

小湾电站堆积体边坡锚固响应规律数值模拟实验

张德圣¹ 林 舸² 黄海峰³

- (1. 安徽理工大学土木建筑学院, 安徽 淮南 232001;
2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;
3. 三峡大学地质灾害防治研究院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:为探讨堆积体边坡的锚固响应规律,运用数值模拟方法来分析群锚作用下堆积体边坡的压、拉应力分布规律。模拟结果显示,群锚作用下,在锚墩周边的岩体中形成的压应力集中区相互叠加,自由段末端、内锚段始端部位的压、拉应力区域也相互叠加,这种拉应力区的联合可能对锚固不利。此外,锚索间、排距以4~5 m较为合适,堆积体边坡的岩体变形主要集中在锚索周边2 m范围内。

关键词:小湾电站; 堆积体边坡; 压应力; 拉应力; FLAC^{3D}数值模拟; 锚固响应

中图分类号:TU457 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-1933(2011)06-121-05

Anchorage response law experiment of deposit slope in Xiao-wan Hydropower Station using numerical simulation

ZHANG Desheng¹, LIN Ge², HUANG Haifeng³

- (1. School of Architecture and Civil Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;
2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
3. Geological Disaster Prevention Research Institute, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: For the sake of probing into anchorage response law, this article researches on distributed law of compressive stress and tensile stress in deposit slope under group anchor cables by numerical simulation. The simulation result indicates that, under the action of group anchorage cables, compressive stress region overlaps one another around anchorage pier in rock mass, at the same time the compressive stress and tensile region superposes along free-sect's bottom and anchorage-sect's top too. However, the tensile stress region's superposition is disadvantage to anchorage. Moreover, the space between of anchor cables is fitting as 4.0 ~ 5.0 m, and the strain of deposit slope is mainly concentrated about 2 m range around anchor cable.

Key words: Xiao-wan Hydropower Station; deposit slope; compressive stress; tensile stress; FLAC^{3D} numerical simulation; anchorage response

0 引言

边坡在开挖过程中,岩体的结构面将产生开裂、滑移,坡体的应力将重新调整,坡体会出现大面积的松动区,坡体密实度减弱^[1-2]。锚固将使结构面产生闭合、压密,从而使岩体的压缩量和弹性模量增加。预应力锚索的施加则增加了松动区的密实度,改善了坡体内部的应力状态,抑止和调整了边坡岩体的变形,岩锚的加固效应主要集中在卸荷区表现的特征。

锚索作用下的边坡响应是锚固效果的直接反映,也是人们直接关注的问题。锚固的目的就是要达到人们所预想的效果,满足人们的需求。研究锚索作用下的边坡响应规律时,人们对于一般性的边坡锚固效应问题研究较多,而对于软弱岩土质边坡的研究相对较少,尤其是一些特殊地质边坡(如松散岩土质边坡、堆积体边坡等)。本文主要以小湾水电站堆积体边坡为研究对象,运用FLAC^{3D}数值模拟软件,着重研究堆积体边坡在群锚作用下的堆积体的响应规律。

1 堆积体边坡结构特点

小湾电站堆积体边坡由表及里大致包括堆积体、接触面夹层以及下伏基岩^[3-5](图1)。堆积体主要由块石、特大孤石夹碎石质粉土或砂壤土组成。

收稿日期:2010-04-29

作者简介:张德圣(1974-),男,安徽肥西人,博士,讲师,主要从事锚固与注浆方面的研究。

基金项目:安徽理工大学博士科研启动基金资助项目(11050)

E-mail: zhangdesheng7412@tom.com

总体上,堆积体物质相对较为密实,局部地段较为疏松,并存在架空现象。堆积体下部基岩岩质坚硬,岩性为弱风化至微风化黑云母花岗片麻岩夹角闪片岩。在堆积体底部与基岩接触带,普遍分布一薄层颗粒相对较细、厚度不均的坡积层或洪积层,接触带土体在空间分布上成层性相对较差。

