

哈尔滨市磨盘山水库取水塔进口金属结构的布置与设计

常宗滨 樊雪钰

(黑龙江省水利水电勘测设计研究院 黑龙江哈尔滨 150080)

摘要: 为控制磨盘山水库取水塔的取水水温, 取水塔进水口采用分层取水型式。在进行了方案比选后, 采用多层进水口分层取水方式。进水口分为上, 中, 下共三层, 每层采用平面式定轮滑动闸门, 三层闸门共用共用一台双向门机。水库运行时, 可根据取水需要开启相应层的闸门。

1 工程概况

磨盘山水库位于哈尔滨市五常市拉林河上游, 主要功能是为哈尔滨市供水兼顾防洪、灌溉功能。水库库容 4.59 亿立方米、防洪库容 0.35 亿立方米、灌溉 0.5 亿立方米。设计水位百年一遇, 校核水位五千年一遇。水库 2003 年 4 月开工, 2004 年 9 月 28 日截流, 2005 年 9 月 25 日完成大坝下闸蓄水。2006 年底向市区供水, 涵盖除哈西和松北以外的所有市区。该工程由拦河坝、溢洪道、导流灌溉洞、供水洞、管线组成。兴利水位 318.00m, 设计水位 319.69m。

2 磨盘山水库水温分现象及其影响

2.1 磨盘山水库的水温分层现象

不同水库温度垂向分层强弱的差别很大, 一般由强到弱依次划分为分层型、过渡型和混合型 3 类结构, 目前国内判别水库水温结构的一般采用径流—库容比法, 计算方法如下:

水库水温结构判别采用径流-库容比法, 当指数 $\alpha \leq 10$ 时, 水库水温为分层型, 库表面的水温明显高于中下层水温而出现温度分层, 梯度可达 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上; $\alpha \geq 20$ 时为混合型, 一年中任何时间库内水温分布比较均匀, 水温梯度很小; $10 < \alpha < 20$ 时为过渡型, 兼有上述两种类型水温分布特征。

对于分层型水库, 如遇指数 $\beta \geq 1$ 时的洪水, 分层结构被破坏, 则为临时性混合型; $\beta \leq 0.5$ 时洪水一般对水温分层几乎无影响; $0.5 < \beta < 1$ 的洪水对分层的影响介于二者之间。

经计算, 对于磨盘山水库 $\alpha=5.92 \leq 10$, 磨盘山水库水温结果为分层型。指数 $\beta_{100}=1.42$, $\beta_{50}=1.19$, $\beta_{30}=1.05$ 。磨盘山水库在遭遇 30 年一遇洪水时, 水库水温分层结构将被破坏。

2.2 水温分层对生态环境的影响

一般水电站为满足在最低发电水位时的运用, 进水口的设置位置较低。在高水位运行时, 进水口引取的为水库深部水体, 水温较低, 使下游河道内水温和含氧量变化较大。

水库低温水下泄会对下游鱼类资源和渔业生产产生不利影响。温水性鱼类生长的适宜水温范围为 $15^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$ 。水温超出该范围时会造成鱼类新陈代谢减慢、食欲减退, 甚至停止摄食休眠等。拉林河中上游河段河段保护鱼类为冷水性鱼类, 在冷水性鱼类的繁殖期, 下泄的低温水小于自然河道的水温, 会造成鱼类产卵期推迟甚至不产卵, 当年生长期缩短, 生长速度减缓, 个体变小等。

例如根据资料显示, 丹江口水库由于坝下江段水温降低, 导致该江鱼类繁殖季节之后 20d 左右, 当年出生幼鱼的个体变小, 生长速度变慢。对比建坝前后冬季的数据, 该江段草鱼当年幼鱼的体长和体重分别由建坝前的 345mm 和 780g, 下降至建坝后的 297mm 和 475g^[1]。

2.3 水库水温的改善措施

- 1) 设置合理的分层取水口进行分层取水。这种措施比较灵活, 可广泛适用于各种大、中型水库, 目前国内实施经验较多。该措施的缺点是对电站的限制较多, 结构复杂。
- 2) 破坏取水口附近的温跃层。这种措施在国外有研究实践, 且仅限于小型工程, 国内尚未有较为成熟的经验。
- 3) 生态调度。生态调度是通过水库的流量调节破坏或者消除温跃层, 是一种比较经济的调控方法。这种方法在国外有应用, 国内同样尚未有较为成熟的经验。

3 磨盘山水库分层取水进水口金属结构布置

3.1 分层取水常见的布置形式

为减轻低温水对下游鱼类的影响，确保取表层水下泄，最大限度降低对鱼类的影响，磨盘山水库进水口拟采用分层取水型式，目前分层取水国内大多采用以下两种型式：多层进水口分层取水和叠梁闸门控制分层取水。

1) 多层取水口分层取水

在取水范围内设置标高不同的多个孔口，取水口中心高程根据取水水文的要求设定，不同高程的孔口通过水平输水洞，竖井或者斜井连通。每个孔口分别由闸门控制，运行时可根据需要，启闭不同高程的闸门，以达到分层取水的目的。

图 1 是典型的竖井式分层取水布置，根据水库分层取水要求，取水塔进口为 3 层取水型式。取水口前端设置拦污栅，拦污栅为由上至下的通栅，每层洞口分别设置一扇平面钢闸门，闸门呈阶梯状布置。拦污栅和上、中、下层闸门的启

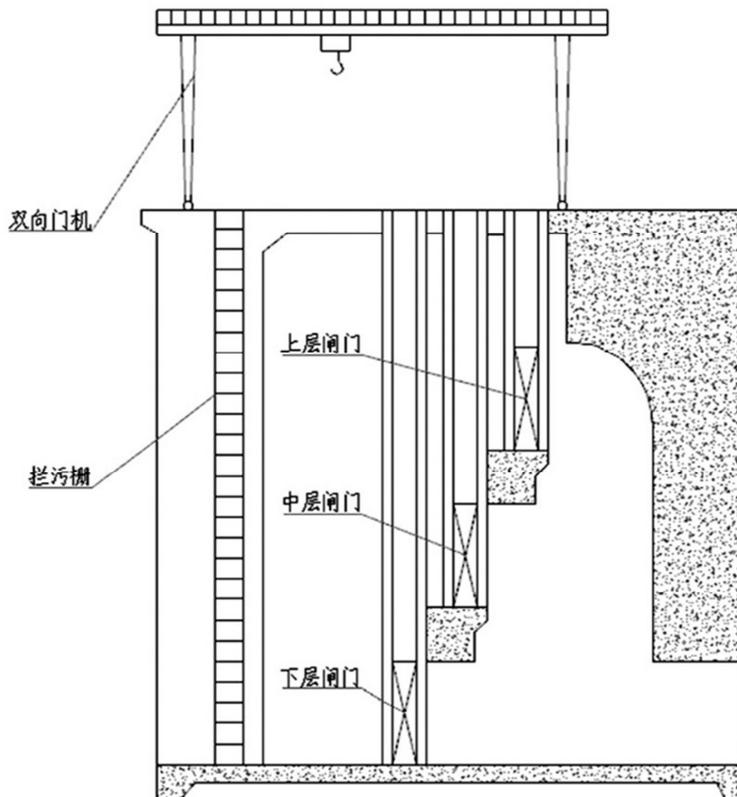


图 1 分层取水闸门布置

闭由一台双向门机操作，水库调度运行时，可根据水位情况开启相应层的闸门取水。若水库污物较多，为方便清污，双向门机前面还可以增设一个液压式清污抓斗。这种布置形式的缺点在于由于孔口的分层限制，不能连续取得表层水，如果水位位于两层闸门之间，会造成部分的水温损失，另外在高水位取水时，水头损失也略大。

另外在高水位取水时，水头损失也略大。

2) 叠梁门分层取水

叠梁门分层取水型式是用叠梁闸门控制分层取水。叠梁门门顶高程根据满足

下泄水温进水库的要求确定，水库的表层水通过叠梁门门顶进入取水通道。调度运行时，可根据水库运行时水位的变化情况或下游水温的需要，提起或者放下相应数量的叠梁门，从而达到引取水库表层温水，提高下泄水温的目的。叠梁门由一台双向门机进行启闭操作。这种布置的优点在于调度灵活，可以连续取得表层的温水，但也存在如下一些缺点：(1) 叠梁门节数过多，在实际运行中可能会增加调度的繁琐程度；(2) 由于闸门节数过多，需要较大面积的启闭平台以存放提起的叠梁闸门；(3) 这种布置方案，在中高水头下，叠梁门数量一般比较多，金属结构投资过高，经济性不佳；(4) 闸门节数过多，增加了闸门后期的维护成本。

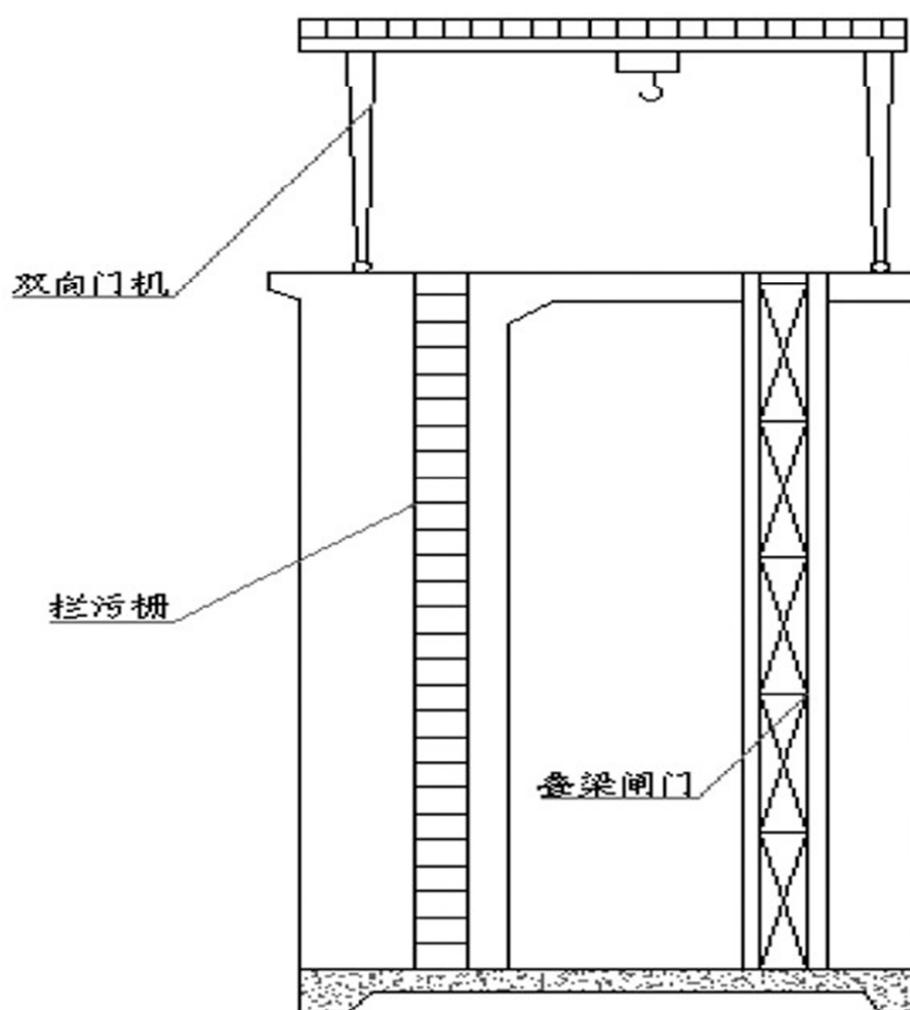


图 2 典型的叠梁门分层取水布置

3.2 磨盘山水库分层取水方案比选

磨盘山水库取水塔进水口选取了较常见的叠梁门式进水口和固定式闸门控

制的分层取水方案进行方案比较，两种方案的布置形式及比较结果如下：

固定式闸门分层取水布置形式：进水口长 17.7m，宽 19m，分三孔布置，每孔宽度 4.0m，闸墩顶高程 325.50m，闸墩上设置启闭闸门和拦污栅的双向门式启闭机。为了满足分层供水要求，每孔均设置不同水位取水的 3 层闸门，闸门高 4.0m；最下层闸门底高程为 292.00m，中层闸门底板高程 302.00m，最上层闸门底高程 311.00m。进水口顺水流方向依次布置拦污栅槽及 3 层取水闸门门槽、通气孔等。

采用叠梁门分层取水型式：分 3 孔布置，进水塔前缘宽 19m，顺水流向长度为 10.5m，由清拦污栅槽、叠梁门槽，通气孔等组成。进水口闸底板高程为 292.00m。顶部高程与坝顶同高，为 325.50m。拦污栅槽后为叠梁门门槽。叠梁门每孔净宽 4.0m，挡设计洪水位 319.69m，风浪超高取 0.31m，则闸门总高度 28.0m，叠梁门分 8 节，每节门高 3.5m；在墩顶处需设置面积约 100m² 平台，以便于叠梁门的存放和日常维护。

两种布置方案的工程投资见下表：

表 1 磨盘山水库电站进水口方案工程投资比较

序号	项目	固定闸门式 分层取水	叠梁门分层取水
1	建筑工程投资/万元	1394	1221
	土石方开挖/m ³	699	541
	土石方回填/m ³	1256	1144
	混凝土/m ³	10611	9933
2	金属结构设备与安装工程/万元	592	997
3	投资合计 1+2/万元	1986	2218
	备注	(1)增设自动抓梁一套	(1)需设置闸门存放平台 (2)增设自动抓梁一套

从表 1 中可知，叠梁门式取水方案的工程投资比固定闸门分层取方案的工程投资要多 232 万元。从运行管理方面考虑：(1) 叠梁门操作中多节闸门的存放，水平运输等不方便，需要专门设置闸门存放平台；(2) 叠梁门分层取水时，闸门门

顶过水,不符合现行规范,如采用此方案,需要进行闸门试验并采取特殊措施,以应对可能出现的闸门振动问题,此部分投资未计入投资比较中。经过综合比较,磨盘山水库进水口采用固定式闸门分层取水方案。

3.3 磨盘山水库进水口金属及结构布置

磨盘山水库电站进水口由两孔拦污栅及相应两套上中下3层调度工作闸门组成。进水口底槛高程为464.00m,启闭平台高程为497.30m。

① 拦污栅:

电站进水口拦污栅为通栅,倾角 90° ,放置在上游拦污栅栅槽内。拦污栅底高程292.00m,拦污栅顶高程324.00m。孔口尺寸 $4\text{m}\times 32\text{m}$ (宽 \times 高),三孔四扇其中一扇作为检修备用。栅体按高度方向分7节,每节4m。栅体结构按4m水头差计算,由双主梁和两侧边梁构成平面承力框架,上设栅条。栅条高120mm,厚14mm,其稳定系数 $k=2$ 。栅条中心距100mm。栅槽尺寸 $500\times 400\text{mm}$ (宽 \times 深),拦污栅启吊由自动抓梁分节启吊。检修及清污使用备用栅和栅槽交替进行,可以不影响取水工作。

②取水塔进水口上层闸门

进水口底高程311.00m,进水口顶高程315.00m。孔口尺寸 $4.0\times 4.0-8.69\text{m}$ (宽 \times 高一水头)。闸门采用平板滚轮式钢闸门,总水压力 $P=1453\text{kN}$,动水启静水闭。闸门用五根主梁按等荷载布置,梁高 $h_0=460\text{mm}$ 面板厚度 $\delta=12\text{mm}$ 。主轮直径 $D=500\text{mm}$,轴径 $d=100\text{mm}$ 。门槽尺寸 $600\text{mm}\times 500\text{mm}$ I型槽。拉杆长 $l=3.0\text{m}$,共4节,用拉杆锁定在操作平台上。闸门选定双吊点,吊点距 $=4.4\text{m}$ 。闸门动水启闭,启门力 $F_Q=454\text{kN}$,闭门力 $F_w=-66.7\text{kN}$ 不需加重可以下门。当水位在上层闸门底槛以上时,可开启该闸门,引用表层温水。

③电站进水口中层闸门

进水口底高程302.00m,进水口顶高程306.00m。孔口尺寸 $4.0\times 4.0-17.90\text{m}$ (宽 \times 高一水头)。闸门采用平板滚轮式钢闸门,总水压力 $P=3067\text{kN}$,平压后静水启闭。闸门用五根主梁按等荷载布置,梁高 $h_0=600\text{mm}$ 面板厚度 $\delta=16\text{mm}$ 。主轮直径 $D=700\text{mm}$,轴径 $d=130\text{mm}$ 。门槽尺寸 $800\text{mm}\times 600\text{mm}$ I型槽。拉杆长 $l=3.0\text{m}$,共9节,用拉杆锁定在操作平台上。闸门选定双吊点,吊点距

=4.4m。闸门动水启闭，启门力 $FQ=626kN$ 。需利用水柱压力 $168kN$ 下门。当水位在上层闸门底槛以下且在中层闸门底槛以上时，可开启该闸门，引用表层温水。

④ 电站进水口下层闸门

进水口底高程 $292.00m$ ，进水口顶高程 $296.00m$ 。孔口尺寸 $4.0 \times 4.0 - 27.69m$ (宽 \times 高一水头)。闸门采用平板滚轮式钢闸门，总水压力 $P=5247kN$ ，平压后静水启闭。闸门用五根主梁按等荷载布置，梁高 $h_0=840mm$ 面板厚度 $\delta=16mm$ 。主轮直径 $D=800mm$ ，轴径 $d=200mm$ 。门槽尺寸 $1000mm \times 700mm$ II 型槽。拉杆长 $l=3.0m$ ，共 14 节，用拉杆锁定在操作平台上。闸门选定双吊点，吊点距 $=4.4m$ 。闸门动水启闭，启门力 $FQ=1298kN$ ，需利用水柱压力 $595kN$ 下门。当水位在下层闸门底槛以下时，可开启该闸门，引用表层温水。

⑤ 启闭设备

$2 \times 500kN$ 双向门式启闭机布置在坝顶 325.50 高程。门机起升机构容量为 $2 \times 500kN$ ，吊点距 $4.4m$ ，可启闭上，中，下三层闸门；门机顺水流方向左侧分别布置 $GD100kN$ 的清污抓斗和 $200kN$ 液压自动抓梁一套，分别对拦污栅进行清污和起吊。

门机寿命按 50 年设计，工作级别为 Q3-中，门机的司机室设在上游侧，门机轨距 $6.15m$ ，门机基距 $6.25m$ ，门机轨上工作高度 $5.8m$ ，门机轨道采用 QU100 起重机用钢轨，轨道两边设置行程开关机撞头。

4 结语

磨盘山水库 2012 年 8 月底全面竣工。金属结构设备运行至今，情况良好，满足设计要求。在 2010 年起至今，磨盘山水库供水系统保证了哈尔滨市每天 $9 \times 10^5 m^3$ 的供水任务，为确保哈尔滨市人民生命财产安全、哈尔滨市水源安全和促进社会可持续发展奠定了坚实的基础。

参考文献

[1] 水利水电规划设计总院. 水工设计手册(第 3 卷). 北京: 中国水利水电出版社, 2014

冷喷锌在翻板钢闸门防腐领域的应用

廖建春¹ 廖有为^{1,2,3}

(1. 湖南金磐新材料科技有限公司 长沙市 410124

2. 中南林业科技大学材料科学与工程学院 长沙市 410007

3. 湖南省腐蚀与防护学会 长沙市 410012)

【摘要】翻板闸门大量采用钢结构，由于其环境恶劣容易造成腐蚀进而带来各种安全隐患和经济损失，所以翻板闸门钢结构普遍采用热喷锌进行防腐处理。近年来出现一种新型喷锌工艺—冷喷锌，不断在国内各大项目上被设计使用，并取得了不错的使用效果。

【关键词】 翻板闸门 钢结构防腐 热喷锌 新型喷锌工艺 冷喷锌

1 引言

近年来在国内飞速发展的经济大环境下，随着城市用水、景观建设及环境整治和防洪、灌溉、发电的需要，翻板闸门得到广泛的运用。然而，橡胶坝等生产比较复杂，运行时充水（充气）升坝或放水（放气）塌坝时间较长，影响快速截流或泄洪，再加上橡胶易老化的弊端，容易发生质量事故。现在市场上出现大量钢结构翻板闸门，钢坝闸是一种新型可调控溢流闸门，它有土建结构、带固定轴的钢闸门门体、启闭设备等组成。这种建筑物适合于闸孔较宽（10米~100米）而水位差比较小的工况（1~7米），由于它可以设计的比较宽，可以省去数孔闸墩，所以不仅结构简单，可以节省不少土建投资，而且可以立门蓄水，卧门行洪排涝，适当开启调节水位，还可以利用闸门门顶过水，形成人工瀑布的景观效果。

钢结构翻板闸门长期处于恶劣的腐蚀环境中，受氧、水、高速水流、水中漂浮物以及海水等化学和物理的综合作用，容易产生严重的腐蚀。钢结构翻板闸门受到腐蚀损伤后，构件截面面积减少，降低结构承受能力，影响设备正常使用功能，缩短使用寿命^[2]。钢结构翻板闸门目前通常采用热喷锌进行防腐保护。热喷锌在使用及性能等方面存在诸多不足如：高耗能、危害工人身体健康、环境污染、施工难度大、施工效率低、涂层孔隙率高、锌层易氧化、涂层破损难修复、成本高等等^[3]。湖南金磐新材料科技有限公司针对以上问题开发的干膜锌含量在96%以上的冷涂锌，能够提供长效持久的防腐保护。

2 冷喷锌简介

冷喷锌是近年研制的一种新型喷锌工艺，它采用冷涂锌涂料为材料，在常温状态，

用喷、刷、辊涂的方式，将冷涂锌均匀涂覆在钢材表面，起到防腐蚀保护。**该工艺可以取得比热喷锌更好的防腐效果。**

2.1 冷涂锌涂料组成及特点^[4-8]

(1) 一种单组分的重防腐材料，由高纯度的锌粉、挥发性溶剂的和导电树脂组成。

(2) 干膜锌含量高达 96%以上，**涂层同时具备阴极保护和屏蔽保护作用，能够为钢铁基材提供比热喷锌更好的防腐效果。**冷喷锌与热喷锌防腐性能对比请复制此链接、查看：<http://t1.xycq.yaowan.com/news/science/2018-01-22/168025.html>。

(3) 性价比高，每平方综合使用成本低，使用年限长，施工快、易修补。

(4) 施工便捷，可以喷涂、辊涂、刷涂。施工效率高，大大缩短工期。

(5) 环保、安全、无毒。

2.2 防腐机理

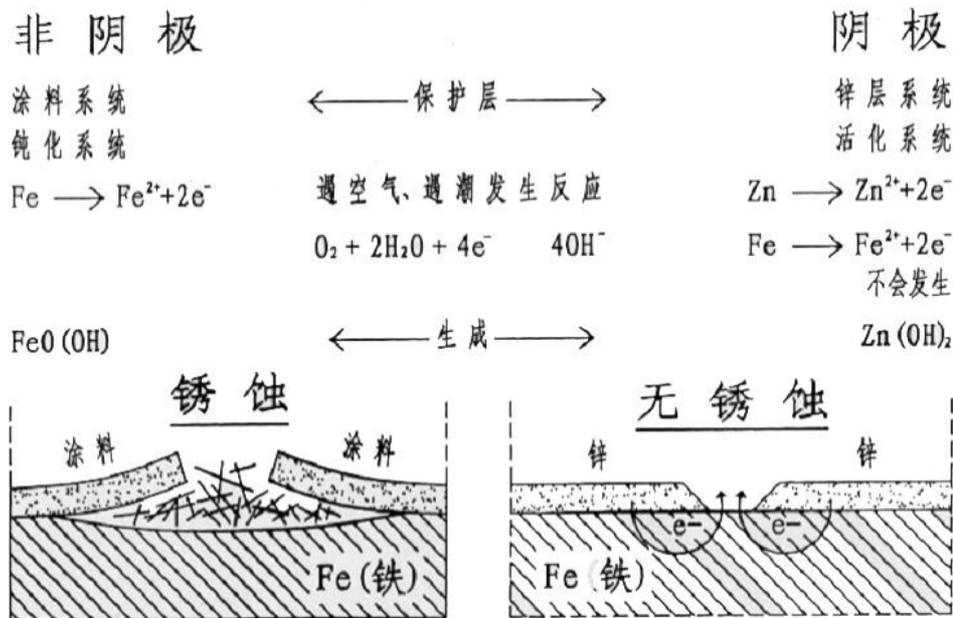


图1 防腐机理

在钢材防腐过程中，**导电包覆树脂^[9]和超细锌粉^[10-11]共同作用，使冷涂锌涂层能同时提供阴极保护和屏障保护，并利用自修补效应强化防腐蚀效果。**冷涂锌涂膜完好无损时，致密的涂层能有效隔绝腐蚀介质，保护基材，但涂膜有一点受损露出钢铁基材时，锌粉与钢铁基材会通过导电网络迅速形成腐蚀原电池，锌的标准电位比较低，较铁活泼，在腐蚀过程中锌作为阳极优先被腐蚀，钢铁基材作为阴极受到保护（如图1所示）。锌在氧化过程中生成多种腐蚀产物，这些腐蚀产物粒径小，表面活性高，形成后沉积在涂层间隙及缺陷中，使涂膜更为致密。致密的涂层不仅阻止了钢铁基材与腐蚀介质进一步接触，延缓了腐蚀。而且提高了涂膜的机械强度，避免了涂膜再受损害（如图2所示）。

