

文章编号: 1006-5539(2004)01-0064-03

水下隧道施工中的注浆堵水设计探讨

王晓峰

(中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘要: 随着隧道穿越方式越来越多被应用于天然气与石油长输管道穿越大江大河, 随之而来的就是水下隧道施工中必然出现的隧道涌水情况。文章以我国正在建设中的“西气东输”工程中管道采用隧道方式穿越黄河为例, 对隧道施工中出现涌水后, 针对实际情况而采取的一系列注浆堵水措施进行了探讨。

关键词: 水下隧道; 施工; 注浆; 堵水

中图分类号: TE973.92; TV543.1 **文献标识码:** B

0 前言

随着科学技术的不断发展, 天然气与石油长输管道在穿越大江大河、高山峻岭等重要地段, 已经越来越多的采用隧道穿越方式。隧道穿越方式的诸多优点已经充分体现出来了。但是, 在大型河流下面进行隧道挖掘施工, 最大的一个难点就是隧道涌水问题, 如果处理不当不仅会直接影响工期, 严重的还会造成重大安全事故。本文就水下隧道施工中发生涌水后的注浆堵水问题进行一些探讨。

1 注浆堵水材料

注浆堵水主要作用是封堵裂隙、隔离水源、堵塞水点, 以减少洞内涌水量, 改善施工条件。

1.1 注浆材料种类

注浆浆液常用的有: 水泥浆液、水玻璃浆液、水泥—水玻璃浆液以及各种化学浆液, 如铬木素、脲醛树脂、丙烯酰胺、木胺和聚胺酯浆液等。

1.1.1 水泥浆液

水泥浆液具有结石体强度高、工艺简单、浆液配置容易、材料来源丰富、成本较低等优点。

一般常用水泥浆液的水灰比为 4:1~0.5:1。在满足注浆工艺和岩层压注性需要的条件下, 应尽量

使用浓浆。

1.1.2 水玻璃浆液

水玻璃亦称硅酸钠, 是由二氧化硅和氧化钠 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) 组成。它的特征用模数和浓度表示。水玻璃模数越小, SiO_2 含量越低, 结石体强度越低, 甚至不凝固; 模数越大, 强度越大, 且粘结度亦越高, 并难以溶解。

1.1.3 水泥—水玻璃浆液

水泥—水玻璃浆液具有料源丰富, 结石体抗压强度可达 10~20 MPa, 结石率 100%, 结石体渗透系数 10^{-3} cm/s。无毒、不污染环境, 可灌性好, 易于配置, 注浆设备简单。

水泥浆和水玻璃溶液混合后立即发生反应, 很快形成具有一定强度的固结体。随着反应连续进行, 结石体强度不断增加, 早期强度主要是水玻璃反应的结果, 后期强度主要是水泥水化反应的结果。

1.1.4 化学浆液^[1]

1.1.4.1 铬木素浆液

铬木素浆液是由亚硫酸盐法造纸的纸浆废液 (主要成份是木质素磺酸盐)、固化剂重铬酸钠和促凝剂氯化物、硫酸盐等 (其中以三氯化铁效果最好) 组成。浆液粘度低, 凝胶时间可以控制在十几秒到几十秒之间, 凝胶化学性能稳定、浸水膨胀、抗渗性好, 固胶体强度较高、材料来源广、成本低。

1.1.4.2 丙凝浆液

丙凝是以丙稀酰胺为主剂, 配以其它材料, 以水

收稿日期: 2003-04-03; 修回日期: 2003-05-07

作者简介: 王晓峰 (1970-), 男, 四川汉源县人, 工程师, 学士, 1992 年毕业于苏州城建环保学院工业与民用建筑专业, 长期从事建筑设计。电话: (028) 86014546。

溶液压入岩层,通过氧化—还原体系的引发作用,发生聚合反应,形成具有弹性的、不溶于水的高分子硬性凝胶,达到堵水和固结岩体的作用。

1.1.4.3 聚胺酯浆液

聚胺酯浆液由异氰酸酯与聚醚树脂反应生成的端基为异氰酸根的胺基甲酸酯预聚体、稀释剂、匀泡剂(硅油)和催化剂组成。浆液压入岩层遇水立即反应,换出 CO_2 , 发泡膨胀,最后生成聚胺酯泡沫状固结体,达到防渗和加固岩体的目的。

