

ICS 编号

CCS 编号

# 团体标准

T/CHES XXX—20XX

## 水库放空建筑物设计导则

Guidelines for design of reservoir-emptying structures

（报批稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

2025-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布



# 前 言

本标准按照《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182号）的规定起草。

本标准共分为9章和1个附录，主要技术内容包括基本规定、放空能力确定、放空建筑物布置、水力设计、结构设计、安全监测设计、运行与维护。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

本标准主编单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院

本标准参编单位：中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准主要起草人：杨家修、吴时强、郑雪玉、湛正刚、刘顺萍、骆少泽、慕洪友、谢罗峰、张合作、程瑞林、孙卫、张陆陈、鲍伟、胡剑超、俞雷、李大成、王兴恩、林金城、任恒萱、陈旻铭、张恒、陈志亮、汤飞雄。

本标准主要审查人：刘志明。



# 目 次

1 总 则 .....	(1)
2 术 语 .....	(2)
3 基本规定 .....	(3)
4 放空能力确定 .....	(4)
4.1 一般规定 .....	(4)
4.2 应急放空能力 .....	(4)
4.3 检修放空能力 .....	(5)
5 放空建筑物布置 .....	(6)
5.1 一般规定 .....	(6)
5.2 放空建筑物布置 .....	(6)
5.3 闸门布置 .....	(6)
6 水力设计 .....	(7)
7 结构设计 .....	(8)
8 安全监测设计 .....	(9)
9 运行与维护 .....	(10)
9.1 一般规定 .....	(10)
9.2 放空运行 .....	(10)
9.3 放空建筑物维护 .....	(11)
附录 A 放空能力计算及统计 .....	(12)
A.1 放空能力计算 .....	(12)
A.2 放空计算成果表格式 .....	(13)
本标准用词说明 .....	(15)
引用标准名录 .....	(16)
条文说明 .....	(17)

# Contents

1	General provisions.....	(1)
2	Terms.....	(2)
3	Basic requirements.....	(3)
4	Determination of drawdown capacity.....	(4)
	4.1 General requirements.....	(4)
	4.2 Emergency drawdown capacity.....	(4)
	4.3 Maintenance drawdown capacity.....	(5)
5	Layout of drawdown structures.....	(6)
	5.1 General requirements.....	(6)
	5.2 Layout of drawdown structures.....	(6)
	5.3 Layout of gates.....	(6)
6	Hydraulic design.....	(7)
7	Structural design.....	(8)
8	Safety monitoring design.....	(9)
9	Operation and maintenance.....	(10)
	9.1 General requirements.....	(10)
	9.2 Drawdown operation.....	(10)
	9.3 Maintenance of drawdown structures.....	(11)
	Appendix A: Drawdown capacity calculation and documentation.....	(12)
	A.1 Drawdown capacity calculation.....	(12)
	A.2 Tables for drawdown calculation results.....	(13)
	Explanation of wording in this standard.....	(15)
	List of quoted standards.....	(16)
	Explanation of provisions.....	(17)

# 1 总 则

- 1.0.1 为规范水库放空建筑物的设计，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于新建的水利水电工程水库放空建筑物的设计。
- 1.0.3 水库放空建筑物设计应结合水库功能与枢纽布局、工程建设与运行管理等要求，与工程总体布置相协调。
- 1.0.4 水库放空建筑物设计宜采用安全可靠的高新技术、新材料、新工艺、新产品、新设备。
- 1.0.5 水库放空建筑物设计，除应符合本标准外，还应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 放空建筑物 reservoir-emptying structures

为满足应急和检修等需要，在正常运行最低水位基础上可进一步降低库水位的过水建筑物，如放空洞、放空底孔等。

### 2.0.2 水库放空 reservoir drawdown

满足水库应急处置或建筑物检查检测、运行维护等需求，在运行水位的基础上进一步降低库水位的过程。

### 2.0.3 水库应急放空 reservoir drawdown for emergency

遭遇突发事件危及水库大坝安全和上下游区域人民生命财产安全进行的水库放空。

### 2.0.4 水库检修放空 reservoir drawdown for maintenance

为工程检查检测、运行与维护需要进行的水库放空。

### 2.0.5 水库放空能力 reservoir drawdown capacity

水库在一定时间内降低水位或减少库容的能力。

### 2.0.6 大坝壅水水头 dam water head

正常蓄水位与坝址处天然河床最低水位之间的差值。

### 2.0.7 水头降低率 reduction ratio of water head

水头降低值与大坝壅水水头之比。

### 2.0.8 库容放空率 drawdown ratio of storage capacity

水库正常蓄水位库容和放空水位库容的差值与正常蓄水位库容比值。

### 2.0.9 放空时长 drawdown duration

从水库放空启动时的水位降至目标水位的用时。

### 2.0.10 放空速率 drawdown rate

放空水头降低值与放空时长的比值。

### 2.0.11 多级闸门挡水 water retaining by multi-stage gate

单层流道设置多道闸门以控制单个闸门总水压力在可承受范围内的挡水方式。



### 3 基本规定

- 3.0.1 下列条件之一的水库工程应具备放空功能：
- 1 1 级和 2 级土石坝。
  - 2 特高坝、超越工程经验的大坝、有特殊要求的大坝。
  - 3 流域控制性梯级水库。
  - 4 库坝区地质条件极为复杂的工程。
  - 5 地震设计烈度为Ⅷ度及以上的工程。
  - 6 风险等级为极高风险、高风险的工程。
  - 7 其他有放空需求的水库。
- 3.0.2 放空建筑物的级别应与工程主要建筑物的级别相同。
- 3.0.3 水库放空应统筹各过水建筑物的放空作用，当不能满足放空要求时，应单独设置放空建筑物。
- 3.0.4 抽水蓄能电站下水库宜布置放空建筑物，上水库放空可利用泄水建筑物和输水发电建筑物。
- 3.0.5 放空建筑物应满足水库应急处置与建筑物检查检测、运行维护等要求。
- 3.0.6 大型水库或水力条件较复杂的中型水库放空建筑物布置的合理性，应通过物理模型试验或数值模拟进行验证。
- 3.0.7 放空建筑物设计应统筹挡水建筑物、泄洪建筑物、引水建筑物、水库岸坡、下游河道等在放空过程中的运行性态，以及水库下游防洪、通航等要求。
- 3.0.8 放空建筑物设计应包括放空能力确定、放空建筑物布置、水力设计、结构设计、安全监测设计、运行与维护等内容。