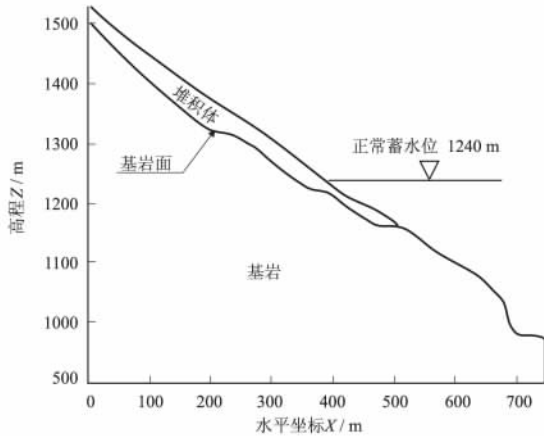


图 1 堆积体边坡纵剖面示意^[3]

Fig. 1 Profile sketch map of deposit slope^[3]

2 数值模型的建立

2.1 地质建模

如图 2 选取堆积体左岸某高程边坡作为研究体建立地质模型:以边坡走向指向右(河流方向)为 X 轴正方向,以水平面内垂直 X 轴指向山体内部方向为 Y 轴正方向,以铅直方向指向上为 Z 轴正方向;在 X 正方向上选取 20 m;在 Y 轴正方向选取 70 m (其中包括基岩至少为 10 m,堆积体 40 m),负方向上选取 5 m;在 Z 轴正方向上选取 20 m,负方向上选取 10 m,建立地质模型。建立的地质模型共划分为 17600 个区块,有 19992 个节点。模型计算采用摩尔-库仑准则计算模式。模拟设计开挖边坡倾角为 45°,堆积体与基岩接触面倾角与边坡倾角一致。

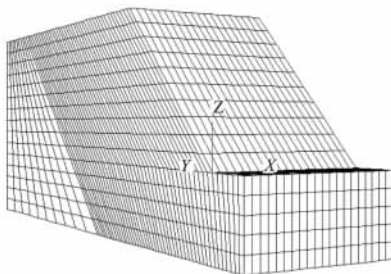


图 2 堆积体边坡地质模型

Fig. 2 Geological model of deposit slope

2.2 参数选取

模型所用的参数主要是参考小湾堆积体边坡有

关文献^[6-8],并参考其他相关资料。最后,所确定的参数见表 1。

表 1 岩土体物理力学参数

Table 1 Mechanics parameters of rock and soil mass

材料名称	E /MPa	μ	γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^3$)	C /MPa	ϕ /°	τ /MPa
堆积体	500	0.34	21.8	0.05	36	0
基岩	20000	0.25	26.5	1.75	54	1.3

本次模拟的锚索长度为 48 m,锚固段深入完整基岩内,内锚段长度为 8 m,模拟多束锚索时其间排距设计为 5 m × 5 m。锚索单元所用的参数根据实际施工中所使用的锚索钢绞线所提供的参数,并参考有关文章取值^[9-10],具体数值见表 2。

表 2 锚索材料性能参数

Table 2 Characteristic parameter of anchorage cable

材料名称	钢绞线 弹性模量 /GPa	钢绞线 杨氏模量 /MPa	钢绞线 截面积 /m ²	锚固浆体 刚度模量 /GPa	锚固浆体 切变模量 /MPa
锚索	191	1860	1.69×10^{-3}	5.35	0.42

2.3 边界条件和约束条件

X 轴方向上,边界限制在 0 ~ 20 m 之间;Y 轴方向上,对界面 $y = -5 \text{ m}$ 和 $y = 70 \text{ m}$ 两边界进行约束;Z 轴方向只对 $z = -10 \text{ m}$ 边界进行约束;边坡顶面和斜坡面不进行约束,为自然状态。在模型顶部加一均布力以模拟上覆岩体重力。设置重力加速度为 $10 \text{ m}/\text{sec}^2$ 。

