

文章编号: 1674—8247(2020)04—0006—07  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.04.002

## 海南环岛高速铁路路基设计关键技术研究

姚裕春<sup>1</sup> 李安洪<sup>1</sup> 袁碧玉<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都信息工程大学, 成都 610103)

**摘要:**海南环岛高速铁路是世界上首条环岛海洋旅游铁路,地处热带北缘,属热带季风气候,年降水量1 000~2 600 mm,且台风登陆较为频繁,铁路建设需解决强降雨、强台风路基边坡的加固防护技术问题;海南岛地基土层为花岗岩全风化层,铁路建设需解决路基的地基处理技术问题;加之铁路沿线优质填料缺乏,还需解决花岗岩全风化层作为路基填料的改良技术问题。本文针对三大主要关键技术开展了系统研究,研究表明:(1)花岗岩全风化层地基土压缩系数在0.141~0.284 MPa<sup>-1</sup>之间,为中低压缩土,地基具有快速收敛的特性,施工+放置期的沉降完成比例可达75%~90%;(2)控制路基填筑速率并放置3~6个月后,有砟轨道一般地段地基可不作处理,高填方地段和过渡段地基需进行浅层处理;无砟轨道一般地段需采用CFG桩加固地基浅层5~8m范围,高填方地段和过渡段需加大CFG桩地基处理深度,且宜结合堆载预压措施;(3)强降雨、强台风路基宜采用小间距骨架结合草本植物及灌木的措施进行边坡防护,路堤边坡迎风面路肩宜选择银合欢结合茎秆柔韧、冠幅不大的低矮灌木;(4)花岗岩全风化层掺5%和3%的水泥进行改良,可满足高速铁路基床底层和路堤本体的填料要求,填筑高度大于3m的边坡,宜采用土工格栅防护并加强路基排水,改良土不宜用作浸水路基填料。研究成果可为类似工程提供借鉴指导。

**关键词:**海南; 高速铁路; 路基; 花岗岩; 全风化层; 地基处理; 边坡防护; 路基填料

中图分类号:TU213.1 文献标志码:A

## Study on Key Technology for Subgrade Design of High Speed Railway around Hainan Island

YAO Yuchun<sup>1</sup> LI Anhong<sup>1</sup> YUAN Biyu<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;  
2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610103, China)

**Abstract:** Hainan high speed railway around the island is the first ocean tourism railway in the world. Hainan Island is located in the northern edge of the tropics, with a tropical monsoon climate, where the annual precipitation is 1 000 ~ 2 600 mm and the typhoon lands frequently. The railway construction needs to solve the technical problems of reinforcement and protection of subgrade slope under the condition of strong rainfall and typhoon. The foundation soil layer of Hainan Island is mainly completely-weathered granite layer. It is necessary to solve the foundation treatment technology problem of the subgrade in the railway construction, in addition, due to the lack of high-quality fillers along the railway, it is necessary to solve the improvement technology problem of completely-weathered granite layer as subgrade fillers. To solve the three key problems, a systematic study is carried out, and the results show that: (1) The compression coefficient of the completely-weathered granite foundation soil is about 0.141 to 0.284 MPa<sup>-1</sup>. The

收稿日期:2020-03-19

作者简介:姚裕春(1974-),男,教授级高级工程师。

引文格式:姚裕春,李安洪,袁碧玉. 海南环岛高速铁路路基设计关键技术研究分析[J]. 高速铁路技术,2020,11(4): 6-12.

YAO Yuchun, LI Anhong, YUAN Biyu. Study on Key Technology for Subgrade Design of High Speed Railway around Hainan Island [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 6-12.

foundation soil is low-medium compressed one. The foundation has the characteristics of rapid convergence, and the settlement completion ratio during the construction and placement period can reach 75%~90%. (2) After controlling the filling rate of subgrade and placing it for 3~6 months, generally, the foundation in the general section of ballasted track cannot be treated, and the foundation in the high filling section and the transition section needs to be treated in the shallow layer. In the general section of ballastless track, CFG pile needs to be used to strengthen the range of 5~8 m of foundation shallow layer, the treatment depth of CFG pile foundation should be increased in the high filling section and transition section in combination with the preloading measures. (3) For subgrade in the area where there are strong rainfall and typhoon, small spacing framework shall be used in combination with herbage and shrub measures for slope protection, and for shoulder of windward side of embankment slope, low shrubs with flexible stems and small crown shall be selected. (4) The completely-weathered granite layer is improved by adding 5% and 3% cement, which can meet the requirements of filling for the bottom layer of subgrade bed and embankment body of high-speed railway. The side slope with filling height greater than 3 m should be protected by geogrid and the drainage of subgrade should be strengthened. The improved soil should not be used as the filling material for immersed subgrade. The research results can provide a good reference and guidance for similar projects.

