

卧龙水库溃坝风险分析及应急处置研究

游振州, 果利娟, 陈明霞, 王 刚, 张钟鸣

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘 要: 为保障卧龙水库下游人民群众生命财产安全, 提升水库突发事件应急处置能力, 以溧水区卧龙水库为研究对象, 在阐述水库工程概况的基础上, 系统分析了可能导致水库重大险情及溃坝的主要因素, 采用经验公式法进行溃坝洪水计算, 明确了溃坝洪水特征及下游影响范围, 并据此制定了针对性的人员转移与安置方案。研究表明, 超标准洪水是卧龙水库溃坝的首要风险因素, 校核洪水水位下溃口宽度达 107 m, 最大溃口流量为 3 056 m³/s, 溃坝洪水将影响下游 50.01 km² 范围的 85 个村庄及 2.5 万人口; 所制定的分区域、分时段人员转移方案可有效保障受灾群众安全撤离。研究结果为卧龙水库安全运行及应急管理提供了科学依据。

关键词: 卧龙水库; 溃坝分析; 洪水演进; 人员转移; 风险管控

中图分类号: TV698.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)07-0308-05

Study on Risk Analysis and Emergency Response of Wolong Reservoir Dam Failure

YOU Zhenzhou, GUO Lijuan, CHEN Mingxia, WANG Gang, ZHANG Zhongming

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: To ensure the safety of people's lives and property downstream of Wolong Reservoir and improve the emergency response capability for sudden incidents of the reservoir, taking the Wolong Reservoir in Lishui District as the research object, and on the basis of expounding the general situation of the reservoir project, the main factors that may lead to major dangerous situations and dam failure of the reservoir are systematically analyzed. The empirical formula method is used to calculate the dam-break flood, and clarify the characteristics of the dam-break flood and the downstream impact scope. Based on this, the targeted personnel transfer and resettlement plans are formulated. The research results show that the excessive flood is the primary risk factor for the dam failure of the Wolong Reservoir. The width of the breach at the flood level is verified to be 107 m. The maximum breach flow rate is 3056m³/s. And the dam-break flood will affect 85 villages and 25,000 people in the downstream area of 50.01km². The formulated regional and phased personnel transfer plan can effectively ensure the safe evacuation of affected people. The research result provides a scientific basis for the safe operation and emergency management of Wolong Reservoir.

Keywords: Wolong Reservoir; dam failure analysis; flood routing; personnel transfer; risk control

0 引 言

水库作为水利工程体系的重要组成部分,在防洪、灌溉、供水等方面发挥着不可替代的作用,但同时也存在着溃坝风险。据统计,我国现有各类水库约 9.5 万座,其中中小型水库占比超过 99%,且 80% 以上建于 1980 年以前^[1]。这些水库在长期运行过程中,受建设标准偏低、工程老化、极端天气事件频发等因素影响,溃坝风险不容忽视。一旦发生溃坝事故,将对下游区域造成毁灭性灾害,引发严重的人员

伤亡和经济损失^[2]。近年来,国内外极端暴雨事件频发,超标准洪水导致的漫坝险情时有发生,如 2021 年河南郑州“7·20”特大暴雨导致郭家咀水库漫坝过流 7.5 h,幸而未溃;内蒙古永安、新发 2 座水库因梯级防洪标准不协调发生连续溃决^[3]等。

卧龙水库作为溧水区重要的中型水库,承担着区域防洪调度和水资源供给的核心功能,其安全运行直接关系到下游东屏街道、开发区及众多群众的生命财产安全。

在极端天气事件频发,地震等地质灾害风险也客观存在的背景下,卧龙水库安全面临着严峻挑战。2022 年卧龙水库大坝安全鉴定为“一类坝”^[4],但在超标准洪水、强震等极端工况下,仍存在溃坝隐患。

收稿日期: 2016-01-21

作者简介: 游振州(1993—),男,硕士,工程师,从事水利规划设计工作。

因此,开展卧龙水库溃坝风险分析,精准计算溃坝洪水特征,制定科学可行的人员转移方案,对于完善水库应急管理体系、降低灾害损失具有重要的理论价值和意义。

本研究结合卧龙水库工程实际,首先系统分析可能导致溃坝的诱发因素及溃坝情景;然后采用经验公式法计算溃口宽度、坝址最大溃坝流量、下游沿程演进流量及洪水时间参数,进而评估溃坝灾害影响范围及损失;最后基于洪水到达时间差异制定分区域人员转移应急方案,以期为卧龙水库应急管理和下游防灾减灾提供科学依据和技术支撑。

