

隧道洞口扩大头锚杆承载力计算及施工技术分析

韩敬蕊

中交第四公路工程局有限公司 北京 100022

【摘要】对隧道洞口扩大头锚杆承载力的机理、抗拔承载力、抗拔力计算公式、端阻力等进行了分析,对隧道洞口扩大头锚杆支付体系中的喷锚支护和抗滑桩施工关键技术进行了总结和分析。实践表明,此计算方法和施工工艺可行,确保了隧道洞口的稳定性和安全性,值得在类型项目中推广和应用。

【关键词】隧道洞口,扩大头锚杆,承载力,施工技术

1 研究背景

黑山南北高速公路是中国在中东欧国家黑山共和国修建的第一条高速公路,是黑山南部巴尔港同中东欧连接的主要交通走廊,是欧洲与中国贸易道路上重要的交通和运输枢纽之一,也是黑山共和国唯一的一条高速公路,由中国交通建设股份有限公司、中国路桥工程有限责任公司主导,下属参与承建单位中交第二航务工程局有限公司为第一分部、中交第二公路工程局有限公司为第二分部、中交第三公路工程局有限公司为第三分部、中交隧道工程局有限公司为第四分部,全长约 140 公里,2015 年 5 月开工,共分 4 段建设。全线主要以桥梁和隧道分布为主,占到工程总额比例的约 65%,而三分布线路中隧道长度单洞累计达到 12000m, KOSMAN 隧道位于黑山南部高速公路三分部境内居中,属于围岩不好的地段,地质主要为复理石,受构造作用,岩体破碎,节理裂隙、岩溶、断层、褶皱等均较为发育,隧道进出口覆盖较厚的土质,若不能采取加固措施,规范施工,随时都可能存在坍塌风险。

通过现场察看和对地质专探岩石结构进行综合分析, KOSMAN 隧道洞口边坡工程必须进行加固处理,不然会引起塌方等危害,加大后期处理费用,甚至会难以保证工期。经勘探单位现场勘探、设计单位进行咨询和采取聘请具有丰富经验专家综合评议等方式,决定采用扩大头锚杆对其进行加固,如何让扩大头锚杆能够真正发挥其作用,就要对扩大头锚杆承载力和抗拔力进行准确的计算,分析端部的受力情况,彻底熟悉了解扩大头锚杆受力的各项影响因素,才能在工程施工中提高承载力和抗拔力。而喷锚支护和抗滑桩施工又是扩大头锚杆加固洞口

的重要施工工序和辅助加强工程,只有确保了该两项关键技术的施工,才能确保隧道洞口的稳定性和隧道施工的顺利入洞。

2 扩大头锚杆承载力计算

2.1 扩大头锚杆承载力的机理

在隧道洞口边坡工程中锚杆的抗拔承载力是一个至关重要参数,在解决隧道洞口边坡土层锚杆工程问题时,要适当延长锚杆锚固的长度来提高锚杆的抗拔承载力,但依靠锚杆的长度来提高锚杆的抗拔承载力是受限制的。在一定的范围内,随着锚杆锚固长度的增加,其锚杆的抗拔承载力也会随之增大,但当锚杆锚固的长度超过某个数值后,其锚杆的抗拔承载力就不会再发现明显变化。相关实验表明,采用锚杆端部扩大头是目前提高锚杆抗拔力最好的方法之一,但由于扩大头的现场施工比较困难,因此在实际工程中的运用也是一大难题。

2.2 扩大型锚杆的抗拔承载力

锚杆的锚固力即为锚杆抗拔承载力,锚杆受到拉力后,会先通过锚固体最终将拉力全部传递到锚固土层中。影响锚杆的锚固力的因素有很多,其中对锚杆锚固力影响比较大的有:锚固体自身的耐腐蚀性能、锚固体的形状、刚度和强度,土层的结构形式、摩擦角、抗剪强度、含水量和应力分布状态,锚固体与孔壁的挤压力、粘结力。端部扩大型锚杆的抗拔承载力分为三部分,土体作用于扩大头截面的端阻力,扩大头锚固段与土体的侧摩阻力,等直径锚固段与土体的侧摩阻力。

2.3 扩大头锚杆抗拔力计算公式

扩大头锚杆属于摩擦端承型锚杆,其力学模型如下:

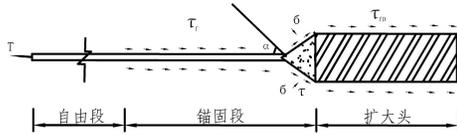


图1 扩大头锚杆力学模型

锚杆抗拔力 T 由三部份组成,土层对锚固体的侧摩阻力的表示主要是在第一部分和第二部分,土层对扩大头截面处的端阻力的表示则是在第三部分。因此,我们就可以得出:当锚固长度条件相同时,圆柱型锚杆的承载力要比端部扩大头型锚杆的承载力小很多,得出来的这一结论对我们的实际工程有着非常大的运用价值。

