

顶管工程的设计与施工

何佩秋

(北京市市政工程设计研究总院 100045)

(Beijing General Municipal Engineering Design and Research Institute)

摘要 结合工程实例, 阐述顶管工程设计和计算的基本内容以及施工中应注意的一些问题。

关键词 顶管 设计 施工

一、顶管工程的现状

目前我国顶管工程的设计与施工搞了很多, 顶管管径之大, 顶进长度之长均具世界领先水平。如上海市某水厂过江顶管工程: 钢管, 管道直径 $< 3.0\text{m}$, 单向一次顶进长度 1120m , 居世界第一。上海市奉贤开发区污水排海顶管工程: 钢筋砼管, 管径 $< 1.6\text{m}$, 一次顶进长度 1511m , 创顶管单向一次顶进长度世界首位。北京某排污水干管工程, 穿越京包铁路, 干管管线为双排 $< 3.0\text{m}$ 钢筋砼管, 两管间净距 710m , 顶管顶进长度 70m 多。这些顶管工程(含隧道法施工), 工程规模较大, 技术难度较高, 在同行业中水平领先。在给排水工程、煤气热力工程、电信电缆工程采用顶管施工的也很多, 应用较普遍。

二、顶管工程设计

顶管工程设计主要包括: 卸荷拱法(隧道施工法)和无卸荷拱法。

11卸荷拱法(隧道施工法, 即普罗托基亚卡诺夫理论), 在原状土中顶管, 覆土作用在管道上的垂直土荷载, 仅计算土层内形成的、自然卸荷拱以下高为 h_1 塌落区内的土荷载, 同时根据合理拱轴理论, 卸荷拱上界面应自然形成抛物线:

$$y = \frac{h_1}{a_1^2} X^2 \quad (1)$$

卸荷拱的高度 h_1 按下式计算:

$$h_1 = a_1 \alpha f_k$$

式中 f_k —土壤的坚实系数;

a_1 —意义见图1所示,

$$a_1 = \frac{D_0}{2} [1 + \tan(45^\circ - \frac{\alpha}{2})];$$

D_0 —顶管(或坑道)的直径(m);

α —土壤的内摩擦角。

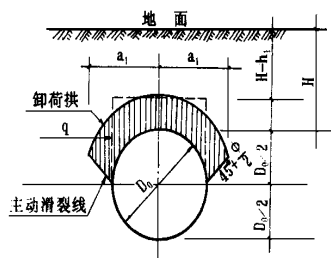


图1

当按卸荷拱计算土荷载时, 要求满足 $f_k \geq 0.6$ 和管顶覆土深度 $H \geq 2h_1$ 。当有实践经验时, H 可适当减小, 但不小于 $1.13h_1$ 。此时

作用在管道上的垂直土荷载可按管顶以上 h_1 高的土柱计算, 且不考虑地面活荷载的影响, 管顶总的垂直土荷载按下式计算:

$$G_y = r_s h_1 D_0 \quad (2)$$

式中 r_s —土的单位容重(kN/m^3);

D_0 —管道外直径(m)。

21按无卸荷拱法

当顶管工程不能满足 $f_k \geq 0.6$ (土壤的坚实系数) 和 $H \geq 2h_1$ 时, 应按管顶以上全部覆土计算土柱的压力, 管顶垂直土荷载计算式:

$$G_y = r_s H D_0 \quad (4)$$

顶管在砂、卵石、砂卵石等土层中,或穿越河底软土层,无法形成卸荷拱时,管顶垂直土荷载同样按(4)式计算。

31管道顶进过程中,千斤顶的顶力,需要克服周边摩擦力、贯入阻力。同时还不断受各种外界因素影响:如纠偏、后背的位移等,为此,管子周边受力状况经常处于不断变化中,经过长期工程实践,总结得出顶管顶推力的计算式为:

$$F = k[f(2G_y + 2G_x + G_p)L + RA] \quad (5)$$

式中 F —计算总顶力(kN);

G_y —单位长度管上垂直土压力(kN/m);

G_x —单位长度管侧水平土压力(kN/m);

G_p —单位长度管子自重(kg/m);

f —管壁与土壤间的摩擦系数;

R —管前刃脚的阻力(kN/m²);

A —刃脚正面积(m²);

K —安全系数,一般可取1.2。

41近年来实际顶管工程设计中,顶管顶力计算,多采用下列简单的经验公式:

$$F = n G_p L \quad (6)$$

式中 L —管长(m);

n —土质系数。

不同地层,土质不同, n 取值不一。北京地区根据多年工程实践经验总结,并结合北京市水泥管厂生产的普通砼管产品情况,顶管工程设计顶力计算按公式(6),当为粘土、亚粘土及含水量较小的亚砂土 $n = 1.15 \sim 2$,当为密实的砂土或含水量较大的亚砂土 $n = 3 \sim 4$ 。笔者经历的几个顶管工程:钢筋砼管,管径 $\leq 1.05 \sim 3.0$ m,顶管长75m~110m,按公式(6)计算顶力,其中土质系数 n ,多数取用3~4。顶管施工中均采取排水措施,降低地下水位,顶管顶进均比较顺利(碰上孤石、障碍物除外)。且顶管工程施工质量都满足设计要求:顶管偏斜误差、顶管施工坡降误差均小

于规范要求值。顶管顶力计算按公式(6),概念明确,简单方便,受到普遍欢迎。顶力计算结果,偏安全。

三、顶管施工中的一些问题

顶管工程施工包括:顶坑后背墙设计、管前挖土、注入触变泥浆、顶管顶进等工序,这些工序的各种工艺都已趋于成熟和规范,已总结出一套完整的经验和实施办法,在此就不再赘述,下面以一些实例来说明顶管施工中的一些问题。

