

砂率对道面混凝土性能的影响

翁兴中¹, 张广显¹, 韩 照², 颜祥程¹, 钱 涛³, 王永林⁴

(1. 空军工程大学机场建筑工程系, 陕西 西安 710038; 2. 中国人民解放军 93926 部队, 新疆 和田 848000;
3. 中国航空港建设第三工程总队, 江苏 南京 210000; 4. 中国航空港建设第九工程总队, 四川 成都 611430)

摘 要: 试验研究了低水灰比条件下, 砂率对道面混凝土工作性、强度、耐磨性、抗水渗透性和抗冻性的影响规律。结果表明: 砂率存在一个最佳值, 此值下道面混凝土工作性最佳; 随着砂率的增大, 道面混凝土耐磨性能降低, 抗渗性能提高, 抗折强度、抗压强度和抗冻性均呈现先增大后减小的规律。最后, 提出了低水灰比道面混凝土的合理砂率取值。

关键词: 机场工程; 道面混凝土; 砂率; 工作性; 强度; 耐久性

中图分类号: TU 528.56

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)02-0239-06

砂率是混凝土配合比设计中必须考虑的重要参数, 目前砂率对混凝土性能影响的研究主要集中在自密实混凝土、纤维混凝土和高性能混凝土领域。郭毅霖等^[1]研究了骨料对混凝土早期自收缩的影响效应, 结果表明砂率对混凝土自收缩的作用主要体现在两方面: 一是改变骨料的整体弹性模量, 二是改变骨料的总表面积, 砂率越高混凝土收缩越大, 而且单日收缩率随测试时间的延长而变缓。祝明桥等^[2]认为随着砂率增大, 自密实混凝土的坍落扩展度持续增加, 流空时间呈缩短趋势, 说明混凝土的黏度随着砂率增大而降低。陈拴发^[3]利用正交试验法, 选用水胶比、粉煤灰掺量、砂率作为配合比设计参数, 考察其对高性能混凝土温缩系数的影响规律, 结果表明砂率对平均温缩系数, 尤其是高温平均温缩系数的影响是很显著的, 随着砂率增大, 温缩系数绝对值也相应增大。张艳玲^[4]采用板状开裂架对混凝土 1~3 d 龄期的开裂行为进行了研究, 结果表明随着砂率的增大, 各种水胶比混凝土的早期开裂现象均加剧。王林, 张君^[5]基于粘性裂纹模型, 通过逆分析方法和三点弯曲试验研究骨料对混凝土断裂性能的影响, 结果表明随着砂率的降低, Load-CMOD 曲线所包裹面积增大, 混凝土承受的荷载越大; 水灰比越小, 砂率对强度的影响越明显。机场道面混凝土塌落度值小于 10 mm, 属于硬性混凝土拌合物, 目前关于砂率对低水灰比混凝土综合性能影响效应的研究开展较少, 因此, 本文试验研究了砂率对道面混凝土工作性、力学性能以及耐久性的影响效应。

1 试验概况

1.1 试验材料

水泥: 陕西耀县秦岭牌 42.5R 普通硅酸盐水泥, 密度 3.10 g/cm³, 28 d 抗折、抗压强度分别为 8.4 MPa、52.2 MPa;

粗集料: 陕西泾阳石灰岩碎石, 5~20 mm、20~40 mm 两种级配, 试验采用这两种级配粗集料的质量比为 1:1, 级配合格, 表观密度为 2.73 g/cm³, 堆积密度为 1 690 kg/cm³;

细集料: 西安灞河中砂, 含泥量 1.76 %, 细度模数 2.80, II 区, 级配合格, 表观密度 2.63 g/cm³, 堆积密度 1 509 kg/m³。

1.2 试验方案

试验中固定水灰比和水泥用量, 研究不同砂率对道面混凝土拌合物和易性、强度和耐久性能的影响。

收稿日期: 2012-11-14 修改稿日期: 2013-03-27

基金项目: 空军后勤部科研项目(西北地区军用机场水泥混凝土道路修补技术研究(KJYZ0982))

作者简介: 翁兴中(1962-), 男, 浙江金华人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 主要从事机场道面工程研究。

响. 试验采用绝对密实体积法设计水泥混凝土配合比^[6], 配合比与试验方案见表 1.

