

UDC

P



中华人民共和国国家标准

GB ××××—××××

水利水电工程金属结构 通用规范

Code for Metal Structures in Hydraulic and hydropower Engineering

(征求意见稿)

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

××××—××—×× 发布

××××—××—×× 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部

发布

前 言

为适应国际技术法规与技术标准通行规则，2016年以来，住房城乡建设部陆续印发《深化工程建设标准化工作改革的意见》等文件，提出政府制定强制性标准和推荐性标准、社会团体制定团体标准的长远目标，明确了用全文强制性工程建设规范逐步取代标准中分散的强制性条文的改革任务，逐步形成由法律、行政法规、部门规章中的技术性规定与全文强制性工程建设规范构成的“技术法规”体系。

关于规范种类。强制性工程建设规范体系覆盖工程建设领域各类建设工程项目，分为工程项目类规范（简称项目规范）和通用技术类规范（简称通用规范）两种类型。在强制性工程建设规范体系中，项目规范是主干，以工程建设项目整体为对象，以项目的规模、布局、功能、性能和关键技术措施等五大要素为主要内容。通用规范是工程项目建设过程中共性的、通用的专业性关键技术措施，以实施工程建设项目功能性能要求的各专业通用技术为对象，以勘察、设计、施工、维修、养护等通用技术要求为主要内容。

关于五大要素。强制性工程建设规范的各项要素是工程建设活动必须遵守的基本规定。项目的规模要求，主要规定项目应具备完整的生产或服务能力，应与经济社会发展水平相适应。项目的布局要求，主要规定产业布局、项目选址、总体设计、总平面布置以及与规模相协调的统筹性技术要求，应结合需求、资源、效益等因素合理分布。项目的功能要求，主要规定项目构成和用途、项目构成的基本组成单元等，应实现并发挥项目的预期目标。项目的性能要求，主要规定项目建设水平或技术水平的高低程度，明确绿色、智慧、安全、环保等项目性能应达到的基本水平。项目的关键技术措施要求，主要规定工程质量、安全生产、节能降耗、生态环保、公共服务、可持续等方面的具体技术要求，应支撑或满足项目的功能性能要求贯彻落实。

关于规范实施。强制性工程建设规范具有强制约束力，是保障人民生命财产安全、工程质量安全、生态环境安全、公众权益和公众利益，以及促进能源资源节约利用、满足经济社会管理等方面的控制性底线要求，工程建设项目的勘察、设计、施工、验收、维修、养护、拆除等全过程中必须严格执行。同时，还应结合项目的具体情况、条件等因素，实施相关的推荐性工程建设标准，进一步将强制性工程建设规范的各项要求落实到项目的建设和运维中。除配套执行推荐性工程建设标准外，在满足强制性工程建设规范规定的项目功能、性能要求和关键技术措施的前提下，也可选用相关团体标准、企业标准，使项目达到更高质量、更高水平、更高效益。项目采用的推荐性工程建设标准、团体标准、企业标准要与强制性工

程建设规范协调配套，各项技术要求不得低于强制性工程建设规范的相关技术水平。

强制性工程建设规范实施后，现行工程建设国家标准、行业标准中相关的强制性条文同时废止。现行工程建设地方标准中的强制性条文应及时修订，且不得低于强制性工程建设规范的规定。现行工程建设标准与强制性工程建设规范的规定不一致的，以强制性工程建设规范的规定为准。

目 次

1	总则	1
2	基本规定	2
3	设计	3
3.1	一般规定	3
3.2	闸门	3
3.3	压力钢管	3
3.4	启闭设备	4
4	制造	5
4.1	一般规定	5
4.2	闸门	5
4.3	压力钢管	5
4.4	启闭设备	5
5	安装	6
5.1	一般规定	6
5.2	闸门	6
5.3	压力钢管	7
5.4	启闭设备	7
6	运行维护	8
6.1	一般规定	8
6.2	运行管理	8
6.3	监测与检测	8
6.4	维修养护	9
	起草说明	10

1 总则

1.0.1 为了明确水利水电工程建设和安全运行中对金属结构的底线技术要求,保证其质量可靠、运行安全,保障工程安全和公共安全,保护生态环境安全,制定本规范。

1.0.2 水利水电工程金属结构在设计、制造、安装和运行维护全过程中应当执行本规范。

1.0.3 水利水电工程金属结构应满足安全、可靠、节能、环保、耐用的要求。

1.0.4 工程建设所采用的技术方法和措施是否符合本规范要求,由相关责任主体判定。创新性的技术方法和措施,应进行论证并符合本规范中有关性能的要求。

2 基本规定

- 2.0.1 金属结构的功能应满足工程运行的要求。设计文件规定的功能和使用条件需变更或调整的，应经设计书面认可，并履行审批程序。
- 2.0.2 金属结构必须依据专门编制和制定的技术文件进行制造、安装、运行、维护及检测。
- 2.0.3 金属结构使用的材料以及制造、安装和运行维护过程，应满足环保和生态相关要求。涉及饮用水的，还应满足饮水安全要求。
- 2.0.4 金属结构设计、制造、安装和运行维护应与主体工程的数字化、信息化相适应。
- 2.0.5 承担金属结构的制造、安装、运行、维护及检测的机构和人员，应按法律法规规定具备相应的资质和资格。
- 2.0.6 列入国家特种设备管理名录的金属结构，应满足特种设备的强制性标准相关规定及技术要求。
- 2.0.7 金属结构的建设和运行应实施全过程风险管理，构建风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，具有可靠的预警、报警和应急处置等措施。

3 设计

3.1 一般规定

3.1.1 金属结构应根据工程特点合理选用材料、结构型式和构造措施、工艺方法，满足运输、安装和使用过程中的强度、刚度、稳定性和有关安全性要求。

3.1.2 在抗震设防烈度Ⅶ度及以上地区工作的永久金属结构的抗震设计，应采用与所在水工建筑物相同的抗震设防标准。

3.1.3 具有泄洪、排涝功能，需短时间内全部开启或均匀泄水的工作闸门，应选用固定式启闭设备，一门一机布置。

3.1.4 永久建筑物的潜孔式闸门门后不具备充分通气条件时，应在紧靠闸门下游的孔口顶部设置通气孔，其上端应与启闭机室分开，并应设防护设施。

3.1.5 在下列位置应设置保护机组或钢管的快速闸门，其关闭时间应满足对机组和管道的保护要求：

- 1 明管、坝内埋管、钢衬钢筋混凝土管。
- 2 引水式电站机组前不设进水阀的地下埋管、回填管首端。
- 3 坝后式电站进水口。

3.1.6 潜孔式泄水工作闸门的上游侧应设置事故闸门。

3.1.7 金属结构设备应根据工作环境、环保要求、工作年限、使用工况、维护管理条件进行防腐设计。

3.2 闸门

3.2.1 存在风浪或涌潮的泄洪闸、水闸及挡潮闸，当工作闸门采用潜孔弧形闸门或上游止水的平面闸门，且有上游水位低于门楣的运行工况，应采取消除气囊冲击压力的工程措施。

3.2.2 闸门不得承受冰的静压力。

3.2.3 设计工况有门顶溢流过水的闸门，应采取防负压措施。

3.2.4 对于承受外压作用的埋件，应复核在外压条件下的强度和稳定性

3.2.5 抽水蓄能电站拦污栅应按双向水流作用条件设计。

3.3 压力钢管

3.3.1 正常运行条件下，水电站压力钢管管道顶面应至少在最低压力线以下 2.0m。

3.3.2 钢管镇墩设计时应计入温度荷载和其他轴向荷载对钢管内力的影响。明管的镇墩和支墩地基应力最大值不得超过地基的允许承载力。墩体体形尺寸应有利于基础应力均匀分布。明管镇墩应校核最高内水压试验状态下的强度和稳定性。

3.3.3 明管、地下埋管、坝内埋管、钢衬钢筋混凝土管及回填管等压力钢管应保证抗外压稳定。

3.3.4 压力钢管的构造应满足下列要求：

- 1 伸缩节的伸缩量应适应钢管变形，并留有裕量。
- 2 有倒虹吸的钢管，在该管道的最低处应设置放空、排沙设施。
- 3 严寒地区的明管，应设置防止结冰的保温措施，包括钢管、通气管、伸缩节和进人孔等设备。

4 钢管、外围混凝土和岩石联合受力的地下埋管和坝内埋管坡度小于 45° 的钢管底部，钢管及钢岔管底部与混凝土间应做接触灌浆；平洞倾斜角度小于 45° 的钢管混凝土衬砌顶拱应进行回填灌浆。

5 镇墩内的钢管应配置止推环和加劲环，向上凸的钢管应配置锚固件，末端有闸（阀）的钢管应设置止推环。

3.3.5 沿板厚方向受拉的钢管用材，应明确厚度方向性能级别要求。

3.4 启闭设备

3.4.1 有泄洪功能的工作闸门启闭机应设置应急动力设施。

3.4.2 启闭设备应设置行程、荷载等安全保护装置；行程限制器工作原理应不同于行程检测装置；电力驱动的启闭机还应设置电气保护装置，以及可切断所有电源的开关。

3.4.3 液压启闭机应设有安全溢流阀，禁止采用溢流阀代替行程限制器。

3.4.4 额定启闭荷载 1000kN 及以上的门式启闭机应设置安全监控管理系统。

3.4.5 卷扬式启闭机每套独立的驱动装置至少应设置一个常闭式支持制动器。

3.4.6 除快速闸门液压启闭机外，其他液压启闭机的液压系统应设置液压锁定回路。液压锁定回路应采用液控单向阀或平衡阀。

3.4.7 下列闸门的启闭机应能远程控制闭门：

- 1 快速闸门。
- 2 抽水蓄能电站的上水库事故闸门及尾水事故闸门。

4 制造

4.1 一般规定

4.1.1 金属结构的主要钢材、焊接材料、防腐材料、标准件、外购件和非标准协作件应具有质量合格证明文件。

4.1.2 金属结构制造安装前应制定焊接工艺规程。

4.1.3 金属结构全部焊缝应进行外观检查，其中一类、二类焊缝应进行内部无损检测。I、II类铸钢件应作外观目视检查和内部超声波检测，其主要受力部位的加工面应进行表面无损检测。

