



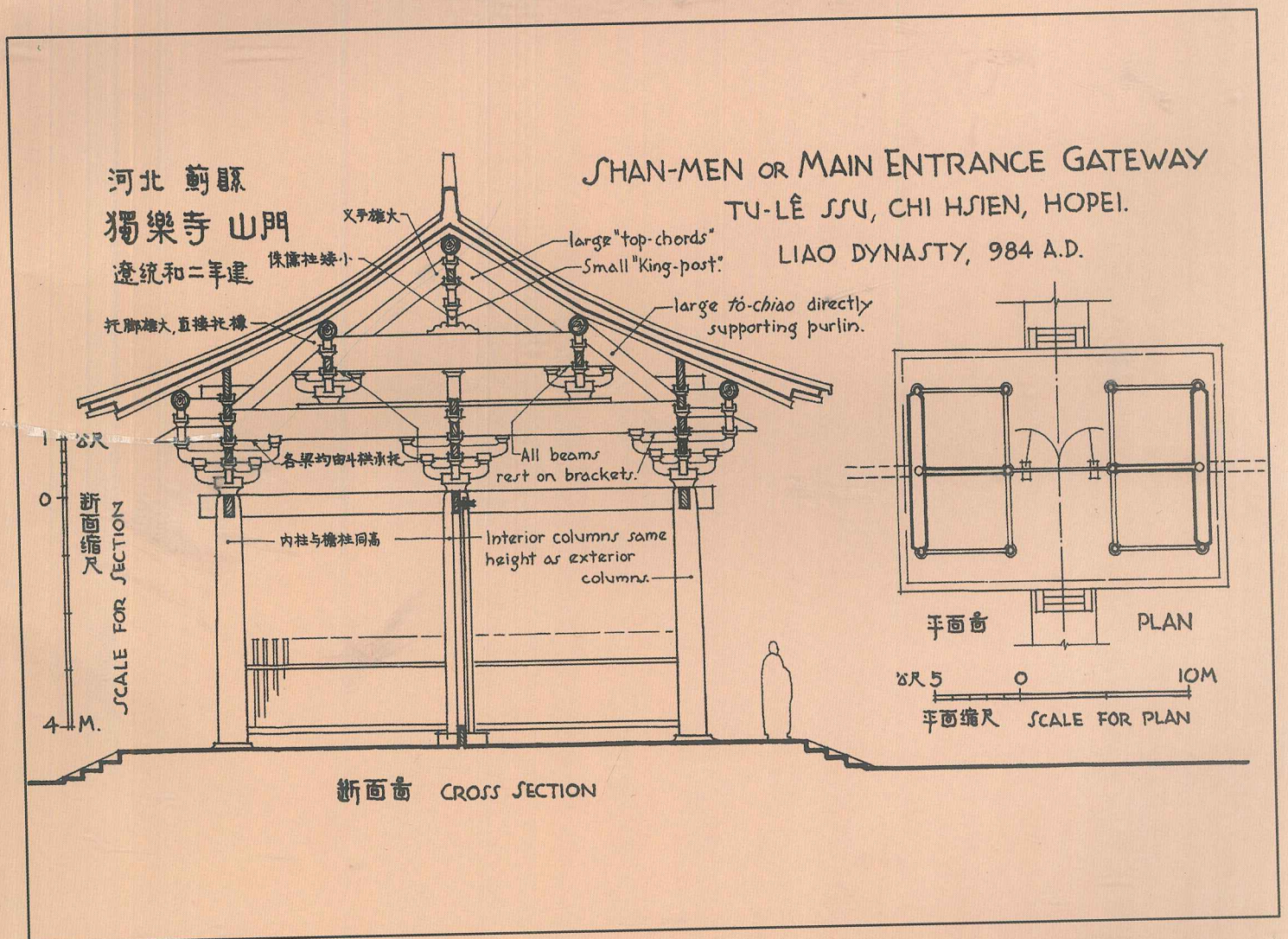
山西建筑

15
 2022

第48卷 第15期
 Vol.48 No.15

SHANXI JIANZHU SHANXI ARCHITECTURE

www.sxjzty.cn



河北蔚县独乐寺山门 (引自《图像中国建筑史》)

