

孔道成孔工艺对锚固力损失的分析与控制

王清标^{1, 2}

(1 山东大学岩土工程中心 山东济南 250000 2 山东科技大学土木工程系 山东泰安 271019)

摘要:预应力锚索锚固作用机理复杂,影响预应力锚固效果的因素众多,锚固力损失与材料性质、被锚固介质力学特性、锚夹具质量、施工工艺等因素有关。锚索施工工艺对锚索锚固力损失的影响主要体现在孔道成孔工艺,通过孔道成孔工艺研究,推导出了孔道摩擦损失理论计算公式,该公式更加符合工程实际,具有较大的实用价值。同时对孔道成孔引起的锚固力损失提出了相应的工程控制措施。

关键词:成孔工艺 锚固力损失 分析 控制

1 前言

预应力锚索由于具有诸多优点而被广泛应用于各种工程,而其锚固力损失是涉及工程安全与否的大问题,设计人员和工程管理人员不能忽视。锚固力损失与材料性质、被锚固介质力学特性、锚夹具质量、施工工艺及运行管理水平有关。预应力锚固作用机理复杂,影响预应力锚固效果的因素众多,其中施工工艺对预应力锚索的锚固力损失起重要作用。

预应力锚索规范都对预应力锚固工程的施工工艺做了强制性规定。一般情况下其施工工艺程序是:钻孔-编索-下索-锚固段灌浆-张拉-锁定-自由段灌浆-封闭张拉段。上述每步工艺流程都会引起锚索锚固力的损失。本文重点对孔道成孔工艺造成的预应力锚索锚固力损失进行分析研究。

2 孔道成孔工艺对锚索锚固力损失的理论分析

通常预应力锚索造孔采用潜孔钻施工,一般锚索孔道比较长,钻孔机械的钻头受自重影响下沉而导致下悬臂下沉,钻孔深度越大下沉的幅度也就越大,在钻孔时就越难以钻成直孔,因此钻孔一般呈向下弯曲状态。锚索张拉时,自由段与孔道壁之间可能存在一个或多个接触点,这种接触点会使锚索与孔道壁之间产生摩擦力,从而使锚索锚固力发生沿程摩擦阻损失^[1-3]。

采用后张法施工工艺的体内、体外预应力筋都有此项孔道摩擦阻损失。后张法的预应力筋一般

由直线和曲线两部分组成。在施加预应力时,由于预留孔道位置的偏差、孔道曲斜、孔道粗糙不光滑、施工偏差以及预应力筋的形状等原因,均会使预应力筋与孔道内壁接触引起摩擦力,造成锚固力损失。由于孔道摩擦的存在,张拉时形成张拉端应力高,远离张拉端的截面由于摩擦力的影响使预应力筋拉应力逐渐减小,因为控制应力是在张拉端测定的,所以任意两个截面之间预应力筋的应力差值,就是此两截面间由摩擦引起的锚固力损失值。分析孔道摩擦损失产生的原因,可分为孔道弯曲影响和孔道偏差影响两部分^[4-7]。对于预应力孔道的弯道部分,除了管道偏差影响外,还有因管道弯转而引起的摩擦损失。

3 孔道成孔工艺对锚索锚固力损失的数学推导

3.1 孔道弯曲影响分析

孔道弯曲影响引起的摩擦损失,主要是预加应力的预应力筋对弯曲孔道内壁产生的法向挤压力,使预应力筋与孔壁材料之间形成挤压摩擦,从而产生较大的锚固力损失。一般称此项损失为弯道影响摩擦损失,其值较大,与孔道弯曲程度有关,随孔道弯曲程度的增加而增大。

在孔道曲线部分,假设预应力筋与弯曲孔道内壁相贴,如图1所示,预应力筋与孔壁间的摩擦系数为 μ 。现取预应力筋微段 dl 为脱离体,如图2所示相应的弯转角为 $d\theta_1$,曲率半径为 R_1 ,则 $dl=R_1d\theta_1$,设预应力筋对曲线孔道内壁产生的压力 F ,而引起的摩擦力为 dN_1 ,

$$dN_1 = -\mu F \quad (3-1)$$

根据图1和图2, 径向力平衡条件 $\Sigma Y = 0$, 整理可得:

$$F = -2N \sin \frac{d\theta_1}{2} + dN_1 \cdot \sin \frac{d\theta_1}{2} \quad (3-2)$$