1.2 注浆材料的选择

注浆材料在很大程度上直接影响到堵水防渗和固结的效果,并关系到压浆工艺、工期及工程费用。选择压浆材料时,主要应注意:

a)浆液在受压岩层中具有良好的渗入性。即在一定压力下,能渗到一定宽度的缝隙或空洞中去。

b)浆液凝结成结石后,应具有一定的强度和粘结力。

c)为便于施工和增大浆液的扩散范围,浆液须具有良好的流动性。

d)浆液具有良好的稳定性,以免过早地产生沉淀影响浆液的压注。

e)一般情况下可采用水泥浆液、水泥水玻璃浆液。当其不能达到压浆处理的要求,如岩层裂隙细微、压不进去或涌水大、流速大时,可考虑采用其他化学浆液。

f)压浆所采用材料尚应根据地层条件选择。

根据地层条件选择应注意:

(a)断层破碎带和砂卵石地层,当裂隙宽度(或粒径)大于 1 mm ,或渗透系数 $K \geq 5 \times 10^{-4}\text{ m/s}$ 时,宜优先选用单液水泥浆和水泥—水玻璃浆。

(b)断层含泥带,当裂隙宽度(或粒径)小于 1 mm ,或渗透系数 $K \geq 1 \times 10^{-4}\text{ m/s}$ 时,加固压浆宜优先选用水玻璃类浆液。

(c)中、细、粉砂层及细小裂隙岩层,断层泥段堵水压浆宜选用渗透性好、低毒、遇水膨胀的化学浆液,如聚胺酯类。

(d)岩溶地段突泥、突水和裂隙较大的地质构造中,为堵塞突泥、涌水通道,在适应压浆设备条件下,可用劈裂法代替渗透注浆。

2 实例说明

现以“西气东输管道工程——延水关黄河隧道

穿越”施工中出现涌水后所进行的注浆堵水设计、施工为例进行说明。

西气东输延水关黄河隧道穿越工程,穿越的岩层由上而下为第四系地层和三叠系延长组地层,西岸洞口基岩揭露标高为 $+551.7\text{ m}$,穿过紫红色长石中砂岩后,在 $\text{K}0+028.5$ (高程 541.0 m)处的紫色泥质砂岩开始涌水,涌水量为 $4 \sim 5\text{ m}^3/\text{h}$,在 $\text{K}0+050$ (高程为 533.0 m)处的灰色粉砂岩出现岩面裂隙涌水,2001年12月5日涌水量达 $60\text{ m}^3/\text{h}$,12月9日涌水量达 $155\text{ m}^3/\text{h}$,水压在 0.1 MPa 左右。隧道发生大量涌水后,经查阅地质资料,现场调查,根据出水点附近的地质构造、岩层层间裂隙较发育、出水点的水流速度和压力不大、出水点较集中等情况进行了分析,决定采用洞内注浆堵水方案。本次注浆堵水确定在没有淋水的地段(或钻孔)采用单液(即水泥浆)注浆。在有淋水的地段(或钻孔)采用双液(即水泥—水玻璃)注浆。

2.1 材料组成

水泥—水玻璃浆液主要是水泥和水玻璃两种材料,必要时掺入一些速凝剂或缓凝剂。

2.1.1 水玻璃

作为注浆材料用的水玻璃,要求模数 M 在 $2.4 \sim 2.8$ 左右为宜。模数如低于 2 ,浆液难以凝固;模数高于 3 ,水玻璃又难溶于水。注浆使用的水玻璃浓度为 $30 \sim 45$ 波美度。

2.1.2 水泥

水泥采用 425 #普通硅酸盐水泥。水泥浆的水灰比一般在 $0.5:1 \sim 1:1$ 之间。

2.2 水泥—水玻璃浆液外加剂

2.2.1 速凝剂

白灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是一种对水泥—水玻璃体系的凝胶时间有显著促进效果,而且价格便宜,来源广的一种速凝剂。白灰用量以不超过水泥用量的 15% 为宜。

2.2.2 缓凝剂

磷酸氢二钠是一种对水泥—水玻璃体系的凝胶时间有显著缓凝效果的化学用品,其用量为水泥用量的 $1\% \sim 3\%$ 为宜。在使用时,必须先将缓凝剂配成水溶液,然后加入水泥中,进行充分搅拌。

2.3 注浆设备与工艺流程

2.3.1 注浆设备

为满足供浆量和注浆压力的要求,该工程注浆

选用 2TGZ-60210 型双浆泵注浆机。其主要特点是:在停车或运转过程中,可进行流量调节,双缸流量可调节成任何比例输送浆液,用更换缸头的方法,单、双液注浆均适用。

