

注浆技术在溶洞地基处理中的应用

刘建涛^{1,2}, 谌霞³, 张广亮¹

(1. 河南省地矿建设工程(集团)有限公司, 河南 郑州 450053; 2. 河南省地勘局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450007; 3. 河南省地球物理工程勘察院, 河南 郑州 450007)

摘要:在电厂老厂房扩建时地基需要进行注浆加固。根据现场实际情况,针对溶洞地形的地质特征,选取合理的注浆参数及孔位布置,采用合适的钻进方法及注浆技术对地基进行了注浆加固处理,并提出了特殊情况的处理办法。通过注浆后的检测,证明该注浆加固取得了良好的效果。

关键词:注浆;溶洞;地基处理;应用

中图分类号:TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)11-0046-04

Application of Grouting Technology in Karst Cave Foundation Treatment/LIU Jian-tao^{1,2}, CHEN Xia³, ZHANG Guang-liang¹ (1. Hennan Geological & Mineral Resources Construction Engineering(Group) Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450053, China; 2. No. 2 Hydrogeology and Engineering Geology Team, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Zhengzhou Henan 450007, China; 3. Henan Academy of Geophysical and Engineering Exploration, Zhengzhou Henan 450007, China)

Abstract: In the old powerhouse extension, grouting reinforcement is processed for foundation. According to the site situation and in view of the karst cave geological features, reasonable grouting parameters and the hole position arrangement were selected to reinforce the foundation with appropriate drilling methods and grouting technology; the measures for special situation was also proposed. By the test after grouting, it was proved that the grouting reinforcement was successful.

Key words: grouting; karst cave; foundation treatment; application

1 工程概况

平顶山姚孟发电有限公司2×600 MW机组扩建工程是在老厂的扩建场地上,安装两台600 MW超临界参数、变压运行直流炉、凝汽式汽轮发电机组。位于平顶山市西南角,厂区南侧靠近白龟山水库。

该工程主厂房地段下面有溶洞,设计采用注浆技术进行地基处理加固。设计钻机钻岩石层灌浆孔64930 m,基础岩石层固结灌浆48700 m,地基处理填充料4500 m³。

2 场地工程地质和水文地质条件

2.1 场地工程地质条件

厂址区位于伏牛山北缘的山前丘陵地带,原始地貌为山前剥蚀残丘。地形较为起伏,总体地形西南高东北低。场地内地基土主要由杂填土、第四系坡积粉质粘土及寒武系、震旦系的基岩组成,基岩以粘土岩和碳酸岩为主,出露的岩性有页岩、泥灰岩、灰岩、泥质灰岩、砂质灰岩等。由于岩性分布不一,同一深度岩石风化程度也不一样,因而形成地基的

不均匀性。区内地质构造较为简单,基于岩层的倾向基本一致、倾角变化不大的特点,可以确定厂区处于一单斜构造上,岩层的倾向40°~48°,岩层倾角寒武系地层为31°,震旦系地层倾角为55°。厂区范围内无大断裂,对应的地震基本烈度为6°。区内地质构造较为简单,基于岩层的倾向基本一致、倾角变化不大的特点,可以确定厂区处于一单斜构造上。勘测中场地内未发现大型断裂构造。

根据地基土物理特征和工程特性的差异,整个厂址区勘探揭露的地层可分为9个主层和1个亚层,地层层序构成及在厂区各建筑地段的分布情况为:①层压实填土;①_i层杂填土;②层粉质粘土;③层泥灰岩与页岩互层;④层泥灰岩,该层在厂区自然沉积厚度120 m,主要分布于烟囱地段;⑤层灰岩,该层在厂区自然沉积厚度200 m,主要分布于主厂房地段;⑥层泥灰岩;⑦层泥灰岩与页岩互层;⑧层砂质灰岩;⑨层页岩。

