

冷却塔压实填土碎石桩复合地基承载力取值的讨论

黄理兴¹ 韩伟² 张超群² 司怀军³

(¹中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉 430071) (²信阳华豫发电有限责任公司 信阳 464000)

(³河南省第二建筑有限公司 新乡 453011)

1 工程概况

信阳华豫电厂一期拟装机容量 2×300 MW, 厂址位于河南省信阳市平桥区东, 毗接平桥电厂东北方向, 进厂公路与 312 国道联接。

1[#]冷却塔场地原始地形为砖厂取土坑, 后废弃成鱼塘。场区填平过程中, 对坑底淤泥进行了全部清除, 坑底标高 72.5 m 左右, 然后采取分层填土, 机械振动压实至整平标高 83.5 m, 冷却塔建筑零米标高为 83.95 m。场地地质分层及岩性特征如下:

(1) 压实填土: 层厚 10 m 左右, 岩性为粉质粘土, $f_k = 170$ kPa(浸水)。

(2) 原土层 粉质粘土, 层厚 7 ~ 8 m, $f_k = 250$ kPa。

(3) 原土层 砾石砾砂, 层厚 1.5 ~ 7.9 m, $f_k = 230$ kPa。

(4) 原土层 强风化泥质粉砂岩, 层厚 1.0 ~ 2.7 m, $f_k = 260$ kPa。

(5) 原土层 中等风化泥质粉砂岩, 层厚大于 10 m, $f_k = 350$ kPa。

1[#]冷却塔塔高 117.75 m, 零米直径为 89.964 m, 属特殊结构建筑物。由于冷却塔直接建造在深厚的压实填土上, 将来受水浸润作用后, 冷却塔基础对地基的变形适应性差。为了确保冷却塔的安全运行, 设计单位决定对冷却塔地基采用振冲碎石桩进行加固, 形成复合地基以达到提高承载力、满足建筑物基础深度变形的要求。

2 复合地基参数设计与承载力要求

碎石桩复合地基先考虑采用振动挤密桩, 布桩

形式为正三角形, 桩径为 600 mm, 桩间距分两种: 1.5 m 与 2.0 m。先期打试桩因土质硬振动挤密桩无法成桩, 后改为振冲碎石桩。布桩形式不变, 桩径改为 1 m, 桩间距相应变为 2.0 m 与 2.5 m, 桩长要求进入原土层 0.5 m。

1[#]冷却塔环板基础要求复合地基承载力标准值达到 185 kPa, 淋水装置部分基底要求承载力标准值达到 160 kPa。

3 复合地基加固效果的综合检测结果

为了获取碎石桩单桩、复合地基的承载力与变形模量等特性指标, 验证碎石桩加固地基的设计效果, 为桩基的优化设计及大面积施工提供依据, 采用重()型动力触探方法对桩体质量进行了检测; 采用静力触探、标准贯入、钻孔取土土工试验, 对原状土与桩间土的物理力学特性进行了勘测试验; 并采用静荷载试验对单桩、桩间土、单桩复合地基承载力进行了检测。

检测结果: 碎石桩桩身质量均能满足每下沉 10 cm 锤击数大于 7 击的密实要求。原状压实填土土性为粉质粘土, 棕黄、棕褐色、土质相对均匀, 颗粒多呈团粒状, 中密~密实, 湿, 硬塑状态。原状土与桩间土物理力学性质指标对比见表 1; 碎石桩复合地基静载试验结果见表 2。

4 复合地基加固效果的评价与承载力的选取

从原位勘测结果分析, 压实填土密实度较高, 静力触探 P_s 值接近 5 MPa, 标贯击数在 16 击左右。而

1999年3月22日收到来稿。

作者 黄理兴 简介: 男, 46岁, 1976年毕业于中国科技大学近代力学系爆炸力学专业, 现任副总工程师, 高级工程师, 主要从事岩土力学与工程方面的研究工作。

表 1 原状土与桩间土物理力学性质对比表

Table 1 Contrast of physics and mechanics characters between original soil and the soil bounded with piles

