【水利水电工程】

爆破震动对岩质高边坡的影响及控制措施研究

杨 聃

(紧水滩水力发电厂,浙江 丽水 323000)

摘 要:分析了爆破振动对岩质高边坡的作用机理,总结了边坡施工过程中的减震控制措施,根据岩质高边坡稳定的影响因素及爆破震动对岩质高边坡的作用机理,讨论了边坡工程的控制爆破技术。结合三峡工程实例,探讨了减震措施的应用。结果表明,采取一定的减震措施,可以降低爆破震动对边坡的影响,保证边坡的安全。

关 键 词: 爆破震动; 岩质高边坡; 控制爆破

中图分类号: TU542 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-1379(2006)10-0068-02

大型水利水电工程、露天开采工程及交通工程等的建设逐渐向复杂环境、复杂地质条件场地推进,与之相关的自然斜坡和人工高边坡稳定性问题显得越发突出。某些水电工程人工高边坡已高达 200～400 m。在工程建设中,爆破作为一种经济、快速、有效的边坡岩体开挖手段,已获得了广泛应用。爆破开挖时对边坡岩体产生动力扰动破坏,造成局部岩体结构受损和岩石破碎脱落,既弱化分解岩体的抗力,又引起岩石应力重分布和渗流场的改变,削弱了边坡稳定条件,有可能引起岩质高边坡失稳,产生重大安全事故。因此,有必要研究爆破震动对岩质高边坡的影响。

1 对高边坡稳定的影响

岩质高边坡的安全稳定性不仅与地形地质条件有关,而且与施工方案有关,特别是与采用的爆破技术和爆破方案密切相关,但起决定作用的是边坡本身所具有的内部特性[1]。爆破开挖不仅改变了原地形、覆盖层和坡脚的约束条件,随着时空条件的变化,边坡结构及相互间力学关系发生变化,而且爆破动荷载的振动作用产生的地震惯性力对边坡稳定也产生不利影响。邻近边坡爆破的危害,主要是一种远距离的间接破坏,其作用媒介是由爆破产生、沿边坡传播的爆破地震波。

爆破地震波对边坡的破坏作用主要表现在:①使边坡围岩中的剪应力增大,使原生结构面、构造结构面、原有的裂纹裂隙扩展和延伸,甚至产生新的爆破裂纹和微裂纹,从而影响了边坡的整体稳定性;②使地下水状态发生改变,直接或间接地影响到滑移处的阻滑能力,同时震动惯性力也对边坡形成了一个致滑力;③对远区的边坡岩体施加的动荷载,虽然已衰减到不足以直接造成岩石破裂,但对于比岩石强度低得多的节理、层理、裂隙等原有应力破坏区的软弱面而言,则可能引起这些软弱面部分松裂,裂隙扩展延伸,造成岩体“内伤”,形成一定范围的爆破松动区,从而大大降低边坡的承载能力和稳定性。生产爆破长年反复对边坡产生的动载冲击作用,将使上述破坏效应得到不断的加强和延续,产生近似材料的蠕变或岩石内部的损伤累积,当这种蠕变或损伤积累超过边坡稳定的临界值,则发生边坡的失稳[2]。

实际工程中,不加控制的爆破施工将导致边坡外形粗糙,过分破碎,悬垂倒坡突出,过度震裂,并且边坡顶部易产生延伸的张裂纹,从而显著增加边坡的整治和养护费用。此外,因爆破压力作用,使结构面松散、开裂,地表水沿断层、节理、层面和不连续结构面更容易渗入,而水的渗入将产生不利的地下水压和不良的冻结作用,这将对边坡稳定性产生直接危害[3]。

2 对岩质高边坡的作用机理

爆破地震波对边坡的作用机理已由单纯的动应力效应研究,发展到研究爆破波致裂、开裂累积、爆破损伤与渗流耦合、爆破触发水膜化、高地应力区的爆破卸载等[1,4]。

2.1 爆破动力效应破坏岩体

岩体破坏不仅决定于介质力学性质差异,而且还与加荷性质、加荷速率明显相关。动应力破坏不受岩体中最薄弱部位控制,破坏可瞬间在多处发生。爆破地震波对岩体的加荷速率可高达 10^7 kg/(cm^2·s),地下工程敏感范围为 10^3～10^4 kg/(cm^2·s)。此速率时岩体动态强度为静态强度的 1.30～1.40倍。岩体受动荷载破坏时,其抗拉强度 σ_p、抗拉弹模 E_p 受加荷速率 v_H 影响的经验公式为

