

定(导)向钻进轨迹设计

蒋国盛, 张家铭, 奚斌

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

[摘要] 主要介绍定(导)向钻进非开挖地下管线施工的钻孔轨迹设计方法。

[关键词] 定(导)向钻进 非开挖 轨迹设计

[中图分类号] P634.7 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)02-0013-03

非开挖施工之前必须进行钻孔轨迹的设计, 施工过程中还要根据这一设计进行控制, 使实际轨迹符合设计轨迹, 以保证铺设管道位置的准确性。因此, 钻孔轨迹设计既是非开挖施工的依据, 又是施工质量检查的标准。设计方案是否正确合理是非开挖施工成功的首要条件。

1 入射角和出口角的确定

钻头入射角是钻进装置的倾斜度与地面坡度之差, 可以通过以下两种方式来确定:

(1) 把顶角测量探头放在地表, 读出倾角值。然后将测量探头安放在钻进装置上, 再读出倾角值。以钻进装置倾角值减去地面倾角值, 即可得入射角。

(2) 先测量地面到钻机架前端和后端的高度, 以后端高度减去前端高度得到高度差, 然后测出前后端点间的距离。高度差与距离相比的百分数即为入射角。

入射角较小时, 可较容易地过渡到水平面, 钻杆弯曲程度较小; 加大入射角, 会使钻孔轨迹变深、变长。在设计钻孔轨迹时, 钻孔入射角的大小是必须考虑的因素, 一般控制在 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

对于小直径的钢管, 考虑到管道的焊接问题, 出口顶角一般控制在 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 内; 对于 PE 和 PVE 管一般控制在 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 内。对于大直径钢管, 因第二造斜段弯曲半径太大, 一方面使定(导)向孔孔深增加; 另一方面也浪费管材, 因此一般用下管工作坑代替第二造斜段。

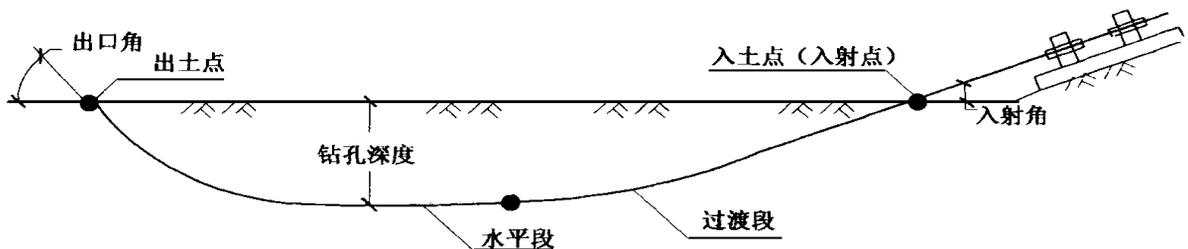


图 1 定(导)向钻进入射角和出口角示意图

2 垂直平面内“斜直线—曲线—水平直线—曲线—斜直线”形孔身轨迹设计

如图 2。下面分 3 种情况进行设计, 即出土点 O_1 和 A 点的位置、出土点 O_1 位置、水平穿越点 (B、C) 位置受到限制 3 种情况, 垂直平面内的其他轨迹形式均可由“斜直线—曲线—水平直线—曲线—斜直线”的数学模型简化得出。

设计取如图所示的坐标系, 轨迹处于垂直平面中, O 、 O_1 点的地面高差为 h_1 (O_1 比 O 低时取负计算), 平面方位角为 α_1 , O 点坐标设为 $(0, 0, 0)$, 弧 AB 、 CD 段的弯曲强度为 i_1 、 i_2 。

2.1 出土点 O_1 和 A 点的位置受到限制

给定条件为: A 点坐标 (X_A, Y_A, Z_A) ; O_1 点坐标 (X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}) ; O_1 的顶角 α_0 。

(1) 第一、二造斜段的曲率半径 R_2 、 R_1

$$R_1 = \frac{57.3}{i_1}; R_2 = \frac{57.3}{i_2} \quad (1)$$

(2) OA 段的长度 L_1 和顶角 α_1

$$L_1 = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2} \quad (2)$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \left(\frac{Z_A}{L_1} \right) \quad (3)$$

(3) B 点坐标 (X_B, Y_B, Z_B)

$$\begin{cases} X_B = X_A + R_1 \cos(\theta_1) \cos(\alpha_1) & (4) \text{埋管深度 } H \\ Y_B = Y_A + R_1 \cos(\theta_1) \sin(\alpha_1) & (4) \quad H = |Z_B| \\ Z_B = Z_A + R_1(1 - \sin(\theta_1)) & (5) D \text{ 点坐标 } (X_D, Y_D, Z_D) \text{ 和 } AD \text{ 段长度 } L_5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_D = X_{O1} - (Z_{O1} + H - R_2(1 - \sin(\theta_2))) \tan(\theta_2) \cos(\alpha_1) \\ Y_D = Y_{O1} - (Z_{O1} + H - R_2(1 - \sin(\theta_2))) \tan(\theta_2) \sin(\alpha_1) \\ Z_D = H - R_2(1 - \sin(\theta_2)) \end{cases} \quad (6)$$

$$L_5 = \sqrt{(X_{O1} - X_D)^2 + (Y_{O1} - Y_D)^2 + (Z_{O1} - Z_D)^2} \quad (7)$$

