

嘉兴 220kV 秀水变电所软基上覆水真空预压加固

冯仁祥, 杨帆

(1. 浙江省电力设计院, 浙江 杭州 310007; 2. 温州经济技术开发区市政建设总公司, 浙江 温州 325011)

摘要: 220kV 秀水变电所场地地基采用上覆水真空预压软基加固技术加固, 总加固面积约 2.3 万 m². 在真空预压施工过程中, 膜下真空度保持在 85 kPa 以上, 有效应力达到 77 kPa, 强度增长约 17.5 kPa, 平均固结度达到 83.5%. 在真空预压加固完成后, 进行静力触探和十字板剪切试验. 试验表明, 加固后锥尖阻力大幅度提高, 十字板强度达 33.4 kPa. 加固后的地基承载力达到 70 kPa, 能满足设计要求.

关键词: 覆水; 真空预压; 孔隙水压力; 固结度; 膜下真空度

中图分类号: TU471.8 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2003)01-0055-03

220 kV 秀水变电所位于嘉兴市郊, 变电所场地上有一层冲填仅 2 年左右的淤泥(承载力仅 30 kPa 左右), 层厚为 1.4~2.4 m. 下面土层主要是由第四系全新统泻湖相沉积而成的黏土、淤泥质粉质黏土及粉土^①.

为了满足工程建设的需要, 初步设计时拟定了 3 种地基加固方案, 即真空排水预压方案、动力置换加固方案以及挖除吹填土并回填塘渣方案. 针对变电所管型母线构架对承载力要求不是很高(60 kPa 左右即可), 沉降控制要求较高(60 kPa 附加应力下最终沉降不大于 20 mm), 通过周密的经济、技术分析与比较, 最后决定采用真空预压法对软基进行加固. 为了更好地控制施工质量, 拟定在真空预压过程中对膜下真空压力、地基内孔隙水压力以及地表沉降进行观测; 拟定在真空预压完成以后, 进行静力触探及十字板剪切试验.

1 真空预压加固软基原理及计算

1.1 真空预压加固软基原理

真空预压法就是在需要加固的软黏土地基内设置砂井或塑料排水板, 然后在地面铺设砂垫层, 其上覆盖不透气的密封膜, 密封膜同时埋入加固区四周密封沟中, 使砂垫层与大气隔绝, 通过埋设于砂垫层中的吸水管, 用真空装置进行抽气, 将膜内空气排出, 因而在膜的内外就产生了一定的个大气压差 - U_s; 这部分气压差, 以及塑料排水板与土体之间渗

透系数的显著差别, 就会导致砂垫层与土体, 砂垫层与塑料排水板, 以及土体与排水板之间的排水作用, 这种排水作用逐渐将膜内外的气压差转换为地基上的有效荷载. 同时这种排水固结作用不会导致剪应力增加, 地基也不会产生剪切破坏. 在抽气过程中, 土体内总应力将不发生变化, 排水后土体内孔隙水压力的降低值等于土体内有效应力的增加值, 从而随着有效应力的增加, 地基得到有效固结(图 1).

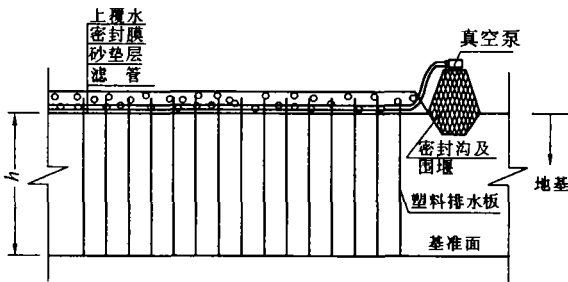


图 1 真空预压示意图

1.2 真空预压计算

真空预压计算分析主要包括固结度计算、沉降计算, 以及抗剪强度增长值计算.

1.2.1 固结度计算

本工程使用宽 100mm, 厚 4mm 的 SPB-2 型塑料排水板, 间距 1.2m×1.2m, 则等效直径 D_p 计算公式为

D_p = \alpha \frac{2(b + \delta)}{\pi} \tag{1}

式中: D_p 为等效直径, mm; α 为系数; b 为排水板宽度, mm; δ 为排水板厚度, mm.

