

复杂地质条件下的区域地质边坡稳定性评价研究

陈晓峰

深圳市勘察测绘院(集团)有限公司

摘要: 针对地质的条件相对复杂的工程区域, 由于自然的灾害经常会发生垮塌与滑坡的事故, 严重影响施工工程的进度以及安全。本文通过深圳市盐田港拖车综合服务中心建设工程施工为例, 对其边坡工程施工的防护安全进行了细致研究, 对边坡的稳定性进行了评价, 同时针对边坡存在的问题制定出相应的措施, 制定出了符合地质相对复杂边坡防护安全措施以及边坡稳定性的评价。

关键词: 地质勘测; 垮塌; 滑坡; 地质条件; 防护措施

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.09.019

前言

在边坡地质上, 岩质性边坡的高度达到30米, 土质性边坡的高度达到20米就被称作高边坡, 在边坡中出现灾害主要是高边坡产生的, 高边坡所具有的稳定性因素主要是由边坡地质岩体、土质的基本性质和施工对其改造所决定的。因为高边坡地质具有地质不均性、多变性以及复杂性的特点, 从而使在高边坡进行工程设计变的非常复杂, 到目前为止还没有一套完整、科学的设计理论可以遵循。针对高边坡的加固和稳定性的分析始终是工程建筑设计领域以及学术界进行研究的重点。本文主要是以深圳市盐田港拖车综合服务中心建设工程施工的项目进行研究, 文章深入的研究了边坡工程施工的防护性措施和稳定性进行评价的形式, 论文进而通过研究制定出了地质复杂条件下有关边坡的稳定性进行评价的具体内容和施工安全的具体措施等, 这为今后边坡工程的施工以及设计提供理论依据。



图1 边坡的滑塌

一、工程概况

盐田港拖车综合服务中心建设工程(一期)一西禾路高边坡工程, 设计坡高约36m, 长约为210m, 分三级开挖, 第一级坡高12m, 第二级坡高10m, 第三级坡高14m。边坡支护措施第一级采用桩板墙支护, 第二、三级边坡分别采用1: 0.75、1: 1放坡, 锚杆(索)格构梁支护。9月10日, 第二级边坡锚杆(索)孔施工, 9月11日边坡东侧上部发现格构梁沿施工缝位置出现错位及贯穿裂缝; 坡顶上部105m处二标段生活区内(128m标高)地面出现裂缝, 至9月17日裂缝逐日变大, 裂缝宽

度最大处达10cm; 坡下标高80m及75m处亦发现长达30m和10m的岩土体剪出特征, 初步研判为滑坡剪出口, 综合分析认为本边坡山体有发生滑坡的前兆特征, 滑坡目前处于蠕滑阶段。

二、地质性边坡坍塌与滑坡的破坏预测范围

边坡发生垮塌与滑坡的事故, 严重影响施工工程的进度以及安全。而边坡发生垮塌与滑坡的范围是确定事故灾害程度的依据, 因此研究确定地质性边坡坍塌与滑坡的破坏预测范围具有非常重要的意义^[1]。对于边坡发生坍塌与滑坡的情况所产生的主要因素为:

导致滑坡范围大小的主要是滑坡开始时出现坡体下滑的速度因素; 边坡坡体实际的坡度因素; 边坡坡体下滑部分与垫滑层之间产生的摩擦系数因素以及垫滑层所处的高位差因素等。边坡滑移相应计算的公式如下:

$$L_{mas} = \frac{V_{mas}^2 \cos^2 \alpha}{2g(f - \sin \theta)} \quad (1)$$

其中:

$$V_{mas} = \sqrt{2g(H - f) + V_0^2} \quad (2)$$

在上述公式里:

V_{mas} —代表的是边坡滑移时的最大速度, 单位是m/s。

L_{mas} —代表的是边坡的滑体滑动最大的距离, 单位m。

H —代表边坡坡体下滑部分与固定地质之间的滑层存在的高度差, 单位m。

g —代表的是下滑体重力产生的加速度, 单位是m/s。

L —代表的是滑垫水平的实际距离, 单位是m。

f —代表的是下滑垫滑动产生的系数值。

α —代表的是边坡下滑体下滑方向和下滑垫之间的夹角。

V_0 —代表的是边坡下滑体下滑时的初速度值, 单位是m/s。

d —代表的是边坡下滑体下滑过程中的重心距离, 单位m。

θ —代表的是滑垫存在的坡度, 单位度。

上述的公式能够很好的反映出边坡发生滑坡是所造成灾害的宽度以及范围, 通过上述公式, 能够为在边坡进行工程设计以及工程施工提供强有力的帮助。

三、稳定性的评价原则

对边坡地质进行稳定性的评价需要遵守的相关原则如下: 施工区域边坡的局部地质状况要和整个地区地质的状况一样, 这种情况下可以采用过程的定性和地质的模型进行评价, 也可以采用力学的定量方式进行评价, 同时利用地质的现象, 对边坡形成的机理以及定性的概念展开细致的理解^[2]。利用模拟数据获得边坡滑移边界的条件、物理特性、滑移因素、边坡岩体的参数以及敏