当顶管处于地下水位以下,应首先降低地下水位。因地下水位高时,可能产生流砂、如粉砂、细砂等。水位应降低至顶坑坑底以下0.15~0.10m,并尽量避免雨季施工。当顶管以上土层为饱和水土层时,不能形成卸荷拱,不能按普罗托基亚卡诺夫理论计算顶管顶力。

施工排水方案的确定与土层渗透系数、地下水贮量、降水井点布设及抽水设备等诸多因素有关。

渗透系数,对一般中小型工程,可参照相似工程经验值取用。但对大型工程,重要工程应做抽水实验,科学取用。北京某污水干管工程,钢筋砼管 ≤ 3.0 m(双排管),穿越京包铁路,地下水位高于顶管(污水干管)顶面0.18m,且在顶管管身处有一粘土隔水层,将地下水分为上下2层。为了不影响铁路路基,要求在距铁路路基两侧坡角30m的范围内不能打管井降水(防止影响坡角稳定),施工中采用在铁路两侧坡角以外70m处,用竖向管井降水,数量为坡角两侧各9根 ≤ 400 mm管井,每个管井深15m,呈梅花形布置。采用砂桩将粘土层穿透,使上层滞水降至下层,再用管井潜水泵将下层水抽走,保障了顶管施工在干槽条件下进行。

又如北京某污水截流工程,其中有一段顶管,管径 ≤ 1.05 m,顶进长度75m,顶管覆土深4.15~5.0m,顶管管顶以上为亚粘土,管底以下为砂砾石层,地下水位在管顶以上。因工

(下转第21页)

$$m = \left(400 - \frac{2.4}{2} \right) \left(1 - \cos \frac{2.5}{2 \times 400} \right)$$

$$= 0.0019\text{m} = 1.9\text{mm}$$

可见混凝土曲线顶管中存在超挖的问题,对硬土来说这是曲线顶进的需要,否则管段很难转向,摩阻力也会因此而增加。对于软土情况就会好一些。所以在硬土中顶管,要考虑超挖的方法。但钢管顶管因为设计的弯曲半径很大,超挖量就很小,可以忽略不计。

六、曲线顶管测量

曲线顶管的测量是曲线顶管的关键技术问题。曲线顶进时因管内外无法通视,因此必须改变常规的施工测量方法,经纬仪必须进管。但管道在施工过程中是不断向前移动的,因此测站的座标也是在不断变化的。要在测站座标不断改变的情况下,随时随地指出管道前进方向,这就是曲线顶管中管道定向测量要解决的中心问题。

解决的办法有2个:

11管道内布置多台全站仪,依靠全站仪

的优势,在短时间内通过计算机确定每站经纬仪的方向,指出管道顶进方向。这一方法实质上是经纬仪导线法,方法可行但成本高。

21管道内设置一台普通经纬仪,一个觇标,2者均布置在工具管的后部。工具管上的标尺、经纬仪、后视觇标3者间保持一定的距离,并与管道固定,随管顶进而跟进。经纬仪、后视觇标的中心坐标是根据事先测定的实际管轴线计算所得,工具管上的测点座标查设计轴线可得。依靠这3者的关系就可算出管道的顶进方向,并由经纬仪指向。管轴线的测定需要一台全站仪,管道每顶进数10m,测定一次工具管后的管轴线,并输入计算机。施工过程中可以根据顶进距离,推算出3者的即时坐标,通过计算机的运算,就能指出工具管顶进方向。采用这一方法,速度快、成本低,使用人力少。

上面分析了曲线顶管中的6个主要问题,还很肤浅,尚需各方面共同进一步研究完善。

(上接第17页)

期紧迫,施工前未作详细工程地质勘察(无地质勘察报告),施工中仅临时现场挖了几个探坑,探坑挖深5~5.5m,探坑平面尺寸315m×3.5m。为保证在干槽条件下施工,首先进行降水,将地下水位降至管底以下50cm。顶进过程中又遇上一道与顶管正交的砼挡墙,为原马路护坡挡墙。挡墙厚35cm,为使顶管穿过依靠人工进行了剔凿,工作条件很困难。当顶管顶进长度至65m位置,又遇上一条斜穿顶管的光电缆,该光电缆为某军事单位的重要电信电缆,施工中差点儿挖断。

上述工程实例表明顶管施工中碰到的问题主要来自对顶管周围环境情况了解不够,包括地质情况,地下水位,顶管和其他管线交叉情况等等,这些可为以后的工程引以借鉴。

四、几点体会

特种结构 第15卷 1998年第4期

11目前一些工程实施过程中,仅凭以往经验,不做或少做工程地质勘察,顶进过程中碰到问题后,再补做此方面工作。结果影响工程质量,延误工期,增加工程投资。

21地下水位较高时,顶管施工首先应做好降水,地下水位必须降低至管底外缘以下0.15~1.0m,以保障顶管操作在干槽条件下进行(饱和水土层,不能形成卸荷拱)。

31顶管工程具有拆迁少、占地少、伐树少等优势,在地下管道及地下构筑物(方涵或其他地下掘进工程)建设中具有无限前景,随着计算机技术的不断发展,顶管工程技术也将迈上一个新台阶。

参考文献

- [1] 1 克列思,地下管计算,中国工业出版社1964年
- [2] 天津大学建筑工程系地下建筑工程教研室,地下结构静力计算,建筑工业出版社1979年
- [3] 刘建航、侯学渊,盾构法隧道,铁道工业出版社1991年