作者简介: 冯仁祥(1973—), 男, 浙江衢州人, 工程师, 从事变电所土建设计工作.
①浙江省电力设计院. 220kV 秀水变电所工程施工图阶段岩石工程勘察报告, 2000.

排水板为方形排列,则等效圆直径 d_e 计算公式为

$$d_e = \sqrt{\frac{4}{\pi}} l = 1.128l \quad (2)$$

式中: l 为排水板间距。

真空预压力加载时间较短,可近似按瞬间荷载考虑,竖向平均固结度计算公式为:

$$\bar{U}_z = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-0.25\pi^2 T_v) \quad (3)$$

$$T_v = C_v \frac{t}{H^2} \quad (4)$$

式(3),(4)中: C_v 为竖向固结系数; t 为固结时间; H 为竖向排水距离(如为双面排水则取一半厚度); T_v 为竖向固结时间因数。

水平向固结度按下式计算:

$$\bar{U}_r = 1 - \exp\left(-\frac{8T_h}{F(n)}\right) \quad (5)$$

$$T_h = \frac{c_h}{d_e^2} t \quad (6)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (7)$$

式(5)~(7)中: $n = d_e/D_p$ 为井径比; c_h 为水平向固结系数; T_h 为水平向固结时间因数。

在水平向固结及竖向固结的共同作用下,总固结度 $\bar{U}_\Sigma$ 可近似按式(8)计算:

$$\bar{U}_\Sigma = 1 - (1 - \bar{U}_z)(1 - \bar{U}_r) \quad (8)$$

将本工程各参数代入,即可计算出在预压 45 d 左右时,可达到总固结度 82%。计算中因排水板较短,未考虑井阻及涂抹作用,如考虑这两种作用,总固结度则稍有降低。

1.2.2 沉降计算

单向压缩固结沉降按下式进行计算:

$$\Delta s_i = \frac{(e_{oi} - e_{li})\Delta h_i}{(1 + e_{oi})} \quad (9)$$

$$s_c = \sum_{i=1}^n \Delta s_i \quad (10)$$

$$s'_c = \sum_{i=1}^n m_i \Delta s_i \quad (11)$$

式中: e_{oi} 为第 i 层土中点之自重应力所对应的空隙比; e_{li} 为第 i 层土中点之自重应力和附加应力之和相对应的空隙比; Δh_i 为第 i 层土厚度; Δs_i 为第 i 层土的固结沉降; m_i 为第 i 层土的压缩固结沉降修正系数; s_c 为总压缩固结沉降; s'_c 为修正总压缩固结沉降。

将本工程各参数代入,可计算出在固结度达到 82% 左右时沉降为 17 cm。

1.2.3 抗剪强度增长值 $\Delta\tau$ 计算

$$\Delta\tau = \eta \Delta P \tan \varphi_{cu} \quad (12)$$

式中: η 为折减系数; ΔP 为平均真空压力; φ_{cu} 为内摩擦角,由直剪固结不排水试验测得。

对于本工程,抗剪强度增长值 $\Delta\tau$ 为

$$\Delta\tau = 0.85 \times 85 \text{ kPa} \times 0.82 \times \tan 16.5^\circ = 17.5 \text{ kPa}$$

2 真空预压加固设计参数

a. 真空预压分实验区和主预压区,实验区预压面积约为 690 m²,主预压区面积约为 23 400 m²。

b. 塑料排水板设计.采用 SPB-2 型塑料排水板,全场基本呈正方形均匀布置;其中试验区域间距为 1.2 m × 1.2 m,排水板长度 3 m,且在纵向排水板带间加打 7 m 长排水板;110 kV 构架和 220 kV 构架区域间距为 2.4 m × 2.4 m,排水板长度为 7 m;辅助生产建筑物区域间距为 1.2 m × 1.2 m,排水板长度 7 m;变电所主要道路区域间距为 1.2 m × 1.2 m,排水板长度分别为 3 m, 7 m,呈交错布置;其余部分间距均为 1.2 m × 1.2 m,排水板长度均为 3 m。

c. 砂垫层设计.场区平铺中粗砂滤水层厚度 30 ~ 35 cm。

d. 密封膜设计.采用聚氯乙烯密封膜,共布置 2 层。

e. 其他有关设计参数.抽真空时间为约 45 d;抽真空过程中要求真空度达到 85 kPa 以上;在 85 kPa 真空度作用下,预压固结度要求达到 82%;要求总沉降量为 170 mm 左右。

