

山地复杂地形地貌下园区场地设计要点

——以福建省宁德市周宁县站前工贸园工程为例

段文康,唐文元,谢东,姚鹏飞,杨韩

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北 武汉 430010)

摘要:山地工业园建设场地地形起伏大、地质情况复杂,在此自然地形背景下园区场地常采用台阶式布置方案,并利用厂区道路连接各级台地,由此形成了厂区内高人工边坡和自然边坡等系列设计难题,有必要对此类设计方案进行技术经验总结。鉴于此,结合福建省宁德市周宁县站前工贸园工程,总结了该地形地貌下场地总平、建筑布置、厂区道路、排水措施、高边坡支护工程等一系列关键问题设计方案,以为同类工程提供一些设计思路。

关键词:山地复杂地形;工业园区;场地设计;市政设计

中图分类号: TU990.02

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0260-06

0 引言

山区面积占比大是我国地形显著特征之一,复杂的山地地形长期制约着城市工业园区的建设发展^[1]。尤其在我国东部沿海地区,山地、丘陵交错地形占比较大,导致大部分土地不适合建设工业园区。而在经济高速发展的今天,我国土地资源越来越稀缺。为了节省城市资源,在福建等沿海地区的工业园区选址在地形复杂的山地现象已不足为奇。在这一背景下,从如何处理好山地复杂地形条件下工业园区合理规划设计出发,通过总结福建省宁德市周宁县站前工贸园项目设计经验,对项目设计特点和园区设计关键问题进行分析,所形成的关键设计问题处理经验可为同类工程设计提供借鉴。

1 复杂地形地貌下工业园区设计特点

福建省宁德市周宁县站前工贸园属于典型东南沿海山地园区,其建设地址地形复杂,高低错落,主要存在以下特点:(1)场地原始地貌复杂,工程地质条件基础较差,原始土地利用率低,多人工开挖与回填工作区,开发成本较高;(2)存在大范围填挖方,场地总体平面大多涉及台地,台地支护不可避免地牵涉到高边坡、高挡墙,是一大设计难点,处理不好会增大建设危险系数;(3)工业园区设计专业综合性强,在复杂地形地貌下各专业间相互衔接更为困难,

收稿日期:2023-03-13

作者简介:段文康(1995—),男,硕士,助理工程师,从事道路设计工作。

场地设计时较多涉及到厂区道路、标准厂房、综合管网等平面交叉与立体跨越现象^[2],需要全方面考虑,可借鉴经验少;(4)如何将现代化工业园区建设与保护改善生态环境有机结合也是另外一大难题。

2 工程概况

项目地理位置图见图1。

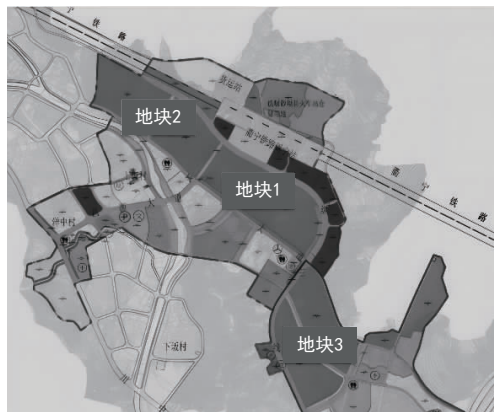


图1 项目地理位置图

周宁县站前工贸园位于衢宁铁路周宁站的西南侧,项目用地面积约为46.65万m²。以纵三线为纽带将项目用地划分为3个地块,其中地块1、地块2的红线总面积为30.83万m²,地块3的红线面积为15.82万m²。场地初始地形整体呈现出由东北向西南方向倾斜,高差起伏大。局部最大高程可达黄海169m,最小高程为黄海89.5m,最大自然高差有79.5m。由此可预见该地区进行工业园区建设时,对于场地的合理规划是关键,须进行严格竖向设计,充分利用自然高差,控制土石方工程量^[3],尽量减小开发成本。