$$\sigma_p = \sigma_{p(v=1)}[0.12(\lg v_H + 1)] \quad (1)$$

$$E_p = -E_{p(v=1)}[0.02(\lg v_H)^2 + 0.15\lg v_H + 1] \quad (2)$$

式中:$\sigma_{p(v=1)}$、$E_{p(v=1)}$ 分别为加荷速率为 1 kg/(cm^2·s)时的抗拉强度与抗拉弹模。

对于高边坡开挖工程爆破等,其主振相振动周期多在 10～60 Hz,振幅则决定于爆破相应药量,其对工程岩体作用之动、静效应可按相应计算方法来确定。岩体介质中相应点在爆破地

收稿日期: 2006-01-24

作者简介:杨聃(1977-),男,浙江丽水人,助理工程师。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

震波作用下,动、静应力之和大于相应固相强度时,岩体中产生新裂隙,或裂隙延伸、扩展与贯通,甚至掉块、崩塌、滑移,使边坡体破坏。

2.2 爆破损伤与渗流耦合的边坡弱化

从工程实践看,95%以上边坡失稳都与水影响直接有关。随着边坡深凹化趋势加剧,地下水对边坡影响更突出。一般硬岩边坡,上部强风化带渗透系数 $K=(1.4\sim1.6)\times10^{-3}$ cm/s,向深部随节理裂隙化程度减弱主渗透系数可减至 $K_1=(1.8\sim2.0)\times10^{-7}$ cm/s,在断层带通常可达 $K=2.0\times10^{-4}$ cm/s。具体边坡工程应首先建立渗流地质概化模型。渗水及水密度对边坡岩体稳定的作用通常只局限于两类效应:使岩体强度减弱的软化与减强效应;影响边坡安全系数的浮托力、水平推力、减少有效孔隙压力的坡体效应。渗流场在于研究动水压力,渗流与爆破损伤的耦合作用方式为损伤—渗流—损伤,耦合作用过程也是边坡岩体弱化加剧过程。

2.3 爆破开挖促成高地应力边坡体卸载

在水利工程建设中,边坡体同样应考虑爆破作用导致边坡体卸载。如龙滩的进水口高边坡,经实测岩体残留有构造应力。为分析地应力场对边坡稳定影响程度,进行了自重应力场与构造应力场的比较计算。计算结果表明:两种应力场的主要差异是水平应力,而垂直应力差别较小,按实测应力场计算的坡脚应力集中程度明显高于自重应力场计算结果。边坡开挖后,两种地应力场条件的计算位移差别甚大,位移分布特征明显不同,构造应力对边坡稳定的影响显著:一是造成局部应力集中值过高,可能引起岩体的强度破坏;二是引起开挖面附近岩体松动变形较大,易产生开裂、倾倒变形破坏[5]。

2.4 爆破震动促成边坡体中泥化夹层水膜化

泥化夹层是特殊地质体,在我国各类地质结构中广泛存在,是过去一直被忽视的边坡稳定隐患。我国已发现存在泥化夹层的工程有黄河小浪底、广西大藤峡、河北张坊、湖南五强溪、葛洲坝水利枢纽工程。爆破触发泥化夹层水膜化,最优含水量发生变化,将导致大滑坡。

3 减震控制爆破技术

控制爆破技术是减少爆破震动对岩质高边坡影响的关键措施,主要从减小震源的爆炸能量与阻断或减弱爆破地震波的传播两方面来考虑。具体采用何种方法、如何选取合理的爆破设计参数,国内外学者进行了大量的理论研究和方法探索,并取得了丰硕的成果,所依据的基本原理如下。

(1)爆震波的分离阻隔。为了使有破坏作用的爆破地震波不能到达需保护的边坡或减弱其作用强度,通常采取在保护边坡附近的一定区域进行减弱爆破,形成一裂缝或破碎带,将保护区和爆破破碎区分隔开,有效地阻隔或减弱后续生产爆破的震动效应。

(2)分散装药减小震源能量。爆破在矿岩介质中形成的震动效应无法消除,震动的强弱取决于震源能量的大小。而震动强度达到一定值时才会发生边坡破坏和失稳,分散装药可减小震源能量,从而减少爆破震动对岩质高边坡的影响。

