提高铁路站场岩溶注浆一次验收合格率的措施

王磊

中铁三局集团有限公司广州白云站项目部

DOI: 10.12238/jpm.v5i11.7379

[摘要] 在我国经济高速发展过程中，铁路建设规模也在不断扩大，但是在修建过程中铁路不可避免的会经过不良地质区域，而岩溶地质则是需要重点关注的区域。为了降低岩溶地区对铁路建设的影响，人们通常会使用注浆的方式进行施工，因此如何提升岩溶注浆的验收合格率就显得十分重要。基于此，本文首先对岩溶路基注浆进行了简要分析，之后结合实际案例提出了提高铁路站场岩溶注浆一次验收合格率的有效措施。

[关键词] 铁路站场；岩溶注浆；验收合格

Measures to improve the first acceptance rate of karst grouting in railway station

Wang Lei

Guangzhou Baiyun Station Project Department of China Railway Third Bureau Group Co., Ltd.

[Abstract] In the process of China's rapid economic development, the scale of railway construction is also expanding, but in the construction process, the railway will inevitably pass through bad geological areas, and karst geology is the area that needs to be focused on. In order to reduce the impact of karst areas on railway construction, people usually use the way of grouting for construction, so how to improve the acceptance rate of karst grouting is very important. Based on this, this paper first briefly analyzes the grouting of lava subgrade, and then puts forward the effective measures to improve the first acceptance rate of karst grouting in railway station combined with the actual case.

[Key words] railway station; karst grouting; qualified acceptance

前言：

岩溶地貌广泛分布于我国的许多地区，在铁路工程建设中，岩溶地基的处理是一个不可忽视的问题。岩溶注浆技术作为解决岩溶问题的主要手段，其施工质量直接影响到铁路工程的安全性和耐久性。然而，岩溶注浆工程中常常面临着诸如地质条件复杂、注浆材料选择不当、施工工艺不佳等问题，这些问题影响了工程的一次验收合格率。因此，提高岩溶注浆的一次验收合格率，成为摆在工程技术人员面前的重要课题。

一、工程概况

新建广州白云站位于广州市白云区，既有京广铁路棠溪站北场处，车站规模为11台24线，是广州枢纽客运系统能力建设的关键性工程。白云站咽喉区路基岩溶发育。附近环境条件极其复杂，周边施工都可能引发地下水强烈活动，严重影响岩溶地基稳定性。11月1日广州白云站南咽喉京广下行线K2260+925 砗脚处发生沉降，需在12月31日白云站开通前完成整段站场路基的岩溶加固，因此提高岩溶注浆的加固效果是本项目重点工作之一。

二、岩溶塌陷机理

在岩溶地质区域因为自然因素和人为因素的影响，可能会导致岩溶地区的溶洞不断增大，最终导致塌陷，而导致岩溶塌陷的机理主要包含以下几种：1. 真空吸蚀致塌。当地下水流动速度加快或水位下降时，会在岩溶通道中形成负压（真空），这种压力差会导致围岩的稳定性下降，促使岩石颗粒发生位移。当岩体内部压力不均衡时，沿着裂隙或孔隙移动的岩石颗粒可能被水流携带，逐渐削弱顶板或侧壁的支撑，最终导致塌陷。这种过程往往是隐蔽而缓慢进行的，直到支撑的岩体结构被削弱到临界点，从而引发快速的塌陷。2. 震动作用。在岩溶地质区域上如果长时间存在高速列车以及各种爆破行为，这些行为产生的震动就会导致砂土液化，进而使土体强度降低而出现坍塌。3. 人为因素。岩溶地区的塌陷还与人类活动有着密切关系，比如人类过度使用地下水、人工开采矿区导致地下形成采空区等原因。而在上述案例中岩溶地区在水文地质以及地表径流的双重作用下，导致真空吸蚀作用不断增大，进而导致岩溶地区存在塌陷隐患^[1]。

三、岩溶注浆施工技术

针对本项目白云站南咽喉区 K2260+925 处路基发生沉降、业主要求对白云站南北咽喉区路基进行针对性注浆补强加固，并达到有效填充，共计 1333 孔。而想要进一步提升岩溶路基注浆质量，还需要对该工艺进行全面分析，以便对可能出现的问题进行深入分析。

(一) 岩溶路基注浆的特点

在本项目中岩溶地区具有较强的可溶性，并且地下水通道也较多，其中大部分被具有连通性特征的新土或者砂填充，因此可以对岩溶路基注浆的基本特点进行分析：在注浆工程中整体施工量较大，而且施工难度较高，想要达到有效的加固以及防渗目的，就需要布置更多的钻孔进行注浆，因此整体注浆量较高，这就导致整体施工成本较高。为了降低施工成本，在注浆过程中需要尽可能使用水泥黏土浆或者水泥浆。同时，由于施工条件比较复杂，影响工程质量因素较多，因此在施工之前需要进行充足的准备，并对可能出现的问题进行整理分析，以便进行有效应对^[2]。

