8539

**JTS**

**中华人民共和国行业标准 JTS×××—202x**

**升 船 机 设 计 规 范**

**（征求意见稿）**

**202×—××—××发布 202×—××—××实施**

**中华人民共和国交通运输部发布**

**中华人民共和国行业标准**

**升 船 机 设 计 规 范**

**JTS** ×××**—202×**

**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：202×年××月××日**

**人民交通出版社**

**202×·北京**

**交通运输部关于发布《升船机设计规范》**

**（JTS×××-202×）的公告**

**第**×××**号**

现批准发布《升船机设计规范》由交通水运行业标准，编号为JTS ×××-202×，自发布之日起实施。

本标准由交通运输部水运局组织长江勘察规划设计研究有限责任公司编制完成，由交通运输部水运局负责管理和解释，由人民交通出版社出版发行。

 特此公告

 **中华人民共和国交通运输部**

 **二〇二**×**年**××**月**××**日**

制 定 说 明

随着我国水运交通事业的快速发展，近年来升船机工程建设发展迅速，为规范升船机设计，保障工程建设质量与安全、人民群众生命财产与人身健康安全，以及其它社会公共利益，使设计的工程技术先进、安全可靠、经济合理、管理方便，根据交通运输部《交通运输部办公厅关于下达2017年度水运工程标准编制计划的通知》（交办水函【2017】1053号）的要求，由长江勘测规划设计研究有限责任公司会同有关单位共同编制完成的。

在编制过程中，编制组经广泛调查研究，认真总结我国30多年升船机设计的实际经验，借鉴了国际升船机设计的先进理念，结合我国实际情况，在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本标准共分9章7个附录，并附条文说明。主要包括升船机的选型及布置、建筑物设计、金属结构和机械设备设计、电气系统设计、消防系统设计、工程信息化等内容。

本标准主编单位是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、中国船舶重工集团武汉船舶工业有限公司和长江三峡通航管理局。

本标准编写人员分工如下：

1 总则：钮新强 覃利明

2 术语：覃利明 廖乐康 陈小虎 王 可

3 基本规定：钮新强 于庆奎 吴俊东 郑卫力

4 选型及布置：于庆奎 王 可 陈小虎 方 杨 郑卫力 李树海 赵 凯

5 建筑物设计：吴俊东 陈小虎 彭绍才 林新志 赵 凯

6 金属结构和机械设备设计：于庆奎 王 可 廖乐康 方 杨 张世平 郑卫力 李树海 刘科清

7 电气系统设计：唐 勇 段 波 李程煌 郑卫力 覃利明

8 消防系统设计：刘朝华 李程煌 段 波 郑卫力 覃利明

9 工程信息化：唐 勇 郑卫力 覃利明

附录A： 廖乐康 于庆奎

附录B： 林新志 吴俊东

附录C： 陈小虎 吴俊东

附录D： 方 杨 廖乐康 于庆

附录E：王 可 廖乐康 于庆奎

附录F：廖乐康 唐 勇 于庆奎

附录G： 覃利明

本标准于2020年××月××日通过部审，于2020年××月××日发布，自2020年××月××日起实施。

本标准由交通部水运局负责管理和解释。请各有关单位在使用本标准过程中，将发现的问题和意见及时函告交通部水运局技术管理处（地址：北京市建国门内大街11号，邮政编码：100736）和本标准编写组（地址：湖北省武汉市解放大道1863号，长江勘测规划设计研究有限责任公司），以便修订时参考。

# 目 次

[1 总则 1](#_Toc69913581)

[2 术语 2](#_Toc69913582)

[3 基本规定 6](#_Toc69913583)

[3.1 工程级别和设计标准 6](#_Toc69913584)

[3.2 承船厢或承船车有效尺寸 7](#_Toc69913585)

[3.3 通过能力计算 8](#_Toc69913586)

[4 选型及布置 12](#_Toc69913587)

[4.1 型式选择 12](#_Toc69913588)

[4.2 选址与总体布置 13](#_Toc69913589)

[4.3 平衡重式垂直升船机 13](#_Toc69913590)

[4.4 移动式垂直升船机 16](#_Toc69913591)

[4.5 斜面升船机 17](#_Toc69913592)

[4.6 闸首设备布置 18](#_Toc69913593)

[5 建筑物设计 20](#_Toc69913594)

[5.1 一般规定 20](#_Toc69913595)

[5.2 设计荷载及荷载组合 20](#_Toc69913596)

[5.3 结构设计 22](#_Toc69913597)

[5.4 抗震设计 22](#_Toc69913598)

[5.5 安全监测 23](#_Toc69913599)

[6 金属结构和机械设备设计 25](#_Toc69913600)

[6.1 一般规定 25](#_Toc69913601)

[6.2 闸首金属结构和机械设备 26](#_Toc69913602)

[6.3 承船厢和承船车结构与设备 28](#_Toc69913603)

[6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车 32](#_Toc69913604)

[6.5 爬升式驱动系统和安全机构 37](#_Toc69913605)

[6.6 平衡重系统 40](#_Toc69913606)

[7 电气系统设计 41](#_Toc69913607)

[7.1 一般规定 41](#_Toc69913608)

[7.2 供配电与接地 41](#_Toc69913609)

[7.3 主电气传动系统 43](#_Toc69913610)

[7.4 计算机监控系统 44](#_Toc69913611)

[7.5 信号检测 45](#_Toc69913612)

[7.6 信号标志与语音广播 46](#_Toc69913613)

[7.7 工业电视系统 47](#_Toc69913614)

[7.8 通信 48](#_Toc69913615)

[7.9 网络安全防护 48](#_Toc69913616)

[8 消防系统设计 49](#_Toc69913617)

[8.1 一般规定 49](#_Toc69913618)

[8.2 消防 49](#_Toc69913619)

[8.3 火灾自动报警 50](#_Toc69913620)

[9 工程信息化 51](#_Toc69913621)

[附录A 承船厢纵倾稳定性计算 52](#_Toc69913622)

[附录B 垂直升船机承重结构荷载组合 54](#_Toc69913623)

[附录C 承船厢动水压力计算 56](#_Toc69913624)

[附录D 承船厢和乘船车设计工况与荷载组合 58](#_Toc69913625)

[附录E 主提升机、驱动系统、牵引绞车设计工况与荷载组合 62](#_Toc69913626)

[附录F 驱动电动机功率计算 67](#_Toc69913627)

[附录G 本标准用词说明 69](#_Toc69913628)

[引用标准名录 70](#_Toc69913629)

附加说明 [本标准主编单位、参加单位、主要起草人、主要审查人、总校人员和管理组人员名单 72](#_Toc69913630)

[条文说明 75](#_Toc69913631)

# 1 总则

1.0.1 为规范升船机设计，保证工程建设质量，使升船机设计技术先进、安全可靠、经济合理、管理方便，制订本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、改建和扩建的内河100吨级～3000吨级湿运式升船机设计。涉及的升船机型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。

1.0.3 升船机设计应根据工程特点，充分吸取国内外成功经验，积极采用新技术、新材料、新设备和新工艺。

1.0.4 升船机的设计除应符合本标准规定外，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

平衡重设计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 Shiplifter

承船厢不入水运行的平衡重式垂直升船机，是不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垂直升船机，简称下水式垂直升船机。

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提升承船厢升降、行走机构驱动承船厢水平移动实现船舶过坝的升船机，简称：移动式垂直升船机。

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，简称：斜面升船机。

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

斜面升船机中用以运载船舶的设备，由楔形车架和承船厢或承船架组成。

2.0.12 驱动系统 Drive System

齿轮齿条爬升式升船机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。

2.0.12 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运行的机械设备，包括卷扬提升机构和同步轴系统等。

2.0.13 牵引绞车 Winch

斜面升船机卷扬机构的本名。

2.0.14 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。

2.0.15 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。

2.0.16 重力平衡重 Gravity Counterweight

由支承在平衡滑轮上的钢丝绳悬吊的平衡重。

2.0.17 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。

2.0.18 额定提升力 Rated Lifting Force

驱动系统、主提升机和牵引绞车在升船机机械设备设计寿命内克服外载、驱动承船厢或乘船车运行的能力。

2.0.19 最大提升高度 Maximum Lift Height

升船机升降船舶的最大高度。

2.0.20 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。

2.0.21 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。

2.0.22 干舷高 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。

2.0.23 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。

2.0.24 主电气传动系统 Main Driving System

驱动承船厢运行的电气传动系统。对由多个单元机构驱动承船厢的升船机，主电气传动系统是多个单元电气传动系统的统称。

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

按照承船厢运行过程和时序，控制承船厢的启动、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。

2.0.26 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。

2.0.27 预加力矩 Pre-torque

升船机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。

2.0.28 塔柱 Tower

垂直升船机支承承船厢和平衡重系统的竖向支承承重结构。

2.0.29 承船厢室 Ship Chamber Space

位于上、下闸首之间，由两侧承重结构、底板及顶部机房底板所构成的建筑物。

2.0.30 承船厢室段Ship Chamber Section

是垂直升船机承船厢垂直升降的区段，包括承重结构、承船厢和平衡重系统，以及附属设备等。

2.0.31 有效尺度 Useful Dimensions

为有效长度、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确定的、设计载重量可达到相应吨级的船型。

2.0.33 失压保护Loss of Voltage Protection

是指主提升系统在正常运行中，由于外界原因突然断电时，能自动切断电动机电源，当电源恢复时保证电动机不能自行启动的一种保护。

# 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 |
| 可通航船舶吨级（t） | 3000 | 2000 | 1000 | 500 | 300 | 100 |

 注：① 可通航船舶吨级按船舶设计载重吨（DWT）确定；

 ② 通航3000吨级及以上船舶的升船机列入I级升船机。

3.1.2 升船机的级别应与所在航道的定级或规划等级相同，通过能力除应满足设计水平年运量要求外，还应考虑远期的发展要求。当升船机的级别不能按所在航道的规划通航标准建设时，应作专题论证并经有关部门审查确定。

3.1.3 升船机的设计水平年宜采用建成后的20a～30a。对增建复线和改建、扩建困难的升船机，应采用更长的设计水平年。

3.1.4 升船机设计采用的代表船型，应根据规划或拟定的标准船型确定。当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，并通过调查研究确定。

3.1.5 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适度考虑承船厢运行冲程。

3.1.6 升船机建筑物级别应根据升船机级别及建筑物在工程中的作用和重要性按表3.1.6的规定确定。

表3.1.6 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 |

 注：\*位于枢纽挡水前沿的升船机闸首的级别应与枢纽中其他挡水建筑物级别相同。

3.1.7 当承重结构级别在2级及以下，且采用实践经验较少的新型结构或升船机提升高度超过80m时，建筑物级别宜提高一级设计。

3.1.8 承船厢运行允许误载水深不宜超过±0.15m范围，对接允许误载水深应根据航道通航水位的变率和对接停留时间确定。

3.1.9 3000吨级及以上内河航道的I级升船机的规模尺寸，应根据通航船型、通过能力和通航安全要求，经专题论证后确定。

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。

 （3.2.1）

式中：——承船厢或承船车有效长度（m），对两端设防撞装置的为防撞装置之间的净距离，无防撞装置的为船舶停位限制线之间的净距离；

——设计最大船舶或船队的长度（m）；

——两端富裕总长度（m），可取3m～10m。

3.2.2 承船厢或承船车的有效宽度，可按式（3.2.2）计算。

 （3.2.2）

式中：——承船厢或承船车的有效宽度（m），为两侧护舷间的净距离；

——设计最大船舶或船队的宽度（m）；

——两侧富裕总宽度（m），应兼顾设计水深、船舶或船队进出承船厢速度要求，可取0.8m～1.2m。当富裕总宽度小于推荐值时，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。

 （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）；

——富裕水深，可取0.25T～0.40T，对1000t级及以上的升船机可通过船模试验确定。

当工程采用的设计水深小于式（3.2.3）的计算值时，应通过船模型试验检验。

3.3 通过能力计算

3.3.1 升船机通过能力的计算应包括设计水平年内通过升船机的船舶或船队总载重吨位与客货运量两项指标，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、运量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，可根据船舶或船队运行距离和进出升船机速度按下列规定确定。

 3.3.3.1 船舶进出升船机的运行距离可按下列情况分别确定。

 （1）单向过机驶入距离为船艏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；驶出距离为船艉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艏自引航道停靠位置，驶至承船厢内停泊位置之间的距离；驶出距离为船艉自承船厢内停泊位置，驶至引航道靠船建筑物之间的距离。

 3.3.3.2 船舶或船队进出承船厢或承船车的平均速度不宜大于0.5m/s。对于1000吨级及以上的升船机，可通过模型试验确定。

3.3.4 不下水式垂直升船机，一次过机时间计算应符合下列规定：

 （1）单向过机

 *T*1*=2t*1+*t*2+*2t*3+*4t*4+4*t*5+4*t*6+4*t*7+*t*8+2*t*9+2*t*10+*t*11+*t*12 （3.3.4-1）

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——单向第一个船舶或船队驶入升船机时间（min）；

*t*3——承船厢提升或下降时间（min），可按本标准6.1.9条给出的正常运行速度和正常启停加速度值计算确定；

*t*4——闸首和承船厢闸门间隙充水或泄水时间（min），可取0.5min～1.5min；

*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——承船厢顶紧或拉紧锁定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——单向第一个船舶或船队驶出升船机时间（min）；

*t*9——下闸首工作闸门开门或关门时间（min）；

*t*10——船舶或船队驶入或驶出升船机的间隔时间（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、转布操作等时间（min），可取0.1min～0.5min。

 （2）双向过机

*T*2＝2*t*1＋*t*'2＋2*t*3＋4*t*4＋4*t*5＋4*t*6＋4*t*7＋*t*'8＋2*t*9＋4*t*10＋2*t*11+*t*12 （3.3.4-2）

式中：*T*2——上下行各一次的双向过机时间（min）；

*t*'2——上下行第一个船舶或船队驶入升船机时间之和（min）；

*t*'8——上下行第一个船舶或船队驶出升船机时间之和（min）。

3.3.5 下水式垂直升船机，一次过机时间可按下列公式计算。

 （1）单向过机

*T*1＝2*t*1＋*t*2＋2*t*3＋2*t*4＋2*t*5＋2*t*6＋2*t*7＋*t*8＋2*t*9＋2*t*10＋*t*11+*t*12 （3.3.5-1）

 （2）双向过机

*T*2＝2*t*1＋*t*'2＋2*t*3＋2*t*4＋2*t*5＋2*t*6＋2*t*7＋*t*'8＋2*t*9＋4*t*10＋2*t*11+*t*12 （3.3.5-2）

3.3.6 移动式垂直升船机，一次过机时间可按下列公式计算。

 （1）单向过机

*T*1＝2*t'*1＋*t*2＋2*t'*3＋2*t'*4＋2*t'*5＋*t*8＋2*t'*9＋2*t*10 ＋2*t*11+*t*12 （3.3.6-1）

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）；

 （2）双向过机

*T*2＝2*t'*1＋2*t'*2＋2*t'*3＋2*t'*4＋2*t'*5＋2*t'*8＋2*t'*9＋4*t*10 ＋4*t*11+*t*12 （3.3.6-2）

3.3.7 一次过机时间应根据单向过机和双向过机的比率计算，可按下式确定。

 （3.3.7）

式中：*T*—— 一次过机时间（min）；

 *k*1、*k*2—— 分别为单、双向过机次数比率，*k*1＋*k*2＝1。

3.3.8 日平均过机次数可按式（3.3.8）计算。

  （3.3.8）

式中：*n* ——日平均过机次数；

——日工作小时（h），一般取22h。

3.3.9 升船机通过能力计算应包括下列内容：

 （1）单向年过机船舶总载重吨位

  （3.3.9-1）

式中：*——*单向过机船舶总载重吨位（t）；

*N ——*通航天数（d），可取330d；

*G ——*一次过机设计船舶载重吨位（t）。

 （2）单向年过机客货运量

 （3.3.9-2）

式中：——单向年过机客、货运量（t）；

——日非运客、货船过机次数；

——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。当无资料时，可取0.6～0.9；

——运量不均衡系数，即为年最大月货运量与年平均月货运量之比。当无资料时，可取1.1～1.3。

3.3.10 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 选型及布置

4.1 型式选择

4.1.1 升船机型式选择应根据航运条件、自然条件、工程条件和施工条件等，通过技术经济综合比较确定，具体如下：

 （1）航运条件包括航道等级、航运船型、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、枢纽运行方式等；

 （4）施工条件包括土建施工、设备运输和安装等。

4.1.2 升船机型式的确定应兼顾枢纽泄洪、冲沙泄水、电站调峰和机组甩负荷等对升船机运行的影响，当没有工程案例可参考时应通过模型试验确定。

4.1.3 升船机级数的选择，宜优先采用单级升船机。当受地形、地质条件限制或提升高度过大时，可采用多级方案。多级升船机的级与级之间，可采用明渠、渡槽等型式的中间渠道连接。

4.1.4 升船机型式选择应符合下列规定。

 4.1.4.1 300吨级及以上升船机，宜选用平衡重式垂直升船机。

 4.1.4.2 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。

 4.1.4.3 当航道水位变率较大时，宜采用下水式垂直升船机。

 4.1.4.4 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500吨级及以下升船机，可采用斜面升船机。

 4.1.4.5 移动式垂直升船机宜用于300吨级及以下规模的工程。当300吨级以上规模工程采用移动式垂直升船机方案时，应进行专题论证。

 4.1.4.6 当引航道水位变率较大且工程采用全平衡式垂直升船机方案时，在升船机与航道之间可设置辅助闸室。

4.1.5 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 升船机位置选择应符合下列规定。

 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、场地开阔、交通方便、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。需要时应采取工程措施以满足通航水流的要求。

