

# 某高边坡垂直支挡桩设计与工程应用

鲍谷雨

(马钢股份有限公司设计院 ,243000)

[摘 要] 目前 ,对高差大的垂直悬臂大断面支挡桩在国内高层建筑深基坑、大型高耸构筑物基础中被广泛应用 ;本文结合某一工程的特点和地基特点 ,对大断面高边坡支挡桩的设计和计算作一点介绍。

[关键词] 大断面高边坡 ;支挡桩 ;支挡桩设计 ;垂直悬壁

## THE DESIGN AND CONSTRUCTION PRACTICES OF VERTICALLY CANTILEVERED SUPPORT PILES

BAO Gu-yu

### 1 前言

某钢铁公司新建 2 # 高炉并对原有系统改造 ,由于受现场场地条件的限制 ,为满足工艺技术要求 ,节约建设资金 ,需对高达 20m 左右的山麓斜坡挖去并进行垂直悬臂支挡 ,其上建 2 # 高炉储矿槽 (见图 1)。

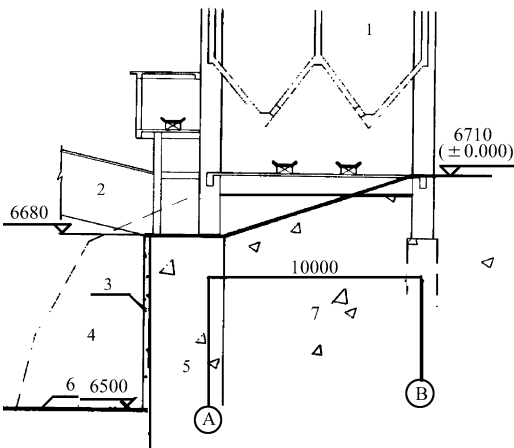


图 1 地质剖面

1—以上为 18m 高炉储矿槽 ;2—高炉上料通廊 ;3—封板 ;4—挖去斜坡 ;5—拟建支挡板

### 2 工程地质条件

#### 2.1 地质剖面图 (见图 2)

#### 2.2 地质特征 (节选)

杂填土层 :含碎石 ,天然重度  $\gamma = 20.3 \sim 20.5 \text{ kN/m}^3$ 。

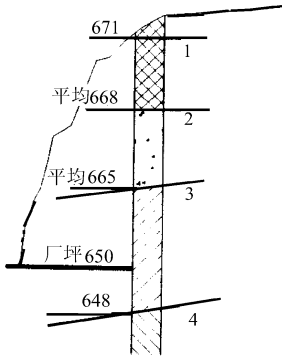


图 2 地质剖面

1—杂填土 ,近期堆积 ,含大量碎石 ;2—碎石 ,主要由千枚岩组成 ,充填 30 %左右的粘土和角砾 ,稍密 ;3—千枚岩 ,浅灰深灰色 ,稍密结构 ,千枚状构造 ,裂隙发育 ,岩芯破碎 ,岩质软 ,强风化 ,倾向 60° ,倾向 200° ;4—千枚岩构造 ,呈灰黑色 ,细晶变晶结构 ,岩石基本完整 ,明显呈千枚岩结构 ,中等风化 ,未揭露

强风化层 :风化深度平均标高 648.0m 及以上部分 ,天然重度  $\gamma = 21 \sim 23 \text{ kN/m}^3$  ,内聚力  $c = 5 \sim 10 \text{ kPa}$  ,内摩擦角  $\phi = 35 \sim 38^\circ$ 。

中等风化层 :平均标高 648.0m 以下 ,天然重度  $\gamma = 25 \sim 30 \text{ kN/m}^3$  ,烘干状态下极限抗压强度介于  $100 \sim 110 \text{ MPa}$  ,饱和状态极限抗压强度  $8.7 \text{ MPa}$  ,内聚力  $c = 24 \text{ kPa}$  ,摩擦角  $\phi = 35^\circ$ 。

从技术钻孔看 ,除表层潜水外 ,无地下水。

岩土承载力标准值  $f_k$  建议值 :

千枚岩 : $\frac{\text{强风化}}{\text{中等风化}} \frac{300}{900} \text{ kPa}$

桩端承载力标准值  $f$  建议值 :

