

# 锚挡复合式橡胶袋软体围堰施工技术探讨

谷恒亮<sup>1</sup> 邱尧<sup>2</sup>

1. 中化学交通建设集团第三工程有限公司 山东济南 250200

2. 中化学交通建设集团有限公司 山东济南 250102

**摘要:** 针对传统土围堰、土袋围堰需要大量的土或土袋存在土源难以解决, 拆除困难, 清除不彻底, 容易污染水源污染环境等问题, 提出了锚挡复合式橡胶袋软体围堰施工工法, 通过在橡胶外套袋内有两根防水聚乙烯管对软体橡胶袋进行注水, 形成柔性临时围堰结构, 利用锚固设备将橡胶袋软体围堰结构通过牵引绳固定, 可防止水流冲击导致围堰移位或变形。通过支挡结构提高橡胶袋软体围堰整体稳定性、防止滚动。该技术简单易行, 安装拆除方便, 价格低廉, 绿色环保, 可多次周转使用, 具有良好的社会和经济效益。

**关键词:** 橡胶袋; 软体围堰; 锚固; 支挡; 稳定性

## 引言

近年来, 随着国家基建工程增多, 很多工程施工中避免不了跨水、涉水施工, 施工过程中需要进行围堰挡水。传统的土围堰、土袋围堰需要大量的土或土袋存在土源难以解决, 拆除困难, 清除不彻底, 容易污染水源污染环境。钢板桩围堰、套筒围堰施工难度大, 需要较高的机械设备和工人技术, 施工过程中需要多次调整, 而且如果遇到复杂的地质情况, 施工难度更加大, 钢板桩施工中, 会产生较大的噪音和振动, 会给周边居民带来一定的困扰, 同时还会影响周边建筑物的稳定性。随着我国对环境保护的逐渐重视, 传统的围堰方法都或多或少对水体质量及水系周边环境造成污染。且围堰作为临时设施, 施工完成后需要拆除, 并进行原有生态修复, 投资成本高。

本文针对以上问题, 依托 G309 青兰线聊城绕城段改建工程 K17+116 南水北调干渠桥施工项目, 提出了锚挡复合式橡胶袋软体围堰施工技术, 通过在橡胶外套袋内有两根防水聚乙烯管对软体橡胶袋进行注水, 形成柔性临时围堰结构, 利用锚固设备将橡胶袋软体围堰结构通过牵引绳固定, 可防止水流冲击导致围堰移位或变形。通过支挡结构提高橡

胶袋软体围堰整体稳定性、防止滚动。该技术简单易行, 安装拆除方便, 价格低廉, 可多次周转使用, 属于绿色低碳环保施工技术, 具有良好的社会和经济效益, 可为相关工程提供借鉴。

## 1. 工程概况

G309 青兰线聊城绕城段改建工程南水北调干渠桥位于聊城市茌平区洪官屯镇回民李村西约 350m, 在渠道桩号 60+638 处平交方式跨越南水北调输水渠桥梁轴线与渠道夹角 85°, 为原桥宽 10m 桥梁的扩建工程。桥梁总长 67.58m, 孔跨布置为 3\*20m, 设 0# 桥台、1#-2# 桥墩、3# 桥台, 桥面宽 25m, 荷载等级公路 -I 级。桥梁桥台为柱式台, 桥墩采用柱式墩, 墩台采用桩基础。渠道内 1#-2# 同组桥墩轴线顺水流方向布置, 且与原桥梁同组桥墩轴线保持不变, 桥面高程 35.906m, 梁底高程 34.506m, 河底高程 28.100m, 设计水位高程 33.08, 现水位高程 31.800, 见图 1、图 2。