3 现场观测及试验

3.1 现场原形观测

本工程现场共开展了膜下真空压力监测、空隙水压力监测、地表沉降观测 3 类现场观测工作。

a. 膜下真空压力监测.整个场区共布置了 25 点膜下真空压力表,测试结果表明各点膜下真空压力基本呈均匀分布状态,其中一点的膜下真空压力与时间关系曲线见图 2。

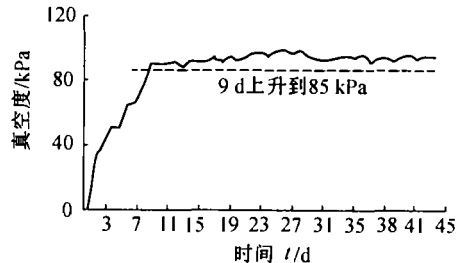


图 2 膜下真空压力时间关系曲线

b. 空隙水压力监测.整个场区共布置了 11 点共 36 个孔隙水压力测头,平面布置见图 3,各孔压测头设置深度见表 1.其中 U_7 , U_8 , U_9 , U_{10} 点测头空隙水压力随时间变化曲线见图 4.在第 30 d 左右增加了膜上覆水的高度,因此各点孔压有所减小,但过

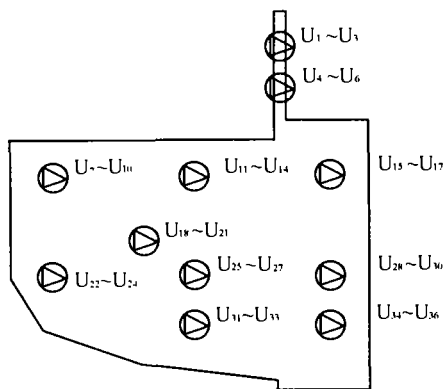


图3 孔隙水压力测头布置简图

2d左右又上升到原来位置。

表1 孔压测头设置深度

深度/m	孔压测头
1.5	U ₁ , U ₄ , U ₁₀ , U ₁₄ , U ₁₇ , U ₂₁ , U ₂₄ , U ₂₇ , U ₃₀ , U ₃₃ , U ₃₆
2.5	U ₂ , U ₅ , U ₉ , U ₁₃ , U ₁₆ , U ₂₀ , U ₂₃ , U ₂₆ , U ₂₉ , U ₃₂ , U ₃₅
3.5	U ₃ , U ₆ , U ₈ , U ₁₂ , U ₁₅ , U ₁₉ , U ₂₂ , U ₂₅ , U ₂₈ , U ₃₁ , U ₃₄
7.0	U ₇ , U ₁₁ , U ₁₈

c. 地表沉降观测. 整个场区共布置了 11 点地表沉降观测, 其中 S₆, S₇, S₈, S₉ 4 点地表沉降点沉降随时间变化曲线见图 5。

d. 简单分析. 根据现场观测结果, 可以得到以下一些结论: ①抽真空初期, 真空度上升较快, 后期变慢, 基本趋于平稳; ②排水板存在一定的井阻效应, 反映在真空度上为离密封膜表面越近, 真空度越大, 往下逐渐降低; ③排水板以下真空度上升缓慢; ④膜上覆水不仅仅起到加强密封效果作用, 而且也起到一定的预压荷载作用; ⑤吹填土中排水板加固区内最大孔压为 80 kPa, 最小为 40 kPa, 平均为 65 kPa; ⑥计算实际有效应力约为 77 kPa, 实际强度增长约 17.5 kPa, 固结度达 83.5%; ⑦地基在真空预压过程中, 地表沉降平均 23.1 cm, 最大值为 26.6 cm, 最小值为 20.2 cm。

3.2 现场试验

在预压结束后, 为检测地基的预压效果, 又进行了静力触探试验及十字板两类原位试验. 其中静力触探孔 2 点, 十字板试验孔 6 点. 经统计, 吹填土力学性质指标如下: 静力触探锥尖阻力平均值为 0.31 MPa, 侧壁摩阻力平均值为 33.4 kPa^①。

