

铁路隧道管片衬砌承受高水压分界值研究

周济民¹, 何 川^{1*}, 张 增^{1, 2}

(1. 西南交通大学地下工程系, 四川 成都 610031; 2. 中国中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031)

摘 要: 铁路隧道一般位于山岭或水下的复杂地质环境中, 面临着地下水的威胁, 国内工程界对于管片衬砌所能承受的高水压一直没有明确的分界值。针对管片衬砌结构型式的特点, 从接缝防水及结构受压承载能力两方面对高水压分界值展开研究。提出了管片衬砌结构高水压限界的定义及判定方法, 求解了不同围岩级别、不同管片设计参数(混凝土强度等级、厚度)条件下的管片衬砌高水压承载能力。最后通过大比例尺模型试验对衬砌受水压作用的力学特征进行分析。研究表明: 管片接缝在允许的张开量和错位量的前提下, 同时考虑设计材料的应力松弛与老化, 密封垫设计承受的最大水压能力约在 0.8~1.0 MPa 之间; 管片环不同位置处的受压承载能力安全系数近似呈正弦曲线分布, 拱顶及拱底位置为衬砌结构受力控制点, 提高混凝土强度等级或加大管片厚度可以显著增加管片衬砌的受压承载能力; 高水压条件下结构呈受压破坏, 低水压条件下呈受拉破坏, 一定范围内提升管片的外水压力, 衬砌结构的轴力值增加明显, 弯矩值变化幅度不大, 对于结构受力是有利的。

关键词: 铁路隧道; 管片衬砌; 高水压分界值; 接缝防水; 模型试验

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)10-1583-07

作者简介: 周济民(1984-), 男, 河北唐山人, 西南交通大学在读博士, 主要从事隧道与地下工程研究。E-mail: zhoujm84@126.com。

Boundary value of high hydraulic pressure upon segment lining in railway tunnels

ZHOU Ji-min¹, HE Chuan¹, ZHANG Zeng^{1, 2}

(1. Dept. of Tunnel and Underground Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Railway tunnels mostly under complicated geological environment of mountains or rivers have been threatened with groundwater. So far there has been no clear boundary value of water level in the field of tunnel engineering. In response to the characteristics of lining structure, both aspects of joint water-proof and lining bearing capacity are studied. A decision method about press loading capability of lining structure is put forward, with different design parameters of surrounding rock level, concrete grade and thickness of lining. Large-scale similar model tests are performed to study the mechanical characteristics under water pressure. The study shows that according to the technical requirement of joint open and dislocation, taking into account stress relaxation and aging of the materials, the designed capacity for water pressure of sealing gasket is about 0.8~1.0 MPa. The waveform of structural safety coefficients at different positions of segment lining resembles a sine curve, and the crown and bottom of the tunnel are load control points. The boundary value of high hydraulic pressure can be obviously increased by improving concrete grade and thickness of lining. The failure mode of segment lining under high water pressure is owing to compression, on the contrary, it is due to tension. The axial force is improved significantly and the bending moment is little changed with the increase of water pressure in certain range, which is favorable to lining structure.

Key words: railway tunnel; segment lining; boundary value of high hydraulic pressure; joint water-proof; model test

0 引 言

纵观我国铁路隧道的建设情况, 隧道支护主要以锚喷衬砌和复合式衬砌为主。近年来, 采用掘进机施

基金项目: 国家自然科学基金项目(50925830); 国家“973”计划项目(2010CB732105); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2010XS03)

收稿日期: 2010-07-30

*通讯作者

工的铁路隧道的数量开始迅速攀升，管片装配式衬砌能够充分发挥掘进机快速、优质、高效的特点，其在中国未来铁路隧道建设中的使用前景十分广阔^[1]。

铁路隧道一般位于山岭或水下的复杂地质环境当中，面临地下水的威胁和考验。管片衬砌结构对水压、特别是高水压的适应能力往往成为其结构安全与否的主要决定因素。文献[2~4]从地下水渗流作用出发，针对岩石隧道衬砌外水压力进行了分析与讨论，提出了衬砌结构防水的“全封堵”和“注浆+排导”两种基本方式。对于水下隧道而言，由于水源充足，采取限量排放的方式卸压几乎不可行，需采用全密闭式的管片衬砌结构型式。文献[5]以单线铁路隧道标准设计图为基础，采用平面有限元方法计算和分析了衬砌的安全系数能否满足规范要求，研究了复合式衬砌高水压的分界值。

