

# 修正惯用法管片环弯曲刚度有效率和弯矩提高率的研究

黄正荣 朱 伟 梁精华

(河海大学 岩土工程研究所 南京 210098)

**摘 要:** 介绍了修正惯用法管片环弯曲刚度有效率和弯矩提高率的定义,论述了用梁-弹簧模型确定弯曲刚度有效率和弯矩提高率的方法,研究了接头刚度对弯曲刚度有效率和弯矩提高率的影响,提出了管片环弯曲刚度有效率和弯矩提高率的拟合公式,对盾构管片的设计具有一定的指导作用。

**关键词:** 盾构衬砌 修正惯用法 梁-弹簧模型 接头刚度 弯曲刚度有效率

## STUDY ON EFFECTIVE BENDING RIGIDITY RATIOS AND MOMENT INCREASING RATES IN MODIFIED ROUTINE METHOD

Huang Zhengrong Zhu Wei Liang Jinghua

(Geotechnical Research Institute, Hohai University Nanjing 210098)

**Abstract:** It is introduced the definition of effective bending rigidity ratios and moment increasing rates, and it also discusses the method which can be used to determine the effective bending rigidity ratios and moment increasing rates with beam-spring modal. The effect of the joint stiffness on the effective bending rigidity ratios and moment increasing rates is researched, thus presenting the fitting formula of the effective bending rigidity ratios and moment increasing ratios, which has guidance to designing shield segment.

**Keywords:** shield segment modified routine method beam-spring modal joint stiffness effective bending rigidity ratios

近年来,我国各大城市开始大规模的地下铁路建设,盾构隧道施工技术除在上海有较为成熟的使用外,在北京、广州、南京、深圳等地都开始了广泛的使用。在盾构施工中衬砌管片的投资一般占工程投资的30%~40%,是影响施工经济性和结构安全性的重要因素,因此安全合理地进行盾构衬砌设计具有重大的意义。目前工程界进行盾构衬砌设计时大都采用较通用的修正惯用法<sup>[1]</sup>。如广州地铁一号线盾构区间为日本青木公司承包,其计算方法采用了修正惯用法。考虑到错缝拼装方式的管片,将管片接头部分弯曲刚度的下降均摊到管片环上,可弥补因管片接头存在造成的刚度下降,根据工程经验和试验分析,计算中修正惯用法引入了两个参数:管片环弯曲刚度有效率 $\eta$ 和弯矩提高率 $\mu$ 。胡如军<sup>[2]</sup>研究了 $\eta$ 的变化对管片环内力的影响,明确了 $\eta$ 的取值可引起内力发生10%幅度的变化;黄钟晖<sup>[3]</sup>研究了 $\mu$ 的变化对管片环计算内力的影响, $\mu$ 的取值可以造成内力的计算值变化30%。由此可见, $\eta$ 和 $\mu$ 的取值对结果有较大的影响。 $\eta$ 和 $\mu$ 除了随管片种类、管片接头构造形式、错缝拼装方法等变化外,

周围土层对它们也有明显的影响。目前对 $\eta$ 和 $\mu$ 的确定主要以试验结果为基础,凭借以往工程经验确定,具有很大的随意性和不确定性。在工程设计中如何选取 $\eta$ 和 $\mu$ 值,成为影响内力计算的重要问题。本文应用梁-弹簧模型分析了接头刚度对管片环弯曲刚度有效率 $\eta$ 和弯矩提高率 $\mu$ 的影响,提出了合理的管片环弯曲刚度有效率 $\eta$ 和弯矩提高率 $\mu$ 的取值方法和范围。

