

冯海明. 压水试验在岩溶路基注浆效果评价中的应用研究[J]. 中国岩溶, 2020, 39(2): 243-250.
DOI: 10. 11932/karst20200214

压水试验在岩溶路基注浆效果评价中的应用研究

冯海明

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 文章介绍了已有的岩溶路基注浆效果检测方法, 在此基础上分析压水试验定量评价岩溶路基注浆效果的可行性, 并以黔张常铁路岩溶路基注浆代表性压水试验段为例, 采用4种合格标准对路基注浆效果进行分析, 以弥补目前使用的合格标准存在的不足。在多次优化试验的基础上, 制定了新的压水试验定量评价注浆效果判定标准, 总结出压水试验工艺参数, 采用单点法压水试验, 注浆前后压水试验数量分别不小于5%和4%, 试验压力在0.05~0.25 MPa, 试验长度为3~6 m, 压水时间为5~10 min·次⁻¹。经多次、多段其他检测试验验证其工艺参数和评价标准的结果表明, 该方法是一种适合的、可靠的定量评价岩溶路基注浆效果的方法。

关键词: 压水试验; 岩溶注浆; 合格标准; 定量评价; 工艺参数

中图分类号: U213.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-4810(2020)02-0243-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

目前岩溶注浆效果多采用物探、钻孔取芯等方法综合定性评价, 但其只能评价合格与否, 不能完全反映岩溶注浆效果, 且随着建设工程标准化和质量标准的提高, 需要对注浆效果进行定量评价。压水试验具有定量评价岩溶注浆效果的可能性。但压水试验法定量评价^[6]岩溶注浆效果目前应用得不多, 且岩溶效果检测没有统一的标准, 现检测标准主要分为二类: 一为相对值法也称比值法, 根据注浆前后的透水率比值小于1/10和小于3%~5%判定, 此方法应用较早; 二为相对值法也称最小值法, 以注浆后透水率大于某一个值(42 Lu和47 Lu)为标准判定。以上两种方法都没有严密的理论依据, 同时也都有各自优点和不足。例如, 岩溶发育区透水率很大甚至上千, 注浆后往往无法小于某一值, 岩溶弱发育区透水率本身较小, 则要达到注浆前后小于1/10也十分困难, 且是否有必要都有待研究。本文在分析以上标

准的基础上, 结合黔张常铁路岩溶压水试验, 总结提出采用综合评价法来定量评价岩溶注浆效果, 以期类似工程的实践和理论标准的制定提供参考。

新建铁路黔江至张家界至常德铁路(以下简称黔张常铁路)位于渝东南、鄂西南和湘西北三省交界地带, 正线全长约336 km。其中可溶岩路段总长度有132.67 km, 岩溶洼地、落水洞、暗河等均有发育^[1]。

1 注浆质量检测现状

注浆是岩溶铁路路基处理最常用的方法之一, 多项实例证明, 注浆法对预防岩溶塌陷效果明显, 可以提高地基的承载力。注浆属于地下隐蔽工程, 施工后能否达到质量要求需要进行检测。但注浆效果的评定一致是注浆质量检测的难点, 目前岩溶整治效果检测方法有钻孔检查法、压水试验法、物探检测法三大类^[2], 三种方法各有优缺点。钻孔法主要是用取芯来判定注浆后空洞的充填情况和岩体的完整

资助项目: 基于浆液性能控制的黔张常铁路岩溶地基强化注浆关键技术研究(院科研16-21)

第一作者简介: 冯海明(1970-), 男, 高级工程师, 工程硕士, 从事铁路工程地质勘察工作。E-mail: fhm6688@126.com。

收稿日期: 2019-01-31

性,物探法主要是通过面波法、电磁法、地质雷达法^[13]等对路基的整体做全面质量评价^[4],两者都无法进行定量评价,只有压水试验具有定量评价岩溶注浆效果的可能性。

