

太平驿水电站调压室穹顶支护设计

欧先进 陈清波

(成都勘测设计研究院, 成都, 610072)

提 要 太平驿水电站调压室是目前国内规模最大的地下埋藏式调压室之一, 大井开挖直径达 28.6m, 其穹顶附近分布有 f_1 、 F_1 两条断层交汇及多组结构面, 对穹顶围岩的稳定极为不利。在穹顶支护设计中, 运用壳体薄膜理论进行分析, 结合工程类比法及实践经验, 采用了锚喷加圈梁的联合支护方式。经开挖后的围岩监测证明, 穹顶是稳定的。

关键词 穹顶 壳体薄膜理论 锚喷加圈梁 联合支护

1 工程概况

太平驿系岷江上游的一个引水式水电站。枢纽建筑物由拦河闸、引水系统及地下厂房三部分组成。设计引用流量 $250\text{m}^3/\text{s}$, 设计水头 108m, 装机 4 台共 260MW, 保证出力 105MW, 多年平均发电量 $1.720\text{GkW} \cdot \text{h}$ 。

引水系统有取水口、引水隧洞、埋藏式调压室、压力管道等建筑物。引水隧洞全长 10481m, 除有一段 352m 长的无压沉砾隧洞外, 其余均为压力隧洞, 断面为圆形, 内径 9.0m, 其末端接调压室。

调压室型式为地下差动式, 大井开挖直径 28.6m、内径 25.6m, 高 68.5m, 其内布置 2 个与闸门井相结合的升管, 高 56.4m, 阻力孔布置于井筒底板上, 内径 3.3m。调压室穹顶型式为一旋转壳体, 跨度 28.6m, 矢高 9.2m。目前调压室施工开挖已经结束, 穹顶支护亦实施完毕, 本文就处于不利地质条件下大跨度穹顶的联合支护设计作一总结。

2 穹顶的地质情况

调压室位于厂房上游的花岗闪长岩体内, 垂直埋深大于 150m, 水平埋深大于

250m。根据检修洞和 7" 平硐揭露的地质情况, 穹顶位于 f_1 及 F_1 两条断层的下盘(如图 1), 同时受到 6 组结构面的切割, 使穹顶处于弱风化卸荷带, 岩体呈块裂结构, 属 III 类围岩。

2.1 断层

f_1 : NW 20° , NE $\angle 20^\circ$, 距井边约 120m, 断层带出露宽约 8m。

F_1 : NW $80^\circ \sim \text{EW}$, NE $\angle 30^\circ \sim 38^\circ$, 距井边约 19m, 断层带出露宽约 25m。

断层由糜棱岩、构造角砾岩、碎裂岩组成, 局部充填辉绿岩和石英脉, 挤压紧密, 潮湿。

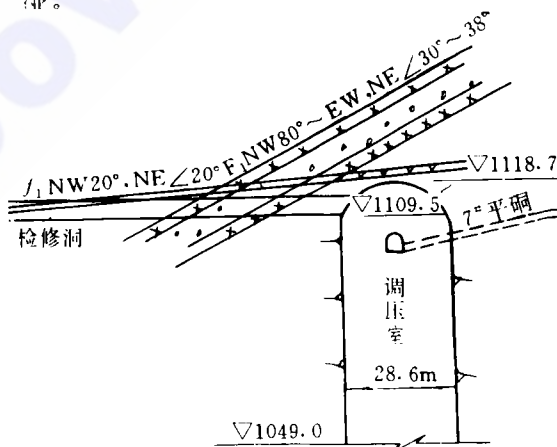


图1 穹顶上方的 f_1 、 F_1 断层

2.2 结构面

a. NW $60^\circ \sim 75^\circ$, NE $\angle 30^\circ \sim 35^\circ$;

裂面平直、粗糙,局部锈染,延伸3~10m,间距6~60cm,潮湿。

2.3 岩石力学指标

■类围岩: $f=3\sim 5, K_0=2\,940\sim 4\,900$
N/cm³

断层带: $f=0.2\sim 2, K_0=196\sim 490$
N/cm³

在检修洞开挖揭露出 f_1 、 F_1 断层时,对穹顶的开挖、支护曾进行多次研究,并在挂网锚喷支护的基础上提出了一系列加强措施,包括固结灌浆、设置十字形钢筋混凝土拱肋、拱脚设钢筋混凝土圈梁、预应力锚索等。在施工方法上曾建议先挖环形导坑,进行固结灌浆,再十字形开挖,挂网锚喷支护,施工十字形钢筋混凝土拱肋和圈梁,最后开挖 4 个岩柱。但随着施工进展,进一步掌握了地质资料,同时考虑到调压室工期要求的紧迫性,最后确定拱脚设置圈梁,加强围岩监测,并根据监测结果再确定是否实施其它加固支护措施。