4.1.4 高强度螺栓连接处的钢板表面处理方法与除锈等级应符合设计文件要求。摩擦型高强度螺栓连接摩擦面处理后，应进行抗滑移系数试验，其结果应达到设计要求。

4.1.5 金属结构制造完成后应进行出厂验收。

4.2 闸门

4.2.1 分节制造的闸门和埋件，首套出厂前应进行整体预组装和检查，预组装应在闸门的自由状态下进行。

4.2.2 闸门在运输和存放过程中应采取防变形措施。

4.3 压力钢管

4.3.1 钢板卷板方向应和钢板的压延方向一致。

4.3.2 钢管、钢岔管水压试验前，必须制订安全专项方案和应急预案。水压试验用闷头必须通过设计计算确定。

4.4 启闭设备

4.4.1 固定卷扬式启闭机应在厂内进行整体组装，并进行空载试运转。

4.4.2 移动式启闭机小车总成、回转吊、门架、大车行走机构应在厂内分别预组装，并进行空载试运转。

4.4.3 液压启闭机液压缸总成、液压泵站、电控系统应分别进行厂内试验，首套液压启闭机在出厂前应进行机、电、液联合调试。

5 安装

5.1 一般规定

- 5.1.1 金属结构安装前应制定安装方案。施工前应确认安装施工设备与设施与其承担的工作相适应，使用过程中应保证其可靠性，需要计量检定的设备应在检定有效期内使用。
- 5.1.2 吊装作业必须在起重设备的额定起重量范围内进行。用于吊装的钢丝绳、吊装带、卸扣、吊钩等吊具应经检验合格，并应在其额定许用荷载和安全系数范围内使用。
- 5.1.3 利用建筑结构作为吊装的主要承力点时，必须进行建筑结构的承载核算。
- 5.1.4 严禁在未固定、无防护设施的构件及管道上进行作业或通行。
- 5.1.5 暂停作业时，对吊装作业中未形成稳定体系的部分，必须采取临时固定措施。对临时固定的构件，必须在完成了永久固定，并经检查确认无误后，方可解除临时固定措施。
- 5.1.6 现场安装应对摩擦型高强度螺栓连接摩擦面抗滑移系数进行复验，其结果应满足设计要求。
- 5.1.7 高强度大六角头螺栓连接副在施工前应按出厂批号复验扭矩系数，其结果应满足设计要求。
- 5.1.8 上部结构施工时应先期安装的金属结构采取防护措施。
- 5.1.9 安装用高空操作平台应符合下列规定：
- 1 操作平台、钢丝绳及锁定装置等必须经设计计算确定。
 - 2 必须有安全保护装置。
 - 3 钢丝绳严禁经过尖锐部位。
 - 4 电焊机等电气装置必须满足绝缘和接地要求，严禁用操作平台作为接地回路。
 - 5 必须采取可靠的防火和防坠落措施。
- 5.1.10 应采取措施避免风荷载对安装作业的影响。

5.2 闸门

- 5.2.1 弧形闸门的铰座的基础螺栓和弧形闸门铰座钢梁的安装应在闸墩锚杆或锚索预应力张拉和混凝土浇筑完成后进行。
- 5.2.2 充压式水封投入运行前，充压系统设备应进行充压试验，试验结果应满足设计要求。
- 5.2.3 闸门应在无水或静水情况下做全行程启闭试验。快速闸门安装完成后应进行动水闭门试验。工作闸门安装完成后应进行动水启闭试验。

5.3 压力钢管

- 5.3.1 钢管安装前，应将钢管中心、高程和里程等控制点测放到附近的永久或半永久构筑物或牢固的岩石上，并做出明显标识。
- 5.3.2 钢管在安装过程中支撑构件的强度、刚度和稳定性必须经过设计计算，满足安装工况要求。
- 5.3.3 埋管安装后，应与支墩和锚栓等焊接牢固。弹性垫层管的支撑结构不得与其管壁焊接。

5.4 启闭设备

- 5.4.1 卷扬式启闭机钢丝绳不得火焰切割，严禁接长。
- 5.4.2 卷扬式启闭机吊点在下极限时，钢丝绳留在卷筒上的圈数应符合设计要求，留足固定圈和安全圈。
- 5.4.3 行程检测及限位装置、载荷限制装置、锚定联锁保护装置及防雷测风装置等安全保护装置应安装正确、动作灵敏、安全可靠。
- 5.4.4 液压启闭设备管件清洗时，清洗废液应回收处理。
- 5.4.5 门式启闭机投入运行前，应进行静载和动载试验。
- 5.4.6 启闭设备应进行空载试运行，合格后方可联门调试。

6 运行维护

6.1 一般规定

- 6.1.1 具有泄洪功能的闸门，每年汛前应对闸门和启闭机等设备进行全面检查，并进行启闭动作试验，确认设备可靠性。
- 6.1.2 压力钢管投入运行后应定期开展巡视检查、运行监测、安全检测、维护检修等工作。
- 6.1.3 金属结构出现下列情况之一，经检修仍不能满足要求且难以改造时，应报废：
- 1 在规定的工况下不能安全运行；
 - 2 对操作、维修人员的人身安全有威胁；
 - 3 对环境产生有害影响且危害公共安全；
 - 4 经检测评定为不安全的；
 - 5 因工程运行条件改变，不再适用且无法改造的设备；
 - 6 遭遇意外事故破坏而不能修复的设备。
- 6.1.4 报废设备拆除应按经审批通过的方案执行。
- 6.1.5 涉及重大改造、专项维护、事故处理等运行维护相关记录应永久保存。
- 6.1.6 闸门控制系统接入计算机监控系统的，应满足网络安全防护要求。

6.2 运行管理

- 6.2.1 闸门、启闭设备和相关电气及控制设备在操作前均应进行检查，无异常情况时方可操作。
- 6.2.2 有局部开启要求的闸门，应避免强振动区运行。
- 6.2.3 闸门正常启闭过程中，严禁切换控制方式。

6.3 监测与检测

- 6.3.1 运行管理单位应做好金属结构安全监测设备的保护，及时整理分析监测资料。
- 6.3.2 发生下列情况之一时，应对闸门及启闭设备进行安全检测、评估及专项检查：
- 1 超设计工况运行；
 - 2 误操作，可能导致设备受损；
 - 3 遭遇可能引起设备超设计工况或重大事故的自然灾害；
 - 4 主要结构件或主要零部件存在可能影响安全的危害性缺陷和重大隐患；
 - 5 设备出现明显异常，影响安全运行；
 - 6 遇烈度为Ⅶ度及以上地震。
- 6.3.3 压力钢管发生下列情况之一时，应进行安全检测、评估及专项监测：

- 1 首次充排水；
- 2 首次达到设计水位；
- 3 机组甩负荷；
- 4 地震地质灾害；
- 5 特殊天气；
- 6 其他异常情况。

6.3.4 闸门及启闭机投运后应 5 年-10 年内进行首次安全检测。首次安全检测后每隔 10 年～15 年进行一次定期安全检测。

6.3.5 压力钢管投运后 5 年内应进行首次安全检测，首次安全检测后每隔 5 年～10 年进行一次定期安全检测。

6.4 维修养护

6.4.1 有泄洪功能的工作闸门的应急电源，汛前及汛期应定期启动。使用柴油发电机作为应急电源的，备用柴油量应满足启闭机操作运行用量。

6.4.2 放空建筑物闸门及启闭机应定期进行启闭操作试验，确保设备运行正常。

6.4.3 水工建筑物设有通气孔的，通气孔应保持通畅。

6.4.4 启闭机安全保护装置应保持完好、动作可靠。

6.4.5 启闭机大修后应进行试运行试验，无异常方可投入运行。

6.4.6 启闭机检修维护中产生的油污、废油应进行回收处理。

中华人民共和国国家标准

水利水电工程金属结构

通用规范

GB ×××××—××××

起草说明

目 次

一、	基本情况.....	12
二、	本规范编制单位、起草人员及审查人员.....	13
三、	条文说明.....	14
1	总则.....	14
2	基本规定.....	15
3	设计.....	17
3.1	一般规定.....	17
3.2	闸门.....	18
3.3	压力钢管.....	19
3.4	启闭设备.....	20
4	制造.....	24
4.1	一般规定.....	24
4.2	闸门.....	25
4.3	压力钢管.....	25
4.4	启闭设备.....	25
5	安装.....	26
5.1	一般规定.....	26
5.2	闸门.....	28
5.3	压力钢管.....	28
5.4	启闭设备.....	29
6	运行维护.....	31
6.1	一般规定.....	31
6.2	运行管理.....	32
6.3	监测与检测.....	33
6.4	维修养护.....	34

