

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.07.024

极射赤平投影法在拱桥拱座岩质边坡稳定性分析中的应用

马雪平, 肖云飞, 徐辉, 孙晨然
(中国市政华北设计研究总院有限公司, 天津市 300074)

摘要: 结合重庆峡谷地区某拱桥工程,详细阐述了极射赤平投影的基本原理和使用方法,提出了峡谷地区拱桥拱座岩质边坡稳定性分析思路和加固方案,为重庆等西部峡谷地区类似拱桥工程提供了有益参考。

关键词: 极射赤平投影法;峡谷地区;拱桥工程;岩质边坡;稳定性分析

中图分类号: TU457 文献标志码: A 文章编号: 1009-7716(2022)07-0088-04

0 引言

拱桥是西部峡谷地区主要的桥梁类型。然而在桥梁建设运营期间,桥梁本身结构和桥上交通等产生的荷载会由拱座传递到下部边坡基岩,从而影响拱座边坡的稳定性。因此,拱座-基岩处边坡的长期稳定对桥梁安全运营具有重大意义^[1-2]。

峡谷岩质边坡的稳定性和破坏形式受岩性、结构面和地形地貌等因素的控制和影响。其中,峡谷岩体受结构面的切割,在自重和外部荷载等其他外力作用下容易产生变形和滑动,因此研究峡谷边坡岩体结构面的空间位置和组合关系对桥梁的建设和运营具有重要意义。

岩体具有地质结构复杂及赋存不连续介质的特点,极射赤平投影法方法可靠、技术简单,适合对峡谷地区进行岩质边坡稳定性分析和评价^[3-4]。

1 极射赤平投影的原理

极射赤平投影是表示物体的几何要素或点、直线、平面的空间方向和它们之间角距关系的一种平面投影。它以一个球体(称投影球)作为投影工具,以球体的中心(简称球心)作为原点,以投影球的南极和北极为发射点,将物体几何要素的球面投影再投影到赤道平面上(见图1),这种投影就称为极射赤平投影。在实际应用中,大多数只作半球面投影,既

方便作图,又方便比较和判读,其中比较常用的是作上半球的投影。

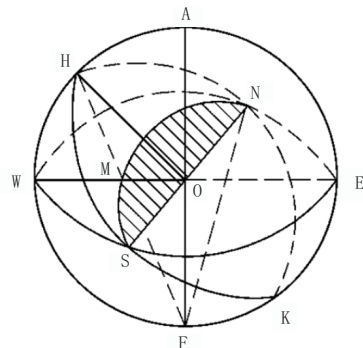


图1 投影球和投影平面

目前广泛使用的投影网为吴氏网(见图2),由基圆、经向大圆弧、纬向小圆弧等经纬线组成。基圆用来度量被测方位角,经向大圆弧与东西直径线的各交点到直径端点的距离分别代表各平面的倾角值。

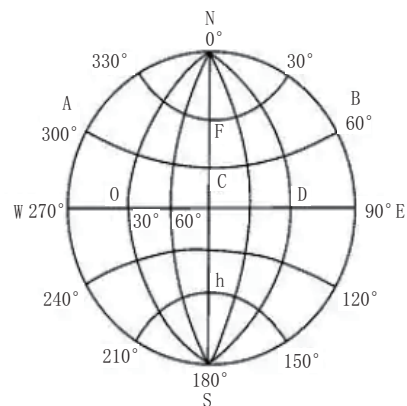


图2 吴氏网

使用极射赤平投影法分析边坡稳定性时,可分为4种类别^[5],如表1所示。

收稿日期: 2021-12-13

作者简介: 马雪平(1988—),女,硕士,工程师,从事道路桥梁设计研究工作。

表 1 极射赤平投影确定边坡稳定性分类表

类别	分布特征	边坡稳定性
1	结构面或结构面交线倾向与边坡倾向相反	稳定
2	结构面或结构面交线倾向与边坡倾向相同, 倾角大于边坡坡脚	较稳定
3	结构面或结构面交线倾向与边坡倾向相同, 倾角小于内摩擦角	较稳定
4	结构面或结构面交线倾向与边坡倾向相同, 倾角大于内摩擦角且小于坡脚	不稳定