ISSN 1009-6825



山西省建筑科学研究院有限公司 主办

DOI:10.13719/j.cnki.1009-6825.2022.15.023

顺层岩质边坡分级组合支挡体系研究

魏小佳

(四川志德岩土工程有限责任公司,四川 成都 610094)

摘 要:以川南某建设项目为例,在有限用地条件下,为满足景观需求,通过调整支护方案的组合形态,同时考虑锚索预应力损失及耐久性,通过对比,采用了放坡+格构锚索(锚杆)+抗滑桩的组合支挡体系,并通过调整分级高度、抗滑桩和锚索下滑力分配等,实现最优化组合。边坡开挖和使用过程中各项监测数据均在规范允许范围内,有效的保证了边坡及坡脚建筑物安全,赢得了良好的经济效益和社会效益。

关键词:岩质边坡;抗剪强度;组合支挡;抗滑桩;锚索

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1009-6825(2022)15-0090-05

0 引言

我国幅员辽阔,全国 70% 面积均为山区,随着城镇化建设的进行,城市建设逐渐向山区扩张。山区因自然改造形成较多的自然灾害,此外人类工程活动也将产生较多的工程滑坡、边坡等^[1]。尤其是四川地区,除成都平原和川西山区以外,大多城市都位于红层地区的丘陵地带,高低起伏的地形严重制约着城市建设的开展。丘陵地区进行工程建设,避免不了较大规模的开挖和回填,从而形成较高的边坡工程。边坡工程治理以“绕避、排水、支挡、减重、反压”等^[2-3]措施为指导方针,加固应考虑边坡的顺应性和协调性,充分利用大自然的自稳性去改造非自稳的自然条件,充分发挥围岩的自动调节能力使之处于新的力学平衡稳定状态^[4-5]。边坡加固其实质是改变边坡的原有力学平衡条件,减小边坡的下滑力和增大边坡的抗滑力来实现坡体平衡^[6]。

川南红层地区,受地质构造影响,岩层倾角较大,开挖后不可避免出现顺层边坡。当前顺层岩质边坡的治理方案有直接加固法和间接加固法。直接加固法主要有常见的挡墙、抗滑桩、锚索等,间接加固法主要有清坡、注浆加固、防排水工程及放缓边坡等。通常在工程的加固设计中会采取两种或多种加固方法以保证边坡正常运营^[7-8]。

清坡能很好的减少边坡的下滑力,增大其稳定性,施工快捷,经济性较好。当用地条件受限的情况下,放坡不能完全保证边坡的安全,此种情况下,为满足规划及总平面要求,尽量利用可用地范围,需要采用组合支护形式进行治理。本文以具体工程实例为依托,在有限的条件下,充分利用用地情况,优化支护结构组合形态,力求方案经济可行。

1 工程概况

1.1 地形地貌

本项目位于川南长江沿岸,地貌单元属构造剥蚀丘陵

地貌。总面积约 $2 \times 10^5 \text{ m}^2$,其中商业用地 $1.4 \times 10^5 \text{ m}^2$,公共绿地 $60\,000 \text{ m}^2$,南临长江,风景秀丽,交通便利。

1.2 自然地理气候

川南东靠长江,西接大小凉山,南接云南,北连川中腹地,素为川南形胜,自古以来,就是川南、滇东北一带重要的物资集散地和交通要冲。

项目所在区属于亚热带湿润季风气候,低丘、河谷地带带有南亚热带的气候属性。具有气候温和、热量丰足、雨量充沛、光照适宜、无霜期长、冬暖春早、四季分明的特点。年平均气温 18°C 左右,年平均降水量 $1\,050 \text{ mm} \sim 1\,618 \text{ mm}$,5 月~10 月为雨季,降水量占全年的 81.7%,主汛期为 7 月~9 月,降雨量更集中,占全年总降雨量的 51%。

1.3 地质构造

区域大地构造位置处于扬子准地台的四川台坳南缘,地质构造受川东平行褶皱带的影响,形成由东北向西南延伸的平行小背斜、小向斜,形成不规则的带状、块状。一个是东北起自金坪向西伸到翠屏山的观斗山背斜,一个是东北自志城乡的羔羊村西南到南广镇至弓背田的七星山背斜。两个背斜之间有与之平行、东北起高店乡五村、西南到白沙场的龙头山向斜。观斗山背斜西为与之平行的蟠龙向斜和邓关背斜。场区所处位置为观斗山背斜的南东翼。