岩溶注浆的目的是提高路基的承载力、稳定性和防渗性^[3],因此要想定量评价注浆效果必须从承载力和稳定性、防渗性入手,而这些都和注浆后岩体的渗透性和力学强度关系密切。强度和渗透性可以采用室内试验和现场压水试验测定。室内试验需要取样、化验,成本高、周期长,且往往参数太少、离散性大不代表实际,同时只能通过测试岩块的情况来代表岩体,但现场岩土体的真实结构和环境往往和岩块不完全相同。同室内试验相比,现场压水试验可反映出岩土体原始状态下的构造和地质环境下的岩土体强度、渗透性能,是评定注浆效果较直接的方法,但注浆效果的评定也极其复杂,它与地形地貌、岩性构造、水文特征、岩溶发育特点、浆液特点、施工工艺、周边环境等众多因素有关。因此,需要对压水试验方法、工艺、参数、标准进行大量试验,针对不同的工况条件,才能得出可靠的结论,以用来评定今后岩溶注浆质量检测。

2 压水试验介绍

钻孔压水试验是根据压力与流量的关系确定岩体渗透性和完整性的一种原位试验。根据压水水头、试段长度和稳定渗入水量,可判定岩体透水性的

强弱。通常以透水率(q)表示,单位为吕荣(Lu)^[5]。试段透水率采用第三阶段的压力值(P_3)和流量值(Q_3)按下式计算:

$$q = \frac{Q_3}{LP_3}$$

式中: q 为透水率(Lu); L 为试段长度(m)(一般为5~10 m); Q_3 为第三阶段的计算流量(L·min⁻¹); P_3 为第三阶段的试段压力(MPa),对于岩溶注浆压水试验 P_3 为作用于试段内孔内压力。

3 压水试验结果

为更好地检验各标准的适用性和评定黔张常铁路路基的注浆效果,选择代表性路段进行试验,具体如下:

(1)黔张常铁路某段全长 105 m,属冲沟及岩溶洼地,上覆粉质黏土,厚 3~15 m,下伏基岩为寒武系中统灰岩,属于覆盖型岩溶。由先导孔勘探结果可知,实施的 65 个钻孔有 21 个钻孔发现溶洞,最大高度为 11.8 m,多为土及碎石充填,局部半充填或无充填,遇洞率达 32.3%,线岩溶率为 29.4%,岩溶强烈发育,为易塌陷区(表 1)。注浆前选取 6 孔进行了压水试验,注浆完成后又对 6 孔进行了压水试验,试验长度控制在 4~8 m(图 1)。其压水试验结果为:注浆前平均压力为 0.087 MPa,平均透水率为 282.1 Lu,为强透水性,注浆后平均压力为 0.176 MPa,平均透水率为 19.3 Lu,均为弱透水性—中等透水,注浆前后透水率差异很大,由此可看出注浆效果较好。

表 1 某段注浆压水试验汇总表(易塌陷区)

Table 1 Summary of grouting water pressure test at a certain section (collapse-prone area)

孔号	压力/MPa	注浆前(q)/Lu	孔号	压力/MPa	注浆后(q)/Lu
42563—X右1	0.08	190.7	42563—J—1	0.21	14.1
42577—X左1	0.12	94.9	42570—J—2	0.16	8.3
42598—X	0.05	889.7	42587—J—3	0.15	44.5
42626—X	0.09	171.2	42601—J—4	0.17	9.2
42647—X左1	0.08	192.9	42622—J—5	0.18	14.7
42612—X右1	0.10	153.4	42654—J—6	0.19	25.2

(2)黔张常某段岩溶路基全长 95 m,属低中山冲沟,上覆粉质黏土,厚 0~3 m,下伏基岩为白垩系上统砾岩,溶洞及落水洞发育,属于裸露型岩溶。由先导孔勘探结果可知,实施的 84 个钻孔有 18 个钻孔发现

溶洞,最大高度约 10 m,多为无充填,局部黏性土半充填,遇洞率达 21.4%,线岩溶率为 5.3%,岩溶强烈发育,为极易塌陷区(表 2)。注浆前选取 6 孔进行了压水试验,注浆完成后又进行了 6 孔压水试验,试验



图1 岩溶注浆压水试验现场示意图

Fig. 1 Schematic diagram of field test on karst grouting water pressure

长度控制在 4~8 m。其压水试验结果为:注浆前平均压力为 0. 057 MPa,平均透水率为 434. 0 Lu,为强透水性,注浆后平均压力为 0. 175 MPa,平均透水率为 26. 65 Lu,均为弱透水性—中等透水,注浆前后透水率差异很大,由此可看出注浆效果较好。本段注浆

