

团 体 标 准

T/CHES 24—2019

气动盾形闸门系统设计规范

Design specification for pneumatically operated gate system

2019-03-01 发布

2019-05-01 实施

中国水利学会 发布

中国水利学会公告

中国水利学会关于批准发布《胶结泥沙人工防汛石材》等 5 项团体标准的公告

2019 年第 1 号（总第 3 号）

经理事长专题办公会批准，决定发布《胶结泥沙人工防汛石材》等 5 项团体标准，现予公告。标准自 2019 年 5 月 1 日起实施。

序号	标准名称	标准编号	批准日期	实施日期
1	胶结泥沙人工防汛石材	T/CHES 23—2019	2019. 3. 1	2019. 5. 1
2	气动盾形闸门系统设计规范	T/CHES 24—2019	2019. 3. 1	2019. 5. 1
3	组合式金属防洪挡板技术规范	T/CHES 25—2019	2019. 3. 1	2019. 5. 1
4	水质 高锰酸盐指数的测定 气相分子吸收光谱法	T/CHES 26—2019	2019. 3. 1	2019. 5. 1
5	水质 氨氮的测定 自动分析纳氏试剂分光光度法	T/CHES 27—2019	2019. 3. 1	2019. 5. 1

中国水利学会
2019 年 3 月 14 日

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体布置	3
4.1 一般规定	3
4.2 布置要求	3
4.3 动力控制室	4
4.4 测控设备	4
5 金属结构	4
5.1 一般规定	4
5.2 荷载	4
5.3 材料	4
5.4 闸门门叶	5
5.5 夹具	5
5.6 压板	5
6 橡胶件	6
6.1 一般规定	6
6.2 气袋	6
6.3 铰链盖板	7
6.4 安全抑制带	8
6.5 闸门止封	8
7 基础与埋件	8
7.1 一般规定	8
7.2 锚栓	9
7.3 闸墩板	9
8 气动系统	9
8.1 一般规定	9
8.2 空气压缩机	10
8.3 空气干燥装置	10
8.4 储气罐	11
8.5 管路	11
9 电气及自动控制系统	11
9.1 一般规定	11
9.2 电气	11
9.3 自动控制系统	11

前 言

按照中国水利学会团体标准编制工作安排，本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规则起草本标准。本标准共 9 章，主要技术内容包括：总体布置、金属结构、橡胶件、基础与埋件、气动系统、电气及自动控制系统等信息。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由水利部长春机械研究所提出，由中国水利学会归口。

本标准起草单位：水利部长春机械研究所、中水珠江规划勘测设计有限公司、中水北方勘测设计研究有限责任公司、吉林省水利水电勘测设计研究院、黑龙江省水利水电勘测设计研究院、内蒙古水利水电勘测设计院、山东省水利勘测设计院、陕西省水利电力勘测设计研究院、吉林省中泰勘测设计有限公司、烟台桑尼橡胶有限公司、河南天元装备工程股份有限公司、郑州水工机械有限公司、江河机电装备工程有限公司、哈尔滨亚泰水利工程机械设备有限公司、山东省水工机械有限公司、浙江江能建设有限公司、铁岭市清河添泰水工机械有限公司、铁岭尔凡橡塑研发有限公司、烟台华卫橡胶科技有限公司、江苏扬州合力橡胶制品有限公司。

本标准主要起草人：冀振亚、张步新、洪志强、康健、胡博、田质子、刘彬、常富、侯忠、耿长兴、苏东森、陆伟、陈洗、张春会、高为民、杨立光、刘大伟、王顺义、李跃年、常宗滨、梁一飞、韩其华、董旭荣、闫耕冲、王学信、王众渊、尹清静、尹辉东、姜春辉、张邵昌、黄文杰、周毓、杜志友、陈尔凡、陈华卫、陈庆亮、孔刚、祁兴会。

