

水下隧道岩土工程勘察研究

卿春和, 孙 亚, 闵 军

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 通过野外水文地质与工程地质调查、物探、钻探、水文地质试验和室内岩、土样物理力学性质、水样化学成分与侵蚀性试验, 比选优化后确定水下隧道洞口位置和顶板埋深, 评价隧道洞口边坡稳定性, 判定隧道围岩类别, 预测隧道涌水量, 提出隧道洞口边坡防护、隧道洞身支护和防止水措施建议。

关键词: 水下隧道; 岩土工程勘察; 防止水措施

文章编号: 1006-5539(2005)04-0050-03

文献标识码: B

0 前言

随着我国经济发展的需要, 长距离、大管径的输气、输油管道愈来愈多。大管道穿越河流, 若采用大开挖沟埋敷设方式, 施工时影响航运, 不利于环境保护, 更不便于管道维护和保养。随着西气东输延水关黄河隧道和陕京二线张家湾黄河隧道的竣工, 使我们对管道穿越大型河流的水下隧道的勘察、设计和施工积累了一些实践经验。

水下隧道岩土工程勘察的要点在于选择稳定的隧道洞口、适当的隧道埋深、岩体强度和隔水性能良好的隧道围岩, 根据判定的隧道围岩类别和预测的涌水量, 提出合理的隧道支护和防止水措施建议。

1 隧道位置的选择

根据公路工程地质勘察规范^[1], 水下隧道穿越河流, 宜选在河床顺直、河道较窄、河水较浅, 而又无深槽的地段; 同时应避开高烈度地震区。水下隧道不宜穿越褶皱、断裂和岩溶发育区。除沉管法施工的水下隧道在松散土层中穿越外, 其它方法施工的水下隧道一般宜在岩层中穿越。水下隧道宜在水平岩层中穿越, 而不宜在陡倾斜岩层中穿越。水下隧道洞口位于河流两岸, 应尽量避免不良地质地段, 选

择高程应避免洪水倒灌洞口。隧道洞口距河流永久稳定岸坡的距离一般不宜小于 30 m。

2 隧道顶板埋深的确定

沉管法施工的水下隧道顶板必须位于河流冲刷深度以下。其它方法施工的水下隧道, 除应位于河流冲刷深度以下外, 还应选择单层厚度大、强度高、完整性好的岩层作为隧道顶板。大型侵入岩体内部的岩浆岩类岩体强度高、完整性好, 与沉积岩类中的泥质岩类一样, 节理、裂隙不发育, 岩层渗透性差, 隧道顶板在岩层中最小埋深, 亦即隧道顶板以上岩层厚度宜为 3~5 倍隧道洞室跨度。变质岩类、侵入体边缘与岩脉中的岩浆岩类和沉积岩类中的非泥质岩类, 由于节理、裂隙相对较发育, 甚至可能存在大的、贯通性好的构造裂隙或溶蚀裂隙、卸荷裂隙, 隧道顶板在岩层中的最小埋深宜不小于 20~30 m。

3 隧道围岩类别判定

隧道围岩是指隧道周围一定范围内, 对坑道稳定性产生影响岩、土体。隧道围岩分类方法, 主要是以控制围岩稳定性的围岩结构特征和完整性作为分类的基本依据, 并适当考虑围岩岩石的强度等因素。坑道围岩稳定性是指坑道开挖后围岩自身在

收稿日期: 2004-10-10; 修回日期: 2004-11-25

作者简介: 卿春和(1965-), 男, 四川简阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事岩土工程勘察、设计与施工工作。电话: (028)86014458。

不支护条件下的稳定程度。在具体判定围岩类别时,需要综合考虑围岩的岩性、胶结与密实、成岩程度、岩层单层厚度、岩体强度、褶皱、断裂等地质构造和节理、裂隙发育程度,岩体结构特征和富水性与地下水渗流特征,软弱夹层及其结构特征,以及岩石质量指标、岩体纵波波速和完整性系数等因素。

4 隧道涌水预测

水下隧道穿越河流,涌水的可能性大。涌水量的大小取决于岩、土层的含水性和透水性。隧道涌水预测包括定性和定量两种评价方法。

4.1 定性评价

位于地下水位之上的洞口地段,由于岩、土层中不含水,隧道不可能出现涌水;但有可能存在大气降水沿裂隙下渗和上层滞水、土洞、溶洞或矿山采空区老窿积水被揭露后出现瞬间突水,涌水量的大小取决于积水量的大小;积水多,则涌水量大、持续时间长;反之亦然。

位于地下水位以下、河流常年洪水位之上的斜井和竖井段,隧道涌水量取决于岩、土层的透水性。隧道涌水水源主要来自基岩裂隙水和松散土层孔隙水等地下水。若隧道通过褶皱、断裂、岩溶发育区和砂、砾石、卵石、漂石层,尤其穿越导水断裂、背斜轴部和暗河时,则将出现特大涌水。