总体来说,区内断裂构造和地震活动微弱,历史上从未发生过强烈地震。

2008 年汶川 8.0 级强震,该场区均未遭受破坏性地震危害。从区域地质构造来看,该场地属于相对稳定场地。

1.4 地震效应

根据 GB 18306—2015 中国地震动参数区划图和 GB 50011—2010 建筑抗震设计规范(2016 年版)有关规定,拟建场地设计基本地震加速度值为 $0.10g$,设计特征周期 0.40 s ,设计地震分组为第二组,抗震设防烈度为

7 度, 场地类别为 II 类场地。

1.5 水文地质条件

1) 地表水。拟建场地无地表水分布。

2) 地下水埋藏条件。场地在地貌单元上系剥蚀型浅丘地貌, 场地内的地下水主要为赋存于地势低洼地带的上层滞水, 少量为赋存于场地内填土层的上层滞水和基岩裂隙水。受季节影响非常明显, 旱季地下水贫乏, 水文地质条件简单, 水量较小, 无统一水位。

3) 地下水腐蚀性评价。场地地下水对混凝土结构具微腐蚀性, 对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀性。

2 边坡基本特征

2.1 边坡概况

拟建治理边坡分布于地块西侧, 整体成南北向展布, 坡向正东, 开挖后将形成长约 320.0 m, 高度约 2.0 m ~ 40.0 m 的岩质边坡。原始地形整体坡度 20° ~ 35°, 局部可达 40°, 在边坡范围内, 基岩埋深较浅, 覆盖层厚度约 7.0 m ~ 10.0 m, 主要为素填土、粉质黏土及含碎石粉质黏土, 基岩为砂质泥岩和泥岩互层。

岩层倾向 130°, 倾角约 40° ~ 60°, 岩层倾向与坡向小角度相交, 为顺层边坡。开挖后, 岩土体沿层面滑移 - 拉裂, 顺层整体滑动, 直接威胁坡脚建筑物安全, 因此需对该边坡及时进行治疗。边坡典型剖面图见图 1。

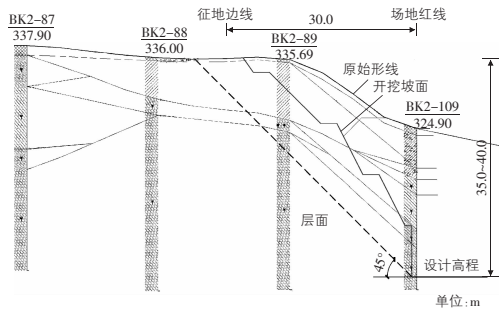


图 1 边坡典型剖面图

2.2 边坡岩土工程地质特征

边坡岩土体主要由第四系全新统人工素填土 (Q_4^{ml})、第四系全新统坡洪积层 (Q_4^{dl+pl}) 及侏罗纪中统上沙溪庙组 (J_2s) 组成。各岩土层的构成和特征分述如下:

1) 第四系全新统人工填土层 (Q_4^{ml})。

①₁ 杂填土: 杂色, 松散, 稍湿。主要以回填的风化泥岩夹碎石、砖块、近期拆迁遗留的建筑垃圾及原建筑基础和地坪残迹为主。

①₂ 素填土: 褐灰、灰黄色, 稍湿, 稍密, 多为风化泥岩为主, 局部以黏性土为主, 含少量卵石。

2) 第四系全新统残坡积层 (Q_4^{dl+pl})。

②₁ 粉质黏土: 黄褐色、灰黄色、褐灰色, 可塑, 局部呈硬塑状, 稍有光泽反应, 无摇振反应, 干强度中等, 韧性中等, 主要由黏粒组成, 含少量粉粒, 手搓捻略有砂感。

②₂ 粉质黏土: 褐灰色, 软塑, 稍有光泽反应, 无

摇振反应, 干强度低, 韧性低, 主要由黏粒组成, 含少量粉粒, 手搓捻略有砂感。

③ 含碎石粉质黏土: 褐黄、褐灰色, 松散 ~ 稍密, 由风化岩层堆积而成, 成分以粉质黏土、泥岩、砂质泥岩为主, 一般粒径 2 cm ~ 8 cm, 个别夹块石、卵石, 最大粒径达 15 cm。