前透水率较大,说明岩溶极为发育,其中 1 孔由于位于无充填溶洞附近,进行长时间压水后,孔内水压力无上升,处于自流状态,其透水率为无穷大。无论怎么供水,孔内处于无压力状态,说明该孔岩溶发育、地下通道发达。

表 2 某段注浆压水试验汇总表(极易塌陷区)

Table 2 Summary of grouting water pressure test at a certain section (extremely collapse-prone area)

孔号	压力/MPa	注浆前(q)/Lu	孔号	压力/MPa	注浆后(q)/Lu
12334—Xy1	0. 08	138. 9	12332—Jy1	0. 18	16. 1
12341—Xz1	0. 03	1 158. 4	12349—Jy1	0. 17	45. 8
12362—Xy1	0. 07	375. 5	12365—Jz1	0. 20	21. 4
12376—Xz1	0. 00	无穷大	12380—Jy1	0. 15	57. 5
12387—Xy1	0. 06	338. 9	12392—Jz1	0. 16	6. 4
12408—Xz1	0. 10	158. 4	12411—Jz1	0. 19	12. 7

(3)黔张常某段岩溶路基全长 56 m,属溶蚀洼地,地形平坦,上覆粉质黏土,厚 5~20 m,下伏基岩为寒武系下统灰岩,属于覆盖型岩溶。由先导孔勘探结果可知,实施的 25 个钻孔有 6 个钻孔揭示出溶洞,最大高度为 4. 2 m,多为充填型溶洞,遇洞率达 24%,线岩溶率为 7%,岩溶发育,为不易塌陷区(表 3)。注浆前选取 5 孔进行了压水试验,注浆完成后又进行了 5 孔压水试验,试验长度控制在 4~7 m。其压水试验结果为:注浆前平均压力为 0. 110 MPa,平均

透水率为 111. 8 Lu,为强透水性,注浆后平均压力为 0. 172 MPa,平均透水率为 13. 20 Lu,均为弱透水性—中等透水。注浆前后压水试验压力和透水率差异很大,由此可看出注浆效果不错。该段为不易塌陷区,岩溶中等发育,透水率整体不高,注浆后透水率下降不明显,采用单一评价法来评价不同岩溶类型显然具有局限性。

(4)以上案例均为对一个段落压水试验的分析,而本案例是对单孔进行压水试验分析,不再做

表3 某段注浆压水试验汇总表(不易塌陷区)

Table 3 Summary of grouting and water pressure test at a certain section (collapse-not prone area)

孔号	压力/MPa	注浆前(<i>q</i>)/Lu	孔号	压力/MPa	注浆后(<i>q</i>)/Lu
99344—Xy1	0.15	98.9	99342—Jy1	0.18	5.1
99351—Xz1	0.08	178.4	99349—Jz1	0.17	12.6
99365—Xy1	0.10	115.5	99365—Jy1	0.20	23.3
99372—Xy1	0.12	87.4	99374—Jy1	0.15	17.5
99386—Xz1	0.11	78.9	99388—Jz1	0.16	7.4

整体分析,单独选取某点,作为研究对象。选择注浆段在注浆前、注浆后对同一孔进行压水试验,以判断注浆效果,最终选取2个不同类型的钻孔进行试验,其中42370—Xz2孔发育有溶洞,42384—Xy1岩溶不发育,无溶洞,注浆前、后采用的都是单点法压水(表4)。

表4 单孔注浆压水试验汇总表

Table 4 Summary of single hole grouting water pressure test

序号	42370—Xz2注浆前试验成果			42370—Xz2注浆后试验成果		
	压力/MPa	时间/min	注浆前(<i>q</i>)/Lu	压力/MPa	时间/min	注浆后(<i>q</i>)/Lu
1	0.08	8	238.9	0.19	6	6.8
2	0.09	5	153.1	0.20	10	18.4
3	0.05	10	275.5	0.24	5	21.4
4	0.08	10	123.7	0.18	10	7.9
5	0.06	15	188.9	0.16	8	16.4