(3)多段延时减小单响药量。实测表明,在爆源近区震动的大小与单孔药量大小有关,而在爆源的中远区,震动的强弱主要取决于实际的单响药量。生产爆破往往一次爆破少则十几个孔,多则上百个孔,即使单孔药量不会危害边坡,但多孔的共同作用会在中远区产生很大的震动破坏效应。高陡边坡正是处于爆破的中远区作用范围,因此要有效控制爆破震动强度,必须减小单响药量。为此通常采用多段延时起爆技术,以增加起爆段数来降低单响药量[2]。

4 工程实例

三峡工程临时船闸与升船机修建在深开挖的花岗岩山体中,深开挖形成的岩石高边坡最大高度达 140 m。施工期岩石开挖爆破所引发的地震动力效应是边坡稳定的重要影响因素。

爆破震动强度的有效控制与允许单响最大药量及合理的微差起爆网路密切相关。在实际施工中,一般将深孔梯段爆破的最大单响药量控制在 300 kg,预裂爆破最大单响药量控制在 100 kg时,不会造成震动超标问题。微差起爆网路的设计及现场敷设,应能够切实保证各段药量按设计的时序分隔开来,各相邻段之间的时间间隔不宜小于 50 ms,应尽可能跳段选配毫秒雷管。如图 1为采取 1～5段雷管作段间微差的梯段爆破典型振动波形,波形出现明显的叠加,从而导致振动量成倍增加。由此可见段间名义 25 ms微差是远远不够的。图 2则为选用高段位毫秒雷管起爆网路的爆破振动波形,由于段间的间隔时间较长,因此段间波形没有出现叠加,各段有明显的振动衰减期[7]。

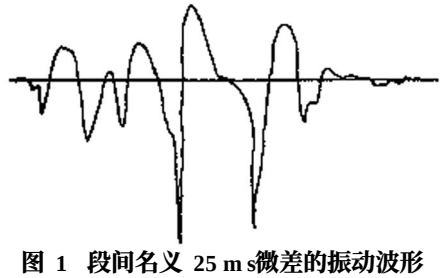


图 1　段间名义 25 ms微差的振动波形

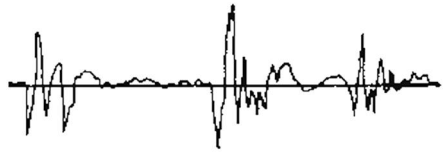


图 2　高段位毫秒雷管起爆的振动波形

另外在临时船闸与升船机开挖过程中,通过爆破方案的优化设计,及时调整爆破开挖程序及爆破方案。首先在升船机深槽左侧进行抽槽爆破以形成临空面,然后逐步往中隔墩方向扩挖,当扩挖至所剩岩体的厚度为 8～10 m,即达到中隔墩厚度的 1/3左右时,再在中隔墩直立边墙部位进行预裂爆破,最后再用常规的梯段爆破技术将所剩岩体爆除[8]。

5 结　语

(1)优化爆破参数,降低爆破震动负面影响。采用预裂爆破和毫秒梯段爆破技术进行开挖,在坡面开挖和坡脚附近基坑开挖中可获得明显的减震效果,同时使坡面和台阶面平整光滑。

(下转第 83页)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的通行,道路修好后仍采取了各种各样的限制通行措施,这虽有利于维持道路的完整和延长其使用寿命,但也带来了明显的负面影响,尤其是沿黄群众对此很不理解。

鉴于以上情况,可考虑将防汛道路设置在大堤背河护堤地外缘,这虽然可能增加初始投资,但可以通过将防汛道路与交通公路结合而争取加大国家投资或发挥当地积极性,由当地政府增加配套资金来解决。采取这种方案有以下好处:①有效避免因堤顶过多行车而引发的对防洪工程的震动破坏或因堤顶道路设卡而带来的负面影响;②便于防汛抢险交通调度,通过合理设置上堤道口,可以将抢险所需要的人员、工具、料物快速直接地运送到指定地点,避免因堤顶既是交通要道又是抢险场地而带来的相互干扰;③以沿堤防汛公路为界,使黄河工程的管理分界(以沿公路修建的排水沟为分界)更加清楚、明了,使黄河工程更加完整,也更便于黄河工程的管理、维修、养护及开发利用,从而消除背河淤背区及护堤地因不便于管理而形成的管理死角,避免沿黄村民对背河护堤地及淤背区的蚕食性开垦种植;④更易于塑造黄河沿岸生态景观线,也能让更多的人直观地了解黄河工程的壮观及地上悬河的险要。