测区	土性	含水量 / %	天然重度 / kN·m ⁻³	比重 <i>d</i>	孔隙比 <i>e</i>	饱和度 / %	液限 / %	塑限 / %	塑性指数 <i>I_p</i>	液性指数 <i>I_L</i>	压缩系数	凝聚力 / kPa	内摩擦角 / (°)	干重度 / kN·m ⁻³	静探 <i>P_s</i> 值 / MPa	标贯击数 / 击	湿陷系数	
																	自重压力	200 kPa 压力
A 区	原状土	22.0	19.9	2.75	0.706	89.7	36.0	20.5	15.6	0.16	0.131	157	19.3	16.0	4.9	16	0.125	0.304
	桩间土	23.4	19.5	2.73	0.698	92	34.4	17.9	16.5	0.35	0.164	41.6	20.3		4.2	10		
B 区	原状土	22.6	20.0	2.75	0.683	91.3	36.1	20.5	15.6	0.14	0.08	97.2	21.9	16.4	4.8	16.6	0.07	0.18
	桩间土	23.5	19.2	2.73	0.693	92	33.8	17.8	15.7	0.34	0.143	40	20.6		3.3	10.5		

表 2 1# 冷却塔复合地基静载试验结果

Table 2 Testing results of static load for stone column composite foundation in No. 1 cooling tower

测区	试桩编号	试验名称	加载板面积 / m ²	最大加载 <i>P</i> / kPa	沉降量 <i>S</i> / mm			承载力标准值 / kPa		变形模量 <i>E</i> / MPa
					总沉降量	回弹量	残余变形	<i>S</i> / <i>b</i> = 0.02	<i>S</i> = 20 mm	
A 区 桩间距 2.5 m	AF ₆	复合地基	2.706	370	17.18	3.34	13.84	370	370	28.26
	AF ₈	复合地基	2.706	370	22.33	6.93	15.40	370	333	22.87
	AF ₁₈	复合地基	2.706	370	25.07	6.10	18.97	370	296	23.12
	AF ₁₉	复合地基	5.412	370	30.31	9.39	20.92	370	296	28.79
	AT ₁₈ A	桩间土	0.5	240	46.65			150	160	8.49
	AT ₁₈ B	桩间土	0.5	240	46.13			150	150	6.36
	AZ ₁₁	单桩	0.785	1000	38.53	5.81	32.72	700	700	30.01
	AZ ₁₄	单桩	0.785	1000	39.27	6.71	32.56	650	650	28.84
B 区 桩间距 2.0 m	BF ₃₀	复合地基	1.732	370	30.40	6.63	23.77	333	296	25.21
	BF ₃₂	复合地基	1.732	370	22.19	6.54	15.65	370	333	27.82
	BF ₄₂	复合地基	1.732	370	20.81	3.09	17.72	370	333	23.92
	BF ₄₃	复合地基	3.464	370	24.90	8.43	16.47	370	333	32.00
	BT ₄₂ A	桩间土	0.5	300	49.69			160	170	7.90
	BT ₄₂ B	桩间土	0.5	240	50.85			160	160	7.20
	BZ ₃₅	单桩	0.785	1000	86.00			650	650	27.69
	BZ ₃₈	单桩	0.785	700	49.35			500	500	20.62

注: *S* = 20 mm 为碎石桩承载力标准值取值对应的沉降量。

表 3 根据现场单桩和桩间土的载荷试验计算复合地基承载力结果

Table 3 Calculated result of bearing capacity for composite foundation based on the test of static load

试桩区域	桩间距 <i>S</i> / m	桩径 <i>d</i> / m	等面径 <i>d_l</i> / m	置换率 <i>m</i>	<i>f_{p, k}</i> / kPa	<i>f_{s, k}</i> / kPa	<i>f_{sp, k}</i> / kPa	<i>E_{sp}</i> / kPa
A	2.5	1	2.625	0.145	700	150	227	11.42
	2.5	1	2.625	0.145	650	150	212	8.56
B	2.0	1	2.1	0.227	650	160	273	10.63
	2.0	1	2.1	0.227	500	160	238	9.69

桩间土的力学特性指标均弱于原状土, *P_s* 值平均下降 30%, 标贯击数平均下降 60%。复合地基承载力按照《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-91) 规定取值, *f_{sp, k}* 值大于 370 kPa, 即复合地基承载力标准值大于设计值的两倍, 而根据现场单桩与桩间土的载荷试验, 按公式:

$$f_{sp, k} = mf_{p, k} + (1 - m)f_{s, k}$$

计算结果(见表 3), 复合地基承载力桩间距 2.5 m 的平均值为 220 kPa, 桩间距 2.0 m 的平均值为 255

kPa, 均远低于载荷试验结果, 两者结果的差异, 给设计取值带来困难。

5 关于压实填土碎石桩复合地基承载力取值的讨论

(1) 本场地压实填土地基的承载力, 按《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89) 规定, 对于压实系数 ρ 为 0.94 ~ 0.97 的粉质粘土(8 *I_p* 14), 压实填

