

旋挖成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的实践

李亮¹, 王天放¹, 曲守全²

(1. 山东华鲁基础工程公司, 山东 兖州 272100; 2. 山东省第五地质矿产勘察院, 山东 泰安 271021)

摘要: 论述了旋挖钻进成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的选用、工程桩施工遇到的问题及采取的处理措施。

关键词: 桩基工程; 旋挖成孔; 人工挖孔桩

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2006)09-0030-04

1 概况

1.1 工程概况

黔东某电厂位于贵州省黔东南州境内, 规划容量为 4×600 MW, 本期工程厂区主要建设项目有主厂房、炉外配电装置、输煤设施、燃油设施、烟尘渣设施、供水及处理设施以及相应的辅助、附属建(构)筑物等。基础工程采用灌注桩, 总桩数 1509 根, 混凝土量约 24000 m^3 。厂址区展现低山地貌景观, 原始地形自北东向南西起伏, 低山与宽缓的冲沟相间。地面标高 438 ~ 526 m, 起伏较大, 厂区内平行分布 2

条大冲沟, 自南东向北西渐次降低, 规模都比较大并有许多分支小冲沟。厂区大部分现已整平, 原始地形不复存在, 根据岩土工程勘测成果, 拟建厂址场地类型为中等复杂场地, 地基类型为复杂地基。

1.2 施工场区地层条件

场区内的地层, 按其成因类型分为: 人工填土、冲(洪)积物堆积, 第四系残坡积, 基底为中寒武世高台组薄层~中厚层状白云岩。根据钻探资料, 厂区地层岩性物理力学指标见表 1。

表 1 地层岩性物理力学指标表

层号	土层性质	含水量 $w/\%$	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	液限 $W_L/\%$	塑性指数 I_p	孔隙比 e	含水比 a_w	压缩系数 a_y	压缩模量 E_s	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	粘聚力 c/kPa	q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa	f_{ak}/kPa
①	素填土													120
② ₁	粘土	28.9 ~ 54.2	14.4 ~ 16.9	47.0 ~ 81.0	25.6 ~ 43.6	1.360 ~ 1.546	0.61 ~ 0.67	0.22 ~ 0.35	7.1 ~ 8.8	6.1 ~ 10.6	21.3 ~ 48.3	30 ~ 70		
② ₂	粘土	59.1 ~ 65.1	16.0 ~ 16.3	77.0 ~ 80.0	19.3 ~ 40.5	1.694 ~ 1.848	0.77 ~ 0.81	0.62 ~ 0.76	3.70 ~ 4.40	4.4 ~ 4.8	29.4 ~ 37.6	20 ~ 30		
③ ₁	粘土	28.9 ~ 31.9	14.4 ~ 14.8	5.1 ~ 92.5	21.0 ~ 22.0	1.360 ~ 1.546	0.61 ~ 0.65	0.22 ~ 0.66	4.10 ~ 10.80	8.6 ~ 10.6	37 ~ 47	30 ~ 70		
③ ₂	粘土	33.6 ~ 62.4	12.9 ~ 17.1	44.8 ~ 82.5	35.6 ~ 42.5	1.509 ~ 1.961	0.71 ~ 0.81	0.33 ~ 0.73	3.80 ~ 7.62	4.5 ~ 10.3	4.0 ~ 41.2	15 ~ 30		
③ ₃	粘土											10 ~ 20		80 ~ 100
④	全风化白云岩		16.6					0.109	15.54			40 ~ 80		150 ~ 180
⑤	强风化白云岩		20 ~ 22									90 ~ 120	5000 ~ 6000	500 ~ 600
⑥ ₁	中等风化白云岩		21 ~ 23										7000 ~ 8000	1500
⑥ ₂	中等风化白云岩		21 ~ 23										7000 ~ 10000	2000
⑦	白云岩层间破碎带		21 ~ 23									100 ~ 120	6000 ~ 7000	500 ~ 700

