

信息施工法在路堑高边坡设计施工中的应用

王恒中¹, 曾华求², 李华超¹, 庄礼发¹, 吕泓彦¹

(1. 江苏省地质工程勘察院深圳分院, 广东 深圳 518000;

2. 深圳市中天基础勘测设计有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要 在路堑高边坡设计施工中, 为切实发挥信息施工法的应用效果, 本文结合实际的工程项目, 深入探讨了信息施工法的实施流程, 涵盖施工前准备、施工过程管控两个方面, 并探讨了信息施工法的实施效果, 以期为类似工程的信息化施工提供参考。研究结果表明, 在路堑高边坡施工中, 累计最大位移远低于预警值, 锚杆最大应力处于设计值以内, 且施工周期较预期提前 40 天。

关键词 路堑高边坡; 信息施工法; 实施流程

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.015

0 引言

在交通设施的建造施工中, 路堑高边坡因岩体结构复杂、地形陡峭等因素, 开挖施工中常常出现边坡滑塌、失稳等问题, 增加施工风险; 同时, 边坡的稳固性也和工程构造的长期运行、生态保护等方面息息相关。然而, 在路堑高边坡传统的设计施工中, 由于勘察资料有限、缺乏施工管控等, 既无法有效应对复杂的地质条件, 也无法保障边坡的稳定性。而信息施工法的出现, 为这一问题的解决提供了新路径, 其通过设计施工作业的动态监测、数据反馈和方案调整形成闭环管理, 实现对全流程的实时管控, 保障施工作业的安全性。本文聚焦实际工程, 系统阐述信息施工法的应用要点与效果。

1 工程概况

1.1 基本情况

某高速公路的路堑高边坡路段长 1.6 km, 最大开挖深度 58.0 m, 边坡坡度 1:1.2。工程穿越剥蚀低山区, 地形切割严重, 边坡底部、顶部高程相差 80.0 m; 周边有县级公路 1 条、居民聚集区 2 处。

1.2 地质水文条件

1. 地质条件。本工程地形复杂, 有侵蚀剥蚀低山丘陵、沟谷凹地, 上方覆盖粉质黏土, 厚度介于 1.0~3.0 m 之间, 下部为粉砂岩、凝灰质砂岩; 受构造影响, 沟谷、山脉呈现东西走向; 山体明显破碎, 岩层和边坡之间的角度在 30° 以内, 滑塌的可能性较大。

2. 水文条件。地下水为基岩裂隙水, 夏季雨量大时渗水情况严重, 影响路堑边坡的稳固性。

2 信息化施工法的实施流程

由于本工程地质条件复杂, 再加上施工作业不确定因素多、相关参数设计不合理等因素影响, 可能会影响施工作业的顺利推进, 导致边坡施工效果和预期存在较大出入。鉴于此, 本工程拟定采取信息施工法展开设计、施工, 依托监测数据指导工程实践, 确保施工作业顺利推进。

2.1 施工前准备

1. 资料收集分析。在路堑高边坡设计、施工作业开展前期, 应当全面收集施工区域的相关资料, 诸如周边环境、地形地貌图、地质调查报告等; 组织相关人员深入分析这些资料, 着重考量影响边坡稳定性的因素, 如地下水、岩土性质等。

2. 监测方案制定。结合工程情况、地质条件, 对施工监测方案展开详细的编制, 包括但不限于边坡沉降、位移、锚杆锚索应力等; 构建监测体系, 科学布设监测点位, 主要布设于边坡顶部、底部等区域, 确保监测点位置精准、数量充足, 以便随时获取边坡承载力、变形数据^[1]。具体参数见表 1。

3. 初步设计施工方案。结合勘察数据、分析结果, 采用数值模拟、类比 2 种方法。初步设计施工方案: 明确边坡开挖的流程、方式、支护结构。例如: 边坡开挖施工采用分段、分层的方式进行, 各层开挖高度控制在 8.0~10.0 m 范围内; 支护结构设定为挡土墙、框架梁等单一形式或联合形式。在本工程的施工方案预设计中, 主要采用理正岩土软件进行, 这一软件内置 3 种边坡稳定性计算方法: 瑞典条分法、Bishop 法、Janbu 法, 具体表达式如下:

表 1 边坡监测参数

| 监测项目 | 监测仪器 | 布设密度 | 初始频率 |
|--------|--------|--|-----------|
| 深层位移 | 测斜仪 | 高风险区域每 30.0 m 布设 1 个孔, 普通区域则每 50.0 m 布设 1 个孔 | 每 3 天 1 次 |
| 坡顶水平位移 | 全站仪 | 每 50.0 m 设置断面 1 个, 各断面布设 3 个监测点位 | 每天 1 次 |
| 锚杆应力 | 振弦式测力计 | 每榀框架梁布设 3 个监测点位 | 每 2 天 1 次 |
| 地下水位 | 渗压计 | 沿边坡高度每 20.0 m 布设 1 排, 每排设监测点位 3 个 | 每 3 天 1 次 |