1 研究工程概况

卧龙水库是溧水区 6 座中型水库之一,工程等级为三等,主要水工建筑设计级别为 3 级,承担着防洪、灌溉等重要任务。水库总库容 1 277 万 m³,其中兴利库容 759.52 万 m³,死库容 20 万 m³。设计防洪标准为 50 年一遇,校核标准为 1 000 年一遇^[5],设计泄洪闸泄量 41.2 m³/s,校核泄量 97.0 m³/s。工程区地震动峰值加速度 0.10g,抗震设防烈度Ⅶ度。

卧龙水库核心水工建筑物包括大坝、溢洪闸和输水灌溉涵洞,各建筑物参数如下:

大坝:为均质土坝,坝长 258 m,坝顶高程 23.2 m(吴淞高程),坝顶宽 5.5 m,最大坝高 12.00 m。

溢洪闸:位于大坝东端,设计流量 41.2 m³/s,校核流量 71.1 m³/s。

输水灌溉涵洞:位于大坝西端,涵底高程 13.10 m,设计流量 2.1 m³/s。

水库关键水位及库容参数见表 1。

表 1 水库特征表

特征参数	数值	特征参数	数值
死水位/m	13.55	死库容/万 m ³	20
汛限/兴利水位/m	18.5	兴利库容/万 m ³	760
设计洪水位/m	19.53	设计水位对应的库容/万 m ³	1 074
校核洪水位/m	20.15	总库容/万 m ³	1 277
坝顶高程 /m	23.2		

2 卧龙水库溃坝风险分析

2.1 重大工程险情诱发因素

结合卧龙水库 2022 年“一类坝”安全鉴定结果、历史运行情况 & 工程现状,可能导致水库出现重大险情的主要因素^[6]可归纳为超标准洪水、工程隐患、地震灾害 3 类。

2.1.1 超标准洪水

超标准洪水是指超过水库 50 年一遇设计标准或 1 000 年一遇校核标准的洪水,包括已发生和预报即将发生的情况。此类洪水会导致库水位急剧升高,使坝体长期处于高水位浸润状态,易引发散浸部位渗漏加剧、浸润线抬高等问题,进而诱发管涌、滑坡^[7]等险情,严重时直接导致漫顶溃坝。此外,若泄洪闸、输水涵洞等泄水建筑物闸门或启闭机在洪水中损坏,将丧失泄洪能力,进一步逼高库水位,加剧溃坝风险。

2.1.2 工程隐患

尽管水库大坝当前安全等级较高,但在长期运行过程中,坝体可能因不均匀沉降、干湿循环等因素产生贯穿性裂缝;坝基及坝肩若存在地质缺陷,可能在水压力作用下出现接触渗漏;穿坝建筑物与坝体结合部位若防渗处理失效,也会形成渗漏通道。这些工程隐患若未及时处置,库水将通过缺陷部位持续渗漏,逐步侵蚀坝体结构,最终导致溃坝事故。

2.1.3 地震灾害

工程区抗震设防烈度为Ⅶ度,若遭遇 7 度及以上地震,地震波将使坝体产生剧烈振动,可能导致坝体出现裂缝、位移等结构性损伤。同时,地震可能破坏坝基岩土体稳定性,引发坝体滑坡;对于输水涵洞等刚性建筑物,地震易造成结构开裂,进而诱发渗漏险情,最终导致溃坝。

2.2 险情危害程度及溃坝情景

根据险情诱发因素、发生部位,以及重大险情对工程安全的危害程度,卧龙水库可能出现的溃坝情景有 2 种:超标准洪水情景、地震灾害情景。

2.2.1 超标准洪水情景

(1)1 000 年及以上一遇洪水:库水位远超校核水位,易引发 4 种溃坝形式,分别为洪水漫坝导致的瞬时溃决、长期高水位引发管涌导致的局部溃决、高水位叠加强降雨引发坝体塌坡导致的溃决、穿坝建筑物渗漏破坏引发的溃坝^[8]。

