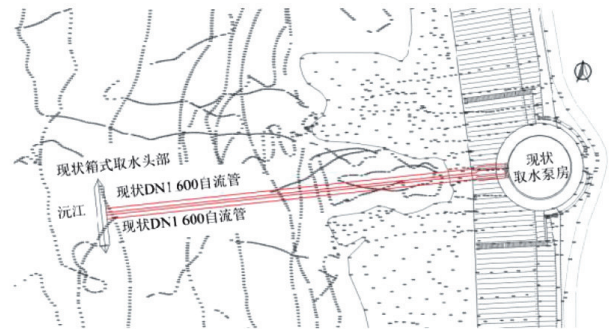
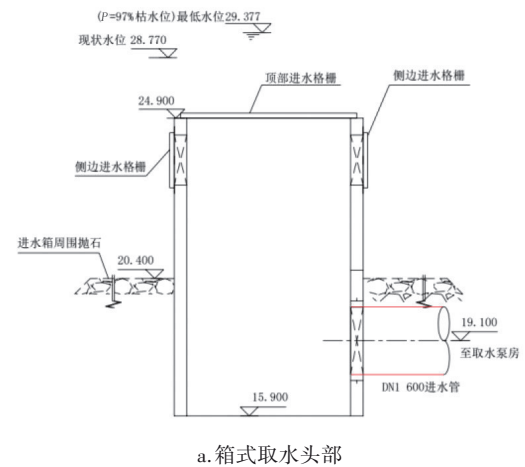
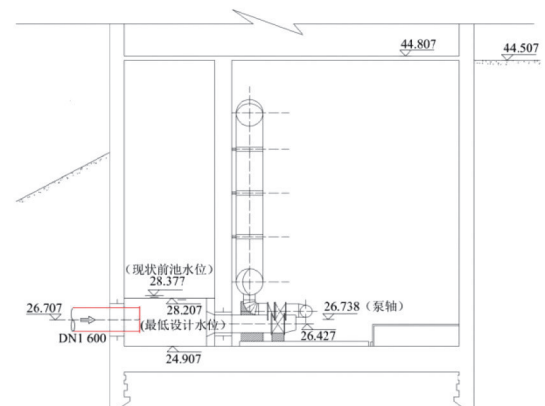


图1 现状取水工程总体布置

Fig.1 General layout of the current water intake project



a. 箱式取水头部



b. 取水泵房

图2 现状取水头部与取水泵房断面布置

Fig.2 Cross-section layout of the current water intake head and pumping station

现状水厂取水水源来自沅江,取水设计枯水位为29.377 m(设计枯水位保证率为97%,吴淞高程,下同)。随着干旱态势持续发展,至2022年10月,

沅江水位已降至28.770 m,低于现状水厂取水设计枯水位约0.6 m,且该水位是上游水库加强泄流能力基础上才得以保证的。随着沅江进入真正的枯水期(11月一次年2月)以及上游水库泄流量的减少,沅江水位将存在继续下降的巨大风险,因此,保证现状水厂的取水安全至关重要。

## 2 系统分析

以江河、湖泊为水源的取水系统在面对突发旱情时,存在取水困境,主要原因如下:

① 干旱导致江河、湖泊水位下降至设计枯水位以下,取水设备的运行安全受到严重威胁。主要表现为取水口进水条件变差,易堵塞或进水量下降;取水泵吸水条件不满足设备运行条件,设备故障率增大或无法启用。

② 取水头部至取水泵房之间大多采用重力自流管,即使取水头部处仍有一定的水位高度,能满足进水要求,但取水过程中原水自流管存在水头损失,也将导致原水无法自流至取水泵房或无法满足取水泵房的取水要求。

③ 现状取水头部大多数位于河床岸边,远离河道中心。随着旱情的发展,水位持续降低,江河、湖泊水流将发生“河槽归流”现象,逐渐收缩至河道中心(河道深槽)。当水源水位继续降至可取水以下时,取水工程将无法取水。

针对该城市出现的极端旱情,对其取水系统进行分析可知:

① 现状沅江水位为28.770 m,高于箱式取水头部格栅(24.900 m)3.870 m,可满足取水头部安全进水。

② 箱式取水头部与取水泵房之间设置两根DN1 600原水自流管,按照 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的取水需求,两者间的水头损失约0.393 m,即取水泵房前池水位比取水头部处低0.393 m。

③ 现状取水离心泵吸水喇叭口中心标高26.427 m,采用DN1 200×DN1 500的水平喇叭口,考虑到喇叭口周边已用混凝土浇筑,吸水喇叭口上沿需满足1.0 m淹没深度,即满足喇叭口吸水条件的最低水位为28.177 m。

④ 现状取水离心泵以自灌启动,其泵轴标高为26.738 m,泵壳顶标高为27.300 m,当前池水位高于27.300 m时,可满足水泵的自灌启动要求。

因此,现状沅江水位(28.770 m)虽与取水头部处仍具有一定的水位高差,但已接近原水自流至取水泵房后离心泵正常运行要求的临界值( $28.177 \text{ m} + 0.393 \text{ m} = 28.570 \text{ m} < 28.770 \text{ m}$ )。若沅江水位进一步降低,将会出现取水离心泵振动、气蚀甚至本体结构破坏的情况。一旦沅江水位低于27.693 m(即前池水位低于27.300 m),离心泵将可能出现无法正常启动与运行的情况。

综上所述,该城市目前主要面临的困境为原水自流至取水泵房后,水位无法满足取水设备安全运行的要求,如何快速有效地改善取水泵房的取水条件是解决问题的关键。针对城市应急取水的困境,常用的方法包括:①采用新水源,建设城市第二水源或备用水源;②设置挡水坝,抬高河道水位,改善取水条件;③改变原重力自流的输送方式,采用压力输送。3种方案的对比如表1所示。

表1 方案对比

Tab.1 Comparison of the schemes

项目	优点	缺点
方案一	备用水源的水质好,水量充足;可根本性解决沅江极端旱情取水问题	工程建设周期长,短时间内无法形成快速取水能力;工程投资巨大,约20亿元;输水距离约60 km,沿途存在各种复杂障碍物,工程建设难度较大
方案二	保留并充分发挥现状取水头部与取水泵房的功能	工程量较大,投资较高,约1.0亿元;挡水坝的实施将会影响河道的航运功能;对沅江下游城市的生活取水和农田灌溉造成巨大影响
方案三	整体投资较低;调节灵活,在一定范围内可满足不同水位条件下的取水要求	需在汛期前拆除取水浮船,保证汛期取水安全

对于方案一,目前该城市暂未完成第二水源或备用水源工程的建设,无法在短时间内形成快速取水能力,且该方案的建设投资巨大;而方案二通过在河道下游设置挡水坝来抬高水位,也存在工程量较大、投资较高的问题,还会影响河道的航运及下游城市的取水和灌溉;对于方案三,浮船取水可在短时间内形成取水能力,并实现随水位上下浮动取水的灵活调节能力,整体投资也较低<sup>[2]</sup>。因此,按照“快速响应、安全经济”原则,针对此次取水困境的关键——改善取水泵房的取水条件,选择方案三来解决取水难题。

然而,浮船生产与设备采购仍需一定时间,而对于应急工况,在最短时间内保障正常供水至关重要<sup>[3]</sup>。通过分析浮船取水的特点,为在最短时间内形成供水能力并进一步降低投资,采用以下措施:①优化取水设施。采用“浮筒+取水泵”的移动取水浮箱这种简易形式代替取水浮船。②组合式拼装,实现灵活调节。浮筒与取水泵均为市场上可现购设备,在单个“浮筒+取水泵”固定取水规格的基础上,采取多个拼装组合的形式灵活实现不同取水量的要求。③临时性和永久性功能相结合。进入取水泵房前池的输水管道采用浅埋于河床上的钢管的永久性布置形式,而临时性的移动取水浮箱可与钢管通过高压软管(每根软管为10m的固定规格,软管之间可相互连接)两端的法兰进行连接,便于灵活组装和拆卸。