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i \cos \theta_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \theta_i} \quad (1)$$

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{ai}} (c_i b_i + G_i \tan \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \theta_i} \quad (2)$$

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{ai}} (c_i b_i + (G_i + \Delta X_i) \tan \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n (G_i + \Delta X_i) \sin \theta_i} \quad (3)$$

式(1)~(3)中, K_s 代表的是路堑高边坡的稳定性, G_i 代表的是第*i*个土条自身的重量, l_i 代表的是第*i*个土条的滑动长度, θ_i 代表的是第*i*个土条在滑动状况下的切线和水平方位的角度, c_i 代表的是滑动过程中土体黏聚参数, b_i 代表的是第*i*个土条的宽度, φ_i 代表的是滑动过程中的土体摩擦系数, m_{ai} 代表的是中间计算结果, ΔX_i 代表的是第*i*个侧面产生的切向力差值。

2.2 施工过程管控

2.2.1 信息记录

在路堑高边坡施工中,采用“边开挖、边记录”的模式,对开挖过程进行动态跟踪,详细了解开挖进度、地质特征、防护体系的应力变化等;每开挖一级,都要详实记录各项数据,并附带照片,其目的在于客观记录边坡开挖的地下水、岩层性状等地质信息。

2.2.2 监测方法

由于本工程地质条件复杂,风险等级高,要求在施工过程中加强地表变化的巡查,过程中可依托专业设备监测应力、变形等各项参数^[2];考虑到边坡滑移是常见的破坏形式,因此在施工监测中需要尽可能地覆盖边坡滑移范围,确保测线和裂缝处于垂直状态。特别是对于不容易发现的裂缝的区域,应展开重点监测。

在通常情况下,监测工作于边坡开挖结束后展开,操作要点为:于边坡布设多个监测点位,定期测量各点位间距,以了解边坡的位移情况;每级开挖工作结束后,立即检测边坡的稳定性,了解其应力是否超出规定值。结合工作经验,监测频率可根据工程情况动态调整,在暴雨天气,如日降雨量在 50.0 mm 以上时,监测项

目的频率调为每 4 小时 1 次;当开挖作业达到软弱夹层时,边坡的位移监测频次设为每 6 小时 1 次;而在边坡支护施工中,对于锚杆应力的监测则为每天 1 次。

2.2.3 信息反馈和分析

1. 建立信息反馈机制,确保路堑高边坡设计、施工中的所有数据都能及时快速的传达给相关人员;采用光纤、4G 无线传输备份模式,防止数据丢失;搭建 BIM 协同工作平台,实时共享相关数据;定期整理收集到的各类数据,并将其制作成表格的形式经信息化平台推送给参建各方;在施工现场布设公示栏,根据施工进度随时调整公示信息,方便施工、管理人员随时了解边坡施工动态,提前预测潜在风险或隐患^[3]。

2. 数据分析。从严格意义上看,边坡位移速度、位移量的确定存在较大难度,这是因为不同的边坡位置、岩土特性的位移允许值不同。鉴于此,监测数据分析环节应结合工程情况而定。基于边坡加固层面分析,边坡是可以发生少量位移的,这就要求将“适量位移”作为评判边坡稳定性的依据,实际的位移值可参照工程比照、监测曲线确定,若结果显示超出规定范围,需立即进行调整。另外,针对边坡的变形情况,还可以制作成响应图表、绘制位移—时间曲线,过程中注意把控拐点、极限值,以便直观了解不同监测点位的数值变化,掌握边坡变形的运动轨迹,从而提前制定防范对策^[4]。此外,为提高监测效果,应当科学设置预警指标,若监测结果超出预警值,立即发出警报(具体参照表 2),启动分级响应机制:蓝色预警时,监理单位到施工现场进行核查,施工单位则加大监测频次;黄色预警时,设计单位尽快出具调整建议,注意时间不能超过 1 天,同时暂停高风险区域的开挖施工;红色预警时,立即启动应急预案,实行临时加固。

2.2.4 方案调整

1. 设计变更。结合监测数据分析结果,依托 BP 神经网络对异常数据进行反演,为初始设计方案的调整提供参考依据。例如:当监测结果显示某边坡段的滑动面较大时,需重新对边坡稳定性进行计算,同步调整支护结构。本工程中,发现某段页岩完整性系数比

表 2 边坡监测预警指标

| 预警等级 | 位移速度 (mm/d) | 累计位移 (mm) | 锚杆应力 (设计值占比) |
|------|-------------|---------------|---------------|
| 蓝色预警 | 1.0 ~ 2.0 | 50.0 ~ 100.0 | 70.0% ~ 80.0% |
| 黄色预警 | 2.0 ~ 3.0 | 100.0 ~ 150.0 | 80.0% ~ 90.0% |
| 红色预警 | > 3.0 | > 150.0 | > 90.0% |