**Key words:** Hainan Island; high-speed railway; subgrade; granite; completely-weathered layer; foundation treatment; slope protection; subgrade filler

海南环岛高速铁路是世界上首条环岛式海洋铁路,设计速度 250 km/h,其中海口至美兰机场采用无砟轨道,美兰机场至三亚采用有砟轨道。海南岛地处热带北缘,属热带季风气候,年降水量在 1 000 ~ 2 600 mm之间,每年 5~10 月总降水量达 1 500 mm左右;此外海南是我国台风登陆最频繁的省份之一,每年平均有 5 个及以上的台风在这里登陆,较强级别的就有 1~3 个,需要研究强降雨、强台风对铁路路基边坡的影响及路基边坡加固防护措施。海南地基土层主要为花岗岩全风化层,需要研究花岗岩全风化层路基的沉降特性及修建高速铁路的地基处理技术。海南环岛高速铁路所经过地区大部分为花岗岩地层,花岗岩全风化层属 C 组细粒土,不能直接作为高速铁路路基填料,需要研究其改良用作高速铁路路基填料的适用性和应用条件。海南环岛高速铁路是我国首条城际旅游客运专线,需要结合海南自然、人文环境把该铁路建设为“景观长廊、生态铁路”。美兰机场 1.73 km 控制性 U 型槽工程,需要解决高烈度地震、高地下水位、砂性土层强涌水、U 型槽高悬臂长拉槽等技术难题。

本文主要从花岗岩全风化层地基处理技术,强降雨、强台风路基边坡加固技术,花岗岩全风化层填料改良技术三个方面进行介绍。

1 花岗岩全风化层地基处理技术

海南环岛高速铁路地基大多为花岗岩全风化层,对于柔性基础下全风化花岗岩地层地基沉降特性的研究较少,以往对全风化花岗岩性质的研究,地域范围主

要集中在福建、广东等地,且研究内容主要集中在花岗岩全风化层的分布特征、工程分类、地基承载力、强度指标及填料改良方面<sup>[1-9]</sup>。沉降控制是高速铁路主要控制因素之一,开展高速铁路花岗岩全风化层地基处理技术研究,既可满足高速铁路的沉降变形控制要求,又能避免实测沉降明显小于计算沉降造成工程浪费,还可有效指导工期受限情况下合理、经济的工程加固措施的选择。

1.1 花岗岩全风化层物理力学性质<sup>[10]</sup>

1.1.1 花岗岩全风化层液塑限

选择 DK 67+640、DK 67+650、DK 108+923、DK 108+927 断面进行了 6 组液、塑限试验,结果如表 1 所示。试验结果表明,全风化层的天然含水率  $w$  在 16.7%~34.0% 之间,塑限  $W_p$  在 17.7%~31.4% 之间,液限  $W_L$  在 26.0%~49.3% 之间,塑性指数  $I_p$  在 6.1~17.9 之间,天然密度  $\rho$  在 1.88~2.11 g/cm<sup>3</sup> 之间。花岗岩全风化层的均匀性较差,塑性指数、液限、塑限随埋深的增大逐渐减小,地表 5~8 m 呈现出粘性土性质,随地基埋深的增加,地基呈现出粉土的性质。

表 1 液塑限试验结果表

试验项目	DK 67+640		DK 67+650		DK 108+923	DK 108+927
深度/m	2	11	2	11	6	15
$w/\%$	21.0	24.2	34.0	20.9	20.2	16.7
$W_p/\%$	22.3	17.7	31.3	27.4	20.1	28.7
$W_L/\%$	36.5	26.1	49.3	33.5	31.3	38.9
$I_p$	14.1	8.3	17.9	6.1	11.2	10.2
$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.97	1.99	1.88	1.9	2.09	2.11

1.1.2 花岗岩全风化层颗粒组成

海南环岛高速铁路花岗岩全风化层主要成分是石

英和高岭石,胶结物主要为游离氧化物,土中大、小孔隙发育,细颗粒部分具有较好的塑性,粗颗粒部分为花岗岩风化碎屑,同时含有大量粗砂和砾粒。颗粒种类分布广泛,试验得到的颗粒级配曲线如图1所示<sup>[10]</sup>。不均匀系数 $C_u$ 在28.9~178.2之间,曲率系数 $C_c$ 在

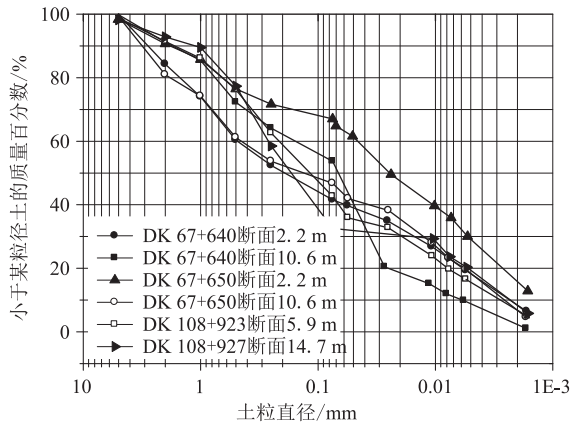


图1 全风化花岗岩颗粒组成图

0.13~0.78之间,表明全风化花岗岩的颗粒分布不均匀,粒径范围变化较大,主要为细砂以下粒组和中砂以上粒组。

对比福建、广东花岗岩全风化层颗粒分布情况<sup>[11]</sup>,结果表明,海南环岛高速铁路全风化花岗岩的颗粒分布规律与广东地区的全风化花岗岩接近,但细粒土含量略高;与福建地区全风化花岗岩相比,其粘粒含量偏低,孔隙比小,土体密度大,压缩性不高。