该园区设计内容主要包括岩土工程(场地平整及边坡支护)、厂区道路、水渠涵洞、综合管网,以及标准化厂房、办公楼等建筑设计,各子项具体内容见表1。

表1 场地设计内容

设计内容	具体内容	分布区域
岩土工程	场地平整设计、场地人工及自然边坡防护设计、场内道路边坡支护设计	地块1、地块2、地块3
道路工程	有ABCDEF总计6条道路,总长6 097 m。其中道路A长2 185 m;道路B长1 418 m;道路C长679 m;道路D长1 422 m;道路E长300 m;道路F长93 m	道路ABCF连通地块1、地块2,道路DE在地块3
水渠涵洞工程	园区设置3条排水渠,水渠A长1 556 m,水渠B长355 m,水渠C长233 m;A线设置涵洞5道,孔径4.0 m×3.0 m;B线设置涵洞3道,孔径3.5 m×2.5 m;C线设置涵洞1道,孔径3.0 m×2.5 m	水渠A贯穿地块1、地块3,水渠B位于地块1、2交界处,水渠C位于地块2
综合管网工程	给水、消防(室内外消防、喷淋消防)、生活污水、雨水、电力、通信、路灯电缆9类管线,预留燃气管线管位	场地道路下方
建筑工程	标准厂房及办公楼共计54栋	地块1有18栋、地块2有14栋、地块3有22栋
其他	园区绿化、道路交通标志标线等	全部场地

由表1可见,该园区设计内容丰富,专业综合性强。本文主要从场地设计出发,具体分析园区场地平整土方设计、厂区道路设计、排水设计以及场地边坡防护设计;标准厂房等建筑物在此仅分析其总体平面布置方式,具体结构设计将不作为具体分析项目。

3 场地地质条件

项目场地位于欧亚大陆东南陆缘地带,是浙闽粤火山岩带的一部分。据实地勘察显示,拟建场地属丘陵缓坡、斜坡地貌单元,局部属山麓斜坡堆积形成的山间凹地及大陆停滞水堆积形成的沼泽地地貌单元。

据钻探显示,场地地层主要由素填土①(大部分地段有分布,层顶标高为116.38~148.92 m,揭露厚度为0.30~22.70 m)、碎块石填土①₋₁(零星分布于场地内,层顶标高为116.72~148.68 m,揭露厚度为0.80~8.50 m)、淤泥质土②(分布于场地西南角,厚度约6 m)、粉质黏土③(场地西南侧局部地段,顶板标高为109.10~120.44 m,揭露厚度为3.40~7.80 m)、泥质砾砂④(仅分布于场地东侧,顶板标高为109.95~122.11 m,揭露厚度为4.00~13.70 m)、粉质黏土

⑤₋₁、含碎石粉质黏土⑤₋₂(部分地段分布,顶板标高为108.68~149.09 m,揭露厚度为1.00~7.80 m)、残积黏性土⑥(部分地段有分布,顶板标高为112.12~145.90 m,揭露厚度为1.50~17.60 m)、全风化花岗岩⑦(场地内大部分地段,层顶标高为99.42~147.39 m,揭露厚度为1.40~34.20 m)、强风化花岗岩⑧(基本均有分布,顶板标高为83.96~133.16 m,揭露厚度为0.70~13.30 m,该层压缩性很低或基本不可压缩,力学强度高,工程性能好)、中风化花岗岩⑨(大部分区域均有分布,层顶标高为82.78~126.12 m,揭露厚度为0.70~16.30 m)等组成。

场地不良地质作用及特殊性岩土情况表现为:现场地勘结果没有发现大裂隙、采空区、岩溶空洞以及活动断裂等不良地质作用且风化岩层内不存在软弱夹层。场地内部分钻孔内见有孤石分布,应采用合适的处理措施,如采用桩基穿过。特殊性岩土为人工填土及风化岩层,人工填土堆填时间较短,未完成自重固结,密实程度极不均匀,稳定性差,设计建议施工前对上部填土进行碾压或换填。

综合现场地质勘察结果,场地上方填土层存在自身压缩沉降,下部风化岩面起伏较大,且发育有孤石等,地基稳定性较差,岩土种类多,分布很不均匀。建议上部结构刚度、整体性及基础部分均应适当加强,需要对重要结构物进行长期健康监测,无论是施工中还是施工后其沉降和倾斜都值得关注,监测结束时间应持续到被测物沉降完全稳定为止。