随着锌氧化物的形成，涂层继续破损而露出新鲜的金属锌时，电位差又立即增大，阴极保护重新起主导作用，并且对钢结构基材提供有效后续防护^[12-17]。

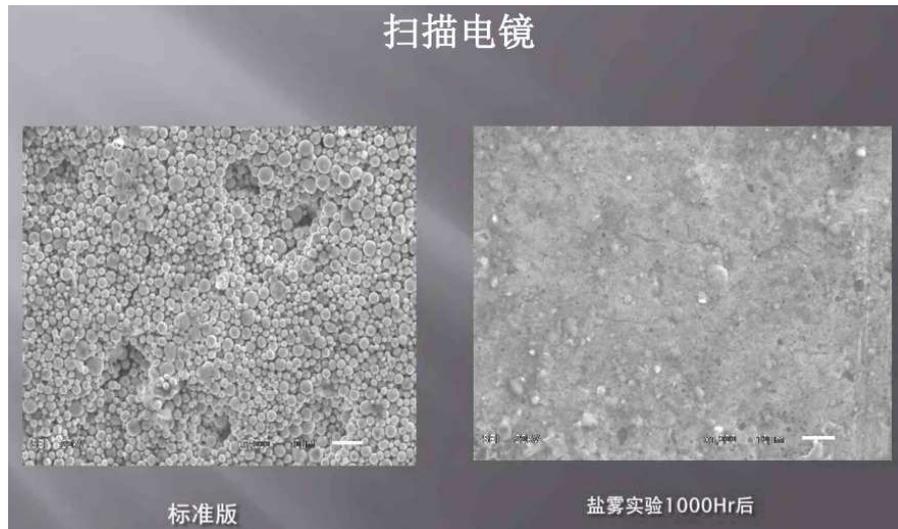


图2 盐雾试验前后表面形貌对比

2.3 性能指标

冷涂锌具有优异的阴极保护，极好的耐冲击性、重涂性好。涂层与钢铁底材以及涂层之间附着力好。能适应重载冲击和环境温差引起的热胀冷缩，长期使用不龟裂，不脱落^[18-20]。

冷涂锌涂料标准《HG/T 4845—2015》已于2016年1月1日实施，冷涂锌基本性能如表1所示，检测方法依据相关国标标准^[21]。

表1 冷涂锌性能指标

检测项目	技术要求	检测标准
容器中的状态	搅拌均匀后无硬块，呈均匀状态	目测
不挥发份含量/%	≥80	GB/T 1725-2007
不挥发物中金属锌含量/%	≥92	HG/T 3668-2009
不挥发物中全锌含量/%	≥95	GB/T 6890-2012
干燥时间/h 表干	≤0.5	GB/T 1728-1989
实干	≤24	GB/T 1728-1989
漆膜外观	正常	目测
柔韧性/mm	≤2	GB/T 1731-1993
耐冲击/cm	50	GB/T 1732-1993
划格实验/级	≤1	GB/T 9286-1998

附着力（拉开法）/MPa	≥5	GB/T 5210-2006
耐盐雾性	2000 h 以上划线处无红锈,单向扩	GB/T 1771-2007
	蚀≤2.0 mm, 未划线区无开裂、剥	GB/T 1766-2008
	落、生锈等现象, 允许气泡等级≤1 (S3) 级、生锈等级≤1 (S2) 级	
与后道漆的配套性/MPa	≥3	GB/T 5210-2006

冷喷锌较热喷锌相比, 具有明显优势。对比情况见表 2 所示。

表 2 冷喷锌与热喷锌对比

热喷锌	冷涂锌
采用锌丝, 使用时需加热至熔融状态, 能耗高	采用冷涂锌, 常温下即可施工, 能耗低
施工难度大, 效率低	类似涂刷油漆的方法, 施工简单, 效率高
经过了熔融, 锌层易氧化	常温下附着在钢铁表面, 锌层不易氧化
锌层孔隙率高	锌层致密, 孔隙率低

2.4 涂装配套方案^[23-24]

冷涂锌涂装尽可能在车间内完成, 车间内涂装具有更好的喷砂和涂装条件, 涂装周期短, 质量容易控制。

涂装前, 需对基材进行表面处理: 喷砂、抛丸除锈, 然后吹掉粉尘。除锈等级 Sa2.5, 粗糙度 Rz40-70 μm, 做到无明显锈皮、锈斑、氧化皮 (注意: 除锈后 2 h 内要开始喷冷涂锌)。喷涂方式及相关参数见表 3。

表 3 喷涂方式相关参数

项目	施工方法	
	空气喷涂	高压无气喷涂
喷出压力/MPa	0.3~0.4	12.0~15.0
喷嘴孔径/mm	2.5~3.0	0.38

冷喷锌替代热喷锌作为底层, 推荐中间涂层为: 封闭中间漆; 推荐面漆为: 氯化橡胶、丙烯酸聚氨酯、冷涂银以及银富锌面漆等。

3 冷喷锌在岷江犍为航电枢纽工程上的应用

3.1 工程概述

国家重点项目——岷江港航电综合开发项目之一的犍为航电枢纽, 位于岷江下游乐山

市隄为县境内，是以航运为主，结合发电，兼顾供水、灌溉的水资源综合利用工程。电站正常蓄水位为 335m，总库容为 2.27 亿 m³，总装机容量为 500MW，为河床式电站，闸坝式挡水建筑物，III级船闸通航 1000t 级船舶，项目概算投资 104.24 亿元。

3.2 根据业主要求，设计金结防腐的涂装配套为表 4 所列

为确保复合涂层的附着力，中间漆与冷涂锌有良好的配套性是关键。湖南金磐新材料科技有限公司研发了与冷涂锌配套的封闭中间漆，是一种双组份、高固体含量的封闭性环氧云铁厚浆液，具有提高涂层体系的隔绝屏障功效，兼具环氧云铁功能，适用于中度至高度腐蚀环境的钢结构防护，同时与冷涂锌有良好的配套性。

表 4 闸门涂装配套表

序号	涂层	道数	干膜厚度/ μm	生产单位
1	冷涂锌	2	100	湖南金磐新材料科技有限公司
2	封闭中间漆	1	120	湖南金磐新材料科技有限公司
3	氯化橡胶面漆	1	80	-
合计		4	300	

3.3 工艺流程

焊缝及闸门表面缺陷处理 (P2 级) → 喷砂除锈 (Sa2.5 级) → 对焊缝、转角、切边、板边缘以及隐蔽部位预涂一遍冷涂锌 → 喷冷涂锌 2 道 (共 100 μm) → 喷封闭中间漆 1 道 (120 μm) → 最后喷涂氯化橡胶面漆 1 道 (80 μm) → 检查涂装质量 → 修补 → 交验。

在整个涂装工艺流程中，最关键的是焊缝及闸门表面缺陷处理和冷涂锌预涂。

3.4 钢结构的表面处理

钢材表面处理是整个涂装工艺的核心，处理好坏影响涂层质量的程度达到 50%。

3.4.1 焊缝及钢结构表面缺陷的处理：按照 ISO-3 “焊缝、切割边和其他表面缺陷的处理等级” 适用涂料施工的共分三个等级。以处于 C3 和 C4 腐蚀环境为例，钢结构缺陷处理级别必须达到 P2 级以上。

表 5 钢结构表面缺陷处理的级别与腐蚀环境的关系

处理级别	文字叙述	腐蚀等级 ISO 12944-2
P1	轻微的处理，涂漆前需考虑最小处理	C1 和 C2
P2	彻底的处理，涂漆前大多数表面缺陷要修正和进行表面处理	C3 和 C4
P3	非常彻底的处理，表面没有可见的表面缺陷	C5-1 和 C5-m

针对冷涂锌具有尖锐边缘高收缩性的特点，对下列部位必须做重点处理。按 ISO 8501-3 标准，达到 P2 级。

(1) 自由边：钢材自由边上的尖角毛刺，用砂轮打磨至 R=2mm 的圆角。

(2) 切割边：切割边的峰谷差超过 1mm 时，打磨到 1mm 以下，对坚硬的熔渣表面要进行打磨处理。

(3) 咬边：焊缝上深为 0.8mm 以上的咬口，进行补焊处理。

(4) 飞溅：焊接产生的飞溅要打磨光滑。

(5) 剥落：钢材表面的剥落，要砂轮修正。

(6) 凹坑：深度在 0.8mm 以上的要补焊处理。

(7) 焊缝：焊缝连接，表面有 2mm 以上的突出或有锋利突出时，砂轮打磨光滑。

(8) 切割面：尽量光滑，但是由于非常坚硬不利于喷砂，要先打磨掉表面层。

3.4.2 冷涂锌对表面处理的要求：钢材表面经喷砂或抛丸达到 GB 8923-88《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》Sa2.5 级，钢材表面无可见的油污、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。喷砂后钢板表面粗糙度为 (40~70) μm 左右，在切割、焊接、组装过程中，局部产生的二次锈斑等部位，均用手工打磨清理，清洁度达到 St3 级。

3.5 涂装环境条件的掌握

施工环境相对湿度：相对湿度小于 85%即可涂装；

钢材表面温度：表面温度低于 60 $^{\circ}\text{C}$ ，高于露点 3 $^{\circ}\text{C}$ ，表面无水和冰；

冷涂锌层上涂覆其他配套涂料需间隔 2 小时；

喷涂设备：每次施工前后都必须用冷涂锌专用稀释剂清洗干净。

3.6 无气喷涂技术条件

除预涂外，闸门的涂装均采用无气喷涂法，采用重庆长江机械厂 QPT3256C 型富锌涂料喷涂机；环氧云铁采用 QPT6528 型喷涂机，具体技术条件见表 6。

表 6 无气喷涂技术条件

品名	喷漆压力/MPa	喷嘴孔径/mm	喷嘴喷幅/cm	喷嘴流量/NL.min
冷涂锌	15.0	0.38	25~35	2200
封闭中间漆	20.0~25.0	0.4~0.5	25~35	900~1300
氯化橡胶面漆	15.0~20.0	0.4~0.5	25~35	900~1300

3.7 其他喷涂技术条件

三种材料都按照对应的说明书进行操作。

各涂装配套的干燥时间、复涂间隔按表 7 所示执行。

表 7 涂装配套的干燥时间、复涂间隔

品名	表干时间	硬干时间/h	最短复涂时间/h	最长复涂时间/h	备注
冷涂锌	8 min	≤4	0.5	不限	施工温度 20 °C
封闭中间漆	≤2 h	≤24	24	3 个月	
氯化橡胶面漆	≤2 h	≤12	8	不限	

3.8 漆膜表面质量

表面光洁、无流挂、漏喷、针孔、发白、气泡等常见的漆膜弊病。

3.9 膜厚质量

膜厚质量包括两个方面：一是每道配套涂料要达到规定的膜厚的要求。特别是冷涂锌，必须达到 100 μm，以保证防腐性能。

二是涂层的总膜厚度。根据涂装工艺质量校验员的检测：冷涂锌测试点的干膜厚度平均能达到 85%的要求，同时检测点的干膜总厚度不小于规定膜厚的 85%。

3.10 中国电建水电五局水工厂施工现场照片



3.11 工地安装现场照片



3.12 复合涂层拉开法附着力检测



拉开法附着力检测结果 6.5MPa，远远大于国家标准要求的 3MPa。

检测结果表明：金磐冷喷锌与闸门钢材表面附着力及与后道油漆配套性都非常好！

4 冷喷锌在翻板闸门防腐的应用

近几年，翻板钢闸门发展迅猛，应用越来越广泛。冷喷锌防腐性能卓越、施工简单高效、环保安全无毒，被越来越多的翻板钢闸门厂家采用。在水环境中，翻板钢闸门喷涂冷涂锌干膜厚度 $100\ \mu\text{m}$ ，配套封闭中间漆 $120\ \mu\text{m}$ 、面漆 $80\ \mu\text{m}$ ，总膜厚达到 $3000\ \mu\text{m}$ ，涂层就有大于 15 年的使用寿命，可以满足设计及运行要求。

4.1 陕西商洛高新区景观工程，河北槐河合页坝项目，河南南阳白河和三里河连通工程，均采用湖南金磐新材料科技有限公司冷喷锌防腐，感谢安徽金川活动坝科技有限公司实施并提供照片。



工厂喷涂冷涂锌及配套封闭中间漆



陕西商洛高新区景观工程安装现场



河南南阳白河和三里河连通工程



河北槐河合页坝项目



4.2 吉林珲春河水利工程，四川绵阳市安昌河水利工程，黑龙江牡丹江水利工程，均采用湖南金磐新材料科技有限公司冷喷锌防腐，感谢安徽省万豪水坝节能技术有限公司实施并提供照片。



吉林珲春河 2#坝总宽 384m×3.0m



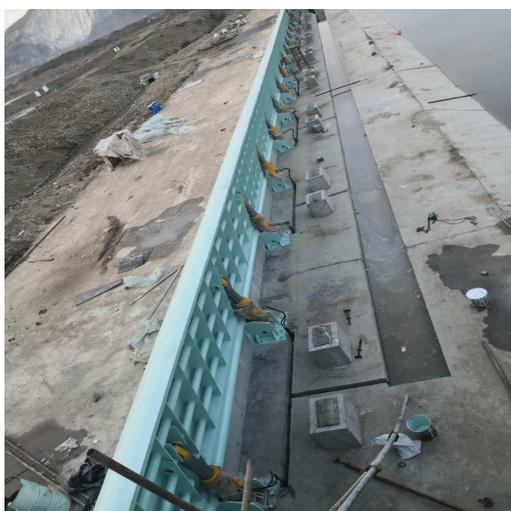
3#坝 320m×3.0m 2018年12月竣工验收



四川绵阳市安昌河现场安装



过水效果



黑龙江牡丹江项目安装调试



坝总宽 152m×2.5m 2018年7月竣工验收

5 结语

冷镀锌是目前所有重防腐材料中防腐效果最好的,同时环保无毒、施工便捷、性价比高,正在水利水电、航电枢纽工程及翻板闸门金属结构防腐领域广泛应用。

参考文献

- [1] 宋冰. 水利水电项目施工技术及管理研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017, (10): 1.
- [2] 周金生, 王纯芳, 孙守祥, 等. 引嫩工程钢闸门喷锌防腐技术措施与实用效果[J]. 黑龙江水利科技, 1996, (1): 83-86.
- [3] 赵旭光, 林海. 浅谈监理对热喷锌防腐技术的质量监控[J]. 中国科技纵横, 2011, (16): 344-344.
- [4] 李焱. “冷镀锌”在防腐蚀领域中的应用[A]. 全面腐蚀控制, 2009.
- [5] 李敏风. 涂层新材料-冷镀锌的优良特性(2)[J]. 现代涂料与涂装, 2006, (08): 58-59.
- [6] 王浩. 冷镀锌防腐涂料的性能及在钢铁结构防腐蚀中的应用[A]. 2009.
- [7] 本刊编辑部冷镀锌知识问答[J]. 现代涂料与涂装, 2006, (08): 57.
- [8] 杨瑞, 原玲, 刘虎, 等. 冷镀锌防腐涂料的制备及性能研究[J]. 涂料工业, 2016, 46(05): 39-43.
- [9] 李祝. 包覆型导电填料的制备及其对环氧树脂的导电性能影响[D]. 广州: 广东工业大学, 2016.
- [10] 林峰, 雷晓旭, 王进宝, 等. 超细锌粉的制备及其对应用前景[J]. 材料保护, 2013, 46(05): 48-51+1.
- [11] 贺慧生, 梁进. 超细锌粉的产生与应用[J]. 有色金属(冶分), 1998, (05): 41-44.
- [12] Hara M, Ichino R, Okido M, et al. Corrosion protection property of colloidal silicate film on galvanized steel[J]. Surface and Coating Technology, 2003, 169: 679-681.
- [13] Montemor M F. Functional and smart coatings for corrosion protection: a review of recent advances[J]. Surface and Coatings Technology, 2014, 258: 17-37.
- [14] Mirmohseni A, Oladegaragoze A. Anti-corrosive properties of polyaniline coating on iron[J]. Synthetic Metals, 2000, 114(2): 105-108.
- [15] 翁永基. 锌基防护层的保护机理及其使用特性[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1993, (01): 66-69+74.
- [16] 廖有为, 肖邵博, 万长鑫, 等. 冷镀锌涂料的防腐蚀性能[J]. 腐蚀与防护, 2016, 37(03): 245-248.
- [17] 廖有为, 肖邵博, 车轶材, 等. 冷镀锌涂料的应用现状及发展趋势[J]. 电镀与涂饰, 2015, 34(22): 1293-1298.
- [18] 吴凯峰. 冷镀锌涂料[J]. 材料保护, 2005, 38(12): 46.
- [19] 高湛, 李华. 冷喷锌防腐工艺研究[J]. 建材世界, 2010, 31(5): 80-82.
- [20] 李敏风. 冷镀锌的性能和应用[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(18): 788-790.
- [21] 李敏风. 冷镀锌的涂层配套设计和无气喷漆技术[J]. 涂料技术与文摘, 2015, 36(04): 18-20+24.
- [22] 李敏风. 钢结构冷镀锌配套方案[J]. 电镀与涂饰, 2009, 28(01): 64-66.
- [23] 廖有为. 冷镀锌涂料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.

汾河中下游液压升降坝优化设计研究

吴建华, 张少华, 刘慧如, 焦莉雅, 孙志勇, 杜卓, 辛国伟

(太原理工大学 030024)

摘要: 为分析液压升降坝结构失稳问题, 以汾河中下游液压升降坝系统为例, 运用有限元分析法, 建立整体式液压升降坝升降模型, 对液压升降坝特定工况下结构施加荷载进行受力分析, 研究多种因素对液压升降坝结构性能的影响。通过本研究, 可以为液压升降坝特性优化提供技术支持, 研究成果可为其他液压升降坝特性优化参考。

关键词: 生态治理, 液压升降坝, 有限元分析

1 工程概况

汾河作为山西的母亲河, 流域面积为 39471km², 覆盖全省 9 市 51 县, 干流全长为 716km, 流经 6 市 27 县。为科学配置流域内各种水资源, 重建河流水系, 涵养水源, 加强污染防治, 使山水林田湖互相促进, 良性循环, 实现天然自我恢复, 把“海绵城市”扩展到“海绵流域”, 将汾河流域建成全省的生态、宜居、富民长廊, 因此实现汾河中下游流域的水系重建综合治理凸显的十分重要。主要建设内容为: 在汾河的干支流及流域内的重要位置修建一系列能够调蓄洪水的蓄水坝, 使其能够在发挥防御洪水的前提下, 对地下水进行补充。汾河流域生态修复中蓄水工程是整体生态修复项目中重要的一部分, 该工程始于汾河二坝, 终于文峪河汇入口, 全长 82.2km。蓄水工程的主要建设内容是在汾河干流修建 15 座用于蓄水行洪的液压升降坝, 本论文结合设计方案, 对汾河中下游液压升降坝的特性进行分析特探讨, 以期对液压升降坝的优化设计起到一定的指导作用。

2 液压升降坝研究现状

液压升降坝在实际应用中有诸多优点, 但由于其理念提出及实际应用时间较短, 目前对液压升降坝理论研究资料较少。杨绍金, 肖建军^[1]等为了解决橡胶坝在南方地区使用寿命短暂等问题, 提出了与液压升价坝相结合的新型坝, 同时提出一种新的运行方式。陈业银, 任华春^[2]等分析介绍了液压升降坝的坝体结构、工作原理及特有的特点, 在结合液压升降坝不同与其他坝型的结构特点及在实际工程中的运行工作特点, 采用相关有限元分析方法和软件建立了液压升降坝的三维模型, 对不同工况情况下的液压升降坝面板进行结构应力和应变分析, 并研究了其工作性态。倪洪启, 王帅军^[3]利用 BP 神经网络 PID 控制对液压控制系统进行改进, 实现对滑块位移精确的控制。王新宇^[4]介绍了液压升降坝地基处理的方式及冬季施工注意问题。液压升降坝是在改进传统活动坝型的基础上新兴的坝型, 其本身保留了其他坝型的基本优点, 有具有本身的结构特点。液压升降坝结构更加科学合理, 在受力时具备较大优点, 同时其运行灵活不易发生阻水现象且下泄洪水能力较强; 由于其升降比较方便, 使其不受河流上的漂浮物影响, 利于河道环境维护。

3 液压升降坝阀门结构有限元分析

3.1 有限元分析法

1) 结构离散化

结构离散化是将连续体划分成为可计量个单元组成的计算模型，各个计算单元间有特定的节点链接。在进行结构离散化时，要综合分析多方面的因素，再来确定计算单元的大小及个数。

2) 确定位移差值函数

确定位移差值函数在完成连续体结构离散化的基础上，寻求各因素之间关系，利用节点位移表示相应计算单元的位移及应力应变值。如图 2-1，该单元为一个三角形单元，三个节点 a, b, c 的坐标分别为 (X_a, Y_a) 、 (X_b, Y_b) 、 (X_c, Y_c) ，其对应 X, Y 坐标轴位移分别为 U_a, V_a ； U_b, V_b ； U_c, V_c 。

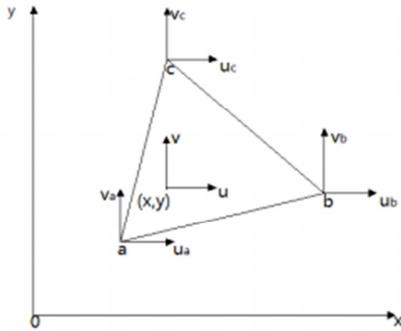


图 3.1 三角形单元

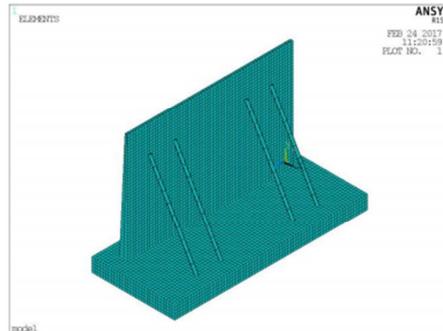


图 3.2 液压升降坝结构模型图

$$\text{位移矩公式: } \{f\} = [N]\{\delta\}^e \quad (3-1)$$

式中： $\{f\}$ —单元内任意一点位移； $[N]$ —转换矩阵； $\{\delta\}^e$ —单元节点位移。

3) 分析单元力学特性

$$\text{单元应变节点位移表达公式: } \{\varepsilon\} = [B]\{\delta\}^e \quad (3-2)$$

式中： $\{\varepsilon\}$ —单元应变； $[B]$ —应变几何矩阵；

$$\text{单元应力通过等效的单元节点力代替，单元应力公式: } \{\sigma\} = [D][B]\{\delta\}^e \quad (3-3)$$

式中： $\{\sigma\}$ —应力单元； $[D]$ —与连续体结构材料有关的弹性矩阵。

$$\text{由变分原理得到的平衡方程: } [F]^e = [K]^e\{\delta\}^e \quad (3-4)$$

式中： $[F]^e$ —单元节点力； $[K]^e$ —单元矩阵； $[K]^e = \iiint [B]^T [D] [B] dx dy dz$

4) 构建整体结构平衡方程

综合分析结构的平衡条件和边界条件，在分析的基础上运用分析结果建立整体结构

$$\text{的平衡方程，总刚矩阵}[K], \quad [K] = \sum [K]^e \quad (3-5)$$

$$\text{平衡方程: } [K]\{\delta\} = [F] \quad (3-6)$$

$$\text{5) 单元应力计算: } \{\sigma\} = [S]\{\delta\} \quad (3-7)$$

式中： $[S]$ —几何矩形。

3.2 液压升降坝结构模型建立

利用 ANSYS 软件，对液压升降坝结构进行静力与动力分析^[5]。由于液压升降坝面板具有大量钢筋且钢筋分布较均匀，选择整体模型进行建模，以 4m 高的液压升降坝单个坝段作为计算分析对象，即沿坝轴线宽 6m 坝段，研究上游水位 4m，下游无水的情况；坝面主要受力为迎水面的静水压力和闸门自重；研究对象为液压升降坝坝面和与坝面铰连在一起起支撑作用的支撑杆；边界条件为：对支撑杆底部节点施加全部约束，通过对将 x 方向、Y 方向、Z 方向的节点自由度进行耦合来模拟铰连接，在坝面与基础接