2.2 场地水文地质条件

场地地下水为基岩裂隙水,地下水水质清洁,无臭无味,为当地居民生活饮用水和牲畜用水。勘测

收稿日期:2009-04-07; 改回日期:2009-09-18

作者简介:刘建涛(1976-),男(汉族),河南临颖人,河南省地矿建设工程(集团)有限公司、河南省地质矿产开发局第二水文地质工程地质队工程师,探矿工程专业,从事地基基础施工与管理工作,河南省郑州市互助路25号河南省地矿建设工程(集团)有限公司, hnljt@163.com。

期间烟囱地段地下水稳定,水位埋深 3.20 ~ 4.80 m,地下水稳定水位标高 101.41 ~ 102.87 m。低于预定烟囱基底 0.50 ~ 2.00 m。主厂房地段地下水稳定,水位埋深 6.50 ~ 8.50 m,地下水稳定水位标高 101.36 ~ 103.46 m,低于预定基础埋深 0.50 ~ 2.00 m。两地段地下水水位标高基本一致。

经调查,地下水与白龟山水库水力联系密切,水库蓄水位的升降将引起场地内地下水位的升降,一般年变幅在 4 ~ 5 m。

2.3 不良地质作用

拟建场地中分布的碳酸岩为可溶岩,岩体裂隙发育,地下水径流条件较好,勘测发现了大量的溶洞和强溶蚀带。主厂房地段溶洞的发育特征:钻孔见洞率 52%,溶洞(不包括强溶蚀)线溶率 6%,岩溶发育程度为强烈;钻孔揭露单洞洞高 0.30 ~ 4.90 m,洞高以 0.50 ~ 2.00 m 居多,揭露的溶洞平均高度 1.00 m;单洞大于 2.00 m 者 17 个。溶洞充填形式主要分 3 种:未充填(空)、半充填和完全充填,其中以半充填为主,充填物质以软塑 ~ 可塑粘性土和软塑 ~ 可塑粘性土混碎石为主。溶洞的发育形状多沿裂隙面方向呈不规则椭圆状,以竖向发育为主。溶洞发育在平面及竖直上总体规律性不强。

主厂房地段强溶蚀带的发育特征,该层为灰岩被强烈溶蚀后再淋滤形成的次生灰岩或钙质物,原岩已变色,组织结构已大部分破坏,岩石以碎块状为主,局部地段混粘性土,裂隙发育,工程性质上较接近于强风化带。该层在灰岩中成透镜体状大量分布,平面及竖直上分布均无规律性。主厂房地段共揭露强溶蚀带 210 个,钻孔揭露的强溶蚀带平均厚度 1.28 m。

3 注浆设计

注浆孔平面上采用梅花形方式进行布置(见图 1)。注浆孔孔距 3.0 m,排距 2.6 m,单孔注浆深度要求从建筑物基础底面以上 1 m 开始,孔深 20 m 结束。分三序进行施工,先施工 I 序,后施工 II 序,再施工 III 序。每一序施工按照由外向内的施工顺序,逐渐加密。采用自下而上的注浆方式分段注浆,每段长度为 5 m 左右,遇溶洞或强破碎段可缩短段长。

注浆材料:采用水泥浆做为注浆材料。水泥选用强度等级为 32.5 的普通硅酸盐水泥。可加入适量的粉煤灰及添加剂。

注浆参数:

(1) 注浆压力:注浆终压采用 1.5 倍的静水压

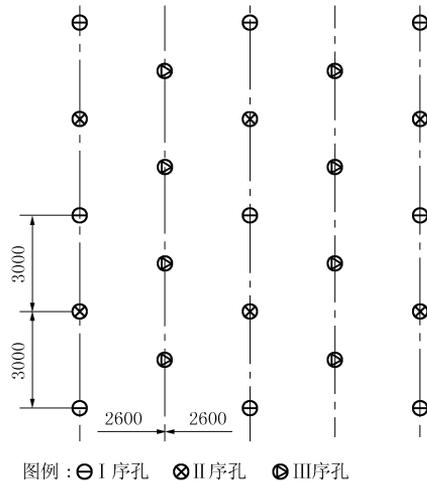


图 1 注浆孔平面布置示意图

力值;

(2) 浆液浓度:浆液浓度由稀到浓逐级变换;