### 1 管片环弯曲刚度有效率 $\eta$ 和弯矩提高率 $\mu$ 的定义

修正惯用法假设将接头部分弯曲刚度的下降评价为环整体的弯曲刚度的下降,认为管片环是弯曲刚度为 $EI$ 的等效均质环,弯曲刚度有效率 $\eta$ 是等效均质环的弯曲刚度与管片主体截面弯曲刚度的比值。在该方法中,还考虑到错缝拼装接头部分的弯矩分配,把弯曲刚度为 $EI$ 等效均质环推算出来的截面弯矩再增减(弯矩的提高率 $\mu$ ),设 $(1+\mu)$ ·

第一作者:黄正荣 男 1975年7月出生 博士研究生

收稿日期:2005-08-18

$M$  为主截面的设计弯矩,  $(1 - \eta)M$  为接头的设计弯矩, 弯矩的提高率  $\eta$  是传递给与接头邻近管片上的弯矩  $M_2$  与等效均质环上产生的弯矩  $M$  之比 ( $M_2/M$ ), 如图 1。

图 1 接头处弯矩传递示意

## 2 梁 - 弹簧模型计算管片环弯曲刚度有效率 $\eta$ 和弯矩提高率 $\eta$

### 2.1 $\eta$ 和 $\eta$ 的计算方法

在盾构隧道结构断面受力的工程设计中, 梁 - 弹簧模型能较好地反映管片的受力状态, 其中梁分为直梁和曲梁两类, 主要用于模拟管片部分, 而弹簧用于模拟管片间接头部分, 本文主要应用梁 - 弹簧模型<sup>[4-7]</sup>来计算分析修正惯用法中的弯曲刚度有效率  $\eta$  和弯矩提高率  $\eta$ 。对于弯曲刚度有效率  $\eta$ , 如图 2。首先, 将梁 - 弹簧模型中管片接头刚度设为无穷大 (实际计算过程中取一个较大的数, 可进行试算, 当增大片间接头刚度时, 管片的位移不再减小), 得到最大水平位移  $D_2$ ; 其次, 将管片接头刚度改为实际刚度, 求得最大水平位移  $D_1$ , 则弯曲刚度有效率:

$$\eta = D_2 / D_1 \quad (1)$$

对于弯矩提高率  $\eta$ , 利用梁 - 弹簧模型求得一环接头处的弯矩  $M_2$  和相邻环管片体相应位置处的弯矩  $M_{1s}$ , 两环承担的总弯矩是  $M = M_2 + M_{1s}$ 。如两环都为均质圆环, 则环间没有弯矩传递, 这两个位置处的弯矩均为  $M/2$ , 则根据修正惯用法弯矩提高率  $\eta$  的定义有:

$$\begin{cases} M_2 = M(1 - \eta)/2 \\ M_{1s} = M(1 + \eta)/2 \end{cases} \quad (2)$$

即 
$$\eta = 1 - 2 \frac{M_2}{M} \quad (3)$$

图 2 管片环弯曲刚度有效率的定义

## 2.2 基本计算条件

根据南京地铁某工段的情况, 对隧道作用土压力进行了适当的简化, 设隧道上方和下方的均布荷载均为  $120 \text{ kN/m}^2$ , 作用在隧道左方和右方的均布荷载均为  $52 \text{ kN/m}^2$ , 地基抗力系数  $k = 9\ 500 \text{ N/m}^3$ 。管片的相关结构参数: 管片环外直径  $6.2 \text{ m}$ , 内直径为  $5.5 \text{ m}$ , 管片环宽  $1.2 \text{ m}$ , 使用 C50 钢筋混凝土管片, 混凝土弹性模量  $3.45 \times 10^4 \text{ MPa}$ ; 采用国内较常用的 6 块分割, 小封顶。标准块圆心角为  $67.5^\circ$ , 两相邻块圆心角为  $68.0^\circ$ , 封顶块圆心角为  $21.5^\circ$ , 纵向接头 16 处, 按  $22.5^\circ$  等角度布置。本文应用梁 - 弹簧模型来分析修正惯用法的两个参数: 弯曲刚度有效率  $\eta$  和弯矩提高率  $\eta$ , 故只考虑衬砌管片环在纵向按错缝方式拼装, 分两组: 1) 两环为一组, 第一环封顶块管片左偏  $11.25^\circ$ , 第二环封顶块右偏  $11.25^\circ$  的拼装 (简称  $22.5^\circ$  错缝拼装), 如图 3; 2) 两环为一组, 第一环封顶管片左偏  $22.5^\circ$ , 第二环封顶块右偏  $22.5^\circ$  的拼装 (简称  $45^\circ$  错缝拼装)。

