

强夯地基处理工艺在换流站场平施工中的应用

万 华, 杨睿智

(国网宁夏电力公司经济技术研究院, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 针对西北部分地区地表层粉砂分布不均、砂岩不易破碎、块石回填方量大、回填厚度深等问题,考虑特高压换流站工程地基处理的适用性及其成效、工期、造价等多方面因素,提出强夯地基处理方案。应用结果表明:该方法具有快速提高填土密实程度,加速填土前期固结,提高填土的物理力学性能,减少填土的后后期沉降和建(构)筑物及地面设备基础的沉降等优点,可广泛应用于西北地区特高压换流站及其他大面积土石方开挖、回填及地基处理施工工程。

关键词: 换流站; 场平; 地基处理; 强夯

中图分类号: TU71 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2015)02-0019-06

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2015.02.004>

Application of dynamic compaction foundation treatment technics in construction of turkmen field flat of converter station

WAN Hua, YANG Ruizhi

(Economic Technology Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750002, China)

Abstract: Aiming at the problems such as earth surface layer silt uneven distribution, difficult to broken sandstone, large earthwork of rock block backfill and deep backfill thickness in some parts of the northwest district of China, considering the adaptability, efficiency, work-period and cost of the site foundation treatment in high pressure converter station, puts forward the schemes of dynamic compaction foundation treatment. The application result shows that the method has the advantages of quickly to improve the compaction degree and preconsolidation, promote the physical and mechanical properties and reduce the late settlement of the fill soil, and reduce the foundation settlement of ground building and equipment, which can be widely applied in construction project of UHV converter station and other large earth-rock excavation, backfill and foundation treatment in the northwest district of China.

Key words: convertor station; turkmen field flat; foundation treatment; dynamic compaction

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2015.02.004

±800 kV 灵州换流站是宁夏地区有史以来场平地基处理砂石比、挖填方量最大的工程,地基处理的最大深度为 10 m。站址区自然地面大致呈现北高南低、东高西低的态势,海拔高度约 1 322 m。微观地面具有二梁夹二谷的地形特点,二梁和二谷均呈西北-东南向展布,站内有一条冲沟从站内中部自东南—西北倒“L”形状穿过。该地区场地表层粉砂分布不均、工程性能差,砂岩不易破碎、块石回填方量大、回填厚度深等问题,考虑场地地基处理的适用性及其成效、工期、造价等多方面因素,该站场平采用强夯地基处理^[1-2]方案,以达到快速提高填土密实度,加速填土前期固结,提高填土的物理力学性能,减少填土的后后期沉降,减少建(构)筑物及地面设备基础的沉降的目的。

1 地质工程性能评价

1.1 工程地质条件

站址区地层上部为第四系风积砂,下伏侏罗系砂岩。所揭露的地层由上至下简述如下:

①粉砂(Q₄^{ol}):黄色,干燥~稍湿,松散~稍密,风积成因。该层分布不连续,层厚约 0.3~4.0 m。

②砂岩(J₂):除西北角出现局部的砂岩和泥岩互层外,其余大部分地段均为砂岩。其中,强风化带砂岩,抗风化能力较差,厚度一般在 0.4~4.8 m 之间;中风化带砂岩岩芯相对完整、坚硬,呈短柱状,该层厚度大于 50 m。

1.2 工程性能评价

①粉砂,属现代风积砂,在站址广泛分布,稍密,固结差甚至无固结,为松散—稍密状态,工程性能差,主要分布在地表,厚度不大,承载力特征值 $f_{ak}=90\sim 130$ kPa,不能直接作为建(构)筑物的天然地基持力层。

②层砂岩,层位稳定,埋深较浅,一般在 0.3~4.0 m,局部裸露,工程性能良好,是建筑物良好的天然地基持力层或人工地基方案下卧层。

该站地处贫水区,工程前期对场地 6 处表层粉砂和强风化砂岩进行挖掘,表层粉砂挖掘深度为 0.3~4.0 m,强风化砂岩只能挖掘约 0.4 m,挖掘机挖掘强风化砂岩的效率低;表层粉砂干燥进行