(3) 结束标准:在达到注浆段规定压力下,并维持 20 ~ 30 min,注浆即可结束。

4 施工工艺

注浆施工工艺流程见图 2。

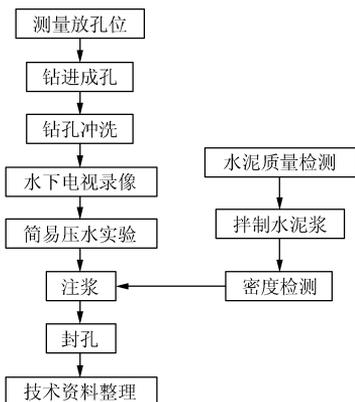


图 2 注浆施工工艺流程图

4.1 测量放线

根据业主或规划部门提供的控制点,结合施工图给定的尺寸进行放样。

使用经纬仪确定轴线方向,钢尺量距确定孔位,编号后用木桩标示,施工后序孔时验证前序孔孔位,并用水准仪测定孔口高程。孔位偏差 < 5 cm。因故变更孔位应征得监理工程师的同意,并测量记录实际孔位。

4.2 钻孔

采用 150 型地质钻机金刚石回转钻进或气动潜孔锤冲击钻进。开孔孔径为 110 ~ 130 mm,终孔孔径 ≥ 91 mm。

钻进过程中,将钻孔深度、地层变化、溶洞、漏水漏浆、掉钻等情况详细记录在报表中,做为在注浆过程中采取相关措施的依据。注浆先导孔、检查孔以及监理工程师指示的其他孔有钻取岩心要求时,按取心次序统一编号,填牌装箱,技术人员对岩心进行描述,并绘制钻孔柱状图。监理工程师指示保存的岩心,按指定地点存放,防止散失和混装。

造孔结束,会同监理工程师进行检查验收,检查合格,并经监理工程师签认后,方可进行下一步操作。

4.3 钻孔冲洗

(1) 钻孔完成后,采用从孔底向孔外冲洗的方法进行冲洗。

(2) 冲洗水压采用80%的注浆压力,压力超过1 MPa时,采用1 MPa。

(3) 裂隙冲洗应冲至回水澄清后10 min,孔内残存的沉积物厚度 ≥ 20 cm时,结束冲孔。

(4) 当邻近有正在注浆的孔或邻近注浆孔结束不足24 h时,不得进行裂隙冲洗。

(5) 注浆孔(段)裂隙冲洗后,进行水下电视录象。该孔(段)应立即连续进行注浆作业,因故中断时间间隔超过24 h者,应在注浆前重新进行裂隙冲洗。

4.4 简易压水试验

(1) 裂隙冲洗后,根据监理工程师指示进行压水试验。

(2) 简易压水试验压力为注浆压力的80%,该值若大于1 MPa时,采用1 MPa;压水20 min,每5 min测读一次压入流量,取最后的流量值作为计算流量,其成果以透水率(Lu)表示。试验按《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL 25-92)附录A执行。

(3) 先导孔应自上而下分段卡塞进行压水试验,按要求采用五点法或单点法。检查孔应采用五点法压水试验。

4.5 制浆

(1) 水泥采用强度等级为32.5的普通硅酸盐水泥,水泥进场后在监理工程师的陪同下取适量样品送有检测资质的试验室进行检测,达不到质量要求的做退场处理;粉煤灰掺用量最大比例为水泥质量的100%;促凝剂采用三乙醇胺、水玻璃等,掺用量一般为水泥质量的3%~5%。具体配比按试验报告和监理工程师批复为准。