一、 基本情况

按照《住房和城乡建设部关于印发 2023 年工程建设规范标准编制及相关工作计划的通知》（建标函〔2023〕42 号）要求，编制组在国家现行相关工程建设标准基础上，认真总结实践经验，参考了国外技术法规、国际标准和国外先进标准，并与国家法规政策相协调，经广泛调查研究和征求意见，编制了本规范。

本规范的主要内容是规定了水利水电工程中的各类闸门、各类启闭设备、移动式清污机、压力钢管在设计、制造、安装、运行维护全过程的控制性底线要求。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和解释。

二、 本规范编制单位、起草人员及审查人员

（一）编制单位

水利部产品质量标准研究所
水电水利规划设计总院
长江勘测规划设计研究有限责任公司
黄河勘测规划设计研究院有限公司
中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
广东省水利电力勘测设计研究院有限公司
内蒙古自治区水利事业发展中心
中国南水北调集团中线有限公司
雅砻江流域水电开发有限公司
南京水科院瑞迪科技集团有限公司
浙江广川工程咨询有限公司
浙江江能建设有限公司
常州液压成套设备厂有限公司
中国葛洲坝集团机械船舶有限公司

（二）起草人员

（三）审查人员

三、 条文说明

本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

1 总则

1.0.1 水利水电工程是国民经济和社会发展的基础设施。安全是水利水电工程的首要任务。水利水电工程生产安全、运行安全在防灾减灾和保障人民群众生命财产安全、生态安全中担负重要责任。金属结构是水利水电工程的重要组成部分,对工程发挥防洪、发电、灌溉、水运等效益,以及设备保护、设备检修等工作起着关键作用。目前没有支撑水利水电工程建设中金属结构的安装、运行和维护等工作的全文强制性国家标准。现行强制性条文不能够涵盖金属结构的全生命周期。为保障水利水电工程安全和公共安全,保护生态环境安全,制定本规范。

1.0.2 本规范中金属结构指水利水电工程中的各类闸门、各类启闭设备、移动式清污机、压力钢管。本规范是金属结构设计、制造、安装、运行维护全过程的控制性底线要求,具有法规强制效力。

1.0.3 工程建设强制性规范是以工程建设活动结果为导向的技术规定,突出了建设工程的规模、布局、功能、性能和关键技术措施,但是,规范中关键技术措施不能涵盖工程规划建设管理采用的全部技术方法和措施、仅仅是保障工程性能的“关键点”,很多关键技术措施具有“指令性”特点,即要求工程技术人员去“做什么”,规范要求的结果是要保障建设工程的性能,因此,能否达到规范中性能的要求,以及工程技术人员所采用的技术方法和措施是否按照规范的要求去执行,需要进行全面的判定,其中,重点是能否保证工程性能符合规范的规定。

进行这种判定的主体应为工程建设的相关责任主体,这是我国现行法律法规的要求。《建筑法》《建设工程质量管理条例》《民用建筑节能条例》以及相关的法律法规,突出强调了工程监管、建设、规划、勘察、设计、施工、监理、检测、造价、咨询等各方主体的法律责任,既规定了首要责任,也确定了主体责任。在工程建设过程中,执行强制性工程建设规范是各方主体落实责任的必要条件,是基本的、底线的条件,有义务对工程规划、建设管理采用的技术方法和措施是否符合本规范规定进行判定。

1.0.4 为了支持创新,鼓励创新成果在建设工程中应用,当拟采用的新技术在工程建设强制性规范或推荐性标准中没有相关规定时,应当对拟采用的工程技术或措施进行论证,确保建设工程达到工程建设强制性规范规定的工程性能要求。确保建设工程质量和安全,并应满足国家对建设工程环境保护、卫生健康、经济社会管理、能源资源节约与合理利用等相关基本要求。

2 基本规定

2.0.1 金属结构的功能满足工程运行需要是其最基本的要求。各闸门、启闭设备等金属结构的操作和运行根据不同水利水电工程的功能及任务、运行调度要求及设备特性等均不相同，因此其主要功能、使用条件在设计文件中明确，并在后续阶段严格执行，不能随意改变设计文件规定的功能和使用条件。如果需要更改使用条件和运行要求，开展相关论证，履行相关审批程序后实施。

2.0.2 为保证金属结构的制造、安装及验收质量，遵循安全可靠、技术先进、经济合理的原则，保障设备运行安全，满足工程运行需要，金属结构的制造、安装、运行维护及检测各环节实施前均需编制和制定各环节相关的技术文件，且必须依据技术文件开展工作。技术文件包括设计资料、工艺文件、操作规程、运行维护和检测制度等。《水利水电工程钢闸门制造安装及验收规范》GB/T 14173-2008、《水电工程钢闸门制造安装及验收规范》NB/T 35045-2014、《水利水电工程启闭机制造安装及验收规范》SL/T 381-2021、《水电工程启闭机制造安装及验收规范》NB/T 35051-2015、《水电水利工程压力钢管制造安装及验收规范》GB 50766-2012、《水电工程闸门和启闭机运行维护规程》NB/T 11019-2022、《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》NB/T 11418-2023、《压力钢管安全检测技术规程》NB/T 10349-2019等规程规范规定了相关技术文件的编制和制定。

2.0.3 金属结构在使用过程中需要满足环保、生态的要求，特别是饮水安全的要求，以确保其对环境的影响降到最低。水资源保护对结构及零部件材料、防腐材料、焊接材料的选择提出了要求，要确保其不会对水质造成污染。金属结构的制作和安装过程中，产生的废水要经过严格的处理，确保其不会对周边水体造成污染。废水处理设施要符合相关环保标准，确保处理后的废水达到排放标准。制作和安装过程中产生的固体废物，如废金属、废焊条等，要采用科学的废物处理方法妥善处理，确保固体废物不会对生态环境产生影响。在饮用水环境下，避免使用含有重金属或其他有害物质的材料。

2.0.4 水利水电工程的发展走向数字化、信息化是趋势。水利水电工程承载着防洪抗旱、灌溉发电、水资源优化利用等重要使命，在国民经济发展中扮演着不可或缺的角色，工程的信息安全关系到国家安全。金属结构是水利水电工程安全的重要组成部分，因此，水利水电工程金属结构的设计、制造、安装、运行维护全过程要与主体工程的数字化建设、信息安全相适应。

2.0.5 金属结构的制造、安装、运行操作、维护及检测等环节中，对有关机构及专业作业人员有资质和资格要求。如金属结构施工中的起重吊装、高处作业、电气作业等作业，涉及特种作业、特殊作业和特种设备作业等，具有一定的质量和安全风险，作业人员具备相应的资格，具有从事相关岗位工作保证产品质量和安全施工的能力；承担压力钢管检测的机构具有相应的单位检测资质，检测人员具有相应的检测人员资质，检测设备经计量检定机构检定或

校准合格；焊接及焊接检测人员，包括焊工、焊接技术人员、焊接检验人员、无损检测人员等，是焊接施工的直接或间接参与者，是焊接质量控制环节中的重要组成部分，焊接从业人员的专业素质是关系到焊接质量的关键因素，直接影响到产品承载结构的质量。

2.0.6 列入国家特种设备管理名录的金属结构，如水利水电工程门式起重机等，需满足《中华人民共和国特种设备安全法》（中华人民共和国主席令第4号）、《特种设备安全监察条例》（国务院令第549号）、《国家质量监督检验检疫总局关于修改〈特种设备作业人员监督管理办法〉的决定》（质检总局第140号令）等一系列特种设备法律、法规、条例的规定和《特种设备使用管理规则》TSG 08-2017、《特种设备作业人员考核规则》TSG Z6001-2019等强制性标准、规范或强制性条文的有关规定及技术要求。

2.0.7 2016年10月9日，《国务院安委会办公室关于实施遏制重特大事故工作指南构建双重预防机制的意见》（安委办〔2016〕11号）《安全生产事故隐患排查治理暂行规定》（国务院安全生产监督管理总局令第16号），事故隐患是指生产经营单位违反安全生产法律、法规、规章、标准、规程和安全生产管理制度的规定，或者因其他因素在生产经营活动中存在可能导致事故发生的物的危险状态、人的不安全行为和管理上的缺陷。隐患分为一般事故隐患和重大事故隐患。2017年11月27日，水利部印发《关于进一步加强水利生产安全事故隐患排查治理工作的意见》（水安监〔2017〕409号）；2022年12月29日，能源局印发《电力安全隐患治理监督管理规定》（国能发安全规〔2022〕116号）。2018年12月21日，水利部印发《关于开展水利安全风险分级管控的指导意见》（水安监〔2018〕323号）；2015年1月7日，国家能源局印发《关于加强电力企业安全风险预控体系建设的指导意见》（国能安全〔2015〕1号）。2018年12月6日，水利部印发《水利水电工程施工危险源辨识与风险评价导则（试行）》（办监督函〔2018〕1693号）。2019年12月30日，水利部印发《水利水电工程（水库、水闸）运行危险源辨识与风险评价导则（试行）》（办监督函〔2019〕1486号），水库、水闸工程运行危险源（以下简称危险源）是指在水库、水闸工程运行管理过程中存在的，可能导致人员伤亡、健康损害、财产损失或环境破坏，在一定的触发因素作用下可转化为事故的根源或状态。