(二) 注浆法的选择

目前在注浆过程中常见的注浆方法主要有三种，分别是渗透注浆、充填注浆以及压密注浆。1. 渗透注浆的优势就是能够提升土地结构的稳定性，即使在注浆压力小的情况下也能够借助浆液的流动性使其缓慢进行填充，并且在浆液凝固之后能够与土体成为一个整体。而在实际应用过程中还需要注重浆液的选择，如果浆液分子较大，就会导致注浆压力升高，进而使得浆液渗透性下降，因此该技术在应用过程中对材料性能以及浆液配比要求较高。2. 充填注浆法通常用于封堵较大空隙或地下空洞，是解决岩溶塌陷和大空腔问题的有效手段。该方法的核心是将高黏度的浆液（如水泥浆、黏土浆或膨润土浆）直接注入大的地下空洞中，依靠浆液的流动性和固化后的体积稳定性，填充和堵塞岩溶空洞。这种方法需要的施工设备和技术相对简单，适用于岩溶空洞明显且规模较大的情况。3. 压密注浆法是一种通过挤压作用提高地密实度和强度的注浆技术，该方法的原理是使用高压将注浆材料压入地基土体中，浆液的挤压力可使周围土体颗粒重新排列、压缩，从而提高土体的密实度和强度。压密注浆特别适用于岩溶区的软弱土层和有裂隙的岩石地基，可以有效地提高地基的均匀性和整体强度，防止沉降不均匀问题^[3]。

在上述案例中，由于铁路站地中存在溶洞和填充溶洞，再加上大理岩风化程度较高，因此不需要进行较大压力注浆，因此在实际施工中主要采用渗透注浆以及充填注浆对溶洞进行加固。

(三) 注浆材料的选择

在注浆材料的选择上需要结合工程实际情况进行合理判

断，具体而言浆液需要满足以下性能指标：1. 稳定可灌性。在选择注浆材料时需要从制浆工艺、高效减水剂、合适掺合料等方面实现浆液的可灌性。其中在掺合料方面选择具有一定分散促进作用和凝聚作用的材料，之后在借助高速制浆工艺和减水剂实现浆液的稳定性和流动性。2. 超早强性：在解决注浆材料的超早强问题中需要通过对强早剂以及水泥主骨架材料的合理选择解决问题，不能仅使用外加剂解决问题。在配置过程中需要对注浆材料的抗压强度进行检测，确保其在半小时后能够达到 8MPa 以上。

在本案例中工作人员结合实际施工情况以及施工成本等因素选择了 P042.5 级普通硅酸盐水泥但浆液进行注浆，并添加膨胀剂和水玻璃进行辅助注浆。

四、提高铁路站场岩溶注浆一次验收合格率的保障措施

(一) 现场情况

针对本项目白云站南咽喉区 K2260+925 处路基发生沉降、业主要求对白云站南北咽喉区路基进行针对性注浆补强加固，并达到有效填充，共计 1333 孔。目前已经完成 455 孔，工作小组根据目前已经完成的 455 孔进行了随机抽检，抽检结果如表 1 所示。

表 1 岩溶注浆加固一次验收合格率统计表

抽查位置	孔数	一次验收合格数	合格率
k2258+300	20	16	80%
k2258+800	20	18	90%
k2259+850	20	16	80%
k2260+950	20	18	90%
合计	80	68	85%

根据表中数据可知，当前岩溶注浆加固的整体合格率仅有 85%，而公司以及业主要求本项目铁路站场岩溶注浆一次验收合格率达到 90%，低于当前目标。而且工作小组在查阅大量资料之后，结合《杭长客专临近既有线岩溶地基注浆处理技术》，发现在该项目中岩溶注浆加固一次验收合格率可以达到 90%。因此需要找到问题的原因并进行整改^[4]。

(二) 现场调查、找出症结

为了进一步明确影响注浆质量的原因，工作小组对现场不同注浆班组的已取芯验证孔合格情况调查分析，调查自检验证结果显示不同班组验证整体合格率依然为 85%。对比调查结果来看，不同班组的注浆合格率均在 80% 以上，无明显差距体现，不同注浆班组作业对注浆效果的影响无明显差异。之后，工作小组对验收不合格的 12 个孔位在钻孔和注浆施工过程中的问题发生类别进行分类调查，共存 54 个不合格问题，结果如表 2 所示：

表2 注浆效果质量问题占比统计表

序号	问题类别	发生频数	发生频率	累计频数	累计频率
1	冒浆	20	41.6%	20	37.1%
2	注浆管下不到位	16	33.3%	36	66.6%
3	浆液过量流失	8	8.3%	44	81.5%
4	注浆过程堵管	6	8.3%	50	92.6%
5	可灌性差	4	8.3%	54	100.00%
	合计	54	100.00%		

从上述表中数据可知，“冒浆”与“注浆管下不到孔底”是影响岩溶注浆一次验收合格率的症结所在。根据目前已完成岩溶注浆的自检结果，小组开会并讨论了“冒浆”和“注浆管下管不到位”两个症结，并逐一分析注浆压力、注浆参数、浆液配比、机械配置及工效、对既有限监测等技术，又进一步分析对比了本段岩溶的地质情况，周边环境和可能影响注浆效果的种种因素进行目标测算。

