

三峡坝上待闸锚地建设规模探讨

张毅, 解中柱, 朱俊风

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 受恶劣天气、汛期大流量、船闸停航检修等因素影响, 三峡坝上大量船舶积压, 待闸锚地锚位数量严重不足。利用排队论相关理论, 建立待闸锚地排队模型, 并结合过闸船舶的统计资料对现有锚地规模进行分析评价, 可为三峡待闸锚地的建设规模提供参考。

关键词: 锚地; 排队论; 待闸锚地排队模型; 锚地规模

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0148-05

On scale of anchorage in front of Three Gorges dam

ZHANG Yi, XIE Zhong-zhu, ZHU Jun-feng

(Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Abstract: Due to the bad weather, large flow in flood season, and maintenance of lock, a large number of ships wait lockage at the Three Gorges dam, and the berth of anchorage faces a serious shortage. This paper establishes queuing models of anchorage by the queuing theory to evaluate the scale of anchorage on the basis of statistics, which provides a reasonable basis for the study on the construction scale of the anchorage of the Three Gorges.

Key words: anchorage ground; queuing theory; queuing models of anchorage; scale of anchorage

三峡待闸锚地是三峡水利枢纽通航建筑的重要配套设施, 其主要功能是: 组织船舶安全有序通过大坝、提供船舶集结和船队编解队、维护三峡坝区通航秩序和防止水域污染、确保过闸船舶和三峡大坝安全。三峡待闸锚地的合理规划和优化设计直接影响到坝区水域船舶的航行秩序和通航安全。随着三峡175 m蓄水, 三峡坝上风、雾等恶劣天气逐年增加, 同时汛期大流量下船闸限航, 以及船闸停航检修等因素, 使得三峡坝上大量船舶积压, 而目前坝上现有的待闸锚地锚位数量严重不足、无法满足积压船舶安全锚泊的需要。可见, 目前三峡坝上锚地规模已经不能适应周围环境的变化, 锚地规模亟待扩大。

关于锚地规模的研究还没有比较完善的理论计算方法, 锚地规模的确定主要依靠经验公式计算和数学模拟的方法进行估算。锚地规模的

确定方法主要有两种: 一种是静态方法, 即根据港口吞吐量、船舶平均载质量、港口不平衡系数建立锚地锚位数计算公式, 进而确定锚地规模; 另一种是动态方法, 即根据排队论理论和数学模拟的方法进行推算, 锚位数可按港口船舶保证率90%~95%相应推算。

1 待闸锚地排队模型的建立与数学概化

1.1 待闸锚地排队模型的建立

排队论是运筹学的一个分支, 是研究系统随机聚散现象和随机服务系统工作过程的数学理论和方法, 又称随机服务系统理论。排队系统又称服务系统。图1为排队系统模型示意图。排队系统包括3个组成部分: 输入过程、排队规则和服务机构^[1]。

输入过程是对顾客到达系统的一种描述, 考察的是顾客到达服务系统的规律。它可以用一定时

收稿日期: 2012-07-13

作者简介: 张毅(1984—), 男, 助理工程师, 主要从事航道整治工程设计工作。

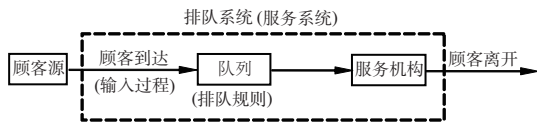


图1 排队系统模型

间内顾客到达数或前后两个顾客相继到达的间隔时间来描述，一般分为确定型和随机型两种。例如，在生产线上加工的零件按规定的间隔时间依次到达加工地点，定期的航班、定期的课程表等都属于确定型输入。随机型的输入是指在时间 t 内顾客到达数 $n(t)$ 服从一定的随机分布，如服从泊松分布或负指数分布。