(2) 材料必须称量,称量误差 $< 5\%$ 。水泥等固

相材料采用质量称量法。水采用水表测量体积称量法。

(3) 制浆用水需取样送检合格,符合《砼拌合用水标准》(TGJ 63-89)方可使用。

(4) 各类浆液必须搅拌均匀,测定浆液密度和粘滞度等参数,并作好记录。

(5) 纯水泥浆的搅拌时间,高速搅拌不少于30 s,普通搅拌不少于3 min,浆液在使用前应过筛,从开始制备至用完的时间 ≥ 4 h,否则作为废浆处理。

(6) 拌制细水泥浆液和稳定浆液,加入减水剂和采用高速搅拌机,搅拌时间通过试验确定。细水泥浆液的搅拌,从制备至用完的时间 < 2 h,否则作为废浆处理。

(7) 采取必要措施保持浆液温度在5~40℃之间,超此范围则为废浆。

4.6 注浆

(1) 注浆分段:风化带及岩溶发育带,注浆段控制在4~5 m;溶洞注浆段长控制在2~4 m,遇较大溶洞时可单独进行注浆而不考虑段长。特殊情况下可适当缩减或加长,但不得大于6.5 m。

(2) 较大溶洞注浆,在查明溶洞的充填类型和规模的情况下,采取如下的措施处理:

① 溶洞内无充填物时,根据溶洞的大小,可采用泵入高流态混凝土、投入碎石再灌注水泥砂浆、灌注混合浆液等措施;

② 溶洞内有充填物时,根据充填物类型、性能以及充填程序,可采用高压灌浆、高压喷射灌浆等措施。

(3) 选用自下而上分段注浆法,孔深小于10 m可不分段。注浆按分序加密的原则进行。

(4) 射浆管距孔底不得大于50 cm。

(5) 注浆压力应按设计或监理工程师指示确定,注浆压力应尽快达到设计值,溶洞段和注入率大的孔段应分级升压。

(6) 注浆时应按注浆试验确定的或监理工程师批准的水灰比施灌,浆液浓度由稀到浓逐级变换。

(7) 浆液浓度变换标准:①当注浆压力保持不变,注入率持续减少时,或当注入率保持不变而压力持续升高时,不得改变水灰比;②当某一比级浆液的注入量已达300 L,或灌注时间已达1 h,而注浆压力和注入率均无显著改变时,应改浓一级水灰比浆液灌注;③当注入率 > 30 L/min时,浆液根据具体情况,可越级变浓;④注浆过程中如出现注浆压力或注入率突然改变较大,应立即查明原因,并采取措施处

理。

(8) 注意事项: 注浆过程中, 要严密观测地基的变形, 发现异常情况, 应立即停止注浆, 查明原因, 并按照要求处理, 确认没有问题后再继续注浆; 对注浆中断、串孔、冒浆、漏浆、孔口涌水、吸浆量大等问题按照有关要求进行处理, 并将处理方案报送监理人审批; 注浆过程中应定时测记浆液密度。

4.7 注浆结束标准

在达到注浆段规定压力下, 继续灌注 30 min, 注浆即可结束。当长期达不到结束标准时, 应报请监理共同研究处理措施。待凝时间规定为: 溶洞带不少于 48 h, 其他部分不少于 24 h。

4.8 封孔技术要求

(1) 每个注浆孔全孔注浆结束后, 会同监理工程师及时进行验收, 验收合格的注浆孔才能进行封孔。

(2) 采用自下而上进行注浆封孔, 灌注水灰比为 0.5: 1 的浓浆, 待浆液到达孔口停止, 并及时补浆, 直至浆液面不再下降为止。

5 特殊情况处理

(1) 注浆过程中, 发现冒浆、漏浆, 应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇注浆等方法进行处理。

(2) 注浆过程中发生串浆时, 如串浆孔具备注浆条件, 可以同时注浆, 应一泵灌一孔。否则应将串浆孔用塞塞住, 待注浆孔注浆结束后, 串浆孔再行扫孔、冲洗, 而后进行注浆。

(3) 注浆工作必须连续进行, 若因故中断, 可按照下述原则进行处理: ①应及早恢复注浆, 否则应立即冲洗钻孔, 而后恢复注浆, 若无法冲洗或冲洗无效时, 则应进行扫孔, 而后恢复注浆; ②恢复注浆时, 应使用开灌比级的水泥浆进行灌注, 如注入率与中断前的相近, 即可改用中断前比级的水泥浆继续灌注, 如注入率较中断前的减少较多, 则浆液应逐级加浓继续灌注; ③恢复注浆后, 如注入率较中断前的减少很多, 且在短时间内停止吸浆, 应采取补救措施。