(2)50~1 000 年一遇洪水:坝体易出现管涌、塌坡,穿坝建筑物可能发生接触渗漏,若处置不及时将导致溃坝;若抢险有效,洪水可通过泄水建筑物下泄,水库保持不溃坝状态,但需防范工程结构损伤。

2.2.2 地震灾害情景

正常蓄水位下遭遇 7 度及以上地震时,若地震强度较大,坝体易发生滑坡溃坝;若震级相对较低,水库不发生溃坝,但可能出现坝体裂缝、位移等结构性

损伤,需及时开展修复。

结合南京水利科学研究院2016年《大坝安全鉴定报告书》可得以下结论:卧龙水库在50~1 000年一遇洪水工况下坝址地质结构稳定,溃坝几率较低;在超标洪水下,漫溢是诱发溃坝的主要因素,溃坝形式以渗透性破坏为主。

3 风险水库溃坝洪水计算

3.1 计算内容与方法

为明确溃坝灾害影响范围及程度,本次溃坝洪水计算以校核洪水位为计算工况,核心内容包括溃口宽度、坝址最大溃坝流量、下游沿程演进流量、洪水到达及消退时间;计算方法采用水利工程领域成熟的经验公式^[9]。

3.1.1 溃口宽度计算

采用黄河水利委员会经验公式计算土石坝溃口宽度 $b(\text{m})$ ^[10]:

$$b = 0.1KW^{\frac{1}{4}}B^{\frac{1}{4}}H^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

式中: W 为水库总库容, m^3 ; B 为主坝坝顶长度, m ; H 为坝高, m ; K 为经验系数(统一取1.30)。

3.1.2 水库坝址处的溃坝流量计算

采用肖克列奇经验公式计算非刚性坝坝址最大流量 $Q_{\max}(\text{m}^3/\text{s})$ ^[11]:

$$Q_{\max} = \frac{8}{27} \sqrt{g} \left(\frac{B}{b} \right)^{\frac{1}{4}} b H_0^{\frac{3}{2}} \tag{2}$$

式中: H_0 为溃坝前上游水深, m ,为水库最大坝高 H 减去坝前淤深和校核水位与坝顶之间的距离; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 。

3.1.3 水库溃坝下游沿程演进流量计算^[12]

在溃坝坝址处最大流量向下游演进 $L \text{ m}$,此处控制断面的最大溃坝演进流量 $Q_L(\text{m}^3/\text{s})$ 可用下式估算:

$$Q_L = \frac{W}{\frac{W}{Q_{\max}} + \frac{L}{V_{\max} \cdot K}} \tag{3}$$

式中: W 为水库总库容, m^3 ; L 为控制断面与水库坝址之间的距离, m ; $V_{\max}$ 为特大洪水的最大流速(无资料时,山区统一取 4.0 m/s ,丘陵区取 2.5 m/s ,平原区取 1.5 m/s); K 为经验系数(山区统一取1.3,丘陵区取1.0,平原区取0.85)。

3.1.4 洪水时间参数计算

(1)洪水到达时间 $T_1(\text{s})$ ^[13]的计算式为:

$$T_1 = K_1 \frac{L^{1.75}(10 - h_0)^{1.3}}{W^{0.2}H^{0.35}} \tag{4}$$

式中: K_1 为系数,取 $(0.5 \sim 7.5) \times 10^{-4}$ 。

(2)洪峰到达时间 $T_2(\text{s})$ 的计算式为:

$$T_2 = K_2 \frac{L^{1.4}}{W^{0.2}H^{0.5}h_m^{0.25}} \tag{5}$$

式中: K_2 为系数,取 $0.8 \sim 2.0$; h_m 为最大流量时平均水深, m 。

(3)洪水消退时间 $T_3(\text{s})$ 的计算式为:

$$T_3 = \frac{2W}{Q_L} + T_1 \tag{6}$$

3.2 计算成果及灾害影响分析

3.2.1 核心计算成果

基于上述公式及水库参数,卧龙水库校核洪水位工况下溃坝计算成果见表2;遭遇超1 000年一遇洪水大坝漫顶溃决时,下游断面洪峰流量及出现时间见表3,下游洪水到达时间及对应的受影响村庄分布见表4。