千枚岩 : $\frac{\text{强风化}}{\text{中等风化}} \frac{3000}{5000} \text{ kPa}$

拟建场区地震基本烈度为 6°。

#### 2.3 据地质报告描述

强风化层千枚岩裂隙发育 ,岩芯破碎 ,岩质软 ,倾向 60° ,倾向 200° ,大致与厂房纵列线成 45° 角。

收稿日期 :2000 - 11 - 20

3 方案确定

根据工程地质条件,在高差 20m 左右的斜坡进行垂直悬臂支挡,一般支挡建筑物完全没有能力抵抗这样高的土体土侧压力,满足结构的抗倾覆、抗滑移要求。经过多方案比较,在使结构最大限度地发挥抗载能力的基础上,采用大断面挖孔灌注垂直悬臂支挡桩可以满足要求,且施工安全可靠,无须大型机械,造价低。采用挖孔灌注桩,便于对地基的地质情况、岩石的风化程度和风化深度、裂隙走向做出正确地判断;便于现场进行地基承载力的原位载荷试验,准确确定地基和桩端承载力;便于与《地质报告》做对照,检查结构计算的准确性和可靠性。

4 支挡桩的设计

根据结构试算和 B 列线桩埋置深度要求(在此不作讨论),挖孔灌注垂直悬臂支挡桩桩顶标高定在标高 668.0m 处,外露长度  $l = 668 - 650 = 18.0\text{m}$ 。

4.1 确定桩的计算简图

对本工程桩基计算简图可有以下三种:

4.1.1 按空间横梁支撑排桩计算(见图 3)

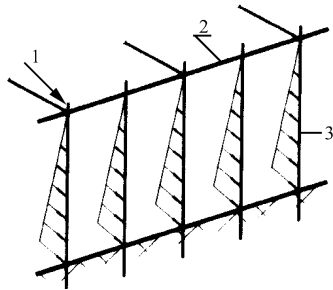


图 3 空间横梁支撑排桩计算简图

1—连梁连于 B 列线桩;2—桩顶横梁;3—支挡桩

按空间横梁支撑排桩计算,作为桩顶横梁支座的 B 列线桩如不是绝对刚性,难以保证各支挡桩顶的变形一致。微小的差值,引起上部结构的很大内应力,这是上部结构不能容许的。如每个桩顶均作为支座处理,其结构计算模型相当于按平面单排桩柱计算。

4.1.2 按平面单排桩柱计算(见图 4)

按平面单排桩柱计算,考虑前后桩的协同,前后桩顶连梁刚度必须保证足够大,如果连梁刚度取支挡桩刚度的五倍,依据支挡桩柱 18m 高,初步估算连梁断面高度达 4m;同时增加后桩(B 列桩)的处理难度和施工难度,破坏山体地基。如在前后桩顶设一般连系梁,其高度取前后桩中心距的  $1/10 \sim 1/15$ <sup>[1]</sup>,能够调整前后桩顶的外倾水平位移一致,上部结构亦所容许,但其刚度较小,对各桩内力的计算

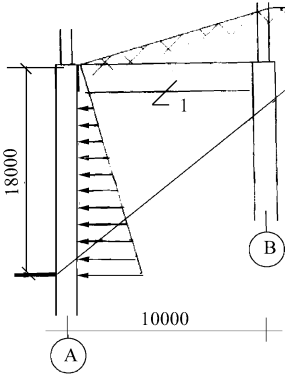


图 4 平面单排桩柱计算简图

相当于各自独立。鉴于工程的具体特点,还有相当一部分桩仅作为高边坡垂直支挡,考虑对结构的有利因素,最终确定支挡桩按垂直独立悬臂支挡桩计算。

4.1.3 按垂直独立悬臂支挡桩计算。

对于以水平荷载为主的桩基计算,有关桩基《规范》<sup>[1]</sup>《规程》<sup>[2]</sup>和《公路桥涵地基基础设计规范》(JTJ024-85)已有推荐(主要为 m 法)。由于场地干枚岩被裂隙切割成碎块状,不易取样试验,依据经验确定中等风化干枚岩在烘干状态和饱和状态下的极限抗压强度分别为  $100 \sim 110\text{MPa}$  和  $8.7\text{MPa}$ 。离散性大,据此查阅有关《规范》和《规程》均很难确定基岩地基的水平抗力(比例)系数 m 值;另根据工程地质资料,厂坪标高 650.0m,拟设桩位处桩的入土上部 2m 为强风化岩土,2m 以下为嵌入中等风化岩,若按 m 法,桩入土深度  $h = 2.0\text{m}$ ,  $h < 2.5$ (为土中基础变形系数),应为刚性基础(见 m 法内容),则与实际不符。