土工试验,粉砂含水量 5.6%,最大干密度 1.64 g/cm³,最优含水量 11.8%。

根据站区总平面布置,以极 1、极 2 低端阀厅为界,东部基本为挖方区,西北基本为回填区。750 kV 区域西北侧、交流滤波器场东北侧及直流场西侧需要强夯地基处理的深度为 2.4~8.5 m。其中,750 kV GIS 区域需要处理的深度最大,达到 8.5 m;滤波器场处理深度为 2.4~4.4 m;直流场处理深度达到 5.5 m。同时,双极低端阀厅、750 kV GIS 等基础近 2/3 区域位于挖方区,1/3 的区域位于填土较厚的填方区,二者交界处还存在软硬不均匀地基。强夯地基处理效果直接影响主体工程质量,事关工程的长期安全稳定运行。为此,在强夯施工过程中要严格控制强夯施工各项技术参数:回填料中石方粒径不大于 30 cm;土石方回填料土石比 2:8;混合土石料的拌和要级配控制较好、含水量合理和拌和均匀;混合土石料回填必须分层摊铺、机械碾压;试夯确定工程夯技术参数;分区域按设计要求进行不同能级的强夯;6 000 kN·m 区域内单点夯沉量大于 1 m 的需要进行二次加固夯。试验检测工程夯各类参数符合要求。

2 强夯施工工艺

为便于指导现场人员开展质量管控,针对各控制环节,分别明确相应的规范标准^[1-4]及设计规定、质量风险点分析及评估。主要做到:根据设计提供的座标点,设置控制桩。严控平面控制桩、高程控制桩精度,准确复测场地原始地面高程。清除干净地表植被及草根,弃于站外指定地点。严控回填砂岩粒径小于 300 mm。土、石混合均匀,分层铺填,每层厚度不大于 50 cm,含水率符合设计要求。夯点布置偏差小于±50 mm、夯锤就位偏差±200 mm。按分区确定的不同夯击能,检查锤重、落距。检查每击夯沉量,当最后二击平均夯沉量小于 50 mm,视符合要求。按检测方案抽查现场试验。

2.1 土石方工程

2.1.1 挖方区砂岩破碎

场平土石方量和强夯地基处理面积大,全站

挖、填土石方约 90 万 m^3 , 强夯地基处理约 24 万 m^2 , 土石比 2:8。石方属坚硬砂岩, 强夯地基处理应重点控制好砂岩的级配, 选择合理的二次破碎方法。挖方区石方开挖采用机械开挖, 开挖过程中使用破碎锤在挖方区对约 60% 的石料进行首次破碎, 破碎粒径控制不大于 500 mm; 剩余 40% 石料运输至颚式破碎机(进料口直径 900~1 200 mm)区进行二次破碎, 破碎粒径 10~300 mm。

2.1.2 土石料拌合

回填配料按砂土、破碎锤破碎石料、破碎机破碎石料按 2:5:3 的比例进行装车, 在不外购土方及碎石的情况下, 最大程度地保证了回填料粒径的级配性能, 减少回填料因土石比例较大, 连续级配差造成的架空层现象; 而且回填料运输至回填区域卸车运输过程中即产生拌合效果, 卸车后采用挖掘机、装载机摊铺做到二次拌合, 使回填料拌合均匀, 分层厚度不大于 500 mm。

2.1.3 再次破碎、洒水、碾压

回填料摊铺过程中, 使用破碎锤跟进破碎的方式, 对挖方区破碎锤破碎的 300~500 mm 石料进行二次破碎, 使占比 50% 的破碎锤破碎石料回填料粒径 ≤ 300 mm。

回填料摊铺完成后, 按土料最优含水率进行洒水, 待水分渗入回填料中后使用大型压路机震动碾压, 使土石混合料中的细颗粒进入石料缝隙中, 提高回填料密实度。

2.2 强夯施工

2.2.1 试夯

2.2.1.1 试夯目的

(1) 确定 8 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 主夯(3 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 满夯), 6 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 主夯(2 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 满夯)和 2 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 主夯(1 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 满夯)的处理有效深度和场地总夯沉量。

