



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108571328 B

(45) 授权公告日 2023.08.04

(21) 申请号 201810693763.7	CN 207194905 U, 2018.04.06
(22) 申请日 2018.06.29	JP H0754593 A, 1995.02.28
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 108571328 A	WO 2009124421 A1, 2009.10.15
(43) 申请公布日 2018.09.25	WO 2018086085 A1, 2018.05.17
(73) 专利权人 西南交通大学 地址 610031 四川省成都市二环路北一段 111号 专利权人 中铁十四局集团有限公司	CN 201407054 Y, 2010.02.17
(72) 发明人 何川 王士民 陈健 王承震 杨赛舟 王焕 包雨生 李占先	CN 107355239 A, 2017.11.17
(74) 专利代理机构 北京正华智诚专利代理事务 所(普通合伙) 11870 专利代理师 刘方正	CN 101586463 A, 2009.11.25
(51) Int. Cl. E21D 11/08 (2006.01) E21D 11/15 (2006.01)	CN 101667220 A, 2010.03.10
(56) 对比文件 CN 104537162 A, 2015.04.22	CN 103924982 A, 2014.07.16
CN 104453948 A, 2015.03.25	CN 104612724 A, 2015.05.13
CN 104464500 A, 2015.03.25	CN 105890834 A, 2016.08.24
CN 202522428 U, 2012.11.07	CN 107301305 A, 2017.10.27
CN 203702164 U, 2014.07.09	CN 107795325 A, 2018.03.13
	CN 204646256 U, 2015.09.16
	CN 206801595 U, 2017.12.26
	CN 208330399 U, 2019.01.04
	DE 2200801 A1, 1972.07.20
	JP 2000080892 A, 2000.03.21
	JP 2003184490 A, 2003.07.03
	JP H04357300 A, 1992.12.10
	JP H11210388 A, 1999.08.03
	苏宗贤; 何川. 荷载-结构模式的壳-弹簧-接触模型. 西南交通大学学报. 2007, (第03期), 37-41+53.

审查员 赵锦绣

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

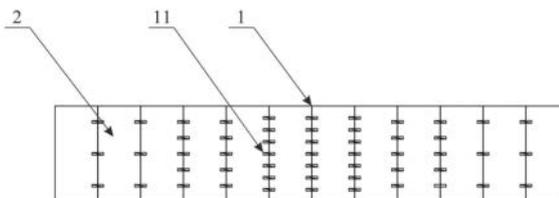
(54) 发明名称

一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构及设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构及设计方法,所述结构其包括交界段,交界段的两侧为常规管段;所述交界段上相邻管片环间的纵向接头螺栓刚度大于常规管段的纵向接头螺栓刚度。所述设计方法包括建立盾构隧道纵向有限元数值计算模型,取隧道衬砌管片为混凝土管片,计算地层交界段产生的纵向沉降量及纵向变形曲线半径。本发明能够有效解决

现有技术中软硬地层交界段的盾构隧道管片衬砌结构纵向变形过大、不均匀应力集中、环间纵向接头发生破坏的问题。



CN 108571328 B

1. 一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法,其特征在于,

地层交界段盾构隧道管片衬砌结构包括交界段,交界段的两侧为常规管段;所述交界段上相邻管片环间的纵向接头螺栓刚度大于常规管段的纵向接头螺栓刚度;所述交界段的管片为钢管片,所述常规管段的管片为混凝土管片;

所述设计方法包括如下步骤:

S1、使用计算软件ANSYS建立盾构隧道纵向有限元数值计算模型,并将模型中的隧道衬砌管片参数设置为混凝土管片,通过模型计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_1 及纵向变形曲线半径 R ;

所述使用计算软件ANSYS建立盾构隧道纵向有限元数值计算模型的方法为:

使用计算软件ANSYS进行建模,通过内置三维壳单元模拟混凝土管片,其中取 $ex1$ 为混凝土管片的弹性模量;通过压杆单元模拟不同土层,三维销钉铰链单元模拟环向接头螺栓,拉杆单元模拟纵向接头螺栓,螺栓尺寸为纵向接头螺栓截面尺寸;压杆模拟纵向抗压接头螺栓;纵向抗拉、抗压接头螺栓截面面积相同;环向接头螺栓与纵向抗压接头螺栓位置重合,实质为同一部件;

S2、当纵向变形曲线半径的目标设定值为 R_s 时,带入模型中,并计算交界段的长度 L ;