然而，采用掘进机施工的隧道多是圆形断面，隧道由预制混凝土管片通过连接螺栓拼装而成，其结构型式更加复杂，隧道防排水受到管片接缝防水和结构受力的双重影响。国内对管片衬砌高水压分界值的相关研究较少，有必要针对管片衬砌结构防水的特点开展进一步的研究。本文从接缝防水和结构承压承载能力两方面对铁路盾构隧道高水压的分界值展开研究。提出了管片衬砌结构高水压限界的定义及判定方法，求解了不同围岩级别、不同管片设计参数（混凝土强度等级、厚度）条件下的管片衬砌高水压承载能力。最后通过大比例尺模型试验对受不同水压力作用下的管片衬砌力学特征进行分析。

1 管片衬砌接缝承受高水压分析

表 1 国内主要越江盾构隧道接缝防水设计

Table 1 Joint water-proof design of sub-river shield tunnels

隧道名称	管片接缝外侧	管片接缝内侧	接缝防水能力（长期 100 a）
狮子洋隧道	氯丁海绵橡胶、多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合密封垫；邻接块、封顶块纵缝设遇水膨胀和氯丁橡胶密封垫	遇水膨胀橡胶密封垫	管片接缝张开量 9 mm，错位 15 mm，耐水压力 0.9 MPa
南京长江隧道	氯丁海绵橡胶、多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合密封垫	遇水膨胀橡胶密封垫	管片接缝张开量 8 mm，错位 15 mm，耐水压力 0.7 MPa
武汉长江隧道	多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合密封垫；邻接块、封顶块纵缝设遇水膨胀和氯丁橡胶密封垫	遇水膨胀橡胶密封垫	管片接缝张开量 9 mm，错位 15 mm，耐水压力 1.0 MPa
延安东路隧道	氯丁橡胶密封垫，不对称沟槽，（环面相对两密封垫断面不同）	—	管片纵缝张开量 8 mm，环缝张开量 5 mm，错位 15 mm，耐水压力 0.8 MPa
大连路隧道	多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合密封垫	缓冲片	管片接缝张开量 8 mm，错位 15 mm，耐水压力 0.8 MPa
翔殷路隧道	多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合密封垫	—	管片接缝张开量 8 mm，错位 15 mm，耐水压力 0.8 MPa
新建路隧道	多孔三元乙丙橡胶和遇水膨胀橡胶复合	缓冲片	管片接缝张开量 5 mm，错位 10 mm，

盾构隧道的防水设计主要包括预制混凝土管片结构自防水、衬砌接缝防水、螺栓孔、注浆孔防水、连接通道防水等内容^[6]。管片接缝处易发生渗漏，是盾构隧道防水设计的关键环节。

管片接缝防水主要采用弹性防水密封垫，以及在此技术上结合新材料发展起来的膨胀橡胶密封止水条。对于深埋铁路隧道而言，承受的外水压力很大，必须重视膨胀橡胶的止水能力及材料强度的校核，并以之为控制条件设计止水结构。密封垫的设计要从管片拼装误差、接缝容许变形量和密封材料特性等几方面的关系出发。文献[7]详细阐述了高水压条件下膨胀橡胶的止水机理，从接触面压力和材料力学特征分析了止水橡胶结构失效的 3 种模式，并且给出了止水橡胶的计算模型。采用理论计算模型与材料加载试验的方法可对管片接缝防水能力进行综合设计^[8]。

目前，国内外已建成了许多 TBM(盾构)施工的大型水下隧道，这些隧道本身承受着较大的水压作用。通过调研这些隧道的设计施工实例资料，对其施工过程、防水效果做出综合分析，可以对铁路隧道管片接缝防水的高水压设计临界值的选取提供参考^[9]。

由表 1 可知，在隧道的设计使用年限（100 a）内，考虑设计材料的应力松弛与老化，管片接缝在一定的张开量和错位量的前提下，密封垫设计承受的最大水压能力约在 0.8~1.0 MPa 之间。

2 管片衬砌承受高水压力学分析

2.1 管片衬砌结构受力安全性判定

参考《铁路隧道设计规范》^[10]，对于混凝土矩形

密封垫

耐水压力 0.8 MPa

截面中心及偏心受压构件,按照承载能力极限状态设计,其受压承载力按下式计算:

$$\gamma_{sc} N_k \leq \varphi \alpha b h f_{ck} / \gamma_{Rc} \quad (1)$$

分析式(1),分项系数 γ_{sc} , γ_{Rc} 的取值对于计算结果影响很大,由于该系数制定时多根据铁路矿山法隧道的复合式衬砌结构,对于管片衬砌而言,该系数未必适用。因此,有必要探求新的判别公式。

