

中华人民共和国行业标准

# 水力式升船机设计规范

**JTS/T 337—2025**

主编单位：水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2026年2月1日

人民交通出版社

2025·北京

# 交通运输部关于发布 《水力式升船机设计规范》的公告

2025 年第 67 号

现发布《水力式升船机设计规范》(以下简称《规范》),作为水运工程建设推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 337—2025,自 2026 年 2 月 1 日起施行。

《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释,实施过程中具体使用问题的咨询,由主编单位南京水利科学研究院答复。《规范》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏([mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz](http://mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz))查询和下载。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部  
2025 年 11 月 20 日



## 制定说明

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

水力式升船机是世界首创、中国原创的一种全新的升船机形式,为规范水力式升船机的设计方法,保障工程质量,在总结国内已建水力式升船机和其他形式升船机设计运行经验的基础上,结合水力式升船机的运行特点,制定本规范。

本规范共分9章7个附录,并附条文说明,主要包括总体设计、水力驱动系统水力设计、水工建筑物、金属结构和机械设备、电气系统、消防等技术内容。

本规范主编单位为水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院,参编单位为中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、华能澜沧江水电股份有限公司、中信重工机械股份有限公司、西安航天自动化股份有限公司、中交水运规划设计院有限公司。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:胡亚安 李中华 马仁超
- 2 术语:胡亚安 曹以南
- 3 基本规定:胡亚安 马仁超 胡晓林
- 4 总体设计:胡亚安 谢思思 马仁超 李中华 关炎培
- 5 水力驱动系统水力设计:李中华 王处军 薛 淑 严秀俊
- 6 水工建筑物:谢思思 王 新 代 敏 黄 群 姜兴良
- 7 金属结构和机械设备:马仁超 黄 群 唐清弟 余俊阳 张步斌
- 8 电气系统:李中华 刘 锦 薛 淑 王 洋 郭 超
- 9 消防:谢思思 黄 群
- 附录A:谢思思 郭 超
- 附录B:马仁超 余俊阳
- 附录C:谢思思 代 敏
- 附录D:谢思思 代 敏
- 附录E:马仁超 张步斌
- 附录F:马仁超 余俊阳
- 附录G:胡亚安

本规范于2025年3月14日通过部审,2025年11月20日发布,自2026年2月1日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:江苏省南京市广州路223号,南京水利科学研究院,邮政编码:210029,电话:025-85828237),以便修订时参考。





## 目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(3)
3.1	适用条件	(3)
3.2	级别划分及设计标准	(4)
3.3	承船厢有效尺度	(5)
3.4	通过能力	(5)
4	总体设计	(6)
4.1	一般规定	(6)
4.2	总体布置	(6)
4.3	承船厢室段布置	(6)
4.4	上、下闸首布置	(7)
5	水力驱动系统水力设计	(9)
5.1	一般规定	(9)
5.2	输水系统	(10)
5.3	竖井	(12)
5.4	进出水口	(13)
5.5	水力驱动系统水力计算	(14)
6	水工建筑物	(16)
6.1	一般规定	(16)
6.2	设计荷载及荷载组合	(16)
6.3	结构设计	(17)
6.4	抗震设计	(17)
6.5	安全监测设计	(18)
7	金属结构和机械设备	(19)
7.1	一般规定	(19)
7.2	机械同步系统	(19)
7.3	承船厢及其设备	(21)
7.4	水力驱动系统金属结构与设备	(23)
7.5	浮筒式平衡重系统	(24)
7.6	闸首金属结构及设备	(27)

<b>8 电气系统</b>	(29)
8.1 一般规定	(29)
8.2 水力驱动系统控制	(29)
8.3 计算机监控系统	(31)
<b>9 消防</b>	(34)
附录 A 过机时间与通过能力计算	(35)
附录 B 承船厢纵向稳定性计算	(37)
附录 C 水力式升船机塔柱风荷载体型系数	(38)
附录 D 塔柱结构设计工况与荷载组合	(39)
附录 E 机械同步系统设计工况与荷载组合	(41)
附录 F 承船厢设计工况与荷载组合	(42)
附录 G 本规范用词说明	(43)
引用标准名录	(44)
附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单	(45)
条文说明	(47)

## 1 总 则

- 1.0.1 为规范水力式升船机设计,保障水力式升船机技术先进、安全可靠、经济高效、管理便利,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于新建、改建和扩建的水力式升船机设计。
- 1.0.3 水力式升船机的设计除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 水力式升船机 Hydro-floating Ship Lift

利用水的浮力驱动竖井内的浮筒式平衡重升降,从而带动承船厢运行,并通过浮筒式平衡重所受浮力变化实现承船厢升降全过程动态平衡的升船机。

### 2.0.2 水力驱动系统 Hydraulic-driving System

由输水系统、竖井、输水阀门等组成的驱动承船厢升降运行的动力系统。

### 2.0.3 输水阀门 Filling and Emptying Valve

用于调节输水系统流量,控制承船厢升降运行的设备。

### 2.0.4 浮筒式平衡重 Floating Counterweight

用于平衡承船厢侧重量的设备,通过其淹没深度自动调整以平衡承船厢侧荷载变化。

### 2.0.5 竖井 Shaft

布置在两侧塔柱中的结构,用于放置浮筒式平衡重,通过输水系统充泄水改变其水位,实现浮筒式平衡重升降。

### 2.0.6 机械同步系统 Mechanical Synchronization System

由卷筒、同步轴系统、锥齿轮箱、制动器等设备组成的保障承船厢平稳升降运行的系统。

## 3 基本规定

### 3.1 适用条件

3.1.1 水力式升船机宜选用承船厢入水的形式。

3.1.2 水力式升船机通航水位与浮筒式平衡重有效高度应满足式(3.1.2-1)~式(3.1.2-4)的要求。通航水位和浮筒式平衡重淹没深度见图3.1.2。

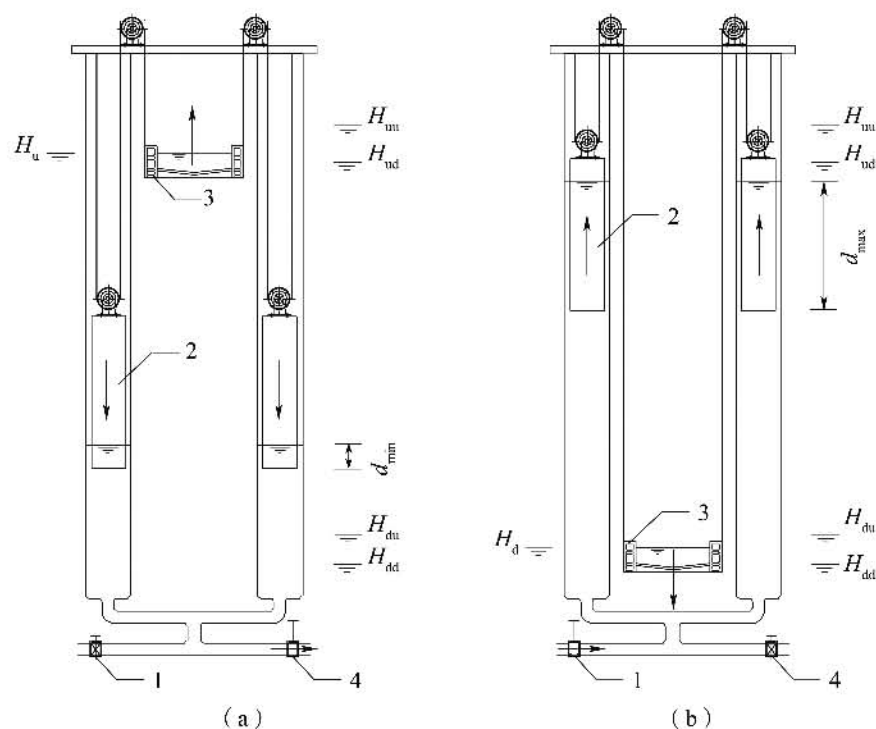


图 3.1.2 水力式升船机运行状态示意图

(a) 承船厢上行; (b) 承船厢下行

1-充水阀门; 2-浮筒式平衡重; 3-承船厢; 4-泄水阀门;  $H_u$ -上游实际水位;  $H_d$ -下游实际水位

$$2(h_{\min} - h_{fs}) \geq h_{\max} \quad (3.1.2-1)$$

$$h_{\max} = H_{mu} - H_{dd} \quad (3.1.2-2)$$

$$h_{\min} = H_{md} - H_{du} \quad (3.1.2-3)$$

$$h_{fs} = d_{\max} - d_{\min} \quad (3.1.2-4)$$

式中  $h_{\min}$ ——升船机最小行程(m);

$h_{fs}$ ——浮筒式平衡重有效高度(m);

$h_{\max}$ ——升船机最大行程(m);

- $H_{\text{m}}$ ——上游最高通航水位(m)；
- $H_{\text{dd}}$ ——下游最低通航水位(m)；
- $H_{\text{nd}}$ ——上游最低通航水位(m)；
- $H_{\text{dh}}$ ——下游最高通航水位(m)；
- $d_{\text{max}}$ ——浮筒式平衡重最大淹没深度(m)；
- $d_{\text{min}}$ ——浮筒式平衡重最小淹没深度(m)。

3.1.3 水力式升船机单级最大提升高度不宜大于 120m。

3.2 级别划分及设计标准

3.2.1 水力式升船机级别应按最大通航船舶吨级划分,分级指标应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 升船机分级指标

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

注:船舶吨级按船舶载重吨(DWT)确定。

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

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

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

3.2.5 升船机通航净宽、通航净高应符合现行国家标准《内河通航标准》(GB 50139)的有关规定。承船厢室顶部结构下的通航净高还应留有承船厢运行冲程。

3.2.6 水力式升船机建筑物的级别应符合表 3.2.6 的规定。

表 3.2.6 升船机建筑物级别

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

3.2.7 位于枢纽挡水前沿的升船机闸首的级别应与工程挡水建筑物级别一致。

3.2.8 对于建筑物级别在 2 级及以下的承重结构,当升船机提升高度大于 80m 或采用

实践经验较少的新型结构时,级别宜提高一级,但不应超过挡水建筑物的级别。

**3.2.9** 承船厢的允许水深变化值应分别按升降运行工况和对接工况确定。升降运行允许误载水深范围不宜超出  $\pm 0.15\text{m}$ ;对接工况允许的船厢水深变化值应根据航道通航水位的变率 and 对接停留时间经计算确定。

### 3.3 承船厢有效尺度

**3.3.1** 升船机承船厢有效尺度应满足设计水平年内设计船舶或船队并兼顾现有运输船舶过机的要求。

**3.3.2** 承船厢有效长度为两端防撞构件之间的净距离,可按式(3.3.2)计算。

$$L_x = l_c + l_f \quad (3.3.2)$$

式中  $L_x$ ——承船厢有效长度(m);

$l_c$ ——设计最大船舶或船队的长度(m);

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

**3.3.3** 承船厢的有效宽度为两侧护舷间的净距离,可按式(3.3.3)计算。

$$B_x = b_c + b_f \quad (3.3.3)$$

式中  $B_x$ ——承船厢有效宽度(m);

$b_c$ ——设计最大船舶或船队的宽度(m);

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

**3.3.4** 承船厢有效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,可按式(3.3.4)计算。当采用的有效水深小于式中的下限时,应通过模型试验检验。

$$H = T + \Delta H \quad (3.3.4)$$

式中  $H$ ——承船厢有效水深(m);

$T$ ——设计最大船舶或船队满载时的最大吃水深度(m);

$\Delta H$ ——富裕水深(m);可取  $0.25T \sim 0.40T$ ,且不宜小于  $0.5\text{m}$ 。

**3.3.5** 当采用的设计船型未经升船机工程实践检验时,应通过模型试验验证承船厢有效尺度的合理性。

### 3.4 通过能力

**3.4.1** 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、客货运量,并应以年单向通过能力表示。

**3.4.2** 升船机通过能力应依据规划的客、货运量,根据一次通过的设计船舶吨位和通过时间、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,并为今后发展留有余地。

**3.4.3** 船舶或船队进出承船厢的速度不宜大于  $0.5\text{m/s}$ ,必要时可通过试验确定。

**3.4.4** 水力式升船机过机时间和年通过能力应按附录 A 计算。计算通过能力时,年通航天数应扣除检修、事故、清淤、洪枯水及气象等因素导致的停航天数。



## 4 总体设计

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 升船机主体部分应包括上闸首、承船厢室段和下闸首。
- 4.1.2 升船机设计应采取措施减少水中漂浮物对升船机运行的影响。

### 4.2 总体布置

- 4.2.1 水力式升船机选址应符合下列规定。
  - 4.2.1.1 宜选在河道顺直、河势稳定,有利于与上、下游航道衔接的位置。
  - 4.2.1.2 宜选择在地形地质条件好、设备运输便利的位置。
  - 4.2.1.3 距天然河道的交叉河口或支流入口应有足够的距离,并应研究交叉河道汇流和泥沙对航行的影响。
  - 4.2.1.4 宜临航道岸侧布置,并应考虑枢纽泄洪、电站机组调峰等下泄流量变化对通航水流条件的影响,必要时应采取降低水流影响的工程措施。
- 4.2.2 升船机引航道、口门区、连接段、待闸锚地、导航墙和靠船墩等的布置,应符合现行行业标准《船闸总体设计规范》(JTS 305)的有关规定。
- 4.2.3 承船厢室段、上下闸首总体布置应考虑输水系统布置要求。
- 4.2.4 升船机的顶部机房、上下闸首上的起吊设备、跨越升船机航道的设备和建筑物,其通航净空尺度应符合现行国家标准《内河通航标准》(GB 50139)的有关规定。
- 4.2.5 承船厢室应设置承船厢检修、渗漏、降水和汛期淹没后的抽排水设施。输水系统的上下游闸室应设置集水井和抽排水设施。
- 4.2.6 升船机总体布置应考虑浮筒式平衡重等设备的检修要求。

### 4.3 承船厢室段布置

- 4.3.1 承重结构主要高程的确定应符合下列规定。
  - 4.3.1.1 承重结构顶部高程应满足上游最高通航水位、通航净高、冲程和顶板结构等的要求。
  - 4.3.1.2 承船厢室底面高程应满足下游最低通航水位、冲程、承船厢锁定装置布置,以及承船厢在下位安装、检修的要求。
- 4.3.2 承重结构布置应设有满足安全疏散、运行巡检的交通通道,还应设有满足设备运输、安装和检修的通道,并应符合下列规定。
  - 4.3.2.1 顶部机房应设置不少于2个安全出口。