该优化方案可实现快速响应取水需求的目的,“浮筒+取水泵”的组合式拼装便捷。同时,该方案不仅可以实现随沅江水位变化浮动取水,而且取水浮箱与原水进水管之间的软管长度可以灵活调节,大大提高该应急取水方案的适用性和灵活性。此外,工程投资可控制在1000万元之内,整体达到“快速响应、安全经济、移动便捷、灵活调节”的目标。

### 3 方案设计

该应急取水方案针对极端旱情下取水头部及取水泵房面临的问题,改变原重力自流的输送方式,采用压力输送;针对浮船取水周期长、投资高的问题,采用“浮筒+取水泵”的移动取水浮箱、取水高压软管以及浅埋于河床上的原水进水管组合系统,将沅江原水压力输送至现状取水泵房,快速经济地实现应急取水的目标。应急取水系统如图3所示。

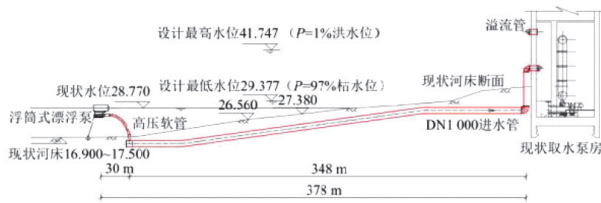


图3 应急取水系统设计示意

Fig.3 Schematic of the emergency water intake system

#### 3.1 移动取水浮箱

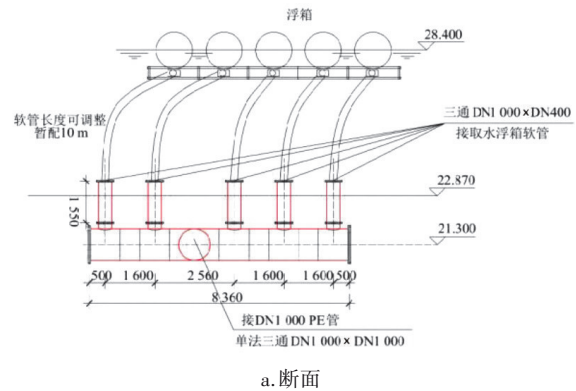
新建移动取水浮箱1座,设计规模 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,由中吸式潜水轴流泵、止回阀、蝶阀、软管和浮筒通

过螺栓与钢制支架组合安装而成,并在移动取水浮箱四周设置船锚进行固定。该取水浮箱含浮筒5个,4用1备,单个浮筒设置潜水轴流泵1台, $Q=1\ 718 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=14 \text{ m}$ ( $1 \text{ m}=10 \text{ kPa}$ ,下同),轴流泵出水端设置止回阀和蝶阀。高压软管与埋设于河床上的原水进水管通过法兰连接。

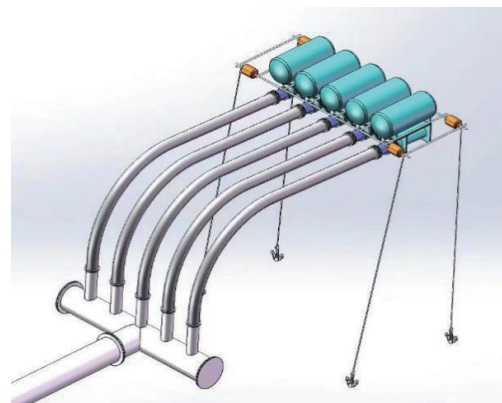
其中,库备潜水轴流泵1台、10m标准段的软管6根,便于取水浮箱灵活调整取水点位置,从而更好地适应不同水位的取水情况。

#### 3.2 原水进水管

新建原水进水管,包括进水母管、河床浅埋管和前池进水管3部分:①新建进水母管1根,包括DN1000×DN400三通5个,主要用于与潜水轴流泵出水高压软管进行连接;②新建DN1000的进水管1根,长约130m,浅埋于沅江河床上;③新建前池进水管2根,即原水进水管在进入取水泵房前分为2根DN800的管道,分别进入2格取水泵房前池,实现潜水轴流泵压力输送沅江原水至现状泵房前池。移动取水浮箱与原水进水管的连接见图4。



a. 断面



b. 三维透视

图4 移动取水浮箱与原水进水管连接示意

Fig.4 Schematic of the connection of mobile water intake floating tanks and raw water inlet pipelines