3) 侏罗纪中统上沙溪庙组 (J_2s)。

基岩以中风化砂岩、砂质泥岩为主, 局部偶夹强风化层, 岩层产状 130° ~ 140° ∠ 40° ~ 60°。

④₁ 强风化砂质泥岩: 灰色、暗紫色, 粉砂质、泥质结构, 中厚层状构造。主要由石英、长石及岩屑组成, 裂隙发育, 裂隙充填方解石脉, 岩芯多呈碎块状, 岩质较软。

④₂ 中风化砂质泥岩: 红褐色 ~ 紫红色, 粉砂质、泥质结构, 薄层 ~ 中厚层构造, 节理裂隙不发育, 岩芯多呈长柱状, 少量短柱状, 锤击易断。岩体较完整, 天然单轴抗压强度标准值 $f_{rc} = 9.39$ MPa, 为较软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。

⑤₁ 全风化泥岩: 紫红色, 泥质结构, 主要由黏土矿物组成, 局部夹钙质结核, 裂隙发育, 岩芯多呈土状。

⑤₂ 强风化泥岩: 紫红色, 泥质结构, 主要由黏土矿物组成, 局部夹钙质结核, 裂隙发育, 岩芯多呈碎块状, 岩质软。

⑤₃ 中等风化泥岩: 紫红色, 泥质结构, 主要由黏土矿物组成, 局部夹钙质结核, 岩芯多呈短柱状、柱状, 岩体较完整, 天然单轴抗压强度标准值 $f_{rc} = 4.77$ MPa, 为极软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。

⑥ 中风化砂岩: 细粒 ~ 中粒结构, 泥质胶结, 巨厚层状构造, 风化裂隙较发育, 岩芯多呈长柱状, 少量短柱状, 岩质较硬, 锤击声脆, 饱和单轴抗压强度标准值 $f_{rc} = 28.80$ MPa, 岩石为较软岩, 岩体基本质量等级为 IV 级。

2.3 岩土工程特性指标

2.3.1 各岩土层的工程特性指标

根据钻探情况, 综合各项测试, 各岩土层的工程特性指标值见表 1。

2.3.2 结构面性状

岩体主要由侏罗纪中统上沙溪庙组薄 ~ 中厚层状砂岩夹薄 ~ 巨厚层泥岩组成, 岩体较完整, 发育有两组节理裂隙:

节理①: 60° ∠ 81°, 节理②: 312° ∠ 80°, 岩层层面: 135° ∠ 55°。

斜坡整体为顺层岩质斜坡, 两组节理将岩体切割成不规则大块块体。岩层层面起伏较粗糙, 手搓有砂感, 张开度 1 mm ~ 3 mm, 层面泥质浸染, 但无明显夹泥现象, 为硬质结构面, 整体结合性差^[9]。

结构面抗剪强度指标标准值如表 2 所示。层面状态如图 2 所示。

表 1 岩土工程特性指标汇总表

岩土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	天然抗剪		饱和抗剪		承载力特征值 f_{ak}/kPa	地基土水平抗力系数的比例系数 $m/(\text{MN} \cdot \text{m}^{-4})$	岩土体与锚固体极限黏结强度标准值 $f_{t,bk}/\text{kPa}$	天然单轴抗压强度标准值 f_{rc}/MPa	饱和单轴抗压强度标准值 f_{rc}/MPa
		黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$					
① ₋₁ 杂填土	18.0	—	—	—	—	—	4	16	—	—
① ₋₂ 素填土	18.5	8	10	—	—	—	6	15	—	—
② ₋₁ 粉质黏土	19.0	25	15	—	—	150	20	50	—	—
② ₋₂ 粉质黏土	18.2	12	12	—	—	90	12	30	—	—
③含碎石粉质黏土	19.5	23	18	—	—	200	35	60	—	—
④ ₋₁ 强风化砂质泥岩	21.6	25	25	22	20	320	90	160	0.77	—
④ ₋₂ 中风化砂质泥岩	24.5	250	33	100	25	1 000	160	230	9.39	6.5
⑤ ₋₁ 全风化泥岩	21.5	25	16	—	—	200	40	90	—	—
⑤ ₋₂ 强风化泥岩	21.5	30	25	25	18	280	80	140	0.69	—
⑤ ₋₃ 中风化质泥岩	23.4	230	32	90	25	900	150	220	4.77	3.18
⑥中风化砂岩	24.5	300	40	200	32	1 800	—	300	35.21	28.8

