

中华人民共和国行业标准

升船机设计规范

JTS 331—2025

主编单位:长江勘测规划设计研究有限责任公司

批准部门:中华人民共和国交通运输部

施行日期:2025 年 11 月 1 日

人民交通出版社

2025 · 北京

交通运输部关于发布 《升船机设计规范》的公告

2025 年第 51 号

现发布《升船机设计规范》(以下简称《规范》),作为水运工程建设强制性行业标准,标准代码为 JTS 331—2025,自 2025 年 11 月 1 日起施行。

《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释,实施过程中具体使用问题的咨询,由主编单位长江勘测规划设计研究有限责任公司答复。《规范》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏(mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz)查询和下载。

《规范》第 4.3.2 条、第 4.3.13 条、第 4.4.7 条、第 4.5.6 条、第 6.3.17 条和第 6.5.16 条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部
2025 年 9 月 25 日

制定说明

本规范是根据水运工程标准编制计划的要求,由交通运输部水运局组织有关单位,经深入调查研究、广泛征求意见、不断修改完善,编制而成。

随着我国内河水运的快速发展,升船机工程建设规模不断提高。为规范升船机设计,保障工程质量,在认真总结升船机设计、建造、运行管理经验的基础上,结合水运工程特点和发展需要,制定本规范。

本规范共分9章7个附录,并附条文说明,主要包括升船机选型与布置、建筑物设计、金属结构和机械设备设计、电气设计、消防设计、信息系统设计等技术内容。

本规范第4.3.2条、第4.3.13条、第4.4.7条、第4.5.6条、第6.3.17条和第6.5.16条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本规范主编单位为长江勘测规划设计研究有限责任公司,参编单位为中交水运规划设计院有限公司、中国船舶集团武汉船舶工业有限公司和长江三峡通航管理局。

本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:钮新强 覃利明
- 2 术语:覃利明 廖乐康 王 蒂 金 辽 唐 勇
- 3 基本规定:钮新强 吴俊东 于庆奎 陈小虎 郑卫力
- 4 选型与布置:钮新强 于庆奎 吴俊东 王 可 廖乐康 方 杨 陈小虎
王 蒂 林新志
- 5 建筑物设计:吴俊东 陈小虎 林新志 赵 凯 彭绍才
- 6 金属结构和机械设备设计:于庆奎 廖乐康 王 可 方 杨 王 蒂 刘科青
张世平 李树海 金 辽
- 7 电气设计:覃利明 段 波 李程煌 唐 勇 郑卫力
- 8 消防设计:刘朝华 覃利明 段 波
- 9 信息系统设计:郑卫力 李程煌 覃利明
- 附录A:廖乐康 王 可 于庆奎
- 附录B:王 可 方 杨 王 蒂 于庆奎
- 附录C:吴俊东 陈小虎
- 附录D:吴俊东 林新志
- 附录E:王 可 王 蒂 金 辽
- 附录F:廖乐康 唐 勇
- 附录G:金 辽

本规范于2023年4月14日通过部审,于2025年9月25日发布,自2025年11月1

日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范编写组(地址:湖北省武汉市江岸区解放大道1863号,长江勘测规划设计研究有限责任公司,邮政编码:430014,电话:027-82926010),以便修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 术语	(2)
3 基本规定	(5)
3.1 工程级别和设计标准	(5)
3.2 承船厢或承船车有效尺寸	(6)
3.3 通过能力计算	(6)
4 选型与布置	(10)
4.1 形式选择	(10)
4.2 选址与总体布置	(10)
4.3 平衡重式垂直升船机	(11)
4.4 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机	(13)
4.5 钢丝绳卷扬式斜面升船机	(13)
4.6 闸首设备布置	(14)
5 建筑物设计	(16)
5.1 一般规定	(16)
5.2 设计荷载及荷载组合	(16)
5.3 结构设计	(17)
5.4 抗震设计	(18)
5.5 安全监测设计	(18)
6 金属结构和机械设备设计	(20)
6.1 一般规定	(20)
6.2 闸首金属结构和机械设备	(21)
6.3 承船厢和承船车金属结构与机械设备	(22)
6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车	(25)
6.5 爬升式驱动系统和安全机构	(30)
6.6 平衡重系统	(31)
7 电气设计	(33)
7.1 一般规定	(33)
7.2 供配电与接地	(33)
7.3 主电气传动系统	(34)
7.4 计算机监控系统	(35)

7.5	信息监测	(36)
7.6	信号标志与广播	(37)
7.7	工业电视系统	(37)
7.8	通信	(38)
7.9	网络安全防护	(38)
8	消防设计	(39)
8.1	一般规定	(39)
8.2	消防	(39)
8.3	火灾自动报警	(40)
9	信息系统设计	(41)
附录 A	承船厢纵倾稳定性计算	(42)
附录 B	主提升机、驱动系统、牵引绞车设计工况与荷载组合	(44)
附录 C	垂直升船机承重结构荷载组合	(48)
附录 D	承船厢动水压力计算	(50)
附录 E	承船厢和承船车设计工况与荷载组合	(52)
附录 F	驱动电动机功率计算	(56)
附录 G	本规范用词说明	(58)
引用标准名录		(59)
附加说明	本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、 总校人员和管理组人员名单	(61)
条文说明		(63)

1 总 则

1.0.1 为规范升船机设计,保障工程质量,做到技术先进、安全可靠、经济合理、管理便利,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、改建和扩建的内河 I 级 ~ VI 级湿运式升船机设计,包括齿轮齿条爬升式垂直升船机、全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机、下水式钢丝绳卷扬垂直升船机、移动式钢丝绳卷扬垂直升船机和钢丝绳卷扬式斜面升船机。

1.0.3 升船机的设计除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 升船机 Shiplift

利用机械装置升降船舶以克服航道上集中水位落差的通航建筑物。

2.0.2 平衡重式垂直升船机 Vertical Shiplift with Counterweight

设置了平衡重的垂直升船机,是全平衡式垂直升船机和部分平衡式垂直升船机的统称。

2.0.3 全平衡式垂直升船机 Fully Balanced Vertical Shiplift

平衡重总重与承船厢总重相等的垂直升船机,是全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机和齿轮齿条爬升式垂直升船机的统称。

2.0.4 钢丝绳卷扬式垂直升船机 Winch Vertical Shiplift

承船厢通过钢丝绳卷扬机牵引实现垂直升降的垂直升船机,是全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机和下水式钢丝绳卷扬垂直升船机的统称。

2.0.5 不下水式垂直升船机 Non-launching Vertical Shiplift

承船厢不入水运行的平衡重式垂直升船机,是下水式钢丝绳卷扬垂直升船机和齿轮齿条爬升式垂直升船机的统称。

2.0.6 齿轮齿条爬升式垂直升船机 Rack and Pinion Vertical Shiplift

通过安装在承船厢上的齿轮沿固定在塔柱上的齿条啮合转动实现承船厢升降的垂直升船机。

2.0.7 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机 Launching Vertical Shiplift

承船厢需入水运行,平衡重总重与承船厢总重不相等的平衡重式钢丝绳卷扬垂直升船机。

2.0.8 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机 Mobile Winch Vertical Shiplift

通过钢丝绳卷扬机构驱动承船厢升降、行走机构驱动承船厢水平移动实现船舶过坝的升船机。

2.0.9 钢丝绳卷扬式斜面升船机 Winch Inclined Shiplift

承船车通过钢丝绳卷扬机牵引沿斜坡轨道升降的升船机。

2.0.10 承船厢 Ship Chamber

垂直升船机中运载船舶升降的设备。

2.0.11 承船车 Ship Carriage

钢丝绳卷扬式斜面升船机中用以运载船舶的设备,由承船厢、楔形车架和支承台车等组成。

2.0.12 驱动系统 Drive System

齿轮齿条爬升式垂直升船机中驱动承船厢升降的机械设备,包括驱动机构、同步轴系

统和齿条等。

2.0.13 主提升机 Main Hoist

钢丝绳卷扬式垂直升船机中驱动承船厢升降的机械设备,包括卷扬提升机构和同步轴系统等。

2.0.14 牵引绞车 Winch

钢丝绳卷扬式斜面升船机中驱动承船厢升降的卷扬机构。

2.0.15 平衡重 Counterweight

用于平衡承船厢重量的设备,是转矩平衡重、重力平衡重和可控平衡重的统称。

2.0.16 转矩平衡重 Torque Counterweight

由缠绕在主提升机驱动卷筒上的钢丝绳悬吊的平衡重。

2.0.17 重力平衡重 Gravity Counterweight

由吊挂在平衡滑轮上的钢丝绳悬吊的平衡重。

2.0.18 可控平衡重 Controllable Counterweight

由缠绕在可控卷筒上的钢丝绳悬吊的平衡重。

2.0.19 额定提升力 Rated Lifting Force

驱动系统、主提升机和牵引绞车在运行条件下克服外载、驱动承船厢或承船车升降的能力。

2.0.20 最大提升高度 Maximum Lift Height

升船机升降船舶的最大高度。

2.0.21 承船厢总重 Gross Weight of Ship Chamber

承船厢结构、设备及与设计水深对应的水体的重量之和。

2.0.22 允许误载水深 Allowable Water Level Difference

升船机正常运行所允许的承船厢或承船车水深与设计水深的差值。

2.0.23 干舷高度 Chamber Freeboard

在设计水深条件下,承船厢或承船车水面至主纵梁顶面的垂直距离。

2.0.24 冲程 Stroke

在承船厢或承船车工作行程的上、下极限位置外预留的行程余量。

2.0.25 主电气传动系统 Main Driving System

驱动承船厢或承船车运行的电气传动系统。

2.0.26 主传动协调控制站 Coordination and Drive Controller

按照承船厢或承船车运行过程和时序,控制承船厢或承船车的启动、制动,协调主传动系统、制动器和润滑系统等设备之间动作的现地控制站。

2.0.27 主电气传动控制系统 Main Drive Control System

主电气传动系统与主传动协调控制站的总称。

2.0.28 预加力矩 Pre-loaded torque

升船机主提升机或驱动系统的安全制动器和工作制动器松闸前,主传动控制系统根据承船厢水深提前施加的持住力矩。

2.0.29 塔柱 Tower

垂直升船机支承承船厢和平衡重系统的承重结构。

2.0.30 承船厢室 Ship Chamber Space

位于上下闸首之间,由基础底板、两侧承重结构和顶部机房底板构成的建筑物。

2.0.31 有效尺度 Useable Dimensions

承船厢或承船车有效长度、有效宽度和设计水深的总称。

2.0.32 代表船型 Typical Ship Type

为确定通航尺度,通过技术经济论证,优选并确定与船舶载重吨级对应的船型。

2.0.33 失压保护 Voltage-Loss Protection

升船机正常运行断电后,电源恢复时电动机不能自行启动的一种保护。

2.0.34 厢头高度 Height of Chamber Head

承船厢端部结构顶面至底面的最大垂直高度。

2.0.35 间隙充泄水系统 Filling and Emptying System for Docking

在承船厢与闸首对接期间,对闸首和承船厢之间的间隙进行充水和泄水的设备。

2.0.36 初始化运行流程 Initialization Process

使升船机承船厢从正常停航位置行驶至正常上行或下行对接位置的运行流程,亦称上班流程。

2.0.37 停航运行流程 Suspension Process

使升船机从正常运行状态行驶至某一设定的正常停航位置的运行流程,亦称下班流程。

3 基本规定

3.1 工程级别和设计标准

3.1.1 升船机的级别应按可通航船舶吨级划分为 6 级,分级指标应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 升船机分级指标

升船机级别	I	II	III	IV	V	VI
船舶吨级(t)	3000	2000	1000	500	300	100

注:船舶吨级按船舶载重吨(DWT)确定。

3.1.2 升船机的级别不应低于航道发展规划技术等级的要求。航道发展规划技术等级低于IV级,且以通行货运船舶为主时,升船机应按IV级建设。

3.1.3 升船机的设计水平年宜采用建成后的 30a。对增建复线和改建、扩建困难的工程,应采用更长的设计水平年或将升船机级别提高一级。

3.1.4 升船机设计采用的代表船型,应根据规划、现状和船舶发展趋势确定。缺乏标准船型资料时,可根据现行国家标准《内河通航标准》(GB 50139)和《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列》(GB 38030)的有关规定,并通过研究论证确定。

3.1.5 升船机的闸首、承重结构、斜坡道等主要建筑物级别应符合表 3.1.5 的规定,位于枢纽挡水前缘的升船机闸首的级别应与枢纽中其他挡水建筑物级别一致。

表 3.1.5 升船机建筑物级别

升船机级别	建筑物级别		
	闸首	承重结构	斜坡道
I	1	1	—
II、III	2	2	—
IV	3	3	—
V	3	3	3
VI	4	4	4

3.1.6 对于建筑物级别在 2 级及以下的承重结构,当升船机提升高度大于 80m 或采用实践经验较少的新型结构时,级别宜提高一级设计。

3.1.7 升船机通航净宽和整个通航净宽范围内的通航净高应符合现行国家标准《内河

通航标准》(GB 50139)的有关规定。承船厢室顶部结构下的通航净高还应留有承船厢运行冲程。

3.1.8 承船厢运行允许误差水深范围不宜超出 $\pm 0.15\text{m}$;对接允许误差水深应根据航道通航水位的变率和对接停留时间等因素确定。

3.2 承船厢或承船车有效尺寸

3.2.1 承船厢或承船车的有效长度,可按式(3.2.1)计算。

$$L_x = l_o + l_f \quad (3.2.1)$$

式中 L_x ——承船厢或承船车有效长度(m);当两端设防撞装置时,为防撞装置之间的净距离;当无防撞装置时,为船舶停位限制线之间的净距离;

l_o ——承船厢内可停泊船舶或船队的总长度(m);

l_f ——两端富裕总长度(m); $l_o \leq 110\text{m}$ 时,取 $4\text{m} \sim 6\text{m}$; $l_o > 110\text{m}$ 时,取 $7\text{m} \sim 10\text{m}$ 。

3.2.2 承船厢或承船车的有效宽度,可按式(3.2.2)计算。

$$B_x = b_o + b_f \quad (3.2.2)$$

式中 B_x ——承船厢或承船车的有效宽度(m),为两侧护舷间的净距离;

b_o ——设计最大船舶或船队的宽度(m);

b_f ——两侧富裕总宽度(m),可取 $0.8\text{m} \sim 1.2\text{m}$;当富裕总宽度小于 0.8m 时,应通过船模试验确定。

3.2.3 承船厢或承船车设计水深,应满足设计船舶或船队满载条件下顺利进出升船机的要求,设计水深可按式(3.2.3)计算。

$$H = T + \Delta H \quad (3.2.3)$$

式中 H ——承船厢或承船车的设计水深(m);

T ——设计最大船舶、船队满载吃水深度(m);

ΔH ——富裕水深(m),可取 $0.25T \sim 0.40T$ 且不应小于 0.5m ,Ⅲ级及以上的升船机、移动式钢丝绳卷扬垂直升船机和钢丝绳卷扬式斜面升船机宜通过船模试验确定。

3.3 通过能力计算

3.3.1 升船机通过能力计算应包括设计水平年内通过升船机的客货运量指标,以年单向通过能力表示。

3.3.2 升船机通过能力应根据一次通过的设计船舶吨位和一次通过时间、日工作小时和运行次数、年通航天数、运行不均衡系数等因素确定。

3.3.3 船舶或船队进出升船机承船厢或承船车的时间,应根据船舶或船队进出升船机的航行距离和速度确定,并应符合下列规定。

3.3.3.1 船舶进出升船机的航行距离应按下列情况确定:

(1)单向过机驶入距离为船首自升船机闸首前的停靠位置,驶至承船厢内停泊位置之间的距离;驶出距离为船尾自承船厢内停泊位置,驶至升船机闸首外侧边缘之间的

距离;

(2)双向过机驶入距离为船首自引航道停靠位置,驶至承船厢内停泊位置之间的距离;驶出距离为船尾自承船厢内停泊位置,驶至引航道靠船建筑物外侧边缘之间的距离。

3.3.3.2 船舶或船队船首进入承船厢和船尾驶出承船厢的速度不宜大于0.5m/s。Ⅲ级及以上的升船机宜通过模型试验确定速度。

3.3.4 升船机一次过机时间计算应符合下列规定。

3.3.4.1 不下水式垂直升船机,单向一次过机时间应按式(3.3.4-1)计算,双向过机时间应按式(3.3.4-2)计算。

$$T_1 = 2t_1 + t_2 + 2t_3 + 4t_4 + 4t_5 + 4t_6 + 4t_7 + t_8 + 2t_9 + 2t_{10} + t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-1)$$

$$T_2 = 2t_1 + t'_2 + 2t_3 + 4t_4 + 4t_5 + 4t_6 + 4t_7 + t'_8 + 2t_9 + 4t_{10} + 2t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-2)$$

式中 T_1 ——单向一次过机时间(min);

t_1 ——上闸首工作闸门开门或关门时间(min),可取1.0min~3.0min;

t_2 ——单向运行时,最后一艘船舶驶入升船机时间(min);

t_3 ——承船厢提升或下降时间(min);

t_4 ——闸首和承船厢闸门间隙充水或泄水时间(min),可取0.5min~2.0min;

t_5 ——闸首和承船厢闸门对接密封机构推出或收回时间(min),可取0.5min~1.0min;

t_6 ——承船厢顶紧装置推出或收回时间(min),可取0.5min~1.0min;

t_7 ——对接锁定装置推出或收回时间(min),可取0.33min~0.5min;

t_8 ——单向运行时,最后一艘船舶驶出升船机时间(min);

t_9 ——下闸首工作闸门开门或关门时间(min);

t_{10} ——一厢次船舶或船队驶入或驶出升船机的间隔时间之和(min);

t_{11} ——船舶在承船厢内系、解缆时间(min),可取0.5min~1.0min;

t_{12} ——承船厢水深调节、转步操作等时间(min),可取0.1min~0.5min;

T_2 ——上下行各一次的双向过机时间之和(min);

t'_2 ——双向运行时,上行的最后一艘船舶驶入升船机时间与下行的最后一艘船舶驶入升船机时间之和(min);

t'_8 ——双向运行时,上行的最后一艘船舶驶出升船机时间与下行的最后一艘船舶驶出升船机时间之和(min)。

3.3.4.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,单向一次过机时间应按式(3.3.4-3)计算,双向过机时间应按式(3.3.4-4)计算。

$$T_1 = 2t_1 + t_2 + 2t_3 + 2t_4 + 2t_5 + 2t_6 + 2t_7 + t_8 + 2t_9 + 2t_{10} + t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-3)$$

$$T_2 = 2t_1 + t'_2 + 2t_3 + 2t_4 + 2t_5 + 2t_6 + 2t_7 + t'_8 + 2t_9 + 4t_{10} + 2t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-4)$$

3.3.4.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机,单向一次过机时间应按式(3.3.4-5)计算,双向过机时间应按式(3.3.4-6)计算。

$$T_1 = 2t'_1 + t_2 + 2t'_3 + 2t'_4 + 2t'_5 + t_8 + 2t'_9 + 2t_{10} + 2t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-5)$$

$$T_2 = 2t'_1 + 2t'_2 + 2t'_3 + 2t'_4 + 2t'_5 + 2t'_8 + 2t'_9 + 4t_{10} + 4t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-6)$$

式中 t'_1 ——承船厢上游工作闸门开门或关门时间(min);

t'_3 ——承船厢在上游的提升或下降时间(min);

t'_4 ——承船厢水平行走时间(min);

t'_5 ——承船厢在下游的提升或下降时间(min);

t'_9 ——承船厢下游工作闸门开门或关门时间(min)。

3.3.4.4 钢丝绳卷扬式斜面升船机,单向一次过机时间应按式(3.3.4-7)计算,双向过机时间应按式(3.3.4-8)计算。

$$T_1 = 2t''_1 + t_2 + 2t''_3 + 2t''_4 + 2t''_5 + t_8 + 2t''_9 + 2t_{10} + 2t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-7)$$

$$T_2 = 2t''_1 + 2t'_2 + 2t''_3 + 2t''_4 + 2t''_5 + 2t'_8 + 2t''_9 + 4t_{10} + 4t_{11} + t_{12} \quad (3.3.4-8)$$

式中 t''_1 ——承船车上游工作闸门开门或关门时间(min);

t''_3 ——承船车在上游斜坡道的提升或下降时间(min);

t''_4 ——承船车在水平段的行走时间(min);

t''_5 ——承船车在下游斜坡道的提升或下降时间(min);

t''_9 ——承船车下游工作闸门开门或关门时间(min)。

3.3.5 一次过机时间可按式(3.3.5)计算。

$$T = k_1 T_1 + \frac{k_2 T_2}{2} \quad (3.3.5)$$

式中 T ——一次过机时间(min);

T_1 ——单向一次过机时间(min);

T_2 ——上下行各一次的双向过机时间(min);

k_1, k_2 ——单向、双向过机次数比率, $k_1 + k_2 = 1$ 。

3.3.6 日平均过机次数可按式(3.3.6)计算。

$$n = \frac{60\tau}{T} \quad (3.3.6)$$

式中 n ——日平均过机次数;

τ ——日工作小时(h),可取22h;

T ——一次过机时间(min)。

3.3.7 升船机通过能力应包括单向年过机船舶总载重吨位和单向年过机货运量,可分别按式(3.3.7-1)、式(3.3.7-2)计算。

$$P_1 = \frac{1}{2} n N G \quad (3.3.7-1)$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (n - n_0) \frac{N G \alpha}{\beta} \quad (3.3.7-2)$$

式中 P_1 ——单向年过机船舶总载重吨位(t);

n ——日平均过机次数;

N ——通航天数(d),可取330d;

G ——一次过机船舶载重吨位(t);

P_2 ——单向年过机货运量(t);

n_0 ——日非运货船过机次数;

α ——船舶装载系数,与货物种类、流向和批量有关,可根据各河流统计和规划资料选用;无资料时,可取 0.6 ~ 0.9;

β ——运行不均衡系数,可取 1.05 ~ 1.1。

3.3.8 由设有停泊段且可错船双向运行的中间渠道连接的多级升船机,运量计算的一次过机时间应按过机时间最长的一级升船机计算。

4 选型与布置

4.1 形式选择

4.1.1 升船机形式应根据下列条件通过技术经济综合比较确定：

- (1) 航运条件,包括航道等级、船型、预期客货运量及货物种类等;
- (2) 自然条件,包括工程的地形、地质,工程所在地的水文、气象等;
- (3) 工程条件,包括枢纽总体布置、通航水头、水位变幅与变率等;
- (4) 枢纽运行条件,包括枢纽泄洪、冲沙泄水、电站调峰和机组甩负荷等;
- (5) 施工条件,包括土建施工、设备运输和安装等。

4.1.2 升船机级数的选择,宜采用单级升船机。当提升高度过大或受地形、地质条件限制时,可采用多级方案。多级升船机的级与级之间,可采用明渠、渡槽、隧洞等形式的中间渠道连接。

4.1.3 升船机形式选择应符合下列规定。

4.1.3.1 V级及以上升船机宜选用平衡重式垂直升船机。

4.1.3.2 当航道的通航水位变率较小时,应采用全平衡式垂直升船机。

4.1.3.3 当航道水位变率较大时,应对下水式钢丝绳卷扬垂直升船机和设置辅助闸室进行比选。

4.1.3.4 当具备修建斜坡道的地形,且投资相对较小时,通航货船为主的IV级及以下升船机,可采用钢丝绳卷扬式斜面升船机。

4.1.4 全平衡式垂直升船机驱动形式,应经安全技术经济比较后确定。

4.2 选址与总体布置

4.2.1 升船机选址应符合下列规定。

4.2.1.1 宜选在河道顺直、河势稳定,有利于与上、下游航道衔接的位置。

4.2.1.2 宜选择在地形地质条件好、设备运输便利的位置。

4.2.1.3 距天然河道的交叉河口或支流入口应有足够的距离,并应研究交叉河道汇流和泥沙对航行的影响。

4.2.1.4 宜临航道岸侧布置,并应考虑枢纽泄洪、电站机组调峰等下泄流量变化对通航水流的影响,必要时应采取工程措施以满足通航水流条件的要求。

4.2.2 多级升船机级与级之间的中间渠道应满足船舶错船和停泊的要求。

4.2.3 升船机引航道、锚地、导航墙和靠船墩等通航附属设施的布置,应符合现行行业标准《船闸总体设计规范》(JTS 305)的有关规定。

4.2.4 升船机建筑物防洪标准应符合现行国家标准《防洪标准》(GB 50201)的有关规定。作为枢纽挡水前缘的闸首建筑物防洪标准应与其他挡水前缘建筑物的防洪标准一致。

4.3 平衡重式垂直升船机

4.3.1 平衡重式垂直升船机主体部分应包括上闸首、承船厢室段和下闸首。承船厢室段应由承重结构、顶部机房、承船厢结构及其设备、主提升机设备或承船厢驱动系统设备、平衡重系统及电气控制设备等组成。