目标测算分析：如果将冒浆和注浆管下管不到位问题全部解决，岩溶注浆一次性验收合格率为： $(12 \times 0.66 + 68) / 80 + 85\% = 94.99\%$ ，比设定的目标高出4.99%，因此小组认为该目标可以实现。

(三) 原因分析

小组针对这些问题，从因果图中的8条末端因素制定了主要原因确认计划，其中包含没有二次培训、现场监督盯控频率低、原材料进场检测频率低、浆液配比调整不及时、钻机配置不合理、注浆工序调整不及时、既有线监测频率低、没有跳孔施工等。小组成员根据主要原因确认计划表中的末端因素，逐一进行了要因确认，确认过程及结果如下：

1. 针对二次培训工作，经过调查，小组成员发现现场作业人员均进行了二次作业培训，且都参加了培训考核，考核满分为100分，参加培训人员的考核分数均在90分以上。小组成员将现场作业人员随机分成两组，第一组人员参加了二次培训及考试，第二组人员没有参加二次培训，小组成员观察两组人员现场情况，并进行抽查，经过调查，小组成员发现由于现场作业人员均进行了详细的技术交底并进行了培训考试，通过现场实际调查发现培训不到位对“冒浆”和“注浆管下管不到位”两个症结影响程度较小。2. 经过调查，钻孔和注浆生产工艺比较成熟，工人技术熟练，加强现场监督后，对“冒浆”和“注浆管下管不到位”两个症结影响程度较小^[5]。3. 小组对现场使用的三种型号机械进行了现场盯控并记录了施工工效，进行了小组会议，对目前三种钻孔机械进行调查分析，总结因钻机选型不准确造成工效不达标的问题，进行调查分析，经过试验调查，小组成员对岩溶注浆钻机配置选型进行了调查，调查结果显示，钻机配置不合理对“注浆管下管不到位”症结影响较大。4. 经过试验调查，小组成员对孔口注浆和后退式注浆效果进行了调查，调查结果显示，注浆工序调整不及时对冒浆问题影响较大。

(四) 制定对策

1. 对地质钻机进行改进。工作小组通过对全线钻机的布置

情况进行调查，并对其中成孔效果不好的钻机进行了编号，同时联系厂家进行替换。此外，小组人员联系厂家对成孔效果良好的地质钻机进行了改进，降低了钻杆的高度，原钻杆长8米，超过高压线安全值，改进后，钻杆长2米，符合高压线下施工安全标准，提高成孔率，并且在改进完成的钻机，布置在接触网、临近既有线等高风险作业区。在措施实施后，小组副组长对实施效果进行检查。钻孔工效达到了预期目标，1机1天1孔，并调查了每个区域的日完成情况，调查结果显示在改进钻机后，在全线采用地质钻机施工，使其一次性成孔率达到了95%，超过了对策目标值的92%，对策有效。2. 采用分段后退式注浆方法。为了提升注浆效率，小组成员对施工人员进行培训，对所有注浆孔要求采用分段后退式注浆方法，并对注浆压力及结束标准进行了交底，全线放弃孔口式注浆法。当注浆达到以下标准之一时，可以结束该孔注浆，并及时用水泥砂浆封孔。分段注浆结束标准：对基岩采用0.2MPa~0.5MPa压力闭浆20min，土层及砂卵石土层采用0.1MPa~0.3MPa压力闭浆30min可达到分段注浆结束标准。在整改完成之后小组成员对策略进行验证，选取验证孔验证注浆结果，具有有效填充的孔位合格率为91.6%，达到了对策目标。

结束语：

综上所述，通过对铁路站场岩溶注浆工程的深入研究，我们认识到提高一次验收合格率不仅仅是一个施工技术问题，更是一项系统工程。本文结合实际案例，对岩溶逐渐塌陷的机理进行了分析，并对注浆工程要点进行了阐述，最后结合项目实施过程中遇到的实际问题，提出了有效的解决策略。希望本文的研究能够为铁路站场岩溶注浆工程提供有益的借鉴，并推动该领域的技术进步与发展。

【参考文献】

- [1]林水东.岩溶地区冲孔灌注桩漏浆与塌孔处理技术与质量保证措施[J].工程建设与设计, 2024(10): 146-148.
- [2]覃玲律.基于联合探测技术的岩溶勘察及注浆效果检测研究[J].新疆有色金属, 2024, 47(3): 45-46.
- [3]郜天朋.滨海地区地铁覆盖性强发育岩溶类型及注浆技术[J].建筑技术开发, 2023, 50(9): 69-71.
- [4]余洋.注浆预处理技术在九江港湖口港区银砂湾码头工程中的运用分析[J].珠江水运, 2024(14): 135-137.
- [5]陈军涛, 朱君, 张呈祥, 等.不同渗透率灰岩裸孔注浆浆液扩散特性[J].西安科技大学学报, 2023, 43(4): 667-674, 742-742.