鉴于工程特点,根据《规范》<sup>[3]</sup>除强风化的情况外,岩石地基不进行深度承载力修正,地基承载力标准值即设计值。桩端置于中等风化干枚岩中,其桩的计算可参阅文献[4],挖桩的外力按图 5 确定:

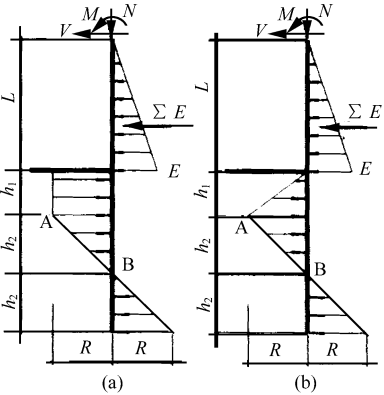


图 5 挖桩的外力荷载

a—石中挖桩;b—土中挖桩

挖桩的外露段的土压力按一般挡土墙土侧压力计算。图 5 中  $h_1$  按 A 点以上水平力之和为零的条件确定; $h_2$  按对 B 点的弯矩之和为零的条件确定。A 点的弯矩最大,挖桩的受力钢筋根据 A 点的弯矩计

算。 $l$ —支挡桩外露段高度; $M$ 、 $N$ 、 $V$ —作用于桩顶外荷载; $E$ —作用于桩上土侧压力; $E$ —作用于桩上总土侧压力; $R=6f$ —地基的容许侧压力; $f$ —地基的容许承载力;桩的埋深  $H=h_1+2h_2$ 。

#### 4.2 桩断面确定

参见文献[5],断面高度  $h=1.2l/6=3.6\text{m}$ ,  $h=3.5\text{m}$ ,断面宽度  $b=2.0\text{m}$ 。支挡桩平面布置见图6。

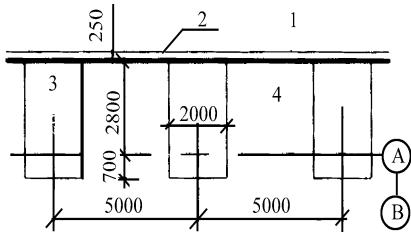


图6 平面布置

1—厂坪侧;2—封板;3—支挡桩;4—山体侧

#### 4.3 荷载取值

4.3.1 上部结构传至支挡桩的荷载设计值(取对支挡桩最不利两组荷载)(见图7)

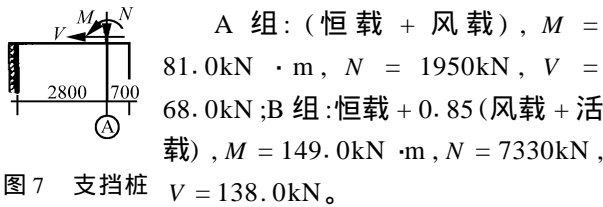


图7 支挡桩的荷载设计值

#### 4.3.2 土压力

按库伦土压力原理计算 18m 高支挡桩主动土侧压力的可行条件(库伦土压力原理假设条件):

a) 桩要有足够的刚度。

b) 挡土墙后的土体土质上下面应均匀,填土是理想的散体(无粘性土)。

对于 a) 条,桩的断面高度  $h$  按悬臂刚性梁不需作挠度验算  $h=1.2l/6$  给予保证。对于 b) 条,从地质剖面图看,移去支挡桩后表层杂填土层后各层土质几乎接近,主要为深厚的强风化的千枚岩土,土层均匀一致,可按散粒体考虑。关于填土内聚力的问题,对建造永久性支挡结构,不计其粘着力  $c$  的影响是有利的,且其填土本身的内聚力并不大。

