

MM 工程高边坡开挖工程施工工艺重点分析

张兴盛¹, 曾涛², 陈飞运¹, 何俊亨¹

1. 中铁五局集团成都工程有限责任公司, 四川 成都 610031

2. 中国中铁股份有限公司总承包分公司, 广东 广州 510335

摘 要： 本文聚焦于工程高边坡开挖施工技术的改进与创新研究。运用南方 Cass9.0 软件，对 MM 工程的高边坡实测地形数据进行了深入剖析，精确确定了边坡上口线位置，并进行了道路横断面分析。在地质勘察资料的基础上，我们优化了施工方法，确保了施工的安全性和质量。研究结果表明，通过充分利用现代科技手段进行地形分析和施工方法优化，结合实时监测，我们实现了工程的高效、精确施工。这一成果对于提升类似工程的施工质量和技术水平具有重要意义，为工程领域的持续发展提供了有力支撑。

关 键 词： 高边坡；南方 Cass9.0；坡度控制；精准

Analysis on construction technology of MM high slope excavation engineering

Zhang Xingsheng¹, Zeng Tao², Chen Feiyun¹, He Junheng¹

1: China Railway No. 5 Engineering Group Chengdu Engineering Co., LTD. Chengdu, Sichuan 610031

2: General Contracting Branch of China Railway Group Limited, Guangzhou, Guangdong 510335

Abstract： This paper focuses on the improvement and innovation of construction technology of high slope excavation. By using Cass9.0 software in the South, the measured topographic data of the high slope in MM project are analyzed deeply, the position of the upper edge of the slope is precisely determined, and the road cross section is analyzed. On the basis of geological survey data, we optimized the construction method to ensure the safety and quality of construction. The results show that by making full use of modern scientific and technological means for terrain analysis and construction method optimization, combined with real-time monitoring, we achieve efficient and accurate construction of the project. This achievement is of great significance for improving the construction quality and technical level of similar projects, and provides a strong support for the sustainable development of the engineering field.

Keywords： high slope; south Cass9.0; slope control; precision

引言

公路边坡施工中，高边坡的安全与稳定问题一直备受关注。传统的单坡渐进法、精确剖面法等方法，虽简便但难以满足高边坡放样的精度需求，导致施工效率低下。纵、横剖面曲线法虽精度较高，却增加了复测工作的时间成本。同时，传统的高边坡开挖方式存在诸多不足，如忽视复杂地形地貌、计算方法简单等，这不仅影响施工效率，还带来安全风险。鉴于此，本文旨在解决传统方法在高边坡开挖中的技术空白。以 MM 工程为例，引入了新技术、新工艺和新设备，对传统施工方法进行了全面改进。这一创新方案不仅实现了高边坡的精确开挖，还显著提升了施工效率与安全性。通过本研究，我们验证了新方法的合理性和有效性，为未来的高边坡开挖施工技术提供了宝贵的经验和建议。这一探索不仅有助于推动工程领域的技术进步，也为类似工程提供了有力的技术支撑。

一、相关概念

（一）高边坡

高边坡是指土质边坡高度大于 20m 且小于 100m，或岩质边坡高度大于 30m 且小于 100m 的边坡。这些边坡的高度因素对其稳定性产生重要作用和影响，因此在边坡稳定性分析和防护加固

工程设计时，需要进行个别或特别的设计计算。这些边坡因其特殊的高度范围而被定义为高边坡，需要特别的工程关注和处理。^[1]

（二）高边坡开挖施工原则

高边坡开挖施工应遵循一系列严格的原则和要求。在开挖与支护过程中，需确保各工序间的精确衔接与配合，以保持整体稳定性，并禁止一次性开挖后再支护。同时，应持续观察地质条