4 设计要点

4.1 场地平整设计

4.1.1 总体平面设计

场地自然地形特点表现为北高南低,地势起伏大,南北高差最大能达到约80 m。由于该地高程有呈阶梯状下降趋势,因此场平设计时考虑将整个场地划分为标高不一的台地,建筑物及道路布置均在台地上进行。台地间形成的高填挖人工边坡支护也成为本项目一大设计难点,值得形成经验技术总结。这一思路体现了场地设计应充分利用现状地形条件再结合现代化边坡支护手段,以最大程度减少工程填挖方量,提高土地利用率。

场地自然地形高程分布见图2;场地平整后场地高程分布见图3。

由图3可见,厂区初步设计高程呈板块状片区分布,其中又以地块2最为典型。地块2存在明显的

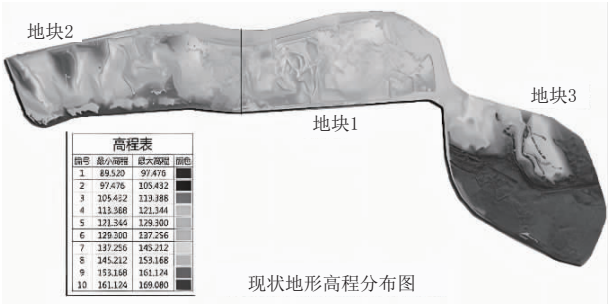


图2 场地自然地形高程分布(单位:m)

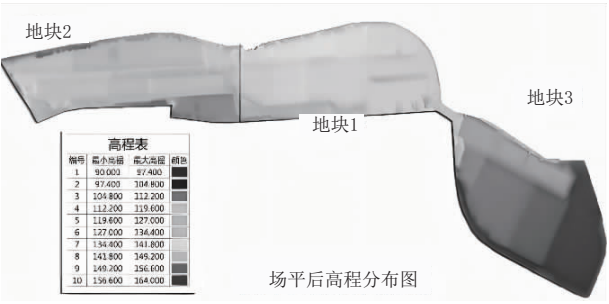


图3 场地平整后场地高程分布(单位:m)

3级台阶式高程。地块2建筑标高设计图见图4。

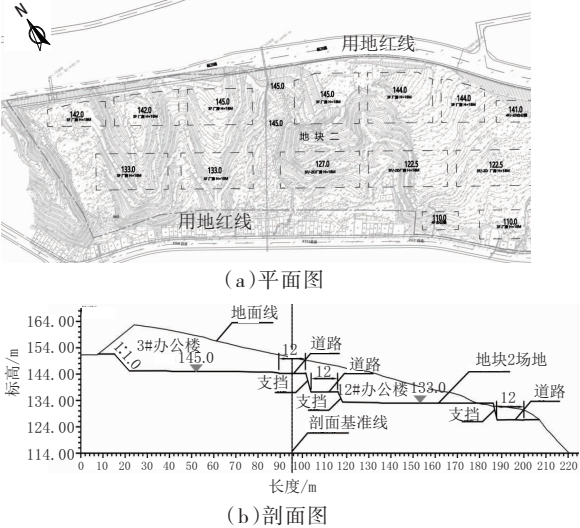


图4 地块2建筑标高设计图(单位:m)

由图4可见,地块2建筑物标高设计有3个量级:北部厂房标高均在黄海140 m以上,中间片区标高分布在122~133 m,南部2栋厂房设计标高为110 m,自上而下阶梯型分布现象明显。该构筑物布置方案是对比总平面平坡式布置方式,考虑当地自然地形条件,并结合节约土地、减少土方工程量等目的后方才选用。显然,在满足生产工艺流程前提下,

进行山区复杂地形下的工业园区设计需要综合考虑到场地总平面布置和竖向布置。场地自然坡度较大时,园区可以考虑设置成台阶式方案,台阶高差控制在3~12 m。台阶阶数不宜过多,主要考虑到台阶分级过多不利于生产运输,所伴随的支挡结构也会增多,从而增加建设难度与安全隐患。总之,具体情况应结合现场地形坡度进行具体分析。

4.1.2 土方平衡

土方填挖量不仅涉及场地布置^[4],还会关乎造价、经济等问题,因此土方计算是复杂地形下工业园区建设的一项极其重要工作。本项目中土方平衡计算采用的是网格法,计算软件采用鸿业市政计算平台。各地块土方计算结果见表2。