3 模拟结果分析

在模拟群锚作用下坡体的锚固效应时,笔者主要对 2 根、3 根和 5 根锚索作用下坡体的响应规律进行了研究。其中,群锚在坡面上的分布按照图 3 给出的方式布置,群锚的间、排距为 5 m × 5 m。

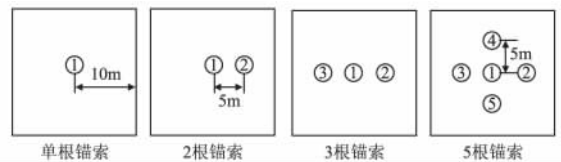


图 3 群锚布置示意

Fig. 3 Layout sketch map of group anchorage cables

3.1 应力分析

锚索施加预应力后,相应地坡体会产生附加应力和变形;而变形是应力的外在表现。施工经验和模拟研究表明,群锚作用下的边坡会产生两种附加主应力,即压缩应力和拉伸应力,压应力占据着主导地位,而拉伸应力主要分布在锚索锚固段部位围岩中(图 4)。这种压缩应力有利于边坡的稳定,它几

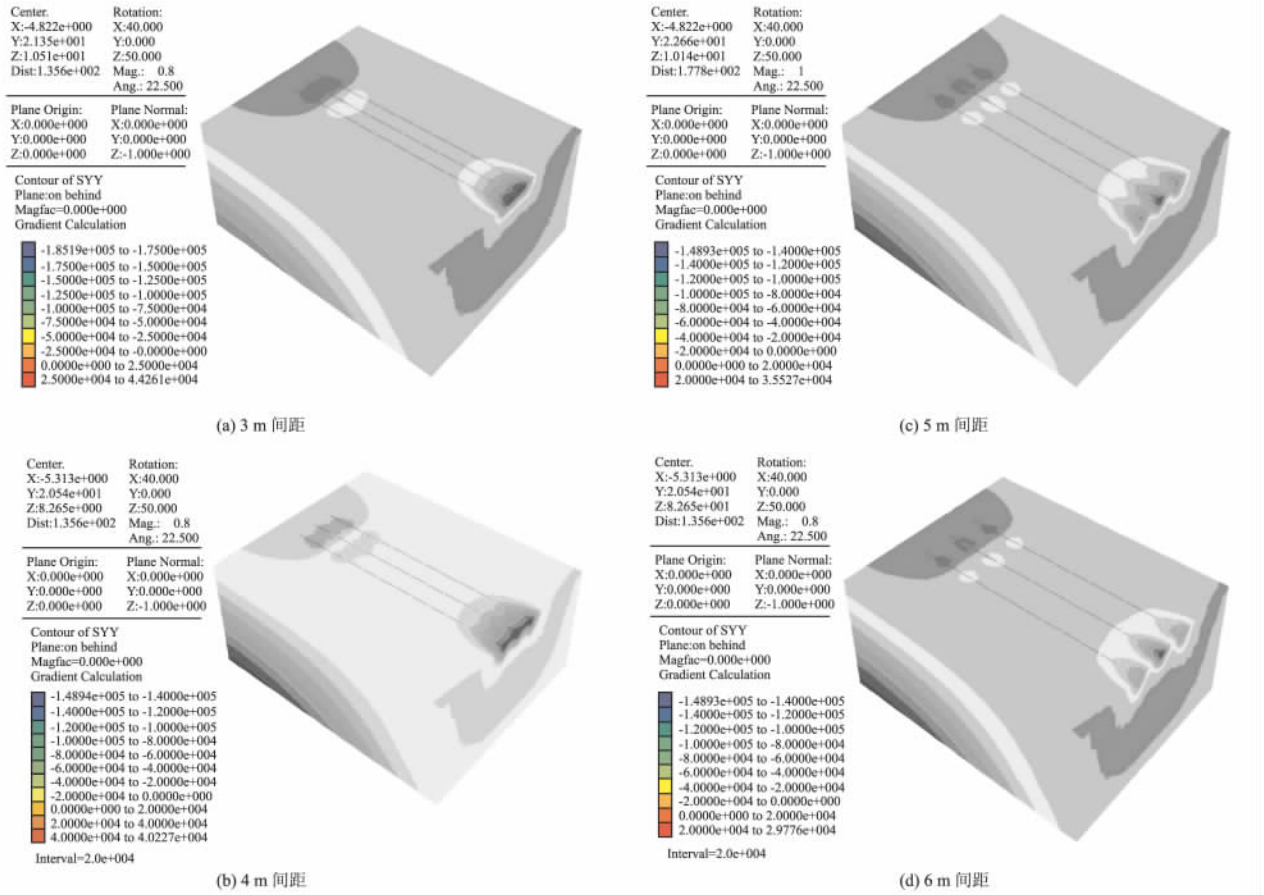


图 5 群锚作用下 Syy 应力剖面云图 (单位: Pa)

Fig. 5 Syy section cloud map under the action of group anchorage cables (unit: Pa)

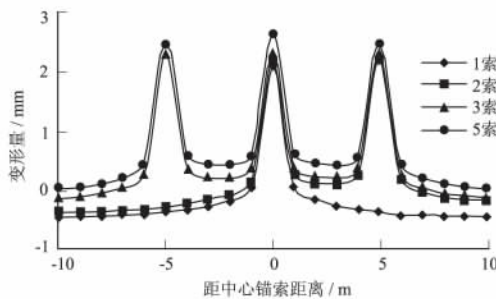


图 6 群锚 (1000 kN) 作用下坡体沿坡面走向上的变形曲线

Fig. 6 Deformation curve along slope strike under the action of group anchorage cables (1000 kN)

表层的压缩变形整体呈现相应增大的趋势,堆积体内部拉伸变形呈现相应减小趋势(图 7)。群锚作用下的变形曲线大体上是一致的。然而,锚索数量的增加,不仅在坡面岩体产生的压缩变形量有所增大,而且此压缩变形的影响深度范围也跟着增加;在坡体内部仍然有一定的位移滑动趋势,导致坡体发生拉伸变形,特别是在坡体内部越 10~16 m 深度范围内,拉伸变形量较大者约 1 mm 左右。堆积体内部