触的一面上施加 X 方向、Y 方向、Z 方向的节点三向线位移约束。坝面和混凝土闸基利用 solid65 进行单元网格划分，支撑杆和液压杆利用 beam 188 单元进行单元网格划分。基于 ANSYS 有限元分析软件初步建立液压升降坝模型如图 3.2。

4 液压升降坝结构分析

4.1 坝面尺寸不同

对 4m 高液压升降坝坝面尺寸进行结构分析时，保持坝面高度，长度不变，通过改变坝面顶部厚度，查看不同尺寸下，坝面位移及受力分布变化情况。坝面底部厚度取 0.3m，坝面顶部厚度分别取 0.3m，0.2m，0.1m 三种厚度，分析三种尺寸的坝面位移及第一主应力受力分布变化情况。

坝面顶部厚度为 0.3m，0.2m，0.1m，坝面受力后最大位移分别为 1.21mm，1.49mm，2.52mm，随着坝面顶部厚度变小，坝面受力后位移呈现变大的趋势，但最大变形位置不变，且出现在坝顶中变部位。通过三幅坝面位移图可以看出，随着坝面顶部厚度变小，坝面位移大小分布趋势发生变化，相同位移带呈现“凹”。

坝面顶部厚度为 0.3m，0.2m，0.1m，坝面第一主应力最大值分别为 6.77mpa，7.76mpa，13.2mpa，第一主应力最大值皆出现在坝面和支撑杆接触处，且随坝面顶部厚度变小呈现变大趋势。第一主应力分布随着坝面顶部厚度变小而变化，应力在坝面和支撑杆接触处发生突变的范围越来越大。

通过上述分析对比可以得出坝面顶部厚度变化对坝面位移、受力大小及分布情况有较大影响，坝面受力后位移和第一主应力最大值皆随坝面顶部厚度变小而呈现变大的趋势，最大变形位置和第一主应力最大值出现位置不变，随着坝面顶部厚度变小，坝面位移大小分布趋势发生变化，相同位移带呈现“凹”，应力在坝面和支撑杆接触处发生突变的范围越来越大。

4.2 坝面安放角度不同

通过调整支撑杆位置，可使液压升降坝挡水高度在一定范围内变化，此时坝面与铅垂面呈现角度称之为安放角度，通过改变坝面不同角度，分析不同角度下坝面位移及受力变化情况，分析坝面安放角度为 0°，15°，30°时坝面位移和第一主应力受力情况。

0°，15°，30°三种安放角度坝面位移趋势没有改变，最大位移出现在坝面顶部中间位置，最大位移值依次为 2.52mm，1.84mm，1.52mm，呈现减小趋势。

0°，15°，30°三种安放角度坝面第一主应力整体趋势没有较大改变，但在支撑杆与坝面接触位置处第一主应力分布情况变化较大，最大应力值区间所分布的面积随安放角的增大而增大。最大应力值皆存在支撑杆与坝面接触位置，最大应力值依次为 13.2Map，4.35Map，3.21Map，呈现减小趋势。

通过上述分析对比可以得出随坝面安放角度变大，坝面受力后位移和第一主应力最大值呈现减小趋势，坝面第一主应力分布整体趋势没有较大改变，但在支撑杆与坝面接触位置处第一主应力最大值分布区间面积随安放角的增大而增大。坝面安放角度变化对坝面位移及受力大小及分布情况都有较大影响，在调整支撑杆位置改变液压升降坝挡水高度，需注意坝面位移及应力是否在安全范围内。

4.4 汾河中下游干流蓄水工程 4m 坝整体结构性能分析

汾河中下游生态治理工程中采用的 4m 高液压升降坝如图 4.1，图 4.2，进行液压升降坝结构性能分析。

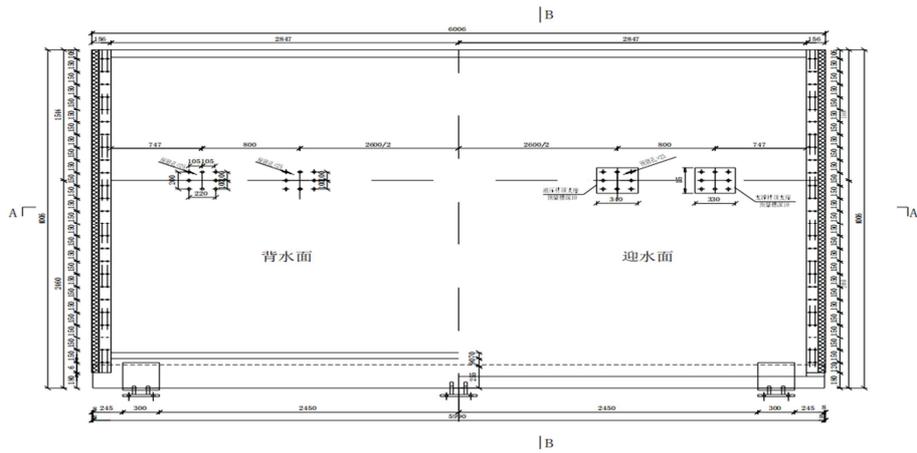


图 4.1 液压升降坝坝体平面布置图 (单位: mm)

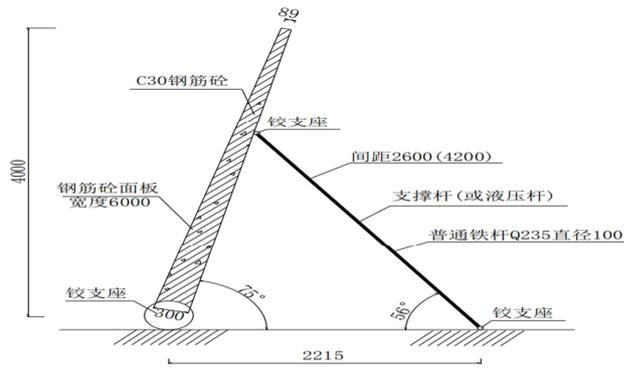


图 4.2 液压升降坝坝体坝体计算简图 (单位: mm)

1) 支撑杆稳定性判断依据

支撑杆判断依据利用材料力学计算方法得出, 具体步骤如下:

基本资料: 支撑杆长度因素 μ 取 1, 支撑杆长为 2.627m, 支撑杆横截面形心主惯性矩为 $4.9e-6m^4$, 截面面积为 $0.00785m^2$ 。

支撑杆类型判断: 支撑杆细长比由公式 4-1 得, 根据欧拉公式 Q235 支撑杆的临界细长比为 100, 判定该受压支撑杆为细长杆。

$$\lambda = \mu L \sqrt{I \setminus A} \quad (4-1)$$

式中: μ —长度因素; L —杆长, m; I —杆横截面形心主惯性, m^4 ;
 A —杆横截面面积, m^2 ;

稳定临界应力: 根据欧拉公式 4-2 计算得稳定临界应力 $\sigma_{cr} = 178.859Map$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E \setminus \lambda^2 \quad (4-2)$$

2) 结构有限元分析

在 2.1 介绍的建模的基础上进行坝体结构有限元分析, 坝体面板位移, 第一主应力, 第三主应力及液压杆应力分布见图 4.3-图 4.6。

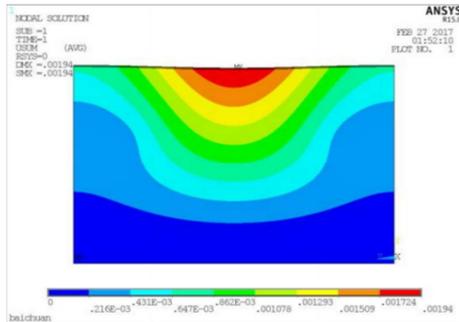


图 4.3 面板位移分布图 (单位: m)

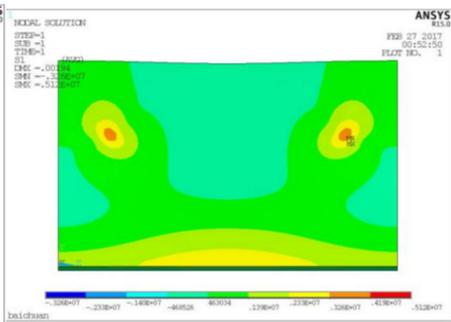


图 4.4 面板第一主应力分布图 (单位: pa)

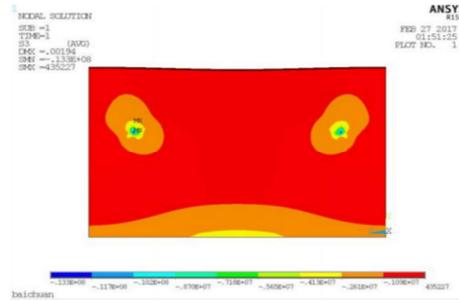


图 4.5 面板第三主应力分布图 (单位: pa)

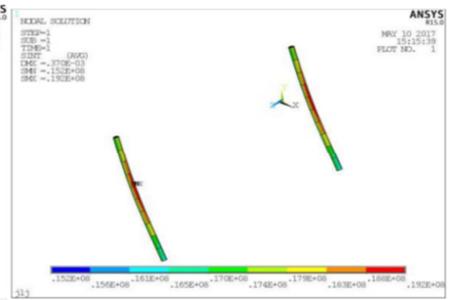


图 4.6 支撑杆应力分布图 (单位: pa)

通过上述有限元分析结果可以看出: 在上游 4m 高的水头作用下, 压应力和拉应力最大值出现范围都比较小, 且最大值都出现在坝面与支撑杆接触位置, 此位置产生应力集中问题, 拉应力最大值 5.12 Mpa 超过了混凝土 C30 的轴向抗拉标准 2.01Mpa, 可通过采用钢构件加固方案, 增大该处抗拉强度及抗压强度, 解决应力集中的问题。坝面的压应力和未出现应力集中部位的拉应力均未超过材料的抗拉、抗压强度指标, 支撑杆承受的轴向最大压应力为 19.2 Mpa 也未超过由公式 4-2 计算的稳定临界应力 178.859Map, 支撑杆结构稳定不需要进行额外加固处理。

4 结论

(1) 液压升降坝结构性能优化, 应着重考虑坝面顶部厚度以及坝面安放角度的变化, 为减小坝面和支撑杆处应力突变范围和坝面位移与应力, 在满足设计要求且保证坝面位移和受力大小安全的情况下, 可以减小坝面顶部厚度, 以节约建筑材料, 实现坝面最优。在调整支撑杆位置改变液压升降坝挡水高度时, 需注意坝面位移及应力是否在安全范围内。

(2) 在上游 4m 高的水头作用下, 压应力和拉应力最大值出现范围都比较小, 且最大值都出现在坝面与支撑杆接触位置, 此位置发生形态突变, 产生应力集中问题, 致使拉应力超标, 可通过采用钢构件加固方案, 增大该处抗拉强度及抗压强度, 解决应力集中的问题。

(3) 在以上优化研究的基础上, 总结经验, 以期为山西汾河流域、沁河、滹沱河生态修复工程提供技术支持。

参考文献

- [1] 杨绍金, 肖建军, 钱圣, 等. 一种新型复合坝在城市河道中的成功运用 [J]. 水利水电技术, 2016,47(5):29-32.
- [2] 陈业银, 任华春, 朱水生. 液压升降坝工作原理及结构性能分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 69-72.
- [3] 倪洪启, 王帅军, 王树强等. BP 神经网络 PID 控制对液压控制系统的改进[J]. 锻压技术, 2015, 40(11): 67-70.

- [4] 王新宇. 预制混凝土底板在汾河流域生态修复工程中的应用[J]. 技术与应用, 2016(9): 46-47.
- [5] 刘涛, 杨凤鹏. 《精通 ANSYS》[M].清华大学出版社,2002

液压坝在河道整治中的应用

余红瑞

福建省水利水电工程局有限公司，福建 泉州 362000

摘 要：汾河流域生态修复中游核心区干流蓄水工程采用液压坝进行全断面蓄水。液压坝是一种由我国自主研发的新型活动坝技术，它兼顾了橡胶坝和翻板坝等传统活动坝的优点，又克服了这些坝型的缺点。文章就液压坝在河道整治中的应用进行总结，为类似工程提供参考。

关键词：活动坝；液压坝；河道整治

1 橡胶坝、翻板坝及液压坝的特点

橡胶坝坝体为柔性软壳结构，通过充水或充气的形式形成袋式挡水坝，它安装简单，施工简单，但使用寿命较短，后期维护成本高；翻板坝利用杠杆平衡原理，通过支腿、闸墩、导板、滑轮等控制闸门启闭，实现挡水和泄水，它结构简单、维修方便，但是受泥沙和漂浮物阻塞严重，易造成阻水，汛期坝体易被洪水冲毁，安全性差；液压坝是利用自卸汽车力学原理，结合支墩坝结构型式，通过液压杆升降坝面，实现水位调节，它结构安全可靠，不阻水，受泥沙和漂浮物影响小，使用寿命较长。

2 工程概况

随着经济的高速发展，近年汾河沿岸用水量持续增加，地下水位线直线下降，加之污水直排对河道内生态环境造成了严重破坏，使“有河无水、有水皆污”成了常态。为恢复汾河河道水域，蓄滞洪水，增强水体的自然修复能力，改善汾河水质，需在汾河流域生态修复中游核心区堤内修建壅水建筑物，对汾河中游核心区进行整治。汾河是黄河第二大支流，流域面积共 3.9 万 km²，河道宽度大约 200~300m，多年平均径流量 5.63 亿 m³；2000~2013 年多年平均输沙量为 22.2 万 t，年最大输沙量 80.7 万 t，最小为 1.0 万 t，主要集中在汛期，6~9 月占全年的 90%。综上所述，汾河属于河道窄、水流量小、泥沙量大、汛期较短的典型性北方河流，结合三种活动坝的特点，采用液压坝这种新型的活动坝技术更适合于汾河的治理。

3 液压坝坝体结构

3.1 液压坝主体结构和工作原理

本工程液压坝由多扇门体及其控制设备组成，扇门体为钢制弧形结构，标准宽度为6m，两端门体可根据现场实际宽度进行切边处理。每扇门体采用四点支撑，由两根液压杆和两根滑动支撑杆支撑挡水。扇门体之间不需要修建隔墩，采用P型止水条止水。每个扇门体通过两个铰支座固定于闸底板上，底部设有门轴；在每扇门体的1/4和3/4处设置液压缸顶升扇门体坝面的背部，实现升坝拦河蓄水和降坝泄水；在每扇门体1/6和5/6处设置滑动支撑杆支撑扇门体坝面的背面，形成稳定的双三角支撑体系。采用小液压缸及限位锁定钩来控制滑动支撑杆，当扇门体升至最大高度时，滑动支撑杆进入限位器锁定，液压系统卸荷，由支撑杆固定支撑扇门体；当降坝时，支撑杆被小液压缸从限位器中弹出，利用扇门体自重和水压力使液压杆持续收回。通过液压杆与支撑杆相互交换使用，实现固定拦水，活动降坝。在河道外建设管理房，组建液压泵站系统及电力供应设施，根据上游来水情况，人工操作液压泵站以实现液压坝坝面的升降。

3.2 液压坝上下游防冲结构

液压坝闸底板采用钢筋混凝土结构，浇筑时预留大小液压缸孔洞及大小油路管槽，待后期液压缸及液压油路管安装完毕后浇筑二期混凝土；底板上游为钢筋混凝土铺盖和格网石笼护底，能起到较好防冲刷作用；下游为消力池和格网石笼海漫，可对下泄水流进行消能、防止冲刷下游河床。

4 液压坝的泄洪效果

液压坝每扇门体均有独立的液压系统支撑，液压系统内置于闸底板中，不需要在门体之间设置隔墩，也不需要像翻板坝在坝体后设置支墩。在汛期来临时，将弧形钢制门体全部放倒后，门体紧贴河床，只高出底板30cm左右，基本保持原河道状态，河道内无任何阻水建筑物，可畅泄洪水，与传统水闸和其他活动坝相比，它过流能力强，不阻水，水流通畅，达到隐形坝一样的泄流效果，这是其他任何坝型都无法与之相比拟的。由于液压坝体紧贴河床，抗洪水冲击能力强，即使是百年一遇的特大洪水，也不会对它造成损坏，安全可靠，使用寿命长，这也是其他传统活动坝所不能达到的效果。

5 液压坝的冲沙及排漂浮物效果

在河道治理常用的传统活动坝型中(如橡胶坝和翻板坝)对泥沙和漂浮物的处理，基本是利用机械和人工对泥沙和漂浮物进行清除，耗时耗力，效率较低，有时甚至要放空全部蓄水，才能清理河道内的泥沙和漂浮物，清理的成本费用较高。而液压坝是有多

扇门体组成的可活动坝体，通过操控液压系统调节弧形闸门的高度及开启数量来调节水流，能够人工制造急流，对河道内的泥沙和漂浮物进行冲洗，使用很少的水量，利用自身可活动的门体就可轻松冲掉泥沙和漂浮物，达到清理河道的目的。相比传统活动坝，液压坝通过调节自身活动坝体就能有效的清除泥沙和漂浮物，省时省力，成本较低。

6 液压坝存在的缺陷

6.1 密封止水缺陷

本工程采用的液压坝虽然兼顾了橡胶坝和翻板坝等传统活动坝坝型的优点，但是在后期运行阶段也存在一定的缺陷。液压坝的液压支撑杆及油缸内置在闸底板中，液压缸在槽内工作中时伴随扇门体的升降需要来回自由摆动，其工作角度约为 70° 。由于液压缸顶盖与闸底板混凝土密封止水无法达到滴水不漏，加之长时间的流水侵蚀，液压缸槽内会产生积水和积砂，会限制液压缸在槽内的正常摆动，使扇门体的升降受到影响。到了冬天天气寒冷，槽内积水就会上冻结冰，同样会干扰液压缸的正常工作。目前还没有有效的解决方法，只是采用接触面涂抹密封胶以及定期人工清理的方法来保证液压缸能正常使用。

6.2 检修缺陷

液压坝坝体液压系统液压杆位于水面以下，液压油管埋设在混凝土中，不方便检修，每次检修需将蓄水全部放空。本工程共有 15 座液压坝，在第一座液压坝上游还设置有节制闸，检修时均是利用上游坝体拦河蓄水，为下游坝体检修提供干地作业条件和检修时间。这种通过多级坝体蓄水才能实现检修目的，不利于后期运行维护，若是单级坝体可能无法进行检修。

7 结语

综上所述，液压坝是一种利用自卸汽车力学原理，结合支墩坝结构型式，经过多方面改良，具有拦河蓄水和降坝泄洪等功能，它非常适用于城市河道整治和景观工程的建设。它力学结构科学，安全可靠，能有效抵挡洪水冲击，同时又不影响泄洪；可利用自身坝体升降调节水流，达到处理泥沙和漂浮物的作用；弧形的扇门体结构通过溢流形成人工瀑布景观，增加城市的亮点。液压坝无论从社会效益和经济效益都是值得推荐和使用的一种活动坝技术，特别适合河道窄、水流量小、泥沙量大、汛期较短的北方河流。

参考文献

- [1] 液压升降坝在沙里河河道综合整治中的应用[J]. 王业红, 黄为. 东北水利水电. 2010(03).
- [2] 关红俊. 晋城市沁河河道蓄水工程液压坝水工设计[J]. 陕西水利科技, 2015, (1):111-113.

液压升降坝工程对河道防洪的影响

马贵友

(海城市水利工程建设质量安全监督站, 辽宁 海城 114200)

摘要: 液压升降坝是近年来发展起来的一种新型拦河建筑物, 它对河道防洪可能产生的各种影响, 目前尚无权威性结论, 文中通过对辽宁省海城市液压升降坝的防洪影响研究表明, 液压升降坝比传统的拦河建筑物对河道产生的影响小。

关键词: 液压升降坝; 防洪影响; 研究

1 工程概况

海城河液压升降坝工程为海城河整治工程的重要组成部分, 位于新立桥与新海高跨河大桥之间的海城河河段上, 工程形式采用液压升降坝, 闸室长 10.50m, 净宽 240.20m, 闸顶高程 25.50m, 底板高程 21.50m, 挡水高度 4.0m, 40 扇, 每扇 6.0m。边墩、面板及底板均采用钢筋混凝土结构, 强度等级 C30, 抗渗等级 W4, 抗冻等级 F200。运行方式为汛期全部开启行洪, 非汛期拦河蓄水。

2 防洪影响分析

2.1 水文计算分析

这次海城河水文计算, 参考辽宁省水利水电勘测设计研究院所做《海城河全流域规划报告》(经过省厅评审), 考虑液压坝的重要性, 偏于安全起见, 采用表 1 洪水成果:

表 1 海城站设计洪水成果表

项目	均值	Cv	Cs/Cv	P/(100%)				
				1	2	5	10	20
洪峰	733	1.3	2.5	4680	3780	2640	1810	1080

2.2 水力计算方案分析

采用计算机软件并辅以传统水力计算，分析对工程实施前后的水流运动条件进行模拟，计算分析了设计洪水条件下，工程实施后河道水位和流速变化情况及工程对河道行洪的影响。海城河起点水位采用辽宁省水科院《海城河河道治理规划报告》推求的成果，以海城河太子河入河口为起点水位，数值为 8.07m。

1) 水力计算程序基本原理。水面线计算程序采用能量方程式推算建坝前后的水面线及流速变化。

曼宁公式：

$$C = 1/nR^{1/6}$$

式中：C 为谢才系数；n 为糙率；R 为水力半径。

流量计算：

$$Q = AC(R_i)^{1/2}$$

式中：A 为过水断面面积；i 为河道坡降。

能量方程式：

$$Z_2 = Z_1 + h_f + h_j + \frac{a_1 u_1^2}{2g} - \frac{a_2 u_2^2}{2g}$$

式中： Z_1 ， Z_2 分别为下、上游断面的水位，单位为 m； h_f ， h_j 分别为上下断面间的沿程、局部水头损失，m； u_1 ， u_2 分别为下、上游断面的流速，m/s。

计算频率为 $P=2\%$ 。

2) 计算工况。根据海城河液压升降坝工程的任务及特点，该报告主要对 50 年一遇洪水条件下，建坝前后河道水流变化情况及闸底板、闸墩对河道的行洪影响进行分析。

3) 糙率分析。液压坝位于海城河中段城区段，以人工修整的河道为主，河道宽阔，河水较深，主槽多为水面覆盖，糙率定为 0.03，边滩为植被覆盖，绿化较好，糙率定为 0.065。

4) 计算成果分析。河道水力要素计算成果见表 2。

2.3 断面缩窄率分析

液压翻板闸建成后，工程位置河道横断面面积和河宽有不同幅度减小，26.5 m 高程以下，面积和河宽缩窄率随水位抬高有增加趋势，水位为 26.5m 时断面缩窄率最大，为 25.25%，数值较大。

表 2 建坝前后水力要素成果对比表 ($p=2\%$)

断面		左岸高程 /m	右岸高程 /m	水位 H/m	流速 $V/(m \cdot s^{-1})$	过水断面积 $/m^2$	河宽 B/m
13+043	建坝前	29.41	31.82	29.23	1.46	2 573	376.10
	建坝后	29.41	31.82	29.23	1.46	2 573	376.10
13+294 (坝下)	建坝前	28.72	31.29	29.26	1.56	2 420	353.10
	建坝后	28.72	31.29	29.26	1.56	2 420	353.10
13+299	建坝前	28.72	31.29	29.26	1.56	2 420	353.10
	建坝后	28.72	31.29	29.21	1.88	2 006	352.90
13+342	建坝前	29.65	31.82	29.26	1.56	2 420	353.10
	建坝后	29.65	31.82	29.22	1.88	2 011	353.00
13+347 (坝上)	建坝前	29.65	31.82	29.26	1.56	2 420	353.10
	建坝后	29.65	31.82	29.31	1.55	2 435	353.30
13+402	建坝前	29.05	31.42	29.29	1.50	2 525	353.20
	建坝后	29.05	31.42	29.32	1.49	2 530	353.40
13+442 (新海高程)	建坝前	29.35	31.65	29.30	1.49	2 530	353.30
	建坝后	29.35	31.65	29.35	1.49	2 542	353.50
14+269	建坝前	30.28	32.73	29.47	1.28	2 946	474.58
	建坝后	30.28	32.73	29.50	1.28	2 961	474.70