水利水电工程金属结构在建设和运行管理过程中，建立和完善安全风险管理体系，构建安全风险分级管理及隐患排查治理双重预防机制。

安全风险管理体系坚持“全面覆盖、全员参与、分级负责、持续改进”的安全风险分级管控基本原则，对辨识出的安全风险进行分类梳理、分级管控、分层落实，逐一落实厂（站）级、部门级、班组级和岗位级的管控责任。安全风险分级管控体系工作程序：安全生产风险点确定—安全生产危险源辨识—安全生产风险评估分级—安全生产风险控制措施制定—安全生产风险分级管控。各风险管理级关注内外部变化后的安全风险状况，动态评估、调整安全风险等级和管控措施，确保安全风险始终处于受控范围内。隐患排查治理根据“统一领导、落实责任、分级管理、分类指导、全员参与”的要求，坚持“谁主管、谁负责”和“全方位覆

盖、全过程闭环”的原则。

隐患治理实行分级管理，分为重大隐患、一般隐患和不符合项进行治理。编制安全风险分级管控清单，结合安全生产实际情况和风险评估结果，分级开展隐患排查工作。各部门结合日常巡检、设备运行分析、安全生产标准化、安全性评价、技术监督、反措、安全检查等形式，组织开展隐患排查。对隐患排查出的问题，按照隐患分级判定标准的要求进行判定风险等级。

一般安全隐患、不符合项的治理，隐患治理责任部门应明确治理责任人，制定隐患治理措施或方案，并组织实施。暂不具备整改条件的制定防范措施。重大安全隐患由厂（站）组织相关部门人员按照“五定”（定方案、定资金、定时间、定责任人、定预案）原则制定治理方案。落实治理的目标和任务、经费和物资、责任部门和人员、治理的时限，以及针对可能发生的事故制定应急预案和防范措施，并按方案组织实施。重大隐患治理的责任部门应针对治理过程中可能发生的事故，制定应急预案和安全防范措施，并开展应急培训和演练。

随着在线监测技术的发展，水工金属结构建设和运行过程，水工金属在线监测及安全评估系统通过布置在设备上的传感器，对设备状态进行动态的、实时的、全方位的监测，当设备运行状态异常时进行预警和报警。如测出特征部位的振动加速度值、位移值、频率值，在振动位移超标和振动频率接近固有频率时能够预警和报警。便于相关人员及时人工干预。

3 设计

3.1 一般规定

3.1.1 随着我国水利水电工程建设规模和制造安装技术的日益发展，大尺寸、高水头、大容量的金属结构应用越来越多，金属结构的型式、技术参数、规模等都取得长足的进步，在工程建设中也面临更多新的要求和考验。水工金属结构一般具有承载要求高、结构尺寸大的特点，合理选择材料、结构型式和构造措施直接影响工程量和工程造价。金属结构承载构件要根据运输、安装、使用过程中实际可能发生的最不利荷载组合情况，按基本荷载组合和特殊荷载组合条件分别进行强度、刚度、稳定性验算，验算结果准确可靠并满足规定要求。另外，还要考虑消防、抗震等有关安全性方面要求。

3.1.2 金属结构在地震工况下的安全性能关系到工程安全。抗震设防烈度是确定工程抗震措施的设计标准，对于在抗震设防烈度Ⅶ度及以上地区工作的永久主要金属结构，需要进行抗震设计。根据《水电工程防震抗震设计规范》NB 35057-2015 第 3.0.10 条：泄水建筑物和输水发电系统的金属结构设备，水轮发电机组、机电设备、电气装置及其系统、电力系统通信设备等主要机电设施的抗震设防类别应与相应建筑物的抗震设防类别相同。第 6.0.5 条：主要金属结构设备、机电设施等的抗震设防标准应不低于其所在泄水、输水发电、通航等建筑

物的抗震设防标准。本条规定金属结构采用与相应水工建筑物地震设防标准进行设计，地震动参数与设备所在水工建筑物具体部位的地震动参数一致。

3.1.3 用于泄洪、排涝的工作闸门，工作时需短时间内全部开启或均匀开启，具有一定的紧迫性，要求各孔闸门能在短时间内开启或关闭，以防发生危及工程及生命财产的安全事故。因此，这类闸门需要采用固定式启闭设备，一门一机布置。

3.1.4 对潜孔式闸门包括工作闸门、事故闸门和检修闸门，如门后闸门槽、竖井或出口等不能充分通气时，需要在紧靠闸门下游处顶部设置通气孔。对压力钢管而言，其进口闸（阀）下游侧需要设置通气孔，该通气孔是压力钢管放空时补气和管道内充水时排气的重要通道。对通气孔的要求是：面积足够，位置适宜，通气均匀，安全可靠。

通气孔上端与启闭机房分开，以保证安全运行。有些工程（如岗南、大伙房、镜泊湖等）由于通气孔与机房联在一起，以致发生事故，影响安全运行。其下口，有条件者，最好做到均匀通气，这种布置效果更好（如云峰中孔）。通气孔上端出口还要设置必要的防护措施，以保证运行期间通气畅顺及人员安全。

3.1.5 对于明管、坝内埋管、钢衬钢筋混凝土管及机组前不设进水阀的地下埋管和回填管首端，管道事故保护关乎工程运行安全，要求尽可能快的切断水流，因此须设置的快速闸门

对于坝后式电站进水口，通常机组前没有设置进水阀，需依靠快速闸门对机组进行保护。一旦出现输水压力管道破裂及机组飞逸等异常情况时，危害较大，快速闸门的快速关闭可以迅速截断水流防止事故扩大，故需根据机组、压力管道保护需要的时间确定快速闸门闭门时间。

3.1.6 潜孔式的工作闸门，为动水启闭，有些还需要局部开启控制流量，工作条件较为苛刻。工作闸门一旦出现故障，事故闸门能动水关闭截断水流，防止事故扩大，故在此强调其上游侧要求设置事故闸门。

3.1.7 防腐蚀设计关系到水工金属结构的使用寿命、维修周期及工程造价，需要通过技术经济论证来选定合理的方案，主要根据金属结构所处环境条件、环保要求、工作年限、使用工况、结构特点及维修保养条件等因素来确定合适的防腐蚀技术指标、施工工艺、施工质量验收标准等。

3.2 闸门

3.2.1 根据国内调查，广东鹤地水库溢洪道弧门、浙江马山闸弧门、河南白龟山水库弧门、江苏三河闸弧门，都处于沿库、沿海、沿湖有较大风浪和涌潮地区，由于布置上的缺陷，前两者在上游水位略低于前胸墙时，胸墙底部和闸门漏出水面以上部分形成一个封闭的空腔，当有较大风浪和涌潮作用下，空气被压缩，形成巨大的气囊冲击压力。前两者，因气囊冲击压力过大，造成了闸门支臂失稳破坏、胸墙混凝土破坏；后两者在布置上进行了改进，如在胸墙中开洞通气，拆除弧门顶止水等等措施后，未形成较大的气囊冲击压力，闸门基本完好。

根据正反两方面的教训和经验，设计时需从布置上加以避免。

针对气囊冲击压力，采取的措施有如下几点：

- (1) 胸墙中设排气孔；
- (2) 预留少许调压沟；
- (3) 设防冲木。

3.2.2 水结冰后，由于体积增大而产生的压力将作用于闸门，严重时会导致闸门变形损坏。因此本条规定闸门不能承受冰的静压力。为防止冰的静压力，在门前形成不冻带的有效措施为压力水射流法、压缩空气吹泡法，可用压缩空气机或用潜水泵（如官厅、参窝、上马岭、红山、红石、大顶子山、小山等水电站），也可用机械或人工开凿（如莲花水电站）。

3.2.3 设计工况有漫溢水过水的闸门，门后易产生负压，导致闸门受力增加或产生振动，故需采取防负压的措施。可通过设置破水器或在门后设置通气孔进行补气，消除负压对闸门影响。根据国内底轴旋转式钢闸门的试验研究和调查，破水器的设置高度一般为 0.5m，形式一般做成三角形或半椭圆形。通气孔底部一般布置于门后 1/3 门高处，通气孔顶部根据校核洪水位加安全超高确定。

3.2.4 承受外压作用的埋件，比如抽水蓄能电站尾闸室事故闸门埋件，除了考虑闸门挡水时埋件的受力外，还要考虑门槽处流道放空无内水压力时，在外水压力、灌浆压力作用下的强度和稳定问题。

3.2.5 抽水蓄能电站的拦污栅在发电和抽水工况时，其水流方向、水流流态完全不同。因此，本条规定抽水蓄能电站的拦污栅需要按照双向水流设计。

3.3 压力钢管

3.3.1 为避免压力钢管管顶产生负压，危害水轮机的运行，规定压力钢管在任何部位的面部都应在最低压力线以下，并不小于 2.0m 的安全裕度。

3.3.2 温度荷载引起钢管的变形，镇墩承受着约束钢管变形的能力。国内出现过镇墩倾斜、墩体位移、基础滑移、塌方等工程事故。水压试验试验压力一般会超过工作压力，如对水头较低的钢管，按《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008 试验压力为 $P+0.5\text{ MPa}$ 且不小于 0.9MPa，试验压力可能会到达工作压力的 2 倍以上。若不对水压试验状态下的强度和稳定性进行校核，可能会导致镇墩基础滑移、开裂等情况。因此有必要校核水压试验工况镇墩的强度和稳定性。