表 2 结构面抗剪强度指标标准值

结构面类型	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
软弱结构面	28	16



图 2 层面状态

2.4 边坡稳定性分析

边坡开挖坡向 90°, 坡向与层面倾向夹角约 45°, 视倾角 45°, 属顺层边坡, 且坡角大于层面倾角, 边坡不稳定。开挖坡向与节理②倾向夹角约 138°, 属斜坡向节理, 边坡稳定性较好; 开挖坡向与节理①倾向夹角约 30°, 属顺坡向节理, 边坡不稳定; 但节理延伸度较短, 边坡破坏模式主要以顺层滑动破坏为主。局部坡顶存在约 7.0 m ~ 10.0 m 覆盖层, 存在次级圆弧滑动破坏, 因此边坡治理既要保证整体顺层滑动稳定, 也要保证覆盖层的圆弧滑动稳定。

边坡节理赤平投影图见图 3。

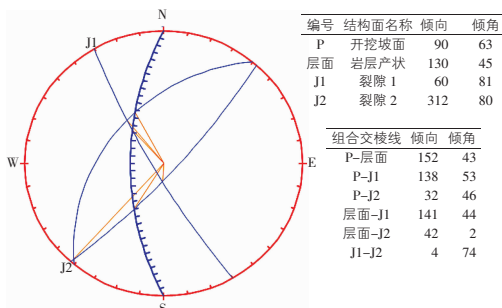


图 3 边坡节理赤平投影图

3 边坡支护方案设计

3.1 重难点分析

本边坡为顺向岩质边坡, 整体稳定性较差, 岩体容易沿层面发生顺向滑移, 威胁坡脚建筑物安全; 此外, 切坡后应力重新分布, 易产生新的次生裂隙, 进而造成边坡失稳。

本工程主要难点如下:

1) 边坡最大支护高度约 40.0 m, 且顺为层岩质边坡, 坡脚即为待建重要建筑物, 安全等级较高, 支护难度较大。

2) 由于用地红线限制, 放坡空间仅约 30.0 m, 放坡坡度受限, 不能通过放缓坡来减少顺层滑动力, 因此只能通过较强的支护措施来抵抗顺层滑动力, 无疑给支护设计带来了较大的挑战。

3) 地层变化较大: 本边坡虽为顺层岩质边坡, 但在中段坡顶存在 7.0 m ~ 10.0 m 厚的粉质黏土层, 存在次级滑动, 且土层锚索受力性能较差, 因此次级滑动稳定也是本支护工程的重点。坡顶覆盖层开挖情况见图 4。



图 4 坡顶覆盖层开挖情况

4) 本工程切坡高度较大, 开挖卸荷导致应力释放, 卸荷后将加剧岩体裂隙发育, 从而形成渗水通道, 对边坡稳定造成较大影响。

3.2 治理方案选型

根据景观要求, 为便于后期景观打造, 各级马道宽度不小于 2.5 m。由于坡顶存在 7.0 m ~ 10.0 m 厚粉质黏

土层,存在次级圆弧滑动,鉴于土层锚索受力性能较差,且后期预应力损失严重,因此顶部土层采取坡率法进行支护,坡比 1:1.0,坡表格构+锚杆防护。

上部土体放坡后,下部约 25 m~30 m 顺层整体滑动区段,平面可利用空间仅 15 m 左右,因此放坡条件极为受限,不同分级高度剩余下滑力对比情况如表 3 所示。

表 3 剩余下滑力对比

类别	覆盖层坡比 (厚 10.0 m)	整体滑动(高度 25.0 m~30.0 m)		抗滑桩 悬臂高度/m	马道 宽度/m	剩余下 滑力水平 分力/kN
		分级 高度/m	坡比			
方案一	1:1.0	10	0.5	6	2.5	2 088
方案二	1:1.0	8	0.5	8	2.5	2 284