(4) 孔口有涌水的注浆孔段, 在注浆前应测记涌水压力和涌水量, 根据涌水情况, 可选用下列措施综合处理: ①自上而下分段注浆; ②短的段长; ③高的注浆压力; ④浓浆结束; ⑤屏浆; ⑥闭浆; ⑦纯压式注浆; ⑧速凝浆液; ⑨待凝; ⑩压力注浆封孔。

(5) 注浆段注入量大, 注浆难于结束时, 可选用下列措施处理: ①低压、浓浆、限流、限量、间歇注浆;

②浆液中掺加速凝剂; ③灌注稳定浆液或混合浆液。

该段经处理后仍应扫孔, 重新依照技术要求进行注浆, 直至结束。

(6) 注浆过程中如回浆变浓, 宜换用相同水灰比的新浆进行灌注, 若效果不明显, 延续灌注 30 min, 即可停止灌注。

6 注浆效果监测

质量检查布置在岩溶发育和施工期间存在较大问题的部位, 由监理工程师会同业主和施工单位共同确定, 检查孔的数量应符合相应规范要求。质量检查在该部位注浆结束 14 天后进行。质量检查采用测试岩体波速和弹性模量、压水试验等综合进行。

注浆检测标准:

(1) 加固区无空洞, 钻探无掉钻;

(2) 溶洞与裂隙充填水泥结石, 钻探过程中回水正常;

(3) 压水试验 0.4 MPa 下透水率 $q < 10 \text{ Lu}$ 。

6.1 物探检验

注浆结束 14 天后, 采用物探方法进行波速测试, 评价注浆效果。采用标贯法和触探法对注浆前后的土体、桩体分别进行测试, 检查注浆效果。经物探检测, 注浆效果良好。

6.2 钻孔取心检验

14 天后辅以钻探取心验证, 观察结石形状, 并通过室内试验测定样品的密度、浆液充填率、剩余空隙率、单轴抗压强度以及弹性模量等物理力学指标。共布设检测孔 75 个, 取心结果显示, 大部分孔取出了水泥结石。

6.3 压水试验

压水试验在检查部位注浆结束 3 天后进行, 采用自上而下分段进行。压水试验共进行 98 段, 透水率全部合格。压水试验透水率部分数据见表 1。

表 1 压水试验透水率部分数据

孔号	试验段/m	试验段岩性	试验最大压力 /MPa	透水率 /Lu
J12	6.8 ~ 12.5		0.20	5.18
J16	5.5 ~ 11.3		0.20	8.15
			0.40	6.25
J23	12.5 ~ 17.6	层⑤ 中等 风化 灰岩	0.32	7.58
J26	6.0 ~ 11.2		0.26	5.36
J35	7.6 ~ 13.0		0.21	6.58
J48	11.5 ~ 16.5		0.20	7.20
J56	11.0 ~ 18.5		0.35	8.65
J67	9.8 ~ 14.8		0.255	7.25

100%。

(2) 煌斑岩脉化学灌浆后孔内变形模量由灌前的 0.72 GPa 提高到灌后 30 天的 3.52 GPa, 提高幅度达 390%, 变化明显。

(3) 化学灌浆 30、60、90 天后孔内变形模量对比分析发现: 随着龄期增加, 孔内变形模量变化不明显。

分析认为: 经水泥灌浆后, 煌斑岩脉及周边岩体裂隙得到了水泥的有效充填, 变形模量增加, 但仍然较小; 化学灌浆对弱~强风化煌斑岩脉的变形模量改善较大。但与设计要求值仍有一定差距(设计要求灌后其变形模量 > 5.0 GPa), 这主要与弱~强风化煌斑岩脉母岩本身性状较差、遇水易软化有关。