位于河流常年洪水位以下段,隧道涌水水源除地下水外,主要为河水沿岩体裂隙和松散土层孔隙垂直补给坑道。若隧道穿越松散土层中的砂、砾石、漂石层,隧道将出现大规模涌水。隧道在岩层中穿越,由于河水沿岩体裂隙垂直补给坑道,隧道涌水量的大小取决于岩体裂隙的分布密度和张开度;裂隙密度低、张开度小或者闭合,则隧道涌水量小,甚至很小;但若遭遇贯通性好的大裂隙,包括层间裂隙和顺层裂隙,则隧道将出现大规模涌水^[2~3]。

4.2 定量评价

隧道涌水定量评价是在定性评价的基础上进行的。对位于地下水位之上的洞口地段可不进行隧道涌水定量评价。对位于地下水位以下段需分段进行隧道涌水定量评价。根据水文地质试验成果,进行隧道涌水预测。水文地质试验应以抽水试验为主,压水、注水和渗水试验为辅,以查明岩体裂隙发

育程度、岩层的透水性和含水层的渗透系数、抽水钻孔的影响半径等相关水文地质参数。每一类水文地质单元,应有一组抽水试验,除抽水钻孔外,还应有观测钻孔;水上地段或不便于进行抽水试验的地段,可用压水试验或注水、渗水试验代替,试验结果应与抽水试验对比、修正后,方能作为水文地质计算参数。

4.2.1 分段依据

综合考虑隧道形式(斜井、竖井或平巷)、围岩的岩土类型(岩层或土层)、围岩工程地质性质(岩层单层厚度、岩体强度、完整性、节理、裂隙发育密度与张开度等)和岩层富水性与渗透性,以及地下水位和河流常年洪水位等因素,进行隧道涌水量评价分段。平巷按水平坑道计算。当斜井与铅垂线的夹角小于 45° 时,可按竖井计算,并把斜井的垂直投影长度作为计算井长。当斜井与铅垂线的夹角大于 45° 时,斜井可按水平坑道计算,把斜井的水平投影长度作为计算长度。

4.2.2 竖井涌水量计算

竖井涌水量主要为地下水补给量。竖井涌水量计算,一是根据钻孔抽水试验成果中的 $Q-f(S)$ 曲线和井径与涌水量的关系,推求出竖井涌水量;二是考虑井底进水、井壁进水或井底、井壁同时进水,分潜水与承压水和完整井与非完整井等情况,参照有关水文地质计算手册中的相关公式进行。

当含水层隔水底板倾角大于 20° 时,所有竖井涌水量公式中的竖井半径 γ_0 ,按照下述公式计算:

$$\gamma_0 = 0.565 \sqrt{\frac{F}{\sin \alpha}}$$

式中 F ——竖井横断面积, m^2 ;

α ——隔水层底板倾角。

4.2.3 水平坑道涌水量计算

水平坑道涌水量包括地下水补给量和河水垂直补给量两部分。

4.2.3.1 地下水补给量

水平坑道地下水补给量可按丘加耶夫近似公式计算。

$$Q = 2BK \left(\frac{H^2 - h_0^2}{2R} + H_0 q_\gamma \right)$$

$$R = 2S \sqrt{HK}$$

$$q_\gamma = \frac{q' \gamma'}{(\beta - 3) q' \gamma' + 1} \quad (\beta > 3 \text{ 时})$$

$$\alpha_0 = \frac{T}{T + \frac{1}{3}C}$$

$$\alpha = \frac{R}{R+C}$$

$$\beta = \frac{R}{T}$$

$$S = H - h_0$$

式中 Q ——坑道涌水量, m^3/d ;
 H ——坑道底板以上含水层厚度, m ;
 B ——坑道长度, m ;
 K ——含水层渗透系数, m/d ;
 H_0, h_0 ——水头差, m , 坑道水深, m ;
 R, S ——影响半径, m , 水位降深, m ;
 q_{γ} ——引用流量, m^3/d , 按丘加耶夫图解求取(根据 α 和 β , 查 q_{γ} 值曲线图);
 C ——坑道深度之半, m ;
 T ——巷道底板至隔水层的距离, m ;
 $q'_{\gamma} = f(\alpha_0)$, 由图解求出。

4.2.3.2 河水垂直补给量

按照达西定律进行河水垂直补给量计算。

$$Q' = k' \cdot A \cdot \left(1 + \frac{h_{\max}}{H}\right)$$

式中 Q' ——河水垂直补给量, m^3/d ;
 k' ——含水层垂直渗透系数, m/d ;
 A ——坑道开挖揭露的补给区面积, m^2 ;
 H ——坑道底板以上含水层厚度, m ;
 h_{\max} ——河床最大水深, m 。