1.1.3 花岗岩全风化层压缩试验

对海南环岛高速铁路饱和花岗岩全风化层进行了6组土样的固结压缩试验,试验结果如表2所示。得到全风化层地基土的压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ 在0.141~0.284 MPa<sup>-1</sup>之间,为中低压缩性土<sup>[12]</sup>,压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ 在3.5~6.8 MPa之间。鉴于固结试验得到的压缩模量较低,建议采用标准贯入试验结果<sup>[8]</sup>。花岗岩全风化层的内摩擦角为24.09°~34.7°,粘聚力为9.5~62.7 kPa。

表2 固结压缩试验结果表

土的性质	土样1	土样2	土样3	土样4	土样5	土样6
深度/m	4.4~4.6	6.6~6.8	6.4~6.6	12.2~12.4	15.2~15.4	21.0~21.2
$a_{0.1-0.2}/(\text{MPa}^{-1})$	0.284	0.208	0.181	0.167	0.164	0.148
$E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$	3.5	4.8	5.5	6.0	6.2	6.8

1.2 花岗岩全风化层路基沉降特性

1.2.1 沉降特性离心模型试验

采用现场花岗岩全风化层地基土开展了路基沉降特性离心模型试验模拟<sup>[13]</sup>,模拟路基填高5 m、填筑时间100 d、放置时间90 d。试验模拟了3种地基条件:试验Ⅰ为天然地基,试验Ⅱ为天然地基+强夯处理,试验Ⅲ为地基表层4.5 m厚软土采用水泥搅拌桩处理+全风化层地基,试验结果如表3所示。

表3 离心模型试验结果表

试验方案	基底中心沉降/mm			填筑+放置沉降完成比例/%
	填筑期	放置期	工后沉降	
试验Ⅰ	102.4	25.2	41.3	75.5
试验Ⅱ	104.2	12.6	37.7	75.6
试验Ⅲ	116.2	13.2	32.5	80.0

1.2.2 沉降特性数值模拟

采用数值分析方法模拟了DK 67+630、DK 67+666、DK 79+065、DK 79+399路基的沉降特性,4个断面的模拟条件如表4所示。各个断面在不同填筑期、90 d放置期及运营后的沉降-时间关系曲线如图2所示,沉降变形数值模拟结果如表5所示。

结果表明,在填土荷载初期,沉降大致呈线性变

化,随着时间的推移,填土荷载逐渐增加,路基填筑完成放置3个月的工后沉降满足有砟轨道高速铁路工后沉降的要求,但不满足无砟轨道铁路工后沉降要求。

表4 数值模拟情况表

断面	填方高度/m	地基条件	地基处理措施
DK 67+630	5.0	全风化层	天然地基
DK 67+666	4.0	4 m软土,深厚全风化层	4.5 m水泥搅拌桩
DK 79+065	7.7	全风化层	5.5 m CFG桩处
DK 79+399	4.2	全风化层	天然地基

表5 数值模拟结果表

断面	填筑时间/d	基底中心沉降/mm			填筑+放置沉降完成比例/%
		填筑期	放置期	工后沉降	
DK 67+630	100	108	17	21.6	85.3
DK 67+666	80	51.9	11.5	17.7	78.2
DK 79+065	154	184.2	16.4	17.2	92.1
DK 79+399	83	73.5	17.2	29.7	75.3

1.2.3 沉降特性现场监测

对DK 67+630、DK 67+666、DK 79+065、DK 79+399路基的沉降进行了现场监测,现场路基填筑时间约为205~210 d,4断面现场实测的沉降-时间关系曲线如图3所示,沉降变形现场观测结果如表6所示。

