

文章编号: 1674-2869(2016)04-0376-06

空箱挡墙在云梦大坝中的应用

郝路, 肖伟

中工武大设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430205

摘要: 将空箱挡墙技术应用在云梦大坝的改建工程中. 首先, 根据闸址区工程地质情况, 提出了地基加固处理措施. 在工程设计部分, 给出了空箱挡墙平面图、纵剖面图、地下轮廓线及典型段的分简图. 然后对空箱挡墙的稳定性进行了分析验算, 主要包括水闸渗透稳定计算和挡墙抗滑稳定及基底应力计算. 结果显示, 在基本荷载组合和特殊荷载组合两种工况下, 空箱基底应力的不均匀系数和抗滑稳定安全系数均满足设计规范的要求. 将空箱挡土墙技术应用在云梦大坝的改建中, 可以增加水闸的整体稳定性.

关键词: 空箱式挡土墙; 云梦大坝; 水闸稳定性

中图分类号: TV5

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2016.04.012

Hollowed Retaining Wall and Its Application in Project of Yunmeng Main Gate

HAO Lu, XIAO Wei

CAMCE WHU Design and Research Co. Ltd., Wuhan 430205, China

Abstract: The hollowed retaining wall technology was applied in project of Yunmeng main gate. First, the measures for strengthening the foundation were proposed according to the engineering geological conditions of the site. The diagram of plan, longitudinal section and the underground contour and typical segment diagram of hollowed retaining wall were given respectively for the engineering design. Then, the stability of hollowed retaining wall was analyzed, including seepage stability calculation of sluice gate and anti-sliding stability of retaining wall. It demonstrates that the uneven coefficient of stress of empty base and anti-slide safety coefficient can meet the design requiremen under two kinds of conditions, the basic load combination and the special load combination. We suggest that we should adpot the hollowed retaining wall technology to improve the overall stability of the sluice in Yunmeng main gate.

Keywords: hollowed retaining wall; Yunmeng main gate; stability of the sluice

1 引言

随着社会的发展和技术的不断进步, 水工建筑物对各项技术提出了更高的要求. 水闸是水利设施中的重要组成部分^[1-2], 因而, 对水闸设计方面的要求相应的提高了^[3]. 空箱挡土墙因为重力轻、地基应力分布均匀、效率高等优点成为水工建筑物最常用的方式, 被广泛应用于水闸连接和水闸设计中^[4]. 文献[5]将空箱式挡墙应用在水电站水闸连接段中, 水闸通过空箱挡墙与左岸连接起来, 正好综合性的满足了多项指标要求. 很多专家

进行过有限元实验计算, 证明有空箱挡墙比没有空箱挡墙的水闸在整体稳定性方面更加优越^[6-7]. 正是因为空箱挡墙的诸多优点, 它还被广泛应用于河堤工程、交通枢纽工程暗挖隧道以及溢洪道等工程中^[8-10]. 本文将空箱挡土墙技术应用在云梦大坝的改建中, 以增加水闸的整体稳定性, 对整个闸室的安全稳定具有重要意义.

2 工程建设背景

云梦大坝位于湖北省云梦县县河出口与府河左岸堤防交汇处, 具体位置在沙河乡境内. 云梦大

收稿日期: 2016-04-19

作者简介: 郝路, 工程师. E-mail: 361243929@qq.com

闸建于1960年,建成五十多年来,一直起着排涝灌溉任务,承雨面积110 km²,原设计最大过闸流量134 m³/s,排涝面积83.33 km²,灌溉面积106 km²,是一座Ⅲ等中型排、灌两用闸。

经安全鉴定,云梦大坝主要运用指标达不到设计标准,工程存在严重损坏,综合评定该闸为三类闸。依据水闸运行管理的相关规程规定,三类水闸必须进行更新改造后,才能保证水闸安全运行。根据该项目初步设计报告审查意见,云梦大坝除险加固方案为拆除重建闸室上部结构,加固闸底板和闸墩,拆除重建空箱挡墙等。

3 闸址区工程地质及地基加固处理措施

闸址区揭露地层有填土、第四系全新统冲积物和白垩系砂砾岩全风化残积物,由上至下依次为素填土层(Q^m)、淤泥质粉质黏土层(Q₄^l)、粉质黏土层(Q₄^{al})、粉土层(Q₄^{al})、粉质黏土层(Q₄^{al})等。各土层承载力和力学性质指标如表1所示。云梦大坝所处地的工程地质剖面图如图1所示。