参考《混凝土结构设计规范》^[11],矩形偏心受压构件正截面受压承载力应符合下列规定:

$$N \leq \alpha_1 f_c b x + f_y' A_s' - \sigma_s A_s - (\sigma_{p0}' - f_{py}') A_p' - \sigma_p A_p \quad (2)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') - (\sigma_{p0}' - f_{py}') A_p' (h_0 - a_p') \quad (3)$$

估算管片衬砌的受压能力,偏于安全考虑,不计钢筋受压能力,同时引入荷载分项系数和结构重要性系数,以管片结构受压边最大压应力小于混凝土极限抗压强度设计值判定结构是否安全,公式如下:

$$\sigma_c = \gamma_0 \gamma_s \left(\frac{N_k}{bh} + \frac{6M_k}{bh^2} \right) < f_c \quad (4)$$

将(4)式稍作变换,引入安全系数的概念,得出管片混凝土衬砌抗压极限承载力表达式:

$$K = \frac{bh^2 f_c}{\gamma_0 \gamma_s (N_k h + 6M_k)} \quad (5)$$

式中 K 为结构承载力安全系数,要求 $K > 1$; γ_0 为结构重要性系数,参照《混凝土结构设计规范》,取 1.1; γ_s 为荷载分项系数,参照《混凝土结构设计规范》,取 1.35; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa),按《混凝土结构设计规范》取值; N_k 为管片衬砌结构轴向力标准值 (MN); M_k 为管片衬砌结构弯矩标准值 (MN·m); b 为管片衬砌宽度 (m); h 为管片衬砌厚度 (m)。

2.2 不同围岩级别高水压承载力分析

以国内某铁路隧道管片衬砌结构为研究对象,隧道结构外径 10.1 m,内径 9.3 m,衬砌环分成 7 块,由 4 块标准块 (54.55°)、2 块邻接块 (54.55°) 和 1 块封顶块 (27.27°) 组成,管片衬砌环宽度 1.8 m,厚度 0.4 m,混凝土设计强度等级为 C40。

为分析计算得出不同工况下结构断面上的安全系数,采用日本(修正)惯用法计算衬砌各点的内力值。该模型不具体考虑接头的位置,采用刚度有效系数 η 和弯矩增大系数 ξ 来综合体现环向接头对整环刚度的影响,即用于管片设计的弯矩为 $(1+\xi)M$ (M 计算弯矩值),用于接头设计的弯矩为 $(1-\xi)M$,而设计的轴力值仍为计算轴力值 N 。环间接头弯矩传递模式如

图 1 所示^[12]。

计算假定隧道埋深 300 m,深埋隧道的围岩压力可按松散压力考虑,参照《铁路隧道设计规范》^[10]中关于计算围岩压力的统计公式,水压力取不同的计算高度,按水土分算考虑,不同围岩级别下的计算参数如表 2 所示。

表 2 不同围岩级别计算参数

Table 2 Calculation parameters for different surrounding rock

levels				
围岩级别	重度 $\gamma/(\text{kN m}^{-3})$	弹性反力 $K/(\text{MPa m}^{-1})$	竖向压力 q/kPa	水平压力系数 λ
II	26	700	34.16	0
III	24	350	56.44	0.1
IV	22	200	92.60	0.2
V	18	100	135.62	0.4

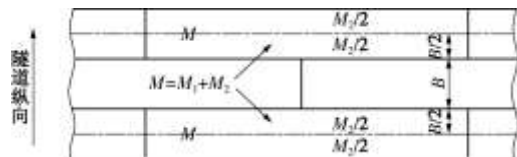


图 1 环间接头弯矩传递模式

Fig.1 Transferred bending moment to adjacent rings

在不同的围岩级别条件下,针对不同的水位高度,研究管片相对位置与安全系数的关系曲线,如图 2 所示(图中 H_w 代表计算水位高度,下同)。围岩级别主要影响着外荷载和地层抗力系数两个设计参数,围岩级别越差,岩体荷载越大,地层抗力系数越小,结构内力值越大。不同围岩级别条件下管片环不同位置处的安全系数变化近似呈正弦曲线分布,只是数值上有所变化。管片环竖向角度为 30° , 90° , 150° 附近处的衬砌受压安全系数较高,竖向角度为 0° , 60° , 120° , 180° 附近处的衬砌受压安全系数较低,拱顶与拱底位置为衬砌结构受压承载能力控制点。结构配筋时可以适当考虑不同位置处的承载能力,进行优化设计。

