

危岩支撑及支撑-锚固联合计算方法研究

Researches on calculation method of support and support-anchorage union to unstable rock

陈洪凯^{1,2}, 唐红梅², 刘光华³, 胡明², 吴四飞²

(1. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044; 2. 重庆交通学院 岩土工程研究所, 重庆 400074; 3. 重庆市地质灾害研究院, 重庆 400700)

摘要: 危岩是三峡库区典型的地质灾害类型之一, 根据失稳类型本文将危岩分为坠落式危岩、滑塌式危岩和倾倒式危岩三类。其中坠落式危岩和滑塌式危岩的破坏机理主要属于危岩体沿着主控裂隙面剪切破坏, 而倾倒式危岩则主要属于危岩体围绕基部倾覆点拉裂转动破坏。实践表明, 具有支撑条件时, 支撑是极其有效的技术类型, 尤其对坠落式危岩和倾倒式危岩更为适用。作用在危岩体上的荷载主要有自重、裂隙水压力和地震力, 可构成三种荷载组合。基于支撑体的容许承载力及危岩体的极限平衡理论, 本文建立了坠落式危岩的支撑计算方法, 建立了倾倒式危岩的支撑-锚固联合计算方法, 量化了支撑体尺寸, 获得了倾倒式危岩所需的锚杆(索)数量。文中所提出的危岩支撑计算方法两年来已经在三峡库区的数百个危岩体治理中得到成功应用, 并被录入《重庆市(三峡库区)滑坡、塌岸、危岩防治工程设计技术规范》中, 用于指导三峡库区重庆境内的危岩防治工程。

关键词: 危岩; 支撑; 支撑-锚固联合; 计算方法; 三峡库区; 应用

中图分类号: P 642; TU 455

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)03-0383-06

作者简介: 陈洪凯(1964-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 交通部科技英才, 重庆市首批学术技术带头人, 从事公路泥石流及危岩研究。

CHEN Hong-kai^{1,2}, TANG Hong-mei², LIU Guang-hua³, HU Ming², WU Si-fei²

(1. Key Lab for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. Geologic Disaster Institute of Chongqing City, Chongqing 400700, China)

Abstract: As a typical geologic disaster in the Three Gorges Reservoir, unstable rock is classified into falling unstable rock, sliding unstable rock and toppling unstable rock in view of unstable modes. Shear fracture along controlling fissure is the failure mechanism for falling unstable rock and sliding unstable rock, while tension fracture is that for toppling unstable rock around turning point. It is proved in much practice that support is the best measure when some conditions are satisfied, especially for falling unstable rock and toppling unstable rock. Loads acting on unstable rock mass can be divided into self-weight, fissure pressure in controlling fissure and earthquake forces, and three are three load combinations. Based on the allowable bearing capacity of support mass and equilibrium theory of unstable rock mass, the authors have established calculation method for support to falling unstable rock and for support-anchorage union to toppling unstable rock. These methods can calculate geometrical dimensions of support and anchorage pile or rope numbers. The proposed methods have been successfully applied in hundreds of unstable rocks in the Three Gorges reservoir for two years. All the methods in the paper are adopted by "The Design Technique Standard of Landslide, Bank Collapse, Unstable Rock in Chongqing City (the Three Gorges Reservoir)". They are valuable for controlling unstable rock disasters in the Three Gorges Reservoir.