2.4 对水位影响分析

由于工程建设前后断面过水面积及河宽发生了一定变化，河道水位随之出现调整。水力计算成果表明，河道遭遇 50 年一遇洪水时，闸底板上游水位出现最大壅高，为 $29.31 - 29.26 = 0.05m$ ，至新海高跨河大桥 13+442 断面仍为 0.05 m。14+269 断面水位恢复至未建坝时 29.47 m，即拦河闸以上 927 m，壅水影响为 0。

拦河闸正常运行水位为 25.5m，蓄水高度为 4 m，按上游河道平均比降为 1‰计算，枯水期回水影响长度为 4000m。

2.5 对流速影响分析

工程建成后较原河道，闸前比降减小，水流流速降低，闸底板范围流速增大，至下游消力池骤然减小，经海漫后恢复至天然河水流速；工程运行期，开闸泄水过程中，可导致上、下游流速短时间加大。

2.6 下游消力池深度复核

《海城市海城河液压升降坝工程初步设计报告》中对正常运行水位时，下游河道消能计算较为详尽，但对标准洪水条件未进行试算。因此，报告对拦河闸遭遇 50 年一遇洪水时的下游冲刷深进行复核，判断其是否满足行洪安全。因此标准洪水条件下，无需设置消力池。《海城市海城河液压升降坝初步设计报告》中，设计工况下，确定消力池深度为 0.6m，坎高 0.5m，长 12.5m，满足冲刷要求。

表 3 拦河坝水力参数明细表

水面线	坝长 B/m	堰高 P/m	堰上水头 H/m	下游水深 ht/m	总水头 E0/m	主槽流量 Q/(m ³ ·s ⁻¹)
P=2‰	240.2	1.5	7.8	9.31	9.43	3780

表 4 消力池水力参数计算表

水力参数	公式	计算结果
单宽流量 $q/(m^3 \cdot s^{-1})$	$q=Q/B$	15.75
P/H		0.199
E_0 计算	$E_0=hc+q^2/(2g\Phi^2hc^2)$	9.43
流速系数 Φ	$\Phi=1-0.0155 P/H$	0.997
E_0		9.43
收缩断面水深 hc/m	计算	1.234
跃后水深 hc''/m	$hc''=hc \cdot ((1+8q^2/g/hc^3)^{1/2}-1)$	5.75

2.7 工程对上游建筑物影响分析

液压升降坝遭遇 50 年一遇洪水时，闸底板及两侧土坝产生的壅水高度为 0.05m，长度为 927m。坝址上游 70m，为新海高跨河大桥，桥位处壅水影响高度仍为 0.05m，桥下水位（加壅高）为 29.35m，桥梁底设计高程 31.11m，液压坝对新海高跨河大桥安全行洪无影响。壅水长度范围内工程上游无其它水工建筑物，因此对上游建筑物无影响。

液压坝蓄满水情况下，开闸泄水，会对上游流速产生一定影响，流速短时间内变大，可能造成新海高桥的局部冲刷增大，但由于历时较短，认为对其上游建筑物影响不大。

2.8 工程对两岸堤防的影响分析

工程河段属于海城河城区段上游，两岸河岸高程满足设计洪水要求。液压升降坝建成完工后，工程影响范围内，在设计洪水条件下，两岸高程仍满足行洪要求，不飞滩，不漫顶。因此，工程建设对两侧河岸在防洪方面无大的影响。

液压升降坝在汾河干流蓄水工程中的应用

任雁彬

(山西省水利水电勘测设计研究院, 山西 太原 030024)

摘要: 为蓄滞洪水, 充分利用雨洪资源, 达到重建河流水系、抬升地下水位、净化水质等目的, 拟在汾河干流大堤内建设 15 座壅水闸坝。对橡胶坝、液压升降坝、钢坝闸三种坝型进行比选后, 建议蓄水闸坝均采用液压升降坝, 并详细地介绍了液压升降坝的坝型设计。

关键词: 生态修复; 液压升降坝; 汾河流域

1 工程概述

汾河流域面积 39471km^2 , 干流全长 716km , 自北向南纵贯 6 市 27 县。20 世纪 90 年代前, 汾河干流未修建起完整、系统的防洪大堤, 盆地区土质疏松、抗冲刷能力低, 汾河蜿蜒曲折穿行其间, 摆幅较大, 一般在 $2\sim 3\text{km}$ 之间, 晋中、临汾段最大摆幅达 1.5km , 运城段达 4km 以上, 在汾河两侧形成了大量的河湾湿地水域。

1998 年对汾河中下游河道进行了治理, 规划堤距为 $250\sim 300\text{m}$ 。由于河道缩窄, 河道两岸的滩涂地被大量开发、利用, 导致两侧的水域湿地面积不足 30km^2 , 减少雨水入渗量 1.05亿 m^3 , 生态遭到严重破坏, 目前河道水质为劣 V 类。

2 工程布置

2.1 工程布置原则

工程布置遵循不降低原有河道行洪能力的原则; 不采用碍洪建筑物的原则; 治理工程服从相关规划的原则; 充分体现生态水利的原则; 堤内蓄水工程建设依据“堤内服从堤外”。

2.2 工程总体布置

结合工程建设任务及堤外蓄水湿地的布置，在核心区共布设液压升降坝 15 座，蓄水面积 13.5km²，蓄水量 1737 万 m³，回水长度 60.1km。其中清徐段共布置 5 座，蓄水面积 3.5km²，蓄水量 346 万 m³，回水长度 14.1km；文水、祁县段共布置 4 座，蓄水面积 3.8 km²，蓄水量 500 万 m³，回水长度 16.5km；平遥段共布置 3 座，蓄水面积 3.3 km²，蓄水量 433 万 m³，回水长度 12.8 km；介休段共布置 3 座，蓄水面积 2.9 km²，蓄水量 458 万 m³，回水长度 16.8 km。

在每个堤外蓄水湿地的上游河道堤防修建进水闸，在下游河道堤防修建退水闸，利用进水闸将洪水引入堤外蓄水湿地，蓄滞洪水，利用下游退水闸再退入河道。滞蓄洪水时还可增补地下水，净化水质，同时对行洪区进行绿化，可建成改善生态环境的绿色生态长廊。本工程在核心区总计修建进水闸 23 座，退水闸 14 座。

3 壅水闸型式比选

3.1 橡胶坝

工作原理是对橡胶坝袋充水达到蓄水。从防洪效果来看，立坝、塌坝时间长，约 1~3h，影响快速截流、蓄水或泄洪；塌坝时，坝内的水体不能完全放空，形成不低于 20cm 的壅水高度，再加上基础宜高于河床 20cm 的规范要求，严重影响泄洪流量。就冲沙性能而言，坝体整体升降，坝前较易淤积，清理困难。从景观效果看，坝袋易褪色、变形，外形效果较差，坝顶溢流时，瀑布景观效果差。坝袋使用寿命 10~15 年。

坝袋充水需抽提地下水，对水资源形成浪费；坝顶溢流长时间超过 50cm，易出现跨坝事件，需加强汛期的运行管理；冬季需塌坝运行或坝前凿冰越冬；坝袋易受外界水沙条件及人为破坏的影响，造成坝袋泄漏，影响正常运行。每延米造价 9.1 万元。

3.2 液压升降坝

工作原理是液压启闭机直接放在河内推动闸门起伏达到立坝蓄水。从防洪效果看，闸门采用启闭机启闭，运行速度快，一般不超过 5min 即可完成升坝或塌坝，结构上可以完全放倒与河底齐平，可有效保证突发洪水时能及时泄洪。就冲沙性能而言，

可分片塌坝、集中排砂，坝体不宜淤积。从景观效果看，坝顶平整，溢流时瀑布景观效果较好，坝后支撑杆件较多，对整体景观效果有影响。门体使用寿命 50~60 年。

坝顶可长时间、大流量的溢流，形成瀑布景观；冬季立坝运行时，坝体可向下游适当倾斜释放冰推力，管理方便；坝体为钢筋混凝土预制板，抗冲击的能力较强，耐久性好，维护量小；门体可单扇启闭蓄水或行洪、冲砂，运行方便；门体间可相互导流，分段维护，检修方便。每延米投资 9.5 万元。

3.3 钢坝闸

工作原理是通过底轴传导到两端，两端靠液压启闭机推动闸门启闭。从防洪效果看，坝体对河道行洪影响小，闸门卧倒时与河床齐平，且闸门开启时间在 2~3min 之内完成，对城市防洪有利。就冲沙性能而言，坝体整体升降，坝前较易淤积，清理困难。从景观效果看，门体外形美观，坝顶平整，溢流时瀑布景观效果好，中墩的设置对整体景观效果有影响。门体使用寿命 50~60 年。

坝顶可长时间、大流量溢流，形成瀑布效果；冬季立坝运行时，坝体可向下游适当倾斜释放水冰推力，管理方便；坝体为热喷锌防腐处理的整体钢结构，耐久性好，维护量小；启闭设备位于岸边，检修方便。每延米投资 12.8 万元。

通过比较可以看出，无论从外形景观效果、使用寿命、防洪影响，还是从技术含量、利于景观多样性等方面，液压升降坝均占有较大优势。尤其是本工程需利用拦蓄汛期洪水进行涵养水源、补充地下水，防洪压力大。经综合考虑，蓄水闸坝均采用塌坝迅速，利于冲砂，费用较低的液压升降坝。

4 液压升降坝结构设计

汾河干流采用全断面蓄水，壅水建筑物采用利于调沙、蓄水、行洪的可升降的液压升降坝，坝体由多扇串联在一起的闸板共同蓄水，单扇闸板长度 6.0 m。液压升降坝设备室设在大堤一侧，内设油泵控制室和值班室。

4.1 液压升降坝布置及坝高确定

本工程蓄水采用自动控制液压升降坝，两侧滩面蓄水高度 2.0m，中间主槽蓄水高度根据其深度分别采用 3.5m，4.0m，4.5m 和 5.0m。

4.2 液压升降坝水工设计

液压坝由上游铺盖段、液压坝段、消力池段、海漫段组成，总长 29.3~51.0 m。

4.2.1 上游铺盖

液压升降坝段上游设有 5~7.6 m 长的铺盖，采用 400mm 厚 C25 钢筋混凝土结构，铺盖下设 100mm 厚的 C15 素混凝土垫层。铺盖沿河宽方向每 15m 设一道伸缩缝，缝宽 2cm，缝止水采用 SD-K 快速定位安装橡胶止水带。铺盖段边墙采用 C25 钢筋混凝土悬臂式挡土墙结构，顶宽 0.4m，底宽 3.9m，临水侧为直立面，背水侧边坡 1:0.1，边墙高 3.8m。

4.2.2 液压升降坝段

滩地液压升降坝基础设计：滩地液压升降坝高度为 2.0m，其基础采用标准化设计、工厂预制、现场组装方案。根据闸板预埋件和油管路的布置，以及液压升降坝的稳定要求，闸底板设计厚度 1.5m，顺水流方向长 5.5m。相应单扇 6.0m 宽的闸底板拟采用两块预制，为了保持闸底板的整体性，结合启闭设备二期预埋件的布置，每块预制块宽度取为 2.55m，中间预留 0.9m 的后浇带。

主槽液压升降坝基础设计：根据液压升降坝的布置位置，15 座液压升降坝主槽的坝高分别为 3.5m，4.0m，4.5m 和 5.0m，其底板采用现浇方案，为 C25 钢筋混凝土筏式基础，基础顶面与河床齐平。根据基础内液压装置埋设要求，主槽坝底板厚度分别为 1.9m，2.0m，2.1m 和 2.3m。

根据坝体坍塌宽度和上、下游施工检修要求，在顺水流方向，底板长度分别为 8.0m，9.5m，10.0m 和 11.0m。根据液压升降坝面板分幅宽度，顺坝长方向底板分缝长度 12.0m。

主槽与滩地液压升降坝之间设宽 1.0m 的隔墩，高度 4.5~6.0m，采用 C25 钢筋混凝土挡土墙结构，与底板浇成整体。

坝体设计：坝体由多扇闸板串联组成，单扇宽度 6m。结合本工程的水沙条件，

闸板采用较为经济的钢筋混凝土薄壁结构。每扇闸板后均布置支撑杆两根、液压杆两根，液压杆间距 1.6m，支撑杆间距 4.2m。坝体面板底部以铰链轴固定在坝的基础上，以背面液压杆的伸缩带动面板作扇形上、下升降，支撑杆支撑面板的正常挡水。

4.2.3 消力池段

消力池段紧邻液压坝段下游布置，与液压坝段以 1：4 斜坡连接，平段池长 8~15m，深 0.5m。消力池底板厚 500mm，采用 C25 钢筋混凝土结构。消力池沿河宽方向每 20m 设一分缝。消力池底板设有排水孔。

消力池段边墙采用 C25 钢筋混凝土悬臂挡土墙结构，顶宽 0.5m，底宽 3.95m，临水侧为直立立面，背水侧边坡 1：0.1，边墙高 4.3m。

4.2.4 海漫段

消力池段下游设 10~20 m 长格网石笼海漫，厚 0.5m。海漫段边墙采用 C25 钢筋混凝土悬臂式挡土墙结构，高 0.5~3.5m，顶宽 0.5m，底宽 3.65~3.95m，临水侧为直立立面，背水侧边坡 1：0.1。

根据地勘资料，液压坝基础坐落在粉砂和低液限粉土上，本工程地质区为液化场地。考虑坝闸闸孔较宽，孔间止水对地基的不均匀变形要求较为严格，针对地基土的特性及坝基抗渗稳定要求，为满足地基承载力、消除地基震动液化，地基处理措施如下：

为满足坝基础施工的要求，考虑防渗体系的可靠性，结合地基土的特性，坝体段采用围封处理地基液化，并兼作防渗墙的形式，即垂直河道方向设两（三）道垂直防渗墙（多轴搅拌水泥土地连墙）伸入相对不透水层 0.5m，深 4~21m；与顺河道方向间距 6m 的水泥土地连墙形成网格状围封结构。围封结构上部换填 500mm 厚碎石垫层。

5 结论

工程建成后，能充分发挥液压坝建设成本低、使用寿命长、塌坝迅速，利于冲砂、景观效果显著等特点，使液压坝在汾河流域生态修复工程中发挥更大的作用。对恢复河道水域，增强地下水的补给，扩大河道水域面积，增强河道水质的自然修复能力，

改善水质有很大帮助。

汾河二库泄洪排沙底孔、溢流表孔液压启闭机维修养护技术研究

卫学文

山西水投防护技术有限公司 山西太原 030006

摘要：基于山西省汾河二库大坝表孔、冲沙底孔液压启闭机维修养护工作实践，对冲沙底孔和表孔液压启闭机进行检测，发现存在液压油缸活塞杆镀层剥落、冲沙底孔油缸活塞杆变形和液压油品质差等问题，通过技术分析找出了故障的产生原因，并制定方案进行了维修养护，通过进行安装调试，设备运行稳定，保证了设备的正常运行。

关键词：泄洪排沙底孔；溢流表孔；液压启闭机；活塞杆；镀层；液压油

1 工程概况

汾河二库位于山西省太原市，总库容 1.33 亿 m^3 ，是一座集防洪、供水、发电和旅游等项目的大型水利枢纽工程。大坝溢流表孔两侧对称布置各 2 孔泄流冲沙底孔，底孔为坝内长压力孔道，底高程为 859.0m，并设有平板事故检修门，坝顶设有启闭机室，设有弧形工作门和启闭机室。

3 孔溢流表孔液压启闭机、4 孔冲沙底孔液压启闭机设备于 1998 年安装、调试并投入运行，设备使用至今未进行大的维修养护工作，持续使用已有 20 年，近几年设备常出现故障，导致 7 孔弧门不能正常工作，给防洪度汛工作带来巨大的安全隐患。

本工程的主要内容包括以下工作内容：

(1) 4 套冲沙底孔液压启闭机活塞杆更换、密封件更换。液压泵站上阀组、阀件进行维修更换。4 套电控柜进行更换，液压油过滤或更换等。

(2) 表孔液压启闭机 6 根油缸所有密封件进行更换、液压站上阀组、阀件进行维修更换。1 套电控柜进行更换、液压油过滤或更换等。

2 表孔、冲沙底孔油缸故障检测与原因分析

2.1 表孔、冲沙底孔油缸存在的故障

(1) 表孔 6 根油缸活塞杆，1#，2#，3#，6#活塞杆表面镀铬层剥落严重，需要重新加工后镀铬。4#，5#，活塞杆杆体变形严重，镀铬层剥落严重，需重新制作以满足使用，现场情况详见图 1。



图 1 表孔活塞杆表面镀铬层腐蚀，脱落

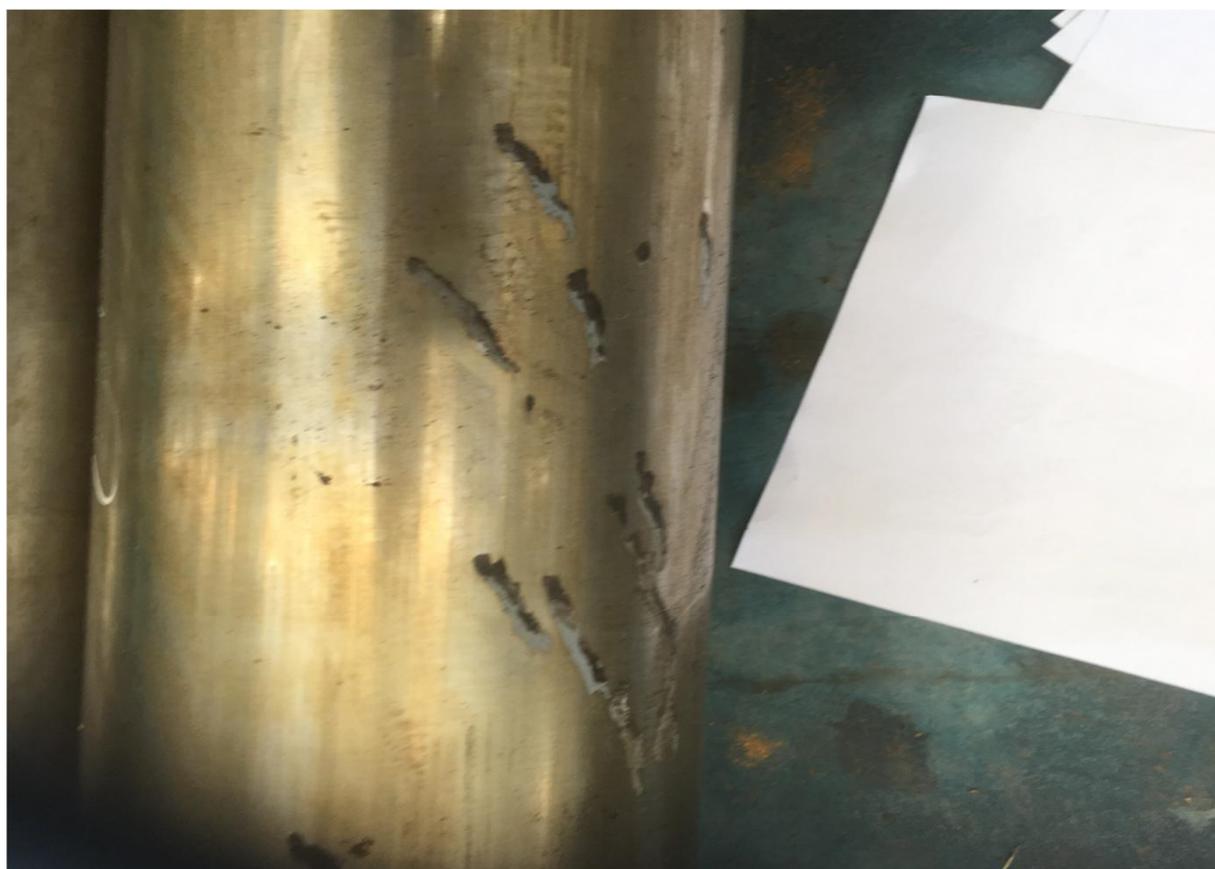


图2 冲沙底孔油缸活塞杆镀铬层剥落严重，活塞杆变形严重

(2) 冲沙底孔油缸 3#，4#活塞杆杆体变形严重，镀铬层剥落严重，需重新制作以满足使用，现场情况详见图 2。

(3) 表孔油缸，冲沙底孔油缸液压油乳化现场严重，含水量超标，全部报废，现场情况详见图 3 和图 4。



图3 表孔油缸内液压油质污染严重，颜色发黑，有蛋清状漂浮物



图 4 冲沙底孔油缸内液压油质污染严重，颜色发黑，有蛋清状漂浮物

2.2 表孔、冲沙底孔油缸故障原因分析

1) 表孔、冲沙底孔油缸活塞杆镀铬层脱落的原因分析：

当表孔，冲沙底孔闸门处于全关位时，油缸活塞杆全部暴露在外，受酸雨、尘埃、潮湿环境的影响，常年累月活塞杆表面会开始老化，出现腐蚀、剥落、起泡现象，液压领域镀铬活塞杆表面使用年限为 10~15 年，汾河二库液压设备于 1998 年安装调试完毕，至今已有 20 年时间。

2) 表孔 4#，5#油缸活塞杆，冲沙底孔 3#，4#油缸活塞杆变形原因分析：

(1) 表孔液压启闭机闸门为双吊点闸门，启闭闸门过程中由两根油缸同时启闭，当两根油缸同步效果差，闸门会出现卡死现象，当闸门卡死时，两根油缸受力不均匀，受力大的油缸会出现变形的情况。控制闸门同步的电控柜传感器，液压同步阀件都是 90 年代产品，精度很差，极易造成闸门发卡现象。

(2) 冲沙底孔闸门为单吊点闸门，关门方式是强压闭门，当闸门到底时，如果油缸活塞杆仍持续受压，就造成活塞杆变形弯曲。由于冲沙底孔开度传感器

和限位控制器为老产品，精度很差不能及时反馈开度信息，极易造成这种现象。

3) 表孔，冲沙底孔油缸内液压油品质差的原因分析：

表孔，冲沙底孔油缸内部密封圈已使用 20 年左右，一直未更换，由于密封件老化，磨损严重，油缸密封不严导致油液与液压泵站不能及时的循环，掉落的密封件材质、渗入的水气造成液压油乳化、污染直至报废。

3 泄洪排沙底孔、溢流表孔液压启闭机维修养护技术

3.1 制定维修养护方案

本项目现在使用的溢洪道表孔液压启闭机，冲沙底孔液压启闭机液压阀件都是 20 年前的产品，由于技术升级，已经落后淘汰了，另外液压阀件都是 220V 工作电压，工作安全性差。在维修过程中采取更换最新技术的阀件和控制块的方式，以提高其工作的安全性，阀件工作电压为 24V，同时增加各种保护功能元器件，使液压设备安全，可靠，更佳稳定。如果只是对现场的老旧液压阀件进行清洗和更换，会导致与新的电控柜和新的传感器不匹配，影响改造后的效果。

3.2 施工准备

根据设计图纸，结合施工现场的实际情况，核对各大件设备的重量。对参加安装的工人进行技术交底，提高维修技术水平。为保证维修养护施工安全，制定相应的安全防护措施，保证施工人员的人身安全。根据施工现场需要，确定施工人员、施工机具、施工材料等，保证施工的顺利进行。

3.3 搭设施工平台

为了便于油缸高压软管，传感器，油缸与埋件拆除和安装，在溢洪道液压启闭机油缸高压软管处搭建 1000mm×1000mm 检修平台。为了便于油缸与闸门连接与拆除，在溢洪道液压启闭机油缸吊头与闸门连轴处搭建 1000×1000 检修平台。为了便于油缸与闸门连接与拆除，在冲沙底孔液压启闭机油缸吊头与闸门连轴处搭建 1000mm×1000mm 检修平台。