气动盾形闸门系统设计规范

1 范围

本标准规定了气动盾形闸门系统总体布置、金属结构、橡胶件、基础与埋件、气动系统、电气及自动控制系统设计、计算要求和方法。

本标准适用于以压缩空气作为动力、挡水高度不大于 6m 的气动盾形闸门系统设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 714 桥梁用结构钢
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1348 球墨铸铁件
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5277 紧固件 螺栓和螺钉通孔
- GB/T 7932 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件
- GB 50029 压缩空气站设计规范
- GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范
- GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
- GB 50169 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范
- SL 74 水利水电工程钢闸门设计规范
- SL 105 水工金属结构防腐蚀规范
- SL 265 水闸设计规范
- SL 612 水利水电工程自动化设计规范
- SL 654 水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范
- DL/T 5190.4 电力建设施工技术规范 第 4 部分：热工仪表及控制装置
- HG/T 3090 模压和压出橡胶制品外观质量的一般规定
- JB/T 6402 大型低合金钢铸件
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- T/CHES 11 气动盾形闸门系统制造安装及验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

气动盾形闸门系统 pneumatic shield gate system

由金属结构、橡胶件、基础与埋件、气动系统、电气及自动控制系统等组成，以压缩空气为动力，通过对气袋的充气、放气，实现闸门的起升和倒伏。

3.2

闸门门叶 gate door leaf

用于起升挡水的金属构件。

3.3

闸门单元 gate unit

可由多组门板组成，用于组成闸门门叶起挡水作用的结构部件。

3.4

埋件 embedded parts

用于支撑和固定夹具、安全抑制带的预埋锚栓及构件。

3.5

夹具 clamp

用于固定气袋、铰链盖板的金属结构件。

3.6

安全抑制带 safety restraint band

用于防止闸门向上游河道倒伏，并限制闸门不超过设计挡水高度的部件。

3.7

气袋 air bladder

可充气并用于支撑、启闭闸门的高分子橡胶袋。

3.8

铰链盖板 hinge flap

用于连接闸门根部起密封作用的橡胶部件。

3.9

闸墩板 abutment plate

设置在闸墩侧面的止水板。

3.10

间止封 inner panel seal

用于连接闸门单元且起密封作用的橡胶件。

3.11

侧止封 abutment seal

用于闸门与闸墩板之间密封的橡胶件。

3.12

气动系统 air power system

用于驱动闸门升降的动力系统，包括空气压缩机、干燥装置、过滤器、储气罐、阀件、管路、接头等部件。

3.13

电气及自动控制系统 electrical and automatic control system

用于对气动盾形闸门系统进行自动监控及保护的系統，包括 PLC、传感器、电缆等部件。

4 总体布置

4.1 一般规定

4.1.1 气动盾形闸门系统适用于拦河坝（闸）工程，如拦河蓄水、城市景观、坝顶加高、灌溉引水、防浪挡潮等工程，其典型断面结构见图 1。

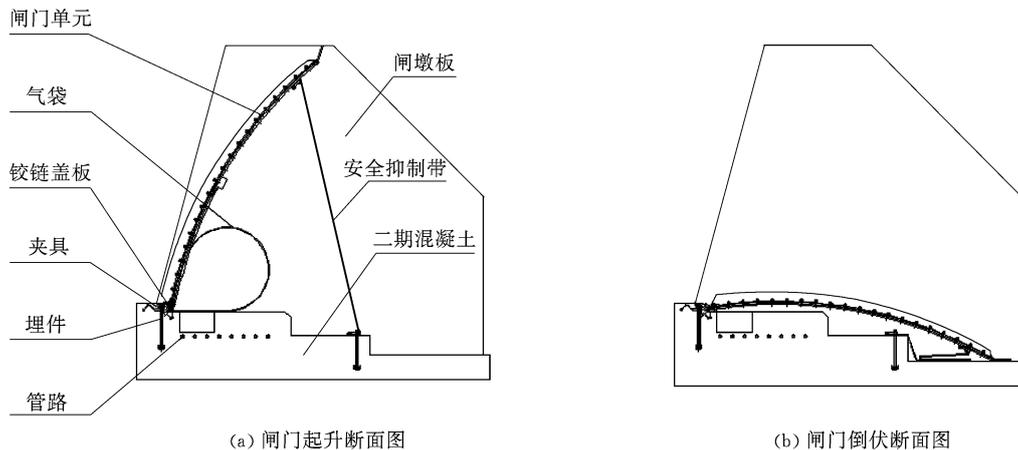


图 1 气动盾形闸门系统典型断面结构图

4.1.2 气动盾形闸门系统设计资料应包括：

- 闸门基本参数，包括挡水高度、溢流高度、泄水量、闸门净宽度、起升倒伏速度等；
- 外观形式要求，包括闸门颜色、闸墩造型、闸门布置形状等；
- 功能要求，包括是否采用远程控制、视频监控等；
- 水文、气象、泥沙、水质、冰情、漂浮物等资料；
- 有关材料、制造、防腐、运输和安装等方面资料；
- 地震和其他特殊要求等。