由表2可见,场地总体挖方量大于填方量,各地块间填挖量差距各不相同。其中地块2土方填挖量差距最大,地块1最接近平衡。由于山地地形复杂且建设场地范围大,土方平衡受限制因素多,因此只需尽量满足填挖平衡理念即可。另外,在追求土方平衡时更应关注场地人工开挖和填筑时形成的边坡,这些边坡支护方式的合理设计是影响场地安全的重要环节,必须在设计初期就予以重点关注。

4.2 厂区道路设计

4.2.1 平面设计

3块场地设计ABCDEF共6条道路,总长6 097 m。厂区道路平面位置分布见图5,其中地块1、地块2有ABCF 4条道路,道路A长度2 185 m;道路B长度1 418 m;道路C长度679 m;道路F长度93 m。地块3有DE2条道路,道路D长度1 422 m;道路E长度300 m。厂区道路设计技术参数见表3。

由于道路技术等级较低,道路线形设计以连接厂区构筑物方便交通为原则,处理方式较成熟。路线平面设计不设置缓和曲线,仅由直线和圆曲线组成。道路局部最小转弯半径15 m,园区交通按1类车辆考虑,2车道路面加宽值为2.2 m,每个车道应加宽1.1 m,单向每个车道实际宽度应大于4.6 m。这里车行道实际宽度单向为6 m,能满足弯道处车辆通行需求。由于道路中央不设置中央分隔栏杆,宽12 m路

表2 各地块土方计算结果

单位:m³

土方	地块1		地块2		地块3		总计
	场平	边坡	场平	边坡	场平	边坡	
填方	417 356	13 120	332 623	12 157	598 530	485	1 374 271
挖方	543 450	5 534	583 860	997	691 296	1 589	1 826 726

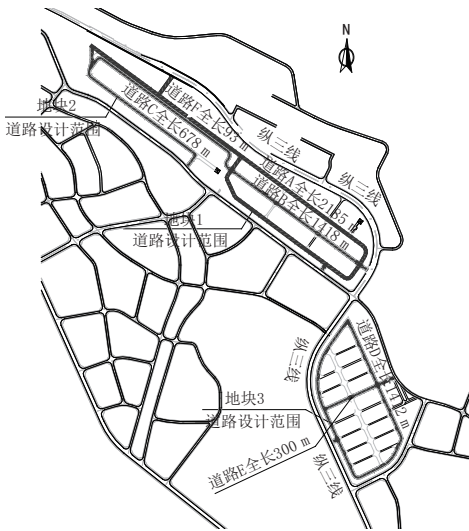


图 5 厂区道路平面位置分布

表 3 厂区道路设计技术参数

技术参数	设计要求
设计速度/(km·h ⁻¹)	15
路面类型	水泥混凝土路面
路面宽度/m	12
设计荷载	路面:标准荷载 BZZ-100;桥涵:城-B级
设计洪水频率/a	20 a 一遇
路面设计年限/a	20
路面结构	22 cm 混凝土面层+18 cm 5%水泥稳定碎石基层+15 cm 级配碎石

面也能满足大型挂车借道转弯通行,因此所有平面弯道处均不设置加宽。

4.2.2 横断面设计

与构筑物布置形式相同,大部分道路布置在阶梯型场地平台上,厂区道路典型横断面如台阶式分布(见图 6)。

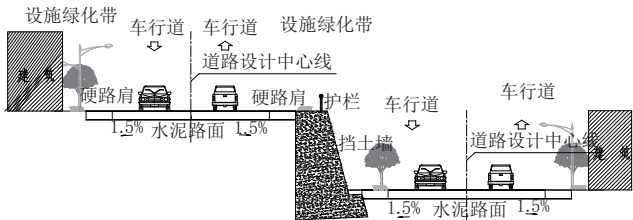


图 6 厂区道路典型横断面

不同标高层级道路间边坡防护方式多采用挡土墙或放坡结合挡墙的形式。原因是此地形下形成的高边坡使用分级放坡会占用较大建筑位置,并且挡墙对人工形成的高填方边坡支护效果更好,场地运营更安全。但挡墙建设造价更高。

4.2.3 纵断面设计

复杂地形下道路纵断面设计是一大难题,涉及

到与相邻建筑物标高衔接、地块间交通连通、路下水渠管线埋深、边坡高度、道路自身车辆行驶舒适安全性、平面交叉处理等一众复杂因素,在设计过程中需要不断尝试并进行总结论证。本设计中道路纵坡技术参数控制在 8%,平面交叉口纵坡控制在 3%以内。相关道路的纵断面标高控制见表 4。