土承载力标准值为 130 ~ 180 kPa。而根据静力触探、标准贯入、土工试验的结果, 比照原状粉质粘土, 查表压实填土的承载力大于 300 kPa。规范规定与现场勘测结果的差异, 是说明规范规定存在局限性还是本场地压实填土力学特征的奇异性? 从现场勘测结果, 桩间土力学特性弱于原状土, 这一结果说明本工程压实填土结构性差, 遇水存在湿陷现象。

(2) 由于目前国内外还没有一个统一的有关在复合地基上进行载荷试验的规程, 特别是复合地基承载力的判别准则, 仅是一些单位的经验总结, $S/b = 0.015 \sim 0.02$ 的评判标准争议颇大。按照(JGJ 79-91)规范的试验要点, 对于桩间距 2 m 与 2.5 m 的复合地基, 单桩复合地基载荷试验承压板直径要求为

2.1 m 与 2.625 m, 对应的沉降量分别为 42 mm 与 52.5 mm。若按此值对应取复合地基承载力的标准值, 此时主要起置换作用的碎石桩桩顶部分已发生鼓胀破坏, 桩间土也处于剪切破坏状态, 显然会降低建筑物的安全度。

(3) 碎石桩复合地基承载机理之一是协调变形。从这点出发, 能否考虑复合地基承载力的取值与单桩承载力标准值的取值对应起来, 即取复合地基加载沉降 20 mm 时对应的荷载值为本工程复合地基承载力标准值, 那么无论是从技术还是从经济出发, 本工程压实填土碎石桩复合地基承载力标准值取 300 kPa 较为合适。

DISCUSSION ON BEARING CAPACITY FOR STONE COLUMN COMPOSITE FOUNDATION OF COOLING TOWER

Huang Lixing¹ Han Wei² Zhang Chaoqun² Si Huaijun³

(*Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071 China*)

(² *Xinyang Huayu Power Station Co. Ltd., Xinyang 464000 China*)

(³ *Henan 2nd Build Co., Mechanized Construction Co., Xinxiang 453011 China*)

第六届全国岩石动力学学术会议纪要摘登

中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会主办的“第六届全国岩石动力学学术会议”于 1999 年 6 月 7 ~ 15 日在昆明市召开, 来自全国国防科研、大专院校、冶金矿山、煤炭石油、地质地震、建筑环保等系统的 24 个单位的 35 名代表出席了本次会议。本次会议论文集仍以《岩石力学与工程学报》增刊形式发表。由于印张所限, 学报编辑部对专委会送交的论文按学报正刊论文要求进行送审, 最后在 45 篇来稿中选择了有代表性的 31 篇论文发表。被收录的论文主要涉及岩石动态力学性质与本构关系、应力波传播与衰减规律、爆破破岩与控制、冲击地压研究、山体滑坡及防洪救灾等方面的研究领域, 紧扣国民经济这一中心课题, 理论联系实际, 有较强的实用性。

大会特别邀请本学会名誉理事长孙钧院士作“岩石断裂动力学研究的若干课题”的精彩报告, 给到会代表很大启迪。经到会的 18 名专委会委员推荐与评选, 中国科技大学席道瑛教授宣讲的论文“饱和岩石对地震波的动力学响应”与中国石油大学楚泽涵宣讲的论文“岩石热开裂及检测方法研究”被评为本届学术大会的优秀论文。

从目前国内外形势与国民经济发展现状来看, 岩石动力学学科表现了强有力的生命力, 许多工程建设特别是当前的国防建设都需应用岩石动力学学科知识去解决, 从事岩石动力学学科研究的科技工作者也义不容辞地在加强这方面的研究与应用。因此, 本届到会的专委会委员经过讨论提议: 以文字形式, 向国家有关领导机构, 提出“加强我国岩石动力学研究, 提高国防建设水平”的建议。

在本次学术会议交流期间, 举行了第三届岩石动力学专委会第三次会议, 并进行了专委会换届工作。考虑到我国岩石动力学学科研究单位与系统的分布, 经到会的 20 名委员无记名投票, 选举王靖涛教授继任主任委员, 吴绵拔、吴德伦、楚泽涵、潘一山、曾宪明任副主任委员, 黄理兴任秘书长。王明洋教授因公务出国, 若回国后仍从事原单位研究, 则增补为副主任委员。