Key words: unstable rock; support; support-anchorage union; calculation method; reservoir of Three Gorges Project; application

0 概 述^{*}

危岩(Unstable rock)是指由多组岩体结构面切割并位于陡坡或陡崖上稳定较差的岩块, 是三峡库区内数量最多且灾害最严重的主要地质灾害类型之一^[1~5]。根据危岩失稳后的破坏模式, 文献[1]将危岩概化分为坠落式危岩(Falling unstable rock)、滑塌式危岩(Sliding unstable rock)和倾倒式危岩(Toppling unstable rock)三类。危岩均发育于陡崖或陡坡上, 定义危岩体沿着陡崖或陡坡的尺寸为长度、与陡崖垂直方向的尺寸为宽度、顶部和底部高程差为高度。坠落式危岩下部受结构面切割脱离母岩, 上部及后部与母岩尚未完全脱离。危岩体底部临空, 临空的原因要么是危岩体下部软岩的快速风化

而成岩腔, 要么是下部先期危岩体崩落后的渐进发育, 属于主控裂隙面剪切滑移失稳类型(图1); 滑塌式危岩后部存在与边坡倾向一致的贯通或断续贯通的主控裂隙面, 倾角较缓, 剪出部位多数出现在陡崖或斜坡, 也可能出现在危岩体基座岩土体中, 危岩体沿着主控裂隙面剪切滑移失稳(图2); 倾倒式危岩后部存在与边坡坡向一致的陡倾角贯通或断续贯通的主控裂隙面, 危岩体底部局部临空, 其重心多数情况下出现在基座临空支点外侧, 支点为中风化岩层外缘点, 危岩体可能围绕支点向

^{*} 基金项目: 交通部重点科技基金项目(95060233); 交通部跨世纪人才专项基金项目(95050508); 高等学校重点实验室访问学者基金项目; 国家十五科技攻关项目(2001BA604A023)

收稿日期: 2003-06-18

临空方向旋转倾倒破坏(图3)。

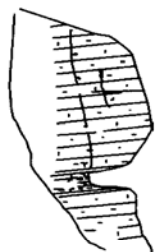


图1 坠落式危岩

Fig. 1 Falling unstable rock

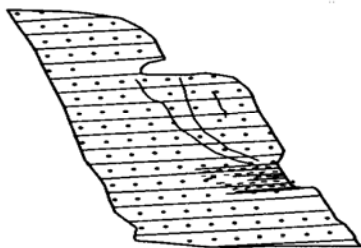


图2 滑塌式危岩

Fig. 2 Sliding unstable rock

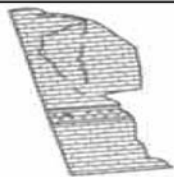


图3 倾倒式危岩

Fig. 3 Toppling unstable rock

从危岩体发育的力学机理分析, 坠落式危岩和滑塌式危岩主要属于危岩体沿着主控裂隙面的剪切破坏, 而倾倒式危岩则是危岩体围绕支撑点旋转的拉裂破坏, 为危岩治理奠定力学基础。危岩体的孕育过程与软硬相间的地层组合、陡峻的地形、边坡岩体卸荷、降雨及地震等因素密切相关^[1~6]。危岩防治技术主要包括支撑、锚固、充填、灌浆、清除及拦挡等^[7]。实践表明, 在具备支撑条件时支撑是极其有效的技术类型。尤其是对于危岩体下部具有一定范围凹陷的岩腔、岩腔底部为承载力较高且稳定性好的中风化基岩、危岩体重心位于岩腔中心线内侧时, 宜采用支撑技术进行危岩治理。支撑体可采用浆砌条石或片石、现浇混凝土或条石混凝土; 砂浆应不低于 M7.5, 宜采用 C15 或 C20 素混凝土; 支撑体的结构形式可分为实体墙撑、柱撑、墩撑、拱撑; 支撑设计时, 应进行支撑体地基的承载力及稳定性验算并将地基清理成内倾平台或台阶, 与支撑体接触的危岩体应凿平, 支撑体顶部距离危岩体底部 10~20 cm 的范围应采用膨胀混凝土, 确保支撑体与危岩体之间的有效接触并承荷。支撑是极其有效

