

# 顶管工程设计中的顶力计算方法

郝文峰

(铁道第一勘察设计院公路院,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**本文通过对顶管计算中通常采用的通用公式及个别地区的经验公式的分析,提出了各参数选用应注意的事项。

**关键词:**顶管 设计 顶力 计算

## 1、概述

我国采用顶管技术应用始于1953年12月,当时在北京西郊行政区污水管工程采用顶管法施工,顶进管为管径900mm的铸铁管,穿越白云观西墙外的铁路路基,至今已有50多年的历史。由于这种工艺不仅对穿越铁路、公路、河流等障碍物有特殊的实用意义,而且对埋设深度较深、处于城区的地下管道施工具有显著的经济效益和社会效益,从而被广泛推广应用于管道的施工上。从五十年代初采用人工挖掘顶进900mm管径的铸铁管至今,我国顶管施工技术取得了长足进展。

1985年上海采用顶管施工法修建穿越黄浦江的取水工程,钢管管径为3m,顶距达1128m,目前顶管施工已在全国各地广泛采用,不仅可以顶进铸铁管、钢筋混凝土管、钢管,还可以顶进大型的矩涵。

## 2、顶管的顶力计算

顶管的顶力计算是确定顶管单元长度的基本数据。由于我国幅员辽阔,土质差别较大,除了顶力计算的通用公式,各地针对本地区土质特点,总结了相应的经验公式,因此,在选用顶力计算公式时可以根据具体条件使选择的顶力计算公式比较接近实际情况。

### 2.1 顶管顶力计算的通用公式

顶管顶力计算的通用公式一般为:

$$P = f r D_1 [2H + (2H + D_1) \lg^2(45^\circ - \Phi/2) + \omega / r D_1] L + P_F$$

(见《给排水管道工程施工及验收规范》第6.4.4条)

式中  $P$  - 计算的总顶力(KN);

$r$  - 管道所处土层的重力密度(KN/m<sup>3</sup>);

$D_1$  - 管道的外径(m);

$H$  - 管道顶部以上覆盖土层的厚度(m);

$\Phi$  - 管道所处土层的内摩擦角( $^\circ$ );

$\omega$  - 管道单位长度的自重(KN/m);

$L$  - 管道的计算顶进长度(m);

$f$  - 顶进时,管道表面与其周围土层之间的摩擦系数。

$P_F$  - 顶进时,工具管的迎面阻力(KN)。

本公式是目前国内通用公式,其基本理论是:

顶管的顶力应大于工具的迎面阻力、管道周围土压力对管道产生的阻力以及管道自重与周围土层产生阻力之和。即:

$$P \geq (P_1 + P_2) L + P_F$$

式中: $P$  - 计算的总顶力;

$P_1$  - 顶进时,管道单位长度周围土压力对管道产生的阻力;

$P_2$  - 顶进时,管道单位长度的自重与其周围土层之间产生的阻力;

$L$  - 管道的计算顶进长度;

$P_F$  - 顶进时,工具管的迎面阻力。

土层的稳定性是确定顶力大小的基本条件。按照《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB50069-2002)的规定,“稳定土层系指可望至坚硬状态的粘性土及不饱和的砂土。饱水疏松的粉细砂,干燥的砂类土,淤泥及其它液态性粘土,均属不稳定土。”

作用于管道上的竖向土压力一般按普罗托季扬宽诺夫公式或太沙基公式计算(以下统称为隧道土压力公式)。这两个公式的计算模式不同,但采用的前提条件都是土体必须具有一定的抗剪强度,即必须是稳定土层。在管顶以上土体下沉时,其抗剪强度发生作用而将作用于管顶上的土体重限定在一定高度的范围内。因此,当覆土深度大于限定高度时,则此高度以上的土体重不由管道承担。若土层为不稳定土,无抗剪强度或很小,就没有稳定土所具有的减荷作用,也就不能采用隧道土压力公式。

在不能采用隧道式土压力公式计算时,一般采用土柱公式计算管道上的竖向土压力,管道上的竖向土压力等于其宽度为外径范围内的土柱重。这一公式与隧道土压力公式不同,也不同于沟埋式或上埋式的土压力计算公式,应看作是非稳定土层中顶管土压力的计算公式。