序号	42384—Xy1注浆前试验成果			42384—Xy1注浆后试验成果		
1	0.11	10	88.39	0.17	8	7.2
2	0.12	5	58.7	0.19	10	8.8
3	0.18	8	115.5	0.20	5	11.0
4	0.15	10	87.4	0.18	10	17.2
5	0.09	10	128.4	0.21	10	8.4

由表4可知,42370—Xz2孔在注浆前平均透水率为196.02 Lu,注浆后平均透水率为14.18 Lu;42384—Xy1孔在注浆前平均透水率为95.67 Lu,注浆后平均透水率为10.52 Lu,此结果说明注浆前和注浆后的透水率变化明显,孔内压力也提升较大,尤其是对岩溶发育段,注浆前后透水率明显降低,岩溶弱发育段也有降低,但没有发育段那么明显,这说明注浆对岩体水流入渗通道的阻塞作用、加固作用较好。

4 注浆效果评定

注浆效果评价标准目前各行业多采用的是水

利行业推荐的方法,但铁路与水利注浆加固的目的不一致,因而需要制定适合铁路岩溶处理的评价标准。铁路行业现常用的标准有经验比值法和《铁路特殊路基设计规范》推荐的标准,也有铁二院、铁四院针对不同线路对岩溶注浆评价进行研究制定的标准。但以上标准都未有严密的理论依据,大多是由建设单位、设计单位等总结相关经验得出的,其科学性、适用性有待商榷。例如,经验比值法主要是根据数十年来铁路岩溶注浆压水试验检测经验得出的;铁四院的比值法是在经验比值法的基础上,考虑到高速铁路对路基的严格要求,结合杭长高铁等对压水试验研究制定的合格标准;铁二院主

要根据南广线课题研究结果,以岩体渗流理论、临界裂隙和岩溶塌陷条件为关键因素,得出特定模型条件下的岩体透水率,再以岩溶路基注浆效果透水率检测定量标准选取潜性塌陷临界透水率值 47 Lu^[7]为合格标准;《铁路特殊路基设计规范》则是在收集、分析多条铁路岩溶注浆压水资料的基础上,针对不同岩溶处理类型,综合提出的合格标准。由于岩溶压水注浆试验评价合格标准的不统一,也还没有权威的、统一的压水试验标准可执行,以上 4 种判定标准均在使用和优化改进中。

使用以上 4 种标准评定黔张常铁路岩溶路基注浆检测时也逐渐发现了一些问题(表 5)。由于岩溶路基类型较多且复杂,单一的评价方法无法满足各

种类型的评价,如铁二院及《铁路特殊路基设计规范》以小于某个数值为依据,这种判定直接,但对于岩溶发育路段不适用,对岩溶弱发育区则会存在误判而导致错误;铁四院及铁一院等根据铁路地基处理规范和多年来铁路行业经验总结出以注浆前后透水率比值小于某一个值为判断依据,此方法也存在缺点,例如,在岩溶发育区,一般透水率都比较大,只要稍加处理,便可以满足这个合格标准,但实际上可能存在很大施工隐患和风险,其次,如果该区域岩溶弱发育,往往其无法满足判断标准,或者要达到判定标准需要付出较大的代价,是否有必要继续处理这需要不断试验、创新研究,同时还无法进行定量评价。

表 5 不同合格标准案例分析判定表
Table 5 Case analysis and judgment of qualification criteria

项目	判定标准			
	根据经验比值法即现阶段压水试验检测标准 ^[6] ,通常以注浆前后的透水率比值小于(1/10)判定	根据《铁路特殊路基设计规范》,压水合格标准为小于 42 Lu ^[8]	根据铁二院南广线研究成果,压水合格标准为小于 47 Lu ^[9]	根据铁四院杭长铁路压水试验,合格标准为注浆后小于注浆前的 3%~5% ^[10]
案例一	6 个孔中 5 个孔合格,判定基本合格,合格率 83.3%	6 个孔中 4 个孔合格,判定基本合格,合格率 66.7%	6 个孔中 5 个孔合格,判定合格,合格率 83.3%	6 个孔中 1 个孔合格,判定不合格,合格率 16.7%
案例二	6 个孔中 5 个孔合格,判定基本合格,合格率 83.3%	6 个孔中 5 个孔合格,判定基本合格,合格率 83.3%	6 个孔中 5 个孔合格,判定基本合格,合格率 83.3%	6 个孔中 3 个孔合格,判定基本合格,合格率 50.0%
案例三	5 个孔中 3 个孔合格,判定基本合格,合格率 60.0%	5 个孔中 5 个孔合格,判定合格,合格率 100.0%	5 个孔中 5 个孔合格,判定合格,合格率 100.0%	5 个孔中 0 个孔合格,判定不合格,合格率 0
案例四	10 个孔中 7 个合格,判定基本合格,合格率 70.0%	10 个孔中 10 个合格,判定合格,合格率 100.0%	10 个孔中 10 个合格,判定合格,合格率 100.0%	10 个孔中 1 个合格,判定不合格,合格率 10.0%

