

缓倾角层状砂泥岩地层中大型地下洞室围岩稳定性研究

王登科,徐国刚,邓艾玉,侯清波

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

摘要:系统分析了小浪底工程大跨度地下厂房区工程地质条件,在此基础上进行综合围岩分类,采用地质分析和稳定性计算相结合的方法进行围岩稳定性评价,并利用施工期变形监测资料进行了厂房围岩稳定性验证。

关键词:地下厂房;围岩稳定性;围岩分类;变形监测

中图分类号: TU457

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)07-0058-02

小浪底地下厂房布置在左岸泄水建筑物的西北部“T”型山梁交汇处的腹部。厂房开挖最低高程 103.61 m,顶拱高程 165.05 m,最大高度 61.4 m,上覆岩层厚 70~120 m,厂房最大跨度 26.2 m,长度 251.5 m,纵轴线方向为 350°。

1 厂房区工程地质条件

厂房区分布三迭系下统刘家沟组的紫红色厚层、巨厚层砂岩、粉砂岩夹薄层粘土岩,岩性软硬相间、呈互层分布,根据岩性差异可分为 T_1^{3-2} , T_1^4 和 T_1^5 等工程地质岩组,其中,组成地下厂房的围岩主要是 T_1^{3-2} 和 T_1^4 岩组。厂房区为单斜岩层,岩层倾角 9°~12°。

地下厂房远离坝址区主要断层,在施工中遇到 3 条小断层 f_1, f_2, f_3 , 其中, f_3 小断层仅发育在下游侧墙的下部,在桩号 0+229 约 152.7 m 高程处尖灭,在上游侧墙为节理密集带,说明小断层为局部发育,在走向和倾向上延伸不长。

厂房顶拱和两侧墙开挖中,发现多层泥化夹层,除顶拱部位的泥化夹层分布范围较大、连续性好、延伸长,有 2 层可见长度在 100 m 以上外,大多数泥化夹层延伸不长,连续性较差,一般可见长度不超过 30 m,泥化夹层厚一般为 2~10 mm,最厚达 30 mm,为

泥夹碎屑型。据勘探资料知,厂房顶拱以上 30 m 范围内的上覆岩体中有 5 层连续性较好的泥化夹层。

2 厂房区岩体的物理力学性质

岩体的强度受各岩组岩石的强度和结构面的控制。组成地下厂房的围岩主要为厚层-巨厚层坚硬岩体,软岩比例很低, T_1^4 与 T_1^{3-2} 岩组小于 2%, T_1^{3-2} 岩组为 8.5%,且一般呈极薄的夹层分布。对各岩组室内岩石力学试验,包括岩石的单轴抗压强度、抗剪强度和三轴强度试验。

对岩体的变形特征,进行了多组静弹试验和岩体动弹指标的弹性波测试,并进行了动、静弹对比试验,综合分析试验结果,给出了各岩组岩体的变形指标建议值。厂房区主要岩石力学参数见表 1。厂房围岩结构面的主要类型有层面、节理和泥化夹层,各主要结构面的抗剪强度指标建议值见表 2。

表 2 各类结构面抗剪强度建议值

结构面	抗剪断值		抗剪值	
	f	c/MPa	f	c/MPa
细砂岩层面	0.8	0.96	0.65	0.05
粉砂岩层面	0.7	0.96	0.5	0.01
泥岩(页岩)层面	0.7	0.96	0.5	0.01
节理面			0.8~1.15	0.05
泥化夹层			0.25	0.005

表 1 地下厂房围岩基本参数建议值

地层代号	E_r/GPa		E_u/GPa		r_d $/(10^{-3})$	μ	K_0 $/(N \cdot \text{cm}^{-3})$	R_c $/\text{MPa}$	Q
	垂直	水平	垂直	水平					
T_1^{3-2}	11.5	14	7.7	9.3	2.62	0.21	6500	100	11.8
T_1^{3-2}	11	13	7.3	8.6	2.61	0.22	6000	60	14.3
T_1^4	12	15	8	10	2.63	0.20	7000	150	12.7
T_1^{3-1}	8	11	6	8	2.60	0.24	4500	50	8.3

作者简介:王登科(1963—),男,河南扶沟人,工程师,从事水文地质与工程地质勘察工作。

3 围岩分类与支护

根据开挖揭露的地质条件及实验获得的岩石力学性质指标,采用水利水电规范围岩工程地质分类方法对厂房围岩进行分类。厂房的围岩以Ⅱ类围岩为主。其中 ζ_2 小断层以南,地下水位以下部分为Ⅲ类围岩;局部断层破碎带、节理密集带,层间剪切带为Ⅳ类围岩。