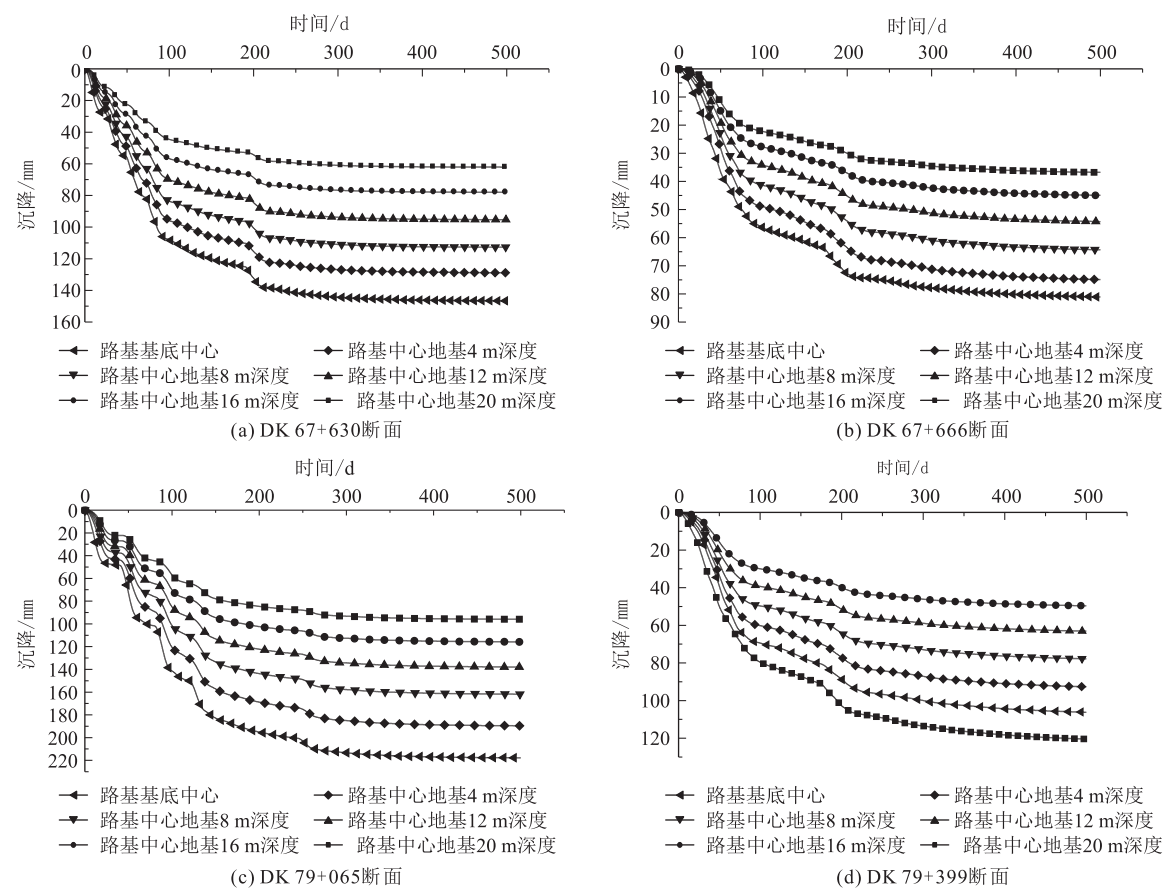


图 2 各断面数值模拟沉降-时间关系图

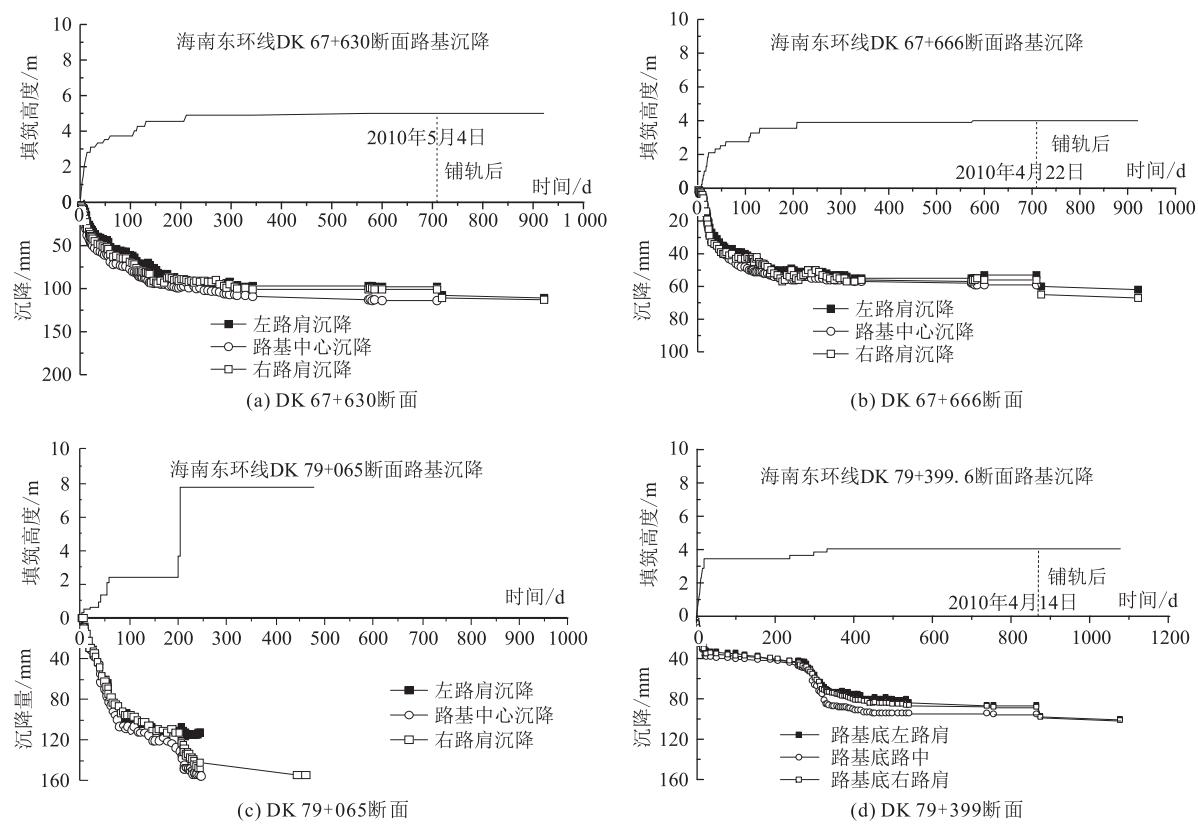


图 3 各断面现场实测沉降-时间关系图

表6 现场实测结果表

断面	基底中心沉降/mm			填筑+放置沉降 完成比例/%
	填筑+放置	总沉降	工后沉降	
DK 67+630	114	127	13	89.8
DK 67+666	59	69	10	85.5
DK 79+065	158.6	164	5.4	96.7
DK 79+399	96	110	14	87.3