### 3.3 配电系统

在现状取水泵房附近设置1台箱式变电站(箱变),箱变内安装容量为630 kV·A的变压器1台,变压器电压等级为10 kV变0.4 kV。为快速响应应急需求,箱变采用向供电部门租赁的形式。

该应急取水改造中新增的潜水轴流泵均由新增箱变负责配电,其中新增5台潜水轴流泵的水泵控制柜,设于取水泵房内。潜水轴流泵控制柜防护等级IP41,面板材质为不锈钢,带透明观察窗。

电缆敷设的要求如下:①室外电缆直接埋地敷设;②室内电缆沿现状泵房内电缆通道敷设;③潜水轴流泵的配电及控制电缆采用水下电缆,并在河道内采用“浮筒固定、水面漂浮”的形式敷设,以便于后期拆除与重复利用。

### 3.4 结构处理

考虑管道抗浮要求,原水进水管上方的最小覆土厚度取1.20 m。管道下方设置200 mm厚碎石垫层,管道两侧及管顶上方300 mm采用 $d < 10$  mm的碎石回填,其余部分采用 $d \geq 40$  mm的块石回填。在原水进水管与高压软管连接处采用C30水下混凝土回填。

原水进水管上弯处设置支墩,支墩采用C30素混凝土浇筑,支墩下软弱土层(包括填土、淤泥质粉质黏土和软塑状粉质黏土等)应全部挖除,并采用碎石垫层换填,压实系数不小于0.95。

此外,在新建移动取水浮箱的上、下游20 m处设置围护护栏,避免船只、漂浮物等撞击,保障新建移动取水浮箱的运行安全。

### 3.5 取水泵房运行工况

#### 3.5.1 液位控制

为保证现状取水泵房离心泵的运行安全,考虑泵房前池容积按3 min的水泵取水量进行设计,泵房前池面积为82 m<sup>2</sup>,则要求水位高度为4.190 m。

现状吸水喇叭口要求最低淹没水位为28.177 m,则控制取水泵房前池最低水位为32.367 m,取32.500 m。

移动取水浮箱设计中每台水泵 $Q=1\ 718$  m<sup>3</sup>/h、 $H=14$  m,当总取水量为6 872 m<sup>3</sup>/h时,新建原水进水管的水头损失约6.250 m,针对现状沅江水位,完全可以满足液位控制为32.500 m的要求。

#### 3.5.2 溢流控制

现状取水泵房地面高度为44.807 m,高于现状

沅江水位约16.037 m。当前市场上可以选购的水泵设备的特性曲线如图5所示。

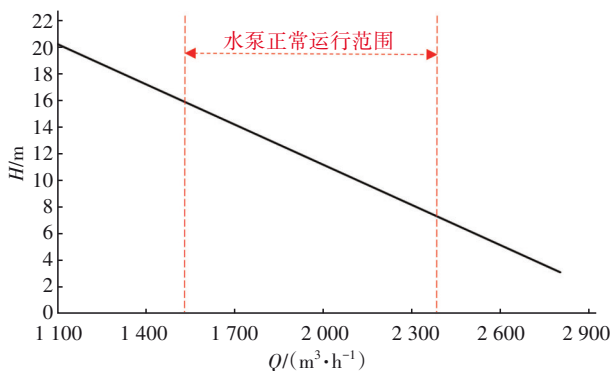


图5 潜水轴流泵的水泵特性曲线

Fig.5 Characteristic curve of submersible axial-flow pump

由图5可知,每台潜水轴流泵在正常运行工况下,其最高扬程 $H=16$  m,对应取水量 $Q=1\ 520$  m<sup>3</sup>/h。即只要在每台潜水轴流泵的正常运行范围,针对现状沅江水位,取水泵房就不会因泵房内离心泵停电或故障瘫痪等特殊情况而被压力输送的原水淹没。因此,该取水泵房的溢流控制主要为保证取水潜水轴流泵的正常安全运行。