又 $dN_1 \cdot \sin \frac{d\theta_1}{2}$ 属于高阶微量, 可以略去不计, 而 $\sin \frac{d\theta_1}{2} \approx \frac{d\theta_1}{2}$ 整理式 (3-2), 得

$$F = -Nd\theta_1 \quad (3-3)$$

将式 (3-3) 代入 (3-1), 得微段曲线 dl 内由弯道影响产生的摩擦力为:

$$dN_{11} = -\mu Nd\theta_1 \quad (3-4)$$

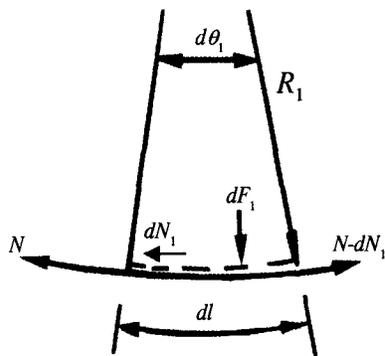


图1 预应力筋微小单元体受力示意图

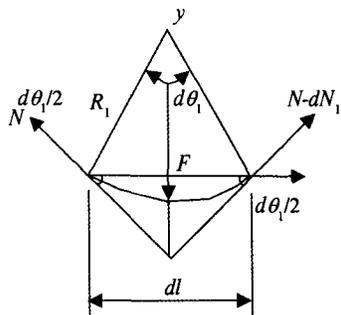


图2 预应力筋微小单元体受力分析图

3.2 孔道偏差影响分析

从理论上讲, 如果预设的直线管道内径比预应力筋的外径大, 预应力筋与管道壁不接触, 那么就不会有管道摩擦损失。但是实际上由于制孔器定位偏差造成施工中管道位置的偏差, 使预应力孔道不顺直, 再加上孔壁不光滑等原因, 使预应力筋与孔壁材料之间形成接触摩擦, 即所谓的

由孔道偏差引起的摩擦损失。一般称此项损失为孔道偏差影响 (或长度影响) 摩擦损失, 其值较小, 主要取决于预应力筋的长度、管道偏差程度、接触材料间的摩擦系数及孔道成型的施工质量等。

设孔道具有正负偏差, 假定其平均曲率半径为 R_2 , 如图3所示。设预应力与弯曲半径为 R_2 的孔壁相贴, 取预应力筋微段 dl 为脱离体, 相应的弯转角为 $d\theta_2$, 同理3.1可求得, 微段直线内预应力筋与微段孔壁间的径向挤压力所产生的摩擦为:

$$dN_2 = -\mu Nd\theta_2 \quad (3-5)$$

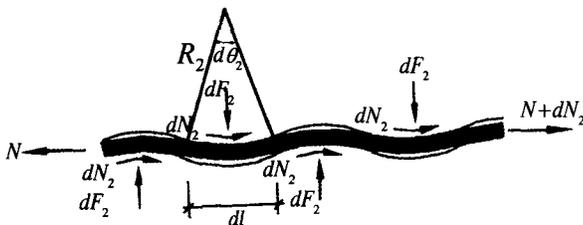


图3 预应力筋微小单元体受力示意图

3.3 孔道摩擦损失的数学推导

在预应力筋弯道部分微段 dl 内的总摩擦力为孔道弯曲影响和孔道偏差影响之和, 即:

$$dN = dN_1 + dN_2 = -\mu N (d\theta_1 + d\theta_2) \quad (3-6)$$

$$\text{整理得: } \frac{dN}{N} = -\mu (d\theta_1 + d\theta_2) \quad (3-7)$$

在曲线范围内任意截面处的张拉力 N 与端面处张拉力 N_0 的关系如图4所示。

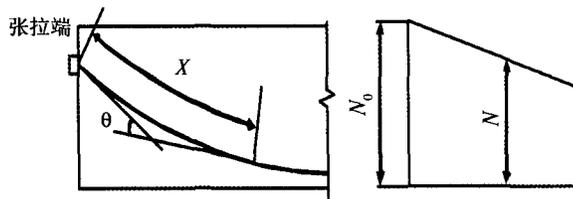


图4 任意截面处张拉力 N 与端面处张拉力 N_0 的关系示意图

对式 (3-7) 两边同时积分可得:

$$\ln N = -\mu (\theta_1 + \theta_2) + C \quad (3-8)$$

根据边界条件求常数 C , 当 $\theta_1 = 0, \theta_2 = \theta, N = N_0$, 代入上式可得:

$$N = N_0 e^{-\mu(\theta_1 + \theta_2)} \quad (3-9)$$

式(3-9)即为预应力筋任意计算截面的张拉力的计算公式。由此可得任意两截面间预应力筋张拉力下降值为:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\mu(\theta_1 + \theta_2)}) \quad (3-10)$$