表1 各土层承载力、压缩模量综合成果表
Tab. 1 Comprehensive results of bearing capacity and compression modulus of each soil layer

number	formation name	osmotic coefficient/ (cm/s)	cohesive strength C _i /kPa	internal friction angle φ _i / (°)	ground bearing capacity f _{ak} /kPa	modulus of compression Es ₍₁₋₂₎ /MPa
1	plain filling soil	5.5×10 ⁻⁵	20	10.8	90	4.0
2	mucky silty clay	4.5×10 ⁻⁵	13	7.3	65	3.5
3	silty Clay	5.0×10 ⁻⁶	16	17	130	6.0
4	silts	7.5×10 ⁻⁵	0	30	110	7.0
5	stratum	6.5×10 ⁻⁵	38	14.4	95	4.5

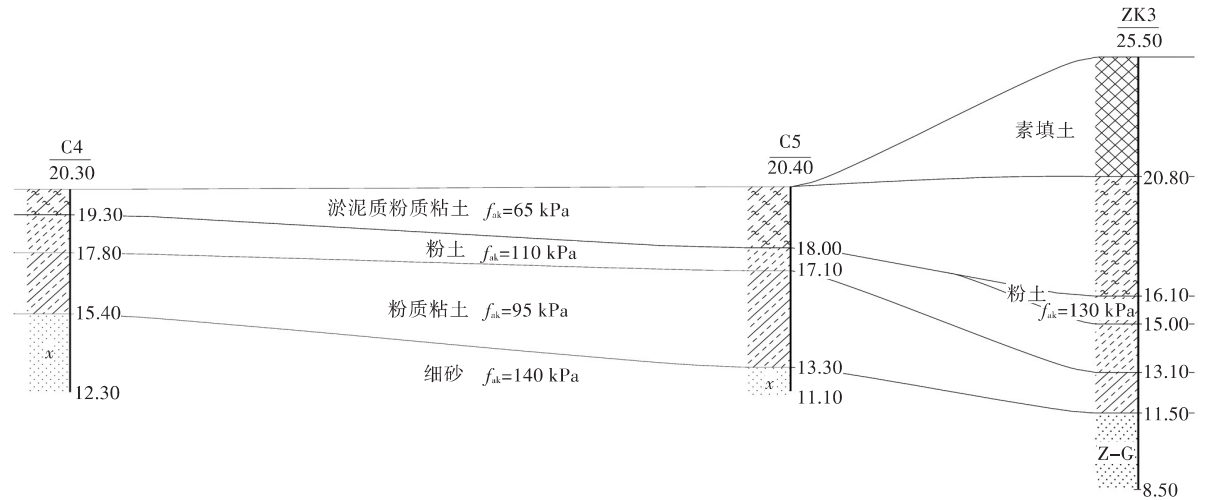


图1 工程地质剖面图(单位:m)
Fig. 1 Profiles of engineering geology (unit:m)

根据地勘补充地质钻孔资料,闸室左侧空箱式挡墙部分建基面为较深厚的淤泥质粉质黏土层,施打松木桩加固地基,右岸空箱挡墙建基面则进行基础换填,处理后地基承载力特征值f_{ak}=130 kPa。

4 空箱挡墙设计

云梦水闸闸室两侧新建空箱挡墙对称布置,

空箱挡墙顺水流方向长9.10 m,垂直水流方向宽16.4 m,底板呈阶梯型与闸室、堤防填土相接,墙高9.90 m~13.10 m。挡墙底板厚0.8 m,与闸室相邻边墙厚0.5 m,其余三面边墙厚0.6 m,纵横隔墙厚度均为0.4 m,共8孔箱格,其中1孔箱格填满开挖土料,利用空箱内填土、水重维持稳定。图2是空箱挡墙平面图,图3是空箱挡墙纵剖面图。