4.1.3 气动盾形闸门系统在设计水位工作时，应考虑下游水位变化情况，并计算浮力产生的影响。

4.1.4 挡水高度 4m 及以下，气动盾形闸门系统宜采用单气袋；挡水高度 4m 以上，气动盾形闸门系统宜采用双气袋。

4.1.5 气动盾形闸门系统在冬季寒冷地区运行，宜设置防冰冻设施。

4.1.6 具有行洪排涝要求的气动盾形闸门系统应设置备用电源，备用电源可采用 24VDC 控制电磁阀开启 UPS 电源电动控制排气。

4.1.7 气动盾形闸门系统反向挡水时，应进行专门论证。

4.1.8 气动盾形闸门系统设计应考虑检修措施。

4.1.9 气动盾形闸门系统设计使用年限应符合 SL 654 的规定。

4.1.10 挡水高度大于 6m 的气动盾形闸门系统设计，应经过专门的试验、论证。

4.1.11 气动盾形闸门系统设计除应满足本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准规定。

4.2 布置要求

4.2.1 气动盾形闸门系统总体布置，应符合所应用工程的总体规划及要求，综合考虑安全、水文、地形、地质、交通、泥沙、环保、美观、经济等影响因素，经比选后确定基础位置。

4.2.2 闸址宜选择在河道顺直、河势相对稳定的河段。

4.2.3 布置包括基础、闸门、动力控制室及测控设备等的布置。

4.2.4 基础底板厚度及宽度应满足管路布置、埋件布置及闸门安装要求，沉降量应符合 SL 265 的规定。

4.2.5 闸门宽度应与河道宽度相适应，倒伏时应低于底坎高度，具有行洪排涝要求的气动盾形闸门系统倒伏时应能满足河道设计行洪要求。

4.2.6 当河道宽度大于 100m 时，宜设置中间闸墩，采用多跨设计。中间闸墩高应不小于闸门顶溢流水头和安全超高之和，安全超高下限值应符合 SL 265 的规定，沿水流方向墩长应大于闸门倒伏时长度。

4.2.7 闸门可在任意高度开启运行，顶部溢流高度不应超过 0.5m。

4.3 动力控制室

4.3.1 气动盾形闸门系统宜设置独立的动力控制室，动力控制室宜靠近闸门布置。

4.3.2 动力控制室的位置应根据下列因素综合考虑后确定：

- 与周围环境相适应；
- 供电、供水、通风合理；
- 当控制室布置在地面以上时，室内地面高程宜高于校核洪水位；当控制室布置在地面以下时，应有防潮、防水等措施；
- 避免靠近散发爆炸性、腐蚀性和有毒气体以及粉尘等有害物的场所，并位于上述场所全年风向最小频率的下风侧。

4.3.3 动力控制室噪声应符合 GB/T 50087、GB 50029 的规定，污水排放应符合 GB 8978 的规定。

4.4 测控设备

4.4.1 水位传感器应布置在闸门上游水流较平顺的部位，沿水流方向距主锚栓轴线的距离应不小于 1m。

4.4.2 闸门单元均宜设置倾角传感器，布置在闸门下游侧，与闸门紧密接触、连接牢固。

4.4.3 系统压力传感器、电磁阀等测控设备应布置在控制室内，与相应管路连接。

5 金属结构

5.1 一般规定

5.1.1 金属结构包括闸门门叶、夹具、压板等。

5.1.2 金属结构防腐应根据工作环境、环保要求、工作年限、使用工况进行设计，并符合 SL 105 的规定。

5.1.3 钢材的容许应力应符合 SL 74 的规定。

5.2 荷载

5.2.1 作用在闸门上的荷载可分为基本荷载和特殊荷载两类，类别应符合 SL 74 的规定。

5.2.2 闸门有特殊要求时（如水下爆破等），应专门研究作用在闸门上的荷载。

5.2.3 设计闸门时，应将可能同时作用的各种荷载进行组合。荷载组合分为基本组合和特殊组合两类。基本组合由基本荷载组成；特殊组合由基本荷载和一种或几种特殊荷载组成，荷载组合应符合 SL 74 的规定。

