

大断面黄土隧道基底围岩压力研究

马洪利

(中铁十三局集团 第五工程有限公司, 四川 成都 610500)

摘要:黄土隧道基底区域围岩压力确定直接关系到隧道基底承载力是否满足结构稳定及运营安全的要求。以客专浅埋黄土双线大断面隧道为研究对象,分别采用普氏理论、太沙基理论、谢家休理论、比尔鲍曼理论、卡柯公式、全土柱法、岩柱法、规范推荐方法、有限元法与实测值进行对比分析,推荐大断面黄土浅埋隧道采用太沙基理论与有限元方法相结合的方法计算确定基底围岩压力。

关键词:黄土隧道;基底围岩压力;经验方法;有限元法

中图分类号:U451 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2014)02-0051-04

0 引言

黄土隧道基底区域围岩压力的大小及变化规律,直接关系到隧道基底承载力是否能满足结构稳定及运营安全的要求。围岩压力研究始终是隧道工程界讨论的热点和难点之一,由于隧道工程本身及所处地质条件的复杂性和不确定性,导致隧道围岩压力确定较为困难。特别是随隧道工程突飞猛进的发展,隧道开挖断面、支护结构形式、地质环境等条件变化导致以往一些围岩压力确定方法不能满足新形势的变化^[1-4]。

目前常用的围岩压力传统方法主要有:普氏理论、太沙基理论、谢家休理论、比尔鲍曼理论、卡柯公式、全土柱法、岩柱法、规范推荐统计法、圆形洞室弹塑性解析法等^[1]。现行规范推荐的超浅埋全土柱重量、浅埋谢家休公式、深埋统计公式不能很好地满足目前黄土隧道的设计和施工要求,大量现场测试与公式计算对比结果已说明这一点。

采用传统经验方法与有限元方法进行大断面黄土隧道基底围岩压力进行计算对比分析,为黄土隧道设计施工提供参考依据。

1 研究工况

选用350 km/h 客运专线V级浅埋黄土隧道为研究对象,隧道衬砌横断面如图1所示。隧道设计为单洞双线马蹄形断面。隧道开挖宽度14.72 m、开挖高度12.58 m,初支厚度35 cm,二衬厚度拱墙60 cm,仰拱70 cm。计算参数取值如表1所示。

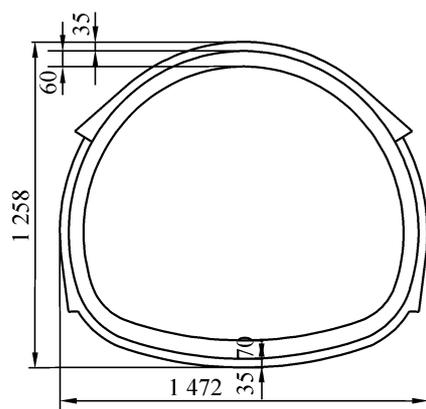


图1 黄土隧道衬砌断面(单位:cm)

表1 计算参数

材料	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/MPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	弹性模量/kPa	泊松比	似摩擦角/($^{\circ}$)
黄土	18	30	25	80	0.45	45
二次衬砌	25	—	—	—	—	—

二次衬砌按60 cm计算,则衬砌自重约为600 kN,衬砌作用于隧底的应力约为40 kPa。采用传统方法进行隧道基底围岩压力计算时,按拱部围岩压力+衬砌自重考虑。隧道埋深小于60 m。

2 传统方法计算结果

(1) 普氏理论。普氏理论基于自然拱概念,计算拱顶围岩压力 226.27 kPa,故基底围岩压力为 266.27 kPa,与隧道埋深无关。

(2) 太沙基理论。采用太沙基理论的计算结果如图 2 所示,基底围岩压力随埋深的增加而增加,计算埋深 60 m 时基底围岩压力为 264.36 kPa。

(3) 谢家杰理论。根据规范规定,当埋深为 $h_q \sim 2.5h_q$, h_q 为等效坍方高度时适用于谢家杰理论,其计算结果如图 2 所示。基底围岩压力随埋深的增加而线性增加,其值为 307.19 ~ 654.68 kPa。