2 砂率对道面混凝土工作性和强度的影响试验研究

2.1 砂率对道面混凝土工作性的影响

道面混凝土混合料属干硬性混凝土拌合物, 通常采用维勃稠度仪测定其稠度. 维勃稠度试验结果如表 2 和图 1 所示.

表 1 配合比与试验方案

Tab. 1 Proportion of cement concrete and experiment schemes

序号	砂率 /%	水泥 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	水 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	砂 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	石 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
1	24	320	144	469	1 541
2	26	320	144	508	1 501
3	28	320	144	547	1 460
4	30	320	144	586	1 419
5	32	320	144	625	1 379
6	34	320	144	664	1 338
7	36	320	144	703	1 298

表 2 维勃稠度试验结果

Tab. 2 Results of V-B consistometer

序号	砂率 /%	V-B /s	粘聚性	流动性	保水性	和易性
1	24	39.2	稍差	稍差	差	差
2	26	27.4	稍差	良好	稍差	稍差
3	28	19.7	良好	良好	良好	好
4	30	20.5	良好	良好	好	好
5	32	17.6	良好	好	好	良好
6	34	21	好	稍差	好	稍差
7	36	23.4	好	差	好	差

由图 1 和表 2 可知, 维勃稠度随砂率的变化可以分为三个阶段. 在相同水灰比和水泥用量下, 砂率较小时 (24 % ~ 28 %), 砂浆较少, 不能保证粗集料间有足够的砂浆填充润滑, 粗集料容易相互搭接, 粗集料颗粒间的摩擦阻力较大, 在维勃稠度仪震动台振动的过程中, 水泥砂浆被夹嵌在粗集料缝隙中很难出浆, 造成拌合物流动性和保水性变差; 在临界砂率下, 维勃稠度保持在 20 s 左右, 随着砂率的增加, 砂浆逐渐增多, 砂子不但较好地填充了粗集料间隙, 保证石子间有一定厚度的砂浆层润滑, 而且也能在水泥浆体一定时, 细集料有充足的水泥浆包裹润滑, 使混凝土拌合物有较好的流动性; 超过临界砂率时, 砂率进一步增加, 细集料比表面积和空隙率增大, 需要润湿细集料表面的水分和包裹细集料的水泥砂浆体显得不足, 水泥浆的润滑作用下降, 细集料间的摩擦阻力增加, 拌合物流动性下降.

2.2 砂率对道面混凝土强度的影响

试验按照文献[7]规定进行, 试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 400 mm, 试件成型后在标准条件下分别养护 7 d 和 28 d, 放入试验机进行抗折强度测试, 断头进行抗压强度测试. 抗折、抗压试验结果如图 2、图 3 所示.