图 3 管片分块及拼装示意

## 2.3 接头与管片的基本参数

对于管片接头和管片环间接头弹簧基本参数, 参考国内外地铁盾构隧道设计的一些实例, 取值如表 1。

表 1 接头弹簧的基本参数

管片接头弹簧的基本参数			管片环间接头弹簧的基本参数		
刚度	含义	取值/( $\text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$ )	刚度	含义	取值/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )
$k^+$	正方向	$5.0 \times 10^4$	$k_s$	切向剪切	$1.2 \times 10^6$
$k^-$	负方向	$4.0 \times 10^4$	$k_n$	径向剪切	$2.0 \times 10^5$

为了便于比较分析接头刚度变化对管片环弯曲刚度有效率  $\eta$  和弯矩提高率  $\eta$  的影响, 在考虑接头刚度变化时, 正弯曲刚度  $k^+$  和负弯曲刚度  $k^-$  放大或缩小相同的倍数, 径向剪切刚度  $k_n$  和切向剪切刚度  $k_s$  放大或缩小相同的倍数。  $\eta$  和  $\eta$  取决于管片本身的力学特性和接头的力学特性之间的相对关系, 因此提出 2 个可以表达这种相对关系的刚度参数: 环向相对刚度  $\eta_1$  和径向相对刚度  $\eta_2$ , 作为计算  $\eta$  和  $\eta$  的主要参数。

环向相对刚度  $\beta_1$  :

$$\beta_1 = \frac{k}{k_1} \quad (4)$$

其中

$$k_1 = \frac{EI}{R} \quad (4a)$$

式中,  $k$  为管片接头弯曲刚度; 计算时取正弯曲刚度  $k^+$ ;  $R$  为管片环的半径;  $E$  为混凝土管片的弹性模量;  $I$  为混凝土管片的主截面惯性矩; 则  $k_1$  的因次与管片的线刚度一样, 因为管片的弧长  $l = R$ , 当圆心角一定时,  $l$  仅与  $R$  有关。

实际工程中, 各管片的线刚度是不同的, 故  $k_1$  没有取各管片的实际线刚度, 而取为式(4a), 例如当管片的截面惯性矩  $EI$  不变, 而管片环的半径变为  $2R$ , 如需保持  $\beta_1$  不变, 则  $k$  必须减小  $1/2$ 。

径向相对刚度  $\beta_2$  :

$$\beta_2 = \frac{k_n}{k_2} \quad (5)$$

$$\text{其中 } k_2 = \frac{EL_c}{\left(\frac{b}{h}\right)^3 + \frac{2k(1+\mu)b}{h}} \quad (5a)$$

式中,  $k_n$  为环间接头径向剪切刚度;  $k_2$  为衬砌变形阶段环间接头径向剪切刚度<sup>[3]</sup>;  $L_c$  为衬砌计算时划分单元的长度;  $b$  为管片环的宽度;  $h$  为管片环的厚度;  $\mu$  为泊松比;  $k$  为考虑剪应力在截面上分布不均匀的修正系数, 一般可取为 1.2。