4.3.2 平衡重式垂直升船机在承船厢水漏空事故条件下,应能通过机械装置将承船厢安全锁定。

4.3.3 承重结构与设备布置应综合考虑交通疏散要求、施工安装条件和运行维护需要等因素确定。

4.3.4 承重结构主要高程的确定应符合下列规定。

4.3.4.1 承重结构顶部高程应满足上游最高通航水位、通航净高和冲程等的要求。

4.3.4.2 承船厢室底面高程应满足下游最低通航水位、冲程、承船厢缓冲或锁定装置布置的要求,以及承船厢在下位安装检修的要求。

4.3.4.3 平衡重井底面高程应满足下锁定设备布置和冲程的要求。

4.3.4.4 当承重结构下部需挡下游洪水位时,下部挡水结构的顶高程不应低于下闸首闸顶高程。

4.3.5 承重结构布置除应设有满足安全疏散、运行巡检的交通通道外,还应设有满足设备运输、安装和检修的通道,并应符合下列规定。

4.3.5.1 顶部机房应设置不少于2个安全出口。

4.3.5.2 承重结构左右塔柱应设置底板至机房楼层的交通楼梯,并宜设置电梯。

4.3.5.3 承重结构左右塔柱应设置通向承船厢室的水平疏散通道。

4.3.5.4 顶部机房底板宜在检修桥机工作范围内,设置供机械、电气设备安装检修的吊物孔。

4.3.6 承船厢室段应设置集中抽排水设施,其抽排能力应满足可能汇集的地表水、基础渗漏水、闸门漏水、承船厢检修排水和消防水等的抽排要求。

4.3.7 钢丝绳卷扬式垂直升船机承船厢与平衡重的检修锁定装置和检修平台设置应符合下列规定。

4.3.7.1 全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机,宜在承船厢和平衡重运行的上下极限位分别设置锁定装置。

4.3.7.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,宜在承船厢和平衡重的上极限位设置检修锁定装置,在下极限位设置检修平台。

4.3.8 承船厢室的平面尺寸应根据承船厢外形尺寸、承船厢设备布置与运行要求等确定,并应符合下列规定。

4.3.8.1 承船厢与闸首或闸首工作闸门止水座板之间的间隙可取0.10m~0.25m。

4.3.8.2 承船厢与两侧承重结构之间的间距可取 0.8m ~ 1.4m。

4.3.9 承船厢宜采用对称布置的四点驱动。驱动点纵向中心距应按承船厢结构正常运行下受力合理的原则确定。钢丝绳卷扬式垂直升船机承船厢纵向驱动点中心距还应满足承船厢纵倾稳定要求,承船厢纵倾稳定性计算应符合附录 A 的规定。

4.3.10 平衡重的设置应符合下列规定。

4.3.10.1 全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机平衡重的设置应考虑对承船厢水漏空事故工况的设防。其中,转矩平衡重加可控平衡重的总重量不应小于承船厢内水体重量,转矩平衡重重量不宜小于承船厢结构加设备重量。在设备布置条件允许的情况下,宜不设或少设重力平衡重。

4.3.10.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机宜只设置转矩平衡重。

4.3.10.3 齿轮齿条爬升式垂直升船机应只设置重力平衡重。

4.3.10.4 升船机的平衡重应在承船厢两侧分组对称布置。

4.3.11 钢丝绳的数量与规格,应根据承船厢总重、平衡重总重和提升力大小等条件确定。

4.3.12 平衡重式垂直升船机卷筒和滑轮的名义直径与钢丝绳直径的比值,不宜小于 60。

4.3.13 提升钢丝绳的安全系数不应小于 8.0,平衡钢丝绳的安全系数不应小于 7.0。钢丝绳钢丝强度等级不应大于 1960MPa。

4.3.14 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机平衡重重量应按式(4.3.14)计算,且不宜小于承船厢总重的 70%。

$$W_c = \frac{\gamma W_t - P_2 + (2in)^{\frac{1}{p-1}}(W_t + P_1)}{1 + (2in)^{\frac{1}{p-1}}} \quad (4.3.14)$$

式中 W_c ——平衡重重量(kN);

γ ——承船厢结构和设备在水中的重量折减系数,取 0.85 ~ 0.92;

W_t ——承船厢结构和设备重量(kN);

P_2 ——附录表 B.0.2-1 中承船厢在水中升降工况序号 5 及序号 7 ~ 序号 11 的合力(kN);

p ——主提升机减速器低速级驱动齿轮材料弯曲疲劳特性的参数,取值应符合现行国家标准《直齿轮和斜齿轮承载能力计算》(GB/T 3480)的有关规定;

i ——减速器低速级传动比,可取 4 ~ 5;

n ——主提升机卷筒对应于承船厢在空气中提升高度的转动圈数;

W_t ——承船厢总重(kN);

P_1 ——附录表 B.0.2-1 中承船厢在空中升降工况序号 5 及序号 7 ~ 序号 11 的合力(kN)。

4.3.15 垂直升船机顶部机房应设置用于大件设备安装检修的起重机,起升高度、起升重量和工作范围应满足设备安装检修吊装要求。起重机及其组成部分的工作级别应按现行

国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定确定。

4.3.16 全平衡式垂直升船机承船厢室沿高度方向应设置对承船厢进行补水或排水的沿程补排水系统。

4.4 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机

4.4.1 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机主体部分应包括承重结构、移动提升机、承船厢及其设备、轨道及轨道梁和电气控制设备等。

4.4.2 承重结构的布置应考虑船舶航行、停泊条件和水流条件,并应满足承船厢和移动提升机安装、运行与维护的需要。

4.4.3 移动提升机应包括承船厢的提升卷扬机、支承台车、操作室和机房等。操作室应设在视野开阔、不妨碍承船厢运行的位置。机房屋顶宜采用可拆式结构,机房内应设检修桥机。

4.4.4 承船厢室形状、尺寸和底部高程,应满足最低通航水位条件下承船厢出、入水过程的水力学要求,必要时应通过模型试验确定。

4.4.5 承重结构上应设置与承船厢疏散平台衔接的疏散楼梯,人员应能通过楼梯到达坝顶或地面。

4.4.6 移动提升机安全防护装置的设计应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定。

4.4.7 提升钢丝绳的数量、规格和安全系数,卷筒和滑轮的名义直径等参数,应根据承船厢总重量、卷扬机构布置、滑轮组倍率等条件确定,并应符合下列规定。

4.4.7.1 提升钢丝绳的安全系数不应小于 8.0,其钢丝强度等级不应大于 1960MPa。

4.4.7.2 卷筒和滑轮的名义直径与钢丝绳直径的比值不宜小于 40。

4.4.8 承船厢宜采用四吊点、对称布置,吊点纵向间距不宜小于承船厢总长度的 3/5。承船厢纵倾稳定性核算应满足附录 A 的要求。

4.4.9 移动提升机支承台车宜按照吊点位置采用四组对称布置。四组支承台车均应设置主动行走机构。

4.4.10 移动提升机宜采用多倍率滑轮组与承船厢连接。

4.4.11 承船厢应设竖直升降的纵横向导向装置,宜设水平移动的纵横向导向限位装置。导向装置和限位装置承受的水平风载应按最大非工作风压计算,限位装置承受的承船厢水平惯性力应按移动提升机水平移动紧急制动加速度计算。

4.5 钢丝绳卷扬式斜面升船机

4.5.1 钢丝绳卷扬式斜面升船机应包括斜坡道、承船车及其轨道、牵引绞车、钢丝绳托轮与托辊、电气设备和检修设备。

4.5.2 钢丝绳卷扬式斜面升船机斜坡道的坡度根据地形可采用 1:5 ~ 1:20。

4.5.3 钢丝绳卷扬式斜面升船机上下游导航墙宜沿斜坡道布置,并应满足承船车在通航水位变化范围内的停靠需要,上下游导航墙长度在最低通航水位时应考虑 0.5 倍 ~ 1.0

倍承船车长度的富裕量。

4.5.4 轨道长度应满足承船车最低通航水位运行的需要。在考虑运行冲程外,轨道两端的富裕长度均不宜小于5m。

4.5.5 斜坡道较长时,承船车宜采用高低腿方式。斜坡道较短时,宜采用高低轨方式。

4.5.6 牵引钢丝绳规格、数量和安全系数,卷筒和转向滑轮名义直径等参数,应根据坡道坡度、牵引重量,承船车结构与牵引绞车布置等条件确定,并应符合下列规定。

4.5.6.1 牵引钢丝绳的安全系数不应小于8.0,其钢丝强度等级不应大于1960MPa。

4.5.6.2 卷筒和转向滑轮名义直径与钢丝绳直径的比值均不宜小于45。

4.5.7 牵引钢丝绳应设置钢丝绳长度调节和张力求衡装置,并宜设置张力检测设备。

4.5.8 在钢丝绳卷扬式斜面升船机斜坡道上应设置钢丝绳托轮,托轮间距不宜大于15m,各托轮安装高程应根据承船车在不同位置时钢丝绳的实际高度确定。在转向滑轮至卷扬机之间的绳道上应设置钢丝绳托辊。

4.5.9 轨道间距应根据设备布置确定,同时应满足承船车在非正常工况下横向抗倾覆要求。承船车的抗倾覆能力计算应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定。

4.5.10 承船车宜设置锚定装置,锚定装置应按最大风载设计。承船车的支承台车应设置轨铲结构。

4.5.11 双坡钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车跨越驼峰时,承船车过驼峰的方式宜采用驱动式。

4.5.12 双坡钢丝绳卷扬式斜面升船机导向滑轮组应布置在驼峰处,且滑轮组安装高程的确定应使牵引钢丝绳在承船车运行过程中与水平面夹角的变化最小。钢丝绳绕入或绕出卷筒和滑轮绳槽的最大偏斜角应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定。

4.6 闸首设备布置

4.6.1 平衡重式垂直升船机闸首工作闸门和检修闸门布置应符合下列规定。

4.6.1.1 全平衡式垂直升船机的上、下闸首应分别设置一道工作闸门和一道检修闸门。

4.6.1.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机的下水端侧闸首应设置一道检修闸门,不下水端闸首应设置一道工作闸门和一道检修闸门。

4.6.1.3 当工作闸门出现事故会对工程带来重大危害时,应设置事故闸门。

4.6.2 闸首设备布置与选型除应满足升船机运行及船舶过机安全要求外,还应满足设备安装、检修和存放的要求。

4.6.3 闸首工作闸门形式应能适应通航水位变化。作为挡水前缘的闸首检修闸门,其最高挡水位应与枢纽工程的上游最高挡水位一致。非挡水前缘的闸首检修闸门,最高挡水位应根据升船机的检修或该处的防洪要求确定。

4.6.4 闸首闸门形式选择应符合下列规定。

4.6.4.1 当闸首航槽最大通航水深小于承船厢厢头高度时,闸首工作闸门宜选用提升式平面闸门。

4.6.4.2 当闸首航槽最大通航水深大于承船厢厢头高度时,闸首工作闸门可选用带卧倒小门的下沉式平面闸门,或上层为带卧倒小门的提升式平面闸门与下层为叠梁门的组合式门型。

4.6.4.3 检修闸门应与工作闸门相适应,可选用提升式平面闸门、叠梁门或上层为提升式平面闸门下层为叠梁门的组合门形式。

4.6.5 闸门启闭机选择应符合下列规定。

4.6.5.1 闸首工作闸门采用提升式平面闸门时,启闭机宜选用固定卷扬式启闭机。

4.6.5.2 闸首工作闸门采用带卧倒小门的下沉式平面闸门时,启闭机可选用固定卷扬式启闭机或液压式启闭机。

4.6.5.3 闸首工作闸门采用提升式平面闸门与叠梁门组合形式时,启闭机应选用移动卷扬式启闭机。

4.6.5.4 闸首工作闸门的卧倒门启闭机应选用双缸液压启闭机。

4.6.5.5 闸首检修闸门启闭机形式的选择应综合考虑检修闸门形式、尺寸、存放条件、维护要求等因素确定。

4.6.6 上闸首工作闸门采用平面闸门与叠梁门组合方案时,应在检修闸门与工作闸门之间设置泄水系统。

4.6.7 闸首工作闸门采用提升式平面闸门时,承船厢对接密封装置和承船厢水深调节与间隙充泄水系统宜设置在闸首端部。

4.6.8 当闸首航槽两侧有坝顶交通要求时,应在航槽上方设置交通桥。交通桥的设置应满足通航净空的要求。

4.6.9 升船机闸首顶面高程应根据闸门顶部高程和结构布置等要求确定。位于挡水前缘的升船机闸首顶部高程应与其相邻的建筑物挡水前缘顶部高程一致。

5 建筑物设计

5.1 一般规定

5.1.1 升船机建筑物应包括闸首、垂直升船机承重结构、钢丝绳卷扬式斜面升船机坡道结构、主提升设备机房等主体建筑物,导航、隔流、靠船墩等辅助建筑物。

5.1.2 升船机建筑物的结构形式应根据其使用功能要求、结构受力条件和工程地质条件确定。

5.1.3 垂直升船机承船厢室段承重结构宜采用钢筋混凝土结构,也可根据地基承载条件或建筑设计要求,采用钢结构或钢筋混凝土结构与钢结构混合式结构。

5.1.4 升船机承重结构建筑物布置与结构设计,除应符合现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)的有关规定外,尚应符合下列规定。

5.1.4.1 平衡重式垂直升船机承重结构宜采用对称的结构体系。

5.1.4.2 垂直升船机承重结构宜采用通风采光条件较好的开敞式结构体系。

5.1.4.3 齿轮齿条爬升式升船机塔柱结构应能适应承船厢机械设备的变形要求。

5.1.5 升船机1级~3级主要建筑物结构的设计使用年限应采用100a,其他永久性建筑物结构使用年限不应低于50a。参与挡水的升船机上闸首设计使用年限应与枢纽挡水建筑物一致。

5.2 设计荷载及荷载组合

5.2.1 作用于升船机建筑物上的荷载,应包括建筑物结构和设备自重、水压力、扬压力、浪压力、土压力、冰压力、冻胀力、泥沙压力、风荷载、雪荷载、楼面及平台活荷载、温度荷载、地震作用以及设备安装、运行、检修的荷载。

5.2.2 建筑物结构自重可按现行行业标准《水工建筑物荷载设计规范》(SL 744)的有关规定计算。钢筋混凝土的重度宜由试验确定,当无试验资料时可取 $24.5\text{kN/m}^3 \sim 25.0\text{kN/m}^3$ 。

5.2.3 作用于设备机房和检修安装平台上的荷载应按其布置、检修安装的设备荷载取值。作用于楼面与楼梯上的活荷载取值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的有关规定。

5.2.4 升船机承重结构紧邻泄水建筑物时,水压力计算应考虑脉动荷载的影响。

5.2.5 垂直升船机风荷载计算,应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)的有关规定。对称布置的垂直升船机承重结构的风荷载体型系数,可根据其平面形状按图5.2.5取值。

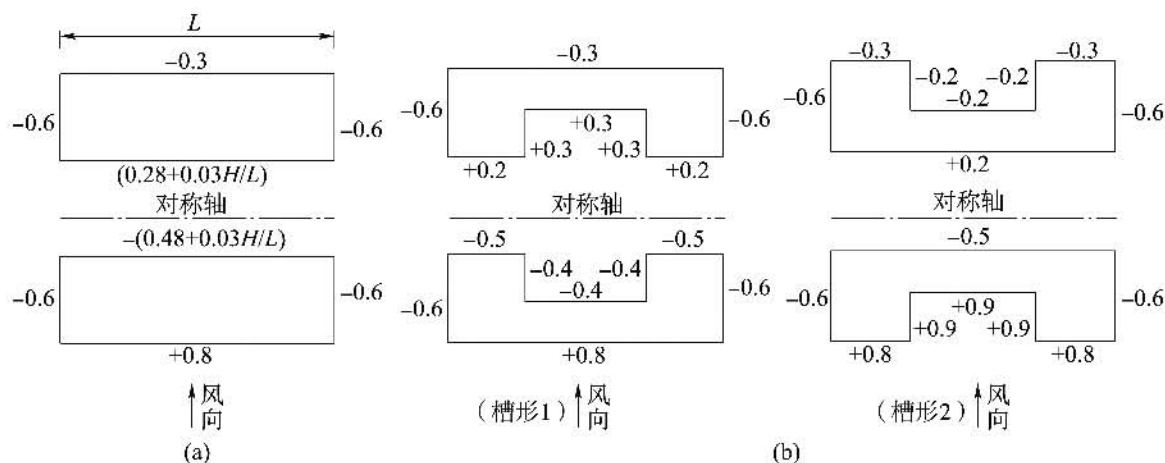


图 5.2.5 风荷载体型系数

(a) 矩形结构; (b) 槽形结构

 H -建筑物高度(m); L -建筑物迎风面宽度(m)

5.2.6 温度荷载应考虑气温变化、气温骤降与日照影响。混凝土热学特性指标宜由试验确定,无试验资料时,可按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)的有关规定取值,并应符合下列规定。

5.2.6.1 气温变化、气温骤降引起的温度荷载宜根据其温度边值条件按连续介质热传导理论计算。

5.2.6.2 直接采用温差分布计算日照作用时,温差分布宜通过试验确定。

5.2.7 承重结构应进行承载能力极限状态计算与正常使用极限状态验算,其不同工况的荷载组合应符合附录 C 的规定。

5.3 结构设计

5.3.1 钢筋混凝土承重结构的裂缝控制验算应符合现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)的有关规定。

5.3.2 钢筋混凝土承重结构的配筋设计应符合现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)的有关规定。

5.3.3 承重结构中的钢结构设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》(GB 50017)的有关规定。

5.3.4 参与挡水的升船机上闸首整体稳定及应力验算应符合现行行业标准《混凝土重力坝设计规范》(SL 319)的有关规定。

5.3.5 垂直升船机的承重结构可采用筒体、剪力墙或两者组合的形式,单体间纵向可采用梁系连接,横向可在顶部采用板梁或梁系连接。

5.3.6 垂直升船机承重结构在正常运行条件下,按弹性理论计算的结构位移与总高度之比不应大于 1/1500。

5.3.7 承重结构的抗滑、抗倾覆稳定性应符合现行行业标准《船闸水工建筑物设计规

范》(JTJ 307)的有关规定,抗倾覆稳定性还应符合国家现行标准《高耸结构设计规范》(GB 50135)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)的有关规定。

5.3.8 与中间渠道建筑物连接的升船机,应根据升船机与中间渠道建筑物两者刚度及动力特性的差异进行静、动力荷载下的位移协调分析,并应合理确定两者间的连接方案。

5.4 抗震设计

5.4.1 升船机建筑物抗震设计应符合现行国家标准《水工建筑物抗震设计标准》(GB 51247)的有关规定。抗震设计烈度Ⅸ度及以上地区的升船机工程,抗震设计应进行专题研究。

5.4.2 承重结构质量或刚度分布不均匀、不对称时,应计算地震作用的扭转效应。

5.4.3 对于齿轮齿条爬升式升船机,应研究承船厢和承重结构的动力相互作用,以及承船厢水体的动力流固耦合影响。承船厢内的动水压力可采用豪斯纳模型计算,计算方法见附录 D。

5.4.4 承重结构抗震计算应考虑平衡重与承重结构间的相互作用力,其值应根据连接构件刚度计算。

5.5 安全监测设计

5.5.1 安全监测范围应包括升船机上闸首、下闸首、承船厢室承重结构、中间渠道和高边坡等部位。

5.5.2 安全监测项目和要求,应符合现行行业标准《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725)的有关规定。

5.5.3 升船机承重结构的重点监测部位和项目应根据工程地质条件、建筑物规模和结构特点选择,并应符合现行行业标准《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725)的有关规定。重点监测部位的监测项目应满足表 5.5.3 的要求。

表 5.5.3 安全监测部位和项目

重点监测部位	核心监测项目
底板横断面跨中和端部	应力应变
顶部横向主梁跨中和端部	应力应变
软岩地基上垂直升船机的承重结构	垂直位移、水平位移
高度大于 50m 升船机的承重结构	水平位移
结构缝、施工缝	接缝开合度
厚度大于 2.5m 的底板	温度
螺母柱齿条埋件与土建结构连接部位	结合面开合度

5.5.4 兼顾水库挡水的上闸首的安全监测,应与其左右相邻挡水坝段统一考虑和布置。

5.5.5 对于抗震设防烈度Ⅷ度及以上且建筑物级别为 1 级的升船机承重结构,应在其底部、中部关键部位和顶部设置强震动三分向监测点。

5.5.6 升船机安全监测自动化系统设计,应符合现行行业标准《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211)的有关规定。当升船机工程属于枢纽工程的一个单项工程时,其自动化系统宜与总体工程安全监测自动化系统统一考虑。对作为水库挡水建筑的上闸首的安全监测应纳入枢纽工程安全监测自动化系统。

6 金属结构和机械设备设计

6.1 一般规定

6.1.1 按照升船机形式的不同,金属结构和机械设备设计应包括下列内容。

6.1.1.1 平衡重式垂直升船机应包括上闸首设备、承船厢结构与设备、主提升机设备或承船厢驱动系统设备、平衡重系统设备、承船厢室设备、下闸首设备、机房检修起吊设备等。

6.1.1.2 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机应包括移动提升机、承船厢结构与设备、轨道梁、缓冲装置等。

6.1.1.3 钢丝绳卷扬式斜面升船机应包括牵引绞车、承船车结构与设备、斜坡道设备、机房检修起吊设备等。

6.1.2 金属结构和机械设备的的设计应与建筑物结构和机电设备布置相协调,满足工程总体布置和运行的要求,并应符合国家现行标准《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74)、《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)、《水利水电工程启闭机设计规范》(SL 41)、《船闸启闭机设计规范》(JTJ 309)和《起重机设计规范》(GB/T 3811)等的有关规定。

6.1.3 金属结构和机械设备的的设计应考虑正常工况和非正常工况,Ⅲ级及以上或有通航客船需求的升船机,还应考虑部分或全部特殊工况。

6.1.4 金属结构与机械设备应根据运行工况荷载条件进行静强度、刚度、疲劳强度计算和稳定性分析,并应符合下列规定。

6.1.4.1 金属结构静强度、刚度计算与稳定性分析宜将正常工况最大荷载作为设计荷载,非正常工况或特殊工况荷载作为校核荷载。

6.1.4.2 机械设备静强度计算与稳定性分析宜采用所有工况最大荷载,刚度计算宜采用正常工况最大荷载,疲劳强度计算宜采用额定荷载或正常工况荷载谱。

6.1.5 升船机金属结构设计使用年限应采用70a,机械设备应采用35a,荷载循环次数应按每年工作不少于330d,每天工作不少于22h计算。

6.1.6 对于抗震设防烈度Ⅵ度以上的地区,Ⅳ级及以上升船机的金属结构和机械设备设计应考虑地震影响。

6.1.7 升船机承船厢机械设备对承重结构变形的适应能力应按承重结构变形计算结果的1.5倍及以上考虑。

6.1.8 承船厢或承船车的正常运行速度、正常启停加速度应符合下列规定。

6.1.8.1 全平衡式垂直升船机承船厢正常运行速度可采用 $0.15\text{m/s} \sim 0.25\text{m/s}$ 。

6.1.8.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢,水中正常运行速度不宜大于 0.03m/s ,

水上正常运行速度可采用 $0.10\text{m/s} \sim 0.25\text{m/s}$ 。

6.1.8.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢,水中正常运行速度不宜大于 0.03m/s ,水上正常起升速度可采用 $0.10\text{m/s} \sim 0.25\text{m/s}$,水平运行速度可采用 $0.30\text{m/s} \sim 0.50\text{m/s}$ 。

6.1.8.4 承船车沿斜坡轨道正常运行速度可采用 $0.30\text{m/s} \sim 0.50\text{m/s}$ 。

6.1.8.5 承船厢正常启停加速度绝对值不宜大于 0.01m/s^2 ,快速制动加速度绝对值不宜大于 0.04m/s^2 。

6.1.8.6 移动垂直升船机提升机和钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车正常启停加速度绝对值不宜大于 0.02m/s^2 。

6.2 闸首金属结构和机械设备

6.2.1 闸首闸门宜采用双吊点启闭,双吊点启闭机应采取同步措施。

6.2.2 闸首平面闸门工作位置锁定装置设置应符合下列规定。

6.2.2.1 由固定卷扬式启闭机操作的提升式平面闸门应在闸门的全开位置设置机械锁定装置。

6.2.2.2 下沉式平面闸门应在工作位置设置机械锁定装置。

6.2.3 闸首工作闸门高度应符合下列规定。

6.2.3.1 提升式平面闸门的高度应根据航槽最大通航水深与门顶安全超高确定。

6.2.3.2 下沉式平面闸门的卧倒小门孔口高度应根据承船厢设计水深、需适应的水位变幅、槛上富裕水深与门顶安全超高确定,且门顶应与下沉式平面闸门门顶齐平。

6.2.3.3 与叠梁门组合的提升式平面大门卧倒小门孔口高度,应根据承船厢设计水深、一节工作叠梁门高度、槛上富裕水深和门顶安全超高确定。卧倒小门门顶应与提升式平面大门门顶齐平。提升式平面大门高度,应根据卧倒小门孔口高度、一节工作叠梁高度、间隙密封对接高度和对接高度外的闸门门底结构富裕高度确定。

6.2.3.4 门顶安全超高不应小于 0.5m ,需适应的水位变幅不应小于 0.5m ,槛上富裕水深宜取 $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$,闸门底结构富裕高度宜取 $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$ 。

6.2.4 当上闸首工作闸门采用提升式平面大门与叠梁门组合形式时,单节叠梁门高度和叠梁门数量的确定,应综合考虑上游最大通航水位变幅、升船机通过能力、闸门制造安装条件等因素的影响。