#### 4.3.3 库伦主动土侧压力

墙高  $l=18\text{m}$ ,墙背倾角  $=0^\circ$ ,填土倾角  $=17^\circ$ ,平均密度  $=22\text{kN/m}^3$ ,摩擦角  $\phi=35^\circ$ ,按《规范》<sup>[3]</sup>,填土与墙背的摩擦角  $= (1/3 - 1/2)\phi$ ,取  $=15^\circ$ ,查表  $K_a=0.3$ ,主动土侧压力  $E=1/2(l^2 K_a)=1070.0\text{kN/m}$ 。作用在每根支挡桩上的

总土侧压力:  $=5350\text{kN}$ 。作用位置距墙底  $4l/9=8.0\text{m}$ (详见文献[6]),与水平方向成  $15^\circ$  角。

#### 4.3.4 静止土侧压力

$K_0=1-\sin\phi=0.426$ ,静止土侧压力  $E_0=1/2(l^2 K_0)=1518.0\text{kN/m}$ 。作用在每根支挡桩上的总静止土侧压力:  $E_0=7591\text{kN}$ 。作用位置距墙底  $l/3=6.0\text{m}$ ,方向水平。

#### 4.4 荷载组合

挖孔灌注垂直悬臂支挡桩施工完毕,挖去支挡桩前山体斜坡,平整厂坪至标高 650.0m。上部矿槽结构还未施工,按支挡桩上仅作用库伦主动土侧压力考虑。

上部矿槽结构施工时和投入使用后,按支挡桩上作用静止土侧压力和上部结构传至的荷载考虑(这时假定支挡桩静止,不产生水平位移)。

#### 4.5 支挡桩计算

桩的具体计算简图见图8,

图中各符号意义同图5。桩的嵌固段上 2m 强风化土层地基侧压力按三角形分布,其强度  $R=6f=1800\text{kN/m}^2$ ;以下部分按石中挖桩确定地基侧压力分布,其强度  $R=6f=5400\text{kN/m}^2$ 。分别按上述两种情况三种荷载组合(桩上仅作用主动土侧压力;上部荷载 A 组 + 静止土侧压力;上部荷载 B 组 + 静止土侧压力)列表计算(计算过程从略),比较各计算结果得:桩的埋深  $H=2+h_1+$

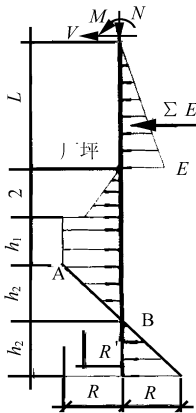


图8 计算简图

$2h_2=9.0\text{m}$ ,最大控制截面弯矩  $M_{Amax}=58495.0\text{kN}$

$\cdot\text{m}$ (对应于上部荷载 B 组 + 静止土侧压力)。另根据《规范》公式(1-1)验算桩端承载力均满足要求。公式:

$$f = \frac{N+C}{A} \pm \frac{M_0}{W_0} \quad (1-1)$$

$N$ —桩所受垂直荷载, $G$ —桩的自重, $A$ —桩端截面面积, $M_0$ —桩端面截面弯矩, $W_0$ —桩端面截面抗弯抵抗矩

#### 4.6 配筋

考虑最大弯矩值很大,按受弯构件计算。

考虑桩上部结构柱脚内力弯矩正负,按双筋截面配筋。选用混凝土 C20,主筋用 P43 钢轨。根据钢混协同,取钢轨最大许用应力  $f_y=400\text{N/m}^3$ 。计算结果配筋见图9。(下转第 23 页)

梁-柱连接节点产生上述的三种破坏,往往在通过计算后,采取增加柱翼缘或腹板厚度或设加劲肋的办法解决。

但是随着材料厚度的增加,钢材由于轧制时压缩比小,其强度、冲击韧性和焊接性能都较差,且易产生三向残余应力。同时厚钢板的含碳量通常较高,延性降低。而延性对于塑性设计和抗震设计中的弯矩重分配是很重要的。另外,材料厚度和焊缝厚度之间一般存在某种比例关系,焊缝的断面越大,收缩也必然越多。若由于收缩产生的应变因连接的几何特征而被局限在局部范围,则可能超过被连接件达到屈服点时通常出现的应变值。若被连接件较薄或者能自由转动,应变会因构件变形而减小。若厚板的出平面刚度很大不能转动时,局部收缩应变就可能变得很大,并可能引起层裂。因此,我们必须考虑出现层裂时对节点性能的影响。