### 3 两种拼装方式对 $\beta_1$ 的影响

为了解不同拼装形式下  $\beta_1$  的取值变化, 通过梁-弹簧模型对两种拼装形式进行了计算。将计算结果整理, 取  $\lg \beta_2 = 0$  时, 作出  $\beta_1 - \lg \beta_1$  关系图, 如图 4a; 取  $\lg \beta_1 = 0$  时, 作出  $\beta_1 - \lg \beta_2$  关系图, 如图 4b。

a -  $\lg \beta_1$  - ; b -  $\lg \beta_2$  -  
1 - 错缝 22.5°; 2 - 错缝 45°  
图 4  $\lg \beta_1$  - 关系曲线

从图 4a 可以看出, 当  $\lg \beta_2 = 0$  时, 对于错缝 22.5 和错缝 45 两种拼装方式, 随  $\lg \beta_1$  的变化, 管片环弯曲刚度有效率 相差不得超过 2%; 从图 4b 可以看出, 当  $\lg \beta_1 = 0$  时, 对于错缝 22.5 和错缝 45 两种拼装方式, 随  $\lg \beta_2$  的变化, 管片环弯曲刚度有效率

相差不超过 3%; 对于图 4a, 当  $\lg \beta_2$  取其他值时, 管片环弯曲刚度有效率 相差不超过 2%; 对于图 4b, 当  $\lg \beta_1$  取其他值时, 管片环弯曲刚度有效率 相差不超过 3%。故可以认为, 两种错缝拼装方式对于管片环弯曲刚度有效率 的影响不大, 以下主要讨论错缝 22.5 的拼装方式。

### 4 相对刚度与 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 的关系

根据实际工程应用管片环的计算结果, 环向相对刚度  $\beta_1$  一般在 0.16 ~ 20 范围内变化, 径向相对刚度  $\beta_2$  一般在 0.01 ~ 5 范围内变化。在此范围内使用梁-弹簧模型, 对  $\beta_1$  和  $\beta_2$  进行计算, 将计算结果整理为  $\beta_1 - \lg \beta_1$ 、 $\beta_1 - \lg \beta_2$ 、 $\beta_2 - \lg \beta_1$  和  $\beta_2 - \lg \beta_2$  关系图。

从图 5a 中可以看出,  $\beta_1$  值随管片接头刚度增大而增大, 无论环间接头刚度多大, 随着管片接头刚度的增大,  $\beta_1$  总会接近于 1, 此时, 管片环的弯曲刚度接近于或相当于均质圆环的刚度。从图 5b 中可以看出, 在管片接头刚度一定时,  $\beta_1$  与  $\lg \beta_2$  基本呈线性关系,  $\beta_1$  值随环间接头刚度增大而增大, 当管片接头刚度较小时, 直线斜率较大, 即环间接头刚度变化对  $\beta_1$  值的影响较大; 当管片接头刚度较大时, 直线斜率较小, 即环间接头刚度变化对  $\beta_1$  值的影响较小。

a -  $\lg \beta_1$  - ; b -  $\lg \beta_2$  -  
1 -  $\beta_2 = 2$ ; 2 -  $\beta_2 = 1$ ; 3 -  $\beta_2 = 0.5$ ; 4 -  $\beta_2 = 0.2$ ;  
5 -  $\beta_2 = 0.1$ ; 6 -  $\beta_2 = 0.03$ ; 7 -  $\beta_1 = 20$ ; 8 -  $\beta_1 = 2$ ;  
9 -  $\beta_1 = 0.6$ ; 10 -  $\beta_1 = 4$ ; 11 -  $\beta_1 = 1$ ; 12 -  $\beta_1 = 0.2$

图 5  $\lg \beta_1$  - 关系曲线

图 6 为第 1 环各个管片接头处  $\beta_1 - \lg \beta_1$  关系示意,  $\lg \beta_2 = 0$ 。从图 6 可以看出, 各个接头处的  $\beta_1$  值是不相同的, 其中 32.75 接头处的  $\beta_1$  最大, 235.75 接头处的  $\beta_1$  值最小, 可见, 由于各个接头位置不同, 其受到来自相邻环的约束不同, 向相邻环传递的弯矩也各不相同, 因此在使用修正惯用法计算错缝衬砌的弯矩中, 对所有接头采用相同的弯矩传递率得出的结果不很合理。