4.2.2 多级升船机级与级之间应设有中间渠道，中间渠道应满足船舶错船和临时停泊的要求。

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》（JTJ 305）的有关规定。

4.2.4 有客轮通航要求且不允许乘客随船过机的升船机，应设有船舶临时停靠和乘客转运设施。

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 土建结构与设备布置，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。

4.3.3 承重结构主要高程的确定应符合下列规定。

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

 4.3.3.2 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。

 4.3.3.3 平衡重井底面高程应满足下其锁定设备布置和运行冲程的要求。

 4.3.3.4 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应与下闸首闸顶高程相同。

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、安装和检修的设备运输通道，且应符合下列规定。

 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竖向交通楼梯，并宜设置电梯。

 4.3.5.3 承重结构左右塔柱每隔一定高度，应设置不少于1条通向承船厢室的水平疏散通道，疏散通道总宽度应满足过机船舶全部人员安全疏散的需要。

 4.3.5.4 顶部机房底板在检修桥机工作范围内，宜设有供机械、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，且其抽排能力宜满足可能汇集的地表污水、基础渗漏水、闸门漏水和消防污水等水量的及时抽排要求。

4.3.7 钢丝绳卷扬式垂直升船机承船厢和平衡重的检修锁定应符合下列规定。

 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平面尺寸、承船厢设备布置与运行要求等确定，且应满足下列要求。

 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 平衡重式垂直升船机承船厢宜采用四点驱动、对称布置。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本标准附录A.0.1的规定。

4.3.10 平衡重式垂直升船机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应设置转矩平衡重和重力平衡重。转矩平衡重重量不宜小于承船厢结构和设备的总重量，在设备布置允许的条件下宜加大转矩平衡重的重量，并可将部分或全部重力平衡重设置为可控平衡重。

 4.3.10.2 下水式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D与钢丝绳直径d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 下水式垂直升船机平衡重重量应按下式计算，且不宜小于承船厢总重的70%。

 （4.3.14）

式中：——平衡重总重量（kN）；

——承船厢结构和设备重量（kN）；

——承船厢总重（kN）；

——承船厢结构和设备在水中的重量折减系数，；

**——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《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》（GB/T 3480）的有关规定。对于渗碳淬火的渗碳钢，*p* =8.74；

——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；

——减速器低速级传动比。当未知时可取；

——表E.0.2-2中承船厢在空中升降工况第5及第7~11项的合力（kN）；

——表E.0.2-2中承船厢在水中升降工况第5及第7~11项的合力（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桥式起重机，其起升高度、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宜沿高度方向，应设置对承船厢进行补水或排水的沿程补排水系统。

4.4 移动式垂直升船机

4.4.1 移动式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泊稳风浪与水流条件，以及船舶低速航行安全的要求，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。机房宜采用可开启式屋顶，机房内应设检修桥机。检修桥机起升载荷应按一次最大吊运物品确定，起升高度宜按至坝顶地面的距离确定。

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，人员应能够通过楼梯到达坝顶或地面。

4.4.6 移动提升机应设置抗风锚定装置，轨道两端端部应设置缓冲和端部止挡装置。抗风锚定装置、缓冲和端部止挡装置等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，以及卷筒、转向滑轮直径等参数，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，且应符合下列规定。

 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*D*与钢丝绳直径*d*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.0.2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纵、横向导向装置和水平移动纵、横向定位装置。导向装置和定位装置承受的水平风载应按最大非工作风压计算，定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 斜面升船机

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

4.5.2 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 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按0.5倍～1.0倍承船车长度的富裕量确定。

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，以及卷筒、转向滑轮直径等参数，应根据坡道坡度、牵引重量，以及承船车结构与牵引绞车布置等条件确定，且应符合下列规定。

 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、转向滑轮名义直径*D*与钢丝绳直径*d*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均衡装置，并宜设置张力检测设备。

4.5.8 在斜面升船机斜坡道上应设置钢丝绳托轮，在转向滑轮至卷扬机之间的绳道上应设置钢丝绳托辊。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高度确定。

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 双坡式斜面升船机乘船车跨越驼峰时，承船车过驼峰的方式可为驱动式或惯性式。100吨级及以下斜面升船机可采用惯性式。

4.5.12 双坡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的夹角的变化最小。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 下水式垂直升船机下水端侧闸首应设置一道检修闸门，不下水端侧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 闸首工作闸门型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 闸首闸门型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超出承船厢厢头高度时，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 检修闸门的选择应与相应的工作闸门相适应，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型式。

4.6.5 闸门启闭机选择应符合下列规定。

 4.6.5.1 当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 当工作闸门采用下沉式平面闸门时，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 当闸首工作闸门采用提升式平面闸门与叠梁门组合型式时，启闭机宜选用移动卷扬式启闭机。

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，承船厢对接拉紧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 当闸首航槽两侧有交通要求时，应在航槽上方设置交通桥。交通桥型式可选用固定式或活动式，且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不应低于与其相邻的建筑物挡水前缘顶部高程。

# 5 建筑物设计

5.1 一般规定

5.1.1 升船机建筑物主要包括闸首、垂直升船机承重结构、斜面升船机坡道结构、主提升设备机房等主体建筑物，以及导航、隔流、靠船墩等辅助建筑物。

5.1.2 升船机建筑物的结构型式应根据其使用功能要求、结构受力条件及工程地质条件确定。

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，应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3）和《水工混凝土结构设计规范》（SL 191）的有关规定，并应符合下列规定。

 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，应考虑与承船厢机械设备的变形协调。

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、水压力和扬压力、浪压力、土压力、冰压力和冻胀力、泥沙压力、风荷载和雪荷载、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。钢筋混凝土的重度应由试验确定，当无试验资料时可取24.5kN/m3～25.0kN/m3。

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作用的影响。

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μs，应根据其平面形状按图5.2.5取值。

 

 （a）矩形结构 （b）槽形结构

图5.2.5 风荷载体型系数图

5.2.6 温度载荷应考虑气温变化、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。

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

5.2.8 直接采用温差分布计算日照作用时，温差分布宜通过试验或参照类似工程经验确定。

5.2.9 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B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，其抗滑稳定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型式，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顶部位移，在正常运行条件下应按弹性方法计算，且其结果不应大于总高度的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 对升船机与中间渠道建筑物连接的多级升船机，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，并应合理设计两者间的连接装置。

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C。

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，其值应根据连接构件刚度计算。简化分析时，附加于承重结构的平衡重质量不宜小于其总质量的30%。

5.5 安全监测

5.5.1 安全监测范围应包括升船机上、下闸首、承船厢室承重结构、渡槽、高边坡和中间渠道等部位。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。

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

5.5.3 监测断面和监测项目应根据工程地质条件、建筑物规模和结构特点选择, 主要监测项目应包括变形监测、渗流监测、应力应变及温度监测等。对受力复杂的建筑结构，其主要监测项目还应包括变形和应力等。

5.5.4 对于设防烈度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、顶部设置强震动三分向监测点。

5.5.5 升船机承重结构重点监测部位的监测项目应满足表5.5.5的要求。

表5.5.5 安全监测项目分类和选项表

|  |  |
| --- | --- |
| **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 | 垂直位移、水平位移 |
| 承重结构高度大于50m的升船机 | 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 | 接缝开合度 |

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，但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 设计范围应包括为满足正常运行、安全保护和检修维护需要所设置的所有金属结构与机械设备，按照升船机型式的不同，设计范围内容如下：

 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、机房检修桥机等。

 6.1.1.2 移动式垂直升船机，应包括移动提升机、承船厢结构及设备、轨道梁、缓冲装置等。

 6.1.1.3 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、机房检修桥机等。

6.1.2 金属结构和机械设备的设计应满足工程总体布置和运行的要求，并与土建结构和机电设备布置相协调。

6.1.3 金属结构和机械设备设计，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）的有关规定。

6.1.4 金属结构和机械设备的设计工况，可分为正常工况、非正常工况和特殊工况，按通航规模和过船类型具体如下：

 6.1.4.1 通航500吨级及以下货船的升船机的设计工况，应包括正常工况和非正常工况；

 6.1.4.2 通航1000~3000吨级货船的升船机的设计工况，宜包括正常工况、非正常工况以及部分或全部特殊工况。

 6.1.4.3 有通航客船需求的升船机的设计工况，应包括正常工况、非正常工况以及部分或全部特殊工况。

6.1.5 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，且应符合下列规定。

 6.1.5.1 金属结构静强度、刚度与稳定性宜将正常工况最大载荷作为设计荷载计算，非正常工况或特殊工况荷载作为校核荷载计算。

 6.1.5.2 机械设备静强度与稳定性宜按所有工况最大载荷计算，刚度宜按正常工况最大载荷计算，疲劳强度计算宜按额定荷载或正常工况荷载谱计算。

6.1.6 升船机金属结构设计使用年限宜采用70a，机械设备宜采用35a。相关设备荷载循环次数宜按每年工作不少于330d，每天工作22h计算升船机过船次数考虑。

6.1.7 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研究地震对其的影响。

6.1.8 升船机承船厢机械设备对承重结构变形的适应能力应按计算结果的1.5倍考虑。

6.1.9 承船厢或乘船车的正常运行速度、启停加速度应满足下列要求。

 6.1.9.1 全平衡式垂直升船机承船厢正常运行速度，可采用0.15m/s～0.25m/s；

 6.1.9.2 下水式垂直升船机承船厢，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0.10m/s～0.25m/s；

 6.1.9.3 移动式垂直升船机承船厢，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0.10m/s～0.25m/s、水平运行速度可采用0.30m/s～0.50m/s；

 6.1.9.4 承船车沿轨道正常运行速度，可采用0.30m/s～0.50m/s；

 6.1.9.5 承船厢正常启、停加速度不宜大于0.01m/s2；

 6.1.9.6 移动提升机和承船车正常启、停加速度不宜大于0.02m/s2。

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，启闭机两吊点之间应采取同步措施。

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 下沉式平面闸门，宜在工作位置设置机械锁定装置；

 6.2.2.2 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。

6.2.3 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平齐。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门底富裕高度确定。

 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0.1m～0.2m，门底富裕高度宜取0.1m～0.2m。

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型式时，单节叠梁门的高度可按式（6.2.4）计算。

  （6.2.4）

式中：——单节叠梁门高度（m）；

——上游最高通航水位（m）；

——上游最低通航水位（m）；

——工作叠梁门数量。

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，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设计应符合以下规定。

 6.2.6.1 当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 当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型式时，止水面宜布置在迎水侧。

 6.2.6.3 下沉式工作闸门宜设置两道止水，止水结构型式应满足闸门结构变形及闸门带压启闭的要求。

6.2.7 带卧倒小门的平面工作大门，其U型门体结构的主梁刚度应满足止水可靠及与承船厢对接的要求。

6.2.8 设在平面大门上的卧倒小门宜采用双驱动点液压启闭机启闭，两驱动点之间应有有效的同步措施，且启闭速度宜可变速运行。在卧倒小门的全关位置宜设置锁定装置。

6.2.9 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，以及补偿装置等设备，且应对泄水系统进行水锤、流速、强度等验算。当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。

6.2.10 当对接密封机构和间隙充泄水系统设置在闸首工作大门上时，其设计原则应分别遵循本标准6.3.18条和6.3.22条的规定。

6.3 承船厢和承船车结构与设备

6.3.1 承船厢和承船车的结构尺寸除应满足有效水域平面尺度和水深的要求外，还应满足设备布置、安装、运行和维护检修的需要。

6.3.2 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。

6.3.3 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 承船厢和乘船车的设计应包括正常、非正常和特殊工况荷载，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本标准附录D的有关规定。

6.3.5 承船厢和乘船车结构材料的许用应力，应由材料容许应力乘以调整系数确定。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。300吨级及以上的升船机承船厢许用应力调整系数取0.85，100吨级升船机承船厢许用应力调整系数取0.9。

6.3.6 承船厢和乘船车结构刚度、强度宜通过有限元分析进行计算复核。正常工况下的承船厢整体纵向挠度不宜大于承船厢长度的1/1000，横向挠度不宜大于承船厢宽度的1/750。1000吨级及以上升船机承船厢还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可取600mm～1000mm。

6.3.8 垂直升船机的主梁设计应满足下列要求。

 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 下水式垂直升船机和移动式垂直升船机承船厢主纵梁宜采用实腹式单腹板结构。

 6.3.8.4 主纵梁上翼缘可兼作走道板，且走到宽度不宜小于800mm。

6.3.9 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承重塔柱的疏散步梯。

6.3.10 承船厢和乘船车导向护舷、系船柱和外护栏的设计，应满足下列要求。

 6.3.10.1 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；

 6.3.10.2 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。系船柱的结构型式和系缆力应符合现行行业标准《船闸总体设计规范》（JTJ 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。

 6.3.10.3 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靠泊的要求。

 6.3.10.4 主纵梁顶部走道外侧应设护栏，护栏高度不应低于1.2m；

6.3.11 承船厢和乘船车主纵、横梁宜采用实腹结构。若承船厢与乘船车需入水运行，其底板应设计成有斜度的左右对称结构，并宜在非盛水结构上开设进、排气孔，盛水结构设计水深线上开设进、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4.5.9条轨道间距的要求确定。

6.3.13 承船厢与乘船车机械设备的设置宜符合下列规定。

 6.3.13.1 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、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、承船厢水深调节与间隙充泄水系统、液压系统、检修锁定装置、缓冲装置等。

 6.3.13.2 移动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、导向装置、液压系统等。

 6.3.13.3 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。

6.3.14 承船厢工作闸门及启闭机选择应符合下列规定。

 6.3.14.1 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，可采用卧倒式平面闸门。

 6.3.14.2 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。

 6.3.14.3 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200mm～300mm水头计算。

6.3.15 平衡重式垂直升船机应设置对接锁定装置，且应符合下列规定。

 6.3.15.1 钢丝绳卷扬式垂直升船机对接锁定装置应具有下列功能：

 （1）可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。

 6.3.15.2 齿轮齿条爬升式垂直升船机对接锁定装置应具有超载退让功能。

6.3.16 平衡重式垂直升船机应设置顶紧装置，其设计应满足下列要求。

 6.3.16.1 应能满足对接密封机构顶推、船舶系缆、船舶撞击和适航纵向风载下的顶紧要求。

 6.3.16.2 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。

 6.3.16.3 顶紧机构液压控制回路应设置液压自锁失效安全保护装置。

6.3.17 平衡重式垂直升船机应设置对接密封机构，且应满足下列要求。

 6.3.17.1 设在承船厢上的对接密封机构应具有适应闸首工作闸门变形、承船厢与闸首或闸首工作闸门之间相对变位的能力。

 6.3.17.2 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。

 6.3.17.3 对接密封宜设置两道止水。当采用两道止水设计时，应采用结构型式或原理不同的止水。

6.3.18 承船厢或承船车两端闸门的内侧应设置防撞装置，其设计应满足下列要求。

 6.3.18.1 防撞装置抗船舶撞击能力应按满载的设计通航船舶以在承船厢或承船车内最大允许航速行驶时具有的动能设计，船舶动能应按式（6.3.18-1）计算。

 （6.3.18-1）

式中：*E* ——船舶动能（N·m）；

——船舶及其附连水体总质量（kg）；

——在承船厢中的最大允许航速（m/s）。

 6.3.18.2 防撞构件结构型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处。

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

 6.3.18.4 防撞装置缓冲油缸的缓冲距离应根据设计船舶在规定船速下船艏不触碰承船厢工作门进行核算，油缸缓冲行程应按式（6.3.18-2）计算。

  （6.3.18-2）

式中：——油缸缓冲行程（m）；

——船舶及其附连水体总质量（kg）；

——压力阀设定油压（N/m2）；

——油缸内径（m）；

*d0*——活塞杆直径（m）；

——安全系数，取1.8～2.0。

6.3.19 平衡重式垂直升船机应设置纵、横向导向装置，其设计应满足下列要求。

 6.3.19.1 纵向导向装置宜靠近承船厢横向中心线布置，横向导向装置宜对称设置在承船厢两侧的外端。

 6.3.19.2 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(6.3.19)计算。

*P*w=*CK*h*qA* (6.3.19)

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，本项计算中可取*K*h =1.0；

*q*——非工作风压（N/m2），本项计算中可取*q* =800 N/m2；

*A*——承船厢及厢内船舶垂直于风向的总迎风面积（m2）。

6.3.20 钢丝绳张力均衡装置设计应符合下列规定。

 6.3.20.1 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、斜面升船机牵引钢丝绳应设置张力均衡装置。

 6.3.20.2 钢丝绳张力均衡装置宜采用液压油缸式，且应具备静态进行张力均衡调整和动态锁紧的功能。

 6.3.20.3 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。

 6.3.20.4 张力均衡装置的动态锁紧机构宜采用活塞杆机械锁紧式，且其受拉力构件的强度安全系数不应小于3.0。

 6.3.20.5 液压油缸应设有行程检测和压力检测装置。

6.3.21 水深调节与间隙充泄水系统应符合下列规定。

 6.3.21.1 水深调节与间隙充泄水系统设计，应满足通航运输能力、船舶停泊系缆安全等的要求，且应具备双向输水运行的能力。

 6.3.21.2 水深调节系统一次调节时间最长不宜大于5min。

 6.3.21.3 间隙充泄水系统充、泄间隙水的时间不宜大于2min。

6.3.22 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驱动卷筒组、减速器、电动机、安全制动系统、机械同步系统等设备。全平衡钢丝绳卷扬垂直升船机还应包括平衡滑轮组，并可根据需要设置可控卷筒组。