3.4 设备拆除与检修

在液压技术工程师指导下，安排技术工人对溢洪道和冲沙底孔液压启闭机油缸，液压泵站和电控柜进行拆除，拆开的所有电缆，用专用胶布包好接头和端子箱做好防水措施，并做好线头标识标签。全部拆卸完成后，清理现场做好标识。对发现的故障进行记录，并留好影像资料。

3.5 返厂维修技术

- (1) 油缸返厂后进入油缸车间，将油缸吊装夹在油缸拆装导轨车上固定；
- (2) 拆卸液压油缸的行程传感器（编码器保护罩拆卸→编码器拆卸→钢丝绳与安装件拆卸）；
- (3) 油缸缸旁阀块组与管道拆卸；
- (4) 油缸吊头轴承座拆卸，缸筒部位 V 组密封、刮污圈与支撑环拆卸，液压缸有杆腔缸筒部位下端盖紧固螺丝，密封件安装部件拆卸退出活塞杆；
- (5) 无杆腔轴承座拆卸，液压缸无杆腔缸筒部位上端盖紧固螺丝，端盖部件与密封件拆卸；
- (6) 用液压拔缸机拆下上缸盖，检测缸筒内壁的锈蚀和损伤情况；
- (7) 用液压拔缸机将活塞杆拔出，检测缸筒内壁的锈蚀和损伤情况；
- (8) 检测确认后，如有油缸锈蚀、漏油情况及时汇报驻厂业主，经驻厂业主同意后，再对缸筒做珩磨处理（按照液压油缸加工工艺与检修要求进行处理，选择合适冲洗表面的专用油液、合理的车头转速、珩磨头的直线运动速度及珩磨越程（一般成 90° 交叉，对磨削表面能产生微润滑作用和提高加工效率），可确保缸体精度，对油缸进行修复处理）；
- (9) 更换油缸密封件重新组装：清洗→活塞与活塞杆组装→下端盖与活塞杆组装→上端盖（上吊头）与缸体组装→组装好的活塞杆、活塞与缸体组装→上端盖组装→开度仪钢丝绳与活塞连接→开度仪密封安装→开度仪整体组装→下端盖与缸体组装→各螺钉、螺栓拧紧→吊头与轴承组装→吊头与活塞杆组装→缸旁阀块组装→缸旁管道组装→与支铰座、轴承座等试配装→进入液压缸调试实验。

3.6 油缸厂内调试

油缸安装完成后，送至试车台做调试与测试。空载实验测试，油缸的动作情况，油缸进行相关调试包括运行速度、油缸缓冲等，活塞杆在全行程内往复动作 2 次，观察是否有爬行、抖动等异常现象。最低开启压力，使有杆腔的压力从零逐渐升高，测量活塞杆平稳移动时的最低启动压力 $\leq 0.5\text{Mpa}$ 。外泄漏实验，检测油缸外泄情况是否达到原设计要求，液压缸有杆腔加压至 14.5Mpa（设备工作压力），保压 3 小时，不允许出现外部油液泄漏。内泄漏实验，活塞杆全收，有杆腔在 14.5Mpa 工作压力下，保压 3 小时，测无杆腔油口的油液增加量 $< 8\text{mL/分钟}$ 。

耐压实验，进行有杆腔、无杆腔 1.5 倍工作压力的测试，保压 3 小时，不允许有外泄漏、永久变形和破坏现象。

3.7 现场安装、调试

油缸在工厂内完成调试后，运输至现场进行安装、调试。安装前应检查活塞杆有否变形，在活塞杆竖直状态下，其垂直度不应大于 $0.5/1000$ ，且全长不超过杆长的 $1/4000$ ；并检查油缸内壁有无碰伤和拉毛现象。吊装液压缸时，应根据液压缸直径长度和重量决定支点或吊点个数，以防止变形。油缸安装完毕后，进行管路联接。

油缸安装完成，在对弧门油缸检修所做的辅助设施进行清理和拆除后，对弧门液压启闭机试运行。无水试运行在对溢洪道表孔和冲沙底孔维修改造所做的辅助设施进行清理和拆除后进行，将弧门在前检修门全关状态、静水情况下全开度往复运行，检查液压启闭机在运行过程中各部位尤其是油缸及液压系统部位有无异常情况出现，如有则查出原因并消除故障，如一切正常则进行动水试运行。

动水试运行在弧门无水试运行正常后进行（动水试运行前需得到南阳管理处指令），即将前后检修闸门全开、弧门在动水情况下作全开度往复运行检查弧门在运行过程中各部位尤其是油缸部位有无异常情况出现，如有则查出原因并消除故障，检测结果详见表 1。通过表一所示结果，表面设备安装、调试后满足使用要求。

表 1 油缸安装、调试检测结果汇总表

检测项目	检测工具与实验方法	质量标准或技术要求
空载实验	活塞杆在全行程内往复动作 2 次，观察是否有不正常的现象	不允许有爬行、抖动等异常现象
最低启动压力实验	使有杆腔的压力从零逐渐升高，测量活塞杆平稳移动时的最低动压力	$\leq 0.5\text{MPa}$
外泄漏实验	液压缸有杆腔加压至 14.5MPa ，保压 3 小时	不允许出现外部油液泄漏
内泄漏实验	活塞杆全收，有杆腔在 14.5MPa 工作压力下，保压 3 小时，测无杆腔油口的油液增加量	$< 8\text{mL/分钟}$
耐压实验	在有杆腔 22MPa 、无杆腔 8MPa 的实验压力下，保压 3 小时	不允许有外泄漏、永久变形和破坏现象

4 结语

汾河二库泄洪冲沙底孔、溢流表孔液压启闭机维修养护过程中，对原有的老旧设备存在的故障进行检测，分析原因后，结合现阶段提出的新要求制定维修养

护方案，重点对液压油管进行了维修和更换，并顺利通过检查验收，确保各项性能参数符合设计制造要求，设备运行稳定可靠。通过对汾河二库大坝 7 套液压设备进行维修养护，大大提高了设备运行的稳定性，有效提高了水库的安全运行管理能力，保证了工程设施正常运转，提高了企业的经济效益。

南洋河天镇县生态修复工程设计方案简述

韩建宏

(山西省水利水电勘测设计研究院 山西太原 030024)

摘要: 为改善天镇县城段南洋河生态环境, 对该区域进行一系列修复工程。通过坝型比选, 选择液压坝进行拦河蓄水, 同时采用垂直防渗处理设计, 建成后可形成蓄水面积 46.2 万 m², 景观绿化面积 75.4 万 m², 同时保护周边生物群落, 完善区域生态系统。

关键词: 南洋河; 生态修复; 建筑物设计; 防渗处理

Design Scheme of Ecological Recovery Project of the Nanyang River in Tianzhen County

HAN Jian-hong

Abstract: A series of recovery projects were adopted to improve the ecological environment of the Nanyang River in Tianzhen County. The hydraulic dam was selected for this project according to dam type comparison, and vertical anti-seepage treatment was adopted. It can form 462, 000 m² of water storage area and 754, 000 m² of landscape area, protect the surrounding biocoenosis and improve the regional ecosystem after the projects were built.

Keywords: the Nanyang River; ecological recovery; hydraulic structure design; anti-seepage treatment

1 工程概况

天镇县位于山西省大同市东北端, 地处晋、冀、蒙三省(区)交界处。南洋河发源于阳高县朱家窑乡的随土营, 为洋河的一级支流。天镇县位于南洋河上游, 南洋河自西向东纵贯全境。近年来, 天镇县始终致力于可持续发展战略目标, 立足“生态水利, 人水和谐”的治水理念, 突出其“特色、古色、绿色”的特点, 对南洋河城区段展开了一系列综合治理。

2 工程任务及目标

面对本区域生态退化、水环境污染的严峻形势，推进顺应自然、保护自然的生态文明理念，本工程建设的主要任务是：防洪、蓄水、生态绿化，保护本区域的生态链。通过拦坝蓄水，新建生态堤防，延续两岸的滨水生态带；同时对河道两岸滨水区进行生态绿化，保护生物群落，完善该区域的生态系统。

3 防洪标准和级别

根据《防洪标准》（GB50201—2014），天镇县城属一般四等城镇，防洪标准为20年一遇洪水；根据《防洪标准》（GB50201—2014）的规定，按蓄水量划分，壅水坝为V等工程，按5级建筑物设计；根据现行《中国地震动参数区划图》，枢纽建筑物的抗震设防烈度为7度。

4 工程建设内容

本次生态修复工程拟新增2座长137.5m和131.25m的壅水坝和1座137.5m+68.75m长的堵头坝（分为主坝和副坝），同时沿河两侧建设生态绿化林带。建成后将形成3个蓄水池，蓄水总长度3.3km，蓄水总量69万 m^3 ，蓄水面积46.2万 m^2 ，景观绿化面积75.4万 m^2 。工程总体布置见图1。

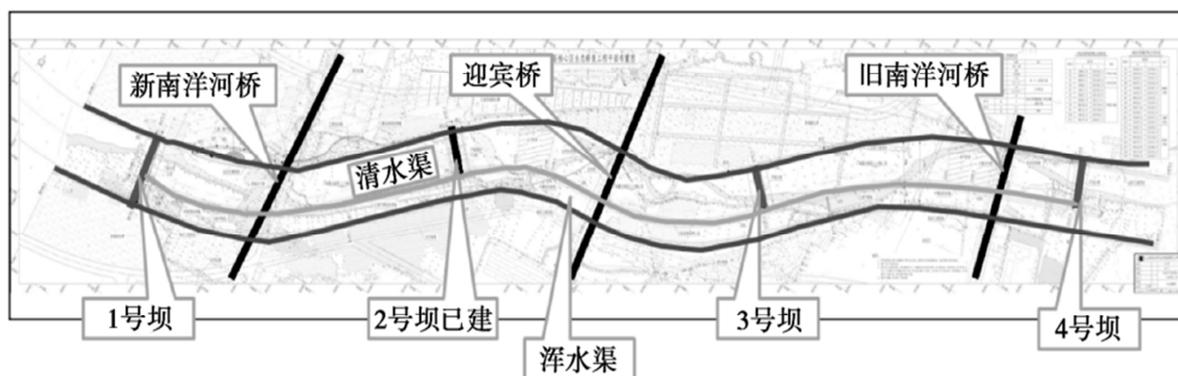


图1 总体布置图

5 主要建筑物设计

5.1 壅水坝型式比选

南洋河天镇县核心区生态修复工程是在满足河道防洪基本功能的基础上，达到蓄水美化环境的目的。在天然河道上兴建壅水闸坝，既应满足日常立坝蓄水，又能满足汛期倒伏行洪，保证河道的行洪安全。目前国内常用的几种景观壅水闸坝有：橡胶坝、液压坝、钢坝闸。结合本工程具体情况，对上述三种坝型进行综合比较。

1) 工作原理

橡胶坝通过对橡胶充水达到阻水目的；液压坝通过直接放在河道内的启闭机推动闸门起伏；钢坝闸则通过底轴传导到两端，两端靠液压启闭机推动。

2) 土建综合成本

橡胶坝对地基要求低，土建成本低，工程投资少，应用广泛；液压坝对地基要求低，土建成本较低，技术成熟，近年来应用比较多；钢坝闸支较局部受力集中，需启闭设备，河道较宽时还需设中间闸墩和维修廊道，土建投资高。

3) 防洪效果

橡胶坝立坝、塌坝时间长，通常需要 1~3h，影响快速截流、蓄水或泄洪；塌坝时坝内的水体不能完全放尽，形成不低于 20cm 的壅水高度，再加上基础宜高于河床 20 cm 的规范要求，严重影响泄洪流量。液压坝闸门采用启闭机启闭，运行速度可达 1~2m/min，一般工程不超过 5min 即可完成升坝和塌坝，而且结构上可以完全放倒与河底齐平，可有效地保证突发洪水时能及时泄洪。钢坝闸坝体对河道行洪影响小，闸门卧倒时与河床齐平，且闸门开启时间在 2~3min 之内完成，对城市防洪有利。

4) 冲沙性能

橡胶坝坝体整体升降，坝前较易淤积，清理困难；液压坝可分片塌坝、集中排砂，坝体不易淤积；钢坝闸坝体整体升降，坝前较易淤积，清理困难。

5) 运行维护

橡胶坝坝袋充水需抽提地下水，对水资源形成浪费；坝顶溢流长时间超过 50cm，易出现垮坝事件，需加强汛期的运行管理；冬季需塌坝运行或坝前凿冰越冬；坝袋易受外界水沙条件及人为破坏的影响，造成坝袋泄漏，影响正常运行。

液压坝坝顶可长时间、大流量的溢流，形成瀑布景观；冬季立坝运行时，坝体可向下游适当倾斜释放冰推力，管理方便；坝体为钢筋混凝土预制板，抗冲击的能力较

强，耐久性好，维护量小；门体可单扇启闭蓄水或行洪、冲砂，运行方便；门体间可相互导流，分段维护，检修方便。钢坝闸坝顶亦可长时间、大流量溢流；冬季立坝运行时，坝体可向下游适当倾斜释放水冰推力，管理方便；坝体为热喷锌防腐处理的整体钢结构，耐久性好，维护量小；启闭设备位于岸边，检修方便。

6) 延米投资（坝高 2.5 m）

橡胶坝坝袋寿命 10~15 年，延米投资约 9.3 万元；液压坝门体寿命 50~60 年，延米投资约 8.7 万元；钢坝闸门体寿命 50~60 年，延米投资约 12.8 万元。

通过三种坝型的比较可以看出，液压坝无论从外形景观效果、使用寿命、防洪影响，还是从技术含量、利于景观多样性等方面，都占有较大优势。尤其是根据本河段已建橡胶坝多年的运行情况，坝前泥沙淤积量较大，清淤任务较重，且因塌坝速度慢而防洪压力大。而液压坝可分片塌坝、集中排砂，冲砂效果好。

经综合考虑，本次新建的 3 座壅水坝均采用塌坝迅速，利于冲砂，费用较低的液压坝。

5.2 壅水坝设计

5.2.1 液压坝布置

本工程共布置有 3 座液压坝，其中 1# 坝位于桩号 A0+272.2，分为主坝和副坝各一座，分别位于清水渠和浑水渠内，3# 和 4# 坝均位于清水渠，A2+415.0 和 A3+554.9 处。在桩号 A0+272.2 处设置 1# 堵头坝，理由如下：

1) 为使浑水渠能够排泄河道中日常污水和宣泄

流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水及泥沙，减少污水、洪水和泥沙对清水渠的侵扰机率，减少清淤次数和清淤量，解决行洪排沙和蓄水之间的矛盾，在桩号 A0+272.2 处清水渠内设一道 2.5 m 高的堵头坝（1# 主坝）。

2) 拦蓄河道基流补充蓄水池水量，在桩号 C0+050.0 处的浑水渠设一道 2.5m 高的堵头坝（1# 副坝）。

3) 1# 堵头坝的设置可形成长 1.5km 的回水，为规划中的湿地温泉开发区的整体环境的改善创造条件。

5.2.2 建筑物设计

液压坝由铺盖段、坝体段、消力池段、海漫段组成，总长 47m。

液压坝段上游设有 10m 长的铺盖，采用 400mm 厚 C30 钢筋混凝土结构，铺盖下设 0.1m 厚的素混凝土垫层。铺盖沿河宽方向设伸缩缝，缝宽 3cm，缝内填聚乙烯中密度闭孔泡沫板，止水采用一体化定位的 B 类氯丁橡胶止水带。铺盖段边墙采用 C30 钢筋混凝土悬臂式挡土墙，结构设计参照《堤防工程设计规范》（GB50286—2013）。

液压坝底板参照《水闸设计规范》（SL265-2001）进行结构设计，采用 C30 钢筋混凝土筏式基础，基础顶面与河床齐平，根据基础内液压装置埋设要求，厚度为 1.9m。根据坝体坍塌宽度和上、下游施工检修要求，在顺水流方向，确定底板长度 7m。闸门为钢筋混凝土面板，每扇面板后均布置支撑杆两根、液压杆两根。坝体面板底部以铰链轴固定在坝的基础上，铰链支撑杆支撑面板，并以背面液压杆的伸缩带动面板作扇形上、下升降，用液压杆和支撑杆的解锁装置控制闸门升降。液压坝边墙采用 C30 钢筋混凝土直墙结构，与底板浇成一个整体，顶宽 1m，高 3.2m。

消力池段总长 10m，紧邻液压坝段下游布置，与液压坝段以 1:4 斜坡连接，平段池长 6m，深 0.6m。消力池底板厚 600mm，采用 C30 钢筋混凝土结构。

消力池段下游设 20m 长格网石笼海漫，厚 1m。海漫段边墙采用钢筋混凝土扭面结构，分别与坝体段直墙和现有退台式格网石笼岸墙衔接。液压坝剖面图见图 2。

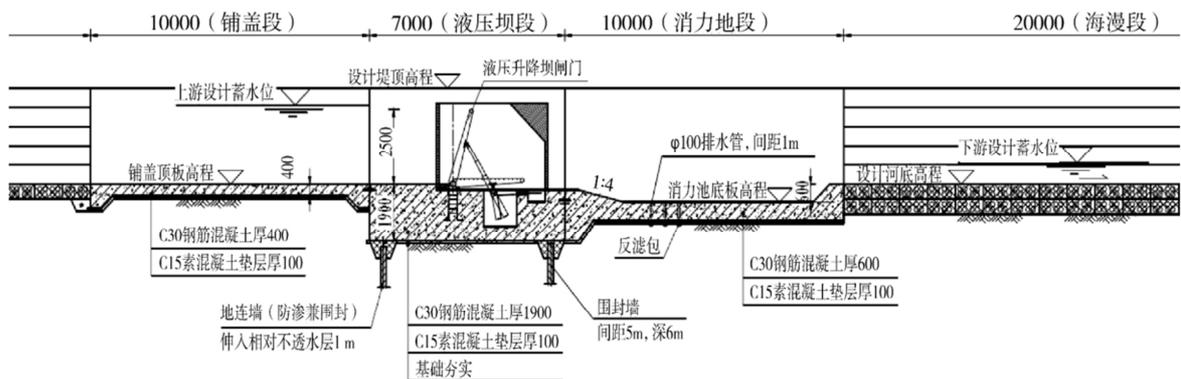


图 2 液压坝剖面图

6 地基防渗处理

6.1 蓄水池防渗的必要性

蓄水工程的关键在于水，水是工程的灵魂，也是保证工程成败的关键。天镇处于山西的北部，属于严重缺水地区，水量的大量渗漏，不仅造成水源的浪费，而且会因为水体得不到补充，而造成蓄水工程的失败。此外，河道蓄水后将会抬高河道水位，如不采取防渗措施，将使两岸的地下水位抬高 0.1~3.0 m，对两岸建筑及耕地形成一定的浸没影响。因此，对河道蓄水段采取防渗措施是非常必要的。

6.1.1 防渗方案的比较

防渗型式有水平防渗和垂直防渗两种。水平防渗是采用复合土工布、黏土铺盖或膨润土防水毯等防渗材料，铺设在整个河槽，形成防渗层，并在防渗层上覆盖混凝土板、水工生态砖或格网石笼等防冲层的防渗措施。具有防渗效果可靠、渗漏损失小、施工工艺简单，工期快等优点；缺点是由于施工工作面大，对施工组织要求高，且防渗面积大、基坑排水量大；蓄水池水体与地下水交换困难，水质较差。

垂直防渗即采用高压注浆或水泥土地连墙的施工工艺，将防渗墙打入相对隔水层。优点是施工过程受地下水、雨天的干扰少；防渗墙形成后，受河道清淤、洪水冲刷等损坏的机率小，且利于蓄水池水体与地下水的交换等。缺点是由于防渗墙为隐蔽工程，质量控制难度大，工期较长。

6.2 防渗方案的确定

根据地质勘探资料知，南洋河河道地层的主要成份是中砂，为中等透水层，且在 5~10m 深处存在一层连续、可靠的低液限黏土相对隔水层，是采用垂直防渗方案的有利条件，且两岸堤防已施工完成，采用石笼防护，已不具备水平防渗方案的条件。根据类似工程的经验，本工程采用多轴搅拌水泥土地连墙垂直防渗型式，即在河道北堤防和中隔堤下，采用水泥土地连墙施工工艺，墙身最小厚度 0.2m。防渗墙底伸入相对不透水层（低液限黏土层）不小于 1m，墙顶高出设计蓄水位 0.5 m，且不低于设计洪水位。

液压坝底板地基液化处理采用围封兼作防渗墙形式，即垂直河道方向设两道深 6m 的水泥土地连墙，与顺河道方向间距 5m 的水泥土地连墙形成网格状。同时，上游一道水泥土地连墙兼做防渗墙，伸入相对不透水层不小于 1m。

考虑到新南洋河桥、迎宾路桥和旧南洋河桥下净空较小，受施工工艺限制，防渗

墙局部改为单管高压喷射注浆工艺。

河道桩号 C1+416.8 和 C2+984 处相对不透水的黏土层有缺失，该处采用水平、垂直相结合的防渗方案（见图 3），即在缺失处上面铺设一层 1m 厚的黏土及 0.5m 厚格宾石笼防冲层，在两侧垂直河道方向施打垂直防渗墙，并与两侧纵向防渗墙连接成防渗体系。

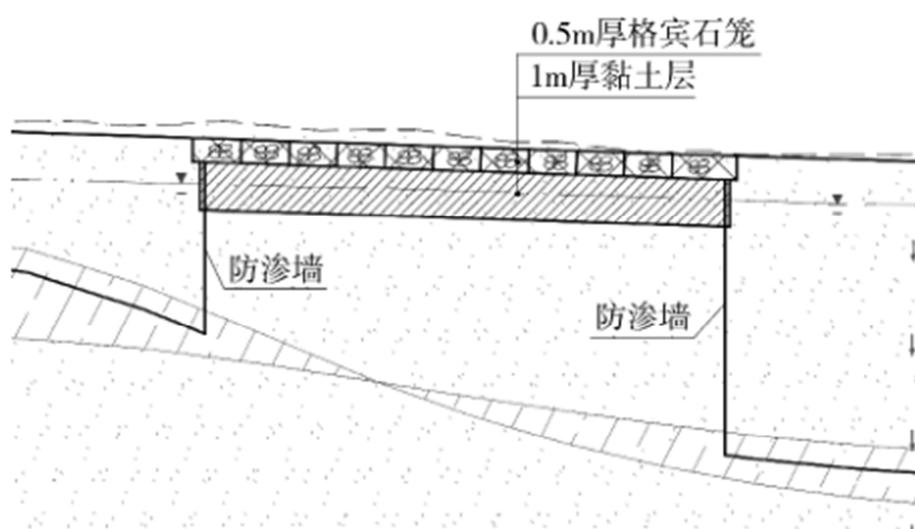


图 3 相对不透水层缺失处组合防渗示意图

7 堤顶路硬化

现有堤防堤顶为土路，易被雨水冲刷，因此需要对堤顶路进行硬化和绿化。拟在道路中间设置 4m 宽的人行步道，总长 10.6km（不包括已建的）。步道两侧种植当地小灌木进行绿化，既可充当防护设置，又避免了人对动物和昆虫生活的侵扰，营造一种独立的水边生态系统。

8 结论

本工程的实施，将形成 46.2 万 m^2 的水面，景观面积 75.4 万 m^2 ，同时可保护区周边生态群落、延续生物链，具有一定的经济效益、环境效益和生态效益。

液压翻板闸门在干流蓄水工程中的应用

李夏清

(山西省汾河流域管理局, 山西 太原 030006)

[摘要] 通过对橡胶坝、钢坝闸、液压坝三种坝型的工作原理、冲沙性能、景观效果、使用寿命、防洪效果及运行维护等比较, 确定采用液压翻板闸门作为干流蓄水工程的主体坝型。并介绍了闸门组成、结构特征及具体参数, 阐述了闸门及埋件的施工方法及安装工艺要求。实践表明, 液压坝可基本保持原河床形状, 无需增设隔墩, 每扇闸门均可自由调控, 且操作简便。