2.3.2 注浆工艺流程

注浆工艺流程是以配制浆液到浆液注入岩石钻孔裂缝中的作业程序及其流程。

首先将双泵注浆机吸浆管与水泥浆、水玻璃浆储浆桶相连;其次,将输浆管与岩石中预先埋设好的注浆管相连;然后,开动压浆泵,根据需要进行单浆或双浆混合压注。压注过程中,必须随时观察注浆孔周围岩石的情况,随时注意注浆压力,防止岩石因注浆压力过高而爆浆;或因跑浆而使压力降低。同时可根据实际情况随时调整浆液比例,控制浆液的凝固速度。

2.4 注浆孔的布置

根据本隧道出水点的实际情况,本次注浆堵水钻孔布置采用两种方式。

2.4.1 开挖面注浆孔布置

2.4.1.1 无止浆墙

本次注浆,因出水孔水压不大,拟直接在两个出水钻孔孔口安设一头带马牙扣,另一头带阀门的管子。若此管安装成功,即可对开挖面后已形成之隧洞内顶、底、帮钻孔注浆。最后对开挖面的两个出水孔注浆。注浆 8 h 后,可按图 1 中的 2, 3, 4 号钻孔布置进行探水作业。若出现涌水,应按图 1 布置探水孔注浆,因现有钻机只能钻孔 20 m 深,决定每次探水、注浆 20 m,开挖 12 m。

2.4.1.2 止浆墙

若直接安装带阀门的管子失败,则必须在开挖面后建止浆墙。止浆墙的厚度为 0.5 m,四周必须拉槽,该墙建好后应严密、不漏水,否则,必须重建。

开挖面注浆孔布置,见图 1,注浆孔孔径为 40 mm,扩散半径取 2.5 m。

2.4.2 非开挖面注浆孔布置

此类注浆孔包括已开挖的隧道的帮、顶、底的注浆孔的布置,其主要原则是:

a) 注浆孔的位置应与漏水裂缝相交。

b) 注浆孔的深度应视岩层性质而定。

c) 注浆孔距是根据堵水加固面积和注浆有效扩散半径来确定的。布孔方式见图 1 所示。孔距应保

证相邻两孔的有效扩散半径相交。

本工程注浆孔沿巷道走向在岩面裂缝所处的巷壁以裂缝为基线作三花眼布置,注浆钻孔深度为 4.0 m,钻孔直径为 40 mm,随着巷道的开挖,岩面裂缝逐渐上移,直至拱顶处消失,考虑钻孔的操作方便,因此分三种情况布孔,当裂缝在拱顶时,采用上排钻孔与裂缝平行,下排钻孔与裂缝相交;当裂缝在基脚时采用下排钻孔与裂缝平行,上排钻孔与裂缝相交;当裂缝在拱基线上下时,采用上下两排钻孔都与裂缝相交。注浆钻孔的孔距为 3.0 m,扩散半径为 2.0 m。

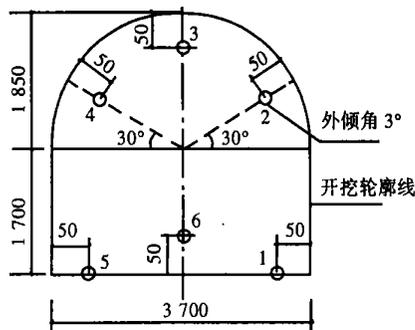


图 1 注浆钻孔布置图(单位: mm)

2.5 注浆施工

该工程将所打钻孔分为三类:第一类为无水孔,采用单液(水泥浆)注浆;第二类为有少量出水的钻孔,采用双液(水泥浆、水玻璃)注浆;第三类为涌水量较大的钻孔,钻孔内暂不注浆,此类钻孔在一、二类孔注浆期间让其流水,在孔口埋设钢管和闸阀。待一、二类注浆工程抗压强度达到 80% 时再利用闸阀的调节对此孔进行注浆。或采用第二套方案,即先灌注涌水量大的第三类孔,再灌注第一、二类孔。综合比较两套方案的堵水效果,择优选用。

注浆后应视浆液种类,等待 4~8 h 方可开挖。单液水泥浆开挖时间为注浆后 8 h,水泥-水玻璃浆液为 4 h 左右。

采用以上注浆堵水方案,使该工程施工中出现的几次大的涌水均被堵住。隧道工程于 2003 年 1 月 5 日顺利贯通。

参考文献:

- [1] 铁道部第二工程局. 隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999. 261-268.