加劲肋的设置,会引起约束。在某些连接构造中,由于较高的局部约束,可能导致破裂,很多人认为加劲肋提供了较安全的连接,实际上却产生很多问题。加劲肋常常放在两翼缘之间的腹板范围,容

易引起很高的残余应力。这种情况实际上能引起翼缘层裂,因为这些应力作用于板厚方向。

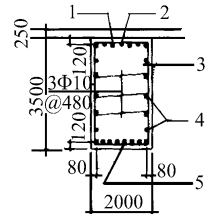
### 3 结 语

为使梁-柱连接节点既能满足强度设计要求,同时又能避免因采用厚板或设置加劲肋而引起的层裂,建议:(1)连接构造上,要避免使焊缝收缩引起的应变集中在局部地方,就是使翼缘焊缝的收缩应变分散开的构造方法。如用高强螺栓连接腹板可使翼缘焊缝的收缩应力释放掉;在全焊接连接中,翼缘焊缝焊完后再焊腹板,可避免较高的收缩应力,这样引起层裂的机会就较少;(2)在满足承载要求的前提下,尽量减少焊缝的数量和尺寸。一般采用设计所需要的焊缝尺寸,不宜任意加多或加大;(3)计算时不需要的加劲肋不要随意设置。按计算需要的加劲肋,所用焊缝满足计算要求即可,不要任意加大。

### 参考文献

- 1 邱国栋. 高层建筑钢结构节点连接的抗震设计. 建筑结构, 1993, 12
- 2 王国周, 瞿 谦. 钢结构——原理与设计. 北京: 清华大学出版社
- 3 GB 17-88 钢结构设计规范

(上接第 18 页)



### 5 几点说明

对支挡桩材料本身的弹性变形产生的桩顶水平位移, 桩断面高度取其悬臂段  $l = 1.2l/6$ , 无需作挠度验算, 见文献[5]。

对上部框架结构, 以控制基础的相对沉降为主, 结构对基础一致性的水平位移相对敏感程度要弱, 解决支挡桩嵌固段在厂坪地面处的水平位移和转角所引起的桩顶水平位移靠设在支

图 9 配筋

1—4 根 P43 轨; 2—一致性的水平位移相对敏感程度要弱, 解决支挡桩嵌固段在厂坪地面处的水平位移和转角所引起的桩顶水平位移靠设在支

挡桩顶部和 B 列桩顶的纵横连系梁来实现。

### 6 施工要求

1) 应先移去桩顶以上部分土体, 施工支挡桩, 施工结束后, 再移去桩前部分山体, 并同时浇灌桩间的封板混凝土。

2) 桩施工时, 应严格按照现行规范, 借鉴铁道部门经验, 采用混凝土护壁, 护壁上预留与封板连接钢筋, 桩口采用钢筋混凝土锁口。

3) 严格控制放药量, 只允许放小炮。

4) 桩的混凝土必须连续浇灌, 绝对不可出现断桩事故。

5) 挖桩采用隔一挖一的间隔开挖方式。

6) 支挡桩上部结构施工与支挡桩施工结束应有一定的时间间隔。

7) 厂坪表面用 C30 混凝土硬化。

### 7 结 语

本工程于 1995 年底竣工投产, 至今已委托甲方定期对支挡桩顶进行两次引测, 没有发现桩顶有微小位移现象。

本工程施工期间, 在现场进行的原位试验, 强风化岩土承载力达 400kPa, 中等风化岩土承载力达 1400kPa, 对岩层风化程度、风化深度和倾角走向进行现场复核, 与《地质报告》基本吻合。

随着近几年国内高强度混凝土的应用和热轧 H 型钢的问世, 应用在如本工程大断面高边坡垂直支挡桩上, 能取得很好的经济效果。

### 参考文献

- 1 建筑桩基基础规范 JGJ 94-94
- 2 工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程 JGJ 4-80
- 3 建筑地基基础设计规范, GB 7-89
- 4 重庆钢铁设计院编. 土建结构设计手册
- 5 北京钢铁设计研究总院, 华北矿建设计研究院主编. 钢筋混凝土结构构造手册
- 6 王渭漳, 吴亚中等. 墙背土压力分布计算的新理论及其工程应用