1.3 高速铁路花岗岩全风化层地基处理原则

从表3、表5和表6可以看出,花岗岩全风化层路基在施工+放置期的沉降完成比例可达75%~90%,施工期完成沉降明显高于GB 50007-2002《建筑地基基础设计规范》中等压缩性土的20%~50%。离心模型试验中,路堤填筑期完成总沉降的比例较小,其原因在于:模型制作时,花岗岩全风化层存在液化现象。数值模拟和现场实测的工后沉降基本满足无砟轨道高速铁路的要求。综合分析,提出中低压缩花岗岩全风化层地基的处理原则。

(1)有砟轨道高速铁路

路基分层填筑完成后放置3~6个月,路基的沉降变形逐渐趋于稳定,有砟轨道地基处理原则如表7所示。

表7 有砟轨道地基处理原则表

速度目标值 (km/h)	一般地段		过渡段	
	工后沉降/cm	处理措施	工后沉降/cm	处理措施
200	15	不处理	8	$h>10$ m处理
250	10	不处理	5	$h>7$ m处理
300,350	5	$h>7$ m处理	3	$h>5$ m处理

注:h为填方高度

由于海南环岛高速铁路全风化花岗岩属中低压缩性土,地基承载力较高,若沉降计算结果满足表7,则可不需进行地基处理,高填方地段和过渡段可采用冲击碾压、重型碾压对地基表层进行处理,然后即可填筑路堤工程;当沉降计算结果表明需进行地基处理时,一般可采用CFG桩进行加固,当地基表层上覆有松软土或软土,且沉降计算结果满足表7地基不需加固处理条件时,通常对表层松软土或软土采取挖除换填、水泥土搅拌桩、CFG桩等复合地基措施进行处理。

(2)无砟轨道高速铁路

在路基分层填筑完成后,放置时间不少于6个月,监测的工后沉降基本满足无砟轨道沉降控制要求。由于地基浅层5~8 m表现为粘性土性质,且浅层沉降量大,同时考虑浅层地基土的不均匀性以及降雨等因素对地基浅层的影响,对地基浅层5~8 m采用强夯、堆载预压、CFG桩等措施进行处理。对于地基表层存在松软土、软土的地段和过渡段,地基的处理深度应加

大,且宜联合堆载预压措施。中低压缩的全风化层可作为桩基的持力层。

2 强降雨、强台风路基边坡加固防护技术

海南雨量充沛,强台风频发,强降雨会使填筑路堤边坡的表层土产生侵蚀,严重时造成边坡失稳,强台风会使边坡护坡植物的树枝折断,甚至连根拔起,从而影响铁路的正常运营。研究强降雨和强台风对路基边坡的影响及边坡加固防护措施对指导海南环岛高速铁路建设具有重要意义。

2.1 强降雨路基边坡植被护坡技术

通过降雨模型试验模拟了骨架护坡、骨架结合草本植物护坡、骨架结合灌木护坡及裸露边坡在强降雨情况下的稳定性。

模型试验结果表明:边坡骨架的设置把边坡坡面分成了多个径流区域,故可降低径流的速度,减弱径流的冲刷能力,骨架护坡可适当降低支骨架的间距;降雨强度越大对边坡土体的侵蚀力越大,降雨径流携带的土体主要是由降雨的溅蚀作用产生的,坡面设置植被防护,可有效减轻坡面侵蚀作用;草本植物和灌木均具有良好的护坡抗侵蚀效果,但单独设置不能形成较为稳定的生态群落,并易衰退,宜两者结合方能达到长久稳定的护坡效果。

2.2 强台风路基边坡植被护坡技术

采用数值分析方法模拟了无自然森林和有自然森林两种情况下的路堤风场。模拟计算中,环境温度设为20℃,入口风速取30 m/s,路堤模型高度取为7 m,坡度1:1.5,路基面宽度13.4 m,有自然森林情况,假设树林高度为10 m。

(1)无自然森林情况

无自然森林情况下路堤迎风坡面的风压分布如图4所示。从图4可以看出,台风通过7.0 m高路堤边坡时,在爬坡的过程中,风速逐渐增大,并在迎风面

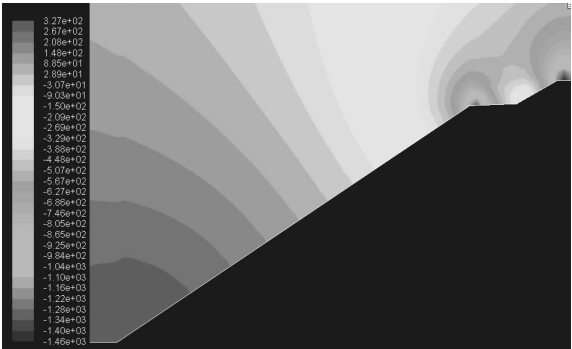


图4 路堤迎风坡面的风压分布图(Pa)