纵横向隔墙设置Φ75PVC通气孔、排水孔,主要用于调节空箱内气压,使空箱内水位与河道水

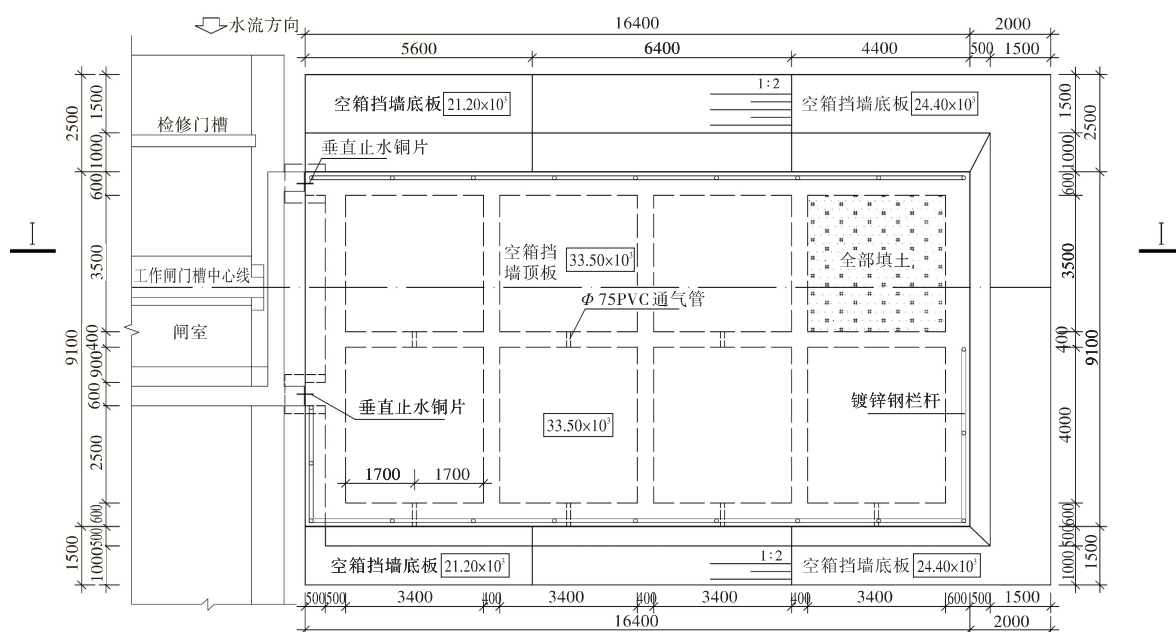


图2 空箱挡墙平面图(单位:mm)

Fig. 2 Plan of hollow retaining wall(unit:mm)