(4) 比尔鲍曼理论。比尔鲍曼理论考虑拱顶两侧土体的挟制作用,只用粘聚力和内摩擦角两项物性指标,当埋深增加到一定数值时,围岩压力趋于定值。计算结果如图 2 所示。基底围岩压力随埋深增加而增加,其值为 123.27 ~ 673.65 kPa。

(5) 卡柯公式(塑性松动压力)。塑性松动压力的计算以圆形洞室围岩二次应力塑性分析为基础。该计算方法考虑洞室开挖后,岩体形成塑性圈,而塑性松动压力仅为塑性圈内岩体的自重。计算结果如图 2 所示。基底塑性松动压力随埋深增加而缓慢增加,其值为 67.65 ~ 123.04 kPa。计算所得塑性区不同深度处围岩应力分布如图 3 所示。因卡柯公式主要适用于深埋,计算基底压力偏小。另外,由于卡柯公式假定塑性圈外边界处应力为 0,围岩应力分布不太合理。

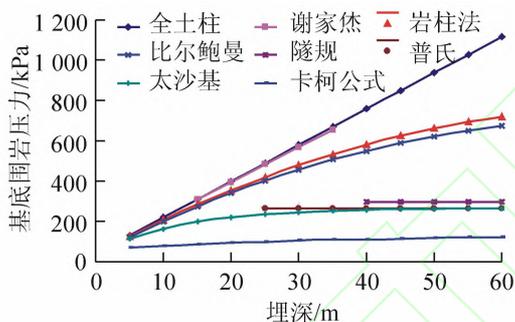


图 2 不同理论方法基底压力与埋深的关系

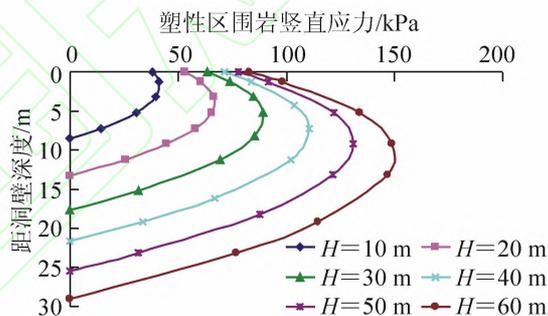


图 3 不同深度处塑性区围岩应力分布

(6) 岩柱法。岩柱法计算围岩压力值为地表至洞顶岩体自重扣除部分摩擦阻力所得。计算结果如图 2 所示。基底围岩压力随埋深增加而增加,其值为 127.23 ~ 721.16 kPa。

(7) 全土柱法。全土柱法考虑上覆地层的全部自重,计算结果如图 2 所示。基底围岩压力随埋深增加而线性增加,其值为 130 ~ 1 120 kPa。

(8) 规范推荐深埋隧道统计方法。取围岩级别 $s = 5$, 开挖跨度 $B = 14.72$ m, 得基底围岩压力为 295.31 kPa,与埋深无关。

由图 2 可知,计算方法不同基底压力差别很大,埋深 60 m 条件下最大基底围岩压力为按全土柱法计算为 1 120 kPa,最小为按卡柯公式计算塑性松动压力为 123.04 kPa。按从大到小的顺序依次为:全土柱法 > 谢家杰理论 > 岩柱法 > 比尔鲍曼理论 > 隧道规范经验方法 > 普氏理论 > 太沙基理论 > 卡柯公式。

3 有限元法计算隧道围岩应力分布

采用 ANSYS 计算软件建立二维有限元模型,模型左右各 50 m,底部距隧道中心 40 m,分别模拟了隧顶埋深 10 m、20 m、30 m、40 m、50 m 5 种工况。围岩视为摩尔-库仑理想弹塑性材料,支护结构均视为弹性材料。初期支护为 35 cm 厚的 C25 喷射混凝土,围岩物理力学参数参照地质资料、现行《铁路隧道设计规范》选取地层和支护的物理力学指标见表 2。

为研究隧道开挖后隧道底部应力分布规律,竖直方向上取隧道仰拱中线下部单元,水平方向上取平行仰拱下部的一层单元,并提取出其各在水平方向和竖直方向的应力。所取单元如图 4 所示。以埋深 30 m 为例,计算竖直应力和水平应力分布如图 5。