3.3.3 水利水电工程压力钢管包括明管、地下埋管、坝内埋管、钢衬钢筋混凝土管及回填管等管型，均必须保证抗外压稳定。如地下埋管在设计时要充分考虑围岩地下水分布情况，采取有效的防渗、排水措施，并监测地下水位的变化情况，保证其抗外压稳定。《水利水电工程压力钢管设计规范》SL/T 281-2020 和《水电站压力钢管设计规范》NB/T 35056-2015 给

出了各种类型压力钢管抗外压稳定的安全系数。

3.3.4 强调压力钢管的构造满足的要求：

1 伸缩节是为适应温度变化和基础不均匀沉降等因素所产生的变位，而在钢管上设置的允许适量变位的接头部件。对伸缩节的基本要求是：能随温度变化自由伸缩，能适应镇墩、支墩的基础变形而产生的线变位和角变位的需要，并留有裕量；同时也因为存在计算误差和制作安装误差等需要设置伸缩节。

2 为便于放空巡视和维修，倒虹吸钢管在最低处设置放空设施，因发电钢管流速不高，水流挟沙容易沉降在最低部位，排沙设施也是必要的。

3 《民用建筑热工设计规范》GB 50176-2016 中定义，严寒地区为累年最冷月平均温度 $t_a \leq -10^\circ\text{C}$ 或日平均度 $t_a \leq 5^\circ\text{C}$ 的天数，一般在 145 天以上的地区。本条所指部位极易因漏水结冰、膨胀而破坏。同时，当钢管内水流流速低，或完全停滞流动，管壁内可能结冰，危及设备安全，故需要防止。

4 强调地下埋管和坝内埋管坡度缓于 45° 的钢管底部，要进行钢管与混凝土间的接触灌浆，接触灌浆对于截断渗水通道，改善混凝土质量大有好处。由于局部超挖、塌顶可能出现反坡，为避免浇筑不满而存在安全隐患，对于地下埋管的水平段和较缓倾角的斜井段，顶拱应进行回填灌浆。对这一点《水利水电工程压力钢管设计规范》SL/T 281-2020、《水电站压力钢管设计规范》NB/T 35056-2015 两个规范是一致的。但对接触灌浆两个规范要求存在一定差异，SL/T 281-2020 中“钢管与混凝土间宜进行接触灌浆”；NB/T 35056-2015 中“钢管存在超过设计允许的缝隙，应进行接触灌浆”。钢管与混凝土的缝隙由施工缝隙、钢管的冷伸缩缝和围岩的冷缩缝组成，施工缝隙取 0.2mm 的前提条件是接触灌浆良好，可以认为，钢管、外围混凝土及岩石共同承担内水压力的管道，需要进行接触灌浆。至于接触灌浆的范围是钢管全断面还是钢管底部一定范围，这个根据设计要求确定。

5 因镇墩承受的管线轴向力很大，该力由管道（弯管或直管）传给镇墩，为了防止管道从混凝土内脱出，除了在混凝土内应有足够长度外，还要在管壁外设若干刚性环插入其内，该环起止推和止拔作用。向上凸的钢管运行时合力向外，需采取锚固措施。末端有闸（阀）的钢管闸（阀）关闭，存在轴向拉力，闸（阀）地脚螺栓不能承受这个力，需要将这个力通过钢管传递到混凝土或岩石，因此需要设止推环。

3.3.5 岔管结构属重要压力部件，其月牙肋部分是比较典型的板厚方向受拉的构件，应力复杂，且板件较厚，此条规定应明确提出板厚方向受拉钢板性能要求，避免结构破坏，保障设备的安全。《厚度方向性能钢板》GB 5313-2010 给出了具体规定：性能级别要求一般不低于 Z25。

3.4 启闭设备

3.4.1

具有泄洪功能的工作闸门和水闸枢纽工作闸门能否启闭,将直接关系到工程及人民财产的安全,需要设置应急动力设施。当工作电源失效时,应急动力设施可保证闸门正常开启。

《水电工程钢闸门设计规范》NB 35055-2015 中 3.1.4 条规定“具有防洪功能的泄水工作闸门的启闭机必须设置应急电源”;条文说明 3.1.4 说明了对平原水闸,泄水系统的工作闸门启闭机除保证主电源可靠外,应设置独立的应急电源(一般采用柴油发电机组),这是确保泄洪安全的重要措施。

《水利水电工程钢闸门设计规范》SL 74-2019 的 3.1.4 条规定“具有防洪功能的泄水和水闸枢纽工作闸门的启闭机必须设置备用电源,必要时设置失电应急液控装置。”条文说明 3.1.4 说明了应设置独立的备用电源(一般采用柴油发电机组),是确保泄洪安全的重要措施。对于一些小型工程,设置手摇装置作为备用动力是可以的(有些只有手动)。在一些工程中,采用一种无电液控应急动力装置作为失电情况下,代替电动机驱动启闭机操作闸门,保证防洪安全。在高震区,设置无电应急动力装置非常必要。

《水利水电工程启闭机设计规范》SL 41-2018 中 9.2.2 条规定“水利水电工程有泄洪要求的闸门启闭机应由双重电源供电,对重要的泄洪闸门启闭机还应设置能自动快速启动的柴油发电机组或其他应急电源”;条文说明 9.2.2 说明了双重电源的定义取自《供配电系统设计规范》GB 50052-2009 中相关术语,对双重电源的定义是“一个负荷的电源是由两个电路提供的,这两个电路就安全供电而言被认为是相互独立的”,条文解释称“地区大电力网在主网电压上部是并网的,用电部门无论从电网取几回电源进线,也无法得到严格意义上两个独立电源”。水利水电工程通常一个取自厂(站)用电电源,另一个取自外部电源,可认为满足双重电源供电要求。

《水利水电工程机电设计技术规范》SL 511-2011 中 3.7.5 条规定“有泄洪要求的大坝闸门启闭机应有 2 个电源”。

《小型水力发电站设计规范》GB50071-2014 中 8.2.9 条规定“启闭机应采用双回路供电,经论证也可设置备用动力”。条文说明 8.2.9 操作泄洪及其他应急闸门的启闭机,采用不少于 2 回电源供电,其中一回电源推荐采用柴油发电机作为备用电源。

在启闭设备正常供电失效的情况下,需要采取一定的措施确保闸门能开启或关闭,如配置柴油发电机、采用 EPS 供电或液控应急操作装置等措施。根据汶川“5·12”地震的经验,柴油发电机作为备用或应急电源相对可靠,但运行单位需对柴油发电机作定期维护、保养。如小型启闭机设有手摇装置,可不设置柴油发电机。

3.4.2 启闭机的起升机构的安全保护特别重要。为了能使启闭机安全可靠的工作,设置保护装置是必要的。启闭机保护装置包括制动器、荷载限制器、行程限制器、缓冲器、抗风制动装置、锚定装置、防倾翻装置、防雷接地装置及电气保护装置等。如果启闭机发生意外,不仅影响闸门的启闭,有时后果不堪设想。为了安全可靠地工作,需设置行程、荷载等对安全保护装置。行程检测装置主要目的是检测启闭设备运行的位置,行程限位是经常性的动作,

如闸门到达底槛，行程限位保护开关就要动作，切断电源，使其处在设计要求的位置上，避免损坏设备。另设一套与行程检测装置原理不同的行程限制器可避免行程检测装置故障时，确保设备不超限运行，保护设备安全。而行程限位则可能是所以本条提出行程限位要设行程控制装置，而不是采用溢流阀。同时为了确保上下极限位置保护的可靠性，规定要求另设一套与行程检测装置原理不同的极限位置保护开关。

电力驱动的启闭机除机械部分外，电气部分也需设置相应的保护装置。水利水电工程卷扬式启闭机参照《起重机设计规范》GB/T 3811-2008 第 7.3.1 条，当为启闭机供电的电源箱与启闭机距离较远时，在启闭机上需设置切断所有电源的主隔离开关。《水电工程启闭机设计规范第 3 部分：螺杆式启闭机设计规范》NB/T 10341.3-2019 中第 9.3.4 条及《水电工程启闭机设计规范第 4 部分：液压启闭机设计规范》NB/T 10341.4-2023 中第 9.2.5 条分别对螺杆式启闭机和液压启闭机可以断开总电源的紧急开关也提出了相关要求。切断所有电源可使启闭机完全处于停止状态。

3.4.3 设置安全溢流阀，可确保液压启闭机在设定的压力范围内运行，不过载，从而保护液压启闭机。溢流阀主要用于维持运行压力不高于设定值，其运行范围大，不能准确控制压力值，不能起到上下极限位置的保护作用，且频繁用于行程限制时易损坏，可能引发过载、爆管、环境污染和人身伤害事件，影响闸门安全运行。因此，禁止采用溢流阀代替行程限制器。

3.4.4 《起重机械安全监控系统》GB/T 28264-2017、《起重机械定期检验规则》TSGQ 7015-2016、《起重机械安装改造重大修理监督检验规则》TSGQ 7016-2016 和《特种设备安全技术规范》TSG 51-2023 中，对额定启闭荷载 1000kN 及以上门式启闭机（主起升机构总额定启闭荷载）要求设置安全监控系统。该系统重点突出起重机械工作的全程监控，并要求系统能够对重要运行参数和安全状态进行记录、管理，具备相关信息进行处理及控制、运行状态及故障信息进行实时记录、历史追溯、故障自诊断等功能；该系统还提出了视频监控功能的具体要求，同时对系统的检验做出了明确的规定。随水利电力安全生产的日益重视及数字化、信息化的发展趋势，一定规模及以上的门式启闭机设备设置安全监控系统对于设备的安全运行是非常必要的。