## 4 放空能力确定

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 放空能力确定应收集下列资料：
- 1 工程经济社会地位。
  - 2 水库承担的主要工程任务。
  - 3 工程等别与主要建筑物级别。
  - 4 水库库容、大坝坝高与坝型、洪水设计标准、地震设防烈度等工程特性。
  - 5 主要建筑物运行维护技术要求。
  - 6 河流梯级水库或区域水库群联调联控要求。
  - 7 水库下游防洪、通航等要求。
  - 8 其他技术资料等。
- 4.1.2 水库放空能力应根据工程特点、安全及检修要求，结合水库放空对上游、下游和工程效益等影响，经技术经济比较后综合分析确定。
- 4.1.3 水库应急放空能力设计应包括应急放空目标水位、放空时长、放空速率、水头降低率、库容放空率、水头降低值等内容。
- 4.1.4 水库检修放空能力设计应包括检修放空目标水位、放空时长、检修时长、放空速率、水头降低率等内容。
- 4.1.5 放空能力的水头降低率、库容放空率、放空速率计算及统计应符合本标准附录 A 的要求。

### 4.2 应急放空能力

- 4.2.1 水库应急放空需求应分析地质灾害、地震、河流梯级或区域水库群影响、超标洪水、恐怖袭击等突发事件引起的工程安全风险与可能引发的灾害损失。
- 4.2.2 应急放空目标水位应按突发事件及其影响分析确定。
- 4.2.3 水库应急放空能力分析应包括汛期应急放空和非汛期应急放空两种工况。
- 4.2.4 汛期应急放空时的入库流量宜采用平水年汛期最大月平均流量。
- 4.2.5 非汛期应急放空时的入库流量宜采用平水年非汛期最大月平均流量。
- 4.2.6 汛期应急放空起调水位宜采用正常蓄水位，有汛限水位时应采用汛限水位；非汛期应急放空起调水位宜采用正常蓄水位。
- 4.2.7 放空运行下泄流量宜按水库泄水建筑物的泄流能力加一半机组发电过流量。
- 4.2.8 抽水蓄能电站下水库应急放空能力可按常规水库确定，上水库应急放空能力可按泄水建筑物和发电机组联合运行计算。
- 4.2.9 当遭遇突发事件需要进行水库应急放空时，应急放空时间应根据应急事件的紧急程度和可能处理的难易程度确定，不宜大于 7d。
- 4.2.10 在平水年汛期最大月平均流量的来流条件下，应急放空启放后 7d 内的放空能力应符合下列规定：
- 1 水头降低值，混凝土坝不宜小于 20m，土石坝不宜小于 25m；或水头降低率不小于 20%。
  - 2 库容放空率，混凝土坝不宜小于 40%、土石坝不宜小于 45%。
- 4.2.11 放空速率的确定应满足主要建筑物安全要求。

### 4.3 检修放空能力

- 4.3.1 检修放空的入库流量应采用平水年枯水期最大月或旬平均流量。
- 4.3.2 出库流量宜按水库泄水建筑物的泄流能力加一半机组发电过流量，并应满足下游防洪要求。
- 4.3.3 检修放空计算起调水位宜按正常蓄水位确定。
- 4.3.4 检修放空时长宜根据正常蓄水位与检修放空目标水位间的库容和进出库流量平衡确定。
- 4.3.5 检修放空目标水位维持时长应满足检修工期的要求，不宜小于 30d。
- 4.3.6 抽水蓄能电站上、下水库检修放空能力可按输水系统进/出口和泄水建筑物的布置，结合机组空载运行的允许过流量和下游防洪要求等因素进行计算。
- 4.3.7 水库检修放空能力宜符合下列规定：
  - 1 混凝土坝工程水头降低率不宜小于 35%。
  - 2 土石坝工程水头降低率不宜小于 40%。
- 4.3.8 放空速率的确定应满足工程安全要求。

## 5 放空建筑物布置

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 放空建筑物应结合枢纽建筑物统筹布置，通过技术经济比较确定。
- 5.1.2 改建的放空建筑物布置应与原有建筑物布置相协调。
- 5.1.3 通往放空建筑物的交通道路、桥梁等，应满足应急抢险要求。

### 5.2 放空建筑物布置

- 5.2.1 放空建筑物应为水库最低层的放水建筑物，可利用泄洪、排沙、供水、导流等建筑物结合布置，也可单独布置。
- 5.2.2 土石坝工程放空建筑物宜布置在岸边，混凝土坝工程放空建筑物宜在坝身布置。
- 5.2.3 放空建筑物布置在岸边时，进出口布置不应布置在崩塌、滑坡等不良地质体和不稳定边坡区域，并应进行可靠防护。
- 5.2.4 放空建筑物可根据放空需要采用单层流道或分层流道布置，流道分层设置应根据运行水头、泄流能力等水力要素确定。
- 5.2.5 放空建筑物闸门挡水水头小于 80m 时宜采用单层流道布置，80m~160m 时可采用分层流道布置，大于 160m 时应进行专题研究。
- 5.2.6 放空建筑物闸门挡水水头小于 80m 时，可利用其他泄水建筑物作为放空建筑物，不宜单独设置放空建筑物。
- 5.2.7 放空建筑物的进口高程设置应根据目标水位、泄流能力、孔口尺寸、运行水头、闸门布置方式、泥沙淤积高程等因素确定。

### 5.3 闸门布置

- 5.3.1 放空建筑物挡水闸门应布置在水流较平顺的部位，门前不应出现危害性横向流和漩涡。
- 5.3.2 放空建筑物可根据挡水水头布置单级闸门或多级闸门挡水。在挡水水头作用下，放空建筑物平面闸门总水压力大于 80000kN 或弧形闸门总水压力大于 100000kN 时宜采用多级闸门挡水。
- 5.3.3 多级闸门挡水的末级闸门宜采用弧形闸门，其余闸门应为平面闸门，平面闸门设置应双向挡水功能。
- 5.3.4 弧形工作门运行水头宜小于 80m。
- 5.3.5 平面闸门的挡水水头不宜大于 160m。
- 5.3.6 放空建筑物工作闸门上游侧宜设置检修闸门。
- 5.3.7 事故闸门设计水头确定应包含检修工况。
- 5.3.8 多级闸门设计应满足在平压状态下提起检修的要求。
- 5.3.9 放空建筑物的平面闸门启闭机应选用固定式卷扬启闭机，宜一门一机布置。
- 5.3.10 闸门启闭机的应急电源应与坝顶其他动力设施统筹规划。
- 5.3.11 闸门运行宜设置自动化监视、控制系统。