根据厂房部位的地质条件,设计采用喷锚柔性支护作为永久支护。喷锚支护按维持Ⅲ类围岩稳定所需的支护强度进行支护设计。考虑到厂房顶拱以上围岩中分布有数层泥化夹层,对顶拱围岩稳定性产生一定影响,为保证厂房安全运行,在厂房顶拱原支护设计方案不变的基础上,又布置了间距为4.5m、排距6m、长25m、锚固力1500kN的双层保护预应力锚索324根。

4 变形监测资料分析

在厂房顶拱中导洞开始掘进后不久,就开始进行施工收敛监测,施工期地下厂房共布设29个收敛监测断面。主要仪器有:多点位移计A—A断面9孔,B—B断面10孔,C—C断面10孔,测斜管4套。

4.1 厂房顶拱变形

收敛变形观测表明,随厂房下卧开挖和跨度增大,顶拱下沉变形也不断增大。当厂房顶拱在第一层2.3断面开挖时,收敛变形最大,0+020,0+135桩号分别达30mm和17mm。当顶拱锚索安装后,顶拱、边墙变形速率明显减缓,说明顶拱预应力锚索的设置对围岩稳定性发挥了作用。通过对围岩收敛变形和开挖过程线对比分析发现,由开挖引起的空间效应变形是收敛变形量增大的主要原因,时间效应比重很小,收敛变形的特点说明其围岩稳定性是比较好的。

厂房顶拱分三个断面共安装9支多点位移计,经过3年多的变形监测,各测孔的位移量很小,变化平缓,孔深10m范围内位移量分布比较均匀,孔口位移均在5mm以内,平均为1.39mm。厂房开挖至EL152m时,顶拱变形呈下降趋势,当开挖至EL146m时顶拱几乎不再往下变形,其后,随厂房开挖继续下卧,受厂房边墙向临空面变形增大的影响,引起顶拱反弹变形值大于顶拱下沉变形,形成各测点位移有向上的发展趋势。围岩的主要变形发生在开挖后的8个月至1年半时间内,以后发展缓慢,渐趋稳定,目前各测点位移速率为零或近于零。根据位移速率及位移量结果,可以判断厂房顶拱处于稳定状态。

4.2 厂房边墙变形

厂房边墙随着逐层下卧,收敛量测位移值逐渐增

加,特别是最后两层开挖后,厂房边墙变形速率明显加快,但随即达到稳定状态。最大收敛值为23.15mm,相对收敛量为0.103%,小于规范规定值0.2%~0.5%(针对Ⅲ类围岩)的界限。平均速率小于规定的0.15mm/d。

边墙3个断面共安装15支多点位移计,观测结果表明,厂房开挖期间上、下游边墙EL147~154m部位均有数量不等的向临空方向位移,位移测值一般为1.8~3.2mm,个别测点最大值为6.77mm。从测孔的位移分布看,大部分测孔在0~4m深范围内测点位移量接近,形成发生整体移动的钢固壳体,4~9m之间位移梯度相对较大。

位于下游边墙的VI9-2测斜管在厂房高程范围内的水平位移主要表现在EL135~152m,最大位移达7mm;位于上游边墙的VI9-1和VI9-3在EL135m的位移量达到8mm。

值得说明的是,由于多点位移计均是开挖后安装的,因此,监测到的位移仅能说明围岩变形的发展趋势,而不反映该部位围岩的实际变形情况,即没有监测到最大变形值。

5 地下厂房的围岩稳定性分析

5.1 顶拱围岩稳定性分析

在厂房的顶拱区, T_1^1 地层向下游缓倾,上覆岩体30m范围内有4层连续性较好的泥化夹层分布,软弱层面和泥化夹层强度低,使厂房顶拱岩层呈梁板状结构,容易产生拉裂变形,引起顶板沿这些控制性软弱结构面单层弯曲下沉或掉块。

5.2 边墙围岩稳定性分析

对于地下厂房的高边墙,其稳定性也主要是受节理、层面和泥化夹层等软弱结构面不利组合的影响。上游边墙岩层倾向厂房内,沿层面分布的泥化夹层或胶结软弱的层面往往作为底滑面,并受高倾角节理切割分离,特别是与厂房边墙平行或锐角相交的节理面组合,形成向厂房临空面滑动破坏的不稳定块体。下游边墙稳定性相对较好。

5.3 围岩稳定性综合评价

针对地下厂房围岩的稳定性,进行了极限平衡法分析和数值分析计算,并进行了力学模型实验研究。计算结果表明,在毛洞条件下,厂房顶拱结构面组合形成不稳定楔形体,通过采用系统张拉锚杆或喷混凝土5~10cm加固处理后,安全系数达2.0以上,满足设计要求;边墙上结构面的不利组合也形成了毛洞安全系数 $k < 2.0$ 的不稳定楔形体,只要采用系统张拉锚杆加固,安全系数即可满足要求。

(收稿日期:2001-08-30 编辑:张志琴)