

高水头压力管道镇墩置于土基上的技术

黄亚平

(福建省水利规划院, 福建 福州 350001)

摘要:针对福建省将乐县龙井水库电站压力管道水头高、线路长、基础弱等特点,研究解决镇墩坐落在土基上的沉降问题和土基遇到地下水的问题。工程实践表明,在土基上铺设高水头压力管道,只要选取适当的摩擦系数,镇墩基础可以不开挖至弱风化基岩,在镇墩四周铺设碎石反滤层砌盲沟排地下水是切实可行的。

关键词:高水头;压力管道;镇墩;土基;地下水

中图分类号:TU471.3

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)01-0039-02

福建省将乐县龙井水库电站是跨流域引水的灌溉、发电综合利用水利工程。水库位于将乐县境内龙栖山自然保护区的龙井村附近,电站位于白莲镇小王村。水库库容 320 万 m^3 , 电站装机 4000 kW, 尾水灌溉面积 586.7 km^2 。该工程的引水系统由有压引水隧洞和压力管道组成。有压引水隧洞长 3150 m, 压力管道长 1676 m。水库正常蓄水位 810 m, 发电限制水位 788 m, 管道钢管末端轴线高程 302.45 m, 最大静水头 507.55 m, 考虑水锤后的内水压力为 5.8 MPa。压力钢管采用 16 Mn 钢制作, 外径 660 mm, 内径 644 ~ 624 mm, 壁厚 8 ~ 18 mm, 共设 20 个镇墩(其中有 6 个镇墩坐落在弱风化岩层, 5 个镇墩坐落在强风化岩层, 9 个镇墩基础为土基), 247 个支墩。为福建省最高水头的压力管道。

龙井水库电站自 1997 年 7 月正式发电以来, 运行稳定, 已发电 5530 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 年均发电量达 1800 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

1 镇墩基础设计计算指标

a. 开挖深度一般 4 ~ 5 m, 个别地段深达 14 ~ 15 m。为减少开挖量, 将镇墩直接坐落于土基上。

b. 开挖边坡。覆盖层和全风化带为 1:1, 强风化带为 1:0.5, 弱风化带为 1:0.2 ~ 1:0.3。

c. 墩基的摩擦系数。镇墩与弱风化基岩的摩擦系数 $f=0.6$, $C=0$; 镇墩与强风化带下部基岩的摩擦系数 $f=0.5 \sim 0.55$, $C=0$; 镇墩与全风化土层的摩擦系数 $f=0.35$, $C=0$ 。

d. 墩基容许承载力。弱风化基岩容许承载力

1.0 ~ 1.5 MPa, 强风化基岩容许承载力 500 ~ 800 kPa, 全风化土层容许承载力 200 ~ 300 kPa。

2 镇墩的理论计算

2.1 镇墩的抗滑稳定计算

镇墩的抗滑稳定安全系数按下式计算:

$$K_c = \frac{f(\sum Y + G)}{\sum X} \quad (1)$$

式中: K_c 为镇墩抗滑稳定安全系数, 取 $K_c = 1.5$; f 为镇墩基底与地基的摩擦系数; G 为镇墩重量; $\sum X$ 为作用在镇墩上水平方向的合力, $\sum X = \sum A_i \cos \alpha_i + \sum Q_i \sin \alpha_i$, 其中 A_i 为沿管轴线方向的各分力, Q_i 为垂直管轴线方向的各分力; $\sum Y$ 为作用在镇墩上垂直方向的合力, $\sum Y = \sum A_i \sin \alpha_i + \sum Q_i \cos \alpha_i$ 。

沿管轴线方向的各分力包括: 钢管自重分力、关闭的阀门及闷头上的力、弯管上的内水压力、渐缩管的内水压力、伸缩节端部的内水压力、温度变化时伸缩节止水填料的摩擦力、温度变化时支座对钢管的摩擦力、弯管中水的离心力的分力。垂直管轴线方向的各分力包括: 钢管自重分力和钢管中水重分力。

计算中, 根据温度变化对各力方向的影响, 考虑温升和温降两种工况, 对镇墩承受基本荷载组合和特殊荷载组合分别进行计算, 分别求出所需镇墩的重量, 取几种工况下最大重量作为设计重量。土基上 9 个镇墩重量计算成果见表 1。

2.2 镇墩的基底应力计算

镇墩的基底应力计算公式为

表1 土基上9个镇墩重量计算结果

镇墩 编号	桩号	管轴线 高程/m	静水 头/m	升温/℃		降温/℃		设计 取值 /t
				考虑 水锤	不考虑 水锤	考虑 水锤	不考虑 水锤	
11	0+746.138	413.343	396.66	-50.4	-22.5	73.6	68.0	93.4
12	0+818.047	410.313	399.69	85.7	85.7	80.5	80.5	108.1
13	0+864.612	406.083	403.92	256.0	214.2	77.7	77.9	255.1
14	0+971.752	367.521	442.48	-50.9	-10.5	67.4	66.2	98.8
15	1+109.845	351.692	458.31	222.9	211.62	164.1	162.2	225.9
16	1+196.251	349.975	460.03	58.6	73.3	76.5	79.7	96.8
18	1+429.777	318.306	491.69	144.9	147.5	119.7	120.1	145.2
19	1+520.826	302.450	507.55	794.0	617.6	529.4	423.8	1126.1
20	1+535.493	302.450	507.55	547.3	437.8	729.0	567.6	1282.4