- 4.3.2.2 承重结构左右塔柱应设置底板至机房楼层的交通楼梯,并宜设置电梯。
- 4.3.2.3 承重结构左右塔柱应设置通向承船厢室的水平疏散通道。
- 4.3.2.4 顶部机房底板宜在检修桥机工作范围内设置供机械、电气设备安装检修的吊物孔。
- 4.3.2.5 有客船通过需求的升船机,其安全疏散通道应满足设计船型载人数量疏散的要求。
- 4.3.3 承船厢室平面尺寸应根据承船厢外形尺寸、承船厢设备布置与运行要求等确定,并应符合下列规定。
  - 4.3.3.1 承船厢与闸首或闸首工作闸门止水座板的间隙可取  $0.10\text{m} \sim 0.25\text{m}$ 。
  - 4.3.3.2 承船厢与两侧承重结构的间距可取  $0.5\text{m} \sim 1.4\text{m}$ 。
- 4.3.4 承船厢结构和承船厢设备宜对称于承船厢纵向和横向中心线布置,浮筒式平衡重悬挂钢丝绳与承船厢的连接点布置,以及浮筒式平衡重重量配置应对称于承船厢的纵向中心线和横向中心线。
- 4.3.5 承船厢吊点布置应满足纵向稳定性要求,并按承船厢结构正常运行时受力合理的原则确定。承船厢纵向稳定性计算应符合附录 B 的规定。
- 4.3.6 顶部机房布置应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。
- 4.3.7 承船厢应设置下极限位检修锁定装置和上极限位缓冲装置,浮筒式平衡重应设上极限位检修平台。
- 4.3.8 承船厢室段底板、塔柱结构尺寸应满足竖井、输水系统主廊道、支廊道的布置要求。

## 4.4 上、下闸首布置

- 4.4.1 上、下闸首结构除应满足工作闸门、检修闸门布置要求外,上闸首结构还应满足输水系统进水口、充水廊道及充水阀门室布置要求,下闸首结构还应满足输水系统出水口、泄水廊道及泄水阀门室布置要求,并应考虑检修要求。
- 4.4.2 水力式升船机上、下闸首工作闸门和检修闸门布置应符合下列规定。
  - 4.4.2.1 上闸首应分别设置一道工作闸门和一道检修闸门。
  - 4.4.2.2 上闸首工作闸门出现事故可能对工程造成重大危害时,应设置事故闸门,上闸首事故闸门可兼作检修闸门。
  - 4.4.2.3 下闸首应设置一道检修闸门。
- 4.4.3 闸首工作闸门设置应能适应通航水位变化,上闸首检修闸门的最高挡水位应与枢纽工程的上游最高防洪水位一致,下闸首检修闸门最高挡水位可根据升船机防洪和检修要求确定。
- 4.4.4 升船机闸首顶面高程应根据闸门顶部高程和结构布置等要求确定。位于挡水前缘的升船机闸首顶部高程应与其相邻的建筑物挡水前缘顶部高程一致。
- 4.4.5 闸首航槽两侧有坝顶交通要求时,应在航槽上方设置交通桥。交通桥应满足通航净空要求。

**4.4.6** 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。

**4.4.7** 闸首工作闸门形式和启闭机的选择应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。

## 5 水力驱动系统水力设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 水力驱动系统应包括进水口、输水主管道、充水阀门、分支管道、竖井、消能工、平衡廊道、泄水阀门、出水口等部分,见图 5.1.1。

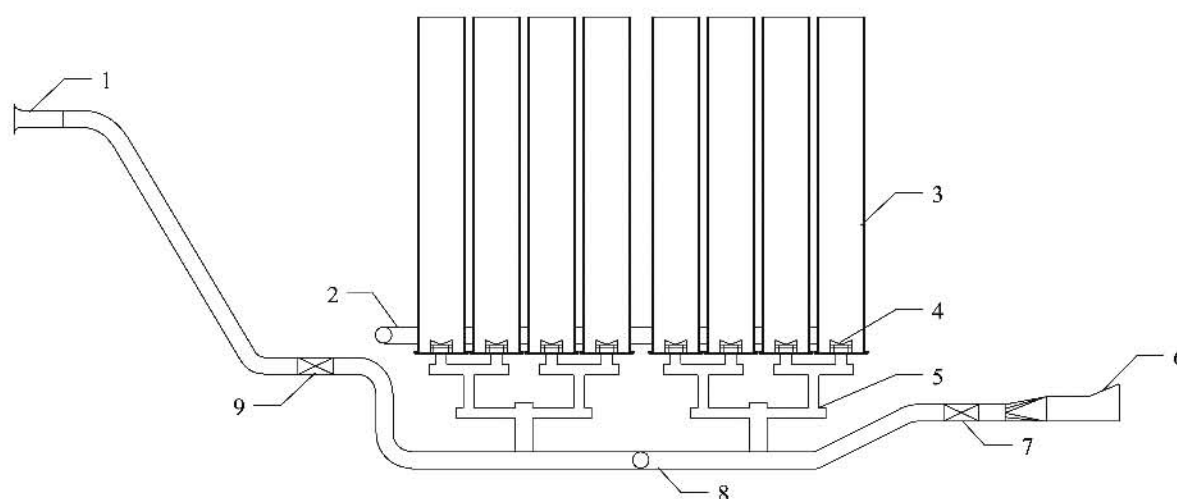


图 5.1.1 水力驱动系统基本构成

1-进水口;2-平衡廊道;3-竖井;4-消能工;5-分支管道;6-出水口;7-泄水阀门;8-输水主管道;9-充水阀门

**5.1.2** 水力驱动系统设计应符合下列规定。

**5.1.2.1** 输水系统过流能力应满足升船机运行速度要求。

**5.1.2.2** 输水系统充泄水应满足船舶、船队在引航道内的系泊和航行要求。

**5.1.2.3** 输水系统各部位及有关设备在充泄水过程中不应因水流冲刷、空化、振动等造成破坏。

**5.1.2.4** 输水系统充泄水过程各竖井水位应满足同步性要求,相邻竖井最大水位差不宜大于 0.5m。

**5.1.3** 水力式升船机承船厢空中平均运行速度可采用  $0.15\text{m/s} \sim 0.25\text{m/s}$ ; 出入水运行速度不宜大于  $0.03\text{m/s}$ ; 承船厢正常启停加速度值不宜大于  $0.01\text{m/s}^2$ , 快速制动加速度值不宜大于  $0.04\text{m/s}^2$ 。承船厢运行速度见图 5.1.3。

**5.1.4** 水力驱动系统设计流程应符合下列规定:

- (1) 综合承船厢尺度、塔柱结构等因素确定输水系统形式和总体布置方案;
- (2) 根据上游、下游水位条件, 确定竖井水位变化区间;
- (3) 根据浮筒式平衡重尺寸、数量和位置确定竖井的设计方案;

(4) 确定进出水口设计方案;

(5) 开展水力驱动系统水力计算, 包括输水主管道面积、出水支管或支孔面积等计算, 优化设计方案。

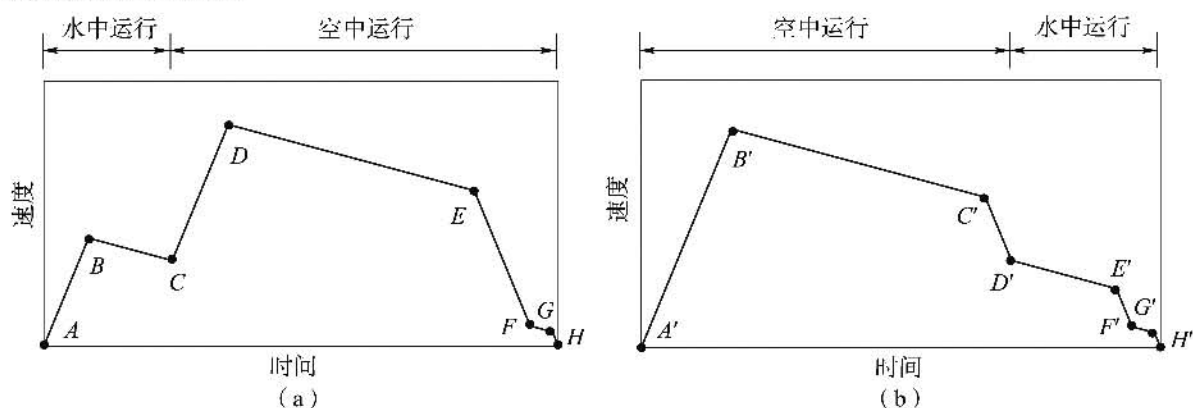


图 5.1.3 承船厢运行速度示意图

(a) 承船厢上行速度示意图; (b) 承船厢下行速度示意图

AB-启动加速过程; BC-低速出水过程; CD-出水后加速过程; DE-空中高速运行过程; EF-对接前减速过程; FG-低速运行准备对接过程; GH-减速到达上游对接位过程; A'B'-启动加速过程; B'C'-空中高速运行过程; C'D'-入水前减速过程; D'E'-水中低速运行过程; E'F'-对接前减速过程; F'G'-低速运行准备对接过程; G'H'-减速到达下游对接位过程

## 5.2 输水系统

5.2.1 输水系统形式应综合承船厢尺度、塔柱结构、机械同步系统布置等因素确定, 可采用等惯性布置, 各分支管道阻力应基本相同, 见图 5.2.1。

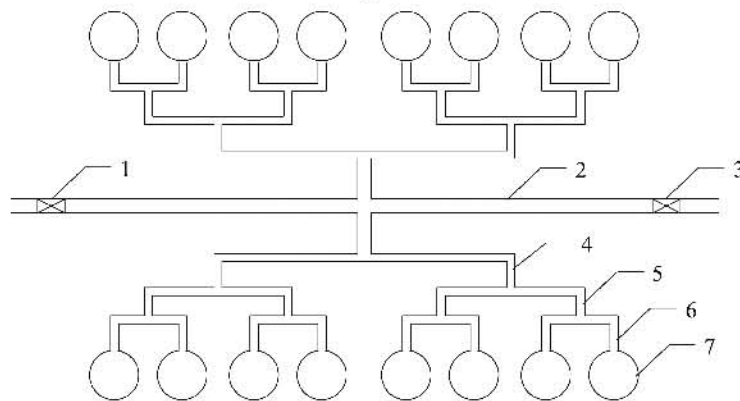


图 5.2.1 等惯性输水系统布置示意图

1-充水阀门; 2-输水主管道; 3-泄水阀门; 4-一级分支管道; 5-二级分支管道; 6-三级分支管道; 7-竖井

5.2.2 输水系统主管道断面平均流速应小于 10m/s, 输水主管道面积应按充水工况和泄水工况分别计算, 并取大值。充水工况主管道面积可按式(5.2.2-1) ~ 式(5.2.2-3)计算, 泄水工况主管道面积可按式(5.2.2-4) ~ 式(5.2.2-6)计算。

$$S_k = \frac{2 \sum S_j (\sqrt{h_b} - \sqrt{h_s})}{\mu T \sqrt{2g} \left[ 1 - (1 - \alpha_k) \frac{t_{vk}}{T} - (1 - \alpha_g) \frac{t_{vg}}{T} \right]} \quad (5.2.2-1)$$

$$h_b = H_m - H_{dn} \quad (5.2.2-2)$$

$$h_e = H_m - (H_{nd} - h_{fs}) \quad (5.2.2-3)$$

$$S'_k = \frac{2 \sum S_j (\sqrt{h'_b} - \sqrt{h'_e})}{\mu T \sqrt{2g} \left[ 1 - (1 - \alpha_k) \frac{t_{vk}}{T} - (1 - \alpha_g) \frac{t_{vg}}{T} \right]} \quad (5.2.2-4)$$

$$h'_b = (H_{nd} - h_{fs}) - H_{dd} \quad (5.2.2-5)$$

$$h'_e = H_{dn} - H_{dd} \quad (5.2.2-6)$$

式中  $S_k$ ——充水工况下输水系统主管道面积( $m^2$ )；

$S_j$ ——单个竖井截面积( $m^2$ )；

$h_b$ ——充水工况起始作用水头(m)；

$h_e$ ——充水工况终止作用水头(m)；

$\mu$ ——阀门全开时,输水系统流量系数；

$T$ ——船厢运行时间(s)；

$g$ ——重力加速度( $m/s^2$ )；

$\alpha_k$ ——系数,取 0.5 ~ 0.6；

$t_{vk}$ ——阀门开启时间(s)；

$\alpha_g$ ——系数,取 0.5 ~ 0.6；

$t_{vg}$ ——阀门关闭时间(s)；

$H_m$ ——上游最高通航水位(m)；

$H_{dn}$ ——下游最高通航水位(m)；

$H_{nd}$ ——上游最低通航水位(m)；

$h_{fs}$ ——浮筒式平衡重有效高度(m)；

$S'_k$ ——泄水工况下输水系统主管道面积( $m^2$ )；

$h'_b$ ——泄水工况起始作用水头(m)；

$h'_e$ ——泄水工况终止作用水头(m)；

$H_{dd}$ ——下游最低通航水位(m)。

**5.2.3** 输水系统分支管道断面平均流速宜小于 5m/s,采用等惯性输水系统布置时应符合下列规定。

**5.2.3.1** 每级分支管道总面积应大于上一级支管总面积。

**5.2.3.2** 进入竖井的末级分支管道最大断面平均流速宜小于 2m/s。

**5.2.3.3** 分支管道应设置阻力均衡组件,并应满足下列要求：

(1) 分支管道断面平均流速小于 2m/s 时,转弯段设置 T 形 90°弯头；

(2) 分支管道断面平均流速大于或等于 2m/s 时,转弯段设置 T 形 90°弯头,并在分流口设置分流鳍,见图 5.2.3。

**5.2.4** 输水系统充水阀门段顶高程应低于竖井最低运行水位,泄水阀门段顶高程应低于下游最低通航水位,阀门段的淹没水深应满足阀门防空化要求。

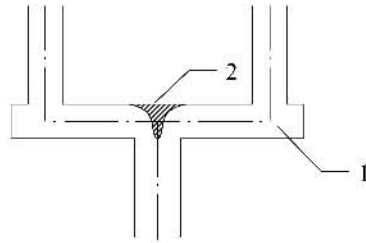


图 5.2.3 T形 90°弯头与分流鳍示意图  
1-T形 90°弯头;2-分流鳍

### 5.3 竖 井

5.3.1 竖井数量应满足承船厢钢丝绳吊点、机械同步系统、输水系统布置要求。

5.3.2 竖井面积应综合考虑浮筒式平衡重运行稳定性、升船机耗水量等因素。

5.3.3 竖井总面积应在浮筒式平衡重总面积确定的基础上,按式(5.3.3)计算。

$$\Sigma S_j = \Sigma S_p \frac{1}{1 - \gamma} \quad (5.3.3)$$

式中  $S_j$ ——单个竖井截面积( $\text{m}^2$ );

$S_p$ ——单个浮筒式平衡重截面积( $\text{m}^2$ );