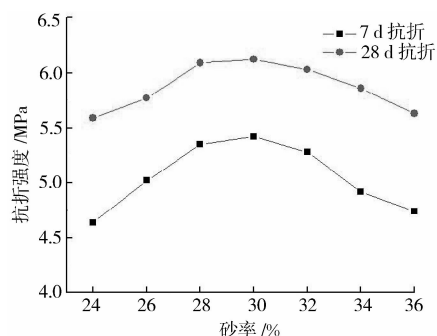


图 2 砂率与抗折强度关系曲线

Fig. 2 Relation between sand ratio and flexural strength

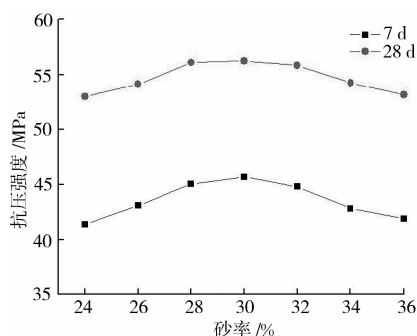


图 3 砂率与抗压强度关系曲线

Fig. 3 Relation between sand ratio and compressive strength

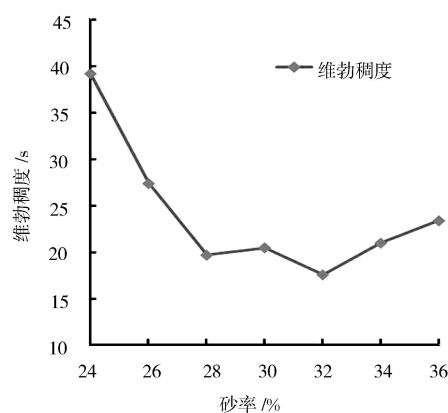


图 1 维勃稠度对比结果图

Fig. 1 Results of V-B consistency

由图2和图3可以看出,道面混凝土7 d、28 d抗折和抗压强度均随砂率的增加而先增大后减小,砂率为30%时,抗折和抗压强度达到峰值。砂率较低时,水泥砂浆不足以填充粗骨料间的空隙,造成混凝土拌合物缺浆,试件成型后内部孔隙较多,不密实,故强度较低;随着砂率的提高,水泥砂浆增多,粗骨料表面被浆体充分包裹,空隙率减少,混凝土更加密实,同时提高了混凝土的整体刚度,因而道面混凝土强度有所提高。砂率过大时,在水泥用量不变的情况下,骨料的总表面积和空隙率都会增大,包裹骨料表面的浆体层厚度减薄,减弱润滑作用,降低了混凝土内部的粘结力;混凝土拌合物和易性较差,不易形成理想的骨料嵌锁型结构,使硬化后的混凝土密实性降低,影响混凝土的强度发展。同时较高的砂率也破坏了粗集料之间的机械咬合力,这也是强度下降的一个主要原因^[8]。

砂率由30%降低到24%时,混凝土7 d抗折、抗压强度分别下降14.39%和9.39%,混凝土28 d抗折、抗压强度分别下降8.66%和5.85%,说明道面混凝土抗折强度对砂率变化更敏感。在现有设计规范中,以抗折强度作为道面混凝土配合比的设计依据,更应严格控制砂率取值。

3 砂率对道面混凝土耐久性的影响试验研究

3.1 砂率对道面混凝土抗冻性能的影响

试验按照文献[9]中抗冻试验的快冻法,试件尺寸为100 mm×100 mm×400 mm,标准条件下养护28 d后进行冻融循环试验,每冻融循环10次后,测量各试件的质量和动弹模量,计算质量损失率和相对动弹模量。冻融到达以下两种情况之一即停止试验:①相对动弹模量下降到55%以下;②质量损失率达到5%。相对动弹模量、质量损失率试验结果如图4、图5所示。

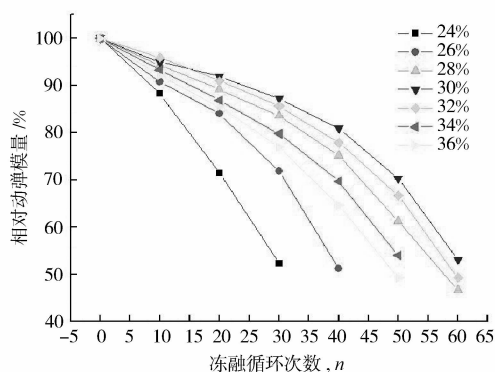


图4 冻融循环次数与相对动弹模量关系曲线

Fig. 4 Relation between cycle time of freeze-thaw and relative dynamic elastic modulus

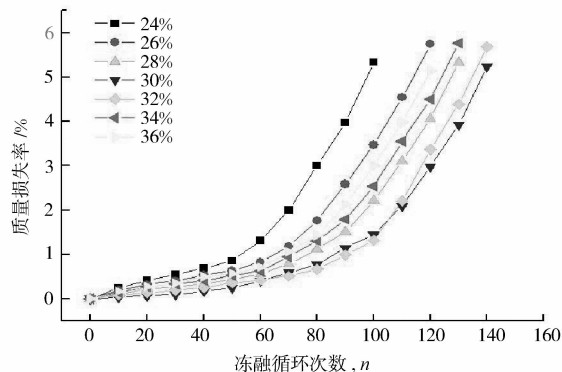


图5 冻融循环次数与质量损失率关系曲线

Fig. 5 Relation between cycle time of freeze-thaw and mass loss

由图4可知,砂率为28%、30%和32%的道面混凝土,相对动弹下降到55%以下时所经历的冻融循环次数最多,均为60次,抗冻性最好;其次为砂率34%、36%的道面混凝土,所经历冻融循环次数为50次,再次为砂率26%的道面混凝土,所经历冻融循环次数为40次;砂率为24%的道面混凝土抗冻性最差,冻融循环30次时,相对动弹模量即下降到55%以下。

