

地下洞室围岩三维应力测试实例

胡应德

U459.4

47-49

(国家电力公司成都勘测设计研究院, 四川 成都 610071)

摘要:介绍某电站全地下式厂房地下洞室现场测试情况及资料整理计算方法, 结合地质情况综合分析测试部位岩体的应力变化, 定性评价了地下洞室测试部位现阶段围岩的三维应力状态, 提出了原位应力测试中应注意的一些问题。

关键词:地下洞室; 围岩应力; 应力重分布; 应变解除技术

中图分类号: TU94

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2000)04-0047-03

准确了解岩体施工期围岩应力变化情况对工程安全是十分重要的, 目前最为有效的方法是进行现场岩体应力测试。岩体应力测试的方法很多, 国内常采用套钻岩心应变解除技术, 即用大直径空心钻头套住岩心进行钻进, 逐步切割岩体使岩心孤立、应力解除, 测量岩心释放的应变, 从而计算岩体的应力^[1]。本文介绍现场应力测试采用孔径变形岩体应力测试方法, 并假定被测岩体处的受力状态在应力解除前后均未超过该处岩体的弹性极限, 利用连续介质力学原理对测试结果进行分析^[2]。

1 基本情况

某电站全地下式厂房布置于左岸山体内。根据前期勘测阶段观测, 厂房区围岩存在较高的初始应力。在地下洞室的开挖过程中, 出现了各种应力释放现象, 如葱皮状剥落、掉块等。为了解地下洞室开挖后的围岩应力变化及重新分布情况, 进行了现场岩体应力测试工作, 分别在厂房、主变室和调压室各布置1个测试点, 共完成10组岩体三维应力测试和54组岩体平面应力测试。现场测试时厂区地下洞室开挖工作已基本完成, 并已进行了初步洞壁支护。坝址区河谷呈不对称的“V”型, 测试区岩体总体新鲜完整, 属于I、II类围岩。现场测试点布置于厂房上游边墙(以Sphc表示)、主变室下游边墙(以Stc表示)和调压室下游边墙(以Sec表示)。

2 岩体应力测试成果分析

岩体平面应力测试成果中, σ_1' , σ_2' 分别为垂直

于钻孔轴线铅直平面内的平面最大、最小代表主应力, 且 σ_1' 与 σ_2' 垂直; φ 为垂直于钻孔轴线铅直平面内平面最大代表主应力 σ_1' 到水平交线的夹角, 逆时针旋转为正。钻孔编号从中心孔开始, 依次编左侧孔和右侧孔。如主变室1号和2号为中心孔, 3号为左侧孔, 4号为右侧孔。由于钻孔并不是沿三个主应力中任何一个方向钻进, 因此平面应力测试成果只能反映测试部位岩体的平面代表应力状态。岩体三维应力测试成果以基本坐标系为准。基本坐标系取法为: x 轴指向北; y 轴指向东; z 轴向上。方位角是以北为起点, 顺时针与正北轴的夹角。倾角以向水平面上倾为正。其中 σ_x , σ_y 为水平应力分量, σ_z 为垂直应力分量, 取压应力为正值。测段深度以中心孔为准。现场围压弹性模量实测成果表明: 厂房测试部位岩体弹性模量值为30~50 GPa; 主变室测试部位岩体弹性模量值为35~55 GPa; 调压室测试部位岩体弹性模量值为38~60 GPa。

2.1 主变室

主变室测点Stc的平面应力表现出以下几个方面的特征: ①应力作用方式以铅直向应力为主, 测点平面最大代表主应力 σ_1' 均为压应力, σ_2' 局部出现拉应力, 测点平面最大代表主应力 σ_1' 倾角平均为 5° ; ②由于边墙上作用有长6m的锚杆, 锚杆应力作用下使岩体的整体刚度有所提高, 对岩体的应力量值和倾角产生了局部干扰, 测试值在4.0~9.8m段较大, 平均为10~18 MPa, 倾角较小, 为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