(2) 确定填方区强夯复合地基土承载力特征值大于 250 kPa, 压缩模量大于 15 MPa。

(3) 确定最佳单击夯击能、夯点布置形态、夯点间距、夯击数、夯击遍数、间隔时间等^[3]。

(4) 确定本场地强夯的施工质量控制、检验标准, 开挖探槽对回填土孔隙消失情况、颗粒排列情况进行分析和评价。

(5) 确定地基土的不均匀性得到明显改善。

2.2.1.2 试夯位置

根据现场实际情况, 结合试夯任务书, 划分 3 个试验区, 分别为第一试夯区至第三试夯区, 各试夯区的范围均为 30 m \times 30 m, 为增加试夯区域周边土体的约束, 底边大小 90 m \times 90 m。

2.2.1.3 试夯施工

(1) 第一区主夯单击夯击能: 8 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 9.0 m, 正三角形布点, 主夯点间距 5 m, 夯实 2 遍, 各 13 击, 或最后两击夯沉量平均不大于 50 mm(第二遍夯点在第一遍夯点之间)。满夯单击夯击能 3 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 2.5 m, 夯实 1 遍 5 击, 锤印搭接 1/4;

(2) 第二区主夯单击夯击能 6 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 7.0 m, 正三角形布点, 主夯点间距 5 m, 夯实 2 遍, 各 13 击, 或最后两击夯沉量平均不大于 50 mm(第二遍夯点在第一遍夯点之间)。满夯单击夯击能 2 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 2.5 m, 夯实 1 遍 5 击, 锤印搭接 1/4;

(3) 第三区主夯单击夯击能 2 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 2.5 m, 正三角形布点, 主夯点间距 5 m, 夯实 2 遍, 各 13 击, 或最后两击夯沉量平均不大于 50 mm(第二遍夯点在第一遍夯点之间)。满夯单击夯击能 1 000 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 平均加固深度 1 m, 夯实 1 遍 5 击, 锤印搭接 1/4。

2.2.1.4 试夯后检测

试夯后由检测单位对试夯区域进行检测, 通过标准贯入试验、重型动力触探、瑞利波测试、密度试验、平板载荷试验、深槽开挖、颗粒分析及含水率检测等控制环节确定工程夯施工参数。

2.2.2 工程夯

通过试夯确定地基强夯的能级、每点夯击数、夯点间距等, 提出更为合理的强夯工艺参数。根据文献[1]规定的强夯法的有效加固深度和本站址填方区厚度分布及强夯图纸, 进行强夯。

2.2.2.1 强夯施工作业流程

强夯施工作业流程如图 1 所示, 其中: □ 代表控制环节; () 代表控制点; 停: 代表全面检查, 合格后方可进行下一道工序。A: 代表项目经理;

