

斜趾板帷幕灌浆钻孔台车设计研究

邵伟, 杨洋, 张强

(四川足木足河流域水电开发有限公司, 四川成都 610041)

摘要:混凝土面板堆石坝帷幕灌浆一般与趾板和面板一起构成挡水建筑物的防渗体系,巴拉水电站混凝土面板堆石坝位于高海拔、高寒地区,受气候条件影响和建设工期限制,必须在当年 5~10 月完成斜趾板帷幕灌浆。本文从帷幕灌浆钻孔的角度出发,通过理论计算提出了帷幕灌浆钻孔台车的设计方案,使帷幕灌浆钻孔在确保安全和质量的前提下能够快速、高效、低耗地施工,可供类似项目参考。

关键词:斜趾板;帷幕灌浆;钻孔台车;技术参数

中图分类号:TV223.4+3;U445.55+2;[TD41] **文献标志码:** A **文章编号:**1001-2184(2023)05-0090-06

Design and Research of a Drilling Jumbo for Inclined Plinth Curtain Grouting

SHAO Wei, YANG Yang, ZHANG Qiang

(Sichuan Zumuzu River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610041)

Abstract: The curtain grouting of concrete faced rockfill dams, along with plinth and concrete face, generally forms the anti-seepage system of water retaining structures. The concrete faced rockfill dam of Bala Hydro-power Project is located in a high altitude and cold area, and due to climatic conditions and construction period limits, the curtain grouting of inclined plinth must be completed from May to October of that year. From the perspective of accelerating curtain grouting drilling, this article proposes a design scheme for curtain grouting drilling jumbo through theoretical calculation. The construction of curtain grouting drilling is carried out quickly, efficiently, and with low consumption when the safety and quality are ensured. The practice can provide reference for similar projects.

Key words: Drilling plinth; Curtain grouting; Drilling jumbo; Technical parameters

1 概述

巴拉水电站挡水建筑物为混凝土面板堆石坝,坝高 140.00 m,坝顶宽 10.0 m,长 286.5 m,其防渗体系由混凝土面板、趾板和帷幕灌浆构成。坝址区域地层岩性为花岗岩,根据前期勘探孔揭示出来的地质条件推测,趾板附近河床岩体在基岩面以下 36.0~70.0 m 内岩体透水率一般为 3~5 Lu;左岸岩体在 100.0~120.0 m 内岩体透水率一般为 3~10 Lu;右岸与左岸基本相同,大于 10 Lu 的中等透水带底界埋深一般为 100.0~105.0 m。坝基岩体小于 3 Lu 的相对隔水层埋深较大,河床基岩面以下一般为 70.0~80.0 m,左岸一般达 115.0~120.0 m,右岸为 120.0~125.0 m。根据设计要求,帷幕灌浆质量合格标

准为 ≤ 3 Lu,采用双排帷幕,主副帷幕排距 2.0 m,主、副帷幕孔间距 2.0 m,分 I、II、III 三序孔施灌,斜趾板段帷幕灌浆孔深最深达 141.0 m。斜趾板段帷幕灌浆分三序施灌,孔深较大,段次较多,工程量大。为满足斜趾板帷幕灌浆施工工期要求,避免钻机在频繁移动工况下带来的安全风险,确保帷幕灌浆孔钻孔质量,提出了斜趾板帷幕灌浆钻孔台车的设计方案^[1-2]。

2 技术参数拟定

帷幕灌浆钻孔钻机采用 XY-2B 地质钻机,钻孔台车的设计,拟定了钻孔台车、行走和提升系统和荷载等技术参数。

2.1 钻孔台车的制作

钻孔台车采用[14、[16 a 槽钢焊接制作,左岸斜趾板台车最大高度 1.7 m、宽 3.75 m、长 3.0

收稿日期:2023-08-21

m,呈三角形;右岸斜趾板台车最大高度2.0 m、宽3.75 m、长3.0 m,呈三角形,下部置于轨道上,平台顶面根据不同坡比采用垫片将钻机调整呈水平状态。平台顶面操作平台采用满铺5 cm厚木马道板。平台所有临空面设置安全护栏和挡脚板,护栏高1.2 m,并挂密目网封闭,挡脚板高20 cm。设置爬梯,便于人员上下,梯步采用架管和角钢加工制作。