在泵房前池设置DN1 000的溢流管2根,当每台潜水轴流泵为 $Q=1\ 520$  m<sup>3</sup>/h、 $H=16$  m时,溢流管的堰上高度约0.150 m,而原水管线输送时产生的水头损失约4.890 m,暂考虑沅江水位1~2 m的下降幅度,则取水泵房设置溢流管的管中心标高取值为37.700 m。

## 4 实施效果

由“浮筒+取水泵”的移动取水浮箱、高压软管及浅埋于河床上的管道组成的应急取水系统,在两周内完成建设,即在极短的时间内形成了有效的取水保障。应急取水系统实景见图6。

采用4台潜水轴流泵连续运行、1台作为备用的方案,整体运行效果良好,解决了当年11月一次年2月沅江水位持续下降造成的取水困境(沅江水位最低下降至28.300 m,较启动应急取水系统时降低0.470 m)。

新建应急取水系统可保障 $15 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d的取水能力,同时将取水泵房的前池水位稳定维持在34.00 m左右。随着泵房前池水位的抬升,又进一步降低了取水离心泵的取水扬程,节约了离心泵的运行能耗。该应急取水系统的实施,较好地保证了

取水泵房的取水安全以及整个城市的供水基础生命线。



图6 应急取水系统实景

Fig.6 Real-scene of the emergency water intake system

## 5 结语

面对极端旱情,快速响应且安全经济地形成应急取水能力是重中之重。通过分析论证发现,对于大部分城市而言,取水头部至取水泵房之间重力自流的取水条件往往是极端旱情下制约整个取水系统运行的关键。因此,以应急取水为目标,改变原水重力自流的方式,而采用压力输送原水,在借鉴浮船取水原理的基础上,创新性地设计由移动取水浮箱(浮筒+取水泵)、高压软管及浅埋于河床上的管道组成的应急取水系统,快速形成应急取水能力,安全经济,移动便捷,灵活调节,全面保障安全可靠的取水需求。

此外,作为极端旱情下的临时性措施,应急取水与现状取水头部、原水自流管线以及取水泵房等固定性、永久性的取水系统具有密不可分的关系,需同步注意:①随着沉江水位的降低,在启动潜水轴流泵压力输送原水的同时,需做好现状原水自流管的封堵工作;②当汛期来临时,需拆除一体化的取水浮箱装置与控制电缆等,一方面可避免其对航道产生影响,另一方面也能够避免水位上涨带来的水流冲击对取水浮箱装置本身的破坏,同时需对泵房溢流管进行闷板封堵;③应急取水主要发挥应急

性补给与保障的作用,正常情况下仍应以现状固定式取水系统为主;④供水作为基础城市生命线,为从根源上解决应急取水问题,应尽快开展备用水源或第二水源的建设,全面保障供水需求,增强城市安全韧性。

## 参考文献:

- [1] 柯帅,丁兵,渠庚. 枯水情势对长江中下游取水工程运行影响及对策研究[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(9): 25-30.  
KE Shuai, DING Bing, QU Geng. Research on the impact and countermeasures of low water conditions on the operation of water extraction projects in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(9): 25-30 (in Chinese).
- [2] 沈丽妍. 浮船取水在宽城引水工程中的应用[J]. 水科学与工程, 2023(3): 54-56.  
SHEN Liyan. Application of float water intake in Kuancheng diversion project [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2023(3):54-56(in Chinese).
- [3] 吴昊. 长江中下游沿江城市集中水源地水安全保障与应急研究:以南京市为例[D]. 南京: 南京大学, 2019: 6-7.  
WU Hao. Study on Water Security and Emergency Response of Urban Concentrated Water Sources along the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River: A Case Study of Nanjing City [D]. Nanjing: Nanjing University, 2019: 6-7(in Chinese).

作者简介:杨志峰(1976- ),男,湖北黄冈人,硕士,高级工程师,主要从事市政给水、海水淡化、特种水处理的工程设计与研究工作。

E-mail: yangzhifeng@smedi.com

收稿日期:2025-02-06

修回日期:2025-03-05

(编辑:沈靖怡)