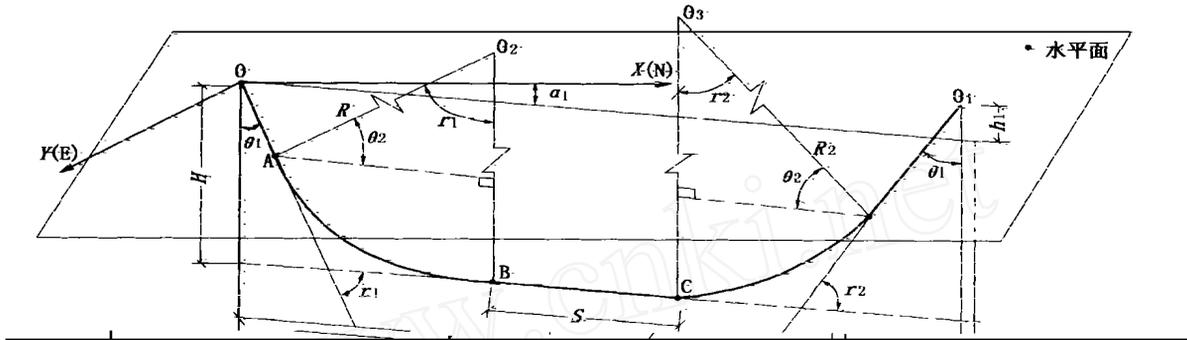


图 2 垂直平面内“斜直线段—曲线段—水平直线段—曲线段—斜直线”段形轨迹设计

(6) C 点坐标 (X_C, Y_C, Z_C) 和弧 CD 段长度 L_4 (7) 第一、二造斜段的弯曲角 θ_1, θ_2

$$\begin{cases} X_C = X_D - R_2 \cos(\theta_2) \cos(\alpha_1) \\ Y_C = Y_D - R_2 \cos(\theta_2) \sin(\alpha_1) \\ Z_C = Z_D + R_2(1 - \sin(\theta_2)) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \theta_1 = 0.5 - \theta_2 \\ \theta_2 = 0.5 - \theta_1 \end{cases} \quad (9)$$

(8) 第一、二造斜段的弧长 L_2, L_4

$$L_2 = R_1 \cdot \theta_1; L_4 = R_2 \cdot \theta_2 \quad (10)$$

(9) 水平段 BC 长度 L_3

$$L_3 = \sqrt{X_{O1}^2 + Y_{O1}^2} - L_1 \sin(\theta_1) - R_1 \cos(\theta_1) - L_5 \sin(\theta_2) - R_2 \cos(\theta_2) \quad (11)$$

(10) 钻孔总孔深 L

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 \quad (12)$$

$$\cos^{-1} \left(\frac{R_1}{\sqrt{(R_1 - H)^2 + X_B^2 + Y_B^2 + Z_B^2}} \right) \quad (14)$$

2.2 出土点 O_1 位置受到限制

给定条件为： O_1 点坐标 (X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1}) ； O, O_1 的顶角 θ_1, θ_2 ；埋管深度 H 。

首先求出第一、二造斜段的曲率半径 R_1, R_2 ，再求 A 点坐标 (X_A, Y_A, Z_A) 。

$$\begin{cases} X_A = (H - R_1(1 - \sin(\theta_1))) \tan(\theta_1) \cos(\alpha_1) \\ Y_A = (H - R_1(1 - \sin(\theta_1))) \tan(\theta_1) \sin(\alpha_1) \\ Z_A = (H - R_1(1 - \sin(\theta_1))) \end{cases} \quad (13)$$

其余各参数的计算方法同上。

2.3 水平穿越点(B、C点)位置受到限制

给定条件为： B 点坐标 (X_B, Y_B, Z_B) ； C 点坐标 (X_C, Y_C, Z_C) ； O_1 的顶角 θ_2 ；埋管深度 H 。

(1) 求出第一、二造斜段的曲率半径 R_1, R_2 。

(2) 顶角 θ_1

$$\theta_1 = 0.5 - (\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{X_B^2 + Y_B^2 + Z_B^2}}{|R_1 - H|} \right) - \theta_2) \quad (15)$$

(3) 求出 A 点坐标 (X_A, Y_A, Z_A)

(4) 水平段 BC 长度 L_3

$$L_3 = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2} \quad (15)$$

(5) D 点坐标 (X_D, Y_D, Z_D)

$$\begin{cases} X_D = X_C + R_2 \cos(\theta_2) \cos(\alpha_1) \\ Y_D = Y_C + R_2 \cos(\theta_2) \sin(\alpha_1) \\ Z_D = Z_C - R_2(1 - \sin(\theta_2)) \end{cases} \quad (16)$$

