矩形箱涵拉顶式施工中掘进机头拉力的计算

乔华山, 杨述起, 张志勇, 王中兵
(上海广联建设发展有限公司,上海 200438)

摘　要:系统地介绍了矩形箱涵拉顶式施工中,掘进机头轴线方向的倾侧纠偏、机头顶进间歇防回缩所需的拉力的计算方法,并通过工程实例印证。根据理论分析和相应的计算公式可以得出矩形箱涵采用"拉顶式"工艺施工时,在其接受井内配置的拉力较为精确的计算结果,并能满足实际工程的需要。

关键词:矩形箱涵;掘进机;拉顶结合施工;顶管;拉进
中图分类号:U455.47　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672 - 7428(2012)04 - 0060 - 04

Calculation of Pulling Force of Boring Head in Rectangular Box Culverts Jacking-pulling Construction/*QIAO Hua-shan*, *YANG Shu-qi*, *ZHANG Zhi-yong*, *WANG Zhong-bing* (Shanghai Guanglian Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

Abstract: The paper systematically introduced the calculation method of pulling force in axial direction deviation rectification of boring head and retraction control during boring intermittent in rectangular box culverts jacking-pulling construction with engineering example. Based on the theoretical analysis and relative calculation formula, accurate results can be obtained for jacking-pull construction with rectangular box culverts.

Key words: rectangular box culverts; driving machine; jacking-pulling construction; pipe-jacking; pulling

1　地下箱涵拉顶式施工方法简介

在常见的地下箱涵顶管施工中,机头向前掘进的力是由工作井内的顶进油缸来提供的。而在顶进过程中机头产生倾转、偏转主要靠机头与纠偏段之间的纠偏油缸来完成的。顶进间歇防止机头的回缩是靠工作井内的止退装置来完成的。一般来讲,整个掘进机机体相对较长,纠偏的频繁度也较高。

地下箱涵拉顶式施工新工艺是针对复杂环境开发的一种新工艺方法。是近年来开发的一种施工技术,具有可在工作面积狭小的环境条件施工、施工对环境影响较小、导向精度高等优点。其工艺是现代顶管施工技术的一种创新和补充,是非开挖地下箱涵施工的一种新的技术手段[1]。

采用拉顶式施工需要的施工设备及附属配套装置较多,主要有水平定向钻机、拉进千斤顶、钢拉索、掘进机头、顶进千斤顶、拉顶同步液压系统、电控系统、监测系统等[2]。

一般情况下,地下箱涵的铺设采用拉顶式施工时,机头掘进所需的动力由工作井内的顶进油缸来提供,而机头倾转、偏转的纠正、机头顶进间歇回缩控制即机头的导向控制是由机头前方接受井的拉力来完成的[1]。

2　机头拉力的理论计算

地下箱涵的铺设采用拉顶式施工时,拉进力对掘进机头起到纠偏、导向、防退缩的作用。因此,拉力可用下式表示:

$$F \geqslant n(F_1 + F_2 + F_3) \text{ 且 } F \geqslant nF_4 \qquad (1)$$

式中:F——机头的拉力;F_1——机头上下侧倾单点纠偏拉力;F_2——机头左右侧倾单点纠偏拉力;F_3——刀盘切削力引起机头偏转单点纠偏拉力;F_4——单点克服迎面阻力引起机头回缩的拉力;n——机头前方拉力锚座(拉力点)总数量。

拉力克服了 F_1 就能满足机头上下倾侧纠偏的需要,克服了 F_2 就能满足左右倾侧纠偏的需要,克服了 F_3 就能满足机头偏转纠偏的需要,而在施工中,以上力同时存在。拉力克服了 F_4 就能满足机头回缩的需要。因此拉力只有满足式(1),才能满足纠偏、导向、防退缩的需要。

刀盘的切削力无论多刀盘或单个大刀盘与多个小刀盘的组合,由于可采用刀盘的转速、旋转方向的调节,其切削力对机头倾转、偏转的影响相对较小,事实上只要拉力满足 F_1、F_2 的需要,同时又满足式(1)的要求,拉力就可确定了。因此,F_3 在分析时将不予考虑,下面针对 F_1、F_2、F_4 进行研究。