为了保障 G309 青兰线聊城绕城段改建工程南水北调干渠桥施工顺利进行, 施工过程中需采用围堰施工对南水北调干渠进行挡水处理。

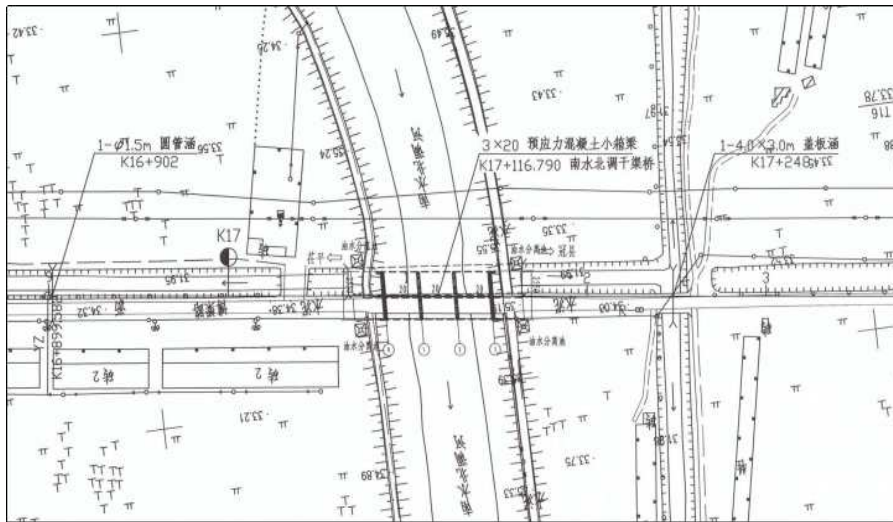


图 1 南水北调干渠桥桥位平面图



图 2 南水北调干渠现场照片

## 2. 工艺原理及流程

### 2.1 工艺原理

锚挡复合式橡胶袋软体围堰，可以快速形成围堰挡水体，就近取水作为填充料。施工前将已准备好的碎石分别进行吨包装袋，根据锚挡复合式橡胶袋围堰设计要求进行起吊摆放，橡胶袋围堰施工安装过程仅需在两岸边坡施打锚板，将橡胶袋浮运或者吊运至围堰段两侧，橡胶袋与锚板锚固后，现场将水泵入橡胶袋软体中，内部的水压即可将橡胶袋展开，橡胶袋自动下沉，见图 3。