(6) O_1 点坐标 (X_{O1}, Y_{O1}, Z_{O1})

$$\begin{cases} X_{O1} = X_D + (Z_D + h_1) \tan(\theta_2) \cos(\alpha_1) \\ Y_{O1} = Y_D + (Z_D + h_1) \tan(\theta_2) \sin(\alpha_1) \\ Z_{O1} = -h_1 \end{cases} \quad (17)$$

其余各参数的计算方法同上。

2.4 直线段任一点的坐标

计算直线段任一点的坐标是为了在施工时与测量结果进行比较，控制直线段。设直线段任一点到当前直线段起点的长度为 L_{1X}, L_{2X} 。

对于第一直线段有:

$$\begin{cases} X_{oX} = L_{1X} \sin(\alpha_1) \cos(\beta_1) \\ Y_{oX} = L_{1X} \sin(\alpha_1) \sin(\beta_1) \\ Z_{oX} = L_{1X} \cos(\alpha_1) \end{cases} \quad (18)$$

对于第二直线段有:

$$\begin{cases} X_{DX} = X_D + L_{2X} \sin(\alpha_2) \cos(\beta_1) \\ Y_{DX} = Y_D + L_{2X} \sin(\alpha_2) \sin(\beta_1) \\ Z_{DX} = Z_D - L_{2X} \cos(\alpha_2) \end{cases} \quad (19)$$

第一造斜段任一点的坐标为:

$$\begin{cases} X_{AX} = X_A + R_1 \tan\left(\frac{\alpha_1 X}{2}\right) (\sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_1 X)) \cos(\beta_1) \\ Y_{AX} = Y_A + R_1 \tan\left(\frac{\alpha_1 X}{2}\right) (\sin(\alpha_1) + \sin(\alpha_1 X)) \sin(\beta_1) \\ Z_{AX} = Z_A + R_1 \tan\left(\frac{\alpha_1 X}{2}\right) (\cos(\alpha_1) + \cos(\alpha_1 X)) \end{cases} \quad (20)$$

第二造斜段任一点的坐标为:

$$\begin{cases} X_{CX} = X_C + R_2 \tan\left(\frac{\alpha_2 X}{2}\right) (\sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2 X)) \cos(\beta_1) \\ Y_{CX} = Y_C + R_2 \tan\left(\frac{\alpha_2 X}{2}\right) (\sin(\alpha_2) + \sin(\alpha_2 X)) \sin(\beta_1) \\ Z_{CX} = Z_C - R_2 \tan\left(\frac{\alpha_2 X}{2}\right) (\cos(\alpha_2) + \cos(\alpha_2 X)) \end{cases} \quad (21)$$

2.5 曲线段任一点的参数

计算曲线段任一点的顶角、坐标是为了在施工时与测量结果进行比较,控制造斜段。设造斜段任一点到当前造斜段起点的长度为 L_{h1X} 、 L_{h2X} 。

则第一、二造斜段任一点弯曲角为:

$$\alpha_{1X} = \frac{L_{h1X}}{R_1}; \quad \alpha_{2X} = \frac{L_{h2X}}{R_2} \quad (20)$$

第一、二造斜段任一点顶角为:

$$\beta_{1X} = \beta_1 + \alpha_{1X}; \quad \beta_{2X} = 0.5\beta_1 - \alpha_{2X} \quad (21)$$

DESIGN OF DIRECTIONAL DRILLING/ GUIDED BORING HOLE SECTION

JIANG Guo - sheng, ZHANG Jia - ming, DOU bin

Abstract: The article discuss the mathematical model of directional drilling/ guided boring hole section for trenchless.

Key words: directional drilling/ guided boring, trenchless, hole section design

第一作者简介:

蒋国盛(1956年-),男,博士,副教授。现在中国地质大学(武汉)工程学院勘察与基础工程系从事探矿工程和基础工程的教学和科研工作。

通讯地址:湖北省武汉市 中国地质大学工程学院 邮政编码:430074



我国隧道钻爆法施工世界先进

继秦岭隧道创造多项国际、国内纪录之后,我国第二大双线铁路隧道——铁一局五处承建的长梁山隧道再创多项软弱围岩施工纪录。有关专家作出定论,我国隧道钻爆法施工已达到世界先进水平。

在隧道施工方面,世界上主要有两种施工手段:一种为钻爆法施工,即传统的打眼、放炮、化整为零的掘进方法;另一种为采用掘进机整体掘进。两种施工手段相比较,钻爆法施工具有资金、设备投放少,成本低廉,适应于各种自然环境和地质结构,快

速、机动、灵活和适应力强等特点,更适合我国国情。

长梁山隧道全长 12.78 km,为我国第二大双线铁路隧道,其复杂的地层结构为我国隧道施工史上所罕见。铁一局五处在施工中通过超前地质预报,随时变换施工工艺和推广应用湿喷、钢纤维喷锚等国际先进技术,使隧道初期支护达到国际领先水平,成功地突破了 Ⅴ类围岩不能全断面开挖的禁区,创造出渡过 320 m 特大断层无一坍塌、软弱围岩双线月成洞 344 m 的国家纪录。(据《中国建设报》)