 6.4.1.2 斜面升船机的牵引绞车应包括钢丝绳、驱动卷筒组、减速器、电动机、安全制动系统、机械同步系统等设备。

 6.4.1.3 移动式垂直升船机的主提升机应包括钢丝绳、驱动卷筒组、减速器、电动机、安全制动系统、机械同步系统和动滑轮组等设备，以及桥架或门架及其机房结构、行走机构、夹轨器锚定装置等安全装置等设备。

6.4.2 钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机、移动式垂直升船机卷扬提升系统和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本标准附录表E.0.2-1中正常升降运行工况的第5项~第10项。

 6.4.2.2 下水式垂直升船机主提升机在空气中的提升力*F*1应包括表E.0.2-2中第5项~第11项，在水中的提升力*F*2应包括表E.0.2-2中第5项~第12项，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，并应按式（6.4.2）计算。

**** （6.4.2）

式中：——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《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》（GB/T 3480）的有关规定。对于渗碳淬火的渗碳钢，8.74；

——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；

——减速器低速级传动比。当未知时可取4~5。

 6.4.2.3 斜面式升船机牵引绞车的额定提升力计算应包括本标准附录表E.0.2-4中第3项~第10项，并乘以1.2倍的载荷系数。

 6.4.2.4 移动式垂直升船机额定提升力应包括本标准附录表E.0.2-5中正常升降运行工况的第3项~第9项。

6.4.3 主提升机和牵引绞车电动机宜采用交流变频电机，电动机功率应按照本标准附录F的有关规定计算，并应符合下列原则：

 6.4.3.1 主提升机电动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不宜低于1.2倍电动机额定功率；

 6.4.4.2 牵引绞车高速轴的疲劳强度不宜低于1.4倍电动机额定功率；

 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 精度制 第1部分：轮齿同侧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，且其设计应满足下列要求。

 6.4.7.1 疲劳强度计算荷载可为单台电动机1/2额定功率，且其疲劳强度安全系数不应小于2.0；

 6.4.7.2 静强度计算荷载可为1/4电动机总额定功率，且其扭转角不宜大于0.2°/m；

 6.4.7.3 机械同步轴系统转速不宜大于250r/min；

 6.4.7.4 机械同步轴系统宜设置扭矩检测装置。

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，且宜共用绳槽工作圈；

 6.4.8.3 提升绳安全圈不得少于2.5圈，转矩平衡重和可控平衡重钢丝绳安全圈不得少于2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、驱动扭矩和设备自重等。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计算如下。

 （1）正常运行工况

  （6.4.9-1）

 （2）非正常工况和特殊工况

 （6.4.9-2）

式中：——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）；

——非正常工况和特殊工况下单根提升绳的最大拉力（kN）；

——不考虑提升力时单根提升绳的张力（kN）；

——主提升机额定提升力（kN）；

——非正常工况和特殊工况下承船厢底铺板受到的水体压力和船舶接触压力（kN）；

——对应于设计水深的承船厢水体重量（kN）；

——提升绳数量；

——提升绳和可控平衡绳数量之和。

 6.4.9.2 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（6.4.9-3）计算。

$$T\_{3}=\frac{1.1T}{n\_{3}}$$

 （6.4.9-3）

式中：——牵引绞车单根钢丝绳的最大拉力（kN）；

——牵引绞车钢丝绳的总张力（kN）；

——牵引绞车钢丝绳数量之和。

 6.4.9.3 移动式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（6.4.9-4）计算。

$$T\_{4}=\frac{KF}{2mnη} $$

 （6.4.9-4）

式中：——卷扬提升机构单根钢丝绳的最大拉力（kN）；

——移动提升机额定提升力（kN）；

——载荷不均匀系数，*K* = 1.1（干运型*K* = 1.3）；

*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，且应符合下列规定。

 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的安全系数不应小于2.5。钢丝绳与绳槽和压板槽的摩擦系数取值不宜大于0.08。

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，且应符合下列规定。

 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，且工作制动器和安全制动器应为常闭式形式；

 6.4.12.2 工作制动器额定制动力矩应根据制动负荷计算确定，且应符合下列规定。

 （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应根据转矩平衡重重力计算，可控卷筒上安全制动器的额定制动力矩应按可控平衡重重力计算；

（2）移动式垂直升船机和斜面升船机驱动卷筒上的安全制动器额定制动力矩，应按非正常工况下的钢丝绳牵引力计算；

 6.4.12.3 工作制动器制动安全系数不应小于1.25，安全制动器制动安全系数不应小于1.5。

 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，以及对应冲击力下的设备强度安全条件，且应满足下列要求。

 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0.08 m/s2；

 6.4.13.2 下水式垂直升船机、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0.3 m/s2；

 6.4.13.3 移动式垂直升船机紧急制动可采用工作制动器全压上闸方式。

6.4.14 对于安全等级为特殊级的全平衡钢丝绳卷扬式垂直升船机，应使安全制动器的有效制动力与沿程锁定装置或事故锁定装置的锁定力之和大于承船厢设计水重。

6.4.15 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，且应符合下列规定。

 6.4.15.1 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；

 6.4.15.2 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的驱动系统和安全机构应包括下列部分：

 6.5.1.1 驱动系统应包括驱动机构和机械同步轴系统，具体细分应包括驱动齿轮及齿轮托架机构、万向联轴节、高速轴联轴器、锥齿轮箱、安全制动系统、减速器和驱动电动机。

 6.5.1.2 安全机构应包括安全机构螺杆和撑杆。

6.5.2 驱动系统的设计工况和荷载组合应符合附录表E.0.2-3的规定，额定驱动力应包括附录表E.0.2-3正常工况的第2项~第8项。

6.5.3 驱动系统应设置驱动齿轮载荷检测装置和机械过载保护装置，检测装置动作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载荷宜取检测装置动作荷载的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退出、其余电动机继续完成本次运行的原则确定。电动机功率可按本标准附录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倍额定驱动力和安全机构摩阻力换算到相应零部件上的荷载计算。

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，应符合本标准6.4.5条的规定。齿条的承载能力计算，宜采用与本标准6.4.5.3条中开式齿轮相同的安全系数。

6.5.7 驱动齿轮和齿条宜采用硬齿面，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）的ME级要求，且加工精度应满足下列要求。

 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 精度制 第1部分：轮齿同侧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 精度制 第1部分：轮齿同侧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，且应具备以下功能：

 （1）传递、限制和检测驱动齿轮荷载。

（2）适应承船厢与承重结构的水平相对变位。

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，且机构形式与安全系数等应符合6.4.13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传力的要求。

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倍，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。2000吨级及以上、安全级为特殊级的升船机宜按承船厢室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 四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。在本标准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值。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 螺杆和螺母柱间的螺纹副间隙，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，且螺纹副间隙不消失、螺纹副不自锁。

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 平衡重系统应采用一绳一平衡重块设计。

6.6.3 平衡重组应设置安全框架，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，且静强度安全系数不宜小于1.5。框架上宜设置纵、横两个方向导向装置。正常情况下安全框架不应承受平衡重重量。

6.6.4 平衡重块宜采用高容重混凝土制作，且容重不宜超过3.5t/m3，强度等级不宜低于C30。混凝土平衡重块的外表面应进行防水、防潮涂装处理。平衡重块的外形尺寸及分节重量应根据设备制造及运输安装条件确定。

6.6.5 全平衡式垂直升船机应设置重量可调的调整平衡重块。调整平衡重块的材料宜采用钢板或铸钢，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。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。调节装置调节范围不应小于±150mm～±250mm。

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，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。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 电气系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 电气系统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、信号检测系统、通航信号与语音广播系统、工业电视系统、通信系统和网络安全等。

7.1.2 固定式卷扬启闭机和移动式启闭机的电气传动控制系统设计，应符合国家现行标准《起重机设计规范》（GB/T 3811）、《船闸电气设计规范》（JTJ 310）和《水利水电工程启闭机设计规范》（SL 41）的有关规定。

7.2 供配电与接地

7.2.1 电力设备负荷分级应符合下列规定。

 7.2.1.1 I、II级升船机或每天运行时间不少于16h的其他级别升船机的工作闸门启闭机、承船厢驱动机构、承船厢对接锁定机构、承船厢充泄水装置、计算机监控系统、广播与信号系统、通信系统，以及电梯和生产照明等主要用电负荷应为一级负荷。

 7.2.1.2 事故闸门启闭机的用电负荷应为一级负荷。

 7.2.1.3 消防用电设备的负荷应为一级负荷。

 7.2.1.4 III、IV级及以下升船机或每天运行时间不少于8h且少于16h的其他级别升船机的工作闸门启闭机、承船厢驱动机构、承船厢对接锁定机构、承船厢充泄水机构、计算机监控系统、广播与信号系统、通信系统，以及电梯和生产照明等主要用电负荷宜为二级负荷。

 7.2.1.5 其他用电负荷应为三级负荷。

7.2.2 供电电源应符合下列规定。

 7.2.2.1 一级负荷应由两个互为备用的独立电源供电。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 二级负荷宜由主配电屏直接供电或由主配电屏直接供电的分配电屏供电。

 7.2.2.3 消防控制室、消防水泵房、防排烟机房的用电设备及消防电梯等的供电，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。

7.2.3 升船机用电负荷计算应基于升船机运行流程工况统筹考虑，并应符合下列规定。

 7.2.3.1 用电负荷的计算范围应包括升船机运行区、生产管理区和生活辅助区等。

 7.2.3.2 负荷计算应分别计算动力计算负荷和照明计算负荷，并应在其基础上计算升船机运行总计算负荷。

 7.2.3.3 动力用电负荷计算应分别按升船机正常运行、升船机检修和闸首工作大门调整三种工况计算最大用电负荷。

 7.2.3.4 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。

7.2.4 配电系统电压等级应根据当地配电网电压和升船机用电负荷情况确定。用电电压等级宜采用l0kV和0.4kV两种电压。

7.2.5 移动式设备的供电方式应符合下列规定。

 7.2.5.1 当采用10kV向移动式设备供电时，应采用专用拖曳式软电缆。

 7.2.5.2 当采用0.4kV向移动式设备供电时，应比较专用拖曳式软电缆和安全滑线两种供电方式，择优选用。

7.2.6 升船机的接地应符合下列规定。

 7.2.6.1 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。

 7.2.6.2 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。

 7.2.6.3 对具有移动特点承船厢或承船车，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。

7.2.7 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方案，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，且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“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。控制权优先级应为“检修调试”高于“现地控制”，“现地控制”高于“集中控制”。

7.3.7 主电气传动系统应具有下列功能：

 （1）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）全行程过速保护；

 （6）超程保护；

 （7）多电机驱动出力不均衡保护。

7.3.9 主电气传动系统基本性能指标应满足下列要求。

 （1）静特性：速度静差小于或等于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，调节时间不应大于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±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，并应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械特性差不宜大于2.0%。

7.4 计算机监控系统

7.4.1 计算机监控系统的监控对象应包括升船机闸首闸门、闸门启闭机、升船机承船厢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。多级或多线升船机除每座升船机设置1套计算机监控系统外，还应设置1套调度管理系统。

7.4.3 计算机监控系统应采用分层分布式结构，并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管理，其主控制器应采用具有网络通讯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应包括控制专网和管理网两套数据网络。控制专网应连接集中监控层和现地控制层的所有监控设备，实现两层级之间的数据交换。控制专网宜采用光纤环网或冗余光纤网，速率不应低于100Mbps。管理网络应连接工业电视系统、生产管理系统、调度管理系统和打印输出等辅助系统设备。

7.4.7 升船机通航运行流程应满足运行工艺要求，且应具有下列主要流程：

 （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，控制权优先级应为“检修调试”高于“现地控制”、“现地控制”高于“集中控制”。

7.4.10 根据升船机运行流程，计算机监控系统的紧急处治功能应包括“紧急停机”和“紧急关门”，“紧急关门”指令应具有最高优先权。升船机紧急处治命令的触发方式应采用“连环群发”方式。

7.4.11 升船机运行宜设有下列安全闭锁条件：

 （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）防撞机构与厢头闸门闭锁。

7.4.12 升船机运行应设置下列主要保护：

（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 信号检测

7.5.1 计算机监控系统应对水位状态信息、机构状态信息、船舶航行信息等主要信号进行检测，且重要检测项目如下：

 （1）上、下游水位；

 （2）承船厢水深及门间间隙水深；

 （3）承船厢/乘船车行程位置；

 （4）承船厢/乘船车停位位置；

 （5）承船厢/乘船车运行速度；

 （6）承船厢入水深度；

 （7）同步轴扭矩。

7.5.2 重要检测项目检测装置应冗余配置，并宜采用不同工作原理的装置进行检测。

7.5.3 信号检测装置的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平均法。

7.5.5 检测方法不成熟的检测项目，宜经研究后采用，具体项目如下：

 （1）机构荷载；

 （2）船舶探测；

 （3）钢丝绳断丝；

 （4）安全机构螺纹副间隙；

 （5）驱动机构驱动齿轮荷载。

7.6 信号标志与语音广播

7.6.1 通航信号与升船机标志设置，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 升船机应设置下列多种通航运行标识标志：

 （1）停船界限标志；

 （2）承船厢宽度界限标志；

 （3）承船厢上下游禁停线标志；

 （4）承船厢室高程标识；

 （5）多级升船机承船厢室编号标识；

（6）过机船舶至防撞装置间动态距离检测与显示设备。

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，且字体大小应在20m处能方便辨识。

7.6.5 升船机指挥广播系统宜包括船厢室段广播系统和上、下游远调广播系统。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 广播范围应复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。远调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 升船机应设置一套工业电视系统，并应由摄像、传输、显示、控制和存储等部分组成。

7.7.2 前段部分、传输部分、显示、控制和存储部分的设计应符合现行国家标准《工业电视系统工程设计标准》（GB/T 50115）的有关规定。

7.7.3 工业电视系统的监视范围，宜包括升船机闸首、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区间：

 （1）上、下闸首工作闸门区；

 （2）主机房主要设备区；

 （3）承船厢厢头门区；

 （4）承船厢主要设备区；

 （5）承船厢主纵梁顶疏散通道区；

 （6）集中控制室、电气设备室、供配电室；

 （7）其他所需要监视的场所。

7.7.4  户外使用的摄像机应具有全天候摄像功能，且其防护等级不应低于IP66。引航道监视用摄像机应具有透雾功能。

7.7.5  视频格式宜为720P，实时图像分辨率不应低于1280×720。

7.7.6 有线传输方式摄像机至接入层交换机之间的传输线缆宜采用光缆。当采用无线方式传输时，其带宽不应低于传输各类数据的带宽要求。

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基站等无线通信设施。

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。

7.8.5 通信线路宜采用电缆线路。

7.9 网络安全防护

7.9.1 网络安全防护设计应坚持“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则，保障计算机监控系统安全。计算机监控系统运行时应同步运行网络安全防护设备。

7.9.2 升船机计算机网络按网络安全防护要求应分为控制专网和管理网，控制专网和管理网之间必须设置经相关信息安全部门检测认证的单向安全隔离装置。

7.9.3 管理网与广域网的纵向联接处应设置经过相关信息安全部门检测认证的加密认证装置或加密认证网关等设施。

7.9.4 控制专网禁止采用具有无线通信功能的设备。

7.9.5 控制专网连接的操作员工作站、工程师工作站、数据服务器、通信网关等设备的操作系统应能满足主机加固的要求。

# 8 消防系统设计

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 运输甲、乙类火灾危险性危险品的船舶不得通过升船机。

8.1.3 升船机整体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）、《水利工程设计防火规范》（GB 50987）及《水电工程设计防火规范》（GB 50872）的有关规定。

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 下列消防设施宜结合工程设计统筹考虑，兼顾正常与消防双重应用功能，火灾时应满足消防救援应用要求。

 8.1.5.1 消防应急照明和消防应急疏散指示标志应符合现行国家标准《消防应急照明和疏散指示系统》（GB 17945）和《消防安全标志》（GB 13495）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消防《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指挥广播合并设计，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，且应符合下列规定：

 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不超过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 通过客轮的升船机的疏散通道应满足客轮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的，且应配置有正压送风系统。

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，应根据设备特点设置适用的火灾报警探测器。

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，区域火灾报警控制器宜设置在各报警区域。

# 9 工程信息化

9.0.1 升船机信息化系统宜具有通航信息、生产运行信息和综合办公管理等信息管理功能。其中通航信息可包括水文气象信息、船舶调度信息、船舶过机信息以及视频监控信息等，生产运行信息可包括工程安全信息、设备状态信息、设备管理信息和运行管理信息等。

9.0.2 信息化系统总体架构宜包括感知层、基础设施层、数据存储层、应用层、展示层等部分。

9.0.3 信息化系统主要设备宜包括应用服务器、网络通信设备和网络安全设备，其中应用服务器宜冗余配置，且宜具有数据存储、信息管理、统计查询、决策分析等功能。

9.0.4 信息化系统应接入管理网，管理网宜采用光纤网，速率不应低于1000Mbps。

9.0.5 感知层可配置水文气象、工程安全、设备状态和过机船舶状态等信息采集设备。感知层的工程安全与设备状态等信息采集设备宜结合工程设备设施和各系统的建设一并设置。