6.2.5 当闸首与承船厢之间的对接密封机构设在承船厢上时,间隙密封止水座板应设置在闸首或闸首工作闸门上。

6.2.6 闸首工作闸门止水面的设置应符合下列规定。

6.2.6.1 闸首工作闸门采用提升式平面闸门时,止水面宜布置在背水侧。

6.2.6.2 闸首工作闸门采用下沉式平面闸门或采用提升式平面闸门与叠梁门组合形式时,止水面宜布置在迎水侧。

6.2.7 下沉式工作闸门宜设置两道止水,止水结构形式应满足闸门结构变形和闸门带压启闭的要求。

6.2.8 带卧倒小门的平面工作大门,其 U 形门体结构的主梁刚度应满足止水可靠和与

承船厢对接的要求。

6.2.9 设在平面大门上的卧倒小门宜采用双缸液压启闭机启闭,启闭机宜采用变速运行,双缸应同步。在卧倒小门的全关位置宜设置锁定装置。

6.2.10 上闸首检修闸门与工作闸门之间泄水系统应设置工作阀门、检修阀门、补排气阀门和补偿装置等设备,并应对泄水系统进行水锤、流速、强度等验算。泄水系统出口流速超过泄水钢管或土建结构的允许流速值时,应设置消能设施。

6.2.11 对接密封机构设置在闸首工作大门上时,设计应符合下列规定。

6.2.11.1 对接密封机构应具有适应闸首工作闸门变形、承船厢与闸首工作闸门之间相对变位的能力。

6.2.11.2 U形密封框应由多套同步运行的液压油缸驱动,且宜设有机械弹簧保压装置。

6.2.11.3 对接密封宜设置两道止水。当采用两道止水时,应采用结构形式或原理不同的止水。

6.2.12 间隙充泄水与水深调节系统设置在闸首工作大门上时,设计应符合下列规定。

6.2.12.1 系统设计应满足通航运输能力、船舶停泊系缆安全等的要求,并应具备双向输水运行的能力。

6.2.12.2 在承船厢最大超载或欠载水条件下,水深调节系统一次调节时间最长不宜大于5min。

6.2.12.3 充、泄间隙水的时间不宜大于2min。

6.3 承船厢和承船车金属结构与机械设备

6.3.1 承船厢和承船车金属结构应包括盛水结构、承载结构以及设备安装机架与机房结构、交通维护通道结构、船舶靠泊结构等附属结构,机械设备应包括正常升降与水平运行、与闸首对接、安全保护等所需的所有机械装置或机构。

6.3.2 承船厢和承船车的结构尺寸除应满足有效尺度要求外,还应满足设备布置、安装、运行和维护检修的需要。

6.3.3 承船厢结构宜采用承载结构与盛水结构为一体的自承载式。自承载式承船厢主体结构宜采用主纵梁和若干主横梁为主要受力构件的焊接钢结构。

6.3.4 承船厢主纵梁吊点布置应满足主提升机、平衡重的布置要求。

6.3.5 承船厢和承船车的设计工况应包括正常、非正常和特殊工况,特殊工况应根据工程具体条件选择。承船厢和承船车的设计工况与荷载组合应符合附录E的规定。

6.3.6 承船厢和承船车结构刚度、强度宜通过有限元分析进行计算复核。正常工况下的整体纵向挠度不宜大于承船厢或承船车长度的1/1000,横向挠度不宜大于承船厢或承船车宽度的1/750。Ⅲ级及以上垂直升船机承船厢应进行结构模态和屈曲有限元分析。

6.3.7 承船厢和承船车的干舷高度可取600mm~1000mm。

6.3.8 垂直升船机的主梁设计应符合下列规定。

6.3.8.1 全平衡式垂直升船机承船厢的主纵梁宜采用箱形结构,内腹板应兼作盛水结

构的挡水板,外腹板可兼作钢丝绳吊耳板。

6.3.8.2 齿轮齿条爬升式和移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢主横梁宜采用箱形结构。

6.3.8.3 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机和移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢主纵梁可采用实腹式单腹板结构或实腹式双腹板结构。当主纵梁采用实腹式双腹板结构时,应在外腹板开设出入水排气孔。出入水排气孔的位置、数量和直径的确定应考虑承船厢结构的强度和出入水过程的水动力学特性。

6.3.8.4 主纵梁上翼缘可兼作走道板,走道宽度不宜小于 800mm。

6.3.9 承船厢和承船车结构的许用应力,应由材料容许应力乘以调整系数后确定。材料容许应力应符合现行行业标准《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74)的有关规定。V 级及以上的升船机承船厢许用应力调整系数应取 0.85, VI 级升船机承船厢许用应力调整系数应取 0.9。

6.3.10 承船厢上应设置人员疏散通道和设备维护交通通道。通行客轮的升船机,承船厢上应设置通往塔柱的高度可调疏散梯。

6.3.11 下水式升船机承船厢底板应设计成有坡度的左右对称结构,应在非盛水结构上开设进、排气孔,在盛水结构设计水深线以上开设进、排水孔。

6.3.12 承船车支腿纵向间距不宜小于承船车全长的 0.6 倍,支腿横向间距应根据设备布置确定,同时应满足承船车在非正常工况下横向抗倾覆要求。承船车的抗倾覆能力计算应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定。

6.3.13 承船厢和承船车导向护舷、系船柱和外护栏的设计,应符合下列规定。

6.3.13.1 主纵梁内侧应设导向护舷,护舷高度不宜大于 200mm,两侧护舷内侧间距应为有效水域宽度。

6.3.13.2 有效水域范围内,在主纵梁顶部应设系船柱,系船柱间距不宜大于 20m。系船柱的结构形式和系缆力应符合现行行业标准《船闸总体设计规范》(JTS 305)、《码头附属设施技术规范》(JTS 169)和《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)的有关规定。

6.3.13.3 导向护舷和系船柱应能适应不同干舷高度和不同吃水深度船舶系靠泊的要求。

6.3.13.4 主纵梁顶部走道外侧应设护栏,护栏高度不应小于 1.2m。

6.3.14 承船厢与承船车机械设备的设置应符合下列规定。

6.3.14.1 平衡重式垂直升船机承船厢设备可包括承船厢工作闸门及其启闭机、对接锁定装置、对接顶紧装置、对接密封机构、防撞装置、导向装置、钢丝绳张力均衡装置、间隙充泄水与水深调节系统、液压系统、检修锁定装置、缓冲装置等。

6.3.14.2 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢设备可包括承船厢工作闸门及其启闭机、防撞装置、导向装置、液压系统等。

6.3.14.3 钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车设备可包括工作闸门及其启闭机、防撞装置、液压系统、钢丝绳张力均衡装置、支承台车等。

6.3.15 承船厢或承船车工作闸门及启闭机选择应符合下列规定。

6.3.15.1 工作闸门门型可选用卧倒式平面闸门、下沉式平面闸门或下沉式弧形门。当航道漂浮物较多时,宜采用下沉式平面闸门或下沉式弧形门;当航道漂浮物较少时,宜采用卧倒式平面闸门。

6.3.15.2 工作闸门的孔口净宽应与承船厢或承船车有效水域宽度一致,孔口底高不应高于承船厢或承船车底铺板,闸门顶宜与承船厢或承船车主纵梁上翼板平齐。

6.3.15.3 工作闸门应按静水启闭进行设计,宜采用双吊点液压启闭机启闭。除卧倒式平面闸门外,其他门型应在门的全关闭位置设置机械锁定装置。工作闸门启闭力宜按闸门前后有 200mm~300mm 水位差计算。

6.3.16 平衡重式垂直升船机承船厢应设置对接锁定装置,并应符合下列规定。

6.3.16.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机对接锁定装置应满足下列要求:

- (1)同时兼作承船厢沿程锁定;
- (2)不承受对接期间承船厢纵向荷载;
- (3)能承受对接期间水位波动荷载及进出船舶浪涌荷载。

6.3.16.2 齿轮齿条爬升式垂直升船机对接锁定装置除应符合第 6.3.16.1 款第(2)项和第(3)项规定外,还应具有超载退让功能。

6.3.17 平衡重式垂直升船机应设置对接顶紧装置,其设计应符合下列规定。

6.3.17.1 应能满足对接密封机构顶推、船舶系缆、船舶撞击和校核风载下的顶紧要求。

6.3.17.2 对接顶紧装置应采用机械式自锁形式,不得采用液压油缸直接顶紧式。

6.3.17.3 对接顶紧装置液压控制回路必须设置机械自锁失效安全保护功能。

6.3.18 平衡重式垂直升船机应设置对接密封机构,当对接密封机构设在承船厢上时,其设计应满足第 6.2.11 条的规定。

6.3.19 承船厢或承船车两端闸门的内侧应设置防撞装置,其设计应符合下列规定。

6.3.19.1 防撞装置抗船舶撞击能力应按满载的设计通航船舶在承船厢或承船车内以最大允许航速行驶时具有的动能设计,船舶动能应按式(6.3.19-1)计算。

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (6.3.19-1)$$

式中 E ——船舶动能(N·m);

m ——船舶及其附连水体总质量(kg);

v ——在承船厢中的最大允许航速(m/s)。

6.3.19.2 防撞构件的结构形式应与设计通航船舶的船艏形状相适应,布置高度宜位于承船厢设计水位线以上 0.5m~0.6m 处。

6.3.19.3 防撞装置宜采用带缓冲油缸的钢丝绳防撞形式,防撞钢丝绳安全系数不应小于 4.0,钢丝绳宜选用预拉伸镀锌钢丝绳。

6.3.19.4 防撞装置缓冲油缸的缓冲行程应根据设计船舶在规定船速下船首不触碰承船厢工作门进行核算,油缸缓冲行程应按式(6.3.19-2)计算。

$$S = \frac{2kmv^2}{p\pi(d^2 - d_0^2)} \quad (6.3.19-2)$$

式中 S ——油缸缓冲行程(m);
 k ——安全系数,取 1.8~2.0;
 m ——船舶及其附连水体总质量(kg);
 v ——在承船厢中的最大允许航速(m/s);
 p ——压力阀设定油压(N/m²);
 d ——油缸内径(m);
 d_0 ——活塞杆直径(m)。

6.3.20 平衡重式垂直升船机承船厢应设置纵向和横向导向装置,其设计应符合下列规定。

6.3.20.1 纵向导向装置宜布置在承船厢横向中心线或附近,横向导向装置宜对称布置在承船厢两侧的外端。

6.3.20.2 导向装置宜采用预紧弹性导轮,弹性导轮弹簧总预紧荷载不应小于承船厢在非工作风压作用下的风荷载。导向装置上的风荷载应按式(6.3.20)计算。

$$P_w = CK_h qA \quad (6.3.20)$$

式中 P_w ——作用在导向装置上的风荷载(N);
 C ——风力系数,应符合现行行业标准《水利水电工程启闭机设计规范》(SL 41)的有关规定;
 K_h ——风压高度变化系数,可取 1.0;
 q ——非工作风压(N/m²),可取 800N/m²;
 A ——承船厢及厢内船舶垂直于风向的总迎风面积(m²)。

6.3.21 钢丝绳张力均衡装置设计应符合下列规定。

6.3.21.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机卷筒与承船厢之间的连接钢丝绳、钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引钢丝绳应设置张力均衡装置。

6.3.21.2 钢丝绳张力均衡装置宜采用液压式,应具备检修维护时能调整承船厢水平与均衡钢丝绳张力、正常运行时使钢丝绳与承船厢之间保持刚性连接的功能。

6.3.21.3 液压油缸的有效行程应根据钢丝绳最大悬吊或牵引长度、钢丝绳弹性模量等因素确定,且不宜小于 500mm。

6.3.21.4 液压油缸的活塞杆与缸体之间应能通过机械锁紧装置锁紧,且其受拉构件的强度安全系数不应小于 3.0。

6.3.21.5 液压油缸应设置行程检测和压力检测装置。

6.3.22 当间隙充泄水与水深调节系统设置在承船厢上时,其设计应符合第 6.2.12 条的规定。

6.3.23 承船厢和承船车液压泵站应采用分布式设计。液压泵站的数量和布置位置,应根据液压执行机构情况、泵站至各执行机构的距离等确定。

6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车

6.4.1 卷扬式主提升机和牵引绞车的设计范围应包括下列内容。

6.4.1.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机的主提升机应包括电动机、减速器、安全制动系统、卷筒组、平衡滑轮组和机械同步系统等。

6.4.1.2 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机的主提升机应包括电动机、减速器、安全制动系统、钢丝绳卷筒组、滑轮组、机械同步系统等。

6.4.1.3 钢丝绳卷扬式斜面升船机的牵引绞车应包括电动机、减速器、安全制动系统、卷筒组和机械同步系统等。

6.4.2 钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机、移动式钢丝绳卷扬垂直升船机卷扬提升系统和钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车的设计工况、荷载组合与额定提升力计算应符合下列规定。

6.4.2.1 钢丝绳卷扬全平衡式垂直升船机主提升机额定提升力应包括附录表 B.0.2-1 中正常工况序号 5 ~ 序号 10 的荷载。

6.4.2.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机在空气中的提升力 F_1 应包括附录表 B.0.2-1 中正常工况序号 5 ~ 序号 11 的荷载,在水中的提升力 F_2 应包括附录表 B.0.2-1 中正常工况序号 5 ~ 序号 12 的荷载,主提升机额定提升力 F 应采用承船厢在空气中运行和入水运行两种工况的等效荷载,并按式(6.4.2)计算。

$$F = \left(\frac{F_2 p + 2inF_1 p}{1 + 2in} \right)^{\frac{1}{p}} \quad (6.4.2)$$

式中 F ——主提升机额定提升力(kN);

F_2 ——水中的提升力(kN);

p ——主提升机减速器低速级驱动齿轮材料弯曲疲劳特性的参数,取值应符合现行国家标准《直齿轮和斜齿轮承载能力计算》(GB/T 3480)的有关规定;

i ——减速器低速级传动比,可取 4 ~ 5;

n ——主提升机卷筒对应于承船厢在空气中提升高度的转动圈数;

F_1 ——空气中的提升力。

6.4.2.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机额定提升力应包括附录表 B.0.2-3 中正常升降运行工况的序号 3 ~ 序号 9。

6.4.2.4 斜面试升船机牵引绞车的额定提升力计算应包括附录表 B.0.2-4 中正常工况序号 3 ~ 序号 10 的荷载,并乘以 1.2 倍的荷载系数。

6.4.3 主提升机和牵引绞车电动机宜采用交流变频电机,电动机功率应按附录 F 的有关规定计算,并应符合下列规定。

6.4.3.1 主提升机电机功率应按一台电动机失效,其余电动机继续完成本次运行而不过载计算。

6.4.3.2 牵引绞车电动机功率应按在额定提升力和机构惯性力作用下电动机不过载计算。

6.4.4 机械传动系统的疲劳强度和静强度应符合下列规定。

6.4.4.1 主提升机高速轴及减速器高速级齿轮副疲劳强度宜按 1.2 倍电动机额定功率对应扭矩校核。

6.4.4.2 牵引绞车高速轴的疲劳强度宜按 1.4 倍电动机额定功率对应扭矩校核。

6.4.4.3 减速器其他轴系、开式齿轮以及主提升机与牵引绞车低速轴传动部件宜按 1.2 倍主提升机额定提升力或 1.2 倍牵引绞车额定牵引力换算到相应零部件上的荷载进行疲劳强度校核。

6.4.4.4 主提升机和牵引绞车传动部件静强度可按电动机最大力矩换算到相应零部件上的荷载进行校核。

6.4.5 主提升机和牵引绞车齿轮与传动轴设计安全系数应符合下列规定。

6.4.5.1 齿轮弯曲疲劳强度和弯曲静强度安全系数不应小于 1.6。

6.4.5.2 闭式齿轮的接触疲劳强度和接触静强度安全系数不应小于 1.25。

6.4.5.3 开式齿轮的接触疲劳强度和接触静强度安全系数不应小于 1.1。

6.4.5.4 齿轮的抗胶合安全系数不应小于 1.6。

6.4.5.5 齿轮传动轴的疲劳安全系数不应小于 2.0。

6.4.6 主提升机和牵引绞车宜采用闭式传动。减速器宜采用硬齿面齿轮,且其精度不应低于现行国家标准《圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制 第 1 部分:齿面偏差的定义和允许值》(GB/T 10095.1)规定的 6 级。当采用开式传动时,开式齿轮精度不应低于 8 级。

6.4.7 多台卷扬机构之间应设置机械同步轴,同步轴系统设计应符合下列规定。

6.4.7.1 疲劳强度计算荷载宜为单台电动机 1/2 额定功率对应扭矩,且其疲劳强度安全系数不应小于 2.0。

6.4.7.2 静强度和刚度计算荷载宜按 1/4 电动机总额定功率对应扭矩校核,同步轴扭转角不宜大于 $0.2^\circ/\text{m}$ 。

6.4.7.3 转速不宜大于 250r/min。

6.4.7.4 应设置扭矩检测装置。

6.4.8 钢丝绳卷扬式垂直升船机钢丝绳的缠绕,应符合下列规定。

6.4.8.1 钢丝绳在卷筒上应单层缠绕。

6.4.8.2 提升绳和转矩平衡绳应交错布置在卷筒组上,且共用绳槽工作圈。

6.4.8.3 钢丝绳绳头在卷筒上单独固定时,提升绳安全圈不得少于 2.5 圈,转矩平衡绳和可控平衡绳安全圈不得少于 2 圈;卷筒两侧钢丝绳采用整绳中间固定时,提升绳安全圈不得少于 1.5 圈,转矩平衡绳和可控平衡绳安全圈不得少于 1 圈。

6.4.9 主提升机、牵引绞车、移动提升机卷筒组的荷载应包含各种工况下钢丝绳拉力、制动器荷载、轴支承反力、驱动力矩和设备自重等。钢丝绳拉力应符合下列规定。

6.4.9.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机单根提升钢丝绳最大拉力应按下列工况分别计算:

(1) 正常运行工况按下列公式计算:

对于全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机

$$T_1 = \frac{W_1 + 1.3F_k}{n_1} \quad (6.4.9-1)$$

对于下水式钢丝绳卷扬垂直升船机

$$T_1 = \frac{1.3(W_1 + F_b) - 0.3W_0}{n_1} \quad (6.4.9-2)$$

(2) 对接水满厢工况按下式计算:

$$T_2 = \frac{W_0 + 1.1W_2}{n_2} \quad (6.4.9-3)$$

(3) 对接沉船工况按下式计算:

$$T_3 = \frac{W_0 + 1.1W_3}{n_2} \quad (6.4.9-4)$$

式中 T_1 ——正常运行工况下主提升机驱动卷筒组单根提升绳的最大拉力(kN);

W_1 ——转矩平衡重总重量(kN);

F_b ——主提升机额定提升力(kN);

n_1 ——提升绳数量;

W_0 ——承船厢总重(kN);

T_2 ——对接水满厢工况下单根提升绳以及单根可控重力平衡绳的最大拉力(kN);

W_2 ——对接水满厢工况下超出设计水深的水体重量(kN);

W_3 ——设计船舶排水量(kN);

n_2 ——对接工况支承承船厢的钢丝绳数量;对于全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机,
 n_2 为提升绳和可控重力平衡绳数量之和;对于下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,
 n_2 为提升绳数量;

T_3 ——对接沉船工况下单根提升绳以及单根可控重力平衡绳的最大拉力(kN)。

6.4.9.2 钢丝绳卷扬式斜面升船机正常工况和非正常工况下牵引绞车单根钢丝绳的最大拉力应按式(6.4.9-5)计算。

$$T_4 = \frac{1.1T}{n_3} \quad (6.4.9-5)$$

式中 T_4 ——牵引绞车单根钢丝绳的最大拉力(kN);

T ——牵引绞车钢丝绳的总张力(kN);

n_3 ——牵引绞车钢丝绳数量之和。

6.4.9.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机卷扬提升系统采用双联滑轮组时,单根钢丝绳的最大拉力应按式(6.4.9-6)计算。

$$T_5 = \frac{KF}{2mn\eta} \quad (6.4.9-6)$$

式中 T_5 ——卷扬提升机构单根钢丝绳的最大拉力(kN);

K ——荷载不均匀系数, $K=1.1$;

F ——移动提升机额定提升力(kN);

m ——滑轮组倍率;

n ——卷扬提升系统卷筒总数量;

η ——滑轮组效率。

6.4.10 卷筒组静强度和疲劳强度的计算应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定,并应符合下列规定。

6.4.10.1 正常工况下筒体结构许用应力不应大于40%材料屈服极限,非正常工况或特殊工况下筒体结构许用应力不应大于70%材料屈服极限。

6.4.10.2 筒体受压稳定性安全系数不应小于2.5。

6.4.10.3 卷筒轴的疲劳安全系数不应小于2.0,轴挠度不应大于其支承长度的1/3500。

6.4.11 固定钢丝绳压板的螺栓或螺柱应预紧。钢丝绳与绳槽和压板槽的摩擦系数取值不宜大于0.08,在钢丝绳最大荷载下螺栓或螺柱静强度安全系数不应小于2.5。

6.4.12 主提升机、移动提升机卷扬提升系统和牵引绞车应设置工作制动器和安全制动器,并应符合下列规定。

6.4.12.1 安全制动器宜采用液压盘式制动器,工作制动器宜采用液压盘式或电力液压盘式制动器,且安全制动器和工作制动器应为常闭式。

6.4.12.2 安全工作制动器额定制动力矩应根据制动负荷计算确定,并应满足下列要求:

(1) 钢丝绳卷扬式垂直升船机驱动卷筒上安全制动器的额定制动力矩根据转矩平衡重力计算,可控卷筒上安全制动器的额定制动力矩按可控平衡重力计算;

(2) 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机和钢丝绳卷扬式斜面升船机驱动卷筒上的安全制动器额定制动力矩,按非正常工况下的最大钢丝绳牵引力计算;

6.4.12.3 工作制动器、安全制动器制动安全系数应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。

6.4.12.4 工作制动器和安全制动器应设置上闸和松闸位置检测装置。

6.4.13 安全制动系统紧急制动造成的承船厢或承船车加速度值,应同时满足制动距离小于冲程条件和紧急制动冲击力下的设备强度安全条件,并应符合下列规定。

6.4.13.1 全平衡式垂直升船机紧急制动可采用工作制动器调压上闸方式,加速度绝对值不宜大于 0.08m/s^2 。

6.4.13.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机、钢丝绳卷扬式斜面升船机紧急制动可采用工作制动器分级上闸方式,加速度绝对值不宜大于 0.3m/s^2 。

6.4.13.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机提升机卷扬系统紧急制动宜采用工作制动器全压上闸方式,加速度绝对值不宜大于 0.3m/s^2 ;行走机构紧急制动宜采用制动器全压上闸方式,制动减速度应根据承船厢重量、悬吊高度、导向形式与承载能力等因素综合确定,且绝对值不宜大于 0.1m/s^2 。

6.4.14 滑轮结构静强度和疲劳强度的计算应符合现行国家标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)的有关规定,并应符合下列规定。

6.4.14.1 正常工况滑轮结构计算应力不应大于40%材料屈服极限,非正常工况和特殊工况计算应力不应大于70%材料屈服极限。

6.4.14.2 滑轮轴的疲劳安全系数不应小于2.0。

6.5 爬升式驱动系统和安全机构

6.5.1 齿轮齿条爬升式垂直升船机驱动系统和安全机构的组成应符合下列规定。

6.5.1.1 驱动系统应包括驱动机构、安全制动系统和机械同步轴系统,具体部件应包括驱动齿轮及齿轮托架机构、万向联轴器、高速轴联轴器、锥齿轮箱、安全制动器、工作制动器、液压系统、减速器和驱动电动机等。

6.5.1.2 安全机构应包括安全机构螺杆、撑杆及机械传动系统、导向装置等。

6.5.2 驱动系统的设计工况和荷载组合应符合附录表 B.0.2-5 的规定,额定驱动力应包括附录表 B.0.2-5 正常工况的序号 2 ~ 序号 8。

6.5.3 驱动系统应设置驱动齿轮荷载检测装置和机械过载保护装置。检测装置过载发讯荷载可取额定驱动力的 1.3 倍 ~ 1.5 倍,机械过载保护装置动作荷载宜取检测装置过载发讯荷载的 1.1 倍。

6.5.4 驱动系统的电动机宜采用交流变频电机。电动机功率宜按一台电动机故障,其余电动机继续完成本次运行的原则确定。电动机功率可按附录 F 进行计算。

6.5.5 驱动系统静强度应按驱动齿轮极限荷载计算。各部件的疲劳强度计算应符合下列规定。

6.5.5.1 驱动齿轮托架及齿条的疲劳强度应按额定驱动力计算。

6.5.5.2 高速轴零部件及减速器高速级齿轮副的疲劳强度应按传递 1.2 倍电动机额定功率所对应的荷载计算。

6.5.5.3 减速器其余传动部件及低速轴万向联轴器的疲劳强度应按 1.2 倍额定驱动力与安全机构摩阻力换算到相应零部件上的荷载之和计算。

6.5.6 升船机驱动齿轮、锥齿轮、减速器圆柱齿轮承载能力计算的安全系数,应符合第 6.4.5 条的规定。齿条的承载能力计算,弯曲疲劳强度和弯曲静强度安全系数不应小于 1.6,接触疲劳强度和接触静强度安全系数不应小于 1.1,抗胶合安全系数不应小于 1.6。

6.5.7 驱动机构驱动齿轮和齿条、减速器齿轮宜采用硬齿面,材料质量应符合现行国家标准《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第 5 部分:材料的强度和质量》(GB/T 3480.5)中 ME 级的要求,加工精度应符合下列规定。

6.5.7.1 减速器齿轮的精度不应低于现行国家标准《圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制 第 1 部分:齿面偏差的定义和允许值》(GB/T 10095.1)中 6 级的要求。