台车底部置于轨道上,安装3组定制滚轮,必要时可在滚轮两侧安装钢板,防止台车脱轨。台车运行到位后,采用“双保险”(锁定卡、 $\Phi 22$ mm 保险副绳)对台车进行锁定, $\Phi 22$ mm 保险副绳固

定于专用地锚上($3\phi 25$ 圆钢,锚入混凝土(基岩)内1.0 m、外露0.2 m),台车锁定时须将副绳绷直,确保副绳处于受力状态。

2.2 行走及提升系统

台车行走轨道采用24 kg/m 钢轨,间距1.75 m。轨道大面紧贴趾板混凝土,局部变坡比部位可适当加高。趾板转弯部位轨道设置成弧形,便于台车行走。按每2.0 m 设置 $\phi 25$ 锚筋将轨道固定(交错布置),锚筋入混凝土30 cm,外露10 cm,外露端与轨道焊接固定。钻孔台车示意图见图1。

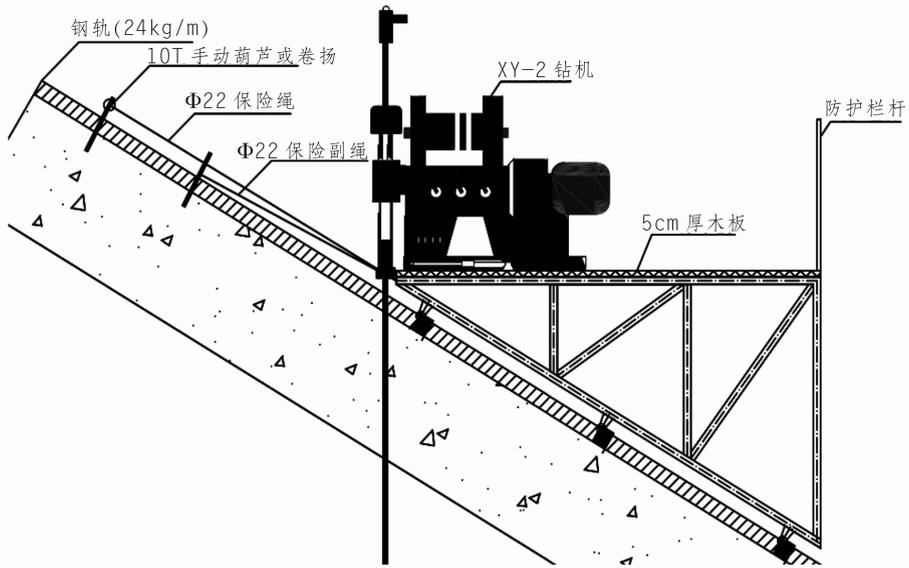


图1 钻孔台车示意图

牵引系统采用10 t 电动葫芦牵引。每个钻孔台车牵引及设置2个锁定锚固点(牵引及锁定主绳、保险副绳各一个)。锚点直接利用固结灌浆孔或重新钻孔安装锚筋,锚筋采用 $3\phi 25$ 圆钢($L=1.2$ m,入混凝土(岩)1.0 m,外露20 cm),注0.5:1 水泥浆,且注浆饱满。外露端头焊接短钢筋成十字架,防止钢绳或葫芦挂钩滑脱。

3 设计计算

本次计算选择不利工况^[3-4],即右岸斜趾板最陡峭处(坡度1:1.438)进行计算。

3.1 提升系统受力计算

钻孔台车提升系统受力计算分别计算荷载、钢丝绳破断拉力、10 t 葫芦额定提升力和锚筋锚固力。

3.1.1 荷载计算

钻孔台车采用10 t 葫芦牵引移动,运行时,台车上按照最多放置1台XY-2B 地质钻机、141.0 m 钻杆及必要的工器具棚考虑,不考虑施工人员。

根据台车各类材料用量计算,台车自重荷载按 $0.8 \text{ t} \times 10 \text{ N/kg} = 8 \text{ kN}$ 考虑,台车上的木板及防护设施自重荷载按 150 kg/m^2 考虑, $(7.5 \times 150) \times 10 / 1000 = 11.25$,钻机、钻杆及工器具棚自重荷载按 $(1200 + 7 \times 141 + 150) \times 10 / 1000 = 23.37 \text{ kN}$ 考虑,则葫芦牵引总荷载为: $(8 + 11.25 + 23.37) \times \cos 55.2 = 24.32 \text{ kN}$ 。

