

·测量与地质·

水利水电岩质边坡的加固技术综述

翟才旺

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

[摘要] 在总结国内几个已建典型水利水电岩质边坡加固技术的基础上,对目前可供采用的加固处理措施进行归纳、分类,对即将开始编制的《水利水电边坡设计规范》提出一些建议。边坡加固措施归纳起来主要有减载、排水与截水、锚固、混凝土抗剪结构、支挡、压坡等几类。工程实例统计资料表明,排水与截水、锚固和支挡3类措施出现的频数最多,是作用最明显或快捷的措施。建议编制规范时把刚体极限平衡分析法作为岩质边坡基本的分析方法考虑;多编入一些可操作性的条款;对某些加固措施的使用条件作出规定。

[关键词] 岩质边坡;处理措施;工程实例;规范

[中图分类号] P642.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-1510(2002)03-0001-04

边坡处理是水电工程建设中经常遇到的问题,也是经常围绕设计人员的问题之一,因为到目前为止还没有一部边坡处理设计方面的规范可供参考,边坡的处理大多数以专家和设计人员的经验判断为依据进行。据悉水利部门已着手编制《水利水电边坡设计规范》,可喜可贺,也非常及时和有意义。本人曾参与了小浪底水利枢纽工程进出口边坡的加固处理设计和研究工作,小浪底工程的进出口边坡的加固处理涉及许多方面问题,具有一定的代表性和示范性,在边坡加固处理的设计和研究过程中也收集了一些国内外其它工程的边坡处理资料。本文试图对目前国内的边坡加固处理设计做一简单综述,并对规范的编制提出几点建议。

1 边坡的分类

不同的边坡类型,处理的思路和方法不同,因此有必要对边坡进行分类。最笼统的分法可将边坡分为自然边坡和人工边坡。自然边坡是由自然的力量形成,一般不需要进行处理,除非该边坡危及人或工程的安全;而人工边坡是人们为了某种目的对自然边坡或地基进行开挖后形成,多数需进行加固处理,以使该边坡达到稳定安全要求。比较经典的分类是根据边坡破坏的形态将边坡分为平面破坏、楔体破

坏、圆弧形破坏和倾倒破坏。某个边坡破坏可能是上述破坏类型中的某一种或某几种的组合。

2 边坡稳定分析的理论与方法

到目前为止,边坡稳定分析的方法很多。每种方法都基于某些假定,有不同的工程应用背景。有些方法简单而实用,易被工程师们接受,而有些方法计算繁琐,所采用的计算参数不易取得,只能作为一种理论或方法被研究者所用,其计算结果只能供工程师定性判断时参考,不能直接应用于边坡处理设计。

边坡稳定分析方法大致可分为三大类:第一类为刚体极限平衡分析方法;第二类为连续介质力学方法;第三类为非连续介质力学方法。刚体极限平衡分析方法在工程界应用最为广泛。其基本思路是:假定岩体(或土体)破坏是由于滑动体内滑动面上发生滑动而造成,滑动面上岩体(或土体)服从破坏条件,通过考虑滑动体的静力平衡,确定沿滑动面发生滑动时的破坏荷载。目前的刚体极限平衡分析方法主要把刚体作为二维问题考虑,滑动面形状可以是平面、折面、圆弧面、对数螺旋面或其它不规则曲面^[1]。在楔形体的刚体极限平衡分析方法中,已有三维方法出现,其基本思路类似于二维楔形体的

[收稿日期] 2002-04-15 **[修订日期]** 2002-06-03

[作者简介] 翟才旺(1964-),男,河南武陟人,黄河水利委员会勘测规划设计研究院高级工程师,在读硕士,主要从事水工设计和研究工作。

稳定分析。

3 边坡加固处理措施

如果稳定分析结果表明边坡的安全系数达不到规定的要求,可采取不同的加固措施提高边坡的安全度。目前可供采用的边坡加固措施很多,但归纳

起来主要有如下几类:①减载措施;②排水与截水措施;③锚固措施;④混凝土抗剪结构措施;⑤支挡措施;⑥压坡措施等。表1为国内10个比较典型的水利水电工程边坡加固措施的统计表,从表中可以看出,排水与截水措施、锚固措施和支挡措施出现的频数最多。下面将分别进行分析讨论。