6.5.7.2 驱动齿轮和齿条的精度不应低于现行国家标准《圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制 第 1 部分:齿面偏差的定义和允许值》(GB/T 10095.1)中 9 级的要求。

6.5.8 驱动齿轮托架机构设计应符合下列规定。

6.5.8.1 驱动齿轮托架机构应具备传递、限制和检测驱动齿轮荷载以及适应承船厢与承重结构的水平相对变位的功能。

6.5.8.2 驱动齿轮托架机构静强度应按驱动齿轮极限荷载计算,疲劳强度应按额定驱动力计算。

6.5.9 驱动系统应设置工作制动器和安全制动器。工作制动器制动荷载应为电动机的

额定输出扭矩,安全制动器制动荷载应为驱动齿轮极限荷载,且设备形式与安全系数等应符合第 6.4.12 条的规定。

6.5.10 驱动系统的驱动机构之间应设置机械同步轴系统。同步轴系统的设计应符合第 6.4.7 条的规定。

6.5.11 齿条及其埋件的结构与布置应满足齿条的支承、传力、制造和安装的要求。

6.5.12 驱动系统减速器安全螺杆输出轴与其低速轴转速比应为整数,且驱动机构与安全机构间宜设有离合装置和扭矩检测装置。

6.5.13 安全机构设计工况应包括承船厢水漏空、水满厢、对接沉船、空厢检修等。Ⅱ级及以上的升船机宜按承船厢室及平衡重井进水特殊工况进行强度和稳定性校验。

6.5.14 安全机构撑杆应按最大荷载进行静强度和稳定性校验,静强度安全系数不应小于 2.5,稳定性安全系数不应小于 3.0。

6.5.15 安全机构螺杆的螺纹圈数不应少于 4 圈。安全机构螺杆与螺母柱螺牙的计算接触圈数不宜大于 2 圈。

6.5.16 在锁定状态下,安全机构螺杆与螺母柱的螺纹副必须可靠自锁。

6.5.17 4 套安全机构的荷载不均匀系数宜取 1.05 ~ 1.10。

6.5.18 安全机构螺杆和螺母柱螺牙应进行静强度校验。在第 6.5.13 条规定工况下,螺杆与螺母柱螺牙根部的最大弯曲正应力应小于材料屈服极限的 90%,最大剪应力应小于材料屈服极限的 55%,最大综合应力应小于材料的屈服极限。安全机构其他相关构件的静强度安全系数不应小于 1.3。

6.5.19 螺杆和螺母柱的螺纹副间隙,应能适应承船厢与承重结构间相对变位、传动系统间隙改变等正常运行因素影响。

6.5.20 螺母柱及其埋件的结构与布置应满足支承、传力要求。

6.5.21 齿条和螺母柱总高度应大于升船机最大提升高度与上下冲程之和。齿条和螺母柱的分节长度应综合考虑设备制造、安装等因素后确定。

6.6 平衡重系统

6.6.1 升船机平衡重系统宜包括平衡重组、钢丝绳组件、钢丝绳长度调节组件、平衡链及其导向装置、平衡重组锁定装置、钢丝绳润滑装置、平衡重轨道及埋件。

6.6.2 平衡重系统宜采用一根绳悬吊一块平衡重块的形式。

6.6.3 平衡重组应设置安全框架。安全框架设计应符合下列规定。

6.6.3.1 安全框架应能满足钢丝绳断绳事故和平衡重安装检修时的承载要求,其静强度安全系数不宜小于 1.5。

6.6.3.2 安全框架上宜设置纵横两个方向的导向装置。

6.6.3.3 正常情况下安全框架不应承受平衡重重量。

6.6.4 平衡重块可采用高密度混凝土或钢质材料制作,在布置条件允许的情况下,宜选用高密度混凝土。高密度混凝土的密度不宜大于 3.5t/m^3 ,强度等级不宜低于 C30。混凝土平衡重块应进行防水、防潮涂装处理。钢质材料平衡重块应进行防锈处理。平衡重块

的外形尺寸和分节重量应根据设备布置、制造和运输安装条件确定。

6.6.5 全平衡式垂直升船机应设置调整平衡重块。调整平衡重块的设置应符合下列规定。

6.6.5.1 调整平衡重块的材料宜采用钢板或铸钢。

6.6.5.2 调整平衡重块的总重量不宜小于承船厢总重的 5%。

6.6.6 每根钢丝绳应设一套长度调节装置。长度调节装置设计应符合下列规定。

6.6.6.1 调节装置应按正常工况进行强度设计,安全系数不应小于 4.0;按断绳事故工况进行强度校核,安全系数不宜小于 1.5。

6.6.6.2 调节装置调节行程范围应在 $\pm 200\text{mm}$ 范围选取。

6.6.7 钢丝绳组件的可旋转部位应设置防旋装置,相邻钢丝绳宜为左、右旋向间隔配置。

6.6.8 全平衡式垂直升船机宜设置平衡链,平衡链设计应符合下列规定。

6.6.8.1 全部平衡链的单位长度总重量应与承船厢侧全部悬吊钢丝绳的单位长度总重量相等。

6.6.8.2 平衡链宜采用钢丝绳串钢块形式,钢丝绳宜采用抗旋转交互捻钢丝绳,且同一条平衡链的两根钢丝绳应旋向相反。

6.6.9 平衡重组应设置安装检修平台,平台上宜设置平衡重组锁定装置。

7 电气设计

7.1 一般规定

7.1.1 电气设计应包括供配电与接地、主电气传动系统、计算机监控系统、信息监测、信号标志与广播、工业电视系统、通信和网络安全防护等。Ⅲ级及以上或有通航客船的升船机可设置在线状态检测诊断系统。

7.1.2 固定式卷扬启闭机和移动式启闭机的电气设计,应符合国家现行标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)和《船闸电气设计规范》(JTJ 310)的有关规定。

7.2 供配电与接地

7.2.1 Ⅲ级及以上或有通航客船的升船机应为一级负荷,且应由双回路电源供电。其他升船机应为二级负荷,宜由双回路电源供电。升船机主要用电设备负荷等级应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 主要用电设备负荷等级

用电设备	负荷等级	
	按一级负荷供电的升船机	按二级负荷供电的升船机
闸首工作门机构	一级	二级
事故门启闭机	一级	二级
检修门启闭机	三级	三级
承船厢驱动机构	一级	二级
运行监控、调度指挥、网络通信 以及信息化管理等系统	一级	二级
消防用电设备	一级	二级
承船厢闸门启闭机	一级	二级
承船厢对接锁定机构	一级	二级
承船厢充泄水装置	一级	二级
检修机构设备	三级	三级
其他辅助系统设备	三级	三级

7.2.2 供电电源应符合下列规定。

7.2.2.1 一级负荷供电的升船机应由两个独立电源供电。当一个电源停电时,另一个

电源应能自动切换对负荷正常供电。

7.2.2.2 二级负荷供电的升船机宜由两个独立电源供电。当只有一个电源供电时,应由一路高压专用线路供电。

7.2.3 用电设备的供电方式应符合下列规定。

7.2.3.1 按一级或二级负荷供电升船机的设备供电方式应符合现行行业标准《水利水电工程厂(站)用电系统设计规范》(SL 485)的有关规定。

7.2.3.2 消防用电设备应采用双电源供电,并应在其配电线路的最末级配电箱处设置自动电源切换装置。

7.2.4 升船机电负荷计算应综合考虑升船机运行工况和流程,以及设备运行特征,并应符合下列规定。

7.2.4.1 最大负荷应按正常运行、事故检修和工作大门调整三种情况对经常连续、经常断续、经常短时、不经常连续和不经常断续负荷分别统计计算升船机的最大负荷。最大负荷计算原则应符合现行行业标准《水利水电工程厂(站)用电系统设计规范》(SL 485)的有关规定。

7.2.4.2 单级升船机计算动力用电负荷不应小于流程中最大一组电动机同时工作的负荷。多级升船机计算动力用电负荷应考虑多级同时运行的工况。

7.2.5 供配电系统电压等级宜采用 10kV 和 0.4kV 两种电压。

7.2.6 承船厢、桥机等移动设备的供电方式应符合下列规定。

7.2.6.1 采用 10kV 供电时应采用专用拖曳式软电缆。

7.2.6.2 采用 0.4kV 供电时可选用专用拖曳式软电缆或安全滑线。

7.2.7 升船机消防应急照明和疏散指示的设计应符合现行国家标准《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》(GB 51309)的有关规定。

7.2.8 升船机的接地应符合下列规定。

7.2.8.1 升船机设备设施接地宜采用共用接地装置,接地电阻值应采用各用电设备对接地电阻值要求最小的数值。

7.2.8.2 集中控制室的接地设计应符合现行国家标准《数据中心设计规范》(GB 50174)的有关规定。

7.2.8.3 承船厢或承船车应采用软接地导体与接地装置连接,且接地连接线不应少于 2 处。

7.2.9 升船机建筑物的防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB 50057)的有关规定。

7.3 主电气传动系统

7.3.1 主电气传动系统应采用交流变频调速技术,变频装置的功率部分宜采用电压型交-直-交变频结构。电动机主回路宜采用变频器-电动机“一对一”接线方式。

7.3.2 主电气传动系统宜采用再生制动方式。

7.3.3 主电气传动系统变频装置宜采用矢量控制或直接转矩控制技术。

7.3.4 对多电动机同轴驱动升船机,主电气传动系统宜采用位置环、速度环及电流环的三闭环全数字控制调速系统,并宜采用具有抑制轴扭振功能的出力均衡控制方案。

7.3.5 多电动机主电气传动控制系统宜采用“主传动协调控制站+主电气传动系统”的两级控制方案,两级之间宜通过工业以太网或现场总线进行互联。

7.3.6 主电气传动控制系统应设置“检修调试/现地控制/集中控制”三种控制方式。控制权优先级顺序应为“检修调试”“现地控制”“集中控制”。

7.3.7 主电气传动系统应具有下列功能:

- (1)按给定速度图控制;
- (2)正常停机、快速停机和紧急停机;
- (3)预加力矩控制;
- (4)任一传动装置无扰动切除。

7.3.8 主电气传动系统应设置下列保护:

- (1)失压保护;
- (2)短路保护;
- (3)过电流保护;
- (4)过载保护;
- (5)全行程超速保护;
- (6)超程保护;
- (7)多电动机驱动出力不均衡保护。

7.3.9 主电气传动系统静、动特性指标应满足下列要求:

- (1)静特性,速度静差率小于或等于0.5%;调速范围大于或等于50;
- (2)动特性,对给定位置和速度无超调,调节时间不大于1s;对工程设定的无扰动切换负载,动态速度允许变化范围为 $\pm 2.0\%$,恢复时间为1s。

7.3.10 变频装置的功率应与相应电动机功率配套,并按电动机的最大运行电流确定变频装置的额定电流。

7.3.11 多电动机同轴驱动系统电动机之间的固有机特性差不宜大于2.0%。

7.4 计算机监控系统

7.4.1 计算机监控系统主要监控升船机运行设备,应包括升船机闸首设备、提升设备或驱动设备、承船厢及其机械设备、进出厢信号指示灯等。

7.4.2 每座升船机应设置1套计算机监控系统。

7.4.3 计算机监控系统应采用分层分布式结构,应由集中监控层和现地控制层组成。

7.4.4 集中监控层应设置操作员站、工程师站、数据存储服务器、网络通信设备和外围设备等,其中操作员站和数据存储服务器应采用冗余配置。

7.4.5 现地控制层控制站应根据设备分区进行设置,现地控制站负责现地设备控制和数据采集主控制器应采用具有网络通信功能的可编程逻辑控制器(PLC),重要现地控制站的PLC和输入/输出端口宜采用冗余配置。

7.4.6 计算机监控系统网络宜采用光纤环网或冗余星型光纤网,速率不应低于100Mb/s。

7.4.7 计算机监控系统应满足通航运行流程要求,通航运行流程应包括:

- (1)初始化运行流程;
- (2)上行运行流程;
- (3)下行运行流程;
- (4)停航运行流程;
- (5)紧急保护流程。

7.4.8 计算机监控系统应具有互锁、容错、自检及自诊断、故障报警和应急处理等功能。

7.4.9 操作员站应设置“自动程序/单步动作”两种运行控制方式,“单步动作”优先级应高于“自动程序”。现地控制站应设置“检修调试/现地控制/集中控制”三种运行控制方式。

7.4.10 计算机监控系统应具有“紧急停机”和“紧急关门”的紧急处置功能,集中控制室和现地站均应设置“紧急停机”和“紧急关门”操作硬按钮。“紧急关门”指令应具有最高优先权。升船机紧急处置命令的触发方式应采用“连环群发”方式。

7.4.11 计算机监控系统应能实现下列安全闭锁功能:

- (1)进厢信号灯与厢头闸门、防撞机构闭锁;
- (2)对接锁定与提升/驱动机构闭锁;
- (3)间隙密封与充泄水系统闭锁;
- (4)间隙密封与厢头闸门和闸首工作门闭锁;
- (5)对接锁定与间隙密封闭锁;
- (6)制动器与驱动系统的闭锁。

7.4.12 计算机监控系统应能实现下列保护功能:

- (1)主电气传动装置故障保护;
- (2)制动系统故障保护;
- (3)电动机短路、过热、过速保护;
- (4)机构过载保护;
- (5)机构动作超时保护;
- (6)机构动作极限位置保护;
- (7)承船厢水平超差故障保护。

7.5 信息监测

7.5.1 信息监测项目应包括水位状态、机构状态、船舶航行等主要信息,主要包括下列监测内容:

- (1)上下游水位;
- (2)承船厢水深及门间间隙水深;
- (3)承船厢或承船车的行程、位置;
- (4)承船厢或承船车的停位位置;

- (5) 承船厢或承船车的运行速度;
- (6) 船舶在船厢内的位置、航速和吃水深度;
- (7) 承船厢入水深度;
- (8) 承船厢水平度;
- (9) 同步轴力矩。

7.5.2 重要监测项目的监测装置应冗余配置,并宜采用不同工作原理的装置进行监测。

7.5.3 信息监测装置的外壳防护等级(IP 防护等级)应满足使用环境要求。

7.5.4 承船厢停位检测宜采用直接检测法,承船厢行程和水深检测宜采用多点检测。

7.6 信号标志与广播

7.6.1 升船机的信号和标志设计,应符合现行行业标准《船闸电气设计规范》(JTJ 310)有关规定。

7.6.2 升船机进、出厢信号灯应具有互锁关系,且进、出厢灯光信号与闸首门和承船厢厢头门的位置状态应具有互锁关系。

7.6.3 升船机应设置下列主要通航运行标志:

- (1) 船舶进厢限速标志;
- (2) 相对位置与停船界限标志;
- (3) 承船厢宽度界限标志;
- (4) 承船厢上下游禁停线标志;
- (5) 承船厢室高程标志;
- (6) 多级升船机承船厢室编号标志。

7.6.4 承船厢室高程标志宜每 1.00m 一道标志、每 2.00m 一道数字标志。

7.6.5 升船机广播系统宜包括船厢室段广播系统和上下游广播系统。船厢室段广播系统应兼顾消防广播功能,且消防广播优先级应高于指挥广播。

7.6.6 广播范围应覆盖上下游引航道区间、上下闸首和承船厢室区间,以及升船机重点设备设施区域等。

7.6.7 广播系统设计应符合现行国家标准《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526)的有关规定,且声场均匀度、清晰度应满足应用要求。广播系统宜选用指向性强、声压级高的中高频段扬声器等性能指标。

7.7 工业电视系统

7.7.1 工业电视系统应由前端设备、传输设备、存储设备和控制设备等组成。

7.7.2 工业电视系统设计应符合国家现行标准《工业电视系统工程设计标准》(GB/T 50115)和《水运视频监控系统建设技术规范》(JTS/T 160)的有关规定。

7.7.3 工业电视系统的监视对象宜包括通航船舶和升船机闸首、承船厢室段、引航道、机房、控制室等。重点监视范围宜包括下列内容:

- (1) 上下闸首工作闸门区;

- (2)承船厢或承船车的厢头门区;
- (3)承船厢或承船车的主要设备区;
- (4)承船厢或承船车的疏散通道区;
- (5)引航道靠船墩、导航墙区;
- (6)主机房主要设备区;
- (7)集中控制室、电气设备室、供配电室;
- (8)其他所需要监视的场所。

7.7.4 前端设备摄像机特殊功能应符合现行行业标准《水运视频监控系统建设技术规范》(JTS/T 160)的有关规定。

7.7.5 数据存储时间不应少于 30d,且应具有断电数据保护功能。

7.8 通 信

7.8.1 升船机应设置内部通信设施和对外通信设施,其通信方式可由有线通信和无线通信组成。

7.8.2 升船机应设置甚高频无线通信设施。

7.8.3 程控交换机设备用户端口的备用量可按实际用户的 10% 考虑,且程控交换机容量不应少于 48 线。

7.8.4 电话线路的配置数量应满足升船机业务的需要,可按交换设备初装用户容量的 130% ~ 160% 考虑。

7.9 网络安全防护

7.9.1 升船机网络安全防护工作应按“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则进行安全防护设计,并应符合现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》(GB/T 22240)和《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)的有关规定。

7.9.2 升船机网络安全防护设备应与计算机监控系统同时设计、同时施工、同时投入运行。

7.9.3 升船机网络应分为控制专网和管理信息网,计算机监控系统应布置在控制专网,工业电视等其他信息系统布置在管理信息网。控制专网和管理信息网之间应设置经检测认证的单向网络隔离装置。

7.9.4 管理信息网与广域网的纵向连接处宜设置经检测认证的加密认证装置或加密认证网关等设施。

7.9.5 控制专网不应接入具有无线通信功能的设备。

7.9.6 网络安全区边界应采取安全防护措施,通用网络服务不应穿越生产控制区和管理信息区之间的边界。

7.9.7 控制专网和管理信息网应使用经安全检测认证的计算机操作系统、数据库等基础软件。

8 消防设计

8.1 一般规定

8.1.1 升船机设置的消防设施应以扑灭自身火灾、保护升船机本体结构及设备安全为主,并兼顾扑救过机船舶火灾的功能。

8.1.2 升船机整体宜按丁类火灾危险建筑工程设计。升船机承船厢室火灾危险性宜按丙类设计,其余场所的火灾危险性分类应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016)的有关规定。

8.1.3 运输甲、乙类火灾危险性危险品的船舶通过升船机应进行专题研究论证,允许通过时,应提出相应的消防措施。

8.1.4 升船机宜按建筑结构特点划分防火分区,承船厢应作为一个独立的防火分区,各防火分区之间的连通通道应采用甲级防火门分隔。

8.1.5 消防应急疏散指示系统、消防电话系统、消防电梯和火灾应急广播的设置应符合下列规定。

8.1.5.1 消防应急疏散指示系统应结合工程应急照明一并设置,并应符合现行国家标准《消防应急照明和疏散指示系统》(GB 17945)的有关规定。

8.1.5.2 消防电话系统可结合生产调度电话一并设置,并应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116)的有关规定。

8.1.5.3 消防电梯设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016)的有关规定。

8.1.5.4 火灾应急广播宜结合通航广播合并设计,并应满足通航指挥和火灾指挥的双重要求。

8.2 消防

8.2.1 升船机塔柱应设置安全疏散出口并配备相应消防设施,并应符合下列规定。

8.2.1.1 在承船厢室左、右两侧混凝土承重塔柱沿高度方向每隔 6m ~ 10m 应设置一条水平疏散通道,疏散通道靠承船厢室一端应设向疏散方向开启的甲级防火门。

8.2.1.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机疏散通道宜设在塔柱外侧。

8.2.1.3 通过客船的升船机的疏散通道应满足客船额定承载人数疏散的要求。

8.2.2 混凝土承重塔柱内设置的疏散通道及疏散楼梯应为封闭式,并应配置正压送风系统。

8.2.3 承船厢上应设置消防灭火设施,可采用消防水炮或带消防软管卷盘的室内消火栓。

8.2.4 从承船厢中取水的灭火设施,其灭火施救不应影响承船厢的安全。

8.3 火灾自动报警

8.3.1 升船机应设置火灾自动报警系统,系统的设计应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116)的有关规定,火灾报警区域宜与防火分区的划分相同。

8.3.2 承船厢驱动机房、闸首启闭机房、主提升机房、供配电室、集中控制室、现地控制机房、电梯机房、电缆层及电缆桥架等设备集中布置的区域,应根据设备火灾特点设置相应的火灾报警探测器。

8.3.3 火灾报警系统宜采用集中报警控制方式。集中火灾报警控制器、消防控制屏或控制终端应设置在有人值守的消防控制室内,宜在各防火分区设置区域火灾报警控制器。

8.3.4 消防控制室内应设置可直接报警的外线专用电话。

9 信息系统设计

9.0.1 升船机信息系统宜包括升船机运行管理子系统、升船机设备设施管理子系统和信息服务子系统等。

9.0.2 各子系统设计应符合现行行业标准《船闸信息系统设计规范》(JTS/T 161)的有关规定,并应符合下列规定。

9.0.2.1 升船机运行管理子系统可包括船舶过机调度、过机安全管理和过机信用管理等功能。

9.0.2.2 设备设施管理子系统可包括设备设施状态、维护和检修等管理功能。

9.0.2.3 信息服务子系统可包括通航环境信息服务、过机信息服务、监管信息服务等。

9.0.2.4 多级或多线升船机应设置1套联合调度管理系统。

9.0.3 升船机信息系统应留有与电子航道图系统、船舶自动识别系统(AIS)、船舶交通管理系统(VTS)和通航联合调度系统等接口。

9.0.4 信息系统总体架构宜包括感知层、基础设施层、数据资源层、应用支撑层、应用层、用户服务层和保障体系等部分,系统总体设计应符合现行行业标准《船闸信息系统设计规范》(JTS/T 161)的有关规定。

9.0.5 信息系统主要设备应包括服务器、存储设备、网络通信设备和网络安全设备等,服务器和存储设备应采用硬件冗余配置。

9.0.6 信息系统应部署在管理信息网,管理信息网的传输速率不应低于1000Mb/s;船岸信息交互可采用甚高频(VHF)或5G等新一代移动通信技术。

9.0.7 设施设备状态等信息宜通过共享工程相关信息获取。

9.0.8 信息系统的服务器、存储设备、网络安全等设备应与升船机集中控制系统分开,宜独立布置。

9.0.9 信息系统网络安全防护等级不应低于现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护安全技术要求》(GB/T 25070)中第二级等保的防护要求,且网络分区应符合第7.9节的有关规定。

附录 A 承船厢纵倾稳定性计算

A.0.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机承船厢在设计水深条件下的纵倾稳定性应按式(A.0.1-1)和式(A.0.1-2)计算。

$$a \geq S \cdot a_c \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$a_c = \sqrt{\left(1 + \frac{EAR_r^2 l_r n_r}{2GJHn_a i_a^2}\right) \frac{gpBL^3 H}{3n_r EA}} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中 a ——驱动点纵向中心距(m);

S ——纵倾稳定安全系数,不应小于2.2;

a_c ——临界中心距(m);

E ——提升绳的弹性模量(kN/m^2),取 $1.0 \times 10^8 \text{kN/m}^2$;

A ——单根提升绳的金属横截面积(m^2);

R_r ——卷筒的名义半径(m);

l_r ——连接单边纵向两卷扬机的同步轴总长度(m);

n_r ——提升绳的数量;

g ——重力加速度(m/s^2);

ρ ——水体密度(t/m^3);

B ——承船厢水域宽度(m);

L ——承船厢水域长度(m);

H ——提升绳的最大悬吊长度(m),取卷筒出绳点至最低位承船厢吊耳孔中心的距离;

G ——钢材的切变模量(kN/m^2),为 $8.08 \times 10^7 \text{kN/m}^2$;

J ——单根同步轴横截面的极惯性矩(m^4);

n_a ——纵向同步轴个数,矩形和X形同步轴 n_a 值取2,工字形同步轴 n_a 值取1;

i_a ——同步轴与卷筒的转速比。

A.0.2 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢在设计水深条件下的纵倾稳定性可按式(A.0.2-1)和式(A.0.2-2)计算。

$$a \geq S \cdot a_c \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$a_c = k_w \sqrt{\left(1 + \frac{EAR_r^2 l_r n_r}{2GJHn_a i_a^2}\right) \frac{gpBL^3 H}{3n_r EA}} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中 a ——驱动点纵向中心距(m);

S ——纵倾稳定安全系数,不应小于2.2;

- a_c ——临界中心距(m);
 k_w ——风载对纵倾稳定性的影响系数,根据升船机设计允许最大运行风速的大小取 1.2 ~ 1.4;
 E ——提升绳的弹性模量(kN/m^2),取 $1.0 \times 10^8 \text{kN}/\text{m}^2$;
 A ——单根提升绳的金属横截面积(m^2);
 R_r ——卷筒的名义半径(m);
 l_r ——连接单边纵向两卷扬机的同步轴总长度(m);
 n_r ——缠绕在卷筒上的钢丝绳数量,当卷扬提升系统采用八卷筒、双联滑轮组、四点驱动形式时, n_r 为 16;
 g ——重力加速度(m/s^2);
 ρ ——水体密度(t/m^3);
 B ——承船厢水域宽度(m);
 L ——承船厢水域长度(m);
 H ——承船厢在下游水域脱离水面时卷筒轴线至动滑轮组线的垂直距离(m);
 G ——钢材的切变模量(kN/m^2),为 $8.08 \times 10^7 \text{kN}/\text{m}^2$;
 J ——单根同步轴横截面的极惯性矩(m^4);
 n_a ——纵向同步轴个数,矩形和 X 形同步轴 n_a 值取 2,工字形同步轴 n_a 值取 1;
 i_a ——同步轴与卷筒的转速比。