根据以上案例和分析可知,不同标准存在误差和多样性,需要提出一种新的评价方法来对不同类型的岩溶路基注浆压水试验进行评定。基于此,经对黔张常铁路岩溶地基处理部分路段压水试验统计分析,在理论分析、数值模拟、实践验证等基础上,并结合钻孔、物探资料等进一步验证,得出综合评级标准(表 6,表 7)。

分析黔张常铁路代表性 44 段总长 21.7 km 的路基岩溶注浆压水试验资料,注浆前压水试验 165 组,注浆后压水试验 161 组,评价黔张常铁路代表性 44 段 161 组岩溶注浆压水试验,发现有 7 组不合格,126

组合格,28 组优良;从整段评价,发现有 1 段出现不合格,35 段合格,7 段优良。经钻探、物探、注浆试验等多方次验证,发现此压水试验标准符合实际,可同其他方法一起对岩溶注浆进行定性加定量的评定,同时,新标准对于各种不同岩溶情况的评价更准确,代表性更强,具体各标准合计情况如图 2。

5 新评价标准工艺及技术要求

要进行定量评价注浆效果,必须对压水试验工艺等进行标准化要求,保证结果的可比性和准确性。

表6 单孔压水试验评定表
Table 6 Evaluation of single-hole water pressure tests

标准	条件一	条件二	条件三	判定
不合格	压水试验吕荣比值大于注浆前后 1/10 的标准	压水试验吕荣值大于 47 Lu	压水试验中钻孔 1 m 范围内发生较大渗漏(大量小孔隙中冒水)	三个条件都不满足为不合格,任意二个条件不满足均不合格
合格	压水试验吕荣比值小于注浆前后 1/10 的标准	压水试验吕荣值小于 47 Lu	压水试验中钻孔 1 m 范围内无渗漏, 3 m 范围有少量渗漏	任意二个条件及以上满足为合格
优良	压水试验吕荣比值大于注浆前后 1/5 的标准	压水试验吕荣值小于 42 Lu	压水试验中钻孔 5 m 范围无渗漏发生	三个条件都满足为优良

表7 整段注浆压水试验评定表
Table 7 Evaluation of grouting pressure tests on whole section

标准	定量判定	定性判定
不合格	单孔合格孔数大于总数的 80%(不含)以上	
合格	单孔合格孔数大于总数的 80%(含)以上,且优良孔数大于总数的 20% 以上	定量评价必须是在钻孔取芯法和物探法等定性评定合格的基础上进行
优良	单孔合格孔数大于总数的 95%(含)以上,且优良孔数大于总数的 30% 以上	