由图5可知,由质量损失率反映出抗冻性由强到弱砂率的顺序依次为:30%、32%、28%、34%、36%、26%、24%,这与相对动弹模量的下降反映出的规律是一致的。这是因为混凝土中砂的主要作用是填充粗骨料空隙,使混凝土更加密实。提高砂率可以改善混凝土拌合的流动性和黏聚性,从而使其稳定性和均匀性较好,试件成型后空隙率小,密实度大,抗冻性能好。但砂率超过合理范围后,继续提高砂率将增加砂浆与粗骨料之间的密度差,进而导致混凝土的匀质性变差^[10]。同时,由于砂表面积过大,包裹集料的浆体相对减少,未被水泥包裹的部分,由于缺少水化硅酸钙,水化铝酸钙,水化铁铝酸四钙等有效水泥水化产物的保护导致抗冻性下降。砂率取30%时,冻融循环次数最大,质量损失率最低,说明30%砂率的道面混凝土不仅强度最高而且抗冻性最好。

3.2 砂率对道面混凝土耐磨性能的影响

试验按照文献[11]进行,采用 150 mm×150 mm×150 mm 立方体标准试件,经 28 d 标准条件养护后,将平整面作为受磨面进行耐磨试验,耐磨试验结果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,随着砂率的提高,耐磨度呈线性关系逐渐减小,抗磨损性能降低。砂率由 24 % 增大到 36 % 时,耐磨度由 1.63 下降到 1.19,降低了 27 %。这是因为砂浆是混凝土粘结和承载的基体,在混凝土的磨损过程中首先被磨掉。随着砂率的增加,磨损表面中砂浆所占的比例增大,表面砂浆的耐磨性能较骨料差从而使道面混凝土的耐磨度降低。在砂率增大过程中,混凝土中更多的砂代替水泥净浆,混凝土内部空隙增多,减小了混凝土截面上的有效受力面积,耐磨性能下降。这与熊剑平等^[12]的研究是一致的,在一定砂率范围内,增大粗集料的含量有助于提高道面混凝土的耐磨度。所以为了提高道面混凝土的耐磨度,在合理砂率范围内,应选择较低砂率。对砂率和耐磨度进行线性回归可得下式(R 为相关系数):

$$N = -0.0387 S_p + 2.5648 \quad R^2 = 0.9857 \quad \text{式中: } N \text{ 为耐磨度; } S_p \text{ 为砂率, \%}$$

3.3 砂率对道面混凝土抗水渗透性能的影响

试验按照文献[8]中的渗水高度试验方法进行,采用顶面直径为 175 mm,底面直径为 185 mm,高度为 150 mm 的圆台体形试件,试件龄期 28 d,水压力恒定控制在 0.4 MPa,24 h 后停止试验,将试件沿纵断面劈裂为两半,测量渗水高度,试验结果如图 7 所示。