附录 B 主提升机、驱动系统、牵引绞车设计工况与荷载组合

B.0.1 升船机主提升机、驱动系统与牵引绞车应按正常和非正常,以及特殊工况荷载进行设计。

B.0.2 主提升机、驱动系统、牵引绞车设计工况与荷载组合计算应符合下列规定。

B.0.2.1 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机设计工况与荷载组合可按表 B.0.2-1 确定。

表 B.0.2-1 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机设计工况与荷载组合

序号	荷载分类	工况类型											
		正常工况			非正常工况						特殊工况		
		承船 厢空 中升 降	承船 厢水 中升 降	承船 厢对 接	断— 钢丝 绳	对接 —制 动器 失效	—电 传失 效升 降	对接 水满 厢	升降 承船 厢漏 水	紧急 机械 制动	对接 沉船	承船 厢水 漏空	升降 二电 传失 效
1	提升绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	重力平衡绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	转矩平衡绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	主提升机设备自重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5	误载水重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	承船厢总重与平衡重总重差	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7	钢丝绳僵性阻力	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
8	承船厢和平衡重惯性力	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
9	滑轮和卷筒组摩阻力	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
10	导向系统运行摩阻力	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
11	钢丝绳不平衡重量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
12	水体浮力	×	√	×	×	×	√	×	×	×	×	×	√
13	设备惯性力矩	√	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
14	厢内沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×
15	安全制动系统制动力	×	×	√	√	√	×	√	×	√	√	×	×

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;
②“对接—制动器失效”工况,包括承船厢与闸首对接和承船厢下水后主提升机停机的工况;
③“承船厢水漏空”工况应按承船厢继续运行至检修停位位置停机检修设计。

B.0.2.2 非下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机设计工况与荷载组合可按表 B.0.2-2 确定。

表 B.0.2-2 非下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机设计工况与荷载组合

序号	荷载分类	工况类型										
		正常工况		非正常工况						特殊工况		
		承船 厢升 降	承船 厢对 接	断— 钢丝 绳	对接 —制 动器 失效	—电 传失 效升 降	对接 水满 厢	升降 承船 厢漏 水	紧急 机械 制动	对接 沉船	承船 厢水 漏空	升降 二电 传失 效
1	提升绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	重力平衡绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	转矩平衡绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	设备自重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5	误载水重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	承船厢总重与平衡重总重差	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7	钢丝绳僵性阻力	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
8	承船厢和平衡重惯性力	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
9	滑轮和卷筒组摩阻力	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
10	导向系统摩阻力	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
11	钢丝绳不平衡重量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
12	设备惯性力矩	√	×	×	×	√	×	√	√	×	×	√
13	厢内沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×
14	安全制动系统制动力	×	√	√	√	×	√	√	√	√	√	×

注：①“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合；

②“承船厢总重与平衡重总重差”为承船厢在设计水深条件下实际重量与平衡重实际总重的差值；

③“钢丝绳不平衡重量”仅限于不设平衡链的升船机；

④“升降漏水”工况指承船厢少量漏水；

⑤“断—钢丝绳”工况指主提升机立即制动停机；

⑥“误载水重”为设计水深与实际水深之差的平衡荷载；

⑦“升降二电传失效”工况为双重故障，该工况升船机继续完成本次运行或立即停机检修。

B.0.2.3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机提升机设计工况与荷载组合可按表 B.0.2-3 采用。

表 B.0.2-3 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机提升机设计工况与荷载组合

序号	荷载分类	正常工况			非正常工况				特殊工况
		承船厢 空中 升降	承船厢 水中 升降	大车 运行	一电传 失效 升降	大车 冲击 缓冲 装置	大风 锚定	紧急 机械 制动	地震
1	提升绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√
2	主提升机设备自重	√	√	×	√	×	×	√	×
3	移动式提升机自重	×	×	√	×	√	√	×	√
4	水体压力	√	√	√	√	√	√	√	√
5	钢丝绳僵性阻力	√	√	×	√	×	×	√	×
6	承船厢惯性力	√	√	√	√	√	×	√	√
7	滑轮和卷筒组摩阻力	√	√	√	√	√	×	√	×
8	钢丝绳及吊具重量	√	√	√	√	√	√	√	√
9	水体浮力	×	√	√	√	×	×	×	×
10	设备惯性力矩	√	√	×	√	×	×	√	×
11	安全制动系统制动力	×	×	×	×	×	×	√	×
12	风荷载	×	×	√	×	√	√	×	√
13	轨道荷载	×	×	√	×	√	√	×	√
14	地震荷载	×	×	×	×	×	×	×	√

注：“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合。

B.0.2.4 钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车设计工况与荷载组合可按表 B.0.2-4 确定。

表 B.0.2-4 钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车设计工况与荷载组合

序号	荷载分类	工况类型		
		正常工况		非正常工况
		升降	进出船	紧急机械制动
1	牵引绞车设备自重	√	√	√
2	设备惯性力矩	√	×	√
3	承船车总重的斜坡分量	√	√	√
4	风荷载	√	×	√
5	钢丝绳重力斜坡分量	√	√	√
6	钢丝绳僵性阻力	√	×	√
7	支承台车摩擦阻力	√	×	√

续表 B.0.2-4

序号	荷载分类	工况类型		
		正常工况		非正常工况
		升降	进出船	紧急机械制动
8	卷筒、滑轮摩阻力	√	×	√
9	承船车总重惯性力	√	×	√
10	钢丝绳与托辊之间摩擦力	√	×	√
11	安全制动系统制动力	×	√	√

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;

②承船车总重等于承船车自重与水体重量之和。

B.0.2.5 齿轮齿条爬升式垂直升船机驱动系统设计工况与荷载组合可按表 B.0.2-5 确定。

表 B.0.2-5 齿轮齿条爬升式垂直升船机驱动系统设计工况与荷载组合

序号	荷载分类	工况类型					
		正常工况	非正常工况			特殊工况	
		承船厢升降	一电传失效升降	承船厢水漏空	紧急机械制动	承船厢室进水	升降二电传失效
1	驱动系统设备自重	√	√	√	√	√	√
2	误载水重	√	√	×	√	×	√
3	承船厢总量与平衡重总重差	√	√	√	√	×	√
4	钢丝绳僵性阻力	√	√	×	√	×	√
5	承船厢和平衡重惯性力	√	√	×	√	×	√
6	滑轮摩阻力	√	√	×	√	×	√
7	导向系统运行摩阻力	√	√	×	√	×	√
8	钢丝绳不平衡重量	√	√	√	√	×	√
9	设备惯性力矩	√	√	×	√	×	√
10	安全机构摩阻力	√	√	×	√	×	√
11	齿轮极限荷载	×	×	√	×	√	×
12	安全制动系统制动力	×	×	√	√	√	×

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;

②“齿轮极限荷载”在“承船厢水漏空”和“承船厢室进水”工况时数值相同。

附录 C 垂直升船机承重结构荷载组合

表 C.0.1 承载能力极限状态荷载组合表

序号	荷 载		基 本 组 合						偶然组合	
			运行期				检修期			
			1	2	3	4	5	6	1	2
1	结构自重与设备自重		√	√	√	√	√	√	√	√
2	扬压力		√	√	√	√	√	√	√	√
3	土压力		√	√	√	√	√	√	√	√
4	风荷载、雪荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
5	承船厢及设备、平衡重及设备作用在结构上的荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
6	楼面、楼梯及平台的活荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
7	水压力	运行期最高挡水位	√	√	×	×	×	×	√	×
		运行期最低挡水位	×	×	√	√	×	×	×	√
		检修期最高挡水位	×	×	×	×	√	√	×	×
8	温度作用	气温周期变化	√	√	√	√	√	√	×	×
		日照	√	×	√	×	√	×	×	×
		气温骤降	×	√	×	√	×	√	×	×
9	地震作用		×	×	×	×	×	×	√	√

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;
②当结构自重及设备重对结构有利时,应予以折减;
③温度作用应予以折减,折减系数可取0.3~0.4;
④风荷载、雪荷载,楼面、楼梯及平台的活荷载与地震组合时,应予以折减。

表 C.0.2 正常使用极限状态荷载组合表

序号	荷 载		基本组合					
			运行期				检修期	
			1	2	3	4	5	6
1	结构自重与设备自重		√	√	√	√	√	√
2	扬压力		√	√	√	√	√	√
3	土压力		√	√	√	√	√	√

续表 C.0.2

序号	荷 载		基 本 组 合					
			运行期				检修期	
			1	2	3	4	5	6
4	风荷载、雪荷载		√	√	√	√	√	√
5	承船厢及设备、平衡重及设备作用在结构上的荷载		√	√	√	√	√	√
6	楼面、楼梯及平台活荷载		√	√	√	√	√	√
7	水压力	运行期最高挡水位	√	√	×	×	×	×
		运行期最低挡水位	×	×	√	√	×	×
		检修期最高挡水位	×	×	×	×	√	√
8	温度作用	气温周期变化	√	√	√	√	√	√
		日照	√	×	√	×	√	×
		气温骤降	×	√	×	√	×	√

注：①“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合；

②当计算结构的裂缝宽度时，温度作用应予以折减，折减系数可取 0.5 ~ 0.6。

附录 D 承船厢动水压力计算

D.0.1 承船厢内的动水压力可采用豪斯纳模型计算,等效质量宜包括作用在承船厢壁上的冲击压力等效的附加质量和对流压力的等效质量。豪斯纳模型动水质量示意图如图 D.0.1 所示。

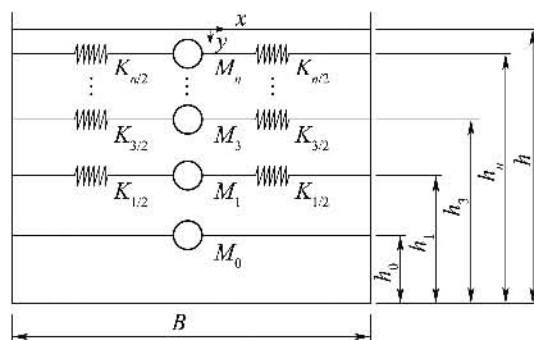


图 D.0.1 豪斯纳模型动水质量示意图

D.0.2 作用在承船厢壁上的冲击压力附加质量 M_0 及其距承船厢底部高度 h_0 可按下列公式计算:

$$M_0 = M \frac{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{B}{2h}\right)}{\sqrt{3} \frac{B}{2h}} \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$h_0 = \frac{3}{8} h \left[1 + \frac{4}{3} \left(\frac{\sqrt{3} \frac{B}{2h}}{\tanh \sqrt{3} \frac{B}{2h}} - 1 \right) \right] \quad (\text{D.0.2-2})$$

式中 M_0 ——冲击压力部分等效的附加质量(kg);

M ——承船厢总的水体质量(kg);

B ——承船厢宽度(m);

h ——承船厢水深(m);

h_0 ——附加质量 M_0 距承船厢底部高度(m)。

D.0.3 对流压力的等效质量 M_n 、等效弹簧刚度 K_n 可按下列公式计算:

$$M_n = \frac{M}{n} \left[\frac{\sqrt{10} B}{12 h_n} \tanh\left(\frac{\sqrt{10} h_n}{B}\right) \right] \quad (n=1, 3, 5, \dots) \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$K_n = M_n \frac{\sqrt{10} g n}{B} \tanh\left(\frac{\sqrt{10} h_n}{B}\right) \quad (n=1, 3, 5, \dots) \quad (\text{D.0.3-2})$$

$$h_1 = h \left(1 - \frac{1}{\sqrt{10} \frac{h}{B} \tanh \sqrt{10} \frac{h}{B}} \right) \quad (\text{D.0.3-3})$$

式中 M_n ——对流压力的第 n 阶对流谐振力等效质量(kg);
 M ——承船厢总的水体质量(kg);
 B ——承船厢宽度(m);
 h ——承船厢水深(m);
 h_n ——对流压力的第 n 阶对流谐振力等效质量距离承船厢底部高度(m),其中第一阶对流谐振力等效质量距离承船厢底部高度 h_1 按式(D.0.3-3)计算;
 K_n ——对流压力的第 n 阶对流谐振力等效弹簧刚度(N/m);
 g ——重力加速度(m/s^2)。

D.0.4 在竖向地震作用下,槽底法向的附加质量可只计脉冲动水压力部分,并按式(D.0.4)计算。

$$M_y = 0.8 \rho_w h \quad (\text{D.0.4})$$

式中 M_y ——槽底法向附加水体质量(kg);
 ρ_w ——水的密度(kg/m^3);
 h ——承船厢水深(m)。

附录 E 承船厢和承船车设计工况与荷载组合

E.0.1 承船厢和承船车设计按正常工况、非正常工况和特殊工况(对接沉船和承船厢水漏空)下作用在承船厢上的不利荷载组合进行计算。

E.0.2 承船厢和承船车在地震设防烈度Ⅷ~Ⅸ度地震区,应进行地震工况下的荷载组合计算。

E.0.3 承船厢设计工况与荷载组合计算应符合下列规定。

E.0.3.1 不下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢设计工况与荷载组合可按表 E.0.3-1 采用。

表 E.0.3-1 不下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢设计工况与荷载组合表

序号	荷载分类	工况类型									
		正常工况				非正常工况		特殊工况			
		运行		检修		船舶 撞击	对接 水漏 厢	对接 沉船	承船 厢水 漏空	地震	
		升降	对接	空厢 锁定	水厢 锁定					升降	对接
1	水压力	√	√	×	√	√	√	√	×	√	√
2	结构和设备重力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	重力平衡绳拉力	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√
4	提升绳拉力	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√
5	系缆力	×	√	×	×	×	√	√	×	×	√
6	风荷载	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7	导向机构支承反力	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√
8	导向机构摩阻力	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√
9	顶紧机构支承反力	×	√	×	×	√	√	√	×	×	√
10	锁定机构支承反力	×	√	×	×	√	√	√	√	×	√
11	密封机构作用荷载	×	√	×	×	√	√	√	×	×	√
12	对接外水压力	×	√	×	×	√	√	√	×	×	√
13	沉船荷载	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×
14	船舶撞击力	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×
15	地震作用	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√
16	检修支承反力	×	×	√	√	×	×	×	×	×	×

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;

②检修工况指承船厢卸掉全部钢丝绳,空厢或水厢支承在下锁定平台。

E.0.3.2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢设计工况及荷载组合可按表 E.0.3-2 采用。

表 E.0.3-2 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢设计工况与荷载组合表

序号	荷载分类	工况类型										
		正常工况					非正常工况		特殊工况			
		运行				检修	对接 水满 厢	船舶 撞击	对接 沉船	承船 厢水 漏空	地震	
		空中 升降	对接	承船 厢下 水	承船 厢出 水	空厢 锁定					升降	对接
1	水压力	√	√	√	√	×	√	√	√	×	√	√
2	结构和设备重力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	重力平衡绳拉力	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√
4	提升绳拉力	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√
5	风荷载	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√	√
6	系缆力	×	√	√	√	×	√	√	√	×	×	√
7	导向机构支承反力	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	×
8	导向机构摩阻力	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	×
9	顶紧机构支承反力	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
10	锁定机构支承反力	×	√	×	×	×	√	√	√	√	×	√
11	密封机构作用荷载	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
12	对接外水压力	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
13	承船厢下水波浪压力	×	×	√	√	×	×	×	×	×	×	×
14	承船厢下水浮力	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×
15	承船厢离水下吸力	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×
16	沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×
17	船舶撞击力	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×	×
18	地震作用	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√
19	检修支承反力	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;

②承船厢检修工况指卸掉全部钢丝绳,空厢支承在上锁定平台。

E.0.3.3 齿轮齿条爬升式垂直升船机承船厢设计工况与荷载组合可按表 E.0.3-3 采用。

表 E.0.3-3 齿轮齿条爬升式垂直升船机承船厢设计工况与荷载组合表

序号	荷载分类	工况类型										
		正常工况				非正常工况		特殊工况				
		运行		检修		船舶 撞击	对接 水漏 厢	承船 厢水 漏空	对接 沉船	承船 厢室 进水	地震	
		升降	对接	空厢 锁定	水厢 锁定						升降	对接
1	水压力	√	√	×	√	√	√	×	√	√	√	√
2	结构和设备重力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	重力平衡绳拉力	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√	√
4	齿轮驱动力	√	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×
5	系缆力	√	√	×	×	×	√	×	√	×	×	√
6	风荷载	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	√
7	纵、横导向支承反力及摩阻力	√	√	×	×	√	√	√	√	×	√	×
8	纵向顶紧支承反力及摩阻力	√	√	×	×	√	√	×	√	√	√	√
9	锁定机构作用力	×	√	×	×	√	√	×	√	√	×	√
10	安全机构作用力	×	√	×	×	√	√	√	√	√	×	√
11	检修支承反力	×	×	√	√	×	×	×	×	×	×	×
12	对接外水压力	×	√	×	×	√	√	×	√	×	×	√
13	密封框作用荷载	×	√	×	×	√	√	×	√	×	×	√
14	沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×
15	船舶撞击力	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×
16	地震作用	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√
17	承船厢浮力	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×

注：①“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合；

②“检修支承反力”适用于承船厢检修工况，空厢锁定和水厢锁定其承船厢支承于安全机构或底部检修支承上。

E.0.3.4 钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车设计工况与荷载组合可按表 E.0.3-4 采用。

表 E.0.3-4 钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车设计工况与荷载组合表

序号	荷载分类	工况类型			
		正常工况		非正常工况	特殊工况
		升降运行	制动停机	大风锁定	地震
1	水压力	√	√	√	√
2	结构和设备重力	√	√	√	√

续表 E.0.3-4

序号	荷载分类	工况类型			
		正常工况		非正常工况	特殊工况
		升降运行	制动停机	大风锁定	地震
3	钢丝绳拉力	√	√	√	√
4	行走机构支承反力	√	√	√	√
5	行走机构摩擦力	√	√	×	√
6	承船车入水浮力	√	×	×	√
7	系缆力	√	√	×	√
8	风荷载	√	√	√	√
9	船舶压力	×	×	×	×
10	地震作用	×	×	×	√

注：“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合。

附录 F 驱动电动机功率计算

F.0.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机的单台电动机功率可按式(F.0.1)计算。

$$P = \frac{k}{n-1} \left(\frac{Fv}{\eta} + \frac{J_{\text{red}} \alpha \omega}{1000} \right) \quad (\text{F.0.1})$$

式中 P ——单台电动机的计算功率(kW)；

k ——交流变频控制系统的功率消耗系数取 1.05；

F ——主提升机额定提升力(kN)；当下水式钢丝绳卷扬垂直升船机采用恒功率调速时，取承船厢在空气中运行的主提升机提升力；

v ——承船厢正常运行速度(m/s)，对下水式钢丝绳卷扬垂直升船机，取承船厢在空气中的运行速度；

J_{red} ——主提升机、驱动系统或牵引绞车所有转动设备转换到电动机轴上的惯性矩(kg·m²)；

α ——与承船厢正常升降加速度对应的电动机轴的正常旋转角加速度(s⁻²)；

ω ——与承船厢正常升降速度对应的电动机轴的正常旋转角速度(s⁻¹)；

n ——电动机数量；

η ——机械传动系统总效率，对主提升机和牵引绞车取 0.85；对驱动系统取 0.65。

F.0.2 齿轮齿条爬升式垂直升船机驱动系统单台电动机功率可按式(F.0.2)计算。

$$P = \frac{k}{n-1} \left(\frac{Fv}{\eta-1} + \frac{J_{\text{red}} \alpha \omega}{1000} + \frac{M_r \omega_r}{\eta_r} \right) \quad (\text{F.0.2})$$

式中 P ——单台电动机的计算功率(kW)；

k ——交流变频控制系统的功率消耗系数取 1.05；

F ——驱动系统额定驱动力(kN)；

v ——承船厢正常运行速度(m/s)，对下水式钢丝绳卷扬垂直升船机，取承船厢在空气中的运行速度；

J_{red} ——主提升机、驱动系统或牵引绞车所有转动设备转换到电动机轴上的惯性矩(kg·m²)；

α ——与承船厢正常升降加速度对应的电动机轴的正常旋转角加速度(s⁻²)；

ω ——与承船厢正常升降速度对应的电动机轴的正常旋转角速度(s⁻¹)；

M_r ——齿轮齿条爬升式垂直升船机安全机构旋转螺杆与推力轴承端面的摩擦力矩(kN·m)；

ω_r ——与承船厢正常升降速度对应的旋转螺杆的正常旋转角速度(s⁻¹)；

n ——电动机数量；

η ——机械传动系统总效率,对主提升机和牵引绞车取 0.85;对驱动系统取 0.65;
 η_x ——齿轮齿条爬升式垂直升船机从电动机经减速器中间出轴至安全机构旋转螺杆的机械效率取 0.9。

F.0.3 钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车单台电动机功率可按式(F.0.3)计算。

$$P = \frac{k}{n} \left(\frac{Fv}{\eta} + \frac{J_{\text{red}} \alpha \omega}{1000} \right) \quad (\text{F.0.3})$$

式中 P ——单台电动机的计算功率(kW);

k ——交流变频控制系统的功率消耗系数取 1.05;

F ——牵引绞车额定牵引力(kN);

v ——承船厢正常运行速度(m/s),对下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,取承船厢在空气中的运行速度;

J_{red} ——主提升机、驱动系统或牵引绞车所有转动设备转换到电动机轴上的惯性矩($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

α ——与承船厢正常升降加速度对应的电动机轴的正常旋转角加速度(s^{-2});

ω ——与承船厢正常升降速度对应的电动机轴的正常旋转角速度(s^{-1});

n ——电动机数量;

η ——机械传动系统总效率,对主提升机和牵引绞车取 0.85;对驱动系统取 0.65。

附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

- (1)表示很严格,非这样做不可的,正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- (2)表示严格,在正常情况下均应这样做的,正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;
- (3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的,正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- (4)表示允许选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

引用标准名录

- 1.《内河通航标准》(GB 50139)
- 2.《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列》(GB 38030)
- 3.《防洪标准》(GB 50201)
- 4.《直齿轮和斜齿轮承载能力计算》(GB/T 3480)
- 5.《起重机设计规范》(GB/T 3811)
- 6.《建筑结构荷载规范》(GB 50009)
- 7.《钢结构设计标准》(GB 50017)
- 8.《高耸结构设计规范》(GB 50135)
- 9.《水工建筑物抗震设计标准》(GB 51247)
- 10.《圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制 第1部分:齿面偏差的定义和允许值》(GB/T 10095.1)
- 11.《升船机设计规范》(GB 51177)
- 12.《直齿轮和斜齿轮承载能力计算 第5部分:材料的强度和质量》(GB/T 3480.5)
- 13.《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》(GB 51309)
- 14.《数据中心设计规范》(GB 50174)
- 15.《建筑物防雷设计规范》(GB 50057)
- 16.《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526)
- 17.《工业电视系统工程设计标准》(GB/T 50115)
- 18.《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》(GB/T 22240)
- 19.《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)
- 20.《建筑设计防火规范》(GB 50016)
- 21.《消防应急照明和疏散指示系统》(GB 17945)
- 22.《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116)
- 23.《信息安全技术 网络安全等级保护安全技术要求》(GB/T 25070)
- 24.《固定式钢梯及平台安全要求 第3部分:工业防护栏杆及钢平台》(GB 4053.3)
- 25.《船闸总体设计规范》(JTS 305)
- 26.《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307)
- 27.《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)
- 28.《船闸启闭机设计规范》(JTJ 309)
- 29.《码头附属设施技术规范》(JTS 169)
- 30.《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)

- 31.《船闸电气设计规范》(JTJ 310)
- 32.《水运视频监控系统建设技术规范》(JTS/T 160)
- 33.《船闸信息系统设计规范》(JTS/T 161)
- 34.《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)
- 35.《水工建筑物荷载设计规范》(SL 744)
- 36.《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)
- 37.《混凝土重力坝设计规范》(SL 319)
- 38.《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725)
- 39.《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211)
- 40.《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74)
- 41.《水利水电工程启闭机设计规范》(SL 41)
- 42.《水利水电工程厂(站)用电系统设计规范》(SL 485)

附加说明

本规范主编单位、参编单位、主要起草人、 主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:长江勘测规划设计研究有限责任公司

参 编 单 位:中交水运规划设计院有限公司

中国船舶集团武汉船舶工业有限公司

长江三峡通航管理局

主要起草人:钮新强(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

章利明(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

于庆奎(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王 可(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

王 蒂(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

方 杨(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

刘科青(中国船舶集团武汉船舶工业有限公司)

刘朝华(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

李树海(中交水运规划设计院有限公司)

李程煌(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

吴俊东(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

张世平(中国船舶集团武汉船舶工业有限公司)

陈小虎(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

林新志(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

金 辽(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

郑卫力(长江三峡通航管理局)

赵 凯(中交水运规划设计院有限公司)

段 波(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

唐 勇(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

彭绍才(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

廖乐康(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

主要审查人:解曼莹

(以下按姓氏笔画为序)

石端伟、肖彦直、吴 澎、沈寿林、胡亚安、胡葆文、徐麟祥、
黄文利、薛文强

总校人员:谢 燕、李荣庆、刘连生、董 方、檀会春、沈寿林、张 毅、
章利明、吴俊东、于庆奎、廖乐康、陈小虎、李树海、闫晓青、
刘科青、方 杨、王 蒂、金 辽

管理组人员:吴俊东(长江勘测规划设计研究有限责任公司)
王 可(长江勘测规划设计研究有限责任公司)
王 蒂(长江勘测规划设计研究有限责任公司)
金 辽(长江勘测规划设计研究有限责任公司)

