

地质灾害治理工程的特殊性风险性及 治理工程风险事件实例分析

徐开祥, 黄学斌, 付小林, 程温鸣, 田正国, 杨建英
(三峡库区地质灾害防治工作指挥部, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 地质灾害治理工程有其自身的独特性, 不同于一般工民建等建设工程, 它是地质工程中的特殊类型, 是对不稳定地质体实施改造的防灾地质工程。文章论述了地质灾害治理工程的特殊性、技术风险性及风险源。风险源可分为客观风险源和主观风险源。客观风险源主要源于地质灾害系统客观存在的即固有的复杂性和不确定性; 主观风险源主要出于勘查设计单位的能力与水平、行政干预及对设计审查的程序和水平。文章对三峡库区二期地质灾害治理工程已发生的风险事件实例进行了简要阐述与分析。

关键词: 地质灾害; 治理工程; 特殊性; 风险性; 工程风险事件; 实例分析; 三峡水库区

文章编号: 1003-8035(2006)03-0127-06

中图分类号: P642

文献标识码: A

1 地质灾害治理工程的特殊性

地质工程学是工程地质学和土木工程学相互交叉、渗透、结合、发展的新的分支学科。地质工程是以地质体作为工程对象、建筑材料、工程结构和建筑环境的一种特殊工程, 是一种位于地下的大地改造工程。它既不是一般的建筑工程, 也不是一般的土木工程, 是一种特殊的工程。

地质工程可分为高坝坝基、高层建筑地基、桥基、隧道工程、矿井、地下采场、地下空间开发、地下厂房、高边坡和地质灾害治理等诸多类型。

除了地质灾害治理工程外, 上述其它地质工程如地基、边坡、隧道建筑均是在稳定的地质体上建筑以使用为目的的地质工程, 而地质灾害治理工程是对不稳定的地质体进行改造, 变不稳定的地质体为稳定的地质体的防灾工程。地质灾害治理工程的特殊性在于对不稳定的可能致灾的地质体进行改造加固。第一, 工程对象是不稳定的(或目前为潜在不稳定的)地质体; 第二, 治理过程中或治理后一旦失稳则形成重大灾难。

上述特殊性决定了地质灾害治理工程具有非同一般的风险性。

2 地质灾害治理的技术风险性

2.1 风险性概念

关于风险的概念说法较多, 一般可理解为可能发

生的危险、失事或事故。风险性即风险存在的可能性, 多以风险率(定义为风险事件发生的概率或失事结果的期望值)表示。

2.2 地质灾害防治的技术风险性

地质灾害防治的技术风险性是指由技术决策的不确定性或失误而导致地质灾害事件发生的可能性。

2.3 风险源

地质灾害系统的复杂性和不确定性的客观存在, 不可避免地导致相应的风险性。

2.3.1 地质灾害自身是一个极为复杂的开放系统

主要表现在其成生环境条件的复杂性, 崩塌滑坡的岩土体结构、水文地质条件的复杂性及极具个性化特征, 动力影响因素众多(降雨、地震、库水位、人工动力作用等)且具动态特征, 变形破坏机理及变形破坏过程十分复杂、多变等诸多方面。由于系统的复杂性及影响因素的动态作用, 使其变形破坏难以寻求确定性规律而往往出现混沌特征, 为防治工作带来了极大困难。经过半个多世纪的研究, 人们逐渐认识到地质灾害系统是一个开放系统, 具有耗散结构性质和自组织机能, 受多层次因素的影响和作用, 其发展方向不具确定性, 某些随机性小变化可引起整个系统的巨大突变。从认识论入手, 它是一个灰与白、确定性与随