排队规则是服务机构对顾客允许排队及对排队次序和方式的一种约定。排队规则分为等待制、损失制和混合制3种。当顾客到达时，所有服务机构都被占用，则顾客排队等候，即为等待制。在等待制中，为顾客进行服务的次序可以是先到先服务，或后到先服务，或是随机服务和有优先权服务。如果顾客来到后看到服务机构没有空闲立即离去，则为损失制。有些系统因留给顾客排队等待的空间有限，因此超过所能容纳人数的顾客必须离开系统，这种排队规则就是混合制。

服务机构包含了服务窗口的数目、接受服务的顾客数以及服务时间和服务方式等，这些因素都是不确定的，其中服务窗口数目与服务时间是主要因素。排队系统可以无窗口、一个窗口或多个窗口为顾客进行服务。多个服务窗口可以是平行排列的，也可以是串连排列的。各窗口的服务时间一般也分成确定型和随机型两种。例如，自动洗车装置对每辆车冲洗（服务）时间是相同的，因而是确定型的。而随机型服务时间 T 则服从一定的随机分布。

为了方便地描述排队模型，通常依据排队系统的3个基本特征对排队模型进行分类。现代常用的分类方法是英国数学家Kendall D G提出的分类方法，即用3个字母组成的符号 $X/Y/Z$ 表示排队模型，其中 X 表示顾客相继到达间隔时间的分布； Y 表示服务时间的分布； Z 表示服务机构中服务窗口的数目。例如： $M/M/n$ 排队模型表示顾客相继到达系统的间隔时间服从负指数分布，而服务时间也服从负指数分布，系统内设有 n 个服务窗口的排队模型。

依据上述排队理论，结合船舶过闸的具体特点，可以将三峡船舶过闸视为随机服务系统，则船闸作为服务窗口，而待闸锚地为排队容器，于是建立起了船舶—待闸锚地—过闸服务系统模型（图2）。利用排队理论推求相关参数，从而可以验证待闸锚地规模的合理性。

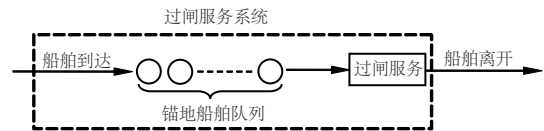


图2 船舶-待闸锚地-过闸服务系统模型

1.2 待闸锚地排队模型的数学概化

假设船舶随机到达三峡坝上的规律符合泊松分布，船舶按先后顺序过闸，过闸服务时间符合负指数分布，则可以将船舶-待闸锚地-过闸服务系统模型概化为排队论 $M/M/n$ 模型。鉴于本文讨论的是三峡坝上待闸锚地的规模，只考虑下行船舶锚地待闸，船闸也只考虑下线船闸，那么系统的服务窗口为单个服务窗口，进而过闸服务系统模型进一步概化为排队论 $M/M/1$ 模型。

1) 船舶到达规律。

大多数船舶到港规律服从泊松分布，即 t 时间段内到达 n 艘船舶的概率 $P_n(t)$ 为：

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad n=0, 1, 2, \dots (t>0) \quad (1)$$

式中： $P_n(t)$ 为 t 的分布函数； λ 为平均到达率，即单位时间内到达的船舶数^[1]。

2) 船舶排队规则。

船舶到达后，进入过闸服务系统。过闸服务系统由待闸锚地和船闸组成，待闸锚地作为到达船舶的排队容器，船闸作为过闸服务的窗口。这里认为待闸锚地中锚位数量即为待闸锚地的规模，三峡单线船闸为单个服务窗口。当船舶进入过闸服务系统时，如船闸正忙，则到达的船舶随即进入待闸锚地按先后顺序进行排队等候过闸服务，采用先到先服务的原则。

3) 过闸服务时间。

船舶接受过闸服务的时间假设服从负指数分布，其概率分布函数为：

$$P_s(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (t>0) \quad (2)$$

式中： μ 为船舶接受过闸服务的平均服务率，即单位时间内过闸的船舶数^[1]。

1.3 待闸锚地排队系统的特征

根据上述模型概化，假定船舶到达坝上服从参数为 λ 的泊松分布，每艘过闸船舶所需的时间服从 μ 的指数分布，船舶到达后若船闸空闲就依到达的先后次序接受过闸服务，若船闸正忙则在锚地排队等待过闸。