中华人民共和国行业标准

升船机设计规范

JTS 331—2025

条文说明

目 次

1 总则	(67)
3 基本规定	(68)
3.1 工程级别和设计标准	(68)
3.2 承船厢或承船车有效尺寸	(68)
3.3 通过能力计算	(69)
4 选型与布置	(71)
4.1 形式选择	(71)
4.2 选址与总体布置	(72)
4.3 平衡重式垂直升船机	(72)
4.4 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机	(74)
4.5 钢丝绳卷扬式斜面升船机	(74)
4.6 闸首设备布置	(75)
5 建筑物设计	(77)
5.1 一般规定	(77)
5.2 设计荷载及荷载组合	(77)
5.3 结构设计	(78)
5.4 抗震设计	(78)
5.5 安全监测设计	(78)
6 金属结构和机械设备设计	(80)
6.1 一般规定	(80)
6.2 闸首金属结构和机械设备	(80)
6.3 承船厢和承船车金属结构与机械设备	(82)
6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车	(84)
6.5 爬升式驱动系统和安全机构	(87)
6.6 平衡重系统	(89)
7 电气设计	(91)
7.2 供配电与接地	(91)
7.3 主电气传动系统	(91)
7.4 计算机监控系统	(92)
7.5 信息监测	(92)
7.6 信号标志与广播	(92)

7.9 网络安全防护	(93)
8 消防设计	(94)
8.1 一般规定	(94)
8.2 消防	(94)
附录 C 垂直升船机承重结构荷载组合	(95)
附录 D 承船厢动水压力计算	(96)

1 总 则

1.0.2 随着三峡、向家坝、亭子口、构皮滩等工程升船机的相继建成,我国在升船机建造方面已积累了丰富的实践经验。已建升船机的形式包括齿轮齿条爬升式垂直升船机、全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机、下水式钢丝绳卷扬垂直升船机、移动式钢丝绳卷扬垂直升船机和钢丝绳卷扬式斜面升船机等多种形式。

3 基本规定

3.1 工程级别和设计标准

3.1.1 升船机是通航航道的一部分,如其建设级别低于航道的级别会制约航道运力效能。因此,升船机级别的划分与航道的级别划分是一致的。国家标准《内河通航标准》(GB 50139—2014)将我国航道等级划分为了7级,分别为3000吨级、2000吨级、1000吨级、500吨级、300吨级、100吨级和50吨级。本规范涵盖的范围为3000吨级~100吨级航道Ⅰ级~Ⅵ级的升船机设计。

Ⅶ级航道为通过船舶为50吨级及以下规模船舶。目前,我国桂林、杭州、黄山、宣城、丽水、滁州、宿迁等地已建或规划兴建50吨级的垂直升船机,多用于城市水系景观工程的旅游项目,适用范围没有纳入其中。

3.1.2 钢筋混凝土结构建筑的寿命一般在50a或以上。当升船机的级别低于航道发展规划级别且当航道达到规划级别时,升船机将成为航道的瓶颈。

3.1.5 建筑物级别的划分,通常是按照建筑物安全要求确定的。对兼具挡水和通航两种功能的闸首结构,从工程安全角度考虑采用“就高的原则”,条文提出了其建筑物级别不应低于工程其他挡水建筑物级别的设计要求。

3.1.7 为满足集装箱船、滚装船等各种船舶过机要求,升船机航道范围的净空高度都需符合《内河通航标准》(GB 50139—2014)对通航净高的规定。当工程设有存在碍航的活动交通桥时,交通桥开启后的通航净空也需满足全航道宽度范围对净高的规定。

3.1.8 全平衡式垂直升船机承船厢允许误载水深的大小,决定了升船机动力系统的配置。运行允许误载水深过大,会增大主提升机设备规模;过小,则会增加承船厢水深调节时间,影响升船机的通过能力。为此,参照已建工程提出了承船厢运行允许误载水深限定要求。目前,已建工程运行允许误载水深范围均未超过 $\pm 0.15\text{m}$ 。

承船厢对接允许误载水深,与航道水位变率和对接时长密切相关。尤其是升船机下游水位,受电站机组调峰和工程泄洪流量影响较大,对接允许误载水深范围通常是类比以往工程或经水工模型试验确定。

3.2 承船厢或承船车有效尺寸

3.2.1~3.2.3 承船厢或承船车有效水域的长度、宽度、水深的取值直接关系到升船机承船厢尺度和船舶过机安全,以及整个承船厢运动系统的规模。

富裕总长度 l_f 与船舶吨级大小、船舶进出速度等因素有关。在相同航速下,船舶吨位越大,停车距离也越长,要求的承船厢总长度也越长,工程投资也越大,因而需合理确定富

裕总长度。国内已建升船机总富裕长度大多为 3m ~ 10m。工程规模小的升船机相应取小值。

富裕总宽度 b_f 与船舶驶进承船厢的航行速度以及环境等因素有关,一般结合承船厢水深和船舶进出承船厢的限定速度统筹考虑。条件允许时,承船厢或承船车有效宽度中的富裕总宽度尽可能小,以减小承船厢或承船车、主提升机或驱动系统以及平衡重系统的规模。根据国内已建升船机的经验,富裕总宽度一般取 0.8m ~ 1.2m。

承船厢或承船车的富裕水深 ΔH 的大小,与船舶进出承船厢或承船车的速度、承船厢或承船车断面系数及其底板的不平整系数等因素有关。

船舶航行过程中,其艏部将产生下沉。模型试验和已建升船机的运行实践表明,船舶驶出承船厢或承船车时,艏部的下沉量明显大于驶进承船厢或承船车时的下沉量。承船厢或承船车的富裕水深 ΔH 大于船舶下沉量 D ,并考虑适当的安全裕度,才能保证船舶航行安全。

国内已建升船机承船厢有效尺度统计如表 3.1 所示。

表 3.1 国内已建升船机承船厢有效尺度统计表

工程	通航规模(吨级)	船舶尺寸(m) (长×宽×吃水)	承船厢有效尺度(m) (长×宽×设计水深)	富裕 长度 (m)	富裕 宽度 (m)	富裕 水深 (m)	水深 系数
隔河岩	300	35×9.2×1.3	42×10.2×1.7	7.0	1.0	0.40	1.31
水口	2×500	111×10.8×1.6	114×12×2.5	4.0	1.2	0.90	1.56
彭水	500	55×10.8×1.6	59×11.7×2.5	4.0	0.9	0.90	1.56
亭子口	2×500	112×10.8×1.6	116×12×2.5	4.0	1.2	0.90	1.56
三峡	3000(单船)	84.5×17.2×2.65	120×18×3.5	—	0.8	0.85	1.32
	1500(船队)	109.4×14.0×2.78		10.6	4.0	0.72	1.258
向家坝	2×500(船队)	111×10.8×1.6	116×12×3.0	4.0	1.2	1.40	1.875
	1000(单船)	85×10.8×2.0		—	1.2	1.00	1.5

3.3 通过能力计算

3.3.3 为保证安全,通常船舶在承船厢内的航行速度都较航道内低,一般均不大于 0.5m/s。若船舶平均航速过大,所需的承船厢富裕长度和通航水深也较大。我国已建的水口、岩滩、隔河岩、亭子口、构皮滩等Ⅳ级及以下升船机工程,经过模型试验,船舶进出厢的平均航速通常都不大于 0.5m/s。新近投运的三峡、向家坝两座升船机,虽然平均进厢速度也限制在 0.5m/s 内,但实际运行中发现尚有调整余地,故而对Ⅲ级及以上升船机的船舶平均进厢速度提出“通过模型试验确定”的要求。

3.3.4 ~ 3.3.6 针对不下水式、下水式和移动式钢丝绳卷扬垂直升船机,按照单向和双向运行流程,通过能力的计算考虑了流程中主要单步动作时间要素。

不下水式垂直升船机承船厢的正常运行速度值,是以国内已建几座升船机数据为基础给出的。当提升高度较大,过机运量大时一般采用较大值。在满足运量要求的情况下,一般采用低值。

下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢在水中的升降速度,受到承船厢外水压、水流等因素影响一般不取太大,在空气中的速度在满足运量的情况下也一般不取太高,否则会加大主提升机规模。

上闸首工作闸门开门或关门时间 t_1 的取值设定为1.0min~2.5min,是参考相关工程给出的。向家坝工程的 t_1 值约1.0min,三峡工程的 t_1 值约2.5min。

三峡升船机船舶进入承船厢后靠泊系缆时间一般约为1min~3min,解缆驶离承船厢时间约为0.5min,但也有升船机运行时船舶进出承船厢系、解缆不占直线运行时间。由于三峡升船机尚处在建成运行初期,随着过机经验的增加,系、解缆时间还会有所减少。综合考虑,计算通过能力时系、解缆时间之和取0.5min~1.0min。

对于水位变率较快的升船机运行条件,适当考虑对接工况承船厢水深调节时间,根据三峡升船机运行经验,每厢次平均为0.4min。对于选择升船机作为通航建筑物形式的枢纽工程,上游多数为水位变率较小的水库,所以一般仅考虑下游对接的情况。对于上下游均为恒水位的中间渠道,本项取为0min。

日工作22h的取值是参照《船闸总体设计规范》(JTS 305—2025)有关规定制定的。

3.3.7 由于客轮载客人数标准不一,为与《船闸总体设计规范》(JTS 305—2025)保持一致,客轮通过能力仍按过机吨位折算,客轮折算吨位按与客轮基本相同的平面尺度以及代表船型中最大吃水的货轮吨位计算。

4 选型与布置

4.1 形式选择

4.1.1 升船机选型需要关注枢纽运行条件的影响。如枢纽泄洪、冲沙泄水、电站调峰、机组甩负荷等都会对升船机下游航道的水位产生较大影响。此外,开闸、开机过快以及泄洪开闸时还会在下游产生较大的水位变率。当航道水位上升或下降过快时,有可能会造成水满承船厢或船只搁浅等事故,升船机选型时需要予以足够重视。当不下水式垂直升船机难以适应该运行条件时,需考虑选用下水式钢丝绳卷扬垂直升船机。

4.1.2 单级升船机工程造价通常比多级升船机经济,但单级升船机提升高度过高时,支承结构刚度和基础稳定问题就越会很突出。尽管随着升船机工程建造水平的提高,单级升船机的最大提升高度也在逐步增高,但有时仍然会采用多级升船机方式。

多级升船机的级与级间的中间渠道形式通常有明渠、渡槽、隧洞等。隔河岩两级升船机的第1级与第2级之间是通过明渠与渡槽连接的,构皮滩三级升船机的第1级与第2级之间采用了明渠、渡槽和隧洞组合形式连接的。

4.1.3 本条为升船机选型的一般原则。钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车在斜坡道运行期间发生电网断电事故时,承船车内水体和船舶的水平惯性会危及船舶和升船机的安全;由于移动式钢丝绳卷扬垂直升船机不带平衡重,移动式提升机的提升荷载相对较大,当通航船舶的规模较大时,这种形式的升船机的技术经济性较差,为此不予推荐。相对来说,平衡垂式垂直升船机技术较为成熟,已成为V级及以上升船机工程优先选用的形式。

航道水位变率大小,直接影响到不下水式垂直升船机与闸首对接时船只进出承船厢的时间,否则需加大升船机允许误载水深值,进而加大工程建设成本。因而,不下水式垂直升船机较适合于运河或航道水位变率较小的场合。而下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢深入水中,适应航道水位变率的能力较全平衡式垂直升船机大。因此,航道水位变率较大时,多采用下水式钢丝绳卷扬垂直升船机。

4.1.4 全平衡式升船机的驱动形式主要有钢丝绳卷扬式和齿轮齿条爬升式等形式。钢丝绳卷扬式技术成熟、设备制造安装难度小、造价相对较低,目前国内已建的V级及以上的全平衡垂直升船机大多采用钢丝绳卷扬式。齿轮齿条爬升式安全性相对较高,但建造成本和施工难度均较大,两者各有利弊,因而驱动形式的确定需进行技术经济 and 安全性比较。三峡升船机以通航客轮为主,对通航安全要求很高,工程经过比选后确定采用了齿轮齿条爬升驱动形式。

4.2 选址与总体布置

4.2.1 升船机位置选择的原则是要充分利用地形地质条件,通航水流条件,综合考虑各项因素,使其能较好满足通过能力、投资节约、安全运行、维修管理等方面的要求。选择升船机位置时,要妥善解决升船机形式、轴线位置、引航道出口汇流和泥沙条件、及其与水电枢纽运行的关系等一系列问题。

4.2.2 受工程条件制约,有时需要采用多级升船机方案。为避免多级升船机船舶过坝时间过长,提高工程通过能力,通常是在级与级之间的渠道中设置有可错船和临时待航停泊的区域。

4.2.3 升船机的引航道、锚地、导航墙和靠船墩等通航附属设施与船闸的相关附属设施几乎没有差别,因而规定了上述附属设施的设计按现行行业标准《船闸总体设计规范》(JTS 305)的有关规定执行。

4.3 平衡重式垂直升船机

4.3.2 随着我国升船机工程设计经验的不断增加和技术水平的提高,防止承船厢水全部漏空极端事故工况的相关技术措施已逐步完善,并正在已建和在建升船机中得到越来越多的采用。其中,齿轮齿条爬升式的三峡升船机和向家坝升船机,通过具有自锁功能的旋转螺杆-长螺母式安全机构螺纹副,能将失衡的承船厢锁定;钢丝绳卷扬全平衡式的水口升船机、思林升船机、沙沱升船机、百色升船机,通过制动器制动设有可控平衡重和转矩平衡重的卷筒,使上述两种总重量大于承船厢内水体重量的平衡重荷载不再作用于承船厢,间接将承船厢锁定;下水式的岩滩升船机、构皮滩第一、第三级升船机的平衡重全部设置为转矩平衡重,且平衡重的总重量大于承船厢内水体的重量,通过制动器制动卷筒,即可使承船厢锁定。

4.3.3 升船机的承船厢属于超大设备,受下闸首口门宽度限制,一般需在承船厢室内完成最终安装,相应土建结构、设备布置和施工组织设计时,需统筹规划。此外,升船机的滑轮、卷筒和平衡重等大型部件均属于重、大件设备,需考虑吊装手段并提前预留吊装孔洞。设置人员紧急疏散安全通道和运行维护巡视通道是升船机总体布置设计时需考虑的内容。

4.3.4 承船厢承重结构底板顶面及顶部机房底板梁系底面构成了承船厢升降运行区间,其主要高程的确定不仅需考虑上游最高通航水位与下游最低通航水位的要求,尚需满足通航净高、承船厢和平衡重运行冲程、检修设备布置等要求。

全平衡式垂直升船机正常运行时承船厢室内处于无水状态,承重结构下部需挡一定频率的洪水。为此,对这种形式升船机,承重结构下部周边挡水墙高程一般不低于下闸首闸顶高程。

4.3.6 承船厢室段设置一套集中抽排水设施,以保证承船厢室塔柱底部的干燥工作环境,有效降低承重塔柱的扬压力。

4.3.8 承船厢与闸首或闸首工作闸门止水座板之间预留间隙的大小,直接影响到承船厢

与闸首对接充、泄水时间和对闸门埋件、承船厢轨道安装精度的要求。在满足相关设备结构安装检修及安装精度的前提下,尽可能取小值。

4.3.9 驱动点的位置对承船厢变形有很大的影响,合理选择驱动点的位置,可以保证承船厢的整体稳定性,并减小承船厢结构在正常升降运行下的整体变形值。

合理确定驱动点纵向中心距与承船厢总长度之比十分重要。承船厢驱动点纵向中心距过大或过小,都会导致承船厢挠度增大。为确保结构变形不影响承船厢设备的使用功能,需要加高承船厢主纵梁高度。对于钢丝绳卷扬式垂直升船机,驱动点纵向中心距过小还会影响到承船厢的纵倾稳定性能。

4.3.10 钢丝绳卷扬全平衡式垂直升船机的设计难点是实现水漏空工况下承船厢的安全锁定。转矩平衡重和可控平衡重都是可以通过设在主提升机卷筒上的制动器系统进行制动的,为此,规定了转矩平衡重加可控平衡重的总重量不小于承船厢内水体重量,重力平衡重重量不大于承船厢加设备重量。考虑承船厢空厢检修、无水升降调试的需要,建议转矩平衡重重量不小于承船厢结构加设备重量。

下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢下水过程的驱动力来源于承船厢总重力驱动,设置重力平衡重则会抵消承船厢总重力,不利于承船厢顺利入水,因而提出了宜只设置转矩平衡重。

4.3.12 卷筒和滑轮名义直径 D 与钢丝绳直径 d 的比值大小,直接关系到钢丝绳的疲劳寿命。采用较大的 D/d 比值能有效减小钢丝的弯曲应力,有利于延长钢丝绳的使用寿命。国家相关规范虽然尚未对钢丝绳的使用寿命有具体要求,但鉴于升船机钢丝绳更换极为复杂,工程设计一般都按照钢丝绳使用寿命超过 50a 考虑。

对比国内外已建钢丝绳卷扬式垂直升船机,卷筒和滑轮与钢丝绳直径比除水口为 58、斯特勒比为 56.5 外,其余均大于 60。综合考虑钢丝绳的使用寿命以及升船机的经济性,规定了卷筒和滑轮名义直径 D 与钢丝绳直径 d 的比值。

4.3.13 钢丝绳是钢丝绳卷扬式升船机承船厢或承船车的悬吊支承构件。钢丝绳安全系数对承船厢或承船车悬吊系统的安全性以及钢丝绳的使用寿命有直接影响,故而对钢丝绳的安全系数作出规定。目前国内已建和在建 V 级及以上升船机中,平衡钢丝绳的安全系数均不小于 7.0,提升钢丝绳的安全系数均不小于 8.0。国外比利时斯特勒比升船机提升钢丝绳的安全系数为 8.0,德国吕内堡升船机平衡钢丝绳的安全系数为 7.0。

适当提高钢丝绳强度等级,能有效减小钢丝绳直径或数量,同时减小主提升设备规模。目前 1960MPa 级钢丝强度的钢丝绳已在各行业广为应用,更高强度等级的钢丝绳在国内外升船机上尚无工程应用实例。

4.3.14 下水式钢丝绳卷扬垂直升船机的提升绳在其运行周期内的荷载变化巨大。最大荷载出现在承船厢出水的瞬间,总荷载将大于承船厢结构、设备加厢内水体的总重;最小荷载出现在承船厢入水后厢内水面与航道水位齐平时,约为 0.8 倍的承船厢结构、设备总重。其主提升机荷载应综合考虑承船厢在空气中和水下两种不同的运行状态,合理配置卷扬提升系统。为此,对配置的转矩平衡重作出了不宜小于承船厢总重的 70% 的推荐。

公式中折减系数 γ 取值原则:当承船厢结构空腔多时取小值,反之取大值。

4.4 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机

4.4.2 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机的承重结构多采用支墩、排架或支墩与承重墙组合形式。上游侧的承重结构位于开阔水域内,横向风浪及水流条件可能对船舶航行和承船厢的安全运行产生不利影响,承重结构位置选择和结构设计时需要对此予以考虑。

4.4.3 为减小机房检修桥机的规模,对于卷扬机构中减速器和卷筒组的安装、检修,一般利用坝面移动式起重机起吊,机房检修桥机只承担小型设备和零部件的检修起吊。机房屋顶采用可拆式是为了便于减速器或卷筒组拆装。

4.4.4 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机的承船厢在大坝的上、下游侧均入水运行。相对上游开阔水域,下游受到的制约因素较多,最低通航水位条件下,承船厢外缘距承船厢室四周及底部要有足够的距离,以便于承船厢出、入水过程中的补水与排水。当承船厢室尺寸受限时,需要模型试验予以验证。

4.4.7 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢的悬吊系统一般是采用具有一定倍率的动、定滑轮组,为便于承船厢上吊具的布置,需要尽量减小滑轮直径。但滑轮直径越小,钢丝绳的弯曲应力越大,使用寿命越短。综合考虑工程安全、钢丝绳寿命和检修维护及《起重机设计规范》(GB/T 3811—2008)相关规定等各方因素,规定卷筒和滑轮名义直径 D 与钢丝绳直径 d 的比值不宜小于 40。

4.4.8 与钢丝绳卷扬式垂直升船机一样,移动式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢吊点也是沿承船厢纵、横向中心线对称布置,并且同样存在着纵倾稳定问题。

移动式升船机承船厢纵倾稳定性的计算方法与钢丝绳卷扬式基本相同。主要的区别是移动式升船机的承船厢与移动提升机都处于开敞空间,水平风载对其纵倾稳定性的影响更大。计算临界吊点中心距,较钢丝绳卷扬式多了一个大于 1 的风载系数。

4.4.10 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机不带平衡重,卷扬提升机构的提升荷载为承船厢总重与吊具重量之和。在相同通航规模条件下,其提升力要远远大于平衡重式垂直升船机的提升力。为减小移动式钢丝绳卷扬垂直升船机卷扬提升机构设备规模、降低工程造价,卷扬提升机构与承船厢之间一般通过多倍率滑轮组连接。

4.4.11 移动式钢丝绳卷扬垂直升船机的承船厢是在开敞的空间竖直升降和水平移动运行,受风载的影响较大,当水平移动过程中遭遇大风或紧急制动时,承船厢产生的水平位移会危及承船厢安全。在承船厢上加设水平移动限位装置,可以限制承船厢在水平荷载作用下的位移量。

4.5 钢丝绳卷扬式斜面升船机

4.5.2 斜面升船机斜坡道坡度的大小,主要是根据工程区域地形地质条件确定。国内已建斜面升船机规模最大的为丹江口 300 吨级斜面升船机,国外斜面升船机规模最大的为苏联克拉斯诺雅尔斯克的 1500 吨级升船机。部分已建斜面升船机的斜坡道坡度如表 4.1 所示。

表 4.1 斜面升船机斜坡道坡度表

工程名称	成浦	丹江口		隆库尔	克拉斯诺雅尔斯克
		150 吨级	300 吨级		
坡度	1:5	1:7	1:7	1:20	1:10

参照以往工程经验,条文规定了斜面升船机坡道可采用 1:5 ~ 1:20 的坡度。

4.5.5 为使钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车在斜坡道运行时保持水平状态,常用的方法有高低腿方式和高低轨方式。高低腿即在斜坡道上设置两条等高轨道、在承船车上设置两条高支腿和两条矮支腿;高低轨即在斜坡道上设置两条高轨和两条低轨、在承船车上设置四条等高支腿。高低腿方式,要实现上下游的双斜坡运行,需在承船厢上设置四高、四矮,共计八条支腿。但实际运行时,只有两条高腿和两条矮腿在同时支撑运行。长斜坡道采用高低腿方式,主要是为了减少长坡道导轨工程量。此外,高低腿方式的承船厢过驼峰时,驼峰处的轨道仍需按高低轨设计,以完成双向斜坡运行的转换。当然,也有工程下游侧采用高低腿,上游侧采用高低轨。当采用这种方式时,承船厢上只需设置四条高腿和两条矮腿。

丹江口钢丝绳卷扬式斜面升船机上游斜坡道长约 90m,下游斜坡道长约 330m,由于上游坡段长度较短,在上游斜坡道设置了四条高低轨,在长度较长的下游斜坡道设置了两条轨道,在承船车上设置了四条高支腿和两条矮支腿,这比在下游斜坡道设置四条高低轨的工程量要小很多,技术和经济性更加合理。

4.5.8 由于钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引钢丝绳自重会产生下垂,因此每隔一段距离设置了一个托轮,以避免钢丝绳在坡道上摩擦损伤。托轮间距过大起不到支承钢丝绳的作用。按照以往工程经验,建议托轮间距不大于 15m。

4.5.11 双坡钢丝绳卷扬式斜面升船机上、下游斜坡道所形成的最高点,即驼峰。承船车过驼峰通常有驱动式和惯性式两种方式。驱动式是驱动机构牵引承船车过驼峰,承船车受到的冲击较小;惯性式是在速度惯性作用下承船车冲过驼峰,对承船车和船舶都存在着较大的惯性冲击,但工程投资较少,一般应用于小型钢丝绳卷扬式斜面升船机。

4.6 闸首设备布置

4.6.1 水式钢丝绳卷扬垂直升船机的下水端闸首无需设工作门,只需设一道检修门。国内已建和在建的下水式钢丝绳卷扬垂直升船机有两种不同的形式,一种是岩滩升船机和构皮滩第三级升船机采用的承船厢下游下水式,其承船厢在下游航道水域直接下水,下闸首仅需设置一道检修闸门,上闸首则设置一道工作闸门和一道检修闸门;另一种是构皮滩第一级升船机采用的承船厢上游下水式,其承船厢在上游水库水域直接下水,上闸首设置一道检修闸门,下闸首设置一道工作闸门和一道检修闸门。

全平衡垂直升船机的上游运行水位较高,当上闸首作为大坝挡水前缘的一部分时,若上闸首工作闸门因损坏造成大量泄水事故,将对大坝和升船机的安全造成很大危害,此种情况下在上闸首设置事故闸门,便于工作闸门发生事故时能快速下门挡水。为简化设备

布置,上闸首检修闸门一般按事故闸门的运行条件设计,使其兼作事故闸门。

4.6.2 闸首闸门是按最高挡水位要求配置的。正常运行时,不参与工作的闸门通常存放在附近区域。通常闸门存放在下沉式门库内或架空式搁置平台上。存放状态的闸门,既不能影响闸面交通,也不能妨碍船舶通航。