3.1.2 钢丝绳破断拉力计算

根据《重要用途钢丝绳》^[5],牵引钢丝绳选用 $\Phi 22 \text{ mm}$, $6 \times 37\text{S} + \text{IWR}$ 型钢丝绳,公称抗拉强度1770 MPa。根据经验公式,钢丝绳的破断拉力按

下式进行计算:

钢丝绳破断力:查表, $F_g = 305 \text{ kN}$ (GB 8918—2006 表 11);

钢丝绳的允许破断力:

$$[F_g] = a \times F_g \div k = 0.82 \times 305 \div 5 = 50.02 \text{ kN} \quad (1)$$

式中 a 为钢丝绳之间的换算系数(折减系数), a 取 0.82; k 为钢丝绳的使用安全系数, k 取 5。

载重作用下钢丝绳的牵引力(滑动摩擦系数, 钢与钢取 $\mu = 0.15$):

$$F_{\text{牵}} = 24.32 + \mu \times 24.32 \times \cos 55.2^\circ = 26.40 \text{ kN} \leq 50.02 \text{ kN}, \text{ 满足要求。}$$

3.1.3 10 t 葫芦额定提升力计算

按《水电水利工程施工卷扬机提升系统安全技术规范》^[6], 根据以上计算, 钢丝绳的牵引力 $F_{\text{牵}} = 26.40 \text{ kN} < 10 \text{ t} \times 10 \text{ N/kg} = 100 \text{ kN}$ (10 t 葫芦的额定提升力), 由于提升系统布设在大坝斜趾板混凝土面, 涉及斜坡面的设备及人员安全, 风险较大, 所以在提升系统的选型上加大安全系数 $K = 2.0$, 可知选取额定提升力为 10 t 的葫芦符合要求。

3.1.4 锚筋锚固力计算

本文锚固计算按《建筑边坡工程技术规范》^[7], 相关计算如下:

(1) 按锚固体表面与周围岩体间的粘结强度计算, 所得到的锚杆轴向拉力标准值为:

$$N_{ak} = l_a C f_{rbk} / K \quad (2)$$

式中 l_a 为锚固端长度, 设为 1.0 m; C 为锚固体截面周长, 3φ25 圆钢取 0.20 m; f_{rbk} 为岩层与锚固体极限粘结强度标准值, 按软岩石取 360 kPa (GB 50330—2013 表 8.2.3—2); K 为锚杆锚固体抗拔安全系数, 取 2.0 (GB 50330—2013 表 8.2.3—1)。

$$\text{则, } N_{ak} = 1.0 \times 0.20 \times 360 / 2 = 36.0 \text{ kN}$$

(2) 按锚筋与锚固砂浆间的粘结力来计算, 确定的锚杆轴向拉力标准值为:

$$N_{ak} = l_a C f_b / K \quad (3)$$

式中 l_a 为锚固端长度, 设为 1.0 m; C 为锚固体截面周长, 3φ25 圆钢取 0.2 m; f_b 为钢筋与锚固砂浆间的粘结强度设计值, 按 M25 水泥浆强度等级取值 2.10 MPa (GB 50330—2013 表 8.2.4); K 为锚杆锚固体抗拔安全系数, 取 2.0 (GB 50330—

2013 表 8.2.3—1)。

$$\text{则, } N_{ak} = 1.0 \times 0.20 \times 2100 / 2 = 210.0 \text{ kN}$$

从偏于安全考虑, 按上述计算值取小值, 3φ25 圆钢, 锚固长度 1.0 m, 岩石条件按 IV₂ 类岩石考虑。锚固力 $N_{ak} = 36.0 \text{ kN} > F_{\text{牵}} = 26.4 \text{ kN}$, 满足要求。