表 2 地层和支护的物理力学性能指标

材料类型	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	泊松比	内聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	剪胀角/($^{\circ}$)
黄土	18.0	80	0.45	30	25	5
初期支护	22.0	23 000	0.2	—	—	—

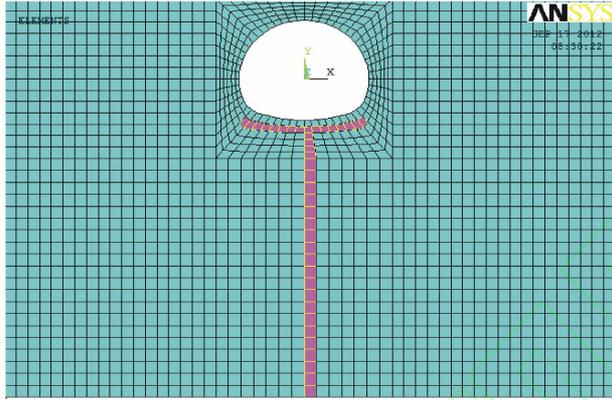


图 4 提取单元示意

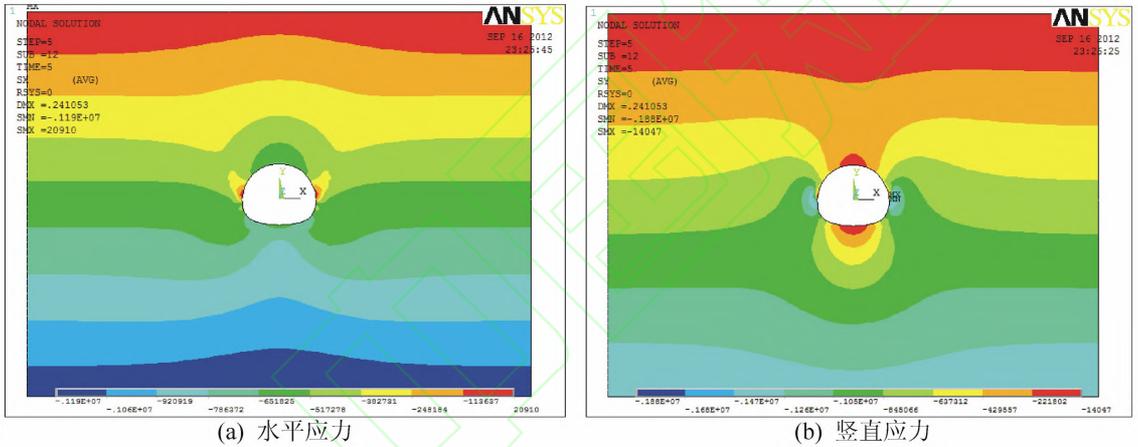


图 5 埋深 30 m 情况下水平及竖直应力分布图

如图 6、图 7 分别为隧底围岩竖向应力随深度变化规律,及隧道围岩竖向应力沿横向分布规律。由图 6、图 7 可知,隧底围岩应力随深度增加而增加,隧道埋深越大围岩应力越大;隧底处围岩应力仰拱中心处最小,仰拱中心两侧逐渐增加。埋深 10 m、20 m、30 m、40 m、50 m 条件下,仰拱中心下方围岩应力分别为 103.17 kPa、117.56 kPa、170.23 kPa、199.62 kPa、211.44 kPa。