收稿日期: 2005-09-10; 修回日期: 2005-11-09

作者简介: 徐开祥(1946), 男, 教授级高级工程师, 长期从事工程地质以及地质灾害防治工作。

机性、渐变与突变、平衡与非平衡、有序与无序等对立统一的系统,而复杂性是其固有的客观存在的根本属性。复杂性决定了地质灾害系统的不确定性。

2 3 2 地质灾害勘查试验成果的不确定性

对于任何一个崩塌滑坡来说,唯一的确定性地质模型只有其自身。我们的勘查试验都是以点带面,以面代体进行概化和推断。客观上我们无法完全查明滑带的形态、软层的连通情况、厚度以及滑面各处的力学指标等等。因此,通过对地质灾害体勘查试验所建立的地质模型都是概化模型,虽然应尽量做到科学的归纳和概化,但仍有其与生俱来的诸多不确定性存在。

2 3 3 稳定性计算评价的不确定性

稳定性计算,要求地质资料的准确性、物性参数的准确性,尤其是力学参数的准确性。当这些都存在不确定性的条件下,尤其是施加在崩滑体上的多种作用力难以准确量化的条件下,稳定性计算成果必然存在不确定性。计算的精确度并不代表计算成果的精确度和准确度,从严格意义上来说,目前,崩塌滑坡稳定性计算的结果只能达到定性或半定量的程度。

2 3 4 地质灾害治理工程设计的确定性

建立在勘查试验和稳定性计算基础上的地质灾害治理工程设计,由于上述设计基础存在的不确定因素,必然导致客观地存在一定程度的不确定性。设计的不确定性必然导致治理工程的实施以及工程效果存在不同程度的风险性。然而工程的可靠性、风险性和最优效益与一定的风险水平又是相辅相成的,地质灾害治理工程允许(不得不允许)适量风险率的存在,但要严防灾难性风险事件的发生。

2 3 5 地质灾害治理风险源分析

2 3 5 1 客观风险源

客观上无法避免的风险,构成客观风险源。以 2 3 1 所叙述的为主要成因。

2 3 5 2 主观风险源

主观认识判断决策的重大失误所导致的风险加剧,构成主观风险源。

对于地质灾害防治来说,客观风险是无法避免,在技术上应予以限制,力求降低这种风险水平。而主观风险是可以避免的,可通过多种措施和工作程序进行预先控制,尽可能避免其发生。

3 地质灾害治理工程风险事件实例分析

3 1 对灾害地质体施工扰动不当有可能造成整体或局部突发性破坏

地质灾害是否可以实施工程治理需一个前提条件,即它尚未进入加速变形破坏阶段,给治理工程的实施留有一定的时间和安全度。对于处于临滑状态的滑坡,人们则已回天无力。若施工扰动强度大于其承受能力,则有可能导致在施工期突发成灾。举例如下:

3 1 1 弄坪火车站滑坡治理

1967 年四川渡口市弄坪火车站滑坡治理工程施工,通槽开挖,滑坡下滑入江,摧毁楼房 5 栋,造成灾难性后果。

3 1 2 万州豆芽棚滑坡治理

1994 年万州区豆芽棚滑坡治理工程,跳挖抗滑桩。但仍引起滑坡变形加剧,曾达到 3mm/d,幸而及时抢浇抗滑桩,才予以稳住。

3 1 3 链子崖危岩体治理工程

3 1 3 1 工程概况

链子崖危岩体位于长江西陵峡上段兵书宝剑峡口之长江南岸,与新滩滑坡(最近一次滑动时间为 1985 年 6 月 11 日,体积 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$,入江岩土体约 $260 \times 10^4 \text{ m}^3$,过江首浪高达 70 余米,江面涌浪高 54m 左右,波及上下游 42km,入江岩土体形成高出江水面 93m,宽 250m 的滑坡舌,中断航运 12d)隔江相对。