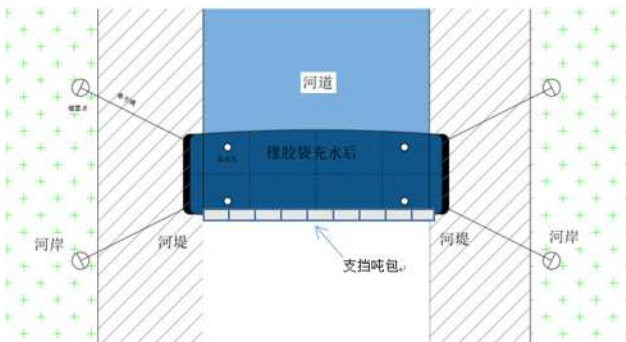


图 3 工艺原理

### 2.2 工艺流程

工艺流程见图 4。

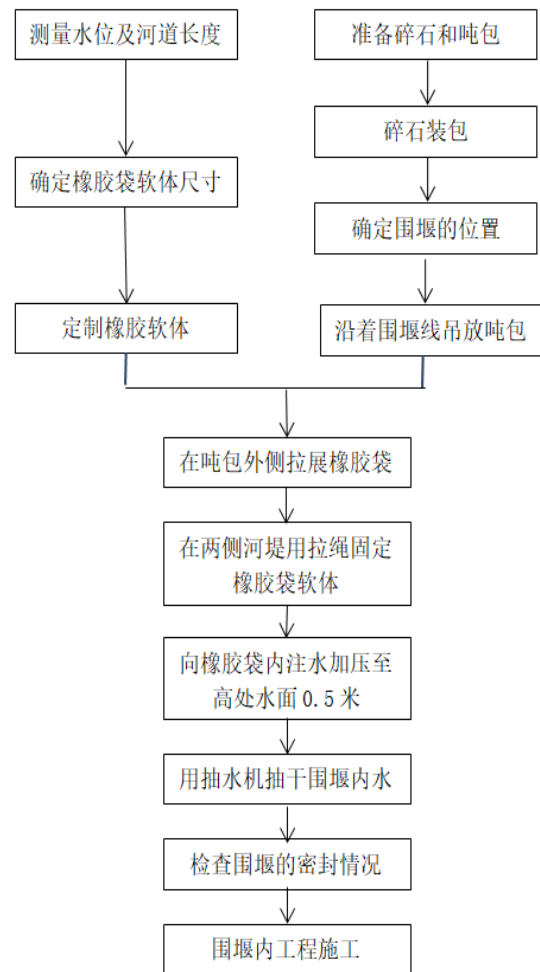


图 4 工艺流程图

### 3. 相关计算

#### 3.1 橡胶袋软体设计参数

##### 3.1.1 橡胶袋软体强度计算

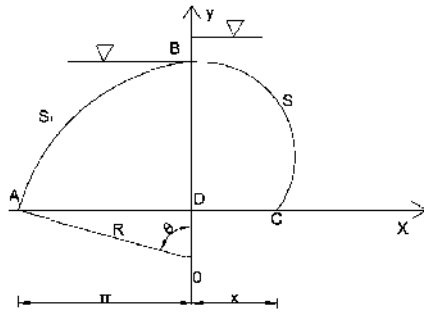


图5 橡胶袋软体示意图

$$T = \frac{1}{2} \gamma (\alpha - \frac{1}{2}) H_1^2 \quad (1)$$

式中：T—橡胶袋软体径向计算强度，KN/m；

$\gamma$ —水的容重，取 9.8kN/m<sup>3</sup>；

$H_0$ —内压水头，m；

$H_1$ —设计坝高，m；

$\alpha$ —内压比， $H_0/H_1$ ；

##### 3.1.2 橡胶袋软体有效周长、底垫片有效长度

橡胶袋软体有效周长：

$$L_0 = S_1 + S_2 \quad (2)$$

底片长度：

$$l_0 = n + X_0 \quad (3)$$

$$S_1 = R \quad (4)$$

$$\text{当 } \alpha \leq 1.5 \text{ 时, } \theta = \sin^{-1} \frac{n}{R} \quad (5)$$

$$\text{当 } \alpha \geq 1.5 \text{ 时, } \theta = \pi - \sin^{-1} \frac{n}{R} \quad (6)$$

$$S_2 = (1 - \frac{1}{2\alpha}) H_1 * F(k, \pi/2) \quad (7)$$

$$X_0 = (\alpha - 1 + \frac{1}{2\alpha}) H_1 * F(k, \frac{\pi}{2}) - \alpha H_1 * E(k, \frac{\pi}{2}) \quad (8)$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{2(\alpha-1)}} H_1 \quad (9)$$

$$R = \frac{2\alpha-1}{4(\alpha-1)} H_1 \quad (10)$$

式中  $F(k, \frac{\pi}{2})$  为第一类完全椭圆积分、 $E(k, \frac{\pi}{2})$  为

第二类完全椭圆积分。

$$E(k, \frac{\pi}{2}) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (12)$$

$$k^2 = \frac{2\alpha-1}{\alpha^2} \quad (13)$$

##### 3.1.3 橡胶袋软体单宽容积 V (m<sup>3</sup>)

$$V = \frac{1}{2} R^2 \theta - \frac{1}{2} n(R - H_1) + \alpha H_1 X_0 \quad (14)$$

##### 3.1.4 橡胶袋软体横断面曲线坐标

上游橡胶袋软体面曲线段坐标

$$X = \sqrt{2R H_1 - Y^2 - 2Y(R - H_1) - H_1^2} \quad (15)$$

下游橡胶袋软体面曲线段坐标

$$X = X_0 - (\alpha - 1 + \frac{1}{2\alpha}) H_1 * F(k, \varphi_1) + \alpha H_1 * E(k, \varphi_1) \quad (16)$$

其中  $F(k, \varphi_1)$ 、 $E(k, \varphi_1)$  分别为第一、第二类不完全椭圆积分。

$$F(k, \varphi_1) = \int_0^{\varphi_1} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi \quad (17)$$

$$E(k, \varphi_1) = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (18)$$

$$\varphi_1 = \sin^{-1} \sqrt{\frac{2\alpha \frac{y}{H_1} - y^2}{2\alpha - 1}} \quad (19)$$

#### 3.2 锚固结构计算

##### 3.2.1 螺栓承受荷载计算公式

$$Q_0 = \frac{T_0}{n} k_1 \quad (20)$$

式中： $Q_0$ —单根螺栓承受的荷载值；

$T_0$ —单位长度螺栓计算荷载，KN/m；

$n$ —1 米长度内螺栓根数；

$k_1$ —螺栓受力值的影响系数，一般取 1.75。

##### 3.2.2 螺栓直径计算公式：

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * 1.3 Q_0}{\pi [\sigma]}} \quad (21)$$