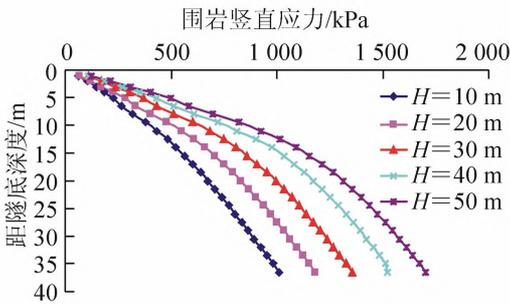


图 6 沿深度方向隧底围岩竖向应力分布

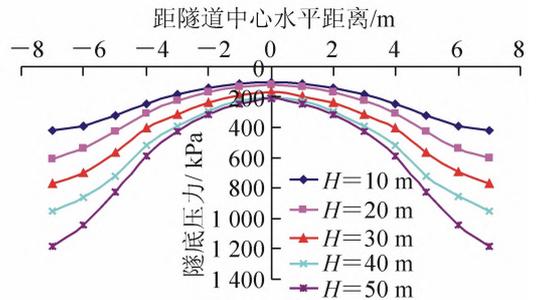


图 7 隧底围岩竖向应力沿横向分布

4 实测基底围岩压力统计

对已建郑西客运专线黄土隧道(秦东隧道、潼洛川隧道、高桥隧道)仰拱围岩压力实测结果^[3]进行了

初步统计,结果如图 8 所示。实测结果变异系数较大,主要受测试元件、仪器、人员、施工过程等因素影响,实测仰拱围岩压力沿埋深变化规律不十分明显。

5 结论

(1)传统经验方法计算基底围岩压力值差异较大,30 m 埋深时隧道底部围岩应力为 245 ~ 580 kPa,埋深 60 m 时隧道底部围岩应力为 264 ~ 1 120 kPa。其中全土柱法最大,卡柯公式计算塑性松动压力值最小。

(2)全土柱法及谢家杰理论计算基底围岩压力沿埋深线性增加,计算取值大,与实测值差异大;岩柱法及比尔鲍曼理论计算值沿埋深非线性增加,计算取值也偏大,与实测值差异较大;太沙基理论计算值沿埋深非线性增加,达到一定埋深时趋于定值,普氏理论及隧规推荐方法计算值与埋深无关,计算值相当,与实测值较为接近;卡柯公式计算塑性松动压力值较小,沿埋深缓慢增加。

(3)有限元计算方法可得到基底区域围岩应力分布规律,而且可界定与黄土力学参数、隧道施工方法与基底围岩应力的关系。

(4)实测基底围岩压力受统计样本数量及测试方法等影响而离散性较大。

(5)因此推荐采用太沙基理论与有限元方法相结合的方法计算确定基底围岩压力。

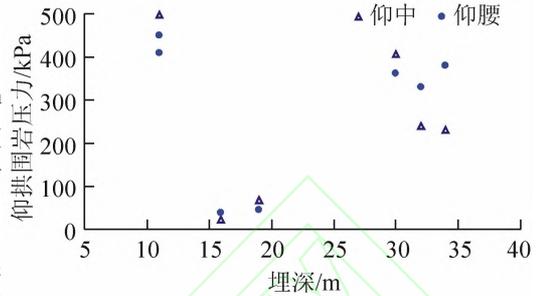


图 8 隧道仰拱围岩压力实测结果统计

参 考 文 献

- [1]朱永全.隧道工程[M].北京:中国铁道出版社,2010.
- [2]王明年,郭军,罗露森,等.高速铁路大断面深埋黄土隧道围岩压力计算方法[J].中国铁道科学,2009,30(5):53-57.
- [3]赵勇,李国良,喻渝,等.黄土隧道工程[M].北京:中国铁道出版社,2011.
- [4]王晓州,朱永全.大断面黄土隧道建设技术[M].北京:中国铁道出版社,2009.

Research of Surrounding Rock Pressure in Foundation Base Zone of Loess Tunnel

Ma Hongli

(The fifth Engineering Company, 13th China Railway Bureau Group, Chengdu 610500, China)

Abstract: The value of surrounding rock pressure in foundation base zone of loess tunnel has a direct influence on whether the tunnel base bearing capacity meet the requirement of structural stability and operation safety. This article takes the loess tunnel as the research object, uses Platts theory, Terzaghi theory, Xie Jiayu theory, Bill bauman theory, Caquot theory, soil column method, rock pillars method, code method, and finite element method to compare and analyze measured values, and recommends that loess tunnel should use Terzaghi theory and finite element method to calculate pressure of surrounding rock.

Key words: loess tunnel; surrounding rock pressure in foundation base zone; empirical method; finite element method

(责任编辑 刘宪福)