的路肩位置达到最大值,风速比平均值提高约60%,对边坡本身及行车都会造成很大影响。边坡背风面风速较小。

### (2) 有自然森林情况

有自然森林的路堤在迎风坡面的风压分布如图5所示。从图5可以看出,有自然森林条件下,路基边坡的风速和风压较无自然森林时明显降低。海南环岛高速铁路铁路沿线密林分布较多,树木高度也常在10 m以上,故可以有效降低台风对路堤边坡的影响。

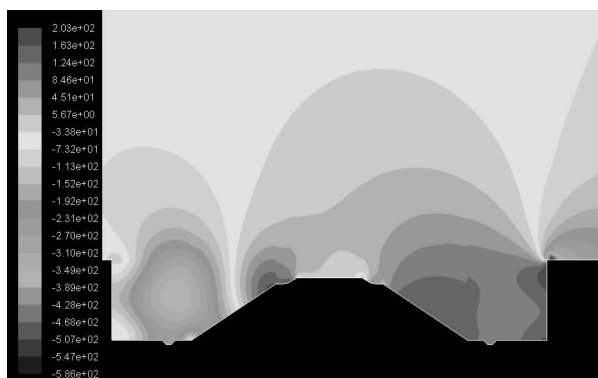


图5 路堤边坡的风压分布图(Pa)

## 2.3 强降雨、强台风路基边坡加固技术

通过强降雨对路基边坡侵蚀影响及强台风对路基边坡风压分布影响的模拟分析,结合植物生长特点,提出强降雨、强台风路基边坡加固防护技术原则。

(1) 设置护坡骨架可减弱径流的冲刷能力,强降雨地区宜减小护坡骨架间距,骨架内宜结合草本植物及灌木措施,以实现长久稳定的护坡效果。

(2) 路基边坡迎风面的路肩附近是受风力影响最大的位置,边坡防护应选择抗风能力强的植物,并且需经常修剪,控制冠幅,以提高其抗风能力。

(3) 铁路沿线宜栽植自然森林,能明显降低强风对铁路路基边坡稳定和行车安全的影响,发挥良好的防风效能。

(4) 海南环岛高速铁路路基宜选择银合欢结合茎秆柔韧、冠幅不大的低矮灌木对路基边坡进行防护。

## 3 花岗岩全风化层填料改良技术

海南环岛高速铁路所经过地区,地基表层土大部分为花岗岩全风化层,多为C组细粒土,不能直接作为高速铁路路基填料,须改良后才能填筑使用。因此,需研究花岗岩全风化层用作高速铁路路基基床底层和路堤本体填料的适应性。

### 3.1 花岗岩全风化层改良试验

由于海南岛缺乏石灰材料,并考虑旅游岛的环境

保护,故海南环岛高速铁路选择采用掺加水泥的方案进行改良。全线选取了多组有代表性的花岗岩全风化层C组填料进行改良试验研究<sup>[14]</sup>,水泥掺量分别采用3%、5%、7%,通过试验提出适宜的改良方案。

改良水泥采用P.042.5普通硅酸盐水泥,无侧限抗压强度试验采用5 cm×5 cm的试件尺寸,改良填料的养护时间为7 d和28 d,标准养护。

击实试验表明,水泥掺量<3%时,改良土的最佳含水量变化较小,水泥掺量>3%时,改良土的最佳含水量逐渐增大,水泥掺量7%左右时,改良土的最佳含水量比改良前增大约1%~2%,改良土的最佳密度随水泥掺量的增大略有增大。试验11号、15号、18号样品分别在3%、5%、7%水泥掺量情况下的7 d和28 d无侧限抗压强度如图6所示。

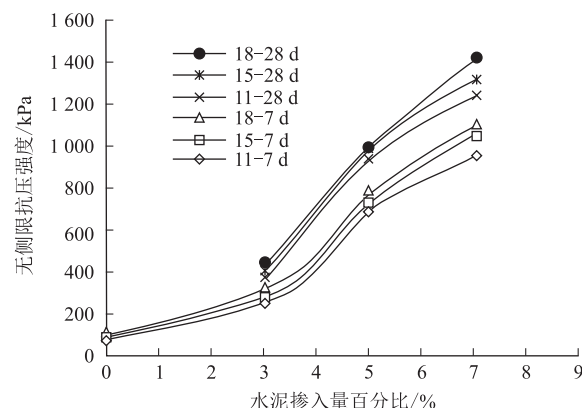


图6 不同水泥掺量的无侧限抗压强度图

从图6可以看出,低液限的花岗岩全风化层采用水泥改良效果良好,随着水泥掺量的增加,无侧限抗压强度逐渐增大,但增长率逐渐放缓,掺3%水泥改良土28 d的无侧限抗压强度在250~400 kPa之间,掺5%水泥改良土28 d的无侧限抗压强度在840~880 kPa之间,掺7%水泥改良土28 d的平均无侧限抗压强度可达1 227 kPa。