主变室下游边墙1020m高程处共测四段岩体三维应力, 即5m, 10m, 15m, 20m四段(表1)。①测点

Stc 的 5 m 段最大主应力约为 30.6 MPa, 方向 NW56°, 倾角 55°; 10 m 段最大主应力约为 64.4 MPa, 方向 NW63°, 倾角 48°; 15 m 段最大主应力约为 11.4 MPa, 方向 NW59°, 倾角 51°; 20 m 段最大主应力约为 15.0 MPa, 方向 NW63°, 倾角 60°。最大主应力量级沿钻孔深度变化较大, 而方位角和倾角则基本相近。② $\sigma_z > \sigma_y > \sigma_x$, 这是由于开挖后, 初始应力场在局部进行重新调整, 铅直向应力起较大的作用。长度为 6 m 的锚杆和调压室上游边墙长 15 m 的锚索作用也产生了较大的干扰, 测试成果反映出 $\sigma_y > \sigma_x$ 。③ 由于对边墙岩体进行了锚固, 因此, 围岩应力场除受自重应力场、构造应力(由端墙传递)场和开挖引起的应力重分布影响外, 支护应力也起着不可忽略的作用。此外, 主变室测试点位置距底板仅 1.5 m, 因此, 其端部约束所产生的应力集中对应力值及方位也存在一定的干扰。④ 测点 Stc 的最大主应力 σ_1 方向与主变室长轴方向(NW6°) 交角在 50° ~ 60° 左右。

表 1 主变室测点 Stc 岩体三维应力测试成果

测段 /m	σ_x /MPa	σ_y /MPa	σ_z /MPa	τ_{xy} /MPa	τ_{yz} /MPa	τ_{zx} /MPa	主应力大小/MPa	方位角 / (°)	倾角 / (°)
5	7.6	12.0	21.2	-1.3	-10.5	8.2	$\sigma_1 = 30.6$	304	55
							$\sigma_2 = 8.3$	228	-10
							$\sigma_3 = 1.9$	145	33
10	14.9	29.6	37.7	-6.5	-25.5	15.1	$\sigma_1 = 64.4$	297	48
							$\sigma_2 = 13.7$	221	-12
							$\sigma_3 = 4.1$	141	40
15	5.4	7.8	9.5	-1.4	-1.9	1.5	$\sigma_1 = 11.4$	301	51
							$\sigma_2 = 6.7$	281	-37
							$\sigma_3 = 4.6$	199	10
20	4.5	8.7	12.8	-0.83	-3.0	2.4	$\sigma_1 = 15.0$	297	60
							$\sigma_2 = 7.2$	263	-26
							$\sigma_3 = 3.9$	180	15

2.2 厂房

厂房测试部位岩体除由于开挖引起应力重新分布外, 构造应力仍起较大作用。测点平面最大代表主应力 σ_1' 均为压应力, 在 15 ~ 30 MPa 之间, 倾角在 45° 左右。从钻孔资料分析来看, 3 号钻孔在 15 m 附近有一段 3 ~ 4 m 的破碎岩石, 裂隙发育。因此, 实测 17.1 m 深度应力值明显降低, σ_1' 为 8.6 MPa, 这与实际情况是相符的。厂房 5 号测试孔在 8 m 以前出现局部应力释放现象, 从 5 号钻孔岩体平面应力测试成果来看, 8.2 ~ 13.9 m 应力较大, 平均为 27.4 MPa, 其倾角较小, 平均为 29°。实测各钻孔 6 m 以前应力量值较大, 而倾角多数较小, 这可能是由于锚杆(长 6 m)对围岩的整体性有所改善, 使其应力场发生了局部的改变。

厂房部位岩体三维应力测试共进行 5 m, 10 m, 15 m 三段(表 2)。①测点 Sphc 的 5 m 段最大主应力为 52.7 MPa, 方向 SE83°, 倾角为 33°; 10 m 段最大主