5.3 材料

5.3.1 闸门承载结构的钢材应根据闸门的工作性质、应用环境、连接方式、工作温度等不同情况选

择合适的钢号和材质，其质量标准应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 713、GB/T 714、GB/T 1591 的规定，并根据 SL 74 相关规定选用。当闸门工作所处环境水质恶劣时，闸门承载结构宜采用不锈钢材质，所选不锈钢性能应符合 GB/T 3280、GB/T 4237 的规定。

5.3.2 闸门承载结构的钢材应保证其抗拉强度、屈服强度、冲击韧性、伸长率和硫、磷的含量符合要求，对焊接结构尚应保证碳的含量符合要求。主要受力结构和弯曲成形部分钢材应具有冷弯试验的合格保证。

5.3.3 夹具等部件可采用 GB/T 11352 规定的 ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570、ZG340-640 及 GB/T 1348 规定的 QT500-7、QT600-3 等材料，也可采用 JB/T 6402 规定的 ZG50Mn2、ZG35Cr1Mo、ZG34Cr2Ni2Mo 等合金铸钢。

5.3.4 压板材料应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 713、GB/T 714、GB/T 1591、GB/T 3280 和 GB/T 4237 的规定。

5.3.5 焊条电弧焊用的焊条应符合 GB/T 5117、GB/T 5118、GB/T 983 的规定。

5.3.6 自动焊和气体保护焊应采用与母材金属强度相适应的焊丝和焊剂。

5.4 闸门门叶

5.4.1 闸门门叶设计应考虑工厂制作、现场安装、防腐、运输等条件。

5.4.2 闸门门叶由若干闸门单元组成，闸门单元之间用间止封和螺栓连接，典型结构设计可参考图 2。

5.4.3 闸门单元宽度 b 与挡水高度 h 应符合下列要求：

当 $h < 2\text{m}$ 时， $2h \leq b \leq 5\text{m}$ ；

当 $2\text{m} \leq h \leq 8\text{m}$ 时， $5\text{m} \leq b \leq 10\text{m}$ 。

5.4.4 考虑运输条件，闸门单元可由多组门板组成，门板之间宜采用螺栓连接，并涂抹环保密封胶。

5.4.5 门板宜设计成弧形，其最小厚度不应小于 6mm，为增加强度刚度，应在迎水面水流方向设置肋板，肋板厚度不小于门板厚度。

5.4.6 闸门门叶的结构计算，应根据实际可能发生的最不利的荷载组合情况，按基本荷载组合和特殊荷载组合条件进行强度、刚度计算。

5.4.7 闸门门叶应采用容许应力方法进行结构验算。

5.4.8 闸门门叶整体结构强度及变形宜采用有限元法进行计算校核。

5.5 夹具

5.5.1 夹具设计应综合考虑受力、制造工艺、锚栓孔分布、搬运、安装等因素。

5.5.2 夹具宜采用精铸成型，其大小应根据挡水高度、受力条件不同进行适当调整。

5.5.3 夹具材料应符合 5.3.3 的规定，其表面宜采用镀锌防腐处理，也可根据具体工作条件采用其他镀层等防腐措施。

5.5.4 夹具锚栓孔宜设计成沉孔，沿闸门宽度方向布置。通孔尺寸应符合 GB/T 5277 的规定。

5.6 压板

5.6.1 压板包括安全抑制带压板、闸门止封压板、铰链压板。

5.6.2 安全抑制带压板长度应大于安全抑制带的宽度。

5.6.3 闸门止封压板螺栓孔在弧度方向宜设计为长圆形，应在压板展开状态下加工通孔。

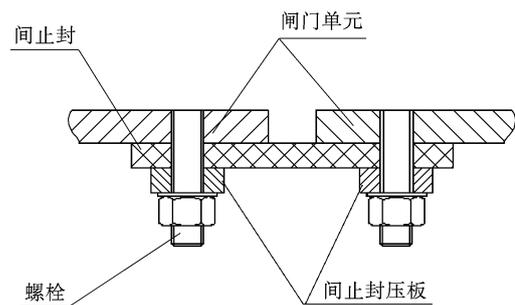


图 2 闸门单元连接典型结构图

5.6.4 铰链压板在闸门宽度方向应分段布置。