表1 国内10个水电工程边坡处理措施统计表

工程边坡名称	减载措施	排水与截水措施	锚固措施	混凝土抗剪结构措施	支挡措施	压坡措施
天生桥二级水电站厂房西坡	*	*	*	*	*	
漫湾水电站左岸边坡	*	*	*	*	*	
小浪底工程进口边坡		*	*		*	
小浪底工程出口边坡	*	*	*	*	*	
三峡船闸边坡		*	*		*	
天荒坪 500 kV 开关站边坡	*	*	*		*	
十三陵抽水蓄能上池西坡外坡		*	*	*	*	
二滩水电站左岸导流洞出口边坡		*	*		*	
李家峡左坝肩下游边坡		*	*		*	
五强溪水电站左岸边坡		*	*	*	*	*
措施出现频数	4	10	10	5	10	1

3.1 减载措施

减载措施包括削头减载和削坡减载两种。削头减载是将边坡上部一定范围内覆盖层或岩体削掉,以降低边坡总高度;削坡减载是将边坡的坡度放缓。两种减载措施的作用都是减少边坡可能发生滑动破坏的下滑力。一般来讲,削坡措施常常受到建筑物布置上的制约,边坡不能放得太缓或根本不能放缓,而削头措施较少受到制约。

天生桥二级厂房发生大规模的滑移时,滑坡后缘地形上凸超过 600 m 高程部分分两次挖除,共减载 22.15 万 m^3 ,边坡变位速率明显降低^[2,3];乌鲁瓦提水利枢纽厂房左岸高边坡削坡减载 235 万 m^3 ^[3];小浪底工程出口高边坡Ⅱ区在不影响建筑物出口段布置的前提下,分两次将 170 m 高程以上的覆盖层和岩体挖除,边坡开挖高程降低约 40 m,保证了边坡一期工程施工的安全,为边坡的长期稳定和进一步加固奠定了良好的基础^[4];南腊河电站左右岸边坡上部削坡减载,左岸边坡上部开挖由 1:0.15 改为 1:0.5,右岸边坡上部开挖由 1:0.3 改为 1:0.5 和 1:0.75^[5]。

减载措施的实施有主动和被动之分,主动实施是在开挖之前就已经考虑了此项措施,而被动实施是开挖过程中或开挖完成后,因边坡失稳滑塌才考虑到的补救措施。在已完成加固处理的水电工程边坡中,属于被动实施的情况最多。安康水电站尾水

渠高边坡的整治以及天荒坪水电站 500 kV 开关站边坡的处理就属于被动实施的例子。

3.2 排水和截水措施

排水措施可分为坡内排水措施和表面排水措施两种。坡内排水措施包括在边坡内设置的排水水平硐、排水竖井,或在排水水平硐和排水竖井内打的排水孔,以及在边坡表面上打的排水孔。坡内排水措施可降低坡内的地下水位,减小作用在边坡滑体上的水荷载^[6]。该种措施的排水效果取决于不连续面的规模、渗透性能、输水能力和方位^[1]。一般来讲,坡内排水措施是一种较有效的边坡处理措施之一。表面排水措施包括在坡顶和坡面上修的截水沟。表面排水措施可将坡顶和坡面上的来水集中排泄,减小裂隙水压力对边坡稳定的不利影响。表面排水措施是岩质高边坡加固处理中一种快捷、经济和有效的措施。

小浪底工程出口高边坡内设置排水洞和排水孔是一个较典型的坡内排水成功例子。敏感性分析表明,地下水位每下降 1.0 m,边坡稳定安全系数提高 0.025~0.062,地下水位越低,下降单位水深对边坡稳定安全系数的影响越大。鉴于地下水位对出口高边坡稳定性的影响较大,在出口边坡内 115 m 高程设置了一条排水隧洞,以降低施工期和消力塘检修期坡内的地下水位,提高出口高边坡的抗滑稳定系数。同时,也可以减少消力塘施工时的基坑抽水量,

减少施工难度。1,2号竖井施工时实测出口高边坡内的地下水位为132.5~135.0 m,与勘察资料提供的区域天然地下水位数据基本一致。排水洞排水孔施工完毕,出口高边坡Ⅱ区5根抗滑桩施工时证实Ⅱ区的地下水位已经降到了120.0 m左右。排水洞周围14支渗压计1年多的监测资料证实沿排水洞周围的地下水位一直在118.0 m以下,最大测值117.5 m,最小测值112.6 m。可见抗滑桩施工和渗压监测资料均证实,在施工期排水洞将边坡内的地下水位降到120 m以下,下降幅度达50% (注:下降幅度=[施工期地下水位-坡脚开挖高程]/[天然地下水位-坡脚开挖高程]),排水效果是相当好的^[4]。