锚筋所受剪力偏安全考虑取 26.4 kN, 3φ25 圆钢抗剪能力设计值取抗拉能力的 0.6 倍, $f_v = 0.6 f_y = 0.6 \times 300 = 180 \text{ N/mm}^2$ 。

$$N = f_v A = 180 \text{ N/mm}^2 \times 3.14 \times (25/2)^2 \times 3 = 264.94 \text{ kN}$$

根据以上计算, 锚筋所受剪力远小于其承载力, 抗剪强度满足要求。

3.2 钻孔台车受力计算

钻孔台车受力计算首先确定荷载参数, 利用 Midas GEN 2017 软件建立三维模型, 根据简化模型分别计算台车结构整体、顶部横梁、侧面三家框架承载力和后方框架承载力。

3.2.1 荷载参数

3.2.1.1 恒荷载参数

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》^[8] 规定取值:

钻孔台车结构自重: 按 Q235 钢计入。

脚手板铺设层数: 1。

脚手板类别: 竹串片脚手板/木脚手板。

脚手板自重标准值(kN/m²): 0.35。

脚手板上其他构件自重(kN/m²): 0.55。

栏杆类别: Φ48.3×3.6 钢管。

栏杆挡脚板自重标准值(kN/m²): 0.17。

安全设施与安全网(kN/m²): 0.01。

3.2.1.2 活荷载参数

钻孔台车采用 10 t 葫芦牵引移动, 台车运行期间承受的荷载主要为台车自重、台车上放置的钻机、钻杆重量以及脚手板和防护设施重量等。

根据设计图纸, 斜趾板帷幕灌浆孔最深 141.0 m。运行时, 台车上按照最多放置 1 台 XY—2B 地质钻机, 141.0 m 钻杆考虑。

根据台车各类材料用量计算, 主要包括的活荷载情况如下:

(1) 钻机、钻杆及工器具棚自重荷载按 $(1200 + 7 \times 141 + 150) \times 10 / 1000 = 23.37 \text{ kN}$ 考虑, 模型中取 24 kN, 并按集中力平均分配给临近的四

根上层梁。

(2)施工期间钻孔台车上按照最多放置1台XY-2B地质钻机、141.0 m钻杆、一个工器具棚,同时配备3名作业人员考虑。

3.2.2 模型建立

Midas GEN 2017 是一款建筑结构分析与设计软件。软件具有强大的图形结果自动生成功能,图形结果可以形象地分析确认表格结果。具有人性化的操作界面,并且采用了卓越的计算机显示技术,是建筑领域通用结构分析及优化设计系统。钻孔台车模型见图2。