式中： $d$ —螺栓直径，cm；

$Q_0$ —单根螺栓承受的荷载值；

$[\sigma]$ —螺栓允许拉应力，N/cm<sup>2</sup>。

螺栓直径的埋置深度需根据螺栓材料的承载力设计值，由混凝土拉拔破坏试验计算确定。规范规定埋置深度不小于 25cm。根据现场实际情况，一般在螺栓底部弯钩或与基础中的预埋钢筋焊接在一起，共同承受拉拔力。

##### 3.2.3 压板计算公式

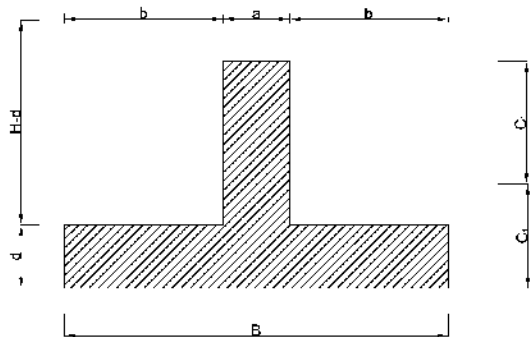


图6 压板示意图

$$C_1 = \frac{1}{2} \frac{aH_1 + bd^2}{aH + bd} \quad (22)$$

$$C_2 = H - C_1 \quad (23)$$

$$h = C_1 - d \quad (24)$$

截面惯性矩:

$$J_x = \frac{1}{3} (BC_1^3 - bh^3) \quad (25)$$

抗拉截面模量:

$$W_{拉} = \frac{J_x}{C_1} \quad (26)$$

抗压截面模量:

$$W_{压} = \frac{J_x}{C_2} \quad (27)$$

压板弯矩计算公式:

$$M = k_2 * T * l \quad (28)$$

式中: M—压板弯矩 (N·cm);

T—橡胶袋径向力 (N·cm);

l—力臂;

k<sub>2</sub>—安全系数。

压板应力计算公式:

$$J_{拉} = \frac{M}{W_{拉}} \quad (29)$$

$$J_{压} = \frac{M}{W_{压}} \quad (30)$$

压板贴角焊缝公式:

$$\tau = \frac{N}{0.7h_f * l_f} \leq [\tau_t^h] \quad (31)$$

式中: h<sub>f</sub>—贴角焊缝的厚度;

l<sub>f</sub>—计算长度;

N—轴心力;

τ—贴角焊缝应力。

压板伸缩缝计算公式:

$$\Delta l = d * l * (t_2 - t_1) \quad (32)$$

式中: t<sub>2</sub>—最高温度 (°C);

t<sub>1</sub>—最低温度 (°C);

l—计算长度 (mm)。

### 3.3 水泵选型

水泵选型一般根据橡胶袋软体储水量大小、安装及拆除围堰的时间要求等参数确定水泵选型。

$$Q = \frac{V}{nt} \quad (33)$$

式中: Q—计算的水泵所需的最小流量, m<sup>3</sup>/h;

V—橡胶袋软体的储水体积, m<sup>3</sup>;

n—所需水泵个数;

t—安装或拆除软体围堰所要求的最短时间, h。

因橡胶袋软体围堰施工高度一般都不超过5米,市场上提供的各类水泵的扬程和管径均满足围堰施工需要,在此不再验算。

### 3.4 橡胶袋软体围堰整体抗倾覆检算

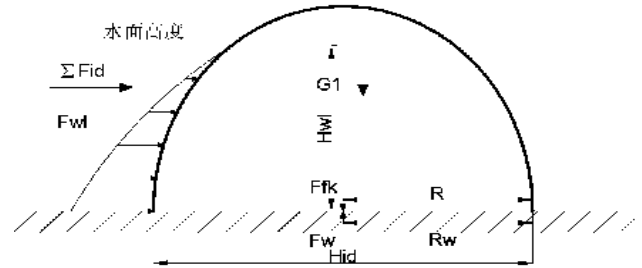


图7 锚挡复合式橡胶袋软体围堰施工工艺流程图

$$\frac{(G_1 + F_{fk}) R - F_w R_w}{F_w h_w + \sum F_d h_d} \geq K \quad (37)$$

K= 抗倾覆稳定系数, 取 1.5

G<sub>1</sub>— 自重标准值 =55m\*3m\*3m\*1 × 103kg/m<sup>3</sup>\* 9.8 N/kg=4851KN

F<sub>fk</sub>— 摩擦力合理标准值 =0.3\*55m\*3m\*3m\*1 × 103kg/m<sup>3</sup>\* 9.8 N/kg=1455.3KN