$\gamma$ ——间隙比,即浮筒式平衡重周围间隙面积与竖井面积之比,宜小于 0.1。

5.3.4 竖井底高程应根据竖井最低运行水位确定,并应考虑平衡重最小淹没水深、平衡廊道高度、消能工高度,且浮筒式平衡重与消能工之间的净距离不宜小于 2.0m,特征参数见图 5.3.4。

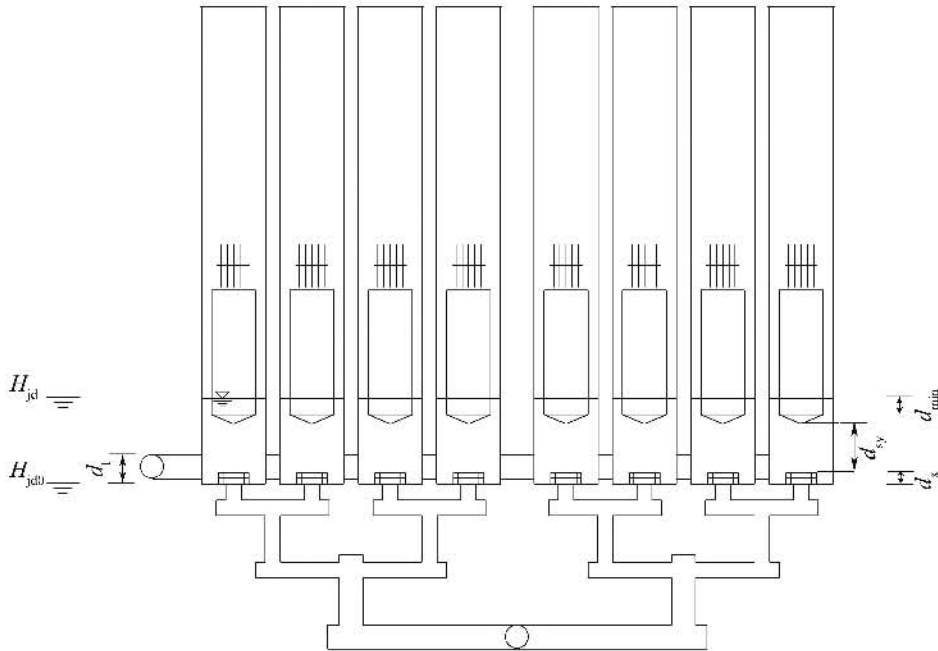


图 5.3.4 竖井底高程示意图

$H_{jd}$ -竖井底高程; $H_{jdl}$ -竖井最低运行水位; $d_{min}$ -平衡重最小淹没水深; $d_1$ -平衡廊道高度; $d_s$ -消能工高度; $d_{sy}$ -浮筒式平衡重与消能工之间的净距离

5.3.5 竖井最低运行水位可按式(5.3.5)计算。

$$H_{jd} = \frac{1}{2}(H_{nd} + H_{dn}) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}h_{max} + h_{fs}\right) \quad (5.3.5)$$

式中  $H_{jd}$ ——竖井最低运行水位(m);

$H_{nd}$ ——上游最低通航水位(m);

$H_{dn}$ ——下游最高通航水位(m);

$h_{max}$ ——升船机最大行程(m);

$h_{fs}$ ——浮筒式平衡重有效高度(m)。

5.3.6 竖井底部出水支孔上面应设置消能工,消能工设计应符合现行行业标准《船闸输水系统设计规范》(JTJ 306)的有关规定。

5.3.7 各竖井底部应设置平衡廊道,平衡廊道横截面积可按式(5.3.7)计算。

$$\omega_p = K \frac{2S_j \sqrt{\Delta h_{jmax}}}{\mu_p \Delta t \sqrt{2g}} \quad (5.3.7)$$

式中  $\omega_p$ ——平衡廊道横截面积(m<sup>2</sup>);

$K$ ——安全系数,取1.5~2.0;

$S_j$ ——单个竖井截面积(m<sup>2</sup>);

$\Delta h_{jmax}$ ——相邻竖井允许最大水位差(m);

$\mu_p$ ——平衡廊道流量系数;

$\Delta t$ ——最大水位差允许持续时间(s);

$g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>)。

5.3.8 单次运行最大耗水量可按式(5.3.8)计算。

$$V_{max} = \frac{1}{2}h_{max} \sum S_j + h_{fs} \sum S_j \gamma \quad (5.3.8)$$

式中  $V_{max}$ ——单次运行最大耗水量(m<sup>3</sup>);

$h_{max}$ ——升船机最大行程(m);

$S_j$ ——单个竖井截面积(m<sup>2</sup>);

$h_{fs}$ ——浮筒式平衡重有效高度(m);

$\gamma$ ——浮筒式平衡重周围间隙面积与竖井面积之比。

## 5.4 进 出 水 口

5.4.1 进水口应设置在上游最低通航水位以下,进水口断面平均流速不宜大于2.5m/s,顶部最小淹没深度应符合现行行业标准《水利水电工程进水口设计规范》(SL 285)的有关规定。

5.4.2 出水口应设置在下游最低通航水位以下,顶部淹没深度应大于1.5m。

5.4.3 进出水口的设计应符合现行行业标准《船闸输水系统设计规范》(JTJ 306)对引航道通航水流条件的有关规定。

5.4.4 充水阀门上游、泄水阀门下游应分别设置快速事故闸门。快速事故闸门的布置及



设计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。

**5.4.5** 快速事故闸门关闭时间应结合竖井充泄水量及制动器制动力矩综合考虑确定,宜采用液压启闭机启闭。

**5.4.6** 进水口拦污栅的布置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。拦污栅的栅条净距应满足水流控制设备的通过要求和浮筒式平衡重与竖井的间隙要求,拦污栅宜设置清污设备。

## 5.5 水力驱动系统水力计算

**5.5.1** 水力驱动系统水力计算应包括输水主管道面积、输水系统的阻力系数和流量系数、输水系统的惯性长度和惯性超高、超降值、输水水力特性曲线、阀门工作空化数等。

**5.5.2** 输水主管道面积应按第 5.2.2 条计算。

**5.5.3** 输水系统的阻力系数和流量系数可按现行行业标准《船闸输水系统设计规范》(JTJ 306)确定。

**5.5.4** 输水系统的惯性长度和惯性超高、超降值可按现行行业标准《船闸输水系统设计规范》(JTJ 306)确定。

**5.5.5** 输水水力特性曲线的计算应包括下列内容:

- (1) 流量与时间的关系曲线;
- (2) 竖井水位与时间的关系曲线;
- (3) 承船厢行程与时间的关系曲线。

**5.5.6** 输水水力特性曲线可按式(5.5.6-1)~式(5.5.6-9)计算。

$$Q = S_k \int_0^t \frac{du}{dt} dt \quad (5.5.6-1)$$

$$H_j = H_{j0} + \int_0^t \frac{dH_j}{dt} dt \quad (5.5.6-2)$$

$$H_{cx} = H_{cx0} - 2 \int_0^t \frac{dH_p}{dt} dt \quad (5.5.6-3)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{g}{L_p} \left[ H_n - H_j - \frac{1}{2g} \left( \frac{dH_j}{dt} \right)^2 \right] - \xi \frac{u^2 g}{2gL_p} \quad (5.5.6-4)$$

$$\frac{dH_j}{dt} = \frac{S_k}{\sum S_j - \sum S_p} u - \frac{\sum S_p}{\sum S_j - \sum S_p} \frac{dH_p}{dt} \quad (5.5.6-5)$$

$$v_p = \frac{dH_p}{dt} \quad (5.5.6-6)$$

$$\frac{dv_p}{dt} = \frac{\sum S_p g}{2M_{cx} + M_{pz}} H_j - \frac{\sum S_p g}{2M_{cx} + M_{pz}} H_p + \frac{(2k-1)gM_{pz} - \frac{2F_c}{g} + 2(k+1)gM_{cx}}{4M_{cx} + M_{pz}} \quad (5.5.6-7)$$

式中  $Q$ ——输水系统流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$S_k$ ——输水主管道面积( $\text{m}^2$ );

$u$ ——输水主管道平均流速(m/s);  
 $t$ ——时间(s);  
 $H_j$ ——竖井水位(m);  
 $H_{j0}$ ——竖井初始水位(m);  
 $H_{cs}$ ——承船厢高程(m);  
 $H_{cs0}$ ——承船厢初始高程(m);  
 $H_p$ ——浮筒式平衡重底高程(m);  
 $g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>);  
 $L_p$ ——输水系统惯性长度(m);  
 $H_u$ ——上游水位(m);  
 $\xi$ ——输水系统阻力系数;  
 $S_j$ ——单个竖井截面积(m<sup>2</sup>);  
 $S_p$ ——单个浮筒式平衡重截面积(m<sup>2</sup>);  
 $v_p$ ——浮筒式平衡重运行速度(m/s);  
 $M_{cs}$ ——承船厢侧总重量(kg);  
 $M_{pz}$ ——浮筒式平衡重侧总重量(kg);  
 $F_c$ ——承船厢所受浮力(N);  
 $k$ ——系统摩擦系数。

**5.5.7** 输水阀门的工作空化数可按式(5.5.7)计算。

$$\sigma = \frac{P_2 + P_{At} - P_{d1}}{P_1 - P_2 + \frac{1}{2}\rho u^2} \quad (5.5.7)$$

式中  $\sigma$ ——输水阀门工作空化数;

$P_2$ ——输水阀门下游管道压力(Pa);

$P_{At}$ ——大气压力(Pa);

$P_{d1}$ ——流体饱和蒸汽压力(Pa);

$P_1$ ——输水阀门上游管道压力(Pa);

$\rho$ ——流体密度(kg/m<sup>3</sup>);

$u$ ——输水主管道流速(m/s)。

## 6 水工建筑物

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 水工建筑物结构形式应根据其使用功能要求、结构受力条件和工程地质条件等因素确定。

**6.1.2** 水工结构应包括上闸首、承船厢室段和下闸首,承船厢室段应由承重结构、顶部机房组成。

**6.1.3** 承船厢室承重结构设计,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,并应满足下列要求:

- (1) 采用对称的结构形式;
- (2) 对结构的薄弱部位,采取加强措施。

**6.1.4** 承船厢室段承重结构宜采用钢筋混凝土结构。

**6.1.5** 升船机上闸首、塔柱、下闸首、输水系统、主机房等 I 级~III 级主要建筑物结构的设计使用年限应采用 100 年,其他永久性建筑物结构使用年限不应低于 50 年。参与挡水的升船机上闸首设计使用年限应与枢纽挡水建筑物一致。

### 6.2 设计荷载及荷载组合

**6.2.1** 作用于升船机水工建筑物上的荷载应包括建筑物结构和设备自重、水压力、扬压力、浪压力、土压力、冰压力、冻胀力、泥沙压力、风荷载、雪荷载、楼面活荷载、楼梯及平台活荷载、桥机和门机荷载、温度作用、地震作用、承船厢和设备安装、运行、检修的荷载等。

**6.2.2** 水工建筑物结构自重的标准值可按现行国家标准《水工建筑物荷载标准》(GB/T 51394)的有关规定计算,钢筋混凝土的重度宜由试验确定,无试验资料时,可取  $24.5\text{kN/m}^3 \sim 25\text{kN/m}^3$ 。

**6.2.3** 承船厢及其设备作用在建筑物上的荷载标准值应按正常、非正常和特殊工况确定。

**6.2.4** 作用于楼面与楼梯上的活荷载应按国家现行标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的有关规定取值。

**6.2.5** 作用于升船机塔柱和竖井结构的水压力宜按静水压力计算,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的影响。

**6.2.6** 风荷载计算应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)的有关规定,对于对称布置的承重塔柱结构,风荷载体型系数可按附录 C 采用。

**6.2.7** 温度作用宜考虑气温年周期变化、气温骤降与日照。混凝土热学特性指标宜经试验确定,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。

**6.2.8** 升船机塔柱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,不同工况的荷载组合可按附录 D 采用。

**6.2.9** 荷载组合时,部分荷载的折减应符合下列规定。

**6.2.9.1** 承载能力极限状态计算应按下列规定折减:

- (1) 当结构自重及设备重对结构有利时,予以折减,折减系数可取 0.95;
- (2) 温度作用予以折减,折减系数可取 0.3~0.4;
- (3) 风荷载、雪荷载、楼面活荷载、楼梯及平台活荷载与地震作用组合时,应予以折减。

**6.2.9.2** 正常使用极限状态,计算结构裂缝宽度时,温度作用应予以折减,折减系数可取 0.5~0.6。

### 6.3 结构设计

**6.3.1** 塔柱结构宜选择规则、对称的体形,力求其平面内的质量、刚度及同类抗侧力构件的承载力分布均匀,并减少刚度中心与质量中心的偏心距,避免相邻层间的刚度及抗侧力结构承载力突变。

**6.3.2** 升船机承重结构的顶部位移,在正常运行条件下按弹性方法计算的结果不应大于总高度的 1/1500。

**6.3.3** 钢筋混凝土承重结构的裂缝控制验算、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。

**6.3.4** 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。

**6.3.5** 竖井应对称布置在塔柱结构内部,宜采用圆形并在竖井内部设置钢衬。

**6.3.6** 升船机上、下闸首挡水部分结构的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。

**6.3.7** 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《高耸结构设计标准》(GB 50135)和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)的有关规定。

**6.3.8** 进、出水口结构设计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。

**6.3.9** 升船机输水系统管道、竖井的钢衬设计应符合现行行业标准《水利水电工程压力钢管设计规范》(SL 281)的有关规定。

### 6.4 抗震设计

**6.4.1** 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。抗震设防烈度Ⅶ度及以上地区的升船机工程,抗震设计应进行专题研究。

**6.4.2** 质量或刚度分布不均匀、不对称的结构,应研究其在地震作用下的扭转效应影响。

**6.4.3** 升船机承重结构抗震设计应考虑承船厢和承重塔柱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,此外还应考虑输水系统内水体的动力流固耦合影响。

**6.4.4** 浮筒式平衡重与承重结构应根据其连接构件的刚度计算平衡重与承重结构的动力相互作用。

**6.4.5** 塔柱进行动力分析中,当平衡重与塔柱结构通过导向装置接触时,应采取与导轮和导轨刚度值相等的弹簧相连的模式,进行动力耦合分析。简化分析时,可将不小于30%的平衡重质量附加于塔柱,模拟平衡重与塔柱的相互作用。

**6.5 安全监测设计**

**6.5.1** 安全监测范围应包括升船机上闸首、下闸首、承船厢室段和高边坡等部位。

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

**6.5.3** 升船机承重结构的重点监测部位和项目应根据工程地质条件、建筑物规模和结构特点选择,并应符合现行行业标准《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725)的有关规定。重点监测部位的监测项目应满足表 6.5.3 的要求。

**表 6.5.3 安全监测部位和项目**

重点监测部位	监测项目
底板横断面跨中和端部	应力应变
顶部横向主梁跨中和端部	应力应变
软岩地基上垂直升船机的承重结构	垂直位移、水平位移
高度大于 50m 升船机的承重结构	水平位移
结构缝、施工缝	接缝开合度
厚度大于 2.5m 的底板	温度