计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_1 及纵向变形曲线半径 R :

$$h_1 = R - \sqrt{R^2 - i^2 B^2}$$

其中, i 为交界段范围内管片环数, $i=1\sim n$; B 为管片幅宽;调整 i 的取值,通过管片环数 i ,由于交界段的长度 L 为 i 的固定倍数,倍率为管片幅宽,且管片幅宽为固定值,因此可得到交界段的长度 L ;

S3、将模型中的隧道衬砌管片参数设置替换为钢管片,带入模型中,计算地层交界段产生的纵向沉降量 h'_1 及纵向变形曲线半径 R' ;

S4、增加交界段的纵向接头螺栓数量 m 或螺栓尺寸 A ,以提高环间螺栓刚度;

S5、调整交界段钢管片的钢材类型,得到调整后的钢管片的弹性模量 $ex6$;

S6、将S4和S5调整后的纵向接头螺栓数量 m 、螺栓尺寸 A 和钢管片弹性模量 $ex6$ 带入模型中,计算得到调整后的纵向沉降量 h''_1 及纵向变形曲线半径 R'' ;

S7、将调整后的纵向变形曲线半径 R'' 与目标设定值 R_s 比较,当 $R'' < R_s$ 时,重复步骤S4至S6,当 $R'' \geq R_s$ 时,对交界段的环间纵向螺栓进行强度检算;

S8、当选取的参数使强度检算不成立时,重复步骤S4至S7,当选取的参数使强度检算成立时,设计完毕。

2. 根据权利要求1所述的地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法,其特征在于,将交界段的混凝土管片替换为钢管片,为通过三维壳单元模拟钢管片,取 $ex6$ 为钢管片弹性模量。

3. 根据权利要求1所述的地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法,其特征在于,所述强度检算包括对环间纵向接头螺栓的剪应力检算。

4. 根据权利要求3所述的地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法,其特征在于,所述纵向螺栓的剪应力检算公式为:

$$\tau = \frac{Q}{A} \leq f_v$$

其中, τ 为环间纵向螺栓主截面计算剪应力; f_v 为螺栓钢材的抗剪强度设计值; Q 为钢管片的最大剪应力。

一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构及设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及隧道工程领域,具体涉及一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构及设计方法。

背景技术

[0002] 盾构隧道是在纵断方向上通过环间接头将管片环连接起来的柔性结构,在隧道由坚硬地层向软弱地层过渡区间,由于不同性质的下卧层沉降固结程度存在差异,容易使隧道发生较大的纵向不均匀沉降。

[0003] 混凝土管片在不同大小的沉降变形作用下相互之间发生挤压、扭转,导致管片局部应力过大、边角碎裂、环间产生错台和张开变形等问题。现有研究指出隧道纵向沉降半径R越小,环间错台量越大,当半径小于1000m时环缝张开量过大造成止水措施失效,引发隧道渗漏水问题。

[0004] 此外,错台变形超过容许值时,道床易与管片发生局部脱离,地铁运行引发的共振效应会加速道床破坏,对行车安全造成极大威胁,且纵向不均匀沉降引起的管片环间张开变形易使环间纵向接头螺栓所承受的拉力和剪切力急剧增大,当应力水平超过螺栓材料的极限强度后会发生接头屈曲破坏。因此,在盾构隧道研究和应用中不能忽视盾构隧道纵向不均匀沉降问题,尤其是隧道所处地层特性突变处。

[0005] 针对盾构隧道在软硬地层交界段易产生不均匀沉降的问题,现有的应对措施和方法可归为三类:一是采取地层加固处理措施,如从隧道内使用袖阀管注浆加固技术对洞周软弱地层进行处理,降低工后沉降;二是采取衬砌刚度加强措施,包括在管片内壁增设横纵钢骨架支撑等,提高整体刚度;三是采取主动适应纵向变形措施,如在混凝土管片环中每间隔一段距离布设一环钢板复合管片,增大区间隧道局部纵向柔度。

[0006] 但现有解决措施仍存在明显不足:一、地层加固需准确控制注浆压力、浆液配比及浆液耗量等参数,避免出现涌水、涌砂事故,施工难度较高;二、管片内增加支撑骨架会占用一定的内部净空,可能发生地铁限界不达标问题,且刚度增强后纵向变形引起的不均匀应力无法有效释放,易使混凝土管片出现裂缝;三、在地层交界处管片环间接头螺栓易因刚度不足而发生破坏,局部设置一环钢管片没有解决这一根本性问题。