由此可求得孔道摩擦所引起的应力损失值为:

$$\sigma = \frac{\Delta N}{A_p} = \sigma_{con} (1 - e^{-\mu(\theta_1 + \theta_2)}) \quad (3-11)$$

其中: A_p 为预应力筋的截面面积; $\sigma_{con} = \frac{N_0}{A_p}$ 为张拉钢筋时锚垫板下的控制应力; θ_1 为预应力曲线筋部分弯曲角, 按绝对值相加; θ_2 为预应力筋直线偏差部分弯曲角, 如果管道在平面内和水平面内同时弯曲时, 则 θ_2 应为双向弯曲夹角之和。

4 孔斜率与锚索锚固力损失的相关性分析

工程实践和理论分析表明, 钻孔的孔斜率与锚固力沿程损失具有相关性, 孔斜率对锚固力的损失主要表现在锚索的张拉初期。孔斜率越大, 锚索锚固力损失也越大; 在相同的孔斜率 n 条件下, 锚索张拉荷载 P 越大, 锚固力损失也越大。此外, 锚索的类型对锚索锚固力的沿程损失也有一定的影响, 无粘结锚索由于其采用一次灌浆的方法, 灌浆时锚索体呈弯曲状, 待浆体凝固后张拉, 孔道摩擦力比有粘结大, 故其锚固力沿程损失量也就比有粘结锚索大。

通过大量统计得到锚固力损失值与孔斜率及张拉荷载 P 的相关关系为^[8]:

$$\Delta P = P \times (0.21e^{1.406n} + 0.634e^{0.0006p}) \quad (4-1)$$

式中 ΔP 为锚固力损失值 (kN); P 为锚索张拉值 (kN); n 为锚索孔的孔斜率。

图5为试验锚索锚固力沿程损失率与孔斜率的关系曲线^[9]。

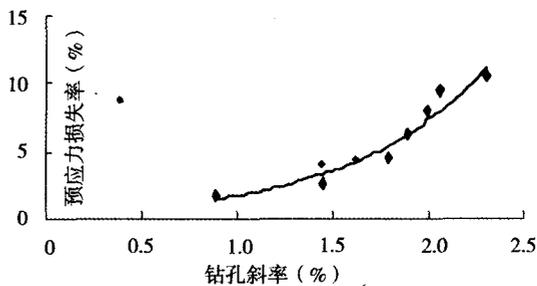


图5 预应力损失率与孔斜率关系曲线

5 减少孔道成孔工艺引起锚固力损失的工程控制措施^[4, 10]

5.1 钻孔精度控制

保证良好的钻孔精度, 主要是孔的平直程度。钻孔同心度不好, 锚索安装后直线度同样也不会好, 锚索在张拉过程中会与孔壁之间产生摩擦, 带来张拉过程中的摩擦损失。

5.2 编索质量控制

保证良好的编索质量, 为避免索体之间打绞而产生摩擦, 一般用隔离架分开, 但隔离架中的单索编号必须前后顺序一致, 否则, 单索之间在张拉过程中会产生摩擦。

保证良好的穿索质量, 由于索体很长, 在送索过程中, 可能位于孔上部的索体到孔底后会位于下部或翻转, 这样张拉时就会产生扭转。

5.3 测力计、锚垫板与千斤顶的同心控制

保证锚索测力计与锚垫板的同心连接, 为了使锚索测力计与钻孔同心, 应使用指定厂家生产的锚垫板, 使得锚索测力计嵌入锚垫板以便保持同心, 否则, 锚索测力计在张拉过程中会产生滑移。

保证锚索测力计与张拉千斤顶同心。锚索张拉过程中靠千斤顶提供作用力, 而千斤顶本身的自重较大, 如果二者不同心, 则在张拉过程中千斤顶与测力计之间产生偏转或滑移, 这样就会造成测试所得的锚固力与千斤顶的顶出力有差别。

5.4 张拉工艺控制

如果工程条件允许, 尽量采用两端张拉, 以减少 θ 值及管道长度 X 值, 即可减少管道摩擦所产生的应力损失。

(下转第33页)