9.0.6 信息化系统基础设施层设备应与升船机集控中心电气设备分开设置，可布置在集控中心电气设备室内。

9.0.7 工程信息化网络安全防护应符合第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（A.0.1-2）计算：

 （A.0.1-1）

 （A.0.1-2）

式中：*S* ——纵倾稳定安全系数，*S*的取值不应小于2.2；

*α* ——驱动点纵向中心距（m）；

*α*c——临界中心距（m）；

*g* ——重力加速度（m/s2）；

*ρ* ——水体密度（t/m3）；

*B* ——承船厢水域宽度（m）；

*L* ——承船厢水域长度（m）；

*H* ——提升绳（连接卷筒与承船厢的钢丝绳）的最大悬吊长度，取卷筒出绳点至最低位承船厢吊耳孔中心的距离（m）；

*E* ——提升绳的弹性模量（kN/m2），*E*的取值约为1.0×108；

*A* ——单根提升绳的金属横截面积（m2）；

*n*r ——提升绳的数量；

*R*r——卷筒的名义半径（m）；

** ——连接单边纵向两卷扬机的同步轴总长度（m）；

*J* ——单根同步轴横截面的极惯性矩（m4）；

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

**——同步轴与卷筒的转速比；

*G*——钢材的切变模量（kN/m2），*G*的值取8.08×107。

A.0.2 移动式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（A.0.2-2）核算：

 （A.0.2-1）

 （A.0.2-2）

式中：*S* ——纵倾稳定安全系数，S的取值不宜小于2.2。

 *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）；

 **——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，**=16。

  **——考虑风载对纵倾稳定性影响的系数，根据升船机设计允许最大运行风速的大小取1.2~1.4。

 其他符号的意义见A.0.1。

# 附录B 垂直升船机承重结构荷载组合

B.0.1 承重结构在不同工况下的承载能力极限状态计算荷载组合见表B.0.1。

表B.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、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（梯）及平台活荷载 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 7 | 水压力（运行期最高挡水位） | √ | √ | － | － | － | － | √ | － |
| 水压力（运行期最低挡水位） | － | － | √ | √ | － | － | － | √ |
| 水压力（检修期最高挡水位） | － | － | － | － | √ | √ | － | － |
| 8 | 温度作用（气温周期变化） | √ | √ | √ | √ | √ | √ | － | － |
| 温度作用（日照） | √ | － | √ | － | √ | － | － | － |
| 温度作用（气温骤降） | － | √ | － | √ | － | √ | － | － |
| 9 | 地震作用 | － | － | － | － | － | － | √ | √ |

  **注：**① 当结构自重及设备重对结构有利时，应予以折减；

 ② 温度作用应予以折减，折减系数可取0.3～0.4；

 ③ 风荷载、雪荷载、楼面（梯）及平台活荷载与地震组合时，应予以折减；

 ④ “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

B.0.2 承重结构在不同工况下的正常使用极限状态验算荷载组合见表B.0.2。

表B.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 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 4 | 风、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（梯）及平台活荷载 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 7 | 水压力（运行期最高挡水位） | √ | √ | － | － | － | － |
| 水压力（运行期最低挡水位） | － | － | √ | √ | － | － |
| 水压力（检修期最高挡水位） | － | － | － | － | √ | √ |
| 8 | 温度作用（气温周期变化） | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 温度作用（日照） | √ | － | √ | － | √ | － |
| 温度作用（气温骤降） | － | √ | － | √ | － | √ |

  **注：**① 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。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

# 附录C 承船厢动水压力计算

承船厢内的动水压力可采用豪斯纳模型计算。豪斯纳模型宜包括了两方面的等效，一是作用在承船厢壁上的冲击压力等效的附加质量*M*0，二是对流压力的等效质量*M*n，如图C-1所示。



图C-1 豪斯纳模型动水质量示意图

 （1）作用在承船厢壁上的冲击压力附加质量*M*0为：

** （C.1-1）

  （C.1-2）

式中：*M*0——冲击压力部分等效为的附加质量（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——附加质量距承船厢底部高度（m）。

 （2）对流压力的等效质量*M*n、等效弹簧刚度*K*n分别为：

 （n=1,3,5,…） （C.1-3）

 （n=1,3,5,…） （C.1-4）

式中：*g*——为重力加速度（m/s2）

*M*n——对流压力的第*n*阶对流谐振力等效质量（kg）；

*K*n——对流压力的第*n*阶对流谐振力等效弹簧刚度（N/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）。

该部分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阶对流谐振力即可取得满意的结果。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（C.1-5）计算：

 （C.1-5）

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（C.1-6）计算：

 （C.1-6）

式中：*ρw*——为水的密度（kg /m3）；

*My*——槽底法向附加水体质量（kg）。

# 附录D 承船厢和乘船车设计工况与荷载组合

D.0.1 承船厢和乘船车设计应按正常和非正常工况下作用在承船厢上的不利荷载组合进行计算，对高地震区或通过客船的工程还应计算特殊工况下的荷载组合。

D.0.2 承船厢设计工况与荷载组合计算应满足下列要求。

 （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D.0.2-1采用。

表D.0.2-1 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 | 对接水满厢 | 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 检修工况系指承船厢卸掉全部钢丝绳，空厢或湿厢支承在下锁定平台。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （2）下水式垂直升船机承船厢设计工况及荷载组合可按表D.0.2-2采用。

表D.0.2-2 下水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 | 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 承船厢检修工况系指卸掉全部钢丝绳，空厢支承在上锁定平台。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （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D.0.2-3采用。

表D.0.2-3 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 | 对接水满厢 | 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 “检修支承反力”适用于承船厢检修工况，空厢锁定和湿厢锁定其承船厢支承于安全机构或底部检修支承上。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （4）斜面升船机承船车设计工况与荷载组合可按表D.0.2-4采用。

表D.0.2-4 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 |
| 干运 | 湿运 | 制动停机 | 大风锁定 | 地震 |
| 干运 | 湿运 | 干车 | 湿车 | 干运 | 湿运 |
| 1 | 水压力 | － | √ | － | √ | － | √ | － | √ |
| 2 | 结构和设备重力 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 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E 主提升机、驱动系统、牵引绞车设计工况与荷载组合

E.0.1 升船机主提升机、驱动系统与牵引绞车应根据可能的正常和非正常，以及特殊工况荷载进行设计。

E.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满足下列要求。

 （1）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E.0.2-1确定。

表E.0.2-1 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表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 | 断一钢丝绳 | 对接一制动器失效 | 一电传失效升降 | 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 | 设计水深下提升绳拉力 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 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 “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。

② “钢丝绳不平衡重量”仅限于不设平衡链的升船机。

③ “升降漏水”工况指承船厢少量漏水。

④ “断一钢丝绳”工况指主提升机立即制动停机。

⑤ “误载水重”为设计水深与实际水深之差的不平衡荷载。

⑥ “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。

⑦ “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （2）下水式垂直升船机主提升机设计工况与荷载组合可按表E.0.2-2确定。

表E.0.2-2 下水式垂直升船机主提升机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 |
| 承船厢空中升降 | 承船厢水中升降 | 承船厢对接 | 断一钢丝绳 | 对接一制动器失效 | 一电传失效升降 | 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 | 设计水深下提升绳拉力 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 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 “对接一制动器失效”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。

 ② “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。

 ③ “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （3）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E.0.2-3确定。

表E.0.2-3 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表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 荷载分类 | 工况类型 |
|  | 正 常 | 非正常 | 特 殊 |
| 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 “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。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （4）斜面升船机牵引绞车设计工况与荷载组合可按表E.0.2-4确定。

表E.0.2-4 斜面升船机牵引绞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 |
| 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 | √ | － | √ |
| 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 干运承船车总重等于承船车自重与船舶载重、船舶自重之和，湿运承船车总重等于承船车自重与水体重量之和。

 ② “√”表示参与荷载组合，“－”表示不参与荷载组合。

 （5）移动式垂直升船机提升机设计工况与荷载组合可按表E.0.2-5采用。

表E.0.2-5 移动式垂直升船机提升机设计工况与荷载组合表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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（湿运） | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 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 | 风载荷 | － | － | √ | － | √ | √ | － | √ |
| 13 | 轨道载荷 | － | － | √ | － | √ | √ | － | √ |
| 14 | 地震载荷 | － | － | － | － | － | － | － | √ |

 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：

 （F.0.1）

式中： ——单台电动机的计算功率（kW）。

——主提升机额定提升力、驱动系统额定驱动力、牵引绞车额定牵引力（kN）。当下水式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。

——承船厢正常运行速度（m/s）。对下水式垂直升船机，取承船厢在空气中的运行速度。

——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）。

——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）。

——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）。

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

——电动机数量。

*k*——交流变频控制系统的功率消耗系数，*k* 值可为1.05。

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下式计算：

  （F.0.2）

式中： ——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）。

——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）。

——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，值取0.9。

F.0.3 斜面升船机牵引绞车单台电动机功率可按式（F.0.3）计算：

 （F.0.3）

# 附录G 本标准用词说明

为便于在使用本标准时区别对待，对要求严格程度的用词用语说明如下：

 （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

《消防安全标志》（GB 13495）

《消防应急照明和疏散指示系统》（GB 17945）

《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列》（GB 38030）

《建筑结构荷载规范》（GB 50009）

《建筑设计防火规范》（GB 50016）

《钢结构设计标准》（GB 50017）

《建筑物防雷设计规范》（GB 50057）

《火灾自动报警系统设计规范》（GB 50116）

《高耸结构设计规范》（GB 50135）

《内河通航标准》（GB 50139）

《数据中心设计规范》（GB 50174）

《视频安防监控系统工程设计规范》（GB 50395）

《公共广播系统工程技术规范》（GB 50526）

《水电工程设计防火规范》（GB 50872）

《水利工程设计防火规范》（GB 50987）

《水工建筑物抗震设计标准》（GB 51247）

《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》（GB/T 3480）

《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）

《起重机设计规范》（GB/T 3811）

《圆柱齿轮 精度制 第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》（GB/T 10095.1）

《工业电视系统工程设计标准》（GB/T 50115）

《大坝安全监测自动化技术规范》（DL/T 5211）

《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3）

《船闸总体设计规范》（JTJ 305）

《船闸水工建筑物设计规范》（JTJ 307）

《船闸闸阀门设计规范》（JTJ 308）

《船闸启闭机设计规范》（JTJ 309）

《船闸电气设计规范》（JTJ 310）

《港口工程荷载规范》（JTS 144-1）

《码头附属设施技术规范》（JTS 169）

《水利水电工程启闭机设计规范》（SL 41）

《水利水电工程钢闸门设计规范》（SL 74）

《水工混凝土结构设计规范》（SL 191）

《混凝土重力坝设计规范》（SL 319）

《水利水电工程安全监测设计规范》（SL 725）

《水工建筑物荷载设计规范》（SL 744）

# 附加说明

本标准主编单位、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

中国船舶重工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）

 覃利明（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）

 （以下按姓氏不画为序）

 王 可（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（中国船舶重工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）

 陈小虎（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（中国船舶重工集团武汉船舶工业有限公司）

 林新志（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：**

 （以下按姓氏笔画为序）

**总校人员：**钮新强 覃利明 于庆奎 吴俊东 段 波

**管理组人员：**李 伟（长江勘测规划设计研究有限责任公司）

杜 威（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 ××××**—202×

# 条文说明

**目 次**

[1 总则 79](#_Toc69913632)

[2 术语 80](#_Toc69913633)

[3 基本规定 81](#_Toc69913634)

[3.1 工程级别和设计标准 81](#_Toc69913635)

[3.2 承船厢或承船车有效尺寸 82](#_Toc69913636)

[3.3 通过能力计算 84](#_Toc69913637)

[4 选型及布置 86](#_Toc69913638)

[4.1 型式选择 86](#_Toc69913639)

[4.2 选址与总体布置 87](#_Toc69913640)

[4.3 平衡重式垂直升船机 88](#_Toc69913641)

[4.4 移动式垂直升船机 91](#_Toc69913642)

[4.5 斜面升船机 92](#_Toc69913643)

[4.6 闸首设备布置 94](#_Toc69913644)

[5 建筑物设计 97](#_Toc69913645)

[5.1 一般规定 97](#_Toc69913646)

[5.2 设计荷载及荷载组合 97](#_Toc69913647)

[5.3 结构设计 99](#_Toc69913648)

[5.4 抗震设计 100](#_Toc69913649)

[5.5 安全监测 100](#_Toc69913650)

[6 金属结构和机械设备设计 102](#_Toc69913651)

[6.1 一般规定 102](#_Toc69913652)

[6.2 闸首金属结构和机械设备 103](#_Toc69913653)

[6.3 承船厢或承船车结构与设备 104](#_Toc69913654)

[6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车 109](#_Toc69913655)

[6.5 爬升式驱动系统和安全机构 113](#_Toc69913656)

[6.6 平衡重系统 117](#_Toc69913657)

[7 电气系统设计 119](#_Toc69913658)

[7.1 一般规定 119](#_Toc69913659)

[7.2 供配电与接地 119](#_Toc69913660)

[7.3 主电气传动系统 120](#_Toc69913661)

[7.4 计算机监控系统 121](#_Toc69913662)

[7.5 信号检测 123](#_Toc69913663)

[7.6 通航信号与语音广播 123](#_Toc69913664)

[7.7 工业电视系统 124](#_Toc69913665)

[7.8 通信 125](#_Toc69913666)

[7.9 网络安全防护 125](#_Toc69913667)

[8 消防系统设计 126](#_Toc69913668)

[8.1 一般规定 126](#_Toc69913669)

[8.2 消防 126](#_Toc69913670)

[8.3 火灾自动报警 127](#_Toc69913671)

[9 工程信息化 128](#_Toc69913672)

附录B 垂直升船机承重结构荷载组合 129

# 1 总则

1.0.1 随着三峡、向家坝升船机的相继建成，我国在升船机建造方面已积累了丰富的实践经验。已建升船机的型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、下水式垂直升船机、移动式垂直升船机和斜面升船机等多种型式。为了统一我国升船机工程的设计，保证工程建设质量，在总结过去升船机工程设计经验的基础上，特制订本标准。

本标准从水运行业角度对升船机建设作出规定，充分体现了行业应用特点，对升船机建设具有重要指导作用。

1.0.2 对规范的适用范围进行了规定，包括规范适用的工程建设形式、过船吨级规模和升船机型式等。

1.0.3 升船机工程是一个集水工、金结、机械、电气、施工等多学科于一体的复杂工程，特别是历经了三峡齿轮齿条爬升式升船机的建设，掌握吸收了国外许多先进技术和设计理念，促进了我国工程建设的技术进步。本条强调了新建工程，要结合工程特点，吸收国内外先进经验。与此同时，由于每个升船机项目都是一个新创作，不能生搬硬套，要在保证工程安全的前提下，积极审慎地采用新技术、新材料、新设备和新工艺。

1.0.4 “尚应符合国家现行有关标准的规定”是典型用语。

# 2 术语

本标准术语主要来自国家标准《升船机设计规范》（GB 51177-2016），且在该标准基础上增加了少量术语，包括平衡重式升船机、移动式垂直升船机、承船厢室段、升船机有效尺度、失压保护等。

2.0.2 所谓部分平衡式垂直升船机，是指设置有平衡重，且平衡重重量与承船厢总重量不相等的升船机。下水式垂直升船机是为部分平衡式垂直升船机之一。

# 3 基本规定

3.1 工程级别和设计标准

3.1.1 升船机是通航航道中助力船舶解决集中水位落差的手段之一，可以说是航道的一部分。其建设级别不应低于航道的级别，否则会制约航道运力效能。故而，升船机级别的划分与航道的级别划分是一致的。现行国家标准《内河通航标准》（GB 50139）将我国航道等级划分为了7级，分别为50吨级及以下的、100吨级、300吨级、500吨级、1000吨级、2000吨级和3000吨级及以上的。

其中，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，与本标准的升船机有较大差别，适用范围没有纳入其中。因此，本标准所涉及的范围仅涵盖Ⅰ级～Ⅵ级升船机的设计。

3.1.2 升船机的级别需与航道规划相匹配是最基本要求。升船机的级别低于规划航道级别，升船机则成为了航道瓶颈；高于航道级别，则会产生投资过大不合理。因而，当项目建设规模与航道的规划不能适应时，应作专题论证和报批。

3.1.3 按照国民经济水运交通行业20a～30a年的发展水平确定升船机工程建设的规模，避免工程一建成就无法适应国民经济的发展。此外，对增建复线或扩建、改建困难的工程，采用更长的设计水平年，为水运发展留下余地。

3.1.4 确定承船厢有效尺度依据的是代表船型尺度，但在还没有推广标准船型时，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）中，给出了我国各通航河流代表船舶船队的主要尺度参数，以此作为设计参考依据，或调查正在运行的主流船型，依此确定承船厢有效尺度等重要参数。

3.1.5 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）对通航净高的规定。当工程设有存在碍航的活动闸首交通桥时，交通桥开启后的通航净空也需满足全航道范围对净高的规定。

3.1.6 建筑物级别的划分，通常是按照建筑物安全要求确定的。兼作挡水建筑物的闸首结构，具有挡水和通航两种功能。基于工程安全考虑，提出了闸首的级别按照挡水前沿建筑物的级别设计的要求。

3.1.7 我国已建和在建的升船机通航水头越来越高。隔河岩第二级通航水头82m，构皮滩第二级升船机通航水头127m，相应承重结构高度都超过了100m，属于超高层建筑。但如果按照本标准3.1.6条的规定，隔河岩和构皮滩这两级升船机承重建筑物级别均为3级建筑，明显与其重要程度不符。为保证工程安全，规定了当升船机提升高度超过80m时，承重结构级别宜提高一级设计。