收稿日期:2012 - 01 - 16; **修回日期**:2012 - 04 - 01

作者简介::乔华山(1963 -),男(汉族),上海人,上海广联建设发展有限公司副总工程师,机械专业,从事传动机械的设计工作,上海市杨浦区国伟路 135 号 10 号楼 206 室,13816688065@139.com。

矩形箱涵的铺设采用拉顶式施工时,在机头前端不阻碍刀盘正常工作的适当位置上设置拉力锚座。拉力锚座的设置原则为:所有拉点的拉力同时作用时,以机头的水平中心线为转轴所受的拉力矩和以机头垂直中心线为转轴所受的拉力矩相平衡[2]。本文计算所需的拉力锚座设置点的位置以文献[2]为模型。

2.1　校正机头上下侧倾偏移所需的单点拉力 F_1

机头在掘进过程中会产生上下侧倾偏移。只有当拉力产生的校正力矩大于机头掘进中的阻抗力矩,机头才能被纠偏校正。一般大型掘进机最大纠偏角度为 2°左右。在机头最大偏移情况下,上下偏移纠偏时机头的受力模型如图 1。

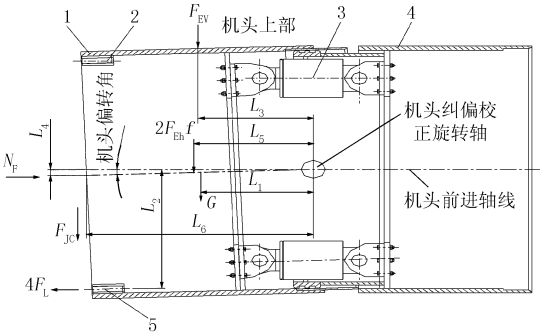

图 1　上下纠偏时机头受力模型

1—机头前壳体;2—机头拉索上部锚座;3—前后壳体铰接千斤顶;4—后壳体;5—机头拉索下部锚座

机头上下偏移时,在不计机头浮力的情况下,显然下偏移产生的校正阻抗力矩较大,因此只计算下偏移产生的校正阻抗力矩。根据图 1 分析可得机头下偏移时产生的校正阻抗力矩,由以下力矩合成:

(1)机头自重产生的阻抗力矩:

$$M_{GC} = GL_1 \tag{2}$$

式中:M_{GC}——机头自重产生的阻抗力矩;G——机头质量;L_1——机头重心到纠偏旋转轴线的距离。

(2)侧面土压摩阻力产生的阻抗力矩:

$$M_{FEHC} = 2P_{Eh}BfL_5 \tag{3}$$

式中:M_{FEHC}——侧面土压摩阻力产生的阻抗力矩;P_{Eh}——作用于掘进机头的平均侧向土压力强度(水土合算);B——机头前壳体侧面面积;f——机头与土层之间的摩擦系数,f 与土体参数及是否采用泥浆减摩有关;L_5——侧面土压摩阻力作用点到纠偏旋转轴线的距离。

(3)作用于掘进机头的竖向土压力产生的阻抗力矩:

$$M_{FEVC} = P_{EVS}CL_3 \tag{4}$$

式中:M_{FEVC}——作用于掘进机头的竖向土压力产生的阻抗力矩;P_{EVS}——作用于掘进机头上面的竖向土压力强度(水土合算);C——机头前壳体上顶面面积;L_3——作用于掘进机头的竖向土压力作用点到纠偏旋转轴线的距离。