感的因素等，随后选择定量法进行相应数据的计算，从而为在边坡设计工程、工程施工以及对边坡进行治理提供真实、可靠的数据。把工程施工地质的条件与工程施工的条件进行有机的结合，详细了解工程所在地域的地质情况以及边坡的具体模式，同时要了解导致边坡滑坡的各种因素，包括工程建设因素中对工程设计因素、工程挖掘因素、爆破因素、边坡处理防护因素、施工设施因素，环境因素有地下水因素、降雨量因素、地质变动因素等。

在工程施工的开始阶段是进行稳定性的评价最佳时机，它能够全面的对边坡具有的模式实施准确的判断，另外也能够对施工过程中对边坡进行防护的方案以及挖掘工作进行调整。在对山区工程边坡现场稳定性进行评价的时候，其评价的流程是：搜集工程现场地质资料，同时对其实施细致深入的分析，随后要对工程涉及的边坡进行地质性的勘测，通过勘测的结果对边坡具有的稳

定性实施评价，在评价的过程中要重点的对工程经过的边坡实施稳定性的评价，同时将评价的结果应用到工程施工、防护等方案的设计中去^[3]。

四、滑坡原因分析与稳定性的评价

(一) 滑坡原因分析

深圳市盐田区拖车综合服务中心西禾路边坡其上部主要的成分是粉质性的黏土，并在里面夹杂一些碎石块，在边坡的下部主要是风化破碎的砂岩与泥质的粉砂岩，两者就是影响边坡安全稳定性的主要根源。在滑坡的区域，边坡的基岩重力方向与坡体向下的方向一致，由此极易出现边坡上部地质与下部风化的碎岩以及粉质形式的砂岩产生滑动，如果在边坡工程施工过程中没有对其采取相应措施，边坡最终会发生滑坡性安全事故。当边坡出现滑动的情况后，在对坡角进行清理施工之前，首先要对边坡进行加固，否则极易造成坡体的前缘被腾空，继而加快边坡滑移的速度^[4]。

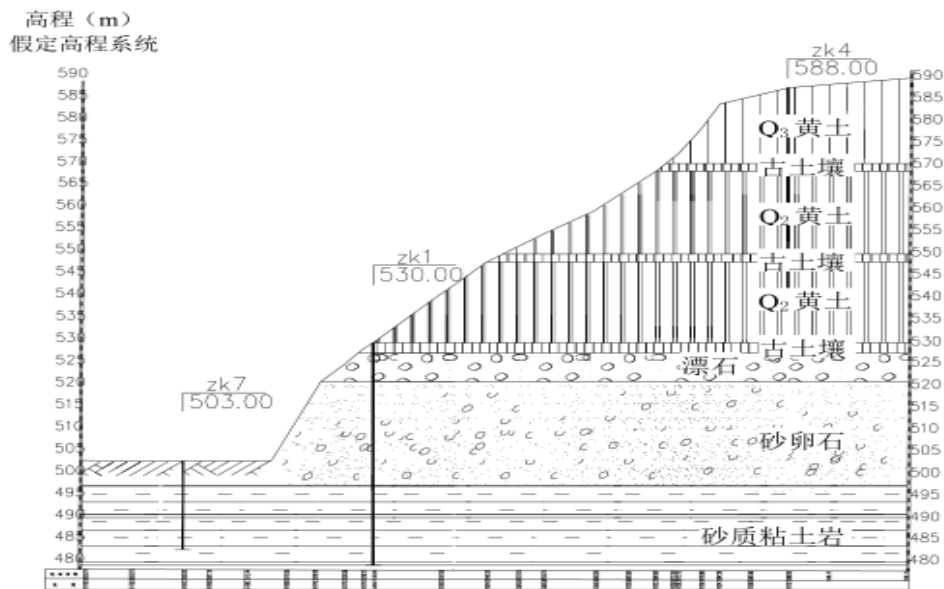


图 2 滑坡型的边坡地质结构

(二) 边坡稳定性的评价

当具有滑坡隐患的边坡遇到特大雨水天气的时候，雨水将会通过缝隙进入到坡体中，从而会加重岩土的重量，使岩体的C值与 φ 值变小。在非正常雨水情况下进行计算，其计算的结果证明，本边坡安全稳定的系数 $k_s = 0.91$ 。如果下雨的时间很长，地面积水将渗进坡体，使得坡体岩层自重增加，C值 φ 值继续减小，最终引起坡体滑移^[5]。