截水措施包括作防渗帷幕、防渗墙等。在边坡滑体的上游侧适当位置做防渗帷幕和防渗墙可降低边坡内的地下水位,减小作用在边坡滑体上的水荷载,从而提高边坡的安全度。

3.3 锚固措施

锚固措施包括预应力锚固和非预应力锚固两种,前者是一种主动加固,后者是一种被动加固。预应力锚固是采用预应力锚索、锚杆或钢丝对岩体进行加固,通过对可能失稳的岩体主动施加压力,提高滑动面上的抗剪参数和阻滑力(通过提供正压力、反向力实现),从而实现提高边坡的抗滑稳定安全度。非预应力锚固是采用砂浆锚杆、树脂锚杆等对边坡岩体进行加固,通过提高滑动面上的抗剪参数和阻滑力(通过提高抗剪力实现)来实现提高边坡的抗滑稳定安全度。

在预应力锚固措施中,预应力锚索的应用最为广泛,其主要的特点是施工方便快捷、占用场地少和加固效果好。水利水电边坡中典型的工程应用实例:天生桥一级水电站厂房边坡采用121根1 000 kN锚索进行加固^[7];天生桥二级水电站厂房西坡加固中采用392根锚索,其中1 200 kN级240根,300 kN级152根;漫湾水电站左岸边坡加固处理共计采用锚索2 227根,其中1 000 kN级1 310根,1 600 kN级20根,3 000 kN级876根,6 000 kN级21根^[8];二滩水电站左岸导流洞出口边坡加固处理采用13根2 000 kN级和87根3 000 kN级锚索^[9];十三陵抽水蓄能电站上池西坡外坡加固工程采用172根1 000 kN级锚索;小浪底工程进口边坡共计采用锚索600根,长度18~40 m,总吨米数2 303 580,锚索规格有400,600,800,1 000,1 200,1 500,2 000 kN计7种;小浪底工程出口边坡共计

采用锚索350根,长度35~50 m,总吨米数2 935 200,锚索规格有2 000 kN和3 000 kN两种^[10]。

预应力锚索种类按灌浆次数可划分为两次灌浆全长粘结式和一次灌浆双层保护自由式两种。在国外一次灌浆双层保护自由式应用较为普遍,国内仍以两次灌浆全长粘结式为主。我国的小浪底工程、十三陵抽水蓄能电站等少数几个工程上应用了一次灌浆双层保护自由式锚索。

非预应力锚固措施在水利水电边坡中应用非常普遍。

3.4 混凝土抗剪结构措施

混凝土抗剪结构措施包括在岩体内打抗滑桩、抗剪洞或塞等,是一种被动加固。在边坡滑体滑面位置比较明确的情况下,可采用混凝土抗剪结构措施。抗滑桩和抗剪洞或塞的使用条件不尽相同:边坡滑体的规模不大时可采用抗滑桩,一般来讲断面尺寸不大,提供的阻滑力有限;边坡滑体的规模较大、深层滑动的情况,可采用抗剪洞或塞将滑面截断,为滑体提供抗剪力,根据需要抗剪洞可以做得很大。从施工质量方面讲,由于抗滑桩为垂直开挖,可保证混凝土和周围岩体紧密结合。而抗剪洞或塞一般由水平洞室回填混凝土形成,洞顶混凝土的回填质量不易保证。根据已建工程的经验,混凝土抗剪结构均存在配筋量大、钢筋间距较密的情况,如何保证混凝土振捣的密实度是施工中应注意的问题。

已建水利水电岩质边坡工程中,钢筋混凝土抗滑桩的应用实例较多,如漫湾水电站左岸边坡加固处理共计采用66根横断面为矩形的抗滑桩,断面尺寸分3.5 m×5.0 m,2.5 m×3.0 m,2.0 m×2.0 m(宽×高)3种,深度为20~40 m;天生桥二级水电站厂房西坡加固处理采用了17根横断面为矩形的抗滑桩,断面尺寸为3.0 m×4.0 m(宽×高),深度为25~40 m;十三陵抽水蓄能电站上池西坡外坡加固处理采用了预应力锚索和抗滑桩组合结构,在抗滑桩顶部设置锚索,使抗滑桩成为两端都具有固定端的结构。共计采用45根横断面为矩形的抗滑桩,断面尺寸有2.0 m×3.0 m和3.0 m×4.0 m(宽×高)两种,深度为20~40 m;小浪底工程出口边坡上设置6根抗滑桩,其中1根横断面为圆形,直径3.0 m,深度35 m,利用勘探竖井回填而成。另外5根横断面形状为两端半圆(直径为2.0 m),中间矩形2.0 m×3.5 m(宽×高),深度为35~37 m。在抗滑桩施工时,如果岩体破碎,或地下水位较高,施工难度