6 橡胶件

6.1 一般规定

6.1.1 橡胶件主要包括气袋、铰链盖板、安全抑制带和闸门止封。

6.1.2 橡胶件材质应具有耐老化、耐腐蚀、耐紫外线、耐挠曲、抗撕裂、抗冲击等性能，并且无毒，沿海河口地区还应具有抗海生物附着、抗波浪疲劳等性能。

6.2 气袋

6.2.1 气袋数量与闸门单元数量一致或两倍闸门单元数量，单个气袋长度应小于闸门单元的宽度。

6.2.2 气袋宜由内、中、外三层材质组合而成，内层应具有良好的气密性，中层宜为抗拉骨架层，外层为保护层，外层材料性能不宜低于三元乙丙橡胶。外观质量应符合 HG/T 3090 的规定。

6.2.3 气袋宜采用三边封闭一边开口或四边全封闭的形式，气袋上应设置充气气嘴，气嘴应采用不锈钢或黄铜等防腐材质。

6.2.4 气袋制造长度和宽度允许误差为 $\pm 20\text{mm}$ ，厚度允许误差为 $\pm 2.5\text{mm}$ 。

6.2.5 气袋内充胀介质应为干净的压缩空气，其工作压力不宜大于 0.4MPa 。

6.2.6 气袋工作压力应采用下列公式进行计算：

气袋内充气压力 P 应按式 (1) 计算：

$$P = \frac{F_1}{A_1} \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中：

P ——气袋内充气压力，MPa；

A_1 ——气袋与闸门接触面积， m^2 ；

F_1 ——气袋对闸门的支持力，N。

气袋对闸门的支持力 F_1 应按式 (2) 计算：

$$F_1 = \frac{F_2 L_2 + F_3 L_3 + F_4 L_4}{L_1} \quad (2)$$

F_2 ——水对闸门的水平压力，N；

L_2 ——闸门所受水平水压力到旋转点的距离，m；

F_3 ——水对闸门的竖直压力，N；

L_3 ——闸门所受竖直水压力到旋转点的距离，m；

F_4 ——闸门单元自身重力，N；

L_4 ——闸门单元自身重力中心到旋转点的距离，m；

L_1 ——气袋对闸门的支持力中心到旋转点的距离，m。

水对闸门的水平压力 F_2 应按式 (3) 计算：

$$F_2 = \frac{1}{2} \gamma h^2 b \quad (3)$$

式中：

γ ——水的容重，对淡水可取 $10000\text{N}/\text{m}^3$ ，对海水可取 $10400\text{N}/\text{m}^3$ ；

h ——闸门挡水高度（含溢流高度），m；

b ——闸门单元宽度，m。

水对闸门的竖直压力 F_3 应按式 (4) 计算：

$$F_3 = \gamma A_2 b \quad (4)$$

式中：

A_2 ——作用在弧形闸门横截面上的水压面积， m^2 。

气袋与闸门接触面积 A_1 应按式 (5) 计算：

$$A_1 = (b_q - l_b)l_a \quad (5)$$

式中：

b_q ——气袋纵向长度， m ；

l_a ——气袋与闸门接触面积梯形的高， m ；

l_b ——气袋与闸门非接触段长度， m 。

气袋与闸门接触面积梯形的高 l_a 应按式 (6) 计算，计算简图见图 3：

$$l_a = 2R \sin \frac{\alpha_a}{2} \quad (6)$$

式中：

R ——闸门内圆弧半径， m ；

α_a ——气袋与闸门接触面圆弧对应圆心角， $(^\circ)$ 。

气袋与闸门非接触段长度 l_b 应按式 (7) 计算：

$$l_b = \frac{\pi R_a \cos \left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) / 4 \right]}{2} \quad (7)$$