本文所述的深圳市盐田港工程实际走向是由西向北，具体方位是48度。为了能够准确的检测与计算出边坡稳定性，本文应用了折现法计算出滑坡位移中的C值与 φ 值，随后分析暴雨对滑坡位移产生的影响，如果工程地域出现暴雨时，大量雨水会经过边坡裂缝进入到岩石中，这时岩石的重量会随之加大，而岩层中的C值与 φ 值也会随之减小。通过相应计算获得该地区的稳定系数 $k_s = 0.89$ 。如果此时雨水不断，岩体自重将会继续增加，下滑趋势也会随之增加，岩层的C值与 φ 值也会继续减

小，边坡的滑坡将会随之发生。

五、治理滑坡的方案

深圳市盐田港工程施工项目中，发生滑坡情况与施工过程中进行挖掘的工作存在直接的联系，由于挖掘致使边坡上部出现应力的变化而出现裂缝，当雨水由裂缝进入到坡体以后促进了边坡滑移。本文对工程进行了模拟性的计算，当雨水时间过长时，边坡稳定性的系数是0.89，工程施工的安全规定稳定性的系数要在1.25至1.35之间，从计算获得的稳定系数值可以看出，案例工程边坡稳定性的系数过低，已经低于工程规定的系数值，这也证明本工程的边坡段存在不安全的情况，边坡有可能发生滑坡的事故，因此，工程要根据实际的情况对边坡进行技术性的加固。另外在对边坡实施挖掘的过程中，如果没有对边坡进行加固或者是加固不及时，这些都会加大边坡出现滑坡的情况发生^[6]。所以，工程建设中要设立边坡监测装置，使其能够实时获得边坡地质动向，并且依据现场实际的状况对边坡进行有效的加

固，另外要重视对工程地域的排水。

（一）坡体的减载措施

本工程根据治理边坡的方案，首先对边坡地质的第四层堆积的黏土实施挖除，排出了坡体滑移的滑垫部分，从而使得边坡四等级由上至下形成稳定地质结构，四等级分别是：1:1.1:1.1:1.1:25。

（二）支档加固的措施

对边坡实施支、档形式加固最关键的是，必须对第一级的平台安装预应力的锚索。锚索的截面形状为矩形，其规格是 $2.1 \times 3m$ ，其中心的距离是6.1米，它的长度是17.5米，锚索的布置形式为三角形分布，固锚的实际角度是 245.275° ，固锚的实际深度是7.3米，锚长为10.2米，设计的锚索拉力在723kN，在边坡的第二集设计安装三排锚索，锚索设计拉力是703kN，固锚长是10.2米，横向的距离是3.03米。根据设计，在第一级与第三季均设计成三排锚索，这很大程度提高了边坡的稳定性^[7]。

（三）截水排水措施

本施工地域的边坡设计截水、排水措施有三种：一是使用黏土对坡体存在的裂缝进行修补、对坡体的四周裂缝进行修补，在边坡的上面建立进行截水天沟，并且在各级顶部均建相同天沟，这能够有效的阻断水流形成。二是在坡脚处设立排水的设施，这样能够将大量雨水从边坡排出。三是在边坡周围建立各种排水孔以及排水沟。

（四）建立滑坡模型进行模拟实验

1. 模型的设计

在设计模型以前，必须先要确定一些条件，具体有：边坡工程施工必须是在边坡处于稳定的状态下才能进行；确定滑移位置的时候要利用地质性的勘测以及钻孔获得，之后再依据边坡的参数计算出应力场。当边坡工程施工以后，需要研究的是，挖掘对边坡造成破坏的模型以及边坡产生滑移的情况。本模型设计高度是60.2米，长度是160.3米。由于其他负荷没有对边坡岩土产生影响，影响边坡滑移的主要是坡体的重量，因此，边坡模型可以划分成2240个单元，通过模型的实验与计算，确定出滑移参数 $C = 15kPa, \phi = 15^\circ$ 。