4.6.3 当洪水期航道水位与水流条件不满足通航要求时,升船机将断航。其上闸首由检修闸门挡水,以保工程安全。因而,作为挡水前缘的上闸首检修闸门最高挡水位采用枢纽的上游防洪水位。非挡水前缘的下闸首,如果要求洪水期间不淹没承船厢室,下闸首检修闸门按照挡下游洪水设计,否则只需按照检修挡水的要求确定。对多级升船机中间级闸首,如若设置检修闸门,其最高挡水位通常根据检修的要求确定。

4.6.4 当闸首航槽最大通航水深在承船厢厢头高度范围以内时,承船厢能与闸首直接对接,闸首工作闸门通常选用提升式平面闸门,由启闭机提升至通航净空以上即可。

当闸首航槽最大通航水深超出承船厢厢头高度时,承船厢无法与闸首直接对接,只能与闸首工作闸门对接,通过调整闸首工作闸门的位置适应通航水深的变化,闸首工作闸门通常选用带卧倒小门的下沉式平面闸门;或上层为带卧倒小门的提升式平面闸门与下层为叠梁门的组合门形式,后者能适应更大的水深变化,以减小带卧倒小门的平面闸门门体尺寸并减轻重量。

4.6.5 当闸首工作闸门采用提升式平面闸门时,为满足闸门全开条件下的通航净高要求,闸门启闭机通常选用固定卷扬式启闭机,相应的检修闸门采用固定卷扬式启闭机或移动式启闭机。

对于固定卷扬式启闭机,需在通航净高以上设置启闭机机房。采用液压式启闭机则可以使闸首相对简洁、美观,当液压启闭机的扬程较大时,为减小设备规模、降低制造安装难度,采用步进式液压启闭机方案,相应的检修闸门则采用移动式启闭机。

当闸首工作闸门采用提升式平面闸门与叠梁门组合形式时,闸门启闭机一般选用移动式启闭机,相应的检修闸门则采用桥式启闭机或门式启闭机。

4.6.7 当闸首工作闸门采用提升式平面闸门时,承船厢将直接与闸首对接,其用于对接的承船厢密封装置和间隙充泄水系统设置在闸首上,能简化承船厢的设备布置,减轻承船厢重量。

5 建筑物设计

5.1 一般规定

5.1.3 世界上除 1938 年建成投产的老尼德芬诺升船机采用了钢结构作为承船厢的支撑承重结构外,其他 V 级及以上垂直升船机全部采用了钢筋混凝土结构,包括我国已建和在建的垂直升船机,德国吕内堡升船机、新尼德芬诺升船机,比利时斯特勒比升船机等。钢筋混凝土结构具有耐久性、整体性和可模性好等优点,近来建设的垂直升船机承重结构基本都采用钢筋混凝土结构。

5.2 设计荷载及荷载组合

5.2.1 垂直升船机建筑物包括闸首和承重塔柱,钢丝绳卷扬式斜面升船机包括斜坡道等。不同形式升船机建筑物组成不一样,其荷载及荷载组合也有所不同。设计需研究确定建筑物在升船机安装、运行和检修期间所承受的永久荷载、可变荷载、偶然荷载以及相应的荷载组合。

5.2.4 由于工程条件的限制,部分升船机建在泄洪闸消力池或电站尾水渠道旁。例如高坝洲升船机左侧紧靠泄水闸消力池,向家坝升船机左、右侧分别为冲沙闸消力池和电厂尾水。从确保工程安全和升船机正常运行角度,当采取上述布置时,需考虑水力振动对升船机的影响。

5.2.5 风荷载计算中涉及风振系数、风荷载体型系数、风压高度变化系数等多个系数,国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)中给出了各系数的取值方法,但尚缺乏图 5.2.5 所列的几种典型的对称布置结构。本条参考国内已建的三峡等升船机工程经验,针对风荷载体型系数给出了取值规定。

5.2.6 垂直升船机承重结构多为薄壁结构,气温骤降造成的温差分布一般按下列方法简化处理:

气温骤降的温差分布采用图 5.1 所示的线性分布,其中 t_2 为最大温降值,一般取历时 2d 或 3d 内的最大温降值;当气温骤降历时 2d 时 t_1 取第 1d 末的温降值,当气温骤降历时 3d 时 t_1 取第 2d 末的温降值。

升船机塔柱在日照作用下沿结构厚度方向的温差梯度并不是均匀变化的,其温差分布一般通过试验确定,不具备试验条件时借鉴类似工程经验。

三峡升船机塔柱结构的日照温度荷载是直接采用日照引起温差分布来计算的。图 5.2 为三峡升船机模型试验实测的日照引起温差分布,向阳面与背阳面表面温差分别

为 26.8℃ 和 6.7℃,影响深度为 30cm。

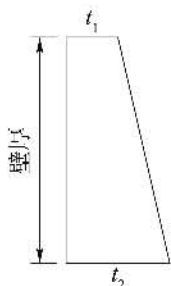


图 5.1 气温骤降温差分布

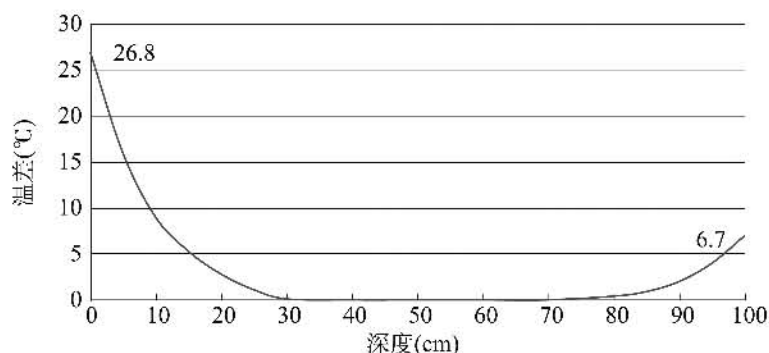


图 5.2 三峡升船机实测日照引起的温差分布曲线

5.3 结构设计

5.3.7 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)规范中,明确了“高宽比大于 4 的高层建筑,基础底面不宜出现零应力区;高宽比不大于 4 的高层建筑,基础底面与地基之间零应力区面积不应超过基础底面积的 15%”的要求。工程设计时,还需要关注承重结构顶部机房结构尚未连为一体时的抗倾覆稳定性问题。

5.3.8 由于升船机与中间渠道建筑物的刚度及动力特性可能存在较大差异,在静、动力荷载作用下存在位移不协调问题。两者之间的连接装置包含支座、止水等部件,止水需适应各种工况下的结构缝变形。如果中间渠道采用渡槽与升船机连接,渡槽的一端将支撑在升船机上部结构,其支座连接及止水问题更加复杂,需要根据结构静动力分析成果,合理选择连接方案。

5.4 抗震设计

5.4.2 对于质量或刚度分布不均匀、不对称的承重结构,在水平地震荷载作用下存在扭转问题。即使对于平面规则的结构,国内外的多数抗震设计规范也考虑由于施工、使用等原因所产生的偶然偏心引起的地震扭转效应,以及地震地面运动扭转分量的影响。当规则结构不考虑扭转耦联计算时,通常采用增大边榀结构地震内力的简化处理方法。

5.4.3 通过流体有限元计算分析对比,升船机承船厢内的动水压力作用采用豪斯纳模型计算有足够精度。

5.4.4 正常运行时,平衡重在平衡重井中沿轨道作竖向运动。为保证平衡重运行平稳,平衡重框架水平纵、横向都设有与承重结构关联的连接构件。当地震发生时,连接构件起到传递平衡重与承重结构相互作用力的功能。简化动力分析时,通常取 30% 的平衡重质量附加于承重结构上。三峡升船机的模型试验表明,这样处理与试验结果比较相符。

5.5 安全监测设计

5.5.5 升船机承重结构安全受强震影响较大。对于抗震设防烈度和建筑物级别较高的

升船机,根据升船机结构受力特点,在升船机底部、中部关键部位和顶部分别设置强震三分向监测点,有较强的代表性,能够准确监测到强震动对升船机的承重结构安全产生的影响。

5.5.6 升船机工程属于枢纽工程的一个单项工程时,其安全监测自动化系统纳入总体工程安全监测自动化系统对整个工程安全监测有利。升船机上闸首作为水库挡水建筑时,升船机与整个枢纽工程紧密联系,两者监测成果互相印证,对保障工程安全更为有利。

6 金属结构和机械设备设计

6.1 一般规定

6.1.5 设计使用年限、每年工作天数和每天工作小时数一起构成了相关结构和设备的荷载循环次数。国内已建升船机的年工作小时如下:隔河岩升船机 $330 \times 22\text{h}$ 、高坝洲升船机 $325 \times 22\text{h}$ 、彭水升船机 $325 \times 22\text{h}$ 、三峡升船机 $335 \times 22\text{h}$ 、向家坝升船机 $330 \times 22\text{h}$ 、岩滩升船机 $325 \times 22\text{h}$ 、亭子口升船机 $330 \times 22\text{h}$ 。

6.1.6 IV级及以上规模升船机属于大型水工构(建)筑物,相关金属结构和机械设备的抗震设计经验不多,因而提出应考虑地震影响的要求。

6.1.7 升船机承船厢设有纵横导向、对接锁定和顶紧等机构设备。齿轮齿条爬升式垂直升船机,除设有上述与塔柱结构密切关联的机械设备外,正常运行时驱动机构齿轮与齿条需保持啮合状态,这些机构均需具有适应塔柱结构变形的能力。考虑模型精度、计算偏差和条件不确定性等复杂因素,对承重结构计算的动位移一般乘以不小于1.5的放大系数,以留有足够的安全裕度。

6.1.8 承船厢额定升降速度与升船机通过能力密切相关。对平衡重式升船机,当提升高度较大或工程运量较大时,承船厢正常运行速度通常取大值;反之,在满足运量要求的情况下,取值适当降低。对移动式钢丝绳卷扬垂直升船机和钢丝绳卷扬式斜面升船机,水平运行速度过快、加减速绝对值过大,制动停机会引起承船厢或承船车内水体的震荡,危及船舶安全,因此规定了运行速度启停加速度。条文中的推荐值,是以我国已建升船机实际数值为基础,推演得出的。丹江口150吨级钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车运行速度为 0.50m/s 。基于运行安全方面的考虑,丹江口300吨级钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车运行速度为 0.30m/s 。

6.2 闸首金属结构和机械设备

6.2.1 升船机闸门宽高比较大,为确保闸门启闭过程始终保持水平状态,通常采用双吊点启闭,并且要求两吊点之间采取有效的同步措施。如:卷扬式启闭机启闭常采用机械同步轴同步;液压启闭机启闭为液压同步控制同步;两套独立液压系统的液压启闭机,则采用电气控制同步。

6.2.2 下沉式平面闸门一般采用固定卷扬式启闭机或液压启闭机启闭,并通过固定卷扬式启闭机制动器或液压启闭机液压回路对启闭机进行锁定。除此之外,为确保安全,还在提升式平面闸门的全开位置和下沉式平面闸门的工作位置设置机械锁定装置,对闸门直接锁定。

6.2.3 下沉式平面闸门卧倒小门的高度需适应一定水位变幅。确定其高度需考虑的因素包括航道水位变率、最大通航水位变幅和承船厢设计水深等,其中水位变率是关键。门顶安全超高指闸门顶部超出通航水位以上所预留的高度,与航道水位变率、浪涌高度等相关,一般在 $0.5\text{m} \sim 1.5\text{m}$ 间取值,水位变率较快、浪涌高度较大,则取较大值;卧倒小门孔口底部高度满足槛上富裕水深要求,即在设计水深以下预留一定的高度,一般取 $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$;闸门底结构富裕高度,系指闸门底部超出正常对接范围外的富裕高度,用于确保在对接工况下船厢产生下沉位移时,间隙密封止水效果不遭受破坏。

提升式平面闸门与叠梁门组合门型仅适用于上闸首。通常上游水库水位变率较小,卧倒小门门顶安全超高主要用于承挡浪涌。超出卧倒小门可适应的水位条件时,通过增减一节工作叠梁门适应。因此,卧倒小门槛上水深至少需大于一节叠梁高度+承船厢设计水深+槛上富裕水深。采用这种门型,且当承船厢是与提升式平面大门对接时,卧倒小门孔口门槛以下至平面大门底部的高度要满足一节叠梁高度+间隙密封对接高度+闸门底结构富裕高度的尺寸条件。

6.2.4 单节叠梁门高度直接影响工作叠梁门调整频次,进而影响升船机的通过能力。单节叠梁门高度大,会加大工作大门和启闭设备规模,加大设备制造安装难度。因而,单节叠梁门高度的确定,要综合考虑上游最大通航水位变幅、升船机通过能力、闸门制造安装条件等因素的影响。

6.2.5 升船机对接密封机构一般设在承船厢上或闸首上。对于工作闸门采用提升门且对接密封机构设在承船厢上的,间隙密封止水座板通常设在闸首上;对于工作闸门采用下沉门或叠梁门与提升式平面闸门组合形式,且对接密封机构设在承船厢上的,则需在平面大门的背水面设止水座板。

6.2.7 下沉式工作闸门调整门位时,通常是在带水压条件下操作,调整过程将会造成止水橡皮的磨损。为提高闸门止水橡皮的工作寿命,通常设置两道止水,其中一道止水仅在闸门静止挡水时工作,另一道止水则需在闸门静止挡水和调整门位全程工作。

6.2.8 平面大门U形门体结构的主梁刚度对大门的整体变形有直接影响,较大的主梁刚度能有效减小闸门的整体变形,有利于保证闸门止水的封水效果,同时还能降低对接密封机构的设计难度。国内已建升船机带卧倒小门的平面工作大门主梁最大挠度多不大于跨度的 $1/1500$ 。

6.2.9 卧倒小门正常挡水状态单向受力,无需锁定。设置卧倒小门锁定装置的目的,主要是用于满足闸门或卧倒小门启闭机检修以及提升式平面大门在调整门位过程中的安全需要。

卧倒小门在全关位置附近开、关速度较快时,由于两门之间的水体不能及时补、排,会造成间隙水位较大下降或涌高,进而会加大启闭机启闭力。为此建议启闭机变速运行,即在全关位附近采用较低速度启闭,在其他开度则采用较快速度启闭。三峡升船机闸首工作门的卧倒小门启闭机通过比例调速阀实现变速运行,卧倒门全开位至 70° 位置之间采用高速, 70° 位置至全关位之间采用低速。

6.2.10 对于高水头电站上的升船机,为避免泄水时水流速度过高,产生气蚀、振动从而

对系统设备及土建结构造成破坏,通常需采取相应的消能措施。三峡升船机泄水系统的最大水头可达80m以上,1:15的泄水系统物理模型试验,无消能措施时出口流速很大,对冲沙闸闸墙产生很大的冲击,在泄水系统出口装设了中空喷射阀进行消能,实际运行效果良好。

6.3 承船厢和承船车金属结构与机械设备

6.3.3 承船厢结构形式主要有自承载式和托架式两类。国外采用自承载式结构的代表性升船机工程有比利时斯特勒比升船机和德国新尼德芬诺升船机,采用托架式结构的代表升船机工程是德国吕内堡升船机。我国已建升船机承船厢形式均为自承载式,已有较多的工程实践经验,因而推荐采用。

6.3.5 工况与荷载分析是设计的关键。本条款根据以往升船机设计经验,列出了承船厢和承船车的设计工况与主要荷载。

升船机设计是否考虑地震作用与工程所在区的地震烈度密切相关。地震设防烈度Ⅶ度~Ⅸ度区域的升船机工程,设计时需考虑地震力的影响。鉴于地震工况并不是所有升船机工程承船厢或承船车设计时必须考虑的工况,工况荷载表将地震工况作为特殊工况。

6.3.6 承船厢和承船车结构受力复杂,为保证承船厢和承船车的安全运行,通常采用有限元方法对整体结构进行计算分析,以便准确了解结构受力状况。

对于Ⅲ级及以上垂直升船机,由于承船厢尺寸较大,为了保证结构安全,还需要计算承船厢结构屈曲以及结构和水体的低阶模态,避免发生结构屈曲破坏与共振。

6.3.7 承船厢和承船车干舷高度受设计代表船型、允许误载水深、升船机通过能力等因素影响。干舷高度取值过大,虽然可以增大允许误载水深,但亦会增大工程投资,因而需综合考虑确定。本条规定是参照国内外已建升船机工程经验提出的,国内外已建升船机干舷高度的设计值如表6.1所示。

表 6.1 国内外已建升船机工程承船厢干舷高度一览表

工程名称	隔河岩	高坝洲	岩滩	彭水	亭子口	水口	三峡	向家坝	新尼德芬诺
干舷高度 (m)	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0

6.3.8 箱形主纵梁具有刚度大,能有效减小承船厢整体变形的特点,同时箱形梁的外腹板能兼作钢丝绳的吊耳板,这种结构形式在全平衡垂直升船机上应用广泛。对于规模较小的下水式升船机,主纵梁采用单腹板结构;当升船机规模较大时,为了满足承船厢的强度和刚度要求,主纵梁需采用双腹板结构。当主纵梁采用双腹板结构时,需在外腹板适当部位开设出入水排气孔,以优化承船厢出入水过程的水动力学特性。出入水排气孔的数量、大小和位置要保证船厢出入水过程中,水体出入主纵梁箱形空间的通畅,同时考虑出入水排气孔对主纵梁外腹板结构强度的削弱。

6.3.10 对于客船来说,旅客数量多,且人群差异较大,可能包括有老人、小孩、孕妇、残障

人士和病人等人员,采用钢爬梯不能满足升船机发生紧急情况时的疏散要求,为此本条规定有通行客轮的升船机应设置疏散步梯。高度可调疏散步梯便于与疏散出口对接。有客轮通行需求的三峡升船机,在承船厢的四个驱动机房房顶设置了高度可调的疏散步梯,且该步梯高度的可调范围超过 3.5m,可以实现承船厢在任意高程停机时,通过该步梯都能与每隔 3.5m 的水平疏散通道相对接。

6.3.11 对下水式升船机承船厢,为减小其入水、出水时水的浮力、张力的影响,通常都在非盛水结构上开设进、排气孔,在盛水结构设计水深线以上开设进、排水孔。要求承船厢底部布置成左右对称倾斜的体型,也是为了减小出入水运行时水体浮力和张力的影响。已建下水式钢丝绳卷扬垂直升船机的承船厢底部通常倾斜度为 1:30。

6.3.13 在承船厢主纵梁内侧腹板临水面顶部布置数根钢护舷,是为了船舶停泊系统与承船厢结构发生擦碰时,起到保护承船厢和船舶的作用。由于船舶类型不同、装载程度差异,所以要求能适应不同干舷高度和吃水深度的船舶靠泊的要求。系船柱的设置,也要求能适应不同干舷高度和吃水深度的船舶靠泊的要求。三峡升船机和向家坝升船机在承船厢两侧主纵梁顶走道板上采用了高、低系船柱交替布置的形式,高系船柱采用了护舷与系船柱组合的形式,同时满足系缆和防擦碰的需求。

国家标准《固定式钢梯及平台安全要求 第 3 部分:工业防护栏杆及钢平台》(GB 4053.3—2009)中规定了距基准面高度大于 20m 的平台、通道及作业场所的防护栏杆高度不应小于 1.2m。垂直升船机通常的提升高度较高,为此,条文要求升船机承船厢的护栏高度不应小于 1.2m。

6.3.15 对于下沉式闸门或弧形闸门,在全关闭位置启闭机油缸出现泄漏后,闸门有可能会在自重作用下自动开启。为此,要求在门的全关闭位置设置机械锁定装置,以确保安全。

6.3.16 平衡重式垂直升船机承船厢与闸首对接期间,航道水深变化、船舶进出厢对水体的扰动等均会造成承船厢内水体荷载大小与分布的改变。为保证对接期间承船厢位置保持不变,需要通过对接锁定装置将承船厢锁定在塔柱结构上。

对于齿轮齿条爬升式垂直升船机,对接期间出现较大水位变化或对接沉船事故时,要求锁定装置具有超载退让功能,使超出的荷载由安全机构承担,以减小作用于锁定装置的最大荷载。

6.3.17 规定顶紧装置不得采用液压油缸直接顶紧式,主要是为了避免对接顶紧油缸发生泄漏后造成承船厢产生纵向位移,从而破坏间隙密封的止水效果。在实际工程中,大多采用楔形顶紧装置,承船厢纵向荷载通过自锁的楔形块组件直接传递至塔柱结构。正常情况下,楔形块的驱动油缸在对接期间不承受楔形块重力之外的荷载。其液压控制回路设置安全保护功能,是为了在楔形块摩擦副受到油液污染造成自锁失效后,能承受承船厢纵向荷载的竖向分量荷载,保证承船厢正常对接。

6.3.19 公式(6.3.19-2)中的船舶及其附连水体质量(m)与船舶航速、承船厢水域尺寸、船型等因素有关,需要根据具体条件通过试验研究确定。

确定防撞构件高度时,需要对过坝代表船型的船首形状、尺寸等进行综合分析。鉴于

船首外廓上多带有斜倾角,船舶撞击时防撞构件会受到下压作用,因而要求布置高度在设计水位线以上 0.5m~0.6m 处。

防撞装置采用带缓冲油缸的钢丝绳,能将绝大部分船舶动能转化为液压油热能,以避免钢丝绳弹性势能过大,对船舶造成较大的反弹力。

6.3.21 虽然多吊点卷扬式升船机的主提升机上设有机械轴进行同步提升,但卷筒绳槽直径制造误差、钢丝绳直径误差、钢丝绳结构性伸长等多种因素会造成提升钢丝绳张力不均衡和承船厢倾斜问题。为保证主提升机、钢丝绳和承船厢的运行安全,要求在提升钢丝绳与承船厢的连接处设置钢丝绳张力均衡装置。在升船机岁修时段,可以利用液压油缸对各吊点区的钢丝绳张力重新进行调整,以达到承船厢 4 吊点水平,同时各吊点区的钢丝绳张力均衡的理想效果。

均衡油缸有效行程与提升钢丝绳的长度、弹性变形量等因素有关。根据已建工程经验,均衡油缸的有效行程一般不小于 500mm。

在均衡油缸的活塞杆与缸体之间设置机械锁紧装置,可以避免因油缸泄漏造成的钢丝绳悬吊长度的变化,进而造成的钢丝绳受力不均和承船厢倾斜。

6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车

6.4.2 目前已建全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机的额定提升力均按承船厢最大允许误载水深计算,并考虑表 B.0.2-1 的其他相关荷载;对于下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,主提升机的突出特征之一是空气中的提升力远大于同规模的全平衡升船机,特征之二是每一个运行循环均发生一次水下短时尖峰负荷。上述荷载特征决定了减速器低速级齿轮副的弯曲疲劳强度是制约下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机设计的关键因素,本规范对于下水式钢丝绳卷扬垂直升船机主提升机以减速器低速级齿轮的等效弯曲疲劳荷载作为额定提升力。

对于移动式钢丝绳卷扬垂直升船机,卷扬提升系统的主要荷载为承船厢总重量、承船厢误载水重量、惯性力、吊具自重等;由于承船厢水上运行的提升力远大于水下运行的提升力,在进行额定提升力计算时,水下运行工况不予考虑。

对于双坡钢丝绳卷扬式斜面升船机,承船车在过驼峰时牵引绞车存在换向冲击,此外钢丝绳卷扬式斜面升船机承船车的运行平稳程度不如垂直升船机承船厢,考虑了适当荷载系数。

6.4.3 当垂直升船机主提升机中的一台电动机或电气传动装置失效,在不考虑双重故障的情况下,要求未故障的电动机继续驱动承船厢完成当次运行,是为避免造成船舶在承船厢中长期滞留。在此情况下其余电动机不过载的要求,是为负载不均衡仍能运行留有一定的裕度。

对于钢丝绳卷扬式斜面升船机的牵引绞车,电动机数目较少,考虑一台电动机失效继续运行既不经济,也无必要,因为当电动机发生故障时,承船车停留在斜坡道是比较安全的,不需要在一台电动机故障下继续运行。

6.4.4 《水利水电工程启闭机设计规范》(SL 41—2018)规定:“对于高速轴上的零件按

电动机额定力矩的 1.3 ~ 1.4 倍作为计算依据”。对于钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车,电动机额定功率按额定牵引力计算,高速轴的计算原则与启闭机相同。钢丝绳卷扬式垂直升船机的主提升机,电动机功率计算已经考虑了一台电动机失效的情况,相对于正常运行的额定荷载,电动机功率有一定富裕,因此其系数稍有降低,但实际荷载标准仍等同或略高于启闭机的高速轴零部件荷载标准。

6.4.5 根据升船机安全性要求,开式齿轮接触强度设计按一般可靠度考虑,闭式齿轮弯曲强度和接触强度设计以及开式齿轮弯曲强度设计按较高可靠度考虑。国家标准《升船机设计规范》(GB 51177—2016)规定:“主提升机和牵引绞车所有齿轮的弯曲疲劳强度和弯曲静强度安全系数不应小于 1.6;闭式齿轮的接触疲劳强度和接触静强度安全系数不应小于 1.25;开式齿轮的接触疲劳强度和接触静强度安全系数不应小于 1.1;齿轮的抗胶合安全系数不应小于 1.6;齿轮传动轴的疲劳安全系数不应小于 2.0。”