的危岩单体治理技术, 条件适宜时应优先使用^[7,8]。

2001 年以来, 三峡库区第一期地灾项目启动, 至 2003 年 5 月底基本全部竣工。以重庆为例, 首批三峡库区地质灾害防治项目从设计到施工、监测均缺乏针对性较强的专门的技术规范, 重庆市国土资源和房屋管理局于 2002 年 5 月颁布的《重庆市三峡库区滑坡及危岩防治工程设计技术规定》初步构建了危岩防治工程设计的技术规定但是比较粗糙, 国土资源部颁布的《滑坡防治工程设计与施工技术规范》缺乏危岩设计与施工的相关内容。三峡库区第二期、第三期地质灾害防治工程已经启动, 数以万计的危岩体亟待治理, 为了有效指导、防治三峡库区的危岩, 增大危岩治理的技术含量, 提高危岩治理水平, 推动我国危岩研究及防治水平, 重庆市国土资源和房屋管理局于 2003 年 3 月以来组织专家编制《重庆市(三峡库区)滑坡、塌岸、危岩防治工程设计技术规范》(属于地方规范), 笔者单独承担了危岩部分的研究与编制工作。危岩防治涉及多方面, 本文主要就危岩支撑计算方法进行分析。

1 危岩体支撑条件分析

利用支撑技术治理危岩, 关键需要具备下述两方面支撑条件: ①危岩体底部必须处于临空状态, 宽度不小于 3.0~4.0 m; ②危岩体下部必须具有相对平缓且一定宽度的微地貌部位, 宽度不小于 3.0 m。该微地貌下覆载荷岩体较完整、岩性比较坚硬且处于稳定状态, 存在中风化岩层或地基承载力标准值不小于[300] kPa。

可将支撑区分为高位支撑区和低位支撑区, 危岩体底部与载荷地质体平台之间的绝对高度超过 4.0 m 时称为高位支撑区, 低于 4.0 m 成为低位支撑区。防治工程设计中, 高位支撑区应高度重视支撑体的自身稳定性, 一般可以通过构造措施予以解决。

多年来对三峡库区危岩发育现状的调查分析的统计资料显示, 三峡库区内一般在砂岩和泥岩互层集中出现的陡崖或斜坡上发育的坠落式危岩和倾倒式危岩通常具备良好的支撑条件。如重庆市万州区太白岩 60% 左右的危岩体底部的岩腔均比较发育, 岩腔宽度 3.0~12.0 m, 高度 3.0~5.0 m(图4)。由于坠落式危岩及倾倒式危岩的发育过程主要遵循由下而上的链式机理(图5~6), 因此, 基于此逆过程而构建的支撑技术主要适用于这两类危岩。

2 计算荷载、荷载组合及主控裂隙面计算参数

作用在危岩体上的计算荷载主要包括危岩体自



图4 危岩岩腔外貌

Fig. 4 Rock cell outline of unstable rock

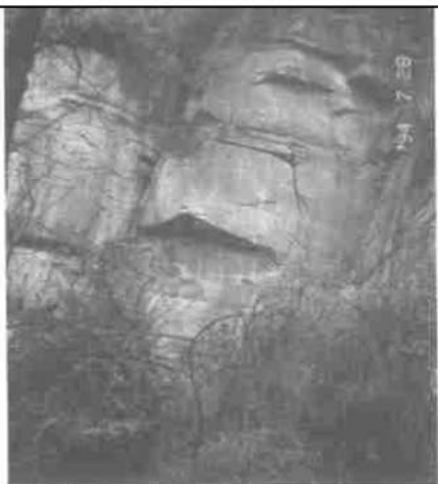


图5 处于临界失稳状态的危岩体

Fig. 5 Unstable rock in critical unsteady state



图6 处于失稳状态的危岩体

Fig. 6 Unstable rock in unsteady state

重、主控裂隙面充水后产生的裂隙水压力及地震力,其中,裂隙水压力与主控裂隙内的充水度密切相关。大量统计资料表明,主控裂隙面与地表贯通时,裂隙宽度大于10 cm时便基本不具备储水性,而在10 cm以下时,一般情况天然状态下充水深度较小,暴雨期间较大。