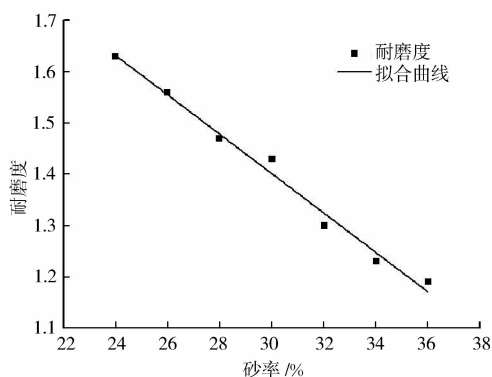


图 6 砂率与耐磨度关系曲线

Fig. 6 Relation between sand ratio and abrasion index

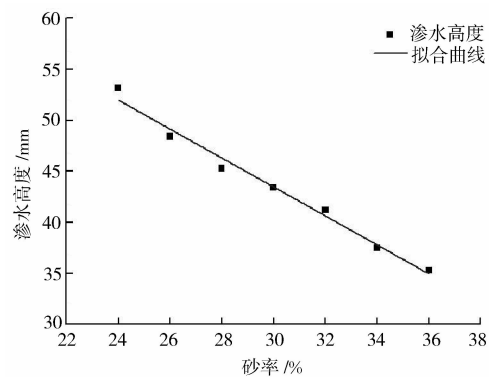


图 7 砂率与渗水高度关系曲线

Fig. 7 Relation between sand ratio and seepage height

由图 7 可知,当砂率为 24 % 时,道面混凝土渗水高度为 53.2 mm,随着砂率的增大渗水高度逐渐降低,道面混凝土抵抗静水渗透的能力逐渐增强。当砂率为 36 % 时,道面混凝土抗渗性最好,渗水高度为 35.3 mm。根据混凝土的界面理论^[13],粗集料与水泥砂浆结合面形成的过渡区是道面混凝土的薄弱环节,当砂率较小时,粗集料在混凝土中的体积含量相应增大,过渡区的数量增大,同时砂率过低使得粗集料容易互相搭接,当有一定水压时,水的渗透就很容易从一个石子的界面传递通过另一个石子界面,其抗渗性显然会下降。适当增大砂率,水泥砂浆能充分填充粗骨料之间的孔隙,减少混凝土硬化后内部沿粗骨料表面形成的细微孔隙,使混凝土结构更密实。对砂率和渗水高度进行线性回归可得下式(R 为相关系数):

$$H = -1.4214 S_p + 86.114 \quad R^2 = 0.9844 \quad \text{式中: } H \text{ 为渗水高度; } S_p \text{ 为砂率, \%}$$

4 结 论

(1) 砂率决定了砂浆含量,是影响混凝土拌合物工作性能的重要因素。砂率在 28 %~32 % 之间时,道面混凝土拌合物维勃稠度在 20 s 左右,工作性能最佳。

(2) 砂率取 30 % 时道面混凝土抗压、抗折强度均达到最大,砂率增大或减小都使道面混凝土抗折、抗压强度减小,其中抗折强度对砂率的变化较抗压强度更为敏感。

(3) 随着砂率的增加,道面混凝土耐磨性逐渐下降而抗渗性却呈现出相反的趋势,砂率在 30 % 左右

抗冻性最佳,减小砂率比增大砂率使道面混凝土抗冻性下降的幅度更快。

(4)综合来看,28 %~32 %砂率的道面混凝土工作性能、强度和耐久性优于其他砂率,是低水灰比道面混凝土的合理砂率。对使用频率较高而抗渗性要求不高(对耐磨性要求更高的)的道面混凝土可以在合理砂率范围内选择较小的砂率。

参考文献 References

- [1] 郭毅霖,李悦. 骨料与纤维用量对混凝土早期自收缩影响效应的研究[J]. 混凝土与水泥制品,2006(3):50-52.
GUO Zhen-lin, LI Yue. Study on the Influence of aggregate and fiber content on the early autogenous shrinkage of concrete[J]. China Concrete and Cement Products,2006(3):50-52.
- [2] 祝明桥,唐磊. 绿色自密实高性能混凝土的配制[J]. 混凝土,2010(7):106-109.
ZHU Ming-qiao, TANG Lei. Configuration of self-compacting concrete[J]. Concrete,2010(7):106-109.
- [3] 陈拴发,高蕾. 高性能混凝土配合比设计参数对温缩系数的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(4):1-4.
CHEN Shuan-fa, GAO Lei. Influence of mix-designed parameters on temperature shrinkage features of high performance concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2005,25(4):1-4.
- [4] 张艳玲,吴笑梅. 混凝土早期开裂因素的初探[J]. 混凝土,2005(5):18-21.
ZHANG Yan-ling, WU Xiao-mei. Basic discussions on early-age cracking factors for concrete[J]. Concrete, 2005 (5):18-21.
- [5] 王林. 骨料及水泥石强度对混凝土断裂性能的影响[D]. 北京:清华大学,2004.
WANG Lin. Effect of Aggregate and Cement Matrix Strength on the Fracture Properties of Concrete[D]. Beijing: Tsinghua University,2004.
- [6] GJB1112A-2004 军用机场场道工程施工及验收规范[S]. 2004.
GJB1112A-2004 Construction and acceptance specifications for flying area engineering of the military airfield[S]. 2004.
- [7] 中华人民共和国建设部. GB/T50081-2002 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB/T50081-2002 Standard for test method of mechanical properties on ordinary concrete[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2003.
- [8] Pilar Alaejos Gutierrez, Mnuel Fernandez Canovas. High-Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning[J]. ACI Materials JOURNAL,1996(5):233-241.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T50082-2009 普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
Ministry of housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB/T50082-2009 Standard for test method of long-term performance and durability of ordinary concrete[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2009.
- [10] 田耀刚,胡曙光,王发州,等. 高强轻集料混凝土的抗冻性能研究[J]. 混凝土与水泥制品,2006(2):15-17.
TIAN Yao-gang, HU Shu-guang, WANG Fa-zhou, et al. Frost Resistance of High Strength Lightweight Aggregate Concrete[J]. China Concrete and Cement Products, 2006(2):15-17.
- [11] 国家技术监督局. GB/T16925-1997 混凝土及其制品耐磨性试验方法(滚珠轴承法)[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
China State Bureau of Technical Supervision. GB/T16925-1997 Test method for abrasion resistance of concrete and its products(Ball bearing method) [S]. Beijing: China Zhijian Publishing House,1998.
- [12] 熊剑平,申爱琴,宋婷. 道路混凝土耐磨性试验研究[J]. 混凝土,2011(2):134-138.
XIONG Jian-ping, SHEN Ai-qin, SONG Ting. Study on the abrasion resistance of pavement cement concrete[J]. Concrete,2011(02):134-138.
- [13] Sarja A. Durability Design of Concrete Structures-Committee report 130-CSL[J]. Materials and Structures Journal, 2000,33(2):14-20.