链子崖危岩体为一南北向展布的长条形岩体,陡峭壁立,危岩高耸,两面临空,东部和北端均为近百米高的陡崖,东壁近南北向展布,北壁为北西西向,与长江近于平行。其西部和南端与山体部分相连,大部分被裂缝所切割。危岩体南北长约 700m,东西宽 30~180m,南窄北宽,南高北低,俯视长江。被 58 条宽大裂缝系统切割,形成 $T_8 \sim T_{12}$ 缝段, T_7 缝段, $T_0 \sim T_6$ 缝段三块危岩体,体积 $320 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。地表裂缝最宽 5.2m,发育深度达 156m。

由于陡崖底部二叠系马鞍煤系煤层被掠夺性开采,形成采高 0.7~7m,面积约 $12 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的老采空区,采空区内煤层被采约 80%~90%,采空区大部分被矿渣充填,采空区直接顶板为二叠系栖霞组厚层含瘤状灰岩,厚 1.1m,顶板坚硬完好。采空区内地压十分严重,残留矿柱被压碎,承重矿渣被压密,采空区底

部高程为 90~120m。危岩体沿煤系地层顶板处形成泥化夹层的蠕滑面,具摩擦镜面和多期擦痕。监测表明,临江 $T_8 \sim T_{12}$ 缝段 $250 \times 10^4 m^3$ 危岩体持续向长江方向(北)蠕动,1978~1989 年最大位移量 54mm,下沉 30.4mm。由于新滩滑坡下滑,堵塞长江航道,迫使主泓南移至危岩体下方,危岩体下方长江主航道宽仅 80m,一旦崩滑入江必将堵江断航,估计经济损失 50~60 亿元。

治理工程于 1995 年 4 月开始施工,1999 年 8 月工程全部竣工。

主体工程为承重阻滑键工程,在煤层老采空区内共施工承重阻滑键 23 条(图 1),总长 1242m,支撑面积 $6361 m^2$ (占该段危岩体底面积的 12%),浇筑砼键体 $2.08 \times 10^4 m^3$ 。2003 年 6 月坝前水位升至 135m,危岩体采空区全部被淹。时至今日,监测表明,工程竣工之后危岩体稳定良好。

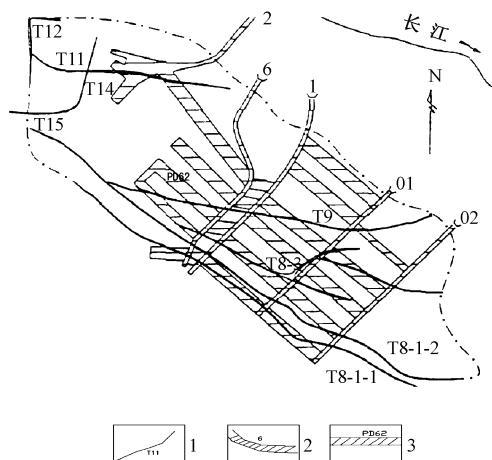


图 1 承重阻滑工程分布示意图

Fig. 1 Sketch showing distribution of retaining and slide-resisting works within Lianziya Cliff

1- 裂缝及编号; 2- 勘查及施工平洞; 3- 承重阻滑键及其编号

3.1.3.2 在精心控制条件下,施工撬动仍使链子崖危岩体发生强烈变形、险些成灾

由于危岩体陡崖高耸,支离破碎,摇摇欲坠,施工前十分重视施工撬动问题,多次研究施工部位,施工强度及应急抢险的准备。

地质分析及数值计算均表明,施工前稳定系数最低的是位于山体内侧的 $T_8 \sim T_9$ 缝段的 $90 \times 10^4 m^3$ 的危岩体 ($F_s = 1.06$)。于是施工先开挖临江危岩体 ($T_9 \sim T_{12}$ 缝段) 下方的采空区,浇筑承重阻滑键加大临江