将上述计算荷载进行组合,可以得到三种荷载组合类型:组合一、自重+裂隙水压力(天然状态);组合

二、自重+裂隙水压力(暴雨);组合三、自重+裂隙水压力(天然状态)+地震力。

三种荷载组合中,坠落式危岩仅考虑组合一和组合三,滑塌式危岩同时考虑三种荷载组合,而倾倒式危岩则仅考虑组合二和组合三。

根据文献[9],危岩体后部主控裂隙面的等效强度参数 c 和 φ 分两种情况确定:

(1)若危岩体后部主控裂隙面破裂部分尖端处于失稳扩展状态时

$$c = \frac{c_1 e + 0.5 c_0 (H - e)}{H}, \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_1 e + 0.65 \varphi_0 (H - e)}{H}. \quad (2)$$

(2)若危岩体后部主控裂隙面破裂部分尖端处于非失稳扩展状态时

$$c = \frac{c_1 e + c_0 (H - e)}{H}, \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_1 e + \varphi_0 (H - e)}{H}. \quad (4)$$

式中 e 为主控裂隙面破裂部分平均深度(m); β 为危岩体主控裂隙面平均倾角($^\circ$); c_0 、 φ_0 分别为危岩体后部主控裂隙面未破裂部分岩石的黏聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$), c_1 、 φ_1 分别为危岩体后部主控裂隙面破裂部分的黏聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$)(裂隙中未充填时可不考虑 C_1 的作用); H 为危岩体的平均高度(m)。

3 坠落式危岩支撑计算

参照危岩锚固计算方法^[10,11],从危岩体的静力平衡出发,以地基容许承载力为控制标准^[12,13],构建危岩体支撑计算方法。

(1) 墙撑

坠落式危岩墙撑计算模型见图7,要求支撑体的重心必须位于危岩重心线外侧。所有力在主控裂隙面法向及切向方向的分量分别为

$$N = W \cos \beta - P \sin \beta, \quad (5)$$

$$T = W \sin \beta + P \cos \beta. \quad (6)$$

假定法向力和切向力沿主控裂隙面分布均匀,并利用 Mohr-Coulomb 强度理论,得

$$\bar{\tau} = C + \frac{W \cos \beta - P \sin \beta}{L} \tan \varphi, \quad (7)$$

则由主控裂隙面产生的抗剪力为

$$T_j = CL + (W \cos \beta - P \sin \beta) \tan \varphi. \quad (8)$$

由于主控裂隙面的长度为

$$L = H / \sin \beta, \quad (9)$$

则 $T_j = \frac{CH}{\sin \beta} + (W \cos \beta - P \sin \beta) \tan \varphi. \quad (10)$

对 O' 取矩并根据竖向平衡条件分别得

$$\sum M = Ph_0 + T_j d \sin \beta - W(d - a), \quad (11)$$

$$\sum N = W - T_j \sin \beta, \quad (12)$$

且必须满足

$$T_j \geq P / \cos \beta. \quad (13)$$

据此,求得支撑体顶部的最大压应力为

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{B^2} (B \sum N + \sum M). \quad (14)$$

简化计算时,可取

$$T_j \geq P / \cos \beta, \quad (15)$$

$$\text{则 } \sum M = W(\mu h_0 - d \mu \tan \beta - d + a), \quad (16)$$

$$\sum N = W(1 - \mu \tan \beta), \quad (17)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{W}{B^2} [B(1 - \mu \tan \beta) + 6(\mu h_0 - d \mu \tan \beta - d + a)], \quad (18)$$