取受力控制点拱顶即 0° 位置处的安全系数进行分析水压力变化对安全系数的影响,如图 3 所示。从图上可以看出,在高水位条件下,随着计算水位的逐渐增高,衬砌承载能力的安全系数是逐渐降低的,近似呈倒数曲线分布。同一水位条件下,围岩级别越差,安全系数值越低。安全系数分界线显示,不同围岩级别条件下,衬砌所能承受的最大水头高度依次为 85, 75, 65 和 60 m。对于设计中超过该水位高度的断面,应充分注意管片衬砌受压端的结构安全性。

2.3 不同管片设计参数水压承载力分析

管片衬砌结构设计的主要参数包括混凝土强度等

级和管片厚度等, 本小节研究上述两个设计参数变化

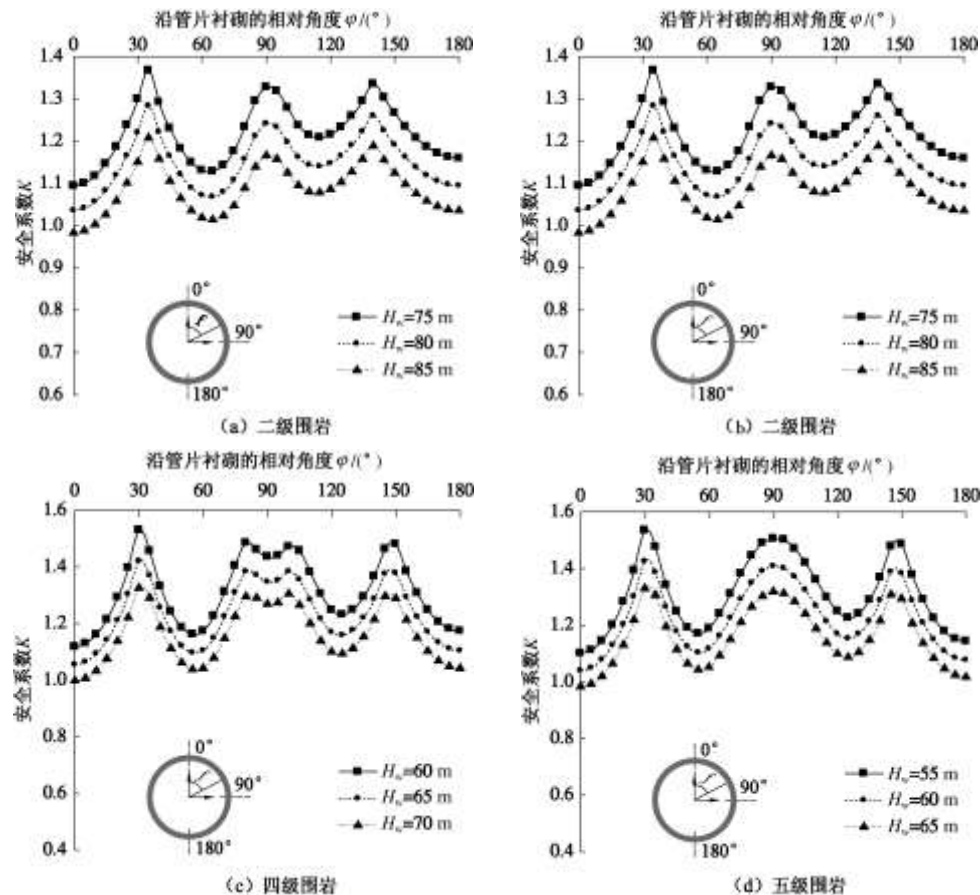


图 2 不同围岩级别条件下管片不同位置处的安全系数曲线

Fig. 2 Variation curves of structural safety coefficients at different positions

时, 管片衬砌结构的受压承载能力。计算取三级围岩条件, 取受力控制点拱顶即 0° 位置安全系数进行分析, 混凝土强度等级的变化主要改变了衬砌刚度与混凝土的抗压强度。从图 4 可以看出, 衬砌结构的受压承载能力随着混凝土强度等级的提高而增大, 同等级条件下计算水位高度与安全系数的关系曲线相似, 为近似线形分布且倾斜率一致。不同等级的管片衬砌所能承受的最大水头高度依次为 53, 77, 67 m 和 120 m。设计时提高混凝土的强度等级可以有效提高管片衬砌结构的受压承载能力。