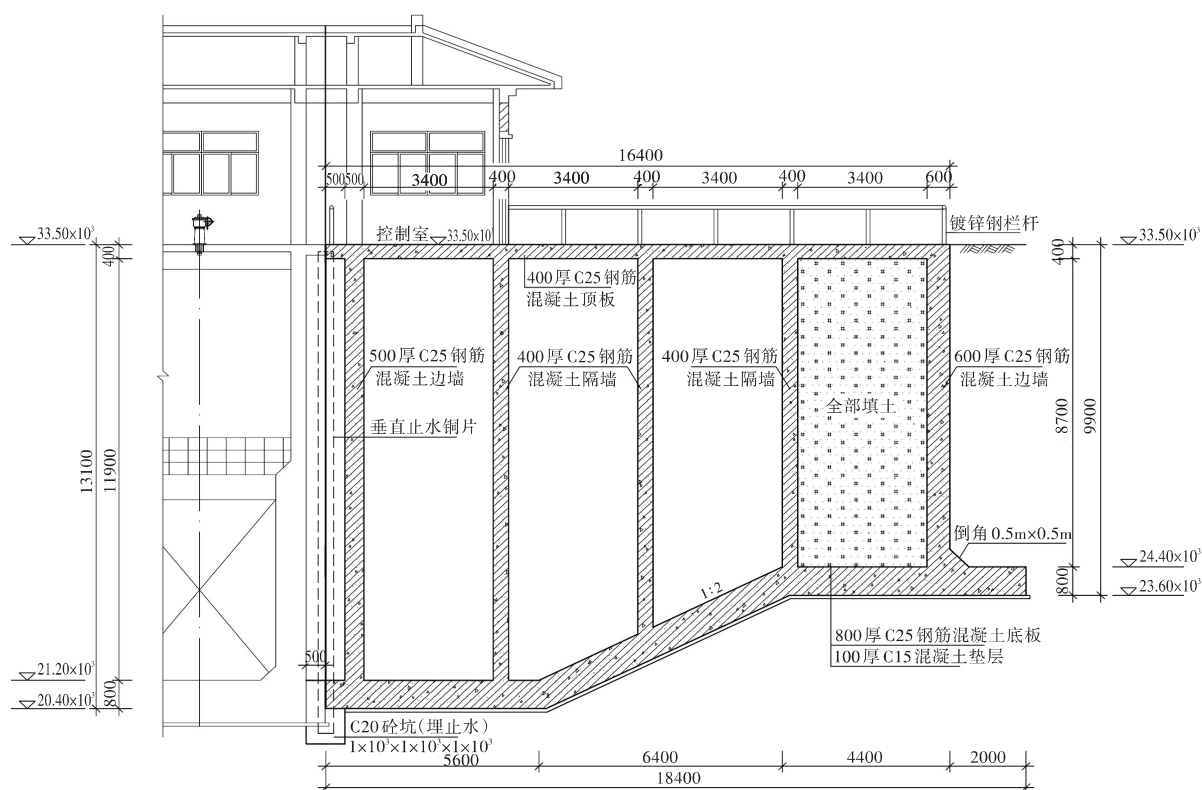


图3 空箱挡墙纵剖面图(单位:mm)

Fig. 3 Longitudinal section diagram of hollow retaining wall (unit:mm)

位保持一致,以免因为河道水位的变化而引起空箱内外水位出现落差,影响结构稳定.

5 空箱挡墙稳定性验算分析

空箱地下轮廓线及典型段划分简图如图4所示.

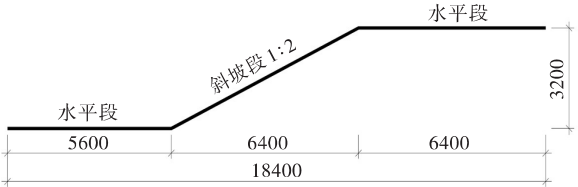


图4 空箱地下轮廓线及典型段划分简图(单位:mm)
Fig. 4 Diagram of underground contour and typical segment of hollowed case(unit:mm)

根据《水闸设计规范》(SL265—2001)、《水工挡土墙设计规范》(SL379—2007)、《水工混凝土结构设计规范》(SL191—2008)、《水工建筑物荷载设计规范》(DL5077—1997)和《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011)分别进行渗流计算和稳定计算.

5.1 渗流计算

根据规范,土基上空箱挡墙的渗流计算采用改进阻力系数法,共分3段,包括竖直段、空箱水平段、土层水平段. 计算过程如下:

地基有效深度计算公式为:

$$\begin{cases} T_e = 0.5L \ (L_0/S_0 \geq 5) \\ T_e = 5L/(1.6L_0/S_0 + 2) \ (L_0/S_0 < 5) \end{cases}, \quad (1)$$

式(1)中: T_e 为土基上空箱挡墙地基有效深度, m; L_0 为地下轮廓的水平投影长度, m; S_0 为地下轮廓的垂直投影长度, m. 当计算的 T_e 值大于地基实际深度时, T_e 值应按地基实际深度采用.

分段阻力系数计算公式为:

1) 进出口段的阻力系数:

$$\varepsilon_0 = 1.5(S/T)^{1.5} + 0.441, \quad (2)$$

式(2)中: S 为板桩或齿墙的入土深度, m; T 为地基透水层深度, m.

2) 内部垂直段阻力系数:

$$\varepsilon_v = \frac{2}{\pi} \ln \operatorname{ctg} \left[\frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{S}{T} \right) \right].$$

3) 水平段阻力系数:

$$\varepsilon_x = \frac{L_x - 0.7(S_1 + S_2)}{T}, \quad (3)$$

式(3)中: L_x 为水平段长度, m; S_1 、 S_2 为进出口段板桩或齿墙的入土深度, m.

4) 各段水头损失计算公式:

$$h_i = \varepsilon_i \Delta H / \sum \varepsilon_i, \quad (4)$$

式(4)中: h_i 为各分段水头损失值, m; ε_i 为各分段的阻力系数.

5) 进、出口段修正后的水头损失值:

$$\begin{cases} h'_0 = \beta' h_0 \\ h_0 = \sum_{i=1}^n h_i \\ \beta' = 1.21 - \frac{1}{[12(T'/T) + 2] + (S'/T + 0.059)} \end{cases}, \quad (5)$$

式(5)中: h'_0 为进、出口段修正后的水头损失值, m; h_0 为进、出口段水头损失值, m; β' 为阻力修正系数, 当 $\beta' \geq 1.0$ 时, 取 $\beta' = 1.0$; S' 为底板埋深与板桩入土深度之和, m; T' 为板桩另一侧地基透水层深度, m.

