

石墨杆收敛计在锦屏电站地下厂房监测中的应用

张豪磊¹,余海²,安文瑞²

(1. 二滩水电开发有限责任公司,四川 成都 610051; 2. 中国水利水电建设工程咨询西北公司,陕西 西安 710075)

摘要:雅砻江锦屏一级水电站地下发电厂房地应力高, f_{13} 、 f_{14} 、 f_{18} 断层贯通三大洞室(主厂房、主变室、调压室)。受 f_{18} 断层及煌斑岩脉影响,第1副厂房与第2副厂房之间的上下层联系洞内裂缝发育,监测断层围岩变化对主厂房与主变室之间岩墙稳定性的影响尤为重要。采用石墨杆收敛计对地下发电厂房上下层联系洞进行监测。监测结果显示,第1副厂房与第2副厂房之间的上下层联系洞裂缝主要是由应力持续卸荷引起的深部劈裂性开合裂缝。由于采取及时有效的支护和回填处理,高边墙之间的岩柱变形无异常。实践表明,石墨杆收敛计是监测洞室深部裂缝的有效措施。

关键词:深部裂缝监测;石墨杆收敛计;地下厂房;锦屏一级水电站

中图分类号:TV731.6

文献标志码:A

锦屏一级水电站地下厂房洞室群布置于坝区右岸,主厂房及主变室水平埋深约110~380 m,垂直埋深为160~420 m。厂区地质条件比较复杂,涉及岩层为三叠系中上统杂谷脑组第二段第2、3、4层大理岩夹绿片岩,总体为 $N50^{\circ}\sim 60^{\circ}E/NWZ30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,围岩类别以Ⅲ类为主,饱和单轴抗压强度为60~75 MPa。地下厂区主要发育有NE向的 f_{13} 、 f_{14} 、 f_{18} 断层和煌斑岩脉,以及NEE~EW向和NW~NNW向的次级小断层。厂房洞室石围岩主要发育4组节理裂隙,产状分别为:① $N40^{\circ}\sim 60^{\circ}E/NW25^{\circ}\sim 35^{\circ}$;② $N50^{\circ}\sim 70^{\circ}E/SE150^{\circ}\sim 80^{\circ}$;③ $N50^{\circ}\sim 70^{\circ}W/NE(SW)Z80^{\circ}\sim 90^{\circ}$;④ $N25^{\circ}\sim 40^{\circ}W/NE(SW)180^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。厂区岩体地应力场以构造应力为主,实测厂区最大主应力 σ_1 为20.0~35.7 MPa, σ_2 为10~20 MPa, σ_3 为4~12 MPa, σ_1 方向介于 $N28.5^{\circ}W\sim N71^{\circ}W$ 之间,平均为 $N48.7^{\circ}W$,倾角为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$,平均倾角 34.2° 。围岩强度应力比一般介于1.5~3.0之间,属于高~极高应力区。初步分析认为,围岩地质结构面和地应力状态对开挖后的高边墙稳定不利。

为掌握开挖后主厂房、主变室之间高边墙岩柱围岩稳定状况,采用多点位移计、钻孔滑动测微计、支护锚杆应力计、支护锚索测力计及石墨杆收敛计等多种

监测设施对各开挖部位进行监测^[1]。其中,多点位移计、支护锚杆应力计、支护锚索测力计主要用于监测高边墙表面、浅部变形和支护结构应力变化,钻孔滑动测微计和石墨杆收敛计用于特殊(断层发育)断面的深部变形监测。石墨杆收敛计布置在第1副厂房与第2副厂房之间的上层联系洞和下层联系洞,不仅能够直接监测联系洞的变形,还可以得到测点的累计变形过程,在高边墙形成后岩柱稳定监测中发挥了重要作用。本文结合监测实践,探讨石墨杆收敛计在地下厂房中的应用,分析其监测效果。

1 GK-4425型石墨杆收敛计简介

锦屏一级水电站右岸地下厂房第1副厂房与第2副厂房之间的上层联系洞、下层联系洞内布置的石墨杆收敛计为GK-4425型,该型收敛杆通过测量2个锚墩点之间的收缩(或伸长)来监测岩体的变形情况。锚点固定在岩体里,连接杆连接一个锚点到另一个锚点的传感器组件,通过连接杆及传感器来测量2个锚固点之间距离的变化。收敛计由3个基本部分组成:2个锚固点、直径6.35 mm的(碳纤维)连接杆及带有张力弹簧的振弦式传感器组件。

石墨杆收敛计传感器组件由一个振弦式元件与一

收稿日期:2012-06-02

作者简介:张豪磊,男,工程师,硕士,主要从事建设项目管理工作。E-mail:zhangx@188.com

个经热处理并消除应力的弹簧串联组成,弹簧一段连接着振弦,另一端与连接杆连接。当连接杆从传感器中拉伸时,弹簧被拉长从而引起张力变化,振弦元件检测出振弦的张力与弹簧的伸长成正比。