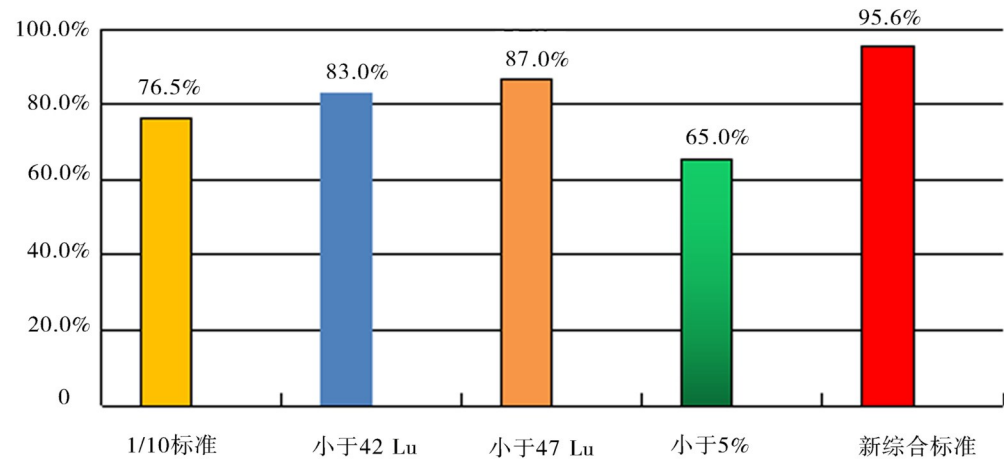


图2 黔张常铁路44段压水试验不同注浆标准合格统计表

Fig. 2 Statistics of different meeting criteria for grouting water pressure tests at 44 sections of the Guizhou-Zhangzhou-Changzhou railway

目前规范对于压水试验评价岩溶路基注浆质量没有具体施工工艺及布置,只提出了一定数量的要求,具体说如何布置,怎么布置,试验参数等需要作出相应规定,由于岩溶路基种类多,地质条件复杂,因此必须统一标准。

5.1 压水试验布置

注浆后压水试验应根据段落长度、岩溶条件布置,一般在注浆前压水试验钻孔 3 m 以内,分别布置在溶洞发育区、岩溶发育区、岩溶不发育区,注浆量超过设计量和注浆量较小的钻孔附近均应布置。

5.2 压水试验数量

岩溶类型多、地质条件复杂,压水试验结果易离散,因而必须保证一定的数量。注浆前压水试验孔数应不小于总孔数的5%,且先导孔压水试验孔占先导孔总孔数不小于10%,剩余为注浆孔压水试验孔。注浆后压水试验孔不小于总孔数的4%。

5.3 试验长度

根据相关水利规范,压水试验长度为3~6 m,多数为5 m,但岩溶注浆压水试验不同于水利工程,只是为了求岩体透水率,而透水率是反映试验段岩体渗透性能的平均值,差异不宜过大。从注浆评定方面看,用压水试验检查单孔注浆效果应尽量反映该孔注浆后岩体的渗透性,可适当加长,建议试验长度为5~10 m^[12],最大不超过15 m,岩体破碎时取小值。

5.4 试验压力

从岩溶注浆处理角度看,压力过大会造成注浆体或者岩土体的拉张及破坏,压力过小则试验误差较大,起不到评定的效果。建议试验压力应大于0.05 MPa、小于0.25 MPa。

5.5 压入流量

压入流量的大小与管径、压力、注浆设备有关。经研究发现,压入流量对透水率影响不大,要求其保持相对稳定,不能忽高忽低,尤其在压力一定的情况下,流量不能有太大变化,如超过30%,否则应检查原因,分析其数据合理性。

5.6 压水时间

水利规范一般要求压水试验时间为5 min一次,但岩溶注浆同水利高压注浆不同,经试验建议保持在5~10 min一次,每孔压水时间不小于30 min、不多于60 min,如时间太长会对岩土体稳定不利。

5.7 压水试验方法

压水试验分为单点法和五点法,岩溶地区的先导和检查孔压水试验一般使用单点法。这是因为灌浆工程压水试验的任务主要是求得岩体的透水率,在灌浆前以此作为选择灌浆施工参数的依据,在灌浆后以此评价灌浆取得的效果,一般不进行流态分析和渗透系数求解,单点法压水试验已可满足这一要求,且单点法可以很好模拟整个岩溶注浆试验过程。

6 总 结

(1)根据对黔张常铁路3个代表性路段和2个压水试验数据的分析,并以目前4个压水试验合格标准对代表性数据进行评定,发现各存在利弊;在试验基础上,提出新的压水试验定量评定标准,制定出评定单孔压水试验合格、优良、不合格的标准和评定一段岩溶注浆路基合格的详细标准。

(2)经验证发现新标准相比其他单一标准更加合理,准确性更高,同时采用钻探、物探及模糊性评价对新标准进行再次验证,发现新标准同其评定结果基本一致,显示出了良好的应用性。