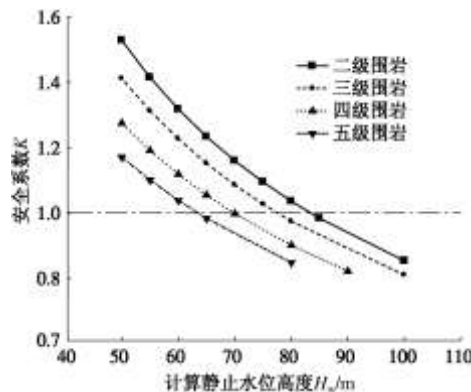


图 3 不同围岩级别条件下衬砌安全系数变化曲线

Fig. 3 Variation curves of structural safety coefficients with

different surrounding rock levels

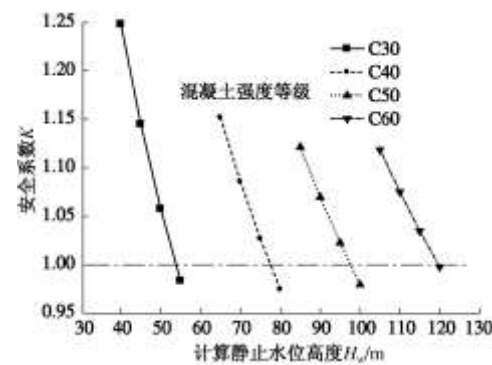


图 4 不同混凝土强度等级条件下衬砌安全系数变化曲线

Fig. 4 Variation curves of structural safety coefficients with

different concrete grades

管片衬砌厚度的变化主要改变了衬砌刚度与受压承载面积。从图 5 可以看出, 衬砌厚度增加, 结构的受压承载能力有显著提高, 计算水位高度与安全系数的关系曲线与上图类似。0.6 m 厚度的管片可以承受约 123 m 的计算水头, 而 0.3 m 厚时, 计算最大水头高度仅为 52 m。同样, 设计时增大管片衬砌的厚度可以有效提高管片衬砌的受压承载能力。

通过从管片接缝防水和衬砌结构受压承载力两个方面对铁路隧道管片衬砌高水压分界值进行综合分

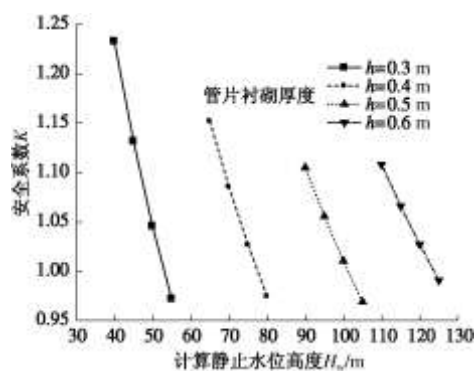


图 5 不同衬砌厚度条件下衬砌安全系数变化曲线

Fig. 5 Variation curves of structural safety coefficients with different lining thicknesses

析，可以看出，在不同的接缝防水设计参数、围岩级别和管片结构设计参数的条件下，管片衬砌接缝防水和结构受力分别对设计起着控制作用，应予以充分考虑。对于超过水压分界值的隧道而言，需调整管片衬砌结构的相关设计参数或采用可以泄水的管片衬砌结构型式^[12]。

3 管片衬砌高水压承载力模型试验

3.1 模型试验简况

试验采用盾构隧道-土层复合体模拟实验装置与水压装置（均匀、非均匀水压装置）联合进行加载，根据相似理论推得泊松比、应变、摩擦角、强度、应力、黏聚力、弹性模量等的相似比。由研究的总体意图出发，采用大几何比例尺模型进行试验，以几何相似比和容重相似比为基础相似比，实现在弹性范围内控制各物理力学参数的全相似性^[13-15]。根据前述相似准则，采纳了各物理力学参数原型值与模型值的相似比如下：

①几何相似比：大断面 $C_L=20$ ；②重度相似比： $C_\gamma=1$ ；③泊松比、应变、摩擦角相似比： $C_\mu=C_\varepsilon=C_\varphi=1$ ；④强度、应力、凝聚力、弹性模量相似比： $C_R=C_\sigma=C_C=C_E=20$ 。