作者简介：

张兴盛（1987.11-），男，汉族，陕西西安，副经理/工程师，本科，中铁五局成都工程有限责任公司，研究方向：公路路桥；

曾涛（1986.04-），汉族，四川省遂宁市蓬溪县，中国中铁西藏 XY 工程指挥部工程部副部长/工程师，本科，中国中铁股份有限公司总承包分公司；

陈飞运，中铁五局成都工程有限公司；

何俊亨，中铁五局成都工程有限公司。

件,核实与勘察报告的一致性,并在发现不符或异常情况时立即暂停施工。施工场地应实行封闭管理,设置规范围挡和警示标志,确保施工环境的安全与秩序。施工人员需遵守规章制度,规范操作,并佩戴劳防防护用品,以确保个人安全。在施工过程中,应保持对环境的高度警惕,避免在开挖区域不必要停留。^[2]此外,应设置醒目的警示标志和夜间照明,定期检查和维修。为保障施工人员的身体健康,应定期组织体检,并及时调整不适合岗位的人员。材料应有序存放,工具应妥善管理,禁止抛掷传递。在暴雨、暴雪、大风等极端天气下,应暂停施工以确保安全。最后,为防止边坡被雨水冲刷,应修筑排水沟进行截流排水,并在每级边坡成型后及时复核坡率,迅速施工锚索框架梁防护,确保边坡的稳定性和施工安全。

(三) 高边坡开挖施工顺序

高边坡的开挖工序要严格,必须先经过精密的勘测,才能确定出开挖的路线及开挖的深度。然后修建道路,方便机器和人员的出入。施工前,先将绿化植物、障碍物、居民住宅等清理干净,然后再进行排洪、清淤。然后,利用挖掘机等机械设备,按照设计的深度、坡度,逐层开挖,并保证各层的开挖深度。在开挖后,需要对坡面进行人工修整,以满足设计的坡度、平面度。在一层开挖、修整完毕后,立即对边坡进行锚杆、锚索、框架梁等支护工程。当基坑支护结束后,才能继续下一层的土方,直到基坑开挖、支护结束为止。施工期间,要密切关注工程地质情况,保证勘察结果符合设计要求,施工与支护配合;保证了边坡的稳定,保证了施工的安全性。在此过程中,要注重员工的行为规范,劳动保护,材料的存放,工具的管理,才能保证工程的安全与质量。^[3]

(四) 高边坡开挖稳定性影响因素

1. 外在因素

高边坡开挖的稳定性受到多重外在因素的影响,包括自然环境和人类活动两个方面。自然环境如降水、地震和风化作用等,对边坡稳定性具有重要影响。其中,降水通过提高地下水位和改变渗流场来影响边坡,而地震则能瞬间改变边坡应力状态,产生破坏。风化作用则通过改变边坡形态和整体性来降低岩石强度。此外,植被的破坏也可能加剧雨水冲刷,影响边坡稳定。人类活动如开挖卸荷、坡顶加载、地下开挖、爆破振动等也会对边坡稳定性产生显著影响。不合理的施工工艺和施工方法,以及盲目抽水等行为都可能加剧边坡的不稳定性。因此,在边坡开挖工程中,需要综合考虑这些外在因素,采取相应的预防和控制措施,以确保边坡的稳定性和工程的安全。^[4]

2. 内在因素

高边坡开挖的稳定性受到多重内在因素的影响,这些因素主要涉及地质构造、岩土体性质以及边坡内在应力。

(1) 地质结构是影响边坡稳定的一个重要因素。结构面与结构体是斜坡稳定性与强度的重要组成部分。节理、裂隙、软弱面等结构面的存在,不仅降低了岩石的整体性、强度,而且还会改变岩石的非均质性、各向异性及非连续性。岩层倾向也是斜坡稳定的主要因素,岩层方向不同,斜坡的安全系数也不同。

地层倾向对边坡稳定也具有重要影响。边坡地层有三种情况:顺坡向、逆坡向和水平,如图1所示。对于三种情况,在其他条件都相同时,边坡安全系数大小关系为 $K_2 > K_3 > K_1$ 。