图 7 为 32.75 处管片接头  $\beta_1 - \lg \beta_1$  关系。从图

中可以看出,  $\beta$  值随管片接头刚度的增大而减小, 极限情况是当管片接头刚度为无穷大时, 管片环的弯曲刚度接近于或相当于均质圆环的刚度, 不存在所谓通缝和错缝之分, 也就不会存在环与环之间的传递作用, 即  $\beta$  为零。当管片接头刚度较小时, 环间刚度变化对  $\beta$  值的影响较大; 当片间接头刚度较大时, 环间刚度变化对  $\beta$  值的影响较小。

1 - 错缝 11.25°; 2 - 错缝 32.75°; 3 - 错缝 100.75°;  
4 - 错缝 168.25°; 5 - 错缝 235.75°; 6 - 错缝 303.25°

图6 不同错缝时  $\lg \beta_1$  -  $\beta$  关系曲线

1 -  $\beta_2 = 0.02$ ; 2 -  $\beta_2 = 0.05$ ; 3 -  $\beta_2 = 0.1$ ;  
4 -  $\beta_2 = 0.2$ ; 5 -  $\beta_2 = 0.75$ ; 6 -  $\beta_2 = 2$

图7 不同  $\beta_2$  时  $\lg \beta_1$  -  $\beta$  关系曲线

图8为32.75°处管片接头  $\beta$  -  $\lg \beta_2$  关系, 从图8可以看出,  $\beta$  值随环间接头刚度的增大而增大, 当管片接头刚度较小时,  $\beta$  随环间接头刚度的增大而增大得较快, 说明当管片接头刚度较小时, 环间接头的变化对  $\beta$  的影响较大, 当管片接头刚度较大时,  $\beta$  随环间接头刚度的增大而增大得较慢, 说明当管片接头刚度较大时, 环间接头的变化对  $\beta$  的影响较小。

1 -  $\beta_1 = 0.2$ ; 2 -  $\beta_1 = 0.4$ ; 3 -  $\beta_1 = 1.0$ ;  
4 -  $\beta_1 = 3$ ; 5 -  $\beta_1 = 6$ ; 6 -  $\beta_1 = 20$

图8  $\lg \beta_2$  -  $\beta$  关系曲线

管片环弯曲刚度有效率  $\eta$  既受到管片接头刚度的影响, 也受到环间接头刚度的影响, 在图5a上

作一条  $\eta = 0.7$  的直线和  $\beta - \lg \beta_1$  曲线有多个交点, 可以直观地看出, 对应于  $\eta = 0.7$ , 有多种管片接头刚度和环间接头刚度的组合, 也即有多个不同的  $\beta$  值对应。从图7可以看出, 管片接头刚度较大, 环间接头刚度较小时,  $\beta$  值较小; 管片接头刚度较小, 环间接头刚度较大时,  $\beta$  值较大。

## 5 根据相对刚度的 $\beta$ 和 $\beta_1$ 的推算法

从图5b可以看出, 当环向相对刚度  $\beta_1$  一定时,  $\beta$  与  $\lg \beta_2$  基本呈线性关系, 可以拟合成:

$$\beta = a \lg \beta_2 + b \quad (6)$$

图5b中, 点代表梁-弹簧模型计算值, 直线代表拟合值。

参数  $a$ 、 $b$  和均方差  $R^2$  见表2。

表2 拟合公式参数

$\lg \beta_1$	$a$	$b$	$R^2$
2.3	0.000 01	0.995 6	0.908 3
1.30	0.001 0	0.959 6	0.978 3
1.00	0.003 4	0.925 9	0.982 0
0.78	0.007 9	0.888 6	0.985 3
0.60	0.021 5	0.820 4	0.990 4
0.30	0.035 2	0.773 9	0.993 2
0.20	0.044 8	0.747 5	0.994 6
0.00	0.069 0	0.692 9	0.996 8
- 0.22	0.099 1	0.639 7	0.998 2
- 0.40	0.122 8	0.604 6	0.998 9
- 0.70	0.157 9	0.560 4	0.999 4
- 0.80	0.167 3	0.549 9	0.999 4