GK-4425型石墨杆收敛计传感器量测范围为0~100 mm,可超量程115%FSR,正常数据分析分辨率0.025%FSR,线性吻合度0.25%FSR,多项式拟合精度0.1%FSR,温度漂移小于0.05%FSR/℃,测温范围-40℃~60℃。

该型号石墨杆收敛计在二滩水电站大坝基础廊道和锦屏一级水电站左岸边坡中得到应用,用以监测连续性裂缝,效果良好,为施工及运行期安全监测提供了可靠的反馈信息。

2 仪器布置及变形计算

2.1 监测仪器布置

锦屏一级水电站地下厂房中第1副厂房和第2副厂房之间的上层联系洞和下层联系洞内各埋设一套石墨杆收敛计,其布置情况如表1和图1所示。

表1 石墨杆收敛计布置情况

仪器编号	埋设位置/m	安装时间	观测范围/m	说明
FCFSMG-S	上层联系洞高程1657	2010-05-28	0~44.5	12点13段式
FCFSMG-X	下层联系洞高程1646	2010-05-27	0~44.5	12点13段式

注:两测点支墩间距按3.5m布置。

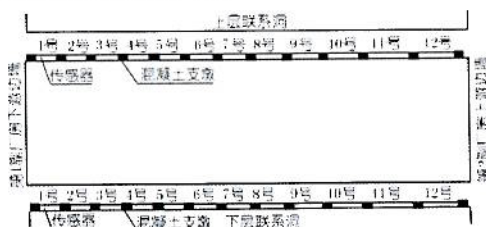


图1 石墨杆收敛计FCFSMG-S各测点及测段布置

由图1可知,上、下联系洞各设置13个测点支墩,各支墩之间均布置有石墨杆收敛计,分别测量各段岩体的变形。其中,在联系洞中部,以临第1副厂房下游边墙支墩布设,即布置于设计假定的相对不动点处,通过分析测点间的变形情况,可以得到不同测点对于相对不动点的相对位移。

2.2 变形计算

以下层联系洞石墨杆收敛计FCFSMG-S为例,布置有13个测点12个测段(图1)。其靠第1副厂房下游边墙测墩(设计假定不动点)的各测点之间收敛计在某一监测时间的观测结果记为 Δ_1' 、 Δ_2' 、 $\dots$ 、 Δ_{12}' ,分别表示两相邻测点(即L1—L2测点、L2—L3测点、 $\dots$ 、L11—L12测点)的岩体相对变形量。

为获得各测点相对于第1副厂房下游边墙测墩的累计变化,需将该测点至第1副厂房下游边墙测墩间各段的变形累计。以第2副厂房上游边墙测点L12为例,该点相对于第1副厂房下游边墙的累计变形按下式计算

$$S_{12} = \Delta_{11} + \Delta_{10} + \dots + \Delta_1 \quad (1)$$

式中, S_{12} 为测点12相对于第1副厂房下游边墙的累计变形。类似地,可以得到其他各测点相对于第1副厂房下游边墙的累计变形。

3 监测成果及分析

3.1 监测成果

副厂房联系洞洞内有 f_{18} 断层及煌斑岩脉贯通,在该处布设测点能够很好地监测高边墙岩柱及 f_{18} 断层、煌斑岩脉的变形。由于上层联系洞石墨杆收敛计FCFSMG-S安装时间较早,监测时间长、连续性好,限于篇幅,本文仅对上层联系洞石墨杆收敛计FCFSMG-S进行分析,得到各测点累计变位和全段累计变位如图2所示。其中,变位较大的2号测段和10号测段变位如图3所示。

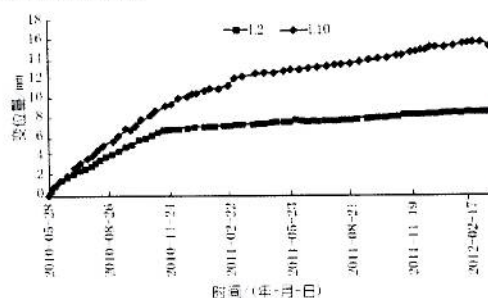


图2 石墨杆收敛计第2段、第10段变位曲线

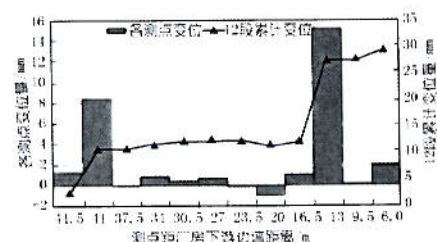


图3 石墨杆收敛计各测点及12段累计变形关系曲线

3.2 成果分析

由图2可知,石墨杆收敛计FCFSMG-S变形主要发生在距第1副厂房下游边墙0+44.5~0+41m的洞段(2号测点)和距第1副厂房下游边墙0+9.5~0+13m的洞段(10号测点),而其他各测点洞段的相对变形较小。由图1,上层联系洞穿过 f_{18} 断层和煌斑岩脉,位于距第1副厂房下游边墙0+9.5~0+13段的