3 穹顶的支护设计

3.1 支护型式选择

调压室穹顶为一旋转壳体,其中部为一球壳,如图 2 示。根据壳体薄膜理论,若球壳承受均匀的垂直荷载,其内力为:

$$N_{\theta} = R \cdot q \left(\frac{1}{1 + \cos \varphi} - \cos \varphi \right) \quad (1)$$

$$N_{\theta} = -R \cdot q / (1 + \cos \varphi) \quad (2)$$

式中 N_θ 为水平面上的法向内力,拉为正;
 N_φ 为子午面上的法向内力,拉为正;
 R 为球体半径;
 q 为垂直荷载,这里为山岩压力与壳

φ 为子午面上的圆心角。

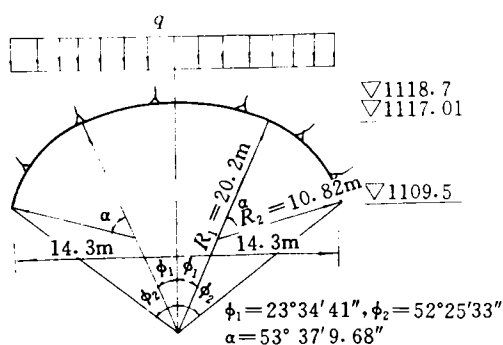


图 2 穹顶型式

由(1)、(2)式可知,只有当 $\varphi > 51^{\circ}50'$ 时,球壳才出现受拉状态,否则均处于受压状态。若山岩压力按普氏理论计算,取 $f = 3$, $\gamma = 25.48 \text{ kN/m}^3$ 。在忽略衬砌自重的情况下,则 $q = 121.5 \text{ kN/m}^2$,当 $R = 20 \text{ m}$ 时,衬砌厚度取为 0.2 m ,球壳内力及应力计算结果列于附表。

附表 球壳内力及应力分布

φ	0°	10°	20°	30°	40°	51°50'	52°25'53"
$N_{\varphi}(\text{kN/m})$	-1215.2	-1225.0	-1254.4	-1303.4	-1372.0	-1502.3	-1510.2
$N_{\theta}(\text{kN/m})$	-1215.2	-1166.2	-1029.0	-803.6	-490.0	0.0	+28.4
$\sigma_{\theta}(\text{MPa})$	-6.2	-6.25	-6.40	-6.65	-7.00	-7.67	-7.70
$\sigma_{\theta}(\text{MPa})$	-6.2	-5.95	-5.25	-4.10	-2.50	-0.0	+0.145

由附表可知,采用衬厚 0.2m 时,最大压应力为 7.7MPa,最大拉应力为 0.145MPa (发生在拱脚附近),普通混凝土衬砌就能满足强度要求。但这是现浇混凝土衬砌不易实现的,若增加衬厚,就要增大荷载(衬砌自重),且其施工复杂,影响工期。

另一方面,穹顶虽然位于断层 f_1 及 F_1 的下盘,且存在6组贯通性结构面,但围岩仍属于块裂结构。通过空间赤平投影稳定性初步分析,穹顶不存在较为不利的“坠落”块体,采用锚喷支护是可行的。锚喷支护能及时、有效地阻止围岩进一步变形,减小山岩压力,减轻自重,而且施工简单,可加快施工进度。

综合分析,穹顶采用锚喷支护。

3.2 锚喷支护参数选择

锚喷支护比现浇混凝土衬砌具有许多优越性,但目前锚喷支护的设计计算方法尚不成熟,而且也较难准确地获得围岩的力学指标,因比锚喷支护参数主要还是依靠工程实践经验进行选择。

对于锚杆,若其支护长按踢落拱高度考虑,当 $f=3\sim 5$ 时,按普氏理论计算踢落拱高度,并计入 $30d$ 的锚固长度,则锚杆长度 $L=(2.86\sim 4.77)+30d$ 。 $d=25\text{mm}$ 时, $L=3.6\sim 5.5\text{m}$ 。

按国内外部分水电站厂房锚喷支护的统计资料估算,锚杆长度与洞室跨度 B 以及洞室高度 H 的关系: $L/B=0.2\sim 0.26$, $L/H=0.12\sim 0.13$,则穹顶锚杆长度分别为: $5.7\sim 7.4\text{m}$, $8.4\sim 9.0\text{m}$ 。