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，则会加大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均未超过±0.15m。

  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，对接允许误载水深值难以确定，通常是类比以往工程或经模拟试验确定。三峡升船机对接时的允许误载水深为±0.6m，向家坝和亭子口升船机的允许误载水深均为±0.5m。

3.1.9 我国内河Ⅰ级航道通行3000吨级及以上船舶，相关船型包括有CG-H5、CG-H6、CG-H7和CG-H17标准型干散货船、化学品船和油船，CG-B4、CG-B5标准型驳船，以及不以载重吨级为核定指标，但船舶外形参数达到或超过3000吨级船舶尺度的集装箱船与滚装船。然而，3000吨级及以上船舶是一个较宽泛的范围，实质上包括到5000吨级的载重规模。本条作出的“经专题论证后确定”的要求，是为更加准确的界定升船机建设规模和工程建设目标。

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，进而要求的承船厢总长度也越长，工程投资也越大，因而需合理的确定富裕总长度数值。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。

 富裕总宽度与船舶驶进承船厢的航行速度、以及环境等因素有关，应与承船厢水深和船舶进出承船厢的限定速度统筹考虑。在条件允许的情况下，承船厢或承船车有效宽度中的富裕总宽度应尽可能小，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，富裕总宽度一般取为0.8m～1.2m。

 承船厢或承船车的富裕水深的大小，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。

船舶加速行驶时，其艉部的下沉量增大。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，艉部的下沉量明显大于驶进承船厢或承船车时艉部的下沉量。为保证船舶航行安全，承船厢或承船车的富裕水深应大于船舶下沉量，并考虑适当的安全裕度。

国内已建和在建升船机承船厢有效尺度统计如表1所示：

表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 | 1 | 0.4 | 1.31 |
| 水口 | 2×500 | 111×10.8×1.6 | 114×12×2.5 | 4 | 1.2 | 0.9 | 1.56 |
| 彭水 | 500 | 55×10.8 ×1.6 | 59×11.7×2.5 | 4 | 0.9 | 0.9 | 1.56 |
| 亭子口 | 2×500 | 112×10.8×1.6 | 116×12×2.5 | 4 | 1.2 | 0.9 | 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 | 0.72 | 1.258 |
| 向家坝 | 2×500（船队） | 111×10.8×1.6 | 116×12×3.0 | 4 | 1.2 | 1.4 | 1.875 |
| 1000（单船） | 85×10.8×2.0 | -- | 1.2 | 1.0 | 1.5 |

由于移动式垂直升船机的承船厢和斜面升船机的承船车均可下水，且承船厢或承船车的入水水深可根据过船的需要予以调节。

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低，一般均不超过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、大化等垂直升船机和丹江口、拓溪等斜面升船机工程，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。新近投运的三峡和向家坝两座1000吨级及以上的升船机，虽然平均进厢速度也限制在不超过0.5m/s，但实际运行尚未获取到大量有效数据，故而对1000吨级及以上升船机的船舶平均进厢速度，难以做出明确规定，为此条文提出“通过模型试验确定”的要求。

3.3.4～3.3.8 针对不下水式、下水式和移动式垂直升船机，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，过机运量大时宜采用较大值。在满足运量要求的情况下，宜尽量采用低值。

下水式垂直升船机承船厢在水中的升降速度，受到承船厢外水力影响不宜取得太大，在空气中的速度在满足运量的情况下也不宜太高，否则主提升机驱动功率会过大。

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。

国内升船机运行经验，闸门启闭可能影响承船厢内的泊稳条件，闸门启闭过程中不便于进行船舶解、系揽操作，应单独计算船舶在承船厢内的解缆和系缆时间。

三峡升船机试运行阶段，船舶进入承船厢后靠泊系缆时间一般约为3 min～5min，离开承船厢解缆时间约为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，解系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运行环境，应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型式的枢纽工程，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航道，本项取值可为0min。

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

3.3.9 由于客轮载客人数标准不一，与《船闸总体设计规范》（JTJ 305）保持一致，客轮通过能力仍按过机吨位折算。

船舶装载系数取值，与货物种类、流向和批量有关。考虑国家经济总体发展，无资料时的船舶装载系数值，在现行行业标准《船闸总体设计规范》（JTJ 305）的基础上稍微上调，运量不均匀系数则作了微量下降。

3.3.10 双向运行可错船的中间渠道一般设有临停待航泊区，供等待过机的上下行船舶临时停靠。因此，使得一次过机时间可按过机时间最长的单级升船机计算通过能力。如果中间渠道不能双向错船运行，多级升船机的一次过机时间应为各级升船机运行时间和船舶在中间渠道中的行驶时间之和。

# 4 选型及布置

4.1 型式选择

4.1.1 升船机选型应考虑通航条件的适应性；升船机运行的安全性；与枢纽其他建筑物施工布置的协调性；升船机土建结构、金属结构、机电设备布置的合理性；土建施工及设备制造安装、大件设备运输的技术难易程度；设备操作、维护和工程运行管理条件的优劣；工程投资及运行费用的高低等。

本条规定了升船机选型的主要技术条件。除非某种型式升船机的技术经济优势非常明显，否则可行性研究需对两种或两种以上不同的升船机型式进行比较。升船机型式的比较通常包括单级与多级比较、垂直式与斜面式比较、全平衡式与下水式比较，以及钢丝绳卷扬提升式与齿轮齿条爬升式比较等。

4.1.2 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，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，需考虑选用下水式垂直升船机。

4.1.3 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，支撑结构刚度和基础稳定问题就越显突出。已建成的单级垂直升船机中，1988年建成的比利时斯特勒比升船机提升高度73m，我国2000年建成的岩滩升船机提升高度68.5m、2008年建成的隔河岩第2级升船机提升高度82m、2016年建成的三峡升船机提升高度113.0m。目前，在建的乌江构皮滩第2级升船机提升高度更是达到了127m。随着升船机工程建造水平的提高，单级的最大提升高度也在逐步增高，但有时仍然不得不采用多级升船机方式。

多级升船机的级与级间的中间渠道型式通常有明渠、渡槽或隧洞等。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级之间采用明渠、渡槽和隧洞组合型式连接的。

4.1.4 本条为一般升船机的选型原则。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产生较大的水平冲击，从而会危及船舶和升船机的安全（干运斜面升船机则存在承船车过驼峰的换向冲击问题）。再者，由于移动式垂直升船机不带平衡重，移动式提升机的提升载荷相对较大，当通航船舶的规模较大时，这种型式升船机的技术经济性较差，为此不予推荐。相对来说，垂直升船机技术较为成熟，且不存在断电时的水平惯性冲击问题，已成为300吨级及以上升船机工程优先选用的型式。

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。而下水式垂直升船机承船厢深入水中，适应航道水位变率的能力较垂直升船机大。因此，航道水位变率较大时，多采用下水式垂直升船机。

4.1.5 全平衡式升船机的驱动型式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、设备制造难度小、造价相对较低，目前国内已建的300吨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高，但建造成本和施工难度均较大。两者各有利弊，因而驱动型式的确定需进行技术经济和安全性比较。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型式。

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，协调配置各项因素，使其能较好地满足通过能力、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，要妥善解决升船机型式、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，有时不得不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。从而通过合理调度，计算多级升船机通过能力的一次过机时间可按最高一级升船机的过机时间计算。

我国已建成的清江隔河岩升船机为两级垂直升船机，两级之间的中间渠道由上段岩基开挖钢筋混凝土衬砌渠道和下段预应力钢筋混凝土渡槽两部分组成，有效水域宽30m，内设系船柱，允许300t级船舶错船。

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可按现行行业标准《船闸总体设计规范》（JTJ 305）的有关规定执行。

4.2.4 我国内河航道，有些航段是有通航客轮要求的。但有的型式升船机运载船舶过坝时，存在一定的不适合于乘客随船一起过机的不安全因素。为此规定了有客轮通航要求且不允许乘客随船过机的升船机，需设置船舶停靠和乘客转运设施的要求。对有这种要求的工程，通常是在该工程上下游引航道外待航区设置客船转运码头，以及上下游转运码头间公路和交通等设施。

4.3 平衡重式垂直升船机

4.3.2 升船机工程是一个非标工程，其超大型部件承船厢需在承船厢室内完成最终安装调试后交付，相应土建结构、设备布置、事故方法和施工工序安排时，需统筹规划。不仅如此，升船机的滑轮、卷筒和平衡重等大型部件也是十分重、大的设备，也需提前预留吊装孔洞和吊装检修手段。

运行检修巡视通道和人员紧急疏散安全通道是升船机总体布置设计时需统筹考虑十分重要的内容之一，提醒设计人员不要疏漏了。

4.3.3 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，尚需满足承船厢运行冲程、允许的误载水深，以及承船厢在下锁定位检修的要求。

 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，对这种型式升船机承重结构下部周边挡水墙高程需与下闸首闸顶高程相同。

4.3.5 给出了升船机设备运输、安装、检修及人员通行的交通通道要求，包括设备吊运通道、人员巡视检查和应急逃生通道，以及核心设备层的安全出口等。

4.3.6 承船厢室段设置一套集中抽排水设施，兼顾地表污水、地下渗漏水、闸首工作门漏水和消防污水等的排水，即可保证承船厢室塔柱底部的干燥工作环境，又可有效降低承重塔柱的扬压力。三峡升船机的集中抽排系统，除可实现上述功能外，还可兼顾下闸首航槽检修排水系统使用。

4.3.7 对下水式垂直升船机承船厢和平衡重检修设施的要求。全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机承船厢和平衡重检修位的设置，从方便检修考虑，要求在上下极限位均设置锁定装置。下水式垂直升船机是不平衡式垂直升船机，从承船厢和平衡重检修安全考虑，要求上极限位设置检修锁定装置、下极限位设置检修平台。

4.3.8 承船厢与闸首工作闸门止水座板之间间隙的大小，直接影响到承船厢与闸首对接充、泄水时间。在满足相关设备结构安装检修的前提下，宜尽可能取小值。

承船厢与两侧承重结构墙壁之间的间隙，受主机房卷筒或滑轮直径的限制不宜过大，同时又受承船厢现场安装限制不宜过小。目前已建工程中，如隔河岩、高坝洲、彭水、构皮滩和亭子口等钢丝绳卷扬式升船机卷筒和滑轮的最大直径为4.7m，对应间隙间距最大为1.0m；三峡、向家坝齿轮齿条爬升式升船机的滑轮最大直径为5.0m，对应间隙间距最大为1.4m。以上工程未出现因船厢和塔柱间距过小影响承船厢现场安装，即便是间隙间距仅为0.8m的隔河岩升船机，也未出现任何意外。

4.3.9 平衡重式垂直升船机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，并可减小承船厢结构在正常升降运行下的整体变形值。从承船厢安全角度出发，规范要求平衡重式垂直升船机采用对称布置四点驱动方式。

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。

鉴于上述，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。

4.3.10 平衡重式垂直升船机包括了钢丝绳卷扬全平衡式和下水式垂直升船机，以及齿轮齿条爬升式垂直升船机。上述三种升船机平衡重的设置要求各不相同，故分别对其设计重点给出了明示。全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机的设计难点是实现水漏空工况对承船厢的锁定制动。承船厢水漏空时，承船厢重量和平衡重重量之差十分巨大，减少

配置的重力平衡重量，加大转矩平衡重和可控平衡重重量有利于水漏空时承船厢的锁定制动。由于，转矩平衡重和可控平衡所占布置场地较重量平衡重大，因而提出在设备布置允许条件下加大的要求。根据以往工程的设计经验，转矩平衡重等于或略大于承船厢结构和设备重量，能保证承船厢水漏空时的锁定制动。因此，在规范中建议“转矩平衡重不宜小于承船厢结构和设备的总重”。

下水式垂直升船机承船厢下水主要靠承船厢总重力驱动，设置重力平衡重则会抵消承船厢总重力，对承船厢入水不利，因而提出了宜只设置转矩平衡重的建议。

4.3.11 钢丝绳数量的确定，是升船机总体布置设计的重要内容。在承船厢总重、平衡重总重、卷扬机构提升力、设备设施布置、以及钢丝绳许用应力和安全系数等情况下，综合考虑各方因素后确定。

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比值可有效减小钢丝的弯曲应力，有利于延长钢丝绳的使用寿命。现行国家相关规范，虽然尚未对钢丝绳的使用寿命有所要求，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。另外，国家“七五”攻关课题××工程升船机钢丝绳专项研究，建议卷筒和滑轮与钢丝绳直径比不小于60。

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，规定卷筒和滑轮名义直径D与钢丝绳直径d的比值不宜小于60。

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。钢丝绳安全性直接涉及过往船只和人员的安全，故而对钢丝绳的安全系数以及影响钢丝绳寿命的钢丝强度指标作出规定。目前国内的300吨级及以上升船机中，平衡重钢丝绳安全系数均不小于7.0，提升钢丝绳安全系数均不小于8.0。比利时斯特勒比升船机钢丝绳安全系数为8.0，德国吕内堡升船机钢丝绳的安全系数为7.0。

三峡升船机钢丝绳专项研究，分析了国外升船机钢丝绳及我国矿井提升机钢丝绳等的安全系数，同时考虑到升船机多绳提升及运行频次的特点，建议三峡升船机钢丝绳安全系数取8，钢丝的强度等级为1770 MPa。适当提高钢丝绳钢丝强度级别，可减小设备规模。随着技术发展，1960Mpa级钢丝强度的钢丝绳已被广为应用，为此作出了推荐。三峡和向家坝升船机工程亦已采用1960Mpa级钢丝绳。

4.3.14 下水式垂直升船机承船厢提升绳，在其运行周期中载荷变化十分巨大。最大载荷出现在承船厢出水一瞬间，可达承船厢总重的1.5倍之多；最小载荷出现在承船厢入水后水的浮托力等于承船厢排出的水体质量，理论上为0。其主提升机荷载应综合考虑承船厢空气中和水下两种运行状态，为合理配置下水式垂直升船机卷扬提升系统。顾而，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。工程具体配置的数量还需根据工程具体情况计算确定，构皮滩下水式垂直升船机是按照承船厢总重70%配置的转矩平衡重。

折减系数取值，当船厢结构空腔多时取小值，反之取大值。

4.4 移动式垂直升船机

4.4.2 移动式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型式。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。另外，承重结构设计还应满足承船厢和移动提升机的运行要求，以及轨道梁安装施工可行性、承船厢检修条件、方便运行和维护等因素。

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，一般采用坝面移动式起重机，机房检修桥机只承担小型设备和零部件的检修起吊。机房顶盖采用可拆式，是为了便于将减速器或卷筒组拆卸后吊至坝顶。

4.4.4 移动式升船机，其承船厢在工程上、下游侧均入水运行。相对上游来说，下游收到的制约因素较多。最低通航水位条件下，承船厢外缘距承船厢池四周及底部应有足够的距离，以便于承船厢出、入水过程中的补水与排水。当该距离受限时，建议通过模型试验予以验证。

4.4.5 从保证人员安全快速逃离火灾现场的前提下对疏散通道提出的要求。若只考虑承船厢上运行维护人员的交通需要，可采用斜楼梯或直爬梯。

4.4.6 移动式垂直升船机属于户外式轨道机械设备，其移动提升机或为高架桥机或是高支腿门机。为防止大风将移动提升机吹动，不仅需设置抗风锚定装置，在轨道的端头还应设置缓冲和端部止挡装置。目前户外轨道机械设备通用的抗风锚定装置多采用液压夹钳式，其动作与行走机构联锁，并与风速检测装置联动。

4.4.7 由于移动式垂直升船机一般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。但小滑轮直径过小，势必导致钢丝绳受到弯曲应力越大，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，移动式垂直升船机吊点也是按承船厢纵向中心线，每侧两点对称布置，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。在丹江口300t级移动式垂直升船机纵倾稳定性设计中，取风载系数为1.2，计算出临界中心距9.28m，安全系数为2.26。

4.4.9 条文强调的是按照吊点位置对称布置四组支承台车，需要说明每组支承台车中的台车数量是相等的。为提高行走机构抗事故风险能力，每组中都有一台台车设有主动行走机构。

4.4.10 移动式垂直升船机不带平衡重，卷扬提升机构的提升载荷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的提升力。为减小移动式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。为此，规定在承船厢上加设水平移动定位装置，以限制承船厢在水平载荷作用下的位移量。通常水平定位架多设置在移动提升机的门架结构上。

4.5 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最大规模的为新丹江口300吨级斜面升船机，国外斜面升船机规模则为前苏联克拉斯诺雅尔斯克的1500吨级的。上述斜面升船机的斜坡道坡比如表3所示：

表3 斜面升船机斜坡道坡比表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | 戍浦 | 丹江口 | 隆库尔 | 克拉斯诺雅尔斯克 |
| 150吨级 | 300吨级 |
| 坡比 | 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。

4.5.3 上下游水位变幅较大的斜面升船机，为适应水位的变化，预设的承船厢停靠位置范围较大，所需导航墙长度相应较长，需沿斜坡道从承船厢在最高通航水位时的停靠位置开始，一直布置到承船厢在最低通航水位时的停靠位置以下0.5倍～1.0倍承船厢有效长度为止。

4.5.5 为使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，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；或高低轨方式，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8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，主要是为了减少乘船车长坡道导轨工程量。此外，高低腿方式承船厢过驼峰时，驼峰处的轨道仍需按高低轨设计，以完成上坡向下坡运行的转换。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。