注: ⑥₂ 中等风化白云岩饱和抗压强度平均值 125.13 MPa, 泊松比平均值 0.26。

收稿日期: 2006-02-21

作者简介: 李亮(1971-), 男(汉族), 山东莱州人, 山东华鲁基础工程公司工程师, 探矿工程专业, 从事桩基施工与管理, 山东省兖州市建设西路立交桥西, 13696371606, liliang2882@163.com; 王天放(1967-), 男(汉族), 山东曹县人, 山东华鲁基础工程公司副经理、国家一级注册建造师、高级工程师, 探矿工程专业, 从事地基与基础施工技术与管理, 13605372163; 曲守全(1978-), 男(汉族), 山东新泰人, 山东省第五地质矿产勘察院助理工程师, 地质勘查与找矿专业, 从事地质勘查与找矿工作, 山东省泰安市东岳大街西首, 13053838205。

1.3 岩溶工程地质条件

厂区内中寒武世高台组岩性为薄层~中厚层状细粒白云岩,夹薄层状砂质白云岩,岩溶层组类型为均匀白云岩,岩溶水文结构类型为均匀状白云岩平缓褶皱型。

白云岩是以含白云石为主的纯碳酸盐岩,孔隙度以及溶解度均高于灰岩,其溶蚀作用是通过扩散溶滤作用于整个岩体,与灰岩相比分异作用减弱,多形成小型溶孔或孔洞,很少发育大型溶洞,属于较均一的裂隙水含水层。

冷却塔地段可见岩溶发育,岩性为白云岩夹白云质灰岩,岩溶形态为缝隙状溶洞或溶槽;2号锅炉地段存在囊状风化深槽,④层全风化白云岩厚度较大,其中多含有⑤、⑥₁层的透镜体,可见岩溶发育,基岩面起伏较大,最大高差近36m;其余地段下伏白云岩风化不深,层位稳定,工程地质条件较好。

岩溶发育深度受当地侵蚀基准面即舞阳河控制,往下逐渐减弱。

2 设计方案

根据工程地质勘察资料,厂址主厂房、锅炉、烟囱、冷却塔等主要建筑物均落在填方区,确定采用钢筋砼灌注桩基础。由于本工程为一挖高填低场地,最大填埋深度达23.2m,为比较人工挖孔灌注桩工艺和旋挖成孔灌注桩工艺在本场地上的适应性、安全性,试桩设计采用了两种施工工艺。

人工挖孔灌注桩试桩分主厂房、烟囱、冷却塔3个区域共8组。主厂房区,试桩3组,桩径1.2m,桩长42.7m,入岩深度2.4m;烟囱区,试桩2组,直径1.2m,桩长34.8m,入岩深度2.4m;冷却塔区,试桩3组,桩径1.0m,桩长12.3m,入岩深度2.0m。

旋挖成孔灌注桩共3组,布置在烟囱区东侧一空地上,该处填土层厚约20.5m,覆盖层厚约15m,桩长达39m,是旋挖成孔工艺在拟建厂址场地最困难的区域,选择该处进行试桩试验对拟建厂址工程桩采用旋挖成孔工艺具有代表性。设计桩径1.2m,桩端不扩底,桩身砼强度等级C30,桩端持力层为中等风化白云岩。

3 试桩施工及检测情况

3.1 旋挖成孔灌注桩

旋挖试桩施工于2005年4月15日开工,2005年5月4日竣工,共成桩11根(试桩3根,锚桩8

根),桩身砼强度等级为C25,桩长39.1~40.3m,桩端进入持力层3.0~3.7m,桩径1.2m,施工过程中采用泥浆护壁,单桩成孔时间4~12h不等。试桩施工完毕停待一段时间后,测桩单位分别采用低应变、高应变、静载荷、抽心等测试手段对桩体的完整性及桩基承载力进行了检测,经综合分析各测试方法的试验结果,判定3组试桩均为I类桩,并推荐 $\phi 1.2$ m机械旋挖成孔灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值为14300kN,完全能够满足设计要求。