危岩体的稳定性。开挖 $T_8 \sim T_9$ 缝危岩体底部老采空区,开挖断面为 $5 m^2$,开挖速度 4m/d。11 月 6 日开始进入 $T_8 \sim T_9$ 缝段下方,当天监测 T_8 裂缝地表张开速度增为 0.2mm/d,11 月 10 日为 0.3mm/d,监测单位提出了预警,但是没有停工,施工单位做好抢险准备,加固支撑周边采空区,继续开挖。11 月 12 日, T_8 缝为张开 0.54mm/d, T_9 缝闭合 0.87mm/d,井下地压十分严重,片帮大量发生,支撑棚架七架箱被压垮,立柱被压断,立即下令停工,抢险浇筑及实施钢架支撑。这期间 ZK1 号监测孔在滑带附近被错断,已无法监测。顶板压力监测从 0.20MPa 突增至 2.55~3.39MPa,已超过上覆岩体自重压力。地表绝对位移监测水平位移突增为 55~144mm,下沉 20~52mm。地表宏观变形剧烈,地表裂缝(宽 0.9~1.2m)上水泥盖板被撕开。 T_8 、 T_9 缝中上部的卡石被挤碎,整个 $90 \times 10^4 m^3$ 的山体强烈变形,险些酿成重大灾难。

3.2 施工开挖中可能出现地勘报告所认定的地质条件与实际地质条件差异较大的情况,有可能给设计和施工带来问题,处理不当将会给治理工程带来隐患,甚至导致治理工程的失败

施工开挖出现与地勘报告不一致的问题在地灾治理工程中经常出现,这是由其固有的客观风险源所决定的,只是程度不同而已;另一方面,在客观风险源存在的基础上,勘查单位认知水平与能力、勘查工程量的投入不足、勘查工期的不足和其它干预等主观风险源的存在,也是重要因素之一。

问题在于,若施工开挖发现出现差异较大的情况,就造成停工等待,需进行较大的设计变更和对设计变更的认定。由于时间紧迫,在匆忙中或在外部条件的压力下,有可能做出有问题的判断与决策,给治理工程带来一定的风险,造成不必要的经济损失。举例如下:

忠县干井火电厂滑坡治理工程

该滑坡体面积约 $143 \times 10^4 m^3$,2002 年 10 月开工,2003 年 5 月竣工,2004 年 7 月国土资源部组织验收时发现勘查成果与施工开挖的情况存在严重差异,尤其是对滑面的确定方面,不得已进行了两次补充勘查。设计单位对出现的新情况认识不足,造成部分设计变更的失误。

在滑坡西段,按照勘查成果设计的抗滑桩开挖后出现 9 条滑体厚度为零的抗滑桩,发现这种情况

后,施工单位继续挖,造成了不应该的浪费;

在滑坡东段滑面埋深与地勘报告出入很大,施工开挖使滑体上部岩土体向临空面滑移,施工被迫中止,进行了第一次补充勘查。依据第一次补充勘查成果确定的沿中风化带顶面发育的滑面计算出的剩余下滑力较大,造成由原设计按基岩面(强风化带上部)为滑面计算较稳定而设计的承担主动压力的挡土墙不能承担。从而变更 17[#] 到 34[#] 桩段的挡土墙为抗滑桩。

在设计抗滑桩以前实施的另外工程污水管道抽槽时,发现在设计桩位处,砂岩中存在顺长江发育的陡立张拉裂隙,分析后误判对抗滑桩嵌固段稳定无影响,在对裂隙进行压力灌浆后继续桩井开挖和浇筑成桩。

再次补勘察查出该砂岩与下伏泥岩界面间存在薄层软弱夹层,局部泥化。桩位处裂缝贯穿砂岩向下至该软弱夹层与顺坡向倾向的软弱夹层组合,使作为嵌固段的砂岩体形成了不稳定的块状岩体,因而再次变更设计。在已成桩 17[#] 至 34[#] 桩段的外侧增加一排 17 根阻滑键。由重新设计的阻滑键承担全部支挡作用(图 2)。