4.5.6 斜面升船机驼峰处的设备布置对滑轮直径有一定的制约，为便于设备布置，需适当减小滑轮直径，为此规定卷筒、转向滑轮名义直径D与钢丝绳直径d的比值不宜小于45。丹江口300吨级斜面升船机滑轮与钢丝绳直径比为46.9，卷筒直径与钢丝绳直径比为54.7。

斜面升船机乘船车沿斜坡道运行，危险性较垂直升船机低，更换钢丝绳也较为方便。为保证工程安全，钢丝绳安全系数与钢丝绳卷扬式垂直升船机提升钢丝绳安全系数一样，要求取值不小于8.0。丹江口原150吨级斜面升船机钢丝绳安全系数为9.13，丹江口新

300吨级斜面升船机钢丝绳安全系数为8.57。

4.5.7 设置钢丝绳张力均衡装置是为了保证承船车运行过程中各根钢丝绳的受力均衡。设置钢丝绳张力检测装置则是为了对钢丝绳张力进行监测，以保证升船机运行安全。

4.5.8 由于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滚，以避免钢丝绳在坡道上摩擦损伤。托滚间距过大起不到支承钢丝绳的作用。按照过去工程经验，规定托滚间距12~15m较为合适。

4.5.9 斜面升船机双轨间距对其横向抗倾覆性能至关重要，在可能的极端风力下，均不应发生承船车倾覆事故，如不满足则应加大轨道间距。

4.5.10 通常升船机都规定6级风下运行，超过6级大风时停航，升船机需锚定。

4.5.11 双坡式斜面升船机上、下游斜坡道所形成的最高点，即驼峰。乘船车过驼峰通常有驱动式和惯性式两种方式。前者，驱动机构牵引乘船车过驼峰，乘船车受到的冲击较小；后者，在速度惯性作用下，乘船车冲过驼峰，对乘船车和船舶都存在着较大的惯性冲击，但过程投资较少。许多100吨级以下的小型升船机，为降低工程造价，采用惯性式过驼峰。

4.5.12 承船车在行进过程中钢丝绳不可能与斜坡道轨道平行，其角度随着承船车的行进而变化，布置在驼峰顶的导向滑轮应使牵引钢丝绳与承船车行进方向夹角最小。

对于长坡道斜面升船机，钢丝绳太长致使卷筒长度增长，在承船车宽度范围区间有可能影响钢丝绳的偏角，此时通常采取增大卷筒直径等方法予以避免。

4.6 闸首设备布置

4.6.1 全平衡垂直升船机上游的运行水位较高，当上闸首作为大坝挡水前沿的一部分时，若上闸首工作闸门因损坏造成大量泄水事故，将对大坝和升船机造成很大危害，此种情况下应在上闸首设置事故闸门，以便在工作闸门发生事故时能快速下门挡水。为简化设备布置，上闸首检修闸门可按事故闸门的运行条件设计，使其兼作事故闸门。

下水式垂直升船机下水端一般不设工作门，只设置一道检修门。国内已建和在建的下水式垂直升船机有两种不同的型式，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。

4.6.2 闸首闸门是按照最高挡水位的要求配置的。正常运行时，不参与工作的闸门通常存放在附近区域。闸门存放有下挖式门库和架空搁置平台。且存放的门体，既不能影响闸面交通，也不能阻碍船舶通航要求。

4.6.3 当洪水期航道水位与水流条件不满足通航要求时，升船机需断航。升船机上闸首需由检修闸门挡水，以保工程安全。因而，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，下闸首检修闸门应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，其最高挡水位通常按照检修的要求确定。

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，承船厢可与闸首直接对接，闸首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型式，适应更大的水深的变化，以减小带卧倒小门的平面闸门门体重量。××升船机工程，上游水位最大变幅达30m，采用了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型式；下游水位最大变幅为11.8m，采用了带卧倒小门的下沉式平面闸门门型。

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空要求，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。当工作闸门采用下沉式平面闸门时，闸门启闭机可选用固定卷扬式启闭机或液压式启闭机。对于固定卷扬式启闭机，需在通航净空以上设置启闭机机房。采用液压启闭机则可使闸首相对简洁、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，可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型式时，闸门启闭机一般选用移动式启闭机，已建升船机工程中多采用桥式启闭机型式，相应的检修闸门则可采用桥式启闭机或门式启闭机。

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，增减叠梁门操作需在检修闸门挡水下，通过泄水系统泄放掉两道闸门之间的部分水体，在无水条件下进行。三峡和亭子口升船机均设置了上闸首泄水系统。

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拉紧装置和间隙充泄水系统设置在闸首上，可简化承船厢的设备布置，降低承船厢重量。

4.6.8 升船机上闸首一般都有沟通航槽两侧的交通要求，在进行升船机总体设计时需在航槽上方布置交通桥，桥下空间应满足最高通航水位条件下的通航净空要求。当不能满足通航净空要求时，可选用活动桥型式，通过立转、升降、平转等方式将桥体移至通航净空范围外，满足升船机运行时段的船舶通行要求。

4.6.9 当升船机闸首作为枢纽工程挡水前缘的一部分时，升船机闸首除满足通航要求外，还需承担枢纽挡洪任务，墙顶高程的确定应考虑全部运行要求。

# 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300吨级及以上垂直升船机全部采用了钢筋混凝土结构，包括我国的水口、三峡、向家坝、亭子口等垂直升船机和正在建设的构皮滩升船机，以及德国吕内堡、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。

5.1.4 这条是升船机建筑物结构设计的基本原则。在强调承重塔柱布置与设计应遵循的相关规范的基础上，特别提出了结构对称性、通风采光效果，以及与承船厢机械设备的变形协调性等的要求。

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，斜面升船机包括斜坡道等。不同型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。条文罗列了各种可能荷载，提醒设计时注意。

5.2.2 现行行业标准《水工建筑物荷载设计规范》（SL 744）中，“常用材料容重”表给出了钢筋混凝土容重为24.5kN/m3～25.0kN/m3，当无试验资料时可按此取值。

5.2.4 由于工程条件的限制，升船机不得不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，提醒设计当采取上述布置时，需考虑水力振动对升船机的影响。

5.2.5 风荷载计算包括有风振系数、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）中明确的给出了各系数的取值方法，但缺乏本标准图5.2.5所列的几种典型的对称布置平面形状的。这里参考国内已建的三峡等升船机工程经验，只是针对风荷载体型系数μs给出了取值规定。

5.2.7 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按下列方法简化处理：

气温骤降的温差分布采用图1所示的线性分布，其中为最大温降值，一般取历时2天或3天内的最大温降值；当气温骤降历时2天时取第1天末的温降值，当气温骤降历时3天时取第2天末的温降值。

**壁厚**

图1 气温骤降温差分布

5.2.8 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，其温差分布宜通过试验确定，不具备试验条件时可参照类似工程经验。

三峡升船机塔柱结构的日照温度作用是直接采用日照引起温差分布来计算的。图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2实测日照引起的温差分布曲线

5.3 结构设计

5.3.1 钢筋混凝土承重结构施工期应采用温控措施防止混凝土出现裂缝。运行期裂缝控制是根据结构的功能要求和环境对钢筋的腐蚀影响，钢筋材质的腐蚀敏感性，荷载作用的时间等因素来考虑，其最大裂缝宽度通常按行业标准《水工混凝土结构设计规范》（SL 191）的要求控制。

5.3.2 垂直升船机承重结构的高度一般都大于40m，且通常为薄壁结构，属于高层建筑的范畴。因此，钢筋配置通常是遵循行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3）的有关规定设计的。

5.3.4 枢纽中的升船机，通常其上闸首都参与大坝挡水，需与挡水坝段一样进行抗滑稳定验算。因而对其抗滑稳定设计，作出了需符合行业标准《混凝土重力坝设计规范》（SL 319）有关规定的要求。

5.3.6 承重结构设计一般采用弹性法计算其变形。参照相关规范及我国已建升船机的工程实践，为确保工程长期安全运行，给出了顶部位移与总高度之比不应大于1/1500的限值要求。

5.3.7 水工结构的抗滑和抗倾覆稳定性在相关规范上都有所规定。一般基础底面均为压应力，抗倾覆能力具有足够的安全储备。

 对于结构高宽比较大的垂直升船机承重结构，条文中列出了应遵循的相关规范名称。《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3）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。工程设计时还应特别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，且其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型式与升船机连接，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，应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

5.4.1 设计烈度为Ⅸ度的升船机建筑物，目前缺乏较成熟的抗震设计经验，故其抗震设计应进行专题论证，并报送主管部门审查、批准。

5.4.2 质量或刚度分布不均匀、不对称的结构，在水平地震的作用下存在着扭转的问题。即使对于平面规则的结构，国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。我国的建筑抗震设计规范则规定，当规则结构不考虑扭转耦联计算时，可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。为保证平衡重可靠运行，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，可取30%的平衡重质量附加于承重结构上。三峡和向家坝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

5.5.2 兼顾水库挡水的上闸首因与其左右相邻挡水坝段联系紧密，且具有一定的相似性，宜结合起来统一考虑和布置。

5.5.3 工程地质条件、建筑物规模和结构特点是影响建筑物结构的重要因素，布设监测断面和监测项目时应重点考虑。监测项目主要考虑对结构和建筑物产生重大影响的项目。对升船机建筑物而言一般包括变形、渗流和应力应变、温度等。对受力复杂的结构而言，变形和应力是重点关注的项目。

5.5.4 升船机承重结构安全受强震影响较大。对于设防烈度和建筑物级别较高的升船机，应该布设强震监测。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。

5.5.5 监测项目的分类和选项，需充分考虑各承重结构的特点和结构破坏可能产生的后果，针对性选择监测部位和监测项目。

5.5.6 安全监测自动化是一个系统工程。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。尤其是升船机作为水库挡水建筑的上闸首时，升船机与整个枢纽工程紧密联系，两者监测成果互相印证和影响，其自动化系统应该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

6.1.6 金属结构及机械设备的设计年限取值是参考德国DIN19704标准的有关规定制定的。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。国内已建升船机的工作小时，如：隔河岩升船机330×22h、高坝洲升船机325×22h、彭水升船机325×22h、三峡升船机335×22h、向家坝升船机330×22h、岩滩升船机325×22h、亭子口升船机330×22h，基本与标准规定的一致。

6.1.7 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抗震设计经验不多，因而提出“应研究地震的影响”的要求。

6.1.8 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，正常运行齿轮与齿条需时刻啮合传力，因而需满足塔柱结构变形的要求，即便是塔柱结构受风、光等外界因素作用时刻处在变化之中。因而，要求升船机承船厢设备需适应塔柱结构的变形。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应乘以放大系数1.5，以留有足够的安全裕度。

6.1.9 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，当推荐值为一个取值范围时，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，取值可适当降低。对移动式垂直升船机，水平运行速度过快，紧急制动停机会引起厢内水体的震荡，因此规定了启停加速度的要求。斜面升船机承船车运行可分解为竖向运行和水平运行的叠加，因而对斜面升船机承船车的启停加速度作出了规定。规范中的推荐值，是以我国已建升船机实际数值为基础，推演得出的。丹江口原150吨级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，扩建的300吨级斜面升船机承船车运行速度改为了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应有有效的同步措施。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。总之，有效的同步措施是必不可少的。

6.2.2 下沉式平面闸门一般可采用固定卷扬式启闭机或液压启闭机启闭，并可通过固定卷扬式启闭机制动器或液压启闭机液压回路对闸门进行锁定。当闸门挡水时需对启闭机进行检修，要求闸门锁定不得依附于启闭机，故而闸门设置有机械式锁定装置。当下沉式平面闸门设有分级机械锁定时，可适应的水位变幅还应与锁定分级间距相匹配。已建三峡升船机的下沉式平面闸门采用了机械摆臂式锁定装置。而对提升式平面闸门，开启后门体位于航槽上方，对过往船舶形成潜在危险，因此规定应在闸门的全开位置设置机械式锁定装置。

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。设计师确定其高度需考虑的因素包括了航道水位变率、最大通航水位变幅以及承船厢设计水深等因素，其中水位变率是关键。另外，门顶富裕高度与航道水位变率、浪涌高度等相关，一般在0.5m～1.5m间取值。水位变率较快、浪涌高度较大，则取较大值。

提升式平面闸门与叠梁门组合门型通常仅适用于上闸首。通常上游水库水位变率较小，卧倒小门门顶富裕高度主要用于承挡浪涌。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，卧倒小门槛上高度至少需大于一节叠梁高度+承船厢设计水深。采用这种门型，且当承船厢是与提升式平面大门对接时，卧倒小门门槛以下至平面大门底部的高度应满足一节叠梁高度+间隙密封对接高度+门底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。单个叠梁门高度大，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，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 升船机对接密封机构可设在承船厢上，亦可设在闸首上。对于工作闸门采用提升门且对接密封机构设在承船厢上时，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型式，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。

6.2.6 下沉式工作闸门调整门位时，通常是在带水压条件下操作，且其调整过程将会造成止水橡皮的磨损。为提高闸门止水检修周期，通过设置两道止水来适应。其中一道止水仅用于闸门静止挡水时工作，另一道止水则还需在闸门调整门位时工作。

6.2.7 平面大门U型门体结构的主梁刚度对大门的整体变形有直接影响，较大的主梁刚度可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，同时还可降低对接密封机构的设计难度。已建升船机主梁最大挠度多不大于跨度的1/1500。

6.2.8 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，进而影响启闭机启闭力。为此要求启闭机可变速运行。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。

6.2.9 上闸首检修闸门与工作闸门之间的泄水系统用于泄掉上闸首工作闸门与检修闸门之间的部分水体，确保工作叠梁门处于无水状态调整。

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破坏，通常需采取相应消能措施。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，故而在泄水系统出口装设了中空喷射阀进行消能，且运行实践效果很好。

6.3 承船厢或承船车结构与设备

6.3.3 承船厢结构型式主要有自承载式结构和托架式结构两类。自承载式结构代表工程有比利时斯特勒比升船机，托架式结构代表工程有德国吕内堡升船机。我国已建升船机承船厢型式均为自承载式，已有较多的工程实践经验，因而推荐优先采用。自承载式承船厢宜采用主纵梁和若干主横梁为主要受力构件的焊接结构。

6.3.4 工况与荷载分析是设计的关键。我国近三十年来陆续建造了一批升船机工程，积累了一定设计经验，本条款是根据以往升船机设计实际，列出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裂度密切相关。地震设防烈度Ⅶ~Ⅸ度区域的升船机工程，设计时需考虑地震力的影响。鉴于地震工况不是所有工程承船厢（承船车）设计必须考虑的工况，工况荷载表将地震工况作为特殊工况。

此外，沉船工况是一个极小概率事件，过去国内升船机承船厢设计一般不考虑该工况。三峡升船机首次在设计中考虑沉船工况，但沉船荷载应如何选取是值得商榷的，必要时应进行专题研究。

6.3.5 本条规定了承船厢结构材料许用应力的确定方式。考虑到材料生产工艺分散性因素，每批材料实际许用应力都会有稍许差异。为工程安全起见，规定了300吨级及以上升船机承船厢材料许用应力调整系数为0.85，100吨级升船机为0.9。

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

对于1000吨级及以上升船机，由于船厢尺寸较大，为了保证结构安全，尚应计算船厢结构和水体的低阶模态，避免发生共振，以及计算结构屈曲。三峡与向家坝升船机承船厢均进行了上述计算分析，并根据屈曲计算的结果，对船厢局部结构进行了加强。

6.3.7 承船厢和承船车干舷高受设计代表船型、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。本条是参照国内外升船机工程经验编写的，国内外已建升船机干舷高的设计值如表4所示：

表4 国内外已建升船机工程承船厢干舷高一览表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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（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，可有效减小承船厢的整体变形的特点，同时箱形梁的外腹板可兼做钢丝绳的吊耳板，这种结构型式在全平衡垂直升船机上应用广泛。实腹式单腹板主纵梁结构便于承船厢下水后的补排水，故而多用于下水式垂直升船机和移动式垂直升船机。

6.3.9 船员水手疏散采用钢爬梯就可行了，但对于客船邮轮来说，旅客类型差异较大，可能包括有老人、小孩、孕妇、残疾和病人等各式人员，采用钢爬梯就不能满足紧急时的疏散要求，为此标准中对有通行客轮的升船机提出了“应设置疏散步梯”的要求。当然，疏散步梯需为高度可调的，以便与疏散出口对接。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，可满足承船厢在任意高程停机时，通过该步梯都能与每隔3.5m的水平疏散通道对接的要求。

6.3.10 在承船厢主纵梁内侧腹板临水面顶部布置数根钢护舷，是为了船舶停泊系缆与承船厢结构发生擦碰时，起到保护承船厢和船舶的作用。由于船舶的功能类型不同、装载程度差异，因而要求能适应不同干舷高度和吃水深度的船舶靠泊的要求。基于上述，系船柱的设置，也要求能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型式，高系船柱采用了护舷与系船柱组合的型式，同时满足系缆和防擦碰的需求。

现行国家标准《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，在我国已建的升船机中，三峡升船机提升高度为113m，向家坝升船机为114.2m，即便提升高度较小的隔河岩一级升船机也达到了42m。为此，要求升船机承船厢的护栏高度不应低于1.2m。

6.3.11 对需要入水运行的承船厢和乘船车，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上开设进、排水孔。要求承船厢和乘船车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。已建下水式垂直升船机的承船厢底部通常倾斜度为1︰30。