2.4 端部扩大型锚杆端阻力分析

2.4.1 端阻力的理论分析

在端部扩大型锚杆前端取一土体单元作为研究对象,假设 X 轴为锚杆轴线方向, Y 轴为垂直于锚杆轴线的水平向, z 轴为竖直向,以下是土体单元的受力情况:

$$\sigma_x = K_0 \gamma h + \sigma_T$$

$$\sigma_y = K_0 \gamma h + \xi \sigma_T$$

$$\sigma_z = \gamma h + \xi \sigma_T$$

式中: σ_T 为土体单元在 X 轴方向上发生的应力变化量。

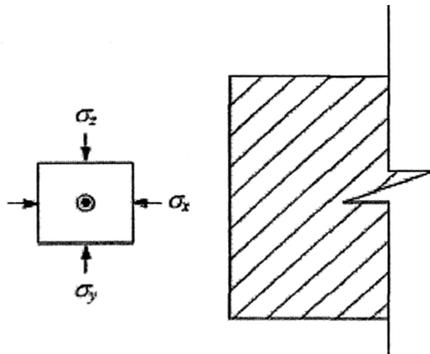


图2 土体单元受力模型图

σ_T 会随着锚杆拉拔力接近零或者等于零也会趋近于零或者等于零。当 σ_z 为最大主应力, σ_T 就是最小应力,此时它的大小就是趋近于零或者等于零。 σ_T 、 σ_z 、 σ_y 和 σ_x 的大小会随着锚杆拉拔力的增大而增大。根据上述的相关公式可以得出,如果侧土压力系数 ξ 比 1 小,那么 σ_x 增量变化就要比 σ_z 和 σ_y 增量变化大。 σ_z 的最小主应力, σ_x 的最大主应力是在土体单元达到极限平衡状态时才能出现的,此时,他们的大小是根据摩尔库伦抗剪强度理论计算出来的:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) + 2c \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2})$$

$$P_D = \sigma_x = \frac{(1-\xi)K_0 K_p \gamma h + 2c \sqrt{K_p}}{1-\xi K_p}$$

其中: γ 指的是扩大头锚固段上覆土层的加权平均重度; K_0 、 K_p 分别为端部扩大型锚杆前端土体静止土压力系数和土体朗肯土压力系数; h 指的就是扩大头锚固段的埋置深度; c 则为端部扩大型锚杆前端土体的粘聚力;

K_0 的概念虽然简单,但在当地经验和试验数据缺乏的情况下,其计算取值的难度比较大。一般正常固结土的估算应按下式计算:

$$K_0 = 1 - \sin(1.3\phi)$$

其中: ϕ 指端部扩大型锚杆前端土体的内摩擦角。

(1) 侧压力系数 ξ

引起在与该方向垂直的其他方向上的侧土压力增量以及土体单元一个方向上侧土压力的增量称之为侧压力系数 ξ 。受力处土体的位移变化受周围土体的“刚度”约束的程度是可以侧压力系数 ξ 表现出来的。例如,如果受力处周围的土体是刚体时,那么此时侧压力系数 ξ 的大小就会与主动土压力系数 K_a 的大小相等,但是,在实际的工程中,这种现象是不可能出现的,实际工程的侧压力系数 ξ 的一般比 K_a 小,侧压力系数 ξ 等于主动土压力系数 K_a 这种现象只会假设中出现,因为实际的土体不会使刚体。经过相关工程的实验证明,我们可以得出:侧压力系数 ξ 的取值需要根据扩大头的埋深和土体的软硬程度等因素来确定,而针对一般土层则需要按照下列公式进行取值:

$$\xi = (0.5 \sim 0.95) K_a$$

根据上述公式,可以得出: ξ 的大小取值和土体的强度大小有关, ξ 取大值时土体的强度比较好, ξ 取小值时土体的强度则比较差。

(2) 影响端压力的因素

根据上述的分析,我们可以得出,端压力的大小会受到一些因素的影响,其中主要的影响因素有三点:①内摩擦角 ϕ ;②粘聚力 c ;③、扩大头锚固段埋深 h 。

2.4.2 端部扩大型锚杆侧摩阻力分析

对于端部扩大型锚杆的侧摩阻根据相关研究总结得出力有以下几个方面的特点:

(1)侧摩擦力会随拉拔力的变化而变化,且其一般是由土体层浅处到深处传递的。在沿扩大型锚杆端部侧摩擦力的分布是不均匀的。其最大值常出现在靠近扩大头锚固段的普通锚段单元处,并且,其最大值会随拉拔力 T 的增加而沿着锚杆长度向下移。