6) 出口段渗流坡降值计算公式: $J = h'_0/S'$.

计算中考虑闸室段防渗的最不利工况, 即防洪外水位 31.83 m, 内河最低水位 24.20 m, 上、下游水头差 $\Delta H = 7.63$ m. 空箱底基础为粉质黏土, 允许渗透坡降 0.60. 水闸渗透稳定计算结果见表 2.

根据表 2 显示的计算成果, 空箱水平段渗流坡降最大值 $0.355 < 0.6$, 满足安全要求.

表2 水闸渗透稳定计算成果表
Tab. 2 Calculation results of seepage stability of sluice gate

category	horizontal segment 1	slope segment	horizontal segment 2
ratio of horizontal projection length and vertical projection length of underground profile L_0/S_0 /m		18.4/3.2	
depth of foundation T /m		10.28	
resistance coefficient of each segment ξ_i	0.805	1.736	1.777
resistance correction factor β'	/	/	/
reduced water head loss ΔH_m /m		7.63	
water head loss value of each segment h /m	1.42	3.07	3.14
seepage gradient of the exist section J	0.355	0.281	0.281

5.2 稳定计算

根据《水工挡土墙设计规范》(SL379—2007),空箱挡墙基底应力计算公式为:

$$P_{\max/\min} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W}, \quad (6)$$

式(6)中: $P_{\max/\min}$ 为挡墙基底应力的最大或最小值, kPa; $\sum G$ 为作用在挡墙上全部垂直于水平面的荷载, kN; A 为挡墙基底面的面积, m^2 ; $\sum M$ 为作用在挡墙上全部竖向荷载对于水平面平行于前墙墙面方向形心轴的力矩之和, $\text{kN} \cdot \text{m}$; W 为挡墙基底面对于基底面平行前墙墙面方向形心轴的截面矩, m^3 .

土基上挡土墙沿基底面的抗滑稳定安全系数:

$$K_c = \frac{f \sum G}{\sum H}, \quad (7)$$

式(7)中: f 为挡土墙基底面与地基间摩擦系数, 粉质黏土地基, f 取值 0.3; $\sum H$ 为作用在挡土墙上全部平行于基底面的荷载, kN.

根据规范, 并结合挡墙实际运行情况, 挡墙抗滑稳定及基底应力计算情况如表 3 所示.

表 3 的计算结果表明, 基本荷载组合工况下, 空箱基底应力的不均匀系数最大值为 $1.45 < 1.5$, 抗滑稳定安全系数最小值为 $3.71 > 1.25$; 特殊荷载组合工况下, 空箱基底应力的不均匀系数为 $1.13 < 2.00$, 抗滑稳定安全系数最小值为 $2.67 > 1.10$, 均满足规范要求.

表 3 挡墙稳定计算水位

Tab.3 Calculation results of water level of stable retaining wall

calculation condition	water level/m		$\sum G / \text{kN}$	$\sum H / \text{kN}$	$\sum M / \text{kN} \cdot \text{m}$	K_c	P_{\max} / kPa	P_{\min} / kPa	η
	inland river	outside river							
construction finish	water-free	water-free	33 934.81	2 286.21	14 556.60	3.71	168.44	113.13	1.45
design water retaining	24.20	30.72	22 684.14	662.89	2 804.31	8.56	99.44	88.78	1.12
check water retaining	24.20	31.83	21 785.42	2 041.47	2 831.38	2.67	95.76	85.00	1.13

6 结 语

本文将空箱挡土墙技术应用在云梦大闸的改建工程中, 对整个闸室的安全稳定具有重要意义. 空箱挡土墙作为水闸闸室与两岸堤防的过渡段, 可以降低作用在闸室边墩的边荷载, 从而减小边墩应力, 更进一步减小闸墩变形而引起的闸门开启困难, 以及闸室不均匀沉降等一系列类似问题; 从另一个角度来看, 闸室底板内力和地基应力的降低, 在设计中进一步减小底板及边墩的厚度, 使得地基应力变得均匀一致.

