

# 明挖地铁车站岩溶处理施工技术探究

曾小艳

(四川阿坝州)

摘要：由于部分地区地下水丰富或靠近海洋，该地下水及易与地下的某些岩石发生化学反应并形成溶洞或溶槽，若不及时处理或处理不当，会给地铁车站的开挖、后期运营造成重大影响，本文将位于岩溶强发育区的深圳地铁 16 号线龙平站为例论述明挖地铁车站岩溶处理施工技术，并对处理过程中遇到的问题制定良好的应对措施。针对岩溶强发育地区的不良地质及易发生的地质风险制定相关的应急预案。确保基坑开挖过程安全顺利的进行，以及地铁运营阶段的稳定。

关键词：岩溶处理；明挖车站；注浆；投料。

## 1. 前言

深圳地区的可溶岩为下石炭统大塘阶石登子组碳酸盐岩，多已变质为大理岩和白云岩，部分为结晶灰岩，埋藏于下石炭统大塘阶测水组下段砂页岩之下，深圳地铁 16 号线龙平站位于龙岗河、坪山河及其支流断陷谷地盆地地区，按其出露条件可分为埋藏型与覆盖型两种类型。及易发育成高度较大或平面面积较大的絮状或串珠状溶洞。

## 2. 工程地质及水文概况

本工程位于龙岗区，沿线主要为中台地和冲洪积平原地貌(，地形整体趋势两端低、中间高，局部受龙岗中心城和坪山新区人工改造影响的区域，地形有起伏，地面标高在 30~60m 之间。

底板坐落于微风化炭质石灰岩，局部为溶洞或溶洞填充物。详勘钻孔见洞率为 53.13%。根据勘察提供资料，线岩溶率为 2.15~21.47%，总线岩溶率 5.54%，岩溶发育等级为强发育，岩溶发育等级和详勘结果一致。

根据水文地质勘察报告显示，有两类地下水存在于基坑范围内，分别为松散岩类孔隙水和裂隙岩溶水。

松散岩类孔隙水：此类地下水主要存在于粉质黏土杂填土、粉细砂、中粗砂中。是土洞发育重要的影响因素，主要补给方式以大气降水，侧向径流为主，以越流补给为辅，蒸发、排泄方式以侧向径流为主。

裂隙岩溶水：主要赋存于石炭系石磴子组灰岩裂隙和溶洞中，局部具有承压性，水量丰富，透水性和富水性因裂隙和溶洞发育程度、贯通度、地形条件等情况而变化，此类地下水也是导致溶洞溶蚀严重的水源之一。应该高度重视其变化情况，影响溶洞发育程度空间变化较大，导致涌水量变化也较大。

## 3. 岩溶处理方案

### 3.1. 处理原则

- (1) 应遵循岩溶处理、基底开挖、围护结构、主体结构、施工期涌水及运营阶段风险防治方案等多方面协调统一考虑的原则；
- (2) 图纸要求必须处理的溶洞均严格按照设计及规范进行处理，在探边过程中新发现的溶土洞应进行处理。
- (3) 围护结构 3m 以外及底板以下 5-10m 影响基坑开挖及周边建筑的溶洞也应该进行处理，
- (4) 由于此区域地下水量丰富，溶洞发育程度较大，应高度重视地下水对土体和岩体的侵蚀程度，做好降水措施。

### 3.2. 施工工艺流程

龙平站周边建筑物分布较密集，拆迁量大，南侧为双向四车道，与车站距离很近。本车站地下岩溶发育为强发育，见洞率较高，因此在进行岩溶处理过程中，可能会对周边的建筑物以及道路造成一定的影响，根据岩溶处理试验段施工中的施工工艺及施工参数进行如图 1 工艺流程进行施工。