作用于管道的侧向土压力,一般按其竖向土压力乘以主动土压力系数计算。

土柱公式计算的土压力一般偏大,尤其是对稳定土层偏大较多。但由于在顶管期间出现的特殊情况,例如附近管道渗水,施工操作因素等,其土压力虽未达到土柱土压力,但已明显增大。基于安全考虑,计算结果偏大是允许的。

摩擦系数的选用是影响顶力值的另一重要因素。表1所给的 $f$ 值是综合北京地区经验取用的。但顶管中的摩擦系数可能比此数值大得多,如土颗粒进入管节接口孔隙中,这相当于增大了管壁的粗糙度,即摩擦系数大为增加,尤其是较大颗粒的土,如卵石土或砾石土卡在管口中,顶进中互相滚卡,甚至个别石块将管壁挤裂。在这种情况下,即使土压力不变,其值可能较选用数值增大若干倍,但在计算公式中不能将摩擦系数提高。因此,允许计算土压力偏大是比较恰当的。

纠偏是在顶管施工过程中经常出现的操作内容。每一纠偏过程都相当于增加土压力,亦即增加顶力。但这一外力难以在土压力计算公式中反映,因此,计算土压力偏大有利施工。

以上分析表明通用公式虽属理论计算公式且偏于保守,但它是顶管技术设计的依据。

### 2.2 顶力计算经验公式

对顶管的土压力并不是所有条件都要求按土柱公式计算,而是可根据不同地区、不同单位当有成熟经验公式时可采用经验公式,这样,在选用顶力计算公式时可以根据具体条件使选择的顶力计算公式比较接近实际情况。北京市的经验公式在稳定土层中顶管时实测顶力的基础上总结的。上海市则是该地区采用触变泥浆顶管中取得的。而二者都是针对管道土压力和管道自重取得的经验公式,以下是两种经验公式的概述。

#### 2.2.1 北京地区经验公式

表1 管道表面与其周围土层之间的摩擦系数

土类	湿	干
粘土、亚粘土	0.2~0.3	0.4~0.5
砂土、亚砂土	0.3~0.4	0.5~0.6

北京市在50年代中期,根据顶管实测顶力统计出顶力计算的公式,并纳入北京市市政工程局的施工规程。80年代,北京市第四市政工程公司根据大量实测顶力总结的经验公式,进一步丰富了原公式。编制组对这两个公式进行了分析与比较,对原公式作了修正。修正后的经验公式主要内容如下:

北京市地区稳定土层中采用手工掘进法顶进钢筋混凝土管道,管底高程以土层为稳定土层且覆盖土层的深度满足卸力拱的要求和允许超挖时,顶力可按下列条件进行计算。

在亚粘土、粘土土层中,管道外径为1164~2100mm,管道长度为34~99m,当土为硬塑状态,且覆盖土层的深度不小于 $1.42D_1$ ,可塑状态时不小于 $1.80D_1$ 时,顶力按下式计算:

$$P=K_{粘}(22D_1-10)L$$

在粉砂、细砂、中砂、粗砂土层中顶管,管外径为1278~1870mm,管道长度为40~75m,且覆盖土层的深度不小于 $2.62D_1$ 时,顶力按下式计算:

$$P=K_{砂}(34D_1-21)L$$

式中:P—计算顶力(KN);

$D_1$ —管道外径(m);

L—计算顶进长度(m);

$K_{粘}$ —粘性土系数,可在1.0~1.3之间选用。当土质条件较好、顶管技术比较好及顶管技术比较熟练时取较低值;否则,取较高值。

$K_{砂}$ —砂类土系数,可在1.0~1.5之间选用,当土质条件较好、顶管技术比较熟练时取较低值;否则,取较高值。

上述是经验公式的一种类型,其主要适用条件是明确的。不同地区、不同单位可采用相应的经验公式。

#### 2.2.2 上海市的经验公式

利用触变泥浆减少管道外壁与其周围土层的摩擦系数以降低顶力,是经常采用的措施。理想的状态是将触变泥浆灌注在管道外壁与其周围土层之间,使触变泥浆在管道周围形成一个封闭的泥浆套。当顶进管道时,将克服管道与土层之间的摩擦力转化为触变泥浆的剪切力,从而收到大幅度降低顶力的效果。