从表2中可以看出, 均方差  $R^2$  均接近于1, 可见其线性相关性较强。

从图8可以看出, 当环向相对刚度  $\beta_1$  一定时,  $\beta$  与  $\lg \beta_2$  基本呈分段线性关系, 可以拟合成:

$$\beta = c \lg \beta_2 + d \quad (7)$$

图8中, 点代表梁-弹簧模型计算值, 直线代表拟合值。

参数  $c$ 、 $d$  和均方差  $R^2$  见表3。从表3中可以看出, 均方差  $R^2$  均接近于1, 可见其线性相关性较强。根据径向相对刚度  $\beta_2$  与  $\beta$  之间良好的拟合关系, 在实际设计计算时, 可根据管片-螺栓的径向相对刚度  $\beta_2$  和表2的拟合参数对  $\beta$  使用式(6)进行计算。同样根据径向相对刚度  $\beta_2$  与  $\beta$  之间良好的拟合关系, 可根据管片-螺栓的径向相对刚度  $\beta_2$  和表3的拟合参数对  $\beta$  使用式(7)进行计算。

表3 拟合公式参数

lg $\rho_1$	lg $\rho_2 < 0.3$			lg $\rho_2 > 0.3$		
	c	d	R <sup>2</sup>	c	d	R <sup>2</sup>
2.30	0.002 8	0.006 9	0.996 1	0.006 9	0.008 5	0.983 8
1.30	0.026 6	0.065 2	0.996 6	0.062 3	0.079 3	0.984 6
1.00	0.049 4	0.122 1	0.996 9	0.113 0	0.147 8	0.987 1
0.78	0.075 2	0.187 5	0.997 2	0.166 7	0.225 4	0.989 8
0.60	0.101 0	0.254 2	0.997 4	0.215 6	0.303 3	0.992 5
0.48	0.122 6	0.310 8	0.997 6	0.252 2	0.368 3	0.994 6
0.30	0.154 2	0.396 5	0.997 7	0.296 4	0.464 0	0.997 4
0.20	0.170 9	0.443 5	0.997 7	0.313 1	0.514 6	0.998 5
0.00	0.206 9	0.545 9	0.997 4	0.327 3	0.614 1	0.999 1
- 0.22	0.254 9	0.677 5	0.998 5	0.289 7	0.696 0	0.997 6
- 0.40	0.270 3	0.756 8	0.998 1	0.251 8	0.759 9	0.994 2
- 0.70	0.302 8	0.942 1	0.997 4	0.203 3	0.927 1	0.971 8
- 0.80	0.315 2	1.000 2	0.997 5	0.182 5	0.968 0	0.963 0

6 结 论

1)修正惯用法中  $\rho_1$  和  $\rho_2$  取决于管片本身的力学特性和接头的力学特性之间的相对关系,因此提出2个可以表达这种相对关系的刚度参数:环向相对刚度  $\rho_1$  和径向相对刚度  $\rho_2$ ,作为计算  $\rho$  和  $\eta$  的主要参数。

2)国内较常用的6块分割、小封顶、错缝22.5°和错缝45°两种拼装方式,对于管片环弯曲刚度有效率  $\eta$  的影响不大,其影响不超过3%。

3)管片环弯曲刚度有效率  $\eta$  既受管片接头刚度的影响,也受环间接头刚度的影响,随管片接头刚度的增大而增大,无论环间接头刚度多大,随着管片接头刚度的增大,  $\eta$  总会接近于1,  $\eta$  值随环间接头刚度增大而增大,当管片接头刚度较小时,环间接头刚度变化对  $\eta$  值的影响较大;当管片接头刚度较大时,环间接头刚度变化对  $\eta$  值的影响较小。