表2 溧水区卧龙水库溃坝计算成果表

水库名称	溃口宽度/m	溃口最大流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	水库泄空时间/ min
卧龙水库	107	3 056	320

表3 遭遇超1 000年一遇洪水大坝漫顶溃决时,下游断面洪峰流量及出现时间

计算内容	长乐桥	石坝桥	信西桥	开太桥	地溪桥	双渡桥
洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	2 698.81	1 614.04	981.77	589.53	289.96	169.64
洪峰出现 时间/h	0.34	0.82	2.25	3.87	6.13	9.66

表4 遭遇超1 000年一遇洪水主坝漫顶溃决时,下游洪水到达时间及对应的受影响村庄

洪水到达时间/h	自然村
<0.5	蒲杆、田家、夏家边、家边、凉蓬、大树下、陈家、后方、后宅里、何村、信西、开泰等
0.5~1.0	金家圩、五谷圩、夏家边、山西头、生田圩等
1.0~2.0	谢王村、留下村、开泰圩、钟家、老王家、新王家等
2.0~5.0	关家、三圩、顾家、艾园、焦村等
>5.0	小城、大陈、大陶、和平村、孙家桥、河庄、广严寺等

3.2.2 灾害影响范围及损失

卧龙水库下游溢洪河接入二干河,其中南山桥下游溧水开发区段防洪标准为50年一遇,上游段及相连撇洪沟(除东屏撇洪沟)防洪标准仅为20年一遇。当水库溃坝流量远超河道 $211.1 \sim 333.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 的安全泄量时,将引发河道漫溢,形成大面积淹没灾害。

计算结果表明,卧龙水库溃坝淹没范围达 50.01 km^2 ^[14-15],涉及开发区、东屏街道85个村庄,影响人口约2.5万人,耕地2.23万亩,区域GDP约

6 亿元^[16]。重点保护对象包括东屏街道、溧水开发区及长深高速公路、宁高高速公路、沪武高速公路、246 省道、常溧公路等交通干线;溃坝洪水将对上述区域的基础设施、生产生活设施造成毁灭性破坏,引发重大经济损失和社会影响。

溧水区卧龙水库溃坝损失统计见表 5;溃决最大淹没水深见图 1;溃决洪水到达时间见图 2。

表 5 溧水区卧龙水库溃坝损失统计表						
水库	溃坝淹没面积/km ²	淹没村庄/个	影响人口/万人	影响 GDP/亿元	影响农田/万亩	主要保护对象
卧龙水库	50.01	85	2.50	6	2.23	开发区、东屏街道、人口、农田

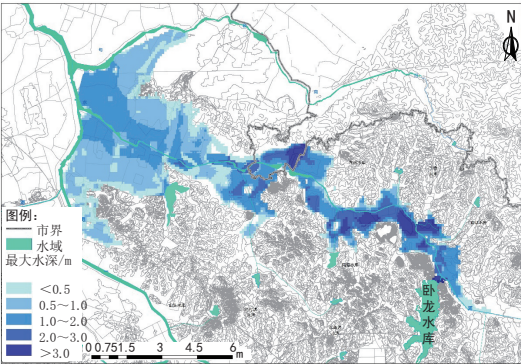


图 1 溃决最大淹没水深图(单位:m)

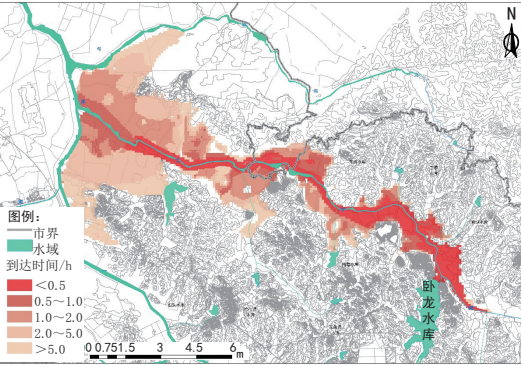


图 2 溃决洪水到达时间图(单位:h)