式中：

R_a ——气袋自由弧半径， m ；

φ ——闸门根部倾角， $(^\circ)$ 。

6.2.7 工作张力 T_q 应按式 (8) 进行计算，并按式 (9) 校核：

$$T_q = PR_a \quad (8)$$

$$T_q < \frac{T_{qs}}{s} \quad (9)$$

式中：

T_q ——工作张力， N/m ；

T_{qs} ——气袋所能承受最大线拉力， N/m ；

s ——安全系数，不小于 8。

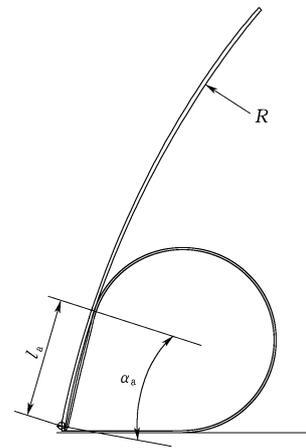


图 3 气袋与闸门接触面积梯形的高 l_a 计算简图

6.3 铰链盖板

6.3.1 铰链盖板一端与闸门根部相连，另一端用夹具固定于基础之上。

6.3.2 铰链盖板厚度极限偏差为 $\pm 2.5mm$ ，螺栓孔采用现场配钻，外观质量应符合 HG/T 3090 的规定。

6.3.3 铰链盖板所受拉力 T_j 应按式 (10) 计算：

$$T_j = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (10)$$

式中：

T_j ——铰链盖板所受拉力， N ；

R_x ——闸门根部在 x 方向的反力， N ；

R_y ——闸门根部在 y 方向的反力， N 。

6.3.4 铰链盖板所受线拉力 T'_j 按式 (11) 计算，并按式 (12) 校核：

$$T'_j = \frac{T_j}{b_j} \quad (11)$$

$$T'_j < \frac{T_{js}}{s} \quad (12)$$

式中：

T'_j ——铰链盖板所受线拉力，N/cm；

b_j ——铰链盖板有效净宽，cm；

T_{js} ——铰链盖板所能承受最大线拉力，N/cm。

6.3.5 铰链盖板在出厂前应做拉力试验，施加的线拉力应为其所受线拉力的 4 倍，以铰链盖板无破坏为合格。

6.4 安全抑制带

6.4.1 闸门单元中安全抑制带的设置数量应不少于 2 条，并对称布置。

6.4.2 安全抑制带在不影响闸门起、伏及安装使用的情况下，宜远离闸门根部布置。

6.4.3 单个安全抑制带最大拉力 T_y 应按式 (13) 计算：

$$T_y = (F_1 L_1 - F_4 L_4) / L_y N_y \quad (13)$$

式中：

T_y ——单个安全抑制带最大拉力，N；

L_y ——抑制带拉力到旋转点的距离，m；

N_y ——单扇闸门单元上的抑制带个数，个。

抑制带最大线拉力 T'_y 按式 (14) 计算，并按式 (15) 校核：

$$T'_y = \frac{T_y}{b_y} \quad (14)$$

$$T'_y < \frac{T_{ys}}{s} \quad (15)$$

式中：

T'_y ——抑制带最大线拉力，N/cm；

T_y ——每一抑制带所受最大拉力，N；

b_y ——单个抑制带宽，cm；

T_{ys} ——安全抑制带所能承受最大线拉力，N/cm。

6.5 闸门止封

6.5.1 闸门止封由间止封和侧止封组成，间止封应布置于相邻两扇闸门单元的中间，并通过螺栓和压板与两扇闸门单元相连，侧止封布置于整个闸门的两侧，并应具有连续性和密封性。

6.5.2 间止封宜用条形结构，侧止封宜采用 L 形断面形式。

6.5.3 闸门止封止水性能应符合 SL 74 的规定。

7 基础与埋件

7.1 一般规定

7.1.1 闸门基础宜分为一期和二期埋设，一期混凝土锚筋伸入二期内的长度应不小于 150mm，二期混凝土强度等级应高于一期混凝土强度等级；在保证闸门安装要求的情况下，可一次浇筑完成。

7.1.2 埋件主要包括锚栓、预埋垫板、预埋角钢、预埋进排气管路、排水管等。

7.1.3 锚栓等长期裸露于水中部件宜采用不锈钢材质，当采用其他材质时应采用特殊防腐处理。

7.1.4 预埋垫板、预埋角钢根据不同环境可采用 GB/T 700 规定的碳素结构钢和 GB/T 1591 规定的低合金高强度结构钢，并经防腐处理。预埋进排气管路宜采用不锈钢材质，也可采用其他材质，但应

具有耐老化、耐低温、耐腐蚀等特性。

7.1.5 预埋进排气管路应设置膨胀节或管路伸缩补偿器。

7.2 锚栓

7.2.1 锚栓主要分为主锚栓、气袋锚栓和安全抑制带锚栓。锚栓宜沿河道宽度方向垂直于水流方向布置，其直线度误差不应大于 5mm，位置度误差不应大于 2mm，锚栓应考虑混凝土强度、间距、锚固深度等因素。