发明内容

[0007] 本发明针对现有技术的上述不足,提供了一种能够解决现有技术中软硬地层交界段的盾构隧道管片衬砌结构纵向变形过大、不均匀应力集中、环间纵向接头发生破坏的问题的地层交界段盾构隧道管片衬砌结构及设计方法。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用了下列技术方案:

[0009] 提供了一种地层交界段盾构隧道管片衬砌结构,其包括交界段,交界段的两侧为常规管段;交界段上相邻管片环间的纵向接头螺栓刚度大于常规管段的纵向接头螺栓刚度。

[0010] 上述技术方案中,优选的,交界段管片为钢管片,所述常规管段为混凝土管片。

[0011] 本发明还提供了一种上述地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法,其包括如下步骤:

[0012] S1、使用计算软件ANSYS建立盾构隧道纵向有限元数值计算模型,并将模型中的隧道衬砌管片参数设置为混凝土管片,通过模型计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_i 及纵向变形曲线半径 R ;

[0013] S2、当纵向变形曲线半径的目标设定值为 R_s 时,带入模型中,并计算交界段的长度 L ;

[0014] S3、将模型中的隧道衬砌管片参数设置替换为钢管片,带入模型中,计算地层交界段产生的纵向沉降量 h'_i 及纵向变形曲线半径 R' ;

[0015] S4、增加交界段的纵向接头螺栓数量 m 或螺栓尺寸 A ,以提高环间螺栓刚度;

[0016] S5、调整交界段钢管片的钢材类型,得到调整后的钢管片的弹性模量 $ex6$;

[0017] S6、将S4和S5调整后的纵向接头螺栓数量 m 、螺栓尺寸 A 和钢管片弹性模量 $ex6$ 带入模型中,计算得到调整后的纵向沉降量 h''_i 及纵向变形曲线半径 R'' ;

[0018] S7、将调整后的纵向变形曲线半径 R'' 与目标设定值 R_s 比较,当 $R'' < R_s$ 时,重复步骤S4至S6,当 $R'' \geq R_s$ 时,对交界段的各管片环和环间纵向螺栓进行强度检算;

[0019] S8、当选取的参数使强度检算不成立时,重复步骤S4至S7,当选取的参数使强度检算成立时,设计完毕。

[0020] 进一步地,建立隧道纵向数值计算模型的方法为,使用计算软件ANSYS进行建模,通过内置三维壳单元模拟混凝土管片,其中取 $ex1$ 为混凝土管片的弹性模量;通过压杆单元模拟不同土层,三维销钉铰链单元模拟环向接头螺栓,拉杆单元模拟纵向接头螺栓,其中 A 为纵向接头螺栓截面面积;压杆模拟纵向抗压接头螺栓。

[0021] 进一步地,取 i 为交界段 L 范围内管片环数、 B 为管片幅宽,则所述计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_i 及纵向变形曲线半径 R 的方法为: $h_i = R - \sqrt{R^2 - i^2 B^2}$ 。

[0022] 进一步地,将交界段的混凝土管片替换为钢管片,即通过三维壳单元模拟钢管片,取 $ex6$ 为钢管片弹性模量。

[0023] 进一步地,强度检算为对环间纵向接头螺栓的剪应力检算。

[0024] 进一步地,纵向螺栓的剪应力检算的方法为,取 τ 为环间纵向螺栓主截面计算剪应力, A 为环间纵向接头螺栓截面, f_v 为螺栓钢材的抗剪强度设计值,则剪应力检算公式为:

$$\tau = \frac{Q}{A} < f_v。$$

[0025] 本发明提供的上述地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的主要有益效果在于:

[0026] 通过将软硬地层交界段的盾构隧道管片衬砌结构设置为交界段,并通过调整交界段上相邻管片环间的纵向接头螺栓的数量,有效提高管片纵向接头刚度,从而减少管片纵向接头变形,避免产生纵向不均匀沉降时接头螺栓失效破坏,提高隧道结构安全性。

[0027] 通过将交界段的管片设置为钢管片,以便于灵活调整管片及接头刚度、提高管片柔性,避免现有混凝土管片刚度较大,隧道纵向变形引起的不均匀应力无法有效释放,易出现裂纹裂缝,且混凝土管片增加纵向螺栓数量会引起局部配筋集中问题。同时将常规管段