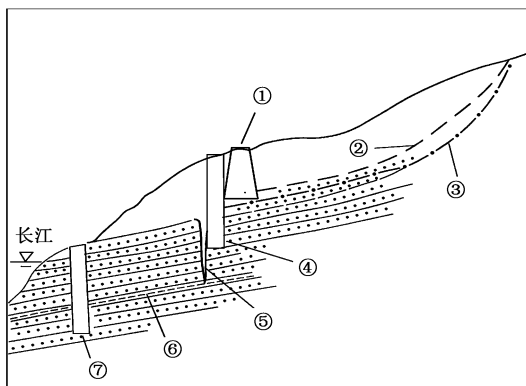


图 2 忠县干井火电厂滑坡治理示意剖面图

Fig. 2 Cross section of landslide control at Ganjing Power Station in Zhong County

1- 原设计的挡土墙; 2- 原勘查认定滑带; 3- 补充勘查认定的滑面; 4- 第一次变更后增加的 10 根抗滑桩(一般断面 2m×2m, 最长 21m); 5- 抗滑桩实施前发现的裂缝 130m, 深 5m, 宽 10~20mm, 后进行灌浆处理; 6- 第二次补勘发现泥岩软弱夹层; 7- 第二次设计变更增加 17 根阻滑键(断面 2m×2m, 长 8.55~13m)

综上所述,上述情况的出现,首先原勘查单位的能力与认识出现了问题,加大了风险。而设计单位对零滑体部位抗滑桩未及时进行设计变更,造成浪费,而对沿江发育的张裂隙的认识出现不应该的常识性

错误,使设计变更后实施的 10 根抗滑桩再一次造成浪费,幸而及时改正增加 17 条抗滑键,才不致于铸造成大错。监理单位控制不力,能力水平不够,但对重大设计变更进行了必要的工作。

工程虽然竣工,但干井火电厂滑坡治理效果令人担心,为此,验收专家组要求应对阻滑键支挡体系的稳定性进行进一步的论证和验算,并委托具有资质的设计单位进行核算。

3.3 在主观风险源起主导作用情况下,存在部分勘查设计单位面对勘查成果认识不清或认识失误或受设计水平的制约、行政对工程设计干预强烈、审查专家水平及违心行为等因素,使工程设计先天不足,存有隐患或重大失误导致工程失败造成损失的可能性

3.3.1 巫山残联滑坡西区治理工程

巫山县残联滑坡群位于巫山新城城西坪小区西部,为一古滑体,分为东区和西区两部分。

残联滑坡西区,按照地勘单位的勘察资料,需要进行治理的有两个次级滑坡(变形体),其一是暮雨路崩滑体,其二是净坛支路变形体。

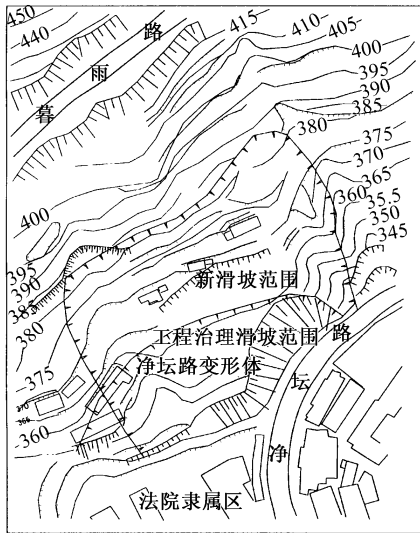
净坛支路变形体位于净坛支路以北,根据勘察报告,当时变形体东西长 165m,南北最宽处 60m,面积 9900m²,呈扇形。此段坡高 20~35m,坡度 20~35°,前缘高程 331.39m,后缘高程 363.50m,变形体前部陡坡处产生小型滑坡,后部出现裂缝,变形体为第四系崩坡积含碎石粉质粘土,碎、块石土厚 1~12m,总体积约 4×10⁴m³。