B:代表施工经理;C:代表质量工程师;D:代表项目总工。

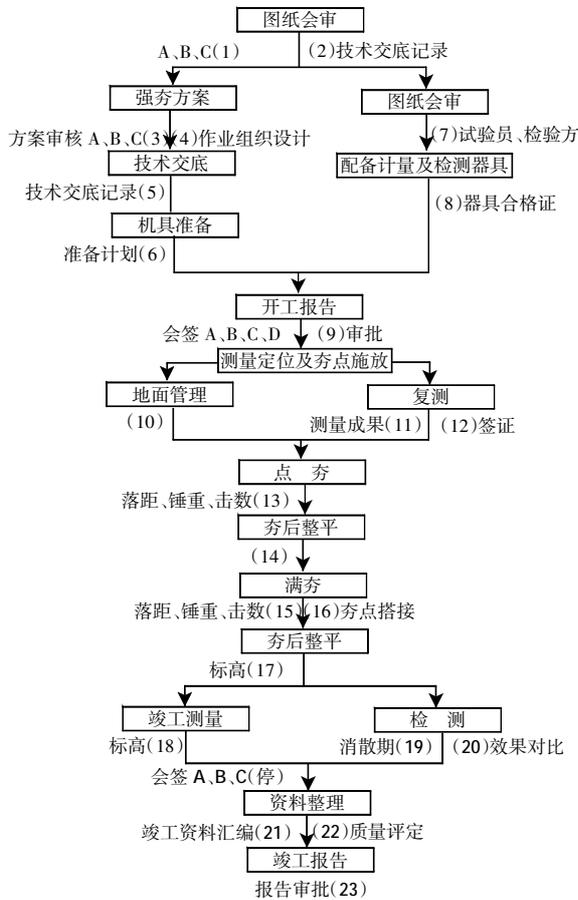


图1 强夯施工流程

2.2.2.2 夯点布置

根据试夯检测结果,工程夯主夯点布置采用等边三角形,以夯锤直径 $D=2.5\text{ m}$ 为例,夯点间距为 $2.0 D$ 即 5.0 m ,见图2。

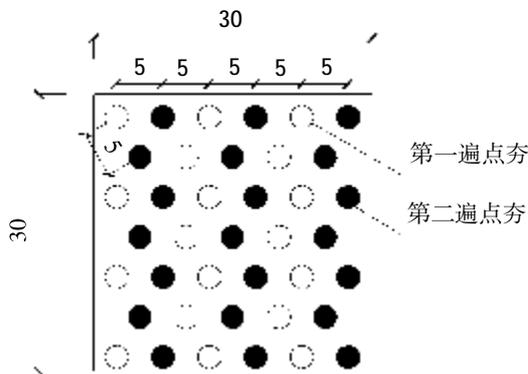


图2 夯点布置

2.2.2.3 强夯施工工序

- (1)清理并平整施工场地,测量地面标高;
- (2)测定标出第一遍夯点位置,按夯锤接地轮

廓线用石灰圈点标识;

(3)吊车就位,使夯锤对准夯点位置;测校脱钩高度,用脱钩绳定死脱钩位置高度;

(4)测量夯前锤顶标高;

(5)将夯锤起吊到预定高度,待夯锤脱钩自由下落后,放下吊钩,测量锤顶高程,若发现因坑底倾斜而造成夯锤歪时,应及时将坑底整平;

(6)重复步骤(5),按设计规定的夯点击数及控制标准,完成一个夯点的夯击;

(7)换夯点,重复步骤(3)-(6),完成第一遍全部夯点的夯击;

(8)用装载机将夯坑填平,并测量场地高程;