$$\text{要求 } \sigma_{\max} \leq [R_c] / 1.3. \quad (19)$$

而墙撑圬工地基允许承载力 $[\alpha_0]$ 应满足

$$[\alpha_0] \geq 1.2(\sigma_{\max} + \gamma A) \quad (20)$$

式中 A 为墙撑圬工厚度(m); B 为墙撑圬工宽度(m); $[R_c]$ 为墙撑圬工极限承载力设计值(C15 混凝土取 7.5 MPa, C20 混凝土取 10.5 MPa); $[\alpha_0]$ 墙撑体地基容许承载力设计值(kPa); γ 为墙撑圬工天然容重(kN/m^3); W 为危岩体单宽自重(kN); a 为主控裂隙面与危岩体重心之间的水平距(m); d 为主控裂隙面在危岩体底部出露点距离支撑体重心的水平距离(m); h_0 为危岩体重心距离支撑体顶部的垂直距离(m); μ 为水平地震系数; 地震力 $P = \mu W$, 其余符号同前。

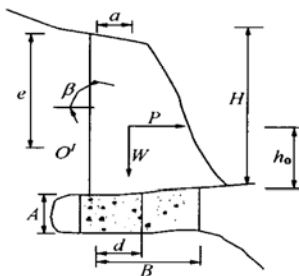


图7 坠落式危岩墙计算模型

Fig. 7 Calculation model of wall support to falling unstable rock

(2) 柱(拱)撑

平面问题中柱撑和拱撑的计算原理相同,计算模型见图8。主控裂隙面产生的抗剪力 T_j 由式(8)计算。对 A 点取矩并根据竖向平衡条件得

$$\sum M \leq Ph_0 + Wa - R_1 f \leq 0, \quad (21)$$

$$\sum N = T_j \sin \beta + R_2 - W = 0, \quad (22)$$

并满足式(13)。

由式(21)得

$$R_1 \geq \frac{W}{f} (a + \mu h_0). \quad (23)$$

由式(22)得

$$R_2 = W - T_j \sin \beta. \quad (24)$$

将式(13)代入式(24)得

$$R_2 \leq W(1 + \mu \tan \beta). \quad (25)$$

柱撑体所受荷载 S 由下式计算:

$$s = \text{Max}(R_1, R_2). \quad (26)$$

柱撑体的尺寸

$$b_1 \times b_2 \geq 1.2 \frac{S}{[R_c]}, \quad (27)$$

式中 b_1, b_2 分别为柱撑体断面尺寸(m); h 为柱(拱)撑体高度(m); f 为柱(拱)撑体距离主控裂隙面在危岩底部出露点的水平距离(m); R_1 和 R_2 为不同情况的支撑体反力(kN); 其余符号同前。

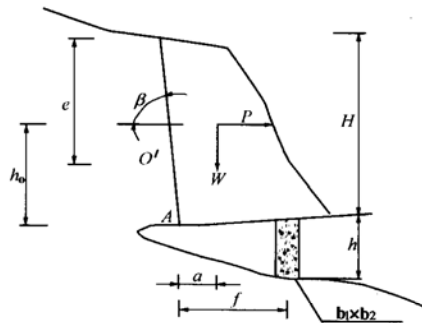


图8 坠落式危岩柱(拱)撑计算模型

Fig. 8 Calculation model of pile or arc support to falling unstable rock

4 倾倒地式危岩支撑—锚固联合计算

当支撑体重心位于危岩体重心外侧时,仅在危岩体后部布设适当的构造锚杆(索)即可。而当支撑体重心位于危岩体重心内侧时,必须同时考虑支撑和锚固联合作用,计算模型见图9。

根据危岩体竖向和水平方向的平衡条件,得

$$R + Q \cos \beta + T_j \sin \beta - P_0 \sin \alpha - W = 0, \quad (28)$$

$$P + Q \sin \beta - T_j \cos \beta - P_0 \cos \alpha = 0. \quad (29)$$

由式(29)得

$$P_0 = \frac{1}{\cos \alpha} (P + Q \sin \beta - T_j \cos \beta). \quad (30)$$

由式(28)得

$$R = (P + Q \sin \beta - T_j \cos \beta) \tan \alpha - Q \cos \beta - T_j \sin \beta, \quad (31)$$