3.4.5 支持制动器用来将启闭的闸门停留在悬空状态，由机械式制动器产生支持制动作用。对于起升机构，制动器是必须设置的安全装置，其型式要求是常闭式的支持制动器，这是保证在停电状态下，机构始终处于制动状态，使起吊物不会自动坠落。

制动轮和制动盘装在与传动机构刚性连接的轴上。考虑到电动机的故障机率高于减速器，为防止电机拆下后卷筒发生转动，制动轮装在减速器轴上。这样还可以减少制动轮和制动盘的跳动和方便电动机的拆卸，以及制动不受电动机断轴影响。对于一套驱动装置设置两个支持制动器时，至少有一个制动轮装在减速器轴上。

3.4.6 为了避免液压缸由于系统泄漏而产生下滑，防止因油管破裂而产生坠门事故，因此除进水口快速闸门液压启闭机外，须设置液压安全锁定回路。

3.4.7 随着技术的不断发展，我国水利水电工程运行自动化程度越来越高，按“无人值班、少人值守”的原则，大中型工程快速闸门和抽水蓄能电站引水事故闸门普遍要求设置远程控制闭门功能，一旦出现事故工况需要紧急关闭闸门时，可在中控室操作启闭机实现远程控制闭门。事故处理后，一般在现地控制操作开启闸门。快速闸门主要是保护机组及钢管，抽水蓄能电站引水事故闸门距离控制室较远且经常无人值守，当事故发生时，需及时做出响应，故远程控制闭门是必要的。

4 制造

4.1 一般规定

4.1.1 制造金属结构的主要钢材、焊接材料、标准件、铸件、锻件和外购外协件的质量直接影响产品质量和运行使用安全，进厂时要按设计文件和相关标准规定进行检验，要具有质量合格证明文件；合同、设计文件和产品标准规定进行复验的还需要进行复验。

4.1.2 焊接作为特殊作业过程，不同的焊接工艺参数对焊接接头性能影响显著，特别是随着钢材强度等级和塑性、韧性要求的不断提高，焊接的预热和后热既影响焊缝金属的各项性能，也直接影响到焊接接头热影响区的力学性能。由于焊接过程一旦完成，很难通过无损检测对其性能做出全面检验，故焊接施工前需要按照规定程序制定工艺规程。

4.1.3 焊接成型的闸门和压力钢管如果存在焊接缺陷，直接影响工程安全。轻则可能导致漏水，严重的可能引起钢管爆裂，造成水淹厂房的安全事故，因此必须对的焊缝进行外观检查和探伤检查。其中，有延迟裂纹倾向的钢材，其焊缝无损检测的评定在焊接工作完成 24 h 以后的检测结果为依据；标准抗拉强度（Rm）下限值不小于 780 N/mm² 的高强钢，无损检测评定在焊接工作完成 48 h 后的检测结果为依据。

4.1.4 钢板表面不平整，有焊接飞溅、毛刺等将会使板面不密贴，影响高强度螺栓连接的受力性能，另外，板面上的油污将大幅度降低摩擦面的抗滑移系数，因此表面不应有油污。表面处理方法的不同，直接影响摩擦面的抗滑移系数的取值，设计中要求的处理方法决定了抗滑移系数值的大小，故加工必须按设计要求进行处理。

抗滑移系数是高强度螺栓连接的主要设计参数之一，直接影响构件的承载力，表面处理方法的不同，直接影响摩擦面的抗滑移系数的取值，设计中要求的处理方法决定了抗滑移系数值的大小，故加工要按设计要求进行处理。抗滑移系数是高强度螺栓连接的主要设计参数之一，直接影响构件的承载力。作为摩擦连接的主要目的是传递活动承载力，虽然可以用抗滑移系数和高强度螺栓的乘积得到，但是摩擦抗滑移系数是个复杂的变数。它与部件接头母材接触面的状态、螺栓轴力、接头母材强度、接头形式、荷载种类、螺孔的错位及施工时的温度都有关系。在上述诸多影响因素中很难找到简单的线性关系来确定抗滑移系数，因此规定统一的抗滑移系数是有困难的。但抗滑移系数又是高强度螺栓连接的至关重要的设计参数之一，往往直接影响构件承载力，因此在施工前要用同材料、同处理方法的试板对抗滑移系数进行检测，检测的抗滑移系数最小值要符合设计要求。抗滑移系数的试验和复验方法见 JGJ 82-2011 和 GB 50205-2020 的规定。

4.1.5 出厂验收是工程验收的一部分，服从工程验收的需要，并满足工程验收要求。金属结构出厂时要有装箱单、产品合格证、外购件及外协件产品合格证、设备的出厂检测和验收文件、安装使用维护说明书、总图和部件总图等文件。

4.2 闸门

4.2.1 闸门和埋件尺寸较大,采用分节制造时,制造过程中难以保证分节连接间的配合精度,为保证安装时各配合安装面能成功配合安装,需要在出厂前进行自由状态的预组装。根据近年来工程经验,本条规定的整体组装可以立拼,也可以卧拼。主要检测项目为:检验装配关系和精度;检测整体几何尺寸和精度;检查各关联接口与接头质量。

4.2.2 本条对闸门及埋件防止提出了稳定可靠的要求,防止闸门变形影响造成设备损坏和事故。闸门设备采取面板水平的平放,或面板垂直的立方,但以稳定为前提加以控制。闸门不叠放,且基础稳定、支撑点保持水平。

4.3 压力钢管

4.3.1 钢板在轧制过程中,晶粒将沿着轧制方向变形,并形成类似纤维状,顺着纤维方向和与其垂直的方向在性能上有着微量的差异。在卷制管节时,让钢板的纤维流向呈现为管节的周向,这与压力钢管周向应力较大的应力分布相匹配。

4.3.2 水压试验是检验钢管和钢岔管在设计、制作及安装过程中的强度和严密性的重要手段。是一个涉及技术和安全的重要程序环节。它包括工作压力试验和超压试验两种类型。水压试验的主要目的是检验钢管、钢岔管的强度和制作安装的严密性;对塑性好、有屈服现象的低碳钢和低合金钢,可以消除一定的焊接残余应力;检查焊接接头、进人孔、伸缩节、各类阀门是否渗漏水;检查混凝土结构是否有裂纹,镇墩是否有异常变位;验证勘测、设计、施工等是否符合安全质量要求;在进行水压试验时,必须做好安全防范工作,从设计源头、施工过程加强管理和控制,以避免突发事故,减少人员伤亡和财产损失。设计计算可以确保闷头在水压试验中不会因为压力过大而发生破裂或变形,从而避免安全事故。

4.4 启闭设备

4.4.1 规定了固定卷扬式启闭机出厂前要对主要结构和系统进行整体组装,检验其各系统和部件之间的装配精度,进行空载试运转,检验其基本功能能否满足设计要求。

4.4.2 规定了移动式启闭机出厂前要对主要部件和结构,包括小车总成、回转吊、门架,分别进行预组装,检验其各系统和部件之间的装配精度,进行空载试运转,检验其基本功能能否满足设计要求。

4.4.3 液压启闭机出厂前需要进行液压缸总成、液压泵站、电控系统的分别试验,试验全部合格后进行机电液联调试验,检验其功能符合设计要求。上述检验内容对产品基本功能进行了验证,使产品具备现场安装后进行后续试验和试运行的条件。

5 安装

5.1 一般规定

5.1.1 金属结构安装前要制定安装方案。安装方案一般包括：安装范围、内容、工程量表、主要构件及性能指标、施工程序、施工工艺、安装措施、技术要求、试验验收等。

安装施工设备的性能及其稳定性与可靠性会直接影响产品质量。设备结构越复杂，机械化、自动化程度越高，产品加工质量对其依赖性也就越高。目前，钢闸门制造机械化程度正在逐步提高，数控设备的使用也日益频繁，设备精度和性能对产品质量的影响也越来越深远。所以，要求这类设备具有良好的性能及稳定性。使用前须对设备进行检查和试用，确定其可靠性，对各种在役设备要实行定期的检验制度。

5.1.2 由于金属结构自重一般都较大，且吊装高度较高，一旦出现吊装事故，造成的后果极其严重，因此，规定起重量须在吊机的额定起重量范围以内。吊装用钢丝绳、吊装带、卸扣、吊钩等吊具，在使用过程中可能会造成局部的磨损、破坏等缺陷，使用时间越长存在缺陷的可能性越大，因此本条规定要求对吊具进行检查，以保证质量合格，防止安全事故发生。并在额定允许荷载的范围内进行作业，以保证吊装安全。

5.1.3 利用建筑结构作为主要承力点，需要对建筑结构的承载能力进行核算，保证建筑结构的稳定性和安全性。

5.1.4 在建工程中存在坠落风险的位置，需要进行相应的外部支撑结构作为安全防护措施来确保人员和设备的安全。

5.1.5 吊装作业中的临时固定是吊装设备稳定体系的组成部分，防止由于失稳导致意外事故发生。(1)起重机械的稳定性。起重机在额定工作参数情况下的稳定或桅杆自身结构的稳定。(2)吊装系统的稳定性。如：多机吊装的同步、协调；大型设备多吊点、多机种的吊装指挥及协调；桅杆吊装的稳定系统(缆风绳，地锚)。(3)吊装设备或构件的稳定性。又可分为整体稳定性(如：细长塔类设备、薄壁设备、屋盖、网架);吊装部件或单元的稳定性。只有在完成永久固定形成替换的稳定体系后，解除临时固定措施才能确保施工安全。