(9)按上述步骤逐次完成第二遍全部夯点夯击及夯后整平工作,最后满夯,满夯1遍,将场地表层松土夯实后,整平场地并测量夯后场地高程。

根据实验资料,如地基土较干,在强夯施工前对场地土进行增湿处理。

2.2.2.4 强夯施工线路安排

强夯1号机械、2号机械(增加机械仍按此方式排列)排列采用直线排列方式。施工机械的平面移动方向:沿场地填方完成区域开始,退行施工,总体施工方向见图3。

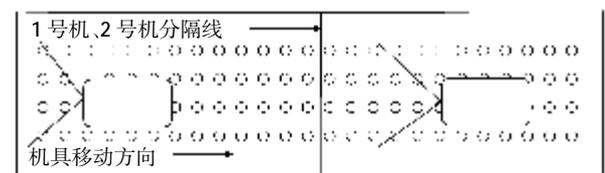


图3 强夯机械施工方向

2.2.2.5 削坡处理

强夯过程中,为保证填土边坡、围墙及散水的稳定性,按照设计填方边坡 $1:1.5$ 的放坡要求,强夯宽出围墙轴线外一定的距离,待第二次强夯结

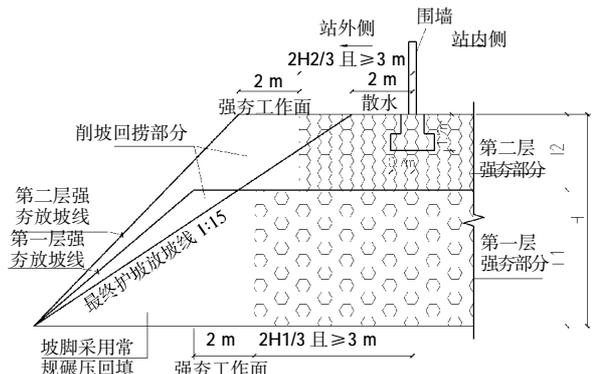


图4 强夯削坡

束,将设计边坡外多余的填土做削坡处理,回填至站内。若进行一次强夯则只进行一次放坡处理,强夯削坡示意图4。

2.2.2.6 施工质量要素控制

细分场平及强夯地基处理施工工序^[4],针对工序分别明确适用的规范标准及设计规定、质量风险分析及评估、施工项目部质量控制要点、监理部质量控制措施、业主项目部质量控制措施,编制《场平及强夯地基处理施工质量控制措施表》,全过程、全要素、全方位进行场平及强夯地基处理质量控制。对于回填厚度在2.5 m内,一层回填到位,采用2 000 kN·m主夯+1 000 kN·m满夯,主夯击数为10击,且最后二击平均夯沉量不大于50 cm;对回填厚度大于2.5 m的,分二层回填,根据不同回填厚度,分别采用6 000 kN·m主夯+2 000 kN·m满夯及2 000 kN·m主夯+1 000 kN·m满夯,主夯击数分别为13击及10击,且最后二击平均夯沉量均不大于50 cm。

(1)全过程:场平工程(土、石方工程)分解为定位及高程控制、土石方开挖及回填。定位及高程控制再细分为控制桩测设、平面控制桩、高程控制桩、原始地面高程测量等控制环节;土石方开挖及回填细分为清除地表表层植被及腐植土、开挖面层砂层、砂岩开挖、砂石混合及回填等控制环节。强夯地基处理分解为定位及高程控制、试夯/工程夯、试夯/工程夯检测;试夯/工程夯细分为试夯/工程夯能级检查、试夯/工程夯作业等控制环节;试夯/工程夯检测细分为标准贯入试验、重型动力触探、瑞利波测试、密度试验、平板载荷试验、深槽开挖、颗粒分析及含水率检测等控制环节。

(2)全要素:针对各控制环节,分别明确相应的规范标准及设计规定、质量风险分析及评估,用以指导现场人员开展质量管控。

(3)全方位:施工(检测)、监理、业主3个项目人员,深入现场,履行各自的质量责任。施工(检测)项目部是工程质量责任主体,严格按审批的施工、检测方案作业,检查、记录施工质量及有关数据;监理部认真开展旁站、质量巡检,抽查测量数据,实测分层铺填厚度、回填石块粒径、夯锤重量及落距夯、夯击次数及夯沉量等;业主项目部深入

现场抽查施工、监理部人员到岗履职情况,检查分层铺填厚度、回填石块粒径、夯击次数及夯沉量等,采集数码照片留存。

2.2.2.7 施工注意事项

(1)现场的控制桩采用半永久性水泥固桩,并设立明显标志,施工中注意保护并定期进行复核;

(2)夯点位置放样时,首先用明显标志标出夯位中心点,再洒出夯位轮廓线;

(3)为保证强夯能级,严格控制落距,锁定控制落距钢丝绳;

(4)施工中随时保证夯锤气孔的畅通,如遇堵塞,及时将塞土清除;

(5)施工中若发生夯锤偏位,必须立即调整对中;

(6)夯击后若坑底歪斜较大,及时用填料将坑底垫平后继续夯击;

(7)对每点的沉降量都进行沉降观测和记载,掌握好停锤标准,认真做好强夯记录,保证施工的可追溯性;

(8)密切注意异常现象,对夯锤反弹、地表隆起等异常现象及时报告;

(9)加强原始资料整理归档工作。

2.2.2.8 强夯在冬季施工时应采取的措施

(1)强夯冬季施工应根据所在地区的气温、冻深和施工设备性能及施工效益综合确定。

(2)当最低温度在-15℃以上、冻深在80 cm以内时,可进行点夯施工,不可进行满夯施工,但点夯的能级与击数应适当增加;气温低于-15℃时,宜停止强夯作业。

(3)冬季点夯处理的地基,满夯应在解冻后进行,满夯应考虑冻土层夯入地层中增加的深度,能级应适当增加。

(4)强夯施工完成的地基如跨年度长期不能进行基础施工,在冬季来临时,应填土覆盖进行保护,避免地基受冻害,覆盖层厚度应大于等于当地标准冻深。

2.2.2.9 夯后检测

(1)750 kV 配电装置、交流滤波场103区、换流变压器、直流场等区特征值 $f_{ak}=250$ kPa。750 kV 配电装置、交流滤波场103区、换流变压器、直流