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

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

**6.5.6** 升船机安全监测自动化系统设计应符合现行行业标准《混凝土坝安全监测技术规范》(SL 601)的有关规定。当升船机工程属于枢纽工程的一个单项工程时,其自动化系统宜与总体工程安全监测自动化系统统一考虑。对作为水库挡水建筑的上闸首的安全监测应纳入枢纽工程安全监测自动化系统。

## 7 金属结构和机械设备

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 水力式升船机金属结构与机械设备应包括承船厢结构与设备、水力驱动系统设备、机械同步系统、浮筒式平衡重系统、闸首金属结构与设备、导航靠船设备、机房检修桥机等。

**7.1.2** 金属结构和机械设备的设计应满足升船机总体布置和运行的要求,并应与水工建筑物结构布置相适应。

**7.1.3** 金属结构和机械设备设计应符合国家现行标准《起重机设计规范》(GB/T 3811)、《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)、《船闸启闭机设计规范》(JTJ 309)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74)和《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)等的有关规定。

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

**7.1.5** 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,并应符合下列规定。

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

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

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

**7.1.7** 对于抗震设防烈度Ⅵ度及以上地区的升船机,金属结构和机械设备的设计应研究地震的影响。

**7.1.8** 升船机金属结构和机械设备对承重结构变形的适应能力不应小于变形计算结果的 1.5 倍,且相对变形偏差不应小于 10mm。

### 7.2 机械同步系统

**7.2.1** 水力式升船机机械同步系统应由卷筒、安全制动器、同步轴、联轴器、锥齿轮箱等组成。

**7.2.2** 机械同步系统应沿卷筒轴线系统布置,在卷筒组的上下游两端通过锥齿轮箱转换,形成矩形布置,见图 7.2.2。



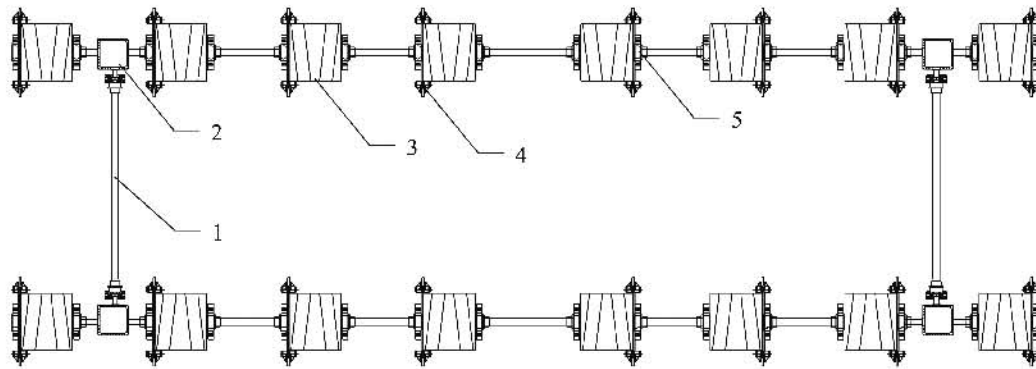


图 7.2.2 机械同步系统示意图

1-同步轴;2-锥齿轮箱;3-卷筒;4-安全制动器;5-联轴器

### 7.2.3 机械同步系统设计应符合下列规定。

7.2.3.1 应具备传递和均衡承船厢不均匀荷载及抗承船厢倾覆的功能。

7.2.3.2 总体刚度和强度应满足船厢纵倾稳定要求。

7.2.3.3 承船厢倾斜量或同步系统扭矩达到设计值时,安全制动器应能锁定卷筒。

7.2.3.4 机械同步系统应设置同步轴扭矩在线监测系统。

7.2.4 卷筒应进行静强度计算和疲劳强度计算。静强度计算应按许用应力法计算,筒体受压稳定性安全系数不应小于 2.5。疲劳强度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。

7.2.5 卷筒直径与钢丝绳直径的比值不应小于 60。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、钢丝绳与压板槽的摩擦系数取值不宜大于 0.08。

7.2.6 卷筒装置应设置制动器,制动器宜采用液压盘式制动器。制动荷载应按升船机安装、运行及事故工况下卷筒装置两侧的最大不平衡荷载计算。制动器的制动安全系数不应小于 1.5。

7.2.7 安全制动器宜采用液压泵站集中控制,对驱动点相隔距离较大的工程,液压泵站的电气控制系统应采取同步措施。安全制动器应设置上闸和松闸到位检测装置。所有制动器间上闸时间差和松闸时间差均宜小于 0.3s;紧急制动可采用制动器分级上闸方式,加速度值不宜大于  $0.3\text{m/s}^2$ 。

7.2.8 卷筒装置之间应设置同步轴,同步轴宜采用闭环布置形式,同步轴之间的联轴器应能消除传动系统间隙,并能适应塔柱结构的变形,宜采用膜片联轴器。

7.2.9 同步轴的疲劳强度和静强度应符合下列规定。

7.2.9.1 同步轴的额定扭矩应按承船厢发生允许最大纵倾和竖井水位出现最大水位差时在同步轴产生的扭矩进行计算。

7.2.9.2 同步轴疲劳强度和刚度计算荷载可按传递额定扭矩的 1.2 倍考虑,疲劳强度安全系数不应小于 2.0。

7.2.9.3 静强度计算荷载可按传递额定扭矩进行计算,静强度安全系数不应小于 3.0。

7.2.10 联轴器应选用能消除轴间周向间隙的膜片联轴器,膜片联轴器的选型和设计应符合下列规定。

- 7.2.10.1 膜片联轴器的工作方式应根据升船机的工作频次确定。
- 7.2.10.2 公称扭矩不宜小于同步系统额定扭矩的4倍。
- 7.2.10.3 轴向角向的补偿能力应根据塔柱的相关计算确定。
- 7.2.10.4 选型设计可按现行行业标准《冶金重载膜片联轴器》(JB/T 14246)的有关规定进行。
- 7.2.10.5 单个膜片联轴器在2倍同步系统额定扭矩时的扭转刚度不应低于同步轴在同步系统额定扭矩时的扭转刚度。
- 7.2.10.6 膜片联轴器与轴连接应采用微间隙连接方式,宜采用胀套加带键槽定位环连接和法兰盘加高强螺栓连接。
- 7.2.11 换向锥齿轮箱齿轮的弯曲疲劳强度和弯曲静强度安全系数不应小于1.6;齿轮的抗胶合安全系数不应小于1.6,齿轮传动轴的疲劳安全系数不应小于2.0。

### 7.3 承船厢及其设备

- 7.3.1 承船厢及其设备应包括厢体、承船厢工作闸门及其启闭机、导向装置、防撞装置、与闸首对接所需的机械装置或机构等。
- 7.3.2 承船厢的结构尺寸除应满足有效尺度要求外,还应满足设备布置、安装、运行和维护检修的需要。
- 7.3.3 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槽型焊接钢结构,主纵梁宜采用实腹式单腹板结构。
- 7.3.4 承船厢的底铺板应为有斜度的左右对称结构,并应在承船厢非盛水结构上开设进气孔、排气孔,见图7.3.4。

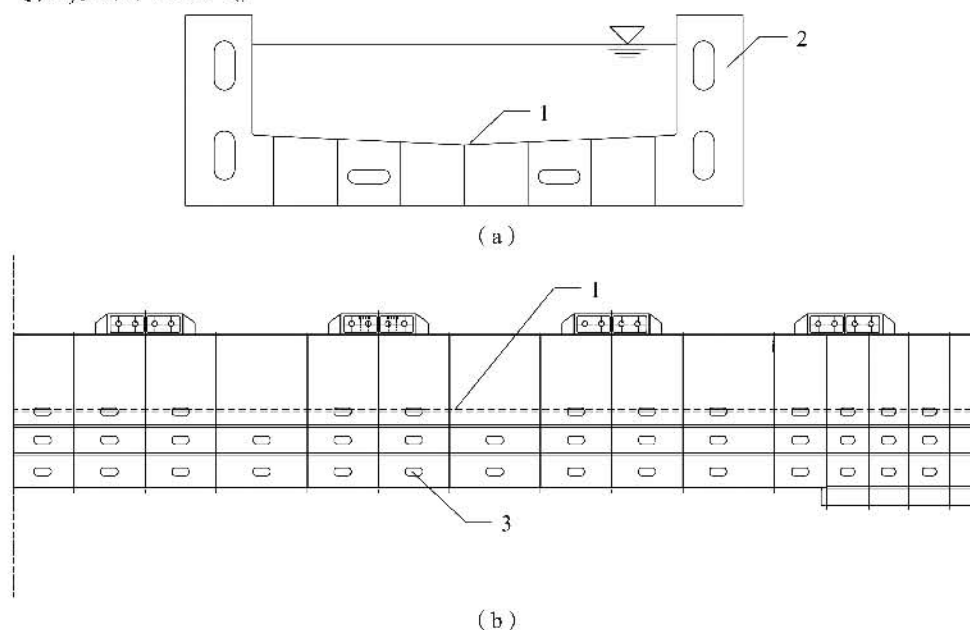


图 7.3.4 承船厢示意图

(a)承船厢横剖面图;(b)承船厢纵剖面图

1-承船厢底铺板;2-承船厢腹板;3-进气孔、排气孔



**7.3.5** 承船厢吊点位置应按承船厢结构正常运行下受力合理的原则确定,并兼顾承重结构布置和浮筒式平衡重的布置。

**7.3.6** 承船厢设计工况应包括正常工况和非正常工况,特殊工况可根据工程具体条件选择。承船厢设计工况和荷载组合应符合附录 F 的规定。

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

**7.3.8** 承船厢整体结构的强度与刚度宜进行有限元计算复核,对大型升船机还应进行动态分析。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。

**7.3.9** 承船厢上应设交通通道、设备维护通道、消防通道和能在任一高度位置通向塔柱的人员疏散通道。

**7.3.10** 承船厢护舷、系船柱和外护栏的设计应符合下列规定。

**7.3.10.1** 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。

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

**7.3.10.3** 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系靠泊的要求。

**7.3.10.4** 主纵梁顶部走道外侧应设护栏,护栏高度不应小于 1.2m。

**7.3.11** 承船厢与承重结构相关联的设备应能适应各种工况下承船厢与承重结构之间的相对变位及设备轨道的制造安装误差。

**7.3.12** 承船厢工作闸门及启闭机设计应符合下列规定。

**7.3.12.1** 工作闸门的选型应兼顾航道漂浮物对闸门运行及止水的影响,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;当航道漂浮物较少或设有清污设施时,可采用卧倒式平面闸门。

**7.3.12.2** 工作闸门的孔口净宽应与承船厢有效水域宽度一致,孔口底高不得高于承船厢底铺板,闸门顶宜与承船厢主纵梁上翼板平齐。

**7.3.12.3** 工作闸门设计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,液压启闭机设计应符合现行行业标准《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)的有关规定。

**7.3.13** 导向装置设计应符合下列规定。

**7.3.13.1** 承船厢上应结合导轨布置方案对称设置纵向、横向导向装置。横向导向装置宜设在承船厢两侧的外端,纵向导向装置宜靠近承船厢横向中心线布置。

**7.3.13.2** 导向装置宜采用带预紧弹簧的弹性导轮。每个方向导轮的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。风荷载应按式(7.3.13-1)计算。

$$P_w = CK_h qA \quad (7.3.13-1)$$

式中  $P_w$ ——作用在导向装置上的风荷载(N)；

$C$ ——风力系数；应按现行行业标准《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)的有关规定确定；

$K_h$ ——风压高度变化系数，可取1.0；

$q$ ——非工作风压(N/m<sup>2</sup>)，可取800N/m<sup>2</sup>；

$A$ ——承船厢及厢内船舶垂直于风向的总迎风面积(m<sup>2</sup>)。

**7.3.13.3** 纵向导向装置应兼顾抗倾作用，作用在纵向导向装置上的承船厢倾斜荷载应按式(7.3.13-2)计算。

$$F_{dx} = \frac{C_n M_{qt}}{nL_{dx}} \quad (7.3.13-2)$$

式中  $F_{dx}$ ——作用在导向装置上的承船厢倾斜荷载(N)；

$C_n$ ——不均匀系数，取1~2；

$M_{qt}$ ——承船厢的倾斜力矩(N·m)；

$n$ ——导向装置的个数；

$L_{dx}$ ——导向装置的抗倾力臂(m)。

**7.3.14** 承船厢对接锁定装置、顶紧装置、对接密封机构和防撞装置应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。

## 7.4 水力驱动系统金属结构与设备

**7.4.1** 水力驱动系统金属结构与设备应包括输水阀门、进水口快速事故闸门、出水口快速事故闸门、检修闸门等。

**7.4.2** 快速事故闸门可兼作检修闸门。

**7.4.3** 输水阀门选型应结合流量系数、初生空化数、精确调流能力等因素经技术经济论证综合确定。

**7.4.4** 输水阀门宜主阀门和辅阀门并联布置，见图7.4.4。输水阀门运行时宜采用主阀门控制承船厢的运行速度，辅阀门控制承船厢的对接、竖井水位调整等。

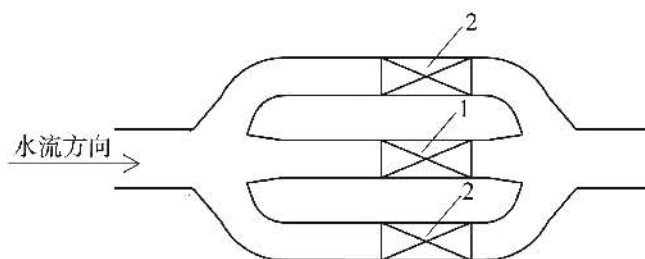


图 7.4.4 “一主两辅”输水阀门系统布置示意图

1-主阀门；2-辅阀门

7.4.5 设置并列多个输水阀门时,阀门实际过流面积不应大于输水主管道面积。

7.4.6 输水阀门段可设置稳压减振箱、通气设施等防空化措施,必要时开展阀门防空化专题论证。

## 7.5 浮筒式平衡重系统

7.5.1 浮筒式平衡重系统应包括浮筒式平衡重、钢丝绳、动滑轮组、调平油缸、均衡油缸、浮筒式平衡重锁定装置等。

7.5.2 浮筒式平衡重应设置导向轮,浮筒顶部及竖井内壁上应设置防浮筒旋转装置,浮筒顶面及内部应设置检修通道。

7.5.3 浮筒式平衡重总质量可按式(7.5.3-1)和式(7.5.3-2)计算。

$$M_{pz} \geq \frac{2M_{cz}[2\gamma|a| + g(1+k)]}{g(1-k) - \frac{\gamma|a|}{2}} \quad (7.5.3-1)$$

$$M_{cz} = M_c + M_s + M_w + \Delta m \frac{h_{\max} - h_{cx}}{h_{\max}} \quad (7.5.3-2)$$