的管片设置为混凝土管片,节省成本。

[0028] 本发明提供的上述地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法的主要有益效果在于:

[0029] 通过对交界段盾构隧道管片衬砌结构的材质和刚度进行调整,并利用数值模拟,在隧道在满足横向承载强度要求基础上,使纵向沉降曲线半径达到设计要求,有效保证了交界段衬砌结构的抗变形性能。

[0030] 通过对环间螺栓刚度的刚度和交界段的长度进行反复测试和调整,进一步保证了在软硬地层交界段的衬砌管片的良好过渡效果,从而实现降低错台量、使纵向变形均匀化、提高隧道纵向线路平顺性的目的,并得到一种在软硬地层交界段使用钢管片过渡的结构型式。

附图说明

[0031] 图1为地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的结构示意图。

[0032] 其中,1、交界段,11、纵向接头螺栓,2、常规管段。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明作进一步说明:

[0034] 如图1所示,其为地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的结构示意图。

[0035] 本发明的地层交界段盾构隧道管片衬砌结构包括交界段1,衬砌结构的交界段1位于软硬地层交界部,交界段1的两侧为常规管段2,常规管段2分别设置于软硬地层内。

[0036] 交界段1上相邻管片环间的纵向接头螺栓11的刚度大于常规管段2上的刚度;可选的,交界段1上相邻管片环间的纵向接头螺栓11的数量和尺寸大于常规管段2上的数量和尺寸,以提高交界段1上管片纵向接头的刚度,从而减少管片纵向接头变形,避免产生纵向不均匀沉降时接头螺栓失效破坏,提高隧道结构安全性。

[0037] 交界段1管片为钢管片,常规管段的管片为混凝土管片。通过将交界段1的管片设置为钢管片,以便于灵活调整管片及接头刚度、提高管片柔性,避免现有混凝土管片刚度较大,隧道纵向变形引起的不均匀应力无法有效释放,易出现裂纹裂缝,且混凝土管片增加纵向接头螺栓11数量会引起局部配筋集中问题。同时将常规管段2的管片设置为混凝土管片,节省成本。

[0038] 下面是上述地层交界段盾构隧道管片衬砌结构的设计方法的说明,其包括如下步骤:

[0039] S1、使用计算软件ANSYS建立盾构隧道纵向有限元数值计算模型,并将模型中的隧道衬砌管片参数设置为混凝土管片,通过模型计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_1 及纵向变形曲线半径R。

[0040] 进一步地,建立隧道纵向数值计算模型的方法为,使用计算软件ANSYS进行建模。

[0041] 通过内置三维壳单元模拟混凝土管片,压杆单元模拟不同土层,三维销钉铰链单元模拟环向接头螺栓,拉杆单元模拟纵向抗拉接头螺栓,压杆模拟纵向抗压接头螺栓。

[0042] 取ex1、prxz1、dens1、d1分别为混凝土管片的弹性模量、泊松比、密度及厚度;这几个参数的取值为结合具体工程管片所用混凝土强度及管片尺寸进行选择,弹性模量取值参

照《混凝土结构设计规范》规定,混凝土管片厚度按照具体工程管片厚度进行设定。

[0043] r_1 、 r_2 、 r_3 分别为环向接头螺栓剪切、拉压、转动刚度;环向接头螺栓剪切及拉压刚度这里取一个安全值,即设为一个非常大的值,如 3×10^{12} Pa;转动刚度按照工程类比法进行取值。

[0044] A 、 ex_2 、 ex_3 分别为纵向接头螺栓截面面积、纵向抗拉接头螺栓材料弹性模量以及纵向抗压接头螺栓材料弹性模量;纵向抗拉、抗压接头螺栓截面面积相同,均为 A ;环向接头螺栓与纵向抗压接头螺栓位置重合,数量均设置为 m ,实质为同一部件。

[0045] 当管片为混凝土管片时,纵向抗压接头螺栓弹性模量为混凝土弹性模量 ex_1 与环间抗压螺栓数量 m 的比值;当管片为钢管片时,抗压螺栓弹性模量为钢管片弹性模量 ex_4 与环间抗压螺栓数量 m 的比值。纵向抗拉接头螺栓弹性模量为螺栓材料弹性模量,取值依据螺栓钢材类型所对应的弹性模量。