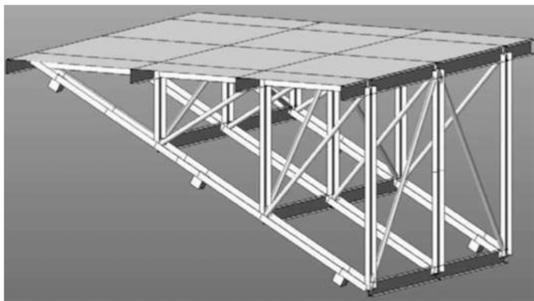


图2 钻孔台车模型图

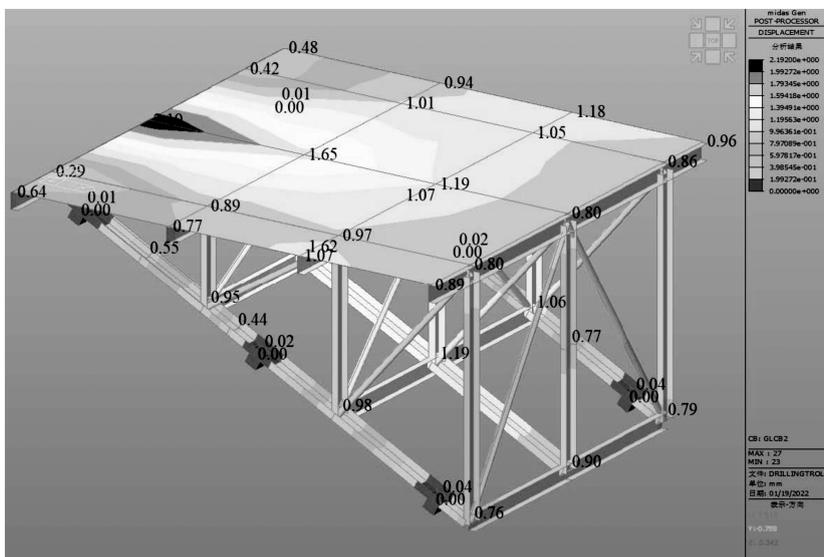


图3 台车结构整体位移等值线图(单位:mm)

挠度比约为0.09%,在容许挠度比范围内,满足要求。

(2)梁单元上最大的组合应力是判断钢梁上是否有超过构件屈服强度的一个很重要的指标,图4给出了台车结构各主要梁单元上的最大组合应力,从图中可以看出,整个台车结构中最大的组合应力出现在定制滑轮上部的纵梁上,该梁为开

3.2.3 台车结构荷载参数

根据3.2.1荷载参数,经模型模拟,可得出以下荷载作用参数:

(1)台车结构栏杆挡板荷载作用均匀分布,为0.2 kN/m;

(2)台车结构脚手板及上部其他构件自重作用均匀分布,为0.9 kN/m²;

(3)钻机、钻杆及工具自重作用按集中力作用在上层梁格考虑,为6 kN;

(4)台车结构脚手板上活荷载作用均匀分布,为3 kN/m²。

3.2.4 台车结构整体受力分析

Midas GEN 提供了各种工况组合,以下分析采用g1CB2组合,即:1.3D+1.5(L),作为研究的主要组合,现对台车结构的整体受力的内力和变形做出以下分析。

图3为台车结构整体位移等值线图,从图中可知,台车结构位移变形最大处发生在台车前部横梁中部,这是由于钻孔钻进荷载作用在前部,导致该处有较大位移,其最大位移值为2.19 mm,

口向上的[16 a号槽钢,由于此处存在弯曲应力、剪应力和局压应力的共同作用,所以出现了相对较大的组合应力值,达到了201.2 kN/m²,几乎接近于Q235钢的强度设计值,所以,在施工过程中可以在此处设置加劲肋或者做局部加强处理,并在施工过程中留意观察这些滑轮处的变形和受力状态。其他构件都有足够的强度富余。

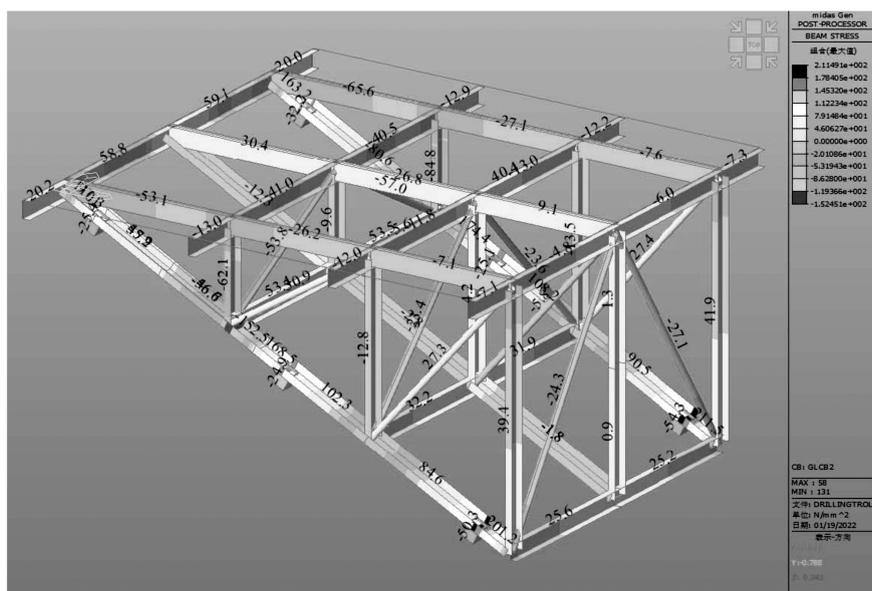


图 4 台车结构各主要梁单元组合应力图(单位:kN/m²)