结合排队论M/M/1模型，记 $\rho=\lambda/\mu$ ，称为系统的服务强度。当 $\rho \geq 1$ 时，排队系统处于非稳态，船舶平均到达率 λ 大于船舶接受过闸服务的平均服务率 μ ，船舶锚地排队队列越来越长，船舶将排成无限的队列；当 $\rho < 1$ 时，排队系统处于平稳态，船舶平均到达率 λ 小于船舶接受过闸服务的平均服务率 μ ，船舶队列有限且服从一定规律。

在处于平稳态时，待闸锚地排队系统具有以下特征^[1]：

- 1) 在锚地排队等候过闸的船舶平均数 L_q

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (3)$$

- 2) 船舶在锚地排队等候过闸的平均时间 W_q

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

- 3) 锚地内排队船舶多于 n 艘的概率为 p

$$p = \rho^{n+1} \quad (5)$$

2 三峡坝上待闸锚地规模分析

通过对待闸锚地排队模型的数学概化，结合三峡船舶过闸的统计资料，则可以对三峡坝上目

前的待闸锚地的规模进行比较深入的分析。从船舶过闸的流程及船闸调度运行的统计资料分析，不难看出船舶的到达、过闸、离开这一过程在一个较长的时间段内是符合待闸锚地排队系统特征的。在较长的时间段内（如1 a内），待闸锚地排队系统是处于平稳态的，即船舶年平均到达率小于船舶过闸的平均服务率，这一点可由三峡船闸通过量统计资料证实；然而在较短的时间段内（如1 d内），待闸锚地排队系统也会处于非平稳态，即船舶平均到达率大于船舶过闸的平均服务率，船舶会出现段时间的排队等待和积压。因此，考虑时间的连续性，待闸锚地排队系统状态的稳态与非稳态是一个不断交替的过程，但在较长时间段内符合平稳态的特征。

2.1 稳态情况下锚地规模的模型分析

稳态是一种正常的比较理想的系统状态。稳态情况下，系统在较长的时间段内保持船舶的平均到达率小于船舶过闸的平均服务率。此外，船舶的到达、等待、过闸过程中，不受风、雾恶劣天气及船闸检修等客观条件的影响。

下面根据2010年三峡船舶通航调度的统计资料，利用待闸锚地排队模型对系统处于平稳态的特征参数进行计算分析，计算不同月份排队等候过闸船舶的平均数、船舶排队等候过闸的平均时间等（表1）。表1中平均到达率 λ 根据每月到达的统计资料得出；平均服务率 μ 相对比较稳定，与船闸的工作特性有关，目前正常情况下三峡下行船闸平均每天运行约16闸次，每闸次平均为6艘船舶

表1 2010年不同月份待闸锚地排队模型分析数据

月份	平均到达率 λ (艘·d ⁻¹)	平均服务率 μ (艘·d ⁻¹)	系统服务强度 ρ ($\rho=\lambda/\mu$)	系统内排队等候过闸船舶 的平均数 L_q /艘	系统内船舶排队等候过闸 的平均时间 W_q /d	95%保证率下所需锚地锚 位数 n /个($\rho^{n+1}=0.05$)
1	91	96	0.95	17	0.19	57
2	73	96	0.76	2	0.03	10
3	65	96	0.68	1	0.02	7
4	87	96	0.91	9	0.10	31
5	83	96	0.86	6	0.07	19
6	91	96	0.95	17	0.19	57
7	64	96	0.67	1	0.02	6
8	73	96	0.76	2	0.03	10
9	86	96	0.90	8	0.09	27
10	79	96	0.82	4	0.05	14
11	88	96	0.92	10	0.11	35
12	75	96	0.78	3	0.04	11