管片混凝土衬砌材料采用水：石膏：硅藻土为 1：1.33：0.1 的复合材料通过预制加工的方法进行模拟。管片混凝土环向主筋采用直径为 1.2 mm 的铁质材料对称配筋进行模拟。纵缝接头的模拟采用在衬砌环的接头部位开一定深度的槽缝，以弱化该部位的抗弯刚度；环缝接头的模拟采用在相应纵向接头的位置设直径为 4 mm，长度为 30 mm 的钢棒进行连接，即认为各环管片在纵向接头处不产生错动。管片衬砌模

型如图 6 所示。

试验通过环箍和张拉两种方式导入真实水压，并将其分解为均匀的部分和不均匀的部分，通过叠加进行模拟^[16]，如图 7 所示。



图 6 管片衬砌模型图

Fig. 6 Model of segment lining

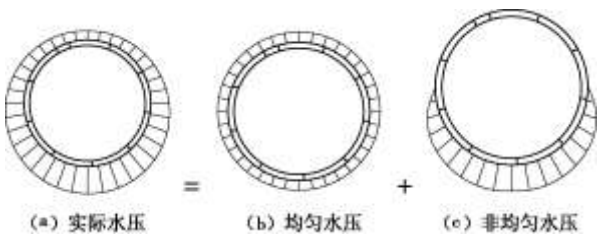


图 7 水压模拟原理图

Fig. 7 Plot of simulating water pressure

3.2 模型试验结果分析

试验假定盾构隧道埋深为 40 m，管片外部水压力分别限定为 30，40，70，80 m，侧压力系数为 0.6，管片拼装采用标准环。研究不同的管片衬砌结构在外水压力作用下的结构内力比较，如图 8 所示。

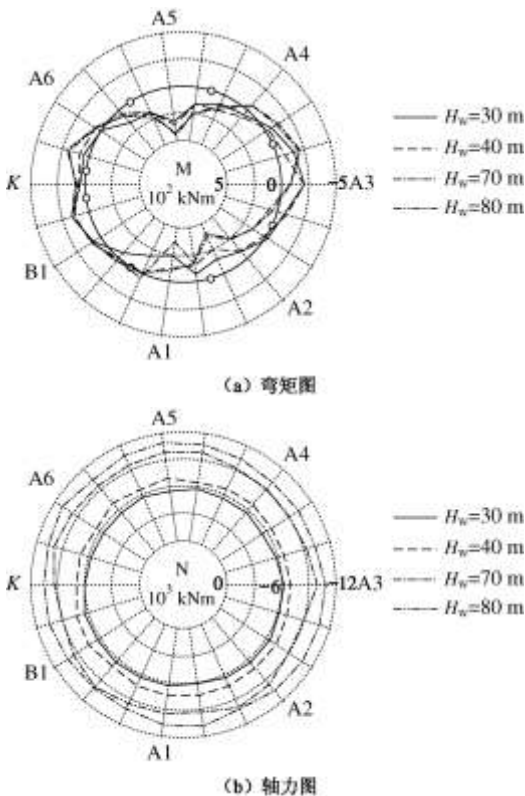


图 8 管片衬砌承受不同水压力的内力图比较

Fig. 8 Layout of segment internal force with different water pressures

由图8可以看出,管片衬砌结构在不同的水压力作用下,弯矩差异相比轴力差异可以忽略。管片弯矩都为顶部向内产生受拉的弯矩,拱腰部产生向外的负弯矩。并且随着管片外水压力的提高管片弯矩变化幅度有所降低,管片弯矩值只有很小的增加。管片轴力随着水压力的增高而增高,几乎呈线性增长的关系。按照目前已建盾构隧道管片承受的水压类比,管片承受80 m左右水压时管片防水性能可以满足要求,并且此时外部水压形成的轴力对于管片受力是有利的,增加了管片的接头刚度以及管片整体横向刚度,同时减小了管片的偏心距。因此总结出水压力的增加对于管片的轴力增加有直接关系,在水压力低于80 m内,管片轴力的增加尚不会致使管片发生轴压破坏,其受压承载力安全系数大于1,与小节2.3中的结论一致。

综上所述,对于采用泄水型的管片衬砌结构而言,水压力的选定要权衡管片受力及防水、施工的关系,选择一个最佳点。

4 结 论

采用资料调研、数值分析和模型试验的手段对铁路隧道管片衬砌承受高水压分界值进行综合研究,结论如下:

(1)对国内主要越江盾构隧道的工程实例资料进行调研分析,在隧道的使用年限(100 a)内,考虑设计材料的应力松弛与老化,管片接缝在一定的张开量和错位量的前提下,密封垫的设计承受最大水压能力约在0.8~1.0 MPa之间。

(2)管片环不同位置处的安全系数变化近似呈正弦曲线分布。管片环竖向角度为 30° , 90° , 150° 附近处的衬砌受压安全系数较高,竖向角度为 0° , 60° , 120° , 180° 附近的处衬砌受压安全系数较低,拱顶与拱底位置为衬砌结构承载能力控制点。结构配筋时可以适当考虑不同位置处的承载能力,进行优化设计。

(3)围岩级别主要影响着衬砌外荷载和地层抗力系数两个设计参数,管片衬砌高水压分界值随着围岩级别的提高而增大,但增幅不是很明显;提高混凝土强度等级或加大管片厚度可以显著增加衬砌承受高水压的分界值。

(4)高水压条件下结构呈受压破坏,低水压条件下呈受拉破坏,一定范围内提升管片的外水压力,衬砌结构的轴力值增加明显,弯矩值变化幅度不大,对于结构受力是有利的。

参考文献:

- [1] 钱七虎,李朝甫,傅德明.隧道掘进机在中国地下工程中的应用现状及前景展望[J].地下空间,2002,22(1):1-11. (QIAN Qi-hu, LI Zhao-pu, FU De-ming. The present and prospect of application of tunneler in China's underground engineering[J]. Underground Space, 2002, 22(1): 1-11. (in Chinese))
- [2] 王建宇,胡原芳.对岩石隧道衬砌结构防水问题的讨论[J].现代隧道技术,2001,38(1):20-25. (WANG Jian-yu, HU Yuan-fang. Discussion on waterproofing in tunneling[J]. Modern Tunnelling Technology, 2001, 38(1): 20-25. (in Chinese))
- [3] 张有天.岩石隧道衬砌外水压力问题的讨论[J].现代隧道技术,2003,40(3):1-4. (ZHANG You-tian. Discussion on external hydraulic pressure upon rock tunnel lining[J]. Modern Tunnelling Technology, 2003, 40(3): 1-4. (in Chinese))
- [4] 王建宇.再谈隧道衬砌水压力[J].现代隧道技术,2003,40(3):5-9. (WANG Jian-yu. Once more on hydraulic pressure upon lining[J]. Modern Tunnelling Technology, 2003, 40(3): 5-9. (in Chinese))
- [5] 高新强,仇文革.深埋单线铁路隧道衬砌高水压分界值研究[J].岩土力学,2005,26(10):1675-1680. (GAO Xin-qiang, QIU Wen-ge. Research on the boundary value of high hydraulic pressure upon lining in deep-lying single-track railway tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(10): 1675-1680. (in Chinese))
- [6] シールド工法の調査・設計から施工まで編輯委員会.シールド工法の調査・設計から施工まで[M].地盤工學會,1997. (Editorial Board of Survey・Design and Construction for Shield Tunnel. Survey・design and construction for shield tunnel[M]. Geotechnical Society, 1997. (in Japanese))
- [7] 金丰年,范华林,郭铁英.地下工程管片密封橡胶承受高水压作用的力学分析[J].解放军理工大学学报,2001,2(4):49-52. (JIN Feng-nian, FAN Hua-lin, GUO Tie-ying. Mechanical analysis of waterproof swelling rubber under high water pressure[J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2001, 2(4): 49-52. (in Chinese))
- [8] 王树清,唐丽芳,黄良锐.盾构隧道接缝防水设计探讨[J].长江科学院院报,1998,15(1):10-13. (WANG Shu-qing, TANG Li-fang, HUANG Liang-rui. Investigation into waterproof design of joints in shield tunnel[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1998, 15(1): 10-13. (in Chinese))
- [9] 温竹茵,周质炎,杜一鸣,等.上海越江盾构法隧道的防