5.1.6 采用摩擦型高强度螺栓连接的摩擦面安装前需要用制造单位提供的同批次、同材料、同处理方法的试板，对抗滑移系数进行复验，复验的抗滑移系数最小值要符合设计要求。

5.1.7 摩擦型高强度螺栓连接副的扭矩系数和是影响高强度螺栓连接质量最主要的因素，也是施工的重要依据，因此要求生产厂家在出厂前须进行试验，并出具检验报告。

摩擦型高强度螺栓连接副的扭矩系数在其存放时间、环境等因素影响下会发生变化，在一些项目上出现过按出厂试验的检验报告中的扭矩系数进行计算和施工，发生强度螺栓拧断的现象，本条强调在施工前要按出厂批号复验扭矩系数，当扭矩系数出现较大变化时应进行

评估是否投入使用、调整施工拧紧扭矩值。

为确保高强度螺栓连接副施工质量可靠，施工单位按出厂批号对高强度螺栓的扭矩系数进行复验。高强度大六角头螺栓连接副每批号都要进行随机抽检，复检其扭矩系数与标准扭矩系数的偏差值。如果抽查后高强度螺栓扭矩系数达不到设计规定的扭矩系数，那会造成要达到同值扭矩时必须加大高强螺栓的轴向预紧力，这对结构安全是不利的。因此使用高强度螺栓连接的闸门，在安装施工前须根据钢闸门受力工况，对所选择的高强度螺栓使用带应力传感器或应变片的测力器来检测高强度螺栓的轴力能否满足设计要求。

5.1.8 金属结构安装过程中，存在与上部结构施工交叉作业的问题。如采用分期施工的工程项目，因施工需要可能会将部分金属结构安装完成后，再进行后续结构施工，包括混凝土浇筑、批荡、粉刷等，此时如不对前期安装的金属结构进行封闭保护，都会对闸门、埋件、启闭机，尤其是电气设备造成污染和损坏。这种事情在许多工程中都有过教训，故本标准对此作出规定。

5.1.9 本条对金属结构制作安装所用高空操作平台作出了规定。

1 操作平台当不经过设计计算确定时，只凭经验搭设或制作，会导致耗费大量制作材料，或强度、刚度安全裕度不足，这些都会存在安全隐患。

2 安全保护装置的操作平台当设在钢管道的斜坡段时，其上需要设置操作平台防坠落挡块装置、锁定钢丝绳等。在操作平台上的施工人员，要戴好安全帽、系好安全带、有的部位要设置安全网等。

3 钢丝绳在经过尖锐部位时，需要设置平滑过渡装置：半圆管皮、木板条等，避免被尖锐部位切断或磨断的情况发生，从而导致操作平台坠落，危及人身安全。

4 采取这些绝缘或接地措施，防止操作平台上的人员触电或引起钢丝绳电弧打火断丝的可能。

5 因为操作平台上，不仅有电焊机或焊材烘干箱等，还可能有氧气瓶、燃气瓶等易燃易爆器材，一旦气瓶爆炸或其引起燃烧，操作平台上的人员将会无路可逃。所以其上要配置灭火器，易燃易爆物资要防止电焊、电器火花，可用阻燃布等加以隔离保护，防止火花引燃爆炸等。防高空坠落物击打施工人员，所以在其上部需要设置安全阻挡装置。当围岩周围有渗漏水、雨水时，还需要设置防水防雨装置，防止焊接时出现焊接接头缺欠、受热部件淬火断裂等。

5.1.10 闸门安装过程需要充分考虑风载荷对安装作业的影响，特别是露天闸门吊装过程及立位组拼过程应对项目所处地域“内陆或沿海、峡谷或平原”进行识别，对应相应的风速、风压采取锚固抗风、抗风防滑措施。超出允许最大风压或最大风速的，不允许安装作业。

5.2 闸门

5.2.1 实践证明，预应力锚索张拉对支铰支墩是会引起位移变化的，由于弧形闸门支铰是弧形闸门的关键部件，精度要求高。预应力锚索张拉会对支铰的安装位置产生影响，从而影响闸门的正常运行，而支铰的安装精度控制要从其预埋螺栓或支铰钢梁或支撑大梁等安装精度控制开始。因此本条规定要先张拉后安装。

5.2.2 管道系统是充压式水封装置的重要组成部分，其既有随大坝浇筑一起埋入的埋管，也有明管，要分多个阶段安装，其安装质量关系充压式水封装置的成败，闸门的止水质量事关止水效果。因此投入运行前要进行水压试验，验证系统是否安全可靠。

5.2.3 闸门门叶、门槽现场安装分别检查合格后，在无水或静水情况下进行全行程试验，以便作以下检查，保证闸门缺陷的适时反映和及时消除。

- (1) 滚轮、支铰及顶、底枢等转动部位是否转动顺畅；
- (2) 闸门升降或旋转过程有无卡阻；
- (3) 启闭设备左右两侧同步偏差；
- (4) 橡胶水封有无损伤；
- (5) 电流、电压是否正常；
- (6) 油压是否正常；
- (7) 高度指示器等附件装置是否正常；
- (8) 连接吊杆的连接情况；
- (9) 充水阀在行程范围内的升降是否自如，在最低位置时止水是否严密；
- (10) 充压式水封、偏心铰压紧式水封及压板与弧形闸门面板的间隙是否满足设计要求。

工程实践中导流闸门比较特殊，门槽安装完成时，闸门尚未安装，待导流洞过水后，此时可以采用试槽框代替闸门进行全行程试验。

快速闸门事关机组运行安全，当机组发生事故时，闸门紧急关闭，截断水流，防止机组发生飞逸导致事故扩大。其动水闭门试验可以验证快速闸门在实际运行条件下的可靠性。

工作闸门作用重要，进行动水启闭试验验证其功能可靠性。

5.3 压力钢管

5.3.1 测量控制点建成后，控制点周围的各种施工活动往往会引起控制点点位的移动或沉降，有些控制点可能会被破坏，有些控制点则可能会失去使用价值，将测量控制点设置在附近的永久或半永久建筑物或牢固的岩石上，保证安装阶段使用控制点成果的正确可靠。

5.3.2 本条源于《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》GB 50766-2012 第 4.1.3 条。

当不经设计计算支撑的强度、刚度和稳定性来确定支撑大小、间距和受力点等时，只单凭经验设置支撑、不该节省的支撑和支撑受力点位置不对等，这些均可能会导致钢管段的突然滑动或扭动、倾覆或垮塌，甚至导致正在施工的人员伤亡事故发生。

5.3.3 弹性垫层管支撑不得与其管壁焊接，这是因为其要受到径向剪切应力的作用。支撑点固焊接时，很容易在该处产生微裂纹等焊接缺欠，从而在径向剪切应力作用下从该处引起开裂的可能。

5.4 启闭设备

5.4.1 安装时钢丝绳多余部分如果采用过火焰切割，保护措施不当会导致钢丝强度受到影响，所以本规范不允许采用火焰切割。随着切割技术的发展，现在常采用砂轮切割。钢丝绳长度不够，采取编织的方法接长不仅影响强度，而且影响使用性能，所以本条明确规定禁止接长。

5.4.2 当吊点在下极限时，留在卷筒上的圈数一般不小于4圈，其中2圈为固定圈，其余为安全圈；设计给定的钢丝绳长度考虑了吊点处于各个位置时的钢丝绳偏角，卷扬式启闭机吊点在下极限时，钢丝绳留在卷筒上的圈数不符合设计规定时，可能发生当吊点在上极限时，钢丝绳与卷筒、滑轮之间偏角过大，钢丝绳脱槽的现象，将严重影响其安全运行。

5.4.3 安全防护装置是防止卷扬式启闭机发生机械事故的必要措施，根据启闭机的工况和实际要求进行设置。

5.4.4 液压启闭设备管路现场安装完成后，进行清洗所使用的清洗液具有腐蚀性，因保管不善发生泄露或将用过的废液随地倒弃会造成污染，本条作了相应的规定。

5.4.5 对于新安装和改造的门式启闭机在投入使用之前需要进行试验，验证承载能力，包括静载试验、动载试验。

5.4.6 启闭机现场空载试验的目的是为了验证制造厂内试验不能验证的以下内容：

- (1) 钢丝绳、液压缸等活动、伸缩部件不与其他部件或建筑物干涉；
- (2) 安装后的启闭机各机械部件运行平稳、无异常，转动部件和传动机构有良好的润滑，轴承温升符合规定；
- (3) 实际起升高度、起升速度满足设计要求；
- (4) 钢丝绳排列整齐，无挤叠和乱槽现象；
- (5) 双吊点多层缠绕的启闭机，多个卷筒上的钢丝绳换层时同步；
- (6) 启闭机过电流、失电压、缺相、零位、相序、限位、过载、超速、联锁等保护满足设计要求。

以上内容验证合格后，方可与闸门连接进行下一步试验。

6 运行维护

6.1 一般规定

6.1.1 泄洪系统的闸门启闭机正常运行关系到防洪安全。有些工程由于泄洪系统闸门长期不动作，维护保养不到位，造成闸门启闭机无法正常工作，为保障设备完好、运行可靠，对泄洪系统闸门每年汛前需要进行全面检查和启闭动作试验。