勘察值低, 展开了如下调整: 锚杆长度由原方案中的 12.0 m 增至 15.0 m, 相邻锚索距离由 3.5 m 减至 3.0 m。在此基础上, 还特别增设了直径为 1.2 m、长度为 25.0 m 的抗滑桩, 来增强边坡稳定性。该变更方案出具后, 相关单位联合开展了审核, 确保了设计变更的可行性、合理性。

2. 工艺调整。在路堑高边坡信息化施工中, 还需结合设计变更、工程情况, 对施工工艺展开适当的调整。以边坡开挖施工方式为例, 若开挖操作中遇到岩石破碎带, 可将爆破开挖更为静态破损^[5]: 利用膨胀剂对边坡岩体进行破损处理, 单孔装药量不能超过 300.0 g; 调整开挖步距, 即 2.0 m 缩为 1.5 m; 采用混凝土喷射的方式对岩面进行封闭, 单层厚度控制在 10.0 cm。另外, 在边坡支护施工中, 对锚杆锚索施工工序展开调整: 科学选用钻孔设备, 优化浆液灌注工艺, 确保锚索、锚杆的锚固力和设计要求相符; 合理安排施工进度, 防止因施工顺序不当或开挖过度影响边坡的稳定性。

2.3 实施效果

1. 边坡稳定性。通过信息施工法的应用, 实现了对边坡稳定性的实时监测、动态调整。在工作实践中, 及时发现了潜在的边坡失稳隐患, 确保了边坡在整个施工周期的稳固性。监测数据显示: 在边坡施工过程中, 最大累计位移量为 85.0 mm, 和预警值的 150.0 mm 存在较大偏差; 锚索最大应力为 420 kN, 未超过设计值的 500 kN; 通过持续 1 年的水文观测, 在边坡运营期间总位移量未超过 5.0 mm, 而且也没有出现任何的安全事故。

2. 工程成本。信息施工法的应用, 不仅有效规避了设计方案不合理带来的反复变更, 还优化了支护结构的相关参数, 减少了工程的整体成本。数据显示: 相较于传统的设计施工, 信息施工法下的边坡成本至少节约 30.0%, 这主要归因于设计方案的合理性, 规避了常规设计的盲目性^[6]。例如: 在人工边坡角度介于 55° ~ 60° 时, 以直径 < 20.0 mm、长度 3.0 ~ 6.0 m 锚喷网进行支护, 是在常规设计下难以实现的, 而信息化设计和施工, 既能满足这一设计需求, 又能减少

锚索用量, 降低工程总造价, 这也从一定程度上体现了信息施工法的优越性。

3. 施工进度。在边坡施工过程中, 实时反馈机制、监测系统的构建与应用不仅能够随时调整施工计划, 更能防止因变更不及时、不合理带来的工期延误。同时, 通过精准把握施工区域的地质条件、边坡稳定性, 以及对施工流程的合理安排, 使得施工效率大幅度提升。和以往的施工方法相比, 信息施工法下的施工工期至少提前 40 天, 为高速公路的尽早运行创设了条件。

3 结论

信息施工法作为一种现代化施工管理方法, 在路堑高边坡设计、施工中发挥着重大作用。本文通过系统性分析研究, 得出以下结论: (1) 在信息施工法应用期间, 做好信息数据的采集、反馈和分析, 据此优化调整设计方案、施工方案, 既能保证工程顺利施工, 又能确保边坡稳定性和安全性。(2) 未来, 随着各类技术手段的持续发展, 信息施工法将更加完善, 并在路堑高边坡工程中发挥出更显著的优势, 推动高速公路工程建设行业的未来发展。

参考文献:

- [1] 邵茂华. 复杂地质条件下高陡路堑边坡开挖及防护施工关键技术研究 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(17): 148-150.
- [2] 张俊. 高速公路高边坡施工安全风险评估与控制 [J]. 中国储运, 2022(02): 117-118.
- [3] 席飞雁, 朱自强, 鲁光银, 等. 基于强度折减法的高速公路煤系地层路堑高边坡 FLAC3D 数值模拟分析 [J]. 华北地质, 2021, 44(04): 61-67.
- [4] 苗国栋. 延安东绕城高速公路黄土路堑高边坡可靠度分析研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2022.
- [5] 雷星星. 高速公路路堑高边坡施工安全风险评估研究 [J]. 工程技术研究, 2020, 05(04): 172-173.
- [6] 李瀚, 左伟俊, 邢浩, 等. 基于模糊综合评价法的岩质边坡开挖施工风险评估 [J]. 公路工程, 2024, 49(06): 79-86.