式中  $M_{pz}$ ——浮筒式平衡重总质量(kg);

$M_{cz}$ ——承船厢侧最大质量(kg);

$\gamma$ ——安全系数,宜大于20;

$a$ ——平衡重加速度( $m^2/s$ );

$g$ ——重力加速度( $m^2/s$ );

$k$ ——系统摩擦系数;

$M_c$ ——承船厢净重(kg);

$M_s$ ——承船厢设计水深水体质量(kg);

$M_w$ ——承船厢允许误载水体质量(kg);

$\Delta m$ ——钢丝绳最大不平衡质量(kg);

$h_{\max}$ ——升船机最大行程(m);

$h_{cx}$ ——承船厢行程(m)。

7.5.4 浮筒式平衡重总体积应满足式(7.5.4-1)~式(7.5.4-3)的要求。

$$V_{pz} \geq \max(V_{pz\max1}, V_{pz\max2}) \quad (7.5.4-1)$$

$$V_{pz\max1} = \frac{(M_{pz} + \Delta m) \left[ (1+k)g - \frac{\gamma|a|}{2} \right] - 2M_c[(1-k)g + \gamma|a|]}{\rho g} \quad (7.5.4-2)$$

$$V_{pz\max2} = \frac{M_{pz} \left[ (1+k)g - \frac{\gamma|a|}{2} \right] + 2 \left( \frac{M_c}{\rho_{tc}} + M_s \right)}{\rho g} + \frac{2(M_c + M_s + \Delta m - M_w)\gamma|a|}{\rho g} \quad (7.5.4-3)$$

式中  $V_{pz}$ ——平衡重总体积( $m^3$ );

$V_{pz\max1}$ ——按式(7.5.4-2)计算的平衡重总体积( $m^3$ );

$V_{pzmax2}$ ——按式(7.5.4-3)计算的平衡重总体积( $m^3$ );

$M_{pz}$ ——平衡重总质量(kg);

$\Delta m$ ——钢丝绳最大不平衡质量(kg);

$k$ ——系统摩擦系数;

$\rho$ ——流体密度( $kg/m^3$ );

$g$ ——重力加速度( $m^2/s$ );

$\gamma$ ——安全系数,宜大于20;

$a$ ——平衡重加速度( $m^2/s$ );

$M_c$ ——承船厢净重(kg);

$\rho_{Fe}$ ——铁的密度( $kg/m^3$ );

$M_s$ ——承船厢设计水深水体质量(kg);

$M_w$ ——承船厢允许误载水体质量(kg);

**7.5.5** 浮筒式平衡重宜采用柱状体,底部宜采用锥形结构形式。

**7.5.6** 浮筒式平衡重体型设计宜先确定浮筒式平衡重数量及横截面积,再确定平衡重高度。浮筒式平衡重横截面积应满足式(7.5.6-1)的要求,高度可按式(7.5.6-2)计算。

$$\Sigma S_p \geq \frac{2V_c}{h_{\min} - 0.5h_{\max}} \quad (7.5.6-1)$$

$$h_p = \frac{V_{pz}}{S_{pz}} \quad (7.5.6-2)$$

式中  $S_p$ ——单个浮筒式平衡重截面积( $m^2$ );

$V_c$ ——承船厢最大排开水体体积( $m^3$ );

$h_{\min}$ ——升船机最小行程(m);

$h_{\max}$ ——升船机最大行程(m);

$h_p$ ——平衡重高度(m);

$V_{pz}$ ——平衡重总体积( $m^3$ )。

**7.5.7** 浮筒式平衡重应设置安装检修平台,平台上宜设置平衡重组锁定装置。

**7.5.8** 承船厢悬吊钢丝绳数量与规格的选取,应综合考虑承船厢总重、平衡重总重、承船厢结构等因素确定。

**7.5.9** 钢丝绳拉力应符合下列规定。

**7.5.9.1** 正常运行工况下单根钢丝绳的最大拉力应按式(7.5.9-1)计算。

$$T_1 = \frac{F_c + F_{s1} + F_{s2} + F_x + F_{s3} + F_B}{n_1} \quad (7.5.9-1)$$

式中  $T_1$ ——正常运行工况下单根钢丝绳的最大拉力(kN);

$F_c$ ——承船厢厢体重力(kN);

$F_{s1}$ ——设计水深下承船厢内水体重力(kN);

$F_{s2}$ ——承船厢内超载水体重力(kN);

$F_x$ ——摩阻力(kN);

$F_{s3}$ ——卷筒两侧钢丝绳最大不平衡重力(kN);

$F_{\text{井}}$ ——竖井水位差产生的钢丝绳不平衡力(kN);

$n_1$ ——钢丝绳数量。

**7.5.9.2** 非正常工况和特殊工况下单根提升绳的最大拉力应按式(7.5.9-2)计算。

$$T_2 = T_1 + \frac{1.1(W_1 - W_0)}{n_1} \quad (7.5.9-2)$$

式中  $T_2$ ——非正常工况和特殊工况下单根提升绳的最大拉力(kN);

$T_1$ ——正常运行工况下单根钢丝绳的最大拉力(kN);

$W_1$ ——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);

$W_0$ ——对应于设计水深的承船厢水体重力(kN);

$n_1$ ——钢丝绳数量。

**7.5.10** 钢丝绳安全系数按整绳最小破断拉力和额定载荷计算不应小于 7.5, 并应符合下列规定。

**7.5.10.1** 钢丝绳的结构宜选用不旋转或微旋转、具有独立金属绳芯的结构, 相邻的钢丝绳应为左、右旋向间隔配置。

**7.5.10.2** 钢丝绳的钢丝应采用镀锌材料, 钢丝绳的公称抗拉强度不应大于 1960MPa, 钢丝绳的弹性极限最低不应小于公称抗拉强度的 55%。

**7.5.10.3** 钢丝绳的整绳弹性模量在 20% ~ 50% 额定载荷下应为  $(1 \pm 5\%) \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

**7.5.10.4** 钢丝绳应进行预拉伸, 预拉伸力不宜小于钢丝绳最小破断拉力的 40%, 持续时间不宜少于 60min。

**7.5.10.5** 钢丝绳预拉伸后应在额定荷载状态下进行定尺。

**7.5.10.6** 钢丝绳在卷筒上应单层缠绕, 单出绳钢丝绳安全圈不应少于 2.5 圈, 双出绳钢丝绳安全圈不应少于 1.5 圈。

**7.5.11** 每根钢丝绳宜在承船厢侧和平衡重侧各设一套长度调节装置, 调节装置调节行程不宜小于钢丝绳长度允许偏差的 5 倍, 且不应小于 500mm。采用螺旋副机械式调节方案时, 螺纹应具有可靠的自锁性能。调节装置应按正常工况进行强度计算, 安全系数不应小于 4.0; 应按断绳事故工况进行强度校核, 安全系数不宜小于 1.5。

**7.5.12** 钢丝绳组件的可旋转部位应设置防反旋装置。

**7.5.13** 承船厢侧和浮筒侧设置的钢丝绳张力均衡装置应具有在静止状态下调平承船厢和调整浮筒式平衡重的功能, 宜采用液压油缸形式, 并应符合下列规定。

**7.5.13.1** 液压油缸的有效行程应根据提升钢丝绳最大悬吊长度、钢丝绳弹性模量、液压系统控制方式等因素确定, 且不宜小于 500mm。

**7.5.13.2** 液压油缸应设置机械锁紧装置, 机械锁紧装置及油缸按正常工况进行强度计算, 安全系数不应小于 4.0。油缸上应设行程检测装置和压力检测装置, 油缸与承船厢之间、油缸与平衡重之间应设钢丝绳张力检测装置。

**7.5.13.3** 液压油缸两端宜采用球面轴承支承。

**7.5.13.4** 每个吊点区的所有钢丝绳张力均衡装置宜设置1套液压控制阀组。每个吊点区的所有液压油缸同名腔应通过管路连通,且各液压油缸承载腔宜在进口端设置失压保护阀。

**7.5.14** 动滑轮组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,并应符合下列规定。

**7.5.14.1** 直径与平衡重悬挂钢丝绳直径的比值不应小于60。

**7.5.14.2** 滑轮结构应进行静强度和疲劳强度计算,滑轮轴的疲劳安全系数不应小于2.0。

**7.5.14.3** 动滑轮组根据布置条件可采用双槽或单槽结构,滑轮轴宜采用滚动轴承支承。采用双槽滑轮方案时,宜为一槽与轮毂固定、另一槽与轮毂之间可转动的结构。

**7.5.14.4** 动滑轮组宜采用钢板焊接结构。绳槽可采用浅槽形式和轧制成型工艺,槽深宜为钢丝绳直径的0.75倍~1.0倍。采用钢板焊接结构时应计算侧向稳定性。

## 7.6 闸首金属结构及设备

**7.6.1** 闸首金属结构及设备应包括上闸首工作闸门、检修闸门及启闭机,下闸首检修闸门及启闭机等。

**7.6.2** 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。

**7.6.3** 下沉式平面闸门在工作位置宜设置机械锁定装置;由固定卷扬式启闭机启闭的提升式平面闸门,应在闸门的全开位置设置机械锁定装置。

**7.6.4** 闸首工作闸门(图7.6.4)孔口尺寸应符合下列规定。

**7.6.4.1** 闸门通航净宽度不应小于承船厢有效水域宽度。

**7.6.4.2** 提升式平面闸门的总高度应取航槽最大通航水深与门顶富裕高度之和,门顶富裕高度不应小于0.5m。

**7.6.4.3** 下沉式平面闸门的工作小门孔口高度应取承船厢设计水深、可适应的水位变幅、槛上富裕水深与门顶富裕高度之和。

**7.6.4.4** 提升式平面闸门与叠梁门组合形式的工作小门孔口高度应取承船厢设计水深、单节叠梁门高度、槛上富裕水深与门顶富裕高度之和。

**7.6.4.5** 提升式平面闸门与叠梁门组合形式的单节叠梁门高度可按式(7.6.4)计算确定。

$$h_{dl} = \frac{H_m - H_{nd}}{n_{dl} + 1} \quad (7.6.4)$$

式中  $h_{dl}$ ——单节叠梁门高度(m);

$H_m$ ——上游最高通航水位(m);

$H_{nd}$ ——上游最低通航水位(m);

$n_{dl}$ ——工作叠梁门数量。

**7.6.5** 对接密封机构根据运行条件可设置在闸首或承船厢。设置在承船厢时,应在闸首侧设止水座板。

### 7.6.6 闸首工作闸门止水设计应符合下列规定。

7.6.6.1 采用提升式平面闸门时,止水宜布置在背水侧。

7.6.6.2 采用下沉式平面闸门或提升式平面闸门与叠梁门组合形式时,止水宜布置在迎水侧。

7.6.6.3 下沉式工作闸门宜设置两道止水,止水结构形式应满足闸门结构变形及闸门带压调整的要求。

7.6.7 带工作小门的平面工作闸门,其 U 形门体结构的主梁刚度应满足止水及与承船厢对接的要求,见图 7.6.7。

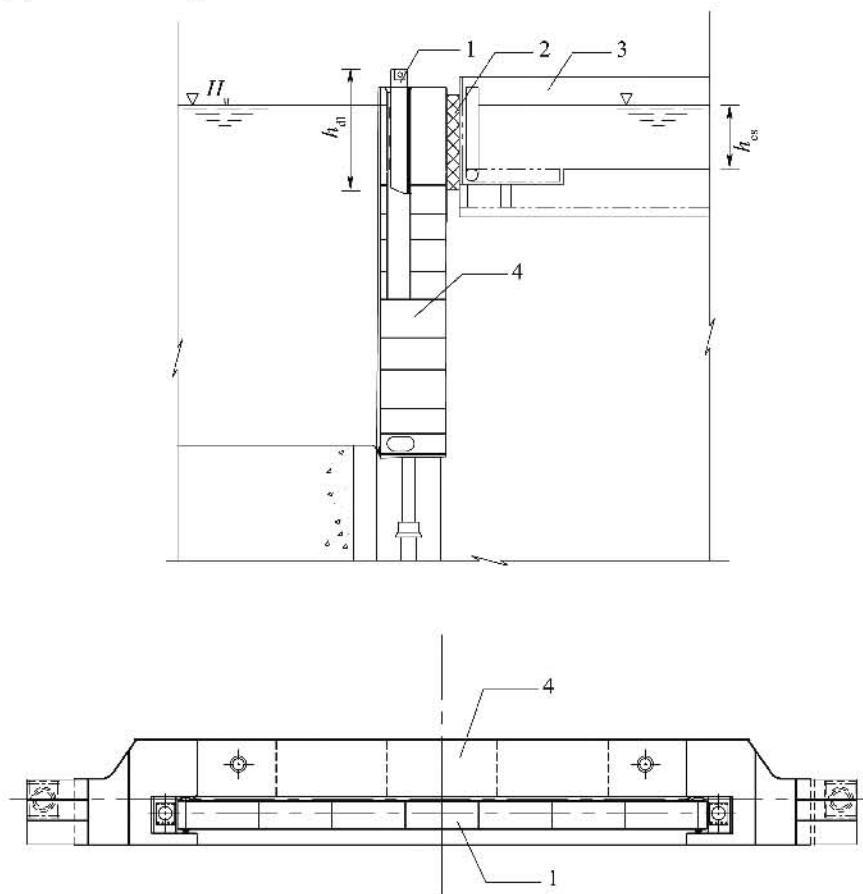


图 7.6.7 带工作小门的工作闸门示意图

1-工作小门;2-对接密封框;3-承船厢;4-工作闸门

$H_u$ -上游通航水位(m);  $h_{cs}$ -承船厢内水深(m)

7.6.8 设置在工作闸门上的工作小门宜采用双缸液压启闭机启闭,启闭机宜采用变速运行,双缸应同步。工作小门的全关位置宜设置锁定装置。

7.6.9 上闸首检修闸门与工作闸门之间设置的泄水系统,当泄水系统出口流速大于钢管或水工建筑物的允许流速时,应设置消能设施。

7.6.10 上下闸首闸门设计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,启闭机的设计应符合现行行业标准《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)的有关规定。



## 8 电气系统

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 电气设计应包括供配电、水力驱动控制系统、计算机监控系统、信息监测、信号标志与广播、工业电视系统、防雷与接地、通信、网络安全防护等。Ⅲ级及以上或有通航客船的升船机可设置在线状态检测诊断系统。