3.2.5 台车顶部横梁受力分析

台车顶部横梁和纵梁可分别按照简支梁或连续梁进行强度和挠度计算,按照其上承受的荷载为均布荷载,按《建筑结构静力计算手册(第二版)》^[9]计算其最大弯矩和变形。

I16 工字钢材料参数为惯性矩 $I_x = 1\,130\text{ cm}^4$, 横截面积 $A_x = 26.1\text{ cm}^2$, 截面模量 $W_x = 141\text{ cm}^3$, 回转半径 $i_x = 6.58\text{ cm}$, 单位重量 20.5 kg/m 。

本模型直接采用有限元计算结果进行分析各个主要梁单元的受力。

(1)根据模型模拟中台车结构坡前横梁位移等值线图得出,台车结构坡前横梁位移最大挠度为 2.192 mm 。

横梁的最大挠度小于 $2\,000/250 = 8\text{ mm}$, 满足要求。

(2)根据模型模拟中台车结构坡前横梁内力图得出,台车结构坡前横梁最大弯矩 $M_{q_{\max}} = 3.2\text{ kN} \cdot \text{m}$;

$$\begin{aligned}\sigma &= M_{q_{\max}}/W = 3.2 \times 10^6 / (141 \times 10^3) \\ &= 22.7\text{ N/mm}^2.\end{aligned}$$

横梁的计算强度小于 215 N/mm^2 , 满足要求。

3.2.6 台车侧面三角框架承载力分析

台车侧面为三角形钢架,其位移、变形、应力和内力均可以从模拟结果中得到,主要成果如下:

(1)根据模型模拟中台车结构侧面钢架位移

等值线图得出,最大挠度 $v = 0.983\text{ mm}$,由《钢结构设计规范》^[10]附录 C,表 C.0.4-1 得出其容许挠度为 $[v] = 1/250$ 。

$v = 0.983\text{ mm} \leq [v] = 1/250 = 2\,415/250 = 9.66\text{ mm}$, 满足挠度要求。

(2)根据模型模拟中台车结构侧面钢架各梁单元内力图得出,弯矩最大值为 $3.2 \times 10^6\text{ N} \cdot \text{mm}$, 轴力为 11.2 kN 。

$$\delta = M_{\max}/W_x + N/A = 3.2 \times 10^6 / 152\,000 +$$

$$11.2 \times 10^3 / 2\,930 = 25\text{ N/mm}^2 < 215\text{ N/mm}^2$$

故强度满足要求。

3.2.7 台车后方框架承载力分析

孔台车模型图台车后方为一桁架,其位移、变形、应力和内力均可以从模拟结果中得到。

(1)根据模型模拟中台车结构后方桁架位移等值线图得出,最大位移为 0.962 mm 。

(2)根据模型模拟中台车结构后方桁架各梁单元组合应力图得出,最大组合应力值为 25.6 kN/m^2 。

该桁架在静力工作状态下,无论位移还是应力量级都较小,处于安全状态。

4 计算结果分析

通过上述设计计算分析,结果如下:

(1)根据 3.1 设计参数和受力计算,在最大施工荷载下,钻孔台车提升系统受力稳定,满足安全

运行要求。

(2)根据3.2三维模型简化模型、模拟计算和结果分析可知,钻孔台车在绳卡固定安装好之后的施工阶段,台车结构整体受力、顶部横梁受力、侧面三角框架承载和后方框架承载力及其挠度均处于安全状态。