和危险性都会增加,小浪底工程出口边坡抗滑桩施工时就遇到了这种情况。因此,设计桩深时应考虑此因素。

3.5 支挡措施

支挡措施包括挂钢筋网、喷混凝土或喷钢纤维混凝土、挡土墙和混凝土护面等,是一种被动加固,是从外部解决边坡滑体的稳定问题。挂钢筋网、喷混凝土或喷钢纤维混凝土的作用是覆盖边坡岩体表面、支撑岩体,除喷钢纤维混凝土极少采用外(小浪底工程进口高边坡上得到了应用),其它几项在水电工程边坡中应用非常普遍。水电工程边坡中混凝土护面用得较多,其主要作用是封闭表面,防止雨水下渗和表面岩体风化,同时兼有对边坡滑体的支挡作用。挡土墙的主要作用是防止边坡表面坍塌造成的危害,一般用在受用地或已有结构物限制的部位。挡土墙在公路和铁路边坡的处理中用得较多,而在水电工程边坡上用得相对较少。

3.6 压坡措施

压坡措施就是在边坡滑体的趾部附近人为地增强约束(用土、石或其它材料)以防止坡体滑动。一般来讲用于压坡的材料采用开挖的废弃料,该措施的使用也往往受到场地的限制。在场地允许的前提下水电工程边坡中对大型古滑坡的处理可采用该措施。五强溪水电站在进行船闸边坡加固处理时,采用了在船闸边墙与边坡之间回填混凝土压脚的办法。

除以上 6 大类措施外,与岩质边坡加固有关的措施还有控制爆破、现场监测等,这些措施在边坡设计中是作为辅助性措施出现的,但有时是必不可少的。

4 结论及建议

(1) 尽管目前水利水电岩质边坡稳定分析的理论和方法很多,但被设计人员接受的、最常用和适用的方法仍是刚体极限平衡分析法。建议在编制《水利水电边坡设计规范》时把刚体极限平衡分析法

作为岩质边坡基本的分析方法考虑。

(2) 水利水电岩质边坡的加固技术是一门综合的技术,涉及到计算技术、材料、施工设备及工艺等,每个环节都会影响到最终的边坡加固效果。另外由于地质条件的不确定性,在加固设计和施工时,工程师的经验和综合判断能力,也直接影响边坡处理的成功与失败。因此,建议广泛收集国内外已建边坡的资料,在《水利水电边坡设计规范》中,多编入一些可操作性的条款,少一些原则性的条款。

(3) 对水利水电岩质边坡的加固处理,可视不同情况采取不同的措施。已建工程的统计资料表明,排水、锚固,以及支挡措施中的挂钢筋网、喷混凝土是采用频数最多的措施,实际使用的结果也表明上述 3 类措施是作用最明显和快捷的措施。建议在条件允许的情况下,把上述 3 类措施作为首选措施考虑。另外,建议在《水利水电边坡设计规范》中,对某些加固措施的使用条件作出规定。

参考文献

- [1] 崔政权,李 宁. 边坡工程—理论与实践最新发展[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.81-174.
- [2] 陈祖煜,汪小刚. 水电建设中的高边坡工程[J]. 水利发电. 1999,(10):53-56.
- [3] 水利部水利水电规划设计总院. 预应力锚固技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.90-150.
- [4] 翟才旺. 黄河小浪底工程泄水建筑物出口边坡稳定分析及工程治理[J]. 西北水电. 1996,(2):51-55.
- [5] 高祖纯. 南腊河电站岩质高边坡加固设计[J]. 珠江现代建设. 1998,(6):14-16.
- [6] E. Hoek, J. W. Bray. 岩石边坡工程[M]. 北京:冶金工业出版社,1983.223-236.
- [7] 付永春. 天生桥一级水电站厂房后边坡预应力锚索的施工工艺[J]. 云南水电. 1998,(2):60-63.
- [8] 王少昆. 漫湾水电站边坡锚索处理设计与施工[J]. 云南水力发电. 1993,(2):73-76.
- [9] 刘平禄,周鸿汉. 二滩水电站左岸导流洞出口边坡加固处理[J]. 水电站设计. 1994,10(1):70-75.
- [10] 翟才旺. 预应力锚索在小浪底工程高边坡加固中的应用[J]. 水利水电快报. 2001,(3):15-17.

(责任编辑:周 群)

(英文文摘下转第 11 页)

欢迎投稿 欢迎订阅