(4)淤背区包边。大堤淤背加固工程完成淤沙后要进行黏土包边、盖顶。现行的包边厚度(垂直边坡)为 0.3 m,笔者认为该值偏小,建议增至 0.5 m,主要原因有:①包边厚度过小不易于覆盖淤沙,易造成局部包边尺度不足,再加斜坡上易形成水土流失,进而造成局部淤沙裸露,久而久之,易形成工程残缺;②包边厚度过小不能保持植被生长所需要的水分、养分。

对于包边黏土层的厚度,可能存在这样一种顾虑——即渗水或淤背区积水的渗出问题。实际上,即便是有水渗出,其出逸点也不会很高,况且人们也不希望有较高的出逸点,对此,如果确实需要考虑排水问题,仍可以采用加厚包边黏土、而在边坡低部(坡脚)设置沙石棱柱体排水或埋设集滤水、汇水于一体的排水管的方法来解决,以有效降低浸润线和出逸点高度。

(5)植树绿化与景观建设。建设标准化堤防工程除了追求"防洪保障线、抢险交通线"的目标外,另一个目标就是实现"生态景观线",但现行的植树绿化标准与这一目标在一定程度上有点不相吻合。在防浪林植树中,那种"保持原形、能植则植"相对宽松的原则,可能使林带不够完整、整齐、美观;低档树种及低标准的投入可能使堤防行道林的美观效果不足;淤背区开发投入的不足,也不可能使淤区整理标准更高、树株种植规格更高、生长效果及景观效果更好;另外,还缺少必要的景观设计。在今后的设计中,是否可以考虑植树区域的整理、必要的基础设施建设、植树投入标准的提高、重点区域(堤防、险工)及重点段落(如黄河"三口"、城市近郊等)的绿化和景观设计,努力做到"建设为管理创造条件"。

(6)增加必要的标志性设施。如临背河边界处的排水沟就很有必要,这不仅使界属清楚、工程完整,也可防止因侵占种植而破坏工程和因工程排水而造成对农田的淹没损害。

2.2　工期管理有待强化

标准化堤防建设项目多、任务重、战线长、涉及面广、相互影响大,工期管理存在较大困难。结合第一期工程建设情况,笔者认为在工期管理上可以实行分阶段控制的原则,即:①对于涉及迁占工作的工程,将迁占工期和施工建设工期分别加以确定和控制;②相衔接的不同建设项目之间要有尽可能确保后续工程质量的工期间隔,如在新加高的堤顶上修做防汛道路,在确定总工期时要尽可能地留出比较长的间隔,不至于因赶工期而影响后续工程质量(如使本来就很难避免的不均匀沉陷裂缝更加明显、加剧)。

3　结　语

标准化堤防建设涉及到很多方面,需要得到更多的关注、支持,并不断完善管理措施,在确保工程质量的前提下,加快工程建设速度,以发挥投资效益、尽快实现工程的整体效能,为实现下游河道的科学治理和维持黄河健康生命创造条件。

【责任编辑　翟戌亮】

(上接第 69页)

(2)控制单段药量,降低坡脚震动速度。利用控制边坡坡脚的爆破震动速度来控制爆破震动对边坡稳定的影响,被认为是最直观又简单易行的方法。

(3)对爆破方案进行优化设计,根据地形地势条件及时调整爆破开挖程序。

参考文献:

[1] 张永哲,甑胜利.漫湾电站开挖爆破对高边坡动力稳定影响的分析研究[J].工程爆破. 1996,(1).
[2] 马建军,蔡路军,叶洲元,等.高陡边坡爆破减震问题的探讨[J].有色金属(矿山部分),2002,(2).
[3] 黎剑华,张龙,颜荣贵.爆破地震波作用下的边坡失稳机理与临界振速[J].矿冶,2001,(1).
[4] 戴谦训,周海慧,赵红敏.龙滩进水口高边坡稳定的三维有限元分析成果简述[J].红水河,2002,(2).
[5] 陈祖煌,汪小刚.水电建设中的高边坡工程[J].水力发电,1999,(10).
[6] 张时忠,张天锡,吴立.爆破施工对边坡稳定性影响初探[J].中国地质灾害与防治学报,1996,(1).
[7] 舒大强,赖世襄,朱传云,等.岩石高边坡爆破振动效应观测及分析[J].爆破,2000,(17).
[8] 卢文波.三峡工程临时船闸与升船机开挖中的爆破方案优化和爆破振动控制[J].岩石力学与工程学报,1999,(5).

【责任编辑　张华岩】

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net