> 图1 边坡地层倾向示意图

(2) 岩土体性质是决定边坡稳定性的物质基础。这包括岩土体的矿物成分、强度以及成因类型等。岩土体的力学参数,如重度、粘聚力和内摩擦角等,会直接影响其抗风化能力、抗软化能力以及强度特性。岩石的颗粒成分、矿物成分和结构构造决定了其力学性质,而这些因素又受到岩石成因和历史过程的影响。

(3) 边坡内在应力是控制边坡稳定性的另一个关键因素。内在应力能够影响岩土体内的节理、裂隙等结构面的发育过程。水平向地应力尤其重要,因为它能够影响边坡的剪应力和拉应力。地应力的大小与重力、构造运动和人类活动密切相关。边坡岩土体内的应力分布是不均匀的,且随深度增加而增大。^[5]

二、MM 工程高边坡开挖工程施工工艺重点分析

(一) 工程概况

MM 工程位于中国西藏,该项目主要涉及道路沿线的开挖工作,旨在构建和完善区域内的交通网络。目前,道路沿线部分已进行了开挖,但大部分区域尚未开挖到位。该道路的设计路基宽度7.5米,道路两侧分别设有边沟和排水沟等排水系统,以确保排水畅通,维护道路的正常使用。

从线路走向来看,拟建线路由西向东,山体位于南北方向,线路处于高山峡谷地貌,高程在2950 ~ 3400m 之间,线路边坡最大高度达到32.8米,主要地层为 <4-1-2> 可塑状砂质黏土、<8-4-1> 松散-稍密卵石土、<8-4-2> 中密卵石土和 <8-4-3> 密实卵石土,透水性较强,地表植被发育,开挖过程对边坡的防护要求较高。为了确保边坡的稳定性和安全性,在边坡设计中采用了坡率法,即从道路外边偏移3米,以1 : 1的比例向上放坡开挖,边坡分级高度为8米,平台宽度均为2米,这种方法可以有效减少边坡滑坡和崩塌的风险,保证道路施工和使用过程中的安全。^[6]

(二) 高边坡上口线的确定

在MM 工程的高边坡开挖工程中,确定边坡上口线的位置和准确性是至关重要的一环。这项工作的繁琐程度与重要性并存,因为它直接关系到土方开挖的成本、边坡的安全性和整体工程质量。为了确保上口线确定的精准性,采用了南方 Cass9.0软件,并结合现场实测的地形图进行计算。

1. 委托测绘工程师使用全站仪对场区进行详细的地形测量,并据此绘制出现场实际的地形图。这一步骤确保了所有地形数据都是基于实地测量,为后续的边坡开挖计算提供了准确的基础。^[7]

2. 利用南方 Cass9.0 软件, 根据开挖前现场实测的地形数据, 进行边坡土方开挖计算。具体操作是, 在 Cass9.0 的“工程应用”选项卡中选择“DTM 土方计算”, 然后根据坐标文件选择已经绘制好的道路及坡底开挖范围。再选择实测的地形数据文件, 并在弹出的“DTM 土方计算参数设置”对话框中填写相应参数, 特别关注边坡设置参数的填写。这些参数将直接影响边坡上口线的计算结果。

3. 计算完成后, 根据生成的 dtmtf.log 文件及边坡开挖计算结果, 使用 Cass9.0 软件绘制边坡开挖上口线。这一步骤是关键, 因为它将直接指导后续的土方开挖工作。为了确保上口线的准确性, 采用了尽可能小的采样间距, 以确保与现场实际地形的高度一致性。^[9]

4. 根据绘制的边坡开挖上口线, 使用 Cass9.0 提取坐标数据, 并使用全站仪进行测设。这一步骤确保了上口线的精确测设, 为后续的土方开挖工作提供了准确的指导。