5 结论与建议

(1) 化学灌浆检测评价表明, 本试验所选用的化学灌浆材料能够适应煌斑岩脉地层, 在设计孔排距、灌浆压力等参数下, 能够达到对地层的较好浸渗和加固作用, 提高煌斑岩脉的物理力学性质, 对煌斑岩脉灌浆效果明显。

(2) 煌斑岩脉化学灌浆试验区岩体破碎、裂隙发育, 透水性好, 在化学灌浆前先进行水泥灌浆, 以封闭化学灌浆孔附近较大的岩体裂隙通道, 控制化学浆液大量流失, 提高了化学灌浆效果, 试验结果表明, 采用水泥、化学复合灌浆对煌斑岩脉进行加固处理是适宜的。

(3) 化学灌浆对煌斑岩脉加固处理取得了较好的效果, 建议在此试验研究的基础上进一步对左岸抗力体 f_5 断层等软弱带进行化学灌浆试验研究, 研究不同岩性裂隙的可灌性, 评价结构面效应对化学灌浆的影响, 进而对整个抗力体软弱带进行化学灌

浆的适宜性进行评价。

(4) 化学灌浆后岩体的耐久性评价是评价灌浆效果的重要指标, 建议开展部分耐久性试验, 评价化学浆材的耐久性。

(5) 尽管配制好的化学浆液没有毒性, 但其中的部分材料对环境会有有一定程度的影响, 在进行化学灌浆时需要注意对废弃浆液的处理, 加强环境保护, 工作人员需要注意必要的防护措施。

参考文献:

- [1] 国家电力公司成都勘测设计研究院. 雅砻江锦屏一级水电站可行性研究报告[Z]. 2003.
- [2] 国家电力公司成都勘测设计研究院. 左岸抗力体质量评价及固结灌浆研究[Z]. 2008.
- [3] 余本海. 化学灌浆常用浆材组成及其施工工艺[J]. 小水电, 2007, (5): 55-57.
- [4] 王中美, 丁坚平, 刘世喜, 等. 化学灌浆在贵州岩溶山区滑坡治理中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(1): 40-43.
- [5] 李丙寅. 黄河李家峡电站左岸 F_{26} 断层化学灌浆试验分析[J]. 西北水电, 2006, (3): 75-77.
- [6] 魏继红. 岩质地基中的化学灌浆及其效果检测[D]. 南京: 河海大学, 2001.
- [7] 中国水电七局. 四川省雅砻江锦屏一级水电站拱坝基础软弱岩带化学灌浆试验化学灌浆施工总结[Z]. 2008.
- [8] 蒋硕忠, 薛希亮. 水电工程中环氧树脂的开发应用[J]. 人民长江, 1991, 28(4): 40-42.
- [9] 程鉴基. 化学灌浆在岩石工程中的综合应用[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, (6): 186-192.
- [10] 孙钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

致谢: 本文得到了成都理工大学“锦屏一级施工地质专题”项目组的大力支持, 在此向项目组的各位老师和同学表示感谢。另外, 十分感谢中国水电顾问集团成都勘测设计研究院和中国水电七局对笔者工作的支持!

(上接第 49 页)

7 结论与建议

(1) 注浆钻孔采用钻机成孔, 钻机须安装牢固, 定位稳妥、固定。注浆孔应跳孔施钻, 不应全部钻孔完后再注浆, 以免孔位串浆, 增加难度及增加清孔工作量。

(2) 由于该地区地层破碎, 容易出现坍塌掉块现象, 在注浆过程中容易出现栓塞注浆通道, 造成注浆失败。针对此类现象, 采取下入注浆管采用全孔注浆管进行灌注的注浆工艺, 确保了注浆施工一次

成功。

(3) 针对施工过程中出现孔口冒浆现象, 根据施工情况加装保护管和浇注孔口管, 提高注浆的质量, 有效地避免了以上现象的发生。

参考文献:

- [1] 温汉德, 张所邦. 深圳葵涌西立交桥桩基溶洞的处理方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(7): 36-37.
- [2] 孙小杰, 王立新, 吴兆军. 高压喷射注浆复合地基处理设计及施工实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(11): 20-22.