应力为 32.0 MPa, 方向 NE68°, 倾角为 25°; 15 m 段最大主应力为 34.9 MPa, 方向 SE87°, 倾角为 40°。②测点最大主应力为 NE68° ~ NWW 向, 其倾角在 25° ~ 40° 之间, 从水平应力分量和垂直应力分量来看, 水平应力分量大于垂直应力分量。③10 m 段测试值最大主应力方位变化较大, 这可能与锚杆应力的影响有关, 使得最大主应力方向在此段附近有一定的偏转。④最大主应力 σ_1' 方向与主厂房长轴方向(NW6°) 交角较大, 为 80° 左右。

表 2 厂房测点 Sphc 岩体三维应力测试成果

测段 /m	σ_x /MPa	σ_y /MPa	σ_z /MPa	τ_{xy} /MPa	τ_{yz} /MPa	τ_{zx} /MPa	主应力大小/MPa	方位角 / (°)	倾角 / (°)
5	17.9	36.6	18.5	-7.6	23.1	4.9	$\sigma_1 = 52.7$	97	33
							$\sigma_2 = 21.2$	171	-23
							$\sigma_3 = -1.0$	232	48
10	19.9	28.8	11.6	-0.3	6.4	10.0	$\sigma_1 = 32.0$	68	25
							$\sigma_2 = 24.7$	148	-21
							$\sigma_3 = 3.7$	203	56
15	10.21	22.4	19.5	-6.5	13.6	3.4	$\sigma_1 = 34.9$	93	40
							$\sigma_2 = 15.6$	156	-33
							$\sigma_3 = 1.6$	221	33

2.3 调压室

测点平面最大代表主应力 σ_1' 均为压应力, 量值平均为 12.7 MPa, 倾角平均为 46°, 平面最小代表主应力 σ_2' 无拉应力。平面最大代表主应力 σ_1' 在 4 号钻孔 14 m 以前倾角较小, 反映出的规律性较差。结合钻孔岩心描述可知, 该段岩体裂隙发育, 12 m 左右由于岩石破碎无法获得完整的岩心, 这对其附近的测试段产生了较大影响。该处岩体完整性随钻孔不同深度变化较大, 部分测段岩石相对较为破碎。这种岩体的不均一性也对资料的规律性产生了局部影响。测试钻孔布置在距底板 1.5 m 左右处, 没有脱离端部约束影响范围, 加之钻孔周围布置有锚杆和锚索。因此, 其应力场受到多种因素的共同作用, 除铅直向应力外, 支护应力对开挖后岩体应力重分布也起到一定的干扰作用, 这给测试资料的分析带来了一定的困难。

岩体三维应力测试共进行 5 m, 10 m, 15 m 三段(表 3)。①测点 5 m 段最大主应力约为 25.0 MPa, 方向 SW32°, 倾角 53°; 10 m 段最大主应力约为 22.8 MPa, 方向 SW30°, 倾角 57°; 15 m 段最大主应力约为 19.7 MPa, 方向 SW22°, 倾角 12°。②垂直应力分量和水平应力分量的关系变化较大, 反映出铅直向应力起较大作用。由于受到锚杆和锚索的作用, 对围岩应力状态产生了较大的干扰。③由于该测点岩体的完整性有较大变化, 孔深 12 m 附近岩体较破碎, 这种不均一性对测试资料产生了较大影响, 15 m 段最大主应力倾角发生了较大变化。④测点最大主应力 σ_1 与调压室长轴方向(NW6°) 交角为 35° 左右。

表3 调压室测点 Ssc 岩体三维应力测试成果

测段 /m	σ_x /MPa	σ_y /MPa	σ_z /MPa	τ_{xy} /MPa	τ_{yz} /MPa	τ_{zx} /MPa	主应力 大小/MPa	方位角 /(°)	倾角 /(°)
5	9.2	10.1	17.8	2.8	-4.2	-8.7	$\sigma_1 = 25.0$	212	53
							$\sigma_2 = 8.5$	279	-17
							$\sigma_3 = 3.7$	358	31
10	10.1	7.6	18.3	2.7	-3.3	-6.2	$\sigma_1 = 22.8$	210	57
							$\sigma_2 = 7.4$	226	-32
							$\sigma_3 = 5.8$	311	8
15	17.4	6.7	9.5	4.8	-2.2	-1.5	$\sigma_1 = 19.7$	202	12
							$\sigma_2 = 9.5$	146	-69
							$\sigma_3 = 4.4$	108	17