(三) 施工方法的优化

该项目所处的斜坡从上到下都是以淤泥质粘土为主, 这一段的施工比较容易。但由于该边坡中段下部多为中风化泥页岩, 因此施工难度较大。在常规的做法中, 通常是在坡顶开挖维修坡, 然后向下抛土, 由位于坡下的挖掘机负责将土方从后方向后方安全地卸到翻斗车上。该方案是可行的, 但是其工作效率不高, 而且还会带来一些潜在的风险。^[9] 为进一步提升隧道的建设速度, 保证隧道的安全性, 项目对隧道剖面进行了详细的研究, 目的是寻求一种更加有效、更加安全的隧道开挖方案。

1. 道路横断面图分析

(1) 绘制道路横断面图

使用南方 Cass9.0 软件绘制出道路横断面图。具体步骤如下: 数据准备: 首先, 需要准备相关的道路设计数据, 包括道路的中心线、横坡、纵坡、设计宽度等信息。绘制中心线: 在 Cass9.0 中, 首先绘制出道路的中心线。添加横断面设计: 基于中心线, 添加每个横断面的设计数据, 包括横坡、纵坡等。生成横断面图: 使用 Cass9.0 的横断面分析功能, 自动生成横断面图。

(2) K0+140 ~ K0+220 道路横断面图分析

本文以该工程 K0+140 ~ K0+220 道路横断面图进行分析如下: 开挖区域明确: 阴影部分标识了需要开挖的区域, 这些区域从道路外边开始, 向外扩展 3m, 并以 45° 的角度放坡。开挖形状特点: 从图中可以看出, 每个道路剖面的开挖部分都呈现出“上面较窄, 下面较宽, 中间宽度大致一样”的特点。这种开挖形状有利于确保边坡的稳定性和施工的安全性。^[10] 开挖宽度范围: 中间的开挖宽度大致在 8 ~ 10m 之间, 这为施工提供了明确的参考范围。

2. 边坡开挖施工方法

(1) 施工方法概述

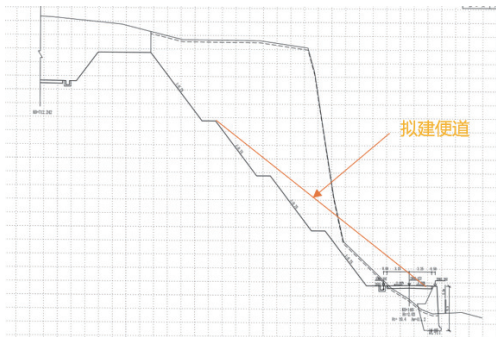
在边坡开挖工程中, 为了确保施工效率、安全性和成本效益, 我们采用了一种科学的开挖方法: 分层分段、由上而下进行。此方法将边坡按高度划分为若干开挖层, 每完成一层的开挖, 立即修建一层平台, 为挖机和渣土车提供安全作业空间。这

种逐层开挖的方式不仅简化了施工流程, 降低了施工难度, 还显著提高了施工效率。同时, 每层平台的及时修建确保了施工人员的安全, 有效避免了因地质条件变化导致的施工中断。此外, 通过合理规划每层的高度和平台位置, 我们减少了土方开挖量和渣土运输量, 从而显著降低了施工成本。这种分层分段的开挖方法不仅体现了我们对工程质量的追求, 也展示了我们在成本控制和环境保护方面的重视, 确保了边坡开挖工程的高效、安全和经济性。

(2) 具体施工步骤

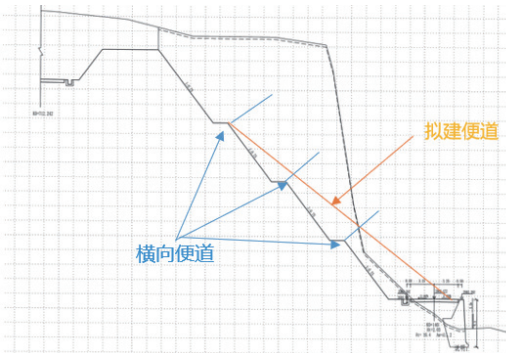
分层分段开挖: 从上至下逐层开挖, 每层高度根据地质条件和机械性能确定, 以边坡分级高度 8 米为每级标注。每开挖一层, 立即修建一层平台, 确保挖机和渣土车的作业安全。