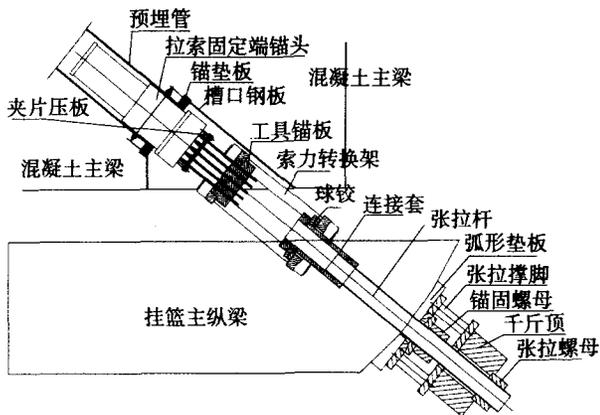


图4 体系转换示意图

5 悬浮张拉体系转换法的优点

(1) 由于固定端可采用不设置带螺牙的螺母即可顺利完成索力的体系转换, 比以往采用的靠旋转螺母才能完成的转换方式大大节省了斜拉索材料, 节约了成本;

(2) 由于采用悬浮张拉, 梁端的工作夹片最后一次性锚固, 避免了工作夹片的重复锚固, 保证了工程质量;

(3) 采用的环氧喷涂钢绞线群锚, 现场制索, 不需要大型吊装设备和繁复的牵引系统, 施

工操作简单易行, 同时解决了大吨位成品索的运输困难问题, 而且斜拉索的换索方便;

(4) 斜拉索施工使用设备轻量化, 施工方便, 钢绞线群锚斜拉索施工更加准确、迅捷, 确保了主梁悬浇工程的施工进度。

6 结束语

采用悬浮张拉技术的新工艺进行主梁牵索挂篮斜拉索的索力转换在国内尚属首创, 该工艺在剑邑大桥斜拉索施工上的成功应用, 解决了以往必须在固定端设置带螺牙旋转的螺母才能进行体系转换的做法, 取得了较好的效果, 同时也积累了一些悬浮张拉技术应用在主梁牵索挂篮体系转换上的施工经验。希望广大同行们多提宝贵意见, 以使该工艺不断完善。

参考文献

- [1] 郭帅, 李勇, 章云彪. 广东金马大桥牵索挂篮的设计与施工[J]. 《华中科技大学学报》(城市科学版), 2002, 19(3):40-42
- [2] 凌宏亿, 彭爱红, 喻光华, 梁小光. 预应力新工艺-悬浮法张拉在施工中的应用[J]. 《华东交通大学学报》, 2005, 2: 34-37

(上接第29页)

采用超张拉工艺, 使构件其它截面应力也相应提高, 当张拉力回降至 σ_{con} 时, 锚索因要回缩而受到反向摩擦力的作用, 一般情况下这个回松影响不能传递到受力最大的跨中截面, 即使传到其影响也很小, 这样跨中截面的预加应力也就因超张拉而获得了稳定的提高。

6 结束语

本文通过对孔道成孔工艺对锚索锚固力损失理论分析, 通过数学手段分析了孔道弯曲和孔道偏差影响, 推导出了孔道摩擦损失理论计算公式, 该公式参数取值比规范公式更加客观, 更加符合工程实际, 具有较大的实用价值。分析研究表明, 钻孔的孔斜率与锚固力沿程损失具有相关性, 孔斜率对锚固力的损失主要表现在锚索的张拉初期。同时对孔道成孔引起的锚固力损失提出了相应的工程控制措施, 可供工程借鉴。

参考文献

- [1] 何思明, 王全才. 预应力锚索作用机理研究中的几个问题[J]. 地下空间工程学报, 2006, 2(1):160-165
- [2] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004. 195-202
- [3] 杜斌, 李勇, 孔思丽. 预应力锚索抗滑桩中锚索预应力损失的试验研究[J]. 岩土工程界, 2005, 9:74-76.
- [4] 李双一, 王艳琴, 张一玉. 浅谈后张法预应力施工过程中的应力损失分析及控制[J]. 辽宁交通科技, 2005(9):52-56.
- [5] 卢树圣. 现代预应力混凝土理论与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社. 2000, 25-38.
- [6] 苏学贵, 李彦斌, 孟秀生. 锚索预应力损失影响因素分析[J]. 西安矿业学院学报, 1999(19): 87-90.
- [7] 赵明阶, 何光春, 王多垠. 边坡工程处治技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [8] 张发明, 刘宁. 影响大吨位预应力长锚索锚固力损失的因素分析[J]. 岩土力学, 2003(4):194-197.
- [9] 张发明, 赵维炳, 刘宁. 预应力锚索锚固荷载的变化规律及预测模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 39-43.
- [10] 黄太平, 姜荣梅. 龙滩水电站左岸进水口边坡锚索预应力的实测研究[J]. 水电自动化与大坝监测, 2004, 28(6): 45-49.