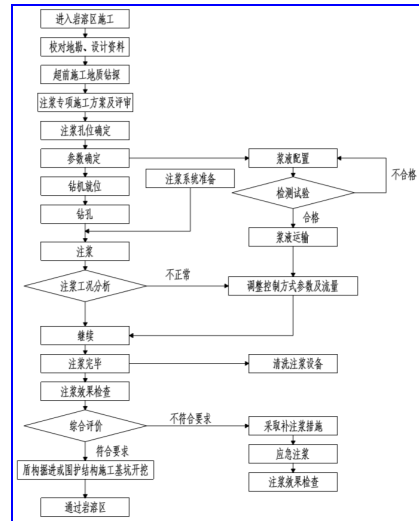


图 1 岩溶注浆施工工艺流程图

## 3.3. 施工步骤及方案

### 3.3.1. 探边钻孔

岩溶处理施工前，首先应进行溶土洞平面范围的试探测：根据设计图纸进行探边钻孔，并根据实际情况选取合适的下料孔，注浆孔及排气孔，为保证注浆效果，排气孔的数量应充足，每洞至少一个，且排气孔间距不超过 4m。钻孔若揭露有溶洞，则以此揭露溶洞的钻孔向四周进行钻探，钻孔应该成梅花形布置(如图 2 所示)，每孔间隔 2.0m，以探到没有洞体为止（探到溶洞边界）。若探到的溶洞洞高大于 3m 且为无填充或半填充时，应进行施做投料孔，钻孔直径为 250mm，下料管直径为 200mm，下料孔间距为 5~6 米。

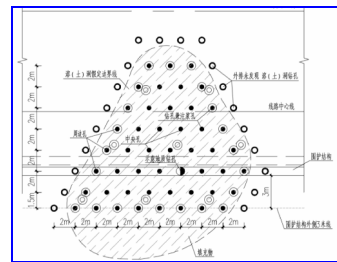


图 2 明挖结构溶洞钻孔布置示意图

### 3.3.2. 投料

在揭示洞高大于 3m 且无填充或半填充溶洞，由于此类体量较大的溶洞在基坑开挖过程中很容易由于机械自身荷载及开挖时的动荷载因素引起基坑坍塌，因此首先应用投碎石或细石混凝土，对溶洞进行填充加固处理。投料时采用泵车泵送，投料时可利用两投料孔相互作为排气孔，也可专门设置排气孔。投料孔孔径为 250mm，下料管为 200mm 的钢套管，套管下放至溶洞顶板以下空洞内不小于 1.0m。投料过程应缓慢连续的进行，防止泵送过快导致钢套管堵塞；若无法避免使钢套管堵塞，则应采用高压风进行透孔。投砂充

填满后，应用高压风重新透孔。投料时，震动钢套管使填料顺利进入。挡填料无法填入时，应停止泵送，防止地泵压力过大使地面隆起，填充完后再进行注浆作业。

### 3.3.3. 注浆

注浆是岩溶处理方式中最高效、安全、直接、经济的方式，根据溶洞的实际探边情况注入单液浆、双液浆及水泥砂浆等。

(1) 溶洞揭示洞高小于 1m 或全充填溶洞，应优先选用注入单液浆：注浆方式采用袖阀管注浆。成孔后钢套管拔出来之前下入袖阀管，并向孔内注入套壳浆，拔出套管，待套壳浆有一定强度后再向袖阀管内下入带双塞的注浆管，注浆管一端应下到溶洞洞底，如图 3.3.3-1，从下向上进行分段注浆。注浆时应每隔 0.5m 进行提管直至溶洞顶，注浆终压达到 1.5~2Mpa 并稳压 10 分钟，地面有少许浆液冒出时停止注浆。

(2) 单液浆流失严重时，需双液浆先对溶洞进行封边处理，再进行内部注浆处理；对于出现险情、涌水量较大的溶洞，可考虑采用化学浆液进行封堵，多种材料配合使用以达到封堵、填充效果；

(3) 在探边钻孔过程中，若揭露的溶土洞洞高在 1.0~3.0m 范围内，且填充情况为半充填或无充填，应考虑采用注入水泥砂浆的方式进行处理，灌注时注意观察注浆压力的大小，初始压力应控制在 0.5~1.5Mpa 范围内，若灌注时压力表显示的压力读数很小或几乎为零，可在水泥砂浆中适当加入速凝剂；注浆终压应为 1.6~2.2Mpa，保持十分钟后停止该孔注浆，再注下一孔。若地表出现大量涌水，应先用双液浆（水玻璃+水泥浆）进行水源封堵及溶洞外层封边，再进行注水泥砂浆处理。

注浆顺序：注浆顺序原则是先注中间孔，再注外围孔；同序孔间隔注浆，注完一孔，跳过一孔或多孔注浆，以防止窜浆现象发生；若在中央孔注第一次浆时，注浆量已较多，压力达不到设计要求时，外围孔与中间孔可交替注浆。