5 隧道防止水措施

隧道防止水应采取“防、排、堵、截、引”等措施相结合, 以防水为主, 堵、截、引、排水为辅, 因地制宜, 综合治理的原则。防, 指超前探水, 包括 20 m 以上长距离探水, 10~20 m 中距离探水, 5~10 m 短距离探水。排, 指隧道围岩出水后, 应及时抽排水。堵, 指超前探水钻孔或隧道开挖出水后, 尽快实施注浆堵水或止水墙堵水。截, 指对隧道断面散状水流采用止水带、止水板或初期支护锚喷截住。引, 指对隧道开挖断面股状水流采用引水管集中引流, 以利衬砌, 待衬砌体强度达到 70% 以上后, 再对引水孔进行封堵。松散土层中的竖井止水, 可采用开挖前帷幕灌浆、高压旋喷注浆、柔性砼桩和地下连续墙等措施。穿越地下水位以下松散土层的斜井, 需采用管棚超前预支护或冷冻法施工等措施, 井筒横截

面为圆形或椭圆形, 钢筋砼整体浇注。对断裂破碎带(富水带)须进行帷幕注浆。帷幕注浆钻孔深度按一次能穿越断裂破碎带而定; 若断裂破碎带较宽, 一次帷幕注浆不能穿越完时, 可分段进行帷幕注浆; 除注浆帷幕外, 还应在隧道掌子面上布置注浆钻孔(不少于 4 个), 注浆封闭掌子面前方。对延伸浅、小规模的出水点可采用小导管注浆堵水, 小导管口径 42~65 mm, 注浆管长度一般为 0.5~2 m。

超前探水钻孔直径一般为 75~108 mm, 钻孔上仰、外倾 3° ~ 6° , 钻孔终孔位置位于隧道开挖轮廓线外 5~10 m。探水钻孔孔口导管应焊接法兰盘, 以便钻孔出水能及时封堵、关水。每个探水、注浆钻孔都应埋设长度不小于 0.5 m 的注浆管, 并把注浆管固定在稳定的基岩上。注浆管在钻孔口壁处焊接法兰盘, 以便与注浆泵的高压软管相连接。探水钻孔注浆后, 隧道开挖时应留厚度不小于 5~10 m 的隔水岩柱, 待下次探水注浆后再开挖。

注浆浆液, 一般采用水泥浆单液或水泥浆与水玻璃双液。为加快水泥浆凝结速度, 可加入水玻璃和不含氯离子的早强添加剂。注浆水泥标号不低于 P. O. 42. 5R。水玻璃模数 2. 4~2. 8, 浓度 50~53 波美度。水泥浆液水灰比常为 0. 8: 1~1: 1 (重量比)。水泥浆液与水玻璃体积比一般为 1: 0. 4~1: 0. 6。注浆泵最好为可计量、显示注浆压力的双管式, 也可采用单管式。注浆压力一般为 1. 0~1. 5 MPa。注浆顺序, 先上方后下方, 用止浆阀保持孔内压力直至浆液完全凝固。长管注浆采用分段后退式, 由深至浅、先里后外。注浆结束时的耗浆量应低于初始进浆量的 1/4。

每延米注浆量按下式计算:

$$Q = \pi R^2 \cdot \eta \cdot e \cdot (1 + \beta)$$

式中 Q ——每延米注浆量, m^3 ;
 R ——浆液扩散半径, m ;
 η ——注浆后空隙充填率;
 e ——岩、土体空隙率;
 β ——浆液损失率, 一般取 10%~30%。

6 结论

水下隧道岩土工程勘察应着重查明隧道穿越段褶皱、断裂等地质构造和岩溶发育程度, 岩体节理、裂隙密集、张开程度和岩体崩解与膨胀性, 以及不良

与灾害地质现象等;选择稳定的洞口位置和适当的顶板埋深;调查河流水文参数,计算河床冲刷深度;根据岩、土体工程地质特征,判定隧道围岩类别;对地下水天然露头(泉)的补给源和补给量进行调查、统计,确定岩、土层的富水性;通过钻孔水文地质试验确定含水层的透水性和渗透系数,按照涌水量计算公式进行隧道涌水量分段预测评价;在上述基础上,提出隧道设计和施工应注意的岩土工程问题及

其处理措施建议。

参考文献:

- [1] JTJ 064-98, 公路工程地质勘察规范[S].
- [2] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队. 水文地质手册[M]. 北京:地质出版社, 1990.
- [3] 薛禹群, 朱学愚. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社, 1979.

收稿日期: 2005-01-30; 修回日期: 2005-03-15

作者简介: 吴克信(1962-), 男, 福建尤溪人, 高级工程师, 工程硕士, 主要从事工业与民用建筑、油气田地面工程设计和管理工作。电话: (028) 86014542。