**8.1.2** 升船机电气设计应满足水工建筑物、金属结构和机械设备设计要求。

**8.1.3** 升船机中启闭机的电气传动控制系统应符合现行行业标准《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)的有关规定。

**8.1.4** 升船机供配电、通航信号、图像、照明、防雷和接地、广播及通信系统设计应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。

### 8.2 水力驱动系统控制

**8.2.1** 水力式升船机应通过控制充、泄水阀门的开度调整输水流量,实现承船厢的升降与对接。

**8.2.2** 水力式升船机承船厢上行流程及控制步骤应满足下列要求:

(1)开启泄水辅阀,控制输水流量不大于承船厢出水允许最大流量,承船厢出水过程最大流量根据模型试验确定;

(2)承船厢位置满足式(8.2.2-1)时,开启泄水辅阀、泄水主阀至全开,承船厢加速上行;

(3)承船厢位置满足式(8.2.2-2)时,关闭泄水主阀至全关,承船厢减速上行,准备对接;

(4)承船厢位置满足式(8.2.2-3)时,泄水辅阀调整至对接小开度,承船厢与上游对接;

(5)承船厢位置满足式(8.2.2-4)时,关闭泄水辅阀至全关,承船厢对接结束。

$$H_{cx} - H_d > h_{cs} + h_{cw} \quad (8.2.2-1)$$

$$H_n - H_{cx} \leq h_{xsg} \quad (8.2.2-2)$$

$$H_n - H_{cx} \leq h_{fxg} \quad (8.2.2-3)$$

$$H_n - H_{cx} \leq \xi_x \quad (8.2.2-4)$$

式中  $H_{cx}$ ——承船厢内水位(m);

$H_d$ ——下游水位(m);

$h_{cs}$ ——承船厢设计水深(m);



$h_{cw}$ ——承船厢最大误载水深(m)；

$H_u$ ——上游水位(m)；

$h_{xsg}$ ——泄水主阀完全关闭的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差(m)；

$h_{txg}$ ——泄水辅阀关闭至对接小开度的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差(m)；

$\xi_s$ ——泄水辅阀完全关闭的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差(m)。

### 8.2.3 水力式升船机承船厢下行流程及控制步骤应符合下列规定：

(1)相继开启充水辅阀、充水主阀,承船厢加速下行；

(2)承船厢位置满足式(8.2.3-1)时,关闭充水主阀至完全关闭,承船厢减速准备入水；

(3)承船厢位置满足式(8.2.3-2)时,减小充水辅阀开度,控制输水流量不大于船厢入水允许最大流量,承船厢入水过程最大流量根据模型试验确定；

(4)承船厢位置满足式(8.2.3-3)时,充水辅阀调整至对接小开度,承船厢与下游对接；

(5)承船厢位置满足式(8.2.3-4)时,关闭充水辅阀至全关,承船厢对接结束。

$$H_{cx} - H_d - (h_{cs} + h_{cw}) \leq h_{xsg} \quad (8.2.3-1)$$

$$H_{cx} - H_d < h_{cs} + h_{cw} \quad (8.2.3-2)$$

$$H_{cx} - H_d \leq h_{txg} \quad (8.2.3-3)$$

$$H_{cx} - H_d \leq \xi_c \quad (8.2.3-4)$$

式中  $H_{cx}$ ——承船厢内水位(m)；

$H_d$ ——下游水位(m)；

$h_{cs}$ ——承船厢设计水深(m)；

$h_{cw}$ ——承船厢最大误载水深(m)；

$h_{xsg}$ ——充水主阀完全关闭的触发条件,承船厢底铺板高程和下游水位高程差(m)；

$h_{txg}$ ——充水辅阀关闭至对接小开度的触发条件,承船厢内水位和下游水位高程差(m)；

$\xi_c$ ——充水辅阀完全关闭的触发条件,承船厢内水位和下游水位的高程差(m)。

### 8.2.4 充、泄水辅阀完全关闭的触发条件可按下列公式确定：

$$\xi_s = 2 \times \frac{(H_{jt} - H_d) - \left( \sqrt{H_{jt} - H_d} - \frac{TS_k \mu_s \sqrt{2g}}{2k} \right)^2}{E} \quad (8.2.4-1)$$

$$\xi_c = 2 \times \frac{(H_u - H_{jt}) - \left( \sqrt{H_u - H_{jt}} - \frac{TS_k \mu_c \sqrt{2g}}{2k} \right)^2}{E} \quad (8.2.4-2)$$

$$k = \frac{\sum S_j + \frac{4 \times (\sum S_j - \sum S_p) \times \psi \times S_c}{\sum S_p}}{E} \quad (8.2.4-3)$$

$$E = 1 + \frac{4\psi \times S_c}{\sum S_p} \quad (8.2.4-4)$$

$$H_{jt} = \frac{M_{pz} - 2M_{cz} + \Delta m}{\sum S_p} + \frac{2S_c}{\sum S_p} \Delta h_w + H_{p0} + \frac{H_{cs0} - H_{cx}}{2} - 3\Delta m \frac{H_{cs0} - H_{cx}}{h_{max} \sum S_p} + \psi \frac{2V_c}{\sum S_p} \quad (8.2.4-5)$$

- 式中  $\xi_x$ ——泄水辅阀完全关闭的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差(m);
- $H_{jt}$ ——竖井水位(m);
- $H_d$ ——下游水位(m);
- $T$ ——阀门从对接小开度至完全关闭的时间(s);
- $S_k$ ——输水主管道面积(m<sup>2</sup>);
- $\mu_x$ ——泄水时输水系统流量系数;
- $g$ ——重力加速度(m/s<sup>2</sup>);
- $\xi_c$ ——充水辅阀完全关闭的触发条件,承船厢内水位和下游水位的高程差(m);
- $H_u$ ——上游水位(m);
- $\mu_c$ ——充水时输水系统流量系数;
- $S_j$ ——单个竖井截面积(m<sup>2</sup>);
- $S_p$ ——单个浮筒式平衡重截面积(m<sup>2</sup>);
- $\psi$ ——系数,承船厢在水中取1,在空气中取0;
- $S_c$ ——承船厢水域面积(m<sup>2</sup>);
- $M_{pz}$ ——浮筒式平衡重侧总质量(kg);
- $M_{cz}$ ——承船厢侧总质量(kg);
- $\Delta m$ ——钢丝绳最大不平衡质量(kg);
- $\Delta h_w$ ——承船厢误载水深(m),超载为负,欠载为正;
- $H_{p0}$ ——承船厢基准高程零点对应的浮筒式平衡重底部高程(m);
- $H_{cs0}$ ——承船厢基准高程零点(m),此时承船厢在设计水深下的水位与上游最高通航水位齐平;
- $H_{cx}$ ——承船厢内水位(m);
- $h_{max}$ ——升船机最大行程(m);
- $V_c$ ——承船厢最大排开水体体积(m<sup>3</sup>)。

### 8.3 计算机监控系统

**8.3.1** 计算机监控系统主要监控内容应包括升船机闸首设备、水力驱动系统设备、承船厢及其机械设备、进出厢信号指示灯等。

**8.3.2** 升船机应设置独立的计算机监控系统,计算机监控系统应采用分层分布式结构,应由集中监控层和现地控制层组成。

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

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

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

**8.3.6** 升船机通航运行流程应包括:

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

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

**8.3.8** 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,“检修调试”优先级应高于“现地控制”、“现地控制”优先级应高于“集中控制”。

**8.3.9** 计算机监控系统的紧急处置功能应包括“紧急停机”和“紧急关门”,“紧急关门”指令应具有最高优先权。升船机紧急处置命令的触发方式应采用“连环群发”方式。

**8.3.10** 制动器松闸条件应为承船厢侧和浮筒侧的拉力差变化值小于设计允许值。

**8.3.11** 计算机监控系统应具备下列安全闭锁功能:

- (1) 进厢信号灯与厢头闸门、防撞机构闭锁;
- (2) 对接锁定、顶紧装置、间隙密封与水力驱动系统闭锁;
- (3) 输水系统充泄水阀门闭锁;
- (4) 对接锁定、顶紧装置与间隙密封闭锁;
- (5) 间隙密封与间隙充泄水系统闭锁;
- (6) 间隙密封与厢头闸门和闸首工作门闭锁;
- (7) 制动器与水力驱动系统闭锁。

**8.3.12** 计算机监控系统闭锁信号宜采用硬线传递。

**8.3.13** 计算机监控系统应具备下列保护功能:

- (1) 承船厢水平超差故障保护;
- (2) 承船厢入水超速、入水过深保护;
- (3) PLC 死机或网络通信故障保护;
- (4) 失电保护;
- (5) 制动系统故障保护;
- (6) 机构过载保护;
- (7) 机构动作超时保护;
- (8) 机构动作极限位置保护。

**8.3.14** 升船机网络安全防护工作应按“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则进行安全防护设计,并应符合现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护定级

指南》(GB/T 22240)和《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)的有关规定。

**8.3.15** 升船机计算机监控系统的交流控制电源应采用在线式不间断电源。

**8.3.16** 信号检测装置的输出信号制式和接口方式应满足监控系统信号采集要求。

**8.3.17** 重要检测项宜采用不同工作原理的检测装置进行检测。

**8.3.18** 信号检测装置的防护等级应满足现场环境要求。

**8.3.19** 主要监测项目应包括下列内容：

- (1) 上下游水位；
- (2) 充泄水阀门开度；
- (3) 输水流量；
- (4) 竖井水位；
- (5) 浮筒式平衡重行程、位置；
- (6) 承船厢行程、位置；
- (7) 承船厢水平度；
- (8) 承船厢运行速度；
- (9) 同步轴扭矩；
- (10) 承船厢水深及间隙水深；
- (11) 停位点；
- (12) 机构位置；
- (13) 机械载荷；
- (14) 船舶进出承船厢的位置、航速和吃水。

## 9 消 防

- 9.1.1 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,兼顾扑救过机船舶火灾的功能。
- 9.1.2 消防设计应符合现行国家标准《升船机设计规范》(GB 51177)的有关规定。
- 9.1.3 安全疏散出口宜对称布置在塔柱结构中部或端部。
- 9.1.4 有客船通过需求的升船机安全疏散通道应满足客船额定载人数量疏散要求。

## 附录 A 过机时间与通过能力计算

**A.0.1** 单向过机时,一次过机时间可按式(A.0.1)计算。

$$T_1 = 2t_1 + t_2 + 2t_3 + 2t_4 + 2t_5 + 2t_6 + 2t_7 + t_8 + 2t_9 \quad (\text{A.0.1})$$

式中  $T_1$ ——单向一次过机时间(min);

$t_1$ ——上闸首通航工作闸门开门或关门时间(min);

$t_2$ ——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);

$t_4$ ——闸门和承船厢闸门间隙充水或泄水时间(min),可取 0.5min ~ 1.5min;

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

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

$t_7$ ——对接锁定装置推出或收回时间(min),可取 0.33min ~ 1.0min;

$t_8$ ——单向第一个船舶或船队驶出升船机时间(min);

$t_9$ ——船舶或船队驶入或驶出升船机的间隔时间(min)。

**A.0.2** 双向过机时,一次过机时间可按式(A.0.2)计算。

$$T_2 = 2t_1 + t'_2 + 2t_3 + 2t_4 + 2t_5 + 2t_6 + 2t_7 + t_8 + 4t_9 \quad (\text{A.0.2})$$

式中  $T_2$ ——上下行各一次的双向过机时间(min);

$t_1$ ——上闸首通航工作闸门开门或关门时间(min);

$t'_2$ ——双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);

$t_4$ ——闸门和承船厢闸门间隙充水或泄水时间(min),可取 0.5min ~ 1.5min;

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

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

$t_7$ ——对接锁定装置推出或收回时间(min),可取 0.33min ~ 1.0min;

$t_8$ ——单向第一个船舶或船队驶出升船机时间(min);

$t_9$ ——船舶或船队驶入或驶出升船机的间隔时间(min)。

**A.0.3** 平均一次过机时间应根据单向过机和双向过机的比率确定。当单向与双向过机次数相等时,可按式(A.0.3)确定。

$$T = \frac{1}{2} \left( T_1 + \frac{T_2}{2} \right) \quad (\text{A.0.3})$$

式中  $T$ ——平均一次过机时间(min);

$T_1$ ——单向一次过机时间 (min) ;

$T_2$ ——上下行各一次的双向过机时间 (min) 。

**A.0.4** 升船机的日平均过机次数应按式 (A.0.4) 计算。

$$n = 60 \frac{\tau}{T} \quad (\text{A.0.4})$$

式中  $n$ ——日平均过机次数;

$\tau$ ——日工作小时 (h), 可取 22;

$T$ ——平均一次过机时间 (min) 。

**A.0.5** 单向年过机船舶总载重吨位可按式 (A.0.5) 确定。

$$P_1 = \frac{1}{2} n N G \quad (\text{A.0.5})$$

式中  $P_1$ ——单向年过机船舶总载重吨位 (t) ;

$n$ ——日平均过机次数;

$N$ ——年通航天数, 可取 330;

$G$ ——一次过机船舶载重吨位 (t) 。

**A.0.6** 单向年过机客、货运量可按式 (A.0.6) 确定。

$$P_2 = \frac{1}{2} (n - n_0) \frac{N G \alpha}{\beta} \quad (\text{A.0.6})$$

式中  $P_2$ ——单向年过机客、货运量 (t) ;

$n$ ——日平均过机次数;

$n_0$ ——日非客船、货船过机次数;

$N$ ——年通航天数, 可取 330;

$G$ ——一次过机船舶载重吨位 (t) ;

$\alpha$ ——船舶装载系数, 可取 0.8 ~ 1.0;

$\beta$ ——运量不均衡系数, 为年最大月货运量与年平均月货运量之比, 可取 1.1 ~ 1.3。

## 附录 B 承船厢纵向稳定性计算

**B.0.1** 水力式升船机承船厢在设计水深条件下的纵向稳定性应满足式(B.0.1-1)的要求,承船厢最大倾覆力矩按式(B.0.1-2)计算。

$$N > SN_{\text{倾}} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$N_{\text{倾}} = \frac{\gamma R}{4L} \left\{ \sum_{i=1}^n [(H_{i-1} + H_i) B_i BL - 8K^2 \Delta_1 L_i S_j] + 4K \Delta_2 S_j L \right\} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中  $N$ ——机械同步系统的抗倾力矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$S$ ——纵向稳定安全系数,取值不应小于5;

$N_{\text{倾}}$ ——承船厢发生允许最大纵倾和竖井水位出现最大水位差时产生的倾覆力矩( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$\gamma$ ——水的重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$R$ ——卷筒半径( $\text{m}$ );

$L$ ——承船厢水域长度( $\text{m}$ );

$H_i$ ——第*i*个卷筒对应的承船厢水体左侧高度( $\text{m}$ ), $H_0$ 取0;

$B_i$ ——第*i*个卷筒对应的承船厢水体宽度( $\text{m}$ );

$n$ ——单侧卷筒数的一半;

$B$ ——承船厢水域宽度( $\text{m}$ );

$K$ ——浮筒动滑轮系数,取0.5;

$\Delta_1$ ——承船厢允许的最大纵倾值,取两端垂直位移差的一半( $\text{m}$ );