5 结论

本文基于巴拉水电站混凝土面板堆石坝建设工期需求,通过理论计算的方式提出了一种帷幕灌浆钻孔台车的设计方案,目前已在巴拉水电站斜趾板帷幕灌浆中应用,快速、高效、低耗的进行帷幕灌浆钻孔施工,加快帷幕灌浆施工进度,得出以下结论:

(1)该钻孔台车结构安全可靠,提升系统切实可行,类似项目可根据工程实际情况,参考本文的研究理念,自行设计不同工况下的钻孔台车。

(2)钻孔台车在投入使用前,应编制操作规程,以便于指导现场施工。同时须注意,应定期对提升系统进行检查,台车行走前应将人员撤离,不管在任何工况下,牵引都必须处于“双保险”状态下以确保安全。

(3)帷幕灌浆作业包含钻孔、灌浆和封孔作

业,本文仅从斜趾板帷幕灌浆钻孔工序单方面考虑加快帷幕灌浆施工进度,在具备条件时,或可从集不同工序于一体进行研究。

参考文献:

- [1] 王建强. 毛尔盖电站廊道斜坡段帷幕灌浆施工技术浅谈[J]. 四川水利, 2015, 36(5): 81-84.
- [2] 王锋, 李红福, 曾建. 一种大断面长距离引水隧洞坑道钻孔台车的设计[J]. 科技资讯, 2013, (30): 52-53.
- [3] GB 50068-2018.《建筑结构可靠性设计统一标准》[S].
- [4] GB 50009-2012.《建筑结构荷载规范》[S].
- [5] GB 8918-2006.《重要用途钢丝绳》[S].
- [6] DB 51/1178-2010.《水电水利工程施工卷扬机提升系统安全技术规范》[S].
- [7] GB 50330-2013.《建筑边坡工程技术规范》[S].
- [8] JGJ 130-2011.《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》[S].
- [9] 姚谏. 建筑结构静力计算手册(第二版)[M]. 中国建筑工业出版社, 2014.
- [10] GB 50017-2017.《钢结构设计规范》[S].

作者简介:

邵伟(1989-),男,四川富顺人,学士,工程师,从事工程建设管理工作;
 杨洋(1997-),女,四川兴文人,学士,从事工程建设管理工作;
 张强(1998-),男,四川攀枝花人,学士,从事现场工程管理工作。
 (责任编辑:卓政昌)

(上接第89页)

- [11] Lü T J, Tang X S, Li D Q, et al. Modeling multivariate distribution of multiple soil parameters using vine Copula model[J]. Computers and Geotechnics, 2020, 118: 103340.
- [12] Guan Z, Wang Y. Non-parametric construction of site-specific non-Gaussian multivariate joint probability distribution from sparse measurements[J]. Structural Safety, 2021, 91: 102077.
- [13] Phoon K K, Ching J, Shuku T. Challenges in data-driven site characterization[J]. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2021, 16(1): 114-13126.
- [14] Pearson K. Contributions to the mathematical theory of evolution[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A, 1894, 185: 71-110.
- [15] Pearson K. II. Mathematical contributions to the theory of evolution. II. Skew variation in homogeneous material[J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1895, 57(340-346): 257-260.
- [16] Peel D, MacLahlan G. Finite mixture models[J]. John &

Sons, 2000.

- [17] Deng Q X, He J, Cao Z J, et al. Bayesian learning of Gaussian mixture model for calculating debris flow exceedance probability[J]. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2022, 16(1): 154-177.
- [18] Frühwirth-Schnatter S. Finite mixture and Markov switching models[M]. Springer, 2006.
- [19] Cao Z J, Zheng S, Li D Q, et al. Bayesian identification of soil stratigraphy based on soil behaviour type index[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2019, 56(4): 570-586.

作者简介:

邓钦宣(1994-),男,河北张家口人,博士,从事岩土工程可靠度研究、抽蓄工程数字化及工程项目建设管理工作;
 张韶鹏(2004-),男,河南郑州人,本科在读,从事水利工程方向研究;
 邵伟(1989-),男,四川富顺人,学士,工程师,从事工程建设管理工作;
 杨洋(1997-),女,四川兴文人,学士,从事工程建设管理工作。
 (责任编辑:卓政昌)