2003 年 4 月下旬,因巫山连续数天下雨,基本治理完工的净坛支路变形体上方形成一个新的贯通性弧形裂缝,裂缝宽 50~300mm,垂直位移 10mm,同时前缘鼓出,形成了一东西宽约 160m,南北长约 140m,面积 225×10⁴m²,滑体体积约 27×10⁴m³的新滑坡,前缘剪出口位于净坛路及净坛支路内侧的坡脚附近,滑坡变形致使原治理工程基本报废。据 4 月 30 日~5 月 4 日的变形观测资料,前缘主滑方向为 130°,主滑方向水平位移 25cm,后缘裂缝宽 30cm,后缘水平位移为 30~40cm,且当时存在着滑坡加速下滑冲毁净坛支路路边房屋的可能,险情十分危急。迅速进行了抢险。

现场调查表明残联滑坡西区治理工程被破坏的主要原因是:

勘查有明显失误

残联滑坡西区净坛支路变形体东西长 165m, 南北最宽处 60m, 坡高 20~35m, 变形体前缘高程 331.39m, 后缘高程 365.00m, 滑坡实际发生的范围为前缘高程 331.39m, 后缘高程 383.00m, 实际发生滑坡范围远大于勘察认定范围, 明显存在勘察边界底界不准确的问题(图 3、图 4)。



1—新滑坡边界; 2—工程治理滑坡边界

图 3 残联滑坡西区净坛支路变形体平面图

Fig. 3 Plan of Jingtanzhilu deformation zone in the western area of Canlian landslide

1—新滑坡边界; 2—工程治理滑坡边界

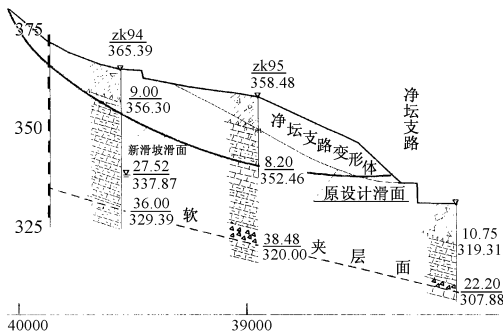


图 4 残联滑坡西区净坛支路变形体剖面图

Fig. 4 Cross section of Jingtanzhilu deformation zone in the western area of Canlian landslide

市级专家组审查设计方案时, 去掉抗滑挡墙, 取消了主体抗滑工程, 将滑坡治理工程基本改为护坡工程

原设计方案为: 清方减载+ 抗滑挡土墙+ 后缘地

表排水。

2002年8月10日, 市土管局和市计委组织专家组对治理工程初步设计审查后, 提出设计方案应改为: 清方+ 格构锚+ 护脚墙。

经费一再压缩, 专家组审查后, 初设概算费用 323.75 万元。市计委批复总投资概算为 216 万元, 其中治理主体工程费 131 万元。

施工单位低价中标, 中标价为批复经费的 67.9%, 89 万元。

业主强调土地资源的有效利用, 滑体前缘开挖未按设计控制, 大量切坡形成高陡边坡, 破坏了滑体的整体稳定性。

此次事故由于抢险及时及多方面原因, 未造成灾难性后果。此后, 地方政府立即投入资金, 再次进行了勘察设计与施工。

3.3.2 万州安乐寺滑坡治理工程

位于万州主城区 荣溪河左岸, 滑坡面积 $22.8 \times 10^4 \text{ m}^2$, 体积 $255.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2002 年 10 月开工, 2003 年 6 月竣工。2004 年 6 月, 国土资源部验收专家组进行了竣工初步验收。验收发现:

3.3.2.1 勘察表明, 安乐寺滑坡的滑坡前缘覆盖在河流相卵石砾石层上, 该滑坡具有上、下两层滑面。下滑面前缘为滑体与下部卵石层界面(图 5)。

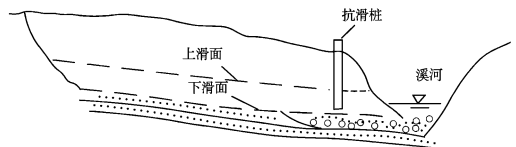


图 5 安乐寺滑坡示意图

Fig. 5 Cross section of Anleshi landslide

3.3.2.2 勘察成果认定危险滑面为上滑面, 对下滑面的性质判断不充分, 勘察报告未见沿下滑面的稳定性计算分析。

3.3.2.3 设计单位以上滑面滑动为依据, 设计的抗滑桩的锚固段大多仍在滑体中, 未穿过下滑面进入基岩, 仅对上层滑带进行了防治。此外, 设计时未考虑库水位对滑体承压水头作用, 对下滑带对滑坡稳定性的影响未作必要的论证计算。

3.3.2.4 钻孔倾斜仪深部监测表明, ALS-ZKW23 孔下滑面附近有位移(工程竣工后 2003 年 12 月监测资料)。

上述资料说明, 安乐寺滑坡勘察单位对勘察成果

认识不足,设计存在缺陷,国土资源部验收专家组认为安乐寺滑坡治理工程问题较大,存在安全隐患。

4 结语

地质灾害治理工程是特殊的地质工程。灾害地质体客观存在的固有的复杂性和不确定性,导致地质灾害治理工程的特殊性和风险性。在客观风险源的基础上,人们主观风险源的存在或突出,导致风险水平剧增。因此,地质灾害治理工程的勘察、设计、施工、监理、监测预警等方面,均要求突出专业性和科学性,以降低其风险水平,提高我国地质灾害防治的水平,保护险区广大人民生命财产安全,营造安居乐业

的安全的地质环境。

参考文献:

- [1] 孙广忠,孙毅.地质工程学[M].北京:地质出版社,2004. 199-206
- [2] 徐卫亚.地质灾害学及链子崖危岩体防治研究[D].北京:中国科学院地质研究所,中国科技大学研究生院. 1991,94-97
- [3] 成都理工大学.地质灾害防治与地质环境保护试验室.滑坡预报模型及预报判据研究[R].2004,1-2
- [4] 国土资源部.三峡库区二期地质灾害治理工程竣工初步验收总结报告.[R].2004,26-27

Uniqueness and risk of geological hazard remediation and some typical cases

XU Kai-xiang, HUANG Xue-bin, FU Xiao-lin, CHENG Wen-ming, TIAN Zheng-guo, YANG Jian-ying
(Command of Geological Hazard Control in Area of TGR, Yichang 443000, China)

Abstract: Geological hazard remediation has its own uniqueness. Firstly, this kind of engineering differs from other industrial and civil engineering. Secondly, this kind engineering is treatment for unstable geological bodies. This paper discusses the uniqueness, risk and sources of risk of geological hazard remediation. The internal source of the risk roots in intrinsic complexity and incertitude of geological hazard, while the external source of the risk is from the technique reliability of investigation and design institutions, the interference of authority and quality control. This paper briefly discusses and analyses some typical cases in area of TGR.

Key words: geological hazard; remediation; uniqueness; risk; case study; Three Gorges Reservoir area

(上接第 126 页)

Monitoring and control of foundation stability of a construction site on waste disposal area in Tianjin City

MA Feng¹, LEI Hua-yang², YING Yao-ming¹, BAI Jin-wu¹

(1 Tianjin Geological Survey Institute, Tianjin 300191, China; 2 Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The construction waster of the city was gathered to fill the pond. In this paper, the authors introduced the engineering geology, design and time limit of the project of piled mountain, put forward some prevention and cure measures to improve the groundsill stability, including clearing silt, mounting stress platform, accelerating drainage, controlling piled velocity, and so on. Based on the in-situ monitoring data of pore water pressure, horizontal displacement, ground subsidence, we calculated the stability of the site.

Key words: In-situ monitoring; control measures; back analysis; pile up hill for making scenery; foundation stability; Tianjin City