按挪威爆破技术协会公式估算,锚杆长度 $L=1.4+0.184B$,式中 B 为洞室跨度,则穹顶锚杆长度为 6.7m 。

按澳大利亚雪山工程提出的锚杆长度 L 经验公式估算, $L=1.8+0.013B^2$,则穹顶锚杆长度为 12.4m 。

按照“Q”系统围岩分类,参照 $N\cdot$ 巴登等建议采用的支护型式和参数,则穹顶锚喷支护参数:系统锚杆间距 $1\sim 2\text{m}$,长度为 3 、 5 、 7m 三种,喷厚 $10\sim 20\text{cm}$,挂网。

根据上述工程实践经验,结合壳体薄膜理论分析,穹顶锚喷支护参数为:

- 锚杆: $d=25\text{mm}$, $L=3$ 、 5 、 6m ,沿壳面径向梅花形布置,间、排距 1.5m ;
- 喷混凝土厚 20cm ;
- 钢筋网 $\phi 12@20$ 。

3.3 圈梁设计

由于穹顶是一旋转壳体,而不是一个完整的球壳体,且与检修洞交汇,同时受到结构面的切割,其上荷载分布也不是均匀的,因此,穹顶结构必然存在着弯矩。设置圈梁,其主要作用:一是使上部荷载能够均匀地传至壳体;二是加强壳的边缘,承担壳的水平推力;三是对井筒起锁口作用,利于井筒施工安全,同时可利用它形成施工环向平台,安装施工辅助设施,便利施工。

圈梁断面的大小要合理,过大则壳中的径向弯矩相对增大,过小则在壳的边缘处将产生很大的环向拉应力,且圈梁承担的水平推力减小,不能充分发挥圈梁的作用。一般情况,其宽度不小于 1.5 倍壳面厚度。圈梁的断面型式以设计成正方形最为合适,这时壳面上的径向弯矩最小。但结合施工实际情况,采用的是五边形,底宽 60cm 。其上配置 $13\phi 22$ 的钢筋,配筋率为 0.97% 。同时为加强圈梁,使之与基岩及后期井筒衬砌混凝土紧密结合,布置了两排加强锚杆($\phi 25@80$)。

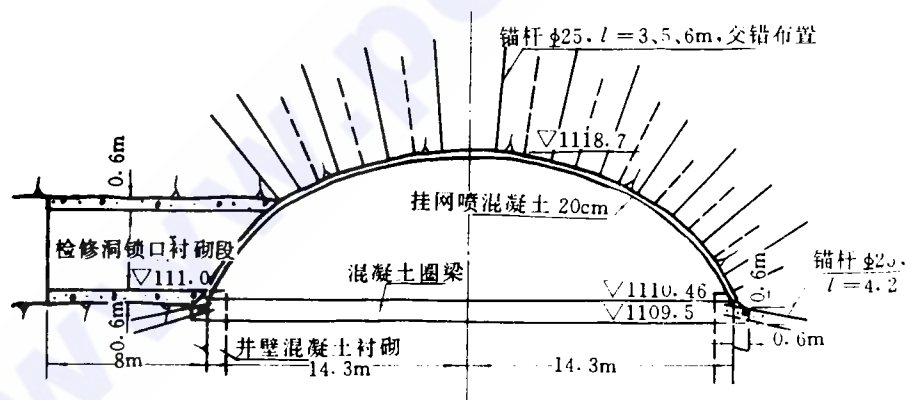


图3 穹顶联合支护

3.4 其它

穹顶的联合支护设计见图 3。

4 围岩监测情况

根据 1993 年 3~8 月圈梁断面 4 点收敛标点的持续观测,收敛位移曲线已趋于收敛,最大收敛值为 5.42mm,围岩变位在大井开挖结束后已趋于基本稳定。

5 结 语

3、在拱脚设置圈梁,不仅使穹顶的锚喷结构构成一完整壳体,有利于穹顶围岩的稳定,而且对井筒的开挖和混凝土浇筑都起着巨大作用。

参考文献

- 1 范钦珊著.《轴对称应力分析》.高等教育出版社,1985年
- 2 潘家铮主编.《水工隧洞和调压室》.水利电力出版社,1990年
- 3 王建宇编著.《喷锚支护原理和设计》.中国铁道出版社,1980年
- 4 胡育林等著.《硬质岩中浅埋地下洞室围岩稳定和支护设计和探讨》.地下工程技术,1992(3)

(收稿日期:19931105)

◆ ◆ ◆

(上接第 33 页)

Key Words developing sequences, current price of capital cost, economy benefit, flood control, reservoir sediment, navigation.