式中, T_j 为

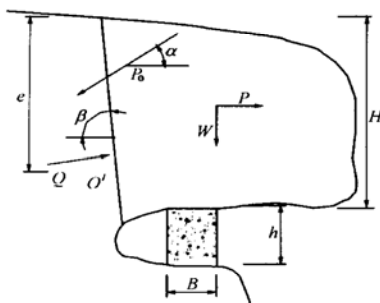


图9 倾倒式危岩支撑计算模型

Fig. 9 Calculation model of support to toppling unstable rock

$$T_j = \frac{CH}{\sin \beta} + [W \cos \beta - P_0 \sin(\alpha + \beta) - Q - P \sin \beta] \tan \varphi. \quad (32)$$

将式(32)代入式(30)得

$$P_0 = \frac{1}{K_1}(K_2 P + K_3 Q + K_4 CH + K_5 W), \quad (33)$$

$$\text{式中 } K_1 = 1 - \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta) \tan \varphi}{\cos \alpha}; K_2 = \frac{1}{\cos \alpha} \left(1 + \frac{1}{2} \sin 2\beta \tan \varphi \right); K_3 = \cos \alpha \sin \beta + \frac{\cos \beta \tan \varphi}{\cos \alpha}; K_4 = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha \sin \beta}; K_5 = \frac{\cos^2 \beta \tan \varphi}{\cos \alpha}.$$

将式(28)代入式(26)得

$$R = \zeta_1 P + \zeta_2 Q - \zeta_3(\zeta_4 CH + \zeta_5 W + \zeta_6 P_0), \quad (34)$$

式中 $\zeta_1 = \tan \alpha + (\sin \beta + \cos \beta \tan \alpha) \sin \beta \tan \varphi$; $\zeta_2 = \sin \beta \tan \alpha - \cos \beta + \sin \alpha \tan \varphi + \cos \beta \tan \alpha \tan \varphi$; $\zeta_3 = \sin \beta + \cos \beta \tan \alpha$; $\zeta_4 = 1/\sin \beta$; $\zeta_5 = \cos \beta$; $\zeta_6 = -\sin(\alpha + \beta)$; P_0 由式(33)计算, 裂隙水压力由式(35)计算:

$$Q = \frac{2 \gamma_w e^2}{9 \sin \beta}. \quad (35)$$

锚固整个危岩体所需要的锚杆数 n 由下式计算:

$$n \geq P_0 / \pi D l_0 \tau_0. \quad (36)$$

支撑体顶部平均应力由式(37)计算:

$$\sigma_{\max} = R/B. \quad (37)$$

若支撑体为墙撑, 按式(19)和式(20)设计。

若支撑体为柱(拱)撑, 按式(27)设计, 式中 s 即为 R 并由式(31)计算。其中, α 为锚杆(索)倾角($^\circ$); D 为锚杆(索)直径(m); l_0 为锚固长度(m); τ_0 为锚固体与围岩之间的抗剪强度(kPa)。

5 工程应用

位于三峡库区腹部的重庆市万州区属于亚热带季风气候区, 气候温暖潮湿、降雨充沛。多年平均降水量 1181.2 mm, 历年最大年降水量 1635.2 mm。降水多集中在每年的 5~9 月, 约占全年降雨总量的 70%。历年最大月降雨量 741.18 mm(1982 年 7 月), 最大日降雨量 175 mm(1987 年 8 月 16 日), 最长连续降雨 16 日。每年夏季多大雨, 暴雨等集中降雨过程, 为渝东主要的暴雨中心。