$L_i$ ——第*i*个卷筒中心距承船厢纵向中心线的距离( $\text{m}$ );

$S_j$ ——单个浮筒式平衡重截面积( $\text{m}^2$ );

$\Delta_2$ ——竖井内最大水位差( $\text{m}$ )。



## 附录 C 水力式升船机塔柱风荷载体型系数

**C.0.1** 矩形平面的垂直升船机承重结构风荷载体型系数可按图 C.0.1 取值。

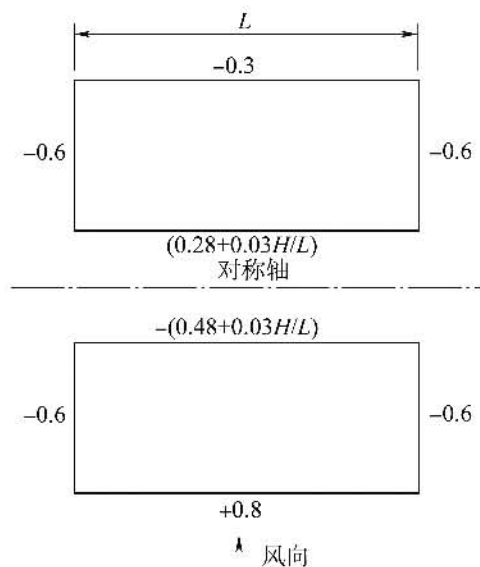


图 C.0.1 矩形平面风荷载体型系数图

$H$ -升船机承重结构高度(m);  $L$ -升船机承重结构迎风面宽度(m)

## 附录 D 塔柱结构设计工况与荷载组合

**D.0.1** 塔柱结构承载能力极限状态荷载组合可按表 D.0.1-1 采用,正常使用极限状态荷载组合可按表 D.0.1-2 采用。

**表 D.0.1-1 承载能力极限状态荷载组合**

序号	荷载		基本组合						偶然组合	
			运行期				检修期			
			工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 1	工况 2
1	结构自重与设备自重		√	√	√	√	√	√	√	√
2	扬压力		√	√	√	√	√	√	√	√
3	土压力		√	√	√	√	√	√	√	√
4	风荷载、雪荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
5	承船厢及设备、浮筒式平衡重及设备作用在结构上的荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
6	楼面、楼梯及平台活荷载		√	√	√	√	√	√	√	√
7	水压力	运行期最高挡水位	√	√	×	×	×	×	√	×
		运行期最低挡水位	×	×	√	√	×	×	×	√
		检修期最高挡水位	×	×	×	×	√	√	×	×
8	输水系统内水压力	竖井最高水位	√	√	×	×	×	×	√	×
		竖井最低水位	×	×	√	√	×	×	×	√
9	温度作用	气温年周期变化	√	√	√	√	√	√	×	×
		日照	√	×	√	×	√	×	×	×
		气温骤降	×	√	×	√	×	√	×	×
10	地震作用		×	×	×	×	×	×	√	√

注:①“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合;

②基本组合工况 1:运行期最高挡水位+竖井最高水位+日照;

③基本组合工况 2:运行期最高挡水位+竖井最高水位+气温骤降;

④基本组合工况 3:运行期最低挡水位+竖井最低水位+日照;

⑤基本组合工况 4:运行期最低挡水位+竖井最低水位+气温骤降;

⑥基本组合工况 5:检修期最高挡水位+竖井无水+日照;

⑦基本组合工况 6:检修期最高挡水位+竖井无水+气温骤降;

⑧偶然组合工况 1:运行期最高挡水位+竖井最高水位+地震;

⑨偶然组合工况 2:运行期最低挡水位+竖井最低水位+地震。

表 D.0.1-2 正常使用极限状态荷载组合

序号	荷载		基本组合					
			运行期				检修期	
			工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6
1	结构自重与设备自重		√	√	√	√	√	√
2	扬压力		√	√	√	√	√	√
3	土压力		√	√	√	√	√	√
4	风荷载、雪荷载		√	√	√	√	√	√
5	承船厢及设备、浮筒式平衡重及设备作用在结构上的荷载		√	√	√	√	√	√
6	楼面、楼梯及平台活荷载		√	√	√	√	√	√
7	水压力	运行期最高挡水位	√	√	×	×	×	×
		运行期最低挡水位	×	×	√	√	×	×
		检修期最高挡水位	×	×	×	×	√	√
8	输水系统内水压力	竖井最高水位	√	√	×	×	×	×
		竖井最低水位	×	×	√	√	×	×
9	温度作用	气温年周期变化	√	√	√	√	√	√
		日照	√	×	√	×	√	×
		气温骤降	×	√	×	√	×	√

注：①“√”表示参与荷载组合，“×”表示不参与荷载组合；

②工况 1：运行期最高挡水位 + 竖井最高水位 + 日照；

③工况 2：运行期最高挡水位 + 竖井最高水位 + 气温骤降；

④工况 3：运行期最低挡水位 + 竖井最低水位 + 日照；

⑤工况 4：运行期最低挡水位 + 竖井最低水位 + 气温骤降；

⑥工况 5：检修期最高挡水位 + 竖井无水 + 日照；

⑦工况 6：检修期最高挡水位 + 竖井无水 + 气温骤降。

附录 E 机械同步系统设计工况与荷载组合

E.0.1 机械同步系统应根据正常工况、非正常工况和特殊工况的相应荷载组合进行设计,设计工况与荷载组合可按表 E.0.1 采用。

表 E.0.1 机械同步系统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	充水阀门不能关闭	泄水阀门不能关闭	制动器意外上闸	浮筒卡阻	升降承船厢漏水	承船厢卡阻	对接沉船	承船厢水漏空	同步轴断裂
1	设计水深下钢丝绳拉力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	提升设备自重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	误载水重	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	钢丝绳僵性阻力	√	√	×	√	√	√	√	√	√	×	√	√
5	承船厢和平衡重惯性力	√	√	×	√	√	√	√	√	√	×	√	√
6	滑轮和卷筒组摩阻力	√	√	×	√	√	√	√	√	√	×	√	√
7	导向系统运行摩阻力	√	√	×	√	√	√	√	√	√	×	√	√
8	钢丝绳不平衡重量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9	承船厢水体浮力	×	√	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×
10	设备惯性力矩	√	√	×	√	√	√	√	√	√	×	√	√
11	厢内沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×
12	制动器制动力	×	×	√	√	√	√	√	×	√	√	×	√
13	竖井水位偏差	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
14	承船厢水平偏差	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

注:①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;

②“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合。

附录 F 承船厢设计工况与荷载组合

F.0.1 承船厢的设计应按正常工况、非正常工况的相应荷载组合进行计算,必要时还应按特殊工况下的荷载组合计算。承船厢设计工况与荷载组合可按表 F.0.1 采用。

表 F.0.1 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	
		空中 升降	对接	承船厢 入水	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	钢丝绳拉力	√	√	√	√	×	√	√	√	√	√	√
4	系缆力	×	√	√	√	×	×	√	×	×	×	√
5	风荷载	√	√	×	×	√	√	√	√	√	√	√
6	导向机构支承反力	√	×	√	√	×	×	×	×	×	√	×
7	导向机构摩阻力	√	×	√	√	×	×	×	×	×	√	×
8	顶紧机构支承反力	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
9	锁定机构支承反力	×	√	×	×	×	√	√	√	√	×	√
10	密封机构作用荷载	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
11	对接外水压力	×	√	×	×	×	√	√	√	×	×	√
12	承船厢入水波浪压力	×	×	√	√	×	×	×	×	×	×	×
13	承船厢入水浮力	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×
14	承船厢出水下吸力	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×	×
15	沉船荷载	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×
16	船舶撞击力	×	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×
17	地震作用	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√
18	检修支承反力	×	×	×	×	√	×	×	×	×	×	×

注:①检修工况按承船厢卸掉全部钢丝绳荷载,空厢支承在上锁定平台考虑;

②“√”表示参与荷载组合,“×”表示不参与荷载组合。

## 附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

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

## 引用标准名录

- 1.《起重机设计规范》(GB/T 3811)
- 2.《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)
- 3.《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》(GB/T 22240)
- 4.《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列》(GB 38030)
- 5.《建筑结构荷载规范》(GB 50009)
- 6.《钢结构设计标准》(GB 50017)
- 7.《高耸结构设计标准》(GB 50135)
- 8.《内河通航标准》(GB 50139)
- 9.《升船机设计规范》(GB 51177)
- 10.《水工建筑物抗震设计标准》(GB 51247)
- 11.《水工建筑物荷载标准》(GB/T 51394)
- 12.《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)
- 13.《码头附属设施技术规范》(JTS 169)
- 14.《船闸总体设计规范》(JTS 305)
- 15.《船闸输水系统设计规范》(JTJ 306)
- 16.《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307)
- 17.《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)
- 18.《船闸启闭机设计规范》(JTJ 309)
- 19.《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74)
- 20.《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)
- 21.《水利水电工程压力钢管设计规范》(SL 281)
- 22.《水利水电工程进水口设计规范》(SL 285)
- 23.《混凝土重力坝设计规范》(SL 319)
- 24.《混凝土坝安全监测技术规范》(SL 601)
- 25.《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725)
- 26.《水电工程启闭机设计规范》(NB/T 10341)
- 27.《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)
- 28.《冶金重载膜片联轴器》(JB/T 14246)

## 附加说明

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

主 编 单 位:水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

参 编 单 位:中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

华能澜沧江水电股份有限公司

中信重工机械股份有限公司

西安航天自动化股份有限公司

中交水运规划设计院有限公司

主要起草人:胡亚安(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)

马仁超(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

李中华(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)

谢思思(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王 洋(西安航天自动化股份有限公司)

王 新(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)

王处军(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

代 敏(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

刘 锦(西安航天自动化股份有限公司)

关炎培(中交水运规划设计院有限公司)

严秀俊(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)

余俊阳(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

张步斌(中信重工机械股份有限公司)

胡晓林(华能澜沧江水电股份有限公司)

姜兴良(中交水运规划设计院有限公司)

郭 超(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)

唐清弟(华能澜沧江水电股份有限公司)

黄 群(华能澜沧江水电股份有限公司)

曹以南(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

薛 淑(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院)



主要审查人:徐 光

(以下按姓氏笔画为序)

王晓东、刘科青、麦建清、李天碧、吴小宁、沈寿林、招 滨、  
郑卫力、扈晓雯、解曼莹

总校人员:谢 燕、李荣庆、董 方、檀会春、吴小宁、沈寿林、刘伟宝、  
李中华、马仁超、谢思思、唐清弟、王处军、张步斌、刘 锦、  
关炎培、薛 淑、郭 超、金 英

管理组人员:刘伟宝(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究)  
李中华(水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究)

中华人民共和国行业标准

# 水力式升船机设计规范

JTS/T 337—2025

条文说明



## 目 次

<b>3 基本规定</b>	(51)
3.1 适用条件	(51)
3.2 级别划分及设计标准	(51)
3.3 承船厢有效尺度	(51)
<b>5 水力驱动系统水力设计</b>	(53)
5.1 一般规定	(53)
5.2 输水系统	(53)
5.3 竖井	(53)
<b>6 水工建筑物</b>	(54)
6.1 一般规定	(54)
6.2 设计荷载及荷载组合	(54)
6.3 结构设计	(54)
<b>7 金属结构和机械设备</b>	(55)
7.2 机械同步系统	(55)
7.3 承船厢及其设备	(55)
7.4 水力驱动系统金属结构与设备	(55)
<b>8 电气系统</b>	(56)
8.2 水力驱动系统控制	(56)
8.3 计算机监控系统	(57)



## 3 基本规定

### 3.1 适用条件

**3.1.3** 水力式升船机提升高度受塔柱结构、充泄水阀门防空化技术、机械同步系统制造安装等限制,水力式升船机提升高度大于120m时,其技术难度和建设成本将大幅提升,因此作出本条规定。

### 3.2 级别划分及设计标准

**3.2.2** V、VI级升船机主要用于旅游航道。

**3.2.9** 承船厢升降运行允许误载水深值与提升系统克服承船厢和平衡重间不平衡力的提升能力密切相关,该值取大可以减少升降承船厢前调整承船厢水深的频率,提高升船机运行效率,但会增加提升系统功率;反之可以降低提升系统功率,但会增加调整承船厢水深的频率,降低升船机运行效率。

《升船机设计规范》(GB 51177—2016)规定,电力驱动的全平衡式升船机承船厢允许误载水深不超过 $\pm 0.15\text{m}$ 。水力式升船机由于自平衡的特点,承船厢升降运行允许误载水深可以相对较大,国内已建水力式升船机允许误载水深为 $\pm 0.2\text{m}$ ,考虑到目前水力式升船机应用案例相对较少,本条也按国家标准进行取值。

### 3.3 承船厢有效尺度

**3.3.3** 富裕总宽度与船舶驶入承船厢的航行速度以及环境因素有关,要结合承船厢水深和船舶进出承船厢的限定速度统筹考虑。根据已建升船机资料,结合《船闸总体设计规范》(JTS 305—2025)要求,总富裕宽度取 $0.8\text{m} \sim 1.2\text{m}$ 。

**3.3.4** 升船机承船厢断面系数较小,船舶进出承船厢时船尾会出现明显下沉,为保证船舶航行安全,承船厢富裕水深要大于船尾下沉量,并留有一定安全余量,即 $\Delta H = \delta_1 + \delta_2 + \Delta$ ,其中 $\delta_1$ 为船舶下沉量(m), $\delta_2$ 为引航道非恒定流水位波动值(m), $\Delta$ 为安全余量(m),见图3.1。为保证船舶按照限定速度安全进出厢,结合已建升船机承船厢水力学模型试验和原型观测成果,承船厢有效水深设计时船舶底部的富裕水深不宜小于 $0.5\text{m}$ 。

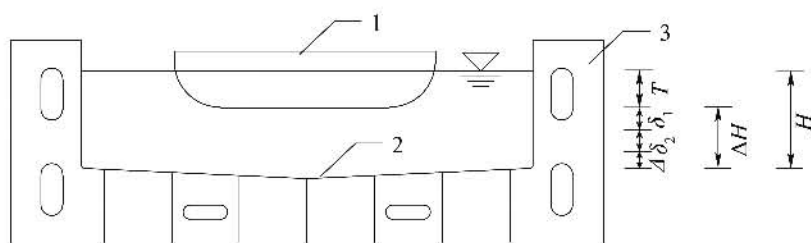


图 3.1 承船厢有效水深示意图

1-船舶;2-承船厢底铺板;3-承船厢腹板

## 5 水力驱动系统水力设计

### 5.1 一般规定

**5.1.3** 承船厢的升降速度与升船机的提升高度、设计通过能力等有密切关系。水力式升船机运行速度取决于输水系统设计容量、竖井及浮筒布置及主控制阀门容量防气蚀能力等因素。因此,水力式升船机的承船厢运行速度随提升高度不断变化,需根据运行水位调整阀门开度动态确定升船机运行速度曲线。