F<sub>w</sub>— 水浮力标准值 =1 × 103kg/m<sup>3</sup>\*9.8 N/kg\*55m\*3m\*2.5m=4042.5KN

R— 中心位置到背水面脚趾力矩 =1.5m

R<sub>w</sub>— 浮力合力重心到围堰背水面脚趾力矩 =1.5m

F<sub>wl</sub>— 围堰受到静水压力合力标准值 =0.5\*1 × 103kg/m<sup>3</sup>\* 9.8 N/kg\*2.5m=12.25KN

H<sub>wl</sub>— 围堰结构底端与 F<sub>wl</sub> 作用点的距离 =2.5m

Σ Fid— 动水压力 + 风荷载 + 波浪力 + 冰压力 + 系缆力等可变荷载, 在本工法中, 橡胶袋围堰仅考虑了动水压力 =2.5m/3m\*9.8kN/m<sup>3</sup>=8.2KN/m

H<sub>id</sub>— 围堰结构底端与 Fid 作用点的距离 =2.5m

由以上计算可得 66.4 ≥ K, 本工法所使用的橡胶袋软体围堰经过计算分析评估后, 所构建的抗倾覆力矩足以抵抗倾覆力矩, 稳定可靠。在实际施工过程中, 为提高安全围堰安全系数, 使用吨包加固橡胶袋软体围堰。

### 3.5 支挡吨包最优坡角

不同坡角  $\alpha$  下橡胶袋软体的临界挡水几何状态如图5-5所示, 坡角变化过程中保证支挡结构高度和锚固间距不变。由图可知, 坡角  $\alpha$  由  $\pi/6$  增大到  $\pi/3$  的过程中临界挡水水位  $H_{cr}/L$  由 0.2877 降低到 0.2865, 存在微弱降低趋势。考虑到坡角  $\alpha > \pi/6$  时对临界挡水水位影响较小和节约支挡结构材料, 选取坡角  $\alpha = \pi/3$  为最优坡角。

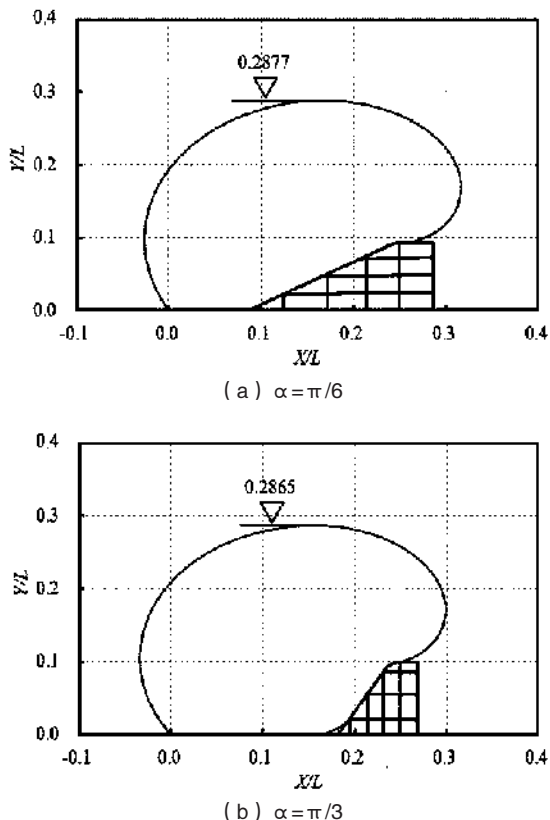


图8 不同坡角下支挡结构临界挡水几何状态

### 4. 经济性分析

传统的土围堰依靠土体自身重力保持稳定, 为防止水流冲刷围堰迎水一侧坡度稍大宜为 1:2~1:3, 背水一侧坡度在 1:2 之内, 围堰内侧边坡坡度可采用 1:1~1:1.5。土袋围堰, 堰外边坡为 1:0.5~1:1, 堰内边坡宜为 1:0.2~1:0.5。需要大量的土或土袋, 存在土源难以解决, 拆除困难, 清除不彻底, 容易污染水源, 污染环境的问题。采用橡胶软体围堰施工工艺, 施工简便取材容易, 仅需要定做橡胶软体和采用小钢管或砂包固定围堰, 施工速度快, 利于环保。土石类围堰施工和拆除都会对环境造成一定程度的污染, 施工时对道路交通和居民产生一定的影响, 拆除时也会遗留一部分在河底, 致