2 桥址区岸坡地质结构特征

本文所选桥梁位于重庆市巫溪县通城镇云台村,该桥所在地属于构造剥蚀中低山河谷地貌,桥址区位于山脊处(见图 3)。



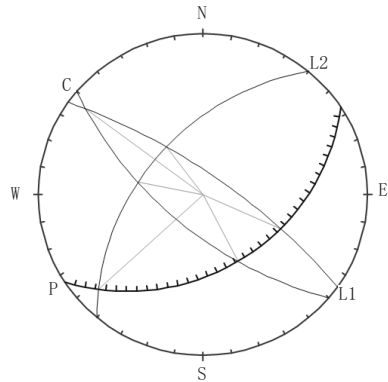
图 3 桥址区地形地貌图

图 3 中大昌岸桥址区为陡坡地形,斜坡坡向约 327°,纵坡地形坡角一般为 40°~50°,沿线路横向地形坡角在拱座地段一般为 25°~35°;拱座西侧为一沟槽,横坡较陡,坡度可达 40°以上。巫溪岸与大昌岸相似,沿线路行进方向为陡坡地形,斜坡坡向约 157°,地形纵坡一般为 40°~60°,沿线路横向地形坡角在拱座位置一般为 20°~30°。

通过地质调绘及钻孔揭露,桥址区及附近分布地层主要为三叠系下统嘉陵江组三段灰岩(T_3j^3)、四段(T_3j^4)角砾岩,第四系全新统崩坡积层碎石土、冲洪积卵石土。

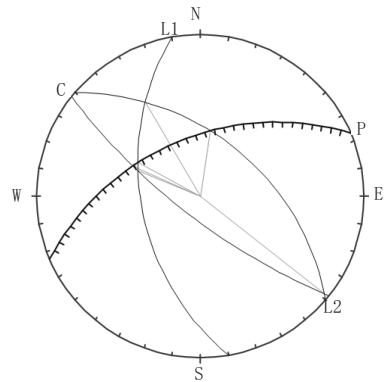
桥址区位于尖山-巫溪向斜南西翼,出露三叠系下统嘉陵江组四段地层,大昌岸岩层产状 $40^\circ \angle 65^\circ$,岩体中主要发育 2 组裂隙:L1 裂隙产状 $215^\circ \angle 75^\circ$,裂隙宽 1~3 cm,间距 0.5~2 m,延伸长度 2~4 m,裂面较光滑平直,裂隙大部分无充填,属硬性结构面;L2 组裂隙产状 $130^\circ \angle 50^\circ$,裂隙宽 0.5~2 cm,间距 1~2 m,延伸长度 0.5~2 m,裂面较光滑平直,多无充填,属硬性结构面。大昌岸斜坡极射赤平投影图见图 4。巫溪岸岩层产状 $38^\circ \angle 75^\circ$,岩体中主要发育 2 组裂隙:L1 裂隙产状 $80^\circ \angle 50^\circ$,裂隙宽 1~3 cm,

间距 0.5~2 m,延伸长度 2~3 m,裂面较光滑平直,裂隙大部分无充填,属硬性结构面;L2 组裂隙产状 $220^\circ \angle 50^\circ$,裂隙宽 0.5~1.5 cm,间距 1~3 m,延伸长度 0.5~2 m,裂面较光滑平直,多无充填,属硬性结构面。巫溪岸斜坡极射赤平投影图见图 5。



坡面产状 P: $327^\circ \angle 40^\circ$; 裂隙 L1: $215^\circ \angle 75^\circ$; 裂隙 L2: $130^\circ \angle 50^\circ$; 层理 C: $130^\circ \angle 50^\circ$ 。