6.1.2 压力钢管运行维护过程中要开展巡视检查、运行监测、安全检测、维护检修等工作，保障压力钢管的安全运行。巡视检查是对压力钢管外露部分及相关附属设备设施开展的检查；运行监测是做好监测数据记录及整理和分析；安全检测分为定期检测及特殊检测；维护检修分年度检修和整体检修。实施巡视检查、运行监测、安全检测、维护检修是及时发现压力钢管运行风险的有效手段。及时开展风险评价，采取合适的处理措施，把风险控制在隐患形成前、把隐患消灭在事故前。不同的压力钢管要根据等级、结构特点及所处的地质条件，确定对压力钢管安全运行适合的安全监测项目，如振动、应力、压力、流速、混凝土裂纹等。

6.1.3 设备运行的安全包括设备自身的安全、人身安全及环境安全等。设备自身的安全主要是指设备能否在规定的工况下安全运行。如有的工程某些事故闸门不能动水关闭，则此事故闸门无事故备用功能，不能继续使用；或者某些快速闸门不能在规定时间内将闸门关闭，也不能继续使用。对于安全评定不安全的设备需要报废。《水利水电工程金属结构报废标准》SL 226-1998 第 2.0.1 条、《水电工程金属结构设备更新改造导则》NB/T 10791-2021 第 3.0.3 条和《水工钢闸门和启闭机安全运行规程》SL722-2020 第 8.0.5 条分别对金属结构报废进行了规定，具体为：

“水工金属结构符合下列情况之一，且经过改造仍不能满足要求应报废：在规定的各种工况下不能安全运行，对操作、维修人员的人身安全有威胁。”

“金属结构设备存在下列情况之一，应改造，如不便改造或改造不经济的，应更新：1. 列入国家明令淘汰产品名单；2.对环境产生有害影响。”

“评价为“不安全”的闸门和启闭机应进行除险加固或更新改造。对于安全评定“不安全”的设备，检修后仍不能满足要求且难以改造的，应报废。”

6.1.4 报废设备拆除前，制定详细的施工方案，方案中包含概述、施工组织（工期、人员安排等）、安全措施及注意事项、环保及注意事项、风险评估及控制、施工步骤/施工工序、施工工具及材料、检查记录表等内容。专职人员负责安全监督设备拆除的全过程，防止出现人身、设备不安全事件发生。设备拆除后料尽场清，及时归档检查记录资料，报废设备由设备所有者回收处置。

6.1.5 运维资料据重要程度设有不同的保存期限，本条对涉及重大改造项目、专项维护项目、

事故处理项目等的归档资料提出永久保存的要求。

6.1.6 水电站泄洪系统工作闸门、进水口事故闸门、抽水蓄能电站上水库事故闸门及尾水事故闸门的控制系统一般接入站内计算机监控系统,监控系统严格按照电力二次系统安全防护总体原则(安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证)布置。根据系统中业务的重要性的对一次系统的影响程度进行分区,所有系统都均置于相应的安全区内,网络专用安全区边界清晰明确,区内根据业务的重要性提出不同安全要求,制定强度不同的安全防护措施,在安全区之间和安全区通信通道间采用不同强度的安全隔离设备,使各安全区中的业务系统得到有效保护,与调度机构和上级管理单位通过纵向加密装置建立互信可靠的通信机制,形成纵向边界的安全防御。

6.2 运行管理

6.2.1 如果在各闸门、启闭设备和相关电气及控制设备不具备运行条件下,强行予以操作,存在设备损坏的风险。例如某水电站曾因中孔工作闸门开度检测异常,导致充压水封在无闸门门叶面板约束的情况下,执行了水封充压操作,导致水封变形、破裂。

闸门和拦污栅操作前,需要检查下列内容:

- (1) 门槽内有无异物。
- (2) 螺栓有无松动或缺失。
- (3) 闸门水封装置是否完好。
- (4) 检修闸门、事故闸门充水阀动作是否灵活,外观是否完好。
- (5) 检修闸门、事故闸门启门前是否平压。
- (6) 拦污栅前后压差是否小于设计值,拦污栅前有无异常。
- (7) 锁定装置的状态有无异常。

固定卷扬式启闭机操作前,需要检查下列内容:

- (1) 减速器油位是否正常,各转动部件润滑是否良好。
- (2) 制动器、载荷限制装置、行程限制装置及其他安全保护装置是否完好。
- (3) 机械锁定装置的状态有无异常。
- (4) 工作范围内有无障碍物。
- (5) 手摇机构的状态有无异常。

移动式启闭机操作前,需要检查下列内容:

- (1) 起升机构、行走机构、回转机构的状态有无异常。
- (2) 制动器、载荷限制装置、行程限制装置及其他安全保护装置是否完好。
- (3) 工作范围内有无障碍物。
- (4) 减速器油位是否正常,各转动部件润滑是否良好。

- (5) 夹轨器、锚定装置的状态有无异常。
- (6) 自动挂脱梁各机构动作是否灵活，各信号反馈有无异常，各油路有无渗漏。
- (7) 手摇机构的状态有无异常。

螺杆式启闭机操作前，需要检查下列内容：

- (1) 各转动部件润滑是否良好。
- (2) 螺杆有无弯曲。
- (3) 工作范围内有无障碍物。
- (4) 手摇机构的状态有无异常。

液压启闭机操作前，需要检查下列内容：

- (1) 油箱油位、油温是否在正常范围内。
- (2) 油泵、阀组、油缸、管路等有无渗漏。
- (3) 阀门的位置状态是否正确。
- (4) 配置自动在线滤油装置的启闭机运行前是否停止滤油。

电气及自动控制设备操作前，需要检查下列内容：

- (1) 设备是否完好，有无报警信息。
- (2) 显示屏有无异常信息。

6.2.2 在闸门泄流时，如在水流紊乱位置运行、闸门底部射流、止水橡胶的受迫振动等因素引起闸门振动，这些振动有相应频率，当频率接近或达到闸门的自振频率时，便会出现共振现象，使闸门振动加剧。而有些振动因素如进口漩涡只会某一水位区间才出现，对于有局部开启要求的闸门，运行时要避开该水位区间。振动对闸门带来许多不利影响，例如闸门构件疲劳、结构破坏，无法正常操作，甚至失稳失事。湖北某水电站溢洪道弧门曾在部分开启运行时，因横向流作用产生的振动导致该门支臂失稳破坏。

6.2.3 启闭机非事故状态下的控制方式主要有：远程自动控制、现地自动控制和现地手动控制三种方式。闸门正常启闭过程中，若要切换控制方式，需要先停止当前闸门启闭操作，再切换控制方式，并按相应流程执行操作。如果在闸门启闭过程中直接切换控制方式，将影响闸门正常启闭流程，并可能导致控制系统故障。

6.3 监测与检测

6.3.1 本条强调运行管理单位需要对金属结构安全监测设备采取保护措施。重要的安全监测设备损坏后，需要及时修理或重设。监测仪器设置后，需要按监测技术要求开始监测，做好监测数据记录，并根据监测设备采集的数据进行数据整理和分析，评估金属结构的运行状态。

6.3.2 当金属结构遭遇非正常工况或者出现缺陷时，可能出现设备受损，需要进行安全检测工作，对设备安全性进行评估。

6.3.3 本条强调针对压力钢管经历的首次充排水和首次达到设计水位等特征时期、控制性设计工况以及其他非正常工况下需要进行专项监测，检验设计方案的合理性、施工质量的可靠性、结构安全性。其中机组甩负荷是指机组在运行中突然失去负荷，由于导叶来不及迅速关闭，导致机组的转速与蜗壳压力升高而尾水管的压力降低或真空度加大。甩负荷事故发生后，由于机组获得的机械能无法转换成电能后输送出去，机组的动力矩大于阻力矩，导致机组转速迅速升高，引水管水压急剧上升，将影响机组和压力钢管的安全，可能造成蜗壳及管道受损或破裂。所以应进行专项监测。

6.3.4 本条规定了闸门启闭机首检、定检期限。

6.3.5 本条规定了压力钢管首检、定检期限。

6.4 维修养护

6.4.1 应急电源的定期维护和检查对其正常运行和应急用电的需要至关重要。定期启动应急电源是一项必要的维护措施，可以保障其正常运行。

6.4.2 放空建筑物可在极端事故下应急放空水库，有效保障公共安全，降低灾害损失，其闸门及启闭机每年进行启闭操作试验，具备条件的进行放水操作。有些电站由于放空系统闸门长期不动作，维护保养不到位，造成闸门启闭机无法正常工作，放空洞被迫封堵的情况。对放空系统工作闸门可以考虑适当时机或者无水状态下进行动作试验。

6.4.3 闸门提落时排气、补气是否顺畅会影响闸门运行安全。运行单位在设备维护时注意对通气孔的检查、清理。

6.4.4 安全保护装置通过自身的结构功能限制或防止启闭机的某种危险发生，有效限制运行速度、起升高度、荷重、运行偏差、压力等危险因素，为启闭机正常运行提供安全保障。在启闭机维护过程中，要确保安全保护装置的可靠性，以满足启闭机设备能够按照操作指令正常启闭的要求。

6.4.5 启闭机大修后的试运行可以验证维护质量和效果，保证设备能够正常投运。

6.4.6 为了确保废油得到安全、环保和有效的处理，防止其对环境和人体健康造成危害，检修维护中产生的污油、废油不能够随意倾倒，按一定的程序和要求进行处理。