## 6 水力设计

- 6.0.1 放空建筑物水力设计宜包括泄流能力确定、水力特性分析、掺气减蚀设计、通风补气设计、消能防冲设计、泄洪雾化防护设计等。
- 6.0.2 放空建筑物的泄流能力应统筹其他过水建筑物的泄流能力，应满足本标准第 4.2 和 4.3 节的要求。
- 6.0.3 放空目标水位对应的水库泄流能力应不小于汛期最大月平均流量。
- 6.0.4 放空建筑物分层流道布置时，下层放空建筑物起始运行水位对应的上层放空建筑物泄流能力不应小于汛期最大月平均流量。
- 6.0.5 高海拔地区放空建筑物的水力特性宜研究低气压的不利影响，必要时应进行模型试验研究。
- 6.0.6 高水头工作闸门宜开展水力学模型及水弹性模型试验。
- 6.0.7 多级挡水闸门槽应研究水流流态、动水压力、水流空化等水力特性。
- 6.0.8 当放空建筑物为高流速无压隧洞时宜设置与大气连通的独立补气洞，高海拔地区工程宜适当增大通风补气量。
- 6.0.9 水力设计相关要求应符合现行行业标准《溢洪道设计规范》SL 253、《水工隧洞设计规范》SL 279《混凝土拱坝设计规范》SL 282、《混凝土重力坝设计规范》SL 319、《水电工程泄水建筑物消能防冲设计导则》NB/T 10392、《水电工程泄洪雾化防护技术导则》NB/T 11188 等相关规定。

## 7 结构设计

- 7.0.1 放空建筑物结构设计应根据其总体布置、水力设计、地质条件等，选用运行安全、经济合理的结构型式和尺寸。
- 7.0.2 符合下列条件之一的区域混凝土强度等级宜提高：
- 1 复杂门槽段。
  - 2 高速水流区。
  - 3 高含沙水流的流道。
- 7.0.3 多级门槽集中布置时门槽间距应根据混凝土结构强度、启闭机布置与运行、闸门安装与维修和水力学条件等因素的要求确定。
- 7.0.4 放空建筑物孔口尺寸选择应综合泄量、闸门的操作水头、结构设计、制作安装条件、启闭机容量等因素确定。
- 7.0.5 对于抗震设防类别为甲类或设计烈度Ⅷ度及以上的工程，进水塔、独立式闸门井筒、启闭机排架等高耸结构宜采用动力法计算其地震作用效应。
- 7.0.6 放空建筑物布置为深埋隧洞时，其锚喷支护与衬砌结构的设计应研究高地应力不利影响。
- 7.0.7 流速或压力较高、混凝土壁面可能出现空蚀的部位应采用抗蚀耐磨混凝土或钢板衬砌，钢衬与周围混凝土应可靠结合。
- 7.0.8 放空建筑物荷载计算及其组合、稳定计算、结构计算、细部设计等应分别符合国家现行标准《水工建筑物抗震设计标准》GB 51247、《水工建筑物抗冰冻设计规范》GB/T 50662、《水工建筑物荷载设计规范》GB/T 51394、《水工混凝土结构设计规范》SL 191、《水工隧洞设计规范》SL 279、《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654、《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》DL/T 5207 的相关规定。

## 8 安全监测设计

8.0.1 放空建筑物安全监测设计应涵盖工程全生命周期，监测方式包括巡视检查、仪器监测与原型观测等。

8.0.2 安全监测项目应根据放空建筑物的功能、型式、放空要求等确定，并应与枢纽安全监测项目统筹协调。

8.0.3 仪器监测的重点应为库水位、闸（阀）门工作性态、闸门前后水位、闸门漏水量、高耸结构变形、受水位变化影响敏感的库岸边坡稳定等，宜设置预警阈值。

8.0.4 建筑物运行性态等安全监测设计应分别符合现行行业标准《混凝土坝安全监测技术规范》SL 601、《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725、《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764 的相关规定。

8.0.5 放空建筑物安全监测宜建立自动化监测系统，自动化监测系统应与枢纽工程监测系统统筹协调，宜具有与数字孪生应用系统或数据资源平台交互的接口。

## 9 运行与维护

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 水库放空运行应统筹工程安全、河流梯级或区域水库群联合调度、上下游不利影响等因素综合确定。
- 9.1.2 水库放空应编制放空方案，放空方案内容应包括放空能力分析、运行方式确定、事后影响评估。
- 9.1.3 水库放空运行宜首先启用泄洪建筑物、输水建筑物降低水位，在满足运行条件下可启用放空建筑物参与泄水继续降低水位。
- 9.1.4 放空建筑物维护范围应包括水工建筑物、金属结构、机电设备与安全监测设施设备等。
- 9.1.5 放空建筑物宜具备智能运行维护系统。

### 9.2 放空运行

- 9.2.1 水库放空方案的编制，宜包括下列内容：
  - 1 水库放空目标和任务。
  - 2 水库放空能力分析。
  - 3 水库放空影响分析。
  - 4 水库放空运行方式。
  - 5 水库放空安全监测。
  - 6 水库放空应急预案。
  - 7 水库放空事后影响评估。
- 9.2.2 水库放空能力分析宜包括下列内容：
  - 1 可参与放空的过水建筑物泄流能力。
  - 2 可参与放空的过水建筑物及其设施设备性态。
  - 3 放空及维持目标水位的时长。
- 9.2.3 水库放空影响分析宜包括下列内容：
  - 1 对枢纽工程及库岸边坡的安全影响。
  - 2 对防洪、灌溉、供水、通航、发电和旅游等功能的影响。
  - 3 对库周建筑物、相邻交通设施、下游防护对象等的影响。
  - 4 对经济、社会、环境的影响。
- 9.2.4 水库放空运行方式制定宜包括下列内容：
  - 1 水库放空合理的时段。
  - 2 参与放空的过水建筑物及其设施设备的运行方式与组合。
  - 3 水库入库流量、下泄流量、放空起止水位、库水位下降速率、放空时间等。
- 9.2.5 水库检修放空宜安排在枯水期进行，水库放空至目标水位的时长加检修时长宜控制在一个枯水期内。
- 9.2.6 水库放空安全监测及预警宜包括下列内容：
  - 1 重要部位的监测、巡查要求。
  - 2 出现异常情况的预警要求。
  - 3 下游河道设置泄洪警示系统，进行有声提醒告知。
- 9.2.7 水库放空应急预案宜包括下列内容：
  - 1 应急组织体系、运行机制、应急保障。