设计出土道路: 在 K0+140 ~ K0+220 段, 设计一条坡度约为 10% 的出土道路, 从坡底延伸至边坡中部, 供渣土车和挖掘机上下山坡。挖掘机从 K0+140 开始, 由北向南、由下往上开挖一条宽 6m 的双车道上坡路。



修建平台和行车路: 挖掘机在边坡中部 (高程为 2958m 附近) 开始, 从上坡口线往下一层一层开挖, 同时修建贯穿南北、宽度为 6m 的平台。每挖一层即修建一层平台, 渣土车行进至 10% 上坡路段时, 需遵循交通规则, 上坡车让下坡车先行, 确保行车安全。安排专人负责车辆调度, 确保施工现场的交通秩序。

山体开挖与平台修建: 在 K0+140 ~ K0+220 路段, 挖机从 0+140 处开始, 开挖一条坡度为 10%、宽度大于 6m 的上坡行车路后, 在每级台阶处修建一条宽度大于 5m 的平台, 然后分层开挖边坡, 每开挖一层即修建一层平台, 直至挖机臂长能够触及坡底所修平台。挖机在坡脚从最后所修平台处直接修坡至设计位置, 完成边坡开挖。



在五级边坡的分层施工中, 将整个边坡按照其高度和稳定性要求划分为五个不同的层级, 每个层级都有不同的开挖深度和相

应的施工要求。首先,从最顶层开始,即第一级边坡,这里的开挖深度相对较浅,主要目的是为了初步形成边坡的轮廓,并为后续施工提供稳定的基础。随着施工的进行,逐渐向下进行第二级、第三级边坡的开挖。每一级的开挖都要确保边坡的稳定性,因此在开挖过程中会进行必要的边坡支护和加固工作,如设置挡土墙、打设锚杆等。当进行到第四级和第五级边坡时,由于开挖深度逐渐增加,地质条件可能变得更加复杂,因此施工难度也会相应增大。在这个阶段,需要更加严格地控制开挖进度,加强边坡监测,确保施工过程中的安全。同时,为了进一步提高边坡的稳定性,可能会采用更加先进的支护技术,如预应力锚索、喷射混凝土等。五级边坡的分层施工是一个逐步深入、层层递进的过程。通过合理的分层开挖和边坡支护措施,我们可以确保边坡的稳定性和施工安全,同时提高施工效率,降低施工成本。这种方法不仅体现了我们对工程质量的追求,也展示了我们在技术创新和环境保护方面的重视。

三、道路高边坡开挖施工中坡度的控制

在道路高边坡开挖施工中,坡度的控制是确保工程安全和质量的关键环节。通过实施一系列科学有效的控制措施,能够精确掌握开挖面的坡度,从而避免少挖、超挖等问题的发生。

(一) 开挖过程中的坡度控制

在开挖每一层时,采用坡度测量仪指导挖机每隔5m 做一个标准开挖面。这一措施确保了开挖面的准确性和规范性。随后,以这些标准开挖面为参照,进行后续的开挖工作。每层开挖完成后,利用全站仪对边坡坡度进行精确检查,确保其处于合理范围内。如果发现边坡坡度存在较大偏差,会立即进行修正,从而确保边坡的稳定性和安全性。

(二) 优化坡度测量尺的应用

鉴于市面上常规的坡度测量尺长度较短,无法满足高边坡施工的需求,进行了相应的优化。通过在工程检测尺上安装坡度测量仪,制作了一个长度约为2m 的坡度测量尺。这一创新工具能够在开挖每一层时,为挖机提供45° 的标准开挖面指导。这不仅提高了施工效率,还确保了开挖面的准确性和稳定性。

(三) 单片机坡度测量仪的研发与应用

为了进一步提高施工安全性和效率,工程监管人员自行研发了单片机坡度测量仪。这一测量仪由数据收集整理模块和数据接收显示模块构成,实现了对开挖坡度的实时检测。在挖机工作范围内进行测量工作时,测量人员无需亲自上阵,从而大大降低了安全风险。