场等区变形模量分别为 38 MPa、31 MPa、45 MPa、40 MPa。地基承载力和变形模量满足文献[5-6]要求。

(2) 回填土动探(N120)的平均击数为 24 击,下卧原粉砂层动探平均击数为 10 击。下卧原粉砂层标准贯入(N63.5)试验击数(未作杆长修正)平均 48 击,作杆长修正后平均 44 击。强夯对回填土和粉砂均产生了较好的挤密作用。

(3) 根据密度检测,750 kV 配电装置、交流滤波场 103 区、换流变压器、直流场等区强夯后回填土干密度为 2.23~2.27 g/cm³,满足文献[5-6]回填土干密度大于 2.2 g/cm³ 要求。交流滤波场 104 区由于基本上是粉砂层作为强夯处理层,其干密度为 1.82 g/cm³。

(4) 根据瑞雷波检测结果,750 kV 配电装置回填土平均横波速度 296 m/s,下卧粉砂层平均横波速度为 485 m/s;交流滤波场回填土平均横波速度 259 m/s,下卧粉砂层平均横波速度为 463 m/s;直流场回填土平均横波速度 279 m/s,下卧粉砂层平均横波速度为 444 m/s;换流变回填土平均横波速度 279 m/s,下卧粉砂层平均横波速度为 454 m/s。各区回填土平均横波波速变化不大,横波波速比较均匀,说明各区强夯处理回填土的密实度和深度较均匀。

(5) 回填土颗粒级配不均匀系数 $C_u > 5$,满足文献[5-6]要求。

(6) 本次检测采用平板载荷试验、动力触探试验、标准贯入试验、密度试验、瑞利波测试等综合手段对回填土地基的均匀性、密度、承载力和变形性能进行了评价,达到了预定的评价目的。

(7) 从本次检测各种试验结果来看,各检测参数及指标值均优于试夯检测时的参数及指标值,这说明工程强夯设计采用两层夯和增加夯击数的方法是可行和有效的。

3 效果评价

(1) 创新施工组织。工程夯参数事先不明确,按照设计要求,在进行全站强夯地基处理前,需先完成试夯,通过试夯检测,分析确定工程夯参数。

为确保工程进度,改变了以往类似工程先试夯、后场平、再工程夯的传统做法,采取分区组织试夯、场平,试夯结束检测合格后即开始强夯,实现了试夯与场平工程的适度平行作业,提高了工效,缩短了工期,±800 kV 灵州换流站场平及强夯地基处理工程,在不到两个月的时间内,顺利完成挖、填土石方约 90 万 m³,强夯地基处理约 24 万 m²,创造了新的工程建设纪录。

(2) 优化施工方法,首次在场地平过程中引入鄂式破碎机工厂化生产取代破碎锤进行石方二次破碎,避免了土石料拌合后的二次破碎,极大地提高了工效,节约了施工成本。工程初期采用破碎锤进行破碎,单台破碎锤日破碎石方量约 250 m³,工效较低,成为制约工程进度的瓶颈,同时给现场带来大块径石块直接回填的质量隐患。经调查周边碎石料场,发现采用鄂式破碎机日破碎石方达 4 000~6 000 m³,石方破碎后粒径可控(小于 300 mm),既满足了进度需要,又保证了回填石块粒径小于 300 mm 的设计要求。

(3) 全过程、全要素、全方位进行场平及强夯地基处理质量控制,编制《场平及强夯地基处理施工质量控制措施表》,细分场平及强夯地基处理施工工序,针对工序分别明确适用的规范标准及设计规定、质量风险点分析及评估、施工项目部质量控制要点、监理部质量控制措施、业主项目部质量控制措施,有效保证了工程质量。

4 结论

(1) 强夯地基处理工艺改变了以往类似工程先试夯、后场平、再工程夯的传统做法,分区组织试夯、场平,试夯结束后即开始强夯,实现了试夯与场平工程的适度平行作业,缩短了工期。

(2) 引入鄂式破碎机工厂化生产取代破碎锤进行石方二次破碎,极大提高了工效。

(3) 全过程、全要素、全方位开展场平及强夯地基处理质量控制,特别是业主项目部坚持每日深入现场,严格过程管控,召开日碰头会,建立了场平及强夯地基处理建设管理的有效工作机制,确保了工程质量。

(4) 强夯地基处理工艺在场平(下转第 64 页)