万州城区后部的长江左岸 IV 级阶地后缘与 V 级阶地夷平面之间的陡斜坡地带, 太白岩高度近 140 余米, 由 2~3 级陡崖和其间的斜坡组成。斜坡上陡下缓, 上段坡度 $70^\circ \sim 90^\circ$, 局部为负地形, 多岩腔, 以陡崖为主, 崖顶(V 级夷平面)高 413.4~458 m, 崖脚高程 310~330 m。斜坡下段分布高程 250~330 m, 总体坡度 $30^\circ \sim 35^\circ$, 坡脚为城区主干道诗仙路。岩层近似水平, 砂岩和泥岩互层。砂岩出露的部分为陡崖, 泥岩出露的部分为斜坡。陡峻的地形性、软硬相间的地层结构、强烈的卸荷作用及高强度的降雨孕育了太白岩危岩带。太白岩危岩带包括中段、东段(白虎头)和南坡三部分, 共有危岩单体 400 余个, 单个体积 8~5152 m^3 , 总体积约 5 万余方。本文从太白岩中段遴选了 4 个危岩体(编号分别为 BW4、BW11、BW16 和 BW20)进行分析(表 1), 治理图分别见图 10~14, 已经于 2003 年 4 月实施完成。

表1 重庆市万州区太白岩几个危岩体支撑方案

Table 1 Support scheme of some unstable rock in Taibaiyan of Chongqing City

编号	危岩体几何特征			岩腔体积 / m^3	治理方案	备注
	宽度/m	高度/m	长度/m			
BW4	2.0	4.6	4.0	6.4	C20 混凝土墙撑	为了避免墙撑体的失稳, 在墙撑体内布设 2 排共 6 根锚杆, 锚杆孔径 110 mm, 锚筋 $\phi 25$, 由 M30 砂浆灌浆锚固。
BW11	7.0	15.0	36.0	3780.0	C20 墙撑, 墙宽 1.0 m, 共 9 道, 墙与墙之间间距 3.38 m	墙与墙之间的岩腔采用 C10 细石混凝土封闭, 弱化岩墙土体的风化。
BW16	4.0	16.0	10.0	640.0	C20 钢筋混凝土拱撑, 共 3 道拱柱, 其中边道拱柱宽 1.5 m, 中间道拱柱宽 1.0 m, 拱间距 3.0 m, 拱顶最小厚度大于 80 cm, 拱矢高 0.9 m。	
BW20	3.2	8.0	5.5	140.8	C25 钢筋混凝土柱撑, 柱断面 0.6 m $\times$ 0.6 m, 柱轴线外倾 12° 。	由于柱外倾, 在柱的中上部设置 2 排锚杆以稳固支撑柱, 锚杆孔径 110 mm, 锚筋 $2\phi 25$, 采用 M30 砂浆灌浆锚固。

值得指出的是,本文构建的危岩支撑计算方法已经被《重庆市(三峡库区)滑坡、塌岸、危岩防治工程设计技术规范》采用,该规范的出台对于三峡库区的滑坡、塌岸及危岩防治具有重要指导价值,该规范也是国内唯一的危岩设计规范,对于提高我国危岩防治水平具有较为重要的技术借鉴作用。

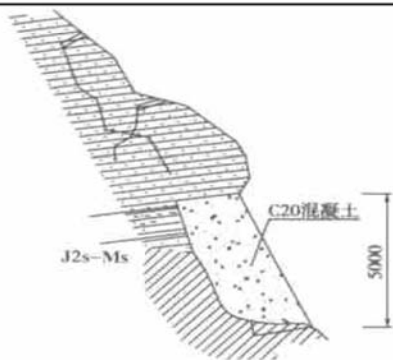


图 10 BW11 危岩墙撑(坠落式危岩)

Fig. 10 Wall support to BW11 unstable rock(FUR)