[0046] ex_4 、 ex_5 分别为软、硬地层弹性模量,其取值参照具体工程地质勘察报告给出的地层刚度;取管片环数为 n 。

[0047] 进一步地,将上述设定值分别取值后代入模拟单元,进行数值求解,由此得到软硬地层交界段隧道纵向沉降量 h_i ,其中 i 为管片环的序号, $i=1 \sim n$;将各沉降量连接并拟合得到隧道纵向沉降曲线,由此得到使用混凝土管片情况下隧道纵向变形半径 R 。

[0048] 进一步地,取 i 为交界段范围内管片环数、 B 为管片幅宽,则计算地层交界段产生的纵向沉降量 h_i 及纵向变形曲线半径 R 的方法为:

$$[0049] \quad h_i = R - \sqrt{R^2 - i^2 B^2} \quad (1)。$$

[0050] S2、当纵向变形曲线半径的目标设定值为 R_s 时,带入模型中,并计算交界段的长度 L 。

[0051] 为进一步减小管片环错台量,因此根据设计需要满足的纵向曲线半径 R_s 的要求,代入公式(1)中,固定其他值不变,进而调整 i 的取值,通过管片环数 i ,由于交界段的长度 L 为 i 的固定倍数,倍率为管片幅宽,且管片幅宽为固定值,因此可得到交界段的长度 L ,其中 $R_s > R$ 。

[0052] S3、将模型中的隧道衬砌管片参数设置替换为钢管片,带入模型中,计算地层交界段产生的纵向沉降量 h'_i 及纵向变形曲线半径 R' 。

[0053] 进一步地,将交界段的混凝土管片替换为钢管片,即通过三维壳单元模拟钢管片,取 ex_6 、 $prxz_2$ 、 $dens_2$ 、 d_2 分别为钢管片弹性模量、泊松比、密度及厚度;其中,钢管片弹性模量按照不同钢材类型通过查表选取,钢管片厚度按照具体工程管片厚度进行设定。

[0054] 计算得到地层交界段产生的纵向沉降量 h'_i 及纵向变形曲线半径 R' 的具体计算方法同S2。

[0055] S4、增加交界段的纵向接头螺栓数量 m 或螺栓尺寸 A ,以提高环间接头螺栓刚度。

[0056] 为进一步控制不均匀变形,通过增加环间接头螺栓数量 m ,提高环间螺栓有效截面积 A ,以提高环间接头螺栓的拉压刚度。

[0057] S5、调整交界段钢管片的钢材类型,得到调整后的钢管片的弹性模量 ex_6 。

[0058] 通过调整钢材的类型,可以改变其弹性模量 ex_6 取值,进而对钢管片的抗弯刚度进行调整。钢材对应的弹性模量 ex_6 取值如表1所示。

[0059] 表1

[0060]	钢材	灰铸铁、白口铸铁	球墨铸铁	铸钢	碳钢	镍铬钢、合金钢
	弹性模量 E\GPa	113~157	140~154	172~202	196~206	206

[0061] S6、将S4和S5调整后的纵向接头螺栓数量 m 、螺栓尺寸 A 和钢管片弹性模量 e_{x6} 带入模型中,得到调整后的纵向沉降量 h''_i 及纵向变形曲线半径 R'' 。

[0062] S7、将调整后的纵向变形曲线半径 R'' 与目标设定值 R_s 比较,当 $R'' < R_s$ 时,重复步骤S4至S6,当 $R'' \geq R_s$ 时,对交界段的环间纵向螺栓进行强度检算。

[0063] S8、当选取的参数使强度检算不成立时,重复步骤S4至S7,当选取的参数使强度检算成立时,设计完毕。

[0064] 进一步地,强度检算包括对环间纵向螺栓的剪应力检算。

[0065] 取 τ 为环间纵向螺栓主截面计算剪应力, f_v 为螺栓钢材的抗剪强度设计值, Q 为钢管片的最大剪应力,则纵向螺栓的剪应力检算的方法为: $\tau = \frac{Q}{A} \leq f_v$ 。

[0066] 其中, f_v 由环间纵向螺栓钢材类型对应的允许抗拉强度,通过查钢材的材质表得到。

[0067] 通过对管片环和环间纵向螺栓进行反复的强度检算测试和调整,进一步保证了在软硬地层交界段的衬砌管片的良好过渡效果,从而实现降低错台量、使纵向变形均匀化、提高隧道纵向线路平顺性的目的,并得到一种在软硬地层交界段使用钢管片过渡的结构型式。

[0068] 上面对本发明的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