的这种拉伸变形随着锚索数量的增加而减小,变形量从单索时的约 1.2 mm 减小到 5 根锚索时的约 0.8 mm,可见锚索数量的加大在一定程度上有利于边坡的稳定。另外,根据上文可知,堆积体内部的拉伸变形与张拉荷载也有一定关系,在一定范围内,荷载越大,拉伸变形越小,也越利于坡体的稳定。

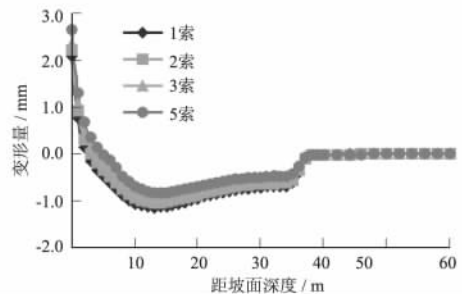


图 7 群锚 (1000 kN) 作用下坡体沿锚索深度方向上的变形曲线

Fig. 7 Deformation curve along anchorage cable depth direction under the action of group anchorage cables (1000 kN)

堆积体内部存在的拉伸变形是坡体滑动的一种潜在表现,如果条件(如雨水季节)成熟,就可能发

生坡体滑动或局部塌方等工程失稳问题。出现上述问题的主要原因是与堆积体的本身性质有关:堆积体的弹性模量较小,抗拉强度几乎为零,且内聚力也很小。边坡支护时,适当增加锚索数量、加大锚索张拉吨位并结合其他边坡治理方案(如抗滑桩、格构梁等),整个堆积体边坡将处于压应力之中,坡体会在一定条件下达到稳定状态。

锚索作用下距张拉锚索的孔口越近时,岩体所产生的变形量越大。一般情况下,锚固作用力的影响范围为4~5 m;而对于堆积体边坡,由于土体性质原因导致应力在坡体内传递的深度有限,岩体变形主要集中在锚索周边2 m半径范围内。针对堆积体边坡的特殊性,在采用预应力锚固措施加固边坡时,一方面要注意群锚施工时堆积体边坡的稳定性,另一方面不能忽视坡面浅层防护。