3.2 人工挖孔灌注桩

人工挖孔桩试桩工程于2005年3月10日开工。冷却塔区域有试桩3组,直径1.0m,桩长12.3m,入岩深度2.0m;锚桩8根,直径1.0m,桩长13.3m,入岩深度2.0m,扩底2.0m。于4月4日施工完毕。主厂房区域有3组试桩,直径1.2m,桩长42.7m,入岩深度2.4m;锚桩8根,直径1.2m,桩长43.9m,入岩深度2.4m,扩底2.0m。于4月30日施工完毕。烟囱区域有试桩2组,直径1.2m,桩长34.8m,入岩深度2.4m;锚桩6根,直径1.2m,桩长36.0m,入岩深度2.4m,扩底2.0m,于5月5日施工完毕。检测单位分别采用了低应变、高应变、静载荷等测试手段对桩基进行了检测,除冷却塔区域有一根桩属于III类桩,其余均为I类桩(该III类桩形成的原因是由于在灌注砼时停水、停电达2个多小时,灌注不连续,且无法振捣,导致桩顶以下6.05~8.90m之间局部不密实和离析)。经综合分析各测试方法的试验结果,推荐 $\phi 1.2$ m人工挖孔灌注桩竖向极限承载力标准值为16200kN,推荐 $\phi 1.0$ m人工挖孔灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值为11300kN。

从测桩结果可以看出,本工程采用人工挖孔桩也是可行的,但由于旋挖成孔工艺3~4h即可成孔,而人工挖孔桩单孔进尺每天只有1m,若施工40~50m的深孔,成桩时间约需2个月,且施工难度大,并存在安全隐患。旋挖成孔的单孔施工速度远远高于人工挖孔桩的施工速度。业主从工期角度考虑,决定工程桩施工采用旋挖成孔工艺。

4 工程桩施工

4.1 施工中遇到的问题

工程桩施工8月17日正式开工。由于地质情况比较复杂,施工过程中发现地质条件与工程地质勘察报告所描述的情况差异较大,经与监理及设计单位协商,暂施工15m以内的短桩。至8月29日,

15 m 以内的桩施工完毕,现场处于停工状态。鉴于这种情况,我公司建议业主进行施工勘测,根据施工勘测成果确定钻孔深度。业主采纳了我方的建议。10月中旬,施工勘测队伍进场;10月22日,我们根据施工勘测成果,边勘测边施工,施工速度非常缓慢,施工过程遇到了很多问题:

(1)由于破碎带较厚,钻孔坍塌严重,很多钻孔不能钻至设计深度,即使钻至设计深度,砼充盈系数在1.4~1.5,有的钻孔高达2.0。

(2)遇孤石钻进、纠偏难度大。

(3)设计入岩深度由1D调整至3D,入岩施工难度大,设备损坏严重。

(4)地质情况复杂,钻孔中有溶隙、溶洞存在;有的钻孔溶洞(溶隙)存在不止一处,给施工、入岩判定带来了极大难度。如主厂房某孔,在17.3 m处遇溶洞,在23.5 m处又遇一溶洞,且穿过第一个溶洞后,岩石坚硬,钻机根本不进尺,难以满足终孔要求。

(5)桩长匹配在施工中的控制难度大。按设计及规范要求,同承台相邻桩长度之差不宜超过桩长的1/10,而施工过程中由于地层情况变化较大,很难满足这一要求。

(6)工作量增加。根据施工勘测资料,很多桩的实际桩长是原设计的1~2倍,工作量增加很多,工期很难保证。

4.2 专家的处理意见

针对上述问题,我们施工单位想了很多办法,也采取了相应的措施,但收效甚微,工程迟迟没有进展。鉴于上述原因,业主于11月11日邀请了电力规划总院、华北电力设计院、中南电力设计院、中南水利勘测设计院、湖南电力勘测设计院等5家设计院10位专家来施工现场,召开了技术咨询会,经过广泛、热烈的讨论,专家们提出了如下意见。