(四) 技术细节与数据支持

所采用的单片机 IC 芯片为 STC89C52RC-40I-PDIP40 直插型集成电路,数据采集使用 ADXL345 传感器,数据的发送则依赖 nRF24L01 无线接口模块。这些先进技术的结合,确保了数据的准确性和实时性。同时,为了保护测量模块免受挖机工作过程中的土石碰撞损坏,在元器件外侧焊接了保护装置。

在数据显示方面,采用 LCD1602 显示屏,能够直观地显示

度数和字符,为施工人员提供了清晰、形象的视觉信息。此外,数据的接收同样使用 nRF24L01 无线接口模块,实现了数据的快速、稳定传输。

四、结语

在 MM 工程中,针对传统施工方法进行了创新性的改进,显著提升了工程质量与效率。通过运用南方 Cass9.0 软件精准定位边坡上口线,确保了开挖的精确性;结合地质勘察资料优化施工方法,进一步增强了施工的安全性和稳定性;而在挖机上安装自制的单片机坡度测量仪,则实现了对开挖坡度的实时检测,大幅减少了人工复核的工作量。具体来说,新工艺的应用在成本降低方面取得了显著成效。通过优化施工方法、提高施工效率,新工艺减少了人力和物力的投入,从而降低了施工成本。此外,新工艺还通过提高原材料的利用率和减少能源消耗等方式,进一步降低了成本。根据初步估算,新工艺应用后,相比传统方法,成本降低了约 35%。这些改进措施不仅在本项目中取得了显著成效,得到了监理、设计、业主等各方的一致好评,同时对于类似的高边坡工程施工也具有重要的参考价值。它们共同证明了技术创新在提升工程质量和效率方面的巨大潜力。

然而,也意识到目前的技术仍有待进一步改进。例如,自制单片机坡度测量仪虽然能够测量坡度,但仍无法采集坐标数据,这在一定程度上限制了其应用范围。为了彻底解决这个问题,相信,随着技术的不断进步和创新,一定能够找到解决这一问题的最佳方案。

综上所述,高边坡开挖工程施工工艺的改进是一个持续不断的过程。需要不断地探索新的技术和方法,不断地优化和完善施工流程,以确保工程的安全、质量和效率。同时,也期待与更多的同行和专家进行交流和合作,共同推动高边坡开挖工程施工技术的进步和发展。

参考文献

- [1] 高文静. 高速公路改扩建路段岩质高边坡稳定性分析 [D]. 西安:长安大学,2017.
- [2] 黄举松,卿翠贵,姚文杰. 浅析已运营高速公路高边坡安全风险防控工作研究 [J]. 西部资源,2017(2):123-125.
- [3] 宋子东. 高边坡施工的精确放样技术 [J]. 海岸工程,2020,23(2):3337.
- [4] 张宁宁. 高速公路高边坡防护预应力锚索施工技术研究 [J]. 交通世界,2022(11):96-97.
- [5] 王永学,张强. 公路高边坡防护工程中预应力锚索技术的具体应用 [J]. 低碳世界,2021,11(6):247-248.
- [6] 罗大会,徐炳生. 大孔径光面爆破技术在高边坡岩体开挖中的应用 [J]. 长江科学院院报,1999,16(4):53-55.
- [7] 黄正镔. 重庆茶涪路高边坡开挖对侧下方隧道安全性影响研究 [D]. 重庆:重庆交通大学,2020.
- [8] 陈绪春,周绍武. 三峡工程双线五级船闸高边坡深层岩体变形监测 [J]. 大坝与安全,2004(4):8-10.
- [9] 屈建军. 裂隙砂岩渗流场与应力场耦合的试验研究及其工程应用 [D]. 湖北:三峡大学,2010.
- [10] 孙书伟. 顺层高边坡开挖松动区研究及微型桩加固边坡的内力计算 [D]. 中国铁道科学研究院,2006.