表2 吹填土室内试验比较

项目	含水量 w/ %	密度 ρ (g·cm ⁻³)	孔隙比 e	压缩系数 a ₁₋₂ /MPa	压缩模量 E _{s1-2} /MPa	垂直固结系数		水平固结系数		固结快剪		不固结不排水剪切	
						c _{v30-100} /(cm ² ·s ⁻¹)	c _{v100-200} /(cm ² ·s ⁻¹)	c _{h30-100} /(cm ² ·s ⁻¹)	c _{h100-200} /(cm ² ·s ⁻¹)	粘聚力 c _k /kPa	内摩擦角 φ _k / (°)	粘聚力 c _u /kPa	内摩擦角 φ _u / (°)
预压前	50.2	1.69	1.45	1.19	1.7	1.69	1.25	1.57	1.21	—	—	—	—
预压后	46.2	1.76	1.28	0.98	2.7	0.59	0.31	0.18	0.27	14.4	13.5	17.7	1.5

①浙江省电力设计院岩土工程公司. 吹填土地基真空预压技术研究报告, 2001.

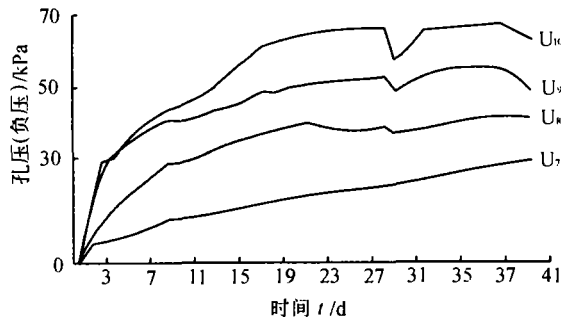


图4 U₇, U₈, U₉, U₁₀孔压时间关系曲线

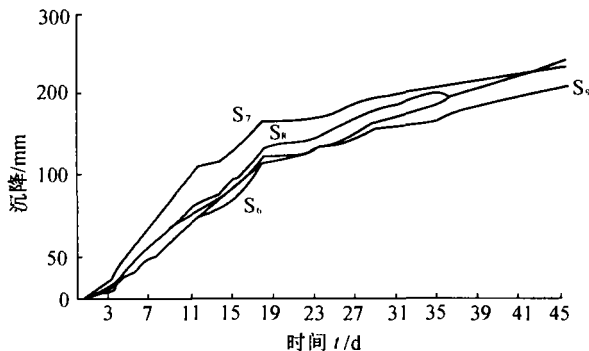


图5 S₆, S₇, S₈, S₉ 沉降关系曲线

从试验结果可以看出, 吹填土的力学强度指标在真空预压加固后有了显著增长, 其中锥尖阻力增长了约 63.1%, 十字板强度平均值达到 33.4 kPa. 计算得到的地基承载力标准在 60 kPa 以上, 60 kPa 的有效应力下基础最终沉降为 10 mm, 达到预期目的。

3.3 加固后土的室内试验

在工地现场用 XY-100 型钻机, 利用薄壁取样装置共取原状土样 36 组, 进行室内土工试验. 钻探孔布置 6 个, 孔深 7.5 m。

为了获得地基处理后土层物理性质指标和力学性质指标, 进行了土的物理性质试验和力学性质试验. 其中吹填土室内试验结果见表 2. 从表 2 可知吹填土加固后含水量降低了 3.8%, 孔隙比降低了 12%, 压缩系数减少了 18%, 压缩模量增加了 58%。

4 结 论

通过真空预压过程及加固后的现场观测及试验研究, 可以得出以下结论:

a. 本次加固是成功的, 加固后地基承载力达到

发挥抽水蓄能电站的优势.日本抽水蓄能电站建设技术也在这个过程中得到新的发展.限于笔者所能获得的资料,本文仅介绍了两座正在建设的超大型抽水蓄能电站规划和土建方面的一些新的技术进展.值得指出的是,由于近年来日本经济发展持续低迷,电力需求增长缓慢,对新电源点包括新抽水蓄能电站的建设速度也有明显的影响.例如神流川抽水蓄能电站虽然地下厂房已经开挖完毕,但计划要到2005年才发电;金居原抽水蓄能电站的建设机构早已成立并运作,但至今主体工程尚未开工.尽管如此,日本从20世纪90年代以来抽水蓄能电站建设的新理念和新技术,还是值得我们研究和借鉴的.