基于以上情况,设计采用方案一进行,一方面下滑力低约 10%,另一方面可最大限度利用锚索的拉力,来抵抗强大的剩余下滑力。根据锚索锚固段应力分布特性,锚固段长度控制在 8 m~10 m,单根锚索轴力约 500 kN~600 kN;通过验算,设计关键参数如下:

1) 覆盖层:1:1.0 分级放坡,分级高度 8.0 m,坡表锚杆+格构护坡,间距 2.0 m(竖向)×3.0 m(水平)。

2) 岩质部分:1:0.5 分级放坡,分级高度 8.0 m,锚索+格构支护,间距 2.0 m(竖向)×3.0 m(水平),单根锚索长度 15 m~20 m,轴力 560 kN;为便于施工,抗滑桩采用机械成孔灌注桩,直径 1.5 m,间距 3.0 m(见图 5,图 6)。

坡脚通过布设较强的抗滑桩,能很好的预防坡脚剪应力集中导致的溃屈破坏。

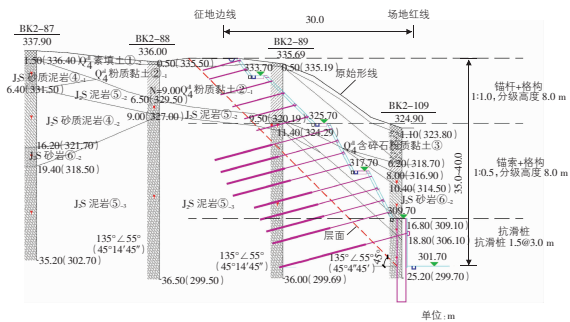


图 5 典型支护剖面



图 6 锚索+格构+抗滑桩支护区实景

3.3 监测效果分析

项目从开挖到竣工后两年,均进行了边坡位移和锚索轴力等监测。选取了坡顶 7 个典型位移监测点进行分析,可见边坡开挖后最大累计变形约 14.7 mm,小于规范要求的 1/500 或 20 mm 的限制要求。最大位移主要在开挖阶段的 6 个月内,该阶段累计位移约 12 mm,最大变形

速率约 0.8 mm/d~1.0 mm/d,小于规范允许的最大变形速率 2 mm/d~3 mm/d 的要求。运营阶段累计变形量约 2 mm,变形已趋于稳定(见图 7)。

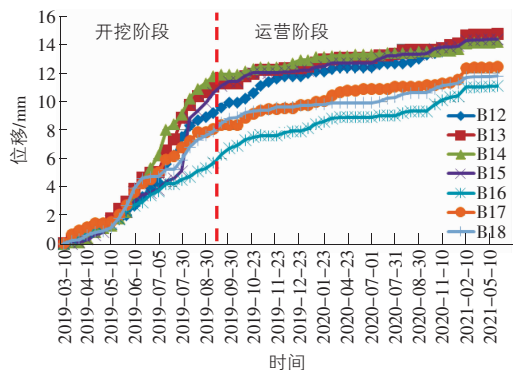


图 7 位移监测曲线

整个边坡从开挖到运营变形速率和累计变形量均严格控制在规定允许变形范围内,很好的保证了边坡及建筑物的安全,该组合支护体系具有较好的安全性。

4 结语

本项目以实例工程为依托,为满足景观需求,在有限用地条件下,为满足景观需求,通过调整支护方案的组合形态,同时考虑锚索预应力损失及耐久性,通过对比,采用了放坡+格构锚索(锚杆)+抗滑桩的组合支挡体系,并通过调整抗滑桩和锚索下滑力分配,实现最优组合。