- 2 水库放空期间出现异常情况的应对措施及处置程序要求。
- 9.2.8 水库放空事后影响评估宜包括下列内容：
  - 1 放空后枢纽建筑物及库岸边坡安全评价。
  - 2 放空后及过程中过水建筑物及设施设备监测运行资料的分析评价对比。
  - 3 放空检查、检测发现的缺陷及相应的工程处理措施。
  - 4 放空期间应急物资配备评价。
  - 5 放空后经济、社会、环境影响分析评价。

### 9.3 放空建筑物维护

- 9.3.1 放空建筑物维护应结合水库调度运行开展。
- 9.3.2 放空建筑物维护工作程序应包括工程检查、方案制定、实施、验收。
- 9.3.3 放空建筑物维护应建立巡检制度，并应依据检查结果制定维修养护方案。
- 9.3.4 放空建筑物维护应纳入日常运行管理，并应明确维护范围、保养维修周期等。
- 9.3.5 放空建筑物维护应包括例行保养、定期保养、专项修理、大修、抢修。
- 9.3.6 放空建筑物例行保养应建立巡检制度，巡检重点应包括下列内容：
  - 1 闸门变形、锈蚀、水封老化。
  - 2 电源、启闭设备、控制设备。
  - 3 进出口边坡。
  - 4 流道混凝土冲蚀磨损、渗漏等。
  - 5 闸门前后水位。
  - 6 闸门前泥沙淤堵情况。
  - 7 监测系统的可靠性。
- 9.3.7 放空建筑物定期保养应重点关注闸（阀）门、启闭机设备、电气设备等，定期保养周期宜为 6 个月。
- 9.3.8 放空建筑物专项修理和大修应重点解决例行保养和定期保养不能解决的问题，大修周期宜为 5a~10a。
- 9.3.9 放空建筑物的闸（阀）门每年应进行运行检查与启闭操作，具备条件时宜进行放水操作，闸门前有淤堵迹象应放水清淤或采用工程措施处理。
- 9.3.10 放空建筑物的维护应符合现行行业标准《土石坝养护修理规程》SL 210、《混凝土坝养护修理规程》SL 230、《水工钢闸门和启闭机安全运行规程》SL/T 722 等相关规定。

## 附录 A 放空能力计算及统计

### A. 1 放空能力计算

A. 1. 1 水头降低率宜按下式计算：

$$\delta_H = \frac{Z_0 - Z_1}{H} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 1})$$

式中： $\delta_H$  ——水头降低率（%）；

$Z_0$  ——正常蓄水位（m）；

$Z_1$  ——放空水位，放空过程对应的库水位（m）；

$H$  ——大坝壅水水头（m）。

A. 1. 2 库容放空率宜按下式计算：

$$\delta_V = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 2})$$

式中： $\delta_V$  ——库容放空率（%）；

$V_0$  ——正常蓄水位对应库容（ $\text{m}^3$ ）；

$V_1$  ——放空水位对应库容（ $\text{m}^3$ ）。

A. 1. 3 放空速率宜按下式计算：

$$v = \frac{Z_0 - Z_1}{T} \times 100\% \quad (\text{A. 0. 3})$$

式中： $v$  ——放空速率（m/d）；

$T$  ——放空时长（d）。

## A.2 放空计算成果表格式

A.2.1 应急放空能力计算成果可按表 A.2.1 填写。

表 A.2.1 应急放空能力计算成果表

序号	项目	应急放空能力	
		非汛期	汛期
1	坝型		
2	工程等别		
3	最大坝高 (m)		
4	总库容 (亿 m <sup>3</sup> )		
5	正常蓄水位 (m)		
6	正常蓄水位库容 (亿 m <sup>3</sup> )		
7	汛限水位 (m)		
8	汛限水位库容 (亿 m <sup>3</sup> )		
9	大坝壅水水头 (m)		
10	起调水位 (m)		
11	放空目标水位 (m)		
12	水头降低值 (m)		
13	水头降低率 (%)		
14	放空目标水位对应库容 (亿 m <sup>3</sup> )		
15	库容放空率 (%)		
16	放空时长 (d)		
17	放空速率 (m/d)		
18	放空 7d 水库水位 (m)		
19	7d 放空水头降低值 (m)		
20	7d 放空水头降低率 (%)		
21	7d 放空库容 (亿 m <sup>3</sup> )		
22	7d 库容放空率 (%)		
23	7d 放空速率 (m/d)		

A. 2. 2 检修放空能力计算成果可按表 A. 2. 2 填写。

表 A. 2. 2 检修放空能力计算成果表

序号	项目	检修放空能力
1	坝型	
2	工程等别	
3	最大坝高 (m)	
4	总库容 (亿 m <sup>3</sup> )	
5	正常蓄水位 (m)	
6	正常蓄水位库容 (亿 m <sup>3</sup> )	
7	大坝壅水水头 (m)	
8	放空目标水位 (m)	
9	水头降低率 (%)	
10	放空目标水位对应库容 (亿 m <sup>3</sup> )	
11	库容放空率 (%)	
12	放空时长 (d)	
13	放空速率 (m/d)	

## 本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 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该这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

《水工建筑物抗冰冻设计规范》GB/T 50662  
《水工建筑物抗震设计标准》GB 51247  
《水工建筑物荷载设计规范》GB/T 51394  
《水工混凝土结构设计规范》SL 191  
《土石坝养护修理规程》SL 210  
《混凝土坝养护修理规程》SL 230  
《溢洪道设计规范》SL 253  
《水工隧洞设计规范》SL 279  
《混凝土拱坝设计规范》SL 282  
《混凝土重力坝设计规范》SL 319  
《混凝土坝安全监测技术规范》SL 601  
《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》SL 654  
《水利水电工程安全监测设计规范》SL 725  
《水工隧洞安全监测技术规范》SL 764  
《水工钢闸门和启闭机安全运行规程》SL/T 722  
《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》DL/T 5207  
《水电工程泄水建筑物消能防冲设计导则》NB/T 10392  
《水电工程泄洪雾化防护技术导则》NB/T 11188

中国水利学会团体标准

水库放空建筑物设计导则

T/•CHES XXX—20XX

条 文 说 明

## 制 定 说 明

《水库放空建筑物设计导则》T/CHES \*\*\*-2025, 经中国水利学会 2025 年\*月\*日以第\*号公告批准发布。

本标准制定过程中, 编制组在广泛调查、深入研究的基础上, 总结了我国水利水电工程水库放空设计、运行与维护的实践经验, 吸收了近年来水库应急放空研究方面所取得的科技成果, 参考了有关国际标准和国外先进技术。

为便于广大勘察、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本导则时能正确理解和执行条文规定, 编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。