表 4 相关道路纵断面标高控制

道路编号	起点标高/m	终点标高/m	路段最大标高/m
A	135.000	138	145.5
B	136.000	127	138.0
C	139.123	107.5	136.2
D	111.000	111	111.5
E	104.000	110	110.4
F	145.364	149.6	149.6

4.2.4 特殊路基处理方式

在进行项目地质勘察时发现场地西南角存在软基,道路施工时需对其进行处理。道路软基处理示意图见图 7。

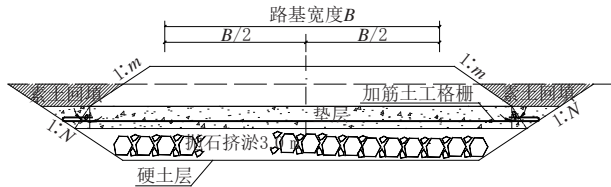


图 7 道路软基处理示意图

道路软基选择的是抛石挤淤并设置换土加筋垫层的联合处理方式。抛石挤淤深度设计 3 m,可以较好地解决深处软基问题,换土垫层则解决浅层淤泥问题,这 2 种方式施工方便且造价合理。

4.3 厂区排水设计

园区位于山地,总体地势北高南低,北侧有周宁动车站,南侧为零星的村庄及桃源溪径流。考虑到北侧客水会沿地形汇入园区,在园区设计了 3 条水渠 A、B、C 用于疏排上游洪水。水渠平面位置见图 8。水渠过流能力根据明渠均匀流公式 $Q=AC(R_i)^{1/2}$ 进行计算^[5]。

图 8 中水渠 A 长约 1 556 m(其中地块 1 内 668 m,地块 3 内 888 m)。A 段水渠沿线设置涵洞 5 道,孔径为 4 m×3 m,总长 707 m,最大过流能力为 47.2 m³/s。水渠 B 长约 355 m,沿线设置涵洞 3 道,孔径为 3.5 m×2.5 m,总长 226 m,最大过流能力为 42.4 m³/s。水渠 C 长约 233 m,设置涵洞 1 道,孔径为 3.0 m×2.5 m,最大过流能力为 36.4 m³/s。

市政排水方面,园区排水体制为雨污分流制,道

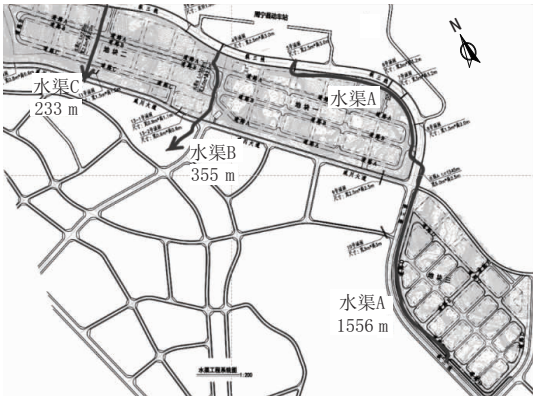


图8 水渠平面位置

路下方设置2条排水管道,分别是雨水管道和生活污水管道。暴雨强度公式参考周宁县公式 $q=1\,582.392\times(1+0.898\times\lg P)/(t+7.4)^{0.681}(L/s\cdot\text{hm}^2)$ 。设计范围属于工业园区且为汇水下游通道,设计重现期采用3 a,地面集水时间采用10 min,道路地面径流系数采用0.9,园区综合径流系数采用0.7。雨水管道采用沿道路中心线布置,沿路缘石两侧布置偏算式雨水口,并顺道路坡度分段接入排水渠或市政雨水管道。

值得强调的是,所设计的污水管道仅允许接纳生活污水,项目范围内不包括工业废水管系统,仅在园区绿化带下预留工业废水管位,工业废水排放应根据后期入驻企业废水性质单独处理排放。污水管道采用单侧布管方式,污水管敷设于园区道路车行道下,管径为DN300,园区污水管道接咸川大道市政污水管道,最终排入工业园规划污水处理厂统一处理排放。