图 4 大昌岸斜坡极射赤平投影图



坡面产状 P: $157^\circ \angle 50^\circ$; 裂隙 L1: $80^\circ \angle 50^\circ$; 裂隙 L2: $220^\circ \angle 50^\circ$; 层理 C: $38^\circ \angle 75^\circ$ 。

图 5 巫溪岸斜坡极射赤平投影图

3 拱座基坑稳定性分析

拱座采用整体式钢筋混凝土结构,基坑底面设计成阶梯形,以适应陡坡地形与地质,利于拱座与地基间的传力。

3.1 大昌岸拱座基坑边坡稳定性分析

大昌岸拱座开挖将形成高 8.00~32.05 m 的基坑边坡,其中拱座西南侧边坡为顺向坡,其余均为切向坡(见图 6)。

大昌岸拱座边坡极射赤平投影图见图 7。

由图 7 可知:大昌岸拱座西南侧边坡层面倾向坡外,层面倾角为 65°,边坡易沿层面产生滑动破坏;拱座西北侧边坡裂隙 L1 倾向坡外,L1 倾角为 63°,边坡易沿结构面滑动破坏;拱座其他侧壁理论破裂角为 61°,岩块受裂隙切割影响,施工时如遇裂隙切割的不稳岩块应采取临时支挡或锚固措施。

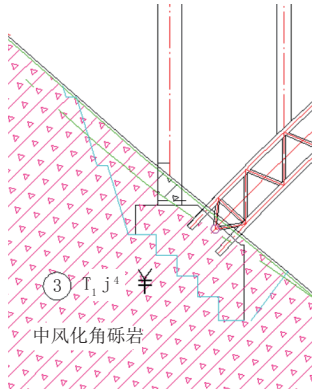
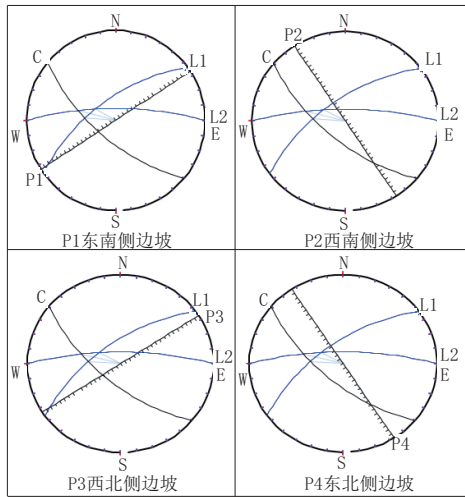


图6 大昌岸拱座基坑原始边坡剖面图



东南侧边坡 P1: $327^\circ \angle 90^\circ$; 西南侧边坡 P2: $57^\circ \angle 90^\circ$;
西北侧边坡 P3: $147^\circ \angle 90^\circ$; 东北侧边坡 P4: $237^\circ \angle 90^\circ$;
裂隙 L1: $144^\circ \angle 63^\circ$; 裂隙 L2: $180^\circ \angle 75^\circ$; 层理 C: $40^\circ \angle 65^\circ$ 。

图7 大昌岸拱座边坡极射赤平投影图

对影响边坡稳定性最大的层面与裂隙 L1 组合形成的楔形体,采用极限平衡法进行稳定性计算,得到基坑边坡稳定性系数为 1.04。说明开挖边坡处于欠稳定状态,在施工扰动或发生降雨的情况下,易发生岩块失稳,需要采取支护措施。