参考文献:

[1] Yasuda Masashi. Japan's experience in pumped Storage[A]. In: The World Bank and Jiangsu Provincial Electric Power Company. Proceeding of Pumped Storage International Workshop[C]. Nanjing, China, 2000,11(5):1~3.

[2] Yasuda Masashi. Commercial arrangements of pumped storage development in Japan[A]. In: The World Bank and Jiangsu Provincial Electric Power Company. Proceeding of Pumped Storage International Workshop[C]. Nanjing, China, 2000,11(5):2~10.

[3] Yasuda Masashi. Optimization of pumped storage development [A]. In: The World Bank and Jiangsu Provincial Electric Power Company. Proceeding of Pumped Storage International Workshop[C]. Nanjing, China, 2000,11(9):2~4.

[4] Kaneo Sugishita et al. Experimental study to eliminate a surge chamber from long tailrace tunnels of high head pumped storage

power plants[A]. In: The World Bank and Jiangsu Provincial Electric Power Company. Proceeding of Pumped Storage International Workshop[C]. Nanjing, China, 2000,11(9):555~557.

(收稿日期:2002-07-08 编辑:傅伟群)

(上接第57页)

70 kPa,满足了设计要求.

b. 真空预压过程中的真空度保持在85 kPa以上,有效应力达到77 kPa,强度增长约17.5 kPa,平均固结度达到83.5%.

c. 现场静力触探及十字板试验结果表明,加固后锥尖阻力大幅度提高,十字板强度达到33.4 kPa.地基土的含水量、孔隙比及压缩系数都有很大降低,压缩模量增加了58%.

d. 本次采用真空预压加固大面积浅层软弱地基,有着良好的技术经济性,可为其他类似工程提供借鉴.

参考文献:

[1] 黄廷学.广东省珠海发电厂软基真空预压联合堆载加固施工[J].中国港湾建设,1999(1):13~17.

[2] 王希鸿,苗中海.真空联合堆载预压法在珠海发电厂超软基加固工程中的应用[J].港口工程,1998(5):29~33.

[3] 唐明.真空联合堆载预压加固软土地基的理论与实践[J].江西水利科技,1998,24(1):46~48.

[4] 张威琪.关于地基沉降计算方法的探讨[J].低温建筑技术,2000(2):49~50.

(收稿日期:2002-04-01 编辑:马敏峰)

·简讯·

“地下水渗流数字化动态可视系统”通过专家鉴定

江苏省农业科学院原子能研究所主持完成的“地下水渗流数字化动态可视系统”在2002年12月21日通过了江苏省科学技术厅组织的鉴定.鉴定认为:①“地下水渗流数字化动态可视系统”首次引入高精密的航空定向器,使地下水流速定向的测量精度提高了一个数量级,并且实现了地理磁偏角的随时校正;还可以以建筑物的方位为零点,进行相对位置的测量,使测量更加准确可靠.②“地下水渗流数字化动态可视系统”是集航空定向技术、压力传感技术、核探测技术、数字采集与处理技术、水文地质测量和多媒体技术的多学科与多专业相互融合的成果,具有技术上的先进性和应用上的广泛性.③在地下水渗流测量中,首次提出了渗流“能量测量法”.在测点上,同时动态地显示出地下水渗流的位能、压能、动能、容重等物理量的消长量值.④开创性地将这一技术引入到地铁、公路桥基和高层建筑等水文地质勘测中,并成功地应用于32项各类重大水文地质工程,创造了巨大的社会效益,为我国测井技术的理论研究与水平跨入国际先进行列,在该领域提高我国的国际竞争力和科技实力做出了贡献.⑤“地下水渗流数字化动态可视系统”是一项创新能力和市场应用价值都很高的科技成果,拥有自己的知识产权,整体技术达到国际先进水平,其中“智能化地下水动态参数测量仪”达到国际领先水平.

(杜国平供稿)