雨污支管预留方面应根据道路两侧地块的使用需求和路网规划布置预留管,预留管最大间距120 m。园区其余建设工程如边坡、挡墙等排水系统(截水沟、排水沟、边沟)收集水后须接入水渠管涵或市政排水管道以完成场地整体排水。

4.4 厂区边坡防护设计

山区复杂地形下形成的高边坡支护工程^[6]一直是山地建筑一项技术难点。结合项目场地自然坡度大的特点,构筑物采用阶梯型布置方式,利用厂区道路连接各级台地。为了尽可能减小台地间设计标高差,保证厂区道路运输安全性,天然场地经填挖改造后形成了许多人工边坡和自然边坡。这些边坡大部分坡顶及坡脚位置均为拟建道路和建筑物,高差大,边坡安全等级属于一级边坡。山地建设用地宝贵,在支护空间上要求不能占用过多场地建设用地,可见对支护设计要求更高。

由于场地边坡数量较多,这里仅对地块1的边坡支护方式进行详细介绍,以期为同类工程提供设计经验。

地块1边坡平面位置见图9。

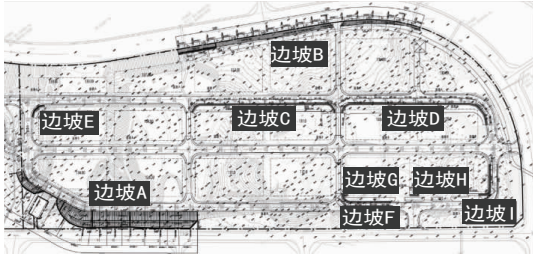


图9 地块1边坡平面位置

地块1总共对9段边坡进行特殊设计,总长约1 182 m。地块1各段边坡支护结构建设概况见表5。

表5 地块1各段边坡支护结构建设概况

名称	最大高度/m	边坡长度/m	支护措施说明
边坡A	24.18	250	采用重力式、衡重式挡墙,桩基、预应力锚索、拱形骨架护坡结合支护
边坡B	10.9	326	采用框架梁、预应力锚索、排桩、喷射混凝土、全黏结锚杆结合支护
边坡C	5.8	202	重力式挡墙,基底采用高压旋喷桩基础
边坡D	7.2	216	重力式挡墙,基底采用高压旋喷桩基础
边坡E	4.3	23.5	重力式挡墙,基底采用高压旋喷桩基础
边坡F	4.3	70	重力式挡墙
边坡G	3.1	4.1	衡重式挡墙
边坡H	7.8	2	衡重式挡墙,基底采用高压旋喷桩基础
边坡I	6.6	54	衡重式挡墙,基底采用高压旋喷桩基础

复杂地形下高边坡支护方式多样化,即使是相近支护高度也会由于基底土层状况不同而采用不同的支护方式。边坡A的K0+000~K0+180段、K0+180~K0+225段、K0+225~K0+250段为典型高填方边坡区域,最大填高约17~24 m,道路边坡基本支护方式均为2级分级填方放坡、坡脚挡墙。第1阶挡墙背后采用片块石回填,第2阶以上填方区域设置排水层,坡面采用拱形骨架护坡。但由于基底土层情况差异,挡墙基底采用了不同处理方式。K0+000~K0+180段考虑到基底残积土遇水容易软化,坡脚挡墙采用桩基挡墙+预应力锚索支护形式;K0+180~K0+225段基底土质为素填土,坡脚重力式挡墙基底设置高压旋喷桩加固基底填土层,挡墙正下方高压旋喷桩桩长不小于5 m,进入全风化花岗岩层不小于1 m,复合地基承载力不小于250 kPa;K0+225~K0+250段基底为中风化花岗岩,坡脚重力式挡墙基底不做特

殊处理,直接使用天然地基。

同样高挖方边坡支护的具体形式也大多与现场实际地质情况有关。例如边坡 B 中 K0+000~K0+050 段最大开挖高度约 10.9 m,开挖范围土层为现有道路(纵三线)路基填土层,第 1 阶边坡采用排桩+锚索支护形式,第 2 阶采用放坡+全黏结锚杆支护形式;K0+050~K0+290.5 段最大开挖高度约 11 m,开挖范围土层以残积黏性土为主,采用框架梁+预应力锚索支护形式。边坡 CDHI 的支护高度为 3~7.8 m,采用重力式挡墙或衡重式挡墙支护形式,结合地质条件,对存在地基软弱部位采用高压旋喷桩进行地基处理,其余部位采用天然地基。