提供过闸服务，因此平均服务率为96艘/d。

通过模型计算，得出95%保证率情况下三峡坝上所需待闸锚位数最大为57。目前，三峡坝上有庙河、兰陵溪、沙湾、仙人桥等6处锚地，可供船舶锚位共约60个，其中危险品锚位为7个，普通货船为53个。结合待闸锚地排队模型计算结果及目前三峡坝上锚地的现状，可以分析得出：在正常情况下，目前三峡坝上现有锚地规模基本满足船舶待闸需求。

2.2 非稳态情况下锚地规模的模型分析

非稳态情况下，系统在较短的时间段内保持船舶的平均到达率大于船舶过闸的平均服务率。实际情况中，非稳态会经常出现。例如，三峡坝上河段大风、大雾、阴霾等恶劣天气导致船闸停止运行；大流量情况下船舶停止过闸；遇事故或船闸计划性检修导致船闸停止运行等等。

导致待闸锚地排队系统处于非稳态的原因很多，但目前恶劣天气影响和汛期大流量影响是其中最主要的原因。2008年9月，三峡开始175 m试验性蓄水，坝前水位按145 ~ 175 m运行。然而试验性蓄水以来三峡枢纽坝上的通航环境发生了较大的变化，河段河面宽度大幅增加，河面上湿度进一步增大，水面上山体变低后航道上空收风面积减小，导致大风、大雾、阴霾等恶劣天气增多。据2005—2009年恶劣天气停航统计资料，三峡坝区因大风、大雾导致停航的时间于2005年、

2006年、2007年、2008年分别为179.58 h, 246 h, 312.45 h, 756 h, 到了2009年，停航时间增长到1097.20 h，是2005年的6倍多，较2008年停航时间增幅达到45.13%。这4 a间由于恶劣天气导致的停航时间年均增加183 h。此外，汛期大流量情况也是重要影响因素。根据《三峡—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》规定，当入库流量超过56 700 m³/s或者下泄流量达45 000 m³/s时，由于汛期调洪的要求，三峡船闸暂时断航，相应的航道停止通航。可见，恶劣天气因素与汛期大流量因素引起的非稳态是非稳态情况下锚地规模分析的主导。

下面结合恶劣天气与汛期大流量情况的统计资料对非稳态情况下三峡坝上锚地规模进行分析。大风、大雾、阴霾等恶劣天气与汛期大流量情况最直接的后果就是船闸停止运行。在待闸锚地排队系统中，船闸停止运行意味着系统停止过闸服务，所以平均过闸服务率趋于0，而平均到达率保持不变。这时，船舶不断进入系统，系统内锚地的排队队列则会越来越长，直至船闸恢复运行。系统内锚地的排队队列长度就等于停航时间内到达的船舶数。根据2010年的统计资料，计算得出两个重要因素影响导致船闸停航情况下，最大连续停航时间段内系统的船舶排队长度，数据分析结果见表2。

由表2可知2010年不同月份最大连续停航时间所对应的系统船舶排队长度，系统船舶排队长度即为系统锚地内船舶的排队长度。锚地船舶排队

表2 根据2010年统计资料数据分析结果

月份	停航原因	三峡下线船闸停航时间/h	最大连续停航时间 T_m /h	系统船舶排队长度 L /艘	95%保证率下所需锚地锚位数为 $0.95L$ /个
1	恶劣天气	3.72	1.92	7	7
2	恶劣天气	19.12	7.42	23	21
3	恶劣天气	42.82	12.57	34	32
4	恶劣天气	25.08	11.00	40	38
5	恶劣天气	24.62	10.80	37	35
6	恶劣天气	2.28	1.70	6	6
7	超流量	127.33	75.33	201	191
8	超流量	94.25	63.08	192	182
9	停航保养，突发事故	11.58	7.58	27	26
10					
11	恶劣天气、停航保养	19.40	10.50	39	37
12	恶劣天气	167.00	19.50	64	58