一般而言,压缩变形尤其是联合成片的压缩变形,对于边坡的稳定性十分有利;然而,由于锚墩周边的岩体受到的压应力较为集中,且这种压应力值随着锚索数量的增加有增大的趋势,相应地锚墩周边岩体的压缩变形也会加大。如果压缩变形过大,坡面岩体特别是像堆积体这类软弱岩土,可能经不起过大的压力而发生局部的压缩破坏,这将对于锚索的锚固效应产生不利的影响。如何解决坡面上压应力过大所带来的负面影响,也是锚索施工中的重要问题。在小湾水电站堆积体边坡锚索施工中,结合采用格构梁和混凝土网板梁等施工措施来分散这种局部过大的压应力,起到同时加固堆积体边坡表层和深层的效果。

4 结 论

1) 群锚作用下,在锚墩周边的岩体中形成的压应力集中区相互叠加,并且此叠加的压应力由坡面向坡体内部扩散衰减,经向上压应力值也会从锚索中心向周围逐渐减小。同时,在自由段末端和内锚段始端部位的压、拉应力区域也互相叠加。这种拉应力区的联合,可能使锚根附近的岩体形成拉应力带,岩体受整体拉力作用可能会导致岩体内部张裂破坏。

2) 改变群锚之间的间距发现,锚索间、排距一般不宜小于3 m,也不宜大于6 m,以4~5 m较为合适。

3) 堆积体边坡岩体变形:沿边坡面走向上,主要集中在锚索周边2 m半径范围内;沿锚索深度方向上,其影响深度主要为2 m。

4) 根据模拟结果可知,适当增加锚索数量、加大锚索张拉吨位并结合其他边坡护坡技术,能有效地增加堆积体边坡的稳定性。

参 考 文 献:

- [1] 李军,卜鹏,张宏博. 滑坡体预应力锚固效应及变化规律研究[J]. 济南大学学报:自然科学版, 2003, 17(1): 21-24.
- [2] 徐涛涛,汪家林,王运生. 紫坪铺水利枢纽引水发电洞进口边坡预应力锚索锚固效应分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 200-203.
- [3] 潘亨永,杜建成,胡小明,等. 小湾左岸坝前堆积体高边坡稳定性分析[J]. 人民珠江, 2000(4): 24-26, 29.
- [4] 束小龙,梅明荣,任青文,等. 小湾左岸堆积体高边坡锚固加固处理方案研究[J]. 云南水力发电, 2003, 19(4): 9-12.
- [5] 李海民,钟瑞辉,刘成. 云南省小湾水电站引水沟堆积体锚索施工技术与改进设计探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(增刊): 7-11.
- [6] 朱继良,黄润秋. 某水电站坝前堆积体稳定性的三维数值模拟分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1318-1322.
- [7] 丁秀美,黄润秋,严明,等. 澜沧江中游某崩塌堆积体变形空间效应研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 38-42.
- [8] 李晓春,陈剑平. 小湾电站边坡卸荷三维有限元模拟[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2005, 35(2): 195-200.
- [9] 李国良,贺毅,易汉荣. 大朝山水电站泄洪排砂底孔闸墩预应力锚索施工[J]. 云南水力发电, 2001, 17(4): 57-60.
- [10] 王树仁,何满潮,金永军. 拉力集中型与压力分散型预应力锚索锚固机理[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(3): 278-282.
- [11] 丁秀丽,盛谦,韩军,等. 预应力锚索锚固机理的数值模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 980-988.
- [12] 徐前卫,尤春安,朱合华. 预应力锚索的三维数值模拟及其锚固机理分析[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(2): 214-218, 222.
- [13] 张思峰,周健,宋修广,等. 预应力锚索锚固效应的三维数值模拟及其工程应用研究[J]. 地质力学学报, 2006, 12(2): 166-173.