4)由于各个接头位置不同,其受到来自相邻环的约束不同,向相邻环传递的弯矩也各不相同,故各个接头的弯矩传递率是不同的,因此在用修正惯用

法计算错缝衬砌的弯矩时,对所有接头采用相同的弯矩传递率得出的结果不太合理。

5)  $\eta$  值随管片接头刚度的增大而减小,极限情况是当管片接头刚度为无穷大时,管片环的弯曲刚度接近于或相当于均质圆环的刚度,  $\eta$  为零。当管片接头刚度较小时,环间刚度变化对  $\eta$  值的影响较大;当片间接头刚度较大时,环间刚度变化对  $\eta$  值的影响较小。

6)当管片环的弯曲刚度的有效率  $\eta$  接近于1时,管片环接近或相当于均质圆环,不存在环与环之间的传递作用,即  $\eta$  为零。但当  $\eta$  为一不接近于1的定值时,弯矩传递率  $\eta$  可以有多个值与之对应,究其原因,主要是因为对于相同的  $\rho$ ,可以有不同组的管片接头和环间接头组合。

7)当管片接头刚度即  $\lg \rho_1$  一定时,  $\eta$  与  $\lg \rho_2$  基本呈线性关系,本文将其拟合成为  $\eta = a \lg \rho_2 + b$  的直线形式;当管片接头刚度即  $\lg \rho_1$  一定时,  $\eta$  与  $\lg \rho_2$  基本呈分段线性关系,本文将其拟合成为  $\eta = c \lg \rho_2 + d$  的直线形式;对工程设计具有一定的指导作用。

参考文献

- 1 日本土木学会.日本土木学会隧道标准规范(盾构篇)及解说.朱伟,译.北京:中国建筑工业出版社,2001
- 2 胡如军.盾构隧道衬砌管片设计理论研究:[硕士学位论文].南京:河海大学,2002
- 3 黄钟晖.盾构法隧道错缝拼装衬砌受力机理的研究:[硕士学位论文].上海:同济大学,2001
- 4 朱合华,陶履彬.盾构隧道衬砌结构受力分析的梁-弹簧系统模型.岩土力学,1998,19(2):26-32
- 5 朱合华,崔茂玉,杨金松.盾构衬砌管片的设计模型与荷载分布的研究.岩土工程学报,2000,22(2):190-194
- 6 朱合华,杨林德,陈清军,等.盾构隧道管片接头衬砌系统的两种受力设计模型.工程力学,1996(增刊):395-399
- 7 村上博智,小泉淳.シールド工用・ダメントの・ダメントの手の動について//土木学会論文報告集.东京:1980:73-86

(上接第44页)

制可靠度分析内容,与整体位移控制相比,实时位移控制对于基坑支护结构来说显得更有意义,更能体现当前工况墙体的可靠度水平,更能主动实现基坑施工结构的最终可靠度要求。但关于实时位移限值的取值还有待于做进一步的探讨。

据跟随施工过程实时位移控制的可靠度分析得到的可靠度指标,可以判定当前工况支护结构的可靠程度;与规范要求做比较,可靠度指标如果偏小,说明存在安全隐患,需要采取恰当的施工控制措施

进行防范,保证下一工况支护结构安全,进而达到保证最终结构的安全;可靠度指标如果偏大,说明设计比较保守,则可以通过计算适当减小支撑构件的截面尺寸或者在今后类似工程中减小围护结构如地下连续墙的截面尺寸,达到在满足安全性的前提下提高支护结构的经济性。

参考文献

- 1 刘国彬,沈建明,侯学渊.深基坑支护结构的可靠度分析.同济大学学报,1998,26(3):260-264