可以发现复杂地形下高边坡支护工程设计情况多样,不能生搬硬套某种形式,需综合考虑构筑物布置方式、地质现状条件、场地空间利用率、坡面防护与景观融合度等综合因素,配合锚杆、预应力锚索来有效提升支挡结构的受力安全性。

边坡排泄水方面则是统一在边坡顶、坡脚以及边坡平台处设置截排水沟。截水沟断面根据上游汇水面积按 50 a 一遇暴雨计算,边坡排水系统最终应接入场地市政排水管道。

本项目边坡设计采用动态设计方法^[7],即对现场施工实际地质情况以及应力、应变信息进行实时监测,一旦在建设过程中发现安全隐患须立即组织专家论证修改支护方案。据现场实际监测结果反馈,边坡支护效果良好,能够达到设计目的。

5 结 语

(1)场地自然坡度较大时,构筑物及厂区道路布

置形式须充分结合地形自然条件。在满足生产工艺流程前提下,园区可以考虑设置成台阶式方案,台阶高差控制在 3~12 m,台阶级数可根据实际情况设置,从而达到节约土地的目的。

(2)厂区道路路网规划应加强地貌分析,尤其是纵断面设计更应因地制宜。纵断面标高须考虑与相邻建筑物标高衔接、地块间交通运输、路下水渠管线埋深、边坡高度、车辆行驶舒适安全性、平面交叉等一众复杂因素。

(3)场地综合排水方面可采用水渠、涵洞、管网结合方式,市政排水采用雨污分流制,园内工业废水应根据实际入驻企业生产废水性质单独排放。

(4)复杂地形下高边坡支护工程须综合考虑构筑物布置方式、地质现状条件、场地空间利用率、坡面防护与景观融合度等综合因素,配合锚杆、预应力锚索来有效提升支挡结构受力安全性。

参考文献:

- [1] 王志军. 复杂地形化工园区控制性详细规划中路网及竖向规划研究[J]. 化学工业, 2019, 37(2): 49-54.
- [2] 刘耀龙. 复杂山区市政水厂设计中关键问题处理探讨[J]. 工程技术研究, 2020(3): 238-239.
- [3] 孔丹. 复杂地形条件下工业园规划中的土石方平衡优化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [4] 刘旭起, 宗园, 常有. 山区复杂环境下大面积土石方回填工程场平设计及施工控制[J]. 创新科技, 2013(4): 82.
- [5] 赵延凤, 张宽地, 芦琴. 矩形断面明渠均匀流水力计算的直接计算公式[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008(36): 224-228.
- [6] 李新旺, 甘鹏山, 李国昌, 等. 山区复杂地形条件下高填方边坡稳定性分析[J]. 路基工程, 2015(5): 32-37.
- [7] 程强, 黄绍槟, 周永江. 公路深挖路堑边坡工程施工监测与动态设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1335-1341.

(上接第 252 页)

术,三维激光扫描技术在数据采集、处理等方面具有更高效、快速、精确、简单等优势,能更加准确的测出河塘清淤回填的工程量。

4 结 语

以常泰大桥接线 CT-CZ2 标项目河塘清淤工程量计算为研究背景,对激光点云技术的应用进行了研究,为河塘清淤工程量计算,提出了快速、优质、准确的技术支撑,也对相关的工程的量测提出一定的借鉴,可供于施工人员参考。

参考文献:

- [1] 中设设计集团股份有限公司. 常泰长江大桥南北公路接线工程 CT-CZ-2 施工标段施工图[Z]. 南京: 中设设计集团股份有限公司. 2020.
- [2] 王臣. 土方工程中测量技术应用[J]. 工程技术与应用, 2017(8): 63, 70.
- [3] 刘斌, 黄承亮. 三维激光扫描技术在土方测量中的应用研究[J]. 城市勘察, 2012(2): 123-125.
- [4] 苏春燕, 隋立春. 基于三维激光扫描技术的土方量快速测量[J]. 测绘技术装备, 2014, 16(2): 49-52.
- [5] 张荣华, 李俊峰, 林昀. 三维激光扫描技术在土方量算中的应用研究[J]. 测绘地理信息, 2014, 39(6): 47-49.