3 结 语

随着地下洞室开挖进程所带来的边界条件变化,洞室围岩将产生荷载重新分配和应力、应变调整,其所形成的二次应力场虽与初始应力场有一定联系,但也存在明显差异,现有应力场是初始应力场、开挖干扰应力场和支护应力场等的综合反映。在岩体应力测试中,传感元件的品质是岩体应力测试成功的关键,它直接影响测试成果的精度。本次测试所采用的传感元件为四分向环式钻孔变形计,具有较好的线性、重复性、稳定性和灵敏度。通过实测表明,测试数据是稳定的,成果是可靠的。

a. 实测结果表明,围岩应力随着时间的推移和施工进展不断发生调整 and 变化,应力重分布状态受开挖、支护等影响较大,故本次所获得的 3 个测试点

(上接第 37 页)

更好地为国民经济服务。

c. 加大污染源治理力度,水资源遭受污染,不仅减少了水资源有效利用率,而且已直接威胁着国民经济发展和人民身体健康。因此,加强水质保护和水环境的治理是一项十分迫切的任务。要降低工业污染物的排放量,加强对面上污染的管理,强化对乡镇村企业污水排放量的监督管理,减少单位面积化肥和农药的施用量,推广施用低毒、高效、快速分解的农药,逐步减轻污染程度。

d. 加强领导,依法治水,《水法》的颁布实施,标志着我国已进入依法治水的新时期。为了更加有效地保护好水资源,必须以法律规范每个用水部门和用水个人的行为;实现水资源统一管理,做到统一管理地表水和地下水的水量、水质;统一进行水的立法、调查、评价、规划、水量调配;统一实施取水许可及其它重要的水行政管理工作。理顺水资源管理体制,摆正水资源产权管理和行业管理之间的关系。

(收稿日期:1998-12-02 编辑:张志琴)

的测试结果只能反映测点所在部位的围岩应力情况,不宜以所获结果推论其余部位的围岩应力状态。现阶段测试部位有锚杆和锚索支护,测试部位岩体的整体性和刚度有所改善,支护应力场对测试成果产生了较大的干扰,同时也使经过长时期、多层次的地下洞室群体开挖形成的二次应力场更加复杂。因此,应结合锚杆和锚索等支护条件进行应力反分析研究或进行应力模型试验,以便更准确地了解地下洞室围岩目前的总体应力状态。

b. 由于岩体本身并非均质且各向同性的,目前采用线弹性理论进行分析尚有一定的局限性,如何更真实地模拟岩体的属性,建立更加完善的力学模型,尚有待进一步研究。

c. 测试方法和测试仪器对应力测试成果的影响也不容忽视,从试点准备、测试仪器率定到资料计算分析,都需专业人员负责,以保证测试成果的准确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 华东水利学院,成都科学技术大学合编.岩石力学[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [2] 郑雨天译.岩石力学试验建议方法[M].北京:煤炭工业出版社,1982.

(收稿日期:1999-10-10 编辑:张志琴)

(上接第 41 页)

此外,残余环境影响的价值也应作为残值处理计入项目成本分析的资金流。例如:一个大坝项目采取了一定的环保措施后,还会对下游河道的鱼场产生影响,由此产生的鱼产量减少对项目也是一种成本。这种残余环境影响可以采取以上提到的方法之一估算。

参考文献:

- [1] Dixon, Scura, Carpenter, Sherman. Economic analysis of environmental impact [M]. 2nd edition. London: Earthscan Publications, 1994.
- [2] J. 普赖斯·吉德格. 农业项目的经济分析 [M]. 北京:中国财政经济出版社, 1985.

(收稿日期:1999-12-15 编辑:熊水斌)