## 目 次

1	总 则 .....	(20)
3	基本规定 .....	(21)
4	放空能力确定 .....	(22)
4.1	一般规定 .....	(22)
4.2	应急放空能力 .....	(22)
4.3	检修放空能力 .....	(23)
5	放空建筑物布置 .....	(24)
5.2	放空建筑物布置 .....	(24)
5.3	闸门布置 .....	(24)
6	水力设计 .....	(26)
7	结构设计 .....	(28)
8	安全监测设计 .....	(29)
9	运行与维护 .....	(30)
9.1	一般规定 .....	(30)
9.2	放空运行 .....	(30)
9.3	放空建筑物维护 .....	(30)

## Contents

1	General provisions.....	(20)
3	Basic requirements.....	(21)
4	Determination of drawdown capacity.....	(22)
4.1	General requirements.....	(22)
4.2	Emergency drawdown capacity.....	(22)
4.3	Maintenance drawdown capacity.....	(23)
5	Layout of drawdown structures.....	(24)
5.2	Layout of drawdown structures.....	(24)
5.3	Layout of gates.....	(24)
6	Hydraulic design.....	(26)
7	Structural design.....	(28)
8	Safety monitoring design.....	(29)
9	Operation and maintenance.....	(30)
9.1	General requirements.....	(30)
9.2	Drawdown operation.....	(30)
9.3	Maintenance of drawdown structures.....	(30)

# 1 总 则

1.0.1 我国现有水库数量庞大，截至 2024 年底，全国已建成各类水库大坝 94608 座，其中大型 841 座（占比 0.89%）、中型 4251 座（占比 4.49%）、小型 89516 座（占比 94.62%）。2024 年，6929 座（次）大中型水库投入调度运用、拦蓄洪水 1471 亿立方米，减淹城镇 2330 个（次）、减淹耕地 1687 万亩，避免人员转移 1115 万人（次），充分体现了水库在防洪中的“王牌”制胜作用。我国现有水库数量多、高坝多、病险库多，要坚持安全第一，加强隐患排查预警和清除，确保现有水库安然无恙。目前，尽管整体安全水平提升，但部分水库大坝因设计缺陷、运行管理不善或维护不足，导致放空功能失效或事故频发。例如，2023 年某省中型水库因放空设施设计不合理，汛期无法及时泄洪，引发溃坝险情；另有多座水库因放空系统维护缺失，导致淤积严重、闸门卡阻等问题。我国缺乏水电工程水库应急放空和检修放空能力的相关设计标准，制定本标准可以有效规范水利水电工程水库放空设计和运行，进一步提升水库综合利用效益，保障水电工程运行安全，发挥水电工程防灾减灾能力。

1.0.2 考虑已建工程可能存在改、扩建难度大的问题，所以本标准仅针对新建工程水库放空建筑物设计进行规定。改、扩建工程可根据工程规模、重要性、影响对象等具体情况参照执行。

### 3 基本规定

3.0.1 本条文提出了工程具备放空功能的设置条件：

1 1级、2级土石坝工程规模大、失事后果严重，需优先保障应急能力。土石坝应对超标洪水溃坝风险高，放空可迅速降低库水位，避免漫顶溃决。若坝体出现管涌或渗漏，放空可减少渗透压力，为抢险创造条件，故需要特别对待。

2 特高坝指坝高200m以上的大坝；超越经验的工程包括采用新技术、新材料、新工艺的工程或者坝高超过同类型已建最高工程30m以上的，如复合土工膜土石坝、石渣坝、碾压混凝土拱坝、沥青心墙堆石坝等；有特殊要求的大坝工程，部分工程规模虽小，但下游有重点防护对象，放空对于工程防灾减灾作用显著，因此需要具备放空功能。

3 流域控制性梯级水库上下游联动紧密，控制梯级水库坝高、库大，起主要控制作用，单一水库失事可能引发“多米诺骨牌效应”，控制梯级具备放空功能，可在应急工况下快速腾空较大库容，增强梯级防灾减灾能力，故对流域控制梯级水库进行规定。

4 复杂地质（如断层、岩溶、软弱夹层）可能因突发事件诱发滑坡或地基失稳。库水位骤升可能加剧地质隐患，放空可快速响应，降低水压力对地质结构的冲击。结合地质监测数据，提前放空以规避地质灾害连锁反应，故坝区地质条件极为复杂的工程，需要特别对待。

5 地震烈度Ⅷ度及以上区域，地震动峰值加速度高，可能引发坝体开裂、滑坡、地基液化等严重破坏，并且多个规范对放空建筑物的设置提出了相关要求，包括《混凝土面板堆石坝设计规范》SL 228、《碾压式土石坝设计规范》SL 274、《混凝土拱坝设计规范》SL 282、《混凝土重力坝设计规范》SL 319。

6 水库大坝风险等级可根据溃坝洪水淹没范围内风险人口数量、工矿企业规模、基础设施重要性，以及可能造成的环境影响程度，按《水库大坝风险等级划分与评估导则》SL/T 829表4.0.2分析确定。风险等级为极高风险、高风险的工程至少包含10万人口，大型工矿企业、重要基础设施，若失事对当地环境有很严重影响，涉及范围很大的自然灾害及次生灾害。

3.0.3 本条强调水库放空功能要求优先利用其他过水建筑物实现放空需求，以节约成本、简化结构；但若无法满足放空的技术或安全要求时，则必须单独设置专用的放空建筑物。

3.0.4 抽水蓄能电站下水库主要建筑物均布置在水下，特别输水发电建筑物进水口、尾水隧洞等布置在死水位以下，为给建筑物提供必要的检修维护条件，建议布置放空建筑物。上水库通常布置了泄水建筑物和输水发电建筑物，故上水库放空可利用已有泄水和输水发电建筑物。

## 4 放空能力确定

### 4.1 一般规定

4.1.3~4.1.4 本条规定的放空能力设计指标,旨在全面、科学地衡量水库在应急和检修情况下的放空能力。放空目标水位表示水库在应急或者检修情况下解除洪水风险和进行处理而需降至的最低水位,用来确定水库降低水位的目标。放空时长用来评估应急或者检修放空过程需要的时间。过快的放空速率可能引发坝体边坡失稳,需通过计算确定合理速率,因此采用放空速率评估放空过程中水位下降的快慢程度。水头降低率可评估放空到目标水位时水位下降的幅度。库容放空率可评估放空到目标水位时库容减少的幅度,用于评判腾空库容是否满足应急需求。水头降低值可表示放空到目标水位时水位下降的数值。相比应急放空能力设计,检修放空能力设计不涉及库容放空率和水头降低值,而增加了检修时长,因为检修放空侧重于满足检修工作的目标水位和时长要求,不强调快速腾空库容,但应控制放空速率以满足建筑物安全。