(1)对塌孔较严重或有疑问的桩,可采取浇素砼或压浆工艺,既解决孔底沉渣问题,又能提高单桩承载力,并在下阶段要采取预防塌孔措施。

(2)对于孤石问题。孤石实际上是基岩全风化和强风化带出现异常的微风化石块,原则上桩长>20 m,进入全风化、强风化带10 m,入孤石2 m即可终孔。

(3)入岩深度。实际是入中等风化岩石深度,专家们提请湖南院进一步根据不同地段桩的承载性能和桩长适当调整入岩深度,并及时根据施工勘测成果,修改中等风化岩界面等高线图,地质勘察单

位驻工地的代表应在现场确定桩基终孔条件中起主导作用;对于桩长<10 m和入岩深度<2D的桩,应继续加深,必要时采取加桩、孔内爆破或改换钻机类型等处理方式。

(4)对于溶洞问题。在分布有浅层溶洞的地段,施工勘测钻孔宜加密到一柱二孔或一桩一孔,对满腹洞保证入顶板1.5D即够,对于空腹洞,必须入洞底硬岩1D。

(5)对于桩长匹配问题,原则上同承台相邻桩长度之差不宜超过桩长的1/10,当局部承台的相邻桩出现一为端承桩、一为端承摩擦桩,桩长差异较大时,对端承摩擦桩宜采用压浆工艺进行处理,提高端承力,以防止群桩的差异沉降,此类桩应列入高应变检测范围。

(6)为加快工程进度,对有条件地段宜采用人工挖孔桩替代钻孔灌注桩。

4.3 处理措施的实施

根据诸位专家的处理意见,在后续的施工中我们采取了如下处理措施。

4.3.1 人工挖孔桩

对处于挖方区域的桩,或虽处于填方区域,但钻孔较浅,孔内岩石较硬,或有孤石存在,不便于旋挖钻机施工的桩,报请监理、设计批准,采用人工挖孔桩进行施工。1、2号冷却塔及2号锅炉房改为人工挖孔桩后,由于投入的人力较多,施工效率并不低,均能在业主规定的工期内完工。鉴于人工挖孔桩的施工效果很好,设计及业主决定后续桩基施工基本采用人工挖孔方式。

4.3.2 加桩

因塌孔达不到设计桩长要求,或其它原因造成桩的承载力不能满足上部荷载要求,可适当增加桩数,以满足承载力要求。如1号锅炉G-7/1-1桩,属单桩承台,设计要求孔深38 m,钻至37 m后,孔内坍塌严重,且坍塌物主要为泥土,如采用后压注浆固结桩端,效果肯定不理想。根据上述情况,我们报请监理、设计批准,在桩两侧对称位置增加了2根同深度的桩,从而有效地保证了桩基承载力。

4.3.3 静压注浆法

对于桩端处于破碎地带,节理裂隙较发育,旋挖成孔时极易坍塌,成桩后承载力难以保证的桩,采用后压注浆进行处理。

具体做法为:旋挖钻进成孔后,将预埋钢管焊在钢筋笼上(接至孔底),预埋钢管底端用薄铁皮封死,7天后用HGY-200型钻机沿预埋管内侧将封

底铁皮钻穿,并继续钻进 3 m 钻至预定深度后,利用注浆泵将配制好的水泥浆液注入孔底(泵压在 0.2 ~ 0.5 MPa 之间,水灰比为 3、2、1 不等,根据地层吸浆量随时调整),在选定的灌浆标准压力下,当吸浆量 < 0.5 L/min,延续 30 min 即可结束。

4.3.4 地基固结法

1 号锅炉后区域部分钻孔及主厂房 A、B 列轴部分钻孔塌孔严重,甚至出现串孔现象,成孔困难;由于坍塌严重,对塌孔区已成桩的侧阻力也造成很大影响。经与设计协商,采用固结灌浆法对上述地段进行加固。加固深度:从坍塌处(20 m 左右)至孔底(36 m 左右)。灌浆孔平面孔距:按 3 m × 3 m 布置,对塌孔严重的部位,根据固化效果适当增加孔数。注浆设备及参数控制与桩端压浆法相同,采用多段压浆,从下往上分段注浆,3 ~ 4 m 为一段,灌浆压力采用 0.2 ~ 0.4 MPa,原则上是下大上小。施工顺序:先施工因塌孔未成桩区域,后施工附近区域,施工时浆液内加入适量早强剂,灌浆完毕 3 日后即可对未成桩进行施工。