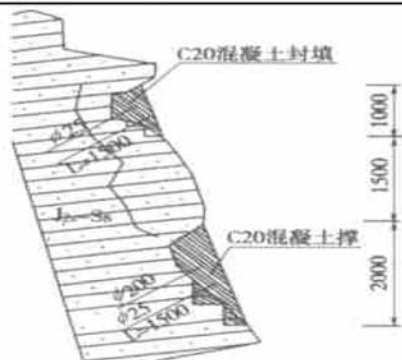


图 11 BW4 危岩墙撑(坠落式危岩)

Fig. 11 Wall support to BW4 unstable rock(FUR)

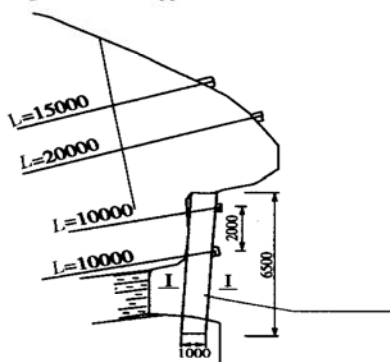


图 12 BW20 危岩柱撑(倾倒式危岩)

Fig. 12 Pile support to BW20 unstable rock(FUR)

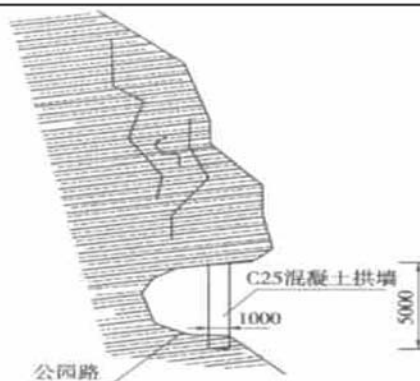


图 13 BW16 危岩拱撑剖面(坠落式危岩)

Fig. 13 Arc support to unstable rock(FUR)

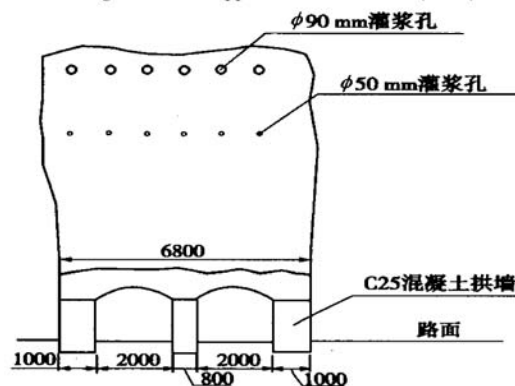


图 14 BW16 危岩拱撑立面(坠落式危岩)

Fig. 14 Arc support elevation unstable rock(FUR)

- [2] 郭映忠. 重庆地质灾害研究与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 1- 8.
- [3] 孙云志. 奉节李子垭危岩体稳定性研究[J]. 人民长江, 1994, 25(9): 48- 53.
- [4] 旷镇国. 重庆市中区危岩崩塌特征、形成机制及防治研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 51- 56.
- [5] 胡克定. 重庆市北温泉危岩带特征与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 57- 62.
- [6] 曾廉. 崩塌与防治[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1990. 23- 50.
- [7] 陈洪凯, 欧阳仲春, 廖世荣. 三峡库区危岩综合防治技术及应用[J]. 地下空间, 2002, 22(2): 97- 101.
- [8] 陈洪凯, 等. 三峡库区危岩防治技术[J]. 中国地质灾害与防治学报(待刊), 2004.
- [9] 陈洪凯, 等. 危岩稳定性计算方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报(待刊), 2004.
- [10] 陈洪凯, 唐红梅, 王蓉. 三峡库区危岩体锚固计算方法及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 59- 62.
- [11] 陈洪凯, 等. 危岩锚固计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报(待刊), 2004.
- [12] DB50/ 5001—1997, 重庆市建筑地基基础设计规范[S].
- [13] DB50/ 5018—2001, 建筑边坡支护技术规范[S].

参考文献:

- [1] 陈洪凯, 王蓉, 唐红梅. 危岩研究现状及趋势综述[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(3): 80- 88.