参考文献:

- [1] 黄志伟. 水闸的维护与管理[J]. 科技创新与应用, 2016(11): 215.
HUANG Z W. Maintenance and management of water gate[J]. Hydraulic science and technology, 2016(11): 215.
- [2] 金京权. 水闸工程的安全综合评价系统研究[J]. 建筑知识, 2016, 36(2): 200.
JIN J Q. Study on safety comprehensive evaluation system of Sluice Project[J]. Architectural knowledge, 2016, 36(2): 200.

- [3] 李贤亮. 探讨水闸设计要点及方法[J]. 四川建材, 2015, 41(6): 164, 166.
LI X L. Discussion on design key points and methods of sluice [J]. Sichuan building materials, 2015, 41 (6) : 164, 166.
- [4] 袁俊年, 陈花. 空箱挡土墙在水工建筑物中的运用[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(36): 645.
YUAN J N, CHEN H. Hollowed retaining wall and its applications in hydraulic structure [J]. Architectural engineering technology and design, 2014(36): 645.
- [5] 王跃武, 陈乃仲, 王云峰. 空箱式挡土墙在七和水电站水闸连接段的应用[J]. 广东水利水电, 2002(2): 68-69.
WANG Y W, CHEN N Z, WANG Y F. Hollowed retaining wall and its applications in the connection section of qihe hydropower station gate [J]. Guangdong water resource and hydropower, 2002(2): 68-69.
- [6] 徐旭松, 朱忠龙, 吕国华, 等. 浅谈空箱挡土墙在水闸设计中的应用[J]. 大科技, 2014(6): 143-144.
XU X S, ZHU Z L, LYU G H, et al. Discussion on the application of retaining wall in the design of hydropower gate[J]. Super science, 2014(6): 143-144.
- [7] 苏超, 牛先玄, 尹晓明. 水闸改造工程有限元计算方法研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(10): 98-100, 110.

- SU C, NIU X X, YIN X M. Study on finite element method for sluice renovation project [J]. Water resources and hydropower engineering, 2015, 46 (10) : 98-100, 110.
- [8] 王槐楠,曾其东. 沉井基础浆砌石扶壁式(空箱)挡墙在河堤工程中的应用[J]. 土工基础, 1998, 12(4): 51-54.
- WANG H N, ZENG Q D. Hollowed masonry buttressed retaining wall on caisson used in levee bank protection [J]. Soil engineering and foundation, 1998, 12 (4) : 51-54.
- [9] 张学富,罗智,丁燕平,等. 隧道穿越空箱挡墙桩基础的施工方案研究[J]. 重庆建筑, 2010, 9(9): 33-37.
- ZHANG X F, LUO Z, DING Y P, et al. The study of construction plans for tunneling through the pile foundation of a box retaining wall [J]. Chongqing architecture, 2010, 9(9): 33-37.
- [10] 李志乾,陈攀. 空箱扶壁挡墙在巴家咀水库溢洪道工程中的应用[J]. 珠江水运, 2014(21): 58-59.
- LI Z Q, CHEN P. Container buttress wall and its applications in Bajiazui reservoir spillway [J]. Pearl river water transport, 2014(21): 58-59.

本文编辑: 龚晓宁



(上接第375页)

- [8] 张磊,乔登攀,程纬华,等. 金川粗骨料级配与强度分析[J]. 矿冶, 2012, 21(2): 12-15.
- ZHANG L, QIAO D P, CHENG W H, et al. Analysis on gradation and intensity of coarse aggregate of JNMC [J]. Mining and metallurgy, 2012, 21(2): 12-15.
- [9] 姚维信. 矿山粗骨料高浓度充填理论研究与应用 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011: 9-17.
- [10] 苑雪超,乔登攀. 金川二矿废石胶结充填料浆搅拌方式的研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62 (4): 6-10.
- YUAN X C, QIAO D P. Analysis of waste rock-cemented filling stirring system in the second mine of Jinchuan [J]. Nonferrous metals (Mining section), 2010, 62 (4): 6-10.
- [11] 王晓宇,乔登攀. 废石全尾砂高浓度充填料浆管输阻力影响因素分析[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62(4): 61-65.
- WANG X Y, QIAO D P. Analysis of the influence of waste rock-full tailings high concentration filling on the resistance of slurry pipeline transport [J]. Nonferrous metals (Mining section), 2010, 62(4): 61-65.
- [12] 张秀勇. 金川二矿区废石-全尾砂高浓度料浆泵压管输充填系统研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010: 28-38.

本文编辑: 龚晓宁