- 水设计[J]. 地下工程与隧道, 2007(增刊 1): 43 - 47. (WEN Zhu-jun, ZHOU Zhi-yan, DU Yi-ming, et al. Joint water-proof design of sub-river shield tunnels in Shanghai[J]. Underground Work and Tunnel, 2007(S1): 43 - 47. (in Chinese))
- [10] TB10003—2005 铁路隧道设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005. (TB10003—2005 Code for design on tunnel of railway[S]. Beijing: China Railway Press, 2005. (in Chinese))
- [11] GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GB 50010—2002 Code for design of concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese))
- [12] 郑俊. 高水压铁路隧道泄水式管片衬砌流固耦合研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010. (ZHENG Jun. Research on fluid-mechanical interaction of drained segment lining in high water pressure railway tunnel[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010. (in Chinese))
- [13] 盾构隧道衬砌设计指南(草案)[J]. 潘昌实, 译. 世界隧道, 1997(2): 19 - 29. (Proposed recommendation for design of lining of shield tunnel[J]. PAN Chang-shi, trans. World Tunnel, 1997(2): 19 - 29. (in Chinese))
- [14] 唐志成, 何川, 林刚. 地铁盾构隧道管片结构力学行为模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(1): 85 - 89. (TANG Zhi-cheng, HE Chuan, LIN Gang. Study on mechanical behavior of segment of shield tunnel of metro with model test[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(1): 85 - 89. (in Chinese))
- [15] TOSHIHIRO ASAKURA, YOSHIYUKI KOJIMA, TOYOHIRO ANDO, et al. Analysis on the behavior of tunnel lining experiment and simulation on double track tunnel lining[J]. QR of RIRT, 1992, 33(4): 266 - 273.
- [16] 何川, 封坤, 杨雄. 南京长江隧道超大断面管片衬砌结构体的相似模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(11): 2260 - 2269. (HE Chuan, FENG Kun, YANG Xiong. Model test on segmental lining of Nanjing Yangze River tunnel with super-large cross-section[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(11): 2260 - 2269. (in Chinese))

第十一届全国青年岩石力学与工程学术大会 暨第六届中国岩石力学与工程学会青年工作委员会换届会议 (2011 年 11 月 18~20 日, 青岛)

第二号通知

第十一届全国青年岩石力学与工程学术大会暨第六届中国岩石力学与工程学会青年工作委员会换届会议自 2010 年 10 月发出 1 号通知后, 得到了全国岩土工程界各位同行的积极响应, 特别是青年岩石力学工作者踊跃撰稿, 会议共收到投稿论文全文 247 篇。经大会学术委员会会同《岩石力学与工程学报》编辑部与《地下空间与工程学报》编辑部组织专家审稿, 经严格的审稿程序, 共 161 篇论文录用。其中 22 篇于《岩石力学与工程学报》正刊发表, 23 篇于《岩石力学与工程学报》增刊发表, 51 篇于《地下空间与工程学报》正刊发表, 65 篇于《地下空间与工程学报》增刊发表。录用论文已进入编辑出版阶段, 大会组织工作也在紧锣密鼓的进行, 现就本次会议的有关事宜发布第二号通知。

主办单位: 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会

承办单位: 青岛理工大学

协办单位: 《岩石力学与工程学报》编辑部; 《地下空间与工程学报》编辑部; 山东大学; 中国海洋大学; 山东科技大学; 青岛市地铁公司; 欧美大地仪器设备中国有限公司。

大会主题: 低碳时代的城市地下空间与工程

会议专题: 岩石力学基本性质与本构关系; 岩石力学新理论、新方法; 岩石工程数值分析与仿真; 地下空间与城市可持

续发展; 地下空间设计理论与建设技术; 地下工程稳定性与风险分析; 城市环境岩土工程问题与防治技术; 岩石力学测试、监测、检测新设备、新技术。

会议地点: 青岛(宾馆暂定为: 青岛邮电疗养院(海滨花园大酒店))。

会议时间: 2011 年 11 月 18~22 日, 其中: 2011 年 11 月 18 日全天 大会注册报到; 2011 年 11 月 19 日~20 日 学术大会; 2011 年 11 月 21 日~22 日会后考察。

会议议程: 2011 年 11 月 18 日 19:30~21:30: 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会全体会议, 讨论青委会工作, 换届与增补新会员, 评选大会优秀论文; 2011 年 11 月 19 日上午: 大会开幕式及特邀报告; 下午: 分组学术报告; 2011 年 11 月 20 日上午: 分组学术报告、颁奖仪式及闭幕式; 下午: 考察。

会议费用: 注册费: 正式代表: 1000 元; 学生代表: 500 元; 陪同代表: 500 元。

会议联系方式: 通讯地址: 青岛市抚顺路 11 号青岛理工大学理学院; 联系人: 王在泉、孔亮、张黎明; 电话: (0532)85071570; 13969666131 (王), 13792498401 (孔), 13792881301 (张); 传真: (0532)85071136; 邮编: 266033; E-mail: qdrock@163.com。

（青岛理工大学 供稿）