边坡从开挖到运营,最大累计变形约 14.7 mm,最大变形速率约 0.8 mm/d~1.0 mm/d,各项监测数据均控制在规范允许范围内,有效的保证了边坡及建筑物安全,赢得了良好的经济效益和社会效益,该组合支护体系为顺层边坡治理提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 黄润秋,许强.中国典型灾难性滑坡[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 许强,裴向军,黄润秋,等.汶川地震大型滑坡研究[M].北京:科学出版社,2009.
- [3] 黄润秋.汶川地震地质灾害研究[M].北京:科学出版社,2009.
- [4] 王子健,鲍硕超.辽源市某小区岩质边坡稳定性评价及治理研究[J].山西建筑,2021,47(15):66-68.
- [5] 陈燕青.强降雨作用下高陡型顺层风化岩质边坡稳定性研究[D].广州:广州大学,2018.
- [6] 章涛.顺层岩质边坡滑移-拉裂破坏机理研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.
- [7] 徐永旺.顺层岩质边坡加固及开挖稳定性分析[D].北京:中国地质大学,2020.
- [8] 牌立芳.山区机场高填方边坡组合支护结构体系的协同工作性能研究[D].兰州:兰州交通大学,2019.

- [3] 付亚涛. 基于机器学习的城乡统筹供水水质异常检测方法研究[D]. 南京:东南大学,2018. 定位的机器学习方法[J]. 中国给水排水,2021,37(7):58-65.
- [4] 青春. 基于支持向量机的供水管道泄漏检测算法研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2018. [6] 李鹏程,徐文征. 机器学习在多目标复杂排水系统中辅助运行控制的研究[J]. 给水排水,2021,57(8):154-159.
- [5] 陈京钰,肖诗云,冯新. 一种供水管网泄漏区域

Research on application of machine learning in water supply network management system

Lu Bingfeng

(Water-supply Branch, Jinneng Holdings Coal Industry Group, Datong 037003, China)

Abstract: In order to study the application trend of machine learning system in water supply network management and discover the singularities in water supply network data, 8 domestic and foreign researches on machine learning in water supply network management were analyzed. From data processing to model verification, each study the methods used in were analyzed. The results show that the problem of category imbalance is mainly from the typical data of the water supply network. It is recommended to use sampling methods to train the classifier to solve such problems; in addition, the scaling and transformation of variables usually have a positive impact on the performance of the model.

Key words: water supply network; machine learning; predictive model

(上接第93页)

- [9] 李丹枫. 高速公路砂泥岩顺层边坡组合抗滑体系协调效应研究[D]. 北京:北京交通大学,2017. [10] 柴贺军. 泥岩层面抗剪强度室内大型剪切试验研究[J]. 公路交通技术,2017,33(6):1-8.

Study on graded combined bracing system of bedding rock slope

Wei Xiaojia

(Sichuan Zhide Geotechnical Engineering Limited Liability Company, Chengdu 610094, China)

Abstract: Based on the basis of a construction project as an example, under the condition of limited land, to meet the demand of landscape, by adjusting the supporting schemes combination form, at the same time, prestress loss and durability. By contrast, the combined bracing system of slope release + anchor cable + anti-slide pile is adopted; and by adjusting the classification, such as height, anti-slide pile and anchor cable force distribution in Achieve optimal combination. In the process of slope excavation and use, the monitoring data are within the standard range, which effectively ensures the safety of slope and slope foot buildings, and wins good economic and social benefits.

Key words: rock slope; the shear strength; composite retaining; anti-slide pile; anchor cable

(上接第122页)

Effect of high modulus agent on high temperature performance of airport asphalt pavement

Cheng Dejin, Yang Kai, Dai Zheng, Wang Jiandang, Zhang Xiaohui

(Northwest Civil Aviation Airport Construction Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: Taking the taxiway junction at the end of the airport asphalt pavement prone to shear failure as the test section, PR high modulus agent is added to AC-20 and SMA-13 mixtures respectively. Rutting test and coring uniaxial penetration shear test are used to evaluate the high-temperature performance of the mixture. Combined with Marshall test, low-temperature bending test and water stability test, the application effect of high modulus agent is comprehensively analyzed. The results show that the high modulus agent is better than SMA-13 in improving the high temperature properties of AC-20. Adding 0.5% high modulus agent, the dynamic stability and shear strength of AC-20 are increased by 20.9% and 20.4% respectively. The dynamic stability and shear strength of SMA-13 increased by 14.5% and 15.4% respectively. The Marshall volume index of the two mixtures basically did not change, the low-temperature performance decreased slightly, and the water stability improved to a certain extent. The overall application effect of high modulus agent in this test section is good, it has certain popularization and application value.

Key words: asphalt pavement; high modulus agent; rut; shear strength