7.2.2 锚栓的材料可采用 GB/T 700 规定的 Q235 钢、GB/T 1591 规定的 Q345 钢、GB/T 699 规定的 45 钢、GB/T 1220 规定的不锈钢及 GB/T 3077 规定的合金钢。

7.2.3 锚栓埋入混凝土中的长度宜不小于锚栓直径的 30 倍，在特殊情况下可缩短锚栓长度，锚栓应做折弯等处理，满足锚栓抗拔强度要求。

7.2.4 锚栓应按式 (16) 计算最大应力 σ ，并按式 (17) 进行强度校核：

$$\sigma = \frac{1.3F_z}{\frac{\pi}{4}d_1^2} \quad (16)$$

$$\sigma < \frac{\sigma_s}{s_1} \quad (17)$$

式中：

σ ——锚栓最大应力，MPa；

F_z ——锚栓最大拉力，N；

d_1 ——锚栓小径，mm；

σ_s ——锚栓屈服强度，MPa；

s_1 ——安全系数，宜不小于 2。

7.3 闸墩板

7.3.1 闸墩板浇筑在边墙和隔墩中，材料宜采用不锈钢或高分子材料，应满足耐久性要求，平面度应符合 T/CHES 11 的规定。

7.3.2 闸墩板轮廓尺寸应大于闸门运动轨迹，高度应高于溢流高度。

7.3.3 闸墩板设计考虑制造、安装及运输等要求应分片组成，公差应符合 T/CHES 11 的规定。

8 气动系统

8.1 一般规定

8.1.1 气动系统由空气压缩机、干燥装置、过滤器、储气罐、阀件、管路、接头等组成，并经技术经济比选后确定。

8.1.2 空气压缩机、干燥装置、过滤器及储气罐应布置在控制室内，宜使机器间有良好的自然通风，并减少西晒。

8.1.3 气动系统应设置安全阀，压力设置宜为 1.1~1.3 倍工作压力。

8.1.4 气动系统宜设置减压阀，减压阀设置压力宜为工作压力的 2 倍，但应小于空气压缩机的供气压力。

8.1.5 在干燥装置前后应各设一台过滤器，后置过滤器的过滤精度应高于前置过滤器。

8.1.6 气动系统中所设电磁阀宜并联截止阀，截止阀宜采用球阀。

8.1.7 对下游侧水位高度大于等于 1m 的气动盾形闸门，应配置强排系统，确保快速、完全塌坝。

8.1.8 气动系统设计还应符合 GB/T 7932 的规定。

8.1.9 气动系统充排气时间应满足工程运行、安全要求。

8.2 空气压缩机

8.2.1 空气压缩机的型号、台数，应根据气袋压力、供气量确定。空气压缩机的数量应不小于 2 台，空气压缩机的种类、型号不宜超过 2 种。

8.2.2 空气压缩机的吸气系统，应设置空气过滤器或空气过滤装置。

8.2.3 空气压缩机吸气系统的吸气口，宜装设在室外，并应有防雨措施。夏热冬暖地区，螺杆空气压缩机和排气量小于等于 $10\text{m}^3/\text{min}$ 的活塞空气压缩机的吸气口可设在室内。