鉴于海南环岛高速铁路降雨量大、降雨时间长,路基基床表层结构采用级配碎石填筑,渗水性好,为保证路基基床底层具有足够的强度和长期稳定性,并保证路基边坡具有较好的抗强降雨冲刷能力,设计时,路基基床底层花岗岩全风化层采用掺5%的水泥改良,路基本体采用掺3%的水泥改良。

### 3.2 花岗岩全风化层改良土现场施工

改良土路基的填筑应选择非雨季施工,施工如遇降雨,需对路基进行下雨前后的质量对比检测。通过对路基未防护边坡、土工格栅加固边坡不同位置挖探试坑,检测雨水作用的浸润深度和不同深度处的含

水率情况。现场检测表明:

(1)降雨后,路基基床表层以下改良土层的含水率增加。边坡边缘铺设土工格栅后,含水率比未防护情况有所低,水稳性得到提高,故全风化花岗岩填筑路基,高度大于3 m时,边坡两侧宜分层铺设土工格栅加固并加强排水。

(2)降雨时间较短时,少量雨水对全风化花岗岩改良土路基的沉降影响较小,但当路基面有积水且积水时间较长时,积水会逐渐渗透到改良土路基填筑体中,改良土会出现一定程度的软化,对路基沉降变形控制造成较大的影响,因此,全风化花岗岩改良土填筑路基施工过程中,不得长期放置和积水,改良土不宜用作浸水路路基填料。

## 4 结论

海南环岛高速铁路建设需解决花岗岩全风化层的地基处理,强降雨、强台风路基边坡的加固防护和花岗岩全风化层的填料改良三个关键技术问题。本文通过室内试验、模型试验、数值模拟以及现场监测等系统研究,得出以下主要结论:

(1)海南环岛高速铁路花岗岩全风化层地基土的压缩系数在 $0.141 \sim 0.284 \text{ MPa}^{-1}$ 之间,为中低压缩性土,地基具有快速收敛的特性,施工+放置期的沉降完成比例可达75%~90%。固结试验得到的压缩模量较低,宜采用标准贯入试验结果。

(2)花岗岩全风化层地基路堤,控制路堤填筑速率并放置3~6个月,路基沉降逐渐趋稳;有砟轨道高速铁路地基一般可不作处理,只对高填方地段和过渡段进行浅层处理;无砟轨道高速铁路一般地段应对地基浅层5~8 m进行处理,高填方地段和过渡段应采用CFG桩加大处理深度,并宜联合堆载预压措施。地基表层存在软土、松软土时,花岗岩全风化层可作为上部加固处理措施的持力基础。

(3)强降雨、强台风路基宜采用小间距骨架结合草本植物及灌木措施进行边坡防护,路堤边坡迎风面路肩附近是受风力影响最大的位置,路堤边坡迎风面路肩宜选择银合欢结合茎秆柔韧、冠幅不大的低矮灌木。

(4)花岗岩全风化层掺5%和3%的水泥进行改良可满足高速铁路基床底层和路堤本体的填料要求,填筑高度大于3 m的路基边坡两侧宜采用土工格栅加固并加强路基排水,改良土不宜用于浸水路路基填料。

## 参考文献:

- [1] 陈泳周,黄绍派,周东,等. 广东花岗岩类岩石风化土的工程地质特征[J]. 桂林工学院学报,2002(3):263-268.  
CHEN Yongzhou, HUANG shaopai, ZHOU Dong, et al. Weathering-soil's Engineering Geology Speciality of Granite Rock in Guangdong [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2002(3): 263-268.
- [2] 鲍晓东. 深圳地区花岗岩残积土工程特性的研究[J]. 铁道勘察, 2004, 30(2): 72-74.  
BAO Xiaodong. Engineering Geological Properties of the Remainder Soil from Weathering Granite in Shenzhen District [J]. Railway Investigation and Surveying, 2004, 30(2): 72-74.
- [3] 黄欢. 广东番禺市花岗岩残积土的工程地质特征及其应用[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(3): 38-39.  
HUANG Huan. Engineering Geological Properties of Granite Eluvium and Its Application in Panyu City, Guangdong [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2000, 27(3): 38-39.
- [4] 陈洋,刘天乐,姜东方. 福建沿海地区花岗岩残积土工程地质特性研究[J]. 中国水运(理论版), 2007, 5(9): 66-67.  
CHEN Yang, LIU Tianle, JIANG Dongfang. Fujian Coastal Area Granite Weathering Product Earthwork Regulation Geology Characteristic Research [J]. China Water Transport, 2007, 5(9): 66-67.
- [5] 杨茂长. 福建沿海地区花岗岩残积土工程特性探讨[J]. 资源环境与工程, 2010, 24(1): 41-43.  
YANG Maochang. Discussion on Characteristics of the Residual Soil of Granite in Costal Areas of Fujian [J]. Resources Environment & Engineering, 2010, 24(1): 41-43.
- [6] 王清,蒋惠忠,唐大雄. 闽南三角地区花岗岩残积土及其工程地质特性的研究[J]. 福建地质, 1990, 9(2): 90-99.  
WANG Qing, JIANG Huizhong, TANG Daxiong. A Study on Engineering Geological Properties of Granitic Residual Soil in South Fujian [J]. Geology of Fujian, 1990, 9(2): 90-99.
- [7] 曲永新,吴宏伟,尚彦军. 华南花岗岩残积土红土化程度的地带与香港该类土不发育的原因[J]. 工程地质学报, 2008, 8(1): 16-20.  
QU Yongxin, WANG Hongwei, SHANG Yanjun. Study on Latitudinal Effect on Lateritization of Eluvial Soil on Granite and Cuase for Weak Lateritization of the Soil in Hongkong [J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(1): 16-20.
- [8] 王清,唐大雄,张庆云,等. 中国东部花岗岩残积土物质成分和结构特征的研究[J]. 长春地质学院学报, 1991, 21(1): 73-81.  
WANG Qing, TANG Daxiong, ZHANG Qingyun, et al. A Study on the Structure and Composition of Granite Residual Soil in the Eastern China [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1991, 21(1): 73-81.
- [9] 刘胜娥,罗林生. 海南省花岗岩残积土的工程特性研究[J]. 岳阳师范学院学报(自然科学版), 2001, 14(2): 48-50.  
LIU Sheng'e, LUO Linsheng. On the Physics-mechanics Character of Weathered Alluvium of Granites [J]. Journal of Yueyang Normal University, 2001, 14(2): 48-50.