2. 模拟进行开挖的结果研究

本工程施工的边坡坡度为1:1，当工程挖掘以后坡体出现滑移，根据对现场进行钻孔以及勘测的相关资料，对边坡滑动面进行确定，出现滑移的最大位置是滑面的最前端，其滑移量是3.62米。在边坡最严重滑动面向下移动80cm的时候，边坡的裂缝也就明显显现出来，勘测的结果表明：通过模型进行计算分析的边坡滑移变化参数和实际进行对边坡滑移勘测的结果一样。

3. 比较模拟支护的结果分析

本文利用模型对边坡出现滑坡的现象以及导致的结果进行了研究，同时利用模型使用加固法模拟了对边坡进行加固，具体是利用锚索以及抗滑桩对滑坡实施加固，通过模型的模拟证明此方法非常有效，另外，在模型中还模拟了清坡以及减缓坡的参数来防止滑坡的出现。在进行设计模型的过程中，主要是根据边坡的实际状况参数进行的，另外，本工程项目边坡出现滑坡导致

坡体最大的位移量能够使用本模型进行计算，通过计算获得最大位移量是2.0厘米，通过计算获得的最大位移参数可以证明，本工程所通过的边坡具有一定的稳定性。对于相对不稳定坡体，可以使用预应力的锚索、抗滑桩等相应部件对破体的滑面进行加固治理，实践证明本方法的效果非常明显。在本工程加固支护设计中，选用了两种方法进行支护对比，分别是预应力的锚索以及悬壁桩，通过计算与对比，本工程确定使用锚杆桩进行加固，其截面为矩形的 $2.2m \times 3m$ ，固锚的实际深度是7米，毛状的实际长度是17米，中心的距离是6.1米。通过实际的检测与设计，锚拉桩最大拉力达到 $25905kN \cdot m$ ，最大的剪切力是13802KN；悬壁桩最大拉力达到 $35045kN \cdot m$ ，最大的剪切力是 $16753kN \cdot m$ ，通过对比试验的数据表明，在最大的拉力值方面，悬壁桩要大于锚拉桩近16.3%，而最大的弯矩值方面，悬壁桩要小于锚拉桩25%。通过这些数据证明，固锚的深度与桩截面经过锚索桩的预应力获得了缩减，另外，桩身承受的内力也有所降低，因此这种支护的方式最佳。

六、结论

本论文的研究是针对深圳市盐田区拖车综合服务中心西禾路边坡地质相对复杂边坡的加固形式和对边坡进行稳定性的评价研究，通过对工程边坡稳定性的评价研究，制定出符合我国地质相对复杂边坡工程防护安全的措施和相关稳定性的评价模型，具体研究结果如下：

第一，对于边坡边界存在超状态以及土质不好边坡，在实施挖掘的过程中，必须进行相应的支护保护，另外，进行挖掘的时间也要进行周密的策划，尽可能避开雨季，要及时进行相应排水设施的建设。

第二，要建立相应的实验模型，使用模型对边坡产生滑坡的相关数据进行计算，从而能够快速、准确的反映出边坡稳定性以及加固的效果。

第三，对于不稳定边坡，通过研究证明治理边坡最有效的方法是锚索预应力抗滑桩，本方法在减少桩身截面同时也减少了固锚的深度，减小了桩身内力，节省了材料，降低了成本，对治理滑坡具有非常好的效果。

参考文献

- [1] 杨志勇, 佟德君. 复杂地质条件下边坡参数优化及控制技术[J]. 露天采矿技术, 2020, 3502: 46-48+52.
- [2] 王海峰. 基于复杂地质条件的区域地质边坡稳定性评价及加固方法研究[J]. 中国金属通报, 2020, 06: 228-229.
- [3] 中国强. 复杂地质条件下高边坡稳定性分析与治理方案研究[D]. 西安建筑科技大学, 2014.
- [4] 沈小辉. 复杂地质条件下山区公路边坡稳定性评价及加固方法研究[D]. 北京工业大学, 2012.
- [5] 张鹏. 基于GIS的复杂条件下露井联采边坡稳定性研究[D]. 中国矿业大学(北京), 2012.
- [6] 王骑虎. 甘肃红层工程地质特性与边坡稳定性研究[D]. 北京工业大学, 2016.
- [7] 赵建军. 公路边坡稳定性快速评价方法及应用研究[D]. 成都理工大学, 2007.