### 4.2 应急放空能力

4.2.3~4.2.5 水库应急放空可能在任何时间发生,具有不确定性。无论是汛期还是非汛期,都有可能出现诸如大坝结构安全隐患、遭遇突发事件等需要紧急放空水库的情况。因此,需要分别考虑不同时期的应急放空工况。汛期和非汛期来流量差别较大,导致放空能力需求差别较大,因此放空设计计算中要分汛期和非汛期两种工况分别计算。水库应急放空按平水年汛期最大月平均流量和非汛期最大月平均流量计算的应急放空保证率高,能够保证大部分来流情况下均能降低库水位。

4.2.6 汛期应急放空时有部分工程设置了汛限水位,从汛限水位开始起调,无汛限水位时,为统一规定采用正常蓄水位起调,非汛期各水库的运行水位较离散,为统一评估放空能力,采用正常蓄水位起调。

4.2.9 分析国外相关应急放空标准表明:当遭遇突发事件需要进行水库应急放空时,大多规定水库在3d~8d内快速降低水位或减少库容至一定程度。参照国内外相关标准,考虑应急放空属于突发情况,需要紧急处理,因此本标准应急放空时间不宜大于7天。

4.2.10 工程实践表明,土石坝失事数量和失事危害大于混凝土坝,因此,有必要分坝型提出不同的放空能力要求。研究表明:土石坝为溃坝的主要坝型(占93%以上),漫顶是土石坝溃坝的主要原因(占47.85%),溃坝发生的另一个重要原因是坝体渗漏,所有坝型中土坝溃坝所占的比例超过90%。此外,由于土石坝坝顶及坝面不能过流,土石坝抵抗超标洪水的能力弱,洪水漫顶对土石坝造成的损害极大。《防洪标准》GB 50201对混凝土坝、土石坝两种坝型采用不同的洪水标准,土石坝防洪标准高于混凝土坝。

应急放空共统计了118个大、中型工程,其中包括61个混凝土坝工程、57个土石坝工程。经统计分析发现:7d内83.6%的混凝土坝工程水头降低值大于等于20m或水头降低率大于等于20%,当指标取水头降低值不小于20m或水头降低率不小于20%时,不满足的工程仅为10个;7d内86.9%的混凝土坝工程库容放空率大于40%,当指标取40%时,不满足的工程总数为8个。7d内83.6%的混凝土坝工程水头降低值不小于20m或水头降低率不小于20%且库容放空率不小于40%,当取为文中规定的条件,不满足的工程仅为10个。

7d内87.7%的土石坝工程水头降低值大于等于25m或水头降低率大于等于20%,当指标取水头降低值不小于25m或水头降低率不小于20%时,不满足的工程仅为7个;7d内84.2%的土石坝工程库容放空率大于45%,当指标取45%时,不满足的工程总数为9个。7d内82.5%

的混凝土坝工程水头降低值不小于 25m 或水头降低率不小于 20%且库容放空率不小于 45%，当取为文中规定的条件，不满足的工程仅为 10 个。满足条款的占比以 80%为界限，提出的要求进一步严格，主要考虑应急时间的不确定性以及进一步增加流域梯级工程的防灾减灾能力，本条提出的指标要求是合理的。

表 1 不同坝型满足指标占比统计表

坝型	指标	满足数量 (座)	占比 (%)
混凝土坝 (61 座)	水头降低值不小于 20m 或水头降低率不小于 20%	51	83.6
	库容放空率不小于 40%	53	86.9
	水头降低值不小于 20m 或水头降低率不小于 20% 且库容放空率不小于 40%	51	83.6
土石坝 (57 座)	水头降低值不小于 25m 或水头降低率不小于 20%	50	87.7
	库容放空率不小于 45%	48	84.2
	水头降低值不小于 25m 或水头降低率不小于 20% 且库容放空率不小于 45%	47	82.5

4.2.11 水库应急放空要求放空速率达到紧急状态下快速腾空库容的能力，但又不能下降速度过快威胁大坝安全。因此，应急放空控制库水位下降速率主要目的是保证主要建筑物安全。

### 4.3 检修放空能力

4.3.1 为确保放空过程中实际入库流量不超过设计值，避免因来水突增导致水位回升，威胁检修安全。避免采用极端丰水年数据导致过度设计，或采用枯水年数据导致设计不足。平水年代表水文常态条件，具有统计典型性。枯水期最大月或旬平均流量覆盖枯水期内可能的短期流量波动，平衡安全冗余与成本控制。已建工程水库检修放空计算多按平水年枯水期最大月或旬平均流量计算，对于重要工程，必要时按丰水年流量复核。

4.3.3 检修放空计算设计阶段无法明确水库实际运行水位，为统一评估检修放空能力，采用正常蓄水位作为起调水位。而工程运行阶段，可根据实际运行水位进行检修放空计算。

4.3.7 本次检修放空共统计了 125 个大、中型工程，其中包括 68 座混凝土坝、57 座土石坝。由于水电工程大坝是有寿命周期的，需要考虑检查、维护、检修、拆除的条件，从国内外的工程案例来看，有些工程大坝需要在建设或运行期放空水库进行检修，而我国高坝一般只具备有限放空能力，在特殊情况下，一些高坝缺少可靠的检修、维护条件，所以也有必要提出水库检修放空能力要求。统计资料分析发现：91.2%的混凝土坝工程水头降低率大于 35%，不满足的工程总数仅为 6 个；86%的土石坝工程水头降低率大于 40%，不满足的工程总数仅为 8 个。因土石坝常需要检修面板和防渗体系等关键部位，故对土石坝进行严格要求。考虑到社会经济的发展和公共安全需求不断提高，本标准检修放空按约 85%的工程能满足放空能力要求来确定放空能力指标控制值。

表 2 不同坝型满足指标占比统计表

坝型	指标	满足数量 (座)	占比 (%)
混凝土坝 (68 座)	水头降低率不小于 35%	62	91.2
土石坝 (57 座)	水头降低率不小于 40%	49	86