(下转第32页)

同维度统计分析了中国高铁车站站址的分布规律,总结了我国高铁车站选址的成功经验。统计显示,我国 75% 以上的高铁车站站址与城市中心的距离在 12 km 以内,位于市区内和城市边缘的车站占比超过 73.5%。现有高铁车站的建设充分考虑了“以人为本”的建设理念,车站选址在工程合理可行的前提下,最大限度地满足了旅客的出行需求,取得了较好的社会和经济效益。在现有高铁车站建设的经验上,本文进一步分析了我国高铁车站的选址的影响因素,总结提炼了中国高铁车站的选址理念。同时从定量角度出发,针对不同城市规模 and 不同车站类型,提出了站址方案的建议范围,以期为我国新时代高速铁路建设中的车站选址提供辅助决策依据。

参考文献:

[1] 陈远胜. 高速铁路中间站选址方案的模糊综合评判[J]. 四川建筑, 2007, 27(1): 82-83.  
CHEN Yuansheng. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Location Scheme of High Speed Railway Intermediate Station [J]. Sichuan Architecture, 2007, 27(1): 82-83.  
[2] 唐经勇. 高速铁路客运站选址方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.

TANG Jingyong. Study on the Method of High-speed Railway Passenger Station Location [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.  
[3] 王睿, 李延来, 朱江洪. 基于偏好信息的高速铁路车站选址研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(1): 8-16.  
WANG Rui, LI Yanlai, ZHU Jianghong. Evaluation Method for the Location Selection of High-speed Railway Station Based on Preference Information[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2018, 15(1): 8-16.  
[4] 田园. 高速铁路车站选址与城市空间结构辨析: 以菏泽高铁站选址为例[J]. 城市, 2016(6): 61-65.  
TIAN Yuan. Analysis of High Speed Railway Station Location and Urban Spatial Structure: Taking Heze High Speed Railway Station Location as an Example[J]. City, 2016(6): 61-65.  
[5] 沈海燕, 贺晓玲. 高速铁路车站选址评价模型及算法研究[J]. 铁路计算机应用, 2011, 20(1): 5-8.  
SHEN Haiyan, HE Xiaoling. Research on Evaluation Model and Algorithm of Station Site Selection of High Speed Railway [J]. Railway Computer Application, 2011, 20(1): 5-8.  
[6] 王艺诗. 皖北城际铁路蒙城车站选址及布置方案研究[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(5): 52-56.  
WANG Yishi. Study on Location and Layout of Mengcheng Junction Station of North Anhui Inter-city Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 8(5): 52-56.

(上接第 12 页)

[10] 姚裕春. 海东线花岗岩全风化层沉降计算参数试验研究[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(6): 48-52.  
YAO Yuchun. Experimental Study on Calculation Parameter of Settlement for Completely Weathered Granite Foundation of Hainan Eastern Passenger Dedicated Line [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(6): 48-52.  
[11] 姚裕春, 李安洪, 蒋关鲁. 海东线花岗岩全风化层地基沉降特性试验研究[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(1): 8-13.  
YAO Yuchun, LI Anhong, JIANG Guanlu. Testing Study on the Settlement Characteristics of Completely Weathered Granite Foundation of Hainan Eastern Ring Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(1): 8-13.

[12] TB 10077-2019 铁路工程岩土分类标准[S].  
TB 10077-2019 Code for Rock and Soil Classification of Railway Engineering [S].  
[13] 姚裕春. 海东线全风化花岗岩路基离心模型试验研究[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(5): 34-39.  
YAO Yuchun. Study in Centrifuge Model Tests on Completely Weathered Granite Subgrade of Hainan Eastern Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(5): 34-39.  
[14] 刘祖富. 海南东环铁路全风化花岗岩路基填料改良试验[J]. 路基工程, 2010(3): 157-159.  
LIU Zufu. Improvement Test of Decomposed Granite Foundation Filling in Hainan East Ring Railway [J]. Subgrade Engineering, 2010(3): 157-159.