注： $L=T_m\lambda/24$ 。

长度决定着锚地的规模。锚地船舶的排队长度取相应的保证率就可以确定所需的锚地规模。从模型计算结果来看,在非稳态情况下为满足船舶待闸需要三峡坝上锚地所需的锚位数为191个,与目前锚地现有锚位数对比,显然现在的锚地规模远远不能满足需要。

本文采用2010年统计资料对稳态和非稳态情况下锚地规模进行了模型分析和计算,分析结果表明:目前三峡坝上锚地的规模是不适应过闸船舶的待闸需求的,坝上锚地所需的锚位还有很大的缺口,需要建设130个锚位左右,才能满足积压船舶安全锚泊的需要。文中分析方法选用2010年统计数据资料有一定的代表性。2008年,三峡水库开始175 m试验性蓄水,直到2010年才成功蓄至175 m,标志着三峡工程由初期运行期转入正常运行期。作为过渡期一个典型年份,选用2010年统计数据进行分析具有一定的代表性,当然选用2010年数据资料也有一定的局限性。随着统计年份和统计数据的增加,按模型进行数据分析的结果也会有所不同,但本文重在提供一种三峡坝上锚地建设规模的分析方法,为以后进一步的分析研究奠定基础。所以,文中数据分析结果可以为三峡坝上锚地建设规模做一定的参考。

3 结论

本文利用排队论相关理论建立起待闸锚地排队模型,通过模型的统计分析,对三峡坝上待闸锚地的规模进行了比较深入的探讨,提

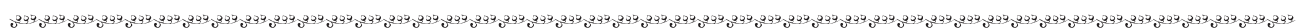
出了一种三峡坝上锚地规模的分析评价方法。此方法建立在统计资料的基础上,通过数据计算分析,可以定量地评价待闸锚地的规模。影响待闸锚地规模的因素很多,本文方法充分考虑了恶劣天气因素与汛期大流量因素的影响,有一定的适应性。然而,该方法是严格建立在统计数据的基础上,而且采用单一年份的统计数据进行分析计算,所以也有一定的局限性,但是作为一种待闸锚地规模分析方法是可取的。

本文分析得出以下结论:1) 现有待闸锚地规模远远不能满足三峡坝上过闸船舶的待闸需求,锚地规模亟待扩大。2) 坝上现有锚地规模严重不足,锚地锚位缺口较大。根据2010年统计数据进行分析,三峡坝上锚地需建设约130个锚位才能缓解恶劣天气、汛期大流量等因素所造成的船舶积压,满足积压船舶安全锚泊的需要。

参考文献:

- [1] 陈传贲.排队论[M]. 2版.北京:北京邮电大学出版社,2009.
- [2] 王再明,赵育山.排队论及其在锚地规模分析中的应用[J].中国水运,2008,8(7):65-66.
- [3] 刘敬贤,李昌伟,刘文.锚地泊位系统服务能力仿真[J].大连海事大学学报,2010,36(2):11-14.
- [4] 连石水,麦宇雄,何小明,等.基于随机服务系统理论综合性港口锚地计算方法研究[J].中国水运,2010,10(11):96-97,100.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

广航局中标海南海花岛吹填工程

日前,广航局中标恒大海南海花岛围堰吹填工程Ⅱ标段,中标金额2.7亿元,工期1 a。

海花岛项目位于海南省儋州市白马井镇海岸,与洋浦港隔海相望,是恒大地产在当地发展的高端旅游项目。先期工程为吹填造地工程,形成3个离岸式岛屿,规划平面形态为盛开在海中的3朵花,故人工岛取名为“海花岛”。广航局中标工程为中央岛屿(1#岛)工程的Ⅱ标段,该标段围堰长度为3 300 m,吹填工程量约900万m³。该工程的建设,对充分发挥当地自然条件和区位优势,促进海南经济社会发展具有重要意义。

摘编自中国交通建设网