测点正好布置在 f_{18} 断层和煌斑岩脉监测范围内。由于深部裂缝发育,高边墙岩柱形成后因地应力释放,导致围岩出现挤压搓动变形,岩体完整性进一步变差。分析认为,主厂房开挖后,临空面的形成以及高地应力的调整作用使不良地质结构面产生了变形。因此, f_{18} 断层穿过的洞段 (0+44.5~0+41 m) 变形较敏感,受开挖与支护影响明显,而深部其他洞段围岩较完整,变形较小。

石墨杆收敛计 FCF-SMG-S 距离高边墙较近 (L10 段、2 号测段) 累计变形过程具有如下特征。

3.2.1 距第 1 副厂房 13~9.5 m 的第 10 测段

(1) 2010 年 5 月 27 日开始观测至 6 月 12 日,变形呈持续增加趋势。其变形一方面表现为由两侧临空面和断层及煌斑岩脉影响区域变形引起的累积变化,另一方面,受下部 6 号机坑开挖影响,在重力应力和自重的作用下,岩体内裂隙张开松弛,变形持续缓慢增加。针对上述变形,及时采用锚索、锚杆对上层联系洞与 2 层联系洞之间进行加固支护,阻止了岩体变形的进一步加快速度发展。随着主厂房开挖完成和 6 号机坑、集水井混凝土回填高度的上升,后期变形已呈趋缓之势。

(2) 2010 年 7 月 6 日至 8 月 3 日,变形波动上升。经与相邻部位的滑动测微计、多点位移计监测成果进行对比分析,认为这很可能是由于石墨杆收敛计 FCF-SMG-S 的连接杆受到外界干扰所致 (上部片帮掉块),变形波动是连接杆自身变形调整的体现,其后波动幅度越来越小。

(3) 2010 年 8 月 3 日至 3 月 30 日变化相对较大,期间观测累计变位达到 26.57 mm,之后 2011 年 3 月 30 日至 2012 年 3 月 19 日的监测结果表明,变位逐步趋于相对稳定,期间累计变位为 2.82 mm。

3.2.2 距第 1 副厂房 41~37.5 m 的第 2 测段

(1) 2010 年 5 月 27 日开始观测至 11 月 13 日,变形呈持续增加趋势。变形是由第 1 副厂房临空面和第 2 副厂房下部开挖施工引起的累积变化,在重力应力

和自重的作用下,岩体内裂隙张开松弛,变形持续缓慢增加。针对上述变形,采用加强锚索、锚杆对上层联系洞与 2 层联系洞之间的部分进行加固支护,阻止了岩体变形的进一步发展。随着第 2 副厂房开挖完成和边墙混凝土高度的上升,后期变形已呈趋缓之势。

(2) 2010 年 6 月 12 日至 11 月 13 日,变位相对较大,期间观测到的累计变位达到 6.71 mm,之后至 2012 年 3 月 19 日的监测结果表明,变化逐步趋于相对稳定,期间累计变位为 1.74 mm。

由图 2 可知,上层联系洞的第 10 测段和第 2 测段变位在加强支护和下部混凝土实施前呈直线型均匀上升,尽管没有明显加速,但持续变形还是存在的,说明至少应在距离高边墙 7 m 范围内采取加强支护措施。总体上,上层联系洞的石墨杆收敛计的第 10 测段和第 2 测段的变形与施工存在联系。

4 结 论

(1) 受开挖过程中高边墙的逐步形成和高地应力影响,岩柱内部劈裂变形的发展主要集中在岩体完整性差的地段,表现为局部产生劈裂性开合裂缝、断层和断层间挤压错动带和由此产生的卸荷变形。

(2) 监测结果表明,支护前洞内局部变形明显,支护后变形逐步收敛,特别是系统锚索、锚杆支护和相邻部位结构混凝土施工后,变形得到进一步抑制,联系洞内裂缝变化趋势已经趋于收敛。石墨杆收敛计对变形敏感、精度较高,加之两测点间距离较长,受掉块干扰影响变形经常出现异常波动,因此,在监测中应加强保护。

(3) 比对第 1 副厂房下游边墙多点位移计、锚索测力计监测资料,需继续加强联系洞内石墨杆收敛计的监测,做好高边墙之间岩柱体的变形预测工作。

参考文献:

- [1] 吴火兵, 王林伟. 石墨杆收敛计在锦屏电站左岸边坡监测中的应用 [J]. 人民长江, 2009, 40 (18): 103-104.

(编辑: 郑毅)

保护长江 开发长江 为子孙后代留下一条健康的长江