(4)机头迎面阻力产生的阻抗力矩:

$$M_{YC} = N_F L_4 \tag{5}$$

式中:M_{YC}——机头迎面阻力产生的阻抗力矩;N_F——掘进机头掘进时的迎面阻力;L_4——机头迎面阻力作用点到纠偏旋转轴线的距离。

(5)土体对刀盘切入抗剪力产生的阻抗力矩:在高程方向(上下方向)形成的力矩较小,且纠偏进给速度较慢,可忽略不计。

机头上下偏移时,作用在机头上的校正总阻抗力矩为:

$$\sum M_{ZC} = M_{GC} + M_{FEHC} + M_{FEVC} + M_{YC} \tag{6}$$

将式(2)~(5)代入式(6)得,机头上下偏移时,作用在机头上的校正总阻抗力矩为:

$$\sum M_{ZC} = GL_1 + 2P_{Eh}BfL_5 + P_{EVS}CL_3 + N_F L_4 \tag{7}$$

拉力产生的纠偏力矩,即如图 1,机头向下偏移,则机头下侧拉力形成的纠偏力矩:

$$M_{JC} = n_1 F_1 L_2 \tag{8}$$

根据拉力纠偏条件:

$$M_{JC} \geqslant \sum M_{ZC} \tag{9}$$

式(9)可改写为:

$$F_1 \geqslant \sum M_{ZC}/(n_1 L_2) \tag{10}$$

将式(9)代入式(10)得:

$$F_1 \geqslant (GL_1 + 2P_{Eh}BfL_5 + P_{EVS}CL_3 + N_F L_4)/(n_1 L_2) \tag{11}$$

式中:F_1——纠偏校正机头上下侧倾偏移所需的单点的拉力;L_2——拉力作用点到纠偏旋转轴线的距离;n_1——下侧拉力锚座(拉力点)数量。

2.2　校正机头左右侧倾偏移所需的单点拉力 F_2

同机头在掘进过程中会产生上下侧倾偏移相类似,在机头最大偏移情况下,左右偏移纠偏时机头的受力模型如图 2。

(1)机头自重与土体摩阻力产生的阻抗力矩:

$$M_{GS} = GfL_1 \tag{12}$$

式中:M_{GS}——机头自重与土体摩阻力产生的阻抗力矩。

(2)侧面土压力产生的阻抗力矩:

$$M_{FEHS} = P_{Eh}BL_5 \tag{13}$$

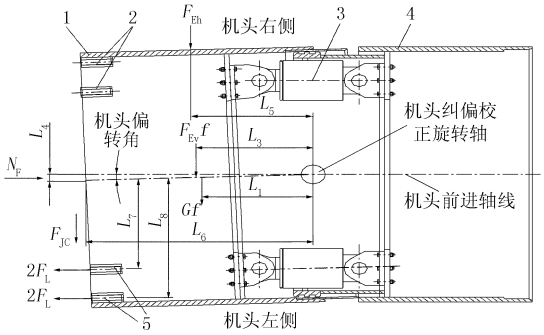

图 2 左右纠偏时机头受力模型

1—机头前壳体;2—机头拉索右部锚座;3—前后壳体铰接千斤顶;4—后壳体;5—机头拉索左部锚座

式中:M_{FEHS}——机头自重与土体摩阻力产生的阻抗力矩;P_{Eh}——作用于掘进机头的平均侧向土压力强度;L_5——侧面土压摩阻力作用点到纠偏旋转轴线的距离。

(3)作用于掘进机头的竖向土压摩阻力产生的阻抗力矩:

$$M_{FEVS}=(P_{EVS}+P_{EVX})CfL_3 \tag{14}$$

式中:M_{FEVS}——作用于掘进机头的竖向土压摩阻力产生的阻抗力矩;P_{EVX}——作用于掘进机头的底面的竖向土压力强度(水土合算)。

(4)机头迎面阻力产生的阻抗力矩:

$$M_{YS}=N_F L_4 \tag{15}$$

式中:M_{YS}——机头迎面阻力产生的阻抗力矩。

机头左右偏移时,作用在机头上的校正阻抗力矩为:

$$\sum M_{ZS}=M_{GS}+M_{FEHS}+M_{FEVS}+M_{YS} \tag{16}$$

将式(12)~(15)代入式(16)得,机头左右偏移时,作用在机头上的校正总阻抗力矩为:

$$\sum M_{ZS}=GfL_1+P_{Eh}BL_5+(P_{EVS}+P_{EVX})CfL_3+N_F L_4 \tag{17}$$

拉力产生的纠偏力矩,即如图 2,机头左(右)偏移时,则机头右(左)侧拉力形成的纠偏力矩:

$$M_{JS}=n_2(L_7+L_8)/2\cdot F_2 \tag{18}$$

根据拉力纠偏条件:

$$M_{JS}\geqslant \sum M_{ZS} \tag{19}$$

式(18)可改写为:

$$F_2\geqslant 2\sum M_{ZS}/[n_2(L_7+L_8)] \tag{20}$$

式中:$\sum M_{ZS}$——作用在机头上的校正总阻抗力矩;L_7、L_8——拉力作用点到纠偏旋转轴线的距离;F_2——单个锚座的拉力。

将式(17)代入式(20)得:

$$F_2\geqslant[2GfL_1+2P_{Eh}BL_5+2(P_{EVS}+P_{EVX})CfL_3+2N_F L_4]/[n_2(L_7+L_8)] \tag{21}$$

式中:F_2——纠偏校正机头左右侧倾偏移所需的单点拉力;L_7、L_8——拉力作用点到纠偏旋转轴线的距离;n_2——左右单侧拉力锚座(拉力点)数量。

2.3 阻止机头回缩的单点拉力 F_4

机头及管片后缩的力,来自机头的迎面阻力和顶力释放后土体对机头、管片的回弹力。而机头回缩的力,主要是机头静止时的迎面阻力。机头静止时,迎面土压力在静止土压力与被动土压力之间,且大于静止土压力。因此,克服了机头迎面土压力,就可防止机头的回缩。克服机头迎面土压力时,单个锚座需要的拉力,可用下式近似表示:

$$F_4\geqslant N_{FB}/n \tag{22}$$

式中:F_4——克服机头迎面土压力阻力单点的拉力;n——机头前方拉力锚座(拉力点)总数量;N_{FB}——机头迎面土压力。

2.4 机头纠偏及止退所需的拉力 F

如将作用于掘进机头的平均侧向土压力、作用于掘进机头的底面的竖向土压力、作用于掘进机头的顶面的竖向土压力的力作用点均近似为作用面的中心,机头的重心近似在机头的中心,且纠偏回转铰接油缸的回转轴线近似为机头前壳体的后边缘,则有以下假设:

$$L_1=L_3=L_5=L/2 \tag{23}$$

和:

$$L_4=L\mathrm{tg}\alpha \tag{24}$$

式中:L——机头前壳体长度;α——机头最大倾转偏角。

将式(11)、(21)、(23)、(24)代入式(1),整理得:

$$F\geqslant(G+2P_{Eh}Bf+P_{EVS}C+2N_F\mathrm{tg}\alpha)L/L_2+\{Gf+P_{Eh}B+P_{EVS}Cf[1+B/(Lh)]+2N_F\mathrm{tg}\alpha\}\cdot 2L/(L_7+L_8) \tag{25}$$

式中:h——机头上部覆土深度,其余同前。

3 工程实例应用

3.1 实例应用计算

上海市轨道交通二号线东延伸段张江高科站一号出入口地下矩形通道,通道截面为 6 m×4 m,长度 23.5 m,通道上端覆土深 7.5 m。采用拉顶式施工。

用式(25),计算机头所需拉力见表 1。

表 1　机头所需拉力计算结果

计算式参数代号	G /kN	B /m^2	C /m^2	L /m	n	h /m	L_2 /m	L_7 /m	L_8 /m
参数值	860	6.632	9.948	1.658	8	7.5	1.93	1	2.7
FFB 理论值/kN				2880					
F 理论值/kN				391 × 8					
总拉力的计算值/kN				3127					
工程配置总拉力/kN				1000 × 8					
实测纠偏时单点最大拉力值/kN				315					
实测止退时最大拉力值/kN				2150					

3.2　理论计算与实例应用计算对比分析

将计算的拉力与工程实测拉力对比,计算拉力比工程实际需要的拉力误差约 20%。主要原因是:

(1)式(25)是建立在式(23)假设的基础上,如直接采用式(11)、(21)计算,结果会更接近工程实际;

(2)机头在掘进过程中采用了减摩注浆,对纠偏拉力会产生影响;

(3)没有考虑刀盘切入土体对拉力的影响;

(4)没有考虑机头体所受浮力对拉力的影响。

在工程中,从满足机头导向纠偏、机头及管片的止退要求出发,拉力配置越大越好。然而,从考虑接受井造价成本出发,拉力的配置又要越小越好。考虑到式(25)的建立条件和工程地质条件的复杂性,矩形箱涵通道采用"拉顶式"工艺施工时,在其接受井内配置的拉力计算式可采用下式确定:

$$F=(1.5\sim2.0)\{(G+2P_{Eh}Bf+P_{EVS}C+2N_F\mathrm{tg}\alpha)L/L_2+\{Gf+P_{Eh}B+P_{EVS}Cf[1+B/(Lh)]+2N_F\mathrm{tg}\alpha\}\cdot 2L/(L_7+L_8)\}\tag{26}$$

4　结语

通过对矩形箱涵采用"拉顶式"工艺施工时,机头的受力建立计算模型,并进行理论分析,得出了施工中机头导向纠偏、止退的拉力计算公式,并应用于工程实际。结果表明理论计算与实际数据基本相符。可以看出,根据理论分析和相应的计算公式可以得出矩形箱涵采用"拉顶式"工艺施工时,在其接受井内配置的拉力较为精确的结果,并能满足实际工程的需要。对在复杂环境条件下,改造、提升原有的掘进机性能,用拉进的方法解决顶管掘进机的纠偏、回缩等施工难题,精确确定接受井内的拉进力,具有一定的的参考意义。

参考文献:

[1]　张照煌,李福田. 全断面隧道掘进机施工技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

[2]　乔华山,张辉,杨述起,等. 拉顶结合新型矩形掘进机的研制及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):72 - 76.

[3]　成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[4]　韩选江. 大型地下顶管施工技术原理及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[5]　李淑海,张志勇,王中兵. 复杂环境中的地下暗埋箱涵拉顶式施工技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7).

[6]　马保松. 顶管和微型隧道技术[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

找矿突破战略行动领导小组会议在京召开

国土资源部网站消息(2012 - 03 - 30)　2012 年 3 月 29 日,找矿突破战略行动领导小组第一次会议在京召开,由国土资源部、国家发展改革委、科技部和财政部共同组建的找矿突破战略行动领导小组正式成立,国土资源部为找矿突破战略行动领导小组牵头单位。国土资源部部长、党组书记、国家土地总督察徐绍史担任领导小组组长并主持会议。会议审议了领导小组工作规则和《找矿突破战略行动总体方案》,研究讨论了《找矿突破战略行动 2012 年重点工作安排》。担任副组长的国土资源部党组成员、副部长、中国地质调查局局长汪民,发展改革委员会党组成员、副主任杜鹰、科技部党组成员、副部长王伟中,以及财政部经济建设司李敬辉司长等出席会议。

国土资源部部长、党组书记、国家土地总督察、找矿突破战略行动领导小组组长徐绍史主持会议并作重要讲话。徐绍史在会上指出,在四部委的共同努力下,找矿突破战略行动已经全面启动。由四部委组成的找矿突破战略行动领导小组已经确定,找矿突破战略行动总体方案已经编制完成。他说,地质找矿工作还面临政府与市场的关系、财政资金加强基础地质调查与社会资金积极投入矿产勘查的统筹协调、充分调动企业和地勘单位参与地质找矿的积极性和创造性、中央和地方的联动、产业政策、完善矿业权配置和收益分配、加强地质找矿的理论和方法技术攻关、加强人才培养、提高中央公益性地质调查队伍的装备能力和水平等一系列关键环节。四部委要通过工作机制,加强联系,协同努力,主动破解难题,为加快实现地质找矿目标任务,提供良好的政策和环境。