3.2 巫溪岸拱座基坑边坡稳定性分析

巫溪岸拱座开挖将形成高 2.80 ~ 39.16 m 的基坑边坡,其中拱座西南侧边坡为顺向坡,其余均为切向坡(见图 8)。

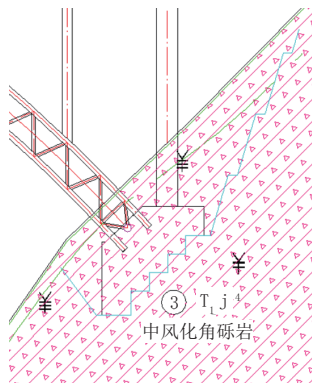
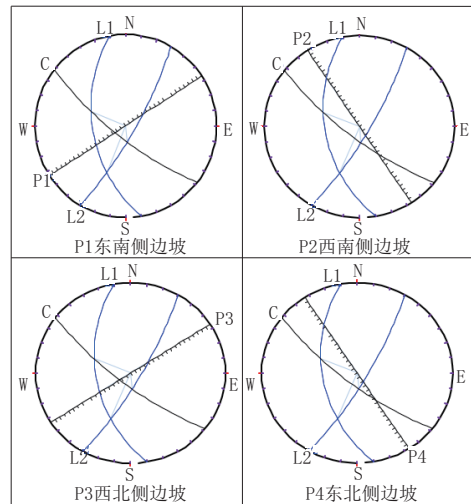


图8 巫溪岸拱座基坑原始边坡剖面图

巫溪岸拱座边坡极射赤平投影图见图 9。



东南侧边坡 P1: $327^\circ \angle 90^\circ$; 西南侧边坡 P2: $57^\circ \angle 90^\circ$;
西北侧边坡 P3: $147^\circ \angle 90^\circ$; 东北侧边坡 P4: $237^\circ \angle 90^\circ$;
裂隙 L1: $80^\circ \angle 50^\circ$; 裂隙 L2: $300^\circ \angle 78^\circ$; 层理 C: $38^\circ \angle 75^\circ$ 。

图9 巫溪岸拱座边坡极射赤平投影图

由图 9 可知:巫溪岸拱座西南侧边坡层面倾向坡外,层面倾角为 75° ,边坡易沿层面产生滑动破坏;拱座西北侧边坡裂隙 L1 倾向坡外,L1 倾角为 50° ,边坡易沿结构面滑动破坏;拱座其他侧壁理论破裂角为 61° ,岩块受裂隙切割影响,施工时如遇裂隙切割的不稳岩块应采取临时支挡或锚固措施。

对影响边坡稳定性最大的层面与裂隙 L1 组合形成的楔形体,采用极限平衡法进行稳定性计算,得到基坑边坡稳定性系数为 1.03。说明开挖边坡处于欠稳定状态,在施工扰动或发生降雨的情况下,易发生岩块失稳,需要采取支护措施。

4 加固方案

结合对峡谷地区拱桥拱座基坑边坡的稳定性分析情况,为保障桥梁施工和今后运营的安全,对拱座基坑边坡采用“挂网喷射混凝土 + 锚杆框架梁”进行防护和加固处理。处治后的巫溪岸拱座基坑边坡设计平面图和剖面图见图 10、图 11。

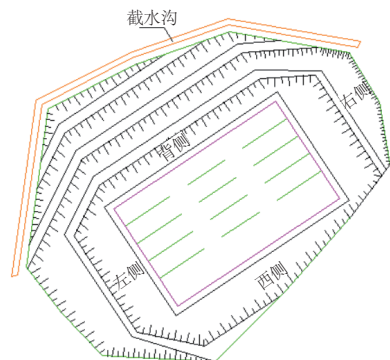


图10 巫溪岸拱座基坑边坡加固设计平面图

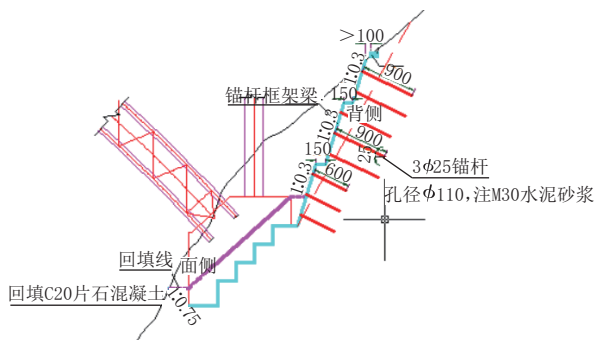


图 11 巫溪岸拱座基坑边坡加固设计剖面图

巫溪岸拱座处治设计的主要措施和技术参数为:

- (1) 拱座基础左侧、右侧及面侧开挖坡率为 1 : 0.75, 分级高度为 8 m, 级间平台宽 1 m。
- (2) 拱座基础背侧边坡开挖坡率为 1 : 0.3, 分级高度为 10 m, 级间平台宽 1.5 m, 坡面采用锚杆框架梁加固。
- (3) 新开挖的坡面均采用挂网喷射 C20 混凝土进行防护, 喷射混凝土厚度为 5 cm。
- (4) 拱座基础及坡面防护完成后应按设计要求对拱座基础周围进行回填, 回填材料采用 C20 片石混凝土。

(5) 背侧及右侧边坡后缘设置截水沟, 截水沟尺寸为 0.4 m × 0.4 m 矩形, 采用 C20 片石混凝土浇筑。

5 结 语

极射赤平投影法在地质复杂区峡谷拱桥拱座边坡稳定性分析中的应用表明, 极射赤平投影法为峡谷拱桥地质勘察、拱座基础边坡稳定性分析提供了简便可行的空间问题图解方法。利用极射赤平投影来表示和测度空间上的平面或直线的方向和角度, 具有实用性和便捷性。

参考文献:

- [1] 田洪铭, 陈卫忠, 郑鹏强, 等. 桥梁荷载下跨谷拱桥岩质桥基岸坡稳定性分析[J]. 岩土力学, 2013, 34(增刊 1):379-385.
- [2] 杨建平, 陈卫忠, 于洪丹, 等. 大宁河特大拱桥拱座-基岩长期稳定性研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(8):1178-1184.
- [3] 梁海, 胡向阳, 严耿升. 赤平投影法在风电场岩质边坡稳定性分析中的应用[J]. 西北水电, 2020(6):68-71.
- [4] 葛绪祯. 赤平投影在岩质边坡稳定性分析中的应用探讨[J]. 市政技术, 2021, 39(7):17-20.
- [5] 程国能. 岩石边坡稳定性地质分析及工程应用[J]. 城市道桥与防洪, 2015(6):234-236, 23.

(上接第 81 页)

(3) 相比以往国内立交匝道桥梁工程中 20 m 左右跨径的连续现浇钢筋混凝土箱梁桥, 40 m 跨径连续窄边箱组合梁经济指标预计可节省约 20%, 且综合性能更优。

立交匝道桥梁工程中采用组合结构桥梁充分发挥组合结构高强、轻质的特点, 通过上部结构大跨度的布置, 大幅减少了下部结构工程量, 实现了经济性、建设工期、社会效益和环保等综合性能上的优势。未来仍应积极发展钢混组合结构桥梁技术, 进一步研究解决曲线钢混组合梁的墩梁固结构构造、快速化施工等系列技术, 实现更大跨、快速、经济、环保、

美观的目标, 提升国内桥梁建设水平。

参考文献:

- [1] 沈冰. 城市互通立交匝道桥梁结构设计研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(23):180-181.
- [2] 王龙辰. 城市立交异形桥梁地震反应分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
- [3] 刘玉擎. 组合结构桥梁[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [4] Toyomu KUWAYMA. Design of Kadoma Junction Work (Steel Superstructure Work) for Kinki Highway[Z]. 2009.
- [5] Japan Bridge Association Inc. STEEL BRIDGES[M]. 2016.
- [6] 浙江省建设工程造价管理总站. 浙江省市政工程预算定额(2010版)[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010.