### 5.2 输水系统

**5.2.1** 输水系统有等惯性(图 5.1)、非等惯性(图 5.2)等布置形式,等惯性输水系统已有应用案例,非等惯性输水系统已在岩滩升船机改扩建工程设计中应用,但尚无建成案例。

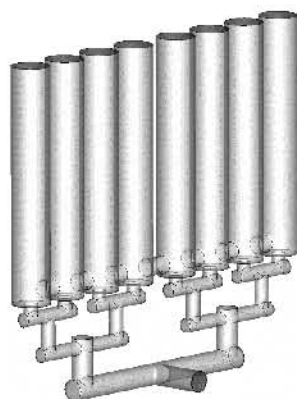


图 5.1 等惯性输水系统示意图

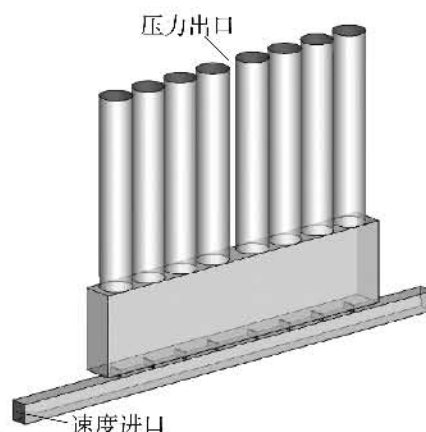


图 5.2 非等惯性输水系统示意图

### 5.3 竖井

**5.3.3** 竖井面积根据浮筒式平衡重面积确定,竖井与浮筒式平衡重间隙比过小,会增大水流对浮筒式平衡重的横向扰动;竖井与平衡重间隙比过大,会增加升船机运行耗水量。

**5.3.6** 出水支孔设置消能工能够降低出流能量,避免水流直接冲击浮筒式平衡重底部,改善水流条件,减小水流对浮筒式平衡重的扰动。



## 6 水工建筑物

### 6.1 一般规定

**6.1.4** 水力式升船机承重结构属高耸结构,要求整体协调性好,相对于其他类似结构要求变形特别小。由于钢筋混凝土具有耐久性好、整体性好、可模性好等优点,我国已建的垂直升船机工程的承重结构均采用钢筋混凝土结构。

### 6.2 设计荷载及荷载组合

**6.2.9** 荷载分项系数一般按《水工建筑物荷载标准》(GB/T 51394—2020)取值。

升船机工程结构自重作用效应通常对结构设计是有利的,根据已建升船机工程的实践,此分项系数一般取 0.95。

温度应力是由于温度变形受到约束而产生,当混凝土出现裂缝后,温度应力会由于约束的减弱而降低,裂缝宽度越大则温度应力降低越多,因此温度作用的荷载参与系数要小于 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。根据已建升船机工程的实践,承载能力极限状态的参与系数取 0.3 ~ 0.4。

按《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)的规定,计算地震作用时,建筑结构的重力荷载代表值取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。可变荷载包括雪荷载、屋面积灰荷载和楼面、楼梯及平台活荷载等,各可变荷载的组合值系数参见《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)表 4.1.3。

### 6.3 结构设计

**6.3.2** 升船机结构设计一般采用弹性方法计算结构变形,并规定相应的变形限值。某水力式升船机工程塔楼高 92m,根据实际监测结果,顶部位移为 0.19mm ~ 7.77mm;根据数值计算和模型试验成果,正常工况下顶部最大位移为 2.1mm ~ 7.7mm,地震工况下顶部最大位移为 13.9mm ~ 63.5mm。考虑到水力式升船机输水系统对变形相对敏感,给出了顶部位移不大于总高度 1/1500 的限值。

## 7 金属结构和机械设备

### 7.2 机械同步系统

**7.2.2** 水力式升船机每个浮筒式平衡重都有水力驱动作用,由于整个水力提升系统驱动源较多,需要机械同步系统克服不平衡荷载,因此,机械同步系统应沿卷筒轴线系统布置,各卷筒间可以通过机械同步轴直接连接。

**7.2.3.1** 承船厢受到不平衡荷载时,应能通过机械同步系统的微量变形对承船厢主动产生抗倾覆力矩,达到控制承船厢倾斜量和减小同步轴扭矩的目的。

**7.2.8** 水力式升船机机械同步系统的间隙是引起承船厢倾斜的一个主要因素,且不能在每次运行前预先消除,因此要严格控制同步轴系统的间隙。经过调研及已建水力式升船机的工程实践,膜片联轴器能有效消除同步轴系统间隙。

**7.2.10.2、7.2.10.5** 相关规定根据已建水力式升船机设计经验提出。

### 7.3 承船厢及其设备

**7.3.4** 由于入水式垂直升船机的承船厢出入水过程中有排水、排气的需要,承船厢底部要布置成左右对称倾斜的体型,以避免出入水时产生的浮力、吸附力和拍击力等对主提升力的影响,但承船厢底部的倾斜角度过大会影响承船厢的有效水域,已建入水式垂直升船机的承船厢底部倾斜度通常为 1:30。

**7.3.6** 荷载与工况分析是承船厢设计的关键。本条根据我国升船机承船厢的设计实践经验,列出了主要荷载与工况。

### 7.4 水力驱动系统金属结构与设备

**7.4.4** 水力式升船机通过输水阀门控制升船机的运行特性。因此,输水阀门性能对水力式升船机的运行起到重要作用。已建水力式升船机的输水阀门采用 1 个输水主阀和 2 个输水辅阀并联布置的方案。输水流量较小且抗空化能力较优的输水辅阀控制承船厢对接和出入水低速运行,输水流量较大的输水主阀控制承船厢正常升降阶段的运行速度。

## 8 电气系统

### 8.2 水力驱动系统控制

8.2.2 某已建水力式升船机承船厢上行流程及控制步骤见图 8.1。

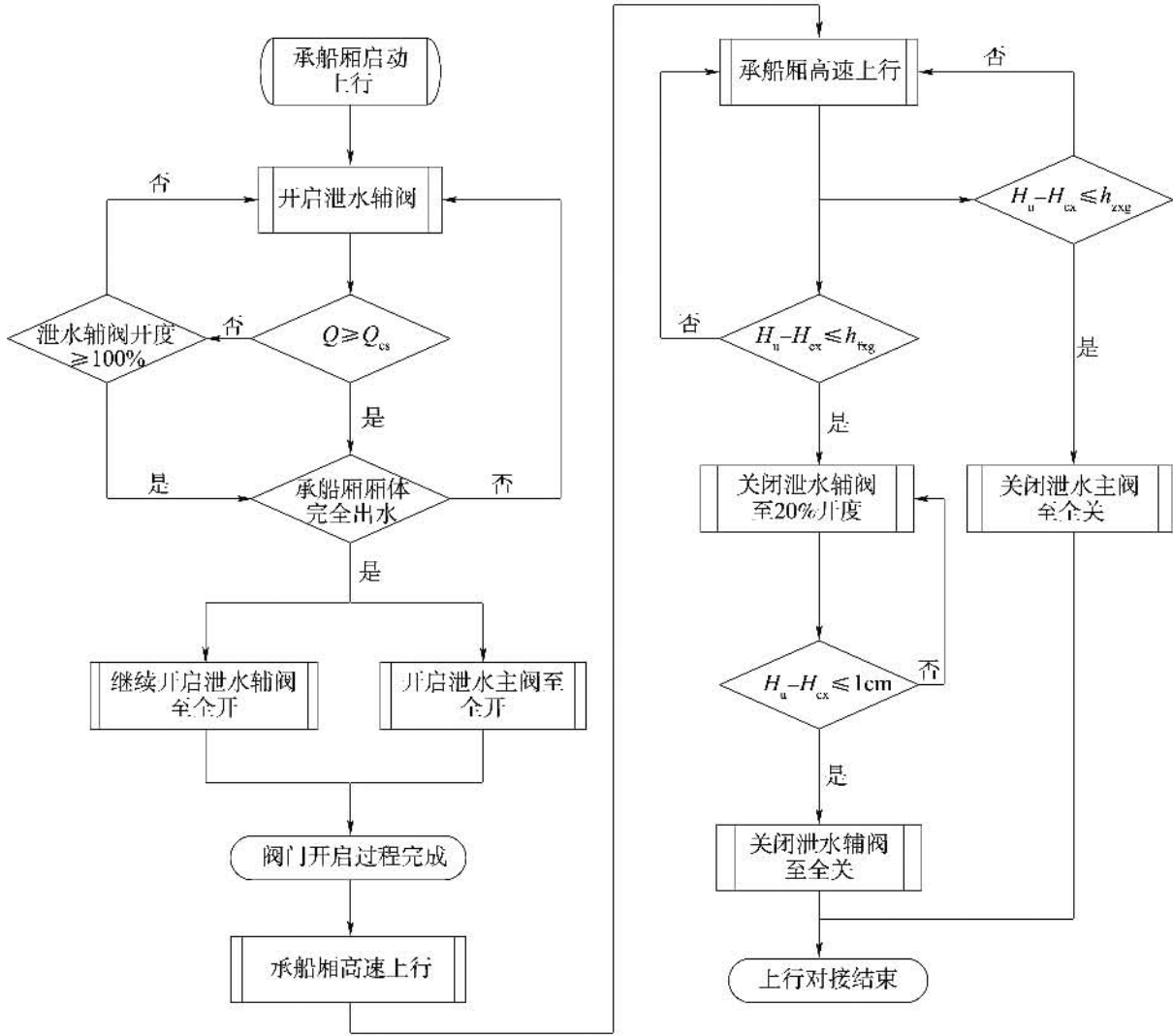


图 8.1 承船厢上行控制流程

$Q$ -输水流量( $m^3/s$ );  $Q_{cs}$ -承船厢出水允许最大流量( $m^3/s$ );  $H_u$ -上游水位( $m$ );  $H_{cx}$ -承船厢内水位( $m$ );  $h_{zng}$ -泄水主阀完全关闭的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差( $m$ );  $h_{tsg}$ -泄水辅阀关闭至对接小开度的触发条件,上游水位和承船厢内水位的高程差( $m$ )

8.2.3 某已建水力式升船机承船厢下行流程及控制步骤见图 8.2。

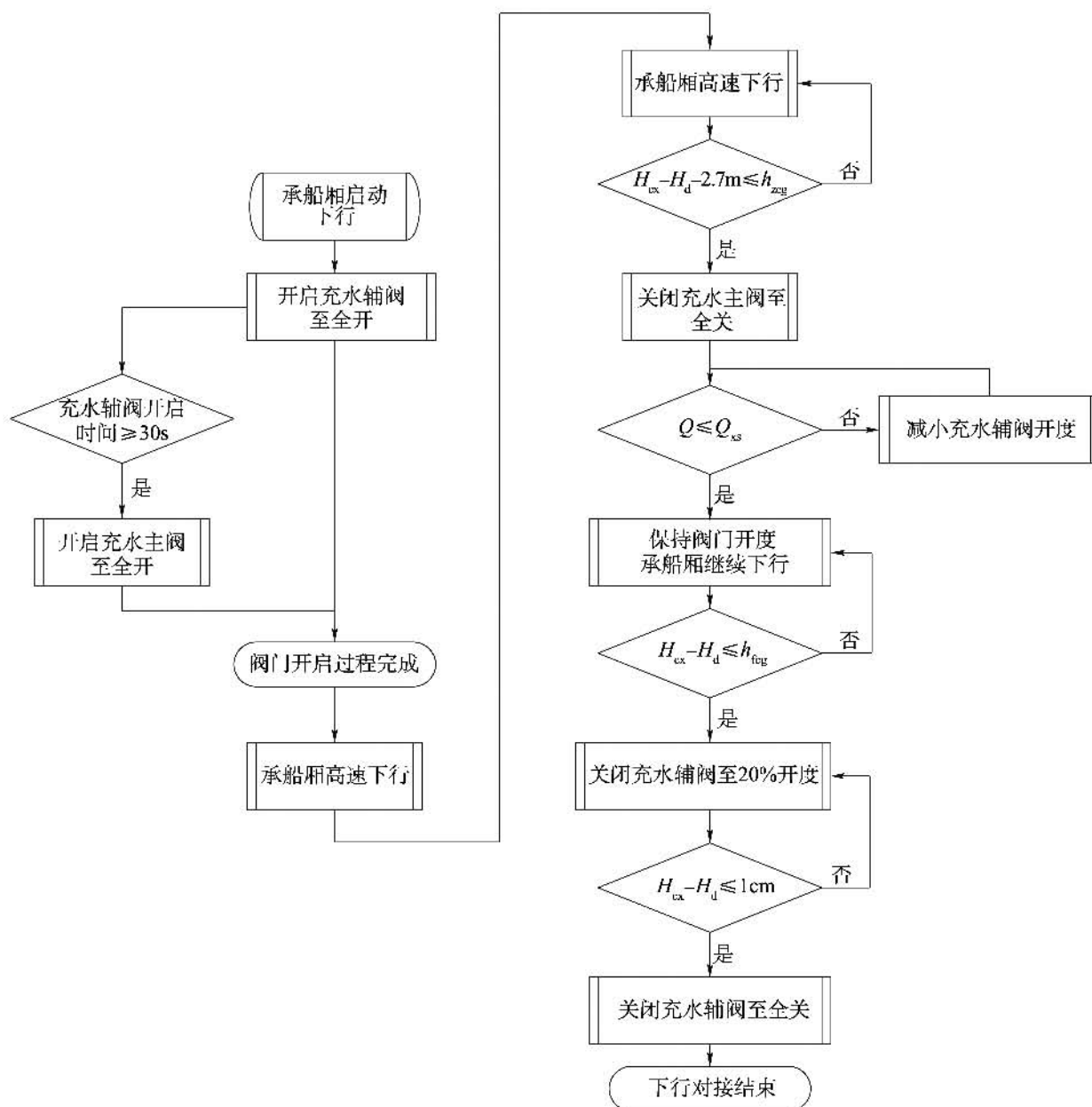


图 8.2 承船厢下行控制流程

$H_{cx}$ -承船厢内水位(m);  $H_d$ -下游水位(m);  $h_{zcg}$ -充水主阀完全关闭的触发条件, 下游水位和承船厢内水位的高程差(m);  $Q$ -输水流量( $m^3/s$ );  $Q_{xs}$ -承船厢入水允许最大流量( $m^3/s$ );  $h_{fcg}$ -充水辅阀关闭至对接小开度的触发条件, 下游水位和承船厢内水位的高程差(m)

### 8.3 计算机监控系统

**8.3.10** 水力式升船机在上闸后平衡重侧和承船厢侧的荷载实时平衡体系被打破, 在松闸前需要满足相应的松闸条件, 否则会对升船机安全运行产生危害。