注:以上9个镇墩均置于全风化土层,摩擦系数 $f=0.35$ 、 $C=0$;
19号、20号镇墩设计取值考虑排水体以下部分按浮容重计算。

$$\sigma = \frac{\sum Y + G}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (2)$$

式中: B 为镇墩宽度; L 为镇墩长度; e 为偏心距。

为了减小镇墩基底应力,在增加开挖量不大的情况下,镇墩尽可能布置成“矮胖型”,保证合力作用点在镇墩基底截面核心之内。经过各个镇墩在基本荷载组合工况下基底应力计算,基底未出现拉应力,并且最大压应力与最小压应力之比小于2。

2.3 镇墩的沉降计算

镇墩中心点的沉降采用分层总和法计算:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} \cdot H_i \quad (3)$$

式中: s_i 为各分层土的沉降; e_{1i} 为第 i 层土在受镇墩作用之前的孔隙比; e_{2i} 为第 i 层土在受镇墩作用之后的孔隙比; H_i 为第 i 层土的厚度。

对于置于土基上的镇墩,尽可能调整镇墩位置,将镇墩布置在开挖深度较大的地方,通过较深开挖的镇墩基面,由于上部土层的自重作用,地基土层经压缩稳定后,地基土层孔隙比较小,镇墩基础沉降量也较小,相邻镇墩的沉降差极其微小,镇墩采用分期施工,镇墩自重引起的沉降大部分在钢管安装之前完成,二期混凝土引起的微小沉降可通过钢管伸缩节来调整。

3 地下水的处理

在实际施工中,19号、20号镇墩基坑开挖出现地下水,地下水水位高于基底高程2.0~3.0m,为避免地下水对镇墩安全的不利影响,设计中提出两种方案。方案一为人工挖孔灌注桩方案,即在镇墩基底打人工挖孔灌注桩至弱风化基岩,桩径1200mm,桩长7m,每个镇墩基底设桩数由镇墩重量和水平位移确定,19号镇墩共设桩4根,20号镇墩共设桩6根。

方案二为降低地下水位加高加大镇墩方案,即在镇墩四周埋设碎石排水体,降低地下水位,碎石排水体中的水通过盲沟或暗管引至低洼处,排水体以上部分镇墩重量按实际容重计算,排水体以下部分镇墩重量按浮容重计算,适当增加镇墩体积来满足抗滑稳定要求。两方案的技术经济比较见表2。

表2 地下水的处理方案比较

方案	施工情况	工期	工程量	运行安全性
方案一	需打桩70m,采用人工开挖需井下作业,施工安全性较差,施工复杂。	较长	基坑开挖土方1310m ³ ;镇墩混凝土799.1m ³ ;桩基混凝土160m ³ ;钢筋10.42t。	人工挖孔桩只能解决镇墩沉降问题,对镇墩水平推力只能靠桩顶水平位移产生水平抗力来解决,对钢管内力将产生一定的影响。
方案二	无需打桩,地面作业,开挖面积较大,可采用机械开挖人工修整,施工简单,安全性较好。	较短	基坑开挖土方1150m ³ ;混凝土1003.5m ³ ;碎石43m ³ ;钢筋5.95t。	可能因镇墩不均匀沉降加大钢管内力,但可通过选择适当的布置和施工方法将不均匀沉降减小,且可通过设伸缩节和加大钢管厚度抵抗不均匀沉降对钢管内力的影响。

由表2可知,方案一虽然安全可靠,但施工复杂,工期长,工程造价高;方案二施工简单,工期较短,工程造价低,经适当增加镇墩体积后也能满足稳定安全要求。另外,因19号镇墩上游管坡平缓,下游管为水平管,运行中产生的竖直方向力较小,20号镇墩上下游管均为水平管,运行中产生竖直方向的力只有水重分力,19号和20号镇墩的沉降主要发生在施工阶段,基底应力主要由自重产生,可通过合理的施工方法,降低镇墩沉降对钢管的不利影响。因此,实际施工中选择了方案二,即沿镇墩四周铺设排水体厚40cm,采用三级配碎石铺设成反滤层方式,既能使水流通畅,又能防止土体发生渗透破坏,保证了镇墩的稳定。

4 应用效果

工程实践表明,在土基上铺设高水头压力管道是完全可行的。只要选取适当的摩擦系数,镇墩基础可以不开挖至弱风化基岩,也不必采用桩基伸至基岩,在镇墩四周铺设碎石反滤层砌盲沟排地下水位是切实可行的。镇墩置于土基上遇到地下水的处理措施,节约投资7万多元,缩短施工工期1个月,多发电270万kW·h,增加收入124万元,经济效益显著,可供类似工程借鉴。

(收稿日期:2000-09-21 编辑:张志琴)