(3)新标准对压水试验的布置、数量、长度、压力、压入流量、压水时间、方法等均作出了相应规定,如注浆前后压水试验钻孔数量分别不小于5%和4%,试验压力在0.05~0.25 MPa,试验长度为5~10 m,压水时间为5~10 min·次⁻¹,试验方法为单点法。以上新标准参数都是由多个案例总结得出的,经反复修改和应用,取得了较好效果。

参考文献

- [1] 中铁一院. 新建黔张江至张家界至常德铁路初步设计第四篇[R]. 西安: 中铁一院, 2011.
- [2] TB 10049—2004. 铁路工程水文地质勘察规程[S]. 中华人民共和国铁道部发布, 2004.
- [3] TB 10106—2010. 铁路工程地基处理技术规程[S]. 中华人民共和国铁道部发布, 2010.
- [4] SL31—2003. 水利水电工程钻孔压水试验规程[S]. 中华人民共和国水利部, 2003.
- [5] 中铁一院. 黔张常铁路岩溶路基注浆质量检测暂行规定[R]. 西安: 中铁一院, 2011.
- [6] 杨志武, 董书宁. 压水试验定量评价单孔注浆效果影响因素分析[J]. 煤矿安全, 2018, 49(6): 187-194.
- [7] 李理. 岩溶路基注浆效果透水率检测标准试验研究[J]. 建筑技术开发, 2016(7): 3, 8.
- [8] TB 10035—2006. 铁路特殊路基设计规程[S]. 中华人民共和国铁道部发布, 2006.
- [9] 彭辉. 覆盖型岩溶塌陷路基注浆效果检测压水试验法评价研究[S]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [10] 任新红, 郭永春, 王青海, 等. 岩溶路基注浆效果透水率检测标准试验研究[J]. 铁道工程学报, 2012, 29(10): 21-27.
- [11] 李凌冬. 杭长客运专线覆盖型岩溶路基注浆加固效果检测与稳定性分析[S]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [12] 黄小广. 注浆效果检测方法的评价[J]. 煤矿安全, 2001, 32(10): 38-39.
- [13] 杨波. 铁路路基岩溶注浆整治工程质量综合检测技术探讨[J]. 铁道勘察, 2014(2): 64-67.

Application of pressure water tests to evaluation of grouting effects on the karst roadbed

FENG Haiming

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710043, China)

Abstract Karst is common in the area where the Guizhou—Zhangzhou—Changzhou railway passes through, of which landforms are characterized by depressions, sinkholes, caves and cracks. The roadbeds in this area are mostly susceptible to collapse as shown by regional geological evaluation. The consistency of evaluation of grouting effects is a difficult issue. At present, there are many methods to evaluate the effect of karst treatment, which, however, are mainly qualitative. This work aims to explore a quantitative method by pressure water tests to evaluate the grouting effect in karst areas. Firstly, various evaluation methods are presented. Then feasibility of quantitative evaluation of grouting by pressure water tests is analyzed. A representative section of grouting tests at the karst roadbed of the Qianjiang—Changde railway is selected as an example and the different cases with four kinds of qualified criteria are examined, indicating that the current qualification criteria have some advantages and disadvantages. Combined with theoretical analysis and practical application, a new criterion for quantitative evaluation of the grouting effect is established on the basis of many tests and optimization schemes. And the technological parameters of the pressure water test are summarized. The pressure water test method used in this work is a single-point method, in which the number of the pressure water tests before and after grouting is no less than 5% and 4%, respectively; the test pressure is 0.05—0.25 MPa, the test length is 3—6 m, and the pressure water time is 5—10 minutes per time. The results show that the new evaluation criterion verified by 44 sections of water pressure tests is more reasonable and accurate than the other single criteria. Meanwhile, the fuzzy evaluation of drilling, and geophysical prospecting is used to verify the criterion again, which suggests that the criterion is basically consistent with other evaluation results, showing good applicability and rationality. In all, this criterion is a suitable and reliable method for quantitative evaluation the grouting effect on the karst roadbed.

Key words pressure water test, karst grouting, eligibility criteria, quantitative evaluation, process parameters

(编辑 黄晨晖)