(2)压密区的形成是由于扩大头锚固段变截面

前的土体受压,锚杆与土体相对位移没有达到一定值,使得扩底段侧摩阻力得不到应有的发挥,因此在扩底截面后形成了一个侧摩阻力偏低的受拉区域。

3 施工技术要求要点

3.1 喷锚支护

(1)土钉孔定位:孔位误差 $\leq 100\text{mm}$ (遇障碍物除外)。

(2)注浆。浆体的强度要达到 M20,而浆液水灰比要维持在 0.45—0.55 之间。注浆液要充分搅拌均匀,以便随时可以使用,且一定要在浆液初凝前将搅拌的浆液用完,否则就会造成浪费。在注浆的过程中,浆液要过筛后方能使用。若出现在注浆时需要停止较长时间,为了防止浆液固化而将机械管路堵塞,就需对注浆机和其管路进行水冲处理。

(3)在施工中安全是第一,因此在开挖过程中,必须分段分层的进行开挖,且要分层支护。分段的长度不能超过 10m,而分层的厚度则不能大于 1m。同时要注意,要在上层砼完工 24 小时以后,才能继续对下一层进行开挖,否则可能出现安全事故。

3.2 抗滑桩

(1)在开挖孔桩前,必须设置 1.5m 的护栏,并将孔口进行平整处理。

(2)孔口的高度要比周围地表高出一段距离,该距离要 $\geq 300\text{mm}$,这样设置是为了防止雨水或其他物体流入,因此需要做好孔桩周围地表截排水的设置。

【参考文献】

- [1]涂兵雄,俞缙,何锦芳,等.新型拉压复合型锚杆锚固性能研究 II:模型试验[J].岩土工程学报,2019(03):475—483.
- [2]杨清浩,胡雄玉,陈子全.基于时间序列聚类和 LSSVM 的隧道拱顶位移预测[J].公路工程,2019,44(1):9—15,31.
- [3]赵俭斌,陆法潭,席丙山,等.岩石膨胀头锚杆锚固参数模拟研究[J].工程建设与设计,2018(17):70—71+74.
- [4]刘钟,张楚福,张义,等.囊式扩体锚杆在宁波地区的现场试验研究[J].岩土力学,2018(S2):295—301.
- [5]鲍先凯,杨东伟,段东明,等.施工工法对浅埋软岩小净距隧道地表沉降和围岩稳定的影响研究[J].公路工程,2019,44(4):22—29.
- [6]杜娟,景恒青,何仁志.隧道施工中地表沉降致险因素识别机制研究[J].公路工程,2019,44(6):38—45,56.
- [7]涂兵雄,蔡燕燕,何锦芳,等.新型拉压复合型锚杆锚固性能研究 III:现场试验[J].岩土工程学报,2019(05):846—854.
- [8]任博,王碧剑,肖晓.软弱地层大断面浅埋隧道围岩与初支结构协调变形规律研究[J].公路工程,2019,44(6):104—108.

(3)成孔深度要根据土层质量来确定,一般情况下,松软易塌的土层段成孔深为 0.5m,而稳定性较好的地层成孔深度为 1.0m。在没开挖一段后要立刻对其进行岩性编录,一旦出现异常现象,需及时向建设单位反映,并作出相应的设计变更处理。

(4)施工的安全方案必须在施工前就制定出来,并经单位的技术负责人审核,监理审批后执行,若有必要,可以组织专家论证,以确保在施工过程中能根据安全方案来进行施工,避免安全事故的发生。

(5)在开挖过程中产生的废渣,要进行及时的处理,不能堆放在施工现场,以防出现滑坡等事故。

(6)开挖过程中要配备水泵,以便随时将桩孔中的积水排出。同时也要做好有毒有害气体的检测工作,杜绝中毒事故的发生。

(7)在对护壁砼进行浇筑时,要预留出钢筋砼挡板的钢筋,且位置要设置准确。而在桩孔开挖时,要对钢筋砼设置对应的护臂,护臂的厚度需符合设计标准,砼的强度等级一般为 C25。护臂模板要采用加支撑的钢模板,在灌注护壁砼二十四小时后拆卸。

4 总结

隧道洞口扩大头锚杆的计算过程较为复杂,需要对扩大头锚杆承载力的机理和抗拔承载力进行充分了解,分析端部的受力情况,对影响端压力的各种因素进行分析,对喷锚支护和抗滑桩的施工要点进行分析,从而有效确保隧道洞口扩大头锚杆的稳定性和安全性,确保隧道施工的质量。