6.3.14 卧倒闸门在其全关工作位置是单向受力。即便启闭机油缸泄漏，水压力也会使得闸门始终处于关闭位置。而对于下沉式闸门或弧形闸门，一旦启闭机油缸泄漏，闸门自重有可能会使闸门离开关闭位置。为此，要求“其他门型应在门的全关闭位置设置机械锁定装置”。

6.3.15 平衡重式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均会对升船机平衡产生一定影响。为保证对接期间承船厢位置保持不变，需要对接锁定装置将承船厢与塔柱牢牢绑定。

对于齿轮齿条爬升式垂直升船机，如若对接期间出现较大水位变化时，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，可减小作用于锁定装置的荷载。这项要求与齿轮齿条爬升式升船机要考虑承船厢水漏空工况是一致的。

6.3.16 本条规定了顶紧机构荷载的主要构成，包括，对接期间的纵向水压、纵向风载、接密封机构压紧力产生的反作用力、船舶系缆制动反作用力，以及船舶撞击力等纵向荷载。条文规定了顶紧装置在这项情况下都应能保持承船厢纵向位置不变。

不得采用液压缸直接顶紧方案，主要是为了避免直接顶紧油缸内漏导致失去顶级力，从而破坏间隙密封的止水效果，进而造成承船厢失衡重大事故发生。在实际工程上，大多采用楔形顶紧机构，各种纵向荷载通过楔形块接触面摩擦副静摩擦消化。液压机构只在楔形块不受力下操作顶级机构改变工作状态。

6.3.17 对接密封机构是保证升船机进出船舶时在承船厢（乘船车）与闸首之间构造成一个通航水域的机构。其结构通常为窄幅U形板式，U形边长较大，断面较窄，整体刚度较小。为保证密封框推出、退回整体运动的同步性，要求需由多套液压机构同步驱动，并设置机械弹簧在液压机构停止动作时维持密封机构的对接压力。设置两道密封止水是为了提高止水可靠性。

6.3.18 水的流动特性使得船舶停车后不能立即停止。为保护厢头门免受船舶撞击，门前设置的防撞装置应具有一定抗击船舶撞击的能力，船舶停车后最大撞击能量可用（6.3.18-1）表达，防撞装置抗撞击能力须大于撞击能力。计算中船舶附连水体质量较为关键，该值的大小与船舶水下部分体型有关，在没有试验资料的情况下船舶附连水体质量通常按照2.0倍的船舶总质量考虑。

此外，确定防撞构件高度时，还应对过坝代表船型的船艏形状、尺寸进行综合分析。鉴于船艏外廓上斜倾角，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。根据已建工程经验，推荐值在设计水位线以上0.5m处。

防撞装置采用带缓冲油缸的钢丝绳，可将绝大部分船舶动能转化为液压油热能，避免全部转化为钢丝绳弹性势能，从而对船舶造成较大的反弹力。由于厢头门安全是建立

在防撞装置可靠的基础之上，因而要求防撞钢丝绳安全系数不小于4。

 目前国内升船机采用的防撞装置主要有“钢丝绳+缓冲油缸”和“升降式钢梁”等型式。其中，“钢丝绳+缓冲油缸”型式又可分为“钢丝绳液压预紧”和“钢丝绳弹簧张紧”形式。计算公式（6.3.18-2）来自《水工设计手册》第七卷“泄水与过坝建筑物”第二章“通航建筑物”式（2.4-3），且仅适用于“钢丝绳液压预式”的形式。

6.3.19 平衡重式垂直升船机承船厢纵、横向导向装置，是承船厢在预设空间内正常运行必不可少的安全设备之一，且应能满足极端通航风力条件和极端风力条件下承船厢的安全。我国内河航运允许6级及以下最大运行，超过6级大风则停航。非工作风压需根据升船机所在地的实际情况确定，当缺乏资料时标准推荐取值为800 N/m2。

 此外，三峡和向家坝升船机横向导向采用了具有液压自动对中功能的新系统，该导向系统可以使承船厢升降过程中始终沿两侧轨道的实际对称中心线运行，能很好地适应承船厢与横向轨道之间的横向变形变位。

6.3.20 虽然多吊点卷扬式升船机设有机械轴进行同步提升，但始终存在提升（牵引）钢丝绳张力不均衡问题。为最大发挥卷扬机效能，要求在提升（牵引）钢丝绳上设置钢丝绳张力均衡装置，利用液压油缸调整各吊点区提升（牵引）钢丝绳的张力以期达到处理均衡效果，并将承船厢（乘船车）调整为所需状态。然而，为确保升船机运行安全，要求调平工作在静止条件下进行。

 均衡油缸有效行程与提升（牵引）钢丝绳长度、弹性变形等因素有关。根据已建工程经验，均衡油缸的有效行程宜大于500mm。隔河岩、高坝洲、彭水等垂直升船机和DJK斜面升船机均设置有钢丝绳张力均衡装置，且均是在静态条件下进行承船厢或承船车调平的。

 液压均衡油缸活塞杆设置机械锁紧装置，可以避免因油缸泄漏造成的钢丝绳长度与张力的变化，避免钢丝绳受力不均或承船厢（承船车）倾斜。

6.3.22 水深调节与间隙充泄水系统即承担这船厢水深调节又担负着间隙水的充泄抽排。水深调节时间的长短与允许误载水深大小、航道水位变率快慢及升船机通过能力等诸多因素相关。综合多方面因素，作出了每次最长调节时间不大于5min的规定。同理，规定了间隙充泄水系统充、泄水时间不大于2min。

6.4 卷扬式主提升机与牵引绞车

6.4.1 本条界定了不同型式升船机主提升机和牵引绞车的设备组成。

6.4.2 本条规定了钢丝绳卷扬式垂直升船机主提升机、移动式垂直升船机卷扬提升系统和斜面升船机牵引绞车的设计工况、荷载组合和额定提升力的构成。荷载计算一方面基于针对具体结构的力学分析，另一方面可遵循现有的专业规范，如《起重机设计规范》GB/T 3811。机构惯性力由于未作用于主提升机和牵引绞车低速级，不便于与其他荷载直接叠加，因此不计入额定提升力中。

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，并考虑附表E.0.2-1和附表E.0.2-3的其他相关荷载；对于下水式垂直升船机，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。上述载荷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垂直升船机主提升机设计的关键因素，本标准对于下水式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，该荷载根据主提升机在承船厢一次工作循环中水上运行和水下运行两个过程的最大荷载以及相应齿轮的载荷循环次数，按疲劳累计损伤理论计算。承船厢一次工作循环中水上运行和水下运行两个过程的最大荷载则按附表E.0.2-2的相关荷载进行组合计算。

对于移动式垂直升船机，卷扬提升系统的主要载荷为承船厢总重量、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，水下运行工况可不予考虑。

对于双坡式斜面升船机，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，因此应考虑适当的冲击系数。

6.4.3 随着电力电子技术发展，电动机及其电气传动装置的质量都得到极大提升，当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，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）规范规定：“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于（对8台电动机）或略高于（对4台电动机）启闭机的高速轴零部件荷载标准。非高速级的传动部件的疲劳计算荷载按额定提升力并考虑荷载不均系数，则是考虑主提升机和牵引绞车的荷载特点和运行可靠度要求。

6.4.5 开式齿轮接触强度的安全系数符合《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》（GB/T 3480）规范附录A中的一般可靠度，其余强度的安全系数符合较高可靠度，这与升船机对减速器和开式齿轮的可靠度要求是相符的。综合考虑已建升船机的荷载与安全系数，本规定与大多数升船机齿轮的实际承载能力也是相符的。

6.4.7 主提升机和牵引绞车采用同步轴系统实现多套卷扬机构的机械同步，从而保证了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。斜面升船机由于牵引绞车布置的特点，一般采用开式齿轮及惰轮啮合的方式实现机械同步。

在理想情况下同，步轴系统在升船机正常运行过程中不存在内力矩。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。机械同步轴系统的水平变位值根据土建专业的相关计算结果确定，一般可通过联轴器的轴向间隙或轴向可移动万向联轴节来适应。

6.4.8 对钢丝绳在卷筒上的缠绕结构作出了相应规定。安全圈的规定是基于已建升船机的设计经验。

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，提升绳的拉力在误载水深为零时由于已经在调承船厢调平时均衡，可认为相等。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，因此不均匀系数取较小值。

对于移动式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载荷基本相等，同一吊点的滑轮组之间通过扁担梁结构予以均衡，因此钢丝绳载荷不均匀系数取较小值（对于干运型升船机，考虑到船舶实际重心与承船厢结构中心的偏离将会造成四个吊点偏载，因此钢丝绳载荷不均匀系数取较大值）。

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。卷筒壁厚较大，又是转动部件，因此正常工况和事故工况许用静应力宜取较低值。筒体受压稳定性计算可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引起的弯曲应力，又传递减速器的扭矩，弯曲应力具有对称循环的特点，扭转应力具有脉动循环的特点。由于卷筒缺乏现场检修条件，可靠性要求高，因此轴的疲劳安全系数偏高取值。轴的挠度略小于《水利水电工程启闭机设计规范》（SL 41）中对卷筒轴挠度要求的3/10000数值。

6.4.11 目前钢丝绳卷扬升船机的卷筒钢丝绳均采用压板螺栓进行固定。升船机提升绳张力很大，即使经安全圈减载后，通常每根钢丝绳仍需8~10个压板将绳尾固定。考虑到升船机的安全性要求及单根钢丝绳多压板固定的特点，钢丝绳与绳槽和压板槽的摩擦系数取较低值，安全系数则与《水利水电工程启闭机设计规范》（SL 41）的要求是一致的。

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、运行可靠以及结构紧凑等优点，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，升船机通过安全制动系统实施紧急制动。

对于钢丝绳卷扬式垂直升船机，安全制动器制动能力应大于承船厢锁定或承船厢水漏空工况下卷筒上的最大不平衡扭矩；对于移动式垂直升船机和斜面升船机，安全制动器制动能力应大于非正常工况下卷筒上的最大不平衡扭矩。为确保安全，规定安全制动器的安全系数不小于1.5。由于升船机的紧急制动多采用工作制动器先期上闸的方式，较大的制动力将会加剧紧急制动过程中的冲击。此外，由于升船机的多套卷扬提升机构之间通过机械轴刚性连接，且工作制动器无需承担非正常工况或检修工况下作用于卷扬机构的最大载荷，为此规定工作制动器的安全系数不小于1.25。

6.4.13 升船机由安全制动系统实施紧急制动时，主提升机或牵引绞车、承船厢或承船车、平衡重系统等设备将不可避免会承受冲击载荷，在进行安全制动系统设计时应采取有效技术措施，在制动可靠的前提下尽量使紧急制动过程平缓、降低冲击载荷。紧急制动过程中承船厢的运行加速度受承船厢不平衡载荷大小与方向、承船厢运行方向、制动器制动力大小等因素的影响，其大小和方向是变化的，即承船厢或承船车紧急制动过程中的运动是变加/减速运动。

全平衡垂直升船机正常运行时的承船厢不平衡载荷相对较小，为减轻冲击，紧急制动加速度绝对值宜取较小值，可采用工作制动器调压上闸的运行方式实现；下水式垂直升船机承船厢与平衡重间的不平衡载荷相对较大，主提升机失控时承船厢运行速度变化相对剧烈，为尽量降低承船厢速度、减小冲程，紧急制动加速度绝对值宜取较大值，可采用工作制动器分级上闸的运行方式实现；斜面升船机的牵引载荷与下水式垂直升船机承船厢的不平衡载荷相接近，故采用了相同的加速度绝对值，以及工作制动器分级上闸的紧急制动方式；移动式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，建议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，在速度达到零速时，安全制动器再全压上闸，以确保安全。

6.4.14 本条为特殊级全平衡式钢丝绳卷扬垂直升船机水漏空事故设防的要求。安全制动器的有效制动力为转矩平衡重的重力和可控平衡重的重力。

6.4.15 垂直升船机平衡重钢丝绳的支撑滑轮和斜面升船机钢丝绳的导向滑轮属于大型滑轮结构，宜采用有限元计算。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。滑轮计算载荷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 界定了爬升式驱动系统的范围和组成。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。

6.5.2 齿轮齿条爬升式垂直升船机属于全平衡垂直升船机，其驱动系统承受的荷载为允许范围内的承船厢不平衡负荷。这是齿轮齿条爬升式垂直升船机与钢丝绳卷扬式垂直升船机的重要区别。附录表E.0.2-3中驱动齿轮极限荷载发生在水漏空工况，一旦齿轮荷载达到该值，便不会继续增加。而该值是由设计设定的，达到该荷载值前驱动系统已处于停机状态，所以除设备重力外，该荷载不再与任何其他荷载叠加。

6.5.3 为保证升船机运行安全，驱动系统需设置驱动齿轮载荷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型式。当驱动系统齿轮载荷超过额定驱动力一定值时，载荷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。如果齿轮载荷继续增加，达到机械过载保护装置设定的载荷后，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，此时驱动齿轮载荷将达到极限载荷。为避免因载荷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过载保护装置动作载荷、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。

6.5.4 出于运行安全考虑，应避免在发生故障时船舶长时间滞留在承船厢中，为此通常要求一台电动机或电气传动装置故障时，其余电动机仍可驱动承船厢继续完成本次运行。对于发生两台电动机同时失效的极端故障工况，在计算电动机额定功率时不予考虑。如若遇到，尚可采取调节承船厢水深、或将承船厢向轻载方向运行、或利用电动机过载能力等应急措施，使承船厢运行到对接位置。

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本标准6.4.4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，设计过于保守，将影响设备规模与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，应以此计算驱动系统的静强度，这也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。驱动齿轮和齿条的弯曲强度安全系数应按《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》GB/T 3480附录A“最小安全系数参考值”中的较高可靠度标准取值1.6，接触强度安全系数按一般可靠度标准取值1.1。因此综合考虑荷载和安全系数，本标准对驱动齿轮和齿条承载能力的规定，弯曲疲劳强度和静接触强度与三峡和向家坝升船机是一致的；弯曲静强度要求略低，但就其荷载而言，一般不是设计控制条件；接触疲劳强度要求则略高。

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，因此不宜过高地规定驱动齿轮和齿条的精度等级。三峡和向家坝升船机驱动齿轮和齿条的精度等级为DIN标准的10a27，驱动齿轮与齿条的精度等级则为《渐开线圆柱齿轮精度 第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》（GB/T 10095.1）规定的9级。由于齿条安装在塔柱结构上，一旦发生损伤，维修和更换较为困难，因此对材料的质量要求较高，以保证较高可靠度。

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适应承船厢和塔柱相对变位，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可适应承船厢与塔柱结构相对变位的驱动齿轮托架。此外驱动齿轮托架还应根据升船机的运行及安全要求，具备传递、限制和卸除驱动荷载的功能。

6.5.9 驱动系统工作制动器布置在变速箱的高速轴侧，安全制动器由于受布置条件限制也不得不布置在高速轴侧。安全制动器作用是增加制动的安全性，并不具备对主提升机进行安全制动器保护设备的功能。仅是在驱动系统停机后上闸，因而无需具备分级上闸功能。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。

6.5.10 由于齿轮齿条爬升式升船机驱动系统设置在承船厢上，其机械同步轴系统需适应承船厢结构的变形和设备的安装误差。另外，设计还需考虑对设置在承船厢的底部的水平机械同步轴的巡视、维护方便要求，即设置检修维护走道。

6.5.11 齿条是驱动系统传动设备的重要组成部分，由于装设在塔柱上，因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。每根齿条由较多的单节齿条组成，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，应予以重视。

6.5.12 要求“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倍”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。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。

6.5.13 承船厢水体全排空既是一种可能发生的事故工况，也是承船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，可选两者中荷载较大的工况进行计算。承船厢室进水后承船厢或平衡重被淹属于特殊工况，可根据升船机规模、安全级、船舶类型及用户的要求等因素予以考虑。

6.5.14 安全机构的受力撑杆是其传力的关键构件，在进行机构设计时一般将承受承船厢最大不平衡载荷的撑杆设计为压杆，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。三峡和向家坝升船机的安全机构撑杆是按弹塑性条件计算的。按照

《机械设计手册》第4篇“机械力学基础”第五章“构件的稳定性”，对于压杆采用安全系数法，安全系数按表4.5-10“中心压杆的规定稳定安全系数”取值。

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，不应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载荷是通过螺母柱与旋转螺杆的螺纹向基础传递。当螺纹升角大于螺纹副的自锁角时，由竖直载荷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。因此，设计时对螺母柱和旋转螺杆的螺纹升角以及螺纹副在各种环境、工况、表面状态下的最小静摩擦系数应慎重选取，必要时应通过模型试验予以验证。

6.5.17 由于设备安装和制造误差等原因，四套安全机构受力不同时和不均匀是客观存在的，应予以考虑。鉴于安全机构的额定荷载发生在极端工况，因此不均匀系数不必取较大值。对于同一套安全机构的两片螺母柱也是如此。

6.5.18 安全机构仅在事故工况受力，因此仅校核静强度。在考虑了一定的荷载不均系数后，在极端工况下可取较高的许用应力。

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对安全机构、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。选取的间隙设计值大小应适中，偏大将会无谓地加大设备规模与设备的制造安装难度，偏小将会影响承船厢设备的正常运行。为避免出现因螺纹副间隙偏小致使升船机不能正常运行的情况发生，通常在设计螺纹副螺牙参数时，对厚度预留适当的裕量，以便需要时将螺杆拆下重新加工，加大螺纹副间隙。