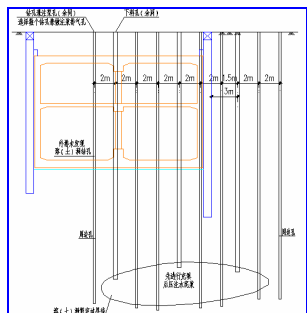


图 3 溶洞处理注浆断面示意图

## 4. 岩溶处理效果检测

### 4.1. 注浆加固检查方法与检测标准

(1) 注浆效果强度评定应注重注浆前后试验数据比较，检验性钻孔不应小于注浆孔总数的 5%，且不小于 3 点，对于复杂场地岩溶地基应适当增加检测点数；

(2) 充填加固要求每个溶洞检测不少于 1 次，钻孔布置宜距离充填注浆孔 200~300mm；

(3) 注浆效果渗透性评定的压水检查，其试验点数量不少于注浆孔数的 2%且单体工程不少于 3 个点并满足设计要求。

(4) 不满足上述要求的，应对受检查的溶洞加固区进行注浆补强施工，并加倍检测。

## 5. 施工监测及异常情况处理

### 5.1. 施工监测的内容及范围

(1) 为确保溶洞处理施工过程中周边环境安全，再施工过程中，对溶洞处理 70m 范围内建筑物进行施工监测，监测溶洞施工过程中对建筑物的影响程度。每天监测两次，上午一次，下午一次，如有预警情况，则加密监测。

(2) 现场施工过程中，采取间隔 20m 挖一处探沟，对管位线

置再次进行确认，并将开挖出管线位置坐标进行测量取点，绘制成图纸；同时在管线上布置监测观察点，每天监测两次，上午一次，下午一次，如有预警情况，则加密监测。

(3) 钻孔完成后，每个溶洞根据投影面积大小选取 1~2 孔作为地下水监测孔，安装水位监测管，每天监测两次，上午一次，下午一次，如有预警情况，则加密监测。

### 5.2. 异常情况处理

#### (1) 注浆中断

1) 仔细检查注浆设备及注浆孔内情况，尽快找到注浆中断原因，及早恢复注浆，防止浆液凝结封堵注浆管；

2) 若不能立即恢复注浆，需尽快将注浆管冲洗干净，等查明原因并解决之后再恢复注浆；

3) 注浆重新恢复后，若发现浆液注入量之和之前比较明显减小，应在短时间停止吸浆时，采取有效的补救措施。

#### (2) 大量漏浆

1) 发生大量漏浆时，应先查明漏浆的原因后，尝试降低压力、增加浆液的配合比、减小浆液流速、减小注浆量、间歇注浆等方式进行灌注，间歇时间保持 6~8 小时为宜；

2) 若上述方式对漏浆量无法控制时，可选用水泥砂浆或细石混凝土等充填材料先封堵溶洞的大孔隙再采用方法(1) 处理；

3) 可采用双液浆（水泥--水玻璃）或其他化学速凝材料进行灌注。

#### (3) 地表冒浆

在岩溶处理注浆过程中若地表冒浆，先控制压力和流速大小，再观察地表情况，若仍然冒浆，选用浆液自流的方式进行处理，同时提高浆液配合比来增加浓度，也可以采用间歇注浆的办法进行处理。

#### (4) 地面隆沉

在进行注浆的过程中，由于注浆压力和地下水等因素的影响，导致地面隆起或沉降。处理措施如下：

#### 1) 地面隆起处理措施

在进行注浆的过程中，应该严格控制注浆压力和降水井的合理布置，防止造成地面隆起，若造成地面隆起，可以采用加重荷载、用土或沙袋加压的方式处理。

#### 2) 地面沉降处理措施

应该及时对溶土洞进行处理，定时对地下水和溶土洞发育情况进行监控。

## 6. 结束语

本工程通过钻孔及注浆设备严格按照设计及规范对地铁明挖车站内的岩溶地质进行处理，处理完成后，对每处处理过的溶洞进行钻孔取芯检测，兼做止水帷幕的溶洞进行压水试验检测，均达到注浆效果且具备车站基坑开挖条件。该项岩溶处理技术加固了地基岩土结构，承载力和强度大大提高，有效的降低了基坑开挖过程中因机械的自重及动荷载引起的周边建筑物沉降和地面塌陷的风险，保证了车站在今后运营阶段能够长期稳定。此项岩溶处理技术操作简单，质量可控，效果明显，可以为其他类似工程提供一定的工程经验。

### 参考文献

[1]张旭飞, 地铁明挖车站基底岩溶处理技术[J], 科学技术创新, 2019  
 [2]GB 50007, 《建筑地基基础设计规范》[S], 2011  
 [3]DBJ15-136-2018, 《广东省标准《岩溶地区建筑地基基础技术规范》》[S], 2018  
 [4]《深圳市城市轨道交通 16 号线工程龙平站（主体结构）岩溶专项勘察报告》(R), 2019  
 作者简介：曾小艳（出生年—1996.11），女，羌族，四川阿坝州，助理工程师，研究方向：工程技术