4.3.5 冲击、回转钻进法

对于孔内出现孤石无法钻进,或塌孔较严重,施工孔深与设计孔深相差较远,不宜进行静压注浆孔,也不宜进行人工挖孔桩施工的孔,采用冲击、回转钻进法进行处理。采用此种工艺,钻进前必须配制好优质的泥浆,钻进过程要轻压慢转,泥浆要及时补给并控制好泥浆的粘度,对于有溶洞或溶隙的孔,进入溶洞或裂隙前进尺要缓慢,冲击要减小,并不间断地向孔内投入粘土和片石同时向孔内投入预先制作好的粘泥球,以便和粘土、片石共同堵住溶洞,顺利成孔。

4.3.6 孔内爆破法

对于孔内遇坚硬岩石、孤石的孔,旋挖钻机根本无法钻进,采用冲击钻处理,施工速度又太慢,在采取了行之有效的安全保证措施后(全孔下钢护筒护

壁),借鉴人工挖孔桩的施工方法,可采用孔内爆破法(松动爆破),配合旋挖钻机施工。实践证明,采用该法取得了明显的效果,极大地提高了旋挖钻孔的施工速度。

通过采取以上几种措施,极大地改善了施工中的被动局面,施工速度有了明显的改观。从部分完工桩的检测结果看,成桩质量及承载力均能满足设计要求。

5 施工体会

(1) 旋挖成孔的主要优点是成孔速度快,施工现场可保持较好的环境,该工艺适合于填土、粘土、砂石层、强风化及较破碎的中风化地层。对于中 ~ 硬质基岩,可采用螺旋凿岩钻头或筒式截齿钻头进行处理,但使用螺旋钻头易产生孔斜,施工过程中对钻孔要勤检查,不要盲目加压;使用筒式截齿钻头,钻孔的垂直度易控制,缺点是进度比较慢。对于完整岩石,或坚硬孤石,旋挖工艺则不太适合,故在有硬岩存在或地层比较复杂的地区,旋挖工艺要慎重选用。鉴于旋挖工艺施工的局限性,后续工程施工及时调整工艺,以人工挖孔为主,是非常必要的。

(2) 该施工场地虽然经过强夯处理,但由于强夯影响深度有限,下部回填层或破碎带根本无法密实,泥浆漏失严重,且成孔后灌注砼时泥浆全部渗漏到地层中,回收困难,由于泥浆不能重复利用,施工成本大幅度提高;且孔内注入泥浆后如出现异常情况(如孔斜、孤石、局部坍塌等),不容易判断。故不宜采用泥浆护壁。

(3) 对有溶洞或溶隙存在的地层,进行施工勘测是必须的。

(4) 对于地质条件复杂的地层,结合施工的具体情况 & 施工过程中存在的问题,采用多种处理措施与旋挖工艺相配合,对工程的质量、进度保证是非常必要的。

(上接第 29 页)

5 结语

本工程多层建筑紧临深基坑条件下基坑支护工程的设计采取了谨慎的态度,合理确定了基坑侧壁重要性系数、荷载取值、支护体系刚度、基坑弯矩调整系数等重要参数,为基坑支护工程提供了先决的技术保障;同时合理选择了施工工艺,有序安排各施

工工序,及时有效地解决了基坑支护施工过程的实际问题,达到了预期的支护目的。

参考文献:

- [1] JGJ 120 - 99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 黄强. 建筑基坑支护技术应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [3] 秦四清, 等. 深基坑工程优化设计[M]. 北京: 地震出版社, 1998.