Effects of sand ratio on performance of pavement concrete

WENG Xing-zhong¹, ZHANG Guang-xian¹, HAN Zhao²,
YAN Xiang-cheng¹, QIAN Tao³, WANG Yong-lin⁴

(1. Department of Airport Construction Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. The PLA 93926 Unit, Xinjiang Khotan 848000, China;

3. The Third Engineering Group of Airport Construction of China, Nanjing 210000, China;

4. The Ninth Engineering Group of Airport Construction of China, Chengdu 611430, China)

Abstract: Under the condition of low water-cement ratio, tests were carried out to study the effects of sand ratio on the workability, strength, wear resistance, impermeability and frost resistance of pavement concrete. It is proved that there exists a best sand ratio under which the pavement concrete performs best. With the increase of sand ratio, the wear resistance of pavement concrete decreases and the impermeability increases; the flexural strength, compressive strength and frost resistance all increase first and then decrease. In the end, it puts forward the rational sand ratio of pavement concrete in low water-cement ratio.

Key words: airport engineering; pavement concrete; sand ratio; workability; strength; durability

Biography: WONG Xing-zhong, Professor, Xi'an 710038, P. R. China, Tel: 0086-15829775089, E-mail: 15829775089@163.com

(上接第 232 页)

- [7] 居季成, 徐名聪, 乔 靓. 失效模式及后果分析的运用[J]. 现代制造工程, 2004, 6(11): 83-86.
JU Ji-cheng, XU Ming-cong, QIAO Liang. Application of FMEA [J]. Machinery Manufacturing Engineer, 2004, 6(11): 83-86.
- [8] 卢 黎, 张永兴, 吴曙光. 压力型锚杆锚固段的应力分布规律研究[J]. 岩土力学, 2008(6): 1345-1349.
LU Li, ZHANG Yong-xing, WU Shu-guang. Distribution of stresses on bonded transmission length of compression type rock bolt[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008(6): 1345-1349.
- [9] 郝建斌, 门玉明, 汪班桥. 地面荷载下土层锚杆工作性能试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(2): 247-249.
HAO Jian-bin, MEN Yu-ming, WANG Ban-qiao. Working property of soil anchors under loads on ground surface [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(2): 247-249.

Earth anchor failure models and effect analysis

WANG Ban-qiao, MEN Yu-ming

(1. School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Geotechnical Engineering Open Laboratory of Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: FMEA evaluation criteria, failure severity evaluation criteria, failure frequency evaluation criteria and failure detection degree evaluation criteria for earth anchor are set to establish FMEA analysis sheet for earth anchor support system, in deriving the various failure modes for existing of the system and point out responsible department of the failure mode. RPN value of earth anchor is analyzed and four high risk diseases of earth anchor are obtained i. e. shear failure between earth and concrete, shear failure between concrete and reinforcement bars, pulling destroy of anchor and direct destroy of anchor. It is known is analyzed high risk diseases of earth anchor are mainly focused on anchor segment which is mainly in the charge of the construction department. Therefore, to strengthen the design, and intensify construction management for this part become absolutely necessary.

Key words: earth anchor; failure models; effect analysis; risk sequence number; high risk disease

Biography: WANG Ban-qiao, Lecturer, Xi'an 710054, P. R. China, Tel: 0086-13700285560, E-mail: dcdgx17@chd.edu.cn