[关键词] 液压翻板闸门; 施工方法; 安装工艺

1 工程概况

为恢复汾河干流河道水域, 蓄滞洪水, 为堤外蓄水湿地提供水源, 河道内形成蓄水水面, 增补地下水, 改善生态环境, 河道采用全断面蓄水, 堤内新建 15 座蓄水闸坝, 可形成蓄水面积 16.17 km^2 , 蓄水量为 $1\,736.8 \text{ 万 m}^3$ 。根据堤外湿地位置, 按照“堤内服从堤外”的原则, 共布置新建蓄水闸坝 15 座, 闸坝采用利于调沙、蓄水和行洪的可升降液压坝, 坝体由多扇闸板并联在一起共同蓄水, 单扇闸板长为 6.0 m , 左、右两岸滩地翻板闸门高度 2.0 m , 主槽蓄水高度根据其深度分别采用 3.5 m 、 4.0 m 、 4.5 m 和 5.0 m , 处于同一道蓄水闸坝的主槽或滩地内的闸门又分 A、B、C 三种规格, A 型号为该坝段主槽或滩地内标准闸门, B、C 型号为该坝段主槽或滩地内两侧边门。

2 常用闸门的比较

常用的几种壅水闸坝有: 橡胶坝、钢坝闸、液压坝, 坝型比较见表 1。

通过三种坝型比较, 液压坝从景观效果、使用寿命、防洪效果及运行维护等方面都占有优势, 门体可单扇启闭具有操作灵活简便、瀑布景观效果好, 有利于拦蓄汛期洪水进行涵养水源、补充地下水、净化水质以改善水生态环境。

表 1 壅水闸坝比较表

项目	挡水建筑物		
	橡胶坝	钢坝闸	液压坝
工作原理	橡胶袋充水达到阻水目的	通过底轴传导到两端，两端靠液压启闭机推动	液压启闭机直接放在河内推动闸门起伏
防洪效果	1.立、塌坝时间长，影响快速截流或泄洪；2.塌坝时橡胶袋内水体不能放尽，形成不小于 20cm 壅水，且规范要求基础宜高于河床 20cm，影响泄洪。	河道行洪影响小。闸门卧倒时与河床齐平，闸门开启时间短，对防洪有利。	闸门采用启闭机启闭，运行速度短，且可完全放倒与河底齐平，有利泄洪。
冲沙性能	坝体整体升降，坝前较易淤积，清理困难。	坝体整体升降，坝前较易淤积。	可分片塌坝、集中排砂。
景观效果	坝袋易褪色、变形外形效果较差；坝顶溢流景观效果差。	门体外形美观，坝顶平整，溢流瀑布景观效果好；中墩设置影响景观。	坝顶平整，溢流瀑布景观效果好，坝后支撑杆件较多，影响整体景观。
使用寿命	坝袋寿命 10~15 年。	门体寿命 50~60 年。	门体寿命 50~60 年。
运行维护	1.坝袋充水抽提地下水，形成水资源浪费；2.坝顶溢流长时间超过 50cm，易出现跨坝事件；3.冬季需坝前凿冰越冬或塌坝运行；4. 坝袋易受外界破坏造成坝袋泄漏，影响正常运行。	1.坝顶可长期大流量溢流，形成瀑布景观；2.冬季立坝时坝体可向下游倾斜释放水冰推力；3.坝体为热喷锌防腐处理，耐久性好，维护量小；4.启闭设备位于岸边，检修方便。	1.坝顶可长期大流量溢流，形成瀑布景观；2.坝体抗冲击能力较强，耐久性好，维护量小；3.门体可单扇启闭，运行方便；4.门体间可相互导流，分段维护，检修方便。

3 闸门组成、结构特征

液压翻板闸门组成。液压翻板闸门由门体、埋件、液压杆、支撑杆、液压缸、油管路和液压泵站组成，坝体由多扇闸板串联组成，本工程 1—12 号坝液压翻板

闸门闸板全部采用焊接钢结构，单扇宽度 6 m。

结构特征。钢结构翻板闸门闸板由挡水面板、一组横向主梁、数根横向次梁及纵向隔板、边梁、底横轴焊接而成。闸门底横轴焊接固定在闸室底部，铰座间距 3.0 m，每扇闸板背水面均布置支撑杆两根，液压杆两根。闸门单扇为一个独立的安装单元，禁止分节。

4 闸门及埋件施工工艺

总施工程序分六个阶段，分别是闸门及埋件安装、油管敷设、油缸及油缸埋件安装、液压系统安装、电气设备安装、调试运行等，闸门及埋件安装是第一阶段。

闸门的闸板采用焊接钢结构，由挡水面板、两组纵向主梁、若干根横向次梁焊接而成。闸门底部用铰链固定在坝的基础上，铰支座间距 3.0 m，每扇闸板背水面布置支撑杆两根、液压杆两根。根据不同坝高，支撑杆间距分别为 3.8~4.39 m 不等，液压杆间距为 1.6 m、2.4 m 及 2.58 m 三种规格。闸门面板以背水面液压杆的伸缩带动面板作扇形上下升降，支撑杆支撑面板挡水，实现升坝拦水，降坝行洪的目的。

4.1 预埋件安装

支铰预埋件安装。依据施工图纸给定的尺寸、标高、土建提供的闸室中心线、高程点计算确定埋件位置大样线。首先精准测量两侧埋件间距，土建水平超差部分平均分配到左右最外侧的门上，埋件安装顺序，从上、下游轴线中部向左右两侧放线，精准检测支铰轴线与侧埋件的垂直度，将预埋板与预留钢筋加固，再次测量，保证相临两块埋件中心距，埋件平面度 <1.0 ，方可浇筑二期混凝土。

支铰过渡板安装。在安装好的预埋板后，再次放上下游轴线，过渡板从每孔中部向左右两侧顺序放线安装，保证两块中心距偏差不大于 1 mm，过渡板如遇一期预埋锚筋时，在过渡板上现场钻孔，将伸出的锚筋部分切除。过渡板与支铰预埋钢板有间隙时，采用调整垫板垫平，垫平后方可焊接，保证每个门过渡板平面度小于 1 mm。

4.2 闸门安装

闸门要从每孔中部向左右两侧顺序安装。

以过渡板的抗剪板为安装基准，固定支铰底板须与其靠紧无间隙，相临两扇门止水座板间距 42 mm 调整合格后装焊左、右、上游三侧的抗剪板，且抗剪板与固定支铰底板面靠紧无间隙。

闸门吊卸到指定位置。对闸门的各项尺寸进行复查，并对闸门及其附件认真检查各零部件是否齐全，在运输、存放过程中是否损伤；在检查中发现损伤、缺陷或零件丢失，要进行修整，补齐零件后方可进行安装。

支撑准备、门叶排布对号。首先进行放线，根据土建实际情况，放出闸门门轴中心线及其它相关线，然后在侧埋件不锈钢板上放出闸门位置线。左、右侧为增宽闸门，待其它部位闸门安装、检测完工后，精准测量其孔口宽度，现场（切割）配置闸门宽度等，且对配置侧进行防腐后，方可进行闸门安装。

闸门安装中，用人工配合吊车安装就位。根据设计图纸，以闸门孔口中心基准点为基准，复测底轴支铰中心线，安装应该从中间往两边进行。吊装作业应统一指挥，操作人员对信号不明确时，不应随意操作。闸门上的吊耳经检查确认合格后方可使用（吊耳材质和连接焊缝须检验）。闸门起吊离地面 0.1 m 时，应停机检查绳扣、吊具和吊车的可靠性，理察周围有无障碍物。已吊起的闸门作水平移动时，应使其高出最高障碍物 0.5 m。指挥起重机械工作时，吊钩应在重物的重心上，严禁在倾斜状态下拖曳重物。严禁使用起重机对就位的闸门进行强行纠偏处理。

闸门底封水装置安装。底封水埋件安装前进行防腐处理，底封水埋件在闸门安装和底轴防腐处理后安装；底封水埋件须与支铰预埋件钢板、侧埋件不锈钢板、底板一期混凝土中钢筋有效连接且焊接。闸门安装水封前，应清除埋件表面和门叶上的所有杂物，安装水封装置前应补刷最后一道面漆。特别应注意清除不锈钢水封座板表面的水泥浆。经检查合格的闸门，方能安装水封装置。底封水埋件安装焊接合格后浇筑二期混凝土。底封水埋件安装检验合格后安止水橡皮。

5 结语

液压坝可基本保持原河床形状，无需增设隔墩；每扇闸门可自由调控，操作简便；闸门体结构的下部主体为平面，顶部为弧形结构以利于瀑布景观水面的形成，起到水质净化，与河流景观、生态及周边环境相协调。现代水利建设在注重对水资源功能开发的同时也注重对环境功能、生态功能的开发和保护，液压翻板闸门是适应现代城市需要的新型水闸。

新型倒挂顶推式闸门的设计与优势介绍

蒋德成¹ 王小慧¹ 蔡剑峰² 花晓阳² 蔺锋²

(1 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 成都 610000,

2 常州液压成套设备厂有限公司 常州 213000)

摘要: 为满足城市建设中, 对水环境打造的要求, 同时适应正常蓄水位和洪水位相差较大工况, 设计研发了新型倒挂顶推式闸门, 通过柱塞缸与倒挂缸组合的方式实现对闸门的启闭操作。这种新型闸门结构合理, 运行稳定且安全性高, 在保证运行的前提下, 也可以实现降低投资成本的目的。

关键词: 倒挂顶推式闸门 柱塞缸 倒挂缸 外置式钢丝绳位移传感器

0 引言

随着城市的发展, 人们对居住环境的要求不断提高。城市建设中的水环境打造成为提升居住环境的重中之重。相应围绕水环境配套的景观效果也得到提升。而闸门作为水环境打造设施中重要的设备, 其结构形式与整体环境概念是否融和, 直接影响到项目的整体效果。城市景观用的闸门主要功能是提高河床水位维持景观水面, 洪水期间可进行宣泄洪水, 对宣泄洪水影响小。对此类闸门的主要要求有: 外露设备少、占地少、检修方便和需要与周边环境融和好。此类闸门无明显堰高, 在校核洪水水位时, 上、下游水位差异一般较小, 因此不利于布置弧形闸门。并且大多数闸门要求坝面无操作设备建筑物, 以便后续进行商业开发或其他景观打造。目前, 符合该特点的门型主要有液压顶推闸门、底轴下卧闸门和上翻闸门。其中, 底轴下卧闸门采用底轴驱动或两侧操作臂驱动, 这种受力结构决定了闸门挡水高度不可能很高, 闸门高度增加对闸门结构和启闭机都影响非常大; 同时旋转之后将占有非常大水平空间, 将会加大闸室长度。上翻闸门同样仅适合水头较小的水闸, 闸门翻至水平位将会加大闸室长度。液压顶推闸门是以埋设在闸墩内的液压顶推油缸进行操作的垂直升降平面闸门, 对于挡蓄水位较大的景观水闸, 选择液压顶推闸门是最合适的, 不仅顶部可设置小流量溢流增加景观效果, 底部还有利于定期冲沙排沙。

但是对于汛期洪水来水快, 正常蓄水位和洪水位相差较大的工况, 其水闸坝顶与正常蓄水位相差较大, 即使采用液压顶推闸门, 也较难布置相应设备。由于正常的蓄水位与校核洪水水位相差大, 因此在正常蓄水时, 闸门门叶的顶部将远低于两侧的闸墩的端面, 而在泄洪时, 则要求将门叶完全提起, 以最大限度的开启闸门保证泄洪流量, 应对汛期洪水来水快的特点。此时当采用液压顶推闸门方案时, 需要在闸门门叶两侧布置又高又大的吊耳, 不仅增加风载荷, 而且顶推油缸的受力情况将会大大增加, 同时还要求顶推油缸的推顶量较长; 而用较长推顶量的油缸时, 当油缸推顶较高时, 其受力情况也非常不稳定, 因此对油缸性能的要求也非常高, 将导致油缸投资成本的急剧增加。

1 新型倒挂顶推式闸门的设计

1.1 整体结构设计

对传统的液压顶推闸门进行了优化改进，设计研发出了新型倒挂顶推式闸门。如图 1、图 2 所示，该新型倒挂顶推式闸门的主要结构包括有门叶、位于门叶两侧的闸墩、横梁，还包括有顶推机构（柱塞缸）和提拉机构（倒挂缸）。

横梁设置在门叶上方，横梁的两端均设有柱塞缸，柱塞缸的基座安装在门叶两侧的闸墩内，同时，横梁通过倒挂缸与门叶连接。

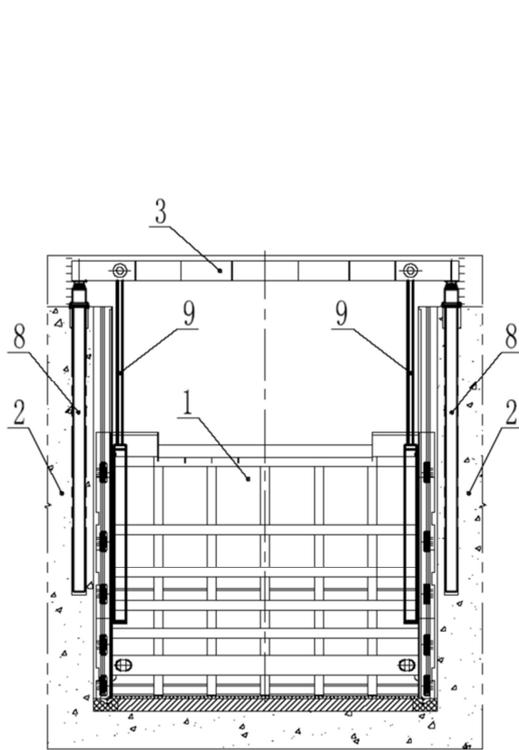


图 1 新型倒挂顶推式闸门闭门状态示意图

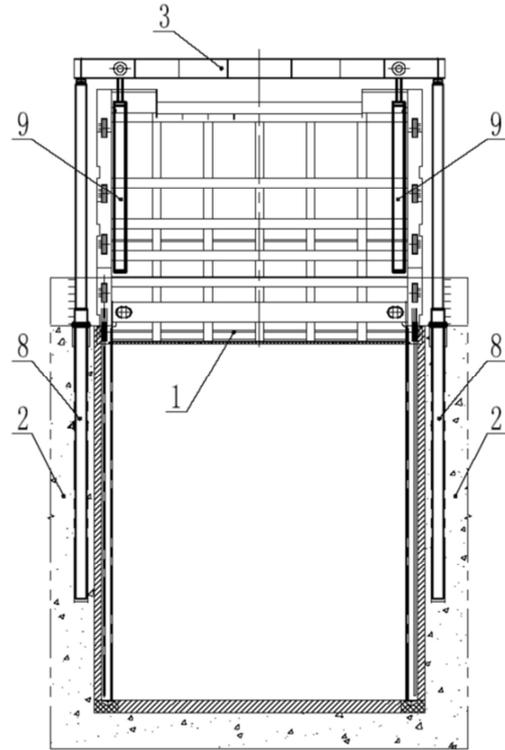


图 2 新型倒挂顶推式闸门启门状态示意图

1-门叶 2-闸墩 3-横梁 8-柱塞缸 9-倒挂缸

通过对闸门的结构进行优化改进，将原本单一通过柱塞缸顶升控制闸门启闭的结构形式，优化为通过横梁两端的两支柱塞缸，以及与门叶相连的两支倒挂缸共同控制闸门启闭的结构形式。

如图 3 所示，柱塞缸的缸体固定安装在闸门两侧的闸墩内，柱塞杆顶部通过连接机构与横梁连接；倒挂缸的缸体固定安装在门叶内，倒挂缸的活塞杆顶部通过连接机构与横梁连接。柱塞缸的柱塞杆由上下两部分焊接构成，上部为空心钢管柱塞杆，在保证压杆稳定性的前提下，节约原材料的成本，下部则为实体柱塞杆，实体柱塞杆部分的抗弯能力更强，可以有效应对当闸门开启时风载荷的作用，同时柱塞缸的柱塞杆上设有过油孔，倒挂缸的活塞杆上也设有过油孔，柱塞缸与倒挂缸之间设有连接管路，由于过油孔和连接管路的存在，外部的液压油可以进入到柱塞缸内部，并进而由柱塞缸进入到倒挂缸内部，柱塞缸和倒挂缸内部的液压油也可以流到外部去，柱塞缸与倒挂缸之间形成串

联的液压油路。之所以采用这种串联的液压油路，而没有单独引液压管路到倒挂缸上，其主要的优点是避免了引一根很长的高压软管到倒挂缸上，使得设备的整体美观性大大提高，这也符合城市景观工程对设备的基本要求。

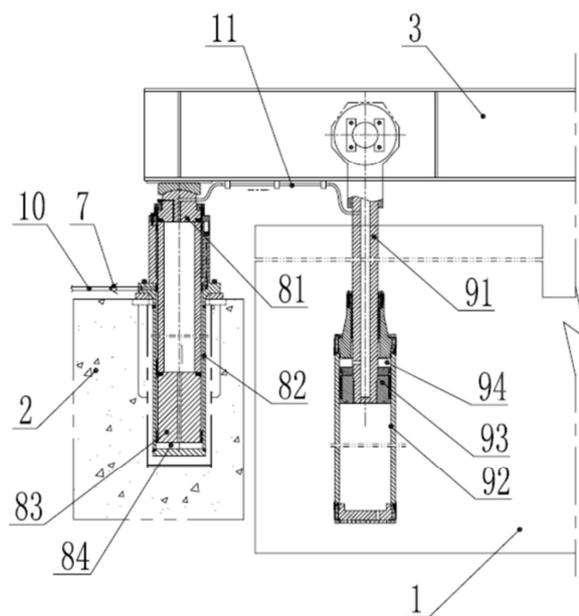


图3 新型倒挂顶推式闸门内部结构示意图

- 1-门叶 2-闸墩 3-横梁 7-液控单向阀 10-液压油供油管路 11-连接管路
81-钢管柱塞杆 82-柱塞缸缸体 83-实体柱塞杆 84-柱塞缸顶出腔室
91-倒挂缸活塞杆 92-倒挂缸缸体 93-倒挂缸活塞 94-倒挂缸缩回腔室

1.2 位移传感器的选用

此新型倒挂顶推式闸门选用外置式钢丝绳位移传感器进行相关的位移监测。如图4所示，闸门的一边设有两个外置式钢丝绳位移传感器，图中件4和件5均为位移传感器，传感器固定安装在闸门两侧的闸墩上，通过钢丝绳分别与门叶和横梁相连。4-外置式钢丝绳位移传感器通过钢丝绳以及6转向轮与1-门叶相连，在闸门启闭过程中，用以检测门叶的位移量；5-外置式钢丝绳位移传感器则通过钢丝绳直接与横梁相连，在闸门启闭过程中，用以检测横梁的位移，由于横梁的位移与柱塞缸的柱塞杆的位移相同，所以同时可以反应柱塞缸的柱塞杆的位移量，而倒挂缸的位移量，则可以通过4、5两个传感器的所测得的位移值计算得出。

因此，我们通过在每孔闸门的一边设置两个外置式钢丝绳位移传感器，一扇闸门共设置四个外置式钢丝绳位移传感器，可以准确的测量出闸门启闭过程中，柱塞缸、倒挂缸和闸门的位移量。这种情况下，我们可以准确的监控启闭门过程中倒挂缸和柱塞缸的动作，如果在试运行过程中，发现倒挂缸和柱塞缸的动作顺序与预想的不同，我们可以通过后续的手段，即使调整，使其达到我们所期望的动作顺序。

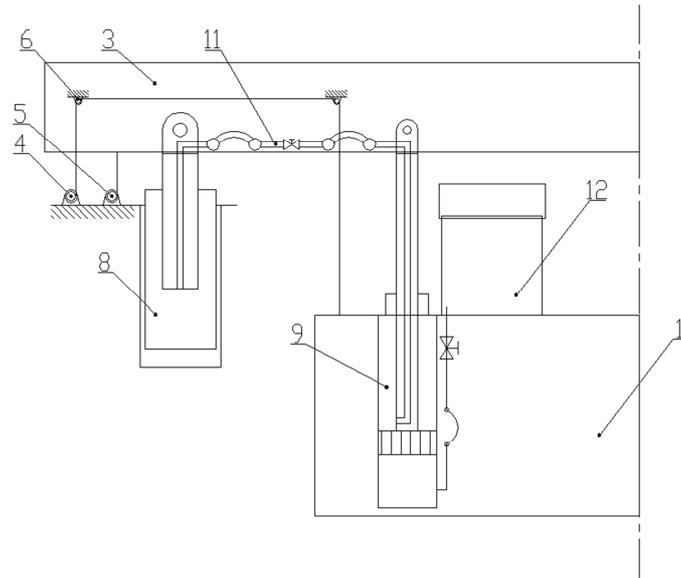


图4 位移传感器示意图

1-门叶 3-横梁 4-外置式钢丝绳位移传感器 5-外置式钢丝绳位移传感器 6-转向轮
8-柱塞缸 9-倒挂缸 11-连接管路 12-补油箱

1.3 合理的结构尺寸的设计

在闸门的启闭过程中，柱塞缸与倒挂缸共同作用控制闸门的启闭，由于是两者的共同作用，动作顺序的控制就显得尤为重要，要保证在启门过程和闭门过程中，均有一个特定的动作顺序。

从闸门的示意图可以看出，柱塞缸在闸门的启闭过程中要承受门叶和横梁的重力，而倒挂缸在整个过程中只要承受门叶的重力。在启门过程中，需要由外界的液压动力来提升闸门，柱塞缸的承压面积为柱塞杆的截面积，而倒挂缸的承压面积则为有杆腔的截面积，通过合理的结构尺寸的设计，使得倒挂缸的承压面积约为柱塞缸承压面积的 0.8 倍，同时柱塞缸的启门压力约小于倒挂缸的启门压力 1MPa，同时由于管路中存在的压力损失，从而可以保证在启门过程中，柱塞缸先动作，倒挂缸后动作。而在闭门过程中，倒挂缸的背压大于柱塞缸的背压，从而在闭门过程中，也是柱塞缸先动作，倒挂缸后动作。从而保证了在闸门的整个启闭过程中，有特定的动作顺序。总是由柱塞缸先动作，也有利于在非汛期，需要小开度提门时，可以只通过柱塞缸动作来实现需求。

2 新型倒挂顶推式闸门的运行机理

此新型倒挂顶推式闸门通过柱塞缸与倒挂缸组合的方式实现对闸门的启闭操作。如图 3 所示，当需要开启闸门时，外部的液压油通过液压油供油管路及液控单向阀进入柱塞缸内部，进入柱塞缸内部的油液，则可以通过柱塞杆上的过油孔、连接管路及倒挂缸活塞杆上的过油孔，进入倒挂缸的有杆腔。

由于对柱塞缸和倒挂缸结构尺寸的合理设计，因此在开启闸门时，柱塞缸的柱塞杆

先运动，通过横梁，将倒挂缸及门叶整体向上顶推，直至达到柱塞缸的最大行程。待达到柱塞缸的最大行程后，倒挂缸开始动作，液压油流入倒挂缸的有杆腔，倒挂缸的缸体提拉门叶，使门叶继续向上运行，倒挂缸无杆腔的液压油则流回补油箱，直至达到倒挂缸的最大行程，此时闸门提升到最大高度。

当需要关闭闸门时，外部控制油路首先打开液压单向阀，在闸门自重的作用下，闸门门叶带动倒挂缸的缸体下降，倒挂缸有杆腔的液压油流出，补油箱向无杆腔进行补油，直至倒挂缸运行到活塞杆全伸位。随后在闸门自重的作用下，通过横梁，将力传递到柱塞缸上，柱塞杆缩回，直至柱塞杆全部缩回缸体内部，此时闸门下降到全关位。

在整个启门闸门的过程中，四个外置式钢丝绳位移传感器全程监测位移量，配合比例调速阀，保证闸门两侧液压油缸的同步，从而保证闸门的稳定运行。

3 新型倒挂顶推式闸门的优势

此新型倒挂顶推式闸门通过设置横梁以及采用柱塞缸和倒挂缸的组合方式实现对闸门门叶的启闭操作，而对于闸门门叶起吊的最大行程量，可由柱塞缸和倒挂缸的行程量相加，因此缩短了单个液压油缸所需的行程量，这样不仅可提高液压油缸的稳定性，而且由于油缸的推顶量被缩短，液压油缸的投资成本也可得到有效地降低。另外，通过设置横梁，还可进一步提高闸门整体的稳定性。因此，此新型倒挂顶推式闸门，可用于正常蓄水位与校核洪水水位相差较大的情况；其既能挡蓄正常水位，又能宣泄较大的洪水流量；并且较小的水流量可通过门顶过流，有利于漂浮物排泄，同时在水闸处形成一个跌水瀑布，增加整个工程景观效果；而当达到一定的水流量后，又可以通过提升门叶，以从门底进行调节流量或冲沙。