6.5.20 螺母柱及其埋件通常安装在塔柱结构的薄壁混凝土墙上，如何采取有效的技术措施确保在传力可靠的前提下又便于设备安装，是齿轮齿条爬升式升船机的关键技术问题之一，设计中需要予以足够重视。当螺杆在两节螺母柱之间承受事故荷载时，应保证螺牙的均匀受力条件，避免螺牙发生塑性变形。

6.6 平衡重系统

6.6.1 本条界定了平衡重系统的主要设计范围。

6.6.2 为使平衡钢丝绳的受力明确，避免“一平衡重块多绳”的设计因钢丝绳弹性变形或残余塑性变形不均造成钢丝绳张力不均衡，进而影响到升船机的运行安全。

6.6.3 为避免当一根钢丝绳断裂时平衡重块坠落事故的发生，要求平衡重组设置安全框架。设置安全框后，当一根钢丝绳断裂时，该钢丝绳悬吊的平衡重块应支承在安全梁或安全框架上，由该安全梁或安全框架所在平衡重组的其他钢丝绳分担该平衡重块的重量，使得平衡重总重量不改变。国内已建钢丝绳卷扬式升船机平衡重系统多采用安全梁，三峡和向家坝齿轮齿条爬升式升船机平衡重系统采用安全框架。

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，通常要求采用高容重材料制作。虽然铸钢平衡重可以满足要求，但价格叫混凝土平衡重高，提高了升船机的造价，故通常采用铁钢砂骨料的高容重混凝土制作。一般混凝土容重为2.35t/m³～2.40t/m³，铁钢砂混凝土容重可达3.40t/m3～3.56t/m3。三峡升船机混凝土平衡重块的容重为3.40t/m3，德国吕内堡升船机混凝土平衡重块的容重为3.56t/m3。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，标准给出了容重不宜大于3.5t/m3的建议。

此外，混凝土块具有较强的吸湿能力，加之平衡重井空气潮湿，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。如若采用铸钢或铸铁平衡重，则应进行防锈处理。

6.6.5 承船厢为焊接钢结构。为避免锈蚀，通常需作防锈涂装处理。由于涂装材料的重量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可按平衡重块设计总重3%～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实际所需的调整平衡重块，以使平衡重总重与承船厢总重相等，或平衡重重量达到设计允许值。

6.6.6 虽然升船机悬吊钢丝绳在出厂时都要求进行了预拉伸处理，但在实际承载时都会出现或多或少的拉伸变形，且钢丝绳拉伸变形量值与钢丝绳悬吊长度密切相关。为此，规范要求设置钢丝绳长度调节装置，并给出了一点调节行程范围的要求。当升船机最大提升高度较小时，调节行程可取小值，反之应取大值。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 虽然工程要求使用抗旋转交互捻钢丝绳，但承船厢运行中仍然难以避免钢丝绳绕自身轴线旋转。采用防旋板和规定钢丝绳左、右交互捻向间隔配置，是为了以工程措施避免钢丝绳绕自身轴线旋转，从而影响运行安全及钢丝绳的承载能力和使用寿命。

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。设置平衡链可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，前者仅在三峡升船机中应用，造价很高。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。为避免悬吊的平衡链在水平面内发生扭转，应采用交互捻钢丝绳，且同一条平衡链的两根钢丝绳的旋向应相反。

# 7 电气系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 界定升船机电气系统设计内容的主要范围。

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、经济上所造成的损失或影响的程度来分类的。基于这一基本原则，并考虑升船机规模、通航运行特点、运输繁忙程度和用电设备的重要性等几个方面来确定升船机用电负荷的等级。且与《船闸电气设计规范》（JTJ 310）中相应的“I、II级船闸或每天运行时间不少于16h的其他级别船闸……等主要用电负荷应为一级负荷；Ⅲ、Ⅳ级船闸或每天运行时间不少于8h且少于16h的其他级别船闸……等主要用电负荷应为二级负荷制定的；其他用电负荷应为三级。”的规定不矛盾。

7.2.3 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应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宜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。

7.2.4 升船机配电系统电压等级的选择主要取决于当地配电网的电压等级和升船机用电负荷的容量大小。升船机供配电电压一般采用10kV电压，而终端用电设备的电压等级多为0.4kV电压等级。

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电压可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。

7.2.6 升船机的接地包括：金属机构及其机械设备，给排水和通风机械系统，供配电系统，计算机监控系统和通信等弱电系统的安全和工作接地，上述设备设施均通过一个公用接地网接地。为满足各系统对接地的要求，公用接地网的接地电阻应按各系统对接地电阻值要求最高的进行设计，即按照其中接地电阻最小的设计，且与《数据中心设计规范》（GB 50174）的规定一致。

7.3 主电气传动系统

7.3.1 交流变频调速技术是当今电气传动控制的方向和主流。交流变频调速技术分为交-直-交和交-交两种方式，其中交-交变频技术多用于电动机功率大于2MW的场合。对于电动机功率不大于500kW的多电机传动，变频装置一般采用“交-直-交”变频。此外，采用一台主电动机配置1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，推荐优先采用“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 三相交流变频变压控制主要有V/F标量控制、定子电流磁场定向矢量控制、直接转矩控制等多种技术。由于升船机承船厢为多电机同轴同步驱动，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，变频变压控制应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±3cm的对位要求。我国在众多垂直升船机的矩形机械同轴多电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1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进行协调控制。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。传动协调控制站与主电气传动系统之间通常采用PROFINET、profibus-DP 、MB+等工业以太网或现场总线进行连接。

7.3.6 结合控制系统的结构特点和升船机运行要求，对主传动系统和传动协调控制站的运行控制方式作出的规定。

7.3.8 这些保护项目均是为升船机安全可靠运行而设置的。

7.3.10 工程设计中，电动动机功率是按照最严重工况的需求，并向上靠档选择标准电动机。因此，交流变频调速装置(额定电流)按照配套电动机的额定电流选择即可。

7.3.11 电动机间固有机械特性（M-n）的偏差是影响多电机出力均衡控制精度的关键指标，因此，本标准专门提出这一指标要求。

7.4 计算机监控系统

7.4.2 通过中间渠道连接的多级升船机，其每座升船机均是一个独立工程，自各需要设置1套计算机监控系统进行控制管理。然而，多级升船机级与级提升高度的差异，致使船舶过机时间有所不同。为此，过机时间短的船只需在中间渠道待机，上、下行船舶需的中间渠道错船。为实现多级升船机安全高效运行，除每座升船机需设置1套计算机监控系统外，本条明确了“多级升船机还应设置1套调度管理系统”，依靠该管理系统来进行多级升船机级与级的调度、协调和管理。

7.4.3 升船机的机械设备通常是按功能分区局部集中布置，且局部集中布置的设备都有着一定的内在关联，可进行独立的流程控制。此外，多个局部集中布置的设备间又有着关联，适合计算机监控系统采用集中监控和现地分散控制的分层分布式系统结构。

7.4.4 计算机监控系统中操作员站和数据存储服务器是运行控制管理中不可缺少的核心设备，一旦故障退出，均会对生产导致重大影响，故而要求“操作员站和和数据存储服务器应采用冗余配置”。

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。

现场工业过程控制设备有很多种，包括：工业计算机、PLC、DCS、PCS等，且各自有着不同的适用场合。升船机通航控制流程是典型的条件定序、事件驱动的顺序过程控制。具有机构动作环节多、闭锁性强，现地控制站控制单元适宜采用PLC。

7.4.6 本条款是根据升船机运行控制管理的专业应用属性，结合网络技术发展，从网络信息安全和业务应用信息承载角度，对网络物理架构和性能指标提出的要求。

7.4.7 虽然升船机的型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大基本流程。包括：初始化运行流程，俗称“上班流程”；停航流程，俗称“下班流程”；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。

7.4.9 根据升船机计算机监控系统结构特点和运行要求，对控制方式作出的规定。

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，各控制站应能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，以最快的速度停止升船机运行。

“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，在通航运行控制流程中具有最高优先权。

7.4.11 不同型式的升船机，故障保护要求亦不尽相同。条文中列举的安全闭锁条件均为升船机安全可靠运行最基本的闭锁条件。设计师在具体项目设计过程中，应根据升船机型式及其机械结构特点，并结合运行控制要求，确定自身需设置的安全闭锁条件。

7.4.12 不同型式的升船机，其故障保护要求亦不尽相同。升船机故障保护项目应根据工程实际需求进行设置。本条仅对升船机正常运行所需的故障保护项目提出基本的要求和建议。

7.5 信号检测

7.5.1 本条款所列举的检测项目，是升船机安全正常运行所必需的基本检测项目。

7.5.2 升船机的重要检测项有上下游航道水位、承船厢行程、间隙水深等，为了防止因检测装置故障或信号漂移导致检查结果不准确，通常采用多种检测法进行检测。三峡升船机上下游水位检测是按照重要检测项目配置的检测装置，且采用了投入式压力传感器和吹气式压力传感器两者不同原理的检测装置。

7.5.3 升船机现场信号检测装置工作环境各不相同，在防潮、防水、防尘、耐高温、防油污的等级上需充分考虑现场实际环境要求。

7.5.4 承船厢上、下游停位的准确找点，是升船机正常运行的先决条件。承船厢停位检测的方法有间接法和直接法，后者可获得更高的停位准确度。即通过无接触探测装置直接寻找适当的减速点和停止位，使承船厢准确地停在目标位置上。300吨级及以上升船机承船厢尺度大且承船厢存在一定变形，很难用一点概之，而水深检测受水位波动影响也不能用一点概之，因而要求“行程和水深检测”需采用多点平均法。

7.5.5 本条款中列出的检测项目是运行需监护的重要项目，但检测手段尚不成熟，还处在研究和探索中，均还不能纳入计算机监控系统下，如项目有所要求，应作为研究技术，以积累经验。

7.6 通航信号与语音广播

7.6.1 作为通航交通设施，升船机与船闸在通航信号设置上具有相同的要求，因而规范规定应符合《船闸电气设计规范》（JTJ 310）有关规定的要求。

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可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，才可发出进、出厢的绿色信号灯。此外，只要有一扇门离开开终位置时，绿色信号灯必须熄灭，红色信号灯必须燃亮。

7.6.3 升船机标志包括停船界限标志、升船机航道宽度界限标志和承船厢室高程标志等。按照《船闸电气设计规范》（JTJ 310）的有关规定，停船界限标志应为红色，航道宽度界限标志应为橙色信号灯或清晰可见的反光标志带。

7.6.5 部分升船机设有远调站，过机船舶在此办理过机手续，等待升船机管理部门的统一调度，在远调站设置广播系统很有必要。船厢室段广播系统在火灾情况下，兼具消防指挥功能，实现一套系统的多重应用，也避免了多系统广播的嘈杂干扰。

7.6.7 升船机语音广播系统属于公共广播声响系统范畴（语言和音乐兼用），其设计应按照《公共广播系统工程技术规范》（GB 50526）执行。鉴于应用场景差异较大，条文中仅泛泛地提出声场均匀度、清晰度应满足应用要求，并对远调广播提出了选用指向性强、声压级高中高频段扬声器的推荐。

7.6.7 语音广播系统的音频传输方式一般有定电压输出和定阻抗输出两种方式，两种方式均能满足升船机语音广播系统的音频传输要求，但定电压输出方式具有传输电流小、功耗及信号衰减小、传输距离远的特点。

7.7 工业电视系统

7.7.1 设置工业电视监视系统是为了便集中控制室内的运行人员实时监视升船机整体运行情况，以满足对航道船舶行驶、承船厢船只进出、设备运行状况等情况的适时观察、记录，升船机事故或故障的追朔回放，以及生产区域的安全监管。

7.7.3 条文所列的部位是运行人员需关注的重点场所，是需要装设摄像机的。运行人员要根据这些部位摄像机监视的画面情况，确认监视区域内没有危机人身和设备安全的影响因素后，方可进行下步运行命令的下达。

7.7.4  专门针对升船机户外用的摄像机提出的要求，并强调了引航道监视用摄像机的透雾性要求。

7.7.5 视频格式和实时图像分辨率均按照高清要求提出的。

7.8 通信

7.8.1 内部通信一般包括生产调度和行政管理通信。有的工程为加强管理和应急处置，还设置了无线呼叫，即“ON CALL”。外部通信一般指调度通信，为了避免重复建设，宜结合所在枢纽工程的通信系统统一设置。

7.8.2 甚高频无线通信一般用于船岸通信。

7.8.3、7.8.4 升船机投运后，电话用户数量大幅增加的可能性较小，程控交换机备用量按10%考虑基本够用。另外，设计上已考虑了30%～60%的电话线路备用量，如果10%的备用量不够，还有少量扩容的潜力。

7.9 网络安全防护

7.9.2 横向隔离装置是网络间的安全网闸，数据只能单向传递，不能双向。控制专网与管理网之间采用“单向安全隔离装置”符合7.9.1条横向隔离的原则。

7.9.3 纵向加密装置针对的是上下级调度与集控之间或管理与集控之间进行的防护，升船机集控管理中心与上级通航调度中心的业务数据传递工程必须是加密的，否则可能被黑客获取、破解，一旦加密后，秘钥与公钥就是唯一的，即便被黑客获取也破解不了数据，这样就保证了相对安全。

7.9.4 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，故应严格控制无线接入的通道。

7.9.5 控制专网连接的计算机多采用Linux和Unix操作系统，虽然Linux和Unix操作系统较windows操作系统安全，但仍存有高危漏洞的风险，需通过国家相关安全部门检定并经加固后才可在系统中应用。加固手段通常有：加强系统访问权限管理，针对不同访问对象进行策略配置，以及清除漏洞和封堵后门，严控移动存储设备接入，防止木马病毒入侵等。

# 8 消防系统设计

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。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。

8.1.2 考虑到升船机承船厢室为半封闭空间，发生火灾时外部救援力量很难进行灭火施救。如果允许运输甲、乙类火灾危险性危险品船舶过机，一旦其在承船厢室发生火灾，对升船机就是一场毁灭性灾难。因而规定运输甲、乙类危险品的油轮（驳）不得通过升船机。

8.1.3 规定了升船机建筑物各部位的火灾危险性分类应遵循的标准。因承船厢内的船只通常包含有大量可燃物，受其影响，承船厢室的火灾危险性按丙类考虑。

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一个重大的危险源。相对其他部位来说，不定因素较多，因为宜作为一个独立的消防区域考虑，其他部位则可根据建筑结构的特点来划分防火分区。对于1000吨级及以上升船机，也有工程进一步把承船厢室段建筑的防火分区细分为左、右侧塔柱和顶部机房三个防火分区。

8.1.5 应急照明系统、调度电话系统、公用电梯和通航广播系统与正常生产实施相结合，采用通用标准设置，既能满足升船机正常生产运行的要求，亦满足火灾时对上述应用的相关要求，从而简化系统，便于维护管理。

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与两个防火分区，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，可保证承船厢就近快速停靠，水平疏散廊道间隔距离需根据塔柱结构特点确定。

对于下水式垂直升船机，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。

8.2.2 对塔柱内的疏散廊道和疏散楼梯提出了封闭要求，并要求设置正压送风，防止火灾烟气进入，保障逃生通道无烟气侵入。

8.2.4 为扑灭承船厢自身火灾，通常在承船厢上装有水消防设施。这些设施消防水多直接从承船厢中抽取。然而，当承船厢水体消耗过多时，难免会影响升船机或过机船舶的安全，为此规定了消防取水量不得影响承船厢与平衡重之间的平衡安全。一旦存在这种风险，就得限定消防取水或采取向承船厢补水的措施。

8.3 火灾自动报警

8.3.1 第8.1.4条已对升船机防火分区的划分原则作出了规定。火灾报警分区与防火分区划分相同有利于火灾应急处治和管理。

8.3.2 条文列举的设备种类千差万别，且火灾时的表象也不一致。为及时检测出火灾及其潜在危险并报警，需采用与设备火灾特点相适应的探测器。有些火灾采用单一探测器尚或许不能快速有效确认，还需采用多类型组合探测器探测。因而，应综合考虑被保护对象的火灾特性、使用环境、安装条件等设计。

# 9 工程信息化

9.0.1 航运工程的信息化系统通常包括了通航信息、生产运行信息和综合办公管理信息三方面。本条界定了信息管理系统管理的信息种类范围等。

9.0.2 工程信息化系统一般由“五层两保障”构成，其“五层”指的是感知层、基础设施层、数据存储层、应用层、展示层，“两保障”是指知识保障和信息安全体系保障。两保障中的信息安全体系保障，包括信息安全设施、安全组织体系和安全管理制度，工程建设期间只能对网络安全设施进行部署实施；知识保障则需求日后的长期积累形成，因而条文中仅对架构分层作出了要求。

9.0.4 信息管理系统应用人群远大于控制系统，且目前已经进入的5G时代，因而要求网络速率不应低于1000 Mbps。

9.0.5 结合升船机自动控制要求，工程上设置了大量的传感器进行信息采集。除此之外，工程还设置了工业电视监控系统、消防报警控制系统和工程安全监测系统等。条文强调了工程安全、设备状态等信息宜优先从工程已有的信息中收集。

# 附录B 垂直升船机承重结构荷载组合

升船机承重结构设计需对其承载能力极限状态计算与正常使用极限状态验算。上述计算的前提是要确定建筑物的各种荷载和荷载组合，表B.0.1和表B.0.2就是对升船机在安装、运行和检修期间的各种荷载和荷载组合进行了罗列，方便设计使用。

此外，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，裂缝宽度计算时温差作用的参与系数取0.5～0.6。变形计算时温差作用的参与系数取1.0。