4 人员转移应急方案

4.1 转移原则与总体要求

人员转移遵循“生命至上、先急后缓、就近安全”的核心原则^[13,17],优先转移老弱病残孕等特殊群体,再转移普通人员;优先保障人员安全,再考虑财产转

移。对不服从转移命令的人员,转移责任人可采取强制转移措施。

汛前需明确转移范围、先后次序、路线及安置点,绘制人员转移路线图并在“明白卡”中标注。区防指接获险情无法控制的通知后,需立即开启溧水城区防汛紧急警报器(连续长鸣 15 min),开发区、东屏街道同步通过电话、广播、打锣等方式传递警报,组织群众按预定路线有序撤离。得益于下游村村通水泥路的交通条件,可保障群众在洪水到达前安全转移。

4.2 转移组织体系

当水库大坝突发事件超出应急抢险能力,威胁公众生命安全时,由区防指统一发布转移命令。

建立“区防指统筹、属地负责、部门协同”的组织体系:区防指指挥长下达转移命令,负责协调各方资源;开发区管委会、东屏街道及村民委员会负责具体组织转移;公安、交通、电力部门提供治安、运输、能源保障;卫健部门负责医疗救助;发改、民政、教育部门负责安置保障。各村庄转移预警责任人明确,如蒲杆村由陶茂黄负责,田家村由田孝生负责等。

4.3 警报方式与转移方案明细

4.3.1 警报方式

采用“多层次、全覆盖”的警报传递方式:紧急转移警报以电子警报器、蜂鸣器、敲锣、沿途喊话为主;转移准备通知通过电视、广播、电话、微信、短信等方式传递。警报方式需通过宣传和演练让群众知晓,确保紧急情况下无死角覆盖。

4.3.2 核心转移方案

基于洪水到达时间差异,制定分区域转移方案,重点高风险村庄转移明细见表 6;坝下核心区域转移路线见表 7。转移方式以乘车为主(大巴、轿车),近距离区域可步行转移,如夏家边村群众可沿淳溧路步行至群力中学安置点,仅需 5 min。人员转移路线图见图 3。

4.4 人员安置与保障措施

人员安置需保障住宿、饮食、医疗等基本需求,防范次生灾害,禁止转移人员私自返回^[18]。50 年一

表 6 重点高风险村庄转移明细表

序号	乡镇	村庄	人数	警报方式	安置点	转移路线	转移时间/min
1	开发区	蒲杆	1 270	广播、人工、微信群	群力小学(淳力北路 2 号)	S340 省道(4 km),乘车	8
2	开发区	田家	340	广播、人工、微信群	群力小学	S340 省道(3.5 km),乘车	8
3	开发区	夏家边	1 950	广播、人工、微信群	群力中学(淳力北路 96 号)	淳溧路,步行	5
4	东屏街道	家边	464	广播、人工、微信群	大金山国防园(金湖路 99 号)	202 县道(6.4 km),乘车	10
5	东屏街道	开泰	1 093	广播、人工、微信群	大金山国防园	S340 省道(14 km),乘车	20

表7 坝下核心区域转移路线

群众居住区	转移路线及地点
坝下住区	上坝顶向卧龙山上转移
宁杭高铁高架桥下住区	向南侧东山上转移

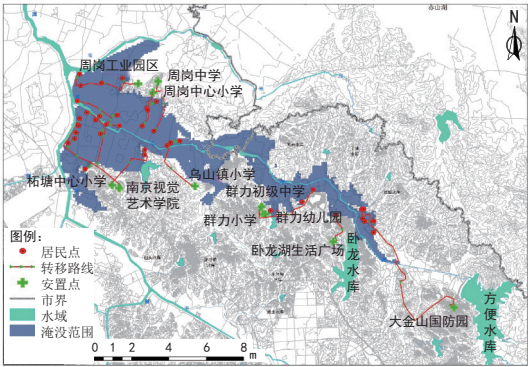


图3 人员转移路线图

遇以上洪水工况下,可利用淹没区附近校舍、村委会、企业厂房等作为临时安置点,如群力小学(容纳2 000人)、大金山国防园(容纳5 000人)等。

各部门按职责分工落实保障:民政部门负责调配食品、饮用水及生活用品;卫健部门设立临时医疗点,开展健康监测和医疗救治;公安部门负责安置区治安维护;教育部门保障转移学生临时就学需求;农业部门协助做好家禽牲畜等财产的临时存放与安保。同时,需设立安置点标志,加强管理,确保转移人员生活稳定。