4 结语

本文介绍了一种新型倒挂顶推式闸门，通过柱塞缸与倒挂缸组合的方式实现对闸门的启闭操作，这种新型闸门可以适应正常蓄水位和洪水位相差较大工况，这种新型闸门结构合理，运行稳定且安全性高，在保证运行的前提下，也可以实现降低投资成本的目的，在未来的工程中可以推广使用。

高寒地区大型液压升降坝设计问题探讨

马贵友¹，朱水生²，李强¹

(1. 辽宁省海城市水利工程建设质量安全监督站，辽宁 海城 114200；

2. 安徽池州百川液压坝科技有限公司，安徽 池州 247100)

摘 要:辽宁省海城市大型液压升降坝是目前国内已建的挡水面积最大的液压升降坝，也是在高寒地区建设的第一座液压升降坝。该坝挡水面积达 960 m²，拦蓄水量达 336.79 万 m³。解决该工程防冰害设计及汛期消能防冲问题，是工程成功与否的基础。通过参考先行建设的一座小型液压坝积累的经验，提出了该坝在防冰害设计和消能防冲方面的设计思路，并在实际运行中取得了很好的效果。相关设计方案可供其他液压升降坝设计参考。

关键词:液压升降坝；冰推力；消能防冲；高寒地区

1 工程概况

海城市大型液压升降坝工程是目前国内已建的挡水面积最大的液压升降坝，挡水面积达 960 m²，上游形成水面 97.34 万 m²，拦蓄水量达 336.79 万 m³。工程位于辽宁省南部，海城河中游的海城市境内，是海城河整治工程的重要组成部分。控制流域面积 1000km²，是已建的液压升降坝中较大的一个。工程的洪水设计标准为 20a 一遇，校核标准为 50a 一遇。外观见图 1。



图 1 海城市大型液压升降坝冬季运行情况

闸型采用液压升降坝，闸室长 10.50m，净宽 240.20m，闸顶高程 25.50m。闸底板高程 21.50m，厚 2.00m，上下游设有齿墙，齿墙深 0.80m，上底宽 1.80m，下底宽 1.00m。为了防止和减少由于地基不均匀沉降、温度变化和混凝土干缩引起的裂缝，顺水流方向设置伸缩缝，间距 12.00m。拟定液压升降坝总体宽度 240.20m，40 扇，每扇 6.0m。正常运行期门体倾斜，倾斜角度 16.6°，上游运行水位 25.50m，挡水高度 4.0m。冬季运行期倾斜角度 34°，闸顶高程 24.93m，挡水高度 3.43m。根据液压升降坝的特点，无需设置中墩，只设置边墩，边墩上顶宽 0.60m，下底宽 1.20m，边墩顶高程 26.50m，顺水流方向与底板长度相同。边墩及底板均采用钢筋混凝土结构，强度等级 C30，抗渗等级 W4，抗冻等级 F200。

根据《水闸设计规范》(SL265—2001)的要求，上游铺盖长度一般为上下游最大水位差的 3~5 倍，该工程最高运行水位 25.70m，下游最低运行水位 21.50m，取规范的下限，长度为 12.60m。铺盖最小厚度不宜小于 0.40m，本工程取 0.50m。铺盖顶高程 21.50m。上下游设有齿墙，齿墙深 0.5m，上底宽 1.00m，下底宽 0.50m，顺水流方向的永久缝缝距 12.00m。

钢筋混凝土强度等级 C25，抗渗等级 W4，抗冻等级 F200。为防止水流冲刷铺盖及闸室底板，在铺盖上游铺设 1.00m 厚长 14m 的生态网格护底。护底下铺设短纤针刺无纺布 500g/m²，始末端宽度均为 240.20m。

闸室下游与消力池连接。消力池全长 17.60m，池深 0.60m，坎高 0.50m，底板顶高程 20.40m，厚度 0.80m，消力池始末端宽度均为 240.20m，顺水流方向的永久缝缝距 12.00m。池内设 100 排水孔，排水孔间距 2500mm，梅花型布置。消力池为钢筋混凝土结构，强度等级 C25，抗渗等级 W4，抗冻等级 F200。消力池后铺设长 50.00m，1.00m 厚的生态格网海漫，顶高程 21.00m，生态格网下铺设短纤针刺无纺布 500g/m²。

为保证水闸两岸岸坡稳定，改善水闸进出口水流条件。提高泄流能力和消能防冲效果，满足侧向防渗需要，减轻闸底板边荷载影响，且有利于环境绿化等，工程上游两岸连接采用悬臂式挡土墙，墙顶高程 26.50m，墙高 5.00m，顺水流向长为 12.00m；下游亦采用悬臂式挡土墙，墙顶高程 26.50m，墙高 5.00~6.10m，顺水流向长 18.70m。上下游翼墙端部各锁入堤坡内 5.00m，其间铺设 300mm 厚的生态格网护垫，以便绿化草种的生长。挡土墙为钢筋混凝土结构，强度等级 C25，抗渗等级 W4，抗冻等级

F200。

该工程机电及金属结构主要为液压升降坝控制系统。液压系统主要由油箱、液压泵、电机、溢流阀、换向阀、管道等附件组成。该工程于 2012 年底开始设计，2014 年 4 月完成初步设计，2014 年 5 月开始施工，目前已建成投入使用。

2 工程设计

2.1 液压升降坝的特点

液压升降坝由固定于底板上的转运轴、挡水平板门、设置于门后的液压升降杆和滑动支撑杆组成。挡水平板门可作近 90°的转动。当它升起(转动到直立位置)时，起挡水作用;当转到小于 90°直到水平位置时，起泄流作用。可随泄流量的大小控制起开度(即 0°~90°)。因此，液压升降坝具有如下特点^[1-2]。

(1) 成本低。液压升降坝总体成本比同等规格的泄水闸、橡胶坝、钢坝闸低。

(2) 液压升降坝比泄水闸结构简单，它不需要闸墩，不占用河道断面，启闭方便。它比橡胶坝耐磨损，使用寿命长。

(3) 施工方便快捷。除了底板是现场浇筑外，其他部分都是工厂化制作，现场安装。

(4) 外观简洁轻灵，可以形成很好的水景观。

(5) 造价较低。维护和管理费用较低。

2.2 液压升降坝与其他坝型的方案比选

(1)与橡胶坝比较。目前全世界运用最多的活动坝是橡胶坝。但橡胶坝不仅成本高，而且安全性、可靠性较差，使用寿命短。

液压升降坝既能完全达到橡胶坝能升能降的效果，又克服了橡胶坝安全性、可靠性、耐久性较差的缺点，而且成本还大为降低，使用寿命是橡胶坝的 5 倍以上。

(2)与翻板坝比较。翻板门坝存在若干缺陷，主要有:①阻水，经不住特大洪水的冲击;②易被漂浮物卡塞或上游存在泥沙淤积，造成不能自动翻板而影响防洪安全;③河床上游漂浮物难以清理，造成河道脏乱，影响环境;④洪水过后，翻板门再关上

时，底部易被沙石卡住，造成大量漏水。液压升降坝以底部为轴，放倒后的坝面紧贴河底，不影响行洪，这是液压升降坝的最大优势。

(3)与钢坝闸比较。同样的规格下，钢坝闸的投资是液压升降坝的好几倍。液压升降坝每扇门板采用4点支撑，受力结构科学，抗洪水冲击能力强，可靠性高，可以在较高溢流时形成更壮观的瀑布。而钢坝闸仅靠两侧液压缸通过摇臂支撑，受力结构不科学，经不住较大洪水的冲击，可靠性低，只能承受较低溢流。通过以上比较，海城河拦河工程最终采用液压升降坝方案。

3 冬季防冰害及消能设施设计

3.1 冬季防冰害设计

在北方采用液压升降坝的主要问题是冬季河面结冰产生的推力，如不采取有效措施，冰推力将对面板、支撑结构及底部转动轴产生极大危害。为解决液压升降坝冬季安全运行问题，相关设计单位于2012年春季在海城市英落镇建设了一道实验性的液压坝，坝长24m，坝高2.5m。该坝采用了液压坝生产厂家提供的运行数据，即正常运行期门体倾斜角度为 16.6° ，冬季运行期门体倾斜角度为 34° 。

冬季坝址地区平均冻结冰厚度约0.5m，拦河坝主要承受冰层升温膨胀时作用于坝面的水平方向静冰压力。根据水工建设物抗冰冻设计规范(SL211—2006)规定计算得，静冰压力 P_1 约为132.5kN/m，作用点位于冰面以下 $1/3$ 冰厚处，静水压力 P_2 约为30.6kN/m。

在上游冰压力和静水压力作用下，由于面板和杆件交接处几何形态发生突变，导致该处产生应力集中，通过采用钢构件加固方案，增大该处抗拉抗压强度，解决了应力集中问题。混凝土面板的其他部位抗拉抗压应力均未超过材料的强度指标。试验坝经过2个冬季的试运行，实际使用效果很好，坝面完整，无冰压破坏，故本次液压升降坝设计，采用了英落镇试验坝的相关数据，以避免冰压力对坝体的破坏。

3.2 消能设施设计

通过研究橡胶坝、翻板闸等工程的消力形式，决定该液压升降坝消力池采用综合

式消力池形式，各项技术参数如下。上游底部高程 21.50m，下游底部高程 21.00m，消力池首端宽度 240.20m，消力池末端宽度 240.20m，水流的动能校正系数 1.00，泄水建筑物下游收缩断面处流速系数 0.95，消力池出流流速系数 0.95，水跃淹没系数 1.05。

根据该工程特点，当上游水位超过坝顶 0.20m 时，形成漫流，为最高运行水位，即 25.70m，此时开启部分闸门泄流。消能防冲设施的计算是在最高运行水位时，通过调整液压升降坝的开孔数量控制过闸流量，从而得出消能防冲的计算成果。经过反复试算，最终列出如下几种工况，见表 1。

各种工况下消能防冲计算成果见表 2。

表 1 消能设施计算工况

计算工况		单宽流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	闸上水位/m	闸下水位/m
1	开启 1 孔	14.67	25.70	22.28
2	开启 5 孔	14.67	25.70	23.55
3	开启 10 孔	14.66	25.70	24.55
4	开启 12 孔	14.13	25.70	24.90
5	开启 15 孔	13.06	25.70	25.15
6	开启 20 孔	10.83	25.70	25.41
7	开启 25 孔	9.20	25.70	25.52
8	开启 30 孔	7.69	25.70	25.59
9	开启 35 孔	6.82	25.70	25.62
10	开启 40 孔	6.11	25.70	25.64

表 2 消能防冲计算成果

计算工况	过闸单宽流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	下游水深 /m	收缩水深 /m	跃后水深 /m	池深 /m	坎高 /m	池长 /m	底板厚度 /m	消力池末端单宽流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	海漫长度 /m
1	14.67	1.28	1.71	4.28	0.59	0.50	12.48	0.78	8.00	46.16
2	14.67	2.55	1.75	4.29	0.57	0.50	12.43	0.70	11.00	48.20
3	14.66	3.55	1.81	4.10	0.21	0.50	11.09	0.59	12.56	44.05
4	14.13	3.90	1.80	3.94	0.00	0.50	10.32	0.56	12.57	41.99
5	13.06	4.15	1.65	3.84	0.00	0.50	10.59	0.53	12.41	39.98
6	10.83	4.41	1.34	3.61	0.00	0.50	10.98	0.36	9.99	27.84
7	9.20	4.52	1.12	3.41	0.00	0.50	11.07	0.29	8.63	22.96
8	7.69	4.59	0.92	3.19	0.00	0.50	10.97	0.24	7.28	18.65
9	6.82	4.62	0.81	3.05	0.00	0.50	10.81	0.21	6.51	16.28
10	6.11	4.64	0.72	2.92	0.00	0.50	10.62	0.18	5.86	14.38

由以上计算成果可以看出，开启 1 孔闸门放水时，所需消力池池深、池长最大，开启 2 孔时，所需海漫长度最大，基本符合工程实际运行状况。因此确定该工程消力池深度 0.60m，坎高 0.50m，池身长 12.50m，护坦厚度 0.80m，海漫长度 50.00m。

4 结 语

辽宁海城市大型液压升降坝工程于 2014 年 7 月建成试运行，经过汛期泄洪消能、冬季拦水作业考验，总体情况良好，达到了工程设计使用要求，说明设计对冬季防冰害及消能防冲的处理措施是正确的。相关设计经验、实例为拦河坝建设提供了新的思路。

参考文献：

- [1]饶和平,朱水生,唐湘茜. 液压升降坝与传统活动坝比较研究[J]. 水利水电快报, 2015, (12).
 [2]季昌化,朱水生,郑毅. 中小河流闸坝新选择——液压升降坝[J]. 水利水电快报, 2015, (12).

多支铰、大跨度底横轴驱动翻板闸门的设计研究

徐 平

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

(xp@sidri.com)

摘要: 底横轴翻板闸门具有结构简单、启闭时间短、景观效果佳, 使用寿命长等特点而应用愈来愈广, 但为保证其正常、安全、可靠地运行, 设计、制造过程中仍有许多应值得加以注重的地方, 如支铰的设置、底横轴的加工、门叶与底横轴的连接、底横轴的穿墙、水封的设置等等, 尤其是对多支铰、大跨度的翻板闸门, 显得尤为重要。

关键词: 多支铰, 大跨度, 底横轴驱动, 翻板闸门

1. 前言

近年来, 水利工程建设的发展, 已经是不仅仅对防洪、除涝、灌溉、发电等基本功能的满足, 还衍生出景观、水文化的要求, 而且愈来愈为重视。为追求景观效果, 设置的孔口宽度也越来越宽, 甚至要求一跨过河。根据相关资料, 目前, 国内最宽的一跨过河的水闸是苏州河与黄浦江交汇处的苏州河口闸, 单跨宽度 105m, 但其采用一跨过河的设计方案是和其所处的位置以及施工条件密不可分的。苏州河, 是上海市区的母亲河, 上游与江苏接壤, 连接着市区众多的内河支汊, 如同整个城市的血管, 其每天需利用黄浦江涨潮、退潮, 通过对已建水利设施的联合调度运行, 对内河支汊内的水体进行逐步置换, 以实现内河河清、水流的自然景观。一旦断流, 整个内河支汊将成为死河、断头汊, 直接影响到市区的正常生活, 因此, 只能采取将包括两侧启闭机机房及底板在内的所有构件在工厂预制, 浮运至现场, 与闸门等组装成整体后一次下沉就位。而其他类似工程, 均是采用开挖后施工, 先下部结构、再上部结构, 逐步完成。

大跨度的孔口, 在采用钢闸门之前, 通常采用橡胶坝, 但橡胶坝在实际运行中存在以下几个因素: 1. 运行复杂。橡胶坝内的充填物通常是压缩空气或者水体, 升坝时充入, 塌坝时排出。正常情况下, 完成一次升坝或者塌坝操作需耗时 2~3h, 时间较长, 对洪水洪峰的

快速应对性欠佳；2. 使用寿命短。根据测试资料以及工程实践，目前橡胶坝采用的材质及生产工艺，最长的使用寿命是 10~15y 就必须更换一次坝袋；3. 运行可靠性差。橡胶膜交联、刺伤、管道连接缺陷、紧固系统、施工质量等均容易导致泄漏，需要不断地充气或充水，否则造成坝袋自动下榻，引起无法蓄水而造成损失；4. 应用环境因素限制多。有冰冻、有尖刺物（漂浮的、沉底的）、有泥沙等推移质淤积的河流不适合采用橡胶坝，冰冻、尖刺物容易划伤坝袋，推移质易磨损坝袋；5. 溢流时坝顶水深不能超过 50cm，坝袋塌落后在底板上有冗余高度，影响河道行洪能力，同时易造成淤积。而所有上述问题对钢闸门而言则均不存在，其运行简单，单次开启不超过 10min，可对洪峰做出快速反应；通过维护，使用寿命长达 50y；门叶、底横轴、驱动装置刚性连接，运行可靠性高；对冰冻、推移质等不敏感，可通过调整运行模式，将不利影响降低到最低甚至忽略。

2. 组成及布置

底横轴驱动翻板闸门（相对橡胶坝，又称钢坝闸），主要由支承支铰、旋转底横轴及驱动拐臂、穿墙装置、门叶结构、水封装置、驱动装置（液压启闭机）、锁定装置、启闭机室的排水系统、通风系统以及必要的闸门下游门后侧充补气装置等组成。见图 a。

底横轴通过支铰座固定在底板上，并通过专门的穿墙装置后，底横轴从两闸墩之间的孔口范围往两端直接延伸至两侧的启闭机机房内。闸门门叶布置在两闸墩之间，通常通过螺栓固定在旋转底轴上。驱动装置（液压启闭机）布置在两侧的机房内，通过固定于底横轴两端的拐臂驱动底横轴旋转，从而带动闸门门叶的旋转，以实现闸门孔口的开启、关闭，达到立门蓄水，卧门行洪，同时还可以利用闸门门顶过水、调节水位，形成人工景观瀑布的效果。为保证翻板闸门运行的可靠性，通常在闸门全关位置设有锁定装置。

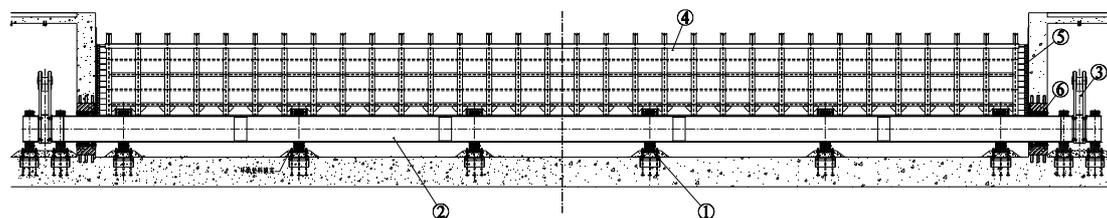


图 a 底横轴驱动翻板闸门组成示意

- ① 支铰 ② 底横轴 ③ 操作拐臂 ④ 门叶 ⑤ 水封 ⑥ 穿墙装置

根据液压启闭机、门叶设置的相对位置，液压启闭机的受力会有所不同，可分为拉力式、推力式。所谓拉力式，是指启闭机布置在闸门的上游侧，无论翻板闸门开启、关闭，液压启闭机均承受拉力；所谓推力式，则是指启闭机布置在闸门的下游侧，无论翻板闸门启门、闭

门，液压启闭机均承受压力。采用拉力式布置型式，机房沿水流方向的长度较推力式布置型式为长，但液压启闭机始终承受拉力，在受载稳定性、可靠性上较推力式布置更易保证。见图 b。

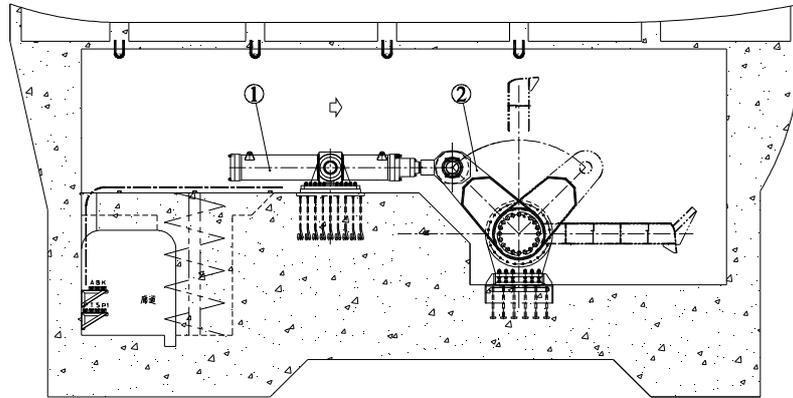


图 b 底横轴驱动翻板闸门剖面示意

① 液压启闭机（翻板闸门关闭状态） ② 操作拐臂

3. 存在的问题

支铰，作为整个翻板闸门门叶及底横轴的支承构件、传力构件，负责将整个翻板闸门承受的水压力荷载和自重直接传递至底板。支铰固定在底板上，必然受底板结构及其变形影响，主要为相邻分块之间的不均匀沉降，因此，设置稳定的、并能可靠地适应底板变形的支铰结构型式，将是底横轴及翻板闸门安全、可靠运行的首要保证。

底横轴是连接液压启闭机与翻板闸门门叶之间的中间体，也是驱动力的传导体，其设计的型式、制造的工艺、安装的方式都会对最终的翻板闸门的运行造成影响。

穿墙装置是用于隔离河道与启闭机机房，同时又不得妨碍底横轴的正常旋转运行，一旦设置不当，将直接导致河道内的水体进入启闭机机房，给工程运行、设备维护带来后续不便，严重的情况下，甚至导致机房内控制设备的损坏，直接影响设备的正常操作运行。

水封，是所有各类闸门保证蓄水而必不可少的构件，选用的型式、安装的部位将影响闸门运行和蓄水效果。

因此，支承支铰、底横轴、门叶及与底横轴的连接、穿墙、水封、锁定装置等都将直接影响工程设计的成败以及将来运行的可靠，尤其是对于大跨度孔口，其检修条件几乎不具备，或者是检修时涉及面广、影响范围大，而且在大多情况下，涉及的面、影响的范围都是负面性的，因此，在设计过程中，必须对选定方案运行后可能存在的不利因素、可能出现的问题作出预判预防，即使不能做到万无一失，但应引起设计人员的足够重视。

4. 应对措施

4.1 支铰装置

支铰，用于支承整个翻板闸门门叶及底横轴，并传递相应荷载，由设置在孔口段及两端机房内两部分组成，通常不少于4~6个。为使得底横轴穿过多个支铰座后能顺利、平稳低相对转动，安装时要求各支铰的中心水平向应位于同一轴线、垂直向应位于同一高程。为减少底横轴转动时的运行摩阻力矩，支铰处设有支承轴套，孔口宽度小的，通常采用铸铝铁青铜材质的，为进一步降低摩阻力矩以及少维护，多采用自润滑材质。当支铰数量增多后，考虑便于制造误差、安装误差的调节，多采用自润滑关节轴承。

对于孔口尺寸不大，水工结构（包括两侧启闭机房）可采用整体底板（通常宽度不大于40 m）的，所有支铰均位于同一整体结构上，水工结构基础的变形对整个翻板闸门的运行操作无不利影响。但当孔口扩大至水工结构需进行分缝、基础又不是坐落在岩基上，各分块之间的不均匀沉降将影响安装在不同分块上的支铰之间相对位置（中心高程位置）发生变化，从而影响底横轴的旋转。严重情况下，将导致底横轴无法转动，影响整个工程的运行。因此，对于大跨度孔口，可通过以下两种方式：一是，对支铰部位的局部基础进行加强加固，避免相邻支铰之间不均匀沉降的出现，这会带来基础处理的投入；二是，调整支铰结构设计，即预先考虑即使出现基础不均匀沉降也不致于影响底横轴的旋转、影响翻板闸门的运行带来的不利影响，在支铰设计上预留能满足适应一定数值的基础沉降量的结构，沿垂直向预留0~20 mm，使得即使出现不均匀沉降导致相邻支铰安装高程变化后依然不至于影响底横轴的转动。各支铰之间的不均匀沉降，可在铰座加工时下游侧外表面的支铰中心设置铜条或不锈钢条的定位标记，当下游侧外露时，通过定期测量观测定位标志的位置即可知道沉降与否、沉降多少、沉降量是否超过设定值，为设备的安全、可靠运行提供保障。

支铰座通过锚栓固定在闸底板上，其安装、固定的型式，不仅影响后续安装的难易程度，更直接影响安装精度，而且会增加水工专业的设计复杂度、难度。最为常用的安装形式，是在底板上相应支铰安装位置预留二期孔洞，水工结构主筋遇孔洞处断开，孔洞四周加固，孔洞内预留插筋。安装时，通过搭接筋将支铰锚栓定位、加固，以满足能支承支铰座以及整个底横轴的重量，检验合格后回填二期混凝土。此方案锚栓的调整需在承受支铰及底横轴重量的情况下，完成满足底横轴的轴线、支铰中心的高度等精度要求，需边调整、边加固、边监测，存在操作空间小、耗时长、难度高、调整工作量大、搭接加固多、易反复、风险大。