8.2.4 风冷螺杆空气压缩机组和离心空气压缩机组的空气冷却排风宜排至室外。

8.2.5 活塞空气压缩机的排气口与储气罐之间应设后冷却器。离心空气压缩机后冷却器和储气罐的配置，应根据需要确定。各空气压缩机不应共用后冷却器和储气罐。

8.2.6 活塞空气压缩机与储气罐之间，应装止回阀。在空气压缩机与止回阀之间，应设放空管。放空管应设消声器。

活塞空气压缩机与储气罐之间，不宜装切断阀。当需装设时，在空气压缩机与切断阀之间，应装设安全阀。

离心空气压缩机的排气管上，应装止回阀和切断阀。空气压缩机与止回阀之间，必须设置放空管。放空管上应装防喘振调节阀和消声器。

离心空气压缩机与吸气过滤装置之间，应设可调节进气量的装置。

8.2.7 离心空气压缩机应设置高位油箱和其他能够保证可靠供油的设施。

8.2.8 离心空气压缩机宜对应设置润滑油供油装置，出口的供油总管上应设置止回阀。

8.2.9 空气压缩机供气压力 P_i 按式 (18) 计算：

$$P_i \geq P + \sum \Delta P \quad (18)$$

式中：

$\sum \Delta P$ ——气动系统的总压力损失，可取 $0.15 \sim 0.2\text{MPa}$ 。

8.2.10 空气压缩机供气流量 Q_z 按式 (19) 计算：

$$Q_z = Q_y (P + P_a) / P_a \quad (19)$$

式中：

Q_y ——压缩空气流量， m^3/min ；

P_a ——1 标准大气压， MPa 。

压缩空气流量 Q_y 按式 (20) 计算：

$$Q_y = V/t \quad (20)$$

式中：

V ——气袋总容积， m^3 ；

t ——气袋充气时间， min ，可取 30min 。

8.3 空气干燥装置

8.3.1 空气干燥装置的选择，应根据气动系统、空气干燥度及干燥空气量的要求确定。

8.3.2 当压缩空气需干燥处理时，在进入干燥装置前，其含油量应符合干燥装置的要求。

8.3.3 根据压缩空气质量等级的要求，应在空气干燥装置前、后和用气设备处设置相应精度的压缩空气过滤器。

8.3.4 装有活塞空气压缩机的控制室，其空气干燥装置应设在储气罐之后。进入吸附式空气干燥装置的压缩空气温度，不得超过 40°C 。进入冷冻式空气干燥装置的压缩空气温度，应根据装置的要求确定。

8.4 储气罐

8.4.1 储气罐选型应符合气动系统要求。

8.4.2 立式储气罐与控制室外墙的净距不应小于 1m，并不宜影响采光和通风。

8.4.3 储气罐上应装设安全阀。安全阀的选择，应符合 TSG 21 的规定。储气罐与供气总管之间，应装设切断阀。

8.5 管路

8.5.1 气动盾形闸门系统管路分为进排气管和排水管。

8.5.2 管路设计应满足气体流量、压力及品质的要求，做到布置合理、运行可靠及维修方便，具有足够的充排能力。

8.5.3 室内管路管径宜与空气压缩机出口管径相同；室外管路管径宜不小于室内管路管径。

8.5.4 管路的敷设方式应根据气象、水文、地质、地形等条件和施工、运行、维修方便等综合因素确定。

8.5.5 设有坡度的管路，其坡度不宜小于 0.002。

8.5.6 室内管路的连接，应采用法兰或螺纹连接，室外预埋管路宜采用焊接连接。

8.5.7 寒冷地区管路埋设应满足防冻要求。

9 电气及自动控制系统

9.1 一般规定

9.1.1 电气及自动控制系统应满足气动盾形闸门系统安全工作的要求。

9.1.2 电气及自动控制系统设计还应符合 SL 612 的规定。

9.2 电气

9.2.1 电气设计应以闸门控制所在地情况，经技术经济论证，合理确定接入电力系统的方式，并根据工程的性质、规模和重要性合理确定配电系统和保护装置。

9.2.2 电线管（槽）及导线的敷设应符合 DL/T 5190.4 中的规定。敷设在河道中的电线管应选用无毒无卤素的抗压管，导线敷设在电线管内，应采用防水且无卤素的绝缘控制软线。导线应固定牢固、拆装方便，其引出口应有防止渗水的措施。

9.2.3 控制电缆的防护与接地应符合 GB/T 50065 及 GB 50169 的规定，控制电缆的金属护层应接地。其他防护与接地应符合 DL/T 5190.4 的规定。

9.2.4 应选用可靠性高、适应恶劣环境且系统防雷抗干扰能力强的设备。

9.2.5 电力电缆与控制电缆应分层敷设。

9.3 自动控制系统

9.3.1 气动盾形闸门系统应能实现自动控制，并具有自动控制失灵后可实现手动排气的功能。

9.3.2 自动控制系统应设置气袋压力传感器，当气袋压力超过设计压力时，自动控制系统自动放气，实现自我保护。

9.3.3 当气袋泄漏导致挡水高度降低时，自动控制系统应报警并自动补气。

9.3.4 自动控制系统宜设置系统冗余，用于远程控制等扩展功能。当采用远程控制时，控制系统可采用光纤以太网作为系统的控制网络，以光纤作为传输介质，以工控机、PLC 作为控制核心。

9.3.5 自动控制系统宜采用模块化结构设计，便于维护和系统升级。