但是,由于土层的土类不同,触变泥浆的性能不同以及施工操作的影响等因素,减阻效果也不相同。

上海结合本地区土层的条件,采用触变泥浆顶管的经验认为,采用触变泥浆时,顶力可按每平方米的管道外侧表面积为8~12KN计算,即:

$$P=(8\sim 12)\pi D_1 \cdot L(\text{KN})$$

其它地区或单位都可根据自己采用触变泥浆的成熟经验,确定使用触变泥浆时的顶力计算经验公式。

在近期实施的上海中环A2.5标段的雨水管道工程中,我们根据上海地区的经验,按 $10\text{KN}/\text{m}^2$ 的摩阻力设计了两段顶管,施工进度顺利,实际顶力与计算所需顶力吻合较好,也说明当地的经验公式更切合本地区的实际情况,设计中应优先收集、采用地区经验公式。

#### 3、结语

影响顶力的因素很多,各地根据本地区实际情况选用合适的顶力计算公式,主要包括土层的稳定性及其覆盖厚度、地下水的影响、管道的材料、管径和重量、顶进的方法和操作的熟练程度、顶力计算方法的选用、计算顶进长度、减阻措施以及施工经验等;在这些因素中,土层的稳定性、覆盖土层的厚度和顶力计算方法的选用的影响尤为突出,而且彼此具有密切关系。设计时应根据场地处的水文地质及管道的埋深情况,慎重选用顶力计算参数,确保工程的顺利实施。(参考文献略)

# 兰州雁盐黄河大桥交通影响评价研究

石洁华

(兰州市城市投资公司,甘肃 兰州 730050)

**摘要:**交通影响分析就是定量分析各种土地使用及开发强度与交通量生成或吸引的关系,建立和选择预测模型,进行背景交通和项目交通的预测;分析建设项目对周围交通环境影响的程度和范围,提出缓解对策和改进方案。

**关键词:**

#### 1、研究背景

雁盐黄河大桥位于兰州市城关区,距上游兰州黄河大桥2.58km。目前,兰州市现有黄河桥已无法满足日益增长的过河交通需求,多数桥已超过设计交通量,造成交通拥挤。城关区的雁滩地区和盐场堡地区被黄河自然分割,形成交通阻隔,影响了兰州市交通和社会经济的发展。而雁盐黄河大桥是实现交通分流的咽喉工程。兰州市已制定了雁滩地区的发展规划,规划中的主干道均与雁盐黄河大桥相联系。通过修建雁盐黄河大桥可确保和促进雁滩地区与盐场堡地区两岸经济协调发展,对推动兰州市社会经济发展起到积极的作用。

#### 2、主要技术经济指标

兰州雁盐黄河大桥孔跨式为:30m简支板梁+(90m+90m+90m)钢管混凝土系杆拱桥+(4×30m+3×20m)简支板梁桥。全桥长480m,桥面采用两幅路,主跨设三个拱肋,中央自然形成1.5m宽的中央分割带。桥面总宽为33.50m,桥面面积为16080m<sup>2</sup>。主要技术指标如下:

- (1) 道路等级:城市主干道I级;
- (2) 计算行车速度:60km/h;
- (3) 设计荷载:汽-20级,人行道荷载,验算荷载挂-100;
- (4) 最大纵坡: $i=2.6\%$ ;
- (5) 通航标准:五级航道,最高通航水位时,净宽46m,净高7m;

- (6) 地震烈度:8度;
- (7) 桥面宽度:6车道,人行道3m,总宽30.6m。

#### 3、雁滩黄河大桥交通重要性

雁滩黄河大桥在兰州市整个交通网络中发挥着不可替代的作用:

(1) 雁盐黄河大桥是规划中的以城关区为中心区、雁滩和盐场堡两个地方为环路的交通路网的重要组成部分。

(2) 雁盐黄河大桥是实现北滨河路交通分流的咽喉工程,有利于改善兰州市区的交通格局。通过雁盐黄河大桥可将大部分过境交通引向河北岸,从而减轻过境交通对兰州市区的交通压力。

(3) 有利于增强与外界的联系。随着国道312线的建设,雁盐黄河大桥将成为兰州市区进出境的重要通道。

#### 4、交通量调查

针对本研究,我们组织了跟本桥各方面比较接近的兰州城关黄河大桥连续12h的交通量观测调查,并对兰州市市政工程