5 结 语

(1)卧龙水库重大险情诱发因素主要为超标准洪水、工程隐患及地震灾害。其中超标准洪水是导致溃坝的首要因素,在1 000年及以上一遇洪水工况下,易引发漫顶、管涌等溃坝形式。

(2)校核洪水位工况下,水库溃口宽度达107 m,坝址最大溃坝流量3 056 m³/s,泄空时间320 min;下游长乐桥、石坝桥等断面洪峰流量依次衰减,但仍远超河道安全泄量,淹没范围达50.01 km²,影响85个村庄及2.5万人口。

(3)基于洪水到达时间差异制定的分区域人员转移方案,明确了转移路线、安置点及责任人,可保障群众在洪水到达前安全撤离;“区防指统筹、属地负责”的组织体系及多部门协同保障机制,为转移安置提供了有力支撑。

(4)本次研究为卧龙水库应急管理提供了科学依据,但仍存在不足,未来可从三方面深化:一是结合数值模拟方法,提高溃坝洪水演进计算的精度,更精准预测淹没范围;二是引入物联网技术,构建水库实时监测预警系统,实现险情的早发现、早预警;三是定期开展人员转移演练,检验方案可行性,优化转移流程,提升应急处置能力。同时,需加强水库日常运维及工程隐患排查,从源头降低溃坝风险,保障下游区域安全。

参考文献:

[1] 李宏恩,王芳,王雪冰,等.中小型水库土石坝防漫顶溃决技术体系构建思考[J].中国水利,2025(6):43-47;52.

[2] 代梦缘,王瑞,周毓彦,等.基于HEC-RAS的莲花水库溃坝洪水风险分析[J].黑龙江水利科技,2025,53(1):10-14.

[3] 景来红,李宏恩.超标准洪水下中小型水库大坝安全保障与韧性提升对策研究[J].中国水利,2025(15):46-51.

[4] 南京水利科学研究院.溧水区卧龙水库大坝安全鉴定报告书[R].2016.

[5] SL 252—2017 水利水电工程等级划分及洪水标准[S].

[6] 张喜龙.机理-数据耦合下心墙土石坝溃决机理与溃决特征值预测研究[D].西安:西安理工大学,2025.

[7] 余亦凡.月山水库溃坝洪水数值模拟及风险分析研究[D].宜昌:三峡大学,2025.

[8] 周建方,刘斯宏.土石坝溃坝机理及风险评估[M].南京:河海大学出版社,2018.

[9] 许立军,刘志强,祝彬洋,等.平原区水库溃坝洪水研究[J].内蒙古水利,2025(6):49-51.

[10] 吕多智,王猛,刘玮.水库溃坝洪水数值模拟分析[J].水利技术监督,2024(5):49-52.

[11] 张卓,张新华.紫坪铺水库溃坝洪水风险分析[J].科学技术创新,2025(5):183-187.

[12] 韩仲凯,崔魁,张维杰,等.基于二维水动力模型的溃坝洪水数值模拟研究[J].灌溉排水学报,2023,42(增刊1):135-140.

[13] 金超,温宗然.某水库超标准洪水应急防御预案研究[J].黑龙江科学,2024,15(2):150-152.

[14] 齐桐,查思慧.基于DA-MBRK+GIS的溃坝洪水对下游影响分析方法探究[J].水利技术监督,2025(12):218-223.

[15] 洗卓雁,周小清,李伟健.山区水库溃坝洪水演进模拟研究[J].中国新技术新产品,2025(4):136-139.

[16] 咎雄风,胡强,陈红燕.基于MIKE模型的都市型水库溃坝洪水风险与损失分析——以深圳市梅林水库为例[J].广东水利水电,2025(6):57-65.

[17] 许月缤.基于HEC-RAS的澄碧河水库土石坝溃坝损失评估及灾害风险评价[D].南宁:广西大学,2025.

[18] 马翔,由丽华,廖宁,等.水库面对可能最大洪水时的应急调度优化研究[J].中国农村水利水电,2023(11):45-51.