4.3.8 高坝工程的检修放空一般对速率没有要求，但也不能下降速度过快威胁大坝安全、枢纽安全。因此，检修放空控制库水位下降速率主要目的是保证整体工程安全。

## 5 放空建筑物布置

### 5.2 放空建筑物布置

5.2.1 水库放空建筑物为水库最低层的放水建筑物，设置时优先考虑与其他过水建筑物相结合，以降低工程投资，必要时单独设置放空建筑物。

典型的放空建筑物与其他过水建筑物不结合的工程如 GPT 水电站和 DQ 水电站。贵州乌江 GPT 水电站正常蓄水位 630.00m，最大坝高 232.5m，泄洪放空建筑物由坝身 6 个表孔、7 个中孔、1 条泄洪洞、2 个放空底孔组成。表孔堰顶高程 617.00m，孔口尺寸 12m×13m（宽×高）。泄洪洞进口底板高程 550.00m，孔口尺寸 9.1m×10m（宽×高）。放空底孔控制断面孔口尺寸 3.8m×6m（宽×高），底孔进口底板高程 490.00m。GPT 水电站表孔、中孔及泄洪洞联合泄洪，放空底孔不参与泄洪。

DQ 水电站正常蓄水位 490.00m，最大坝高 150m，泄洪放空建筑物由溢洪道和放空洞组成，溢洪道堰顶高程 468.00m，设 4 孔泄洪闸，弧形工作门孔口尺寸 13m×22m（宽×高）。放空洞进口底板高程 430.00m，工作门孔口尺寸 5m×5m（宽×高）。本工程一般情况下放空洞不参与泄洪，但在紧急情况下，放空洞可以在正常蓄水位 490m 全开泄洪。

典型的放空建筑物与其他过水建筑物结合的工程如 DHS 水电站，DHS 水电站正常蓄水位 868.00m，最大坝高 134.5m，布置 3 个溢流表孔，2 个泄洪中孔，溢流表孔堰顶高程 860.00m，堰上设 13.5m×8m（宽×高）的弧形工作闸门各一扇，泄洪中孔底板高程 805.00m，孔口尺寸 6m×8.3m（宽×高）。本工程未布置单独的放空建筑物，降低水位完全依赖 3 个溢流表孔，2 个泄洪中孔。

5.2.5 目前，闸门挡水水头 80m 级时，闸门操作水头、总水压、结构受力均在常规指标范围内，通过常规布置即可满足要求；闸门挡水水头超过 80m 时操作水头可能受限，可沿高程方向布置分层流道逐级泄放库水，以减小闸门的操作水头。已建工程闸门最高挡水水头 160m 级，闸门挡水水头超过 160m 时已超过现有经验，比如高水头下的结构强度、抗渗、高流速下的空蚀破坏，结构振动等，需进行专题研究。

5.2.6 当放空建筑物闸门挡水水头小于 80m 时，单级闸门操作水头、总水压、结构受力均在常规指标范围内，同时，其他泄水建筑物的泄流能力通常已考虑多种工况，当水头较低时，其过流能力可覆盖放空需求。因此，当建筑物闸门的挡水水头小于 80 m 时，可通过已有的其他泄水建筑物实现放空功能，无需额外单独建造放空建筑物。

### 5.3 闸门布置

5.3.2 闸门布置受运行水头和闸门孔口尺寸综合影响，运行水头越高、孔口尺寸越大、闸门总水压力越大，对闸门结构强度、启闭机容量、支铰/轨道基础等提出更高要求，故本标准以闸门总水压力作为关键控制参数。本次统计 24 个深孔平板闸门和 38 个深孔弧形闸门技术参数，统计数据表明，70%的平板闸门总水压力小于 80000kN，92%的弧形闸门总水压小于 100000kN。故单级平面闸门总水压力不大于 80000kN，弧形闸门总水压力不大于 100000kN，超过时采用多级闸门挡水。

5.3.3~5.3.5 多级闸门挡水的末级闸门宜采用弧形闸门，弧形闸门前其余闸门为平面闸门，平面闸门前后均有水，需具备双向挡水功能。根据统计结果，目前，常用孔口尺寸面积时，弧形闸门运行水头 80m 左右属于常规技术水平，超过 80m 闸门运行难度增大，孔口尺寸普遍

较小。NZD 水电站右岸泄洪洞弧形闸门 126m 运行水头代表当前最高水平，但孔口面积仅  $42.5\text{m}^2$ ，故弧形工作门运行水头建议小于 80m。

XW 水电站坝身底孔事故闸门挡水水头 160m 代表了当前国内平面闸门设计最高水平，故平面闸门的挡水水头建议不大于 160m。

5.3.7 事故闸门设计水头除了考虑在弧形工作闸门故障时的挡水要求，还需考虑替代平面闸门挡水，对平面闸门进行检修的工况。

5.3.8 平面闸门提起检修和关闭时需在平压状态下进行，故作出此规定。

5.3.11 本条建议在闸门运行中采用自动化监视、控制系统，并融入智能运维技术，旨在提升水利工程的安全性、响应效率和管理水平，同时适应现代水利设施的数字化与智能化发展趋势。



## 6 水力设计

6.0.2~6.0.3 单独设置的放空建筑物泄流能力计算存在以下几种情况：

1 放空建筑物不参与上部泄水建筑物泄水时，利用上部泄水建筑物泄至放空建筑物启用水位，继续利用放空建筑物接续泄水泄至目标水位，到目标水位时放空建筑物泄流能力应满足应急状态下满足汛期最大月平均流量，检修状态下满足枯水期最大月平均流量，并保持进出库流量平衡；

2 放空建筑物参与上部泄水建筑物泄水时，应将总来水量减除上部泄水建筑物泄量的差值作为放空建筑物参与泄洪的流量；泄水至上部泄水建筑物不能泄水时的水位，由放空建筑物继续泄水，此时放空建筑物泄流能力应满足应急状态下满足汛期最大月平均流量，检修状态下满足枯水期最大月平均流量，并能使水位继续降至目标水位，在目标水位时，放空建筑物泄流能力应满足进出库流量平衡。