6.4.7 垂直升船机主提升机采用同步轴系统实现多套卷扬机构的机械同步,以保证垂直升船机承船厢多吊点同步升降,避免承船厢倾斜,为国内外升船机广泛采用。钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车受设备布置的制约,一般采用开式齿轮及惰轮啮合的方式实现机械同步。

在升船机正常运行过程中,垂直升船机同步轴系统基本不存在内力矩。但由于主提升机和牵引绞车的多套卷扬提升机构的外载及电动机出力不均匀,加之动力影响,在设计中仍需考虑一定的扭矩。由于构成同步轴荷载的因素比较复杂,难以进行准确的理论分析,因此同步轴的疲劳强度和静强度按偏于安全的荷载假定进行计算。

6.4.8 当钢丝绳绳头在卷筒上单独固定时,由于固端绳头张力为零,因此工作圈与绳端张力差较大;当相邻的提升绳和转矩平衡绳、可控平衡绳采用一根整绳,绳中间在卷筒上缠绕并通过压板固定时,固定圈的钢丝绳内一直保持有较大且稳定的张力,该绳段张力变化相对较小。基于上述原因,对不同缠绕固定方式、不同种类钢丝绳安全圈的选取做出了规定。

6.4.9 本条对主提升机、牵引绞车和移动提升机卷筒组的荷载进行了规定。在平衡重式垂直升船机卷筒组所受的荷载中,转矩平衡绳的拉力、制动器荷载和设备自重对于每套卷扬提升机构都是相同的,提升绳的拉力由于已经在承船厢调平时得到均衡,认为在误载水深为零的条件下是相等的。当有误载水深时,所产生的不平衡力由于承船厢悬吊的超静定性质,会在各提升绳之间不均匀地分配,不均匀系数对于正常工况偏安全考虑取较大值,对非正常工况和特殊工况下,由于发生概率较小,考虑取较小值。

对于正常工况,全平衡钢丝绳卷扬式升船机提升绳张力之和为转矩平衡重与误载水重量之和,其中误载水重量为钢丝绳均匀化之后作用于提升绳,引起该部分荷载需乘以 1.3 的不均匀系数。为计算简便且偏于安全,以主提升机提升力代替误载水重量部分。下水式升船机钢丝绳卷扬式升船机提升绳张力之和为承船厢总重与误载水深之和,偏安全考虑为主提升机提升力与转矩平衡重之和。由于主提升机提升力包含了承船厢总重与转矩平衡重总重的差值 $W_0 - W_1$,而该部分重量已在调试阶段均衡化,因此其在提升钢丝绳上不均匀分布部分荷载为 $F_h - (W_0 - W_1)$,因此下水式升船机提升绳最大张力为:

$$T_1 = \frac{W_0 + 1.3[F_k - (W_0 - W_1)]}{n_1} = \frac{1.3(W_1 + F_k) - 0.3W_0}{n_1} \quad (6.1)$$

对于全平衡钢丝绳卷扬式升船机,当出现水满厢工况时,超出设计水深的水体重量由提升绳和可控平衡绳共同承担,该部分水体重量的分布考虑 1.1 的不均匀系数。

对于全平衡钢丝绳卷扬式升船机,当出现对接沉船工况时,船厢总重量与船舶排水量之和由提升绳和可控平衡绳共同承担,其不均匀部分荷载为船舶排水量,考虑 1.1 的不均匀系数。

下水式升船机水满厢工况和对接沉船工况下,提升绳的荷载亦按上述两种方法计算,其支承钢丝绳全部为提升绳,取 $n_2 = n_1$ 。

对于钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引绞车,由于承船车横向刚度很大,因此钢丝绳拉力不均匀性较小,不均匀系数取较小值。

对于移动式钢丝绳卷扬垂直升船机卷扬提升系统,在载水承船厢调平后,可以认为四个吊点的荷载基本相等,同一吊点的滑轮组之间通过扁担梁结构予以均衡,因此钢丝绳荷载不均匀系数取较小值。

6.4.10 升船机卷筒直径较大,一般采用焊接结构。由于卷筒是转动件,为保证卷筒的疲劳强度,一般不在筒体内壁设支承环,以免产生应力集中。又由于卷筒壁厚较大,板厚方向的材料力学性能指标会存在一定差异,因此正常工况和事故工况许用静应力取较低值。筒体受压稳定性计算一般按圆柱壳壳体表面受均匀外压的稳定性理论进行计算。

卷筒轴为转轴,既承受由钢丝绳拉力和卷筒自重,又传递减速器的扭矩,其弯曲应力具有对称循环、扭转应力具有脉动循环的特点。由于卷筒现场检修条件差、可靠性要求高,因此轴的疲劳安全系数选取较大值。

6.4.12 根据国内外升船机建设经验,主提升机、驱动系统和牵引绞车一般均设工作制动器和安全制动器。由于液压盘式制动器易实现调压上闸的功能,且具有惯性小、制动能力大、运行可靠和结构紧凑等优点,在国内升船机上已得到普遍应用。工作制动器均设在电动机输出轴上,安全制动器多设在卷筒上。在升船机正常运行时,工作制动器和安全制动器都在承船厢或承船车静止后上闸,其作用均属于支持制动。在电气传动系统故障或电网断电事故时,升船机通过安全制动系统实施紧急制动。

6.4.13 与下水式钢丝绳卷扬垂直升船机相比,全平衡垂直升船机正常运行时的承船厢不平衡荷载相对较小,为减轻冲击,紧急制动加速度绝对值一般取较小值;下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢与平衡重间的不平衡荷载相对较大,紧急制动过程中当电机退出工作后,承船厢在不平衡荷载作用下竖直下降速度短时间内增长很快。为控制承船厢下降速度并减小冲程,紧急制动加速度绝对值一般取较大值;下水式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢的不平衡荷载与移动式钢丝绳卷扬垂直升船机的提升荷载及钢丝绳卷扬式斜面升船机的牵引荷载性质较为接近,故采用了相同的加速度绝对值;移动式钢丝绳卷扬垂直升船机是完全不平衡的,一旦主提升机失控,承船厢将成为自由落体,需要安全制动系统迅速上闸制动,否则后果将极为严重,为此,采用工作制动器全压上闸的运行方式。

通过工作制动器的上闸制动,失控的承船厢将停止升降,在速度达到零时,安全制动

器再全压上闸,以确保安全。

移动式钢丝绳卷扬垂直升船机行走机构紧急制动时,若制动减速度过大,承船厢会因惯性对限位装置造成冲击,厢内水体会因惯性造成振荡,船舶靠泊条件也会骤然恶化。在新建升船机设计阶段需要予以重视。

6.4.14 垂直升船机重力平衡重钢丝绳的支撑滑轮和钢丝绳卷扬式斜面升船机牵引钢丝绳的导向滑轮属于大型滑轮结构,通常采用有限元计算分析。此外由于升船机布置条件的限制,滑轮结构具有直径大、宽度窄的特点,需对结构稳定性进行有限元计算分析。滑轮计算荷载的选取需考虑相邻一根钢丝绳破断的事故工况。

6.5 爬升式驱动系统和安全机构

6.5.1 驱动齿轮是指齿轮齿条爬升式升船机中与齿条啮合驱动承船厢升降运行的开式齿轮。

6.5.3 为保证升船机运行安全,驱动系统需设置驱动齿轮荷载检测装置与机械过载保护装置。目前机械过载保护装置多采用液气弹簧形式。当驱动系统齿轮荷载超过额定驱动力一定值时,荷载检测装置发出停机信号,电气控制系统停止驱动电动机运转。如果齿轮荷载继续增加,达到机械过载保护装置设定的荷载后,液气弹簧将产生位移,随之承船厢产生竖向位移,使安全机构螺纹副一侧间隙减小,直至安全机构锁定,此时驱动齿轮荷载将达到极限荷载。为避免因荷载变化造成驱动系统频繁停机,机械过载保护装置的发讯荷载取额定驱动力的1.3倍~1.5倍。驱动齿轮的极限荷载大小取决于液气弹簧刚度和安全机构螺纹副最大间隙,其中液气弹簧刚度由设计设定。

6.5.5 除驱动齿轮托架之外,驱动系统传动零部件的疲劳强度计算荷载与第6.4.4条中主提升机传动零部件的疲劳强度计算荷载标准是相同的。因为每套驱动机构只有一套驱动齿轮托架,其荷载均匀性较减速器好。另外,根据三峡和向家坝升船机工程经验,若设计过于保守,将加大设备规模,增加布置以及驱动齿轮和齿条的制造难度,因此驱动齿轮托架疲劳强度的荷载标准略低于其他传动部件疲劳计算的荷载标准。另外,驱动系统的最大荷载为驱动齿轮极限荷载,以此计算驱动系统的静强度,这是与钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机不同之处。

6.5.6 在三峡和向家坝升船机的设计中,驱动齿轮和齿条弯曲强度最小安全系数为2,接触强度最小安全系数为1.1,但疲劳强度计算所取荷载为弯曲疲劳和接触疲劳等效计算荷载,且按照0.05m误载水深出现概率为80%、0.1m误载水深出现概率为20%的假定计算。由于驱动齿轮和齿条因材料不同,弯曲疲劳等效计算荷载还略有不同,但大致为按0.1m误载水深计算的额定提升力的80%左右。考虑到不同工程的水位变率不一样,且难以获得准确的误载水深统计资料,因此以额定驱动力作为驱动齿轮与齿条的计算荷载,设计概念更加明确,也便于在运行中最大程度地利用额定驱动力。按照三峡和向家坝升船机的经验,综合考虑材料特性和运行工况,驱动齿轮和齿条的弯曲强度按较高可靠度标准设计,接触强度按一般可靠度标准设计。

6.5.7 驱动齿轮和齿条的精度受齿条的制约。齿条一般采用调质钢感应淬火处理,感应

淬火后硬度较高,加工难度大,因此不能过高规定驱动齿轮和齿条的精度等级。三峡升船机驱动齿轮和齿条的精度等级为 DIN 标准的 10a27,向家坝升船机驱动齿轮与齿条的精度等级为《圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制 第1部分:齿面偏差的定义和允许值》(GB/T 10095.1—2022)规定的 9 级。

6.5.8 齿轮齿条爬升式升船机由于驱动机构驱动齿轮安装在承船厢上,与之啮合的齿条安装在塔柱结构上,承船厢结构和塔柱结构均会受载变形,因此驱动机构的布置和结构能适应承船厢和塔柱之间的相对变位,使驱动齿轮和齿条按照设计给定的精度啮合,是齿轮爬升式升船机驱动系统设计的关键问题。解决的方法就是设置能适应承船厢与塔柱结构相对变位的驱动齿轮托架。

6.5.9 驱动系统工作制动器布置在减速器与电动机连接的高速轴侧,由于受布置条件限制,安全制动器布置在减速器高速轴的另一侧。安全制动器的主要作用是增加停机后制动的安全性,并不具备对驱动系统进行紧急制动的功能。安全制动器的荷载为驱动系统的极限荷载,结构形式和安全系数与钢丝绳卷扬式升船机主提升机安全制动器的要求一致。

6.5.11 齿条装设在塔柱上,是驱动系统传动设备的重要组成部分,此齿条及其支承结构的设计,既要保证向塔柱传力的可靠性,又要便于保证运行所要求的安装精度。每根齿条由多节齿条段组成,控制齿条节间节距偏差是保证升船机运行可靠的基本要求。

6.5.12 条文中驱动系统减速器安全螺杆输出轴与其低速轴转速比应为整数是为了消除该传动部分的传动比累计误差,控制安全机构旋转螺杆和螺母柱的螺牙间隙。在驱动机构和安全机构之间设置离合装置,是为了满足安全机构和驱动系统的调试与检修需要。在驱动机构和安全机构之间设置扭矩检测装置,是为了避免安全机构驱动扭矩因润滑不良、螺牙间隙消失等原因增大而损坏驱动系统。

6.5.13 承船厢水体全部排空既是一种可能发生的故事工况,也是承船厢空厢检修需考虑的工况。水满厢和沉船工况均会造成承船厢重量增加,选两者中荷载较大的工况进行计算。承船厢室和平衡重井进水后承船厢或平衡重被淹属于特殊工况,根据升船机规模、船舶类型及用户的要求等因素予以考虑。

6.5.14 安全机构撑杆是承船厢与螺杆之间的传力构件,在进行机构设计时一般将承受承船厢最大不平衡荷载的撑杆设计为压杆,考虑到其重要性,受压撑杆按承船厢特殊工况条件进行稳定性校核。

6.5.15 增加螺纹圈数即增加了螺牙承载长度。考虑到制造及安装误差,为安全起见,不考虑所有螺杆的螺纹同时承载。

6.5.16 螺杆和螺母柱的螺纹自锁,是齿轮齿条爬升式升船机安全机构可靠承载的必要条件。当承船厢出现大量漏水等事故时,安全机构将对其进行保护,以确保承船厢不发生失衡。作用于安全机构巨大的不平衡事故荷载是通过螺母柱与旋转螺杆的螺纹向基础传递的。当螺纹升角大于螺纹副的自锁角时,由竖直荷载产生的沿螺纹斜面的分力将大于螺纹副之间的最大静摩擦力,使螺杆产生转动趋势,进而造成安全机构与驱动机构之间的机械传动系统承受扭矩,当扭矩过大时将造成机械传动系统的零部件破坏、螺杆旋转,最

终使安全机构的安全保护功能失效。

6.5.19 保持安全机构螺杆和螺母柱的螺纹副间隙是齿轮齿条爬升式升船机正常运行的基本条件。选取设计间隙值时需要安全机构、驱动机构与塔柱结构之间的相对变位、驱动齿轮托架变形以及相关设备的制造、安装误差等进行分析计算。选取的间隙设计值偏大将加大设备规模与设备的制造安装难度,偏小将影响承船厢设备的正常运行。

6.6 平衡重系统

6.6.2 每块平衡重块分别由一根平衡钢丝绳悬吊,可有效避免一块平衡重块由两根或多根绳悬吊造成的钢丝绳张力不均衡。

6.6.3 为避免当一根钢丝绳断裂时发生平衡重块坠落事故,要求平衡重组设置安全框架。设置安全框架后,当一根钢丝绳断裂时,该钢丝绳悬吊的平衡重块将支承在安全框架上,通过安全框架将该平衡重块的重量分担给其他钢丝绳,使得平衡重组的总重量不改变。

6.6.4 在平衡重块重量一定的前提下,其外形尺寸需满足布置设计要求。为减小其占用的布置空间,通常选用高密度材料制作。虽然铸钢平衡重可以满足要求,但价格较混凝土平衡重高,提高了升船机的造价,故在布置条件允许的情况下,通常采用铁钢砂骨料的高密度混凝土制作。一般铁钢砂混凝土密度可达 $3.40\text{t/m}^3 \sim 3.56\text{t/m}^3$ 。三峡升船机混凝土平衡重块的密度为 3.40t/m^3 ,德国吕内堡升船机混凝土平衡重块的密度为 3.56t/m^3 。为保证铁钢砂混凝土具有足够的强度并便于制造,借鉴以往工程经验,给出了密度不宜大于 3.5t/m^3 的建议。

混凝土块具有较强的吸湿能力,因平衡重井空气湿度较大,混凝土平衡重块吸水后将改变平衡重的重量,因此平衡重块的外表面应进行防水、防潮涂装处理。

6.6.5 承船厢为焊接钢结构,为避免锈蚀,需要进行防锈涂装处理。由于涂装材料重量、焊缝重量等在设计阶段很难准确计算确定,因而全平衡式升船机平衡重系统要设置调整平衡重块。根据国内升船机建设经验,调整平衡重块总重量按平衡重块设计总重 $3\% \sim 5\%$ 配置,其中一半的调整重块计入平衡重总重内,另一半作为需要增加平衡重重量时的备用。在升船机安装后根据承船厢实际重量调整运行所需的调整平衡重块重量,以使平衡重总重与承船厢总重相等。

6.6.6 虽然升船机悬吊钢丝绳在出厂时都按要求进行了预拉伸处理,但在承载后都会出现或多或少的结构性伸长,且因钢丝绳安装长度存在误差,为此,要求设置钢丝绳长度调节装置,并给出了调节行程范围的要求。当升船机最大提升高度较小时,调节行程取小值,反之取大值。调整装置直接承受钢丝绳的拉力,由于事关安全,因此取较高的安全系数。

6.6.7 即使选用抗旋转的交互捻钢丝绳,钢丝绳承载后仍会产生绕自身轴线的旋转力矩。采用防旋板和规定钢丝绳左、右交互捻向间隔配置,就是为了避免钢丝绳绕自身轴线旋转。

6.6.8 升船机运行时,悬吊在卷筒与滑轮两侧的承船厢和平衡重在作反向运动,分配在

卷筒与滑轮两侧钢丝绳的长度和重量也随承船厢和平衡重的运行而改变。当升船机提升高度较大时,钢丝绳的不平衡重量会明显加大主提升机或驱动系统的提升荷载。设置平衡链能抵消承船厢侧和平衡重侧由于钢丝绳长度变化引起的不平衡力,减少主提升机或驱动系统的额定提升力和驱动功率。

目前平衡链有钢板销轴式和钢丝绳悬吊重块式两种结构形式,前者造价较高,后者在我国其他升船机中大量应用,经济性好,总体满足功能要求。

7 电气设计

7.2 供配电与接地

7.2.1 工业生产用电负荷的等级主要是根据用电负荷对电源可靠性的要求和中断供电在政治、经济上所造成的影响或损失的程度来分类的。基于这一基本原则,并考虑升船机通航运行特点和安全等因素确定升船机供电等级。

7.2.4 升船机过船运行流程是一个典型的顺序控制模式,因此,升船机的运行动力负荷按照不同类型升船机的具体操作过程及运行情况,选择实际最大运行工况下的所有运行电动机负荷进行计算,而升船机照明及检修等其他用电负荷采用需要系数法进行计算。升船机最大运行工况一般出现在升船机承船厢升降运行时。

7.2.5 移动设备的供电电压和供电方式是根据用电设备负荷的大小确定的。一般 0.4kV 电压能满足供电质量要求时,通常优先采用 0.4kV 电压供电,只有当 0.4kV 电压不能满足供电质量要求时工程才采用 10kV 电压供电。考虑到目前 10kV 滑线供电技术尚不成熟,因此规定了 10kV 电压向移动式设备供电采用专用拖曳式软电缆。

隔河岩、向家坝等升船机的承船厢供电采用的是 0.4kV 安全滑线供电方案,而三峡升船机承船厢驱动设备安装在承船厢上,对承船厢的供电采用了专用拖曳式(吊挂)10kV 软电缆的高压供电方案。

7.3 主电气传动系统

7.3.1 采用一台主电动机配置一套变频传动装置的“一对一”连接方式较“共用直流母线”方式更加安全可靠。因而推荐采用“一对一”接线方式。

7.3.2 全平衡式升船机承船厢运行是典型的位势性负载。交流变频传动装置带制动能量回馈功能能充分利用其位势能向电网回馈电能,实现绿色节能运行。

7.3.3 升船机承船厢为多电动机同轴同步驱动,调速系统具有高性能协调控制、高精度“点对点”定位控制和起升“零速满转矩”控制要求,以及调速范围宽、稳速精度要求高等特点。因此,变频变压控制需在带有速度反馈的定子电流磁场定向矢量控制和直接转矩控制两个技术方案中选择。

7.3.4 国内建造的垂直升船机承船厢驱动系统均采用机械同轴下的多电动机驱动方式,机械同步轴有矩形和工形两种。由于电动机特性差异和各驱动点负载或阻力的不同,多电动机同轴驱动系统如何避免在同步轴中产生扭振十分重要。另外,升船机承船厢对运行精度和停位精准有所要求,升船机主电气传动系统采用“位置+速度+电流”的三闭环控制方式,能够满足承船厢标准水面与航道水位高差小于 $\pm 3\text{cm}$ 的对位要求。我国在众

多垂直升船机的矩形机械同轴多电动机控制系统中成功采用了“机械同步+出力均衡”控制技术,在抑制同步轴扭振方面积累了丰富的实际经验。

7.3.5 承船厢升降运行是一种多电动机同步传动的应用,实现同步起/制动控制、出力均衡控制、冗余热备及主从切换控制、故障联锁保护等诸多控制功能。各驱动单元除各自配置有专用控制器进行传动控制外,尚需设置一套传动协调控制站对主电气传动系统和驱动机构的辅助设备协调控制。传动协调控制站接受和执行升船机计算机监控系统的控制命令,采集和上送所管控的执行机构状态信息,并对主电气传动系统发送控制命令,进行参数设置和联锁保护,以及检测信号的信息交换,对驱动机构的辅助设备,如制动器系统、润滑系统等进行控制。

7.4 计算机监控系统

7.4.5 现地控制站的设置,通常需考虑受控对象布置和流程控制要求等因素,并遵循危险分散和缩减站间通信量的原则进行。就升船机工程而言,现地控制层一般包括上下闸首控制站、传动协调控制站、承船厢上下厢头控制站和配电站控制站等现地控制站。

7.4.7 虽然升船机的形式及其机构类型各不相同,但作为通航设施,过船运行的工艺流程可归结为本条文所归纳的五个基本流程。其中,初始化运行流程,俗称“上班流程”,启动该流程,即指令升船机从正常停航位置行驶至当天首班运行的对接位置的流程;停航运行流程,俗称“下班流程”,启动该流程,即指令升船机从当天末班运行的对接位置行驶至升船机固定停航位置的流程;紧急保护流程,兼具“紧急关门”和“紧急停机”两项保护功能的运行流程等。

7.4.10 “紧急停机”是一种紧急情况下的安全应急处置措施。当“紧急停机”命令发出后,各控制站同时执行紧急停机命令,使驱动装置和机构动作立即停止运转,以确保升船机安全。为了确保“紧急停机”命令的可靠传达与执行,要求采用“连环群发”方式发送,直至升船机完全停机。该命令一旦触发,通过跳开传动装置主电源,同时承船厢驱动机构制动器上闸制动,及时停止升船机运行。

“紧急关门”按钮是布置在操作员站和升船机流程控制站上的安全保护控制按钮,用于启动升船机的“紧急关门”流程。

7.5 信息监测

7.5.2 升船机的重要监测项有上下游航道水位、承船厢行程、间隙水深等,为了防止监测结果的不准确,通常采用不同原理的监测装置相互验证。

7.6 信号标志与广播

7.6.2 升船机除进厢和出厢信号灯之间有闭锁关系外,且与上下闸首闸门、承船厢厢头门的位置状态也具有闭锁关系。进、出厢灯光信号与闸首和承船厢厢头工作闸门状态互锁能避免进出厢船只与闸门发生冲突。当同一闸首和承船厢厢头工作闸门均处在开终位置时,才能发出进、出厢的绿色信号灯。此外,只要一扇门离开开终位置时,绿色信号灯

熄灭,红色信号灯燃亮。

7.9 网络安全防护

7.9.4 纵向加密装置针对的是调度与控制专网或管理信息网之间进行的防护,升船机集控系统与通航调度系统的业务数据传递需要加密,一旦加密,密钥与公钥就是唯一的,进而保证了信息的安全。

7.9.5 考虑到无线网络的安全防护难度大,为了保证控制区设备的可靠运行,故严格控制无线接入的通道。

8 消防设计

8.1 一般规定

8.1.1 升船机过机船舶制造与运行都有着严格的行业规范监管,且本身也具有符合规范要求的完善消防设施和相应的火灾自救能力,所以条文中升船机的消防设施是按照保护自身安全、扑灭自身火灾为主要目标设置的。对于过机船舶火灾的极小概率事件,按照防止火灾蔓延危及升船机结构安全,协助对过机船舶进行辅助灭火施救和提供旅客人员安全逃生角度来考虑。

8.1.3 考虑到升船机承船厢室为半封闭空间,发生火灾时灭火施救难度较大,因而规定运输甲、乙类危险品的船舶通过升船机需进行专题研究。

8.1.4 由于承船厢是一个移动设备,其火灾危险源除自身所带的电气设备、液压设备等外,承船厢中过机船舶也是危险源。相对其他部位来说,不确定因素较多,所以作为一个独立的消防区域考虑,其他部位则根据建筑结构的特点来划分防火分区。

8.2 消防

8.2.1 承船厢提升到某一高度时船舶发生火灾,失火船上人员快速经过承船厢两侧甲板进入塔柱疏散廊道。由于承船厢和塔柱分属两个防火分区,人员进入塔柱防火分区,即脱离火灾现场。承船厢室左、右两侧塔柱沿高度方向每隔 6m ~ 10m 设置水平疏散廊道,能保证承船厢就近快速停靠。

对于下水式钢丝绳卷扬垂直升船机,因其承船厢室与河道直接连通,为避免平衡重井进水,疏散通道无法设置在设计水位以下的塔柱筒体内,这种情况疏散通道通常设在筒体外侧。

附录 C 垂直升船机承重结构荷载组合

温度作用使混凝土内部出现应力,当混凝土出现裂缝后,温度应力会由于约束的减弱而降低。因此,温度作用的荷载参与系数应小于1,且承载能力极限状态下的荷载参与系数小于正常使用极限状态。根据三峡升船机的实践,承载能力极限状态时的参与系数取0.3~0.4;正常使用极限状态分变形计算和裂缝宽度计算两种,裂缝宽度计算时温度作用的参与系数取0.5~0.6。变形计算时温度作用不折减。

附录 D 承船厢动水压力计算

对流压力的等效质量通过弹簧与承船厢连接,其自振频率分别对应于水体的各阶固有频率。根据计算分析可以看出,对于较高的振型,等效质量衰减很快,实际工程计算中,取 1 阶对流谐振力即取得满意的结果。