使行洪不畅, 橡胶软体围堰拆除后可以不留任何痕迹, 非常环保。价格低廉, 土围堰和土袋围堰总费用一般在 60 元/m<sup>3</sup>~120 元/m<sup>3</sup>, 橡胶软体围堰价格仅为土围堰和土袋围堰价格的 25%~30% 左右。

表1 经济性分析

围堰类型	传统土围堰	橡胶软体围堰
使用材料	大量的土或土袋	橡胶软体围堰和采用钢管桩或砂包固定围堰
施工工艺	施工繁琐, 工程量大	施工速度较快
环保方面	清除不彻底, 容易污染水源, 污染环境	拆除后可以不留任何痕迹, 非常环保
总费用	60 元/m <sup>3</sup> ~120 元/m <sup>3</sup>	18 元/m <sup>3</sup> ~36 元/m <sup>3</sup>
使用性质	一次性	可回收多次使用

### 5. 结论

本文提出了锚挡复合式橡胶袋软体围堰施工工法, 通过在橡胶外套管内有两根防水聚乙烯管对软体橡胶袋进行注水, 形成柔性临时围堰结构, 利用锚固设备将橡胶袋软体围堰结构通过牵引绳固定, 可防止水流冲击导致围堰移位或变形。总体来看, 具有以下优势:

5.1 取材容易。所需材料可根据实际需要到厂家定做, 一般五天之内即可加工完毕, 加固所用的吨包或钢管取材也比较容易。环保性好, 安装和拆除不会产生垃圾和污染水源, 对环境的影响小, 具有较高的环保特性。

5.2 整体稳定性高。用锚固设备将橡胶袋软体围堰结构通过牵引绳固定, 可防止水流冲击导致围堰移位或变形。通过支挡结构可提高橡胶袋软体围堰整体稳定性、防止滚动。

5.3 适用性强。材质柔韧性好、耐腐蚀, 抗撕裂, 阻燃, 为便携式现场充水拦水坝, 任何长度和规格都可以定制, 适应不同地形尺寸和工况环境可安装于任何需要对水流进行控制、围堵或者分流的地方。

5.4 经济性高。厂化加工质量可靠, 施工方便, 无需使用专门的设备和大量的人工进行铺设和拆除, 安拆方便快捷, 持久耐用, 可以反复使用, 成本很低。

### 参考文献:

[1] 王兴超. 橡胶坝积气和尾水故障分析及抽排系统设计[J]. 长江科学院院报, 2024, 41(04): 181-186+193.  
 [2] 高鑫, 郭伟. 土工管袋理论分析与设计计算[J]. 中国科学: 技术科学, 2022, 52(12): 1777-1791.  
 [3] 郝连柱, 牛文龙. 河槽村橡胶坝质量安全鉴定方法与评价[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(S2): 359-364.

[4] 刘恒光, 郝瑞霞, 何晓燕等. 考虑橡胶坝影响的水动力学模型 [J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(04): 27-32.

[5] 瑜琪, 彭清娥. 梯级橡胶坝工程应急调度方案的优化设计 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2021, 52(01): 137-145.

[6] 洪豆, 方朝阳, 吕先健. 充气橡胶坝形态研究 [J]. 水电能源科学, 2017, 35(11): 63-67.

[7] 廖芳珍, 石自堂. 橡胶坝设计与管理中几个问题的探

讨 [J]. 中国农村水利水电, 2014(12): 145-147.

[8] 郭清华, 李天科, 刘经强. 城北橡胶坝充排水系统优化设计 [J]. 中国农村水利水电, 2011(07): 81-83+87.

#### 作者简介:

谷恒亮(1976—), 男, 民族: 汉族, 籍贯: 山东省莒南县, 学历: 本科, 职称: 高级工程师, 研究方向: 高速公路施工技术。