6.0.4 为保证水位较低时泄流能力仍不小于汛期最大月平均流量，保证库水位维持在放空目标水位或者下层建筑物开启继续降低库水位，故做出此规定（示意图见图1）。

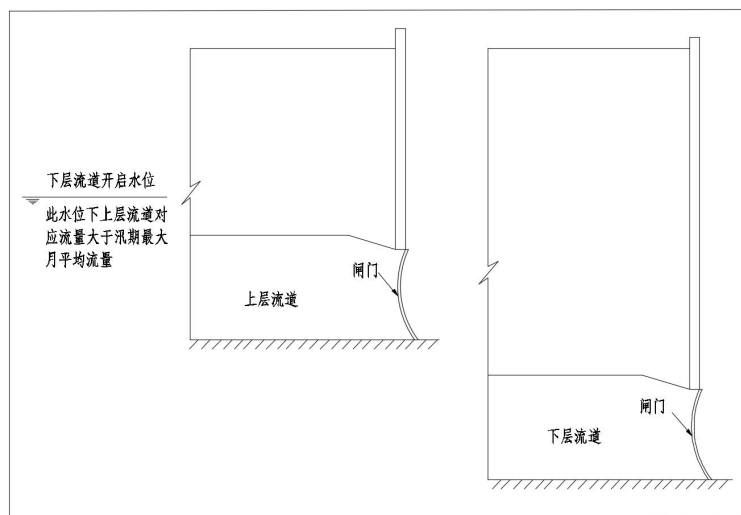


图1 分层流道布置及流量控制示意图

例如，某工程最大坝高 315m，正常蓄水位 2895.00m，泄洪建筑物由 3 条溢洪洞、1 条泄洪洞组成。溢洪洞溢流堰顶高程 2873.00m，弧形工作闸门孔口尺寸 15×24.5m（宽×高），3 条溢洪洞最大下泄流量 10009.86m<sup>3</sup>/s。泄洪洞底板高程为 2827.00m，弧形工作闸门孔口尺寸 7×13m（宽×高），最大下泄流量 2689.14m<sup>3</sup>/s。本工程最大入库流量 13600m<sup>3</sup>/s（PMF），放空洞不参与泄洪，通过分层流道接力泄放，放空洞布置 2 层，泄洪洞泄流能力满足在第一层放空洞开启水位 2856m 时，泄流量大于等于 1460m<sup>3</sup>/s（平水年汛期最大月平均流量）。第一层放空洞泄流能力满足在第二层放空洞开启水位 2817m 时，泄流量需大于等于 1460m<sup>3</sup>/s（平水年汛期最大月平均流量）。最终本工程布置第一层放空洞底板高程 2784.00m，弧形工作闸门孔口尺寸 7×13m（宽×高），最大下泄流量 2530.14m<sup>3</sup>/s。第二层放空洞底板高程 2745.00m，弧形工作闸门孔口尺寸 6×13m（宽×高），最大下泄流量 2341.49m<sup>3</sup>/s。枯水期检修工况下库容放空率达 88%，水头降低率 55%，最低放空水位 2755.91m。汛期应急放空库容放空率达 81%，水头降低率 42.8%，最低放空水位 2778.86m。

6.0.5 高海拔低气压环境下，水体物理特性有所改变，对水力安全的不利影响主要包括：水流挑距增大、通气孔通气量与水体掺气浓度减小、泄洪雾化增强等，水力设计时需考虑其不利影响。低气压对掺气减蚀、通风补气、泄洪雾化等影响较大时建议进行模型试验研究。

6.0.6 平面闸门运行水头 40m 及以上、弧形闸门运行水头 90m 及以上时，闸门容易产生流激振动，建议开展闸门水力学及水弹性模型试验。

## 7 结构设计

7.0.5 随着工程规模日益扩大，抗震设防类别为甲类或设计烈度 VIII 度及以上的工程，抗震结构安全要求高。进水塔、独立式闸门井筒、启闭机排架等高耸结构作为抗震薄弱环节，其抗震安全性影响更为突出。为确保放空建筑物在发生强震时仍能实现应急放空功能，需要采用动力法对进水塔、独立式闸门井筒、启闭机排架等高耸结构进行更加精确的抗震作用效应计算。

7.0.6 根据《水电工程深埋隧洞技术规范》NB/T 11092，深埋隧洞是指从地表到隧洞建筑物最低设计开挖面的最大垂直距离不小于 600m 的隧洞，一般具有高地应力和高外水压力的特点，其围岩强度和变形特性与浅埋隧洞有明显的差异。深埋隧洞的锚喷支护与衬砌结构设计需采用工程类比、经验设计和数值分析等方法综合确定。

7.0.7 本条说明了流道高速水流的抗冲、耐磨和防空蚀要求。高流水速或高水头的流道壁面需要根据水流空化数、泥沙含量等选用抗冲耐磨混凝土。当流速大于 30m/s 或流道内水压力可能造成混凝土水力劈裂时，需采用钢衬保护。

## 8 安全监测设计

8.0.1 放空建筑物安全监测设计应涵盖施工期和运行期等全生命期，监测方式有巡视检查、仪器监测与原型观测，施工期在仪器设备设施安装埋设前主要以巡视检查为主。运行期安全监测以仪器监测采集为主，辅以巡视检查和水力学原型观测。

8.0.3 水库实际运行中库水位在变化，尤其多级闸门挡水对于库水位变化比较敏感，同时放空运行时水位变化速率直接影响边坡稳定等。闸（阀）门工作性态反映闸门或阀门是否能够正常运行；对于多级闸门挡水布置的闸门前后水位直接关系闸门总水压力和闸门系统的稳定性；闸门漏水量关系闸门总水压力变化和水封结构的密封性；高耸结构承受启闭设备的荷载、风荷载、地震荷载较大，需关注应力变形；水位变化速率影响库岸边坡稳定性，库岸边坡失稳会引发库水位抬升、滑坡涌浪等事故，甚至引发漫坝、垮坝等事故。故针对库水位、闸（阀）门工作性态、闸门前后水位、闸门漏水量、高耸结构变形、受水位变化影响敏感的库岸边坡稳定等进行重点监测，并设置预警阈值。

## 9 运行与维护

### 9.1 一般规定

9.1.5 水库放空过程一般涉及多个泄水建筑物与放空建筑物，接力泄洪时需要判断不同过流建筑物运行时机，由于放空时间普遍较长，采用智能运维系统，能够实现自动化运行及风险提示，保障运行安全。

### 9.2 放空运行

9.2.5 枯水期大部分水库运行水位较低，此时进行检修来流量小、放空快、放空水量损失小，对供水、发电等综合利用功能影响较低，故建议安排在枯水期进行检修放空。时长控制在一个枯水期内，即从水库放空至目标水位的时长加上检修时长之和需在一个枯水期内完成。若超出枯水期进行放空检修，一旦意外降水或上游来水增多，水库无法及时发挥正常的调蓄功能，在汛期来临前不能恢复到正常水位，会极大地削弱防洪能力，增加洪水风险，威胁下游沿河县城及周边区域安全。同时，也会打乱发电计划，影响区域电力供应稳定性，给工农业生产及居民生活带来不便。

### 9.3 放空建筑物维护

9.3.9 放空建筑物需要应对突发事件下的应急启动运行，每年进行闸（阀）门的启闭操作以保障任意时刻应急情况下的放空运行，每年在正常运行的低水位时可以进行放水操作，闸门前有淤堵迹象会影响闸门启闭，故应放水清淤或采用工程措施处理，以上措施均用于检验放空建筑物及其设施的可靠性。