现采用在底板上支铰对应位置直接预埋焊接底座，座板以下四周设劲板增强加固，根据

水工主筋的混凝土保护层厚度设置供敷设纵向、横向钢筋的长圆孔，座板背后设置锚栓，锚栓与座板采用螺纹连接（锚栓头不露出座板表面）。支铰安装时，座板上设置与支铰座螺孔配制的螺柱连接板，通过连接板的位置调节底横轴轴线，通过螺柱上设置双螺母调节支铰安装高度，满足底横轴的轴线、支铰中心的高度等精度要求后将连接板与座板焊接，铰座下填充环氧砂浆形成支承台，见图 c。此方案，所有调整工作均在底板以上即可进行，安装前在预埋座板上按底横轴轴线划线定位，安装时将螺柱连接板上与支铰座配制时预留的定位标记与划线对应即可，便捷、简单、易操作、工作量小、耗时少。通过工程实践观察，在支铰、底横轴就位后，按设置 8~10 只支铰，可在 2~3 个工作日内完成调整、固定、回填，而采取预留孔洞形式，在顺利的情况下完成同样的工作至少需 5~7 个工作日，两方案相比，预埋座板方案可大大提高工作效率。

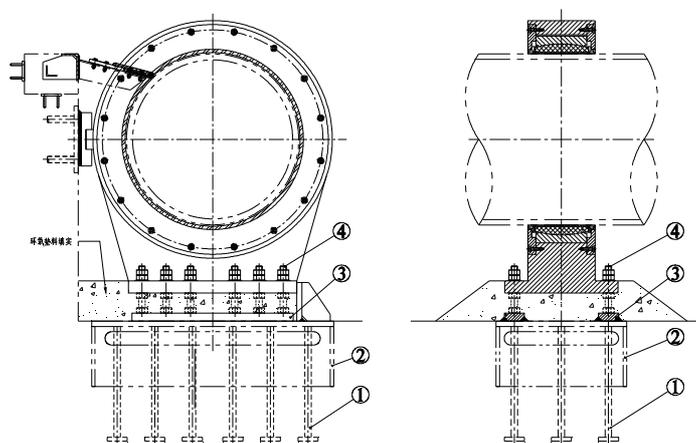


图 c 支铰示意

- ① 座板锚栓 ② 座板 ③ 螺柱连接板 ④ 螺柱组件

支铰座通常位于河道中间或者水下，其日常维护不便。为保持良好的润滑条件，保证支承轴套与底横轴之间的运行，通常安装时会在支铰座的空腔内注满润滑油脂，为防止加注的润滑油脂外泄，或外侧的污水、泥沙等进入支铰内腔，恶化支承轴套与底横轴之间的工作界面，在支铰座穿轴处应设置密封，并根据运行环境的水质，选用耐酸、碱、盐等无机溶剂以及矿物油的材质。

4.2 底横轴

底横轴，不仅是翻板闸门门叶的支承构件，也是操作翻板闸门的传力构件，受力复杂。当翻板闸门处于关闭状态或开启过程中，承受作用在闸门的水压荷载及自重所引起的扭矩和弯矩的共同作用；在操作闸门闭门的过程中，传递液压启闭机通过操作拐臂产生的扭矩，以克服作用在闸门的水压荷载及自重所引起的扭矩和弯矩。除此外，底横轴还兼作底水封的工

作座面。

底横轴，根据孔口宽度、翻板闸门挡水要求、翻板闸门操作要求计算后取用相应外径、壁厚，可据此采用成品钢管加工，也可采用钢板卷制拼接后加工。底横轴需根据制造、加工、运输、安装等要求综合考虑而进行分段，运抵现场组装后再拼接成整根底横轴。底横轴拼接成整轴时，根据各分段之间的连接方式，可分为法兰式、焊接式两种。

法兰式，顾名思义，就是底横轴各分段的端部设有连接法兰，各相邻法兰之间，根据计算要求，采用铰制孔螺栓或剪力套筒或剪力销轴连接后形成整个底横轴。底横轴应结合安装时是否需穿过支铰座的要求而分段，分成穿铰底横轴、铰间底横轴两种进行加工。铰间底横轴两端设有固定外法兰（即法兰外径大于底横轴外径）；穿铰底横轴的两端设有固定内法兰（即法兰外径不大于底横轴外径）。安装时穿铰底横轴穿过支铰座后，固定内法兰再通过铰制孔螺栓或剪力套筒或剪力销轴与活动外法兰连接，从而为与相邻铰间底横轴端部的固定外法兰的连接创造条件，直至连接成整个底横轴。

该种连接型式的底横轴，存在法兰与底横轴的焊接、焊接后法兰的加工、法兰之间（内法兰与外法兰、外法兰与外法兰）的配合加工、法兰连接铰制孔的加工、底横轴门叶连接螺孔与法兰连接孔之间的加工定位、底止水的布置、加工周期长、加工量大、安装环节多、安装耗时长、安装后的检修维护无法进行等问题，在采用时，尤其在不具备检修条件的情况下，应慎重选用。见图 d。

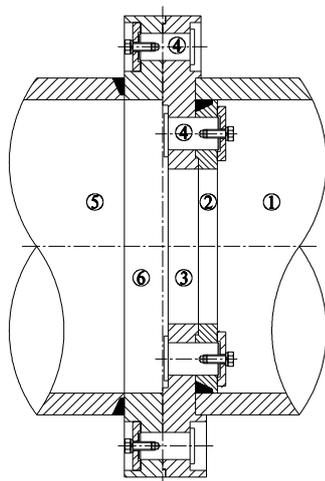


图 d 法兰式连接底横轴

① 穿铰底横轴 ② 固定内法兰 ③ 活动外法兰 ④ 剪力销轴 ⑤ 铰间底横轴 ⑥ 固定外法兰

焊接式，各分段底横轴之间在现场通过焊接而形成整个底横轴。底横轴仅需结合制造、加工、运输等要求综合考虑而尽可能少地分节，具有结构简单、分节少、安装便捷、加工周期短、加工量小、成本低、安装环节少、连接可靠、后期无需维护等优点，在越来越多的工

程中得以推广应用。为便于相邻两分节之间的端面对接，在一侧的底横轴端部可设置对接定位衬管，对接衬管的伸入长度不宜小于 300mm，且壁厚不宜小于 20mm，既满足对接定位、保证同轴度，又可充当分节处连接焊缝的衬板，确保连接焊缝的质量。底横轴外径加大后，衬管壁厚也应增大。见图 e。

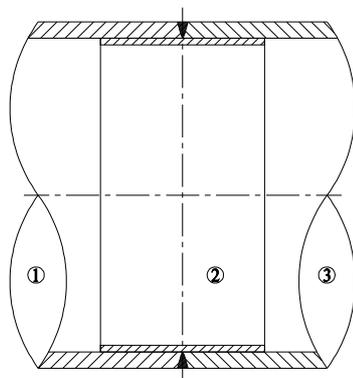


图 e 焊接式连接底横轴

① 底横轴 ② 对接衬管 ③ 底横轴

根据实际工程调查，从生产至安装，两种连接型式相比，采用焊接式较法兰式可节省约 20%的工时，工作效率大为提高。

底横轴外表面，对应底水封工作部位（局部，沿圆周约 100°范围内）及支承轴承的安装部位，应设置不锈钢板，其表面应经加工后打磨光滑，以减小底横轴旋转过程中对底水封的磨损，同时便于支承轴承的安装和减小底横轴旋转时的摩阻力矩。考虑底止水工作面的一致性，以及支铰座密封的可靠，两部位外包不锈钢板的厚度应统一，且支铰处供支承轴承的不锈钢板的宽度应兼顾门叶与支铰之间的水封宽度考虑，便于此处水封布置。外包不锈钢板的厚度，根据实际加工，建议不宜小于 5mm，否则，外包的不锈钢板与底横轴外表面之间难以贴合，影响不锈钢工作面的加工，必要时可梅花形设置塞焊孔。

为固定翻板闸门门叶，底横轴上与门叶相应连接部位配钻连接螺孔。螺孔可根据计算取用的底横轴壁厚来决定是采用盲孔，或者通孔，盲孔螺纹加工较通孔螺纹耗时，但能杜绝采用通孔时通过螺纹孔往底横轴内侧的渗水。为防止采用通孔时从闸门门叶连接底弧板与底轴连接螺孔处渗水，或者，考虑底横轴内壁的防腐蚀，通常，每段底横轴两端设置封板，使每段底横轴内部成为一个单独的密封体，与外界空气隔绝，使得即使出现渗水也不致影响翻板闸门的正常运行和使用寿命。

4.3 门叶及与底横轴的连接

底横轴驱动翻板闸门的门叶通过底部的螺栓固定在底横轴上，为悬臂受力结构，采用纵向悬臂主梁的体系，顶部设有连接横梁，底部设有与底横轴相配套的连接底弧板，主纵梁、

顶横梁、连接底弧板形成翻板闸门的主受力框架。为加强整个翻板闸门的刚度，在顶横梁与连接底弧板之间，沿高度方向设有水平次梁，所有梁系均采用等高连接。通常，面板布置于上游侧，可防止翻板闸门平卧开启后淤泥或泥沙的沉积。

连接底弧板与底横轴之间的连接螺孔应配钻。为保证底弧板与底横轴之间的密封性，防止从底弧板上游侧螺孔以及弧板与底横轴之间的渗水后从下游侧流出，可在连接底弧板中间部位（内弧顶部）预留凹槽，供门叶与底横轴组装时布置沿孔口宽度“O”型密封条，安装门叶之前并在连接底弧板与底横轴之间涂刷液体密封胶。同时，采用底弧板的内弧半径较底横轴外径略小设置，组装时底弧板的两端边与底横轴接触，与螺栓连接后形成弦结构，增强整体抗扭刚度。见图 f。

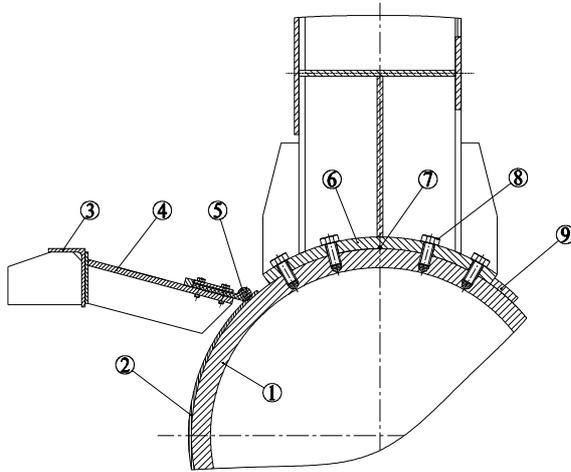


图 f 底横轴与门叶连接示意

- ① 底横轴 ② 底止水不锈钢座板 ③ 底槛 ④ 底水封支承板 ⑤ 底水封 ⑥ 底弧板 ⑦ O型圈
⑧ 连接螺栓 ⑨ 抗剪板

按运输要求分段制造的翻板闸门门叶，在现场拼接成整扇门叶时常见的有两种型式，一是每段门叶均为独立结构，与相邻门叶之间设有节间水封，通过螺栓连接相邻门叶，最终形成整扇门叶，此种连接型式门叶总体刚度小、节间水封后期需维护；二是，分段的各门叶通过焊接连接成整扇门叶，此种连接型式门叶总体刚度大、整体性好。从检修维护、运行的可靠性、设备的整体性等出发，建议采用焊接式。

对于在全关状态下需通过门顶过流形成景观瀑布的翻板闸门，门顶应设置挑流板，使得下落的水体不致于直接冲击支铰座和底横轴。同时，挑流板上还应设置剖水装置，将溢流形成的门顶水流剖开，使外界的空气能进入门后与水帘形成的空腔。根据工程的实际运行观察，门顶过流深度在 100mm 以内，若无有效的补气措施，极易引起门顶过流后在门背形成的水帘产生前后摆动，水帘前后的摆动造成水帘的破碎、复合，与门背的空腔共振后，发出异响

噪音，因此，对于长期在此工况下运行的翻板闸门，门背侧或者同面板侧一致，用钢板封闭，或者在梁格内用发泡泡沫予以填充，增加外露面的平滑性，减少空气的储存空间，减小弹性。

4.4 穿墙装置

底横轴从孔口宽度范围延伸至两端的启闭机室时，需穿过两侧闸墩侧墙（闸墙上预留孔洞），为此，应设有专门的穿墙装置，其既应能隔绝河道水体渗入两侧的机房内，又应不妨碍底横轴的正常运行（旋转）。底横轴外套装穿墙支座，通过预留的插筋，根据底横轴安装位置要求进行加固，调试完成后再采用二期混凝土回填预留孔洞的方式进行固定。

穿墙装置的位置决定了其后期检修维护的不易，为保证穿墙装置在各种运行工况下的密封性能，在设计时应予以足够的重视，在满足功能后应预留有安全备份，并根据设置位置是迎水面还是背水面、设置后可调节还是不可调节，设置多重密封。其一，迎水侧，为保持侧水封工作面的平整，并与底横轴外表面接触时保持一定量的预压，建议采用“h”型截面的密封构件，而非采用“O”型或“J”型，导致存在射水间隙。在长期的动水水流条件中，射水的存在易对“O”型或“J”型密封构件造成损坏，尤其在下游无水的情况下，缝隙射水除了影响外观外，还是常见的闸门产生振动的促发源；其二，设置遇水膨胀橡胶，并与弹性大的橡胶条配合使用，以便于遇水膨胀橡胶在吸水膨胀后一方面将底轴、穿墙支座之间的间隙封死，另一方面遇水膨胀橡胶膨胀后可挤压配合使用的橡胶条，进一步加强密封效果；其三，在“h”型和遇水膨胀组合橡胶后设置2道“T”型（截面为“Y”型）密封；其四，背水侧，沿轴向设置了填料密封，可根据需要逐步压紧止水填料，填料座底部、压盖工作端部设置为斜面，确保端盖加载后填料与底横轴、填料座工作面充分接触，形成密封。见图 g。

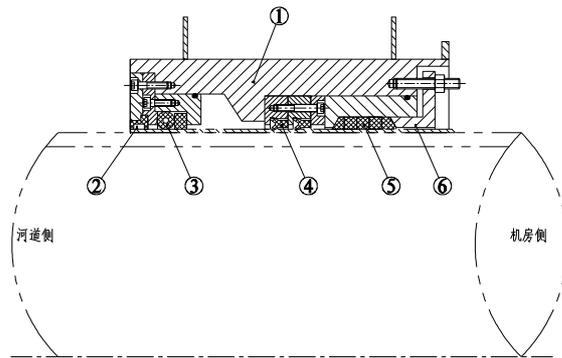


图 g 穿墙装置示意

① 穿墙支座 ② h 型密封 ③ 遇水膨胀组件 ④ T 型密封 ⑤ 填料密封 ⑥ 压盖

4.5 水封装置

为满足翻板闸门的止水要求，在底部以及两侧设有止水橡皮，共同形成 U 型的止水装置。底止水，采用 P 型，通过螺栓固定在底槛上，非支铰部位，以底横轴表面为工作座面

沿水平布置，在底横轴旋转的过程中，P型止水的圆头始终与底轴表面设置的不锈钢板保持预压状态的接触；遇支铰座后，以铰座两侧面及铰座外侧为止水工作座面，形成“Π”状结构。侧止水，可结合翻板闸门的运行要求加以选择，如果，仅是全开、全关，可采用L型+P型的组合式侧止水，配合全关位置在侧墙上设置圆弧形不锈钢侧止水座面，L型止水布置于上游侧，P型止水布置于下游侧，全关位置时L型、P型侧止水均处于预压状态，开启过程中，侧止水与侧墙无接触，不会造成侧止水的磨损，可延长其使用寿命。见图h。

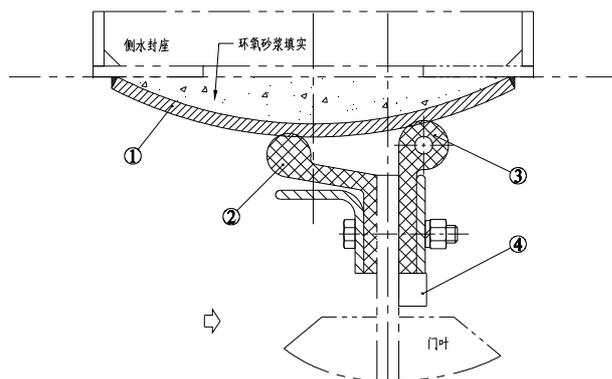


图 h L+P 型水封示意

- ① 弧形不锈钢座板 ② L型水封 ③ P型水封 ④ 水封限位板

如果，从全关至全开之间有多个位置需停留并保持该状态一段时间，此时，在整个开启过程中，侧水封应与相应的止水座面保持始终接触，以免污物卡阻在侧水封与侧墙之间的间隙内，妨碍翻板闸门后续的操作，建议采用V1型+V型（双P型）组合的插拔式水封，门叶上预留燕尾型插槽，组合水封位于插杆上，可根据侧水封的磨损情况，或者侧水封是否存在漏水，便于侧水封的调整或者更换。见图i。

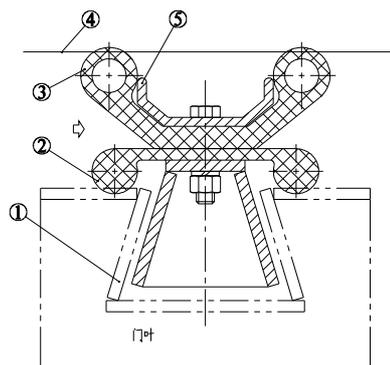


图 i V1+V 型水封示意

- ① 插槽 ② V型水封 ③ V1型水封 ④ 侧水封工作座面 ⑤ 压板兼挡板

止水装置除了上述的底水封、侧水封外，尚有门叶结构与支铰座处的水封，鉴于两者之间处于相对转动的运动状态，且长期位于水下，建议沿面板的上、下游采用P型水封各布置1道“Π”状结构，互为备用。为保证此处水封的预压状态，P型水封外侧设置限位挡板。

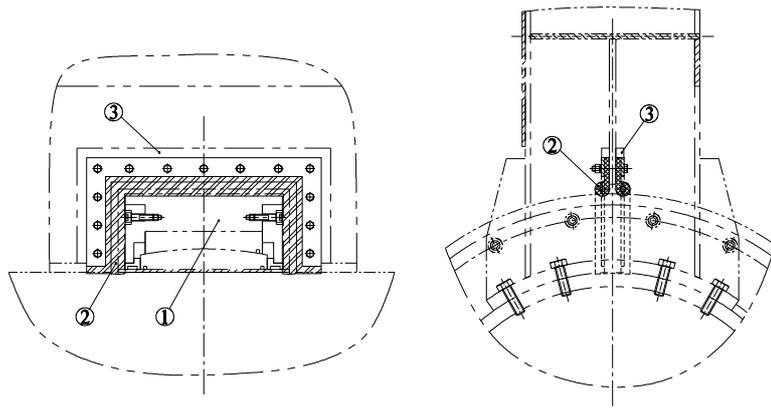


图 j 门叶支铰处水封示意

① 支铰座 ② P 型水封 ③ 挡板

4.6 锁定装置

设置锁定装置，一是可避免液压油缸长期处于承载状态，二是可不需要将水体下泄卸载即可为液压油缸的检修、维护提供便利条件。

根据锁定位置是一个或者多个，采用不同的锁定装置，但从操作安全性、可靠性、便利性来看，最为常见的为销轴式，以此衍生变化，有横梁式、插销式、卡销式等等。锁定销轴、锁定横梁、锁定插销或锁定卡销的驱动均采用小容量、小行程的液压缸。当仅为一个位置需锁定时，建议采用固定锁定座、活动耳板的耳座、耳板式，最为方便；当需多个位置需锁定时，建议采用固定锁定支架、操作拐臂相配合的型式，或根据锁定位置在锁定支架上设置多个锁定销轴、操作拐臂上设置锁定轴孔，见图 k；或操作拐臂上设置锁定卡销、锁定支架上设置多个锁定槽。插销式，在拐臂上设锁定销轴、侧墙上预留锁定孔槽，多用于小孔口跨度的翻板闸门。无论销轴式、横梁式、插销式、卡销式等何种型式的锁定，均应在锁定投入、锁定解除两状态位置设置接触开关，形成电气闭锁，防止误操作，确保设备安全。

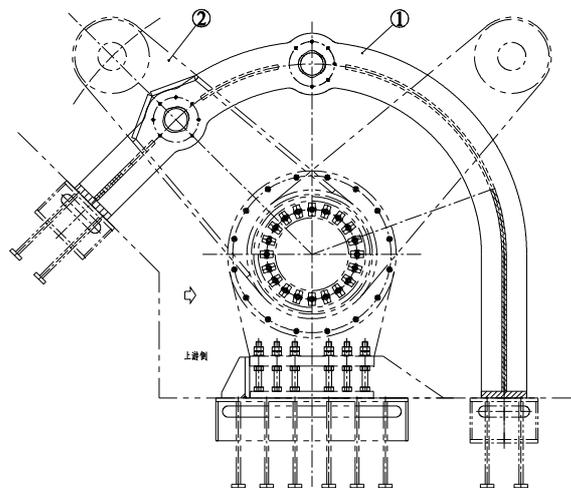


图 k 锁定示意

① 操作拐臂 ② 锁定支架

5. 排水与通风

驱动翻板闸门的液压启闭机机房均处于地面以下，且一侧临水，不可避免使得机房内存在湿度大、通风不畅、冬夏温差大，易对行程检测、接触开关等为翻板闸门安全运行提供保障的电气设备造成不利影响，尤其当液压泵站也布置在同一环境下时，涉及的电气设备将更多，因此，为保证翻板闸门的安全运行，机房顶部应设置相应的防雨防漏水措施，并配置必要的排水、通风设施，且应根据集水井内水深、或空气湿度，自动开启，排水或换气。排水口、通风口应位于可能出现的最高水位以上，防止倒灌。同时，如果控制柜直接设置在地面以下的机房内时，应在柜内考虑设置加热除湿装置。

6. 结束语

底横轴驱动翻板闸门的检修，无论孔口大小，都较其他门型繁琐、难操作，因此，在进行设计方案策划时，应充分分析可能出现的问题，并采取相应的应对措施，且操作时尽可能小地减小影响的范围。

以下是在进行底横轴驱动翻板闸门设计时的一些个人体会，限于能力、见识，不一定全面，希望能给同行在设计时提供参考借鉴，不当之处欢迎批评指正。

1 底横轴以下与底板之间应留有操作空间，为支铰及底横轴的安装、调整、固定、底横轴拼焊，底水封安装、后期检修维护等提供便利；

2. 底水封、门叶与支铰座之间的水封应设置限位挡板，以确保水封的安装位置，保证预压缩量；

3. 底横轴支铰处、底水封工作座面应进行加工，一是可保证底横轴各支铰部位的同轴度，二是保证底水封工作座面的平面度、光洁度，增加底水封止水的严密性，减少水封预压后的磨损；

4. 底横轴穿过穿墙套后与操作拐臂连接，应根据穿墙套内是否设置了底横轴的限位，在拐臂的两侧或一侧设置支铰，以避免操作过程中因无限位而引起的底横轴径向变动，从而造成穿墙套处的漏水。类似现象已在多个工程中出现，而后续处理尤为繁琐、不便；

5. 底横轴与操作拐臂之间的连接应采用铰制孔螺栓或剪力套筒或剪力销轴，而非采用简单的一焊为之；

6. 底横轴的计算，除按启门、闭门工况进行弯扭强度验算外，尚应控制其扭转刚度；

7. 随着加工制造能力的提升，在小孔口规模的翻板闸门可采用摇摆式螺杆启闭机替代液压启闭机（目前工程中应用可知的最大容量为单吊点 1600 kN），利用螺杆的自锁性能，

可满足各种位置锁定的要求。根据操作过程中螺杆是否转动，可分为前摆式、后摆式，拐臂处配十字铰式螺母、电机通过万向节驱动螺杆转动，依靠螺杆的转动带动螺母的前后移动从而驱动拐臂的前后旋转，称前摆式。螺杆通过固定销轴与拐臂连接，电机驱动螺母转动，依靠螺杆的前后移动从而驱动拐臂的旋转，称后摆式。采用前摆式时，应将启闭机布置在下游侧，使得螺杆始终处于受压；

8. 可采用焊接支铰替代铸造支铰，一可以节省工程量，二可以缩短制造生产周期，但应进行消除焊接应力的处理。支铰密封透盖由常用的整体式改成剖分式，以满足可在尽可能少地拆除其他构件的条件下对密封件进行更换。近年来在一些工程中有采用半支铰的，就是将支铰沿中心高度方向剖分，仅保留下半圆，方便了底横轴的安装，但支承轴套的工作环境不易保证，在多泥沙河道中慎重采用。